ผลของสารอินทรีย์ปริมาณสูงในน้ำเสียโรงงานขนมจีนต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของหญ้าแฝกหอมและกกกลมจันทบูร

Influence of High Organic Substances Concentrations in Fermented Rice Noodle (Khanomjeen) Factory Wastewater on Efficiency Wastewater Treatment of *Vetiveria Zizanioides* Nash. and *Cyperus Corymbosus* Rottb.

ชิษณุพงศ์ ประทุม[1]
Chitsanuphong Pratum[1]
Received: 18 February 2016 ; Accepted: 17 June 2016

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาผลของสารอินทรีย์ปริมาณสูงในน้ำเสียโรงงานขนมจีนต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพืชบำบัดน้ำเสีย (หญ้าแฝกหอมและกกกลมจันทบูร) โดยการทดลองบำบัดน้ำเสียในหน่วยทดลองขนาดเล็ก ซึ่งทำการขังแช่น้ำเสียเป็นเวลา 5 วัน และพักให้แห้งเป็นเวลา 2 วัน การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การบำบัดน้ำเสียโดยใช้วัสดุปลูกพืชเพียงอย่างเดียว และการบำบัดน้ำเสียโดยใช้วัสดุปลูกพืชร่วมกับพืชบำบัดน้ำเสีย ผลการทดลองเผยให้เห็นว่า สารอินทรีย์ปริมาณสูง (แสดงในรูปของปริมาณซีโอดี) ที่ 3,669.70 ± 134.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลกระทบอย่างมากกับประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของทั้งหน่วยทดลองที่ใช้วัสดุปลูกพืชเพียงอย่างเดียวและหน่วยทดลองที่ใช้วัสดุปลูกพืชร่วมกับพืชบำบัดน้ำเสีย หน่วยทดลองที่ใช้วัสดุปลูกพืชเพียงอย่างเดียวสามารถลดซีโอดีได้ที่ 121.65 ± 50.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ของรอบแรกของการบำบัด (7 วัน) ในส่วนของหน่วยทดลองที่ใช้วัสดุปลูกพืชร่วมกับพืชบำบัดน้ำเสีย หญ้าแฝกหอมและกกกลมจันทบูร สามารถลดซีโอดีได้ที่ 140.63 ± 16.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ของรอบที่ 4 ของการบำบัด (28 วัน) และ128.65 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ของรอบที่ 3 ของการบำบัด (21 วัน) ตามลำดับ โดยซีโอดีจากน้ำทิ้งที่ได้เกินกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเกินกว่ามาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด จากหน่วยทดลองที่ใช้วัสดุปลูกพืชร่วมกับพืชบำบัดน้ำเสีย พบว่า หญ้าแฝกหอมมีประสิทธิภาพในการบำบัดดีกว่ากกกลมจันทบูร โดยพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p - value < 0.05 จากการทดลองทั้งหมดทำให้ทราบว่าพืชบำบัดน้ำเสียมีความทนทานต่อสารอินทรีย์ปริมาณสูงในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ของการทดลองเท่านั้น โดยประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจะลดลงตามระยะการบำบัด ดังนั้นผลทดลองจากการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีนต่อไปได้

คำสำคัญ: น้ำเสียโรงงานขนมจีน ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย หญ้าแฝกหอม กกกลมจันทบูร

Abstract

The purpose of this study was to determine the influence of high organic substances with concentrations in fermented rice noodle (Khanomjeen) factory wastewater on the efficiency wastewater treatment of plants (*Vetiveria zizanioides* Nash. and *Cyperus corymbosus* Rottb.). Addition, The continuous flow condition and 5-days stagnation and 2-days releasing condition experiments were performed in the bath – flow wastewater treatment system. This study was divided into 2 parts namely; wastewater treatment by use of grown materials (GMs) only and wastewater treatment by use of grown materials combining with plants (GPs). The results revealed that high concentrations of organic substances (show in form of chemical oxygen demand; COD) at 3.669.70 ± 134.50 mg/L have more effect with

[1] *นักวิจัย คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จังหวัดนครปฐม 73170.*

[1] *Researcher, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Nakhon Pathom province, 73170 Thailand, E-mail: chitsanuphong.pra@mahidol.ac.th*

efficiency wastewater treatment of GMs and GPs. The GMs could be reduced COD to 121.65 ± 50.17 mg/l at the 1 week-cycle (7 days). In part of GPs, *Vetiveria zizanioides* Nash. and *Cyperus corymbosus* Rottb. could be reduced COD to 140.63 ± 16.24 mg/l at the 4 week-cycles (28 days) and 128.65 ± 0.00 mg/l at the 3 week-cycles (21 days), respectively. The COD of effluent exceeded 120 mg/l which the limitation COD value of the Department of industrial works. From GPs experiment units, *Vetiveria zizanioides* Nash. has higher treatment efficiency than *Cyperus corymbosus* Rottb., which the statistically significant difference was detected with the p - value < 0.05. In conclusion, plants had tolerance to high concentration of organic substances for a short duration of the experiment only. The effectiveness of wastewater treatment will decreased following the period of treatment cycles. Therefore, the results of these studies could be considered to apply for fermented rice noodle (Khanomjeen) factory wastewater treatment.

Keywords: Fermented rice noodle factory wastewater, Efficiency wastewater treatment, *Vetiveria zizanioides* Nash., *Cyperus corymbosus* Rottb.

