



Volume 37 Number 5 September - October 2018

ISSN (Print Edition) : 1686-9664

ISSN (Online Edition) : 2586-9795

Journal of

SCIENCE and TECHNOLOGY

MAHASARAKHAM UNIVERSITY

www.journal.msu.ac.th

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 37 ฉบับที่ 5 กันยายน - ตุลาคม 2561

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY Volume 37 Number 5 September - October 2018



ปีที่ 37 ฉบับที่ 5 กันยายน - ตุลาคม 2561

ISSN (Print Edition) : 1686-9664

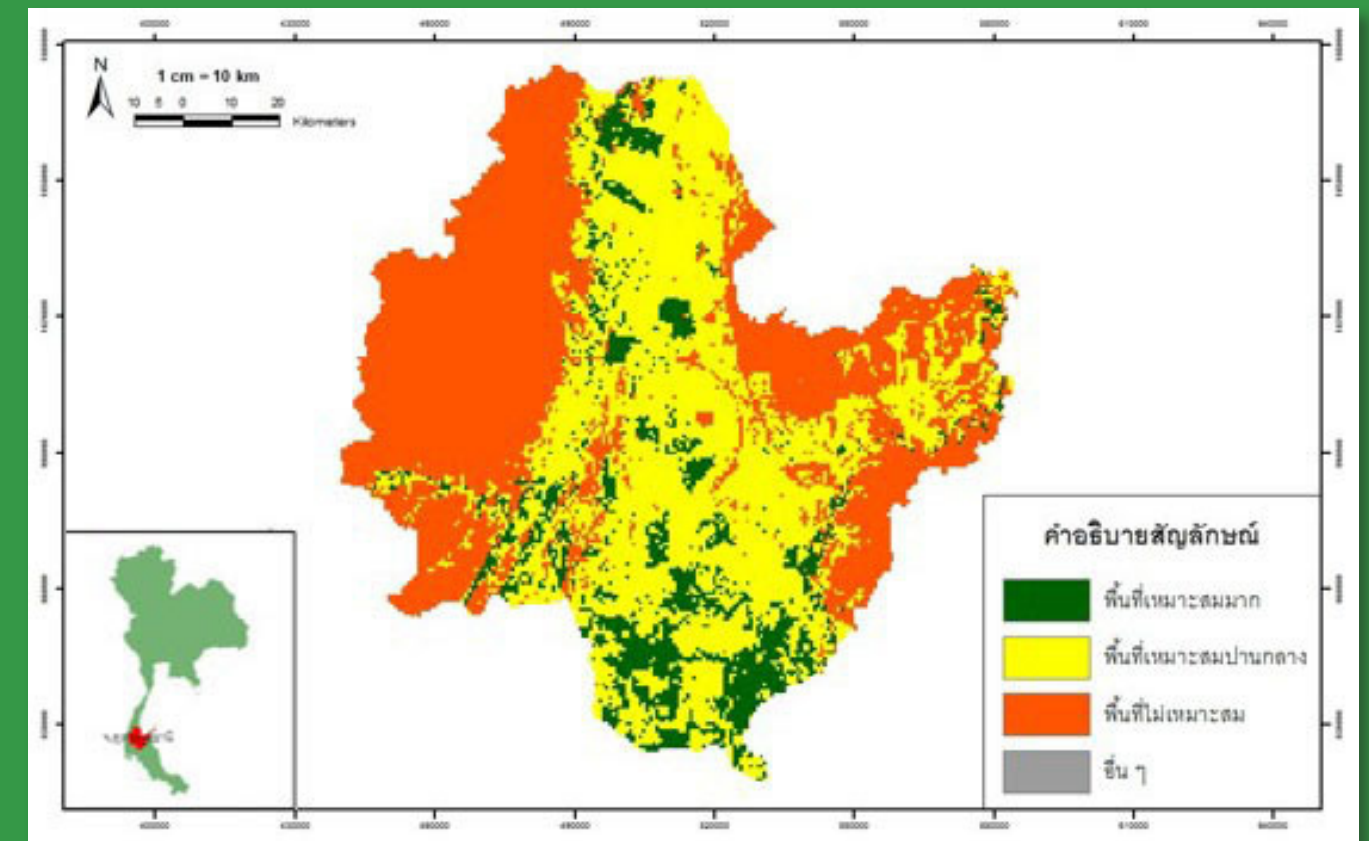
ISSN (Online Edition) : 2586-9795

วารสาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

www.journal.msu.ac.th



Journal of Science and Technology Mahasarakham University

We are listed in the Thai-Journal Citation Index Centre. (Tier 1)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อยู่ในฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1

วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการและผลงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีเนื้อหาครอบคลุมงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพและวิศวกรรมศาสตร์ บทความและบทความวิจัยที่จะนำมาตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม จะต้องได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิ (peer review) ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
สำนักงานกองบรรณาธิการ
กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำบลขามเรียง อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
โทรศัพท์ภายใน 1754 โทรศัพท์/โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ ไข่มณี
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมพรพรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วิลยา สุทธิชา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละอองศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิณี พรหมเทศ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานเป็รื่อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะสิทธิ์พรณ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมณดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวลิทธิวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนนแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ยืน ภู่วรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.บังอร กุมพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิญา วังศ์พิริโยธา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.อดิเทพ รุ่งสิทธิชัย
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.วิรัชจินดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
Mr.Paul Alexander Dulfer
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
นางฉวีวรรณ อรรถะเศรษฐ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

นางพัทศรีวิไล รุ่งวิสัย

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางจิราวัฒน์ ภูสีฤทธิ์

กำหนดออกและตีพิมพ์เผยแพร่

ปีละ 6 ฉบับ
ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์
ฉบับที่ 2 มีนาคม - เมษายน
ฉบับที่ 3 พฤษภาคม - มิถุนายน
ฉบับที่ 4 กรกฎาคม - สิงหาคม
ฉบับที่ 5 กันยายน - ตุลาคม
ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน - ธันวาคม

Aim and Scope:

The MSU Journal of Science and Technology is published quarterly and dedicated to the promotion and dissemination of scientific knowledge in the disciplines of Bioscience, Physical Science and Engineering Articles and research papers to be published in the Journal of Science and Technology Maharakham University will be subject to verification of academic luminaries both from within and outside the University to assure journal quality standards.

Ownership

Maharakham University
Editorial Office
Division of Research Support and Development,
Khamriang Sub-district, Kantharawichai District,
Maha Sarakham Province 44150
Tel & Fax: 0 4375 4238 ext. 1754

Advisors

President of Maharakham University
Professor Dr. Visut Baimai
Professor Dr. Vichai Boonsaeng

Editor-in-Chief

Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors

Professor Dr.Pairot Pramul
Maharakham University
Associate Professor Dr.Worapol Aengwanich
Maharakham University
Associate Professor Dr.Sirithon Siriamornpun
Maharakham University
Associate Professor Dr.Vallaya Sutthikhum
Maharakham University

Editorial Board

Professor Dr.Thaweesakdi Boonkerd
Chulalongkorn University
Professor Dr.La-orsri Sanoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr.Supannee Promthet
Khon Kaen University
Professor Dr.Pranee Anprung
Chulalongkorn University
Professor Dr.Niwat Sonoamuang
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Sunan Saikrasun
Maharakham University
Associate Professor Dr.Suwanna Boonyaleepun
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Kwanjai Kanokmedhakul
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Chantana Aromdee
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Boonchong Chawsithiwong
National Institute of Development Administration

Associate Professor Dr.Porntep Tanonkeo
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Narumon Sangpradub
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Terdsak Khammeng
Khon Kaen University
Associate Professor Yuen Poovarawan
Kasetsart University
Associate Professor Dr.Bungon Kumphon
Maharakham University
Associate Professor Dr.Sirikasem Sirilak
Naresuan University
Associate Professor Dr.Anongrit Kangrang
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Chawalit Boonpok
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Napparat Buddhakala
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assistant Professor Dr.Anucha Pranchana
Ubon Ratchathani Rajabhat University
Assistant Professor Dr.Seckson Sukhasena
Naresuan University
Assistant Professor Dr.Apinya Wongpiriyayothar
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Alongkorn Lamom
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Atthaporn Roongsitthichai
Maharakham University
Dr.Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr.Somnuk Puangpronpitag
Maharakham University
Mr.Paul Alexander Dulfer
Maharakham University
Chaweewan Akkasesthang
Maharakham University

Secretary

Phakwilai Rungwisai

Assistant secretary

Jirarat Puseerit

Six issues per year

Number 1 January - February
Number 2 March - April
Number 3 May - June
Number 4 July - August
Number 5 September - October
Number 6 November - December

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนกองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไปและบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทยการจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

ในสถานการณ์โลกปัจจุบัน งานวิจัยมีบทบาทสำคัญอย่างมากในการสร้างองค์ความรู้ใหม่และขับเคลื่อนผลงานวิจัยออกสู่สาธารณะให้มากที่สุด เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ที่แท้จริงหรือเกิดความเชื่อมโยงและบูรณาการร่วมกับวิทยาการสาขาอื่นๆ ในวงกว้าง ดังนั้นการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยจึงถือได้ว่าเป็นพันธกิจที่สำคัญของนักวิจัยและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องเพื่อสร้างความเข้มแข็งในวงการวิชาการ วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ฉบับนี้ยังคงมุ่งหวังที่จะเผยแพร่บทความวิจัยที่มีคุณภาพอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในวารสารฉบับนี้มีผลงานวิจัยที่มีคุณภาพในหลากหลายสาขาวิชา ทั้งหมด จำนวน 15 เรื่อง ประกอบด้วยงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ และคณิตศาสตร์ ผลงานงานวิจัยเหล่านี้ ได้ผ่านกระบวนการตรวจสอบคุณภาพทางวิชาการ และกลั่นกรองความถูกต้องตามหลักวิชาการโดยผู้ทรงคุณวุฒิในแต่ละสาขาวิชา ทั้งนี้เพื่อรักษาไว้ซึ่งคุณภาพและมาตรฐานทางวิชาการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ขอขอบพระคุณนักวิจัยที่ให้ความสนใจส่งบทความวิจัยที่มีคุณภาพมาตีพิมพ์เผยแพร่กับทางวารสารเป็นจำนวนมากในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมา ตลอดจนขอกราบขอบพระคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิทางวิชาการที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพของบทความวิจัยทุกบทความเป็นอย่างดี กองบรรณาธิการ มีความตั้งใจและมุ่งมั่นอย่างเต็มที่ที่จะยกระดับคุณภาพของผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารนี้ให้มีความ เข้มแข็งทางวิชาการ และพร้อมเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณภาพและคุณค่าต่อสังคม ต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริธร ศิริอมรพรรณ
กองบรรณาธิการ

คำอธิบายภาพปก : การวิเคราะห์และลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

ภาพปก : ผ่องพรรณ พัวพันธ์ และคณะ. 2561, 627-646.

สารบัญ

Biological Science

- การเปรียบเทียบธาตุอาหารหลักของปุ๋ยมูลไส้เดือนจากการย่อยสลายกระดาษและขยะอินทรีย์ 587
Comparison on Macronutrients of Vermicompost from Paper and Organic Waste Degradation
ธันนิดา กงทอง, สุันันทา เลาววันศิริ, จุฑามาส แก้วสุข
Thunnida Kongthong, Sunantha Laowansiri, Jutamas Kaewsuk
- ผลของความเครียดจากน้ำตาลต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของข้าว (Oryza sativa L.) สายพันธุ์มะลิแดง (red hawn rice) 594
Effects of sugar stress on growth and physiology of rice (Oryza sativa L.) Ma-li-daeng cultivar)
สุมาลี ชูกำแพง, สิทธิชัย วันแก้ว
Sumalee Chookhampaeng, Sitthichai Wankaew
- ศักยภาพผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยพืชสมุนไพรบางชนิดป้องกันกำจัดด้วงถั่วเขียว 601
Potential of Some Herbal Plant Essential oils Against Cowpea Bruchids
บุญยาพร สระทองรอด, ฤชอร วรณะ
Bunyaporn Satongrod, Ruchuon Wanna
- ความหลากหลายของชนิดและนิเวศวิทยาของกล้วยไม้ในอุทยานแห่งชาติภูแลนคา จังหวัดชัยภูมิ 612
Species Diversity and Ecology of Orchids in Phu Laen Kha National Park, Chaiyaphum Province
เทียมหทัย ชูพันธ์, จิรประภา ทองสุขแก้ง, ธนา ดานะ
Thiamhathai Choopan, Jiraprapa Thongsukkaeng, Thana Dana
- ผลของอาหารผสมฮอร์โมนพอสตาแกลนดิน เอฟ₂ ทู แอลฟา ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของปลานิลเพศเมียในกระชัง 619
Effect of dietary prostaglandin F₂ administration on growth and reproductive performance of female Nile tilapia Oreochromis niloticus in cage culture
เอกชัย ดวงใจ, ธนเดช สมอินทร์, จิตรา ปันรูป
Ekachai Duangjai, Thanadet Somain, Jitra Punroob
- การวิเคราะห์และลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานี 627
Analysis and Priority Factors that affect to Plantation Product of Oil-Palm in Surat Thani Province
ผ่องพรรณ พัวพันธ์, ไอลดา ลาภพล, สุวัฒน์ จุฑาพฤทธิ, สุพัตรา พุฒิเนาวรัตน์
Phongphan Puophan, Ailada Lapphon, Suwat Jutapruet, Supattra Puttinaovarat
- การศึกษาคุณภาพของปุ๋ยหมักจากการหมักร่วมระหว่างฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกร 647
Study on Quality of Compost from Co-fermentation of Rice Straw and Swine Wastewater
พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ็ก, ปฐมพร น้อยจันทร์
Pantip Klomjek, Prathomporn Noychun

สารบัญ

- การคัดแยกโปรไบโอติกแบคทีเรียที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อ *Vibrio harveyi*
และ *Vibrio parahaemolyticus* ในกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*, de Man) 659
**Isolation of Probiotic Bacteria Protective Against *Vibrio harveyi* and *Vibrio parahaemolyticus*
Infection in Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*, de Man)**
กุสุมาวดี ฐานเจริญ, จีราวรณ ชงหาญ, สุพิชญา อุปปุย, วริดา พลาศรี
Kusumawadee Thancharoen, Jirawan Thonghan, Supitchaya Auppui, Warida Palasri
- ผลของสารสกัดจากแคลลัสกานพลูต่อการสงบนิ่งปลาอุยเทศ 666
Effects of Crude Extract from Cloves Callus on Sedation of Hybrid Catfish
นพรัตน์ พุทธกาล, สุพรรณ โพธิ์ศรี, เสาวณีย์ บัวโทน, กัลยา โมกขพันธ์
Nopparat Buddhakala, Suphan Posri, Saowanee Buatone, Kanlaya Mokephun
- การใช้เลซิทินล้วนเหลืองในอาหารไก่เนื้อต่อประสิทธิภาพการย่อยได้ โลหิตวิทยา
สมรรถนะการผลิต ลักษณะซาก คุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อ 675
**Utilization of Crude Soy Lecithin in Broiler Chicken Diets on Digestible Efficiency, Hematology,
Productive Performance, Carcass Characteristics, Quality and Nutritive Value of Meat**
มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี, ศักดา ประจักษ์บุญเฉษฐา, พิมพ์ผกา บุญธรรม, ปณิตดา อินทะสระ,
ปรียานุช สุตทอง, จักรกฤษ จันตรา, วรางคณา กิจพิพิธ
Manatsanun Nopparatmaitree, Sakda Prajukboonjatsada, Pimpaka Buntham, Panadda Intasara,
Preyanuch Sudtong, Jukkrit Juntra, Warangkana Kitpipit
- Physical Science**
- การออกแบบชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนาม 689
Chemical Agent Monitor Simulator Design
ชนมภัทร ไตรระสะ
Chonmapat Torasa
- การกำกับที่เป็นดีกรี-เมจิกบนการดำเนินการทวิภาคของกราฟสองส่วนแบบบริบูรณ์
และกราฟสามส่วนแบบบริบูรณ์ 702
**Degree-Magic Labelings on Binary Operations of Complete Bipartite
and Tripartite Graphs**
ไภสัชชา อินพูลใจ
Phaisatcha Inpoonjai
- อัตราส่วนของลำดับย่อยของจำนวนฟีโบนัชชีที่มีดัชนีเป็นเลขชี้กำลัง n 711
The ratio of the n -th exponential subsequence of the Fibonacci Sequence
วิภาวี ตั้งใจ, กรภัทร ชมอด
Wipawee Tangjai, Korrapat Chomhod

สารบัญ

การเปรียบเทียบรูปแบบความเหมาะสมการระบายน้ำด้วยเทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา 715

A Comparison of Optimal Drainage Methods based on Time Series Forecasting Technique

พฤตพิงศ์ เพ็งศิริ, สุันธนา สดสี, พยุง มีสัจ

Prudtipong Pengsiri, Sunantha Sodsee, Phayung Meesad

Health Science

การวิเคราะห์ข้อคำถามที่มีผลต่อการทำนายภาวะข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล 726

The Analysis of the Screening Questions from the Elderly's Knee Osteoarthritis Questionnaires using Data Mining Techniques

พุทธิพร ชนธรรมเมธี, Yeawarat Sirisathitkul

Putthiporn Thanathamthee, Yaowarat Sirisathitkul

การเปรียบเทียบธาตุอาหารหลักของปุ๋ยมูลไส้เดือนจากการย่อยสลายกระดาษและขยะอินทรีย์

Comparison on Macronutrients of Vermicompost from Paper and Organic Waste Degradation

ธันนิดา กงทอง¹, สุนันธา เลาวังศิริ^{2*}, จุฑามาส แก้วสุข³

Thunnida Kongthong¹, Sunantha Laowansiri^{2*}, Jutamas Kaewsuk³

Received: 15 September 2017; Accepted: 4 May 2018

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยมูลไส้เดือนจากการย่อยสลายขยะกระดาษและขยะอินทรีย์ โดยใช้ไส้เดือนดินต่างชนิดกัน 2 สายพันธุ์ ได้แก่ ไส้เดือนดินสายพันธุ์ท้องถิ่น *Pheretima peguana* (PP) หรือ ชีตาแร่ และสายพันธุ์ ยูดริลลัส ยูจีนีแอ (*Eudrilus eugeniae*) ชื่อสามัญ African Night Crawler (AF) ทำการทดลองโดยจัดเตรียมพื้นที่เลี้ยงโดยนำดินร่วนใส่ลงไปในถัง ให้สูง 6 นิ้ว (น้ำหนัก 13 กิโลกรัม) แล้วทำการพรมน้ำให้มีความชื้นโดยประมาณร้อยละ 70-80 นำไส้เดือนดินใส่ถัง 0.2 กิโลกรัมต่อถัง (ถังละ 1 สายพันธุ์) หลังจากนั้นเตรียมอาหารสำหรับเลี้ยงไส้เดือนดิน โดยนำขยะอินทรีย์ (เศษผักและเศษอาหาร) และใบไม้แห้ง (ผสมในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก) และขยะกระดาษ มาบดละเอียด พรมด้วยจุลินทรีย์ชนิดน้ำ (Effective Microorganisms, EM) 50 มิลลิลิตร ต่อลิตร หมักไว้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงไส้เดือนดิน โดยนำอาหารใส่ในถังเลี้ยงไส้เดือนดินที่มีความหนา 2 เซนติเมตร (น้ำหนัก 1 กิโลกรัม) ระยะเวลาที่จะเก็บมูลไส้เดือนดิน 2 เดือน งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองและวิเคราะห์ในระดับห้องปฏิบัติการ

จากการทดลอง พบว่า ปุ๋ยมูลไส้เดือนที่ได้จากการย่อยขยะอินทรีย์และขยะเศษกระดาษ โดยใช้ไส้เดือนดิน ต่างชนิดกัน 2 สายพันธุ์ ร้อยละไนโตรเจนทั้งหมด, ร้อยละฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช, ร้อยละโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช, ร้อยละอินทรีย์วัตถุ, ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกและค่าการนำไฟฟ้า ของปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ AF + ขยะอินทรีย์ มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 0.440, 0.030, 0.352, 11.770, 16.277 Cmol/kg และ 1.200 dS/m ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของปุ๋ยมูลไส้เดือน ทั้ง 4 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน ประมาณ 7.347-7.667 ผลจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าไส้เดือนดินสายพันธุ์ AF ซึ่งมีขนาดตัวใหญ่ จึงสามารถย่อยสลายขยะอินทรีย์ได้ดี อีกทั้งขยะอินทรีย์ เป็นขยะที่มีความหลากหลายจากเศษผักและเศษอาหารและใบไม้แห้งซึ่งเป็นแหล่งผลิตธาตุอาหาร จึงมีองค์ประกอบธาตุอาหารหลักอยู่ในปริมาณมาก

คำสำคัญ: ขยะอินทรีย์ ปุ๋ยมูลไส้เดือน กระดาษ ไส้เดือนดิน ธาตุอาหารหลัก

Abstract

This study aimed to compare the macronutrients of earthworm manure derived from degradation of paper and organic waste. The two different species of earthworms used were *Pheretima peguana* (PP) and *Eudrilus eugeniae* (Common name: African Night Crawler) (AF). The vermicompost experiment was prepared by filling loose soil in two containers to 6 inch height (the weight of 13 kg), then sprinkling water to adjust the moisture content to about 70-80%.

¹ นิสิตปริญญาโท, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ³สาขาวิชาการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม, ⁴สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Graduate students, ²Asst.Prof., ³Environmental Administration and Management, ⁴Environmental Technology, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand

* Corresponding author; Asst. Prof. Sunantha Laowansiri, Ph.D. Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand. E-mail: sunantha.l@msu.ac.th

Each species of earthworm was then mixed with the soil for 0.2 kg each tank. Food for earthworms were prepared by mixing crushed fresh garbage and dry leaves (mixing ratio of 1:1 by weight) and paper waste and sprinkling with effective microorganisms (EM) for 50 ml/L. This combination was then applied to the fermenting containers for about 2 cm thick (the weight of 1 kg) and kept for 2 months. This experimental research and analysis was carried out at a laboratory scale.

From the experiment of vermicomposting from degradation of paper and organic waste using two different species, the results showed that AF produced higher macronutrient content with total nitrogen, available phosphorus, available potassium, organic matter, cation exchange capacity (CEC) and electrical conductivity (EC) at the highest levels of 0.440%, 0.030%, 0.352%, 11.770%, 16.277 Cmol/kg and 1.200 dS/m, respectively. The earthworm AF species are large in size, having high capacity to degrade organic waste. The organic waste used in this study was garbage with a variety of vegetables, food and dry leaves, which was rich in nutrient elements. The pH of all four earthworm's manure varied from 7.347 to 7.667. Results from this study show that the earthworm species AF which has large body, could degrade organic waste well. In addition, the organic waste containing a variety of vegetable waste, food waste and dry leaves, which are sources of nutrients so that containing the nutrient elements in large quantities.

Keywords: Organic waste, Vermicompost, Paper, Earthworm, Macronutrients

บทนำ

ในปัจจุบันประชากรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็วของชุมชน¹ ชุมชนมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ปัญหาขยะจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ขณะเดียวกันขยะที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาลตำบลหนองบัวระเหว มีปริมาณ 1,095 ตัน/ปี มีแหล่งที่มาจากอาคาร บ้านเรือน ตลาด ขยะที่ทิ้งในแต่ละวันส่วนใหญ่เป็นประเภทขยะมูลฝอยสดหรือขยะมูลฝอยเปียก เช่น เศษอาหาร เศษเนื้อ เศษผัก ใบไม้และเปลือกผลไม้ ร่องลงมาเป็นขยะมูลฝอยทั่วไป เช่น เศษกระดาษ กุ้งพลาสติก ซึ่งขยะมูลฝอยเหล่านี้ยังเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย² ของคนในเขตเทศบาลตำบลหนองบัวระเหว การกำจัดขยะมูลฝอยที่แยกได้โดยเฉพาะขยะมูลฝอยที่เป็นสารอินทรีย์ สามารถใช้กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์และการกิน ของสัตว์หน้าดิน คือ ไส้เดือนดิน ทำให้ได้ปุ๋ยมูลไส้เดือน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพดิน³ โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนมีลักษณะเป็นเม็ดร่วนละเอียด มีสีน้ำตาลออกน้ำตาล โปร่งเบา มีความพรุนระบายน้ำและอากาศได้ดีมาก มีความจุความชื้นสูงและมีประมาณอินทรีย์วัตถุสูงมาก ซึ่งผลจากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ที่ไส้เดือนดินดูดกินเข้าไปภายในลำไส้ และตัวกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้และน้ำย่อยของไส้เดือนดิน จะช่วยให้ธาตุอาหารหลายๆ ชนิดที่อยู่ในเศษอินทรีย์วัตถุเหล่านั้นถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ การใช้ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินในการปลูกพืชจะส่งผลให้ดินมีโครงสร้างดีขึ้น คือ ทำให้ดินกักเก็บความชื้นได้มากขึ้น มีความโปร่งร่วนซุย ราก

พืชสามารถชอนไชและแพร่กระจายได้กว้าง ดินมีการระบายน้ำและอากาศได้ดี

จากข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยซึ่งปฏิบัติงานในเทศบาลตำบลหนองบัวระเหว จึงมีความสนใจในการแก้ไขปัญหาขยะที่เกิดขึ้น โดยศึกษาธาตุอาหารหลักของปุ๋ยมูลไส้เดือน ที่ได้จากการย่อยกระดาษและขยะอินทรีย์ในชุมชน เพื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักจากการทดลองและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริง เพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์จากขยะในด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม ลดมลพิษจากขยะและของเสีย ซึ่งเป็นการลดปัญหาขยะ จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำผลไปทำการกำจัดขยะอินทรีย์และเผยแพร่ให้กับประชาชน และผู้ที่สนใจได้ต่อไป ในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปุ๋ยมูลไส้เดือนจากการย่อยสลายกระดาษและขยะอินทรีย์
2. เพื่อศึกษาผลความแตกต่างระหว่างธาตุอาหารหลักปุ๋ยมูลไส้เดือนจากกระดาษและขยะอินทรีย์ โดยใช้ไส้เดือนดินต่างชนิดกัน

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การศึกษาปุ๋ยมูลไส้เดือนที่ได้จากการย่อยขยะอินทรีย์และเศษกระดาษ โดยใช้ไส้เดือนดินต่างชนิดกัน ในการศึกษามีวัสดุและอุปกรณ์ในการศึกษาและวิธีการศึกษาดังนี้

1. วัสดุและอุปกรณ์

1.1 ไส้เดือนดินสายพันธุ์ท้องถิ่น (*Pheretima peguana* : PP) ขี้ตาแร่ และสายพันธุ์ ยูดริลลัส ยูจีนีเอ (*Eudrilus eugeniae*) ชื่อสามัญ African Night Crawler (AF)

1.2 จุลินทรีย์ EM ชนิดน้ำ ยี่ห้อ EM Extra บริษัท อีเอ็ม เอ็กซ์ตรา จำกัด

1.3 ขยะอินทรีย์ (เศษผักและเศษอาหาร) และใบไม้แห้ง (ผสมในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก)

1.4 ขยะกระดาษ

1.5 ถังพลาสติก เจาะรูระบายน้ำ พร้อมฝาปิด ขนาด 20 ลิตร

1.6 ดินร่วน

1.7 ทรายล้าง ขนาด 20 กิโลกรัม

1.8 น้ำ

2. วิธีการศึกษา

ผู้วิจัยใช้แผนการทดลองแบบ 2 x 2 Factorial in CRD โดยมีปัจจัยหลัก ได้แก่

AF = ไส้เดือนดินสายพันธุ์ African Night Crawler (AF)

PP = ไส้เดือนดินสายพันธุ์ท้องถิ่น (ขี้ตาแร่) ปัจจัยรอง ได้แก่

Organic = ขยะอินทรีย์

Paper = ขยะกระดาษ

ดังนั้นการทดลองนี้จึงประกอบด้วย 4 Treatment combination ดังนี้

1. Treatment 1 (T 1) = AF + Paper

2. Treatment 2 (T 2) = AF + Organic

3. Treatment 3 (T 3) = PP + Paper

4. Treatment 4 (T 4) = PP + Organic

ทำการทดลอง ได้ 3 ซ้ำ ในแต่ละ Treatment combination แล้ววัดค่าพารามิเตอร์ ดังนี้

- Total N, Available P, Available K

- Organic Matter

- pH

- Electrical Conductivity

- Cation Exchange Capacity

ซึ่งมีวิธีดำเนินงานของงานวิจัย ดังต่อไปนี้

การเตรียมขยะ

ขยะที่ใช้ในงานวิจัยมี 2 ประเภท ประเภทแรก นำขยะอินทรีย์ (เศษผักและเศษอาหาร) และใบไม้แห้ง (ผสมในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก) ประเภทที่สองใช้ขยะกระดาษ

อย่างเดียว มาบดละเอียด แล้วนำมาหมักไว้ก่อน 3-4 วัน เพื่อประสิทธิภาพของการย่อยสลาย เนื่องจากไส้เดือนดินชอบกินอาหาร ขยะอินทรีย์ที่เริ่มเน่าเสียแล้วและกำลังย่อยสลาย เป็นของเหลว

ไส้เดือนดินที่ใช้ในการทดลองมี 2 สายพันธุ์ ได้แก่ ไส้เดือนดินสายพันธุ์ท้องถิ่น (*Pheretima peguana* : PP) ขี้ตาแร่ และสายพันธุ์ ยูดริลลัส ยูจีนีเอ (*Eudrilus eugeniae*) ชื่อสามัญ African Night Crawler (AF)

การเตรียมพื้นที่เลี้ยง

1. นำดินร่วน ใส่ลงไปในถังขนาด 20 ลิตร ให้สูง 6 นิ้ว (น้ำหนัก 13 กิโลกรัม) แล้วทำการพรมน้ำ ให้มีระดับความชื้นโดยประมาณร้อยละ 70 – 80⁴

2. นำไส้เดือนดินใส่ถัง ถึง 0.2 กิโลกรัม (ถังละ 1 สายพันธุ์)

3. นำขยะอินทรีย์ (เศษผักและเศษอาหาร) และใบไม้แห้ง (ผสมในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก) มาบดละเอียดและผสมจนเข้ากันและเศษกระดาษบดละเอียด โดยพรมด้วยจุลินทรีย์ EM ชนิดน้ำ ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ผสมน้ำ 1 ลิตร

4. นำขยะอินทรีย์ (เศษผักและเศษอาหาร) และใบไม้แห้ง (ผสมในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก) และเศษกระดาษที่ผสมจุลินทรีย์ EM ชนิดน้ำ ใส่ในถังเลี้ยงไส้เดือนดิน เพื่อให้ไส้เดือนดินย่อยสลาย โดยใส่ในถังเลี้ยงไส้เดือนดิน (แต่ละถัง) ความหนา 2 เซนติเมตร (น้ำหนัก 1 กิโลกรัม) เนื่องจากถ้าหนามากจะทำให้เกิดความร้อน การให้อาหารจะให้หลังจากมีการย่อยสลายจนหมดของแต่ละชุดการทดลอง โดยวางไว้บนผิวดิน ระยะเวลาที่จะเก็บมูลไส้เดือน ประมาณ 2 เดือน

5. หลังจากนั้นครอบถังด้วยตาข่ายและปิดฝาดังเพื่อ กันน้ำฝนและพรางแสงให้แก่ไส้เดือนดิน

6. สังเกตการย่อยสลายขยะอินทรีย์และขยะเศษกระดาษโดยไส้เดือนดิน จนขยะหมดกลายเป็น ปุ๋ยมูลไส้เดือนคือ มีลักษณะเป็นเม็ดร่วนละเอียด สีดำออกน้ำตาล โปร่งเบา

7. แยกไส้เดือนดินออกจากปุ๋ยหมัก มูลไส้เดือนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้แสงไฟไล่ หรือใช้ตะแกรงร่อน

8. นำปุ๋ยมูลไส้เดือนที่ได้จากการย่อยสลายขยะในชุมชน โดยใช้ไส้เดือนดินต่างชนิดกัน ไปตรวจวัดหาค่าองค์ประกอบปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยมูลไส้เดือนที่ได้จากการย่อยกระดาษและขยะอินทรีย์ชุมชน โดยวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (Potential of hydrogen ion, pH) โดยใช้เครื่อง pH meter รุ่น LDO101 บริษัท HACH, ไนโตรเจนทั้งหมด

(Total nitrogen, N) โดยวิธี Kjeldahl method และ ใช้เครื่อง กลั่นไนโตรเจน รุ่น VAP-20 บริษัท ไชแอนติฟิค, ฟอสฟอรัส ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available Phosphorus, Available P) โดยใช้วิธี Bray II และใช้เครื่อง Spectrophotometer รุ่น UV-Light XTD 5 บริษัท SECOMAM, โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available Potassium, Available K) โดยใช้ เครื่อง Atomic Adsorption Spectrophotometer รุ่น AA-6200 บริษัท SHIMADZU, ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity, EC) โดยใช้เครื่องวัดค่า EC รุ่น CON11 บริษัท EUTECH, ตรวจหาอินทรีย์วัตถุ โดยวิธี Dry combustion และความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity, CEC) โดยวิธี Ammonion Acetate method และใช้เครื่อง Centrifuge รุ่น 2030 Cell Washer และเครื่องกลั่นไนโตรเจน รุ่น VAP-20 บริษัท ไชแอนติฟิค

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้ศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปคอมพิวเตอร์ ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของชุดทดลองตัวอย่าง แต่ละชุด
- 3 ซ้ำ จึงวิเคราะห์ข้อมูลโดยหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบน

มาตรฐาน

2. ทดสอบอิทธิพลของทรีทเมนต์ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of Variance (ANOVA) และการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significance Difference (LSD) โดยใช้ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ 0.05 (P< 0.05)

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

Table 1 แสดงอิทธิพลร่วมระหว่างสายพันธุ์ของไส้เดือนดิน และชนิดของขยะกับความสัมพันธ์ของ Parameter ต่างๆ ของปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน พบว่า เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลร่วมระหว่างสายพันธุ์ของไส้เดือนดินและชนิดของขยะ พบว่า อิทธิพลของชนิดขยะ มีค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 0.05 โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนดินจากขยะอินทรีย์ มีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช มากกว่าปุ๋ยมูลไส้เดือนดินจากขยะกระดาษ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชนิดของขยะมีผลต่อฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เนื่องจากขยะอินทรีย์เป็นขยะที่มีความหลากหลายจากเศษผักและเศษอาหารและใบไม้แห้ง ซึ่งเป็นแหล่งผลิตธาตุอาหาร

Table 1 Show the interaction between species of earthworms and type of waste for the relationship of the various vermicompost parameters

| Para meters | Earthworm + Waste | | | | SEM | P- value | Species of earthworm | | SEM | P- value | Type of waste | | SEM | P- value |
|-----------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------|----------|----------------------|-------|-------|----------|---------------|---------|-------|----------|
| | AF+ | AF+ | PP+ | PP+ | | | AF | PP | | | Paper | Organic | | |
| | Paper (T1) | Organic (T2) | Paper (T3) | Organic (T4) | | | | | | | | | | |
| pH | 7.667 ^a | 7.520 ^a | 7.560 ^a | 7.347 ^a | 0.106 | 0.761 | 7.593 | 7.453 | 0.075 | 0.223 | 7.613 | 7.433 | 0.075 | 0.128 |
| EC (dS/m) | 0.927 ^b | 1.200 ^a | 0.790 ^b | 0.540 ^c | 0.032 | <0.001 | 1.063 | 0.665 | 0.023 | <0.001 | 0.858 | 0.870 | 0.023 | 0.727 |
| N (%) | 0.020 ^c | 0.440 ^a | 0.020 ^c | 0.133 ^b | 0.012 | <0.001 | 0.230 | 0.077 | 0.008 | <0.001 | 0.020 | 0.287 | 0.008 | <0.001 |
| Available P (%) | 0.020 ^b | 0.030 ^a | 0.021 ^b | 0.027 ^a | 0.001 | 0.063 | 0.025 | 0.024 | 0.001 | 0.110 | 0.020 | 0.028 | 0.001 | <0.001 |
| Available K (%) | 0.109 ^c | 0.352 ^a | 0.100 ^c | 0.210 ^b | 0.016 | 0.003 | 0.230 | 0.155 | 0.011 | 0.001 | 0.104 | 0.281 | 0.011 | <0.001 |
| OM (%) | 2.550 ^b | 11.770 ^a | 3.030 ^b | 3.077 ^b | 0.078 | <0.001 | 7.160 | 3.053 | 0.055 | <0.001 | 2.790 | 7.423 | 0.055 | <0.001 |
| CEC (Cmol/kg) | 5.600 ^b | 16.277 ^a | 3.927 ^c | 4.027 ^c | 0.265 | <0.001 | 10.938 | 3.977 | 0.187 | <0.001 | 4.763 | 10.152 | 0.187 | <0.001 |

Remark: N is Total Nitrogen, Available P is Available Phosphorus, Available K is Available Potassium, OM is Organic Matter, pH is Potential of Hydrogen Ion, EC is Electrical Conductivity, CEC is Cation Exchange Capacity, SEM is Standard Error Mean; () is parameter of unit a, b, c with different letter show significant statistical differences (P< 0.05)

เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลร่วมระหว่างสายพันธุ์ของไส้เดือนดินและชนิดของขยะ (T 1, T 2, T 3 และ T 4) พบว่าค่าการนำไฟฟ้า ของปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน ทั้ง 4 ชนิด มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับ 0.05 โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ AF + ขยะอินทรีย์ มีค่าการนำไฟฟ้ามากที่สุด เท่ากับ 1.200 dS/m รองลงมา คือ ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ AF + ขยะกระดาษ, ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ PP + ขยะกระดาษ ในขณะที่ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ PP จากขยะอินทรีย์ มีค่าการนำไฟฟ้าน้อยที่สุดเนื่องจากค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเกลือในน้ำ การวัดค่าการนำไฟฟ้าจึงทำให้ประมาณค่าเกลือละลายในน้ำที่สกัดออกมาจากมูลไส้เดือนดินได้ ซึ่งจะใช้เป็นดัชนีของความเค็มที่บอกได้ว่าพืชจะเจริญเติบโตเป็นปกติหรือไม่ ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าที่มีอยู่ในปุ๋ยโดยธาตุอาหารที่สำคัญของพืชจะอยู่ในรูปของเกลือหลายชนิด อาจพบในรูปเกลือของธาตุอาหารรองในขนาดที่เกลือละลายน้ำบางชนิด เช่น เกลือแกงจะเป็นอันตรายต่อพืชมาก แต่ส่วนใหญ่ปุ๋ยหมักจะไม่มีเกลือนี้ในระดับสูงพอที่จะเป็นอันตราย ต่อพืช โดยค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ของปุ๋ยมูลไส้เดือน ทั้ง 4 ชนิด มีค่าการนำไฟฟ้าที่ไม่ส่งผลอันตรายต่อพืช เมื่อนำไปปรับปรุงดินและเพิ่มการเจริญเติบโตของพืช เมื่อเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้ากับค่ามาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร⁵ มีค่ามาตรฐานไม่เกิน 6 dS/m ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยมูลไส้เดือนดินทั้ง 4 ชนิด มีค่าไม่เกิน 6 dS/m แสดงว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดไว้

เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลร่วมระหว่างสายพันธุ์ของไส้เดือนดินและชนิดของขยะ (T 1, T 2, T 3 และ T 4) พบว่าร้อยละไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยมูลไส้เดือนดินทั้ง 4 ชนิด มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับ 0.05 โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ AF + ขยะอินทรีย์ มีค่าร้อยละไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 0.440 รองลงมา คือ ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ PP + ขยะอินทรีย์ ในขณะที่ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ AF + ขยะกระดาษและปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ PP + ขยะกระดาษ มีค่าร้อยละไนโตรเจนทั้งหมดน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลร่วมระหว่างสายพันธุ์ของไส้เดือนดินและชนิดของขยะ (T 1, T 2, T 3 และ T 4) พบว่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของปุ๋ยมูลไส้เดือนดินทั้ง 4 ชนิด มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับ 0.05 โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ AF + ขยะอินทรีย์ มีค่าร้อยละโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุดเท่ากับ 0.352 รองลงมา คือ ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ PP + ขยะอินทรีย์ ในขณะที่ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ AF + ขยะ

กระดาษ และปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ PP + ขยะกระดาษ มีค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยที่สุด เนื่องจากไส้เดือนดินสายพันธุ์ AF มีขนาดใหญ่กว่าไส้เดือนดินสายพันธุ์ PP จึงทำให้มีการย่อยสลายขยะได้ดีกว่า และจากอาหารที่ให้ไส้เดือนดินย่อยสลายเป็นขยะอินทรีย์ ซึ่งขยะอินทรีย์เป็นขยะที่มีความหลากหลายจากเศษผักและเศษอาหารและใบไม้แห้ง ซึ่งเป็นแหล่งผลิตธาตุอาหารจากงานวิจัยของ นริสรา และ สาวิตรี⁶ ได้ศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชที่มีอยู่ในปุ๋ย 3 ชนิด คือ ปุ๋ยหมักธรรมชาติ, ปุ๋ยมูลไส้เดือน โดยไส้เดือนดิน *Eudrilus eugeniae* และปุ๋ยหมัก พด.1 ที่ใช้วัตถุดิบเริ่มต้นเป็นมูลโคและเศษผัก ในอัตราส่วน 3:1 โดยน้ำหนัก พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสเฟตทั้งหมด ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมากที่สุดในปุ๋ยมูลไส้เดือน ซึ่งแตกต่างจากปุ๋ยหมักธรรมชาติและปุ๋ยหมัก พด.1 อย่างมีนัยสำคัญ รองลงมา คือ ปุ๋ยหมักธรรมชาติ และปุ๋ยหมัก พด.1 ตามลำดับ ส่วนปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดพบว่า ปุ๋ยทั้งสามชนิดมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยปุ๋ยหมัก พด.1, ปุ๋ยมูลไส้เดือนและปุ๋ยหมักธรรมชาติมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดร้อยละ 3.69, 3.38 และ 3.10 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลร่วมระหว่างสายพันธุ์ของไส้เดือนดินและชนิดของขยะ (T 1, T 2, T 3 และ T 4) พบว่าอินทรีย์วัตถุของปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน ทั้ง 4 ชนิด มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับ 0.05 โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ AF + ขยะอินทรีย์ มีค่าอินทรีย์วัตถุมากที่สุด เท่ากับ 11.770 รองลงมา คือ ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ PP + ขยะอินทรีย์ และปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ PP + ขยะกระดาษ ในขณะที่ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ AF + ขยะกระดาษ มีค่าอินทรีย์วัตถุที่น้อยที่สุด เนื่องจากอินทรีย์วัตถุเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปของสารอินทรีย์โดยไส้เดือนดินทั้งด้วยจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมี อินทรีย์วัตถุประกอบด้วยธาตุหลายชนิด แต่ที่สำคัญที่สุด คือ ธาตุคาร์บอน ซึ่งปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ AF + ขยะอินทรีย์ มีค่าอินทรีย์วัตถุสูงจึงเป็นแหล่งพลังงานให้กับจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี อินทรีย์วัตถุเป็นองค์ประกอบสำคัญในดินทุกชนิดและมีบทบาทสำคัญในการเกิดโครงสร้างของดินพร้อมกับปลดปล่อยธาตุอาหารพร้อมใช้ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน ซึ่งงานวิจัยของ วิศรุต และคณะ⁷ ได้ศึกษาปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยมูลไส้เดือน ที่ได้จากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ประเภทขยะอินทรีย์ผสม พบว่า มีร้อยละอินทรีย์คาร์บอนมากที่สุดเท่ากับ 20.97±1.14 รองลงมา ได้แก่ เศษอาหาร มีร้อยละอินทรีย์คาร์บอน เท่ากับ 18.75±0.54 เปลือกผลไม้ มีร้อยละอินทรีย์

คาร์บอน เท่ากับ 17.23 ± 1.10 พีชใบ มีร้อยละอินทรีย์คาร์บอน เท่ากับ 16.13 ± 2.73 และน้อยที่สุด ได้แก่ พีชหัว มีอินทรีย์คาร์บอน เท่ากับ 15.67 ± 0.82 ซึ่งจะพบว่า อินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยมูลไส้เดือนที่ได้จากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ผสมจะมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับขยะอินทรีย์ประเภทอื่นๆ งานวิจัยของสามารถ⁸ ได้ศึกษาส่วนประกอบของธาตุอาหารของพีชชนิดอื่นๆ และจุลินทรีย์หลายชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อดิน รวมทั้งสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในลำไส้ของไส้เดือนดินและปริมาณธาตุอาหารพืชที่ได้จากการใช้ไส้เดือนดินย่อยสลายขยะชุมชน ที่มีความแตกต่างกันตามชนิดของขยะชุมชน พบว่าการผสมอินทรีย์วัตถุหลายชนิดในการผลิตปุ๋ยหมักจากมูลไส้เดือนจะช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชได้ เมื่อเปรียบเทียบกับอิทธิพลร่วมระหว่างสายพันธ์ของไส้เดือนดินและชนิดของขยะ (T 1, T 2, T 3 และ T 4) พบว่า ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ของปุ๋ยมูลไส้เดือนดินทั้ง 4 ชนิด มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับ 0.05 โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธ์ AF + ขยะอินทรีย์ มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก มากที่สุดเท่ากับ 16.277 Cmol/kg รองลงมา คือ ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธ์ AF + กระดาษ ในขณะที่ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธ์ PP + ขยะอินทรีย์ และปุ๋ยมูลไส้เดือนดินสายพันธ์ PP + ขยะกระดาษ มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกน้อยที่สุด เนื่องจากไส้เดือนดินสายพันธ์ AF มีขนาดใหญ่กว่า ไส้เดือนดินสายพันธ์ PP จึงทำให้มีการย่อยสลายขยะอินทรีย์ได้ดี โดยขยะอินทรีย์เป็นขยะสดที่มีความหลากหลายจากเศษผักและเศษอาหารและใบไม้แห้งได้ดี ดังนั้นจึงมีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองค่อนข้างครบถ้วนที่พืชจะใช้ในการเจริญเติบโต ปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ค่อนข้างสูง ซึ่งจะมีส่วนช่วยให้ประจุบวกบางชนิดถูกดูดยึดไม่สูญเสียไปและพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตของพืช จากงานวิจัยของ Lai⁹ พบว่า ขุยมูลไส้เดือนดินเป็นส่วนผสมที่ได้จากดินที่ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ ของเสียของไส้เดือนดินและจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งขุยมูลไส้เดือนดินจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) ในโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total N) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available P) และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ในปริมาณที่สูง ส่งผลให้ดินบริเวณนั้นมีความอุดมสมบูรณ์สูงกว่าดินที่อยู่รอบๆ แต่ปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่มากในขุยมูลไส้เดือนดินจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้ประโยชน์ที่ดินและระบบการจัดการดินและพืช เช่น ในพื้นที่ปลูกที่ไม่ใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ พบว่า

จะมีจำนวนขุยมูลไส้เดือนดินมาก ทำให้ดินมีค่าความหนาแน่นรวมของดินต่ำ ส่งผลให้ดินไม่แน่นทึบและดินมีความพรุนสูง

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปุ๋ยมูลไส้เดือนที่ได้จากการย่อยขยะอินทรีย์และขยะเศษกระดาษ โดยใช้ไส้เดือนดินต่างชนิดกัน 2 สายพันธ์ พบว่า ปุ๋ยมูลไส้เดือน สายพันธ์ AF + ขยะอินทรีย์ มีค่าร้อยละไนโตรเจนทั้งหมด, ร้อยละฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช, โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช, ร้อยละอินทรีย์วัตถุ, ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกและค่าการนำไฟฟ้า มากที่สุด เท่ากับ 0.440, 0.030, 0.352, 11.770, 16.277 Cmol/kg และ 1.200 dS/mตามลำดับ ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของปุ๋ย มูลไส้เดือน ทั้ง 4 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน ประมาณ 7.347-7.667

ข้อเสนอแนะ

1. พื้นที่ที่ยังไม่มีการตัดแยกขยะ ทำให้ขยะปนเปื้อนสารพิษต่างๆ เช่น กระป๋องยาฆ่าแมลง, ถ่านไฟฉายและสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในครัวเรือน เมื่อนำขยะมาเลี้ยงไส้เดือนดินอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อไส้เดือนดินที่เลี้ยงได้ ดังนั้นถ้าต้องการส่งเสริมการทำปุ๋ยหมักอินทรีย์และการใช้ไส้เดือนดินในการย่อยสลายขยะอินทรีย์ ควรส่งเสริมความรู้เรื่องการคัดแยกที่ต้นทางไปพร้อมกัน
2. ควรส่งเสริมการเลี้ยงไส้เดือนดินสายพันธ์ AF โดยใช้ขยะอินทรีย์ เนื่องจากมีธาตุอาหารสูงสุด
3. การส่งเสริมการเลี้ยงไส้เดือนดินสามารถสร้างรายได้เสริมและสามารถกำจัดขยะอินทรีย์ในครัวเรือน
4. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชเมื่อใช้ปุ๋ยไส้เดือนดินที่ผลิตได้แต่ละชนิด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณรายได้ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประจำปีงบประมาณ 2558

เอกสารอ้างอิง

1. ปภาวีน เติตขุนทด. พฤติกรรมของประชาชนในการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชนขององค์การบริหารส่วนตำบลสำนักตะคร้อ อำเภอเทพารักษ์ จังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2554.

2. วรณรณี กองจันทร์ดี. การจัดการขยะของผู้ค้าในตลาดสด
ศึกษากรณีตลาดสดบางกะปิ และตลาดสดนครไทย เขต
บางกะปิกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศา
ศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะพัฒนา
สังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์;
2555.
3. อานัฐ ตันโซ. คู่มือการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากขยะ
อินทรีย์. พิมพ์ครั้งที่ 1 เชียงใหม่. Trio Advertising &
Media Co.,Ltd; 2552.
4. สามารถ ใจเตี้ย. การกำจัดขยะอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก
โดยใช้ไส้เดือนดิน. ได้จาก:[http://webcache.googleuser-](http://webcache.googleusercontent.com)
[content.com](http://webcache.googleusercontent.com) September 15, 2014.
5. กรมวิชาการเกษตร. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง
มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548. ได้จาก: http://www.law.longdo.com/law/376/sub_25312 Dec. 30, 2014.
6. นริสรา พานพ่วง, สาวิตรี จันทร์นุรักษ์. การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชในปุ๋ยหมักธรรมชาติ
ปุ๋ยมูลไส้เดือน โดยไส้เดือนดิน *Eudrilus eugeniae* และ
ปุ๋ยหมักพด.1. ใน: เอกสารการประชุมทางวิชาการ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50. สาขาทรัพยากร
ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
กรุงเทพฯ; 2555. หน้า 442-447.
7. วิศรุต วิชัยวิทย์, เบญจมาศ รสโสภา, กรรณิการ์ สัจจา
พันธ์. คุณภาพปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่ได้จากการย่อยสลาย
ขยะอินทรีย์ประเภทต่างๆ โดยไส้เดือนดินสายพันธุ์
Perionyx excavates. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า,
2555; 30 (2): 86-96.
8. สามารถ ใจเตี้ย. โครงการการพัฒนารูปแบบการผลิตพืช
ผักสวนครัวเพื่อสุขภาพของประชาชนชุมชน สลวง-
ซี้เหล็ก อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่. มหาวิทยาลัย
ราชภัฏเชียงใหม่:เชียงใหม่. 2555.
9. Lal, R. Tropical ecology and physical edaphology.
1987; [732 screene]. Available from https://books.google.co.th/books/about/Tropical_ecology_and_physical_edaphology.html Dec. 30, 2014.

ผลของความเครียดจากน้ำตาลต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของข้าว (*Oryza sativa* L.) สายพันธุ์มะลิแดง (red hawn rice)

Effects of sugar stress on growth and physiology of rice (*Oryza sativa* L.) Ma-li-daeng cultivar)

สุมาลี ชูกำแพง¹, สิทธิชัย วันแก้ว²

Sumalee Chookhampaeng¹, Sitthichai Wankaew²

Received: 1 December 2017; Accepted: 25 April 2018

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของความเครียดจากน้ำตาลซูโครสต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของข้าว (*Oryza sativa* L.) สายพันธุ์มะลิแดง (red hawn rice) ในสภาวะแล้ง ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครส 0, 50, 100 และ 200 mM เพื่อศึกษาอัตราการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโต รวมถึงปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และปริมาณน้ำตาลรวมในใบข้าว โดยเฉพาะเมล็ดข้าวลงในฟองน้ำเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นย้ายต้นกล้าลงปลูกในสารละลาย Hoagland เมื่อต้นข้าวเจริญเติบโตได้ 20 วัน เติมสารละลายน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้นต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 0, 50, 100 และ 200 mM เมล็ดข้าวมีอัตราการงอกร้อยละ 97.20 ± 1.92 , 54.00 ± 2.55 , 33.50 ± 0.84 และ 22.80 ± 0.83 ตามลำดับ พบว่า เมื่อความเข้มข้นน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความยาวยอด น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์บีลดลง แต่ความยาวรากของต้นข้าวและปริมาณน้ำตาลรวมในใบข้าวมีค่าเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : น้ำตาลซูโครส ข้าวสายพันธุ์มะลิแดง

Abstract

The objective of this study was to determine the effects of sugar stress on growth and physiology of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Ma-li-daeng under drought stress. Concentrations of sucrose at 0, 50, 100 and 200 mM were applied to determine the effects on germination, growth, chlorophyll a, chlorophyll b and total sugar. Rice seeds were germinated in the sponge for 7 days, then move the seedlings moved to Hoagland's solutions and grown for 20 days and then supplemented with sucrose solution at different concentrations. The result showed that sucrose at 0, 50, 100 and 200 mM gave the germination percentages of 97.20 ± 1.92 , 54.00 ± 2.55 , 33.50 ± 0.84 and 22.80 ± 0.83 , respectively. When seedlings were subjected to drought stress, higher concentration of sucrose decreased the shoot length, fresh weight, dry weight, chlorophyll a and chlorophyll b but root length and total sugar in the leaf were increased when concentration of sucrose increased.

Key words: Sucrose, Red hawn rice cultivar

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ² นิสิตปริญญาตรี, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Assist. Prof., ² Bachelor degree student, Faculty of science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

* Corresponding author; Sumalee Chookhampaeng, Faculty of science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. s_choo@windowslive.com

บทนำ

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้าที่อยู่ในวงศ์ Poaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. และเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศ ข้าวเป็นแหล่งอาหารหลักที่ให้การโบไฮเดรตที่สำคัญในการดำรงชีวิต ประชากรของโลกมากกว่าครึ่งบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะชาวเอเชียบริโภคข้าวมากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้เรายังนิยมนำข้าวมาใช้ประโยชน์ต่างๆ เช่น ขนมหวาน เป็นต้น¹ ข้าวมะลิแดงหรือที่รู้จักในชื่อข้าวมันปู เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมือง มีลักษณะดีบางอย่าง อาทิ ต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืช ข้าวหอมมะลิแดงจะมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าข้าวหอมมะลิ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านของปริมาณสารอาหาร เช่น ฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก ทองแดง วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และ วิตามินซี⁷ ในประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวมากกว่าพืชชนิดอื่นๆ โดยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 50 ล้านไร่ และสามารถแบ่งพื้นที่ปลูกข้าวของประเทศไทยออกได้เป็น 2 ประเภท โดยอาศัยแหล่งที่มาของน้ำ คือ พื้นที่ปลูกข้าวในเขตชลประทาน ประมาณ 12 ล้านไร่ เป็นระบบการทำนาที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงสุดโดยอาศัยน้ำจากเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ และพื้นที่ปลูกข้าวนอกเขตชลประทานหรือเขตน้ำฝน 38 ล้านไร่ เป็นระบบการทำนาที่อาศัยน้ำฝนเป็นหลัก¹⁰ จึงมักเกิดปัญหาความแห้งแล้งเสมอ โดยเฉพาะทางด้านภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีพื้นที่ปลูกข้าวมากที่สุด ทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตเป็นอันมาก⁹ ความแห้งแล้งหรือภัยแล้งเป็นภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ได้แก่ บริเวณจังหวัดกาฬสินธุ์ จังหวัดขอนแก่น จังหวัดมหาสารคาม และจังหวัดร้อยเอ็ด เพราะเป็นบริเวณที่อิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้เข้าไปไม่ถึง ฝนจึงตกน้อยกว่าปกติ ส่งผลต่อภาคเกษตรกรรม ผลผลิตทางการเกษตรลดลง ทำให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำ ในขณะที่ข้าวเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ^{3,5} สภาวะขาดน้ำของพืช คือ สภาวะที่เกิดขึ้นเนื่องจากอัตราการคายน้ำของพืชมากกว่าอัตราการดูดน้ำ เป็นผลให้ปริมาณน้ำในพืชลดลงจนมีผลต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของพืช เช่น ทำให้ความเต่งของเซลล์ลดลง ปากใบปิด ดังนั้น การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างพืชกับอากาศจึงลดลง ทำให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงตามไปด้วย การขาดน้ำในพืชจะลดประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายสารอาหาร ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง² การทดลองปลูกข้าวมะลิแดงโดยวิธีไฮโดรโปนิกส์ เติมน้ำตาลซูโครสในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน สารละลายน้ำตาลซูโครสจะขัดขวางการดูดน้ำในราก เป็นกรณีศึกษาข้าวในสภาวะแล้ง โดยศึกษา

ผลกระทบของน้ำตาลซูโครสต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของข้าวมะลิแดง ศึกษาอัตราการเจริญเติบโต ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และปริมาณน้ำตาลรวมในใบของข้าวมะลิแดง

วัตถุประสงค์การศึกษาวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราการงอกของเมล็ดข้าวภายใต้สารละลายน้ำตาลซูโครสที่ระดับความเข้มข้น 0, 50, 100 และ 200 mM
2. เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต ได้แก่ ความยาวยอด ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ของข้าวสายพันธุ์มะลิแดงภายใต้สภาวะแล้ง
3. เพื่อศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และปริมาณน้ำตาลรวมในข้าวสายพันธุ์มะลิแดงภายใต้สภาวะแล้ง

วิธีการ

1. วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) 3 ซ้ำๆ ละ 5 ต้น โดยเมล็ดสายพันธุ์ข้าวหอมมะลิแดง ที่ใช้ศึกษาวิจัย ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์มั่นยืนโครงการรวบรวมพันธุ์ข้าว จังหวัดมหาสารคาม
2. ศึกษาอัตราการงอกของเมล็ด ภายใต้สารละลายน้ำตาลซูโครสที่ ระดับความเข้มข้น 0, 50, 100 และ 200 mM โดยการนำเมล็ดข้าว 100 เมล็ด เพาะลงจานเพาะเชื้อเพื่อวัดอัตราการงอก เป็นเวลา 7 วัน แล้วบันทึกอัตราการงอก
3. การเตรียมพืชทดลองปลูกด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์ มีขั้นตอน ดังนี้ นำแผ่นฟองน้ำมากรีดเพื่อใช้เพาะเมล็ดข้าว นำฟองน้ำไปชุบน้ำให้ชุ่มแล้วนำเมล็ดข้าวมาเพาะ นำแผ่นฟองน้ำที่มีเมล็ดข้าวไปแช่น้ำในกระบอก โดย 3 วันแรกให้เก็บไว้ในที่มืด อีก 4 วันเก็บในที่สว่าง รวมเป็นเวลา 7 วัน เมื่อครบ 7 วัน ย้ายต้นกล้าข้าวมาปลูกในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's solution (สูตรดัดแปลง) ที่ไม่ได้ใส่สารละลายน้ำตาลซูโครสเป็นเวลา 14 วัน ในสภาพแสงและอุณหภูมิปกติตามธรรมชาติ เมื่อดต้นกล้าข้าวเจริญเติบโตได้ 20 วัน ให้สารละลายน้ำตาลซูโครส ที่ระดับความเข้มข้น 0, 50, 100 และ 200 มิลลิโมลาร์ (mM) ทุกๆ 2 วันๆ ละ 200 มิลลิลิตร ซึ่งทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยให้แสง 12 ชั่วโมงต่อวัน วัดการเจริญเติบโตของตัวอย่างข้าว หลังจากเติมน้ำตาลซูโครสในสารละลาย เป็นเวลา 60 วัน เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งและ ปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อไป

4. บันทึกผลการทดลอง

4.1 อัตราการงอกของเมล็ดข้าวมะลิแดง

4.2 การเจริญเติบโตของต้นข้าว หลังจากเติมสารละลายซูโครส ครบ 60 วัน ได้แก่ ความยาวยอด ความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง

4.3 วิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ในต้นข้าว ด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยวิธีของ Arnon D.I. (1949)¹⁴

4.4 วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรวมในใบข้าว โดยวิธี phenol-sulfuric¹⁶ ในต้นข้าว หลังจากเติมสารละลายซูโครส ครบ 60 วัน

5. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS (Version 16) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธีของ Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัย

อัตราการงอกของเมล็ด

จากการทดลอง เมื่อเพาะเมล็ดข้าวสายพันธุ์มะลิแดง ในจานเพาะเชื้อ เพื่อศึกษาอัตราการงอกของเมล็ดข้าวมะลิแดง ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ 0, 50, 100 และ 200 mM พบว่า อัตราการงอกของเมล็ด มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 97.20±1.92, 54.00±2.55, 33.50±0.84 และ 22.80±0.83 ตามลำดับ (table 1) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้นจะทำให้ อัตราการงอกลดลง ร้อยละ 74.40 ในความเข้มข้น 200 mM เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการงอกของชุดควบคุม

Table 1 Effect of increasing drought stress on seed germination, which were subjected to 0, 50, 100 and 200 mM sucrose.

| Concentration of sucrose (mM) | seed germination (%) |
|-------------------------------|-------------------------|
| 0 | 97.20±1.92 ^a |
| 50 | 54.00±2.55 ^b |
| 100 | 33.50±0.84 ^c |
| 200 | 22.80±0.83 ^d |

Means in the same column followed by different letters differ significantly at P<0.05.

ความสูงของต้นเฉลี่ย ความยาวรากเฉลี่ย น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง

จากการทดลองพบว่า ความสูงของต้นเฉลี่ย น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของข้าวสายพันธุ์มะลิแดงในกลุ่มควบคุม จะมีค่าสูงที่สุด แต่เมื่อเติมน้ำตาลซูโครสร่วมกับสารละลาย Hoagland (สูตรตัดแปลง) ความสูงของต้นเฉลี่ย น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งจะลดลง ซึ่งแปรผกผันตามความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสที่เพิ่มขึ้น แต่ความยาวรากเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น มีความสูงของต้นเฉลี่ย ที่ระดับความเข้มข้น 0, 50, 100 และ

200 mM มีค่าเท่ากับ 26.50±2.08, 24.33±0.87, 21.98±1.95 และ 18.62±2.70 เซนติเมตร ตามลำดับ ความยาวรากเฉลี่ย เท่ากับ 34.05±4.16, 35.15±3.98, 36.47±2.85 และ 38.60±2.49 เซนติเมตร ตามลำดับ น้ำหนักสดของต้นข้าวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.82±0.95, 4.39±0.18, 3.71±0.63 และ 3.20±0.06 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของต้นข้าว เท่ากับ 0.44±0.11, 0.36±0.08, 0.38±0.06 และ 0.28±0.06 กรัม ตามลำดับ ซึ่งความสูงของต้นเฉลี่ย ความยาวรากเฉลี่ย น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Table 2)

Table 2 Effects of increasing drought stress on plant height, root length, fresh weight (FW) of shoot and dry weight (DW) of shoot which were subjected to 0, 50, 100 and 200 mM sucrose.

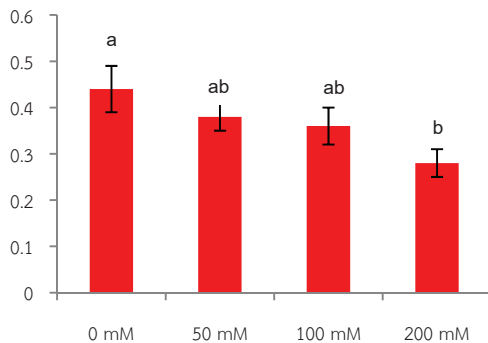
| Concentration of sucrose (mM) | plant height (cm) | root length (cm) | FW of shoot (g/plant) | DW of shoot (g/plant) |
|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0 | 26.50±2.08 ^a | 34.05±4.16 ^d | 5.82±0.95 ^a | 0.14±0.03 ^a |
| 50 | 24.33±0.87 ^{bc} | 35.15±3.98 ^c | 4.39±0.18 ^b | 0.11±0.02 ^b |
| 100 | 21.98±1.95 ^c | 36.47±2.85 ^b | 3.71±0.63 ^{bc} | 0.09±0.02 ^{bc} |
| 200 | 18.62±2.70 ^c | 38.60±2.49 ^a | 3.20±0.06 ^c | 0.06±0.01 ^c |

Means in the same column followed by different letters differ significantly at P<0.05.

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์บี
จากการทดลองพบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ของข้าวสายพันธุ์มะลิแดงในกลุ่มควบคุม จะมีปริมาณมากที่สุด แต่เมื่อเติมน้ำตาลซูโครสร่วมกับ สารละลาย Hoagland (สูตรดัดแปลง) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์บี จะมีปริมาณลดลง ซึ่งแปรผกผันตาม ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสที่เพิ่มขึ้น ที่ระดับ

ความเข้มข้น 0, 50, 100 และ 200 mM มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอเฉลี่ยเท่ากับ 0.44±0.11, 0.38±0.08, 0.36±0.06 และ 0.28±0.06 มก./กรัม ตามลำดับ ปริมาณคลอโรฟิลล์บีเฉลี่ย เท่ากับ 0.14±0.02, 0.10±0.03, 0.09±0.01 และ 0.06±0.02 มก./กรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์บี มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Figure 1)

chlorophyll a content (mg/g)



chlorophyll b content (mg/g)

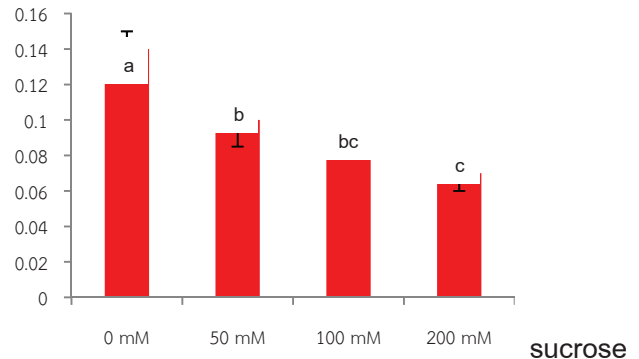


Figure 1 Effects of increasing drought stress on chlorophyll a and chlorophyll b which were subjected to 0, 50, 100 and 200 mM sucrose.

ปริมาณน้ำตาลรวมในใบข้าว

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณน้ำตาลรวมในใบของ ข้าวสายพันธุ์มะลิแดงที่มีค่าสูงสุด คือ สารละลาย Hoagland's ร่วมกับสารละลายน้ำตาลซูโครส ที่ระดับความเข้มข้น 200 mM เมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณน้ำตาลรวมในใบเพิ่มขึ้น ซึ่งแปรผันตามความเข้ม

ขันของสารละลายน้ำตาลซูโครสที่เพิ่มขึ้น ที่ระดับความเข้มข้น 0, 50, 100 และ 200 mM มีปริมาณน้ำตาลในใบรวมเฉลี่ย เท่ากับ 0.52±0.25, 0.56±0.25, 0.82±0.23 และ 0.99±0.41 mmol/กรัมน้ำหนักสด ซึ่งปริมาณน้ำตาลมีความแตกต่างกัน ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Table 3)

Table 3 Effects of increasing drought stress on total sugar content which were subjected to 0, 50, 100 and 200 mM sucrose.

| Concentration of sucrose (mM) | total sugar content in leaf (mmol/g) |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| 0 | 0.52±0.25 ^c |
| 50 | 0.56±0.25 ^{bc} |
| 100 | 0.82±0.23 ^{ab} |
| 200 | 0.99±0.41 ^a |

Means in the same column followed by different letters differ significantly at $P < 0.05$.

วิจารณ์และสรุปผล

อัตราการงอกของเมล็ดข้าวในกลุ่มควบคุม เท่ากับ 97.20 ± 1.92 เปอร์เซ็นต์ แต่อัตราการงอกของเมล็ดข้าวที่ระดับความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลซูโครส 200 mM ส่งผลให้อัตราการงอกของเมล็ดข้าวเท่ากับ 22.80 ± 0.83 ลดลงถึงร้อยละ 74.40 เนื่องจาก กระบวนการงอกของเมล็ดต้องอาศัยปัจจัยหลายอย่างในการงอกโดยเฉพาะ น้ำ แต่เมื่อเมล็ดข้าวได้รับความเข้มข้นน้ำตาลซูโครสจากภายนอก ซึ่งสารละลายน้ำตาลซูโครสมีผลในการขัดขวางกระบวนการงอกของเมล็ดทำให้เมล็ดข้าวไม่งอกหรืองอกช้า⁴ อาจจะเป็นเนื่องจากกระบวนการงอกของพืชต้องผ่านกระบวนการ imbibition ซึ่งเป็นการดูดน้ำเข้าสู่ภายในเมล็ด หากเมล็ดมีตัวถูกละลายมากจะทำให้สารละลายความเข้มข้นสูงขึ้นซึ่งจะเป็นการลดค่าศักย์ของน้ำทำให้ขัดขวางการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ด

ความสูงของต้นเฉลี่ย น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของข้าวสายพันธุ์มะลิแดงในกลุ่มควบคุมจะมีค่าสูงที่สุด แต่เมื่อเติมน้ำตาลซูโครสร่วมกับสารละลาย Hoagland (สูตรดัดแปลง) ความสูงของต้นเฉลี่ย น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งจะลดลง แปรผกผันตามความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้เกิดสภาวะเครียดแล้งส่งผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณน้ำในเซลล์ เซลล์พืชไม่สามารถรักษาแรงดันเต่งภายในเซลล์ให้อยู่ในระดับที่เซลล์พืชสามารถขยายขนาดได้ ทำให้การขยายตัวของเซลล์ และการแบ่งเซลล์ลดลง ใบสั้นและแคบกว่าปกติ ลำต้นเตี้ยและเล็ก ค่าศักย์ในดินที่ลดลง ทำให้พืชไม่สามารถดึงน้ำขึ้นมาใช้ได้ ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง¹⁹ นอกจากนี้สภาวะแล้งยังส่งผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาภายในของพืชหลายประการ เช่น การหมุนของใบ การปิดปากใบ^{23,11} เป็นต้น ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pattanagul (2011)²¹ ซึ่งศึกษาผลจากการเติมกรดแอมโมเนียมเพื่อชักนำให้เกิดการสะสมน้ำตาลในข้าวภายใต้สภาวะแล้ง พบว่า น้ำหนักแห้งของข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ลดลง เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และจาก

การวิจัยนี้พบว่าความยาวรากเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น รากของข้าวจะแตกแขนงน้อยลง อาจจะเป็นเนื่องจากพืชที่อยู่ในสภาวะแล้ง จะมีการปรับตัวโดยเพิ่มความยาวของรากและลดการแตกแขนงของรากหากในสภาวะปลูกในดิน รากพืชที่ยาวขึ้นจะช่วยให้ออกซิเจนสามารถดูดน้ำจากดินที่อยู่ในระดับที่ลึกลงไป จึงทำให้รากของข้าวมีความยาวที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับลำต้นที่อยู่เหนือดินยาวของยอด²¹

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์บี ของข้าวสายพันธุ์มะลิแดงในกลุ่มควบคุมจะมีปริมาณมากที่สุด แต่เมื่อเติมน้ำตาลซูโครสร่วมกับสารละลาย Hoagland (สูตรดัดแปลง) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์บีจะมีปริมาณลดลง ซึ่งแปรผกผันตามความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสที่เพิ่มขึ้น ต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะแล้งจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อพืชเกิดความเครียดจากสภาวะแล้ง จะทำให้พืชเกิดสารอนุมูลอิสระและสารประกอบออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา ซึ่งมีฤทธิ์ในการทำลายโครงสร้างของคลอโรฟิลล์และโครงสร้างต่างๆ ของเซลล์¹⁷ แม้พืชจะมีกลไกในการกำจัดสารประกอบที่เป็นพิษต่างๆ เหล่านี้ แต่หากมีปริมาณมากเกินไป พืชจะไม่สามารถกำจัดได้ทันเวลา จึงส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบลดต่ำลงมากที่สุด รวมทั้งการสังเคราะห์ด้วยแสง และการสร้างอาหารของต้นข้าวด้วยเช่นกัน⁶ เมื่อพืชขาดน้ำทำให้เซลล์เหี่ยว ปากใบปิด ลดศักยภาพในการดูดจับคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ซึ่งเป็นตัวรับพลังงานแสงใน photosystem II มีปริมาณลดลงทำให้ประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชลดลง⁹ นอกจากนี้ การขาดน้ำของข้าวจะมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการขนส่งอาหารไปที่เมล็ด ถ้าหากการขนส่งถูกยับยั้ง การสร้างผลผลิตก็จะลดลง¹⁵

ปริมาณน้ำตาลรวมของข้าวสายพันธุ์มะลิแดงที่มีค่าสูงสุด คือ สารละลาย Hoagland's ร่วมกับสารละลายน้ำตาลซูโครส ที่ระดับความเข้มข้น 200 mM เมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น ซึ่งแปรผันตามความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพืชหลายชนิดเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น สภาวะแห้งแล้ง สภาวะเครียดเกลือ หรือสภาวะที่อุณหภูมิต่ำหรือสูงเกินไป พืชจึงปรับตัวโดยการสร้างสาร compatible solutes ในรากเพื่อลดค่าซัลติคิตีของน้ำในราก และทำให้พืชดูดน้ำไปใช้ได้ นอกจากจะสะสมที่รากแล้วพืชยังสะสมในส่วนอื่นๆ เช่น ลำต้นหรือใบด้วย เพื่อให้ลำต้นมีการลำเลียงไปใช้ได้อย่างต่อเนื่อง ในกระบวนการต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์ก็สามารถจะสังเคราะห์สาร compatible solutes ขึ้นได้¹⁸ สารชนิดนี้แม้จะสะสมในปริมาณที่สูงในเซลล์ก็ยังไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการทำงานของเซลล์และเอนไซม์ต่างๆ และไม่ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลง²⁵ สารในกลุ่มนี้อาจจะอยู่ในรูปน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น ฟรุคโตส (fructose) และกลูโคส (glucose) น้ำตาลเชิงซ้อน เช่น ทรีฮาโลส (trehalose) ราฟฟิโนส (raffinose) และฟรุคแทน (fructans) แอลกอฮอล์ เช่น ซอร์บิทอล (Sorbitol) แมนนิทอล (Mannitol)

กลีเซอรอล (glycerol) และเมทิลเลท อินโนซิทอล (methylated inositols) กรดอะมิโน ได้แก่ โพรลีน (proline) ไกลซีน เบทาอีน (glycine betaine) และโพรลีน เบทาอีน (proline betaine) เป็นต้น พืชที่มีความสามารถในการทนต่อสภาวะขาดน้ำสูง เช่น *Boea hydroscopica*, *Craterostigma plantagineum* และ *Sporobolus stapfianus* พืชเหล่านี้สามารถมีชีวิตอยู่ได้แม้เหลือน้ำในเซลล์เพียงร้อยละ 2 เมื่ออยู่ในสภาวะขาดน้ำ นอกจากนี้ พืชเหล่านี้ยังมีการสะสมน้ำตาลโดยเฉพาะอย่างยิ่ง น้ำตาลซูโครสและอนุพันธ์ของน้ำตาล เช่น น้ำตาลในกลุ่มราฟฟิโนสเพิ่มมากขึ้น^{20,12,13} นอกจากนี้จากการศึกษาผลการวิจัยของ Vu et al. (1998)²⁴ พบว่า สายพันธุ์ข้าวหอมมะลิที่อยู่ในระยะต้นกล้า เมื่อเกิดการขาดน้ำทั้งจากความแห้งและความเครียดเกลือ จะส่งผลให้ต้นข้าวเกิดการสะสมของน้ำตาลในปริมาณที่สูงขึ้นเช่นกัน แม้ว่าสภาวะขาดน้ำจะทำให้พืชมีการปิดปากใบ และทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงรวมถึงการสร้างน้ำตาลลดต่ำลง เมื่ออัตราการเจริญเติบโตลดต่ำลง ส่งผลให้พืชลำเลียงน้ำตาลออกไปยังส่วนต่างๆ น้อยลง น้ำตาลและสารที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจึงสะสมอยู่ในใบมากขึ้น²²

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงโดยได้รับความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ข้าวสายพันธุ์หอมมะลิแดง จากศูนย์มันยืนโครงการรวบรวมพันธุ์ข้าว จังหวัดมหาสารคาม และขอขอบคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการทำการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. กฤษฎา สัมพันธ์รักษ์. การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดหวาน และผัก. [ออนไลน์]. 2548 [สืบค้นเมื่อ 22 ตุลาคม 2556] ได้จาก <http://www.rdi.ku.ac.th>
2. เฉลิมพล แซมเพชร สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2535.
3. พงศ์เทพ อินตะริกันนนท์ เสวนาเรื่องทิศทางการวิจัยและการใช้ปุ๋ยในอนาคต. วารสารเคหะการเกษตร 2543; 24(9): 152-156.
4. พูนพิภพ เกษมทรัพย์ ชีววิทยา 2. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ, บริษัท ด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด; 2554.
5. วรัญญา สร้อยโยงาม. ภัยแล้ง (ภัยพิบัติธรรมชาติ). [ออนไลน์]. 2555 [สืบค้นเมื่อ 7 มิถุนายน 2556] ได้จาก <http://sd-group2.blogspot.com>
6. วัฒนา พัฒนากุล, สุมาลี คงสอดทรัพย์. ผลของการแช่เมล็ดในกรดแอบซิงสิกและพอลิโคลบิวทราโซลต่ออัตราการงอกและการเจริญเติบโตของข้าว (*Oryza sativa* L.) ในสภาวะแล้ง. Graduate research conference 2555; BM01-BM01-9.
7. สุชญา พิมพ์พิไล. การศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวหอมมะลิแดงแบบหุงสุกเร็ว. รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปี 2548; 2549.
8. สุรศักดิ์ หวังสินสุจริต. การคัดเลือกพันธุ์ข้าว (*Oryza sativa* L.) ด้านทนต่อสภาพแล้งโดยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต] กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2542.
9. สุรียันตร์ ฉะอุ่ม, กัลยาณี สามิภักดิ์, เกียรติกร โมสาลียานนท์, รื่นฤดี วันสสุกุล, กัญยารัตน์ สุไพบูลย์วัฒน์, เฉลิมพล เกิดมณี ผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโต ปริมาณน้ำในใบ และปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นยูคาลิปตัสในสภาพการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. Agricultural Extension and Communication, Bangkok (Thailand), 2542; 3(1): 205-210.
10. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กรมชลประทาน กรมส่งเสริมการเกษตร กรมการข้าว GISTDA. รายงาน สถานการณ์

- การเพาะปลูกข้าว ปี 2559/60 รอบที่ 1; 2560.
11. Abdalla MM, El-Khoshiban NH. The influence of water stress on growth, water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. *Journal of Applied Sciences Research* 2007; 3(12): 2062-2074.
 12. Albin FM, Murelli C, Patriiti G, Rovati M, Zienna P, Finzi PV. Low molecular weight substances from the resurrection plant *Sporobolus stapfianus*. *Phytochemistry* 1994; 37: 137-142.
 13. Albin FM, Murelli C, Finzi PV, Ferrarotti M, Cantoni B, Puliga S, Vazzana C. Galactinol in the leaves of the resurrection plant *Boea hygroskopica*. *Phytochemistry* 1999; 51: 499-505.
 14. Arnon DI. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 1949; 24(1): 1-15.
 15. Boyer JS. Recovery of photosynthesis in sunflower after a period of low leaf water potential. *Plant Physiology* 1995; 47: 816-820.
 16. Dubois M, Gilles K, Hamilton J, Rebers P, Smith F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 1956; 28(3): 350-356.
 17. Goodwin TW, Mercer EI. *Introduction to Plant Biochemistry, Second Edition*. 2nd edition. New York: Pergamon Press; 1988
 18. Hussain TM, Chandrasekhar T, Hazara M, Sultan Z, Saleh BK, Gopal GR. Recent advances in salt stress biology – a review. *Biotechnology and Molecular Biology Review* 2008; 3(1): 008-013.
 19. Nguyen HT, Babu RC, Blum A. Breeding for drought resistance in rice: physiology and molecular genetics considerations. *Journal of Crop Science and Biotechnology* 1997; 37: 1426-1443.
 20. Norwood M, Truesdale MR, Richter A, Scott P. Photosynthetic carbohydrate metabolism in the resurrection plant *Craterostigma plantagineum*. *Journal of Experimental Botany* 2000; 51: 159-165.
 21. Pattangul W. Exogenous Abscisic Acid Enhances Sugar Accumulation in Rice (*Oryza sativa* L.) Under Drought Stress. *Asian journal of plant sciences* 2011; 10(3): 212-219.
 22. Pelleschi S, Rocher JP, Prioul JL. Effect of water restriction on carbohydrate metabolism and photosynthesis in mature maize leaves. *Plant, Cell and Environment* 1997; 20: 493-503.
 23. Reddy AR, Chaitanya KV, Vivekanandan M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology* 2004; 161: 1189-1202.
 24. Vu JCV, Baker JT, Pennanen AH, Allen H, Bowes G, Boote KJ. Elevated CO₂ and water deficit effects on photosynthesis, ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase, and carbohydrate metabolism in rice. *Physiologia Plantarum* 1998; 103: 327-339.
 25. Yokoi S, Bressan RA, Hasegawa PM. Salt stress tolerance of plants. *Japan International Research Center for Agricultural Sciences* 2002; 4(2): 25-33.

ศักยภาพผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยพืชสมุนไพรบางชนิดป้องกันกำจัดด้วงถั่วเขียว Potential of Some Herbal Plant Essential oils Against Cowpea Bruchids

บุญยาพร สระทองรอด¹, ฤชอุร วรณะ^{2*}

Bunyaporn Satongrod¹, Ruchuon Wanna^{2*}

Received: 20 December 2017; Accepted: 19 March 2018

บทคัดย่อ

การป้องกันการเข้าทำลายของด้วงถั่วเขียว *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) โดยการใช้ผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยพืชสมุนไพรบางชนิด เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีฆ่าแมลงสังเคราะห์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและสภาพแวดล้อมได้ ผลจากการศึกษาคุณสมบัติความเป็นพิษของผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยพืชสมุนไพรบางชนิด ได้แก่ สะระแหน่ญวน ชิง พาร์สลีย์ มะนาวอิตี ส้มแมนดาริน ส้มแขก เกรฟฟรุต มะตูมแขก สบู่ดำ ละหุ่ง พริกไทย กานพลู และดีปลี พบว่าน้ำมันหอมระเหยสะระแหน่ญวนมีคุณสมบัติความเป็นพิษต่อระยะไข่ ระยะตัวอ่อน และตัวเต็มวัยของด้วงถั่วเขียวน้ำมันหอมระเหยพาร์สลีย์มีคุณสมบัติการฆ่าด้วงถั่วเขียวตัวเต็มวัยและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับสาร (Piperonyl butoxide) น้ำมันหอมระเหยมะนาวอิตี 931.5 ppm มะตูมแขก 1.0 mL/kg และดีปลี 0.5 mL/kg มีคุณสมบัติการรมไล่ด้วงถั่วเขียวตัวเต็มวัยได้ดี สำหรับคุณสมบัติการยับยั้งการวางไข่และการออกเป็นตัวเต็มวัยนั้น น้ำมันหอมระเหยกานพลู 0.5 mL/kg น้ำมันหอมระเหยส้มแขก 1,343 ppm และน้ำมันหอมระเหยมะนาวอิตี 1,620 ppm มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการวางไข่และการออกเป็นตัวเต็มวัยได้ดี (>70%) จะเห็นได้ว่า น้ำมันหอมระเหยพืชสมุนไพรบางชนิดมีศักยภาพป้องกันการเข้าทำลายของด้วงถั่วเขียวได้เพื่อทดแทนการใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย อีกทั้งยังมีราคาถูก

คำสำคัญ: พืชสมุนไพร ด้วงถั่วเขียว น้ำมันหอมระเหย

Abstract

Prevention of destruction from cowpea bruchids *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) by using essential oils of some Herbal plants is an interesting alternative to the use of synthetic insecticides harmful to consumers and the environment. This study concerns the toxicity properties of some Herbal plant's essential oils including *Mentha pulegium*, *Zingiber officinale*, *Petroselinum sativum*, *Citrus latifolia*, *C. reticulata*, *C. sinensis*, *C. paradise*, *Schinus terebinthifolius*, *Jatropha curcas*, *Ricinus communis*, *Piper aduncum*, *Syzygium aromaticum* and *P. hispidinervum*. *M. pulegium* essential oil had the property of fumigant toxicity on egg, larva and adult stages of cowpea bruchids. *P. sativum* had the property of fumigant killing on cowpea bruchid adults and was more effective when combined with PBO (piperonyl butoxide). *Citrus latifolia* 931.5 ppm, *S. terebinthifolius* 1.0 mL/kg, and *P. hispidinervum* 0.5 mL/kg had the properties of fumigant repellent as well. For properties of oviposition and emerging adult inhibitions, essential oils of *S. aromaticum* 0.5 mL/kg, *C. sinensis* 1,343 ppm and *C. latifolia* 1,620 ppm had highly effective inhibition of oviposition and adult emergence (> 70%). It can be seen that some Herbal plant essential oils, have the potential to prevent the destruction of cowpea bruchids, to replace the use of harmful chemicals and they are inexpensive.

