

การควบคุมปฏิบัติการเกิดสีน้ำตาลในมังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภค

นางสาวสุภาภรณ์ คล้ายเครือญาติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONTROL OF BROWNING REACTION IN FRESH-CUT MANGOSTEEN

Miss Supaporn Klaykruayat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในมังคุดตัดแต่งพร้อม บริโภค
โดย	นางสาวสุภาภรณ์ คล้ายเครือญาติ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศราภรณ์ มหาโยธี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณ สุภิมากร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศราภรณ์ มหาโยธี)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกวรรณ เสรีภาพ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิษุจิตา จันทราพรชัย)

สุภาภรณ์ คล้ายเครือญาติ : การควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในมังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภครวม.

(CONTROL OF BROWNING REACTION IN FRESH-CUT MANGOSTEEN) อ. ที่ปรึกษา

วิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ.ดร. บุศราภรณ์
มหาโยธี, 103 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อชะลอการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งที่เก็บที่ $8 \pm 2^{\circ}\text{C}$, 85%RH โดยใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล 3 ชุด คือ สารละลายกรดซิตริก 1% w/v (CA) สารละลายผลระหว่างกรดซิตริก 1% w/v กับกรดแอสคอร์บิก 0.5% w/v (CA+AA) และสารละลายผลระหว่างกรดซิตริก 1% w/v กับโซเดียมเอริทอร์เบท 0.5% w/v (CA+SE) เปรียบเทียบกับชุดที่ไม่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล (ชุดควบคุม) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการใช้ CA สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีบริเวณรอยตัดได้ดีที่สุด โดยมังคุดที่ใช้ CA มีค่า L^* สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) และมีค่า a^* ต่ำกว่ามังคุดชุดควบคุม ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังให้ค่า chroma สูงกว่ามังคุดชุดควบคุม ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าการใช้ CA ส่งผลให้คะแนนความเข้มสีบริเวณรอยตัดใกล้เคียงกับคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังมากที่สุด ขึ้นต่อมานำกรดซิตริกมาใช้ร่วมกับการเคลือบด้วยสารละลายโซเดียมแอลจีเนตเข้มข้น 2% w/v และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพื่อพัฒนาคุณภาพของมังคุดตัดแต่ง โดยแบ่งออกเป็น 5 ชุด คือ ชุดที่ใช้กรดซิตริกแล้วไม่เคลือบ (CA-n-Alg) ชุดที่ไม่ใช้กรดซิตริกแล้วเคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0 และ 1.5% w/v (n-CA-Alg-Ca1.0, n-CA-Alg-Ca1.5) และชุดที่ใช้กรดซิตริกแล้วเคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1.0 และ 1.5% w/v (CA-Alg-Ca1.0 และ CA-Alg-Ca1.5) ผลการทดลองพบว่ามังคุดชุด CA-Alg-Ca1.0 มีค่า L^* สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) และมีค่า a^* ต่ำกว่ามังคุดชุดที่ไม่เคลือบ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังให้ค่า chroma สูงกว่ามังคุดชุดอื่น ๆ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าชุด CA-Alg-Ca1.0 มีประสิทธิภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีบริเวณรอยตัดได้ดีที่สุด ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่ามังคุดชุด CA-Alg-Ca1.0 มีคะแนนความเข้มสีบริเวณรอยตัดใกล้เคียงกับคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังมากที่สุดและได้รับการยอมรับสูงที่สุดคือร้อยละ 60 มังคุดที่เคลือบทั้ง 4 ชุดมีคะแนนความเข้มสีเนื้อและการสูญเสียน้ำตาลต่ำกว่ามังคุดที่ไม่เคลือบ ($p \leq 0.05$) จากผลการทดลองข้างต้นพบว่ามังคุดตัดแต่งมีอายุการเก็บไม่เกิน 9 วัน โดยที่จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราไม่เกินมาตรฐานผลไม้ตัดแต่งที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนด เมื่อพิจารณาสมบัติของ crude polyphenol oxidase (PPO) ที่สกัดจากเปลือกมังคุด พบว่ามีค่า pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานอยู่ที่ pH 6.0 และ 40°C ซึ่งสนับสนุนผลของการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่สามารถลด pH บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดให้ต่ำลงจนอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของ crude PPO และการเก็บมังคุดตัดแต่งที่ $8 \pm 2^{\circ}\text{C}$, 85%RH สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ ผลการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการบ่มสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลกับ crude PPO จะสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้มากขึ้น

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2553.....ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5172520323 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS : BROWNING / COATING / FRESH-CUT / MANGOSTEEN / POLYPHENOL OXIDASE

SUPAPORN KLAYKRUAYAT : CONTROL OF BROWNING REACTION IN FRESH-CUT MANGOSTEEN. ADVISOR : ASST. PROF. KIATTISAK DUANGMAL, Ph.D., CO-ADVISOR : ASST. PROF. BUSARAKORN MAHAYOTHEE, Ph.D., 103 pp.

The objective of this work was to delay the browning in fresh-cut mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) stored at $8\pm 2^{\circ}\text{C}$, 85%RH. Three sets of antibrowning agents were tested. They were 1% (w/v) citric acid (CA), 1% (w/v) citric acid plus 0.5% (w/v) ascorbic acid (CA+AA) and 1% (w/v) citric acid plus 0.5% (w/v) sodium erythorbate (CA+SE). Fresh-cut mangosteen without antibrowning agents was set as a control. The results showed that the use of antibrowning agents retarded the color change at the cut of mangosteen rind. The L^* values of mangosteen rind treated with CA was the highest ($p\leq 0.05$). The a^* values of this treatment was lower than the control ($p\leq 0.05$) while chroma was higher than the control. Sensory analysis showed that the score of browning index on the cut surface treated with CA was close to the ideal score. The above results pointed that CA was the most effective antibrowning agent to delay browning in fresh-cut mangosteen. Citric acid was then selected to incorporate into edible coating. Five conditions were tested. They were 1% (w/v) citric acid without coating (CA-n-Alg), without citric acid but coating with 2% (w/v) sodium alginate followed by either 1.0 or 1.5% (w/v) calcium chloride (n-CA-Alg-Ca1.0, n-CA-Alg-Ca1.5), and 1% (w/v) citric acid and coated with 2% (w/v) sodium alginate followed by either 1.0 or 1.5% (w/v) calcium chloride (CA-Alg-Ca1.0, CA-Alg-Ca1.5). The results showed that the L^* values at the cut surface of mangosteen rind in treatment CA-Alg-Ca1.0 was the highest ($p\leq 0.05$). The a^* values of this treatment was lower than other treatments. Among five treatments, the score of browning index on the cut surface of mangosteen rind in treatment CA-Alg-Ca1.0 was close to the ideal score. The acceptance and the preference score of CA-Alg-Ca1.0 was the highest throughout 9-day of storage ($p\leq 0.05$). The coating also lowered browning score on the aril of mangosteen ($p\leq 0.05$). Water loss in samples coated with alginate was lower than the uncoated ($p\leq 0.05$). During 9-day of storage, the fresh-cut mangosteen with coating appeared to be similar to the fresh one. The microbiological shelf-life of fresh-cut mangosteen at $8\pm 2^{\circ}\text{C}$, 85%RH was 9 days. The properties of crude polyphenol oxidase (PPO) from an extract mangosteen rind were also studied. The optimum pH and temperature of crude PPO was 6.0 and 40°C . This finding supported the use of antibrowning agents to delay browning reaction via reducing pH on the cut surface of mangosteen rind. The increasing incubation time of crude PPO with antibrowning agents increased the effectiveness of inhibition.

Department : Food Technology.....Student's Signature.....
 Field of Study : Food Technology.....Advisor's Signature.....
 Academic Year : 2010.....Co-advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำแนวความคิดในการทำงาน และความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา สุภิมารส ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุศราภรณ์ มหาโยธี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชฐิตา จันทราพรชัย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ รวมถึงได้เสนอแนวทางแก้ไขและปรับปรุง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความรู้แก่ผู้วิจัย ซึ่งเป็นรากฐานในการศึกษาค้นคว้างานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการวิจัย ขอขอบคุณรุ่นพี่นิสิตปริญญาเอก พี่ ๆ และเพื่อน ๆ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือและกำลังใจที่มีให้ตลอดมา

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้โดยการอนุเคราะห์จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต ครั้งที่ 3 ปีงบประมาณ 2553 เพื่อนำมาใช้ในงานวิจัย และความร่วมมือของผู้บริหารและพนักงานบริษัท ชัชวาล ออริคิด จำกัด ที่อนุเคราะห์สถานที่เพื่อใช้ในการเตรียมตัวอย่างและร่วมประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณคุณย่า คุณพ่อ คุณแม่ พี่สาว และญาติทุกท่าน ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาและคอยให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ตลอดจนให้กำลังใจอันมีค่ายิ่งจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทัศน์.....	2
2.1 มังคุด.....	2
2.2 ผลไม้ตัดแต่ง.....	3
2.3 เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase, PPO).....	3
2.4 การยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลอันเนื่องจากเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส.....	9
2.5 การใช้สารเคลือบบริโภคได้และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ในผลไม้ตัดแต่ง.....	15
3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย.....	17
3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี กายภาพและจุลชีววิทยาของมังคุดสด.....	19
3.2 การเตรียมมังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคและการบรรจุ.....	20
3.3 ศึกษาผลของการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุด...	21
3.4 ศึกษาผลของการใช้โซเดียมแอลจีเนตและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สำหรับเคลือบมังคุดตัดแต่งเพื่อพัฒนาคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา.....	22
3.5 ศึกษาสมบัติของ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด.....	24
4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	27
4.1 องค์ประกอบทางเคมี กายภาพและจุลชีววิทยาของมังคุดสด.....	27
4.2 ผลของการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุด.....	28
4.3 ผลการใช้โซเดียมแอลจีเนตและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สำหรับเคลือบมังคุดตัดแต่งเพื่อพัฒนาคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา.....	41
4.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติของ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด.....	54

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	63
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	63
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	64
รายการอ้างอิง.....	65
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก.....	74
ภาคผนวก ข.....	80
ภาคผนวก ค.....	82
ภาคผนวก ง.....	95
ภาคผนวก จ.....	98
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	103

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การแบ่งกลุ่มเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส.....	3
2.2	สารตั้งต้นที่มีความจำเพาะกับเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในผักผลไม้ต่างๆ.....	6
2.3	ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในผักผลไม้....	7
2.4	ผลของอุณหภูมิต่อการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส.....	8
2.5	สารยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบ่งตามกลไกการป้องกันการเกิดปฏิกิริยา....	10
4.1	องค์ประกอบทางเคมี กายภาพและจุลชีววิทยาของมังคุดสด.....	27
4.2	การเปลี่ยนแปลงค่า L* บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	30
4.3	การเปลี่ยนแปลงค่า a* บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	30
4.4	การเปลี่ยนแปลงค่า b* บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	31
4.5	คะแนนความเข้มกลิ่นแปลกปลอมของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	37
4.6	คะแนนความเข้มรสชาติแปลกปลอมของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	38
4.7	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราในเนื้อมังคุดตัดแต่งระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	40
4.8	การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	43
4.9	การเปลี่ยนแปลงค่า a* ของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	43
4.10	การเปลี่ยนแปลงค่า b* ของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	44
4.11	คะแนนความเข้มกลิ่นแปลกปลอมของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	51

ตารางที่	หน้า	
4.12	คะแนนความเข้มรสชาติแปลกปลอมของมังกุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไซเดียมแอลจิเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	51
4.13	คะแนนความชอบของผู้ทดสอบต่อมังกุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไซเดียมแอลจิเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	53
4.14	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในเนื้อมังกุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไซเดียมแอลจิเนตระหว่างการเก็บรักษาที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	54
4.15	จำนวนยีสต์และราในเนื้อมังกุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไซเดียมแอลจิเนตระหว่างการเก็บรักษาที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	54
4.16	ค่า K_m และ V_{max} ของ crude PPO จากเปลือกมังกุด เมื่อใช้สารตั้งต้นต่างชนิด....	60
ค.1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงค่า L^* บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังกุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.2).....	82
ค.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงค่า a^* บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังกุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.3).....	83
ค.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงค่า b^* บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังกุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส (สำหรับตารางที่ 4.4).	84
ค.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสูญเสีย น้ำของมังกุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	85
ค.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความเข้มกลิ่นแปลกปลอมของมังกุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.5).....	86
ค.6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความเข้มรสชาติแปลกปลอมของมังกุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.6).....	87
ค.7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงค่า L^* ของมังกุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไซเดียมแอลจิเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.8).....	88

ตารางที่	หน้า
ค.8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไซโตเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.9)..... 89
ค.9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไซโตเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.10)..... 90
ค.10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสูญเสีย น้ำของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไซโตเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ 91
ค.11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความเข้มกลิ่นแปลกปลอมของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไซโตเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.11)..... 92
ค.12	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความเข้มข้นรสชาติแปลกปลอมของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไซโตเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.12)..... 93
ค.13	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบของผู้ทดสอบต่อมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไซโตเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.13)..... 94
ง.1	การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์..... 95
ง.2	การเปลี่ยนแปลงค่า chroma บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ 95
ง.3	การสูญเสีย น้ำหนักของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์..... 96
ง.4	การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไซโตเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ 96
ง.5	การเปลี่ยนแปลงค่า chroma ของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไซโตเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ 97

ตารางที่

หน้า

ง.6	การสูญเสียน้ำหนักของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตในระหว่าง การเก็บที่ 8+2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	97
-----	--	----

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กลไกการเร่งปฏิกิริยาโดยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส.....	4
2.2	กลไกการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลด้วยกรดแอสคอร์บิก.....	11
3.1	ระยะการสุกของมังคุด.....	17
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า chroma และค่าเฉดสีของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	32
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า chroma และค่าความสว่างของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	32
4.3	การสูญเสียสีของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	34
4.4	อัตราส่วนคะแนนความเข้มสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบ คาดหวังในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	35
4.5	อัตราส่วนของคะแนนความเข้มสีเนื้อของมังคุดตัดแต่งต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบ คาดหวังในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	36
4.6	อัตราส่วนของคะแนนความเข้มกลิ่นของมังคุดตัดแต่งต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบ คาดหวังในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	36
4.7	อัตราส่วนของคะแนนความเข้มรสชาติของมังคุดตัดแต่งต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบ คาดหวังในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	37
4.8	การยอมรับของผู้ทดสอบต่อมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	39
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า chroma และค่าเฉดสีของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไฮเดียมแอลจิเนตในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	45

ภาพที่	หน้า	
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า chroma และค่าความสว่างของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8+2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์	46
4.11	การสูญเสีย น้ำของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8+2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	47
4.12	อัตราส่วนของคะแนนความเข้มสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังในระหว่างการเก็บที่ 8+2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	48
4.13	อัตราส่วนของคะแนนความเข้มสีเนื้อของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังในระหว่างการเก็บที่ 8+2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	49
4.14	อัตราส่วนของคะแนนความเข้มกลิ่นของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังในระหว่างการเก็บที่ 8+2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	50
4.15	อัตราส่วนของคะแนนความเข้มรสชาติของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังในระหว่างการเก็บที่ 8+2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์.....	50
4.16	การยอมรับของผู้ทดสอบต่อมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8+2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์	52
4.17	pH activity profile ของ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด ที่ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้แคทีคอลความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3.0-9.0 เป็นสารตั้งต้น.....	56
4.18	pH stability profile ของ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด ที่ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้แคทีคอลความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 6.0 เป็นสารตั้งต้น.....	57
4.19	Temperature activity profile ของ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด ที่ 0-90 องศาเซลเซียส โดยใช้แคทีคอลความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 6.0 เป็นสารตั้งต้น.....	58

ภาพที่		หน้า
4.20	Temperature stability profile ของ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด ที่ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้แคทีคอลความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 6.0 เป็นสารตั้งต้น.....	59
4.21	ผลของการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลต่อ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด ที่ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้แคทีคอลความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 6.0 เป็นสารตั้งต้น.....	62
ก.1	กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี modified Lowry.....	79
จ.1	ผลิตภัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำตาลที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในช่วงเริ่มต้นการเก็บรักษา (0 วัน).....	98
จ.2	ผลิตภัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำตาลที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน.....	99
จ.3	ผลิตภัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำตาลที่เคลือบด้วยไฮเดียมแอลจินตตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ในช่วงเริ่มต้นการเก็บรักษา (0 วัน).....	100
จ.4	ผลิตภัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำตาลที่เคลือบด้วยไฮเดียมแอลจินตตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์หลังเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน.....	101
จ.5	ภาชนะบรรจุมังคุดตัดแต่ง.....	102

บทที่ 1

บทนำ

มังคุดเป็นผลไม้เขตร้อนมีแหล่งปลูกที่สำคัญในภาคตะวันออกและภาคใต้ของประเทศไทย เป็นที่นิยมของผู้บริโภคทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ จากข้อมูลการส่งออกผลไม้ไทยในปี 2551 พบว่ามีการส่งออกมังคุดประมาณ 43,487 ตัน คิดเป็นมูลค่า 22.09 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ จีน ฮองกง และสหรัฐอเมริกา (สำนักบริการส่งออก 1 กรมส่งเสริมการส่งออก, 2551) ในฤดูกาลเก็บเกี่ยวมักพบปัญหาด้านผลผลิตล้นตลาด แม้ว่าความต้องการของตลาดต่างประเทศมีสูงแต่ไม่สามารถส่งออกได้ตามความต้องการเนื่องจากปัญหาด้านคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว การเน่าเสียและอายุการวางจำหน่ายสั้น การส่งออกมักส่งออกในรูปของมังคุดสด ซึ่งมีปัญหาเรื่องการควบคุมคุณภาพของเนื้อมังคุด เช่น การเกิดเนื้อแก้ว ยางไหล จึงมีการส่งออกในรูปแช่แข็งแต่ก็ยังมีปัญหาในด้านกระบวนการผลิตที่มีต้นทุนสูง การขนส่งและการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ การส่งออกในรูปของมังคุดตัดแต่งจึงเป็นทางเลือกที่สามารถเพิ่มมูลค่าของสินค้า ทั้งยังทำให้ผู้บริโภคได้ง่าย แต่ปัญหาของมังคุดตัดแต่งคือ การเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดที่เปลือก ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับและผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาสั้นเนื่องจากเกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์

ปฏิกิริยาสีน้ำตาลเกิดขึ้นได้เมื่อผักผลไม้ชำหรือถูกหั่น โดยจะเกิดสีน้ำตาลขึ้นบริเวณรอยหั่น การเกิดสีน้ำตาลเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ในผักผลไม้ที่สำคัญ คือ เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase, PPO) ซึ่งสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกที่มีโครงสร้างจำเพาะในภาวะที่มีออกซิเจน เกิดสารมัธยันต์ที่เรียกว่า o-quinone ซึ่งไม่เสถียรและมีความไวต่อปฏิกิริยาสูง สามารถทำปฏิกิริยาต่อกับสารในกลุ่มฟีนอลิกหรือสาร o-quinone หรือกรดอะมิโน หรือโปรตีน หรือสารแอนโทไซยานินในผักผลไม้ ได้สารสีน้ำตาลที่เรียกว่า เมลานิน การยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลประเภทนี้สามารถทำได้โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ การกำจัดหรือเปลี่ยนรูปของสารตั้งต้นของปฏิกิริยา หรืออาจใช้วิธีการซึ่งส่งผลต่อทั้งสารตั้งต้นของปฏิกิริยาและกิจกรรมของเอนไซม์ (เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย, 2551)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะชะลอการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งโดยใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล และพัฒนาคุณภาพของมังคุดตัดแต่งโดยการใช้สารเคลือบบริโภคได้ร่วมกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สำหรับเคลือบมังคุดตัดแต่ง รวมทั้งศึกษาเกี่ยวกับธรรมชาติของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสที่สกัดจากเปลือกมังคุดเพื่อใช้อธิบายการป้องกันการเกิดสีน้ำตาล

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 มังคุด

มังคุด มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Garcinia mangstana* L. เป็นไม้ยืนต้นไม่ผลัดใบในเขตร้อน ลำต้นสูง 7-25 เมตร ใบเดี่ยวรูปรี แข็งและเหนียว ผิวใบมัน ดอกออกเป็นคู่ที่ซอกใบใกล้ปลายกิ่ง กลีบเลี้ยงสีเขียวอมเหลืองติดอยู่จนเป็นผล ผลมีสีเขียวเมื่อแก่เต็มที่มีสีม่วงดำ ยางสีเหลือง มีเปลือกนอกค่อนข้างแข็ง เส้นผ่านศูนย์กลาง 4-6 เซนติเมตร เนื้อในมีสีขาวฉ่ำน้ำ อาจมีเมล็ดอยู่ในเนื้อผลได้ ขึ้นอยู่กับขนาดและอายุของผล จำนวนกลีบของเนื้อเท่ากับจำนวนกลีบดอกที่อยู่ด้านล่างของเปลือก เนื้อมังคุดมีรสชาติหวานอมเปรี้ยว เมล็ดไม่สามารถรับประทานได้ กากใยจากเนื้อของมังคุดช่วยในการขับถ่ายและยังมีสารอาหารวิตามินและเกลือแร่ต่างๆ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก เป็นต้น (วันดี กฤษณพันธ์, 2541)

โดยทั่วไปมังคุดเริ่มออกดอกเมื่อปลูกได้ประมาณ 7-8 ปี และให้ผลผลิตเต็มที่เมื่อมีอายุประมาณ 12 ปีขึ้นไป การออกดอกของมังคุดจะไม่ออกพร้อมกัน เป็นผลให้การเก็บเกี่ยวมังคุดต้องทยอยเก็บเกี่ยว หลังจากมังคุดเริ่มติดผลประมาณ 11-12 สัปดาห์สามารถเริ่มเก็บเกี่ยวได้ การพิจารณาระยะการเก็บเกี่ยวมังคุดขึ้นอยู่กับระยะทางในการขนส่ง โดยคาดการณ์ให้ผลมังคุดสุก หรือมีสีแดงม่วงพอดีเมื่อถึงผู้บริโภคหรือถึงโรงงาน ระยะการเก็บเกี่ยวมังคุดพิจารณาจากสีของเปลือก โดยการเก็บเกี่ยวเมื่อเปลือกมังคุดเริ่มมีสายเลือดหรือเกิดจุดแต้มหรือรอยประสีชมพูเข้ม แต่ระยะนี้ยังไม่เหมาะต่อการบริโภคเพราะเนื้อแยกตัวจากเปลือกได้ยาก และยังมียางสีเหลืองอยู่ภายในเปลือก จากระยะนี้จะใช้เวลาประมาณ 4 วัน เปลือกจะเปลี่ยนเป็นสีแดงม่วง ซึ่งเป็นระยะที่ใช้บริโภคได้ และหลังจากนั้นอีก 1 วัน ผลมังคุดก็จะเปลี่ยนเป็นสีม่วงเข้ม หรือม่วงดำ ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมต่อการบริโภคที่สุด (สุรพงษ์ โกสิยะจินดา, 2522) Palapol และคณะ (2009) แบ่งระยะการสุกของมังคุดจากสีเปลือกออกเป็น 6 ระดับ ซึ่งระยะที่มังคุดเริ่มบริโภคได้ หรือเปลือกเป็นสีแดงม่วง คือระยะการสุกที่ 4-5

มังคุดจัดเป็นผลไม้กลุ่ม climacteric fruit คือ กลุ่มของผลไม้ที่มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นขณะผลไม้เริ่มสุก การหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่สำคัญมากที่สุดกระบวนการหนึ่งในสิ่งมีชีวิต เพราะเป็นกระบวนการที่พลังงานซึ่งอยู่ในรูปอาหารสะสมถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของพลังงานที่สามารถนำไปใช้ได้ทันที ดังนั้นอายุการเก็บรักษาของผลผลิตรวมทั้งคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวจึงขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจเป็นสำคัญ ปัจจัยที่มีผลต่อการหายใจของผลผลิต เช่น อุณหภูมิ องค์ประกอบของบรรยากาศ และความเครียดทางกายภาพ เป็นต้น (จริงแท้ ศิริพานิช,

2549) ดังนั้นการปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวจึงมีความสำคัญต่อคุณภาพและอายุการเก็บของมังคุด

2.2 ผลไม้ตัดแต่ง

ผลไม้ตัดแต่ง (fresh-cut fruits) คือผลไม้ที่ได้รับการปฏิบัติการใด ๆ ก็ตามหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การทำความสะอาด การปอกเปลือก การตัดแต่ง การบรรจุ เป็นต้น โดยที่ผลไม้ยังคงความสดใหม่อยู่ (Alzamora et al., 2000) ผลไม้สดเป็นอาหารที่มีคุณภาพและคุณค่าทางอาหาร อีกทั้งมีรสชาติเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค ผลไม้ตัดแต่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพด้านสี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการที่ใกล้เคียงผลไม้สดมากที่สุดแต่สามารถบริโภคได้สะดวก มีบทบาทสำคัญสำหรับผู้บริโภคในปัจจุบัน เนื่องจากใช้เวลาในขั้นตอนการเตรียมสำหรับรับประทานน้อย แต่ปัญหาด้านคุณภาพที่สำคัญของผลไม้ตัดแต่ง คือมีอายุการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากเนื้อเยื่อถูกทำลายและอ่อนตัวลง มีการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดแต่งอันเนื่องมาจากเอนไซม์ เกิดการปนเปื้อนทางจุลินทรีย์ และมีการผลิตสารระเหยที่ไม่เป็นที่ต้องการ (Soliva-Fortuny and Martin-Belloso, 2003)

2.3 เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase, PPO)

2.3.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยา

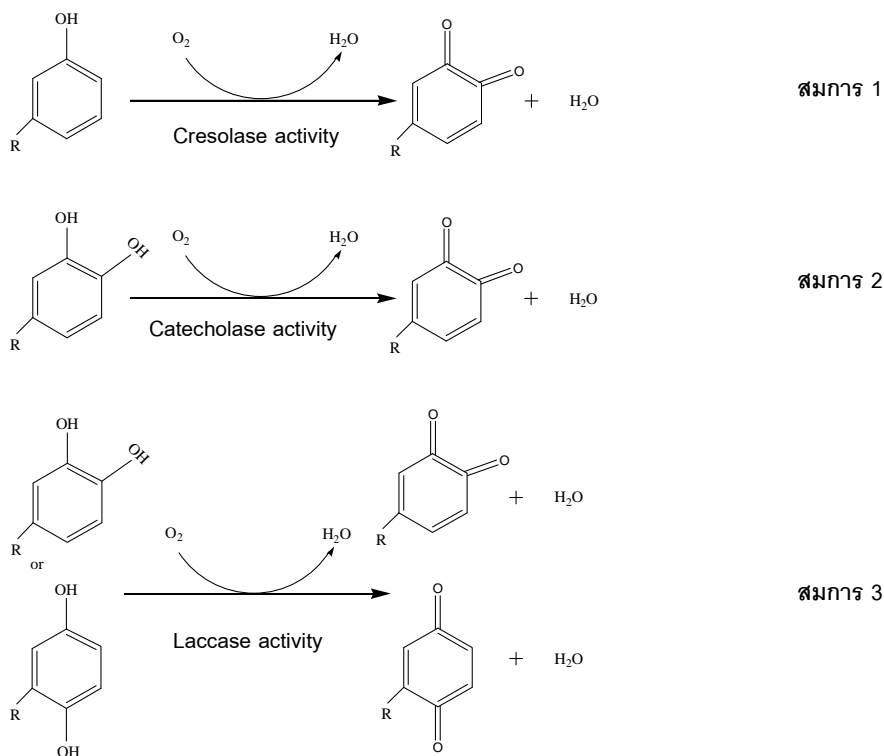
เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสเป็นกลุ่มของเอนไซม์ซึ่งใช้สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ขึ้นกับกลไกการเร่งปฏิกิริยาและสารตั้งต้นของปฏิกิริยา แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแบ่งกลุ่มเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส

EC number	ชื่อสามัญ	หน้าที่ของเอนไซม์
EC 1.14.18.1	Monophenol monooxygenase, tyrosinase, cresolase	เร่งปฏิกิริยาการเติมหมู่ไฮดรอกซิลให้กับ monophenol ทำให้ได้สาร <i>o</i> -dihydroxyphenol และเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ <i>o</i> -dihydroxyphenol ที่เกิดขึ้นให้ได้สาร <i>o</i> -quinone (สมการที่ 1 ภาพที่ 2.1)
EC 1.10.3.2	<i>o</i> -diphenol oxidase, catecholase, catechol oxidase, phenolase	เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ <i>o</i> -dihydroxyphenol ให้ได้สาร <i>o</i> -quinone (สมการที่ 2 ภาพที่ 2.1)
EC 1.10.3.1	<i>p</i> -diphenol oxidase, laccase	เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ <i>o</i> - และ <i>p</i> -diphenol (สมการที่ 3 ภาพที่ 2.1)

ที่มา : เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์ (2551)

ระบบการเรียกชื่อเอนไซม์โดยการแบ่งกลุ่มเอนไซม์แบบนี้ เรียกว่า ระบบตัวเลข (Number system) ที่ขึ้นต้นด้วย EC (Enzyme Commission) ตามด้วยตัวเลขสี่หลัก คั่นด้วยมหัพภาค ซึ่งจะกำหนดเป็นรหัสประจำตัว (Code number) ของเอนไซม์



ภาพที่ 2.1 กลไกการเร่งปฏิกิริยาโดยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส

ที่มา : เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์ (2551)

2.3.2 ความจำเพาะต่อสารตั้งต้น (substrate specificity)

เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจากแหล่งต่างๆ จะมีความจำเพาะเจาะจงต่อสารประกอบฟีนอลิกแต่ละชนิดต่างกัน เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจากสัตว์มักมีความจำเพาะต่อ tyrosine และ 3,4-dihydroxyphenylalanine (DOPA) ในขณะที่พอลิฟีนอลออกซิเดสจากพืชและเชื้อรา มีความจำเพาะต่อ monophenols และ diphenols หลายชนิด โดยชนิดของสารตั้งต้นจะมีผลต่ออัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาด้วย (Lee, 1992; Yoruk and Marshall, 2003; เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์, 2551) สารประกอบฟีนอลิกที่เป็นสารตั้งต้นของพอลิฟีนอลออกซิเดสมีหลายชนิดแตกต่างกันตามแหล่งของผักผลไม้ เช่น catechin เป็นสารประกอบฟีนอลิกหลักที่พบในองุ่น (Jaworski and Lee, 1987) และชา (Ullah, 1991) chlorogenic acid พบในแอปเปิ้ล (Murata et al., 1995) มันฝรั่ง (Sanchez-Ferrer et al., 1993) และมันเทศ (Lourenco et al., 1992; Nozue et al., 1998)

มีงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจากแหล่งต่างๆ มีความจำเพาะต่อสารตั้งต้นแต่ละชนิดไม่เท่ากัน เช่น Walker (1995) รายงานว่า 4-methylcatechol เป็นสารตั้งต้นที่ดีสำหรับเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจากพืช Sojo และคณะ (1998) และ Yang และคณะ (2000) รายงานว่าการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ในเนื้อกล้วยมีสาเหตุหลักมาจากการเกิดออกซิเดชันของ dopamine ในขณะที่ Jiang (1999) รายงานว่า crude PPO ที่สกัดจากลำไย มีค่ากิจกรรมสูงที่สุดเมื่อใช้ pyrogallol เป็นสารตั้งต้น รองลงมาคือ 4-methylcatechol และ catechol ตามลำดับ Wang และคณะ (2006) รายงานว่า catechol เป็นสารตั้งต้นที่เหมาะสมกับ crude PPO ที่สกัดจากเนื้อมะม่วง นอกจากนี้ Yoruk และ Marshall (2003) ได้รวบรวมชนิดของสารตั้งต้นที่มีความจำเพาะกับเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในผักผลไม้ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.2

2.3.3 ค่า pH ที่เหมาะสมในการทำงาน

ค่า pH มีผลต่อการแตกตัวของไอออนที่อยู่บริเวณเร่ง (active site) ของเอนไซม์แล้วทำให้เอนไซม์เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงรูปสามมิติไปอยู่ในโครงรูปที่ไม่เหมาะสมต่อการจับกับสารตั้งต้น จึงทำให้เอนไซม์มีกิจกรรมลดลง ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสขึ้นกับแหล่งของเอนไซม์และสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งในผักผลไม้ในช่วง 4.0-8.0 มีงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจากแหล่งต่างๆ มีค่าต่างกัน เช่น Arogba และคณะ (1998) รายงานว่า pH ที่เหมาะสมในการทำงานของ crude PPO ที่สกัดจากมะม่วงคือ 6.0 เมื่อใช้แคทีคอลเป็นสารตั้งต้น Jiang (1999) รายงานว่า crude PPO ที่สกัดจากลำไยมีค่าการทำงานสูงที่สุดที่ pH 6.5 เมื่อใช้ 4-methylcatechol เป็นสารตั้งต้น Concellon และคณะ (2004) รายงานว่า pH ที่เหมาะสมในการทำงานของ crude PPO ที่สกัดจากมะเขือคือ 6.0 เมื่อใช้ 4-methylcatechol เป็นสารตั้งต้น Yerliturk และคณะ (2008) รายงานว่า pH ที่เหมาะสมในการทำงานของ crude PPO ที่สกัดจากลูกแพร์คือ 6.0 เมื่อใช้แคทีคอลเป็นสารตั้งต้น Chaisakdanugull และ Theerakulkait (2009) รายงานว่า partially purified PPO ที่สกัดจากกล้วยมีค่าการทำงานสูงที่สุดที่ pH 7 เมื่อใช้ dopamine เป็นสารตั้งต้น นอกจากนี้ Yoruk และ Marshall (2003) ได้รวบรวมค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในผักผลไม้ชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.3

2.3.4 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงาน

อุณหภูมิเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส ที่อุณหภูมิต่ำโมเลกุลจะมีพลังงานลดลงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าลง (Laidler and Peterman, 1983; Lehninger et al., 1993) นอกจากนี้โครงสร้างสามมิติของเอนไซม์จะเสียสภาพที่อุณหภูมิสูง

