

ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บรักษาต่อคุณภาพ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระในไมโครกรีนผักชีหูด (*Raphanus sativus* var. caudatus Alef)
Effects of storage temperature and time on quality, antioxidants and their capacities of Thai rat-tailed radish (*Raphanus sativus* var. caudatus Alef) microgreen

พรชัย หาระโคตร^{1*}, ลลิตา เจริญทรัพย์¹, ภาณุมาศ ฤทธิไชย¹ และ สมพงษ์ ทะบันหาร²
Bhornchai Harakotr^{1*}, Lalita Chareonsup¹, Panumart Ritthichai¹
and Sompong Tabunhan²

บทคัดย่อ: ผักชีหูดเป็นผักพื้นเมืองที่มีศักยภาพในการผลิตเป็นไมโครกรีน เนื่องจากอุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระสูง อย่างไรก็ตาม ไมโครกรีนมีอายุการเก็บรักษาสั้นและสูญเสียน้ำหนักอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาในสภาพที่ไม่เหมาะสม ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระในไมโครกรีนผักชีหูด โดยวางแผนการทดลองแบบ 3 x 4 factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ 1) อุณหภูมิในการเก็บรักษา ได้แก่ อุณหภูมิ 5 และ 10 °C เปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง (25±2 °C) และ 2) ระยะเวลาการเก็บรักษา ได้แก่ 0 4 8 และ 12 วัน พบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C ไมโครกรีน ผักชีหูดมีการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS น้อยที่สุด ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวสูญเสียเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น นอกจากนี้ การเก็บรักษาไมโครกรีนผักชีหูดที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 4 วัน มีน้ำหนัก ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระไม่แตกต่างจากวันแรกของการเก็บรักษา ดังนั้น การเก็บรักษาไมโครกรีนผักชีหูดที่อุณหภูมิต่ำเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการคงคุณภาพและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

คำสำคัญ: ไมโครกรีน, อุณหภูมิการเก็บรักษา, อายุการเก็บรักษา, ฟีนอลิก, *Raphanus sativus* var. caudatus Alef

ABSTRACT: Thai rat-tailed radish was an indigenous vegetable that had high potential to produce microgreens. This vegetable was rich in important bioactive compounds as well as high of antioxidants capacities. However, rat-tailed radish microgreen had a short shelf life and rapidly weight loss when

Received December 12, 2018

Accepted June 12, 2019

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathum Thani 12120

² วิทยาลัยแพทยศาสตร์นานาชาติจุฬาภรณ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

Chulabhorn International College of Medicine, Thammasat University, Pathum Thani 12120

* Corresponding author: p.harakotr@gmail.com

stored at unsuitable conditions. Therefore, the objective of this study was to study the effects of storage temperature and time on quality, total phenolic and flavonoid contents and antioxidants capacities of rat-tailed radish microgreens. The experiment was arranged in 3 x 4 factorial in CRD with three replications. Twelve treatments included three storage temperature; 5 and 10 °C as compared with room temperature (25±2°C), and four storage times; 0, 4, 8 and 12 days. The results indicated that microgreen stored at 5 °C showed the lowest declined of fresh weight, total phenolic and flavonoid contents as well as antioxidant capacities when using DPPH and ABTS assays. These antioxidants and their capacities were hardly decreased with storage time were increased. Moreover, rat-tailed radish microgreen stored at 5 °C for 4 days had dry weight, antioxidants and their capacities was not significantly difference from the first day of storage (0 day). Our finding suggests that the rat-tailed radish microgreen should be stored at low temperature to maintain optimal quality and maximal antioxidant levels.

Keywords: microgreen, storage temperature, shelf life, phenolics, *Raphanus sativus* var. *caudatus* Alef

บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาสุขภาพของประชากรไทยเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ซึ่งการเจ็บป่วยและเสียชีวิตก่อนวัยอันควรของคนไทยมีผลมาจากโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-communicable Diseases: NCDs) ได้แก่ โรคความดันโลหิต โรคเบาหวาน โรคไขมันในเลือดสูง โรคหัวใจขาดเลือด โรคหลอดเลือดสมอง โรคไตเรื้อรัง โรคตับแข็ง โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน และโรคอ้วน เป็นต้น (ปฏิภนภัทร และ วรางคณา, 2560) ทั้งนี้เกิดจากผู้คนมีพฤติกรรมการบริโภคอาหารที่ไม่มีประโยชน์ รวมถึงการบริโภคผักและผลไม้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย สาเหตุหลักมาจากความยุ่งยาก เวลาที่จำกัด ขอบจำกัดในเรื่องของสถานที่อยู่อาศัยที่ไม่สามารถปลูกผักไว้รับประทานเองได้ ทำให้คนไทยประสบปัญหาความไม่มั่นคงทางด้านอาหาร (นครินทร์ และ เกียรติรัตน์, 2556) อีกทั้งปัจจุบันประเทศไทยอยู่ภายใต้สภาวะเสี่ยงจากสภาพอากาศที่แปรปรวน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศมีผลกระทบโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลและพื้นที่การเพาะปลูก ทำให้เกิดปัญหาโรคและแมลงศัตรูพืชเพิ่มมากขึ้น เกษตรกรจำเป็นต้องใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดโรคและแมลงเพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลให้เกิดปัญหาสารตกค้างในผลผลิต (รัตนสุตตา, 2558) การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตพืชเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น กล่าวคือเป็นการพัฒนาระบบการผลิตที่สามารถควบคุมคุณภาพผลผลิตผลผลิตได้อย่างสม่ำเสมอ สามารถแก้ปัญหาเรื่องโรคและแมลงศัตรูพืชได้ รวมทั้งปลอดภัยต่อผู้บริโภค และมีการใช้ปัจจัยการผลิตต่ำ เช่น พื้นที่ให้น้ำ และแรงงาน เป็นต้น การผลิตผักแบบไมโครกรีน (microgreen) เป็นแนวทางหนึ่งในการสร้างความ

