Journal of Agri. Research & Extension 39(3): 11-23

ผลของสารละลายธาตุอาหารและน้ำหมักชีวภาพนมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์

Effect of Nutrient Solution and Milk Bio-extract on Growth of Red Butterhead Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Cultivated under Hydroponics System

ธนภูมิ ศิริงาม* และนราศักดิ์ บุญมี

Thanapoom Siringam* and Narasak Boonmee

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220

Department of Agriculture, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, Thailand 10220

*Corresponding author: thanapoom@pnru.ac.th

Received: *November 18, 2020*
Revised: *September 06, 2021*
Accepted: *November 01, 2021*

Abstract

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is mostly cultivated in the hydroponic system where factors affecting growth and yield can be controlled. This research aimed to investigate the influence of Phranakhon nutrient solution and different concentrations of milk bio-extract concentrations (0.40, 0.50, 0.60 or 1.00% v/v) on growth of red butterhead lettuce cultivated under hydroponics system. An experimental design was completely randomized design (CRD) with five treatments, and five replications per treatment. The results showed that red butterhead lettuce cultivated in the Phranakhon nutrient solution showed the highest plant height, leaf number, plant canopy, shoot fresh weight, shoot dry weight and photosynthetic pigment concentrations. While the red butterhead lettuce cultivated in the milk bio-extract at 1.00% (v/v) gave the highest shoot dry matter.

Keywords: lettuce, growth, milk bio-extract, hydroponics

บทคัดย่อ

ผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) เป็นผักที่นิยมนำมาปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์ที่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครและน้ำหมักชีวภาพนมที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0.40, 0.50 0.60 และ 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) จำนวน 5 สิ่งทดลอง ๆ ละ 5 ซ้ำ จากการวิจัยพบว่า ผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร

สูตรพระนคร มีการเจริญเติบโตทางด้านความสูง จำนวนใบ ความกว้างทรงพุ่ม น้ำหนักสดส่วนต้น น้ำหนักแห้งส่วนต้น และปริมาณรงควัตถุภายในใบมากที่สุด ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในน้ำหมักชีวภาพนมความเข้มข้น 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีมวลชีวภาพแห้งส่วนต้นมากที่สุด

คำสำคัญ: ผักกาดหอม การเจริญเติบโต น้ำหมักชีวภาพ ไฮโดรพอนิกส์

คำนำ

ผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) จัดอยู่ในวงศ์ Asteraceae เป็นผักที่มีปริมาณเส้นใยและคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วย วิตามินเอ วิตามินซี แคลเซียม เหล็ก โปรตีน และคาร์โบไฮเดรท นอกจากนี้ยังมีสรรพคุณทางเภสัชและอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด เช่น กรดโฟลิก ลูทีน บีตาแคโรทีน เป็นต้น (Kim *et al.*, 2016) โดยทั่วไปการปลูกผักกาดหอมในแปลงปลูกมักมีการใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณมากเกินความต้องการของพืชและใช้อย่างต่อเนื่อง รวมทั้งการใช้สารกำจัดศัตรูพืชปริมาณมากทำให้เกิดการตกค้างภายในดินและผลผลิต ซึ่งการตกค้างของปุ๋ยเคมีและสารกำจัดศัตรูพืชจะส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน โครงสร้างของดิน สภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน และส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช (Sangsirimongkolying *et al.*, 2015) ดังนั้นจึงมีการนำระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมาใช้ในการปลูกผักกาดหอมเชิงพาณิชย์ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีการปลูกพืชที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมการใช้ปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืช ทำให้ผลผลิตที่ได้มีความสะอาดและปลอดภัยต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค ผลผลิตมีคุณภาพ และสามารถผลิตได้ตลอดทั้งปี (Pongsa-anutin, 2004) โดย Sapkota *et al.* (2019) รายงานว่า ผักกาดหอมพันธุ์บัตเตอร์เฮดที่ได้รับสารละลายสูตร Hoagland ดัดแปลง ที่ประกอบด้วยไนโตรเจน (N) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) ฟอสฟอรัส (P) โบรอน (B) สังกะสี (Zn) และ แมกนีเซียม (Mg) ความเข้มข้น 250.00, 300.00, 250.00, 56.00, 0.40, 0.35 และ 45.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนใบ ความยาวใบ ความยาวราก และน้ำหนักสดมากที่สุด

