ผลของสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยน้ำว้าและสารเคลือบผิวอัลจิเนทต่อคุณภาพของผลมะนาวหลังการเก็บเกี่ยว

EFFECTS OF CRUDE EXTRACT FROM BANANA PEEL AND ALGINATE COATING ON QUALITY OF LIMES AFTER HARVEST

พรรณพนัช แช่ม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผลของสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยน้ำว้าและสารเคลือบผิวอัลจิเนทต่อคุณภาพของผลมะนาวหลังการเก็บเกี่ยว

พรรณพนัช แช่ม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยน้ำว้าและสารเคลือบผิวอัลจิเนทต่อคุณภาพของผลมะนาวหลังการเก็บเกี่ยว Effects of Crude Extract from Banana Peel and Alginate Coating on Quality of Limes After Harvest
ชื่อ – นามสกุล	นางสาวพรรณพนัช แช่ม
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อินทิรา ลิจันทร์พร, ปร.ด.
ปีการศึกษา	2562

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์นวพร ลาภส่งผล, วท.ด.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อินทิรา ลิจันทร์พร, ปร.ด.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรินธร พูลศรี, Ph.D.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยรัตน์ เตชวุฒิพร, Ph.D.)

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร
(อาจารย์ลลิตา ศิริวัฒนานนท์, Ph.D.)
วันที่ 3 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2562

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยน้ำว้าและสารเคลือบผิวอัลจิเนทต่อคุณภาพของผลมะนาวหลังการเก็บเกี่ยว
ชื่อ – นามสกุล นางสาวพรรณพนัช แช่ม
สาขาวิชา เทคโนโลยีอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์อินทิรา ลิจันทร์พร, ปร.ด.
ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อ 1) ศึกษาดัชนีระยะความสุกต่อคุณภาพทางกายภาพ-เคมี และปริมาณแทนนินของผงเปลือกกล้วยน้ำว้า 2) เพื่อศึกษาผลของสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดแทนนินของผงเปลือกกล้วยน้ำว้า 3) เพื่อศึกษาผลของสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยน้ำว้า และสารเคลือบผิวอัลจิเนทต่อคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของผลมะนาวหลังการเก็บเกี่ยว

กล้วยน้ำว้าแบ่งระยะการสุกออกเป็น 8 ระยะ นำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี และปริมาณแทนนินทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด จากนั้นทำการทดลองยืดอายุผลมะนาวด้วยสารเคลือบผิวอัลจิเนท และสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยในอัตราส่วน (ร้อยละ) 0:100, 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20 ,90:10 และ100:0 ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิว (ชุดควบคุม) หลังการเคลือบผิว และผึ่งจนแห้ง นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 เป็นเวลา 30 วัน

ผลการศึกษา 1) ระยะการสุกที่ใช้ในการทดลองนี้แบ่งตามสีเปลือกผล โดยระยะที่ 1 (สีเขียวเข้ม) ระยะที่ 6 (สีเหลือง) และระยะที่ 8 (สีเหลืองและมีจุดดำที่ผิว) เมื่อนำผงเปลือกกล้วยทุกระยะไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณแทนนิน ผลการทดลองด้านองค์ประกอบทางเคมีแสดงให้เห็นว่าปริมาณเถ้า ไขมัน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต อยู่ในช่วงร้อยละ 11.40-13.77 ร้อยละ 7.37-10.53 ร้อยละ 35.39-42.37 และร้อยละ 23.88-33.21 ตามลำดับ นอกจากนั้นพบว่าผงเปลือกกล้วยมีค่า L* b* มีแนวโน้มลดลง ค่า a* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และพบปริมาณแทนนินสูงที่สุดในระยะที่ 4 2) ผลของสภาวะการสกัด น้ำกลั่น อะซิโตน และน้ำกลั่นต่ออะซิโตน (1:1) ระยะเวลา 2,4 และ6 ชั่วโมง ผลของการสกัดด้วยน้ำกลั่นต่ออะซิโตนแสดงปริมาณสารแทนนินสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ มีปริมาณเท่ากับ 189.19 mg tannic acid/g ในขณะเดียวกันไม่พบความแตกต่างของปริมาณสารแทนนินเมื่อสกัดที่เวลาต่าง ๆ 3) ผลของสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยน้ำว้า และสารเคลือบผิวอัลจิเนทต่อคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของผลมะนาวพันธุ์แป้น พบว่าการใช้สารเคลือบผิวอัลจิเนท และสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยที่อัตราส่วน 50:50 ชะลอการลดลงของค่า hue angle การเพิ่มขึ้นของค่าความสว่าง และการสูญเสียน้ำหนักได้ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลมะนาวได้นานสุดถึง 24 วัน ในขณะที่ชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษาได้นานเพียง 18 วัน ในขณะเดียวกันทุกชุดการทดลองไม่พบการเกิดโรคบนผิวผลมะนาว การเคลือบผลมะนาวไม่มีผลต่อปริมาณน้ำคั้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ (TSS)

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) และอัตราส่วน TSS:TA การใช้สารเคลือบผิวอัลจิเนท และสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยที่อัตราส่วน 50:50 พบปริมาณคลอโรฟิลล์คงเหลือสูงที่สุดในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิวพบปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุดในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ดังนั้น สารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยสามารถพัฒนาเป็นแนวทางใหม่เพื่อเป็นสารป้องกันทางชีวภาพจากสารสกัดทางธรรมชาติได้

คำสำคัญ : กล้วยน้ำว้า แทนนิน อัลจิเนท มะนาว

Thesis Title	Effects of Crude Extract from Banana Peel and Alginate Coating on Quality of Limes After Harvest
Name – Surname	Ms. Panpanach Cham
Program	Food Technology
Thesis Advisor	Assistant Professor Intira Lichanporn, Ph.D.
Academic Year	2019

ABSTRACT

The objectives of this study were to study: 1) the ripening index on physical and chemical quality and tannin content of banana (*Musa* spp. ABB 'Namwa') peel, 2) the effect of appropriate extraction conditions on tannin content in banana peel powder, and 3) the effect of sodium alginate (AG) coating combined and crude extract from banana peel on physicochemical quality of lime fruit after harvest.

All bananas were divided into 8 ripening stages. They were analyzed for their chemical composition and tannin content. An appropriate condition of extraction was examined. After that, all lime fruits were coated with alginate coating and crude extract from banana peel at 0:100, 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10, and 100:0 to expand the ripening time. Then, they were compared with uncoated fruit (controlled set). After coating and drying, lime fruits were placed at room temperature (12.3±2°C and 88±4 %RH) for 30 days.

The results showed that 1) the ripening stage was defined according to the index of peel color; stage 1 (dark green), 6 (yellow), and 8 (yellow and black spot in the peel). The banana peel powder of all stages was analyzed to find its chemical composition and tannin content. The results showed ash content, fat, fiber, and carbohydrate in the range of 11.40-13.77%, 7.37-10.53%, 35.39-42.37% and 23.88-33.21% respectively. It was also found that banana peel with L*, b* values decreased, while a* values increased. The banana peel powder at ripening stage 4 showed the highest tannin content, 2) in the extraction of distilled water, acetone and distilled water: acetone (1:1) for 2, 4, and 6 hours, it was found that distilled water: acetone extraction showed the highest tannin acid of 189.19 mg Tannin acid/g. In addition, there were non-significant ($P>0.05$) differences in the tannin content of all the extraction time, and 3) in the crude extract from banana peel and sodium alginate coating on physicochemical quality of lime fruit, it was found that coating lime fruit with alginate and crude extract from banana peel at a ratio of 50:50 could delay the

decrease in hue angle. The increase of fruit lightness (L*), juice content, and weight loss could extend the shelf life of lemons up to 24 days, while the controlled uncoated lemons could only last 18 days. In addition, there was no disease occurrence on the lime skin cv. Pan in all treatments. Coating lime fruit had no effect on the juice content, the total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA) and TSS:TA ratio. Coating lime fruit with the mixture of AG and crude extract from banana peel at a ratio of 50:50 yielded the highest remaining chlorophyll content on the last day of storage. The highest carotenoid content was found with the uncoated lime fruit at the end of storage. Therefore, the crude extract from banana peel can be potentially developed as a new trend for biological control agent from natural and bioactive substance.
Keywords: banana, tannin, alginate, lime fruit

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.อินทิรา ลิจันทร์พร อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ทำการศึกษาวิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์นวพร ลาภส่งผล ประธานกรรมการสอบและกรรมการสอบผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.ชัยรัตน์ เตชวุฒิพร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.วรินธร พูลศรี ที่ได้ให้ความกรุณาในการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของงานวิจัย รวมทั้งเสียสละเวลาในการเป็นกรรมการสอบในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ และมอบความดีทั้งหมดนี้ให้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ และคณะครู-อาจารย์ ที่ให้การสนับสนุนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจหากงานวิจัยในครั้งนี้ขาดตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

พรรณพนัช แซ่ม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... (3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... (5)
กิตติกรรมประกาศ..... (7)
สารบัญ..... (8)
สารบัญตาราง..... (10)
สารบัญภาพ..... (13)
บทที่ 1 บทนำ..... 14
1.1 ที่มาและความสำคัญ..... 14
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 15
1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 15
1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย..... 16
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 16
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 17
2.1 กล้วย..... 17
2.2 กล้วยน้ำว้า..... 23
2.3 สารประกอบฟีนอลิก..... 24
2.4 แทนนิน (tannin)..... 26
2.5 มะนาว..... 30
2.6 โรคมะนาวและการป้องกันกำจัด..... 31
2.7 การเสื่อมคุณภาพของมะนาว..... 32
2.8 การยืดอายุการเก็บรักษาผลมะนาว..... 34
2.9 สารเคลือบผิว..... 35
2.10 อัลจิเนท (Alginate)..... 37
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 40
3.1 การเตรียมวัตถุดิบ..... 40
3.2 การแบ่งระยะการสุกของกล้วยน้ำว้า..... 40
3.3 วิธีการทดลอง..... 41
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ..... 46
3.5 สถานที่ทำการวิจัย..... 46
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย..... 47
4.1 การแบ่งระยะการสุกของกล้วยน้ำว้า..... 47

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2 ผลการศึกษาดัชนีระยะความสุก ต่อคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณแทนนินของผงเปลือกกล้วย..... 49

4.3 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแทนนินของผงเปลือกกล้วยน้ำว้า..... 52

4.4 ผลการศึกษาผลของสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยน้ำว้าร่วมกับสารเคลือบผิวอัลจิเนท ต่อคุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของผลมะนาว..... 53

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย..... 83

บรรณานุกรม..... 85

ภาคผนวก..... 96

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางกายภาพ..... 97

ภาคผนวก ข วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี..... 100

ภาคผนวก ค ภาพผลการทดลอง..... 106

ประวัติผู้เขียน..... 117

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ระยะความสุกของกล้วยน้ำว้าจากลักษณะสีผิวของเปลือกกล้วยน้ำว้า..... 40

ตารางที่ 3.2 สภาวะการสกัดแทนนินของเปลือกกล้วยน้ำว้า..... 42

ตารางที่ 4.1 แสดงระยะความสุกของกล้วยน้ำว้าจากลักษณะสีผิวของเปลือกกล้วยน้ำว้า..... 48

ตารางที่ 4.2 ค่าสีของเปลือกกล้วยที่มีระยะสุกแตกต่างกัน..... 49

ตารางที่ 4.3 ค่าสีของผงเปลือกกล้วยที่มีระยะความสุกแตกต่างกัน..... 50

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยผงที่มีระยะความสุกแตกต่างกัน..... 51

ตารางที่ 4.5 ปริมาณสารสกัดแทนนินของเปลือกกล้วยน้ำว้าผงในระยะการสุกที่แตกต่างกัน..... 52

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารสกัดแทนนินของเปลือกกล้วยน้ำว้าผง..... 53

ตารางที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน..... 56

ตารางที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า a* ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้น ต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน..... 57

ตารางที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่า b* ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้น ต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 ±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน..... 58

ตารางที่ 4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า Chroma (C*) ของของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน..... 59

ตารางที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle (h*) ของของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน..... 60

ตารางที่ 4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำคั้น (%) ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน..... 62

ตารางที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำหนัก (%) ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน..... 64

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงดัชนีสีเปลือกและอายุการเก็บรักษาของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน.... 66

ตารางที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน..... 69

ตารางที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน..... 71

ตารางที่ 4.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน..... 73

ตารางที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน TSS:TA ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน..... 75

ตารางที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์เอของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน..... 78

ตารางที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์บีของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน..... 79

ตารางที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน..... 80

ตารางที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ของผลมะนาวแป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน..... 82

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดแทนนิกกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร..... 104

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ลักษณะของเหง้ากล้วย (A) และใบธงของกล้วย (B)..... 18
ภาพที่ 2.2 ลักษณะของหัวปลี (A) และผลของกล้วย (B)..... 18
ภาพที่ 2.3 ภาพตัดขวางของกล้วยระยะต่าง ๆ 22
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก..... 24
ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของแทนนิน..... 26
ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนิน (แกลโลแทนนิน)..... 27
ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของคอนเดนส์แทนนิน..... 28
ภาพที่ 2.8 ผลของมะนาว..... 30
ภาพที่ 2.9 โครงสร้างของอัลจิเนท (Alginate) ชนิดต่าง ๆ..... 38
ภาพที่ 3.1 แสดงการประเมินคะแนนสีผิวของผลมะนาว..... 44
ภาพที่ 4.1 การแบ่งระยะสุกตามการเปลี่ยนสีเปลือก..... 48
ภาพที่ ก. 1 แสดงตำแหน่งในการวัดค่าสีเปลือกกล้วยน้ำว้า..... 98
ภาพที่ ข. 1 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแทนนิกจากเครื่อง UV-vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร..... 105
ภาพที่ ค.1 ภาพผลการทดลองปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count)..... 107
ภาพที่ ค.1 ภาพผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่เก็บรักษา..... 113

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

กล้วยน้ำว้า (Kluai Namwa) เป็นผลไม้เขตร้อน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Musa ABB* ชื่อสามัญ : Banana วงศ์ : *Musaceae* กล้วยน้ำว้าเป็นการผสมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานี มีการบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เพาะปลูกง่าย ในปี 2559 พบว่าเนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิตของไทยเท่ากับ 181,902.34 ไร่ เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ 918,539.97 ตัน ผลผลิตต่อเนื้อที่เก็บเกี่ยว 5,0049.63 กก./ไร่ และราคาที่เกษตรกรขายได้เฉลี่ย 12.98 บาท/กก. โดยกล้วยน้ำว้าเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ทั่วไป จึงทำให้มีพื้นที่ปลูกกระจายอยู่ทั่วประเทศ

ในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของกล้วยในอุตสาหกรรมนิยมนำเฉพาะส่วนของเนื้อกล้วยไปแปรรูปจึงเหลือส่วนของเปลือกกล้วยซึ่งเป็นของเหลือทิ้งที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ เปลือกกล้วยมีสารประกอบฟีนอลเป็นองค์ประกอบ โดยเฉพาะสารแทนนิน แทนนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนพวกฟีนอลิคแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนิน (hydrolysable tannins) และคอนเดนซ์แทนนิน (condensed tannins) แทนนินทั้งสองประเภทจะกระจายอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของผักผลไม้ทั้งเปลือก เมล็ดและใบ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายประเภท รวมทั้งนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างกว้างขวาง แทนนินยังใช้เป็นสารเคลือบอาหาร เช่น เนื้อสัตว์ ผักผลไม้ [1] นอกจากนั้นผลของสารสกัดเปลือกกล้วย *Musa sapientum* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Salmonella typhi, Bacillus Cereus* และ *Staphylococcus* ความต้องการของปริมาณแทนนินในอุตสาหกรรมต่าง ๆ สูงขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องหาแหล่งวัตถุดิบที่มีศักยภาพและปริมาณแทนนินเพียงพอมาทดแทน วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น เปลือกกล้วย ซึ่งมีปริมาณมากและมีปริมาณแทนนินเป็นส่วนประกอบ

สำหรับในประเทศไทยพันธุ์มะนาวที่นิยมปลูกทางการค้าในปัจจุบัน ได้แก่ มะนาวแป้น มะนาวหนัง และมะนาวไข่ มะนาว (Lime; *Citrus aurantifolia Swingle*) เป็นไม้ผลประเภท non climacteric fruit มีอัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนต่ำ [2] มะนาวมีความสำคัญมากต่อวิถีชีวิตของคนไทย เนื่องจากถูกนำไปใช้เป็นองค์ประกอบอาหารและใช้ทำเป็นเครื่องดื่ม ทำให้ความต้องการบริโภคมะนาวอยู่ในเกณฑ์สูงตลอดทั้งปี ปกติผลผลิตมะนาวจะออกสู่ตลาดมากในฤดูฝนตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน ราคาของมะนาวในช่วงนี้ราคาจะมีราคาถูกประมาณ 25 สตางค์/ผล หลังจากนั้นผลผลิตมะนาวจะลดลงทำให้ราคามะนาวขยับเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลทำให้ราคามะนาวขายปลีกตามตลาดเริ่มปรับตัวสูงตามไปด้วย โดยพบว่าในเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคมราคามะนาวจะสูงถึง 5-8 บาท/ผล [3] ดังนั้นจึงหาแนวทางในการยืดอายุการเก็บรักษามะนาว โดยปัญหาที่สำคัญหลังการเก็บเกี่ยวของมะนาวคือ เปลือกผลเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลืองและสีน้ำตาล การสูญเสียน้ำหนักจากการคายน้ำทำให้ผลเหี่ยวรวมทั้งการเกิดโรคบนผลมะนาวสีผลภายนอกกำหนดมูลค่าทางการค้าของ

ผลไม้โดยตรง ในขณะที่คุณภาพภายใน เช่น รสชาติผลไม้ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระก็มีผลต่อการยอมรับและการเลือกของผู้บริโภค [4][5]

การใช้สารเคลือบผิวกับผลไม้ทำให้คงความสด เนื่องจากสารเคลือบผิวช่วยลดอัตราการคายน้ำออกจากผิวของผลและลดอัตราการหายใจ นอกจากนี้ยังทำให้ผิวของผลไม้มีความมันวาวสวยงามและสามารถป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ได้อีกด้วย การเคลือบผิวเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ โดยธรรมชาติมะนาวมีสารประเภทไขเคลือบอยู่บริเวณผิวมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการสูญเสียน้ำและการเกิดโรค การเลือกใช้สารเคลือบผิวและปริมาณที่เหมาะสมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการสูญเสียน้ำและควบคุมอัตราการหายใจของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว [6] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยน้ำว้าและสารเคลือบผิวอัลจิเนทต่อคุณภาพของผลมะนาวหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการใช้สารสกัดแทนนินให้เป็นประโยชน์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาดัชนีบ่งชี้ระยะความสุกของกล้วยน้ำว้า ต่อคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณแทนนินของผงเปลือกกล้วยน้ำว้า

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแทนนินของผงเปลือกกล้วยน้ำว้า

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยน้ำว้าและสารเคลือบผิวอัลจิเนทต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลมะนาวหลังการเก็บเกี่ยว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษากล้วยน้ำว้า พันธุ์มะลิอ่อง จากตลาดสี่มุมเมือง โดยทำการสกัดสารแทนนินจากเปลือกกล้วย โดยศึกษาดัชนีบ่งชี้ระยะความสุก แบ่งเป็น 8 ระยะการสุก โดยระยะที่ 1 (สีเขียวเข้ม) ระยะที่ 2 (สีเขียวสว่าง) ระยะที่ 3 (สีเขียวปนเหลืองเล็กน้อย) ระยะที่ 4 (สีเขียวมากกว่าสีเหลือง) ระยะที่ 5 (สีเหลืองมากกว่าสีเขียว) ระยะที่ 6 (สีเหลือง) ระยะที่ 7 (สีเหลืองมีจุดที่ผิวเล็กน้อย) และระยะที่ 8 (สีเหลืองและมีจุดดำที่ผิว) คุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณแทนนินของผงเปลือกกล้วย

1.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแทนนิน ชนิดของสารละลายที่ใช้สกัด (น้ำกลั่น, อะซิโตน, น้ำกลั่น:อะซิโตน (1:1)) และเวลาในการสกัด 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ของตัวอย่างผงเปลือกกล้วย

1.3.3 ศึกษาผลของสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยน้ำว้าและสารเคลือบผิวอัลจิเนท ในอัตราส่วน (ร้อยละ) อัลจิเนท 100, สารสกัดหยาบ 100, 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิว (ชุดควบคุม) ต่อคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของผลมะนาวพันธุ์แป้น

1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

เปลือกกล้วยมีสารประกอบฟีนอลเป็นองค์ประกอบ มีประโยชน์และฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลายจากรายงานการศึกษาพบว่า องค์ประกอบที่พบในเปลือกกล้วยน้ำว้าคือ สารแทนนิน แทนนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนพวกฟีนอลิค แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ hydrolysable tannins และ condensed tannins แทนนินทั้งสองประเภทจะกระจายอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของผักผลไม้ทั้งเปลือกเมล็ดและใบ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายประเภท รวมทั้งนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างกว้างขวาง แทนนินยังใช้เป็นสารเคลือบอาหาร เช่น เนื้อสัตว์ ผักผลไม้ นอกจากนั้นผลของสารสกัดเปลือกกล้วย *Musa sapientum* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Salmonella typhi, Bacillus Cereus* และ *Staphylococcus* ความต้องการของปริมาณแทนนินในอุตสาหกรรมต่าง ๆ สูงขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องหาแหล่งวัตถุดิบที่มีศักยภาพและปริมาณแทนนินเพียงพอมาทดแทน วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น เปลือกกล้วย มีปริมาณมากและมีปริมาณแทนนินเป็นส่วนประกอบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาผลของสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยน้ำว้าและสารเคลือบผิวอัลจิเนทต่อคุณภาพของผลมะนาวหลังการเก็บเกี่ยว เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกกล้วยและเป็นแนวทางในการพัฒนาเพื่อการผลิตและการใช้สารสกัดแทนนินให้เป็นประโยชน์ต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงดัชนีบ่งชี้ระยะความสุก ต่อคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณแทนนินของผงเปลือกกล้วยน้ำว้า

1.5.2 ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแทนนินของผงเปลือกกล้วยน้ำว้า

1.5.3 ทราบถึงผลของสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยน้ำว้าและสารเคลือบผิวอัลจิเนทต่อคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของผลมะนาวหลังการเก็บเกี่ยว

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล้วย

กล้วยเป็นพืชเศรษฐกิจที่คนไทยรู้จักและนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นพืชปลูกง่ายให้ผลผลิตเร็วและสามารถนำทุกส่วนของกล้วยมาใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่ใบ กาบ หัวปลี และผล [7] สามารถปลูกและมีการเจริญเติบโตได้ดีในทุกพื้นที่ทั่วภูมิภาคของประเทศและให้ผลผลิตตลอดทั้งปี ปริมาณการปลูกกล้วยของประเทศไทยอยู่ในอันดับที่ 3 ของทวีปเอเชีย มีปริมาณการส่งออกต่างประเทศติดอันดับโลก ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกล้วยประมาณ 866,410 ไร่ เป็นพื้นที่ปลูกกล้วยไข่ 74,225 ไร่ กล้วยหอม 105,248 ไร่ และกล้วยน้ำว้า 686,937 ไร่ มูลค่าการส่งออกกล้วย 35,266 ตัน มูลค่า 799.83 ล้านบาท เป็นการส่งออก กล้วยไข่ 21,155 ตัน มูลค่า 290.46 ล้านบาท กล้วยหอม 3,297 ตัน มูลค่า 99.17 ล้านบาท กล้วยอื่น ๆ (ทั้งผลสดและแปรรูป 4,814 ตัน มูลค่า 410.20 ล้านบาท) [8]

กล้วย (*Musa spp.*) เป็นผลไม้เขตร้อนในวงศ์ *Musaceae* เป็นพืชเมืองร้อนมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปเอเชียโดยเฉพาะเอเชียตอนใต้ และตะวันออกเฉียงใต้ ประเทศไทยเป็นแหล่งพันธุกรรมกล้วยหลากหลายชนิดจึงมีกล้วยป่าและกล้วยปลูกอยู่ทั่วไปนับเฉพาะกล้วยกินได้ไม่รวมกล้วยป่าอาจมีมากกว่า 50 ชนิดที่รู้จักแพร่หลาย เช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยหอม กล้วยไข่ กล้วยหักมุก กล้วยเล็บมือนาง ส่วนกล้วยชนิดอื่น ๆ อาจเป็นที่รู้จักเฉพาะในท้องถิ่นเท่านั้น เช่น กล้วยนางพญา กล้วยหิน กล้วยสา กล้วยไล ทางภาคใต้ กล้วยนมสาว กล้วยหอมกะเหรี่ยง ทางภาคตะวันตก กล้วยหอมทองสั้น กล้วยนวล ทางภาคอีสาน หรือกล้วยน้ำนม กล้วยหอมจันทร์ ทางภาคเหนือ เป็นต้น กล้วยเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความหลากหลายทางธรรมชาติมีการปรับปรุงพันธุ์และการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์เพิ่มมากขึ้นเพื่อเพิ่มมูลค่าและใช้ประโยชน์จากความหลากหลายของกล้วย [9]

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกล้วย

กล้วยมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่สำคัญ ดังนี้

2.1.1.1 ลำต้น กล้วยมีลำต้นอยู่ใต้ดิน เรียกว่า หัวหรือเหง้า (Rhizome) (ภาพที่ 2.1A) ที่หัวมีตา (Bud) เจริญเป็นต้นเกิดหน่อ (Sucker) หลายหน่อ เรียกว่า การแตกกอหน่อที่เกิดหรือต้นที่เห็นอยู่เหนือดินไม่ใช่ลำต้นแต่จะเรียกว่า ลำต้นเทียม (Pseudo stem) ส่วนนี้เกิดจากการอัดกันแน่นของกาบใบที่เกิดจากจุดเจริญของลำต้นใต้ดิน กาบใบจะชูก้านใบและใบ ที่จุดเจริญนี้จะมีการเจริญเป็นดอกหลังจากสิ้นสุดการเจริญของใบ ใบสุดท้ายก่อนการเกิดดอก เรียกว่า ใบธง (ภาพที่ 2.1B)

A B

ภาพที่ 2.1 ลักษณะของเหง้ากล้วย (A) และใบธงของกล้วย (B)

2.1.1.2 ดอก กล้วยออกดอกเป็นช่อ (Inflorescence) ในช่อดอกยังมีกลุ่มของช่อดอกย่อยเป็นกลุ่ม ๆ ระหว่างกลุ่มของช่อดอกย่อยแต่ละช่อจะมีกลีบประดับหรือ เรียกว่า กาบปลี (Bract) มีสีม่วงแดงกั้นไว้ กลุ่มดอกเพศเมียอยู่ที่โคนและกลุ่มดอกเพศผู้อยู่ที่ปลายเป็นส่วนที่ เรียกว่า หัวปลี (Male bud) (ภาพที่ 2.2A) ระหว่างกลุ่มดอกเพศเมียและดอกเพศผู้ มีดอกกะเทยแต่บางพันธุ์ก็ไม่มี ช่อดอกย่อยแต่ละช่อมีดอกเรียงซ้อนกันอยู่ 2 แถว ถ้าเป็นดอกเพศเมียดอกเหล่านี้จะเจริญต่อไปเป็นผล (ภาพที่ 2.2B)

2.1.1.3 ผล ผลกล้วยเกิดจากดอกเพศเมียอยู่ที่โคนกลุ่มของดอกเพศเมีย 1 กลุ่ม เจริญเป็นผล เรียกว่า 1 หวี ช่อดอกเจริญเป็น 1 เครือ ดังนั้นกล้วย 1 เครืออาจมี 2-3 หวีหรือมากกว่า 10 หวี โดยขึ้นอยู่กับพันธุ์กล้วยและการดูแลรักษา

A B

ภาพที่ 2.2 ลักษณะของหัวปลี (A) และผลของกล้วย (B)

2.1.2.4 ราก เป็นระบบรากฝอย แผ่ไปทางด้านกว้างมากกว่าทางแนวดิ่งลึก

2.1.2.5 ใบ ใบกล้วยมีลักษณะเป็นแผ่นใหญ่ มีความกว้างประมาณ 70-90 เซนติเมตร ความยาว 1.7-2.5 เมตร ปลายใบมน รูปใบขอบขนาน โคนใบมน และแผ่นใบมีสีเขียว

2.1.2 การเจริญของผลกล้วย

กล้วยชอบอากาศร้อนชื้นและอบอุ่น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 15-35 องศาเซลเซียส ชอบดินที่สมบูรณ์ ระบายน้ำและหมุนเวียนอากาศดี มีความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 4.5-7 แต่ที่ชอบที่สุดที่ระดับ 6 พบกล้วยได้ทั่วไปในพื้นที่แถบเอเชียเจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตสม่ำเสมอในพื้นที่ที่มีอากาศร้อนยาวนานแต่มีการชลประทานที่ดี ระยะเวลาการปลูกถึงเก็บเกี่ยวผลใช้เวลาประมาณ 1 ปี ตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงแทงปลีใช้ระยะเวลา 250-260 วัน แทงปลีถึงระยะเก็บเกี่ยว 110-120 วัน [10] ผลกล้วยเจริญเติบโตมาจากรังไข่ของดอกตัวเมีย การเจริญของผลมีทั้งแบบผสมพันธุ์และไม่ต้องผสมพันธุ์ แบบผสมพันธุ์จะเป็นกล้วยที่ปลูกด้วยเมล็ดดอกตัวเมียจำเป็นที่จะต้องผสมพันธุ์ก่อนที่จะพัฒนาเป็นผลกล้วย ส่วนแบบไม่ต้องผสมพันธุ์จะเป็นกล้วยที่ปลูกโดยการแตกหน่อ ผลกล้วยทั้งหมดเกิดจากช่อดอก เรียกว่า เครือ (Bunch) ส่วนผลกล้วยจากกลุ่มดอกแต่ละกลุ่มบนช่อดอก เรียกว่า หวี (Hand) ส่วนปลายผลที่มีจุกสีดำคือ ดอกตัวเมียที่หลุดล่วงไป เนื้อกล้วยคือ เนื้อเยื่อชั้นนอกระหว่างเกสรตัวเมียกับรังไข่ จุดเล็ก ๆ สีน้ำตาลที่ไส้กล้วย คือเกสรตัวเมียที่เป็นหมันไม่สามารถผสมพันธุ์ได้

2.1.3 การจำแนกกลุ่มของกล้วย [11]

ปัจจุบันกล้วยในประเทศไทย สามารถจำแนกกลุ่มตามจีโนมได้ 8 กลุ่ม

2.1.3.1 กลุ่ม AA เป็นกล้วยที่มีกำเนิดมาจากกล้วยป่า อาจเกิดจากการผสมภายในชนิดย่อย (Subspecies) หรือระหว่างชนิดย่อย หรืออาจเกิดจากการกลายพันธุ์ กล้วยกลุ่มนี้มีขนาดเล็ก ส่วนใหญ่จะไม่มีเมล็ด รสหวาน กลิ่นหอม รับประทานสด ได้แก่ กล้วยไข่ กล้วยเล็บมือนาง กล้วยหอมจันทร์ กล้วยไข่ทองร่วง กล้วยไข่จีน กล้วยน้ำนม กล้วยไล กล้วยสา กล้วยหอม กล้วยหอมจำปา และกล้วยทองกาบดำ

2.1.3.2 กลุ่ม AAA เป็นกล้วยที่มีกำเนิดคล้ายกับกลุ่ม AA แต่ได้มีการเพิ่มจำนวนโครโมโซมขึ้นเป็น 3 เท่า โดยมีจำนวนโครโมโซม 2n = 33 ผลจึงมีขนาดใหญ่กว่ากลุ่มแรก รูปร่างผลเรียวยาว มีเนื้อนุ่ม รสหวาน กลิ่นหอม รับประทานสด ได้แก่ กล้วยหอมทอง กล้วยนาก กล้วยครั่ง กล้วยหอมเขียว กล้วยกุ้งเขียว กล้วยหอมแม้ว กล้วยไข่พระตะบอง และกล้วยคลองจัง

2.1.3.3 กลุ่ม BB ในประเทศไทยมีแต่กล้วยตานี เป็นกล้วยป่าชนิดหนึ่งแต่ไม่ได้มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย รับประทานผลอ่อนได้ โดยนำมาใส่แกงเผ็ด ไม่นิยมรับประทานผลแก่ เพราะมีเมล็ดมากคนเอเชียส่วนใหญ่รับประทานปลีและหยวก

2.1.3.4 กลุ่ม BBB เป็นกล้วยที่มีกำเนิดมาจากกล้วยตานี กล้วยชนิดนี้มีแป้งมาก เมื่อดิบมีรสฝาด เมื่อสุกก็ยังมีแป้งมากจึงไม่ค่อยหวาน ขนาดผลใหญ่ เมื่อนำมาทำให้สุกด้วยความร้อน จะทำให้รสชาติ ดีขึ้น เนื้อเหนียวนุ่ม ได้แก่ กล้วยเล็บช้างกุด

2.1.3.5 กลุ่ม AAB เป็นกล้วยลูกผสมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานี โดยมีเชื้อของกล้วยป่า 2 ใน 3 และมีเชื้อของกล้วยตานี 1 ใน 3 กล้วยชนิดนี้มีรสหวาน มีแป้งผสมอยู่บ้างในเนื้อ ทำให้มีความเหนียว บางชนิดรับประทานสดได้ บางชนิดต้องทำให้สุก กล้วยในกลุ่มนี้ ได้แก่ กล้วยน้ำฝาด กล้วยนมสวรรค์ กล้วยนิ้วมือนาง กล้วยไข่โบราณ กล้วยทองเดช กล้วยศรีนวล กล้วยขม กล้วยนมสาว แต่มีกล้วยกลุ่ม AAB บางชนิดคล้ายกับกลุ่ม ABB คือ เนื้อจะค่อนข้างแข็ง มีแป้งมาก เมื่อสุกเนื้อไม่นุ่ม โดยอาจได้รับเชื้อพันธุกรรมของกล้วยป่าที่ต่าง Subspecies กัน จึงทำให้ลักษณะต่างกัน กล้วยในกลุ่มนี้

เรียกว่า Plantain subgroup ซึ่งจะต้องทำให้สุกด้วย การต้ม ปิ้ง เผา เช่นเดียวกับกลุ่ม ABB ได้แก่ กล้วยกล้าย กล้วยงาช้าง กล้วยนิ้วจระเข้ กล้วยหิน กล้วยพม่าแหกคุก

2.1.3.6 กลุ่ม ABB เป็นกล้วยลูกผสมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานีเช่นกัน แต่มีเชื้อของกล้วยป่าอยู่น้อยกว่าเชื้อของกล้วยตานี คือ มีเชื้อของกล้วยป่าอยู่เพียง 1 ใน 3 และมีเชื้อของกล้วยตานี 2 ใน 3 เนื้อกล้วยมีแป้งมาก ขนาดผลใหญ่ ไม่นิยมรับประทานสด กล้วยในกลุ่มนี้ ได้แก่ กล้วยหักมุกเขียว กล้วยหักมุกนวล กล้วยเปลือกหนา กล้วยส้ม กล้วยนางพญา กล้วยนมหมี และกล้วยน้ำว้า สำหรับกล้วยน้ำว้าแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามสีของเนื้อ คือ น้ำว้าแดง น้ำว้าขาว และน้ำว้าเหลือง

2.1.3.7 กลุ่ม ABBB เป็นกล้วยที่เกิดจากการผสมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานีเช่นกันเป็นกล้วยที่มีจำนวนโครโมโซมมากเป็น 4 เท่า จึงมีผลขนาดใหญ่มาก กล้วยในกลุ่มนี้มีอยู่ชนิดเดียว คือ กล้วยเทพรส กล้วยชนิดนี้จะมีเชื้อของกล้วยป่าอยู่เพียง 1 ใน 4 และมีเชื้อของกล้วยตานีอยู่ 3 ใน 4 มีแป้งมาก ผลที่สุกงอมจะมี รสหวาน

2.1.3.8 กลุ่ม AABB กล้วยกลุ่มนี้เกิดจากการผสมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานี โดยมีเชื้อของกล้วยป่าอยู่ครึ่งหนึ่ง และกล้วยตานีอีกครึ่งหนึ่ง มีจำนวนโครโมโซมเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่า ผลจึงมีขนาดใหญ่ กล้วยในกลุ่มนี้มีอยู่ชนิดเดียวในประเทศไทย คือ กล้วยเงิน รูปร่างคล้ายกล้วยไข่ เมื่อสุกผิวสีเหลืองสดใส เนื้อผลสีส้ม มีแป้งมาก รับประทานผลสด

2.1.4 องค์ประกอบของผลกล้วย

กล้วยจัดได้ว่าเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง สามารถรับประทานได้ทั้งผลดิบ ผลสุก และแปรรูป ในกล้วยประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน แคลเซียม เหล็ก และโพแทสเซียม เป็นต้น ในกล้วยดิบจะมีเพคตินและสารให้รสฝาด ส่วนในกล้วยสุกจะมี Norepinephrine และ Serotonin จะพบในเปลือกและเนื้อกล้วยทุกชนิดในปริมาณที่แตกต่างกัน กล้วยมีคุณค่าสูงมีไขมันและคอเรสเตอรอลต่ำแต่ให้พลังงานสูง มีวิตามินเอ บีหก และวิตามินซี

2.1.4.1 คาร์โบไฮเดรตในผลกล้วยดิบอยู่ในรูปของแป้งเป็นส่วนใหญ่ (ร้อยละ20-25) พบน้ำตาลเพียงประมาณร้อยละ 1-2 ในระหว่างการสุก แป้งจะถูกไฮโดรไลไปเป็นน้ำตาลทำให้เหลือแป้งอยู่ในผลกล้วยเพียงประมาณร้อยละ 1-2 ส่วน และทำให้ส่วนของน้ำตาลเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 15-25 [12] ในระหว่างการสุกปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดจะลดลงไป เนื่องจากถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจ (Respiration) น้ำตาลที่พบมากในกล้วยคือ น้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส ในอัตราส่วนของซูโครสร้อยละ 66 กลูโคสร้อยละ 22 ฟรุกโตสร้อยละ 14 นอกจากนี้ยังพบน้ำตาลมอลโตสและน้ำตาลแรมโนสอยู่เล็กน้อย [13] กล้วยดิบมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงประมาณร้อยละ 8-10 และลดลงเหลือเพียงร้อยละ 1 เมื่อกล้วยสุก ปริมาณเซลลูโลสมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในระหว่างการสุกปริมาณโปรโตเพคตินที่ไม่ละลายน้ำจะลดลงจาก ร้อยละ 0.5 เหลือร้อยละ 0.3 แต่ปริมาณเพคตินที่ละลายน้ำจะเพิ่มขึ้น [14]

