

ผลของไอระเหยเอทานอลที่สะสมในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟต่อการเปลี่ยนแปลง
คุณภาพของใบไชยาสด

Effects of ethanol vapour released in active packages
on storage quality for fresh Chaya

ศศิมล มุ่งหมาย^{1*} วชรพงษ์ วัฒนกุล² อุดุลย์ อภินันท์³ และวีรเวทย์ อุทโธ¹
Sasimon Mungmai¹, Watcharapong Wattanakul², Adul Apinan³ and Weerawate Utto¹

สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี¹
Department of Agro-Industry, Faculty of Agricultural, Ubon Ratchathani University¹

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่²
Faculty of Agricultural Technology, Chiang Mai Rajabhat University²

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์³
Research and Development Institute Buriram Rajabhat University³

Email: s.sasimon2527@gmail.com

Received : May 11, 2022

Revised : June 28, 2022

Accepted : July 24, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของใบไชยาสด โดยมีระบบแอคทีฟ คือ ซองควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล บรรจุร่วมกับใบไชยาในถุงพลาสติก LDPE เก็บรักษาที่ 10 °C เป็นเวลา 7 วัน เปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ซึ่งไม่มีซองควบคุมฯ (บรรจุภัณฑ์พาสซีฟ) เก็บรักษาที่ 10 และ 30 °C ผลการศึกษา พบว่าไอระเหยเอทานอลถูกปลดปล่อยจากซองควบคุมฯ เข้าสู่บรรจุภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง และทำปฏิกิริยากับเนื้อเยื่อของใบไชยา ทำให้ชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ในขณะที่บรรจุภัณฑ์เก็บรักษาที่ 10 °C ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงวิตามินซีและค่าสี (L^* , a^* และ b^*) บรรจุภัณฑ์พาสซีฟที่ 30 °C ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอย่างรวดเร็ว การวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงศักยภาพของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวโดยเฉพาะด้านสีและปริมาณคลอโรฟิลล์ ก่อนนำไปไชยาไปทำการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น ๆ

คำสำคัญ : ใบไชยา ไอระเหยเอทานอล บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ

ABSTRACT

The present research purposely was to study effects of active packages of which an active system was an ethanol vapor controlled release sachet, on quality changes of fresh Chaya leaf. The sachet was packaged together with the leaf in LDPE plastic bag, kept at 10°C for 7 days. The effects were compared to those of packages having no sachet (so-called passive packages) kept at 10 and 30°C. Experimental findings show that ethanol vapor was continuously released from the sachet into the packages. This interacted with Chaya tissues causing delays in total chlorophyll losses. Whilst both packages kept at 10°C had no significant effects on changes in vitamin C and color (measured in $L^* a^* b^*$), the passive packages kept at 30°C caused rapid quality changes. The present research acknowledges potentials of the active package as well as the low storage temperature for delaying postharvest quality changes, in particular green color and chlorophyll content, prior using Chaya leaf for further processing into other products.

Keywords: Chaya leaf, ethanol vapor, active packages

บทนำ

ผักไชยา หรือใบไชยา (*Cnidoscolus chayamansa*) มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะแคลเซียม และ วิตามินซี (Kuti and Torres, 1996) นอกจากนี้ใบไชยานิยมใช้ในการปรุงอาหารเนื่องจากเพิ่มรสชาติอาหารเนื่องมาจากมีองค์ประกอบของกรดกลูตามิก (glutamic acid) (Namdamrassiri et al., 2021) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีฤทธิ์ด้านรสชาติที่คล้ายกับกลูตาเมต (glutamate) ในผงชูรส (monosodium glutamate) (ชลัญญา สุตา และจอมสุตา ดวงวงษา, 2563) ผักไชยารับประทานในรูปใบสดและ/หรือนำมาแปรรูปเป็นอาหารประเภทต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ซूपครีม ผักไชยาสำเร็จรูปแช่แข็ง (มาริสสา คำวิไล, 2562) และหมั่นโถว (สังวาลย์ ชมพูจำ, 2563) เนื่องจากคุณค่าทางโภชนาการและมีคุณสมบัติด้านการเพิ่มรสชาติอาหาร ส่งผลให้ใบไชยาเป็นที่นิยมรับประทานทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศ (Kongphapa et al., 2021 และ Ramirez-Rodrigues et al., 2021) เช่น ไนจีเรีย (Babalola and Alabi, 2015) กัวเตมาลา (Amaya et al., 2019) เม็กซิโกและบราซิล (Panghal et al., 2021) ทั้งนี้การปลูก การบริโภค และใช้ประโยชน์ในการเกษตรของผักไชยาและพืชท้องถิ่นอื่น ๆ เช่น สะเดา มะรุม ขิง และข่า ซึ่งปลูกและเติบโตตามธรรมชาติ (หรือเรียกว่า

wild gardening) ได้รับการส่งเสริมให้กับเกษตรกรรายเล็กในเขตชนบทของประเทศกัมพูชา ตามแนวคิดของการเพิ่มความยั่งยืน (sustainable intensification) ทางเกษตร เพื่อเป็นแนวทาง ในการยกระดับความเป็นอยู่โดยเฉพาะด้านสุขภาพและลดรายจ่ายของครอบครัว ซึ่งโดยส่วนใหญ่ มีฐานะยากจนและมีรายได้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (Eissler et al., 2021) ไปไยยาสดหรือผัก รับประทานใบต่าง ๆ มีแนวโน้มเสื่อมเสียคุณภาพได้ง่าย โดยเฉพาะการสูญเสียสีน้ำหนัก เกิดลักษณะที่ เหี่ยวเฉาใบแห้งและเปลี่ยนสีได้ง่าย เนื่องจากการสูญเสียความชื้นหรือไอน้ำจากใบสู่สิ่งแวดล้อมรอบ ๆ อันเป็นผลจากความแตกต่างระหว่างความดันของไอน้ำในใบ ซึ่งมีค่าสูงกว่าความดันของไอน้ำที่อยู่ในบรรยากาศโดยรอบ (วีรเวทย์ อุทโย, 2562) ลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ดังกล่าวส่งผลให้มูลค่าของใบไยยาสดลด และอาจเป็นข้อจำกัดในการนำไปไยยาสดไปใช้ในการกระบวนการแปรรูปอาหารอื่น ๆ