(Whitaker, 1995) พอลิฟีนอลออกซิเดสเป็นเอนไซม์ประเภทไม่ทนต่อความร้อน (low heat stability) ค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานอยู่ที่ 25-30 องศาเซลเซียส Jiang (1999) รายงานว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของ crude PPO ที่สกัดจากลำไย คือ 35 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Yerliturk และคณะ (2008) ที่รายงานว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของ crude PPO ที่สกัดจากลูกแพร์คือ 35 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของ crude PPO ที่สกัดจากมะเขือคือ 30 องศาเซลเซียส (Concellon et al., 2004) Duangmal และ Owusu-Apenten (1999) รายงานว่าอุณหภูมิในช่วง 70-90 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสที่สกัดจากเปลือกและมันฝรั่งได้ Yoruk และ Marshall (2003) ได้รวบรวมผลของอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ PPO ที่สกัดมาจากผักผลไม้ชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.2 สารตั้งต้นที่มีความจำเพาะกับเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในผักผลไม้ต่างๆ

สารตั้งต้น	ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ (%)				
	แอปเปิ้ล ¹	พีช ²	เมล็ดดอกทานตะวัน ³	สตรอปเบอร์ ⁴	องุ่น ⁵
<u>Monophenols</u>					
Tyrosine	3	0	0	0	0
<i>p</i> -Cresol	-	0	0	-	0
<i>p</i> -Coumaric acid	-	0	-	0	-
<u>Di- or triphenols</u>					
Catechol	100	100	-	9	5.9
4-Methylcatechol	181	103	-	80	74
Chlorogenic acid	102		32.3	11	51
L-DOPA	-	23	-	-	5.4
D,L-DOPA	12		8	-	4.1
Catechin	54	539	-	100	21
Protocatechuic acid	-	15	-	4	-
Caffeic acid	-	7	87.3	13	100
Gallic acid	-	5	100	-	0
Pyrogallol	38	182	100	62	0

- หมายถึง ไม่มีการตรวจสอบ

ที่มา: ¹Zhou และคณะ (1993), ²Flurkey และ Jen (1980), ³Raymond และคณะ (1993), ⁴Wesche-Ebeling และ Montgomery (1990), ⁵Lee และคณะ (1983)

ตารางที่ 2.3 ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในผักผลไม้

แหล่งของเอนไซม์	สารตั้งต้น	ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงาน	อ้างอิง
Almond	4-Methylcatechol	5.0	Fraignier et al. (1995)
Apple	4-Methylcatechol	3.5-4.5	Marques et al. (1995)
	Chlorogenic acid		
Apricot	4-Methylcatechol	5.0-5.0	Fraignier et al. (1995)
Avocado	4-Hydroxyanisole	5.0	Espin et al. (1997)
Cherry	4-Methylcatechol	4.5	Fraignier et al. (1995)
Cocoa	Catechol	6.8	Lee et al. (1991)
Cucumber	Catechol	7.0	Miller et al. (1990)
Eggplant	4-Methylcatechol	5-6.5	Perez-Gilabert and
	tert-Butylcatechol	5-6.5	Carmona (2000)
	<i>p</i> -Cresol	7.5	
Grape	4-Methylcatechol	3.5-4.5	Valero et al. (1988)
Kiwi	Catechol	7.3	Park and Luh (1985)
	(+) Catechin	8.0	
Lettuce	Chlorogenic acid	5.0-8.0	Heimdal et al. (1994)
Longan	4-Methylcatechol	6.5	Jiang (1999)
Mango	4-Methylcatechol	5.8	Robinson et al. (1993)
Olive	4-Methylcatechol	5.5-7.5	Ben-Shalom et al. (1977)
Peach	4-Methylcatechol	5.0	Fraignier et al. (1995)
Pineapple	Catechol	6.0-7.0	Das et al. (1997)
Plum	4-Methylcatechol	4.0-5.5	Fraignier et al. (1995)
Potato	Chlorogenic acid	4.5-5.0 and 6.0-6.5	Sanchez-Ferrer et al. (1993)
	tert-Butylcatechol	4.5-5.0 and 6.0-6.5	
Spinach	Dopamine	8.0	Sheptovitsky and Brudvig (1996)
Strawberry	Catechol	5.5	Wesche-Ebeling and
	4-Methylcatechol	4.5	Montgomery (1990)
Sunflower	Gallic acid	7.9	Raymond et al. (1993)
Tea	4-Methylcatechol	5.0	Gregory and Bendall (1966)
	Pyrogallol	5.7	
Wheat	4-Methylcatechol	5.3 and 6.9	Interesse et al. (1980)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Yoruk และ Marshall (2003)

ตารางที่ 2.4 ผลของอุณหภูมิต่อการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส

แหล่งของเอนไซม์	สารตั้งต้น	อุณหภูมิที่เหมาะสมใน		ค่าครึ่งชีวิต		อ้างอิง
		การทำงาน (°C)	(°C)	นาที		
Apple	Catechol	30	60	30		Zhou et al. (1993)
Banana	Dopamine	30				Yang et al. (2000)
Cocoa bean	Catechol	45	80	5		Lee et al. (1991)
Cucumber	Catechol	50				Miller et al. (1990)
Grape	4-Methylcatechol	25-45	65	20		Valero et al. (1988)
Lettuce	Chlorogenic acid	25-35	80	5		Heimdal et al. (1994)
Longan	4-Methylcatechol	35	50	20		Jiang (1999)
Mango	4-Methylcatechol	30	80	35		Robinson et al. (1993)
Peach	Catechol					Wong et al. (1971)
	PPO A		55	5.4		
	PPO B		55	14.6		
	PPO C		76	2.2		
	PPO D		55	14.1		
Potato	Catechol	40	70	0.8		Cho and Ahn (1999)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Yoruk และ Marshall (2003)

2.3.5 ความสัมพันธ์ของกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสต่อการเกิดสีน้ำตาลในผักผลไม้

ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการเกิดสีน้ำตาลในผักผลไม้ในด้านความสัมพันธ์ของกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสต่อการเกิดสีน้ำตาล เช่น

Spagna และคณะ (2005) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง partially purified PPO ที่สกัดจากน้ำมะเขือเทศ 5 สายพันธุ์ ได้แก่ Pizzutello, Naomi (Hazera), F1PS212 (Petoseed), Rosa Maletto และ PO228 (ซึ่ง 2 ใน 5 สายพันธุ์นี้เป็นพันธุ์ที่นิยมใช้ทางการค้า) ต่อการเกิดสีน้ำตาลในน้ำมะเขือเทศดังกล่าว โดยวัดค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง-เขียว (a^*) และค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) ของน้ำมะเขือเทศ ทุกชั่วโมง (0-20 ชั่วโมง) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่ากิจกรรมของ partially purified PPO กับการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง-เขียว (Δa^*) และค่ากิจกรรมของ partially purified PPO กับการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสี (Δchroma) พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของการกำหนด (coefficient of determination, r^2) สูง โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.98

และ 0.94 ตามลำดับ แสดงว่าเมื่อค่ากิจกรรมของ partially purified PPO สูงส่งผลให้มะเขือเทศ มีค่า a^* สูงหรือมีสีแดงมากขึ้น เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงค่า chroma ที่แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า กิจกรรมของ partially purified PPO สูง มะเขือเทศจะมีความเข้มของสีมากขึ้น

Marco และคณะ (2007) ศึกษาการเกิดสีน้ำตาลในสตอเบอร์รี่พันธุ์ Elsanta และ Madame Moutot ที่บรรจุในภาชนะพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดพอลิไวนิล คลอไรด์เจาะรู แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 วัน ติดตามการ เปลี่ยนแปลงการเกิดสีน้ำตาลโดยวัดค่า L^* , a^* , b^* , chroma และ ค่าเฉดสี (hue angle) จากการ ทดลองพบว่า สตอเบอร์รี่ที่นำมาศึกษามีค่า L^* ลดลง ค่าความต่างของความสว่าง (ΔL^*) ระหว่าง วันที่ 0 และ 10 ของสตอเบอร์รี่พันธุ์ Elsanta และ Madame Moutot คือ 25.2 และ 13.2 ตามลำดับ แต่ค่า a^* และ b^* ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อคำนวณค่า ΔE^* ($\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ที่นิยมใช้บอกความแตกต่างของสี พบว่ามีการ เปลี่ยนแปลงของค่าสีในระยะเวลาที่เก็บรักษาสตอเบอร์รี่ทั้งสองพันธุ์ โดยจะเห็นได้เด่นชัดในพันธุ์ Elsanta มีค่า ΔE^* เท่ากับ 26.5 สำหรับพันธุ์ Elsanta มีค่า เท่ากับ 14.4 สตอเบอร์รี่พันธุ์ Elsanta มีค่า hue angle ลดลงจาก 1.37 เหลือ 0.86 ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ สตอเบอร์รี่พันธุ์ Madame Moutot ไม่มีความแตกต่างของค่า hue angle อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ค่ากิจกรรมของ crude PPO ของสตอเบอร์รี่พันธุ์ Elsanta ในระหว่าง การเก็บ พบว่า crude PPO มีค่ากิจกรรมสูงขึ้นในระหว่างการเก็บและสูงที่สุดเมื่อเก็บไว้ถึงวันที่ 10 คือ 0.036 ยูนิต์ต่อกรัมโปรตีน เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับค่ากิจกรรมของ crude PPO กับการ เกิดสีน้ำตาลในสตอเบอร์รี่ ซึ่งวัดความสัมพันธ์ในรูป r^2 พบว่าความสัมพันธ์ของค่ากิจกรรมของ crude PPO กับค่า L^* มีค่า r^2 เท่ากับ 0.86 และความสัมพันธ์ของค่ากิจกรรมของ crude PPO กับค่า hue angle มีค่า r^2 เท่ากับ 0.85 แสดงว่าการเกิดสีน้ำตาลของผลไม้เกี่ยวข้องกับ การทำงานของ crude PPO ผลของ crude PPO ต่อการเกิดสีน้ำตาลในผักผลไม้เป็นที่รู้จักกันอย่าง แพร่หลายและมีรายงานการศึกษาจำนวนมากในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ลูกท้อ (Luh and Phitakpol, 1972) กล้วย (Jayaraman et al., 1982) และผักกะหล่ำ (Fukumoto, 2002)

2.4 การยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลอันเนื่องมาจากเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส

การยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลอันเนื่องมาจากเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสสามารถทำ ได้โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ การกำจัดหรือเปลี่ยนรูปของสารตั้งต้นของปฏิกิริยา หรือ อาจใช้วิธีการซึ่งส่งผลต่อทั้งสารตั้งต้นของปฏิกิริยาและกิจกรรมของเอนไซม์ การใช้สารเคมีใน การยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลอันเนื่องมาจากเอนไซม์ค่อนข้างจะมีประสิทธิภาพสูง และเป็น

นิยม การประยุกต์ใช้สารเคมีให้ได้ผลดีมักต้องใช้ร่วมกัน โดยควรคำนึงถึงธรรมชาติและความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ กลไกการยับยั้ง ความเป็นกรดต่าง คุณสมบัติของอาหารที่ใช้ รวมทั้งกฎข้อบังคับ กลิ่นรส ความเป็นพิษ และราคาต่อหน่วย (เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์, 2551)

เมื่อแบ่งตามกลไกการป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล สารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาแบ่งเป็น 6 กลุ่ม แสดงดังตารางที่ 2.5 (Iyengar and McEvily, 1992; Yoruk and Marshall, 2003)

ตารางที่ 2.5 สารยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบ่งตามกลไกการป้องกันการเกิดปฏิกิริยา

กลุ่ม	ตัวอย่างสาร
1. Reducing agents	ascorbic acid and its derivatives, sulfites, glutathione and cysteine
2. Chelating agents	Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), sodium diethyldithiocarbamate (DIECA), sodium azide, phosphates and organic acids
3. Acidulants	citric acid, malic acid and phosphoric acid
4. Enzyme inhibitors	aromatic carboxylic acids, aliphatic alcohols, substituted resorcinols, anions, and peptide
5. Complexing agents	cyclodextrins and chitosan
6. Enzyme treatments	ring-cleaving oxygenases, proteases and o-methyltransferases

ที่มา: Iyengar และ McEvily (1992); Yoruk และ Marshall (2003)

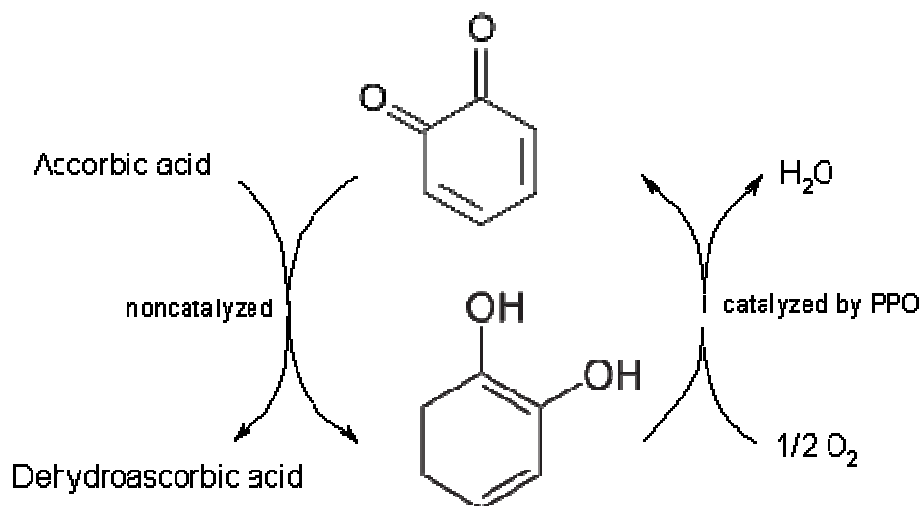
ในที่นี้ขอกล่าวถึงสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่สำคัญที่นิยมใช้ คือกรดแอสคอร์บิก อนุพันธ์ของกรดแอสคอร์บิก และกรดซิตริก

2.4.1 กรดแอสคอร์บิกและอนุพันธ์ของกรดแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิกและอนุพันธ์ของกรดแอสคอร์บิกเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกลุ่ม reducing agent จะช่วยชะลอปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยการรีดิวซ์สาร o-quinone ที่เกิดขึ้นให้กลับไปเป็นสารประกอบฟีนอลิกตั้งต้น (ภาพที่ 2.2) ดังนั้นการยับยั้งปฏิกิริยาโดยใช้สารในกลุ่มนี้จะยับยั้งได้เพียงชั่วคราว เมื่อ reducing agent ถูกใช้หมดไป ปริมาณของ o-quinone จะเพิ่มขึ้นโดยกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส จากนั้นจะเกิดการรวมตัวกันเองของ o-quinone หรือสารที่มีกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบกลายเป็นสารสีน้ำตาล (Martinez and Whitaker, 1995) จากการศึกษาพบว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกร่วมกับสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลชนิดอื่นๆ ซึ่งสามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นโดยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส เช่น การใช้กรด

แอสคอร์บิกร่วมกับกรดซิตริกจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกเพียงอย่างเดียว (Eskin et al., 1971; Sapers 1993) การเพิ่มความเข้มข้นและระยะเวลาการแช่จะช่วยให้ประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลสูงขึ้น (Iyengar and McEvily, 1992; Duangmal and Owusu-Apenten, 1999)

เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกไม่เสถียรและถูกออกซิไดส์ได้ง่าย จึงนิยมใช้อนุพันธ์ของกรดแอสคอร์บิกแทน (Zawistowski et al., 1991) อนุพันธ์ของกรดแอสคอร์บิกส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปเกลือของกรดแอสคอร์บิก เช่น แคลเซียมแอสคอร์เบต แมกนีเซียมแอสคอร์เบต โซเดียมแอสคอร์เบต เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีกรดอีวีรอร์บิก และโซเดียมอีวีรอร์เบต โดยโซเดียมแอสคอร์เบตและโซเดียมอีวีรอร์เบตมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่าเกลือของกรดแอสคอร์บิกชนิดอื่นๆ (Sapers and Ziolkowski, 1988)



ภาพที่ 2.2 กลไกการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลด้วยกรดแอสคอร์บิก

ที่มา: Marshall และคณะ (2000)

ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้กรดแอสคอร์บิกและอนุพันธ์ของกรดแอสคอร์บิกเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล เช่น

Nahed (1993) ศึกษาการใช้กรดแอสคอร์บิกเพื่อยับยั้งการทำงานของ crude PPO ที่สกัดจากแอปเปิ้ลที่หั่นเป็นแผ่น เปรียบเทียบกับชุดที่แช่ในน้ำเป็นชุดควบคุม พบว่าเมื่อแช่ชิ้นแอปเปิ้ลในกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 1.5 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ค่ากิจกรรมของ crude PPO ลดลงเหลือร้อยละ 15 และ 10 ตามลำดับ และเมื่อใช้กรดแอสคอร์บิกที่มีความเข้มข้นและระยะเวลาการแช่มากขึ้นจะส่งผลให้ค่ากิจกรรมของ crude PPO ลดลง แสดงว่ากรดแอสคอร์บิกมีประสิทธิภาพในการลดการเกิดสีน้ำตาลในปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง

Gonzalez–Aguilar และคณะ (2004) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสับปะรดตัดแต่งที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกลุ่ม reducing agent 3 ชนิด คือ isoascorbic acid (IAA) ascorbic acid (AA) และ acetyl cysteine (AC) เปรียบเทียบกับชุดที่ไม่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเป็นชุดควบคุม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน เมื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการเกิดสีน้ำตาล พบว่าการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพในการลดการเกิดสีน้ำตาลในสับปะรดตัดแต่งโดยมีระดับการเกิดสีน้ำตาลต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยการประเมินการเสื่อมเสียบริเวณผิวของสับปะรดตัดแต่ง พบว่าชุดที่มีการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 3 ชนิด มีการเสื่อมเสียต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับของผู้ทดสอบ โดยแบ่งระดับการยอมรับออกเป็น 9 ระดับ พบว่า เมื่อเก็บรักษาสับปะรดตัดแต่งไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน ชุดที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลชนิด AC และ IAA มีคะแนนการยอมรับอยู่ที่ระดับ 9 หมายความว่าดีเลิศหรือไม่มีตำหนิ ชุดที่ใช้ AA ได้รับคะแนนการยอมรับอยู่ในระดับ 6.5 หมายความว่าดีมากหรือมีตำหนิเล็กน้อย ส่วนชุดควบคุมมีคะแนนการยอมรับอยู่ในระดับ 5 หมายความว่าพอใช้หรือมีตำหนิปานกลาง และเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 14 วัน พบว่าชุดควบคุมมีคะแนนการยอมรับอยู่ในระดับ 1 หมายความว่าไม่สามารถนำไปใช้ได้ แต่ชุดที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 3 ชนิด มีคะแนนการยอมรับอยู่ในระดับที่สูงกว่า 5 ซึ่งเป็นระดับที่สามารถยอมรับได้ทางการค้า

Manurakchinakorn และคณะ (2005) ศึกษาการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.02 ร่วมกับสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล 3 ชนิด ได้แก่ 4-hexylresorcinol เข้มข้น 0.005 โมลต่อลิตร โซเดียมอริทอร์เบทเข้มข้นร้อยละ 2 และ *N*-acetylcysteine เข้มข้นร้อยละ 0.05 กับมังคุดตัดแต่งที่บรรจุในถาดพลาสติก ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด polyethylene ภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลง (ประกอบด้วยก๊าซออกซิเจนร้อยละ 5 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 9) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน เปรียบเทียบกับชุดที่ไม่มีการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเป็นชุดควบคุม แล้ววิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสี พบว่าทุกชุดการทดลองมีค่า L^* ลดลงตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา มังคุดที่มีการใช้โซเดียมอริทอร์เบทและ *N*-acetylcysteine จะมีค่า L^* สูงกว่าชุดควบคุม เนื่องจากสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่า กลไกการทำงานของโซเดียมอริทอร์เบทคือเป็นสารรีดิวซ์ ในขณะที่ *N*-acetylcysteine มีรายงานว่า มีกลไกการยับยั้งหลายกลไกร่วมกัน ได้แก่ การรีดิวซ์สาร *o*-quinones หรือส่งผลโดยตรงต่อเอนไซม์ หรือรวมตัวเป็นสารประกอบระหว่างซีสเตอีนกับควิโนนซึ่งเป็นสารไม่มีสี เมื่อพิจารณาอายุการเก็บจากผลการยอมรับลักษณะโดยรวมของผู้บริโภคพบว่า มังคุดตัดแต่งที่ใช้โซเดียมอริทอร์เบทและ *N*-acetylcysteine สามารถเก็บรักษาได้ 8 และ 6 วัน ตามลำดับ

Pongsakul และคณะ (2006) ศึกษาผลของการใช้กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1, 2.5 และ 5 มิลลิโมลต่อลิตรต่อค่ากิจกรรมของ partially purified PPO ที่สกัดมาจากลองกอง พบว่าสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ร้อยละ 27, 44 และ 54 ตามลำดับ ส่วนกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 10 มิลลิโมลต่อลิตร สามารถยับยั้งการทำงานของ partially purified PPO ได้เกือบทั้งหมด แต่ความสามารถในการยับยั้งการทำงานของ partially purified PPO ที่บ่มในสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล เป็นเวลา 10 นาที ไม่แตกต่างกับชุดที่ไม่มีการบ่มอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

2.4.2 กรดซิตริก

กรดซิตริกเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกลุ่ม acidulants สารในกลุ่มนี้จะช่วยควบคุมค่าความเป็นกรดต่างของอาหาร เมื่อค่า pH ของระบบต่ำกว่า 4.0 เอนไซม์จะทำงานได้ช้ามาก ทั้งนี้เนื่องจากค่า optimum pH ของเอนไซม์อยู่ในช่วง 4.0-8.0 นอกจากนี้การที่เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสมีทองแดงที่บริเวณ active site การใช้กรดซิตริกช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาได้เนื่องจากกรดซิตริกจะทำหน้าที่เป็น chelator ในการจับกับทองแดงในโครงสร้างของเอนไซม์ (เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์, 2551)

ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้กรดซิตริกเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล เช่น

Jiang และ Fu (1998) ศึกษาผลของการใช้กลูตาไทโอนความเข้มข้น 10 มิลลิโมลต่อลิตร ร่วมกับกรดซิตริกความเข้มข้น 100 มิลลิโมลต่อลิตร ต่อการเกิดสีน้ำตาล และกิจกรรมของ crude PPO จากลิ้นจี่ พบว่าชุดที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลมีระดับการเกิดสีน้ำตาลและค่ากิจกรรมของ crude PPO ต่ำกว่าชุดที่ไม่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) เมื่อเก็บรักษาลิ้นจี่ไว้เป็นเวลา 6 วัน พบว่าชุดที่มีการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลมีระดับสีน้ำตาลเท่ากับ 2.1 ในขณะที่ชุดที่ไม่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลระดับสีน้ำตาลเท่ากับ 4.2 เมื่อวิเคราะห์กิจกรรมของ crude PPO ในชุดที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล พบว่ามีค่าเท่ากับ 8 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน ส่วนชุดที่ไม่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลมีค่าสูงถึง 40 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน กลไกการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของกลูตาไทโอนสามารถอธิบายได้โดย กลูตาไทโอนเป็นสารในกลุ่ม reducing agents จึงสามารถรีดิวซ์สาร o-quinone ให้กลับไปเป็นสารประกอบฟีนอลิกตั้งต้น ส่วนกรดซิตริกเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกลุ่ม acidulants ช่วยควบคุมค่าความเป็นกรดต่างทำให้มีภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สารยับยั้งดังกล่าวร่วมกันจะทำหน้าที่เป็นสารยับยั้งที่ดีกว่าการใช้เพียงชนิดใดชนิดหนึ่ง

Moline และคณะ (1998) ศึกษาการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล 12 ชุด ได้แก่ acetylcysteine, citric acid, citric acid ผสมกับ acetylcysteine, citric acid ผสมกับ isoascorbate, glucose, 4-hexylrtrisorcinol, isoascorbate, isoascorbate ผสมกับ

acetylcysteine, isoascorbate ผสมกับ 4-hexylresorcinol, pineapple juice, quinic acid และ sucrose ในกล้วยที่ปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้นแล้วเก็บที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน พบว่าการใช้กรดซิตริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ผสมกับ acetylcysteine เข้มข้น 0.05 โมลาร์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลสูงที่สุด โดยขึ้นกล้วยมีค่า L^* เท่ากับ 72.52 และมีค่า b^* เท่ากับ 31.05 ซึ่งสูงกว่าการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กลไกการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของกรดซิตริกได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ส่วน N-acetylcysteine เป็นอนุพันธ์ของ cysteine ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม reducing agent จึงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล และจากการทดลองพบว่าการใช้สารทั้งสองชนิดนี้ร่วมกันจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้สารดังกล่าวอย่างใดอย่างหนึ่ง

Son และคณะ (2001) ศึกษาผลของการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิก 12 ชนิด ได้แก่ oxalic acid, oxalacetic acid, malonic acid, tartaric acid, pyruvic acid, citric acid, malic acid, lactic acid, acetic acid, succinic acid, fumaric acid และ formic acid กับชิ้นแอปเปิ้ล โดยจุ่มชิ้นแอปเปิ้ลลงในสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 1 เป็นเวลา 3 นาที ผลการทดลองพบว่าสามารถแบ่งสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ใช้ในการทดลองดังกล่าวออกได้เป็น 3 กลุ่มตามความสามารถในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในชิ้นแอปเปิ้ล โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ กลุ่มแรก ได้แก่ oxalic acid, oxalacetic acid, malonic acid และ tartaric acid เป็นกลุ่มที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งที่ดีที่สุด คือ ชิ้นแอปเปิ้ลมีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด กลุ่มที่มีประสิทธิภาพรองลงมา ได้แก่ pyruvic acid, citric acid, malic acid และ lactic acid ส่วนกลุ่มที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งต่ำที่สุด ได้แก่ acetic acid, succinic acid, fumaric acid และ formic acid โดย Furia (1964) อธิบายว่าสารในกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง โดยกลไกการยับยั้ง คือ จับกับทองแดงที่บริเวณเร่งของเอนไซม์หรือส่งผลให้ค่าความเป็นกรดต่างลดต่ำลงจนไม่เหมาะสำหรับการทำงานของเอนไซม์

Pongsakul และคณะ (2006) ศึกษาผลของการใช้กรดซิตริกต่อค่ากิจกรรมของ partially purified PPO ที่สกัดมาจากลองกอง พบว่า กรดซิตริกความเข้มข้น 1, 2.5, 5 และ 10 มิลลิโมลต่อลิตร สามารถยับยั้งการทำงานของ partially purified PPO ที่สกัดมาจากลองกองได้ร้อยละ 16, 28, 41 และ 72 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการใช้กรดซิตริกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ประสิทธิภาพการยับยั้ง partially purified PPO สูงขึ้นตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าเมื่อมีการบ่ม partially purified PPO ดังกล่าวกับสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจะมีความสามารถในการยับยั้งมากกว่าชุดที่ไม่ผ่านการบ่มร้อยละ 5-10

2.5 การใช้สารเคลือบบริโภคได้และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ในผลไม้ตัดแต่ง

การใช้สารเคลือบบริโภคได้เป็นอีกทางเลือกที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ตัดแต่ง โดยสารเคลือบจะเป็นชั้นที่อยู่บนผิวของผลไม้ตัดแต่งมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับสภาพบรรยากาศ ป้องกันการผ่านเข้าออกของก๊าซ ลดการสูญเสียน้ำและกลิ่น ชะลอการเปลี่ยนแปลงสี และพัฒนาลักษณะปรากฏโดยรวมในระหว่างการเก็บรักษา (Olivas and Barbosa-Canovas, 2005) สารเคลือบบริโภคได้ที่นิยมใช้โดยทั่วไป ได้แก่ เจลาติน วุ้น แอลจินेट แชนแทนกัม เซลลูโลส เพกติน กัม และไคโตซาน เป็นต้น

Olivas และคณะ (2007) ศึกษาการใช้แคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 10 และสารเคลือบบริโภคได้ ได้แก่ alginate (Alg-Ca), alginate-acetylated monoglyceride-linoleic acid (Alg-Ca-AMG) และ alginate-butter-linoleic acid (Alg-Ca-MF) ในแอปเปิ้ลตัดแต่งพันธุ์ Gala หลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน พบว่า แอปเปิ้ลที่ผ่านการเคลือบด้วย Alg-Ca และ Alg-Ca-MF มีดัชนีการเกิดสีน้ำตาลต่ำกว่าชุดที่ไม่ผ่านการเคลือบร้อยละ 20 ส่วนแอปเปิ้ลที่ผ่านการเคลือบด้วย Alg-Ca-AMG จะเกิดสีน้ำตาลมากกว่าสองชุดดังกล่าวแต่มีดัชนีการเกิดสีน้ำตาลต่ำกว่าชุดที่ไม่ผ่านการเคลือบอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาความแน่นเนื้อ พบว่า แอปเปิ้ลที่ผ่านการเคลือบทั้ง 3 ชุดมีความแน่นเนื้อดีกว่าแอปเปิ้ลที่ไม่เคลือบอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

Oms-Oliu และคณะ (2008) ศึกษาการใช้สารเคลือบบริโภคได้ 3 ชนิด ได้แก่ sodium alginate เข้มข้นร้อยละ 2, low methoxyl pectin เข้มข้นร้อยละ 2 และ deacytaled gellan gum เข้มข้นร้อยละ 0.5 ในแต่งตัดแต่งพันธุ์ Piel de Sapo บรรจุในถาดพลาสติกชนิด polypropylene ปิดผนึกด้วยความร้อน เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน แล้วทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยรายงานผลเป็นอัตราส่วนของคะแนนตัวอย่างในวันที่ 7 ต่อคะแนนตัวอย่างสด พบว่า สีของแต่งตัดแต่งที่เคลือบด้วย sodium alginate และ low methoxyl pectin มีคะแนนมากกว่า 0.8 ชุดที่เคลือบด้วย deacytaled gellan gum มีคะแนน 0.5 ส่วนชุดที่ไม่ผ่านการเคลือบมีคะแนน 0.7 แสดงว่าแต่งตัดแต่งที่เคลือบด้วย sodium alginate และ low methoxyl pectin มีสีใกล้เคียงกับตัวอย่างสดมากที่สุด รองลงมาคือชุดที่ไม่ผ่านการเคลือบ ส่วนแต่งตัดแต่งที่เคลือบด้วย deacytaled gellan gum มีสีแตกต่างจากตัวอย่างสดมากที่สุด คุณภาพในด้านกลิ่นรสและความชอบโดยรวมมีแนวโน้มเช่นเดียวกับคุณภาพด้านสี คือ ชุดที่เคลือบ sodium alginate และ low methoxyl pectin มีคะแนนมากที่สุด รองลงมาคือชุดที่ไม่ผ่านการเคลือบและชุดที่เคลือบด้วย deacytaled gellan gum มีคะแนนต่ำที่สุด ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบ sodium alginate และ low methoxyl pectin ยังมีลักษณะใกล้เคียงกับตัวอย่างสดหรือมีคุณภาพด้อยกว่าเพียงเล็กน้อยแม้ผ่านการเก็บไว้เป็นเวลา 7 วัน

Maftoonazad และคณะ (2008) ศึกษาการใช้สารเคลือบบริโภคได้ 2 ชนิด ได้แก่ methyl cellulose เข้มข้นร้อยละ 3 และ sodium alginate เข้มข้นร้อยละ 2 กับผลพีช โดยจุ่มผลพีชลงในสารเคลือบดังกล่าวที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ในส่วนของการเคลือบด้วย sodium alginate จะตามด้วยการจุ่มผลพีชลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 2 เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นยกขึ้นแล้ววางทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 10 นาที บรรจุลงในกล่องที่เปิดฝาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับชุดที่ไม่เคลือบเป็นชุดควบคุม ติดตามร้อยละการสูญเสียความชื้นจากน้ำหนักที่สูญเสียไปในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าหลังจากเก็บไว้ 6 วัน ชุดควบคุมจะสูญเสียความชื้นสูงกว่าตัวอย่างที่เคลือบเป็น 2 เท่า และเมื่อเก็บไว้ 12 วัน ชุดควบคุมจะสูญเสียความชื้นสูงกว่าตัวอย่างที่เคลือบด้วย sodium alginate และ methyl cellulose เป็น 2 และ 3 เท่า ตามลำดับ ลูกพีชในชุดควบคุมจะสูญเสียความชื้นสูงกว่าตัวอย่างที่เคลือบอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) ตลอดช่วงการเก็บรักษาเป็นเวลา 25 วัน การเคลือบสามารถลดการสูญเสียความชื้นได้เนื่องจากสารเคลือบจะมีลักษณะเป็นฟิล์มเคลือบอยู่บนผิวของผักผลไม้ เป็นการผ่านออกของความชื้น

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

วัตถุดิบ

มังคุดที่ใช้เป็นวัตถุดิบ สั่งซื้อมาจากสวนในจังหวัดจันทบุรี ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2552 และ พ.ศ. 2553 โดยคัดเลือกมังคุดที่มีเปลือกสีแดงม่วง ระยะการสุกที่ 4-5 (ภาพที่ 3.1) ตามวิธีการของ Palapol และคณะ (2009) น้ำหนักผลประมาณ 70-90 กรัม เก็บในห้องปรับอากาศอุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่เกิน 15 ชั่วโมง ก่อนนำมาเตรียมมังคุดตัดแต่ง

การเตรียมเปลือกมังคุดที่นำมาวิเคราะห์สมบัติของ crude polyphenol oxidase (crude PPO) ทำโดยนำผลมังคุดมาปาดขั้วและกลีบเลี้ยงออก ล้างในน้ำสะอาด จากนั้นผ่าครึ่ง แยกส่วนที่เป็นเปลือกและเนื้อออกจากกัน นำเปลือกมังคุดมาแช่แข็งโดยใช้เครื่อง Cryogenic Freezer แล้วบรรจุเปลือกมังคุดแช่แข็งที่ได้ในถุงพอลิโพรพิลีน ปิดผนึกด้วยความร้อน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์



ระยะที่ 1



ระยะที่ 2



ระยะที่ 3



ระยะที่ 4



ระยะที่ 5



ระยะที่ 6

ภาพที่ 3.1 ระยะการสุกของมังคุด

ที่มา : Palapol และคณะ (2009)

สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและทางกายภาพ

Ammonium sulphate	Merck, Germany	A. R. grade
Bovine serum albumin (98%)	Merck, Germany	A. R. grade
Caffeic acid	Sigma, USA	A. R. grade
Catechol	Fluka, Switzerland	A. R. grade
Citric acid	Univar, Australia	A. R. grade
Copper sulphate pentahydrate	Univar, Australia	A. R. grade
di-Sodiumhydrogen phosphate	Unilab, New Zealand	A. R. grade