2.1.4.2 โปรตีนในระหว่างการสุกของกล้วยพบว่าโปรตีนยังคงมีปริมาณคงที่ ที่ระดับร้อยละ 0.5-1.5 โดยน้ำหนัก กรดอะมิโนที่สำคัญที่พบในกล้วยสุก ได้แก่ Glutamine, Asparagine, Histidine, Arginine และ Leucine [15]

2.1.4.3 ไขมันในเนื้อกล้วยสุกมีไขมันต่ำประมาณร้อยละ 0.2-0.5 ส่วนใหญ่เป็น Palmitic acid, Oleic acid และLinolenic acid ในระหว่างการสุกอัตราส่วนของกรดไขมันในเปลือกจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่อัตราส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะลดลงโดยเฉพาะ Palmitic acid [16]

2.1.4.4 สารประกอบที่ให้กลิ่นรส (Flavor constituents) สารระเหยในกล้วย แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มคือ bananalike flavor ได้แก่ สารพวกเป็น amyl และisoamyl เอสเทอร์ของกรดอะซิติก โพรไพโอนิก บิวทีริก และgreen woody ได้แก่ สารประกอบพวกแอลกอฮอล์ [17]

2.1.4.5 กรดอินทรีย์ กรดที่พบมากในกล้วย คือ กรดมาลิก กรดออกซาลิก และกรดซิตริก กรดมาลิกเพิ่มปริมาณมากขึ้นในระหว่างการสุก ในขณะเดียวกันจะเกิดปฏิกิริยา decarboxylation ของสารประกอบพวกออกซาเลต อีกทั้งยังเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของแทนนิน ปฏิกิริยาทั้งสองขั้นตอนที่เกิดขึ้นนี้มีผลทำให้ความฝาดของกล้วยลดลงเมื่อกล้วยสุก [14]

2.1.4.6 สารประกอบฟีนอลลิก ที่พบในกล้วยคือ Dopamine พบมากที่สุดคือ ในส่วนของเปลือก มีประมาณ 700 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และในส่วนเนื้อพบประมาณ 8 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด โดย Dopamine จัดเป็นสับสเตรทของการเกิดปฏิกิริยา enzymatic browning ที่ส่งผลทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น ในระหว่างการสุกของกล้วยจะเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชั่นของแทนนินทำให้ความฝาดของกล้วยลดลง [14]

2.1.4.7 เม็ดสี ในระหว่างการสุกของผลกล้วย จะมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกอย่างชัดเจน กล้วยดิบส่วนของเปลือกมีสีเขียวและจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อกล้วยสุก โดยจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหลังจากช่วง Climateric peak จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเต็มที่ภายใน 3-7 วันที่อุณหภูมิปกติ ในเปลือกกล้วยดิบประกอบไปด้วยคลอโรฟิลล์ 50-100 ไมโครกรัมต่อกรัม แซนโทฟิลด์ 5-7 ไมโครกรัมต่อกรัม และแคโรทีนอยด์ 1.5-3.5 ไมโครกรัมต่อกรัม (ของน้ำหนักกล้วยสด) ในระหว่างการสุกคลอโรฟิลล์จะสลายตัวหมด คงเหลืออยู่แต่เม็ดสีเหลืองในปริมาณที่ค่อนข้างคงที่ [18] จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ของเปลือกกล้วยสุกพบว่ามี alpha-carotene ร้อยละ 7 beta- carotene ร้อยละ14 lutein ร้อยละ 33 และในส่วนเนื้อมี alpha-carotene ร้อยละ 31 beta- carotene ร้อยละ 28 lutein ร้อยละ 56

2.1.4.8 เอนไซม์ ในผลกล้วยสุกมีกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิดทั้ง Hydrolytic และ Oxidative เอนไซม์ที่ย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตที่พบ ได้แก่ Polygalacturonate pectin methyl esterase Amylase Cellulase และHemicellulose

2.1.4.9 ความแน่นเนื้อ ผลกล้วยเมื่อเริ่มสุกจะเปลี่ยนแปลงลักษณะความแน่นเนื้อของเนื้อกล้วย โดยระหว่างการสุกปริมาณน้ำในเปลือกกล้วยและที่ก้านผลจะลดลง ส่วนความชื้นในเนื้อกล้วยจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลเริ่มสุก เนื่องจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตและทำให้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของเนื้อและน้ำหนักของเปลือกเปลี่ยนไป โดยน้ำหนักของเนื้อจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นแต่น้ำหนักในส่วนของเปลือกจะลดลง

2.1.4.10 วิตามิน กล้วยมีวิตามินสูงแต่จะสูญเสียไปเมื่อถูกความร้อน กล้วยน้ำว้าดิบ 100 กรัม มีปริมาณวิตามินซีอยู่ 30 มิลลิกรัม แต่เมื่อสุกปริมาณวิตามินซีลดลงเหลือ 24 มิลลิกรัมและเมื่อสุก

งอมปริมาณวิตามินซีลดลงเหลือ 19 มิลลิกรัม และเมื่อแปรรูปเป็นกล้วยตากปริมาณวิตามินซีจะยิ่งลดลงเหลือเพียง 3 มิลลิกรัม [19]

2.1.5 การสุกของกล้วย

กล้วยจัดว่าเป็นผลไม้ประเภท Climacteric fruit เมื่อผลสุกจะมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นและมีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้น เอทิลีนจะช่วยกระตุ้นให้ผลไม้สุกเร็วขึ้นระยะกล้วยดิบเกิดการสังเคราะห์เอทิลีนน้อยมาก ระยะการสุกของกล้วยสังเกตได้จากการเปลี่ยนสี การสุกของกล้วยหลังการเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงสรีระและเคมี การเปลี่ยนแปลงเป็นตัวกำหนดคุณภาพของผลไม้ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสี การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ การสังเคราะห์น้ำตาล ก๊าซเอทิลีนและมีอัตราการหายใจเปลี่ยนไป ผลไม้สุกส่วนมากเนื้อจะนิ่มเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของเนื้อโมเลกุลต่าง ๆ การสุกของผลกล้วยสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนตามดัชนีการเปลี่ยนสีเปลือก [20] และดัชนีความแก่ของกล้วยที่ขึ้นอยู่กับเหลี่ยมของผลกล้วย ดังนี้

ระยะที่ 1 เปลือกเขียว ผลแข็ง ไม่สุก

ระยะที่ 2 เปลือกเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองเล็กน้อย

ระยะที่ 3 เปลือกเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้นแต่มีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง

ระยะที่ 4 เปลือกเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว

ระยะที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลือง แต่ปลายผลยังเป็นสีเขียว

ระยะที่ 6 ทั้งผลสีเหลือง (ผลสุก)

ระยะที่ 7 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดประสีน้ำตาล (สุกเต็มที่มีกลิ่นหอม)

ระยะที่ 8 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดประสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนตัวและมีกลิ่นแรง)

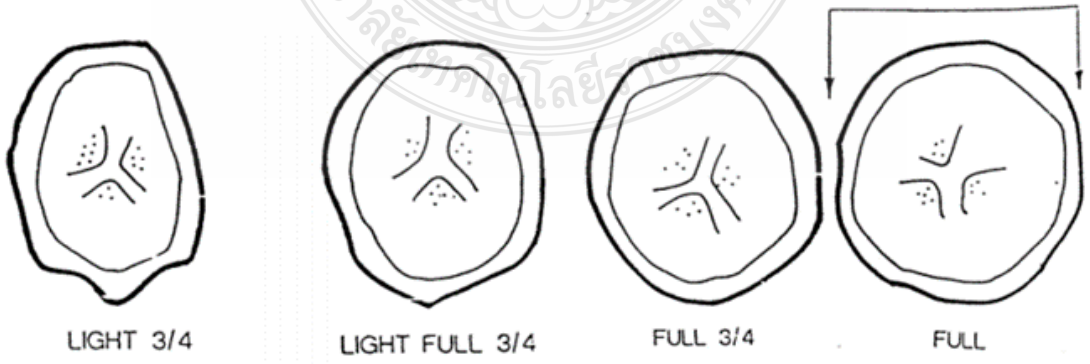
ดัชนีเก็บเกี่ยวกล้วยตามมาตรฐานความแก่ของกล้วยขึ้นอยู่กับเหลี่ยมของผลกล้วย [21] ดังนี้

ผลแก่เต็มที่ ร้อยละ 100 (Full) คือผลที่ไม่มีเหลี่ยมเลย

ความแก่ประมาณ ร้อยละ 90 (Full ¾) คือผลที่มีเหลี่ยมแต่ไม่ชัดเจน

ความแก่ประมาณ ร้อยละ 80 (Light full ¾) คือ ผลที่เห็นเหลี่ยมชัดเจน

ความแก่ประมาณ ร้อยละ 70 (Light ¾) คือผลที่มีขนาดครึ่งหนึ่งของผลโตเต็มที่



ภาพที่ 2.3 ภาพตัดขวางของกล้วยระยะต่าง ๆ
ที่มา : เบญจมาศ [21]

2.2 กล้วยน้ำว้า

เป็นพืชล้มลุกในสกุล *Musa* วงศ์ *Musaceae* กล้วยน้ำว้ามีลำต้นเทียมสูงไม่เกิน 3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกสีเขียวอ่อน มีประดำเล็กน้อย ด้านในสีเขียวอ่อน ก้านใบมีร่องค่อนข้างแคบ เส้นกลางใบสีเขียวอมชมพู ก้านช่อดอกไม่มีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างป้อม ม้วนงอขึ้นปลายมน ด้านบนสีแดงอมม่วงมีนวล ด้านล่างสีแดงเข้ม เครือห้อยลงเครือหนึ่งมี 7-10 หวี หวีหนึ่งมี 10-16 ผล [21]

2.2.1 กล้วยน้ำว้าดำ

กล้วยน้ำว้าดำ เป็นกล้วยพันธุ์ผสมระหว่างกล้วยน้ำว้าและกล้วยตานีที่มีลักษณะค่อนไปทางกล้วยตานี ลำต้นเทียมสูง 3.5-5 เมตร กาบลำต้นด้านนอกสีเขียวอ่อนมีปื้นดำเล็กน้อย ด้านในสีเขียวอ่อน ก้านใบมีร่องค่อนข้างแคบ เส้นกลางใบสีเขียว หลังใบมีนวล ก้านช่อดอก ไม่มีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างป้อม ม้วนงอขึ้น ปลายป้าน ด้านบนสีแดงอมม่วง มีนวล ด้านล่างสีแดงเข้ม ในหนึ่งเครือมี 8-10 หวี แต่ละหวีมี 10-16 ผล ผลมีเหลี่ยมเปลือกหนา เปลือกผลตอนยังอ่อนจะเป็นสีน้ำตาลแดงถึงเข้มคล้ายสีสนิมแดง จากนั้นค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีดำเมื่อผลแก่จัดหรือสุก จึงมีเรียกอีกชื่อว่า "กล้วยน้ำว้าทองสัมฤทธิ์"

2.2.2 กล้วยน้ำว้านวลจันทร์

กล้วยน้ำว้านวลจันทร์มีลำต้นสูง 2.5-3 เมตร กาบลำต้นด้านนอกสีเขียวอ่อน ผลดิบมีสีเขียวนวล เมื่อสุกเปลือกมีสีเหลืองนวล เนื้อเหนียว สีขาวนวล ไส้กลางสีเหลือง มีรสหวาน

2.2.3 กล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง

กล้วยน้ำว้ามะลิอ่องมีลำต้นสูง 2.5-3 เมตร กาบใบสีเขียวหม่น ในหนึ่งเครือมี 7 หวี หวีหนึ่งมี 12-14 ผล ผลอ้วนป้อมสม่ำเสมอเปลือกไม่มีเหลี่ยม

2.2.4 กล้วยน้ำว้าค่อม

กล้วยน้ำว้าค่อมกลายพันธุ์มาจากกล้วยน้ำว้ากาบขาว มีลำต้นสูงประมาณ 2 เมตร ใบค่อนข้างใหญ่และเปราะ ผลมีขนาดสั้นป้อมอ้วน เนื้อเยอะ มีรสหวาน

2.2.5 กล้วยน้ำว้าไส้แดง

กล้วยน้ำว้าไส้แดงมีลักษณะลำต้นคล้ายกล้วยน้ำว้ากาบขาว เมื่อสุกเนื้อกล้วยมีสีปนชมพู ไส้กลางมีสีชมพูแดง เนื้อเหนียว มีรสหวาน

2.2.6 กล้วยน้ำว้าเขียว

กล้วยน้ำว้าเขียวมีกาบลำต้นสีมะกอก ผลดิบมีสีเขียวสดไม่มีนวล เปลือกหนา เมื่อสุกเหลี่ยมจะลบ มีสีเหลืองอมเขียว ที่สันเหลี่ยมยังคงมีสีเขียวจาง ๆ เนื้อมีสีขาว ไส้กลางมีสีเหลือง เนื้อเหนียว มีรสหวานอมเปรี้ยว

2.2.7 กล้วยน้ำว้ากาบขาว

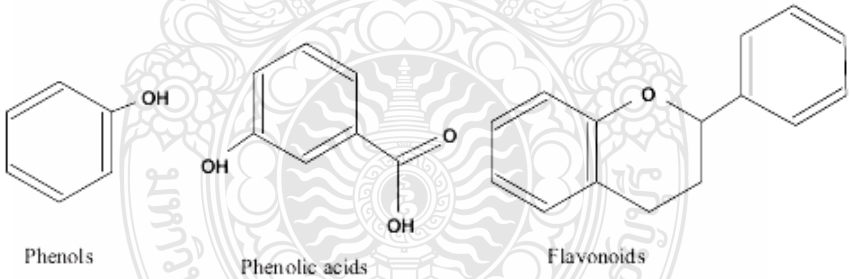
กล้วยน้ำว้ากาบขาวมีลำต้นสูง 2.5-3 เมตร กาบลำต้นด้านนอกสีเขียวอ่อน ผลดิบสีเขียวนวล เมื่อสุกเปลือกมีสีเหลืองนวล เนื้อสีขาวนวล ไส้กลางสีเหลือง มีรสหวาน

2.2.8 เปลือกกล้วยน้ำว้า

เปลือกผลไม้ซึ่งเป็นสิ่งเหลือทิ้งในระดับอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก จะสังเกตได้จากปริมาณพื้นที่ในการเพาะปลูกของเกษตรกร พบว่ากล้วยน้ำว้าสามารถผลิตออกสู่ตลาดได้ทั้งตลอดปี เปลือกกล้วยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแป้งและสารประกอบฟินอลจึงจำเป็นต้องศึกษาถึงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งเปลือกของผลไม้เป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอล แคโรทีนอยด์ (carotenoids) และสาระสำคัญอื่น ๆ [22] โดยมีรายงานว่าเปลือกกล้วยเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอล [23]

2.3 สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิก เป็นสารที่พบได้ในพืชทั่วไปโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนที่มีหมู่ไฮดรอกซิล อย่างน้อยหนึ่งหมู่หรือมากกว่า สามารถละลายน้ำได้ สารประกอบฟีนอลิกในพืชมักจะรวมอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์และพบได้ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์(cell vacuole) มีสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ซึ่งกลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบจะเป็นสารประกอบพวกฟลาโวนอยด์ นอกจากนี้ยังมีสารประกอบต่าง ๆ เช่น ซิมเปิล โมโนไซลิกฟีนอล (simple monocyclic phenol) ฟีนิลโพรพานอยด์ และโพลีฟีนอลิก ได้แก่ ลิกนิน และแทนนิน เป็นต้น รวมทั้งยังพบว่ามีสารประกอบที่มีกลุ่มฟีนอล (phenolic unit) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีนอัลคาลอยด์ (alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) เป็นต้น [24] ดังแสดงในรูปที่ 2.4 มีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก และแทนนิน เป็นต้น



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก
ที่มา : โอภา [25]

สุชาติ และ ผุสดี (2558) ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยไข่ดิบและผลของการเตรียมเปลือกกล้วยไข่ดิบต่อองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของผงเปลือกกล้วยจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วย พบว่าเปลือกกล้วยมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบหลัก มีค่าเท่ากับ 49.23±0.26 กรัม/ 100 g dry matter นอกจากนี้ยังพบว่าทั้งเปลือกกล้วยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลและแทนนินสูงถึง 16.14±1.20 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/g of dry matter และ15.72±0.37 มิลลิกรัม tannic acid equivalent/g of dry matter ตามลำดับ จากนั้นทำการศึกษาผลการลดปริมาณสารประกอบ ฟีนอลและแทนนินในเปลือกกล้วยด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น

ร้อยละ 5 10 และร้อยละ 20 สารละลายโพลีเอทีลีนไกลคอลในอัตราส่วน 1 2 และ 4 กรัม/กรัม ของสารประกอบฟีนอลในเปลือกกล้วย พบว่า การใช้สารละลายโพลีเอทีลีนไกลคอลในอัตราส่วน 4 กรัม/กรัม ของสารประกอบฟีนอลในเปลือกกล้วย สามารถลดสารประกอบฟีนอลและแทนนินในเปลือกกล้วยได้มากที่สุด [26]

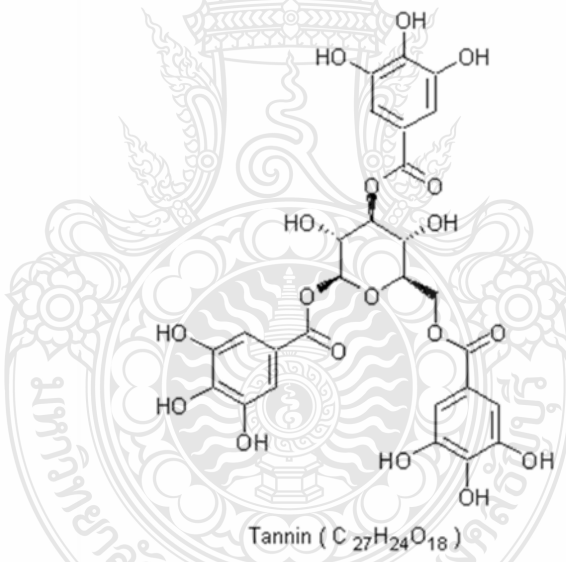
ธวัลรัตน์และคณะ (2559) ทำการวิจัยศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากกล้วย 5 สายพันธุ์ระยะสุกและดิบ ได้แก่ กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่กล้วยหอม กล้วยหักมุก และกล้วยเล็บมือนาง ทำการศึกษาการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี 2,2-diphenyl-1-pierylhydrazyl (DPPH) และทำการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยวิธี Folin-Clocalteu Phenol reagent ผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ พบว่าสารสกัดจากกล้วยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด ได้แก่ กล้วยน้ำว้าดิบ กล้วยไข่สุกและกล้วยหักมุกดิบ ค่าร้อยละ 78.26, 78.26 และ 75.36 ตามลำดับ การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่ากล้วยที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด ได้แก่ กล้วยหอมดิบ กล้วยเล็บมือนางสุกและกล้วยเล็บมือนางดิบ มีค่าเท่ากับ 1.66, 1.45 และ 1.39 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่ากล้วยทั้ง 5 สายพันธุ์ระยะสุกและดิบมีค่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ [27]

รัตนาและคณะ (2559) ทำการศึกษาการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเปลือกกล้วยหอมทองแห้งด้วยเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายที่สภาวะต่ำกว่าจุดวิกฤติและปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้จากเปลือกกล้วยหอมทองแห้ง ตัวทำละลายผสมน้ำและเอทานอลในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1: 1 เป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้ ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่สกัดได้จากสภาวะที่เหมาะสมที่สามารถยับยั้งสารอนุมูลอิสระดีพีพีเอชที่ร้อยละ 50 มีค่าประมาณ 1.40 มิลลิกรัมต่อ 1 มิลลิลิตร [28]

วลัยพรและพัชราภรณ์ (2561) ทำการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจากเปลือกกล้วยเล็บมือนางและเปลือกกล้วยหินและศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ โดยนำเปลือกกล้วยทั้งสองสายพันธุ์ในระยะดิบและระยะสุกมาสกัดสารประกอบฟีนอลิกด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ คลอโรฟอร์ม เอทานอล และน้ำ พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเปลือกกล้วยเล็บมือนางสุกที่สกัดด้วยน้ำ (Set 3) มีค่าสูงที่สุด (193.54 มิลลิกรัม Gallic acid/100 g dry weight) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเปลือกกล้วยหินดิบที่สกัดด้วยด้วยคลอโรฟอร์ม (Set 2) มีค่าสูงที่สุด (170.17 มิลลิกรัม Gallic acid/100 g dry weight) เมื่อนำสารสกัดมาทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคในอาหาร 5 สายพันธุ์ ได้แก่ *Escherichia coli* TISTR 073, *Bacillus cereus* TISTR 035, *Staphylococcus aureus* TISTR 2326, *Salmonella typhimurium* TISTR 1469 และ *Vibrio harveyi* พบว่าสารสกัดจากเปลือกกล้วยทั้งสองสายพันธุ์จำนวน 7 ชนิดของสารมีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่มีฤทธิ์ในการยับยั้ง (MIC) และมีฤทธิ์ฆ่าจุลินทรีย์ (MBC) อยู่ในช่วง 16-200 ไมโครกรัม/มิลลิลิตรและ16->200 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากเปลือกกล้วยทั้งสองสายพันธุ์นี้มีแนวโน้มที่จะใช้เป็นสารต้านแบคทีเรีย [29]

2.4 แทนนิน (tannin)

แทนนิน มีรากศัพท์มาจากค้าว่า “แทนนิ่ง (tanning)” แปลว่า การรักษาไว้และกันน้ำ เป็นกรรมวิธีในการเปลี่ยนหนังสัตว์ที่ตายแล้วให้เป็นผลิตภัณฑ์จากหนังสัตว์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยการใช้สารสกัดจากพืช แทนนินเป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่และมีโครงสร้างซับซ้อน ดังแสดงในภาพที่ 2.5 มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนมีรสฝาด จึงเป็นสารที่ให้ความฝาดในพืชพบได้ในส่วนต่าง ๆ ของพืชหลายชนิด แทนนินมีคุณสมบัติช่วยในการตกตะกอนโปรตีนทำให้หนังสัตว์ไม่เน่าเปื่อย จึงมีการใช้สารแทนนินในอุตสาหกรรมการฟอกหนัง ในทางการแพทย์พบว่าสารแทนนินสามารถใช้เป็นยารักษาโรคท้องเสียได้ นอกจากนี้ยังพบว่าสารแทนนินบางประเภทมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบางชนิดได้ เช่น ทีโอแกลลิน (theogallin) กรดแกลลิก (gallic acid) และกรดแอลลาจิก (ellagic acid) เป็นต้น [30] นอกจากนี้สารละลายแทนนินยังมีความสามารถในการตกตะกอนโลหะหนักบางชนิด เช่น เหล็ก ตะกั่ว และสังกะสีได้ [31] การเกิดปฏิกิริยา พบว่าเมื่อไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนินทำปฏิกิริยากับเกลือของเฟอร์ริก เช่น เฟอร์ริกคลอไรด์ จะให้ตะกอนสีน้ำเงิน-ดำ ส่วนคอนเดนส์แทนนินจะตกตะกอนสีน้ำตาล-เขียว [32]



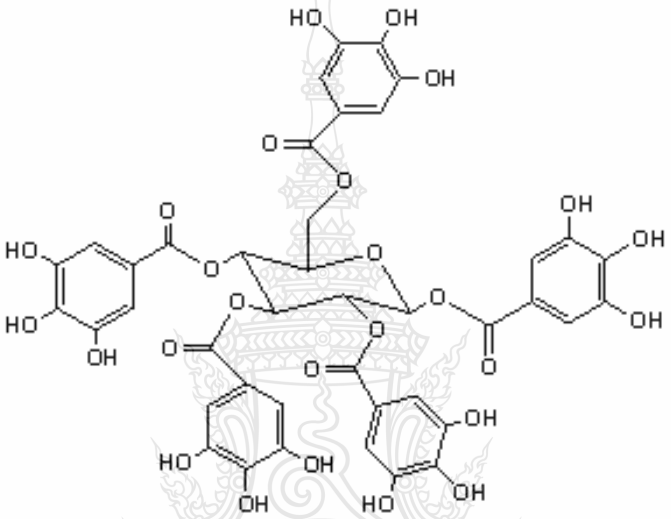
ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของแทนนิน
ที่มา : O’ Connell [33]

2.4.1 ประเภทของแทนนิน

แทนนินแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.4.1.1 ไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนิน (hydrolyzable tannins) ดังแสดงในภาพที่ 2.6 เป็นสารประกอบที่ประกอบไปด้วยส่วนโครงสร้าง 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของน้ำตาลโดยส่วนมากพบว่าเป็นน้ำตาลกลูโคสหรืออาจเป็นสารประกอบโพลีออล (polyols) อื่น ๆ และส่วนที่สองเป็นกรดฟีนอลิก (phenolic acid) เช่น กรดแกลลิกหรือกรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิก

(hexahydroxydiphenic acid;HHDP) หรือสารอนุพันธ์ของกรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิกมักอยู่ในรูปออกซิไดซ์ พบส่วนที่เป็นกรดฟีนอลิกมากกว่าส่วนของน้ำตาลหรือโพลิออลเชื่อมโยงกันด้วยพันธะเอสเตอร์ที่เรียกว่า เดปไซต์ ลิงเกจ (depside linkage) พันธะเอสเตอร์สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์ในสภาวะที่มีน้ำและถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยกรด เบส หรือเอนไซม์แทนเนสให้กรดฟีนอลิกและน้ำตาลหรือโพลิออล เมื่อนำไปกลั่นแบบแห้งสารประกอบกรดฟีนอลิกจะเปลี่ยนเป็นไพโรแกลอล (pyrogallol) ดังนั้นไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนินจึงเรียกอีกอย่างว่า ไพโรแกลอล แทนนิน (pyrogallol tannins) มีหมู่ไฮดรอกซีอิสระ 3 หมู่ เมื่อเกิดปฏิกิริยากับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์จะให้สีน้ำเงิน



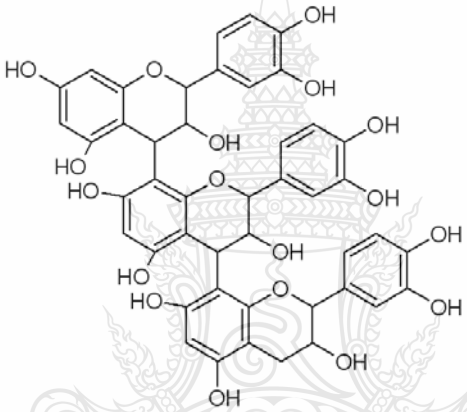
ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนิน (แกลโลแทนนิน)
ที่มา : Von Elbe and Schwartz [34]

สารประกอบกลุ่มไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนินแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย ดังนี้

1) แกลโลแทนนิน (gallotannins) เป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยกรดแกลลิกเชื่อมต่อกับน้ำตาลกลูโคสด้วยพันธะเอสเตอร์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดเกิดการสลายตัวจะให้สาร 2 ชนิด คือ กรดแกลลิกและน้ำตาลกลูโคส ตัวอย่างของแกลโลแทนนิน ได้แก่ กรดแทนนิก (tannic acid หรือ chinese gallotannin) และทาราแกลโรแทนนิน (tara gallotannin) พืชที่เป็นแหล่งของแกลโลแทนนิน ได้แก่ โกศน้ำเต้า กานพลู และกลีบกุหลาบแดง เป็นต้น

2) แอลลาจิกแทนนิน (ellagic tannins) เป็นกลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอลที่ประกอบไปด้วยกรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิกโดยอยู่รวมกับน้ำตา แอลลาจิกแทนนินเมื่อเกิดการสลายตัวแบบปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรด ส่วนของกรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิกจะแยกตัวออกและเกิดปฏิกิริยาแลกโทไนเซชัน (lactonization) ให้กรดแอลลาจิก ตัวอย่างของแอลลาจิกแทนนิน ได้แก่ เพดังคูลาจิน (pedunculagin) และกรดชิบูลาจิก (chebulagic acid) พืชที่นำไปใช้เป็นยาที่เป็นแหล่งของแอลลาจิกแทนนิน ได้แก่ เปลือกผลทับทิม เปลือกต้นโอ๊ค และใบยูคาลิปตัส เป็นต้น

2.4.1.2 คอนเดนส์แทนนิน (condensed tannins) หรือที่เรียกอีกอย่างว่าโปรแอนโทรไซยานิน (proanthocyanidins) เป็นกลุ่มของสารประกอบพอลีฟีนอลที่มีความซับซ้อนและสลายตัวด้วยน้ำยากกว่ากลุ่มไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนิน โครงสร้างพอลีฟีนอลในกลุ่มนี้เป็นอนุพันธ์ของสารประกอบในกลุ่ม ฟลาโวนอยด์ ดังแสดงในภาพที่ 2.7 พืชที่เป็นแหล่งของคอนเดนส์แทนนิน ได้แก่ เปลือกอบเชย เปลือกชิน เปลือกหลิว เปลือกโอ๊ค เปลือกโกโก้ และใบชา เป็นต้น สารประกอบกลุ่มนี้เมื่อนำมาต้มกับกรดหรือทำปฏิกิริยากับเอนไซม์จะได้สารประกอบพอร์ลิเมอร์รูปอสัณฐานสีแดงไม่สามารถละลายน้ำเรียกว่า โฟบาฟิน (phobaphenes) หรือแทนนินแดง (tannin red) จึงเรียกสารกลุ่มนี้ว่า โฟบาแทนนิน (phobatannins) เมื่อนำสารประกอบกลุ่มนี้มาทำการกลั่นแบบแห้งจะได้สารประกอบที่เป็นแคทีคอลแทนนิน (catechol tannins) สารในกลุ่มคอนเดนส์แทนนิน ประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซีอิสระ 2 หมู่ เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์จะให้สีเขียว



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของคอนเดนส์แทนนิน
ที่มา : Deshpande, Cheryan and Salunkhe, [35]

2.4.2 สมบัติของแทนนิน

2.4.2.1 มีลักษณะเป็นผลึกสีน้ำตาลอ่อน ถ้าเป็นสารบริสุทธิ์

2.4.2.2 สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายมีขั้ว เช่น น้ำ เอทานอล อะซิโตน และไพริดีนแต่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วเช่น คลอโรฟอร์ม อีเทอร์

2.4.2.3 เมื่ออยู่ในน้ำมีสภาพเป็นคอลลอยด์ ไม่สามารถตกผลึก

2.4.2.4 มีสมบัติเป็นอัลคาลอยด์รีเอเจนต์ เช่น สามารถตกตะกอนเกลือของโลหะหนักได้

2.4.2.5 สามารถตกตะกอนโปรตีนได้

2.4.2.6 เมื่อถูกออกซิไดส์ทำให้มีสีเข้มขึ้น

ชุติกาญจน์ (2551) ศึกษาความสามารถต้านอนุมูลอิสระและวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผักจำนวน 23 ชนิด โดยการสกัดสารตัวอย่างด้วยเมทานอล เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์จึงควรละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีสภาพขั้วใกล้เคียงกัน รวมทั้งในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระด้วยเมทานอลจะทำให้สารต้านอนุมูลอิสระเกิดความเสถียรแล้วนำ

สารสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร แล้วเปรียบเทียบค่า IC_{50} กับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก พบว่าในตัวอย่างผักที่นำมาศึกษาทุกชนิดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและมีบางชนิดที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 1000 ไมโครโมลาร์ เช่น ขี้เหล็ก ผักหวาน ผักติ้ว เป็นต้น ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ด้วยวิธีโฟลิน-ซิโอแคลทู รีเอเจนต์และวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 750 นาโนเมตร พบว่าตัวอย่างผักทั้งหมดมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในช่วง 10-170 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเทียบกับกรดแกลลิกผักติ้วมีสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าผักชนิดอื่น ๆ และพบว่าผักที่นำมาศึกษาทั้งหมดมีความสอดคล้องกัน ผักที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงจะมีความสามารถต้านอนุมูลอิสระสูงด้วย [36]

ธีรวุฒิและคณะ (2552) ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากฝาดดอกแดงต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio sp*. โดยการใช้น้ำเป็นตัวสกัดสารสกัดหยาบจากใบและเปลือกของฝาดดอกแดงที่รวบรวมจากป่าชายเลนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรังจังหวัดตรังที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำไปทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio sp*. ที่แยกได้จากปลากะพงแดงที่มีอาการป่วย พบว่าสารสกัดหยาบจากส่วนของเปลือกสามารถออกฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดี โดยมีค่า MIC เท่ากับ 300 ไมโครลิตรต่อ suspension ของเชื้อแบคทีเรีย 5 มิลลิลิตร (20.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ขณะที่สารสกัดหยาบจากส่วนของใบไม่มีผลต่อเชื้อแบคทีเรียและเมื่อนำส่วนใบและเปลือกไปวิเคราะห์ปริมาณแทนนิน โดยวิธี colorimetric method โดยกำหนดให้สัดส่วนระหว่างใบหรือเปลือกต่อน้ำเป็น 1: 5 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสกัด 1-2 ชั่วโมง พบว่าเปลือกจะมีปริมาณแทนนิน 8.9 ไมโครกรัมต่อกรัมขณะที่ส่วนใบมีปริมาณแทนนินเพียง 1.3 ไมโครกรัมต่อกรัมซึ่งเป็นการยืนยันว่าสารสกัดจากเปลือกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสูงกว่า [37]

กมณชนกและปนัดดา (2557) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแทนนินจากตัวอย่างใบมันสำปะหลัง โดยศึกษาสภาวะที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ ชนิดของตัวทำละลาย คือ น้ำ เมทานอลกับน้ำร้อยละ 30 50 70 80 90 เอทานอลกับน้ำร้อยละ 30 50 70 80 90 และอะซิโตน อะซิโตนกับน้ำร้อยละ 30 50 70 80 90 โดยปริมาตรอัตราส่วนระหว่างตัวอย่างใบมันสำปะหลังต่อตัวทำละลาย คือ 1:10 1:20 1:30 และ1:40 กรัมต่อมิลลิลิตร อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดคือ อุณหภูมิห้อง และ 50 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการสกัด คือ 1 3 และ 5 ชั่วโมง โดยใช้วิธีการสกัดแบบแช่ครั้งเดียวและวิเคราะห์ปริมาณสารแทนนินทั้งหมดโดยให้สารที่สกัดได้ทำปฏิกิริยากับโฟลิน - เดนนีส รีเอเจนต์ แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 762 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแทนนินจากตัวอย่างใบมันสำปะหลัง คือ อะซิโตนกับน้ำร้อยละ 80 อัตราส่วน 1:20 ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสและใช้เวลาในการสกัด 3 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณสารแทนนินสูงที่สุด คือ 644.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม [38]

Comanidini et. al. (2014) ศึกษาการพัฒนาเทคนิค HPLC - DAD – MS สำหรับวิเคราะห์สารแทนนินและสารประกอบฟีนอลอื่น ๆ จากตัวอย่างเปลือกเกาลัด 4 ยี่ห้อ จากการศึกษาพบว่าสารประกอบทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ เวสคาลิน (vescalin) เคสทาลิน (castalin) กรดแกลลิก (gallic

acid) เวสคาเลกิน (vescalagin) วัน-โอ-แกลโลอิล เคสทาเลกิน (1-O-galloyl castalagin) เคสทาเลกิน (castalagin) และกรดแอลลาจิก (ellagic acid) ดังนั้นเทคนิคนี้สามารถให้รายละเอียดเกี่ยวกับองค์ประกอบและคุณภาพของตัวอย่างเปลือกเกาลัด ซึ่งแทนนินเป็นสารที่มีความสำคัญทางการค้าเพราะมีคุณสมบัติทางชีวเคมีจึงถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร [39]

2.5 มะนาว

ภาพที่ 2.8 ผลของมะนาว
ที่มา : รวี [40]

มะนาวไทยเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Cltrus aurantifolia Swingle*. อยู่ในวงศ์ *Rutaceae* เช่นเดียวกับพืชสกุลส้ม มีชื่อสามัญว่า lime เป็นพืชพื้นเมืองของอินเดียมีถิ่นกำเนิดในหมู่เกาะอินดีสตะวันออกทางภาคเหนือของประเทศอินเดีย โดยเริ่มมีการกระจายพันธุ์เข้าสู่ทวีปเอเชียและต่อไปยังส่วนต่าง ๆ ของโลกในแถบภูมิภาคเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน พันธุ์มะนาวที่นิยมปลูกในประเทศไทย มีดังนี้ [41]

พันธุ์มะนาวมีความสำคัญทางเศรษฐกิจเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและนิยมปลูกเป็นการค้ากันมาก ในปัจจุบันมีอยู่หลายสายพันธุ์ เช่น

2.5.1 มะนาวหนัง ผลอ่อนมีลักษณะกลมยาวหัวท้ายแหลม เมื่อโตเต็มที่ผลจะมีลักษณะกลมค่อนข้างยาวมีกลมมนบ้างเล็กน้อย ด้านหัวมีจุกเล็ก ๆ มีเปลือกค่อนข้างหนา จึงทำให้เก็บรักษาผลไว้ได้นาน

2.5.2 มะนาวไข่ มีขนาดและลักษณะคล้ายมะนาวหนังเกือบทุกอย่าง ผลอ่อนมีลักษณะกลมยาวหัวท้ายแหลม เมื่อโตเต็มที่ผลจะมีลักษณะกลมมนเป็นส่วนมาก เปลือกบาง ผลใหญ่กว่ามะนาวหนัง

2.5.3 มะนาวแป้น เป็นมะนาวที่สามารถให้ดอกออกผลตลอดปี ผลมีขนาดกลาง ทรงผลแป้น เปลือกบาง มีหลายพันธุ์ เช่น

2.5.3.1 พันธุ์แป้นรำไพ เป็นพันธุ์ลูกผสมระหว่างมะนาวพันธุ์แป้นทวายกับพันธุ์ต่างประเทศ สามารถผลิตมะนาวนอกฤดูได้ดีเพราะออกดอกติดผลง่าย อายุการเก็บเกี่ยวสั้น คือ ตั้งแต่ออกดอกจนถึงเก็บเกี่ยวใช้เวลาประมาณ 4 เดือนครึ่งให้ผลตลอดปี ทรงแป้นเปลือกผลบาง ปริมาณน้ำในผลมีมาก รสชาติเปรี้ยว มีกลิ่นหอมรุนแรง มะนาวพันธุ์แป้นรำไพจะคล้ายกับมะนาวพื้นเมืองแต่มีจุดที่ต่างกันเล็กน้อย คือ มีหนามสั้น ไม่ต้านทานโรคแคงเกอร์และโรครากเน่า