Keywords: Herbal plants, cowpea bruchids, essential oils

¹ นิสิตระดับปริญญาโท, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีมหาวิทาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master Degree Student, ²Assistant Professor of Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, Thailand 44150

* Corresponding author: Ruchuon Wanna, Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, Thailand 44150 E-mail: ruchuon.w@gmail.com, ruchuon.w@msu.ac.th

บทนำ

ถั่วเขียวเป็นพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่งที่ทำรายได้ให้แก่ประเทศไทยเป็นจำนวนมาก เป็นที่ต้องการของตลาดภายในและต่างประเทศ เมล็ดของถั่วเขียวสามารถนำมาประกอบอาหารและแปรรูปได้หลายอย่าง ตลาดรับซื้อที่สำคัญของถั่วเขียวของไทยคือ ญี่ปุ่น มาเลเซีย ไต้หวัน¹ ในปี พ.ศ. 2558 ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกถั่วเขียวถึง 855,304 ไร่ ได้ผลผลิตจำนวน 98,360 ตัน มีการใช้ประโยชน์ในประเทศ 102,000 ตัน ส่งออกจำนวน 15,754 ตัน และมีการนำเข้าจำนวน 23,753 ตัน² นอกจากนี้ถั่วเขียวยังเป็นพืชตระกูลถั่วที่เกษตรกรสามารถปลูกเพื่อเสริมรายได้ นอกเหนือจากการปลูกพืชหลัก เช่น ข้าวและข้าวโพดได้ง่าย เนื่องจากมีอายุการเก็บเกี่ยวสั้นประมาณ 65-70 วัน³ แต่การผลิตถั่วเขียวของเกษตรกรยังประสบปัญหาผลผลิตต่อไร่ค่อนข้างต่ำ และผลผลิตเสียหายหลังจากการเก็บเกี่ยว เนื่องจากการทำลายของตัวด้วงถั่วเขียว *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) ซึ่งเป็นแมลงศัตรูที่สำคัญของถั่วเขียว ตัวด้วงถั่วเขียวมีวงจรชีวิตสั้น จึงสามารถเพิ่มปริมาณได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เมล็ดถั่วเขียวในขณะเก็บรักษาในโรงเก็บสูญเสียทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ ก่อให้เกิดปัญหาการราคาของผลผลิตถั่วเขียวต่ำกว่าปกติเป็นอย่างมาก⁴

จากความเสียหายที่เกิดขึ้นจึงได้มีการหาวิธีป้องกันการเข้าทำลายของตัวด้วงถั่วเขียวอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้สารฆ่าแมลงสังเคราะห์ประเภทสารรม ได้แก่ เมทิลโบรไมด์ (methyl bromide) และฟอสฟีน (phosphine) ที่มีประสิทธิภาพดีในการป้องกันกำจัดตัวด้วงถั่วเขียวและใช้เวลาในการรมสั้น แต่เนื่องจากมีรายงานการทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ ซึ่งเป็นเหตุให้แสงอาทิตย์และแสงอัลตราไวโอเล็ตส่องผ่านมายังโลกได้โดยตรงมีผลทำให้โลกร้อนขึ้น⁵ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องหาวิธีการอื่นๆ มาทดแทนการใช้สารเคมีฆ่าแมลงสังเคราะห์ เพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายต่อผู้บริโภคและสภาพแวดล้อม ปัจจุบันการใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์จากพืชสมุนไพรในด้านการควบคุมแมลงศัตรูพืชเป็นที่นิยมกันมากขึ้น เนื่องจากมีราคาถูก หาได้ง่าย สะดวกต่อการใช้ และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งมีรายงานทั้งในและต่างประเทศว่าผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรหลายชนิดสามารถใช้ได้ดีในการป้องกันการเข้าทำลายของตัวด้วงถั่วเขียวในโรงเก็บ ขณะเก็บรักษาผลผลิตเกษตรในโรงเก็บ เช่น ประสิทธิภาพการรมฆ่าและไล่ตัวด้วงถั่วเขียวของน้ำมันหอมระเหยมะตูมแขก *Schinus terebinthifolius*, พริกไทย *Piper aduncum*, กานพลู *Syzygium*

aromaticum, ดีปรี *Piper hispidinervum*, ตะไคร้ *Cymbopogon citratus*, อบเชยเทศ *Cinnamomum zeylanicum*, สบู่ดำ *Jatropha curcas* และ ละหุ่ง *Ricinus communis*⁶ เมล็ดผักชี *Coriandrum sativum* Linn., โปมะกรูด *Citrus hystrix* DC., ใบสะระแหน่ *Mentha cordifolia* Opiz., ต้นคื่นฉ่าย *Apium graveolens* Linn. และใบกะเพรา *Ocimum sanctum* Linn.⁷ นอกจากนี้ยังมีรายงานความเป็นพิษต่อตัวเต็มวัย ด้านประสิทธิภาพยับยั้งการวางไข่และการออกเป็นตัวเต็มวัยของตัวด้วงถั่วเขียวของน้ำมันหอมระเหยของยูคาลิปตัส *Eucalyptus citriodora* Hook. และ *E. staigeriana* F., ผักชีล้อม *Foeniculum vulgare* Mill. และตะไคร้หอม *Cymbopogon winterianus* Jowitt⁸ ผลการศึกษาดังกล่าวนี้สามารถใช้เป็นทางเลือกหนึ่ง ที่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีฆ่าแมลงสังเคราะห์ที่มีผลต่อผู้บริโภคและสภาพแวดล้อมได้ ดังนั้นจึงได้มีการรวบรวมเอกสารเพื่อให้ทราบถึงศักยภาพผลิตภัณฑ์จากพืชสมุนไพรบางชนิดที่สามารถใช้ป้องกันกำจัดตัวด้วงถั่วเขียวได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อแนวทางในการควบคุมตัวด้วงถั่วเขียว

ตัวด้วงถั่วเขียว

ตัวด้วงถั่วเขียว มีชื่อสามัญว่า cowpea bruchids จัดอยู่ในวงศ์ Bruchidae และจัดอยู่ในอันดับ Coleoptera เป็นแมลงจำพวกตัวปีกแข็ง ตัวเต็มวัยมีสีน้ำตาล ลำตัวขนาด 3-4.5 มิลลิเมตร ปีกสั้นไม่คลุมสุดลำตัว มีแถบหรือจุดสีน้ำตาลแก่บนปีกทั้งสองข้าง ปลายปีกมีสีดํา ลำตัวเรียวแคบไปทางส่วนหัว หัวเล็กและขมเข้าหาส่วนอก ตาประกอบใหญ่ หนวดเป็นแบบกึ่งฟันเลื่อย (sub serrate) ตัวเต็มวัยเพศเมียวางไข่บนผิวเมล็ด 2-3 ฟองต่อเมล็ด โดยชอบวางไข่บนผิวเมล็ดถั่วที่มีความเรียบมากกว่าเมล็ดที่มีผิวขรุขระ⁹ ตลอดชีวิตวางไข่ได้ 40-100 ฟอง ไข่มีสีเหลือง ไข่มียางเหนียวเชื่อมติดกับพื้นผิววัตถุที่วางไข่ ตัวหนอนจะเจาะผิวเมล็ดลงไปอาศัยกัดกินในเมล็ด และจะเข้าดักแด้อยู่ภายในโพรงที่อาศัยจนเป็นตัวเต็มวัยแล้วจะเจาะผิวเมล็ดออกมา¹⁰ (Figure 1) ซึ่งถั่วจะถูกตัวด้วงถั่วเขียวเข้าทำลาย ตั้งแต่ยังเป็นฝักอยู่ในไร่ ซึ่งจะเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ต่อไปในโรงเก็บ พืชอาหารของตัวด้วงถั่วเขียว คือ เมล็ดถั่วทุกชนิด โดยเฉพาะถั่วเขียวแตกวันถั่วเหลือง วงจรชีวิตของตัวด้วงถั่วเขียวจะมีระยะไข่ 5-7 วัน ระยะหนอนประมาณ 10-13 วัน มีการลอกคราบ 3 ครั้ง ระยะดักแด้ประมาณ 3-5 วัน ระยะตัวเต็มวัยประมาณ 6-8 วัน¹¹

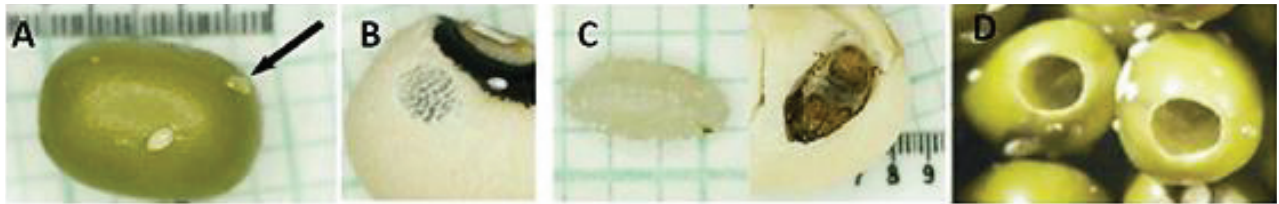


Figure 1 The life cycle of the cowpea bruchids. A) Adult females oviposit their eggs on the surface of the bean B) A window appears at the site of deposit C) Young (left) and older (right) pupa D) Adult emergence holes¹⁰

การป้องกันกำจัดด้วงถั่วเขียว

การเข้าทำลายของด้วงถั่วเขียวเป็นปัญหาที่สำคัญของการเก็บรักษาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวที่ทำให้เกิดความเสียหายทั้งทางด้านคุณภาพและปริมาณ การป้องกันกำจัดด้วงถั่วเขียวที่มักใช้เป็นสาร fumigant ส่วนใหญ่จะใช้กับโรงสีขนาดใหญ่หรือผู้ส่งออกเนื่องจากราคาค่อนข้างแพง วิธีการป้องกันกำจัดโดยใช้สารฆ่าแมลงนี้สามารถทำได้หลายลักษณะ เช่น การพ่นสารเคมีบนผนัง เพดาน พื้นของโรงเก็บและการคลุกสารฆ่าแมลงกับผลผลิต ทำให้เกิดปัญหาสารพิษตกค้าง แมลงสร้างความต้านทานและเกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม¹² การป้องกันกำจัดด้วยสารรม phosphine¹³ และ methyl bromide เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดลอมทำให้เกิดสารที่ทำลายชั้นบรรยากาศ (ozone depletion)⁵

จากความเสียหายที่เกิดขึ้นจึงได้มีการหลีกเลี่ยงการใช้สารฆ่าแมลง ในการป้องกันการเข้าทำลายของด้วงถั่วเขียว เช่น การใช้วิธีทำความสะอาด การคลุกเมล็ดด้วยวัสดุที่ไม่เป็นพิษ การควบคุมปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้ความร้อน ความเย็น การใช้รังสี การใช้สารขับไล่ และสารล่อแมลง การใช้กฎหมายควบคุม การควบคุมโดยชีววิธี การใช้พลังงานจากคลื่นเสียงและการใช้พืชสมุนไพรและสารจากธรรมชาติที่สลายตัวง่ายและปลอดภัยควบคุมแมลงศัตรูพืชมากขึ้น ในส่วนสารธรรมชาติจากพืชรูปแบบต่างๆ เช่น น้ำมันหอมระเหย (essential oils) สารสกัดหยาบ (crude extracts) และผงบดละเอียด (powders) สามารถนำมาใช้ควบคุมแมลงศัตรูหลังการเก็บเกี่ยวได้ทั้งในรูปแบบคลุกเมล็ด หรือการใช้เป็นสารรม มีศักยภาพสูงที่จะพัฒนาให้ใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น และยังไม่มียารายงานเรื่องการสร้างความต้านทานของแมลง สารธรรมชาติจากพืชโดยเฉพาะน้ำมันหอมระเหย มีผลต่อแมลงหลายลักษณะ เช่น มีฤทธิ์ฆ่าแมลง (insecticide) มีผลในการขับไล่ (repellent) มีผลในการดึงดูด (attractant) มีผลในการยับยั้งการกินอาหาร (antifeedant) และมีผลยับยั้งการเจริญเติบโต (insect growth regulator) เป็นต้น¹⁴

ผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพร

พืชโดยทั่วไปจะสร้างสารประกอบเคมีอยู่ 2 ประเภท คือ สารประกอบปฐมภูมิ (primary metabolites) และ สารประกอบทุติยภูมิ (secondary metabolites) สารประกอบปฐมภูมิจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการดำรงชีวิตของพืช ได้แก่ แป้ง น้ำตาล เซลลูโลส กรดอะมิโน และโปรตีน ส่วนสารประกอบทุติยภูมินั้นไม่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืชโดยตรงพืชแต่ละตระกูลหรือสายพันธุ์จะสร้างสารประกอบทุติยภูมิที่ต่างกัน โดยจะสะสมสารประกอบทุติยภูมิไว้ในส่วนต่างๆ ของพืช และออกฤทธิ์ในพืช พืชหลายชนิดสามารถสร้างสารประกอบทุติยภูมิเพื่อใช้ในการควบคุมศัตรูพืช ซึ่งสารประกอบทุติยภูมินี้มีมากมายหลายชนิดและยากต่อการจำแนก เนื่องจากการสังเคราะห์เกิดขึ้นในพืช สารออกฤทธิ์สำคัญในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืชได้แก่ น้ำมันหอมระเหย (essential oils), ซาโปนิน (saponin), แทนนิน (tannin), สารประกอบฟีนอล (phenol compounds), อัลคาลอยด์ (alkaloid), ไพเรทรินส์ (pyrethrins), กรดอินทรีย์ (organic acids), ไขมัน และสารอื่นๆ¹⁵ ในที่นี้จะกล่าวถึงน้ำมันหอมระเหยที่นำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรในการเป็นสารฆ่าแมลงสำหรับป้องกันกำจัดด้วงถั่วเขียว

น้ำมันหอมระเหย (essential oils) เป็นสารอินทรีย์ที่พืชผลิตขึ้นตามธรรมชาติเก็บไว้ตามส่วนต่าง ๆ เช่น กลีบดอก ผิวของผล เกสร ราก เปลือกของลำต้น หรือยางที่ออกมาจากเปลือก มีองค์ประกอบทางเคมีที่สลับซับซ้อนและแตกต่างกัน น้ำมันมีลักษณะเป็นของเหลวไม่เหนียวเหนอะหนะเหมือนน้ำมันพืช มีกลิ่นหอมระเหยง่าย เมื่อได้รับความร้อนอนุภาคเล็ก ๆ ของน้ำมันหอมระเหยจะระเหยออกมาเป็นไอทำให้เราได้กลิ่นหอมซึ่งมีสาร Aromatic Substances ที่เป็นองค์ประกอบหลักของสารหอม (Table 1)¹⁶ กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยในส่วนของดอกไม้มีบทบาทสำคัญในการช่วยดึงดูดแมลงมาผสมเกสร และปกป้องการรุกรานจากศัตรู¹⁷

พืชสมุนไพรหลายชนิดสามารถนำมาสกัดน้ำมันหอมระเหยได้โดยวิธีการกลั่น ซึ่งน้ำมันหอมระเหยมีกลิ่นหอมแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชสมุนไพร น้ำมันหอมระเหยมีสารสำคัญที่สกัดออกมาซึ่งใช้ประโยชน์ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ รวม

ทั้งการนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรในรูปแบบผลิตภัณฑ์ป้องกันกำจัดศัตรูพืช ซึ่งมีคุณสมบัติในการปราบหรือควบคุมปริมาณการระบาดของแมลงศัตรูพืชโดยไม่มีพิษตกค้าง¹⁸ พืชหลายชนิดและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “insecticides of plant origin” หรือ “botanical insecticides” มีรายงานการทดสอบกับตัวงั่วเขียวถึงผลกระทบของน้ำมันหอมระเหยจากพืชบางชนิดต่อการตายของตัวเต็มวัย การวางไข่ การฟักออกของลูกหลาน (F1) และพฤติกรรมอื่น ๆ ของตัวงั่วเขียวโดยทางการสัมผัสหรือการรม น้ำมันหอมระเหยประกอบด้วย monoterpenes, sesquiterpenes และสารประกอบ อะโรมาติกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ¹⁹ monoterpenoids บางชนิดมีผลต่ออัตราการตายในทุกๆระยะการพัฒนาและการวางไข่ของตัวงั่วเขียว²⁰ และ 1,8-cineole จาก *Alpinia calcarata* (Rosc.) (Zingiberaceae) ยังมีผลต่อการตายของตัวเต็มวัย การวางไข่ และการฟักออกของลูกหลาน (F1)²¹

Table 1 Display the main components of aromatic substances.¹⁶

| Aromatic Substances | Essential oil / Fragrances |
|----------------------|---|
| Anethole | Anise, Star Anise, Fennel |
| Anisaldehyde | Vanilla, Anise, Fennel |
| Benzaldehyde | Almond |
| Benzyl acetate | Jasmine, Gardenia, Ylang Ylang |
| Benzyl alcohol | Ylang Ylang, Jasmine, Tuberose, Wall Flower |
| Borneol | Rosemary, Lavender |
| Camphor | Camphor Tree |
| Carvone | Spearmint, Dill, Caraway Seed, Balsamite |
| Caryophyllene | Black pepper |
| Cineol (eucalyptol) | Eucalyptus, Majoram, Spike Lavender |
| Cinnaldehyde | Cinnamon Bark |
| Citral | Lemongrass, Lemon, Lime |
| Citronellal | Citronella, Bergamot (thai) |
| Citronellol | Geranium, Citronella, Rose |
| Eugenol | Clove, Cinnamon Leaf, Bay, Pimento |
| Geraniol | Palmarosa, Citronella, Geranium, Rose |
| Hexenol | Geranium, Thyme, Mulberry Leaf, Violet Leaf, Tea Leaf |
| Indole | Neroli, Jasmine |
| Isoeugenol | Clove, Ylang Ylang, Nutmeg |
| Limonene | Citrus spp. |
| Linalyl acetate | Bergamot, Neroli, Petigrain, Lavender |
| Linalool | Lavender, Bergamot, Coriander, Petigrain |
| Menthol | Peppermint, Mint, Spearmint |
| Methyl chavicol | Basil, Sweet basil |
| Methyl cinnamate | Galanga |
| Methyl eugenol | Galanga, Holy basil |
| Nerol | Rose, Neroli |
| Phenyl acetaldehyde | Rose, Narcissus, Neroli |
| Phenyl ethyl acetate | Rose, Geranium, Neroli |
| Phenyl ethyl alcohol | Rose, Geranium, Neroli |
| Sabinene | Black pepper, Bergamot |
| Santalool | Sandalwood |
| a | Plai, Tea tree |
| Thymol | Thyme |

คุณสมบัติการเป็นสารฆ่าแมลง

น้ำมันหอมระเหยจากพืช เป็นสารประกอบ อะโรมาติกที่ให้รสหรือกลิ่น ที่มีความระเหยสูงและมีกลิ่นเฉพาะตัว ผลผลิตจากกระบวนการสันดาปที่ได้จากผลิตภัณฑ์ เรียกว่า “สารระเหยพืชชั้นทุติยภูมิ” ลักษณะกลิ่นหอมสามารถดึงดูดหรือไล่แมลง และถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในสารฆ่าแมลง เนื่องจากมีลักษณะทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพเฉพาะ ในทางชีวภาพมีลักษณะความเป็นพิษในการฆ่าไข่ ฆ่าตัวอ่อน ฆ่าตัวเต็มวัย และยังมีผลต่อการยับยั้งการวางไข่ กิจกรรมการกินและการไล่ รวมทั้งกระบวนการทางชีววิทยา เช่น อัตราการเจริญเติบโต อายุขัย และการสืบพันธุ์ ซึ่งหน้าที่และคุณสมบัติของน้ำมันหอมระเหยในการเป็นสารฆ่าแมลง²²

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรเป็นสารธรรมชาติที่พัฒนาขึ้นมาทดแทนสารเคมีสังเคราะห์ในการเป็นสารฆ่าแมลง ซึ่งมีคุณสมบัติความเป็นพิษต่อตัวงั่วเขียวด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. ความเป็นพิษทางการรม

สารรมฆ่า (fumigants) เป็นสารกำจัดแมลงศัตรูพืชกระทำต่อเป้าหมายในสภาวะที่เป็นไอหรือก๊าซที่มีจุดเดือดต่ำ²² เช่น เมทิลโบรไมด์ (methyl bromide) ที่มีสถานะเป็นของแข็งหรือของเหลวที่ใช้กำจัดแมลงในสภาวะที่เป็นก๊าซหรือไอ การศึกษาผลของผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรถึงความเข้มข้นของพืชเจียบพลันของน้ำมันหอมระเหยจากสาระแห่นกยูง *Mentha pulegium* และขิง *Zingiber officinale* ที่มีต่อระยะการเจริญเติบโตของตัวงั่วเขียวในสภาพห้องปฏิบัติการ (28 ± 2 °C, $65 \pm 5\%$ RH ในสภาพมืด)²³ โดยการทดสอบความเป็นพิษทางการรม เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า LC₅₀ ของน้ำมันหอมระเหยขิงที่มีต่อระยะไข่ (อายุน้อยกว่า 24 ชั่วโมง) ระยะหนอน (อายุ 3 วันหลังจากฟัก) และระยะตัวเต็มวัย (อายุ 7-14 วัน) ของตัวงั่วเขียว มีค่าเท่ากับ 1.15, 2.33 และ 2.18 $\mu\text{L}/\text{mL}$ air และน้ำมันหอมระเหยของสาระแห่นกยูง มีค่าเท่ากับ 0.07, 0.11 และ 0.09 $\mu\text{L}/\text{mL}$ air ตามลำดับ ซึ่งค่า LC₉₀ ของน้ำมันหอมระเหยทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มความเป็นพิษสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งน้ำมันหอมระเหยสาระแห่นกยูงมีฤทธิ์ฆ่าตัวงั่วเขียวในทุกๆระยะการเจริญเติบโตมากกว่าน้ำมันหอมระเหยขิง และระยะไข่เป็นระยะที่อ่อนแอต่อพิษของน้ำมันหอมระเหยมากที่สุด รองลงมาคือ ระยะตัวเต็มวัยและระยะตัวอ่อน (Table 2) ซึ่งกลไกการออกฤทธิ์ของน้ำมันหอมระเหยยังไม่ได้รับการยืนยัน แต่การตายของแมลงอาจเกิดจากการหายใจไม่ออกและเกิดจากการยับยั้งของกระบวนการชีวสังเคราะห์ (biosynthetic processes) ของการเผาผลาญของแมลง²⁴ จาก

รายงานของ Park et al.²⁵ กล่าวว่าองค์ประกอบบางอย่างของพืชหลายชนิด เช่น linalool, terpineol, carvacrol และ myrcene มีฤทธิ์เป็นสารฆ่าแมลงศัตรูพืชบางชนิด

นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาของ Massango et al.²⁶ ได้ศึกษาถึงความเป็นพิษทางการรณน้ำมันหอมระเหยพาร์สลีย์ *Petroselinum sativum* และฟอสฟีน (phosphine) ที่มีต่อตัวเต็มวัยของด้วงถั่วเขียว (อายุ 1-3 วัน) ที่ 48 ชั่วโมง หลังการทดสอบ พบว่าน้ำมันหอมระเหยพาร์สลีย์ มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ 8 ชนิด ได้แก่ α -Pinene (37.5%), β -Pinene (26.6%), Myristicin (16.6%), β -Phellandrene (9.1%), Terpinolene (3.5%), β -Myrcene (2.9%), Elemicin (2.4%) และ Sabinene (1.4%) สอดคล้องกับรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้ว่า สารกลุ่ม Monoterpenes ได้แก่ α -Pinene, β -Pinene, Terpinolene, β -Myrcene, β -Phellandrene และ Sabinene²⁷ แสดงความเป็นพิษทางการรณชนิดรุนแรงกับแมลงชนิดต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับแมลงศัตรูผลิตผลในโรงเก็บ^{28,29} และมีความเป็นพิษต่อการป้องกันกำจัดด้วงถั่วเขียวเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ฟอสฟีน โดยน้ำมันหอมระเหยพาร์สลีย์มีค่า LC₅₀ เท่ากับ 489.5 μ L/L air และฟอสฟีนมีค่า LC₅₀ เท่ากับ 35.7 μ L/L air (Table 3) นอกจากนี้ยังมี

รายงานของ Dutra et al.³⁰ ถึงการใช้ น้ำมันหอมระเหยจากพืชตระกูลส้ม *Citrus* spp. 4 ชนิด (มะนาวตาฮิติ *C. latifolia*, ส้มแมนดาริน *C. reticulata*, ส้มเซ้ง *C. sinensis* และเกรฟฟรุต *C. paradisi*) ควบคุมด้วงถั่วเขียวในถั่วพุ่ม *Vigna unguiculata* (L.) Walp. ดำเนินการทดสอบความเป็นพิษทางการรณกับด้วงถั่วเขียวเพศเมียที่ 48 ชั่วโมง พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากพืชตระกูลส้ม 4 ชนิดนี้ มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ α -Pinene, Sabinene, Myrcene, Limonene, β -(E)-Ocimene และ Linalool องค์ประกอบทางเคมีหลักที่สำคัญในน้ำมันหอมระเหยมะนาวตาฮิติ *C. latifolia* คือ Limonene (57.7%), γ -Terpinene (17.2%), β -Pinene (12.3%) และ α -Pinene (2.0%) ซึ่งพบองค์ประกอบทางเคมีหลักที่สำคัญ Limonene และ Myrcene ในน้ำมันหอมระเหยส้มเซ้ง *C. sinensis* (93.8%, 2.1%), ส้มแมนดาริน *C. reticulata* (94.2%, 1.6%) และเกรฟฟรุต *C. paradisi* (94.2%, 1.8%) ตามลำดับ พบค่า LC₅₀ ของน้ำมันหอมระเหยพืชตระกูลส้มทั้ง 4 ชนิด อยู่ระหว่าง 10.2-12.98 μ L/L air ซึ่งสามารถเรียงลำดับความเป็นพิษจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ *C. latifolia* > *C. paradisi* > *C. reticulata* > *C. sinensis* (Table 4)

Table 2 Toxicity of *Mentha pulegium* and *Zingiber officinale* essential oils to egg, larvae and adult of *Callosobruchus maculatus*.²³

| Essential oils | Life stage | Slope \pm SE | LC ₅₀ (μ L/mL air) (95% FL) | LC ₉₀ (μ L/mL air) (95% FL) |
|----------------------|------------|----------------|---|---|
| <i>Z. officinale</i> | Egg | 4.9 \pm 0.4 | 1.15 (0.59–1.40) | 2.23 (1.79–2.63) |
| | Larvae | 3.05 \pm 1.1 | 2.33 (1.95–2.69) | 6.13 (3.80–106.37) |
| | Adult | 5.8 \pm 0.7 | 2.18 (2.07–2.31) | 3.71 (2.77–14.53) |
| <i>M. pulegium</i> | Egg | 3.4 \pm 0.9 | 0.072 (0.05–0.08) | 0.17 (0.13–0.33) |
| | Larvae | 2.9 \pm 0.9 | 0.11 (0.09–0.17) | 0.31 (0.19–2.44) |
| | Adult | 3.9 \pm 0.5 | 0.09 (0.08–0.1) | 0.19 (0.16–0.25) |

Table 3 Toxicity of parsley essential oil against the cowpea bruchids, *Callosobruchus maculatus*.⁽²⁶⁾

| Insecticides | Slope \pm SE | LC ₁₀ ^a (95% FL) | LC ₅₀ (95% FL) | LC ₉₅ (95% FL) | TR ^b |
|--------------|-----------------|--|---------------------------|---------------------------|-----------------|
| Parsley EO | 4.5 \pm 0.73 | 399.3 (373.0-419.0) | 489.5 (474.2-504.7) | 635.8 (603.5-686.0) | - |
| Phosphine | 14.4 \pm 1.78 | 18.6 (14.0-21.5) | 35.7 (33.8-39.0) | 68.5 (56.2-102.1) | 13.6 |

^a Lethal concentration (in μ L/L air) ^b Toxicity ratio = (LC₅₀ to parsley oil) / (LC₅₀ to phosphine).

Table 4 Mortality of *Callosobruchus maculatus* adults after 48 h in fumigant test of cowpea bruchids treated with essential oils of *Citrus* spp.³⁰

| Essential oils | Slope \pm SE | LC ₅₀ ^a (CI 95%) | TR ₅₀ ^b | LC ₉₅ (CI 95%) | TR ₉₀ |
|--------------------------|------------------|--|-------------------------------|---------------------------|------------------|
| <i>Citrus sinensis</i> | 27.1 \pm 2.18 | 12.98 (12.82-13.14) | - | 14.48 (14.24-14.79) | 1.02 |
| <i>Citrus reticulata</i> | 18.98 \pm 1.28 | 12.68 (12.48-12.90) | 1.02 | 14.82 (14.45-15.29) | 1.00 |
| <i>Citrus paradisi</i> | 18.13 \pm 1.27 | 12.63 (12.39-12.87) | 1.02 | 14.86 (14.47-15.35) | - |
| <i>Citrus latifolia</i> | 8.49 \pm 0.86 | 10.02 (9.43-10.71) | 1.29 | 14.18 (12.87-16.54) | 1.04 |

^a Lethal concentration (in $\mu\text{L/L}$ air) ^b Toxicity ratio = (oil that exhibit the major LC) / (LC of other oil).

Massango et al.²⁶ ได้ศึกษาฤทธิ์การเป็นสารฆ่าแมลงของน้ำมันหอมระเหยพาร์สลีย์ต่อด้วงถั่วเขียว และการวิเคราะห์การเพิ่มฤทธิ์ของสารประกอบ 3 ชนิด ได้แก่ triphenyl phosphate (TPP; esterase inhibitor), diethyl maleate (DEM; glutathione S-transferase inhibitor) และ piperonyl butoxide (PBO; inhibitor of cytochrome P450-dependent monooxygenases and esterases) ต่อประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยพาร์สลีย์ โดยใช้อะซิโน 100% เป็นตัวทำลายสารเพิ่มฤทธิ์ ใช้สารละลายเสริมฤทธิ์ 20 mL เคลือบผิวด้านในหลอดทดสอบโดยทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง และทำให้แห้งโดยการหมุนหลอดทดสอบ จากนั้นปล่อยด้วงถั่วเขียวในหลอดทดสอบทิ้งไว้ให้สัมผัสกับสารเพิ่มฤทธิ์เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง

ก่อนที่จะสัมผัสเมล็ดถั่วที่ได้รับน้ำมันหอมระเหยพาร์สลีย์ที่ความเข้มข้น LC₁₀ บันทึกค่าอัตราการตายของด้วงถั่วเขียวหลังทดสอบที่ 48 ชั่วโมง พบว่าการใช้สารเพิ่มฤทธิ์ PBO, DEM และ TPP มีการเปลี่ยนแปลงการตายอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ LC₁₀ ของน้ำมันหอมระเหยพาร์สลีย์และฟอสฟีน (Figure 2) ขณะใช้สารเพิ่มฤทธิ์ PBO ก่อให้เกิดการตายสูงขึ้นโดยประมาณ 5 เท่า เมื่อเทียบกับไม่ใช้ สำหรับสารเพิ่มฤทธิ์ DEM ก่อให้เกิดการตายต่ำลงโดยประมาณ 3 เท่า (Figure 2A) อย่างไรก็ตาม ไม่พบว่าแตกต่างกันทางสถิติเมื่อใช้สารเพิ่มฤทธิ์ TPP (Figure 2A) ซึ่งมีแนวโน้มเหมือนกับในฟอสฟีนเมื่อใช้สารเพิ่มฤทธิ์ PBO แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของอัตราการตายเมื่อใช้สารเพิ่มฤทธิ์ DEM และ TPP (Figure 2B)

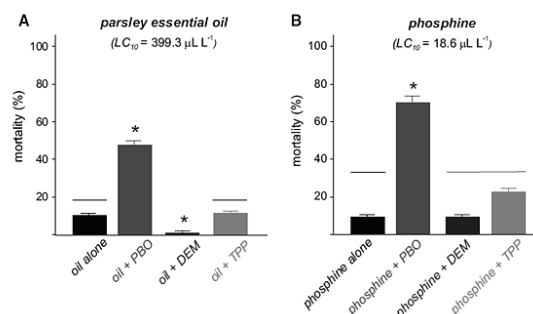


Figure 2 Comparative effects of the synergists piperonyl butoxide (PBO), diethyl maleate (DEM) and triphenyl phosphate (TPP) on the mortality of *C. maculatus* caused by parsley essential oil (A) and phosphine (B) at LC₁₀ (399 and 18.6 $\mu\text{L/L}$ air, respectively). *significant differences between synergized and unsynergized essential oils (paired *t* test; $P < 0.05$).²⁶

2. การไล่ด้วงถั่วเขียว

แมลงใช้ระบบรับรู้ความรู้สึกด้วยเซ็นเซอร์เคมี (chemosensory) สามารถแยกเป็น 2 ชนิด คือ เซ็นเซอร์เคมีรับรู้ด้วยกลิ่น (olfactory chemoreceptor) และเซ็นเซอร์เคมีรับรู้ด้วยรส (taste chemoreceptor) คุณสมบัติของสารไล่แมลงมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของแมลงผ่านการรับรู้ด้วยกลิ่น สารเคมีที่จัดว่าเป็นสารไล่แมลงส่วนมากเป็นสารในกลุ่ม terpenoids

ที่ระเหยได้ นอกจากจะเป็นสารไล่แมลงแล้วยังเป็นสารล่อแมลงได้ด้วย เช่น ผลัดภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพร ซึ่ง Oliveira et al.⁶ รายงานประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยของมะตูมแขก *Schinus terebinthifolius*, สนุ่นดำ *Jatropha curcas*, ละหุ่ง *Ricinus communis*, พริกไทย *Piper aduncum*, กานพลู *Syzygium aromaticum* และตีปี้ *Piper hispidinervum* ในการรมไล่ด้วงถั่วเขียวในถั่วพุ่ม (*Vigna*

unguiculata) หลังทดสอบการรมที่ 48 ชั่วโมง นับด้วงถั่วเขียวที่ถูกดึงดูด พบว่าเมล็ดถั่วเขียวที่ได้รับการทดสอบด้วยน้ำมันหอมระเหยดีป्ली *P. hispidinervum* และมะตูมแขก *S. terebinthifolius* ดึงดูดด้วงถั่วเขียวได้น้อยอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการไล่ด้วงถั่วเขียวเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้รับการทดสอบสาร (Figure 3) จากรายงาน Dutra et al.³⁰ การใช้ น้ำมันหอมระเหยจากพืชตระกูลส้ม *Citrus* spp. 4 ชนิด (มะนาวตาฮิติ *C. latifolia*, ส้มแมนดาริน *C. reticulata*, ส้มเซ้ง *C. sinensis* และ เกรฟฟรุต์ *C. paradisi*) ควบคุมด้วงถั่วเขียวในถั่วพุ่ม *V. unguiculata* (L.) Walp. ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพการรมกำจัดด้วงถั่วเขียวเพศ

เมีย (อายุ 0-24 ชั่วโมง) ที่ 48 ชั่วโมง นับด้วงถั่วเขียวที่ถูกดึงดูด ดัชนี repellency index (RI) คำนวณโดยใช้สูตร: $RI = 2G/(G+ P)$ ที่ G = เปอร์เซนต์ของด้วงถั่วเขียวที่ดึงดูดการทดสอบและ P = เปอร์เซนต์ของด้วงถั่วเขียวที่ดึงดูดให้เกิดในชุดควบคุม พบดัชนีการไล่ด้วงถั่วเขียวของน้ำมันหอมระเหยจากพืชตระกูลส้ม *Citrus* spp. ถูกจัดให้เป็นกลางในทุกความเข้มข้น (Table 5) เปอร์เซนต์ของแมลงที่ถูกดึงดูดในชุดควบคุมและน้ำมันหอมระเหยทดสอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเข้มข้น 931.5 ppm ของน้ำมันหอมระเหย *C. latifolia* ที่ 931.5 ppm ของน้ำมันหอมระเหย *C. reticulata* ที่ 711 ppm และ 1,027 ppm ของน้ำมันหอมระเหย *C. sinensis*

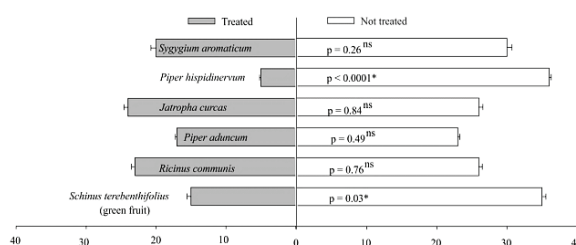


Figure 3 Number of *C. maculatus* adults attracted to cowpea (*Vigna unguiculata*) grains treated and not treated with essential oils. The fumigation chambers were kept at: 26.9±1.04 °C, 64.7±2.6 %RH, and 12 hour photoperiod. ^{ns}Non-significant. *Significant by the t-test, at 5% probability, when compared with the control.⁶

Table 5 Percentage of *Callosobruchus maculatus* adults in control and test chambers after 48 h in repellency tests of cowpeas treated with essential oils from *Citrus* spp.³⁰

| Treatments | Concentrations (ppm) | % Adults attracted (±SE) | | RI (M ± DP) ^b |
|--------------------------|----------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|
| | | Control | Oil ^a | |
| <i>Citrus latifolia</i> | 688.5 | 48 ± 8.27 | 52 ± 8.27 | 1.04 ± 0.52 |
| | 931.5 | 62 ± 5.73 | 38 ± 5.73* | 0.76 ± 0.36 |
| | 1,620 | 57 ± 5.78 | 43 ± 5.78 | 0.86 ± 0.36 |
| <i>Citrus reticulata</i> | 607.5 | 43 ± 5.78 | 57 ± 5.78 | 1.14 ± 0.48 |
| | 931.5 | 35 ± 6.01 | 65 ± 6.01* | 1.3 ± 0.38 |
| | 1,255.5 | 42 ± 6.96 | 58 ± 6.96 | 1.16 ± 0.44 |
| <i>Citrus sinensis</i> | 711 | 36 ± 6.00 | 64 ± 6.00* | 1.28 ± 0.37 |
| | 1,027 | 39 ± 6.57 | 61 ± 6.57* | 1.22 ± 0.41 |
| | 1,343 | 52 ± 4.67 | 48 ± 4.67 | 0.96 ± 0.29 |
| <i>Citrus paradisi</i> | 600 | 44 ± 6.36 | 56 ± 6.36 | 1.12 ± 0.40 |
| | 1,000 | 39 ± 7.11 | 61 ± 7.11 | 1.22 ± 0.53 |
| | 1,520 | 56 ± 6.86 | 44 ± 6.86 | 0.88 ± 0.43 |

^a *Significant by the t-test (P < 0.05).

^b RI (Repellence index) = 2G/G+P (G = % of insects attracted to the treatment; P = % of insects attracted to the control).

4. การยับยั้งการวางไข่และการออกเป็นตัวเต็มวัย

น้ำมันหอมระเหยที่มีคุณสมบัติช่วยในการลดการวางไข่ของแมลงศัตรูพืชเมื่อยและสารที่ไปทำให้การเจริญเติบโตของแมลงผิดปกติ เช่น ลอกคราบไม่ได้ หรือตัวอ่อนไม่สามารถพัฒนาเป็นตัวเต็มวัยได้ จากรายงานของ Oliveira et al.⁶ ได้ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยของมะตูมแขก *S. terebinthifolius*, สบู่ดำ *J. curcas*, ละหุ่ง *R. communis*, พริกไทย *P. aduncum*, กานพลู *S. aromaticum* และตีปัส *P. hispidinervum* ในการยับยั้งการวางไข่และการออกเป็นตัวเต็มวัยของด้วงถั่วเขียวในถั่วพุ่ม (*V. unguiculata*) หลังทดสอบการรมที่ 48 ชั่วโมง ทำการแยกด้วงถั่วเขียวออกจากเมล็ดถั่วพุ่ม หลังจากนั้น 12 วัน นับจำนวนไข่และจำนวนการออกเป็นตัวเต็มวัยของด้วงถั่วเขียว พบว่าจำนวนไข่ของด้วงถั่วเขียวลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ทดสอบด้วยน้ำมันหอมระเหยทุกชนิด ยกเว้นน้ำมันหอมระเหยของละหุ่ง *R. communis* และ

สบู่ดำ *J. curcas* (Table 6) น้ำมันหอมระเหยของกานพลู *S. aromaticum* และพริกไทย *P. aduncum* สามารถลดการวางไข่ได้มาก นอกจากนี้ยังลดการออกเป็นตัวเต็มวัยของด้วงถั่วเขียว ถึงแม้ว่าน้ำมันหอมระเหยมะตูมแขก *S. terebinthifolius* จะลดการวางไข่ลงถึง 35.24% และยังลดการออกเป็นตัวเต็มวัยได้ถึง 60.85% (Table 7) Dutra et al.³⁰ รายงานการใช้ น้ำมันหอมระเหยจากพืชตระกูลส้ม *Citrus* spp. 4 ชนิด (มะนาวตาฮิติ *C. latifolia*, ส้มแมนดาริน *C. reticulata*, ส้มเซ็ง *C. sinensis* และ เกรฟฟรุต *C. paradisi*) ควบคุมด้วงถั่วเขียวในถั่วพุ่ม *V. unguiculata* (L.) Walp. ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพการรมกำจัดด้วงถั่วเขียวที่ 48 ชั่วโมง นับจำนวนไข่และตัวเต็มที่เกิดขึ้นหลังจากวันที่ 12 และ 32 วัน ตามลำดับ พบว่าน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นสูงทำให้การวางไข่และการออกเป็นตัวเต็มวัยลดลง Table 8 และ Table 9

Table 6 Effect of essential oils on the oviposition of *Callosobruchus maculatus* on cowpea (*Vigna unguiculata*) grains treated and not treated with essential oils.⁶

| Treatments | Concentrations (mL/kg) | Number of Eggs (\pm SE) | | Reduction (%) |
|---------------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------|------------------|
| | | Control ^a | Oil | |
| <i>Schinus terebinthifolius</i> | 1.0 | 23.60 \pm 3.90* | 11.30 \pm 3.93 | 35.24 |
| <i>Syzygium aromaticum</i> | 0.5 | 120.60 \pm 13.75* | 19.50 \pm 11.39 | 74.16 |
| <i>Ricinus communis</i> | 1.0 | 104.00 \pm 27.87 | 90.00 \pm 26.09 | 7.21 |
| <i>Piper aduncum</i> | 0.5 | 69.50 \pm 12.13* | 14.20 \pm 7.07 | 66.06 |
| <i>Jatropha curcas</i> | 1.0 | 109.30 \pm 14.85 | 102.60 \pm 21.35 | 3.16 |
| <i>Piper hispidinervum</i> | 0.5 | 82.10 \pm 18.01* | 31.40 \pm 13.16 | 44.67 |

^a*Significant by the t-test ($P < 0.05$), when compared with the control.

Table 7 Effect of essential oils on reducing adult emergence of *Callosobruchus maculatus* in cowpea (*Vigna unguiculata*) grains, treated and not treated with essential oils.⁶

| Treatments | Concentrations (mL/kg) | Number of Emerged adults (\pm SE) | | Reduction (%) |
|---------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-------------------|------------------|
| | | Control ^a | Oil | |
| <i>Schinus terebinthifolius</i> | 1.0 | 18.90 \pm 4.33* | 4.60 \pm 2.07 | 60.85 |
| <i>Syzygium aromaticum</i> | 0.5 | 111.60 \pm 14.60* | 14.60 \pm 9.55 | 76.86 |
| <i>Ricinus communis</i> | 1.0 | 61.70 \pm 12.70 | 66.00 \pm 15.35 | -3.67 |
| <i>Piper aduncum</i> | 0.5 | 55.90 \pm 11.32* | 10.40 \pm 5.68 | 68.63 |
| <i>Jatropha curcas</i> | 1.0 | 84.40 \pm 12.46 | 63.00 \pm 15.41 | 14.52 |
| <i>Piper hispidinervum</i> | 0.5 | 61.00 \pm 11.88* | 23.50 \pm 10.20 | 44.38 |

^a*Significant by the t-test ($P < 0.05$), when compared with the control.

Table 8 Number of eggs laid of *Callosobruchus maculatus* in control and test chambers after 48 h in repellency tests of cowpeas treated with essential oils from *Citrus* spp.³⁰

| Treatments | Concentrations (ppm) | Number of Eggs (\pm SE) | | Reduction (%) ^b |
|--------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|
| | | Control | Oil ^a | |
| <i>Citrus latifolia</i> | 688.5 | 207.33 \pm 37.37 | 93.5 \pm 18.40* | 39.8 |
| | 931.5 | 174.33 \pm 22.22 | 95.0 \pm 16.25* | 45.5 |
| | 1,620 | 141.5 \pm 40.5 | 59.0 \pm 9.0 | 69.2 |
| <i>Citrus reticulata</i> | 607.5 | 178.0 \pm 20.0 | 99.0 \pm 4.58* | 44.3 |
| | 931.5 | 223.0 \pm 37.0 | 101.0 \pm 36.0 | 54.7 |
| | 1,255.5 | 212.5 \pm 22.5 | 87.5 \pm 13.5* | 58.8 |
| <i>Citrus sinensis</i> | 711 | 139.5 \pm 2.5 | 98.0 \pm 26.0 | 29.7 |
| | 1,027 | 163.5 \pm 26.5 | 72.5 \pm 8.5 | 55.6 |
| | 1,343 | 242.33 \pm 15.45 | 68.66 \pm 17.70* | 71.6 |
| <i>Citrus paradisi</i> | 600 | 129.0 \pm 13.0 | 87.0 \pm 12.0 | 32.5 |
| | 1,000 | 202.0 \pm 26.0 | 99.5 \pm 36.5 | 50.7 |
| | 1,520 | 172.5 \pm 18.5 | 58.0 \pm 26.0 | 66.3 |

^a*Significant by the t-test ($p < 0.05$).

^b PR = $[(NC-NT)/(NC) \times 100]$, where PR = percentage of oviposition reduction; NC = number of eggs in the control and NT = number of eggs in the treatment.

Table 9 Number of emerged adults of *Callosobruchus maculatus* in control and test chambers after 48 h in repellency tests of cowpeas treated with essential oils from *Citrus* spp.³⁰

| Treatments | Concentrations (ppm) | Number of emerged adults (\pm SE) | | Reduction (%) ^b |
|--------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------|----------------------------|
| | | Control | Oil ^a | |
| <i>Citrus latifolia</i> | 688.5 | 123.67 \pm 53.79 | 75.5 \pm 21.89 | 18.5 |
| | 931.5 | 117.33 \pm 3.71 | 65.33 \pm 3.66* | 44.3 |
| | 1,620 | 88.5 \pm 19.5 | 13.0 \pm 2.0 | 85.3 |
| <i>Citrus reticulata</i> | 607.5 | 119.0 \pm 14.18 | 76.66 \pm 6.93 | 35.5 |
| | 931.5 | 129.0 \pm 20.0 | 68.5 \pm 20.5 | 46.8 |
| | 1,255.5 | 172.5 \pm 22.5 | 61.5 \pm 25.5 | 64.3 |
| <i>Citrus sinensis</i> | 711 | 118.5 \pm 3.5 | 85.5 \pm 22.5 | 27.8 |
| | 1,027 | 132.5 \pm 22.5 | 65.0 \pm 8.0 | 50.9 |
| | 1,343 | 173.33 \pm 12.60 | 58.66 \pm 13.66* | 66.1 |
| <i>Citrus paradisi</i> | 600 | 81.0 \pm 6.0 | 68.5 \pm 8.5 | 15.4 |
| | 1,000 | 136.5 \pm 38.5 | 68.5 \pm 30.5 | 49.8 |
| | 1,520 | 73.0 \pm 21.0 | 33.5 \pm 5.5 | 54.1 |

^a*Significant by the t-test ($p < 0.05$).

^b PR = $[(NC - NT)/(NC) \times 100]$, where PR = percentage of emergence reduction; NC = number of insects in the control and NT = number of insects in the treatment.

สรุป

น้ำมันหอมระเหยพืชสมุนไพรบางชนิด มีศักยภาพป้องกันกำจัดด้วงถั่วเขียวที่แตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัติของความเป็นพิษของน้ำมันหอมระเหยของพืชแต่ละชนิดที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในการออกฤทธิ์ฆ่าแมลงมีความแตกต่างกัน อีกทั้งปริมาณความเข้มข้นน้ำมันหอมระเหย ระยะเวลา และสารเพิ่มฤทธิ์ ที่ใช้ก็มีผลต่อประสิทธิภาพการป้องกันกำจัดด้วงถั่วเขียว โดยประสิทธิภาพการป้องกันกำจัดจะสูงขึ้น เมื่อใช้น้ำมันหอมระเหยความเข้มข้นสูงขึ้น ใช้ระยะเวลาในการรมยาวนานขึ้น และเมื่อใส่สารเพิ่มฤทธิ์ PBO ร่วมด้วย นอกจากนี้ระยะการเจริญเติบโตและของด้วงถั่วเขียวก็นับเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดของน้ำมันหอมระเหยแตกต่างกันด้วย ด้วงถั่วเขียวระยะไข่และระยะตัวเต็มวัยจะอ่อนแอต่อน้ำมันหอมระเหยมากกว่าระยะหนอน เนื่องจากระยะหนอนอาศัยอยู่ในเมล็ดถั่ว ผงเมล็ดสามารถป้องกันการสัมผัสของน้ำมันหอมระเหย ทำให้ประสิทธิภาพการป้องกันกำจัดด้วงถั่วเขียวระยะตัวหนอนต่ำ การนำผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยพืชสมุนไพรบางชนิดมาใช้เพื่อป้องกันการเข้าทำลายของด้วงถั่วเขียว สามารถนำมาใช้เพื่อทดแทนการใช้สารเคมีที่มีอันตรายต่อผู้บริโภค และสภาพแวดล้อมได้ อีกทั้งยังมีราคาถูกและสามารถหาได้ง่ายทั่วไป

เอกสารอ้างอิง

1. อุดม โกสัยสุก. การปลูกพืชไร่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัท อักษรฯ พิมพ์น์ จำกัด; 2532.
2. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้า ปี 2558 เอกสารสถิติการเกษตรเลขที่ 402. [Online]; 2558 [สืบค้นเมื่อ 25 พฤศจิกายน 2560. จาก: http://www.oae.go.th/download/download_journal/2559/commodity58.pdf.]
3. ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท. การปลูกถั่วเขียว. เอกสารคำแนะนำการปลูกถั่วเขียว. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร; 2544.
4. มลนิภา ศรีมาตรภิรมย์, ชุติมาศ บุญไทย อิวาย. การป้องกันการเข้าทำลายของด้วงถั่วเขียว (*Callosobruchus maculatus* F.) โดยใช้ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 2545; 33(พิเศษ6): 310-312.
5. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 2555. เอกสารประกอบการฝึกอบรมองค์ความรู้ เรื่องหลักปฏิบัติที่ดีของการใช้สารรมฟอสฟีน 10 สิงหาคม 2555. 67 หน้า.
6. Oliveira JV. de, França SM. de, D Barbosa. R. e. S, Dutra K. d. A, Araujo A. M. N. de, Navarro DM.de. AF. Fumigation and repellency of essential oils against *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) in cowpea. Pesquisa Agropecuária Brasileira 2017; 52(1):10-17.
7. ฤชอร วรณะ, ทศพร โชติศรี. การใช้ น้ำมันหอมระเหยพืชสมุนไพรป้องกันกำจัดด้วงถั่วเขียว. เกษตร 2560; 45(พิเศษ1): 1348-1354.
8. Gusmao N.M.S, Oliveira JV.de, Navarro DM. do AF, Dutra K A, Silva WA. da, Wanderley M. JA. Contact and fumigant toxicity and repellency of *Eucalyptus citriodora* Hook., *Eucalyptus staigeriana* F., *Cymbopogon winterianus* Jowitt and *Foeniculum vulgare* Mill. essential oils in the management of *Callosobruchus maculatus* (FABR.) (Coleoptera: Chrysomelidae, Bruchinae). Journal of Stored Products Research 2013; 54:41-47.
9. พรทิพย์ วิสารทานนท์, กุสุมา นวลวัฒน์, บุษรา จันท์ แก้วมณี ใจทิพย์, อุไรชื่น รังสิมา, เก่งการพานิช, กรรณิการ์ เฟิงค์ม. แมลงที่พบในผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด; 2548.
10. Beck C, Blumer L. A Handbook on Bean Beetles, *Callosobruchus maculatus*. [Online].; 2011 [Access November 25, 2017. Available from: <http://www.beanbeetles.org/handbook/handbook.pdf>>]
11. สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ. ข้อมูลทั่วไปของด้วงถั่วเขียว. [Online]; 2550 [สืบค้นเมื่อ 25 พฤศจิกายน 2560. จาก: <http://www.thaibiobiodiversity.org/Life/LifeDetail.aspx?LifeID=43468>]
12. สืบศักดิ์ สนธิรัตน์. การจัดการศัตรูพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ริ้วเขียว; 2543.
13. Collin PJ, Daghli GJ, Bengston M, Lambkin TM, Pavic H. Genetics of resistance to phosphine in *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). Journal of Economic Entomology. 2002; 95(4): 862-869.
14. สังวาล สมบูรณ์, สุภาณี พิมพ์สมาน, รัตนาภรณ์ พรหมศรทรา, วาสนา ไชยคำ, พรทิพย์ วิสารทานนท์. การใช้ น้ำมันหอมระเหยจากพืช *Zingiberaceae* ในการควบคุมแมลงศัตรูหลังเก็บเกี่ยวและองค์ประกอบทางเคมี. ภาค

- วิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2546.
15. สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สารฆ่าศัตรูพืชและธรรมชาติจากน้ำมันหอมระเหยของพืช. [Online]; 2553 [สืบค้นเมื่อ 13 พฤศจิกายน 2560. จาก: <http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR9.pdf>]
 16. สำนักการแพทย์ทางเลือก กรมพัฒนาการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก. ตำราวิชาการ สุนทรบำบัด. [Online]; 2550 [สืบค้นเมื่อ 30 พฤศจิกายน 2560. จาก: <http://thaicamdb.info/Downloads/PDF/.pdf>]
 17. True Industry. น้ำมันหอมระเหยคืออะไร. [Online]; 2017 [สืบค้นเมื่อ 13 พฤศจิกายน 2560. จาก: http://www.trueindustry.in.th/index.php?route=blog/post/view&blog_post_id=22]
 18. กรมส่งเสริมการเกษตร. 2545. คู่มือพืชสมุนไพรเครื่องเทศ ชุดที่ 1 การปลูกพืชสมุนไพรและเครื่องเทศ. กรมส่งเสริมการเกษตร; 2545.
 19. Knaak N, Fiuza LM. Potential dos oleos essenciais de plantas no controle de insetos e microorganismos. Neotropical Biology and Conservation 2010; 5: 120-132.
 20. Mbata GN, Payton ME. Effect of monoterpenoids on oviposition and mortality of *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) under hermetic conditions. Journal of Stored Products Research 2013; 53: 43-47.
 21. Abeywickrama K, Adhikari A.A.C.K, Paranagama P, Gamage C.S.P. The efficacy of essential oil of *Allpinia calcarata* (Rosc.) and its major constituent, 1,8-cineole, as protectants of cowpea against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). Canadian Journal of Plant Science 2006; 86: 821-827.
 22. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ธรรมชาติจากน้ำมันหอมระเหยของพืช. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. [Online]; 2553 [สืบค้นเมื่อ 30 พฤศจิกายน 2560. จาก: <http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR9.pdf>]
 23. Vojoudi S, esmaili M, farrokhi M, Saber M. Acute toxicity of kaolin and essential oils from *Mentha pulegium* and *Zingiber officinale* against different stages of *Callosobruchus maculatus* under laboratory conditions. Archives of Phytopathology and Plant Protection 2014; 47(3): 285-291.
 24. Don-Perdo KN. Mechanism of the action of the some vegetable oils against *Sitophilus zeamias* (Motsch.) (Coleoptera: Curculionidae) on wheat. Journal of Stored Products Research 1989; 25: 217-223.
 25. Park IK, Lee SG, Choi WS, Jeong CY, Song CH, Cho KY. Insecticidal and acaricidal activity of piperonaline and piperoceta-decalidine derived from dried fruits of *Piper longum* L. Crop Prot. 2002; 21: 249-251.
 26. Massango HGLL, Faroni LRA, Haddi K, Heleno FF, Jumbo LOV, Oliveira E. Toxicity and metabolic mechanisms underlying the insecticidal activity of parsley essential oil on bean weevil, *Callosobruchus maculatus*. Journal of Pest Science 2016; 90(2): 723-733.
 27. อรพิน เกิดชูชื่น. Plant Essential. [Online]; 2554 [สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2561. จาก: <http://www.crcd.kmutt.ac.th/Data%202011/News/Plant%20Essential%20Oil.pdf>]
 28. Bett PK, Deng AL, Ogendo JO, Kariuki ST, Kamatenesi-Mugisha M, Mihale JM. Chemical composition of *Cupressus lusitanica* and *Eucalyptus saligna* leaf essential oils and bioactivity against major insect pests of stored food grains. Ind. Crops Prod. 2016; 82: 51-62.
 29. Zhang Z, Yang T, Zhang Y, Wang L, Xie Y. Fumigant toxicity of monoterpenes against fruitfly, *Drosophila melanogaster*. Ind. Crops Prod. 2016; 81: 147-151.
 30. Dutra K de A, Oliveira JV de, Navarro DM de AF, Barbosa DR e S, Santos JPO. Control of *Callosobruchus maculatus* (FABR.) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) in *Vigna unguiculata* (L.) WALP. With essential oils from four *Citrus* spp. Plants. Journal of Stored Products Research 2016; 68: 25-32.

ความหลากหลายของชนิดและนิเวศวิทยาของกล้วยไม้ในอุทยานแห่งชาติภูแลนคา จังหวัดชัยภูมิ

Species Diversity and Ecology of Orchids in Phu Laen Kha National Park, Chaiyaphum Province

เทียมหทัย ชูพันธ์¹, จิรประภา ทองสุขแก้ง¹, ธนา ดานะ¹

Thiamhathai Choopan¹, Jiraprapa Thongsukkaeng¹, Thana Dana¹

Received: 22 February 2017; Accepted: 25 April 2018

บทคัดย่อ

การศึกษากล้วยไม้ในอุทยานแห่งชาติภูแลนคา จังหวัดชัยภูมิ ระหว่างเดือนกรกฎาคม 2557 ถึง มิถุนายน 2558 เพื่อรวบรวมชนิดของกล้วยไม้และนิเวศวิทยาการกระจายพันธุ์ โดยทำการสำรวจในป่า 3 ประเภท คือ ป่าเต็งรัง ป่าดิบแล้ง และป่าเบญจพรรณ ตามเส้นทางศึกษาธรรมชาติ พบกล้วยไม้ จำนวน 2 วงศ์ย่อย 20 สกุล 34 ชนิด (รวมที่ระบุไม่ได้ 2 ชนิด) โดยพบวงศ์ย่อย Epidendroideae จำนวน 17 สกุล 29 ชนิด วงศ์ย่อย Orchidoideae พบจำนวน 5 สกุล 5 ชนิด สกุลที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดคือ สกุลหวาย และ สกุลสิงโต พบสกุลละ 5 ชนิด กล้วยไม้ที่พบจำแนกเป็น 3 ลักษณะวิสัย คือ กล้วยไม้อิงอาศัย กล้วยไม้ดิน และ กล้วยไม้ขึ้นบนโขดหิน ซึ่งกล้วยไม้อิงอาศัยพบมากที่สุด จำนวน 29 ชนิด ป่าเต็งรังมีความหลากหลายของสกุลกล้วยไม้มากที่สุด จำนวน 16 สกุล กล้วยไม้ที่มีความโดดเด่นในพื้นที่อุทยานแห่งชาติภูแลนคา คือ นางตายตัวผู้ สกุลสิงโตชนิดที่ 1 สิงโตกีบม้า หลวง สกุลสิงโตชนิดที่ 2 สกุลสิงโตชนิดที่ 3 และ สกุลสิงโตชนิดที่ 4 กล้วยไม้ที่พบเพียง 1 ต้น คือ เอื้องเขียวเสื่อ ว่านเอื้อง สกุลเอื้องกลีบม้วน และ บานดึก ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์หรือหายไปจากพื้นที่ ช่วงความสูงจากพื้นดินที่กล้วยไม้อิงอาศัย ในป่าเต็งรัง ป่าดิบแล้ง และ ป่าเบญจพรรณ คือ 0.5-23.0 เมตร 0.5-18.0 เมตร และ 1.6-20.0 เมตร ตามลำดับ พันธุ์ไม้ที่มีความหลากหลายของชนิดกล้วยไม้อิงอาศัยอาศัยมากที่สุด คือ เต็ง

คำสำคัญ: ความหลากหลาย กล้วยไม้ อุทยานแห่งชาติภูแลนคา

Abstract

This study of orchids in Phu Laen Kha National Park, Chaiyaphum province was carried out during July 2014 to June 2015. The objectives were to study species diversity, ecology and distribution. Dry Dipterocarp Forest, Dry Evergreen Forest and Mixed Deciduous Forest were investigated along natural trails. Two subfamilies, 20 genera and 34 species, including 2 unidentified species, were found. The subfamily Epidendroideae revealed 17 genera and 9 species while Orchidoideae revealed 5 genera and 5 species. The genus *Dendrobium* and *Bulbophyllum* showed the highest number of species (5). Epiphytic, terrestrial and lithophytic orchids were found which the highest diversity with 29 species. Dry Dipterocarp Forest showed the highest genus diversity, 16 genera. The dominant species were *Habenaria lindleyana* Steud., *Bulbophyllum* sp.1, *Bulbophyllum reclusum* Seidenf., *Bulbophyllum* sp.2, *Bulbophyllum* sp.3 and *Bulbophyllum* sp.4. Unknown 1, *Eulophia* sp., *Liparis* sp. and *Spathoglottis eburnean* Gagnep. were found from only 1 individual, indicating that they have were at risk of local extinction. The range of epiphytic height in Dry Dipterocarp Forest, Dry Evergreen Forest and Mixed Deciduous Forest were 0.5-23.0, 0.5-18.0 and 1.6-20.0 metres, respectively. Epiphytic orchids mostly grew on *Shorea obtusa* Wall. ex Blume.

Keywords: Diversity, Orchid, Phu Laen Kha National Park

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

¹ Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University

บทนำ

กล้วยไม้ นับเป็นพืชวงศ์ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย โดยมีการสำรวจพบแล้วทั้งสิ้น 168 สกุล มากกว่า 1,170 ชนิด หรือเป็น 1 ใน 15 ของกล้วยไม้ที่พบทั่วโลก⁴ กล้วยไม้ในธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด แต่ปัจจุบัน สภาพป่าและพื้นที่ป่าเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ไม่ดี เป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้กล้วยไม้ป่ามีจำนวนลดลง รวมทั้งสภาพภูมิอากาศของโลกที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรุนแรงส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้เหล่านั้น⁶

อุทยานแห่งชาติภูแลนคา เป็นอีกหนึ่งพื้นที่อนุรักษ์ที่ประสบปัญหาการลดลงของกล้วยไม้ป่า จากการที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ภูเขาสูงสลับซับซ้อน มีสภาพป่า 4 แบบ ได้แก่ ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง และทุ่งหญ้า ส่งผลให้มีความหลากหลายของพรรณไม้ในพื้นที่ค่อนข้างสูง รวมทั้ง กล้วยไม้ แต่ในช่วงหน้าแล้งของทุกปีจะมีไฟป่าเกิดขึ้นโดยเฉพาะบริเวณป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณ รวมทั้งภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงและการลักลอบเก็บกล้วยไม้เพื่อนำไปจำหน่าย ส่งผลให้จำนวนกล้วยไม้ที่มีอยู่ในธรรมชาติลดจำนวนลงอย่างเห็นได้ชัด การศึกษาเพื่อเก็บรวบรวมชนิดของกล้วยไม้ ความหลากหลาย นิเวศวิทยา การกระจายพันธุ์และข้อมูลพื้นฐานด้านต่าง ๆ จึงนับเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นต่อการวางแผนการอนุรักษ์ เพื่อให้เท่าทันต่อสถานการณ์ที่เป็นอยู่ก่อนที่กล้วยไม้หลายชนิดจะสูญพันธุ์ไปจากธรรมชาติ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

สำรวจชนิดของกล้วยไม้ในป่า 3 ประเภท คือ ป่าเต็งรัง ป่าดิบแล้ง และป่าเบญจพรรณ ตามเส้นทางศึกษาธรรมชาติของอุทยานแห่งชาติภูแลนคา (Figure 2) ระหว่าง เดือนกรกฎาคม 2557 ถึง เดือนมิถุนายน 2558 ทำการบันทึกชื่อ จำนวน ลักษณะวิสัย ชนิดพันธุ์ไม้ที่กล้วยไม้อิงอาศัย และความสูงที่กล้วยไม้อิงอาศัย

เก็บตัวอย่าง และถ่ายภาพตัวอย่างกล้วยไม้ เพื่อการระบุชนิด ตรวจสอบชื่อวงศ์ ชื่อวิทยาศาสตร์ และชื่อพื้นเมือง ด้วยหนังสือพรรณไม้แห่งประเทศไทย⁷ Flora of Thailand⁸ และเอกสารทางพฤกษศาสตร์อื่นที่เกี่ยวข้อง^{5,6,9} ตัวอย่างกล้วยไม้แห้งและกล้วยไม้ดอง บางชนิดเก็บรวบรวมไว้ที่พิพิธภัณฑ์พืช คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ผลการศึกษา

1. ความหลากหลายของชนิดกล้วยไม้

จากการสำรวจ พบกล้วยไม้จำนวน 2 วงศ์ย่อย 20 สกุล 34 ชนิด โดยสามารถจำแนกได้เพียงระดับสกุล 15

ชนิด และไม่สามารถระบุสกุลและชนิดได้ 2 ชนิด (Table 1) กล้วยไม้ที่สำรวจพบเป็นกล้วยไม้อิงอาศัย (Epiphytic orchids) จำนวน 29 ชนิด ซึ่งมีทั้งกล้วยไม้อิงอาศัยบนต้นไม้ (Epiphytic orchids) และกล้วยไม้ที่อิงอาศัยบนโขดหิน (Lithophytic orchids) และกล้วยไม้ดิน (Terrestrial orchids) จำนวน 5 ชนิด วงศ์ย่อย Epidendroideae พบจำนวน 17 สกุล 29 ชนิด วงศ์ย่อย Orchidoideae พบจำนวน 5 สกุล 5 ชนิด สกุลที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดคือ *Dendrobium* และ *Bulbophyllum* พบสกุลละ 5 ชนิด รองลงมา คือ สกุล *Cleisostoma* จำนวน 3 ชนิด สกุล *Aerides* และ *Vanda* สกุลละ 2 ชนิด ส่วนสกุล *Bromheadia* *Cymbidium* *Eria* *Eulophia* *Geodorum* *Habenaria* *Hygrochilus* *Luisia* *Liparis* *Oberonia* *Phalaenopsis* *Polystachya* *Seidenfadenia* *Spathoglottis* และ *Trichoglottis* พบสกุลละ 1 ชนิด

2. การศึกษานิเวศวิทยาการกระจายพันธุ์ของกล้วยไม้

พบว่า ป่าเต็งรังมีความหลากหลายของสกุลกล้วยไม้มากที่สุด จำนวน 16 สกุล 24 ชนิด สกุลที่พบมากที่สุด คือ สกุล *Dendrobium* จำนวน 4 ชนิด รองลงมา คือ สกุล *Cleisostoma* จำนวน 3 ชนิด สกุล *Aerides* และ *Vanda* จำนวน 2 ชนิด ส่วนสกุล *Bromheadia* *Cymbidium* *Eria* *Eulophia* *Luisia* *Habenaria* *Hygrochilus* *Oberonia* *Polystachya* *Seidenfadenia* และ *Spathoglottis* พบสกุลละ 1 ชนิด ป่าที่มีความหลากหลายของสกุลกล้วยไม้รองลงมาคือป่าเบญจพรรณ จำนวน 15 สกุล 25 ชนิด สกุลที่พบมากที่สุดคือ *Dendrobium* จำนวน 5 ชนิด รองลงมา คือ *Bulbophyllum* จำนวน 4 ชนิด สกุล *Aerides* *Cleisostoma* และ *Vanda* จำนวน 2 ชนิด ส่วนสกุล *Bromheadia* *Cymbidium* *Eria* *Geodorum* *Hygrochilus* *Liparis* *Oberonia* *Phalaenopsis* *Polystachya* และ *Seidenfadenia* พบสกุลละ 1 ชนิด ป่าที่มีความหลากหลายของสกุลกล้วยไม้ที่น้อยที่สุด คือ ป่าดิบแล้ง จำนวน 13 สกุล 24 ชนิด สกุลที่พบมากที่สุด คือ สกุล *Dendrobium* จำนวน 5 ชนิด รองลงมา คือ สกุล *Bulbophyllum* จำนวน 4 ชนิด สกุล *Cleisostoma* จำนวน 3 ชนิด สกุล *Aerides* จำนวน 2 ชนิด ส่วนสกุล *Bromheadia* *Cymbidium* *Luisia* *Habenaria* *Polystachya* *Seidenfadenia* *Trichoglottis* และ *Vanda* พบสกุลละ 1 ชนิด

โดยจากการสำรวจเบื้องต้น กล้วยไม้ที่มีความโดดเด่นในพื้นที่อุทยานแห่งชาติภูแลนคา คือ นางตายตัวผู้ (*Habenaria lindleyana* Steud.) สกุลสิงโตชนิดที่ 1 (*Bulbophyllum* sp.1) สิงโตก้ามหาลวง (*B. reclusum* Seident.) สกุลสิงโตชนิดที่ 2 (*Bulbophyllum* sp.2) สกุลสิงโตชนิดที่ 3 (*Bul-*

bophyllum sp.3) และ สกุลสิงโตชนิดที่ 4 (*Bulbophyllum* sp.4) เนื่องจากพบกระจายอยู่เป็นจำนวนมาก และกล้วยไม้ที่พบเพียง 1 ต้น คือ เอื้องเขี้ยวเสือ (Unknown 1) สกุลว่านเอื้อง (*Eulophia* sp.) สกุลเอื้องกลีบม้วน (*Liparis* sp.) และ บานดึก (*Spathoglottis eburnea* Gagnep.)

ต้นไม้ที่มีความหลากหลายของชนิดกล้วยไม้อิงอาศัยมากที่สุด คือ เต็ง (*Shorea obtusa* Wall. ex Blume) รองลงมา คือ ก่อตลับ (*Quercus ramsbottomii* A. Camus) และ ยางเหียง (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. ex Miq.) โดยช่วงความสูงจากพื้นดินที่กล้วยไม้อิงอาศัยบนต้นไม้ในป่าเต็งรัง ป่าดิบแล้ง และป่าเบญจพรรณ อยู่ที่ 0.5-23, 0.5-18 และ 1.6-20 เมตร ตามลำดับ



เอื้องดอกมะขาม
Dendrobium delacourii

สกุลเอื้องกลีบม้วน
Liparis sp.



สกุลจุงนาง
Geodorum sp.

เขาแพะ
Cleisostoma arietinum



เอื้องลั่นกระบือ
Hygrochilus parishii

เอื้องตะขาบใหญ่
Dendrobium leonis



สกุลเอื้องแพน
Oberonia sp.



เอื้องแปรงสีฟัน
Dendrobium secundum

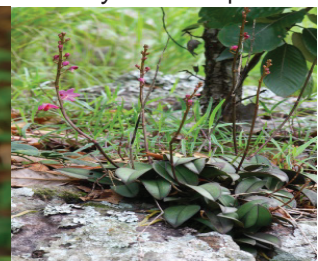


นางตายตัวผู้
Habenaria lindleyana

บานดึก
Spathoglottis eburnea



สกุลกะเรกะร้อน
Cymbidium sp.



ม้าวิ่ง
Phalaenopsis pulcherrima

Figure 1 Some species of orchids in Phu Laen Kha National Park.



Figure 2 Map of Natural trails at Phu Laen Kha National Park.

Table 1 List of orchids in Phu Laen Kha National Park, Chaiyaphum Province.

| No. | Scientific name | Local name | Habit | EH (m) | Forest type | Voucher specimen |
|---------------------------------|---|--------------------------------|----------|------------------------|--------------------------------|------------------|
| Subfamily Epidendroideae | | | | | | |
| 1 | <i>Aerides</i> sp.1 | สกุลเอื้องกุหลาบ 1 | EO | 1-10.5 3-15 2-14 | เต็งรัง เบญจพรรณ ดิบแล้ง | TC. 2015-201 |
| 2 | <i>Aerides</i> sp.2 | สกุลเอื้องกุหลาบ 2 | EO | 6-16 3-13 5-18 | เต็งรัง เบญจพรรณ ดิบแล้ง | TC. 2015-202 |
| 3 | <i>Bromheadia aporoides</i> Rchb.f. | เอื้องโรย เอื้องจำปา | EO | 4-11 5-20 3-6 | เต็งรัง เบญจพรรณ ดิบแล้ง | TC. 2015-203 |
| 4 | <i>Bulbophyllum reclusum</i> Seidenf. | สิงโตกีบม้าหลวง สิงโตช่อทอง | EO LO | - | เบญจพรรณ ดิบแล้ง | TC. 2015-204 |
| 5 | <i>Bulbophyllum</i> sp.1 | สกุลสิงโต 1 | EO LO | - | เบญจพรรณ ดิบแล้ง | TC. 2015-205 |
| 6 | <i>Bulbophyllum</i> sp.2 | สกุลสิงโต 2 | EO LO | 3-4 | เบญจพรรณ | TC. 2015-206 |
| 7 | <i>Bulbophyllum</i> sp.3 | สกุลสิงโต 3 | EO LO | 0.5 | ดิบแล้ง | TC. 2015-207 |
| 8 | <i>Bulbophyllum</i> sp.4 | สกุลสิงโต 4 | EO | - | เบญจพรรณ ดิบแล้ง | TC. 2015-208 |
| 9 | <i>Cleisostoma arietinum</i> (Rchb.f.) Garay | เขาแพะ | EO | 3-10 6-12 | เต็งรัง ดิบแล้ง | TC. 2015-209 |

Table 1 List of orchids in Phu Laen Kha National Park, Chaiyaphum Province. (continue)

| No. | Scientific name | Local name | Habit | EH (m) | Forest type | Voucher specimen |
|-----|--|------------------------------------|------------|--------------------------|--------------------------------|------------------|
| 10 | <i>Cleisostoma</i> sp.1 | สกุลก้างปลา 1 | EO | 8-17 4-13 1-12 | เต็งรัง เบญจพรรณ ดิบแล้ง | TC. 2015-210 |
| 11 | <i>Cleisostoma</i> sp.2 | สกุลก้างปลา 2 | EO | 7-18 - 8-12 | เต็งรัง เบญจพรรณ ดิบแล้ง | TC. 2015-211 |
| 12 | <i>Cymbidium</i> sp. | สกุลกระร่อน | EO | 0.5-17 4-15 2-18 | เต็งรัง เบญจพรรณ ดิบแล้ง | TC. 2015-212 |
| 13 | <i>Dendrobium delacourii</i> Guillaumin | เอื้องดอกมะขาม | EO | 2-11 8 4 | เต็งรัง เบญจพรรณ ดิบแล้ง | TC. 2015-213 |
| 14 | <i>Dendrobium draconis</i> Rchb.f. | เอื้องเงิน | EO | 5-17 2.3-12 0.5-12 | เต็งรัง เบญจพรรณ ดิบแล้ง | TC. 2015-214 |
| 15 | <i>Dendrobium leonis</i> (Lindl.) Rchb.f. | เอื้องตะขาบใหญ่ | EO | 7-10 6-10 12 | เต็งรัง เบญจพรรณ ดิบแล้ง | TC. 2015-215 |
| 16 | <i>Dendrobium lindleyi</i> Steud. | เอื้องผึ้ง | EO | 11 2-6 8 | เต็งรัง เบญจพรรณ ดิบแล้ง | TC. 2015-216 |
| 17 | <i>Dendrobium secundum</i> (Blume) Lindl. | เอื้องแปรงสีฟัน | EO | 7-10 3.5-8 6-9 | เต็งรัง เบญจพรรณ ดิบแล้ง | TC. 2015-217 |
| 18 | <i>Eria bractescens</i> Lindl. | เอื้องน้มนอกเหลือง เอื้องขี้หมา | EO | 5-18 4-16 | เต็งรัง เบญจพรรณ | TC. 2015-218 |
| 19 | <i>Hygrochilus parishii</i> (Veitch & Rchb.f.) Pfitzer | เอื้องลิ้นกระบือ เอื้องนางรูง | EO | 1 6-13 | เต็งรัง เบญจพรรณ | TC. 2015-219 |
| 20 | <i>Luisia</i> sp. | สกุลเอื้องลิ้นดำ | EO | 10 0.5-2 | เต็งรัง ดิบแล้ง | TC. 2015-220 |
| 21 | <i>Oberonia</i> sp. | สกุลเอื้องแพน | EO | 10.6 2.5-8 | เต็งรัง เบญจพรรณ | TC. 2015-221 |
| 22 | <i>Phalaenopsis pulcherrima</i> (Lindl.) J.J. Sm. | ม้าวิ่ง | LO TerO | - | เบญจพรรณ | TC. 2015-222 |
| 23 | <i>Polystachya concreta</i> (Jacq.) Garay & H.R. Sweet | เอื้องหาวเขียว เอื้องคางอ้ม | EO | 6-10 5 6-13 | เต็งรัง เบญจพรรณ ดิบแล้ง | TC. 2015-223 |
| 24 | <i>Seidenfadenia mitrata</i> (Rchb.f.) Garay | เอื้องหวดพราหมณ์ | EO | 0.5 1.6-6 8-15 | เต็งรัง เบญจพรรณ ดิบแล้ง | TC. 2015-224 |
| 25 | <i>Trichoglottis cirrhifera</i> Teijsm. & Binn. | เอื้องสายสุคนธ์ | EO | 0.5 | ดิบแล้ง | TC. 2015-225 |

Table 1 List of orchids in Phu Laen Kha National Park, Chaiyaphum Province. (continue)

| No. | Scientific name | Local name | Habit | EH (m) | Forest type | Voucher specimen |
|------------------------|---------------------------------------|--------------------|-------|-----------------|--------------------------------|------------------|
| 26 | <i>Vanda lilacina</i> Teijsm. & Binn. | เอื้องเข็มขาว | EO | 1-23 13 1 | เต็งรัง เบญจพรรณ ดิบแล้ง | TC. 2015-226 |
| 27 | <i>Vanda</i> sp. | สกุลเอื้องสามปอย | EO | 0.5-22 2-15 | เต็งรัง เบญจพรรณ | TC. 2015-227 |
| 28 | Unknown 1 | เอื้องเขี้ยวเสือ | EO | 4 | ดิบแล้ง | TC. 2015-228 |
| 29 | Unknown 2 | ไม้ทรามชนิด 2 | EO | 3-4 | ดิบแล้ง | TC. 2015-229 |
| Subfamily Orchidoideae | | | | | | |
| 30 | <i>Eulophia</i> sp. | สกุลว่านอึ่ง | TerO | - | เต็งรัง | TC. 2015-230 |
| 31 | <i>Habenaria lindleyana</i> Steud. | นางตายตัวผู้ | TerO | - | เต็งรัง เบญจพรรณ ดิบแล้ง | TC. 2015-231 |
| 32 | <i>Liparis</i> sp. | สกุลเอื้องกลีบม้วน | TerO | - | เบญจพรรณ | TC. 2015-232 |
| 33 | <i>Geodorum</i> sp. | สกุลว่านจุนนาง | TerO | - | เบญจพรรณ | TC. 2015-233 |
| 34 | <i>Spathoglottis eburnea</i> Gagnep. | บานดึก | TerO | - | เต็งรัง | TC. 2015-234 |

หมายเหตุ ลักษณะวิสัย : EO (Epiphytic orchid) : กล้วยไม่อิงอาศัยบนต้นไม้

LO (Lithophytic orchid) : กล้วยไม่อิงอาศัยบนโขดหิน

TerO (Terrestrial orchid) : กล้วยไม่ดิน

EH (Epiphytic height) : ความสูงที่กล้วยไม่อิงอาศัยบนต้นไม้

วิจารณ์ผล

จากการสำรวจกล้วยไม้ในป่าเต็งรัง ป่าดิบแล้ง และป่าเบญจพรรณของอุทยานแห่งชาติภูแลนคา จังหวัดชัยภูมิ กล้วยไม้ที่สำรวจพบจำนวน 20 สกุล 34 ชนิด จำแนกออกเป็น 3 ลักษณะวิสัย คือ กล้วยไม้อิงอาศัย ได้แก่ สกุล *Aerides* *Bromheadia* *Cleisostoma* *Eria* *Luisia* *Hygrochilus* *Oberonia* *Polystachya* *Seidenfadenia* *Trichoglottis* Unknown 1 Unknown 2 และ *Vanda* สกุลกล้วยไม้ดิน ได้แก่ สกุล *Geodorum* *Habenaria* *Liparis* และ *Spathoglottis* สกุลกล้วยไม้ขึ้นบนโขดหิน ได้แก่ สกุล *Phalaenopsis* ส่วนสกุล *Bulbophyllum* และ *Cymbidium* พบว่าเป็นทั้งกล้วยไม้อิงอาศัยบนต้นไม้ และกล้วยไม้ที่ขึ้นบนโขดหิน

จากการที่ป่าเต็งรัง ป่าดิบแล้ง และป่าเบญจพรรณ มีการกระจายพันธุ์ของสกุลและชนิดกล้วยไม้ที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมพื้นที่ป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณ ที่เหมาะสมต่อการกระจายพันธุ์ของกล้วยไม้ มักเป็นพื้นที่โปร่ง แสงแดดจัด ลมโกรก ส่วนพื้นที่ป่าดิบแล้ง แม้จะมีต้นไม้ขึ้นค่อนข้างแน่น แต่ก็ยังเป็นเพียงแนวป่าแคบ ๆ ตามลำธารหรือทางน้ำไหล แสงแดดส่องถึง ซึ่งไม่เป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ ดังจะเห็นได้จากช่วงความสูงของต้นไม้ที่กล้วยไม้อิงอาศัยไม่แตกต่างกันมากนักในป่าทั้ง

3 ประเภท โดยช่วงความสูงจากพื้นดินที่ระดับต่ำสุดที่กล้วยไม้อิงอาศัยในป่าเต็งรัง ป่าดิบแล้ง และป่าเบญจพรรณ อยู่ที่ 0.5 0.5 และ 1.6 เมตร ตามลำดับ และ ช่วงความสูงจากพื้นดินที่ระดับสูงที่สุดที่กล้วยไม้อิงอาศัยในป่าเต็งรัง ป่าดิบแล้ง และป่าเบญจพรรณ อยู่ที่ 23 18 และ 20 เมตร ตามลำดับ โดยต้นไม้ที่มีความหลากหลายของชนิดกล้วยไม้อิงอาศัยมากที่สุด คือ เต็ง รองลงมา คือ ก่อตลับ และ ยางเหียง เนื่องจากต้นไม้เหล่านี้มีเปลือกที่มีรอยแตกเล็กที่เหมาะสมต่อการยึดเกาะของรากกล้วยไม้ สามารถเก็บกักความชื้น และให้สารอาหารจากการย่อยสลายของเปลือกไม้ สอดคล้องกับการสำรวจกล้วยไม้ท้องถิ่นในสถาบันราชภัฏอุตรดิตถ์ วิทยาเขตน่าน² ที่พบว่ากล้วยไม้อิงอาศัยขึ้นทั่วไปบนต้นไม้ใหญ่โดยเฉพาะ เต็ง

จากการสำรวจพบกล้วยไม้สกุล *Dendrobium* และสกุล *Bulbophyllum* มากที่สุด จำนวนสกุลละ 5 ชนิด เป็นเพราะอุทยานแห่งชาติภูแลนคามีสภาพป่าที่เหมาะสมต่อการเจริญของกล้วยไม้สกุลนี้ ซึ่งมีกระจายพันธุ์ในเขตอบอุ่นและเขตร้อน อีกทั้งกล้วยไม้สกุลนี้มักขึ้นอยู่บนต้นไม้สูง จึงมีโอกาสน้อยที่ไฟป่าจะทำลาย สอดคล้องกับการศึกษาอนุกรมวิธานของพืชวงศ์กล้วยไม้³ บริเวณอุทยานแห่งชาติป่าหินงาม จังหวัดชัยภูมิ ที่พบกล้วยไม้สกุล *Dendrobium* มากที่สุดจำนวน 5 ชนิด เช่นกัน อาจเนื่องจากเป็นพื้นที่ใกล้เคียงกัน

ส่งผลให้สภาพภูมิอากาศ ประเภทของป่า และพรรณไม้มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน

จากการสำรวจพบกล้วยไม้บางชนิดในป่าประเภทเดียว อาจเนื่องมาจากลักษณะทางกายภาพและสรีรวิทยาที่แสดงออกตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่กล้วยไม้อาศัยอยู่ ทั้งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณแสงแดดที่แตกต่างกันไปตามแต่ละฤดูกาล สิ่งเหล่านี้ส่งผลให้กล้วยไม้แต่ละชนิดหรือแม้แต่นชนิดเดียวกันมีลักษณะการเจริญเติบโต การออกดอก ติดฝัก แดกหน่อ ไปจนถึงการผลัดใบในช่วงเวลาที่แตกต่างกันออกไป จากปัจจัยดังกล่าวอาจส่งผลให้พบกล้วยไม้จำเพาะกับป่าและอาจเนื่องมาจากการเดินทางสำรวจเป็นการเดินทางเพียงแค่ว่าพื้นที่บางส่วนของอุทยานเท่านั้น จึงทำให้ไม่พบกล้วยไม้เหล่านั้นในป่าประเภทอื่น

สรุปผล

จากการศึกษา การสูญหายของกล้วยไม้ป่าในพื้นที่อุทยานแห่งชาติภูแลนคาจากคำบอกเล่าของเจ้าหน้าที่เกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ ไม่ว่าจะเป็นจากการหาของป่า ซึ่งพบว่ามีบางเส้นทางที่มีร่องรอยของชาวบ้านเข้าไปลักลอบเก็บของป่าเพื่อนำไปปลูกเลี้ยงและจำหน่าย การเกิดไฟป่า โดยเฉพาะในพื้นที่ป่าเบญจพรรณและป่าเต็งรังเป็นประจำทุกปี การที่กล้วยไม้บางชนิดขึ้นอยู่ในบริเวณที่ถูกรบกวนได้ง่าย เช่น สิงโตกับม้าหลวง (*Bulbophyllum reclusum* Seidenf.) ที่ขึ้นอยู่บนผากกล้วยไม้บริเวณลานหิน หรือ ม้าวิ่ง (*Phalaenopsis pulcherrima* (Lindl.) J.J.Sm.) ขึ้นบนลานหินด้านล่างผากกล้วยไม้ ซึ่งมีนักท่องเที่ยวมาเยี่ยมชมเป็นจำนวนมาก ควรได้รับการดูแลจากเจ้าหน้าที่เป็นพิเศษ บางชนิดมีดอกสวยงาม อาจถูกลักลอบเก็บหาได้ง่าย เช่น เอื้องเงิน (*Dendrobium draconis* Rchb.f.) เอื้องลิ้นกระบือ (*Hygrochilus parishii* (Veitch & Rchb.f.) Pfitzer) และ นางตายตัวผู้ (*Habenaria lindleyana* Steud.) (Figure 1) ที่ขึ้นอยู่บริเวณเส้นทางศึกษาธรรมชาติ ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนทางการท่องเที่ยวและการอนุรักษ์ เพื่อให้กล้วยไม้ป่ายังคงอุดมสมบูรณ์ในอุทยานแห่งชาติภูแลนคาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช เจ้าหน้าที่อุทยานแห่งชาติภูแลนคา ดร.สันติ วัฒนฐานะ ผู้เชี่ยวชาญพืชวงศ์กล้วยไม้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นักศึกษาสาขาวิชาชีววิทยาและผู้ช่วยวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือในการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. ทวีศักดิ์ บุญเกิด. การเก็บตัวอย่างพรรณไม้. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2530.
2. วิมลฉัตร สันตินรนนท์ และคณะ. การสำรวจกล้วยไม้ท้องถิ่นในสถาบันราชภัฏอุตรดิตถ์วิทยาเขตน่าน อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน. บทความวิจัย: สถาบันราชภัฏอุตรดิตถ์; 2544.
3. สมราน สุดดี. การศึกษาอนุกรมวิธานของพืชวงศ์กล้วยไม้บริเวณอุทยานแห่งชาติป่าหินงาม จังหวัดชัยภูมิ [ออนไลน์]. http://www.dnp.go.th/botany/papers/Orchid_Pa%20Hinngam/Orchids_Pahinngam.htm. กลุ่มพฤกษศาสตร์ป่าไม้; 2546.
4. สลิล สิทธิสัจธรรม. กล้วยไม้ป่าเมืองไทย. กรุงเทพฯ: บ้านและสวน; 2549.
5. สลิล สิทธิสัจธรรม และ นฤมล กฤษณชาติ. คู่มือกล้วยไม้. กรุงเทพฯ: สารคดี; 2545.
6. สลิล สิทธิสัจธรรม และ เพชร ตรีเพชร. กล้วยไม้ป่าเมืองไทย 2. กรุงเทพฯ: บ้านและสวน; 2552.
7. สำนักงานหอพรรณไม้. ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็มสมิตินันท์ (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2557). กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช; 2557.
8. Thawatchai Santisuk and Kai Larsen. Flora of Thailand Volume 12 Part 1. Bangkok: Prachachon; 2011.
9. Xinqi Chen, Zhongjian Liu, Guanghua Zhu, Kai-yung Lang, Zhanhe Ji, Yi-Bo Luo, Xiaohua Jin, Philip J. Cribb, Jeffrey J. Wood, Stephan W. Gale, Paul Ormerod, Jaap J. Vermeulen, Howard P. Wood, Dudley Clayton and Alexandra Bell. Flora of China [online]. http://www.efloras.org/flora_page.aspx?flora_id=2; 2009.

ผลของอาหารผสมฮอร์โมนพรอสตาแกลนดิน เอฟ₂ ทุ แอลฟา ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของปลานิลเพศเมียในกระชัง

Effect of dietary prostaglandin F₂ administration on growth and reproductive performance of female Nile tilapia *Oreochromis niloticus* in cage culture

เอกชัย ดวงใจ^{1*}, ธนเดช สมอินทร์¹, จิตรา ปันรูป²

Ekachai Duangjai^{1*}, Thanadet Somain¹, Jittra Punroob²

Received: 26 December 2017; Accepted: 16 May 2018

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของฮอร์โมนพรอสตาแกลนดิน เอฟ₂ ทุ แอลฟา ความเข้มข้นต่างกันต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของปลานิลเพศเมีย น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น เท่ากับ 182.03±1.93, 181.50±1.41, 181.10±1.58 และ 181.55±1.59 กรัมต่อตัว สำหรับกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ โดยเลี้ยงปลาทดลองในกระชัง ขนาด 3×3×1 เมตร แขนงลอยบนบ่อดิน โดยไม่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมการทดลอง ปล่อยปลาที่ความหนาแน่น 4 ตัว/ตรม. ตลอดระยะเวลาการทดลอง 60 วัน ให้ปลากินอาหารเม็ดสำเร็จรูป (ระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์) เคลือบด้วยสารละลายฮอร์โมน PGF_{2α} สังกะเรทซ์ ความเข้มข้นเท่ากับ 200, 500 และ 1,000 ไมโครกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สำหรับกลุ่มที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ) ส่วนทดลองที่ 1 ให้ปลากินอาหารเม็ดสำเร็จรูปอย่างเดียว ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลาทดลองทั้ง 4 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่าง ($P > 0.05$) ในขณะที่ผลการศึกษาด้านประสิทธิภาพการสืบพันธุ์พบว่า ปลาทดลองกลุ่มที่ 4 มีค่าปริมาณไข่ทั้งหมดและอัตราการตายของลูกพันธุ์ปลาสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ สรุปผลการศึกษาข้างต้นชี้ให้เห็นว่าการให้แม่พันธุ์ปลานิลกินฮอร์โมน PGF_{2α} ผสมอาหาร ไม่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตแต่ส่งผลกระทบต่อเพิ่มปริมาณไข่และอัตราการตายของลูกพันธุ์ปลา โดยองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการสร้างอาหารผสมฮอร์โมนควบคุมประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ของแม่ปลานิล

คำสำคัญ: พรอสตาแกลนดิน เอฟ₂ ทุ แอลฟา ปลานิล ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์

Abstract

The study on the effects of feeding female Nile tilapia with different levels of prostaglandin F_{2α} hormone (PGF_{2α}) on growth and reproductive performance of fish were investigated in cage culture environments. Fish (182.03±1.93 (Group1), 181.50±1.41 (Group2), 181.10±1.58 (Group3), and 181.55±1.59 (Group 4), gfish⁻¹) were used and cultured in cage (3x3x1 m) in the reservoir without controlling external factors of water at stocking density of 4 fishm⁻². During study, all fish were fed with commercial fish diet (%30CP) at 3% g.bw⁻¹ for 60 days. Then, they were divided in to four treatments group with different level of PGF_{2α} hormone supplement at 200, 500 and 1000 μgPGF_{2α} kg⁻¹diet for group 2, 3 and 4, respectively. While fish in group1 was fed only commercial fish diet without PGF_{2α} hormone supplement. The result showed that the data of growth performance of female fish in all groups of study were no significant

¹ อาจารย์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านน่าน จังหวัดน่าน 55000

² อาจารย์, คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านน่าน จังหวัดน่าน 55000

¹ Lecturer, Faculty of Science and Agriculture Technology Rajamangala University of Technology Lanna, Nan, 55000

² Lecturer, Faculty of Business Administration and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Lanna Nan, 55000

* Corresponding author; Ekachai duangjai, Faculty of Science and Agriculture Technology Rajamangala University of Technology Lanna, Nan, 55000 E-mail: mr1fisheries@hotmail.com

differences ($P > 0.05$). While, the data of reproductive performance especially total egg production and percentages larvae survival rate of Nile tilapia fish in group4 was significantly different ($P < 0.05$) among treatment groups. In conclusion, it was clearly shown that dietary supplementation of $\text{PGF}_{2\alpha}$ hormone had no significant influence on growth performance of female fish, but were significantly different ($P < 0.05$) on total egg production and percentage of larvae survival rate of female Nile tilapia. This knowledge can be used information for establish the hormone diets for controlling populations of female Nile tilapia fish.

Keywords: Prostaglandin $\text{F}_{2\alpha}$, *Oreochromis niloticus*, growth and reproductive performance

Introduction

Prostaglandin $\text{F}_{2\alpha}$ ($\text{PGF}_{2\alpha}$) (fig.1) is a group of cell signaling molecules in the same eicosanoid family¹. It is synthesized enzymatically from one of the three highly unsaturated 20-carbon fatty acids directly from endoperoxide PGH_2 and the action of $\text{PGF}_{2\alpha}$ is dependent on the number of receptors on the target cell membrane². $\text{PGF}_{2\alpha}$ is rapidly metabolized to 13,14-dihydro-15-keto $\text{PGF}_{2\alpha}$ in vivo³, and is an important bioactive mediator for many physiological functions in animals³. Similar results have been reported by Adams et al.⁴ who found that $\text{PGF}_{2\alpha}$ stimulates protein synthesis of skeletal and smooth muscle cells in culture and is elevated in the heart during compensatory growth of neonatal rat cardiac myocytes. In addition, Horsley and Pavlath⁵ demonstrated that $\text{PGF}_{2\alpha}$ as well as two analogues augment muscle cell size in vitro. Increased myotube size was not due to $\text{PGF}_{2\alpha}$ -enhancing cell fusion that initially forms myotubes, but rather to $\text{PGF}_{2\alpha}$ recruiting the fusion of cells with preexisting multinucleated cells. In vertebrates and invertebrates, the functions $\text{PGF}_{2\alpha}$ have been reported. $\text{PGF}_{2\alpha}$ increase during the final stages of gonadal development; also it acts not only as a female reproductive hormone, but also as a sex pheromone influencing fish reproductive behaviors⁶. In most species of teleost fishes, and in contrast with other vertebrates, $\text{PGF}_{2\alpha}$ have been reported to have functional abilities that stimulate sexual displays in regulation of sexual behaviour in female guppy, *Poecilia reticulata*⁷. Earlier work Lister and Van Der Kraak⁸ has suggested that naturally spawning groups of female zebrafish exhibit increased ovarian levels of $\text{PGF}_{2\alpha}$, and $17\alpha, 20\beta$ -dihydroxy-4-pregnen-3-one (a maturation-inducing hormone in zebrafish) near

the time of ovulation compared with non-breeding females. Similarly, the study of arachidonic acid induced production of $17\alpha, 20\beta$ -dihydroxy-4-pregnen-3-one (DHP) via a putative PGE_2 receptor in fish follicles from the Eurasian perch found that arachidonic acid and its derivatives, PGE_2 and $\text{PGF}_{2\alpha}$, act on final follicle maturation.⁹ Another study of the effect of $\text{PGF}_{2\alpha}$ on goldfish showed that factors associated with ovarian development have only minor influence at most on $\text{PGF}_{2\alpha}$ induced female spawning behavior¹⁰. Recently, the number of studies identifying the function of $\text{PGF}_{2\alpha}$ in aquatic animals has been increasing in response to the commercial value of many aquatic animals and the action of $\text{PGF}_{2\alpha}$ in promoting reproductive performance⁷⁻¹⁰, but influence on growth performance has not yet been documented. Hence, the purpose of this study was to further evaluate the effect of $\text{PGF}_{2\alpha}$ administration on the growth and reproductive performance of female Nile tilapia brooders in cage culture. Knowledge on the role of $\text{PGF}_{2\alpha}$ on the growth and reproductive performance of Nile tilapia fish and the changes of water quality could be used to improve the production of gametes and larvae of this fish, that is an important commercial aquaculture species in the tropical areas, including Thailand.

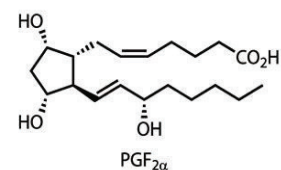


Figure.1 Structure of Prostaglandin $\text{F}_{2\alpha}$ ($\text{PGF}_{2\alpha}$)¹¹

Materials and methods

Experimental Feeds

The commercial fish diet that used in this study were different crude protein (CP), 30% CP, and it were selected based on the essential nutrients necessary for a satisfactory growth rate of female Nile tilapia fish. Four experimental diets were formulated with different synthetic $PGF_{2\alpha}$ hormone (Cayman Chemical, Thailand) supplement. Commercial fish diet enriched with synthetic $PGF_{2\alpha}$ hormone solution with the dosage of 0, 200, 500 and 1000 $\mu g PGF_{2\alpha} kg^{-1}$ diets for Group1, Group2, Group3, and Group4, respectively and stored in airtight polyethylene plastic bags at 4 °C until used.

Experimental design

The study consisted of one experiment with Completely Randomize Design in double replicates per group. , Three hundred of Nile tilapia fish brooders (181 g.bw, live body weight of 5 months olds approximately and an average total length of 22 cm) were selected for use in this experiment. Fish were collected during April, 2015 from a commercial freshwater fish farm in Tak province. Before the experiment, fish were reared in two tons in fish tank for adoption with freshwater over 7 days and dramatically substituted with commercial fish diet until the fish accepted the experimental diets. At the beginning of culturing, a random sample of experimental fish was individually weighed and released in each treatment group, 9 m³, 3x3x1 m cage culture without aeration. The stocking density of fish was 4 fish.m⁻² in the cage and the ratio of female:male was 1:1. During the experimental period, from May to June, 2015, the fish were fed with each experimental diet until satiation, about 3% g.bw⁻¹ one time a day at 09:00 am. During the experimental period in the reservoir, the water temperatures were observed two times every day in the morning and afternoon. The minimum and maximum water temperature in the morning ranged from 26 to 27 °C and 29.50 to 30 °C, respectively. During the experimental period, dissolved oxygen (DO), pH and turbidity were monitored every week. In the reservoir, DO, pH and turbidity ranged from 5.23 to 7.10 mgL⁻¹, 7.07 to 7.70 and 0.50 to 1.19 NTU, respectively. Ionized ammonia (NH₄⁺) nitrite (NO₂⁻) and

nitrate (NO₃) concentration of water in the reservoir were biweekly observed using a water test kit, KYORITSU CHEMICAL-CHECK Lab., Corp., Japan. Ionized ammonia (NH₄⁺) nitrite (NO₂⁻) and nitrate (NO₃) in the reservoir during experiment ranged from 0.03 to 0.13 mgL⁻¹, 0.03 to 0.13 mgL⁻¹ and 0.01 to 0.08 mgL⁻¹, respectively.