จากข้อมูลดังกล่าว ทำให้ทราบถึงความจำเป็นของการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวไยยาสด เพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงและเสื่อมเสียคุณภาพ จากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง พบว่าการบรรจุภัณฑ์ บรรยากาศดัดแปรแอคทีฟ หรือ active modified atmosphere packaging (active MAP) ซึ่งเป็นการใช้บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพลาสติกร่วมกับระบบแอคทีฟ (active system) สำหรับการบรรจุผักและผลไม้ ได้รับความสนใจจากนักวิจัยและผู้ประกอบการ เพื่อประยุกต์ใช้สำหรับการเก็บรักษาผักและผลไม้สด เนื่องมาจากสภาวะบรรยากาศดัดแปร (modified atmosphere condition หรือ MA) ภายในบรรจุภัณฑ์ กล่าวคือ ความเข้มข้นของแก๊ส O_2 มีค่าที่ลดต่ำลงและความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 มีค่าที่เพิ่มขึ้น เช่น 5-10% O_2 และ 5-10% CO_2 (v/v) เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของแก๊สทั้งสองในอากาศปกติ (20.99% O_2 และ 0.03% CO_2) อันเป็นผลจากสมดุลระหว่างกระบวนการซึมผ่านฟิล์มพลาสติกของ แก๊สทั้งสองและกระบวนการหายใจของผักและผลไม้ สภาวะ MA ดังกล่าวส่งผลให้กระบวนการทางชีวเคมีของผลผลิตเกิดขึ้นได้ในอัตราเร็วที่ช้าลง จึงช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพได้ (Torales et al., 2020 and Firouz et al., 2021) กอปรกับระบบแอคทีฟภายในบรรจุภัณฑ์ได้ ช่วยเสริมประสิทธิภาพของสภาวะ MA เช่น วัตถุดูดเอทิลีนทำหน้าที่กำจัดเอทิลีนที่ปลดปล่อยจากผลไม้ และสะสมในบรรจุภัณฑ์ที่เร่งการสุก หรือวัตถุควบคุมการปล่อยไอระเหยจากน้ำมันหอมระเหย ช่วยชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (วีรเวทย์ อุทโย, 2562) ในการศึกษาวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ให้ความสนใจ บรรจุภัณฑ์ active MAP ซึ่งมีช่องควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลเป็นระบบแอคทีฟ เนื่องจาก ไอระเหยเอทานอล มีความสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสี/ลักษณะปรากฏของบร็อคคอลลี (Suzuki et al., 2004) และหอมแดง (พัชรี มะลิลา และคณะ, 2558) หรือคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของ มะละกอสุก (วรรณวิภา ถาวร และคณะ, 2561) มะม่วงน้ำดอกไม้ (เจนจิรา พกาวลัย และคณะ, 2562) หรือลูกหม่อนสด (Choosung et al., 2019) ในปัจจุบันยังไม่พบรายงานการวิจัยของการประยุกต์ใช้ บรรจุภัณฑ์ active MAP กับผักไยยาหรือผักรับประทานใบชนิดอื่น ๆ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของการใช้บรรจุภัณฑ์ active MAP ซึ่งมีช่องควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของใบไยยา ที่เกี่ยวข้องกับวิตามินซีและการเปลี่ยนแปลงสีเขียว เนื่องจาก

ใบไผ่สามารถนำไปสกัด เพื่อใช้ทำเป็นสารเติมแต่งอาหารที่มีสีเขียวด้วยการใช้ในผลิตภัณฑ์ซูปและหมั่นโถงที่นำเสนอข้างต้น การชะลอการเสื่อมสลายของสีเขียวและ/หรือสารประกอบกลุ่มคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเขียวในระหว่างการเก็บรักษา จึงเป็นการรักษาปริมาณสารตั้งต้นในใบไผ่เอาไว้ให้สูง ก่อนที่จะนำไปสกัดต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมใบไผ่

ใบไผ่ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เก็บรวบรวมจากพื้นที่ของหมู่บ้านหนองแก ตำบลแจระแม อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี ผู้วิจัยเลือกใบที่มีสีเขียวเข้ม และมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน ภายหลังจากการรวบรวมจากพื้นที่ปลูก ผู้วิจัยได้ทำการคัดแยกอีกครั้งในห้องปฏิบัติการโดยคัดเลือกเฉพาะใบที่มีความกว้างประมาณ 15-18 cm และเป็นใบลำดับที่ 5-8 นับจากยอดของต้นไผ่ การเลือกลำดับของใบดังกล่าว เนื่องจากได้รับข้อเสนอแนะของผู้บริโภคในท้องถิ่นโดยว่าเป็นใบที่มีอายุไม่แก่หรืออ่อน ปัจจุบันยังไม่มีรายงานหรือข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเลือกเก็บใบไผ่จากต้น อย่างไรก็ตามในงานวิจัยของ Laohasilpsomjit et al. (2017) รายงานว่า ตำแหน่งของใบหม่อนบนต้นมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในใบ ดังนั้นการเลือกตำแหน่งของใบจึงมีความสำคัญต่อความผันผวนของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของใบหม่อนสด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลจากสารประกอบฟีนอลิกโดยเฉพาะสารเคอร์ซีติน (quercetin) ภายหลังจากการคัดเลือกใบเสร็จแล้ว ผู้วิจัยได้นำใบไผ่แช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 150 ppm เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อเป็นการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์จากธรรมชาติ จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งบนตะแกรงที่สะอาด เพื่อนำไปใช้ในการบรรจุภัณฑ์และเก็บรักษาต่อไป

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ

1. การเตรียมของควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล และบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ

ในการวิจัยนี้การเตรียมของควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอล หรือเรียกโดยย่อว่า ซองแอคทีฟ (sachet) ได้ประยุกต์จากวีรเวทย์ อุทโร และคณะ (2555) กล่าวโดยสรุปคือ ซองแอคทีฟ มีขนาด 9 x 9 cm โดยด้านหน้าของซองแอคทีฟทำจากฟิล์มพลาสติก low density polyethylene (LDPE) ทำการเชื่อมประกบกับฟิล์มอะลูมิเนียมลามิเนต (Al/PE) ปิดผนึกแบบ 3-side-seal ด้วยการให้ความร้อน (heat-sealing) ทั้งนี้วัสดุฟิล์มพลาสติก LDPE ที่ใช้เป็นวัสดุของควบคุมฯ มีความหนาประมาณ 63 μm และมีค่า oxygen transmission rate (OTR) เท่ากับ 2,277.50 $\text{mL}/\text{m}^2/\text{day}$ ค่า CO_2 transmission rate (CO_2TR) เท่ากับ 11,929.5 $\text{mL}/\text{m}^2/\text{day}$