2.5.3.2 พันธุ์ทะวาย เป็นมะนาวที่มีลักษณะคล้ายกับมะนาวแป้นรำไพมากมีผลกลมแป้น ผลมีขนาดกลาง เปลือกบาง ติดผลดกและให้ผลตลอดปี รสชาติดี มีกลิ่นหอมรุนแรง มะนาวพันธุ์แป้นทะวายจะติดผลดกและเป็นกลุ่มเป็นส่วนมาก ผลมีขนาดเล็กกว่าเล็กน้อย ส่วนข้อเสียของมะนาวพันธุ์นี้คือ ไม่ต้านทานโรคแคงเกอร์และโรครากเน่า

2.5.3.3 พันธุ์แป้นจริยา ลักษณะเด่นผลใหญ่กว่าแป้นรำไพหรือขนาดผล 10 ผลต่อกิโลกรัม มีน้ำมากและมีกลิ่นหอมเหมือนมะนาวแป้นรำไพ ข้อเด่นคือ ให้ผลผลิตทั้งปี ผลออกตามง่ามใบ เมื่อยังไม่แก่ผลสีเขียวแต่เมื่อผลแก่จะเป็นสีเหลือง เช่นเดียวกับมะนาวทั่วไป ข้อเสียคือ ไม่ต้านทานโรคแคงเกอร์

2.5.3.4 พันธุ์แป้นดกพิเศษ ได้มาจากการคัดสายพันธุ์มะนาวแป้นรำไพที่ให้ผลผลิตสูงและมีลักษณะพิเศษคือ ผลใหญ่ เปลือกบาง ให้ผลผลิตดกมากและติดผลเป็นพวง ปริมาณน้ำมาก หอม และมีรสชาติเหมือนกับมะนาวแป้นรำไพทุกประการ ได้มีการตั้งชื่อพันธุ์ว่า “พันธุ์แป้นดกพิเศษ” ข้อเสียคือ ไม่ต้านทานโรคแคงเกอร์ และโรครากเน่า

2.5.3.5 พันธุ์แป้นพิจิตร 1 เป็นมะนาวสายพันธุ์ใหม่ เป็นมะนาวลูกผสมระหว่างมะนาวพันธุ์แป้นรำไพกับมะนาวน้ำหอมอุดร โดยศูนย์วิจัยพืชสวนพิจิตร กรมวิชาการเกษตร ได้ดำเนินการพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์ลักษณะเด่น คือ ปลูกง่าย โตเร็ว ให้ผลผลิตสูง ต้านทานโรคแคงเกอร์ ลูกใหญ่ ผลดก ทรงแป้น น้ำเยอะ มีกลิ่นหอม เหมาะสำหรับทำมะนาวนอกฤดู ปลูกในวงบ่อซีเมนต์ได้ดี ควบคุมการออกดอกได้ง่าย

2.5.4 มะนาวด่านเกวียน เป็นมะนาวที่เกิดจากต้นเพาะเมล็ดจุดเด่น คือ ปลูกง่ายอายุการเก็บเกี่ยวสั้นประมาณ 2 เดือนครึ่งถึง 3 เดือน ทนทานต่อโรคแคงเกอร์ได้ดี ให้ผลผลิตนอกฤดูได้ดี ผลมีลักษณะกลมใหญ่ ผลแก่จัดมีสีเหลือง เนื้อผลมีสีเหลืองส้มอ่อนๆ มีน้ำมาก รสชาติเปรี้ยวอมหวานเล็กน้อย นิยมนำไปทำน้ำมะนาวปั่นเพราะน้ำคั้นมีกลิ่นหอม มีเมล็ดประมาณ 15-20 เมล็ดต่อผล ข้อเสียของมะนาวพันธุ์นี้คือ ถ้าปล่อยให้แก่จัดไส้ในผลจะเป็นโพรง น้ำคั้นจะมีสีเหลืองอ่อนและจะมีลักษณะผลคล้ายผลมะกรูดหรือส้ม

2.5.5 มะนาวพันธุ์ตาฮิติ เป็นมะนาวสายพันธุ์ที่นำมาจากหมู่เกาะตาฮิติ ประเทศญี่ปุ่น ปัจจุบันมีการปลูกแพร่หลายในเขตพื้นที่ภาคเหนือ ลักษณะเด่นของมะนาวพันธุ์นี้คือ ผลมีขนาดใหญ่ ไม่มีเมล็ดและเปลือกค่อนข้างหนา ทำให้ทนทานต่อการขนส่งทางไกลได้ดี ทนทานต่อโรคแคงเกอร์และโรคเน่า ผลแก่จัดจะมีสีเขียวอมเหลือง มีน้ำมากรสเปรี้ยวจัดมาก ไม่มีกลิ่นหอมและไม่มีเมล็ด ส่วนใหญ่จะใช้ประโยชน์แทนในช่วงที่ไม่มีมะนาวอื่นเท่านั้น ให้ผลดกตลอดทั้งปีปัจจุบันนิยมส่งออก

2.6 โรคมะนาวและการป้องกันกำจัด

มะนาวหรือผลไม้ชนิดอื่นที่มีโรคต่าง ๆ คอยรบกวนอยู่เสมอ ซึ่งโรคแต่ละอย่างก็มีความรุนแรงมากน้อยแตกต่างกันออกไปบางโรคทำเกิดความเสียหายรุนแรง โรคที่เกิดขึ้นกับมะนาวเกิดจากเชื้อรา แบคทีเรีย และเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ จะเข้าทำลายต้นหรือแทบทุกส่วนไม่ว่าที่ใบ กิ่งลำต้น ผล หรือราก จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ผู้ปลูกจะต้องศึกษาถึงสาเหตุอาการของโรคและวิธีกำจัดเพื่อจะได้หาทางป้องกันแก้ไขได้

2.6.1 โรคแคงเกอร์

ลักษณะอาการ จะเกิดขึ้นได้แทบทุกส่วน ทั้งที่ใบ กิ่งก้าน และผล โดยอาการที่ใบและผลจะมีลักษณะคล้ายกัน คือจะเกิดเป็นแผลกลมแล้วจะขยายใหญ่ ฟู นูนคล้ายฟองน้ำ มีสีเหลืองอ่อนถึงสีเหลืองเข้ม ต่อมาจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มและจะแตกเป็นสะเก็ดมีวงแหวนสีเหลืองล้อมรอบแผล ส่วนอาการที่กิ่งก้าน จะมีแผลฟูนูนสีเหลือง ต่อมาแผลจะแตกแห้งเป็นสีน้ำตาลขยายไปรอบ ๆ กิ่ง รูปร่างของแผลไม่แน่นอนและไม่มีวงแหวนล้อมรอบ เมื่อต้นมะนาวเป็นโรคนี้มาก ๆ จะแสดงอาการต้นโทรม แคระแกร็น ใบร่วง ผลผลิตลดลง กิ่งและต้นจะแห้งตายในที่สุด การป้องกันกำจัด ตัดแต่งส่วนที่เป็นโรคเผาทำลาย ไม่ขยายพันธุ์จากต้นแม่ที่เป็นโรคแคงเกอร์พยายามอย่าให้มะนาวเกิดบาดแผลและป้องกันแมลงที่เป็นพาหะ เช่น หนอนชอนใบ หรือฉีดพ่นด้วยสารเคมี กำจัดแมลงกลุ่มของสารคาร์บาริล มาลาไธออน

2.6.2 โรคราดำ

ลักษณะอาการ ใบ กิ่งก้าน และผลจะมีราสีดำ สกปรกกระด้างทำให้ผลไม่สวย ต้นมะนาวจะแคระแกร็น การป้องกันกำจัด ทำลายส่วนที่เป็นโรคโดยการเผาไฟหรือใช้ สารเคมีกำจัดแมลงฉีดพ่นเพื่อกำจัดแมลงประเภทปากดูดซึ่งเป็นสาเหตุ ทำให้เกิดโรคราดำ

2.6.3 โรคกรีนนิ่ง (ใบแก้ว)

ลักษณะอาการ ใบจะด่างเป็นสีเหลือง หรือขาวใสระหว่างเส้นใบ ใบมีขนาดเล็กลง ใบและยอดจะแห้งตาย ผลมีขนาดเล็ก น้ำหนักน้อย ต้นจะโทรม การป้องกันกำจัด ทำลายส่วนที่เป็นโรคโดยการเผาไฟ ใส่ปุ๋ยที่มีธาตุสังกะสีและแมกนีเซียม ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของดินให้อยู่ระหว่าง 6.0-6.5

2.6.4 โรคยางไหล

ลักษณะอาการ มีอาการยางไหลบริเวณลำต้นและกิ่งก้าน เปลือกจะเน่า และแผลจะลุกลามไปถึงเนื้อไม้ การป้องกันกำจัด ควรตัดแต่งกิ่งและกำจัดวัชพืชเพื่อให้แสงแดด ส่องได้ทั่วถึงและควรทำบาดแผลด้วยสารทองแดงหรือกำมะถันผสมปูนขาว ถ้ามีการระบาดมากก็เผาทำลายเสีย

2.6.5 โรครากเน่าและโคนเน่า

ลักษณะอาการ รากฝอยและรากแขนง จะเน่ามีสีน้ำตาลหรือดำลักษณะเหนียว ไม่ยุ่ย เปลือกของลำต้นจะปริแตกออก โดยเฉพาะโคนต้นและมียางไหลบริเวณขอบแผล เมื่อรากและต้นถูกทำลายมาก ๆ จะทำให้ใบเหลืองและร่วงหล่น การป้องกันกำจัด อย่าให้มีน้ำขังบริเวณโคนต้นและไม่ควรใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกมากเกินในช่วงฤดูฝน

2.7 การเสื่อมคุณภาพของมะนาว

2.7.1 การสูญเสียน้ำหนัก เนื้อเยื่อของพืชและผลิตผลสดต่าง ๆ มีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 80-90 ในขณะเดียวกันผลิตผลก็ต้องคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ ปริมาณความชื้นภายในผลิตผลมักมีอยู่สูงกว่าความชื้นของอากาศภายนอก น้ำในผลิตผลจึงมีศักยภาพที่จะสูญเสียออกจากตัวผลิตผลอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้ว่าในเนื้อเยื่อเอพิเดอร์มิส (epidermis) จะมีชั้นของคิวติน (cutin) ปกคลุมอยู่แล้วก็ตาม ก็ยังมีบางส่วนที่เปิดให้น้ำและอากาศผ่านเข้าออกได้สะดวก คือ ปากใบ (stomata) และเลนติเซล (lenticel) น้ำยังสามารถผ่านออกจากผลิตผลได้

ทางคิวติเคิล ในขณะที่ปากใบเปิดน้ำออกจากตัวผลิตผลทางปากใบได้มากกว่า แต่เมื่อปากใบปิดการสูญเสียน้ำส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นผ่านทางคิวติเคิล (cuticle) สำหรับผักและผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว ปากใบปิด การสูญเสียน้ำส่วนใหญ่จึงเกิดขึ้นทางคิวติเคิล ส่วนแก๊ซชนิดต่าง ๆ นั้นการผ่านเข้าออกส่วนใหญ่เกิดขึ้นทางปากใบและเลนติเซล รวมทั้งช่องเปิดอื่น ๆ เช่น บาดแผลและรอยแผลเป็นที่ขั้วผลเคยติดอยู่บนต้น [2]

2.7.2 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก สีของผลิตผลที่เห็นเกิดจากเม็ดสี (pigment) หรือสารสีต่าง ๆ ที่มีอยู่ในเซลล์ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ พวกที่ละลายในน้ำ (water soluble) พบในแวคิวโอล (vacuole) ได้แก่ แอนโทไซยานิน (anthocyanins) และพวกที่ละลายในไขมัน (lipid soluble) พบในพลาสติด (plastid) มีหลายชนิดด้วยกัน เช่น คลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll a) คลอโรฟิลล์บี (chlorophyll b) คาโรทีน (carotene) และไลโคปีน (lycopene) [42]

2.7.2.1 คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) เป็นรงควัตถุที่มีสีเขียว กระจายตัวอยู่ในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ของเซลล์ ในพืชทุกชนิดมีทั้งคลอโรฟิลล์เอและบีแต่มีในสัดส่วนที่ต่างกัน โดยที่คลอโรฟิลล์เอเป็นสารที่ให้สีออกไปทางสีเขียวอมน้ำเงิน ส่วนคลอโรฟิลล์บีมีความเป็นขั้วมากกว่าให้สีเขียวอมเหลือง โดยทั่วไปในพืชชั้นสูงสัดส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์ 2 ชนิดนี้อยู่ที่ประมาณ 3 ต่อ 1 ซึ่งคลอโรฟิลล์เป็นโมเลกุลที่ไม่ค่อยเสถียรจึงสลายตัวได้ง่ายจากความร้อน ออกซิเจน และสารเคมีอื่น ๆ ดังนั้นผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้วจึงมักมีการเปลี่ยนสีเกิดขึ้น โดยเฉพาะสีเขียวที่จะหายไปแล้วปรากฏสีเหลืองหรือสีแดงขึ้นแทน [43]ในการป้องกันการสูญเสียคลอโรฟิลล์ อาจทำได้โดยการลดอุณหภูมิของผลิตผลลงและการเก็บรักษาในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำเพื่อป้องกันกระบวนการออกซิไดซ์ที่จะเกิดขึ้นหรือให้อยู่ในสภาพที่มีแสงสว่างเพื่อให้มีการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ขึ้นทดแทน [44]

2.7.2.2 แคโรทีนอยด์ (carotenoid) เป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลืองส้มและแดง โครงสร้างของโมเลกุลประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว รงควัตถุที่พบมาก ได้แก่ แคโรทีนอยด์ (carotene) ไลโคพีน (lycopene) แซนโทฟิลล์ (xanthophyll) และคริพโทแซนทิน (cryptoxanthin) เป็นต้น โดยทั่วไปแคโรทีนอยด์จะประกอบด้วย 2 กลุ่ม คือแคโรทีนเป็นไฮโดรคาร์บอนและแซนโทฟิลล์มีออกซิเจนรวมอยู่ในโมเลกุลด้วย โครงสร้างของโมเลกุล แคโรทีนอยด์ประกอบด้วยไอโซพรีนอยด์ (isoprenoid) 8 กลุ่มต่อกัน โดยเมื่อกึ่งกลางโมเลกุล ไอโซพรีน (isoprene) ที่ต่อกันจะต่อแบบกลับจากส่วนแรก แคโรทีนอยด์ในผักและผลไม้สามารถเกิดเป็นอิสระในรูปของผลึกหรือของแข็งซึ่งมีรูปร่างไม่แน่นอนได้ หรืออาจละลายอยู่ในไขมัน นอกจากนั้นยังสามารถเกิดในลักษณะของเอสเทอร์หรือรวมอยู่กับน้ำตาลและโปรตีนก็ได้

2.7.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญและมีมากที่สุดในน้ำมะนาวคือกรด ส่วนใหญ่เป็นกรดอินทรีย์ ประกอบไปด้วย กรดซิตริกร้อยละ 91.8 กรดมาลิกร้อยละ 4.9 กรดควินิกและกรดฟอสฟอริกรวมกันร้อยละ 0.5 และกรดที่ไม่ได้จำแนกร้อยละ 2.5 นอกจากกรดอินทรีย์จะเป็นโมเลกุลสำคัญในขั้นตอนต่าง ๆ ของการหายใจแล้วยังมีบทบาทสำคัญในการให้รสชาติของผลไม้ โดยทั่วไปในขณะที่ผลไม้ยังอ่อนจะมีปริมาณกรดอยู่สูงทำให้ pH ต่ำไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กรดจึงมีส่วนช่วยในการป้องกันรักษาผลไม้ระหว่างการเจริญเติบโต ภายหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณกรดภายในผลไม้ลดลงทำให้รสชาติดีขึ้นแต่ในบางกรณีปริมาณกรดอาจเพิ่มขึ้นได้ [2]

2.7.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี วิตามินซีหรือกรดแอสคอบิค (ascorbic acid) ถูกทำลายได้ง่ายที่สุดหลังการเก็บเกี่ยว ถ้าผลิตผลอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงหรืออุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง เนื้อเยื่อของพืชมีระบบเอนไซม์ออกซิเดส (oxidase system) สามารถออกซิไดซ์วิตามินซีไปเป็นสารอื่น อุณหภูมิสูงหรืออุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งสามารถทำให้เนื้อเยื่อของผลไม้เกิดอันตรายและเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของวิตามินซีทำให้มีการสูญเสียวิตามินซีเร็วขึ้น [45] ตามินซีหรือกรดแอสคอบิคมีอยู่ด้วยกัน 3 รูป คือ reduced ascorbic acid อาจถูกออกซิไดซ์ไปอยู่ในรูปที่ 2 คือ monohydroascorbic acid ไม่เสถียรและถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปที่ 3 คือ dehydroascorbic acid จากนั้น dehydroascorbic acid อาจถูกออกซิไดซ์ไปเป็น 2,3-deketogulonic acid ไม่มีคุณสมบัติของวิตามินซี โดยที่วิตามินซีในผลิตผลส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ reduced ascorbic acid ปริมาณของวิตามินซีในรูปต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับอายุของผลิตผลเมื่อเก็บเกี่ยวโดยหลังจากที่ผลิตผลได้ถูกเก็บเกี่ยวมาแล้วนั้นปริมาณวิตามินซีจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นค่อนข้างมากกว่าวิตามินชนิดอื่น ๆ โดยทั่วไปผักรับประทานใบและช่อดอกมักมีการสูญเสียวิตามินซีค่อนข้างสูง แต่ในผลไม้ไม่ค่อยมีการสูญเสียวิตามินซีเกิดขึ้นมากนัก วิตามินซีอาจสูญเสียไปได้ทั้งจากการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น ascorbic acid oxidase, polyphenol oxidase และ peroxidase ที่มีอยู่ในผลิตผล เป็นต้น นอกจากนี้สภาพแวดล้อมในระหว่างการเก็บรักษาผลิตผลมีอิทธิพลอย่างมากต่อการสลายตัวของกรดแอสคอบิกกล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการสูญเสียกรดแอสคอบิกก็จะมีมากขึ้น [2]

2.7.5 การเปลี่ยนแปลงของกลิ่น กลิ่นซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของผักและผลไม้แต่ละชนิดนั้นเกิดจากสารระเหย (volatiles) ซึ่งมีอยู่หลายชนิดในผักและผลไม้ โดยเป็นสารอินทรีย์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในผลมะนาวสารประกอบทำให้เกิดกลิ่นได้แก่ limonene และ citral [44] ปริมาณและชนิดของสารระเหยในแต่ละระยะของการเจริญเติบโตของผลไม้ จะมีอยู่แตกต่างกัน มีทั้งที่เป็นอัลดีไฮด์ (aldehyde) คีโทน (ketone) แลคโทน (lactone) และกรด เป็นต้น ในการเก็บรักษาผักและผลไม้เป็นระยะเวลานานในสภาพที่เหมาะสม เช่น ที่อุณหภูมิต่ำถึงแม้ว่าผักและผลไม้จะคงสภาพที่ปรากฏให้เห็นว่ายังดีอยู่แต่กลิ่นรสจะด้อยลงไปมาก [2]

2.8 การยืดอายุการเก็บรักษาผลมะนาว

2.8.1 การเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ

การเก็บรักษาในห้องเย็นเป็นวิธีการที่นิยมแพร่หลาย เนื่องจากอุณหภูมิต่ำสามารถชะลออัตราเมแทบลิซึม (Metabolism) ของผลมะนาวและการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ผลิตผลเขตร้อนควรเก็บรักษาที่อุณหภูมิระหว่าง 10 – 15 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุทางสรีรวิทยาของผลิตผล ถ้าเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำเกินไป อาจทำให้เกิดสะท้านหนาว (Chiling injury) ลักษณะสะท้านหนาวของผลมะนาวคือ เกิดรอยบุ๋มเล็ก ๆ กระจายทั่วทั้งผล ที่อุณหภูมิ 9-10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพันธ์ร้อยละ 85-90 สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้นาน 6-8 สัปดาห์ [46]

2.8.2 การฝังในทรายชื้นหรือแกลบชื้น

การฝังในทรายชื้นหรือแกลบชื้นและวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมะนาวได้นาน 21 วัน และเริ่มพบผลเน่าที่อายุการเก็บรักษา 14 วัน [47] แต่ที่อุณหภูมิ 10-12

องศาเซลเซียสสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น วิธีนี้มักพบปัญหาการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะผลที่มีตำหนิ การฝังในทรายชื้นหรือแกลบชื้นลดอัตราการคายน้ำของผลจึงช่วยรักษาความเต่งของผลและชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้

2.8.3 การบรรจุในถุงพลาสติก

การบรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิทและเจาะรูจะช่วยลดอัตราการคายน้ำของผลและการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างภายในและภายนอกผล จึงทำให้ลดอัตราการหายใจและสังเคราะห์เอทิลีนได้แต่วิธีการบรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิท ควรเก็บไว้ในอุณหภูมิต่ำที่เหมาะสมมิฉะนั้นจะทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนผลเน่าจะมีกลิ่นหมักได้ ผลมะนาวที่เก็บในถุงพลาสติกเจาะรูที่อุณหภูมิห้องมีอายุการเก็บรักษา 28 วัน โดยที่ผลเหี่ยวเล็กน้อยและมีสีเขียวปนเหลือง [45] แต่เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าผลมะนาวในถุงพลาสติกปิดสนิทมีอายุการเก็บรักษานานกว่า 13 สัปดาห์

2.8.4 การใช้จิบเบอเรลลิน

จิบเบอเรลลิน เป็นฮอร์โมนพืชที่นำมาใช้ในการชะลอการสุกและเสื่อมสภาพของพืชบางชนิดหลังการเก็บเกี่ยวได้ [48] โดยจิบเบอเรลลินช่วยชะลอการเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นเหลือง แต่ไม่ชะลอลักษณะการสุกอื่น ๆ [46] การสังเคราะห์จิบเบอเรลลินที่มีการใช้ในการเกษตรอย่างกว้างขวาง คือ จิบเบอเรลลิน เอสิด (Gibbrellic acid : GA_2) จัดเป็นสารที่มีความปลอดภัยในการนำมาใช้กับอาหาร โดยที่มีค่า LD มากกว่า 15,000 [49] ดังนั้นการนำจิบเบอเรลลินไปใช้ร่วมกับวิธีอื่น ๆ ที่กล่าวมาแล้วน่าจะช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาผลมะนาวได้ดียิ่งขึ้น

2.8.5 การเคลือบผิว

การเคลือบผิวของผลมะนาว สามารถลดอัตราการคายน้ำของผลและการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์เมื่อผสมสารป้องกันกำจัดโรคพืช นอกจากนี้สารเคลือบบางชนิดยังทำให้ผิวมะนาวมีสีสดใสเป็นมัน Chiabrando and Giacalone [50] ได้ทำการเคลือบผิวมะนาวด้วย Tag แล้วเก็บที่อุณหภูมิห้องผลมะนาวจะเก็บได้นาน 18.3 วัน ในขณะที่ไม่เคลือบผิวจะเก็บได้นาน 8 วัน การเคลือบผิวมะนาวด้วย Stafresh 360 เข้มข้นร้อยละ 50 -70 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 21 วัน ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส โดยที่ผลมีสีเหลืองปนเขียวและเหี่ยวเล็กน้อย

2.9 สารเคลือบผิว

สารเคลือบผิวผลไม้ได้มาจากไขมันผสมทั้งที่เป็นไขจากแหล่งธรรมชาติและที่สังเคราะห์ขึ้น การเคลือบผิวช่วยปิดบังริ้วรอยขีดข่วนที่ผิวผลไม้ เกิดขึ้นได้ระหว่างการเก็บเกี่ยวทดแทนไขธรรมชาติที่หลุดออกระหว่างการทำความสะอาดและช่วยยืดอายุการสุกของผลไม้ให้ยาวนานขึ้น นอกจากนี้สารเคลือบปกป้องการสูญเสียน้ำด้วย [51] ผักและผลไม้ส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบเป็นน้ำและเกิดการสูญเสียน้ำได้ง่าย การสูญเสียน้ำมากทำให้ผิวผลไม้เหี่ยว

2.9.1 สารเคลือบผิวแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

2.9.1.1 แว็กซ์ ให้ความเงางามสว่างตา มี 3 ชนิด คือ

1) เทเซอร์ ซี ซีพี แซลแล็กผสมกับออกไซด์เอธิลีน

2) เทเมอร์ ซี จีแอลพี คือ คลอโรฟินิลเรซินผสมกับออกไซด์เอธิลีน

3) เทมวอร์ ซี จีแอลเค คือ แซลแล็กผสมกับคาร์นาอูบา

2.9.1.2 สารเคลือบผิวที่สามารถกินได้ ให้ความเงางามน้อยกว่าชนิดแรก แต่ยืดอายุคุณภาพผลไม้ได้ยาวนานกว่า ได้แก่ กัสเทค วี สเปรย์ ผู้บริโภคสามารถรับประทานได้ทั้งเปลือกไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย [52] การใช้สารเคลือบผิวกินได้นั้นจะช่วยในเรื่องของคุณภาพและช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้สด ผักและผลไม้จะเคลือบผิวโดยวิธีการจุ่มลงไปหรือการสเปรย์ด้วยสารละลายเคลือบผิว ช่วยชะลออัตราการหายใจ ควบคุมความชื้นไม่ให้สูญหาย ชนิดของสารเคลือบผิวมีหลายชนิด เช่น ไขมัน โพลีแซคคไรด์และโปรตีนจะใช้เพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดร่วมกันก็ได้ สารเคลือบผิวที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไขมัน เช่น Acetylated Monoglycerides (AM) , waxes (ขี้ผึ้ง, พาราฟิน และรำข้าว)

2.9.2 สารเคลือบผิวในอุตสาหกรรม

2.9.2.1 ป้องกันการสูญเสียความชื้นที่บริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในระหว่างที่มีการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวของผักผลไม้สดที่จะมีผลทำให้น้ำหนักลดลงและเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเนื้อสัมผัส กลิ่น รสชาติ และลักษณะปรากฏ

2.9.2.2 ควบคุมการผ่านเข้าออกของก๊าซที่เกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างผัก ผลไม้สด และชั้นบรรยากาศรอบ ๆ เพื่อช่วยลดอัตราการหายใจและช่วยชะลอการเสื่อมเสีย ช่วยยับยั้ง enzymatic oxidation เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผักผลไม้สดและการเสื่อมเสียที่ทำให้เนื้อสัมผัสนิ่มและในระหว่างที่มีการเก็บรักษา

2.9.2.3 ลดการแลกเปลี่ยนสารประกอบที่ระเหยได้ระเหยได้ระหว่างผัก ผลไม้สดกับสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ป้องกันการสูญเสียสารธรรมชาติที่ระเหยได้ที่เป็นส่วนประกอบของกลิ่นและสีจากผลิตภัณฑ์

2.9.2.4 ป้องกันลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ถูกทำลายที่มีสาเหตุมาจากวิธีทางกล เช่น การกด ความดัน การสั่น และ อื่น ๆ

2.9.2.5 เป็นส่วนประกอบที่มีหน้าที่อื่น ๆ เช่น antimicrobial และ antioxidant agents ช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยายาออกซิเดชัน การเปลี่ยนแปลงของสีและช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านต่าง ๆ

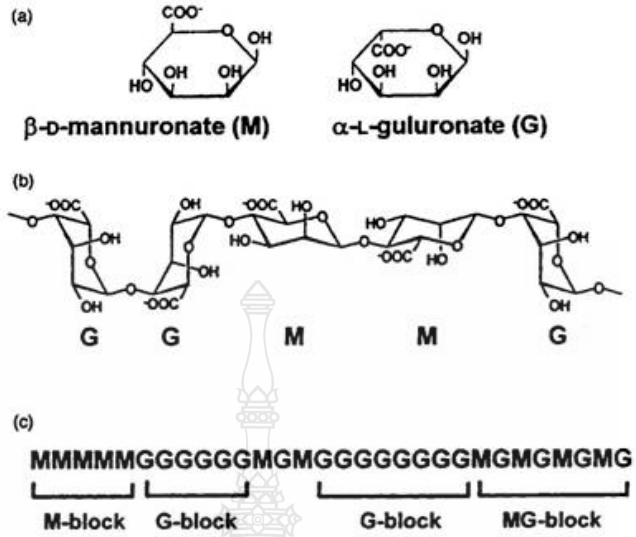
สารเคลือบผิวจึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตได้ จัดเป็นการเก็บรักษาผลผลิตแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศ เพราะการเคลือบผิวเป็นการจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซภายในผลผลิตทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหายใจมีมากและไปยับยั้งการทำงานของเอธิลีน การใช้สารเคลือบควรเลือกชนิดและระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมกับผลไม้แต่ละชนิด นอกจากนี้การใช้สารเคมีที่เคลือบควรเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ [46] งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดัดแปลงสภาพบรรยากาศที่เป็นที่ต้องการ คือ การใช้สารทดแทนสารเคมีเพื่อใช้ในการควบคุมโรคหรือสารธรรมชาติที่ให้ผลต่อการเก็บรักษาผลผลิตแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศ การใช้สารธรรมชาติ เช่น ไคโตแซน (Chitosan) แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride) อัลจิเนท (Alginate) คอลลาเจน (Collagen) คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส (Carboxy Mathyl Cellulose ,CMC) เป็นต้น

2.10 อัลจิเนท (Alginate)

อัลจิเนทหรืออัลจินเป็นสารเคลือบผิวที่มีโครงสร้างเป็นสารประกอบพวกโพลีแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (Phaeophyceae) ในการผลิตอัลจิเนทเป็นอุตสาหกรรมจะฟอร์มรูปเป็นฟิล์มได้ดี มีรูปแบบใสและละลายน้ำได้ น้ำมันและไขมันไม่สามารถซึมผ่านได้เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีส่วนที่ละลายน้ำมีการซึมผ่านของไอน้ำสูง เจลอัลจิเนทจะยึดเหนี่ยวบริเวณผิวหน้าผักและผลไม้ได้ดี ขัดขวางออกซิเจนได้ดี สามารถชะลอการเกิด Lipid oxidation ในผักและผลไม้ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักและจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ลงได้ในกระบวนการผลิต สารเคลือบผิวแคลเซียมอัลจิเนทจะช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของผักและผลไม้ เช่น ลดการเหี่ยว การเหม็นหืน เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ความชื้นลดลง การดูดซับน้ำมัน และการรักษากลิ่นรสที่ระเหยได้ ปรับปรุงลักษณะปรากฏและสี ลดการสูญเสียน้ำหนักเมื่อเปรียบเทียบกับผักและผลไม้ที่ไม่ได้เคลือบ [53] สาหร่ายทะเลที่ใช้ ได้แก่ Macrocystis pyrifera มีอัลจินประมาณร้อยละ 14-19 Laminaria cloustoni และ Laminaria digitata มีอัลจินประมาณร้อยละ 15-40 ปริมาณที่พบจะขึ้นกับชนิดของสาหร่าย ฤดูกาล และแหล่งที่สาหร่ายเจริญเติบโต

อัลจิเนทเป็น unbranched binary copolymer ของ 1,4- b-D-manuronic acid และ L-guluronic acid ในโมเลกุลประกอบด้วย homopolymeric regions ของ G และ M ที่เรียกว่า G และ M-blocks ตามลำดับ ยังมีบางส่วนของโมเลกุลเป็น MG-blocks สัดส่วนของ copolymer และโครงสร้างเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดสมบัติของอัลจิเนท เช่น ถ้าโพลีเมอร์มี G ในปริมาณที่สูงจะมี สมบัติเป็นเจลที่แข็งที่ความเข้มข้นของโลหะประจุบวกเฉพาะ (polyvalent metal cation) แต่ถ้าโพลิเมอร์มี M ปริมาณสูงจะมีแนวโน้มที่จะเกิดเจลที่อ่อนนุ่มและมีสภาวะในการเกิดเจลที่กว้างกว่า อัลจิเนทที่ผลิตจำหน่ายเป็นการค้ามีหลายอนุพันธ์จึงมีสมบัติการละลายในน้ำที่แตกต่างกัน เช่น อนุพันธ์ ของเกลือ Ca^{2+}, K^{+}, Na^{+}, NH^{4+} และยังผลิตในรูปของ propylene glycol alginate ได้จากปฏิกิริยาของ alginic acid กับ propylene oxide ภายใต้ความดันอนุพันธ์เหล่านี้จะละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ความหนืดของสารละลายอัลจิเนทที่ได้ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความเข้มข้น น้ำหนักโมเลกุลและการมีโลหะประจุบวก

อัลจิเนทไม่ทุกชนิดมีคุณสมบัติเป็นเจลและจะเกิดเจลได้เมื่อทำปฏิกิริยากับ Ca^{2+}โครงสร้างของเจลมีลักษณะคล้ายกล่องไข่ (egg box) โดยมี Ca^{2+} เกาะอยู่กับสายโพลิเมอร์ดังภาพที่ 2.9 คุณสมบัติที่ดีของอัลจิเนทคือทำให้เกิด Irreversible gel ในน้ำเย็นเมื่อมี Ca^{2+}รวมอยู่ด้วย ซึ่งคุณสมบัติในการเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำนี้ทำให้อัลจิเนทแตกต่างจากไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากสาหร่ายสีแดง



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างของอัลจิเนท (Alginate) ชนิดต่าง ๆ
ที่มา : Phillips and Williams [54]

สุภาวดีและเสาวนีย์ (2556) ศึกษาผลของการใช้สารโซเดียมอัลจิเนท สำหรับเคลือบผิวฟักทองก่อนการออสโมติกต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของฟักทองแช่อิ่ม โดยศึกษาความเข้มข้นของสารเคลือบผิว คือ โซเดียมอัลจิเนท (SA) ที่ร้อยละ 0,1 และ 2 ผลการวิจัยพบว่า ภายหลังการแช่สิ่งทดลองในสารละลายซูโครส 70 ° Brix ค่า a_w ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และปริมาณความชื้นของทุกสิ่งทดลองมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการแช่ในสารละลายออสโมติก ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าเนื้อสัมผัส (hardness) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของทุกสิ่งทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นหลังการแช่ในสารละลายออสโมติก โดยสิ่งทดลองที่เคลือบผิวด้วย SA มีปริมาณน้ำที่สูญเสียมากกว่าสิ่งทดลองที่ไม่ผ่านการเคลือบ ในขณะที่สิ่งทดลองที่เคลือบผิวด้วย SA ร้อยละ 1 มีปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นต่ำกว่าสิ่งทดลองที่เคลือบด้วย SA ร้อยละ 2 และสิ่งทดลองที่ไม่ได้เคลือบผิว (ตัวอย่างควบคุม) ฟักทองที่ไม่ผ่านการเคลือบ และฟักทองที่ผ่านการเคลือบด้วย SA มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเมื่อผ่านการแช่อิ่มจนถึงจุดสมดุลแล้วไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) แต่การเคลือบฟักทองด้วยสาร SA ที่ร้อยละ 1 ทำให้เกิดการแพร่ออกของน้ำจากภายในชิ้นฟักทองได้ดีกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ และการแพร่ของซูโครสในสารละลายออสโมติกเข้าสู่ชิ้นฟักทองได้ในปริมาณต่ำที่สุด จึงเหมาะสมสำหรับการผลิตฟักทองแช่อิ่ม [55]

วรรณทการณ์ และ ลดาวัลย์ (2559) อัลจิเนทและว่านหางจระเข้มีคุณสมบัติเป็นสารเคลือบผิวบริโภคได้ในกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ มีรายงานการใช้สารเคลือบผิวจากอัลจิเนทและว่านหางจระเข้สามารถยืดอายุหลังเก็บเกี่ยวของผลไม้ได้หลายชนิด จากปัญหาที่ผลมะนาวมีอายุหลังเก็บเกี่ยวสั้นโดยผลเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้สารเคลือบผิวจากสารละลายโซเดียมอัลจิเนทร่วมกับสารสกัดว่านหางจระเข้ต่อการเปลี่ยนแปลงสีและคุณภาพผลของ

มะนาวพันธุ์แป้นหลังเก็บเกี่ยวทำการทดลองโดยเคลือบผิวผลมะนาวด้วยสารผสมระหว่างสารละลายโซเดียมอัลจิเนทและ สารสกัดว่านหางจระเข้ในอัตราส่วน 90:10 และ 85:15 เปรียบเทียบกับผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิวเป็นชุดควบคุม หลังการเคลือบผิวและผึ่งจนแห้ง นำผลมะนาววางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24.3±0.5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 67.9±2.1 ผลการทดลองพบว่าการใช้สารเคลือบผิวอัลจิเนทร่วมกับว่านหางจระเข้อัตราส่วน 85 : 15 มีอายุการเก็บรักษาได้นาน 6 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับผลมะนาวในชุดควบคุมและที่เคลือบอัลจิเนทร่วมกับว่านหางจระเข้อัตราส่วน 90:10 มีอายุการเก็บรักษา 5 วัน การเคลือบผิวสามารถชะลอการลดลงของค่า hue angle และการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่าง (L*) แต่ผลมะนาวที่เคลือบผิวมีการเพิ่มขึ้นของค่าสีแดง (a*) และมากกว่าชุดควบคุม นอกจากนี้ผลมะนาวที่เคลือบผิวมีค่าสีเหลือง (b*) ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลมะนาวชุดควบคุมที่มีค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น การเคลือบผิวด้วยสารผสมอัลจิเนทและว่านหางจระเข้ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ (TSS) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) และอัตราส่วน TSS : TA [56]

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำกล้วยน้ำว้า พันธุ์มะลิอ่อง จากตลาดสี่มุมเมือง โดยเลือกนำกล้วยน้ำว้าที่มีการขนส่งกล้วยในลักษณะเป็นเครือผลสดไม่ผ่านการบ่มและไม่มีบาดแผลจากกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว นำมาตัดเป็นหวี คัดเลือกหวีที่มีผลขนาดค่อนข้างใหญ่ จำนวนหวีต่อเครือประมาณ 9-10 หวี หวีหนึ่งมีประมาณ 12-14 ผล ขนาดผลยาว 8-10 เซนติเมตร นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ณ ห้องปฏิบัติการ สาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

3.2 การแบ่งระยะการสุกของกล้วยน้ำว้า

นำกล้วยน้ำว้า พันธุ์มะลิอ่อง ที่คัดเลือกเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยคัดเลือกดัชนีบ่งชี้ระยะความสุกของกล้วยน้ำว้าเป็น 8 ระยะ แบ่งขั้นตอนตามดัชนีการเปลี่ยนสีเปลือก [20] ผันแปรระดับความสุกของกล้วยน้ำว้าโดยพิจารณาจากสีผิวของเปลือกเป็น 8 ระดับ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ระยะความสุกของกล้วยน้ำว้าจากลักษณะสีผิวของเปลือกกล้วยน้ำว้า