Ferulic acid	Aldrich, Germany	A. R. grade
Folin-Ciocalteu phenol reagent	Carlo Erba, France	A. R. grade
Gallic acid	Fluka, Switzerland	A. R. grade
Hydrochloric acid	Merck, Germany	A. R. grade
Phenolphthalein	QRec, New Zealand	A. R. grade
Potassium sodium tartrate	Univar, Australia	A. R. grade
Polyvinylpolypyrrolidone	Sigma, USA	A. R. grade
Sodium carbonate	Univar, Australia	A.R. grade
Sodium dihydrogen phosphate	Univar, Australia	A. R. grade
Sodium dodecyl sulphate	USB, USA	A. R. grade
Sodium hydroxide	Carlo Erba, France	A. R. grade
Trichloroacetic acid	Merck, Germany	A. R. grade
Triton X-100	Sigma, USA	A. R. grade
Tris	USB, USA	A. R. grade
4-methylcatechol	Merck, Germany	A. R. grade

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา

Peptone	Himedia, India	A. R. grade
Plate count agar	Merck, Germany	A. R. grade
Potato dextrose agar	Merck, Germany	A. R. grade
Tartaric acid	Univar, Australia	A. R. grade

สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต

Peroxyacetic acid	บริษัท ไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด, สระบุรี, ประเทศไทย	Food grade
Ascorbic acid	Qingdao ICD Foreign Trade, Shandong, China	Food grade
Calcium chloride	Qingdao ICD Foreign Trade, Shandong, China	Food grade
Citric acid	Qingdao ICD Foreign Trade, Shandong, China	Food grade
Sodium erythobate	Qingdao ICD Foreign Trade, Shandong, China	Food grade
Sodium alginate	Qingdao ICD Foreign Trade, Shandong, China	Food grade

อุปกรณ์

- กล้องดิจิทัล (Canon รุ่น Power Shot A 2000 IS, Beijing, China)
- เครื่องฆ่าเชื้อ (Tomy Autoclave รุ่น SS-325, Tokyo, Japan)
- เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดหยาบ (Sartorius รุ่น BP 310s, Bradford, Germany)
- เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด (Denver instrument รุ่น SI-234, Bradford, Germany)
- เครื่องปั่นผสม (Waring Commercial รุ่น HGB2WT, Connecticut, USA)
- เครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูงแบบควบคุมอุณหภูมิ (Thermo IEC รุ่น multi-RF, NJ, USA)
- ตู้อบเชื้อ 25 องศาเซลเซียส (Hotpack รุ่น 352601, PA, USA)
- ตู้อบเชื้อ 35 องศาเซลเซียส (Mettler รุ่น 600, Schwabach, Germany)
- ตู้อบลมร้อน 105 องศาเซลเซียส (WTB Binder รุ่น 78532, Tuttlingen, Germany)
- ตู้อบลมร้อน 180 องศาเซลเซียส (Mettler รุ่น 600, Schwabach, Germany)
- ตู้แช่เย็น 8 องศาเซลเซียส (Sanden Intercool รุ่น SEC-1000SBD, Bangkok, Thailand)
- ตู้แช่แข็งชนิดควบคุมอุณหภูมิต่ำ (Sanyo รุ่น SF-C95, Osaka, Japan)
- ColorFlex® (HunterLab Reston รุ่น 45/0-s, Reston, Virginia, USA)
- Cryogenic Freezer (Heto รุ่น DW8-85, Holten, Denmark)
- Fruit pressure tester (Facchini รุ่น FT 327, Alfonsine, Italy)
- pH-meter (Eutech รุ่น Cyber Scan pH 1000 Bench, Ayer Rajah Crescent, Singapore)
- Spectrophotometer (Thermo Spectronic รุ่น Genesys-10UV, NY, USA)
- Stomacher (Seward stomacher รุ่น 400, London, UK)
- UV/VIS spectrometer (Jasco รุ่น V-530, Tokyo, Japan)
- Vortex (Labnet รุ่น VX100, Woodbridge, NJ, USA)

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี กายภาพและจุลชีววิทยาของมังคุดสด

คัดเลือกมังคุดที่มีเปลือกสีแดงม่วง ระยะการสุกที่ 4-5 (ภาพที่ 3.1) น้ำหนักผลประมาณ 70-90 กรัม มาตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี กายภาพและจุลชีววิทยาในส่วนต่างๆของมังคุด ดังต่อไปนี้

3.1.1 ตรวจสอบองค์ประกอบในส่วนเนื้อมังคุด ดังนี้

3.1.1.1 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) โดยบีบน้ำจากเนื้อมังคุดมาวัดค่าความเป็นกรดต่างโดยใช้ pH meter

3.1.1.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solids) โดยใช้ hand refractometer

3.1.1.3 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity) คำนวณในรูปกรดซิตริก ตามวิธีของ Palapol และคณะ (2009) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.1

3.1.1.4 อัตราส่วนปริมาณน้ำตาลต่อปริมาณกรด (sugar-acid ratio) โดยคำนวณค่าจากข้อมูลข้อ 3.1.1.2 และ 3.1.1.3

3.1.1.5 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ตามวิธีของ AOAC (2000) โดยตรวจสอบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ก.3 และตรวจสอบจำนวนยีสต์และรา รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ก.4

3.1.2 ตรวจสอบองค์ประกอบในส่วนเปลือกมังคุด ดังนี้

3.1.2.1 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) โดยนำเปลือกมังคุดมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ บั่นให้ละเอียด บีบคั้นน้ำมาวัดค่าความเป็นกรดต่างโดยใช้ pH meter

3.1.2.2 ค่าสีบริเวณเปลือกมังคุดในระบบ CIEL *a*b* ด้วยเครื่อง ColorFlex® เล็กแหล่งกำเนิดแสง D65 มุมการมอง 10° รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ก.2 วัดสีของตัวอย่างมังคุด 15 ผล ๆ ละ 3 ซ้ำ

3.1.3 ตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสมังคุดทั้งผล ดังนี้

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแน่นเนื้อของมังคุดทั้งผลโดยใช้ fruit pressure tester โดยใช้หัววัดชนิด cylindrical plunger ระยะการกด 2.5 เซนติเมตร วัดตัวอย่างมังคุด 15 ผล

3.2 การเตรียมมังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคและการบรรจุ

3.2.1 การเตรียมมังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภค

เตรียมมังคุดตัดแต่งโดยปลิดขั้วและกลีบเลี้ยงออก ล้างโดยผ่านด้วยน้ำประปา จากนั้นแช่ในสารละลายกรดเปอร์ออกซิอะซิดิกเข้มข้น 100 ppm อัตราส่วนมังคุดต่อน้ำ คือ 1:1 (w/v) เป็นเวลา 15 นาที ผึ่งให้แห้ง ผ่าครึ่งเปลือกมังคุด แล้วเปิดฝาด้านล่างของผลออก

3.2.2 การบรรจุ

บรรจุมังคุดตัดแต่งที่เตรียมจากข้อ 3.2.1 ลงในถาดพลาสติกชนิด polyethylene terephthalate (PET) ขนาด 16X16 เซนติเมตร ชนิด 4 หลุม ภาพแสดงดังภาคผนวก จ.5 ใส่ในตู้แช่ (8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์) เพื่อลดอุณหภูมิ เป็นเวลา 15 นาที ปิดฝาด้านบนถาดพลาสติก แล้วปิดผนึกถาดด้วยเทปกาวใส

3.3 ศึกษาผลของการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุด

ศึกษาความเข้มข้นของสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เหมาะสม จากนั้นเตรียมมังคุดตัดแต่งตามข้อ 3.2.1 แล้วแบ่งมังคุดตัดแต่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ได้แก่

ชุดที่ 1 ไม่หยดสารละลาย ใช้สัญลักษณ์ Control

ชุดที่ 2 หยดสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) ใช้สัญลักษณ์ CA

ชุดที่ 3 หยดสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) กับกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 0.5% (w/v) ใช้สัญลักษณ์ CA+AA

ชุดที่ 4 หยดสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) กับโซเดียมอิริทอร์เบทเข้มข้น 0.5% (w/v) ใช้สัญลักษณ์ CA+SE

การหยดสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลข้างต้นใช้สารละลายปริมาตร 1.5 มิลลิลิตรต่อผลทดลองบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่ง ด้วยไมโครปิเปตต์ (พื้นที่บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดต่อปริมาตรของสารยับยั้งที่ใช้ คือ 7.93 ± 1.92 ตารางเซนติเมตรต่อ 1 มิลลิลิตร)

บรรจุและปิดผนึกมังคุดตัดแต่งตามข้อ 3.2.2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ สุ่มตัวอย่างมังคุดตัดแต่งมาตรวจคุณภาพทุกวันจนมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^6 cfu/g ยีสต์และราไม่เกิน 1×10^4 cfu/g ตามมาตรฐานผลไม้ตัดแต่งของกระทรวงสาธารณสุข (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2536) ระหว่างการเก็บติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมังคุดตัดแต่งทั้ง 4 ชุดการทดลอง ดังนี้

3.3.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

3.3.1.1 การเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่ง โดยถ่ายภาพบริเวณรอยตัดที่เปลือกมังคุดตัดแต่ง ในกล่องปิดสนิท ควบคุมปริมาณแสงให้เท่ากันทุกชุดการทดลอง นำภาพถ่ายที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* และ b^* โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่าย (ImageJ) รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ก.5 จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณค่า hue angle ตามสมการ 3.1 และคำนวณค่า Chroma ตามสมการ 3.2 ติดตามการเปลี่ยนแปลงสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งทุกวันตลอดอายุการเก็บ

$$\text{Hue angle} = \tan^{-1} (b^*/a^*) \quad (\text{โดยที่ } a^* \text{ และ } b^* \text{ มีค่ามากกว่า } 0) \quad (3.1)$$

$$\text{Chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (\text{โดยที่ } a^* \text{ และ } b^* \text{ มีค่ามากกว่า } 0) \quad (3.2)$$

3.3.1.2 การสูญเสียน้ำของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บรักษา โดยชั่งน้ำหนักมังคุดตัดแต่งแต่ละผลทุกวัน จากนั้นคำนวณร้อยละการสูญเสียน้ำต่อน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

3.3.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดตัดแต่ง 7 ด้าน ได้แก่ สีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุด สีเนื้อมังคุด กลิ่นเนื้อมังคุด รสชาติ กลิ่นแปลกปลอม รสชาติแปลกปลอม และการยอมรับผลิตภัณฑ์ โดยใช้ผู้ทดสอบที่เป็นนักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร จำนวน 15 คน ที่ผ่านการฝึกฝนจากผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตและส่งออกผลไม้จากโรงงานอุตสาหกรรม ประเมินผลทางประสาทสัมผัสทุก 2 วัน ใช้แบบทดสอบเชิงพรรณนา รูปแบบสเกลเส้นตรงระดับความเข้ม 0-10 (Descriptive analysis with scaling) รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ข.1

3.3.3 การเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยา

ตรวจสอบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราในส่วนเนื้อของมังคุดตัดแต่งทุก 2 วัน ตามวิธีของ AOAC (2000) โดยตรวจสอบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ก.3 และตรวจสอบจำนวนยีสต์และรา รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ก.4

ข้อ 3.3.1 วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และข้อ 3.3.2 วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Cochran และ Cox, 1992)

เลือกชุดการทดลองที่สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีที่สุด โดยพิจารณาจากการวัดค่าสี (ค่า L^* a^* และ b^*) และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยชุดมังคุดตัดแต่งที่ผ่านการคัดเลือกต้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราไม่เกินมาตรฐานผลไม้ตัดแต่งของกระทรวงสาธารณสุข

3.4 ศึกษาผลของการใช้ไซเตียมแอลจินेटและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สำหรับเคลือบมังคุดตัดแต่งเพื่อพัฒนาคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา

นำสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่คัดเลือกจากข้อ 3.3 มาใช้ร่วมกับสารเคลือบบริเวณผิวได้ชนิดไซเตียมแอลจินेटและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเคลือบโดยจุ่มมังคุดตัดแต่งด้านที่เปิดฝาทิ้งในสารละลายไซเตียมแอลจินेटที่แปรความเข้มข้น 2 ระดับที่ 1.5 และ 2% (w/v) โดยแปรเวลาในการจุ่มเป็น 15 และ 30 วินาที ยกขึ้นแล้วพักไว้เป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นจุ่มลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ซึ่งแปรความเข้มข้น 3 ระดับที่ 0.5%, 1.0% และ 1.5% (w/v) โดยแปรเวลาในการจุ่มเป็น 15, 30 และ 60 วินาที คัดเลือกความ

เข้มข้นของสารละลายโซเดียมแอลจีเนต สารละลายแคลเซียมคลอไรด์และเวลาที่ใช้ในการจุ่มที่เหมาะสมจากลักษณะการขึ้นรูปของฟิล์มที่มีความหนาเพียงพอ จากนั้นบรรจุมังคุดตัดแต่งตามข้อ 3.2.2 และปิดผนึก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ สุ่มตัวอย่างมังคุดตัดแต่งมาตรวจคุณภาพทุกวันจนมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราไม่เกินมาตรฐานผลไม้ตัดแต่งของกระทรวงสาธารณสุข ระหว่างการเก็บรักษาติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมังคุดตัดแต่ง ดังนี้

3.4.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

3.4.1.1 การเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่ง โดยถ่ายภาพบริเวณรอยตัดที่เปลือกมังคุดตัดแต่ง ในกล่องปิดสนิท นำภาพถ่ายที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* และ b^* ดังรายละเอียดในข้อ 3.3.1.1 และนำข้อมูลไปคำนวณค่า hue angle และ Chroma

3.4.1.2 การสูญเสียน้ำหนักของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บรักษา โดยชั่งน้ำหนักมังคุดตัดแต่งแต่ละผลทุกวัน จากนั้นคำนวณร้อยละการสูญเสียน้ำต่อน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

3.4.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดตัดแต่ง 2 รูปแบบ แบบแรกประเมินคุณภาพของมังคุดตัดแต่ง 7 ด้าน ได้แก่ สีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุด สีเนื้อมังคุด กลิ่นเนื้อมังคุด รสชาติ กลิ่นแปลกปลอม รสชาติแปลกปลอม และการยอมรับผลิตภัณฑ์ ใช้แบบทดสอบเชิงพรรณนา รูปแบบสเกลเส้นตรงระดับความเข้ม 0-10 (Descriptive analysis with scaling) รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ข.1 ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนดังรายละเอียดในข้อ 3.3.2 จำนวน 15 คน ประเมินผลทางประสาทสัมผัสทุก 2 วัน และแบบที่สองประเมินระดับความชอบของผู้ทดสอบ ใช้สเกลวัดระดับความชอบ 7 ระดับ รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ข.2 โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการแนะนำให้รู้จักกับผลิตภัณฑ์ที่มีการเคลือบ จำนวน 15 คน

3.4.3 การเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยา

ตรวจสอบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราในส่วนเนื้อของมังคุดตัดแต่งทุก 2 วัน ตามวิธีของ AOAC (2000) โดยตรวจสอบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ก.3 และตรวจสอบจำนวนยีสต์และรา รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ก.4

ข้อ 3.4.1 วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test และข้อ 3.4.2 วางแผนการทดลองแบบ RCBD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test (Cochran และ Cox, 1992)

3.5 ศึกษาสมบัติของ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด

3.5.1 เตรียม crude PPO

เตรียม crude PPO จากเปลือกมังคุด โดยวางเปลือกมังคุดที่แช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ในภาชนะปิดสนิทที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที เพื่อละลายน้ำแข็งบางส่วน จากนั้นหั่นเปลือกมังคุดที่ได้ลงในเครื่องปั่นผสมที่เย็น และเติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ (pH 6.5) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 1:4 (w/v) แล้วเติม polyvinyl polypyrrolodone 1% (w/v) และ triton X-100 1% (v/v) ตามลำดับ บั่นส่วนผสมดังกล่าวในเครื่องปั่นผสม นาน 30 วินาที (ปั่น 15 วินาที พัก 15 วินาที แล้วปั่นต่อ) จากนั้นนำส่วนผสมที่ปั่นได้ไปปั่นเหวี่ยงในเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง ควบคุมอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความเร็ว 10,000 x g เป็นเวลา 20 นาที สารละลายส่วนใสที่ได้คือ สารละลาย crude PPO นำสารละลาย crude PPO ที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี modified Lowry (Peterson, 1977) รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ก.6

3.5.2 วิเคราะห์กิจกรรมของ crude PPO

วิเคราะห์กิจกรรมของ crude PPO ตามวิธีการของ Duangmal และ Owusu-Apenten (1999) โดยนำสารละลาย crude PPO ที่ได้จากข้อ 3.5.1 ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายแคทีคอลเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ (pH 6.0) ปริมาตร 2.8 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร ทุก 5 วินาที เป็นเวลา 120 วินาที ใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ (pH 6.0) เป็น Blank นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณอัตราเร็วเริ่มต้นโดยคำนวณจากค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับเวลา คำนวณค่ากิจกรรมของ crude PPO โดยให้เอนไซม์ 1 หน่วย (unit) เท่ากับการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสง 0.001 ต่อนาที และรายงานค่ากิจกรรมของ crude PPO ในรูปของ PPO units/mg protein

3.5.3 วิเคราะห์สมบัติของ crude PPO

3.5.3.1 pH ที่เหมาะสมต่อการทำงาน (optimum pH)

ศึกษา pH ที่เหมาะสมในการทำงานของ crude PPO โดยนำสารละลาย crude PPO มาวิเคราะห์ค่ากิจกรรมตามข้อ 3.5.2 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ใช้สารละลายแคทีคอลในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่แปร pH ในช่วง 3.0-9.0 เป็นสารตั้งต้น คำนวณกิจกรรมของ crude PPO ในรูปของ relative activity เปรียบเทียบกับ pH ที่มีค่ากิจกรรมของ crude PPO สูงสุด ดังสมการ 3.3

$$\text{Relative activity (\%)} = \frac{\text{PPO activity at various conditions}}{\text{PPO activity at pH 6.0}} \times 100 \quad (3.3)$$

3.5.3.2 ความคงตัวของค่า pH (pH stability)

บ่มสารละลาย crude PPO กับสารละลายบัฟเฟอร์ที่แปร pH ในช่วง 3.0-9.0 ใน Eppendorf tube อัตราส่วน 1:2 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาวิเคราะห์ค่ากิจกรรมของ crude PPO ตามข้อ 3.5.2 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้สารละลายแคทีคอลในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH ตามที่เลือกไว้ในข้อ 3.5.3.1 เป็นสารตั้งต้น คำนวณกิจกรรมของ crude PPO ในรูปของ residual activity เปรียบเทียบกับ crude PPO ที่ไม่ผ่านการบ่ม ที่ pH 6.0 ดังสมการ 3.4

$$\text{Residual activity (\%)} = \frac{\text{PPO activity at various conditions}}{\text{PPO activity at pH 6.0 (non-incubated)}} \times 100 \quad (3.4)$$

3.5.3.3 อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงาน (Optimum temperature)

ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของ crude PPO โดยแปรอุณหภูมิในการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ในช่วง 0-90 องศาเซลเซียส วิเคราะห์กิจกรรมของ crude PPO ตามข้อ 3.5.2 โดยแปรอุณหภูมิต่างๆ ใช้สารละลายแคทีคอลในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH ที่เลือกจากข้อ 3.5.3.1 เป็นสารตั้งต้น คำนวณกิจกรรมของ crude PPO ในรูปของ relative activity เปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่มีค่ากิจกรรมของ crude PPO สูงสุด ดังสมการ 3.5

$$\text{Relative activity (\%)} = \frac{\text{PPO activity at various conditions}}{\text{PPO activity at 40}^{\circ}\text{C}} \times 100 \quad (3.5)$$

3.5.3.4 ความคงตัวของอุณหภูมิ (Temperature stability)

บ่ม crude PPO ในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิในช่วง 0-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 0 ± 1 องศาเซลเซียส จากนั้นนำสารละลาย crude PPO ที่ได้มาวิเคราะห์ค่ากิจกรรมของตามข้อ 3.5.2 ใช้สารละลายแคทีคอลในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH ตามที่เลือกไว้ในข้อ 3.5.3.1 เป็นสารตั้งต้น ที่อุณหภูมิที่เลือกไว้ในข้อ 3.5.3.3 คำนวณกิจกรรมของ crude PPO ในรูปของ residual activity เปรียบเทียบกับ crude PPO ที่ไม่ผ่านการบ่ม ที่ pH 6.0 โดยใช้สมการ 3.4

3.5.3.5 ความจำเพาะต่อสารตั้งต้น (Substrate specificity)

เตรียมสารละลายสารตั้งต้น 5 ชนิด ได้แก่ catechol ความเข้มข้น 20, 10, 7.5, 5 และ 2.5 มิลลิโมลาร์ 4-methylcatechol ความเข้มข้น 20, 10, 7.5, 5 และ 2.5 มิลลิโมลาร์ gallic acid ความเข้มข้น 20, 10, 7.5, 5 และ 2.5 มิลลิโมลาร์ ferulic acid ความเข้มข้น 10, 7.5,

5, 2.5 และ 1.25 มิลลิโมลาร์ และ caffeic acid ความเข้มข้น 10, 7.5, 5, 2.5 และ 1.25 มิลลิโมลาร์ นำสารละลาย crude PPO ที่ได้จากข้อ 3.5.1 ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ผสมกับสารตั้งต้นชนิดและความเข้มข้นต่าง ๆ ข้างต้น ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 M pH ตามที่เลือกไว้ในข้อ 3.5.3.1 ปริมาตร 2.8 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิที่เลือกไว้ในข้อ 3.5.3.3 จากนั้นวิเคราะห์กิจกรรมของ crude PPO ตามข้อ 3.5.2 คำนวณค่า Michaelis constant (K_m) และ maximum velocity (V_{max}) จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/v$ และ $1/[S]$ ตามวิธีการของ Lineweaver and Burk (1934)

3.5.3.6 ผลของการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลต่อ crude PPO

ศึกษาผลของการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล 3 ชนิด คือ ชุดสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) ชุดสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริก 1% (w/v) กับกรดแอสคอร์บิก 0.5% (w/v) และชุดสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริก 1% (w/v) กับโซเดียมอิริทอร์เบท 0.5% (w/v) ที่มีต่อ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด โดยนำสารละลาย crude PPO ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ผสมกับชุดสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลข้างต้น ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร จากนั้นเติมลงในสารละลายแคทีคอลในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH ตามที่เลือกไว้ในข้อ 3.5.3.1 ปริมาตร 2.6 มิลลิลิตร วิเคราะห์กิจกรรมของ crude PPO ตามข้อ 3.5.2 โดยแปรเวลาที่ใช้ปฏิกิริยา crude PPO ในสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลดังกล่าวเป็น 0, 10 และ 20 นาที อัตราส่วนของ crude PPO ต่อสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ใช้ปฏิกิริยา คือ 1:1 (v/v) แล้วคำนวณ % inhibition โดยเทียบกับชุดที่ไม่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ดังสมการ 3.6

$$\% \text{ inhibition} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100 \quad (3.6)$$

A_0 คือ ค่ากิจกรรมของ crude PPO ที่ไม่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล

A_1 คือ ค่ากิจกรรมของ crude PPO ที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 องค์ประกอบทางเคมี กายภาพและจุลชีววิทยาของมังคุดสด

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี กายภาพและจุลชีววิทยาของมังคุดสดแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมี กายภาพและจุลชีววิทยาของมังคุดสด

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย* \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เนื้อมังคุด	
ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	2.87 \pm 0.03
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix)	16.54 \pm 0.84
ค่าความเป็นกรด (% as citric acid)	0.87 \pm 0.06
อัตราส่วนของน้ำตาลต่อกรด	19.08 \pm 1.56
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด	< 30 cfu/g
จำนวนยีสต์และรา	< 30 cfu/g
เปลือกมังคุด	
ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	5.68 \pm 0.07
ค่าสีของเปลือกมังคุด	
L*	23.24 \pm 0.77
a*	5.08 \pm 0.78
b*	1.82 \pm 0.43
a*/ b*	2.93 \pm 0.82
มังคุดทั้งผล	
ค่าความแน่นเนื้อ (firmness, N)	44.28 \pm 5.35

* ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.1 พบว่าองค์ประกอบต่าง ๆ ด้านเคมีและกายภาพของมังคุดสดที่วิเคราะห์ ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ Palapol และคณะ (2009) รายงานไว้ว่ามังคุดที่มีเปลือกสีแดงม่วงมี ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 16.6-17.1 °Brix เนื้อมังคุดสดมีค่าความเป็นกรด (คำนวณในรูปกรดซิตริก) ร้อยละ 0.79-0.80 อัตราส่วนของน้ำตาลต่อกรดมีค่า 20.8-21.7 ความแน่นเนื้อของมังคุดมีค่า 42.9-45.0 นิวตัน และอัตราส่วนค่า a^* ต่อ b^* มีค่า 2.28-3.71

4.2 ผลของการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุด

จากการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ สารละลายกรดซิตริก เข้มข้น 1% (w/v) (CA), สารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) กับกรดแอสคอร์บิก เข้มข้น 0.5% (w/v) (CA+AA) และสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) กับ โซเดียมเอริทอร์เบทเข้มข้น 0.5% (w/v) (CA+SE) เพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดที่ เปลือกของมังคุดตัดแต่ง เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล (Control) พบว่ามังคุดตัดแต่งทั้งสี่ชุดการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในด้านต่างๆ ดังนี้

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

4.2.1.1 การเปลี่ยนแปลงสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุด

เมื่อวัดค่าสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งทุกวัน ตลอดระยะเวลาการ เก็บรักษา พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บเดียวกัน ค่าความสว่าง (L^*) บริเวณรอยตัดที่เปลือกของ มังคุดตัดแต่งในชุดที่มีการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ CA, CA+AA และ CA+SE สูงกว่าชุดควบคุม โดยในวันสุดท้ายของการเก็บ มังคุดตัดแต่งที่มีการใช้สารยับยั้ง การเกิดสีน้ำตาลชนิด CA มีค่า L^* สูงที่สุดและสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.1) ดังแสดงในตารางที่ 4.2

เมื่อพิจารณาค่าสีแดง-เขียว (a^*) บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งพบว่า ที่ระยะเวลาการเก็บเดียวกัน มังคุดตัดแต่งที่มีการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลดังกล่าวมีค่า a^* ต่ำ กว่าชุดควบคุม โดยในวันสุดท้ายของการเก็บมังคุดตัดแต่งที่มีการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่า a^* ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.2) ดังแสดงใน ตารางที่ 4.3

เมื่อพิจารณาค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่ง พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บเดียวกัน มังคุดที่มีการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 3 ชุดการทดลอง

มีค่า b^* สูงกว่าชุดควบคุม โดยในวันสุดท้ายของการเก็บมังคุดตัดแต่งที่มีการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลชนิด CA มีค่า b^* สูงที่สุดและสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค. 3) ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งได้ เนื่องจากมังคุดที่มีการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้งสามชุดการทดลองมีค่า L^* และ b^* สูงกว่ามังคุดในชุดควบคุม และมีค่า a^* ต่ำกว่ามังคุดในชุดควบคุมตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บ โดยในวันสุดท้ายของการเก็บมังคุดตัดแต่งที่มีการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลชนิด CA มีค่าสีดังกล่าวต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

Furia (1964) อธิบายกลไกการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของกรดซิตริกโดยอธิบายว่า กรดซิตริกจับกับทองแดงที่บริเวณเร่งของเอนไซม์หรือส่งผลให้ค่าความเป็นกรดต่างลดต่ำลงจนไม่เหมาะสำหรับการทำงานของเอนไซม์ Walker (1977) รายงานว่ากรดแอสคอร์บิกและโซเดียมอริทอร์เบทซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกรดแอสคอร์บิกเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกลุ่ม reducing agents ช่วยชะลอปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยการรีดิวซ์สาร o-quinone ที่เกิดขึ้นให้กลับไปเป็นสารประกอบพีนอลิกตั้งต้น ทำให้ไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปเป็นสารสีน้ำตาลได้

ผลการวัดค่าสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งสอดคล้องกับรายงานของ Manurakchinakorn และคณะ (2005) ที่พบว่าค่าความสว่างของเนื้อมังคุดตัดแต่งในชุดควบคุม ($L^* = 59.05$) ต่ำกว่ามังคุดที่ใช้โซเดียมอริทอร์เบทเข้มข้น 2% (w/v) ($L^* = 73.10$) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากโซเดียมอริทอร์เบทเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกลุ่ม reducing agents จึงช่วยชะลอปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ดังที่อธิบายไว้ในข้างต้น Moline และคณะ (1998) ศึกษาการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยที่ปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้น แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน พบว่าการใช้ citric acid เข้มข้น 0.5 โมลาร์ ผสมกับ acetylcysteine เข้มข้น 0.05 โมลาร์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลสูงที่สุด โดยชิ้นกล้วยมีค่า L^* เท่ากับ 72.52 และมีค่า b^* เท่ากับ 31.05 ซึ่งสูงกว่าการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลชนิดอื่น ๆ และสูงกว่าชุดที่ไม่มีการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่มีค่า L^* เท่ากับ 55.22 และมีค่า b^* เท่ากับ 23.35 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บ
ที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	ค่า L^*			
	Control	CA	CA+AA	CA+SE
0	45.30 ^a ± 1.45	53.60 ^b ± 5.46	51.21 ^{ab} ± 3.52	49.10 ^{ab} ± 2.57
1	49.41 ^a ± 1.50	54.32 ^{ab} ± 0.90	51.91 ^{ab} ± 2.18	57.01 ^b ± 4.73
2	49.30 ^a ± 1.33	54.26 ^{ab} ± 3.76	58.95 ^b ± 1.17	58.59 ^b ± 5.31
3	49.12 ^a ± 1.99	52.06 ^a ± 4.67	53.36 ^{ab} ± 5.61	59.71 ^b ± 0.40
4	48.76 ^a ± 3.70	57.12 ^{ab} ± 4.96	60.18 ^b ± 5.78	60.00 ^b ± 3.44
5	49.50 ^a ± 2.28	59.25 ^b ± 3.39	58.50 ^b ± 6.04	62.11 ^b ± 1.73
6	47.68 ^a ± 1.71	57.78 ^b ± 7.40	57.68 ^b ± 2.72	59.09 ^b ± 1.80
7	52.73 ^a ± 3.14	58.31 ^b ± 2.05	58.96 ^b ± 0.40	57.46 ^{ab} ± 0.72
8	49.30 ^a ± 0.09	56.33 ^b ± 1.84	57.97 ^b ± 2.27	59.58 ^b ± 1.94
9	51.96 ^a ± 0.48	62.90 ^c ± 1.89	57.97 ^{bc} ± 3.20	57.64 ^{bc} ± 0.88

a, b, c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่า a^* บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บ
ที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	ค่า a^*			
	Control	CA	CA+AA	CA+SE
0 ^{ns}	11.85 ± 2.26	17.31 ± 5.45	12.59 ± 6.16	11.57 ± 5.49
1 ^{ns}	11.47 ± 1.50	13.78 ± 4.86	11.08 ± 3.20	8.27 ± 2.93
2 ^{ns}	12.27 ± 1.33	12.24 ± 4.19	10.93 ± 1.54	9.82 ± 3.88
3	13.00 ^b ± 2.15	8.63 ^{ab} ± 3.64	6.91 ^a ± 3.48	5.55 ^a ± 1.03
4	12.88 ^b ± 3.78	10.66 ^{ab} ± 3.86	9.48 ^{ab} ± 3.62	4.03 ^a ± 2.76
5	14.47 ^c ± 3.71	13.37 ^{bc} ± 1.33	9.80 ^{ab} ± 2.15	8.46 ^a ± 1.43
6	13.14 ^c ± 0.55	10.70 ^b ± 1.35	10.17 ^b ± 1.50	7.56 ^a ± 0.73
7	13.24 ^b ± 3.01	10.95 ^{ab} ± 2.59	10.61 ^{ab} ± 1.19	6.57 ^a ± 3.96
8	14.31 ^b ± 4.86	8.15 ^{ab} ± 0.63	9.77 ^{ab} ± 0.61	5.12 ^a ± 1.11
9	13.76 ^c ± 2.22	8.41 ^b ± 1.92	5.59 ^{ab} ± 0.25	2.18 ^a ± 0.37

a, b, c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

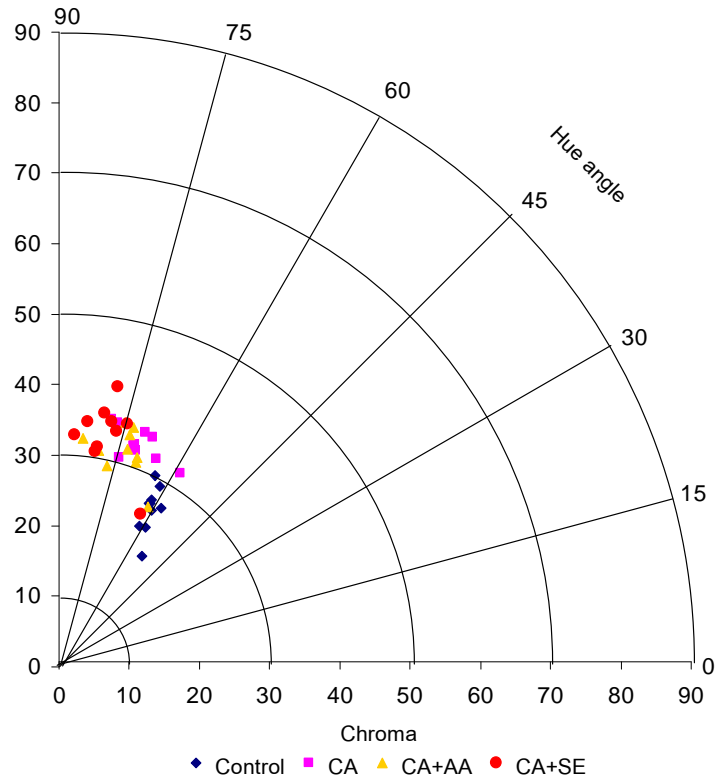
ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า b^* บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

