

การเจริญเติบโต ผลผลิตและปริมาณการสะสมไนเตรทในผักสลัด 5 พันธุ์ ที่ปลูกภายใต้ระบบไฮโดรโปนิิกส์

Growth, yield and nitrate accumulation in five lettuces grown under hydroponics system

อริสรา ผาสุก¹, ประสิทธิ์ ชุติชูเดช², เบ็ญจวรรณ ชุติชูเดช²

Arisara Phasuk¹, Prasit Chutichudet², Benjawan Chutichudet²

Received: 25 December 2018; Revised: 15 March 2019; Accepted: 10 April 2019

บทคัดย่อ

ศึกษาการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณการสะสมไนเตรทของผักสลัดจำนวน 5 พันธุ์ ที่ปลูกภายใต้ระบบไฮโดรโป-นิิกส์แบบ Dynamic Root Floating Technique (DRFT) วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design จำนวน 4 กรรมวิธีซ้ำ ๆ ละ 4 ต้น ได้แก่ กรีนคอส กรีนโอ๊ค บัตเตอร์เฮด เรดคอรัล และเรดโอ๊ค ที่ระยะการเจริญเติบโต 2, 3, 4 และ 5 สัปดาห์หลังย้ายปลูก ทำการทดลองระหว่างเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม 2560 ณ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลการทดลองพบว่าในสัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูก ผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมี ความสูงต้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น น้ำหนักต้นสด น้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักรากสด และน้ำหนักรากแห้ง มากที่สุดคือ 34.39 เซนติเมตร 2.23 เซนติเมตร 335.69 กรัม 65.24 กรัม 51.59 กรัม และ 2.52 กรัม ตามลำดับ สำหรับการทดลองหาปริมาณไนเตรทในส่วนต่างๆ ของต้นผักสลัด วางแผนการทดลองแบบ 5x4x5 Factorial in Randomized Complete Block Design (พันธุ์ x ระยะเวลากการเจริญเติบโต x ส่วนต่างๆ ของต้น) ผลการทดลองพบว่าผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์ มีการสะสมไนเตรทเพิ่มขึ้นตามระยะเวลากการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะพันธุ์เรดโอ๊คพบไนเตรทในปริมาณมากที่สุดคือ 162.30 กรัมต่อกิโลกรัม ในส่วนที่ใช้บริโภค (ก้าน+ใบ) ในสัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูก

คำสำคัญ: ผักสลัด ไฮโดรโปนิิกส์ ไนเตรท การสะสมไนเตรท

Abstract

The aim of this research was to investigate growth, yield and nitrate accumulation of lettuce grown under hydroponics of Dynamic Root Floating Technique (DRFT). The experimental design was conducted under completely randomized design with 4 replications (4 plants per replication). Factor A was 5 lettuce varieties; Green cos, Green oak, Butterhead, Red coral and Red oak. Factor B was levels of growth periods; 2, 3, 4 and 5 weeks after transplanting (WAT). The experiment was carried out during September to October, 2017 at Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University. The results showed that Green cos on 5 WAT gave the greatest values of plant height, stem diameter, shoot fresh weight, shoot dry weight, fresh root weight, and dry root weight with 34.39 cm, 2.23 cm, 335.69 g, 65.24 cm, 51.59 g, and 2.52 g, respectively. For the analysis of nitrate contents in each part, the lettuces were arranged under 5x4x5 Factorial in RCBD (varieties x growth period x part of plant). The results revealed that all 5 varieties of lettuce had increasing accumulation of nitrate in accordance with the increasing growth period. Especially, Red oak on 5 WAT had the highest nitrate content of 162.30 gram per kilogram in consumable parts (petiole + leaf).

Keywords: lettuce, hydroponics, nitrate, nitrate accumulation

¹ นิสิตระดับปริญญาโท, ²อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master Degree Student, ² Lecturer of Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantarawichai District, Mahasarakham, Thailand 44150

* Corresponding author: Arisara Phasuk, Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantarawichai District, Mahasarakham, Thailand 44150 E-mail : arisara2094@gmail.com

บทนำ

ผักสลัดเป็นพืชอายุสั้นฤดูเดียว ลำต้นอวบสั้น มีลักษณะและสีแตกต่างกันขึ้นกับแต่ละพันธุ์ ผักสลัดนิยมนำมาใช้บริโภคอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีรสชาติดี ประกอบด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าแก่ร่างกายหลายชนิด ได้แก่ วิตามิน แคลเซียม เบต้าแคโรทีน โฟเลต ธาตุเหล็ก และอื่น ๆ¹ จากปริมาณความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อความต้องการของตลาด จึงส่งผลให้มีราคาสูง จึงทำให้มีแนวความคิดที่จะขยายพื้นที่การเพาะปลูก และปรับเปลี่ยนวิธีการเพาะปลูกเพื่อให้ได้ผักสลัดในปริมาณเพิ่มขึ้น การปลูกผักสลัดด้วยระบบไฮโดรโป-นิกส์ จึงเป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่น่าสนใจ และกำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายจากเกษตรกรผู้ผลิต ซึ่งเป็นการปลูกพืชแบบให้ส่วนรากของต้นพืชจุ่มลงในสารละลายธาตุอาหารโดยตรง การปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ในประเทศไทยที่นิยมคือ แบบ Nutrient Film Technique (NFT) และแบบ Dynamic Root Floating Technique (DRFT) การปลูกพืชแบบไฮโดร-โปนิกส์สามารถนำมาใช้ควบคุมการเจริญเติบโตของพืชได้ดี และยังช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิต และคุณภาพ โดยใช้พื้นที่เพาะปลูกน้อย ตลอดจนเสียค่าใช้จ่ายในระยะยาวที่ต่ำ² อย่างไรก็ตามปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความวิตกกังวลในการบริโภคผักที่ปลูกในสารละลาย เพราะในสารละลายที่ใช้มักมีธาตุไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของไนเตรทประมาณร้อยละ 80-90 ของธาตุอาหารไนโตรเจนทั้งหมด³ โดยไนเตรท (NO_3^-) ที่ใช้ในทางการเกษตรจะอยู่ในรูปเกลือไนเตรทของโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แอมโมเนียม ฯลฯ โดยปกติไนเตรทจัดเป็นสารที่ไม่มีพิษ แต่เมื่อรับประทานอาหารที่มีไนเตรทตกค้างสูงเข้าสู่ร่างกาย จะถูกจุลินทรีย์ในกลุ่มแอมโมเนียมออกไซด์ในกระเพาะอาหารและลำไส้เปลี่ยนจากไนเตรทไปอยู่ในรูปไนไตรท์ (NO_2^-) ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเมทฮีโมโกลบินเมีย (methemoglobinemia) ซึ่งเกิดจากฮีโมโกลบินในเลือดถูกออกซิไดซ์ (oxidize) ด้วยไนไตรท์กลายเป็นเมท-ฮีโมโกลบิน (methemoglobin) ทำให้ไม่สามารถพาออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ ในร่างกายได้ ในคนทั่วไปจะมีเมทฮีโมโกลบินในเลือดประมาณ 0.5-2 เปอร์เซ็นต์ ถ้าสูงกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ร่างกายอ่อนเพลีย ตัวเขียว หัวใจเต้นเร็ว และถ้าสูงถึงระดับ 50-60 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้หมดสติ และเสียชีวิตได้ นอกจากนี้ไนไตรท์ยังสามารถทำปฏิกิริยากับ amines ในอาหาร เกิดเป็นสาร nitrosamines ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งระดับ กระเพาะอาหาร และหลอดอาหาร ในผู้ที่บริโภคอาหารตอบสนองไวต่อสารนี้จะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ท้องร่วง อุจจาระเป็นเลือด และปวดศีรษะ ทั้งนี้ไนไตรท์ยังก่อให้เกิดปัญหาต่อการทำงานของต่อม

