ผลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค ในระบบไฮโดรโพนิกส์

Effect of Nutrient Solution on Growth and Quality of Lettuce (*Lactuca sativar* L.) cv. Green Oak in Hydroponics System

นพดล ชุ่มอินทร์[1*]
Noppadol Chumin[1*]

บทคัดย่อ

ผักสลัด (*Lactuca sativar* L.) เป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารและได้รับความนิยมมากขึ้น แต่ผู้บริโภคยังมีความกังวลต่อปริมาณไนเตรตที่สะสมในผักสลัดของการปลูกพืชไม่ใช้ดิน การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารละลายธาตุอาหารสูตร Alan, Enshi, NSRU 1, NSRU 2 และ NSRU 3 ต่อการเจริญเติบโต คุณภาพ และปริมาณไนเตรตที่สะสมในผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์แบบ Nutrient Film Technique (NFT) วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 6 ซ้ำ (4 ต้น/ซ้ำ) ผลการทดลองพบว่า ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร NSRU 2 มีการเจริญเติบโตด้านความกว้างใบ ความกว้างทรงพุ่ม ความสูง และน้ำหนักแห้งต้นมากที่สุด โดยส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกับสูตร NSRU 1 ที่มีการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบ และน้ำหนักสดต้นมากที่สุด ส่วนด้านคุณภาพ พบว่า ผักสลัดที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรต่าง ๆ มีค่าความชื้น (95.13-96.16%) ไขมัน (3.33-5.07%) เถ้า (17.9-20.4%) เส้นใยหยาบ (11.26-17.30%) และแคลเซียม (0.08-0.14%) ใกล้เคียงกัน ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรตสะสมในใบของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค พบว่า ผักสลัดที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร Enshi สูตร NSRU 1 สูตร NSRU 3 สูตร Alan และสูตร NSRU 2 มีปริมาณไนเตรตเท่ากับ 332.97, 524.09, 701.05, 937.59 และ 1,019.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานที่สหภาพยุโรปกำหนด 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด

คำสำคัญ: สารละลายธาตุอาหาร ผักสลัด คุณภาพ ไนเตรต ไฮโดรโพนิกส์

Abstract

Lettuce (*Lactuca sativar* L.) has nutritive value and has become a popular vegetable. However, consumers have become concerned about the amount of nitrate accumulated within hydroponically grown lettuce. This experiment aims to study the effects of the nutrient solutions Alan, Enshi, NSRU 1, NSRU 2, and NSRU 3 on the growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cv. Green oak quality and on nitrate accumulation when used in the NFT hydroponic system. The experiment was conducted under Completely Randomized Design (CRD) with 6 replications (4 plants/replicate). The results showed that the Green oak lettuce cultivated in NSRU 2 nutrient solution showed the highest leaf width, canopy width, shoot height, and shoot dry weight, all of which were not significantly greater than those results for lettuce in NSRU 1 nutrient solution. Moreover, NSRU 1 nutrient solution provided the highest growth in terms of leaf number and shoot fresh weight. The analysis of the quality of Green oak leaves indicated that Green oak lettuce cultivated in all nutrient solutions gave similar figures for moisture (95.13-96.16%), fat (3.33-5.07%), ash (17.9-20.4%), dietary fiber (11.26-17.30%), and calcium (0.08-0.14%). From the analysis of nitrate accumulation in Green oak leaves, it could be seen that Green oak lettuce cultivated in the Enshi, NSRU 1, NSRU 3, Alan and NSRU 2 nutrient solutions had nitrate contents of 332.97, 524.09, 701.05, 937.59 and 1,019.87 mg/kg FW, respectively, which were not over the limit established by the European Commission Legislation, which was 3,000 mg/kg FW.

Keywords: nutrient formula, lettuce, quality, nitrate, hydroponics

[1] ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ อ. เมือง จ. นครสวรรค์ 60000
[1] Department of Agricultural Technology, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University, Muang, Nakhon Sawan 60000
*Corresponding author, Email: dnoppadol@hotmail.com

