

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การเปลี่ยนแปลงของสารโพลีฟีนอล กรดฟีนอลิกและคุณสมบัติการต้านทาน  
อนุมูลอิสระของส้มเขียวหวานเคลือบผิวที่อุณหภูมิ 4, 12, 20 และ 30°C  
(Changes of polyphenol, phenolic acid and antioxidant activity of waxed  
orange storage at 4, 12, 20 and 30°C)

โดย

รศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ

โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH  
TX  
558  
.04  
58885  
เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 73043  
วัน,เดือน,ปี... 27 ส.ย. 2550

โครงการวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดิน

ประจำปี 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง  
1176956x

## บทคัดย่อ

ส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่าค่า pH ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด กรดแอสคอบิก total caffeic acid, total sinapic acid และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS และ DPPH เมื่อเก็บในอุณหภูมิต่างกันมีการเปลี่ยนแปลงไม่ต่างกัน แต่อุณหภูมิการเก็บรักษาทำให้ค่าความเป็นกรด การสูญเสียน้ำหนัก สารประกอบโพลีฟีนอล free hydroxycinnamic acids, total *p*-coumaric acid และ total ferulic acid สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเก็บสูงขึ้น ส่วนระยะเวลาการเก็บรักษาส้มเขียวหวานเคลือบผิวไม่ทำให้ค่า pH ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด free hydroxycinnamic acids และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS มีการเปลี่ยนแปลง แต่ทำให้ค่าความเป็นกรด การสูญเสียน้ำหนัก สารประกอบโพลีฟีนอล total hydroxycinnamic acids ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH สูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น แต่ทำให้กรดแอสคอบิกลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 30°C สามารถเก็บได้เพียง 3 สัปดาห์ นอกจากนั้นยังพบว่าปริมาณ total hydroxycinnamic acids ในส้มเขียวหวานเคลือบผิวมี ferulic acid มากที่สุด ตามด้วย sinapic acid, caffeic acid และ *p*-coumaric acid ตามลำดับ และสารประกอบโพลีฟีนอล total hydroxycinnamic acids และกรดแอสคอบิกเป็นสารที่สำคัญในส้มเขียวหวานเคลือบผิว และมีบทบาทในการต้านอนุมูลอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
สารบัญ.....	II
สารบัญตาราง.....	IV
สารบัญรูป.....	V
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 สัมเขี้ยวหวาน.....	3
2.2 โครงสร้างของส้ม.....	3
2.3 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวส้ม.....	3
2.3.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ.....	4
2.3.2 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของส้ม.....	4
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนภายหลังการเก็บเกี่ยว.....	6
2.4.1 อุณหภูมิ.....	6
2.4.2 การใช้สารเคลือบผิว.....	6
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย.....	9
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	9
3.1.1 เครื่องมือ.....	9
3.1.2 วัสดุดิบ.....	9
3.1.3 สารเคมี.....	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 สถานที่ดำเนินงาน.....	10
3.3 ระยะเวลาที่ทำการทดลอง.....	10
3.4 วิธีการดำเนินงาน.....	10
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	12
4.1 ผลการเปลี่ยนแปลง pH ความเป็นกรด ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด และ การสูญเสียน้ำหนักส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C.....	12
4.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงสารประกอบโพลีฟีนอล กรดแอสคอบิก Hydroxycinnamic acids และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของส้มเขียวหวาน เคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C.....	15
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	22
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	28
บรรณานุกรม.....	29
ภาคผนวก ก.....	34
ภาคผนวก ข.....	44

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	กรดอินทรีย์ในน้ำส้มและเปลือก.....	4
4.1	ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บไว้ 5 สัปดาห์.....	21
ข.1	การเปลี่ยนแปลง pH ของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	45
ข.2	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	45
ข.3	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดของส้มเขียวหวานเคลือบผิว เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	46
ข.4	การเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่ อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	46
ข.5	การเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่ อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	47
ข.6	การเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอบิกในส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	47
ข.7	การเปลี่ยนแปลง free hydroxycinnamic acids ของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อ เก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	48
ข.8	การเปลี่ยนแปลง total hydroxycinnamic acids ของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อ เก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	49
ข.9	การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของส้มเขียวหวานที่เคลือบ ผิวเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS และ DPPH เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C. เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	50

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกต่าง ๆ.....	5
4.1	การเปลี่ยนแปลง pH ของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	12
4.2	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	13
4.3	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	13
4.4	การสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	14
4.5	การเปลี่ยนแปลงสารประกอบโพลีฟีนอลในส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	15
4.6	การเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอร์บิกของส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	16
4.7	การเปลี่ยนแปลง free hydroxycinnamic acids ของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	17
4.8	การเปลี่ยนแปลง total hydroxycinnamic acids ของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	19
4.9	การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของส้มเขียวหวานที่เคลือบผิว วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS และ DPPH เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ส้มเป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคกันมากในหมู่คนไทยเป็นผลไม้ที่มีวิตามินซีสูง ในปี 2540 มีปริมาณผลผลิตจากส้ม 496,321 ตัน และได้เพิ่มเป็น 585,167 ตัน ในปี 2547 นับว่าเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ในทศวรรษที่ผ่านมาการค้นคว้าวิจัยหาสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ในผลไม้ได้รับความสนใจมากเนื่องจากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตมีความสามารถในการทำลายชีวโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์ ทำให้เกิดโรคบางอย่างตามมา เช่น มะเร็ง โรคเส้นเลือดหัวใจตีบตัน การยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจึงมีความจำเป็นมาก สารประกอบในผลไม้รวมทั้งส้มที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของอนุมูลอิสระได้แก่ วิตามินซี วิตามินเอ และสารโพลีฟีนอลเป็นต้น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลไม้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้งภายนอก และภายในผลไม้ เช่น อุณหภูมิ ระยะเวลาที่เก็บ พันธุ์ และปริมาณออกซิเจน โดยเฉพาะในเรื่องของออกซิเจนซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็น oxidizing agent สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี

การปฏิบัติกรหลังการเก็บเกี่ยวส้มในประเทศไทยจะมีการนำสารเคลือบผิวมาใช้เพื่อให้ส้มมีความมันวาว สด และสามารถยืดอายุการเก็บไปได้ระยะหนึ่ง การเคลือบผิวเป็นการจำกัดสภาวะแวดล้อมภายในของส้มมีผลต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซ ในกรณีของส้มที่เคลือบผิวที่วางขายในตลาดเมืองไทยจะอยู่ในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิสูง จึงน่าจะมีส่วนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในผลส้ม การเปลี่ยนแปลงนี้น่าจะเกิดลดลงหรือไม่เกิดเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ

ดังนั้นการศึกษาถึงปัจจัยที่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระในส้มเปลี่ยนแปลงไปจึงมีความจำเป็น เพื่อให้สามารถปฏิบัติต่อส้มให้เหมาะสมและช่วยลดการเสื่อมคุณค่าที่สำคัญลงไปได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมส้มสดและผู้บริโภคที่จะได้บริโภคส้มที่มีคุณภาพดี

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบที่มีความสำคัญทางด้านโภชนาการของ ส้มเขียวหวานที่เคลือบผิว และเก็บในอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิห้อง

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี สารประกอบโพลีฟีนอล ปริมาณกรดฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในส้มเขียวหวานที่เคลือบผิว เมื่อ เก็บที่อุณหภูมิต่างกัน

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นข้อมูลคุณภาพทางด้านโภชนาการที่เป็นประโยชน์แก่อุตสาหกรรมการผลิตและ จำหน่ายส้มสดของประเทศไทย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ส้มเขียวหวาน

ส้มเขียวหวาน (*Citrus reticulata* Blanco) มีชื่อสามัญว่า Tangerine หรือ Mandarin เป็นผลไม้จำพวก non climacteric มีถิ่นกำเนิดในประเทศจีน และปลูกกันมานานในประเทศจีนและญี่ปุ่น ต่อมาแพร่กระจายไปยังสหรัฐอเมริกาและยุโรป จนในปัจจุบันส้มเป็นพืชที่ปลูกกันทั่วไปในเขตร้อนและกึ่งร้อน (รวิ เสรฐภักดี, 2528) การปลูกส้มเขียวหวานในประเทศไทยมีมาประมาณ 100 ปีมาแล้ว สามารถปลูกได้ทุกภาคและปริมาณการปลูกส้มเขียวหวานในประเทศไทยได้เพิ่มปริมาณขึ้นเป็นจำนวนมาก

### 2.2 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวส้ม

ส้มเป็นผลไม้ประเภทของ non climacteric fruit (Leopold และ Kriedemann, 1975; Wills et al, 1981) หลังการเก็บเกี่ยวผลส้มจะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีอย่างช้า ๆ (Ting และ Attaway, 1971)

#### 2.3.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

ส้มจะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพส่วนใหญ่จากการคายน้ำทำให้เกิดการสูญเสียน้ำ ถ้ามีการสูญเสียน้ำมากกว่า 5% ผลส้มจะเหี่ยว และเสีรูปร่าง ซึ่งทำให้เปลือกบาง แข็ง และปอกยาก จำหน่ายไม่ได้ทั้ง ๆ ที่คุณภาพภายในยังเปลี่ยนแปลงไม่มาก (Wardowski, 1986)

#### 2.3.2 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของส้ม

ส้มหลังจากเก็บเกี่ยวจะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีเช่น

ส้มทั้งผลจะมีปริมาณไนโตรเจนประมาณ 0.1-0.2% ของน้ำหนักเปียก สารประกอบไนโตรเจนในผลส้มประกอบด้วยโปรตีน เปปไทด์ และกรดอะมิโน เป็นต้น กรดอะมิโนจะพบในน้ำคั้นและในเปลือกเมื่อสกัดด้วยแอกฮอลด์ ปริมาณกรดอะมิโนในน้ำคั้นจะเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณและชนิดตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของผล

Cameroon and Frost (1968) รายงานว่าในเนื้อส้ม California Valencias มีกรดไขมันหลายชนิดเป็นส่วนประกอบ เช่น โอลิอิก ลิโนเลอิก ลิโนลีนิก ปาล์มมิติก สเตอริก กลิเซอรอลและไฟโตสเตอรอล การเกิดกลิ่นผิดปกติในน้ำส้มบรรจุกระป๋องจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมัน ในส้มมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในเปอร์เซ็นต์ที่สูง

ขณะที่ผลอ่อนอยู่เปลือกจะมีสีเขียว และจะเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองหรือส้มเมื่อเข้าระยะแก่ (Ting และ Attaway, 1971) เนื่องจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และมีแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น (Matto *et al*, 1975)

น้ำตาลในส้มประกอบด้วย กลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส ปริมาณของน้ำตาลในส้มเป็นปัจจัยสำคัญที่บ่งชี้ความแก่อ่อนของส้ม โดยเฉพาะส้มชนิดหวาน (sweet orange) น้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลักของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำในส้มเขียวหวาน ในส้มที่แก่เต็มที่จะมีน้ำตาลที่เป็น reducing และ nonreducing ในปริมาณที่เท่ากัน และน้ำตาลสามารถพบได้ในส่วนของเปลือกชั้นนอกและชั้นกลางด้วย

ค่าความเป็นกรดในน้ำส้มจะขึ้นกับกรดซิตริกและกรดมาลิกเป็นส่วนใหญ่ ดังตารางที่ 2.1 กรดในส้มเป็นตัวบ่งชี้ความแก่อ่อนของส้มที่สำคัญ ปริมาณของกรดชนิดต่าง ๆ จะขึ้นกับสายพันธุ์ของส้มด้วย

ตารางที่ 2.1 กรดอินทรีย์ในน้ำส้มและเปลือก

Varity	juice (g/100 ml)		peel (meq/g dry wt)			
	Malic	Citric	Malic	Citric	Oxalic	Malonic
Orange						
Washington Navel I	0.06	0.56	0.02	0.01	0.11	0.02
Washington Navel II	0.20	0.93	0.02	0.01	0.10	0.03
Valencia	0.16	0.98	0.02	trac	0.13	0.03
Tangerine						
Dancy I	0.18	1.22	0.06	0.02	0.15	0.01
Dancy II	0.21	0.86	0.09	0.02	0.20	0.02

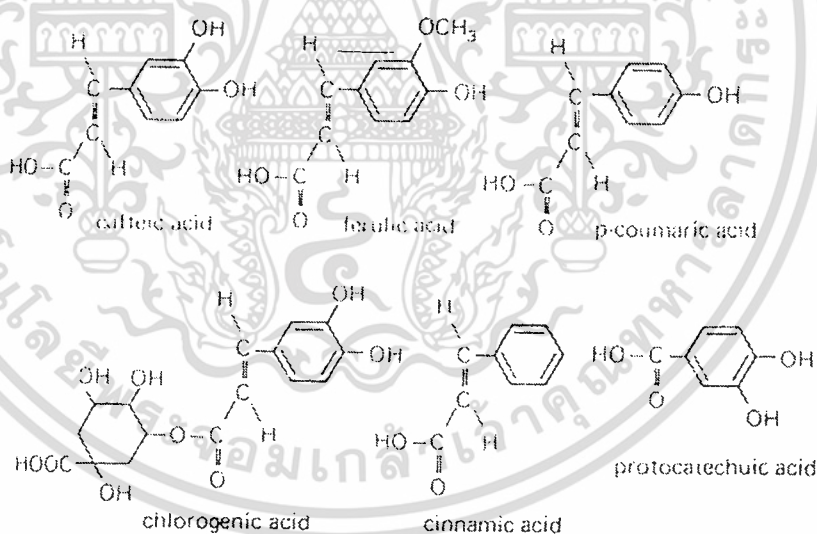
ที่มา : ดัดแปลงจาก (Gorini and Testoni, 1988)