ไทรอยด์อีกด้วย⁴ จากข้อกังวลเกี่ยวกับผลกระทบของไนเตรทดังกล่าว ผู้เชี่ยวชาญด้านอาหารระดับนานาชาติ หรือ JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee On Food Additives) ได้ประเมินค่าความปลอดภัยของไนเตรทในอาหารที่บริโภคได้ต่อวัน ไม่ควรเกิน 0.22 กรัมต่อคนที่มีน้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม อย่างไรก็ตามปริมาณไนเตรทสูงสุดในผักกาดหอมตามข้อบังคับของสหภาพยุโรป 2536 กำหนดไว้ไม่เกิน 2.5 กรัมต่อกิโลกรัมของผัก จากการปลูกผักด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ส่วนของรากพืชจะแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งรากจะทำหน้าที่ดูดสารละลายธาตุอาหารต่างๆ รวมทั้งไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของไนเตรท หากพืชนั้นได้รับปุ๋ยไนโตรเจนในรูปไนเตรทมากเกินไปจนนำไปใช้ไม่หมด อาจส่งผลให้เกิดการสะสมไนเตรทในส่วนต่างๆ ของต้นพืชผัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณการสะสมไนเตรทในส่วนต่างๆ ของผักสลัดจำนวน 5 พันธุ์ที่ปลูกภายใต้ระบบไฮโดรโปนิกส์เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการผลิตผักสลัด รวมทั้งยังใช้เป็นข้อมูลพิจารณาการตัดสินใจของผู้บริโภคผักสลัด

วิธีการศึกษา

ศึกษาการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณการสะสมไนเตรทในผักสลัดที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโป-นิกส์แบบ DRFT โดยใช้สารละลายธาตุอาหารสูตรเอ, บี ซึ่งโดยทั่วไปสารละลายธาตุอาหารสูตรเอ จะประกอบด้วยแคลเซียมไนเตรท ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) และเหล็กอีเลด (Fe-EDTA) และสารละลายสูตรบีประกอบด้วยโพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) โมโน-โพแทสเซียมไนเตรท (KH_2PO_4) โมโนแอมโมเนียม-ฟอสเฟต ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{P}_4$) แมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) และจุลธาตุต่าง ๆ เมื่อนำทั้ง 2 สูตรมาใช้ร่วมกันในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช จะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชชนิดต่างๆ¹⁴ ทำการทดลองในระหว่างเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม 2560 ซึ่งบริเวณโรงเรือนได้รับแสงเฉลี่ยตั้งแต่เวลา 05.54-18.20 นาฬิกา อุณหภูมิภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ยเท่ากับ 34.5 องศาเซลเซียส โดยเพาะเมล็ดผักสลัดในแผ่นฟองน้ำ เมื่อดันกล้าผักอายุครบ 2 สัปดาห์ทำการย้ายลงปลูกลงในแผ่นปลูก หลุมละหนึ่งต้น โดยใช้ระยะปลูก 12×15 เซนติเมตร

การศึกษากการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดจำนวน 5 พันธุ์ วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design จำนวน 4 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ๆ ละ 4 ต้น ใช้พันธุ์ผักสลัดจำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ กรีนคอส กรีนอ๊ค บัตเตอร์เฮด เรดคอส และเรดอ๊ค และระยะเวลาในการเจริญเติบโต 4

ระยะ คือ 2, 3, 4 และ 5 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก โดยทำการบันทึกข้อมูลในด้านต่างๆ เกี่ยวกับความสูงต้น (เซนติเมตร) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น (เซนติเมตร) จำนวนใบ ขนาดทรงพุ่ม (เซนติเมตร) น้ำหนักต้นสด (กรัม) น้ำหนักต้นแห้ง (กรัม) ความยาวราก (เซนติเมตร) น้ำหนักรากสด (กรัม) น้ำหนักรากแห้ง (กรัม) และมวลชีวภาพ (เปอร์เซ็นต์) และศึกษาปริมาณการสะสมไนเตรทใน ส่วนต่างๆ ของผักสลัด ได้แก่ ราก ลำต้น ก้าน ใบ และส่วนที่บริโภค (ก้าน+ใบ) โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทตามวิธีการของ association of official analytical chemists (AOAC)⁵ โดยการเก็บตัวอย่างผักสลัดน้ำหนัก 100 กรัม ล้างให้สะอาด ผึ่งให้แห้ง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48-72 ชั่วโมง นำมาบดเป็นผงละเอียดชั่งตัวอย่างแห้งน้ำหนัก 1 กรัม เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง mixer ทิ้งไว้ข้ามคืน นำไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 จากนั้นดูดสารสกัดตัวอย่าง 1.0 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่น 1.0 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายเกลือ NaCl ความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ และกรด H_2SO_4 ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำละลาย Brucine sulfanilic แล้วนำหลอดทดลองไปตั้งในน้ำเดือดเป็นเวลา 25 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer การวิเคราะห์ทางสถิติ ใช้โปรแกรม Genstat เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของข้อมูลด้วย DMRT

ผลและอภิปรายผล

การเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์ หลังการย้ายปลูกพบว่า ผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์ มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยมีการเจริญเติบโตในด้านต่างๆ ดังนี้

ความสูงต้น

ผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์มีความสูงต้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ในสัปดาห์ที่ 5 ผักสลัดทุกพันธุ์มีความสูงต้นมากกว่าพันธุ์อื่นๆ (Figure 1) โดยพันธุ์กรีนคอสมีความสูงต้นมากที่สุด เท่ากับ 34.39 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ พันธุ์กรีนโอ๊ค เท่ากับ 28.81 เซนติเมตร ทั้งนี้ความสูงต้นน้อยที่สุดพบในพันธุ์เรดคอรอลสัปดาห์ที่ 2 เท่ากับ 5.89 เซนติเมตร เนื่องจากผักสลัดพันธุ์ กรีนคอสมีลักษณะต้นทรงสูง ใบยาวรี ช้อนกันเป็นข้อขึ้นมาทรงตั้ง ซึ่งแตกต่างจากพันธุ์อื่น ๆ ที่มีลักษณะขอบใบหยักและสั้นกว่า¹³ จึงทำให้ผักสลัดพันธุ์ กรีนคอสมีความสูง