ไม่อนุญาตให้ทำสำเนาหรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ผักสลัดหรือผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) อยู่ในวงศ์ Asteraceae ซึ่งเป็นวงศ์ที่มีขนาดใหญ่ ประกอบด้วยพืช 800 สกุล แต่ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ป่ามีเพียงไม่กี่ชนิดที่ปลูกเป็นการค้า ผักสลัดนิยมบริโภคสดมากที่สุด ประกอบด้วยน้ำร้อยละ 95 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 1-2 โปรตีนร้อยละ 1-2 และไขมันร้อยละ 0.25 มีพื้นที่ปลูกทั่วโลกมากกว่า 1.8 แสนเฮกตาร์ ให้ผลผลิตมากกว่า 42 ล้านตัน โดยประเทศจีนสามารถผลิตได้มากที่สุด คิดเป็น 72 เปอร์เซ็นต์ สหรัฐอเมริกา 9.12 เปอร์เซ็นต์ ส่วนประเทศไทยผลิตได้ 3 หมื่นตัน คิดเป็น 0.07 เปอร์เซ็นต์ (FAO, 2019) ผักสลัดมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วย วิตามินเอ วิตามินซี โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และยังประกอบด้วยแร่ธาตุหลายชนิด เช่น แคลเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส เป็นต้น (มนูญ ศิรินุพงศ์, 2544) ปัจจุบันการบริโภคผักสลัดเป็นผักสดกับน้ำสลัดรสชาติต่าง ๆ หรือรับประทานเป็นเครื่องเคียงกับอาหารอื่น เช่น สเต็ก อาหารญี่ปุ่น ผักสลัดนิยมปลูกในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน (hydroponics) เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการจัดการธาตุอาหารที่พืชต้องการได้อย่างเหมาะสม (ดิเรก ทองอร่าม, 2550) อีกทั้งยังสามารถลดปัญหาโรคและแมลงที่มักสะสมในดิน นอกจากนี้ระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินสามารถควบคุมปริมาณและคุณภาพของพืชผักได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถผลิตได้ตลอดทั้งปี จึงเป็นระบบที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน ปัจจัยความสำเร็จของการปลูกพืชไม่ใช้ดินที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือ สารละลายธาตุอาหาร เนื่องจากมีการใช้สารละลายธาตุอาหารตลอดเวลาการปลูก การเลือกใช้สูตรสารละลายที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญมาก ทั้งนี้เพื่อประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายและทำให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างเหมาะสม (โสระยา ร่วมรังษี, 2554) การพัฒนาสูตรสารละลายธาตุอาหารให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชนั้น ต้องพิจารณาความต้องการธาตุอาหารของพืช เช่น ผักกินใบต้องการธาตุไนโตรเจนมากกว่ามะเขือเทศ ซึ่งปัจจุบันมีผู้คิดค้นสูตรสารละลายจำนวนมาก เช่น สูตรของ Knop, White, Cooper, Hoagland และ Enshi (Resh, 1985) ผลผลิตและคุณภาพมีความสัมพันธ์กับธาตุอาหาร ตัวอย่างจากงานวิจัยการเพิ่มไนโตรเจน 0-60 mg/l พบว่า ผักสลัดที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์แบบน้ำลึกมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มไนโตรเจนเป็น 400 mg/l พร้อมกับเพิ่มแสงสามารถเร่งการเจริญเติบโตได้ และมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นด้วย (Masson et al.,1991; Soundy et al., 2001) ธาตุแคลเซียมมีความสำคัญมาก ทำให้พืชแก่ช้าลง เพราะมีผลทำให้เยื่อหุ้มเซลล์คงที่และการสลายไขมัน (Diana et al., 2005) เช่นเดียวกับ Sundar et al. (2019) รายงานว่า ผักสลัดที่ปลูกในสารละลายที่มีความเข้มข้นของ N, K และ Ca ที่แตกต่างกันได้แก่ สูตร 1 (150, 100 และ 150 mg/l) สูตร 2 (210, 235 และ 200 mg/l) สูตร 3 (250, 300 และ 250 mg/l) และสูตร 4 (300, 350 และ 350 mg/l) พบว่า ผักสลัดที่ปลูกในสารละลายสูตร 3 มีน้ำหนักสดมากที่สุด ส่วน Barickman et al. (2016) รายงานว่า ผักสลัดคอสที่ปลูกในสารละลายที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงทำให้มีการเจริญเติบโตด้านมวลชีวภาพ ปริมาณน้ำตาลซูโครสและโพแทสเซียมในใบเพิ่มมากขึ้น และ เยาวพา จิระเกียรติกุล และนิสา แซ่ลิ้ม (2552) ได้ศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์เรดโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน 4 สูตร พบว่า ผักกาดหอมพันธุ์เรดโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร Enshi มีการเจริญเติบโตดีที่สุด และมีต้นทุนการเตรียมสารละลายถูกที่สุดเท่ากับ 1.57 บาทต่อลิตร

