



ศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวและการยืดอายุลองกองโดยเทคนิคทางฟิสิกส์
Study on Postharvest Index and Storage Period of Longkong Fruit
using Physics Techniques

นิโรชานา นิโซ๊ะ
Nikrosana Niksoh

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Applied Physics
Prince of Songkla University
2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวและการยืดอายุลองกองโดยเทคนิคทางฟิสิกส์
Study on Postharvest Index and Storage Period of Longkong Fruit
using Physics Techniques

นิโรชานา นิโซ๊ะ
Nikrosana Niksoh

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Applied Physics
Prince of Songkla University

2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวและการยืดอายุลองกองโดยเทคนิคทางฟิสิกส์

ผู้เขียน นางสาวนิโรชานา นิโษะ

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พวงทิพย์ แก้วทับทิม)

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัช ชิตตระกูล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พวงทิพย์ แก้วทับทิม)

.....กรรมการ

(ดร.สุนารี บดีพงศ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เถกิง วงศ์ศิริโชติ)

รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พวงทิพย์ แก้วทับทิม)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ.....

(นางสาวนิโรชานา นิไช๊ะ)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวนิโรชานา นิโษะ)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ ศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวและการยืดอายุลองกองโดยเทคนิคทางฟิสิกส์

ผู้เขียน นิโรชานา นิไช้ะ

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวลองกองที่เหมาะสม โดยใช้เทคนิควัดคลื่นไมโครเวฟ วัดสเปกตรัมสีผิวผลลองกอง และวัดค่าความจุไฟฟ้า และศึกษาผลของการฉายรังสีแกมมาต่อการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวลองกอง พบว่า ค่าความเข้มข้นของคลื่นไมโครเวฟที่ส่งผ่านผลลองกองแบบไม่ปกเปลือก แบบปกเปลือก และแบบน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 0.75-0.58 mA, 0.78-0.62 mA และ 0.89-0.79 mA ตามลำดับ โดยช่องลองกองผลติดแน่น รสชาติหวานอมเปรี้ยวเหมาะสำหรับขายตลาดไกลสวน สำหรับค่าที่อยู่ในช่วง 0.58-0.41 mA, 0.62-0.45 mA และ 0.79-0.70 mA ตามลำดับ ผลลองกองสุกเหลืองทั้งข้อ รสชาติหวาน เหมาะสำหรับขายตลาดใกล้สวน ค่าสเปกตรัมสีผิวผลลองกองสีน้ำเงิน (Blue) ที่มีค่าอยู่ในช่วง 128-195 เหมาะสำหรับส่งขายตลาดไกลสวนเนื่องจากข้อติดผลสวยงาม รสชาติหวานอมเปรี้ยว ค่าสเปกตรัมในช่วง 195-256 เหมาะสำหรับขายตลาดใกล้สวน มีรสชาติหวานเข้มข้นและมีสีที่เหลืองทั้งข้อ ส่วนการศึกษาวัดค่าประจุไฟฟ้าไม่เหมาะที่จะใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวลองกองเนื่องจากข้อมูลกระจาย ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ได้ สำหรับการฉายรังสีแกมมาเพื่อยืดอายุผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว พบว่า ความเข้มข้นรังสีที่ 500 Gy ทำให้ผลลองกองที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกสามารถอยู่ได้นานที่สุด 13 วัน ในสถานะอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส

Thesis Title Study on Postharvest Index and Storage Period of Longkong Fruit using Physics Techniques

Author Nikrosana Niksoh

Program Applied Physics

Academic Year 2022

ABSTRACT

The purpose of this research was to study the optimum harvesting index for longkong. by using the microwave measurement technique Spectral measurement of skin color of longkong fruit and measure the electric capacitance Study on the effect of gamma irradiation on longkong postharvest prolongation found that the microwave intensity transmitted through unpeeled, peeled and liquid longkong was in the range of 0.75-0.58 mA, 0.78-0.62 mA and 0.89-0.79 mA, respectively, with longkong bunches firmly attached. Sweet and sour taste suitable for selling in the far garden market. for the values in the range of 0.58-0.41 mA, 0.62-0.45 mA and 0.79-0.70 mA, respectively. The whole bunch of yellow ripe longkong fruit, sweet in taste, suitable for sale in the market near the garden. The color spectrum of longkong fruit is blue (Blue), which is in the range of 128-195, suitable for exporting to distant gardens due to its beautiful bouquet. sweet and sour taste Spectral value in the range 195-256, suitable for selling in the market near the garden. It has a strong taste and a yellow color throughout the bouquet. The study of electric charge measurements Not suitable as a longkong harvest index due to sparse data. can't find a relationship For gamma irradiation to prolong longkong fruit after harvest, it was found that the radiation intensity at 500 Gy made the longkong contained in plastic bags to last for a maximum of 13 days at a temperature of 18 degrees Celsius.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้รับความความช่วยเหลือจากบุคคลดังต่อไปนี้ อันดับแรกผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดาที่มอบสมบัติอันมีค่า นั่นคือการศึกษาให้แก่ลูกกำลังใจ และมอบความรักความเข้าใจเสมอมา นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พวงทิพย์ แก้วทับทิม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ประคับประคอง ชี้แนะแนวทางวิชาการ ติดตามความก้าวหน้า ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดการทำวิจัย และการเขียนวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย ขอขอบคุณ คุณกุสึทึ เคียวสุวรรณ์ เจ้าของสวนลองกองที่ได้มอบลองกองให้กับงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณทุนการศึกษาผลการเรียนดีเด่นเข้าศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2562 และขอขอบคุณทุนวิจัยทำวิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และขอขอบคุณหลักสูตรฟิสิกส์ประยุกต์ สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้อำนวยความสะดวกสำหรับการทดลองทำในงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นิโรชานา นิโสะ

เรื่อง	สารบัญ	หน้า
บทคัดย่อ		5
ABSTRACT		6
กิตติกรรมประกาศ		7
สารบัญ		8
สารบัญตาราง		10
สารบัญภาพประกอบ		11
บทที่ 1 บทนำ		1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา		1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย		2
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		2
บทที่ 2 ทฤษฎี		5
2.1 การเปลี่ยนแปลงของผลลองกอง		5
2.2 การวิเคราะห์ในการเลือกช่วงการเก็บเกี่ยว		7
2.3 การโดสรังสีเพื่อยืดอายุการเก็บเกี่ยวผลลองกอง		9
บทที่ 3 วิธีการวิจัย		19
3.1 ศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวผลลองกอง		19
3.2 ศึกษาการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวโดยการฉายรังสี		28
บทที่ 4 ผลการวิจัย และวิจารณ์		30
4.1 ผลการศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวผลลองกอง		30
4.2 ผลการศึกษาการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวโดยการฉายรังสี		44

บทที่ 5 สรุป และข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุป	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	47
อ้างอิง	48
ภาคผนวก ก ข้อมูลการวัดดัชนีการเก็บเกี่ยวของไมโครเวฟ	51
ภาคผนวก ข ข้อมูลดัชนีการเก็บเกี่ยวโดยการวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมสี แดง เขียว น้ำเงิน (RGB)	75
ภาคผนวก ค ดัชนีการเก็บเกี่ยวโดยการค่าประจุไฟฟ้า	93
ภาคผนวก ง ข้อมูลการฉายรังสี	102
ภาคผนวก จ ภาพลงพื้นที่ในสวนลองกองบ้าน คุณกุลสิทธิ์ เศียรสุวรรณ	104
ภาคผนวก ฉ ภาพลองกองในงานวิจัย	105
ภาคผนวก ช งานวิจัยที่เผยแพร่	108

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ปริมาณการฉายรังสี	16
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลลองกอง	31
ตารางที่ 4.2 ดัชนีการเก็บเกี่ยวลองกองโดยวิเคราะห์ความเข้มข้นของคลีนโมโครเวฟที่ส่งผ่านผล ลองกองแบบไม่ปอกเปลือก	33
ตารางที่ 4.3 ดัชนีการเก็บเกี่ยวลองกองโดยวิเคราะห์ความเข้มข้นของคลีนโมโครเวฟส่งผ่านผล ลองกอง	34
ตารางที่ 4.4 ดัชนีการเก็บเกี่ยวลองกองโดยวิเคราะห์ความเข้มข้นของคลีนโมโครเวฟที่ส่งผ่านน้ำ ลองกอง	36
ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมสีแดง (SPECTRUM RED) เทียบกับอายุของลองกอง	38
ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมสีเขียว (SPECTRUM GREEN) เทียบกับอายุลองกอง	39
ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมสีน้ำเงิน (SPECTRUM BLUE) เทียบกับอายุลองกอง	41
ตารางที่ 4.8 วิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าของผิวผลลองกองเพื่อกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวผลลองกอง	42
ตารางที่ 4.9 การยืดอายุของผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยวโดยการฉายรังสี	44

สารบัญภาพประกอบ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 การเกิดรังสีเอ็กซ์	11
รูปที่ 2.2 ความสามารถในการแทรกซึมผ่านวัตถุต่าง ๆ ของรังสีแอลฟา แกมมาและลำอิเล็กตรอน	12
รูปที่ 2.3 A) เป็นการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำ B) การรวมตัวกันของอนุมูลอิสระ	18
รูปที่ 3.1 เครื่องมือ MICROWAVE OPTICS	21
รูปที่ 3.2 มุมบนของเครื่องมือ MICROWAVE OPTICSและการจัดอุปกรณ์	21
รูปที่ 3.3 การต่อวงจร ARDUINO กับจอ LCD และ เซนเซอร์ TSC230	22
รูปที่ 3.4 โครงสร้างภายนอกของเครื่องมือ เซนเซอร์ RED GREEN BLU (RGB) ก. จอ LCD เป็นจอแสดงผลของเซนเซอร์อ่านค่าสีได้ ข. ปุ่มกดรีเซ็ตและจุดต่อแหล่งจ่ายไฟ	23
รูปที่ 3.5 โครงสร้างภายนอก ก. จุดวางผลลองกองสำหรับวิเคราะห์สีผิว	24
รูปที่ 3.6 ตำแหน่งวิเคราะห์ผลลองกองก. ส่วนบนของผลลองกอง ข. ส่วนกลางของผลลองกอง	25
รูปที่ 3.7 POWER SUPPLY แหล่งจ่ายไฟ	26
รูปที่ 3.8 มัลติมิเตอร์ SANWA DIGITAL	26
รูปที่ 3.9 การต่อแหล่งจ่ายไฟกับผลลองกองต่อแบบอนุกรม	27
รูปที่ 3.10 ตำแหน่งของการวัดในหนึ่งลูกผลลองกอง ก. ตำแหน่งที่ 1 ข. ตำแหน่งที่ 2 ค. ตำแหน่งที่ 3	28
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลลองกอง	32
รูปที่ 4.2 ผลดัชนีของลองกองโดยวิเคราะห์ความเข้มข้นคลีนโมโครเวฟที่ส่งผ่านผลลองกอง	34
รูปที่ 4.3 ดัชนีการเก็บเกี่ยวลองกองโดยวิเคราะห์ความเข้มข้นของคลีนโมโครเวฟที่ส่งผ่านผลลองกองแบบปอกเปลือก	35
รูปที่ 4.4 ดัชนีการเก็บเกี่ยวลองกองโดยวิเคราะห์ความเข้มข้นของคลีนโมโครเวฟที่ส่งผ่านน้ำลองกอง	37
รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมสีแดง (SPECTRUM RED) เทียบกับอายุของลองกอง	39
รูปที่ 4.6 การวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมสีเขียว (SPECTRUM GREEN) เทียบกับอายุลองกอง	40
รูปที่ 4.7 การวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมสีน้ำเงิน (SPECTRUM BLUE) เทียบกับอายุลองกอง	42
รูปที่ 4.8 วิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าของผิวผลลองกองเพื่อกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวลองกอง	43
รูปที่ 4.9 ผลการศึกษาการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวโดยการฉายรังสี	44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

ลองกองเป็นไม้ผลที่มีกลิ่นหอม และรสหวาน จัดเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ การผลิตลองกอง 3 จังหวัดภาคตะวันออก ได้แก่ จันทบุรี ตราด ระยอง ในเดือนกรกฎาคม 2562 ผลผลิตลองกอง ออกสู่ ตลาดตั้งแต่ต้นฤดูการผลิตประมาณ 13,420 ตัน คิดเป็นร้อยละ 64.78 เดือนกรกฎาคม 62 ผลผลิตออกสู่ตลาดประมาณ 7,255 ตัน คิดเป็นร้อยละ 35.02 เดือนนี้ปริมาณผลผลิตลองกองออกสู่ตลาดมากที่สุด อย่างไรก็ตามลองกองในปี 2562 นี้ทยอยออกดอก และทยอยเก็บเกี่ยวผลผลิตได้จนถึงเดือนพฤศจิกายน 2562 ราคาที่เกษตรกรขายได้ ณ ไร่นา ราคาลองกองเบอร์ 1 เดือนกรกฎาคม 2562ของจังหวัดระยอง ราคาเฉลี่ย 40 บาท/กก. ปรับตัวลดลงจากเดือนที่ผ่านมา ร้อยละ 16.67 และจังหวัดจันทบุรี ราคาเฉลี่ย 39.25 บาท/กก. ปรับตัวลดลงจากเดือนที่ผ่านมา ร้อยละ 16.49 จังหวัดตราดราคาเฉลี่ย 40 บาท/กก. ปรับตัวเพิ่มขึ้นจากเดือนที่ผ่านมา ร้อยละ 16.67 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) ต้นกำเนิดของผลไม้อลองกองอยู่ในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนใต้ โดยเฉพาะลองกองต้นหยงมัส จากจังหวัดนราธิวาสปัจจุบันมีการขยายพื้นที่ปลูกไปสู่ภูมิภาคอื่นๆ เช่น ภาคตะวันออก ได้แก่จังหวัดจันทบุรี ตราด และระยองภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ ลองกอง (อินทิรา และคณะ, 2559) เนื่องจากลองกองเป็นผลไม้ชนิด non-climacteric มีอัตราการหายใจต่ำ ในช่วงการเก็บเกี่ยว และเป็นผลไม้ที่ไม่สามารถบ่มเพาะได้มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวในช่วงเวลาสั้นๆหากเก็บเกี่ยวลองกองสุกมากจะเกิดการหลุดร่วงของผลออกจากช่อผลภายหลังการเก็บเกี่ยวประมาณ 4-5 day ส่งผลให้เกิดการสูญเสียระหว่างการขนส่งไปจำหน่าย ทำให้มีช่วงเวลาของการจำหน่ายสั้นๆ การจำหน่ายจึงอยู่ในตลาดใกล้ๆสวน ประกอบกับลองกองแต่ละสวนจะออกผลพร้อมๆกันจึงทำให้ราคาจำหน่ายลองกองถูก (สุรจิตติ, 2536) ดังนั้นช่วงการเก็บเกี่ยวลองกองที่เหมาะสมจะเป็นสิ่งที่สำคัญ โดยปกติดัชนีการเก็บเกี่ยวผลลองกองที่เกษตรกรใช้ จะนับอายุของผลลองกองนับจากดอกเริ่มบานจนผลสุกประมาณ 180-220 day (อินทิรา และคณะ, 2559) อย่างไรก็ตามระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวของผลลองกองระยะสุก ร้อยละ 80-90 เนื่องจากการขนส่งไปยังตลาดที่ไกล ไม่ควรเก็บในช่วงผลสุก ร้อยละ 100 เนื่องจากจะทำให้ผลให้ร่วงจากช่อมาก (สุรจิตติ, 2536) อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวค่อนข้างจะยุ่งยาก นอกจากนี้เกษตรกรใช้วิธีดูสีผิวผลลองกองด้วยตาเปล่าเพื่อเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวประกอบแต่จะมีความคลาดเคลื่อนสูง ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวผลลองกองโดยใช้วิธีวิเคราะห์สเปกตรัมสีผิวผลลองกอง วิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้า และ วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของคลอรีนโมโครเวฟ

นอกจากนี้การยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้เป็นสิ่งสำคัญ เพราะจะทำให้อายุของผลไม้สามารถขนส่งไปขายระยะไกลได้ หรือตลาดต่างประเทศได้ และมีเวลานานพอสำหรับการวางแผนที่จะทำให้ราคาผลไม้สูงขึ้น (ศรีธนา, 2553) การโดสรังสีในผลไม้เพื่อลดการหายใจของผลไม้ ทำให้ยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยว โดยการโดสรังสีแกมมา (gamma ray) จากเครื่องโดสรังสีที่มีโคบอลต์-60 (Cobalt-60) การโดสรังสีในผลไม้ต้องมีปริมาณรังสีดูดกลืนต่ำสุดที่ทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการโดสรังสี และมีปริมาณรังสีดูดกลืนสูงสุดอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ไม่ทำลายคุณภาพผลไม้ สามารถคงคุณค่าทางโภชนาการของผลไม้ โดยไม่ทำลายโครงสร้างสมบัติเชิงหน้าที่ และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (เสาวพงศ์ และคณะ, 2552)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลไม้ที่เหมาะสม โดยใช้เทคนิค วัดค่าความจุไฟฟ้า วัดค่าสเปกตรัมสีผิวของผลไม้ วัดค่าความจุไฟฟ้า

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการฉายรังสีแกมมาต่อการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเปลี่ยนแปลงของสรีรวิทยาของผลไม้ที่เกิดจากเอทิลีน PPO และ POD ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้ผลไม้เป็นสีน้ำตาล ซึ่งงานวิจัยของ สุวิมล (2549) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของสารที่ลดการเกิดสีน้ำตาลของผักกาดแก้วต่อการเกิดสีน้ำตาลบริเวณก้านใบของผักกาดแก้วที่เกิดจากเอทิลีน PPO ซึ่งมีวิธีการลดการเปลี่ยนแปลงได้หลายวิธี เช่น การใช้สารลดการเกิดสีน้ำตาล การลดอุณหภูมิในการล้าง และการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ และจากงานวิจัยของ สรยา (2557) โดยการนำผลไม้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 °C กระตุ้นให้มีกิจกรรมของเอทิลีน PPO เพิ่มขึ้นได้เร็วกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 °C นอกจากนี้ปัญหาของการหลุดร่วงของผลผลไม้ที่เกิดจากเอทิลีนเอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่ควบคุมการเจริญเติบโตและการพัฒนาในผักและผลไม้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติซึ่งเกิดจากการทำให้เกิดการสุกของผลไม้ หรืออาจเกิดขึ้นเมื่อพืชได้รับความเสียหาย บอบช้ำจากการขนส่ง และจากการเก็บรักษาในระหว่างการเก็บรักษาหรือขนส่งผลไม้จะมีการผลิตแก๊สเอทิลีนออกมาเพื่อทำให้มีการสะสมของเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุผลไม้ ทำให้เกิดการหลุดร่วง ในกล่องภาชนะ มีปริมาณเอทิลีนที่มีความเข้มข้นเพียง 0.05 ppm สามารถชักนำให้เกิดการหลุดร่วงของผลไม้ (Taesakulet *et al.*, 2012) อินทิตรา และคณะ (2553) รายงานว่าการรมผลไม้ด้วยเอทิลีนที่มีความเข้มข้น 200 ppm เป็นเวลา 24 hr ทำให้ผลไม้หลุดร่วงออกจากช่องผลไม้ภายใน 1 day หลังการเก็บรักษาและมีสีคล้ำอย่างรวดเร็ว

การหาช่วงอายุในการเก็บเกี่ยวนั้นสำคัญในการจำแนกอายุของผลไม้จากการทดลองการจำแนกความแก่ของส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามแบบไม่ทำลาย ใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIRS) สมบัติการสะท้อนแสงในย่านที่มองเห็นได้ และความถี่เสียงเคาะผล สำหรับการประเมินคุณภาพความแก่ส้มโอพันธุ์ทับทิมสยาม ในงานวิจัยได้สร้างสมการทำนาย ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และสมการจำแนกกลุ่มตามความแก่ จากตัวอย่างส้มโอจำนวน 140 ตัวอย่าง 4 กลุ่มความแก่ ผลจากการสร้างสมการพบว่า การทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยสมการที่สร้างด้วยเทคนิค partial least squares regression ให้ผล การทำนายที่ต่ำ (regression coefficient = 0.51, standard error of prediction = 0.59 องศาบริกส์และ Bias = 1.62E-02 องศาบริกส์) ส่วนการวิเคราะห์ด้วยวิธี Discriminant analysis (DA) เพื่อสร้างสมการจำแนกกลุ่มความแก่ พบว่า สมการที่เหมาะสมใช้ข้อมูลการ ดูดกลืนแสง NIR ที่มีการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี standard normal variate (SNV) โดยการเฉลี่ยสเปกตรัมจากตำแหน่งการวัด 4 ตำแหน่งรอบผลส้มโอ ร่วมกับสเปกตรัมการสะท้อนแสง ย่านที่มองเห็นได้ที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี SNV โดยสามารถคัดแยกตัวอย่าง ช่วงอายุการเก็บเกี่ยวได้ถูกต้อง 100% (ทิพย์วรรณ และคณะ, 2562) และงานวิจัยเกี่ยวกับการจำแนกความสุก-แก่ของทุเรียนพันธุ์ “หมอนทอง” แบบไม่ทำลายด้วยสเปกโทรสโกปีช่วงแสงที่มองเห็นได้ที่เปลือก โดยวัดข้อมูลสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่เปลือกผลสำหรับทุเรียนที่มีอายุหลัง ดอกบาน 5 ช่วงอายุตั้งแต่ 106 ถึง 134 day จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบจำแนกกลุ่ม พบว่า โมเดลสามารถคัดแยกทุเรียน ออกเป็น 5 กลุ่มได้ถูกต้อง 83.3% (ประกิต และอนุพันธ์, 2556) ผลทุเรียนที่แก่จัด สีที่ปลายหนามจะออกสีน้ำตาลเข้ม สีผล ด้านบนจะมันและแห้ง ร่องพูเป็นสีน้ำตาลนำผลทุเรียนมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องมือวัดค่า การดูดกลืนแสง (USB2000 OCEAN OPTIC) ใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดไฟฮาโลเจน 150 W ไฟเบอร์ ออปติกและเลนส์ (QP1000-2-UV/VIS) ตัวรับสัญญาณและ แปลงสัญญาณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา โดยวัดที่ช่วง ความยาวคลื่น 350-750 nm ที่บริเวณเปลือกกลางพูเอก และพูรองอีกสองพู ๆ ละสามจุดรวมทั้งหมด 9 จุดต่อผลโดยก่อนทำการวัดแต่ละช่วงอายุ จะต้องทำการวัดแท่งเทปลอนสีขาว (R_λ) และสีดำ (D_λ) ซึ่งใช้เป็นค่าในการคำนวณสัญญาณที่วัดได้จากค่าสะท้อนแสงเป็นค่าการดูดกลืนแสง (absorbance spectra; A_λ) (ประกิต และอนุพันธ์, 2556) และมีการวิจัยการคัดแยกยางพาราแผ่นรมควันจับตัวด้วยกรดต่างชนิดด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้โดยมีกลุ่มตัวอย่างที่ 1 ใช้สเปกตรัมแต่ละจุดจำนวน 240 สเปกตรัม แล้วนำตัวอย่างสเปกตรัมของยางพาราแต่ละแผ่น 3 สเปกตรัมมาหาค่าเฉลี่ย จำนวน 80 สเปกตรัมพบว่าโมเดลที่ใช้ สเปกตรัมแต่ละจุดที่ผ่านการ smoothing ร่วมกับ SNV และ โมเดลที่ใช้สเปกตรัมเฉลี่ย ที่ผ่านการ Smoothing ร่วมกับ SNV-avg ให้ ค่า r_p (correlation coefficient of prediction) สูงสุดเท่ากับ 0.784 และ 0.817 มีค่า RMSEP เท่ากับ 0.311 และ 0.300 ตามลำดับ โดยสามารถคัดแยกตัวอย่างยางพาราที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก และกรดซัลฟิวริกได้ถูกต้อง 92.92% และ 95.00% ตามลำดับ (แก้วกานต์ และอาทิพย์, 2562)

การโดสรังสีเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว จากงานวิจัยของ Rabab (2017) ได้ศึกษาการโดสรังสีแกมมาในผลสตอเบอร์รี่ จะเห็นได้ว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงและมีการสลายตัวน้อยกว่าผลไม้ที่ไม่ได้โดสรังสี การรักษาด้วยการโดสรังสีแกมมาเป็นวิธีที่ไม่ใช้สารเคมีในการรักษาคุณภาพของผลไม้และสามารถยืดอายุการเก็บเกี่ยวหลังการเก็บเกี่ยว และงานวิจัยของ Chen (2017) ได้ศึกษาการโดสรังสีในผลบลูเบอร์รี่จะเห็นได้ว่า สามารถรักษาน้ำหนัก และความแน่นของผลไม้ได้นานกว่าผลบลูเบอร์รี่ที่ไม่ผ่านการโดสรังสีการโดสรังสีในผลไม้เพื่อลดการหายใจของผลไม้เพื่อยืดการเก็บได้นาน การโดสรังสีเป็นเทคโนโลยีที่ให้แพร่หลาย สามารถชะลอการเน่าเสียของผลิตผลทางการเกษตรให้หรือกำจัดแมลงที่อาจติดไปกับผักและผลไม้ได้ โดยองค์การอาหารและยา (FDA) และกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา (USDA) ได้อนุญาตให้ใช้ได้ในปี พ.ศ. 2529 รังสีแกมมาเป็นรังสีที่ก่อให้เกิดไอออน (ionizing radiation) กล่าวคือ รังสีแกมมาทำอันตกิริยาสาธาหรือสิ่งมีชีวิตใด ๆ แล้วอันตกิริยาที่เกิดขึ้น สามารถทำให้อิเล็กตรอนหรือองค์ประกอบแยกตัวออกเป็นไอออน ทำให้เกิดคู่ของไอออนที่มีประจุต่างกัน ซึ่งไอออนเหล่านี้มีปฏิกิริยาต่อเนื่อกับอะตอมหรือโมเลกุลอื่นๆ ที่อยู่ข้างเคียงต่อไปอีก ปริมาณพลังงานที่สาธาหรือวัตถุที่นำไปโดสรังสีได้ดูดซับไว้ มีหน่วยเป็น Gy (Gray, Gy) โดย 1Gy เท่ากับ 1 J/kg หรือ 100 rads (อภีรติ และคณะ, 2556) ได้ศึกษาปริมาณรังสีแกมมาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพมะม่วงรับประทานดิบพันธุ์โชคอนันโดยการเลือกตัวอย่างของผลไม้ที่ไม่มีตำหนินำมาทำความสะอาดด้วย คลอรีน 200 ppm และนำไปจุ่มสาร prochloraz ความเข้มข้น 500 ppm แล้วนำไปโดสรังสีที่ความเข้ม 400 และ 700Gy สีเปลือกมะม่วงไม่มีความแตกต่างและมะม่วงโดสรังสีแกมมาปริมาณ 400 Gy มีความแน่นเนื้อมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา นอกจากนี้การโดสรังสีแกมมาทำให้มะม่วงมี lipid peroxidation มากกว่าชุดควบคุมในวันที่ 1 และสอดคล้องกับกิจกรรมเอนไซม์ LOX หลังจากนั้นการโดสรังสีแกมมาสามารถลด lipid peroxidation ได้ตลอดระยะเวลาเก็บรักษาและได้ทำการทดลองวางตลาดเครื่องเทศฉายรังสี โดยนำเครื่องเทศได้แก่ พริกป่น และพริกไทยป่น นำไปบรรจุพลาสติกถุงละ 50 g แล้วนำไปฉายรังสีแกมมาปริมาณ 6 kGy ด้วยรังสีแกมมา (Gamma-cell 220) เพื่อลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย และกำจัดแบคทีเรียที่ก่อโรคในอาหาร ที่สำนักงานปริมาณเพื่อสันติ แล้วนำวางขาย ผู้บริโภคร้อยละ 88.1 และ 91.4 พอใจในคุณภาพและราคาตามลำดับ ผู้บริโภคร้อยละ 79.7 เลือกซื้อพริกป่นและพริกไทยฉายรังสีเพราะเชื่อว่ามี คุณภาพดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ฉายรังสีและร้อยละ 91.5 มั่นใจว่าต่อไปจะซื้อพริกป่นและพริกไทยฉายรังสีรับประทานอีก จากการทดลองวางตลาดพริกป่นและพริกไทยฉายรังสี ผลิตภัณฑ์ที่ส่งขายสามารถจำหน่ายได้ทั้งหมด โดย ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้การยอมรับในการบริโภคพริกป่นและพริกไทยฉายรังสีและมีทัศนคติที่ดีต่ออาหารฉายรังสี (เสาวพงศ์ และคณะ, 2552)

บทที่ 2

ทฤษฎี

ปัจจุบันผลไม้ในประเทศไทยมีการส่งออกไปยังต่างประเทศหลาย ๆ ประเทศได้แก่ จีน เวียดนาม อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น และฮ่องกง เป็นต้น ซึ่งผลไม้ที่ได้รับความนิยมได้แก่ ลำไย มังคุด ทูเรียน เงาะ และลองกอง ในภาพรวมการส่งออกผลไม้ของไทยยังมีปัญหา เช่น สภาพของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวมีอายุการเก็บรักษาจำกัดและในการขนส่งทางโลจิสติกใช้เวลาในการขนส่งแตกต่างกัน บางประเทศใช้เวลาในการขนส่งนานอาจทำให้เสียสภาพจากเดิมได้ และสหภาพยุโรปที่มีการออกกฎระเบียบให้มีการตรวจสอบสินค้าผักและผลไม้ไทย เพื่อตรวจยาฆ่าแมลงตกค้าง การปนเปื้อนทางจุลชีววิทยา และแมลงศัตรูพืชอย่างเข้มงวด ที่ผ่านมามีประเทศสหรัฐอเมริกาสั่งห้ามนำเข้าผลไม้สดจากประเทศไทย เนื่องจากไม่มั่นใจในคุณภาพที่อาจมีการปนเปื้อนของแมลงศัตรูพืชที่ติดไปกับผลไม้ ดังนั้นรัฐบาลไทยจึงมีความพยายามในการปรับปรุงผลไม้สดให้ได้มาตรฐานปราศจาก แมลงศัตรูพืชต่าง ๆ โดยใช้วิธีการโดสริงสี แกมมา รังสี UV เนื่องจากเป็นวิธีที่ทั่วโลกยอมรับสามารถควบคุมคุณภาพได้

2.1 การเปลี่ยนแปลงของผลลองกอง

ลองกองเป็นผลไม้ non-climacteric กล่าวคือหลังการเก็บเกี่ยวไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในทางที่ดีขึ้นและเอทิลีนไม่มีผลต่อการสุกเช่นเดียวกับลิ้นจี่ เงาะ และส้ม โดยพบว่าผลไม้ประเภทนี้มีอัตราการหายใจคงที่ตลอดระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวแต่จะมีการเสื่อมสภาพเช่นเดียวกับผลผลิตอื่น ๆ เนื่องจากผลผลิตหลังจากเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ตลอดเวลาซึ่งมีปัจจัยมาจาก การหายใจการคายน้ำ การผลิตเอทิลีน และการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีนอกจากนี้ ยังมีผลมาจากปัจจัยภายนอกเช่นอุณหภูมิ ความชื้นองค์ประกอบของบรรยากาศโรค และแมลงเข้าทำลายส่งผลให้ผลผลิตเกิดการสูญเสีย และเสื่อมสภาพ (จริงแท้, 2544) การเปลี่ยนแปลงของผลลองกองมีการสูญเสียน้ำ การหลุดร่วงของลองกองจากช่อ การเกิดสีน้ำตาลบนผิวเปลือก

2.1.1 การสูญเสียน้ำหนักผลลองกองมีการคายน้ำเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจส่งผลให้ผลิตผลเกิดการสูญเสียน้ำหนักของผล (จริงแท้, 2544) และไพรัตน์ และมงคล (2523) รายงานว่าหลังจากเก็บรักษาลองกองเป็นเวลา 8 day ลองกองที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้องและเก็บในถุงพลาสติกที่ไม่เจาะรูมี %การสูญเสียน้ำหนักของผลมากกว่าการเก็บรักษาผลลองกองในตู้เย็นการสูญเสียน้ำหนักมากส่งผลให้ผลลองกองมีความสดลดลง อินทิราและคณะ (2552ก) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายนอกและสรีรวิทยาของผลลองกองระหว่างเก็บรักษาในความชื้นสัมพัทธ์ 70, 80 และ 90 % ที่อุณหภูมิ 25 °C พบว่าคุณภาพของลองกองลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาในความชื้นสัมพัทธ์ 70 % ทั้งนี้เพราะในระหว่างเก็บรักษาลองกองมีอัตราการหายใจสูงกว่าการเก็บ

รักษาลองกองในความชื้นสัมพัทธ์ 80 และ 90 %ทำให้เกิดสีน้ำตาลและมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่า 10 % หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 4 day จากการสูญเสียน้ำของผลผลิตนอกจากนี้จากการทดลองของ เบญจมาพร และคณะ (2551) รายงานว่าการบรรจุช่องลองกองในถาดโฟมหุ้มฟิล์มพลาสติกชนิด PVC แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 °C สามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าการบรรจุช่องลองกองในกล่องกระดาษเพียงอย่างเดียวทั้งนี้เพราะการหุ้มฟิล์มสามารถช่วยลดการหายใจของผลผลิตทำให้ผลผลิตมีสูญเสียน้ำน้อยแต่การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกลองกองนั้นไม่มีความแตกต่างกัน

2.1.2 การหลุดร่วง การหลุดร่วงของผลลองกองเป็นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและสัณฐานวิทยาที่ส่วนของพืชแยกออกจากต้น และเกิดขึ้นภายหลังจากที่พืชเข้าสู่การเสื่อมแล้ว ก่อนเกิดการหลุดร่วงเซลล์บริเวณหลุดร่วง (abscission zone : AZ) ซึ่งเป็นบริเวณของรอยต่อระหว่างส่วนของพืชและเป็นชั้นเซลล์ที่อยู่บริเวณโคนของส่วนที่จะหลุดออก มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติภายในเซลล์เกิดการสลายตัวของ middle lamella และส่วนของผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิทำให้เซลล์แยกออกจากกันและเกิดการหลุดร่วง Taesakul et al. (2012) รายงานว่าบริเวณ AZ ของผลลองกองมี 2 ตำแหน่ง คือ ระหว่างผลกับขั้วผลที่เกิดจากแรงดึงและระหว่างขั้วผลและก้านขอที่เกิดขึ้นเมื่อลองกองได้รับเอทิลีน ซึ่งจากบริเวณ AZ ของผลลองกองที่มี 2 ตำแหน่ง ทำให้ลองกองมีลักษณะการหลุดร่วง 2 แบบ คือ แบบติดขั้วและแบบไม่ติดขั้ว แต่การหลุดร่วงที่เกิดจากการกระตุ้นของเอทิลีนจะมีลักษณะการหลุดร่วงแบบติดขั้วเท่านั้น ในระหว่างการเก็บรักษาของผลลองกองจะผลิตเอทิลีนขึ้น โดยที่เอทิลีนนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและคุณภาพของผลผลิต เนื่องจากเอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีบทบาทสำคัญในการเสื่อมสภาพของผลผลิต (จริงแท้, 2544) ในระหว่างการเก็บรักษาหรือขนส่งลองกองมีการผลิตเอทิลีนออกมาทำให้มีการสะสมของเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุลองกองส่งผลให้เกิดการหลุดร่วงโดยพบว่าเอทิลีนความเข้มข้นเพียง 0.05 ppm สามารถชักนำให้เกิดการหลุดร่วงของผลลองกองได้ (Taesakul et al., 2012) รายงานว่าการรมช่องผลลองกองด้วยเอทิลีนความเข้มข้น 200 ppm เป็นเวลา 24 hr ทำให้ผลลองกองหลุดร่วงออกจากช่อมากภายใน 1 day หลังจากเก็บรักษาและเปลือกมีสีคล้ำอย่างรวดเร็ว ประพินพร และจริงแท้ (2552) รายงานว่าลองกองระยะเหลืองทั้งช่อที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้นตั้งแต่ 0.1 ppm ขึ้นไปตลอดระยะเวลาที่อุณหภูมิ 25 °C มีการหลุดร่วงหลังจากได้รับเอทิลีน 2 day และหลุดร่วงหมดจากช่อหมดภายใน 8 day ส่วนลองกองที่เป็นตัวควบคุม (ไม่ได้รับเอทิลีน) เริ่มมีการหลุดร่วงในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา อินทรา และคณะ (2553) รายงานว่าการผลิตเอทิลีนที่เพิ่มขึ้นในระหว่างเก็บรักษามีความสัมพันธ์กับการหลุดร่วง การนำช่องลองกองไปจุ่ม gibberellic acid ความเข้มข้น 1000 ppm เป็นเวลา 5 นาที ผลลองกองมีการหลุดร่วงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีการผลิตเอทิลีน เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 3 ของการเก็บรักษา และเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ อย่างไรก็ตามการจุ่มช่องลองกองใน gibberellic acid ความเข้มข้น 1000 ppm เป็นเวลา 10 min สามารถชะลอการหลุดร่วงของผลได้เนื่องจากมีการผลิตเอทิลีนในระดับต่ำกว่า

2.1.3 การเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกเป็นการเกิดสีน้ำตาลเนื่องมาจากเอนไซม์ (enzymatic browning) โดยสารประกอบฟีนอลภายในเซลล์ซึ่งเป็นสารตั้งต้น (substrate) ที่ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) และสุดท้ายได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาล Lichanporn et al. (2009) รายงานว่าลองกองเริ่มเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกภายใน 2 day หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ทำให้ลองกองเกิดการสูญเสียระหว่างการจำหน่าย เย็นจัด และคณะ (2540) รายงานว่าลองกองที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้องจะแสดงอาการเปลือกสีน้ำตาลเร็วกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 และ 18 °C ทำให้ลองกองที่เก็บในอุณหภูมิห้องมีค่าความสว่างของสีเปลือกลดลงในวันที่ 10 ของการเก็บรักษาขณะที่ลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 และ 18 °C มีค่าความสว่างของสีเปลือกลดลงในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 °C มีปริมาณการผลิตเอทิลีนต่ำกว่าจึงช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกของลองกองได้ดีกว่าการเก็บรักษาในอุณหภูมิอื่น ๆ การเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกลองกองเป็นลักษณะที่ทำให้ลองกองเสื่อมคุณภาพมีอายุการเก็บรักษาสั้น ดังนั้นการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษาของลองกองสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นได้ อินทิตรา และศิริชัย (2552) รายงานว่าการแช่ผลลองกองในโคลโตซานความเข้มข้น 2 % ร่วมกับกรดซิตริกความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 % เป็นเวลา 1 min เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 °C สามารถลดการสูญเสียและการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกได้เนื่องจากถูกโคลโตซานเป็นสารเคลือบผิวที่ช่วยจำกัดปริมาณการผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจนและน้ำภายในเปลือกจึงช่วยลดการสูญเสีย ส่วนกรดซิตริกมีประสิทธิภาพเข้าไปแย่งจับกับโลหะทองแดงในตำแหน่ง active site ของเอนไซม์ PPO จึงช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ได้ อินทิตรา และคณะ (2552) รายงานว่าผลลองกองที่จุ่มในกรดซึนามิกความเข้มข้น 1 % เป็นเวลา 1 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 °C สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกลองกองในระหว่างการเก็บรักษาได้ ทั้งนี้เพราะกรดซึนามิกสามารถไปยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ diphenolase และ phenylalanine ammonia lyase (PAL) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ย่อย L-phenylalanine ได้สารประกอบฟีนอลที่จะถูกออกซิไดซ์ต่อโดยเอนไซม์ PPO จนได้สารสีน้ำตาล ดังนั้นหากลดการทำงานของเอนไซม์ PAL และ PPO ได้ก็สามารถช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกลองกองได้

2.2 การวิเคราะห์ในการเลือกช่วงการเก็บเกี่ยว

2.2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์สเปกตรัมสีผิวของลองกองเพื่อหาดัชนีการเก็บเกี่ยว

สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum) คือ ชื่อของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกเรียงลำดับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยคลื่นวิทยุ รังสีอินฟราเรด แสงที่มองเห็น รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมาซึ่งในการวิเคราะห์สีผิวของลองกองนั้นใช้สเปกตรัมความยาวคลื่นของแสงในช่วง R (610-790 nm) G (500-570nm) และ B (450-500 nm) ซึ่งใช้หลักการของสะท้อนของแสงที่สามารถสะท้อนไปยังผิวลองกอง

2.2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ด้วยคลื่นไมโครเวฟเพื่อหาดัชนีการเก็บเกี่ยวของคลื่นไมโครเวฟเป็นส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความถี่สูงชนิดหนึ่งที่สายตามองไม่เห็นแต่สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือเฉพาะเท่านั้น ซึ่งความยาวคลื่น 1 mm ถึง 1 m ความถี่ 300 MHz ถึง 300 GHz

2.2.2.1 คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ

- 1) การสะท้อนกลับ (Reflection) คลื่นไมโครเวฟเมื่อวิ่งกระทบกับวัสดุที่เป็นโลหะหรือส่วนที่มีองค์ประกอบของโลหะ คลื่นจะไม่สามารถวิ่งทะลุผ่านโลหะได้ และจะสะท้อนกลับทั้งหมด
- 2) การส่งผ่าน (Transmission) คลื่นไมโครเวฟเมื่อวิ่งกระทบกับวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ ได้แก่ แก้ว พลาสติก กระดาษ เซรามิก และไม้ เป็นต้น คลื่นจะสามารถทะลุผ่านได้ ดังนั้น วัสดุเหล่านี้จึงนิยมใช้เป็นภาชนะสำหรับรองหรือห่อหุ้มอาหารเข้าสู่ไมโครเวฟ
- 3) การดูดซับ (Adsorption) คลื่นไมโครเวฟเมื่อวิ่งกระทบกับวัสดุที่มีน้ำหรือความชื้นภายใน คลื่นจะเกิดบางส่วนจะถูกดูดซับเอาไว้ ทำให้โมเลกุลของน้ำดูดซับพลังงานคลื่นและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนเอาไว้จนเกิดความร้อนตามมา รวมถึงการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำซึ่งทำให้เกิดความร้อนเช่นกัน ทั้งนี้ คลื่นไมโครเวฟหลังถูกดูดซับจะสลายตัวทันที ไม่มีการตกค้างในอาหาร

2.2.2.2 เครื่องมือ Microwave optic หลักการทำงานของเครื่องมือมีแหล่งกำเนิดของคลื่นในย่านไมโครเวฟ และมีตัวรับคลื่น กำหนดช่วงความห่างระหว่างตัวรับและตัวส่ง นำตัวอย่างมาวางกึ่งกลางของระยะห่างและสังเกตตัวรับแตกต่างจากที่ไม่ได้วางตัวอย่างเท่าไร นั่นคือคลื่นที่สามารถส่งผ่าน (Transmitter) ได้ เมื่อทำการส่งคลื่นไมโครเวฟผ่านบรรยากาศจะต้องจัดให้บริเวณพื้นที่ที่ใช้ทำการทดลองปราศจากสิ่งทำให้เกิดการสะท้อนของสัญญาณที่ส่งสัญญาณสะท้อนนี้จะมีผลต่อการทดลอง ดังนั้นจะต้องติดตั้ง Gunn Oscillator Power Supply และ SWR มิเตอร์ ให้วางอยู่ข้างหลัง Gunn Oscillator และจะต้องหลีกเลี่ยงบริเวณระหว่าง สายอากาศส่งกับสายอากาศรับ นั่นคือ คุณจะต้องไม่ไปอยู่ในบริเวณของการแพร่กระจายสัญญาณ

2.2.3 ความจุไฟฟ้าความสามารถของวัตถุในการเก็บหรือสะสมประจุความจุไฟฟ้าของวัตถุใด ๆ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ “C” มีหน่วยเป็นฟารัด “F” ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยตัวนำสองชิ้น ในรูปร่างใดก็มีฉนวนคั่นกลางซึ่งฉนวนนี้เรียกว่า ไดอิเล็กทริก (Dielectric) เช่น อากาศ กระดาษแก้ว และเซรามิกทำหน้าที่ไม่ให้อายุถึงกันแต่ยอมให้อำนาจไฟฟ้าส่งผ่านถึงกันได้ตัวเก็บประจุแบบที่ง่ายที่สุดจะเป็นแผ่นตัวนำสองแผ่นวางแยกกันอยู่คู่ขนานกัน โดยแผ่นหนึ่งมีประจุบวกและอีกแผ่นหนึ่งมีประจุลบ ซึ่งทำได้โดยการนำแผ่นคู่ขนานที่เป็นโลหะและ เดิมเป็นกลางทางไฟฟ้าทั้งสองแผ่นมา แล้วใช้แรงภายนอก ทำงานในการย้ายประจุจากแผ่นหนึ่งไปไว้อีกแผ่นหนึ่ง ทำให้แผ่น

หนึ่งเป็นลบ และ อีกแผ่นหนึ่งเป็นบวก ซึ่งการทำเช่นนี้ ทำให้พลังงานศักย์ไฟฟ้าของระบบสูงขึ้น หรือ อาจจะกล่าวได้ว่า การทำให้แผ่นตัวคู่ขนานมีประจุขึ้นเป็นการ ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง เราพบว่าขนาดของความต่างศักย์ระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสองนั้น แปรผันโดยตรงกับขนาดของประจุ ที่สะสมอยู่ที่แผ่น

2.3 การโดสรังสีเพื่อยืดอายุการเก็บเกี่ยวผลลองกอง

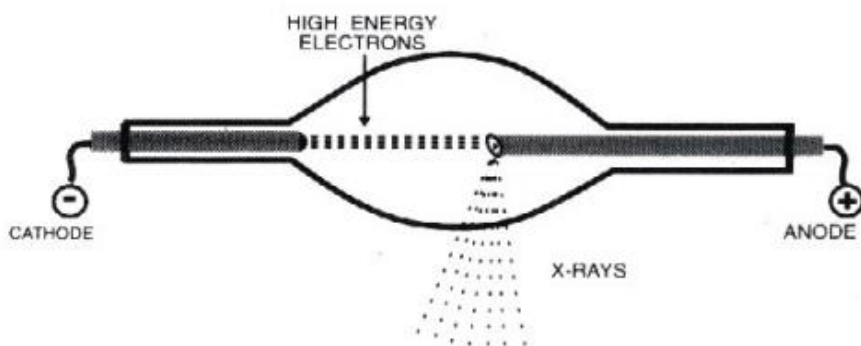
การโดสรังสีผลไม้เป็นการยืดอายุเพื่อกักเก็บรักษาวิธีหนึ่ง โดยการใช้พลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ การโดสรังสีเป็นหัวข้อถกเถียงกันมาก โดยเฉพาะเรื่องความปลอดภัย แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับกระบวนการรักษาผลไม้โดยการโดสรังสีนั้นยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก การโดสรังสีจัดเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้ความร้อนหรือที่เรียกกันว่า cold process (Jones, 1992) ซึ่งมีการศึกษากันอย่างต่อเนื่องมานานแล้ว โดยทั่วไปการโดสรังสีผลไม้วัตถุประสงค์ในการยืดการเก็บรักษา เช่นในพวกพืชหัว (root crops) ช่วยทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับเครื่องเทศ ผลไม้และธัญพืชช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิด การเสื่อมเสียของอาหาร ช่วยชะลอการสุกของผลไม้ ช่วยปรับปรุงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ในอาหารบางชนิดรวมทั้งช่วยทำลายหรือลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคซึ่งปนเปื้อนมากับ อาหาร ในด้านมาตรการเกี่ยวกับความปลอดภัยในการบริโภคอาหารฉายรังสีนั้นปี ค.ศ. 1983 The Joint Food and Agriculture Organization/ World Health Organization Codex Alimentarius Commission ได้รับรองอาหารฉายรังสีว่ามีความปลอดภัยและเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการถนอมอาหารและได้ตั้งข้อกำหนด Codex General Standard ของอาหาร ฉายรังสีขึ้นเพื่อเป็นการรับรองความปลอดภัยของอาหารที่ผ่านกระบวนการนี้