และค่า water vapour transmission rate (WVTR) เท่ากับ $5.21 \text{ g/m}^2/\text{day}$ นอกจากนี้วัสดุฟิล์ม AL/PE ป้องกันการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำได้ดีมากจึงทำให้ไม่มีการแพร่ผ่านฟิล์ม AL/PE ของเอทานอล ดังนั้นไอระเหยเอทานอลจึงเกิดการซึมผ่านเพียงด้านฟิล์ม LDPE ที่มีสมบัติยอมให้ไอระเหยเอทานอลซึมผ่านได้ง่าย (Utto et al., 2016) การปลดปล่อยเพียงด้านเดียว (one-dimensional release) ช่วยชะลอการหมดไปของเอทานอลเหลวในกระดาชกรองที่ปลดปล่อยเป็นไอระเหยไปสู่บรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ (วีรเวทย์ อุทโธ, 2562)

ภายหลังจากเตรียมซองควบคุมฯ ผู้วิจัยได้เตรียมนำกระดาชกรอง (Whatman No. 1) ขนาด $8 \times 8 \text{ cm}$ ซึ่งทำหน้าที่ตัวพาสำหรับเอทานอล (ethanol carrier) จากนั้นได้เทเอทานอลเหลวความเข้มข้น 99.9% (v/v) ปริมาตร 1 ml ลงไปในกระดาชกรองส่งผลให้กระดาชเือบชุ่มด้วยเอทานอล (เป็นการดูดซับพอดิโดยไม่มีเอทานอลเหลวไหลหรือเกินออกมาจากกระดาชกรอง) ผู้วิจัยได้นำกระดาชกรองนั้นใส่เข้าไปในซองแอกทีฟที่เตรียมไว้แล้วทำการปิดผนึกของแอกทีฟในด้านที่เหลืด้วยการใช้ความร้อน ส่งผลให้ซองแอกทีฟเกิดการปิดผนึกแบบ 4-side-seal

เมื่อได้ซองแอกทีฟแล้วผู้วิจัยได้นำไปบรรจุร่วมกับผักไชยาสดในถุงพลาสติก LDPE ขนาด $26 \times 28 \text{ cm}$ (ความหนาและสมบัติด้านการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำเช่นเดียวกับที่รายงานข้างต้น) จากนั้นทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $10 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 7 วัน โดยทำการเปรียบเทียบคุณภาพของใบไชยาที่เก็บในบรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปรที่ไม่มีซองแอกทีฟ หรือเรียกว่าบรรจุภัณฑ์พาสซีฟ (passive MAP) ซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ $10 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิห้อง ($30\text{--}32 \text{ }^{\circ}\text{C}$) ทั้งนี้การเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ passive MAP ที่อุณหภูมิห้องจัดเป็นสิ่งทดลองควบคุมและจำลองการเก็บรักษาใบไชยาสดของเกษตรกรเพื่อเตรียมจำหน่ายภายหลังจากการเก็บเกี่ยว

จากข้อมูลที่น่าเสนอข้างต้น สามารถสรุปสิ่งทดลองซึ่งเป็นผลจากรูปแบบการบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิการเก็บรักษาดังแสดงในตารางที่ 1 โดยแสดงตัวย่อของสิ่งทดลองเพื่อความสะดวกของการอ้างถึงสิ่งทดลองในเนื้อหาต่อไป

ตารางที่ 1 สิ่งทดลองในการวิจัย

ตัวย่อสิ่งทดลอง	การบรรจุภัณฑ์		อุณหภูมิ	
	active MAP	Passive MAP	$10 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$30 \text{ }^{\circ}\text{C}$
T10	-	✓	✓	-
TS10	✓	-	✓	-
T30	-	✓	-	✓

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงและคุณภาพของใบไชยาสดในระหว่างการเก็บรักษา

1. ความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอล ในบรรยากาศของบรรจุภัณฑ์ดำเนินการด้วยเครื่อง flame ionised detector equipped gas chromatogram (FID-GC) (GC-2014; Shimadzu; Porapak Q 2.0 m length, 3.00 mm I.D.; helium carrier gas) โดยประยุกต์วิธีของพัชรี มะลิลา และคณะ (2558) ดังนี้ เก็บตัวอย่าง (sampling) ไอระเหยเอทานอลจากบรรจุภัณฑ์ active MAP ด้วยเข็มฉีดยาประเภท gas tight (Hamilton, Nevada, US) ดูดตัวอย่างแก๊สในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ ปริมาตร 1 ml จากนั้นนำตัวอย่างฉีดเข้าไปใน injection port ของเครื่อง FID-GC โดยมีสภาวะการวิเคราะห์ของเครื่อง FID-GC คือ injector temperature 150 °C, detector temperature 250 °C, oven temperature 80 °C เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 °C/min จนถึง 200 °C คงไว้ 3 นาที โดยมีแก๊ส Helium ทำหน้าที่เป็น Carrier gas (flow rate 50ml/min) จะปรากฏ peak ของเอทานอลในระหว่างนาทีที่ 8-9 ทั้งนี้ ความเข้มข้นไอระเหยเอทานอลรายงานผลในหน่วย $\mu\text{L/L}$ ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ ไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์ ผู้วิจัยได้ทำการวัดความเข้มข้นซ้ำจากบรรจุภัณฑ์เดิม กล่าวคือเมื่อเก็บตัวอย่างแล้วเสร็จ ได้ทำการปิดรูบนฉนวนพลาสติกที่เกิดจากเข็มแทงที่ โดยใช้เทปอลูมิเนียมขนาด 1x1 cm สาเหตุที่ทำการวัดจากบรรจุภัณฑ์เดิม เพื่อลดความแปรปรวนของความเข้มข้น ไอระเหยเอทานอล ดังข้อสังเกตที่ได้นำเสนอโดย Utto et al (2018) ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เตรียม บรรจุภัณฑ์แอคทีฟเฉพาะสำหรับการวัดความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอล และไม่ได้ทำการปิดถุงเพื่อนำใบไชยามาทำการวิเคราะห์คุณภาพอื่น ๆ ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลภายในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ ในวันที่ 0 (วันที่บรรจุและปิดผนึก) โดยทำการวัดที่ 2 4 และ 6 ชั่วโมง จากนั้นทำการวิเคราะห์ในรอบ 24 ชั่วโมงเมื่อครบ 0 1 3 5 และ 7 วัน