บทนำ

การลักลอบปล่อยน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหาร ณ ปัจจุบันอยู่ในภาวะที่รุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานผลิตอาหารขนาดเล็ก โรงงานขนมจีน ถือเป็นโรงงานผลิตอาหารประเภทหนึ่งที่มีทั้งขนาดเล็กจนไปถึงขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย[2,7] โดยน้ำเสียจากโรงงานขนมจีนจะมีลักษณะสีขาวขุ่น ซึ่งเกิดจากแป้งข้าวเจ้าในกระบวนการผลิต ทำให้น้ำเสียมีปริมาณสารอินทรีย์ประเภทพอลิแซกคาไรด์สูงมาก ส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่าบีโอดี (biochemical oxygen demand:BOD) ค่าซีโอดี (chemical oxygen demand:COD) และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (total dissolved solids:TDS) มีปริมาณสูงตามไปด้วย จากการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งของโรงงานขนมจีนในจังหวัดฉะเชิงเทรา ราชบุรี และขอนแก่น พบว่า มีค่าบีโอดีเฉลี่ยสูงถึง 23,253 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าซีโอดีเฉลี่ยสูงถึง 17,109 มิลลิกรัมต่อลิตร[5,10,18,20,21,22] ซึ่งสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ค่าบีโอดีอยู่ที่ไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อลิตรและค่าซีโอดีอยู่ที่ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร[6] จากรายงานของวรพจน์[8] ยังเผยให้เห็นว่า โรงงานขนมจีนสามารถก่อให้เกิดปัญหาด้านกลิ่นเหม็นรบกวนอย่างรุนแรงที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ประเภทพอลิแซกคาไรด์ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน[25] ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขอนามัยของคนในชุมชนบริเวณโดยรอบโรงงาน ปัจจุบันได้มีหลากหลายงานวิจัยที่คิดค้นและออกแบบเทคโนโลยีเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานขนมจีน[5,8,10,17,18,21] โดยการใช้พืชบำบัดน้ำเสียถือเป็นหนึ่งในวิธีที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ซึ่งการใช้พืชบำบัดน้ำเสียร่วมกับระบบบึงตามธรรมชาติสามารถลดสารอินทรีย์ได้สูงสุดถึงร้อยละ 96[15] นอกจากนี้การใช้พืชบำบัดน้ำเสียยังเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายน้อย ไม่มีการใช้สารเคมี แต่ยังมีข้อจำกัดด้านพื้นที่ที่ต้องใช้พื้นที่จำนวนมากเพื่อทำให้ระบบบำบัดมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้พืชบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่ พืชบำบัดน้ำเสียประเภทโผล่พ้นน้ำ (emergent plant) อาทิ ธูปฤาษี ต้นกก และต้นออ เป็นต้น และพืชบำบัดน้ำเสียประเภทหญ้า (gramineae) อาทิ หญ้าแฝก เป็นต้น[1,4]

จากปัญหาด้านการจัดการระบบบำบัด ขนาดพื้นที่ในการบำบัด และรูปแบบที่เหมาะสมในการบำบัด จึงทำให้ผู้วิจัยต้องการหาสภาวะเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานขนมจีนโดยใช้หน่วยบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กร่วมกับพืชบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ หญ้าแฝกหอมและกกกลมจันทบูร โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณสารอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนด้วยพืชบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด

วิธีการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย

น้ำเสียโรงงานขนมจีนที่ใช้ในวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) น้ำเสียโรงงานขนมจีนที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น ซึ่งจากโรงงานขนมจีนแห่งหนึ่งในตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยมีปริมาณสารอินทรีย์ (แสดงในรูปของปริมาณซีโอดี) อยู่ที่ 3,699.70 ± 134.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ (2) น้ำเสียโรงงานขนมจีนที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น โดยใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพจากงานวิจัยก่อนหน้านี้[17] น้ำเสียที่ได้มีปริมาณสารอินทรีย์ (แสดงในรูปของปริมาณซีโอดี) อยู่ที่ 988.93 ± 124.89 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งน้ำเสียโรงงานขนมจีนทั้ง 2 ประเภท ถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C ก่อนนำมาใช้ในการทดลอง

การเตรียมพืชบำบัดน้ำเสีย

พืชบำบัดน้ำเสียที่นำมาใช้ในวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ หญ้าแฝกหอม (*Vetiveria zizanioides* Nash.) และกกกลมจันทบูร (*Cyperus corymbosus* Rottb.) ได้จากโครงการศึกษาวิจัยและ

พัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี โดยเป็นพืชบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพและมีการใช้บำบัดน้ำเสียภายในพื้นที่โครงการฯ วิธีการเตรียมกล้าพันธุ์ทำโดยนำกล้าพันธุ์ที่มีอายุ 7 วัน มาตัดแต่งลำต้นและรากให้มีความยาวประมาณ 30 เซนติเมตร นำไปปักชำลงในถุงพลาสติกขนาด 8 นิ้ว ทำการเพาะเลี้ยงเป็นระยะ 7 วัน จากนั้นย้ายต้นกล้าลงปลูกในถังพลาสติกทรงกลมขนาดความจุ 30 ลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร สูง 54 เซนติเมตร โดยทำการปลูก 2 ต้นต่อถัง ซึ่งภายในถังพลาสติกบรรจุโดยเรียงลำดับจากล่างขึ้นบน จำนวน 4 ชั้นได้แก่ กรวด ทรายหยาบ ทรายละเอียด และดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) โดยปรับความสูงของแต่ละชั้นให้อยู่ที่ 7, 2, 1.5 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดัดแปลงจาก Klomjek & Nitisoravut[14])

การวางแผนการทดลอง

การทดลองบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนในหน่วยบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก โดยทำการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ซึ่งมีหน่วยการทดลองทั้งหมด 3 หน่วยทดลอง แต่ละหน่วยทดลองมีจำนวน 3 ซ้ำ ได้แก่ (1) หน่วยทดลองควบคุมที่ใช้วัสดุปลูกพืชเพียงอย่างเดียว (Treatment 1 ; T1), (2) หน่วยทดลองที่ใช้วัสดุปลูกพืชร่วมกับหญ้าแฝกหอม (Treatment 2 : T2), และสุดท้าย (3) หน่วยทดลองที่ใช้วัสดุปลูกพืชร่วมกับกกจันทบูร (Treatment 3 ; T3) โดยแต่ละหน่วยทดลองจะทำการบำบัดน้ำเสียโรงงานจีนทั้งที่ไม่มีการบำบัดเบื้องต้น และมีการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น