Data collection and analytical methods

Growth performance

At the end of culturing, growth performance of fish measured as mean final weight, percentage of weight gain, average daily gain and specific growth rate were determined. Fish fed diets containing 0, 200, 500 and 1000 $\mu g PGF_{2\alpha} kg^{-1}$ diet were evaluated by weighting all of the population. This study was conducted for 60 days in cage culture in the reservoir (3 Rai). The following indices were used to evaluate the fish growth performance according to the method described by Olvera-Novoa et al.¹² as follows: Mean final weight (g fish⁻¹) = [(Mean final fish weight – Mean initial fish weight)]/Culture period (day), Percentage of weight gain (%) = [(Mean final fish weight – Mean initial fish weight) X100]/ Mean initial fish weight, Specific growth rate, (% day⁻¹) = [(ln final fish weight – ln initial fish weight) X 100]/ Culture period (day)

Reproductive performance

Every week, the eggs were collected from the oral cavity of individual female fish in each treatment group by counter-flow of the oropharynx. The weight of experimental fish was recorded. The eggs were transferred indoors for hatching in incubators (10 liter capacity in each unit) at a stocking level of 200 eggs per liter. A steady current of freshwater at 5 liter min⁻¹ was allowed to pass through each incubator after being mixed with oxygen as soon as it was out of the bio-filter tank. Everyday, hatching and non-hatching eggs were recorded while larval survival rate was recorded after 10 days of larvae hatching, from which the reproductive performance were evaluated. The following indices were used to evaluate reproductive performance according to the method described by Almeida et al.¹³ as follows: Total egg production (eggs g.bw⁻¹) = [Total number of eggs produced during culture period]/Total final fish weight (g), Percentages of fertilization rate (%) = [Total number of fertilized eggs during culture

period $\times 100$]/Total number of eggs during culture period, Percentages hatching rate (%) = [Total number of larvae during culture period $\times 100$]/ Total number of eggs during culture period, Percentages larvae survival rate (%) = [Total number of larvae after 10 days of hatching $\times 100$]/Total number of larvae during culture period.

Statistical analyses

All data was expressed as mean \pm SD and analyzed by one-way ANOVA. The Duncan's Multiple Range Test at $P < 0.05$ was used to determine the differences between the groups means¹⁴.

Results

The study on the effects of feeding female Nile tilapia with different levels of prostaglandin $F_{2\alpha}$ hormone on growth and reproductive performance of fish was conducted for 60 days. The results of this study are presented below:

Growth performance

According to Table1, initial fish body weights were 182.03 \pm 1.93, 181.50 \pm 1.41, 181.10 \pm 1.58, and 181.55 \pm 1.59 g of Group1, Group2, Group3 and Group4,

respectively. The final fish body weight at the end of the experimental period (60 days) were not significantly different among treatment groups and were highest on fish Group4 (223.20 \pm 5.57 g) followed by Group2 (220.40 \pm 4.93 g) Group 3 (219.70 \pm 3.71 g) and Group1 (219.10 \pm 3.25 g), respectively. Mean final weight (gfish⁻¹) at the end of the experimental period (60 days) were highest on fish in group4 (0.69 \pm 0.10 gfish⁻¹) followed by Group2 (0.65 \pm 0.08 gfish⁻¹) Group3 (0.64 \pm 0.06 gfish⁻¹) and Group1 (0.62 \pm 0.06 gfish⁻¹), respectively. Percentage of weight gain at the end of the experimental period were highest on fish in Group4 (22.96 \pm 3.53%) followed by Group2 (21.44 \pm 2.69%) Group 3 (21.32 \pm 2.05%) and Group1 (20.38 \pm 2.16%). Specific growth rate at the end of the experimental period (60 days) were highest on fish in Group4 (0.34 \pm 0.05 %day⁻¹) followed by Group2 (0.32 \pm 0.04 %day⁻¹) Group3 (0.32 \pm 0.03 %day⁻¹) and Group1 (0.31 \pm 0.03 %day⁻¹). However, three parameters of growth performance, namely mean final weight, percentage of weight gain, and Specific growth rate, there were not significantly different ($P > 0.05$) among treatment groups

Table 1 Growth performance of female Nile tilapia with different levels of $PGF_{2\alpha}$ during the 60 days of experiment (Mean \pm SE).

| Growth performance | Group1 | Group2 | Group3 | Group4 | F-Value | Sig. |
|--|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------|------|
| Mean initial weight (g) | 182.03 \pm 1.93 ^a | 181.50 \pm 1.41 ^a | 181.10 \pm 1.58 ^a | 181.55 \pm 1.59 ^a | 0.54 | 0.65 |
| Mean final weight (g) | 219.10 \pm 3.25 ^b | 220.40 \pm 4.93 ^{ab} | 219.70 \pm 3.71 ^{ab} | 223.20 \pm 5.57 ^a | 1.65 | 0.20 |
| Mean weight gain (g) | 0.62 \pm 0.06 ^b | 0.65 \pm 0.08 ^{ab} | 0.64 \pm 0.06 ^{ab} | 0.69 \pm 0.10 ^a | 1.52 | 0.23 |
| Percentage of weight gain (%) | 20.38 \pm 2.16 ^b | 21.44 \pm 2.69 ^{ab} | 21.32 \pm 2.05 ^{ab} | 22.96 \pm 3.53 ^a | 1.60 | 0.21 |
| Specific growth rate (%day ⁻¹) | 0.31 \pm 0.03 ^b | 0.32 \pm 0.04 ^{ab} | 0.32 \pm 0.03 ^{ab} | 0.34 \pm 0.05 ^a | 1.40 | 0.26 |

Note: Means with different superscript (a, b) in the same row were significantly different ($P < 0.05$).

Reproductive performance

According to Fig. 2, total egg production of fish given different concentration of $PGF_{2\alpha}$ hormones diets during 60 days showed significant differences among the treatment groups. Total egg production of fish fed diets

containing 1000 μ g $PGF_{2\alpha}$ kg⁻¹diet was found to be the highest (1271.00 \pm 102.33 eggs g.bw⁻¹) but the lowest (1107.00 \pm 142.21 eggs g.bw⁻¹) was in fish fed diets containing 0 μ g $PGF_{2\alpha}$ kg⁻¹diet. However, the volume of total egg production of experimental fish fed with different

concentration of $PGF_{2\alpha}$ diets tended to increase with increasing $PGF_{2\alpha}$ hormones level in the diets. Percentages of fertilization rate in fish fed diets containing different $PGF_{2\alpha}$ levels during 60 days showed no significant differences among fish fed diets containing 0, 200, 500 and 1000 $\mu g PGF_{2\alpha} kg^{-1}$ diet. They were highest in fish fed diets containing 1000 $\mu g PGF_{2\alpha} kg^{-1}$ diet (76.40 \pm 7.76%) but lowest in fish fed diets containing 200 $\mu g PGF_{2\alpha} kg^{-1}$ diet (67.80 \pm 9.16%). In the case of experimental fish fed diets containing 0 (Group1) and 500 (Group3) $\mu g PGF_{2\alpha} kg^{-1}$ diet, percentages of fertilization rate were 72.58 \pm 5.30 and 72.94 \pm 17.52, respectively. Percentages of hatching rate were not significantly different between group of 0, 200, 500 and 1000 $\mu g PGF_{2\alpha} kg^{-1}$ diet. Percentages of

hatching rate in experimental fish fed diets containing different $PGF_{2\alpha}$ levels increased by increasing $PGF_{2\alpha}$ levels in the diets. Percentages of hatching rate were 70.90 \pm 5.64, 66.08 \pm 9.44, 69.72 \pm 14.87 and 71.62 \pm 8.72 of diets containing 0, 200, 500 and 1000 $\mu g PGF_{2\alpha} kg^{-1}$ diet, respectively. Percentage of larvae survival rate was significantly different among treatment groups and was highest on fish fed diets containing 1000 $\mu g PGF_{2\alpha} kg^{-1}$ diet (80.50 \pm 8.72) followed by fish fed diets containing 500, 200 and 0 $\mu g PGF_{2\alpha} kg^{-1}$ diet, respectively. Total egg production and percentage of larvae survival rate of female Nile tilapia with different levels of $PGF_{2\alpha}$ hormone during the 60 days of experiment is presented in Figure.2.

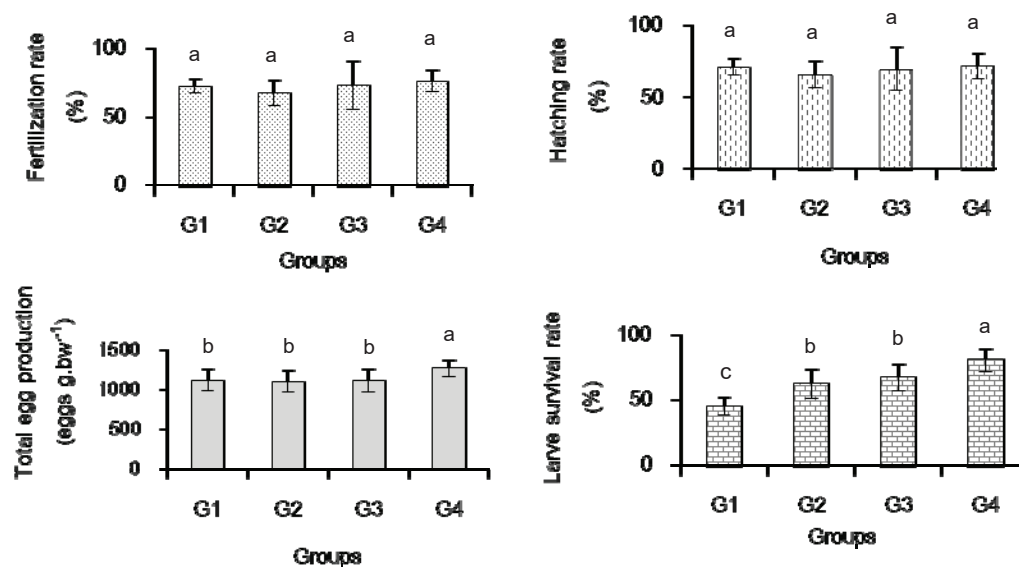


Figure 2 Hatching rate (%), fertilization rate (%), total egg production (eggs g.bw⁻¹) and larvae survival rate (%) of female Nile tilapia with different levels of $PGF_{2\alpha}$ during the 60 days of experiment (Means \pm SD, n=10 fish) represented in group1 (G1), group2(G2), group3(G3) and group4(G4) respectively. Significant differences ($P < 0.05$) in the value of some parameters of reproductive performance of experimental fish between treatment groups (G2, G3, and G4) and G1 are indicated with letters (a, b, and c).

Discussion

Studies using dietary $PGF_{2\alpha}$ in female Nile tilapia fish diets were conducted. Based on the statistical analysis, the results obtained from experiments showed that the growth responses of fish fed with diets contained 0, 200, 500 and 1000 $\mu g PGF_{2\alpha} kg^{-1}$ diet in terms of mean final weight, mean weight gain (g), percentage of weight gain

and specific growth rate were increased by increasing $PGF_{2\alpha}$ levels in the experimental diets up to 1000 $\mu g PGF_{2\alpha} kg^{-1}$ diet. In these experiments, fish in Group4 (1000 $\mu g PGF_{2\alpha} kg^{-1}$ diet) showed higher mean final weight, mean weight gain, percentage of weight gain, and specific growth rate but were not significantly different ($P > 0.05$) among treatment groups followed by fish in

Group3 Group2 and Group1, respectively. It is thought that $\text{PGF}_{2\alpha}$ may have a potential capacity to enhanced growth performance of female Nile tilapia fish, a conclusion supported by Denning-Kendall and Wathes¹⁵ who reported that several studies indicate that prostaglandins are widely distributed in various tissues in animals and plants, which play an important role in growth and reproductive physiology, especially during ovarian steroidogenesis and metamorphosis. Similarly, studies on PGE2 induced growth hormone release and effects of intrahypothalamic and intrapituitary implants by Ojeda et al.¹⁶ suggested that PGE2 can act at both hypothalamic (ARH-ME) and pituitary levels to stimulate GH release. At the hypothalamus, PGE2 may inhibit GH-inhibiting factor release or induce release of GH releasing factor. Furthermore, Stacey and Gqetz¹⁷ mentioned that several studies indicate that prostaglandin E_2 and $\text{PGF}_{2\alpha}$, released from the ovaries or oviduct in response to the presence of ovulated oocytes also act on the brain to stimulate female spawning behavior in several species of fish. Based on the statistical analysis, however, the increase in fish growth with increasing concentration of $\text{PGF}_{2\alpha}$ in the diets may have been caused by the essential component in the fish diet. In fish nutrition, the ratio between omega-3 and omega-6 poly-unsaturated fatty acids influences skeletal development. Supplementation of fish oils with vegetable oils increases the content of omega-6 fatty acids, such as arachidonic acid which are metabolized by cyclooxygenases to prostaglandin E_2 , an eicosanoid with effects on bone formation and remodeling¹⁸. The values of total egg production, fertilization rate and hatching rate were the highest at fish in Group4 and were significantly different ($P < 0.05$) among treatment groups. It means that $\text{PGF}_{2\alpha}$ have a potential capacity to promote reproductive performance of female Nile tilapia fish. This agrees with Skobolina and Minin¹⁹ who demonstrated that zebrafish oocytes that have undergone maturation under the indicated conditions ovulate when treated with prostaglandin $\text{F}_{2\alpha}$ ($5 \mu\text{gPGF}_{2\alpha} \text{ mL}^{-1}$) and/or 20% carp ovarian fluid and are capable of development towards the actively feeding larvae upon fertilization. Similarly, Laberge and Hara²⁰ research on behavioral and electrophysiological

responses to F-prostaglandins, putative spawning pheromones, in three salmonid fishes include brown trout, lake white fish and rainbow trout. The result found that the behavioral and olfactory responses observed with exposure to $\text{PGF}_{2\alpha}$ and its metabolites suggested these compounds function as reproductive pheromones in brown trout and lake whitefish. Moreover, Kobayashi et al.²¹ mentioned that in freshwater fish, the female goldfish, $\text{PGF}_{2\alpha}$ and its metabolites are released as a postovulatory pheromone that induces male spawning behavior which further increases male LH and sperm production. In invertebrates, too PGs have been reported to induce spawning in the abalone *Haliotis refescens*. Recently, several researchers such as Spaziani et al.²² reported that PGs are related to vitellogenesis and spawning in aquatic animals. According to the results of the present study, the percentage of larvae survival rate was significantly different ($P < 0.05$) among treatment groups and was highest in fish in Group4 and lowest on fish in Group1. It means that $\text{PGF}_{2\alpha}$ have a potential capacity to enhanced oocyte development of female Nile tilapia fish. These results agreed with some literature reports that $\text{PGF}_{2\alpha}$ encourages gonadal development in aquatic animals, with direct effects on embryo health and larval survival rate³. Based on statistical analysis, the results obtained from experiments showed that during 60 days of culture period, Nile tilapia fish were almost survived. This indicated that survivals were not affected by dietary $\text{PGF}_{2\alpha}$. Wedemeyer²³ mentioned that water quality was widely acknowledged to be one of the most important rearing conditions. The proper temperature for Nile tilapia is 25–30 °C, DO 0.3–0.6 ppm, and pH 6.5–9.0²⁴.

Conclusion

Based on the results gathered from the experiments, the following can be concluded:- The results showed that dietary supplementation of $\text{PGF}_{2\alpha}$ hormone had no significant influence on mean final weight, mean weight gain, percentage of weight gain, and specific growth rate of fish but they were higher in Nile tilapia fish in Group4 followed by fish in Group3 Group2 and Group1, respectively. However, dietary supplementation of $\text{PGF}_{2\alpha}$

had significant influence ($P < 0.05$) on total egg production and percentage of larvae survival rate of female Nile tilapia in cage culture environments. Therefore, the level of 1000 $\mu\text{gPGF}_{2\alpha}$ kg^{-1} diet supplementation in fish diets was recommended for female Nile tilapia brooders in cage culture, when focus on total egg production and percentage of larvae survival rate of female Nile tilapia in cage culture.

Acknowledgment

The first author would also like to thank the Research and Development Institute of Rajamangala University of Technology, Lanna, for the financial support used for this research; Hands-on Researcher Large (2015), in title by using of prostaglandin $F_{2\alpha}$ enhanced gonadal development in previtellogenesis of female Nile tilapia fish.

References

1. Funk CD. Prostaglandins and leukotrienes: advances in eicosanoid biology, *Science* 2001; 294:1871–1875.
2. Christ EJ, Van Dorp DA. Comparative aspects of prostaglandin biosynthesis in animal tissues. *Biochim Biophys Acta* 1972; 270:537-545.
3. Sumpownon C, Engsusophon A, Siangcham T, Sugiyama E, Soonklang N, Meeratana P, Sobhon P. Variation of prostaglandin E_2 concentrations in ovaries and its effects on ovarian maturation and oocyte proliferation in the giant fresh water prawn. *Gen Comp Endocrinol* 2015; 223:129-138.
4. Adams JW, Migita DS, Yu MK, Young R, Hellickson MS, Castro-Vargas FE, Domingo JD, Lee PH, Bui JS, Henderson SA. Prostaglandin $F_{2\alpha}$ Stimulates Hypertrophic Growth of Cultured Neonatal Rat Ventricular Myocytes. *Journal of Biological Chemistry* 1996; 271:1179-1186.
5. Horsley V and Pavlath GK. Prostaglandin F_2 stimulates growth of skeletal muscle cells via an NFATC2-dependent pathway. *The Journal of Cell Biology* 2003; 161:111-118.
6. Liley NR. The effects of estrogens and other steroids on the sexual behavior of the female guppy, *Poecilia reticulata*. *General and Comparative Endocrinology* 1972; 3:542–552.
7. Schweer H, Kammer J, Seyberth HW. Simultaneous determination of prostanoids in plasma by gas chromatography-negative-ion chemical ionization mass spectrometry. *Journal of Chromatography* 1985; 338:273-280.
8. Lister AL, Van Der Kraak G. An investigation into the role of prostaglandins in zebrafish oocyte maturation and ovulation. *Gen Comp Endocrinol* 2008; 159:46-57.
9. Henrotte E, Milla S, Mandiki SN, Kestemont P. Arachidonic acid induces production of 17, 20 beta-dihydroxy-4-pregnen-3-one (DHP) via a putative PGE_2 receptor in fish follicles from the Eurasian perch. *LIPIDS* 2011; 46:179-187.
10. Olsen KH, Johansson AK, Bjerselius R, Mayer I, Kindhal H. Mature atlantic salmon (*Salmo salar* L.) male are attracted to ovulated female urine but not to ovarian fluid. *Journal of Chemical Ecology* 2002; 28:29-40.
11. Sharma I, Dhaliwal L, Saha S, Sangwan S, Dhawan V. Role of 8-iso-prostaglandin $F_2\alpha$ and 25-hydroxycholesterol in the pathophysiology of endometriosis. *Fertility and Sterility* 2010; 94:63–70.
12. Olvera-Novoa ME, Coupros GS, Sabido GM, Martinez CA. The use of Alfafa leaf Protein Concentrates as a protein source in diet of Tilapia (*Oreochromis mosambicus*). *Aquaculture* 1990; 83:45–58.
13. Almeida DB, da Costa MAP, Bassini LN, Calabuig CIP, Moreira CGA, Rodrigues MDN, Moreira, HLM. Reproductive performance in female strains of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*, *Aquaculture International* 2013; 21: 1291-1300.
14. Duncan, D. B. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 1955; 11:1-42.
15. Denning-Kendall PA, Wathes DC. Acute effects of prostaglandin F_2 alpha, luteinizing hormone, and estradiol on second messenger systems and on the secretion of oxytocin and progesterone from granulosa and early luteal cells of the ewe. *Biology of Reproduction* 1994; 50:765-773.

16. Ojeda SR, Jameson HE, McCann SM. Prosta-glandin E₂ induced growth hormone (GH) release: effect of intrahypothalamic and intrapituitary implants. *Prosta-glandins* 1977; 13:943-55.
17. Stacey NE, Goetz FW. Role of prostaglandins in fish reproduction. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1982; 39:92–98.
18. de Vrieze E, Moren M, Metz JR, Flik G, Lie KK. Arachidonic acid enhances turnover of the dermal skeleton: studies on zebrafish scales. *Public Library of Science* 2014; 9:1-10.
19. Skoblina MN, Minin AA. Hormone-induced in vitro maturation and ovulation of *Danio rerio* oocytes and production of eggs capable of fertilization and further development. *Russian Journal of Ecology* 2016; 47:294-299.
20. Laberge F, Hara TJ. Behavioural and electrophysiological responses to F-prostaglan-dins, putative spawning pheromones, in three salmonid fishes. *Journal of Fish Biology* 2003; 62:206–221.
21. Kobayashi M, Sorensen PW, Stacey NE. Hormonal and pheromonal control of spawning behavior in goldfish. *Fish Physiology and Biochemistry* 2002; 26:71–84.
22. Spazaini EP, Hinsch GW, Edwards SC. The Effect of Prostaglandin prostaglandins E₂ and F_{2α} on Ovarian Tissue in the Florida crayfish *Procambarus pae-ninsulanus*. *Prostaglandins & Other Lipid Mediators* 1995; 50:189-200.
23. Wedemeyer GA, *Physiology of Fish in Intensive Culture Systems* Chapman and Hall, New York. 1996.
24. Nina S, Givskov J, Martin D. The potential of dietary polyunsaturated fatty acid to modulate eicosanoid synthesis and reproduction in *Daphnia magna*. *Journal of Physical Chemistry C* 2012; 162:449-454.

การวิเคราะห์และลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานี Analysis and Priority Factors that affect to Plantation Product of Oil-Palm in Surat Thani Province

ผ่องพรรณ พัวพันธ์,¹ ไอลดา ลาภพล,¹ สุวัฒน์ จุฑาพฤทธิ,² สุพัตรา พุฒิเนาวรัตน์²
Phongphan Puophan,¹ Ailada Lapphon,¹ Suwat Jutapruet,² Supattra Puttinaovarat²

Received: 27 February 2018; Accepted: 2 May 2018

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานีโดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล เทคนิคกระบวนการจัดลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ และสมการเชิงเส้นถ่วงน้ำหนักในการวิเคราะห์ชั้นข้อมูล โดยปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ลักษณะดิน การระบายน้ำของดิน ความลึกของดิน ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ แหล่งน้ำ ถนน ความลาดชันของภูมิประเทศ และระดับความสูงของภูมิประเทศ ตามลำดับ ปัจจัยที่มีผลต่อความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันจากการให้ค่าน้ำหนักโดยผู้เชี่ยวชาญและเกษตรกร ในการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยใช้วิธีการจัดลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ซึ่งปัจจัยที่มีค่าน้ำหนักหรือความสำคัญสูงสุด ได้แก่ แหล่งน้ำ ปริมาณน้ำฝน ลักษณะดิน และความสามารถในการระบายน้ำของดิน จากผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการปลูกปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีพื้นที่ประมาณ 3,210.45 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่เหมาะสมประกอบด้วย อำเภอพระแสง อำเภอเวียงสระ อำเภอชัยบุรี อำเภอกาชนะ และอำเภอวิภาวดี

คำสำคัญ : พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน การจัดลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ สมการเชิงเส้นถ่วงน้ำหนัก

Abstract

This research aims to analyze the area suitable for oil palm plantation in Surat Thani province by using Geographic Information System, Remote Sensing data, Analytic Hierarchy Process (AHP) and Weighted Linear Combination (WLC). By relevant thematic layers, this study uses soil types, soil drainage capability, soil depth, rainfall, temperature, relative humidity, water resource, road, slope and elevation, which were recorded in the geographical form. The contributing factors played a very important role in oil palm plantation suitability, the weights were specified by either expert or agriculturist. The analysis on the deterministic attributes (factors) that had been derived from the AHP indicated that the most prominent factors were water resource, rainfall, soil types and soil drainage capability. The results indicated that, there is an area suitable for the oil palm plantation in Surat Thani province. A suitable area about 3,210.45 square kilometers. The suitable areas included Phrasaeng district, Wiang Sa district, Chai Buri district, Tha Chana district and Vibhavadi district.

Keywords : Oil-Palm Plantation, AHP, WLC

¹ นักศึกษาปริญญาตรี, ²อาจารย์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี

¹ Bachelor degree student, ²Lecturer, Faculty of Science and Industrial Technology, Prince of Songkla University, Surat Thani Campus

บทนำ

ปัจจุบันปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และประเทศไทยมีผลผลิตเป็นลำดับที่ 5 ของโลก ในประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากในภาคใต้และภาคตะวันออก¹ ทำให้ปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มที่นำมาใช้ทั้งทางด้านบริโภคและอุปโภค เช่น อุตสาหกรรมน้ำมันพืช อุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมุ่งเน้นความสนใจในเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต จังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นแหล่งปลูกปาล์ม ที่มีพื้นที่ 12,891.469 ตร.กม. และมีสภาพภูมิประเทศที่หลากหลาย ได้แก่ ภูมิประเทศแบบที่ราบชายฝั่งทะเลที่ราบสูง รวมทั้งภูมิประเทศแบบภูเขา ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ของจังหวัดถึงร้อยละ 40 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยมีทิวเขาภูเก็ททอดตัวในแนวเหนือ-ใต้ของจังหวัด และมีลุ่มน้ำที่สำคัญ คือ ลุ่มน้ำตาปี ไชยา ท่าทอง เป็นต้น ด้านตะวันออกเป็นฝั่งทะเลอ่าวไทย และมีเกาะน้อยใหญ่ ส่วนด้านตะวันตกมีลักษณะเป็นภูเขาสูง ลักษณะภูมิประเทศดังกล่าวทำให้เกิดลุ่มน้ำน้อย ใหญ่รวม 14 แหล่งน้ำ มีแม่น้ำสายสำคัญ คือ แม่น้ำตาปี ประชากรในจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางการเกษตร เช่น ทำนา ทำสวน ทำไร่ โดยใช้ที่ดินเพื่อเพาะปลูกประมาณ 45% ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งมีการปลูกปาล์มน้ำมันกันอย่างแพร่หลาย และมีแนวโน้มการปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต²

จากเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงวิเคราะห์พื้นที่ในการปลูกปาล์มน้ำมันโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพ ของพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีต่อผลผลิตของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน โดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์มาจัดการ เช่น การรับรู้ระยะไกล การตัดสินใจด้วยวิธีการจัดลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) สมการเชิงเส้นถ่วงน้ำหนัก (Weighted Linear Combination : WLC) ในการสำรวจพื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมัน ทำแผนที่โดยใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์ และนำเสนอข้อมูลทำให้มีการใช้ประโยชน์จากพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตให้กับพื้นที่ที่ปลูกปาล์มน้ำมัน อีกทั้งยังใช้ความสามารถทางด้านเทคโนโลยีให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในการจัดการด้านการใช้ประโยชน์จากที่ดินให้มีศักยภาพมากที่สุด

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน (Oil palm) พบครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 1977 ทางตะวันตกของทวีปแอฟริกา ส่วนในทวีปเอเชียพบที่ประเทศอินโดนีเซียเมื่อ พ.ศ. 2391 จากนั้นจึงแพร่กระจายพันธุ์ไปยัง

เกาะสุมาตรา ในปีพ.ศ. 2448 และเริ่มปลูกเป็นการค้าอย่างจริงจังบนเกาะสุมาตราตั้งแต่ปี พ.ศ. 2454 เป็นต้นมา ประเทศไทยได้นำปาล์มน้ำมันเข้ามาปลูกเป็นปาล์มประดับเมื่อปี พ.ศ. 2472 ที่จังหวัดสงขลาและจังหวัดจันทบุรี เริ่มปลูกเพื่อการค้าเมื่อปี พ.ศ. 2511 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525 เป็นต้นมามีการพัฒนาขยายพื้นที่ปลูกไปอย่างรวดเร็วจนถึงปัจจุบัน³

วิธีการบวนการจัดลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP)

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า AHP เป็นกระบวนการตัดสินใจที่ใช้ในการวินิจฉัยเพื่อหาเหตุผล ถูกคิดค้นขึ้นโดยศาสตราจารย์โทมัส ซาตตี (Thomas Saaty) เป็นกระบวนการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพ โดยแบ่งองค์ประกอบของปัญหาออกเป็น ส่วน ๆ ในรูปแบบของแผนภูมิลำดับชั้น แล้วกำหนดค่าของการวินิจฉัย เปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ และนำค่าเหล่านั้นมาคำนวณเพื่อดูว่าปัจจัย และทางเลือกอะไรมีค่าลำดับความสำคัญสูงสุด เป็นกระบวนการที่ใช้ทำงานง่าย เพราะมีโครงสร้างเลียนแบบกระบวนการคิดของมนุษย์และผู้ใช้ไม่ต้องรอเรียนจากประสบการณ์หรือไปฝึกอบรมเพราะกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ไม่ต้องมีผู้เชี่ยวชาญพิเศษมาคอยควบคุมชี้แนะ

สมการเชิงเส้นถ่วงน้ำหนัก (Weighted Linear Combination : WLC)

ทฤษฎีสมการเชิงเส้นถ่วงน้ำหนักเป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับการแก้ปัญหาเชิงพื้นที่ในการตัดสินใจ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ขึ้นอยู่กับแนวคิดของการเฉลี่ยการถ่วงน้ำหนักผ่านกระบวนการตัดสินใจโดยตรง โดยจะมีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักและความสำคัญที่เกี่ยวข้องของแต่ละปัจจัย เมื่อได้ค่าถ่วงน้ำหนักหรือค่าความสำคัญของแต่ละปัจจัยแล้วจึงนำมาประเมินค่าความสำคัญที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย⁴ สำหรับวิธีการคำนวณแสดงในสมการ (1)

$$Wt = (M1W1)+(M2W2)+(M3W3)+...+(MnWn) \quad (1)$$

โดยที่ Wt คือ ระดับความเหมาะสมของการปลูกปาล์มน้ำมัน M1, M2, M3,... Mn คือ ค่าคะแนนของปัจจัยที่ 1,2,3,... ถึง n W1,W2,W3,...Wn คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่ 1,2,3,.. ถึง n

วิธีการประมาณค่าในช่วง (Interpolation)

เป็นการทำนายค่าให้กับเซลล์ในข้อมูลประเภทแรสเตอร์ จากข้อมูลตัวอย่างที่มีอยู่อย่างจำกัด ทำให้ทำนายค่าที่ไม่ทราบได้จากจุดใด ๆ เช่น จุดความสูง ปริมาณน้ำฝน

เป็นต้น โดยมีหลายวิธี เช่น IDW, Natural Neighbors, Spline, Kriging, Trend และ Topo to Raster เทคนิคที่ใช้ในการศึกษา คือ Inverse Distance Weight (IDW) เป็นการนำมายค่าแห่งใกล้เคียงกันย่อมมีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ในการคำนวณค่า ณ ตำแหน่งที่ต้องการ ตำแหน่งสถานที่ที่อยู่ใกล้ที่สุดมีน้ำหนักความสำคัญมากกว่าตำแหน่งที่อยู่ห่างไกล จึงเป็นการประมาณค่าให้กับจุดที่ไม่ทราบค่าจากผลรวมเชิงเส้นของค่าที่ทราบแล้วถ่วงน้ำหนักจุดให้ถูกจำกัดด้วยระยะทาง ค่าถ่วงน้ำหนักนี้จะเปลี่ยนแปลงตามระยะทางจากจุดที่ไม่ทราบค่าไปยังจุดที่ทราบค่าจุดต่อไป ซึ่งจุดที่ทราบค่าที่อยู่ใกล้ที่สุดจะมีความสำคัญหรือมีค่าน้ำหนักมากที่สุดในการประมาณค่าจุดที่ไม่ทราบค่า⁴

ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมัน

ปริมาณน้ำฝน (Rainfall) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันมากที่สุด ปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสม ควรจะมีปริมาณระหว่าง 2,000 – 3,000 มิลลิเมตร/ปี มีระยะฝนทิ้งช่วงไม่เกิน 2 เดือน และในแต่ละเดือนควรมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 180 – 250 มิลลิเมตร จะทำให้ดินมีความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม รวมถึงความชื้นสัมพัทธ์สัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 75% – 85% เมื่อปาล์มน้ำมันได้รับปริมาณฝนเพียงพอจะช่วยให้การพัฒนาตาดอก และการสุกของผลเป็นไปอย่างปกติซึ่งมีผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำมันต่อทะลายสูงขึ้นด้วย⁵

ลักษณะดิน (Soil types) ปาล์มน้ำมันสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนเหนียวถึงดินเหนียวมีความลึกของชั้นหน้าดินมากกว่า 75 เซนติเมตร อุดมน้ำได้ดี อุดมสมบูรณ์มีอินทรีย์วัตถุสูง การระบายน้ำดีแต่เนื่องจากระบบรากปาล์มน้ำมันมีประสิทธิภาพในการดูดน้ำและธาตุอาหารต่ำกว่าพืชโดยทั่วไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องให้ธาตุอาหารให้พอเพียงต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน^{6,7}

ความลาดชันของพื้นที่ (Slope) จากการศึกษา พบว่า ประเทศมาเลเซียได้รายงานการจัดลำดับความเหมาะสมของดินในการปลูกปาล์มน้ำมัน ไว้โดยอาศัยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน ได้แก่ สภาพพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันควรมีความชันไม่เกิน 12 %^{6,7}

แหล่งน้ำ (Water resources) น้ำถือเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญที่สุดในการปลูกปาล์มน้ำมัน เพราะน้ำเป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน เนื่องจากปาล์มน้ำมันต้องการน้ำเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ ในปริมาณค่อนข้างสูงตลอดอายุการเจริญเติบโต⁷

ถนน (Road) การขนส่งผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสู่โรงงานก็ถือว่ามีความสำคัญไม่น้อย เพราะฉะนั้นระยะห่างจากถนนจึงมีความสำคัญ ซึ่งจากการศึกษา พบว่า ควรมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันห่างจากที่ตั้งของโรงงานสกัดไม่เกิน 120 กิโลเมตร และมีพื้นที่ในการขนส่งได้สะดวก¹

ความลึกของดิน (Soil depth) ปาล์มน้ำมันสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงได้ในดินหลายชนิด มีระบบรากตื้น โดยรากที่สามารถดูดธาตุอาหารได้ดีเกือบทั้งหมดจะอยู่ในชั้นดินที่มีความลึกประมาณ 30 - 50 เซนติเมตรจากผิวดิน⁸

ความสูงจากระดับน้ำทะเล (Elevation in mean sea level) พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกปาล์มน้ำมันเป็นพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 300 เมตร⁹

ความสามารถในการระบายน้ำของดิน (Soil Drainage Capability) เกณฑ์หลักที่ใช้ในการประเมินคือ ความสามารถในการซึมผ่านของดินที่เหมาะสม สำหรับปาล์มน้ำมัน อยู่ในระดับปานกลางถึงดี เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ไม่ทนต่อน้ำท่วมขัง จึงควรเลือกพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันที่เป็นพื้นที่ราบหรือเป็นลอนคลื่นเพียงเล็กน้อย⁹

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ปาล์มน้ำมันชอบอากาศแบบชุ่มชื้น โดยควรมีความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศเฉลี่ยในรอบปีสูงกว่า 75% จึงจะทำให้การเจริญเติบโตเป็นไปตามปกติ และให้ผลผลิตสูง⁶

อุณหภูมิ (Temperature) ช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปลูกปาล์มน้ำมันอยู่ระหว่าง 22-32 องศาเซลเซียส หากระดับอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้อัตราการคายน้ำของปาล์มน้ำมันสูง แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส ก็จะส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน¹⁰

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการปลูกพืชชนิดต่าง ๆ และการวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกพืชชนิดต่าง ๆ พบว่า มีการนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ไปใช้ในด้านการศึกษาวิเคราะห์ความเหมาะสมต่าง ๆ เช่น หาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกยางพารา¹¹ ข้าวสายพันธุ์พื้นเมือง¹² ข้าว¹³ หนุ่ยเนเปียร์¹⁴ เป็นต้น สำหรับงานวิจัยที่นำเสนอการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกยางพารามีการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ลักษณะดิน การระบายน้ำของดิน ความเป็นกรด-ด่างของดิน ความลาดชันของพื้นที่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี และอุณหภูมิเฉลี่ยต่อปี นอกจากนี้มีบางงานวิจัยมีการพิจารณาปัจจัยด้านเคมีอื่น ๆ ของดิน ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และอินทรีย์วัตถุ สำหรับการวิเคราะห์ความ

เหมาะสมของพื้นที่ปลูกข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองพบว่า มีปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ดินและกลุ่มดิน ปริมาณน้ำฝน พื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม ความลาดชัน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ส่วนการวิเคราะห์ความเหมาะสมของการปลูกข้าวโดยประเมินจากศักยภาพพื้นที่ธาตุอาหารพืชในดิน ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย ปริมาณความเป็นกรด-ด่างในดิน อินทรีย์วัตถุในดิน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน และความอิ่มประจุบวกที่เป็นต่าง และจากการศึกษาการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกหญ้าเนเปียร์ พบว่า มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กลุ่มชุดดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความสูงของพื้นที่ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี และคุณสมบัติของดิน จากการศึกษาการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกข้าวที่เกี่ยวของที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า ปัจจัยที่มีการนำไปพิจารณาในงานวิจัยส่วนใหญ่ได้แก่ ลักษณะดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิ

นอกจากนี้เมื่อศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันพบว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมอยู่บ้างในพื้นที่ จังหวัดกระบี่ (พื้นที่นิคมปาล์มน้ำมัน)¹⁵ และประเทศอินโดนีเซีย^{16,17} สำหรับการศึกษาในจังหวัดกระบี่มีปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณา 9 ปัจจัย ได้แก่ ความเค็มของน้ำ ความเป็นกรดต่างของน้ำ ความเค็มของดิน ค่าความเป็นกรดต่างของดิน ลักษณะผิวดิน ความห่างจากแม่น้ำ ความสูง การใช้ประโยชน์ที่ดิน และความลาดชันของพื้นที่ โดยมีการกำหนดค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่รอบ ๆ บริเวณตำบลขนานมาก อำเภอปากพะนิง นครศรีธรรมราช พื้นที่ 45% มีความเหมาะสมมากสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน และ 98% ของพื้นที่ในนิคมปาล์มมีความเหมาะสมสูง ส่วนการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในประเทศอินโดนีเซีย พบว่า มีการพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความสูง ความลาดชัน ลักษณะดิน ระยะห่างจากแม่น้ำ ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ที่มีความเหมาะสมมากเท่ากับ 6.52% พื้นที่ที่มีความเหมาะสมปานกลางเท่ากับ 29.96% พื้นที่ที่มีความเหมาะสมน้อยเท่ากับ 16.49% และพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมมี 1.79% และพื้นที่อื่น ๆ ที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้เท่ากับ 45.24%

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน พบว่า มีการบูรณาการข้อมูลการรับรู้ระยะไกลและระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์โดยใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ด้วยวิธี AHP และ WLC ร่วมกับระบบ GIS ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ มาช่วยในการวิเคราะห์พื้นที่ศึกษา และจากการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่

นำมาใช้มีอยู่หลายปัจจัยด้วยกัน แต่ปัจจัยที่มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ ปัจจัยทางภูมิประเทศ ปัจจัยทางภูมิอากาศ และปัจจัยทางภูมิศาสตร์ที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการเจริญเติบโตรวมถึงผลผลิตของปาล์มน้ำมัน ดังนั้นสามารถนำผลที่ได้จากการศึกษาปัจจัยมาประยุกต์ใช้งาน ทั้งในด้านการวางแผนพัฒนา การวิเคราะห์ความเหมาะสมของการปลูกปาล์มในแต่ละพื้นที่ วิเคราะห์การตั้งโรงงาน การตัดสินใจและการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ หรือการวางแผนพัฒนาที่ดิน ต่อไปในอนาคตได้อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าโดยส่วนใหญ่จะใช้เฉพาะผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้กำหนดค่าน้ำหนักของปัจจัย ยังไม่มีการนำการสอบถามความคิดเห็นของเกษตรกรกลุ่มที่ปลูกพืชชนิดนั้น ๆ มาใช้ในการวิเคราะห์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสอบถามความคิดเห็นเกษตรกรมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญแล้วจัดทำแผนที่พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน

งานวิจัยนี้เลือกใช้ AHP เพราะเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพและมีความสะดวกในการจัดลำดับความสำคัญและช่วยให้เกิดการตัดสินใจที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถใช้ได้กับการตัดสินใจที่มีความยุ่งยากซับซ้อน อีกทั้งเป็นวิธีที่ถูกยอมรับและมีการนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย เพราะผลลัพธ์ที่ได้เป็นปริมาณตัวเลข ทำให้ง่ายต่อการจัดลำดับความสำคัญและยังสามารถนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปเปรียบเทียบได้ และเหตุผลที่เลือกใช้วิธีการ WLC เพราะวิธีการนี้ผู้ตัดสินใจสามารถกำหนดน้ำหนักของความสำคัญในแต่ละปัจจัยของแผนที่ ซึ่งคะแนนทั้งหมดที่หามาได้ในแต่ละตัวเลือกจะเป็นตัวกำหนดน้ำหนักความสำคัญในแต่ละปัจจัย และนำค่าน้ำหนักตัวเลือกในแต่ละปัจจัยนั้นคูณด้วยค่าคะแนนของข้อมูลในแผนที่ โดยที่วิธีการนี้สามารถใช้ร่วมกับ AHP คือ นำค่าน้ำหนักความสำคัญในแต่ละปัจจัยที่ได้จาก AHP มาใช้ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน

วิธีดำเนินการวิจัย

กระบวนการทำงานโดยรวมสามารถแบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การจำแนกพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานีโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม และการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานีโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เทคนิคการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) โดยส่วนแรกในส่วนการจำแนกพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเป็นข้อมูลนำเข้าหลังจากนั้นใช้เทคนิคทางด้านการประมวลผลภาพและเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องในการจำแนก ผลลัพธ์ที่ได้ คือ พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน ส่วนที่สองคือการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผล ซึ่งข้อมูลนำเข้า

คือ ข้อมูลปัจจัยต่างๆ ซึ่งจัดอยู่ในรูปแบบข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ นำมาหาความสำคัญของแต่ละปัจจัยโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากทั้งสองส่วนมาสร้างแผนที่ความเหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมันโดยใช้สมการเชิงเส้นถ่วงน้ำหนัก สำหรับกระบวนการทั้งหมดแสดงดัง Figure 1

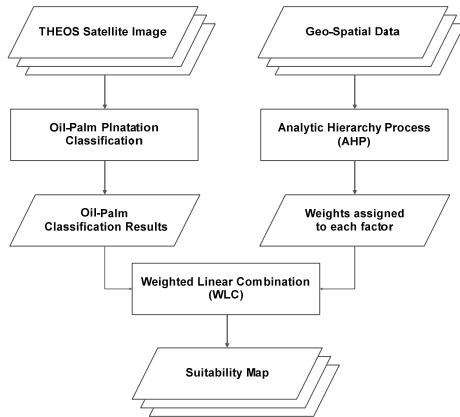


Figure 1 Research Methodology

การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม THEOS และข้อมูลปัจจัย สำหรับข้อมูลปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันที่นำมาใช้วิเคราะห์เป็นข้อมูลในปี พ.ศ. 2559 ซึ่งประกอบด้วย 10 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ลักษณะดิน ความลาดชัน แหล่งน้ำ ถนน ความลึกของดิน ความสูงจากระดับน้ำทะเล การระบายน้ำของดิน ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิภาคสารสนเทศภาคใต้ สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 11 และกรมอุตุนิยมวิทยา

การจำแนกพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน

ในขั้นตอนนี้ นำภาพถ่ายดาวเทียม THEOS มาคำนวณความสัมพันธ์ของจุดภาพ โดยนับจากจุดภาพข้างเคียงที่สัมพันธ์กับระยะทางและทิศทางการเคลื่อนที่ในหน้าตาตามที่กำหนด โดยกำหนดทิศทาง ได้แก่ 0° 45° 90° และ 135° โดยเลือกใช้ค่า 4 ค่า ได้แก่ energy, entropy, contrast และ in-

verse difference moment สำหรับวิธีการคำนวณแต่ละค่า โดยวิธีดำเนินการใช้คำนวณค่าแต่ละค่าในแต่ละภาพ หลังจากนั้นให้นำผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละภาพจำแนกโดยใช้เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM) SVM เป็นทฤษฎีการเรียนรู้ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งนิยมใช้ในการเรียนรู้เพื่อจำแนกแยกแยะองค์ประกอบของภาพ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการจำแนกข้อความ เสี่ยง และใช้ในการพยากรณ์ข้อมูล สำหรับการนำไปใช้ในการจัดการรับรู้และสำรวจระยะไกล ส่วนใหญ่นิยมนำไปใช้ในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินประเภทต่าง ๆ เช่น ป่าไม้ พื้นที่เมือง พื้นที่เกษตร และแหล่งน้ำ เป็นต้น เหตุผลที่เลือกใช้ SVM เพื่อต้องการเพิ่มความถูกต้องในการจำแนกพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน เพราะวิธีการนี้มักให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกสูง โดยที่ข้อมูลไม่จำเป็นต้องเป็นข้อมูลที่มีรูปแบบการกระจายแบบปกติ โดยตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้สามารถแสดงผลได้ทั้งในรูปแบบเวกเตอร์และแรสเตอร์ แสดงใน Figure 2(a) ส่วนเหตุผลที่เลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียม THEOS เพราะรายละเอียดภาพที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมนี้มีความละเอียดอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์เนื้อภาพ (Texture Analysis) เพื่อให้ได้มาซึ่งพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน

การศึกษาพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน

จากการจำแนกพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน พบว่า เนื้อที่ของจังหวัดสุราษฎร์ธานีทั้งหมด 12,891.47 ตารางกิโลเมตร เป็นพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งหมด 3,210.45 ตารางกิโลเมตร ซึ่งงานวิจัยได้ศึกษาข้อมูลเพียง 17 อำเภอจาก 19 อำเภอ โดยตัดพื้นที่ของอำเภอเกาะสมุย และอำเภอเกาะพะงัน ซึ่งมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งหมด 3,209.78 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 24.89 ของพื้นที่ทั้งหมด จากการวิเคราะห์พบว่าอำเภอที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดคือ อำเภอพระแสง อำเภอพุนพิน อำเภอท่าชนะ อำเภอชัยบุรี อำเภอกาญจนดิษฐ์ อำเภอกีรีรัฐนิคม อำเภอเคียนซา อำเภอท่าฉาง อำเภอพนม อำเภอไชยา อำเภอดอนสัก อำเภอเมือง อำเภอเวียงสระ อำเภอบ้านนาสาร อำเภอวิภาวดี อำเภอบ้านนาเดิม และอำเภอบ้านตาขุน ดัง Figure 2(b)

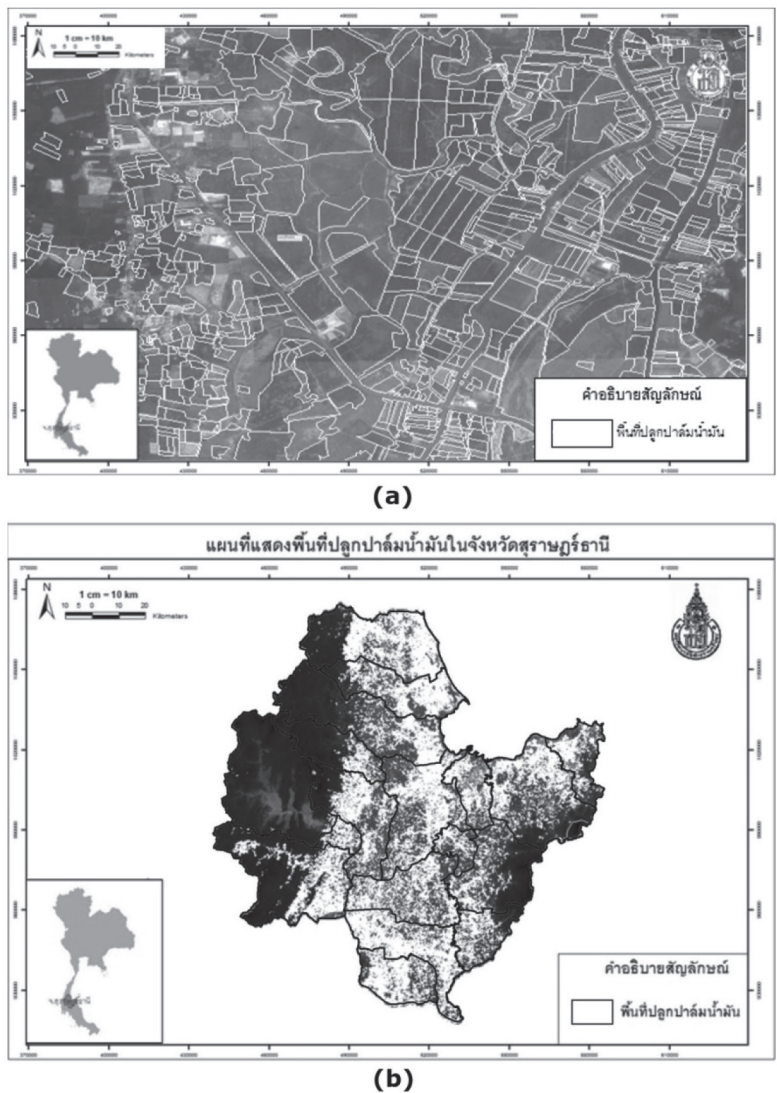


Figure 2 Example of Oil-Palm Plantation Areas Classification using Texture Analysis (a) and Oil-Palm Plantation Areas in Surat Thani Province (b)

การศึกษาผลผลิตปาล์มน้ำมัน

สำหรับการศึกษาผลผลิตปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่า จากเนื้อที่ของจังหวัดสุราษฎร์ธานีทั้งหมด 12,891.47 ตารางกิโลเมตร เป็นพื้นที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันทั้งหมด 1,539.13 ตารางกิโลเมตร โดยที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน 3,401,288 ตัน และ 3,536 กิโลกรัมต่อไร่ ของพื้นที่ทั้งหมด และพื้นที่ที่ยังไม่ให้ผลผลิตทั้งหมด 1,671.32 ตารางกิโลเมตร ดังรูปที่ 3 และ 4 พบว่าอำเภอที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันมากที่สุดคือ อำเภอพระแสง ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลพื้นที่ที่ปลูกปาล์มน้ำมัน โดยผลผลิตในภาพที่ 3 มีเกณฑ์การแบ่ง

ระดับความเหมาะสมเชิงปริมาณ คือ ระดับมากที่สุด คือ ผลิตมากกว่า 329,699 ตัน ระดับมาก มีผลผลิตอยู่ระหว่าง 240,906 ถึง 329,699 ตัน ระดับปานกลางมีผลผลิตอยู่ระหว่าง 68,552 ถึง 240,905 ตัน ส่วนระดับน้อยมีผลผลิตน้อยกว่า 68,552 ตัน และผลิตต่อไร่ในภาพที่ 4 มีเกณฑ์การแบ่งระดับความเหมาะสมเชิงปริมาณ คือ ระดับมากที่สุด คือ ผลิตมากกว่า 3,615 กิโลกรัม ระดับมาก มีผลผลิตอยู่ระหว่าง 3,464 ถึง 3,614 กิโลกรัม ระดับปานกลางมีผลผลิตอยู่ระหว่าง 3,275 ถึง 3,463 กิโลกรัม ส่วนระดับน้อยมีผลผลิตน้อยกว่า 3,074 ตัน

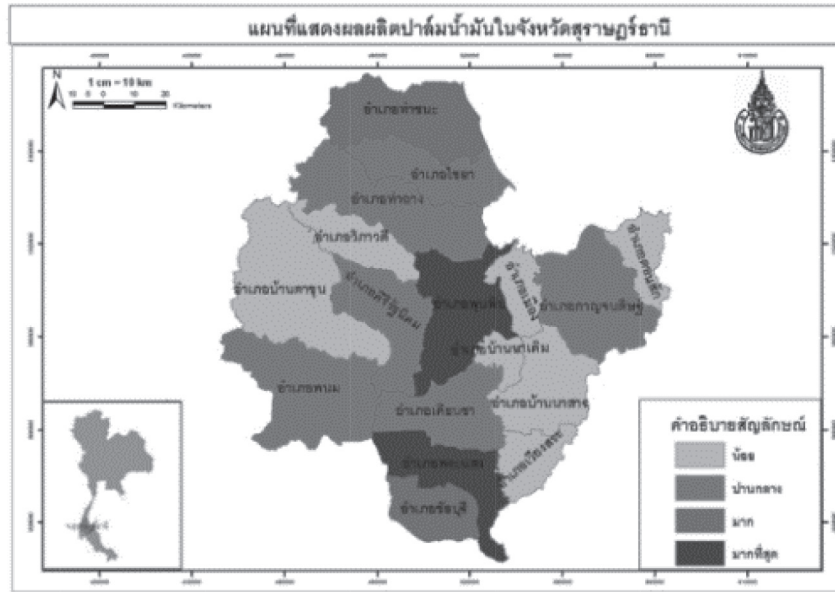


Figure 3 Oil-Palm Productivity in Surat Thani Province

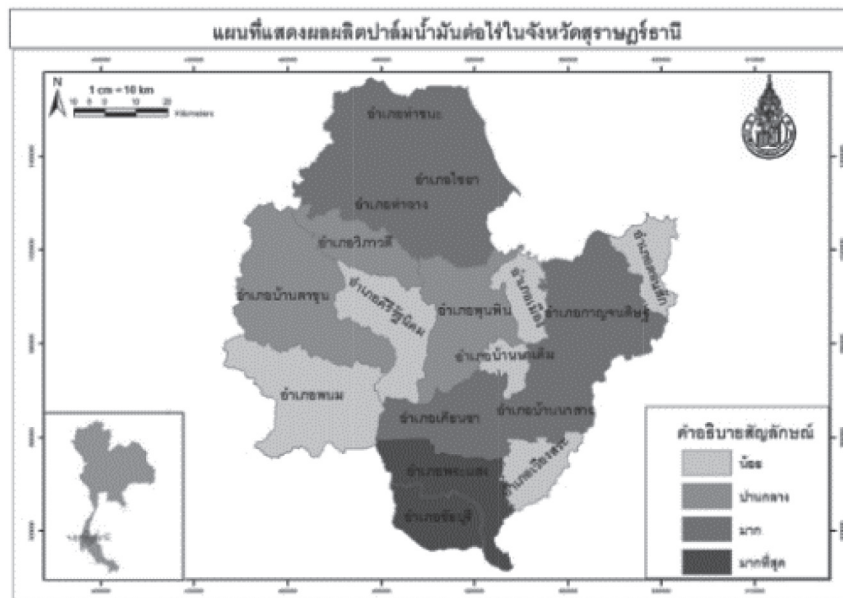


Figure 4 Oil-Palm Productivity in Surat Thani Province (Yields per rai)

การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตปาล์ม
น้ำมัน

สำหรับข้อมูลปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้
มีรายละเอียดข้อมูลแต่ละปัจจัย ดังนี้

ถนน (Road) ข้อมูลถนนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบ
ด้วย ถนนสายหลัก ทางหลวงแผ่นดิน และถนนสายรอง
ทางหลวงชนบท ซึ่งข้อมูลถนนทั้งสายหลักและสายรองแทน
ด้วยเส้นสีเทา แสดงใน Figure 5

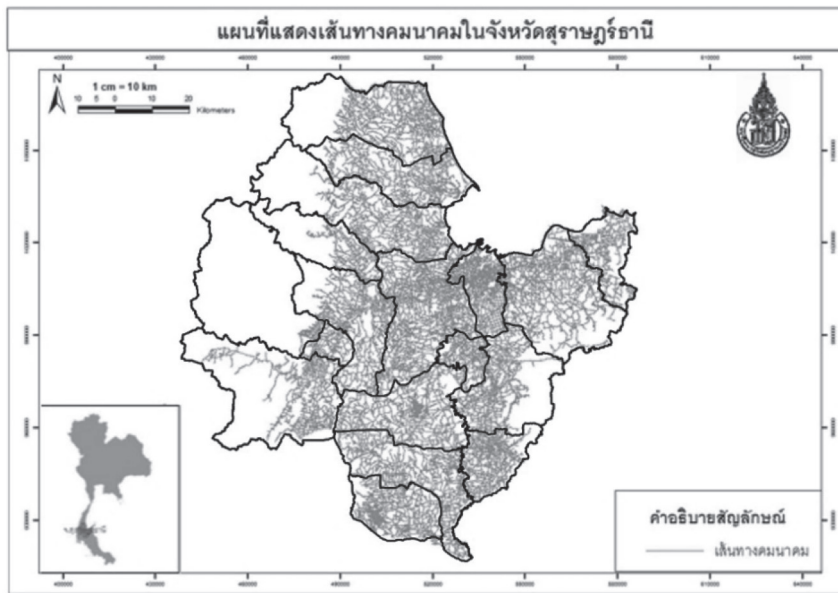


Figure 5 Road Data in Surat Thani Province

แหล่งน้ำ (Water resources) ข้อมูลแหล่งน้ำที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย แหล่งน้ำในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งมีลุ่มน้ำใหญ่น้อยรวม 14 ลุ่มน้ำ และแม่น้ำสายที่สำคัญของจังหวัดสุราษฎร์ธานีมี 2 สาย คือ แม่น้ำตาปี มีความยาว

ประมาณ 230 กิโลเมตร ปริมาณน้ำเฉลี่ย 5,900 ล้าน ลบ.ม.ต่อปีและแม่น้ำพุมดวงหรือแม่น้ำคีรี ยาวประมาณ 80 กิโลเมตร ปริมาณน้ำเฉลี่ย 6,600 ล้าน ลบ.ม. ต่อปี รูปที่ 6 จากภาพแหล่งน้ำแสดงด้วยเส้นสีเทา



Figure 6 Water resources in Surat Thani Province

ความสูงจากระดับน้ำทะเล (Elevation) ในงานวิจัยนี้แบ่งคลาสความสูงแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ สูงมาก สูง และค่อนข้างสูง แสดงดัง Figure 7

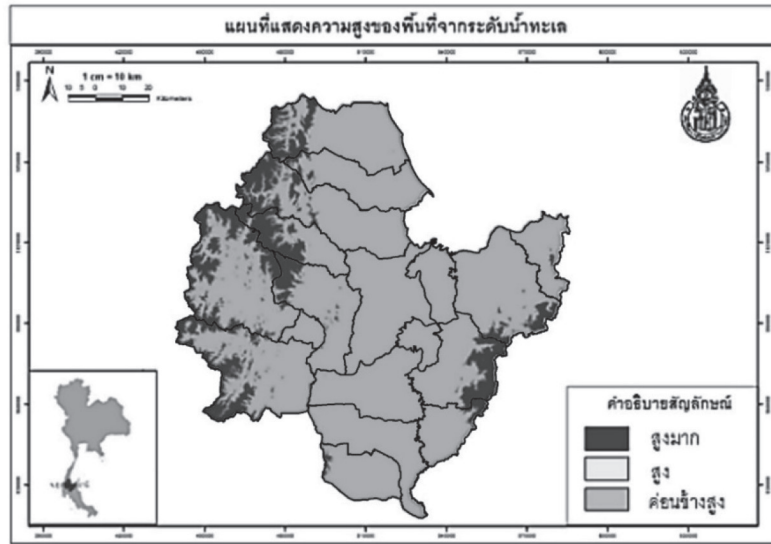


Figure 7 Elevation Level Map in Surat Thani Province

ปริมาณน้ำฝน (Rainfall) สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้ปริมาณน้ำฝนที่ได้รายเดือนของปี 2556 ซึ่งมีสถานีที่ใช้วัดปริมาณน้ำฝนทั้งหมด 4 สถานี ได้แก่ สถานีสุราษฎร์ธานี สถานีพุนพิน สถานีพระแสง และสถานีเกาะสมุย ซึ่งสถานีเกาะสมุยไม่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา จึงนำข้อมูล 3 สถานีเพื่อประมาณค่าในช่วง (Interpolate) โดยใช้เทคนิค IDW (Inverse Distance Weight) เป็นการประมาณค่าโดยสุ่มจุดตัวอย่างแต่ละจุดจากตำแหน่งที่สามารถส่งผลกระทบไปยังเซลล์ที่ต้องประมาณค่าได้ ซึ่งจะมีผลกระทบน้อยลงเรื่อง ๆ

ตามระยะทางที่ไกลออกไป ดังรูปที่ 8 โดยพื้นที่สีดำ คือ พื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนจัดอยู่ในระดับสูงที่สุด งานวิจัยนี้เลือกใช้การประมาณค่าน้ำฝนแบบ IDW เพราะวิธีการนี้ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งการประมาณค่าปริมาณน้ำฝนเป็นรายเดือนและรายปี¹⁸⁻²¹ นอกจากนี้จากการทดลองประมาณค่าน้ำฝนในรายวิจัยนี้พบว่า วิธีการ IDW สามารถประมาณค่าปริมาณน้ำฝนที่สามารถแยกแยะข้อมูลปริมาณน้ำฝนของแต่ละพื้นที่ได้ดีที่สุด

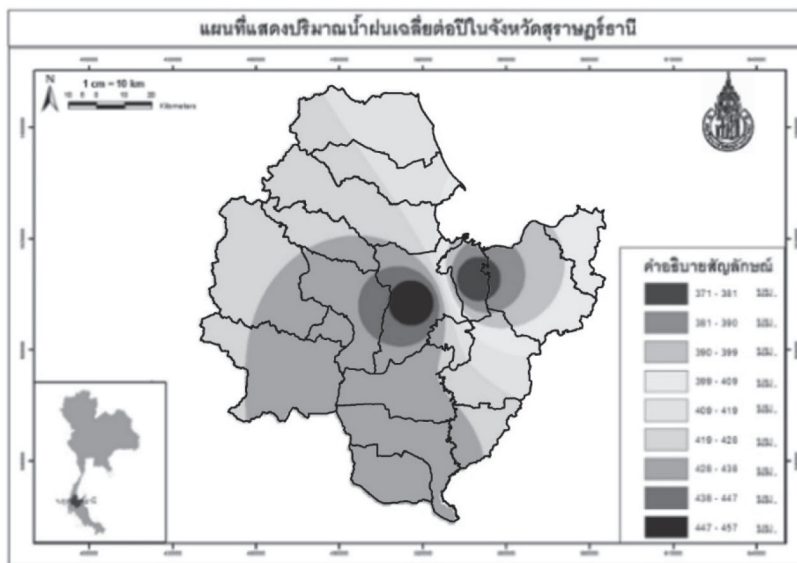


Figure 8 Average Rainfall in Surat Thani Province

ลักษณะดิน (Soil types) ข้อมูลลักษณะดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 27 กลุ่มชุดดิน โดยแยกเป็นประเภทของกลุ่มชุดดินเดี่ยว 58 หน่วย เป็นเนื้อที่เบ็ดเตล็ด 11 หน่วย

มีเนื้อที่ประมาณ 505,313 ไร่ หรือร้อยละ 6.18 ของเนื้อที่ทั้งหมด แสดงใน Figure 9

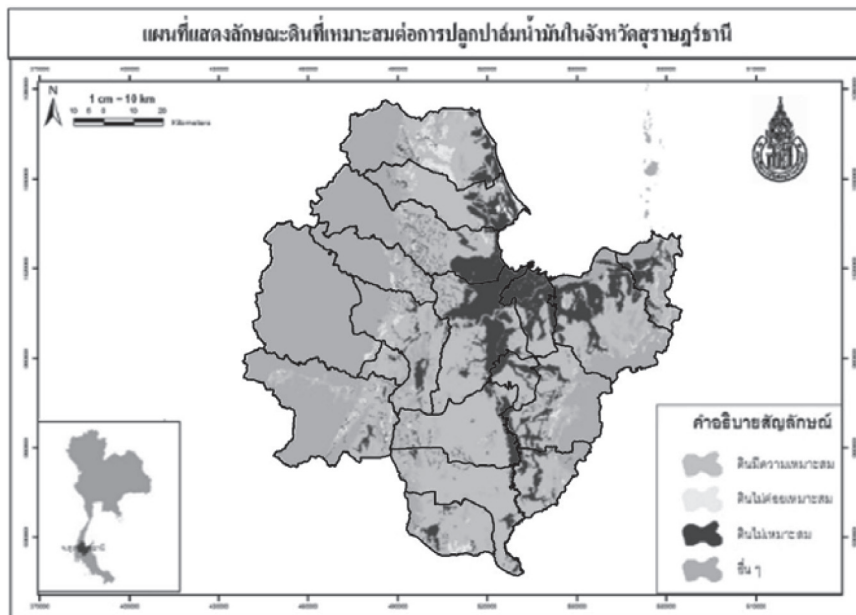


Figure 9 Soil types Map in Surat Thani Province

ความลาดชันของพื้นที่ (Slope) เป็นการคำนวณ อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงจากเซลล์หนึ่งไปยังเซลล์ที่

มีความใกล้เคียงกัน โดยค่าข้อมูลหน่วยจะเป็นองศา จากการ คำนวณความลาดชัน แสดงดัง Figure 10

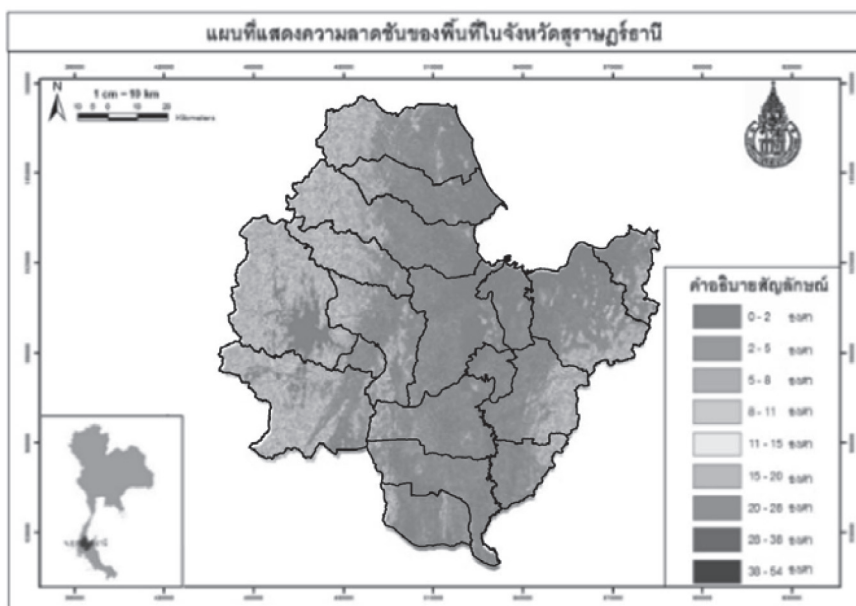


Figure 10 Slope Map in Surat Thani Province

ความลึกของดิน (Soil Depth) ข้อมูลความลึกของ ดินในจังหวัดสุราษฎร์ธานีสามารถจำแนกความลึกของดินได้ 7 กลุ่ม ได้แก่ ตั้งแต่ชั้นลูกรัง ต้นถึงชั้นหินพื้น ลึกปานกลางถึง

ดินเลน ลึกปานกลางถึงหินพื้น ลึก ลึกมาก และอื่น ๆ แสดง ใน Figure 11

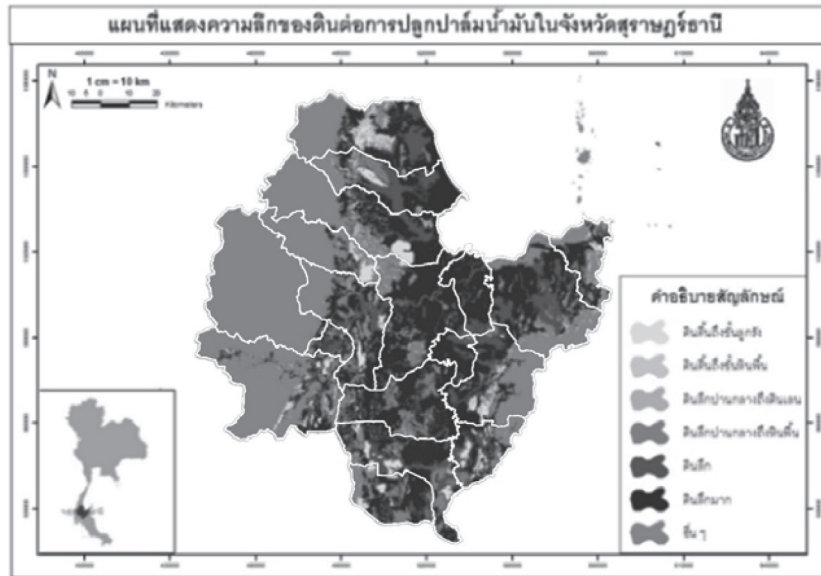


Figure 11 Soil Depth Map in Surat Thani Province

ความสามารถในการระบายน้ำของดิน (Soil Drainage Capability) ในงานวิจัยนี้แบ่งลักษณะการระบายน้ำของดินออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ดินมีการระบายน้ำดี ดินมี

การระบายน้ำดีปานกลาง ดินระบายน้ำไม่ดี และอื่น ๆ แสดงใน Figure 12

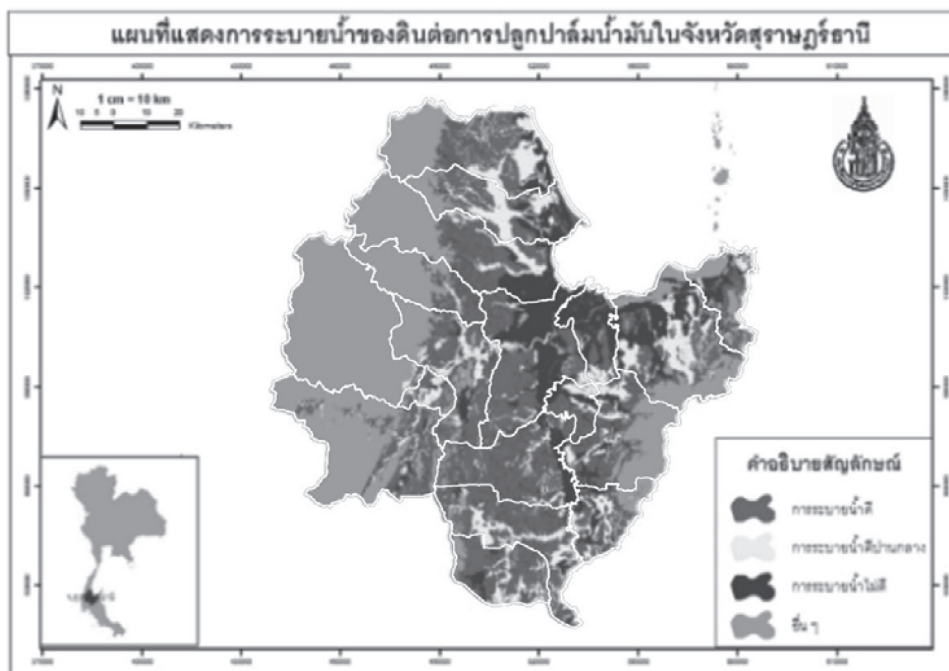


Figure 12 Soil Drainage Capability Map in Surat Thani Province

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) สำหรับข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ (Temperature) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้เทคนิคการประมาณค่าในช่วงโดยใช้เทคนิค IDW

เพื่อให้มีข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ครบถ้วนในทุกพื้นที่ แสดงผลลัพธ์ดัง Figure 13 และ 14

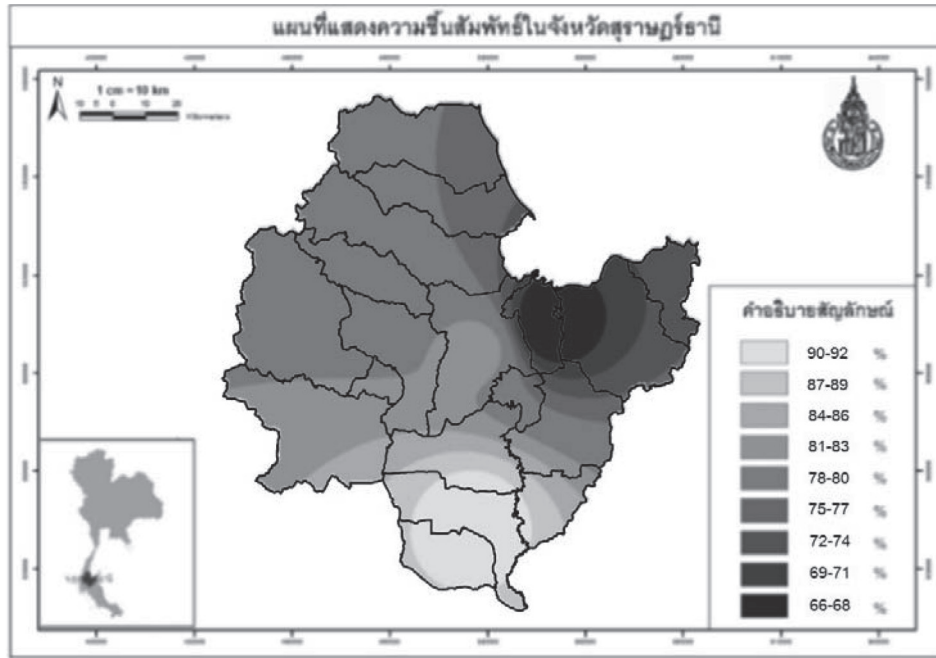


Figure 13 Relative humidity Map in Surat Thani Province

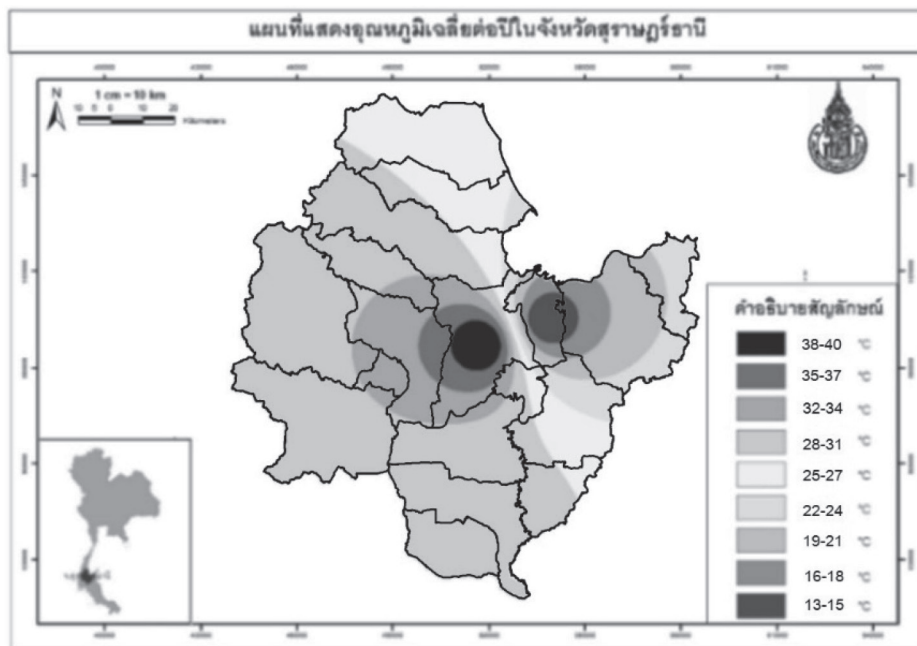


Figure 14 Temperature Map in Surat Thani Province

โดยงานวิจัยนี้ใช้เทคนิค WLC ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันจากเกณฑ์ค่าคะแนนที่ได้จากการจัดระดับชั้นของข้อมูลแต่ละปัจจัย (Rating) มาใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับค่าน้ำหนักปัจจัยที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญและกลุ่มเกษตรกรโดยใช้เทคนิค AHP สำหรับเกณฑ์ในการแบ่งของ WLC แสดงใน Table 1 โดยส่วนที่ต่างกันระหว่าง

ผู้เชี่ยวชาญและเกษตรกร คือ ค่าน้ำหนักที่ได้จากวิธีการคำนวณระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย (Weighting) ส่วนค่าคะแนนจากการจัดระดับชั้นข้อมูลเหมือนกัน โดยวิธีการ WLC จะนำค่า Rating คูณด้วย Weighting ของแต่ละปัจจัยแล้วหาผลรวม หลังจากนั้นในการวิเคราะห์ระดับความเหมาะสม ใช้วิธีการแบ่งเป็นอันตรภาคชั้น จำนวน 4 ชั้น

Table 1 Factors that affect to product of Oil-Palm using WLC technique.

| Factor | Data Value | Rating | Weighting |
|-----------------|------------------------|--------|--|
| Road | < 500 m | 9 | Calculated by AHP (Expert and Agriculturist) |
| | 501 – 1,000 m | 8 | |
| | 1,001 – 1,500 m | 7 | |
| | > 1,500 m | 6 | |
| Water resources | < 500 m | 9 | |
| | 501 – 1,000 m | 8 | |
| | 1,001 – 1,500 m | 7 | |
| | 1,501 – 2,000 m | 6 | |
| | > 2,000 m | 5 | |
| Elevation | < 202 ft | 9 | |
| | 202 – 567 ft | 8 | |
| | > 567 ft | 7 | |
| Rainfall | > 447 mm | 9 | |
| | 438 – 447 mm | 8 | |
| | 428 – 438 mm | 7 | |
| | 419 – 428 mm | 6 | |
| | 409 – 419 mm | 5 | |
| | 399 – 409 mm | 4 | |
| | 390 – 399 mm | 3 | |
| | 381 – 390 mm | 2 | |
| | < 381 mm | 1 | |
| Soil types | Loam | 9 | |
| | Clay | 8 | |
| | Sand | 7 | |
| | Others | 6 | |
| Slope | < 2 deg | 9 | |
| | 2 – 5 deg | 8 | |
| | 5 – 8 deg | 7 | |
| | 8 – 11 deg | 6 | |
| | 11 – 15 deg | 5 | |
| | 15 – 20 deg | 4 | |
| | 20 – 28 deg | 3 | |
| | 28 – 38 deg | 2 | |
| | > 38 deg | 1 | |
| Soil Depth | Very deep | 9 | |
| | Deep | 8 | |
| | Moderately deep | 7 | |
| | Moderately deep (Clay) | 6 | |
| | Shallow | 5 | |
| | Very shallow | 4 | |
| | Others | 3 | |

Table 1 Factors that affect to product of Oil-Palm using WLC technique. (continue)

| Factor | Data Value | Rating | Weighting |
|--------------------------|------------|--------|--|
| Soil Drainage Capability | Good | 9 | Calculated by AHP (Expert and Agriculturist) |
| | Moderate | 8 | |
| | Bad | 7 | |
| | Others | 6 | |
| Relative humidity | > 90 % | 9 | |
| | 87 – 89 % | 8 | |
| | 84 – 86 % | 7 | |
| | 81 – 83 % | 6 | |
| | 78 – 80 % | 5 | |
| | 75 – 77 % | 4 | |
| | 72 – 74 % | 3 | |
| | 69 – 71 % | 2 | |
| Temperature | < 69 % | 1 | |
| | > 38 °C | 9 | |
| | 35 – 37 °C | 8 | |
| | 32 – 34 °C | 7 | |
| | 28 – 31 °C | 6 | |
| | 25 – 27 °C | 5 | |
| | 22 – 24 °C | 4 | |
| | 19 – 21 °C | 3 | |
| 16 – 18 °C | 2 | | |
| | < 15 °C | 1 | |

ผลการวิเคราะห์

การประยุกต์ใช้เทคนิคต่างๆ เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานี แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ วิธีกระบวนการจัดลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ และสมการเชิงเส้นถ่วงน้ำหนัก การดำเนินการวิจัยวิธีกระบวนการจัดลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ มีการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการให้คะแนนในแต่ละปัจจัย โดยการตอบแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญ 15 ท่าน ซึ่งมีความรู้ความชำนาญเกี่ยวกับการเกษตร และเกษตรกร 15 ท่าน ซึ่งมีความรู้และความชำนาญในการปลูกปาล์มน้ำมัน โดยหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการ

เลือกผู้เชี่ยวชาญ คือ กลุ่มเกษตรกรอำเภอ และผู้ทรงคุณวุฒิสาขาเกษตร ส่วนหลักเกณฑ์ในการเลือกเกษตรกร คือ เลือกโดยใช้เกณฑ์ว่าเกษตรกรจะต้องเป็นเจ้าของสวนปาล์มน้ำมันที่ได้รับผลผลิตแล้ว โดยปาล์มน้ำมันมีอายุอย่างน้อย 10 ปี จากการศึกษาข้อมูลด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมัน ในจังหวัดสุราษฎร์ธานีของผู้เชี่ยวชาญ และเกษตรกรให้ความถูกต้องแม่นยำ แต่ผลที่ได้รับอาจจะมีส่วนที่แตกต่างกัน แสดงผลการวิเคราะห์ระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมัน ดัง Figure 15-17

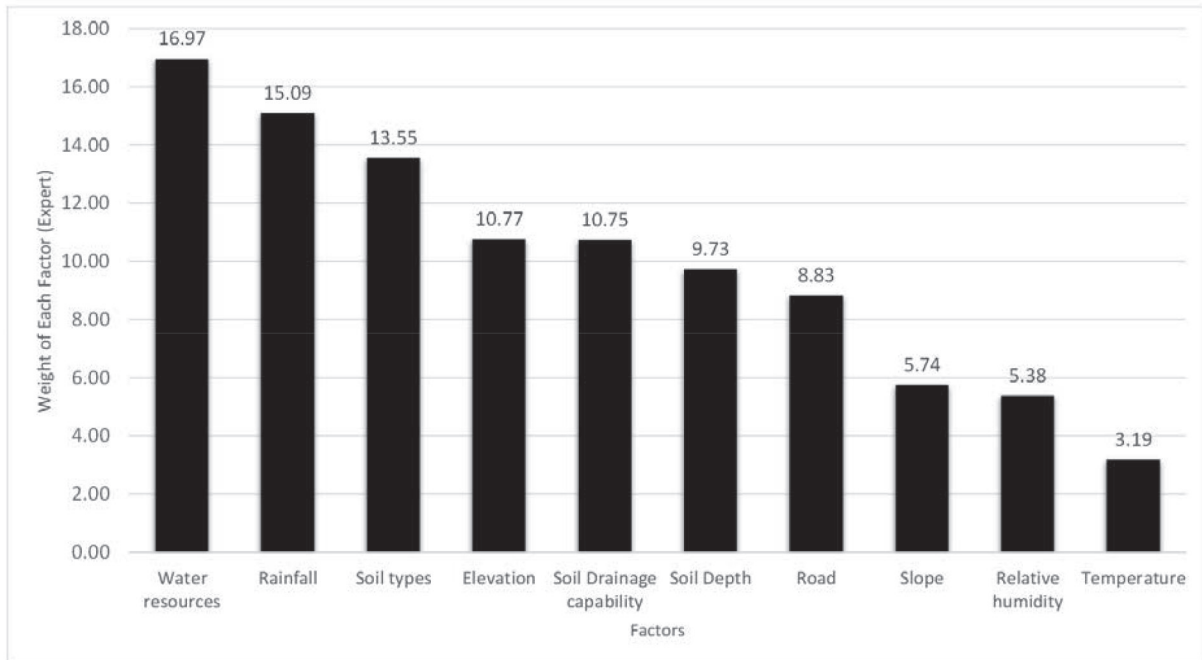


Figure 15 Priority factors that affect to product of Oil-Palm using AHP technique (Agriculturist)

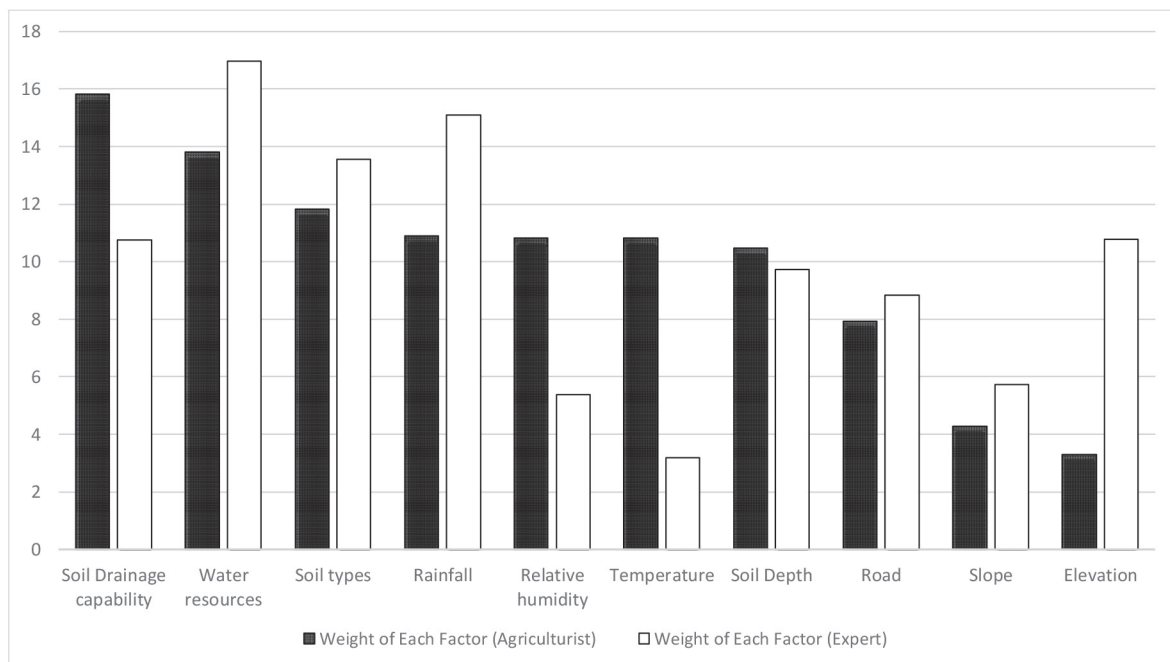


Figure 16 Priority factors that affect to product of Oil-Palm using AHP technique (Expert)

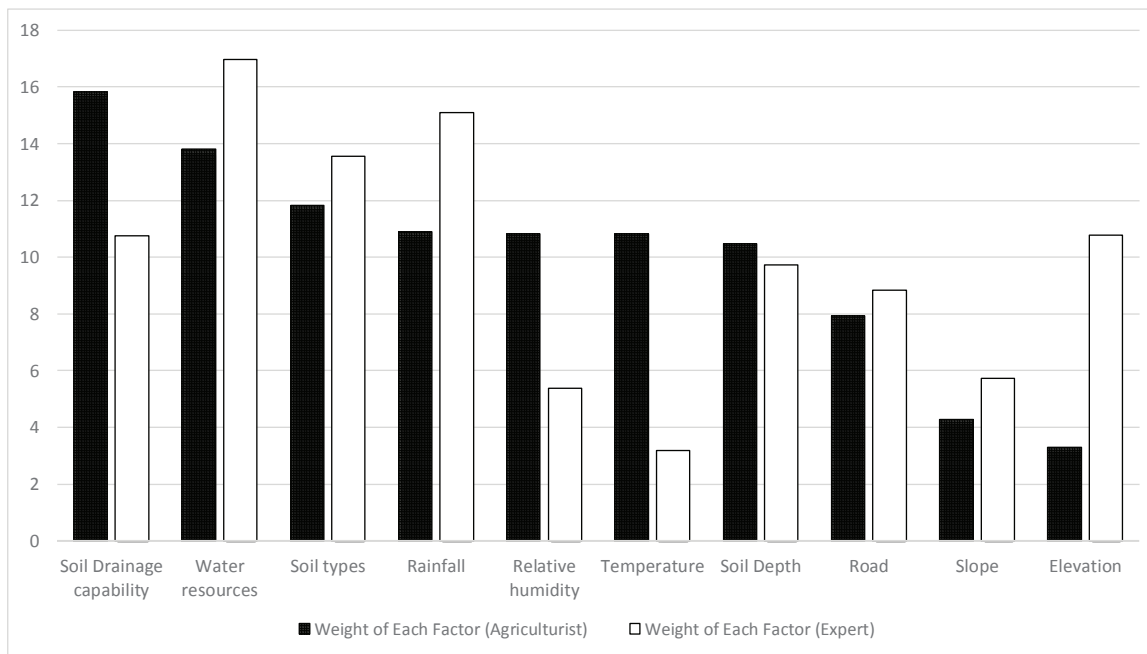


Figure 17 Comparison of priority factors that affect to product of Oil-Palm using AHP technique between Agriculturist and Expert

การดำเนินการวิจัยวิธีสมการเชิงเส้นถ่วงน้ำหนักจากการประเมินสมการเชิงเส้นถ่วงน้ำหนักของเกษตรกรในจังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่าพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดในการเพาะปลูก (สีดำ) ของพื้นที่ทั้งหมดพบกระจายตัวอยู่บริเวณอำเภอพระแสง อำเภอเวียงสระ อำเภอชัยบุรี อำเภอเคียนซา อำเภอนาขาม อำเภอนาดี พบบริเวณอำเภอบ้านนาเดิม อำเภอพุนพิน อำเภอท่าฉาง อำเภอกาญจนดิษฐ์ มีพื้นที่เหมาะสมเพาะปลูกปานกลาง (สีเทา) พบบริเวณพื้นที่อำเภอตาชุน อำเภอนาสาร อำเภอพนม พื้นที่ที่ไม่เหมาะสมในการเพาะปลูก (สีเทาเข้ม) พื้นที่อื่น ๆ (สีเทาอ่อน) เป็นพื้นที่ที่ไม่สามารถทราบได้ว่าเป็นกลุ่มดินชนิดใด เช่น พื้นที่เกาะ พื้นที่บ่อ พื้นที่ตัดแปลง ดัง Figure 18

จากการประเมินสมการเชิงเส้นถ่วงน้ำหนักของผู้เชี่ยวชาญในจังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่าพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดในการเพาะปลูก (สีดำ) ของพื้นที่ทั้งหมดพบกระจายตัวอยู่บริเวณ อำเภอพระแสง อำเภอเวียงสระ อำเภอชัยบุรี อำเภอท่าชนะ อำเภอวิภาวดี อำเภอดอนสัก พบบริเวณอำเภอบ้านนาเดิม อำเภอพุนพิน อำเภอท่าฉาง อำเภอเคียนซา

อำเภอกาญจนดิษฐ์ อำเภอเมือง มีพื้นที่เหมาะสมเพาะปลูกปานกลาง (สีเทา) พบบริเวณพื้นที่อำเภอตาชุน อำเภอนาสาร อำเภอพนม พื้นที่ที่ไม่เหมาะสมในการเพาะปลูก (สีเทาเข้ม) พื้นที่อื่น ๆ (สีเทาอ่อน) เป็นพื้นที่ที่ไม่สามารถทราบได้ว่าเป็นกลุ่มดินชนิดใด เช่น พื้นที่เกาะ พื้นที่บ่อ พื้นที่ตัดแปลง ดัง Figure 19 สำหรับค่าคะแนนที่ใช้ในการแบ่งอันดับราคาชั้นเพื่อจัดระดับความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันใน Figure 18 ของกลุ่มเกษตรกร คือ ระดับเหมาะสมมากมีค่าคะแนนรวมมากกว่า 715 คะแนน ส่วนระดับเหมาะสมปานกลางค่าคะแนนรวมอยู่ระหว่าง 532 – 715 คะแนน ระดับไม่เหมาะสมมีค่าคะแนนรวมอยู่ระหว่าง 366 ถึง 531 และพื้นที่อื่น ๆ มีค่าคะแนนรวมน้อยกว่า 366 สำหรับค่าคะแนนที่ใช้ใน Figure 19 ของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญคือ ระดับเหมาะสมมากมีค่าคะแนนรวมมากกว่า 717 คะแนน ส่วนระดับเหมาะสมปานกลางค่าคะแนนรวมอยู่ระหว่าง 536 – 717 คะแนน ระดับไม่เหมาะสมมีค่าคะแนนรวมอยู่ระหว่าง 356 ถึง 535 และพื้นที่อื่น ๆ มีค่าคะแนนรวมน้อยกว่า 356

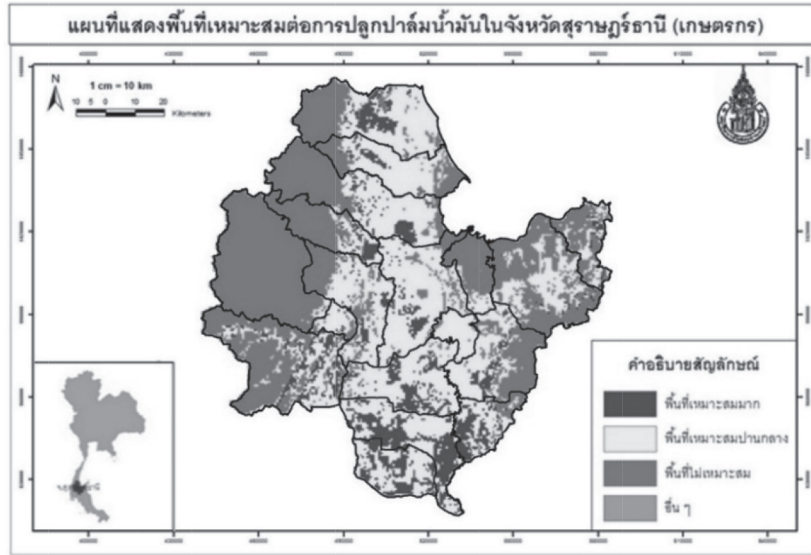


Figure 18 Oil-Palm Plantation Suitability Map in Surat Thani Province (Agriculturist)

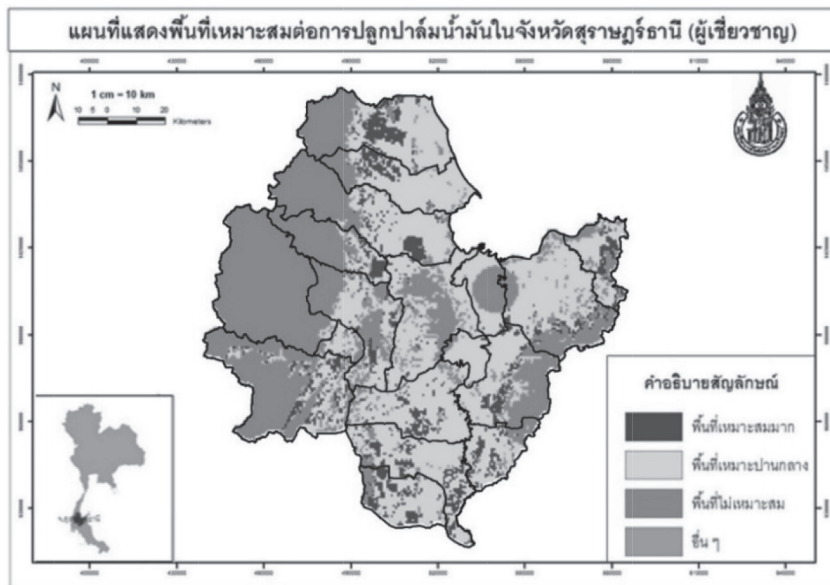


Figure 19 Oil-Palm Plantation Suitability Map in Surat Thani Province (Expert)

การวิเคราะห์และลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยพิจารณาจากปัจจัยทั้งหมด 10 ปัจจัย ได้แก่ ถนน แหล่งน้ำ ความสูงจากระดับน้ำทะเล ปริมาณน้ำฝน ลักษณะดิน ความลึกของดิน ความสามารถในการระบายน้ำของดิน ความลาดชันของพื้นที่ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ โดยนำแต่ละปัจจัยทำแบบสอบถามให้ผู้เชี่ยวชาญและเกษตรกรให้ค่าน้ำหนักคะแนน นำมาซ้อนทับกัน ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยค่าน้ำหนักของผู้เชี่ยวชาญที่ค่าน้ำหนักมากที่สุดคือ แหล่งน้ำ ปริมาณน้ำฝน ลักษณะดิน ความสูงจากระดับน้ำทะเล การระบายน้ำของดิน ความลึกของดิน ถนน ความลาดชันของพื้นที่ ความชื้น

อุณหภูมิ โดยมีค่าน้ำหนักของปัจจัยเท่ากับ 16.97, 15.09, 13.55, 10.77, 10.75, 9.73, 8.83, 5.74, 5.38 และ 3.19 ตามลำดับ ผลของเกษตรกรที่มีค่าน้ำหนักมากที่สุดคือ การระบายน้ำของดิน แหล่งน้ำ ลักษณะดิน ปริมาณน้ำฝน ความชื้นกับอุณหภูมิมีค่าน้ำหนักเท่ากัน ความลึกของดิน ถนน ความลาดชันของพื้นที่ และความสูงจากระดับน้ำทะเล มีค่าน้ำหนักของปัจจัยเท่ากับ 15.82, 13.82, 11.82, 10.90, 10.81, 10.48, 7.92, 4.29 และ 3.31 ซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบระดับความสำคัญของการให้ค่าน้ำหนักปัจจัยระหว่างกลุ่มเกษตรกรและผู้เชี่ยวชาญแสดงผลใน Figure 17 จากรูปดังกล่าวพบว่าปัจจัยที่มีค่าน้ำหนักอยู่ในระดับสูงทั้งจากกลุ่มเกษตรกรและผู้เชี่ยวชาญ

ได้แก่ การระบายน้ำของดิน ลักษณะดิน แหล่งน้ำ ปริมาณฝน ความลึกของดิน และถนน ส่วนปัจจัยที่กลุ่มเกษตรกรและผู้เชี่ยวชาญให้ค่าน้ำหนักปัจจัยแตกต่างกันประกอบด้วย ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความชื้น และระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล และจากการวิเคราะห์พบว่า การวิเคราะห์ปัจจัยและความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตสำหรับจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีปัจจัยที่ควรใช้ในการพิจารณาประกอบด้วย 5 ปัจจัย ได้แก่ การระบายน้ำของดิน ลักษณะดิน แหล่งน้ำ ปริมาณฝน และความลึกของดิน อย่างไรก็ตามปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความชื้น และระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล ยังคงมีความสำคัญกรณีที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์ในพื้นที่ที่มีลักษณะทางกายภาพของพื้นที่แตกต่างจากจังหวัดสุราษฎร์ธานีหรือกรณีที่มีลักษณะทางกายภาพของพื้นที่นั้นมีความหลากหลายหรือแตกต่างระหว่างแต่ละพื้นที่ เช่น ระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมหรือเอื้อต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันมีค่าอยู่ที่ระดับมากกว่า 75% เมื่อพิจารณาข้อมูลระดับความชื้นสัมพัทธ์ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มากกว่า 80% ของพื้นที่ทั้งหมดในจังหวัดมีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 75% ดังนั้นการใช้ปัจจัยดังกล่าวในการพิจารณาปัจจัยที่เหมาะสมที่มีผลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันจึงทำให้แต่ละพื้นที่ไม่แตกต่างกันมาก แต่ถ้าพิจารณาระดับความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่อื่น ๆ เช่น พื้นที่บริเวณภาคเหนือซึ่งมีระดับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยประมาณ 74% แต่ทั้งนี้ในแต่ละจังหวัดหรือแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน เช่น จังหวัดตากมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 66 แต่จังหวัดแพร่มีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 76 จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าในหลายพื้นที่มีข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกันจึงทำให้มีผลต่อการนำไปพิจารณาวิเคราะห์ความเหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันร่วมกับปัจจัยอื่น ๆ เช่นเดียวกันกับปัจจัยอุณหภูมิที่มีผลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันเพราะปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ต้องอาศัยอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ เจริญเติบโตและให้ผลผลิตปริมาณมาก โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 22 ถึง 32 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อพัฒนาการการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันทำให้ได้รับผลผลิตล่าช้าและปริมาณผลผลิตน้อย ดังนั้นในการวิเคราะห์หรือพิจารณาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและต่อผลผลิตจำเป็นต้องมีการพิจารณาปัจจัยดังกล่าวร่วมด้วย เมื่อนำข้อมูลปัจจัยมาซ้อนทับกันจะได้ผลความเหมาะสม 4 ระดับ ได้แก่ พื้นที่ที่เหมาะสมมาก พื้นที่ที่เหมาะสมปานกลาง พื้นที่ที่เหมาะสมน้อยหรือไม่เหมาะสม และอื่น ๆ ผลการศึกษาพบว่า อำเภอที่ให้ผลผลิตมากที่สุดคือ อำเภอพระแสง อำเภอพุนพิน อำเภอท่าชนะ

อำเภอชัยบุรี อำเภอกาญจนดิษฐ์ อำเภอคีรีรัฐนิคม อำเภอเคียนซา อำเภอท่าฉาง อำเภอพนม อำเภอไชยา อำเภอดอนสัก อำเภอเมือง อำเภอเวียงสระ ตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่อื่น ๆ ได้ โดยที่เกษตรกรสามารถใช้หลักการค่าน้ำหนักปัจจัยดังกล่าวเป็นแนวทางในการตัดสินใจในการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน ซึ่งพื้นที่ที่มีชั้นหน้าดินลึก ความอุดมสมบูรณ์สูงถึงปานกลาง มีลักษณะดินร่วน ดินร่วนปนดินเหนียว ดินเหนียว เนื้อดินไม่ควรเป็นทรายจัด ไม่มีชั้นลูกรัง หรือชั้นดินดานสูงมากกว่า 0.50 เมตร มีการระบายน้ำดีถึงปานกลาง น้ำไม่แห้งชงนาน มีระดับน้ำใต้ดินต้นความลาดเอียง 50 - 60 องศา ควรอยู่ในเขตที่มีปริมาณน้ำฝนที่ 428 - 438 มิลลิเมตร อยู่ใกล้กับแหล่งน้ำ มีอุณหภูมิ 22 - 32 องศาเซลเซียส รวมถึงความชื้นสัมพัทธ์ไม่ต่ำกว่า 75 % ควรมีความสูงอยู่ในระดับปานกลางไม่สูงมาก มีความเหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุด อย่างไรก็ตามการเจริญเติบโตยังขึ้นอยู่กับดูแลและบำรุงรักษาเพื่อให้ได้ผลผลิตในปริมาณมาก การคัดเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการปลูกปาล์มน้ำมันมีความสำคัญเนื่องจากการปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่เหมาะสมจะช่วยให้เกษตรกรสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ในระยะเวลาที่กำหนด

สรุปผลการศึกษา

จากผลการวิเคราะห์และลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยใช้เทคนิค AHP ในการหาค่าความสำคัญของแต่ละปัจจัยเพื่อนำไปใช้ร่วมกับวิธีการ WLC ในการวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมัน โดยใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ของแต่ละปัจจัยผลลัพธ์ที่ได้แสดงผลอยู่ในรูปแบบของข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ทำให้สามารถระบุได้ว่าพื้นที่ใดมีความเหมาะสมอยู่ในระดับใด ผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ มีความสอดคล้องกับปริมาณผลผลิตในพื้นที่จริง แสดงให้เห็นว่าสามารถนำวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ในพื้นที่อื่น ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนหรือประกอบการพิจารณาในการตัดสินใจหรือการส่งเสริมจากรัฐต่อการเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมันสามารถประเมินเบื้องต้นถึงผลผลิตที่คาดว่าจะได้รับการตัดสินใจเลือกพื้นที่ในการปลูก อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ความเหมาะสมก่อนปลูกพืชชนิดอื่น ๆ ได้อีกด้วย โดยมีข้อเสนอแนะหรือข้อควรพิจารณาในการนำไปวิเคราะห์ในพื้นที่อื่น ๆ คือ ถ้าพื้นที่ที่ต้องการวิเคราะห์มี

ลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับจังหวัดสุราษฎร์ธานี สามารถใช้ 5 ปัจจัยในการวิเคราะห์ แต่ถ้าหากลักษณะทางกายภาพของพื้นที่แตกต่างออกไป ควรใช้ทั้ง 10 ปัจจัยในการพิจารณา เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

สำหรับงานวิจัยในอนาคตควรศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมัน เช่น พันธุ์ปาล์มน้ำมันที่ปลูกในแต่ละพื้นที่ ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในแต่ละพื้นที่ ความถี่ของการให้ปุ๋ย อายุของต้นปาล์ม การใช้จ่ายปราบศัตรูพืชหรือการกำจัดวัชพืช เป็นต้น ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ นอกจากนี้ ควรเพิ่มสถานีตรวจวัดอากาศให้กระจายครอบคลุมพื้นที่อย่างทั่วถึง เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ได้โดยมีความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (ภาคใต้) สำหรับข้อมูลปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 11 สำหรับข้อมูลดิน กรมอุตุนิยมวิทยาสำหรับข้อมูลปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ และขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี สำหรับทุนสนับสนุนโครงการนักศึกษา

เอกสารอ้างอิง

1. Agricultural Research Development Agency Public Organization. Oil palm plantation in Thailand. Available from: <http://www.arda.or.th> Accessed 2016, May. 22. 2016.
2. Wikipedia. Surat Thani province. Available from: <https://th.wikipedia.org/wiki/suratthani> Accessed 2016, May. 22. 2016.
3. IPST. Oil palm. Available from: <http://fieldtrip.ipst.ac.th> Accessed 2016, May. 22. 2011.
4. Sanchai Eiamprasert and Jintana Amonsanguansin. Comparison of Spatial Daily Rainfall Amount Interpolation Methods by Using Geographic Information System for Chao-Phra-Ya Watershed. National Institute of Development Administration (NIDA). 2011.
5. Suwat Markin. Oil palm. Available from: <https://jitpisutsukyoy.wordpress.com> Accessed 2016, May. 22. 2013.
6. CE7Plus. Oil palm plantation Factors. Available from: <http://www.ce7plus.com> Accessed 2016, June. 12.