จากการค้นพบรังสีเอ็กซ์ (X-ray) โดย W.K. Roentgen ในปี ค.ศ. 1895 และสารกัมมันตรังสี (radioactive substances) โดย H. Becquerel ในปีถัดมา ทำให้มีการเริ่มต้นศึกษาผลกระทบของรังสีต่อสิ่งมีชีวิตในการใช้รังสีในการถนอมอาหารครั้งแรกได้มีการจดสิทธิบัตรในปี ค.ศ. 1905 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษส่วนในประเทศสหรัฐอเมริกาเริ่มใช้รังสีกับอาหารครั้งแรกในปี ค.ศ. 1920 โดยมีวัตถุประสงค์ในการทำลายพยาธิ *Trichinella spiralis* ซึ่งมีปะปนอยู่ในเนื้อสุกร(Jones, 1992) และมีการศึกษาอย่างมากเกี่ยวกับผลของรังสีเอ็กซ์ต่ออาหารและองค์ประกอบในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1920-1930 ต่อมาในปี ค.ศ. 1963 ได้มีการฉายรังสีข้าวสาลี และแป้งสาลีเพื่อควบคุมแมลงและใช้ในการถนอมอาหารสำหรับนักบินอวกาศของประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1972 และในปี ค.ศ. 1987 ทางกลุ่มประเทศเศรษฐกิจยุโรปยกเว้นสหราชอาณาจักร และเยอรมันตะวันตกได้รับรองความปลอดภัยของอาหารบางชนิดที่ผ่านการฉายรังสี และในปัจจุบันนี้มีมากกว่า 40 ประเทศทั่วโลกที่ได้รับรองอาหารที่ผ่านการฉายรังสีอาหารซึ่งมีมากกว่า 100 รายการ ได้แก่ ประเทศ แอลจีเรีย คิวบา อิตาลี โปแลนด์ อาร์เจนตินา สาธารณรัฐเชค ไต้หวัน รัสเซีย บังกลาเทศ เดนมาร์ก ญี่ปุ่น แอฟริกาใต้ เบลเยียม ฟินแลนด์ เกาหลี สเปน บราซิล ฝรั่งเศส เม็กซิโก ซีเรีย

บัลแกเรีย เยอรมัน เนเธอร์แลนด์ ไทย แคนาดา ฮังการี นิวซีแลนด์ ยูเครน ซิลิ อินเดีย นอร์เวย์ สหราชอาณาจักร จีน อิหร่าน ปากีสถาน สหรัฐอเมริกา โครเอเชีย อิสราเอล ฟิลิปปินส์ อูรุกวัย เวียดนาม และยูโกสลาเวีย ซึ่งในจำนวนนี้มี 25 ประเทศที่รับรองอาหารฉายรังสีที่ผลิตเพื่อการค้า การฉายรังสีในหลายประเทศส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์ในการควบคุมและทำลายแบคทีเรียและเชื้อราในเครื่องเทศนอกจากนั้นยังใช้ในการชะลอการงอกของมันฝรั่งและหัวหอมและการถนอมรักษาธัญพืช และแปงผลไม้สดรวมไปถึงเนื้อสัตว์จำพวกสัตว์ปีก เมล็ดพืชปลาและเนื้อสัตว์ชนิดอื่น ๆ โดยมีรายงานว่า การใช้รังสีแกมมาสามารถคงคุณลักษณะที่ดีของอาหารและทำลายจุลินทรีย์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Babosa-Canovas et al., 1998) การฉายรังสีอาหารจัดเป็นวิธีการทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการฉายรังสีแกมมา รังสีเอ็กซ์ หรืออิเล็กตรอน ไปยังอาหารที่ผ่านการบรรจุหีบห่อหรืออาหารที่มีปริมาณมาก ๆ ซึ่งมีปัจจัยหลักดังนี้

2.3.1 รังสี (Radiation) คือ พลังงานชนิดหนึ่งที่สามารถแผ่จากแหล่งหนึ่งไปยังอีกแหล่งหนึ่ง ซึ่งอาจสามารถทะลุผ่านวัตถุชนิดต่าง ๆ ได้ โดยเดินทางผ่านอากาศ รังสีจะแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ รังสีก่อประจุ (Ionizing Radiation) ในทางรังสีวิทยาส่วนมากจะใช้รังสีก่อประจุ ซึ่งได้แก่ กลุ่มที่เป็นอนุภาค เช่น โปรตอน แอลฟา และบีตา และกลุ่มที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีพลังงาน มากกว่า 12.4 eV เช่น รังสีเอ็กซ์ และ รังสีแกมมาในการวินิจฉัยและรักษาโรค และรังสีไม่ก่อประจุ (Non-ionizing Radiation) เมื่อพิจารณารังสีนี้ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานต่ำกว่า 12.4 eV รังสีนี้อาจเรียกว่า โฟตอน ซึ่งเป็นกลุ่มพลังงานไม่มีประจุไฟฟ้า เดินทางด้วยความเร็วแสงประมาณ 300,000 km/s หรืออาจพิจารณาในรูปของ อนุภาค โดยจะพิจารณาในส่วนประกอบที่เป็นโครงสร้างอะตอม (โปรตอน อิเล็กตรอน เป็นต้น) ซึ่งอนุภาคเหล่านี้จะมีมวลและพลังงานจลน์ในการเคลื่อนที่ เช่น คลื่น กระแสไฟฟ้า คลื่นวิทยุโทรทัศน์ ไมโครเวฟ (กรรติกา, 2550)

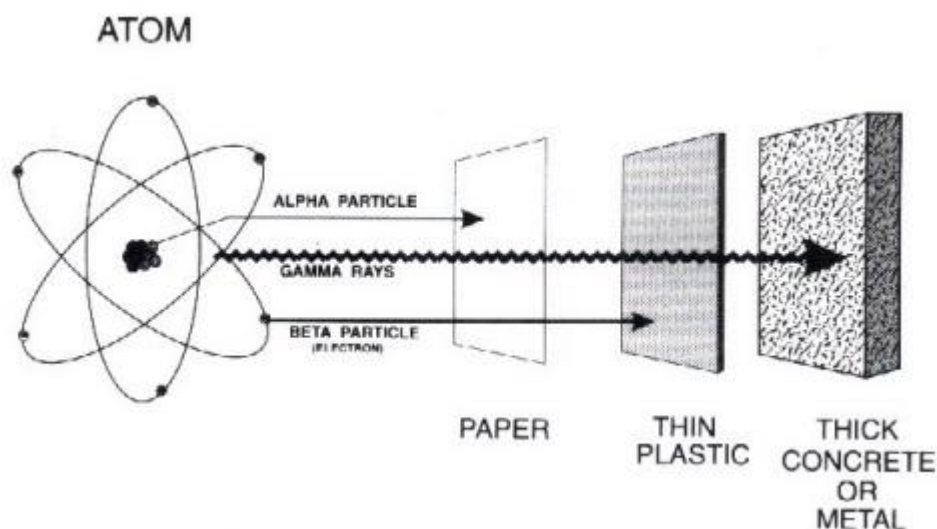
รังสีที่ใช้เพื่อการถนอมอาหารจัดเป็นรังสีไอออนไนส์ซึ่งมีช่วงความถี่ของช่วงคลื่นสูงที่สุดคือ 10^{19} - 10^{22} เฮิรตซ์ (Hz) ซึ่งให้พลังงานสูงสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในอะตอมของสารอื่น ๆ จนถึงขั้นแตกตัวเป็นไอออนได้ชนิดของรังสีดังกล่าว ได้แก่ รังสีแกมมา (gamma rays) รังสีเอ็กซ์ (X-rays) และลำอิเล็กตรอน (electron beam) (สายสนม, 2540) รังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมากมีจุดกำเนิดจากนิวเคลียสมีอำนาจในการทำให้แตกตัวน้อยมาก แต่มีความสามารถทะลุทะลวงสูงส่วนรังสีเอ็กซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมากเช่นกันและมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับรังสีแกมมา แต่มีได้มาจากนิวเคลียส และมีจุดกำเนิดจากชั้นของอิเล็กตรอนของอะตอมใด ๆ เช่นเกิดจากการยิงอิเล็กตรอนที่มีความเร็วสูงไปถูกเป้าที่ทำด้วยโลหะดังเช่นที่เกิดในเครื่องเอ็กซ์เรย์ การเกิดรังสีเอ็กซ์แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเกิดรังสีเอ็กซ์

ที่มา : Satin (1993)

โดยทั่วไปแล้วอาหารจะถูกฉายด้วยรังสีแกมมาที่กำเนิดจากสารไอโซโทปกัมมันตรังสี (radioisotopes หรือ radionuclides) หรือถูกยิงด้วยลำอิเล็กตรอนหรือรังสีเอ็กซ์ที่กำเนิดจากเครื่องเร่งอิเล็กตรอน (electron accelerator) โดยรังสีที่เกิดขึ้นนี้ยังสามารถใช้ในการสเตอริไลซ์อุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ใช้แล้วทิ้ง (disposable medical products) ถึงแม้ว่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ให้กำเนิดรังสีจะแตกต่างกันออกไป แต่รังสีที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในลักษณะเดียวกันโดยมีความแตกต่างกันคือความสามารถในการแทรกซึมผ่านวัตถุ (power of penetration) ของรังสีชนิดต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งในการฉายรังสีอาหารจะเกี่ยวข้องกับขนาดและความหนาแน่นของอาหารที่นำไปฉายรังสี แหล่งกัมมันตรังสีที่ใช้ในการค้าที่ให้รังสีแกมมา ได้แก่ ธาตุโคบอลต์ -60 (^{60}Co) ซึ่งส่วนใหญ่ผลิตจากประเทศแคนาดา นอกจากนั้นยังมีธาตุซีเซียม -137 (^{137}Cs) ที่ได้จากกากนิวเคลียร์ที่ใช้แล้วในการฉายรังสีอาหารนั้นต้นทุนในการผลิตจะใกล้เคียงกับกระบวนการแปรรูปอาหารวิธีอื่น ๆ และลักษณะโดยทั่วไปของโรงงานฉายรังสีอาหารทางการค้าแสดงดังภาพที่ 3 Rosenthal (1992) รายงานว่าธาตุโคบอลต์-60 ได้จากการใช้อุณหภูมินิวตรอน (neutron) ยิงเข้าไปยังธาตุโคบอลต์ -59 ภายในถึงปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (nuclear reactor) เมื่อธาตุโคบอลต์-60 สลายตัวจะปล่อยรังสีแกมมาออกมาโดยมีพลังงาน 1.17 และ 1.33 MeV และเมื่อรังสีหมดสิ้นแล้วจะกลายเป็นธาตุนิเกิล (nickel) ซึ่งไม่เป็นสารกัมมันตรังสีธาตุโคบอลต์-60 นี้มีครึ่งชีวิต (half life) 5.3 ปีโดยมีพลังงานรังสีลดลง 12.5% ต่อปี และพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจะกระจายทุกทิศทางและดูดซับเข้าไปในวัตถุที่นำมาฉายรังสีได้เพียง 10-30% เท่านั้นส่วนซีเซียม -137 เมื่อสลายตัวจะปล่อยรังสีแกมมาโดยมีพลังงาน 0.66 MeV และมีครึ่งชีวิต (half life) 30 ปีและมีพลังงานรังสีลดลง 2.3% ต่อปี



รูปที่ 2.2 ความสามารถในการแทรกซึมผ่านวัสดุต่าง ๆ ของรังสีแอลฟา แกมมาและลำอิเล็กตรอน

ที่มา : Satin (1993)

ในส่วนเครื่องเร่งอิเล็กตรอนทางการค้าจะสร้างลำอิเล็กตรอนที่มีกำลังสูงมากพอที่จะยอมรับได้ในการฉายรังสีอาหาร แต่อิเลตรอนจะไม่แทรกถึงลงในเนื้อของวัตถุที่ถูกฉายรังสีส่วนลำอิเล็กตรอนที่ถูกกั้นโดยส่วนที่เป็นโลหะหนักเป็นผลให้เกิดรังสีเอ็กซ์ซึ่งจะมีความสามารถในการทะลุทะลวงสูงกว่า (Jones, 1992) อย่างไรก็ตามโดยพลังงานส่วนใหญ่จากอิเล็กตรอนจะสูญเสียไปอยู่ในรูปความร้อนในวัตถุนั้น (Barbosa-Canovas et al., 1998)

ในทางการค้าเครื่องเร่งอิเล็กตรอนมักใช้ในการฉายรังสีให้กับวัตถุที่มีขนาดบางและเพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพของวัตถุนั้น อิเลตรอนจะถูกยิงไปที่วัตถุเพียงด้านใดด้านหนึ่งเพียงด้านเดียวในขณะที่ด้านที่ไม่ได้ถูกยิงอิเล็กตรอนจะใช้เป็นด้านที่ตรวจวัดและเป็นการประกันว่าลำอิเล็กตรอนได้ทะลุทะลวงผ่านวัตถุดังกล่าวขนาดความหนาของวัตถุจะมีค่าได้อย่างมากที่สุดประมาณ 3.3 เซนติเมตร (Brynjolfsson, 1989) และขนาดของอิเล็กตรอนและรังสีเอ็กซ์ที่สูงที่สุดที่สามารถใช้ในการฉายรังสีอาหารคือ 10 และ 5 MeV ตามลำดับซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่จะไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดสารกัมมันตรังสีขึ้นในอาหารค่าพลังงานเฉลี่ยของการฉายรังสีโดยใช้โคบอลต์-60 คือ 1.2 MeV ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าขีด จำกัด ดังกล่าวและมีรายงานว่าที่พลังงานระดับนี้ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นจะมีปริมาณไม่มากเกินกว่าสารกัมมันตรังสีตามธรรมชาติที่มีอยู่ในอาหารทั่วไปซึ่งทำให้เกิดขึ้นโดย C-14 และ K-40 นอกจากนี้กัมมันตรังสีจะสลายอย่างรวดเร็วประมาณ 10-20 เท่าภายในช่วง 24 ชั่วโมงแรกหลังจากการฉายรังสีกัมมันตรังสีตามธรรมชาติจะไม่ใช้เวลาในการสลายตัวมากไปกว่าอายุการเก็บรักษาปกติของอาหารการใช้เครื่องยิงลำอิเล็กตรอนจัดว่าเป็นวิธีที่ประหยัดกว่าการใช้เครื่องฉายรังสีโดยใช้โคบอลต์-60 ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์มีความหนาไม่มากและมีอัตราการผลิต (throughput rate) และสามารถนำเครื่องยิงลำอิเล็กตรอนมาต่อเข้ากับ

สายการผลิตแบบต่อเนื่องได้นอกจากนั้นแหล่งของรังสีเอ็กซ์สามารถปิดเครื่องได้ในกรณีที่ยังไม่ใช้งาน ในขณะที่โคบอลต์ -60 จะสลายตัวอย่างต่อเนื่องแม้ว่าจะไม่ได้ใช้งานก็ตาม

ในการฉายรังสีอาหารนั้น หัวใจของโรงงานฉายรังสีอาหารคือแหล่งของรังสี โดยทั่วไปโรงงานฉายรังสีอาหารจะมีผนังคอนกรีตที่หนากว่า 1.7 เมตรโดยรอบเพื่อป้องกันการรั่วไหล ส่วนภาชนะที่ใช้เก็บสารกัมมันตรังสีจะเป็นแท่งโลหะสแตนเลสและเก็บไว้ในอ่างน้ำที่มีความลึกประมาณ 5-6 เมตร ในขณะที่ไม่ได้ใช้งานและในส่วนของทางเข้าและออกของผลิตภัณฑ์ที่นำไปฉายรังสีอาหารนั้นจะมีลักษณะคล้ายเขาวงกต (labyrinths) (Rosenthal, 1992) ซึ่งเป็นการเพิ่มความปลอดภัยจากการรั่วไหลของรังสีให้แก่ผู้ปฏิบัติงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง Brynjolfsson (1989) รายงานว่าขนาดของแหล่งให้กำเนิดรังสีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของรังสีที่ใช้(dose) และอัตราการผลิต ดังสมการ

$$S = \frac{XD}{3600F} \quad (2.1)$$

โดย S คือ ขนาดของแหล่งกำเนิดรังสี (kW)

X คือ อัตราการผลิต (kg/h)

D คือ ปริมาณของรังสี (kGy)

F คือ จะขึ้นอยู่กับลักษณะการฉายรังสี รูปร่างและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปค่าของ F ที่ใช้สำหรับเครื่องเร่งอิเล็กตรอน เครื่องฉายรังสีโดยใช้โคบอลต์-60 และเครื่องกำเนิดรังสีเอ็กซ์ จะมีค่า 0.4, 0.25 และ 0.05 ตามลำดับ

หน่วยวัด (units) ของรังสีนั้นมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมและมีความแตกต่างกันโดยอัตราการสลายตัวของปริมาณไอโซโทปรังสีหนึ่ง ๆ สามารถวัดโดยใช้หน่วยวัดเรียกว่าคูรี (Curie, Ci) ซึ่ง 1 คูรี เท่ากับการสลายตัวของนิวเคลียสของไอโซโทปรังสีนั้น ๆ 3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที (disintegration / second) ต่อมาได้เปลี่ยนแปลงเป็นหน่วยใหม่ในระบบ SI คือเบคเคอเรล (Bequerel, Bq) โดย 1 Bq เท่ากับการสลายตัว 1 ครั้งต่อวินาทีดังนั้น 1 Ci จึงเท่ากับ 3.7×10^{10} Bq อย่างไรก็ตามหน่วยคูรี (Ci) ยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันเช่นในทางการแพทย์และจากการที่ไอโซโทปรังสีที่มีปริมาณมากอาจจะแผ่รังสีออกมาในความเข้มข้นน้อยได้เช่นสินแร่ยูเรเนียมแผ่รังสีแอลฟาซึ่งมีการทะลุทะลวงต่ำในการวัดปริมาณรังสีที่แผ่จากสารรังสี (exposure หรือ exposed dose) จึงสนใจรังสีแกมมาและรังสีเอ็กซ์ซึ่งมีผลกระทบต่อวัตถุหรือสิ่งมีชีวิตรอบข้างมากกว่าและมีหน่วยวัดเรียกว่าเป็นเรินต์เกน (Roentgen) โดย 1 เรินต์เกน คือปริมาณรังสีเอ็กซ์หรือรังสีแกมมาที่ทำให้อากาศ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่ความดันและอุณหภูมิมาตรฐาน (NTP) แตกตัวเกิดเป็นไอออน 2.58×10^{-4} C/kg_{air} หรือ 1 esu (electrostatic unit) จากการที่ปริมาณของรังสีบางส่วนถูกวัตถุดูดกลืนไว้เรียกว่าปริมาณรังสีที่ดูดกลืน (absorbed dose) ซึ่งมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุและชนิดของรังสีและมีการ

กำหนดว่าวัตถุที่ได้รับรังสีเอ็กซ์หรือแกมมาเมื่อมีการดูดกลืนพลังงานไว้ 100 เอร์็ก (erg-คือหน่วยพื้นฐานของพลังงาน) ต่อมวล 1 กรัมของวัตถุนั้นเรียกว่า 1 แรด (rad-radiation absorbed dose) ซึ่งเป็นหน่วยเดิม ส่วนหน่วยใหม่คือระบบ SI กำหนดเป็นเกรย์ (Grey, Gy) โดย 1 Gy เท่ากับพลังงานที่ถูกดูดกลืน 1 จูล (Joule) ต่อวัตถุ 1 กิโลกรัมและมีค่าเท่ากับ 100 แรด ในส่วนของหน่วยวัดปริมาณรังสีสำหรับบุคคลที่ได้รับ (dose equivalent) มีความซับซ้อนกว่าที่วัตถุได้รับเล็กน้อยโดยพิจารณาผลทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อซึ่งมีความแตกต่างกันไปตาม แต่ชนิดของอวัยวะของร่างกายมนุษย์ และชนิดของรังสีทั้งนี้บุคคลใดได้รับรังสีแล้วรังสีนั้นก่อให้เกิดผลทางชีววิทยาเทียบเท่ากับผลที่เกิดจากรังสีเอ็กซ์หรือแกมมา 1 แรดเรียกว่าบุคคลนั้นได้รับรังสี 1 เรม (Rem, Roentgen equivalent man) หรือเท่ากับ 100 ซีเวิร์ต (Sievert, Sv) ตามหน่วย SI ซึ่งตามปกติการได้รับรังสีของบุคคลในชีวิตประจำวันพบว่ามีค่าน้อยกว่า 1 เรมมาก หน่วยซีเวิร์ตจึงกลายเป็นหน่วยใหญ่โดยทั่วไปจึงใช้เป็นมิลลิซีเวิร์ตซึ่งเล็กลง 1,000 เท่าเช่นการเอ็กซ์เรย์กระเพาะที่โรงพยาบาลในแต่ละครั้งจะได้รับรังสีประมาณ 15 มิลลิซีเวิร์ต (สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ, 2542) การแปลงหน่วยวัดของรังสีแสดงดังนี้

การแปลงหน่วยวัดของรังสี

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{19} \text{ J}$$

$$10^6 \text{ eV} = 1 \text{ MeV}$$

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 10^7 \text{ erg/kg}$$

$$1 \text{ kGy} = 6.242 \times 10^{18} \text{ eV/kg} = 0.24 \text{ gram-calorie/kg} = 100 \text{ rad}$$

$$1 \text{ kGy} = 100 \text{ krad}$$

$$10 \text{ kGy} = 1 \text{ Mrad}$$

$$1 \text{ rem} = 0.001 \text{ Sv}$$

ในส่วนของเครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณพลังงานที่สารหรือวัตถุดูดกลืนไว้จากการได้รับรังสีเรียกว่ามาตรวัดปริมาณรังสี (dosimeter) ซึ่งมีหลายชนิดชนิดที่แพร่หลายที่สุด ได้แก่ Ficke dosimeter ซึ่งอาศัยหลักการเทียบสีตามมาตรฐานซึ่งเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของสีของสารละลายมาตรฐานในระบบ ferrous sulfate ซึ่งมาตรวัดนี้จะมีความสำคัญมากโดยใช้ในการควบคุมการทำงานเนื่องจากทุกชุดของอาหารที่ผ่านการฉายรังสีจะต้องได้รับปริมาณพลังงานเท่ากับมาตรวัดรังสีที่นิยมใช้เพื่อการควบคุมมักนิยมใช้แบบ radiochromic plastic dosimeter มีชื่อทางการค้าว่า Perplex ซึ่งเปลี่ยนสีได้เมื่อดูดกลืนรังสีในปริมาณที่ทราบแน่นอนโดยนำแผ่นพลาสติกดังกล่าวไปอ่านค่าสีที่เปลี่ยนไป (สายสนม, 2540)

Satin (1993) รายงานว่าในการฉายรังสีอาหารโดยทั่วไปปริมาณของรังสีที่ถูกดูดกลืนจะอยู่ระหว่าง 50-10,000 Gy ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและวัตถุประสงค์ของการฉายรังสีซึ่งถ้าเปรียบเทียบการใช้รังสี 10,000 Gy หรือ 10 KGy จะเทียบเท่ากับพลังงานที่ทำให้มีอนุมูลอิสระสูงถึง 2.4 องศาเซลเซียสโดยทั่วไปการประยุกต์ใช้รังสีไอออนไนส์สามารถแบ่งตามปริมาณของรังสีที่ใช้ ได้แก่ ระดับต่ำ (low dose) ใช้ปริมาณรังสีสูงถึง 1 kGy โดยใช้เพื่อยับยั้งการงอกของพืชหัวชะลอการสุก และทำลายแมลงระดับปานกลาง (medium dose) ใช้ปริมาณรังสีระหว่าง 1-10 kGy โดยใช้เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียลดปริมาณของเชื้อโรคที่ไม่สร้างสปอร์และชะลอการสุก และระดับสูง (high dose) ใช้ปริมาณรังสีระหว่าง 10 – 50 kGy โดยใช้เพื่อสเตอริไลส์อาหาร