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถนำมาใช้ในการผลิตพืชในพื้นที่ที่ประสบปัญหาเกี่ยวกับดินที่มีคุณสมบัติไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นระบบการปลูกพืชที่สามารถปลูกได้อย่างต่อเนื่องภายใต้การควบคุมการให้น้ำและสารละลายธาตุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจัดเป็นระบบการผลิตพืชที่ปลอดภัยจากสารพิษที่เกิดจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ทำให้ผลผลิตพืชที่ได้มีปริมาณและคุณภาพที่ดี ระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีหลายระบบ ได้แก่ Nutrient Film Technique (NFT), Deep Flow Technique (DFT), Dynamic Root Floating Technique (DRFT), Aeroponics และ Substrate culture อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายในด้านสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในระบบปลูกพืชค่อนข้างสูง รวมทั้งความกังวลของผู้บริโภคเกี่ยวกับการตกค้างของสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารพืช ทำให้การศึกษาแนวทางในการนำสารอินทรีย์ต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ทดแทนสารเคมีในสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

น้ำหมักชีวภาพเป็นของเหลวที่ได้จากกระบวนการหมักพืชและสัตว์จนได้สารละลายที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนและไนโตรเจน รวมทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง จุลธาตุ กรดฮิวมิก สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน ไซโตไคนิน เป็นต้น รวมทั้งยังพบเอนไซม์และจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (Phornphisutthimas, 2012) ในปัจจุบันมีการนำน้ำหมักชีวภาพมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของผลผลิตพืช ได้แก่ ผักสลัด (Jitaek, 2013; Wongsrisakulkaew *et al.*, 2016; Kanarat *et al.*, 2018; Wongsrisakulkaew *et al.*, 2018)

โหระพาสีม่วง (Thanawat, 2015) ถั่วเขียว (Kaveekhew, 2011) มะลิลา (Kajonphol *et al.*, 2014) ดาวเรือง (Kanarat *et al.*, 2018) อย่างไรก็ตามปริมาณธาตุอาหารและสารสกัดชีวภาพที่ได้จากน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากวัสดุอินทรีย์ที่แตกต่างกันส่งผลทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชแตกต่างกัน (Inkham and Ruamrungsri, 2014)

น้ำหมักชีวภาพนมจัดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดน้ำที่อุดมไปด้วยธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน (0.39%) ฟอสฟอรัส (0.09%) โพแทสเซียม (1.74%) แคลเซียม (0.28%) แมกนีเซียม (0.21%) กำมะถัน (0.26%) เหล็ก (0.027%) แมงกานีส (0.002%) สังกะสี (0.004%) เป็นต้น (Department of Agriculture, 2001) ในปัจจุบันน้ำหมักชีวภาพนมเป็นสารอินทรีย์ที่ถูกนำมาใช้ในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ภายในดินและพืช แต่การศึกษาการนำน้ำหมักชีวภาพมาประยุกต์ใช้ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินยังไม่แพร่หลาย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครและน้ำหมักชีวภาพนมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในระบบ DRFT เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้น้ำหมักชีวภาพนมในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนคร

1) การเตรียมสารละลายเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนคร

ทำการเตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครเข้มข้น โดยการชั่งสารเคมีแต่ละชนิดตามปริมาณที่กำหนด ในการทดลองนี้ทำการเตรียมสารละลายเข้มข้นที่มีความเข้มข้น 50 เท่าจากความเข้มข้นปกติ ดังนั้นจึงทำการเตรียมสารละลายเข้มข้น A ประกอบด้วย แคลเซียมไนเตรท ($Ca(NO_3)_2{\cdot}4H_2O$) 500 มก./ล. (125 กรัม) ส่วนสารละลายเข้มข้น B ประกอบด้วย โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 125 มก./ล. (31.25 กรัม) โพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) 125 มก./ล. (31.25 กรัม) แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4{\cdot}7H_2O$) 125 มก./ล. (31.25 กรัม) และจุลธาตุรวม 20 มก./ล. (5 กรัม) หลังจากนั้นนำมาละลายด้วยน้ำกลั่นจนผสมเป็นเนื้อเดียวกันและปรับปริมาตรให้ได้ 5 ลิตร และเก็บไว้ในแกลลอนทึบแสง

2) การเตรียมสารละลายเจือจางของสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนคร

นำสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครเข้มข้น A และ B อย่างละ 3 ลิตร ผสมลงในถังพลาสติกขนาดความจุ 150 ลิตร ที่มีน้ำปริมาตร 100 ลิตร ผสมสารละลายอาหารสูตรพระนครเข้มข้น A และ B ให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ปรับปริมาตรสารละลายธาตุอาหารจนครบ 150 ลิตรด้วยน้ำ หลังจากนั้นปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่าอยู่ในช่วง 5.6-5.8 และมีค่าการนำไฟฟ้า (EC) เท่ากับ 0.80-1.00 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร (mS/cm) โดยการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และกรดไนตริก (HNO_3) โดยทำการตรวจสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายสัปดาห์ละ 3 ครั้ง ในการทดลองครั้งนี้เปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครและน้ำหมักชีวภาพนม สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 4 สัปดาห์

