วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย **บทความวิจัย**

ปีที่ 27 ฉบับที่ 1 (2564) 9-15

ISSN 1685-408X (Print)

Available online at www.tci-thaijo.org /index.php/TSAEJ

การประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกทำความเย็นสารละลายปุ๋ยสำหรับปลูกผักสลัดด้วยวิธีแอโรโพนิกส์

Application of Thermoelectric for Cooling Aeroponic Nutrient Solution for Lettuces

ศรัณรัตน์ คงมั่น[1]*

Sarunrat Khongman[1]*

[1]สาขาวิศวกรรมเครื่องกลและหุ่นยนต์การเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์, 60000

[1] Mechanical and Agricultural Robot Engineering, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University, Nakhon Sawan, Thailand, 60000.

*Corresponding author: Tel: +66-6-5894-2264, E-mail: sarunrat.i@my.nsru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำสารละลายด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับปลูกผักสลัดด้วยวิธีแอโรโพนิกส์ โดยวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายต่อระบบการปลูก และวิธีการทดลองใช้ผักสลัด 2 ชนิดคือ กรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค ด้วยวิธีแอโรโพนิกส์ เปรียบเทียบการเจริญเติบโตกับพืชไฮโดรโพนิกส์แบบปรับระดับน้ำ และวิเคราะห์ความแปรปรวนผลการปรับอุณหภูมิน้ำสารละลายต่อการเจริญเติบโตโดยวัดจาก ความสูงต้น จำนวนใบ น้ำหนักต้น ความกว้างทรงพุ่ม และความยาวราก ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าระบบการทำน้ำเย็นสามารถลดอุณหภูมิภายในชุดทดลองให้ลดลงประมาณ 7-11 °C เมื่อเทียบจากอุณหภูมิอากาศภายนอก การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกด้วยระบบน้ำปรับอุณหภูมิมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระบบการปลูกไฮโดรโพนิกส์แบบปรับระดับน้ำ ส่วนผักสลัดเรดโอ๊คชี้ว่าการปลูกด้วยระบบน้ำปรับอุณหภูมิและน้ำสารละลายอุณหภูมิปกติมีการเจริญเติบโตน้อยเมื่อเทียบกับระบบการปลูกไฮโดรโพนิกส์แบบปรับระดับน้ำ และค่าพลังงานของวิธีแอโรโพนิกส์มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 0.108 kWh

คำสำคัญ: เทอร์โมอิเล็กทริก, แอโรโพนิกส์, ผักสลัด

Abstract

This research aims to design a thermoelectric temperature control system for growing lettuce by aeroponic method and electricity consumption and the cost of the planting system was anayzed. The experiment used two types of lettuce as green oak and red oak. They were grown the comparison of aerophonic and hydroponic method with dynamic root floating technique (DRFT). The growth of them was measured from bush height, number of leaves, plant weight, bush width, and root length. The temperature adjustment of nutrient solution on the growth of them were analyzed variance by statistical method. The result showed that the water-cooling system can reduce the temperature inside the experimental set to about 7-11 °C compared to the outside air temperature.

The growth of green oak lettuces cultivated with water-cooling system was no statistically significant defference with hydroponic method with DRFT. The rate of growth of red oak lettuce cultivated with water-cooling system was low when compared with hydroponic method with DRFT. The electricity consumption of aerophonic water-cooling system was 0.106 kWh.

Keywords: Thermoelectric, Aeroponic, Lettuce

Received: August 27, 2019
Revised: December 15, 2020
Accepted: December 15, 2020
Available online: January 20, 2021