ในส่วนของ การนำรังสีมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการแปรรูปอาหารมีคำศัพท์ที่เฉพาะดังนี้ Radicidation เป็นการฉายรังสีในระดับที่สามารถลดปริมาณของแบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์และพวกที่ก่อให้เกิดโรคจนไม่สามารถตรวจพบได้เมื่อใช้วิธีการทางจุลชีววิทยาและยังหมายความถึงการทำลายปรสิต (parasites) วิธีนี้ใช้ปริมาณรังสีต่ำ (0.1-8.0 kGy) ในการทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและจุลินทรีย์อื่นยกเว้นไวรัสและยังทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคชนิดไม่สร้างสปอร์ (ประมาณ 2-8 kGy) และวิธีนี้อาจเรียกว่า irradiation pasteurization โดยเฉพาะเมื่อต้องการเน้นในการทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค Radurization เป็นการฉายรังสีในระดับที่เพียงพอต่อการรักษาคุณภาพของอาหารโดยทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารและใช้รังสีขนาด 0.4-10.0 kGy เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ วิธีนี้เรียกได้ว่าเป็น irradiation pasteurization วิธีหนึ่ง Radappertization เป็นการถนอมอาหารโดยการใช้รังสีปริมาณสูงเพียงพอที่จะลดจำนวนและหรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ (ยกเว้นไวรัส) ให้น้อยลงซึ่งสามารถตรวจสอบด้วยวิธีเฉพาะทางจุลินทรีย์ได้ วิธีนี้จะทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียหรือทำลายสารพิษให้หมดไปและไม่ทำให้เกิดการปนเปื้อนซ้ำซ้อนโดยใช้รังสีขนาด 10 -15 kGy ในการทำให้ปลอดเชื้อวิธีนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า irradiation sterilization หรือ commercial sterility (ความหมายเดียวกันกับที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารบรรจุกระป๋อง) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถเก็บรักษาในสภาวะ unala (Barbosa-Canovas et al., 1998)

คณะกรรมการผู้เชี่ยวชาญร่วมเกี่ยวกับความปลอดภัยของอาหารฉายรังสี (The Joint Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Foods) จากองค์การอนามัยโลก (WHO) องค์การอาหารและการเกษตร (FAO) และ International Atomic Energy Agency (IAEA) ได้ประกาศรับรองความปลอดภัยของอาหารฉายรังสีในปี ค.ศ. 1970 และในปี ค.ศ. 1980 ได้สรุปว่าการฉายรังสีอาหารโดยใช้ปริมาณรังสีโดยเฉลี่ย 10 kGy จะไม่มีผลทำให้เกิดอันตรายจากสารพิษที่อาจถูกสร้างขึ้นและไม่มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการรวมทั้งปราศจากอันตรายที่อาจเกิดเนื่องจากจุลินทรีย์ โดยแท้จริงแล้วปริมาณรังสีขนาด 10 kGy อาจไม่ใช่เป็นปริมาณที่สูงสุดที่จะเป็นหลักประกันความปลอดภัยต่อการบริโภคอาหารฉายรังสีและได้มีการทดสอบความปลอดภัยของอาหารที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณดังกล่าวหลายครั้ง (Loaharanu, 1995) แต่เมื่อตรวจสอบแล้วพบว่ามีความปลอดภัยใน

ส่วนของการศึกษาการใช้รังสีปริมาณสูงในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารในประเทศสหรัฐอเมริกา มีรายงานว่า การใช้ปริมาณรังสีที่สูงถึง 58 kGy จะไม่มีผลต่อคุณภาพของอาหารปริมาณของรังสีที่แนะนำใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการฉายรังสี

กระบวนการ	ปริมาณรังสี (kGy)
ยับยั้งการงอก	0.05 – 0.15
ชะลอการสุกของผลไม้ชนิดต่างๆ	0.20 – 0.40
ทำลายแมลง	0.20 – 1.00
ทำลายปรสิต	0.03 – 6.00
ยืดอายุการเก็บรักษาโดยการลดปริมาณจุลินทรีย์	0.50 – 5.00
ทำลายเชื้อโรคที่สร้างสปอร์	3.00 – 10.00
สเตอริไลเซชัน	ไม่เกิน 50.00

ที่มา : Hackwood (1991)ปรับข้อมูลบางส่วนจาก สุรศักดิ์ (2553)

2.3.2 ประโยชน์ของการโดสรังสีในผลไม้

2.3.2.1 ลดการสูญเสียของการเก็บรักษาของผลไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งรังสีมีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสีย

2.3.2.2สร้างความมั่นใจทางด้านความปลอดภัยจากเชื้อโรค พยาธิ และสารเคมีรังสีทำลายจุลินทรีย์แมลง ที่เป็นสาเหตุให้เกิดโรคได้

2.3.2.3 ประหยัดพลังงาน

2.3.2.4สามารถควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงระยะบริบูรณ์ (maturation) การชราภาพ (senescence) รวมทั้งการงอก (sprouting) ของ

ผักและผลไม้สด ไม่ทำให้สภาพอาหารเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ยังคงรักษาสภาพให้นำรับประทาน

2.3.2.5 ทำให้อาหารมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐาน

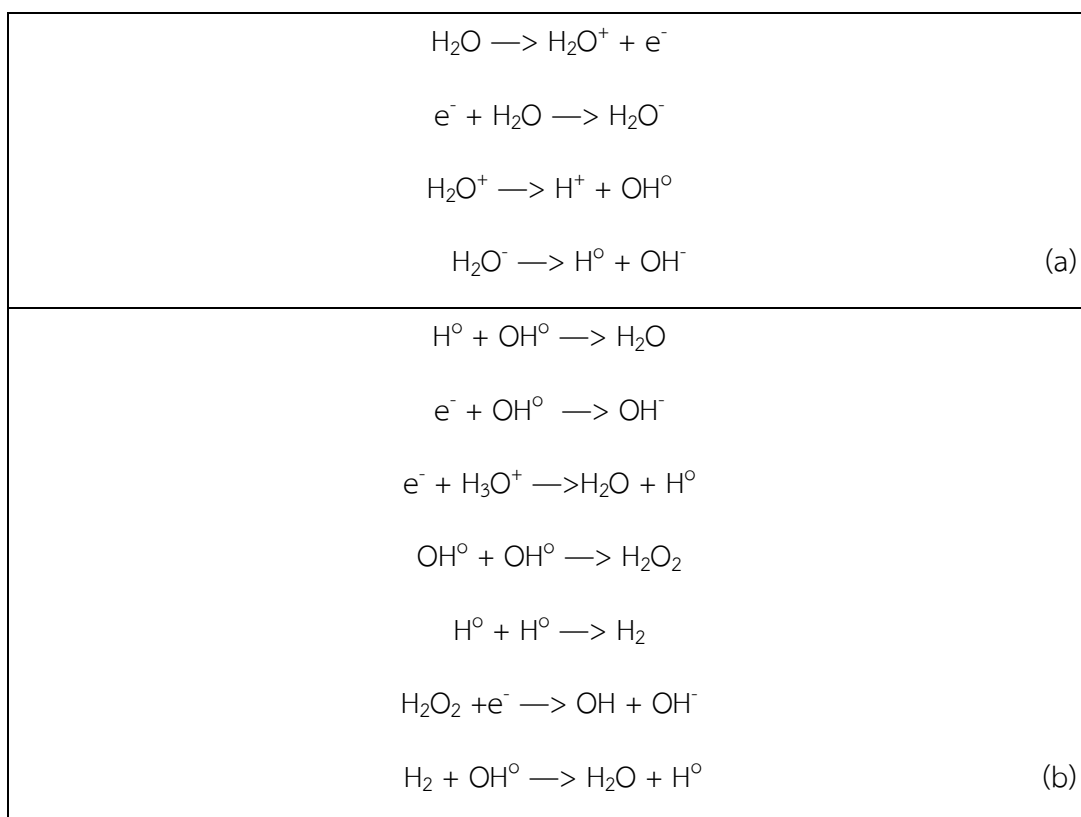
2.3.2.6 เป็นทางเลือกการถนอมอาหารอีกวิธี (สุรศักดิ์, 2553)

2.3.3 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

การเปลี่ยนแปลงของทางเคมีของผลไม้หรือวัตถุดิบที่โตสร้างสีอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงโดยตรงซึ่งพลังงานจากรังสีจะทำให้เกิดการสลายตัวของพันธะเคมีโดยอาจทำให้โมเลกุลนั้นอยู่ในสภาวะกระตุ้น (excited State) หรือเกิดการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) และการเปลี่ยนแปลงทางอ้อมซึ่งเกิดจากการที่ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำเนื่องมาจากรังสี (radiolytic products) ไปทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับสารอื่น ๆ ภายในผลไม้ (Rosenthal, 1992) ซึ่งในผลไม้ส่วนใหญ่มีความชื้นสูงเมื่อได้รับรังสีไอออนไนส์จะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนได้เนื่องจากอิเล็กตรอนหลุดออกจากโมเลกุลและเกิดการแตกของพันธะและผลิตภัณฑ์ที่ได้จะกลับมารวมตัวกันได้เป็นไฮโดรเจน (hydrogen) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H₂O₂) อนุมูลไฮโดรเจน (hydrogen radicals, H[•]) อนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radical, OH[•]) และอนุมูลไฮโดรเพอร์ออกซิล (hydroperoxyl radicals, HO₂[•]) การแตกตัวเป็นไอออนของน้ำแสดงดังภาพที่ 3(a) และการรวมตัวกันของอนุมูลอิสระแสดงดังภาพที่ 3(b) จากภาพที่ 3(a) เมื่อเกิด H₂O⁺ (water cation radical) จากการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำจะเกิดปฏิกิริยาปลดปล่อยโปรตอนให้กับโมเลกุลของน้ำได้อีกดังสมการ(สายสนม,2540)



และจากปฏิกิริยาดังกล่าวทำได้ H₃O⁺ (solvated/hydrated proton, hydronium ion) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวของอนุมูลอิสระต่อไปซึ่งจะเห็นว่าผลของปฏิกิริยาในภาพ 3(b) จะเกิดสารที่เสถียรขึ้น 2 ชนิดคือ H₂O₂ และ H₂ แต่ก็ยังเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้อีกทำให้มีปริมาณของสารทั้งสองชนิดเกิดขึ้นต่ำแม้ว่าจะใช้รังสีในปริมาณสูงจึงทำให้สามารถใช้บ่อน้ำเป็นเกาะกำบังรังสีได้ (สายสนม,2540)



รูปที่ 2.3 a) เป็นการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำ b) การรวมตัวกันของอนุมูลอิสระ

ที่มา : Fellow (2000) a และ สายสนม (2540) b

การโดสรังสีผลไม้อาจจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในผลไม้ได้ซึ่งโดยหลักการแล้วจะต้องทำให้เกิดปฏิกิริยาน้อยที่สุดและสามารถรักษาคุณภาพรวมทั้งหลีกเลี่ยงการเกิดกลิ่นรสและรสชาติผิดปกติที่อาจเกิดขึ้น รังสีจะทำปฏิกิริยากับวัตถุดิบหรือผลไม้ที่นำมาโดสรังสีโดยถ่ายทอดพลังงานไปยังอิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนดังกล่าวอยู่ในสภาวะกระตุ้น (excited state) ถ้าพลังงานที่ถูกถ่ายทอดสูงมากพออิเล็กตรอนที่มีประจุลบจะสามารถออกมาจากโมเลกุลและกลายเป็นไอออนประจุบวก(positive ion) ได้การโดสรังสีทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนในแต่ละครั้งเมื่อเกิดการกระตุ้น 2 ครั้ง แต่เนื่องจากการแตกตัวเป็นไอออนจะเกิดขึ้นประมาณ 1000 ครั้ง ซึ่งจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้นได้ดังนั้นผลที่เกิดขึ้นจากการใช้รังสีต่อสิ่งมีชีวิตจึงอาจจะกล่าวได้ว่ามีสาเหตุมาจากการแตกตัวเป็นไอออนของโมเลกุล (Moseley, 1989)

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 ศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวผลลองกอง

การศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวเป็นวิธีการเลือกช่วงเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลลองกองได้ โดยการนำตัวอย่างลองกองที่อายุต่างๆ นับจากวันที่ดอกแรกบาน นำมาหาช่วงอายุในการเก็บเกี่ยวที่ดีที่สุดโดยใช้วิธีการต่าง ๆ ประกอบด้วย วิเคราะห์ค่าไม่โครเวฟ การวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมสีผิวผลลองกอง วิเคราะห์ค่าประจุไฟฟ้าและวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่อกรด (TSS:TA) ในการทดลองครั้งนี้ใช้ผลลองกองโดยการนับอายุของช่อลองกองจากการออกดอกแรกที่บาน โดยการผูกป้ายช่อลองกองที่ดอกแรกบาน ซึ่งนับเป็นวันที่มีอายุ 1 day จำนวนทั้งหมด ช่อในสวนลองกองเดียวกันที่อำเภอตาชี จังหวัดยะลา

3.1.1 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของลองกอง (TSS:TA)

3.1.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เครื่องมือ Hand Refractometer
- 2) บีกเกอร์
- 3) กรวย
- 4) อุปกรณ์ไทเทรตสารละลาย
- 5) สารPhenolphthalein เข้มข้น 0.0938 ml เป็น indicator
- 6) น้ำกลั่น

3.1.1.2 วิธีการทดลอง

1) นำผลลองกองอายุ 85-120 day มาคั้นน้ำแล้วกรองด้วยผ้าขาวบางให้ได้ปริมาณ 2.5 ml นำไปทดสอบ ความหวานของผลลองกองในแต่ละอายุ โดยวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Soluble Solid: TSS) ด้วยเครื่องมือ Hand Refractometer ค่าที่ได้มีหน่วยเป็นองศาบริกส์ ($^{\circ}\text{Bx}$) หรือ %TSS

2) วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (Titratable Acidity: TA) โดยแบ่งน้ำลองกองจากข้อ 1 ขนาด 2.4 ml มาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide Solution) โดยใช้ Phenolphthalein เข้มข้น 0.0938 N เป็น Indicator แล้วคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก (Citric Acid) ดังสมการที่

$$\% \text{citric} = \frac{N \text{ base} \times \text{ml base} \times \text{meq.Wt.of citric acid} \times 100}{\text{ml of sample}} \quad (3.1)$$

โดย	N base	คือ Normality ของสารละลาย
	ml base	คือ ปริมาณของ NaOH ที่ใช้ในการไตเตรท
	ml of sample	คือ ปริมาตรของน้ำคั้น
	meq.Wt of citric acid	คือ 0.06404

3) คำนวณปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรด (TSS:TA) ทั้งนี้เพื่อที่จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลลองกอง (พวงทิพย์ และคณะ, 2549)

3.1.2 ศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวลองกองด้วยไมโครเวฟ (Microwave, MW)

ในการวิเคราะห์ข้อมูลไมโครเวฟของผิวผลลองกอง โดยแบ่งเป็นสามวิธี คือ วัดที่ผิวผลลองกองโดยไม่ปอกเปลือก วัดที่ผิวผลลองกองที่ปอกเปลือก และคั้นน้ำลองกองโดยมีการทดลองดังนี้

3.1.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) Microwave optics PASCO scientific รุ่น WA-9314B
- 2) แก้วพลาสติกขนาดเล็กและแก้ว
- 3) ผ้าขาวบาง
- 4) มีดขนาดเล็ก

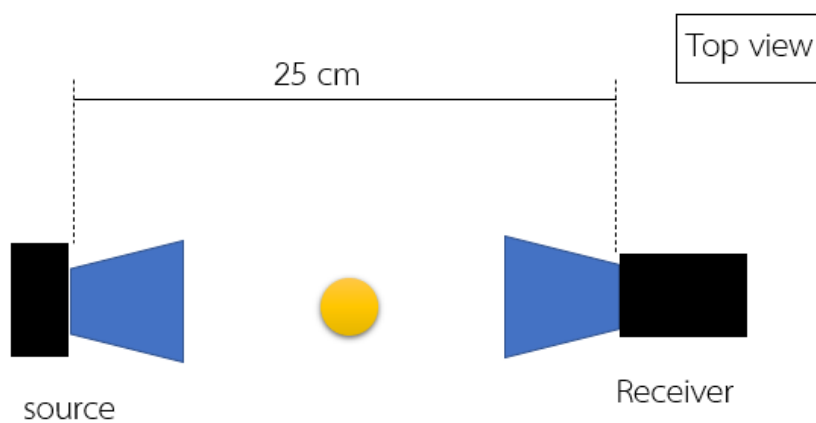


รูปที่ 3.1 เครื่องมือ microwave optics

3.1.2.2 ขั้นตอนการวัด

1) เตรียมเครื่อง microwave optics ดังรูปที่ 3.1 โดยตั้งตัวส่งสัญญาณ และตัวรับสัญญาณห่างกัน 25 cm วางแก้วพลาสติกขนาดเล็กตรงกลางอุปกรณ์ แล้ววัดค่าพื้นหลัง (background) บันทึกเป็นค่า background

2) นำผลลองกองอายุ 85-120 day อายุละ 20-30 ผล โดยไม่ปอกเปลือก นำทีละลูกไปวางในแก้วพลาสติกเล็ก แล้วไปวางตรงกลางเครื่องไมโครเวฟ ทำซ้ำ 3 รอบต่อลูก บันทึกเป็นค่า Intensity ในกรณีไม่ปอกเปลือก



รูปที่ 3.2 มุมบนของเครื่องมือ Microwave optics และการจัดอุปกรณ์

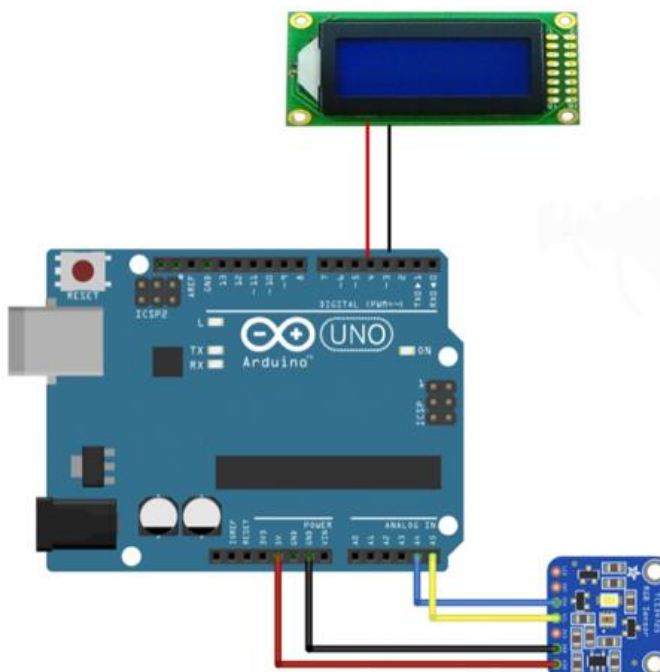
3) นำผลลองกองอายุ 85-120 day อายุละ 20-30 ผล จากข้อที่ 2) มาปอกเปลือกผลลองกองแล้วนำทีละลูกไปวางในแก้วพลาสติกเล็ก แล้วไปวางตรงกลางเครื่องไมโครเวฟ ทำซ้ำ 3 รอบต่อลูก บันทึกเป็นค่า Intensity ในกรณีปอกเปลือก

4) นำผลลองกองอายุ 85-120 day อายุละ 20-30 ผล จากข้อที่ 3) นำมาคั้นน้ำแล้วกรองด้วยผ้าขาวบางจากนั้นนำน้ำลองกองใส่ในแก้วพลาสติกขนาดเล็ก แล้วไปวางตรงกลางเครื่องไมโครเวฟ ทำซ้ำ 3 รอบต่อลูกที่คั้นน้ำได้ บันทึกเป็นค่า Intensity ในกรณีคั้นน้ำลองกอง

3.1.3 การวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมสีผิวของผลลองกอง ด้วยเครื่องเซนเซอร์ RGB เพื่อกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวองกอง

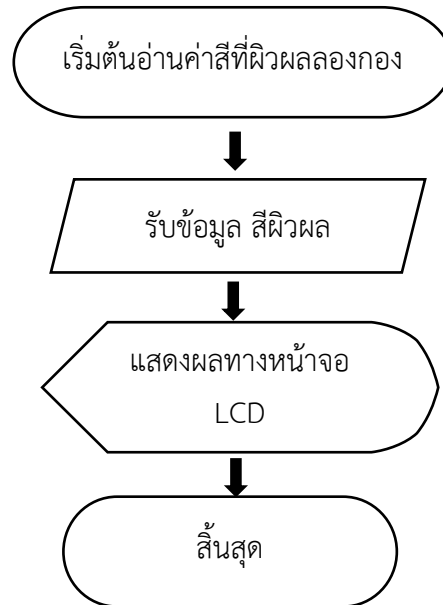
3.1.1.1 เครื่องมือวัดสีผิวผลลองกองด้วยเครื่องเซนเซอร์ RGB ประกอบด้วย

1) วงจร Arduino ที่เชื่อมต่อกับ RGB และ จอ LCD

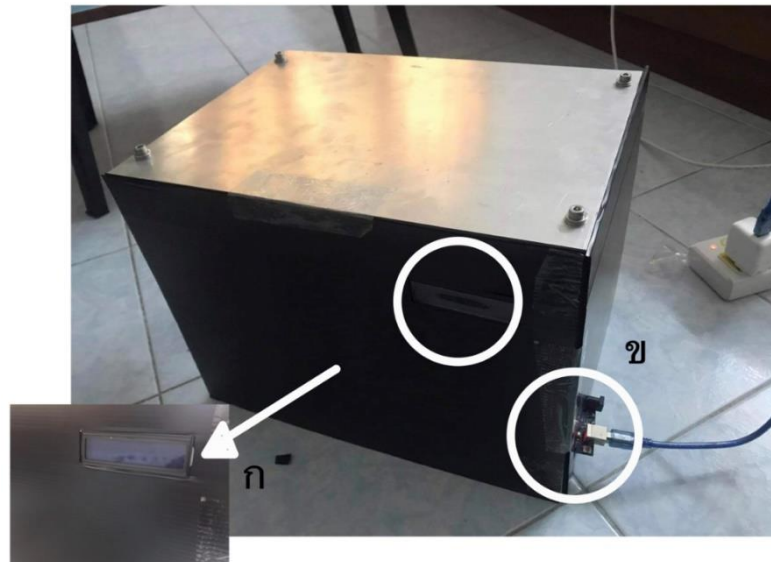


รูปที่ 3.3 การต่อวงจร Arduino กับจอ LCD และ เซนเซอร์ TSC230

2) กระบวนการทำงานของโปรแกรมในเครื่องเซนเซอร์ RGB



3) โครงสร้างภายนอกเป็นกล่องทึบเพื่อกันแสงที่จะเข้ามายังตัวเซนเซอร์



รูปที่ 3.4 โครงสร้างภายนอกของเครื่องมือ เซนเซอร์ Red Green Blu (RGB) ก. จอ LCD เป็นจอแสดงผลของเซนเซอร์อ่านค่าสีได้ ข. ปุ่มกดรีเซ็ตและจุดต่อแหล่งจ่ายไฟ