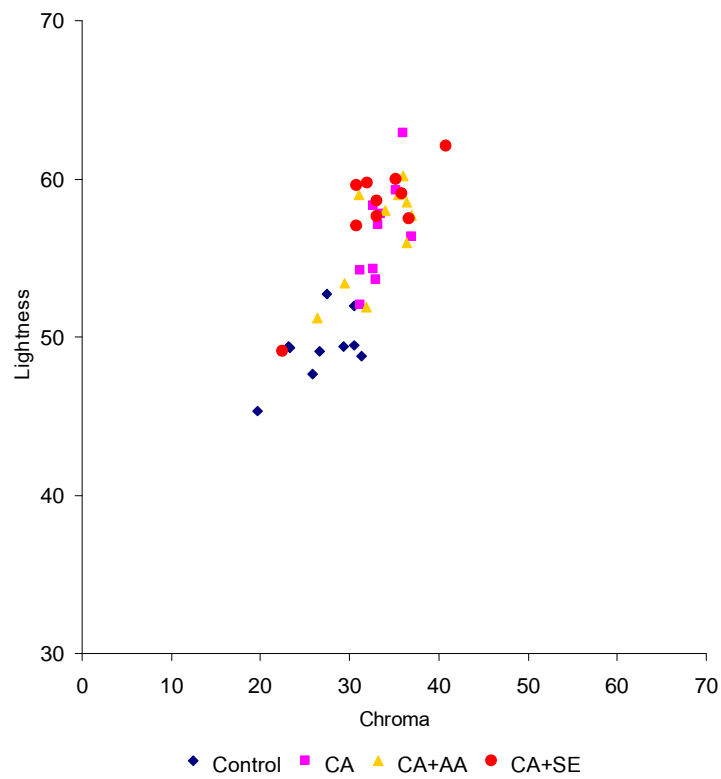
ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	ค่า b^*			
	Control	CA	CA+AA	CA+SE
0	15.61 ^a ± 1.00	27.43 ^b ± 4.71	22.73 ^{ab} ± 3.75	21.67 ^{ab} ± 4.09
1	20.02 ^a ± 3.65	29.55 ^{ab} ± 5.03	29.64 ^{ab} ± 4.79	33.34 ^b ± 7.54
2	19.70 ^a ± 2.33	33.16 ^b ± 6.26	29.03 ^b ± 1.39	34.42 ^b ± 6.47
3	23.12 ^a ± 1.28	29.74 ^b ± 2.65	28.39 ^b ± 0.95	31.17 ^b ± 2.79
4	23.23 ^a ± 6.06	31.30 ^{ab} ± 5.66	34.66 ^b ± 6.02	34.83 ^b ± 3.95
5	22.56 ^a ± 5.68	32.58 ^b ± 1.49	30.93 ^{ab} ± 6.52	39.74 ^b ± 2.90
6	22.10 ^a ± 0.57	31.59 ^b ± 4.61	32.94 ^b ± 4.50	34.86 ^b ± 3.33
7	23.71 ^a ± 2.51	30.76 ^{ab} ± 7.33	33.84 ^b ± 1.42	35.97 ^b ± 2.65
8	25.63 ^a ± 8.98	35.08 ^b ± 4.44	32.30 ^b ± 0.44	30.52 ^{ab} ± 2.39
9	27.08 ^a ± 0.90	34.68 ^b ± 1.72	30.63 ^{ab} ± 7.84	32.95 ^b ± 3.20

a, b, c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉดสี (hue angle) และค่าความเข้มของสี (chroma) บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งทุกชุดการทดลอง (ภาพที่ 4.1) พบว่า มังคุดตัดแต่งชุดควบคุมกับมังคุดตัดแต่งที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลมีเฉดสีต่างกัน โดยมังคุดตัดแต่งชุดควบคุมมีค่าเฉดสีประมาณ 60° ซึ่งต่ำกว่ามังคุดที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่มีค่าเฉดสีในช่วง 60° - 90° แสดงให้เห็นว่ามังคุดชุดควบคุมมีสีแดงมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณา ค่าความสว่าง (lightness) ร่วมกับค่า chroma (ภาพที่ 4.2) จะเห็นว่ามังคุดที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลมีค่าความสว่างและค่า chroma สูงกว่ามังคุดชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่ามังคุดตัดแต่งที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้งสามชุดการทดลองมีสีที่สว่างและสดกว่ามังคุดตัดแต่งชุดควบคุม ผลค่าสีที่ได้ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ใช้มีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในมังคุดตัดแต่ง โดยกลไกการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของสารดังกล่าวได้อธิบายไว้ข้างต้น



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า chroma และค่าเฉดสีของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์



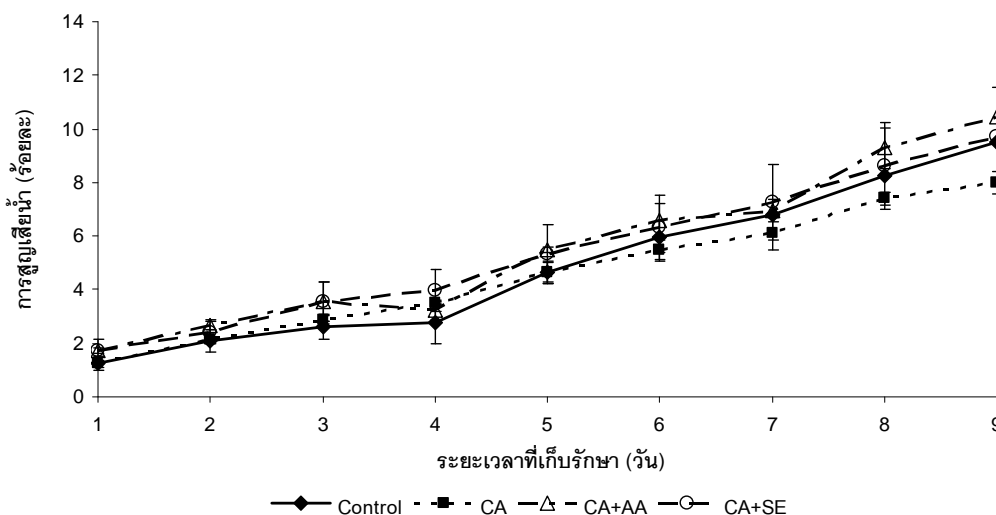
ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า chroma และค่าความสว่างของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

4.2.1.2 การสูญเสียน้ำของมังคุดตัดแต่ง

ภาพที่ 4.3 แสดงการสูญเสียน้ำของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ การเก็บมังคุดตัดแต่งไว้เป็นระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำเพิ่มสูงขึ้น มังคุดตัดแต่งที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 4 วัน มีการสูญเสียน้ำร้อยละ 2-4 โดยมังคุดตัดแต่งทั้งสี่ชุดการทดลองมีการสูญเสียน้ำใกล้เคียงกัน และที่ระยะนี้ผู้ทดสอบเริ่มสังเกตเห็นเนื้อและเปลือกมังคุดมีลักษณะแห้งมีการยุบตัว เกิดเป็นช่องว่างระหว่างเนื้อและเปลือกขึ้น ที่ระยะเวลา 9 วัน พบว่ามังคุดตัดแต่งทั้งสี่ชุดการทดลองมีการสูญเสียน้ำไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ ค.4) แต่มังคุดตัดแต่งชุดที่มีการใช้ CA มีการสูญเสียน้ำต่ำที่สุดคือมีการสูญเสียร้อยละ 8 ในขณะที่ชุดการทดลองอื่น ๆ มีการสูญเสียร้อยละ 9.5-10.4

การสูญเสียน้ำของมังคุด เป็นกระบวนการที่น้ำเคลื่อนที่จากตัวผลผลิตผลออกไปสู่อากาศข้างนอก การสูญเสียน้ำนอกจากจะทำให้น้ำหนักขาดหายไปแล้วยังทำให้รูปร่างลักษณะของผลผลิตเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ด้อยลง แต่การสูญเสียน้ำของผลผลิตแต่ละชนิดแตกต่างกันซึ่งอาจมีสาเหตุจากปัจจัยภายใน เช่น ขนาดของผลผลิต ลักษณะของผลผลิต และบาดแผล เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ได้แก่ ความชื้นในบรรยากาศ อุณหภูมิ และการเคลื่อนไหวของอากาศ เป็นต้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

Olivas และคณะ (2007) รายงานว่าแอปเปิ้ลหั่นเป็นแผ่นที่เก็บรักษาในถาดพลาสติกเปิดฝา ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 วัน มีการสูญเสียน้ำร้อยละ 30 Hernandez-Munoz และคณะ (2008) รายงานว่าสตอเบอรี่ที่เก็บรักษาในภาชนะเปิดฝา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ไว้เป็นระยะเวลา 6 วัน มีการสูญเสียน้ำร้อยละ 28.7 ในขณะที่ Chien และคณะ (2007) รายงานว่ามะม่วงหั่นเป็นแผ่นเก็บรักษาในถาดพลาสติกแล้วหุ้มด้วยฟิล์มชนิดพอลิไวนิลิดีนคลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน มีการสูญเสียน้ำร้อยละ 19.86 จากรายงานข้างต้นชี้ให้เห็นว่าผลผลิตชนิดต่าง ๆ มีอัตราการสูญเสียน้ำต่างกันเนื่องจากปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำต่างกัน เช่น ชนิดของผลผลิต อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาและการบรรจุ



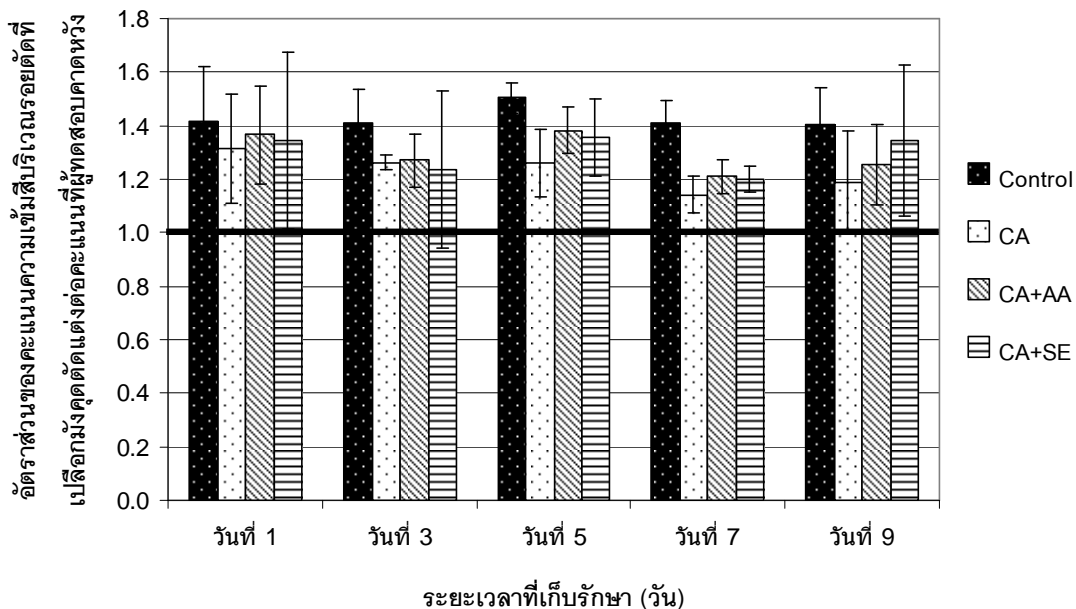
ภาพที่ 4.3 การสูญเสียน้ำของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

4.2.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสมังคุดตัดแต่ง โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 15 คน ประเมินผลด้านสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่ง สีเนื้อมังคุด กลิ่นและรสชาติของมังคุด กลิ่นแปลกปลอม รสชาติแปลกปลอมและการยอมรับของผู้ทดสอบทุก 2 วัน ใช้แบบทดสอบเชิงพรรณนา รูปแบบสเกลเส้นตรงคะแนนความเข้ม 0-10 เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของคะแนนความเข้มสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวัง โดยคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังคือสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดสด พบว่ามังคุดตัดแต่งทุกชุดการทดลองมีอัตราส่วนของคะแนนความเข้มสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังสูงกว่า 1 (ภาพที่ 4.4) นั่นคือมังคุดตัดแต่งทุกชุดการทดลองมีคะแนนความเข้มสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกสูงกว่าคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวัง แต่มังคุดตัดแต่งชุดที่มีการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้งสามชุดการทดลองมีคะแนนความเข้มสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกใกล้เคียงกับคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังมากกว่ามังคุดชุดควบคุม โดยมังคุดตัดแต่งชุดที่มีการใช้ CA มีคะแนนความเข้มสีใกล้เคียงกับคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังมากที่สุดตลอดช่วงการเก็บรักษา เนื่องจากการใช้กรดซิตริกสามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของมังคุดตัดแต่งได้ดังที่ได้อธิบายไว้ในข้อ 4.2.1.1

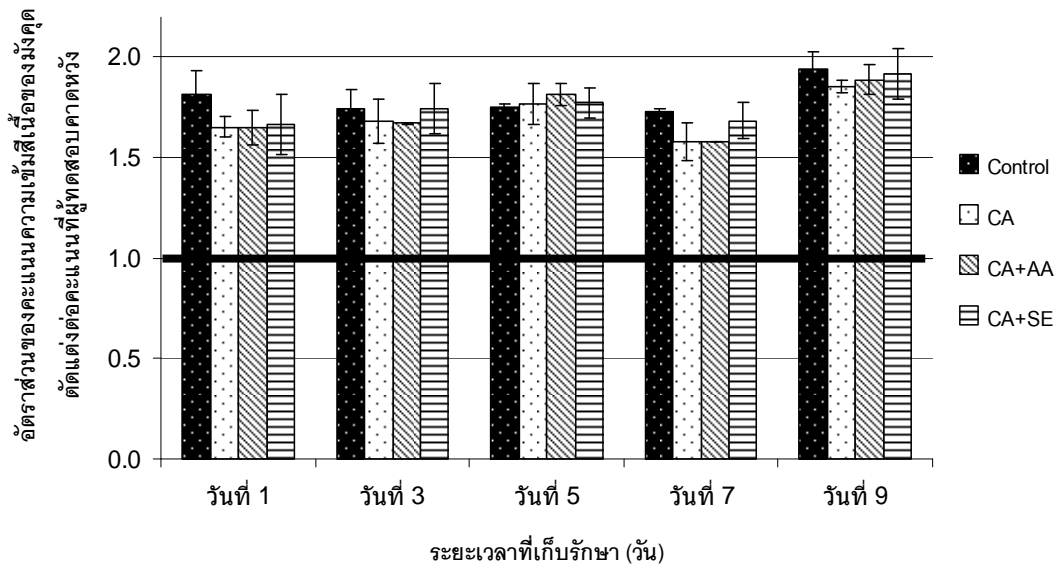
ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลสามารถควบคุมความเข้มสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งได้ ซึ่งผลการประเมินสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าสี (ค่า L^* , a^* และ b^*) ในข้อ 4.2.1.1 ที่พบว่ามังคุดตัดแต่งที่มีการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้ง

3 ชุดการทดลองมีค่า L^* และ b^* สูงกว่ามังคุดตัดแต่งชุดควบคุม และมีค่า a^* ต่ำกว่ามังคุดตัดแต่งชุดควบคุม โดยมังคุดตัดแต่งชุดที่มีการใช้ CA มีค่า L^* และ b^* สูงที่สุดและสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.1 และตารางที่ ค.2)



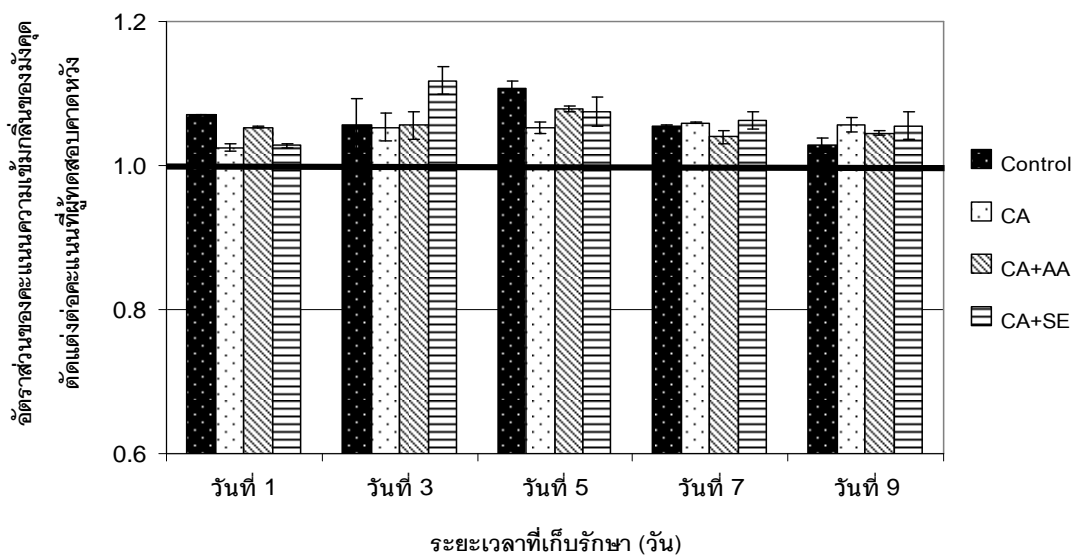
ภาพที่ 4.4 คะแนนความแข็งสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังในระหว่างการเก็บที่ 8+2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ภาพที่ 4.5 แสดงอัตราส่วนของคะแนนความแข็งสีเนื้อของมังคุดตัดแต่งต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวัง (คะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังเป็นสีเนื้อมังคุดสด) พบว่ามังคุดตัดแต่งทุกชุดการทดลองมีอัตราส่วนของคะแนนความแข็งสีเนื้อมังคุดตัดแต่งต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังสูงกว่า 1 นั่นคือมังคุดตัดแต่งมีความแข็งสีเนื้อสูงกว่าที่ผู้ทดสอบคาดหวัง และอัตราส่วนของคะแนนความแข็งสีเนื้อมังคุดตัดแต่งดังกล่าวมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ 9 วัน นั่นคือสีเนื้อมังคุดมีแนวโน้มเข้มขึ้น

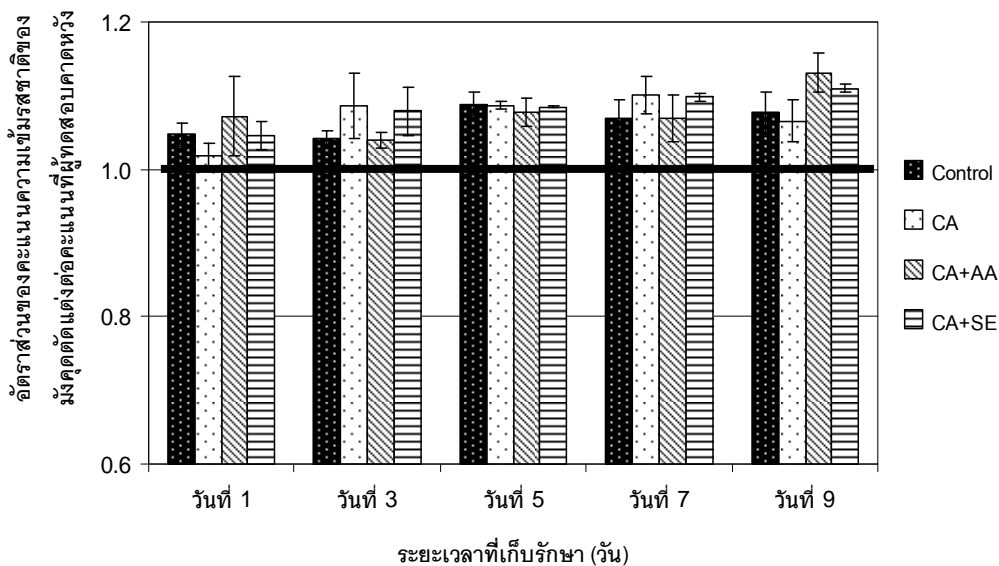


ภาพที่ 4.5 อัตราส่วนของคะแนนความเข้มสีเนื้อของมังคุดตัดแต่งต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวัง ในระหว่างการเก็บที่ 8+2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

มังคุดตัดแต่งทุกชุดการทดลองมีคะแนนความเข้มของกลีบและรสชาติมังคุดใกล้เคียงกับคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังมาก โดยมีอัตราส่วนของคะแนนความเข้มกลีบและรสชาติมังคุดต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังไม่เกิน 1.1 (ภาพที่ 4.6) และ 1.2 (ภาพที่ 4.7) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลไม่ส่งผลให้กลีบและรสชาติมังคุดเปลี่ยนแปลงไปจากมังคุดสด



ภาพที่ 4.6 อัตราส่วนของคะแนนความเข้มกลีบของมังคุดตัดแต่งต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวัง ในระหว่างการเก็บที่ 8+2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.7 อัตราส่วนของคะแนนความเข้มรสชาติของมังคุดตัดแต่งต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ในด้านคะแนนความเข้มกลิ่นและรสชาติแปลกปลอม พบว่ามังคุดทุกชุดการทดลองมีคะแนนต่ำมากและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ ค.5 และตารางที่ ค.6) ผลแสดงดังตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 ตามลำดับ เนื่องจากสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ใช้ไม่มีกลิ่น และมีการใช้โดยการหยดสารดังกล่าวลงบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งจึงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรสชาติของเนื้อมังคุดที่นำมาบริโภค

ตารางที่ 4.5 คะแนนความเข้มกลิ่นแปลกปลอมของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	คะแนนความเข้มกลิ่นแปลกปลอมของมังคุดตัดแต่ง ^{ns}			
	Control	CA	CA+AA	CA+SE
1	0.35 ± 0.00	0.12 ± 0.02	0.27 ± 0.01	0.14 ± 0.01
3	0.28 ± 0.19	0.27 ± 0.09	0.28 ± 0.09	0.59 ± 0.09
5	0.54 ± 0.05	0.26 ± 0.04	0.39 ± 0.02	0.38 ± 0.10
7	0.28 ± 0.00	0.29 ± 0.00	0.20 ± 0.05	0.31 ± 0.06
9	0.14 ± 0.05	0.28 ± 0.05	0.23 ± 0.02	0.28 ± 0.10

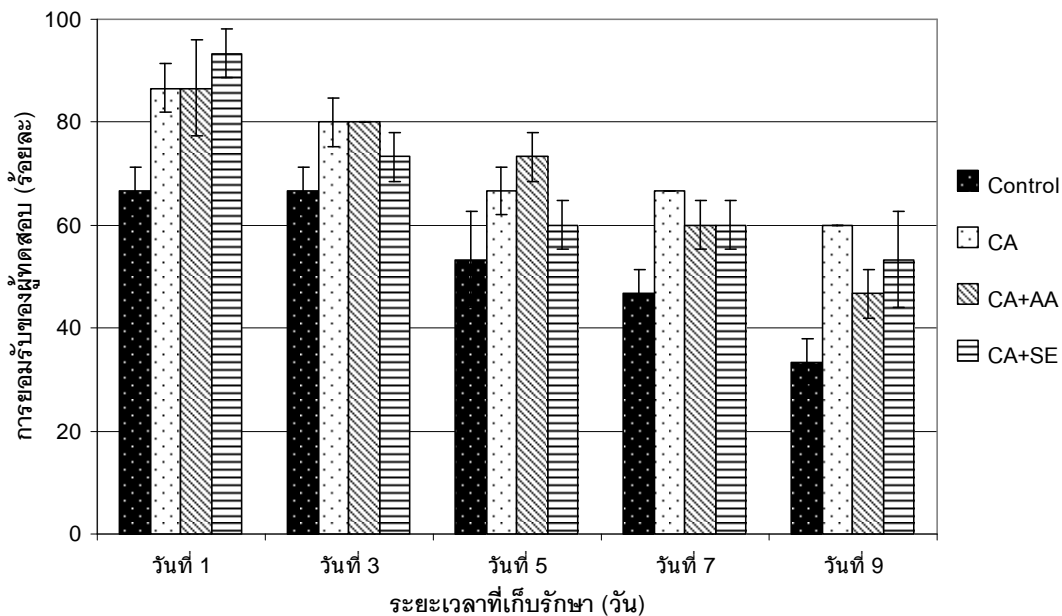
ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.6 คะแนนความเข้มรสชาติแปลกปลอมของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	คะแนนความเข้มรสชาติแปลกปลอมของมังคุดตัดแต่ง ^{ns}			
	Control	CA	CA+AA	CA+SE
1	0.24 ± 0.08	0.09 ± 0.08	0.36 ± 0.27	0.23 ± 0.10
3	0.20 ± 0.06	0.43 ± 0.23	0.20 ± 0.05	0.39 ± 0.16
5	0.44 ± 0.08	0.43 ± 0.03	0.39 ± 0.09	0.42 ± 0.00
7	0.34 ± 0.13	0.50 ± 0.12	0.35 ± 0.16	0.49 ± 0.03
9	0.39 ± 0.13	0.33 ± 0.14	0.66 ± 0.13	0.55 ± 0.02

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ภาพที่ 4.8 แสดงผลการประเมินการยอมรับมังคุดตัดแต่งของผู้ทดสอบ มังคุดตัดแต่งทั้ง 4 ชุดการทดลองได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บ แต่มังคุดที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 3 ชุดการทดลองได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบสูงกว่าชุดควบคุม เมื่อเก็บรักษามังคุดตัดแต่งไว้เป็นระยะเวลา 9 วัน มังคุดชุดควบคุมได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบเพียงร้อยละ 33 ส่วนมังคุดตัดแต่งที่มีการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 3 ชุดการทดลองได้แก่ CA+AA, CA+SE และ CA ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบร้อยละ 47, 53 และ 60 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลสามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในมังคุดตัดแต่งได้ ผลการประเมินการยอมรับที่ได้สอดคล้องกับผลการประเมินคะแนนความเข้มสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งที่พบว่ามังคุดตัดแต่งที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลมีคะแนนความเข้มสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งต่ำกว่ามังคุดตัดแต่งชุดควบคุม และมังคุดตัดแต่งชุดที่มีการใช้ CA ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบสูงที่สุด และมีคะแนนความเข้มสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกใกล้เคียงคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังมากที่สุด



ภาพที่ 4.8 การยอมรับของผู้ทดสอบต่อมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8+2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดตัดแต่งที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Gonzalez-Aguilar และคณะ (2004) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสับปะรดตัดแต่งที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่าการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 3 ชนิด คือ isoascorbic acid (IAA) ascorbic acid (AA) และ acetyl cysteine (AC) มีประสิทธิภาพในการลดการเกิดสีน้ำตาลในสับปะรดตัดแต่งโดยมีคะแนนการเกิดสีน้ำตาลต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลจากการประเมินการเสื่อมเสียบริเวณผิวของสับปะรดตัดแต่ง พบว่าชุดที่มีการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 3 ชนิด มีการเสื่อมเสียต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับของผู้ทดสอบ โดยแบ่งคะแนนการยอมรับออกเป็น 9 คะแนน พบว่า เมื่อเก็บรักษาสับปะรดตัดแต่งไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน ชุดที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลชนิด AC และ IAA มีคะแนนการยอมรับอยู่ที่คะแนน 9 หมายความว่าดีเลิศหรือไม่มีตำหนิ ชุดที่ใช้ AA ได้รับคะแนนการยอมรับอยู่ในคะแนน 6.5 หมายความว่าดีมากหรือมีตำหนิเล็กน้อย ส่วนชุดควบคุมมีคะแนนการยอมรับอยู่ในคะแนน 5 หมายความว่าพอใช้หรือมีตำหนิปานกลาง และเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 14 วัน พบว่าชุดควบคุมมีคะแนนการยอมรับอยู่ในคะแนน 1 หมายความว่าไม่สามารถนำไปใช้ได้ แต่ชุดที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 3 ชนิด มีคะแนนการยอมรับอยู่ในคะแนนที่สูงกว่า 5 ซึ่งเป็นคะแนนที่สามารถยอมรับได้ทางการค้า แสดงว่าการใช้สารยับยั้งดังกล่าวสามารถรักษาคุณภาพของสับปะรดตัดแต่งได้

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงทางด้านจุลชีววิทยา

เมื่อใช้มาตรฐานผลไม้ตัดแต่งของกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งกำหนดให้มีจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^6 cfu/g ยีสต์และราไม่เกิน 1×10^4 cfu/g (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2536) เป็นเกณฑ์ในการกำหนดอายุการเก็บรักษามังคุดตัดแต่ง พบว่ามังคุดตัดแต่งทุกชุดการทดลองที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดเปอร์ออกซิอะซิติกเข้มข้น 100 ppm ซึ่งใช้เป็นสารต้านจุลินทรีย์ แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ มีอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน (ตารางที่ 4.7) หลังจากหมดอายุการเก็บนี้แล้วจะสังเกตเห็นจุดของราขึ้นมาบนผิวของมังคุดตัดแต่ง ระยะเวลาในการเก็บรักษาจากการทดลองนี้มากกว่าผลการทดลองของ Manurakchinakorn และคณะ (2005) ซึ่งรายงานว่ามังคุดตัดแต่งที่มีการใช้โซเดียมอิทธิออร์เพทเข้มข้น 2% (w/v) สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้เป็นเวลา 8 วัน

ตารางที่ 4.7 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราในเนื้อมังคุดตัดแต่งระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลา การเก็บ (วัน)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)				จำนวนยีสต์และรา (cfu/g)			
	Control	CA	CA+AA	CA+SE	Control	CA	CA+AA	CA+SE
0	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
7	3.09×10^4	5.14×10^3	3.41×10^3	2.58×10^3	2.58×10^3	1.50×10^3	1.26×10^3	2.86×10^3
9	1.10×10^5	4.93×10^4	2.02×10^3	3.65×10^3	4.73×10^3	1.38×10^3	3.16×10^3	2.80×10^3

หมายเหตุ nd หมายถึง ไม่สามารถตรวจพบได้ (เนื่องจากมีจำนวนน้อยกว่า 30 cfu/g)

จากผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพด้านสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่ง พบว่าทุกชุดที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ใกล้เคียงกัน แต่มังคุดตัดแต่งชุดที่มีการใช้ CA มีค่า L^* และ b^* สูงที่สุดและสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยาของทุกชุดการทดลองไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด นอกจากนี้ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่ามังคุดที่มีการใช้กรดซิตริกมีคะแนนความเข้มสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกใกล้เคียงกับคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังมากที่สุด มีคะแนนความเข้มของกลิ่นและรสชาติมังคุดใกล้เคียงกับคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวัง กลิ่นและรสชาติแปลกปลอมอยู่ในระดับต่ำมากและไม่แตกต่างจากชุดอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ยังได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบสูงที่สุดตลอดช่วงของการเก็บรักษา ดังนั้นจึงเลือกใช้กรดซิตริกเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในขั้นตอนต่อไป

4.3 ผลการใช้ไซโตเดียมแอลจินेटและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สำหรับเคลือบมั่งคุดตัดแต่งเพื่อพัฒนาคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา

จากผลการทดลองในข้อ 4.2 พบว่ากรดซิตริกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในมั่งคุดตัดแต่งมากที่สุด จึงเลือกกรดซิตริกเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลร่วมกับการเคลือบด้วยสารเคลือบบริเวณผิวได้ชนิดไซโตเดียมแอลจินेटตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพื่อพัฒนาคุณภาพของมั่งคุดตัดแต่ง และจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าภาวะที่เหมาะสมในการเคลือบคือ มั่งคุดตัดแต่งด้านที่เปิดฝาทิ้งในสารละลายไซโตเดียมแอลจินेटเข้มข้น 2% (w/v) เป็นเวลา 15 วินาที ยกขึ้นแล้วพักไว้เป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นจุ่มลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0% และ 1.5% (w/v) เป็นเวลา 15 วินาที หลังจากนั้นจึงแบ่งมั่งคุดตัดแต่งออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ได้แก่

- ชุดที่ 1 หยดสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) และไม่มีการเคลือบ ใช้สัญลักษณ์ CA-n-Alg
- ชุดที่ 2 ไม่หยดสารละลายกรดซิตริก และมีการเคลือบโดยจุ่มลงในสารละลายไซโตเดียมแอลจินेटเข้มข้น 2% (w/v) ตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0% (w/v) ใช้สัญลักษณ์ n-CA-Alg-Ca1.0
- ชุดที่ 3 หยดสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) และมีการเคลือบโดยจุ่มลงในสารละลายไซโตเดียมแอลจินेटเข้มข้น 2% (w/v) ตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0% (w/v) ใช้สัญลักษณ์ CA-Alg-Ca1.0
- ชุดที่ 4 ไม่หยดสารละลายกรดซิตริก และมีการเคลือบโดยจุ่มลงในสารละลายไซโตเดียมแอลจินेटเข้มข้น 2% (w/v) ตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.5% (w/v) ใช้สัญลักษณ์ n-CA-Alg-Ca1.5
- ชุดที่ 5 หยดสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) และมีการเคลือบโดยจุ่มลงในสารละลายไซโตเดียมแอลจินेटเข้มข้น 2% (w/v) ตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.5% (w/v) ใช้สัญลักษณ์ CA-Alg-Ca1.5

ผลการทดลองพบว่ามั่งคุดตัดแต่งทั้งห้าชุดการทดลองที่เก็บที่อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในด้านต่าง ๆ ดังนี้

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

4.3.1.1 การเปลี่ยนแปลงสีบริเวณรอยตัดเปลือกมั่งคุด

เมื่อวัดค่าสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมั่งคุดตัดแต่งทั้ง 5 ชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บเดียวกัน ค่า L* บริเวณรอยตัดที่เปลือกของ

มังคุดตัดแต่งชุด CA-Alg-Ca1.0 และ CA-Alg-Ca1.5 มีค่าสูงกว่ามังคุดตัดแต่งชุด CA-n-Alg, n-CA-Alg-Ca1.0 และ n-CA-Alg-Ca1.5 (ตารางที่ 4.8) โดยในวันสุดท้ายของการเก็บมังคุดตัดแต่งชุด CA-Alg-Ca1.0 และ CA-Alg-Ca1.5 มีค่า L^* สูงกว่ามังคุดตัดแต่งชุด CA-n-Alg, n-CA-Alg-Ca1.0 และ n-CA-Alg-Ca1.5 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.7) โดยที่ระยะนี้มังคุดตัดแต่งชุด CA-Alg-Ca1.0 มีค่า L^* สูงที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าสีแดง-เขียว (a^*) บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งพบว่าที่ระยะเวลาการเก็บเดียวกัน ค่า a^* บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งชุด CA-Alg-Ca1.0 และ CA-Alg-Ca1.5 มีค่าต่ำกว่ามังคุดตัดแต่งชุด CA-n-Alg, n-CA-Alg-Ca1.0 และ n-CA-Alg-Ca1.5 (ตารางที่ 4.9) โดยในวันสุดท้ายของการเก็บมังคุดตัดแต่งชุด CA-Alg-Ca1.0 และ CA-Alg-Ca1.5 มีค่า a^* ต่ำกว่ามังคุดตัดแต่งชุด CA-n-Alg, n-CA-Alg-Ca1.0 และ n-CA-Alg-Ca1.5 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.8)