วิตามินที่สำคัญในส้มคือกรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซี ปริมาณจะขึ้นกับพันธุ์ ความแก่อ่อน และปัจจัยอื่น ๆ เมื่อผลไม้เจริญเต็มที่ปริมาณของวิตามินซีจะค่อย ๆ ลดลง ในฤดูเก็บเกี่ยวปริมาณของวิตามินซีจะอยู่ในช่วง 0.3 ถึง 0.6 mg/ml กรดแอสคอร์บิกค่อนข้างจะคงตัวในระหว่างกระบวนการผลิตและเก็บรักษาส้ม อุณหภูมิในการเก็บส้มถ้าเพิ่มขึ้นจะสูญเสียกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้น กรดแอสคอร์บิกเป็นสารหลักที่มีผลต่อ biological activity ของวิตามินซี และสามารถถูกออกซิไดซ์เป็น L-dehydroascorbic acid (DHA) ได้และยังคงมีผลต่อ biological activity เช่นกัน และ L-dehydroascorbic acid สามารถถูกออกซิไดซ์ต่อไปจะเป็น diketogulonic acid ซึ่งไม่มีผลต่อ biological activity (Davey *et al*, 2000 และ Deutsch, 2000) DHA สามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นกรดแอสคอร์บิกได้ง่ายในร่างกายมนุษย์การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิกและ DHA เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในผลไม้จะทำให้ทราบถึงผลของวิตามินซีที่มีต่อ biological activity ได้ (Lee และ Kader, 2000) นอกจากนี้กรดแอสคอบิกแล้วในส้มยังมี วิตามินบีรวมและ provitamin A (แคโรทีนอยด์) อีกด้วย

**สารประกอบฟีนอล**

สารประกอบฟีนอลเป็นสารประกอบที่มีฟีนอลเป็นองค์ประกอบสำคัญและอาจมีหมู่เคมีอื่น ๆ มาเกาะที่ตำแหน่งต่าง ๆ เช่น caffeic, *p*-coumaric, ferulic และ chlorogenic acid ดังรูปที่ 2.2 (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) สารประกอบฟีนอลจะมีผลต่อกลิ่นรสและสีในผลไม้ (Simon et al., 1992) hydroxycinnamic acid เป็นกรดฟีนอลิกที่พบมากในผลไม้ตระกูลส้ม Peleg et al (1991) รายงานว่าในส้ม Shanti มี Bound และ free caffeic, *p*-coumaric, ferulic และ sinapic acid ปริมาณของกรด ฟีนอลิกในส้มจะแปรผันตามพันธุ์และฤดูกาล Raspirada et al. (1998) พบว่า hydroxycinnamic acids ใน blood และ blond orange มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและ ferulic acid เป็นกรด ฟีนอลิกที่มีมากที่สุดในทั้งสองสายพันธุ์ hydroxycinnamic acid ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ bound และ มีปริมาณของ ferulic>sinapic>*p*-coumaric>caffeic ในทุกส่วนของส้ม (Naim et al, 1992) กรดฟีนอลิกมีความสามารถในการเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์และสารต้านอนุมูลอิสระ (Chen และ Ho., 1997)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกต่าง ๆ ที่มา จริงแท้ ศิริพานิช (2546).

สารประกอบโพลีฟีนอลในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบมากในส้มหลายพันธุ์คือ hesperidin และปริมาณสารโพลีฟีนอลที่พบในส้มมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Kawaii et al.,1999) และสารฟลาโวนอยด์สามารถทำลาย singlet oxygen และ hydroxyl radical ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนสภาพหลังการเก็บเกี่ยว

### 2.4.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับความชื้นและการสูญเสีย น้ำ ความดันไอน้ำภายในผักและผลไม้จึงสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น แต่บรรยากาศรอบนอกไม่เปลี่ยน ไอน้ำจะออกจากผลผลิตผลสุบรรยากาศภายนอกจึงมีมากขึ้น ทำให้ผลผลิตผลสูญเสีย น้ำมากขึ้นด้วย ถ้าอุณหภูมิสูง อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ก็สูงขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้นและส่งผลให้ผลผลิตมีอายุการเก็บรักษาลดลง (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546)

### 2.4.2 การใช้สารเคลือบผิว

วัตถุประสงค์หลักในการใช้สารเคลือบผิวเพื่อช่วยให้ผิวมีความมันวาวมากขึ้น และลดการหลุดตัวของผลไม้ การเคลือบผิวสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การจุ่ม การพ่นฝอย และการแปรง การเคลือบผิวเป็นการจำกัดการแลกเปลี่ยนออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ การหายใจของลุ่มจะลดลงเมื่อมีออกซิเจนน้อยและเกิดการหายใจแบบไม่ใช้อากาศได้ Ben Yahoshua *et al.* (1985) พบว่า stomata ของลุ่มจะปิดเมื่อมีการเคลือบผิว ข้อดีของการเคลือบผิวคือป้องกันการสูญเสีย น้ำลดการเกิด chilling injury และยืดอายุการเก็บรักษา การเกิดกลิ่นผิดปกติในลุ่มจะเกิดจากการหายใจแบบไม่ใช้อากาศเมื่อเคลือบผิวลุ่มด้วยสารที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซได้น้อย

#### 2.4.2.1 ชนิดของสารเคลือบ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546 และ ดนัย บุญยเกียรติ, 2548)

โดยทั่วไปสารเคลือบผิวมีส่วนผสมที่สำคัญ 3 ส่วน คือส่วนที่เป็นสารเคลือบผิวโดยตรงซึ่งมักเป็น ไขมัน ตัวทำละลาย และสารอิมัลซิไฟเออร์ และอาจมีสารเคมีป้องกันโรคประกอบอยู่ด้วย

##### 2.4.2.1.1. ไชจากพืช

คาร์นูบาแว็กซ์ (carnauba wax) เป็นสารเคลือบผิวที่ได้จากผิวใบของปาล์มบราซิล *Copernicia cerifera* เป็นไชที่มีคุณภาพดีที่สุด มักใช้เป็นส่วนผสมของสารเคลือบผิวแทบทุกชนิด เป็นไชที่มีความแข็งสูงที่สุด มีความเป็นมันเงาสูง มีกลิ่นหอมและมีจุดหลอมเหลวสูง 84-96 °C

Candelilla เป็นไชที่สกัดได้จากวัชพืช *Pedilanthus pavonis* มีความแข็งและเป็นมันเงารองลงมาจากร์นูบาแว็กซ์ แต่เปราะและมีกลิ่นหอม

##### 2.4.2.1.2. ไชจากสัตว์

มีหลายชนิดที่นิยมใช้เป็นส่วนประกอบของสารเคลือบผิวผลไม้ ได้แก่ shellac ซึ่งสกัดได้จากมดครั้ง มีความมันวาวสูงมาก มีจุดหลอมเหลวที่ 72-80 °C มักพบเป็นส่วนประกอบของสารเคลือบแทบทุกชนิด ไชจากสัตว์อื่น ๆ ได้แก่ spermaceti เป็นไชที่ได้จากปลาวาฬและซีผึ้งได้จากรังผึ้ง

##### 2.4.2.1.3. ไชจากน้ำมันปิโตรเลียม

เป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม มีสูตรเคมีเป็น  $C_nH_{2n+2}$  ได้แก่ paraffin มีเอกสารนี้ลักษณะเป็นของแข็งสีขาวอ่อนนุ่ม ลื่น ไม่มีกลิ่นเมื่อรวมตัวกับตัวทำละลายมักจะเหนียว ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

microcrystalline wax เป็นไขจากน้ำมันปิโตรเลียมอีกชนิดหนึ่ง มีลักษณะเป็นผลึกขนาดเล็ก เหนียว และอ่อนนุ่ม มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มี tensile strength และจุดหลอมเหลวสูงกว่า paraffin มีความมันเงาน้อย ลื่นมือ สามารถรวมตัวกับไขจากพืชและ resin มีผลทำให้จุดหลอมเหลวและความแข็งสูงขึ้น

#### 2.4.2.1.4. ไขจากการสังเคราะห์

มีหลายชนิดที่สังเคราะห์จากเอทิลีน เช่น polyethylene wax, polyoxyethylene glycol (carbowax), chlorinated naphthalene (halowax), polyoxyethylene sorbitol, polyethylene glycols และ ethylene glycol monostearate เป็นต้น มีราคาถูก ช่วยควบคุมการสูญเสียน้ำได้ดี มีความมันวาว

#### 2.4.2.2 การเลือกใช้สารเคลือบผิว (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546)

การเลือกใช้สารเคลือบผิวต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เพื่อให้การเคลือบผิวเกิดประโยชน์สูงสุด ดังนี้

##### 2.4.2.2.1 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

ลัมและแคปไซซิน เมื่อเคลือบผิวจะมีลักษณะเป็นมันเงา การเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวแล้ว จะทำให้ความมันเงามากขึ้น สวยงาม ดึงดูดผู้บริโภคได้มากขึ้น ถ้าต้องการความเป็นมันเงามาก สารเคลือบผิวควรประกอบด้วยไขที่มีความมันเงาสูง เช่น shellac ความมันเงาของผลไม้เป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้สารเคลือบผิว คุณสมบัติข้ออื่น ๆ ของสารเคลือบผิว ได้แก่ การลดการสูญเสียและลดการถ่ายเทอากาศเพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ นั้น อาจใช้ปัจจัยอย่างอื่นช่วยได้ เช่น การใช้อุณหภูมิต่ำ การใช้บรรยากาศควบคุม และการเพิ่มความชื้น การเคลือบผิวสามารถลดการสูญเสียได้ประมาณ 20-50% คุณสมบัติในการชะลอการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวของสารเคลือบผิวในผลไม้ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น ลัมชนิดต่าง ๆ สารเคลือบผิวที่ใช้ควรมีความเป็นเงาสูง ป้องกันการคายน้ำได้ดีแต่ไม่ลดการถ่ายเทอากาศ

##### 2.4.2.2.2 การปฏิบัติในการเคลือบผิว

สารเคลือบผลผลิตอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทกว้าง ๆ คือ ประเภทที่ละลายน้ำ และประเภทที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น แอลกอฮอล์ สารเคลือบผิวที่ละลายในตัวทำละลายมีข้อดีคือ แห้งเร็ว แต่ข้อเสียคือ มีกลิ่นของตัวทำละลาย สำหรับสารเคลือบผิวที่ละลายน้ำแห้งช้า ต้องใช้ความร้อนหรือพัดลมช่วยในการทำให้แห้ง นอกจากนั้นการเตรียมสารเคลือบผิวชนิดนี้ยุ่งยากเพราะสารเคลือบผิวมีไขเป็นองค์ประกอบละลายน้ำได้น้อย ต้องมีอิมีลซิไฟเออร์เป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย อย่างไรก็ตามในปัจจุบันสารเคลือบผิวแบบละลายน้ำได้รับความนิยม

มากกว่าชนิดที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.2.2.3 กฎ ระเบียบ และสมัณนิยม

การใช้สารเคลือบผิวต้องคำนึงถึงกฎ ระเบียบในประเทศที่จะจำหน่ายผลผลิตนั้น ๆ ด้วย เช่นในประเทศญี่ปุ่นสารเคลือบผิวที่จะใช้ต้องมีองค์ประกอบเป็นสารธรรมชาติที่รับประทานได้ เท่านั้น แต่ในสหรัฐอเมริกาสารเคลือบผิวที่มี polyethylene เป็นองค์ประกอบก็สามารถใช้ได้กับผลไม้ที่ไม่ได้รับประทานทั้งเปลือก

#### 2.4.2.2.4 ข้อจำกัดในการเลือกใช้สารเคลือบผิว

สารเคลือบผิวที่มีขายในตลาดปัจจุบันเป็นสารเคลือบที่ผลิตในต่างประเทศทั้งสิ้น ส่วนใหญ่ผลิตขึ้นเพื่อใช้กับผลไม้เขตอบอุ่น เมื่อนำมาใช้กับผลไม้เขตร้อน เช่น ในประเทศไทยก็ได้ผลบ้างแต่ยังไม่ดีที่สุด ควรมีการศึกษาและพัฒนาให้มีความเหมาะสมกับผลผลิตเขตร้อนมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

##### 3.1 อุปกรณ์

###### 3.1.1 เครื่องมือ

3.1.1.1 เครื่อง High performance Liquid Chromatography (HPLC) จาก LDC/Milton Roy USA.