มั่นคงในด้านอาหาร ปลอดภัยต่อผู้บริโภค รวมทั้งตอบสนองต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากสามารถผลิตได้ตลอดทั้งปี การผลิตแต่ละรุ่นใช้ระยะเวลาสั้น ปลอดภัยจากสารเคมี และที่สำคัญใช้พื้นที่การปลูกน้อย สามารถปลูกได้ภายในบ้านหรืออาคารต่างๆ ได้ (Xiao et al., 2012)

ไมโครกรีน คือ ต้นกล้าขนาดเล็กหรือต้นอ่อนที่เพาะจากเมล็ดผัก สมุนไพร และเมล็ดพืชอื่นๆ มีขนาดความสูงของลำต้นประมาณ 1-3 นิ้ว ประกอบด้วย ลำต้น ใบเลี้ยง และใบจริง 1-2 ใบ นิยมรับประทานส่วนที่อยู่เหนือดิน (กรรณิกา และ ดนุพล, 2560) ต้นกล้าเหล่านี้มีคุณค่าทางอาหารสูงเป็นแหล่งของแร่ธาตุ วิตามิน และสารต้านอนุมูลอิสระ เมื่อเปรียบเทียบกับผักชนิดเดียวกันที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่ เมล็ดพันธุ์ที่นิยมนำมาผลิตเป็นไมโครกรีนส่วนใหญ่เป็นเมล็ดพันธุ์ต่างประเทศ เช่น บรอกโคลี กะหล่ำดอก กะหล่ำปลี ผักกาด แรดิช มิซึนา และโรโคลา เป็นต้น (Xiao et al., 2012) ซึ่งเมล็ดพันธุ์ผักเหล่านี้มีราคาค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามประเทศไทยมีผักพื้นเมืองหรือสมุนไพรจำนวนมากที่มีคุณค่าทางอาหารและสรรพคุณทางยา อีกทั้งมีรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะ ซึ่งมีคุณค่าไม่ด้อยกว่าผักต่างประเทศ เช่น ผักกาดเขียวหน่อ ผักโขม โหระพา แมงลัก กะเพรา และผักชีฝรั่ง เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผักชีฝรั่งที่มีศักยภาพในการผลิตเป็นไมโครกรีนสูง เนื่องจาก ไมโครกรีนผักชีฝรั่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์ ซัลโฟราเฟน สารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงไม่แตกต่างจากไมโครกรีนคะน้าฮ่องกงและบรอกโคลี (พรชัย และคณะ, 2561) Fahey et al. (1997) รายงานว่า ซัลโฟราเฟนพบมากในผักกอก

หรือต้นอ่อน มีฤทธิ์กระตุ้นการสร้างเอนไซม์กำจัดเซลล์มะเร็งที่เกิดจากสารพิษต่างๆ ซึ่งช่วยควบคุมการกลายพันธุ์ของเซลล์ที่จะเกิดเป็นเนื้องอกหรือมะเร็งในร่างกายได้ อย่างไรก็ตาม ไมโครกรีนมีการสูญเสียน้ำหนัก (อาการเหี่ยว) รวมถึงสารต้านอนุมูลอิสระมีการเปลี่ยนแปลงแปลงรูปร่างและสูญเสียหน้าที่ตลอดเวลาเมื่อผลิตผลอยู่ในสภาวะการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม ทำให้ผลผลิตไมโครกรีนมีอายุการเก็บรักษาและอายุการวางจำหน่ายสั้น (Chandra et al., 2012; Dayarathna et al., 2018) ซึ่ง Baenas et al. (2017) รายงานว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อคุณภาพ และกระบวนการทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของไมโครกรีน โดยการเก็บรักษาไมโครกรีนผักกาดเขียวปลีที่อุณหภูมิ 5 และ 10 °C ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำหนัก เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระน้อยที่สุด โดยสามารถเก็บรักษานาน 14 วัน (Dayarathna et al., 2018) การเก็บรักษาบรอกโคลีและแรดิชออกที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 14 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C (Baenas et al., 2017) อย่างไรก็ตาม การศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาผลผลิตไมโครกรีนผักพื้นเมืองยังมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บรักษาต่อคุณภาพ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระในไมโครกรีนผักชีหูด เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานต่อผู้ประกอบการและสามารถนำไปพัฒนาการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมต่อไป