ระยะความสุก	ลักษณะสีเปลือก
1	เปลือกเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก
2	เปลือกเริ่มเปลี่ยนสีจากสีเขียวออกเหลืองเล็กน้อย
3	เปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลืองมากขึ้น แต่ยังมีสีเขียวมากกว่าเหลือง
4	เปลือกเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลือง และมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว
5	เปลือกเป็นสีเหลือง แต่ปลายผลยังเป็นสีเขียว
6	ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก)
7	ผิวสีเหลืองมีจุดกระสีน้ำตาล
8	ผิวสีเหลือง และเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนตัว และมีกลิ่นแรง)

3.2.1 วิเคราะห์ค่าสี

นำกล้วยน้ำว้าทั้ง 8 ระยะมาวัดค่าสี โดยวัดบริเวณผลกล้วยตรงกลางผลทั้ง 3 ด้าน (ตำแหน่งตามรูปภาคผนวก ก1) ทำการวัดสีโดยใช้หัววัดกดแนบให้สัมผัสกับผิวของเปลือกกล้วยให้มากที่สุด ด้วยเครื่องวัด Minolta Chroma meter CR- 10 รายงานผลเป็นค่า L* a* และ b* ดังนี้

ค่า L* คือ ค่าแสดงความเข้มสว่างของสี ซึ่งมีตั้งแต่ค่า 0 ถึง 100 ถ้าค่า L เท่ากับ 0 หมายถึง สีดำและค่า L เท่ากับ 100 หมายถึง ค่าความสว่าง

ค่า a* คือ ค่าแสดงระดับสีแดง-เขียว ในแกนนอน กรณีที่ค่า a มีค่าเป็นบวกแสดงลักษณะสีแดง ถ้ามีค่าเป็นลบแสดงลักษณะสีเขียว เมื่อห่างจากจุด 0 มาก แสดงถึงค่าสีแดงหรือสีเขียวมากขึ้น

ค่า b* คือ ค่าแสดงระดับสีเหลือง-น้ำเงิน ในแกนตั้ง กรณีที่ค่า b มีค่าเป็นบวกแสดงลักษณะสีเหลืองถ้ามีค่าเป็นลบแสดงลักษณะสีน้ำเงิน เมื่อห่างจากจุด 0 มาก แสดงถึงค่าสีเขียวหรือสีน้ำเงินมากขึ้น [57]

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ศึกษาดัชนีระยะความสุก ต่อคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณแทนนินของผงเปลือกกล้วย

นำกล้วยน้ำว้าทั้ง 8 ระยะ มาปอกเปลือก ล้างทำความสะอาดและหั่นแต่ละส่วนเป็นชิ้นเล็ก ๆ ผึ่งให้แห้ง จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ประมาณ 6 ชั่วโมง [58] นำตัวอย่างแห้งไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 212 ไมครอน เก็บตัวอย่างแต่ละส่วนใส่ถุงซิป เก็บไว้ในโถดูดความชื้น โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) โดยมี 8 สิ่งทดลอง ตามข้อ 3.2 แต่ละสิ่งทดลองใช้ 4 ผล ต่อ 3 ซ้ำ บันทึกข้อมูลการวิเคราะห์ดังนี้

3.3.1.1 วิเคราะห์ค่าสี

นำผงเปลือกกล้วยน้ำว้าทั้ง 8 ระยะ มาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Color Flex EZ รายงานผลเป็นค่า L* a* และ b*

3.3.1.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยน้ำว้า

นำผงเปลือกกล้วยน้ำว้าทั้ง 8 ระยะ นำไปชั่ง และวิเคราะห์องค์ประกอบ ปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน เส้นใย โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต [59] (ภาคผนวก ข1)

3.3.1.3 วิเคราะห์ปริมาณแทนนิน ดัดแปลงจากวิธีของ Hou et al., 2003 [60] และ Ye et al.,1999 [61]

นำตัวอย่างผงเปลือกกล้วยสกัดด้วยตัวทำละลาย ได้แก่ น้ำกลั่น ในอัตราส่วนน้ำหนักตัวอย่างต่อตัวทำละลาย 1:30 (w/v) เขย่าสารตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินทั้งหมด โดยนำสารสกัดเปลือกกล้วยปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติม Folin-Ciocalteu reagent ร้อยละ 10 ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ร้อยละ 7.5 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและทิ้งไว้ในที่มืด 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร คำนวณปริมาณของสารประกอบแทนนินของสารสกัดเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแทนนิก โดยมีหน่วยเป็น mg tannic acid/g (ภาคผนวก ข 2)

3.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแทนนินของผงเปลือกกล้วยน้ำว้า

3.3.2.1 ผลของตัวทำละลายต่อปริมาณแทนนินของผงเปลือกกล้วย

นำตัวอย่างผงเปลือกกล้วยเปรียบเทียบปริมาณสารแทนนินที่พบมากที่สุด (จาก ข้อ 3.3.1.3) นำมาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแทนนิน โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักตัวอย่างต่อตัวทำละลาย 1: 30 (w/v) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส [62] วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in Completely Randomized Design (Factorial in CRD)) มี 9 กรรมวิธี แต่ละกรรมวิธีทำ 3 ซ้ำ บันทึกข้อมูลการวิเคราะห์ โดยศึกษา 2 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ชนิดของสารละลายที่ใช้สกัด ได้แก่ น้ำกลั่น, อะซิโตน, น้ำกลั่น:อะซิโตน (1:1)

ปัจจัยที่ 2 เวลาในการสกัด ได้แก่ 2, 4 และ 6 ชั่วโมง

กรรมวิธีที่ 1 สกัดด้วยน้ำกลั่น ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

กรรมวิธีที่ 2 สกัดด้วยน้ำกลั่น ระยะเวลา 4 ชั่วโมง

กรรมวิธีที่ 3 สกัดด้วยน้ำกลั่น ระยะเวลา 6 ชั่วโมง

กรรมวิธีที่ 4 สกัดด้วยอะซิโตน ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

กรรมวิธีที่ 5 สกัดด้วยอะซิโตน ระยะเวลา 4 ชั่วโมง

กรรมวิธีที่ 6 สกัดด้วยอะซิโตน ระยะเวลา 6 ชั่วโมง

กรรมวิธีที่ 7 สกัดด้วยน้ำกลั่น : อะซิโตน (1:1) ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

กรรมวิธีที่ 8 สกัดด้วยน้ำกลั่น : อะซิโตน (1:1) ระยะเวลา 4 ชั่วโมง

กรรมวิธีที่ 9 สกัดด้วยน้ำกลั่น : อะซิโตน (1:1) ระยะเวลา 6 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.2 สภาวะการสกัดแทนนินของผงเปลือกกล้วยน้ำว้า

ชนิดของตัวทำละลาย	เวลาในการสกัด (ชั่วโมง)
น้ำกลั่น	2
	4
	6
อะซิโตน	2
	4
	6
น้ำกลั่น : อะซิโตน (1:1)	2
	4
	6

3.3.3 ศึกษาผลของสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยน้ำว้าร่วมกับสารเคลือบผิวอัลจิเนทต่อคุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของผลมะนาว

คัดเลือกมะนาวพันธุ์แป้นที่มีขนาดผลและสีเปลือกใกล้เคียงกันสม่ำเสมอทั้งผล โดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้น 100 ppm นาน 15 นาที ผึ่งให้แห้ง จากนั้นนำไปเคลือบผิวผลด้วยสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยน้ำว้าร่วมกับสารเคลือบผิวอัลจิเนท

การเตรียมสารละลายอัลจิเนท ดัดแปลงจากวิธีของ Ruben et al. ,2013 [63] โดยเตรียมสารละลายอัลจิเนทร้อยละ 1 ละลายในน้ำกลั่นให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสารละลายใส จากนั้นทำให้สารละลายเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง [64][65] เติมกลีเซอรอลร้อยละ 15 และพอลีออกซี-ลีนซอร์บิแทนโมโนเรเอด (Tween 80) ของปริมาตรสารละลายอัลจิเนทผสมสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยความเข้มข้นร้อยละ 1 ในอัตราส่วนอัลจิเนท: สารสกัดหยาบ (ร้อยละ) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) มี 12 กรรมวิธี แต่ละกรรมวิธีทำ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ผล ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ไม่เคลือบผิว (ชุดควบคุม)
กรรมวิธีที่ 2 อัลจิเนท: สารสกัดหยาบ เท่ากับ 0 : 100
กรรมวิธีที่ 3 อัลจิเนท: สารสกัดหยาบ เท่ากับ 10 : 90
กรรมวิธีที่ 4 อัลจิเนท: สารสกัดหยาบ เท่ากับ 20 : 80
กรรมวิธีที่ 5 อัลจิเนท: สารสกัดหยาบ เท่ากับ 30 : 70
กรรมวิธีที่ 6 อัลจิเนท: สารสกัดหยาบ เท่ากับ 40 : 60
กรรมวิธีที่ 7 อัลจิเนท: สารสกัดหยาบ เท่ากับ 50 : 50
กรรมวิธีที่ 8 อัลจิเนท: สารสกัดหยาบ เท่ากับ 60 : 40
กรรมวิธีที่ 9 อัลจิเนท: สารสกัดหยาบ เท่ากับ 70 : 30
กรรมวิธีที่ 10 อัลจิเนท: สารสกัดหยาบ เท่ากับ 80 : 20
กรรมวิธีที่ 11 อัลจิเนท: สารสกัดหยาบ เท่ากับ 90 : 10
กรรมวิธีที่ 12 อัลจิเนท: สารสกัดหยาบ เท่ากับ 100 : 0

นำผลมะนาวทั้งผลจุ่มลงในสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยนาน 1 นาทีแล้วผึ่งให้แห้ง นำผลมะนาวแต่ละวิธีการใส่ตระกร้าพลาสติกขนาด 11×12 นิ้ว สูง 4 นิ้วมีรูรอบด้าน คลุมด้วยถุงพลาสติกชนิดพีพีที่เจาะรูด้านบนจำนวน 6 รู ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมี ในทุก ๆ 3 วัน เป็นเวลา 30 วัน

3.3.3.1 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1) วัดค่าสี ด้วยเครื่องวัด Minolta Chroma meter CR- 10 ระบบการวัดสี CIE LCh

ระบบนี้ค่า L จะหมายถึงความสว่าง โดย C* หมายถึง ค่าโครมา (Chroma) เป็นค่าที่บอกความอิ่มตัวของสี ค่า C* จะมีค่าเป็น 0 ที่จุดศูนย์กลางและมีสีอิ่มตัวมากขึ้น เมื่อออกห่างจากศูนย์กลางมากขึ้น ˚h หมายถึง มุมสีของฮิว (Hue angle) จะเริ่มนับค่าบนแกนด้าน +a* จะเป็นสีแดง

เมื่อเป็นมุม 90 องศา จะเป็นแกน +b* สีเหลือง ที่มุม 180 องศา จะเป็นแกน -a* สีเขียว และเมื่อเป็นมุม 270 องศา จะเป็น -b* สีน้ำเงิน

2) ปริมาณน้ำคั้น (%)

นำผลมะนาวมาทำการชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปคั้นน้ำและชั่งน้ำหนักน้ำคั้นหลังการเก็บรักษาทุก ๆ 3 วัน คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำคั้น (%) ดังนี้

$$\text{ปริมาณน้ำคั้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำคั้น}}{\text{น้ำหนักผลสด}} \times 100$$

3) การสูญเสียน้ำหนัก (%)

นำผลมะนาวมาทำการชั่งน้ำหนักในวันเริ่มต้น และชั่งน้ำหนักผลมะนาวหลังการเก็บรักษาทุก ๆ 3 วัน คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก(%) ดังนี้

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น - น้ำหนักหลังการเก็บรักษา}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

4) อายุการเก็บรักษา

ประเมินจากการเปลี่ยนแปลงของดัชนีสีเปลือก โดยประเมินสีเปลือกโดยการให้คะแนนดังนี้

5 = สีเขียวทั้งผล (ผลไม่มีสีเหลือง)

4 = สีเขียวปนเหลือง (ผลมีสีเหลืองประมาณร้อยละ 10-20 ของพื้นที่ผิว)

3 = สีเขียวออกเหลือง (ผลมีสีเหลืองประมาณร้อยละ 30-50 ของพื้นที่ผิว)

2 = สีเหลืองออกเขียว (ผลมีสีเหลืองประมาณร้อยละ 60-70 ของพื้นที่ผิว)

1 = สีเหลืองทั้งผล (เน่า) (ผลมีสีเหลืองประมาณร้อยละ 80-100 ของพื้นที่ผิว)

ภาพที่ 3.1 แสดงการประเมินคะแนนสีผิวของผลมะนาว

5) การเกิดโรค (%)

ประเมินให้คะแนนการเกิดโรคบนผลมะนาวในแต่ละผลตามคู่มือการประเมินระดับคะแนน ตามวิธีของ James, 1971 [66] ดังนี้

0 = ไม่พบเกิดโรค

1 = พบแผลจุดของโรคร้อยละ 1-5 ของพื้นที่รอบผล

2 = พบแผลจุดของโรคร้อยละ 6-10 ของพื้นที่รอบผล

3 = พบแผลจุดของโรคร้อยละ 11-25 ของพื้นที่รอบผล

4 = พบแผลจุดของโรคร้อยละ 26-50 ของพื้นที่รอบผล

5 = พบแผลจุดของโรคร้อยละ 51-75 ของพื้นที่รอบผล

6 = พบแผลจุดของโรคร้อยละ 76-100 ของพื้นที่รอบผล

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของการเกิดโรค ตามวิธีของ Horsfall และ Heuberger , 1942 [67] ดังนี้

$$\text{ความรุนแรงการเกิดโรค (\%)} = \frac{\text{ผลรวม (ระดับ} \times \text{จำนวนผลของแต่ละระดับ)}}{\text{จำนวนผลทั้งหมด} \times \text{ระดับสูงสุด}} \times 100$$

6) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count)

นำตัวอย่างมาเจือจาง เป็นลำดับ ด้วยวิธี serail Dilution การทำ serial dilution คือ เจือจางตัวอย่าง เชื้อเริ่มต้นโดยทั่วไปทำเป็นลำดับๆ ละ 10 เท่า ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างแต่ละ Dilution ปริมาตร1 มิลลิลิตรใส่ในจานเพาะเชื้อเทอาหารวุ้น (nutrient agar) ลงในจาน ด้วยวิธีการผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้วุ้นแข็ง จากนั้นคว่ำจานลงและบ่ม (incubate) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาให้นับโคโลนี (colony) นำมาหาค่าเฉลี่ย ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น Colony Forming Unit (CFU/g) [59] (ภาคผนวก ก2)

3.3.3.2 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ (Total Soluble Solid; TSS)

ทำการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำคั้นจากผลมะนาว ด้วยเครื่อง digital refractometer ค่าที่อ่าน TSS มีหน่วยเป็น °Brix

2) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable Acidity; TA)

ทำการคั้นน้ำจากผลมะนาว หลังจากนั้นนำน้ำคั้นที่ได้มา 5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร ไตเตรทกับสารละลาย 0.1 นอร์มอล NaOH โดยใช้สารละลาย phenolphthalein ร้อยละ1 1-2 หยด เป็น indicator จนถึงจุดยุติ (end point) คือ เมื่อสารละลายมีสีชมพูอย่างน้อย 30 วินาที คำนวณปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ดังนี้

$$\text{\% Titratable acidity} = \frac{\text{(ml NaOH) (N NaOH) (meq.wt.citric)}}{\text{ml of sample}} \times 100$$

กำหนดให้ meq .wt. Citric acid = 0.064

N NaOH = 0.1

ml NaOH = ปริมาตรสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)

ml of sample = ปริมาตรน้ำคั้นของผลไม้ที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)

3) อัตราส่วน TSS: TA

4) ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

นำผลมะนาวหั่นละเอียด ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม บดให้ละเอียดด้วยโกร่งบด สกัดด้วยอะซิโตน 25 มิลลิลิตร เขย่าและกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 2 จากนั้นนำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 440 645 และ 663 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer

คำนวณหาค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ (คลอโรฟิลล์รวม,คลอโรฟิลล์เอ,คลอโรฟิลล์บี) ตามวิธีของ Hiscox และ Israelstam , 1979 [68] จากสูตร

Chlorophyll a = [12.7(A663) - 2.69(A645)] × V × 100 / (1000 × W)

Chlorophyll b = [2.29(A645) - 4.68(A663)] × V × 100 / (100 × W)

Total Chlorophyll = 20.2(A645) + 8.02(A663)

โดยมีหน่วยเป็น mg/100 g Fresh Weight

และจากนั้นบันทึกค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดตามสูตรดังนี้ ตามวิธีของ Palladi Kundu, Anitha K และ Ramani N , 2016 [69]

Total Carotenoid = [1000(A470) + 3.2 {(Chlorophyll a) - (Chlorophyll b)} × V / (W×229)

A = ค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (Abs)

V = ปริมาตรอะซิโตน (ml)

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (g)

โดยมีหน่วยเป็น mg/100 g Fresh Weight

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ตามแผนการทดลอง และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.5 สถานที่ทำการวิจัย

ทำการวิจัย ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีอาหาร สาขาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตรังสิต

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 การแบ่งระยะการสุกของกล้วยน้ำว้า

4.1.1 การแบ่งดัชนีระยะความสุกของกล้วยน้ำว้า

จากการนำกล้วยน้ำว้า พันธุ์มะลิอ่อง โดยคัดเลือกดัชนีระยะความสุกของกล้วยน้ำว้าเป็น 8 ระยะ แบ่งตามขั้นตอนตามดัชนีการเปลี่ยนสีเปลือกของ Mendoza และ Aguilera [20] ผันแปรระดับความสุกของกล้วยน้ำว้าโดยพิจารณาจากสีผิวของเปลือกเป็น 8 ระดับ ดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

สีเปลือกผลเปลี่ยนแปลงตามระยะการสุกของผลกล้วยน้ำว้า โดยระยะที่ 1 (a) มีสีเขียวเข้ม เปลือกผลกล้วยมีสีเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก ระยะที่ 2 (b) สีเขียวสว่าง เปลือกผลกล้วยจะเริ่มเปลี่ยนสีจากสีเขียวออกเหลืองเล็กน้อย ระยะที่ 3 (c) มีสีเขียวปนเหลืองเล็กน้อย เปลือกผลกล้วยเปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลืองมากขึ้น แต่ยังมีสีเขียวมากกว่าเหลือง ระยะที่ 4 (d) มีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง เปลือกผลกล้วยเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว ระยะที่ 5 (e) มีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว เปลือกผลกล้วยเป็นสีเหลือง แต่ปลายผลยังเป็นสีเขียว ในขณะที่ ระยะที่ 6 (f) เปลือกผลกล้วยมีสีเหลืองเป็นลักษณะการสุกเต็มที่ ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก) ระยะที่ 7 (g) เปลือกผลกล้วยมีสีเหลือง มีจุดกระสีน้ำตาลเกิดขึ้นบนผิวเปลือกเป็นลักษณะการสุกที่เพิ่มมากขึ้น และระยะที่ 8 (h) เปลือกผลกล้วยมีสีเหลืองและเริ่มมีมีจุดดำที่ผิวมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนตัว และมีกลิ่นแรง) (ตารางที่4.1 และภาพที่4.1) จุดดำที่เกิดขึ้นเป็นความผิดปกติของสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นในช่วงหลังการสุกของผลกล้วยโดยมีจุดดำเพิ่มมากขึ้นในระหว่างกระบวนการสุก [70] กล้วยเป็นผลไม้ climacteric โดดเด่นด้วยการผลิตเอทิลีนควบคุมการทำให้สุก (รวมถึงการหายใจการทำให้เยื่ออ่อนลงการผลิตเปลือกสีเหลืองและการผลิตสารประกอบของกลิ่นหอม) [71]

4.1.2 การวิเคราะห์ค่าสี

จากช่วงเริ่มต้นของระยะการสุกจนระยะเวลาการเสื่อมสภาพของกล้วย แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) พบว่าการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกระหว่างการสุกที่แตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของเปลือกผลกล้วยมีค่าเพิ่มขึ้น ระยะที่ 1 มีค่าเท่ากับ 47.56 เพิ่มขึ้นจนถึงระยะการสุกที่ 7 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 67.22 และลดลงที่ระยะการสุกที่ 8 เท่ากับ 64.11 (ตารางที่4.2) ค่า L* ของเปลือกผลกล้วยเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับระยะการสุกของกล้วยที่เพิ่มขึ้นการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลมีลักษณะคล้ายกับในกล้วยพันธุ์อื่น เช่น Musa cavendish [72], Musa acuminate [73] และMusa sapientum L. ค่า a* ของเปลือกผลกล้วยมีค่าเพิ่มขึ้นในระยะที่ 1 มีค่าเท่ากับ-50.54 ระยะการสุกที่ 6 เท่ากับ 2.7 และระยะการสุกที่ 8 เท่ากับ 10.14 แสดงให้เห็นถึงค่า a* ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับค่า L*และค่า b* ที่เพิ่มขึ้น โดยเปลือกผลจะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองเมื่อผลสุกเพิ่มขึ้นตามลำดับ ค่า b* ของเปลือกผลเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดจากระยะสุกที่ 1 จนถึงระยะสุกที่ 8 (ตารางที่ 4.2) การเพิ่มขึ้นของค่าของ b * และ L * ที่ระยะสุกที่เพิ่มขึ้นสามารถตีความได้ว่าเป็นการสะสมจุดสีน้ำตาลในเปลือกของผลไม้สุก ทั้งค่า L * และ b * ในระยะการสุกที่ 5 และ 6 ใกล้เคียงกันเนื่องจากความแตกต่างของทั้ง 2 ระยะไม่มี

ความแตกต่างกันมากนักหากประเมินด้วยภาพ ในระหว่างการสุกของผลกล้วยมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลอย่างชัดเจน กล้วยแก่ส่วนของเปลือกผลมีสีเขียวและจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อกล้วยสุกมากขึ้น โดยเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหลังจากช่วง Climacteric peak การเปลี่ยนแปลงของการเปลี่ยนสีของเปลือกอาจเกิดจากการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการสุก [74]

ตารางที่ 4.1 แสดงระยะความสุกของกล้วยน้ำว้าจากลักษณะสีผิวของเปลือกกล้วยน้ำว้า

Stage of Ripeness	Peel color
1	เปลือกเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก
2	เปลือกเริ่มเปลี่ยนสีจากสีเขียวออกเหลืองเล็กน้อย
3	เปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลืองมากขึ้น แต่ยังมีสีเขียวมากกว่าเหลือง
4	เปลือกเริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลือง และมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว
5	เปลือกเป็นสีเหลือง แต่ปลายผลยังเป็นสีเขียว
6	ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก)
7	ผิวสีเหลืองมีจุดกระสีน้ำตาล
8	ผิวสีเหลือง และเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนตัว และมีกลิ่นแรง)

ภาพที่ 4.1 การแบ่งระยะสุกตามการเปลี่ยนสีเปลือก โดยระยะที่ 1 (สีเขียวเข้ม; a) ระยะที่ 2 (สีเขียวสว่าง; b) ระยะที่ 3 (สีเขียวปนเหลืองเล็กน้อย; c) ระยะที่ 4 (สีเขียวมากกว่าสีเหลือง; d) ระยะที่ 5 (สีเหลืองมากกว่าสีเขียว; e) ระยะที่ 6 (สีเหลือง; f) ระยะที่ 7 (สีเหลืองมีจุดที่ผิวเล็กน้อย; g) และระยะที่ 8 (สีเหลืองและมีจุดดำที่ผิว; h)

ตารางที่ 4.2 ค่าสีของเปลือกกล้วยที่มีระยะสุกแตกต่างกัน

Stage of Ripeness	Parameter of color value		
	L *	a *	b *
1	47.56^{d}	-50.54^{a}	16.66^{f}
2	52.43^{c}	-24.37^{b}	48.05^{d}
3	53.44^{c}	-13.92^{c}	42.97^{e}
4	61.59^{b}	-8.01^{de}	59.51^{b}
5	66.58^{a}	-3.90^{ef}	55.01^{c}
6	66.58^{a}	2.78^{f}	58.45^{bc}
7	67.22^{a}	4.98^{ef}	67.61^{a}
8	64.11^{ab}	10.14^{cd}	67.07^{a}

หมายเหตุ $^{a-f}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

4.2 ศึกษาดัชนีระยะความสุก ต่อคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณแทนนินของผงเปลือกกล้วยน้ำว้า

จากการนำเปลือกกล้วยน้ำว้าทั้ง 8 ระยะ ผ่านกระบวนการอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ประมาณ 6 ชั่วโมง จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาด 212 ไมครอน และตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณแทนนินของผงเปลือกกล้วยได้ผล ดังนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ค่าสี

ค่าสีของผงเปลือกกล้วยที่มีระยะการสุกที่แตกต่างกัน ค่าแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าระยะการสุกที่ 1 มีค่าความสว่าง (L*) สูงที่สุด เท่ากับ 41.96 ค่า a* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยระยะการสุกที่ 8 มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 8.75 และค่า b* แสดงถึงแนวโน้มของค่าสีที่ลดลง โดยค่าความสว่าง (L*) สูงสุดของผงเปลือกกล้วยระยะที่ 1 มีค่าเท่ากับ 41.96 และลดลงจนถึงระยะการสุกที่ 8 มีค่าเท่ากับ 23.43 ค่าความสว่าง (L*) และค่า b* ของผงเปลือกกล้วยลดลงสัมพันธ์กับระยะการสุกของกล้วย ที่เพิ่มขึ้น ค่า b* ของผงเปลือกเพิ่มขึ้นจนถึงระยะการสุกที่ 5 และลดลงจากระยะสุกที่ 6 จนถึง ระยะสุกที่ 8 ในขณะที่ค่า a* ของผงเปลือกกล้วยในระยะที่ 1 มีค่าเท่ากับ 2.75 ระยะการสุกที่ 6 เท่ากับ 7.63 และระยะการสุกที่ 8 เท่ากับ 8.75 แสดงให้เห็นถึงค่า a* ที่เพิ่มขึ้น โดยเปลือกผลจะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองเมื่อผลสุกเพิ่มขึ้นตามลำดับ ในระหว่างการสุกของผลกล้วยมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลอย่างชัดเจนเป็นการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่สำคัญในระหว่างกระบวนการสุกของผลกล้วยดิบเปลือกจะมีสีเขียวและเมื่อเข้าสู่กระบวนการสุกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง คลอโรฟิลล์จะสลายตัวจนหมดทำให้สีเหลืองจากแคโรทีนอยด์เด่นชัดขึ้น [73]

4.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงเปลือกกล้วยน้ำว้า พบว่าปริมาณเถ้า ไขมัน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต อยู่ในช่วงร้อยละ 11.40-13.77 ร้อยละ 7.37-10.53 ร้อยละ 35.39-42.37 และร้อยละ23.88-33.21 ตามลำดับ ในระยะการสุกที่ 8 พบปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำในอาหาร และปริมาณโปรตีนของผงเปลือกผลกล้วยสูงกว่าผงเปลือกผลกล้วยทุกระยะโดยมีค่าเท่ากับ ร้อยละ7.59 ร้อยละ0.59 และร้อย 8.25 ตามลำดับ ระยะการสุกของกล้วยมีผลต่อปริมาณความชื้นเมื่อระยะสุกเพิ่มขึ้น งานวิจัยบุญล้อม [75]ได้รายงานถึงองค์ประกอบทางเคมีของผงเปลือกกล้วยที่มีระยะการสุกที่แตกต่างกัน โดยเปลือกกล้วยดิบมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณเถ้า ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ ร้อยละ13.4 ร้อยละ14.7 ร้อยละ 6.4 และร้อยละ 47.2 ตามลำดับ ส่วนเปลือกกล้วยสุกมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณเถ้า ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ ร้อยละ 13.40 ร้อยละ 11.60 ร้อยละ7.90 และร้อยละ 59.40 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของเพ็ญจันทร์ [76] พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของกล้วยผลดิบ(แก่)และสุกแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางชีวเคมีและการผลิตเอทิลีน [77] ในระหว่างกระบวนการสุกโปรตีนสังเคราะห์มีส่วนร่วมในกระบวนระหว่างการผลิตเอทิลีน ปริมาณโปรตีนสูงขึ้นในระยะที่ 4 และลดลง โปรตีนมีส่วนร่วมในกระบวนการเผาผลาญอาหารหลายอย่างในระหว่างการสุกและการเสื่อมของผลไม้

ตารางที่ 4.3 ค่าสีของผงเปลือกกล้วยที่มีระยะความสุกแตกต่างกัน

Stage of Ripeness	Parameter of color value		
	L^*	a^*	b^*
1	41.96±0.64^{a}	2.75±0.12^{d}	29.02±0.60^{ab}
2	42.59±0.11^{a}	2.87±0.28^{d}	32.14±0.36^{a}
3	42.31±0.19^{a}	5.15±0.46^{c}	30.29±1.18^{ab}
4	41.28±0.19^{b}	5.23±0.09^{c}	29.56±1.20^{ab}
5	32.20±0.17^{c}	7.16±0.64^{b}	29.40±3.51^{ab}
6	30.30±0.34^{d}	7.63±0.45^{b}	28.64±0.65^{b}
7	27.50±0.38^{e}	8.50±0.42^{a}	24.81±2.58^{c}
8	23.43±0.55^{f}	8.75±0.74^{a}	22.02±0.49^{c}

หมายเหตุ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$^{a-f}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของผงเปลือกกล้วยที่มีระยะความสุกแตกต่างกัน

Stage of Ripeness	Proximate analysis						
	Moisture (%)	Ash (%)	Crude Protein (%)	Fat (%)	Fiber (%)	Carbohydrate (%)	Water activity (a_w)
1	5.55±0.13^{c}	12.90±0.05^{d}	5.70±0.03^{f}	8.65±0.35^{abc}	35.41±4.31^{b}	31.78±4.71^{ab}	0.35±0.02^{cd}
2	4.78±0.10^{e}	12.21±0.05^{f}	5.96±0.05^{ef}	8.51±0.30^{abc}	35.33±1.85^{b}	33.21±1.71^{a}	0.36±0.03^{c}
3	6.50±0.16^{b}	12.22±0.10^{f}	6.40±0.14^{c}	9.52±0.91^{abc}	36.09±1.0^{b}	29.27±1.87^{abc}	0.32±0.01^{b}
4	5.10±0.18^{d}	13.06±0.07^{c}	7.51±0.11^{b}	8.10±1.00^{bc}	42.37±1.13^{a}	23.88±2.04^{d}	0.37±0.03^{c}
5	6.40±0.14^{b}	13.23±0.10^{b}	6.10±0.07^{de}	9.87±2.44^{ab}	35.61±1.55^{b}	28.79±2.49^{abcd}	0.36±0.01^{c}
6	5.63±0.11^{c}	13.77±0.07^{a}	6.10±0.25^{de}	10.53±1.22^{a}	38.73±1.13^{ab}	25.23±1.93^{cd}	0.32±0^{d}
7	7.37±0.24^{a}	12.74±0.07^{e}	6.31±0.22^{cd}	7.37±0.56^{c}	38.56±1.13^{ab}	27.43±1.71^{bcd}	0.56±0^{a}
8	7.59±0.05^{a}	11.40±0.14^{g}	8.25±0.10^{a}	7.61±1.16^{c}	35.39±5.33^{b}	29.98±4.94^{abc}	0.59±0^{a}

หมายเหตุ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$^{a-f}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

4.2.3. การวิเคราะห์ปริมาณสารสกัดแทนนิน

การศึกษาระยะการสุกต่อปริมาณสารสกัดแทนนิน โดยการสกัดจากผงเปลือกกล้วยในระยะการสุกที่แตกต่างกัน เปลือกกล้วยเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิก โดยมีปริมาณสารแทนนิน มีค่าระหว่าง 41.38-72.70 mg tannic acid/g โดยสารสกัดจากผงเปลือกกล้วยมีปริมาณแทนนินเพิ่มขึ้นสูงในระยะการสุกที่ 4 และ 5 หลังจากนั้นปริมาณสารแทนนินจะลดลง ดังนั้นจึงทำการคัดเลือกเปลือกกล้วยระยะที่ 4 ใช้ในการวิจัยในขั้นตอนต่อไป ปริมาณสารแทนนินสูงเมื่อผลดิบ(แก่)และปริมาณลดลงเมื่อผลสุกมากขึ้น ปริมาณฟีนอลทั้งหมดลดลงเมื่อกระบวนการสุกเพิ่มขึ้น เปลือกที่สุกแล้วมีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 52 ในขณะที่เปลือกกล้วยสุกมีปริมาณฟีนอลิกน้อยกว่าในเปลือกกล้วยที่มีสีเขียวร้อยละ 15-45 [78][79] เช่นเดียวกับปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของเปลือกกล้วยลดลงตามการเปลี่ยนแปลงของผลไม้จากสีเขียว เริ่มสุกและเกินสุก [80][79] ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากแทนนินรวมตัวกับโปรตีนหรือคาร์โบไฮเดรทหรือโดยการรวมตัวของแทนนินเองการเกิดปฏิกิริยา Enzymatic browning ที่ส่งผลทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น ในระหว่างการสุกของกล้วยเกิดปฏิกิริยาPolymerization ของแทนนิน ทำให้ความฝาดของกล้วยลดลง [14] สายพันธุ์และสภาพแวดล้อมเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณสารสกัดแทนนินหรือสารประกอบฟีนอลลิกจากเปลือกกล้วย [81]

ตารางที่ 4.5 ปริมาณสารสกัดแทนนินของเปลือกกล้วยน้ำว้าผงในระยะการสุกที่แตกต่างกัน

Stage of Ripeness	Tannin content (mg tannic acid/g)
1	57.94±2.93^{c}
2	53.72±1.06^{cd}
3	52.37±0.99^{d}
4	72.70±1.89^{a}
5	64.64±6.45^{b}
6	58.57±2.01^{c}
7	43.17±3.46^{e}
8	41.38±4.25^{e}

หมายเหตุ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$^{a-e}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

4.3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแทนนินของผงเปลือกกล้วยน้ำว้า

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด โดยนำตัวอย่างผงเปลือกกล้วยแต่ละระยะการสุกเปรียบเทียบปริมาณสารสกัดแทนนินที่พบมากที่สุด จากนั้นนำมาสกัดสารแทนนินโดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักตัวอย่างต่อตัวทำละลาย 1: 30 (w/v) [62] ด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น อะซิโตน และน้ำกลั่นต่ออะซิโตน (1:1) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Set 1) 4 ชั่วโมง (Set 2) และ6 ชั่วโมง (Set 3) ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสกัดแทนนิน โดยนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร คำนวณปริมาณของสารสกัดแทนนินเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแทนนิก

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแทนนินของผงเปลือกกล้วยน้ำว้า ปริมาณของสารสกัดแทนนินในสารสกัดจากผงเปลือกกล้วยที่สกัดด้วย น้ำกลั่นต่ออะซิโตน (1:1) ทั้ง 3 Set มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือสารสกัดที่สกัดด้วยน้ำกลั่นมีปริมาณของสารประกอบแทนนิน มีค่าอยู่ในช่วง 63.48-78.88 mg tannic acid/g นอกจากนี้พบว่าปริมาณสารสกัดแทนนินของผงเปลือกกล้วยที่สกัดด้วยอะซิโตนทั้ง 3 set มีปริมาณค่อนข้างต่ำ การสกัดสารที่เป็นเป็นสารประกอบฟีนอลิกโดยทั่วไปส่วนผสมของน้ำกลั่นต่ออะซิโตน (1:1) ได้รับการพิสูจน์ว่าดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวทำละลายอินทรีย์บริสุทธิ์อื่น ๆ (เมทานอลและเอทานอล) [82] จากการศึกษาของ Alothman et al. [83] และ Sulaiman et al. [84] แสดงให้เห็นว่าปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกจากเปลือกกล้วยจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลายและวิธีการที่ใช้ในการสกัด นอกจากนั้นมีรายงานว่า สายพันธุ์และระยะการสุกของกล้วยเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจากเปลือกกล้วย [81] ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารสกัดแทนนินของผงเปลือกกล้วยน้ำว้า

Treatment		Tannin content (mg tannic acid/g)		
Time (hour)	**Solutions**	**Water**	**Acetone**	**Water: Acetone (1:1)**
2		78.88±2.60	52.68±3.46	182.47±6.97
4		63.15±1.70	59.30±2.33	189.19±6.18
6		63.48±0.37	68.67±7.85	184.45±8.06
F-test		NS	NS	NS
		2 hr.	**4 hr.**	**6 hr.**
	Water	78.88±2.60^{b}	63.15±1.70^{b}	63.48±0.37^{c}
	Acetone	52.68±3.46^{c}	59.30±2.33^{c}	68.67±7.85^{b}
	Water: Acetone (1:1)	182.47±6.97^{a}	189.19±6.18^{a}	184.45±8.06^{a}
F-test		*	*	*
		Water	**Acetone**	**Water: Acetone (1:1)**
2		78.88±2.60^{a}	52.68±3.46^{b}	182.47±6.97
4		63.15±1.70^{b}	59.30±2.33^{b}	189.19±6.18
6		63.48±0.37^{b}	68.67±7.85^{a}	184.45±8.06
F-test		*	*	NS
CV (%)		35.50	41.08	35.40

หมายเหตุ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$^{a-c}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

NS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

4.4 ศึกษาผลของสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยน้ำว้าร่วมกับสารเคลือบผิวอัลจิเนทต่อคุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของผลมะนาว

ผลการเก็บรักษาผลมะนาวพันธุ์แป้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีในทุก ๆ 3 วัน เป็นเวลา 30 วัน ดังนี้

4.4.1 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

4.4.1.1 วิเคราะห์ค่าสีความสว่าง (L*)

การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่เก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน ที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยในวันแรกถึงวันที่ 30 ของการเก็บรักษานั้น ชุดควบคุมมีค่าความสว่างสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ และผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) มีการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) น้อยกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ

อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่4.7) โดยมีค่าเท่ากับ 50.32 ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา พบว่าผลมะนาวที่เคลือบสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (0:100) และสารเคลือบผิวอัลจิเนท (100:0) เพียงอย่างเดียวมีค่าความสว่างไม่แตกต่างกัน วันที่ 30 ของการเก็บรักษาในขณะที่ผลมะนาวเคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนท และสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) ชะลอการเปลี่ยนสีได้มากที่สุด อย่างไรก็ตามผลมะนาวที่เคลือบสารละลายก็มีค่าความสว่างต่ำกว่าผลมะนาวที่ไม่เคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