3.1.1.2 เครื่อง pH meter รุ่น Suntex SP 701 จาก Suntex instrument, Taipei, Taiwan

3.1.1.3 Hand refractometer รุ่น ATAGO N1 จาก Japan

3.1.1.4 เครื่อง UV-VIS spectrophotometer รุ่น UV-1601 จาก Shimadzu Japan

3.1.1.5 เครื่อง Cooled incubator จาก Sanyo Japan

###### 3.1.2 วัตถุดิบ

ส้มเขียวหวาน (*Citrus reticulata* Blanco) ซื้อจากสวนส้มพรสิริสาร จังหวัดกำแพงเพชร

###### 3.1.3 สารเคมี

3.1.3.1 Sodium hydroxide (Ajax Finechem, Australia)

3.1.3.2 Caffeic acid (Sigma, USA.)

3.1.3.3 Coumaric acid (Sigma, USA.)

3.1.3.4 Sinapic acid (Sigma-Aldrich, USA.)

3.1.3.5 Ferrulic acid (Sigma, USA.)

3.1.3.6 Acetonitrile (Merck, Germany)

3.1.3.7 Acetic acid (Merck, Germany)

3.1.3.8 ABTS (2,2 azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) (Sigma-Aldrich, USA)

3.1.3.9 DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) (Merck, Germany)

3.1.3.10 Phosphoric acid (Merck, Germany)

3.1.3.11 Ethyl acetate (Merck, Germany)

3.1.3.12 Methanol (Merck, Germany)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.13 Folin-Cocialteu reagents (Merck, Germany)

3.1.3.14 Sodium carbonate (Ajax Finechem, Australia)

3.1.3.15 Ascorbic acid (Merck, Germany)

3.1.3.16 Metaphosphoric acid (Merck, Germany)

3.1.3.17 Gallic acid (Sigma-Aldrich, USA)

3.1.3.18 2, 6 dichloroindophenol (Merck, Germany)

### 3.2 สถานที่ดำเนินงาน

โครงการคณะอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### 3.3 ระยะเวลาการทำทดลอง

1 ปี

### 3.4 วิธีดำเนินงาน

ศึกษาผลของการเคลือบผิวส้มเขียวหวานที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และกรดฟีนอลิกส้มเขียวหวานเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่างกัน

นำส้มที่ผ่านการเคลือบผิวแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 35 ผล เก็บในกล่องกระดาษและนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4, 12 และ 20°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์ ติดตามผลการเปลี่ยนแปลงทุก 1 สัปดาห์ โดยนำส้มจำนวน 5 ผล มาปอกเปลือกและคั้นน้ำด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ไฟฟ้า เก็บน้ำคั้นที่ได้ในขวดสีชาและเก็บในอุณหภูมิ -18°C เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

3.4.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (°brix) โดยใช้ Hand refractometer

3.4.2 pH โดยใช้ pH meter

3.4.3 ค่าความเป็นกรด (AOAC, 2000)

3.4.4 การสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss)

3.4.5 กรดแอสคอบิก (AOAC, 2000)

3.4.6 ปริมาณกรดฟีนอลิก โดยใช้ High performance Liquid Chromatography (HPLC)

3.4.7 ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจาก Gorinstein *et al* (2001) ร่วมกับ Kankonen *et al* (1999)

3.4.8 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้วิธี DPPH ที่ดัดแปลงจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า Brand-Williams *et al* (1995) และ วิธี ABTS ที่ดัดแปลงจาก Landult *et al* (2001) ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลอง 3 ชั้น วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูล ด้วยแผนการทดลองแบบ Split-plot design โดยใช้โปรแกรม SPSS version 11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test เพื่อเลือกสภาวะการเก็บที่เหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

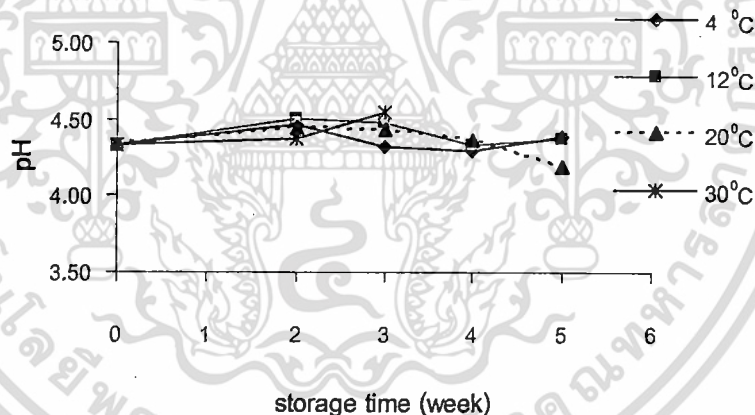
### ผลการทดลอง

4.1 ผลการเปลี่ยนแปลง pH ความเป็นกรด ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด และการสูญเสียน้ำหนักส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C

จากการเก็บรักษาส้มเขียวหวานเคลือบผิวที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์ นำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ pH ค่าความเป็นกรด ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด และการสูญเสียน้ำหนักได้ผลดังนี้

#### 4.1.1 pH

ค่า pH ของส้มเขียวหวานเคลือบผิวมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่า pH ของส้มเขียวหวานเคลือบผิวจะสูงขึ้นเมื่อเก็บนาน 2 สัปดาห์หลังจากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักในทุกอุณหภูมิที่เก็บ ค่า pH ของส้มเขียวหวานเคลือบผิวอยู่ในช่วง 4.19-4.51 เมื่อเก็บนาน 5 สัปดาห์ (รูปที่ 4.1 และ ตารางภาคผนวก ข.1)

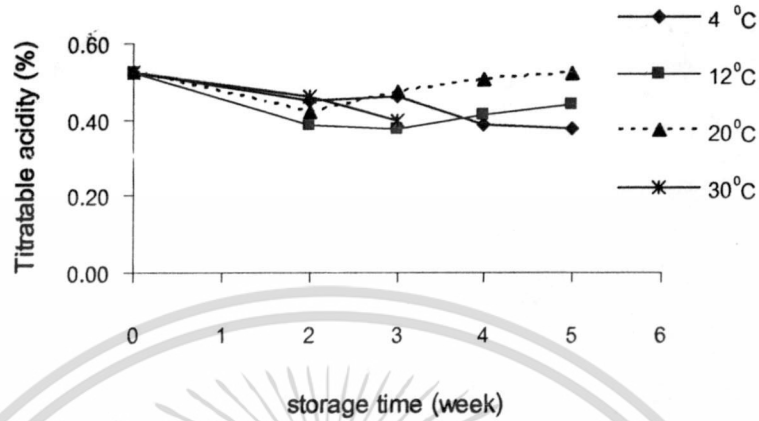


รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลง pH ของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์

#### 4.1.2 ค่าความเป็นกรด (Titratable Acidity)

อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าความเป็นกรดของส้มเขียวหวานเคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ค่าความเป็นกรดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บไว้ในทุกอุณหภูมิในช่วงแรกของการเก็บ (2 สัปดาห์) และลดลงตลอดการเก็บรักษาเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ส่วนการ

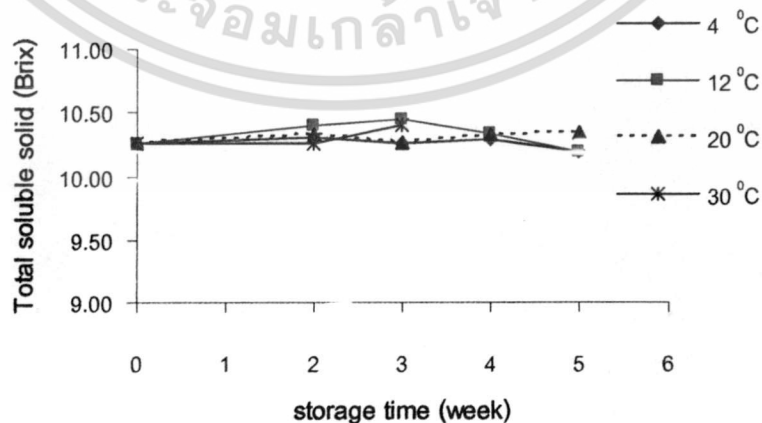
เก็บที่อุณหภูมิ 12 และ 20°C ค่าความเป็นกรดมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเก็บนาน 5 สัปดาห์ (รูปที่ 4.2 และ ตารางภาคผนวก ข.2)



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์

#### 4.1.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (Brix)

ผลของการเก็บส้มเขียวหวานเคลือบผิวที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนระยะเวลาการเก็บไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเก็บส้มเขียวหวานเคลือบผิวที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน มีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดสูงขึ้นด้วย ระยะเวลาการเก็บส้มเขียวหวานเคลือบผิวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเก็บส้มนาน 5 สัปดาห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 10.20-10.34 (รูปที่ 4.3 และ ตารางภาคผนวก ข.3)

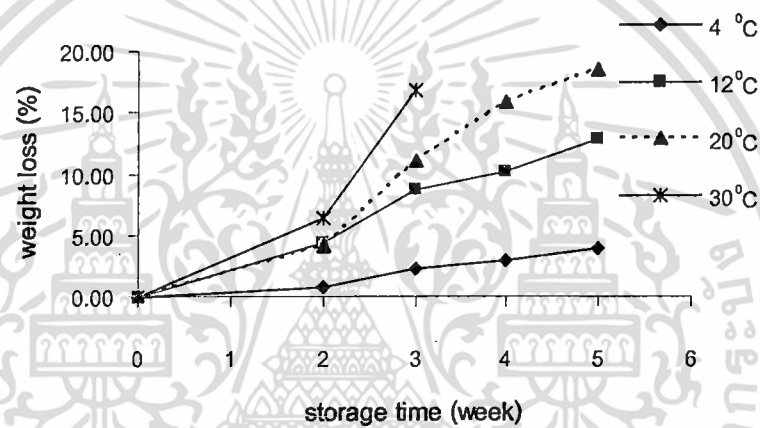


รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 การสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss)

อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บส้มเขียวหวานมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวหวานเคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าส้มเขียวหวานเคลือบผิวที่เก็บที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้การสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวหวานเคลือบผิวสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บด้วย พบว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวหวานเป็น 3.97 12.90 18.56 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 และ 20°C ตามลำดับ เป็นเวลา 5 สัปดาห์ ส่วนส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 3 สัปดาห์ มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 16.89 (รูปที่ 4.4 และตารางภาคผนวก ข.4)



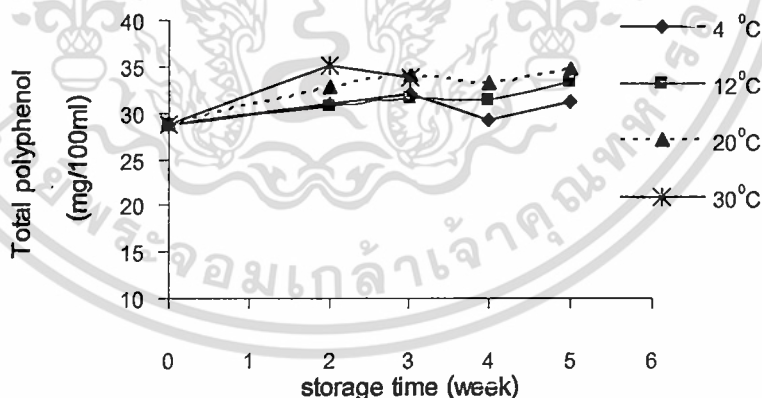
รูปที่ 4.4 การสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์

#### 4.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงสารประกอบโพลีฟีนอล กรดแอสคอบิก Hydroxycinnamic acids และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C

นำส้มเขียวหวานเคลือบผิวมาเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์ นำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอล กรดแอสคอบิก กรดฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ได้ผลดังนี้

##### 4.2.1 สารประกอบโพลีฟีนอล

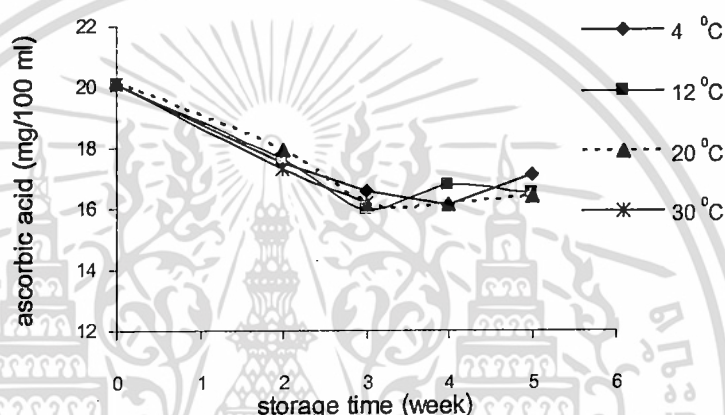
อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บส้มเขียวหวานเคลือบผิวมีผลต่อความแตกต่างของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บในทุกอุณหภูมิที่เก็บ พบว่าส้มเขียวหวานเมื่อเริ่มเก็บมีปริมาณสารโพลีฟีนอลเข้มข้น 28.72 mg/100 ml และเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 31.27-34.75 mg/100 ml เมื่อเก็บส้มเขียวหวานที่อุณหภูมิ 4 12 และ 20°C นาน 5 สัปดาห์ ส่วนส้มเขียวหวานที่เก็บที่อุณหภูมิ 30°C เก็บได้นานเพียง 3 สัปดาห์แล้วเกิดการเสื่อมเสีย อย่างไรก็ตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารโพลีฟีนอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน จากผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการเก็บส้มเขียวหวานที่อุณหภูมิ 12 20 และ 30°C มีการสร้างสารโพลีฟีนอลมากกว่าส้มที่เก็บที่อุณหภูมิ 4°C (รูปที่ 4.5 และตารางภาคผนวก ข.5)



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงสารประกอบโพลีฟีนอลในส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์

#### 4.2.2 กรดแอสคอบิก

กรดแอสคอบิกในส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C มีแนวโน้มลดลงทุกอุณหภูมิ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กรดแอสคอบิกในส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเริ่มเก็บมีปริมาณเท่ากับ 20.10 mg/100 ml เมื่อเก็บนาน 5 สัปดาห์ ปริมาณลดลงเหลือ 16.42-17.12 mg/100 ml ผลของระยะเวลาการเก็บมีต่อการลดลงของกรดแอสคอบิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทุกระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บ โดยกรดแอสคอบิกลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บไว้นาน 3 สัปดาห์ และเริ่มเปลี่ยนแปลงน้อยลงในช่วงสัปดาห์ที่ 4-5 (รูปที่ 4.6 และตารางภาคผนวก ข.6)



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอบิกของส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์