วิธีการศึกษา

การวางแผนการทดลอง วางแผนการทดลองแบบ 3×4 Factorial in CRD ปัจจัยที่ 1 คือ อุณหภูมิเก็บรักษา 3 ระดับ ได้แก่ 5 และ 10 °C เปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง (25±2 °C) ปัจจัยที่ 2 คือ ระยะเวลาเก็บรักษา 4 ระดับ ได้แก่ 0 4 8 และ 12 วัน ทรีทเมนต์ละ 3 ซ้ำ

การผลิตไมโครกรีนและการเตรียมตัวอย่าง ดัดแปลงจากวิธีการของ Xiao et al. (2012) โดยนำเมล็ดผักชีหูดที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น เพาะในกล่องเพาะขนาด 10×15×6 ซม. ด้วยพีทมอส นำถาดเพาะไปวางในตู้เพาะที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 °C และแสง 16 ชั่วโมง/วัน ในน้ำตามความเหมาะสม เก็บเกี่ยวไมโครกรีนผักชีหูด เมื่ออายุ 5 วัน โดยบรรจุในในถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนขนาด 15×15 ซม. ปริมาณถุงละ 25 ก. และนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 5 และ 10 °C และอุณหภูมิห้อง (25±2 °C) เป็นเวลา 12 วัน ทำการประเมินตัวอย่างที่ 0 4 8 และ 12 วัน เมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนด นำตัวอย่างจุ่มในไตรเจนเหลวและทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งน้ำหนักแห้ง หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างในช่องสุญญากาศที่อุณหภูมิ -20 °C สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีต่อไป

การสกัดตัวอย่าง ดัดแปลงจากวิธีการของ รัชฎาพร และคณะ (2554) โดยชั่งตัวอย่างแห้ง 200 มก. เติมหักละลายเมทานอลผสมน้ำ (1:1, v/v) ปริมาตร 5 มล. นำไป sonication เป็นเวลา 60 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นดูดสารละลายใสส่วนบนใส่หลอดทดลอง และนำไปสกัดซ้ำอีก 2 รอบ นำสารสกัดที่ได้รวมกันและปรับปริมาตรเป็น 20 มล. เก็บที่ -20 °C เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ตามวิธีการของ รัชฎาพร และคณะ (2554) ปิเปตสารละลายตัวอย่างละ 20 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองแล้วเติมน้ำ 1.58 มล. เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagents ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex ทิ้งไว้ 5 นาที เติมน้ำ Na_2CO_3 ความเข้มข้น 20% ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันอีกครั้ง แล้วจึงเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร และหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้กรดแกลลิกเป็นมาตรฐาน และรายงานในรูปแบบลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (mg GAE/g DW)

การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total Flavonoid content) ตามวิธีการของ Kubola et al. (2011) ปิเปตสารละลายตัวอย่างละ 0.5 มล. ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นใส่น้ำกลั่น 2.2 มล. ผสมให้เข้ากัน และเติม NaNO_2 ความเข้มข้น 5% ปริมาตร 0.15 มล. ตั้งทิ้งไว้ 6 นาที เติม $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้น 10% ปริมาตร 0.3 มล. ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที และเติม NaOH ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มล. ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร โดยใช้คาเตชินเป็นสารมาตรฐาน และรายงานในรูปมิลลิกรัมสมมูลของคาเตชินต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (mg CE/100g DW)

การวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และ 2,2-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) free radical scavenging activities ตามวิธีการของ Harakotr et al. (2014) โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH ปิเปตสารละลายตัวอย่างละ 100 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 1.90 มล. ผสมให้เข้ากัน แล้วเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร คำนวณ % inhibition จากสมการ % Inhibition = $[(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$ เมื่อ A_1 = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารตัวอย่างผสมกับสารละลาย DPPH A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลาย DPPH

สำหรับภาควิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS เตรียมสารละลายอนุมูล $\text{ABTS}^{\bullet+}$ โดยการผสมสารละลาย ABTS ความเข้มข้น 14 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มล. และ $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ความเข้มข้น 4.9 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มล. ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ก่อนใช้น้ำสารละลาย ABTS มาเจือจางด้วยเอทานอลให้มีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 0.700 ± 0.020 ที่ 734 นาโนเมตร จากนั้นปิเปตสารละลาย ABTS ปริมาตร 0.95 มล. ผสมกับสารสกัดตัวอย่าง 50 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 6 นาที จากนั้น

นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร โดยคำนวณ % inhibition เช่นเดียวกับวิธี DPPH

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติ (ANOVA) ด้วย F-test ตามแผนการทดลอง และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสำเร็จรูป

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไมโครกรีนผักชีหูด

เมื่อเก็บรักษาไมโครกรีนผักชีหูดที่อุณหภูมิ 5 และ 10 °C เปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า ไมโครกรีนผักชีหูดมีการสูญเสียน้ำหนักที่แตกต่างกัน โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C ไมโครกรีนผักชีหูดมีการสูญเสียน้ำหนักต่ำสุด ($24.60 \pm 3.43\%$) รองลงมา คือ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C ($35.92 \pm 1.67\%$) ในขณะที่การเก็บรักษาไมโครกรีนที่อุณหภูมิห้องมีการสูญเสียน้ำหนักสูงสุด ($57.52 \pm 2.36\%$) (Figure 1) โดยทั่วไปผลผลิตผลที่เป็นส่วนของพืชที่กำลังเจริญเติบโต เช่น ยอดอ่อนของผัก มีการคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลน้ำหนักของไมโครกรีนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงจึงลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับลักษณะรูปร่างของผลิตผลที่เปลี่ยนแปลงไป โดยทั่วไปถ้าผลิตผลมีการสูญเสียน้ำหนักเพียง 5% จะทำให้ผลิตผลเหี่ยว คุณภาพลดลง และมีรสชาติเปลี่ยนไป รวมทั้งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (กนกพร, 2558) จากการประเมินลักษณะไมโครกรีนผักชีหูดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 °C พบว่า ไมโครกรีนผักชีหูดแสดงอาการเหี่ยว โดยใบและต้นบางส่วนเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล รวมทั้งมีกลิ่นผิดปกติ หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 8 วัน ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องไมโครกรีนผักชีหูดเกิดการเสื่อมสภาพทางสรีรวิทยาตั้งแต่วันที่ 4 ของการเก็บรักษา โดยใบและต้นของไมโครกรีนแสดง

อาการเหี่ยว ซ้ำ บางส่วนเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล รวมทั้งมีกลิ่นผิดปกติ (Figure 2) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของไมโครกรีนได้ เนื่องจาก การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทำให้อัตราการหายใจของผลิตภัณฑ์ลดลง ช่วยชะลอการนำอาหารสะสมไปใช้ ลดการสูญเสียที่เป็นผลของกระบวนการหายใจ และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทำให้ผลิตผลเน่าเสียช้าลง สอดคล้องกับการศึกษาของ พลฤกษ์ (2552) รายงานว่า กระหล่ำปลีสีม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 °C มีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 10 °C ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา อีกทั้งการเก็บรักษากระหล่ำปลีสีม่วงที่อุณหภูมิ 0 °C จะแสดงอาการเหี่ยวและอาการซ้ำของใบช้ากว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิอื่นๆ ส่งผล

ให้มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด 26 วัน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Berba and Uchanski (2012) พบว่า การเก็บรักษาไมโครกรีนออลูกลา แรดิช และกะหล่ำปลีสีม่วงที่อุณหภูมิ 4 °C มีอัตราการหายใจต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C ส่งผลให้ไมโครกรีนแรดิชมีอายุการเก็บรักษาเฉลี่ย 21 วัน สำหรับไมโครกรีนออลูกลาและกะหล่ำปลีสีม่วงมีอายุการเก็บรักษาเฉลี่ย 14 วัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C ส่งผลให้ไมโครกรีนแรดิชมีอายุการเก็บรักษาลดลงเหลือเพียง 14 วัน และ ไมโครกรีนออลูกลาและกะหล่ำปลีสีม่วงมีอายุการเก็บรักษาลดลงเหลือเพียง 7 วัน ดังนั้น การเก็บรักษาไมโครกรีนผักชีหูดที่อุณหภูมิ 5 °C สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C และอุณหภูมิห้อง