1 บทนำ

การปลูกพืชในอากาศหรือแอโรโพนิกส์ (Aeroponics) เป็นวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ในลักษณะรากพืชไม่ได้แช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหาร ปล่อยให้รากอยู่ในอากาศ ไม่สัมผัสกับสิ่งใด โดยจับยึดส่วนโคนของลำต้นพืชให้ตั้งตรงและรากลอยอยู่ในอากาศได้ ปล่อยให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านหรือสเปรย์ให้กับรากพืช ระบบนี้จะลดการใช้สารละลายธาตุอาหาร พลังงาน และพื้นที่เพาะปลูก สามารถประหยัดสารละลายธาตุอาหาร 5-10 เท่าใน 1 รอบการปลูก และได้ผลผลิตมากกว่า 10 เท่าเมื่อเทียบกับการปลูกแบบดั้งเดิมโดยใช้ดิน (Jeffrey, 2005) แต่สิ่งที่ต้องควบคุมมากที่สุดก็คือ อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งต้องพยายามรักษาให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับพืช (20 – 25 ˚C) หากอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารสูงจะส่งผลต่อกิจกรรมของรากและผลผลิตลดลง (Nxawe et al, 2010) อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารยังมีผลต่อปริมาณของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในสารละลายธาตุอาหาร กล่าวคือถ้าอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารสูงขึ้นปริมาณออกซิเจนในสารละลายธาตุอาหารก็จะลดต่ำลง ซึ่งจะมีผลต่อการทำงานของรากพืช ทำให้รากพืชอ่อนแอเป็นสาเหตุของการชักนำให้เกิดโรครากเน่าหรือโรคเชื้อราขึ้นรากได้ จากปัญหาเรื่องอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร ผู้วิจัยจึงนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์เป็นตัวทำความเย็นให้กับสารละลายธาตุอาหาร โดยนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาประกอบให้เป็นอุปกรณ์ที่เรียกว่า เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (Thermoelectric module) เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจะทำให้เกิดความร้อนและความเย็นเกิดขึ้นที่ผิวด้านบนและด้านล่าง ตามปรากฏการณ์ของเพลทีเยอร์ โดยทั่วไปเรียกเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลแบบนี้ว่า เทอร์โมอิเล็กทริกคูลลิ่ง (thermoelectric cooling ; TEC) เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำความร้อนหรือเย็นตามที่ต้องการ (Puaksaman it, 2014) ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับปลูกผักสลัดด้วยวิธีแอโรโพนิกส์ ที่สามารถรักษาอุณหภูมิสารละลาย 21 ± 1˚C อัตราการไหลของสารละลาย 7.5 Lhr^{-1} เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดด้วยวิธีแอโรโพนิกส์ วิธีปลูกไฮโดรโพนิกส์แบบปรับระดับน้ำ วิเคราะห์การใช้และหาค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อระบบ

2 อุปกรณ์และวิธีการ

ในงานวิจัยการประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกทำความเย็นสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกผักสลัดด้วยวิธีแอโรโพนิกส์แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองดังนี้

2.1 การทดลองหาประสิทธิภาพและการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นโดยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

การทดลองใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (รุ่น TEC1-12706 ยี่ห้อ Hebei ประเทศจีน) ขนาด 60 W จำนวน 2 แผ่น ด้านร้อนติดกับครีบระบายความร้อนด้วยน้ำ ด้านเย็นติดกับชุดแลกเปลี่ยนความเย็นกับสารละลายธาตุอาหารปริมาตร 0.2 L ใช้เครื่องสูบ (รุ่น QR50E ยี่ห้อ Decdeal ประเทศจีน) ดูดสารละลายธาตุอาหาร (EC = 1.20 ± 0.05 $mScm^{-1}$ และค่า pH = 6.50 ± 0.05) ให้ไหลผ่านชุดแลกเปลี่ยนความเย็นด้วย อัตราการไหล 56 Lhr^{-1} เก็บข้อมูลของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า (V) กระแสไฟฟ้า (I) ด้วยดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (รุ่น QR50E ยี่ห้อ Decdeal ประเทศจีน) วัดอุณหภูมิด้านเย็นและร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก และอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารที่ไหลเข้าและออกจากเครื่องสูบ ด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ทุก 1 min จนอุณหภูมิของสารละลายถึง 20 ˚C ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยข้อมูลแต่ละตัว แล้วทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนปริมาตรสารละลายธาตุอาหารเป็น 0.4 0.6 0.8 และ 1 L ตามลำดับ

หาค่าพลังงานความร้อนที่ต้องดึงออกจากระบบทำความเย็น (Q_{output}, kJ) จากสมการที่ (1)

$$Q_{output} = mC_p (T_i - T_f) \quad (1)$$

เมื่อ m คือ มวลของสารละลายธาตุอาหารภายในระบบทำความเย็น (kg)

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg ˚C)

T_i และ T_f คือ อุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายของสารละลายธาตุอาหาร (˚C)

คำนวณหาพลังงานที่ดึงออกจากระบบทำความเย็น (P_{output}) จากสมการที่ (2)

$$P_{output} = Q_{output}/t \quad (2)$$

เมื่อ Q_{output} คือ พลังงานความร้อนที่ดึงออกจากระบบทำความเย็น (kJ)

t คือ เวลาที่ใช้ในการดึงความร้อนออกจนสารละลายธาตุอาหารขาออกมีอุณหภูมิ 20 ˚C (s)

คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้ระบบทำความเย็น (P_{input}) จากสมการที่ (3)

$$P_{input} = nVI \quad (3)$$

เมื่อ V คือ แรงดันไฟฟ้า (V)

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

n คือ จำนวนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (แผ่น)

คำนวณหาประสิทธิภาพของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (η) ที่ใช้กับระบบทำความเย็น จากสมการที่ (4)

$$\eta = P_{output} / P_{input} \quad (4)$$

2.2 การออกแบบจำนวนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่จะใช้กับระบบปลูกผักสลัดด้วยวิธีแอร์โรโพนิกส์

ระบบปลูกผักสลัดด้วยวิธีแอร์โรโพนิกส์ใช้ปริมาณสารละลายธาตุอาหาร 5 L ต้องการดึงความร้อนออกจากสารละลายธาตุอาหารจนอุณหภูมิ 20˚C ในเวลา 2100 s หาค่าพลังงานความร้อนที่ต้องดึงออกจากระบบปลูกผักสลัด (P_{output}, W) จากสมการที่ (5)

$$P_{output} = \dot{m} C_p (T_i - T_f) \quad (5)$$

เมื่อ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของสารละลายธาตุอาหารภายในระบบทำความเย็น (kg/s)

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ kg^{-1} °C)

T_i และ T_f คือ อุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายของสารละลายธาตุอาหาร (°C)

2.3 การทดลองเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดด้วยวิธีแอโรโพนิกส์ วิธีปลูกไฮโดรโพนิกส์แบบปรับระดับน้ำ (Dynamic Root Floating Technique , DRFT)

งานวิจัยนี้ทำการทดลองปลูกผักสลัด 2 ชนิดคือ กรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือชุดทดลอง A ปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คและเรดโอ๊คด้วยวิธีแอโรโพนิกส์โดยใช้สารละลายธาตุอาหารปรับอุณหภูมิ และชุดทดลอง B ปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คและเรดโอ๊คด้วยวิธีแอโรโพนิกส์โดยใช้สารละลายธาตุอาหารอุณหภูมิปกติ พื้นที่โรงเรือนปลูก 2x2.5x2.5 m (กxยxส) ซึ่งมีกล่องปลูกขนาด 0.6x2.2x0.3 m (กxยxส) จำนวน 2 กล่อง ปลูกผักได้ 40 ต้น ระยะห่างระหว่างต้น 20 cm โรงเรือนปลูกเป็นหลังคาพลาสติก ใช้สแลนคลุมด้านบนและด้านข้างโรงเรือน

ระบบควบคุมอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับปลูกพืชด้วยวิธีแอโรโพนิกส์ (ชุดทดลอง A) ประกอบด้วย ถังควบคุมอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารความจุ 5 L โดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (รุ่น TEC1-12706 ยี่ห้อ Hebei ประเทศจีน) ขนาด 60 W จำนวน 10 แผ่น ต่อกันแบบอนุกรม ติดด้านล่างถังสารละลาย ระบายความร้อนโดยใช้ปลายครีบระบายสัมผัสกับน้ำ เพื่อถ่ายเทความร้อน (Figure 1) ระบบควบคุมอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารในถังจะทำงานอัตโนมัติเมื่อสารละลายธาตุอาหารอุณหภูมิสูงกว่า 22 °C และจะหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารต่ำกว่า 20 °C

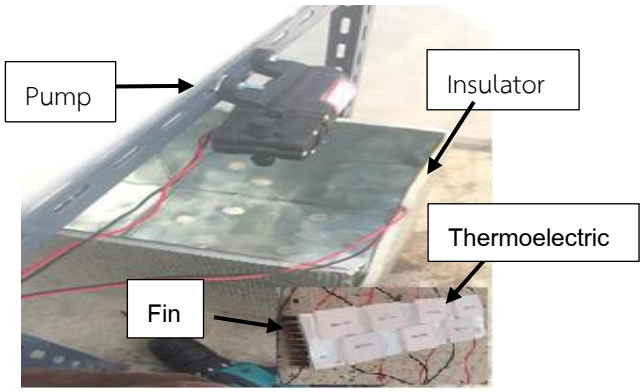

Figure 1 Cooling aeroponic nutrient solution system.