- 2016.
7. Suthep Chutiratphan, Sompong Nilpunt. Utilization of Geographic Information System and Plant Modeling to Study the Potential Area Out of Suitable Land to Extend Oil Palm Plantation Area for Energy Substitution. Department of Land Development. 2010.
8. Suksin Chotisakun, Winaport Kidirat. Oil palm. Department of Agriculture Extension, 2002. P. 21-23.
9. Department of Agriculture Extension. Oil palm plantation suitability. Department of Agriculture Extension. 2011.
10. Suthep Chutiratphan, Sompong Nilpunt. Oil Palm Plantation Area for Energy Substitution. Department of Land Development. 2012.
11. Poonyanuch Ruthirako, Wannaporn Janead and Soraya Suksong. The Application of Geographic Information Systems for the Selection of Para Rubber Production in Khao Chaison, Phatthalung. Hatyai Academic Journal, 2015; 13(1): 13-21.
12. Supaphong Ruthamngong and Wallop Thong-on. The Analysis of Suitable Area in Local Rice Planting in Mueang and Sai Ngam District Kamphaeng Phet Province. The Golden Teak: Humanity and Social Science, 2010; 16(1): 88-102.
13. Saisawan Inthawong and Naruemon Pinniam Chanapaitoon. The Application of Geographic Information System on Soil Nutrient Assessment for Rice Plantation, Case Study: Outhoumphone District, Savannakhet Province, Lao PDR. Thai Journal of Science and Technology, 2016; 5(3): 213-226.
14. Natthapon Kareerat, Supaporn Siriwi, Suwimon Seehanam and Pipat Reungsang Spatial Identification of Suitable Area for Napier Grass Energy Crop Planting in Northeast Region of Thailand. The 9th Thai Student Symposium on Geogrphy and Geo-informatics, Thailand; 2015. P. 1-17.
15. Hamilton, L. S., and Murphy, D. H. Use and management of nipa palm (*Nypa fruticans*, Arecaceae): a review. Economic Botany, 1998; 42(2): 206-213.
16. Nakagoshi, N. GIS-based land suitability assessment for oil palm production in Landak Regency, West Kalimantan. Hikobia, 2011; 16(1): 21-31.

17. Hafizh Prasetia et al., Land Suitability for Smallholder's Oil Palm Plantation in Seruyan Regency, Central Kalimantan, Indonesia. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)*, 2016; 10(5): 21-24.
18. Lam, K. C., Bryant, R. G., and Wainright, J. Application of spatial interpolation method for estimating the spatial variability of rainfall in semiarid New Mexico, USA. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 2015; 6(4): 108.
19. Yang, M. Benchmarking rainfall interpolation over the Netherlands. University of Twente Faculty of Geo-Information and Earth Observation (ITC). 2015.
20. Keblouti, M., Ouerdachi, L., and Boutaghane, H. Spatial interpolation of annual precipitation in Annaba-Algeria-comparison and evaluation of methods. *Energy Procedia*, 2012; 18: 468-475.
21. Tao, T. A. O., Chocat, B., Suiqing, L. I. U., and Kunlun, X. I. N. Uncertainty analysis of interpolation methods in rainfall spatial distribution—a case of small catchment in Lyon. *Journal of Water Resource and Protection*, 2009; 1(02): 136.

การศึกษาคุณภาพของปุ๋ยหมักจากการหมักร่วมระหว่างฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกร

Study on Quality of Compost from Co-fermentation of Rice Straw and Swine Wastewater

พันธ์ทิพย์ กล่อมแจ็ก,¹ ปฐมพร น้อยจันทร์²

Pantip Klomjek,¹ Prathomporn Noychun²

Received: 22 November 2017; Accepted: 30 April 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณภาพปุ๋ยหมักจากการหมักร่วมระหว่างฟางข้าวกับน้ำเสียฟาร์มสุกรในระบบหมักแบบไร้ออกซิเจน อิทธิพลของสัดส่วนการหมักและระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียในระบบต่อคุณภาพปุ๋ยหมัก เพื่อเสนอทางเลือกในการใช้ประโยชน์จากฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกร วางแผนการทดลองแบบ 3x3 Factorial in CRD ทดสอบอิทธิพลของสัดส่วนการหมักระหว่างฟางข้าวกับน้ำเสียที่แตกต่างกัน คือ 1:20, 1:40 และ 1:80 และอิทธิพลของระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียที่ต่างกัน คือ ทุก 2, 3 และ 4 สัปดาห์ ต่อคุณภาพปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักฟางข้าวภายหลังการหมัก 3 เดือน พบมีค่าอินทรีย์วัตถุ (OM) และ C/N ratio ลดลงเมื่อเทียบกับฟางข้าวก่อนหมัก แต่ยังมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ค่า Total N ของปุ๋ยหมักสูงขึ้นและเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากระบบหมักได้รับไนโตรเจนจากน้ำเสียซึ่งช่วยลดค่า C/N ratio ลง และสารอินทรีย์ย่อยสลายได้ดีขึ้น แม้น้ำเสียฟาร์มสุกรจะมีฟอสฟอรัสปะปนอยู่ แต่พบค่า Total P และ Total K ของปุ๋ยหมักลดลงและต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากการใช้ของจุลินทรีย์และถูกชะออกไปกับน้ำเสีย สัดส่วนการหมักส่งผลต่อค่า OM, C/N ratio, EC, Total P, Total K, Cu และ Pb ส่วนการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียส่งผลต่อค่า OM, C/N ratio, pH, Total N, Cd และ Cu ของปุ๋ยหมัก ทั้งนี้ การหมักด้วยสัดส่วนที่ใช้ฟางข้าวปริมาณสูงร่วมกับการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียบ่อยจะทำให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีค่า C/N ratio ต่ำ มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูง และได้ปริมาณปุ๋ยหมักมากขึ้น

คำสำคัญ: ฟางข้าว น้ำเสียฟาร์มสุกร ปุ๋ยอินทรีย์ การหมัก

Abstract

This research investigated quality of compost from co-fermentation of rice straw and swine wastewater in anaerobic digestion system. Influence of fermentation ratio and wastewater feeding interval on the quality of compost were also evaluated to propose option for rice straw and swine wastewater application. 3x3 Factorial in CRD was set up to test influence of fermentation ratio and wastewater feeding interval on the quality of compost. In this study, ratios between rice straw and swine wastewater at 1:20, 1:40 and 1:80 and different wastewater feeding interval at every 2, 3 and 4 weeks on compost quality were tested. After 3 months of fermentation, organic matter (OM) and C/N ratio of rice straw compost were decreasing comparing with raw rice straw. However, OM and C/N ratio of the compost were higher than those of organic fertilizer standard. Total N of the compost was increasing and in criteria of organic fertilizer standard. This was owing to the digestion system received nitrogen from the wastewater which resulted in reduction of C/N ratio and increasing degradation of organic matter. Although swine wastewater contaminated with phosphorus, Total P and Total K of the compost were reducing and lower than those of organic fertilizer standard. This properly

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ² นิสิตปริญญาโท, คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹ Assist Prof., ² Master degree student, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Muang District, Phitsanulok 65000, Thailand.

* Corresponding author; Pantip Klomjek, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Muang District, Phitsanulok 65000, Thailand. pantipk@nu.ac.th

due to phosphorus and potassium were utilized by microorganism and leaching of phosphorus and potassium with discharged wastewater. Fermentation ratio significantly affected on OM, C/N ratio, EC, Total P, Total K, Cu and Pb in the compost. Meanwhile, wastewater feeding interval significantly influenced on OM, C/N ratio, pH, Total N, Cd and Cu in the compost. Fermentation with high proportion of rice straw and changing wastewater frequently provided high volume of compost with low C/N ratio and high phosphorus and potassium.

Keywords: rice straw, swine wastewater, organic fertilizer, fermentation

บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณร้อยละ 20 ของพื้นที่ประเทศ ซึ่งนอกจากผลผลิตข้าวเปลือกแล้ว การปลูกข้าวยังก่อให้เกิดเศษวัสดุประเภทฟางข้าวและตอซังข้าวปริมาณ 42.33 ล้านตัน/ปี¹ ที่ต้องการการจัดการอย่างเหมาะสม ทั้งนี้ การจัดการตอซังและฟางข้าวที่เหลือหลังการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรด้วยวิธีการเผา แม้จะเป็นวิธีที่ง่ายแต่จะทำให้พื้นนาบริเวณที่มีการเผาเกิดการสูญเสียธาตุอาหาร² สูญเสียน้ำในดิน และเกิดการทำลายจุลินทรีย์และแมลงที่เป็นประโยชน์ในดิน นอกจากนี้ การเผาเศษวัสดุทางการเกษตรยังก่อให้เกิดปัญหาหมอกควันและยังเพิ่ม CO₂ ให้กับชั้นบรรยากาศอีกด้วย ทั้งนี้ เกษตรกรบางส่วนได้จัดการเศษวัสดุทางการเกษตรเหล่านี้โดยการไถกลบลงในที่นา แต่อย่างไรก็ตาม หากเศษวัสดุที่ไถกลบนั้นยังไม่สลายตัวอย่างสมบูรณ์ก่อนการเพาะปลูกในรอบถัดไป อาจทำให้ข้าวเกิดโรคมาตอตอซังและก่อผลกระทบต่อเกษตรกรได้ นอกจากนี้ จะพบการนำฟางข้าวไปใช้ประโยชน์ในรูปของอาหารสัตว์ ใช้คลุมดินเพื่อลดการสูญเสียน้ำ การนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล รวมถึงการนำไปหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์

ในการทำปุ๋ยหมักฟางข้าว นั้น ฟางข้าวจะถูกนำไปหมักร่วมกับวัสดุอื่นเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ เพิ่มปริมาณธาตุอาหารประเภทต่าง ๆ โดยเฉพาะไนโตรเจนให้กับฟางข้าว³ และเพิ่มธาตุอาหารให้กับจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายฟางข้าว ในการหมักฟางข้าวของ Iranzo et al⁴ พบว่าได้ทำการหมักฟางข้าวร่วมกับตะกอนน้ำเสีย โดยใช้ตะกอนน้ำเสียเป็นแหล่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในกระบวนการหมัก ส่วน Li et al⁵ ได้ทำการหมักฟางข้าวกับมูลวัวร่วมกับการเติมออกซิเจน และพบว่ามูลวัวสดส่งผลให้กระบวนการหมักเกิดได้เร็วขึ้นและมีการปลดปล่อยแอมโมเนียน้อยกว่าการใช้มูลวัวเก่า ขณะที่ Qian et al⁶ ได้ทำการหมักฟางข้าวร่วมกับมูลสัตว์เช่นกัน และพบว่าการหมักฟางข้าวร่วมกับมูลสุกรจะทำให้เกิดอัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุสูงกว่าและทำให้การหมักเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในเวลาสั้นกว่าการหมักฟางข้าวร่วมกับมูลวัวเล็กน้อย จะพบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วมูลสัตว์จะถูกนำมาใช้เป็นวัสดุ

หมักร่วมในการหมักปุ๋ยอินทรีย์เนื่องจากมีธาตุอาหารสูงและเกษตรกรสามารถจัดหาได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมูลสัตว์สามารถกักมูลค่าหรือถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยตรงด้วยวิธีการอย่างง่ายภายในระยะเวลาอันสั้นได้หลายประการ เช่น การตากและขายมูลแห้ง หรือการใช้เติมเข้าสู่ระบบก๊าซชีวภาพ เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพิจารณาถึงการใช้น้ำเสียจากการเกษตรในการหมักร่วมกับฟางข้าว

กรมควบคุมมลพิษ⁷ ได้ประเมินปริมาณน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกรประจำปี 2559 ในพื้นที่ 25 ลุ่มน้ำ คิดเป็นปริมาณรวม 284,258.38 m³/day ซึ่งแม้ฟาร์มสุกรบางแห่งจะมีการบำบัดน้ำเสียแต่พบว่าระบบบำบัดบางส่วนไม่สามารถลดปริมาณการปนเปื้อนโดยเฉพาะปริมาณธาตุอาหารในน้ำเสียให้อยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนการระบายน้ำทิ้งนั้นลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ ในขณะที่ฟาร์มสุกรในระดับครัวเรือนจะไม่มระบบบำบัดน้ำเสียแต่จะมีบ่อในการกักเก็บน้ำเสียไว้ซึ่งน้ำเสียฟาร์มสุกรนี้อาจไหลล้นออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกและก่อปัญหาการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืชน้ำเนื่องจากได้รับธาตุอาหารปริมาณมากจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและจะทำให้แหล่งน้ำเกิดการเน่าเสียได้มากที่สุด จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษ⁸ พบน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ร้อยละ 73 ของฟาร์มที่สำรวจทั้งหมด 401 ฟาร์ม ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร โดยพบน้ำเสียบางส่วนมีค่าไนโตรเจนทั้งหมด (TN) สูงกว่า 1,000 mg/L และบางส่วนของค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) สูงถึง 100 mg/L

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าวที่ได้จากการหมักฟางข้าวร่วมกับน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยมีวัตถุประสงค์ในการวิจัย คือ ศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนการหมักระหว่างฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกรและศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียใหม่เข้าสู่ระบบหมักต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าว และเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าวที่ได้กับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ทั้งนี้เพื่อนำเสนอแนวทางในการนำของเสียและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทฟางข้าวและน้ำเสียจากฟาร์มสุกรกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ยอินทรีย์

วัตถุประสงค์และวิธีการศึกษา

แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้วางแผนการทดลองแบบ 3x3 Factorial in CRD โดยศึกษาอิทธิพลของสิ่งทดลองแต่ละประเภทและอิทธิพลร่วมของสิ่งทดลองต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักร่วมระหว่างฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกรในสภาพไร้ออกซิเจน เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักรวม 3 เดือน โดยมีสิ่งทดลองที่ทำการศึกษา 2 ประเภท คือ 1) ศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนการหมักระหว่างฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกรต่อคุณภาพของ ปุ๋ยหมัก ที่สัดส่วนการหมักของฟางข้าวต่อน้ำเสียโดยน้ำหนักที่แตกต่างกัน 3 ตำรับ คือ 1:20, 1:40 และ 1:80 โดยน้ำเสียจะถูกเติมลงสู่ระบบด้วยปริมาตรที่เท่ากันคือ 13.5 L (13,500 g) ส่วนฟางข้าวจะถูกเติมลงสู่ระบบหมักเท่ากับ 675, 337.5 และ 168.75 g ตามลำดับ และ 2) ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการเปลี่ยนน้ำเสียใหม่เข้าสู่ระบบหมักต่อคุณภาพของปุ๋ยหมัก โดยศึกษาที่ระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสีย 3 ระยะ คือ ทุก 2, 3 และ 4 สัปดาห์ ทั้งนี้ Mussoline⁹ ได้แนะนำสัดส่วนการหมักที่เหมาะสมระหว่างฟางข้าวต่อน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเพื่อส่งเสริมปฏิกิริยาการหมักและลดระยะเวลาการปรับตัวของระบบ (Acclimation period) ที่สัดส่วนการหมักขั้นต่ำเท่ากับ 1:1.4 โดยน้ำหนัก ซึ่งการกำหนดสัดส่วนของวัสดุหมักโดยน้ำหนัก จะทำให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้จริงของเกษตรกร

วิเคราะห์อิทธิพลของสิ่งศึกษาแต่ละประเภทและอิทธิพลร่วมของสิ่งทดลองต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าวในแต่ละค่าดัชนี วิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี Two-Way Analysis of Variance และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)¹⁰ โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ระดับ $P < 0.05$

หน่วยทดลองและการดำเนินระบบ

หน่วยทดลองระบบหมัก (Lab scale) สร้าง จากถังบรรจุน้ำดื่มที่ผลิตจากพลาสติก PET ขนาดความสูง 45 cm กว้าง 27 cm ปริมาตรบรรจุน้ำ 20 L มีฝาเปิดด้านบนและมีก๊อกเปิดน้ำด้านล่าง บรรจุกรวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2-4.0 cm ลงในถังจนสูงเหนือ ช่องทางน้ำออก หรือสูง 10 cm เหนือก้นถัง เพื่อกรองของแข็งขณะระบายน้ำเสียออกจากถัง จากนั้นจึงเติมฟางข้าวลงสู่ระบบตามตำรับการหมักที่กำหนดคือสัดส่วนการหมักของฟางข้าวต่อน้ำเสียที่แตกต่างกัน 3 ตำรับ คือ 1:20, 1:40 และ 1:80 โดยน้ำหนักระหว่างดำเนินระบบหมัก ฟางข้าวจะถูกหมักร่วมกับน้ำเสียฟาร์มสุกรในสภาพไร้ออกซิเจนด้วยสัดส่วนการหมักที่ศึกษา และเมื่อถึง

ระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียที่กำหนด น้ำเสียเดิมที่ถูกหมักอยู่ในระบบจะถูกระบายออก จากนั้นจึงนำน้ำเสียใหม่เติมลงสู่ระบบและทำซ้ำเช่นเดิมในรอบถัดไปจนกระทั่งครบระยะเวลาการหมัก 3 เดือน โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายฟางข้าวออกจากระบบ ทั้งนี้ ระบบหมักที่มีรอบการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียทุก 2, 3 และ 4 สัปดาห์ จะมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียรวมทั้งสิ้น 6, 4 และ 3 ครั้ง ตามลำดับ การวิจัยนี้มีหน่วยทดลองในการศึกษาอิทธิพลของแต่ละปัจจัย จำนวน 2 ซ้ำ

การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างฟางข้าวก่อนหมัก และปุ๋ยหมักฟางข้าวภายหลังการหมักเป็นเวลา 3 เดือน จากทุกหน่วยทดลอง ทำการตรวจวัดค่าความชื้น, OM, pH, C/N ratio, Total N, Total P และ Total K ของฟางข้าวก่อนหมัก และตรวจวัดคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าวด้วยดัชนีที่กำหนดสำหรับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามวิธีวิเคราะห์ที่กำหนดในคู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ สำนักวิจัยพัฒนาปุ๋ยและการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร¹¹ โดยวิเคราะห์ค่าความชื้น ด้วยวิธี Oven drying method ด้วยการอบปุ๋ยที่อุณหภูมิ 75 °C จนน้ำหนักคงที่ วิเคราะห์ค่า OM, OC และ C/N ratio ด้วยการย่อยปุ๋ยที่อบแห้งแล้วด้วยกรด H_2SO_4 แล้วออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนด้วยกรดโครมิกที่มากเกินไป จากนั้นไทเทรตกรดโครมิกที่เหลือด้วยสารละลายเฟอร์ริซัลเฟต แล้วคำนวณหา % OC, % OM และ C/N ratio ตรวจวัดค่า pH ของสารละลายปุ๋ยอินทรีย์ที่อัตราส่วนปุ๋ยต่อน้ำ 1:2 ด้วย pH meter วิเคราะห์ค่า Total N ด้วย Kjeldahl method โดยย่อยตัวอย่างปุ๋ยด้วย H_2SO_4 และ Salicylic acid และใช้ Potassium sulfate และ Copper sulfate ในการเร่งปฏิกิริยา ทำให้เป็นต่างด้วย Sodium hydroxide แล้วจึงกลั่นและตกจับในรูปของแอมโมเนียด้วย Boric acid จากนั้นจึงไทเทรตด้วย 0.2 N HCl วิเคราะห์ค่า Total P ด้วยวิธี Spectrophotometric molybdovanadophosphate โดยการย่อยตัวอย่างด้วยกรดผสม $HNO_3:HClO_4$ สัดส่วน 1:1 จากนั้นทำให้เกิดสีด้วย Molybdovanadate reagent แล้วจึงวิเคราะห์ด้วย Spectrophotometer วิเคราะห์ค่า Total K ด้วย Flame photometric method โดยการย่อยตัวอย่างปุ๋ยด้วยกรดผสม $HNO_3:HClO_4$ สัดส่วน 1:1 เติมสารละลาย Suppressor ลงในสารละลายตัวอย่างแล้วจึงนำสารละลายตัวอย่างไปวัดค่าด้วย Flame photometer ทำการวิเคราะห์ค่าโลหะหนัก Cd, Cu, Pb และ Cr ของปุ๋ยด้วยการย่อยตัวอย่างด้วยกรดผสม HCl 15 ml และ HNO_3 5 ml นำสารละลายที่ได้ไปตรวจวัดค่าด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer¹²

เก็บตัวอย่างน้ำเสียฟาร์มสุกรที่เติมลงสู่ระบบหมัก จากทุกรอบของการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสีย ทำการวิเคราะห์ค่า pH, EC, ค่าของแข็งในรูป TDS และ TSS, ค่าสารอินทรีย์ ในรูป BOD₅ และ COD, ค่าไนโตรเจน ในรูป TKN และค่าฟอสฟอรัส ในรูป PO₄³⁻ ทั้งนี้วิธีการเก็บรักษาและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย เป็นไปตามวิธีการที่กำหนดใน Standard method for the examination of water and wastewater¹³

ผลการศึกษา

คุณลักษณะฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ใช้ในระบบหมักร่วม

ฟางข้าวที่ใช้ในการหมักเป็นฟางข้าวหลังเก็บเกี่ยวที่อัดก้อนรอการจำหน่าย ผลการตรวจวัดพบฟางข้าวมีความชื้น, OM, Total N, Total P และ Total K เท่ากับ 5.0, 253.7, 1.14, 0.11 และ 0.89 % ตามลำดับ และมีค่า C/N ratio เท่ากับ 131.1:1

น้ำเสียฟาร์มสุกรที่ใช้ในการหมักเป็นน้ำเสียที่เกิดจากการทำความสะอาดตัวสุกรและการล้างคอกของฟาร์มในระดับครัวเรือนที่ถูกกักพักไว้ในบ่อรวมน้ำเสียโดยไม่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย น้ำเสียมีค่า BOD₅, COD, TSS, TDS, TKN, PO₄³⁻ และ pH ระหว่าง 183-1,724, 250-2,333, 181.0-260.0, 875.0-1,855.0, 87.6-131.5, 50.3-98.2 mg/L และ 7.4-7.7 ตามลำดับ

คุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าวจากการหมักร่วมระหว่างฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกร

ความชื้น, OM, pH, EC, C/N ratio, Total N, Total P, Total K, Cd, Cr, Cu และ Pb ของปุ๋ยหมักฟางข้าวทั้งหมดมีค่าระหว่าง 60.9-75.1 %, 169.3-435.9 %, 5.3-6.8, 0.15-1.12 dS/m, 47.7:1-239.6:1, 1.03-2.22 %, 0.02-0.08 %, 0.10-0.27 %, 0.0-2.0 mg/kg, 8.0-70.0 mg/kg, 16.5-170.5 mg/kg และ 0.0-45.0 mg/kg ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าวก่อนหมัก พบว่าปุ๋ยหมักมีค่าความชื้น และ Total N สูงขึ้น ขณะที่ค่า OM, C/N ratio, Total P และ Total K ลดลง

เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548 พบว่า ปุ๋ยหมักจากทุกลำดับการหมัก มีค่า OM เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือไม่น้อยกว่า 30 % โดยน้ำหนัก แม้จะพบปุ๋ยหมักจากระบบที่มีสัดส่วนการหมักเท่ากับ 1:20 และมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียทุก 4 สัปดาห์ มีค่า pH ค่อนข้างต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม ค่า pH ของปุ๋ยหมักจากทุกลำดับการหมักที่เหลือทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดให้มีความระหว่าง

5.5-8.5 ค่า EC ของปุ๋ยหมักมีค่าต่ำกว่า 6 dS/m ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยเฉพาะเกณฑ์มาตรฐานสำหรับปุ๋ยหมักที่มีมูลสัตว์ผสมอยู่ และค่า EC ของปุ๋ยหมักยังมีค่าต่ำกว่า 3.5 dS/m ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดสำหรับปุ๋ยหมักทั่วไป¹² ปริมาณธาตุอาหาร Total N ของปุ๋ยหมักเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ คือมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.0 % (Table 1) และมีค่าการปนเปื้อน Cd, Cr, Cu และ Pb อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ไม่เกิน 5, 300, 500 และ 500 mg/kg ตามลำดับ (Figure 1) อย่างไรก็ตาม พบว่าปุ๋ยหมักจากทุกลำดับการหมักมีความชื้นสูงเกิน 35 % และมีค่า C/N ratio สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดให้ไม่เกิน 20:1 ขณะที่ค่า Total P และ Total K ของปุ๋ยหมักต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 0.5 % (Table 1)

อิทธิพลของสัดส่วนการหมักต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าว

ผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนการหมักระหว่างฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกรที่แตกต่างกันส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่า OM, pH, EC, C/N ratio, Total N, Total P, Total K, Cu และ Pb ของปุ๋ยหมัก โดยค่า OM, C/N ratio และค่า Pb ของปุ๋ยหมักจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อหมักด้วยตำรับที่มีสัดส่วนของฟางข้าวลดลง ขณะที่ค่า EC, Total P, Total K และ ค่า Cu ของปุ๋ยหมักจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อหมักด้วยตำรับที่มีสัดส่วนของฟางข้าวมากขึ้น ทั้งนี้สัดส่วนการหมักไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าความชื้น, Cd และค่า Cr ของปุ๋ยหมัก (Table 1 และ 2 และ Figure 1)

อิทธิพลของระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าว

ผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียใหม่เข้าสู่ระบบที่แตกต่างกันส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าความชื้น, OM, pH, EC, C/N ratio, Total N, Total P, Total K, Cd, Cr และค่า Cu ของปุ๋ยหมัก โดยค่า OM, C/N ratio, Total K และ Cd ของปุ๋ยหมักจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อรอบของการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียใหม่มีระยะเวลายาวนานขึ้น หรือมีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียลดลง ขณะที่ค่า pH, Total N และ Cu ของปุ๋ยหมักมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อรอบของการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียใหม่มีระยะเวลาดำเนินการหรือมีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียเพิ่มขึ้น (Table 1 และ 2 และ Figure 1) ทั้งนี้ระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียใหม่เข้าสู่ระบบไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่า Pb ของปุ๋ยหมัก

Table 1 Effect of co-fermentation ration and wastewater feeding interval on rice straw compost quality

| Parameters, unit | Co-fermentation ratio of rice straw and swine wastewater (Ratio) ^{1/} | | | |
|---|--|------------------------------|-------------------------------|---------|
| | 1:20 (675 g: 13,500 mL) | 1:40 (337.5 g: 13,500 mL) | 1:80 (168.75 g: 13,500 mL) | |
| OM, % (Organic fertilizer standard \leq 30 % by weight) ^{2/} | | | | Mean** |
| - every 2 wk | 172.18c | 182.49c | 174.62c | 176.42B |
| - every 3 wk | 175.45c | 180.39c | 177.50c | 177.78B |
| - every 4 wk | 183.03c | 209.98b | 430.25a | 274.42A |
| Mean** | 176.89C | 190.95B | 260.79A | |
| Ratio X FI | | | | ** |
| Moisture, % (Organic fertilizer standard \leq 35 %) ^{2/} | | | | Mean* |
| - every 2 wk | 66.47 | 62.98 | 65.72 | 65.05B |
| - every 3 wk | 70.39 | 72.24 | 71.93 | 71.52A |
| - every 4 wk | 68.19 | 64.05 | 69.32 | 67.18AB |
| Mean | 68.35 | 66.42 | 68.99 | |
| Ratio X FI | | | | ns |
| pH (Organic fertilizer standard = 5.5-8.5) ^{2/} | | | | Mean** |
| - every 2 wk | 6.60a | 6.70a | 6.40a | 6.56A |
| - every 3 wk | 6.63a | 6.76a | 6.41a | 6.60A |
| - every 4 wk | 5.60b | 6.27a | 6.53a | 6.12B |
| Mean* | 6.27B | 6.57A | 6.44AB | |
| Ratio X FI | | | | ** |
| EC, dS/m (Organic fertilizer standard \leq 6 dS/m) ^{2/} | | | | Mean** |
| - every 2 wk | 0.44c | 0.22f | 0.25ef | 0.31B |
| - every 3 wk | 0.33d | 0.15g | 0.28e | 0.26C |
| - every 4 wk | 1.11a | 0.85b | 0.26e | 0.74A |
| Mean** | 0.63A | 0.41B | 0.27C | |
| Ratio X FI | | | | ** |
| C/N ratio (Organic fertilizer standard \leq 20:1) ^{2/} | | | | Mean** |
| - every 2 wk | 58.54cd | 49.98d | 50.21d | 52.91C |
| - every 3 wk | 64.95bc | 56.38cd | 64.76bc | 62.03B |
| - every 4 wk | 73.52b | 70.54bc | 234.73a | 126.26A |
| Mean** | 65.67B | 58.96B | 116.57A | |
| Ratio X FI | | | | ** |

^{1/} Means were shown.^{2/} Notification of the Department of Agriculture: Organic Fertilizer Standard B.E. 2548 (1995)* Means followed by the same letter were not significantly different at $P < 0.05$.** Means followed by the same letter were not significantly different at $P < 0.01$.

Table 1 Effect of co-fermentation ration and wastewater feeding interval on rice straw compost quality (continue.)

| Parameters, unit - Wastewater feeding interval (FI) | Co-fermentation ratio of rice straw and swine wastewater (Ratio) ^{1/} | | | | |
|---|--|------------------------------|-------------------------------|---------|----|
| | 1:20 (675 g: 13,500 mL) | 1:40 (337.5 g: 13,500 mL) | 1:80 (168.75 g: 13,500 mL) | | |
| Total N, % (Organic fertilizer standard \geq 1.0 % by weight) ^{2/} | | | | Mean** | |
| - every 2 wk | 1.71bc | 2.13a | 2.03a | 1.95A | |
| - every 3 wk | 1.58bc | 1.86ab | 1.59bc | 1.68B | |
| - every 4 wk | 1.45c | 1.73bc | 1.07d | 1.41C | |
| Mean** | 1.58B | 1.90A | 1.56B | | |
| Ratio X FI | | | | | ** |
| Total P ₂ O ₅ , % (Organic fertilizer standard \geq 0.5 % by weight) ^{2/} | | | | Mean** | |
| - every 2 wk | 0.077a | 0.038c | 0.032c | 0.049A | |
| - every 3 wk | 0.055b | 0.030c | 0.029c | 0.038B | |
| - every 4 wk | 0.055b | 0.057b | 0.028c | 0.047AB | |
| Mean** | 0.062A | 0.042B | 0.030C | | |
| Ratio X FI | | | | | ** |
| Total K ₂ O, % (Organic fertilizer standard \geq 0.5 % by weight) ^{2/} | | | | Mean* | |
| - every 2 wk | 0.26a | 0.12c | 0.16bc | 0.18AB | |
| - every 3 wk | 0.15bc | 0.15bc | 0.15bc | 0.15B | |
| - every 4 wk | 0.24ab | 0.20abc | 0.15bc | 0.19A | |
| Mean** | 0.22A | 0.16B | 0.15B | | |
| Ratio X FI | | | | | ** |

^{1/} Means were shown.^{2/} Notification of the Department of Agriculture: Organic Fertilizer Standard B.E. 2548 (1995)* Means followed by the same letter were not significantly different at $P < 0.05$.** Means followed by the same letter were not significantly different at $P < 0.01$.**Table 2** Main effect and interaction effect of co-fermentation ration and wastewater feeding interval on rice straw compost quality

| Parameters of compost quality | Source | SS | df | MS | F | p |
|-------------------------------|----------------------------------|----------|----|----------|--------|------|
| OM | Co-fermentation ratio (Ratio) | 24229.60 | 2 | 12114.80 | 254.27 | .000 |
| | Wastewater feeding interval (FI) | 37886.30 | 2 | 18943.15 | 397.58 | .000 |
| | Ratio*FI | 49488.24 | 4 | 12372.06 | 259.67 | .000 |
| | Error | 428.81 | 9 | 47.65 | | |
| Moisture | Co-fermentation ratio (Ratio) | 21.37 | 2 | 10.68 | .773 | .490 |
| | Wastewater feeding interval (FI) | 130.31 | 2 | 65.15 | 4.71 | .040 |
| | Ratio*FI | 26.78 | 4 | 6.69 | .484 | .747 |
| | Error | 124.42 | 9 | 13.82 | | |

Table 2 Main effect and interaction effect of co-fermentation ration and wastewater feeding interval on rice straw compost quality (continue.)

| Parameters of compost quality | Source | SS | df | MS | F | p |
|-------------------------------------|----------------------------------|----------|----|----------|---------|------|
| pH | Co-fermentation ratio (Ratio) | .272 | 2 | .136 | 4.59 | .042 |
| | Wastewater feeding interval (FI) | .814 | 2 | .407 | 13.74 | .002 |
| | Ratio*FI | .863 | 4 | .216 | 7.28 | .007 |
| | Error | .267 | 9 | .030 | | |
| EC | Co-fermentation ratio (Ratio) | .401 | 2 | .201 | 1786.91 | .000 |
| | Wastewater feeding interval (FI) | .852 | 2 | .426 | 3793.98 | .000 |
| | Ratio*FI | .458 | 4 | .114 | 1019.41 | .000 |
| | Error | .001 | 9 | .000 | | |
| C/N ratio | Co-fermentation ratio (Ratio) | 11907.35 | 2 | 5953.67 | 348.73 | .000 |
| | Wastewater feeding interval (FI) | 19179.61 | 2 | 9589.81 | 561.71 | .000 |
| | Ratio*FI | 23589.54 | 4 | 5897.38 | 345.43 | .000 |
| | Error | 153.65 | 9 | 17.07 | | |
| Total N | Co-fermentation ratio (Ratio) | .446 | 2 | .223 | 32.88 | .000 |
| | Wastewater feeding interval (FI) | .875 | 2 | .437 | 64.55 | .000 |
| | Ratio*FI | .283 | 4 | .071 | 10.42 | .002 |
| | Error | .061 | 9 | .007 | | |
| Total P ₂ O ₅ | Co-fermentation ratio (Ratio) | .003 | 2 | .002 | 68.76 | .000 |
| | Wastewater feeding interval (FI) | .000 | 2 | .000 | 8.03 | .010 |
| | Ratio*FI | .001 | 4 | .000 | 10.71 | .002 |
| | Error | .000 | 9 | .00002 | | |
| Total K ₂ O | Co-fermentation ratio (Ratio) | .041 | 18 | | | |
| | Wastewater feeding interval (FI) | .006 | 2 | .003 | 4.525 | .044 |
| | Ratio*FI | .013 | 4 | .003 | 4.975 | .022 |
| | Error | .006 | 9 | .001 | | |
| Cd | Co-fermentation ratio (Ratio) | .250 | 2 | .125 | .750 | .500 |
| | Wastewater feeding interval (FI) | 7.58 | 2 | 3.79 | 22.75 | .000 |
| | Ratio*FI | .167 | 4 | .042 | .250 | .903 |
| | Error | 1.500 | 9 | .167 | | |
| Cr | Co-fermentation ratio (Ratio) | 214.33 | 2 | 107.17 | 1.14 | .364 |
| | Wastewater feeding interval (FI) | 1344.33 | 2 | 672.17 | 7.12 | .014 |
| | Ratio*FI | 666.83 | 4 | 166.71 | 1.77 | .220 |
| | Error | 850.00 | 9 | 94.44 | | |
| Cu | Co-fermentation ratio (Ratio) | 30287.69 | 2 | 15143.85 | 428.10 | .000 |
| | Wastewater feeding interval (FI) | 10256.69 | 2 | 5128.35 | 144.97 | .000 |
| | Ratio*FI | 544.31 | 4 | 136.08 | 3.85 | .043 |
| | Error | 318.38 | 9 | 35.38 | | |

Table 2 Main effect and interaction effect of co-fermentation ration and wastewater feeding interval on rice straw compost quality (continue.)

| Parameters of compost quality | Source | SS | df | MS | F | p |
|-------------------------------|----------------------------------|--------|----|--------|------|------|
| Pb | Co-fermentation ratio (Ratio) | 570.11 | 2 | 285.06 | 4.93 | .036 |
| | Wastewater feeding interval (FI) | 357.44 | 2 | 178.72 | 3.09 | .095 |
| | Ratio*FI | 548.22 | 4 | 137.06 | 2.37 | .130 |
| | Error | 520.50 | 9 | 57.83 | | |

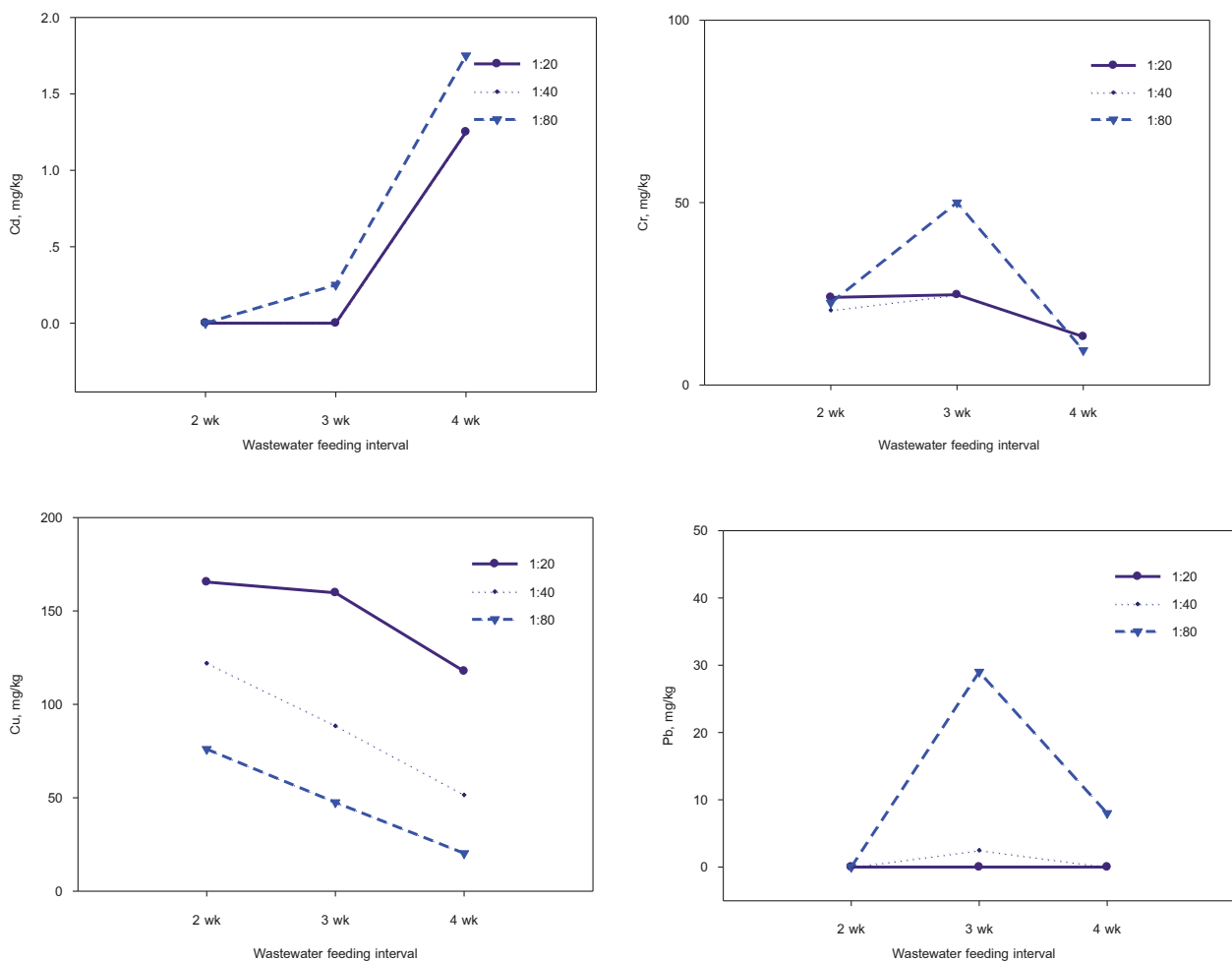


Figure 1 Effect of co-fermentation ration and wastewater feeding interval on heavy metals in rice straw compost. Notification of the Department of Agriculture: Organic Fertilizer Standard B.E. 2548 (1995), ≤ 5 mg/kg for Cd, ≤ 300 mg/kg for Cr, ≤ 500 mg/kg for Cu and Pb.

อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการหมัก และระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียต่อคุณภาพของปุ๋ย หมักฟางข้าว

ผลการศึกษาพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการหมัก
และระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียใหม่เข้าสู่ระบบส่งผลอย่าง
มีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่า OM, pH, EC, C/N ratio, Total N,
Total P, Total K และค่า Cu ของปุ๋ยหมัก (Table 1 และ 2
และ Figure 1) โดยค่า OM และ C/N ratio ของปุ๋ยหมักจะสูง
ขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อหมักด้วยสัดส่วนการหมักที่มีปริมาณฟาง
ข้าวน้อย (สัดส่วน 1:80) และมีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำ
เสียต่ำ (ทุก 4 สัปดาห์) ค่า EC ของปุ๋ยหมักจะสูงขึ้นอย่าง
ชัดเจนเมื่อหมักด้วยสัดส่วนการหมักที่มีปริมาณฟางข้าวมาก
(สัดส่วน 1:20) และมีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียต่ำ ค่า
Total N ของปุ๋ยหมักจะสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อหมักด้วยสัดส่วน
การหมักที่มีปริมาณฟางข้าวน้อยและมีความถี่ในการเปลี่ยน
ถ่ายน้ำเสียใหม่สูง (ทุก 2 สัปดาห์) ขณะที่ ค่า Total P, Total
K และค่า Cu ของปุ๋ยหมักจะสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อหมักด้วย
สัดส่วนการหมักที่มีปริมาณฟางข้าวมากและมีความถี่ในการ
เปลี่ยนถ่ายน้ำเสียสูง

วิจารณ์และสรุปผล

ลักษณะของฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ใช้ ในระบบหมักร่วม

ฟางข้าวที่ใช้ในการหมักมีค่าอินทรีย์วัตถุสูง และมีค่า
C/N ratio สูงกว่า 99:1 ซึ่งเป็นค่า C/N ratio เฉลี่ยของฟางข้าว
ที่รายงานโดยกรมพัฒนาที่ดิน¹⁴ บ่งชี้ว่าฟางข้าวก่อนหมักมี
คาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่สูง ธาตุอาหารหลักไนโตรเจนของ
ฟางข้าวมีค่าสูงกว่าร้อยละ 0.55 ที่กรมส่งเสริมการเกษตร¹⁵
ตรวจพบในฟางข้าวทั่วไป ขณะที่ฟางข้าวมีค่า Total P ใกล้เคียง
0.09 % และมีค่า Total K ต่ำกว่า 2.39 % ที่กรมส่งเสริม
การเกษตร¹⁵ ตรวจพบ ทั้งนี้ค่า Total N และ Total K ของฟาง
ข้าวที่ใช้ในการหมักมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ผล
การตรวจวัดบ่งชี้ว่าฟางข้าวเป็นอินทรีย์วัตถุที่มีธาตุอาหารเป็น
องค์ประกอบอยู่ ดังนั้นการเผาหรือเก็บเกี่ยวฟางข้าวออกจะ
ทำให้พื้นที่สูญเสียธาตุอาหารเหล่านี้ไป โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มี
การเผาหรือ นำฟางข้าวออกอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ ซึ่งจะส่ง
ผลกระทบต่อความร่วนซุยและความอุดมสมบูรณ์ของดิน
ทำให้เกษตรกรต้องเพิ่มอินทรีย์วัตถุและปุ๋ยให้กับดินซึ่ง
เป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตให้กับเกษตรกร

การไถกลบฟางข้าวหลังเก็บเกี่ยวเป็นวิธีการหนึ่งใ
การเพิ่มอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารกลับคืนสู่ดิน แต่เนื่องจาก
ฟางข้าวเป็นสารอินทรีย์ประเภท ลิกโนเซลลูโลส (Lignocel-

lulose) ที่มีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นโครงสร้าง
หลักของผนังเซลล์¹⁶ ที่มีลักษณะพันซ้อนกันเป็นร่างแหสลับ
กันแน่น ประกอบกับฟางข้าวมีค่า C/N ratio ที่ค่อนข้างสูงจึง
ทำให้ต้องใช้เวลานานในการย่อยสลาย อีกทั้งขณะที่เกิดการ
ย่อยสลายของฟางข้าวจะเกิดการลดลงของออกซิเจนในดิน¹⁷
เกิดการลดลงของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์จากการใช้ของ
จุลินทรีย์ในการย่อยสลายฟางข้าว นอกจากนั้น กระบวนการ
ย่อยสลายยังทำให้เกิดความร้อนและเกิดการอินทรีย์¹⁵ ซึ่งจะ
ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ ทำให้เกษตรกรต้องพักการ
ใช้งานพื้นที่ภายหลังการไถกลบเพื่อให้ฟางข้าวได้เกิดการย่อย
สลายอย่างสมบูรณ์ก่อนทำการเพาะปลูกในรอบถัดไป จาก
เหตุผลดังกล่าวรวมถึงความไม่สะดวกและมีต้นทุนในการ
ไถกลบ จึงทำให้การจัดการฟางข้าวและต่อซังด้วยวิธีไถกลบ
จึงยังไม่เป็นที่นิยมมากนัก ทั้งนี้ เกษตรกรสามารถใช้วิธีการ
อื่นในการจัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การอัดเป็น
ก้อนขาย หรือการขายเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบเชื้อเพลิงของโรง
ไฟฟ้าชีวมวล แต่เนื่องจากฟางข้าวมีค่าความร้อนต่ำจึงต้องใช้
ในปริมาณมาก ในขณะที่ฟางข้าวมีค่าความหนาแน่นต่ำทำให้
ต้องใช้พื้นที่มากในการจัดเก็บและการขนส่งซึ่งอาจไม่คุ้ม
ทุน^{18,19} ดังนั้นเกษตรกรบางส่วนจึงจัดการฟางข้าวและต่อซัง
ด้วยการเผาซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก และเป็นการใช้ไฟในการกำจัด
แมลงศัตรูพืชในพื้นที่ไปพร้อมๆ กัน² อย่างไรก็ตาม เพื่อ
ป้องกันและลดผลกระทบจากการเผาฟางต่อทรัพยากรดินและ
คุณภาพสิ่งแวดล้อม หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงได้เสนอแนวทาง
ในการใช้ประโยชน์จากฟางข้าว โดย กรมพัฒนาที่ดิน²⁰ ได้
เสนอแนวทางในการไถกลบต่อซังข้าวโดยการเติมปุ๋ยน้ำ
อินทรีย์ร่วมกับการไถกลบ รวมถึงเสนอแนวทางการใช้
ประโยชน์ฟางข้าวในรูปของวัสดุคลุมดิน และการทำปุ๋ยหมัก
โดยการเติมสารเร่งเพื่อเพิ่มจุลินทรีย์ที่มีความสามารถสูงใ
การย่อยสลายเศษพืชและวัสดุทางการเกษตรในกระบวนการ
หมัก เป็นต้น

น้ำเสียที่ใช้ในการหมักเป็นน้ำเสียจากบ่อรวม น้ำเสีย
ของฟาร์มสุกรที่ทำการเลี้ยงสุกรในระดับครัวเรือน น้ำเสียมีค่า
BOD₅, COD และ TSS เฉลี่ยสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจาก
ฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก²¹ ขณะที่ค่าไนโตรเจนใ
รูป TKN ต่ำกว่า 200 mg/l ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำ
ทิ้งจากฟาร์มสุกร²¹ ทั้งนี้ แม้น้ำเสียจะไม่ผ่านการบำบัดด้วย
ระบบบำบัดน้ำเสีย แต่อย่างไรก็ตาม การกักพักน้ำเสียไว้ในบ่อ
รวมน้ำเสียจะทำให้เกิดการบำบัดด้วยกระบวนการทาง
ธรรมชาติ โดยอนุภาคสารอินทรีย์รวมถึงสารอินทรีย์ไนโตรเจน
(Particulate organic nitrogen) จะเกิดการตกตะกอนออกจาก
น้ำลงสู่พื้นบ่อ และแม้การระเหยไปในรูปของแอมโมเนีย

ไนโตรเจนจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากค่า pH ของน้ำเสียมีค่าต่ำกว่า 9 แต่อย่างไรก็ตาม $\text{NH}_4\text{-N}$ ในน้ำเสียบางส่วนจะถูกใช้ไปโดยจุลินทรีย์ในบ่อรวมน้ำ ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะช่วยลดค่า TKN ซึ่งบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนอินทรีย์ไนโตรเจน (ON) และ NH_4^+ ในน้ำเสีย ทั้งนี้พบว่าน้ำเสียมีฟอสฟอรัสปนเปื้อนสูง ซึ่งสอดคล้องกับกรมควบคุมมลพิษ⁸ ที่ตรวจพบค่า TP ในน้ำเสียของฟาร์มสุกรขนาดเล็กมากกว่าร้อยละ 10 ของฟาร์มสุกรขนาดเล็กที่สำรวจรวมทั้งสิ้น 106 ฟาร์ม มีค่า TP สูงมากกว่า 50 mg/L โดยรวมแล้วจะพบว่าน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีสารอินทรีย์และธาตุอาหารหลักที่สำคัญเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการนำน้ำเสียนี้ไปใช้ในการหมักร่วมกับฟางข้าวจึงเป็นการเพิ่มธาตุอาหารรวมถึงจุลินทรีย์ให้กับระบบหมักด้วยคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าวจากระบบหมักร่วมระหว่างฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกร

เมื่อผ่านกระบวนการหมัก ปุ๋ยหมักฟางข้าวจากทุกตำรับการหมักมีค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากระหว่างการหมัก ฟางข้าวมีการสัมผัสกับน้ำเสียอยู่ตลอดเวลา อีกทั้งกระบวนการหมักยังทำให้โครงสร้างแข็งของฟางข้าวเกิดการย่อยสลายและทำให้ดูดซับความชื้นได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามความชื้นของปุ๋ยหมักมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งจะส่งผลต่อการชะล้างธาตุอาหารพืชบางชนิด และส่งผลทำให้อัตราการย่อยสลายลดลงในกรณีที่ปุ๋ยหมักยังมีการหมักที่ไม่สมบูรณ์²²

ปุ๋ยหมักมีสมบัติเป็นกรดเล็กน้อยแต่ยังคงมีค่า pH เฉลี่ยอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบหมักจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนไปเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กในรูปของกรดอินทรีย์ซึ่งจะทำให้ค่า pH ของปุ๋ยหมักมีค่าลดลง ขณะที่การย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนเช่นโปรตีนไปเป็น อินทรีย์ไนโตรเจน จะส่งผลให้ค่า pH เพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากการย่อยในสภาพไร้ออกซิเจนการย่อยสลายเปลี่ยนรูปอินทรีย์ไนโตรเจนจึงเกิดขึ้นได้จำกัด ดังนั้นจึงพบค่า pH ของปุ๋ยหมักมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย

การหมักในสภาพไร้ออกซิเจน ทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียและสารอินทรีย์ในฟางข้าวเกิดการย่อยสลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงก่อนที่บางส่วนจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ ขณะที่สารประกอบคาร์บอนบางส่วนจะเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซ CO_2 และ CH_4 ที่สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้¹⁸ จึงทำให้ C/N ratio ของปุ๋ยหมักมีค่าลดลงและมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้มากขึ้น ทั้งนี้ สารอินทรีย์กลุ่มที่ย่อยสลายได้ง่ายจะถูกย่อยสลายก่อนสารอินทรีย์กลุ่มที่มีโครงสร้างซับซ้อนย่อยสลายได้ยากเช่นกลุ่มลิกโนเซลลูโลสในฟางข้าว¹⁹ ที่มี

ค่า C/N ratio สูงด้วย การย่อยสลายภายในระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนนี้เกิดขึ้นจากการทำงานของจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ ซึ่งระบบหมักได้รับเพิ่มเติมจากน้ำเสียฟาร์มสุกร นอกจากนี้ น้ำเสียฟาร์มสุกรยังช่วยเพิ่มธาตุอาหารที่สำคัญต่อการทำงานของจุลินทรีย์โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ขณะที่ฟางข้าวจะเป็นแหล่งของธาตุโพแทสเซียมซึ่งมีน้อยในน้ำเสียให้กับจุลินทรีย์ ดังนั้นภายหลังจากการหมักจึงพบปุ๋ยหมักมีค่า OM ลดลงเมื่อเทียบกับฟางข้าว แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เช่นเดียวกับค่า C/N ratio ทั้งนี้ คาดว่าการเพิ่มไนโตรเจนให้กับระบบ เช่น การเติมมูลสัตว์สดลงในระบบจะช่วยให้เกิดการย่อยสลายดีขึ้น และช่วยลดค่า OM และ C/N ratio ของ ปุ๋ยหมักลงได้

แม้ไนโตรเจนในฟางข้าวและไนโตรเจนใน น้ำเสียบางส่วนจะถูกใช้ไปโดยจุลินทรีย์ในระบบ แต่จะพบค่า Total N ของปุ๋ยภายหลังจากการหมักมีค่าสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการดูดซับไนโตรเจนที่ปนมากับน้ำเสียของปุ๋ยหมัก โดยค่า Total N ของปุ๋ยหมักเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ทั้งนี้การลดลงของอินทรีย์คาร์บอนจากการย่อยสลายเปลี่ยนรูปในกระบวนการหมักและการเพิ่มขึ้นของค่าไนโตรเจนที่ได้รับเพิ่มเติมจากน้ำเสีย ทำให้ค่า C/N ratio ลดลง ส่งผลดีต่อการย่อยสลายและทำให้ปุ๋ยหมักมีคุณภาพดีขึ้น

ปุ๋ยหมักฟางข้าวจากระบบหมัก มีค่า Total P และ Total K ลดต่ำลงและมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากการหมักทำให้ฟางข้าวเกิดการย่อยสลายและปลดปล่อยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมออกมา ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้ทั้งที่ปนมากับน้ำเสียและที่ปลดปล่อยออกมาจากฟางข้าวจะถูกนำไปใช้โดยจุลินทรีย์ในระบบหมัก และบางส่วนจะถูกชะออกไปกับน้ำเสีย ค่า EC รวมถึงค่าการปนเปื้อนโลหะหนัก Cd, Cr, Cu และ Pb ของปุ๋ยหมักฟางข้าวทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากการหมักร่วมระหว่างฟางข้าวและน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ไม่มีโลหะหนักหรือมลสารที่มีฤทธิ์ทางเคมีรุนแรงปริมาณมากปนเปื้อนอยู่

อิทธิพลของสัดส่วนการหมักต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าว

ผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนการหมักที่มีปริมาณน้ำเสียสูงจะทำให้ปุ๋ยหมักมีค่า OM, C/N ratio และ Pb เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียฟาร์มสุกรมีสารอินทรีย์ซึ่งเป็นองค์ประกอบของของเสียจากตัวสุกรและเศษอาหารของสุกรปะปนอยู่ ขณะที่ อาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรทั้งอาหารสำเร็จและวัตถุดิบอาหารสัตว์อื่นๆ อาจมี โลหะหนักบางประเภทปะปนอยู่จึงทำให้เกิดการปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย ดังนั้นการหมักด้วยสัดส่วน

ที่ใช้น้ำเสียปริมาณมาก จึงทำให้ปุ๋ยหมักมีค่าอินทรีย์วัตถุ และ Pb เพิ่มขึ้นและสูงกว่าการหมักด้วยสัดส่วนที่ใช้น้ำเสียน้อย ในขณะที่ สัดส่วนการหมักที่ใช้น้ำเสียน้อยจะทำให้ ปุ๋ยหมักมีค่า Total P, Total K และ Cu เพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับค่า EC ของปุ๋ยหมักที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากฟางข้าวมีธาตุอาหารซึ่งรวมถึงฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่พบได้น้อยในน้ำเสียเป็นองค์ประกอบ ซึ่งภายในระบบหมักนี้ ธาตุอาหารบางส่วนจะถูกใช้โดยจุลินทรีย์และบางส่วนจะถูกชะไปขณะเปลี่ยนถ่ายน้ำเสีย ดังนั้น ปุ๋ยหมักจากระบบที่หมักด้วยสัดส่วนฟางข้าวที่สูงจึงมีโอกาสพบธาตุอาหารที่พบได้น้อยในน้ำเสียเหลืออยู่ในปุ๋ยหมักด้วยความเข้มข้นที่สูงกว่า

อิทธิพลของระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าว

ผลการศึกษาพบว่าปุ๋ยหมักจากระบบที่มีระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียสั้นหรือมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียบ่อย จะมีค่า Total N และ Cu สูงขึ้นอย่างชัดเจน ขณะที่ ปุ๋ยหมักจากระบบที่มีความถี่ในการเปลี่ยนถ่าย น้ำเสียต่ำ จะมีค่า OM, C/N ratio และค่า Cd สูงขึ้นอย่างชัดเจน ทั้งนี้ เนื่องจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียบ่อยจะทำให้ระบบหมักได้รับเชื้อจุลินทรีย์ และธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียเพิ่มอยู่เป็นระยะ ซึ่งจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่า OM และ C/N ratio ของปุ๋ยหมักจากระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียบ่อยซึ่งพบว่ามีความต่ำกว่า

อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการหมักและระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักฟางข้าว

การหมักร่วมด้วยสัดส่วนการหมักที่มีฟางข้าวน้อย และมีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียต่ำ จะทำให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีค่า OM และค่า C/N ratio สูง ขณะที่การหมักร่วมด้วยสัดส่วนการหมักที่มีฟางข้าวมากและมีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียสูงจะทำให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีค่า Total P, Total K และ Cu สูง ทั้งนี้เป็นผลจากอิทธิพลร่วมของปริมาณสารอินทรีย์ธาตุอาหาร และจุลินทรีย์ที่ระบบหมักได้รับจากฟางข้าวและน้ำเสียที่ถูกเติมลงในระบบ ทั้งนี้แม้การเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียบ่อยจะทำให้ระบบได้สารอินทรีย์เพิ่มขึ้นด้วยแต่จะเป็นสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าลิกโนเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบของฟางข้าว ในขณะที่การเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียบ่อยจะทำให้ระบบหมักได้รับจุลินทรีย์และธาตุอาหารเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งช่วยให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามธาตุอาหารบางส่วนอาจเกิดการสูญเสียไปขณะทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียจึง

ทำให้พบ ค่า Total P และ Total K ของปุ๋ยหมักมีต่ำกว่าที่พบในฟางข้าวก่อนหมัก

โดยสรุปแล้วพบว่าการหมักร่วมกับน้ำเสียฟาร์มสุกร จะทำให้ฟางข้าวกลายเป็นปุ๋ยหมักฟางข้าวที่มีคุณภาพที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในรูปของปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม เกษตรกรควรตากปุ๋ยหมักฟางข้าวเพื่อลดความชื้นของปุ๋ยหมักก่อนการนำไปใช้และไม่ควรใช้ในพื้นที่ที่มีความชื้นสูง และเนื่องจากปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมต่ำ จึงควรเพิ่มเติมธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมให้กับพืชด้วยวิธีการอื่นนอกเหนือจากการใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าว และเนื่องจากปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่า C/N ratio สูง ซึ่งจะสลายตัวช้า จึงควรใช้กับไม้ผลไม่ยืนต้นโดยใช้คลุมดินบริเวณโดยรอบต้นที่โตแล้ว¹² ทั้งนี้ผลการศึกษานี้ชี้ถึงอิทธิพลของสัดส่วนการหมักและระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียต่อคุณภาพของปุ๋ยหมัก ซึ่งสรุปสาระสำคัญได้ว่า การหมักด้วยสัดส่วนที่ใช้น้ำเสียปริมาณมากจะช่วยทำให้ปุ๋ยหมักมีค่าฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูงขึ้น ส่วนการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียบ่อยจะช่วยเพิ่มไนโตรเจนให้กับปุ๋ยหมัก และทำให้สารอินทรีย์เกิดการย่อยสลายได้ดีขึ้น ขณะที่การหมักด้วยสัดส่วนการหมักที่ใช้น้ำเสียปริมาณสูงและมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเสียบ่อยจะทำให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีค่า C/N ratio ต่ำ และมีธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูง และได้ปุ๋ยหมักในปริมาณที่มากกว่าการหมักด้วยตัวรับอื่น นอกจากนี้ การหมักในสภาพไร้ออกซิเจนจะทำให้เกิดก๊าซมีเทนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานได้อีกด้วย¹⁸

ประเด็นสำหรับการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมคือการศึกษาการใช้มูลสัตว์สดร่วมในสัดส่วนของการหมักซึ่งคาดว่าจะช่วยเพิ่มค่าไนโตรเจนและจุลินทรีย์ให้กับระบบและทำให้ประสิทธิภาพการหมักเกิดได้ดีขึ้น ศึกษาการหมักเมื่อใช้ระยะเวลาในการหมักที่ยาวนานขึ้นเนื่องจากเป็นการหมักในสภาพไร้ออกซิเจนซึ่งกระบวนการหมักจะเกิดขึ้นช้ากว่าในสภาพที่มีออกซิเจนและศึกษาคุณภาพของปุ๋ยน้ำที่ได้จากกระบวนการหมักเป็นต้น

กิตติประกาศ

ผู้ศึกษาขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติและมหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณ และขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่ให้การสนับสนุนห้องปฏิบัติการ และอำนวยความสะดวกงานการศึกษาวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาที่ดิน. การไถกลบตอซังเพื่อปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตข้าว [อินเทอร์เน็ต]. (ม.ป.ป). [เข้าถึงเมื่อ 5 ต.ค. 2560]. เข้าถึงจาก: http://www.idd.go.th/menu_moc/POSTER/rice/rice.htm
2. ธีรภัส กุลเรืองทรัพย์. การศึกษาอิทธิพล การเผาตอซัง-ไม่เผาตอซังข้าว ก่อนไถกลบต่อผลผลิตต่อไร่ ค่าใช้จ่ายและรายได้ ของเกษตรกร. วารสารเศรษฐกิจการเกษตร 2556; 59(674): 2-4.
3. วรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ พิทยากร ลิมทอง เสียงแจ้ว พิริยพจนต์ ประโสด ธรรมเขต ชุศรี ยสินธร และปรัชญา ธัญญาดี. ผลของมูลสัตว์ชนิดต่างๆ ต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจากฟางข้าว [อินเทอร์เน็ต]. (2561). [เข้าถึง เมื่อ 19 มี.ค. 2561]. เข้าถึงจาก: http://www.idd.go.th/Ld-website/web_ord/Research/Full_Research_pdf/Full_Research_gr11/R28_3011F065.pdf
4. Iranzo M, Cañizares JV, Roca-Perez L, Sainz-Pardo I, Mormeneo S, Boluda R. Characteristics of rice straw and sewage sludge as composting materials in Valencia (Spain). *Bioresour Technol* 2004; 95: 107-12.
5. Li X, Zhang R, Pang Y. Characteristics of dairy manure composting with rice straw. *Bioresour Technol* 2008; 99: 359-67.
6. Qian X, Shen G, Wang Z, Guo C, Liu Y, Lei Z, Zhang Z. Co-composting of livestock manure with rice straw: Characterization and establishment of maturity evaluation system. *Waste Manag* 2014; 34: 530-35.
7. กรมควบคุมมลพิษ. การประเมินปริมาณมลพิษของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกรประจำปี พ.ศ. 2559 [อินเทอร์เน็ต]. (2560). [เข้าถึง เมื่อ 5 ต.ค. 2560]. เข้าถึงจาก: <http://infofile.pcd.go.th/water/agpig2016.pdf?CFID=2911937&CFTOKEN=53891853>
8. กรมควบคุมมลพิษ. การปรับปรุงมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งประเภทการเลี้ยงสุกร 2 [อินเทอร์เน็ต]. (2560). [เข้าถึง เมื่อ 10 ต.ค. 2560]. เข้าถึงจาก: http://www.pcd.go.th/info_serv/file/water/26-6-58-3.pdf
9. Mussoline W, Esposito G, Lens P, Garuti G, Giordano A. Electrical energy production and operational strategies from a farm-scale anaerobic batch reactor loaded with rice straw and piggery wastewater. *Renew Energy* 2014; 62: 399-406.
10. สุภมาส อังสุโชติ และชูชาติ พ่วงสมจิตร. การวิจัยการบริหารการศึกษา: หน่วยที่ 11 การวิเคราะห์และการแปลผลข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 2. นนทบุรี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช; 2557.
11. กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี. คู่มือวิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; 2551.
12. กรมวิชาการเกษตร. ปุ๋ยอินทรีย์: การผลิต การใช้มาตรฐานและคุณภาพ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด; 2548.
13. APHA, AWWA, WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. Washington D.C: American Public Health Association; 1992.
14. กรมพัฒนาที่ดิน. การไถกลบตอซังเพื่อปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตข้าว. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; ม.ป.ป.
15. กรมส่งเสริมการเกษตร. ผลกระทบจากการเผาในที่โล่ง. วารสารเกษตรกรรมปลอดการเผา 2547; 1(1): 2-3.
16. Lee JS, Parameswaran B, Lee JP, Park SC. Recent developments of key technologies on cellulosic ethanol production. *J Sci Ind Res* 2008; 67: 865-73.
17. ทัศนีย์ อัดตะนันท์. ดินที่ใช้ปลูกข้าว. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2534.
18. ฤกษ์ฤทธิ์ เคนหาราช. การผลิตพลังงานจากชีวมวล: การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงเลี้ยงสัตว์. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน; 2548.
19. Zhou J, Yang J, Yu Q, Yong X, Xie X, Zhang L, Wei P, Jia H. Different organic loading rates on the biogas production during the anaerobic digestion of rice straw: A pilot study. *Bioresour Technol* 2017; 244: 865-71.
20. กรมพัฒนาที่ดิน. คู่มือ งดเผาตอซัง สร้างดินยั่งยืน พื้นสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; 2548.
21. กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือวิธีการหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสุกรประเภท ค. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2556.
22. นริลักษณ์ ชูวเรช. เรื่องควรรู้เกี่ยวกับปุ๋ยอินทรีย์. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; ม.ป.ป.

การคัดแยกโปรไบโอติกแบคทีเรียที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อ *Vibrio harveyi* และ *Vibrio parahaemolyticus* ในกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*, de Man)

Isolation of Probiotic Bacteria Protective Against *Vibrio harveyi* and *Vibrio parahaemolyticus* Infection in Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*, de Man)

กุศุมาวดี ฐานเจริญ^{1*}, จิรวรรณ ชงหาญ¹, สุพิชญา อูปปุย¹, วริดา พลาศรี²

Kusumawadee Thancharoen¹, Jirawan Thonghan¹, Supitchaya Auppui¹, Warida Palasri²

Received: 26 April 2017; Accepted: 30 April 2018

บทคัดย่อ

การคัดแยกแบคทีเรียจากทางเดินอาหารของกุ้งก้ามกราม โดยใช้ตัวอย่างกุ้งก้ามกราม จำนวน 45 ตัวอย่างที่มีน้ำหนัก 30-40 กรัม สามารถคัดแยกแบคทีเรียจำนวนทั้งหมด 327 ไอโซเลต คัดเลือกแบคทีเรียที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรค *Vibrio harveyi* และ *Vibrio parahaemolyticus* โดยพิจารณาจากการเกิดวงใสรอบโคโลนี พบว่า มีแบคทีเรียที่ยับยั้งเชื้อก่อโรดดังกล่าว จำนวน 118 และ 19 ไอโซเลตตามลำดับ จากผลการทดลองเชื้อรหัส PBKS289, PBKS292 และ PBKS184 ให้ง่วงใสในการยับยั้ง *V.harveyi* สูงสุด เชื้อรหัส PBKS92, PBKS10, PBKS304 และ PBKS91 ให้ง่วงใสในการยับยั้ง *V.parahaemolyticus* สูงสุด การศึกษาความทนต่อสภาวะต่างๆ ของแบคทีเรียที่คัดเลือกได้ทั้ง 7 ไอโซเลต พบว่า เชื้อรหัส PBKS289, PBKS292, PBKS184 PBKS92, PBKS10, PBKS304 และ PBKS91 สามารถทนต่อเกลือน้ำดีเข้มข้น 0- 5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ทนต่อ โซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0- 9 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ส่วนใหญ่มีความทนพีเอชในช่วง 5-10 ยกเว้นเชื้อรหัส PBKS92 ทนพีเอชได้ถึง 3-10 ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถคัดแยกโปรไบโอติกแบคทีเรียที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรคจากจีโนส *Vibrio* และมีคุณสมบัติที่ดีในการเป็นโปรไบโอติกในการรอดชีวิตเมื่อใช้เป็นส่วนผสมในอาหารและเข้าสู่ทางเดินอาหารของกุ้ง นอกจากนี้ยังเป็นวิธีการในการลดการใช้ยาปฏิชีวนะและสารเคมี ซึ่งเป็นการลดสารตกค้างที่มีผลต่อผู้บริโภคและส่งผลกระทบต่อสุขภาพดีขึ้น

คำสำคัญ : การยับยั้ง, กุ้งก้ามกราม, เชื้อก่อโรค, โปรไบโอติก, วงใส

Abstract

Isolation of bacterial strains from the gastrointestinal tract by 45 samples giant freshwater prawns weighing 30-40 grams, found bacteria in 327 isolates. These were screened for antibacterial activity against shrimp pathogenic *Vibrio harveyi* and *Vibrio parahaemolyticus* by the clear zone around the colonies. 118 and 19 bacterial isolates, were found the antibacterial activity against pathogenic *Vibrio harveyi* and *Vibrio parahaemolyticus*, respectively. The results demonstrated that highest antibacterial activity was shown by seven strains, named PBKS289, PBKS292, PBKS92, PBKS10, PBKS304 and PBKS91. These bacteria were PBKS289, PBKS292, PBKS184 PBKS92, PBKS10, PBKS304 and PBKS91 grew well in a medium containing 0-5% (w/v) bile salt 0-9% NaCl (w/v) and pH 5-10 except PBKS92 could tolerate pH 3-10. The results support the approach of screening using probiotic bacteria for activity against *Vibrio* species. The probiotics have a good effect on survival when used as a food in prawn culture. Moreover probiotic bacteria can reduce the need to use toxic chemicals and antibiotics in prawn culture.

Keywords : Antagonistic, Giant freshwater prawns, Pathogenic bacteria, Probiotics, Clear zone

¹ สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

² สาขาสถิติศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

* Corresponding author. E-mail : Kthancharoen@gmail.com

บทนำ

กุ้งก้ามกราม เป็นกุ้งน้ำจืดที่มีขนาดใหญ่ พบได้ทั่วไปตามแม่น้ำ ลำคลอง ลักษณะจะมีเปลือกสีเขียวอมฟ้าหรือสีม่วง ก้ามยาว มีสีครามหรือม่วงเข้ม กุ้งก้ามกรามสามารถพบได้ในภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ของประเทศไทย ในต่างประเทศพบได้ทุกประเทศของภูมิภาคอินโดแปซิฟิก จนถึงตอนเหนือของออสเตรเลีย และฟิลิปปินส์ โดยพบในน้ำจืดและน้ำกร่อย กุ้งก้ามกรามเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญ และมีราคาแพง ได้รับความสนใจจากผู้บริโภคเป็นจำนวนมาก รวมทั้งในตลาดโลก จึงทำให้ปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามกันอย่างแพร่หลาย จังหวัดกาฬสินธุ์เป็นอีกจังหวัดหนึ่งในภาคอีสานที่เกษตรกรมีการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามเชิงพาณิชย์จำนวนมาก มีจำนวนฟาร์มเลี้ยงกุ้งก้ามกรามมากถึง 1,295 ราย แบ่งเป็นพื้นที่การเลี้ยง 6,220 ไร่ จำนวน 1,295 บ่อ ซึ่งมีจำนวนมาก เนื่องจากมีแหล่งน้ำที่อุดมสมบูรณ์ได้รับน้ำจากเขื่อนลำปาว สภาพแวดล้อมเหมาะสมสำหรับการเลี้ยง อีกทั้งแรงงานในจังหวัดมีจำนวนมาก หาได้ง่าย และราคาค่าจ้างแรงงานค่อนข้างถูก สามารถผลิตกุ้งก้ามกรามบ่อให้กับผู้บริโภคได้มากกว่า 10,000 ตันต่อปี ปัญหาของการเกิดโรคจากแบคทีเรียส่วนใหญ่มาจากการจัดการระหว่างการเลี้ยงโดยเลือกพื้นที่ไม่เหมาะสม บ่อยครั้งหนาแน่น ให้อาหารมากเกินไป ขาดการดูแลคุณภาพน้ำและสุขภาพกุ้ง โรคแบคทีเรียที่พบในกุ้งมักมีสาเหตุจากเชื้อ *V. harveyi*, *V. penaeicida*, *V. parahaemolyticus* และ *V. vulnificus*^{2,3,4} เชื้อ *Vibrio* สามารถพบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำเค็มและน้ำกร่อยเป็นสาเหตุของโรคกุ้งเกือบทุกชนิดที่พบในประเทศไทย โดยเป็นแบคทีเรียในกลุ่มไมโครฟลอรา (microflora) พบได้ทั่วไปในธรรมชาติและบ่อเลี้ยงกุ้ง เป็นแบคทีเรียพวกฉวยโอกาส จะฉวยโอกาสทันทีเมื่อกุ้งอ่อนแอ ทำให้กุ้งเป็นโรค และอาจพบอยู่ร่วมกับเชื้อโรคชนิดอื่นๆ โดยทั่วไปแบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถพบได้ในทางเดินอาหาร ตับ ตับอ่อน และน้ำเลือดของกุ้งที่เป็นปกติ เมื่อกุ้งอยู่ในสภาวะที่เครียด เช่น เกิดการติดเชื้อจากจุลินทรีย์ต่างๆ ปริมาณของแอมโมเนียในน้ำเพิ่มขึ้น อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และความเค็มที่สูงเกินไปก็สามารถก่อให้เกิดโรคได้ โรคที่ก่อให้เกิดปัญหาอย่างมากในการเลี้ยงกุ้ง คือ โรคแบคทีเรียเรืองแสง (luminescent disease) เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *V. harveyi* ลักษณะทั่วไปของโรคจะพบกุ้งป่วยขึ้นมาอยู่บริเวณขอบบ่อหรือว่ายอยู่ที่ผิวน้ำ ทำให้มองเห็นการเรืองแสงที่ส่วนหัวได้อย่างชัดเจนในเวลากลางคืน เมื่อนำกุ้งป่วยมาตรวจสอบโดยนำส่วนของตับและตับอ่อน หรือเลือดกุ้งมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์จะพบแบคทีเรียที่อ่อนสั้นเคลื่อนที่ได้จำนวนมาก มีผลทำให้กุ้งอ่อนแอ และตายในที่สุด⁵ นอกจากนี้

ยังมีโรคตายด่วนในกุ้ง (Shrimp Early Mortality Syndrome: EMS) หรือเรียกอีกชื่อว่ากลุ่มอาการตับและตับอ่อนเสื่อมสภาพอย่างฉับพลัน (Acute Hepatopancreatic Necrosis Syndrome: AHPNS) โดยพบว่าโรคนี้เกิดจาก *Vibrio parahaemolyticus* เป็นสาเหตุของการตายเป็นจำนวนมากของกุ้ง ในระยะเวลาสองปีที่ผ่านมา ซึ่งได้สร้างความเสียหายเป็นวงกว้างต่อการเพาะเลี้ยงกุ้งในหลายประเทศในแถบเอเชีย บ่อเลี้ยงกุ้งที่มีการติดโรคได้ประสบกับปัญหาการตายของกุ้งเป็นปริมาณสูงมากในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโตของกุ้ง ซึ่งอัตราการตายของกุ้งในบางฟาร์มอาจสูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์ อาการของโรคนี้ประกอบด้วยกุ้งอ่อนแอ โตช้า ไม่มีอาหารในกระเพาะและลำไส้ ตับและตับอ่อนมีสีซีดและฝ่อลีบ และมักจะพบเส้นสีดำภายในตับและตับอ่อน และจะพบการตายของกุ้งเป็นจำนวนมากภายใน 30 วันแรกของการลงกุ้งในบ่อเลี้ยง⁷ ในอดีตจนถึงปัจจุบันการป้องกันและรักษาโรคในกุ้งเกษตรกรพึ่งสารเคมีและยาปฏิชีวนะเป็นหลัก ได้แก่ ยาปฏิชีวนะกลุ่มคลอแรมฟินิโคล ออกซิเตตราไซคลิน ซัลฟานิลาไมด์ และไนโตรฟูแรน โดยการผสมในอาหารและใส่ในน้ำแช่และมีการใช้ยาติดต่อกันเป็นเวลานาน และมีการเพิ่มปริมาณยา เนื่องจากเชื้อก่อโรคดื้อยาและการใช้ยาปริมาณเท่าเดิมไม่ได้ผล ส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น ผลกระทบที่ตามมาอีกคือ เกิดการตกค้างของยาและสารเคมีในตัวกุ้งก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค เทคโนโลยีชีวภาพได้มีความสำคัญอย่างยิ่งกับประเทศไทยในการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตกุ้ง โดยมีวัตถุประสงค์ทดแทน หรือลดปริมาณการใช้สารเคมีให้อยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคทั่วโลก โดยเฉพาะการวิจัยและพัฒนาสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ส่งเสริมการเจริญเติบโตและป้องกันการเกิดโรคระบาดในการเลี้ยงกุ้ง การควบคุมปริมาณเชื้อ *Vibrio* sp. ด้วยวิธีการทางชีวภาพ จากรายงานพบว่า มีเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis*, *Nitrosomonas* sp., *Alteromonas* sp. และ *V. alginolyticus* ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะคัดแยกแบคทีเรียที่มีศักยภาพเป็นโปรไบโอติกที่ดีและมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรค *V.harveyi* และ *V. parahaemolyticus* ที่เป็นปัญหาสำคัญในกุ้งก้ามกราม

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา

1. การคัดแยกเชื้อแบคทีเรีย

นำตัวอย่างกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) จำนวน 45 ตัวอย่าง น้ำหนัก 30-40 กรัม นำมาทำความสะอาด ตัดเอาเฉพาะส่วนที่เป็นลำไส้และกระเพาะอาหาร บดด้วยแท่งแก้ว จากนั้นเติมโซเดียมคลอไรด์

ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ ในปริมาตร 5 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง 1 กรัม ทำการเจือจางตัวอย่าง (serial dilution) และ Spread Plate บนอาหาร Nutrient agar บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทำให้เชื้อบริสุทธิ์อีกครั้งด้วยวิธี Cross streak บนอาหารชนิดเดิม ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา และรูปร่างภายใต้กล้องจุลทรรศน์

2. การคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียที่มีศักยภาพในการยับยั้งเชื้อก่อโรค

การทดลองครั้งนี้ มีแผนการทดลองแบบ CRD โดยคัดเลือกแบคทีเรียที่สามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคด้วยวิธีซิมผ่านกระดาษกรอง (Paper disc diffusion) โดยแบ่งเป็นสองชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่หนึ่ง ทดสอบคุณสมบัติของเชื้อแบคทีเรียที่คัดแยกจากทางเดินอาหารของกิ้งก่ามกราคมในการยับยั้งเชื้อก่อโรค คือ *V. harveyi* และชุดการทดลองที่สอง ทดสอบคุณสมบัติของเชื้อแบคทีเรียที่คัดแยกจากทางเดินอาหารของกิ้งก่ามกราคมในการยับยั้งเชื้อก่อโรค คือ *V. parahaemolyticus* (ได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา) โดยเลี้ยงในอาหาร NB (Nutrient Broth) ที่มี NaCl ผสมอยู่ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ในปริมาตร 20 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับเชื้อแบคทีเรียที่คัดแยกได้เลี้ยงในอาหาร NB ปริมาณ 5 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หยดเชื้อแบคทีเรีย (เชื้อตั้งต้น 1×10^6 CFU/ml) ที่คัดแยกได้ ปริมาตร 20 ไมโครลิตรลงบนกระดาษกรองที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วและวางบนอาหาร NA ที่ผสมกับเชื้อก่อโรค บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บันทึกผลการยับยั้งจากการเกิดบริเวณใส (clear zone, แสดงในรูปแบบ $\text{mean} \pm \text{SD}$) รอบโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ One way ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ ที่ $p \leq 0.05$

3. การทดสอบคุณสมบัติในการเป็นโปรไบโอติก (ดัดแปลงจากอรรถวรรณ์ และคณะ, 2556)

3.1 การเจริญในอาหารที่มีเกลือน้ำดี

เลี้ยงแบคทีเรียที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรคเพาะเลี้ยงในอาหาร NB ที่มีส่วนผสมของเกลือน้ำดี 0-5 เปอร์เซ็นต์ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงบันทึกผลจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

3.2 การเจริญในอาหารที่มีโซเดียม คลอไรด์

เลี้ยงแบคทีเรียที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรคเพาะเลี้ยงในอาหาร NB ที่มีส่วนผสมของโซเดียมคลอไรด์ 0-9 เปอร์เซ็นต์ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงบันทึกผลจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

3.3 การเจริญในอาหารพีเอชต่างๆ

เลี้ยงแบคทีเรียที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรคเพาะเลี้ยงในอาหาร NB ที่มีการปรับพีเอชเท่ากับ 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง บันทึกผลจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

ผลการศึกษา

1. การคัดแยกเชื้อแบคทีเรีย

ผลการคัดแยกแบคทีเรียที่คัดแยกจากทางเดินอาหารของกิ้งก่ามกราคมมีทั้งหมด 327 ไอโซเลต โดยลักษณะทางสัณฐานวิทยาส่วนใหญ่โคโลนีมีสีขาวขุ่น ขอบมีลักษณะแบบขอบเรียบ (Entire) ความหนูนมีลักษณะแบนราบ (flat) เนื้อโคโลนีมีลักษณะมันวาว และรัศมีส่วนใหญ่มีขนาด 0.1-0.5 มิลลิเมตร แบ่งเป็นแบคทีเรียที่มีรูปร่างกลม 267 ไอโซเลต และแบคทีเรียที่มีรูปร่างท่อน 60 ไอโซเลต (ไม่ได้แสดงผล)

2. การคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียที่มีศักยภาพในการยับยั้งเชื้อก่อโรค

แบคทีเรียทั้งหมด 327 ไอโซเลต ทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรค *V. harveyi* และ *V. parahaemolyticus* โดยพิจารณาจากการเกิดวงใสรอบๆ โคโลนี โดยแสดงขนาดวงใสในการยับยั้งดังแสดงใน Table 1 และ 2

Table 1 The clear zone size (mean±SD) from probiotic bacteria inhibited *V. harveyi* at 48 hours. Means values with different letters significantly different (P < 0.05).

| No. | Isolates | Clear zone size (mm.) |
|-----|----------|-----------------------|
| 1 | PBKS26 | 20±0.76 |
| 2 | PBKS91 | 18±0.58 |
| 3 | PBKS104 | 19±0.50 |
| 4 | PBKS184 | 21±0.29 |
| 5 | PBKS204 | 13±0.76 |
| 6 | PBKS243 | 13±0.76 |
| 7 | PBKS286 | 14±0.76 |
| 8 | PBKS289 | 23±0.29 |
| 9 | PBKS291 | 18±0.50 |
| 10 | PBKS292 | 21±0.76 |

Table 2 The clear zone size from probiotic bacteria inhibited *V. parahaemolyticus* at 48 hours. Means values with different letters significantly different (P < 0.05).

| No. | Isolates | Clear zone size (mm.) |
|-----|----------|-----------------------|
| 1 | PBKS10 | 20±0.50 |
| 2 | PBKS35 | 10±1.00 |
| 3 | PBKS89 | 16±0.29 |
| 4 | PBKS91 | 18±0.29 |
| 5 | PBKS92 | 24±0.76 |
| 6 | PBKS271 | 13±0.29 |
| 7 | PBKS272 | 14±1.00 |
| 8 | PBKS304 | 18±0.29 |
| 9 | PBKS309 | 11±1.00 |
| 10 | PBKS317 | 9±0.58 |

จากผลการทดลองแบคทีเรียที่คัดเลือกได้จากทางเดินอาหารของกุ้งก้ามกราม จำนวน 118 ไอโซเลตที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรค *V. harveyi* โดยรหัสที่มีขนาดวงใสกว้างสูงสุด 10 ลำดับแรกจะมีวงใสตั้งแต่ 13-23 มิลลิเมตร เชื้อรหัส PBKS289, PBKS184 และ PBKS292 ให้ขนาดวงใสกว้างสูงสุด เท่ากับ 23, 21 และ 21 มิลลิเมตร และแบคทีเรีย จำนวน 19 ไอโซเลตที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรค *V. parahaemolyticus* โดยรหัสที่มีขนาดวงใสกว้างสูงสุด 10 ลำดับแรกจะมีวงใสตั้งแต่ 9-24 มิลลิเมตร เชื้อรหัส PBKS92, PBKS10, PBKS304 และ PBKS91 ให้ขนาดวงใส

กว้างสูงสุด เท่ากับ 24, 20, 18 และ 18 มิลลิเมตร

3. การทดสอบคุณสมบัติในการเป็นโปรไบโอติก

3.1 ผลการทดสอบความทนต่อเกลือน้ำดี

ผลการทดสอบความสามารถในการทนต่อเกลือน้ำดี (Bile salt) พบว่า แบคทีเรียที่คัดเลือกได้ทั้ง 7 ไอโซเลต ได้แก่ PBKS10, PBKS91, PBKS92, PBKS184, PBKS289, PBKS292 และ PBKS304 สามารถทนต่อเกลือน้ำดีความเข้มข้นสูงสุด 5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) (ดังแสดงใน Figure 1)

3.2 ผลการทดสอบความทนต่อโซเดียมคลอไรด์

ผลการทดสอบความทนต่อโซเดียมคลอไรด์ของเชื้อที่เลี้ยงในอาหารที่มีโซเดียมคลอไรด์ผสมอยู่ 0-9 เปอร์เซ็นต์ พบว่า แบคทีเรียที่คัดเลือกได้ทั้ง 7 ไอโซเลต ได้แก่ PBKS10, PBKS91, PBKS92, PBKS184, PBKS289, PBKS292 และ PBKS304 ทนต่อโซเดียมคลอไรด์ในช่วง 3-9 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยเชื้อรหัส PBKS92

สามารถทนต่อโซเดียมคลอไรด์ได้สูงที่สุด เท่ากับ 9 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) (ดังแสดงใน Figure 2)

3.3 ผลการทดสอบความทนต่อพีเอช

ผลการทดสอบความทนต่อพีเอช พบว่า แบคทีเรียที่คัดเลือกได้ส่วนใหญ่ทุกไอโซเลต ได้แก่ PBKS10, PBKS91, PBKS184, PBKS289, PBKS292 และ PBKS304 มีความทนต่อพีเอชในช่วง 5-10 ยกเว้นเชื้อรหัส PBKS92 สามารถทนต่อพีเอชในช่วง 3-10 (ดังแสดงใน Figure 3)

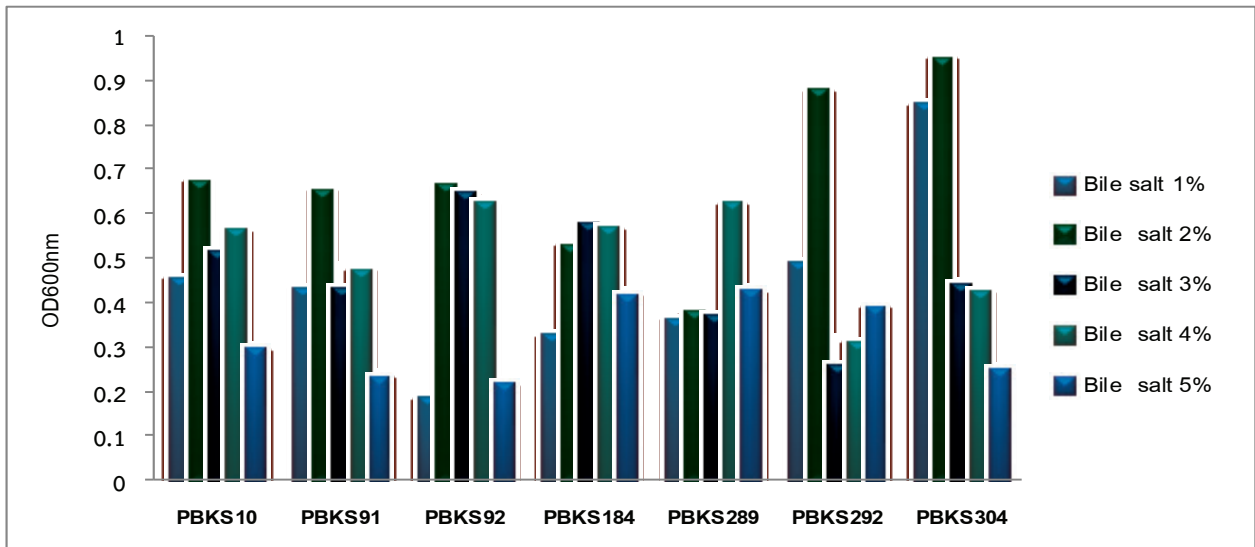


Figure 1 Bile salt tolerance of bacteria isolated from intestinal tract of Giant freshwater prawn.