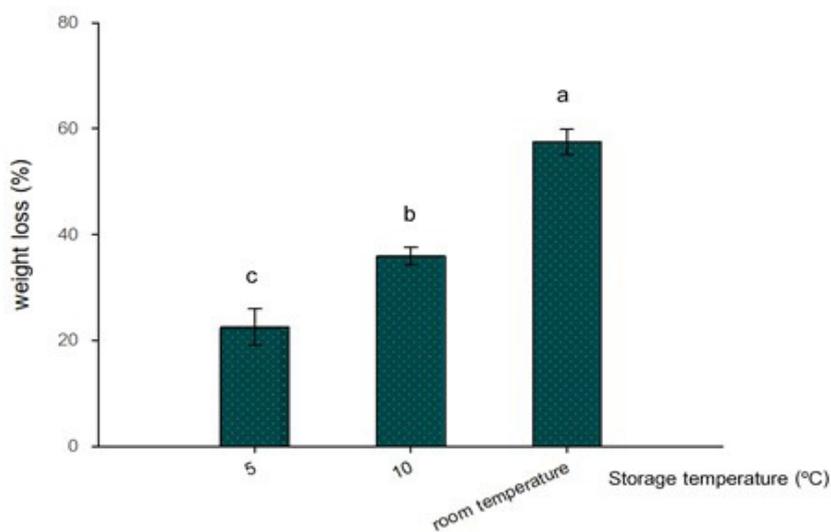


Figure 1 Percentage weight loss in Thai rat-tailed radish microgreen after stored for 12 days at different temperatures.

(^{abcd/} Mean with different letters are significantly different at $p < 0.05$ level)

ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสารต้านอนุมูลอิสระในไมโครกรีนผักชีหูด

เมื่อเก็บรักษาไมโครกรีนผักชีหูดที่ระดับอุณหภูมิแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษามีปฏิสัมพันธ์ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอย่างมีนัย

สำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 1) โดยการเก็บรักษาไมโครกรีนผักชีหูดที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 4 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างทางสถิติกับวันแรกของการเก็บรักษา (0 วัน) รองลงมา คือ การเก็บรักษาไมโครกรีนผักชีหูดที่อุณหภูมิ 10 °C เป็นระยะเวลา 4 วัน นอกจากนี้ การเก็บรักษาไมโครกรีนผักชีหูดที่อุณหภูมิต่างๆ

เป็นระยะเวลา 8 และ 12 วัน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน และไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Figure 3A) สอดคล้องกับการศึกษาของ Galani et al. (2017a) ทำการเก็บรักษาผักและผลไม้ 19 ชนิด ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากสารประกอบฟีนอลบางชนิดมีการสลายตัว ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการทำงานของเอนไซม์ anthocyanases, polyphenol oxidase และ

peroxidase ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการสีสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล อย่างไรก็ตาม Kevers et al. (2007) ทำการเก็บรักษาผักและผลไม้ไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งผลิผลเริ่มเน่า พบว่า สารประกอบฟีนอลิกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษาไมโครกรีนผักชีหูดที่อุณหภูมิ 5 °C สามารถชะลอการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C และอุณหภูมิห้อง