4.4.1.2 วิเคราะห์ค่า a*

การเปลี่ยนแปลงค่า a* ของผลมะนาวพันธุ์แป้นในวันแรกทุกชุดการทดลองมีค่า a* สูงที่สุด จากนั้นชุดควบคุมและผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) มีค่า a* ของผลมะนาวในวันที่ 9 ถึงวันที่ 30 ลดลงเล็กน้อย โดยชุดควบคุมมีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาพบว่าผลมะนาวที่เคลือบสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (0:100) และสารเคลือบผิวอัลจิเนท (100:0) เพียงอย่างเดียวมีค่า a* เท่ากับ -7.06 และ-6.51 ตามลำดับ และค่อย ๆ ลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในขณะที่ผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) มีค่า a* ลดลงเพียงเล็กน้อยเท่ากับ -7.21 อย่างไรก็ตามค่า a* ของผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทร่วมกับสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงน้อยกว่าผลมะนาวที่ไม่เคลือบผิว (ตารางที่4.8) สารสกัดจากใบบัวมีผลการเก็บรักษาที่ดีต่อโกจิเบอร์รี่ [85] และยังสามารถรักษาสีสดใสของผลไม้สดได้ ดังที่ทราบกันดีว่าสีเป็นคุณลักษณะที่สำคัญสำหรับผลไม้ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงคุณภาพของผลไม้ที่ลดลงและดึงดูดผู้บริโภคน้อยลง [86]

4.4.1.3 วิเคราะห์ค่า b*

การเปลี่ยนแปลงค่า b* ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิว ในวันแรกของทุกชุดการทดลองมีค่า b* ต่ำที่สุด ยกเว้นชุดการทดลองของผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) หลังจากนั้นค่า b* ของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่า b* สูงที่สุดในวันที่ 30 สิ้นสุดการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.9) ในวันที่ 3 ถึง วันที่ 12 ค่า b* ของผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (60:40) มีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าชุดควบคุม ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาผลมะนาวที่ไม่เคลือบผิวและผลมะนาวที่เคลือบสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (0:100) เพียงอย่างเดียว ไม่มีแตกต่างกัน นอกจากนี้ ในวันที่15 จนวันที่ 30 ค่า b* ของผลมะนาวชุดควบคุม มีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าทุกชุดการทดลอง ในขณะที่ค่า b* ของผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.4.1.4 วิเคราะห์ค่า Chroma (C*)

การเปลี่ยนแปลงค่า Chroma ของผลมะนาวพันธุ์แป้นทั้ง 12 ชุดการทดลอง มีค่าเพิ่มขึ้น หมายถึงผลมะนาวในทุกชุดการทดลองมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นจากวันเริ่มต้นในการเก็บรักษา โดยในวันแรกของการเก็บรักษามีค่า Chroma เริ่มต้น เท่ากับ 20.11-26.64 และในวันที่ 9 ของการเก็บรักษาค่า Chroma ของชุดควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่ผลมะนาวที่เคลือบสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (0:100) และสารเคลือบผิวอัลจิเนท (100:0)

เพียงอย่างเดียวมีการเปลี่ยนแปลงค่า Chroma ใกล้เคียงกัน การเพิ่มสารเคลือบผิวอัลจิเนทตั้งแต่ 10 ถึง 40 และการลดปริมาณสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยจาก 90 ถึง 10 ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงค่าสี Chroma แต่การใช้สารเคลือบผิวอัลจิเนทร่วมกับสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงค่า Chroma ได้มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 37.86 ในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา

4.4.1.5 วิเคราะห์ค่า Hue angle (h)

การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle (°h) เป็นค่าใช้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงสีของผลมะนาวพันธุ์แป้น พบว่าทุกชุดการทดลองมีค่าที่ลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา เปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีเหลือง โดยมีค่าลดลงอยู่ระหว่าง 107.70-92.26 โดยวันแรกของการเก็บรักษาพบค่า Hue angle (°h) มีค่าสูงที่สุดในทุกชุดการทดลอง ในวันที่ 9 จนถึงวันที่ 18 ค่า Hue angle (°h) ของผลมะนาวชุดควบคุมมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับทุกชุดการทดลองและสูงขึ้นในวันที่ 21 หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลงจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาและผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) ในวันที่ 12 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษามีค่า Hue angle (°h) สูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ (ตารางที่4.11) โดยมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 98.85

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารเคลือบผิวจากสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมะนาวได้ ในการทดลองพบว่าผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้มากที่สุด โดยสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ซึ่งสอดคล้องกับการชะลอการลดลงของค่า Hue angle และชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า L* a* และ b* เช่นเดียวกับ M.Sneha Nair et al. [87] ศึกษาสารสกัดจากเปลือกทับทิมเพื่อยืดอายุคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของฝรั่ง พบว่าการเติม PPE ร้อยละ1 อาจทำให้เกิดการเกิดสีน้ำตาลช้าลงและทำให้กระบวนการสุกของ Guavas ยังแสดงให้เห็นถึงความล่าช้าในการเปลี่ยนสีของ Guavas สารสกัดจากทับทิมเพิ่มคุณภาพโดยรวมของผักและผลไม้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ที่ยาวนานขึ้น เปลือกทับทิมเป็นแหล่งฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่มีคุณสมบัติในการต้านจุลชีพและสารต้านอนุมูลอิสระ [88][89] เช่นเดียวกับเปลือกกล้วย

ตารางที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน

Treatments (Alginate: Crude extracts)	L*										
	Storage time (days)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	41.82^{aK}	44.33^{aJ}	45.58^{aI}	47.81^{aH}	50.40^{aG}	52.45^{aF}	54.22^{aE}	55.99^{aD}	57.48^{aC}	60.04^{aB}	61.06^{aA}
0:100	39.91^{cK}	42.44^{fI}	42.22^{jJ}	46.16^{fH}	49.36^{cG}	50.76^{eF}	53.49^{cE}	55.16^{dD}	57.02^{dC}	57.50^{dB}	58.49^{fA}
10:90	38.11^{kJ}	41.72^{hI}	43.25^{iH}	44.40^{jG}	46.81^{jF}	47.55^{jE}	50.59^{gD}	50.55^{iD}	51.74^{jC}	53.49^{iB}	53.88^{jA}
20:80	38.71^{hK}	41.19^{jJ}	41.58^{kI}	41.90^{kH}	43.71^{kG}	45.19^{kF}	46.50^{hE}	48.61^{jD}	50.74^{kC}	50.80^{jB}	53.66^{kA}
30:70	39.26^{fK}	41.51^{iJ}	43.99^{fI}	46.21^{eH}	47.80^{hG}	50.70^{fE}	52.61^{eD}	54.31^{eC}	55.88^{f}	56.98^{eB}	58.45^{gA}
40:60	38.35^{jK}	42.98^{dJ}	44.40^{eI}	46.99^{cH}	49.30^{dG}	52.39^{bF}	53.41^{dE}	55.59^{bD}	56.95^{eC}	57.97^{cB}	59.01^{dA}
50:50	37.92^{lK}	39.54^{kJ}	41.21^{lI}	41.60^{lH}	43.15^{lG}	45.10^{lF}	45.98^{iE}	46.51^{kD}	48.10^{lC}	49.92^{kB}	50.32^{lA}
60:40	39.71^{dK}	42.45^{fJ}	43.96^{gI}	46.61^{dH}	48.10^{gG}	51.05^{cF}	52.57^{fE}	53.14^{gD}	54.81^{hC}	56.90^{fB}	57.56^{hA}
70:30	39.58^{eK}	41.98^{gJ}	43.80^{hI}	45.03^{iH}	47.31^{iG}	48.60^{iF}	50.60^{gE}	52.00^{hD}	52.60^{iC}	53.77^{hB}	56.41^{iA}
80:20	38.43^{iK}	43.61^{cJ}	44.80^{cI}	45.66^{hH}	48.90^{eG}	50.99^{dF}	53.81^{bE}	55.51^{cD}	57.25^{bC}	57.95^{cB}	60.26^{cA}
90:10	38.91^{gK}	42.89^{eJ}	44.49^{dI}	47.59^{bH}	48.46^{fG}	50.35^{hF}	52.59^{efE}	53.88^{fD}	55.80^{gB}	55.74^{gC}	58.59^{eA}
100:0	40.62^{bK}	43.75^{bJ}	45.30^{bI}	45.96^{gH}	49.85^{bG}	50.49^{gF}	53.51^{cE}	55.50^{cD}	57.11^{cC}	58.31^{bB}	60.75^{bA}

หมายเหตุ $^{a-l}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

$^{A-K}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า a* ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน

Treatments (Alginate: Crude extracts)	a*										
	Storage time (days)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	-8.15^{iK}	-7.21^{bJ}	-7.13^{eI}	-6.45^{aH}	-6.32^{aG}	-5.81^{aF}	-5.41^{aE}	-4.81^{aD}	-4.06^{aC}	-3.71^{aB}	-3.30^{aA}
0:100	-7.66^{cK}	-7.60^{dJ}	-7.56^{fI}	-7.50^{iH}	-7.29^{hG}	-7.06^{iF}	-6.64^{gE}	-6.01^{fD}	-5.75^{eC}	-4.41^{eB}	-3.61^{eA}
10:90	-7.69^{dK}	-7.65^{eJ}	-6.95^{aI}	-6.75^{cH}	-6.71^{cG}	-6.34^{cF}	-6.30^{dE}	-6.20^{hD}	-6.05^{hC}	-5.15^{fB}	-5.09^{gA}
20:80	-7.70^{dK}	-7.35^{cJ}	-7.05^{cI}	-6.89^{dH}	-6.80^{dG}	-6.69^{fF}	-6.67^{hE}	-6.50^{kD}	-6.30^{kC}	-5.21^{gA}	-5.63^{kB}
30:70	-7.95^{gK}	-7.70^{fJ}	-7.10^{dI}	-6.95^{eH}	-6.88^{eG}	-6.81^{gF}	-6.75^{iE}	-6.30^{iD}	-5.99^{gC}	-4.35^{dB}	-3.35^{bA}
40:60	-7.30^{aK}	-7.05^{aJ}	-7.00^{bI}	-6.61^{bH}	-6.55^{bG}	-6.20^{bF}	-5.90^{bE}	-5.40^{bD}	-4.69^{bC}	-3.84^{bB}	-3.49^{cA}
50:50	-7.96^{gI}	-7.99^{iJ}	-7.74^{hH}	-7.76^{kH}	-7.58^{jG}	-7.21^{kF}	-7.01^{kE}	-6.61^{lC}	-6.51^{lB}	-6.71^{lD}	-5.81^{lA}
60:40	-7.85^{fJ}	-7.95^{hK}	-7.10^{dI}	-6.70^{fH}	-6.89^{eG}	-6.86^{hF}	-6.10^{cE}	-5.80^{dD}	-5.45^{dC}	-4.20^{cB}	-3.55^{dA}
70:30	-8.21^{jH}	-8.25^{jI}	-7.95^{jG}	-7.39^{hF}	-7.16^{gE}	-7.15^{jE}	-6.80^{jD}	-6.45^{jC}	-6.21^{jB}	-6.20^{kB}	-5.45^{jA}
80:20	-7.60^{bH}	-7.80^{gJ}	-7.78^{iI}	-7.61^{jH}	-7.50^{iG}	-7.35^{lF}	-6.63^{gE}	-6.18^{gD}	-6.10^{iC}	-5.90^{jB}	-4.89^{fA}
90:10	-7.81^{eJ}	-7.80^{gJ}	-7.74^{hI}	-7.49^{iH}	-7.05^{fG}	-6.45^{dF}	-6.41^{eE}	-5.75^{cD}	-5.32^{cC}	-5.26^{hB}	-5.21^{hA}
100:0	-8.10^{hJ}	-8.01^{iI}	-7.70^{gH}	-7.30^{gG}	-7.14^{gF}	-6.51^{eE}	-6.49^{fE}	-5.91^{eD}	-5.78^{fC}	-5.66^{iB}	-5.31^{iA}

หมายเหตุ $^{a-l}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

$^{A-K}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่า b* ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน

Treatments (Alginate: Crude extracts)	b*										
	Storage time (days)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	24.12^{bJ}	25.85^{bI}	25.86^{cdI}	29.51^{eH}	33.10^{cG}	41.95^{aF}	44.39^{aE}	45.35^{aD}	47.81^{aC}	48.22^{aB}	49.55^{aA}
0:100	23.40^{dK}	23.49^{hJ}	25.18^{deI}	30.35^{dH}	33.09^{cG}	38.34^{cF}	40.45^{bE}	44.71^{aD}	46.67^{bC}	46.80^{bB}	47.40^{cA}
10:90	21.52^{iK}	21.71^{jJ}	23.99^{efI}	26.86^{iH}	28.65^{iG}	32.51^{jF}	34.90^{hE}	36.96^{gD}	38.07^{kC}	39.94^{jB}	41.12^{jA}
20:80	21.25^{jK}	24.81^{eJ}	26.91^{cI}	31.08^{bH}	34.02^{bG}	38.54^{bF}	38.85^{eE}	42.44^{dD}	44.29^{fC}	44.90^{fB}	45.64^{hA}
30:70	22.30^{gK}	22.90^{iJ}	24.91^{defI}	28.85^{fH}	31.06^{fG}	37.35^{fF}	38.11^{fE}	42.59^{cdD}	44.21^{gC}	44.86^{gB}	46.55^{fA}
40:60	21.25^{jH}	24.81^{eG}	28.25^{bF}	31.09^{bE}	34.01^{bD}	38.54^{bC}	38.85^{eC}	43.44^{bcB}	44.29^{fAB}	44.90^{fAB}	45.64^{hA}
50:50	20.61^{kJ}	20.01^{kK}	21.79^{gI}	23.25^{jH}	25.12^{jG}	30.06^{kF}	32.05^{jE}	35.28^{hD}	38.27^{jC}	38.78^{kB}	40.35^{kA}
60:40	23.87^{cJ}	28.67^{aI}	31.18^{aH}	36.69^{aG}	37.35^{aF}	38.00^{eE}	40.18^{cD}	45.11^{aC}	45.49^{cB}	46.59^{cA}	46.60^{eA}
70:30	23.22^{eK}	23.60^{gJ}	23.80^{fI}	27.06^{hH}	29.30^{hG}	33.06^{iF}	34.70^{iE}	38.21^{fD}	38.55^{iC}	41.24^{iB}	43.45^{iA}
80:20	22.14^{hK}	24.51^{fJ}	24.55^{efI}	27.76^{gH}	31.85^{eG}	36.60^{gF}	39.92^{dE}	43.15^{bcdD}	45.40^{dC}	45.49^{eB}	47.50^{bA}
90:10	22.36^{fK}	25.76^{cJ}	26.06^{cdI}	30.56^{cH}	30.73^{gG}	35.66^{hF}	37.13^{gE}	40.95^{eD}	43.46^{hC}	44.01^{hB}	45.88^{gA}
100:0	25.56^{aK}	25.65^{dJ}	26.06^{cdI}	30.55^{cH}	32.59^{dG}	38.03^{dF}	39.89^{dE}	43.79^{bD}	45.15^{eC}	45.56^{dB}	47.16^{dA}

หมายเหตุ $^{a-l}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

$^{A-K}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงค่า Chroma (C*) ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน

Treatments (Alginate: Crude extracts)	Chroma (C*)										
	Storage time (days)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	25.30^{bK}	26.54^{bJ}	26.92^{cI}	32.50^{aH}	34.69^{aG}	39.40^{aF}	40.85^{aE}	45.75^{aD}	48.15^{aC}	48.64^{aB}	49.69^{aA}
0:100	23.81^{eK}	24.58^{gJ}	25.99^{eI}	31.64^{dH}	33.70^{cG}	38.78^{bcF}	40.71^{cE}	45.11^{bD}	46.94^{bC}	47.01^{bB}	47.61^{dA}
10:90	22.60^{hJ}	22.61^{jJ}	24.67^{iI}	27.96^{jH}	29.31^{jG}	33.42^{gF}	35.56^{iE}	37.62^{jD}	38.62^{jC}	40.30^{jB}	41.62^{jA}
20:80	20.90^{kJ}	20.49^{kK}	22.70^{kI}	24.40^{kH}	25.76^{kG}	30.76^{hF}	32.45^{kE}	35.46^{kD}	38.83^{iB}	38.59^{kC}	40.56^{kA}
30:70	23.26^{gJ}	23.91^{iI}	25.70^{fH}	29.86^{fG}	31.81^{gF}	38.71^{cE}	38.75^{gD}	43.20^{eC}	44.66^{dB}	45.10^{fB}	46.81^{eA}
40:60	22.29^{iK}	26.80^{aI}	26.60^{dJ}	31.94^{cH}	33.89^{bG}	39.21^{abF}	39.26^{eE}	42.85^{fD}	44.55^{eC}	45.25^{eB}	45.95^{gA}
50:50	20.11^{lK}	20.35^{U}	22.40^{lI}	24.20^{lH}	25.69^{lG}	30.11^{iF}	30.40^{lE}	32.89^{lD}	35.26^{kC}	35.66^{lB}	37.86^{lA}
60:40	24.50^{cK}	24.62^{fJ}	24.84^{hI}	29.75^{gH}	31.95^{fG}	37.59^{dF}	38.95^{fE}	40.64^{hD}	42.54^{gC}	44.80^{gB}	45.60^{hA}
70:30	24.46^{dJ}	24.26^{hK}	24.50^{jI}	28.20^{iH}	30.15^{iG}	34.14^{fF}	35.50^{jE}	39.10^{iD}	39.29^{hC}	41.81^{iB}	43.95^{iA}
80:20	22.15^{jK}	25.75^{eI}	25.33^{gJ}	29.19^{hH}	32.72^{eG}	37.60^{dF}	40.69^{dE}	44.26^{dD}	45.95^{cB}	45.85^{dC}	47.78^{bA}
90:10	23.56^{fK}	25.85^{dJ}	27.12^{aI}	31.97^{bG}	31.31^{hH}	36.71^{eF}	38.01^{hE}	41.76^{gD}	44.31^{fC}	44.54^{hB}	46.35^{fA}
100:0	26.64^{aJ}	26.50^{cK}	27.01^{bI}	30.64^{eH}	33.64^{dG}	39.21^{abF}	40.74^{bE}	44.40^{cD}	45.95^{cC}	46.25^{cB}	47.70^{cA}

หมายเหตุ $^{a-l}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

$^{A-K}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle (˚h) ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน

Treatments (Alginate: Crude extracts)	Hue angle (˚h)										
	Storage time (days)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	107.61^{bA}	106.20^{fB}	105.55^{fC}	102.86^{jD}	102.05^{kE}	100.41^{jF}	99.65^{jG}	97.64^{lH}	96.18^{lI}	93.35^{lJ}	92.26^{kK}
0:100	107.15^{gA}	106.25^{eB}	104.28^{jC}	103.86^{eD}	102.65^{hE}	101.40^{hF}	99.81^{iG}	98.69^{kH}	97.82^{iI}	95.60^{hJ}	94.20^{hK}
10:90	107.50^{cA}	106.39^{dB}	104.49^{iC}	103.51^{gD}	102.76^{gE}	101.65^{gF}	100.95^{fG}	100.80^{eH}	99.46^{eI}	98.79^{bJ}	97.50^{dK}
20:80	106.79^{jA}	106.65^{cB}	106.13^{aC}	105.70^{aD}	102.10^{jE}	101.94^{fF}	100.01^{hG}	99.36^{jH}	98.16^{gI}	96.40^{fJ}	95.28^{eK}
30:70	107.19^{fA}	106.96^{bB}	104.95^{hC}	103.38^{hD}	102.28^{iE}	101.94^{fF}	100.02^{hG}	99.40^{iH}	98.05^{hI}	95.44^{iJ}	94.23^{gK}
40:60	107.59^{bA}	106.01^{hB}	103.47^{kC}	103.37^{hD}	102.80^{fE}	100.45^{iF}	100.10^{gG}	99.46^{hH}	97.41^{kI}	95.28^{jJ}	92.30^{jK}
50:50	107.44^{dA}	107.41^{aA}	106.00^{dB}	104.54^{bC}	104.24^{aD}	104.11^{aE}	103.49^{aF}	102.56^{aG}	101.16^{aH}	100.02^{aI}	98.85^{aJ}
60:40	106.95^{iA}	105.90^{iB}	104.51^{iC}	103.19^{iD}	102.65^{hE}	102.50^{dF}	100.11^{gG}	99.54^{gH}	97.65^{jI}	95.20^{kJ}	93.39^{iK}
70:30	107.11^{hA}	106.41^{dB}	105.34^{gC}	104.36^{dD}	103.71^{cE}	103.68^{bF}	102.19^{dG}	101.96^{cH}	100.25^{dI}	98.33^{dJ}	97.89^{bK}
80:20	107.70^{aA}	105.61^{jB}	105.60^{eB}	103.78^{fC}	103.36^{eD}	103.34^{cE}	101.14^{eF}	99.87^{fG}	98.51^{fH}	96.35^{gI}	94.89^{fJ}
90:10	107.40^{eA}	106.19^{fB}	106.05^{cC}	103.85^{eD}	103.51^{dE}	102.28^{eF}	102.26^{cG}	102.20^{bH}	101.05^{bI}	98.08^{eJ}	97.52^{dK}
100:0	107.41^{eA}	106.15^{gB}	106.11^{bC}	104.51^{cD}	104.15^{bE}	104.09^{aF}	102.34^{bG}	101.78^{dH}	100.28^{cI}	98.61^{cJ}	97.68^{cK}

หมายเหตุ $^{a-l}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

$^{A-K}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

4.4.1.6 ปริมาณน้ำคั้น (%)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำคั้น อยู่ในช่วงร้อยละ 31.16-23.12 พบว่าทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มปริมาณน้ำคั้นที่เพิ่มขึ้น โดยชุดควบคุมมีปริมาณน้ำคั้นสูงที่สุดตั้งแต่วันแรกจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาและผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) มีปริมาณน้ำคั้นน้อยที่สุดในวันที่ 3 และมีปริมาณน้ำคั้นต่ำกว่าทุกชุดการทดลอง รองลงมาคือผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนท (100:0) เพียงอย่างเดียว ในวันที่ 3 ถึง 12 ของการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำคั้นของทุกชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ระหว่างการเจริญเติบโตของผลไม้นอกจากการสะสมอาหารในรูปแป้งและน้ำตาลแล้ว ปริมาณน้ำในแวคิวโอล (vacuole) ก็เพิ่มขึ้นตามอายุของผลไม้ เห็นได้ชัดในผลไม้ประเภทส้มเมื่อเล็ก ๆ จะคั้นน้ำไม่ได้ เมื่ออายุมากขึ้นปริมาณน้ำที่คั้นได้จะมีมากขึ้น ทั้งนี้เพราะนอกจากปริมาณน้ำสะสมในเซลล์จะมากขึ้นแล้ว ผนังเซลล์ของเนื้อผลไม้ยังอ่อนตัวลงทำให้คั้นน้ำได้มากขึ้น [46] เมื่ออายุการเก็บรักษนานขึ้นภายในกระบวนการเมทแทบอลิซึมหรือเกิดการทำลายชั้น คิวลิเคิล และ suberized cell ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบช่วยลดการสูญเสียน้ำ ดังนั้นเมื่อชั้นดังกล่าวถูกทำลายจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำได้ง่ายขึ้น จึงทำให้ปริมาณน้ำคั้นน้อยกว่าผลมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิว การเคลือบผิวอาจมีส่วนช่วยลดอัตราการคายน้ำของผลมะนาวเนื่องจากสารเคลือบผิวไปปกคลุมและปิดช่องเปิดธรรมชาติหรือเลนติเซล (lentice) ทำให้การสูญเสียน้ำน้อยลง สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำได้ [90] เช่นเดียวกับชมพูนุทและลดาวัลย์ [45] การเคลือบผิวด้วยสารละลายโซเดียมอัลจิเนตร่วมกับสารสกัดว่านหางจระเข้ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำคั้น ซึ่งสอดคล้องกับการใช้ว่านหางจระเข้เคลือบผลมะนาวที่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณน้ำคั้น

ตารางที่ 4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำคั้น (%) ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน

Treatments (Alginate: Crude extracts)	Juice content (%)										
	Storage time (days)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	23.73^{aJ}	26.69^{aI}	27.63^{aH}	29.95^{aG}	30.25^{aF}	30.54^{aF}	31.30^{aE}	31.98^{aD}	34.01^{aC}	34.49^{aB}	36.11^{aA}
0:100	23.18^{jH}	24.65^{eG}	26.13^{fF}	28.86^{bE}	28.79^{b}	28.84^{cE}	28.85^{fE}	29.26^{jD}	30.57^{dC}	31.01^{iB}	31.60^{jA}
10:90	23.65^{bJ}	23.11^{gK}	25.66^{gI}	25.76^{hH}	27.85^{eG}	28.54^{eF}	30.12^{bE}	30.51^{cD}	30.72^{dC}	31.61^{gB}	32.70^{fA}
20:80	23.58^{cJ}	23.86^{fI}	24.78^{hH}	27.90^{cG}	28.02^{dF}	28.04^{hF}	28.26^{jE}	29.02^{kD}	29.45^{eC}	30.80^{jB}	31.81^{iA}
30:70	23.38^{hJ}	25.22^{dI}	26.57^{dH}	27.18^{eG}	28.23^{cF}	28.82^{cE}	29.39^{eD}	29.40^{iD}	29.59^{eC}	32.02^{eB}	32.53^{gA}
40:70	23.27^{iK}	26.60^{aJ}	27.59^{aI}	27.80^{cH}	27.95^{dG}	28.35^{fF}	29.93^{cE}	30.38^{dD}	30.75^{dC}	31.76^{fB}	34.14^{dA}
50:50	23.54^{deI}	22.89^{gK}	23.01^{jJ}	23.84^{jH}	26.04^{iG}	27.07^{kF}	27.51^{kE}	27.74^{lD}	29.06^{eC}	29.79^{lB}	31.16^{kA}
60:40	23.56^{cdK}	26.12^{bcJ}	26.33^{eI}	26.46^{gH}	26.99^{gG}	27.47^{jF}	29.75^{dE}	30.06^{eD}	32.36^{bC}	34.01^{bB}	34.55^{cA}
70:30	23.46^{gK}	26.68^{aJ}	26.95^{cI}	27.65^{dH}	27.72^{fG}	28.29^{gF}	28.69^{hE}	30.00^{fD}	30.23^{dC}	30.50^{kB}	31.98^{hA}
80:20	23.53^{efK}	26.25^{bJ}	27.49^{bI}	27.93^{cH}	28.00^{dG}	29.86^{bF}	30.09^{bE}	31.39^{bD}	31.44^{cC}	32.22^{dB}	35.79^{bA}
90:10	23.51^{fH}	25.87^{cG}	26.60^{dF}	26.69^{fF}	27.93^{deE}	28.58^{dE}	28.59^{iE}	29.46^{hD}	30.78^{dC}	31.53^{hB}	32.52^{gA}
100:0	23.12^{kJ}	23.82^{fI}	23.84^{iI}	24.72^{iH}	26.87^{hG}	27.94^{iF}	27.80^{gE}	29.94^{gD}	32.16^{bC}	32.81^{cB}	34.01^{eA}

หมายเหตุ $^{a-l}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

$^{A-K}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

4.4.1.7 การสูญเสียน้ำหนัก (%)

เมื่อเคลือบผิวผลมะนาวพันธุ์แป้นด้วยสารเคลือบผิวอัลจิเนทร่วมกับสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 พบว่าการสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิว (ชุดควบคุม) มีแนวโน้มสูงกว่าผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวแล้ว โดยการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา (ตารางที่4.13) โดยทั่วไปการสูญเสียน้ำหนักของผลผลิตหลังเก็บเกี่ยวสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา [2] การสูญเสียน้ำหนักเกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจที่เกิดขึ้นภายในผล ถ้าอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นการสูญเสียน้ำหนักสูงขึ้นเช่นกัน

สารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของมะนาวพันธุ์แป้นหลังการเก็บเกี่ยวได้ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้เคลือบผิว ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาชุดควบคุมและผลมะนาวที่เคลือบสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (0:100) เพียงอย่างเดียวมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด เท่ากับร้อยละ3.50 และ 3.46 ตามลำดับ (ตารางที่4.13) เนื่องจากทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่ได้เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวอัลจิเนท

ชุดการทดลองที่ผลมะนาวเคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนท (100:0) เพียงอย่างเดียวมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา โดยในวันสุดท้ายมีการสูญเสียน้ำหนัก เท่ากับ ร้อยละ2.30 และทุกชุดการทดลองที่เก็บบันทึกผลในแต่ละวัน มีการสูญเสียน้ำหนักแปรผกผันกับอัตราส่วนของสารเคลือบผิวอัลจิเนท กล่าวคือเมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบผิวอัลจิเนทเพิ่มขึ้นการสูญเสียน้ำหนักลดลง อย่างไรก็ตามผลมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวมีการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่าผลมะนาวที่ไม่เคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เช่นเดียวกับงานวิจัย Xiao-Jing Fan et al. [91] การใช้การเคลือบ Lotus Leaf Extract (LLE) ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของโกจิเบอร์รี่โดยมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดประมาณร้อยละ7.24 ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีค่าการสูญเสียน้ำหนักประมาณร้อยละ10.85 สารเคลือบผิวสามารถจำกัดการซึมผ่านของไอน้ำ โดยปิดรูตามธรรมชาติในชั้น epidermis ทำให้สามารถลดการสูญเสียน้ำได้ประมาณร้อยละ 20-50 [46]

ตารางที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำหนัก (%) ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน

Treatments (Alginate: Crude extracts)	Weight loss (%)										
	Storage time (days)										
	0^{ns}	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	0.00^{J}	1.98^{aI}	2.00^{aH}	2.16^{aG}	2.29^{aF}	2.51^{aE}	2.65^{aD}	3.00^{aC}	3.15^{aB}	3.16^{aB}	3.50^{aA}
0:100	0.00^{J}	1.75^{bI}	1.91^{bH}	2.03^{bG}	2.20^{bF}	2.36^{bE}	2.40^{bE}	2.84^{bD}	3.00^{bC}	3.11^{abB}	3.46^{aA}
10:90	0.00^{K}	1.64^{cJ}	1.91^{bI}	2.00^{bH}	2.11^{cG}	2.16^{cF}	2.35^{cE}	2.52^{cD}	2.90^{cC}	3.05^{bB}	3.35^{bA}
20:80	0.00^{K}	1.41^{dJ}	1.82^{cI}	1.97^{cH}	2.06^{dG}	2.15^{cF}	2.26^{dE}	2.50^{cD}	2.79^{dC}	2.98^{cB}	3.19^{cA}
30:70	0.00^{J}	1.30^{eI}	1.69^{dH}	1.96^{cG}	2.05^{dF}	2.06^{dF}	2.20^{eE}	2.26^{dD}	2.66^{eC}	2.95^{cB}	3.15^{cA}
40:70	0.00^{K}	1.28^{eJ}	1.57^{eI}	1.80^{dH}	1.86^{eG}	1.99^{eF}	2.20^{eE}	2.25^{deD}	2.55^{fC}	2.78^{dB}	3.09^{dA}
50:50	0.00^{J}	1.17^{fI}	1.49^{fH}	1.61^{eG}	1.61^{fG}	1.82^{fF}	2.11^{fE}	2.22^{eD}	2.35^{gC}	2.69^{eB}	3.06^{dA}
60:40	0.00^{K}	1.06^{gJ}	1.49^{fI}	1.55^{fH}	1.61^{fG}	1.70^{gF}	1.99^{gE}	2.09^{fD}	2.31^{hC}	2.39^{fB}	2.90^{eA}
70:30	0.00^{K}	0.99^{hJ}	1.40^{gI}	1.49^{gH}	1.61^{fG}	1.70^{gF}	1.96^{gE}	2.03^{gD}	2.21^{iC}	2.35^{fB}	2.90^{eA}
80:20	0.00^{J}	0.98^{hI}	1.36^{hH}	1.49^{gF}	1.40^{gG}	1.51^{iF}	1.55^{iE}	1.71^{iD}	1.95^{jC}	2.21^{gB}	2.60^{gA}
90:10	0.00^{K}	0.95^{hJ}	1.22^{iI}	1.39^{hH}	1.57^{hG}	1.65^{hF}	1.80^{hE}	1.96^{hD}	2.20^{iC}	2.34^{fB}	2.81^{fA}
100:0	0.00^{I}	0.81^{iH}	1.15^{jG}	1.17^{iG}	1.28^{iF}	1.50^{iE}	1.52^{iE}	1.71^{iD}	1.85^{kC}	2.08^{hB}	2.30^{hA}

หมายเหตุ $^{a-l}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P≤0.05)

$^{A-K}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P≤0.05)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P≤0.05)

4.4.1.8 อายุการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษาประเมินจากการเปลี่ยนแปลงของดัชนีสีเปลือกโดยประเมินสีเปลือกด้วยสายตาและให้คะแนน พบว่าผลมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว(ชุดควบคุม)และผลมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษามีระดับคะแนนการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกอยู่ในช่วง 2.88-2.00 (2= สีเหลืองออกเขียว (ผลมีสีเหลืองประมาณร้อยละ 60-70ของพื้นที่ผิว)) โดยอายุการเก็บรักษาของผลมะนาวมีค่าระดับคะแนนการประเมินการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ในช่วงเวลาการเก็บรักษาวันที่ 0 จนถึงวันที่ 9 ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีระดับคะแนนการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก เท่ากับ 5 คะแนนในทุกชุดการทดลอง (5= สีเขียวทั้งผล (ผลไม่มีสีเหลือง)) หลังจากนั้นผลมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) มีระดับคะแนนการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับทุกชุดการทดลองตลอดอายุการเก็บรักษา ผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) มีระดับคะแนนการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกสูงกว่าทุกชุดการทดลอง รองลงมาคือผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสหยาบจากเปลือกกล้วย (80:20) มีระดับคะแนนการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก เท่ากับ 2.88 และ 2.78 ตามลำดับ มีรายงานว่าสารเคลือบช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาสตรอเบอร์รี่และรักษาคุณภาพทางโภชนาการของ สตรอเบอร์รี่และราสเบอร์รี่เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบไม่เคลือบผิว [92][93]

อายุการเก็บรักษาโดยประเมิณจากการเปลี่ยนแปลงสีผิวของเปลือกผล ณ วันที่มีคะแนนของสีเปลือกน้อยกว่า 3 เป็นเกณฑ์ประเมินอายุการเก็บรักษาของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ไม่ยอมรับถือว่าหมดสภาพ จากการประเมินพบว่าผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) มีอายุการเก็บรักษานานที่สุดถึง 24 วัน ในขณะที่ผลมะนาวที่ไม่ผ่านกรเคลือบผิวเก็บรักษาได้นานเพียง 18 วัน เช่นเดียวกับผลมะนาวที่เคลือบสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (0:100) เพียงอย่างเดียว และผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (20:80), (40:60) และ(60:40) การเลือกใช้สารเคลือบผิวและสารสกัดจากธรรมชาติที่เหมาะสมต้องขึ้นอยู่กับผลิตผลนั้น ๆ ความเข้มข้นของการทดลองที่แตกต่างกันส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลมะนาวพันธุ์แป้น

ตารางที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงดัชนีสีเปลือกและอายุการเก็บรักษาของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน

Treatments (Alginate: Crude extracts)	Color index (score)											Shelf life (days)
	Storage time (days)											
	0^{ns}	3^{ns}	6^{ns}	9^{ns}	12	15	18	21	24	27	30	
Control	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	4.45^{eB}	4.21^{fC}	3.21^{fD}	2.79^{gF}	2.34^{fG}	2.21^{gH}	2.00^{hI}	18
0:100	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	4.56^{dB}	4.34^{eC}	3.34^{eD}	2.90^{fE}	2.45^{eF}	2.34^{fG}	2.45^{eF}	18
10:90	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	4.56^{dB}	4.56^{cB}	3.56^{cC}	3.21^{dD}	2.68^{cE}	2.67^{cEF}	2.66^{cF}	21
20:80	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	4.56^{dB}	4.56^{cB}	3.79^{bC}	2.90^{fD}	2.68^{cE}	2.45^{eF}	2.44^{eF}	18
30:70	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	4.68^{cB}	4.45^{dC}	3.32^{eD}	3.00^{eE}	2.34^{fF}	2.22^{gG}	2.22^{gG}	21
40:60	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	4.68^{cB}	4.45^{dC}	3.45^{dD}	2.79^{gE}	2.56^{dF}	2.22^{gG}	2.22^{gG}	18
50:50	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	4.90^{aB}	4.79^{aC}	4.11^{aD}	3.79^{aE}	3.11^{aF}	2.90^{aG}	2.88^{aH}	24
60:40	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	4.68^{cB}	4.56^{cC}	3.34^{eD}	2.79^{gE}	2.45^{eF}	2.22^{gG}	2.21^{gG}	18
70:30	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	4.56^{dB}	4.56^{cB}	3.45^{dC}	3.45^{bC}	2.95^{bD}	2.45^{eE}	2.45^{eE}	21
80:20	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	4.79^{bB}	4.68^{bC}	3.79^{bD}	3.45^{bE}	2.95^{bF}	2.82^{bG}	2.78^{bG}	21
90:10	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	4.79^{bB}	4.56^{cC}	3.79^{bD}	3.34^{cE}	2.90^{bF}	2.56^{dG}	2.56^{dG}	21
100:0	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	5.00^{A}	4.67^{cB}	4.34^{eC}	3.34^{eD}	3.00^{eE}	2.66^{cF}	2.45^{eG}	2.34^{fH}	21

หมายเหตุ $^{a-l}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

$^{A-K}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ดัชนีสีเปลือกคะแนน 5 = สีเขียวทั้งผล (ผลไม่มีสีเหลือง) 4= สีเขียวปนเหลือง 3 = สีเขียวออกเหลือง

4.4.1.9 การเกิดโรค (%)

การเกิดโรคประเมินจากการให้คะแนนการเกิดโรคบนผลมะนาวในแต่ละผลตามคู่มือการประเมินระดับคะแนน ดัดแปลงจากวิธีของ James, 1971 [66] ดังนี้ 0 = ไม่พบเกิดโรค 1 = พบแผลจุดของโรคร้อยละ 1-5 ของพื้นที่รอบผล 2 = พบแผลจุดของโรคร้อยละ 6-10 6-ของพื้นที่รอบผล 3 = พบแผลจุดของโรคร้อยละ 11-12 ของพื้นที่รอบผล 4 = พบแผลจุดของโรคร้อยละ 26-50 ของพื้นที่รอบผล 5 = พบแผลจุดของโรคร้อยละ 51-75 ของพื้นที่รอบผล 6 = พบแผลจุดของโรคร้อยละ76-100 ของพื้นที่รอบผล

การเกิดโรคของผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิว (ชุดควบคุม) และผลมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ภายหลังการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 30 วัน พบว่าบนผิวเปลือกมะนาวพันธุ์แป้นไม่มีเปอร์เซ็นต์ของการเกิดโรคตลอดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากการเก็บรักษาผลมะนาวที่อุณหภูมิ 10-15 องศาเซลเซียส หรือการเก็บรักษาในห้องเย็น สามารถชะลออัตราเมแทบอลิซึม (metabolism) ของผลมะนาวและการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ สามารถยืดอายุ การเก็บรักษามะนาวได้นาน 6 – 8 สัปดาห์ [46]