2. ความเข้มข้นของเอทานอลในเนื้อเยื่อใบไชยา

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของเอทานอลในใบไชยาดำเนินการด้วยด้วยเครื่อง FID-GC ดังที่ได้นำเสนอในหัวข้อที่ 1 โดยประยุกต์วิธีของ พัทรี มะลิลา และคณะ (2558) มีรายละเอียดโดยสรุป ดังนี้ นำตัวอย่างใบไชยาสดในแต่ละสิ่งทดลองจำนวน 15 g มาบดปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันกับสารละลายกลีเซอรอล 7.5 g และน้ำ deionized 7.5 g จากนั้นนำตัวอย่างที่เป็นเนื้อเดียวกัน ปริมาณ 3 g ใส่ลงในขวด vial ขนาด 20 ml แล้วปิดผนึกด้วยจุกยาง (septum) และครอบด้วยกรอบอะลูมิเนียม นำไปต้มที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 15 นาที เก็บตัวอย่างแก๊สจากบรรยากาศในขวดด้วยปริมาตร 1 ml ฉีดเข้าเครื่อง FID-GC เพื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเอทานอล รายงานในหน่วย mg/kg

ทำการวิเคราะห์ในวันที่ 0 (วันที่บรรจุและปิดผนึก) จากนั้นทำการวิเคราะห์ในรอบ 24 ชั่วโมง เมื่อครบ 1 3 5 และ 7 วัน เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์โอระเหยเอทานอลในบรรยากาศบรรจุภัณฑ์

3. การวัดการเปลี่ยนแปลงค่าสี

วิเคราะห์สีของใบชาสดด้วยเครื่อง HunterLab (Colorflex 4510, USA) รายงานค่าที่ได้ในหน่วยของ L^* a^* และ b^* โดย L^* ความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 ซึ่ง 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว ในขณะที่ a^* แสดงความเป็นสีเขียว ($-a^*$) สีแดง ($+a^*$) ส่วนค่า b^* แสดงสีน้ำเงิน ($-b^*$) และสีเหลือง ($+b^*$)

4. การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิก

การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid content) ในน้ำสกัดใบชาสดดำเนินการด้วยกระบวนการไตเตรทโดยใช้สารละลายมาตรฐานอินโดฟินอล (indophenols standard solution) นำค่าที่ได้คำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำผลไม้โดยคิดเป็น มิลลิกรัมกรดแอสคอร์บิก ต่อ 100 g ประยุกต์วิธีของ หทัยพร กัมพวงศ์ (2563) โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (mg/100g)} = ((X-B) \times (F/E) \times 100)/(V-Y)$$

เมื่อ X คือ ปริมาตร indophenols solution ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (ml)

B คือ ปริมาตร indophenols solution ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง blank (ml)

F คือ ความเข้มข้นของ ascorbic acid standard solution (mg/ml)

E คือ ปริมาตรของ ascorbic acid standard solution (ml)

V คือ ปริมาตร indophenols standard ที่ใช้ในการไตเตรทสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก (ml)

Y คือ ปริมาตร indophenols standard ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง blank (ml)

5. การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ในใบชาสดดำเนินการด้วยการประยุกต์วิธีของ อังคณา จันทรพลพันธ์ และคณะ (2562) โดยนำใบชาปริมาณ 2 g บดจนละเอียดแล้วเติมน้ำสกัดผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และเติมอะซิโตนลงไปจนไม่มีสีเขียวติดอยู่บนกระดาษกรอง ปรับปริมาตรด้วยสารละลายอะซิโตนให้ได้ปริมาตร 100 ml แล้วนำสารละลายที่ได้วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer รุ่น Evolution 300 PC

บริษัท BEC Thai Bangkok Equipment & Chemical co., Ltd., Thailand) โดยทำการเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของตัวเปรียบเทียบ (blank) ที่เป็นสารละลายอะซิโตนความเข้มข้นร้อยละ 80 (v/v) ในการศึกษาได้วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วยสูตร ดังนี้

$$\text{Total chlorophyll (mg/100g)} = \frac{20.9(OD\ 645) + 8.02(OD\ 663)}{1000 \times W} \times V$$

กำหนดให้ V คือ ปริมาตรของสารละลายที่นำมาหาปริมาณคลอโรฟิลล์ (ml)

W คือ น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาหาปริมาณคลอโรฟิลล์ (kg)

OD คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากเครื่อง spectrophotometer

การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์สถิติ

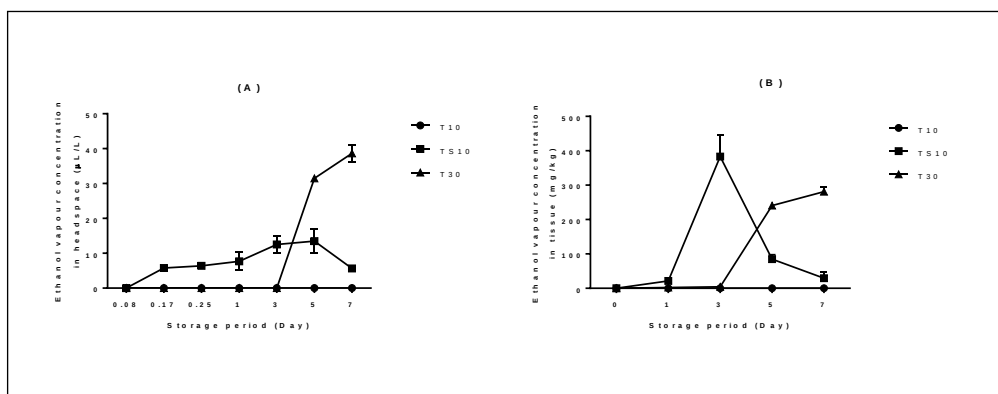
งานวิจัยนี้วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ดำเนินการ 3 ซ้ำการทดลอง ค่าที่วัดได้นำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance; ANOVA) และความแตกต่างค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% โดยใช้โปรแกรม SPSS

ผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้พบว่า ใบไผ่สาสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C ในบรรจุภัณฑ์ active MAP (ตัวอย่างของสิ่งทดลองคือ TS10) มีความเข้มข้นของไอร่ะเหยเอทานอลที่สะสมอยู่ในบรรจุภัณฑ์เพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (ภาพประกอบ 1A) ความเข้มข้นของไอร่ะเหยเอทานอลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ชั่วโมงที่ 4 และมีค่าสูงสุดในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา (ประมาณ 10-12 µL/L) จากนั้นความเข้มข้นของไอร่ะเหยเอทานอลเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องจนเหลือในระดับ 2-3 µL/L ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา ในทางตรงกันข้ามไม่สามารถวัดความเข้มข้นของไอร่ะเหยเอทานอลในบรรยากาศของการบรรจุภัณฑ์ T10 ได้ตลอดอายุการเก็บรักษา แต่ในบรรจุภัณฑ์ T30 (สิ่งทดลองควบคุม) พบว่าค่าความเข้มข้นของไอร่ะเหยเอทานอลมีค่าเพิ่มขึ้นสูงและต่อเนื่อง ภายหลังจากการเก็บรักษา 3 วัน โดยค่าที่วัดในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาอยู่ในช่วงความเข้มข้นเท่ากับ 35-40 µL/L

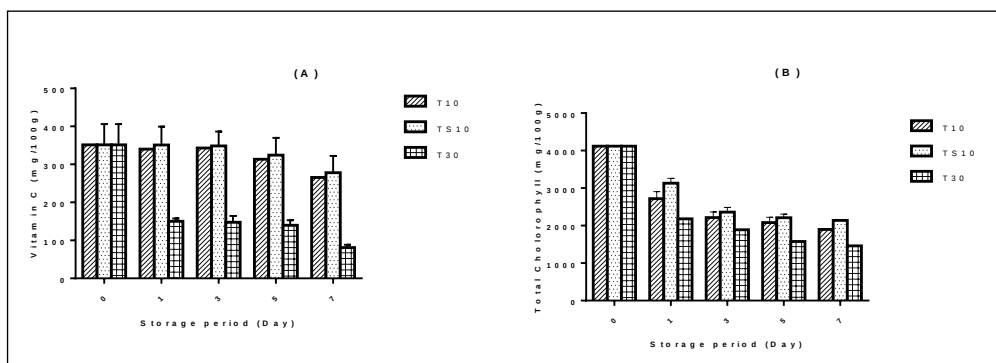
ในภาพประกอบ 1B แสดงผลการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเอทานอลในเนื้อเยื่อของใบไผ่สาสดเก็บรักษาในสิ่งทดลองต่าง ๆ โดยพบว่าความเข้มข้นของเอทานอลในใบไผ่สาสดเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ active MAP (TS10) มีค่าสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ โดยเริ่มวัดค่าได้ในหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 1 วัน

และมีค่าสูงสุดในวันที่ 3 (ประมาณ 400 mg/kg) จากนั้นค่าความเข้มข้นลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดอายุการเก็บรักษา (ค่าเหลือประมาณ 29 mg/kg ในวันที่ 7) ทั้งนี้ไม่พบการสะสมของเอทานอลในเนื้อเยื่อของใบไชยาที่เก็บในบรรจุภัณฑ์พาสซีฟ (T10) ในทางตรงกันข้ามระดับความเข้มข้นของเอทานอลในใบไชยาเก็บรักษาที่ 30 °C (T30) มีค่าที่วัดได้ภายหลังจากเก็บรักษา 3 วัน และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษา



ภาพประกอบ 1 ความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอลที่สะสมในบรรยากาศภายในบรรยากาศของบรรจุภัณฑ์ (A) และความเข้มข้นของเอทานอลที่สะสมในเนื้อเยื่อใบไชยาสด (B) ในบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C และ 30 °C เป็นเวลา 7 วัน (ค่าที่แสดงคือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน n=9)

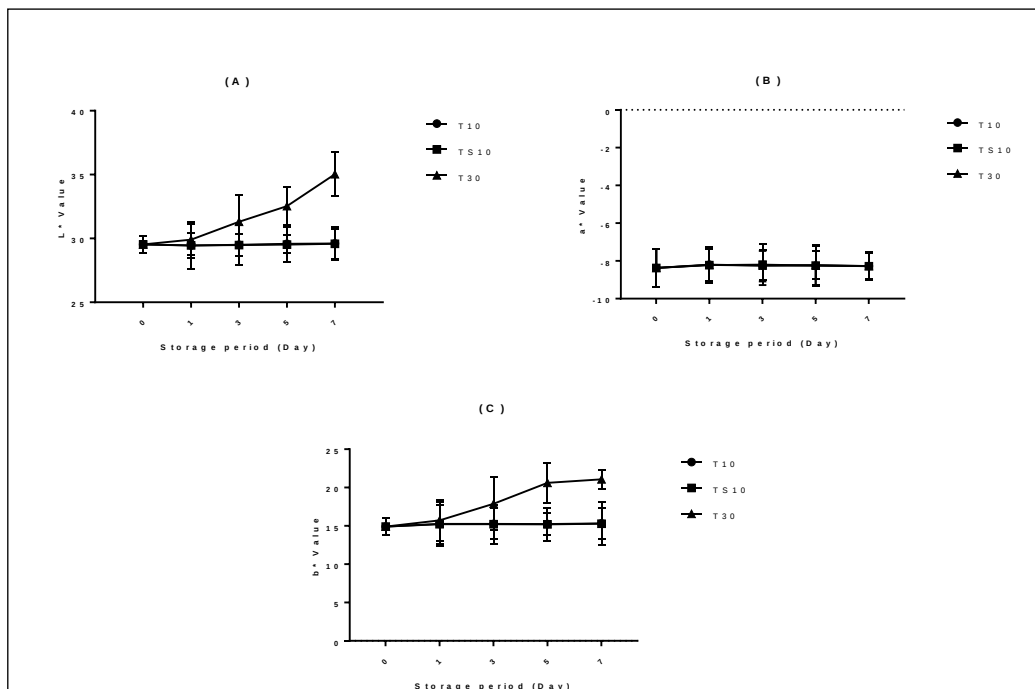
การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของใบไชยาสดที่เก็บสิ่งทดลองต่าง ๆ แสดงในภาพประกอบ 2A โดยพบว่าปริมาณวิตามินซีของใบไชยาในทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้น (ประมาณ 350 mg/100g) ในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสำหรับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซีในใบไชยา เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองประเภทที่อุณหภูมิ 10 °C และมีการลดลงจากค่าเริ่มต้นอย่างชัดเจนภายหลังจากเก็บรักษา 5 วัน โดยปริมาณของวิตามินซีของใบไชยามีค่าประมาณ 280-300 mg/100g ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน ในทางตรงกันข้ามปริมาณวิตามินซีของใบไชยาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C มีค่าลดลงต่ำกว่าค่าเริ่มต้นประมาณ 2.33 เท่าภายหลังจากเก็บรักษา 1 วัน และมีค่าต่ำกว่า 100 mg/100g ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน (ภาพประกอบ 2A)