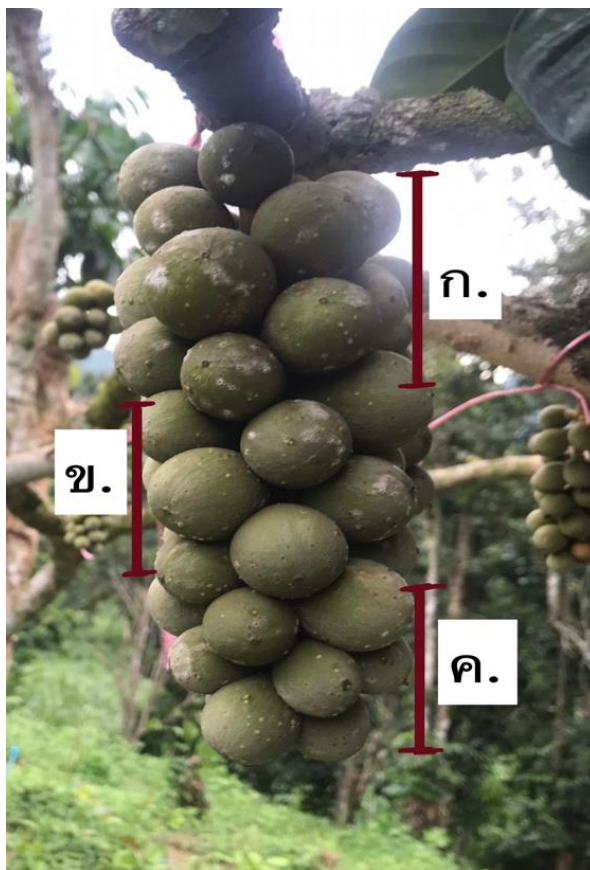
รูปที่ 3.5 โครงสร้างภายนอก ก. จุดวางผลลองกองสำหรับวิเคราะห์สีผิว

3.1.1.2 ขั้นตอนการวัด

1) หาค่า (background) โดยการเตรียมเครื่องเซนเซอร์ RGB เพื่อวัดสีผิวผลลองกองโดยการกดปุ่มรีเซ็ต 1 ครั้ง เพื่อให้เครื่องมีอ่านค่า (background) จากนั้นบันทึกค่าพื้นหลัง (background) แล้วบันทึกข้อมูลเก็บไว้

2) นำผลลองกองอายุ 85 day ไปวางตรงกลางเซนเซอร์ RGB แล้วปิดประตูของอุปกรณ์เพื่อไม่ให้มีแสงลอดเข้ามาในตัวเซนเซอร์ได้ โดยเลือกวิเคราะห์ 3 บริเวณประกอบด้วย ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของช่อลองกองดังรูปที่ 3.5 จากนั้นทำซ้ำตำแหน่งละ 3 ครั้ง

3) นำผลลองกองอายุ 86-120 day วิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 2) แล้วบันทึกข้อมูล



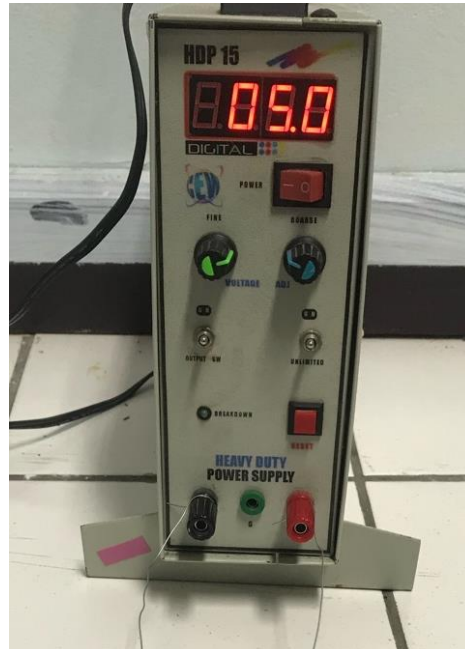
รูปที่ 3.6 ตำแหน่งวิเคราะห์ผลลองกองก. ส่วนบนของผลลองกอง ข.ส่วนกลางของผลลองกอง
ค.ส่วนล่างของผลลองกอง

3.1.4 วิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าของผิวผลลองกองเพื่อกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวลองกอง

การวิเคราะห์ค่าประจุไฟฟ้าโดยใช้เครื่องมือมัลติมิเตอร์ เพื่อวัดค่าประจุไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถประจุได้ในผลลองกองซึ่งเป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลายตัวอย่าง มีวิธีการทดลองดังนี้

3.1.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาด 5 V



รูปที่ 3.7 power supply แหล่งจ่ายไฟ

2) มัลติมิเตอร์digital multimeter sanwacd800aผลิตประเทศ ญี่ปุ่น

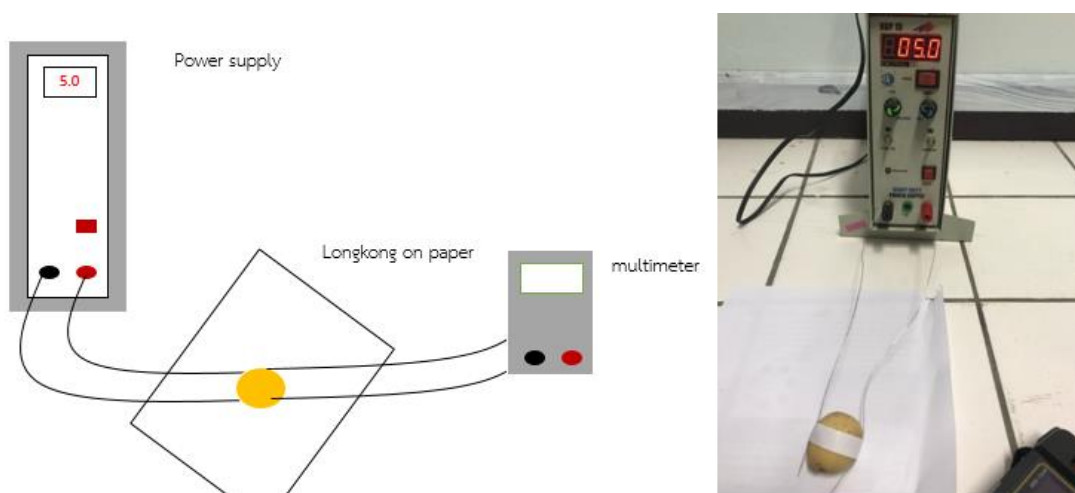


รูปที่ 3.8 มัลติมิเตอร์ sanwa digital

3) สายไฟ

3.1.2.2 ขั้นตอนการวัด

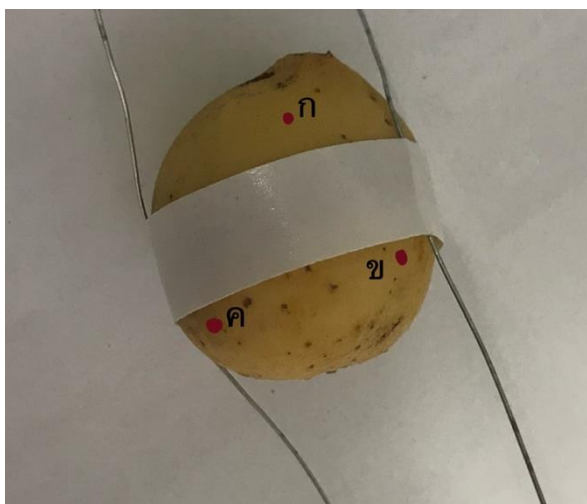
1) นำผลลองกองในแต่ละส่วนของช่อลองกอง ได้แก่ ส่วนบน ส่วนกลาง และ ส่วนล่างที่มีอายุ 85 day โดยนำผลลองกองมาต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟ (power supply) ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.9 การต่อแหล่งจ่ายไฟกับผลลองกองต่อแบบอนุกรม

2) เปิดแหล่งจ่ายไฟ power supply และตั้งค่าแหล่งจ่ายไฟ โดยปรับค่าความต่างศักย์ที่ 5 V แล้วนำผลลองกองมาต่ออนุกรมกับผลลองกองดังรูปที่ 3.9 จากนั้นนำมัลติมิเตอร์ ไปวัดที่ผิวลองกองเพื่อดูค่า C จากจอของมัลติมิเตอร์ โดยการอ่านค่า C ที่จุดสูงสุดแล้วจะค่อยๆ ลดลง โดยใช้เวลาประมาณ 10-20 วินาทีโดยประมาณ บันทึกประจุนสูงสุดที่ลองกองสามารถประจุได้ วัดโดยตำแหน่งละ 3 ซ้ำ

3) นำผลลองกองอายุ 86-120 day มาวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 2) แล้วนำมาวิเคราะห์ผล



รูปที่ 3.10 ตำแหน่งของการวัดในหนึ่งลูกผลลองกอง ก. ตำแหน่งที่ 1 ข. ตำแหน่งที่ 2 ค. ตำแหน่งที่ 3

3.2 ศึกษาการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวโดยการฉายรังสี

3.2.1 อุปกรณ์การทดลอง

- 1) ถังพลาสติก บรรจุผลลองกอง
- 2) ปากกาคำกับเลข (ปากกาเพอร์มาเนนท์) เพื่อกำกับอายุและความชื้นที่ฉายรังสี
- 3) เครื่องฉายรังสี Co-60
- 4) เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 5) ตัววัดอุณหภูมิแบบปรอทเพื่อควบคุมอุณหภูมิในห้องเก็บตัวอย่าง

3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

1) นำผลลองกองอายุ 91 95 และ 105 day นำแต่ละอายุนำมาบรรจุใส่ถังพลาสติก โดยเลือกจากส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของช่อลองกองตำแหน่งละ 1 ผลต่อหนึ่งอายุ มาใส่ในถุงซิปล โดยจะบรรจุอายุละ 10 ถัง ทั้งหมดจะได้ 30 ถัง

2) แล้วนำผลลองกอง อายุ 91 95 และ 105 day อายุละ 1 ถัง ไปบรรจุในกล่อง 1 กล่องโดยยกกำกับความชื้นของโดสรังสีที่ 100Gy

3) จากนั้นนำผลลองกอง อายุ 91 95 และ 105 day อายุละ 1 ถัง ไปบรรจุในกล่อง 1 กล่อง เช่นเดียวกับข้อ 2) โดยกำกับความชื้นของโดสรังสีแต่ละกล่อง 200 300 400 500 600 700 800 900 Gy และ Control ตามลำดับ

4) นำกล่องที่กำกับโดสรังสีที่ 100-900 Gy ไปโดสรังสี Co-60 ที่ศูนย์สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน)

5) หลังจากฉายรังสีนำลองกอง 100-900 Gy และ Control นำไปเก็บห้องสังเกตการณ์โดยรักษาอุณหภูมิที่ 18 องศาเซลเซียส

6) บันทึกโดยดูสีที่เปลี่ยนไปขอผลลองกอง โดยสังเกตเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงเช้า เวลา 9:00 ช่วงบ่าย 16:00

บทที่ 4 ผลการวิจัย และวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวผลองกอง

การศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวผลองกองนั้นมีหลายวิธีด้วยกัน โดยการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของผลองกอง (TSS:TA) การศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวผลองกองด้วยไมโครเวฟ (Microwave, MW) การวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมสีผิวของผลองกองด้วยเครื่องเซนเซอร์ RGB เพื่อกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลองกองและวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าของผิวผลองกองเพื่อกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวผลองกอง ในส่วนการยืดอายุของผลองกองโดยการฉายรังสี ได้แก่

4.1.1 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของผลองกอง (TSS:TA)

ในการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีนั้นได้ใช้ผลองกองอายุ 85 86 88 89 91 92 93 95 96 98 99 100 102 103 105 106 109 110 112 113 114 116 117 119 และ 120 day นับจากวันแรกที่ดอกบาน โดยหาความหวานของผลองกองในแต่ละอายุ โดยวัดปริมาณของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Soluble Solid: TSS) ด้วยเครื่องมือ Hand Refractometer ค่าที่ได้มีหน่วยเป็นองศาบริกส์ (°Bx) หรือ %TSS และวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (Titratable Acidity: TA) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลคุณสมบัติทางเคมี

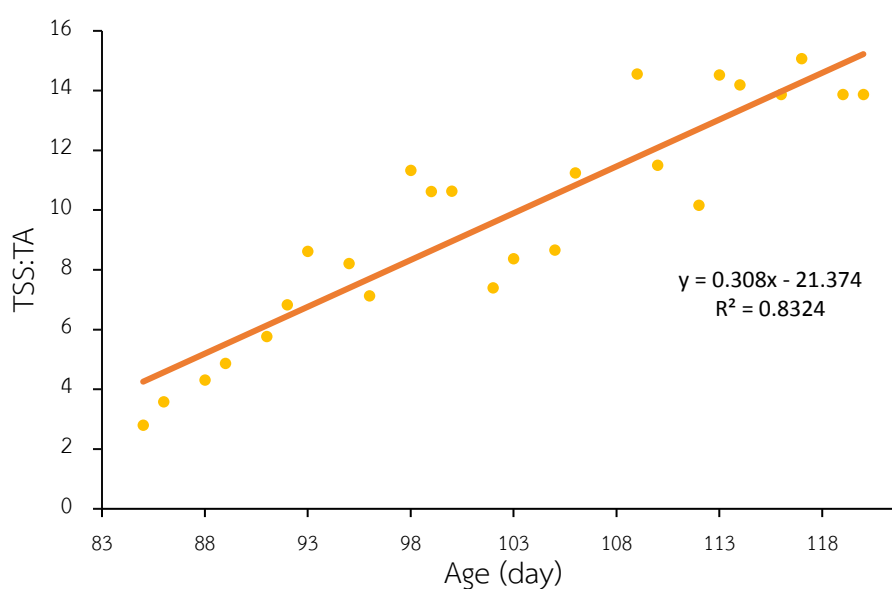
TSS	TA	TSS:TA
5.6	2.00	2.80
4.7	1.30	3.59
6.1	1.42	4.31
7.3	1.50	4.87
7.4	1.28	5.77
11.7	1.71	6.83
11.2	1.30	8.62
7.5	0.91	8.22
10.7	1.50	7.13
10.2	0.90	11.33
8.5	0.80	10.63
8.2	0.77	10.64
7.4	1.00	7.40
6.7	0.80	8.38
9.2	1.06	8.67

TSS	TA	TSS:TA
13.0	1.16	11.25
13.1	0.90	14.56
13.0	1.13	11.50
13.5	1.33	10.17
12.2	0.84	14.53
10.9	0.77	14.19
12.2	0.88	13.87
11.4	0.76	15.07
10.1	0.73	13.87
12.9	0.93	13.87

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลลองกอง

Age (day)	TSS:TA
85	2.80
86	3.59
88	4.31
89	4.87
91	5.77
92	6.83
93	8.62
95	8.22
96	7.13
98	11.33
99	10.63
100	10.64
102	7.40
103	8.38
105	8.67
106	11.25
109	14.56
110	11.50
112	10.17

Age (day)	TSS:TA
113	14.53
114	14.19
116	13.87
117	15.07
119	13.87
120	13.87



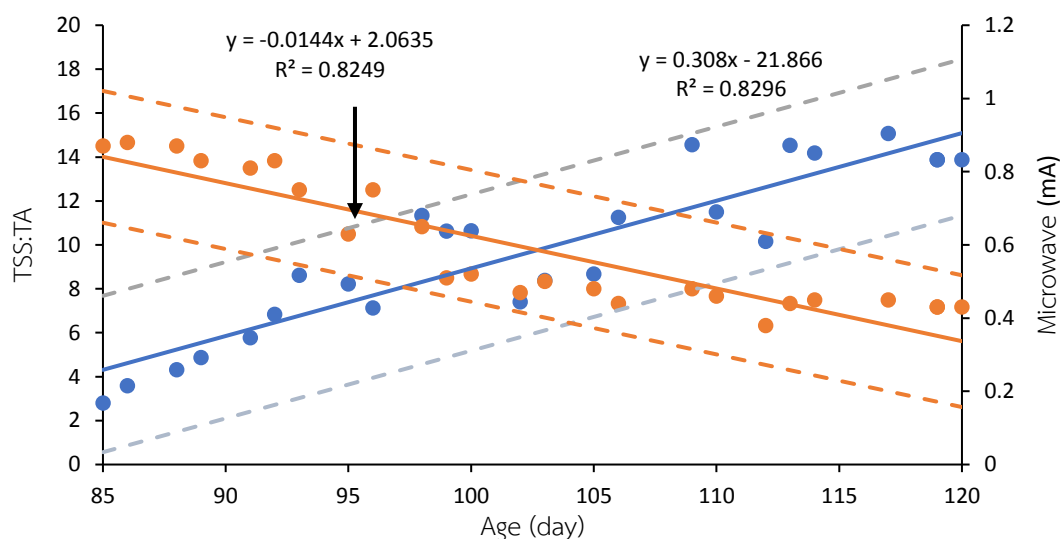
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลลองกอง

การวิเคราะห์โดยหาคุณสมบัติทางเคมี (TSS: TA) ในการหาระยะการเก็บเกี่ยวของผลลองกอง จะเห็นได้ว่าระยะที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวเพื่อส่งตลาดไกลสวนมีค่า TSS: TA อยู่ในช่วง 6.13-9.86 โดยมีอายุอยู่ในช่วง 91-103 day นับจากดอกแรกบาน ลักษณะในช่วงนี้จะมีสีเหลืองปนเขียวเล็กน้อย รสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย เหมาะในการส่งตลาดไกลสวน และสำหรับส่งตลาดใกล้สวน TSS: TA มีค่า 9.86-13.55 โดยมีอายุอยู่ในช่วง 103-115 day จากดอกแรกบาน ลักษณะในช่วงนี้ผลลองกองจะมีสีเหลือง กลิ่นหอม และรสหวาน เหมาะในการส่งใกล้ๆ สวน (Niksoh. N., et al. 2021 and Kaewtubtim, P. et al. 2007)

4.1.2 ศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวลองกองด้วยความเข้มของคลื่นไมโครเวฟที่ส่งผ่านผลลองกองได้ (Microwave, MW)

ตารางที่ 4.3 ดัชนีการเก็บเกี่ยวลองกองโดยวิเคราะห์ความเข้มข้นของคลีนไมโครเวฟที่ส่งผ่านผล
ลองกองแบบไม่ปอกเปลือก

Age (day)	Microwave (mA)
85	0.87 ± 0.08
86	0.88 ± 0.07
88	0.87 ± 0.10
89	0.83 ± 0.13
91	0.81 ± 0.10
92	0.83 ± 0.09
93	0.75 ± 0.11
95	0.63 ± 0.16
96	0.75 ± 0.12
98	0.65 ± 0.11
99	0.51 ± 0.08
100	0.52 ± 0.06
102	0.47 ± 0.07
103	0.5 ± 0.06
105	0.48 ± 0.04
106	0.44 ± 0.06
109	0.48 ± 0.06
110	0.46 ± 0.11
112	0.38 ± 0.07
113	0.44 ± 0.06
114	0.45 ± 0.11
119	0.43 ± 0.07
117	0.45 ± 0.11
119	0.43 ± 0.09
120	0.43 ± 0.07



รูปที่ 4.2 ผลดัชนีของลองกองโดยวิเคราะห์ความเข้มข้นคลีนไมโครเวฟที่ส่งผ่านผลลองกอง

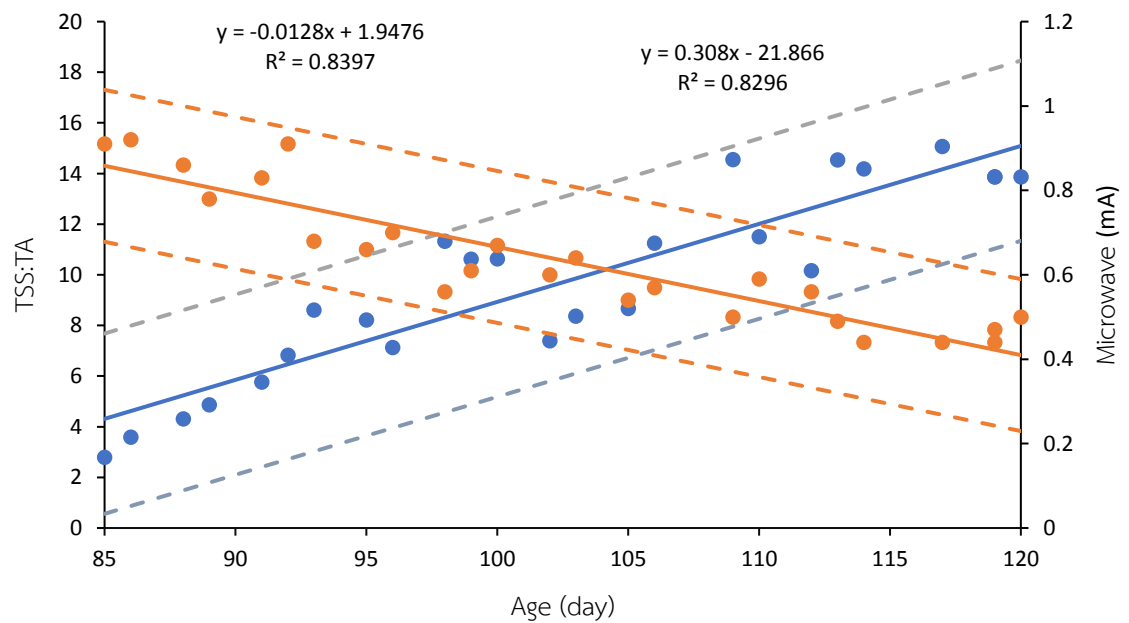
แบบไม่ปอกเปลือก

การศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมโดยใช้วิธีหาค่าความเข้มข้นของคลีนไมโครเวฟ (MW) ที่ผ่านผลลองกองแบบไม่ปอกเปลือกในแต่ละช่วงอายุที่เหมาะสมในการส่งตลาดไกลสวนเมื่อค่าความเข้มข้นของคลีนไมโครเวฟ (MW) อยู่ในช่วง 0.75-0.58 mA อยู่ในช่วงอายุ 91-103 day นับวันจากดอกบาน และอายุที่เหมาะสมในการส่งตลาดใกล้สวน ความเข้มข้นของคลีนไมโครเวฟ (MW) อยู่ในช่วง 0.58-0.41 mA อยู่ในช่วงอายุ 103-115 day นับวันจากดอกบาน

ตารางที่ 4.4 ดัชนีการเก็บเกี่ยวลองกองโดยวิเคราะห์ความเข้มข้นของคลีนไมโครเวฟส่งผ่านผลลองกองแบบปอกเปลือก

Age (day)	Microwave (mA)
85	0.87 ± 0.05
86	0.88 ± 0.06
88	0.87 ± 0.07
89	0.83 ± 0.13
91	0.81 ± 0.08
92	0.83 ± 0.06
93	0.75 ± 0.11
95	0.63 ± 0.13

Age (day)	Microwave (mA)
96	0.75 ± 0.11
98	0.65 ± 0.09
99	0.51 ± 0.12
100	0.52 ± 0.09
102	0.47 ± 0.08
103	0.5 ± 0.12
105	0.48 ± 0.08
106	0.44 ± 0.08
109	0.48 ± 0.09
110	0.46 ± 0.12
112	0.38 ± 0.11
113	0.44 ± 0.13
114	0.45 ± 0.04
119	0.43 ± 0.03
117	0.45 ± 0.05
119	0.43 ± 0.04
120	0.43 ± 0.05