เมื่อพิจารณาค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งพบว่าที่ระยะเวลาการเก็บเดียวกัน ค่า b^* ของมังคุดตัดแต่งชุด CA-Alg-Ca1.0 และ CA-Alg-Ca1.5 มีค่าสูงกว่ามังคุดตัดแต่งชุด n-CA-Alg-Ca1.0 และ n-CA-Alg-Ca1.5 (ตารางที่ 4.10) แต่มังคุดตัดแต่งชุด CA-n-Alg จะมีค่าสูงที่สุด โดยในวันสุดท้ายของการเก็บ มังคุดตัดแต่งชุด CA-Alg-Ca1.0 และ CA-Alg-Ca1.5 มีค่า b^* สูงกว่ามังคุดตัดแต่งชุด n-CA-Alg-Ca1.0 และ n-CA-Alg-Ca1.5 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.9)

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการใช้กรดซิตริกเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลร่วมกับการเคลือบด้วยสารละลายโซเดียมแอลจินเตตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของมังคุดตัดแต่งได้ดีกว่าการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลหรือการเคลือบเพียงอย่างเดียว เนื่องจากกรดซิตริกสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งได้ ผลแสดงดังข้อ 4.2 เมื่อนำมาใช้ร่วมกับการเคลือบดังกล่าวทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลสูงขึ้น เพราะการเคลือบด้วยสารละลายโซเดียมแอลจินเตตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ แอลจินเตจะทำปฏิกิริยาเชื่อมข้ามกับแคลเซียมไอออนเกิดเป็นฟิล์มเคลือบอยู่บนผิวของมังคุดตัดแต่ง ช่วยป้องกันการผ่านเข้าออกของก๊าซ จึงสามารถป้องกันก๊าซออกซิเจนซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Olivas et al., 2007) ทำให้ช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งได้

ตารางที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* ของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลา การเก็บ (วัน)	ค่า L^*				
	CA-n-Alg	n-CA-Alg-Ca1.0	CA-Alg-Ca1.0	n-CA-Alg-Ca1.5	CA-Alg-Ca1.5
0	48.87 ^a ± 3.69	56.22 ^{ab} ± 3.33	64.62 ^b ± 5.41	56.80 ^{ab} ± 5.02	62.68 ^b ± 3.92
1	54.02 ^a ± 1.93	60.19 ^{ab} ± 4.38	65.95 ^b ± 4.03	56.54 ^a ± 3.61	66.46 ^b ± 5.47
2	54.32 ^a ± 2.64	62.45 ^{bc} ± 2.91	67.52 ^c ± 4.89	56.52 ^{ab} ± 1.52	67.32 ^c ± 4.54
3	53.28 ^a ± 7.30	58.95 ^{ab} ± 2.31	69.17 ^c ± 5.32	54.26 ^a ± 4.26	67.15 ^{bc} ± 5.48
4	53.36 ^a ± 3.93	62.16 ^{bc} ± 5.48	69.90 ^c ± 3.80	56.90 ^{ab} ± 2.81	69.98 ^c ± 3.39
5	57.26 ^a ± 3.02	57.98 ^a ± 4.80	72.14 ^b ± 5.82	56.16 ^a ± 3.29	69.44 ^b ± 2.81
6	51.38 ^a ± 8.30	59.20 ^b ± 1.41	72.23 ^c ± 3.25	55.87 ^{ab} ± 2.33	68.92 ^c ± 3.84
7	51.09 ^a ± 7.96	56.89 ^a ± 3.43	72.37 ^b ± 2.94	54.70 ^a ± 4.89	68.46 ^b ± 4.19
8	53.32 ^a ± 8.05	57.33 ^a ± 1.73	71.46 ^b ± 3.42	55.14 ^a ± 3.19	69.00 ^b ± 2.65
9	52.27 ^a ± 8.47	57.76 ^a ± 0.93	72.77 ^b ± 3.83	56.92 ^a ± 1.78	68.96 ^b ± 5.35

a, b, c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลา การเก็บ (วัน)	ค่า a^*				
	CA-n-Alg	n-CA-Alg-Ca1.0	CA-Alg-Ca1.0	n-CA-Alg-Ca1.5	CA-Alg-Ca1.5
0 ^{ns}	18.94 ± 0.63	13.35 ± 6.45	9.71 ± 4.47	15.79 ± 1.14	11.00 ± 2.33
1	20.38 ^c ± 0.32	11.29 ^b ± 4.01	6.38 ^{ab} ± 1.71	11.66 ^b ± 2.46	3.12 ^a ± 1.26
2	19.67 ^d ± 2.34	11.58 ^c ± 3.39	5.69 ^{ab} ± 2.28	10.48 ^{bc} ± 0.70	2.58 ^a ± 0.43
3	16.84 ^c ± 0.39	10.71 ^b ± 4.38	4.10 ^a ± 1.35	9.81 ^b ± 2.70	4.40 ^a ± 0.23
4	17.72 ^b ± 0.58	10.57 ^{ab} ± 6.48	2.97 ^a ± 3.50	10.74 ^{ab} ± 5.48	1.39 ^a ± 1.32
5	17.48 ^c ± 0.27	7.80 ^{ab} ± 5.16	5.62 ^a ± 3.39	10.94 ^b ± 1.01	4.12 ^a ± 2.41
6	16.30 ^c ± 1.10	13.10 ^c ± 5.32	5.07 ^{ab} ± 3.43	11.33 ^{bc} ± 1.30	1.88 ^a ± 3.12
7	16.62 ^c ± 1.37	11.84 ^{bc} ± 6.18	6.08 ^{ab} ± 2.18	11.85 ^{bc} ± 1.50	3.28 ^a ± 0.09
8	16.77 ^b ± 0.97	11.90 ^b ± 4.49	4.04 ^a ± 1.17	11.79 ^b ± 0.53	3.72 ^a ± 1.54
9	16.43 ^b ± 1.46	12.44 ^b ± 0.09	2.99 ^a ± 5.51	7.79 ^{ab} ± 1.44	2.44 ^a ± 0.63

a, b, c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไฮเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลา การเก็บ (วัน)	ค่า b^*				
	CA-n-Alg	n-CA-Alg-Ca1.0	CA-Alg-Ca1.0	n-CA-Alg-Ca1.5	CA-Alg-Ca1.5
0 ^{ns}	28.63 ± 2.20	24.86 ± 2.89	31.16 ± 3.15	23.54 ± 1.42	31.90 ± 1.01
1	35.67 ^b ± 0.60	21.99 ^a ± 2.89	26.65 ^{ab} ± 0.17	19.68 ^a ± 6.79	27.26 ^{ab} ± 0.01
2	36.72 ^c ± 2.84	22.72 ^{ab} ± 2.54	28.56 ^{bc} ± 1.35	18.20 ^a ± 3.75	28.54 ^{bc} ± 1.00
3	38.41 ^c ± 2.83	20.73 ^a ± 2.29	31.98 ^{bc} ± 1.65	17.64 ^a ± 4.19	30.10 ^b ± 1.24
4	37.93 ^c ± 1.66	17.80 ^a ± 2.10	30.19 ^b ± 0.34	19.57 ^a ± 2.26	29.19 ^b ± 0.91
5	38.12 ^b ± 1.43	20.86 ^a ± 3.53	29.84 ^b ± 2.75	19.14 ^a ± 3.89	30.46 ^b ± 4.07
6	35.72 ^b ± 5.86	18.83 ^a ± 3.51	31.76 ^b ± 1.00	20.17 ^a ± 3.16	31.84 ^b ± 2.30
7	39.12 ^b ± 3.68	18.45 ^a ± 2.78	31.31 ^b ± 1.53	20.22 ^a ± 4.20	31.43 ^b ± 1.24
8	39.69 ^c ± 2.52	20.84 ^a ± 3.89	31.70 ^b ± 2.47	21.13 ^a ± 0.20	31.70 ^b ± 1.73
9	39.77 ^c ± 4.19	18.94 ^a ± 2.66	33.02 ^b ± 0.84	17.62 ^a ± 1.50	32.72 ^b ± 1.58

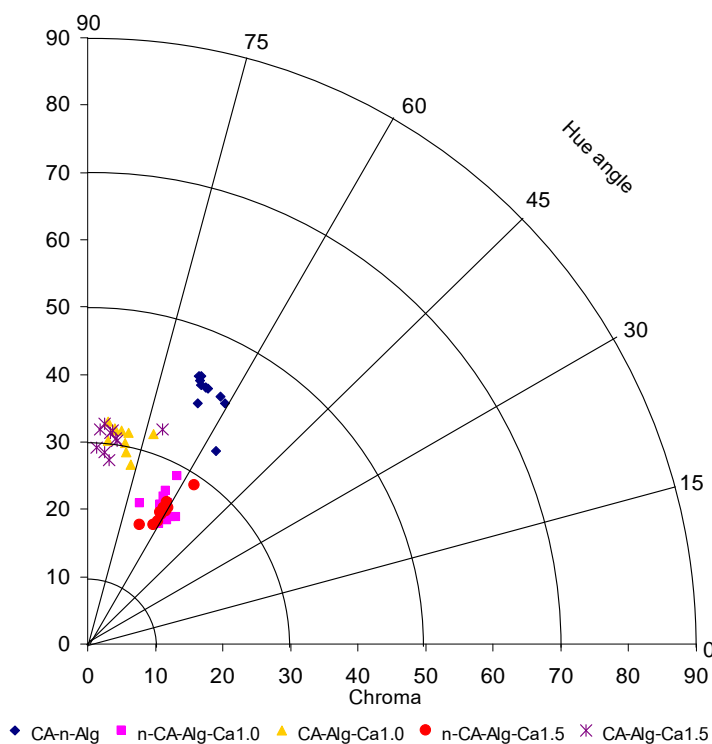
a, b, c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

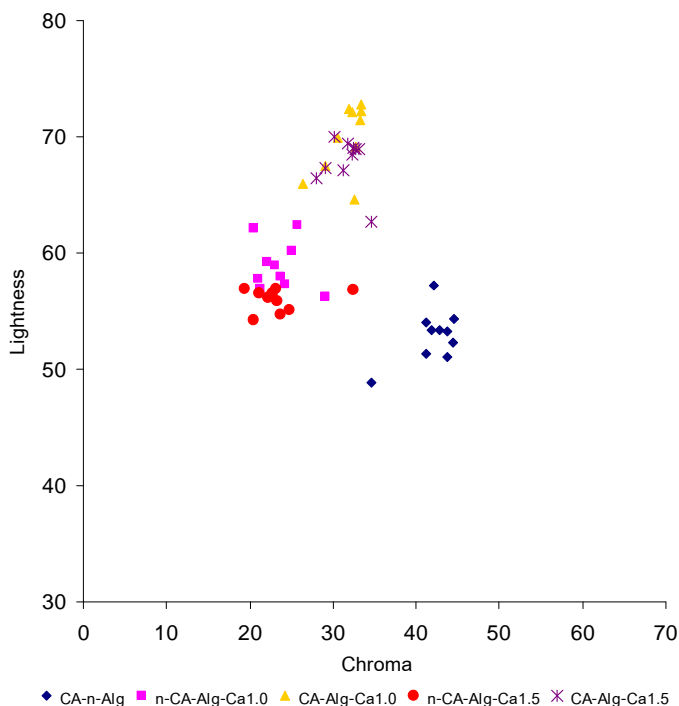
แต่เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าสีของชุดที่มีการใช้สารละลายไฮเดียมแอลจีเนตเข้มข้น 2% (w/v) ตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทั้ง 2 ความเข้มข้นคือ 1.0% และ 1.5% (w/v) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* และ b^* ใกล้เคียงกัน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของมังคุดตัดแต่ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณแคลเซียมไอออนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0% (w/v) สามารถทำปฏิกิริยาเชื่อมข้ามกับแอลจีเนตในสารละลายไฮเดียมแอลจีเนตเข้มข้น 2% (w/v) ได้เพียงพอแล้ว ปริมาณแคลเซียมไอออนที่เพิ่มขึ้นในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.5% (w/v) จึงไม่มีผลต่อการเกิดฟิล์มดังกล่าว

ผลของการเคลือบดังกล่าวสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งได้ สอดคล้องกับรายงานของ Olivas และคณะ (2007) ที่พบว่าแอปเปิ้ลหั่นเป็นแผ่นที่เคลือบด้วยสารเคลือบบริโภคได้ชนิดแอลจีเนตความเข้มข้นร้อยละ 1 ตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีดัชนีการเกิดสีน้ำตาลต่ำกว่าชุดที่ไม่มีการเคลือบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บ 10 วัน และหลังจากเก็บไว้เป็นระยะเวลา 8 วัน แอปเปิ้ลหั่นเป็นแผ่นที่ผ่านการเคลือบดังกล่าวมีดัชนีการเกิดสีน้ำตาลต่ำกว่าชุดที่ไม่มีการเคลือบร้อยละ 20

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉดสีและค่า chroma ของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยสารละลายโซเดียมแอลจีเนต (ภาพที่ 4.9) พบว่ามังคุดตัดแต่งชุด CA-Alg-Ca1.0 และ CA-Alg-Ca1.5 มีเฉดสีต่างจากมังคุดตัดแต่งชุด CA-n-Alg, n-CA-Alg-Ca1.0 และ n-CA-Alg-Ca1.5 อย่างชัดเจน โดยมังคุดตัดแต่งชุด CA-Alg-Ca1.0 และ CA-Alg-Ca1.5 มีค่าเฉดสีอยู่ในช่วง 75° - 90° ซึ่งสูงกว่ามังคุดตัดแต่งชุด CA-n-Alg, n-CA-Alg-Ca1.0 และ n-CA-Alg-Ca1.5 ที่มีค่าเฉดสีอยู่ในช่วง 50° - 70° แสดงว่ามังคุดตัดแต่งที่ใช้กรดซิตริกหรือเคลือบเพียงอย่างเดียวมีสีแดงมากกว่ามังคุดตัดแต่งที่ใช้กรดซิตริกแล้วเคลือบ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า chroma และค่าความสว่าง (ภาพที่ 4.10) พบว่ามังคุดตัดแต่งชุด CA-Alg-Ca1.0 และ CA-Alg-Ca1.5 มีค่าความสว่างสูงที่สุดและสูงกว่ามังคุดตัดแต่งชุด CA-n-Alg, n-CA-Alg-Ca1.0 และ n-CA-Alg-Ca1.5 มาก



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า chroma และค่าเฉดสีของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

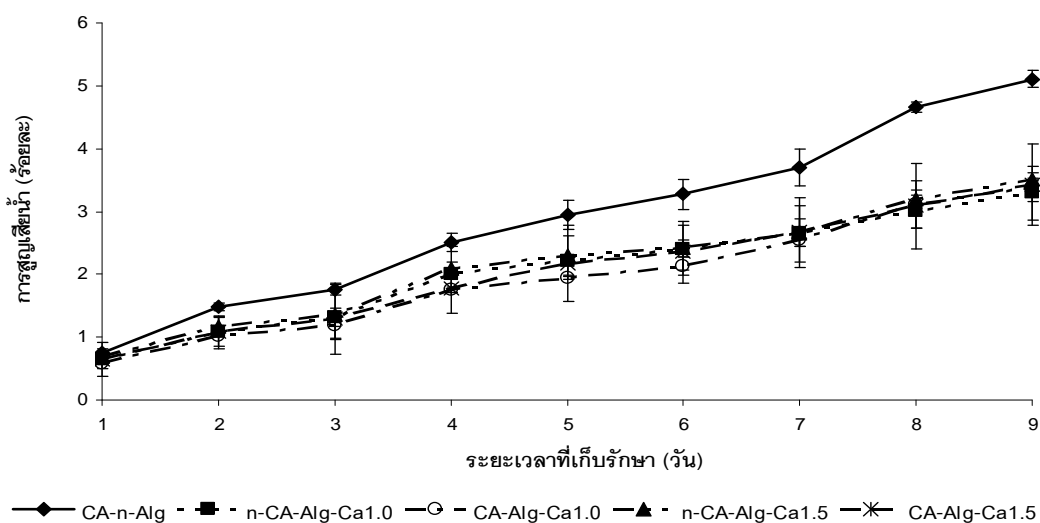


ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า chroma และค่าความสว่างของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไฮโดรเจลแอลจินेटในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

4.3.1.2 การสูญเสียน้ำของมังคุดตัดแต่ง

การสูญเสียน้ำของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไฮโดรเจลแอลจินेटตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ แสดงดังภาพที่ 4.11 จากภาพพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นมีการสูญเสียน้ำเพิ่มสูงขึ้น โดยมังคุดตัดแต่งที่ไม่ได้เคลือบเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 4 วัน มีการสูญเสียน้ำร้อยละ 2.51 ซึ่งสูงกว่ามังคุดที่เคลือบด้วยไฮโดรเจลแอลจินेटตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ซึ่งมีการสูญเสียน้ำร้อยละ 1.75-2.08 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค. 10) ที่ระยะนี้ผู้ทดสอบเริ่มสังเกตเห็นเนื้อและเปลือกของมังคุดตัดแต่งในชุดที่ไม่ได้เคลือบมีลักษณะแห้งและมีการยุบตัว เกิดเป็นช่องว่างระหว่างเนื้อและเปลือกขึ้น แต่มังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไฮโดรเจลแอลจินेटมีลักษณะปรากฏคงรูปเหมือนมังคุดสดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 9 วัน เนื่องจากการเคลือบด้วยสารเคลือบชนิดแอลจินेटตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมข้ามระหว่างแคลเซียมไอออนกับแอลจินेटเกิดเป็นฟิล์มไฮโดรคอลลอยด์ทำให้ความสามารถในการระเหยน้ำลดลง จึงสามารถป้องกันการระเหยของน้ำได้

Olivas และคณะ (2007) รายงานว่าแอปเปิ้ลหั่นเป็นแผ่นที่เคลือบด้วยสารเคลือบบริเวณใต้ชั้นดีเอชแอลเจเนตความเข้มข้นร้อยละ 1 ตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 เก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส มีการสูญเสีย น้ำต่ำกว่าชุดที่ไม่เคลือบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บ 10 วัน เมื่อเก็บแอปเปิ้ลหั่นเป็นแผ่นที่ผ่านการเคลือบไว้เป็นระยะเวลา 2 วัน มีการสูญเสีย น้ำร้อยละ 7 ในขณะที่ชุดที่ไม่มีการเคลือบมีอัตราการสูญเสีย น้ำร้อยละ 20 และเมื่อเก็บรักษาแอปเปิ้ลหั่นเป็นแผ่นที่ผ่านการเคลือบดังกล่าวเป็นระยะเวลา 10 วัน แอปเปิ้ลหั่นเป็นแผ่นที่ผ่านการเคลือบมีการสูญเสีย น้ำร้อยละ 17.8 ซึ่งต่ำกว่าชุดที่ไม่เคลือบซึ่งมีการสูญเสีย น้ำร้อยละ 31.4

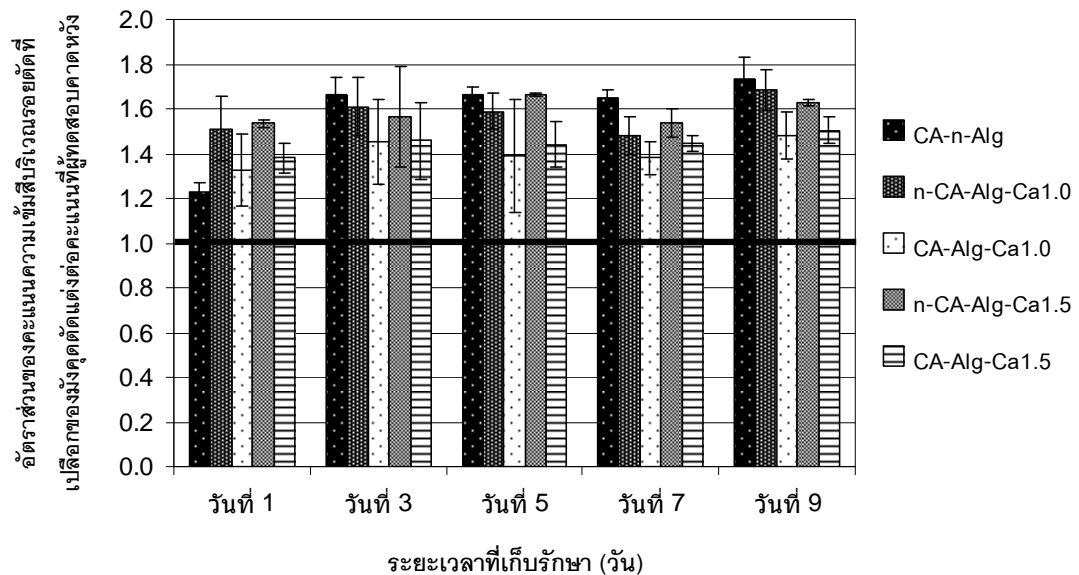


ภาพที่ 4.11 การสูญเสีย น้ำของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลเจเนตในระหว่างการเก็บที่ 8+2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

4.3.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลเจเนตตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 15 ประเมินผลด้านสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่ง สีเนื้อมังคุด กลิ่นและรสชาติของมังคุด กลิ่นแปลกปลอม รสชาติแปลกปลอมและการยอมรับของผู้ทดสอบ ใช้แบบทดสอบเชิงพรรณนา รูปแบบสเกลเส้นตรงคะแนนความเข้ม 0-10 และคะแนนความชอบของผู้ทดสอบ โดยใช้สเกลวัดคะแนนความชอบ 7 คะแนน เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของคะแนนความเข้มสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลเจเนตต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังพบว่ามังคุดตัดแต่งชุด CA-Alg-Ca1.0 มีคะแนนความเข้มสีใกล้เคียงกับคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังมากที่สุด รองลงมาคือมังคุดตัดแต่งชุด CA-Alg-Ca1.5 (ภาพที่ 4.12) ผลการประเมินคะแนนความเข้มสีบริเวณรอย

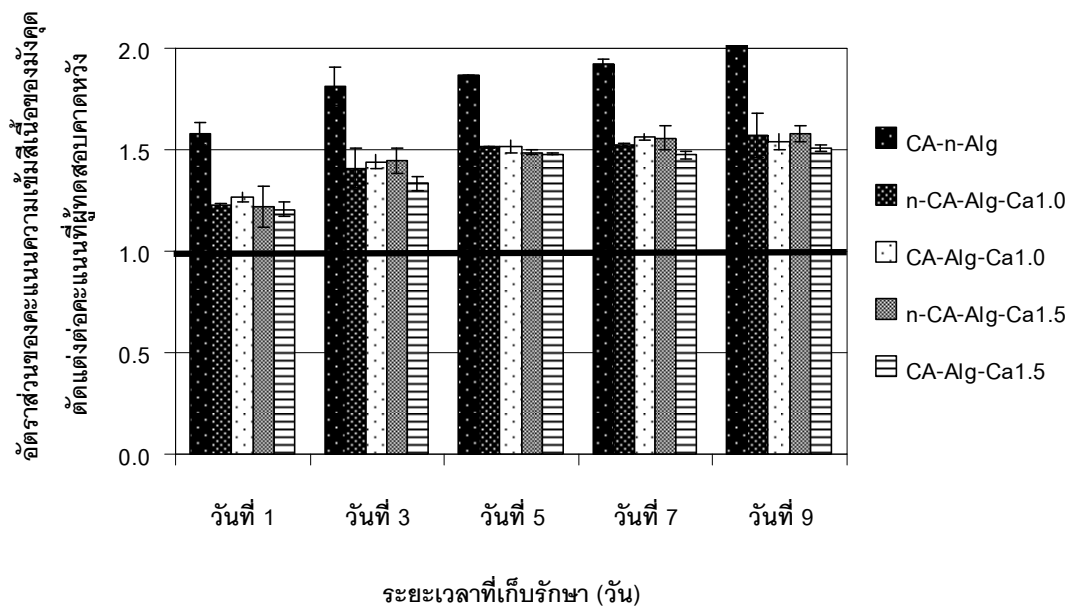
ตัดที่เปลือกมังคุดตัดแต่งที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าสีในข้อ 4.3.1.1 ที่พบว่ามังคุดตัดแต่งในชุด CA-Alg-Ca1.0 และ CA-Alg-Ca1.5 มีค่า L^* สูงกว่ามังคุดตัดแต่งชุด CA-n-Alg, n-CA-Alg-Ca1.0 และ n-CA-Alg-Ca1.5 และมีค่า a^* ต่ำกว่ามังคุดตัดแต่งชุด CA-n-Alg, n-CA-Alg-Ca1.0 และ n-CA-Alg-Ca1.5 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ ค.7 และตารางที่ ค.8)



ภาพที่ 4.12 อัตราส่วนของคะแนนความเข้มสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังในระหว่างการเก็บที่ 8+2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

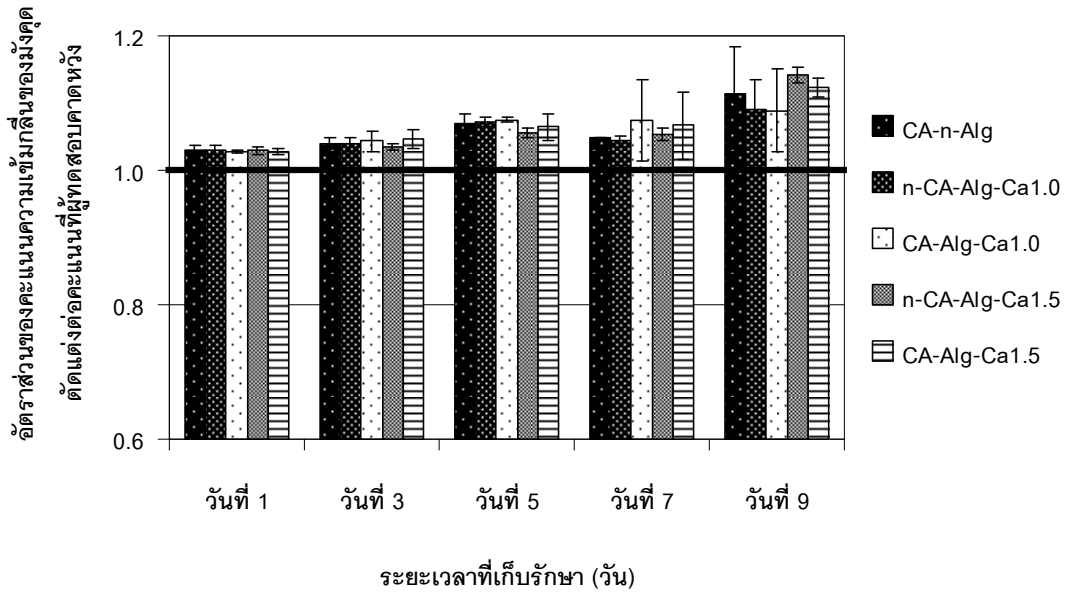
ภาพที่ 4.13 แสดงอัตราส่วนของคะแนนความเข้มสีเนื้อของมังคุดตัดแต่งต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวัง จากภาพพบว่ามังคุดตัดแต่งทุกชุดการทดลองมีอัตราส่วนของคะแนนความเข้มของสีเนื้อมังคุดต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังสูงกว่า 1 นั่นคือเนื้อมังคุดมีสีเข้มกว่าสีเนื้อมังคุดสด แต่มังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทั้ง 4 ชุดการทดลองมีอัตราส่วนของคะแนนความเข้มสีเนื้อดังกล่าวต่ำกว่ามังคุดที่ไม่เคลือบ เมื่อเก็บรักษามังคุดตัดแต่งไว้ 9 วัน มังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตมีอัตราส่วนของคะแนนความเข้มสีเนื้อมังคุดต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังประมาณ 1.5 ต่ำกว่ามังคุดตัดแต่งที่ไม่เคลือบซึ่งมีอัตราส่วนของคะแนนความเข้มสีเนื้อของมังคุดต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังเท่ากับ 2 ทั้งนี้เนื่องจากการเคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ แอลจีเนตจะทำปฏิกิริยาเชื่อมข้ามกับแคลเซียมไอออนเกิดเป็นฟิล์มเคลือบอยู่บนผิวของมังคุดตัดแต่ง ช่วยป้องกันการผ่านเข้าออกของก๊าซ จึงสามารถป้องกันก๊าซออกซิเจนซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญใน

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Olivas et al., 2007) ทำให้ช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งได้

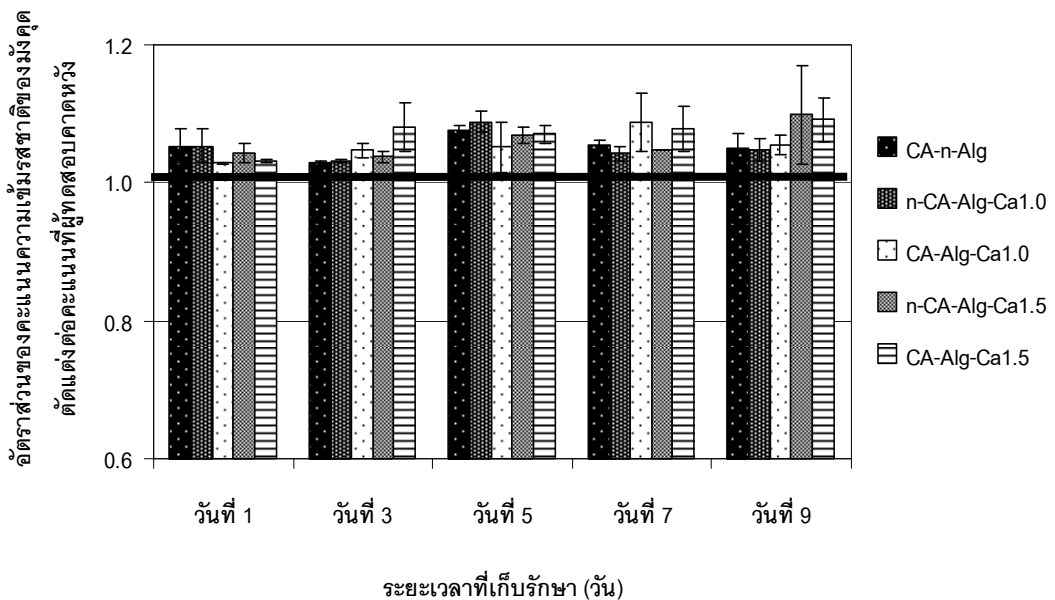


ภาพที่ 4.13 อัตราส่วนของคะแนนความเข้มสีเนื้อของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังในระหว่างการเก็บที่ 8+2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

มังคุดตัดแต่งทุกชุดการทดลองมีคะแนนความเข้มของกลิ่นและรสชาติมังคุดใกล้เคียงกับคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวัง (ภาพที่ 4.14 และ 4.15) โดยมีอัตราส่วนของคะแนนความเข้มกลิ่นและรสชาติมังคุดต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังไม่เกิน 1.2 และ 1.1 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลร่วมกับการเคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตไม่ส่งผลให้กลิ่นและรสชาติมังคุดเปลี่ยนแปลงไปจากมังคุดสด



ภาพที่ 4.14 อัตราส่วนของคะแนนความชื้นกลืนของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.15 อัตราส่วนของคะแนนความชื้นรสชาติของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตต่อคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้พบว่ากลิ่นและรสชาติแปลกปลอมของมังคุดตัดแต่งทุกชุดการทดลองมีคะแนนต่ำมาก (ตารางที่ 4.11 และตารางที่ 4.12) และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ตารางที่ ค.11 และตารางที่ ค.12) ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายโซเดียมแอลจีเนตและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้เคลือบสามารถนำมาใช้ในอาหารได้และลักษณะของสารดังกล่าวไม่มีกลิ่นและรส จึงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรสชาติของเนื้อมังคุดที่นำมาบริโภค

ตารางที่ 4.11 คะแนนความเข้มกลิ่นแปลกปลอมของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลา การเก็บ (วัน)	คะแนนความเข้มกลิ่นแปลกปลอมของมังคุดตัดแต่ง ^{ns}				
	CA-n-Alg	n-CA-Alg-Ca1.0	CA-Alg-Ca1.0	n-CA-Alg-Ca1.5	CA-Alg-Ca1.5
1	0.15 ± 0.04	0.15 ± 0.04	0.14 ± 0.01	0.15 ± 0.03	0.14 ± 0.02
3	0.19 ± 0.06	0.20 ± 0.05	0.22 ± 0.07	0.17 ± 0.02	0.23 ± 0.07
5	0.34 ± 0.08	0.36 ± 0.04	0.38 ± 0.01	0.28 ± 0.03	0.32 ± 0.10
7	0.25 ± 0.00	0.22 ± 0.04	0.37 ± 0.31	0.27 ± 0.04	0.33 ± 0.25
9	0.57 ± 0.34	0.45 ± 0.23	0.45 ± 0.31	0.71 ± 0.06	0.62 ± 0.07

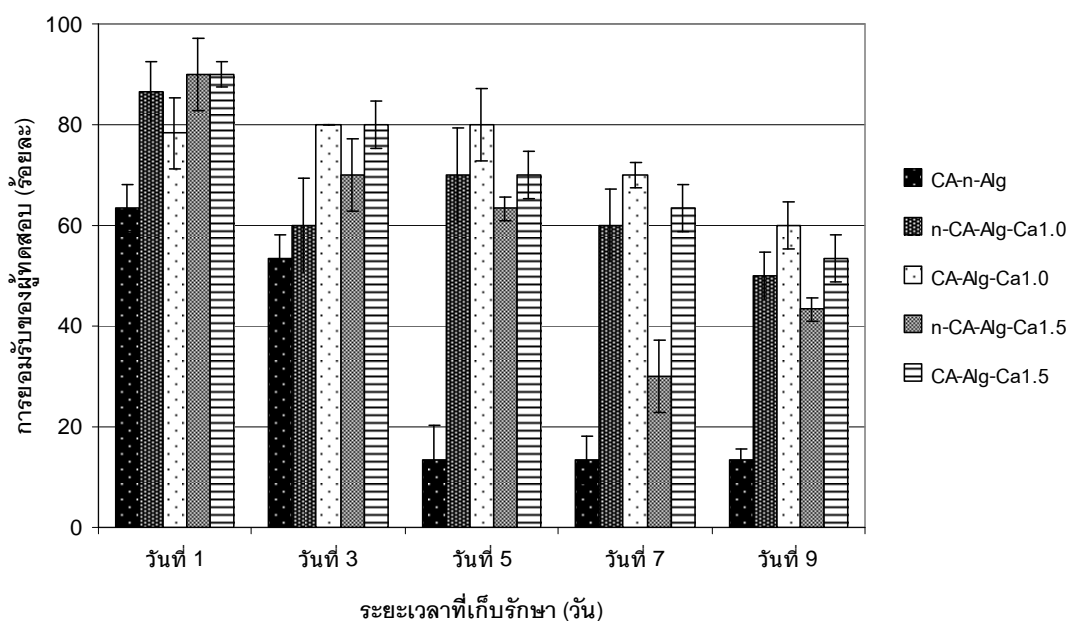
ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.12 คะแนนความเข้มรสชาติแปลกปลอมของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลา การเก็บ (วัน)	คะแนนความเข้มรสชาติแปลกปลอมของมังคุดตัดแต่ง ^{ns}				
	CA-n-Alg	n-CA-Alg-Ca1.0	CA-Alg-Ca1.0	n-CA-Alg-Ca1.5	CA-Alg-Ca1.5
1	0.27 ± 0.12	0.27 ± 0.12	0.14 ± 0.00	0.21 ± 0.07	0.15 ± 0.01
3	0.15 ± 0.00	0.15 ± 0.01	0.24 ± 0.05	0.19 ± 0.04	0.40 ± 0.17
5	0.38 ± 0.03	0.44 ± 0.08	0.26 ± 0.18	0.34 ± 0.06	0.35 ± 0.06
7	0.27 ± 0.04	0.21 ± 0.05	0.44 ± 0.21	0.24 ± 0.00	0.39 ± 0.16
9	0.25 ± 0.10	0.24 ± 0.08	0.27 ± 0.07	0.49 ± 0.36	0.46 ± 0.16