ต้นมากกว่าพันธุ์อื่นๆ

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น

ผลการทดลองพบว่า พันธุ์กรีนคอสมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด (Figure 2) เท่ากับ 2.23 เซนติเมตร ในสัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูก ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.05$) ขณะที่พันธุ์ กรีนโอ๊ค เรดคอรอล และเรดโอ๊คในสัปดาห์ที่ 5 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.46, 1.50 และ 1.82 เซนติเมตร ตามลำดับ เนื่องจากลำต้นของผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีลักษณะแข็งแรง อวบใหญ่ จึงทำให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด

จำนวนใบ

จากการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาในการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ผักสลัดแต่ละพันธุ์มีจำนวนใบเพิ่มขึ้น ทั้งนี้จำนวนใบของต้นสูงสุดพบในสัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูก โดยผักพันธุ์ กรีนโอ๊คมีจำนวนใบมากที่สุด (Figure 3) เท่ากับ 32.31 ใบ ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือพันธุ์ กรีนคอส เรดคอรอล บัตเตอร์เฮด และเรดโอ๊ค มีจำนวนใบเท่ากับ 30.25, 25.81, 24.12 และ 19.69 ใบ ตามลำดับ เนื่องจากลำต้นของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คมีข้อสั้น และต้นจะสร้างใบออกตามบริเวณข้อ ซึ่งแตกต่างจากพันธุ์อื่นที่มีข้อยาวกว่าจึงทำให้มีจำนวนใบในมากที่สุด¹³

ขนาดทรงพุ่ม

ผลการทดลองใน พบว่า ต้นผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คและเรดคอรอลมีขนาดทรงพุ่มมากที่สุดเท่ากับ 32.52 และ 31.81 เซนติเมตร ตามลำดับ (Figure 4) ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับบัตเตอร์เฮด รองลงมาคือพันธุ์กรีนคอส เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด มีขนาดทรงพุ่มเท่ากับ 30.68 30.48 และ 27.26 เซนติเมตร ตามลำดับ เนื่องจากผักสลัดกรีนโอ๊คมีลักษณะทรงพุ่มที่กลม ลำต้นมีข้อสั้น แต่มีก้านใบยาว ลักษณะก้านใบแผ่ออกด้านข้าง ใบเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว ออกตามข้อสั้น ออกเรียงสลับรอบๆ ใบอยู่ด้านนอกใหญ่กว่าใบข้างใน¹³ ทำให้กรีนโอ๊คมีขนาดทรงพุ่มมากที่สุด

น้ำหนักต้นสด

ผลการทดลองพบว่า ผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์ มีน้ำหนักต้นสดสูงสุดในสัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูก โดยพันธุ์กรีนคอสมีน้ำหนักต้นสดมากที่สุดเท่ากับ 335.69 กรัม ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.05$) รองลงมาได้แก่พันธุ์กรีนโอ๊คและบัตเตอร์-เฮดมีน้ำหนักต้นสดเท่ากับ 200.06 และ 207.21 กรัม ตามลำดับ พันธุ์เรดคอรอลและเรดโอ๊คมีน้ำหนักต้นสดน้อยที่สุดคือ 146.40 และ 143.76 กรัม ตามลำดับ (Figure 5) เนื่องจากผักสลัดพันธุ์กรีนคอสเป็นผักสลัดที่มีลักษณะใบกรอบ ก้านใบหนา ลำต้นมีขนาดใหญ่¹³ จึงทำให้

กรีนคอสมีน้ำหนักต้นสดมากที่สุด

น้ำหนักต้นแห้ง

ผลการทดลองใน Figure 6 พบว่าน้ำหนักต้นแห้งของ ผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์ มีแนวโน้ม มีสอดคล้องกับน้ำหนักต้นสด โดยผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีน้ำหนักต้นแห้งมากที่สุด เท่ากับ 19.43 กรัม ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.05$) รองลงมาได้แก่ พันธุ์บัตเตอร์เฮด (15.52 กรัม) ขณะที่พันธุ์กรีนโอ๊ค เรดคอรัล และเรดโอ๊ค มีน้ำหนักต้นแห้งน้อยที่สุด เท่ากับ 10.96, 9.70 และ 8.14 กรัม ตามลำดับ

ความยาวราก

ผลการทดลองพบว่า ในสัปดาห์ที่ 5 หลังการย้ายปลูก ผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดมีความยาวรากมากที่สุด เท่ากับ 65.24 เซนติเมตร (Figure 7) แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.05$) กับพันธุ์อื่นๆ รองลงมาได้แก่ พันธุ์กรีนคอส เรดโอ๊ค และเรดคอรัล มีความยาวรากเท่ากับ 57.90, 54.61 และ 53.43 เซนติเมตร ตามลำดับ และความยาวรากน้อยที่สุดพบในผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค เท่ากับ 49.08 เซนติเมตร

น้ำหนักรากสด

ผลการทดลองพบว่า น้ำหนักรากสดของต้นผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์ในสัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูก (Figure 8) แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.05$) โดยผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีน้ำหนักรากสดมากที่สุดเท่ากับ 51.59 กรัม รองลงมาได้แก่ พันธุ์กรีนโอ๊ค และเรดคอรัล มีน้ำหนักรากสดเท่ากับ 18.29 และ 28.20 กรัม ตามลำดับ ขณะที่พันธุ์บัตเตอร์เฮดและเรดโอ๊คมีน้ำหนักรากสดน้อยที่สุดคือ 18.58 และ 20.93 กรัม ตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นได้จาก การเจริญเติบโตของรากมีความสัมพันธ์กับการเจริญของส่วนต้น เมื่อต้นพืชมีการเจริญในส่วน

ต้นคือมีการเจริญของใบที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงได้ดี จะส่งผลช่วยส่งเสริมให้มีการเจริญของรากเพิ่มขึ้นไปพร้อมๆ กัน¹² สอดคล้องกับผลการทดลองนี้ที่พบว่าผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีน้ำหนักต้นสดและรากสดมากที่สุด

น้ำหนักรากแห้ง

ในสัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูกพบว่า ผักสลัดทั้ง 5 พันธุ์มีน้ำหนักรากแห้งมากที่สุด สอดคล้องกับน้ำหนักรากสด (Figure 9) โดยผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีน้ำหนักรากแห้งมากที่สุด เท่ากับ 2.52 กรัม ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.05$) รองลงมาได้แก่ พันธุ์เรดคอรัลมีน้ำหนักรากแห้ง 1.52 กรัม ขณะที่พันธุ์ กรีนโอ๊ค บัตเตอร์เฮด และเรดโอ๊ค มีน้ำหนักรากแห้งน้อยที่สุด เท่ากับ 1.38, 1.16 และ 1.12 กรัม ตามลำดับ