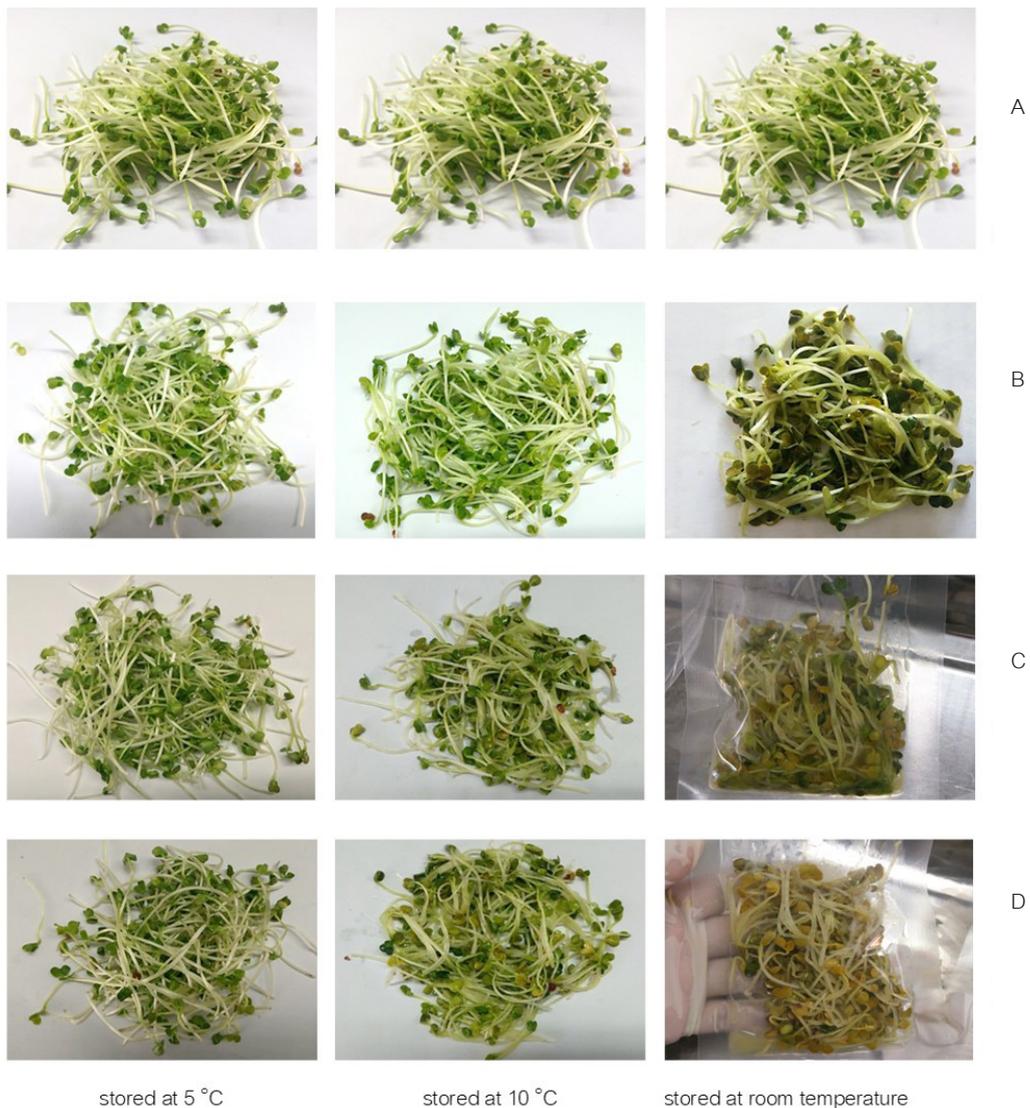


Figure 2 Characteristics of Thai rat-tailed radish microgreen stored at different temperatures for 0, 4, 8 and 12 days after storage (A-D, respectively).

ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในไมโครกรีนผักชีหูดมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา เช่นเดียวกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Table 1) โดยการเก็บรักษาไมโครกรีนผักชีหูดที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 และ 8 วัน รวมถึงการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 °C เป็นระยะเวลา 12 วัน มีปริมาณปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดไม่แตกต่างทางสถิติกับวันแรกของการเก็บรักษา (0 วัน) (Figure 2B) สอดคล้องกับ อัญญา และคณะ (2560) รายงานว่า การเก็บรักษามันเทศสีม่วง มะเขือยาวม่วง และกะหล่ำปลีม่วงที่อุณหภูมิ 10 และ 15 °C เป็นระยะเวลา 12 วัน มีปริมาณแอนโทไซยานินลดลงน้อยกว่าผักที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในไมโครกรีนผักชีหูดมี

การเปลี่ยนแปลงต่ำกว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ซึ่ง Kevers et al. (2007) พบว่า การเก็บรักษาผักและผลไม้บางชนิดที่อุณหภูมิการเก็บรักษาต่ำมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดต่ำ รวมถึงในผักบางชนิดมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจาก อะโกลโคโนฟลาโวนอยด์ เช่น เคอควิซติน ไมริซิทิน และแคมพ์เฟอรอล เป็นต้น มีความเสถียรสูง นอกจากนี้ เคอควิซตินในผักบางชนิดมีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดคงที่หรือลดลงน้อยกว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ดังนั้น การเก็บรักษาไมโครกรีนผักชีหูดที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการสูญเสียปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง

Table 1 Effects of storage temperature and time on total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), and antioxidants capacities by DPPH and ABTS assays of Thai rat-tailed radish microgreen.

Factors	TPC (mg GAE/g DW)	TFC (µg CE/g 100 DW)	Antioxidant Capacities (% inhibition)	
			DPPH	ABTS
A: Storage temperatures (°C)				
5	14.87±5.89 ^a	100.44±12.26 ^a	45.73±2.61 ^a	56.53±3.91 ^a
10	13.72±6.19 ^b	99.35±12.98 ^a	43.94±3.37 ^b	53.50±5.96 ^b
Room temperature	13.30±6.06 ^b	95.99±15.28 ^b	43.04±3.52 ^b	51.60±6.50 ^c
B: Storage times (Days)				
0	21.08±0.26 ^a	116.15±2.46 ^a	48.80±0.45 ^a	58.95±1.29 ^a
4	16.77±1.31 ^b	102.51±3.45 ^b	43.97±2.69 ^b	57.35±3.13 ^b
8	12.48±1.49 ^c	94.58±3.65 ^c	41.90±1.20 ^c	53.00±3.27 ^c
12	5.50±0.50 ^d	81.15±4.49 ^d	42.28±2.21 ^c	46.22±3.87 ^d
F-test				
A	**	**	**	**
B	**	**	**	**
A×B	**	*	**	**
C.V. (%)	3.54	2.55	2.47	1.84

^{abcd} Mean in the same columns with different letters are significant at $p < 0.05$ level.