การผลิตผักสลัดที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์มีความสะอาดและปลอดภัยจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช แต่อย่างไรก็ตามผู้บริโภคยังมีความกังวลด้านความปลอดภัยจากสารตกค้าง เนื่องจากต้องปลูกอยู่ในสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา โดยเฉพาะการสะสมของไนเตรต (ชัยอาทิตย์ อิ่นคำ, 2557) ไนเตรต (NO_3^-) เป็นไอออนของธาตุไนโตรเจนที่พืชต้องการมากที่สุดสำหรับการเจริญเติบโต เมื่อพืชได้รับไนเตรตจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรต์โดยเอนไซม์ nitrate reductase จากนั้นพืชจะเปลี่ยนไนไตรต์เป็นแอมโมเนีย และเปลี่ยนไปเป็นกรดอะมิโน แต่ถ้าพืชได้รับไนเตรตมากเกินไป จะเกิดการสะสมตามส่วนต่าง ๆ ของพืช ส่วนที่แก่กว่าจะมีการสะสมมาก ดอกจะมีความเข้มข้นของไนเตรตน้อยที่สุด รองลงมาคือ ผล ใบ ราก โดยก้านใบมีการสะสมมากที่สุด (Taiz and Zeiger, 2006) ถ้ามีการบริโภคผักที่มีการสะสมไนเตรตมากเกินไป อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ เพราะเมื่อเข้าสู่ร่างกายไนเตรตจะถูกรีดิวซ์เป็นไนไตรต์สามารถทำปฏิกิริยากับเอมีน (amine) กลายเป็นไนโตรซามีน (nitrosamine) เป็นสารก่อมะเร็งที่ร้ายแรง การบริโภคน้ำและอาหารที่มีไนเตรตตกค้างสูงร่างกายจะเกิดสภาวะขาดออกซิเจนฉับพลันได้ โดยเฉพาะในเด็กเล็กก่อให้เกิดโรคเม็ตฮีโมโกลบิเมีย (methemoglobinemia) หรือ blue baby syndrome และมีส่วนในการสร้างสารประกอบคาร์สิโนเจนที่สามารถชักนำให้เกิดมะเร็งในกระเพาะอาหารได้ (Maynard et al., 1972; Alaburda and Nishihara ,1998) ซึ่งสหภาพยุโรปได้กำหนดปริมาณการสะสมไนเตรตที่ยอมรับได้ในผักสลัดที่ปลูกกลางแจ้ง เก็บเกี่ยวช่วง 1 เมษายน ถึง 30 กันยายน (มีช่วงแสงเฉลี่ย 14.8 ชั่วโมงต่อวัน) และช่วง 1 ตุลาคม ถึง 31 มีนาคม (มีช่วงแสงเฉลี่ย 9.5 ชั่วโมงต่อวัน) ต้องไม่เกิน 3,000 และ 4,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ เนื่องจากในแต่ละช่วงมีปริมาณแสงแดดไม่เท่ากัน (European Commission, 2011) สอดคล้องกับ กรรณิกา จ้าเสียง (2555) ได้ศึกษาปริมาณไนเตรตที่ตกค้างในผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค (Green Oak) พบว่า ผักสลัดที่ปลูกในดินมีปริมาณไนเตรตตกค้างมากที่สุด คือ 2,880 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักสด ผักสลัดที่ปลูกแบบไฮโดรโพนิกส์มีค่าน้อยที่สุด 910 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐาน เช่นเดียวกับ Carlo et al. (2009)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาผลของไอออนบวกและไอออนลบของธาตุอาหารหลักในสัดส่วนต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักสลัดในฤดูฝนและฤดูร้อน พบว่า ทั้งสองฤดู และธาตุอาหารสัดส่วนต่าง ๆ มีผลให้ผักสลัดมีไนเตรตสะสมในใบต่ำกว่าเกณฑ์ที่สหภาพยุโรปกำหนด ดังนั้นการทดลองในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของสารละลายธาตุอาหารสูตรต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต คุณภาพ และปริมาณไนเตรตของผักสลัดในระบบปลูกพืชโดยให้มีสารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรางปลูกแบบฟิล์มบาง ๆ เรียกว่า Nutrient Film Technique (NFT)

วิธีการศึกษา

การดำเนินการวิจัย

การเปรียบเทียบสารละลายธาตุอาหารสูตรต่าง ๆ มีการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design จำนวน 5 สิ่งทดลอง 6 ซ้ำ (4 ต้น/ซ้ำ) เพาะเมล็ดผักสลัดสายพันธุ์กรีนโอ๊คในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2561 ลงบนแผ่นฟองน้ำที่ตัดสำเร็จขนาด 1 x 1 นิ้ว และเจาะตรงกลางก้อนฟองน้ำสำหรับใส่เมล็ด นำฟองน้ำใส่ถาดและรดน้ำให้ชุ่ม วางไว้ในที่ร่ม เมื่ออายุ 3 วันหลังเพาะ เมล็ดจะเริ่มงอกให้นำออกมาวางที่แสงแดดรำไร และรักษาระดับน้ำในถาดพลาสติกครึ่งหนึ่งของฟองน้ำ เมื่อผักสลัดอายุครบ 7 วันหลังเพาะเมล็ด ย้ายต้นกล้าลงโต๊ะอนุบาล โดยมีระยะปลูก 5 เซนติเมตร ในระบบไฮโดรโพนิกส์แบบ Nutrient Film Technique (NFT) และเริ่มให้สารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน จำนวน 5 สูตร ได้แก่ สูตรของ Alan (Cooper, 1976), สูตร Enshi (Shinohara and Suzuki, 1988), สูตร NSRU 1, สูตร NSRU 2 และสูตร NSRU 3 โดยสูตร NSRU ทั้ง 3 สูตรเป็นสูตรสารละลายที่มีความแตกต่างของปริมาณไนเตรต (Table 1) ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ให้เมื่อผักสลัดมีอายุ 7 วัน และ 14 วัน มีค่าการนำไฟฟ้า (EC) เท่ากับ 0.4 และ 0.6 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) ตามลำดับ และเมื่อผักสลัดมีอายุ 21 วันหลังเพาะเมล็ด จะย้ายลงโต๊ะปลูกที่มีการพลางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาที่พืชได้รับแสงประมาณ 11 ชั่วโมงต่อวัน โต๊ะปลูกมีขนาดความกว้าง 1.8 เมตร ยาว 6 เมตร มีระยะปลูก 20 เซนติเมตร และมีจำนวนทั้งหมด 9 รางต่อโต๊ะปลูก แต่ละสูตรสารละลายปลูกผักสลัดจำนวน 1 โต๊ะปลูก ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารแต่ละสูตรที่ให้มีค่า EC เท่ากับ 1.0 mS/cm จากนั้นเมื่อผักสลัดมีอายุได้ 28 วัน ให้สารละลายธาตุอาหารแต่ละสูตรที่มีค่า EC เท่ากับ 1.2 mS/cm จนถึงเก็บเกี่ยวที่อายุ 42 วัน สำหรับความเป็นกรด-เบส (pH) มีค่าระหว่าง 5.5-6.5