ภาพประกอบ 2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี (A) และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (B) ของใบไชยาสด ในบรรจุภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C และ 30 °C เป็นเวลา 7 วัน (ค่าที่แสดงคือ ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน n=9)

ในภาพประกอบ 2B แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของใบไชยาสดในสิ่งทดลองต่าง ๆ โดยพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบไชยาในสิ่งทดลองมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เริ่มต้น (ประมาณ 4,000 mg/100g) ทั้งนี้ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่วัดจากสิ่งทดลองเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าที่อุณหภูมิ 30 °C อย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 10 °C พบว่าใบไชยาเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ active MAP มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าในบรรจุภัณฑ์ passive MAP แม้ว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ค่าเฉลี่ยของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของใบไชยาที่เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วันอยู่ในช่วง 1,800-2,000 mg/100g และ 1,400 mg/100g สำหรับอุณหภูมิการเก็บรักษา 10 °C และ 30 °C ตามลำดับ (ภาพประกอบ 2B)

การเปลี่ยนแปลงสีของใบไชยาสดเก็บรักษาในสิ่งทดลองต่าง ๆ แสดงในภาพประกอบ 3 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นทราบว่า ค่าสีและค่าความสว่างของใบไชยาสดซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C ในทุกบรรจุภัณฑ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากค่าเริ่มต้นอย่างชัดเจน และไม่มีความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองทั้งสอง อย่างไรก็ตามค่าความสว่างและค่าสีเหลือง (ค่า b^* ที่เป็นบวก) ของใบไชยาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C มีค่าที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษา และการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าสีเหลืองมีการเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน อย่างไรก็ตามค่าสีเขียว (ค่า a^* ที่เป็นลบ) ของใบไชยาในสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพประกอบ 3)



ภาพประกอบ 3 การเปลี่ยนแปลงสี L^* (A) a^* (B) และ b^* (C) ของไป๋ไสยาสด ในบรรจุภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C และ 30 °C เป็นเวลา 7 วัน (ค่าที่แสดงคือ ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $n=9$)

อภิปรายผลการวิจัย

การเพิ่มขึ้นและเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอระเหยเอทานอล ในบรรยากาศของบรรจุภัณฑ์ active MAP สำหรับไป๋ไสยานี้แสดงให้เห็นว่าไอรระเหยเอทานอลได้ถูกปลดปล่อยออกมาจริงจากของแอดทิฟ จากเอกสารที่รวบรวมโดย Utto (2014) และวีรเวทย์ อุทโธ (2562) พบว่าการสะสมของไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์ เป็นผลจากเกิดจากสมดุลของกระบวนการถ่ายโอนมวล (mass transport processes) ที่สำคัญ 3 กระบวนการ ประกอบด้วย (1) กระบวนการปลดปล่อยไอระเหยเอทานอลจากของแอดทิฟ (2) การเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอระเหยเอทานอลกับไป๋ไสยา และ (3) กระบวนการซึมผ่านไอระเหยเอทานอลจากบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ไปยังสิ่งแวดล้อม ผลการทดลองในการศึกษาสนับสนุนความรู้ในกระบวนการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอระเหยเอทานอล และไป๋ไสยา โดยเฉพาะการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของเอทานอลในเนื้อเยื่อ และการชะลอการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ทั้งนี้การเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอระเหยเอทานอลกับผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดการสะสมของ

เอทานอลในเนื้อเยื่อ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นเอทานอลในเนื้อเยื่อ (ภาพประกอบ 1B) การเกิดปฏิกิริยาและสะสมเอทานอลในเนื้อเยื่อนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ตั้งกรณของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ผลการวิจัยในการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Suzuki et al (2004) ซึ่งได้รายงานไว้ว่าไธราเหยาเอทานอลที่ปลดปล่อยจากของแอกทิฟ ได้เกิดปฏิกิริยากับบรอกคอลลี ส่งผลให้ชะลอการชราภาพและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญหนึ่งที่ทำให้บรอกคอลลียังคงมีชีวิตชีวาเข้มกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับบรอกคอลลีในสิ่งทดลองที่ไม่มีของแอกทิฟ ดังนั้น การชะลอการสูญเสียปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ในใบไชยาเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ active MAP จึงอาจเป็นผลจากไธราเหยาเอทานอลที่สะสมในบรรจุภัณฑ์ ทำให้การชราภาพและการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาของใบไชยาเกิดขึ้นได้ช้าลง เมื่อพิจารณาภาพประกอบ 1 (ทั้ง A และ B) พบว่าความเข้มข้นของไธราเหยาเอทานอลในบรรจุภัณฑ์ passive MAP และเอทานอลในเนื้อเยื่อของใบไชยาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C (T30) มีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นภายหลังจากเก็บรักษาในระยะเวลาหนึ่งแม้ว่าไม่มีของแอกทิฟ ผลการวิจัยดังกล่าวสนับสนุนองค์ความรู้ด้านอุณหภูมิเก็บรักษาที่สูงซึ่งกระตุ้นการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ให้ผลลัพธ์ คือ เอทานอลหรือสารให้กลิ่นรสอื่น ๆ เช่น อะซิตัลดีไฮด์ (พัชร มะลิลา และคณะ, 2562) แม้ว่าไธราเหยาเอทานอลมีฤทธิ์ชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ การศึกษานี้ไม่ได้ทำการทดสอบสมบัติการชะลอเชื้อจุลินทรีย์ของการบรรจุภัณฑ์ active MAP เนื่องจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและเชื้อยีสต์และราของใบไชยาสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C มีค่าต่ำกว่า 6 log CFU/g และ 4 log CFU/g ตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภคอาหารสดทั่วไป ตามมาตรฐานของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กระทรวงสาธารณสุข ในขณะที่การเก็บรักษาที่ 30 °C พบว่ามีใบไชยาบางใบที่สังเกตเห็นการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์บนใบและ/หรือก้าน การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวสนับสนุนการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นเอทานอล ทั้งในบรรจุภัณฑ์และเนื้อเยื่อของใบไชยาเก็บในบรรจุภัณฑ์ passive MAP ที่อุณหภูมิ 30°C