การเตรียมน้ำหมักชีวภาพนม

นำนมสด จำนวน 10 ลิตร ผสมกับกากน้ำตาล จำนวน 4 ลิตร และปรับปริมาตรในถังหมักจนได้ปริมาตร 50 ลิตร หลังจากนั้นเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ พด.2 จำนวน 25 กรัม กวนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันและปิดฝาถังหมักให้สนิท และทำการหมักเป็นระยะเวลา 15-20 วัน ในช่วงเวลาที่ทำการหมักจะมีการเปิดฝาถังและกวนน้ำหมักชีวภาพ เพื่อระบายความร้อนและช่วยระบายอากาศภายในถังหมักทุก 2 วัน เมื่อครบ 30 วัน จึงนำน้ำหมักชีวภาพนมมาเจือจางตามความเข้มข้นที่กำหนดในการทดลอง โดยน้ำหมักชีวภาพนมที่ผ่านกระบวนการหมักมี

ธาตุอาหารที่เป็นเป็นประโยชน์ ประกอบด้วย ไนโตรเจน 0.30% (30 มก./ล.) ฟอสฟอรัส 0.05% (5 มก./ล.) โพแทสเซียม 1.50% (150 มก./ล.) แคลเซียม 0.30% (30 มก./ล.) แมกนีเซียม 0.15% (15 มก./ล.) และกำมะถัน 0.20% (20 มก./ล.)

การเตรียมวัสดุและการเพาะเมล็ด

นำเมล็ดผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดเพาะลงในฟองน้ำ ขนาด 2 ลบ.ซม. จำนวน 1 เมล็ดต่อช่องปลูก หลังจากนั้นนำฟองน้ำวางลงในกระบะพลาสติกขนาด 30x45 ซม. ที่มีน้ำสูงประมาณ 1/2 ของฟองน้ำ และนำไปตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 25±2°ซ. หลังจากเมล็ดเริ่มงอกจนเจริญเติบโตเป็นต้นกล้าให้นำต้นกล้าไปวางไว้ในที่มีแสงแดดรำไร

การย้ายต้นกล้าลงปลูก

เมื่อต้นกล้าผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดมีอายุประมาณ 14 วันหลังเพาะเมล็ด ซึ่งเป็นระยะที่มีใบจริง 2-3 ใบ และมีความสูงประมาณ 5 ซม. จึงย้ายฟองน้ำที่มีต้นกล้าลงปลูกในระบบ DRFT ที่มีขนาด 1×5 เมตร (กว้าง×ยาว) ปริมาตรสารละลายที่ใช้ในระบบทั้งหมด 150 ลิตร และจำนวนต้นผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ปลูกทั้งหมด 125 ต้นต่อระบบ ที่มีการหมุนเวียนของสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนคร (Siringam *et al.*, 2014) และน้ำหมักชีวภาพนมที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0.40, 0.50, 0.60 และ 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยมีระยะปลูกระหว่างต้น 20 ซม. หลังจากนั้นปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่าอยู่ในช่วง 5.6-5.8 และมีค่าการนำไฟฟ้า (EC) เท่ากับ 0.80-1.00 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร (mS/cm) โดยการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และกรดไนตริก (HNO_3) โดยทำการตรวจสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายสัปดาห์ละ 3 ครั้ง ในการทดลองครั้งนี้เปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครและน้ำหมักชีวภาพนมสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 4 สัปดาห์

ดำเนินการทดลองภายในโรงเพาะชำสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2563

การบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่มีอายุ 28 วันหลังย้ายปลูก ดังนี้

1) ความสูง (ซม.) วัดความสูงจากบริเวณโคนต้นที่อยู่เหนือฟองน้ำไปจนถึงบริเวณข้อบนสุดของต้น

2) จำนวนใบ (ใบ) นับใบที่มีการขยายของแผ่นใบอย่างสมบูรณ์และไม่มีบาดแผลจากการรบกวนของโรคและแมลงศัตรูพืช

3) ความกว้างทรงพุ่ม (ซม.) วัดความกว้างทรงพุ่มจากบริเวณใบด้านที่กว้างที่สุดฝั่งหนึ่งไปยังใบด้านกว้างที่สุดอีกฝั่งหนึ่งของต้น

4) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งส่วนต้น (กรัม) นำส่วนต้นไปชั่งน้ำหนักสด หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°ซ. ภายในตู้อบลมร้อน (Memmert, Model 500, Germany) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จนน้ำหนักแห้งคงที่แล้วทำการชั่งน้ำหนักแห้ง

5) มวลชีวภาพแห้งส่วนต้น (เปอร์เซ็นต์) จากสูตรของ Lutts *et al.* (1995) ดังนี้

$$\text{มวลชีวภาพแห้ง (เปอร์เซ็นต์)} = (\text{น้ำหนักแห้ง} \div \text{น้ำหนักสด}) \times 100$$

6) ปริมาณรงควัตถุ

ชั่งใบผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดหนัก 100 มก. นำมาบดให้ละเอียด เติมสารละลายอะซีโตนความเข้มข้น 95.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาตร 10 มล. และนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5°ซ. เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นตรวจวัดปริมาณรงควัตถุภายในใบประกอบด้วย คลอโรฟิลล์เอ (Chl_a) คลอโรฟิลล์บี (Chl_b) และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (TC) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่

ความยาวคลื่น 662 และ 644 นาโนเมตร และคำนวณหาปริมาณรงควัตถุตามวิธีการของ Shabala *et al.* (1998) และ Lichtenthaler (1987) ดังนี้

$$Chl_a = 9.784D_{662} - 0.99D_{644}$$
$$Chl_b = 21.42D_{644} - 4.65D_{662}$$
$$TC = Chl_a + Chl_b$$

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 5 สิ่งทดลอง ๆ ละ 5 ซ้ำ นำข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณรงควัตถุ มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรมประยุกต์ทางสถิติ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า การเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครและน้ำหมักชีวภาพนม ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์แบบน้ำลึก (DRFT) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1 and 2) โดยผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครมีความสูง จำนวนใบ และความกว้างทรงพุ่มมากที่สุด เท่ากับ 11.50±0.04 ซม. 26.86±0.15 ใบ และ 17.19±0.04 ซม. ตามลำดับ (Table 1) ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพนม ความเข้มข้น 0.40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีความสูง จำนวนใบ และความกว้างทรงพุ่มน้อยที่สุดเท่ากับ 8.17±0.02 ซม. 15.20±0.05 ใบ และ 11.15±0.02 ซม. ตามลำดับ (Table 1)

ผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครมีน้ำหนักสดส่วนต้นและน้ำหนักแห้งส่วนต้นมากที่สุด เท่ากับ 25.95±0.07 และ 1.28±0.01 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพนม ความเข้มข้น 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีน้ำหนักสดส่วนต้นและน้ำหนักแห้งส่วนต้นน้อยที่สุด เท่ากับ 8.21±0.06 และ 0.51±0.01 กรัม ตามลำดับ (Table 2) อย่างไรก็ตามน้ำหนักแห้งส่วนต้นของผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพนม ความเข้มข้น 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักแห้งส่วนต้นของผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพนม ความเข้มข้น 0.40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (Table 2)

นอกจากนี้ยังพบว่าผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพนม ความเข้มข้น 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีมวลชีวภาพแห้งส่วนต้นมากที่สุด เท่ากับ 6.18±0.03 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครมีมวลชีวภาพแห้งส่วนต้นน้อยที่สุด เท่ากับ 4.94±0.01 เปอร์เซ็นต์ (Table 2) รวมทั้งยังพบว่ามวลชีวภาพแห้งส่วนต้นของผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพนม ความเข้มข้น 0.40 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2)

Table 1 Height (cm), leaf number (leaves) and plant canopy (cm) of red butterhead lettuce at 28 days after transplants on hydroponics supplemented with Phranakhon nutrient solution and various bio-extracted milk concentrations

Treatment	Height (cm)	Leaf number (leaves)	Plant canopy (cm)
Phranakhon nutrient solution	11.50±0.04a	26.86±0.15a	17.19±0.04a
Bio-extracted milk 0.40% (v/v)	8.17±0.02d	15.20±0.05e	11.15±0.02e
Bio-extracted milk 0.50% (v/v)	9.07±0.01b	21.94±0.04c	13.18±0.01b
Bio-extracted milk 0.60% (v/v)	8.81±0.02c[1/]	23.43±0.04b	12.03±0.02d
Bio-extracted milk 1.00% (v/v)	8.78±0.01c	18.40±0.09d	12.53±0.03c
Grand mean	**9.27**	**21.17**	**13.21**
C.V. (%)	**0.59**	**0.91**	**0.41**
F-test	*	*	*