Table 1 Concentration of different nutrient solution.

Element	Concentration (mg/l)				
	Alan	Enshi	NSRU 1	NSRU 2	NSRU 3
N (NO_3^-)	200	192.71	203.15	175.5	131.77
P	60	60	60	60	60
K	300.72	313.04	293.09	183.5	156.98
Ca	170	170	170	170	170
Mg	50	50	50	50	50
S	68.46	64.38	59.84	51.92	38.94
Fe	20.54	6.136	19.85	6.136	4.94
Mn	3.782	1.308	0.837	1.308	0.992
Cu	0.195	0.04	0.712	0.04	0.04
Zn	0.193	0.048	0.561	0.048	0.048
B	0.537	0.972	0.433	0.972	0.972
Mo	0.399	0.019	0.0059	0.019	0.019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบันทึกข้อมูล

ทำการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คที่มีอายุ 42 วันหลังเพาะเมล็ด ได้แก่ ความกว้างใบ วัดจากขอบใบที่มีขนาดใหญ่ที่สุด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร ความกว้างทรงพุ่ม ใช้ไม้บรรทัดวัดด้านกว้างของทรงพุ่มที่มีความกว้างมากที่สุดของแต่ละต้น มีหน่วยเป็นเซนติเมตร จำนวนใบ นับทุกใบที่คลี่กางออกเต็มที่ มีหน่วยเป็นใบ ความสูงต้น วัดจากรางปลูกผักจนถึงยอดสูงสุดของแต่ละต้น มีหน่วยเป็นเซนติเมตร น้ำหนักสดต้น ชั่งน้ำหนักสดทั้งต้นรวมรากด้วยเครื่องชั่งทศนิยมสองตำแหน่ง มีหน่วยเป็นกรัม และน้ำหนักแห้งต้น นำต้นสดไปอบด้วยตู้อบลมร้อนด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนแห้ง นำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยมสองตำแหน่ง มีหน่วยเป็นกรัม

การวิเคราะห์คุณภาพของผักสลัด

นำตัวอย่างผักสลัดมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น ไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบ และแคลเซียม ตามวิธีของ AOAC (2000) ดังนี้ ความชื้น ใส่ตัวอย่างผักลงในถ้วยอะลูมิเนียม 3 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนัก นำผลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณความชื้น ไขมัน ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักประมาณ 5 กรัม ตวงตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์จำนวน 140-180 มิลลิลิตรใส่ในบีกเกอร์ไขมัน ทำการสกัดไขมัน ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมัน เถ้า บดตัวอย่างให้ละเอียด ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างประมาณ 3 กรัม นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500-550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง จนตัวอย่างกลายเป็นเถ้าสีขาวหรือสีเทา เส้นใยหยาบ นำตัวอย่างผักสลัดที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้วไปบดให้ละเอียด จากนั้นชั่งน้ำหนักผักสลัด 3 กรัม เติมสารละลาย H_2SO_4 เข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปต้มให้เดือด 30 นาที กรองตะกอนอย่างรวดเร็ว เติมสารละลาย NaOH เข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปต้มให้เดือด นาน 30 นาที กรองตะกอนอย่างรวดเร็ว ล้างตะกอนด้วยเอทานอล 95% ขูดตะกอนจากกระดาษกรองใส่ในถ้วยกระเบื้อง (crucible) แล้วนำถ้วยกระเบื้องไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก แคลเซียม ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง จำนวน 3 กรัม บันทึกน้ำหนัก นำตัวอย่างไปเผาให้กลายเป็นเถ้าที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นำเถ้าที่ได้มาล้างด้วยน้ำกลั่น นำสารละลายเถ้าที่ได้ไปต้มให้เดือด แล้วเติมแอมโมเนียมออกซาเลตให้มากเกินพอ ถ่ายตะกอนใส่ในบีกเกอร์และล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน เติมสารละลายกรดกำมะถันเจือจางที่อุ่นร้อน จำนวน 60 มิลลิลิตร นำสารละลายตะกอนที่ได้มาไตเตรตกับ $KMnO_4$ ความเข้มข้น 0.01 M จนถึงจุดยุติเป็นสีชมพู การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรต โดยวิธี Salicylic acid (Cataldo et al., 1975) นำตัวอย่างผักไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส บดให้ละเอียด เติมสารละลาย Salicylic acid ความเข้มข้น 5% และ NaOH ความเข้มข้น 2 N นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาว 410 นาโนเมตร แล้วคำนวณตามสูตร (Takebe and Yoneyama, 1995)