การลดลงของความเข้มข้นไธราเหยาเอทานอลในบรรยากาศของบรรจุภัณฑ์ active MAP (ภาพประกอบ 1A) เป็นผลจากการลดลงของเอทานอลเหลวบนวัสดุตัวพา (กระดาษกรอง) ในช่องควบคุมฯ ภายหลังจากการปลดปล่อยไธราเหยาเอทานอลจากของแอกทิฟเข้าสู่บรรจุภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง และการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไธราเหยาเอทานอลกับใบไชยา ทั้งนี้การลดลงของความเข้มข้นเอทานอลในเนื้อเยื่อใบไชยาในบรรจุภัณฑ์ active MAP มีลักษณะคล้ายกันกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเอทานอลในเนื้อเยื่อผลหม่อนสดซึ่งรายงานโดย Choosung et al. (2019) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลจากกระบวนการทางเอนไซม์ โดยเอนไซม์ alcohol acyl transferase (AAT) ซึ่งเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็นสารประกอบเอสเทอร์ซึ่งมีกลิ่นที่หอมขึ้น แม้ว่าในงานวิจัยนี้ไม่ได้วิเคราะห์สารประกอบเอสเทอร์ในเนื้อเยื่อของใบไชยา ผู้วิจัยได้กลิ่นอ่อน ๆ ที่หอมเหมือนผลไม้เมื่อเปิดบรรจุภัณฑ์แอกทิฟ และไม่มีการเกิดกลิ่นของเอทานอลที่รุนแรง ผลของไธราเหยาเอทานอลต่อการเพิ่มคุณภาพด้านกลิ่นได้รายงาน

ในพืชอื่น ๆ เช่น หอมแดงสด มะละกอ และพริกหวาน (Utto et al., 2018; พัชรี มะลิลา และคณะ, 2562; นฤมล พิลาคูณ, 2563)

ในการศึกษานี้ ผลของไอรยะเหยเอทานอลต่อการเปลี่ยนแปลงวิตามินซีของใบไชยา ไม่ชัดเจน อาจเป็นผลจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น ส่งผลให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของวิตามินซี เช่น เอนไซม์แอสคอร์เบตออกไซด์ (ascorbate oxidase) ที่ทำหน้าที่ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอสคอเบต (ascorbate) มีอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาที่ช้าลงเนื่องจากอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์สัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิแบบเอกซ์โปเนนเชียล (exponential relationship) หรือเรียกว่าความสัมพันธ์แบบอาร์เรเนียส (Arrhenius relationship) จากข้อมูลดังกล่าวจึงสนับสนุนการลดลงอย่างมากของปริมาณวิตามินซีในใบไชยาซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของค่าสีเหลืองของใบไชยาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C สัมพันธ์กับการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ การเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์เกิดจากปฏิกิริยาเอนไซม์ เช่น คลอโรฟิลล์เลส (chlorophyllase) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญที่ทำให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (Yang et al., 2009) อัตราการเกิดปฏิกิริยามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิแบบอาร์เรเนียสดังเช่นเอนไซม์แอสคอเบต ดังนั้นผลการศึกษาที่อุณหภูมิ 30 °C แสดงให้เห็นถึงผลด้านลบของการเก็บรักษาใบไชยาที่อุณหภูมิสูง ดังกรณีของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องทั่วไปของประเทศไทย ซึ่งนำไปสู่การเสื่อมเสียของใบโดยเฉพาะคุณภาพด้านสี

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าใบไชยาสดที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ active MAP ที่อุณหภูมิ 10 °C มีศักยภาพในชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา โดยเฉพาะการสูญเสียคลอโรฟิลล์ ซึ่งมีแนวโน้มเกิดขึ้นได้ช้ากว่าการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ passive MAP การวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงผลของการเก็บรักษาใบไชยาที่อุณหภูมิ 30 °C ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้อุณหภูมิที่สูงดังกล่าวเป็นการจำลองการเก็บรักษาใบไชยาที่อุณหภูมิห้อง ข้อมูลจากการวิจัยนี้ จึงสนับสนุนองค์ความรู้ด้านการลดอุณหภูมิภายหลังจากเก็บเกี่ยวของผลิตภัณฑ์พืชสวน และการประยุกต์ใช้การบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ เพื่อช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงภายหลังจากเก็บเกี่ยว

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอรยะเหยเอทานอลและองค์ประกอบทางเคมีเพื่อทราบถึงกลไกเชิงลึก เช่น รงควัตถุ หรือเอนไซม์ เนื่องจากการศึกษานี้ได้แสดง

ให้ทราบถึงศักยภาพของการบรรจุภัณฑ์ active MAP การทราบข้อมูลด้านกลไกที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่าง ๆ จะช่วยให้ผู้วิจัยและผู้นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์สามารถวางแผนทางของการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวของไปชยาหรือผลิตผลพืชสวนอื่น ๆ ด้วยการบรรจุภัณฑ์ active MAP ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- เจนจิรา พกาวัลย์, ปฐมพงศ์ เพ็ญไชยา, พนิดา บุญฤทธิ์ชัย, วีรเวทย์ อุทโธ, สมโภชน์ น้อยจินดา และ เฉลิมชัย วงษ์อารี. (2562). การใช้โอระเหยเอทานอลในการควบคุมโรคข้าวผลเน่า และโรคแอนแทรคโนสในมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์สี่ในระยะผลสุก. *ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว*, 18(1), 1-4.
- ชลัญญา สุตา และ จอมสุตา ดวงวงษา. (2563). การใช้ใบห่อที่ห่อทดแทนผงขุรสีในการผลิตน้ำปลาร้าปรุงรสสำเร็จรูปให้ได้ลักษณะทางกายภาพและรสชาติเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*. 14(3), 67-76.
- นฤมล พิลาคุน. (2563). การพัฒนาบรรจุภัณฑ์บรรยากาศดีแปรแอคทีฟประเภทของควบคุม การปล่อยโอระเหยเอทานอลสำหรับพริกหวานสด. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต).
- อุบลราชธานี: สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- พัชรี มะลิลา, วีรเวทย์ อุทโธ และ ฤทธิรงค์ พงษ์พิบูล. (2558). การพัฒนาของควบคุมการปล่อยโอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟสำหรับหอมแดงสดปอกเปลือก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 46 (พิเศษ), 223-226.
- พัชรี มะลิลา, วีรเวทย์ อุทโธ, ฤทธิรงค์ พงษ์พิบูล, เรวัตติ ชัยราช และกฤตยา อุทโธ. (2562). ผลของชนิดฟิล์มพลาสติกต่อจลนศาสตร์การปล่อยโอระเหยเอทานอล และการประยุกต์ใช้ในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 21(2), 146-156.
- มานิสา คำวิไล. (2562). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซูปริมผักไชยาสำเร็จรูปแช่แข็ง. (วิทยานิพนธ์คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- วรรณวิภา ถาวร, วีรเวทย์ อุทโธ และ ฤทธิรงค์ พงษ์พิบูล. (2561). ผลของการบรรจุภัณฑ์แอคทีฟโดยใช้ซองควบคุมการปล่อยโอระเหยเอทานอลที่ทำจากพอลิเมอร์สลายได้ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพมะละกอสุกผาครึ่งลูก. 2561. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 49(4), 215-218.
- วีรเวทย์ อุทโธ. (2562). การบรรจุภัณฑ์บรรยากาศดีแปรแอคทีฟสำหรับผักและผลไม้สด. พิมพ์ครั้งที่ 2. อุบลราชธานี: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