หัวพ่นหมอก 1 ทาง (รุ่น 0.6 มม. ยี่ห้อเนต้าฟิล์ม ผลิตจากประเทศอิสราเอล) อัตราการไหล 7.5 Lhr^{-1} จำนวน 5 หัว รัศมีการฉีดพ่น 80 cm ห่างกันหัวละ 40 cm จ่ายสารละลายปุ๋ยเข้ากล่องปลูกผักสลัด กรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค (Figure 2) ใช้เครื่องสูบน้ำ (รุ่น DC12V/60W A ยี่ห้อ PROPUMPS ประเทศจีน) กำลังไฟฟ้า 60 W อัตราการไหล 300 Lhr^{-1} เครื่องสูบน้ำควบคุมการทำงานด้วยบอร์ด Arduino (รุ่น Arduino UNO R3 ยี่ห้อ Arduino ประเทศสิงค์โปร์) โดยจะพ่นสารละลายปุ๋ย 1 min พัก 3 min ตลอด 24 hours

Figure 2 Lettuces planting box.

ภายในกล่องปลูกผักสลัดทั้ง 2 กล่อง ติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (รุ่น DHT11 ยี่ห้อ Shenzhen ประเทศจีน) จำนวน 5 จุด ติดห่างกันจุดละ 30 cm เก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นไว้ที่อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล (SD Card) ทุก 1 min (Figure 3)

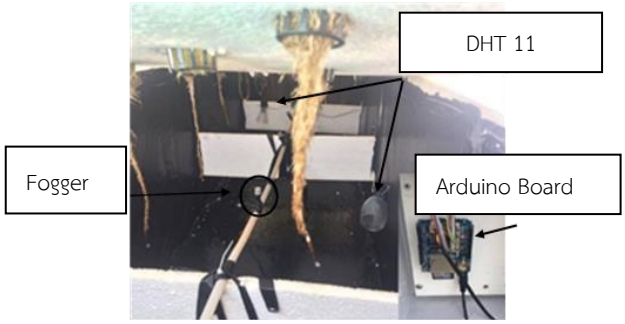

Figure 3 Components of the system.

เพาะต้นกล้าผักสลัดกรีนโอ๊คและผักสลัดเรดโอ๊ค บนฟองน้ำจำนวน 1 เมล็ดต่อถ้วยปลูก ให้สารละลายธาตุอาหารที่ค่า EC = 1.20 ± 0.05 $mScm^{-1}$ และค่า pH = 6.50 ± 0.05 (Siringam et al., 2014) อนุบาลต้นกล้าจนมีอายุ 19 วัน จึงย้ายต้นกล้ามาลงกล่องปลูก เก็บข้อมูลผักสลัดวันลงกล่องปลูกและวันเก็บเกี่ยว โดยชั่งน้ำหนักต้น วัดขนาด, ความกว้าง, และความสูงของทรงพุ่ม ทั้ง 2 ชุดการทดลอง เก็บเกี่ยวผักสลัดเมื่ออายุครบ 42 วันนับจากวันเพาะเมล็ด เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืช ระหว่างพืชที่ฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหารปรับอุณหภูมิกับอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารปกติ และระบบปรับระดับน้ำ (DRFT) ทำการทดลองที่มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์

วิเคราะห์ความแปรปรวนผลการปรับอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร กับวิธี DRFT ต่อความสูงและความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ ความยาวราก และน้ำหนักต้น เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีโดยใช้การทดสอบแบบดันแคน

(Ducan's Multiple Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (α=0.05)

บันทึกค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ที่เครื่องสูบ แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก หาสมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก พิจารณาจากตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ปริมาณการทำความเย็น กำลังงานไฟฟ้าและ สัมประสิทธิ์สมรรถนะตามสมการดังต่อไปนี้

กำลังงานไฟฟ้า (P_T) = P_{TEC} (6)

เมื่อ P_{TEC} คือ กำลังงานไฟฟ้าเนื่องจากเทอร์โมอิเล็กทริก

สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance: COP)

$$COP = Q_C / P_T \quad (7)$$

ค่าใช้จ่ายต่อระบบ หาจากสมการที่ (8)

กำลังไฟฟ้า (วัตต์) *x* จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า ÷ 1000 *x* จำนวนชั่วโมงที่ใช้ใน 1 วัน = จำนวนหน่วยต่อวัน (ยูนิต) (8)

3 ผลและวิจารณ์

3.1 การทดลองหาประสิทธิภาพและการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นโดยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