มวลชีวภาพ

ในสัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูก ผักสลัดพันธุ์ กรีนโอ๊คมีมวลชีวภาพมากที่สุดเท่ากับ 22.41 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นๆ รองลงมาได้แก่ พันธุ์บัตเตอร์เฮด กรีนโอ๊ค กรีนคอส และ เรดคอรัล เท่ากับ 16.91, 12.50, 11.57 และ 9.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของมวลชีวภาพของต้นพืชอาจเกิดจากกลไกการปรับตัวของพืชภายใต้สภาพที่มีปริมาณประจุของธาตุอาหารที่แตกตัวในสารละลายธาตุอาหารในปริมาณมาก เพื่อช่วยในการปรับสมดุลออสโมติกภายในต้นพืช ทำให้พืชสามารถรักษาความสามารถในการดูดซึมน้ำ และธาตุอาหาร รวมทั้งป้องกันอันตรายที่เกิดจากปริมาณประจุของธาตุอาหารที่แตกตัวในสารละลายธาตุอาหารที่มีปริมาณมากเกินไป¹⁵

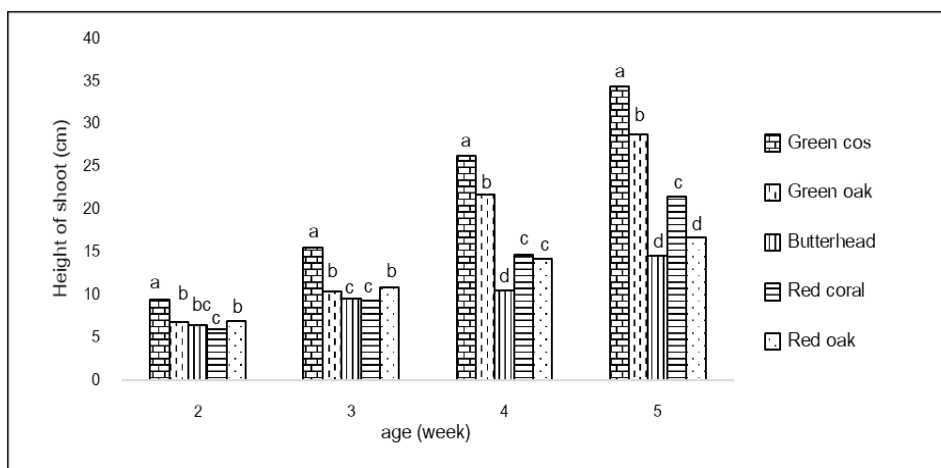


Figure 1 Height of shoot of five lettuce grown under hydroponics system

*A different small letter on bar indicates significant difference ($p \leq 0.05$) compared among treatment.

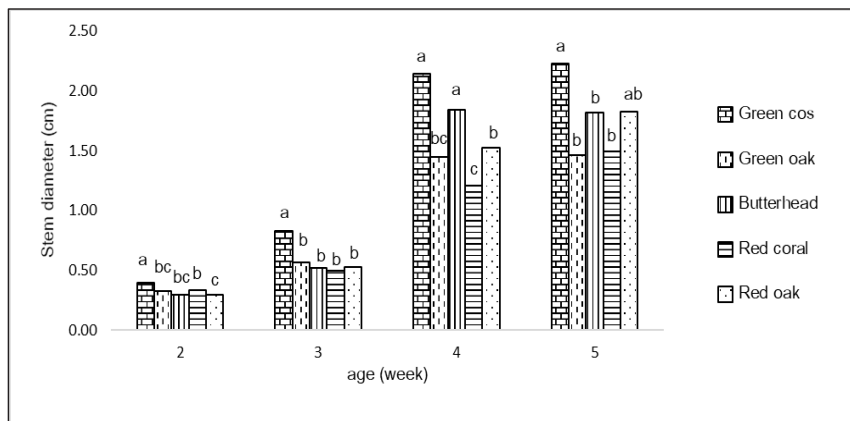


Figure 2 Stem diameter of five lettuce grown under hydroponics system

*A different small letter on bar indicates significant difference ($p \leq 0.05$) compared among treatment.

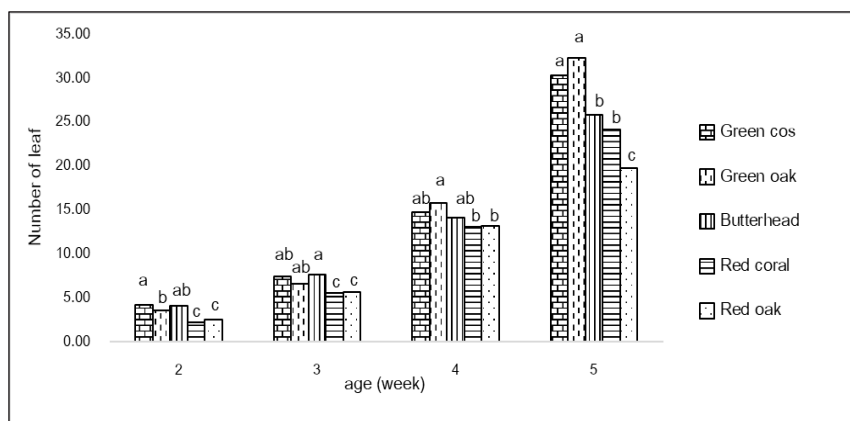


Figure 3 Number of leaf of five lettuce grown under hydroponics system

*A different small letter on bar indicates significant difference ($p \leq 0.05$) compared among treatment.

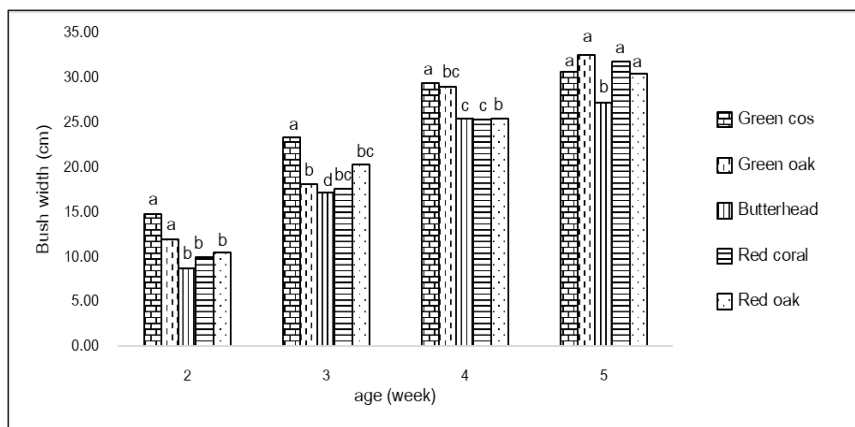


Figure 4 Bush width of five lettuce grown under hydroponics system

*A different small letter on bar indicates significant difference ($p \leq 0.05$) compared among treatment.