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ภาพที่ 4.16 แสดงผลการประเมินการยอมรับมังคุดตัดแต่งจากผู้ทดสอบ จากภาพพบว่า มังคุดตัดแต่งทั้ง 5 ชุดการทดลองได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บ โดยมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทั้ง 4 ชุด ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบสูงกว่ามังคุดตัดแต่งที่ไม่เคลือบ เมื่อเก็บมังคุดตัดแต่งไว้เป็นระยะเวลา 9 วัน มังคุดตัดแต่งชุด CA-n-Alg ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบร้อยละ 13 มังคุดตัดแต่งชุด n-CA-Alg-Ca1.0, CA-Alg-Ca1.0, n-CA-Alg-Ca1.5 และ CA-Alg-Ca1.5 ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบร้อยละ 50, 60, 43 และ 53 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.16 การยอมรับของผู้ทดสอบต่อมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8+2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบที่มีต่อมังคุดตัดแต่ง ผลแสดงดังตารางที่ 4.13 จากตารางพบว่าในวันแรกของการเก็บมังคุดตัดแต่งทุกชุดการทดลองมีคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) (ตารางที่ ค.13) คะแนนความชอบจากผู้ทดสอบที่มีต่อมังคุดตัดแต่งในชุดที่ไม่เคลือบลดลงเรื่อย ๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อเก็บรักษามังคุดตัดแต่งไว้เป็นระยะเวลา 9 วัน มังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยสารละลายโซเดียมแอลจีเนตร่วมกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทั้ง 4 ชุด มีคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบสูงกว่าชุดควบคุม ($p\leq 0.05$) (ตารางที่ ค.13) มังคุดตัดแต่งชุด CA-Alg-Ca1.0 มีคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบสูงที่สุดตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา

ผลการประเมินการยอมรับและความชอบมังคุดตัดแต่งจากผู้ทดสอบสอดคล้องกับผลการประเมินด้านความเข้มของสีเนื้อของมังคุดตัดแต่งที่พบว่าคะแนนความเข้มของสีเนื้อของมังคุดตัด

แต่งที่เคลือบด้วยไฮเดียมแอลจินเตไกล์เคียงกับคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังมากกว่ามังกุดที่ไม่เคลือบ ทำให้มังกุดที่เคลือบทั้ง 4 ชุดการทดลองได้รับการยอมรับและมีคะแนนความชอบสูงกว่ามังกุดที่ไม่เคลือบ ($p < 0.05$) มังกุดตัดแต่งชุด CA-Alg-Ca1.0 มีคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินด้านความเข้มข้นบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังกุด ที่พบว่ามังกุดตัดแต่งชุด CA-Alg-Ca1.0 มีคะแนนความเข้มข้นใกล้เคียงกับคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังมากที่สุด

ตารางที่ 4.13 คะแนนความชอบของผู้ทดสอบต่อมังกุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไฮเดียมแอลจินเตไกล์ในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	คะแนนความชอบของผู้ทดสอบ				
	CA-n-Alg	n-CA-Alg-Ca1.0	CA-Alg-Ca1.0	n-CA-Alg-Ca1.5	CA-Alg-Ca1.5
1 ^{ns}	3.63 ± 0.24	4.13 ± 0.19	4.30 ± 0.33	4.17 ± 0.33	4.30 ± 0.24
3	2.77 ^a ± 0.80	4.20 ^b ± 0.09	4.53 ^b ± 0.28	4.40 ^b ± 0.47	4.83 ^b ± 0.05
5	2.97 ^a ± 0.05	4.47 ^{bc} ± 0.38	5.13 ^c ± 0.19	4.30 ^b ± 0.05	5.07 ^c ± 0.28
7	2.80 ^a ± 0.09	4.53 ^{bc} ± 0.19	5.10 ^c ± 0.05	4.37 ^b ± 0.14	5.03 ^c ± 0.14
9	1.90 ^a ± 0.05	4.73 ^{bc} ± 0.28	5.30 ^c ± 0.14	4.63 ^b ± 0.24	5.27 ^c ± 0.00

a, b, c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

Oms-Oliu และคณะ (2008) รายงานผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของการใช้สารเคลือบบริเวณได้ในแต่งตัดแต่ง แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน โดยรายงานผลเป็นอัตราส่วนของคะแนนตัวอย่างในวันที่ 7 ต่อคะแนนตัวอย่างสด พบว่าสีของแต่งตัดแต่งที่เคลือบด้วย sodium alginate และ low methoxyl pectin มีคะแนนมากกว่า 0.8 ชุดที่เคลือบด้วย deacytaled gellan gum มีคะแนน 0.5 ส่วนชุดที่ไม่ผ่านการเคลือบมีคะแนน 0.7 แสดงว่าแต่งตัดแต่งที่เคลือบด้วย sodium alginate และ low methoxyl pectin มีสีใกล้เคียงกับตัวอย่างสดมากที่สุด รองลงมาคือชุดที่ไม่ผ่านการเคลือบ ส่วนแต่งตัดแต่งที่เคลือบด้วย deacytaled gellan gum มีสีแตกต่างจากตัวอย่างสดมากที่สุด คุณภาพในด้านกลิ่น รสและความชอบโดยรวมมีแนวโน้มเช่นเดียวกับคุณภาพด้านสี ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบชนิด sodium alginate และ low methoxyl pectin ยังมีลักษณะใกล้เคียงกับตัวอย่างสดหรือมีคุณภาพด้อยกว่าเพียงเล็กน้อยแม้ผ่านการเก็บไว้เป็นเวลา 7 วัน

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงทางด้านจุลินทรีย์

จากเกณฑ์มาตรฐานผลไม้ตัดแต่งของกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งกำหนดให้จุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^6 cfu/g ยีสต์และราไม่เกิน 1×10^4 cfu/g (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2536) พบว่ามังคุดตัดแต่งทุกชุดการทดลองซึ่งเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ มีอายุการเก็บเป็นเวลา 9 วัน (ดังตารางที่ 4.14 และ 4.15) หลังจากหมดอายุการเก็บนี้แล้วจะสังเกตเห็นจุดของราขึ้นมาบนผิวของมังคุดตัดแต่ง

ตารางที่ 4.14 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในเนื้อมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนต ระหว่างการเก็บรักษาที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)				
	CA-n-Alg	n-CA-Alg-Ca1.0	CA-Alg-Ca1.0	n-CA-Alg-Ca1.5	CA-Alg-Ca1.5
0	nd	nd	nd	nd	nd
3	nd	nd	nd	nd	nd
5	nd	nd	nd	nd	nd
7	3.50×10^2	3.13×10^2	1.06×10^3	7.85×10^2	9.35×10^2
9	1.32×10^3	8.85×10^2	4.38×10^2	1.88×10^3	6.78×10^2

หมายเหตุ nd หมายถึง ไม่สามารถตรวจพบได้ (เนื่องจากมีจำนวนน้อยกว่า 30 cfu/g)

ตารางที่ 4.15 จำนวนยีสต์และราในเนื้อมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตระหว่างการเก็บรักษาที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	จำนวนยีสต์และรา (cfu/g)				
	CA-n-Alg	n-CA-Alg-Ca1.0	CA-Alg-Ca1.0	n-CA-Alg-Ca1.5	CA-Alg-Ca1.5
0	nd	nd	nd	nd	nd
3	nd	nd	nd	nd	nd
5	nd	nd	nd	nd	nd
7	6.80×10^2	7.80×10^2	1.45×10^3	9.20×10^2	5.70×10^3
9	1.98×10^3	1.34×10^3	4.42×10^3	4.88×10^3	1.09×10^3

หมายเหตุ nd หมายถึง ไม่สามารถตรวจพบได้ (เนื่องจากมีจำนวนน้อยกว่า 30 cfu/g)

4.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติของ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด

จากผลการทดลองข้างต้น พบว่าการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลมีประสิทธิภาพยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในมังคุดตัดแต่ง เพื่อเป็นการอธิบายการทำงานว่าสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในเปลือกมังคุดซึ่งเป็นตัวเร่งสำคัญในปฏิกิริยาการเกิดสี

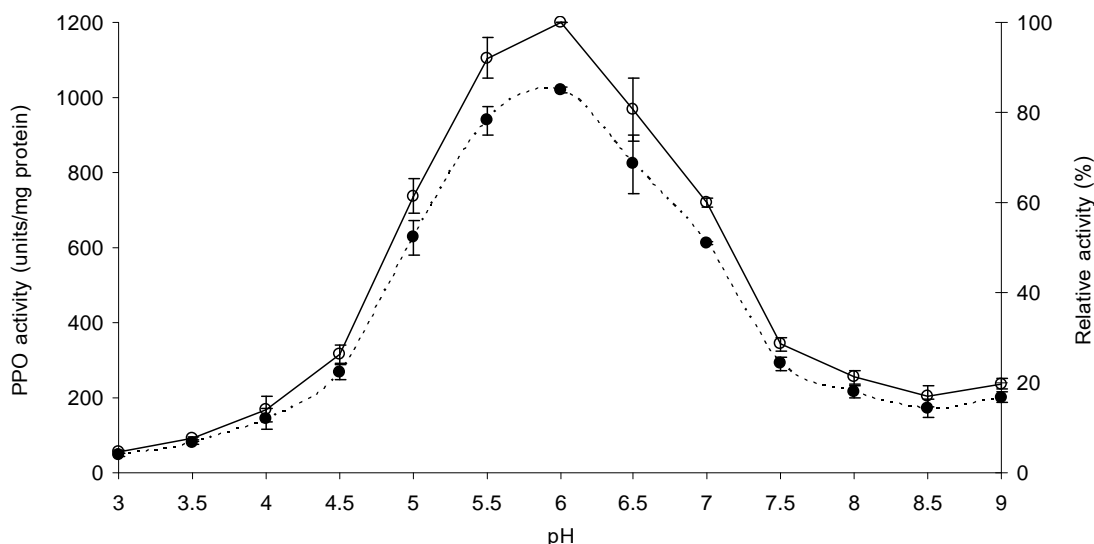
น้ำตาล จึงศึกษาสมบัติของ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุดเพื่อนำมาใช้อธิบายกลไกการยับยั้งดังกล่าว ผลการวิเคราะห์สมบัติของ crude PPO มีดังนี้

4.4.1 รูปแบบค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงาน (pH activity profile)

pH เป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ pH activity profile ของ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด เมื่อใช้แคทีคอลเป็นสารตั้งต้น ในช่วง pH 3.0-9.0 แสดงดังภาพที่ 4.17 จากภาพพบว่า pH ที่เหมาะสมในการทำงานของ crude PPO คือ 6.0 โดยพิจารณาจากการมีค่ากิจกรรมสูงสุด ในช่วง pH 5.5-6.5 crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุดมีค่ากิจกรรมสูงกว่าร้อยละ 80 และค่ากิจกรรมลดลงเมื่อ pH สูงหรือต่ำกว่า pH ดังกล่าว โดยในช่วง pH 3.0-4.5 มีค่ากิจกรรมต่ำกว่าร้อยละ 26 และในช่วง pH 7.5-9.0 มีค่ากิจกรรมต่ำกว่าร้อยละ 28 ทั้งนี้เพราะค่า pH มีผลต่อการแตกตัวของไอออนที่อยู่บริเวณ active site ของเอนไซม์แล้วทำให้เอนไซม์เกิดการเปลี่ยนโครงรูปสามมิติไปอยู่ในโครงรูปที่ไม่เหมาะสมต่อการจับกับสารตั้งต้น จึงส่งผลให้เอนไซม์มีกิจกรรมลดลง (Whitaker, 1972)

ผลการทดลองที่ได้สนับสนุนผลของการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 3 ชุดการทดลองตามข้อ 4.2 การใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้โดย ลด pH บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งให้ต่ำลง จนเปลือกมังคุดมี pH ประมาณ 2.16-2.30 ทำให้อยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของ crude PPO การเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเกิดได้ต่ำลง

ค่า pH ที่เหมาะสมในการทำงานของ crude PPO ที่ได้สอดคล้องกับ pH ที่เหมาะสมในการทำงานของ crude PPO ที่สกัดจากมะม่วงคือ 6.0 เมื่อใช้แคทีคอลเป็นสารตั้งต้น (Arogba et al., 1998) เช่นเดียวกับ pH ที่เหมาะสมในการทำงานของ crude PPO ที่สกัดจากลูกแพร์คือ 6.0 เมื่อใช้แคทีคอลเป็นสารตั้งต้น (Yerliturk et al., 2008) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Concellon และคณะ (2004) ที่รายงานว่า pH ที่เหมาะสมในการทำงานของ crude PPO ที่สกัดจากมะเขือคือ 6.0 เมื่อใช้ 4-methylcatechol เป็นสารตั้งต้น ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสขึ้นกับแหล่งของเอนไซม์และสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งในผักผลไม้ต่างๆโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 4.0-8.0 (Yoruk and Marshall, 2003) เช่น งานวิจัยของ Jiang (1999) รายงานว่า crude PPO ที่สกัดจากลำไยมีค่าการทำงานสูงสุดที่ pH 6.5 เมื่อใช้ 4-methylcatechol เป็นสารตั้งต้น นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Chaisakdanugull และ Theerakulkait (2009) รายงานว่า partially purified PPO ที่สกัดจากกล้วยมีค่าการทำงานสูงสุดที่ pH 7 เมื่อใช้ dopamine เป็นสารตั้งต้น



ภาพที่ 4.17 pH activity profile ของ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด ที่ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้แคที่คอลความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3.0-9.0 เป็นสารตั้งต้น $\cdots\bullet\cdots$ คือ PPO activity (units/mg protein) และ $\text{---}\circ\text{---}$ คือ Relative activity (%)

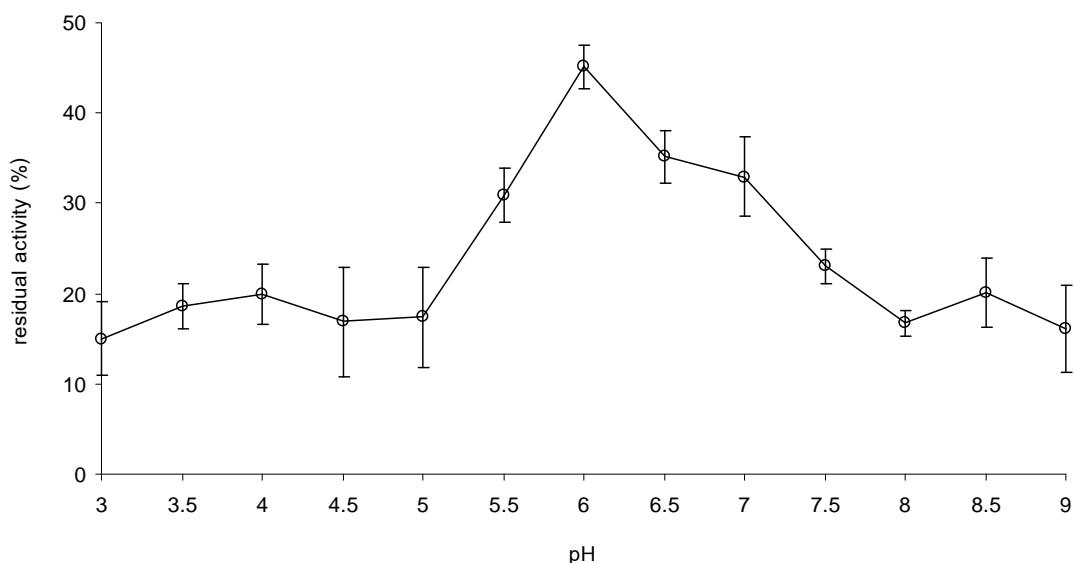
4.4.2 รูปแบบความคงตัวต่อค่า pH (pH stability profile)

เมื่อป้อน crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด ในสารละลายบัฟเฟอร์ในช่วง pH 3.0-9.0 เป็นเวลา 30 นาที วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ในรูปแบบ residual activity โดยใช้แคที่คอลเป็นสารตั้งต้น เปรียบเทียบกับค่ากิจกรรมของ crude PPO ที่ไม่ผ่านการป้อน ที่ pH 6.0 (ภาพที่ 4.18) พบว่า crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุดมีเสถียรภาพต่ำเมื่อป้อนที่ pH ดังกล่าว โดยมี residual activity ต่ำกว่าร้อยละ 45 จากภาพพบว่า crude PPO จะมีเสถียรภาพที่ pH 6.0 ดีกว่า pH ช่วงอื่น ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์เป็นโปรตีน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของ pH จะมีผลต่อโครงรูปสามมิติของโปรตีน ซึ่งส่งผลต่อการจับกับสารตั้งต้น เอนไซม์จึงมีกิจกรรมลดลง (Whitaker, 1972)

เมื่อพิจารณา pH ของสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 3 ชุดการทดลองตามข้อ 4.2 ที่มีค่าในช่วง 2.16-2.30 จะเห็นว่าที่ pH ดังกล่าว residual activity ของ crude PPO มีแนวโน้มต่ำกว่าร้อยละ 15 ทำให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของเอนไซม์ลดลง จึงสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้

Chaisakdanugull และ Theerakulkait (2009) รายงานว่า เมื่อป้อน partially purified PPO ที่สกัดจากกล้วยในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 9.0 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เอนไซม์มีค่ากิจกรรมลดลงร้อยละ 30 ในขณะที่การป้อนที่ pH 4.0 เอนไซม์มีค่ากิจกรรมลดลงร้อยละ 74 นอกจากนี้มี

รายงานของ Jiang (1999) ที่พบว่า crude PPO ที่สกัดจากลำไยมีเสถียรภาพสูงที่สุดเมื่อปรับที่ pH 7.0



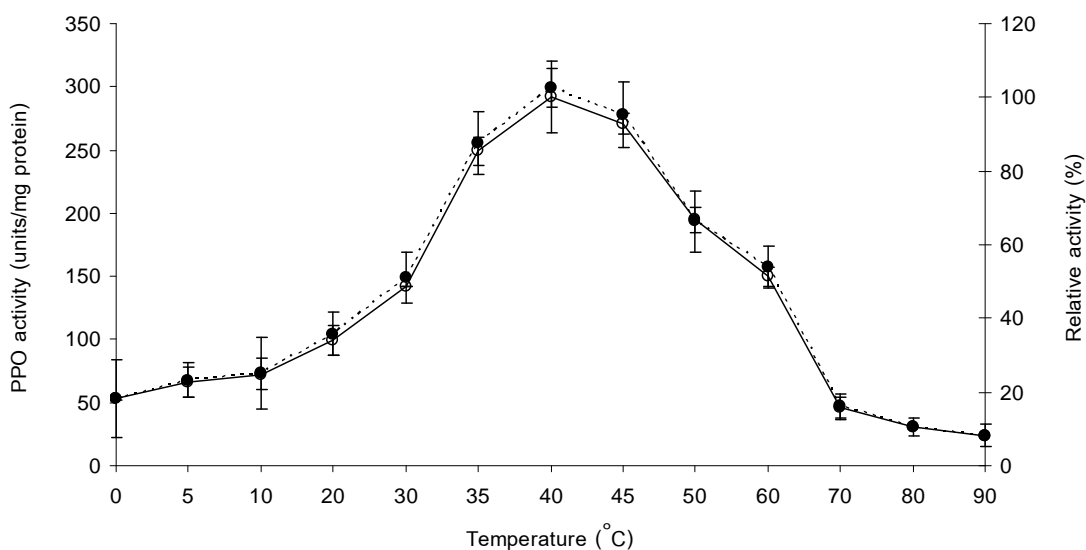
ภาพที่ 4.18 pH stability profile ของ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด ที่ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้แคทีคอลความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 6.0 เป็นสารตั้งต้น
—○— คือ Residual activity (%)

4.4.3 รูปแบบอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงาน (Temperature activity profile)

จากการวิเคราะห์ค่ากิจกรรมของ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุดในช่วงอุณหภูมิ 0-90 องศาเซลเซียส เมื่อใช้แคทีคอลเป็นสารตั้งต้น และคำนวณค่ากิจกรรมที่ได้ในรูปของ relative activity (ภาพที่ 4.19) พบว่า crude PPO มีค่ากิจกรรมสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิในระบบสูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์ก็จะทำให้เอนไซม์มีกิจกรรมลดลง และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส โดย crude PPO มีค่ากิจกรรมต่ำกว่าร้อยละ 15 ผลการทดลองที่ได้สนับสนุนผลของการเตรียมมังคุดตัดแต่งโดยการเก็บมังคุดตัดแต่งที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าว crude PPO มีค่ากิจกรรมต่ำกว่าร้อยละ 24

อุณหภูมิเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส เนื่องจากโครงสร้างสามมิติของเอนไซม์จะเสถียรภาพที่อุณหภูมิสูง (Whitaker, 1972) Jiang (1999) รายงานว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของ crude PPO ที่สกัดจากลำไย คือ 35 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Yerliturk และคณะ (2008) ที่รายงานว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงาน

ทำงานของ crude PPO ที่สกัดจากลูกแพร์คือ 35 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของ crude PPO ที่สกัดจากมะเขือคือ 30 องศาเซลเซียส (Concellon et al., 2004)

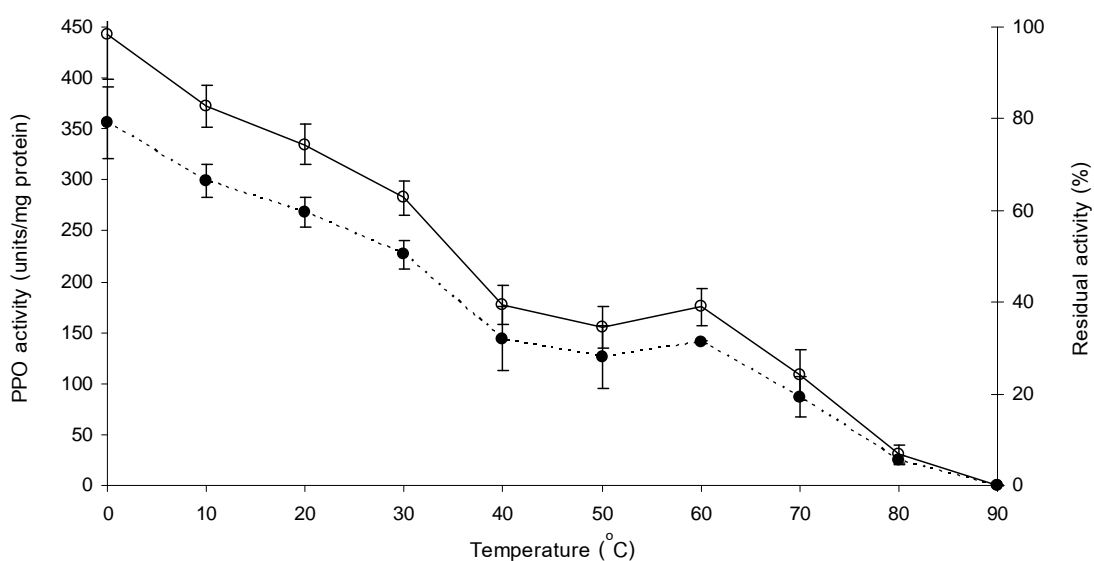


ภาพที่ 4.19 Temperature activity profile ของ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด ที่ 0-90 องศาเซลเซียส โดยใช้แคทีคอลลความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 6.0 เป็นสารตั้งต้น $\dots\bullet\dots$ คือ PPO activity (units/mg protein) และ $\text{---}\circ\text{---}$ คือ Relative activity (%)

4.4.4 รูปแบบความคงตัวของอุณหภูมิ (Temperature stability profile)

จากการบ่ม crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุดในช่วงอุณหภูมิ 0-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ผลการวิเคราะห์กิจกรรมในรูปแบบ residual activity ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้แคทีคอลลในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 6.0 เป็นสารตั้งต้น เปรียบเทียบกับ crude PPO ที่ไม่ได้บ่ม (ภาพที่ 4.20) พบว่า ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส crude PPO มีค่า residual activity ประมาณร้อยละ 98 ขณะที่ค่ากิจกรรมของ crude PPO ลดลงเรื่อยๆ เมื่ออุณหภูมิที่ใช้บ่มสูงขึ้น และเมื่อบ่มที่อุณหภูมิตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียสขึ้นไป ทำให้ค่า residual activity ต่ำกว่าร้อยละ 50 นอกจากนี้ยังพบว่าการบ่มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของ crude PPO ได้หมด ทั้งนี้อาจเนื่องจากความร้อนทำให้เกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์หมดไป ถึงแม้ว่าการเก็บมังคุดตัดแต่งที่ 8±2 องศาเซลเซียส เอนไซม์จะยังคงมีความคงตัวอยู่ แต่ที่อุณหภูมินี้ไม่เหมาะต่อการทำงานของเอนไซม์ เอนไซม์จึงทำงานได้ลดลงหรือไม่สามารถทำงานได้ส่งผลให้สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้

ผลของความคงตัวของอุณหภูมิที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Wang และคณะ (2006) ที่พบว่า ค่ากิจกรรมของ crude PPO ที่สกัดจากเนื้อมะม่วงลดลงเรื่อย ๆ เมื่ออุณหภูมิที่ใช้บ่มสูงขึ้น โดยการบ่ม crude PPO ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ค่ากิจกรรมลดลงมากกว่าร้อยละ 60 และเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของ crude PPO ได้หมด งานวิจัยของ Chaisakdanugull และ Theerakulkait (2009) พบว่าเมื่อบ่ม partially purified PPO ที่สกัดจากกล้วยที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที สามารถยับยั้งค่ากิจกรรมได้หมดเช่นกัน นอกจากนี้ Jiang (1999) รายงานว่าการบ่ม crude PPO ที่สกัดจากลำไย ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จะมีค่ากิจกรรมลดลงร้อยละ 50



ภาพที่ 4.20 Temperature stability profile ของ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด ที่ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้แคทีคอลความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 6.0 เป็นสารตั้งต้น ..●.. คือ PPO activity (units/mg protein) และ —○— คือ Residual activity (%)

4.4.5 ความจำเพาะต่อสารตั้งต้น (Substrate specificity)

K_m เป็นค่าคงที่จำเพาะของสารตั้งต้นและเอนไซม์แต่ละชนิด ในขณะที่ค่า V_{max} จะแปรผันตามความเข้มข้นของเอนไซม์ การพิจารณาชนิดของสารตั้งต้นที่เหมาะสมกับเอนไซม์ขึ้นอยู่กับทั้งสองปัจจัย สารตั้งต้นที่ดีจะมีค่า K_m ต่ำ และมีประสิทธิภาพในการเร่งสูงนั่นคือมีค่า V_{max} สูง (สำหรับเอนไซม์ที่ความเข้มข้นเดียวกัน) เกณฑ์ที่ใช้วัดสำหรับสารตั้งต้นที่ดีคือ มีอัตราส่วนของ V_{max} ต่อ K_m สูง (Palmer, 1995)

จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/v$ และ $1/[S]$ ตามวิธีการของ Lineweaver and Burk (1934) ของสารตั้งต้น 5 ชนิด ได้แก่ catechol, 4-methylcatechol, gallic acid, ferulic acid และ caffeic acid พบว่า สารตั้งต้นที่ดีที่สุดสำหรับ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด คือ 4-methylcatechol เนื่องจากมีค่า V_{max}/K_m สูงที่สุด เท่ากับ 247.93 รองลงมาคือ catechol, ferulic acid, caffeic acid และ gallic acid ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16)

Ferulic acid และ caffeic acid มีค่า V_{max}/K_m ต่ำจึงเป็นสารตั้งต้นที่ไม่เหมาะสมต่อการเกิดสีน้ำตาล Zadernowski และคณะ (2009) รายงานว่า ferulic acid และ caffeic acid เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่พบในเปลือกมังคุดแต่มีปริมาณต่ำมากเมื่อเทียบกับชนิดอื่น ๆ Son และคณะ (2001) รายงานว่าสารทั้งสองชนิดนี้ เป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่อยู่ในกลุ่มของกรดฟีนอลิก ซึ่งจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสโดยเข้าจับบริเวณ active site ของเอนไซม์ ทำให้ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นจนเกิดสารสีน้ำตาลได้ นอกจาก ferulic acid และ caffeic acid แล้ว Son และคณะ (2001) ยังรายงานว่ gallic acid เป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่อยู่ในกลุ่มของกรดฟีนอลิกด้วย จึงส่งผลให้ gallic acid เป็นสารตั้งต้นที่ไม่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาเช่นเดียวกัน

เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจากแหล่งต่างๆ จะมีความจำเพาะเจาะจงต่อสารตั้งต้นต่างกัน Walker (1995) รายงานว่า 4-methylcatechol เป็นสารตั้งต้นที่ดีที่สุดสำหรับเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจากพืช Jiang (1999) รายงานว่า crude PPO ที่สกัดจากลำไย มีค่ากิจกรรมสูงที่สุดเมื่อใช้ pyrogallol เป็นสารตั้งต้น รองลงมาคือ 4-methylcatechol และ catechol ตามลำดับ นอกจากนี้ Wang และคณะ (2006) รายงานว่า catechol เป็นสารตั้งต้นที่เหมาะสมกับ crude PPO ที่สกัดจากเนื้อมะม่วง

ตารางที่ 4.16 ค่า K_m และ V_{max} ของ crude PPO จากเปลือกมังคุด เมื่อใช้สารตั้งต้นต่างชนิด

Substrate	K_m (mM)	V_{max} (units/mg protein)	V_{max}/K_m
4-Methylcatechol	5.76 ± 0.35	$1,428.57 \pm 0.00$	247.93
Catechol	2.98 ± 0.65	682.19 ± 47.35	228.70
Ferulic acid	5.29 ± 0.87	445.06 ± 55.14	84.19
Caffeic acid	2.61 ± 0.38	189.93 ± 36.73	72.76
Gallic acid	5.29 ± 0.46	218.55 ± 36.56	41.34

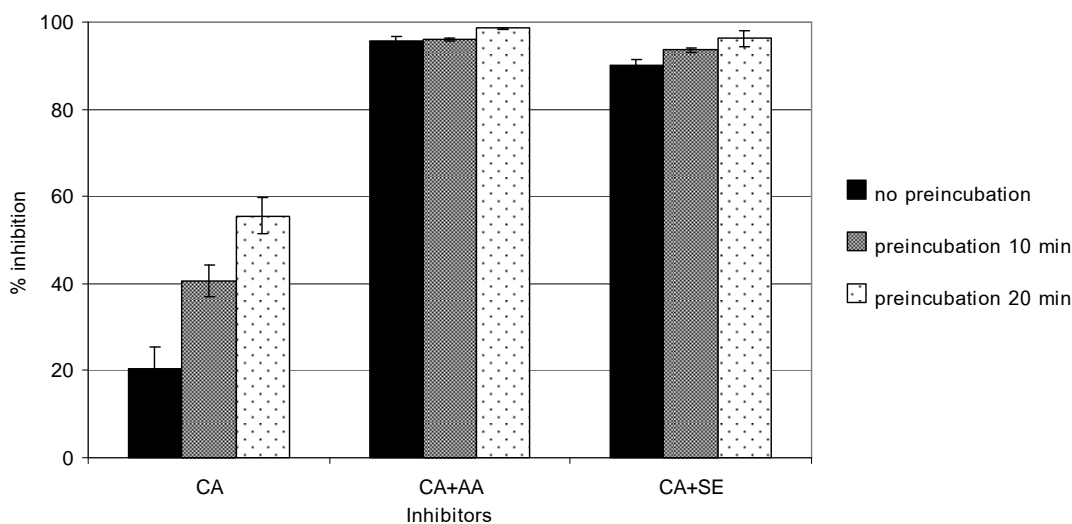
4.4.6 ผลของการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลต่อ crude PPO

จากการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ CA, CA+AA และ CA+SE ต่อ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด (ภาพที่ 4.21) พบว่าเมื่อไม่มีการบ่ม crude PPO กับสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล การใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลชุด CA สามารถยับยั้งการทำงานของ crude PPO ได้ร้อยละ 20 ส่วนชุด CA+AA และชุด CA+SE สามารถยับยั้งการทำงานของ crude PPO ได้ร้อยละ 95 และ 90 ตามลำดับ แต่เมื่อบ่ม crude PPO กับสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลดังกล่าวที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 และ 20 นาที พบว่า ชุด CA สามารถยับยั้งการทำงานของ crude PPO ได้เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 และ 55 ตามลำดับ ในขณะที่ชุด CA+AA และชุด CA+SE สามารถยับยั้งการทำงานของ crude PPO เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แสดงว่าการใช้กรดซิตริกร่วมกับกรดแอสคอร์บิกและโซเดียมอซิโทรเบทจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้กรดซิตริกเพียงอย่างเดียว แต่ถ้ามีการบ่ม crude PPO กับสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเป็นระยะเวลาสั้นๆ กรดซิตริกมีแนวโน้มยับยั้งการทำงานของ crude PPO ได้สูงขึ้น จากผลดังกล่าวสนับสนุนผลของการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดจากข้อ 4.2 เมื่อหยุดกรดซิตริกบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งแล้วเก็บไว้เป็นระยะเวลา 9 วัน จะเป็นการบ่มกรดซิตริกกับเอนไซม์ PPO ที่อยู่ในเปลือกมังคุด จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ดีขึ้น

กรดซิตริกเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกลุ่ม acidulants ช่วยควบคุมค่าความเป็นกรดต่างทำให้มีภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ เอนไซม์ทำงานได้ช้าลง นอกจากนี้ยังเป็น chelator ช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาได้โดยการกำจัดทองแดงที่บริเวณ active site ออกจากโครงสร้างของเอนไซม์ ส่งผลต่อการจับตัวกับสารตั้งต้น Pongsakul และคณะ (2006) ศึกษาผลของการใช้กรดซิตริกต่อค่ากิจกรรมของ partially purified PPO ที่สกัดจากลองกอง พบว่ากรดซิตริกความเข้มข้น 1, 2.5, 5 และ 10 มิลลิโมลต่อลิตร สามารถยับยั้งการทำงานของ partially purified PPO ที่สกัดมาจากลองกองได้ร้อยละ 16, 28, 41 และ 72 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าเมื่อมีการบ่ม partially purified PPO ดังกล่าวกับสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจะมีความสามารถในการยับยั้งมากกว่าชุดที่ไม่ผ่านการบ่มร้อยละ 5-10

Martinez และ Whitaker (1995) อธิบายว่า กรดแอสคอร์บิกยับยั้งการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสโดยการรีดิวซ์สาร quinone ที่เกิดขึ้นโดยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสให้กลับไปเป็นสารประกอบฟีนอลิกตั้งต้น ทำให้ไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อจนกลายเป็นสารสีน้ำตาลได้ ในขณะที่โซเดียมอซิโทรเบทเป็นอนุพันธ์ของกรดแอสคอร์บิกและเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกลุ่ม reducing agent จึงมีกลไกการยับยั้งเช่นเดียวกัน Nahed (1993)

รายงานว่าการใช้เมื่อแช่ขึ้นแอปเปิ้ลลงในกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 1.5 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ค่ากิจกรรมของ crude PPO ลงเหลือร้อยละ 15 และ 10 ตามลำดับ และเมื่อใช้กรดแอสคอร์บิกที่มีความเข้มข้นและระยะเวลาการแช่มากขึ้นจะส่งผลให้ค่ากิจกรรมของ crude PPO ลดลง นอกจากนี้ Pongsakul และคณะ (2006) รายงานว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1, 2.5 และ 5 มิลลิโมลต่อลิตรต่อค่ากิจกรรมของ partially purified PPO ที่สกัดจากลองกองสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ร้อยละ 27, 44 และ 54 ตามลำดับ ส่วนกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 10 มิลลิโมลต่อลิตร สามารถยับยั้งการทำงานของ partially purified PPO ได้เกือบทั้งหมดแต่ความสามารถในการยับยั้งการทำงานของ partially purified PPO ที่บ่มในสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล เป็นเวลา 10 นาที ไม่แตกต่างกับชุดที่ไม่มีการบ่มอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)



ภาพที่ 4.21 ผลของการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลต่อ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด ที่ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้แคทีคอลความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 6.0 เป็นสารตั้งต้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

มังกุดที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการวิจัยอยู่ในระยะการสุกที่มีเปลือกสีแดงม่วง เมื่อใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล 3 ชุดการทดลอง คือ สารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 1% w/v (CA) สารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกเข้มข้น 1% w/v กับกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 0.5% w/v (CA+AA) และสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกเข้มข้น 1% w/v กับโซเดียมเอริทอร์เบทเข้มข้น 0.5% w/v (CA+SE) เพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังกุดตัดแต่ง เปรียบเทียบกับชุดที่ไม่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล (ชุดควบคุม) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการใช้ CA สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังกุดได้ดีที่สุด เนื่องจากมังกุดที่ใช้ CA มีค่า L^* และ b^* สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) และมีค่า a^* ต่ำกว่ามังกุดชุดควบคุม ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังให้ค่า chroma สูงกว่ามังกุดชุดควบคุมทำให้มีสีที่สดกว่า ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าการใช้ CA ส่งผลให้คะแนนความเข้มสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกใกล้เคียงกับคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังมากที่สุด และผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบสูงที่สุดคือร้อยละ 60 คะแนนความเข้มสีเนื้อของมังกุดตัดแต่งทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่าชุดกรดซิตริกเข้มข้น 1% w/v มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในมังกุดตัดแต่ง จึงเลือกใช้กรดซิตริกร่วมกับการเคลือบด้วยสารละลายโซเดียมแอลจีเนตเข้มข้น 2% w/v และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพื่อพัฒนาคุณภาพของมังกุดตัดแต่ง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดที่ใช้กรดซิตริกแล้วไม่เคลือบ (CA-n-Alg) ชุดที่ไม่ใช้กรดซิตริกแล้วเคลือบด้วยสารละลายโซเดียมแอลจีเนตตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0 และ 1.5% w/v (n-CA-Alg-Ca1.0, n-CA-Alg-Ca1.5) และชุดที่ใช้กรดซิตริกแล้วเคลือบด้วยสารละลายโซเดียมแอลจีเนตตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1.0 และ 1.5% w/v (CA-Alg-Ca1.0 และ CA-Alg-Ca1.5) ผลการทดลองพบว่ามังกุดชุด CA-Alg-Ca1.0 มีค่า L^* สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) และมีค่า a^* ต่ำกว่ามังกุดชุดที่ไม่เคลือบ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังให้ค่า chroma สูงกว่ามังกุดชุดอื่น ๆ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าชุด CA-Alg-Ca1.0 มีประสิทธิภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังกุดได้ดีที่สุด มังกุดตัดแต่งที่เคลือบมีการสูญเสียสีน้ำต่ำกว่าชุดที่ไม่เคลือบ ($p \leq 0.05$) ส่งผลให้มีลักษณะปรากฏ

ใกล้เคียงมังคุดสดตลอดระยะเวลาการเก็บ ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า มังคุดชุด CA-Alg-Ca1.0 มีคะแนนความเข้มข้นใกล้เคียงกับคะแนนที่ผู้ทดสอบคาดหวังมากที่สุด ทำให้ได้รับการยอมรับสูงที่สุดคือร้อยละ 60 และมีคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบสูงที่สุดตลอดช่วงการเก็บรักษา มังคุดที่เคลือบทั้ง 4 ชุดมีคะแนนความเข้มข้นต่ำกว่ามังคุดที่ไม่เคลือบ ($p \leq 0.05$) นั่นคือการเคลือบสามารถพัฒนาคุณภาพของมังคุดตัดแต่งได้โดยช่วยลดการสูญเสีย น้ำและชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อมังคุด ผลิตรสชาติมังคุดตัดแต่งมีอายุการเก็บไม่เกิน 9 วัน โดยที่จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราไม่เกินมาตรฐานผลไม้ตัดแต่งที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนด

ผลการศึกษาสมบัติของ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุดพบว่า pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของ crude PPO คือ pH 6.0 และ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งสนับสนุนผลของการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่สามารถลด pH บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดให้ต่ำลงจนมี pH ประมาณ 2.16-2.30 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของ crude PPO และการเก็บมังคุดตัดแต่งที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ crude PPO มีเสถียรภาพต่ำมากเมื่อปรับที่ความเป็นกรดต่างในช่วง 3.0-9.0 และมีค่ากิจกรรมลดลงเรื่อยๆ เมื่อผ่านการปรับที่อุณหภูมิสูงขึ้น โดยการปรับที่อุณหภูมิตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียสขึ้นไป เป็นเวลา 10 นาที ทำให้มีค่ากิจกรรมต่ำกว่าร้อยละ 50 นอกจากนี้ยังพบว่า การปรับที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที สามารถยับยั้งกิจกรรมของ crude PPO ได้หมด สารตั้งต้นที่ดีที่สุดสำหรับ crude PPO ที่สกัดจากเปลือกมังคุด คือ 4-methylcatechol เมื่อพิจารณาผลการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลต่อ crude PPO พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการปรับสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลกับ crude PPO จะสามารถยับยั้งการทำงานได้มากขึ้น ซึ่งผลสนับสนุนการหยุดสารยับยั้งลงบริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดแล้วเก็บไว้จะเป็นการปรับสารยับยั้งดังกล่าวกับเอนไซม์ PPO ที่อยู่ในเปลือกมังคุด จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ดีขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับบรรจุมังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภค เพื่อความสะดวกในการบริโภค การเก็บรักษาและการขนส่งผลิตภัณฑ์

5.2.2 ควรมีการพัฒนาวิธีการผลิตในปริมาณที่สามารถทำเป็นอุตสาหกรรมส่งออกได้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาสำหรับอาหารทั่วไป ที่มีเชื้ออาหารควบคุมเฉพาะ [ออนไลน์]. 2536. แหล่งที่มา: <http://www.dmsc.moph.go.th> [2536, สิงหาคม 24]
- เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์. 2551. พอลิฟีนอลออกซิเดสและการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักผลไม้. วารสารวิทยาศาสตร์ มช. 36(2): 97-105.
- จิ่งแท้ ศิริพานิช. 2549. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วันดี กฤษณพันธ์ 2541. สมุนไพรน่ารู้ โครงการสมุนไพรเพื่อกรฟังกตนเอง. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ประพันธ์สาส์น.
- สุรพงษ์ โกสิยะจินดา. 2522. คู่มือดัชนีการเก็บเกี่ยวมังคุด. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักบริการส่งออก 1 กรมส่งเสริมการส่งออก. สถานการณ์ส่งออกผัก ผลไม้สด แช่เย็น แช่แข็ง และแห้ง ต.ค. 51 [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: <http://www.depthai.go.th> [2551, ธันวาคม 18]

ภาษาอังกฤษ

- Alzamora, S. M., Tapia, M. S., and Lopez-Malo, A. 2000. Minimally Processed Fruits and Vegetables Fundamental Aspects and Applications. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers, Inc.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. Vol. 1. Washington, DC: The Association of Official Analytical Chemists.
- Arogba, S. S., Ajiboye, O. L., Ugboko, L. A., Essienette, S. Y., and Afolabi, P. O. 1998. Properties of polyphenol oxidase in mango (*Mangifera indica*) kernel. Journal of Science of Food and Agriculture 77: 459-462.
- Ben-Shalom, N., Kahn, V., Harel, E., and Mayer, A. M. 1977. Olive catechol oxidase - changes during fruit development. Journal of Science of Food and Agriculture 28: 545-550.

- Chaisakdanugull, C. and Theerakulkait, C. 2009. Partial purification and characterization of banana [*Musa* (AAA Group) 'Gros Michel'] polyphenol oxidase. International Journal of Food Science and Technology 44: 840-846.
- Chien, P. J., Sheu, F., and Yang, F. H. 2007. Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. Journal of Food Engineering 78: 225-229.
- Cho, Y. K. and Ahn, H. K. 1999. Purification and characterization of polyphenol oxidase from potato: I. Purification and properties. Journal of Food Biochemistry 23: 577-592.
- Cochran, W. C. and Cox, G. M. 1992. Experimental Design. New York: John Wiley and Son.
- Concellon, A., Anon, M. C., and Chaves, A. R. 2004. Characterization and changes in polyphenol oxidase from eggplant fruit (*Solanum melongena* L.) during storage at low temperature. Food Chemistry 88: 17-24.
- Das, J. R., Bhat, S. G., and Gowda, L. R. 1997. Purification and characterization of a polyphenol oxidase from the Kew cultivar of Indian pineapple fruit. Journal of Agricultural and Food Chemistry 45: 2031-2035.
- Duangmal, K. and Owusu-Apenten, R. K. 1999. A comparative study of polyphenoloxidases from taro (*Colocasia esculenta*) and potato (*Solanum tuberosum* var. Romano). Food Chemistry 64: 351-359.
- Eskin, N. A. M., Henderson, H. M., and Tozsend, R. J. 1971. Biochemistry of Foods. New York: Academic Press.
- Espin, J. C., Trujano, M. F., Tudela, J., and Garcia-Canovas, F. 1997. Monophenolase activity of polyphenol oxidase from Haas avocado. Journal of Agricultural and Food Chemistry 45: 1091-1096.
- Flurkey, W. H. and Jen, J. J. 1980. Purification of peach polyphenol oxidase in the presence of added protease inhibitors. Journal of Food Biochemistry 4: 29-41.
- Fraignier, M., Marques, L., Fleuriet, A., and Macheix, J. 1995. Biochemical and immunochemical characteristics of polyphenol oxidase from different fruits of *Prunus*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 43: 2375-2380.
- Fukumoto, L. R., Toivonen, P. M. A., and Delaquis, P. J. 2002. Effect of wash water temperature and chlorination on phenolic metabolism and browning of stored Iceberg lettuce photosynthetic and vascular tissues. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50: 4503-4511.

- Furia, T. E. 1964. EDTA in foods. Food Technology 18: 50-58.
- Gonzalez-Aguilar, G. A., Ruiz-Cruz, S., Cruz-Valenzuela, R., Rodriguez-Felix, A., and Wang, C.Y. 2004. Physiological and quality changes of fresh-cut pineapple treated with antibrowning agents. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie 37: 369-376.
- Gregory, R. P. F. and Bendall, D. S. 1966. The purification and some properties of the polyphenol oxidase from tea (*Camellia sinensis* L.). Biochemical Journal 101: 569-581.
- Heimdal, H., Larsen, L. M., and Poll, L. 1994. Characterization of polyphenol oxidase from photosynthetic and vascular lettuce tissues (*Lactuca saliva*). Journal of Agricultural and Food Chemistry 42: 1428-1433.
- Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Valle, V. D., Velez, D., and Gavara, R. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria x ananassa*) quality during refrigerated storage. Food Chemistry 110: 428-435.
- Interesse, F. S., Ruggiero, P., Davella, G., and Lamparelli, F. 1980. Partial purification of some properties of wheat (*Triticum aestivum*) o-diphenolase. Journal of Science of Food and Agriculture 31: 459-466.
- Iyengar, R. and McEvily, A. J. 1992. Anti-browning agents: alternatives to the use of sulfites in foods. Trends in Food Science & Technology 3: 60-64.
- Jaworski, A. W. and Lee, C. Y. 1987. Fractionation of HPLC determination of grape phenolics. Journal of Agricultural and Food Chemistry 35; 257-259.
- Jayaraman, K. S., Ramanuja, M. N., Dhakne, Y. S., and Vijayaraghavan, P. K. 1982. Enzymatic browning in some banana varieties as related to polyphenoloxidase activity and other endogenous factors. Journal of Food Science and Technology 19: 181-186.
- Jiang, Y. M. 1999. Purification and some properties of polyphenol oxidase of longan fruit. Food Chemistry 66: 75-79.
- Jiang, Y. and Fu, J. 1998. Inhibition of polyphenol oxidase and the browning control of litchi fruit by glutathione and citric acid. Food Chemistry 62(1): 49-52.

- Laidler, K. J. and Peterman, B. F. 1983. Temperature effects in enzyme kinetics. In D. L. Purich (ed.), Contemporary Enzyme Kinetics and Mechanism, pp. 149-171. New York: Academic Press.
- Lee, C. Y., 1992. Encyclopedia of Food Science and Technology. Y. H. Hui (ed.). New York: John Wiley and Son.
- Lee, C. Y., Smith, M. L., and Pennesi, A. P. 1983. Polyphenoloxidase from DeChaunac grapes. Journal of Science of Food and Agriculture 34: 987-991.
- Lee, P. M., Lee, K., and Karim, M. I. A. 1991. Biochemical studies of cocoa bean polyphenol oxidase. Journal of Science of Food and Agriculture 55: 251-260.
- Lehninger, A. L., Nelson, D. L., and Cox, M. M. 1993. Principles of Biochemistry. 2nd ed. New York: Worth Publishers.
- Lineweaver, H., and Burk, D. 1934. The determination of enzyme dissociation constants. Journal of the American Chemical Society 56: 685-693.
- Lourenco, E. J., Neves, V. A., and Silva, M. A. D. 1992. Polyphenol oxidase from sweet potato: purification and properties. Journal of Agricultural and Food Chemistry 40: 2369-2373.
- Luh, B. S. and Phithakpol, B. 1972. Characteristics of polyphenoloxidase related to browning in cling peaches. Journal of Food Science 37: 264-268.
- Maftoonazad, N., Ramaswamy, H. S., and Marcotte, M. 2008. Shelf-life extension of peaches through sodium alginate and methyl cellulose edible coatings International Journal of Food Science and Technology 43: 951-957.
- Marco, C., Barbagallo, R. N., and Spagna, G. 2007. Characterization of polyphenol oxidase and peroxidase and influence on browning of cold stored strawberry fruit. Journal of Agricultural and Food Chemistry 55: 3469-3476.
- Marques, L., Fleuriet, A., and Macheix, J. 1995. Characterization of multiple forms of polyphenoloxidase from apple fruit. Plant Physiology and Biochemistry 33: 193-200.
- Manurakchinakorn, S., nuymark, P., Phoopouk, P., Poohern, P., and Chamnan, U. 2005. Browning inhibition and firmness in fresh-cut mangosteens. In F. Mencarelli and P. Tonutti (eds.), Proceedings 5th International Postharvest Symposium, pp. 1811-1818. Acta Horticulturae 682, ISHS 2005.

- Marshall, M. R., Kim, J., and Wei, C. Enzymatic browning in fruits, vegetables and seafoods [online]. 2000. Available from: <http://www.fao.org/ag/ags/agsi/ENZYMFINAL/Enzymatic%20Browning.html> [2005, July 8]
- Matinez, M. V. and Whitaker, J. R. 1995. The biochemistry and control of enzymatic browning. Trends in Food Science & Technology 6: 195-200.
- Miller, A. R., Kelley, T. J., and Mujer, C. V. 1990. Anodic peroxidase isoenzymes and polyphenol oxidase activity from cucumber fruit: tissue and substrate specificity. Phytochemistry 29: 705-709.
- Moline, H. E., Buta, J. G., and Newman, I. M. 1998. Prevention of browning of banana slices using natural products and their derivatives. Journal of Food Quality 22: 499-511.
- Murata, M., Tsurutani, M., Tomita, M., Homma, S., and Kaneko, K. 1995. Relationship between apple ripening and browning: Changes in polyphenol content and polyphenol oxidase. Journal of Agricultural and Food Chemistry 43: 1115-1121.
- Nahed, M. E. 1993. Control of enzymatic browning in apple slices by using ascorbic acid under different conditions. Plant Foods for Human Nutrition 43: 71-76.
- Nozue, M., Souri, M., Arakawa, D., and Kojima, M. 1998. Purification and characterization of two isoforms of chlorogenic acid oxidase from sweet potato cells in suspension culture. Journal of Plant Physiology 153: 552-557.
- Olivas, G. I., and Barbosa-Cánovas, G. V. 2005. Edible Coatings for Fresh-Cut Fruits. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 45: 657-670.
- Olivas, G. I., Mattinson, D. S., and Barbosa-Canovas, G. V. 2007. Alginate coatings for preservation of minimally processed 'Gala' apples. Postharvest Biology and Technology 45: 89-96.
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., and Martrin-Belloso, O. 2008. Using polysaccharide-based edible coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon. LWT-Food Science and Technology 41: 1862-1870.
- Palapol, Y., Ketsa, S., Stevenson, D., Cooney, J. M., Allan, A. C., and Ferguson, I. B. 2009. Colour development and quality of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) fruit during ripening and after harvest. Postharvest Biology and Technology 51: 349-353.
- Palmer, T. 1995. An introduction to enzymes. In 4th ed., Understanding Enzymes, pp 3-14. Hertfordshire: Prentice Hall.

- Park, E. Y. and Luh, B. S. 1985. Polyphenol oxidase of kiwifruit. Journal of Food Science 50: 678-684.
- Perez-Gilabert, M. and Carmona, F. G. 2000. Characterization of catecholase and cresolase activities of eggplant polyphenol oxidase. Journal of Agricultural and Food Chemistry 48: 695-700.
- Peterson, G. L. 1977. A simplification of the protein assay method of Lowry et al. which is more generally applicable. Analytical Biochemistry 83: 346-356.
- Pongsakul, N., Leelasart, B., and Rakariyatham, N. 2006. Effect of L-cysteine, potassium metabisulfite, ascorbic acid and citric acid on inhibition of enzymatic browning in longan. Journal of Food Science and Technology 33(1): 137-141.
- Raymond, J., Rakariyatham, N., and Azanza, J. L. 1993. Purification and some properties of polyphenoloxidase from sunflower seeds. Phytochemistry 34: 927-931.
- Robinson, S. P., Loveys, B. R., and Chacko, E. K. 1993. Polyphenol oxidase enzymes in the sap and skin of mango fruit. Australia Journal of Plant Physiology 20: 99-107.
- Sanchez-Ferrer, A., Levada, F., and Garcia-Carmona, F. 1993. Substrate-dependent activation of latent potato leaf polyphenol oxidase by anionic surfactants. Journal of Agricultural and Food Chemistry 41: 1583-1586.
- Sapers, G. M. 1993. Browning of foods: control by sulfites, antioxidants and other means. Food Technology 47: 75-84.
- Sapers, M. G., and Ziolkowski, A. M. 1988. Comparison of erythorbic and ascorbic acids as inhibitors of enzymatic browning in apples. Journal of Food Science 52: 1732.
- Sheptovitsky, Y. G., and Brudvig, G. W. 1996. Isolation and characterization of spinach photosystem II membrane-associated catalase and polyphenol oxidase. Biochemistry 35: 16255-16263.
- Sojo, M. M., Nunez-Delicado, E., Garcia-Carmona, F., and Sanchez-Ferrer, A. 1998. A Partial purification of a banana polyphenol oxidase using Triton X-114 and PEG 8,000 for removal of polyphenols. Journal of Agricultural and Food Chemistry 46: 4924-4930.
- Soliva-Fortuny, R. C. and Martin-Belloso, O. 2003. New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. Trends in Food Science & Technology 14: 341-353.

- Son, S. M., Moon, K. D., and Lee, C. Y. 2001. Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices. Food Chemistry 73: 23-30.
- Spagna, G., Barbagallo, R. N., Chisari, M., and Branca, F. 2005. Characterization of a tomato polyphenol oxidase and its role in browning and lycopene content. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53(6): 2032-2038.
- Ullah, M. R. 1991. Tea. In P. F. Fox (ed.), Food Enzymology, pp. 163-187. New York: Elsevier Science Publishing.
- Valero, E., Varon, R., and Garcia-Carmona, F. 1988. Characterization of polyphenol oxidase from Airen grapes. Journal of Food Science 53: 1482-1485.
- Walker, J. R. L. 1977. Enzymatic browning in foods. its chemistry and control. Food Technology in New Zealand 12: 19-25.
- Walker, J. R. L. 1995. Enzymatic browning in fruits: its biochemistry and control. In C. Y. Lee and J. R. Whitaker (eds.), Enzymatic Browning and Its Prevention, pp 8-22. Washington, DC: American Chemical Society.
- Wang, J., Jiang, W., Wang, B., Liu, S., Gong, Z., and Luo, Y. 2006. Partial Properties of polyphenol oxidase in mango (*Mangifera indica* L. CV. "TAINONG") pulp. Journal of Food Biochemistry 31: 45-55.
- Wesche-Ebeling, P. and Montgomery, M. W. 1990. Strawberry polyphenoloxidase: Extraction and partial characterization. Journal of Food Science 55: 1320-1324.
- Whitaker, J. R. 1972. Principles of Enzymology for the Food Sciences. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Whitaker, J. R. 1995. Polyphenol oxidase. In D. W. S. Wong (ed.), Food Enzymes: Structure and Mechanism, pp. 271-307. New York: Chapman and Hall.
- Wong, T. C., Luh, B. S., and Whitaker, J. R. 1971. Isolation and characterization of polyphenol oxidase isozymes of Clingstone peach. Journal of Plant Physiology 48: 19-23.
- Yang, C. P., Fujita, S., Ashrafuzzaman, M. D., Nakamura, N., and Hayashi, N. 2000. Purification and characterization of polyphenol oxidase from banana (*Musa sapientum* L.) Pulp. Journal of Agricultural and Food Chemistry 48: 2732-2735.

- Yerliturk, F. U., Arslan, O., Sinan, S., Gencer, N., and Ozen, O. G. 2008. Characterization of polyphenoloxidase from wild pear (*Pyrus elaeagnifolia*). Journal of Food Biochemistry 32: 368–383.
- Yoruk, R. and Marshall, M.R. 2003. Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: a review. Journal of Food Biochemistry 27: 361-422.
- Zadernowski, R., Czaplicki, S., and Naczek, M. 2009. Phenolic acid profiles of mangosteen fruits (*Garcinia mangostana*). Food Chemistry 112: 685–689.
- Zawistowski, J., Biliaderis, C. G., and Eskin, N. A. M. 1991. Polyphenol oxidase. In D. S. Robinson and N. A. M. Eskin (eds.), Oxidative Enzymes in Foods, pp 217-273. London: Elsevier Applied Science.
- Zhou, P., Smith, N. L., and Lee, C.Y. 1993. Potential purification and some properties of Monroe apple peel polyphenol oxidase. Journal of Agricultural and Food Chemistry 41: 532-536.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

ก.1 ค่าความเป็นกรด (titratable acidity)

ตามวิธีของ Palapol และคณะ (2009)

วิธีการทดลอง

คั้นน้ำมังคุดโดยบีบเนื้อมังคุดผ่านผ้าขาวบาง แล้วกรองน้ำมังคุดที่ได้อีกครั้งผ่านผ้าขาวบาง บีบส่วนที่กรองได้ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ 2 หยด ไตเตรทสารละลายดังกล่าวกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N จนกระทั่งถึงจุดยุติซึ่งมีสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรท นำปริมาตรที่ได้มาคำนวณค่าความเป็นกรดในรูปของกรดซิตริก ตามสูตร

$$\% \text{ค่าความเป็นกรด} = \frac{\text{นมัลลิตี NaOH} \times \text{ปริมาตรของ NaOH} \times \text{มิลลิอิควิวาเลนต์ของกรดซิตริก}}{\text{ปริมาตรน้ำมังคุด}} \times 100$$

โดยที่มิลลิอิควิวาเลนต์ของกรดซิตริก (milliequivalent of citric acid momohydrate) = 0.07

ก.2 ค่าสี โดยใช้เครื่อง ColorFlex®

วิธีการทดลอง

1. เข้าสู่โปรแกรม Spectrophotometer Universe โดย double click ที่ icon ของ Spectrophotometer Universe
2. คลิกที่ Standardize บนเมนูหลัก
3. เลือก Port size ขนาด 0.50 นิ้ว จากนั้นกดปุ่ม OK
4. วางแผ่น calibrate สีดำ โดยหันปุ่มสีขาวด้านบนบนแผ่น calibrate ออกด้านนอก จากนั้นกดปุ่ม OK
5. วางแผ่น calibrate สีขาว โดยหันปุ่มสีขาวด้านบนบนแผ่น calibrate ออกด้านนอก จากนั้นกดปุ่ม OK รอจนเครื่องขึ้นว่า "Sensor successfully standardized" จากนั้นกดปุ่ม OK

6. ทดลองอ่านค่าแผ่น calibrate สีขาว โดยคลิกที่ “Read sample” บนเมนูหลัก โดยค่าที่ได้ต้องอยู่ในช่วงดังนี้ $X=78.89\pm 0.3$ $Y=83.78\pm 0.3$ $Z=87.74\pm 0.3$ (ถ้าไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด ต้อง Standardize ใหม่)

7. นำตัวอย่างมังคุดวางบนฐานของเครื่องให้ปิดช่อง port size ให้สนิท ปิดฝาครอบ

8. คลิกที่ “Read sample” บนเมนูหลัก บันทึกค่า L^* a^* และ b^*

9. วิเคราะห์ตัวอย่างมังคุด 15 ผล ๆ ละ 3 ซ้ำ ค่าที่ได้จะรายงานเป็น $CIE\ L^*a^*b^*$ โดยแหล่งแสง D65 มุมการมอง 10°

ก.3 การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

ตามวิธีของ AOAC (2000)

วิธีการทดลอง

1. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar โดยชั่ง plate count agar 22.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นร้อน 1000 มิลลิลิตร บรรจุลงในขวดรูปชมพูปิดปากด้วยจุกสำลี ซ้ำเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

2. ชั่งเนื้อมังคุดตัดแต่ง 10 กรัม ใส่ถุงพลาสติก เติม peptone 0.1% (w/v) 90 มิลลิลิตร ด้วยเครื่อง stomacher 1 นาที เจือจางความเข้มข้นของสารละลายผสมที่ได้เป็น 10^{-1} 10^{-2} และ 10^{-3} กรัมต่อมิลลิลิตร ด้วย peptone 0.1% (w/v)

3. ปิเปตสารละลายผสมตามข้อ 2. ที่ dilution ต่างๆ มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในจานเลี้ยงเชื้อ dilution ละ 2 จาน เท plate count agar (ที่ 40-45 องศาเซลเซียส) ลงในจานเลี้ยงเชื้อประมาณจานละ 15-20 มิลลิลิตร หมุนจานไปมาเพื่อให้สารละลายผสมและ plate count agar ผสมกัน ทิ้งให้แข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง

4. บ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดแล้วรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ก.4 การวิเคราะห์จำนวนยีสต์และรา

ตามวิธีของ AOAC (2000)

วิธีการทดลอง

1. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar โดยชั่ง potato dextrose agar 39.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่นร้อน 1000 มิลลิลิตร บรรจุลงในขวดรูปชมพูปิดปากด้วยจุกสำลี นำมาฆ่าเชื้อ

ใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นปรับ pH ด้วย tataric acid เข้มข้น 10% (w/v) (ที่ปลอดเชื้อ) ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตรต่อ potato dextrose agar 100 มิลลิลิตร (จะได้ pH ประมาณ 3.7-4.0)

2. ชั่งเนื้อมังคุดตัดแต่ง 10 กรัม ใส่ถุงพลาสติก เติม peptone 0.1% (w/v) 90 มิลลิลิตร ด้วยเครื่อง stomacher 1 นาที เจือจางความเข้มข้นของสารละลายผสมที่ได้เป็น 10^{-1} 10^{-2} และ 10^{-3} กรัมต่อมิลลิลิตร ด้วย peptone 0.1% (w/v)

3. ปิเปตสารละลายผสมตามข้อ 2. ที่ dilution ต่างๆ มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในจานเลี้ยงเชื้อ dilution ละ 2 จาน เท potato dextrose agar (ที่ 40-45 องศาเซลเซียส) ลงในจานเลี้ยงเชื้อ ประมาณจานละ 15-20 มิลลิลิตร หมุนจานไปมาเพื่อให้สารละลายผสมและ potato dextrose agar ผสมกัน ทิ้งให้แข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง

4. นำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนยีสต์และรา แล้วรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ก.5 การวิเคราะห์ค่าสีโดยใช้โปรแกรม ImageJ 1.43u (Java-based image processing program developed at the National Institutes of Health)

ดัดแปลงจากวิธีของ Mendoza และคณะ (2006)

วิธีการทดลอง

1. วางตัวอย่างมังคุดลงบริเวณกลางกล่อง จากนั้นปิดฝาให้สนิท เสียบปลั๊กแล้วเปิดไฟทิ้ง 4 ดวง



ตัวอย่างมังคุด

2. วางกล้องกล้องดิจิทัลตรงช่องที่เจาะไว้ โดยตั้งโหมดกล้องดิจิทัลเป็นแบบ Manual ไม่ใช้แฟลช ถ่ายภาพที่มีขนาด 1600×1200 พิกเซล และจัดเก็บในรูปแบบไฟล์ JPEG

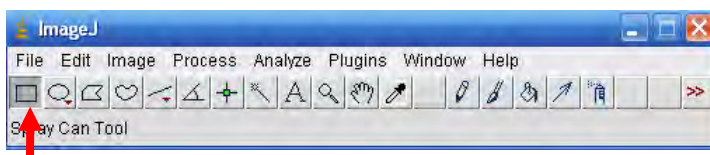


กล้องดิจิทัล

3. วิเคราะห์ค่าสีโดยโปรแกรมอิมเมจเจ (ImageJ)

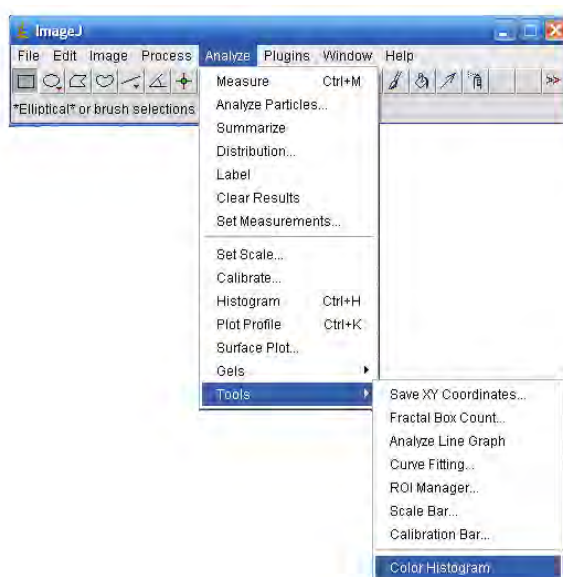
3.1 เปิดโปรแกรม ImageJ เปิดภาพที่ต้องการวิเคราะห์โดยไปที่เมนู File → Open → File name (ภาพที่ต้องการวิเคราะห์)

3.2 ทำพื้นที่ในตำแหน่งของภาพ ณ จุดที่ต้องการวัด โดยเลือกที่กรอบสี่เหลี่ยม

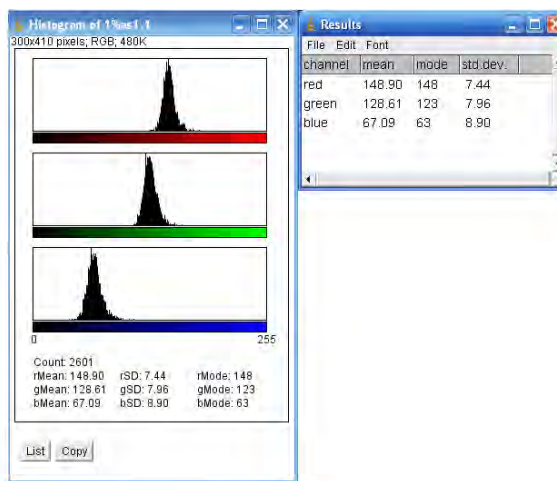


3.3 เลือกขนาดของภาพที่ต้องการวัด โดยการกดปุ่ม Shift ที่คีย์บอร์ด ค้างไว้ พร้อมกับการลากเมาส์ เพื่อให้ได้ขนาดความกว้างและยาวของกรอบที่วัดมีขนาดเท่ากัน

3.4 แล้วไปที่เมนู Analysis → Tools → Color Histogram



3.5 จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างแสดงผลค่าเฉลี่ย (Mean) ของสีในระบบ RGB พร้อมค่า Mode และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD) รวมถึง Histogram ของสีที่ได้



4. เปลี่ยนระบบสีจาก RGB ไปเป็นระบบ CIE LAB ด้วยโปรแกรม Color Converter ในโปรแกรม Microsoft Excel จะได้ค่า L^* , a^* และ b^*

No.	R	G	B	R1	G1	B1	R2	G2	B2	X	Y	Z	X1
1	21	32	43	0.002353	0.12549	0.160627	0.749903	1.444304	2.415763	1.261817	1.366071	2.482027	0.013270
2	100	200	211	0.382187	0.784314	0.827481	12.742777	87.78804	86.14086	37.68788	48.72103	89.04882	0.398300
3	55	88	77	0.215686	0.258824	0.301961	3.820437	5.448028	7.421357	4.063318	5.244478	7.777138	0.051180

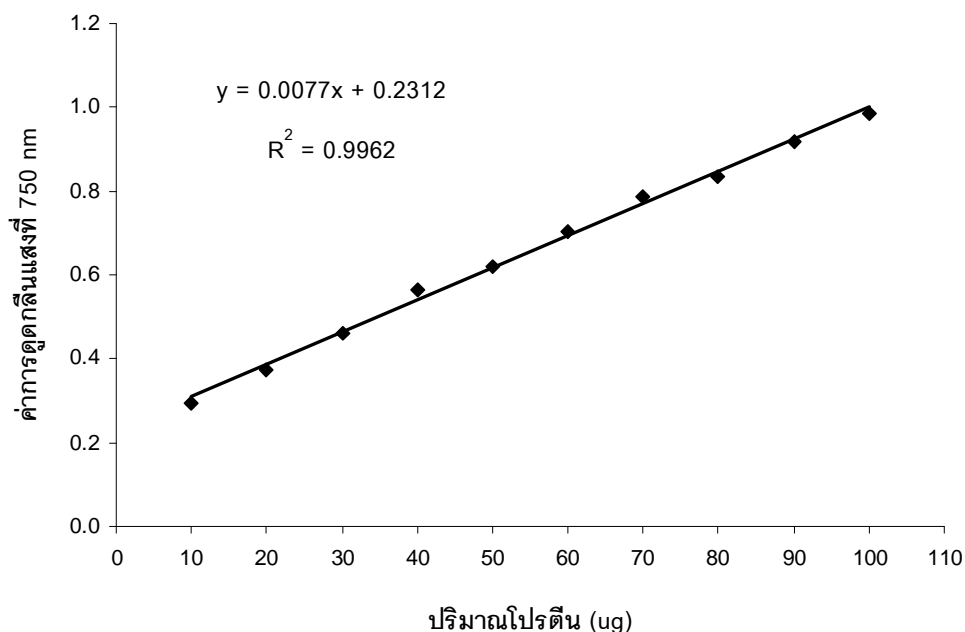
ก.6 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี modified Lowry

ตามวิธีการของ Peterson, 1977

วิธีการทดลอง

1. บีบเปิด crude PPO ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ Eppendorf tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร
2. เจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 มิลลิลิตร

3. เติมสารละลาย Sodium Deoxycholate (DOC) เข้มข้น 0.15% (w/v) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
4. เติมสารละลาย Trichloroacetic acid (TCA) เข้มข้น 72% (w/v) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
5. ปั่นเหวี่ยงในเครื่อง refrigerated centrifuge ควบคุมอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความเร็ว 8,000 x g เป็นเวลา 10 นาที
6. เติมสารละลายส่วนที่ใสออก เหลือแต่ตะกอนโปรตีน
7. เติม reagent A (เตรียมจาก Copper-Tartrate-Carbonate, 10% Sodium dodecyl sulphate, 0.8N Sodium hydroxide และน้ำกลั่น อย่างละ 25 มิลลิลิตร) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
8. เติม reagent B (เตรียมจาก Folin-Ciocalteu phenol reagent ต่อน้ำกลั่น อัตราส่วน 1:5) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
9. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 750 นาโนเมตร โดยใช้ reagent A ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมกับ reagent B ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เป็น Blank และใช้ bovine serum albumin (10-100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) เป็น standard curve ดังแสดงในภาพที่ ก.1



ภาพที่ ก.1 กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี modified Lowry

ภาคผนวก ข

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ข.1 แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดตัดแต่งด้วยวิธีการทดสอบเชิงพรรณนา (descriptive analysis with scaling)

แบบสอบถาม

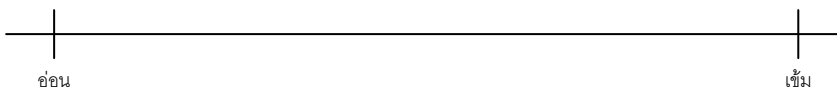
ชื่อผู้ทดสอบ.....ชุดที่.....
ผลิตภัณฑ์.....มังคุดตัดแต่ง.....วันที่.....