จากการทดลองหาพลังงานความร้อน ที่ต้องดึงออกจากระบบทำความเย็น มีค่าเฉลี่ย 20.26 W แรงดันไฟฟ้า 14.4 V กระแสไฟฟ้า 4.48 A (Table 1) พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้ระบบเมื่อใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 2 แผ่น (สมการที่ (3)) 128.99 W ดังนั้นประสิทธิภาพของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (η) ที่ใช้กับระบบทำความเย็น (สมการที่ (4))

$$\eta = P_{output} / P_{input}$$
$$= 20.26 / 128.99$$
$$= 0.157$$

ประสิทธิภาพของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก มีค่า 15.7% สาเหตุที่ประสิทธิภาพมีค่าต่ำเนื่องจากเกิดการสูญเสียความเย็นให้กับด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีอุณหภูมิต่างจากด้านเย็นถึง 38.1 °C (Table 2) ซึ่งมีผลต่อการทำความเย็นอย่างมาก หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพทำได้โดยออกแบบระบบระบายความร้อนให้สามารถระบายความร้อนได้ดีขึ้น

Table 1 The energy of Heat, time, and power through cooling system of difference volume of nutrient solution.

Volume (L)	Q_{output} (kJ)	Time (s)	P_{output} (W)	Volt (V)	I (A)
0.20	8.54	570.60	14.97	14.4	4.64
0.40	17.08	790.80	21.60	14.4	4.45
0.60	25.62	1281.00	20.00	14.4	4.45
0.80	34.17	1769.40	19.31	14.4	4.45
1.00	42.71	2121.00	20.14	14.4	4.43
	Average		20.26	14.4	4.48

การทดลองความสามารถของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ทดสอบทำความเย็นให้สารละลายปริมาตร 1 L พบว่า อุณหภูมิของสารละลายในช่วง 20 นาทีแรกลดลงอย่างรวดเร็ว (Table 2) หลังจากนั้นจะลดลงอย่างช้า ๆ จนถึงนาทีที่ 40 อุณหภูมิของสารละลายมีค่าใกล้เคียงกับด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กตริก แสดงให้เห็นว่าแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีความสามารถในการทำความเย็นให้กับสารละลายจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ

Table 2 Temperature of cooling system using thermoelectric system.

Time (min)	V (V)	A (A)	Temparature (°C)			
			Thermoelectric		water	
			Hot side	Cool side	in	out
0	14.4	4.86	32.2	32.2	30.6	30.6
10	14.4	4.45	45.3	27.0	25.9	25.8
20	14.4	4.45	45.3	25.9	23.9	23.5
30	14.4	4.45	53.0	23.2	22.5	22.3
40	14.4	4.43	47.7	19.4	22.3	22.2
50	14.4	4.41	49.1	20.9	22.4	22.3
60	14.4	4.39	51.2	21.2	22.4	22.3
70	14.4	4.39	56.0	21.6	22.5	22.4

3.2 จำนวนแผ่นเทอร์โมอิเล็กตริก ที่จะใช้กับการปลูกผักด้วยวิธีแอร์โรโพนิกส์

ระบบปลูกผักสลัดด้วยวิธีแอร์โรโพนิกส์ใช้ปริมาณสารละลายธาตุอาหาร 5 L อุณหภูมิเริ่มต้น 30.2°C ต้องการดึงความร้อนออกจากสารละลายธาตุอาหารจนอุณหภูมิ 20°C ในเวลา 2100 s ดังนั้นพลังงานความร้อนที่ต้องดึงออก (P_{output}) จากระบบปลูกผักสลัดมีค่า 101.69 W กำลังไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_{input}) 64.5n W แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีประสิทธิภาพ 0.157 จากสมการที่ (4) จะได้

0.157=(101.69 W)/(64.5n W)

ดังนั้นระบบปลูกผักสลัดด้วยวิธีแอร์โรโพนิกส์ใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกทั้งหมด 10 แผ่น

3.3 ผลของระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำสารละลายด้วยเทอร์โมอิเล็กตริกต่ออุณหภูมิอากาศและสารละลายภายในชุดทดลอง

ระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำสารละลายด้วยเทอร์โมอิเล็กตริกสามารถควบคุมอุณหภูมิสารละลายอยู่ในช่วง 20.28 ± 1.08 °C (Figure 4) อัตโนมัติตลอด 24 hr ส่งผลให้อุณหภูมิสารละลายและอากาศภายในชุดทดลอง A ไม่เปลี่ยนแปลงมาก (±2 °C) ซึ่งผลการควบคุมอุณหภูมิสอดคล้องกับนักวิจัยที่สามารถลดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมลงโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก (Nilpueng, 2016; Jino et al., 2014)