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลผลการทดลองไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ทางสถิติ ด้วยโปรแกรม SPSS for Windows และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากผลการทดสอบสารละลายธาตุอาหารสูตรต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊ค แสดงไว้ใน Table 2 พบว่า ความกว้างใบ ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ ความสูง น้ำหนักสดต้น และน้ำหนักแห้งต้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยต้นผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร NSRU 1 และ NSRU 2 มีการเจริญเติบโตมากที่สุด ซึ่งต้นผักที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร NSRU 1 มีจำนวนใบ และน้ำหนักสดต้นมากที่สุด เท่ากับ 16.90 ใบ และ 78.00 กรัม ตามลำดับซึ่งไม่แตกต่างกันกับสูตร NSRU 2 ที่มีจำนวนใบ และน้ำหนักสดต้น เท่ากับ 16.21 ใบ และ 70.54 กรัม ตามลำดับ และต้นผักสลัดที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร NSRU 2 มีความกว้างใบ และน้ำหนักแห้งมากที่สุด เท่ากับ 14.14 เซนติเมตร และ 3.00 กรัม ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันกับสูตร NSRU 1 ที่มีความกว้างใบ และน้ำหนักแห้งเท่ากับ 14.09 เซนติเมตร และ 2.98 กรัม ตามลำดับ ส่วนความกว้างทรงพุ่มผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร NSRU 2 มีการเจริญเติบโตมากที่สุดเท่ากับ 27.33 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น ๆ และมีความสูงต้นสูงสุดเท่ากับ 14.51 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างกับสูตร NSRU 3 ที่มีความสูงต้นน้อยที่สุดเท่ากับ 12.73 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2 Leaf width, canopy width, leaf number, shoot height, shoot fresh weight, and shoot dry weight of green oak lettuce after growing in different nutrient solution for six weeks.

Nutrient formula	Leaf width[1/] (cm)	Canopy width[1/] (cm)	Leaf number[1/]	Shoot height[1/] (cm)	Shoot fresh weight[1/] (g plant^{-1})	Shoot dry weight[1/] (g plant^{-1})
Alan	12.74b	24.91bc	13.59b	13.96ab	49.96b	2.42b
Enshi	12.62b	24.23c	12.53b	13.10ab	40.72c	1.59c
NSRU 1	14.09a	25.34b	16.90a	14.42a	78.00a	2.98a
NSRU 2	14.14a	27.33a	16.21a	14.51a	70.54a	3.00a
NSRU 3	12.42b	24.98bc	12.46b	12.73b	47.56bc	1.97bc
F-test	**	**	**	**	**	**
CV (%)	7.16	3.99	7.75	7.54	9.37	12.78

[1/] Means in the same vertical column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.
** = Significantly different at P<0.01.