การเพิ่มสารเคลือบผิวอัลจิเนทตั้งแต่ 0 ถึง100 และการลดปริมาณสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย จาก 100 ถึง 0 ช่วยยับยั้งเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของผลมะนาว จากการศึกษาพบว่าการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอัลจิเนทช่วยชะลอการเก็บรักษาในผลไม้เช่น แอปเปิ้ล พีช และมะละกอ [94][95][96] นอกจากนี้เปลือกผลกล้วยมีสารแทนนิน สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Salmonella typhi*, *Bacillus subtilis* และ *Staphylococcus aureus* [97]

4.4.1.10 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count)

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) ผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิว (ชุดควบคุม) และผลมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ภายหลังการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 30 วัน การนับจำนวนจุลินทรีย์ นับเฉพาะจานอาหารที่มีจำนวนเซลล์ระหว่าง 25-250 เซลล์ เพื่อให้จำนวนโคโลนีที่เจริญบนจานอาหาร อยู่ในช่วงดังกล่าวไม่มากหรือน้อยเกินไป (ภาคผนวก ข)

จากการเก็บรักษาผลมะนาวในวันที่ 0 ถึงวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ไม่พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกิดขึ้นบนผิวเปลือกมะนาวในทุกชุดการทดลอง ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิว (ชุดควบคุม) เริ่มเกิดจุลินทรีย์ขึ้นเล็กน้อยบนแผ่นอาหารและมีจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ชุดการทดลองอื่น ๆ ยังไม่พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด หลังจากเก็บรักษาจนถึงวันที่ 18 ผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนท (100:0) เพียงอย่างเดียว

เกิดจุลินทรีย์บนแผ่นอาหารเพียงเล็กน้อย ชุดการทดลองอื่น ๆ ยังไม่พบจุลินทรีย์บนแผ่นอาหาร ยกเว้นชุดควบคุมที่มีจุลินทรีย์เกิดขึ้น 7.73×10^6 CFU/g ในวันที่ 27 พบจุลินทรีย์บนผิวเปลือกมะนาวในชุดควบคุมเป็นจำนวนมากจนไม่สามารถนับจำนวนของปริมาณจุลินทรีย์ได้ เช่นเดียวกับการเก็บรักษาในวันที่ 30 ในขณะที่ผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนท (100:0) ผลมะนาวที่เคลือบสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (0:100) เพียงอย่างเดียว เกิดจุลินทรีย์บนผิวอาหารขึ้นเล็กน้อย ในวันที่ 24 ของการเก็บรักษาเช่นเดียวกับผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดแทนนินจากเปลือกกล้วย (10:90) และ(90:10) ที่พบจุลินทรีย์เกิดขึ้นบนผิวอาหารแต่เป็นปริมาณที่สามารถยอมรับได้ บางครั้งสารเคลือบอาจทำหน้าที่เป็นพาหะสำหรับสารต้านจุลชีพและสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อรักษาสารกันบูดที่มีความเข้มข้นสูงบนพื้นผิวของอาหาร สารต้านจุลชีพและสารต้านอนุมูลอิสระบางตัวได้ถูกรวมเข้ากับสารเคลือบที่กินได้เพื่อยับยั้งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา [98] ในชุดการทดลองที่มีการเพิ่มสารเคลือบผิวอัลจิเนทตั้งแต่ 20 ถึง 80 และการลดปริมาณสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยจาก 80 ถึง 20 สามารถยับยั้งการเกิดจุลินทรีย์บนผิวอาหาร เพราะสารสกัดจากเปลือกกล้วยได้มีการศึกษาพบว่ามีฤทธิ์ทางชีวภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในมนุษย์ โดยจากการศึกษาของ Mokbel and Hashinaga [99] พบว่าสารสกัดจากเปลือกกล้วย Cavendish (*Musa, AAA cv. Cavendish*) สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและ แกรมลบ ได้แก่ *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Salmonella enteritidis* และ *Escherichia coli* นอกจากนี้ Ehiowemwenguan et al. [100] พบว่า ผลของสารสกัดจากกล้วย *Musa sapientum* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Salmonella typhi Bacillus subtilis* และ *Staphylococcus aureus* และสารสกัดจากเปลือกกล้วย *Musa paradisiaca L.* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Porphyromonas gingivalis* และ *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* [97] เช่นเดียวกับงานวิจัยวลัยพร [58] สารสกัดจากเปลือกกล้วยทั้งสองสายพันธุ์ จำนวน 7 ชนิดของสารมีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่มีฤทธิ์ในการยับยั้ง (MIC) และมีฤทธิ์ฆ่าจุลินทรีย์ (MBC) อยู่ในช่วง 16-200 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร และ16->200 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร สารสกัดจากเปลือกกล้วยทั้งสองสายพันธุ์มีแนวโน้มที่จะใช้เป็นสารต้านแบคทีเรีย นอกจากนี้สารเคลือบผิวสามารถป้องกันการเกิดเชื้อจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากโซเดียมอัลจิเนทแยกได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล ฟิล์มที่ผลิตจากไบโอโพลีเมอร์เหล่านี้สามารถรักษาคุณภาพที่ดีและยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ รักษารสชาติชะลอการเปลี่ยนแปลง และชะลอการเกิดออกซิเดชั่นไขมัน อัลจิเนทเป็นสาร GRAS (FDA) การเคลือบผิวด้วยโซเดียมอัลจิเนทแสดงให้เห็นว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาลดการสูญเสียน้ำหนักและยังคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา [101][102][103][104]

ตารางที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน

Treatments (Alginate: Crude extracts)	Total plate count (CFU/g)										
	Storage time (days)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	-	-	-	-	<25	<25	$7.73x10^6$	>250	>250	>250	>250
0:100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<25	<25
10:90	-	-	-	-	-	-	-	-	<25	<25	<25
20:89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30:70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40:60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90:10	-	-	-	-	-	-	-	-	<25	<25	<25
100:0	-	-	-	-	-	-	<25	<25	<25	<25	<25

หมายเหตุ - ไม่พบจำนวนเชื้อจุลินทรีย์บนแผ่นอาหารเลี้ยงเชื้อ

<25 พบจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่า 25 จำนวน

>250 พบจำนวนจุลินทรีย์มากกว่ากว่า 250 จำนวน

4.4.2 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

4.4.2.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ (Total soluble solid; TSS)

ผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิว(ชุดควบคุม) และผลมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 เมื่อเก็บรักษาผลมะนาวเป็นระยะเวลานานขึ้น ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและผลมะนาวที่เคลือบสารสกัดหยาบ (100:0) และ (0:100) เพียงอย่างเดียว มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงที่สุด เท่ากับ 7.69 และ 7.60 °Brix ตามลำดับ หลังจากนั้นในวันที่ 6 จนถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษาผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (10:90), (50:50) และผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนท (100:0) เพียงอย่างเดียว มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 8.00-8.25 °Brix นอกจากนี้ในวันที่ 24 ของการเก็บรักษา พบค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มสูงขึ้นเกือบทุกชุดการทดลอง การที่ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำคั้นผลมะนาวจากทุกชุดการทดลองเพิ่มขึ้นเล็กน้อยนั้น เนื่องจากมีการสูญเสียน้ำไปในระหว่างการเก็บรักษาทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น [2] อีกทั้งมะนาวเป็นพวก non-climacteric fruit มีการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมีภายหลังการเก็บเกี่ยวเพียงเล็กน้อย [105] สำหรับผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทร่วมกับสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยมีค่า TSS มากกว่าผลมะนาวชุดควบคุม สอดคล้องกับการศึกษาของ Chiabrando and Giacalone [106] ที่พบว่าการเคลือบผลเชอรี่หวานด้วยอัลจิเนทร้อยละ 1 และร้อยละ 3 มีปริมาณ TSS มากกว่าชุดควบคุมทั้งในระยะเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาโดยสอดคล้องกับการชะลอการเสื่อมสภาพของเชอรี่หวานอีกด้วย

ตารางที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน

Treatments (Alginate: Crude extracts)	Total soluble solid (°Brix)										
	Storage time (days)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	6.66^{gF}	7.23^{dE}	7.28^{eDE}	7.63^{bcdCD}	7.60^{bcCD}	7.63^{cCD}	7.88^{bBC}	8.13^{cB}	8.63^{aA}	8.63^{abcA}	8.63^{bcA}
0:100	6.74^{fF}	7.60^{abE}	7.69^{bE}	7.63^{bcdE}	7.63^{bcE}	8.10^{abD}	8.38^{aCD}	8.50^{aC}	8.63^{aBC}	8.88^{aAB}	9.13^{aA}
10:90	7.25^{bD}	7.37^{cD}	8.00^{aC}	8.00^{aC}	8.00^{aC}	8.25^{abBC}	8.35^{aB}	8.25^{bBC}	8.50^{abB}	8.88^{aA}	9.00^{aA}
20:80	7.00^{dF}	7.23^{dEF}	7.37^{deE}	7.75^{bcD}	8.00^{aC}	8.13^{abC}	8.38^{aB}	8.50^{aB}	8.63^{aB}	8.63^{abcB}	9.00^{aA}
30:70	6.77^{fF}	6.82^{fEF}	7.00^{fE}	7.50^{dD}	8.00^{aB}	8.10^{abB}	8.10^{abB}	8.00^{dB}	8.13^{bB}	8.50^{bcA}	8.63^{bcA}
40:60	7.00^{dF}	7.55^{bE}	7.50^{cdE}	7.82^{abD}	8.00^{aD}	8.00^{abcD}	8.00^{bD}	8.25^{bC}	8.38^{abBC}	8.50^{bcAB}	8.63^{bcA}
50:50	6.53^{hF}	7.55^{bE}	8.00^{aD}	8.00^{aD}	8.19^{aCD}	8.38^{aBC}	8.38^{aBC}	8.25^{bCD}	8.63^{aB}	8.88^{aA}	9.00^{aA}
60:40	7.19^{cG}	7.28^{cdG}	7.28^{eG}	7.75^{bcF}	7.73^{bF}	8.00^{abcE}	8.00^{bE}	8.50^{aD}	8.63^{aC}	8.75^{abB}	9.00^{aA}
70:30	6.50^{hH}	6.85^{fG}	7.00^{fG}	7.55^{cdF}	7.73^{bE}	8.00^{abcD}	8.00^{bD}	8.25^{bC}	8.63^{aA}	8.50^{bcAB}	8.25^{cB}
80:20	7.45^{aDE}	7.00^{eF}	7.23^{eEF}	7.28^{eDE}	7.50^{cD}	7.88^{bcC}	8.00^{bC}	8.50^{aA}	8.38^{abAB}	8.13^{dBC}	8.38^{cAB}
90:10	6.87^{eD}	7.00^{eD}	7.60^{bC}	7.63^{bcdC}	8.10^{aB}	8.00^{abcB}	8.38^{aAB}	8.00^{dB}	8.25^{abAB}	8.38^{cdAB}	8.63^{bcA}
100:0	7.50^{hF}	7.69^{aE}	8.10^{aCD}	8.00^{aD}	8.00^{aD}	8.00^{abcD}	8.00^{bD}	8.25^{bBC}	8.38^{abB}	8.38^{cdB}	8.88^{abA}

หมายเหตุ $^{a-l}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

$^{A-K}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

4.4.2.2 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA)

เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มีปริมาณลดลง ในวันแรกของการเก็บรักษาของผลมะนาวทุกชุดการทดลอง มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้อยู่ระหว่างร้อยละ 7.69-8.50 เมื่อทำการเก็บรักษาจากถึงวันที่ 9 ถึง 18 ผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (10: 90), (40:60), (50:50) และผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนท (100:0) เพียงอย่างเดียว มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มีปริมาณลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษาทุกชุดการทดลองมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ลดลงเพียงเล็กน้อย ยกเว้นผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (30:70) และ(90:10) ที่มีปริมาณลดลงมากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่4.17)

วันที่ 24 ถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาผลของมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว (ชุดควบคุม) และผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนท (100:0) มะนาวที่เคลือบสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (0:100) เพียงอย่างเดียว และผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (10:90), (40:60) และ(70:30) มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มีปริมาณลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ โดยปกติแล้วปริมาณกรดทั้งหมดของผักและผลไม้จะลดลงเมื่อผลไม้แก่หรือสุก นอกจากนี้ภายหลังการการเก็บเกี่ยวและในระหว่างการเก็บรักษาปริมาณกรดทั้งหมดมักจะลดลงแม้มะนาวเป็นพวก non-climacteric fruit แต่ก็ยังคงมีการหายใจอยู่ ปริมาณกรดที่ลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้นนั้น น่าจะมาจากการที่กรดอินทรีย์ถูกใช้ไปใน Krebs's cycle [46] สอดคล้องกับวิกันดา [107] ที่รายงานว่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลส้มเขียวหวานเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษาและมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น

ตารางที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน

Treatments (Alginate: Crude extracts)	Titratable acidity (%)										
	Storage time (days)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	8.00^{dA}	7.69^{fB}	7.69^{cB}	7.53^{cC}	7.51^{bC}	7.50^{aC}	7.36^{abD}	7.33^{bcDE}	7.26^{aE}	6.99^{abF}	6.92^{aF}
0:100	8.48^{aA}	8.39^{bA}	7.87^{bB}	7.59^{bcC}	7.40^{cdD}	7.38^{bcD}	7.44^{aD}	7.32^{bcDE}	7.25^{aEF}	7.17^{aF}	6.89^{aG}
10:90	8.49^{aA}	7.79^{eB}	7.69^{cBC}	7.69^{abBC}	7.59^{abC}	7.51^{aDE}	7.42^{aE}	7.26^{cdF}	7.25^{aF}	7.10^{abG}	7.02^{aG}
20:80	8.39^{bcA}	8.28^{cA}	8.21^{aA}	7.59^{bcB}	7.53^{bB}	7.49^{aB}	7.27^{abC}	7.41^{aBC}	6.97^{bD}	6.86^{bcD}	6.04^{bE}
30:70	8.39^{bA}	8.28^{cAB}	8.21^{aB}	7.59^{bcC}	7.53^{bCD}	7.49^{aCD}	7.23^{bE}	7.41^{aD}	6.97^{bF}	6.86^{bcF}	6.04^{bG}
40:60	8.41^{bA}	8.46^{aA}	7.90^{bB}	7.79^{aB}	7.59^{abC}	7.53^{aC}	7.36^{abDE}	7.38^{abD}	7.23^{aE}	7.02^{abF}	6.86^{aG}
50:50	8.41^{bA}	7.87^{dB}	7.69^{cC}	7.69^{abC}	7.69^{aC}	7.46^{abD}	7.36^{abD}	7.38^{abD}	7.05^{bE}	7.00^{abEF}	6.86^{aF}
60:40	7.69^{eA}	7.59^{gAB}	7.40^{eBC}	7.10^{eDE}	7.10^{eDE}	7.25^{dCD}	7.44^{aBC}	6.99^{eE}	6.92^{bEF}	6.68^{cF}	5.87^{bG}
70:30	7.75^{eA}	7.77^{eA}	7.48^{dB}	7.38^{dB}	7.38^{dB}	7.38^{bcB}	7.42^{aB}	7.23^{dBC}	7.23^{aBC}	7.02^{abC}	6.75^{aD}
80:20	8.05^{dA}	7.59^{gB}	7.38^{eBC}	7.38^{dBC}	7.38^{dBC}	7.37^{cBC}	7.27^{abCD}	7.05^{eDE}	6.92^{bEF}	6.71^{cF}	6.77^{aEF}
90:10	8.31^{cA}	7.77^{eB}	7.53^{dC}	7.51^{cC}	7.50^{bcC}	7.38^{bcCD}	7.23^{bD}	7.23^{dD}	6.94^{bE}	6.92^{abcE}	5.83^{bF}
100:0	8.50^{aA}	7.69^{fB}	7.69^{cB}	7.69^{abB}	7.68^{aB}	7.51^{aC}	7.36^{abD}	7.28^{cdD}	7.28^{aD}	7.02^{abE}	7.02^{aE}

หมายเหตุ $^{a-l}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

$^{A-K}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$

4.4.2.3 อัตราส่วนระหว่างของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA)

อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ของผลมะนาวที่ไม่เคลือบผิว(ชุดควบคุม) และผลมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 พบว่ามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา(ตารางที่4.18) วันแรกของการเก็บรักษามีค่าอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ อยู่ระหว่าง 0.76-0.94 ผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนท (100:0) เพียงอย่างเดียว เมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 3 มีค่าอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้สูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ สอดคล้องกับงานของจริงแท้ [2] กล่าวว่าพืชในตระกูลส้มเมื่อมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นจะทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นและมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ลดลงเล็กน้อย จึงทำให้ค่าอัตราส่วนระหว่างของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น เนื่องจากผลผลิตได้นำเอากรดอินทรีย์และน้ำตาลที่เก็บสะสมอยู่ไปใช้ในกระบวนการหายใจ เพื่อใช้ในการดำรงชีวิตขณะที่อยู่ในช่วงการเก็บรักษาจึงทำให้กรดมีปริมาณลดลง ประกอบกับผลผลิตได้มีการสูญเสียน้ำไปบางส่วน ส่งผลให้ผลผลิตมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีความเข้มข้นมากขึ้น [108] จากการทดลองพบว่าค่าอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ มีค่าอยู่ระหว่าง 1.24-1.49 การลดลงของกรดอินทรีย์เป็นผลมาจากการหายใจที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว โดยกระบวนการหายใจลดลงจากการเปลี่ยนสภาพของกรดไปเป็นสารประกอบอื่นและลดความสามารถในการสังเคราะห์กรด [109][110] กล่าวว่ากรดอินทรีย์แต่ละชนิดสะสมอยู่ในผลไม้ และการลดลงของผลไม้สุกเนื่องจากเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหายใจ

ตารางที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน TSS:TA ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน

Treatments (Alginate: Crude extracts)	TSS/TA										
	Storage time (days)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	0.83^{deF}	0.94^{cE}	0.95^{dE}	1.01^{bcdD}	1.01^{fD}	1.02^{cD}	1.07^{eC}	1.11^{eC}	1.19^{abcB}	1.23^{abAB}	1.25^{cA}
0:100	0.80^{gH}	0.91^{eG}	0.98^{cF}	1.00^{bcdF}	1.03^{defF}	1.10^{abE}	1.13^{abcDE}	1.16^{bCD}	1.19^{abcBC}	1.24^{abB}	1.33^{bcA}
10:90	0.85^{cH}	0.95^{bcG}	1.04^{aF}	1.04^{bF}	1.05^{bcdF}	1.10^{abE}	1.13^{abcDE}	1.14^{cdCD}	1.17^{abcC}	1.25^{abB}	1.28^{cA}
20:80	0.83^{dG}	0.88^{gFG}	0.90^{eF}	1.02^{bcdE}	1.06^{abcDE}	1.09^{abD}	1.16^{aC}	1.15^{bcC}	1.24^{abB}	1.26^{abB}	1.49^{aA}
30:70	0.81^{fG}	0.82^{hG}	0.85^{fG}	0.99^{cdF}	1.06^{abcE}	1.08^{abDE}	1.12^{abcdCD}	1.08^{fDE}	1.17^{bcC}	1.24^{abB}	1.43^{abA}
40:60	0.83^{deH}	0.89^{efG}	0.95^{dF}	1.00^{cdE}	1.05^{bcdD}	1.06^{bD}	1.19^{cdeCD}	1.12^{deBC}	1.16^{cB}	1.21^{bA}	1.26^{cA}
50:50	0.78^{hG}	0.96^{bF}	1.04^{aE}	1.04^{bE}	1.06^{abcE}	1.12^{aD}	1.14^{abD}	1.12^{deD}	1.22^{abcC}	1.27^{abB}	1.32^{bcA}
60:40	0.94^{aE}	0.96^{bE}	0.99^{cE}	1.10^{aD}	1.09^{aD}	1.11^{abD}	1.08^{deD}	1.22^{aC}	1.25^{aC}	1.31^{aB}	1.54^{aA}
70:30	0.84^{dG}	0.88^{efEF}	0.94^{dE}	1.02^{bcD}	1.05^{cdD}	1.09^{abCD}	1.08^{cdeCD}	1.15^{bcdBC}	1.20^{abcAB}	1.21^{bAB}	1.25^{cA}
80:20	0.93^{bDE}	0.92^{dE}	0.98^{cCD}	0.99^{dC}	1.02^{efC}	1.07^{bB}	1.10^{bcdeB}	1.21^{aA}	1.21^{abcA}	1.22^{bA}	1.24^{cA}
90:10	0.83^{eF}	0.90^{eF}	1.01^{bE}	1.02^{bcdE}	1.08^{abDE}	1.09^{abDE}	1.16^{aBCD}	1.11^{eCD}	1.19^{abcBC}	1.21^{bB}	1.49^{aA}
100:0	0.76^{iG}	1.00^{aF}	1.05^{aE}	1.04^{bE}	1.05^{cdeE}	1.07^{bDE}	1.09^{cdeD}	1.13^{cdC}	1.15^{cC}	1.20^{bB}	1.27^{cA}

หมายเหตุ $^{a-l}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

$^{A-K}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

4.4.2.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์เอเมื่อทำการเก็บรักษาที่นานขึ้น ปริมาณคลอโรฟิลล์เอมีแนวโน้มลดลง ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในวันเริ่มต้นของการเก็บรักษาทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) แต่เมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 12 พบว่าปริมาณของคลอโรฟิลล์เอมีแนวโน้มลดลงมากในทุกชุดการทดลอง คงเหลือปริมาณคลอโรฟิลล์เออยู่ระหว่าง 6.61-11.50 mg/100gFW (ตารางที่4.19) นอกจากนี้ในวันที่ 12 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา มะนาวที่ไม่เคลือบผิว(ชุดควบคุม) พบปริมาณคลอโรฟิลล์เอน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ ต่างจากชุดการทดลองที่ผลมะนาวเคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษาพบปริมาณคลอโรฟิลล์เอคงเหลือมากที่สุด ตลอดจนการเก็บรักษาในวันที่ 30 ซึ่งเป็นวันสุดท้าย คงเหลือปริมาณคลอโรฟิลล์เอ เท่ากับ 5.59 mg/100gFW (ตารางที่4.19)

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์บีของผลมะนาวพันธุ์แป้นในวันแรกทุกชุดการทดลองมีปริมาณคลอโรฟิลล์บี ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในวันที่ 6และวันที่ 9 ของการเก็บรักษาพบว่าผลมะนาวเคลือบสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (0:100) เพียงอย่างเดียวมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ ต่างจากผลมะนาวเคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (90:10) มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีสูงกว่าทุกชุดการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 112.70 และ 99.90 mg/100gFW ตามลำดับ (ตารางที่4.20) ปริมาณคลอโรฟิลล์บีของผลมะนาวพันธุ์แป้นในทุกชุดการทดลองมีปริมาณลดลง โดยมะนาวที่ไม่เคลือบผิว (ชุดควบคุม) คงเหลือปริมาณคลอโรฟิลล์บีน้อยที่สุดตั้งแต่การเก็บรักษาในวันที่ 12 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (ตารางที่4.20) และผลมะนาวเคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) คงเหลือปริมาณคลอโรฟิลล์บีสูงที่สุดในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา

ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในเปลือกผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิว(ชุดควบคุม) และผลมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 เมื่อเก็บรักษาผลมะนาวเป็นระยะเวลานานขึ้น พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่องจนหมดอายุการเก็บรักษา ในวันแรกของการเก็บรักษานั้นปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในวันที่ 3 ผลมะนาวเคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (70:30) และ(90:10) พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดลดลงเพียงเล็กน้อย เท่ากับ 7.01 และ 7.00 mg/100gFW ตามลำดับ (ตารางที่4.21) นอกจากนี้ในวันที่ 3 และ 6 ของการเก็บรักษา ผลมะนาวเคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (40:60) เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ในวันที่ 9 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิว (ชุดควบคุม) ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดลดลงรวดเร็วกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ โดยในชุดการทดลองที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย(50:50) เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดลดลงช้ากว่าชุดการทดลอง อื่น ๆ ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาพบปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด เท่ากับ 1.57 mg/100gFW (ตารางที่4.21) จากการศึกษาการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในมะนาวพันธุ์แป้น ผลมะนาวพันธุ์แป้นที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) เกิดการ

สลายตัวของคลอโรฟิลล์ที่ช้ากว่ามะนาวพันธุ์แป้นในชุดทดลองอื่น ๆ เนื่องมาจากสารเคลือบผิวสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกหรือการสลายตัวของคลอโรฟิลล์จากกิจกรรมของเอนไซม์ chlorophyllase และ pheophytinase การสูญเสียสีเขียวของเปลือกผลมะนาวมีสาเหตุมาจากการสลายตัวของสารสีคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) โดยกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ถูกกระตุ้นโดยกิจกรรมเอนไซม์หลักที่เกี่ยวข้องกับกลไกการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ได้แก่ chlorophyllase, Mg-chelatase, pheophorbidase และ pheophytinase เป็นต้น เอนไซม์แต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันโดยทำให้เกิดการทำลายหรือย่อยโครงสร้างของสารสีคลอโรฟิลล์ก่อให้เกิดการสะสมอนุพันธุ์แต่ละชนิด [111] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kaewsuksaeng [112] ได้ศึกษากิจกรรมเอนไซม์ pheophytinase ในมะนาวพันธุ์ Tahitian (*Citrus latofolia Tan*.) ที่ผ่านการเก็บรักษาโดยนำเข้าจากต่างประเทศ พบว่ากิจกรรมเอนไซม์ pheophytinase มีกิจกรรมที่สูงขึ้น สอดคล้องกับการเหลืองของเปลือกมะนาวโดยมีผลการทดลองเช่นเดียวกันกับการศึกษาในบร็อคโคลี่หลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งมีกิจกรรมของเอนไซม์ pheophytinase สูงในขณะที่ดอกย่อยสีเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองของช่อดอก [113][114] จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าเอนไซม์ pheophytinase มีบทบาทสำคัญในกลไกการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในพืชเช่นเดียวกับเอนไซม์ ชนิดอื่น ๆ

ตางที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์เอของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน

reatments (Alginate: Crude extracts)	Chlorophyll a (mg/100 gFw)										
	Storage time (days)										
	0^{ns}	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	22.90^{A}	18.60^{hB}	17.90^{dC}	16.80^{bD}	8.80^{dE}	6.61^{jF}	4.48^{gG}	4.42^{jH}	3.32^{iI}	2.28^{iJ}	1.19^{fK}
0:100	22.90^{A}	16.10^{lB}	15.61^{hC}	12.21^{kD}	11.13^{aE}	11.12^{aE}	6.65^{eF}	5.58^{fG}	5.55^{eH}	5.54^{cdH}	4.41^{beI}
10:90	22.90^{A}	20.20^{fB}	16.01^{gC}	15.51^{fD}	11.50^{aE}	9.99^{eF}	7.75^{cG}	7.75^{bG}	6.60^{dH}	5.53^{dI}	5.52^{aI}
20:80	22.90^{A}	21.30^{cB}	17.10^{fC}	15.60^{eD}	11.16^{aE}	9.91^{fF}	8.83^{bG}	6.65^{eH}	6.63^{cI}	6.61^{bJ}	5.50^{aK}
30:70	22.90^{A}	18.10^{jB}	18.01^{cC}	16.11^{cD}	11.10^{aE}	11.08^{bF}	6.60^{eG}	5.58^{fH}	5.52^{fI}	6.44^{fJ}	3.38^{dK}
40:60	22.90^{A}	16.30^{kB}	14.31^{jC}	14.10^{iD}	11.11^{aE}	11.08^{bcF}	5.53^{fG}	4.48^{hH}	3.37^{hI}	3.35^{hJ}	2.25^{eK}
50:50	22.90^{A}	18.40^{iB}	17.60^{eC}	16.01^{dD}	11.19^{aE}	11.05^{dF}	9.91^{aG}	8.81^{aH}	7.75^{aI}	6.63^{aJ}	5.59^{aK}
60:40	22.90^{A}	19.00^{gB}	18.80^{aC}	15.00^{hD}	8.89^{dE}	6.65^{iF}	6.63^{eG}	5.59^{fH}	5.53^{fI}	4.44^{fJ}	3.33^{dK}
70:30	22.90^{A}	22.00^{bB}	15.50^{iC}	13.30^{jD}	11.20^{aE}	11.05^{dF}	7.20^{dG}	6.66^{deH}	6.65^{bI}	6.60^{bJ}	5.50^{bK}
80:20	22.90^{A}	21.10^{dB}	18.00^{cC}	15.20^{gD}	9.97^{bE}	8.80^{hF}	7.72^{cG}	5.51^{gH}	4.41^{gI}	4.41^{gI}	4.40^{cI}
90:10	22.90^{A}	22.90^{aA}	18.21^{bB}	18.10^{aC}	9.40^{cD}	8.86^{gE}	7.77^{cF}	7.71^{cG}	6.65^{bH}	5.55^{cI}	5.51^{acJ}
100:0	22.90^{A}	20.80^{eB}	18.80^{aC}	13.31^{jD}	11.08^{aE}	11.06^{cdF}	6.69^{eG}	6.67^{dH}	5.56^{eI}	4.49^{eJ}	4.42^{bK}

หมายเหตุ $^{a-l}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P≤0.05)

$^{A-K}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P≤0.05)

ตารางที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์บีของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน

Treatments (Alginate: Crude extracts)	Chlorophyll b (mg/100 gFw)										
	Storage time (days)										
	0[ns]	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	142.5^{A}	102.0^{jB}	100.6^{gC}	99.8^{bD}	42.7^{kE}	31.2^{lF}	26.7^{kG}	20.7^{lH}	18.6^{lI}	18.4^{kJ}	11.9^{kK}
0:100	142.5^{A}	92.1^{kB}	84.2^{lC}	64.7^{lD}	59.6^{eE}	58.7^{cF}	32.7^{gG}	27.8^{hH}	24.9^{hI}	24.0^{fJ}	21.9^{cK}
10:90	142.5^{A}	111.3^{gB}	91.0^{iC}	85.4^{gD}	83.8^{aE}	51.5^{gF}	37.3^{fG}	34.5^{cH}	28.3^{fI}	26.4^{eJ}	20.3^{gK}
20:80	142.5^{A}	116.9^{eB}	100.8^{fC}	87.7^{eD}	63.4^{bE}	51.8^{fF}	43.5^{dG}	31.1^{fH}	28.7^{eI}	28.0^{cJ}	20.6^{fK}
30:70	142.5^{A}	109.3^{hB}	108.1^{bC}	94.2^{dD}	62.5^{cE}	58.8^{bF}	28.6^{hG}	28.1^{gH}	26.9^{gI}	22.4^{hJ}	19.9^{hK}
40:60	142.5^{A}	88.7^{lB}	84.5^{kC}	82.1^{iD}	58.9^{gE}	53.5^{eF}	27.5^{iG}	23.7^{kH}	20.3^{kI}	15.9^{lJ}	13.0^{jK}
50:50	142.5^{A}	106.5^{iB}	106.3^{eC}	98.7^{cD}	62.5^{cE}	59.2^{aF}	44.8^{aG}	42.3^{aH}	34.9^{aI}	29.9^{aJ}	24.4^{aK}
60:40	142.5^{A}	114.0^{cB}	107.0^{cC}	86.8^{fD}	52.7^{iE}	36.1^{kF}	27.2^{jG}	26.4^{iH}	22.7^{jI}	21.1^{jJ}	17.8^{iK}
70:30	142.5^{A}	130.9^{aB}	96.6^{hC}	73.0^{kD}	62.0^{dE}	48.3^{hF}	44.5^{bG}	32.4^{eH}	30.6^{cI}	28.1^{bJ}	21.0^{dK}
80:20	142.5^{A}	125.6^{cB}	106.4^{dC}	82.9^{hD}	48.5^{jE}	40.6^{jF}	37.3^{fG}	23.9^{jH}	23.5^{iI}	21.8^{iJ}	20.3^{gK}
90:10	142.5^{A}	120.7^{dB}	112.7^{aC}	99.9^{aD}	53.7^{hE}	42.8^{iF}	38.8^{eG}	35.1^{bH}	30.8^{bI}	26.6^{dJ}	20.7^{eK}
100:0	142.5^{A}	127.0^{bB}	86.0^{jC}	73.5^{jD}	58.9^{fE}	55.7^{dF}	44.1^{cG}	32.8^{dH}	30.3^{dI}	23.4^{gJ}	23.3^{bK}

หมายเหตุ [a-l] ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P≤0.05)

[A-K] ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P≤0.05)

[ns] ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P≤0.05)

ตารางที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน

Treatments (Alginate: Crude extracts)	Total Chlorophyll (mg/100 gFw)										
	Storage time (days)										
	0^{ns}	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	7.42^{A}	5.73^{hB}	5.63^{fC}	3.73^{jD}	2.46^{jE}	1.84^{lF}	1.48^{lG}	1.21^{jH}	1.15^{kI}	1.07^{jJ}	0.62^{jK}
0:100	7.42^{A}	5.06^{iC}	4.81^{kD}	5.34^{bB}	3.46^{dE}	3.40^{bF}	1.93^{hG}	1.71^{fH}	1.55^{hI}	1.55^{eI}	1.25^{eJ}
10:90	7.42^{A}	6.27^{eB}	4.93^{jC}	4.90^{eD}	4.64^{aE}	2.99^{gF}	2.23^{gG}	2.17^{bH}	1.76^{eI}	1.56^{deJ}	1.35^{cK}
20:80	7.42^{A}	6.59^{dB}	5.45^{hC}	4.89^{eD}	3.59^{bE}	2.86^{hF}	2.55^{cG}	1.90^{eH}	1.85^{dI}	1.71^{cJ}	1.36^{cK}
30:70	7.42^{A}	5.80^{gB}	5.78^{cC}	5.10^{dD}	3.41^{eE}	3.33^{cF}	1.76^{jG}	1.71^{fH}	1.58^{gI}	1.33^{gJ}	1.16^{gK}
40:60	7.42^{A}	5.03^{jB}	4.56^{lC}	4.46^{hD}	3.33^{fE}	3.30^{dF}	1.61^{kG}	1.43^{lH}	1.05^{lI}	0.83^{kJ}	0.68^{iK}
50:50	7.42^{A}	5.80^{gB}	5.65^{eC}	5.63^{aD}	4.67^{aE}	3.43^{aF}	2.95^{aG}	2.47^{aH}	2.09^{aI}	1.81^{aJ}	1.57^{aK}
60:40	7.42^{A}	6.04^{fB}	5.94^{aC}	4.73^{fD}	2.82^{hE}	2.01^{kF}	1.80^{iG}	1.69^{gH}	1.52^{iI}	1.28^{hJ}	1.01^{hK}
70:30	7.42^{A}	7.01^{aB}	5.03^{iC}	4.11^{iD}	3.53^{cE}	3.02^{fF}	2.27^{eG}	2.02^{dH}	1.94^{cI}	1.77^{bJ}	1.47^{bK}
80:20	7.42^{A}	6.73^{bB}	5.73^{dC}	4.71^{gD}	2.92^{gE}	2.49^{jF}	2.25^{fG}	1.49^{hH}	1.30^{jI}	1.25^{iJ}	1.19^{fK}
90:10	7.42^{A}	7.00^{aB}	5.87^{bC}	5.18^{cD}	2.80^{iE}	2.63^{iF}	2.32^{dG}	2.11^{cH}	1.99^{bI}	1.58^{dJ}	1.34^{cK}
100:0	7.42^{A}	6.70^{cB}	5.47^{gC}	4.12^{iD}	3.33^{fE}	3.26^{eF}	2.69^{bG}	2.03^{dH}	1.73^{fI}	1.42^{fJ}	1.32^{dK}

หมายเหตุ $^{a-l}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P≤0.05)

$^{A-K}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P≤0.05)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P≤0.05)

ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเปลือกผลมะนาวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยใน 6 วันของการเก็บรักษา ผลมะนาวเคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (40:60) พบปริมาณแคโรทีนอยด์น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ และผลมะนาวเคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (20:80) พบปริมาณแคโรทีนอยด์สูง เพิ่มขึ้นจากวันแรกจนถึงวันที่ 9 เท่ากับ 2.86-3.86 mg/100gFW (ตารางที่4.22) หลังจากนั้นในวันที่ 12 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิว (ชุดควบคุม) มีปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ โดยในชุดการทดลองที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ยกเว้นผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (80:20) โดยพบปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากัน คือ 8.51 mg/100gFW (ตารางที่4.22) สอดคล้องกับงานวิจัย Valero et al., [115] พลัมสี่สายพันธุ์ผ่านการเคลือบด้วยอัลจิเนทร้อยละ 1 หรือ ร้อยละ 3 พบว่ากระบวนสุกที่เกิดขึ้นช้าลงสัมพันธ์กับการลดลงของแอนโธไซยานินและแคโรทีนอยด์ ผลลัพธ์โดยรวมชี้ให้เห็นว่าการเคลือบผิวด้วยอัลจิเนท สามารถเพิ่มระยะเวลาการเก็บลูกพลัมได้นาน 2 สัปดาห์ สำหรับ Larry Ann ,Songold 3 สัปดาห์ สำหรับ Blackamber, Golden Globe มากกว่าชุดควบคุม การเปลี่ยนแปลงสีในผลไม้รสเปรี้ยวนั้นเกิดจากการสลายตัวของเม็ดสีคลอโรฟิลล์ด้วยกระบวนการสุกและการสะสมของแคโรทีนอยด์ในฟลาโวโด แคโรทีนอยด์ให้สีเหลืองเป็นลักษณะเฉพาะในผลไม้มะนาวแต่มีคลอโรฟิลล์สีเขียวอยู่ด้วย การแสดงออกของรงควัตถุแคโรทีนอยด์นั้นถูกคลอโรฟิลล์อยู่ในผลมะนาวสีเขียวบดบัง เมื่อผลไม้สุกมากสีคลอโรฟิลล์ที่มีการสลายตัว ทำให้แคโรทีนอยด์ที่ถูกบดบังชัดขึ้น carotenoids ใน flavedo เป็นการเปลี่ยนสีผลจากสีเขียวเป็นสีเหลือง [116][117]

ตารางที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 88±4 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน

Treatments (Alginate: Crude extracts)	Total Carotenoid (mg/100 gFw)										
	Storage time (days)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	2.15^{hK}	2.36^{iJ}	2.56^{jI}	3.56^{cH}	4.86^{aG}	5.64^{aF}	6.10^{aE}	7.70^{aD}	8.72^{aC}	9.45^{aB}	9.67^{aA}
0:100	2.18^{gK}	2.65^{dJ}	3.05^{dI}	3.41^{fH}	3.81^{eG}	4.71^{eF}	5.38^{dE}	6.50^{fD}	7.30^{fC}	7.63^{iB}	9.53^{bA}
10:90	2.71^{bK}	2.87^{bJ}	3.24^{bI}	3.59^{bH}	4.19^{cG}	4.55^{gF}	5.63^{cE}	6.95^{cD}	7.13^{iC}	8.75^{cB}	9.51^{dA}
20:80	2.86^{aK}	3.04^{aJ}	3.51^{aI}	3.86^{aH}	4.28^{bG}	4.73^{dF}	5.21^{fE}	6.43^{hD}	8.21^{bC}	8.47^{gB}	9.51^{cA}
30:70	2.00^{iK}	2.58^{gJ}	2.77^{gI}	3.07^{gH}	3.24^{gG}	5.29^{bF}	5.35^{eE}	6.90^{dD}	7.45^{eC}	8.61^{eB}	9.51^{dA}
40:60	1.90^{lK}	1.97^{lI}	1.95^{lJ}	2.99^{hH}	3.18^{hG}	4.96^{cF}	5.73^{bE}	6.48^{gD}	6.68^{kC}	7.06^{kB}	9.51^{dA}
50:50	1.93^{kK}	2.09^{kJ}	2.61^{iH}	2.55^{kI}	2.76^{kG}	3.47^{lF}	3.95^{lE}	5.27^{lD}	6.59^{lC}	6.92^{lB}	8.51^{fA}
60:40	2.23^{fK}	2.62^{eJ}	2.80^{fI}	3.00^{hH}	3.18^{iG}	3.51^{jF}	4.29^{iE}	6.78^{eD}	8.11^{cC}	8.59^{fB}	9.51^{dA}
70:30	2.39^{dK}	2.60^{fJ}	3.06^{cI}	3.46^{dH}	3.88^{dG}	4.68^{fF}	5.13^{gE}	6.06^{iD}	6.71^{jC}	9.16^{bB}	9.51^{dA}
80:20	1.97^{jK}	2.34^{jJ}	2.36^{kI}	2.75^{jH}	3.11^{jG}	3.49^{kF}	4.20^{jE}	5.91^{jD}	7.25^{gC}	8.20^{hB}	8.51^{fA}
90:10	2.36^{eK}	2.56^{hJ}	2.94^{eI}	3.43^{eH}	3.64^{fG}	3.84^{iF}	4.12^{kE}	6.97^{bD}	8.03^{dC}	8.63^{dB}	9.5^{dA}
100:0	2.44^{cJ}	2.67^{cI}	2.67^{hI}	2.89^{iH}	3.11^{jG}	4.05^{hF}	5.08^{hE}	5.84^{kD}	7.23^{hC}	7.47^{jB}	8.91^{eA}

หมายเหตุ $^{a-l}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

$^{A-K}$ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

1. การศึกษาดัชนีบ่งชี้ระยะความสุก ต่อคุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณแทนนินของผงเปลือกกล้วยน้ำว้า พบว่าผลของการแบ่งระยะการสุกของกล้วยน้ำว้าทั้ง 8 ระยะการสุก พบว่าเปลือกกล้วยระยะการสุกที่ 1 มีสีเขียวเข้ม มีค่า L* a* และ b* เท่ากับ 47.56,-50.54 และ 16.66 และมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงระยะที่ 8 มีสีเหลืองและจุดดำที่ผิว โดยมีค่า L* a* และ b* เท่ากับ 64.11, 10.14 และ 67.07 ตามลำดับ ดัชนีระยะความสุกของกล้วยน้ำว้าสีเปลือกผลเปลี่ยนแปลงตามระยะการสุกของผลกล้วยน้ำว้า โดยระยะที่ 1 (a) มีสีเขียวเข้ม ในขณะที่ ระยะที่ 6 (f) มีสีเหลืองเป็นลักษณะการสุกเต็มที่ และระยะที่ 8 (h) มีสีเหลืองและมีจุดดำที่ผิว นอกจากนี้ผงเปลือกกล้วยระยะการสุกที่ 1 มีค่า L* สูงที่สุด และa* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยระยะการสุกที่ 8 มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 8.75 และค่า b* มีแนวโน้มค่าสีลดลง ค่าสี L* ของผงเปลือกกล้วยลดลงสัมพันธ์กับระยะการสุกของกล้วยที่เพิ่มขึ้น องค์ประกอบทางเคมีพบว่าผงเปลือกกล้วยระยะสุกที่ 8 มีปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำในอาหาร และปริมาณโปรตีนสูงกว่าผงเปลือกผลกล้วยทุกระยะโดยมีค่าเท่ากับร้อยละ7.59 ร้อยละ 0.59 และร้อยละ 8.25 ตามลำดับ ปริมาณสารประกอบแทนนินในสารสกัดจากผงเปลือกกล้วยในระยะการสุกที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อปริมาณของสารประกอบแทนนิน มีค่าระหว่าง41.38-72. mg tannic acid/g โดยสารสกัดจากผงเปลือกกล้วยแก่มีปริมาณสารสกัดแทนนินเพิ่มขึ้นสูงในระยะการสุกที่ 4 และ 5 หลังจากนั้นจะมีปริมาณลดลง

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแทนนินของผงเปลือกกล้วยน้ำว้า พบว่าปริมาณของสารประกอบแทนนินในสารสกัดจากผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่สกัดด้วย น้ำกลั่นต่ออะซิโตน (1:1) ทั้ง 3 Set (ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น อะซิโตน และน้ำกลั่นต่ออะซิโตน (1:1) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Set 1) 4 ชั่วโมง (Set 2) และ6 ชั่วโมง (Set 3)) มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือสารสกัดที่สกัดด้วยน้ำกลั่นมีปริมาณของสารประกอบแทนนิน มีค่าอยู่ในช่วง 63.48-78.88 mg tannic acid/g นอกจากนี้พบว่าปริมาณสารประกอบแทนนินของผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่สกัดด้วยอะซิโตนทั้ง 3 set มีปริมาณค่อนข้างต่ำ ชนิดของตัวทำละลายและวิธีการสกัดมีผลต่อปริมาณสารแทนนินที่สกัดได้ โดยสารสกัดจากผงเปลือกกล้วยน้ำว้าที่สกัดด้วย น้ำกลั่นต่ออะซิโตน (1:1) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบปริมาณสารแทนนินสูงที่สุด

3. จากการศึกษาผลของสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยน้ำว้าและสารเคลือบผิวอัลจิเนทต่อคุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีของผลมะนาว พบว่าผลมะนาวที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวมีค่าความสว่างสูงกว่าผลมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิว การเคลือบผลมะนาวด้วยสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยสามารถรักษาคุณภาพของผลมะนาวได้นานขึ้น โดยผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีได้มากที่สุด ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มปริมาณน้ำคั้นที่เพิ่มขึ้น ผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) มีปริมาณน้ำคั้นน้อยที่สุดการสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิว(ชุดควบคุม) มีค่าสูงกว่าผลมะนาวพันธุ์แป้นที่ผ่านการเคลือบผิว โดยการ

สูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา ผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิว (ชุดควบคุม) และผลมะนาวที่เคลือบสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (0:100) เพียงอย่างเดียวมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด ชุดการทดลองที่ผลมะนาวเคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนท (100:0) เพียงอย่างเดียว มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา ผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) มีอายุการเก็บรักษาสูงที่สุด สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลมะนาวได้นานสุดถึง 24 วัน ในขณะที่ชุดควบคุมที่ไม่ได้เคลือบผิวมีอายุการเก็บรักษาได้นาน 18 วัน การเกิดโรคของผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิว(ชุดควบคุม) และผลมะนาวที่ผ่านการเคลือบผิวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ภายหลังการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 30 วัน พบว่าบนผิวเปลือกมะนาวพันธุ์แป้นไม่มีพบการเกิดโรคตลอดอายุการเก็บรักษา ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาผลมะนาวชุดควบคุมพบปริมาณจุลินทรีย์เป็นจำนวนมากจนไม่สามารถนับจำนวนของปริมาณจุลินทรีย์ได้ ในขณะที่ผลมะนาวที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยทุกความเข้มข้นช่วยชะลอการเกิดจุลินทรีย์ได้ เมื่อเก็บรักษาผลมะนาวเป็นระยะเวลานานขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในวันที่ 24 ของการเก็บรักษาพบค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มสูงขึ้นเกือบทุกชุดการทดลอง อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้พบว่ามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกชุดการทดลอง อยู่ระหว่าง 0.76-0.94 และเพิ่มขึ้นในวันสุดท้ายอยู่ในช่วง 1.24-1.54 จากการศึกษาการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในมะนาวพันธุ์แป้น เมื่อเก็บรักษาผลมะนาวเป็นระยะเวลานานขึ้น พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่องจนหมดอายุการเก็บรักษา ผลมะนาวที่ไม่ได้เคลือบผิว(ชุดควบคุม) ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดลดลงรวดเร็วกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ซึ่งมะนาวพันธุ์แป้นที่เคลือบสารเคลือบผิวอัลจิเนทและสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วย (50:50) เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ที่ช้ากว่ามะนาวพันธุ์แป้นในชุดทดลองอื่น ๆ

บรรณานุกรม

[1] วรรณวิรางค์ ซื้อตระกูล, “การวิเคราะห์หาปริมาณแทนนินในเครื่องดื่มในชาปรุงสำเร็จพร้อมดื่มด้วยวิธีสเปกโทรโฟโตมิทร์,” วิทยานิพนธ์. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา, 2554.

[2] จริงแท้ ศิริพานิช, *สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้*, พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร. : ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.

[3] กฤษณชัย คลอดเพ็ง, “ผลของสารล้างผลและสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะนาว,” วิทยานิพนธ์. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551.

[4] L. Goldenberg, Y. Yaniv, A. Doron-Faigenboim, N. Carmi, and R. Porat, “Diversity among mandarin varieties and natural sub-groups in aroma volatiles compositions,” *Science of Food and Agriculture,* vol. 96, pp. 57-65, 2016.

[5] D. Obenland, S Collin, B Mackey, J Sievert, and ML. Arpaia, “Storage temperature and time influences sensory quality of mandarins by altering soluble solids acidity and aroma volatile composition,” *Postharvest Biol Technol*, vol 59, pp. 187-193, 2011.

[6] G. Oms-Oliu, A. Rojas-Graü, L. González, P. Varela, R. Soliva-Fortuny, M. Hernando, I. Pérez Munuera, S. Fiszman, and O. Martín-Belloso, “Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit,” *Postharvest Biol Technol,* vol. 57, pp. 139-148, 2010.

[7] ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์, “กล้วย. คุณค่าล้นหวี ผลไม้ดีคู่สุขภาพ, ” *อาหาร*, ปีที่ 44 ฉบับที่ 1, หน้า 15-18, มกราคม-มีนาคม 2557.

[8] กรมศุลกากร, *สถิติการนำเข้า - ส่งออก (ออนไลน์)*, 2558, Available: www.customsclinic.org/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=4%3Aimport-andexport-statistic-&Itemid=222&lang=th (15 สิงหาคม 2561).

[9] J.S. Heslop-Harrison, and T. Schwarzacher, “Domestication genomics and the future for banana,” *Annals of Botany*, vol 100, No. 5, pp. 1073-1084, 2007.

[10] N.W. Simmonds, “Bananas” *in Tropical Agricultural Series Longman*. 2 ed, New York (USA), 1966, p. 512

[11] มหาวิทยาลัยแม่โจ้. *การผลิตกล้วย Musa spp. (Musaceae), (ออนไลน์),* Available: www.lms.mju.ac.th/courses/121/locker/1กล้วย.doc. (15 สิงหาคม 2561).

[12] RC. Adao, and MBA. Gloria, “Bioactive amines and carbohydrate changes during ripening of ‘Prata’ banana (*Musa acuminata x Musa balbisiana*),” *Food chemistry,* vol. 90, pp. 705-711, 2005.

บรรณานุกรม(ต่อ)

[13] C. Bugaud, M. Chillet, M.P. Beaute, and C. Dubois, “Physicochemical analysis of mountain bananas from the French West Indies,” *Scientia Hort*, vol. 108, pp. 167–172, 2006.

[14] P.M. Kotecha, and B.B. Desai, “Banana,” in *Handbook of Fruit Science and Technology*: *Production, Composition, Storage and Processing.*, D. K. Salunkhe and S. S. Kadam, Eds., Marcel Dekker, New York, 1995, pp. 67-90.

[15] N.L. Wade, P.B.H. O’Connell, and C.J. Brady, “Content of RNA and protein of the ripening banana,” *Phytochemistry*, vol. 11, pp. 975-979, 1972.

[16] J. L. Goldstein, and E. L. Wick, “Lipids in ripening banana fruit,” *Food Science,* vol. 34, p. 482, 1969.

[17] J. K. Palmer, “The Biochemistry of Fruits and Their Products,” In *the Banana*. vol. 2, A. C. Hulme, ed, London and New York: Academic Press, 1971, pp 65-105.

[18] N. W. Simmonds, “Banana,” London: Longman, 1970.

[19] K. Kanazawa, and H. Sakakibara, “High content of dopamine, a strong antioxidant in Cavendish banana,” *Agricultural and Food Chemistry,* vol. 48, No. 3, pp. 844–848, 2000.

[20] F. Mendoza, and J. M. Aguilera, “Application of image analysis for classification of ripening bananas,” *Food Science*, vol. 69, No. 9, pp. 471-477, 2004.

[21] เบญจมาศ ศิลาย้อย, *กล้วย*, ครั้งที่ 357. ปีที่2545. ภาควิชาพืชสว คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร, 2545.

[22] D.R. De Sotillo, M. Hadley, and E.T. Holm, “Potato peel waste; stability and antioxidant activity of a freeze-dried extract,” *Food Science*, vol. 59, pp. 1031-1033, 1994.

[23] A. Subagio, N. Morita, and S. Sawada, “Carotenoids and their fatty-acid esters in banana peel,” *Nutritional Science and Vitamin ology,* vol. 42, No. 6, pp. 553–566, 1996.

[24] อัญชนา เจนวิถีสุข, “การตรวจหาและบ่งชี้ชนิดสารต้านอนุมูลอิสระจากผักพื้นบ้าน และสมุนไพรไทย,” วิทยานิพนธ์. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2544.

[25] โอภา วัชระคุปต์, *สารต้านอนุมูลอิสระ,* กรุงเทพมหานคร: พีเอสพริ้นท์, 2549.

[26] สุชาติ สุขสถิตย์ และ ผุสดี ตังวัชรินทร์, “องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และสมบัติด้านพรีไบโอติกเบื้องต้นของใยอาหารและรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ,” *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, ปีที่ 33, 2558.

บรรณานุกรม(ต่อ)

[27] ธวัลรัตน์ โถงโฉม, ฉัตรมงคล จักรปา, สุนิษา ส่องแสง และ ภาเกล้า ภูมิใหญ่, “การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากกล้วย 5 สายพันธุ์,” การประชุมวิชาการด้านวิทยาศาสตร์, 2559.

[28] รัตนา ม่วงรัตน์, พงศธร ถ้ำทอง และ จรัสศรี หลวงพันธ์, “การสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากเปลือกกล้วยหอมทองโดยใช้เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายที่สภาวะต่ำกว่าจุดวิกฤติ,” *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, ปีที่ 8 ฉบับที่ 15, มกราคม - มิถุนายน 2559.

[29] วลัยพร มัฆพาน และ พัชราภรณ์ นาคเทวัญ, “ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากเปลือกกล้วยเล็บมือนางและกล้วยหินในการต้านการเจริญของเชื้อก่อโรคในอาหาร,” *แก่นสารเกษตร*, ปีที่ 46, ฉบับพิเศษ 1, 2561.

[30] พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ, *พืชที่ให้สีย้อมและแทนนิน*. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.), กรุงเทพมหานคร, 2544.

[31] M. A. Amelot, A. O. Bastidas, and M. C. Pisarelli, “Phenolics and condensedtannins of high altitude Pteridium arachnoideum in relation to sunlight exposure elevation and rain regime,” 2007.

[32] M. Mustapha, M. Naczyk, and F. Shahidi, “Extraction and analysis of Phenolics,”. *Chromatography*, vol. 1054, pp. 95-111, 2004.

[33] J. E. O’ Connell, “Food Chemistry,” University College, Cork, lreland: Product Technology Department, NIZO Food Research, 2000.

[34] J. H. Von Elbe, and S. J. Schwartz, “Colorants. Food Chemistry,” O.R. Fennema, and Marcel Dekker, 3rd., ed, Inc., New York, 1996.

[35] S. S. Deshpande, M. Cheryan, and D. K. Salunkhe, “Tannin analysis of food product,” *Food Science*, vol. 24, pp. 401-449, 1986.

[36] ชุติกาญจน์ ศักดิ์สิงห์, “การศึกษาต้านอนุมูลอิสระในผักพื้นบ้าน,” การศึกษาอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีสำหรับครู คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2551.

[37] ธีรวุฒิ เลิศสุทธิ์ชวาล และคณะ, “ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากฝาดดอกแดงต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio sp*,” *วารสารการวิจัยเทคโนโลยีการประมง*, ปีที่ 1, หน้า. 97-103, 2552.

[38] กมณชนก วงศ์สุขสิน และปนัดดา ผ่านสำแดง, “การสกัดสารแทนนินจากใบมันสำปะหลัง,” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา, 2557.

บรรณานุกรม(ต่อ)

[39] P. Comanidini, M. J. Lerma-García, E. F. Simó-Alfonso, and T. G. Toschi, "Tannin analysis of chestnut bark samples (*Castanea sativa* Mill.) by HPLC-DAD-MS," *Food Chemistry*, vol. 157, pp. 290-295, 2014.

[40] รวี เสรฐภักดี, "เทคนิคการผลิตมะนาวนอกฤดูและผลของ Paclobutrazol ต่อการออกดอกของมะนาวนอกฤดู," *ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรมเทคนิคการผลิตมะนาวนอกฤดู* ศูนย์วิจัยและพัฒนาไม้ผลเขตร้อน, สถาบันวิจัยพัฒนากำแพงแสน: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ปี 2553, หน้า. 1-7.

[41] เอนก ไทยานนท์, *การปลูกมะนาว*, พิมพ์ครั้งที่ 2. ปีที่ 2553. กรุงเทพมหานคร : เกษตรสยามบุ๊คส์ จำกัด, 2553.

[42] จิรา ณ หนองคาย, *เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผัก ผลไม้และดอกไม้*, พิมพ์ครั้งที่ 2. ปีที่ 2534. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แมสพับลิชชิ่ง, 2534.

[43] จริงแท้ ศิริพานิช, *ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช*, พิมพ์ครั้งที่ 1. ปีที่ 2553. นครปฐม: ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, 2553.

[44] ยงยุทธ ข้ามสี่, *สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน*, พิมพ์ครั้งที่ 1. ปีที่ 2539. เชียงใหม่: สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2539.

[45] ชมพูนุท บัวเผื่อน และลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์, "การใช้สารเคลือบผิวเจลว่านหางจระเข้เพื่อยืดอายุวางจำหน่ายของมะนาวพันธุ์แป้น," *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, ปีที่ 45, ฉบับที่ 3/1 พิเศษ, หน้า. 101-104, 2557.

[46] จริงแท้ ศิริพานิช, *สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้*, พิมพ์ครั้งที่ 1. ปีที่ 2539. นครปฐม : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, 2538.

[47] นิภา คุณทรงเกียรติ, "การเก็บรักษามะนาว," *เกษตรก้าวหน้า*, ปีที่ 13, หน้า 38-44, 2541

[48] พีรเดช ทองอำไพ, *ฮอร์โมนพืชและการสังเคราะห์*, แนวทางการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ไดนามิค, 2529.

[49] พีรเดช ทองอำไพ, *ฮอร์โมนพืชและสารสังเคราะห์*, แนวทางการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ไดนามิค, 2534.

[50] V. Chiabrando, and G. Giacalone, "Anthocyanins, phenolics and antioxidant capacity after fresh storage of blueberry treated with edible coatings," *Food Science*, vol. 66, pp. 248-253, 2015.

[51] วิลาวัลย์ คำปวน กัลยา แอ่นกาศ และจำนงค์ อุทัยบุตร, "การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาและผลส้มสายน้ำผึ้งที่ผ่านการเคลือบผิว," ครั้งที่ 5 *การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ*, ณ โรงแรมเวลคัมจอมเทียนบีชพัทยา จังหวัดชลบุรี, 2548, หน้า. 35

บรรณานุกรม(ต่อ)

[52] สาริน คลินิก, *สารเคลือบผิวผลไม้เป็นอันตรายหรือไม่ (ออนไลน์),* 2549, Available: www.sarinclinic.com/home.php?section=1&subsection=1 (15 สิงหาคม 2561)

[53] S. Chen, and A. Nussinovitch, "Galactomanans in disturbances of structured wax hydrocolloid-based coatings of citus fruit (easy-peelers)," *Food Hydrocolloids*, vol. 14, pp. 561-568, 2000.

[54] G. O. Phillips, and P. A. Williams, "hydrocolloids," In Handbook. Florida: CRC Press, 2000.

[55] สุภาวดี จันทร์ศรีมณี และ เสาวนีย์ เลิศวรสิริกุล, "ศึกษาผลของการใช้สารโซเดียมอัลจิเนท สำหรับเคลือบผิวฟักทองก่อนการออสโมติกต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของฟักทองแช่อิ่ม," การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51, ภาควิชาพัฒนผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์, 2556

[56] วรรณทการณ์ สถิตย์กุลและ ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์, "อัลจิเนทและว่านหางจระเข้มีคุณสมบัติเป็นสารเคลือบผิวบริโภคได้ในกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์," *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, ปีที่ 47 ฉบับที่ 3 (พิเศษ), หน้า 162-165, 2559.

[57] R.H McGuire, and A Marxist, Archaeology. San Diego, 1992.

[58] วลัยพร มัฆพาน และ พัชราภรณ์ นาคเทวัญ, "ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากเปลือกกล้วยเล็บมือนางและกล้วยหินในการต้านการเจริญของเชื้อก่อโรคในอาหาร," *แก่นสารเกษตร*, ปีที่ 46, ฉบับพิเศษที่ 1, 2561.

[59] AOAC, "Official Method of Analysis of AOAC international," 17th ed, *The association of Official Analytical Chemists*, 2000.

[60] W.C. Hou, R.D. Lin, K.T. Cheng, Y.T. Hung, C.H. Cho, C.H. Chen, S.Y. Hwang, and M.H. Lee. "Free radical- scavenging activity of Taiwanese native plants," *Phytomedicine*, vol. 10, p. 170, 2003.

[61] S. Ye, J. Lu, S. He, L. Chen, and L. Hu, *Studies on tannin and hydrolysate in three species of Chinese Caesalpiniaceae plants (Article in Chinese) (Online), 1999*, Available: www.users.muohio.edu/hagermae/tannin.pdf. (02 July 2018).

[62] วิภา สุโรจนะเมธากุล และ ชิดชม ฮิรางะ, "การสกัดสารแทนนินจากเปลือกกล้วย," *วารสารเกษตรศาสตร์(สาขาวิทยาศาสตร์),* สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ปีที่ 28, ลำดับที่ 4, หน้า. 578-586, 2537

[63] P. Ruben, M. Ausenda, and P. Bartolo, "Alginate/Aloe vera hydrogel films for biomedical applications," *Procedia CIRP*, vol. 5, pp. 210-215, 2013

บรรณานุกรม(ต่อ)

[64] M. Rojas-Graü, A. Sobrino-López, M. Tapia, O. Martín-Belloso, “Browning inhibition in fresh-cut “Fuji” apple slices by natural antibrowning agents,” *Food Science*, vol. 71, No. 1, pp. 59-65, 2006.

[65] M. Rojas-Graü, R Grasa-Guillem, O. Martín-Belloso, “Quality changes in fres-cut Fuji apple as effected by ripeness stage, antibrowning agents and storage atmosphere,” *Food Science*, vol. 72, No.1, pp. 36-42, 2007.

[66] C. James, “Manual of Assessment Keys for Plant Diseases,” The Amarican, *Phytopathological Society*. vol. 28, St. Paul MN 55121 USA, 1971.

[67] J.G. Horsfall. and J.W. Henberger, “Measuring magnitude of defoliation disease of tomatoes,” *Phytopath*, vol. 32, pp. 226-232, 1942.

[68] J.D. Hiscox, G.F. Israelstam, “A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Canadian,” *Botany*, vol. 57, pp. 1332-1334, 1979.

[69] Pallabi Kundu, K. Anitha, and N. Ramani, “Feeding Impact of The vegetable Mite,TETRANYCHUSNEOCALEDONICUS ANDRÉ (ACARI: TETRANYCHIDAE) ONMENTHA ROTUNDIFOLIAL,” *International Journal of Recent Scientific Research*, vol. 7, Issue 4, pp.10406-10409, 2016.

[70] S. Ketsa, “Development and control of senescent spotting in banana,” *Food Preserv. Science*, vol. 2, pp. 173-178, 2000.

[71] S. K. Clendennen, and G. D. May, “Differential gene expression in ripening banana fruit,” *Plant Physiol*, vol. 115, pp. 463-469, 1997.

[72] H. Abdullah, and E B. Pantastico, “Banana-fruit Development, Postharvest Physiology, Handling and Marketing in ASEAN. ASEAN,” *Food Handling Bureau: Kuala Lumpur*; p.159, 1990.

[73] C. Bugaud, M. Daribo, M. Beauté, “Relative importance of location and period of banana bunch growth in carbohydrate content and mineral composition of fruit,” *Fruits*, vol. 64, pp. 63–74, 2009.

[74] M. Le, D. C. Slaughter, and J. E. Thompson, “Optical chlorophyll sensing system for banana ripening,” *Postharvest Biol. Technol*, vol. 12, No. 3, pp. 273-83, 1997.

[75] บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, “โภชนาศาสตร์สัตว์,” ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า. 170, 2541a.

[76] เพ็ญจันทร์ สุทธานุกูล, “โครงการวิจัยคัดเลือกพันธุ์และพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตกล้วยเพื่อการบริโภคสด,” เพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์และการนำสารสำคัญจากกล้วยไปใช้, ศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย, กรมวิชาการเกษตร, หน้า. 55, 2558.

บรรณานุกรม(ต่อ)

[77] T. T. Toledo, S. B. Nogueira, B. R. Cordenunsi, F. C. Gozzo, E. J. Pilau, F. J. Lajolo, and J. R. O. Nascimento, "Proteomic analysis of banana fruit reveals proteins that are differentially accumulated during ripening," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 70, pp. 51-58, 2012.

[78] S. R. Fatemeh, R. Saifullah, F. M. A. Abbas, and M. E. Azhar, "Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of banana pulp and peel flours: influence of variety and stage of ripeness," *International Journal Food Research*, vol. 19, pp. 1041-1046, 2012.

[79] S. Sundaram, S. Anjum, P. Dwivedi, and G. Rai, "Antioxidant activity and protective effect of banana peel against oxidative hemolysis of human erythrocyte at different dtages of ripening," *Biochem Biotechnol*, vol. 164, pp. 1192-1206, 2011.

[80] M.S. Mokbe, and F. Hashinaga, "Antibacterial and antioxidant activities of banana (*Musa, AAA cv. Cavendish*) fruits peel Am," *Biochem. Biotechnol*, vol. 1, pp. 125-131, 2005.

[81] T.H. Emaga, R. H. Andrianaivo, B. Wathelet, J. T. Tchango, and M. Paquot, "Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels," *Food Chemistry,* vol. 103, pp. 590-600, 2007.

[82] R. M. Gonzalez-Montelongo, G. Gloria Lobo, and M. Gonzalez, "Antioxidant activity in banana peel extracts: Testing extraction conditions and related bioactive compounds," *Food Chemistry*, vol. 119, pp. 1030-1039, 2010a.

[83] M. Alothman, R. Bhat, and A.A. Karim, "Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia extracted with different solvents," *Food Chemistry*; vol. 115, pp. 785-788, 2009.

[84] F. Sulaiman, N. Abodullah, H. Gerhauser, and A. Shariff, "An outlook of Malaysian enegy, oil plamindustry and its utilization of wastes as useful resources," *Biomass Bioenergy*, vol. 35, pp. 3775-3786, 2011.

[85] S. Zhao, et al., "Comparative proteomic analysis of Saccharomyces cerevisiae under different nitrogen sources," *Proteomics*, vol. 12, pp. 101-102, 2014.

[86] E. L. Garcia, and D. M. Barrett, "Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables," in: *Olusola Lamikanra*., ed, Fresh-Cut Fruits and Vegetables, CRC Press, 2002, p. 267-303.

บรรณานุกรม(ต่อ)

[87] M.Sneha Nair et al., “Effect of chitosan and alginate-based coatings enriched with pomegranate peel extract to extend the postharvest quality of guava,” *Food Chemistry*, vol. 240, pp. 245-252, 2018.

[88] M. Kazemi, R. Karim, H. Mirhosseini, and A.A. Hamid, “Optimization of pulsed ultrasound-assisted technique for extraction of phenolics from pomegranate peel of Malas variety: Punicalagin and hydroxybenzoic acids,” *Food Chemistry*, vol. 206, pp. 156-166, 2016.

[89] J. Xi, L. He, and L.G. Yan, “Continuous extraction of phenolic compounds from pomegranate peel using high voltage electrical discharge,” *Food Chemistry*, vol. 230, pp. 354-361, 2017.

[90] ดนัย บุณยเกียรติสรีร, *วิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้*, พิมพ์ครั้งที่ 1. ปีที่ 2534. เชียงใหม่: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2534.

[91] Yang. Xiao-Jing, Xi. Ya-Ming, and Li. Zi-Jian, “Icaritin: A Novel Natural Candidate for Hematological Malignancies Therapy,” *International BioMed Research*, vol. 7, 2019,

[92] M. Duran, M.S. Aday, N.N.D. Zorba, R. Temiz Kan, M. B. Buyukcan, and C. Caner, “Potential of antimi crobial active packaging ‘Containing natamycin, nisin, pomegranate and grape seed extract in chitosan coating,” *Food and Bioproducts Processing*, vol. 98, pp. 354-363, April 2016.

[93] C. Han, Y. Zhao, S. W. Leonar, and M. G. Traber, “Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (Fragaria x ananassa) and rasp-berries (Rubus ideaus),” *Postharvest Biology and Technology*, vol. 33, pp. 67–78, 2004.

[94] N. Maftoonazad, H. S. Ramaswamy, and M. Marcotte, “Shelf-life extension of peaches through sodium alginate and methyl cellulose edible coatings,” *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 43, pp. 951–957, 2008.

[95] G. I. Olivas, D. S. Mattinson, and G. V. Barbosa Cánovas, “Alginate coatings for preservation of minimally processed Gala apples,” *Postharvest Biology and Technology*, vol. 45, pp. 89-96, 2007

[96] M. S. Tapia, M. A. Rojas-Grau, A. Carmona, F. J. Rodrı´guez, R. Soliva-Fortuny, and O. Martin-Belloso, “Use of alginateand gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya,” *Food Hydrocolloids*, vol. 22, pp. 1493-1503, 2008

บรรณานุกรม(ต่อ)

[97] S.P. Kapadia, P. S. Pudakalkatti, S. Shivanaikar, “Detection of antimicrobial activity of banana peel (Musa paradisiaca L.) on Porphyromonas gingivalis and Aggregatibacter actinomycetemcomitans: An in vitro study,” *Contemp Clin Dent*, vol. 6, pp. 496-499, Oct-Dec 2015.

[98] R. C. Chidanandaiah, M. K. Sanyal, “Effect of sodium alginate with preservative on the quality of meat patties during refrigerated storage,” *Muscle Foods,* vol. 20, pp. 275-292, 2009.

[99] M. S. Mokbel, and F. Hashinaga, “Evaluation of the antimicrobial activity of extract from buntan (Citrus grandis Osbeck) fruit peel. Pak,” *Biological Sciences*, vol. 8, pp.1090-1095, 2005.

[100] G. Ehiowemwenguan, A. O. Emoghene, and J. E. Inetianbor, “Antibacterial andphytochemical analysis of Banana fruit peel. IOSR,” *Pharmacy*, vol. 4, No. 8, pp. 18-25, 2014

[101] K. G. Wanstedt, S. D. Seideman, and L. S. Donnelly, “Sensory attributes of precooked, calcium alginate-coated pork patties,” *Food Protection*, vol. 44, pp.732-735, 1981

[102] J. X. Wang, Q. H. Liu, and Y Teng, “Research on coatings of frozen mussel flesh,” *Food Science*, vol. 2, pp. 70-72, 1994.

[103] X. L. Yu, X. B Li, and X. L. Xu, “Coating with sodium alginate and its effect on the functional properties and structure of frozen pork,” *Muscle Foods*, vol. 19, pp. 333-351, 2008.

[104] Q. Zeng, and Q. Xu, “Study on preservation techniques of fish, shrimp, scallop of edible coating,” *Journal of Dalian Fish*, vol. 2, pp. 37-42, 1997.

[105] A. A. Kader, et al, “Postharvest biology and technology: an overview,” in: *Postharvest Technology of Horticultural.*vol.3311, A. A. Crops. and Kader et al., Eds., Univ Calif. DANR. Special, 1985.

[106] V. Chiabrando, and G. Giacalone, “Effects of alginate edible coating on quality and antioxidant properties in sweet cherry during postharvest storage,” *Food Science*, vol. 27, pp. 173-180, 2015.

[107] วิกันดา คงสวัสดิ์, “ผลของการใช้สีสกัดธรรมชาติและสารเคลือบผิวต่อคุณภาพของผลส้มเขียวหวานหลังการเก็บเกี่ยว,” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2541.

บรรณานุกรม(ต่อ)

[108] สายชล เกตุษา, *สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้*, พิมพ์ครั้งที่ 1. ปีที่ 2528. นครปฐม:โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขต กำแพงแสน, 2528

[109] W. M. Kliewer, "Effect of day temperature and light intensity on concentration of malic and tartaric acids in Vitis vinifera L grapes," *Journal of the American Society for Horticultural Science*, vol. 96, pp. 372-377, 1971.

[110] P. Diakou, A. Moing, N. Ollat, C. Rothan, and J. P. Gaudillere, "Role of phospho enol pyruvate acidification of grape berries," in: *Bravdo BA, ed. Proceedings of the fifth international symposium on grapevine physiology. Belgium*. International Society of Horticultural Science,2000, pp. 339 – 344.

[111] V. Srilaong, S. Aiamla-or, A. Soontornwat, M. Shigyo, and N. Yamauchi, "UV-Birradiation Retards Chlorophyll Degradation in Lime (Citrus latifolia Tan.) Fruit," *Postharvest Biol. Technol*, vol. 59, pp. 110-112, 2011.

[112] S. Kaewsuksaeng, Y. Urano, S. Aiamla-or, M. Shigyo, and N. Yamauchi, "Effect of UV-B irradiation on chlorophyll-degrading enzyme activities and postharvest quality in stored lime *(Citrus latifolia Tan.)* fruit," *Postharvest Biol. Technol*, vol. 61, pp. 124-130, 2011.

[113] S. Aiamla-or, N. Tetsuya, M. Shigyo, and N. Yamauchi, "Pheophytinase activity and gene expression of chlorophyll degrading enzymes relation to UV-B treatment in postharvest broccoli (Brassica oleracea L. Italica Group) florets," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 63, pp. 60–66, 2012.

[114] S. Kaewsuksaeng, N. Yamauchi, Y. Funamoto, S. Aiamla-or, T. Mori, M. Shigyo, and S. Kanlayanarat, "Partially purification of Mg-dechelatase in relation to chlorophyll degradation in broccoli (Brassica oleracea L. Italica Group) florets," *Acta Horticulturae*, vol. 875, pp. 509-514, 2010.

[115] D. Valero, and M. Serrano, "Effects of alginate edible coating on preserving fruit quality in four plum cultivars during postharvest storage," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 77, pp. 1-6, 2010.

[116] M. N. Merzlyak, A. A. Gitelson, S. I. Pogosyan, L. Lekhimena, O. B. Chivkunova, "Light-induced pigment degradation in leaves and ripening fruits studied in situ with reflectance spectroscopy-Physiol," *Plantarum*, vol. 104, pp. 661-667, 1998.