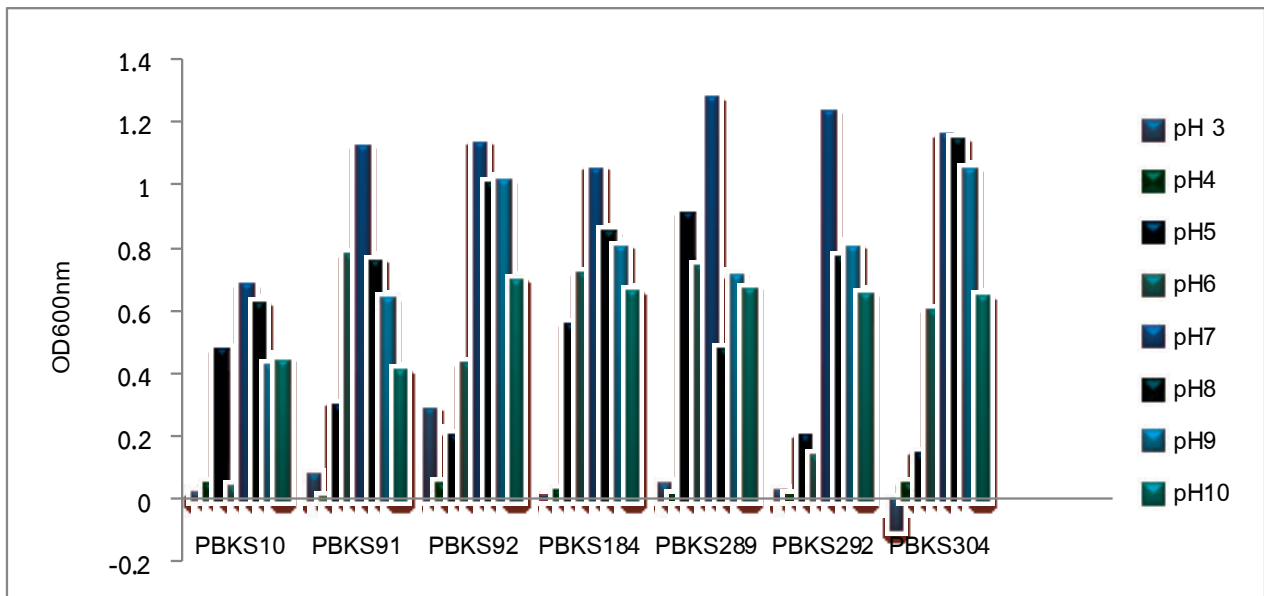


Figure 2 NaCl tolerance of bacteria isolated from intestinal tract of Giant freshwater prawn.

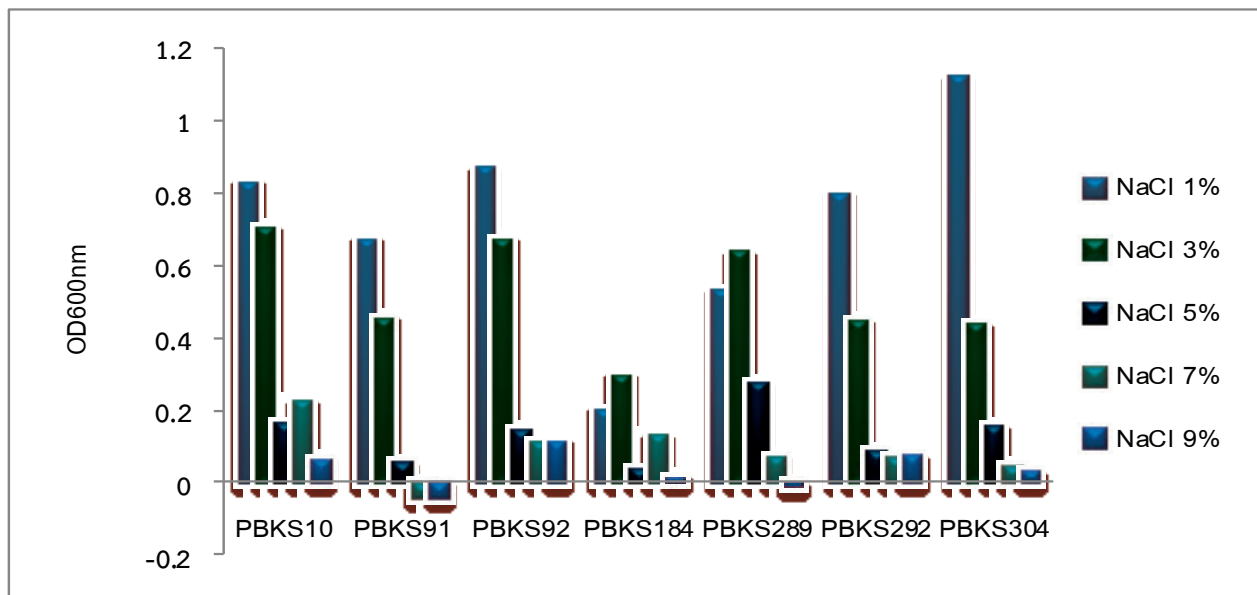


Figure 3 pH tolerance of bacteria isolated from intestinal tract of Giant freshwater prawn.

วิจารณ์และสรุปผล

ผลการคัดแยกแบคทีเรียจากทางเดินอาหารของกุ้งก้ามกรามพบว่า สามารถคัดแยกแบคทีเรียจำนวนทั้งหมด 327 ไอโซเลต โดยแบคทีเรียจำนวน 7 ไอโซเลต มีศักยภาพที่ดีในการใช้เป็นโปรไบโอติก โดยสามารถสร้างวงไพล์บ์ยั้งเชื้อก่อโรค *V. harveyi* และ *V. parahaemolyticus* และมีความทนต่อสภาวะต่างๆ คือสามารถทนต่อเกลือน้ำดีความเข้มข้นสูงสุด 5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ทนต่อไฮเดียมคลอไรด์เข้มข้นสูงสุด 3-9 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) และทนต่อพีเอช 5-10 โดยคุณสมบัติดังกล่าวมีข้อดี

คือสามารถทนต่อสภาวะที่เป็นกรดในกระเพาะอาหาร ทนต่อเกลือน้ำดีในลำไส้ ซึ่งทำหน้าที่ขับสารตกค้าง และสร้างสารยับยั้งแบคทีเรียชนิดอื่นได้ ดังนั้นคุณสมบัติเหล่านี้จึงจำเป็นต่อการรอดชีวิตของ โปรไบโอติกเมื่อผสมในอาหารเลี้ยงกุ้ง

ผลการทดลอง พบว่า แบคทีเรียที่คัดเลือกได้จากความกว้างของวงไพล์บ์ยั้ง ได้แก่ ได้แก่ PBKS10, PBKS91, PBKS92, PBKS184, PBKS289, PBKS292 และ PBKS304 มีคุณสมบัติในการทนต่อเกลือน้ำดี 1-5 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ความเข้มข้นเกลือน้ำดีที่แบคทีเรียส่วนใหญ่เจริญได้ดีเท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ (Figure 1) การทนไฮเดียมคลอไรด์ในช่วง 1-9 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ความเข้มข้นไฮเดียมคลอไรด์ที่แบคทีเรียส่วนใหญ่เจริญได้ดีเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ (Figure 2) และความทนพีเอชในช่วง 3-10 โดย พีเอชที่แบคทีเรียส่วนใหญ่เจริญได้ดีเท่ากับ 5 (Figure 3) การศึกษาความทนต่อสภาวะดังกล่าวมีความจำเป็น เนื่องจากเมื่อใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเลี้ยง กุ้งก้ามกราม โปรไบโอติกที่ดีต้องสามารถทนต่อความเป็นกรดในกระเพาะอาหาร ทนต่อเกลือน้ำดีในลำไส้ (ซึ่งมีหน้าที่ขับสาร

ตกค้าง) และสร้างสารยับยั้งแบคทีเรียชนิดอื่นได้จึงจะมีการรอดชีวิตและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของอรรวรรณ์ และคณะ^๖ ทดสอบความสามารถในการเจริญในสภาวะต่างๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของเกลือน้ำดีความเข้มข้นของไฮเดียมคลอไรด์ การทนกรด-เบส และอุณหภูมิในระดับต่างๆ พบว่าแบคทีเรียทุก ไอโซเลตสามารถเจริญได้ดีในสภาวะความเข้มข้นของไฮเดียมคลอไรด์ที่ 0-9 เปอร์เซ็นต์ เจริญได้ดีในสภาวะอุณหภูมิตั้งแต่ 20-42 องศาเซลเซียส เจริญได้ดีที่ พีเอช 5-9 แต่เจริญในเกลือน้ำดีได้เพียง 0-3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำเชื้อทั้งหมดมาจำแนกโดยการวิเคราะห์ลำดับเบสในส่วนของยีน 16S rDNA พบว่า แบคทีเรียทั้งหมดจัดอยู่ในสกุล บาซิลลัส ได้แก่ *B. subtilis* TSM33, *B. subtilis* TSM262, *B. subtilis* LLBM241, *B. subtilis* TSN262, *B. aryabhatai* TSM362, *B. amyloliquefacian* TSN63, *B. amyloliquefacian* TSM499-4 และ *B. thuringiensis* HMN151 ดังนั้นแบคทีเรียเหล่านี้จึงมีคุณสมบัติในการเป็นโปรไบโอติกในการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามต่อไปได้ และงานวิจัยของวลัยพร และคณะ^๙ ทำการคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติเป็น โปรไบโอติกเพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามที่แยกได้จากตัวอย่างลำไส้สัตว์น้ำจืด ไส้ไก่ มูลสุกร มูลวัว ผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์หมักดองจากเนื้อสัตว์และสัตว์ต่างๆ สามารถแยกเชื้อได้ทั้งหมด 267 ไอโซเลต เป็นเชื้อที่ติดสีแกรมบวก 178 ไอโซเลต และเมื่อนำเชื้อไปทดสอบการยับยั้งเชื้อก่อโรคในกุ้งก้ามกราม ได้แก่ *Aeromonas sobrai* และ *Vibrio alginolyticus* พบว่าเชื้อที่เจริญในอาหาร MRS จำนวน 54 ไอโซเลต มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรคในกุ้งก้ามกรามได้ จึงทำการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อที่มีความเหมาะสมเพื่อใช้เป็นโปรไบโอ

โอดิก โดยการทดสอบการย่อยเม็ดเลือดแดง การเจริญในความเข้มข้นของเกลือ (NaCl) 0-1 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ความเข้มข้นเกลือน้ำดี 1-7 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ความเป็นกรดต่างตั้งแต่ 2 ถึง 10 การเจริญในสภาพที่มีและไม่มีอากาศ พบว่า เชื้อแบคทีเรียรหัส LP64 LM64 LM67 LM62-1 LM66 และ LS15 มีคุณสมบัติเป็นโปรไบโอดิก ซึ่งจากการจำแนกเชื้อในระดับสปีชีส์พบว่า เชื้อ LP64 และ LP15 เป็นเชื้อ *Lactobacillus plantarum* และเชื้อ LM64 LM67 LM62-1 และ LM66 เป็นเชื้อ *Lactobacillus casei*

จากผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ พบว่า ผลการคัดแยกแบคทีเรียจากทางเดินอาหารของ กุ้งก้ามกรามพบว่าสามารถคัดแยกแบคทีเรียจำนวนทั้งหมด 327 ไอโซเลท โดยแบคทีเรียจำนวน 7 ไอโซเลท มีศักยภาพที่ดีในการใช้เป็นโปรไบโอดิก โดยสามารถสร้างวงใสยับยั้งเชื้อก่อโรค *V. harveyi* และ *V. parahaemolyticus* และมีความทนต่อสภาวะต่างๆ คือสามารถทนต่อเกลือน้ำดีความเข้มข้นสูงสุด 5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ทนต่อโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นสูงสุด 3-9 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) และทนต่อพีเอช 5-10 โดยคุณสมบัติดังกล่าวมีข้อดี คือสามารถทนต่อสภาวะที่เป็นกรดในกระเพาะอาหาร ทนต่อเกลือน้ำดีในลำไส้ ซึ่งทำหน้าที่ขับสารตกค้าง และสร้างสารยับยั้งแบคทีเรียชนิดอื่นได้ ดังนั้นคุณสมบัติเหล่านี้จึงจำเป็นต่อการรอดชีวิตของ โปรไบโอดิกเมื่อผสมในอาหารเลี้ยงกุ้ง โดยแบคทีเรียที่คัดเลือกได้มีศักยภาพที่ดีในการใช้เป็นโปรไบโอดิกในการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามที่มีแพร่หลายในท้องถิ่นจังหวัดกาฬสินธุ์และจังหวัดใกล้เคียง โดยคัดเลือกเชื้อที่มีศักยภาพจากการพิจารณาวงใสในการยับยั้งเชื้อ *V. harveyi* ที่ทำให้เกิดโรคเรืองแสง และ *V. parahaemolyticus* ที่ทำให้เกิดโรคตัวแดงหรือโรค ซ้ำขาว รวมทั้งความทนต่อสภาวะต่างๆที่เป็นปัจจัยต่ออัตราการรอดชีวิตเมื่อโปรไบโอดิกแบคทีเรียอาศัยอยู่ในลำไส้กุ้ง การใช้โปรไบโอดิกที่มีศักยภาพจะทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งมีรายได้เพิ่มมากขึ้นและไม่มีการปฏิชีวนะหรือสารเคมีตกค้างในกุ้งก้ามกราม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งบิวบาน 1 ตำบลบิวบาน อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ ในการให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างกุ้งก้ามกราม และอำนวยความสะดวกในการลงพื้นที่วิจัย สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลาที่ให้ความอนุเคราะห์เชื้อแบคทีเรีย ก่อโรค ตลอดจนสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ในการสนับสนุนทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2560 ทำให้งานวิจัยครั้งนี้ลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานประมงจังหวัดกาฬสินธุ์. การเลี้ยงกุ้งก้ามกราม. 2556. สืบค้นจาก <http://www.fisheries.go.th/fpo-kalasin/main.html>. ค้นเมื่อวันที่ 21 กันยายน 2559.
2. Nash, G., Nithimathachoke, C., Tungmandi, C., Arkarjamorn, A., Prathanpipat, P., Ruamthaveesub, P. Vibriosis and its control in pond-reared *Penaeus monodon* in Thailand. In: Shariff, I. M., Subasinghe, R. P., Arthur, J. R. (eds.) Diseases in Asian aquaculture. I. Fish Health Section, Asian Fisheries Society, Manila; 1992. 143-155.
3. Ishimaru, K. M., Akagawa, M., and Muroga, K. *Vibrio penaeicida* sp nov.: A pathogen of kuruma shrimp (*Penaeus japonicus*). *Int. J. Syst. Bacteriol.* 1995; 1: 134-138.
4. Lightner, D. V. Disease of culture penaeid shrimp. In "Handbook of Mariculture: Crustacean Aquaculture" (J. P. McVey, Ed.), 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, FL.; 1996.
5. ปาจารย์ จือเหลียง, ชลล ลัมสุวรรณ, นิต ชูเชิด และวัชรวิภา ภูริวิโรจน์กุล. ผลของการใช้แบคทีเรียกลุ่มสร้างสปอร์ต่อ *Vibrio* spp. การเจริญเติบโต และอัตราการรอดของกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ในฟาร์มเลี้ยงกุ้ง. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 2555; 6 (1): 65-74.
6. องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO). 2556. สาเหตุของการตายเป็นจำนวนมากของกุ้งในเอเชีย. สืบค้นจาก www.fisheries.go.th/ems/images/15.05.56/FAO%20Cause%20of%20AHPNS_p.pdf. ค้นเมื่อวันที่ 11 ธันวาคม 2559.
7. วิกีพีเดีย. โรคกุ้งตายด่วน. 2559. สืบค้นจาก www.fisheries.go.th/ems/images/15.05.56/FAO%20Cause%20of%20AHPNS_p.pdf. ค้นเมื่อวันที่ 11 ธันวาคม 2559.
8. อรรถรัตน์ บุตรดี, พรพรรณ อยู่สุวรรณ, และกัญญา สอนสนิท. การคัดเลือกเชื้อบาซิลลัสไฟโรไบโอดิกจากทางเดินอาหารของกุ้งก้ามกรามจากคลองธรรมชาติในจังหวัดนครปฐม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2556; 2(1): 10-20.
9. วลัยพร ทิมบุญธรรม. การคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเป็นโปรไบโอดิกในการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม. 2551, มิถุนายน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. 5 - 7 กุมภาพันธ์ 2544. 370-377. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ผลของสารสกัดจากแคลลัสกานพลูต่อการสงบนิ่งปลาอุกอุยเทศ

Effects of Crude Extract from Cloves Callus on Sedation of Hybrid Catfish

นพรัตน์ พุทธกาล,¹ สุพรรณ โพธิ์ศรี¹, เสาวณีย์ บัวโตน², กัลยา โมกขพันธ์³Nopparat Buddhakala¹, Suphan Posri¹, Saowanee Buatone², Kanlaya Mokephun³

Received: 5 January 2018; Accepted: 21 May 2018

บทคัดย่อ

กานพลูมีสารยูจีนอลที่ใช้เป็นยาชา และยาสลบ แต่การขยายพันธุ์กานพลูทำได้ยาก วัตถุประสงค์การวิจัยครั้งนี้จึง (1) ศึกษาอัตราการเกิดแคลลัสกานพลูบนอาหาร WPM จำนวน 21 สูตร (2) ทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดแคลลัสกานพลูต่อการสงบนิ่งของปลาอุกอุยเทศ ทำการทดลองเพาะเลี้ยงส่วนใบ ตายอด และตาข้างกานพลูบนอาหาร WPM 7 สัปดาห์ จึงนำชิ้นส่วนที่มีอัตราการรอดสูงสุดมากระตุ้นให้เกิดแคลลัสบนอาหาร 21 สูตร เป็นเวลานาน 6 สัปดาห์ จากนั้นนำแคลลัสกานพลูที่เจริญดีมาสกัดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้น 0, 1, 2, 3, 4, 5 ppm และ MS-222 10 ppm (5 ซ้ำ) เพื่อศึกษาฤทธิ์สงบนิ่งและการฟื้นของปลาอุกอุยเทศ ผลการศึกษาพบว่าชิ้นส่วนใบกานพลูมีอัตราการรอดสูงที่สุด 28 เปอร์เซ็นต์ และอาหารสูตรที่ 17 ที่เติม TDZ 0.05 ppm และ 2,4-D 0.5-3.0 ppm กระตุ้นแคลลัสใบกานพลูได้ดีที่สุดขนาด 0.5 เซนติเมตร หนัก 0.5 กรัม และสารสกัดแคลลัสใบกานพลูที่ความเข้มข้น 5 ppm ทำให้ปลาอุกอุยเทศมีการเคลื่อนไหวช้าที่ 99.03 ± 2.07 นาที อาการสงบนิ่ง 1.45 ± 0.87 นาที จึงฟื้นสู่การตอบสนอง 2.12 ± 0.34 และว่ายน้ำปกติ 2.52 ± 0.12 นาที ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าสารสกัดแคลลัสใบกานพลูมีฤทธิ์ต่อการสงบนิ่งของปลาอุกอุยเทศ และมีความปลอดภัยต่อปลามากกว่าสาร MS-222 เนื่องจากปลามีระยะเวลาในการฟื้นตัวรวดเร็ว และมีอาการปกติ

คำสำคัญ : การสงบนิ่ง ปลาอุกอุยเทศ การเพาะเลี้ยงแคลลัส กานพลู

Abstract

Clove contains a high concentration of eugenol, which has been used extensively for sedation and its anesthetic properties. But it is difficult to cultivate clove plants. The aims of this research were to:- (1) study the callus growth rate on WPM with 21 different growth regulators (2) to test the sedative activities of clove callus extract on sedation of hybrid catfish (10-15 cm, 10-15 g). The methodologies of leaf, axillary bud, and lateral bud cultures on WPM were studied for 7 weeks. Then the highest survival rate was to induce new callus in 21 WPMs for 6 weeks. The best growth callus was extracted with 95% ethanol at the dose of 0, 1, 2, 3, 4 and 5 ppm compared with MS-222 (5 Rep.) at 10 ppm for sedation and recovery of hybrid catfish. The results found that clove calluses grow up 0.5 cm, weight gain of 0.5 grams per callus. At 5 ppm the extract of clove callus stimulated catfish caught to show slow motion at 99.03 ± 2.07 min, sedative response at 1.45 ± 0.87 min and recovered to slow motion at 2.12 ± 0.34 and then recovered to normal fish at 2.52 ± 0.12 min. The results of this study showed that cloves callus was safer on hybrid catfish than MS-222 because of its rapid recovery time to normal fish.

Keywords: Sedation, Hybrid catfish, Callus culture, Clove

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.ธัญบุรี ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

² ครู คศ.2 ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษารังสิต ตำบลรังสิต ถนนรังสิต-นครนายก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

³ นักวิจัย ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ วว. ตำบลคลองห้า อำเภอดคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 10120

¹ Asst.prof.Biology Division, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology, Thanyaburi, Pathumthani, 12110

² Lecturer, Rangsit Science Center, Rangsit Nakornnayok Rd. Thanyaburi, Pathumthani, 12110

³ Researcher, Thailand Institute of Scientific and Technological Research, 35 Mu 3, Khlong Ha, Khlong Luang, Pathimthani, 12120

* Correspondence to: Nopparat Buddhakala, Biology Division, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology, Thanyaburi, Pathumthani, 12110, Thailand, E-mail:nopparat_b@rmutt.ac.th

บทนำ

ปลาดุกอุยเทศ (Hybrid catfish; *Clarias macrocephalus* × *Clarias gariepinus*) เป็นปลาลูกผสมระหว่าง ปลาดุกเทศ (*Clarias gariepinus* Burchell) และปลาดุกอุย (*Clarias macrocephalus* Günther) ซึ่งเป็นปลาน้ำจืดที่ได้รับความนิยมรับประทานของคนไทย โดยใช้ประกอบอาหาร บั๊อย่าง ลาบ และ ผัดเผ็ดปลาดุก เป็นต้น และยังเป็นปลาน้ำจืดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเป็นอันดับสองของประเทศไทยรองจากปลานิล เนื่องจากปลาดุกเป็นปลาที่มีคุณค่าทางโปรตีนสูงโดยให้โปรตีน 23 กรัม ต่อน้ำหนักปลา 100 กรัม แต่การเลี้ยงปลาดุกอุยเทศก็พบปัญหาในเรื่องการอนุบาลและการขนส่ง เพราะในระหว่างการขนส่งปลาดุกมักจะเกิดความเครียดจากเสียดสีกัน จึงทำให้ปลาอ่อนแอ และเป็นแผลติดเชื้อได้ง่าย เกษตรกรจึงใช้สารเคมี เช่น MS-222 ในการทำสลบปลาและป้องกันการติดเชื้อก่อโรคในปลาเพราะออกฤทธิ์ได้รวดเร็ว แต่ต้องพักปลา ก่อนนำไปบริโภคนานถึง 21 วัน จึงจะปลอดภัย¹ เพื่อลดปัญหาสารพิษตกค้างก่อนจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภค จึงมีการนำสมุนไพรมาใช้ในการทำสลบและฟื้นฟูปลามากขึ้น

กานพลู (*Syzygium aromaticum* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่จัดอยู่ในวงศ์ขมพู่ ต้นกานพลูเป็นไม้ยืนต้นและเป็นสมุนไพรชนิดหนึ่งที่มีความนิยมใช้เป็นยาชาเฉพาะที่ ยาแก้ปวดฟัน นอกจากนี้ยังมีสรรพคุณทางยาอีกมากมาย มีรายงานว่ากานพลูขนาด 750 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนูแรทหนึ่ง กิโลกรัมออกฤทธิ์ทำให้หนูแรทหลับได้นานที่สุด 146.2±7.66 นาทีซึ่งถือว่าเป็นฤทธิ์ผ่อนคลายเป็นต่อสัตว์ทดลอง² จึงนิยมนำมาใช้เป็นเครื่องเทศและผสมในตำรับยาไทย เนื่องจากกานพลูมีสารสำคัญคือ ยูจีนอล (eugenol) พบได้ในส่วนของดอกตูม ผล ต้น เปลือก และจากรายงานของ สุริยเมธินทร์ วงศ์เผ่าสกุล และคณะ³ พบสารยูจีนอลในดอกแห้ง (62.53%) และใบกานพลู (79.62%) นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำมันหอมระเหยในบัญชียาสมุนไพรตามประกาศคณะกรรมการแห่งชาติด้านยา (ฉบับที่ 5) นอกจากนี้มีงานวิจัยหลายแห่งที่ใช้น้ำมันจากดอกกานพลูมียูจีนอลสูงถึง 82.3-91.4%⁴ และนำมาใช้เป็นยาระงับความรู้สึกสัตว์น้ำ⁵ แทนสารเคมีในท้องตลาดเพื่อลดปริมาณสารพิษตกค้างในสัตว์น้ำก่อนจำหน่ายแก่ผู้บริโภค โดยใช้น้ำมันกานพลูเพื่อพักและอนุบาลสัตว์น้ำขณะทำการขนส่งไปยังฟาร์ม และแหล่งเพาะพันธุ์⁶ ทั้งนี้มีรายงานว่าปลาที่ได้รับยาสลบ MS-222 กับน้ำมันกานพลูที่ความเข้มข้นเท่ากันปลาสามารถกินอาหารได้ปกติภายหลังสลบด้วยกานพลู 4 ชั่วโมง และกินอาหารได้ 48 ชั่วโมงเมื่อได้รับ MS-222⁷ ปัญหาในการขยายพันธุ์กานพลู เช่น การเพาะเมล็ดภายหลังการเก็บเกี่ยว กานพลูมีอันตรายการงอกประมาณร้อยละ 90 และอัตราการงอก

จะลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้กานพลูเป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำได้ยากในท้องตลาดจึงมีราคาดอกแห้งกิโลละ 750-800 บาท หากการศึกษาวิจัยสามารถนำวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมาช่วยเร่งให้เกิดแคลลัส (callus) ดังรายงานของ Malamug (1991)¹ ที่ได้ศึกษาเรื่องการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อซึ่งในอาหารที่มีการเติมฮอร์โมน 2,4-D 1.0 ppm และเติมฮอร์โมน NAA 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ BA 0.5-1.0 ppm โดยเพาะเลี้ยงภายใต้สภาพอุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ทั้งที่มีแสงและที่มืดเป็นเวลา 1 เดือน พบว่ามีการชักนำให้เกิดแคลลัสได้ 100 เปอร์เซ็นต์¹ สำหรับกานพลูเป็นไม้ยืนต้นที่มีสารฟีนอลิกสูงเป็นอุปสรรคในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ แต่สามารถกระตุ้นให้เกิดแคลลัสได้ในอาหารสูตร WPM ที่เติมฮอร์โมน TDZ (0.1 ppm) และ 2,4-D (0.1 ppm)⁹

การเพาะเลี้ยงแคลลัส เพื่อกระตุ้นเนื้อเยื่อให้เป็นกลุ่มก้อนของเซลล์ที่มีการแบ่งตัวอย่างรวดเร็ว ใช้ประโยชน์ในการขยายพันธุ์พืช โดยชักนำให้ชิ้นส่วนพืชมีการแบ่งเซลล์เกิดเป็นแคลลัสแล้วเจริญเติบโตเกิดเป็นหน่อ หรือต้นพืชที่มีการคัดเลือกแคลลัสที่มีคุณสมบัติบางประการ เช่น ทนเค็ม ทนสารฆ่าวัชพืช ดังนั้นการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืช ความสำเร็จในการเพาะเลี้ยงแคลลัสของพืชใบเลี้ยงคู่มักได้จากส่วนใบเลี้ยง ส่วนที่อยู่เหนือใบเลี้ยงปลายยอด ส่วนที่อยู่ใต้ใบเลี้ยง และราก ในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวได้จากส่วนของใบอ่อน ปลายยอด ดอกอ่อน ขึ้นอยู่กับสารควบคุมการเจริญเติบโต (Growth regulators) โดยเฉพาะออกซินและไซโตไคนิน ซึ่งสัดส่วนของฮอร์โมนทั้ง 2 กลุ่มนี้มีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงพัฒนาของเซลล์ สัดส่วนของออกซินต่อไซโตไคนินสูงกระตุ้นให้แคลลัสพัฒนาไปเป็นราก ถ้าสัดส่วนของออกซินต่ำกว่าไซโตไคนินเนื้อเยื่อพืชจะพัฒนาไปเป็นยอดหรือต้น และหากสัดส่วนออกซินเท่ากับไซโตไคนินชิ้นส่วนของพืชจะพัฒนาไปเป็นแคลลัสต่อไป ความเข้มข้นที่ใช้เลี้ยงเนื้อเยื่อพืชต่าง ๆ นั้นพบว่าชิ้นส่วน ออกซินจะอยู่ในช่วง 0.01 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) และไคเนตินซึ่งเป็นไซโตไคนินสังเคราะห์จะอยู่ในช่วง 0.1 - 10.0 มก/ล. ทั้งนี้ปริมาณและสัดส่วนของฮอร์โมนที่เหมาะสมต่อการเกิดแคลลัสขึ้นอยู่กับชนิดพืช ชนิดชิ้นส่วนของพืช จากการศึกษาวิจัยครั้งก่อนการกระตุ้นแคลลัสกานพลูจากชิ้นส่วนของใบเจริญได้ดีกว่า ตาข้าง⁹ การศึกษานี้จึงเป็นการใช้ประโยชน์จากเทคนิคการกระตุ้นแคลลัสจึงเป็นการเร่งให้ได้สารจากกานพลูในระยะเวลาน้อยกว่าการปลูกต้นกานพลู และลดต้นทุนในการปลูกพืชระยะยาวได้ ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงทำการสกัดสารจากแคลลัสของใบกานพลูแทนน้ำมันจากดอกแห้งของกานพลูโดยหาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการระงับความรู้สึกของปลา

ระหว่างการพักปลาแบ่งระดับอาการออกเป็น 3 ระดับอาการ ได้แก่ เคลื่อนไหวช้า นิ่ง และสลบ¹⁰ ดังนั้นคาดว่าผลที่ได้จากการทดลองในงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อพัฒนาการผลิตสารเพื่อใช้ในการสลบปลาคุกอยู่เทศแทนสารเคมีที่ใช้ในท้องตลาดซึ่งสารเคมีนั้นทำให้เกิดสารตกค้างซึ่งอาจเป็นอันตรายกับผู้บริโภคและเป็นประโยชน์ต่อการพักปลาในระหว่างที่ปลาเข้าสู่อาการสงบนิ่ง (sedation) และอาการเคลื่อนไหวช้า⁵ เพื่อประโยชน์ในการป้องกันการเกิดแผลและความเครียดของปลาระหว่างการขนส่ง¹¹ ช่วยป้องกันการเคลื่อนไหวที่อาจเสียดสีจนเกิดบาดแผลที่ติดเชื้อง่าย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสูตรอาหารช่วยเร่งอัตราการเกิดแคลลัสสถานพลาในอาหารสูตร WPM ซึ่งเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตแตกต่างกัน
2. เพื่อทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดจากแคลลัสสถานพลา กับสารมาตรฐาน MS - 222 ต่อการสงบนิ่งของปลาคูกอยู่เทศ ขนาด 10-15 เซนติเมตร โดยมีสาร Tween 80 เป็นกลุ่มควบคุม

วิธีการทดลอง

1. แบบการทดลองและสถิติที่ใช้ แบ่งเป็น 2 ชุด ดังนี้
 - 1.1 ชุดที่ 1 ทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช และการกระตุ้นแคลลัสสถานพลาในสภาพปลอดเชื้อ เพื่อนำไปหาค่าร้อยละของการรอดชีวิตสูงที่สุดของชิ้นเนื้อเยื่อที่ผ่านการพอกฆ่าเชื้อในเวลา 7 สัปดาห์ และหาค่าร้อยละของการเกิดแคลลัสสถานพลาที่ควบคุมบนอาหาร สูตร WPM และหาค่าร้อยละการรอดชีวิตของแคลลัสที่กระตุ้นด้วยสารควบคุมการเจริญเติบโตในเวลา 6 สัปดาห์ (n=10)
 - 1.2 ชุดที่ 2 วางแผนการทดลองแบบ CRD การวิเคราะห์ข้อมูล หาค่าเฉลี่ยระยะเวลา (นาที) ที่ปลาตอบสนองระดับอาการต่าง ๆ ในแต่ความเข้มข้น (n=5)
2. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช
 - 2.1 นำต้นกานพลูจากคลองสิบห้า อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานีมาทำการอนุบาลต้นพืชไว้ในโรงเรือนศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษารังสิต พื้นโรงเรือนเป็นพื้นซีเมนต์ อุณหภูมิ 29±2 องศาเซลเซียส ให้น้ำด้วยวิธีการสเปรย์ฉีดพ่นยากันเชื้อราและศัตรูพืชสัปดาห์ละ 1 ครั้ง
 - 2.2 เตรียมอาหารสูตร WPM ที่ใช้กับไม่ย่นต้นทั่วไป
 - 2.3 การพอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนต่างๆ ของกานพลู

2.3.1 เลือกชิ้นส่วนของกานพลูที่สมบูรณ์มาทำการสเปรย์ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นล้างแบบรินน้ำผ่านประมาณ 2-3 นาที

2.3.2 แยกชิ้นส่วนตายอด ตาข้างและใบอ่อนของกานพลูออกจากกัน นำแต่ละชิ้นส่วนไปแช่น้ำยากันเชื้อรา นาน 30 นาที

2.3.3 แช่ชิ้นส่วนกานพลูในเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำมาพอกฆ่าเชื้อโดยแบ่งเป็น 3 สูตร ดังนี้

- สูตรที่ 1 พอกฆ่าเชื้อด้วยสารละลายคลอโรกซ์ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ นาน 5 นาที ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ นาน 5 นาที และล้างด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อ อีก 3 ซ้ำ ซ้ำละ 5 นาที

- สูตรที่ 2 พอกฆ่าเชื้อด้วยสารละลายคลอโรกซ์ที่ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ นาน 20 นาที ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ นาน 10 นาที และล้างด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อ อีก 3 ซ้ำ ซ้ำละ 5 นาที

- สูตรที่ 3 พอกฆ่าเชื้อด้วยสารละลาย H₂O₂ ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ นาน 5 นาที สารละลายคลอโรกซ์ที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ นาน 10 นาที และล้างด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้ออีก 3 ซ้ำ ๆ ละ 5 นาที

2.3.4 นำเนื้อเยื่อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วมาเลี้ยงในอาหารสูตร WPM ไปเลี้ยงที่ห้องปลอดเชื้อโดยควบคุมความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ให้แสง 16 ชั่วโมง/วัน อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เก็บผลในทุก ๆ วันเป็นระยะเวลา 13 สัปดาห์

3. การกระตุ้นแคลลัสสถานพลา

จากการศึกษาครั้งนี้ช่วงแรกได้นำเอาชิ้นส่วนกานพลูที่ผ่านการทดลองมา 7 สัปดาห์ และมีอัตราการรอดชีวิตสูงที่สุดมาเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในสูตรอาหารที่เติมฮอร์โมนหรือสารควบคุมการเจริญเติบโตแตกต่างกันต่อเนื่อง 6 สัปดาห์ รวมระยะเวลาที่กระตุ้นแคลลัสสถานพลาทั้งสิ้น 13 สัปดาห์ ดังนี้

3.1 การเตรียมสารควบคุมการเจริญ

ซึ่ง Thidiazuron (TDZ) ซึ่ง TDZ 0.01 กรัม ละลายใน 1 M KOH เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย TDZ ที่ความเข้มข้น 100 ppm และเตรียม NAA, BA, 2,4-D, IAA และ GA อย่างละ 100 ppm

3.2 ศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโต

ต่อการชักนำชิ้นส่วนใบกานพลูในสภาพปลอดเชื้อให้เกิดแคลลัสในอาหารสูตร WPM

3.2.1 นำชิ้นส่วนใบกานพลูที่มีอัตราการรอดชีวิตสูงที่สุดจากสูตรที่ 1 ที่มีอัตราการรอด 28 เปอร์เซ็นต์

และมีการพัฒนาต่อเนื่องสังเกตได้จากมีขนาดของเส้นใบหนา และขนาดใบใหญ่ขึ้นจึงนำมากระตุ้นแคลลัสโดยนำมาเพาะเลี้ยงในอาหารสูตร WPM ที่มีการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตด้วยฮอร์โมนที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันจำนวน 21 สูตร ๆ ละ 10 ข้ำ โดยสูตรที่ 1 เป็นชุดควบคุมอาหารสูตร WPM ที่เติมฮอร์โมน 0 ppm และ Tween 80 (1%) สูตร WPM ที่ 2, 4, 6 และ 8 เติมฮอร์โมน BA ความเข้มข้น 0.5, 1, 2 และ 3 ppm ตามลำดับ สูตร WPM ที่ 3, 5, 7 และ 9 เติมฮอร์โมน BA ความเข้มข้น 0.5, 1, 2, 3 ppm ตามลำดับ และเพิ่ม NAA ความเข้มข้น 0.5 ppm ด้วย ส่วนสูตร WPM ที่ 10-19 เติมฮอร์โมน 2,4-D ความเข้มข้น 0.5 – 3 ppm และ TDZ ความเข้มข้น 0.05 ppm ตามลำดับ สูตร WPM ที่ 20 เติม GA (0.1 ppm) และ IAA (0.5 ppm) อาหารสูตรที่ 21 เติมฮอร์โมน NAA (1 ppm) และ KI (2 ppm) ดัง Table 1

3.2.2 นำชุดการทดลองทั้งหมดไปทำการควบคุมการกระตุ้นแคลลัสที่ห้องปลอดเชื้อโดยควบคุมความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ ให้แสง 16 ชั่วโมง/วัน อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส ทำการบันทึกลักษณะของแคลลัส และร้อยละของการเกิดแคลลัสเป็นระยะเวลา 13 สัปดาห์

3.3 การเพิ่มขนาดของแคลลัสที่ได้จากการกระตุ้นชิ้นส่วนใบกานพลู โดยทำการเพาะเลี้ยงแคลลัสในอาหาร WPM ที่มีการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตที่เหมาะสมที่สุดจาก Table 1 เป็นเวลา 6 สัปดาห์เพื่อกระตุ้นให้แคลลัสมีการเพิ่มขนาดมากขึ้นก่อนนำไปทำการสกัดสารจากแคลลัสกานพลูต่อไป

4. การสกัดสารจากแคลลัสใบกานพลู

4.1 การเตรียมสารสกัด ทำการแบ่งการทดลองออกเป็นสองชุด ได้แก่

- ชุดทดสอบ คือ ตัวอย่างแคลลัสจากใบที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในอาหาร WPM ที่มีการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตในระดับที่เหมาะสมและผ่านการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมาเป็นเวลา 13 สัปดาห์ 0.1 กรัมบดให้ละเอียดกับไนโตรเจนเหลวจึงนำมาแช่ในเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร นำไปแช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

- ชุดควบคุม คือ ใช้เอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตรแช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Table 1 Growth regulators in WPM formula to stimulate callus of clove

| No. | Concentration (ppm) | | | | | | |
|-----|---------------------|-----|-------|------|-----|-----|----|
| | BA | NAA | 2,4-D | TDZ | GA | IAA | KI |
| 1 | - | - | - | - | - | - | - |
| 2 | 0.5 | - | - | - | - | - | - |
| 3 | 0.5 | 0.5 | - | - | - | - | - |
| 4 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| 5 | 1 | 0.5 | - | - | - | - | - |
| 6 | 2 | - | - | - | - | - | - |
| 7 | 2 | 0.5 | - | - | - | - | - |
| 8 | 3 | - | - | - | - | - | - |
| 9 | 3 | 0.5 | - | - | - | - | - |
| 10 | - | - | 0.5 | - | - | - | - |
| 11 | - | - | 0.5 | 0.05 | - | - | - |
| 12 | - | - | 1 | - | - | - | - |
| 13 | - | - | 1 | 0.05 | - | - | - |
| 14 | - | - | 2 | - | - | - | - |
| 15 | - | - | 2 | 0.05 | - | - | - |
| 16 | - | - | 2.5 | - | - | - | - |
| 17 | - | - | 2.5 | 0.05 | - | - | - |
| 18 | - | - | 3 | - | - | - | - |
| 19 | - | - | 3 | 0.05 | - | - | - |
| 20 | - | - | - | - | 0.1 | 0.5 | - |
| 21 | - | 1 | - | - | - | - | 2 |

4.1.1 นำตัวอย่างทั้งหมดมาบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.1.2 นำตัวอย่างที่ผ่านการบ่มแล้วไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาทีที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

4.1.3 แยกส่วนใสไปกรองผ่านเซลลูโลสเมมเบรน ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร เพื่อให้ปลอดเชื้อ

4.1.4 ทำการเก็บรักษาสารสกัดไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสจนกว่าจะนำมาทำการทดลอง

5. การทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดแคลลัสกานพลูในการสลบปลาตุ๊กตไทย

5.1 การเตรียมปลาตุ๊กตไทย

ซื้อปลาตุ๊กตไทยจากฟาร์มเลี้ยงจังหวัดปทุมธานี ขนาดยาว 10-15 เซนติเมตร น้ำหนัก 10-15 กรัม อายุประมาณ 3 เดือน มาอนุบาลไว้ในตู้ปลา เพื่อให้ปลาตุ๊กต

เคยกับสภาพแวดล้อม 1 สัปดาห์ให้อาหารสำหรับปลากินเนื้อ
วันละ 2 ครั้ง (เช้า-เย็น) จนกว่าจะเริ่มดำเนินการทดลอง

5.2 ทำการทดสอบฤทธิ์ต่ออาการสงบนิ่ง (Sedation) ของปลาดุกอุยเพศโตโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 7 ชุดทดลอง (ชุดละ 5 ซ้ำ) ดังนี้

- ชุดที่ 1 เอทิลแอลกอฮอล์ 50% และ Tween 80 (1%)
- ชุดที่ 2 สาร MS-222 (10 ppm)
- ชุดที่ 3 สารสกัดแคลลัสไปกานพลู (1 ppm)
- ชุดที่ 4 สารสกัดแคลลัสไปกานพลู (2 ppm)
- ชุดที่ 5 สารสกัดแคลลัสไปกานพลู (3 ppm)
- ชุดที่ 6 สารสกัดแคลลัสไปกานพลู (4 ppm)
- ชุดที่ 7 สารสกัดแคลลัสไปกานพลู (5 ppm)

บันทึกระยะเวลาออกฤทธิ์ต่ออาการสงบนิ่ง และหาระยะเวลาในการฟื้นปลาดุกจากการตอบสนอง เคลื่อนไหวช้าจนปลาวายน้ำปกติ โดยการนำปลาดุกอุยเพศที่สงบนิ่งไปพักในน้ำสะอาดที่ให้ออกซิเจนตลอดเวลาที่อุณหภูมิห้อง สังเกตและบันทึกระยะเวลาที่ปลาเริ่มมีอาการตอบสนองจนว่ายน้ำปกติ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลทางสถิติทดสอบต่อไป

6. นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 5 มาวิเคราะห์หาค่าทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ One-Way ANOVA เมื่อพบว่าผลการตรวจสอบสมมติฐานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p < 0.05$)

ผลการทดลอง

ผลการศึกษาอัตราการรอดของชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ตายอด ตาข้าง และใบของกานพลูที่ผ่านการพอกฆ่าเชื้อด้วยน้ำยา 3 สูตร ๆ ละ 10 ชิ้น (ซ้ำ) ได้ผล ดังนี้

ตายอดของกานพลูมีอัตราการรอดชีวิตสูงสุดคือสูตรที่ 2 มีอัตราการรอด 15% เนื้อเยื่อสามารถรอดอยู่ได้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ และสูตรที่ 3 อัตราการรอด 15% เนื้อเยื่อสามารถรอดอยู่ได้เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ส่วนสูตรที่ 1 อัตราการรอด 5% เนื้อเยื่อสามารถรอดอยู่ได้เป็นเวลา 5 สัปดาห์ ตามลำดับ

ตาข้างของกานพลูมีอัตราการรอดชีวิตได้ดีที่สุดคือสูตรที่ 3 มีอัตราการรอด 20% เนื้อเยื่อสามารถรอดอยู่ได้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ รองลงมาคือสูตรที่ 1 มีอัตราการรอด 5% เนื้อเยื่อสามารถรอดอยู่ได้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ส่วนสูตรที่ 2 มีอัตราการรอดเพียง 5% เนื้อเยื่อสามารถรอดอยู่ได้เป็นเวลา 4

สัปดาห์ ตามลำดับ

ใบกานพลูมีอัตราการรอดชีวิตได้ดีที่สุดคือสูตรที่ 1 มีอัตราการรอดชีวิตสูงสุดคือ 30% เนื้อเยื่อสามารถรอดอยู่ได้นานกว่า 8 สัปดาห์ รองลงมาคือ สูตรที่ 2 มีอัตราการรอด 20% เนื้อเยื่อสามารถรอดอยู่ได้นานกว่า 8 สัปดาห์ ส่วนสูตรที่ 3 มีอัตราการรอด 20% เนื้อเยื่อสามารถรอดอยู่ได้นานกว่า 8 สัปดาห์

ผลการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการชักนำแคลลัสไปกานพลูในอาหารสูตร WPM จำนวน 21 สูตร โดยนับระยะเวลาหลังจากกระตุ้นให้เกิดแคลลัสต่อเนื้อเยื่ออีก 6 สัปดาห์ รวมระยะเวลาทดลองทั้งสิ้น 13 สัปดาห์ ดังตารางที่ 1 จากอาหาร 21 สูตร มีเพียง 6 สูตรที่สามารถกระตุ้นการเกิดแคลลัสได้ดังนี้ อาหารสูตรที่ 1-12 และสูตรที่ 19-21 มีอัตราการรอดชีวิตทั้งหมด แต่ไม่สามารถพัฒนาเป็นแคลลัสได้ ส่วนอาหารสูตรที่ 13-18 ชิ้นส่วนไปกานพลูพัฒนาเป็นแคลลัสได้แตกต่างกัน คือ สูตรที่ 13 มีอัตราการรอดชีวิต 90 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเกิดแคลลัส 10 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 14 อัตราการรอดชีวิต 100 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเกิดแคลลัส 20 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 15 อัตราการรอดชีวิต 100 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเกิดแคลลัส 10 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 16 อัตราการรอดชีวิต 90 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเกิดแคลลัส 90 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 17 อัตราการรอดชีวิต 100 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเกิดแคลลัส 70 เปอร์เซ็นต์ และสูตรที่ 18 อัตราการรอดชีวิต 90 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเกิดแคลลัส 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูตร WPM ที่ 17 เติมสาร TDZ ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 ppm และ 2,4-D ที่ความเข้มข้น 2.5 ppm พบว่าแคลลัสไปกานพลูมีอัตราการรอดชีวิต 100 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 0.5 กรัมต่อชิ้น และมีขนาดเพิ่มขึ้น 0.5 เซนติเมตร (Figure 1 และ Table 2)

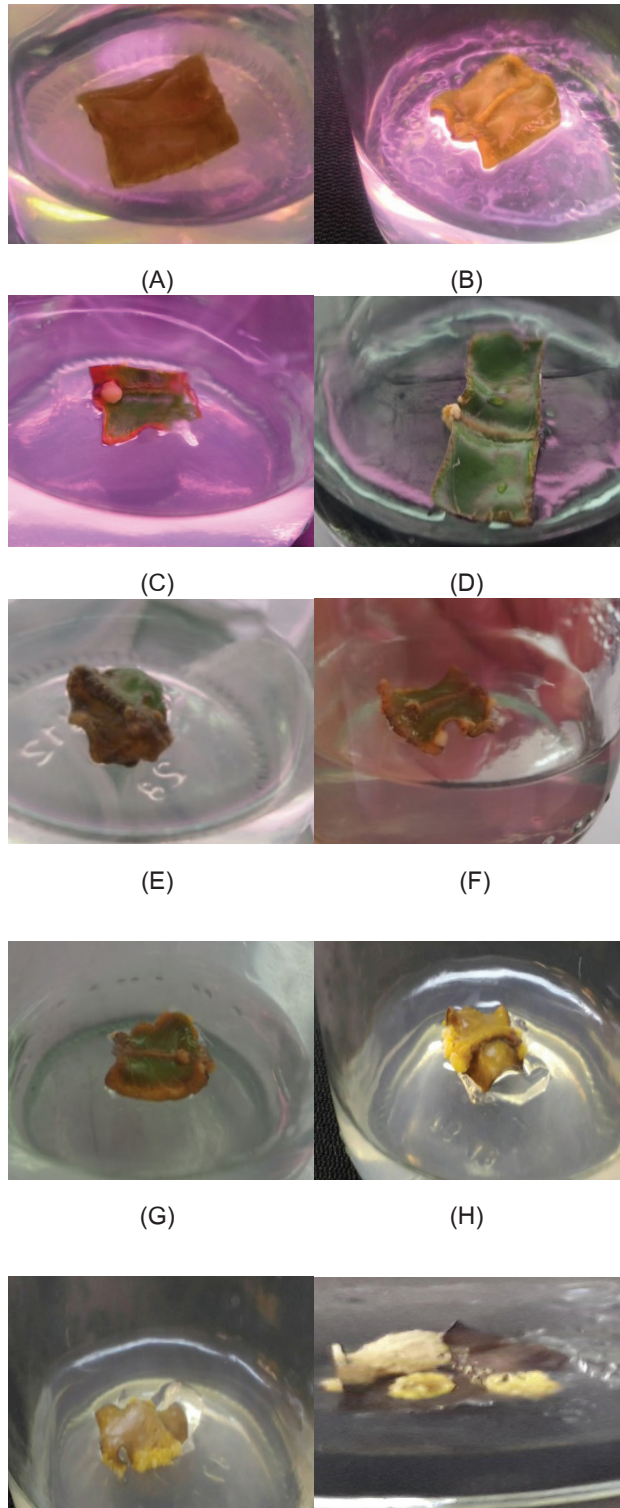


Figure 1 Growth of clove callus on WPM (No. 17) supplemented with TDZ at 0.05 ppm and 2,4-D (2.5 ppm); A-J the tissue ages 4-13 week (respectively)

Table 2 Survival rate and growth rate of clove callus on WPM for 6 weeks

| No. of WPM formula | Survival rate (%) | Callus culture (%) of growth rate |
|--------------------|-------------------|-----------------------------------|
| 1-12 | 100 | - |
| 13 | 90 | 10 |
| 14 | 100 | 20 |
| 15 | 100 | 10 |
| 16 | 90 | 90 |
| 17 | 100 | 70 |
| 18 | 90 | 50 |
| 19-21 | 100 | - |

ผลการทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดแคลลัสกานพลูต่อการสงบนิ่งปลาดุกอุยเทศที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมใช้เอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบ พบว่าสารสกัดแคลลัสกานพลูที่ระดับความเข้มข้น 1, 2, 3, 4 และ 5 ppm และสาร MS-222 ความเข้มข้น 10 ppm มีฤทธิ์ต่อการสงบนิ่งของปลาดุกอุยเทศขนาด 10-15 เซนติเมตร น้ำหนัก 10-15 กรัม อายุประมาณ 3 เดือน (Figure 2 และ Table 3) โดยปลาเข้าสู่ระดับอาการเคลื่อนไหวช้าใช้เวลา 7.13, 5.35, 2.74, 1.87, 0.99 และ 5.02 นาที ตามลำดับ เข้าสู่ระดับอาการสงบนิ่งใช้เวลา 7.61, 6.21, 3.74, 2.72, 1.28 และ 18.94 นาที ตามลำดับ และเข้าสู่ระดับอาการสงบนิ่งได้นาน 51.70, 53.14, 55.51, 56.50, 57.68 และ 39.00 นาที ตามลำดับ



Figure 2 Anesthesia of Hybrid catfish receiving clove callus extract (5 ppm) to stimulate in sedation

จากการทดลองฟื้นความรู้สึกพบว่าสารสกัดแคลลัสไปกานพลูระดับความเข้มข้น 1, 2, 3, 4 และ 5 ppm และสาร MS-222 ความเข้มข้น 10 ppm ทำให้ปลาดุกอุยเทศขนาด 10-15 เซนติเมตร น้ำหนัก 10-15 กรัม อายุประมาณ 3 เดือน มีระดับการตอบสนองต่อฤทธิ์ของสารสกัดจากแคลลัสไปกานพลู

Table 3 The average time (minutes) of catfish anesthesia at different symptom levels when using callus extract at concentrations of 1, 2, 3, 4 and 5 ppm compared with MS-222 at 10 ppm

| No. | Concentration | Period To Show The Symptoms Of Juveniles (Minute) | | | |
|-----|----------------------------|---|-------------------------|-------------------------|---|
| | | Slow Motion | Sedation | Anesthesia | n |
| 1 | control (1% Tween 80) | Normal | Normal | normal | 5 |
| 2 | MS-222 at 10 ppm | 5.02±0.42 ^d | 18.94±0.76 ^f | 39.00±0.88 ^a | 5 |
| 3 | clove callus extract 1 ppm | 7.13±0.03 ^e | 7.60±0.10 ^e | 51.70±0.04 ^b | 5 |
| 4 | clove callus extract 2 ppm | 5.35±0.09 ^d | 6.21±0.70 ^d | 53.14±0.15 ^c | 5 |
| 5 | clove callus extract 3 ppm | 2.74±0.14 ^c | 3.74±0.14 ^c | 55.51±0.04 ^d | 5 |
| 6 | clove callus extract 4 ppm | 1.87±0.12 ^b | 2.72±0.14 ^b | 56.50±0.15 ^d | 5 |
| 7 | clove callus extract 5 ppm | 0.99±0.11 ^a | 1.28±0.38 ^a | 57.68±0.06 ^e | 5 |

Note that the mean values in different letters (a, b, c, d, e, and f) vertically differ ($p < 0.05$)

โดยเข้าสู่ระดับอาการตอบสนองใช้เวลา 0.34, 0.44, 0.81, 1.24, 1.45 และ 0.21 นาทีตามลำดับ เข้าสู่ระดับอาการเคลื่อนไหวช้าใช้เวลา 0.43, 0.53, 1.04, 1.51 2.12 และ 0.96 นาที ตามลำดับ และฟื้นฟูการว่ายน้ำได้ปกติใช้เวลา 1.11, 1.32, 1.61, 2.33, 2.52 และ 3.30 นาที ตามลำดับดัง Table 4

Table 4 The average time (minutes) of catfish recovery at different symptom levels when using callus extract at concentrations of 1, 2, 3, 4 and 5 ppm compared with MS-222 at 10 ppm

| No | Concentration | Recovery Period (Minutes) | | | n |
|----|----------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|---|
| | | Response | Slow Motion | Normal | |
| 1 | control (1% Tween 80) | Normal | Normal | normal | 5 |
| 2 | MS-222 at 10 ppm | 0.21±0.07 ^a | 0.96±0.17 ^b | 3.30±0.07 ^f | 5 |
| 3 | clove callus extract 1 ppm | 0.34±0.02 ^b | 0.43±0.01 ^a | 1.11±0.03 ^a | 5 |
| 4 | clove callus extract 2 ppm | 0.44±0.01 ^b | 0.53±0.01 ^a | 1.32±0.04 ^b | 5 |
| 5 | clove callus extract 3 ppm | 0.81±0.12 ^c | 1.04±0.11 ^b | 1.61±0.10 ^c | 5 |
| 6 | clove callus extract 4 ppm | 1.24±0.02 ^d | 1.51±0.02 ^c | 2.33±0.06 ^d | 5 |
| 7 | clove callus extract 5 ppm | 1.45±0.03 ^e | 2.12±0.04 ^d | 2.52±0.03 ^e | 5 |

Note that the mean values in different letters (a, b, c, d, e, and f) vertically differ ($P < 0.05$)

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

ผลการฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนกานพลู

พบการนำชิ้นส่วนตายอด ตาข้าง และใบจากต้นกานพลูมาฟอกฆ่าเชื้อในน้ำยาคลอโรกซ์ 3 สูตรพบว่าที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ นาน 5 นาที ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ นาน 5 นาที ตามด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ (3 ซ้ำ ๆ ละ 5 นาที) ได้เนื้อเยื่อใบกานพลูที่มีชีวิตอยู่ถึง 30% และมีการพัฒนาอย่าง

ต่อเนื่องโดยเนื้อเยื่อมีการตอบสนองต่อฮอร์โมน TDZ และ 2,4-D จึงพัฒนาเป็นแคลลัสได้เนื่องจากอาหารสูตร WPM มีคุณสมบัติในการกระตุ้นเนื้อเยื่อเจริญของไมยต้นได้ดี¹² ประกอบกับชิ้นส่วนใบของกานพลูไม่มีส่วนยับยั้งใบมีลักษณะเกลี้ยง เรียบเป็นมันเขียวสด ไม่มีรอยแผล ชิ้นส่วนตายอด และตาข้าง ซึ่งมีรอยไหม้จากน้ำยาฟอกบริเวณซอกใบอ่อน และแขนงอ่อนที่ยื่นมีลักษณะการปนเปื้อนเชื้อรา การ

ชักนำตายอดมีอัตราการรอดสูง 5% โดยเนื้อเยื่อสามารถรอดอยู่ได้เป็นเวลา 5 สัปดาห์ ส่วนตาข้างอัตราการรอด 5% โดยเนื้อเยื่อสามารถรอดอยู่ได้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ เนื่องจากมีการปนเปื้อนเชื้อราจากการชักนำชิ้นส่วนต่าง ๆ แม้จะพ่นน้ำยากันราก่อนทำการฟอกฆ่าเชื้อ

ผลการกระตุ้นแคลลัสไปกานพลูด้วยฮอร์โมน

ผลการศึกษานี้ทำให้สามารถพบสัดส่วนที่เหมาะสมของของอาหารสูตร WPM⁹ ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มออกซินเหนี่ยวนำให้เนื้อเยื่อพืชให้มีการยึดตัวได้มากกว่าปกติ¹³ ต่อสารกลุ่มไซโตไคนินที่เหมาะสมจึงมีผลต่อการชักนำการแบ่งเซลล์¹⁴ ชิ้นส่วนไปกานพลูให้เกิดแคลลัสในอาหารสูตร WPM เมื่อใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต TDZ (0.05 ppm) และ 2,4-D (2.5 ppm) ปรับ pH เท่ากับ 5.7 นั้นทำให้ชิ้นส่วนของไปกานพลูได้รับสารสกัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างไซโตไคนินต่อปริมาณออกซิน^{15,16} ซึ่งทำให้มีการดูดซึมอาหาร และแร่ธาตุตลอดเวลา แม้จะมีสารฟีนอลิกที่ปลดปล่อยออกมาขัดขวางการเจริญเติบโตในปริมาณสูง เมื่อมีการเปลี่ยนอาหารใหม่ และย้ายชิ้นส่วนออกจากฟีนอลิกทุก ๆ สัปดาห์ทำให้เนื้อเยื่อไปกานพลูมีอัตราการรอดชีวิต 100 เปอร์เซ็นต์ และมีการพัฒนาเป็นแคลลัสมากที่สุด 90 เปอร์เซ็นต์ ประกอบกับจำนวนใบต่อต้นกานพลูมีปริมาณมาก สามารถเก็บจากต้นได้ตลอดเวลา และฟอกฆ่าเชื้อได้สะอาดปราศจากเชื้ออื่น ๆ ได้รวดเร็วกว่าชิ้นส่วนของตายอด และตาข้าง เมื่อได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มออกซิน และไซโตไคนินจึงมีโอกาสดำรงเป็นแคลลัส¹⁷ ได้มากกว่า และมีอัตราการรอดชีวิตสูง นอกจากนี้แคลลัสยังสามารถกระตุ้นให้เกิดยอดอ่อนได้หากได้รับสารเร่งการเจริญเติบโตต่อไป¹⁸

การทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดแคลลัสกานพลูในการสลบปลาตู้กอยเทศ

จากผลการทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดแคลลัสไปกานพลูต่อการสงบนิ่งของปลาดุกกอยเทศ พบว่าสารสกัดจากแคลลัสไปกานพลูระดับความเข้มข้น 1, 2, 3, 4 และ 5 ppm และสารมาตรฐาน MS-222 ที่ความเข้มข้น 10 ppm มีฤทธิ์ต่อการตอบสนองในระดับอาการต่าง ๆ ของปลาดุกกอยเทศ โดยไม่พบปลาตาย และหลังฟื้นปลาดุกกอยเทศสามารถว่ายน้ำเป็นปกติทุกตัว และสารสกัดแคลลัสกานพลูที่ความเข้มข้น 5 ppm ฤทธิ์ในการสงบนิ่งของปลาดุกกอยเทศดีที่สุดโดยเข้าสู่ระดับอาการเคลื่อนไหวช้าใช้เวลา 0.99 นาที เข้าสู่ระดับอาการนิ่งใช้เวลา 1.28 นาที เข้าสู่ระดับอาการสลบได้นาน 57.68 นาที และเมื่อนำมาทำการฟื้นปลาดุกใช้เวลาเข้าสู่ระดับมีการตอบ

สนอง 1.45 นาที เข้าสู่ระดับอาการเคลื่อนไหวช้าใช้เวลา 2.12 นาที และเข้าสู่ระดับอาการว่ายน้ำได้ปกติใช้เวลา 2.52 นาที ซึ่งให้ผลที่ดีกว่าสาร MS-222 ซึ่งปลาฟื้นตัวได้ช้ากว่า และยังคงมีการพักปลาเพื่อความปลอดภัยของปลา และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากปริมาณสารที่ทดสอบมีความเข้มข้นต่ำมาก แต่สามารถออกฤทธิ์ต่ออาการสงบนิ่งได้นั้นอาจเนื่องจากปริมาณของยูจินอลซึ่งเป็นสารสำคัญในไปกานพลู⁹ พบได้สูงกว่าชิ้นส่วนตาข้าง และตายอด ทำให้เนื้อเยื่อไปกานพลูพัฒนาเป็นแคลลัสที่สะสมสารยูจินอลสูง จึงทำให้ปลาดุกกอยเทศสงบนิ่ง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของพบว่าน้ำมันกานพลู และสารยูจินอล (60 ppm) มีผลต่อกลไกการทำงานของสารสื่อประสาท (neurotransmitter) ชนิดกาบา (gamma-aminobutyric acid; GABA) บนสารกลูตาไมกรีเซพเตอร์รีเซพเตอร์ทำให้ปลาทองขนาด 3-4 เซนติเมตรสลบได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนางสาวเครือวัลย์ ศรีมุข ที่ช่วยรวบรวมข้อมูลตามแผนงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณ วช. ที่สนับสนุนโครงการวิจัย ให้คำแนะนำและคำปรึกษาจนโครงการนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาชีววิทยา และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่อนุเมตตบประมาณและอำนวยความสะดวกในการจัดทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. นาวิน มหาวงศ์ เมธา คชาภิชาติ ปฏิพัทธ์ อภิชนกุล และ ประโยชน์ บุญประเสริฐ, "การทดลองเบื้องต้นในการใช้น้ำมันกานพลูเป็นยาสลบในปลาน้ำจืดที่สำคัญทางเศรษฐกิจบางชนิด" สำนักงานประมงจังหวัดพะเยา ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดพะเยา 2549.
2. กันยารัตน์ ศึกษากิจ, กฤติยา ทิสิกการ, วิเชียร เขยนอก, กายจนา สีแย้ม, ดรฤณี ปะหุสี และนพรัตน์ พุทธกาล. ฤทธิ์ของสารสกัดกานพลูต่อเวลาการนอนหลับในหนูทดลอง. Science and Technology RMUTT Journal 2557:4(2);45-50.
3. สุริยเมธินท์ วงศ์เฝ้าสกุล สุพรรณ โปธิศรี สุทธรธรรม สุพรรณ และนพรัตน์ พุทธกาล. ผลของสารสกัดดอกและกานพลูต่อการระงับความรู้สึกของปลาดุกกอยเทศ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2560(7):24-35.
4. Alma,H., Murat, E. Nitz, S. and Kollmannsberger, H. Chemical composition and content of essential oil from the bud of cultivated Turkish clove. (S. aro-

- maticum* L.) 2007:2(2);265-269.
5. ดนัย สมใจ อรุมา พาลเสื่อ และ สมหมาย เขียววาริสีจะ. ความเป็นพิษและประสิทธิภาพของน้ำมันกานพลูในการสลบปลากัดจีน. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ 2551:30-38.
 6. ชยันต์ พิเชียรสุนทร แม้นมาส ขวลิตและวิเชียร จีรวงศ์. บริษัทอัมรินทร์พรินติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน). กรุงเทพฯ 2542.
 7. Pirhonen, J. and Schreck, C.B. Effects of anaesthesia with MS-222, clove oil and CO₂ on feed in tank and plasma cortisol in steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 2003:220;507-514.
 8. Malamug, J.F, Inden, H. and Asahira, T. Plantlet regeneration and propagation from ginger callus. Scientia Hort 1991:48; 89-97.
 9. นพรัตน์ พุทธกาล เสาวณีย์ บัวโตน สุพรรณ โพธิ์ศรี ดลนภา แก้วภา และกาญจนา ภิญโญภาพ. ศึกษา สูตรอาหาร MS และ WPM ในการควบคุมการเจริญเติบโตของแคลลัสกานพลู. 6th RMUTNC & 5th RMUTIC 2014 2558:125-136.
 10. Donald L. Neiffer and M. Andrew Stamper. Fish Sedation, Anesthesia, Analgesia, and Euthanasia: Considerations, Methods, and Types of Drugs. Department of Animal Health, 1200 North Savannah Circle East, Lake Buena Vista 2009:FL32830.
 11. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. รายชื่อสมุนไพรที่มีการขึ้นทะเบียนยาแผนโบราณไว้ 100 อันดับแรก 2549.
 12. Larry D. Nooden and Kenneth V. Thimann. Evidence for requirement for protein synthesis for auxin-induced cell enlargement. Biological laboratories, Harvard university 1963.
 13. Weber, S., Weisse, C., Schwarz, T., Innis, C. and Klide, A.M. Anesthesia Diagnostic Imaging and Surgery of Fish," Compendium : Continuing Education for Veterinarians 2009:1-8.
 14. บุญยีน กิจจิวิจารณ์. เทคโนโลยีเบื้องต้น การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเพื่อการพัฒนาพันธุ์พืช. คลังนันทวิทยา, ขอนแก่น 2547:146หน้า.
 15. รังสฤษฎ์ กาวีตะ. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช : หลักการและเทคนิค. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ 2545:219 หน้า.
 16. เยาวนุช หงษ์รานนท์ เสียงใส พิริยพจนต์ และชารทิพย์ เพชรบูรณ์. การขยายพันธุ์กานพลู โดยวิธีเลี้ยงเนื้อเยื่อ. เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ ประจำปี 2535 กลุ่มพืชสมุนไพร และเครื่องเทศ. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ 2535:156-166.
 17. พีรเดช ทองอำไพ. ฮอริโมนพืชและสารสังเคราะห์ : แนวทางการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. หจก. ไดนามิคการพิมพ์, กรุงเทพฯ ๒ 2529:196 หน้า.
 18. Mathew, M. K. and Hariharan, M. In Vitro Multiple Shoot Regeneration in *Syzygium aromaticum*. Annals of Botany 1989:65;277-279.

การใช้เลซิดินถั่วเหลืองในอาหารไก่เนื้อต่อประสิทธิภาพการย่อยได้ โภชนาวิทยา สมรรถนะการผลิต ลักษณะซาก คุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อ

Utilization of Crude Soy Lecithin in Broiler Chicken Diets on Digestible Efficiency, Hematology, Productive Performance, Carcass Characteristics, Quality and Nutritive Value of Meat

มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี^{1*}, ศักดา ประจักษ์บุญเฉษฐา², พิมพ์ผกา บุญธรรม¹,
ปนัดดา อินทะสระระ¹, ปรียานุช สุตทอง¹, จักรกฤษ จันตรา¹, วรางคณา กิจพิพิธ¹
Manatsanun Nopparatmaitree^{1*}, Sakda Prajukboonjatsada², Pimpaka Buntham¹,
Panadda Intasara¹, Preyanuch Sudtong¹, Jukkrit Juntra¹, Warangkana Kitpipit¹

Received: 19 February 2018; Accepted: 2 July 2018

บทคัดย่อ

เลซิดินถั่วเหลืองเป็นเศษเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำมันถั่วเหลือง นอกเหนือจากการเป็นแหล่งพลังงาน ยังทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่มีส่วนช่วยในการดูดซึมไขมัน วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้มุ่งศึกษาการใช้ เลซิดินถั่วเหลืองในอาหารไก่เนื้อต่อสมรรถภาพการผลิต การย่อยได้ของโภชนะ ค่าทางโภชนาวิทยา ลักษณะซาก คุณภาพและคุณค่าทางโภชนะในเนื้อ โดยใช้ไก่เนื้อพันธุ์ Ross 308[®] จำนวน 200 ตัว วางแผน การทดลองสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) จำนวน 2 ทรีทเมนต์ (5 ซ้ำต่อทรีทเมนต์) ประกอบด้วยลูกไก่ 20 ตัวต่อหน่วยทดลอง โดยอาหารทดลองประกอบด้วยอาหารที่มีข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นพื้นฐาน (อาหารควบคุม) และ อาหารที่ใช้เลซิดินถั่วเหลืองทดแทนน้ำมันปาล์ม (5:95) ผลการทดลอง พบว่า การใช้เลซิดินถั่วเหลืองทดแทนน้ำมันปาล์ม (5:95) ในอาหารช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ การย่อยได้แบบปรากฏของวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุ พลังงานรวม ไขมันรวม และ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏแตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) นอกจากนี้การใช้เลซิดินถั่วเหลืองทดแทนน้ำมันปาล์ม (5:95) ในอาหารช่วยลด H/L ratio คอเลสเตอรอลรวม LDL และ ไตรกลีเซอไรด์ในเลือดแตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อตัวชี้วัดด้านลักษณะเลือดอื่น ๆ ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตามการใช้เลซิดินถั่วเหลืองทดแทนน้ำมันปาล์ม (5:95) ในอาหารไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิต ลักษณะซาก คุณภาพเนื้อ และผลตอบแทน ทางเศรษฐกิจ ($P > 0.05$) ทั้งนี้การใช้เลซิดินถั่วเหลืองทดแทนน้ำมันปาล์ม (5:95) ในอาหารมีผลต่อการเพิ่มไขมันรวม คอเลสเตอรอลรวม และกรดไขมันในเนื้อ คือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวรวม กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนรวม กรดลิโนเลนิก กรดลิโนเลนิก และกรดอะราชิโดนิกในเนื้อ ($P < 0.05$)

คำสำคัญ: ไก่เนื้อ ซาก เลซิดินถั่วเหลือง การย่อยได้ กรดไขมัน สมรรถภาพการผลิต

Abstract

Soy-lecithin is by product from the processing of soybean oil which, apart from being a source of energy, also serves as an emulsifier and facilitates fat absorption. The purpose of this research was to investigate the effect of crude soy lecithin in broiler chicken diets on productive performance, apparent nutrient digestibility, blood

¹ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี ตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี 76120

² ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์เพชรบุรี ตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี 76120

¹ Faculty of Animal Science and Agricultural Technology, Silpakorn University, Phetchaburi IT Campus, Sampraya, Cha-am, Phetchaburi, 76120. Thailand.

² Phetchaburi Animal Research and Development Center, Sampraya, Cha-am, Phetchaburi, 76120.

* Corresponding author E-mail: Nopparatmaitree_m@su.ac.th or Nopparatmaitree_m@silpakorn.edu,

parameters, carcass traits, and the quality and nutritive value of the meat. Two hundred (Ross 308[®]) 1 day old of broiler chicks were randomly divided into 2 treatments (5 replications per treatment) with 20 chicks in each experimental unit. Dietary treatment included the corn-soybean meal base diet (control diet), and dietary substitution of crude soy lecithin for crude palm oil (CSL for CPO (5:95)). The results of this study showed that substitution CSL for CPO (5:95) in the diet increased the digestibility of dry matter, organic matter, ether extract, gross energy and apparent nutrient metabolism compared with the control group ($P < 0.05$). Furthermore, substitution of CSL for CPO (5:95) in the diet decreased to H/L ratio, total cholesterol, LDL and triglyceride in blood compared with the control group ($P < 0.05$) but did not affect the other blood characteristics ($P > 0.05$). However, substitution of CSL for CPO (5:95) in diet did not effect productive performance, carcass characteristics, meat quality, and economic benefit return ($P > 0.05$). In addition, substitution CSL for CPO (5:95) in diets resulted in significant increases in ether extract, total cholesterol and fatty acid in meat, mainly MUFA, PUFA, Linoleic acid, Linolenic acid, and Arachidonic acid in meat ($P < 0.05$).