ผักสลัดที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร NSRU 1 และ NSRU 2 มีการเจริญเติบโตมากกว่าสูตร Enshi และ NSRU 3 เนื่องจากมีปริมาณไนเตรตมากกว่า (Table 3) เมื่อพืชได้รับไนเตรตจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรต์ โดยเอนไซม์ nitrate reductase จากนั้นพืชจะเปลี่ยนไนไตรต์เป็นแอมโมเนีย และเปลี่ยนไปเป็นกรดอะมิโน เพื่อนำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโต (Taiz and Zeiger, 2006) สอดคล้องกับผลการทดลองในยาสูบแสดงให้เห็นว่า อัตราการขยายขนาดของใบที่ลดลงเมื่อรากขาดไนเตรต และการทดลองในพืชอื่น ๆ อีกหลายชนิดก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน มีผลงานวิจัยที่เน้นบทบาทของไนเตรตในการทำหน้าที่เป็นสัญญาณซึ่งควบคุมเมแทบอลิซึม และการพัฒนาการของพืช (Dechorgnat et al., 2010) หรือเป็นโมเลกุลสัญญาณ ซึ่งมีบทบาททำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีระในด้านต่าง ๆ เช่น การพัฒนาราก การพัฒนาใบ การพักตัวของเมล็ด และการออกดอก (Medici and Krouk, 2014) รวมทั้งการตอบสนองของสารอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงไปเก็บในรูปของแป้ง และกระตุ้นให้สังเคราะห์แอนโทไซยานินด้วย (Femke et al., 2014; Ruffel et al., 2014) นอกจากนี้ความสัมพันธ์ของสัดส่วนธาตุอาหารที่มีประจุบวกและประจุลบเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดนั้นก็มีความสำคัญ ดิเรก ทองอร่าม (2550) รายงานสัดส่วนธาตุอาหารในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของผักกาดหอม คือ NO_3^- : $H_2PO_4^-$: SO_4^{2-} เท่ากับ 60-80 : 5-15 : 10-30 และ K^+ : Ca^{2+} : Mg^{2+} เท่ากับ 22-66 : 22-66 : 6-18 ซึ่งสารละลายธาตุอาหารของงานทดลองนี้ทุกสูตรมีสัดส่วนธาตุอาหารประจุบวกและประจุลบอยู่ในช่วงเหมาะสมนี้ (Table 3) และอาจเพราะสารละลายธาตุอาหารสูตร NSRU 1 และ NSRU 2 มีสัดส่วนของ NO_3^- มากกว่าสูตรอื่น ๆ ประเทศไทยมีแสงแดดจัดทำให้พืชสามารถนำไนเตรตไปเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโนต่าง ๆ ได้มาก ทำให้เจริญเติบโตได้ดี (ชัยอาทิตย์ อิ่นคำ, 2557) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ ธีระศักดิ์ พงษาอนุทิน (2546) รายงานว่าสารละลายธาตุอาหารสูตร Resh Tropical Dry Summer ประกอบด้วยสัดส่วนของธาตุอาหารที่มีประจุลบ ไนเตรต (NO_3^-) : ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$) : ซัลเฟต (SO_4^{2-}) เท่ากับ 67.4 : 12.3 : 20.4 และประจุบวกโพแทสเซียมไอออน (K^+) แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) : แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) เท่ากับ 41.2 : 51.4 : 7.4 เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม และมีสัดส่วนของธาตุอาหารโพแทสเซียมและแคลเซียมใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับสารละลายธาตุอาหารสูตร NSRU 1 ที่มีธาตุอาหารโพแทสเซียมและแคลเซียมในสัดส่วน 47.48 : 46.26 เพราะเนื่องจากถ้าสูตรสารละลายธาตุอาหารที่มีโพแทสเซียมมากเกินไป พืชจะนำแต่โพแทสเซียมไปใช้ประโยชน์ทำให้ขาดแคลเซียม ดังนั้นจึงควรให้ธาตุอาหารในอัตราส่วนถูกต้องเหมาะสมเพื่อป้องกันการขาดธาตุอาหาร (ดิเรก ทองอร่าม, 2554) แตกต่างกับ เยาวพา จิระเกียรติกุล และนิสา แซ่ลิ้ม (2552) รายงานว่า ผักกาดหอมพันธุ์เรดโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร Resh Tropical Dry Summer และ Enshi มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าผักกาดหอมพันธุ์เรดโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร Lettuce และ DTWC1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3 Nutrient concentration and proportion of macronutrients in different nutrient formula.

Nutrient formula	Concentration (mmol/l)					
	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	SO_4^{2-}	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Alan	3.22	0.61	0.71	3.19	3.03	0.41
Proportion	(70.93)	(13.44)	(15.64)	(48.11)	(45.70)	(6.18)
Enshi	3.1	0.61	0.67	3.32	3.03	0.41
Proportion	(70.78)	(13.93)	(15.30)	(49.11)	(44.82)	(6.07)
NSRU 1	3.27	0.61	0.62	3.11	3.03	0.41
Proportion	(72.67)	(13.56)	(13.78)	(47.48)	(46.26)	(6.26)
NSRU 2	2.83	0.61	0.54	1.94	3.03	0.41
Proportion	(71.11)	(15.33)	(13.57)	(36.06)	(56.32)	(7.62)
NSRU 3	2.12	0.61	0.4	1.66	3.03	0.41
Proportion	(67.73)	(19.49)	(12.78)	(32.55)	(59.41)	(8.04)

Note: Proportion of Cation-anion balance is calculated by percentage of summation the cations ($K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$) and anions ($NO_3^- + H_2PO_4^- + SO_4^{2-}$).