การดำเนินการทดลอง

ทำการถ่ายน้ำประปาออก (จากขั้นตอนการเตรียมพืชบำบัดน้ำเสีย) และพักวัสดุปลูกพืชให้แห้งเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นจึงทำการขังแช่น้ำเสียโรงงานขนมจีนในหน่วยทดลอง (ตามการวางแผนการทดลอง) โดยให้ขังแช่น้ำเสียโรงงานขนมจีน เป็นเวลา 5 วัน ถ่ายน้ำเสียโรงงานขนมจีนออก และพักวัสดุปลูกพืชให้แห้งเป็นเวลา 2 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาการบำบัดน้ำเสียรวมทั้งสิ้น 7 วัน หรือเท่ากับ 1 รอบของการบำบัด (ดัดแปลงจาก Klomjek & Nitisoravut[14]) ทั้งนี้ให้ทำการทดลองจนกว่าปริมาณซีโอดีในน้ำทิ้งแต่ละรอบของการบำบัดจะเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด[6] รูปแบบการทดลองบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนในหน่วยบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก ดังแสดงใน Figure 1

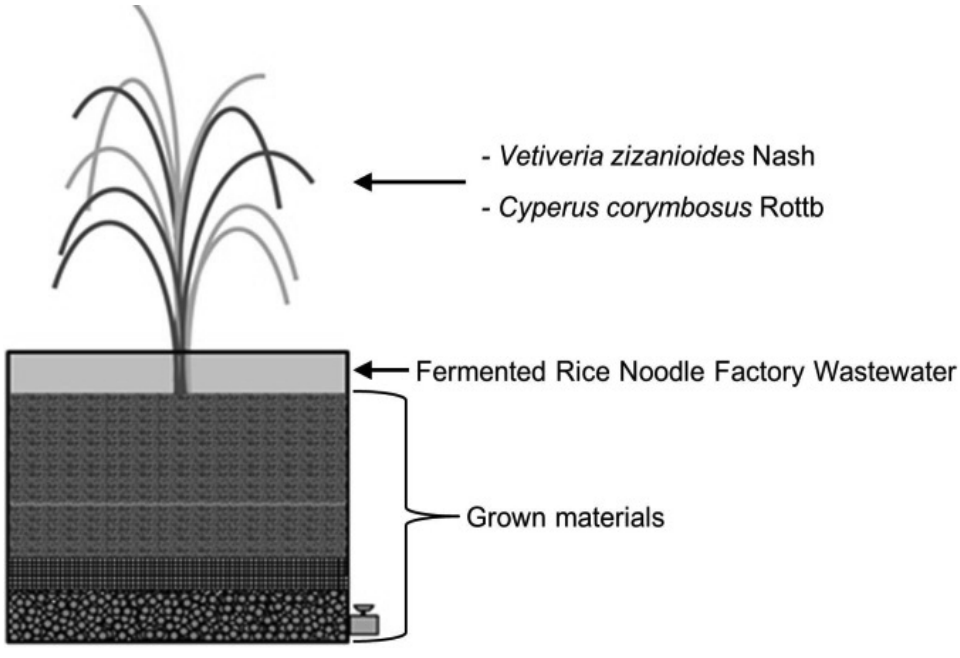


Figure 1 Batch - flow wastewater treatment system

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการทดลองที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางสอง (Two - way ANOVA) นอกจากนี้ยังทำการทดสอบเปรียบเทียบพหุคูณแบบ Scheffe's Post hoc test Comparison (Scheffe) เพื่อแยกความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ โดยกำหนดไว้ $p - value < 0.05$

ผลการวิจัย

การทดลองบำบัดน้ำเสียในหน่วยบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก เพื่อให้ทราบถึงผลของสารอินทรีย์ปริมาณสูงในน้ำเสียโรงงานขนมจีนต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพืชบำบัด ผู้วิจัยจึงแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

การบำบัดน้ำเสียด้วยวัสดุปลูกพืช

หน่วยทดลองควบคุมที่ใช้น้ำเสียแบบไม่มีการบำบัดเบื้องต้น พบว่า สารอินทรีย์ปริมาณสูง (แสดงในรูปของปริมาณซีโอดีที่ 3,669.70 ± 134.50 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่งผลกระทบโดยตรงต่อความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของหน่วยทดลองที่ใช้น้ำเสียแบบไม่มีการบำบัดเบื้องต้น โดยน้ำทิ้งจากรอบแรกของการบำบัดมีปริมาณซีโอดีอยู่ที่ 121.65 ± 43.45 มิลลิกรัมต่อลิตร และการบำบัดในรอบสุดท้าย (รอบที่ 6 ของการบำบัด) พบว่า ปริมาณซีโอดีอยู่ที่ 795.58 ± 77.91 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงใน Table 1 ซึ่งค่าซีโอดีตั้งแต่รอบแรกจนถึงรอบสุดท้ายของการบำบัดเกินกว่ามาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด (120 มิลลิกรัมต่อลิตร) แต่ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียยังมีประสิทธิภาพสูงตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลอง โดยในรอบแรกของการบำบัดอยู่ที่ร้อยละ 96.69 ± 1.37 และในรอบสุดท้ายของการบำบัดอยู่ที่ร้อยละ 78.32 ± 2.12 ซึ่งนั้นเนื่องมาจากปริมาณซีโอดีที่สูงมากในน้ำเสียโรงงานขนมจีนที่ไม่มีการบำบัด (3,699.70 ± 134.50 มิลลิกรัมต่อลิตร) เมื่อนำมาคำนวณกับปริมาณซีโอดีของน้ำทิ้งหลังการบำบัดในแต่ละครั้ง จึงทำให้ถูกมองว่าหน่วยทดลองดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัด แต่ในความเป็นจริงต้องมองปัจจัยในส่วนของ ปริมาณซีโอดีของน้ำทิ้งหลังการบำบัดที่ต้องไม่เกินกว่ามาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด ดังนั้นหน่วยทดลองที่ใช้ตัววัสดุปลูกพืชเพียงอย่างเดียวไม่มีความสามารถในการรอบรับสารอินทรีย์ในปริมาณสูง (ซีโอดีปริมาณสูง) ของน้ำเสียโรงงานขนมจีนได้ ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น แสดงใน Figure 2 (a)