คำแนะนำ

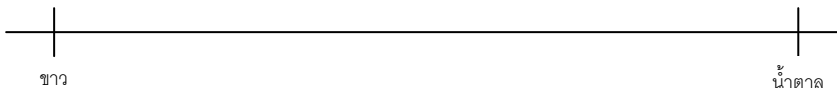
กรุณาชิมตัวอย่างต่อไป่นี้ แล้วทำเครื่องหมายพร้อมกำกับรหัสตัวอย่างบนเส้นที่กำหนดให้ โดยทำเครื่องหมาย ณ จุดที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน และทำเครื่องหมาย "I" ณ จุดที่ท่านคิดว่าต้องการในแต่ละลักษณะคุณภาพ กรุณาบ้วนปากก่อนชิมตัวอย่างทุกครั้ง

รหัสตัวอย่าง _____

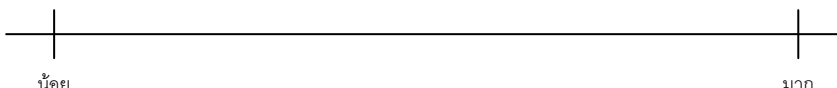
สีบริเวณรอยตัดของเปลือก



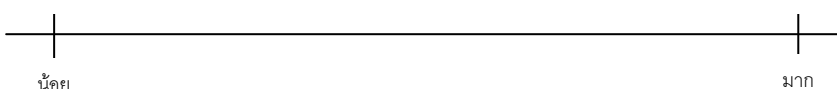
สีเนื้อมังคุด



กลิ่นมังคุด

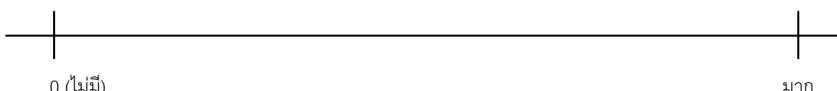


รสชาติมังคุด

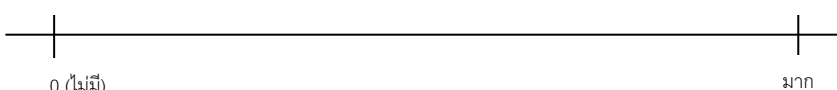


กรุณาทำเครื่องหมายพร้อมกำกับรหัสตัวอย่างบนเส้นที่กำหนดให้ ณ จุดที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน

กลิ่นแปลกปลอม



รสชาติแปลกปลอม



ทำเครื่องหมาย ลงในช่อง ที่ตรงกับความรู้สึกของท่านที่มีต่อผลิตภัณฑ์

รหัสตัวอย่าง

_____	<input type="checkbox"/>	ยอมรับ	<input type="checkbox"/>	ไม่ยอมรับ
_____	<input type="checkbox"/>	ยอมรับ	<input type="checkbox"/>	ไม่ยอมรับ
_____	<input type="checkbox"/>	ยอมรับ	<input type="checkbox"/>	ไม่ยอมรับ
_____	<input type="checkbox"/>	ยอมรับ	<input type="checkbox"/>	ไม่ยอมรับ

ข.2 แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมังคุดตัดแต่งด้วยวิธี Preference tests

แบบสอบถาม

ชื่อผู้ทดสอบ.....ชุดที่.....
 ผลิตภัณฑ์.....มังคุดตัดแต่ง.....วันที่.....

คำแนะนำ

กรุณาชิมตัวอย่างต่อไป่นี้ แล้วเขียนรหัสตัวอย่างให้ตรงกับคำอธิบายความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์
 กรุณาบ้วนปากก่อนชิมตัวอย่างทุกครั้ง

รหัสตัวอย่าง

ชอบมาก _____

ชอบปานกลาง _____

ชอบเล็กน้อย _____

เฉย ๆ _____

ไม่ชอบเล็กน้อย _____

ไม่ชอบปานกลาง _____

ไม่ชอบมาก _____

ภาคผนวก ค

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงค่า L* บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.2)

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
วันที่ 0	trt	3	37.121
	Error	8	12.731
วันที่ 1	trt	3	31.812*
	Error	8	7.537
วันที่ 2	trt	3	61.335*
	Error	8	11.359
วันที่ 3	trt	3	59.822*
	Error	8	14.349
วันที่ 4	trt	3	86.096*
	Error	8	20.884
วันที่ 5	trt	3	89.191*
	Error	8	14.029
วันที่ 6	trt	3	83.975*
	Error	8	17.076
วันที่ 7	trt	3	15.994
	Error	8	3.681
วันที่ 8	trt	3	38.584*
	Error	8	3.083
วันที่ 9	trt	3	41.088*
	Error	8	3.697

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงค่า a^* บริเวณรอยตัดที่เปลือกของ มังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับ ตารางที่ 4.3)

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
วันที่ 0	trt	3	21.663
	Error	8	25.730
วันที่ 1	trt	3	15.287
	Error	8	11.176
วันที่ 2	trt	3	4.152
	Error	8	9.188
วันที่ 3	trt	3	31.533*
	Error	8	7.769
วันที่ 4	trt	3	42.431
	Error	8	12.483
วันที่ 5	trt	3	24.439*
	Error	8	5.540
วันที่ 6	trt	3	15.763*
	Error	8	1.229
วันที่ 7	trt	3	23.106
	Error	8	8.211
วันที่ 8	trt	3	29.376
	Error	8	6.407
วันที่ 9	trt	3	47.978*
	Error	8	2.208

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงค่า b^* บริเวณรอยตัดที่เปลือกของ มังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับ ตารางที่ 4.4)

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
วันที่ 0	trt	3	70.922*
	Error	8	13.494
วันที่ 1	trt	3	97.132
	Error	8	29.620
วันที่ 2	trt	3	133.068*
	Error	8	22.107
วันที่ 3	trt	3	37.008*
	Error	8	4.340
วันที่ 4	trt	3	88.469
	Error	8	30.167
วันที่ 5	trt	3	149.003*
	Error	8	21.363
วันที่ 6	trt	3	96.574*
	Error	8	13.229
วันที่ 7	trt	3	85.909*
	Error	8	17.255
วันที่ 8	trt	3	32.666
	Error	8	5.906
วันที่ 9	trt	3	22.213*
	Error	8	3.303

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสูญเสียน้ำหนักของมังคุดตัดแต่งแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
วันที่ 1	trt	3	0.037
	Error	4	0.106
วันที่ 2	trt	3	0.036
	Error	4	0.032
วันที่ 3	trt	3	0.119
	Error	4	0.089
วันที่ 4	trt	3	0.133
	Error	4	0.213
วันที่ 5	trt	3	0.096
	Error	4	0.293
วันที่ 6	trt	3	0.117
	Error	4	0.088
วันที่ 7	trt	3	0.118
	Error	4	0.291
วันที่ 8	trt	3	0.309
	Error	4	0.064
วันที่ 9	trt	3	0.520
	Error	4	0.224

ตารางที่ ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความเข้มกลืนแปลกปลอมของมังกุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.5)

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
วันที่ 1	trt	3	0.351
	ผู้ทดสอบ	14	0.815
	Error	101	0.334
วันที่ 3	trt	3	0.743
	ผู้ทดสอบ	14	1.431
	Error	101	0.576
วันที่ 5	trt	3	0.377
	ผู้ทดสอบ	14	5.512
	Error	101	0.359
วันที่ 7	trt	3	0.074
	ผู้ทดสอบ	14	2.660
	Error	101	0.164
วันที่ 9	trt	3	0.125
	ผู้ทดสอบ	14	1.060
	Error	101	0.111

ตารางที่ ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความเข้มรสชาติแปลกปลอมของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.6)

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
วันที่ 1	trt	3	0.366
	ผู้ทดสอบ	14	1.706
	Error	101	0.434
วันที่ 3	trt	3	0.451
	ผู้ทดสอบ	14	1.163
	Error	101	0.417
วันที่ 5	trt	3	0.023
	ผู้ทดสอบ	14	4.532
	Error	101	0.255
วันที่ 7	trt	3	0.229
	ผู้ทดสอบ	14	3.027
	Error	101	0.472
วันที่ 9	trt	3	0.680
	ผู้ทดสอบ	14	3.075
	Error	101	0.890

ตารางที่ ค.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงค่า L^* ของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไฮเดียมแอลจิเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.8)

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
วันที่ 0	trt	4	93.579*
	Error	9	19.491
วันที่ 1	trt	4	80.447*
	Error	9	17.860
วันที่ 2	trt	4	96.208*
	Error	9	13.057
วันที่ 3	trt	4	145.401*
	Error	9	24.097
วันที่ 4	trt	4	147.106*
	Error	9	15.911
วันที่ 5	trt	4	164.219*
	Error	9	17.813
วันที่ 6	trt	4	204.568*
	Error	9	14.914
วันที่ 7	trt	4	229.709*
	Error	9	20.798
วันที่ 8	trt	4	192.991*
	Error	9	14.281
วันที่ 9	trt	4	202.853*
	Error	9	18.496

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.9)

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
วันที่ 0	trt	4	31.329
	Error	9	14.334
วันที่ 1	trt	4	89.441*
	Error	9	4.944
วันที่ 2	trt	4	89.163*
	Error	9	4.672
วันที่ 3	trt	4	60.913*
	Error	9	5.055
วันที่ 4	trt	4	95.050*
	Error	9	16.137
วันที่ 5	trt	4	58.951*
	Error	9	4.684
วันที่ 6	trt	4	74.623*
	Error	9	10.750
วันที่ 7	trt	4	58.890*
	Error	9	8.629
วันที่ 8	trt	4	70.656*
	Error	9	4.414
วันที่ 9	trt	4	98.938*
	Error	9	12.938

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.10)

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
วันที่ 0	trt	4	27.745
	Error	9	31.465
วันที่ 1	trt	4	95.808
	Error	9	24.128
วันที่ 2	trt	4	119.174*
	Error	9	14.975
วันที่ 3	trt	4	170.009*
	Error	9	10.978
วันที่ 4	trt	4	164.638*
	Error	9	4.730
วันที่ 5	trt	4	145.159*
	Error	9	12.322
วันที่ 6	trt	4	131.376*
	Error	9	18.853
วันที่ 7	trt	4	176.566*
	Error	9	11.928
วันที่ 8	trt	4	154.612*
	Error	9	6.149
วันที่ 9	trt	4	216.881*
	Error	9	7.949

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสูญเสียน้ำหนักของมังคุดตัดแต่งแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
วันที่ 1	trt	4	0.007
	Error	5	0.019
วันที่ 2	trt	4	0.066
	Error	5	0.029
วันที่ 3	trt	4	0.095
	Error	5	0.107
วันที่ 4	trt	4	0.187
	Error	5	0.066
วันที่ 5	trt	4	0.283
	Error	5	0.103
วันที่ 6	trt	4	0.388
	Error	5	0.092
วันที่ 7	trt	4	0.460
	Error	5	0.131
วันที่ 8	trt	4	0.986*
	Error	5	0.138
วันที่ 9	trt	4	1.174*
	Error	5	0.136

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความเข้มกลืนแปดกลอมของมังกุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.11)

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
วันที่ 1	trt	4	0.002
	ผู้ทดสอบ	14	1.037
	Error	130	0.054
วันที่ 3	trt	4	0.015
	ผู้ทดสอบ	14	1.030
	Error	130	0.254
วันที่ 5	trt	4	0.045
	ผู้ทดสอบ	14	2.777
	Error	130	0.249
วันที่ 7	trt	4	0.122
	ผู้ทดสอบ	14	0.917
	Error	130	0.339
วันที่ 9	trt	4	0.368
	ผู้ทดสอบ	14	9.348
	Error	130	0.542

ตารางที่ ค.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความเข้มรสนชาติแปลกปลอมของมังคุด ตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.12)

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
วันที่ 1	trt	4	0.106
	ผู้ทดสอบ	14	0.981
	Error	130	0.290
วันที่ 3	trt	4	0.327
	ผู้ทดสอบ	14	0.755
	Error	130	0.513
วันที่ 5	trt	4	0.138
	ผู้ทดสอบ	14	3.064
	Error	130	0.411
วันที่ 7	trt	4	0.302
	ผู้ทดสอบ	14	1.394
	Error	130	0.400
วันที่ 9	trt	4	0.448
	ผู้ทดสอบ	14	2.434
	Error	130	0.633

ตารางที่ ค.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความชอบของผู้ทดสอบต่อมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตในระหว่างการเก็บที่ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับตารางที่ 4.13)

ระยะเวลาการเก็บ	SOV	df	MS
วันที่ 1	trt	5	2.273
	ผู้ทดสอบ	14	3.964
	Error	159	1.804
วันที่ 3	trt	5	19.443*
	ผู้ทดสอบ	14	1.998
	Error	159	1.539
วันที่ 5	trt	5	22.877*
	ผู้ทดสอบ	14	1.998
	Error	159	1.538
วันที่ 7	trt	5	25.983*
	ผู้ทดสอบ	14	1.467
	Error	159	1.309
วันที่ 9	trt	5	59.783*
	ผู้ทดสอบ	14	0.667
	Error	159	1.202

*แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาคผนวก ง

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ง.1 การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งในระหว่าง การเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	ค่า hue angle			
	Control	CA	CA+AA	CA+SE
0	56.18 ± 4.68	61.78 ± 0.55	54.45 ± 3.23	55.83 ± 6.06
1	56.99 ± 3.16	62.95 ± 0.67	72.72 ± 2.57	79.73 ± 1.06
2	58.04 ± 2.63	71.64 ± 0.63	70.47 ± 2.68	76.95 ± 7.61
3	58.10 ± 0.53	77.64 ± 4.90	72.45 ± 3.11	86.15 ± 0.55
4	60.49 ± 1.07	73.29 ± 1.77	74.91 ± 3.94	85.65 ± 1.75
5	57.34 ± 3.02	67.73 ± 1.37	72.41 ± 1.09	81.64 ± 1.29
6	58.63 ± 1.58	74.32 ± 1.47	73.12 ± 3.73	82.98 ± 2.01
7	56.52 ± 4.54	71.56 ± 0.81	72.58 ± 2.20	83.21 ± 2.71
8	60.77 ± 0.27	76.50 ± 1.72	73.29 ± 8.07	83.71 ± 4.17
9	63.08 ± 4.50	76.35 ± 0.83	78.47 ± 0.92	86.22 ± 0.28

ตารางที่ ง.2 การเปลี่ยนแปลงค่า chroma บริเวณรอยตัดที่เปลือกของมังคุดตัดแต่งในระหว่าง การเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	ค่า chroma			
	Control	CA	CA+AA	CA+SE
0	19.70 ± 0.99	32.92 ± 3.72	26.42 ± 4.47	22.49 ± 1.15
1	23.15 ± 3.32	32.67 ± 6.55	31.79 ± 4.82	30.84 ± 3.28
2	23.26 ± 2.52	31.18 ± 1.43	31.07 ± 1.47	33.03 ± 0.51
3	26.65 ± 1.35	31.25 ± 1.47	29.41 ± 0.20	32.05 ± 3.35
4	31.35 ± 3.13	33.13 ± 6.54	36.01 ± 6.53	35.16 ± 4.18
5	30.56 ± 2.21	35.26 ± 1.76	36.38 ± 2.59	40.87 ± 3.20
6	25.81 ± 0.33	33.49 ± 5.09	36.96 ± 4.17	35.92 ± 4.60
7	27.40 ± 0.99	32.67 ± 7.68	35.49 ± 1.27	36.72 ± 2.51
8	29.36 ± 0.21	36.89 ± 1.90	34.03 ± 1.10	30.82 ± 2.23
9	30.55 ± 0.04	36.03 ± 0.12	36.46 ± 0.27	33.06 ± 3.23

ตารางที่ ง.3 การสูญเสียน้ำหนักของมังคุดตัดแต่งในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ^{ns}			
	Control	CA	CA+AA	CA+SE
1	1.26 ± 0.11	1.23 ± 0.14	1.72 ± 0.33	1.71 ± 0.41
2	2.08 ± 0.27	2.13 ± 0.01	2.65 ± 0.10	2.43 ± 0.45
3	2.61 ± 0.42	2.88 ± 0.15	3.57 ± 0.16	3.55 ± 0.73
4	2.75 ± 0.48	3.49 ± 0.06	3.22 ± 0.73	3.99 ± 0.79
5	4.64 ± 0.77	4.65 ± 0.38	5.48 ± 0.37	5.31 ± 1.09
6	5.96 ± 0.41	5.47 ± 0.39	6.58 ± 0.10	6.33 ± 1.20
7	6.79 ± 0.60	6.11 ± 0.60	6.95 ± 0.60	7.26 ± 1.39
8	8.26 ± 0.07	7.39 ± 0.22	9.28 ± 0.43	8.61 ± 1.60
9	9.52 ± 0.07	8.00 ± 0.41	10.42 ± 0.75	9.73 ± 1.80

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ ง.4 การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไฮเดียมแอลจิเนตในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลา การเก็บ (วัน)	ค่า hue angle				
	CA-n-Alg	n-CA-Alg-Ca1.0	CA-Alg-Ca1.0	n-CA-Alg-Ca1.5	CA-Alg-Ca1.5
0	48.32 ± 0.19	61.73 ± 0.35	72.09 ± 0.22	60.23 ± 0.05	72.61 ± 0.07
1	58.32 ± 0.04	61.37 ± 0.30	75.39 ± 0.08	61.01 ± 0.15	77.86 ± 0.06
2	59.07 ± 0.03	64.16 ± 0.24	75.72 ± 0.08	63.04 ± 0.12	79.12 ± 0.10
3	60.58 ± 0.14	67.38 ± 3.14	79.89 ± 0.02	60.19 ± 0.23	77.43 ± 0.05
4	62.86 ± 0.06	69.14 ± 0.33	78.58 ± 0.09	66.28 ± 0.25	81.03 ± 0.07
5	64.69 ± 0.01	69.21 ± 0.25	82.92 ± 0.11	66.11 ± 0.12	78.95 ± 0.06
6	59.57 ± 0.17	60.36 ± 0.23	81.83 ± 0.09	67.33 ± 0.14	79.19 ± 0.02
7	59.08 ± 0.22	63.00 ± 0.28	81.13 ± 0.08	66.25 ± 0.15	78.63 ± 0.06
8	59.08 ± 0.22	59.07 ± 0.22	82.40 ± 0.04	66.22 ± 0.15	78.97 ± 0.05
9	59.74 ± 0.22	61.50 ± 0.26	71.47 ± 0.15	67.66 ± 0.10	74.10 ± 0.10

ตารางที่ ง.5 การเปลี่ยนแปลงค่า chroma ของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไฮเดียมแอลจิเนตในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลา การเก็บ (วัน)	ค่า chroma				
	CA-n-Alg	n-CA-Alg-Ca1.0	CA-Alg-Ca1.0	n-CA-Alg-Ca1.5	CA-Alg-Ca1.5
0	34.60 ± 1.86	29.14 ± 7.47	32.58 ± 1.61	32.46 ± 7.80	34.61 ± 2.13
1	41.25 ± 0.94	25.10 ± 6.10	26.42 ± 2.43	22.76 ± 6.03	28.06 ± 0.12
2	44.50 ± 0.64	25.75 ± 4.56	29.01 ± 1.04	21.09 ± 3.68	29.14 ± 0.51
3	43.80 ± 0.58	23.03 ± 3.14	32.67 ± 1.46	20.47 ± 2.30	31.27 ± 0.50
4	41.89 ± 1.18	20.39 ± 0.50	30.51 ± 0.03	23.09 ± 0.34	30.16 ± 0.34
5	42.09 ± 0.16	23.74 ± 2.57	32.25 ± 0.14	22.21 ± 3.94	31.76 ± 4.38
6	41.22 ± 4.89	22.10 ± 2.32	33.36 ± 2.12	23.28 ± 2.09	32.73 ± 1.80
7	43.78 ± 2.03	21.25 ± 1.48	31.96 ± 1.03	23.68 ± 2.71	32.26 ± 0.70
8	42.86 ± 2.02	24.21 ± 0.72	33.20 ± 2.79	24.81 ± 1.23	32.42 ± 1.67
9	44.40 ± 3.31	20.98 ± 0.23	33.38 ± 0.74	19.35 ± 0.73	33.07 ± 1.37

ตารางที่ ง.6 การสูญเสียน้ำหนักของมังคุดตัดแต่งที่เคลือบด้วยไฮเดียมแอลจิเนตในระหว่างการเก็บที่ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลา การเก็บ (วัน)	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก				
	CA-n-Alg	n-CA-Alg-Ca1.0	CA-Alg-Ca1.0	n-CA-Alg-Ca1.5	CA-Alg-Ca1.5
1 ^{ns}	0.76 + 0.01	0.65 + 0.04	0.59 + 0.08	0.69 + 0.12	0.64 + 0.27
2 ^{ns}	1.48 + 0.06	1.09 + 0.24	1.02 + 0.02	1.18 + 0.14	1.08 + 0.26
3 ^{ns}	1.76 + 0.08	1.32 + 0.15	1.18 + 0.21	1.36 + 0.39	1.29 + 0.56
4	2.51 ^b + 0.15	2.01 ^{ab} + 0.08	1.75 ^a + 0.04	2.08 ^{ab} + 0.37	1.78 ^a + 0.41
5	2.95 ^b + 0.22	2.22 ^{ab} + 0.05	1.94 ^a + 0.02	2.30 ^{ab} + 0.31	2.17 ^{ab} + 0.61
6	3.28 ^b + 0.24	2.41 ^a + 0.14	2.13 ^a + 0.15	2.42 ^a + 0.35	2.35 ^a + 0.48
7	3.70 ^b + 0.30	2.66 ^a + 0.22	2.55 ^a + 0.10	2.65 ^a + 0.45	2.67 ^a + 0.55
8	4.66 ^b + 0.08	3.00 ^a + 0.26	3.11 ^a + 0.37	3.20 ^a + 0.15	3.08 ^a + 0.67
9	5.11 ^b + 0.13	3.29 ^a + 0.43	3.39 ^a + 0.23	3.51 ^a + 0.02	3.43 ^a + 0.65

a, b, c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ภาคผนวก จ

ภาพผลิตภัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภค



ก.



ข.



ค.



ง.

ภาพที่ จ.1 ผลิตภัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในช่วงเริ่มต้นการเก็บรักษา (0 วัน)

ก. ผลิตภัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคชุดที่ไม่หยุดสารละลาย

ข. ผลิตภัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคชุดที่หยุดสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v)

ค. ผลิตภัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคชุดที่หยุดสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) กับกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 0.5% (w/v)

ง. ผลิตภัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคชุดที่หยุดสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) กับโซเดียมอิริทอริเบทเข้มข้น 0.5% (w/v)



ก.



ข.



ค.



ง.

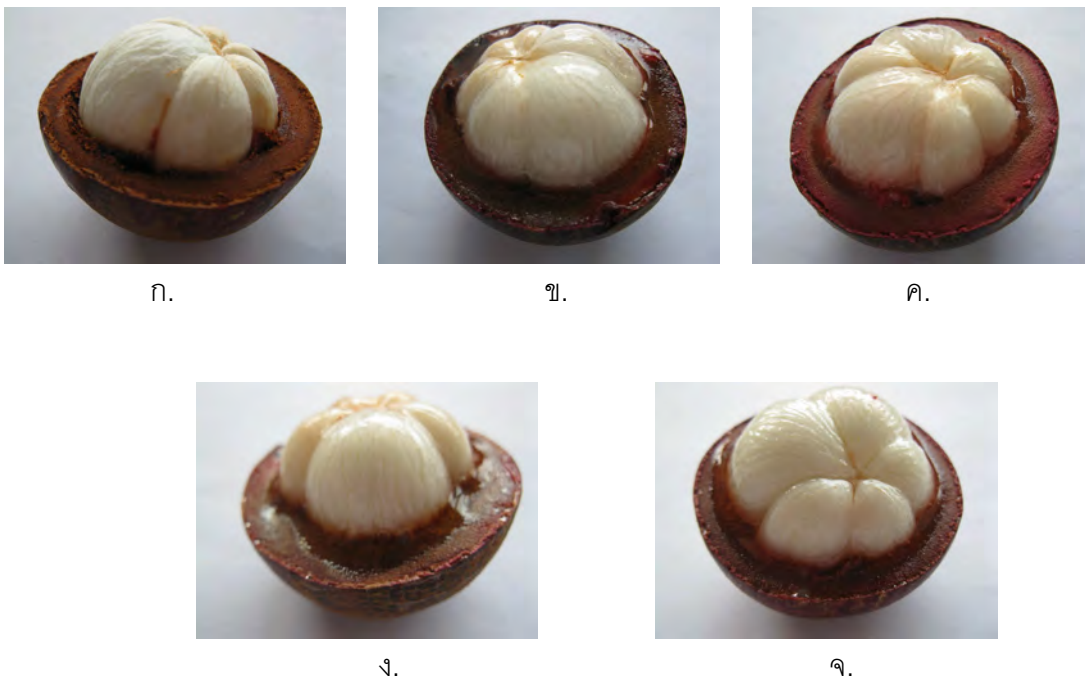
ภาพที่ ๑.2 ผลิตรัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำตาลหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน

ก. ผลิตรัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำตาลที่ไม่หดยดสารละลาย

ข. ผลิตรัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำตาลที่หดยดสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v)

ค. ผลิตรัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำตาลที่หดยดสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) กับกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 0.5% (w/v)

ง. ผลิตรัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำตาลที่หดยดสารละลายผสมระหว่างกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) กับโซเดียมอซิโธเรบเทเข้มข้น 0.5% (w/v)



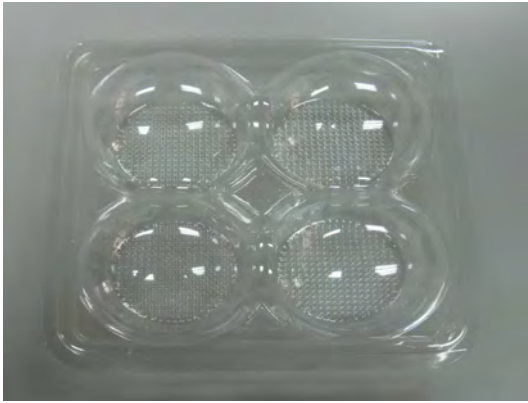
ภาพที่ ๑.3 ผลิตรภัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบรีโภาคที่เคลือบด้วยไซโตเดียมแอลจีเนตตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ในช่วงเริ่มต้นการเก็บรักษา (0 วัน)

- ก. ผลิตรภัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบรีโภาคชุดที่หยดสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) และไม่มีการเคลือบ
- ข. ผลิตรภัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบรีโภาคชุดที่ไม่หยดสารละลายกรดซิตริก และมีการเคลือบโดยจุ่มลงในไซโตเดียมแอลจีเนตเข้มข้น 2% (w/v) ตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0% (w/v)
- ค. ผลิตรภัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบรีโภาคชุดที่หยดสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) และมีการเคลือบโดยจุ่มลงในไซโตเดียมแอลจีเนตเข้มข้น 2% (w/v) ตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0% (w/v)
- ง. ผลิตรภัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบรีโภาคชุดที่ไม่หยดสารละลายกรดซิตริก และมีการเคลือบโดยจุ่มลงในไซโตเดียมแอลจีเนตเข้มข้น 2% (w/v) ตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.5% (w/v)
- จ. ผลิตรภัณฑ์มังคุดตัดแต่งพร้อมบรีโภาคชุดที่หยดสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) และมีการเคลือบโดยจุ่มลงในไซโตเดียมแอลจีเนตเข้มข้น 2% (w/v) ตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.5% (w/v)



ภาพที่ ๑.๔ ผลิตรากงอกที่มั่งคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำที่เคลือบด้วยโซเดียมแอลจีเนตตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์หลังเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน

- ก. ผลิตรากงอกที่มั่งคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำที่หดยดสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) และไม่มีการเคลือบ
- ข. ผลิตรากงอกที่มั่งคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำที่ไม่หดยดสารละลายกรดซิตริก และมีการเคลือบโดยจุ่มลงในโซเดียมแอลจีเนตเข้มข้น 2% (w/v) ตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0% (w/v)
- ค. ผลิตรากงอกที่มั่งคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำที่หดยดสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) และมีการเคลือบโดยจุ่มลงในโซเดียมแอลจีเนตเข้มข้น 2% (w/v) ตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0% (w/v)
- ง. ผลิตรากงอกที่มั่งคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำที่ไม่หดยดสารละลายกรดซิตริก และมีการเคลือบโดยจุ่มลงในโซเดียมแอลจีเนตเข้มข้น 2% (w/v) ตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.5% (w/v)
- จ. ผลิตรากงอกที่มั่งคุดตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำที่หดยดสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 1% (w/v) และมีการเคลือบโดยจุ่มลงในโซเดียมแอลจีเนตเข้มข้น 2% (w/v) ตามด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.5% (w/v)



ภาพที่ ๑.5 ภาพระบบบรรจุภัณฑ์ตัดแต่ง (ถาดพลาสติกชนิด polyethylene terephthalate (PET)
ขนาด 16X16 เซนติเมตร ชนิด 4 หลุม)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุภาภรณ์ คล้ายเครือญาติ เกิดวันที่ 24 ธันวาคม 2528 ที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร จากภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เมื่อปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2551

การเสนอผลงาน

เสนอผลงานภาคบรรยายเรื่อง การควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในมังคุดตัดแต่งพร้อมบริโภค (CONTROL OF BROWNING IN FRESH-CUT MANGOSTEEN) ในการประชุมทางวิชาการ นเรศวรวิจัย ครั้งที่ 6 ระหว่างวันที่ 29-31 กรกฎาคม 2553 ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

เสนอผลงานรูปแบบโปสเตอร์เรื่อง Effect of Antibrowning Agents and Alginate Coating on the Control of Browning in Fresh-Cut Mangosteen ในงาน The 6th Mathematics and Physical Science Graduate Congress 2010 (6th MPSGC) ระหว่างวันที่ 13-15 ธันวาคม 2553 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมาลาया ประเทศมาเลเซีย