#### 4.2.3 Hydroxycinnamic acids

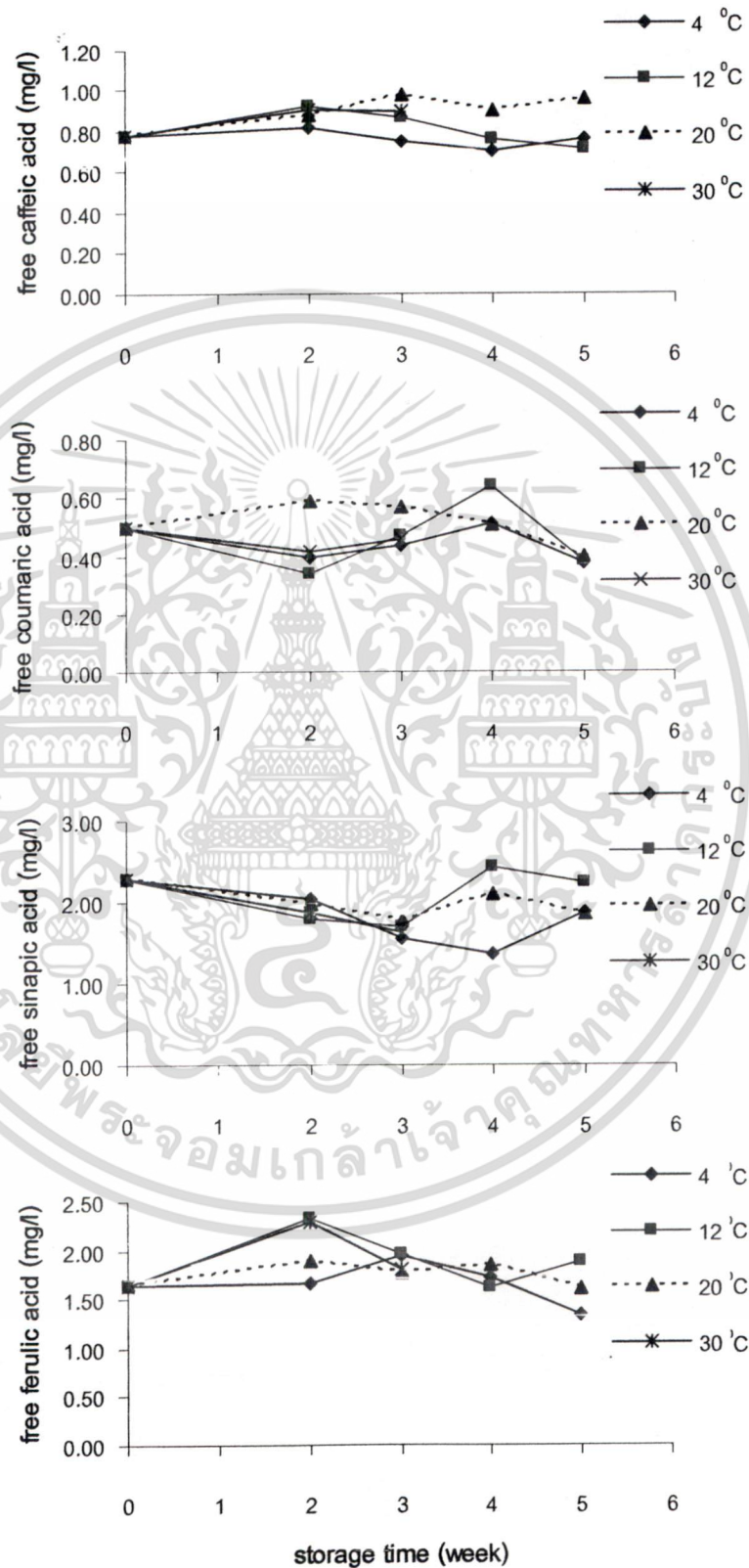
##### 4.2.3.1 Free hydroxycinnamic acids

Free hydroxycinnamic acid ที่พบในส้มเขียวหวานคือ caffeic acid, *p*-coumaric acid, sinapic acid และ ferulic acid ปริมาณของ free sinapic acid จะมีมากที่สุด ในบรรดา free hydroxycinnamic acids ที่พบทั้ง 4 ชนิด และ free *p*-coumaric acid จะมีปริมาณน้อยที่สุด

ปริมาณของ free caffeic acid มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน free *p*-coumaric acid, sinapic acid และ ferulic acid ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อุณหภูมิในการเก็บมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ free hydroxycinnamic acids ที่อุณหภูมิสูงปริมาณของกรด hydroxycinnamic acids ในส้มจะมีมากกว่าที่อุณหภูมิ 4°C

ผลของระยะเวลาการเก็บส้มเขียวหวานเคลือบผิวที่มีผลต่อ free hydroxycinnamic acids พบว่า free hydroxycinnamic acids ทั้ง 4 ชนิด มีแนวโน้มลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการเก็บมีผลต่อการสร้างหรือใช้ free hydroxycinnamic acids ในส้มเขียวหวานเคลือบผิวเล็กน้อยมาก (รูปที่ 4.7 และ ตารางภาคผนวก ข.7)



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลง free hydroxycinnamic acids ของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30 °C เป็นเวลา 5 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับดูงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

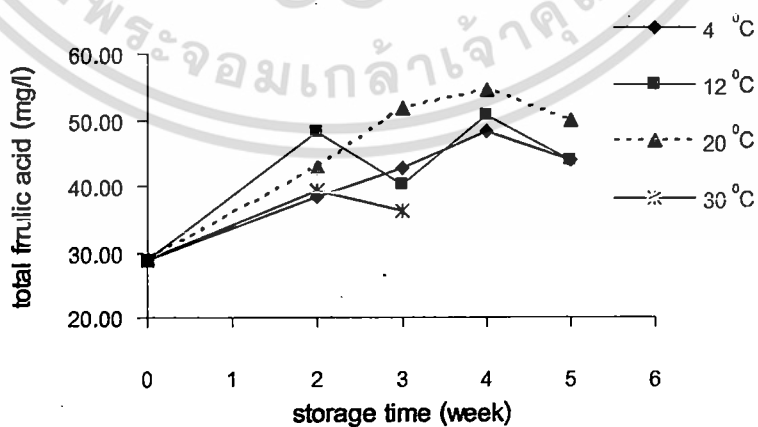
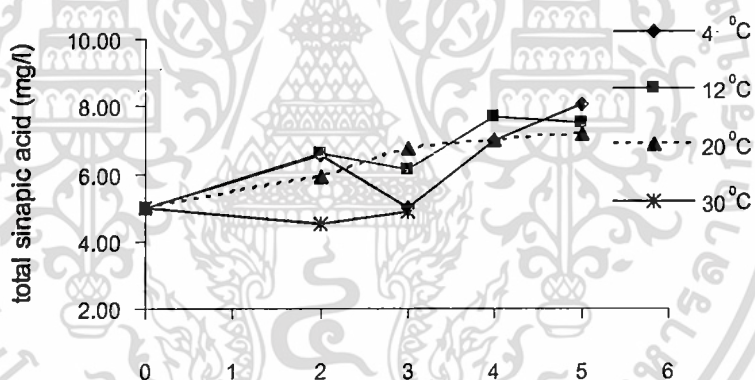
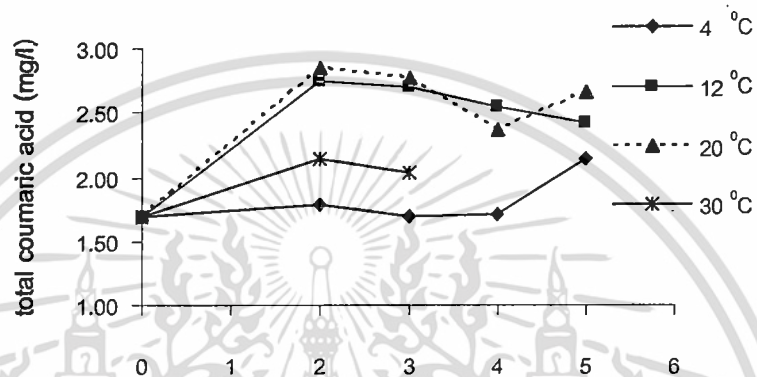
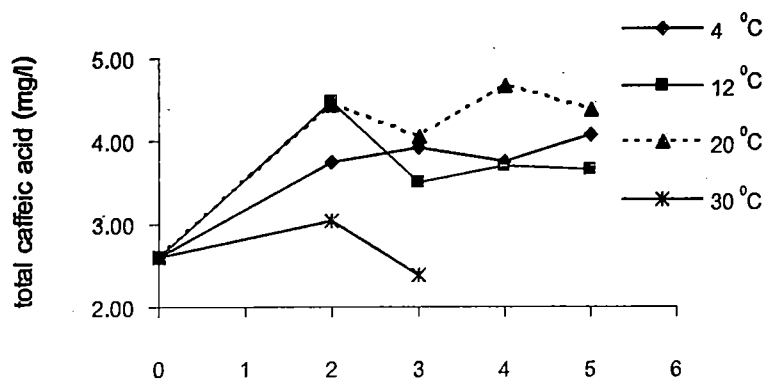
#### 4.2.3.2 Total hydroxycinnamic acids

ปริมาณของ total hydroxycinnamic acids ในส้มเขียวหวานเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 และ 20°C พบว่าอุณหภูมิมีผลทำให้ปริมาณ total ferulic acid และ total *p*-coumaric acid มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีผลต่อ total caffeic acid และปริมาณ total sinapic acid ซึ่งปริมาณ total ferulic acid ของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 20°C มีปริมาณสูง แต่เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 12°C ไม่ทำให้ปริมาณของ total ferulic acid ต่างกัน ส่วนปริมาณ total *p*-coumaric acid เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4°C มีน้อยกว่าส้มที่เก็บที่อุณหภูมิ 12 และ 20°C ซึ่งมีปริมาณไม่ต่างกัน

ส่วนระยะเวลาการเก็บมีผลต่อปริมาณของ total hydroxycinnamic acids ทั้ง 4 ชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่ง total caffeic acid, total *p*-coumaric acid, total sinapic acid และ total ferulic acid มีปริมาณสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่ากรดฟีนอลิกในส้มเขียวหวานในรูปของ total hydroxycinnamic acids ที่มีมากที่สุดคือ total ferulic acid และ total *p*-coumaric acid มีปริมาณน้อยที่สุด และอุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงปริมาณ total hydroxycinnamic acids ได้ นอกจากนี้ยังพบว่ากรดฟีนอลิกในส้มเขียวหวานในรูปของ total hydroxycinnamic acids มากกว่า free hydroxycinnamic acids เมื่อเก็บส้มเขียวหวานเคลือบผิวนานขึ้น (รูปที่ 4.8 และ ตารางภาคผนวก ข.8)

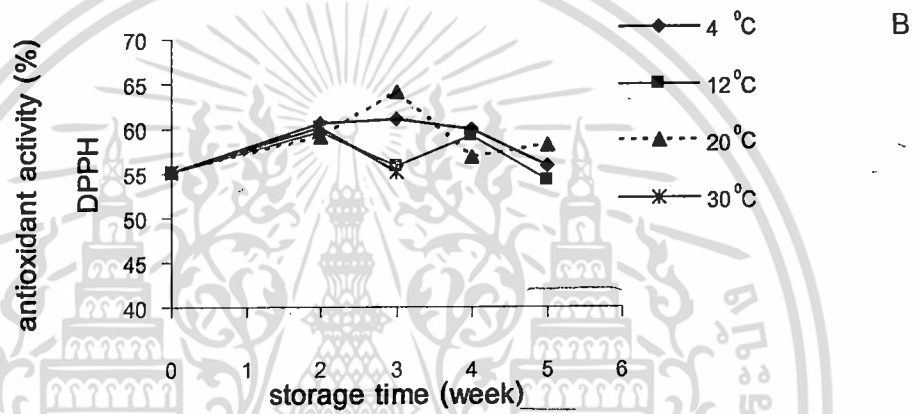
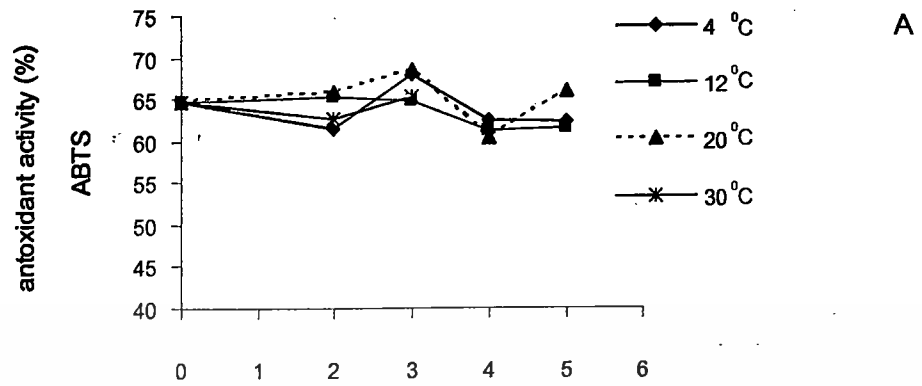
#### 4.2.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของส้มที่เคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS และ DPPH พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่อุณหภูมิต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิกการเก็บสูงกว่า 4°C ส่วนผลของระยะเวลาการเก็บส้มเขียวหวานเคลือบผิวที่มีต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของส้มที่เคลือบผิวเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS และ DPPH พบว่าระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งสองวิธีพบว่าการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS มีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH (รูปที่ 4.9 และ ตารางภาคผนวก ข.9)



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลง total hydroxycinnamic acids ของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของส้มเขียวหวานที่เคลือบผิว  
 A) วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS, B) วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็น  
 เวลา 5 สัปดาห์

#### 4.2.5 ค่าสหสัมพันธ์

ตารางที่ 4.1 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บไว้ 5 สัปดาห์

Antioxidant component	Correlation coefficient (R)	
	ABTS	DPPH
Total polyphenol	0.921*	0.853
Total caffeic acid	0.121	0.330
Total <i>p</i> -coumaric acid	0.784	0.488
Total sinapic acid	0.823	0.872
Total ferulic acid	0.519	0.679
Ascorbic acid	-0.955*	-0.876

หมายเหตุ \* มีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าสารโพลีฟีนอลทั้งหมด total *p*-coumaric acid, total sinapic acid, total ferulic acid และกรดแอสคอบิกในส้มเขียวหวานเคลือบผิวมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS และ DPPH ในระดับสูง ส่วน total caffeic acid มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งสองวิธีในระดับที่ต่ำกว่าสารต้านอนุมูลอิสระตัวอื่น และพบว่าสารโพลีฟีนอลทั้งหมด และกรดแอสคอบิก มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