ในขณะที่หน่วยทดลองควบคุมที่ใช้น้ำเสียที่มีการบำบัดเบื้องต้น ซึ่งเผยให้เห็นว่าตัววัสดุปลูกพืชที่ใช้ในหน่วยบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กสามารถรอบรับสารอินทรีย์ปริมาณต่ำ (แสดงในรูปของปริมาณซีโอดีที่ 988.93 ± 124.89 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยระบบบำบัดสามารถกำจัดซีโอดีให้มีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดได้ถึง 2 รอบของการบำบัด ซึ่งในรอบแรกของบำบัดปริมาณซีโอดีอยู่ที่ 40.44 ± 16.67 มิลลิกรัมต่อลิตร และในรอบที่ 2 ของการบำบัดปริมาณซีโอดีอยู่ที่ 64.99 ± 25.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงใน Table 1 และเมื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจะแปรผันตามระยะเวลาการบำบัด ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนหลังจากรอบที่ 3 ของการบำบัด (ร้อยละ 85.17 ± 5.71 ของการบำบัด) และในรอบสุดท้ายของการบำบัดร้อยละของการบำบัดอยู่ที่ 38.05 ± 5.68 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น ดังแสดงใน Figure 2 (b)

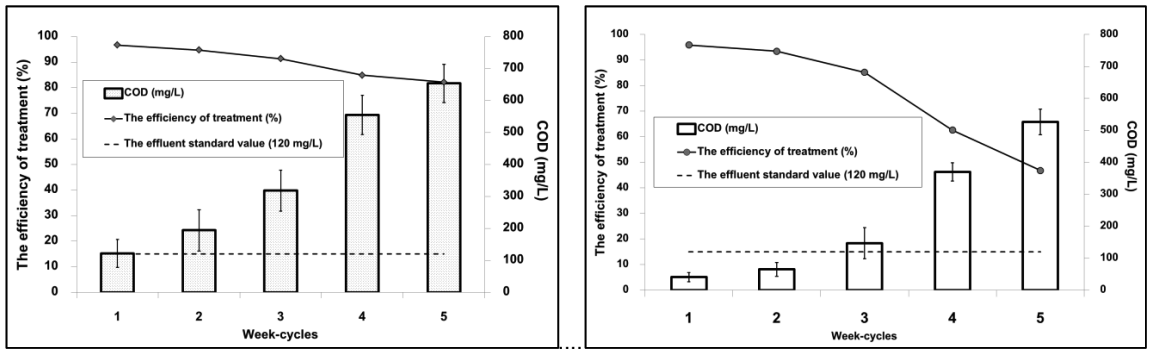
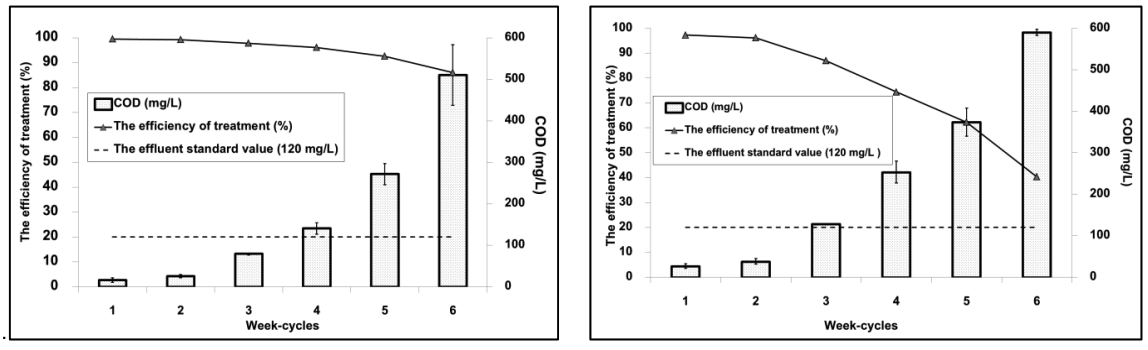


Figure 2 The test of grown materials to treat (a) non pre-treated wastewater and (b) pre-treated wastewater

การบำบัดน้ำเสียด้วยพืชบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียด้วยพืชบำบัดน้ำเสียเป็นการบำบัดน้ำเสียร่วมกันระหว่างวัสดุปลูกพืชกับพืชบำบัดน้ำเสีย โดยรูปแบบการบำบัดน้ำเสียคล้ายคลึงกับการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (Subsurface Flow Systems)[12] ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้พืชบำบัดน้ำเสีย 2 ชนิด ได้แก่ หญ้าแฝกหอม (*Vetiveria zizanioides* Nash.) และกกกลมจันทบูร (*Cyperus corymbosus* Rottb.) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารอินทรีย์ปริมาณสูงในน้ำเสียส่งผลกระทบโดยตรงต่อความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของทั้งหญ้าแฝกหอมและกกกลมจันทบูร โดยหน่วยทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกหอมสามารถบำบัดน้ำเสียได้ถึง 3 รอบของการบำบัด ดังแสดงใน Figure 3 (a) ซึ่งมีปริมาณซีโอดีในรอบแรกของการบำบัดอยู่ที่ 16.03 ± 6.17 มิลลิกรัมต่อลิตร, รอบที่ 2 ของการ