- วีรเวทย์ อุทโย, เอกสิทธิ์ อ่อนสอาด และ เรวัตี ชัยราช. (2555). การพัฒนาต้นแบบของควบคุมการปล่อยไอรระเหยเอทานอลสำหรับมะละกอสุกตัดสด. *วารสารเกษตรพรจอมเกล้า*, 30(2), 39-49.
- สังวาลย์ ชมพู่จำ. (2563). การพัฒนาผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเชิงสุขภาพด้วยการเสริมน้ำผักโขม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ*, 6(2), 21 -31.
- หทัยพร กัมพวงค์. (2563). การพัฒนาของควบคุมการปล่อยไอรระเหยเอทานอลด้วยการกระตุ้นโดยความชื้นเพื่อการบรรจุภัณฑ์แอคทีฟสำหรับพริกหวานสด. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). อุบลราชธานี: สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- อังคณา จันทรพลพันธ์ ศิริยากร กุลเชื้อ และ สุนิสา หาเพียง. (2562). ผลของวิธีการแปรรูปที่แตกต่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของกุยช่าย. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 50(2), 269-272.
- Amaya, N., padulosi, S. and meldrum, G. (2019). Value Chain Analysis of Chaya (Mayan Spinach) in Guatemala. *Economic Botany*, 74(1), 100-114.
- Babalola, J.O. and Alabi, O.O. (2015). Effect of processing methods on nutritional composition, phytochemicals, and anti-nutrient properties of chaya leaf (*Cnidoscolus aconitifolius*). *African Journal of Food Science*, 9(12), 560-565.
- Choosunga, P., Utto, W., Boonyaritthongchaia, P., Wasusrid, T., and Wongs-Areea, C. (2019). Ethanol vapor releasing sachet reduces decay and improves aroma attributes in mulberry fruit. *Food Packaging and Shelf Life*, 22, 1-8.
- Eissler, S., Diatta, A.D., Heckert, J. and Nordehn, C. (2021). A qualitative assessment of a gender-sensitive agricultural training program in Benin: Findings on program experience and women's empowerment across key agricultural value chains. *International Food Policy Research Institute*. 39 pages.
- Firouz, M.S., Alimardani, R., Mobli, H. and Mohtasebi. S.S. (2021). Effect of modified atmosphere packaging on the mechanical properties of lettuce during shelf life in cold storage. *Information processing in agriculture*, 8.
- Kongphapa, J., Chupanit, P., S Anutrakulchai, S., Cha'on, U. and Pasuwan, P. (2021). Nutritional and phytochemical properties of Chaya leaves (*Cnidoscolus chayamansa* Mc Vaugh) planted in Northeastern Thailand. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 27(1), 1-10.

- Kuti, J.O. and Torres, E.S. (1996). Potential nutritional and health benefits of tree spinach. *Journal Janick (Eds). Progress in new crops*. ASHS Press Arlington, VA. 516-520.
- Laohasilpsomjit, S., John E.B. and Utto, W. (2017). Antimicrobial Activity of Mulberry Leaf Extract on Postharvest Soft Rot Caused by *Erwinia carotovora*. *วารสารการเกษตรราชภัฏ*, 16(1), 1-8.
- Namdammassiri, B., Puangtong, K. and Senphan, T. (2021). Development of low sodium seasoning powder product from chaya leaves. *International Virtual Undergraduate Symposium 2021 (NIVUS 2021)*.
- Panghal, A., Onakkaramadom S.A., Kiran N.K., Garg, M.K. and Chhikara, N. (2021). *Cnidoscopus aconitifolius*: Nutritional, phytochemical composition and health benefits – A review. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, 4(11), 260-286.
- Ramírez Rodrigues, M.M., Metri Ojeda, J.C., Díaz, M.G., and Baigts Allende, D.K. (2021). Use of Chaya (*Cnidoscopus chayamansa*) Leaves for Nutritional Compounds Production for Human Consumption. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 65(1), 118-128.
- Suzuki, Y., Uji, T. and Terai, H. (2004). Inhibition of senescence in broccoli florets with ethanol vapor from alcohol powder. *Postharvest Biology and Technology*, 31(2), 177-182.
- Torales, A.C., Gutierrez, D.R., and Rodriguez, S.C. (2020). Influence of passive and active modified atmosphere packaging on yellowing and chlorophyll degrading enzymes activity in fresh-cut rocket leaves. *Food Packaging and Shelf Life*, 26, 1-8.
- Utto, W. (2014). Factors affecting release of ethanol vapour in active modified atmosphere packaging systems for horticultural products. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 8(1), 75-85.
- Utto, W., Preutikul, R., Malila, P., Noomhorm, A., and Bronlund, J.E. (2018). Delaying microbial proliferation in freshly peeled shallots by active packaging incorporating ethanol vapour-controlled release sachets and low storage temperature. *Food Science and Technology International*, 24(2), 132-144.

- Utto, W., Pruthikul, R., Malila, P., Noomhorm, A., and Bronlund, J.E. (2016). Concentration and temperature dependences of effective ethanol vapor permeability of plastic films utilized in controlled release-based active packaging for horticultural products. *Key Engineering Materials*, 718(1), 45-48.
- Yang, X., Zhang, Z., Joyce, D., Huang, X., Xuc, L., and Pang, X. (2009). Characterization of chlorophyll degradation in banana and plantain during ripening at high temperature. *Food Chemistry*, 114(2), 383–390.