ผลการวิเคราะห์คุณภาพในด้านองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณไนเตรตของผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารจำนวน 5 สูตร (Table 4) พบว่า ผักสลัดสายพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร ทั้ง 5 สูตร มีความชื้น 95.13-96.16% มีไขมัน เพียง 3.33-5.07% มีเถ้า 17.9-20.4% เยื่อใย 11.26-17.30% และแคลเซียม 0.08-0.14% สอดคล้องกับ Kim et al. (2016) ได้รายงานว่า ผักกาดหอมเป็นผักที่มีปริมาณไขมันต่ำ และเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร ธาตุเหล็ก โฟเลต และวิตามินซี

ส่วนปริมาณไนเตรตที่สะสมในผักสลัดสายพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร Enshi มีปริมาณไนเตรตน้อยที่สุด เท่ากับ 332.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่แตกต่างกันกับสูตร NSRU 1 (524.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) และผักสลัดที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารทั้ง 5 สูตร มีปริมาณไนเตรตต่ำกว่าระดับที่สหภาพยุโรปกำหนด โดยปริมาณไนเตรตสูงสุดที่ยอมให้มีอยู่ในผักสลัด คือ 3,000-5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด (European Commission, 2011) สอดคล้องกับการทดลองของ กรรณิกา จ้าเสียง (2555) พบว่า ผักสลัดพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกโดยวิธีไฮโดรโพนิกส์แบบ NFT มีปริมาณไนเตรต 910 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด และ Diana et al. (2005) รายงานผลการปลูกผักสลัดสายพันธุ์บัตเตอร์เฮดที่ปลูกในดินคลุมด้วยพลาสติก และในระบบไฮโดรโพนิกส์แบบ floating system ในมหาวิทยาลัยบัวโนสไอเรสสาธารณรัฐอาร์เจนตินา ตั้งอยู่ในเขตอบอุ่นมีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียสในฤดูหนาว และฤดูร้อนมากกว่า 37 องศาเซลเซียส ทำการทดลองในปี ค.ศ. 2002 และ 2003 ให้สารละลายธาตุอาหารสูตรเดียวกัน พบว่า ผักสลัดที่ปลูกในดินมีปริมาณไนเตรตเท่ากับ 1,028.7 และ 218 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าการปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ที่มีปริมาณไนเตรต เท่ากับ 273.6 และ 162 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งพบไนเตรตตกค้างน้อยกว่าผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรต่าง ๆ

Table 4 Moisture, fat, ash, dietary fiber, calcium, and nitrate content of green oak lettuce after growing in different nutrient solution for six weeks.

Nutrient Formula	Moisture (%)	Fat (% by DW)	Ash (% by DW)	Dietary fiber (% by DW)	Calcium (% by DW)	Nitrate (NO_3^-)[1/] (mg kg^{-1}FW)
Alan	95.13b	3.33	17.9	11.26b	0.10bc	937.59a
Enshi	96.09a	3.81	20.1	13.48bc	0.12ab	332.97c
NSRU 1	96.16a	5.07	20.4	15.61a	0.08c	524.09bc
NSRU 2	95.74ab	3.84	18.9	14.36ab	0.14a	1,019.87a
NSRU 3	95.81ab	3.87	18.9	17.30a	0.08c	701.05b
F-test	**	ns	ns	**	**	**
CV (%)	0.50	20.34	7.6	9.44	13.22	22.59

[1/] Means in the same vertical column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.
ns and ** = not significantly different and significantly different at P<0.01.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากเจ้าของลิขสิทธิ์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น โดยต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาสารละลายธาตุอาหารจำนวน 5 สูตรต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดสายพันธุ์กรีนโอ๊ค พบว่า สารละลายธาตุอาหารสูตร NSRU 2 ทำให้ผักสลัดมีการเจริญเติบโตด้านความกว้างใบ ความกว้างทรงพุ่ม ความสูง และน้ำหนักแห้งต้นมากที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับสูตร NSRU 1 ที่มีการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบ และน้ำหนักสดต้นมากที่สุด ส่วนด้านคุณภาพ พบว่า สารละลายธาตุอาหารสูตรต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน และมีปริมาณไนเตรตในใบผักสลัดไม่เกินค่าที่สหภาพยุโรปกำหนด เพราะช่วงเวลาที่ปลูกมีช่วงแสงเฉลี่ย 11-12 ชั่วโมงต่อวัน ทำให้พืชสามารถนำไนเตรตไปใช้ในการเจริญเติบโตทำให้พบในใบผักสลัดเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ถ้าพิจารณาค่าใช้จ่ายในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตร NSRU 2 มีราคาเท่ากับ 1.88 บาทต่อลิตร

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

เอกสารอ้างอิง

กรรณิกา จ้าเสียง. 2555. ปริมาณไนเตรตที่ตกค้างในผักสลัด (Green Oak). ปัญหาพิเศษ. สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ชัยอาทิตย์ อิ่นคำ. 2557. ไนเตรตสะสมในผักไฮโดรโพนิกส์. สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. https://stri.cmu.ac.th/article_detail.php?id=26 (11 ธันวาคม 2562).

ดิเรก ทองอร่าม. 2550. *การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน*: หลักการจัดการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: พิมพ์ดีการพิมพ์.

ดิเรก ทองอร่าม. 2554. การสร้างสูตรสารละลายธาตุอาหารพืช เพื่อการปลูกพืชไม่ใช้ดิน. *วารสารอาชีวะและเทคนิคศึกษา* 1(1): 32-41.