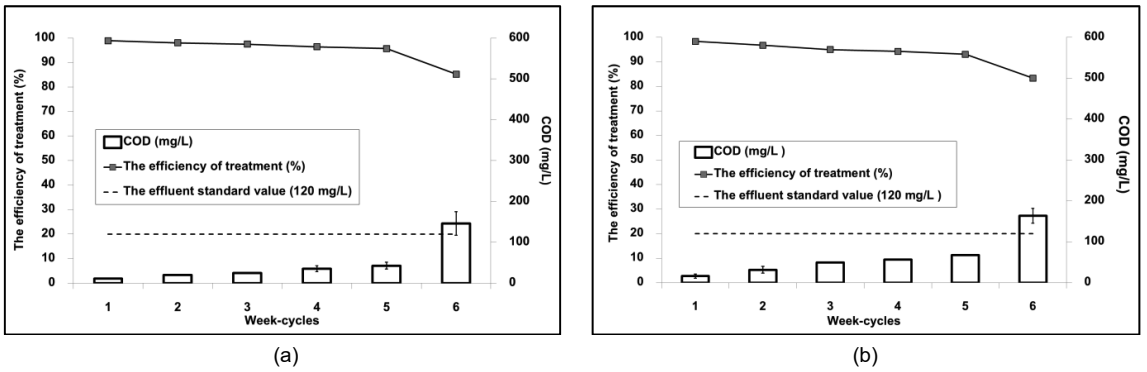
บำบัดอยู่ที่ 25.42 ± 4.51 มิลลิกรัมต่อลิตร และในรอบที่ 3 ของการบำบัดอยู่ที่ 79.17 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยร้อยละของประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียอยู่ที่ 99.56 ± 0.17, 99.31 ± 0.12 และ 97.84 ± 0.00 ตามลำดับ ในขณะที่หน่วยทดลองที่ปลูกกกกลมจันทบูรมีสามารถในการบำบัดน้ำเสียน้อยกว่าหน่วยทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกหอม 1 รอบการบำบัด (ดังแสดงใน Table 1) โดยปริมาณซีโอดีในรอบแรกของการบำบัดอยู่ที่ 26.72 ± 6.39 มิลลิกรัมต่อลิตร และรอบที่ 2 ของการบำบัดอยู่ที่ 38.12 ± 8.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยร้อยละของประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียอยู่ที่ 99.27 ± 0.17 และ 68.96 ± 0.22 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น ดังแสดงใน Figure 3 (b)



(a) (b)

Figure 3 The test of *Vetiveria zizanioides* Nash. and *Cyperus corymbosus* Rottb. to treat non pre-treated wastewater

ในส่วนหน่วยทดลองที่ใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น พบว่า สารอินทรีย์ปริมาณต่ำ (แสดงในรูปของปริมาณซีโอดี อยู่ที่ 988.93 ± 124.89 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียส่งผลกระทบน้อยต่อความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของทั้งหญ้าแฝกหอมและกกกลมจันทบูร โดยหน่วยทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกหอมสามารถบำบัดน้ำเสียได้ถึง 5 รอบของการบำบัด ดังแสดงใน Figure 4 (a) ซึ่งมีปริมาณซีโอดีในรอบแรกของการบำบัดอยู่ที่ 10.69 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร, รอบที่ 2 ของการบำบัดอยู่ที่ 19.55 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร, รอบที่ 3 ของการบำบัดอยู่ที่ 24.74 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร รอบที่ 4 ของการบำบัดอยู่ที่ 35.16 ± 8.12 มิลลิกรัมต่อลิตร และในรอบที่ 5 ของการบำบัดอยู่ที่ 42.46 ± 9.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยร้อยละของประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียอยู่ที่ 98.92 ± 0.00, 98.02 ± 0.00, 97.50 ± 0.00, 96.44 ± 0.82, 95.71 ± 0.99 และ 95.71 ± 0.99 ตามลำดับ ในขณะที่หน่วยทดลองที่ปลูกกกกลมจันทบูรมีสามารถในการบำบัดน้ำเสียเท่ากับหน่วยทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกหอม อยู่ที่ 4 รอบการบำบัด (ดังแสดงใน Table 1) ปริมาณซีโอดีในรอบแรกของการบำบัดอยู่ที่ 16.03 ± 6.17 มิลลิกรัมต่อลิตร, รอบที่ 2 ของการบำบัดอยู่ที่ 31.70 ± 9.16 มิลลิกรัมต่อลิตร, รอบที่ 3 ของการบำบัดอยู่ที่ 49.48 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร รอบที่ 4 ของการบำบัดอยู่ที่ 56.25 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และในรอบที่ 5 ของการบำบัดอยู่ที่ 67.93 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยร้อยละของประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียอยู่ที่ 98.38 ± 0.62, 96.79 ± 0.93, 95.00 ± 0.00, 94.31 ± 0.00 และ 96.13 ± 0.00 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น ดังแสดงใน Figure 4 (b)



(a) (b)

Figure 4 The test of *Vetiveria zizanioides* Nash. and *Cyperus corymbosus* Rottb. to treat pre-treated wastewater

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนของ (1) พืชบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ หญ้าแฝกหอม (*Vetiveria zizanioides* Nash.) และกกกลมจันทบูร (*Cyperus corymbosus* Rottb.) และ (2) รอบการบำบัดน้ำเสีย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า หญ้าแฝกหอม มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีการบำบัดเบื้องต้น สูงกว่าทั้งกกกลมจันทบูร และวัสดุปลูกพืช (หน่วยทดลองควบคุม) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ในส่วนของการเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียของแต่ละรอบการบำบัด พบว่า ในช่วงแรกของการบำบัด (รอบที่ 1 และ รอบที่ 2) ทั้งพืชบำบัดน้ำเสีย และวัสดุปลูกพืช ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีการบำบัดเบื้องต้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในรอบการบำบัดที่ 3 เป็นต้นไป ทั้งพืชบำบัดน้ำเสีย และวัสดุปลูกพืช ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีการบำบัดเบื้องต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

แต่ในส่วนของหน่วยทดลองที่บำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนที่มีการบำบัดเบื้องต้น ผลการศึกษาพบว่า หญ้าแฝกหอม มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น เท่ากับกกกลมจันทบูร โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในขณะที่พืชบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีการบำบัดเบื้องต้น สูงกว่าวัสดุปลูกพืช (หน่วยทดลองควบคุม) ส่วนการเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียของแต่ละรอบการบำบัด พบว่า ในช่วงรอบที่ 1 ถึงรอบที่ 3 ของการบำบัด ทั้งพืชบำบัดน้ำเสีย และวัสดุปลูกพืช ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่มีการบำบัดเบื้องต้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในรอบการบำบัดที่ 4 เป็นต้นไป ทั้งพืชบำบัดน้ำเสีย และวัสดุปลูกพืช ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่มีการบำบัดเบื้องต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียทั้งที่ไม่มีการบำบัดเบื้องต้น และมีการบำบัดเบื้องต้น แสดงใน Table 1

Table 1 The comparison of efficiency wastewater treatment from *Vetiveria zizanioides* Nash. and *Cyperus corymbosus* Rottb.