* Statistical significant different at p≤0.05, Means±S.E. within column with the same letter are not significantly different at p≤0.05 by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

Table 2 Shoot fresh weight (g), shoot dry weight (g) and shoot dry matter (%) of red butterhead lettuce at 28 days after transplants on hydroponics supplemented with Phranakhon nutrient solution and various bio-extracted milk concentrations

Treatment	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Shoot dry matter (%)
Phranakhon nutrient solution	25.95±0.07a	1.28±0.01a	4.94±0.01d
Bio-extracted milk 0.40% (v/v)	8.83±0.25d	0.52±0.02d[1/]	6.00±0.02c[1/]
Bio-extracted milk 0.50% (v/v)	10.24±0.06c	0.62±0.01c	6.00±0.01c
Bio-extracted milk 0.60% (v/v)	11.85±0.11b	0.72±0.01b	6.11±0.03b
Bio-extracted milk 1.00% (v/v)	8.21±0.06e	0.51±0.01d	6.18±0.03a
Grand mean	**13.01**	**0.73**	**5.85**
C.V. (%)	**2.24**	**4.33**	**0.76**
F-test	*	*	*

* Statistical significant different at p≤0.05, Means±S.E. within column with the same letter are not significantly different at p≤0.05 by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

ผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพนม ความเข้มข้น 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 137.05±8.96 60.34±6.24 และ 197.39±15.11 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนคร ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพนม ความเข้มข้น 0.50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดน้อยที่สุด เท่ากับ 66.87±0.91 และ 93.35±1.37 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (Table 3)

อย่างไรก็ตามปริมาณคลอโรฟิลล์เอในผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพนม ความเข้มข้น 0.50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพนม ความเข้มข้น 0.40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร รวมทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพนม ความเข้มข้น 0.50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพนม ความเข้มข้น 0.40 และ 0.60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (Table 3)

ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนคร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพนม ความเข้มข้น 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในขณะที่ผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพนม ความเข้มข้น 0.50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีน้อยที่สุด เท่ากับ 26.49±0.45 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพนม ความเข้มข้น 0.40 และ 0.60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (Table 3)

Table 3 Chlorophyll *a*, chlorophyll *b* and total chlorophyll concentrations (µg g^{-1} fresh weight) in leaves of red butterhead lettuce at 28 days after transplants on hydroponics supplemented with Phranakhon nutrient solution various bio-extracted milk concentrations

Treatment	Pigment concentrations (µg g^{-1} fresh weight)		
	Chlorophyll *a*	Chlorophyll *b*	Total chlorophyll
Phranakhon nutrient solution	135.83±9.00a[1/]	60.80±6.46a[1/]	196.64±15.43a[1/]
Bio-extracted milk 0.40% (v/v)	84.13±2.80bc	33.67±1.02b	117.80±3.81b
Bio-extracted milk 0.50% (v/v)	66.87±0.91c	26.49±0.45b	93.35±1.37b

Table 3 (Continued)

Treatment	Pigment concentrations (μg g^{-1} fresh weight)		
	Chlorophyll *a*	Chlorophyll *b*	Total chlorophyll
Bio-extracted milk 0.60% (v/v)	87.60±3.90b	35.63±1.67b	123.23±5.58b
Bio-extracted milk 1.00% (v/v)	137.05±8.96a	60.34±6.24a	197.39±15.11a
Grand mean	**102.30**	**43.39**	**145.68**
C.V. (%)	**13.30**	**21.12**	**15.59**
F-test	*	*	*

* Statistical significant different at p≤0.05, Means± S.E. within column with the same letter are not significantly different at p≤0.05 by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดทั้งในด้านความสูง จำนวนใบ ความกว้างทรงพุ่ม น้ำหนักสดส่วนต้น น้ำหนักแห้งส่วนต้นได้ดีกว่าน้ำหมักนม (Table 1 and 2) Phasuk *et al.* (2019) รายงานว่า ผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์แบบ DRFT มีการเจริญเติบโตได้แก่ จำนวนใบ 24.12 ใบ ขนาดทรงพุ่ม 27.26 ซม. และความยาวราก 65.24 ซม. ตามลำดับ ส่วนผลผลิตได้แก่ น้ำหนักสดต้น 207.21 กรัม น้ำหนักแห้งต้น 15.52 กรัม น้ำหนักสดราก 18.58 กรัม น้ำหนักแห้งราก 1.16 กรัม และมวลชีวภาพ 16.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ในขณะที่ผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครมีค่าน้อยกว่างานทดลองของ Phasuk *et al.* (2019) ประมาณ 9 เท่า สภาพแวดล้อมภายในโรงเพาะชำที่ใช้ในการดำเนินการทดลองมีสภาพอุณหภูมิค่อนข้างสูง อุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ยเท่ากับ 41.5°ซ. ส่วนอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนเฉลี่ยเท่ากับ 35°ซ. ซึ่งจากสภาพแวดล้อมดังกล่าวล้วนมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮด

นอกจากนี้การเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์ยังได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และองค์ประกอบของธาตุอาหารภายในสารละลายที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตและพัฒนา (Jirakiattikul and Saelim, 2009; Siringam *et al.*, 2014) ซึ่งในการทดลองนี้มีการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ให้มีค่าอยู่ในช่วง 5.5-6.5 ส่วนค่าการนำไฟฟ้า (EC) มีการควบคุมให้มีค่าอยู่ในช่วง 1.00.-1.40 สารละลายธาตุอาหารและน้ำหมักชีวภาพนม ในขณะที่องค์ประกอบของธาตุอาหารแต่ละชนิดในสารละลายธาตุอาหารมีปริมาณมากกว่าน้ำหมักชีวภาพนม โดย Trejo-Téllez and Gómez-Merino (2012) รายงานว่า ปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์ด้วยสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland and Arnon (1938); Hewitt (1966); Cooper (1988); Steiner (1984) มีค่าอยู่ระหว่าง 168-236 มก./ล. (ไนโตรเจน) 31-60 มก./ล. (ฟอสฟอรัส) 156-300 มก./ล. (โพแทสเซียม) 160-185 มก./ล. (แคลเซียม), 34-50 มก./ล. (แมกนีเซียม) และ 48-336 มก./ล. (กำมะถัน) ซึ่งส่งผลทำ

ให้ผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกันกับรายงานของ Siringam (2014) ที่รายงานว่า การเพิ่มความเข้มข้นของโพแทสเซียม (200, 250 และ 300 มก./ล.) ในสารละลายธาตุอาหารสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตทางด้านจำนวนใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งส่วนต้นของผักกาดหอมพันธุ์คอส ในขณะที่งานทดลองของ Chanwichit (2019) รายงานว่า ปวยเล้งที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกผักไฮโดรพอนิกส์มีอัตราการรอดชีวิต ความสูง และน้ำหนักสดส่วนต้นมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับปวยเล้งที่ได้รับปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจากไส้เดือนดิน และปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ร่วมกับน้ำหมักชีวภาพในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

ส่วนมวลชีวภาพแห้งส่วนต้นของผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดมีค่ามากที่สุดเมื่อได้รับน้ำหมักชีวภาพนมความเข้มข้น 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (Table 2) ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครมีปริมาณธาตุอาหารมากกว่าน้ำหมักชีวภาพนม จึงมีอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารสูง ทำให้พืชสามารถดูดไปใช้ได้อย่างรวดเร็วและมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว (Lester and Saftner, 2011) รวมทั้งมีผลทำให้สารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่สะสมไว้ภายในพืชถูกเปลี่ยนไปสร้างโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของโพรโทพลาสซึม พืชจะมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วและเกิดการสะสมน้ำในปริมาณมาก ในขณะเดียวกันจะมีผลทำให้คาร์โบไฮเดรตที่นำไปใช้ในการสร้างเซลลูโลสมีปริมาณลดลง (Hoque *et al.*, 2010) จึงมีผลทำให้มวลชีวภาพแห้งส่วนต้นของผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครมีค่าน้อยกว่าผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพนม ซึ่งให้ผลไปในทิศทางตรงกันข้ามกับงานทดลองของ Siringam *et al.* (2019) ที่พบว่าผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน อัตราส่วน ร้อยละ 100:0 โดยปริมาตร มีมวลชีวภาพแห้งส่วนรากและมวลชีวภาพแห้งส่วนต้นมากกว่าผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน อัตราส่วน 75:25, 50:50 และ 25:75 โดยปริมาตร ตามลำดับ

นอกจากนี้อาจเป็นไปได้ว่าวัตถุดิบที่ใช้ในการนำมาผลิตน้ำหมักชีวภาพที่ใช้ในการทดลองนี้มีความแตกต่างกัน รวมทั้งน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากการนำนมมาผ่านกระบวนการหมักร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์และกากน้ำตาลจนเกิดกระบวนการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ ซึ่งนมเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งยังมีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ประมาณ 0.30% อย่างไรก็ตามการที่น้ำหมักชีวภาพนมมีปริมาณไนโตรเจนน้อยกว่าสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนคร ประมาณ 10 เท่า ทำให้เกิดการสะสมคาร์โบไฮเดรตที่เกี่ยวข้องกับการสะสมมวลชีวภาพแห้ง จึงมีผลทำให้มวลชีวภาพแห้งส่วนต้นของผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพนมเพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันกับหญ้าดอกอ้อที่มีการเจริญเติบโตและการสะสมมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นเมื่อปลูกในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากหมู (Mavrogianopoulos *et al.*, 2002)

ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดภายในใบผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดมีค่ามากที่สุดเมื่อได้รับสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครและน้ำหมักชีวภาพนม ความเข้มข้น 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (Table 3) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำหมักชีวภาพนมจัดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการสังเคราะห์รงควัตถุที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่มีความสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงภายในใบพืช (Tancho, 2013) เช่นเดียวกันกับรายงานของ Lesing and Aungoolprasert (2016) ที่รายงานว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ภายในใบของคะน้าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อได้รับปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรงควัตถุภายในใบพืชอาจได้

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม เช่น การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแสง การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย ดังเช่นงานวิจัยของ Romero-Aranda *et al.* (2001) ที่แสดงให้เห็นว่าปริมาณรงควัตถุภายในใบมะเขือเทศมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายธาตุอาหาร

สรุปผลการวิจัย

1. ผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดมีการเจริญเติบโตและปริมาณรงควัตถุมากที่สุดเมื่อได้รับสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนคร

2. น้ำหมักชีวภาพนมทุกความเข้มข้นไม่สามารถนำมาใช้ทดแทนสารละลายธาตุอาหารสูตรพระนครได้ในการปลูกผักกาดหอมพันธุ์เรดบัตเตอร์เฮดในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่สนับสนุนสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Chanwichit, P. 2019. The effects of bio-extract and chemical fertilizer on growth and yield of spinach (*Spinacia oleracea* L.) under a hydroponic growing system. **Naresuan Phayao Journal** 12(3): 51-54. [in Thai]

Cooper, A. 1988. 1. The System 2. Operation of the System. pp. 3-123. *In* Grower Books, editor. **The ABC of NFT. Nutrient Film Technique**. London: Intl Specialized Book Services.

Department of Agriculture. 2001. **Bio extracted liquid and bio dried compost.** [Online]. Available http://www.servicelink.doae.go.th (6 November 2020). [in Thai]

Hewitt, E.J. 1966. **Sand and Water Culture Methods Used in Study of Plant Nutrition.** 2nd Edition. London: Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal. 241 p.

Hoagland, D.R. and Arnon D.I. 1938. **The water-culture method for growing plants without soil**. [Online]. Available https://archive.org/stream/watercultumeth347hoag/watercultumeth347hoag_djvu.txt (15 July 2021).

Hoque, M.M., H. Ajwa, M. Othman, R. Smith and M. Cahn. 2010. Yield and postharvest quality of lettuce in response to nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers. **Horticultural Science** 45(10): 1539-1544.

Inkham, C. and S. Ruamrungsri. 2014. Effects of using liquid bio-extract as mineral source on growth of lettuce grown in hydroponics system. **Khon Kaen Agriculture Journal** 42(3)(Suppl.): 906-911. [in Thai]

Jirakiattikul, Y. and N. Saelim. 2009. Growth of leaf lettuce cv. red oak grown in hydroponics with different nutrient solutions. **Thai Science and Technology Journal** 17(2): 81-88. [in Thai]

Jitaek, P. 2013. **Effects of Bioextracts Mixed with Herbs Extract on Growth and Yield of 4 Salads in Hydroponics System.** Master Thesis. Rajamangala University of Technology Thanyaburi. 61 p. [in Thai]

Kajonphol, T., B. Simma, W. Kanket and C. Sangsiri. 2014. Effect of bio-extract on growth and flower yield in jasmine (*Jasminum sambac* (L.) Ait.). **Thai Agricultural Research Journal** 32(2): 129-138. [in Thai]

Kanarat, A., K. Tungkananuruk, R. Tangkoonboribun and A. Piriyaphattarakit. 2018. Effects of bioextract from waste of fish meal factory on growth and marketable yield of head lettuce and marigold. **Thai Journal of Science and Technology** 8(1): 43-53. [in Thai]

Kaveekhew, S. 2011. **Effects of Fermented Bioextracts on Growth of Mung Bean (*Vigna radiata*).** Master Thesis. Srinakharinwirot University. 57 p. [in Thai]

Kim, M.J., Y. Moon, J.C. Tou, B. Mou and N.L. Waterland. 2016. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Journal of Food Composition and Analysis** 49: 19-34.