Keywords: Broiler, Carcass, Crude crude soy lecithin, Digestibility, Fatty acid, Performance

บทนำ

ไขมันนิยมเติมลงในอาหารไก่เนื้อเพื่อเพิ่มระดับพลังงานในอาหาร การเพิ่มกรดไขมัน การเพิ่มวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน และพัฒนาการดูดซึมโภชนาที่ละลายในไขมัน¹ หากแต่มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของไขมัน เช่น ความยาวของสายของกรดไขมัน และความอิมตัวของกรดไขมัน โดยความสามารถในการย่อยสลายไขมันที่เพิ่มขึ้นอาจทำให้การเติมระดับให้ไขมันในอาหารสัตว์ลดลงแต่ยังมีปริมาณใกล้เคียงกับระดับความต้องการของไก่เนื้อ² ซึ่งกลยุทธ์นี้อาจนำไปสู่การลดต้นทุน หากแต่ปัจจุบันการใช้ไขมันในอาหารสัตว์กลับพบปัญหาในการใช้ประโยชน์สำหรับไก่เนื้อช่วงแรก กล่าวคือ ในกระบวนการย่อยไขมันต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของกรดน้ำดีและเอนไซม์ไลเปส ซึ่งเป็นกลไกการทำงานทางสรีรวิทยาที่จำเป็นต่อการย่อยไขมันที่มีประสิทธิภาพซึ่งจะไม่ได้เกิดขึ้นอย่างเหมาะสม ในไก่อายุน้อยและใช้เวลาพัฒนาต่อเนื่องเป็นเวลา หลายสัปดาห์หลังจากการฟักไข่ โดยเอนไซม์ ไลเปสจะหลั่งน้อยมากในช่วงหลังฟักและเพิ่มขึ้น 20 เท่า ในช่วง 4-21 วัน ทั้งนี้เนื่องจากไก่เนื้อ ในช่วงแรกยังผลิตกรดน้ำดีและเอนไซม์ไลเปส ยังไม่เพียงพอ³ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ในการเสริมสารอิมัลซิไฟเออร์จากภายนอกร่วมกับการผลิตอาหารสัตว์ ซึ่งเลซิทิน (lecithin) มีศักยภาพและมีความน่าสนใจ⁴ เพื่อแก้ไขปัญหาข้างต้น ทั้งนี้ในปัจจุบัน พบว่า ในกระบวนการกลั่นน้ำมันถั่วเหลือง (refining process) มีเลซิทินถั่วเหลือง (crude soy lecithin: CSL)⁵ เป็นเศษเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตประมาณ 1.5 ถึง 3.1 เปอร์เซ็นต์⁶ อีกทั้งยังมีองค์ประกอบของสารประกอบกลุ่มฟอสโฟลิปิด (phospholipid) เช่น ฟอสฟาติดีลโคลีน (phosphatidylcholine) ฟอสฟาติดีลเอทานอลามีน (phosphatidyl-ethanolamine) และฟอสฟาติดีลอินซิทอล (phosphatidylinositol) เป็นต้น⁷

โดยฟอสโฟลิปิดมีความจำเป็นต่อเซลล์ทุกชนิดในร่างกาย เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ อีกทั้ง พบว่า เลซิทินถั่วเหลืองยังอุดมไปด้วยกรดไขมัน ลิโนเลอิก (C18:2n-6) กรดไขมันลิโนเลนิก (C18:3n-3) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวอื่น⁸ นอกจากนี้เลซิทินถั่วเหลืองยังมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) มีองค์ประกอบของส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) โดยการเกิดอิมัลชัน (emulsion) การลดแรงตึงผิว (surface tension) ของของเหลว และป้องกันไม่ให้อิมัลชันแยกเป็นชั้น⁹ รวมถึงกระบวนการสร้างไมเซลล์ (micells) ซึ่งทำหน้าที่สนับสนุนกรดน้ำดีในการช่วยให้ไขมันถูกย่อยและดูดซึมได้ดีขึ้น⁹ กอปรกับนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ในปัจจุบันมีการส่งเสริมให้ภาคการเกษตร ยุคใหม่มุ่งเน้นการยกระดับและผลิตผลิตภัณฑ์อาหารให้มีมูลค่าสูง เช่น อาหารสร้างเสริมสุขภาพ (functional food) ที่มนุษย์บริโภคเข้าไปแล้วให้ประโยชน์หรือคุณสมบัติอื่น ๆ ต่อสุขภาพ นอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการพื้นฐาน ผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้เลซิทินถั่วเหลืองเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์เป็นอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ (healthy food) ด้วยการเพิ่มสารโภชนเภสัชภัณฑ์ (nutraceutical) ลงในอาหารสัตว์เพื่อให้มีการสะสมในผลิตภัณฑ์สู่การผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสร้างเสริมสุขภาพสำหรับผู้บริโภค¹⁰

จากการศึกษาก่อนหน้านี้ในต่างประเทศ มีการนำใช้เลซิทินในอาหารไก่เนื้อหลายรูปแบบ เช่น ไลโซเลซิทิน (lysolecithin)²⁵ ไลโซฟอสฟาติดีลโคลีน (lysophosphatidylcholine)⁹ ไลโซฟอสฟาติดีล (lysophospholipid)^{9,1} รวมถึงเลซิทิน ถั่วเหลือง²⁷ นำสู่การทดลองครั้งนี้ซึ่งเป็นการทดลองลำดับต้นๆในประเทศไทยเพื่อแสวงหาแนวทางความเป็นไปได้ของการใช้ประโยชน์ของเลซิทินถั่วเหลืองโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการใช้เลซิทินถั่วเหลืองทดแทนน้ำมันปาล์ม

ในอาหารต่อการย่อยได้ของโภชนะสัณฐานวิทยาลัยไล้เล็ก สมรรถนะการผลิต คุณภาพซาก และเนื้อโลหิตวิทยา คอเลสเตรอล และ การสะสมกรดไขมันโอเมก้าในเนื้อของไก่เนื้อ เพื่อเป็นแนวทางเลือกอย่างง่ายสำหรับการพัฒนา ชีตความสามารถของเกษตรกรผู้การเสริมสร้างความเข้มแข็งและยั่งยืนของการเลี้ยงปศุสัตว์ ในอนาคตสู่ความมั่นคงทางด้านอาหารต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การออกแบบการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงและใช้สัตว์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตรมหาวิทยาลัยศิลปากร โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) โดยการทดลองครั้งนี้ใช้น้ำมันปาล์ม (crude palm oil) เป็นแหล่งไขมันที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร โดยแบ่งออกเป็น 2 ทรีทเมนต์ ทรีทเมนต์ละ 5 ซ้ำ รวมทั้งหมด 10 หน่วยทดลอง คือ ทรีทเมนต์ที่ 1 อาหารไก่เนื้อ ที่ใช้น้ำมันปาล์มในสูตรอาหาร (CSL 0:CPO 100) และ ทรีทเมนต์ที่ 2 อาหารไก่เนื้อที่ใช้เลซิทินถั่วเหลืองทดแทนน้ำมันปาล์ม (CSL 5:CPO 95) (เลซิทินถั่วเหลือง ประกอบด้วย Acetone insoluble 62 %, Hexane insoluble 0.13%, Moisture 0.07%, และ Acid value 20.20 mg KOH/mg) โดยใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์การค้ำ Ross 308® อายุ 1 วัน จำนวน 200 ตัว (เพศผู้ 100 ตัว และ เพศเมีย 100 ตัว) สุ่มเข้าสู่การทดลองจำนวน 20 ตัวต่อหน่วยทดลอง ทำการจัดการเลี้ยงไก่เนื้อ ในคอกขนาด 2.0 x 3.0 เมตร ภายในโรงเรือนแบบเปิดที่มีการจัดการแสงและอุณหภูมิตามสภาพแวดล้อมในระหว่างช่วงเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม 2559 โดยไก่เนื้อได้รับน้ำสะอาดและอาหารกินแบบเต็มทีตลอดเวลา (*ad libitum*) โดยใช้ระยะเวลาเลี้ยงไก่เนื้อทั้งหมด 42 วัน และใช้อาหารไก่เนื้อ 3 ระยะ คือ ระยะแรก (1-21 วัน) มีโปรตีนหยาบ 23 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3,200 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ระยะสอง (22-35 วัน) มีโปรตีนหยาบ 20 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3,200 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และระยะท้าย (35-42 วัน) มีโปรตีนหยาบ 18 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3,200 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมตาม NRC (1994)¹¹

2. การย่อยได้รวมของโภชนะในอาหารไก่เนื้อ

วัดการย่อยได้ของโภชนะแบบปรากฏ (apparent nutrient digestibility) ในไก่เนื้อช่วงอายุ 14–21 วัน โดยทำการผสมไทเทเนียม ไดออกไซด์ (TiO_2) 0.3 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารทดลอง โดยทำการปรับสัตว์ (adjustment period) ในช่วงไก่เนื้ออายุ 14–18 วัน และเก็บตัวอย่าง (sampling period) ในช่วงไก่เนื้ออายุ 19–21 วัน สุ่มเก็บอาหารของไก่เนื้อทดลองใน

ถ่วงกันความชื้นและสุ่มเก็บมูลของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารทดลองผสม TiO_2 ในถ่วงที่มี H_2SO_4 ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นเก็บตัวอย่างอาหารและมูลที่ – 20 องศาเซลเซียส ตามวิธีของ Zampiga et al. (2016)¹ จากนั้นเตรียมตัวอย่างตัวอย่างอาหารและมูลด้วยการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและบดละเอียด แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าวัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ เยื่อใยรวม ไขมันรวม เถ้า และพลังงาน ตามวิธีของ AOAC (1990)¹² อีกทั้งยังวิเคราะห์หาปริมาณ TiO_2 ด้วยวิธีสเปคโตรโฟโตเมตริก ตามวิธีของ Myer et al., (2004)¹³ โดยใช้ตัวอย่าง 1 กรัมทั้งอาหารและมูลใส่ลงในหลอดแก้วร่วมกับกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 96 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 13 มิลลิลิตร โปรตัสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) ปริมาณ 3.5 กรัม และคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) ปริมาณ 0.4 กรัม จากนั้น ทำการย่อยโดยใช้ macro-Kjeldahl apparatus ที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทำการเติมน้ำกลั่นแล้วทำการกรองของเหลวเพื่อจัดตะกอนแล้วอ่านข้อมูลการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ 410 นาโนเมตรด้วยเครื่อง สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ UV/Vis (Jusco model 7800) ส่วนกราฟมาตรฐานเตรียมขึ้นจากข้อมูลการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ประกอบด้วย TiO_2 0, 2, 4, 6, 8, และ 10 มิลลิกรัม จากนั้น นำค่าคูณค่าทางโภชนะและปริมาณของ TiO_2 ทั้งของมูลและอาหารมาคำนวณหาค่าการย่อยได้ของโภชนะแบบปรากฏ หาจาก $100x \{(\% \text{TiO}_2 \text{ ในอาหาร} / \% \text{TiO}_2 \text{ ในมูล}) \times (\% \text{โภชนะในมูล} / \% \text{โภชนะในอาหาร})\}$ ตามวิธีของ Kluth and Rodehutsord (2006)¹⁴ และคำนวณหาพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏ (apparent metabolizable energy: AME) จากสูตร $\text{AME} = \text{GE ในอาหาร} - (\text{GE ในมูล} \times (\% \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ ในอาหาร} / \% \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ ในมูล}))$ ตามวิธีของ Jansen et al. (2016)¹⁵

3. โลหิตวิทยาของไก่เนื้อและองค์ประกอบของกรดไขมันในเลือด

วันสุดท้ายการทดลองทำการอดอาหารไก่เนื้อประมาณ 12 ชั่วโมง แล้วสุ่มไก่หน่วยทดลองละ 4 ตัว เพื่อเก็บตัวอย่างเลือด โดยเจาะเลือดที่บริเวณปีก (wing vein) ตัวละ 2 มิลลิลิตร เพื่อนำมาวัดความเข้มข้นของเม็ดเลือดแดง อัตราแน่น (hematocrit, Hct) ค่าเม็ดเลือดแดง (red blood cell; RBC) ค่าเม็ดเลือดขาว (white blood cell; WBC) เม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิล (heterophil, H) และลิมโฟซัยท์ (lymphocyte, L) เพื่อนำไปหาสัดส่วน H/L Ratio นำซีรัมไปวิเคราะห์ค่าคอเลสเตรอล (cholesterol) และ ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) โดยใช้เครื่องตรวจเลือดอัตโนมัติ (Advia 120, Bayer, Tarrytown, NY) ด้วยวิธี enzymatic colorimetric method (CHOD-PAP method) ตามวิธี Zhou and Kim (2017)¹⁶

4. สมรรถนะการผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของการผลิตไก่เนื้อ

ทำการเลี้ยงไก่เนื้อเพื่อวัตถุประสงค์การผลิตโดยใช้ระยะเวลาทั้งหมด 42 วัน โดยการทดลองนี้ทำการให้อาหารและน้ำสะอาดอย่างเต็มที่ จากนั้นทำการจดบันทึกปริมาณอาหาร ที่กินได้ น้ำหนักของไก่เนื้อ และจำนวนสัตว์ตายตลอดช่วงการทดลองเพื่อคำนวณหาสมรรถนะการผลิต คือ ปริมาณการกินได้เฉลี่ยต่อวัน (average daily feed intake: ADFI) น้ำหนักตัว ที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (average body weight gain: BWG) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain: ADG) และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed conversion ratio: FCR (feed:gain)) หากจาก [ADFI/ADG] ตามวิธีของ Allahyari-Bake and Jahanian (2017)³ รวมถึงคำนวณหาอัตราการผลิต (viability) รวมถึงดัชนีประสิทธิภาพการผลิต (productive index: PI) หากจาก [(อัตราการเลี้ยงรอด x น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น x 100)/(FCR x จำนวนวันที่เลี้ยง)] ตามวิธีของ Khaksefidi and Rahimi (2005) นอกจากนี้ทำการคำนวณหาผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ (economic benefit return) คือ ต้นทุนค่าอาหารต่อตัว (feed cost per gain) มูลค่าจากการขายต่อตัว (salable bird return) กำไรสุทธิต่อตัว (net profits return per bird) และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (return of investment) ตามวิธีของมนัสนันท์ และคณะ (2558)¹⁷

5. เปอร์เซนต์ซาก คุณภาพเนื้อ และคุณค่าโภชนะของเนื้อไก่

เมื่อไก่เนื้อทดลองอายุ 42 วัน ทำการถอดอาหารอย่างน้อย 6 ชั่วโมง แล้วสุ่ม ไก่เนื้อ 2 ตัวต่อหน่วยทดลอง (เพศผู้ และ เพศเมีย) เพื่อฆ่าชำแหละและตัดแต่งชิ้นส่วน จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักซากและน้ำหนักชิ้นส่วน แล้วคำนวณค่าเปอร์เซนต์ซาก (carcass percentage) และค่าเปอร์เซนต์ซากเย็น (chill carcass percentage) รวมทั้งคำนวณหาค่าเปอร์เซนต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง (cutting percentage) ตามวิธีของสัญญาชัย (2553)¹⁸ จากนั้นนำตัวอย่างเนื้อออกไปวัดค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ประกอบด้วย dip loss, boiling loss, trawling loss และ roasting loss ตามวิธีของสัญญาชัย (2543)¹⁸ อีกทั้งทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อหน้าอกใน 45 นาที (pH 45 min.) และที่ 24 ชั่วโมง (pH 24h) โดยใช้ pH meter รุ่น pH 211, Hanna, Padua, Italy ตามวิธีของ Liu et al., 2012¹⁹ รวมทั้งทำการวัดค่าสีของเนื้อไก่หลังเก็บรักษาเนื้อไก่ที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง คือ ค่าความสว่าง (lightness: L*), ค่าสีแดง (redness: a*) และค่าสีเหลือง (yellowness: b*) ตามวิธีของ สัญชัย (2543)¹⁸ และ Zampica et al. (2017)¹ นอกจากนี้ยังนำ

ตัวอย่างเนื้ออกที่ได้มาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและบดละเอียด จากนั้นนำตัวอย่างเนื้อไก่มาวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการหาค่า วัตถุประสงค์ อินทรีย์วัตถุ โปรตีนหยาบ และไขมันรวมตามวิธีของ AOAC (1990)¹² และวิเคราะห์หาปริมาณคอเลสเตอรอลด้วยวิธี C45,994.10 ตามวิธีของ AOAC (1990)¹² และองค์ประกอบของกรดไขมัน (individual fatty acid content) ด้วย GLC ตามวิธีของ Lepage and Roy (1986)²⁰ และคำนวณหาค่าดัชนีการเกิดภาวะไขมันสะสมในเส้นเลือด (atherogenic index: AI) จากสมการ $AI = ((C12:0) + (4 \times C14:0) + (C16:0)) / (MUFA + PUFA)$, $\Delta-9$ desaturase (16) index จากสมการ $\Delta-9$ desaturase (16) index = $C16:1n7 / (C16:0 + C16:1n7) \times 100$, และ $\Delta-9$ desaturase (18) index จากสมการ $\Delta-9$ desaturase (18) index = $C18:1c9 / (C18:0 + C18:1c9) \times 100$ ตามวิธีของ He et al., (2015)²¹ นอกจากนี้คำนวณหา Iodine value จากสูตร {Iodine value = (% C16:1 × 0.950) + (% C18:1 × 0.860) + (% C18:2 × 1.732) + (% C18:3 × 2.616) + (% C20:1 × 0.785) + (% C22:1 × 0.731)} และคำนวณหาสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัว จากสูตร {SFA to USFA = (C16:0 + C18:0 + C20:0 + C21:0 + C22:0 + C24:0) / (C16:1 + C16:2 + C16:3 + C18:1 + C18:2 + C18:3 + C20:1 + C20:3 + C20:4 + C20:5 + C22:4 + C22:6)} ตามวิธีของ Zhai et al. (2008)³⁹

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบ ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ ที่อิสระต่อกันด้วยวิธี Student's t-test ตามวิธีของ Steel and Torrie (1992) โดยใช้โปรแกรม R version 3.3.1 ตามวิธีของ R Core Team (2016) กำหนดค่านัยสำคัญที่ใช้ในการทดสอบที่ $P < 0.05$

ผลการทดลอง

1. ผลการใช้ CSL ในอาหารไก่เนื้อต่อการย่อยได้ปรากฏของโภชนะของไก่เนื้อ

การใช้เลซิทินถั่วเหลืองทดแทนน้ำมันปาล์ม (CSL 5 ต่อ CPO 95) ในอาหารไก่เนื้อ พบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ใช้ CSL 5 ต่อ CPO 95 มีการย่อยได้แบบปรากฏของวัตถุประสงค์ อินทรีย์วัตถุ พลังงานรวม ไขมันรวม และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏสูงกว่าไก่เนื้อกลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) ดังแสดงใน Table 1 โดยที่ การใช้ CSL 5 ต่อ CPO 95 ในอาหารไก่เนื้อ ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการย่อยได้แบบปรากฏของเยื่อใยหยาบ และโปรตีนหยาบระหว่างไก่เนื้อ ทุกกลุ่มการทดลอง ($P > 0.05$)

2. ผลการใช้ CSL ในอาหารไก่เนื้อต่อโลหิตวิทยา

ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ใช้ CSL 5 ต่อ CPO 95 มีอัตราส่วนเม็ดเลือดขาวชนิด Heterophil ต่อ Lymphocyte (H/L ratio) ระดับไตรกลีเซอไรด์ระดับคอเลสเตอรอลรวมและ LDL ในเลือดต่ำกว่าไก่เนื้อกลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) ดังแสดงใน Table 2 อีกทั้งการใช้ CSL 5 ต่อ CPO 95 ในอาหารไก่เนื้อไม่ส่งผลต่อจำนวนเม็ดเลือดแดง จำนวนเม็ดเลือดขาว และจำนวน เม็ดเลือดแดงอัดแน่น ระหว่างไก่เนื้อทุกกลุ่ม การทดลอง ($P > 0.05$)

3. ผลการใช้ CSL ในอาหารไก่เนื้อต่อสมรรถนะการผลิตและผลตอบแทน ทางเศรษฐกิจ

การทดลองครั้งนี้ พบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ใช้ CSL 5 ต่อ CPO 95 มีสมรรถนะ การผลิตคือ ปริมาณการกินได้เฉลี่ยต่อ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน ประสิทธิภาพการใช้อาหารการเลี้ยงรอด และดัชนีประสิทธิภาพการผลิตในทุกช่วงอายุ คือ 0 ถึง 21 วัน 22 ถึง 35 วัน 35 ถึง 42 วัน และ 0 ถึง 42 วัน ใกล้เคียงกันระหว่างไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลอง ($P > 0.05$) ดังแสดงใน Table 3 นอกจากนี้การใช้ CSL 5 ต่อ CPO 95 ในอาหารไก่เนื้อไม่ส่งผลต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ คือ ต้นทุนค่าอาหารต่อตัว มูลค่าจากการขายต่อตัว กำไรสุทธิต่อตัว และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุนระหว่างไก่เนื้อทุกกลุ่มการทดลอง ($P > 0.05$)

4. ผลการใช้ CSL ในอาหารไก่เนื้อต่อคุณภาพซาก คุณภาพเนื้อ และคุณค่า ทางโภชนาการของเนื้อ

การใช้เลซิทินถั่วเหลืองทดแทนน้ำมันปาล์ม (CSL 5 ต่อ CPO 95) ในอาหารไก่เนื้อไม่มีผลต่อคุณภาพซาก ได้แก่ เเปอร์เซ็นต์ซากและเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง รวมถึงคุณภาพเนื้อทั้งค่า pH1 และ pH24 ค่าคะแนนสีของเนื้อ และค่าการสูญเสียน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับไก่เนื้อกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$)

ดังแสดงใน Table 4 ส่วน ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ใช้ CSL 5 ต่อ CPO 95 มีปริมาณไขมันรวมในเนื้อสูงกว่าไก่เนื้อกลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) ส่วนโภชนะอื่นในเนื้อไก่มีค่าใกล้เคียงกันทุกกลุ่มการทดลอง ($P > 0.05$) นอกจากนี้ยัง พบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ใช้ CSL 5 ต่อ CPO 95 มีปริมาณคอเลสเตอรอลรวม กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวรวม กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนรวมในเนื้อไก่สูงกว่าไก่เนื้อ กลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) ดังแสดงใน Table 4 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบกรดไขมัน พบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ใช้ CSL 5 ต่อ CPO 95 มีปริมาณกรดปาล์มโทเลอิก กรดแวกเคนิก กรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิกกรดลิโนเลนิก และกรดอะราชิโดนิกสูงกว่าไก่เนื้อกลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) โดยไม่มีผลต่อปริมาณของกรดไขมัน โอเมก้า 3 6 และ 9 ($P > 0.05$) ทั้งนี้ พบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ใช้ CSL 5 ต่อ CPO 95 มีค่าไอโอดีนสูงกว่าไก่เนื้อกลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้เลซิทินถั่วเหลืองทดแทนน้ำมันปาล์ม (CSL 5 ต่อ CPO 95) ในอาหารไก่เนื้อมีผลต่อการลดสัดส่วนของ กรดไขมันโอเมก้า 3 ต่อกรดไขมันโอเมก้า 6 และสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวในเนื้อไก่ รวมทั้งลดค่าดัชนีการเกิดภาวะไขมันสะสมในเส้นเลือดของเนื้อไก่อีกด้วย ($P < 0.05$) ทั้งนี้ผลการทดลองครั้งนี้ยังแสดง ให้เห็นถึงผลการใช้เลซิทินถั่วเหลืองทดแทนน้ำมันปาล์ม (CSL 5 ต่อ CPO 95) ในอาหาร ไก่เนื้อต่อการเพิ่มค่าดัชนี Δ -9 desaturase (16) และค่าดัชนี Δ -9 desaturase (18) ของเนื้อไก่ สูงกว่าเนื้อไก่ของไก่เนื้อกลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) ซึ่งค่าดัชนีการเกิดภาวะไขมันสะสมใน เส้นเลือดที่ลดลง และค่าดัชนี Δ -9 desaturase (16) และ ค่าดัชนี Δ -9 desaturase (18) ที่เพิ่มขึ้นล้วนแสดงให้เห็นถึงความปลอดภัย ต่อผู้บริโภคในการเลือกรับประทานเนื้อไก่ที่มาจากไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผสมเลซิทินถั่วเหลืองทดแทน น้ำมันปาล์ม (CSL 5 ต่อ CPO 95)

Table 1 Effect of crude soy lecithin in broiler chicken diets on apparent nutrient digestibility and metabolism

| Apparent nutrient digestibility and metabolism | Level of dietary substitution CSL for CPO | | Pr>T |
|--|---|----------------|-------|
| | 0:100 | 5:95 | |
| Apparent nutrient digestibility | | | |
| - Dry matter (%) | 78.38±2.69 | 84.35±2.61 | 0.026 |
| - Organic matter (%) | 79.69±2.27 | 85.13±2.49 | 0.029 |
| - Crude fiber (%) | 51.63 ± 6.82 | 49.95 ± 4.36 | 0.737 |
| - Ether extract (%) | 88.55 ± 0.40 | 91.38 ± 0.39 | 0.021 |
| - Crude protein (%) | 80.71±2.95 | 81.41±1.43 | 0.729 |
| - Gross energy (%) | 84.40±1.80 | 88.14±1.68 | 0.018 |
| Apparent metabolizable energy | 3,634.80±50.73 | 3,640.10±29.17 | 0.049 |

วิจารณ์

การใช้เลซิทินถั่วเหลืองมีองค์ประกอบของสารประกอบกลุ่มฟอสโฟลิปิด เช่น ฟอสฟาติดีลโคลีน หรือ สารกลุ่มไลโซเลซิทิน⁷ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์และทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อในการกระจายตัวและเพิ่มพื้นที่ผิวของไขมันในการสัมผัสกับเอนไซม์ไลเปสรวมกับการทำงานของน้ำดีซึ่งผลิตจากตับ¹⁶ เพื่อช่วยในการสลายโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์และสนับสนุนการก่อตัวของไมเซลล์ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาการสลายไขมัน (Lipolysis)⁵ ซึ่งการทดลองครั้งนี้แสดงผลของ เลซิทินถั่วเหลืองต่อการพัฒนาประสิทธิภาพการย่อยได้แบบปรากฏของวัตถุดิบแห้งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Upadhaya et al. (2017)²⁴; Zhou and Kim (2017)¹⁷; Zhou et al. (2015)¹⁷ Jansen et al. (2015)⁵ และการเพิ่มการย่อยได้แบบปรากฏของอินทรีย์วัตถุ การเพิ่มการย่อยได้แบบปรากฏของพลังงานรวม สอดคล้องกับ ผลการทดลองของ Zhou and Kim (2017)¹⁶; Zhou et al. (2015)¹⁷ การเพิ่มการย่อยได้แบบปรากฏของไขมันรวม สอดคล้องกับ ผลการทดลองของ Upadhaya et al. (2017)²⁴; Zhou and Kim (2017)¹⁷; Zhou et al. (2015)¹⁷ และการเพิ่มการย่อยได้แบบปรากฏของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏของไก่เนื้อ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Zhang et al. (2011)⁸ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่รายงานถึงผลของ ไลโซเลซิทินต่อ

การเพิ่มความสูงของวิลลัสของลำไส้ส่วนเจริญ^{4,25,26} และการแบ่งเซลล์ของ เยื่อบุผิวลำไส้เล็กส่วนดูโอดีนัม²⁵ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของเยื่อบุผิวลำไส้เล็กมีผลต่อการเพิ่มการดูดซึมโภชนาของไก่เนื้อเพื่อนำสู่การใช้ประโยชน์ต่อไป

แม้ว่าการทดลองครั้งนี้จะแสดงผลค่อนข้างเด่นชัดของการใช้เลซิทินถั่วเหลืองต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ของโภชนา หากแต่การทดลองครั้งนี้ กลับพบว่า การใช้เลซิทินถั่วเหลืองไม่มีผลต่อสมรรถนะการผลิตของไก่เนื้อสอดคล้องกับผลการทดลองของ Khonyoung et al., (2011)²⁵ นอกจากนี้ Zimpaka et al., (2017)¹ พบว่า การเสริมไลโซเลซิทินในอาหารไก่เนื้อไม่มีผลต่อน้ำหนักตัว ปริมาณการกินได้ อัตราการเจริญเติบโต และ อัตราการตายของไก่เนื้อ Huang et al., (2017)²⁷ ที่แสดงให้เห็นว่าการใช้เลซิทินถั่วเหลือง 0 ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ไม่มีผลต่อน้ำหนักตัว ปริมาณการกินได้ อัตราการเจริญเติบโต และ อัตราการตายของไก่เนื้อ หากแต่เมื่อใช้เลซิทินถั่วเหลือง 2 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลต่อน้ำหนักตัวไก่เนื้อที่ลดลง ทั้งนี้ยัง พบว่า มีหลายงานทดลองที่ใช้ไลโซเลซิทินคินและ ฟอสฟาติดีลโคลีนต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว^{2,8,17,26} อัตราการเจริญเติบโต^{3,26} ปริมาณการกินได้ต่อวัน^{3,26} และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของ ไก่เนื้อ^{2,3,8,16,26} ซึ่งสาเหตุที่ผลการทดลองครั้งนี้ให้ผลแตกต่างจากหลายงานวิจัย อาจเป็นผลจากงานทดลองที่กล่าวถึงมักใช้ ฟอสโฟลิปิดเลซิทินและ ฟอสโฟลิปิดชนิดอื่นๆบริสุทธิ์

Table 2 Effect of crude soy lecithin in broiler chicken diets on hematology

| Hematology | Level of dietary substitution CSL for CPO | | Pr>T |
|--|---|--------------------|-------|
| | 0:100 | 5:95 | |
| Hematological characteristics | | | |
| - Hematocrit (%) | 36.00±3.36 | 34.67±2.31 | 0.618 |
| - Hemoglobin (g/dL) | 12.97±1.42 | 12.87±0.20 | 0.915 |
| - Red blood Cell (x 10 ⁶ /uL) | 2.35±0.24 | 2.31±0.21 | 0.837 |
| - White blood Cell (1uL) | 16,033.00±6,013.60 | 14,166.00±1,761.60 | 0.135 |
| - Heterophil (%) | 21.33±17.04 | 15.00±1.00 | 0.586 |
| - Lymphocyte (%) | 74.00±16.37 | 78.33±5.86 | 0.688 |
| - H/L Ratio | 0.34±0.13 | 0.19±0.02 | 0.029 |
| Serum biochemical profile | | | |
| - Cholesterol (mg/dl) | 177.67±9.87 | 139.67±20.60 | 0.045 |
| - HDL (mg/dL) | 74.33±19.73 | 72.33±10.60 | 0.719 |
| - LDL (mg/dL) | 91.67±10.07 | 59.33±12.10 | 0.024 |
| - Triglyceride (mg/dl) | 64.00±5.57 | 51.67±4.93 | 0.045 |

Table 3 Effect of crude soy lecithin in broiler chicken diets on productive performance

| Productive performance and economic benefit return | Level of dietary substitution CSL for CPO | | Pr>T |
|---|---|---------------|-------|
| | 0:100 | 5:95 | |
| Productive performance | | | |
| ----- 0-21 day ----- | | | |
| - ADG (kg/bird/day) | 0.04±0.00 | 0.04±0.00 | 0.133 |
| - ADFI (kg/bird/day) | 0.06±0.00 | 0.06±0.00 | 0.558 |
| - FCR | 1.53±0.05 | 1.58±0.06 | 0.327 |
| - Viability (%) | 100.00±0.00 | 100.00±0.00 | - |
| - Productive index | 231.94±10.27 | 214.92±7.13 | 0.078 |
| ----- 22-35 day ----- | | | |
| - ADG (kg/bird/day) | 0.09±0.00 | 0.08±0.00 | 0.052 |
| - ADFI (kg/bird/day) | 0.15±0.00 | 0.16±0.01 | 0.112 |
| - FCR | 1.86±0.05 | 2.01±0.09 | 0.012 |
| - Viability (%) | 100.00±0.00 | 96.67±2.89 | 0.184 |
| - Productive index | 481.14±31.73 | 384.09±29.17 | 0.114 |
| ----- 35-42 day ----- | | | |
| - ADG (kg/bird/day) | 0.07±0.01 | 0.07±0.00 | 0.410 |
| - ADFI (kg/bird/day) | 0.19±0.01 | 0.18±0.01 | 0.417 |
| - FCR | 2.74±0.36 | 2.58±0.09 | 0.884 |
| - Viability (%) | 98.68±12.58 | 100.00±0.00 | 0.974 |
| - Productive index | 261.651±94.94 | 261.192±22.97 | 0.639 |
| ----- 0-42 day ----- | | | |
| - ADG (kg/bird/day) | 0.06±0.00 | 0.06±0.00 | 0.169 |
| - ADFI (kg/bird/day) | 0.11±0.00 | 0.11±0.00 | 0.298 |
| - FCR | 1.83±0.08 | 1.84±0.04 | 0.159 |
| - Viability (%) | 98.68±11.98 | 96.67±0.00 | 0.742 |
| - Productive index | 323.54±58.09 | 315.23±25.24 | 0.293 |
| Economic benefit return | | | |
| - FCG (Baht/bird) | 76.09±0.28 | 76.50±2.25 | 0.206 |
| - SBR (Baht/bird) | 95.96±4.38 | 95.96±0.89 | 0.121 |
| - NPR (Baht/bird) | 19.66±4.64 | 19.25±1.41 | 0.256 |
| - ROI (%) | 25.84±5.82 | 25.16±2.32 | 0.153 |

ส่วนการทดลองครั้งนี้เป็นการวิจัยที่มุ่งศึกษาการใช้ประโยชน์จากเศษเลซิทินถั่วเหลืองเหลือทิ้ง ที่ผลิตเป็นผลพลอยได้ของการผลิตน้ำมันถั่วเหลืองที่ยังไม่มีการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งเลซิทินถั่วเหลือง พบส่วนประกอบที่เรียกว่า กัม (gum) โดยน้ำมันถั่วเหลืองดิบจะมีกัมอยู่ 2 เปอร์เซ็นต์โดยหากมีการทำให้เศษเลซิทินถั่วเหลืองเหลือทิ้งมีความบริสุทธิ์แล้วจะเหลือเลซิทิน 0.02 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มต้นทุน 10 เท่า ดังนั้นผู้ผลิตจึงนิยมผลิตโดยไม่ทำบริสุทธิ์ จึงทำให้มีฟอสโฟลิพิดเลซิทินและฟอสโฟลิพิดชนิดอื่นๆ รวมกัน 25-44 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงน้ำมันอื่นที่ไม่ใช่

ฟอสโฟลิพิด 10-45 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ไม่ใช่น้ำมันอีก 15-30 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้การทดลองนี้ ยังพบว่า การใช้เลซิทินถั่วเหลือง ไม่มีผลต่อคุณภาพซาก สอดคล้องกับหลายงานวิจัย Zimpaka et al., (2017)¹ Neto et al., (2011)²⁸; Aguilar et al., (2013)²⁹ และไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง^{16,35} รวมถึงไม่มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ^{16,24} ค่า pH ของเนื้อไก่^{1,16} หากแต่ยังมีหลายงานวิจัยที่แสดงผลต่อ การเพิ่มความสว่างในเนื้อไก่²⁴ ผลต่อการเพิ่มขนาดชิ้นส่วนเนื้ออกและนอง²⁶

Table 4 Effect of crude soy lecithin in broiler chicken diets on carcass and cutting percentage

| Carcass and cutting percentage (%) | Level of dietary substitution CSL for CPO | | Pr>T |
|------------------------------------|---|------------|-------|
| | 0:100 | 5:95 | |
| Thai carcass percentage | 83.05±0.69 | 81.29±4.43 | 0.564 |
| Carcass percentage | 74.66±0.89 | 72.32±4.66 | 0.478 |
| Chill carcass percentage | 74.51±0.89 | 72.18±4.65 | 0.441 |
| Boneless breast | 31.00±0.37 | 28.38±1.97 | 0.083 |
| <i>Pectoralis major</i> | 26.03±0.40 | 23.37±1.66 | 0.054 |
| <i>Pectoralis minor</i> | 5.48±0.18 | 4.97±0.31 | 0.069 |
| Wing stick | 7.61±0.64 | 7.32±0.62 | 0.602 |
| Tulip | 4.67±0.32 | 4.82±0.10 | 0.486 |
| Thigh | 16.84±0.97 | 17.70±2.06 | 0.550 |
| Drumstick | 11.97±0.39 | 12.67±0.04 | 0.087 |
| Skeletal bone | 17.53±1.30 | 17.50±1.43 | 0.982 |

นอกจากนี้ผลการทดลองครั้งนี้ ยังแสดงผลของการใช้เลซิทินถั่วเหลืองต่อ การเพิ่มการลดสัดส่วนของเม็ดเลือดขาวชนิด เฮทโทโรฟิลล์ต่อลิมโฟไซต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ไก่เนื้อที่ได้รับเลซิทินถั่วเหลืองในอาหารมี ภาวะความเครียดน้อยกว่า ไก่เนื้อกลุ่มควบคุม ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลองที่แสดงให้เห็นว่า ไก่เนื้อที่ได้รับเลซิทินถั่วเหลืองในอาหารผลการย่อยได้ของ โภชนะเพิ่มขึ้น ซึ่งน่าจะส่งผลต่อการเพิ่มกระบวนการเมทาบอลิซึม และเกิดความร้อนสะสมภายในร่างกายของไก่เนื้อและหากมีความร้อนสะสมมากขึ้นร่วมกับสภาพอากาศที่มีความร้อนและความชื้นสัมพัทธ์สูงก็อาจนำไปสู่สภาวะเครียดเนื่องจาก ความร้อนของไก่เนื้อ³⁰ ทั้งนี้ โดยสภาวะปกติภาวะความเครียดเนื่องจาก ความร้อนเป็นสิ่งเร้าและร่างกายจะตอบสนองผ่านการ ทำงานของ Hypothalamic pituitary adenal axis (HPA- axis) ในการทำงานผ่านระบบประสาทและต่อมไร้ท่อ โดยส่งสัญญาณไปยังไฮโปทาลามัสที่มีการสร้างและหลั่ง คอร์ติโค

โทรฟินรีลีสซิงฮอร์โมนที่มีผลต่อการกระตุ้นต่อมใต้สมอง ผลิตฮอร์โมนอะดีโนคอร์ติโคโทรฟินไปมีผลต่อต่อมหมวกไต ให้มีการผลิตฮอร์โมนคอร์ติซอล ซึ่งความเครียดที่เกิดขึ้น ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและทำให้ได้ผลผลิตเป็น อนุมูลอิสระและอนุมูลจะเข้าทำลายผนังของเซลล์ เนื่องจาก ผนังเซลล์ จะประกอบด้วยไขมัน ส่งผลทำให้มีปริมาณของ อนุมูลอิสระมากขึ้นทำให้เกิดสภาวะไม่สมดุลและทำให้เกิดสภาวะ Oxidative Stress ซึ่งสภาวะนี้อนุมูลอิสระที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สร้างผลเสียต่อร่างกาย คือ สาเหตุที่ทำให้ความเข้มข้นของน้ำในเซลล์เพิ่มสูงขึ้น การลดลงของโซเดียมและโพแทสเซียม ไอออน การเกิดแรงดันออสโมติก และส่งผลให้เซลล์สูญเสีย น้ำ³¹ ดังนั้นไก่เนื้อจำเป็นต้องใช้พลังงานจำนวนมากมารักษาสสมดุลของน้ำในเซลล์และอุณหภูมิของร่างกาย จากผลการทดลองครั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าไก่เนื้อ ที่ได้รับเลซิทินถั่วเหลืองนั้นจะได้รับสารสำคัญ คือ ฟอสฟาทีดิลโคลีน ฟอสฟา

ทิติลเอทาโนลามีน ฟอสฟาติลอีโนซิทอล และกรดฟอสฟา
ทิดิก เลซิธินประกอบด้วยให้วิตามินบี 2 ชนิดคือ อีโนซิทอล
และโคลีน³²เช่น Acetylcholine ที่มีความจำเป็นสำหรับการ
สังเคราะห์โปรตีนและฮอร์โมนจากต่อมหมวกไต อีกทั้งยังเป็น
สารที่ให้กลุ่มเมธิล (Methyl donor) เช่นเดียวกับ บีเทนและ
กรดอะมิโนเมทไธโอนีน เป็นต้น³³ ทำให้ช่วยลดระดับโฮโมซิส

ทีนในพลาสมาและช่วยการทำงานของตับที่เกี่ยวข้อง
กับไขมันให้ดีขึ้นอีกทั้งยังช่วยรักษาความสมดุลภายในเซลล์
(Osmo-protectant) ดังนั้นไก่เนื้อที่ได้รับเลซิธินถั่วเหลือง
ในอาหารจึงเกิดความเครียดเนื่อง จากความร้อนจึงน้อยกว่า
ไก่เนื้อกลุ่มควบคุม

Table 5 Effect of crude soy lecithin in broiler chicken diets on meat quality and nutrient composition in meat

| Meat quality and nutrient composition in meat | Level of dietary substitution CSL for CPO | | Pr>T |
|--|---|-----------------|-------|
| | 0:100 | 5:95 | |
| pH1 | 5.87±0.12 | 5.97±0.24 | 0.116 |
| pH24 | 5.60±0.26 | 5.63±0.06 | 0.210 |
| Color at 45 min after slaughter | | | |
| - L* (Lightness) | 52.86±6.83 | 56.60±1.749 | 0.409 |
| - a* (Redness) | 0.66±0.44 | 0.88±0.48 | 0.579 |
| - b* (Yellowness) | 10.33±1.02 | 11.23±1.92 | 0.512 |
| Color at 24 hour after chill storage at 4 °C | | | |
| - L* (Lightness) | 45.11±2.61 | 48.97±4.28 | 0.254 |
| - a* (Redness) | 1.10±0.40 | 0.60±0.38 | 0.191 |
| - b* (Yellowness) | 10.51±1.33 | 10.95±0.89 | 0.659 |
| Water holding capacity (%) | | | |
| - Cooking loss | 22.03±2.99 | 21.97±4.07 | 0.983 |
| - Trawling loss | 19.44±1.78 | 18.34±2.23 | 0.201 |
| - Roasting loss | 23.54±2.98 | 20.34±3.70 | 0.308 |
| - Drip loss | 6.43±1.51 | 5.17±0.76 | 0.265 |
| Nutrient composition | | | |
| - Dry matter (%) | 29.050±0.700 | 30.075±2.075 | 0.488 |
| - Organic matter (%) | 98.780±0.140 | 98.627±0.035 | 0.189 |
| - Crude protein (%) | 22.185±0.435 | 21.690±0.310 | 0.191 |
| - Ether extract (%) | 4.275±0.065 | 4.390±0.150 | 0.002 |
| - Total carbohydrate (%) | 0.710±0.060 | 0.70±0.070 | 0.201 |
| - Gross energy (kcal/kg) | 1326.000±15.160 | 1360.700±22.100 | 0.182 |

Table 6 Effect of crude soy lecithin in broiler chicken diets cholesterol and fatty acid in meat

| Cholesterol and fatty acid in meat (g/100 g total fat) | Level of dietary substitution CSL for CPO | | Pr>T |
|---|---|--------------|-------|
| | 0:100 | 5:95 | |
| Cholesterol | 55.075±0.765 | 58.513±2.349 | 0.049 |
| Total SFA ¹ | 1.815±0.145 | 1.665±0.505 | 0.646 |
| - Myristic acid (C14:0) | 0.035±0.005 | 0.035±0.015 | 1.000 |
| - Pentadecanoic acid (C15:0) | 0.010±0.001 | 0.010±0.001 | 0.543 |
| - Palmitic acid (C16:0) | 1.355±0.095 | 1.120±0.320 | 0.289 |
| - Margaric acid (C17:0) | 0.010±0.003 | 0.015±0.005 | 0.158 |
| - Stearic acid (C18:0) | 0.395±0.045 | 0.470±0.160 | 0.479 |
| - Arachidonic acid (C20:0) | 0.010±0.003 | 0.015±0.005 | 0.158 |
| Total MUFA ² | 2.580±0.210 | 3.140±0.06 | 0.011 |
| - Myristoleic acid (C14:1) | 0.010±0.001 | 0.010±0.001 | 0.447 |
| - Palmitoleic acid (C16:1n7) | 0.255±0.005 | 0.330±0.010 | 0.003 |
| - Vaccenic acid (C18:1n7c) | 2.130±0.190 | 2.465±0.114 | 0.049 |
| - Oleic acid (C18:1n9) | 0.140±0.01 | 0.185±0.015 | 0.012 |
| - Eicosenoic acid (C20:1n9) | 0.025±0.050 | 0.030±0.01 | 0.481 |
| - Nervonic acid (C24:1w9) | 0.010±0.001 | 0.010±0.001 | 0.859 |
| Total PUFA ³ | 1.482±0.057 | 2.402±0.427 | 0.020 |
| - Linoleic acid (C18:2n6) | 1.280±0.110 | 1.755±0.275 | 0.048 |
| - Linolenic acid (C18:3n3) | 0.075±0.005 | 0.130±0.030 | 0.035 |
| - C20:3n6 | 0.020±0.001 | 0.020±0.001 | 0.589 |
| - DGLA (C20:3n6) | 0.010±0.003 | 0.015±0.005 | 0.158 |
| - Arachidonic acid (C20:4n6) | 0.040±0.005 | 0.055±0.005 | 0.006 |
| Total n3 ⁴ | 0.065±0.005 | 0.115±0.065 | 0.254 |
| Total n6 ⁵ | 1.360±0.110 | 1.860±0.790 | 0.338 |
| Total n9 ⁶ | 0.175±0.015 | 0.210±0.090 | 0.542 |
| n3/n6 ratio ⁷ | 0.063±0.071 | 0.047±0.006 | 0.025 |
| SFA/USFA ratio ⁸ | 0.45±0.012 | 0.30±0.024 | 0.034 |
| Iodine value | 4.63±0.026 | 6.00±0.017 | 0.042 |
| Atherogenic index | 0.367±0.014 | 0.222±0.027 | 0.001 |
| Δ-9 Desaturase (16) index | 15.880±0.675 | 22.486±0.917 | 0.006 |
| Δ-9 Desaturase (18) index | 26.254±0.829 | 28.158±0.251 | 0.019 |

¹ Total SFA = Total saturated fatty acid, ² Total MUFA = Total monounsaturated fatty acid, ³ Total PUFA = Total polyunsaturated fatty acid, ⁴ Total n3= Omega-3 fatty acid, ⁵ Total n6= Omega-6 fatty acid, ⁶ Total n9= Omega-9 fatty acid, ⁷ n3/n6 ratio= Omega-3 fatty acid/Omega-6 fatty acid, ⁸ SFA/USFA ratio= saturated fatty acid/unsaturated fatty acid

การทดลองนี้ยังแสดงผลการใช้เลซิทินถั่วเหลืองต่อการลดระดับคอเลสเตอรอลรวม^{16,27,34,38} คอเลสเตอรอลชนิด LDL^{9,16,24,27,35,38} และไตรกลีเซอไรด์ในเลือด^{9,15,16,38} นอกจากนี้การทดลองนี้ยังพบว่า การใช้เลซิทินถั่วเหลือง มีผลต่อการเพิ่มการสะสมไขมันรวมสอดคล้องกับ Haung *et al.*, (2007)²⁷; Roi *et al.*, (2010)³⁵ และเพิ่มระดับคอเลสเตอรอลในเนื้อไก่ รวมถึงยังช่วยเพิ่มการสะสมกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวรวม กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนรวม และการสะสมกรดไขมันที่เป็นประโยชน์ เช่น กรดลิโนเลอิก กรดลิโนเลนิก และกรดอะราชิโดนิก เป็นต้น ในเนื้อไก่ ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วย ข้อเสนอพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ กล่าวคือ ฟอสฟาติดีลโคลีนในเลซิทินถั่วเหลืองจะถูกหลั่งเข้าไปในเซลล์ตับ ซึ่งไขมันในเซลล์ตับจะถูกทำให้แตกตัวจากโมเลกุลใหญ่เป็นโมเลกุลที่เล็กลงและสามารถดูดซึมได้ง่ายลดจำนวนไขมันที่เกาะอยู่ตามผนังเซลล์ตับออกไปได้และทำให้ไม่เกิดโรค Fatty liver syndrome³⁶ โดยฟอสฟาติดีลโคลีนเป็นส่วนประกอบสำคัญในการสร้างเยื่อหุ้มเซลล์และกล้ามเนื้อของไก่เนื้อที่กำลังอยู่ในช่วงวัยของการเจริญเติบโต และฟอสโฟลิพิดประกอบด้วยส่วนของลิพิดไบเลเยอร์ ซึ่งในชั้นของลิพิดไบเลเยอร์นั้นจะประกอบไปด้วยกลุ่มของฟอสเฟต ซึ่งในกลุ่มนี้จะถูกสร้างมาจากกลุ่มของฟอสฟาติดีลโคลีน⁷ ซึ่งฟอสฟาติดีลโคลีนเป็นสารที่เป็นส่วนประกอบของเลซิทินจัดเป็นอิมัลซิไฟเออร์ มีหน้าที่ในการทำหน้าที่เป็นตัวละลายไขมัน หรือคอเลสเตอรอลด้วยเอนไซม์ lecithin cholesterol acyl-transferase (LCAT) ที่จะช่วยเปลี่ยนคอเลสเตอรอลให้เป็นคอเลสเตอรอลเอสเทอร์เก็บไว้ในแกนกลางของ High density lipoprotein (HDL) เพื่อนำไขมันไปสลายที่ตับ³⁷ อีกทั้งการลดลงของคอเลสเตอรอลรวม คอเลสเตอรอลชนิด LDL และไตรกลีเซอไรด์ในเลือด สามารถอธิบายได้เนื่องจากหากมีการเก็บสะสมไตรเอซิลกลีเซอไรด์เพื่อใช้เป็นพลังงานสำรองในระยะ fasting หรือ starvation triacylglyceride ได้จากพลังงานส่วนเกินที่ได้รับจากอาหาร ซึ่งหากไก่เนื้อได้รับมากกว่าพลังงานมากจะทำให้เกิดการสะสมไขมันมากกว่าปกติ เนื้อเยื่อไขมันได้รับไตรเอซิล-กลีเซอไรด์จากโคไลไมครอน (chylomicron) และ VLDL ไตรเอซิลกลีเซอไรด์จากกระแสเลือดไม่ได้เข้าสู่เซลล์โดยตรง แต่จะถูกสลายเป็นกรดไขมันก่อนโดยเอนไซม์ lipoprotein lipase ในหลอดเลือดฝอย เอนไซม์ lipoprotein lipase สังเคราะห์ในเนื้อเยื่อไขมัน และ parenchymal cell ถูกกระตุ้นด้วยอินซูลินให้หลั่งจากเซลล์มาอยู่ที่ endothelium เพื่อทำหน้าที่ระดับกลูโคสในกระแสเลือดจะเพิ่มขึ้นต้นอ่อนจะปล่อยอินซูลินออกมาเพื่อปรับความสมดุล ทั้งนี้อินซูลินยังกระตุ้นให้เซลล์สังเคราะห์ไขมัน (synthesis of lipid), โปรตีน และไกลโคเจนเก็บที่กล้ามเนื้อและตับเพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำรอง สอดคล้องกับ Huang

et al. (2008)²⁷ พบว่า การเสริมเลซิทินในอาหารไก่เนื้อสามารถเพิ่มการหลั่งฮอร์โมนอินซูลิน TSH T3 และ T4 โดยกรดไขมันจากการย่อยไลโปโปรตีนเข้าสู่เซลล์และถูกสังเคราะห์กลับเป็น triacylglyceride ใหม่เพื่อเก็บสะสม โดยการสังเคราะห์ triacylglyceride ในเนื้อเยื่อไขมันใช้วิถี glycerol phosphate pathway โดยได้ glycerol-3-phosphate จากไกลโคไลซิสเป็นสารตั้งต้น เนื้อเยื่อไขมันไม่ใช่ glycerol ในการสังเคราะห์ไขมัน เพราะไม่มีเอนไซม์ glycerokinase สำหรับเปลี่ยนกลีเซอรอลไปเป็น glycerol-3-PO นอกจากนี้เลซิทินถั่วเหลืองมีผลต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องของกระบวนการสร้างไขมัน ในตับ (lipogenesis) เช่น acetyl-CoA carboxylase (ACC), malic enzyme (ME), fatty acid synthase (FAS) และ stearyl-CoA (Δ 9) desaturase 1 (SCD1) เป็นต้น ซึ่งยีนเหล่านี้ จะควบคุมการเผาผลาญไขมันในตับซึ่งจะผูกกับโปรตีนที่ลดไตรกลีเซอไรด์และช่วยเพิ่มระดับคอเลสเตอรอลที่ดีในกระแสเลือด ตับต้องการ ฟอสฟาติดีลโคลีนเพื่อผลิต lipoproteins โดยยีนเหล่านี้ควบคุมกระบวนการสร้างไขมัน นอกจากนี้ intestinal fatty acid binding protein (I-FABP) จะช่วยทำให้กรดไขมันละลายน้ำได้ดีขึ้น sterol regulatory element-binding protein (SREBP) จะทำหน้าที่กระตุ้นการสังเคราะห์กรดไขมันในตับ SREBP-1c ควบคุมยีนที่จำเป็นสำหรับการเผาผลาญกลูโคสและการสร้างกรดไขมันและไขมันและการแสดงออกของยีนถูกควบคุม โดยอินซูลิน (Huang, 2008)²⁷

สรุป

การทดลองใช้เลซิทินถั่วเหลืองในอาหารไก่เนื้อ มีศักยภาพในการเพิ่มการย่อยได้ปรากฏของวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุ พลังงานรวม ไขมันรวม และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏ ทั้งยังช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลรวม คอเลสเตอรอลชนิด LDL และไตรกลีเซอไรด์ในเลือด ทั้งยังสามารถเพิ่มการสะสมไขมันรวม และเพิ่มระดับคอเลสเตอรอลในเนื้อไก่ รวมถึงยังช่วยเพิ่มการสะสมกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวรวม กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนรวม ค่าไอโอดีน และการสะสมกรดไขมันที่เป็นประโยชน์ เช่น กรดลิโนเลอิก กรดลิโนเลนิก และกรดอะราชิโดนิก เป็นต้น ในเนื้อไก่ หากแต่ไขมันที่เพิ่มขึ้นนั้นมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคในการเลือกรับประทานเนื้อไก่ดังแสดงตามค่าดัชนีการเกิดภาวะไขมันสะสมในเส้นเลือด สัดส่วนของกรดไขมันโอเมก้า 3 ต่อกรดไขมันโอเมก้า 6 และสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวในเนื้อไก่ที่ลดลง รวมทั้งค่าดัชนี Δ -9 desaturase (16) และค่าดัชนี Δ -9 desaturase (18) ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการใช้เลซิทินถั่วเหลืองในอาหารไก่เนื้อไม่ได้แสดงผลที่เด่นชัดต่อสมรรถภาพการผลิต ลักษณะซาก

และคุณภาพของเนื้อ ซึ่งผลจากการทดลองครั้งนี้จักเป็นข้อมูลสำหรับพัฒนางานวิจัยเพื่อแสวงหาแนวทางการใช้เลซิทินถั่วเหลืองในอาหารไก่เนื้อให้ได้ศักยภาพสูงสุดในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี การเกษตรมหาวิทยาลัยศิลปากร ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์เพชรบุรีที่เอื้อเฟื้อสถานที่เลี้ยงสัตว์ทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- Zampiga M, Meluzzi A, Sirri F. Effect of dietary supplementation of lysophospholipids on productive performance, nutrient digestibility and carcass quality traits of broiler chickens, *Ital J Anim Sci* 2016;15(3):521-528.
- Upadhaya SD, Park JW, Park JH, Kim IH. Efficacy of 1,3-diacylglycerol as a fat emulsifier in low-density diet for broilers, *Poult Sci* 2017;96(6):1672-1678.
- Allahyari-Bake S, Jahanian R. Effects of dietary fat source and supplemental lysophosphatidylcholine on performance, immune responses, and ileal nutrient digestibility in broilers fed corn/soybean meal or corn wheat soybean meal-based diets, *Poult Sci* 2017; 96(5):1149-1158.
- Brautigan DL, Li R, Kubicka E, Turner SD, Garcia JS, Weintraut ML, Wong EA. Lysolecithin as feed additive enhances collagen expression and villus length in the jejunum of broiler chickens, *Poult Sci* 2017;96(8):2889-2898.
- Jansen M, Nuyens F, Buyse J, Leleu S, Campenhout LV. Interaction between fat type and lysolecithin supplementation in broiler feeds, *Poult Sci* 2015;94 (10):2506-2515.
- Borsatti LS, Vieira L, Stefanello C, Kindlein L, Oviedo-Rondón EO. Apparent metabolizable energy of by-products from the soybean oil industry for broilers: acidulated soapstock, glycerin, lecithin, and their mixture, *Poult Sci* 2018;97(1): 124-130.
- Marchesini G, Segato S, Stefani AL, Tenti S, Dorigo M, Gerardi G, Bernardini D, Andrighetto I. Lecithin: a by-product of biodiesel production and a source of choline for dairy cows, *Italian J Anim Sci* 2012;11 (2):203-207.
- Zhang B, Haitao L, Zhao D, Guo Y, Barri A. Effect of fat type and lysophosphatidyl-choline addition to broiler diets on performance, apparent digestibility of fatty acids, and apparent metabolizable energy content, *Anim Feed Sci and Tech* 2011; 163(2-4):177-184.
- Zhou PY, Li HL, Hossain MM, Kim IH. Effect of emulsifier (lysophospholipid) on growth performance, nutrient digestibility and blood profile in weaning pigs, *Anim Feed Sci and Tech* 2015;207:190-195.
- Cahaldora P, De Blas JC, Garria-Rebollar P, Alvarez C, Mendez J. Short communication. Effects of type and level of supplementation with dietary n-3 fatty acid on yolk fat composition and n-3 fatty acid retention in hen eggs, *Spanish J Agri Res* 2005;3:209-212.
- Nutrient Requirement Council. Nutrient Requirement of Poultry. 9th ed. Washington DC. 1994;
- AOAC. *Official methods of analysis*. 17th ed. Gaithersburg: Assoc. off Analysis chemistry. 2000;
- Myers WD, Ludden PA, Nayigihugu V, Hess BW. Technical Note: A procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide, *J Anim Sci* 2004;82:179-183.
- Kluth H, Rodehutsord M. Comparison of amino acid digestibility in broiler chicken, turkey, and Pekin ducks, *Poult Sci* 2006;85:1953-1960.
- Jansen MF, Nuyens F, Buyse J, Leleu S, Van Campenhout L. Interaction between fat type and lysolecithin supplementation in broiler feeds, *Poult Sci* 2016;94:2506-2515.
- Zhao PY, Kim IH. Effect of diets with different energy and lysophospholipids levels on performance, nutrient metabolism, and body composition in broilers, *Poult Sci* 2017;96(5):1341-1347.
- มนัสนันท์ นพรัตน์ไม่ตรีวารังคณา กิจพิพิชชวลิต ผึ้งปฐมภรณ์ ศรารุช ม่วงเผือก เอกกมล กมลลาภารกุล นาฎยา แบ่งลาภ เสาวภา เขียนงาม. ผลของการเสริมซินไบโอติกส์ต่อสมรรถนะการผลิตไก่เนื้อและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ, *วารสารเกษตร* 2558;31(3):221-230.

18. สัญชัย จตุรสิทธา. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 3. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่. 2553;
19. Liu X, Yan H, Lv L, Xu Q, Yin C, Zhang K, Wang P, Hu J. Growth performance and meat quality of broiler chickens supplemented with *Bacillus licheniformis* in drinking water, *Asian-Aust J Anim Sci* 2012;25(5):682-689.
20. Lepage G, Roy CC. Direct transesterification of all classes of lipids in a one-step reaction, *J Lipid Res* 1986;27:114–120.
21. He LW, Meng QX, Li DY, Zhang YW, Ren LP. Meat quality, oxidative stability and blood parameters from Graylag geese offered alternative fiber sources in growing period, *Poult Sci* 2015;94:750–757.
22. Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. Principles and Procedure Statistics. 2nd Edn. Singapore: McGraw-Hill Book Co., Inc. 1992;
23. R Core Team. R. A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, 2016; Vienna. Austria. URL <http://www.R-project.org/>
24. Upadhaya S.D, Lee JS, Jung KJ, Kim IH. Influence of emulsifier blends having different hydrophilic-lipophilic balance value on growth performance, nutrient digestibility, serum lipid profiles, and meat quality of broilers, *Poult Sci* 2018;97(1):255–261.
25. Khonyoung D, Yamauchi K, Suzuki K. Influence of dietary fat sources and lysolecithin on growth performance, visceral organ size, and histological intestinal alteration in broiler chickens, *Livest Sci* 2015;176:111-120.
26. Boontiam W, Jung B, Kim YY. Effects of lysophospholipid supplementation to lower nutrient diets on growth performance, intestinal morphology, and blood metabolites in broiler chickens, *Poult Sci* 2017;96(3): 593–601.
27. Huang J, Yang D, Gao S, Wang T. Effects of soy-lecithin on lipid metabolism and hepatic expression of lipogenic genes in broiler chickens, *Livest Sci* 2008;118(1–2):53-60.
28. Neto GAC, Pezzato AC, Sartori JR, Mori C, Cruz VC, Fascina VB, Pinheiro DF, Madeira LA, Gonçalves JC. Emulsifier in broiler diets containing different fat sources, *Braz J Poult Sci* 2011;13:119-125.
29. Aguilar YM, Becerra JC, Bertot RR, Pelaez Jc, Liu G, Hurtado CB. Growth performance, carcass traits and lipid profile of broiler chicks fed with an exogenous emulsifier and increasing levels of energy provided by palm oil, *J Food Agri and Envi* 2013;11(1):629-633.
30. มั่นสนันท์ นพรัตน์ไมตรี และ วรางคณา กิจพิพิธ. การศึกษาผลของบริเวณและชั้นที่เลี้ยงภายในโรงเรือนแบบปิดต่อสภาพแวดล้อม ดัชนีความเครียดเนื่องจากความร้อน และอัตราการตายของไก่เนื้อแม่แก่เกษตรกร 2559;43 (ฉบับพิเศษ 1):517-522.
31. Lima VLM, Coelho LCBB, Kennedy JF, Owen JS, Dolphin PJ. Lecithin-cholesterol acyl-transferase (LCAT) as a plasma glycoprotein: an overview, *Carb Polym* 2004;55(2):179-191.
32. Aveladaño MI, Bazán NG, Molecular species of phosphatidylcholine, ethanolamine, serine, and inositol in microsomal and photoreceptor membranes of bovine retina, *J Lipid Res* 2013;24(5):620-627.
33. Zeisel SH, Corbin KD. Choline. Present Knowledge in Nutrition. 10th. 405-418.
34. Malapure CD, Kawitkar SB, Deshmukh GB, Bendale LN. Influence of dietary supplementation of phospholipids and lyso-phospholipids on performance of broilers, *Indian J Anim Nutr* 2011;28:316-319.
35. Roy A, Haldar S, Mondal S, Ghosh TK. Effects of supplemental exogenous emulsifier on performance, nutrient metabolism, and serum lipid profile in broiler chickens, *Vate Med Int* 2010;1-9.
36. Rotunda AM, Kolodney MS. Mesotherapy and phosphatidylcholine injections: Historical clarification and review. *Derm Sur* 2006;32(4):465–480.
37. Christie, WW and X. Han. Lipid Analysis Isolation, Separation, Identification and Lipidomic Analysis. 4th edition. 2010;446.
38. Siyal FA, El-Hack MEA, Alagawany M, Wang MC, Wan X, He J, Wang M, L, Zhong X, Wang T, Dhama K. Effect of soy lecithin on growth performance,

nutrient digestibility and hepatic antioxidant parameters of broiler chickens, *Int J pharmacol* 2017;13(4):396-402.

39. Zhai, WS, Neuman, L, Latour, MA, Hester, PY. The Effect of Male and Female Supplementation of L-Carnitine on Reproductive Traits of White Leghorns, *Poult Sci* 2008;87(6):1171–118.

การออกแบบชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนาม Chemical Agent Monitor Simulator Design

ชนมภัทร โตรระสะ¹

Chonmapat Torasa¹

Received: 19 January 2018; Accepted: 30 April 2018

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนาม (Chemical agent monitor simulator : CAMSIM) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่กรมวิทยาศาสตร์ทหารบกใช้สำหรับการฝึกกำลังพลของหน่วย และสอนนักเรียนของโรงเรียนวิทยาศาสตร์ทหารบก โดยใช้สัญญาณอัลตราโซนิกจำลองเป็นสารพิษเหมือนกับชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามที่มีจำหน่าย ชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามประกอบด้วยวงจรส่งสัญญาณอัลตราโซนิก จำนวน 4 ชุด โดยกำหนดให้เครื่องส่งสัญญาณอัลตราโซนิก แต่ละชุดส่งความถี่ที่ต่างกัน ดังนี้ 25.0000, 31.2500, 39.0625 และ 46.8750 กิโลเฮิร์ตซ์ (kHz) เพื่อจำลองเป็นสารเคมีพิษจำนวน 4 ชนิด และความแรงสัญญาณ อัลตราโซนิกของเครื่องส่งจะจำลองเป็นปริมาณของสารพิษและวงจรรับสัญญาณอัลตราโซนิก จำนวน 1 ชุด เพื่อจำลองเป็นเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนาม วงจรรับสัญญาณอัลตราโซนิกประกอบด้วยส่วนต่าง 4 ส่วนคือ 1.ส่วนขยายสัญญาณเบื้องต้น (Preamplifier) 2.ส่วนกรองความถี่ (Frequency filter) 3.ส่วนเร็คตีไฟเออร์และ 4.ขยายสัญญาณ (Rectifier and amplifier) และส่วนประมวลผลและแสดงผล (Processing and display) ซึ่งสามารถรับสัญญาณอัลตราโซนิกจากวงจรส่งสัญญาณทั้ง 4 ความถี่ และสามารถแสดงชนิด ปริมาณของสารพิษจำลองที่ตรวจวัดได้ทางจอแสดงผล ผลการทดสอบการทำงานของวงจรส่งและรับสัญญาณอัลตราโซนิก จำนวน 200 ครั้ง พบว่าวงจรรับสัญญาณสามารถรับสัญญาณอัลตราโซนิกจากวงจรส่งสัญญาณแต่ละความถี่ได้ และสามารถแสดงผลชนิดของสารพิษจำลองแต่ละชนิดได้ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยมีระยะตรวจจับสัญญาณอัลตราโซนิกที่แตกต่างกันดังนี้ ความถี่ 25.0000 kHz สามารถตรวจจับได้ที่ระยะประมาณ 0.50 เมตร ความถี่ 31.2500 kHz ประมาณ 1.46 เมตร ความถี่ 39.0625 kHz ประมาณ 0.90 เมตร และความถี่ 46.8750 kHz ประมาณ 1.50 เมตร เมื่อนำชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามที่สร้างขึ้นไปทดสอบภาคสนามพบว่าเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนาม (เครื่องรับสัญญาณอัลตราโซนิก) สามารถตรวจวัดและแสดงผลชนิดของสารพิษจำลอง (เครื่องส่งสัญญาณอัลตราโซนิก) ได้ถูกต้อง และสามารถตรวจวัดสัญญาณได้ในระยะไกลเฉลี่ยประมาณ 1 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่เท่ากับชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามที่จัดซื้อจากต่างประเทศ

คำสำคัญ: การออกแบบวงจร ชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนาม อัลตราโซนิก

Abstract

This article presents the design and construction of a Chemical Agent Monitor Simulator (CAMSIM) which the Royal Thai Army Chemical Department used for training personnel in the department and teaching RTA Chemical School's students. An ultrasonic signal is used to simulate a toxin similar to the CAMSIM. The CAMSIM consists of 4 sets the ultrasonic transmitter, each ultrasonic transmitter was specified to send different frequencies as follows; 25.0000, 31.2500, 39.0625 and 46.8750 KHz. The transmitter simulated 4 types of toxins and the ultrasonic signal strength of the transmitter reproduced the amount of toxins, and 1 set of ultrasonic receiver to simulate Chemical Agent Monitor.

¹ อาจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา แขวงวชิระ เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

¹ Lecturer, Electrical Technology Department, Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University, Dusit, Bangkok 10300, Thailand.

^{*} Corresponding author; Chonmapat Torasa, Electrical Technology Department, Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University, Dusit, Bangkok 10300, Thailand. chonmapat.to@ssru.ac.th

The ultrasonic receiver consists of 4 parts, 1.preamplifier, 2.frequency filter, 3.rectifier and amplifier, and 4.processing and display. It can receive 4 frequencies from the ultrasonic transmitter and show the type and quantity of simulated toxin on the LCD display. 200 tests of the ultrasonic transmitter and received determined toxins with 100% accuracy., However with different ultrasonic detection ranges are as follows: 25,000 kHz can be detected at approximately 0.5 meters, 31.250 kHz, approximately 1.46 meters, 39.0625 kHz approximately 0.9 meters and 46.875 kHz approximately 1.5 meters. When applying the CAMSIM in the field test, it was found that the Chemical agent monitor (ultrasonic receiver) are able to detect and display the simulated toxin type (ultrasonic transmitter) correctly and can detect ultrasonic signal within a distance of approximately 1 meter, which is the same distance of Chemical Agent Monitor which were purchased from abroad.

Keywords: Circuit design, Chemical agent monitor simulator, Ultrasonic

บทนำ

ในปัจจุบันยังคงมีการนำเอาสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ มาเป็นอาวุธเพื่อโจมตีทำร้ายทหารในการทำสงครามหรือทำร้ายประชาชนทั่วไปในการก่อการร้ายต่างๆ การโจมตีด้วยอาวุธเคมีนั้นมีความสำคัญน้อยแต่ในขณะเดียวกันฝ่ายตรงกันกลับต้องใช้งบประมาณจำนวนมากในการกำจัดหรือทำลายอาวุธเคมีที่ยังคงอยู่ ไม่ว่าจะเป็นการใช้น้ำหรือการทำความสะอาดผืนดินสิ่งเหล่านี้ถือว่าเป็นสิ่งจำเป็น อาวุธเคมียังจะส่งผลเสียในระยะยาว และยังทำลายสภาพจิตใจของทหาร และประชาชนอีกด้วย ตามอนุสัญญาห้ามอาวุธเคมี (Chemical Weapons Convention: CWC) ให้นิยาม อาวุธเคมี (Chemical weapons) คือสารเคมีพิษ หรือสารที่ใช้ผลิตสารเคมีพิษ (Precursor) ซึ่งสามารถทำให้เป็นอันตรายถึงชีวิต บาดเจ็บ หรือไร้สมรรถภาพ อาวุธเคมีจัดเป็นอาวุธทำลายล้างมวลมนุษย์ (Weapons of Mass Destruction : WMD) เนื่องจากสามารถทำให้เกิดการสูญเสียชีวิตเป็นกลุ่มก้อนในพื้นที่ขนาดใหญ่ และมีผลอันตรายตกค้าง ครอบคลุม และคงทนอยู่ได้นานในพื้นที่นั้น¹ โดยสามารถแบ่งประเภทของสารที่ใช้ในการทำสงครามเคมี (Chemical warfare agents) เป็น 5 ประเภท คือ

1. สารสังหาร (Lethal agents) เป็นสารทำให้มนุษย์และสัตว์เจ็บป่วยอย่างรุนแรง และอาจจะทำให้เสียชีวิต ซึ่งแบ่งได้เป็น 5 พวก คือ

- 1.1 สารประสาท (Nerve agents)
- 1.2 สารพุพอง (Blister agents)
- 1.3 สารโลหิต (Blood agents)
- 1.4 สารสำลัก (Chocking agents)
- 1.5 ทอกซิน (Toxin)

2. สารทำให้ไร้สมรรถภาพ (Incapacitating agents) เป็นสารเคมีที่มีผลให้มนุษย์หมดความสามารถในการปฏิบัติภารกิจชั่วคราว และไม่ทำให้เสียชีวิตหรือเกิดอันตรายถาวร และอาการที่เกิดขึ้นจะหายเองโดยไม่ต้องรักษา ซึ่งแบ่งย่อยได้

3 พวก คือ

- 2.1 สารออกฤทธิ์ทางจิต (Psychotomimetic agents)
- 2.2 สารอาเจียน (Vomiting agents)
- 2.3 สารน้ำตาไหล (Tear agents/ Lachrymatory agents)
3. สารทำลายพืช (Antiplant agents) เป็นสารที่ใช้ทำอันตรายพืชในทางปฏิบัติการทางทหาร ใช้เพื่อทำลายพืชที่ฝ่ายตรงข้ามใช้หลบซ่อนช่องซุ่มกำลัง หรือที่ซุ่มโจมตี
4. สารทำควัน (Smoke agents) เป็นสารที่ทำให้เกิดควันกำบัง และควันสัญญาณ
5. สารเพลิง (Incendiaries agents) เป็นสารทำให้เกิดเพลิงเป็นหลักซึ่งมีผลทำให้บาดเจ็บและเสียชีวิตได้²

ประเทศไทยได้ตระหนักถึงภัยคุกคามทางสงครามเคมี กองทัพอากาศจึงให้ความสำคัญเกี่ยวกับการใช้ และป้องกันอาวุธเคมี โดยกองทัพบกมีหน่วยที่รับผิดชอบ คือกรมวิทยาศาสตร์ทหารบก ซึ่งมีหน้าที่วางแผน อำนวยการ ประสานงาน กำกับ การวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับ การผลิต ส่งกำลัง ซ่อมบำรุง ตลอดจนการฝึกและศึกษาเกี่ยวกับการปฏิบัติการและการป้องกันทางเคมี ชีวะ รั้งสี และนิวเคลียร์ ตลอดจนงานกิจการวิทยาศาสตร์ของกองทัพบก³ กรมวิทยาศาสตร์ทหารบกได้จัดงบประมาณในการซื้อเครื่องมือต่างๆ มาประจำการในหน่วย เช่นเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนาม (Chemical agent monitor : CAM) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบสารพิษต่างๆ ที่ถูกนำมาใช้ในสงครามเคมี และชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนาม (Chemical agent monitor simulator : CAMSIM) เพื่อใช้ฝึกกำลังพลของหน่วย และสอนนักเรียนของโรงเรียนวิทยาศาสตร์ทหารบก ในการใช้งาน เครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามให้มีการใช้งานที่ถูกต้องและเกิดทักษะความชำนาญในการใช้งานเครื่องมือ โดยบริษัทผู้ผลิตเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามก็จะผลิตชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษ

สนามในแต่ละรุ่นให้มีลักษณะที่เหมือนกันเพื่อใช้ในการฝึกการใช้เครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามดังแสดงใน Figure 1 โดยภาพด้านซ้ายมือ (A) เป็นเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามและด้านขวามือ (B) เป็นชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนาม

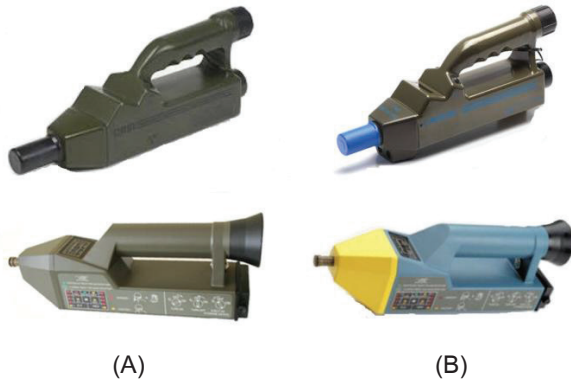


Figure 1 Chemical agent monitors and Chemical agent monitor simulators

แต่ด้วยงบประมาณที่มีจำกัดและชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามที่มีราคาแพง ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศทำให้มีชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้ฝึกกำลังพลและสอนนักเรียน และเมื่อชุดจำลองเครื่องมือ

ตรวจสอบสารพิษสนามเกิดการชำรุดเสียหายก็ไม่สามารถที่จะซ่อมแซมได้เอง ทางกรมวิทยาศาสตร์ทหารบกจึงมีแผนดำเนินการพัฒนาชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามขึ้น เพื่อออกแบบและสร้างชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามไว้ใช้งานเอง

วัตถุประสงค์

ออกแบบวงจรรับ และส่งสัญญาณอุลตราโซนิกเพื่อจำลองเป็นเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนาม และสารเคมีพิษพัฒนาต้นแบบชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนาม

วิธีการวิจัย

แนวคิดในการออกแบบชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนาม คือการใช้สัญญาณคลื่นอุลตราโซนิก จำลองเป็นสารพิษที่นำมาใช้เป็นสารเคมีพิษทางการทหาร เช่นสารประสาท (Nerve agents) พวกสาร G (G - agent) และสาร V (V - agent) สารพุพอง (Blister agents) พวกมัสตาร์ด (Mustard) และพวกสารประกอบสารหนู (Arsenicals) เป็นต้น ซึ่งเป็นหลักการทำงานที่เหมือนกับแหล่งกำเนิดสารพิษจำลองของชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามที่บริษัทผู้ผลิตในต่างประเทศใช้⁵ โดยออกแบบเครื่องส่งสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิกจำนวน 4 ชุด แต่ละชุดจะส่งสัญญาณคลื่น อุลตราโซนิกที่มีความถี่ต่างกัน ซึ่งจะจำลองเป็นสารพิษ 4 กลุ่ม ได้แก่ สารประสาท (Nerve agents) สารพุพอง (Blister agents) สารโลหิต (Blood agents) และสารสำลัก (Choking agents) ซึ่งเป็นกลุ่มสารพิษหลักที่ถูกนำมาใช้เป็นอาวุธเคมีทางการทหาร เมื่อส่งสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิกออกมาจะเปรียบเสมือนการกระจายของสารพิษ เนื่องจากคุณสมบัติของคลื่นเสียงนั้นสามารถเคลื่อนที่อ้อมสิ่งกีดขวางไปด้านหลังของสิ่งกีดขวางได้ สามารถกำหนดทิศทางการแพร่กระจายคลื่นได้ง่ายในกรณีที่มีสมมุติสถานการณ์ทิศทางการแพร่กระจายสารพิษ และลักษณะการแพร่กระจายจากแหล่งกำเนิดที่เป็นจุดหรือตำแหน่ง เป็นการฝึกการใช้เครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามค้นหาแหล่งกำเนิด หรือตำแหน่งของสารพิษ เพื่อการควบคุม หรือทำลายสารพิษในสนาม และออกแบบเครื่องรับสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิกจำนวน 1 เครื่อง ซึ่งจำลองเป็นเครื่องตรวจสอบสารพิษสนามทำหน้าที่รับสัญญาณคลื่น อุลตราโซนิก แล้ววิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณอุลตราโซนิกว่าส่งสัญญาณมาจากเครื่องส่งตัวใดแล้วจึงแสดงผลชนิดของสารเคมีพิษ ในขณะเดียวกันก็จะวัดระดับความแรงของสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิกที่รับได้แล้วแสดงผลเป็นระดับการกระจายตัวของสารพิษว่ามากน้อยเพียงใด ดังแสดงใน Figure 2 สำหรับขั้นตอนในการวิจัยออกแบบชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนาม แสดงใน Figure 3

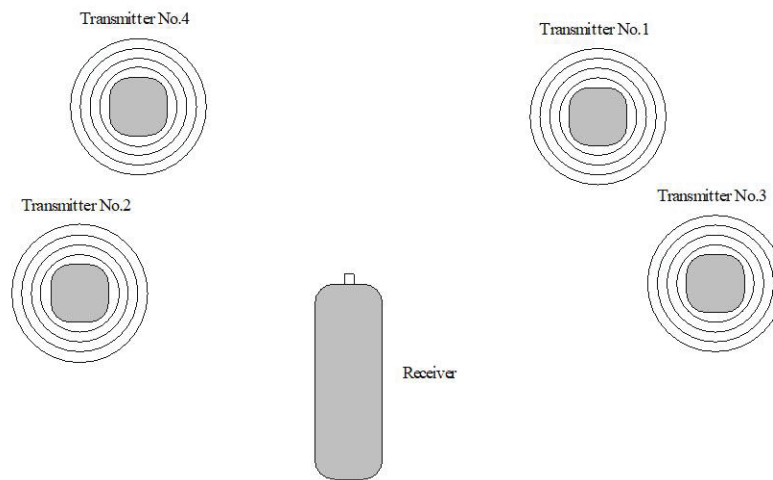


Figure 2 Chemical agent monitor simulator concept design

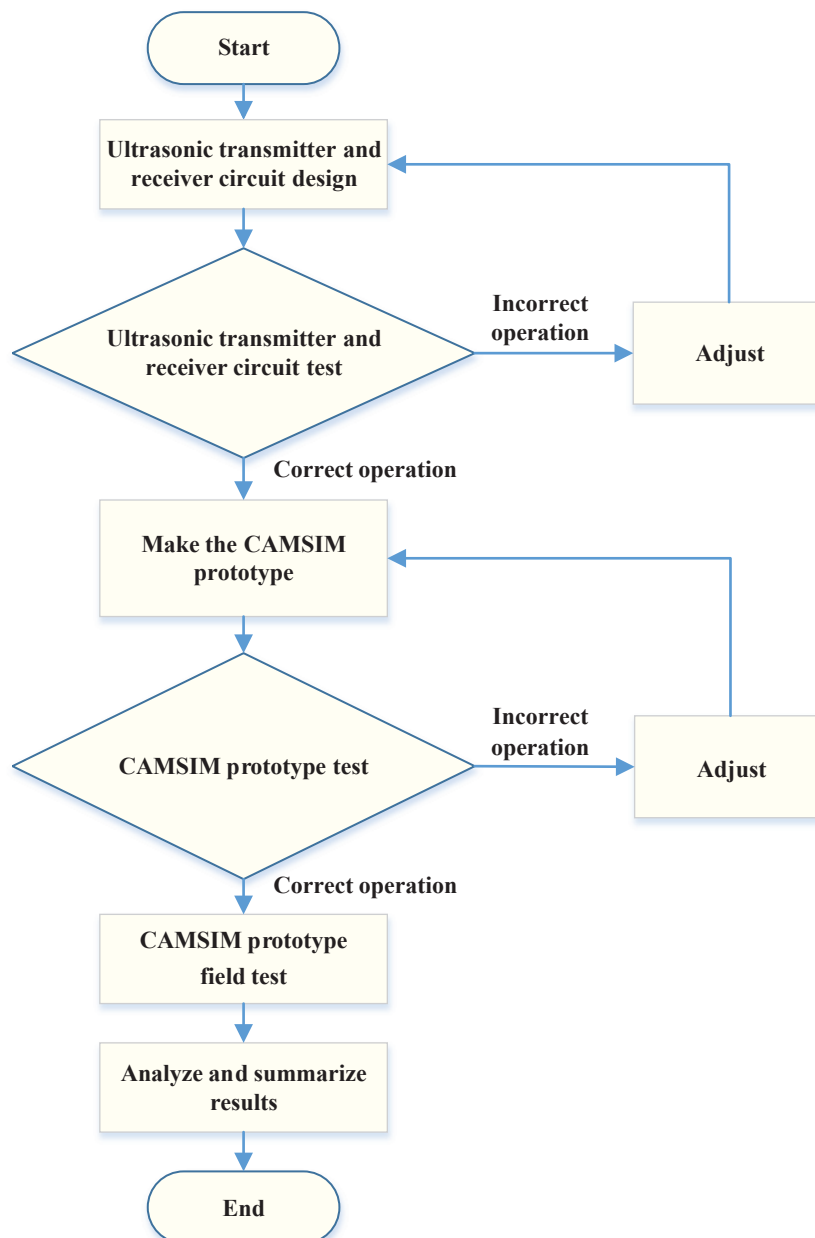


Figure 3 Research process diagram

การออกแบบวงจรส่ง และรับสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิค

1. วงจรส่งสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิค เพื่อใช้เป็นสารพิษจำลองจำนวน 4 ชุด ต้องออกแบบให้มีความถี่ส่งแต่ละชุดที่ต่างกันอย่างชัดเจน และเพื่อให้ได้ความถี่ที่สม่ำเสมอและแม่นยำ จึงเลือกใช้คริสตอล (Crystal) มาเป็นตัวสร้างความถี่หลักของวงจรส่งสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิค ค่าความถี่ของตัวคริสตอลที่มีจำหน่ายโดยทั่วไปในประเทศไทยแสดงใน Table 1 จากนั้น

จึงหารค่า ความถี่หลักที่ผลิตได้จากคริสตอลด้วย 256 เพื่อให้ได้ค่าความถี่ต่ำลงอยู่ในช่วงของคลื่นอุลตราโซนิค โดยใช้ไอซีเบอร์ 74HC4060 ซึ่งเป็นไอซีวงจรนับแบบ ไม่เข้าจังหวะ (Asynchronous Counter หรือ Ripple Counter) โดยโครงสร้างภายในใช้ฟลิปฟล็อปมาต่อเรียงกัน สถานะเอาต์พุตของฟลิปฟล็อปแต่ละตัวขึ้นอยู่กับสถานะเอาต์พุตของฟลิปฟล็อปตัวก่อนหน้า^{6,7}

Table 1 Frequency of crystal

| Frequency of crystal (MHz) | | | |
|----------------------------|---------|---------|---------|
| 3.5790 | 3.6864 | 4.0000 | 4.0960 |
| 4.0320 | 4.8000 | 4.9152 | 5.0000 |
| 6.0000 | 6.4000 | 8.0000 | 9.2160 |
| 9.8304 | 10.0000 | 10.2400 | 10.2450 |
| 11.0592 | 12.0000 | 12.2880 | 13.5475 |
| 13.5600 | 13.5725 | 14.3182 | 16.0000 |
| 16.3840 | 17.2800 | 17.7345 | 18.4320 |
| 20.0000 | 24.0000 | 25.0000 | 26.5900 |
| 30.0000 | 36.8640 | | |

จากค่าความถี่ของคริสตอลใน Table 1 จะต้องเลือกใช้ค่าความถี่ที่ไม่เป็น 2 เท่าของกันและกัน เพราะหากความถี่เป็นสองเท่าของกันและกัน อาจก่อให้เกิดฮาร์โมนิกส์ (Harmonic) ที่ 2 ขึ้นมาได้ และต้องใช้ค่าความถี่ที่ไม่ใกล้กันจนเกินไป ซึ่งจะส่งผลทำให้วงจรรับสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิค ตรวจจับความถี่ได้ผิดพลาด

ในงานวิจัยจึงได้เลือกใช้คริสตอลค่าความถี่ 6.4000, 8.0000, 10.0000 และ 12.0000 MHz มาผลิตความถี่หลักเพื่อเป็นสัญญาณอินพุตให้กับไอซีเบอร์ 74HC4060 ของวงจรส่งสัญญาณอุลตราโซนิคแต่ละชุด เมื่อหารด้วย 256 จะได้

ความถี่ของวงจรส่งสัญญาณอุลตราโซนิค ดังแสดงใน Table 2 โดยเลือกใช้ความถี่ของวงจรส่งสัญญาณอุลตราโซนิคให้สอดคล้องกับลักษณะการแพร่กระจายของสารพิษ คือความถี่ต่ำ (25 kHz) ซึ่งแพร่กระจายคลื่นได้ไกลๆ จำลองเป็นกลุ่มสารพิษ H (สารพุพอง) เนื่องจากสารพุพองมีลักษณะที่เหนียว การระเหยช้า ส่วนช่วงความถี่สูง (31.2500 – 46.8750 kHz) จำลองเป็นกลุ่มสารพิษ G (สารประสาท) สารพิษ B (สารสำคัญ) และสารพิษ A (สารโลหิต) ตามลำดับ ซึ่งสารกลุ่มต่างๆ นี้มีลักษณะเป็นไอ และแก๊ส ที่มีการระเหยที่เร็ว กระจายตัวไปได้ไกล

Table 2 Frequency of ultrasonic transmitter and type of agent simulator

| Frequency of crystal (MHz) | Frequency of ultrasonic transmitter (kHz) | Type of agent simulator |
|----------------------------|---|-------------------------|
| 6.4000 | 25.0000 | H (Blister agents) |
| 8.0000 | 31.2500 | G (Nerve agents) |
| 10.0000 | 39.0625 | B (Chocking agents) |
| 12.0000 | 46.8750 | A (Blood agents) |

ความถี่สัญญาณอุลตราโซนิกที่เอาท์พุทของไอซีเบอร์ 74HC4060 จะถูกขยายให้มีแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นเพื่อขับให้ตัวอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ส่งสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิกได้ไกลๆ โดยประยุกต์ใช้ไอซีเบอร์ MAX323 ซึ่งเป็นไอซีรับ-ส่งสัญญาณ RS232⁸ สามารถนำมาเปลี่ยนระดับแรงดันของลอจิกที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-5V หรือ 0-3.3V ให้เพิ่มขึ้นเป็น -15 ถึง +15V และได้ออกแบบให้เอาท์พุทเกิดเรโซแนนซ์ที่ค่าความถี่สัญญาณอุลตราโซนิกเพราะเมื่อเกิดการเรโซแนนซ์จะทำให้แรงดันไฟฟ้าสูงเพิ่มขึ้นอีก โดยนำตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)

มาต่ออนุกรมกับอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ซึ่งมีค่าความจุไฟฟ้า (Capacitance) เท่ากับ 1.74 นาโนฟารัด (nF) โดยคำนวณค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Inductance) จากสมการที่ 1

$$2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{-----} \tag{1}$$

โดยที่ f คือ ความถี่ มีหน่วยเป็นเฮิร์ตซ์ (Hz)

L คือ ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า มีหน่วยเป็นเฮนรี่ (H)

C คือ ความจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นฟารัด (F)

Table 3 Calculated and used inductance value

| Frequency of ultrasonic transmitter (kHz) | Calculated inductance value (mH) | Used inductance value (mH) |
|---|----------------------------------|----------------------------|
| 25.0000 | 23.2000 | 27.0000 |
| 31.2500 | 14.8000 | 15.0000 |
| 39.0625 | 9.5000 | 10.0000 |
| 46.8750 | 6.6000 | 6.4000 |

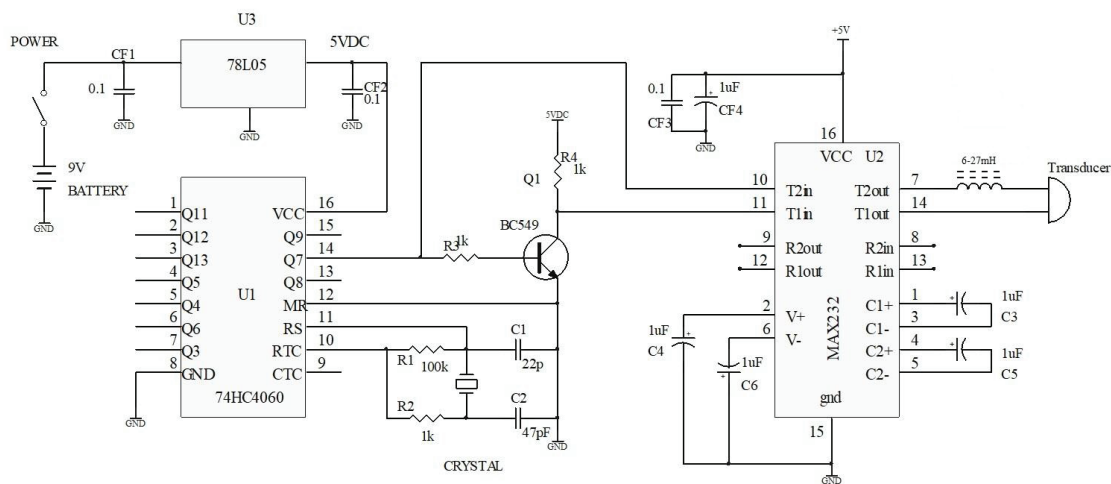


Figure 4 Ultrasonic transmitter circuit diagram

2. วงจรรับสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิก เพื่อใช้เป็นเครื่องมือตรวจสอบสารพิษจำลองจำนวน 1 ชุด วงจรรับสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิกมีส่วนประกอบย่อย 4 ส่วนดังนี้

2.1 ส่วนขยายสัญญาณเบื้องต้น (Preamplifier) เป็นส่วนแรกที่รับสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิกที่ส่งมาจากเครื่องส่งซึ่งมีระดับความแรงของสัญญาณที่ต่ำมาก จึงต้องออกแบบส่วนขยายสัญญาณขนาดเล็กให้มีขนาดที่สูงขึ้น โดยใช้ไอซีเบอร์ TL074 ซึ่งเป็นไอซีออปแอมป์ (Op-amp)⁹ ออกแบบเป็น

วงจรรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting amplifier) จำนวน 2 ลำดับให้มีอัตราขยายแรงดัน 47 และ 100 เท่า โดยนำสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิกที่รับได้จากอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์มาขยายสัญญาณให้สูงขึ้นเพื่อส่งต่อไปยังส่วนกรองความถี่สัญญาณ ดังแสดงใน Figure 5

2.2 ส่วนกรองความถี่ (Frequency filter) สัญญาณจากส่วนขยายสัญญาณเบื้องต้นจะถูกนำมากรองความถี่สัญญาณที่มีความถี่ตรงกับสัญญาณของเครื่องส่งสัญญาณ โดยใช้วงจร

กรองความถี่สัญญาณ ดังแสดงในภาพที่ 6 ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือชุดที่ 1 ใช้กรองความถี่ 46.8750 และ 39.0625 kHz ชุดที่ 2 ใช้กรองความถี่ 31.2500 และ 25.0000 kHz ค่าความถี่ที่จะถูกกรองกำหนดได้จากค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า และค่า

ความจุไฟฟ้าในสมการที่ 1 ความถี่ที่ได้จากส่วนกรองความถี่สัญญาณจะถูกขยายสัญญาณขึ้นด้วยวงจขยายสัญญาณแบบกลับเฟสอีกครั้งเพื่อให้ได้ระดับสัญญาณความถี่ที่สูงขึ้น

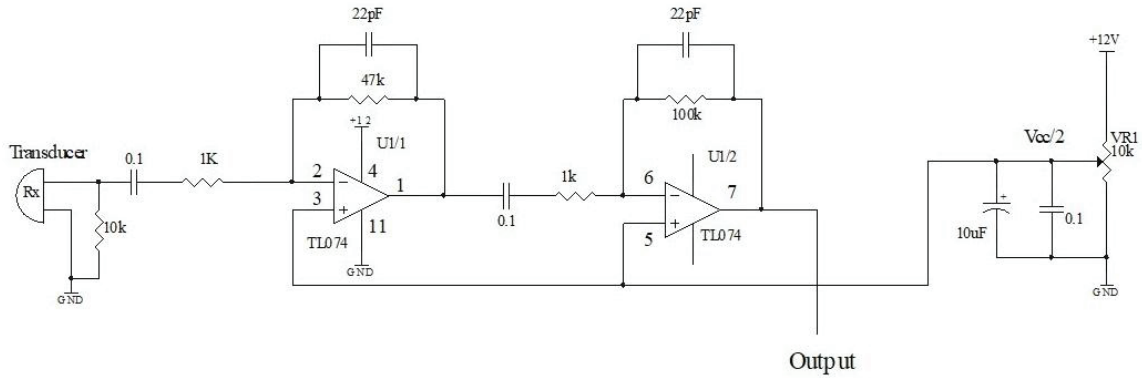


Figure 5 Preamplifier circuit diagram

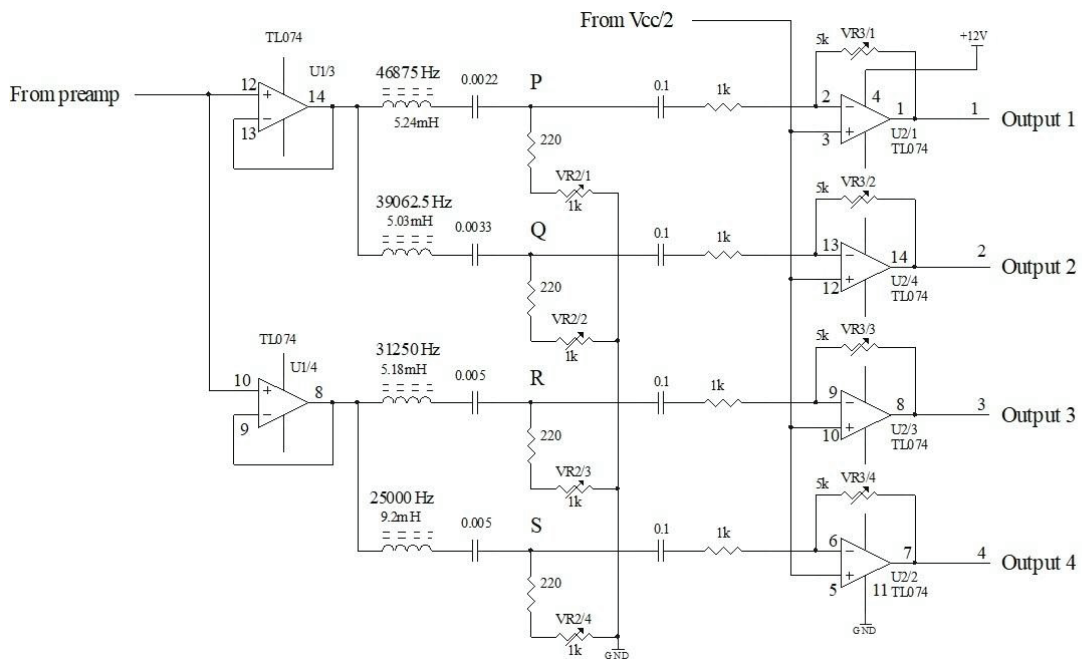


Figure 6 Frequency filter and amplifier circuit diagram

2.3 ส่วนเรกติไฟเออร์และขยายสัญญาณ (Rectifier and amplifier) ส่วนนี้จะทำหน้าที่ตัดสัญญาณความถี่ที่กรองความถี่แล้วให้เหลือเพียงสัญญาณด้านบวกเท่านั้น โดยใช้ไดโอดทำหน้าที่ตัดสัญญาณด้านลบออก และนำสัญญาณความถี่ด้านบวกไปขยายด้วยวงจขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-inverting amplifier) โดยใช้ไอซีออปแอมป์ ดังแสดงในภาพที่ 7

2.4 ส่วนประมวลผลและแสดงผล (Processing and display) เป็นส่วนที่นำสัญญาณที่ผ่านส่วนต่างๆ ที่กล่าว

มาข้างต้นมาประมวลผล เพื่อแสดงผลการตรวจจับสัญญาณอุลตราโซนิก ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เบอร์ PIC18F2525 โดยมีขั้นตอนการทำงานของการประมวลผล และแสดงข้อมูลบนจอแสดงผล LCD ดังแสดงใน Figure 9 สามารถแสดงผลข้อมูลได้ 3 ส่วนคือชนิดของสารพิษ (ความถี่ของสัญญาณอุลตราโซนิก) ปริมาณของสารพิษ (ความแรงของสัญญาณอุลตราโซนิก) และปริมาณแบตเตอรี่ที่ใช้งานกับเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามจำลอง (เครื่องรับสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิก) ดังแสดงใน Figure 10

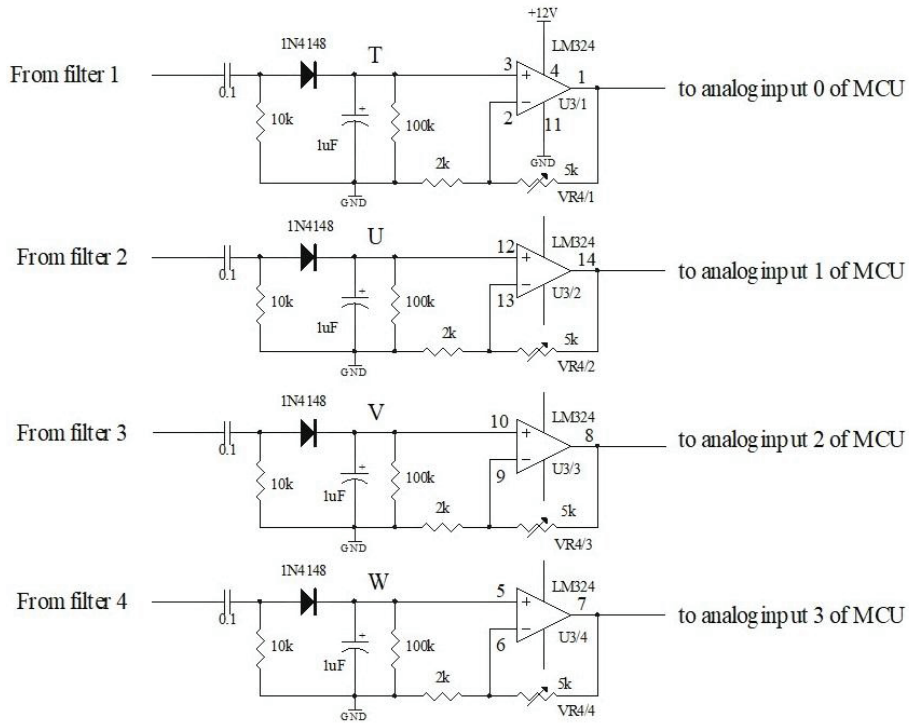


Figure 7 Rectifier and amplifier circuit diagram

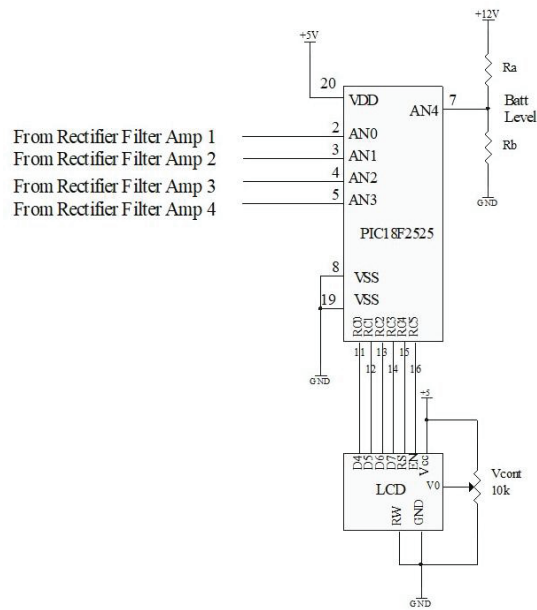


Figure 8 Processing and display circuit diagram

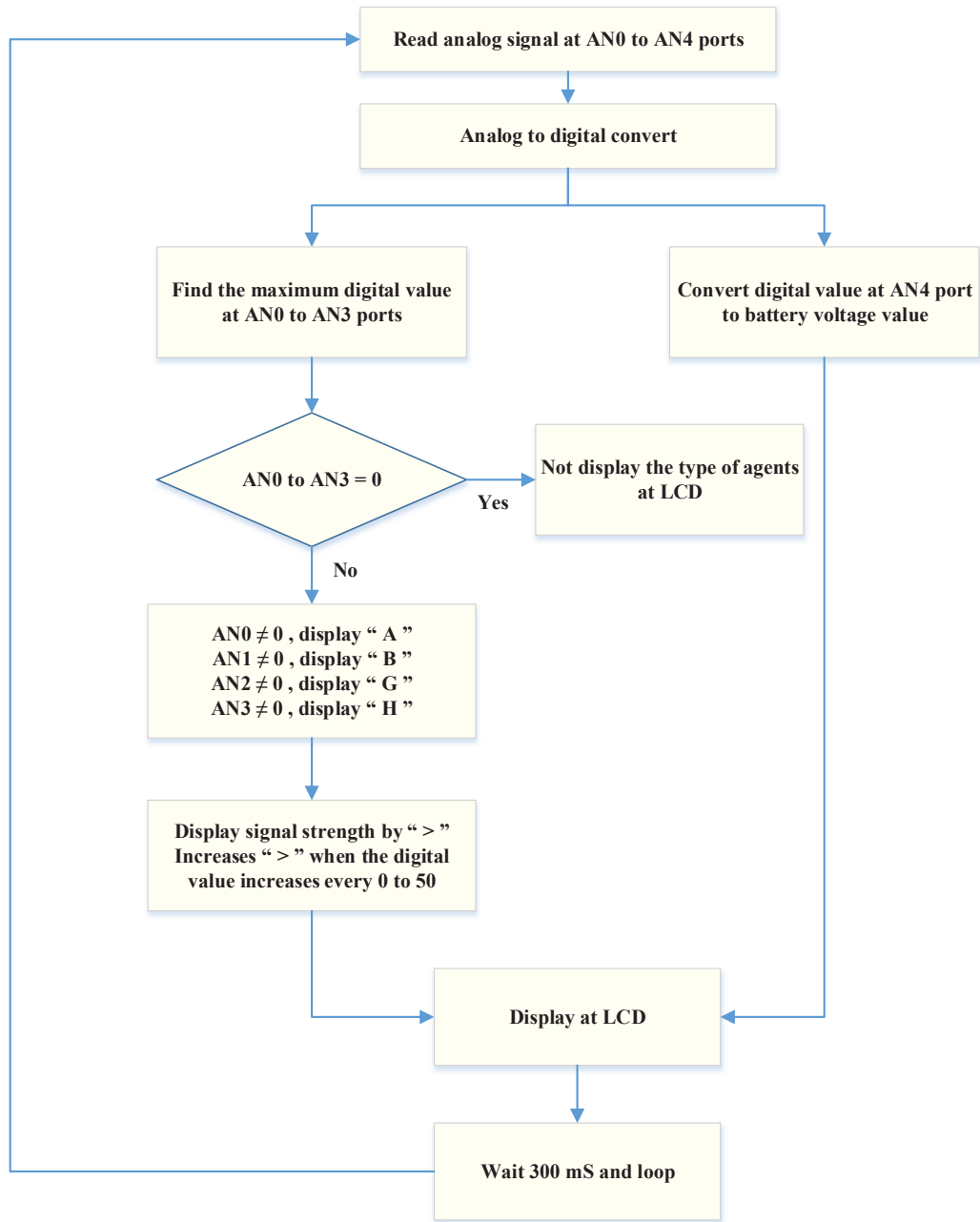


Figure 9 Process diagram of processing and display

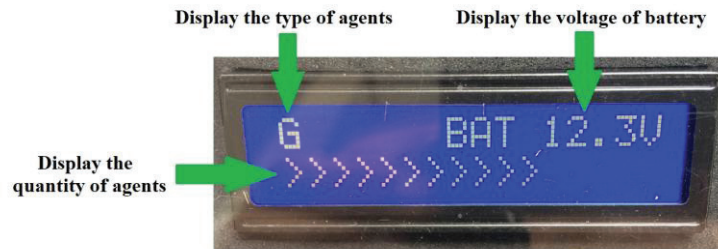


Figure 10 LDC display of ultrasonic receiver



Figure 11 Display of chemical agent monitor simulator purchased from abroad

3. ต้นแบบชุดจำลองเครื่องตรวจสอบสารพิษสนาม ประกอบด้วยสารพิษจำลอง (เครื่องส่งสัญญาณ) จำนวน 4 อัน และ เครื่องตรวจสอบสารพิษสนามจำลอง (เครื่องรับสัญญาณ) จำนวน 1 เครื่อง Figure 12(A) แสดงแผนวงจรภายในของ