Treatment	Week-cycles	The wastewater treatment efficiency			
		Non pre-treated wastewater		Pre-treated wastewater	
		COD (mg/l)	% removal	COD (mg/l)	% removal
T1	1	121.65 ± 50.17	96.69 ± 1.37 ab	40.44 ± 16.67	95.91 ± 1.69 ab
	2	193.94 ± 74.66	94.72 ± 2.03 ab	64.99 ± 25.01	93.43 ± 2.53 ab
	3	318.10 ± 73.46	91.33 ± 2.00 k	146.63 ± 56.44	85.17 ± 5.71 bc
	4	554.95 ± 71.20	84.88 ± 1.94 l	369.97 ± 33.36	62.59 ± 3.37 j
	5	653.18 ± 68.94	82.20 ± 1.88 m	526.30 ± 46.74	46.78 ± 4.73 k
	6	795.58 ± 77.91	78.32 ± 2.12 n	612.68 ± 56.19	38.05 ± 5.68 l
Mean		439.57 ± 9.90	88.02 ± 1.89 C	293.50 ± 16.65	71.32 ± 3.95 C
T2	1	16.03 ± 6.17	99.56 ± 0.17 ab	10.69 ± 0.00	98.92 ± 0.00 ab
	2	25.42 ± 4.51	99.31 ± 0.12 ab	19.55 ± 0.00	98.02 ± 0.00 ab
	3	79.17 ± 0.00	97.84 ± 0.00 c	24.74 ± 0.00	97.50 ± 0.00 bc
	4	140.63 ± 16.24	96.17 ± 0.44 d	35.16 ± 8.12	96.44 ± 0.82 d
	5	271.73 ± 29.79	92.60 ± 0.81 e	42.46 ± 9.80	95.71 ± 0.99 e
	6	510.11 ± 3.28	86.10 ± 0.09 f	145.75 ± 33.66	85.26 ± 3.40 f
Mean		173.85 ± 11.14	95.26 ± 0.27 A	46.39 ± 13.05	95.31 ± 0.87 AB
T3	1	26.72 ± 6.39	99.27 ± 0.17 ab	16.03 ± 6.17	98.38 ± 0.62 ab
	2	38.12 ± 8.05	68.96 ± 0.22 ab	31.70 ± 9.16	96.79 ± 0.93 ab
	3	128.65 ± 0.00	96.49 ± 0.00 g	49.48 ± 0.00	95.00 ± 0.00 bc
	4	253.14 ± 31.74	93.10 ± 0.87 h	56.25 ± 0.00	94.31 ± 0.00 g

Treatment	Week-cycles	The wastewater treatment efficiency			
		Non pre-treated wastewater		Pre-treated wastewater	
		COD (mg/l)	% removal	COD (mg/l)	% removal
	5	373.63 ± 39.47	89.82 ± 1.08 i	67.93 ± 0.00	96.13 ± 0.00 h
	6	590.27 ± 9.13	83.92 ± 0.25 j	163.96 ± 21.04	83.42 ± 2.13 i
Mean		235.09 ± 15.86	93.92 ± 0.25 B	64.23 ± 8.30	95.51 ± 0.61 AB
F-test		-	*	-	*
CV (%)		85.50	7.14	132.22	20.85

T1 = wastewater treatment by use of grown materials (Control treatment).

T2 = wastewater treatment by use of grown materials combining with *Vetiveria zizanioides* Nash.

T3 = wastewater treatment by use of grown materials combining with *Cyperus corymbosus* Rottb.

Uppercase (A, B, and C) shown differ significance of treatment.

Lowercase (a, b, c ….. and f) shown differ significance of week-cycles.

Mean values on the same column with the same letters do not differ significantly.

* = Significant at p – value < 0.05

วิจารณ์และสรุปผล

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อความสามารถในการบำบัดน้ำเสียด้วยวัสดุปลูกพืช อาจแบ่งได้เป็น (ก) ระดับความลึกของชั้นวัสดุปลูกพืช (โดยเฉพาะชั้นดิน) ซึ่งที่ความลึกประมาณ 30 เซนติเมตร วัสดุปลูกพืชสามารถกรองของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียได้ดีจึงทำให้น้ำเสียที่ผ่านวัสดุปลูกพืชมีลักษณะที่ใสขึ้น และในระยะความลึกประมาณ 60 เซนติเมตรขึ้นไป วัสดุปลูกพืชสามารถกรองสารอินทรีย์และสารพิษที่สามารถละลายน้ำได้ทั้งหมด (ข) ลักษณะเนื้อดิน โดยดินถือเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของวัสดุปลูกพืช ซึ่งเนื้อดินที่มีอนุภาคดินเหนียวต่ำ (low clay content) จะมีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ได้มากกว่าร้อยละ 90[9,13] โดยชั้นดินที่มีอนุภาคของดินเหนียวเป็นจำนวนมาก ช่องว่างระหว่างดิน (pore space) จะมีจำนวนน้อยซึ่งทำให้น้ำเสียไหลผ่านได้น้อย และเกิดสภาวะน้ำขังแช่ในชั้นดินนานเกินไป (ponded condition) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียลดลงเป็นอย่างมาก ในทางกลับกัน ดินที่มีทรายหรือกรวดผสมอยู่มากเกินไป น้ำเสียจะมีการไหลผ่านอย่างรวดจึงไม่เกิดการขังแช่ในชั้นดินจนทำให้กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพเกิดขึ้นน้อยหรือไม่มีการเกิดขึ้น[28]