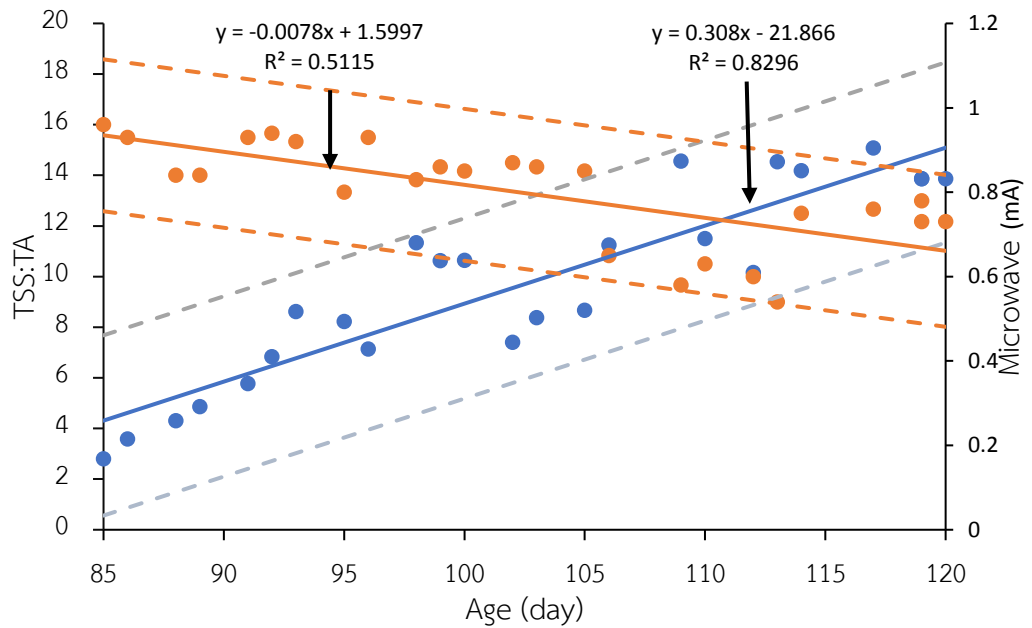


รูปที่ 4.3 ดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลองกองโดยวิเคราะห์ความเข้มข้นของคลีนไมโครเวฟที่ส่งผ่านผลองกองแบบปกเปลือก

การศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมโดยใช้วิธีหาค่าความเข้มข้นของคลื่นไมโครเวฟ (MW) ที่ผ่านผลลองกองแบบปอกเปลือกในแต่ละช่วงอายุที่เหมาะสมในการส่งตลาดไกลสวนเมื่อค่าความเข้มข้นของคลื่นไมโครเวฟ (MW) อยู่ในช่วง 0.78-0.63 mA อยู่ในช่วงอายุ 91-103 day นับวันจากดอกบาน และอายุที่เหมาะสมในการส่งตลาดใกล้สวน ความเข้มข้นของคลื่นไมโครเวฟ (MW) อยู่ในช่วง 0.63-0.48 mA อยู่ในช่วงอายุ 103-115 day นับวันจากดอกบาน จะเห็นได้ว่ามีค่าความเข้มข้นของคลื่นไมโครเวฟในกรณีปอกเปลือกมีความคล้าย และสอดคล้องกับ (Niksoh. N., et al. 2021)

ตารางที่ 4.5 ดัชนีการเก็บเกี่ยวลองกองโดยวิเคราะห์ความเข้มข้นของคลื่นไมโครเวฟที่ส่งผ่านน้ำลองกอง

Age (day)	Microwave (mA)
85	0.96 ± 0.08
86	0.93 ± 0.06
88	0.84 ± 0.04
89	0.84 ± 0.05
91	0.93 ± 0.03
92	0.94 ± 0.03
93	0.92 ± 0.05
95	0.8 ± 0.10
96	0.93 ± 0.03
98	0.83 ± 0.05
99	0.86 ± 0.07
100	0.85 ± 0.06
102	0.87 ± 0.07
103	0.86 ± 0.07
105	0.85 ± 0.07
106	0.65 ± 0.10
109	0.58 ± 0.11
110	0.63 ± 0.08
112	0.6 ± 0.10
113	0.54 ± 0.11
114	0.75 ± 0.07
119	0.78 ± 0.04
117	0.76 ± 0.03
119	0.73 ± 0.03
120	0.73 ± 0.03



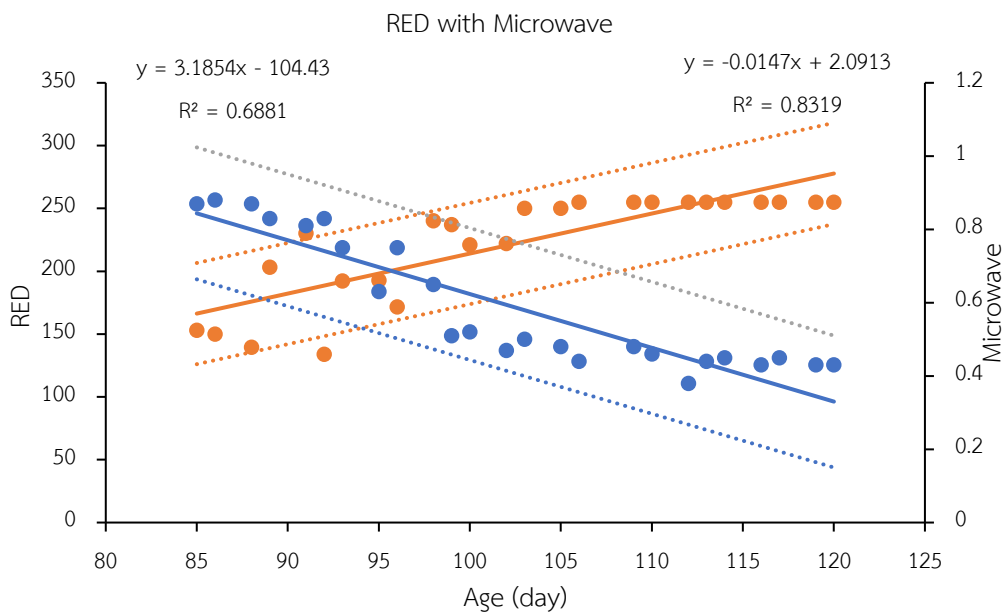
รูปที่ 4.4 ดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลองกองโดยวิเคราะห์ความเข้มข้นของคลอรีนไมโครเวฟที่ส่งผ่านน้ำองกอง

การศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมโดยใช้วิธีหาค่าความเข้มข้นของคลอรีนไมโครเวฟ (MW) ที่ผ่านผลองกองแบบคั้นน้ำในแต่ละช่วงอายุที่เหมาะสมในการส่งตลาดไกลสวนเมื่อค่าความเข้มข้นของคลอรีนไมโครเวฟ (MW) อยู่ในช่วง 0.89-0.79 mA อยู่ในช่วงอายุ 91-103 day นับวันจากดอกบาน และอายุที่เหมาะสมในการส่งตลาดใกล้สวน ความเข้มข้นของคลอรีนไมโครเวฟ (MW) อยู่ในช่วง 0.79-0.70 mA อยู่ในช่วงอายุ 103-115 day นับวันจากดอกบาน จะเห็นได้ว่ามีค่าความเข้มข้นของคลอรีนไมโครเวฟในกรณีคั้นน้ำ มีความเชื่อมโยงและสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Niksoh. N., et al. 2021)

4.1.3 การวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมสีผิวของผลองกองด้วยเครื่องเซนเซอร์ RGB เพื่อกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวองกอง

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมสีแดง (Spectrum Red) เทียบกับอายุของลองกอง

Age (day)	Spectrum Red
85	153.15 ± 50.43
86	149.95 ± 49.69
88	139.45 ± 81.58
89	203.15 ± 45.96
91	230.15 ± 33.29
92	134 ± 55.36
93	192.4 ± 77.96
95	192.85 ± 64.58
96	171.75 ± 100.03
98	240.25 ± 27.26
99	237.1 ± 40.63
100	220.95 ± 69.78
102	222.05 ± 63.49
103	250.15 ± 11.70
105	250.2 ± 11.76
106	255 ± 0
109	255 ± 0
110	255 ± 0
112	255 ± 0
113	255 ± 0
114	255 ± 0
119	255 ± 0
117	255 ± 0
119	255 ± 0
120	255 ± 0



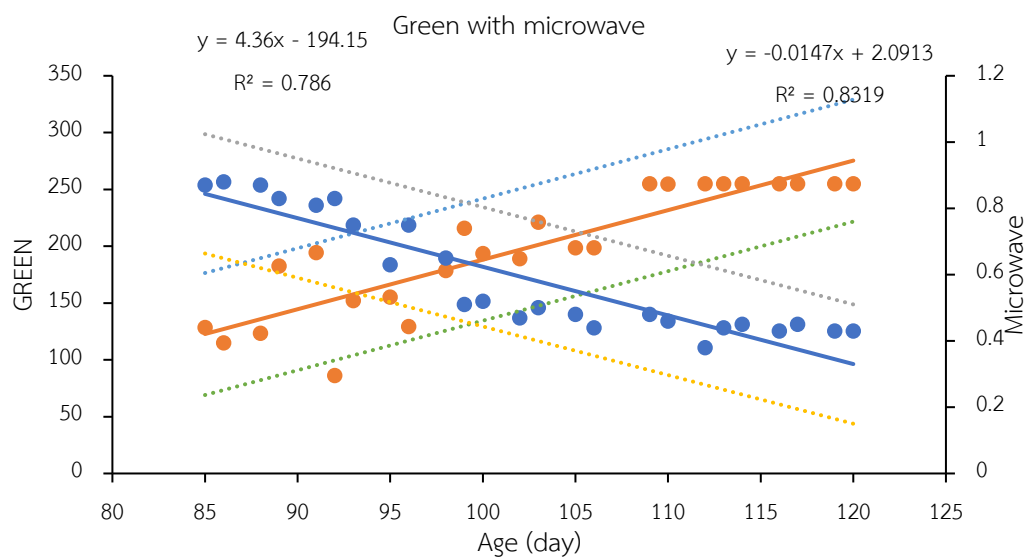
รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมสีแดง (Spectrum Red) เทียบกับอายุของลองกอง

การศึกษาดังนี้การเก็บเกี่ยวของผลลองกองโดยหาค่าสเปกตรัมสีแดง จะเห็นได้ว่า จุดที่ควรส่งออกไปตลาดไกลสวน อายุน้อยกว่า 85 day นับจากดอกแรกบาน ถึง อายุ 95 day อยู่ในช่วงน้อยกว่า 153 ถึง 198 day ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมในการส่งตลาดไกลสวน และอายุที่เหมาะสมในการส่งตลาดใกล้สวนอยู่ในช่วงอายุ 95-109 day ซึ่งมีค่า Spectrum Red อยู่ในช่วง 198-242

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมสีเขียว (Spectrum Green) เทียบกับอายุลองกอง

Age (day)	Spectrum Green
85	128.5 ± 45.21
86	114.85 ± 51.73
88	123.3 ± 65.12
89	182.65 ± 52.65
91	194.4 ± 35.22
92	86.35 ± 53.56
93	152.15 ± 71.59
95	155.4 ± 59.41
96	129.3 ± 88.29
98	178.55 ± 23.64
99	215.7 ± 48.21
100	193.55 ± 69.71

Age (day)	Spectrum Green
102	189 ± 77.13
103	221.2 ± 35.52
105	198.55 ± 37.17
106	198.55 ± 1.79
109	255 ± 1.79
110	255 ± 0
112	256 ± 0
113	257 ± 0
114	258 ± 0
119	259 ± 0
117	260 ± 0
119	261 ± 0
120	262 ± 0

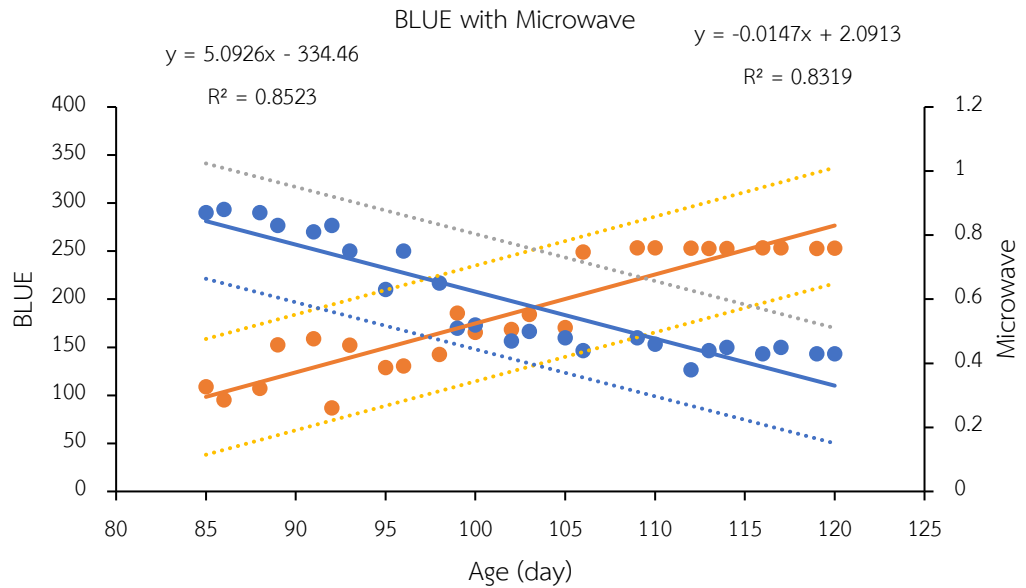


รูปที่ 4.6 การวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมสีเขียว (Spectrum Green) เทียบกับอายุลงกอง

การศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลลงกองโดยหาค่าสเปกตรัมสีเขียว เมื่อนำผลลงกองที่มี จะเห็นได้ว่า ช่วงอายุที่ควรส่งออกไปตลาดไกลสวน อายุ 87-99 day นับจากดอกแรกบาน อยู่ในช่วง 185-237 day ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมในการส่งตลาดไกลสวน และอายุที่เหมาะสมในการส่งตลาดใกล้สวนอยู่ในช่วงอายุ 99-113 day ซึ่งมีค่า Spectrum Red อยู่ในช่วง 237-298

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมสีน้ำเงิน (Spectrum Blue) เทียบกับอายุลงกอง

Age (day)	Spectrum B
85	108.75 ± 39.23
86	95.25 ± 45.13
88	107.2 ± 59.24
89	152.5 ± 43.10
91	158.8 ± 25.28
92	86.85 ± 55.01
93	152.05 ± 68.31
95	128.85 ± 43.18
96	130.5 ± 27.73
98	142.65 ± 24.45
99	185.5 ± 52.12
100	165.5 ± 63.17
102	168.5 ± 81.03
103	184.1 ± 32.30
105	170.35 ± 44.02
106	249.2 ± 4.6
109	253.4 ± 4.6
110	253.4 ± 3.47
112	253.25 ± 3.14
113	252.65 ± 3.77
114	252.9 ± 3.77
119	253.4 ± 3.47
117	253.6 ± 2.91
119	252.9 ± 3.77
120	253.2 ± 3.24



รูปที่ 4.7 การวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมสีน้ำเงิน (Spectrum Blue) เทียบกับอายุลองกอง

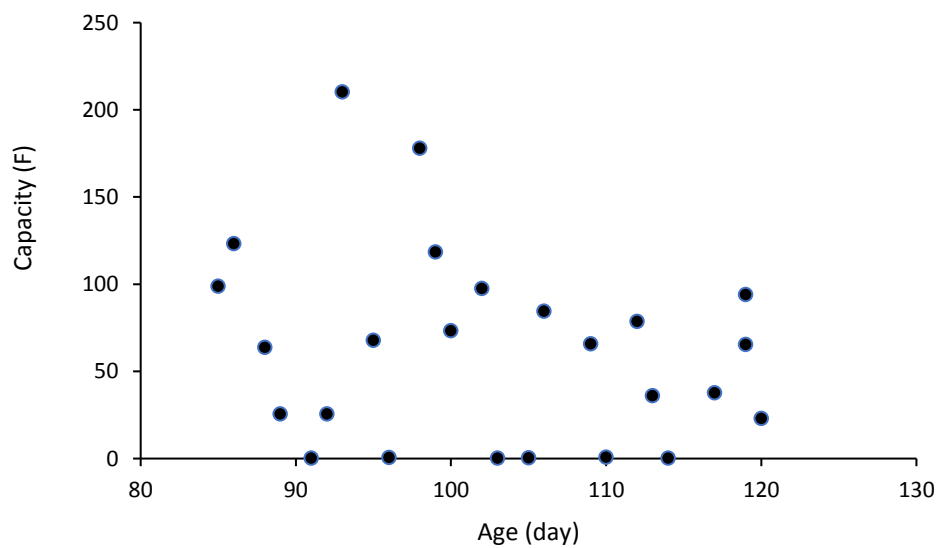
การศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลลองกองโดยหาค่าสเปกตรัมสีน้ำเงิน ซึ่งอายุที่เหมาะสมในการส่งตลาดไกลสวน ในช่วงอายุที่ 91-103 day จากดอกแรกที่บ้าน ค่า spectrum Blue อยู่ในช่วง 128-195 สำหรับส่งตลาดใกล้สวนอายุช่วง 103-105 day นับจากดอกแรกบ้าน เมื่ออ่านค่า 195 256

4.1.4 วิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าของผิวผลลองกองเพื่อกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวลองกอง

ตารางที่ 4.9 วิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าของผิวผลลองกองเพื่อกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวผลลองกอง

Age (day)	Capacity (F)
85	98.77
86	123.34
88	63.71
89	25.6
91	0.33
92	25.67
93	210.34
95	67.8
96	0.57

Age (day)	Capacity (F)
98	178
99	118.52
100	73.39
102	97.58
103	0.32
105	0.51
106	84.5
109	65.78
110	0.86
112	78.67
113	36
114	0.23
116	94
117	37.8
119	65.4
120	23



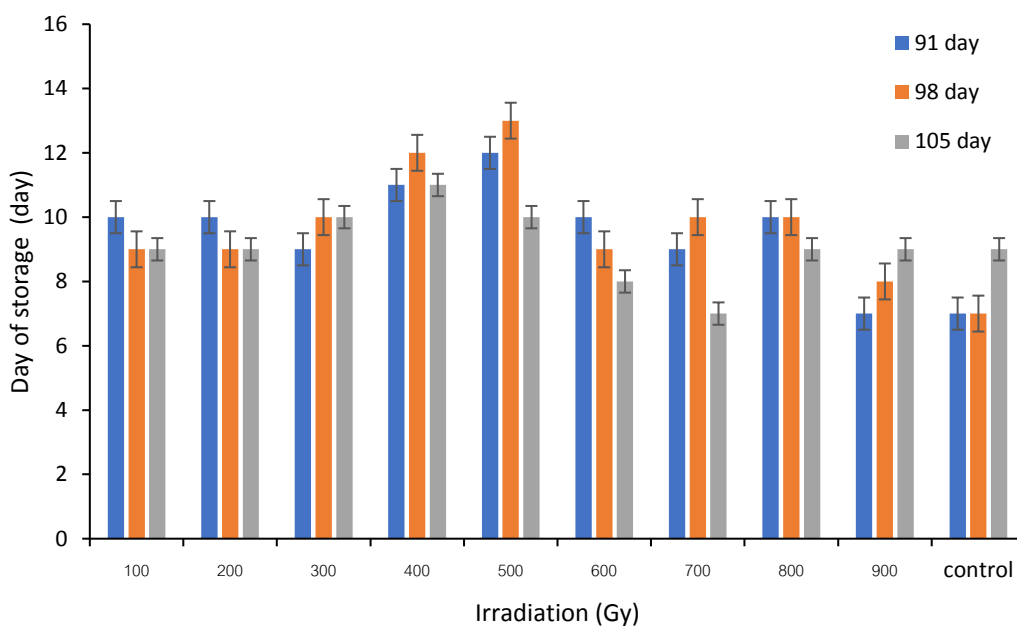
รูปที่ 4.8 วิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าของผิวผลลองกองเพื่อกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวลองกอง

การศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวโดยการหาประจุไฟฟ้าจากกราฟจะเห็นว่าหาเส้นแนวโน้มไม่ได้
ไม่สามารถใช้วิธีนี้ได้ เนื่องจากข้อมูลกระจัดกระจายและไม่สามารถหาแนวโน้มได้

4.2 ผลการศึกษาการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวโดยการฉายรังสี

ตารางที่ 4.10 การยืดอายุของผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยวโดยการฉายรังสี

Irradiation (Gy)	91 day	98 day	105 day
100	10 ± 2.29	9 ± 3.67	9 ± 2.50
200	10 ± 3.04	9 ± 3.06	9 ± 2.01
300	9 ± 3.10	10 ± 3.19	10 ± 3.57
400	11 ± 3.33	12 ± 3.35	11 ± 3.17
500	12 ± 3.59	13 ± 2.91	10 ± 2.55
600	10 ± 3.02	9 ± 3.27	8 ± 2.18
700	9 ± 2.65	10 ± 2.44	7 ± 0.93
800	10 ± 2.32	10 ± 2.71	9 ± 2.09
900	7 ± 1.13	8 ± 2.76	9 ± 1.58
Control	7 ± 1.88	7 ± 1.75	9 ± 1.56



รูปที่ 4.9 ผลการศึกษาการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวโดยการฉายรังสี

จากการศึกษาการยืดอายุของผลลองกองโดยการนำผลลองกองอายุ 91 98 และ 105 day นับจากดอกบาน เนื่องจากอายุช่วงนี้เป็นช่วงที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวเพื่อส่งตลาดไกลบ้าน จะเห็นได้ว่า ฉายรังสีความเข้ม 500 Gy อายุลองกอง 98 day นับจากดอกบาน สามารถยืดอายุได้นานที่สุดจำนวน 13 day เมื่อเทียบกับตัว Control สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุดที่ 9 day อายุผลลองกองที่ 105 day นับจากดอกบาน

บทที่ 5

สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากการศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวผลผลิตและการยืดอายุหลังฉายรังสีของผลลองกองได้ดังนี้

ดัชนีการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่เหมาะสมสำหรับนำไปขายตลาดไกลโดยการวิเคราะห์ค่าความเข้มของคลื่นไมโครเวฟที่ส่งผ่านได้ MW แบบไม่ปกปิดเปลือก ค่า MW อยู่ในในช่วง 0.75-0.58 mA และมีค่า TSS: TA อยู่ในช่วง 6.13-9.86 โดยลองกองมีอายุระหว่าง 91-103 day นับจากดอกแรกบาน ในช่วงนี้ ช่อลองกองมีลักษณะที่แน่นและสวย มีรสชาติหวานอมเปรี้ยว และสำหรับการนำผลผลิตลองกองไปขายตลาดใกล้สวน เมื่อใช้ดัชนีการเก็บเกี่ยว MW มีค่าอยู่ในช่วง 0.58-0.41 mA โดยมีค่า TSS:TA อยู่ในช่วง 9.86-13.55 ลองกองมีอายุอยู่ในช่วง 103- 115 day นับวันจากดอกแรกบาน ในส่วนการวัดค่า MW แบบปกปิดเปลือกเหมาะในการส่งไปตลาดไกล โดยมีค่า MW แบบปกปิดเปลือกอยู่ในช่วง 0.78-0.62 mA ซึ่งมีค่า TSS: TA อยู่ในช่วง 6.12-10.17 โดยลองกองมีอายุ 91-104 นับจากดอกแรกบาน ผลที่ได้จะไม่แตกต่างกันนักกับการวัดโดยใช้ MW ไม่ปกปิดเปลือก ในช่วงอายุ นี้ มีสีผิวเหลือง ลองกองมีรสหวาน หอม อร่อย และสำหรับในการขายตลาดใกล้สวน มีค่า MW อยู่ในช่วง 0.62-0.45 mA โดยมีค่า TSS:TA 10.17-14.17 อายุอยู่ในช่วง 104-117 และในกรณีแบบคั้นน้ำ ค่า MW อยู่ในช่วง 0.89-0.79 mA อยู่ในช่วงอายุ 91-103 day นับวันจากดอกบาน และอายุที่เหมาะสมในการส่งตลาดใกล้สวน ความเข้มของคลื่นไมโครเวฟ (MW) อยู่ในช่วง 0.79-0.70 mA อยู่ในช่วงอายุ 103-115 day นับวันจากดอกบาน ดัชนีการเก็บเกี่ยวโดยใช้วิธีวัดค่าสเปกตรัม RGB โดยเปรียบเทียบอายุจาก วิธี MW ในช่วงอายุที่เหมาะสมในการส่งตลาดไกล อยู่ในช่วง 91-103 day นับจากดอกแรกที่บาน เมื่ออ่านค่า spectrum R G B จะเห็นได้ว่า Spectrum Blue อายุที่เหมาะสมในการส่งตลาดใกล้สวน ในช่วงอายุที่ 91-103 day จากดอกแรกที่บาน ค่า spectrum Blue อยู่ในช่วง 128-195 สำหรับส่งตลาดใกล้สวนอายุช่วง 103-105 day นับจากดอกแรกบาน เมื่ออ่านค่า 195-256 ดัชนีการเก็บเกี่ยวโดยวัดค่าประจุไฟฟ้าในผลลองกอง จากการทำวิจัยจะเห็นได้ว่า ข้อมูลกระจาย ไม่สามารถหาเส้นแนวโน้ม ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าประจุไฟฟ้าไม่สามารถวิเคราะห์ได้ ในส่วนการยืดอายุผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว โดยใช้ช่วงอายุที่สามารถส่งไกลสวนได้ ได้แก่อายุ 91 98 และ 105 day นับจากดอกแรกบาน นำไปฉายรังสีที่ความเข้ม 100 200 300 400 500 600 700 800 900 control จะเห็นได้ว่าสามารถรักษาสภาพได้ดีนานที่สุด 13 วันได้แก่ ผลลองกองอายุ 98 day นับจากดอกแรกบาน ที่ความเข้มรังสีที่ 500 Gy .ในสภาวะอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการหาค่าประจุไฟฟ้าในผลลองกองไม่สามารถหาแนวโน้มของข้อมูลได้ อาจเกิดจากอุปกรณ์และวิธีการทดลองของผู้ทดลองเอง หรืออาจเป็นเพราะเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสมในการใช้หาดัชนีการเก็บเกี่ยว ควรที่จะหาวิธีอื่นๆ และจากการทดลองได้ใช้กระดาษรองผลลองกอง แนะนำให้ศึกษาที่รองที่เป็นฉนวน เนื่องจากการหาประจุในผลลองกองพื้นที่รองก็เป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้การทดลองไม่สำเร็จลุล่วงได้ และควรหาแนวทางการเลือกผลลองกองเพิ่มมากขึ้น ในส่วนการโดสรังสี แนะนำให้ผู้ทำวิจัยปรึกษาและหาข้อมูลค่าใช้จ่ายก่อน เพื่อง่ายที่จะวางแผนและสามารถทำให้คุ้มค่าที่สุดได้

อ้างอิง

- กิริติ กิตติพล และประดิษฐ์ ลือชัย. 2544. การศึกษาการยืดอายุของผลลองกองสดและการแปรรูปขึ้น
ลองกอง, โครงการงานนักศึกษา คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- แก้วกานต์ พวงสมบัติ และอาทิตย์ พวงสมบัติ. 2562. การคัดแยกยางพาราแผ่นรมควันจับตัวด้วยกรด
ต่างชนิดกันด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่ง
ประเทศไทย. 25(1), 14-18.
- จิ่งแท้ ศิริพานิช. 2544. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 4. หน้า
396.
- ทิพย์วรรณ สวัสดิ์พานิช, อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล, แก้วกานต์ พวงสมบัติ และอาทิตย์ พวงสมบัติ.
2556. การจำแนกความแก่ของส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามแบบไม่ทำลาย. วารสารสมาคม
วิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 25(2). 42-49.
- ประกิต ทิมขำ และอนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล. 2556. การจำแนกความสุก-แก่ของทุเรียนพันธุ์
“หมอนทอง” แบบไม่ทำลายด้วยสเปกโทรสโกปีช่วงแสงที่มองเห็นได้ที่เปลือก. วารสารสมาคม
วิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 19(1). 1-6.
- พวงทิพย์ แก้วทับทิม ธวัช ชิตตระการ ไตภพ ผ่องสุวรรณ ภัทร อัยรักษ์ และสมศักดิ์ คงแสง. 2549.
การวิเคราะห์สเปกตรัมสีผิวชอลองกอง (*Lansium domesticum* Corr.) เพื่อหาช่วงเวลาเก็บ
เกี่ยวที่เหมาะสม. วารสารสงขลานครินทร์ วทท. 2550. 29(5), 1427-1438.
- ไพรัตน์ นาควิโรจน์ และมงคล ศรีวัฒนวรชัย. 2523. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพและ
กายภาพของผลลองกอง. วารสารสงขลานครินทร์. 3(1), 13-17.
- ศรินณา ชูธรรมรัช. 2553. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวลองกองและการตลาด. เอกสารประกอบการ
อบรมเทคโนโลยีการจัดการคุณภาพผลผลิตลองกองในจังหวัดชายแดนใต้ สำนักวิจัยและพัฒนา
เกษตร เขตที่ 8, สงขลา, 30 กรกฎาคม 2553, หน้า 43-62.
- สรยา รัชวงศ์. 2557. การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและกายวิภาคที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้อน
หนาวของผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทสาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะ
วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2540. การให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟและการฉายรังสีอาหาร, พิมพ์
ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, หน้า 173-195.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562. ข่าวเศรษฐกิจการเกษตร. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ส่วนสารสนเทศการเกษตร, ฉบับที่ 10 กรกฎาคม 2562. หน้า
10.
- สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. 2542. เจาะลึกเรื่องของปรมาณู, โรงพิมพ์คุรุสภา, กรุงเทพมหานคร, หน้า
45.

- สุรภิต ศรีสกุล, 2536. เทคโนโลยีการผลิตและการเก็บเกี่ยวพืชสวนในภาคภาคใต้เพื่อการส่งออก. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวลองกอง. ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี, สุราษฎร์ธานี, 22-24 กันยายน 2536, 53-78.
- สุรภิต ศรีสกุล, 2536. เทคโนโลยีการผลิตและการเก็บเกี่ยวพืชสวนในภาคภาคใต้เพื่อการส่งออก. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวลองกอง. ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี, สุราษฎร์ธานี, 22-24 กันยายน 2536, 53-78.
- สุวิมล วัฒนะพันธ์ศักดิ์. 2549. ผลของสารลดการเกิดสีน้ำตาลและการดัดแปลงสภาพบรรยากาศต่ออายุการเก็บรักษาของผักกาดแก้วตัดแต่ง. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- เสาวพงศ์ เจริญ, จารุรัตน์ เอี่ยมศิริ และสุรศักดิ์ สัจจบุด. 2552. การทดลองวางตลาดเครื่องเทศผายรังสี. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ครั้งที่ 11, กรุงเทพฯ, 2-3 กรกฎาคม 2552, 1-13.
- อภิรดี อุทัยรัตนกิจ, ผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์, ทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย. 2549. ผลของการโดสรังสีต่อการยืดอายุการเก็บรักษาและกระบวนการสุกของผลไม้เศรษฐกิจ (ระยะที่ 1-2) (โครงการย่อย1). สืบค้นจาก : <https://www.kmutt.ac.th/rippc/irradia2.htm> [10 ตุลาคม 2562].
- อินทิรา ลิจันทรพร, นันทชนก นันทะไชย, ปาลิตา ตั้งอนูรัตน์, อัญชลินทร์ สิงห์คำ และชัยรัตน์ เตชวุฒิพร. 2559. การใช้กรดออกซาลิกเพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว. ว. วิทย. เทคโนโลยี. หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ. 2(1), 36-44.
- อินทิรา ลิจันทรพร, นันทิพา เอี่ยมสกุล และศิริชัย กัลป์ยามรัตน์. 2552. การลดการเกิดสีน้ำตาลของผลลองกองด้วยกรดซิตริก. วารสารวิทยาศาสตร์(กษ.), 40(3),658-661.
- อินทิรา ลิจันทรพร, เบญจมาพร มธูลาภรังสรรค์, นันทิพา เอี่ยมสกุล และศิริชัย กัลป์ยามรัตน์. 2553. ผลของกรดจิบเบอเรลลิกต่อการหลุดร่วง และการผลิตเอทิลีนในช่อผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว. วารสารวิทยาศาสตร์(กษ.).41(1), 79-82.
- อินทิรา ลิจันทรพร, เบญจมาพร มธูลาภรังสรรค์, นันทิพา เอี่ยมสกุล และศิริชัย กัลป์ยามรัตน์. 2553. ผลของกรดจิบเบอเรลลิกต่อการหลุดร่วง และการผลิตเอทิลีนในช่อผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว. วารสารวิทยาศาสตร์(กษ.). 41(1),79-82.
- Barbosa-Canovas, G.V., Pothakamury, U.R., Palou, E. and Swanson, B.G. 1998. Nonthermal Preservation of Food, Marcel Dekker, Inc. New York.
- Breitfellner, A. 1989. Future radiation sources and identification of irradiated foods. Food Technol. 43(7), 84-89.
- Chen, Wang., Ya, Gao., Ye, Tao. And Zhibo, Cui. 2017. γ -Irradiation treatment decreased degradation of cell-wall polysaccharides in blueberry fruit during cold storage Postharvest Biology and Technology. 131, 31-38.

- Hackwood, S. 1991. An introduction to the irradiation processing of foods, Elsevier Science Publisher, Ltd. Essex, pp. 1-18.
- Jone, J.M. 1992. Food Irradiation, *In* "Food Safety" 2nd ed, Eagan Press, Minnesota, pp. 301-330.
- Loaharanu, P. 1995. Food irradiation : current status and future prospects, G.W. Gould(ed.), Blackie Academic & Professional, Glasgow, U.K., pp. 90-111.
- Niksoh, N., Phansuke, P., and Kaewtubtim, P. 2021. Determination of Longkong (*Lansium domesticum* Corr.) by Microwave sensor Technique. ASEAN Journal of Scientific and Technological Report. 24(1). 42-48.
- Rabab, W. and Khaled, M. 2017. Chemical quality and nutrient composition of strawberry fruits treated by g-irradiation. Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 10, 80-87.
- Rosenthal, I. 1992. Electromagnetic radiations in Food Science, Springer Verlag, Berlin.
- Satin, M. 1993. Food Irradiation. A Guidebook. Technomic Publishing Company, Inc, Pennsylvania.
- Taesakul, P., Pradisthakarn, N., Chantaksinopas, S. and Siriphanich, J. 2012. Longkong fruit abscission and its control. Postharvest Biology and Technology 64, 91-93.
- Taesakul, P., Pradisthakarn, N., Chantaksinopas, S. and Siriphanich, J. 2012. Longkong fruit abscission and its control. Postharvest Biology and Technology 64, 91-93.

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการวัดดัชนีการเก็บเกี่ยวของไมโครเวฟ

อายุ	intensity(mA)									
	มีเปลือก				ไม่มีเปลือก				คั้นน้ำ	
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	Volume	mA
85	0.90	0.89	0.84	0.88	0.92	0.92	1.00	0.95	2.50	0.98
	0.89	0.70	0.82	0.80	1.00	1.00	0.92	0.97	2.50	x
	0.72	0.82	0.98	0.84	1.00	0.98	0.90	0.96	2.50	x
	0.88	0.96	0.84	0.89	0.84	0.94	0.92	0.90	2.50	x
	0.76	0.82	0.98	0.85	0.92	0.98	0.96	0.95	ปมน	x
	0.72	0.84	0.94	0.83	0.94	1.00	0.68	0.87	ปมน	x
	0.92	0.98	0.86	0.92	0.82	0.96	0.86	0.88	ปมน	x
	1.00	0.64	0.88	0.84	1.00	0.72	0.74	0.82	2.70	0.98
	0.84	0.88	1.00	0.91	1.00	0.82	0.84	0.89	2.45	1.00
	0.84	0.94	1.00	0.93	1.00	0.92	0.94	0.95	2.38	1.00
	0.94	0.70	0.92	0.85	0.78	0.98	0.74	0.83	ปมน	x
	0.94	0.88	1.00	0.94	0.84	1.00	0.98	0.94	ปมน	x
	1.00	0.78	0.90	0.89	0.90	0.72	0.92	0.85	ปมน	x
	0.70	0.74	0.90	0.78	0.94	0.98	1.00	0.97	ปมน	x
	0.92	0.74	0.78	0.81	0.88	1.00	1.00	0.96	ปมน	x
	0.98	0.98	0.96	0.97	1.00	0.96	1.00	0.99	ปมน	x
	0.90	0.92	0.92	0.91	0.88	0.79	1.00	0.89	1.90	0.82
	0.76	0.66	0.80	0.74	1.00	0.86	0.84	0.90	ปมน	x
	0.74	0.64	0.66	0.68	0.89	1.00	1.00	0.96	ปมน	x
	1.00	1.00	0.80	0.93	1.00	0.92	0.72	0.88	ปมน	x
0.88	0.98	0.92	0.93	0.92	0.76	0.84	0.84	ปมน	x	
0.68	0.84	0.72	0.75	0.98	0.82	0.92	0.91	ปมน	x	

	0.84	1.00	0.92	0.92	0.94	1.00	1.00	0.98	ปมน	x
	0.74	0.86	0.90	0.83	0.94	0.74	0.76	0.81	ปมน	x
	0.76	0.64	0.82	0.74	0.86	1.00	0.90	0.92	ปมน	x
	0.64	0.84	0.92	0.80	0.82	0.88	0.84	0.85	ปมน	x
	0.98	0.82	0.74	0.85	1.00	0.92	1.00	0.97	ปมน	x
	0.86	0.82	1.00	0.89	0.78	0.86	0.94	0.86	ปมน	x
	0.66	0.98	0.78	0.81	1.00	0.76	0.94	0.90	ปมน	x
	0.67	0.78	0.58	0.68	0.82	0.78	0.92	0.84	ปมน	x
1.20	0.94	1.00	0.82	0.92	0.96	0.90	0.90	0.92	2.50	x
	0.94	0.92	0.86	0.91	0.98	0.96	0.96	0.97	2.50	x
	0.76	0.84	0.92	0.84	0.98	0.90	0.90	0.93	2.50	x
	0.84	1.00	1.00	0.95	0.90	0.76	0.90	0.85	2.50	x
	0.64	0.82	0.86	0.77	0.92	0.90	0.92	0.91	ปมน	x
	0.91	0.88	0.92	0.90	0.94	0.92	0.92	0.93	ปมน	x
	0.72	0.72	0.98	0.81	1.00	0.76	0.80	0.85	1.90	0.98
	1.00	0.92	0.92	0.95	0.92	0.94	1.00	0.95	1.90	0.90
	0.70	0.72	0.92	0.78	0.98	1.00	1.00	0.99	1.90	0.98
	1.00	0.86	0.92	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.98	1.00
	1.00	0.96	0.90	0.95	0.96	0.90	0.98	0.95	2.20	1.00
	1.00	0.84	0.98	0.94	1.00	1.00	0.80	0.93	ปมน	x
	0.90	0.96	0.82	0.89	1.00	0.98	1.00	0.99	ปมน	x
	0.70	0.76	1.00	0.82	1.00	1.00	0.86	0.95	2.40	0.98
	0.90	0.82	0.78	0.83	0.90	1.00	1.00	0.97	ปมน	x
	0.92	1.00	0.82	0.91	1.00	0.96	0.86	0.94	ปมน	x
	0.82	0.96	1.00	0.93	0.70	0.76	0.92	0.79	2.35	0.98
	0.76	0.78	0.74	0.76	0.79	0.84	1.00	0.88	2.45	0.98
	1.00	0.96	0.98	0.98	1.00	0.68	0.74	0.81	ปมน	x
	0.74	1.00	1.00	0.91	0.92	0.98	0.79	0.90	ปมน	x

	0.94	0.72	0.80	0.82	1.00	1.00	0.74	0.91	2.32	0.90
	0.98	1.00	1.00	0.99	0.90	1.00	1.00	0.97	1.90	0.92
	0.84	0.66	0.80	0.77	1.00	0.80	0.74	0.85	2.42	0.84
	0.88	0.84	0.86	0.86	1.00	1.00	0.80	0.93	ปมน	x
	0.82	0.94	0.98	0.91	0.80	0.96	1.00	0.92	2.43	0.84
	0.98	1.00	1.00	0.99	0.96	0.90	1.00	0.95	2.00	0.90
	0.96	0.96	0.80	0.91	0.94	1.00	0.80	0.91	1.90	0.84
	0.82	0.82	0.82	0.82	0.84	0.92	1.00	0.92	1.90	0.88
	0.92	0.92	1.00	0.95	0.82	0.68	0.82	0.77	2.50	0.88
	0.68	0.68	0.84	0.73	1.00	1.00	1.00	1.00	2.25	0.96
1.30	0.70	0.76	0.76	0.74	0.92	0.80	1.00	0.91	2.50	x
	0.98	1.00	0.96	0.98	0.82	0.74	0.90	0.82	2.50	x
	0.70	0.80	0.88	0.79	0.94	0.88	0.90	0.91	2.50	x
	0.72	0.78	0.92	0.81	1.00	0.88	0.78	0.89	2.50	x
	0.84	0.78	0.76	0.79	0.84	0.92	0.90	0.89	ปมน	x
	0.98	0.92	0.80	0.90	1.00	0.94	0.82	0.92	ปมน	x
	0.62	0.72	0.84	0.73	0.74	0.92	0.94	0.87	ปมน	x
	1.00	0.92	0.80	0.91	0.86	0.94	0.92	0.91	2.50	0.84
	0.98	0.74	0.72	0.81	0.84	0.80	0.92	0.85	ปมน	x
	0.92	0.92	1.00	0.95	0.80	0.94	1.00	0.91	2.50	0.86
	0.80	0.82	0.84	0.82	0.82	0.86	0.90	0.86	2.50	0.82
	0.72	0.74	0.74	0.73	0.90	0.90	0.98	0.93	2.50	0.86
	0.84	0.74	0.68	0.75	0.92	0.96	0.78	0.89	2.50	0.80
	0.78	0.74	0.74	0.75	0.64	0.68	0.84	0.72	2.50	0.86
	0.68	0.72	0.78	0.73	0.84	0.90	0.92	0.89	2.50	0.80
	0.80	0.74	0.74	0.76	0.88	0.72	0.84	0.81	2.50	0.82
	0.66	0.62	0.72	0.67	0.79	0.84	0.90	0.84	2.50	0.84
	0.84	0.72	0.82	0.79	0.86	0.90	1.00	0.92	2.50	0.80
	0.82	0.88	0.96	0.89	0.84	0.74	0.94	0.84	2.50	0.90

	0.72	0.76	0.92	0.80	1.00	0.90	0.78	0.89	2.50	0.88
	0.86	0.84	0.84	0.85	0.98	0.98	0.98	0.98	2.50	0.88
	0.72	0.62	0.64	0.66	0.86	0.82	0.76	0.81	2.50	0.90
	0.60	0.58	0.60	0.59	0.66	0.72	0.80	0.73	5.00	0.78
	0.66	0.66	0.64	0.65	0.74	0.70	0.78	0.74	5.00	0.78
	0.60	0.60	0.62	0.61	0.80	0.74	0.78	0.77	2.50	0.82
1.40	0.78	0.70	0.88	0.79	0.84	0.80	0.76	0.80	2.50	x
	0.92	0.80	0.80	0.84	0.94	1.00	1.00	0.98	2.50	x
	0.94	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	0.98	0.99	2.50	x
	0.90	0.84	0.90	0.88	0.82	0.80	0.88	0.83	2.50	x
	0.90	0.80	0.72	0.81	0.96	1.00	0.98	0.98	ปม	x
	0.68	0.64	0.72	0.68	0.86	0.94	1.00	0.93	2.50	0.94
	0.74	0.80	0.80	0.78	1.00	0.88	0.88	0.92	2.50	0.92
	0.54	0.52	0.56	0.54	0.64	0.64	0.64	0.64	2.50	0.92
	0.62	0.62	0.60	0.61	0.64	0.74	0.78	0.72	5.00	0.88
	0.68	0.64	0.68	0.67	0.90	0.78	0.78	0.82	5.00	0.80
	0.66	0.68	0.74	0.69	0.80	0.90	0.88	0.86	2.50	0.84
	0.72	0.72	0.78	0.74	0.90	0.88	0.84	0.87	2.50	0.86
	0.66	0.68	0.80	0.71	0.74	0.78	0.82	0.78	2.50	0.88
	0.86	0.79	0.72	0.79	1.00	0.84	0.84	0.89	2.50	0.86
	0.74	0.72	0.72	0.73	0.92	0.92	0.94	0.93	2.50	0.84
	0.76	0.79	0.54	0.70	0.80	0.82	0.80	0.81	5.00	0.76
	0.52	0.52	0.54	0.53	0.68	0.64	0.64	0.65	2.50	0.82
	0.52	0.52	0.52	0.52	0.62	0.64	0.62	0.63	5.00	0.76
	0.54	0.58	0.48	0.53	0.68	0.76	0.80	0.75	2.50	0.80
	0.46	0.50	0.74	0.57	0.56	0.62	0.58	0.59	2.50	0.76
	0.62	0.66	0.58	0.62	0.72	0.72	0.74	0.73	2.60	0.84
	0.58	0.61	0.60	0.60	0.72	0.72	0.72	0.72	2.50	0.80
	0.68	0.62	0.60	0.63	0.78	0.72	0.70	0.73	3.00	0.80

	0.66	0.66	0.58	0.63	0.78	0.80	0.78	0.79	2.00	0.86
	0.52	0.56	0.46	0.51	0.64	0.66	0.66	0.65	2.00	0.82
	0.46	0.46	0.48	0.47	0.62	0.58	0.60	0.60	1.90	0.80
	0.48	0.48	0.43	0.46	0.56	0.62	0.62	0.60	4.40	0.82
	0.47	0.64	0.52	0.54	0.62	0.64	0.68	0.65	4.00	0.84
1.50	0.98	0.90	1.00	0.96	0.90	0.92	0.92	0.91	2.50	x
	1.00	0.96	0.96	0.97	0.94	0.92	0.94	0.93	2.50	x
	0.90	0.90	0.92	0.91	0.88	0.78	0.84	0.83	2.50	x
	0.84	0.84	0.84	0.84	0.92	0.90	0.92	0.91	2.50	x
	0.86	0.84	0.80	0.83	0.92	0.08	0.82	0.61	ปมน	x
	0.86	0.84	0.84	0.85	0.96	0.94	0.92	0.94	ปมน	x
	0.96	1.00	0.92	0.96	0.84	0.84	0.84	0.84	ปมน	x
	0.92	0.96	1.00	0.96	0.92	0.76	0.98	0.89	ปมน	x
	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	2.40	0.90
	0.70	0.72	0.69	0.70	0.88	0.86	0.79	0.84	2.30	0.92
	0.80	0.79	0.82	0.80	0.98	0.88	0.84	0.90	2.50	0.92
	0.86	0.86	0.80	0.84	0.92	1.00	0.89	0.94	2.30	0.96
	0.84	0.94	0.94	0.91	0.78	0.92	0.92	0.87	2.30	0.98
	0.90	0.90	0.99	0.93	0.86	0.78	0.72	0.79	2.40	0.96
	0.78	0.80	0.80	0.79	1.00	0.86	0.86	0.91	2.40	0.92
	0.80	0.80	0.80	0.80	0.70	0.98	0.96	0.88	2.50	0.86
	0.64	0.62	0.62	0.63	0.80	0.70	0.70	0.73	3.40	0.92
	0.78	0.72	0.74	0.75	0.92	0.80	0.82	0.85	2.50	0.88
	0.72	0.74	0.82	0.76	0.82	0.94	0.96	0.91	2.20	0.96
	0.92	0.92	0.90	0.91	0.60	0.80	0.82	0.74	2.50	0.92
	0.86	0.84	0.82	0.84	0.86	0.60	0.62	0.69	2.50	0.94
	0.90	0.70	0.64	0.75	0.78	0.86	0.68	0.77	2.50	0.92
	0.80	0.80	0.80	0.80	0.86	0.78	0.86	0.83	2.50	0.94
	0.66	0.66	0.66	0.66	0.76	0.86	0.86	0.83	2.50	0.90