## บทที่ 5

### วิจารณ์ผลการทดลอง

ส้มเขียวหวานเป็นผลไม้ประเภท Non-climacteric มีอัตราการหายใจและการผลิตเอธิลีนต่ำ การเสื่อมเสียคุณภาพของส้มเขียวหวานจึงไม่เกิดเนื่องจากการหายใจและการผลิตเอธิลีน แต่การเสื่อมคุณภาพเกิดจากการสูญเสียน้ำเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งทำให้เกิดการเสีรูปร่าง เหี่ยว และปอกเปลือกรับประทานยาก ไม่สามารถจำหน่ายได้ (Wardoski, *et.al.* 1986) ปกติแล้วส้มเขียวหวานหลังจากการเก็บเกี่ยวจะมีการล้างเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกต่าง ๆ ออก มีผลทำให้สารเคลือบตามธรรมชาติซึ่งมีคุณสมบัติการป้องกันการสูญเสียน้ำหลุดออกไปด้วย ปัจจุบันเกษตรกรนิยมนำสารเคลือบผิวมาใช้กับส้มเขียวหวานเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ เพื่อให้ส้มมีอายุการเก็บนานขึ้น อย่างไรก็ตามสารเคลือบผิวที่ใช้ก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของส้มด้วย เช่น จำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซ องค์ประกอบทางเคมี และความมันวาวของผลส้มด้วย นอกจากนี้สารเคลือบผิวจะช่วยยืดอายุการเก็บส้มเขียวหวานให้มีการเสื่อมเสียช้าแล้ว อุณหภูมิในการเก็บก็เป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมคุณภาพของส้มเขียวหวานด้วยเช่นกัน จากการทดลองนี้พบว่าการเคลือบผิวส้มเขียวหวาน และเก็บที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ มีผลต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ

#### pH และค่าความเป็นกรด

ค่า pH ของส้มเขียวหวานเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ค่าความเป็นกรดของส้มเขียวหวานเคลือบผิว มีการเปลี่ยนแปลงขณะเก็บรักษาทุกอุณหภูมิลดลงใน 2 สัปดาห์ และลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกรดซิตริกที่ลดลงในการเก็บผลไม้ตระกูลส้ม อาจเกิดจากการนำกรดอินทรีย์ไปใช้เป็นพลังงานและใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ (Raspirada, *et.al.*, 2001) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจึงทำให้ค่ากรดที่ไตรเตรทได้ลดลง ส่วนการเก็บที่อุณหภูมิ 12 และ 20°C มีค่าความเป็นกรดที่สูงขึ้นเมื่อเก็บนานขึ้น เกิดจากมีการสูญเสียน้ำหนักที่สูงขึ้นทำให้ความเข้มข้นของกรดสูงขึ้น จึงทำให้ค่ากรดที่ไตรเตรทได้สูงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงกรดในส้มในระหว่างการเก็บรักษาส้มจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH ซึ่งน่าจะเป็นผลจากผลไม่มี buffer capacity โดยเฉพาะกรดซิตริกจะแสดง buffer capacity ทำให้ควบคุมการเปลี่ยนแปลง pH ในขณะปริมาณกรดมีการเปลี่ยนแปลง การทดลองของ Del Caro. *et.al.* (2004) รายงานว่าเมื่อเก็บส้ม Palazzelli mandarin ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 12 วัน ไม่ทำให้ค่า pH และค่าความเป็นกรดมีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงขึ้น เมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดที่สูงขึ้นอาจเกิดจากการสูญเสียน้ำของส้มเขียวหวาน หรือการสลายตัวของ protopectin ในผนังเซลล์ของเปลือก ซึ่งปกติเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ เกิดการสลายตัวเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็ก สามารถละลายน้ำได้ (Wills, *et.al*, 1981) ส่วนผลของระยะเวลาการเก็บไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บนานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Badwin *et.al* (1995) ซึ่งศึกษาการเก็บส้ม Valencia ที่อุณหภูมิ 16 และ 21°C เป็นเวลา 56 วัน พบว่าระยะเวลาและอุณหภูมิ ไม่มีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลง

### การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวหวานเคลือบผิวที่เก็บไว้ในอุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่าทั้งอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บมีผลทำให้การสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวหวาน โดยเฉพาะการเก็บที่อุณหภูมิสูงทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักสูงขึ้นด้วย เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มเขียวหวาน เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การเคลื่อนไหวของโมเลกุลจะมีมากขึ้น โอกาสที่โมเลกุลของน้ำจะหลุดออกจากผลจึงมีมากขึ้นด้วย และอุณหภูมิยังมีผลต่อความดันไอน้ำภายในของผลไม้ โดยที่ความดันไอน้ำสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น จึงทำให้ความแตกต่างของความดันไอน้ำของอากาศรอบ ๆ กับความดันไอน้ำภายในผลแตกต่างกัน ทำให้น้ำภายในผลออกสู่อากาศภายนอกมีมากขึ้น นอกจากอุณหภูมิจะมีผลต่อความดันไอน้ำแล้วยังมีผลต่ออัตราการหายใจ โดยกระบวนการหายใจของพืชให้ความร้อนออกมาเมื่อความร้อนสูงขึ้นจึงทำให้การสูญเสียน้ำหนักสูงขึ้นด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) และมีรายงานว่า การสูญเสียน้ำหนักของส้ม *Sazuma mandarins* และ *Novo mandarins* สูงขึ้นเมื่อเก็บนานขึ้น และการสูญเสียน้ำหนักยังมีผลจากชนิดของสารเคลือบผิวที่ใช้ด้วย (Chaim and Soffer., 1996) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ ส้มที่เคลือบผิวมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าส้มที่ไม่เคลือบผิวถึง 9.07% เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 3 สัปดาห์

### สารประกอบโพลีฟีนอล

ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในส้มเขียวหวานเคลือบผิวมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อเก็บในอุณหภูมิสูงขึ้น แต่ที่อุณหภูมิต่ำ (4°C) ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลจะต่ำกว่า การเพิ่มขึ้นของสารประกอบโพลีฟีนอลเมื่อเก็บส้มที่อุณหภูมิสูง อาจเป็นเพราะส้มมีการสังเคราะห์สารโพลีฟีนอลได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 4°C และมีรายงานว่าสารประกอบโพลีฟีนอลเป็นสารที่เกิดจากเมตาบอลิซึม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเซลล์ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิสูงเกิดการเมตาบอลิซึมของเซลล์ได้มาก ผลของระยะเวลาเก็บทำให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในส้มเขียวหวานเคลือบผิวมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น อาจเกิดจากการสะสมสารที่ได้จากเมตาบอลิซึมของเซลล์เพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บนาน จึงทำให้สารประกอบโพลีฟีนอลในส้มเขียวหวานเคลือบผิวสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Moussaid, *et.al.* (2000) พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในส้ม Mature oranges ที่เคลือบผิวมีปริมาณมากขึ้นเมื่อเก็บนาน 9 สัปดาห์

#### กรดแอสคอบิก

ปริมาณกรดแอสคอบิกของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่างกันมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เก็บอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรดแอสคอบิกลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บไว้นาน 3 สัปดาห์ และเริ่มเปลี่ยนแปลงน้อยลงในช่วงสัปดาห์ที่ 4-5 แสดงให้เห็นว่าอัตราการสูญเสียกรดแอสคอบิกในส้มเป็นแบบ first order reaction (Burdurlu *et.al.*, 2006; Lee and Coates, 1999; Johnson, *et.al.*, 1995) จากการทดลองของ Raspurada, *et.al.* (2001) พบว่าอุณหภูมิในการเก็บส้ม Moro ที่ 8 และ 22°C ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอบิก เนื่องจากกรดแอสคอบิกลดลงทั้ง 2 อุณหภูมิ และปริมาณกรดแอสคอบิกลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 50 วันแรก และค่อนข้างคงที่จนถึง 106 วัน และการเปลี่ยนแปลงของกรดแอสคอบิกในน้ำส้มเข้มข้นที่ผลิตจากส้ม Tangerine เมื่อเก็บไว้นาน 8 สัปดาห์ กรดแอสคอบิกลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 2 สัปดาห์แรก และลดลงอย่างช้าจนสิ้นสุดการทดลอง (Burdurlu *et.al.*, 2006) เช่นเดียวกับการทดลองของ Badwin *et.al.* (1995) รายงานว่ากรดแอสคอบิกในส้ม Valencia มีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บเป็นเวลา 1 เดือน และยังพบว่าการเคลือบผิวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอบิก จากการทดลองนี้ปริมาณกรดแอสคอบิกของส้มเขียวหวานที่เคลือบและไม่เคลือบผิวมีการเปลี่ยนแปลงไม่ต่างกัน (ไม่ได้แสดงข้อมูล) นอกจากนั้นยังมีรายงานว่า การเก็บส้มที่อุณหภูมิต่างกันมีผลต่อวิตามินซีเล็กน้อย (Nagy, 1980).

#### Hydroxycinnamic acids

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของ Hydroxycinnamic acids ในส้มเขียวหวานเคลือบผิว มีกรดที่สำคัญ 4 ชนิด คือ caffeic acid, *p*-coumaric acid, sinapic acid และ ferulic acid (Peleg *et.al.*, 1991) เมื่อวิเคราะห์ปริมาณ free hydroxycinnamic acids ในส้มเขียวหวานเคลือบผิว พบว่ามีปริมาณของ free sinapic acid มากที่สุด ตามด้วย ferulic acid, caffeic acid และ *p*-coumaric acid น้อยที่สุด จากผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Peleg *et.al.* (1991) ที่วิเคราะห์ปริมาณ free hydroxycinnamic acids ในส่วนของถุงน้ำหวานของส้ม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shamuti พบว่า free sinapic acid และ ferulic acid มีปริมาณไม่ต่างกัน และมากกว่า caffeic acid และ *p*-coumaric acid ซึ่งมีปริมาณไม่ต่างกัน แต่ต่างจาก Raspurada *et.al*, 2001 ที่พบว่า free hydroxycinnamic acids ในส้ม Moro มีปริมาณ free ferulic acid และ *p*-coumaric มีมากกว่า sinapic acid และ caffeic acid ซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุด อุณหภูมิในการเก็บส้มเขียวหวานเคลือบผิวมีผลต่อปริมาณของ free caffeic acid ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงขึ้น แต่ไม่มีผลต่อปริมาณของ free *p*-coumaric acid, sinapic acid และ ferulic acid ผลการทดลองนี้แตกต่างจากผลของ Raspurada *et.al*, 2001 รายงานว่าเมื่อเก็บส้ม Moro ที่อุณหภูมิ 8 และ 22°C ไม่ทำให้ free hydroxycinnamic acids ทั้ง 4 ชนิดมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกัน ส่วนระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ free hydroxycinnamic acids ที่พบทั้ง 4 ชนิด ซึ่งให้เห็นว่าแม้ในระหว่างการเก็บจะมีการไฮโดรไลซิสของกรดไปเป็น free acid ก็ตาม แต่ในส้มเขียวหวานเคลือบผิวนี้มีการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ จึงทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของ free hydroxycinnamic acids ได้อย่างชัดเจนในระหว่างการเก็บ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ free acid เกิดจากการไฮโดรไลซิสของอนุพันธ์ของ hydroxycinnamic ในระหว่างการเก็บ (Raspurada *et.al*, 2001) ส่วนส้มเขียวหวานที่ไม่เคลือบผิวมีการเปลี่ยนแปลงของ free hydroxycinnamic acids อย่างชัดเจนเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงขึ้น และระยะเวลาการเก็บนาน (ไม่ได้แสดงข้อมูล) แสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวส้มเขียวหวาน และอุณหภูมิการเก็บสามารถช่วยให้การเปลี่ยนแปลงของ free hydroxycinnamic ได้

จากการวิเคราะห์ปริมาณ total hydroxycinnamic acids ในส้มเขียวหวานเคลือบผิวพบว่า ferulic acid เป็นกรดที่มีมากที่สุดซึ่งเป็นกรดหลักในส้มเขียวหวาน และตามด้วย sinapic acid caffeic acid และ *p*-coumaric acid ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จะแตกต่างจากส้มจำพวก blood ซึ่งมี ferulic acid เป็นองค์ประกอบหลัก และตามด้วย *p*-coumaric acid sinapic acid และ caffeic acid (Raspurada, *et.al*, 1998) นอกจากนั้นความเข้มข้นของ hydroxycinnamic acids ยังขึ้นอยู่กับระดับความสุกของส้มด้วย อุณหภูมิการเก็บส้มเขียวหวานเคลือบผิวมีผลต่อปริมาณของ total *p*-coumaric acid และ total ferulic acid เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณ total caffeic acid และ total sinapic acid มีเพิ่มขึ้นไม่มากนัก การเพิ่มขึ้นของ total hydroxycinnamic acids เนื่องจากอุณหภูมิเกิดจากการเมตาบอลิซึมของเซลล์ ซึ่งที่อุณหภูมิสูงจะเกิดได้มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ส่วนระยะเวลาการเก็บมีผลต่อปริมาณของ total hydroxycinnamic acids ทั้ง 4 ชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่ง total caffeic acid และ total *p*-coumaric acid มีปริมาณสูงขึ้นเมื่อเก็บไว้ 2 สัปดาห์ แต่จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ปริมาณของ total sinapic acid และ total ferulic acid มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บ การเพิ่มขึ้นนี้เกิดจากการสะสมสารที่ได้จากการเมตาบอลิซึมของเซลล์ในส้มเขียวหวานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

ผลไม้ตระกูลส้มมีสารที่มีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ประกอบด้วยสารประกอบโพลีฟีนอล hydroxycinnamic acids และกรดแอสคอบิก เป็นต้น (Raspirada, *et.al.* 1999) จากการวิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของส้มเขียวหวานเคลือบผิวด้วยวิธี ABTS และ DPPH พบว่าผลของระยะเวลาการเก็บส้มเขียวหวานเคลือบผิวที่มีต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS และ DPPH นั้น วิธี DPPH มีแนวโน้มให้ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นเมื่อเก็บครบ 5 สัปดาห์ ส่วนความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS ไม่มีความแตกต่างเมื่อเก็บนานขึ้น ผลที่เกิดขึ้นอาจเป็นเนื่องจากเมื่อเก็บส้มเขียวหวานนานขึ้นเกิดสารที่ละลายในสารอินทรีย์ได้ดีเพิ่มขึ้นมากกว่าในช่วงแรกของการเก็บจึงทำให้เมื่อวัดค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในส้มเขียวหวานด้วยวิธี DPPH ได้ค่าที่สูงขึ้น ทั้งนี้เพราะสาร DPPH เป็นอนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่ละลายได้ดีเฉพาะในตัวทำละลายอินทรีย์ ส่วนสาร ABTS เป็นอนุมูลอิสระที่สามารถละลายได้ทั้งในตัวทำละลายอินทรีย์และในตัวทำละลายอื่น (Arao, M. *et.al.* 2001) จึงทำให้เมื่อวัดค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยสาร ABTS จึงค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บ