นอกจากนี้การใช้กรวด ทรายหยาบ และทรายละเอียดในส่วนผสมของวัสดุปลูกพืชยังช่วยให้พืชสามารถยึดเกาะและเจริญเติบโตได้ดีอีกด้วย[19] และ (ค) จุลินทรีย์ในวัสดุปลูกพืช ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการย่อยสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ใช้ออกซิเจนจะทำหน้าที่ย่อยสารอินทรีย์ในช่วงแรกของการขังแช่น้ำเสีย และเมื่อผ่านสักระยะหนึ่งออกซิเจนในระบบบำบัดจะหมดลงจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะเริ่มทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยใช้สารอนินทรีย์ที่เหลืออยู่ในระบบบำบัดมาเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการเจริญเติบโตจึงเกิดการบำบัดอย่างต่อเนื่องนั่นเอง แต่ในการบำบัดจะต้องมีช่วงการพักการบำบัด (ขังแช่น้ำเสีย) เพื่อป้องกันการอัดแน่นของชั้นวัสดุปลูกพืช (โดยเฉพาะชั้นดิน) และเพื่อให้เกิดการถ่ายเทอากาศภายในชั้นดินอีกด้วย[11]

ในส่วนของการบำบัดน้ำเสียด้วยพืชบำบัดน้ำเสีย ผลการทดลองเผยให้เห็นว่า หญ้าแฝกหอมมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียดีกว่ากกกลมจันทบูรในหน่วยทดลองที่ใช้น้ำเสียที่ไม่มีการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 แต่ในหน่วยทดลองที่ใช้น้ำเสียที่มีการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น ทั้งหญ้าแฝกหอม และกกกลมจันทบูรมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเท่ากัน โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งพืชบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด ช่วยให้การบำบัดน้ำเสียดีขึ้นทั้งในหน่วยทดลองที่ใช้น้ำเสียที่ไม่มีการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นและในหน่วยทดลองที่ใช้น้ำเสียที่มีการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น โดยพืชบำบัดน้ำเสียจะทำการเปลี่ยนถ่ายก๊าซที่เป็นพิษออก (อาทิ CO_2, N_2, N_2O และ CH_4 เป็นต้น) ให้กับจุลินทรีย์บริเวณรากพืชบำบัดน้ำเสีย ส่งผลทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้การแลกเปลี่ยนก๊าซจะเกิดในชั้นดินบริเวณรากพืช (rhizosphere) ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนก๊าซต่าง ๆ จากบริเวณรากพืชออกสู่ชั้นบรรยากาศและดึงเอาก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศลงสู่บริเวณรากพืชด้วยเนื้อเยื่อแอเรงคิมา (aerenchyma) หรือเนื้อเยื่อลำเลียงอากาศ[3] จึงทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่องระหว่างชั้นดิน เชื้อจุลินทรีย์ และสารอินทรีย์[23,24]

นอกจากนี้สารอินทรีย์ปริมาณสูงในน้ำเสียโรงงานขนมจีนยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด พบว่า หน่วยทดลองที่ใช้น้ำเสียที่ไม่มีการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น กกกลมจันทบูรมีการเจริญเติบโตและการแตกกอน้อยลง ส่วนในหญ้าแฝกหอมมีการเจริญเติบโตและการแตกกอน้อยลง นอกจากนี้ยังพบอาการใบแห้งกรอบ ซึ่งเริ่มเกิดตั้งแต่รอบที่ 4 ของการบำบัด ในส่วนของหน่วยการทดลองที่ใช้น้ำเสียแบบผ่านการบำบัดเบื้องต้น พืชบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด มีการเจริญเติบโตและการแตกกอตามปกติ โดยพืชทุกชนิดจะตอบสนองต่อปัจจัยภายนอก (สภาพแวดล้อม) ในการเจริญเติบโต อาทิ ภูมิอากาศ, แสง, อุณหภูมิ, น้ำ, ช่วงแสง, ลม, แก๊สต่างๆ, เนื้อดิน, โครงสร้างของดิน, อินทรียวัตถุ, CEC, pH ของดิน, วัชพืช, แมลง, โรคระบาด, จุลินทรีย์, และ สัตว์ต่างๆ เป็นต้น[26] ซึ่งพืชจะไม่แสดงอาการตอบสนองเมื่อมีปัจจัยนั้นอยู่ในระดับต่ำสุด (minimum) แต่เมื่อมีการเพิ่มปัจจัยนั้นมากขึ้น การตอบสนองจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนแทบจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณปัจจัยที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณหรือความเข้มข้นของปัจจัยนั้นต่อไป อัตราการตอบสนองจะค่อยๆ ลดลงจนจุดเ หมาะสม (optimum) จากนั้นจะลดลงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งระดับการตอบสนองเท่ากับศูนย์ หรือเรียกว่า จุดสูงสุด (maximum) ซึ่งเกิดจากพืชได้รับปัจจัยในปริมาณที่มากจนเกินไปหลังจากถึงระยะอิ่มตัว (saturation) จนทำให้เกิดการยับยั้ง (inhibition) หรือเป็นพิษต่อพืชขึ้น จุดที่มีปริมาณของปัจจัยที่ทำให้เกิดการตอบสนองทั้งสามจุดอันได้แก่ จุดต่ำสุด, จุดเหมาะสม และจุดสูงสุด ดังกล่าวเรียกว่า จุดคาร์ดินัล (cardinal points) ในพืชแต่ละชนิด แต่ละพันธุ์จะมีการตอบสนองต่อปัจจัยต่างๆ ในลักษณะเดียวกัน แต่จะแตกต่างในเรื่องของระดับความเข้มข้นของปัจจัยต่อระดับและระยะเวลาการตอบสนองที่ไม่เท่ากันเท่านั้น โดยทั่วไปแล้วการตอบสนองในเชิงปริมาณของพืชต่อปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต[27]