Lesing, S. and O. Aungoolprasert. 2016. Efficacy of high quality organic fertilizer on growth and yield of chinese kale. **Journal of Science and Technology** 24(2): 320-332. [in Thai]

Lester, G.E. and R.A. Saftner. 2011. Organically versus conventionally grown produce: common production inputs, nutritional quality, and nitrogen delivery between the two systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 59: 10401-10406.

Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology** 148: 350-380.

Lutts, S., J.M. Kinet and J. Bouharmont. 1995. Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. **Journal of Experimental Botany** 46: 1843-1852.

Mavrogianopoulos, G., V. Vogli and S. Kyritsis. 2002. Use of wastewater as a nutrient solution in a closed gravel hydroponic culture of giant reed (*Arundo donax*). **Bioresource Technology** 82(2): 103-107.

Phasuk, A., P. Chutichudet and B. Chutichudet. 2019. Growth, yield and nitrate accumulation in five lettuces grown under hydroponics system. **Journal of Science and Technology Mahasarakham** 38(4): 391-401. [in Thai]

Phornphisutthimas, S. 2012. Fermented bio-extracts and agricultures. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 3(1): 59-65. [in Thai]

Pongsa-anutin, T. 2004. **Growth and Nutrient Contents of Hydroponics Grown lettuce in Different Nutrient Solutions.** Master Thesis. Kasetsart University. 70 p. [in Thai]

Romero-Aranda, R., T. Soria and T. Cuartero. 2001. Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. **Plant Science** 160: 265-272.

Sangsirimongkolying, R., M. Watchayanon, P. Khunlert and P. Chalopagorn. 2015. Study on contamination of some pesticide in environment in Chaibadalphiphat College. **Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)** 10(2): 22-37. [in Thai]

Sapkota, S., S. Sapkota and Z. Liu. 2019. Effects of nutrient composition and lettuce cultivar on crop production in hydroponic culture. **Horticulturae** 5(72): 1-8.

Shabala, S.N., S.I. Shabala, A.I. Martynenko, O. Babourina and I.A. Newman. 1998. Salinity effect on bioelectric activity, growth, Na^+ accumulation and chlorophyll fluorescence of maize leaves: a comparative survey and prospects for screening. **Australian Journal of Plant Physiology** 25: 609-616.

Siringam, K. 2014. Effect of potassium on physiological responses of lettuce (*Lactuca sativa* var. romana) cultivated in hydroponics system. **Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)** 9(1): 16-31. [in Thai]

Siringam, K., K. Theerawipa and N. Hlaihakhot. 2014. Effect of nutrient solution on growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivated under hydroponic system. **Thai Science and Technology Journal** 22(6): 828-836. [in Thai]

Siringam, T., N. Boonmee and W. Pongprayoon. 2019. Influence of nutrient solution and liquid vermicomposts ratio on growth of lettuce var. green oak (*Lactuca sativa* L.) cultivated in hydroponics system. **Thai Journal of Science and Technology** 8(1): 77-84. [in Thai]

Steiner, A.A. 1984. The Universal Nutrient Solution. pp. 633-650. *In* **Proceedings of the 6th International Congress on Soilless Culture**. Gelderland: Wageningen University & Research.

Tancho, A. 2013. **Natural Agriculture Applied Concepts in Thailand in 2013.** Bangkok: National Science and Technology Development Agency. 22 p. [in Thai]

Thanawat, K. 2015. **Effects of Bio-extract from Vegetables, Fishes and Herbs on Growth and Some Physiological Characteristics of Purple Basil (*Ocimum basilicum* L.) Grown in Hydroponics.** Master Thesis. Burapha University. 104 p. [in Thai]

Trejo-Téllez, L.I. and F.C. Gómez-Merino. 2012. Nutrient Solutions for Hydroponic Systems. 1 p. *In* InTech. **Hydroponics – A Standard Methodology for Plant Biological Researches.** Croatia: InTechopen.com.

Wongsrisakulkaew, Y., N. Paisom, P. Maksik and H. Chokthaweepanich. 2016. Effect of chemical fertilizer and bio-extract on growth and quality of lettuces (*Lactuca sativa*) cv. red oak and red coral. **Songklanakarin Journal of Plant Science** 3(3)(Suppl.): M04/46-53. [in Thai]

Wongsrisakulkaew, Y., N. Puthom, T. Thongkham and P. Autta. 2018. Effect of chemical fertilizer and bio-extract on growth and color of lettuces (*Lactuca sativa*) cv. red cos and red batavia. **Agricultural Science Journal** 49(1)(Suppl.): 42-46. [in Thai]