* and ** indicate significant at $p < 0.05$ and 0.01 levels, respectively

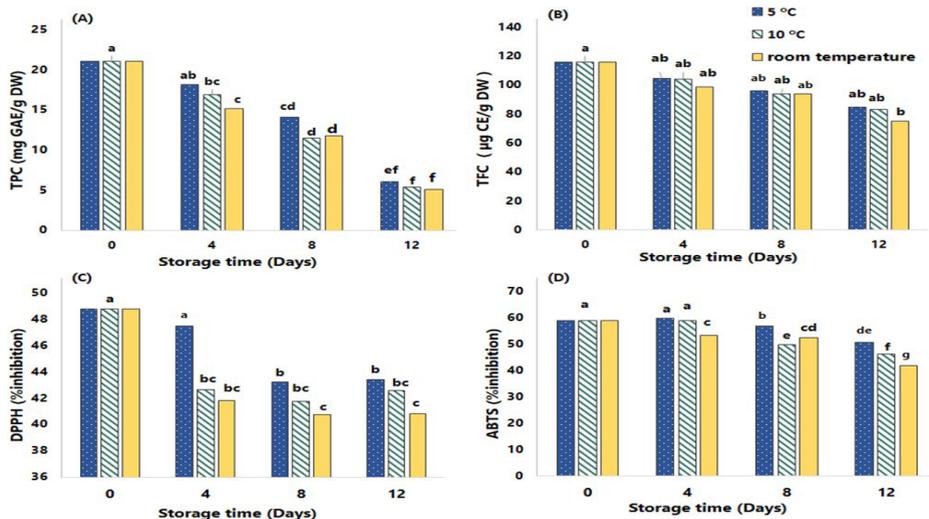


Figure 3 Interaction between storage temperature and time on total phenolic content (A), total flavonoid content (B), and antioxidants capacities by DPPH (C) and ABTS (D) assays of Thai rat-tailed radish microgreen. (abcd/ Mean in the same studied traits with different letters are significantly different at $p < 0.05$ level)

ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระในไมโครกรีนผักชีหูด

เมื่อเก็บรักษาไมโครกรีนผักชีหูดที่อุณหภูมิ 5 และ 10 °C เปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษามีปฏิสัมพันธ์ต่อความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 1) โดยการเก็บรักษาไมโครกรีนผักชีหูดที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 4 วัน มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูล DPPH ไม่แตกต่างทางสถิติกับวันแรกของการเก็บรักษา (0 วัน) รองลงมา คือ การเก็บรักษาไมโครกรีนผักชีหูดที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 8 วัน ในขณะที่การเก็บรักษาไมโครกรีนผักชีหูดที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 8 และ 12 วัน มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูล DPPH ต่ำสุด (Figure 3C) นอกจากนี้ การเก็บรักษาไมโครกรีนผักชีหูดที่อุณหภูมิ 5 และ 10 °C เป็นระยะเวลา 4 วัน มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูล ABTS⁺ ไม่แตกต่างทางสถิติกับวันแรกของการเก็บรักษา (0 วัน) รองลงมา คือ การเก็บ

รักษาไมโครกรีนผักชีหูดที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 8 วัน ในขณะที่การเก็บรักษาไมโครกรีนผักชีหูดที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 12 วัน มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูล ABTS⁺ ต่ำสุด (Figure 3D) ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผักและผลไม้ระหว่างการเก็บรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด กรดฟีนอล วิตามินซี แคโรทีนอยด์ แอนโทไซยานิน และฟลาโวนอยด์ เป็นต้น (Galani et al., 2017b) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกหรือฟลาโวนอยด์มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกหรือฟลาโวนอยด์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระหลักในการต้านกระบวนการออกซิเดชันในพืช (Barros et al., 2007; Murakami et al., 2003) อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีตอบสนองต่ออุณหภูมิ

และระยะเวลาในการเก็บรักษามากกว่าความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS ซึ่งสอดคล้องกับ Galani et al. (2017a) รายงานว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผักและผลไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีความสัมพันธ์ทางบวกกับความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ($r^2=0.808$) รองลงมา คือ ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และ FRAP ($r^2=0.690$ และ 0.458 ตามลำดับ)

สรุป

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C ไมโครกรีนผักชนิดที่มีการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS ต่ำสุด นอกจากนี้ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวมีแนวโน้มสูญเสียเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น และพบว่าการเก็บรักษาไมโครกรีนผักชนิดที่ 5 °C สามารถเก็บรักษาได้นาน 4 วัน โดยมีคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี ไม่แตกต่างทางสถิติกับวันแรกของการเก็บรักษา

เอกสารอ้างอิง

กนกพร บุญญะอดิชาติ. 2558. การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียปริมาณ และคุณภาพของผักรับประทานใบ. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์. 7: 147-158.

กวรรณิกา บุญพาธรรม และดนุพล เกษไชย. 2560. การประเมินผลผลิตและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผักไมโครกรีน 13 ชนิด. แกนเกษตร. 45(ฉบับพิเศษ): 368-373.

นครินทร์ บุญมี และเกียรติรัตน์ คุณารัตนพฤษ. 2556. ความมั่นคงทางดานอาหารของเด็กวัยก่อนเรียนและครัวเรือนของเด็กวัยก่อนเรียนในเขตพื้นที่การปกครองแบบพิเศษ (โคกนาคอง) อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี. วารสารวิจัย มข. 13: 111-121.