เมื่อทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศในกล่อง A ที่มีระบบการทำน้ำเย็นช่วยลดอุณหภูมิภายในพบว่าอุณหภูมิภายในกล่องอยู่ในช่วง 20.28 – 22.31 °C (Figure 4) ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ในช่วง 28.13 – 34.96 °C เมื่อพิจารณากราฟอุณหภูมิภายนอกพบว่า ตั้งแต่เวลา 8.00 น. อุณหภูมิภายนอกจะสูงขึ้น และมีอุณหภูมิสูงที่สุดในช่วงเวลา 14.00 น. ส่วนอุณหภูมิภายในกล่องชุดทดลอง A ยังอยู่ในระดับคงที่ เมื่อทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศในกล่องของชุดทดลอง B กับอุณหภูมิอากาศภายนอก พบว่า อุณหภูมิอากาศในกล่องของชุดทดลอง B มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 29.28 – 36.49 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกที่อยู่ในช่วง 28.13 – 34.96 °C เนื่องจากในชุดทดลอง B เป็นการทดลองโดยใช้น้ำสารละลายที่มีอุณหภูมิปกติและอยู่ในสภาวะปิดไม่มีการระบายของอากาศทำให้เกิดความร้อนสะสมภายในกล่องทดลอง ส่งผลให้อากาศในกล่องของชุดทดลอง B มีอุณหภูมิที่สูงกว่าอากาศภายนอกและเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิภายนอกอีกด้วย

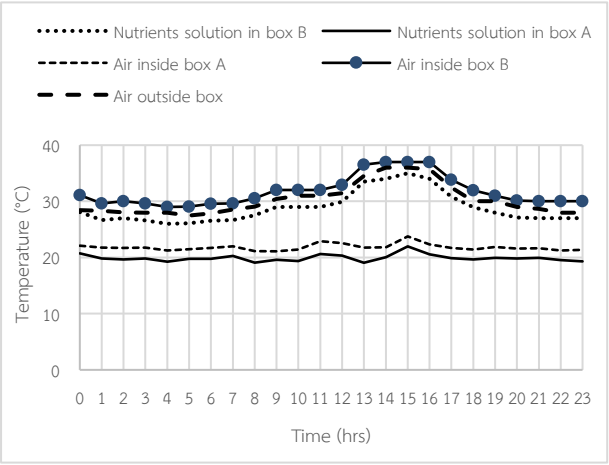

Figure 4. Air temperature inside box A, box B, Outside box, Nutrients solutions in box A and box B.

3.4 ผลของระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำสารละลายด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด

ผลการทดสอบการเจริญเติบโตของผักกรีนโอ๊คด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่ามีวิธีการปลูกผักสลัดอย่างน้อย 2 ระดับที่ทำให้ความสูงต้น จำนวนใบ น้ำหนักต้น ความกว้างทรงพุ่ม และความยาวรากแตกต่างกัน (Figure 5) และเมื่อทำการทดสอบต่อเนื่องด้วยวิธีการทดสอบแบบจับคู่พหุคูณ (Multiple comparison test) ด้วยวิธี Duncan ดังแสดงใน Table 3 พบว่าผักสลัดกรีนโอ๊คมีความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่มและน้ำหนักต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนความยาวรากของทุกวิธีปลูกไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาสีของราก พบว่า treatment B รากจะเป็นสีน้ำตาล แข็ง รากฝอยน้อย ส่วนอีก 2 treatment มีรากสีขาวและมีรากฝอยจำนวนมาก

สาเหตุที่ทำให้กรีนโอ๊คที่ปลูกในสารละลายอุณหภูมิปกติ (Treatment B) มีการเติบโตแตกต่างจาก treatment A เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสารละลายสูงขึ้นมีปริมาณประจุของธาตุอาหารที่แตกตัวในสารละลายในปริมาณมากจนส่งผลกระทบทำให้ค่าศักย์ของน้ำภายในสารละลายธาตุอาหารและสมดุลของน้ำภายในพืชลดลง ซึ่งการสูญเสียสมดุลของน้ำภายในพืชมีผลทำให้ความเต่งของเซลล์ การแบ่งเซลล์ และการขยายขนาดของเซลล์ภายในพืชลดลง ทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง (Romero-Aranda, et al. 2001) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ (Sukwattanawinakul, 2001) ที่พบว่าการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์บัทเทอร์เฮดลดลงเมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 3.17 mS/cm

Figure 5 Comparison of the growth of green oak salad.

Table 3 Effect of aeroponics cooling system and DRFT system on bush hight, bush width, number of leaves, root and weight of green oak salad.