เมื่อเก็บส้มที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงกว่า 4°C สารที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระประกอบด้วย สารโพลีฟีนอลทั้งหมด hydroxycinnamic acid และกรดแอสคอบิก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับสารโพลีฟีนอลทั้งหมด hydroxycinnamic acid และกรดแอสคอบิกด้วย ถึงแม้สารเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บ แต่ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไม่ได้เกิดจากสารตัวใดตัวหนึ่ง (Raspirada, *et.al.* 1999) แต่เป็นผลของสารทุกตัวที่มีในส้มเขียวหวานประกอบกัน ซึ่งเมื่อสารตัวหนึ่งลดลง สารตัวอื่น ๆ ก็มีความเข้มข้นสูงขึ้นเช่นกัน จึงทำให้เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแล้วจึงไม่แตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระกับสารโพลีฟีนอลทั้งหมด total caffeic acid, total *p*-coumaric acid, total sinapic acid, total ferulic acid และกรดแอสคอบิกในส้มเขียวหวานเคลือบผิว พบว่าสารต่าง ๆ มีความสัมพันธ์ในระดับที่สูง ยกเว้น total caffeic acid ที่มีความสัมพันธ์ระดับต่ำ จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า hydroxycinnamic acid เป็นสารที่มีบทบาทต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Chan and Ho, (1997) และ Gorinstein, *et.al.*, (2004) และกรดแอสคอบิกก็เป็นสารที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญในผลไม้ตระกูลส้ม (Gardner, *et.al.* 2000) มี

เอกสารนี้เป็นรายงานของ Raspirada, *et.al.* (1999) ว่าสารประกอบโพลีฟีนอล และ total hydroxycinnamic ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

acid มีความสัมพันธ์ที่สูงกับการต้านอนุมูลอิสระในส้ม ส่วนกรดแอสคอบิกมีบทบาทน้อยกว่า นอกจากนั้นยังมีผลการทดลองที่ชี้ให้เห็นว่า ferulic acid เป็นสารที่มีบทบาทในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่า caffeic, p-coumaric, และ sinapic acid (Bocco, *et.al.*, 1998; Fernandez de Simon. *et.al.*, 1992; Peleg. *et.al.*, 1991; Raspurada, *et.al.* 1999)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

## สรุปผลการทดลอง

1. อุณหภูมิการเก็บรักษาส้มเขียวหวานเคลือบผิวไม่มีผลทำให้ค่า pH ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด กรดแอสคอบิก total caffeic acid, total sinapic acid และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS และ DPPH มีความแตกต่างกัน แต่ทำให้ค่าความเป็นกรด การสูญเสียน้ำหนัก สารประกอบโพลีฟีนอล free hydroxycinnamic acids, total *p*-coumaric acid และ total ferulic acid สูงขึ้นเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงขึ้น โดยการเก็บส้มเขียวหวานเคลือบผิวที่อุณหภูมิ 4 และ 12°C สามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก และเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่าง ๆ ในส้มเขียวหวานเคลือบผิวได้ดีกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 20 และ 30°C

2. ระยะเวลาการเก็บรักษาส้มเขียวหวานเคลือบผิวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด free hydroxycinnamic acids และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS แต่มีผลต่อค่าความเป็นกรด การสูญเสียน้ำหนัก สารประกอบโพลีฟีนอล กรดแอสคอบิก total hydroxycinnamic acids และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH สูงขึ้น แต่ทำให้กรดแอสคอบิกลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 3 สัปดาห์แรก และมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงในช่วงสัปดาห์ที่ 4 และ 5

3. ปริมาณ total hydroxycinnamic acids ในส้มเขียวหวานเคลือบผิวมี ferulic acid มากที่สุด ตามด้วย sinapic acid, caffeic acid และ *p*-coumaric acid ตามลำดับ

4. สารประกอบโพลีฟีนอล total hydroxycinnamic acids และกรดแอสคอบิกเป็นสารที่สำคัญในส้มเขียวหวานเคลือบผิว และมีบทบาทในการต้านอนุมูลอิสระ

## ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาเปรียบเทียบผลของชนิดของสารเคลือบผิว ที่ใช้กับส้มเขียวหวานในประเทศไทย ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ และผลิตสารเคลือบตัวใหม่ที่เหมาะสมกับส้มเขียวหวานที่เก็บที่อุณหภูมิสูง โดยใช้ส่วนผสมของสารเคลือบที่หาได้ในประเทศเป็นหลัก เนื่องจากสารเคลือบผิวที่ใช้ในอุตสาหกรรมส้มเขียวหวานส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้มีราคาแพง และสารเคลือบผิวบางชนิดยังไม่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง

## บรรณานุกรม

- จริงแท้ ศิริพานิช, 2546. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 396 หน้า
- ดรัย รุณยเกียรติ และ นิธิยา รัตนานนท์, 2548. **การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ, 248 หน้า
- ปรีดา จิตตารมย์, 2536. **การพัฒนาศารเคลือบผิวสำหรับส้มเขียวหวาน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- รวี เสธฐภักดี, 2528. **การสร้างสวนผลไม้**. สำนักงานวารสารชุมชนทางเกษตร, กรุงเทพฯ.
- AOAC, 2000. Official method of analysis of the association of official analytical chemists. 17<sup>th</sup> ed. Gaithersburg, Maryland.
- Arnao, M., Cano, A. and Acosta, M. 2001. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chem*, 73, 239-244
- Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M., Shaw, P.E. and Burns, J.K. 1995. Effect of coating and prolonged storage conditions on fresh orange flavor volatiles, degree brix, and ascorbic acid levels. *J. Agric. Food Chem*, 43, 1321-1331.
- Ben-Yahoshua, S., Burg, S.P. Yong, R, 1985. Resistance of citrus fruit to mass transport of water vapor and other gases. *Plant Physiology*, 79, 1048-1053.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm. Wiss. Technol*, 28, 25-30
- Bocco, A., Cuvelier, M. Richard, H. and Berst, C. 1998. Antioxidant activity and phenolic composition of citrus peel and seed extracts. *J. Agric. Food Chem*, 46, 2123-2129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Burdurlu, H., Koca, N. and Karadeniz, F. 2006. Degradation of vitamin c in citrus juice concentrates during storage. *J. of Food Engineering*. 74, 211-216
- Cameroon, J.W. and Frost, H.B.1968. *The citrus industry*. Univ of California, Berkeley, Vol. II 325
- Chem, J.,H.; and Ho,J, 1997. Antioxidant activities of caffeic acid and its related hydroxycinnamic acid compounds. *J. Agric.Food Chem*, 45, 2374-2378.
- Chaim. H and Soffer. T. 1996. Permeability of different wax coating and their effect on citrus fruit quality. *J. Agric.Food Chem*, 44, 919-923
- Davey, M.W., Van Montagu, M., Inze, D., Sanmartin, M., Kanellis, A, and Smirnoff,N. 2000. Plant L-ascorbic acid: Chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *J. Sci. Food Agric*. 80, 825-860
- Del Caro, A., Piga, A., Vacca, V., Agabbio, M., 2004. Changes of flavonoids, vitamin c and antioxidant capacity in minimally processed citrus segments and juices during storage. *Food Chem*, 99, 99-105
- Deutsch, J.C. 2000. Dehydroascorbic acid. *J. of Chromato A*, 881, 299-307.
- Fellers, P.J. 1988. Shelf life and quality of freshly squeezed, unpasteurized, polyethylene-bottled citrus juice *J. of Food Science*, 53(6), 1699-1702
- Fernandez de Simon, B.; Perez-lizarbe, J., Hernandez, T., Gomez-Cordoves, C., Estrella, I, 1992. Importance of phenolic compound for characterization of fruit juices, *J. Agric. Food Chem.*, 40, 1531-1535.
- Gardner, T.P., White, A.C. McPhail, D. B. and Duthie, G.G. 2000. The relative contributions of vitamin c, carotenoids and phenolic to the antioxidant potential of fruit juice. *Food Chem*, 68, 471-474

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Gordon, L.R. and Samaniego-Esquerro, M. 1990. Effect of soluble solid and temperature on ascorbic acid degradation in lemon juice stored in glass bottles. *J of Food Quality*, 13, 361-374
- Gorini, F. and Testoni, A. 1988. Trial of individual packaging of citrus in Italy, *Sixth Int. Citrus Congress Middle East*, Tel Aviv, Israel, Balaban Publishers, Rehovot, Israel, 1545
- Gorinstein, S., Martin-Belloso, O., Park, Y.S., Haruenkit, R., Lojek, A., Ciz, M., Caspi, A., Libman, I. and Tralchtenberg, S. 2001. Comparison of biochemical characteristics of citrus fruit. *Food Chem.* 74, 309-315
- Hernandez, Y., Lobo, M.G. and Gonzalez, M. 2006. Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. *Food Chem*, 96, 654-664
- Johnson, J.R, Braddock, R.J. and Chen, C.S. 1995. Kinetics of ascorbic acid loss and nonenzymatic browning in orange juice serum: Experimental rate constants. *J. Food Sci.* 60(3), 502-505
- Kankonen, M.P., Hopia, A.I., Vuorela, H.J., Rauha, J.P. Pihlaja, K., Kujala, T.S. and Heinonen, M. 1999. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *J. Agric. Food Chem.* 47, 3951-3962
- Kawaii, S., Tomono, Y., Katase, E., Ogawa, K. and Yano, M. 1999. Quantitation of flavonoid constituents in citrus fruit., *J. Agric. Food Chem* , 47, 3565-3571
- Landult, N., Poucheret, P., Ravel, P., Gasc, F., Cros, G. and Teissedre, P.L. 2001. Antioxidant capacities and phenolic levels of fresh wines from different varieties. *J. Agric. Food Chem.* 49, 3341-3345.
- Lee, S.K. and Kader, A.A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20, 207-

- Lee, H.S. and Coates, G.A. 1999. Vitamin c in frozen, fresh squeezed, unpasteurized, polyethylene bottled orange juice: A storage study. *Food Chem*, 65, 165-168
- Leopold, A.C. and Kriedemann, P.E., 1975. *Plant growth and development*, Tata, New Delhi:McGraw-Hill Publishing Co, Ltd. 305-345.
- Maga, J.A. 1978. Simple phenol and phenolic compound in food flavor. *CRC Crit Rev Food sci Nutr*, 10, 323-372
- Matto, A.K., Murata, T., Pantastico, E.B., Chachin, K. and Phan, C.T. 1975. Chemical changes during ripening and senescence. In Pantastico, E.B. (ed) *Postharvest physiology, handling and utilization of tropical and sub-tropical fruit and vegetables*. Westport Connecticut, The AVI Publishing Co, Inc, 103-127.
- Moussaid. M., Lacroix, M., Nketsia-Tabiri, J. and Boubekri, C. 2000. Phenolic compounds and color of oranges subjected to a combination treatment of waxing and irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*. 57, 273-275
- Nagy, S. 1980. Vitamin c contents of citrus fruit and their product: A review. *J. Agric. Food Chem*, 187, 530-534
- Naim, M., Zehavi, U., Nagy, S. and Rouseff, R.L. 1992. Hydroxycinnamic acid as off-flavor precursors in citrus fruits and their products. In HO, C.T., Lee, C.Y. and Huang., M.T. (ed) *Phenolic compounds in food and their effects on health I. analysis, occurrence and chemistry*, American chemical society, Washington, DC. 181-191
- Peleg, H.: Naim, M., Rouseff, R.L., and Zehavi, U, 1991. Distribution of bound and free phenolic acids in orange (*Citrus sinensis*) and grapefruits (*Citrus paradisi*). *J. Sci. Food Agric*, 57, 417-426.
- Raspirada, P., Bellomo, S.E., and Intelisano, S. 2001. Storage temperature effect on blood orange fruit quality. *J. Agric. Food Chem*, 49, 3230-3235.