บรรณานุกรม(ต่อ)

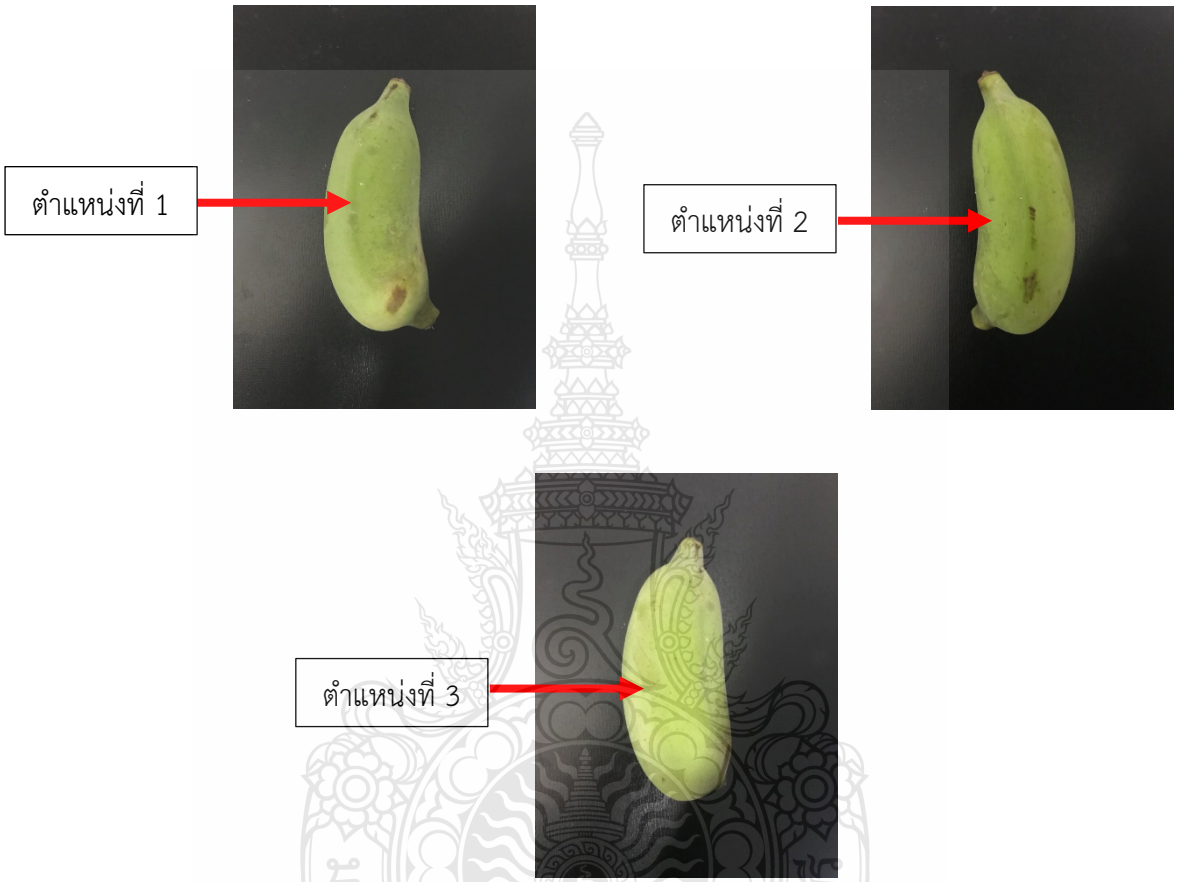
[117] B. Gandul-Rojas, M. R. L. Cepero, and M. I. Mínguez-Mosquera, “Chlorophyll and carotenoid patterns in olive fruits, Olea europaea cv. Arbequina,” *Food Chemistry*, vol. 47, pp. 2207-2212, 1999.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิเคราะห์ทางกายภาพ

การวัดการเปลี่ยนแปลงสีของผิวเปลือก

นำกล้วยน้ำว้าทั้ง 8 ระยะมาวัดค่าสี โดยวัดบริเวณผลกล้วยตรงกลางผลทั้ง 3 ด้าน ทำการวัดสีโดยใช้หัววัดกดแนบให้สัมผัสกับผิวของเปลือกกล้วยให้มากที่สุด ด้วยเครื่องวัด Minolta Chroma meter CR- 10 ดังแสดงในภาพที่ ก. 1



ภาพที่ ก. 1 แสดงตำแหน่งในการวัดค่าสีเปลือกกล้วยน้ำว้า

รายงานผลเป็นค่า L* a* และ b* ดังนี้

ค่า L* คือ ค่าแสดงความเข้มสว่างของสี ซึ่งมีตั้งแต่ค่า 0 ถึง 100 ถ้าค่า L* เท่ากับ 0 หมายถึงสีดำและค่า L* เท่ากับ 100 หมายถึง ค่าความสว่าง

ค่า a* คือ ค่าแสดงระดับสีแดง-เขียว ในแกนนอน กรณีที่ค่า a* มีค่าเป็นบวกแสดงลักษณะสีแดง ถ้ามีค่าเป็นลบแสดงลักษณะสีเขียว เมื่อห่างจากจุด 0 มาก แสดงถึงค่าสีแดงหรือสีเขียวมากขึ้น

ค่า b* คือ ค่าแสดงระดับสีเหลือง-น้ำเงิน ในแกนตั้ง กรณีที่ค่า b* มีค่าเป็นบวกแสดงลักษณะสีเหลืองถ้ามีค่าเป็นลบแสดงลักษณะสีน้ำเงิน เมื่อห่างจากจุด 0 มาก แสดงถึงค่าสีเขียวหรือสีน้ำเงินมากขึ้น (McGuire, 1992)

2. ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count)

การนับจำนวนจุลินทรีย์จะนับเฉพาะจานอาหารที่มีจำนวนเซลล์ระหว่าง 25-250 เซลล์ เพื่อให้จำนวนโคโลนีที่เจริญบนจานอาหาร อยู่ในช่วงดังกล่าว ไม่มากหรือน้อยเกินไป
การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000)

วิธีการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

ชั่ง Plate count agar 23.5กรัม ละลายในน้ำกลั่นร้อน 1 ลิตร บรรจุใน flask ปิดปากขวด หลังจากนั้นนำไปฆ่าเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

วิธีวิเคราะห์

เตรียมสารละลายเจือจางโดยชั่งตัวอย่าง 25กรัม ซึ่งใช้ช้อนสแตนเลสที่ฆ่าเชื้อแล้วตักใส่ถุงพลาสติกที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว สำหรับใช้ stomacher เติม diluent (0.1% peptone water) ลงไปประมาณ 100 มิลลิลิตร ตีปั่นนาน 1 นาที เติม peptone water ที่เหลืออีก 125 มิลลิลิตร ตีปั่น 30 วินาทีจะได้ dilution 1 : 10 ทำการ dilution ต่อเป็น10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3} , 10^{-4} ปิเปตสารละลายเจือจางของผลิตภัณฑ์ที่ dilution 10^{-4} 10^{-5} 10^{-6} อย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ในจานเลี้ยงเชื้อ dilution ละ 3 จาน เท Plate count agar (ที่ – 40 45องศาเซลเซียส) ลงในจานเลี้ยงเชื้อประมาณจานละ20-15 มิลลิลิตร pour plate แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่ 35 ± 0.5 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์แล้วรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อผลิตภัณฑ์1กรัม

ภาคผนวก ข
วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

1) อบถ้วยอลูมิเนียมในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ทำให้เย็นใน desiccator นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2) ชั่งตัวอย่าง 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียมที่อบแห้ง และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
3) นำถ้วยอลูมิเนียมที่บรรจุตัวอย่างเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 ±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที นำเอามาใส่ใน desiccator ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4) นำไปชั่งน้ำหนักอบซ้ำครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักคงที่ซึ่งค่าที่ได้จะแตกต่างกันไม่เกิน 2 มิลลิกรัม จดน้ำหนักที่น้อยที่สุดของถ้วยอลูมิเนียมและน้ำหนักตัวอย่างหลังจากอบแห้งแล้ว

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากสูตร

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

1.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

<u>ขั้นตอนการย่อย</u>

1) การชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-3 กรัมใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน
2) ใส่สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟตและโพแทสเซียมซัลเฟต ปริมาณ 5 กรัม
3) เติมกรดซัลฟูริกปริมาณ 20 มิลลิลิตร
4) วางหลอดย่อยในตัวอย่างย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่ด่างและเครื่องดักจับไอกรดให้เรียบร้อย
5) เปิดสวิทช์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อยแล้วตั้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 400 องศาเซลเซียส ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส
6) ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น

<u>ขั้นตอนการกลั่นและไตเตรท</u>

1) จัดอุปกรณ์กลั่น แล้วเปิดสวิทช์ให้ความร้อน และเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น
2) นำขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุกรดบอริก (เข้มข้นร้อยละ 4) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์แล้วไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรด
3) เติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อย 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ทำปฏิกิริยาเกินพอ สังเกตให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขุ่น
4) กลั่นให้ได้ของเหลวอยู่ในระดับ 125 มิลลิลิตร
5) ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วง

การคำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{โปรตีน (\%)} = \frac{(A - B) \times N \times 1.4007 \times F}{W}$$

เมื่อ A คือปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
B คือปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)
N คือความเข้มข้นของกรด (N)
F คือ แฟคเตอร์ (5.85)
W คือน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

1.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

1) นำตัวอย่างที่หาความชื้นแล้ว ประมาณ 3 กรัม ใส่บนกระดาษกรองและห่อมิดชิด
2) นำตัวอย่างที่ห่ออยู่ในกระดาษกรอง ใส่ลงในทิมเบิล
3) นำทิมเบิลใส่ใน Extraction Unit it of Soxhlet ซึ่งเชื่อมต่อกับ 1046 Service Unit โดยใช้เครื่อง adapter แล้วนำ Extraction cup ไปอบแล้วชั่งนำหนักที่แน่นอน
4) เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในขวดกลั่นที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 150 มิลลิลิตรประกอบเครื่อง Soxhlet เข้าด้วยกัน
5) ให้ความร้อนทำการสกัดไขมันจากตัวอย่างนานประมาณ 3 – 4 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นจาก condenser มีอัตรา 150 หยดต่อนาที
6) กลั่นเอาปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจากไขมัน นำขวดกลั่นและไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ชั่งน้ำหนัก
7) อบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที และชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักคงที่

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันจากสูตร

$$\text{ไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

1.4 การวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารโดยใช้วิธีการสกัดด้วยกรด-ด่าง (AOAC, 2000)

1) นำกระดาษกรองอบในตู้อบ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมงแล้วนำมาใส่ในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก
2) ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันออกและนำมาใส่ในบีกเกอร์สำหรับวิเคราะห์ใยอาหาร
3) เติมกรดซัลฟิวริก ปริมาตร 200 มิลลิลิตร
4) วางบีกเกอร์ลงบนอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ต่อกับเครื่องควบแน่นและเปิดน้ำหล่อเครื่องควบแน่น เปิดสวิตซ์ไฟฟ้า ต้มให้เดือดนาน 30 นาที
5) กรองตัวอย่างขณะร้อนผ่านกระดาษกรองล้างด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งน้ำล้างหมดความเป็นกรด
6) ถ่ายกากที่ได้ในบีกเกอร์ใบเดิมเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 200 มิลลิลิตร

7) วางบีกเกอร์ลงบนอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ต่อกับเครื่องควบแน่นและเปิดน้ำหล่อเครื่องควบแน่น เปิดสวิตซ์ไฟฟ้า ต้มให้เดือดนาน 30 นาที

8) กรองขณะร้อนผ่านกระดาษกรองแผ่นเดิมล้างด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งน้ำล้างหมดความเป็นด่าง

9) ล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ปริมาณ 10 มิลลิลิตร

10) นำกระดาษกรองพร้อมกากใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบและอบในตู้อบ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ในโถดูดความชื้น

11) ชั่งน้ำหนักซ้ำจนกระทั่งได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณหาปริมาณเส้นใยตามสูตรดังนี้

$$\text{ใยอาหาร (\%)} = \frac{(M_2 - M_1)}{S} \times 100$$

เมื่อ M_1 คือน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา

M_2 คือผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

S คือน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

1.5 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

1) อบ Crucible ที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นในdesiccator นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

2) นำตัวอย่างประมาณ 3 กรัม ชั่งใส่ Crucible ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้วนำไปเผาด้วยไฟอ่อนๆ จนหมดควัน

3) นำไปเผาในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว

4) นำออกมาใส่ใน desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เถ้าจากสูตร

$$\text{เถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

1.6 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

โดยวิธีการคำนวณจากสูตรเมื่อทราบว่า % ความชื้น% โปรตีน% ไขมัน% เถ้า และ%เส้นใย นำค่าดังกล่าวนี้มาคำนวณตามสูตร

คาร์โบไฮเดรต (%) = 100 - (% ความชื้น+ %โปรตีน + % ไขมัน+ % เถ้า+ %เส้นใย)

2. วิเคราะห์ปริมาณแทนนิน (ดัดแปลงจากวิธีของ Hou et al. (2003) และ Ye et al. (1999))

2.1 การเตรียมสารสกัด

นำตัวอย่างผงเปลือกกล้วย สกัดด้วยตัวทำละลาย ได้แก่ น้ำกลั่น ในอัตราส่วนตัวอย่างต่อ ตัวทำละลาย 1:30 (w/v) เขย่าสารตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองตัวอย่างผ่าน

กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 นำสารสกัดที่ได้ใส่ขวดสีชาเก็บตัวอย่างในที่มืดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.2 วิเคราะห์หาปริมาณแทนนินทั้งหมดเทียบกับกรดแทนนิก

โดยดัดแปลงจากวิธีของ Hou et al. (2003) โดยให้สารประกอบแทนนินทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu Reagent (FCR) โดยใช้กรดแทนนิกเป็นสารมาตรฐานมีขั้นตอนดังนี้

2.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานแทนนิกเข้มข้น 1000 ppm และ 100 ppm สารละลายมาตรฐานแทนนิกเข้มข้น 1000 ppm ทำโดยชั่งแทนนิก 0.025 กรัม ละลายในเอทานอล บริสุทธิ์และปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร จากนั้นเจือจางสิบเท่าให้ได้สารมาตรฐานแทนนิกเข้มข้น 100 ppm ด้วยการปิเปตมา 2.5 มิลลิลิตร เจือจางด้วยเอทานอลให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

2.2.2 การสร้างกราฟมาตรฐานกรดแทนนิก

2.2.2.1 นำสารละลายมาตรฐานแทนนิกเข้มข้น 100 ppm มาเจือจางด้วย เอทานอลให้มีความเข้มข้นเป็น 0, 20, 40, 60 และ 80 ppm ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร โดยแยกแต่ละ หลอดการทดลอง

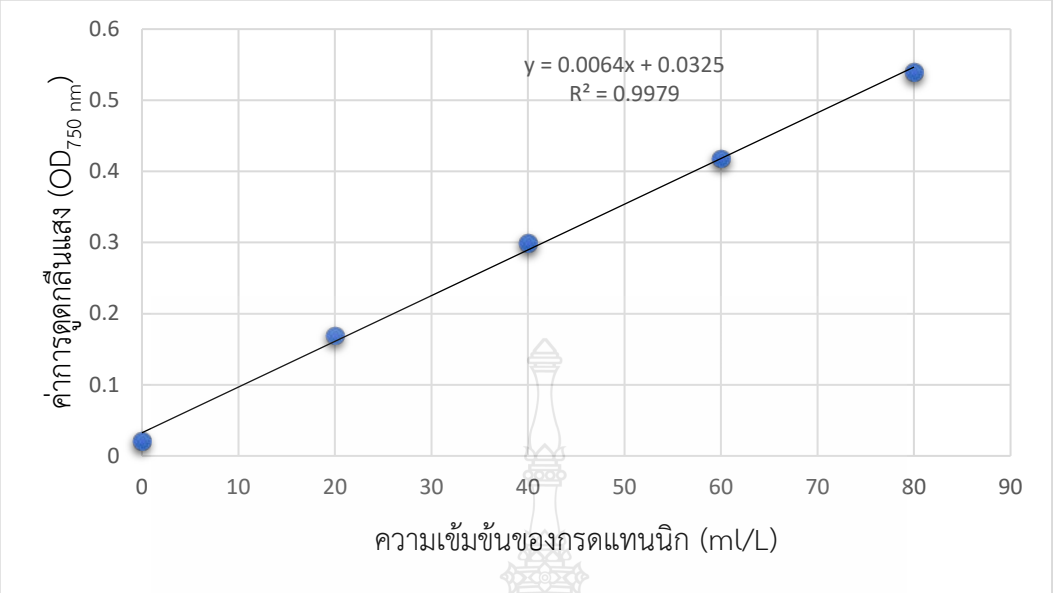
2.2.2.2 จากนั้นนำทุกหลอดมาเติมน้ำ 2.5 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย Folin ร้อยละ 10ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดีและเติมโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ร้อยละ7.5 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

2.2.2.3 นำไปเขย่าให้สารผสมกันด้วยเครื่องผสม ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 90 นาที

2.2.2.4 วัดค่าวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร (A_{750}) จากนั้นนำค่า A_{750} และความเข้มข้นของสารมาตรฐานแทนนิกมาเขียนกราฟมาตรฐานและหาค่า ความชัน(m) เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณแทนนินในสารสกัดต่อไป

ตารางที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดแทนนิกกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร

ความเข้มข้น Tannic acid (mg/ml)	OD_{750}			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0.021	0.022	0.021	0.021
20	0.169	0.169	0.169	0.169
40	0.299	0.301	0.299	0.299
60	0.418	0.418	0.417	0.418
80	0.542	0.539	0.537	0.539



ภาพที่ ข. 1 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแทนนิกจากเครื่อง UV-vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร

2.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบแทนนิน

2.2.3.1 เตรียมตัวอย่างต่อตัวทำละลาย 1:30 (w/v)

2.2.3.2 นำสารสกัดที่เตรียมได้ มาปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ใน หลอดทดลองและเติมสารละลาย Folin ร้อยละ 10 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี และเติม Na_2CO_3 ร้อยละ 7.5 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

2.2.3.3 นำไปเขย่าให้สารผสมกันด้วยเครื่องผสม ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 90 นาที

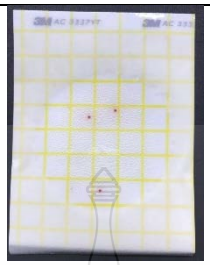
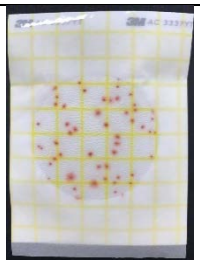
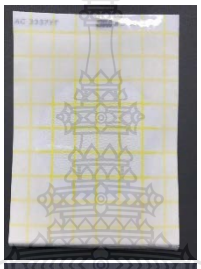
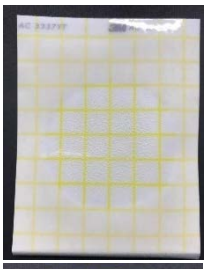
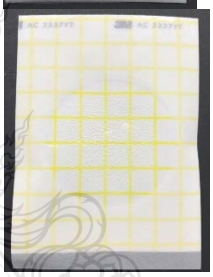
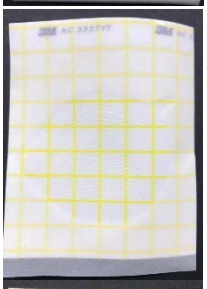
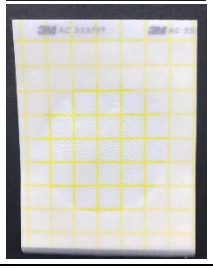
2.2.3.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-vis Spectrophotometer

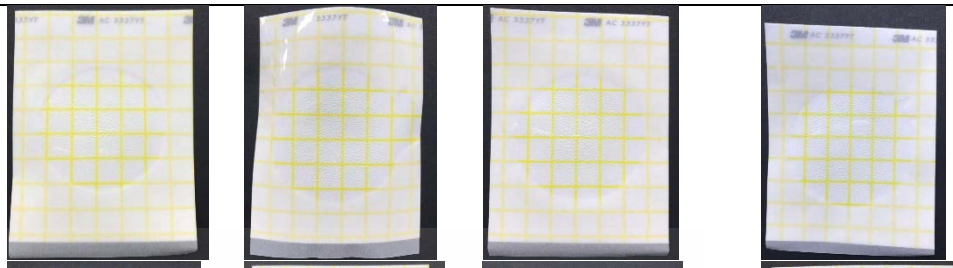
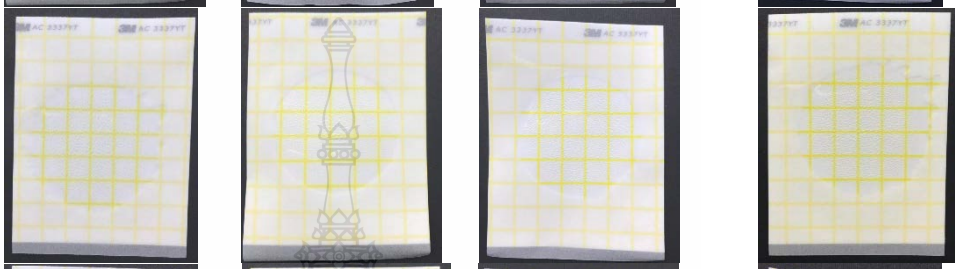
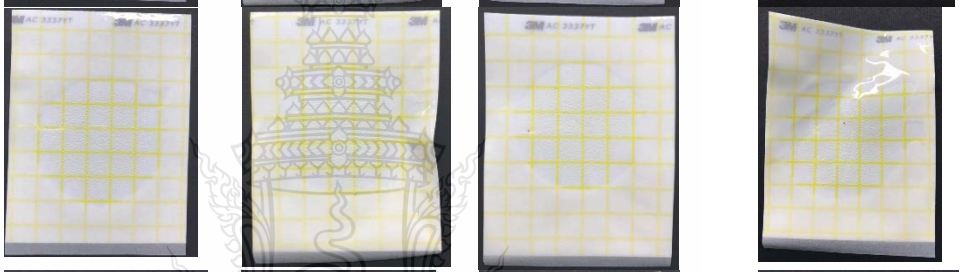
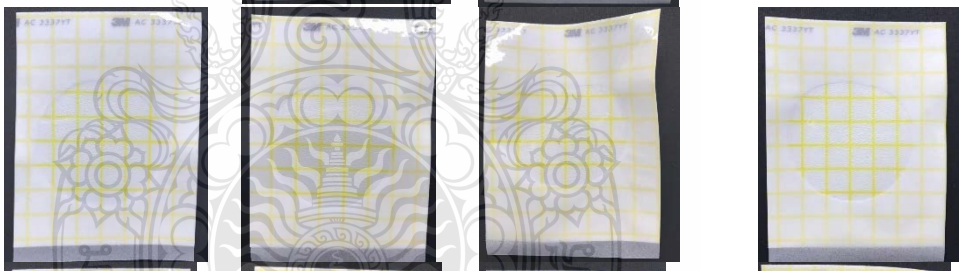
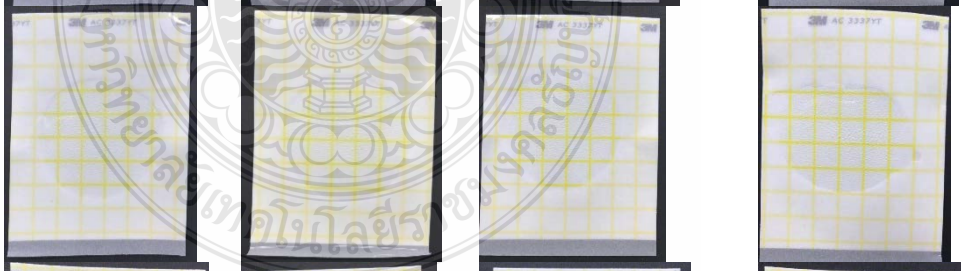
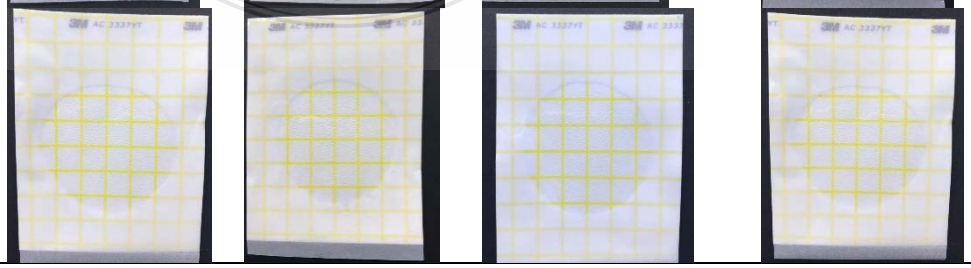
2.2.3.5 หาปริมาณสารประกอบแทนนินจากกราฟมาตรฐานแทนนิกที่ทำในวันเดียวกัน โดยทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

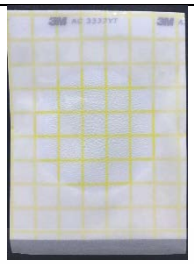
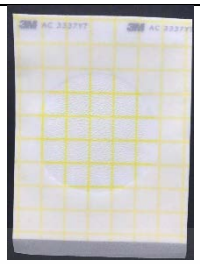
2.2.3.6 คำนวณหาปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมดในสารสกัด

ภาคผนวก ค
ภาพผลการทดลอง

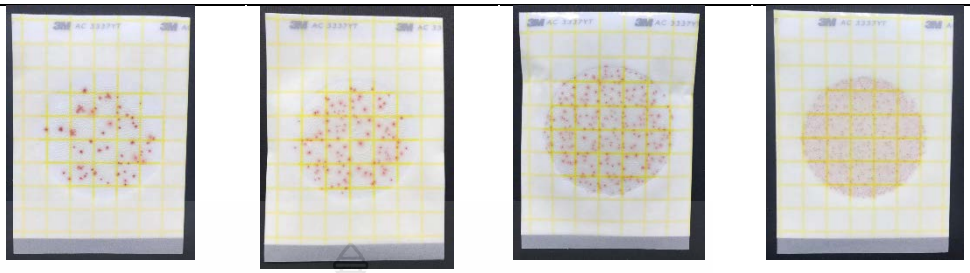
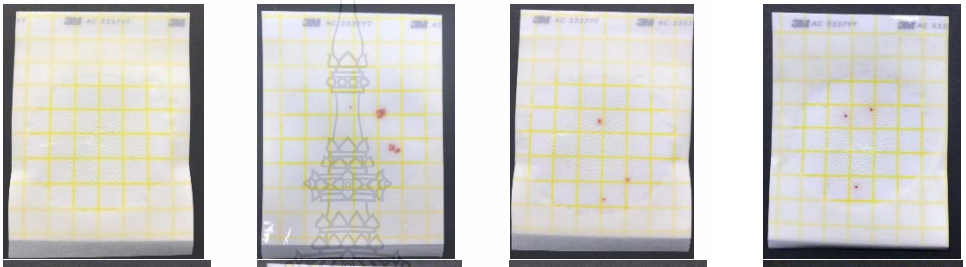
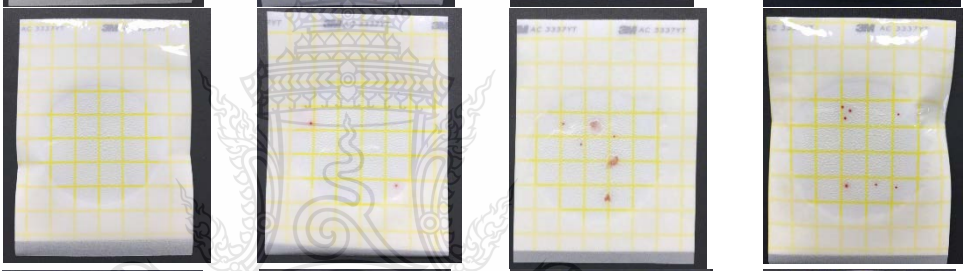
1. ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count)

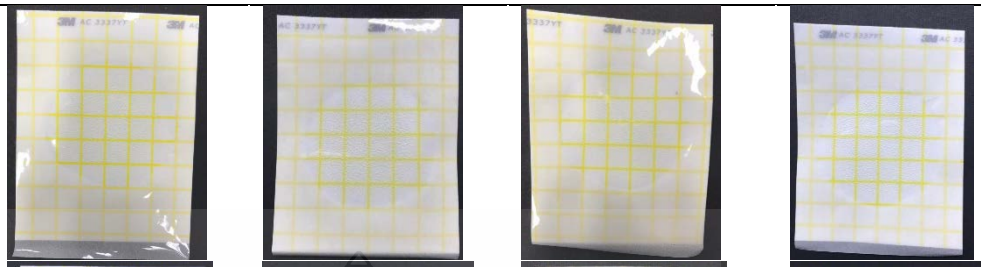
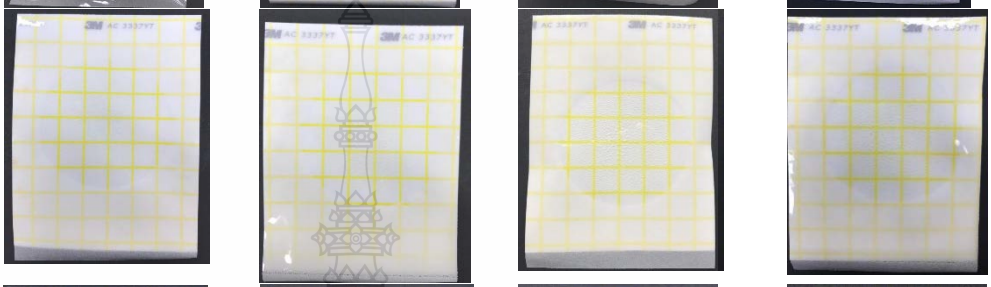
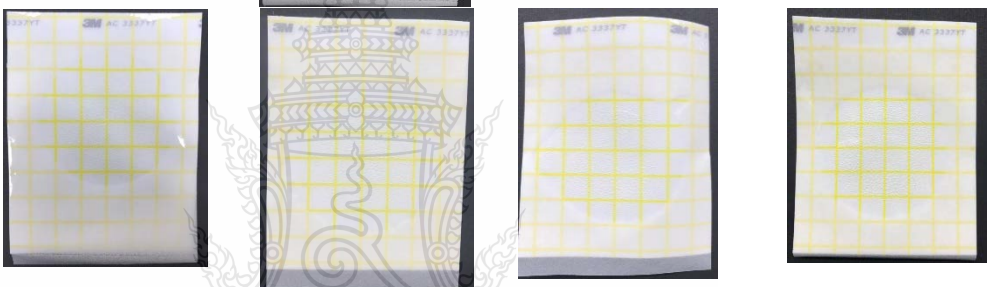
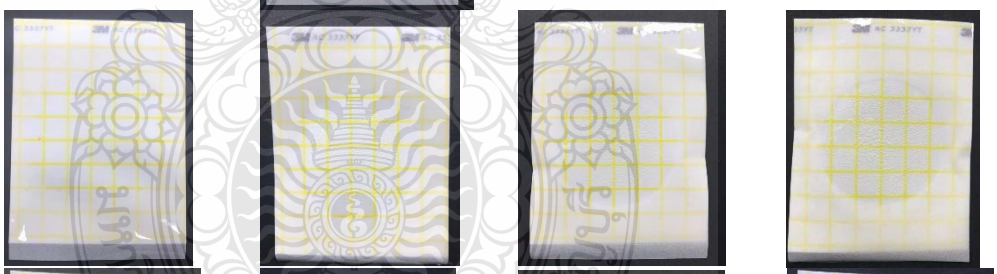
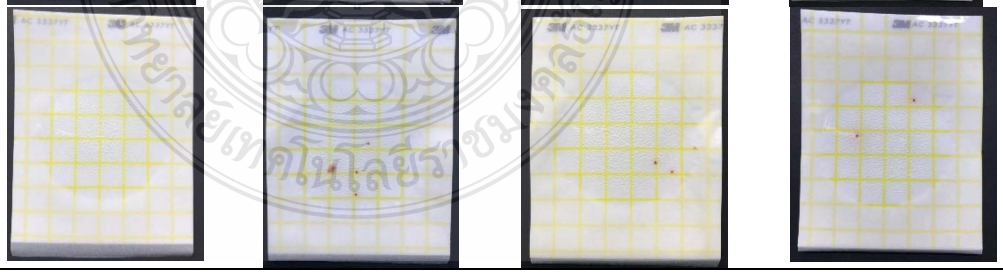
Treatments (Alginate: Tannin)	ลักษณะปรากฏของปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดบนอาหาร			
	วันที่ 3 ถึงวันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
Control				
0: 100				
10: 90				
20: 80				
30: 70				

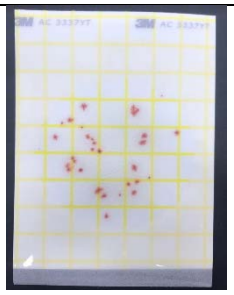
Treatments (Alginate: Tannin)	ลักษณะปรากฏของปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดบนอาหาร			
	วันที่ 3 ถึงวันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
40: 60				
50: 50				
60: 40				
70: 30				
80: 20				
90: 10				

Treatments	ลักษณะปรากฏของปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดบนอาหาร			
(Alginate: Tannin)	วันที่ 3 ถึงวันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
100: 0				

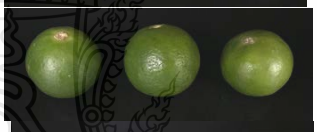
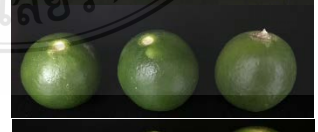
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

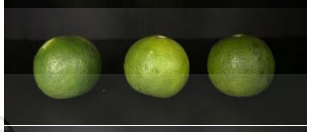
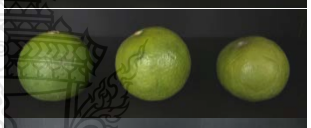
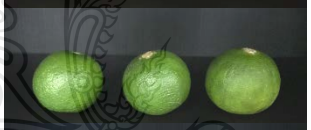
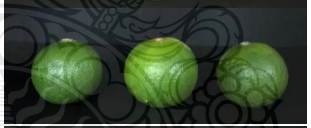
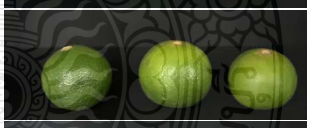
Treatments (Alginate: Tannin)	ลักษณะปรากฏของปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดบนอาหาร			
	วันที่ 21	วันที่ 24	วันที่ 27	วันที่ 30
Control				
0: 100				
10: 90				
20: 80				
30: 70				
40: 60				

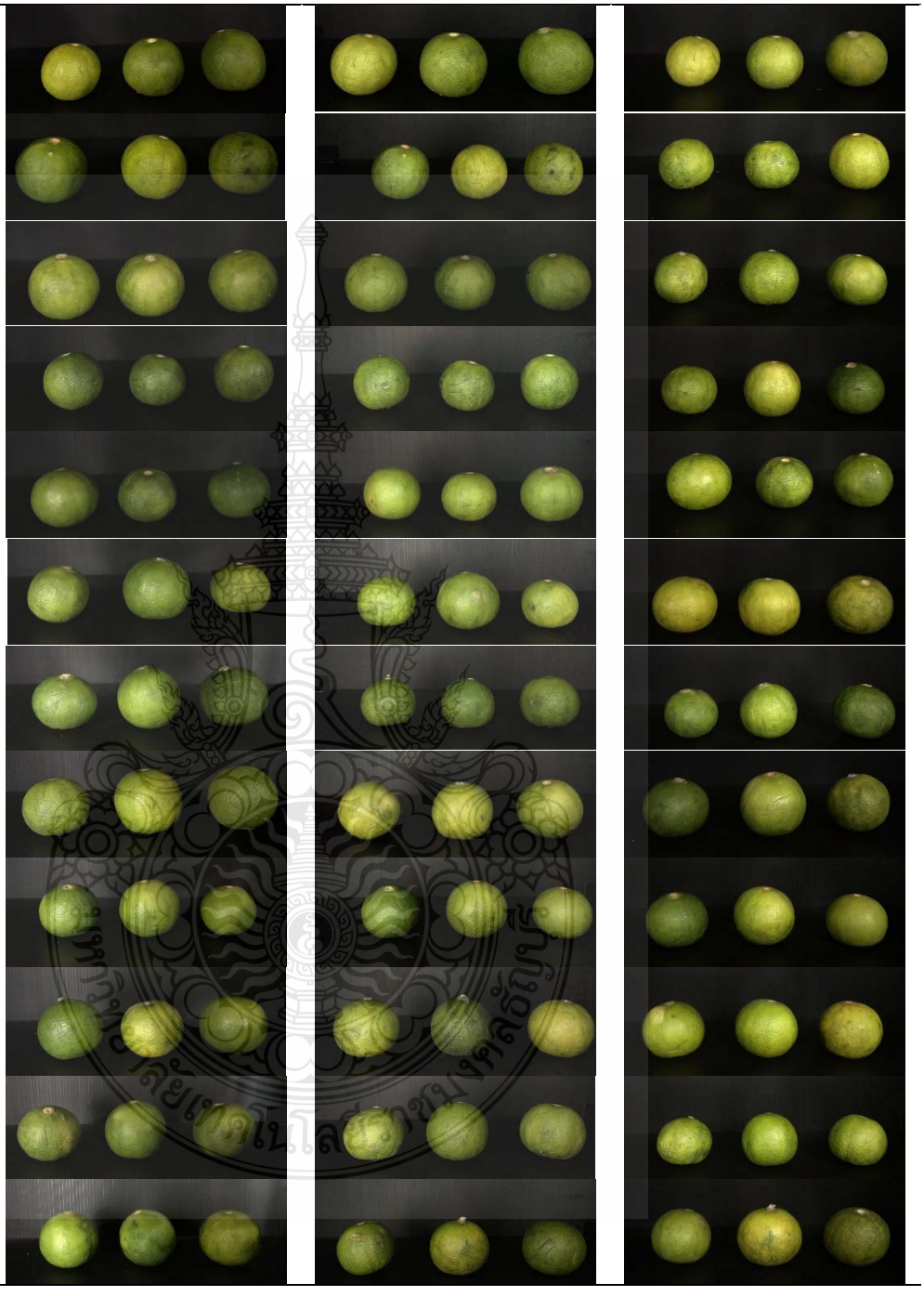
Treatments (Alginate: Tannin)	ลักษณะปรากฏของปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดบนอาหาร			
	วันที่ 21	วันที่ 24	วันที่ 27	วันที่ 30
50: 50				
60: 40				
70: 30				
80: 20				
90: 10				

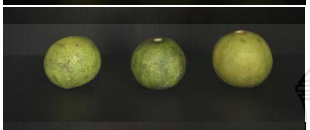
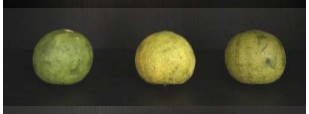
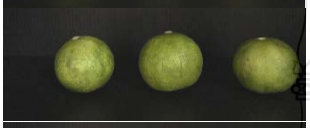
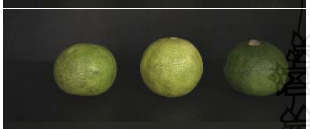
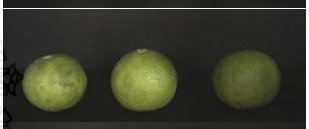
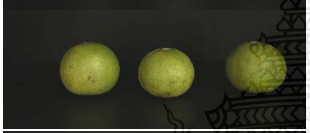
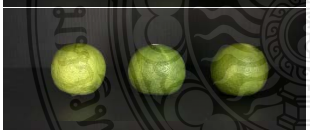
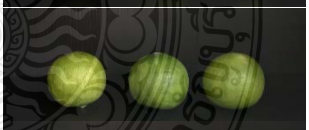
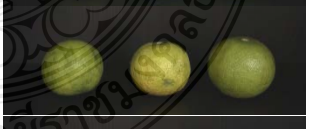
Treatments (Alginate: Tannin)	ลักษณะปรากฏของปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดบนอาหาร			
	วันที่ 21	วันที่ 24	วันที่ 27	วันที่ 30
100:0				

2. การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของผลมะนาวพันธุ์แป้นที่เก็บรักษา

Treatments (Alginate:Tannin)	ลักษณะปรากฏของมะนาวพันธุ์แป้นของการเก็บรักษา		
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6
Control			
0: 100			
10: 90			
20: 80			
30: 70			
40: 60			
50: 50			
60: 40			
70: 30			
80: 20			
90: 10			
100: 0			

Treatments (Alginate:Tannin)	ลักษณะปรากฏของมะนาวพันธุ์แป้นของการเก็บรักษา		
	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
Control			
0: 100			
10: 90			
20: 80			
30: 70			
40: 60			
50: 50			
60: 40			
70: 30			
80: 20			
90: 10			
100: 0			

Treatments (Alginate:Tannin)	ลักษณะปรากฏของมะนาวพันธุ์แป้นของการเก็บรักษา		
	วันที่ 18	วันที่ 21	วันที่ 24
Control			
0: 100			
10: 90			
20: 80			
30: 70			
40: 60			
50: 50			
60: 40			
70: 30			
80: 20			
90: 10			
100: 0			

Treatments (Alginate: Tannin)	ลักษณะปรากฏของมะนาวพันธุ์แป้นของการเก็บรักษา	
	วันที่ 27	วันที่ 30
Control		
0: 100		
10: 90		
20: 80		
30: 70		
40: 60		
50: 50		
60: 40		
70: 30		
80: 20		
90: 10		
100: 0		

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวพรรณพนัช แช่ม

วัน เดือน ปีเกิด 24 ตุลาคม 2537

ที่อยู่ 558 หมู่บ้านศิริสุข ถนนช่างอากาศอุทิศ แขวงดอนเมือง เขตดอนเมือง กรุงเทพมหานคร 10210

การศึกษา ปริญญาตรี คณะเทคโนโลยีการเกษตร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เบอร์โทรศัพท์ 092-2969389

อีเมลล์ Panpanach_c@mail.rmutt.ac.th