เครื่องส่งสัญญาณที่จำลองเป็นสารพิษ และ Figure 12(B) แสดงแผนวงจรภายในของเครื่องรับสัญญาณที่จำลองเป็น เครื่องตรวจสอบสารพิษสนาม

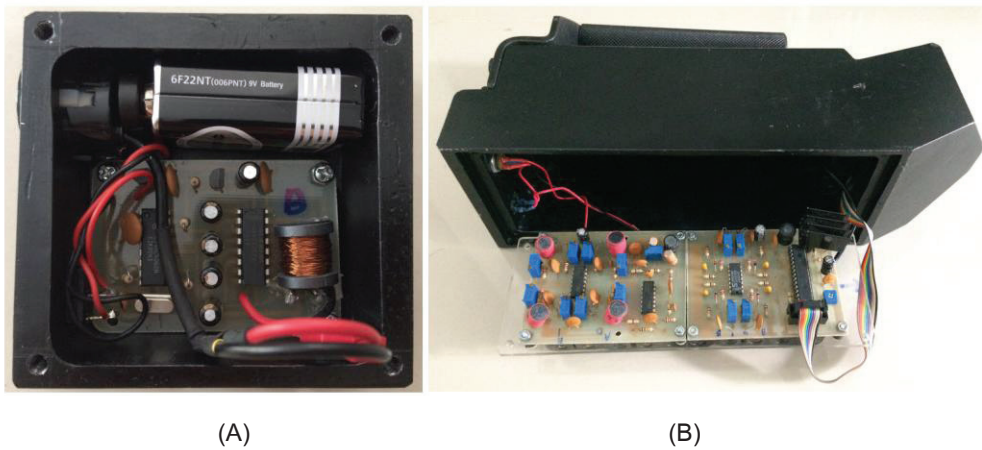


Figure 12 Transmitter and receiver print circuit board (PCB) of chemical agent monitor simulator prototype

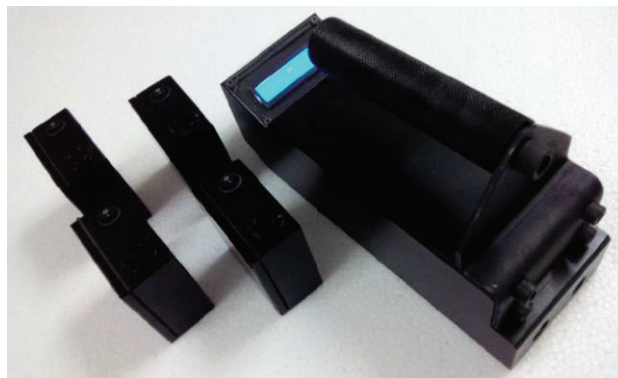


Figure 13 Chemical agent monitor simulator prototype

ผลการวิจัย

ผลของการวิจัยการออกแบบชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ

1. การออกแบบวงจรรับ และส่งสัญญาณอัลตราโซนิกเพื่อจำลองเป็นเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนาม และสารเคมีพิษ โดยทำการทดสอบวงจรรับ และส่งสัญญาณอัลตราโซนิก พบว่าการทดสอบวงจรรับสัญญาณที่รับสัญญาณจากวงจรส่งสัญญาณ เพื่อแสดงผลชนิดของสารพิษ (ความถี่ของสัญญาณอัลตราโซนิก) จำนวน 200 ครั้ง วงจรรับสัญญาณสามารถแสดงผลชนิดของสารพิษ (สาร A, B, G และ H) ได้ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถเริ่มตรวจจับสัญญาณอัลตราโซนิกที่ส่งมาจากวงจรส่งสัญญาณได้

เมื่อวงจรรับสัญญาณอยู่ห่างจากวงจรส่งสัญญาณในระยะห่างที่แตกต่างกันดังนี้ ความถี่ 46.8750 kHz ที่จำลองเป็นสาร A ประมาณ 1.50 เมตร ความถี่ 39.0625 kHz ที่จำลองเป็นสาร B ประมาณ 0.90 เมตร ความถี่ 31.2500 kHz ที่จำลองเป็นสาร G ประมาณ 1.46 เมตร และความถี่ 25.0000 kHz ที่จำลองเป็นสาร H ประมาณ 0.50 เมตร และแสดงปริมาณของสารพิษ (ความแรงของสัญญาณอัลตราโซนิก) ได้เพิ่มขึ้นเมื่อวงจรรับสัญญาณเข้าใกล้วงจรส่งสัญญาณมากขึ้นตามลำดับ สำหรับวงจรส่งสัญญาณเมื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและรูปคลื่นของสัญญาณอัลตราโซนิกแต่ละวงจรได้ผลตามตารางที่ 4 ตัวอย่างรูปคลื่นของสัญญาณอัลตราโซนิกที่ความถี่ 25.0000 และ 39.0625 kHz แสดงใน Figure 14 และ 15 ตามลำดับ

Table 4 Voltage and ultrasonic signal of transmitter

| Frequency of ultrasonic transmitter (kHz) | Voltage of ultrasonic signal | | Ultrasonic signal |
|---|------------------------------|------------------|-------------------|
| | V _{P-P} | V _{RMS} | |
| 25.0000 | 88 | 31.1100 | Sine wave |
| 31.2500 | 60 | 21.2100 | Sine wave |
| 39.0625 | 10 | 3.5400 | Non sine wave |
| 46.8750 | 64 | 22.6300 | Sine wave |

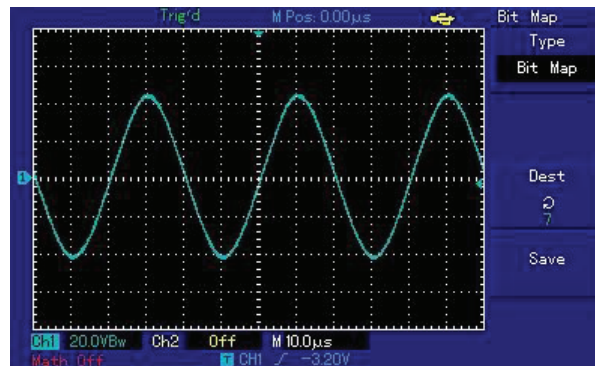


Figure 14 25.0000 kHz Ultrasonic signal of transmitter

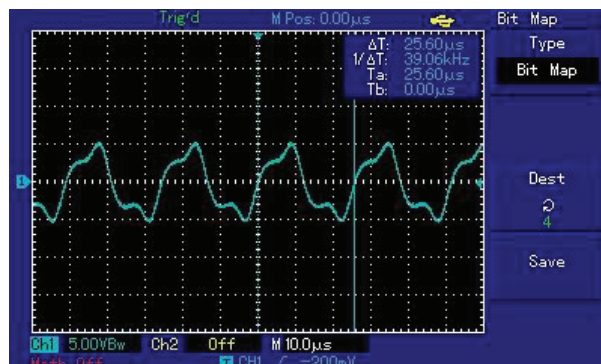


Figure 15 39.0625 kHz Ultrasonic signal of transmitter

2. การทดสอบต้นแบบชุดจำลองเครื่องตรวจสอบสารพิษสนามในภาคสนาม โดยผู้แทนจากกองทัพบก ๓ ศูนย์ การทหารราบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ พบว่าต้นแบบเครื่องตรวจสอบสารพิษสนามจำลองสามารถเริ่มตรวจวัดสารพิษจำลอง (สัญญาณอุลตราโซนิก) ได้ในระยะห่างจากสารพิษจำลอง

ตั้งแสดงในตารางที่ 5 และสามารถแสดงชนิดของสารพิษจำลองได้ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ และการแสดงผลต่างๆ บนจอแสดงผลมีความชัดเจน สามารถนำไปใช้งานในพื้นที่ๆ มีแสงสว่างมากๆ ได้

Table 5 Test results of the distance to detected agents simulator

| Agents simulator | Distance of start detection (m) | Distance of maximum quantity value (cm) |
|------------------|---------------------------------|---|
| H | 0.50 | 2.50 |
| G | 1.46 | 5.50 |
| B | 0.90 | 3.50 |
| A | 1.50 | 13.00 |



Figure 16 Chemical agent monitor simulator prototype field test

3. การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของต้นแบบชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามกับชุดจำลองเครื่อง

มือตรวจสอบสารพิษสนามที่จัดซื้อมาจากต่างประเทศ ยี่ห้อ Argon รุ่น CAMSIM แสดงใน Table 6

Table 6 The comparison of physical specifications between CAMSIM prototype and Argon CAMSIM

| Physical specifications | CAMSIM prototype | Argon CAMSIM |
|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Number of agents simulator | 4 (A, B, G and H) | 2 (G and H) |
| Detection range (m) | 0.50 - 1.50 | 0.30 – 1.00 |
| Display the type of agents | Yes (A, B, G and H) | Yes (G and H) |
| Display the quantity of agents | Yes (Bar graph) | Yes (Bar graph) |
| Power supply for transmitter (V) | 9 (9 V battery) | 9 (9 V battery) |
| Power supply for receiver (V) | 12 (AA Ni-mh battery x 10 pcs.) | 12 (Special Battery for CAMSIM only) |
| Weight (kg) | > | approximately 1 |
| Price (Baht) | | approximately 2,000,000 |

สรุปและอภิปรายผล

จากการวิจัยการออกแบบชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนาม ทำให้ได้ต้นแบบชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามซึ่งประกอบด้วย สารพิษจำลอง (เครื่องส่งสัญญาณอูลตราโซนิก) จำนวน 4 อัน ซึ่งประกอบด้วยสารพิษจำลองกลุ่ม A, B, G และ H โดยสารพิษแต่ละกลุ่มจะมีความถี่ของสัญญาณอูลตราโซนิก 46.8750, 39.0625, 31.2500 และ 25.0000 kHz ตามลำดับ ระดับความแรงของสัญญาณอูลตราโซนิกของเครื่องส่งแต่ละเครื่องที่ไม่เท่ากันนั้นเพื่อประโยชน์ในการจำลองสถานการณ์การแพร่กระจายของสารพิษในการฝึก และเครื่องตรวจสอบสารพิษสนามจำลอง (เครื่องรับสัญญาณ) จำนวน 1 เครื่องที่สามารถตรวจวัดและแสดงผลกลุ่มสารพิษจำลอง และปริมาณของสารพิษจำลองได้เช่นเดียวกับเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามจำลองที่จัดซื้อจากต่างประเทศ ส่วนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอื่นๆ บางประการของต้นแบบชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามกับชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามที่จัดซื้อจากต่างประเทศไม่สามารถทดสอบได้ในขณะนี้เนื่องจากชุดที่จัดซื้อจากต่างประเทศเกิดการชำรุดเสียหายไม่สามารถใช้งานได้ จากการวิจัยพัฒนาทำให้กรมวิทยาศาสตร์ทหารบกได้มีต้นแบบของชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามเพื่อนำไปใช้ในการฝึกกำลังพลของหน่วยงานและสอนนักเรียนในโรงเรียนวิทยาศาสตร์ทหารบก และสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดให้ได้โครงสร้างของเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามจำลอง (CAMSIM) ที่มีรูปทรงใกล้เคียงกับเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนาม (CAM) ที่ทางกรมวิทยาศาสตร์ทหารบกมีใช้งานอยู่ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบต้นแบบชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามผู้แทนจากกองทัพบกได้ให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงรูปแบบโครงสร้างของเครื่องตรวจสอบสารพิษจำลองให้มีน้ำหนักที่ลดลง โดยใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบา แต่มีความคงทนต่อแรงกระแทกได้ดี เนื่องจากโครงสร้างของเครื่องตรวจสอบสารพิษจำลองต้นแบบทำมาจากอลูมิเนียมแท่งกลึงขึ้นรูปทำให้มีน้ำหนักมากเกิน 3 กิโลกรัม ทำให้เมื่อนำไปใช้ในการฝึกเป็นระยะเวลานานๆ อาจทำให้ผู้รับการฝึกเกิดการเมื่อยล้าในการถือเครื่องตรวจสอบสารพิษจำลองนานๆ

พัฒนารูปทรงของเครื่องตรวจสอบสารพิษจำลองให้มีรูปร่างใกล้เคียงกับเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนาม (CAM) ที่ทางกรมวิทยาศาสตร์ทหารบกมีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

พัฒนาเครื่องส่งสัญญาณอูลตราโซนิกให้มีขนาดเล็ก และน้ำหนักลดลงให้สามารถนำไปติดตั้งตามร่างกาย เสื้อผ้า

หรือเครื่องแต่งกาย เพื่อจำลองสถานการณ์ในกรณีที่มีสารพิษติดตามตามร่างกาย เสื้อผ้า หรือเครื่องแต่งกายของกำลังพล

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ในโครงการทุนพัฒนาศักยภาพนักวิจัยด้านยุทธศาสตร์ เพื่อเพิ่มศักยภาพของกองทัพ และการป้องกันประเทศ ประจำปี 2557 (เพิ่มเติม) ขอขอบคุณสำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหารกองทัพบก กรมวิทยาศาสตร์ทหารบก ศูนย์การทหารราบ และกำลังพลของกองทัพบกที่ให้การสนับสนุนในการทดลอง และทดสอบต้นแบบชุดจำลองเครื่องมือตรวจสอบสารพิษสนามที่ได้จากการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. จุฑารัตน์ ถาวรนนท์. การป้องกันภัยจากอาวุธชีวภาพ. 2554. สืบค้นจาก: <http://webdb.dmsc.moph.go.th>. เมื่อวันที่ 6 ธันวาคม 2560.
2. พิศุทธิ์ ดารารัตน์. ประวัติการใช้อาวุธนิวเคลียร์ ชีวะ เคมี. 2559. สืบค้นจาก: http://edoc.mrta.co.th/HRD/Attach/public/1458091595_1.pdf. เมื่อวันที่ 6 ธันวาคม 2560.
3. กรมวิทยาศาสตร์ทหารบก. ภารกิจ. 2560. สืบค้นจาก: http://chemical.rta.mi.th/Chemical_Department_RT2017/Link/mission/mission.html. เมื่อวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2561.
4. Argon Electronics (UK) Ltd. AP2C-SIM & AP4C-SIM Product sheet. 2015.
5. Jack Tilghman. Chemical Agent Monitor Simulator (CAMSIM). 2001. Available from : <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a393852.pdf>
6. วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. วงจรนับ. 2560. สืบค้นจาก: <https://th.wikipedia.org/wiki>. เมื่อวันที่ 11 ธันวาคม 2560.
7. Philips Semiconductors. 74HC/HCT4060 14-stage binary ripple counter with oscillator data sheet. 1990.
8. Maxim Integrated. MAX232 RS-232 Transceivers data sheet. 2003.
9. STMicroelectronics. TL074 Low noise J-FET quad operational amplifiers data sheet.2001

การกำกับที่เป็นดีกรี-เมจิกบนการดำเนินการทวิภาคของกราฟสองส่วนแบบบริบูรณ์และกราฟสามส่วนแบบบริบูรณ์

Degree-Magic Labelings on Binary Operations of Complete Bipartite and Tripartite Graphs

ไภสัชชา อินพูลใจ¹

Phaisatcha Inpoonjai¹

Received: 19 March 2018; Accepted: 1 June 2018

บทคัดย่อ

กราฟจะถูกเรียกว่า ซุปเปอร์เมจิก ถ้ามีการกำกับของเส้นด้วยจำนวนเต็มบวกที่แตกต่างและเรียงต่อกัน ซึ่งผลรวมของตัวเลขของทุกเส้นที่เชื่อมกับจุดใด ๆ เป็นค่าคงตัว กราฟ G จะถูกเรียกว่า ดีกรี-เมจิก ถ้ามีการกำกับของเส้นด้วยจำนวนเต็ม $1, 2, \dots, |E(G)|$ ซึ่งผลรวมของตัวเลขของเส้นที่เชื่อมกับจุด v ใด ๆ เท่ากับ $(1 + |E(G)|)\text{deg}(v)/2$ กราฟดีกรี-เมจิกขยายกราฟปรกติซูปเปอร์เมจิก ในงานวิจัยนี้ มีการพิสูจน์เงื่อนไขที่จำเป็นและเพียงพอสำหรับการมีอยู่ของการกำกับที่เป็นดีกรี-เมจิกของกราฟภายใต้การดำเนินการทวิภาคของกราฟสองส่วนแบบบริบูรณ์และกราฟสามส่วนแบบบริบูรณ์

คำสำคัญ: Supermagic graphs, Degree-magic graphs, Balanced degree-magic graphs.

Abstract

A graph is called supermagic if there is a labeling of edges where all edges are differently labeled with consecutive positive integers such that the sum of the labels of all edges which are incident to each vertex of this graph is a constant. A graph G is called degree-magic if all edges can be labeled by integers $1, 2, \dots, |E(G)|$ so that the sum of the labels of the edges which are incident to any vertex v is equal to $(1 + |E(G)|)\text{deg}(v)/2$. Degree-magic graphs extend supermagic regular graphs. In this paper, the necessary and sufficient conditions for the existence of degree-magic labelings of graphs under binary operations of complete bipartite and tripartite graphs are proved.

Keywords: Supermagic graphs, Degree-magic graphs, Balanced degree-magic graphs.

Introduction

One considers simple graphs without isolated vertices. If G is a graph, then $V(G)$ and $E(G)$ stand for the vertex set and the edge set of G , respectively. Cardinalities of these sets are called the *order* and *size* of G .

Let a graph G and a mapping f from $E(G)$ into the set of positive integers be given. The *index mapping* of f is the mapping f^* from $V(G)$ into positive integers defined by

$$f^*(v) = \sum_{e \in E(G)} \eta(v, e) f(e) \text{ for every } v \in V(G), \quad (1.1)$$

where $\eta(v, e)$ is equal to 1 when e is an edge incident with a vertex v , and 0 otherwise. An injective mapping f from $E(G)$ into the set of positive integers is called a *magic labeling* of G for an *index* λ if its index mapping f^* satisfies $f^*(v) = \lambda$ for all $v \in V(G)$. A magic labeling f of a graph G is called a *supermagic labeling* if the set $\{f(e) : e \in E(G)\}$ consists of consecutive positive integers. A graph G is *supermagic (magic)* whenever a supermagic (magic) labeling of G exists.

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย 99 หมู่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120

¹ Faculty of Sciences and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai 99, Moo 10, Sai Khao Sub District, Phan District, Chiang Rai Province, 57120, Thailand phaisatcha_in@outlook.com

A bijective mapping f from $E(G)$ into the set $\{1, 2, \dots, |E(G)|\}$ is called a *degree-magic labeling* (or only *d-magic labeling*) of G if its index mapping f^* satisfies $f^*(v) = \frac{1 + |E(G)|}{2} \deg(v)$ for all $v \in V(G)$.

A degree-magic labeling f of a graph G is called *balanced* if for all $v \in V(G)$, the following equation is satisfied

$$\left\{ \left\{ e \in E(G) : \eta(v, e) = 1, f(e) \leq \left\lfloor \frac{|E(G)|}{2} \right\rfloor \right\} \right\} = \left\{ \left\{ e \in E(G) : \eta(v, e) = 1, f(e) > \left\lfloor \frac{|E(G)|}{2} \right\rfloor \right\} \right\}.$$

One says that a graph G is *degree-magic* (*balanced degree-magic*) or only *d-magic* when a *d-magic* (*balanced d-magic*) labeling of G exists.

A graph G is a *bipartite graph* if $V(G)$ can be partitioned into two disjoint subsets U and W , called *partite sets*, such that every edge of G joins a vertex of U and a vertex of W . If every vertex of U is adjacent to every vertex of W , then G is a *complete bipartite graph*. A graph G is called *k-partite graph* if $V(G)$ can be partitioned into k disjoint subsets V_1, V_2, \dots, V_k , once again called *partite sets*, such that uv is an edge of G if u and v belong to different partite sets. If every two vertices in different partite sets are joined by an edge, then G is a *complete k-partite graph*. For any graph G , the *graph union* of two graphs G , denoted by $G \cup G$ or $2G$, is a graph whose vertex set and edge set are the disjoint unions of the vertex sets and edge sets of two graphs G , respectively. For any two vertex-disjoint graphs G and H , the *join* of graphs G and H , denoted by $G + H$, consists of $G \cup H$ and all edges joining a vertex of G and a vertex of H . The *composition* of graphs G and H , denoted by $G \cdot H$, is a graph such that the vertex set of $G \cdot H$ is the Cartesian product $V(G) \times V(H)$ and any two vertices (u, v) and (x, y) are adjacent in $G \cdot H$ if and only if either u is adjacent to x in G or $u = x$ and v is adjacent to y in H . The *Cartesian product* of graphs G and H , denoted by $G \times H$, is a graph such that the vertex set of $G \times H$ is the Cartesian product $V(G) \times V(H)$ and any two vertices (u, v) and (x, y) are adjacent in $G \times H$ if and only if either $u = x$ and v is adjacent to y in H or $v = y$ and u is adjacent to x in G . The *tensor product* of graphs G and H , denoted by $G \otimes H$, is a graph such that the vert

ex set of $G \otimes H$ is the Cartesian product $V(G) \times V(H)$ and any two vertices (u, v) and (x, y) are adjacent in $G \otimes H$ if and only if u is adjacent to x in G and v is adjacent to y in H .

The concept of magic graphs was introduced by Sedláček¹. Later, supermagic graphs were introduced by Stewart². There are now many papers published on magic and supermagic graphs; see³⁻⁵ for more comprehensive references. The concept of degree-magic graphs was then introduced by Bezegová and Ivančo⁶ as an extension of supermagic regular graphs. They established the basic properties of degree-magic graphs and characterized degree-magic and balanced degree-magic complete bipartite graphs in⁶. They also characterized degree-magic complete tripartite graphs in⁷. Some of these concepts are investigated in⁸⁻¹⁰. One will hereinafter use the auxiliary results from these studies.

Theorem 1.1⁶ Let G be a regular graph. Then G is supermagic if and only if it is *d-magic*.

Theorem 1.2⁶ Let G be a *d-magic* graph of even size. Then every vertex of G has an even degree and every component of G has an even size.

Theorem 1.3⁶ Let G be a balanced *d-magic* graph. Then G has an even number of edges and every vertex has an even degree.

Theorem 1.4⁶ Let G be a *d-magic* graph having a half-factor. Then $2G$ is a balanced *d-magic* graph.

Theorem 1.5⁶ Let H_1 and H_2 be edge-disjoint subgraphs of a graph G which form its decomposition. If H_1 is *d-magic* and H_2 is balanced *d-magic*, then G is a *d-magic* graph. Moreover, if H_1 and H_2 are both balanced *d-magic*, then G is a balanced *d-magic* graph.

Proposition 1.6⁶ For $p, q > 1$, the complete bipartite graph $K_{p,q}$ is *d-magic* if and only if $p \equiv q \pmod{2}$ and $(p, q) \neq (2, 2)$.

Theorem 1.7⁶ The complete bipartite graph $K_{p,q}$ is balanced *d-magic* if and only if the following statements hold: $p \equiv q \equiv 0 \pmod{2}$;

if $p \equiv q \equiv 2 \pmod{4}$, then $\min\{p, q\} \geq 6$.

Lemma 1.8⁷] Let p, q and r be even positive integers. Then the complete tripartite graph $K_{p,q,r}$ is balanced *d-magic*.

Lemma 1.9 Let q and r be odd positive integers with $q \geq r$ and let p be an even positive integer such that $p \equiv 0 \pmod{4}$ whenever $q = 1$. Then the complete tripartite graph $K_{p,q,r}$ is d -magic.

Labelings in the Join of Complete Bipartite and Tripartite Graphs

For any positive integers p, q, r, s and t , one considers the join $K_{p,q} + K_{r,s,t}$ of complete bipartite and tripartite graphs. Let $K_{p,q} + K_{r,s,t}$ be a d -magic graph. Since $\deg(v)$ is $p + r + s + t, q + r + s + t, p + q + r + s, p + q + r + t$ or $p + q + s + t$ and $f^*(v) = (pq + rs + rt + st + (p + q)(r + s + t) + 1)\deg(v)/2$

for any vertex $v \in V(K_{p,q} + K_{r,s,t})$, one has the following proposition.

Proposition 2.1 Let $K_{p,q} + K_{r,s,t}$ be a d -magic graph. Then the following statements hold:

- only two of p, q, r, s and t are even or
- only three of p, q, r, s and t are even or
- all of p, q, r, s and t are either odd or even.

Proof. Assume that f is a d -magic labeling of $K_{p,q} + K_{r,s,t}$. Suppose to the contrary that only one of p, q, r, s and t is either odd or even. Thus, $p + r + s + t, q + r + s + t, p + q + r + s, p + q + r + t$ or $p + q + s + t$ is odd, and $pq + rs + rt + st + (p + q)(r + s + t) + 1$ is odd. Since f satisfies

$$f^*(v) = (pq + rs + rt + st + (p + q)(r + s + t) + 1)\deg(v)/2$$

not an integer for some vertex $v \in V(K_{p,q} + K_{r,s,t})$, by (1.1), $f^*(v)$ is a sum of integers, one has a contradiction.

Proposition 2.2 Let $K_{p,q} + K_{r,s,t}$ be a balanced d -magic graph. Then p, q, r, s and t are either odd or even.

Proof. Suppose to the contrary that some of p, q, r, s and t are odd and some are even. Thus, $p + r + s + t, q + r + s + t, p + q + r + s, p + q + r + t$ or $p + q + s + t$ is odd. This means that some vertices of

$K_{p,q} + K_{r,s,t}$ have odd degrees. Since every vertex of balanced d -magic graph has an even degree, one has a contradiction.

In the next result, one shows sufficient conditions for the existence of d -magic labelings of the join of complete bipartite and tripartite graphs $K_{p,q} + K_{r,s,t}$.

Proposition 2.3 Let p and q be even positive integers, let s and t be odd positive integers with $s \geq t$ and let r be an even positive integer such that $r \equiv 0 \pmod{4}$ whenever $s = 1$. Then $K_{p,q} + K_{r,s,t}$ is a d -magic graph.

Proof. Let p and q be even positive integers, let s and t be odd positive integers with $s \geq t$ and let r be an even positive integer such that $r \equiv 0 \pmod{4}$ whenever $s = 1$. Then the graph $K_{r,s,t}$ is d -magic by Lemma 1.9. Since p, q and $r + s + t$ are even, $K_{p,q,r+s+t}$ is balanced d -magic by Lemma 1.8. Since $K_{p,q} + K_{r,s,t}$ is the graph such that $K_{r,s,t}$ and $K_{p,q,r+s+t}$ form its decomposition, $K_{p,q} + K_{r,s,t}$ is a d -magic graph by Theorem 1.5.

Proposition 2.4 Let p, q, r, s and t be even positive integers. Then $K_{p,q} + K_{r,s,t}$ is a balanced d -magic graph.

Proof. Let p, q, r, s and t be even positive integers. Then the graphs $K_{r,s,t}$ and $K_{p,q,r+s+t}$ are balanced d -magic by Lemma 1.8. Since $K_{p,q} + K_{r,s,t}$ is the graph such that $K_{r,s,t}$ and $K_{p,q,r+s+t}$ form its decomposition, $K_{p,q} + K_{r,s,t}$ is a balanced d -magic graph by Theorem 1.5.

Corollary 2.5 Let p, q, r, s and t be even positive integers. If $p = q = r = s = t$, then $K_{p,q} + K_{r,s,t}$ is a supermagic graph.

Proof. This follows from Theorem 1.1 and Proposition 2.4.

Example 2.1 One considers the join of complete bipartite and tripartite graphs $K_{2,2}$ and $K_{2,2,4}$. A balanced d -magic graph $K_{2,2} + K_{2,2,4}$ is constructed (see Figure 1) and the labels on edges of $K_{2,2} + K_{2,2,4}$ are shown in Table 1

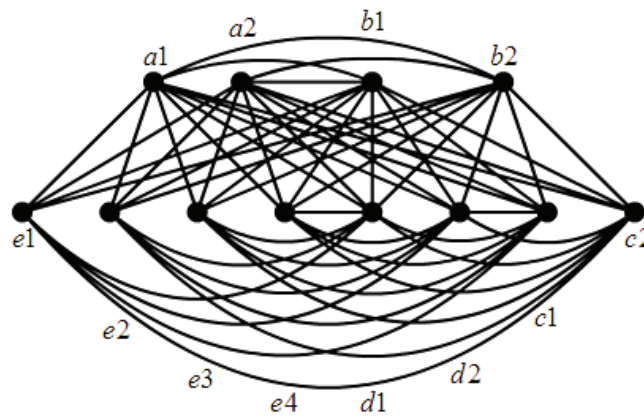


Figure 1 A balanced d -magic graph $K_{2,2} + K_{2,2,4}$.

Table 1 The labels on edges of balanced d -magic graph $K_{2,2} + K_{2,2,4}$.

| vertex | c1 | c2 | d1 | d2 | e1 | e2 | e3 | e4 | b1 | b2 | vertex | d1 | d2 | e1 | e2 | e3 | e4 |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|
| a1 | 51 | 6 | 7 | 50 | 11 | 46 | 15 | 42 | 53 | 4 | c1 | 19 | 22 | 37 | 36 | 28 | 29 |
| a2 | 5 | 52 | 49 | 8 | 45 | 12 | 41 | 16 | 56 | 1 | c2 | 38 | 35 | 21 | 20 | 30 | 27 |
| b1 | 3 | 2 | 48 | 9 | 44 | 13 | 40 | 17 | - | - | d1 | - | - | 23 | 34 | 31 | 26 |
| b2 | 55 | 54 | 10 | 47 | 14 | 43 | 18 | 39 | - | - | d2 | - | - | 33 | 24 | 25 | 32 |

Labelings in the Composition of Complete Bipartite and Tripartite Graphs

For any positive integers p, q, r, s and t , one considers the composition $K_{p,q} \cdot K_{r,s,t}$ of complete bipartite and tripartite graphs. Let $K_{p,q} \cdot K_{r,s,t}$ be a d -magic graph.

Since $\deg(v)$ is $(r + s + t)p + r + s, (r + s + t)p + r + t, (r + s + t)p + s + t, (r + s + t)q + r + s,$

$(r + s + t)q + r + t$ or $(r + s + t)q + s + t$ and

$f^*(v) = ((r + s + t)^2 pq + (rs + rt + st)(p + q) + 1) \deg(v) / 2$ for any

vertex $v \in V(K_{p,q} \cdot K_{r,s,t})$, one has the following proposition.

Proposition 3.1 Let $K_{p,q} \cdot K_{r,s,t}$ be a d -magic graph. Then the following statements hold:

- p or q is odd and r, s and t are even or
- only one of p and q is even and r, s and t are odd or
- only two of p, q, r, s and t are even or
- all of p, q, r, s and t are either odd or even.

Proof. Assume that f is a d -magic labeling of $K_{p,q} \cdot K_{r,s,t}$. Suppose to the contrary that only one of r, s and t is odd and p and q are both even, only one of r, s and t is even and p and q are both odd or only three of p, q, r, s and t are even and p or q is even. Thus, $(r + s + t)p + r + s,$

$(r + s + t)p + r + t, (r + s + t)p + s + t,$

$(r + s + t)q + r + s, (r + s + t)q + r + t$ or

$(r + s + t)q + s + t$ is odd and

$(r + s + t)^2 pq + (rs + rt + st)(p + q) + 1$ is odd.

Since the mapping f satisfies

$f^*(v) = ((r + s + t)^2 pq + (rs + rt + st)(p + q) + 1) \deg(v) / 2$ and it

is not an integer for some vertex $v \in V(K_{p,q} \cdot K_{r,s,t})$, by (1.1), $f^*(v)$ is a sum of integers, one has a contradiction.

Proposition 3.2 Let $K_{p,q} \cdot K_{r,s,t}$ be a balanced d -magic graph. Then the following statements hold:

- p or q is odd and r, s and t are even or
- p and q are even and r, s and t are odd or
- p, q, r, s and t are even.

Proof. Suppose to the contrary that all of p, q, r, s and t are odd, only one of p, q, r, s and t is even, only two of p, q, r, s and t are even and p or q is odd, only three of p, q, r, s and t are even and p or q is even or only one of r, s and t is odd and p and q are both even. Thus,

$(r + s + t)p + r + s, (r + s + t)p + r + t,$

$(r + s + t)p + s + t, (r + s + t)q + r + s,$

$(r + s + t)q + r + t$ or $(r + s + t)q + s + t$ is odd.

This means that some vertices of $K_{p,q} \cdot K_{r,s,t}$ have odd degrees. Since every vertex of balanced d -magic graph has an even degree, one has a contradiction.

In the next result, one is able to find a sufficient condition for the existence of d -magic labelings of the composition of complete bipartite and tripartite graphs $K_{p,q} \cdot K_{r,s,t}$.

Proposition 3.3 Let p and q be positive integers and let r, s and t be even positive integers. Then $K_{p,q} \cdot K_{r,s,t}$ is a balanced d -magic graph.

Proof. Let p and q be positive integers and let r, s and t be even positive integers. Since $r + s + t \geq 6$ and it is even, the graph $K_{r+s+t, r+s+t}$ is balanced d -magic by Theorem 1.7. The graph $K_{r,s,t}$ is balanced d -magic by

Lemma 1.8. The graph $K_{p,q} \cdot K_{r,s,t}$ is decomposable into pq balanced d -magic subgraphs isomorphic to $K_{r+s+t, r+s+t}$ and $p + q$ balanced d -magic subgraphs isomorphic to $K_{r,s,t}$. According to Theorem 1.5, $K_{p,q} \cdot K_{r,s,t}$ is a balanced d -magic graph.

Corollary 3.4 Let p and q be positive integers and let r, s and t be even positive integers. If $p = q$ and $r = s = t$, then $K_{p,q} \cdot K_{r,s,t}$ is a supermagic graph.

Proof. This follows from Theorem 1.1 and Proposition 3.3.

Example 3.1 One considers the composition of complete bipartite and tripartite graphs $K_{1,2}$ and $K_{2,2,2}$. A balanced d -magic graph $K_{1,2} \cdot K_{2,2,2}$ is constructed (see Figure 2) with the labels on edges of $K_{1,2} \cdot K_{2,2,2}$ in Table 2

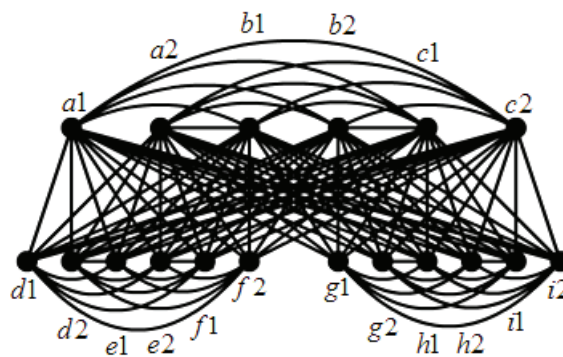


Figure 2 A balanced d -magic graph $K_{1,2} \cdot K_{2,2,2}$.

Table 2 The labels on edges of balanced d -magic graph $K_{1,2} \cdot K_{2,2,2}$.

| vertex | d1 | d2 | e1 | e2 | f1 | f2 | g1 | g2 | h1 | h2 | i1 | i2 |
|--------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|----|----|-----|-----|
| a1 | 19 | 84 | 73 | 36 | 30 | 85 | 1 | 102 | 91 | 18 | 12 | 103 |
| a2 | 89 | 26 | 77 | 35 | 80 | 20 | 107 | 8 | 95 | 17 | 98 | 2 |
| b1 | 22 | 82 | 33 | 75 | 27 | 88 | 4 | 100 | 15 | 93 | 9 | 106 |
| b2 | 87 | 81 | 34 | 76 | 28 | 21 | 105 | 99 | 16 | 94 | 10 | 3 |
| c1 | 86 | 29 | 32 | 74 | 83 | 23 | 104 | 11 | 14 | 92 | 101 | 5 |
| c2 | 24 | 25 | 78 | 31 | 79 | 90 | 6 | 7 | 96 | 13 | 97 | 108 |

| vertex | e1 | e2 | f1 | f2 | vertex | h1 | h2 | i1 | i2 | vertex | b1 | b2 | c1 | c2 |
|--------|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|
| d1 | 43 | 46 | 65 | 64 | g1 | 37 | 40 | 71 | 70 | a1 | 54 | 56 | 50 | 58 |
| d2 | 66 | 63 | 45 | 44 | g2 | 72 | 69 | 39 | 38 | a2 | 55 | 53 | 51 | 59 |
| e1 | - | - | 47 | 62 | h1 | - | - | 41 | 68 | b1 | - | - | 57 | 52 |
| e2 | - | - | 61 | 48 | h2 | - | - | 67 | 42 | b2 | - | - | 60 | 49 |

Labelings in the Cartesian Product of Complete Bipartite and Tripartite Graphs

For any positive integers p, q, r, s and t , one considers the Cartesian product $K_{p,q} \times K_{r,s,t}$ of complete bipartite and tripartite graphs. Let $K_{p,q} \times K_{r,s,t}$ be a d -magic graph. Since $\deg(v)$ is $p+r+s, p+r+t, p+s+t, q+r+s, q+r+t$ or $q+s+t$ and

$$f^*(v) = ((p+q)(rs+rt+st) + pq(r+s+t) + 1)\deg(v)/2$$

any vertex $v \in V(K_{p,q} \times K_{r,s,t})$, one has the following proposition.

Proposition 4.1 *Let $K_{p,q} \times K_{r,s,t}$ be a d -magic graph. Then the following statements hold:*

- only two of p, q, r, s and t are even or*
- only one of p and q is even and r, s and t are odd or*
- all of p, q, r, s and t are either odd or even.*

Proof. Assume that f is a d -magic labeling of $K_{p,q} \times K_{r,s,t}$. Suppose to the contrary that only four of p, q, r, s and t are even, only three of p, q, r, s and t are even or only one of r, s and t is even and p and q are both odd. Therefore, $p+r+s, p+r+t, p+s+t, q+r+s, q+r+t$ or $q+s+t$ is odd and $(p+q)(rs+rt+st) + pq(r+s+t) + 1$ is odd.

Since the mapping f^* satisfies $f^*(v) = ((p+q)(rs+rt+st) + pq(r+s+t) + 1)\deg(v)/2$ and it

is not an integer for some vertex $v \in V(K_{p,q} \times K_{r,s,t})$, by (1.1), $f^*(v)$ is a sum of integers, one has a contradiction.

Proposition 4.2 *Let $K_{p,q} \times K_{r,s,t}$ be a balanced d -magic graph. Then the following statements hold:*

- p and q are even and r, s and t are odd or*
- p, q, r, s and t are even.*

Proof. Suppose to the contrary that only four of p, q, r, s and t are even, only three of p, q, r, s and t are even, only two of p, q, r, s and t are even and p or q is odd, only one of p, q, r, s and t is even or all of p, q, r, s and t are odd. Thus, $p+r+s, p+r+t, p+s+t, q+r+s, q+r+t$ or $q+s+t$ is odd. This means that some vertices of $K_{p,q} \times K_{r,s,t}$ have odd degrees. Since every vertex of balanced d -magic graph has an even degree, one has a contradiction.

In the next result, one finds a sufficient condition for the existence of d -magic labelings of the Cartesian product of complete bipartite and tripartite graphs $K_{p,q} \times K_{r,s,t}$.

Proposition 4.3 *Let p, q, r, s and t be even positive integers and $(p, q) \neq (2, 2)$. Then $K_{p,q} \times K_{r,s,t}$ is a balanced d -magic graph.*

Proof. Let p, q, r, s and t be even positive integers and $(p, q) \neq (2, 2)$. Since the graph $K_{p,q}$ is d -magic by Proposition 1.6, $2K_{p,q}$ is a balanced d -magic graph by Theorem 1.4. The graph $K_{r,s,t}$ is balanced d -magic by Lemma 1.8. The graph $K_{p,q} \times K_{r,s,t}$ is decomposable into $(r+s+t)/2$ balanced d -magic subgraphs isomorphic to $2K_{p,q}$ and $p+q$ balanced d -magic subgraphs isomorphic to $K_{r,s,t}$. According to Theorem 1.5, $K_{p,q} \times K_{r,s,t}$ is a balanced d -magic graph.

Corollary 4.4 *Let p, q, r, s and t be even positive integers and $(p, q) \neq (2, 2)$. If $p = q$ and $r = s = t$, then $K_{p,q} \times K_{r,s,t}$ is a supermagic graph.*

Proof. This follows from Theorem 1.1 and Proposition 4.3.

Example 4.1 One considers the Cartesian product of complete bipartite and tripartite graphs $K_{2,4}$ and $K_{2,2,2}$. A balanced d -magic graph $K_{2,4} \times K_{2,2,2}$ is constructed (see Figure 3) and the labels on edges of $K_{2,4} \times K_{2,2,2}$ are shown in Table 3

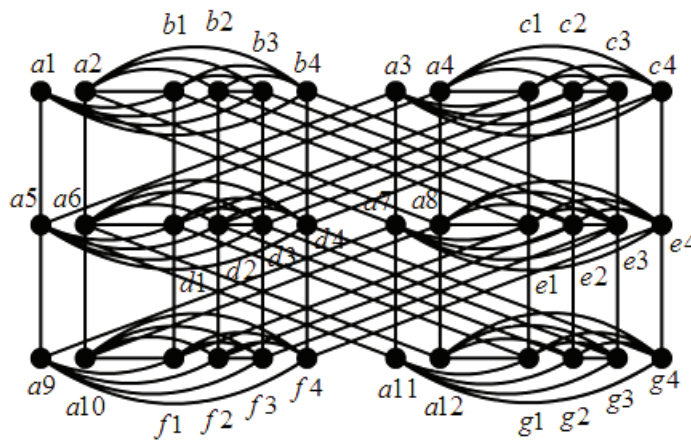


Figure 3 A balanced d -magic graph $K_{2,4} \times K_{2,2,2}$.

Table 3 The labels on edges of balance d -magic graph $K_{2,4} \times K_{2,2,2}$.

| vertex | a9 | a10 | d1 | d2 | d3 | d4 | e1 | e2 | e3 | e4 | f3 | f4 |
|--------|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| f1 | 95 | 94 | 71 | - | - | - | 50 | - | - | - | 25 | 28 |
| f2 | 27 | 26 | - | 75 | - | - | - | 46 | - | - | 96 | 93 |
| f3 | 29 | 92 | - | - | 63 | - | - | - | 58 | - | - | - |
| f4 | 91 | 30 | - | - | - | 67 | - | - | - | 54 | - | - |

| vertex | a11 | a12 | d1 | d2 | d3 | d4 | e1 | e2 | e3 | e4 | g3 | g4 |
|--------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| g1 | 89 | 88 | 49 | - | - | - | 72 | - | - | - | 31 | 34 |
| g2 | 33 | 32 | - | 45 | - | - | - | 76 | - | - | 90 | 87 |
| g3 | 35 | 86 | - | - | 57 | - | - | - | 64 | - | - | - |
| g4 | 85 | 36 | - | - | - | 53 | - | - | - | 68 | - | - |

| vertex | d1 | d2 | d3 | d4 | a1 | a2 | a3 | a4 | vertex | e1 | e2 | e3 | e4 | a1 | a2 | a3 | a4 |
|--------|-----|----|-----|-----|----|----|----|----|--------|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| a5 | 107 | 15 | 17 | 103 | 44 | - | 78 | - | a7 | 101 | 21 | 23 | 97 | 77 | - | 43 | - |
| a6 | 106 | 14 | 104 | 18 | - | 40 | - | 82 | a8 | 100 | 20 | 98 | 24 | - | 81 | - | 39 |

| vertex | d1 | d2 | d3 | d4 | e1 | e2 | e3 | e4 | a1 | a2 | b3 | b4 | vertex | d1 | d2 | e1 | e2 |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|--------|----|-----|----|-----|
| b1 | 52 | - | - | - | 69 | - | - | - | 119 | 118 | 1 | 4 | d3 | 13 | 108 | - | - |
| b2 | - | 48 | - | - | - | 73 | - | - | 3 | 2 | 120 | 117 | d4 | 16 | 105 | - | - |
| b3 | - | - | 60 | - | - | - | 61 | - | 5 | 116 | - | - | e3 | - | - | 19 | 102 |
| b4 | - | - | - | 56 | - | - | - | 65 | 115 | 6 | - | - | e4 | - | - | 22 | 99 |

| vertex | d1 | d2 | d3 | d4 | e1 | e2 | e3 | e4 | a1 | a2 | b3 | b4 | vertex | d1 | d2 | e1 | e2 |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|--------|----|----|----|----|
| c1 | 70 | - | - | - | 51 | - | - | - | 113 | 112 | 7 | 10 | a5 | 79 | - | 41 | - |
| c2 | - | 74 | - | - | - | 47 | - | - | 9 | 8 | 114 | 111 | a6 | - | 83 | - | 37 |
| c3 | - | - | 62 | - | - | - | 59 | - | 11 | 110 | - | - | a7 | 42 | - | 80 | - |
| c4 | - | - | - | 66 | - | - | - | 55 | 109 | 12 | - | - | a8 | - | 38 | - | 84 |

Labelings in the Tensor Product of Complete Bipartite and Tripartite Graphs

For any positive integers p, q, r, s and t , one considers the tensor product $K_{p,q} \otimes K_{r,s,t}$ of complete bipartite and tripartite graphs. Let $K_{p,q} \otimes K_{r,s,t}$ be a d -magic graph. Since $\deg(v)$ is $p(r + s), p(r + t), p(s + t), q(r + s), q(r + t)$ or $q(s + t)$ and $f^*(v) = (2pq(rs + rt + st) + 1)\deg(v)/2$ for any vertex $v \in V(K_{p,q} \otimes K_{r,s,t})$, one has the following proposition.

Proposition 5.1 Let $K_{p,q} \otimes K_{r,s,t}$ be a d -magic graph. Then the following statements hold:
 only four of p, q, r, s and t are even or
 only three of p, q, r, s and t are even and p and q are even or
 p and q are odd and r, s and t are even or
 p or q is even and r, s and t are odd or
 all of p, q, r, s and t are either odd or even.

Proof. Assume that f is a d -magic labeling of $K_{p,q} \otimes K_{r,s,t}$. Suppose to the contrary that only three of p, q, r, s and t are even and only two of r, s and t are even, only two of p, q, r, s and t are even and p or q is odd or only one of r, s and t is even and p and q are both odd. Thus, $p(r + s), p(r + t), p(s + t), q(r + s), q(r + t)$ or $q(s + t)$ is odd and $2pq(rs + rt + st) + 1$ is odd. Since f satisfies $f^*(v) = (2pq(rs + rt + st) + 1)\deg(v)/2$ and it is not an integer for some vertex $v \in V(K_{p,q} \otimes K_{r,s,t})$, by (1.1), $f^*(v)$ is a sum of integers, one has a contradiction.

Proposition 5.2 Let $K_{p,q} \otimes K_{r,s,t}$ be a balanced d -magic graph. Then the following statements hold:
 only four of p, q, r, s and t are even or
 only three of p, q, r, s and t are even and p and q are even or
 p and q are odd and r, s and t are even or
 p or q is even and r, s and t are odd or
 all of p, q, r, s and t are either odd or even.

Proof. Suppose to the contrary that only three of p, q, r, s and t are even and only two of r, s and t are even, only two of p, q, r, s and t are even and p or q is odd or only one of r, s and t is even and p and q are both odd. Thus, $p(r + s), p(r + t), p(s + t), q(r + s), q(r + t)$ or

$q(s + t)$ is odd. This means that some vertices of $K_{p,q} \otimes K_{r,s,t}$ have odd degrees. Since every vertex of balanced d -magic graph has an even degree, one has a contradiction.

In the next result, one finds a sufficient condition for the existence of d -magic labelings of the tensor product of complete bipartite and tripartite graphs $K_{p,q} \otimes K_{r,s,t}$.

Proposition 5.3 Let p or q be even positive integers and let r, s and t be even positive integers. Then $K_{p,q} \otimes K_{r,s,t}$ is a balanced d -magic graph.

Proof. Let p or q be even positive integers and let r, s and t be even positive integers. One considers the following two cases:

Case I. If q is even. Then $(s + t)q, (r + t)q$ and $(r + s)q$ are not congruent to 2 modulo 4. Thus, the graph $K_{r,(s+t)q}, K_{s,(r+t)q}$ and $K_{t,(r+s)q}$ are balanced d -magic by Theorem 1.7. The graph $K_{p,q} \otimes K_{r,s,t}$ is decomposable into p balanced d -magic subgraphs isomorphic to $K_{r,(s+t)q}, K_{s,(r+t)q}$ and $K_{t,(r+s)q}$. According to Theorem 1.5, $K_{p,q} \otimes K_{r,s,t}$ is a balanced d -magic graph.

Case II. If p is even. Then $(s + t)p, (r + t)p$ and $(r + s)p$ are not congruent to 2 modulo 4. Thus, the graph $K_{r,(s+t)p}, K_{s,(r+t)p}$ and $K_{t,(r+s)p}$ are balanced d -magic by Theorem 1.7. The graph $K_{p,q} \otimes K_{r,s,t}$ is decomposable into q balanced d -magic subgraphs isomorphic to $K_{r,(s+t)p}, K_{s,(r+t)p}$ and $K_{t,(r+s)p}$. According to Theorem 1.5, $K_{p,q} \otimes K_{r,s,t}$ is a balanced d -magic graph.

Corollary 5.4 Let p or q be even positive integers and let r, s and t be even positive integers. If $p = q$ and $r = s = t$, then $K_{p,q} \otimes K_{r,s,t}$ is a supermagic graph.

Proof. This follows from Theorem 1.1 and Proposition 5.3.

Example 5.1 One considers the tensor product of complete bipartite and tripartite graphs $K_{1,2}$ and $K_{2,2,2}$. A balanced d -magic graph $K_{1,2} \otimes K_{2,2,2}$ is constructed (see Figure 4) and the labels on edges of $K_{1,2} \otimes K_{2,2,2}$ are shown in Table 4

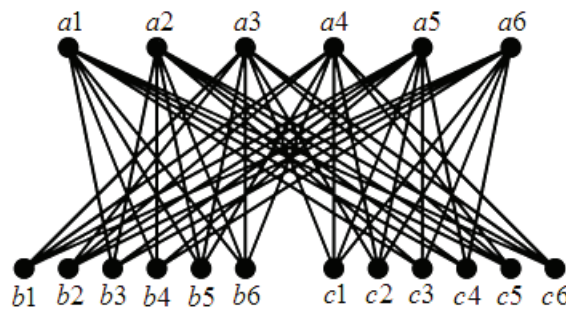


Figure 4 A balanced d -magic graph $K_{1,2} \oplus K_{2,2,2}$.

Table 4 The labels on edges of balanced d -magic graph $K_{1,2} \oplus K_{2,2,2}$.

| vertex | b1 | b2 | b3 | b4 | b5 | b6 | c1 | c2 | c3 | c4 | c5 | c6 |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| a1 | - | - | 28 | 22 | 23 | 25 | - | - | 32 | 18 | 19 | 29 |
| a2 | - | - | 21 | 27 | 26 | 24 | - | - | 17 | 31 | 30 | 20 |
| a3 | 36 | 14 | - | - | 15 | 33 | 40 | 10 | - | - | 11 | 37 |
| a4 | 13 | 35 | - | - | 34 | 16 | 9 | 39 | - | - | 38 | 12 |
| a5 | 44 | 6 | 7 | 41 | - | - | 48 | 2 | 3 | 45 | - | - |
| a6 | 5 | 43 | 42 | 8 | - | - | 1 | 47 | 46 | 4 | - | - |

Acknowledgements

The author would like to thank the academic reviewer for the careful reading and helpful comments for improving this paper.

References

- Sedláček J. Theory of graphs and its applications. In: Problem 27. Proc. Symp. Smolenice; Praha; 1963. P.163-164.
- Stewart BM. Magic graphs. Canad. J. Math. 1966 (18): 1031-1059.
- Gallian JA. A dynamic survey of graph labeling. Electron. J. Combin. 2009 (16): #DS6.
- Salehi E. Integer-magic spectra of cycle related graphs. Iranian Journal of Mathematical Sciences and Informatics. 2006 (1): 53-63.
- Varela MT. On barycentric-magic graphs. Iranian Journal of Mathematical Sciences and Informatics. 2015 (10): 121-129.
- Bezegová L', Ivančo J. An extension of regular supermagic graphs. Discrete Math. 2010 (310): 3571-3578.
- Bezegová L', Ivančo J. A characterization of complete tripartite degree-magic graphs. Discuss. Math. Graph Theory. 2012 (32): 243-253.
- Bezegová L', Ivančo J. On conservative and super-magic graphs. Discrete Math. 2011 (311): 2428-2436.
- Bezegová L', Ivančo J. Number of edges in degree-magic graphs, Discrete Math. 2013 (313): 1349-1357.
- Bezegová L'. Balanced degree-magic complements of bipartite graphs. Discrete Math. 2013 (313): 1918-1923.

อัตราส่วนของลำดับย่อยของจำนวนฟีโบนัชชีที่มีดัชนี่เป็นเลขชี้กำลัง n The ratio of the n -th exponential subsequence of the Fibonacci Sequenceวิภาวี ตั้งใจ^{1*}, กรภัทร ชมสด²Wipawee Tangjai^{1*}, Korrapat Chomhod²

Received: 12 March 2018; Accepted: 22 May 2018

บทคัดย่อ

เป็นที่ทราบกันดีว่าอัตราส่วนของพจน์ที่ติดกันของจำนวนฟีโบนัชชี $\{F_m\}_{m=0}^{\infty}$ และอัตราส่วนของพจน์ที่ติดกันของจำนวนลูคัส $\{L_m\}_{m=0}^{\infty}$ ลู่เข้าสู่อัตราส่วนของค่า งานวิจัยนี้ศึกษาลำดับย่อย $\{F_{m^n}\}_{m=0}^{\infty}$ เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มบวก โดยได้แสดงว่าลิมิตของอัตราส่วนระหว่าง $\frac{F_{(m+1)^n}}{F_{m^n}}$ และ $\frac{F_{m^n}}{F_{(m-1)^n}}$ ลู่เข้าก็ต่อเมื่อ $n \leq 2$ โดยทำการพิสูจน์ลำดับที่เกิดจากความสัมพันธ์เวียนเกิดอันดับสองในรูปแบบทั่วไปที่ครอบคลุมลำดับฟีโบนัชชี นอกจากนี้ยังได้ให้ค่าของลิมิตที่เกิดขึ้น

คำสำคัญ: ลำดับฟีโบนัชชี อัตราส่วน การลู่เข้า ความสัมพันธ์เวียนเกิด ลำดับย่อยที่มีดัชนี่เป็นเลขชี้กำลังเป็น n

Abstract

It is well known that the ratios of the consecutive terms of the Fibonacci numbers $\{F_m\}_{m=0}^{\infty}$ and those of the Lucas numbers $\{L_m\}_{m=0}^{\infty}$ converge to the golden ratio. In this work, we study the n -exponential subsequence $\{F_{m^n}\}$, where n is a positive integer. We show that the limit of the quotient between $\frac{F_{(m+1)^n}}{F_{m^n}}$ and $\frac{F_{m^n}}{F_{(m-1)^n}}$ converges if and only if $n \leq 2$ by proving a more general statement for the sequences satisfying a recurrence relation of order 2 that covers the Fibonacci sequence. We also give the limit of the convergence if it exists.

Keyword: Fibonacci sequence, Quotient, Convergence, Recurrence relation, n -exponential subsequence

Introduction

The *Fibonacci sequence* $\{F_m\}_{m=0}^{\infty}$ is defined by the recurrence relation

$$F_m = F_{m-1} + F_{m-2}, \text{ for } m \geq 2, \quad (1)$$

where $F_0 = 0$ and $F_1 = 1$. In 2015, Craciun¹ defined a geometrical generalization of the golden ratio by considering a ratio between two sub-segments and its relation to a homogeneous function M defined by

$$M : (0, \infty) \times (0, \infty) \rightarrow (0, \infty)$$

satisfying

$$i. \quad x < M(x, y) < y, \text{ for all } 0 < x < y$$

and

$$ii. \quad M(\lambda x, \lambda y) = \lambda M(x, y), \text{ for all } \lambda, x, y \in (0, \infty).$$

The Fibonacci numbers have been generalized in many ways, one of which is the k -Fibonacci numbers² defined by, for a non-zero integer k ,

$$F_{k,m} = kF_{k,m-1} + F_{k,m-2}, \text{ for } m \geq 2,$$

where $F_{k,0} = 0$ and $F_{k,1} = 1$. It is well known that the ratio of consecutive Fibonacci numbers converges to the golden ratio $\varphi = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$. If we consider the n -exponential subsequence $\{F_{m^n}\}_{m=1}^{\infty}$ of the Fibonacci sequence, it is obvious that the ratio of consecutive terms goes to infinity.

We will study a more generalized form of the Fibonacci and k -Fibonacci numbers. For a non-zero

¹ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantaravichai, Mahasarakham, Thailand 44150

* Corresponding author: Wipawee Tangjai (Wipawee.t@msu.ac.th)

real number k , we let $\{a_m\}_{m=0}^\infty$ be a sequence generated by a recurrence relation

$$a_m = ka_{m-1} + a_{m-2}, \text{ for } m \geq 2 \tag{2}$$

where $a_0 = s$ and $a_1 = t$. We assume that $a_{m^n} \neq 0$, for all $m, n \geq 1$.

The followings are examples of the sequences satisfying (2):

- if $k = 1, s = 0, t = 1$, then a_n is the Fibonacci number F_n ,
- if $k = 1, s = 2, t = 1$, then a_n is the Lucas number L_n ,
- if $k = 2, s = 0, t = 1$, then a_n is the Pell number P_n ,
- if $k = 2, s = 2, t = 2$, then a_n is the Pell-Lucas number Q_n .

In this paper, we are interested in the growth rate of such ratios which is the quotient of $\frac{a_{(m+1)^n}}{a_{m^n}}$. It has been shown that if k is a positive integer, then^{3,4}

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{F_{k,m+p}}{F_{k,m}} = \phi_k^p, \tag{3}$$

where p is a positive integer and

$\phi_k = \frac{k + \sqrt{k^2 + 4}}{2}$. By (3), it can be verified that the limit of the quotient of $\frac{F_{k,(m+1)^n}}{F_{k,m^n}}$ and $\frac{F_{k,(m-1)^n}}{F_{k,m^n}}$ converges if and only if $n \leq 2$, and that if $n = 2$, then the limit converges to ϕ_k^2 . Considering a more generalized sequence $\{a_m\}_{m=0}^\infty$ we give a result related to the quotient of $\frac{a_{(m+1)^n}}{a_{m^n}}$ and $\frac{a_{m^n}}{a_{(m-1)^n}}$ in

Theorem 2.1.

In 2016, R. Euler and J. Sadek⁵ showed that

$$a_m = \frac{1}{r_1 - r_2} (\alpha r_1^m - \beta r_2^m), \tag{4}$$

where $\alpha = s - tr_2, \beta = t - sr_1$ and

$$r_1, r_2 \in \left\{ \frac{k + \sqrt{k^2 + 4}}{2}, \frac{k - \sqrt{k^2 + 4}}{2} \right\} \text{ such that}$$

$|r_1| > |r_2|$. We note that $0 < |r_2| < 1$.

Main Theorem

Considering $\{a_n\}_{n=0}^\infty$ satisfying (2),

we let

$$a_m^{(n)} = \frac{a_{m^n}}{a_{(m-1)^n}}.$$

Theorem 2.1.

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{a_{m+1}^{(n)}}{a_m^{(n)}} = \begin{cases} 0, & \text{if } n = 1, \\ r_1^2, & \text{if } n = 2, \\ \infty, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Proof. By using the Binet formula of a_m in (4),

$$\begin{aligned} & \frac{a_{m+1}^{(n)}}{a_m^{(n)}} \\ &= \frac{a_{(m+1)^n}}{a_{m^n}} \cdot \frac{a_{(m-1)^n}}{a_{m^n}} \\ &= \frac{\alpha r_1^{(m+1)^n} - \beta r_2^{(m+1)^n}}{\alpha r_1^{m^n} - \beta r_2^{m^n}} \cdot \frac{\alpha r_1^{(m-1)^n} - \beta r_2^{(m-1)^n}}{\alpha r_1^{m^n} - \beta r_2^{m^n}} \\ &= \frac{\alpha^2 r_1^{(m+1)^n + (m-1)^n} - \alpha \beta r_2^{(m-1)^n} r_1^{(m+1)^n}}{(\alpha r_1^{m^n} - \beta r_2^{m^n})^2} \\ & \quad + \frac{-\alpha \beta r_1^{(m-1)^n} r_2^{(m+1)^n} + \beta^2 r_2^{(m+1)^n + (m-1)^n}}{(\alpha r_1^{m^n} - \beta r_2^{m^n})^2} \\ &= \frac{\alpha^2 r_1^{(m+1)^n + (m-1)^n} + \beta^2 r_2^{(m-1)^n + (m-1)^n}}{(\alpha r_1^{m^n} - \beta r_2^{m^n})^2} \\ & \quad - \alpha \beta (r_1 r_2)^{(m-1)^n} \frac{(r_1^{(m+1)^n - (m-1)^n} + r_2^{(m+1)^n - (m-1)^n})}{(\alpha r_1^{m^n} - \beta r_2^{m^n})^2} \\ &= \frac{\alpha^2 r_1^{(m+1)^n + (m-1)^n} + \beta^2 r_2^{(m-1)^n + (m-1)^n}}{(\alpha r_1^{m^n} - \beta r_2^{m^n})^2} \\ & \quad - \alpha \beta (-1)^{(m-1)^n} \cdot \frac{(r_1^{(m+1)^n - (m-1)^n} + r_2^{(m+1)^n - (m-1)^n})}{(\alpha r_1^{m^n} - \beta r_2^{m^n})^2} \\ &= \frac{\alpha^2 r_1^{(m+1)^n + (m-1)^n} - \alpha \beta (-1)^{(m-1)^n} r_1^{(m+1)^n - (m-1)^n}}{(\alpha r_1^{m^n} - \beta r_2^{m^n})^2} \\ & \quad + \frac{\beta^2 r_2^{(m-1)^n + (m-1)^n} - \alpha \beta (-1)^{(m-1)^n} r_2^{(m+1)^n - (m-1)^n}}{(\alpha r_1^{m^n} - \beta r_2^{m^n})^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\alpha^2 r_1^{(m+1)^n + (m-1)^n - 2m^n} - \alpha\beta(-1)^{(m-1)^n} r_1^{(m+1)^n - (m-1)^n - 2m^2}}{\left(\alpha - \beta \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^{m^n}\right)^2} \\
 &+ \frac{\beta^2 r_2^{(m+1)^n + (m-1)^n - 2m^n} - \alpha\beta(-1)^{(m-1)^n} r_2^{(m+1)^n - (m-1)^n - 2m^2}}{\left(\alpha \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^{m^n} - \beta\right)^2}.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

We have

$$\begin{aligned}
 &\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{\alpha^2 r_1^{(m+1)^n + (m-1)^n - 2m^n} - \alpha\beta(-1)^{(m-1)^n} r_1^{(m+1)^n - (m-1)^n - 2m^2}}{\left(\alpha - \beta \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^{m^n}\right)^2} \\
 &= \begin{cases} 0, & \text{if } n=1, \\ r_1^2, & \text{if } n=2, \\ \infty, & \text{if } n=3. \end{cases}
 \end{aligned}$$

Since $0 < |r_2| < 1$ and $|r_2| < |r_1|$, it follows that

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{\beta^2 r_2^{(m+1)^n + (m-1)^n - 2m^n} - \alpha\beta(-1)^{(m-1)^n} r_2^{(m+1)^n - (m-1)^n - 2m^2}}{\left(\alpha \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^{m^n} - \beta\right)^2} = 0.$$

Therefore,

$$\frac{a_{m+1}^{(n)}}{a_m^{(n)}} = \begin{cases} 0, & \text{if } n=1, \\ r_1^2, & \text{if } n=2, \\ \infty, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

By (5), we can also conclude that

$$\frac{a_{(m+1)^n}^{(n)}}{a_m^{(n)}} \in O(r_1^{2m^{n-2}}).$$

Theorem 2.1 implies that, for any positive integer k , the growth rate of the ratios of consecutive terms of the n -exponential subsequence $\{a_m^{(n)}\}_{m=0}^\infty$ converges if and only if $n \leq 2$.

Theorem 2.1 can be generalized to the sequences $\{b_m\}_{m=0}^\infty$ defined by

$$b_m = k_1 b_{m-1} + k_2 b_{m-2}, \text{ for } m \geq 2 \tag{6}$$

where k_1, k_2 are non-negative integers and $b_0 = s, b_1 = t$. If the roots of the characteristic equation of (6) are distinct, then the Binet formula of b_m is

$$b_m = \frac{1}{l_1 - l_2} \left((t - s l_2) l_1^m + (s l_1 - t) l_2^m \right), \tag{7}$$

where

$$l_1 = \frac{k_1 + \sqrt{k_1^2 + 4k_2}}{2}$$

and

$$l_2 = \frac{k_1 - \sqrt{k_1^2 + 4k_2}}{2}.$$

If $1 - k_1 < k_2 < 0$, then $0 < l_2 < 1$ and $l_2 < l_1$.

So, we are able to extend the same method appearing in Theorem 2.1 to Theorem 2.2.

Theorem 2.2. If b_{m^n} is not zero for all $m, n \geq 1$ and $1 - k_1 < k_2 < 0$, in (6), then

$$\frac{b_{m+1}^{(n)}}{b_m^{(n)}} = \begin{cases} 0, & \text{if } n=1, \\ l_1^2, & \text{if } n=2, \\ \infty, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

As a result, the quotient of the ratios of the n -exponential subsequence of the Fibonacci sequences converges to the square of the golden ratio.

Let F_m, L_m, P_m, Q_m be the Fibonacci number, Lucas Number, Pell number and Pell-Lucas number, respectively. Let φ be the golden ratio and $\delta = 1 + \sqrt{2}$.

Corollary 2.3. The following statements are true:

- $\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{F_m^{(2)}}{F_{m-1}^{(2)}} = \varphi^2$
- $\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{L_m^{(2)}}{L_{m-1}^{(2)}} = \varphi^2$
- $\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{P_m^{(2)}}{P_{m-1}^{(2)}} = \delta^2$
- $\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{Q_m^{(2)}}{Q_{m-1}^{(2)}} = \delta^2$.

Corollary 2.4.

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{F_{k,m}^{(2)}}{F_{k,m-1}^{(2)}} = \begin{cases} \frac{(k + \sqrt{k^2 + 4})^2}{4}, & \text{if } k > 0, \\ \frac{(k - \sqrt{k^2 + 4})^2}{4}, & \text{if } k < 0. \end{cases}$$

Example 2.5 gives an example of the sequences satisfying Theorem 2.2 but not the sequences in Corollary 2.3 and 2.4.

Example 2.5. Let $b_m = 3b_{m-1} + 2b_{m-2}$, where $b_0 = 0, b_1 = 1$. Table 1 shows the value of b_{m^2} , for

$m = 1, \dots, 10$. By Theorem 2.2,

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{b_{(m+1)^2} b_{(m-1)^2}}{b_{m^2}} = \frac{(3 + \sqrt{17})^2}{4}.$$

Table 1: b_{m^2}

| b_{m^2} | value of b_{m^2} |
|-----------|---|
| b_1 | 1 |
| b_4 | 39 |
| b_9 | 22363 |
| b_{16} | 162557031 |
| b_{25} | 14988571946011 |
| b_{36} | 1753046890008685335 |
| b_{49} | 260079179143778066525568571 |
| b_{64} | 48943657027144499564640559765030311 |
| b_{81} | 116833133373681561419044674956313653328090043 |
| b_{100} | 3537646303459605111696665428274832196761996930395731479 |

Discussion

Theorem 2.2 implies that all sequences satisfying the recurrence relation (6) with a condition that $1 - k_1 < k_2 < 0$, and b_{m^n} is non-null real number, for $m, n \geq 1$. The growth of the ratios of consecutive terms of the subsequence $\{b_{m^n}\}$ is $O(l_1^{2m^{n-2}})$. It converges if and only if $n \leq 2$. Moreover, if $n = 2$, then

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{b_{(m+1)^2} b_{(m-1)^2}}{b_{m^2}} = \frac{2k_1^2 + 2\sqrt{k_1^2 + 4k_2} + 4k_2}{4}.$$

Acknowledgment

This project is financially supported by the 2017 research funding of the Faculty of Science, Mahasarakham University, Thailand. We would also like to thank the anonymous reviewers for carefully read the paper and for the comments.

References

- Craciun I, Inoan D, Popa D, Tudose L. Generalized Golden Ratios defined by means. Applied Mathematics and Computation. 2015;250:221 - 227. Available from: //www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0096300314014702.

- Falcon S, Plaza A. On k -Fibonacci numbers of arithmetic indexes. Applied Mathematics and Computation.2009;208(1):180 -185. Available from: //www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0096300308008837.
- Falcon S. The k Fibonacci difference sequences. Chaos, Solitons and Fractals. 2016;87:153 -157. Available from: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960077916301254
- Falcon S, Plaza A. On the Fibonacci k -numbers. Chaos, Solitons and Fractals. 2007;32(5):1615 -1624. Available from: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960077906008332
- Euler R, Sadek J. A direct proof that F_n divides F_{mn} extended to divisibility properties of related numbers. The Fibonacci Quarterly. 2016;54(2):160 -165.

การเปรียบเทียบรูปแบบความเหมาะสมการระบายน้ำด้วยเทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา

A Comparison of Optimal Drainage Methods based on Time Series Forecasting Technique

พฤติพงษ์ เพ็งศิริ¹, สุันันทา สดสี², พยุง มีสัจ³

Prudtipong Pengsiri, Sunantha Sodsee, Phayung Meesad³

Received: 5 April 2018; Accepted: 27 June 2018

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษารูปแบบความเหมาะสมการระบายน้ำด้วยเทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเทคนิคการพยากรณ์เชิงสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลอนุกรมเวลา และหารูปแบบความเหมาะสมการระบายน้ำจากการเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์ โดยมี 4 สมการ คือ การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression; SLR) วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average; MA) วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบง่าย (Simple Exponential Smoothing; SES) และวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ (Holt-Winters' Exponential Smoothing) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้้นำข้อมูลการระบายน้ำที่ประตูระบายน้ำ (ปตร.) เขื่อนพระรามหก จากโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาป่าสักใต้ สำนักงานชลประทานที่ 10 กรมชลประทาน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มาเป็นต้นแบบในการทดลอง และวัดการพยากรณ์ด้วยวิธีการหาค่าความคลาดเคลื่อน 3 รูปแบบ คือ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation; MAD) ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percentage Error; MAPE) และค่ารากที่สองเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error; RMSE) จากการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) ของการพยากรณ์ในการระบายน้ำที่ประตูระบายน้ำ (ปตร.) ที่มีค่าต่ำที่สุดคือ ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ (Holt-Winters' Exponential Smoothing) มีค่า $MAPE = 0.068$ โดยการกำหนดค่า $k = 3$, $\alpha = 0.882$, $\beta = 0.051$ และ $\gamma = 0.312$ รองมาเป็นวิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA) มีค่า $MAPE = 0.179$ โดยการกำหนดค่า $k = 3$ รองมาเป็นวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบง่าย (SES) มีค่า $MAPE = 0.249$ โดยการกำหนดค่า $\alpha = 0.3$ และสุดท้ายเป็นวิธีการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย มีค่า $MAPE = 0.854$ และทดลองพยากรณ์ข้อมูลที่ไม่เคยปรากฏในปี พ.ศ. 2558 โดยหาค่า $MAPE$ ซึ่งพบว่าพยากรณ์แบบค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์มีค่าที่ต่ำที่สุดคือ $MAPE = 0.033$ เป็นการบ่งชี้ได้ว่าค่าพยากรณ์ด้วยวิธีนี้มีรูปแบบความเหมาะสมกับการระบายน้ำที่ ปตร.

คำสำคัญ : รูปแบบความเหมาะสม การระบายน้ำ การพยากรณ์อนุกรมเวลา

Abstract

This paper explores the model of drainage suitability using time series forecasting techniques. The purpose is to study statistical forecasting techniques suitable for time series data. The model of water drainage suitability was compared by using 4 methods forecasting techniques were Simple Linear Regression (SLR), Moving Average (MA), Simple Exponential Smoothing (SES) and Holt-Winters' Exponential Smoothing. In this research, which are drainage information form Rama VI Dam, Pha Nakhon Si Ayutthaya in the experiment. Measurement of forecast with 3 methods were Mean Absolute Deviation (MAD), Mean Absolute Percentage Error (MAPE) and Root Mean Square Error (RMSE). The experiments showed that the $MAPE$ of the lowest drainage prognosis was Predictive value by Holt-Winters' exponential smoothing, which was $MAPE = 0.068$, with the values of $k = 3$, $\alpha = 0.882$, $\beta = 0.051$ and $\gamma = 0.312$. The

¹ นักศึกษาปริญญาเอก, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร., ³รองศาสตราจารย์ ดร., คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
¹ Ph.D. Candidate, ² Assist. Prof. Dr., ³ Assoc. Prof. Dr., Faculty of Information Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800 Thailand.

* Corresponding author; Prudtipong Pengsiri, Faculty of Information Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800 Thailand, prudtipong.p@rmutsb.ac.th

secondary mean is **MAE** with **MAPE** = 0.179. Simple exponential smoothing (SES) has a **MAPE** = 0.249 by setting $\alpha = 0.3$. Finally, a simple linear regression was used to obtain **MAPE** = 0.854. The Forecasted data were not used in 2015 by **MAPE**. The lowest value of **MAPE** = 0.033 indicates that the predictive value of this method is appropriate for the drainage pattern.

Keyword: Fitness Equation , Drainage, Time Series Forecasting

บทนำ

ทุกวันนี้มีการยอมรับถึงการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำซึ่งเป็นที่ทรัพยากรทางธรรมชาติที่สำคัญอย่างยิ่งในประเทศไทย และคงไม่อาจปฏิเสธได้ว่าในการจัดการบริหารทรัพยากรน้ำคือการระบายน้ำจากแหล่งน้ำจะช่วยทำให้ลดการเกิดสภาวะน้ำท่วมหรือเพื่อใช้ในการเกษตร และบริโภคของภาคประชาชน และเพื่อเป็นการป้องกันการเกิดสภาวะน้ำท่วมจึงต้องหาแนวทางการรับมือกับปัญหาทางธรรมชาติในรูปแบบต่าง เช่น ฝนตกในพื้นที่ลุ่มมีปริมาณมากและตกติดต่อกันเป็นเวลานาน จนเกิดน้ำไหลบ่าตามผิวดินลงสู่ร่องน้ำ ลำธารและแม่น้ำนั้น หากลำน้ำตอนใดไม่สามารถรับปริมาณน้ำได้ก็จะบ่าท่วมตลิ่งเข้าไปท่วมพื้นที่ต่าง ๆ หรือชุมชนที่ไม่มีการระบายน้ำที่สมบูรณ์ และการกระทำของมนุษย์ เป็นต้น ซึ่งปัญหาที่ได้กล่าวมานี้อาจเป็นปัญหาที่อยู่เหนือการควบคุม แต่ยังมีอีกหนึ่งสิ่งที่มองเห็นถึงแนวทางการป้องกันการเกิดปัญหานี้ได้คือการจัดการบริหารทรัพยากรน้ำหรืออีกนัยหนึ่งคือการควบคุมดูแลการระบายน้ำ โดยอาศัยการระบายน้ำจากประตูระบายน้ำ (ปตร.) เป็นหลักสำคัญเนื่องจากเป็นหลักการหนึ่งในการแก้ไขปัญหาน้ำท่วม² คือพื้นที่ทั้งหมดนี้จะทำหน้าที่รับน้ำและน้ำท่วมขังจากพื้นที่ตอนบนมาเก็บไว้พร้อมกับระบายลงสู่่อ่าวไทยตามจังหวะการขึ้น-ลงของระดับน้ำทะเลโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกและการสูบน้ำที่เหมาะสมและสอดคล้องกัน โดยจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในระบายน้ำตามคลองธรรมชาติต่าง ๆ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้เล็งเห็นปัญหาจึงได้ยกแก้ไขปัญหการระบายน้ำมาพิจารณา ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลการระบายน้ำที่ ปตร.เขื่อนพระรามหก จากโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาป่าสักใต้ สำนักงานชลประทานที่ 10 กรมชลประทาน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา³ ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพเป็นบานประตูยกระดับการระบายปริมาณน้ำโดยมีจำนวนทั้งหมด 6 บาน ประตูแต่ละประตูมีขนาด 12.5x7.8 ม. ระบายน้ำได้สูงสุดที่ 1,600 ลบ.ม./วินาทีโดยได้ทำการวิเคราะห์หาสมการค่าความเหมาะสมในการระบายน้ำด้วยการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาซึ่งใช้ข้อมูลการระบายน้ำอ้างอิงตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2538 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2540 แบบรายวัน เนื่องจากในช่วงนั้นมีการเกิดสภาวะน้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย และใช้เพื่อใช้เป็นการวิเคราะห์เทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา (Simple

Time Series Analysis) มี 4 วิธี ได้แก่ วิธีการพยากรณ์โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression; SLR) วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average; MA) วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบง่าย (Simple Exponential Smoothing; SES) และวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ (Holt-Winters' Exponential Smoothing) สาเหตุที่ใช้วิธีเชิงสถิติทั้ง 4 วิธีนี้เนื่องจากการเก็บข้อมูลการระบายน้ำเป็นรูปแบบรายวันและจำเป็นต้องพิจารณาสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในเวลาไม่นาน ซึ่งเป็นลักษณะของการวิเคราะห์พยากรณ์ข้อมูลแบบแนวโน้ม (Trend Component; $T_t(t)$) และมีอิทธิพลของฤดูกาล (Seasonal Component; $S_t(t)$) มาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความเหมาะสมในการหารูปแบบความเหมาะสมในการระบายน้ำวัดค่าความคลาดเคลื่อน 3 ค่าคือ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation; MAD) ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percentage Error; MAPE) และค่ารากที่สองเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error; RMSE)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบความเหมาะสมในการระบายน้ำด้วยเทคนิคพยากรณ์แบบอนุเวลา
2. เพื่อหารูปแบบความเหมาะสมในการระบายน้ำของ ปตร. เขื่อนพระรามหก

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและทบทวนวรรณกรรม

1. การพยากรณ์ค่าการระบายน้ำด้วยอนุกรมเวลา (Time Series Forecasting)

ศึกษาวิธีการพยากรณ์เพื่อหาเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการระบายน้ำ (Forecasting)⁴ หมายถึงการประมาณหาหรือคาดคะเนเหตุการณ์ที่ยังไม่ได้เกิดขึ้น โดยการคาดคะเนนั้นต้องอาศัยข้อมูลจากปัจจุบันหรืออดีตมาเป็นแนวทางแล้ววิเคราะห์เพื่อคาดการณ์การระบายน้ำในอนาคต

1.1 วิธีการพยากรณ์โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression; SLR)

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว⁵ คือตัวแปร X และ Y ที่มีความสัมพันธ์กันในลักษณะเชิง

เส้น (Linear) โดยมีสมการถดถอย โดยมี a ก็คือค่าคงที่ (Constant) เป็นค่าที่เส้นกราฟถดถอยตัดกับแกน Y (m^3/s) ส่วน b เป็นความชัน (Slope) ของเส้นกราฟ ซึ่งแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ X เปลี่ยนแปลง โดยมีสมการดังนี้

$$Y = a + bX \tag{1}$$

โดยที่ Y คือ ค่าคาดการณ์การระบายปริมาณน้ำ (m^3/s)
 X คือ ปริมาณน้ำในช่วงเวลาระบายน้ำ (m^3/s)
 a คือ ค่าคงที่ (Constant)
 b คือ ความชัน (Slope)

1.2 วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average; MA)

วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่นั้น เป็นการเลือกข้อมูลที่มีความทันสมัยบางส่วนมาหาค่าเฉลี่ย และกำหนดระยะเวลาสำหรับการพยากรณ์ เนื่องจากข้อมูลมีปริมาณมากจะทำให้มีความราบเรียบมากขึ้นด้วย⁶ หลังจากได้ค่าพยากรณ์จากการหาค่าเฉลี่ยได้หนึ่งค่า ก็จะสามารถหาค่าพยากรณ์ค่าต่อไป โดยการตัดข้อมูลในช่วงเวลาแรกสุดของข้อมูลชุดเดิมออกไปแล้วนำข้อมูลตัวใหม่ที่ต่อเนื่องกันเข้ามาแทน หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลชุดใหม่นี้มาหาค่าเฉลี่ย ดำเนินการแบบนี้ไปจนได้ค่าพยากรณ์ที่ต้องการ⁷ เป็นหนึ่งในเครื่องมือทางเทคนิคค่อนข้างเป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายในหมู่นักลงทุนเชิงเทคนิค โดยที่รูปแบบสมการดังนี้

$$\hat{Y}_t = \frac{(Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-k+1})}{k} \tag{2}$$

โดยที่ Y_t คือ ปริมาณน้ำ ณ เวลา t (m^3/s)
 k คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ย
 \hat{Y}_t คือ ค่าคาดการณ์การระบายปริมาณน้ำ ณ เวลา $t + 1$ (m^3/s)

1.3 วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบง่าย (Simple Exponential Smoothing; SES)

เป็นการเทคนิคพยากรณ์ที่ได้รับความนิยมมากวิธีการหนึ่ง และเป็นรูปแบบของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average) เนื่องจากใช้ข้อมูลน้อยกล่าวคือใช้เพียงค่าของข้อมูล ค่าการพยากรณ์ก่อนหน้า ค่าความต้องการในปัจจุบันและค่าปัจจัยที่เรียกว่า ค่าถ่วงน้ำหนักปรับเรียบการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล ซึ่งการลดลงของน้ำหนักนี้จะเป็นการลดแบบ Exponential น้ำหนักจะ

เป็นเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับค่าปรับน้ำหนัก (Smoothing Constant) เป็นค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\hat{Y}_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha) \hat{Y}_{t-1} \tag{3}$$

โดยที่ Y_t คือ ปริมาณน้ำ ณ เวลา t (m^3/s)
 \hat{Y}_t คือ ค่าคาดการณ์การระบายปริมาณน้ำ ณ เวลา $t + 1$ (m^3/s)
 \hat{Y}_{t-1} คือ ค่าพยากรณ์ที่ ณ เวลา $t - 1$ (m^3/s)
 α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ปรับให้เรียบ α มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

1.4 วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ (Holt-Winters' Exponential Smoothing)

วิธี Holt-Winters เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและมีประสิทธิภาพในการคาดการณ์ชุดเวลาตามฤดูกาล แต่การใช้งานที่แตกต่างกันจะทำให้การคาดการณ์ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีที่จะเริ่มต้นและวิธีการเลือกพารามิเตอร์การปรับให้เรียบ โดยใช้ค่าปรับให้เรียบ 3 ค่า ได้แก่ α β และ γ ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยที่ α เป็นค่าปรับน้ำหนักสำหรับแนวโน้ม β เป็นค่าปรับน้ำหนักสำหรับค่าความลาดชัน (Slope) และ γ เป็นค่าปรับน้ำหนักสำหรับฤดูกาล ตามลำดับ และในการวิจัยนี้เลือกรูปแบบคูณโดยพิจารณาจากการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา⁸ โดยมีสมการดังนี้

$$\hat{Y}_t(p) = (\hat{T}_t(t) + p\hat{L}_t(t))\hat{S}_i(t) \tag{4}$$

โดยที่ $\hat{Y}_t(p)$ คือ ค่าคาดการณ์การระบายปริมาณน้ำ ณ เวลา t (m^3/s) โดยที่ $p = 1, 2, \dots$
 p คือ ช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป
 $\hat{T}_t(t)$ คือ ค่าแนวโน้มการระบายน้ำ ณ เวลา t
 $\hat{L}_t(t)$ คือ อัตราส่วนของปริมาณน้ำ ณ เวลา t
 $\hat{S}_i(t)$ คือ ค่าวัดอิทธิพลของฤดูกาลที่ i ซึ่งค่า $\hat{T}_t(t)$, $p\hat{L}_t(t)$ และ $\hat{S}_i(t)$ (m^3/s) ได้จากสมการเหล่านี้

$$\hat{T}_t(t) = \frac{\alpha Y_t}{S_{t(t-1)}} + (1 - \alpha)\hat{T}_{t(t-1)} \tag{5}$$

$$\hat{L}_t(t) = \beta(\hat{T}_t(t) - \hat{T}_{t(t-1)}) + (1 - \beta)\hat{L}_t \tag{6}$$

$$\hat{S}_i(t) = \frac{\gamma Y_t}{\hat{T}_t(t)} + (1 - \gamma)\hat{S}_{i(t-k)} \tag{7}$$

α β และ γ คือ ค่าพารามิเตอร์ที่สามารถปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสม (Turning Parameter) โดยมีค่ามากกว่า 0 ถึง 1 หมายถึง $0 < \alpha \leq 1$, $0 < \beta \leq 1$ และ $0 < \gamma \leq 1$

เมื่อ k คือค่าที่กำหนดเริ่มต้น การสร้างสมการพยากรณ์ต้องทำการกำหนดค่าเริ่มต้นของ ค่า $\hat{T}_t(t)$, $p\hat{L}_t(t)$ และ $\hat{S}_i(t)$ โดยมีสมการดังนี้

$$\hat{S}_1 = \frac{Y_1}{Average(Y_1, Y_2, \dots, Y_k)}, \dots$$

$$\hat{S}_2 = \frac{Y_2}{Average(Y_1, Y_2, \dots, Y_k)}, \dots,$$

$$\hat{S}_k = \frac{Y_M}{Average(Y_1, Y_2, \dots, Y_k)} \tag{8}$$

$$\hat{L}_{k+1} = \frac{Y_{k+1}}{S_1} \tag{9}$$

$$\hat{T}_{k+1} = \frac{Y_{k+1}}{S_1} - \frac{Y_k}{S_k} \tag{10}$$

2. การวัดค่าความคลาดเคลื่อน

สามารถหาค่าการพยากรณ์ได้แล้ว จากนั้นจะใช้วิธีการตรวจสอบหาความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ว่าสมการรูปแบบใดมีความคลาดเคลื่อนมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความเหมาะสมในการหาสมการค่าความเหมาะสมในการระบายน้ำวัดค่าความคลาดเคลื่อน 3 วิธีดังนี้

2.1 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation; MAD) โดยมีสมการดังนี้

$$MAD = \frac{\sum |ค่าเกิดขึ้นจริง - ค่าพยากรณ์|}{จำนวนทั้งหมด} \tag{11}$$

2.2 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percentage Error; MAPE) โดยมีสมการดังนี้

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|ค่าเกิดขึ้นจริง - ค่าพยากรณ์|}{ค่าเกิดขึ้นจริง}}{จำนวนทั้งหมด} \tag{12}$$

2.3 ค่ารากที่สองเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error; RMSE) โดยมีสมการดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum |ค่าเกิดขึ้นจริง - ค่าพยากรณ์|^2}{จำนวนทั้งหมด}} \tag{13}$$

วิธีการทดลอง

ในการทดลองรูปแบบความเหมาะสมในการระบายน้ำด้วยเทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาใช้ข้อมูลการ

ระบายน้ำที่ ปตร.เขื่อนพระรามหก ซึ่งใช้ที่ข้อมูลเกี่ยวข้องการระบายน้ำในระยะเวลา 3 ปี โดยอ้างอิงตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2538 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2540 แบบรายวันมีทั้งหมด 1,092 วัน โดยเป็นข้อมูลปริมาณการระบายน้ำ (m³/s) เป็นข้อมูลนำเข้า ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าข้อมูลในช่วงเวลานั้นมีเหตุการณ์น้ำท่วมในปี พ.ศ. 2538 จึงนำมาเป็นข้อสังเกตในเบื้องต้นของการเปลี่ยนแปลงซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล จากนั้นเปรียบเทียบการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา (Time Series Forecasting) เพื่อหาสมการของรูปแบบความเหมาะสมที่เหมาะสมในการระบายน้ำ ซึ่งหมายถึงสมการของการพยากรณ์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด

เมื่อได้รูปแบบของสมการพยากรณ์ที่เหมาะสมในการระบายน้ำจากการทดลองแล้วนั้น ถัดไปจะนำสมการทุกรูปแบบของการพยากรณ์ในการระบายน้ำมาเปรียบเทียบและประเมินค่าความคลาดเคลื่อนแบบ MAPE โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลการระบายน้ำในปี พ.ศ.2558 โดยมีขั้นตอนการทดลองในการหาสมการดังแสดงใน Figure 1

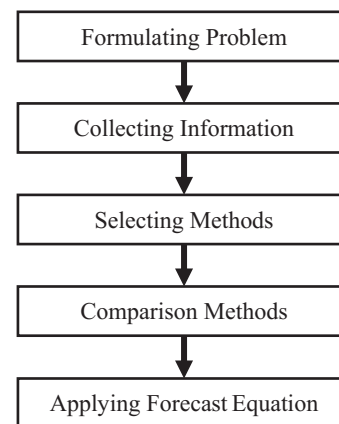


Figure 1 Comparison of Time Series Forecasting

ผลการทดลอง

ผลของค่าความคลาดเคลื่อน ทั้ง 3 รูปแบบ ด้วยวัดค่าความคลาดเคลื่อนคือ **MAD**, **MAPE** และ **RMSE**

1. ผลการทดลองวิธีการพยากรณ์โดยการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

ในการพยากรณ์การระบายน้ำที่ ปตร. โดยการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression; SLR) ได้สมการคือ $\hat{Y} = 22.716 + 0.013X$ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ดังนี้ **MAD** = 11.209, **MAPE** = 0.854 และ **RMSE** = 13.893 ซึ่งแสดงผลพร้อมความสัมพันธ์ดัง Figure 2

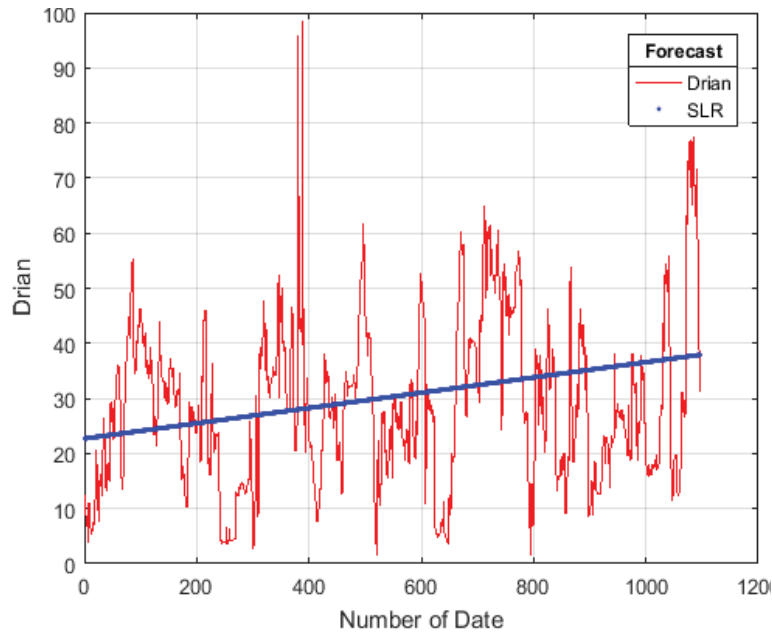


Figure 2 Forecasting drainage with simple linear regression method

2. ผลการทดลองวิธีถ่วงเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average; MA)

การพยากรณ์ด้วยวิธีถ่วงเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA) มีการกำหนดค่า k เป็นจำนวนวันที่เคลื่อนที่โดยใช้มีค่าเท่ากับ 3, 7, 15, 30 และ 90 วัน ซึ่งได้ผลการวัดค่าความคลาดเคลื่อน ดังแสดง Table 1

จาก Table 1 พบว่า ในการกำหนดค่า $k = 3$ มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด ซึ่งได้ค่า $MAD = 4.063$, $MAPE = 0.179$ และ $RMSE = 6.691$

จากนั้นจึงนำมาแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างการระบายน้ำจริงกับค่าพยากรณ์โดยวิธีถ่วงเฉลี่ยเคลื่อนที่ดัง Figure 3

Table 1 Expected forecast of moving average method (MA)

| Error | Parameter set k | | | | | |
|--------|-------------------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | 3 | 5 | 7 | 15 | 30 | 90 |
| MAD | <u>4.063</u> | 4.998 | 5.676 | 7.462 | 9.128 | 11.558 |
| $MAPE$ | <u>0.179</u> | 0.223 | 0.207 | 0.368 | 0.575 | 0.786 |
| $RMSE$ | <u>6.691</u> | 8.404 | 8.907 | 10.254 | 12.274 | 14.316 |