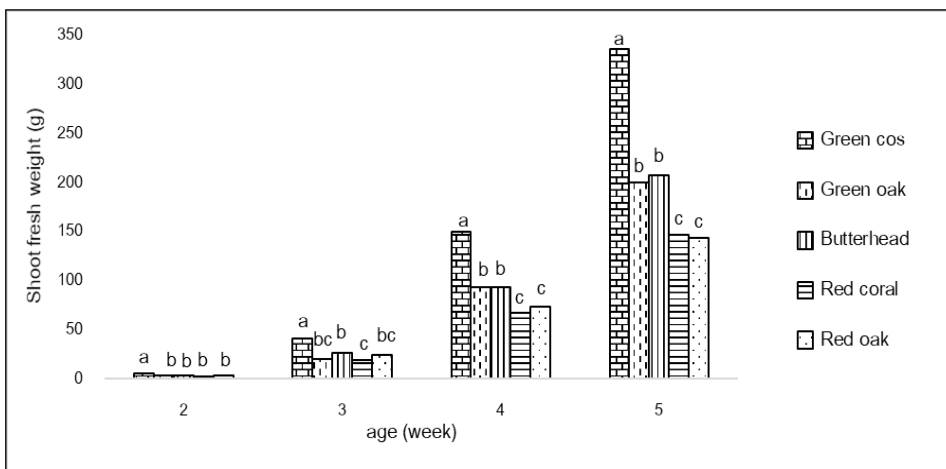


Figure 5 Shoot fresh weight of five lettuce grown under hydroponics system

*A different small letter on bar indicates significant difference ($p \leq 0.05$) compared among treatment.

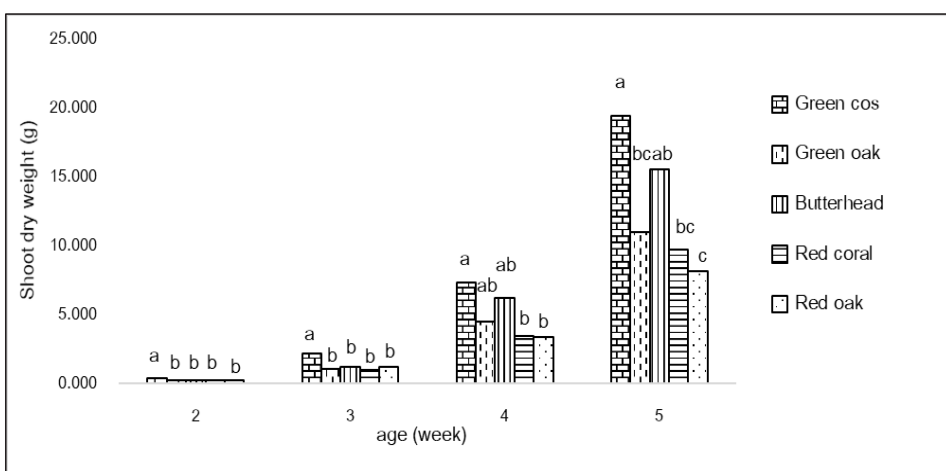


Figure 6 Shoot dry weight of five lettuce grown under hydroponics system

*A different small letter on bar indicates significant difference ($p \leq 0.05$) compared among treatment.

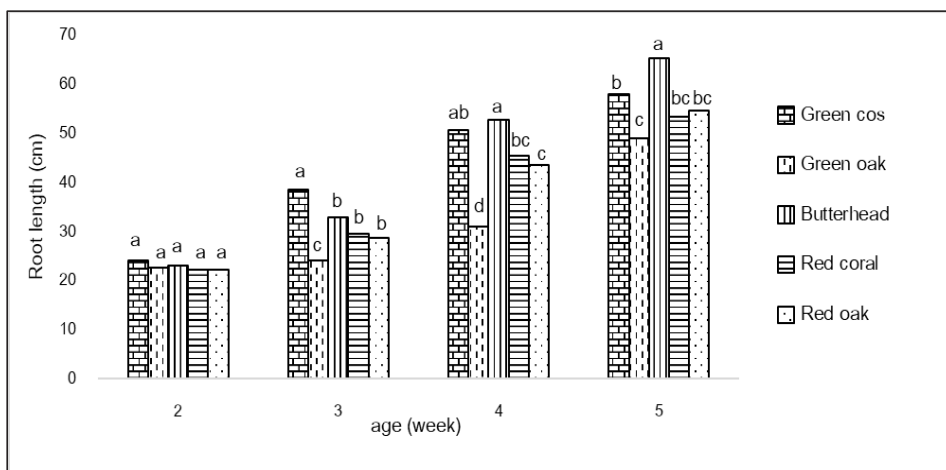


Figure 7 Root length of five lettuce grown under hydroponics system

*A different small letter on bar indicates significant difference ($p \leq 0.05$) compared among treatment.

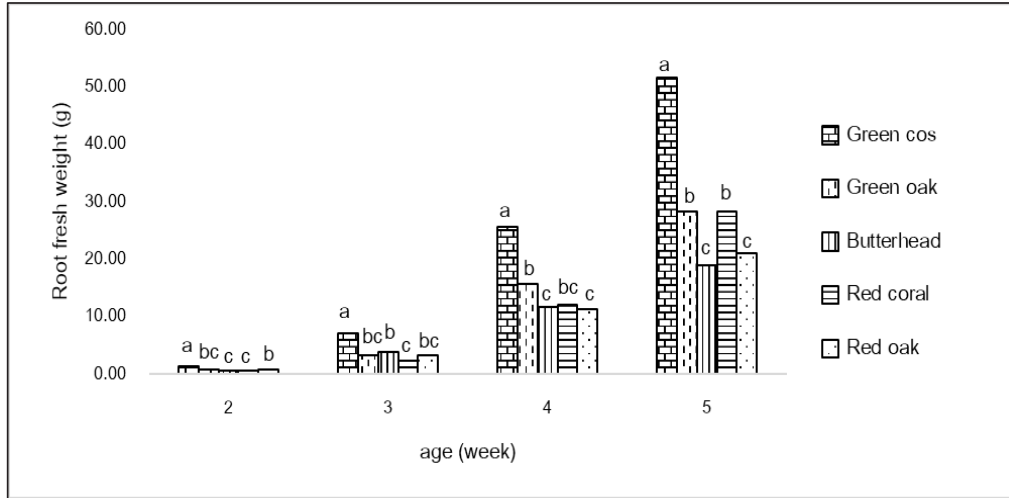


Figure 8 Root fresh weight of five lettuce grown under hydroponics system

*A different small letter on bar indicates significant difference ($p \leq 0.05$) compared among treatment.