- Raspirada, P., Tomaino, A., Cascio, R.L., Bonina, F., Pasquale, A.D. and Saija, A. 1999. Antioxidant effectiveness as influenced by phenolic content of fresh orange juices. *J. Agric.Food Chem*, 47, 4718-4723.
- Raspirada, P., Carollo, G., Fallico, B., Tomaselli, F., and Maccarone, E, 1998. Hydroxycinnamic acids as markers of Italian blood orange juices. *J. Agric.Food Chem*, 46, 464-470.
- Robbins, R. 2003. Phenolic acids in foods: An overview of analytical methodology, *J. Agric. Food Chem*, 51, 2866-2887.
- Robertson, G.L, and Samaniego, C.M.L. 1986. effect of initial dissolved oxygen level on degradation of ascorbic acid and the browning of lemon juice during storage. *J. of Food Science*, 51(1), 164-167.
- Rouseff, R.L, Sectharaman, K., Naim M. Nagy,S., and Zehavi,U, 1992. Improved HPLC determination of hydroxycinnamic acids in orange juice using solvent containing THF., *J. Agric. Food Chem.*, 40, 1139-1143.
- Ting, S.V. and Attaway, J.A. 1971. "Citrus Fruit" in Hulme, A.C.(ed.). *The biochemistry of fruit and there products*, Vol.II. London academic press, 107-169.
- Vandercook, C.E. 1977. Organic acids. In Nagy, S, Shaw, P,E, and Vendahuis. (ed). *Citrus Science and technology*. Vol. I. Westport, Connecticut. The AVI Publishing Co., Ltd, 208-228
- Wardowski, W.F, Nagy, S. and Grierson, W., 1986. *Fresh citrus fruits*, The Avi Publishing Company, Inc, 547
- Wills, R.H, Lee, T.H, Graham, D. McGlasson, W.B. and Hall, F.G, 1981. *Posthavest : An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables*, New South Wales Univ.Press LTD., New South Wales, 161



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก.1 ค่าความเป็นกรด

(AOAC, 2000)

### สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N
2. ฟีนอล์ฟทาลีน 1%

### วิธีการ

1. ปิบน้ำส้มที่กรองแล้ว 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
2. หยดฟีนอล์ฟทาลีน 1% จำนวน 2-3 หยด
3. ไตเตรทกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N จนได้สีชมพูจาง ๆ นาน 30 วินาที บันทึกปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
4. การคำนวณ

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมด (\%)} = \frac{(V) (N) (\text{eq.wt.}) (100)}{(1000) (v)}$$

V = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

eq.wt = น้ำหนักสมมูลของกรดเป็นกรัม

v = ปริมาตรของน้ำส้ม

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดของน้ำส้มวัดด้วย refractometer (ATAGO N1, Japan) บันทึกผลเป็น °Brix ของน้ำส้ม

pH

วัด pH ของตัวอย่างด้วยเครื่องวัด pH รุ่น Suntex SP 701 (Suntex instrument, Taipei, Taiwan) วัด 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

การสูญเสียน้ำหนัก

โดยวิธีการชั่งน้ำหนักส้มจำนวน 5 ผล ต่อการทดลอง เปรียบเทียบกับน้ำหนักเมื่อเริ่มทดลอง ทุก ๆ 5 ปีดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอบิก

(AOAC, 2000)

### สารเคมี

1. กรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )
2. กรดแอสคอบิก
3. 2,6 Dichloroindophenol (sodium salt)
4. กรดเมตาฟอสฟอริก ( $\text{HPO}_3$ )
5. โซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ )

### การเตรียมสารเคมี

1. สารละลายกรดเมตาฟอสฟอริกในกรดอะซิติก  
เจือจางกรดอะซิติก 20 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ก่อนเติมกรดเมตาฟอสฟอริก 7.5 กรัม ละลายให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 250 มิลลิลิตร
2. สารละลายกรดแอสคอบิก  
ชั่งกรดแอสคอบิก 50 มิลลิกรัม แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก ในอะซิติกให้ครบ 50 มิลลิลิตร
3. สารละลายอินโดฟินอล  
ละลาย 2,6 Dichloroindophenol 50 มิลลิกรัมในน้ำกลั่น 50 มิลลิกรัม แล้วเติม โซเดียมไบคาร์บอเนต 42 มิลลิกรัม ละลายให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 200 มิลลิลิตร กรองแล้วเก็บในขวดสีชา
4. การเตรียมตัวอย่าง  
กรองน้ำส้มผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

### วิธีการวิเคราะห์

1. การปรับมาตรฐานสารละลายอินโดฟินอล
  - 1.1 ปิเปตสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริกในอะซิติก 5 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่ เติม สารละลายกรดแอสคอบิก 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
  - 1.2 ไตเตรทด้วยสารละลายอินโดฟินอลอย่างรวดเร็วจนสารละลายในข้อ 1.1 เปลี่ยนเป็นสี ชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรสารละลายอินโดฟินอลที่ใช้
  - 1.3 ทำ blank โดยใช้สารละลายกรดเมตาฟอสฟอริกในอะซิติก 7 มิลลิลิตร และเติมน้ำ กลั่นปริมาตรเท่ากับสารละลายอินโดฟินอลที่ใช้ในข้อ 1.2
  - 1.4 ไตเตรทด้วยสารละลายอินโดฟินอลอย่างรวดเร็ว จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรสารละลายอินโดฟินอลที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.1 ปิเปตสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริกในอะซิติก 5 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่ เต็มตัวอย่างน้ำส้ม 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

2.2 ไตเตรทด้วยสารละลายอินโดฟีนอลอย่างรวดเร็ว จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรสารละลายอินโดฟีนอลที่ใช้

### วิธีการคำนวณ

#### 1. การคำนวณ titer of dye

$$F = \text{ascorbic acid (mg)} / (S-B)$$

เมื่อ

F คือ titer of dye

ascorbic acid (mg) คือปริมาณกรดแอสคอร์บิกในสารละลายที่ใช้ คำนวณได้จาก

$$(\text{ascorbic acid (mg)} / 50 \text{ ml}) \times 2 \text{ ml}$$

S คือสารละลายอินโดฟีนอลที่ใช้ในการปรับมาตรฐาน (มิลลิลิตร)

B คือสารละลายอินโดฟีนอลที่ใช้กับ blank (มิลลิลิตร)

#### 2. คำนวณปริมาณกรดแอสคอร์บิกในตัวอย่าง คำนวณได้จากสูตร

$$\text{mg ascorbic acid/ml} = (X-B) \times (F/E) \times (V/Y)$$

เมื่อ

X คือปริมาตรของอินโดฟีนอลที่ใช้กับตัวอย่าง

B คือสารละลายอินโดฟีนอลที่ใช้กับ blank (มิลลิลิตร)

F คือ titer of dye

E คือปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ (มิลลิลิตร)

V คือปริมาตรสารละลายเริ่มต้น (มิลลิลิตร)

Y คือปริมาตรสารละลายที่นำมาไตเตรท (มิลลิลิตร)

### ก.3 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล (Gorinstein *et al*, 2001 และ Kankonen *et al*, 1999)

#### สารเคมี

1. Folin-Ciocalteu reagent
2. กรดแกลลิก
3. โซเดียมคาร์บอเนต 7.5%
4. เอทานอล 95%

#### การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในเอทานอล 95%
2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกปริมาตร 1 2 3 4 5 6 และ 7 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรให้ครบ 10 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
3. ปิเปตสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้น 0.2 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง
4. ปิเปต Folin-Ciocalteu reagent ที่เจือจาง 5 เท่า 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
5. ปิเปตโซเดียมคาร์บอเนต 7.5% จำนวน 0.8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
6. ปิเปตน้ำ 8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
7. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที
8. นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ใช้เอทานอล 95% เป็น blank

#### การสกัดสารประกอบฟีนอลิก

1. ชั่งน้ำส้ม 10 กรัม นำมาสกัดด้วยเอทานอล 95% จำนวน 125 มิลลิลิตรไฮโมจิไนซ์นาน 1 นาที ในบีกเกอร์ปากเรียบแล้วปิดด้วยกระดาษฟิวส์
2. นำไปให้ความร้อนในอ่างควบคุมความร้อนจนกระทั่งเดือดเบา ๆ 2 นาที
3. ทิ้งสารสกัดที่ได้ไว้ให้เย็น ก่อนนำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. นำสารสกัดที่กรองแล้วไประเหยเอาสารสกัดออกด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศ ที่อุณหภูมิ 40°C จนเหลือปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
5. นำตัวอย่างที่ได้ไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที ที่อุณหภูมิ 4°C นำส่วนที่ใสไปวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำส้ม

1. ปิเปตสารสกัด 0.2 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง
2. ปิเปต Folin-Ciocalteu reagent ที่เจือจาง 5 เท่า 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. ปิเปตโซเดียมคาร์บอเนต 7.5% จำนวน 0.8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
4. ปิเปตน้ำ 8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
5. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที
6. นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ใช้เอทธานอล 95% เป็น blank



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

### ก.4 DPPH Radical Scavenging Activity

(Brand-Williams *et.al*, 1995)

#### สารเคมี

1. 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
2. เอทานอล 95%

#### วิธีการ

1. เตรียมสารละลาย 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) เข้มข้น 80 mM ในเอทานอล 80%

2. หมุนเหวี่ยงน้ำส้มที่ความเร็วรอบ 10000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที นำส่วนใสมาใช้วิเคราะห์

3. ปิเปตตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย DPPH 3.9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เก็บไว้ในที่มีมืดนาน 30 นาที ตัวอย่างควบคุมใช้แอลกอฮอล์ 50% แทนตัวอย่าง ก่อนนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 517 nm และใช้แอลกอฮอล์ 50% เป็น blank

4. นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณดังนี้

$$\text{Antioxidant activity (\%)} = 100 \times (1 - \text{absorbance of sample} / \text{absorbance of control})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## n.5 ABTS Radical Scavenging Activity

(Landult *et. al* , 2001)

### สารเคมี

1. สารละลาย phosphate buffer saline (PBS) 10 mM

1.1 เตรียม stock solution 100 mM PBS

สารละลาย A ซึ่ง  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  26.81 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร

สารละลาย B ซึ่ง  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  13.80 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร

นำสารละลาย A จำนวน 270 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย B 63.5 มิลลิลิตร เติมน้ำเค็มคลอไรด์ 87.66 กรัม คนให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

1.2 เตรียม 10 mM PBS

เจือจาง stock solution 100 mM PBS ด้วยน้ำกลั่น 10 เท่า

2. สารละลาย 2.5 mM 2,2'-azinobis (3-ethyl-benzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS)

ซึ่ง ABTS 0.0137 กรัม ใน 10 mM PBS จำนวน 10 มิลลิลิตร เตรียมใหม่ทุกครั้งที่ทดลอง

3. Metmyoglobin reagent

3a ซึ่ง myoglobin 18.8 มิลลิกรัม ละลายใน 10 mM PBS จำนวน 10 มิลลิลิตร

3b ซึ่ง potassium ferricyanide ( $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ ) 0.0122 กรัม ใน 10 mM PBS จำนวน 200 มิลลิลิตร

ผสมสารละลายในข้อ 3a และ 3b ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เก็บในตู้เย็น และเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ทดลอง

4. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 10 mM

ปิเปตสารละลาย 30% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จำนวน 0.091 มิลลิลิตร เจือจางในน้ำกลั่น 1 ลิตร เตรียมใหม่ทุกครั้งที่ทดลอง

### วิธีการทดลอง

1. ปิเปตสารละลาย 2.5 mM ABTS 0.4 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย metmyoglobin 0.72 มิลลิลิตร และ 10 mM PBS 3.10 มิลลิลิตร

2. ปิเปตตัวอย่างน้ำส้ม 0.1 มิลลิลิตร ลงไปในสารผสมข้อ 1 แล้วเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 10 mM จำนวน 0.48 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บไว้ในที่มืด 10 นาที ก่อนนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 734 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตัวอย่างควบคุมผสมสารละลาย 10 mM PBS 0.1 มิลลิลิตร แทนตัวอย่าง และเติม 10 mM PBS 0.48 มิลลิลิตรแทนสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 10 mM ผสมลงไปในการผสมข้อ 1 ผสมให้เข้ากัน เก็บไว้ในที่มืด 10 นาที ก่อนนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 734 nm

4. นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณดังนี้

$$\text{Antioxidant activity (\%)} = 100 \times (1 - \text{absorbance of sample} / \text{absorbance of control})$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก.6 การวิเคราะห์กรดฟีนอลิกด้วย HPLC

### สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2N
2. กรดฟอสฟอริก
3. ethyl acetate
4. กรดอะซิติก
5. acetonitrile
6. น้ำ DI

### วิธีการ

#### การสกัดกรดฟีนอลิก

นำน้ำส้มไปหมวนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที นำส่วนใสมาสกัด โดยใช้ตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร เติม 2 N NaOH 10 มิลลิลิตร เก็บในที่มืด 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นปรับให้เป็นกรดด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นจนได้ pH 4.5 (Rouseff *et.al.*, 1992) แล้วนำตัวอย่างที่ได้มาสกัดด้วย ethyl acetate 20 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง หลังจากนั้นระเหย ethyl acetate ด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศ ที่อุณหภูมิ 40°C จนแห้ง ละลายสารสกัดด้วย methanol 1 มิลลิลิตร ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วย HPLC

#### การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดฟีนอลิกด้วย HPLC

กรองสารสกัดผ่านแผ่นกรอง 0.22  $\mu\text{m}$  ก่อนฉีดเข้าเครื่อง HPLC ใช้ปั๊มรุ่น constaMetric 3000 pump (LDC/Milton Roy) คอลัมน์ Hypersil ODS C-18 5  $\mu\text{m}$  (250 mm, 4.6 mm ID) ต่อกับ guard column C-18 วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดฟีนอลิกที่ความยาวคลื่น 300 nm โดยใช้เครื่องตรวจจับรุ่น Spectra Monitor 3000 Detector (LDC/Milton Roy) อัตราเร็วของสารตัวพา (mobile phase) 1 ml/min ฉีดตัวอย่าง 20 ไมโครลิตรด้วย injector รุ่น Rheodyne (20  $\mu\text{l}$  Fixed loop) สารตัวพา (mobile phase) ประกอบด้วยน้ำ DI ที่ปรับด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 2% จำนวน 80% ผสมกับ acetonitrile จำนวน 20% บันทึกลงและวิเคราะห์โครมาโตแกรมด้วยเครื่อง Chromatopac C-R6A (shimadzu)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 การเปลี่ยนแปลง pH ของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์

Storage temperature (°C)	pH				
	ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)				
	0	2	3	4	5
4	a4.34	a4.47 <sup>a</sup>	a4.32 <sup>a</sup>	a4.30 <sup>a</sup>	a4.39 <sup>a</sup>
12	a4.34	a4.51 <sup>a</sup>	a4.48 <sup>a</sup>	a4.33 <sup>a</sup>	a4.38 <sup>a</sup>
20	a4.34	a4.44 <sup>a</sup>	a4.42 <sup>a</sup>	a4.36 <sup>a</sup>	a4.19 <sup>a</sup>
30	a4.34	a4.37 <sup>a</sup>	a4.55 <sup>a</sup>	ND	ND

หมายเหตุ aX<sup>a</sup> อักษรกำกับด้านซ้ายแสดงความแตกต่างของของระยะเวลาการเก็บรักษาในแนวนอน  
อักษรกำกับมุมบนขวาแสดงความแตกต่างอุณหภูมิในแนวตั้ง  
ND = NOT DETECT