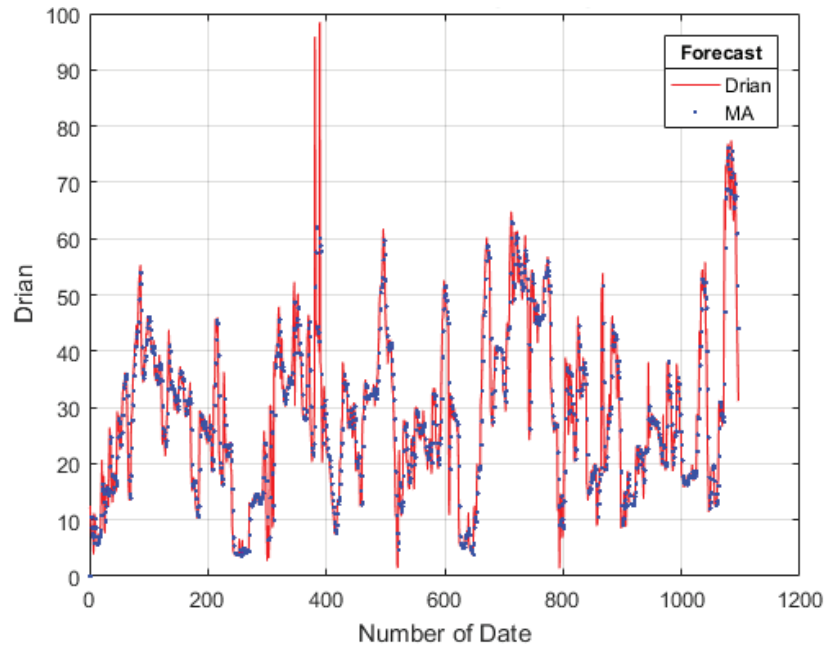


Figure 3 Forecasting drainage with moving average method

3. ผลการทดลองวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบง่าย (SES)

การพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบง่าย (SES) มีการกำหนดค่า α โดยใช้มีเท่ากับ 0.1, 0.2, ... , 0.9 ซึ่งได้ผลการวัดค่าความคลาดเคลื่อนดังแสดงใน Table 2

จาก Table 2 พบว่า ในการกำหนดค่า $\alpha = 0.3$ มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด ซึ่งได้ค่า $MAD = 2.556$, $MAPE = 0.249$ และ $RMSE = 3.649$ จากนั้นจึงนำมาแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างค่าการระบายน้ำจริงกับค่าพยากรณ์โดยวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบง่ายดัง Figure 4

Table 2 Forecasting expectancy of simple exponential smoothing (SES)

| Error | Parameter set α | | | | | | | | |
|-------------|------------------------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
| <i>MAD</i> | 2.689 | 2.630 | <u>2.556</u> | 2.730 | 2.787 | 2.847 | 2.901 | 3.124 | 3.565 |
| <i>MAPE</i> | 0.268 | 0.259 | <u>0.249</u> | 0.276 | 0.287 | 0.300 | 0.314 | 0.342 | 0.404 |
| <i>RMSE</i> | 3.693 | 3.664 | <u>3.649</u> | 3.652 | 3.678 | 3.735 | 3.838 | 4.024 | 4.358 |

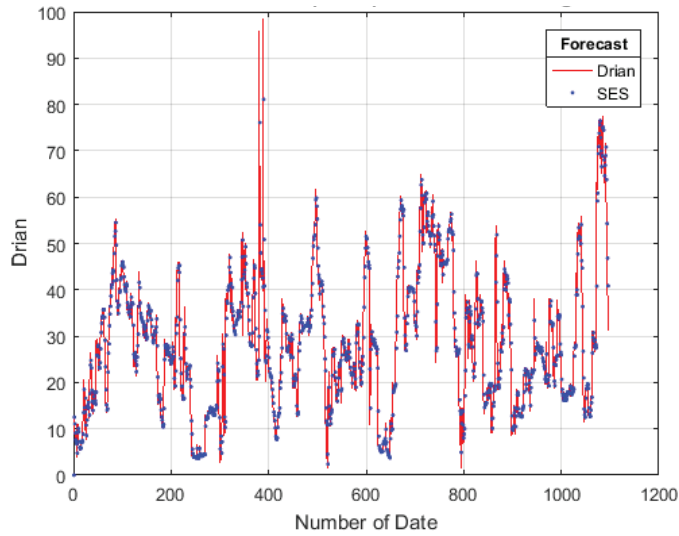


Figure 4 Forecasting drainage with simple exponential smoothing method

4. ผลการทดลองวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ (Holt-Winters' Exponential Smoothing)

การพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ α, β และ γ โดยมีค่ามากกว่า 0 ถึง 1 และทำการทดลองปรับค่าด้วยวิธี GRG

Non-linear (Generalized Reduced Gradient-Nonlinear Solving Method) ในโปรแกรม Microsoft Excel 2013^{9,10} และมีการกำหนดค่า k เป็นจำนวนวันที่เคลื่อนที่โดยใช้มีค่าเท่ากับ 3, 7, 15, 30 และ 90 วันซึ่งได้ผลการวัดค่าความคลาดเคลื่อนดังแสดง Table 3

Figure 3 Forecasting expectancy of Holt-Winters' exponential smoothing method

| Parameter | | | | | |
|--------------------|---------|---------|----------|----------|----------|
| Alpha (α) | 0.882 | 0.621 | 0.814 | 0.820 | 0.843 |
| Beta (β) | 0.051 | 0.004 | 0.014 | 0.039 | 0.198 |
| Gamma (γ) | 0.312 | 0.290 | 0.477 | 1.000 | 0.621 |
| k | $k = 3$ | $k = 7$ | $k = 15$ | $k = 30$ | $k = 90$ |
| MAD | 1.347 | 4.077 | 4.171 | 5.725 | 7.067 |
| MAPE | 0.068 | 0.189 | 0.185 | 0.232 | 0.279 |
| RMSE | 1.844 | 6.826 | 7.075 | 8.621 | 12.011 |

จาก Table 3 พบว่าผลลัพธ์ของค่าความคลาดเคลื่อนในการกำหนดค่า $k = 3$ และได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ $\alpha = 0.882, \beta = 0.051$ และ $\gamma = 0.312$ ซึ่งเป็นผลการทดลองการหาค่าคงที่ที่ต่ำที่สุดของฟังก์ชันไม่เชิงเส้น GRG ทำให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด ซึ่งได้ค่า $MAD = 1.347, MAPE = 0.068$ และ $RMSE = 1.844$ จากนั้นจึงนำมาแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างค่าการระบายน้ำจริงกับค่าพยากรณ์โดยวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ดัง Figure 4 จากนั้นได้ค่าดัชนีฤดูกาลรายเดือน ดัง Table 4

นอกจากนี้ได้สมการค่าดัชนีฤดูกาลราย 3 วันตามสมการนี้

$$\hat{Y}_t(p) = (\hat{T}_t(t) + p\hat{L}_t(t))\hat{S}_i(t)$$

จะได้ค่า $\hat{T}_t(t), p\hat{L}_t(t)$ และ $\hat{S}_i(t)$ ได้จากสมการเหล่านี้

$$\hat{T}_t(t) = \frac{0.882Y_t}{S_{t(t-1)}} + (0.118)\hat{T}_{t(t-1)}$$

$$\hat{L}_t(t) = 0.051 (\hat{T}_t(t) - \hat{T}_{t(t-1)}) (0.949) \hat{L}_t$$

$$\hat{S}_i(t) = \frac{0.312Y_t}{\hat{T}_t(t)} + (0.688)\hat{S}_{i(t-k)}$$

ซึ่งจะได้ค่า $\hat{Y}_t(p)$ ดังสมการนี้

$$\hat{Y}_t = (5.841 + p(-4.589))\hat{S}_i$$

$p = 1, 2, \dots$ $i = 1, 2, 3$

และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการระบายน้ำจริงกับค่าพยากรณ์ด้วยปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ใน Figure 5

Table 4 Seasonal index $k = 3$

| Seasonal Index (k) | Estimated (\hat{S}_i) |
|------------------------|---------------------------|
| 1 | 1.571 |
| 2 | 1.319 |
| 3 | 1.043 |

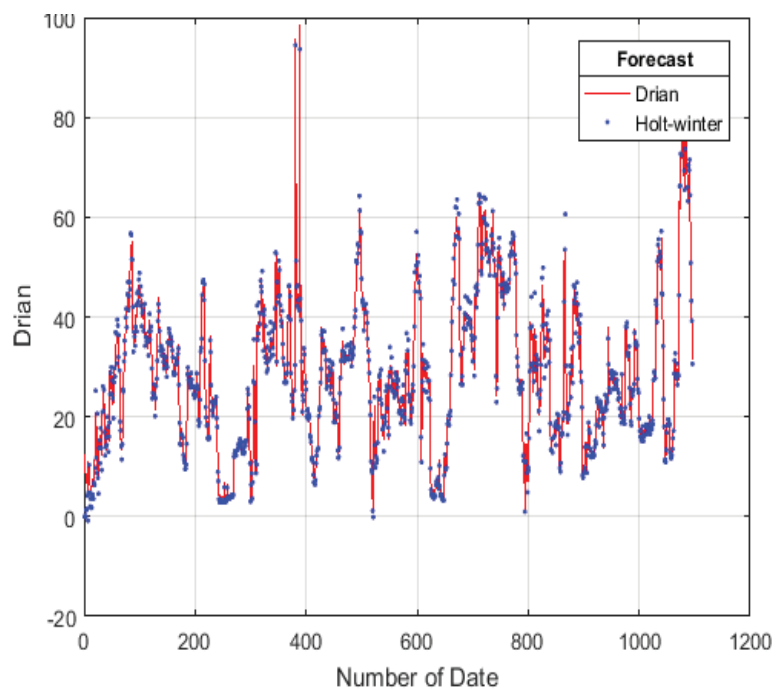


Figure 5 Forecasting drainage with Holt-Winters' exponential smoothing

5. ผลการทดลองรูปแบบความเหมาะสม

ในการทดลองนี้ได้นำรูปแบบความเหมาะสมทั้งหมดมาพยากรณ์กับข้อมูลในปี พ.ศ.2558 ซึ่งเป็นข้อมูลปีล่าสุดที่ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลมา และได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ของแต่ละ

สมการพยากรณ์ที่ได้จากการหาค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุด จากนั้นนำมาเปรียบเทียบความแม่นยำด้วยการวัดค่าความคลาดเคลื่อนโดยมีค่าดัง Table 5

Table 5 Expectations of all methods

| Error | Methods | | | |
|-------------|---------|-------|-------|--------------|
| | SLR | MA | SES | Holt-Winters |
| <i>MAD</i> | 10.008 | 1.647 | 1.250 | <u>0.460</u> |
| <i>MAPE</i> | 1.019 | 0.112 | 0.086 | <u>0.033</u> |
| <i>RMSE</i> | 12.109 | 2.609 | 2.134 | <u>0.632</u> |

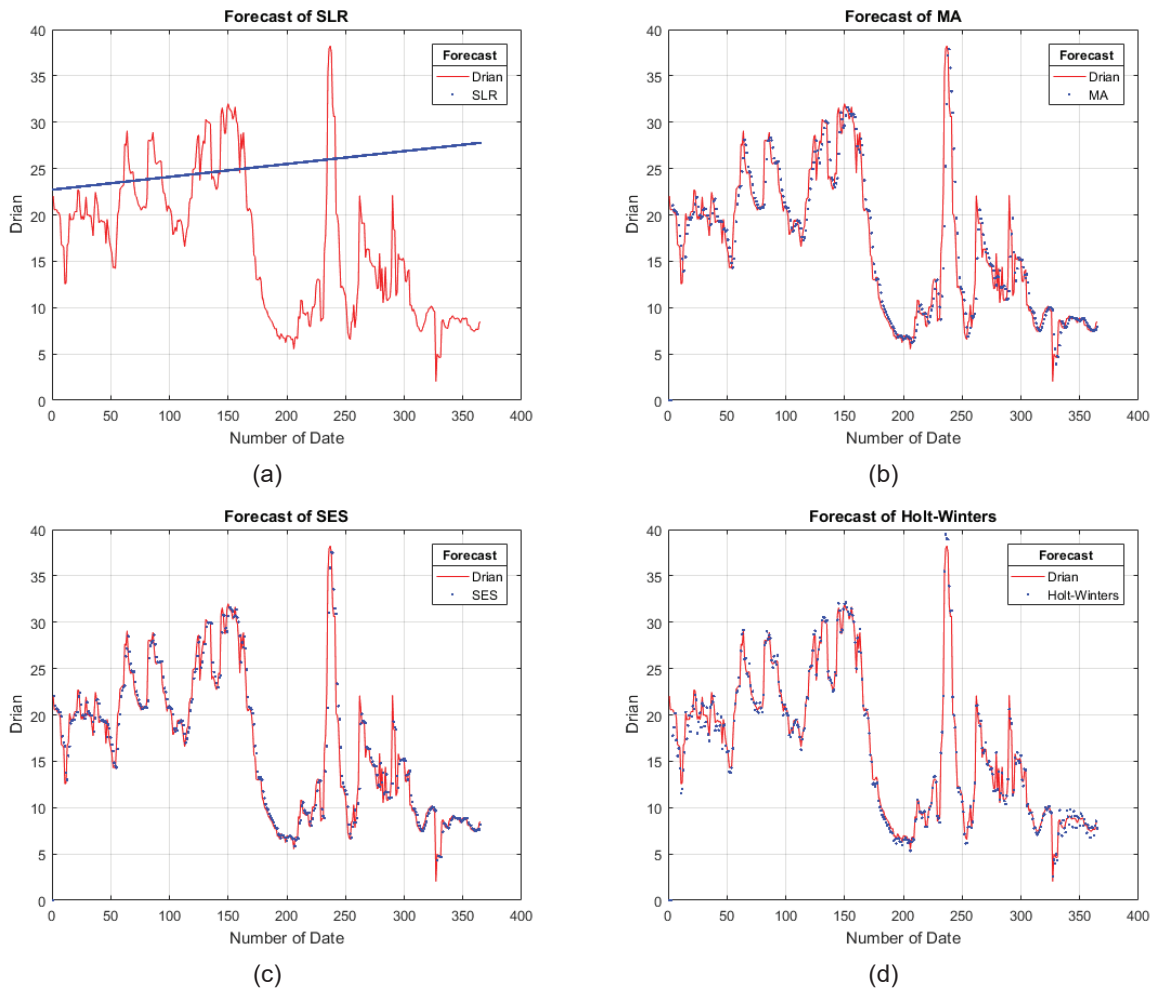


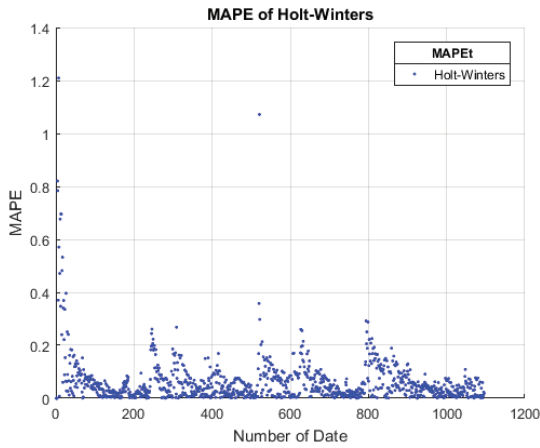
Figure 6 Comparison of forecasting drainage 2015.

- (a) Forecast results by SLR ,
- (b) Forecast results by MA,
- (c) Forecast results by SES and
- (d) Forecast results by Holt-Winters

จาก Table 5 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์มีค่าต่ำที่สุดคือ ค่า *MAD* = 0.46, *MAPE* = 0.033 และ *RMSE* = 0.632 แสดงให้เห็นว่าสมการพยากรณ์นี้สามารถนำไปใช้กับข้อมูลที่ไม่ปรากฏมาก่อนได้เป็นอย่างดี แต่มีข้อสังเกตระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนของ MA และ SES เมื่อเปรียบเทียบ

เทียบกับจะเห็นได้ว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนั้น Table 1, 2 และ 5 ซึ่งยังมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่คงที่สลับกันไปมาทั้งค่า *MAPE* และ *RMSE* ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนของ SLR นั้นมากที่สุดจึงไม่สามารถนำมาพิจารณารูปแบบความเหมาะสมสำหรับกรณีการระบายน้ำที่ปตร. ได้

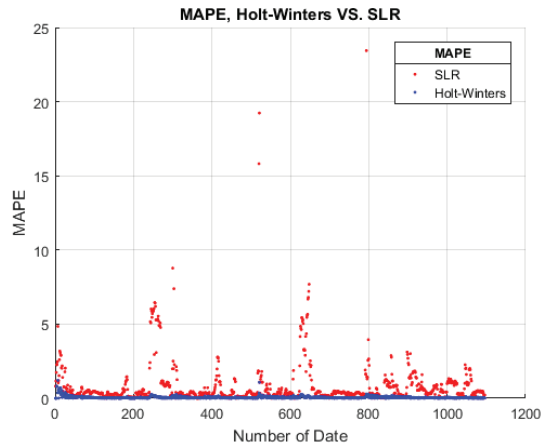
ดังนั้นผลการพยากรณ์ของทุกรูปแบบการพยากรณ์จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการระบายน้ำจริงกับค่าพยากรณ์ดัง Figure 6



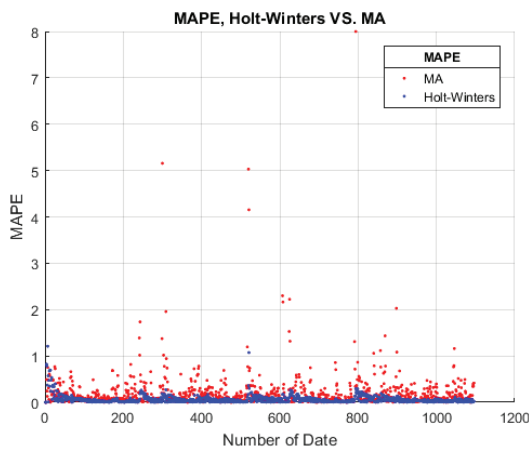
(a)

อภิปรายการทดลอง

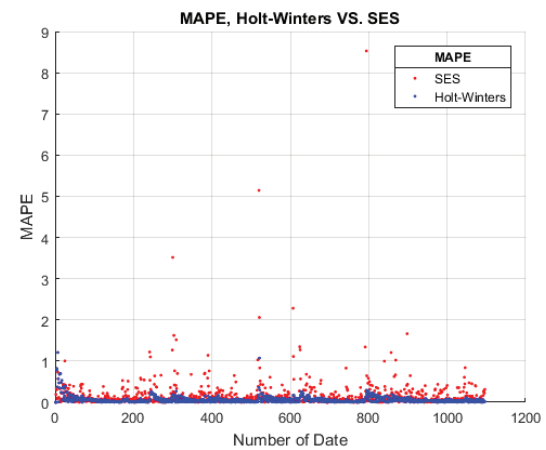
การประเมินรูปแบบความเหมาะสมในการระบายน้ำ โดยเปรียบเทียบค่า **MAPE** เมื่อพิจารณาสำคัญในการพยากรณ์ค่าการระบายน้ำในช่วงวันของการระบายน้ำ (Number of Date) ตั้งแต่ 381 – 389 ที่มีสภาวะการเกิดน้ำท่วมช่วงเดือน ธ.ค.2538 ถึง ม.ค.2539 ซึ่งสังเกตได้ว่ามีค่าการระบายน้ำมากกว่า 80 m³/s จะเห็นได้ว่าเป็นสภาวะที่แปรปรวนสูงมาก



(b)



(c)



(d)

Figure 7 Value comparison **MAPE**

- (a) **MAPE** of Holt-Winters,
- (c) **MAPE** of Holt-Winters and MA and

- (b) **MAPE** of Holt-Winters and SLR
- (d) **MAPE** of Holt-Winters and SES

อย่างไรก็ตามการพยากรณ์ค่าการระบายน้ำด้วยวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์นั้น มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น เพราะผลเหตุของการพยากรณ์ด้วยวิธีนี้ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลแบบแนวโน้มและอยู่ภายใต้อิทธิพลของฤดูกาล ซึ่งสามารถอธิบายเป็นกราฟเปรียบเทียบค่า **MAPE** ดัง Figure 7 สาเหตุที่วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์สามารถพยากรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพราะว่าใช้หลักการพยากรณ์ที่พัฒนาการ

SES ซึ่งมีความซับซ้อนของสมการการพยากรณ์ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำที่สุดในการทดลอง นอกจากนี้ยังสามารถนำสมการของการพยากรณ์เหล่านั้นประยุกต์ใช้กับการวิจัยที่เกี่ยวกับการหาความเหมาะสมเชิงพันธุกรรมได้อีกหนึ่งทาง

สรุปการทดลอง

จากการทดลองในข้อ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 นั้นพบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (**MAPE**) ของการพยากรณ์ใน

การระบายน้ำที่ ปตร. ที่มีค่าต่ำที่สุดคือ ค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์ (Holt-Winters' Exponential Smoothing) มีค่า $MAPE = 0.068$ โดยการกำหนดค่า $k = 3$, $\alpha = 0.882$, $\beta = 0.051$ และ $\gamma = 0.312$ รองมาเป็นวิธีถ่วงเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA) มีค่า $MAPE = 0.179$ โดยการกำหนดค่า $k = 3$ รองมาเป็นวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบง่าย (SES) มีค่า $MAPE = 0.249$ โดยการกำหนดค่า $\alpha = 0.3$ และสุดท้ายเป็นวิธีการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย มีค่า $MAPE = 0.854$ ซึ่งเป็นการบ่งชี้ได้ว่าค่าพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลของวินเทอร์มีสมการที่เหมาะสมกับการพยากรณ์ในการระบายน้ำที่ ปตร. และสอดคล้องกับหลักการพิจารณาข้อมูลในรูปแบบความเหมาะสมตามแนวโน้มและอยู่ภายใต้อิทธิพลของฤดูกาล อย่างไรก็ตามผลจากการพยากรณ์นี้เป็นการเริ่มต้นของกระบวนการหาค่าความเหมาะสม (Fitness Function) ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยจะนำรูปแบบความเหมาะสมที่ได้จากการทดลองนี้ประยุกต์ใช้งานต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนข้อมูลการระบายน้ำที่ ปตร. เชื้อนพระรามหก จากโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาป่าสักใต้ สำนักงานชลประทานที่ 10 กรมชลประทาน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

เอกสารอ้างอิง

1. สาเหตุ วิธีการป้องกันและแก้ไขสถานการณ์น้ำท่วม [อินเทอร์เน็ต]. [อ้างถึง 12 มีนาคม 2561]. Available at: <http://thammchart.blogspot.com/>
2. คัมภีร์ แสงวุธ. ทฤษฎีการแก้ไขปัญหาน้ำท่วม - ทฤษฎีการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมอันเนื่องมาจากพระราชดำริตามแนวทางการบริหารจัดการด้านน้ำท่วมล้น [อินเทอร์เน็ต]. 2559 [อ้างถึง 12 มีนาคม 2561]. Available at: http://www.chaipat.or.th/site_content
3. โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาป่าสักใต้ [อินเทอร์เน็ต]. [อ้างถึง 27 มีนาคม 2561]. Available at: <http://irrigation.rid.go.th>
4. ลักขณา ฤกษ์เกษม. การพยากรณ์ความต้องการสินค้าสำหรับการวางแผน. วารสารปาริชาติ. 28(2558)(3):290-305.
5. Imai C, Armstrong B, Chalabi Z, Mangtani P, Hashizume M. Time series regression model for infectious disease and weather. Environ Res. 2015;142:319-

327.

6. Hansun S, Kristanda MB. Performance analysis of conventional moving average methods in forex forecasting. In : 2017 International Conference on Smart Cities, Automation Intelligent Computing Systems (ICON-SONICS). 2017:11-17.
7. Saengchuenthanom. วิธีใช้ เส้นค่าเฉลี่ย (Moving Average) ในการซื้อหุ้น [อินเทอร์เน็ต]. SETMONITOR. [อ้างถึง 12 มีนาคม 2561]. Available at: <http://www.setmonitor.com/>
8. ดาว สงวนรังศิริกุล, ھرรรษา เชื้อวอนันตวานิช, มณีรัตน์ แสงเกษม. การศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาในกรุงเทพมหานคร. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 2558;38(1):35-55.
9. Standard Excel Solver - Limitations of Nonlinear Optimization [Internet]. solver. 2012 [cited 26 March 2018]. Available at: <https://www.solver.com/standard-excel-solver-limitations-nonlinear-optimization>
10. Song X, Zhao J, Wang W. Fast generalized reduced gradient algorithm based data reconciliation model. In: IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. 2017: 8791-8795.

การวิเคราะห์ข้อคำถามที่มีผลต่อการทำนายภาวะข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล

The Analysis of the Screening Questions from the Elderly's Knee Osteoarthritis Questionnaires using Data Mining Techniques

พุทธิพร ชนธรรมเมธี¹, เยาวเรศ ศิริสถิตย์กุล²
Putthiporn Thanathamthee¹, Yaowarat Sirisathitkul²

Received: 23 March 2018; Accepted: 19 June 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ข้อคำถามในแบบบันทึกการประเมินข้อเข่าเสื่อมในสมุดบันทึกสุขภาพผู้สูงอายุ ที่ส่งผลต่อการทำนายภาวะข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล เพื่อให้สามารถคัดเลือกข้อคำถามที่มีศักยภาพในการคัดกรองและทำนายภาวะข้อเข่าเสื่อมของผู้สูงอายุได้ถูกต้องแม่นยำ และนำไปใช้ในการวางแผนการส่งเสริมสุขภาพของผู้สูงอายุ ข้อมูลที่ใช้ได้จากแบบบันทึกการประเมินข้อเข่าเสื่อมในสมุดบันทึกสุขภาพผู้สูงอายุ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหาร อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 370 เล่ม เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล ใช้หลักการเลือกแบบความเที่ยงตรง 10 กลุ่ม (10-fold cross validation) และใช้เทคนิคการสกัดคุณลักษณะ (Feature extraction) 4 วิธี ประกอบด้วย 1) Double Input Symmetrical Relevance (DISR) 2) Joint Mutual Information (JMI) 3) Conditional Mutual Info Maximisation (CMIM) และ 4) Max-Relevance Min-Redundancy (MRMR) เพื่อวิเคราะห์ว่าวิธีใดเหมาะสมกับข้อมูลกลุ่มนี้ และทำการจำแนก (Classification) โดยวิธีการบูทสตรึงเสริม (AdaboostM2) ร่วมกับต้นไม้การตัดสินใจ (Decision tree) ผลการวิจัยพบว่า วิธีการสกัดคุณลักษณะแบบ DISR ให้ค่าความถูกต้องในการทำนายสูงที่สุดคือ 87.32 % และค้นพบข้อคำถาม 7 ข้อจากจำนวน 14 ข้อ ที่ส่งผลต่อการทำนายภาวะข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ

คำสำคัญ: ผู้สูงอายุ ข้อเข่าเสื่อม การคัดกรอง การสกัดคุณลักษณะ การบูทสตรึงเสริม

Abstract

The objective of this research was to analyze the questions used in knee osteoarthritis assessment of aging persons using the data mining technique. For personal health records, a good selection of questions is crucial in the accurate screening and prediction of the incidence of osteoarthritis. Furthermore, health promotion can be better planned for senior citizens. The data were from the osteoarthritis assessed reports in 370 personal health records from Ban Han Sub-district Health Promoting Hospital, Thasala District, Nakhon Si Thammarat Province. In the data mining process, data were classified into 10-fold cross validation. Four feature extraction methods, namely 1) Double Input Symmetrical (DISR) 2) Joint Mutual Information (JMI) 3) Conditional Mutual Info Maximisation (CMIM) 4) Max-Relevance Min-Redundancy (MRMR), were compared to determine the most suitable methods for this set of data. In addition, classification by multiclass boosting algorithms (AdaboostM2) was employed in conjunction with the decision tree. The results indicated that the DISR method gave rise to the best accuracy of 87.32 % and 7 out of 14 questions were highly significant in the prediction of the incidence of knee osteoarthritis.

Keywords: Elderly, Knee osteoarthritis, Screening, Feature extraction, Multiclass boosting algorithms

¹ อาจารย์, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, หลักสูตรวิศวกรรมซอฟต์แวร์ สำนักวิชาสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160

¹ Lecturer, ²Assistant Professor, Software Engineering Program, School of Informatics, Walailak University, Thasala, Nakhon Si Thammarat Thailand 80160

* Corresponding author: syaowara@wu.ac.th

บทนำ

การดูแลผู้สูงอายุในชุมชน เป็นภารกิจสำคัญในสถานการณ์ที่ประเทศไทยต้องเผชิญกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรผู้สูงอายุตามที่ระบุไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 พ.ศ. 2555-2559 (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ)¹ ซึ่งระบุว่าประเทศไทยก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุแล้วตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 จากการมีโครงสร้างสัดส่วนของประชากรวัยสูงอายุที่เพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 10 และ คาดว่าในปี พ.ศ. 2583 จะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 32.1 ดังนั้น การเตรียมความพร้อมของระบบการจัดการดูแลผู้สูงอายุจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้ผู้สูงอายุมีคุณภาพชีวิตที่ดีในช่วงวัยที่มีการเปลี่ยนแปลงของร่างกายไปในทางเสื่อมถอย สำนักงานสาธารณสุขอำเภอ และสถานบริการทางสุขภาพ ทั้ง รพท./รพช. รพช. และ รพ. สต. ล้วนเป็นหน่วยงานที่มีบทบาทหลักในการขับเคลื่อนนโยบายด้านสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับการดูแลสุขภาพผู้สูงอายุตามที่กำหนดไว้ตามแผนผู้สูงอายุแห่งชาติ ฉบับที่ 2² โดยภารกิจหลักประการหนึ่ง คือการให้ความสำคัญกับการพัฒนาระบบข้อมูลด้านผู้สูงอายุให้ถูกต้องและทันสมัย เพื่อเก็บข้อมูลสำคัญด้านผู้สูงอายุที่ง่ายต่อการเข้าถึงและสืบค้น รวมไปถึงการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาองค์ความรู้ด้านผู้สูงอายุสำหรับการกำหนดนโยบาย และการพัฒนาการบริการตลอดจนการดำเนินการที่เป็นประโยชน์แก่ผู้สูงอายุ

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข จึงมีแผนรองรับสังคมผู้สูงอายุหลายมาตรการ ซึ่งมาตรการการเตรียมความพร้อมรับมือ คือ การเตรียมจัดทำสมุดปกฟ้าหรือสมุดบันทึกผู้สูงอายุ แจกให้กับผู้สูงอายุตั้งแต่ อายุ 60 ปีขึ้นไป พกติดตัวทุกครั้งไปรับบริการในสถาน พยาบาลทุกแห่ง โดยในสมุดบันทึกแบ่งออกเป็น 4 หมวดหลัก ๆ ได้แก่ 1) บันทึกการประเมินด้วยตนเองหรือครอบครัว มีการประเมินด้านต่างๆ เช่น การประเมินพฤติกรรมการบริโภคอาหาร การคัดกรองภาวะกล้ามเนื้อปัสสาวะ การประเมินปัญหาการนอน การตรวจสุขภาพช่องปากด้วยตนเอง การตรวจเต้านมด้วยตนเอง การประเมินอาการเตือนของโรคมะเร็ง เป็นต้น 2) บันทึกการประเมินโดยอาสาสมัคร หรือบุคลากรทางการแพทย์และสาธารณสุข ได้แก่ การบันทึกคัดกรองความสามารถในการดำเนินชีวิตประจำวัน การประเมินภาวะหกล้ม การประเมินข้อเข่าเสื่อม การประเมินโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดสมอง การคัดกรองสุขภาพทางตา และ การประเมินมาตรฐานสุขภาพอนามัยผู้สูงอายุ และบันทึกการตรวจรักษาพยาบาล ได้แก่ การตรวจสุขภาพประจำปี การตรวจร่างกายและรักษาพยาบาล การได้รับวัคซีนป้องกันโรค และการเยี่ยมบ้านโดยเจ้าหน้าที่สาธารณสุข หรืออาสาสมัคร เป็นต้น 3) บันทึกการประเมินผู้สูงอายุที่ต้อง

ได้รับการดูแลระยะยาว ได้แก่ การประเมินด้านสังคม การประเมินสภาพการทดสอบสภาพสมองเบื้องต้น การประเมินภาวะกล้ามเนื้อล้ามาก การประเมินภาวะซึมเศร้า และ 4) บันทึกการตรวจรักษาพยาบาล โดยบุคลากรทางการแพทย์และสาธารณสุข ได้แก่ บันทึกการตรวจสุขภาพประจำปี บันทึกการตรวจร่างกายและรักษาพยาบาล บันทึกการได้รับวัคซีนป้องกันโรค และบันทึกการเยี่ยมบ้านโดยเจ้าหน้าที่สาธารณสุข หรืออาสาสมัคร ปัจจุบัน โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล (รพ. สต.) มีขีดความสามารถระดับปฐมภูมิ (Primary care) ให้บริการสาธารณสุขที่หลากหลาย อาทิ การส่งเสริมสุขภาพ การป้องกันโรค การรักษาพยาบาล การฟื้นฟูสภาพ และการคุ้มครองผู้บริโภค ได้เก็บรวบรวมข้อมูลสุขภาพของผู้สูงอายุ โดยใช้สมุดบันทึกสุขภาพผู้สูงอายุเพื่อการส่งเสริมสุขภาพ ที่ผู้สูงอายุใช้บันทึกปัญหาสุขภาพของตนเอง แพทย์และบุคลากร สาธารณสุข บันทึกข้อมูลการตรวจรักษาต่างๆ ผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ เพื่อสามารถติดตามการรักษาได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งช่วยประกอบการตัดสินใจให้การรักษาผู้สูงอายุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากสถานการณ์ด้านสุขภาพของผู้สูงอายุ โรคที่พบบ่อยในผู้สูงอายุในระบบกล้ามเนื้อ กระดูก และข้อ คือ โรคข้อเข่าเสื่อม และจากสถิติของผู้ป่วยโรคกระดูกและข้อในประเทศไทยของมูลนิธิโรคข้อพบว่า ในปี พ.ศ. 2549 ประเทศไทยมีผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมกว่า 6 ล้านคนในทุกกลุ่มอายุ และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นทุกๆ ปี เพศชายและหญิงที่มีอายุ 75 ปีขึ้นไป จะป่วยเป็นโรคข้อเข่าเสื่อมมากกว่าร้อยละ 80-90 สาเหตุสำคัญมาจากการดูแลตัวเองไม่ค่อยถูกต้องในเรื่องกิจวัตรประจำวัน อาหารการกิน การทำงาน และการดูแลตัวเอง

โรคข้อเข่าเสื่อม (Knee osteoarthritis) เป็นความบกพร่องของกระดูกข้อและกล้ามเนื้อเข่าที่พบได้บ่อยในผู้สูงอายุ ส่งผลทำให้ร่างกายเคลื่อนไหวในกิจวัตรประจำวันได้ลำบาก เช่น การลุกยืน การนั่ง และการเดิน เป็นต้น³ และทำให้ผู้สูงอายุเสี่ยงต่อการหกล้ม และนำไปสู่ความทุพพลภาพ ทำให้เป็นภาระพึ่งพิงของครอบครัว ผู้ดูแล และชุมชน เนื่องจากทำให้ถูกจำกัดการเคลื่อนไหว กระทบต่อการทำกิจวัตรประจำวัน เกิดความทุกข์ทรมาน ส่งผลทำให้คุณภาพชีวิตลดลง ทำให้รู้สึกแยกตัวจากสังคม และเกิดภาวะซึมเศร้าได้⁴

ยูวดี สารบุรณ และคณะ⁵ ศึกษาการรับรู้เกี่ยวกับสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคข้อเข่าเสื่อม 3 อันดับแรก คือ อายุที่มากขึ้น การไม่ออกกำลังกาย และการรับประทานอาหารไม่เหมาะสม ความเสี่ยงด้านสุขภาพที่จะทำให้เกิดโรคข้อเข่าเสื่อมคือ ภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน และความเสี่ยงด้านลักษณะการทำกิจกรรมที่จะทำให้เกิดโรคข้อเข่าเสื่อมคือ การนั่งพับเพียบและการนั่งขัดสมาธิ ซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยของ จันทรจิรา เกิดวัน และคณะ⁶

ที่ระบุว่า ปัจจัยที่เกี่ยวข้องของโรคข้อเข่าเสื่อมคือ เพศหญิง และผู้ที่มีดัชนีมวลกายมากกว่า 23.0 กิโลกรัมต่อตารางเมตร เครื่องมือทางการแพทย์ที่ใช้ในการตรวจประเมินภาวะข้อเข่าเสื่อมคือ การถ่ายภาพเอ็กซเรย์ และการตรวจน้ำในข้อ ซึ่งมีผลวิจัยระบุว่า อาการของข้อเข่าเสื่อมมีความสัมพันธ์เพียงเล็กน้อยกับการตรวจประเมินด้วยการถ่ายภาพเอ็กซเรย์³ เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินข้อเข่าเสื่อมได้แก่ แบบสอบถาม Knee Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) และแบบสอบถาม Kujala scale ซึ่งมีข้อด้อยคือ ข้อคำถามบางข้อไม่เหมาะในการใช้กับผู้สูงอายุ เช่น การวิ่ง การกระโดด ข้อคำถามมีจำนวนมากทำให้ใช้เวลานานในการประเมิน สำหรับแบบสอบถามมาตรฐาน Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis (WOMAC) เป็นแบบสอบถามที่มีความจำเพาะกับผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อม เป็นเครื่องมือที่ประเมินความรุนแรงของอาการและการติดตามผลการรักษาในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม แบบสอบถาม WOMAC 5-point Likert ฉบับภาษาไทย ประกอบด้วย 3 หมวด คือ อาการปวด ข้อติด และความสามารถในการทำกิจกรรมต่างๆ จำนวน 24 ข้อ แบบประเมิน WOMAC เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีความเที่ยงสูง ง่าย ประหยัดค่าใช้จ่าย และใช้เวลาน้อย³ เหมาะสำหรับการใช้ในโรงพยาบาลและชุมชน และงานวิจัยของวิญญูทิพย์ บุญทัน และคณะ⁷ ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอาการปวด ข้อติด ความสามารถในการใช้งานข้อกับการทรงตัวของผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อมในชุมชนเทศบาลตำบลบางเสาธง อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ โดยใช้แบบประเมิน WOMAC ด้วยเช่นกัน

โรคข้อเข่าเสื่อมระยะเริ่มต้น เป็นชนิดที่มีผู้ป่วยและกลุ่มเสี่ยงอยู่ในชุมชนจำนวนมาก และสามารถรับบริการสุขภาพ ณ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลได้⁸ แต่ผลการสำรวจสุขภาพของผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2556 พบว่าผู้สูงอายุที่ได้รับการประเมินระดับความรุนแรงของโรคข้อเข่าเสื่อมมีจำนวนเพียงร้อยละ 12.30 เท่านั้น ทั้งนี้ อาจเนื่องจากองค์ความรู้เกี่ยวกับการประเมินโรคข้อเข่าเสื่อมยังไม่เป็นที่แพร่หลายในกลุ่มบุคลากรสุขภาพ โดยเฉพาะพยาบาลเวชปฏิบัติที่ปฏิบัติงาน ณ หน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ ซึ่งเป็นบุคลากรหลักในการคัดกรองและส่งต่อกลุ่มผู้สูงอายุโรคข้อเข่าเสื่อม รวมทั้งให้การพยาบาลเพื่อบำบัดอาการและชะลอความรุนแรงของโรคอย่างมีประสิทธิภาพ และจากการรายงานผลการสำรวจสุขภาพของผู้สูงอายุไทยใน พ.ศ. 2556 พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ได้รับบริการตรวจคัดกรองจากโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลมากที่สุดถึงร้อยละ 37.80 และหากผู้ปฏิบัติหน้าที่ในสถานบริการสุขภาพระดับปฐมภูมิ สามารถคัดกรองเพื่อวินิจฉัย

ความผิดปกติตั้งแต่ระยะแรกเริ่ม ระบุกรณีเสี่ยง (Risk) และกรณีป่วย (Case) ได้อย่างแม่นยำ รวดเร็วและครอบคลุมกลุ่มเป้าหมายในพื้นที่ที่รับผิดชอบ^{8,9} ที่ระบุว่า การคัดกรองจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาประชากรกลุ่มเสี่ยง ช่วยลดปัจจัยเสี่ยงที่ปรับเปลี่ยนได้ของผู้ป่วย และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายจากการลดโอกาสการเกิดโรคแทรกซ้อนมากขึ้น

ในปัจจุบัน หน่วยงานต่าง ๆ ต้องจัดเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูลขนาดใหญ่จำนวนมาก การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่เหล่านี้ จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการทำเหมืองข้อมูล ซึ่งเป็นกระบวนการจัดการกับข้อมูลจำนวนมากเพื่อค้นหารูปแบบความสัมพันธ์ที่อยู่ในชุดข้อมูลนั้น หรือเป็นการจัดการเพื่อให้ได้องค์ความรู้ใหม่ โดยขั้นตอนการทำเหมืองข้อมูลมีดังนี้ 1) ทำความเข้าใจปัญหา 2) ทำความเข้าใจข้อมูล ตรวจสอบและเก็บรวบรวมข้อมูล 3) การเตรียมข้อมูล ทำการคัดเลือกข้อมูลที่จะนำมาใช้ ปรับเปลี่ยนรูปแบบข้อมูล เตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม เช่น เลือกเฉพาะข้อมูลที่สนใจ หรือการคัดเลือกคุณลักษณะข้อมูลที่สำคัญ (Feature selection) 4) สร้างแบบจำลอง เลือกอัลกอริทึมที่เหมาะสมในการทำเหมืองข้อมูล ไม่ว่าจะเป็นการสร้างแบบจำลองเพื่อการทำนายหรือแบบจำลองในการหาความสัมพันธ์ เป็นต้น หลังจากนั้นสร้างแบบจำลองตามอัลกอริทึมที่เลือก และทดสอบแบบจำลองที่ได้นำมาใช้ว่ามีความถูกต้องน่าเชื่อถือเพียงใด 5) การประเมิน โดยทำการประเมินแบบจำลองที่สร้างขึ้น โดยการนำไปใช้กับสถานการณ์จริงหรือสถานการณ์จำลอง เพื่อดูว่าแบบจำลองได้ผลหรือไม่ และ 6) การนำไปใช้ เป็นการนำไปใช้และตรวจสอบว่าบรรลุตามเป้าหมายที่ตั้งไว้มากน้อยเพียงใด ซึ่งในปัจจุบัน การทำเหมืองข้อมูลได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานหลายประเภท เช่น งานด้านธุรกิจ ด้านการตลาด ด้านวิทยาศาสตร์ และด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ เป็นต้น

งานวิจัยที่นำเทคนิคการทำนายและการวิเคราะห์ปัจจัยมาช่วยในการทำนายข้อมูลด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ งานวิจัยของ Nair et al.¹⁰ ทำนายการเกิดภาวะซึมเศร้า รวมทั้งระบุปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์ภาวะซึมเศร้าโดยสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายปัจจัยที่มีผลต่อภาวะซึมเศร้า ทำการทดลองโดยนำแต่ละปัจจัยมาทำนายค่าด้วยโครงข่ายประสาทเทียม แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ ผลปรากฏว่า ปัจจัยที่สำคัญ คือ ความโศกเศร้า (Sadness) ขาดความสนใจ (Lost of interest) รู้สึกเหน็ดเหนื่อย (Tiredness) และนอนไม่หลับ (Sleeping trouble)

โดยทั่วไปแล้วการคัดกรองและการแบ่งระดับภาวะซึมเศร้ายังทำด้วยมือ และต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์ อาจจะ

มีผลทำให้เกิดความลำเอียง อีกทั้งในการแบ่งระดับภาวะซีมเซ้า ส่วนใหญ่แล้วอยู่ในลักษณะช่วงค่าต่อเนื่อง (Continuous ranges) เช่น ระดับเล็กน้อยถึงระดับปานกลาง (Mild to moderate) หรือ ระดับปานกลางจนถึงระดับรุนแรง (Moderate to severe) งานวิจัยของ Chattopadhyay et al.¹¹ จึงมีเป้าหมายเพื่อต้องการแบ่งระดับภาวะซีมเซ้าที่ได้จากการทำนาย เป็นระดับของอาการที่ชัดเจน คือ ระดับเล็กน้อย (Mild) ระดับปานกลาง (Moderate) และระดับรุนแรง (Severe) โดยแปลงค่าตอบของแต่ละข้อที่ได้จากแบบสอบถามให้อยู่ในช่วงค่าตัวเลข ดังนี้ 0, 0.5, และ 1.0 หลังจากนั้นทำนายผลโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Back propagation neural network) และวิธีฟัซซี่ (Adaptive network-based fuzzy inference system)

งานวิจัยของ Ekong et al.¹² ได้นำเสนอแบบจำลองระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับแพทย์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และทำนายภาวะซีมเซ้า ซึ่งประยุกต์ใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมร่วมกับระบบฟัซซี่และวิธีการให้เหตุผลตามกรณีเป็นหลัก (Case based reasoning) การประเมินเป็นแบบสอบถาม 25 ข้อ ที่ครอบคลุมอาการที่แสดงออก 5 ด้าน ประกอบด้วย ด้านร่างกาย (Physical) ด้านอารมณ์ (Emotional) ด้านความคิด (Cognitive) ด้านพฤติกรรม (Behavioral) และด้านกายภาพ (Physiological) นำระบบฟัซซี่มาใช้ในการหาระดับของอาการทั้ง 25 อาการ ซึ่งจะมีอาการในระดับต่ำ (Low) ปานกลาง (Medium) สูง (High) และสูงมาก (Very High) และใช้ในการหาระดับของภาวะซีมเซ้าที่อยู่ในระดับไม่มีภาวะซีมเซ้า (Near absent) ซีมเซ้าเล็กน้อย (Mild) ปานกลาง (Moderate) และระดับรุนแรง (Severe) หลังจากนั้นแปลงค่าระดับต่างๆ ของอาการให้อยู่ในรูปตัวเลข เพื่อนำไปเป็นข้อมูลเข้าในโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการทำนายระดับของภาวะซีมเซ้าต่อไป และนำผลที่ได้ไปสร้างเป็นระบบการให้เหตุผลตามกรณีเป็นหลักเพื่อนำมาใช้สนับสนุนการตัดสินใจในการรักษาอาการภาวะซีมเซ้าของแพทย์

สำหรับงานวิจัยของ Dasari et al.¹³ ได้นำเสนอแบบจำลองที่ใช้ในการทำนายภาวะซีมเซ้าโดยใช้วิธี Neuro-Fuzzy ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมร่วมกับระบบฟัซซี่ ซึ่งมีอาการที่เกี่ยวข้องกับภาวะซีมเซ้า 7 อาการ มาเป็นข้อมูลนำเข้าในระบบฟัซซี่ คือ โศกเศร้า (Feeling sad) สูญเสียความสุข (Loss of pleasure) น้ำหนักลด (Weight loss) นอนไม่หลับ (Insomnia) ง่วงนอนตลอดเวลา (Hypersomnia) และเบื่ออาหาร (Loss of appetite) โดยจะบอกระดับของอาการต่างๆ หลังจากนั้นแปลงค่าระดับต่างๆ ของอาการให้อยู่ในรูปตัวเลข เพื่อนำไปเป็นข้อมูลเข้าในโครงข่ายประสาท

เทียมเพื่อใช้ในการทำนายระดับของภาวะซีมเซ้า

งานวิจัยของ Park et al.¹⁴ ได้นำเสนอแบบจำลองที่ใช้สำหรับระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อป้องกันบ่งบอกลักษณะหรือทำนายการเกิดภาวะซีมเซ้าในผู้สูงอายุ โดยใช้วิธีต้นไม้การตัดสินใจร่วมกับวิธีการทางสถิติ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีดังกล่าวอยู่ในรูปของกฎการเรียนรู้ ซึ่งกฎเหล่านี้ได้ถูกนำไปสร้างระบบฐานความรู้เพื่อการตัดสินใจ

งานวิจัยของ Thanathamthee¹⁵ ได้ใช้วิธีการ Boosting decision tree เพื่อทำนายการเกิดภาวะซีมเซ้า และคัดเลือกคุณลักษณะแบบ MRMR เพื่อคัดกรองข้อความประเมินที่ไวต่อภาวะซีมเซ้าในวัยรุ่นของโรงพยาบาลท่าศาลา อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งคัดกรองข้อความได้ 12 ข้อ จาก 20 ข้อคำถาม และงานวิจัยของกรัณรัตน์ ธรรมรักษ์ และ พุทธิพร ธนธรรมเมธี¹⁶ ได้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพการทำนายความเสี่ยงการเกิดโรคไม่ติดต่อบนเว็บแอปพลิเคชันจำนวน 3 โรค คือ โรคเบาหวาน โรคหัวใจ และโรคหลอดเลือดสมอง โดยใช้วิธีการคัดเลือกคุณลักษณะแบบ MRMR เพื่อลดจำนวนข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการทำนาย รวมทั้งเพิ่มความแม่นยำในการทำนายด้วยวิธีบูตสตรึงโครงข่ายประสาทเทียม วิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ให้ผลลัพธ์ด้านประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับเพียงอย่างเดียว

การพยากรณ์ความเสี่ยงที่จะเกิดโรคของแต่ละระดับช่วงอายุโดย FCA กรณีศึกษาโรงพยาบาลส่งเสริมตำบลบ้านสมควร อำเภอจุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช (กรมลพนาพิทักษ์กุล และคณะ)¹⁷ นำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามามีส่วนร่วมในการประยุกต์ในการดูแลสุขภาพของผู้ใช้ โดยวิธีการจำแนกระดับช่วงอายุตามความนิยมส่วนใหญ่ที่ผู้ป่วยเกิดโรค ซึ่งเป็นการอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้ได้ค้นหาข้อมูลที่รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยการใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลมาเป็นส่วนช่วยในการค้นพบองค์ความรู้ที่น่าสนใจ ข้อมูลที่เกี่ยวข้องและใช้การค้นหากฎความสัมพันธ์ร่วมกับวิธีการ Formal concept analysis เข้ามาพยากรณ์ความเสี่ยงที่จะเกิดโรคของแต่ละระดับช่วงอายุ ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้แนะนำให้ผู้ป่วยหรือผู้ที่อยู่ในภาวะเสี่ยงรู้ว่าควรปฏิบัติอย่างไรเพื่อดูแลและรักษาร่างกายให้แข็งแรงปราศจากการเจ็บป่วยและเสียชีวิตก่อนวัยอันควร

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์ภาวะแทรกซ้อนของโรคอื่นในผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล: กรณีโรงพยาบาลปทุมธานี¹⁸ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองพยากรณ์ภาวะแทรกซ้อนของโรคอื่นในผู้ป่วยโรคเบาหวาน และทดสอบแบบจำลองกับกลุ่มงานอายุรกรรม ห้องตรวจผู้ป่วยเบาหวาน โรงพยาบาลปทุมธานี โดยใน

งานวิจัยนี้มีการนำเสนอการเปรียบเทียบผลการพยากรณ์โดยวิธีการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่าง Apriori algorithm และ FPGrowth algorithm

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการทำนายการคลอดก่อนกำหนดในหญิงตั้งครรภ์ในโรงพยาบาลตำรวจ¹⁹ โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล วิธีการจำแนกประเภทข้อมูล และวิธีต้นไม้ตัดสินใจ ด้วยโปรแกรม WEKA เพื่อหาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการทำนายการคลอดก่อนกำหนดในหญิงตั้งครรภ์ที่คลอดมีชีพ โดยปรับเปลี่ยนข้อมูลด้วยวิธีสุ่มเพิ่มข้อมูล และใช้เทคนิค SMOTE และทดสอบด้วยวิธีการตรวจสอบไขว้แบบ 10 กลุ่ม และมีค่าความถูกต้องร้อยละ 90.37

งานวิจัยที่อื่น ๆ ที่ใช้งานเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล เช่น งานวิจัยของชลิตา เจริญเนตร และคณะ²⁰ ซึ่งทำการเปรียบเทียบผลการใช้งานเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลในการจำแนกใบหน้าของคน และพบว่า วิธี Multilayer perceptron มีความถูกต้องสูงกว่าวิธีอื่นๆ นอกจากนี้ งานวิจัยของธิดาภัทร อนุชาญ และนิติ เอี่ยมชื่น²¹ ใช้ต้นไม้การตัดสินใจเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่วม และงานวิจัยของอนันต์ ปิณะเต²² ใช้ต้นไม้การตัดสินใจและการเรียนรู้แบบอย่างง่าย และเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากค่าความถูกต้อง (Accuracy) เพื่อนำไปพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจการเลือกสาขาวิชาเพื่อศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี

วัตถุประสงค์และวิธีการศึกษา

ข้อมูล

ข้อมูลที่ทำกรวิเคราะห์นำมาจาก รพ.สต. บ้านหาร อำเภอบ้านคา จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นข้อมูลผู้สูงอายุ 370 ตัวอย่าง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558–2559 ซึ่งประกอบด้วย เพศ ค่า BMI และข้อมูลจากแบบบันทึกการประเมินข้อเข่าเสื่อมในสมุดบันทึกสุขภาพผู้สูงอายุเพื่อประเมินระดับความรุนแรงของโรคข้อเข่าเสื่อม โดยใช้ Oxford Knee Score จำนวน 12 ข้อ แต่ละข้อมีระดับคะแนน 5 ระดับ โดย ระดับ 0 คือ รุนแรง และระดับ 4 คือ ปกติ ตามลำดับ ดังนั้นคุณลักษณะที่ใช้ในการทำนายผลการเกิดข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ จึงมีทั้งหมด 14 ข้อ ดังแสดงใน Table 1 เมื่อทำการทดสอบค่าความเชื่อมั่นสำหรับแบบบันทึกการประเมินข้อเข่าเสื่อมในสมุดบันทึกสุขภาพผู้สูงอายุที่มีข้อคำถามข้างต้น โดยใช้ Cronbach's alpha พบว่ามีค่าความเชื่อมั่น คือ 0.95 แสดงว่าแบบสอบถามกลุ่มนี้มีความน่าเชื่อถือและยอมรับได้

การประเมินระดับความรุนแรงของโรคข้อเข่าเสื่อม โดยใช้เกณฑ์ในสมุดบันทึกสุขภาพผู้สูงอายุ จำแนกความรุนแรงออกเป็น 4 ระดับ คือ 0 = ยังไม่พบอาการผิดปกติ

(40 – 48 คะแนน) ควรตรวจร่างกายเป็นประจำทุกปี 1= เริ่มมีอาการข้อเข่าเสื่อม (30 – 39 คะแนน) ควรได้รับคำแนะนำจากบุคลากรทางการแพทย์และการทำกิจกรรมอย่างเหมาะสม 2 = มีอาการโรคข้อเข่าเสื่อมระดับปานกลาง (20 – 29 คะแนน) ควรปรึกษาสัตวแพทย์ผู้เชี่ยวชาญกระดูกและข้อเพื่อรับการตรวจรักษา และ 3 = เป็นโรคข้อเข่าเสื่อมระดับรุนแรง (0 – 19 คะแนน) ควรรับการรักษาจากสัตวแพทย์ผู้เชี่ยวชาญกระดูกและข้อทันที พบว่าผลการประเมินข้อมูลผู้สูงอายุ 370 ตัวอย่าง อยู่ในกลุ่มระดับ 0 ยังไม่พบอาการผิดปกติจำนวน 200 คน กลุ่มระดับ 1 เริ่มมีอาการข้อเข่าเสื่อม จำนวน 115 คน กลุ่มระดับ 2 มีอาการโรคข้อเข่าเสื่อมระดับปานกลางจำนวน 39 คน และกลุ่มระดับ 3 เป็นโรคข้อเข่าเสื่อมระดับรุนแรงจำนวน 16 คน

Table 1 Features and questions for knee osteoarthritis assessment

| Question No. | Features and questions |
|--------------|--|
| 1 | เพศ |
| 2 | ค่า BMI |
| 3 | ลักษณะอาการเจ็บปวดเข่าของท่าน |
| 4 | ท่านมีปัญหาเรื่องเข่าในการทำกิจวัตรประจำวันด้วยตนเองหรือไม่ เช่นการยืนอาบน้ำ เป็นต้น |
| 5 | ท่านมีปัญหาเรื่องเข่า เมื่อก้าวขึ้นลงรถ หรือรถประจำทางหรือไม่ |
| 6 | ระยะเวลานานเท่าไรที่ท่านเดินได้มากที่สุดก่อนที่ท่านจะมีอาการปวดเข่า |
| 7 | หลังทานอาหารเสร็จ ในขณะที่ลุกจากเก้าอี้หนึ่ง เข่าของท่านมีอาการอย่างไร |
| 8 | ท่านต้องเดินโยกตัว (เดินกระเผลกกระเผลก) เพราะอาการที่เกิดจากเข่าของท่านหรือไม่ |
| 9 | ท่านสามารถนั่งลงคุกเข่าและลุกขึ้นได้หรือไม่ |
| 10 | ท่านมีปัญหาปวดเข่าในขณะที่นอนกลางคืนหรือไม่ |
| 11 | ในขณะที่ท่านทำงาน/ทำงานบ้าน ท่านมีอาการปวดเข่าหรือไม่ |
| 12 | ท่านเคยมีความรู้สึกว่าเข่าของท่านทรุดลงทันทีหรือหมดแรงทันทีจนตัวทรุดลง |
| 13 | ท่านสามารถไปซื้อของใช้ต่าง ๆ ได้ด้วยตัวท่านเอง |
| 14 | ท่านสามารถเดินลงบันไดได้หรือไม่ |

วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เริ่มต้นโดยการเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานในโปรแกรม MATLAB ซึ่งประกอบด้วยการคำนวณค่า Feature score ของข้อคำถามทั้ง 14 ข้อ

การแบ่งข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อคำถามที่มีผลต่อการทำนายภาวะข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ โดยใช้หลักการเลือกแบบความเที่ยงตรง 10 กลุ่ม (10-fold cross validation) และใช้งานเทคนิคการสกัดคุณลักษณะ 4 วิธี (Brown et al.)²³ ซึ่งทั้ง 4 วิธี ใช้ค่า Mutual Information สำหรับการวิเคราะห์ว่าวิธีใดเหมาะสมกับข้อมูลกลุ่มนี้ เทคนิคการสกัดคุณลักษณะ ทั้ง 4 วิธี ประกอบด้วย 1. Double Input Symmetrical Relevance (DISR) 2. Joint Mutual Information (JMI) 3. Conditional Mutual Info Maximisation (CMIM) 4. Max-Relevance Min-Redundancy (MRMR) ซึ่งทั้ง 4 วิธี เป็นเทคนิคการสกัดคุณลักษณะในกลุ่ม Filter Method ที่มีความรวดเร็วในประมวลผล และประเมินความสำคัญของแต่ละคุณลักษณะตามเกณฑ์การให้คะแนนแบบฮิวริสติก (Heuristic scores criteria) ที่พิจารณา ค่า Information Gain ค่า Mutual Information ค่า Chi-Square หรือ ค่า Cross Entropy หากคุณลักษณะใดให้ค่าคะแนนความเกี่ยวข้องสูงจะถูกคัดเลือกเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการจำแนกต่อไป (Liu et al.)²⁴ ขั้นตอนการจำแนก งานวิจัยนี้ใช้การบูรณส่งเสริม (AdaboostM2) ร่วมกับต้นไม้การตัดสินใจ (Decision tree) เนื่องจากวิธีนี้ให้ผลลัพธ์ด้านความถูกต้องสูงในการทำนาย

ขั้นตอนการคำนวณความถูกต้อง (Accuracy) งานวิจัยนี้ ทำการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองการทำนายภาวะข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ โดยพิจารณาค่าจากตาราง Confusion matrix ซึ่ง Confusion matrix คือ ตารางจัตุรัสที่มีจำนวนแถวเท่ากับจำนวนคอลัมน์ และเท่ากับจำนวนกลุ่ม(Class) ที่ต้องการแบ่ง (เอกสิทธิ์ พัทชรพงศ์ศักดิ์)²⁵ ดังแสดงใน Table 2 ซึ่งแสดงตาราง Confusion matrix ของข้อมูล ซึ่งมีข้อมูล 2 Class คือ Positive และ Negative ข้อมูลด้านคอลัมน์ คือ Class ที่อยู่ในข้อมูลจริง (Actual) และข้อมูลในแนวแถว คือ Class ที่แบบจำลองทำนายได้ (Predicted)

Table 2 Confusion matrix

| | | Actual | |
|-----------|----------|----------|----------|
| | | Positive | Negative |
| Predicted | Positive | TP | FP |
| | Negative | FN | TN |

โดยกำหนดให้

- TP เป็นจำนวนข้อมูลที่ทำนายถูกต้องในกลุ่มบวก (Positive)
- TN เป็นจำนวนข้อมูลที่ทำนายถูกต้องในกลุ่มลบ (Negative)
- FP เป็นจำนวนข้อมูลที่ทำนายผิดว่าอยู่ในกลุ่มบวก (Positive)
- FN เป็นจำนวนข้อมูลที่ทำนายผิดว่าอยู่ในกลุ่มลบ (Negative)

ขั้นตอนการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยใช้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ซึ่งคำนวณจากสมการ

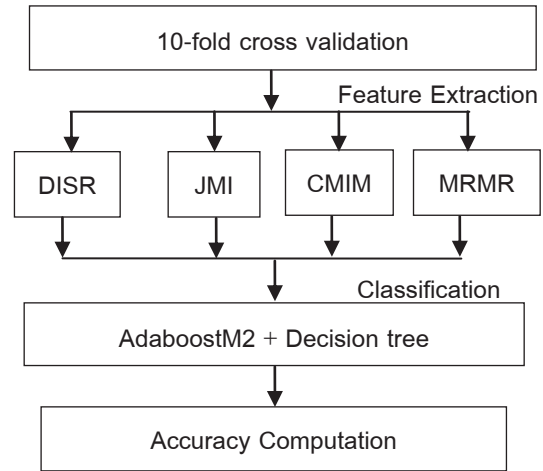
$$\text{ค่าความถูกต้อง} = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN}$$


Figure 1 Research Diagram

รายละเอียดขั้นตอนวิธีการสกัดคุณลักษณะข้อคำถาม เพื่อการทำนายภาวะข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ ใน Figure 1 มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คือ แบ่งชุดข้อมูลออกเป็นชุดสอนกับชุดทดสอบอย่างละ 10 ชุด กำหนดสัดส่วนเป็น ชุดสอน 90% และชุดทดสอบ 10 % ด้วยวิธี 10-fold cross-validation

ขั้นตอนที่ 2 นำข้อมูลชุดสอนแต่ละชุดมาทำการสกัดคุณลักษณะโดยใช้ทั้ง 4 วิธีข้างต้นเพื่อให้ได้ข้อคำถามที่สำคัญต่อการทำนายภาวะข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ พร้อมกับการจำแนกโดยใช้การบูรณส่งเสริมร่วมกับตัวเรียนรู้พื้นฐาน (Based learner) คือ ต้นไม้การตัดสินใจ C4.5 และใช้จำนวนตัวส่งเสริมการเรียนรู้ (Learners) 500 ตัว

ขั้นตอนที่ 3 นำข้อมูลชุดทดสอบแต่ละชุดมาทดสอบกับแบบจำลอง และคำนวณค่าความถูกต้อง (Accuracy) ในการทำนายภาวะข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ ซึ่งเป็นการประเมินระดับความรุนแรงของโรคข้อเข่าเสื่อม โดยใช้เกณฑ์ในสมุดบันทึกสุขภาพผู้สูงอายุ ที่จำแนกความรุนแรงออกเป็น 4 Class คือ 0 = ยังไม่พบอาการผิดปกติ 1= เริ่มมีอาการข้อเข่าเสื่อม 2 = มีอาการโรคข้อเข่าเสื่อมระดับปานกลาง และ 3 = เป็นโรคข้อเข่าเสื่อมระดับรุนแรง

ผลการศึกษา

งานวิจัยนี้เริ่มต้นการทดลองโดยคำนวณ Feature scores ของข้อคำถามทั้ง 14 ข้อ ดังแสดงใน Table 3 โดย Feature Scores ที่มีค่าน้อย จะบ่งบอกถึงค่า Mutual Information

ของคุณลักษณะนั้นๆ ที่มีคุณสมบัติที่จะถูกคัดเลือกเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการจำแนกต่อไป ซึ่งพบว่า ข้อคำถามเรื่องเพศมีค่าคะแนนสูงกว่าข้อคำถามข้ออื่น ๆ ดังนั้น จึงไม่มีผลต่อโอกาสการเป็นโรค เมื่อใช้งานคุณลักษณะทั้ง 14 ข้อ และจำแนกโดยวิธีต้นไม้การตัดสินใจพบว่า ค่าความถูกต้องเท่ากับ 85.18 % เพื่อใช้ค่านี้ในการเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ ที่นำเสนอจากนั้นดำเนินการทดลองด้วยขั้นตอนและกรอบแนวคิดที่นำเสนอใน Figure 1 เพื่อวิเคราะห์ข้อคำถามในแบบบันทึกการประเมินข้อเข้าเสื่อมในสมุดบันทึกสุขภาพผู้สูงอายุที่ส่งผลต่อการทำนายภาวะข้อเข้าเสื่อมในผู้สูงอายุ เมื่อใช้เทคนิคการ

สกัดคุณลักษณะทั้ง 4 วิธี และการจำแนกโดยใช้ทั้งการบุทส่งเสริมและต้นไม้การตัดสินใจ พบว่าให้ค่าความถูกต้องสูงกว่า 85.18 % ดังแสดงใน Table 4

กราฟเปรียบเทียบค่าความถูกต้องจากการจำแนกโดยมีจำนวนข้อคำถามที่แตกต่างกันในแต่ละวิธี ซึ่งใช้จำนวนข้อคำถาม 3-13 ข้อคำถาม (ข้อคำถามลำดับที่ 1 ถึง 14 ใน Table 1) แสดงใน Figure 2 และผลการวิเคราะห์ลำดับความสำคัญของข้อคำถามที่ส่งผลต่อการทำนายภาวะข้อเข้าเสื่อมในผู้สูงอายุที่สกัดได้จากแต่ละวิธีมีรายการและลำดับความสำคัญ ดังแสดงใน Table 5

Table 3 Feature scores of question no. 1 - 14

| Question No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Feature Scores | 2.31 | 1.96 | 2.72 | 1.23 | 0.65 | 1.76 | 0.76 | 0.93 | 1.52 | 2.28 | 2.60 | 2.47 | 0.34 | 2.01 |

Table 4 Accuracy and Running Time of 4 approaches

| Approach | Number of Feature | Accuracy (%) | Running Time |
|------------------------------------|-------------------|--------------|---------------|
| Decision tree + Boosting with DISR | 7 | 87.32 | 29.63 seconds |
| Decision tree + Boosting with JMI | 7 | 86.51 | 30.95 seconds |
| Decision tree + Boosting with CMIM | 6 | 86.27 | 30.08 seconds |
| Decision tree + Boosting with MRMR | 7 | 85.95 | 29.86 seconds |

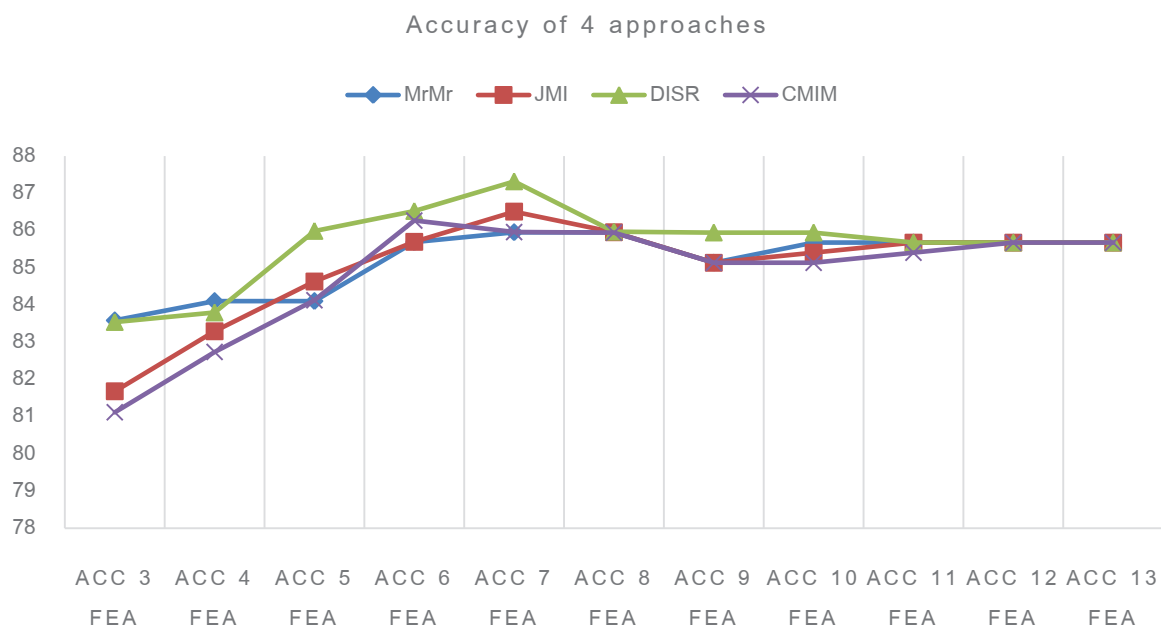


Figure 2 Accuracy result of number of features in each approach

Table 5 Sequence of features in each approach, ordering by Mutual Information

| Approach | Question No. | Question No. | Question No. | Question No. | Question No. | Question No. | Question No. |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| DISR | 7 | 13 | 5 | 8 | 4 | 9 | 6 |
| JMI | 7 | 13 | 5 | 8 | 9 | 10 | 4 |
| CMIM | 7 | 13 | 9 | 5 | 8 | 6 | |
| MRMR | 7 | 13 | 5 | 9 | 6 | 10 | 8 |

วิจารณ์และสรุปผล

จากการประเมินความถูกต้องของเทคนิคการสกัดคุณลักษณะของทั้ง 4 วิธี และการจำแนกโดยใช้ทั้งการบวทงเสริมและต้นไม้การตัดสินใจ พบว่า ทั้ง 4 วิธี ให้ค่าความถูกต้องสูงกว่าการใช้งานคุณลักษณะทั้ง 14 ข้อและใช้วิธีจำแนกโดยวิธีต้นไม้การตัดสินใจ และใช้งานคุณลักษณะหรือข้อคำถามจำนวนน้อยกว่า และวิธีการสกัดคุณลักษณะแบบ DISR ให้ค่าความถูกต้องในการทำนายสูงที่สุดคือ 87.32 % และทั้ง 4 วิธีให้ค่าความถูกต้องในการทำนายสูงที่สุดเมื่อใช้งานคุณลักษณะหรือข้อคำถามจำนวน 6-7 ข้อ จึงสรุปว่า จากข้อคำถามจำนวน 14 ข้อ มีข้อคำถาม 6-7 ข้อที่ส่งผลต่อการทำนายภาวะข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ

เมื่อพิจารณาลำดับความสำคัญของข้อคำถามที่สกัดได้จากทั้ง 4 วิธี พบว่า ข้อคำถามที่ 7 คือ หลังทานอาหารเสร็จ ในขณะที่ลุกจากเก้าอี้ นั่ง เข่าของท่านมีอาการอย่างไร เป็นข้อคำถามลำดับแรกในทั้ง 4 วิธี และข้อคำถามที่ 13 ท่านสามารถไปซื้อของใช้ต่างๆ ได้ด้วยตัวท่านเอง เป็นข้อคำถามลำดับที่สองในทั้ง 4 วิธี จึงสรุปว่า ข้อคำถามทั้ง 2 ข้อ มีความสำคัญต่อการทำนายภาวะข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ เนื่องจากทั้งสองข้อคำถามนี้ เป็นข้อคำถามที่สอดคล้องกับอาการข้อเข่าเสื่อมอย่างชัดเจน (Dawson et al.)²⁶ คือ อาการเหล่านี้จะพบบ่อยและปวดมากขึ้นเมื่อใช้งานในท่าก้ม เข่า การนั่งเป็นเวลานาน ๆ แล้วลุกขึ้น การใช้เวลาในการเดิน การขึ้นลงบันได หรือลงน้ำหนักบนข้อนั้น ๆ (วีระชัย โควสุวรรณ และคณะ)²⁷ นอกจากนี้ยังพบว่าทั้ง 4 วิธีมีข้อคำถามที่ใช้งานร่วมกัน แต่มีลำดับต่างกัน คือ ข้อคำถาม ข้อที่ 8 ข้อที่ 5 และ ข้อที่ 9 สำหรับข้อคำถามที่ 4 มีเพียงวิธี DISR และ JMI ที่ใช้งาน แต่มีลำดับที่ต่างกันมาก และข้อคำถามที่ 6 ซึ่งใช้งานใน 3 วิธี แต่อยู่ในลำดับที่ 5 เป็นต้นไป ซึ่งสรุปได้ว่า ข้อคำถามนี้มีความสำคัญต่อการทำนายน้อยกว่าข้ออื่น ๆ

เมื่อพิจารณาเรื่องเวลาในการประมวลผล จาก Table 4 พบว่า วิธี Decision tree + Boosting with DISR มีจำนวนข้อคำถาม 7 ข้อ ใช้เวลาในการประมวลผล 29.63 วินาที ซึ่งใช้เวลาที่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีก 3 วิธี ข้างต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สัญญาทุนเลขที่ WU60114 ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหาร ที่จัดเตรียมข้อมูล เพื่อให้การศึกษาริวิจัยสำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2554). แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 พ.ศ. 2555-2559. ได้จาก: <http://www.nesdb.go.th/Portals/0/news/plan/p11/plan11.pdf> 20 สิงหาคม 2558.
2. คณะกรรมการผู้สูงอายุแห่งชาติกระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์. (2552). แผนผู้สูงอายุแห่งชาติ ฉบับที่ 2 (2545-2564) ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1 พ.ศ. 2552. ได้จาก: http://www.thaicentarian.mahidol.ac.th/TECIC/index.php?option=com_content&view=article&id=49:-2-2545-2564&catid=39:policy&Itemid=60 20 สิงหาคม 2558
3. ปภัสรา หาญมนตรี, พรรณี ปิงสุวรรณ, ภาวินี เสริมชีพ, วิชัย อิงพินิจพงศ์, อุไรวรรณ ชัชวาลม, รุ่งทิพย์ พันธุเมธากุล. ความเที่ยงในการทดสอบซ้ำและความสัมพันธ์ของแบบประเมิน Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis ฉบับภาษาไทยกับคะแนนปวดในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม. วารสารเทคนิคการแพทย์และกายภาพบำบัด 2557;26(1): 84-92.
4. รังสิยา นารินทร์, วิลาวัณย์ เตือนราษฎร, วราภรณ์ บุญเชียง. การพัฒนาโปรแกรมดูแลผู้สูงอายุข้อเข่าเสื่อมโดยการมีส่วนร่วมของชุมชน. พยาบาลสาร 2558;42(3): 170-181.
5. ยุวดี สารบูรณ์, สุภาพ อาวีเอื้อ, สุจินดา จารุพัฒน์ มาร์อุ. อาการ ความรู้ และการรับรู้ความเจ็บป่วยด้วยโรคข้อเข่าเสื่อมของผู้สูงอายุในชุมชน: การศึกษานำร่อง. วารสาร

- วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี 2557;30(2): 12-24.
6. จันทร์จิรา เกิดวัน, จิราภรณ์ บุญอินทร์, ชุตติมา วีระสมบัติ, วิไล คุปต์นิรันตย์กุล. การสำรวจความชุกของโรคข้อเข่าเสื่อมผู้สูงอายุในชุมชน. วารสารกายภาพบำบัด 2559; 38(2): 59-70.
 7. วิญญูทัตญญู บุญทัน, นพณัฐ จำปาเทศ, รัชนี นามจันทร์, นิภาพร เหล่าชา, สุทธิศรี ตระกูลสิทธิโชค. ความสัมพันธ์ระหว่างอาการปวดข้อฝืด ความสามารถในการใช้งานข้อกับการทรงตัวของผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อมในชุมชนเทศบาลตำบลบางเสาธง อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ. วารสาร มฉก. วิชาการ 2559; 19(38): 1-12.
 8. นงพิมล นิมิตอนันท์. สถานการณ์ทางระบาดวิทยาและการประเมินความเสี่ยงโรคข้อเข่าเสื่อมในคนไทย. วารสารพยาบาลทหารบก 2557;15(3): 185-194.
 9. รัตนาวิษญู มินพิมาย, สุรเชษฐ ลำคำ, กัลยา ภราไโดย. การคัดกรองและป้องกันผู้มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรังในผู้สูงอายุ. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย 2555;6(2): 74-84.
 10. Nair, J., Nair, S.S., Kashani, J.H., Reid, J.C., Mistry, S.I., Vargas, V.G. Analysis of the symptoms of depression -- a neural network approach. Psychiatry Research 1999;87(2-3): 193-201.
 11. Chattopadhyay, S., Kaur, P., Rabhi, F., Acharya, U. R. Neural network approaches to grade adult depression. Journal of Medical Systems 2012;36(5): 2803-2815.
 12. Ekong V. E., Inyang U. G., Onibere E. A intelligent decision support system for depression diagnosis based on neuro-fuzzy-CBR hybrid. Modern Applied Science 2012;6(7): 79-88.
 13. Dasari, A., Hui, N.B., Chattopadhyay, S. A neuro-fuzzy system for modeling the depression data. International Journal of Computer Applications 2012;54(6): 1-6.
 14. Park, M., Son, C.S., Kim, S.K. Developing a hybrid decision support model to discover evidence based knowledge of the elderly with depression. International Journal of Bio-Science and Bio-Technology 2013;5(4): 245-253.
 15. Thanathamthee, P. Boosting with feature selection technique for screening and predicting adolescents depression. 2014 Fourth International Conference on Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP); 2014 May 6-8. P. 23-27.
 16. กรัณรัตน์ ธรรมรักษ์, พุทธิพร ธนธรรมเมธี. การเพิ่มประสิทธิภาพการทำนายความเสี่ยงการเกิดโรคไม่ติดต่อบนเว็บแอปพลิเคชันด้วยวิธีบทส่งเสริมโครงข่ายประสาทเทียม และเทคนิคการคัดเลือกคุณลักษณะแบบเอ็มอาร์เอ็มอาร์. ใน: เอกสารการประชุมวิชาการ 2014 International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC 2014, Thai Track). ขอนแก่น; 2557. หน้า 38 - 43.
 17. กรกมล พนาพิทักษ์กุล, เสวตาภรณ์ กรมแสง, อัจจิมา สินฉิม. การพยากรณ์ความเสี่ยงที่จะเกิดโรคของแต่ละระดับช่วงอายุโดย FCA กรณีศึกษาโรงพยาบาลส่งเสริมตำบลบ้านสมควร อำเภोजุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช. ใน: เอกสารการประชุมวิชาการ The 3rd ASEAN Undergraduate Conference in Computing (AUC2). ฉะเชิงเทรา; 2558. ได้จาก: <http://aucc.csit.rru.ac.th/Upload/149-87-camera-ready.pdf>
 18. 149-87-camera-ready.pdf
 19. ชฎิภกรณ์ ทราชมอ, วิภา เจริญภณหารักษ์, วิทยา พรพชรพงศ์. การพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์ภาวะแทรกซ้อนของโรคอื่นในผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล :กรณีโรงพยาบาลปทุมธานี. ใน: เอกสารการประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช ครั้งที่ 4. นนทบุรี; 2556. ได้จาก: http://www.stou.ac.th/thai/grad_stdy/Masters/%E0%B8%9D%E0%B8%AA%E0%B8%AA/research/4nd/FullPaper/ST/Poster/P-ST%20011%20%E0%B8%99%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%8A%E0%B8%8F%E0%B8%B4%E0%B8%A0%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%99%E0%B9%8C%20%E0%B8%97%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B8%AD.pdf
 20. grad_stdy/Masters/%E0%B8%9D%E0%B8%AA%E0%B8%AA/research/4nd/FullPaper/ST/Poster/P-ST%20011%20%E0%B8%99%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%8A%E0%B8%8F%E0%B8%B4%E0%B8%A0%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%99%E0%B9%8C%20%E0%B8%97%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B8%AD.pdf
 21. วิไลรัตน์ วิศวาไพศาล, บุญช่วย ศรีธรรมศักดิ์, สาธิษฐ์ นากกระแสร์. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำนายการคลอดก่อนกำหนดในหญิงตั้งครรภ์ในโรงพยาบาลตำรวจ. วารสารพยาบาลตำรวจ 2559;8(2): 83-90.
 22. ชลิตา เจริญเนตร, จารีย์ ทองคำ, สิทธิชัย บุษหมั่น. การเปรียบเทียบเทคนิคเหมืองข้อมูลในการจำแนกใบหน้า.

- วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย
มหาสารคาม 2558;34(3): 263-269.
23. ชิตาภัทร อนุชาญ, นิตี เอี่ยมชื่น. การวิเคราะห์ความเสี่ยง
พื้นที่น้ำท่วมโดยใช้แบบจำลองต้นไม้การตัดสินใจ บริเวณ
ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา. วารสารวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 2561;37(1): 98-
107.
24. อนันต์ ปินะเต. การใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลในการเลือก
สาขาวิชาเพื่อโอกาสในการเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรี.
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย
มหาสารคาม 2560;36(6): 704-712.
25. Brown, G., Pocock, A., Zhao, M.J., Lujan, M. Condi-
tional likelihood maximisation: A unifying framework
for information theoretic feature selection. *Journal of
Machine Learning Research* 2012;13(1): 27-66.
26. Liu, C., Wang, E., Zhao, Q., Shen, X., Konan, M. A
new feature selection method based on a validity
index of feature subset. *Pattern Recognition Letters*
2017;92(1): 1-8.
27. เอกสิทธิ์ พัชรวงศ์ศักดิ์ดา. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค
คตาต้นไม้หนึ่ง เบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: เอเชีย
ดิจิทัลการพิมพ์; 2557.
28. Dawson, J., Fitzpatrick, R., Murray, D., Carr A. Ques-
tionnaire on the perceptions of patients about total
knee replacement. *Journal of Bone & Joint Surgery
(Br)* 1998;80-B(1): 63-69.
29. วีระชัย โควสุวรรณ และคณะ. แนวปฏิบัติบริการ
สาธารณสุข โรคข้อเข่าเสื่อม พ.ศ.2554. ได้จาก: [http://
www.chiangmaihealth.go.th/cmpho_web/docu-
ment/160610146554495425.pdf](http://www.chiangmaihealth.go.th/cmpho_web/document/160610146554495425.pdf) 20 สิงหาคม 2558

คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งเรื่องมาพิมพ์ได้โดยไม่ต้องเป็นสมาชิก และไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อนและไม่อยู่ในระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกตัดแปลง แก้ไขเนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากลและนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่ละเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถานให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษควรได้รับความตรวจสอบที่ถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน
2. ขนาดของต้นฉบับ ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดเป็น 2 คอลัมน์
3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร Browallia New ชื่อเรื่องให้ใช้ตัวอักษรขนาด 18 pt. ตัวหนา ชื่อผู้พิมพ์ใช้ตัวอักษรขนาด 16 pt. ตัวปกติ หัวข้อหลักใช้ตัวอักษรขนาด 16 pt. ตัวหนา หัวข้อรองใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา บทคัดย่อและเนื้อเรื่องใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา เชิงอรรถหน้าแรกที่เป็นชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ ใช้ตัวอักษรขนาด 12 pt. ตัวหนา
4. การพิมพ์ต้นฉบับ ผู้ส่งงานจะต้องพิมพ์ส่งต้นฉบับในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลต่อไปนี้ อย่างใดอย่างหนึ่ง ได้แก่ ".doc" (MS Word) หรือ ".rtf" (Rich Text)
5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง
6. จำนวนเอกสารอ้างอิงไม่เกิน 2 หน้า
7. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)
8. การส่งบทความ ส่ง online ระบบ Thai Jo สามารถเข้าไปดูรายละเอียดที่ www.journal.msu.ac.th
9. หากจัดรูปแบบไม่ถูกต้องทางวารสารจะไม่พิจารณาผลงาน

บทความรายงานผลวิจัย ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ควรสั้น กระชับ และสื่อเป้าหมายหลังของงานวิจัย ไม่ใช้คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

ชื่อผู้พิมพ์ [Author(s)] และที่อยู่ ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และระบุตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงาน หรือสถาบันที่สังกัด และ E-mail address ของผู้พิมพ์ไว้เป็นเชิงอรรถของหน้าแรก เพื่อกองบรรณาธิการสามารถติดต่อได้

บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหาครบถ้วนตามเรื่องเดิม ความยาวไม่เกิน 250 คำ หรือไม่เกิน 10 บรรทัด และไม่ควรรู้คำย่อ

คำสำคัญ (Keyword) ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษาประมาณ 4-5 คำสั้น ๆ

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารประกอบ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods) ให้ระบุรายละเอียด วัน เดือน ปีที่ทำทดลอง วัสดุ อุปกรณ์ สิ่งที่น่าสนใจ จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปลผล

ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ซับซ้อนและมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปลมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิแทน

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) แสดงให้เห็นว่าผลการศึกษาตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ และให้จบด้วยข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือทิ้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวการสำหรับการวิจัยต่อไป

ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams) ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็นแทรกไว้ในเนื้อเรื่องโดยเรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง และมีคำอธิบายสั้น ๆ เป็นภาษาอังกฤษ ที่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วน กรณีที่เป็นตาราง คำอธิบายอยู่ด้านบน ถ้าเป็นรูป ภาพ แผนภูมิ คำอธิบายอยู่ด้านล่าง

กิตติกรรมประกาศ (Adcknowledgements) ระบุสั้น ๆ ว่างานวิจัยได้รับงานสนับสนุน และความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References) ระบุรายการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ Vancouver Style ดังตัวอย่างข้างล่าง และสามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ www.journal.msu.ac.th

1. การอ้างอิงหนังสือ

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. พิมพ์ครั้งที่. สถานที่เมืองพิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์. p 22-5. (ชื่อชุด; vol 288).

ตัวอย่าง: Getqen,TE. Health economics: Fundamentals of funds. New York: John Wiley & Son; 1997. P. 12-5 (Annals of New York academy of science; voll 288).

ชมพูนุช อ่องจิต. คลื่นไฟฟ้าหัวใจทางคลินิก. พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2539

2. การอ้างอิงจากวารสาร

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่องหรือชื่อบทความ. ชื่อวารสาร. ปีที่พิมพ์ เดือนย่อ 3 ตัวอักษร วันที่;ปีที่ (ฉบับที่): เลขหน้า.

ตัวอย่าง:

ก. วารสารไม่เรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

Russell FK, Coppell AL, Davenport AP. Ln vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, Biochem Pharmacol 1998 Mar 1;55(5):697-701

พิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนรุ่งเช้าสู่โลกาภิวัตน์ครั้งใหม่. นกบริหาร 2547;24(2): 31-6

ข. วารสารเรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

Russell FD, Coppell AL Davenport AP. Ln vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, Biochem Pharmacol 1998;55:697-701

พิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนรุ่งเช้าสู่โลกาภิวัตน์ครั้งใหม่. นกบริหาร 2547;24(2): 31-6

3. รายงานจากการประชุมวิชาการ

รูปแบบ : ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ใน: ชื่อคณะบรรณาธิการ, editors. ชื่อเอกสารรายงานการสัมมนา เดือน (ย่อ 3 ตัว) วันที่; เมืองที่สัมมนา, ประเทศ. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์. P.1561-5

ตัวอย่าง: Bengtsson S, solheim BG. Enforcement of data protection, privacy and security and security in medical informatics. Ln: Lun KC, Degoulet P, Piemme TE, Reinhoff O, editors. MEDINFO 92. Proceedings of the 7th World Congress on Medical Informatics; 1992 Sep 6-10; Geneva, Switzerland, Amsterdam: North Holland; 1992. P.1561-5. พิทักษ์ พุทธรชัช, กิตติ บุญเลิศนิรันดร์ ทะนงศักดิ์ มณีวรรณ, พงาม เดชคำรณ, นภา ชันสุภา. การใช้เอทีฟอนกระตุ้น การสุกของพริก. ใน: เอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 15. สถาบันวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. กรุงเทพฯ; 2541. หน้า 142-9

4. การอ้างอิงจากพจนานุกรม

รูปแบบ: ชื่อพจนานุกรม. พิมพ์ครั้งที่. เมืองหรือสถานที่พิมพ์; ปีที่พิมพ์. หน้า.

ตัวอย่าง: Stedmin's medical dictionary. 26th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1995. Apraxia; p. 119-20.

พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542. กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คพับลิเคชันส์; 2546. หน้า 1488

5. การอ้างอิงจากหนังสือพิมพ์

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือพิมพ์ ปี เดือน วัน; Sect.: sohk 15.

ตัวอย่าง: Lee G. Hospitalizations tied to ozone pollution: study estimates 50,000 admissions annually. The Washington Post 1996 Jun 21; Sect. A: 3(col.5).

พรรณี รุ่งรัตน์ สทศ. ดั้งที่มพัฒนาข้อสอบระดับชาติมันใจคุณภาพ. เดลินิวส์ 12 พฤษภาคม 2548.

6. อ้างอิงจากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสารอิเล็กทรอนิกส์ [หรือ serial online] ปีที่พิมพ์เอกสาร ถ้าจำเป็นระบุเดือนด้วย; Vol no (ฉบับที่): [จำนวนหน้าจากการสืบค้น]. ได้จาก: URL: <http://www.edc.gov/neidoc/EID/eid.htm> วันที่ เดือน ปีที่ทำการสืบค้น (เขียนเต็ม)

ตัวอย่าง: More SS. Factors in the emergence of infectious disease, Emerh Infect Dis [serial online] 1995 Jan-Mar; (1): [24 screene]. Available from: RL: <http://www.edc.gov/neidoc/EID/eid.htm> Accessed 25, 1999.

ธีรเกียรติ์ เกิดเจริญ. นาโนเทคโนโลยีความเป็นไปได้และทิศทางในอนาคต. วารสารเทคโนโลยีวัสดุ ตุลาคม-ธันวาคม (17): 2542 ได้จาก: <http://www.nanotech.sc.mahidol.ac.th/index.html> May 13 2005.

Instruction for Authors

Research manuscripts relevant to subject matters outlined in the objectives are accepted from all institutions and private parties provided they have not been preprinted elsewhere. The context of the papers may be revised as appropriate to the standard. Vol.1 (January-February) Vol.2 (March-April) Vol.3 (May-June) Vol.4 (July-August) Vol.5 (September-October) Vol.6 (November-December)

Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and English. Papers should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.

2. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" or ".rtf" (Rich Text) on standard size paper, A4 or 8.5x11 inches, and arranged in two columns: single space for English, double space for Thai language.

3. Browallia font type is required with font size as follows:

Title the article: 18 pt. Bold

Name(s) of the authors: 16 pt.

Main Heading: 16 pt. Bold

Sub-heading: 14 pt. Bold

Body of the text: 14 pt

Footnotes for authors and their affiliations: 12pt.

4. The number of pages to 15, including references, tables, graphs, or pictures.

5. Types of manuscripts accepted: research articles and review articles.

6. Organization of research articles.

Title: denoted in both Thai and English, must be concise and specific to the point, normally less than 100 characters.

Name(s): of the author(s) and their affiliation must be given in both Thai and English.

Abstract: This section of the paper should follow an informative style, concisely covering all the important findings in the text. Authors should attempt to restrict the abstract to no more than 250 words.

Keywords: Give at least 4-5 concise words.

The body of the text comprises the following headings:

Introduction: A summary of who is doing what, why where, and when?

Materials and Methods: A discussion of the materials used, and a description clearly detailing how the experiment was undertaken, e.g., experimental design, data collection and analysis, and interpretation.

Results: Present the output. List the information in complicated, add tables, graphs, diagrams etc., as necessary.

Discussion and Conclusion: Discuss how the results are relevant to the objectives or former findings, why? Finally state what recommendations could be drawn.

Tables, figures, diagrams, pictures: should be screened for those important to support the findings, and separated from the text. Captions should be placed above the tables but under the figures.

Acknowledgement: the name of the persons, organization, or funding agencies who helped support the research are acknowledged in this section.

References: listed and referred to in vancouver style.
(<http://www.library.uq.edu.au/training/citation/vancouv.html>)

7. Authors of review articles should follow the typical format style. This includes an introduction, the body of content, conclusion, and references.

Submission of manuscripts

1. Manuscripts should be submitted through the Thai Jo Manuscripts submission system at www.journal.msu.ac.th.
2. The uncorrected manuscripts will be rejected by the editorial board.

Review of manuscripts:

1. The editorial board will review all manuscripts for format compliance. Manuscripts formatted incorrectly will be returned to the author for correction.
2. Following submission of the corrected manuscript, the Peer Review Committee will review and offer comments
3. Manuscripts receiving the approval of the Peer Review Committee may be returned to the author for revision as advised by the Committee. Manuscripts failing to adopt the Committee's suggestions will not be published.



ใบสมัครเป็นสมาชิกรวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อ-นามสกุล

ที่อยู่ บ้านเลขที่..... หมู่ที่..... ถนน..... แขวง/ตำบล.....

อำเภอ..... จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์.....

โทรศัพท์..... โทรสาร..... E-mail.....

หน่วยงาน.....

ถนน..... แขวง/ตำบล..... อำเภอ.....

จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์..... โทรศัพท์.....

ออกใบเสร็จในนาม.....

- สมัครเป็นสมาชิกหนึ่งปี ค่าสมัคร 400 บาท
- สมัครเป็นสมาชิกสองปีติดต่อกัน ค่าสมัคร 800 บาท

ส่งจ่ายผ่านเลขที่บัญชี 983-9-26661-6 ธนาคารกรุงไทย ชื่อบัญชี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (เงินรายได้)

สาขาทำขออนุญาตมหาสารคาม

ทั้งนี้ขอให้ส่งหลักฐานการสมัคร (ใบสมัครนี้) และสำเนาการชำระเงินได้ที่ science.msu@hotmail.com หรือ ส่งเป็นเอกสารทางไปรษณีย์มาที่ งานวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150