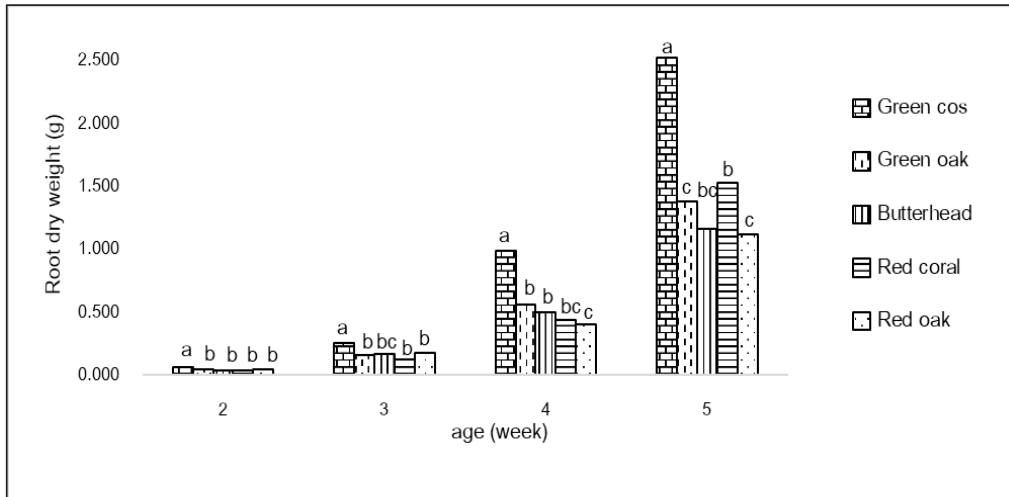


Figure 9 Root dry weight of five lettuce grown under hydroponics system

*A different small letter on bar indicates significant difference ($p \leq 0.05$) compared among treatment.

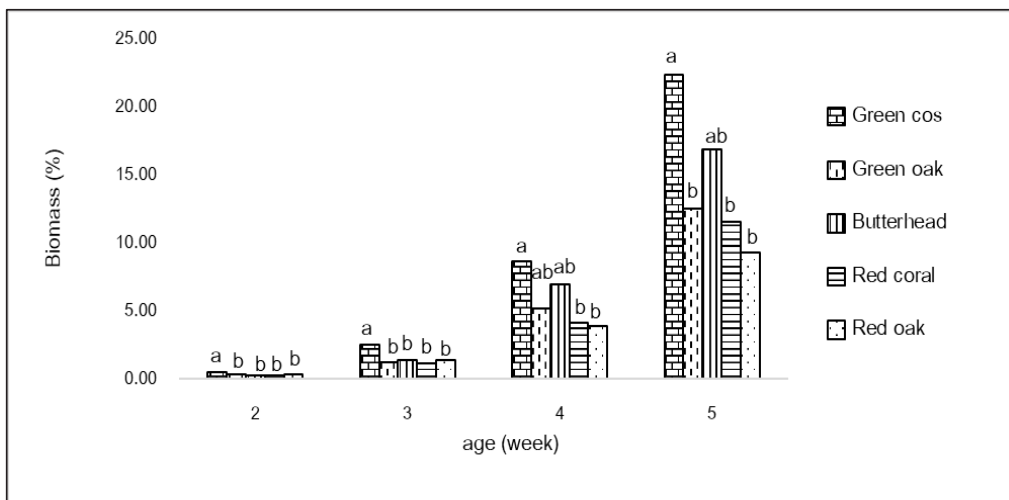


Figure 10 Biomass of five lettuce grown under hydroponics system

*A different small letter on bar indicates significant difference ($p \leq 0.05$) compared among treatment.

ปริมาณการสะสมไนเตรท

จากการวิเคราะห์ไนเตรทในผักสลัดจำนวน 5 พันธุ์ (Table 1) โดยทำการแยกวิเคราะห์ในส่วนต่างๆ ของต้น ตั้งแต่ลำปาดที่ 2 ถึงลำปาดที่ 5 ของการเจริญเติบโต พบว่าไนเตรทมีการสะสมเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของผักสลัด โดยปริมาณการสะสมไนเตรทสูงเกินมาตรฐาน (2.5 กรัมต่อกิโลกรัม)¹⁹ ตั้งแต่ลำปาดที่ 2 ไปจนถึงลำปาดที่ 5 ในลำปาดที่ 2 ของการเจริญเติบโต พันธุ์กรีนคอสในส่วนก้านและใบพบไนเตรทในปริมาณสูงสุด (11.01 กรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.05$) จากไนเตรทในผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดในส่วนใบ ซึ่งมีปริมาณไนเตรทน้อยที่สุด (1.75 กรัมต่อกิโลกรัม) ในลำปาดที่ 3 ของการเจริญเติบโต พันธุ์เรดคอรอลในส่วนก้าน และใบพบไนเตรทในปริมาณสูงสุด (39.66 กรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.05$) จากไนเตรทในส่วนลำต้น ซึ่งมีปริมาณไนเตรทน้อยที่สุด (4.34 กรัมต่อกิโลกรัม) ในลำปาดที่ 4 ของการเจริญเติบโต ผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดในส่วนก้านและใบพบไนเตรทในปริมาณสูงสุด (82.85 กรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.05$) จากไนเตรทในผักสลัดพันธุ์เรดคอรอลในส่วนราก ซึ่งมีปริมาณไนเตรทน้อยที่สุด (19.37 กรัมต่อกิโลกรัม) จะเห็นได้ว่าพันธุ์บัตเตอร์เฮด เรดคอรอล และเรดโอ๊คมีปริมาณการสะสมไนเตรทในส่วน ก้าน + ใบ มากกว่าพันธุ์กรีนคอสและกรีนโอ๊ค อาจเป็นเพราะว่าทั้ง 3 พันธุ์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สูงกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากความเข้มข้นของปริมาณไนเตรทในผักสลัด เพราะในองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์มีอะตอมของไนโตรเจนล้อมรอบอะตอมของแมกนีเซียมซึ่งอยู่ตรงกลาง ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวนที่เรียกว่า porphyrin ring ถ้ามี ไนเตรทสูงก็จะดันพืชก็จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่มากตาม ซึ่งคลอโรฟิลล์แปรผันตามปริมาณไนโตรเจน¹⁸ สอดคล้องกับงานวิจัยของอดิศักดิ์และ นารท¹⁶ ที่พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในผักสลัดกลุ่มสีม่วง (เรด-คอรอล และเรดโอ๊ค) มีมากกว่าในผักสลัดกลุ่มสีเขียว (กรีนโอ๊ค) และจากงานวิจัยของอรประภาและภาณุมาศ¹⁷ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไนโตรเจนในผักสลัดเพิ่มขึ้น ในลำปาดที่ 5 ของการเจริญเติบโต พันธุ์เรดโอ๊คในส่วนก้าน+ใบพบไนเตรทในปริมาณสูงสุด (162.30 กรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.05$) จากไนเตรทในผักสลัดพันธุ์บัตเตอร์เฮดในส่วนใบซึ่งมีปริมาณไนเตรทน้อยที่สุด (32.10 กรัมต่อกิโลกรัม)

จากการทดลองปริมาณไนเตรทสูงตั้งแต่ลำปาดที่ 2 จนถึงลำปาดที่ 5 และสูงกว่าที่ผู้เชี่ยวชาญด้านอาหารระดับนานาชาติ (Joint FAO/WHO Expert Committee On Food