ปวีณภัทร นิธิตันติวัฒน์ และวรางคณา อุดมทรัพย์.

2560. พฤติกรรมการบริโภคอาหารของวัยรุ่นไทย ผลกระทบและแนวทางแก้ไข. วารสารวิทยาลัยพยาบาลพระปกเกล้า จันทบุรี. 28: 122-128.

พลกฤษณ์ มณีวัระ. 2552. การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในผักระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่

พรชัย ทาระโคตร, วาสนา หวายพิมาย, เยาวพา จิระเกียรติกุล, และภาณุมาศ ฤทธิไชย. 2561. ปริมาณแคโรทีนอยด์ซีลไฟราเฟน สารต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการต้านออกซิเดชันของไมโครกรีนผักพื้นเมืองวงศ์กะหล่ำ. ว. พืชศาสตร์สงขลานครินทร์. 5: 108-117.

รัชฎาพร อุนศิริไฉย, จิรวรรณ อุนเมตตาอาร, และจิตรา สิงห์ทอง. 2554. รายงานวิจัยเรื่อง ฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารสกัดยานาง เครื่องหมานอย และรางจืด. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

รัตนสุดา ชลธาดู. 2558. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและแนวทางการแก้ไขปัญหา. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 18: 416-431.

อัญญา จันทร์ปะทิว, ยุพา มิตรมั่งกร, และนิตยา มนต์รี. 2560. ผลของความร้อนและการเก็บรักษาต่อปริมาณแอนโทไซยานินในผักสีม่วงบางชนิด. แกนเกษตร. 45(ฉบับพิเศษ): 1278-1282.

Baenas, N., I. Gómez-Jodar, D. Moreno, C. García-Vigueraa, and P.M. Periago. 2017. Broccoli and radish sprouts are safe and rich in bioactive phytochemicals. Postharvest Biol. Technol. 127: 60-67.

Barros, L., M.J. Ferreira, B. Queiros, I.C.F.R. Ferreira, and P. Baptista. 2007. Total phenols, ascorbic acid, β -carotene and lycopene in Portuguese

- wild edible mushrooms and their antioxidant activities. *Food Chem.* 103: 413-419.
- Berba, K.J., and M.E. Uchanski. 2012. Post-harvest physiology of microgreens, *J. Young Investig.* 24: 1-5.
- Chandra, D., J.G. Kim, and Y.P. Kim. 2012. Changes in microbial population and quality of microgreens treated with different sanitizers and packaging films. *Hort. Environ. Biotechnol.* 53: 32-40.
- Dayarathna, P.G.N.N., J.W. Damunupola, and N.S. Gama-Arachchige. 2018. Optimum storage temperature for mustard microgreens to maintain high postharvest quality and sensory attributes. p. 135. Wayamba University International Conference 24-25 August 2018. Wayamba University, Sri Lanka.
- Fahey, J.W., Y. Zhang, and P. Talalay. 1997. Broccoli sprouts: An exceptionally rich source of inducers of enzymes that protect against chemical carcinogens. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 94: 10367-10372.
- Galani, J.H.Y., J.S. Patel, N.J. Patel, and J.G. Talati. 2017a. Storage of fruits and vegetables in refrigerator increases their phenolic acids but decreases the total phenolics, anthocyanins and vitamin C with subsequent loss of their antioxidant capacity. *MDPI.* 6: 1-19.
- Galani, Y.J.H., M.P. Mankad, A.K. Shah, N.J. Patel, R.R. Acharya, and J.G. Talati. 2017b. Effect of storage temperature on vitamin C, total phenolics, UPLC phenolic acids profile and antioxidant capacity of eleven potatoes (*Solanum tuberosum* L.) varieties. *Hortic. Plant J.* 3: 73-89.
- Harakotr, B., B. Suriharn, R. Tangwongchai, M.P. Scott, and K. Lertrat. 2014. Anthocyanins and antioxidant activity in coloured waxy corn at different maturation stages. *J. Funct. Foods.* 9: 109-118.
- Kevers, C., M. Falkowski, J. Tabart, J.O. Defrigne, J. Dommès, and J. Pincemail. 2007. Evolution of antioxidant capacity during storage of selected fruits and vegetables. *J. Agric. Food Chem.* 55: 8596-8603.
- Kubola, J., S. Siriamornpun, and N. Meeso. 2011. Phytochemicals, vitamin C and sugar content of Thai wild fruits. *J. Agric. Food Chem.* 126: 972-981.
- Murakami, M., T. Yamaguchi, H. Takamura, and T. Matoba. 2003. Effects of ascorbic acid and tocopherol on antioxidant activity of polyphenolic compounds. *Food Chem. Toxicol.* 68: 1622-1625.
- Xiao, Z., G.E. Lester, Y. Luo, and Q. Wang. 2012. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *J. Agric. Food Chem.* 60: 7644-7651.