ตารางที่ ข.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์

Storage temperature (°C)	ค่าความเป็นกรด (%)				
	ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)				
	0	2	3	4	5
4	a0.52	b0.45 <sup>a</sup>	b0.46 <sup>a</sup>	b0.39 <sup>c</sup>	b0.38 <sup>c</sup>
12	a0.52	b0.39 <sup>b</sup>	b0.38 <sup>b</sup>	b0.42 <sup>b</sup>	b0.44 <sup>b</sup>
20	a0.52	b0.42 <sup>ab</sup>	b0.47 <sup>a</sup>	a0.50 <sup>a</sup>	a0.52 <sup>a</sup>
30	a0.52	b0.46 <sup>a</sup>	b0.40 <sup>b</sup>	ND	ND

หมายเหตุ aX<sup>a</sup> อักษรกำกับด้านซ้ายแสดงความแตกต่างของระยะเวลาการเก็บรักษาในแนวนอน  
อักษรกำกับมุมบนขวาแสดงความแตกต่างอุณหภูมิในแนวตั้ง  
ND = NOT DETECT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์

Storage temperature (°C)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (brix)				
	ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)				
	0	2	3	4	5
4	a10.27	a10.31 <sup>b</sup>	a10.27 <sup>b</sup>	a10.30 <sup>b</sup>	a10.20 <sup>b</sup>
12	a10.27	a10.40 <sup>a</sup>	a10.46 <sup>a</sup>	a10.35 <sup>a</sup>	a10.20 <sup>b</sup>
20	a10.27	a10.33 <sup>b</sup>	a10.27 <sup>b</sup>	a10.33 <sup>a</sup>	a10.34 <sup>a</sup>
30	a10.27	a10.27 <sup>b</sup>	a10.40 <sup>a</sup>	ND	ND

หมายเหตุ aX<sup>a</sup> อักษรกำกับด้านซ้ายแสดงความแตกต่างของระยะเวลาการเก็บรักษาในแนวนอน

อักษรกำกับมุมบนขวาแสดงความแตกต่างอุณหภูมิในแนวตั้ง

ND = NOT DETECT

ตารางที่ ข.4 การเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์

Storage temperature (°C)	การสูญเสียน้ำหนัก(%)				
	ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)				
	0	2	3	4	5
4	a0.00	b0.79 <sup>d</sup>	c2.25 <sup>d</sup>	d3.04 <sup>c</sup>	e3.97 <sup>c</sup>
12	a0.00	b4.51 <sup>b</sup>	c8.82 <sup>c</sup>	d10.18 <sup>b</sup>	e12.90 <sup>b</sup>
20	a0.00	b4.16 <sup>c</sup>	c11.05 <sup>b</sup>	d15.87 <sup>a</sup>	e18.56 <sup>a</sup>
30	a0.00	b6.40 <sup>a</sup>	c16.89 <sup>a</sup>	ND	ND

หมายเหตุ aX<sup>a</sup> อักษรกำกับด้านซ้ายแสดงความแตกต่างของระยะเวลาการเก็บรักษาในแนวนอน

อักษรกำกับมุมบนขวาแสดงความแตกต่างอุณหภูมิในแนวตั้ง

ND = NOT DETECT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 การเปลี่ยนแปลงสารประกอบโพลีฟีนอลของส้มเขียวหวานเคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์

Storage temperature (°C)	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล (mg/100 ml)				
	ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)				
	0	2	3	4	5
4	c28.72	b31.10 <sup>c</sup>	a32.21 <sup>bc</sup>	c29.23 <sup>c</sup>	b31.27 <sup>c</sup>
12	c28.72	bc30.85 <sup>c</sup>	b31.78 <sup>c</sup>	b31.53 <sup>b</sup>	a33.48 <sup>b</sup>
20	c28.72	b32.71 <sup>b</sup>	ab33.99 <sup>a</sup>	b33.14 <sup>a</sup>	a34.75 <sup>a</sup>
30	c28.72	a35.18 <sup>a</sup>	b33.90 <sup>a</sup>	ND	ND

หมายเหตุ aX<sup>a</sup> อักษรกำกับด้านซ้ายแสดงความแตกต่างของของระยะเวลาการเก็บรักษาในแนวนอน  
อักษรกำกับมุมบนขวาแสดงความแตกต่างอุณหภูมิในแนวตั้ง  
ND = NOT DETECT

ตารางที่ ข.6 การเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอบิกในส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์

Storage temperature (°C)	กรดแอสคอบิก (mg/100 ml)				
	ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)				
	0	2	3	4	5
4	a20.10 <sup>a</sup>	b17.52 <sup>a</sup>	bc16.58 <sup>a</sup>	c16.13 <sup>a</sup>	b17.12 <sup>a</sup>
12	a20.10 <sup>a</sup>	b17.64 <sup>a</sup>	c16.02 <sup>a</sup>	b16.78 <sup>a</sup>	b16.52 <sup>a</sup>
20	a20.10 <sup>a</sup>	b17.91 <sup>a</sup>	c16.12 <sup>a</sup>	c16.13 <sup>a</sup>	bc16.42 <sup>a</sup>
30	a20.10 <sup>a</sup>	b17.36 <sup>a</sup>	c16.22 <sup>a</sup>	ND	ND

หมายเหตุ aX<sup>a</sup> อักษรกำกับด้านซ้ายแสดงความแตกต่างของระยะเวลาการเก็บรักษาในแนวนอน  
อักษรกำกับมุมบนขวาแสดงความแตกต่างอุณหภูมิในแนวตั้ง  
ND = NOT DETECT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.7 การเปลี่ยนแปลง free hydroxycinnamic acids ของส้มเขียวหวานเคี้ยวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์

Storage temperature (°C)	free hydroxycinnamic acids (mg/l)																			
	ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)																			
	0				2				3				4				5			
	caf	cou	sin	fer	caf	cou	sin	fer	caf	cou	sin	fer	caf	cou	sin	fer	caf	cou	sin	fer
4	a0.78	a0.50	a2.30	a1.64	a0.82 <sup>b</sup>	a0.40 <sup>c</sup>	a2.04 <sup>a</sup>	a1.68 <sup>a</sup>	a0.75 <sup>b</sup>	a0.44 <sup>a</sup>	a1.57 <sup>a</sup>	a1.95 <sup>a</sup>	a0.71 <sup>b</sup>	a0.51 <sup>a</sup>	a1.36 <sup>a</sup>	a1.74 <sup>a</sup>	a0.77 <sup>b</sup>	a0.38 <sup>a</sup>	a1.89 <sup>a</sup>	a1.35 <sup>a</sup>
12	a0.78	a0.50	a2.30	a1.64	a0.93 <sup>a</sup>	a0.34 <sup>a</sup>	a1.80 <sup>a</sup>	a2.34 <sup>a</sup>	a0.87 <sup>b</sup>	a0.47 <sup>a</sup>	a1.72 <sup>a</sup>	a1.98 <sup>a</sup>	a0.76 <sup>b</sup>	a0.64 <sup>a</sup>	a2.44 <sup>a</sup>	a1.63 <sup>a</sup>	a0.72 <sup>b</sup>	a0.38 <sup>a</sup>	a2.44 <sup>a</sup>	a1.90 <sup>a</sup>
20	a0.78	a0.50	a2.30	a1.64	a0.88 <sup>a</sup>	a0.59 <sup>a</sup>	a1.98 <sup>a</sup>	a1.90 <sup>a</sup>	a0.98 <sup>a</sup>	a0.57 <sup>a</sup>	a1.79 <sup>a</sup>	a1.78 <sup>a</sup>	a0.90 <sup>a</sup>	a0.51 <sup>a</sup>	a2.09 <sup>a</sup>	a1.85 <sup>a</sup>	a0.96 <sup>a</sup>	a0.40 <sup>a</sup>	a1.85 <sup>a</sup>	a1.60 <sup>a</sup>
30	a0.78	a0.50	a2.30	a1.64	a0.91 <sup>a</sup>	a0.42 <sup>a</sup>	a1.88 <sup>a</sup>	a2.30 <sup>a</sup>	a0.90 <sup>a</sup>	a0.46 <sup>a</sup>	a1.64 <sup>a</sup>	a1.80 <sup>a</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

หมายเหตุ aX<sup>a</sup> ชักชกรกำกับด้านซ้ายแสดงค่าความแตกต่างของระยะเวลาเก็บรักษาในแนวนอน

ชักชกรกำกับมุมบนขวาแสดงความแตกต่างอุณหภูมิในแนวดิ่ง

ND = NOT DETECT

caf = caffeic acid

cou = *p*-coumaric acid

sin = sinapic acid

fer = ferulic acid

ตารางที่ ๓.8 การเปลี่ยนแปลง total hydroxycinnamic acids ของส้มเขียวหวานเคื่อดิบเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์

Storage temperature (°C)	total hydroxycinnamic acids (mg/l)																				
	ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)																				
	0			2			3			4			5								
	caf	cou	sin	fer	caf	coj	sin	fer	caf	cou	sin	fer	caf	cou	sin	fer	caf	cou	sin	fer	
4	b2.62	b1.71	c5.00	c28.99	a3.75 <sup>a</sup>	b1.79 <sup>b</sup>	b6.59 <sup>a</sup>	b38.40 <sup>b</sup>	a3.93 <sup>b</sup>	b1.70 <sup>b</sup>	b5.01 <sup>b</sup>	b42.73 <sup>b</sup>	a3.76 <sup>a</sup>	b1.72 <sup>b</sup>	a7.02 <sup>a</sup>	a48.44 <sup>b</sup>	a4.07 <sup>a</sup>	a2.15 <sup>b</sup>	a8.10 <sup>a</sup>	b43.88 <sup>b</sup>	
12	b2.62	b1.71	c5.00	c28.99	a4.50 <sup>a</sup>	ε2.75 <sup>a</sup>	b6.66 <sup>a</sup>	ab48.31 <sup>a</sup>	a3.51 <sup>a</sup>	a2.71 <sup>a</sup>	b6.16 <sup>a</sup>	b40.28 <sup>b</sup>	a3.70 <sup>a</sup>	a2.55 <sup>a</sup>	a7.69 <sup>a</sup>	a50.78 <sup>b</sup>	a3.67 <sup>a</sup>	a2.43 <sup>a</sup>	a7.53 <sup>a</sup>	b44.12 <sup>b</sup>	
20	b2.62	b1.71	c5.00	c28.99	a4.45 <sup>a</sup>	a2.85 <sup>a</sup>	bc5.89 <sup>a</sup>	b42.66 <sup>b</sup>	a4.06 <sup>a</sup>	a2.77 <sup>a</sup>	b6.73 <sup>a</sup>	a51.60 <sup>a</sup>	a4.67 <sup>a</sup>	a2.36 <sup>a</sup>	b6.99 <sup>b</sup>	a54.59 <sup>a</sup>	a4.38 <sup>a</sup>	a2.67 <sup>a</sup>	a7.20 <sup>a</sup>	a49.78 <sup>a</sup>	
30	b2.62	b1.71	c5.00	b28.99	a3.06 <sup>b</sup>	a2.15 <sup>a</sup>	c4.55 <sup>b</sup>	a39.24 <sup>b</sup>	b2.39 <sup>b</sup>	a2.04 <sup>b</sup>	c4.88 <sup>b</sup>	a36.18 <sup>c</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

หมายเหตุ a<sup>x</sup> อักษรกำกับด้านซ้ายแสดงค่าความแตกต่างของระยะเวลาเก็บรักษาในแนวนอน

อักษรกำกับมุมบนขวาแสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิในแนวตั้ง

ND = NOT DETECT

caf = caffeic acid

cou = *p*-coumaric acid

sin = sinapic acid

fer = ferulic acid

ตารางที่ ข.9 การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวเมือวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS และ DPPH เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 12 20 และ 30°C เป็นเวลา 5 สัปดาห์

Storage temperature (°C)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ														
	ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)														
	0			2			3			4			5		
	ABTS	DPPH	ABTS	DPPH	ABTS	DPPH	ABTS	DPPH	ABTS	DPPH	ABTS	DPPH	ABTS	DPPH	
4	a64.77 <sup>a</sup>	c55.33 <sup>a</sup>	a61.54 <sup>a</sup>	a60.74 <sup>a</sup>	a68.13 <sup>a</sup>	a61.18 <sup>a</sup>	a62.71 <sup>a</sup>	a62.71 <sup>a</sup>	a62.45 <sup>a</sup>	a61.51 <sup>a</sup>	a61.18 <sup>a</sup>	a61.18 <sup>a</sup>	a62.45 <sup>a</sup>	a61.51 <sup>a</sup>	b56.01 <sup>a</sup>
12	a64.77 <sup>a</sup>	c55.33 <sup>a</sup>	a65.35 <sup>a</sup>	ab59.86 <sup>a</sup>	a65.00 <sup>a</sup>	bc55.92 <sup>a</sup>	a61.46 <sup>a</sup>	a61.46 <sup>a</sup>	a61.51 <sup>a</sup>	ab59.22 <sup>e</sup>	bc55.92 <sup>a</sup>	ab59.22 <sup>e</sup>	a61.51 <sup>a</sup>	bc54.35 <sup>a</sup>	bc54.35 <sup>a</sup>
20	a64.77 <sup>a</sup>	c55.33 <sup>a</sup>	a66.12 <sup>a</sup>	b58.99 <sup>a</sup>	a68.74 <sup>a</sup>	a64.04 <sup>a</sup>	a60.48 <sup>a</sup>	a60.48 <sup>a</sup>	a65.91 <sup>a</sup>	bc56.78 <sup>a</sup>	a64.04 <sup>a</sup>	bc56.78 <sup>a</sup>	a65.91 <sup>a</sup>	b58.15 <sup>a</sup>	b58.15 <sup>a</sup>
30	a64.77 <sup>a</sup>	b55.33 <sup>a</sup>	a62.90 <sup>a</sup>	a60.18 <sup>a</sup>	a65.47 <sup>a</sup>	b55.17 <sup>a</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

หมายเหตุ a<sup>x</sup> อักษรกำกับด้วยตัวเลขแสดงค่าที่แตกต่างกันของระยะเวลาการเก็บรักษาในแนวนอน

อักษรกำกับมุมบนขวาแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

ND = NOT DETEC