Additives; JECFA) ที่ประเมินค่าความปลอดภัยการบริโภคผักที่มีไนเตรทตกค้างไม่เกิน 2.5 กรัมต่อกิโลกรัม สอดคล้องกับการทดลองของ วุฒิพงษ์⁹ ที่พบว่าการตกค้างของไนเตรทในกรีนคอส และกรีนโอ๊ค ที่ปลูกในฤดูร้อนมีการสะสมไนเตรทเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโต

ไนเตรทจัดเป็นธาตุอาหารรูปของไนโตรเจนที่พืชต้องการสำหรับการเจริญเติบโต หากพืชได้รับไนเตรทมากเกินไปจะเก็บสะสมไว้ในเซลล์พืช โดยเฉพาะผักกั้นใบและผักกั้นราก การสะสมไนเตรทของพืชจะมีความแตกต่างกันในแต่ละเนื้อเยื่อ โดยพบว่าเส้นใบจะมีการสะสมไนเตรทน้อยกว่าก้านใบและลำต้น ส่วนใบที่แก่กว่าจะมีการสะสมไนเตรทมากกว่าใบอ่อน¹¹ และนอกจากนี้ในพืชชนิดเดียวกัน (species) เดียวกันแต่ต่างพันธุ์ (variety) มีการสะสมไนเตรทแตกต่างกันแต่จะมีความแตกต่างกันไม่มากนัก⁷ อีกทั้งยังขึ้นกับชนิดของปุ๋ยไนโตรเจนที่ดูใช้ โดยปกติรูปของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ถ้าอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) จะถูกสะสมในกรดอะมิโนที่ราก และเคลื่อนย้ายไปในรูปกรดอะมิโนในไซเลมสู่ส่วนเหนือดิน แต่ถ้าดูใช้ในรูปของไนเตรทไอออน (NO_3^-) จะเคลื่อนที่ไปในไซเลมต่อได้ทันที¹³

ในสารละลายธาตุโดยทั่วไปจะมีไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของไนเตรทประมาณร้อยละ 80-90 ซึ่งเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ไนเตรทที่พืชดูดไปใช้ส่วนใหญ่พืชจะนำไปสร้างสารประกอบอินทรีย์ เช่น กรดอะมิโนส่วนที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้จะยังคงสะสมเป็น ไนเตรทสะสมอยู่ในเซลล์พืช หากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการปลูก เช่น ปลูกในสภาพแสงน้อย พืชจะมีการดูดไนเตรทจากสารละลายเข้าไปมาก เนื่องจากพืชมีการกระตุ้นการสะสมไนเตรทเป็นการชดเชยแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ทดแทนความเข้มข้นของสารอินทรีย์ (คาร์โบไฮเดรต) ที่ลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการอัตราการสังเคราะห์แสงที่ลดลงเมื่อความเข้มแสงลดลง⁸ และในขณะเดียวกันถ้าพืชเปลี่ยนไนเตรทเป็นสารอินทรีย์ (กรดอะมิโน) ได้น้อย สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูง มีผลไปลดเมตาบอลิซึมของเอนไซม์ไนเตรทรีดักเทส (nitrate reductase) ที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงไนเตรท การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะทำให้มีการสะสมไนเตรทในพืชมากขึ้น

ในกระบวนการไนเตรทรีดักชัน ซึ่งต้องอาศัยเอนไซม์ไนเตรทรีดักเทส โดยทั่วไปมักจะเกิดในรากพืชหรือส่วนของกิ่งก้านพืช ส่วนกระบวนการไนเตรทรีดักชันซึ่งอาศัยเอนไซม์ไนเตรทรีดักเทส จะเกิดขึ้นในคลอโรพลาสต์ที่อยู่ในส่วนของใบพืช และใน proplastids ที่อยู่ในรากของพืช ไนเตรทที่ถูกเปลี่ยนมาจากไนเตรทในกระบวนการไนเตรทรีดักเทส ซึ่งจะเกิดขึ้นภายใน cytosol ในเซลล์พืช จะถูกส่งเข้าไปในคลอโรพลาสต์

ผ่านกระบวนการไนโตรที่รีดักชันภายในคลอโรพลาสต์ต่อไป¹⁰ หากการรีดักชันของไนเตรตมาเป็นไนโตรที่เกิดขึ้นเร็วกว่าการรีดักชันของไนเตรตไปเป็นแอมโมเนียม จะทำให้ไนโตรที่

สะสมอยู่ในพืช แต่ถ้ากระบวนการรีดักชันของไนเตรตเกิดได้ช้า จะทำให้ไนเตรตสะสมในพืชได้มากขึ้น

Table 1 Nitrate accumulation in all 5 lettuce

Variety	Part	Nitrate content (g kg ⁻¹) at different age (week)			
		Week 2	Week 3	Week 4	Week 5
Green cos	root	2.04 ^E	4.85 ^{CDE}	20.47 ^{wxy}	53.47 ^{h-k}
	stem	3.83 ^{CDE}	6.89 ^{B-E}	40.60 ^{m-p}	56.30 ^{hij}
	petiole	9.21 ^{A-E}	10.08 ^{A-E}	49.15 ^{hi}	88.99 ^e
	leaf	1.80 ^E	4.47 ^{CDE}	34.02 ^{p-t}	34.02 ^{p-t}
	Petiole+leaf	11.01 ^{A-D}	14.56 ^{y-B}	29.39 ^{r-u}	123.01 ^{bc}
	\bar{x}	5.58	8.17	34.73	71.16
Green oak	root	2.20 ^E	6.05 ^{CDE}	19.64 ^{xyz}	48.73 ^{kl}
	stem	4.46 ^{CDE}	5.72 ^{CDE}	38.39 ^{opq}	57.53 ^h
	petiole	4.51 ^{CDE}	22.27 ^{u-y}	47.23 ^{k-n}	90.14 ^e
	leaf	1.92 ^E	6.41 ^{B-E}	37.08 ^{o-r}	37.08 ^{o-r}
	Petiole+leaf	6.43 ^{B-E}	28.68 ^{s-v}	29.94 ^{r-u}	127.22 ^b
	\bar{x}	3.90	13.83	34.46	72.14
Butter head	root	2.33 ^{DE}	5.27 ^{CDE}	20.60 ^{wxy}	51.66 ^{h-k}
	stem	4.27 ^{CDE}	5.93 ^{CDE}	36.62 ^{o-s}	55.41 ^{h-k}
	petiole	5.52 ^{CDE}	21.19 ^{v-y}	50.51 ^{h-l}	78.99 ^{fg}
	leaf	1.75 ^E	7.61 ^{A-E}	32.34 ^{q-t}	32.10 ^{q-t}
	Petiole+leaf	7.27 ^{A-E}	28.81 ^{s-v}	82.85 ^{ef}	111.09 ^d
	\bar{x}	4.228	13.762	44.584	65.85
Red coral	root	2.07 ^E	5.93 ^{CDE}	19.37 ^{yz}	53.80 ^{h-k}
	stem	4.63 ^{CDE}	4.34 ^{CDE}	39.62 ^{n-q}	57.67 ^h
	petiole	4.57 ^{CDE}	27.55 ^{t-x}	47.74 ^{klm}	75.44 ^{fg}
	leaf	2.09 ^E	12.11 ^{z-C}	28.24 ^{t-w}	42.70 ^{l-o}
	Petiole+leaf	6.66 ^{B-E}	39.66 ^{opq}	75.98 ^{fg}	118.14 ^c
	\bar{x}	4.00	17.92	42.19	69.55
Red oak	root	2.20 ^E	6.57 ^{B-E}	20.47 ^{wxy}	48.82 ^{kl}
	stem	4.50 ^{CDE}	7.72 ^{A-E}	38.47 ^{opq}	57.20 ^{hi}
	petiole	5.39 ^{CDE}	14.64 ^{y-B}	49.27 ^{hi}	89.76 ^e
	leaf	1.88 ^E	15.35 ^{yzA}	30.32 ^{r-u}	72.54 ^g
	Petiole+leaf	7.27 ^{A-E}	29.99 ^{r-u}	79.59 ^{fg}	162.30 ^a
	\bar{x}	4.25	14.85	43.62	86.12
F-test: A		**			
F-test: B		**			
F-test: C		**			
F-test: A×B		**			
F-test: A×C		**			
F-test: B×C		**			
F-test: A×B×C		**			
C.V. (%)			14.8		