ธีระศักดิ์ พงษาอนุทิน. 2546. ผลของสัดส่วนระหว่างไนเตรตต่อแอมโมเนียมและปริมาณแคลเซียมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม “คอส” ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร. ปัญหาพิเศษ. ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มนูญ ศิรินุพงศ์. 2544. *การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสู่การปฏิบัติในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: เจริญรัฐการพิมพ์.

เยาวพา จิระเกียรติกุล และนิสา แซ่ลิ้ม. 2552. การเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์ Red Oak ที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ด้วยสารละลายสูตรต่าง ๆ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 17(2): 81-88.

โสระยา ร่วมรังษี. 2544. *การผลิตพืชสวนแบบไม่ใช้ดิน*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

Alaburda, J., and Nishihara, L. 1998. Presence of nitrate compound in well water. *Revista de Saude Pubilca* 32(2): 160-165.

AOAC. 2000. *Official method of analysis*. Washington, D.C.: Association of Official Analytical Chemists.

Barickman, T. C., Horgan, T. E., Wheeler, J. R., and Sams, C. E. 2016. Elevated levels of potassium in greenhouse-grown red romaine lettuce impacts mineral nutrient and soluble sugar concentration. *HortScience* 51: 504-509.

Carlo, F., Youssef, R., Mariateresa, C., Elvira, R., Alberto, B., and Colla, G. 2009. Yield and quality of leafy lettuce in response to nutrient solution composition and growing season. *Journal of Food Agriculture & Environment* 7(2): 456-462.

Cataldo, D. A., Maroon, M., Schrader, L. E., and Yongs, V. L. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant-tissue by nitration a salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 6: 71-80.

Cooper, A. J. 1976. *Nutrient film technique of growing plant*. London: Grower Books.

Dechorgnat, J., Nguyen, C. T., Armengaud, P., Jossier, M., Diatloff, E., Filleur, S., and Francoise, D. 2010. From the soil to the seed: the long journey of nitrate in plant. *Journal of Experimental Botany* 30: 1-11.

Diana, F., Leon, A., Logegaray, V., and Chiesa, A. 2005. Soilless culture technology for high quality lettuce. *Acta Horticulturae* 697: 43-48.

European Commission. 2011. Amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for nitrates in foodstuffs (Commission Regulation (EU) No 1258/2011 of 2 December 2011). https://www.fsai.ie/uploadedFiles/Reg1258_2011.pdf (29 April 2018).

Femke, D. J., Kate, T., Laurence, V. L., and Bevan, M. W. 2014. Glucose elevates nitrate transporter protein levels and nitrate transport activity independently of its hexokinase 1-Mediated stimulation of nitrate transporter expression 1. *Plant Physiology* 164: 308-320.

Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). 2019. Statistical database- agriculture. http://faostat.fao.org/faostat/collections?subset=agriculture (10 December 2019).

Kim, M. J., Youyoun, M., Janet, C. T., Beiquan, M., and Waterland, N. L. 2016. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis* 49: 19-34.

Masson, J., Tremblay, N., and Gosselin, A. 1991. Nitrogen fertilization and HPS supplementary lighting influence vegetable transplant production I. Transplant growth. *Journal of American Society for Horticultural Science* 116: 594-598.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maynard, D. N., Barker, A. V., Minotti, P. L., and Peck, N. H. 1972. Nitrate accumulation in vegetables. *Advance in Agronomy* 28: 71-118.

Medici, A., and Krouk, G. 2014. The primary nitrate response: a multifaceted signaling pathway. *Journal of Experimental Botany* 65(19): 1-10.

Resh, H. M. 1985. *Hydroponic food production*. California: Woodbridge Press.

Ruffel, S., Alain, G., and Lejay, L. 2014. Signal interactions in the regulation of root nitrate uptake. *Journal of Experimental Botany* 65(19): 5509-5517.

Shinohara, Y., and Suzuki, Y. 1988. Quality improvement hydroponically grown leaf vegetable. *Acta Horticulturae* 230: 279-286.

Soundy, P., Cantliffe, D. J., Hochmuth, G. J., and Stoffella, P. J. 2001. Nutrient requirement for lettuce transplant using a floatation irrigation system II. potassium. *HortScience* 36: 1071-1074.

Sundar, S., Sanjib, S., and Zhiming, L. 2019. Effect of nutrient composition and lettuce cultivar on crop production in hydroponic culture. *Horticulturae* 5(4): 1-8.

Taiz, L., and Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*. 4th ed. Massachusetts: Sinauer Association.

Takebe, M., and Yoneyama, T. 1995. An analysis of nitrate and ascorbic acid in crop exudates using a simple reflection photometer system. *Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition* 66: 155-158.

วันรับบทความ (Received date) : 19 ส.ค. 62

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 30 ธ.ค. 62

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 9 มี.ค. 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้