งานวิจัยนี้จึงแสดงให้เห็นว่า สารอินทรีย์ปริมาณสูงในน้ำเสียโรงงานขนมจีนมีอิทธิพลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียทั้งด้วยวัสดุปลูกพืชอย่างเดียวหรือด้วยวัสดุปลูกพืชร่วมกับหญ้าแฝกหอมและกกกลมจันทบูรในหน่วยบำบัดขนาดเล็กที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (ถังพลาสติกทรงกลมขนาดความจุ 30 ลิตร) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mosse[16] ที่พบว่าน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นจะมีผลกระทบอย่างมากกับสภาพการแลกเปลี่ยนก๊าซของวัสดุปลูกพืช (soil respiration) การหมุนเวียนธาตุไนโตรเจน (nitrogen cycling) และจำนวนจุลินทรีย์ในวัสดุปลูกพืช (microbial community structure) ซึ่งในทางกลับกันน้ำเสียที่มีการบำบัดเบื้องต้นจะไม่ส่งผลกระทบใดๆ ทั้งสิ้น ดังนั้นเพื่อที่จะให้หน่วยบำบัดขนาดเล็กที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงควรทำการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นก่อนเข้าสู่หน่วยบำบัดขนาดเล็ก โดยรูปแบบการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ[17] ถือได้ว่ามีความเหมาะสมมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ Dr. Benjamin C. Schulte ผู้เชี่ยวชาญต่างประเทศที่ช่วยให้ความคิดเห็น แก้ไข ปรับปรุง และเพิ่มเติมบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ให้เกิดความถูกต้องและเหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาที่ดิน. เอกสารเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี: การใช้ระโยชน์หญ้าแฝกในการรักษาและฟื้ นฟูสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; 2550.
2. กลุ่มเทคโนโลยีการป้องกันมลพิษ. หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ) อุตสาหกรรมรายสาขาแป้งขนมจีน. สำนักเทคโนโลยีน้ำและการจัดการมลพิษโรงงาน. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม; 2549.
3. กัญจน์ ศิลป์ประสิทธิ์. ความสัมพันธ์ทางสรีรวิทยาของต้นข้าวกับการนำพาก๊าศมีเทนจากนาข้าวสู่บรรยากาศ. วารสารวิชาปทุมวัน 2555;2(5):45-53.
4. ดาริกา วสุนธรากุล, สุดสาคร พุกงาม. การใช้พืชน้ำในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ. วารสารวิทยาศาสตร์ทักษิณ 2548;2(2):44-55.
5. ประมวล ทรายทอง. การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งในกระบวนการผลิตขนมจีนโดยวิธีการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2548.
6. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539). กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม; 2540.
7. ลาวัณย์ ไกรเดช. มาตรฐานคุณภาพและเอกลักษณ์ความเป็นไทยของขนมจีนหมักที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรม. ปทุมธานี; ศูนย์พันธุ์วิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ; 2545.
8. วรพจน์ รัตนพันธุ์. สภาวะการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเส้นขนมจีนโดยแอนแอร์โรบิคคอนแทค. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2550.

9. Akber A, Al-Awadi E, Rashid T. Assessment of the use of soil aquifer treatment (sat) technology in improving the quality of tertiary treated wastewater in Kuwait. Emirates Journal for Engineering Research 2003; 8(2):25-31.
10. Bunnag S, Pimda W, Pongpera S. Utilization of *Spirulina platensis* for wastewater treatment in fermented rice noodle factory. ELBA Bioflux 2010; 2(2):39-44.
11. Christen EW, Quayle WC, Marcoux MA, Arienzo M, Jayawardane NS. Winery wastewater treatment using the landfilter technique. Journal of Environmental Management 2010; 91:1,665-73.
12. Kadlec RH, Wallace S. Treatment Wetlands 2nd ed. Taylor & Francis Group: USA; 2008.
13. Karen M, Brian S. Suitability of Ohio Soils for Treating Wastewater. Bulletin 896: USA; 2002.
14. Klomjek P, Nitisoravut S. Constructed treatment wetland: a study of eight plant species under saline conditions. Chemospere 2005; 58:585-93.
15. Koottatep T, Polprasert C, Oanh NTK, Surinkul N, Montangero A, Strauss M. Constructed Wetlands for Septage Treatment – Towards Effective Faecal Sludge Management. AIT: Thailand; 2002.
16. Mosse KPM, Patti AF, Smernik RJ, Christen EW, Cavagnaro TR. Physicochemical and microbiological effects of long- and short-term winery wastewater application to soils. Journal of Hazardous Materials 2012; 201-2:219-28.
17. Pratum C, Tangkananuruk N, Tangkananuruk K, Sirivithayapakorn S. Enhancement of Biological Wastewater Treatment of Fermented Rice Noodle Industry using *Bacillus subtilis* KJP8. International Journal of Applied Environmental Sciences 2014:9(2) :285-94.
18. Ratanapongleka K, Siripattanakul S, Suvannapen W, Tummavong J. Utilization of fermented rice noodle effluents for bioethanol production. International Journal of Chemical and Environmental Engineering 2010:1(1):13-17.
19. Reed SC, Middlebrooks EJ, Crites RW. Natural System for Waste Management and Treatment. McGraw-Hill Inc.: New York; 1988.
20. Sirianuntapiboon S, Yommee S. Application of a new type of moving bio-film in aerobic sequencing batch reactor (aerobic-SBR). Journal of environmental management 2008; 78(2):149-56.
21. Siripattanakul S, Ratanapongleka K, Sangthean P, Yoottachana K, Pimwongnok K. Fermented rice noodle wastewater treatment and ethanol production potential using entrapped yeast cells. Water Practice Technol 2010; 5:1-7.
22. Siripattanakul-Ratpukdi S. Ethanol production potential from fermented rice noodle wastewater treatment using entrapped yeast cell sequencing batch reactor. Applied Water Science 2012; 2(1):47-53.
23. Stottmeister U, Wießner A, Kuschk P, Kappelmeyer U, Kästner M, Bederski O, Moormann H. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. Biotechnology Advances 2003; 22(1):93-117.
24. Wenzel WW. Rhizosphere processes and management in plant-assisted bioremediation (phytoremediation) of soils. Plant and Soil 2009; (1-2):385-408.
25. Wilkie AC. Anaerobic digestion: biology and benefits. In: Dairy Manure Management Conference; 2005 March 15-17; Cornell University, USA; 2005. P. 63-72.
26. Gardner FP, Pearce RB, Mitchell RL. Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press, USA; 1985.
27. Salisbury FB, Ross CW. Plant Physiology 2nd ed. Wadsworth Publishing Company, Inc., Belmont, California, USA; 1978.
28. Loomis GW. Soil based wastewater treatment. 1999; Available Source: http://bit.ly/2cl3baq, September 9, 2016.