ns = non-significant difference, **highly significant difference

mean value in the same table with different letters were significantly different (p < 0.05)

สรุปผล

ผักสลัดจำนวน 5 พันธุ์ (กรีนคอส กรีนโอ๊ค บัตเตอร์เฮด เรดคอรัลและเรดโอ๊ค) ที่เจริญเติบโตภายใต้ระบบไฮโดรโปนิคส์แบบ DRFT โดยบันทึกระยะเวลาในการเจริญเติบโต 2, 3, 4 และ 5 สัปดาห์หลังย้ายปลูก พบว่าในสัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูกผักสลัดพันธุ์กรีนคอสมีการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักรากสด น้ำหนักรากแห้ง ความสูงต้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น น้ำหนักต้นสด และน้ำหนักต้นแห้งมากที่สุด ขณะที่การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทในส่วนต่างๆ ของต้นผักสลัด พบว่าพันธุ์เรดโอ๊คพบไนเตรทในปริมาณมากที่สุดในส่วนที่ใช้บริโภค (ก้าน+ใบ) (162.30 กรัมต่อกิโลกรัม) ในสัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูก อย่างไรก็ตามเนื่องจากการทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณการสะสมไนเตรทในผักสลัด ดังนั้นจากการทดลองที่ได้ควรจะต้องมีการนำมาศึกษาหรือหาวิธีในการลดปริมาณการสะสมไนเตรทให้อยู่ในระดับที่ไม่เกินมาตรฐานก่อนการเก็บเกี่ยว เพื่อให้ได้ผักสลัดที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้ความอนุเคราะห์โรงเรือน และเครื่องมือวิเคราะห์

เอกสารอ้างอิง

- Kim TR, Choe BC, Jo SA, Kim EH, Hong CK, Jang MR. Evaluation of nitrate contents of organic and conventional farming vegetables in Korea. International conference on chemical, biological and environment sciences (ICCEBS'2011); 23-24 December 2011; Bangkok, Thailand; 2011. pp. 376-379.
- อำภา คำวงษา. แนวทางการผลิตและลงทุนผักไฮโดรโปนิคส์เพื่อทำซิลเวอร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. นาคาอินเตอร์มีเดีย จำกัด; 2553.
- ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, อัญชัญ อุทัยพัฒนาชีพ, วุฒิพงษ์ พิมพ์โคตร. การสำรวจเบื้องต้นปริมาณสารไนเตรทตกค้างในผักกาดหอมปลูกโดยไม่ใช้ดินในฤดูกาลต่าง ๆ. เอกสารการประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 40; 4-7. กุมภาพันธ์ 2545; กรุงเทพฯ, ประเทศไทย: 2545. หน้า 67-73.
- กรรณิกา จำเสียง. ปริมาณไนเตรทที่ตกค้างในผักสลัด (green oak). วิทยานิพนธ์ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี; 2555.
- Association of official analytical chemists (AOAC). Brucine colorimetric method in william horwitz(ed.) methods of analysis, 13th edition. Washington DC. 1980.pp. 55455.
- กรมควบคุมมลพิษ. ไนเตรท ไนไตรท์ และสารประกอบเอ็น-ไนโตรโซ. [จุลสาร]. กรุงเทพฯ:อินทีเกรเตด โปรโมชัน เทคโนโลยี; 2541.
- Maynard DN, Barker AV. Nitrate accumulation in spinach as influenced by leaf type. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 1974;99:135-138.
- Seginer I., Nitrate concentration in greenhouse lettuce : A Modeling Study. Acta Hort 1998;456: 189-197.
- วุฒิพงษ์ พิมพ์โคตร. การเจริญเติบโต การสะสม ไนเตรท การลดไนเตรทก่อนเก็บเกี่ยว ในผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2546.
- Brown JR, Smith GE. Soil fertilization and nitrate accumulation in Vegetables. Agron. J. 1966;58:209-212.
- ชัยอาทิตย์ อินคำ. ไนเตรทสะสมในผักไฮโดรโป-นิคส์. [Online]. มปก. [สืบค้นเมื่อ 12 พฤศจิกายน 2560]. ได้จาก:http://www.stri.cmu.ac.th/article_detail.php?id=26.
- Russell RS. Plant Root Systems: Their function and interaction with the soil. Book Company (UK) Limited. London: McGraw-Hill; 1977. p.298.
- พิทยา สรวมศิริ. ธาตุอาหารในการผลิตพืชสวน. เชียงใหม่: คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2554.
- ธีรศักดิ์ พงษาอนุทิน. การเจริญเติบโตแลปริมาณธาตุอาหารของผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายสูตรต่าง ๆ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2547.
- Seo MW, Yang DS, Kays SJ, Kim Junhong, Park KW. Effects of nutrient solution electrical conductivity and sulfur, magnesium and phosphorus concentration on sesquiterpene lactones in hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). Sci.Hotic SAmsterdam 2009;122: 369-374.
- อดิศักดิ์ จูมวงษ์, นารท นาคเฉลิม. สมบัติทางกายภาพเคมีและการต้านอนุมูลอิสระของผักสลัดกรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค และเรดคอรัล. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์. 2559; ปีที่ 3 ฉบับพิเศษ (III): m10/1-6.

17. อรประภา อนุกุลประเสริฐ, ภาณุมาศ ฤทธิไชย. ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต่อการให้ผลผลิตและคุณภาพของผักกาดหอม. Thai journal of science and technology. 2558;4(1):81-94.
18. Wu SM, Rebeiz CA. Chloroplast biogenesis; molecular structure of chlorophyll b (E489 F666). Bio. Chem. 260:3632-3664.
19. European Commission. 1997. Commission Regulation (EC) No. 194/97 of 31 January 1997. Official Journal of the European Communities No. L31/48-50.