Green oak salad	No.	treatment		
		A	B	DRFT
Bush Hight (cm)	10	10.670^{B}	8.140^{A}	10.600^{B}
Bush Width (cm)	10	16.700^{B}	12.350^{A}	17.000^{B}
Number of leaves	10	14.300^{B}	8.900^{A}	18.600^{C}
Root (cm)	10	13.240^{A}	10.730^{A}	13.600^{A}
Weight (g)	10	40.850^{B}	17.880^{A}	45.820^{B}

Means followed by different capital letters in the same row are significantly different by Ducan ($p \leq 0.05$).

ผลการทดสอบการเจริญเติบโตของผักเรดโอ๊คด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่ามีวิธีการปลูกผักสลัดอย่างน้อย 2 ระดับที่ทำให้ความสูงต้น จำนวนใบ น้ำหนักต้น ความกว้างทรงพุ่ม และความยาวรากแตกต่างกัน (Figure 6) และเมื่อทำการทดสอบต่อเนื่องด้วยวิธีการทดสอบแบบจับคู่พหุคูณ (Multiple comparison test) ด้วยวิธี Duncan ดังแสดงใน Table 4 พบว่าความสูงต้น จำนวนใบ น้ำหนักต้น และความยาวรากไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ผักสลัดเรดโอ๊คมีการเจริญเติบโตน้อยทั้ง ความสูงต้น จำนวนใบ น้ำหนักต้น และความยาวราก เนื่องจากสภาพอากาศในโรงเรือนมีอุณหภูมิสูงถึง 34.96 °C ซึ่งไม่เหมาะกับการปลูกเรดโอ๊ค ซึ่งมีการเจริญเติบโตน้อยในสภาวะอากาศร้อน จำเป็นต้องมีการปรับอุณหภูมิในโรงเรือนร่วมด้วย เช่น พรางแสง, เสปรย์น้ำ จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิของน้ำสารละลายมีผลต่อการเจริญเติบโต สอดคล้องกับงานวิจัยของ Puaksaman และคณะ (2014) พบว่า ระบบทำความเย็นสามารถเพิ่มผลผลิตกรีนโอ๊คได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

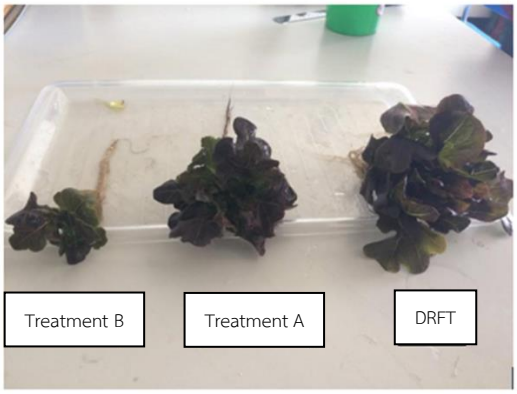

Figure 6 Comparison of the growth of red oak salad.

Table 4 Effect of aeroponics cooling system and DRFT system on bush hight, bush width, number of leaves, root and weight of of red oak salad.

Red oak salad	No.	treatment		
		A	B	DRFT
Bush Hight (cm)	10	6.520^{A}	6.540^{A}	9.730^{B}
Bush Width (cm)	10	6.640^{A}	8.840^{B}	12.720^{C}
Number of leaves	10	9.600^{A}	8.110^{A}	17.600^{B}
Root (cm)	10	15.420^{A}	13.360^{A}	24.500^{B}
Weight (g)	10	21.430^{B}	19.570^{B}	45.540^{A}

Means followed by different capital letters in the same row are significantly different by Ducan ($p \leq 0.05$).

3.5 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำสารละลายด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกและการใช้พลังงานไฟฟ้า

การวิเคราะห์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) พบว่า ระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำสารละลายด้วยเทอร์โมอิเล็กตริกเฉลี่ย 0.19 สาเหตุที่ค่า COP ต่ำมาก เนื่องจากความร้อนจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกส่งผ่านเข้ามาภายในระบบ ทำให้ระบบมีอุณหภูมิสูงขึ้น ระบบจึงใช้พลังงานมากขึ้น (Puang-on, P. et al. 2015) แนวทางปรับปรุงควรเพิ่มระบบระบายความร้อนและกระจายแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกออกทางด้านข้างถังสารละลาย

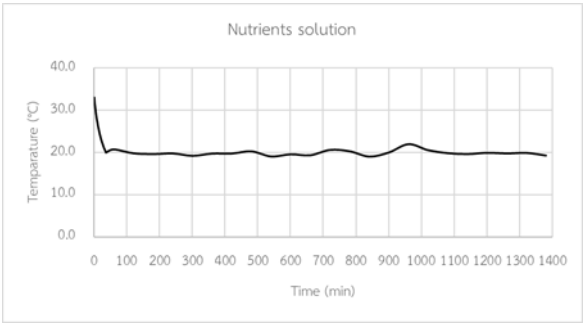

Figure 7 The outlet temperature of nutrients solution of thermoelectric temperature control system.

การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของชุดควบคุมอุณหภูมิน้ำสารละลายด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับปลูกพืชด้วยวิธีแอโรโพนิกส์ (ชุดทดลอง A) พบว่า ในช่วง 30 นาทีแรกแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะทำงานต่อเนื่องเพื่อให้อุณหภูมิน้ำสารละลายลงมาถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ 20 °C หลังจากนั้นเมื่ออุณหภูมิสารละลายเพิ่มขึ้นแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะทำงานเป็นระยะ เพื่อรักษาอุณหภูมิสารละลายไว้ (Figure 7) จากการเก็บข้อมูลพบว่าใน 1 hr แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะทำงานเฉลี่ย 11 min มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 0.108 kWh คิดเป็น 2.5 หน่วยต่อวัน ค่าไฟฟ้าหน่วยละ

3.24 บาท ดังนั้น ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต่อรอบการปลูก (16 วัน) อยู่ที่ 134 บาท

4 สรุป

การปลูกผักสลัดโดยใช้วิธีแอโรโพนิกส์ร่วมกับเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อทำความเย็นสารละลายปุ๋ยเทียบกับระบบการปลูกไฮโดรโพนิกส์แบบปรับระดับน้ำ ระบบควบคุมอุณหภูมิสารละลายด้วยเทอร์โมอิเล็กตริกสามารถลดอุณหภูมิของสารละลายปุ๋ยลงได้ถึง 7-11 °C จากอุณหภูมิตั้งต้น การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คและเรดโอ๊คโดยวัดจากความสูงต้น จำนวนใบ น้ำหนักต้น ความกว้างทรงพุ่ม และความยาวราก พบว่าผักสลัดกรีนโอ๊คมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในชุดทดลอง A และ DRFT และทั้งสองชุดทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดทดลอง B และในผักสลัดเรดโอ๊คของชุดทดลอง A และ B มีการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ DRFT ในผลักสลัดกรีนโอ๊คการปลูกด้วยวิธีแอโรโพนิกส์ร่วมกับเทอร์โมอิเล็กทริกมีประสิทธิภาพมากกว่าผักสลัดเรดโอ๊ค และค่าพลังงานของวิธีแอโรโพนิกส์ชุด B มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุดอยู่ที่ 0.106 kWh

5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายเชิดศักดิ์ ทาประดิษฐ์ นางสาวรชา วันอินทร์ นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่ร่วมเก็บข้อมูล

6 เอกสารอ้างอิง

Jeffrey, W. 2005. Hydroponics: Indoor horticulture. Surrey, England: Puka Press Ltd.

Jino, P., Pinthong, T., Maimun. 2014. The study system of heat to water and cold to water from thermoelectric with solar cell. Burapha Science Journal, Special Volume. 6th Science Research Conference, 231-243. (in Thai)

Nilpueng, K. 2016. Thermoelectric cooling box powered by solar cell. Proceeding of the 8th Thailand Renewable Energy for Community Conference. 4-6 November 2015, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Khlong Luang, Pathum Thani. (in Thai)

Nxawe, S. , Ndakidemi, P.A. , Laubscher, C.P. 2010. Possible effects of regulating hydroponic water temperature on plant growth, accumulation of nutrients and other metabolites. African Journal of Biotechnology 9(54), 9128-9134.

Puaksaman, B. , Phaosang, T. , Saitthiti, B. 2014. Application of cooling tower to hydroponic system for increasing plant productivity. Proceedings of 52nd Kasetsart University Annual Conference: Plants, 96-104. 4-7 February 2015, Bangkok, Thailand. (in Thai)

Puang-on, P., Mekprasertsuk, T., Krinparchum, R. 2015. Performance improvement of a refrigerator using thermoelectric. Bachelor thesis. Burapha University, pp 37 - 39 . (in Thai)

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

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

Sukwattanawinakul, M. 2001. Growth of Butterhead lettuce (*Lactuca sativa var. capitata*) grown in different nutrient solution formulas. Bachelor thesis. Kasetsart University, pp 45. (in Thai)