	0.74	0.72	0.72	0.73	0.82	0.76	0.72	0.77	2.50	0.94
	0.76	0.74	0.74	0.75	0.78	0.74	0.72	0.75	3.40	0.88
	0.64	0.64	0.64	0.64	0.70	0.84	0.84	0.79	2.50	0.92
	0.70	0.68	0.72	0.70	0.72	0.72	0.74	0.73	2.30	0.98
	0.66	0.66	0.66	0.66	0.72	0.72	0.72	0.72	1.90	0.98
	0.70	0.72	0.70	0.71	0.84	0.82	0.84	0.83	ปมน	x
2.1	0.92	0.86	0.98	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	2.50	x
	0.74	0.80	0.82	0.79	0.94	0.94	0.94	0.94	2.50	x
	0.76	0.78	0.80	0.78	0.98	0.94	0.94	0.95	2.50	x
	0.82	0.79	0.82	0.81	0.98	0.94	0.98	0.97	2.50	x
	0.74	0.79	0.66	0.73	0.82	0.82	0.82	0.82	ปมน	x
	0.88	0.82	0.88	0.86	0.92	0.90	0.92	0.91	ปมน	x
	1.00	0.98	0.98	0.99	0.94	0.92	0.94	0.93	ปมน	x
	0.70	0.74	0.70	0.71	0.99	0.98	0.82	0.93	ปมน	x
	0.98	0.98	0.96	0.97	0.86	0.82	0.75	0.81	ปมน	x
	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.93	0.92	0.92	ปมน	x
	1.00	0.89	0.92	0.94	1.00	0.86	0.98	0.95	ปมน	x
	0.84	0.84	0.76	0.81	0.90	0.86	0.82	0.86	2.40	0.98
	0.88	0.88	0.92	0.89	0.80	0.84	0.76	0.80	2.30	0.98
	0.72	0.70	0.72	0.71	0.94	0.96	0.96	0.95	2.00	0.98
	0.84	0.84	0.84	0.84	0.78	0.70	0.79	0.76	1.90	0.92
	0.94	0.94	0.92	0.93	1.00	0.74	0.98	0.91	2.00	0.94
	0.78	0.79	0.80	0.79	0.88	0.88	0.57	0.78	2.00	0.99
	0.72	0.72	0.70	0.71	0.98	0.98	0.98	0.98	1.90	0.98
	0.84	0.82	0.84	0.83	0.94	0.94	0.92	0.93	2.00	0.94
	0.74	0.74	0.72	0.73	0.92	0.92	0.90	0.91	2.00	0.92
	0.92	0.92	0.90	0.91	0.98	0.98	0.98	0.98	2.00	0.88
	1.00	0.98	0.88	0.95	0.92	0.92	0.94	0.93	2.20	0.96
	0.82	0.82	0.88	0.84	0.92	0.94	0.92	0.93	2.20	0.92

	0.82	0.82	0.82	0.82	1.00	0.84	1.00	0.95	2.00	0.94
	0.76	0.74	0.95	0.82	0.92	0.92	0.92	0.92	1.90	0.92
	0.76	0.68	0.66	0.70	1.00	1.00	0.98	0.99	2.30	0.94
	0.72	0.68	0.72	0.71	0.84	0.83	0.84	0.84	2.40	0.90
	0.79	0.80	0.80	0.80	0.96	0.96	0.94	0.95	2.40	0.94
	0.64	0.66	0.66	0.65	0.94	0.94	0.92	0.93	2.30	0.88
	0.96	0.80	0.92	0.89	0.92	0.92	0.92	0.92	2.30	0.92
2.2	0.92	0.92	0.88	0.91	0.90	0.94	0.92	0.92	2.50	0.98
	1.00	0.98	0.88	0.95	0.91	0.90	0.88	0.90	2.50	0.98
	0.98	0.64	0.98	0.87	0.78	0.78	0.84	0.80	2.50	x
	0.84	0.82	0.84	0.83	0.74	0.76	0.76	0.75	2.50	x
	0.80	0.82	0.82	0.81	0.70	0.74	0.82	0.75	ปมน	x
	0.90	0.90	0.84	0.88	0.76	0.90	0.92	0.86	2.3	0.86
	0.78	0.78	0.92	0.83	0.76	0.80	0.66	0.74	2	0.84
	0.74	0.78	0.78	0.77	0.66	0.64	0.74	0.68	4.2	0.88
	0.72	0.72	0.78	0.74	0.64	0.64	0.72	0.67	3.5	0.78
	0.64	0.64	0.74	0.67	0.76	0.64	0.64	0.68	2.1	0.86
	0.82	0.82	0.68	0.77	0.60	0.62	0.70	0.64	2.5	0.88
	0.88	0.88	0.88	0.88	0.78	0.72	0.68	0.73	2.5	0.86
	0.72	0.72	0.88	0.77	0.66	0.62	0.68	0.65	2.5	0.9
	0.84	0.84	0.84	0.84	0.70	0.78	0.88	0.79	2.1	0.98
	0.92	0.96	0.86	0.91	0.70	0.80	0.84	0.78	2.2	0.98
	0.74	0.76	0.76	0.75	0.70	0.68	0.68	0.69	1.9	0.98
	0.66	0.69	0.80	0.72	0.58	0.64	0.66	0.63	2.3	0.92
	0.72	0.72	0.68	0.71	0.64	0.64	0.66	0.65	2.1	0.94
	0.64	0.64	0.68	0.65	0.58	0.76	0.60	0.65	2.3	0.99
	0.60	0.60	0.70	0.63	0.58	0.54	0.58	0.57	2.5	0.98
	0.79	0.79	0.80	0.79	0.66	0.70	0.80	0.72	2.1	0.94
	0.68	0.68	0.72	0.69	0.62	0.66	0.74	0.67	2.1	0.92

	0.62	0.62	0.80	0.68	0.64	0.60	0.64	0.63	1.9	0.88
	0.64	0.80	0.68	0.71	0.74	0.74	0.68	0.72	1.9	0.96
	0.72	0.72	0.78	0.74	0.62	0.62	0.64	0.63	2.4	0.92
	0.66	0.66	0.68	0.67	0.74	0.74	0.58	0.69	2.4	0.94
	0.58	0.54	0.58	0.57	0.48	0.50	0.46	0.48	<2.5	0.92
	0.54	0.50	0.52	0.52	0.44	0.44	0.50	0.46	<2.5	0.94
	0.50	0.64	0.56	0.57	0.44	0.46	0.46	0.45	<2.5	0.90
	0.64	0.62	0.64	0.63	0.52	0.54	0.54	0.53	<2.5	0.94
2.3	0.74	0.72	0.70	0.72	0.78	0.76	0.84	0.79	2.5	0.90
	0.84	0.82	0.84	0.83	0.80	0.80	0.74	0.78	2.5	0.92
	0.94	0.94	0.92	0.93	0.86	0.88	0.80	0.85	2.5	x
	0.92	0.90	0.88	0.90	0.82	0.88	0.88	0.86	2.5	x
	0.98	0.96	0.98	0.97	0.70	0.68	0.82	0.73	<2.5	0.9
	0.74	0.72	0.79	0.75	0.70	0.72	0.64	0.69	<2.5	0.88
	0.98	0.96	0.89	0.94	0.80	0.78	0.72	0.77	<2.5	0.9
	0.78	0.74	0.78	0.77	0.72	0.80	0.82	0.78	ผ่าน	x
	1.00	0.98	0.98	0.99	0.84	0.80	0.78	0.81	>2.5	0.86
	0.80	0.80	0.80	0.80	0.74	0.68	0.80	0.74	<2.5	0.84
	0.98	0.98	0.98	0.98	0.82	0.88	0.78	0.83	<2.5	0.88
	0.58	0.58	0.52	0.56	0.52	0.50	0.48	0.50	<5	0.78
	0.66	0.62	0.64	0.64	0.66	0.62	0.66	0.65	<2.5	0.86
	0.76	0.78	0.80	0.78	0.62	0.62	0.60	0.61	>2.5	0.88
	0.70	0.87	0.82	0.80	0.60	0.56	0.58	0.58	>2.5	0.86
	0.80	0.82	0.84	0.82	0.78	0.78	0.78	0.78	<2.5	0.9
	0.82	0.82	0.86	0.83	0.66	0.70	0.70	0.69	<5	0.72
	0.64	0.62	0.64	0.63	0.70	0.62	0.60	0.64	<5	0.78
	0.66	0.62	0.64	0.64	0.60	0.70	0.68	0.66	<5	0.8
	0.82	0.82	0.86	0.83	0.60	0.66	0.70	0.65	<5	0.74
	0.76	0.78	0.98	0.84	0.66	0.66	0.64	0.65	<5	0.8

	0.66	0.62	0.64	0.64	0.62	0.58	0.60	0.60	<5	0.74
	0.46	0.46	0.52	0.48	0.46	0.44	0.42	0.44	<5	0.6
	0.68	0.68	0.62	0.66	0.58	0.62	0.58	0.59	<5	0.64
	0.66	0.62	0.64	0.64	0.68	0.60	0.64	0.64	<2.5	0.8
	0.58	0.58	0.52	0.56	0.52	0.50	0.52	0.51	<5	0.74
	0.56	0.52	0.56	0.55	0.46	0.48	0.46	0.47	<5	0.8
	0.52	0.54	0.54	0.53	0.54	0.54	0.58	0.55	<5	0.74
	0.46	0.46	0.42	0.45	0.44	0.46	0.44	0.45	<5	0.6
	0.41	0.42	0.44	0.42	0.40	0.44	0.42	0.42	<5	0.64
2.4	0.98	0.96	0.92	0.95	0.88	0.86	0.92	0.89	2.5	x
	0.78	0.72	0.76	0.75	0.74	0.72	0.82	0.76	2.5	x
	1.00	0.98	0.94	0.97	0.80	0.92	0.80	0.84	2.5	x
	0.72	0.70	0.87	0.76	0.92	0.84	0.90	0.89	2.5	x
	0.78	0.74	0.72	0.75	0.78	0.76	0.70	0.75	ปมน	x
	0.86	0.82	0.84	0.84	0.90	0.88	0.92	0.90	ปมน	x
	0.78	0.72	0.76	0.75	0.80	0.72	0.68	0.73	ปมน	x
	0.66	0.64	0.62	0.64	0.74	0.58	0.64	0.65	ปมน	x
	0.86	0.84	0.86	0.85	0.66	0.70	0.82	0.73	ปมน	x
	0.66	0.62	0.64	0.64	0.74	0.64	0.66	0.68	ปมน	x
	1.00	0.98	0.92	0.97	0.70	0.88	0.78	0.79	ปมน	x
	0.62	0.64	0.62	0.63	0.62	0.66	0.76	0.68	2.5	0.92
	0.84	0.84	0.82	0.83	0.66	0.66	0.72	0.68	ปมน	x
	0.78	0.78	0.72	0.76	0.76	0.70	0.70	0.72	>2.5	0.94
	0.80	0.72	0.78	0.77	0.72	0.70	0.58	0.67	>2.5	0.96
	0.86	0.86	0.82	0.85	0.74	0.64	0.66	0.68	>2.5	0.98
	0.86	0.86	0.84	0.85	0.80	0.76	0.70	0.75	>2.5	0.92
	0.70	0.74	0.76	0.73	0.70	0.68	0.60	0.66	>2.5	0.96
	0.64	0.69	0.68	0.67	0.64	0.80	0.74	0.73	>2.5	0.88
	0.80	0.82	0.84	0.82	0.72	0.62	0.60	0.65	ปมน	x

	0.74	0.76	0.72	0.74	0.70	0.72	0.70	0.71	>2.5	0.92
	0.82	0.84	0.82	0.83	0.66	0.64	0.70	0.67	>2.5	0.92
	0.72	0.70	0.68	0.70	0.74	0.72	0.72	0.73	>2.5	0.94
	0.70	0.68	0.86	0.75	0.70	0.68	0.70	0.69	>2.5	0.9
	0.60	0.72	0.68	0.67	0.62	0.58	0.56	0.59	>2.5	0.92
	0.60	0.62	0.68	0.63	0.62	0.52	0.56	0.57	>2.5	0.96
	0.58	0.54	0.56	0.56	0.50	0.52	0.50	0.51	>2.5	0.96
	0.60	0.62	0.62	0.61	0.60	0.58	0.58	0.59	>2.5	0.92
	0.64	0.64	0.64	0.64	0.56	0.62	0.58	0.59	>2.5	0.88
	0.46	0.49	0.42	0.46	0.40	0.42	0.42	0.41	>2.5	0.94
2.5	0.98	0.88	0.98	0.95	0.84	0.70	0.72	0.75	2.5	0.86
	0.68	0.68	0.62	0.66	0.74	0.74	0.72	0.73	2.5	0.9
	0.82	0.82	0.82	0.82	0.72	0.72	0.64	0.69	2.5	0.92
	0.60	0.62	0.89	0.70	0.60	0.66	0.74	0.67	2.5	0.86
	0.80	0.80	0.82	0.81	0.70	0.62	0.68	0.67	2.5	0.9
	0.68	0.58	0.70	0.65	0.54	0.54	0.54	0.54	2.5	0.86
	0.70	0.72	0.76	0.73	0.60	0.58	0.62	0.60	2.5	0.9
	0.76	0.76	0.72	0.75	0.58	0.62	0.64	0.61	>2.5	0.86
	0.60	0.62	0.62	0.61	0.58	0.54	0.56	0.56	>2.5	0.86
	0.60	0.65	0.64	0.63	0.46	0.50	0.48	0.48	5	0.8
	0.60	0.64	0.62	0.62	0.54	0.60	0.64	0.59	<2.5	0.88
	0.70	0.72	0.74	0.72	0.66	0.70	0.64	0.67	>2.5	0.82
	0.82	0.82	0.80	0.81	0.62	0.64	0.70	0.65	>2.5	0.84
	0.70	0.74	0.72	0.72	0.56	0.62	0.56	0.58	>2.5	0.88
	0.60	0.62	0.62	0.61	0.62	0.56	0.56	0.58	>2.5	0.84
	0.74	0.72	0.72	0.73	0.52	0.52	0.54	0.53	5	0.82
	0.64	0.64	0.64	0.64	0.50	0.46	0.48	0.48	5	0.8
	0.56	0.48	0.67	0.57	0.40	0.44	0.40	0.41	5	0.78
	0.50	0.52	0.51	0.51	0.58	0.60	0.58	0.59	5	0.8

	0.62	0.62	0.64	0.63	0.48	0.50	0.48	0.49	5	0.8
	0.52	0.48	0.52	0.51	0.46	0.44	0.46	0.45	5	0.8
	0.58	0.58	0.62	0.59	0.50	0.50	0.52	0.51	ปม	x
	0.60	0.52	0.68	0.60	0.48	0.46	0.46	0.47	5	0.82
	0.50	0.48	0.62	0.53	0.60	0.58	0.52	0.57	5	0.82
	0.60	0.58	0.70	0.63	0.50	0.50	0.50	0.50	5	0.8
	0.62	0.60	0.60	0.61	0.62	0.58	0.60	0.60	5	0.82
	0.60	0.62	0.64	0.62	0.50	0.48	0.48	0.49	>2.5	0.86
	0.58	0.58	0.82	0.66	0.50	0.46	0.46	0.47	>2.5	0.72
	0.50	0.52	0.50	0.51	0.44	0.44	0.42	0.43	5	0.78
	0.46	0.44	0.42	0.44	0.44	0.46	0.42	0.44	5	0.8
3.1	0.60	0.58	0.64	0.61	0.76	0.76	0.62	0.71	2.5	0.92
	0.64	0.58	0.56	0.59	0.80	0.88	0.76	0.81	2.5	0.98
	0.64	0.68	0.66	0.66	0.78	0.82	0.84	0.81	2.5	0.8
	0.62	0.72	0.77	0.70	0.84	0.86	0.92	0.87	2.5	0.9
	0.58	0.60	0.60	0.59	0.78	0.70	0.64	0.71	>2.5	0.9
	0.56	0.62	0.56	0.58	0.74	0.80	0.64	0.73	>2.5	0.88
	0.62	0.62	0.62	0.62	0.66	0.62	0.80	0.69	>2.5	0.9
	0.60	0.62	0.60	0.61	0.88	0.84	0.72	0.81	>2.5	0.93
	0.50	0.48	0.48	0.49	0.64	0.78	0.58	0.67	<2.5	0.9
	0.56	0.48	0.48	0.51	0.62	0.64	0.50	0.59	<2.5	0.9
	0.50	0.48	0.46	0.48	0.62	0.54	0.60	0.59	2.5	0.76
	0.50	0.46	0.50	0.49	0.52	0.60	0.64	0.59	>2.5	0.82
	0.58	0.58	0.58	0.58	0.72	0.54	0.54	0.60	2.5	0.74
	0.50	0.52	0.50	0.51	0.70	0.70	0.64	0.68	2.5	0.94
	0.44	0.44	0.44	0.44	0.54	0.54	0.54	0.54	2.5	0.8
	0.50	0.48	0.48	0.49	0.54	0.56	0.62	0.57	>2.5	0.92
	0.46	0.46	0.44	0.45	0.56	0.54	0.56	0.55	>2.5	0.86
	0.52	0.54	0.48	0.51	0.60	0.58	0.52	0.57	5	0.74

	0.52	0.50	0.48	0.50	0.56	0.54	0.52	0.54	<2.5	0.9
	0.50	0.46	0.48	0.48	0.60	0.70	0.58	0.63	>2.5	0.82
	0.46	0.46	0.46	0.46	0.52	0.48	0.52	0.51	>2.5	0.8
	0.42	0.38	0.38	0.39	0.52	0.50	0.54	0.52	>2.5	0.92
	0.44	0.42	0.46	0.44	0.52	0.52	0.58	0.54	>2.5	0.86
	0.50	0.48	0.46	0.48	0.50	0.50	0.46	0.49	5	0.74
	0.44	0.42	0.42	0.43	0.46	0.48	0.48	0.47	>2.5	0.9
	0.48	0.48	0.48	0.48	0.50	0.50	0.50	0.50	>2.5	0.82
	0.46	0.44	0.42	0.44	0.36	0.40	0.44	0.40	>2.5	0.92
	0.50	0.54	0.50	0.51	0.50	0.50	0.46	0.49	>2.5	0.98
	0.40	0.40	0.42	0.41	0.42	0.42	0.46	0.43	>2.5	0.8
3.2	0.66	0.68	0.66	0.67	0.84	0.84	0.82	0.83	2.5	0.9
	0.60	0.62	0.60	0.61	0.90	0.92	0.64	0.82	2.5	0.9
	0.62	0.62	0.60	0.61	0.92	0.90	0.72	0.85	2.5	0.88
	0.56	0.52	0.52	0.53	0.70	0.70	0.72	0.71	2.5	0.9
	0.66	0.60	0.60	0.62	0.80	0.88	0.78	0.82	<2.5	0.93
	0.52	0.48	0.48	0.49	0.68	0.70	0.64	0.67	2.5	0.9
	0.48	0.54	0.46	0.49	0.72	0.74	0.76	0.74	4.1	0.9
	0.46	0.46	0.48	0.47	0.58	0.62	0.68	0.63	2.5	0.76
	0.50	0.54	0.54	0.53	0.72	0.80	0.74	0.75	2.5	0.82
	0.46	0.48	0.48	0.47	0.70	0.58	0.62	0.63	2.5	0.74
	0.46	0.50	0.46	0.47	0.64	0.64	0.62	0.63	>2.5	0.94
	0.52	0.52	0.52	0.52	0.62	0.56	0.66	0.61	>2.5	0.8
	0.54	0.54	0.54	0.54	0.72	0.78	0.78	0.76	5	0.92
	0.46	0.48	0.48	0.47	0.70	0.76	0.70	0.72	<2.5	0.86
	0.42	0.44	0.44	0.43	0.66	0.62	0.62	0.63	>2.5	0.74
	0.46	0.42	0.44	0.44	0.60	0.58	0.58	0.59	>2.5	0.9
	0.44	0.44	0.42	0.43	0.52	0.56	0.50	0.53	>2.5	0.82
	0.50	0.48	0.48	0.49	0.64	0.60	0.60	0.61	>2.5	0.8

	0.46	0.48	0.44	0.46	0.52	0.48	0.50	0.50	5	0.92
	0.50	0.48	0.46	0.48	0.56	0.58	0.60	0.58	>2.5	0.86
	0.54	0.56	0.54	0.55	0.70	0.74	0.72	0.72	>2.5	0.74
	0.52	0.58	0.52	0.54	0.62	0.64	0.62	0.63	>2.5	0.9
	0.54	0.52	0.52	0.53	0.62	0.70	0.72	0.68	>2.5	0.82
	0.54	0.58	0.62	0.58	0.78	0.58	0.60	0.65	>2.5	0.8
	0.54	0.50	0.50	0.51	0.58	0.58	0.58	0.58	>2.5	0.92
	0.50	0.48	0.50	0.49	0.74	0.70	0.62	0.69	>2.5	0.86
	0.52	0.54	0.54	0.53	0.70	0.72	0.68	0.70	>2.5	0.74
	0.54	0.50	0.50	0.51	0.60	0.62	0.66	0.63	<2.5	0.9
	0.48	0.48	0.46	0.47	0.66	0.54	0.56	0.59	<2.5	0.82
	0.48	0.52	0.50	0.50	0.50	0.50	0.54	0.51	2.5	0.92
3.3	0.64	0.62	0.74	0.67	0.84	0.82	0.82	0.83	2.5	0.98
	0.66	0.58	0.62	0.62	0.74	0.80	0.82	0.79	2.5	0.8
	0.56	0.54	0.58	0.56	0.62	0.64	0.74	0.67	2.5	0.9
	0.52	0.52	0.52	0.52	0.62	0.62	0.68	0.64	2.5	0.9
	0.60	0.54	0.54	0.56	0.62	0.68	0.72	0.67	>2.5	0.88
	0.40	0.40	0.46	0.42	0.56	0.54	0.60	0.57	>2.5	0.9
	0.50	0.50	0.50	0.50	0.68	0.62	0.64	0.65	5	0.93
	0.46	0.48	0.46	0.47	0.56	0.62	0.60	0.59	<2.5	0.9
	0.48	0.50	0.48	0.49	0.62	0.58	0.58	0.59	>2.5	0.9
	0.46	0.42	0.44	0.44	0.54	0.60	0.56	0.57	>2.5	0.76
	0.56	0.58	0.56	0.57	0.62	0.64	0.68	0.65	>2.5	0.82
	0.56	0.58	0.52	0.55	0.62	0.78	0.80	0.73	>2.5	0.74
	0.38	0.40	0.40	0.39	0.62	0.78	0.56	0.65	5	0.94
	0.46	0.44	0.46	0.45	0.56	0.54	0.60	0.57	>2.5	0.8
	0.46	0.48	0.48	0.47	0.60	0.56	0.62	0.59	>2.5	0.92
	0.42	0.46	0.46	0.45	0.62	0.66	0.66	0.65	>2.5	0.86
	0.42	0.42	0.48	0.44	0.50	0.52	0.54	0.52	>2.5	0.74

	0.38	0.44	0.42	0.41	0.52	0.58	0.60	0.57	>2.5	0.9
	0.44	0.46	0.44	0.45	0.58	0.62	0.60	0.60	>2.5	0.82
	0.44	0.46	0.42	0.44	0.60	0.56	0.60	0.59	>2.5	0.92
	0.42	0.40	0.44	0.42	0.58	0.62	0.60	0.60	>2.5	0.98
	0.42	0.40	0.46	0.43	0.54	0.46	0.54	0.51	<2.5	0.8
	0.42	0.40	0.42	0.41	0.50	0.52	0.60	0.54	2.1	0.9
	0.42	0.44	0.48	0.45	0.50	0.50	0.54	0.51	2.5	0.9
	0.36	0.40	0.38	0.38	0.48	0.48	0.48	0.48	>2.5	0.88
	0.38	0.46	0.40	0.41	0.54	0.48	0.56	0.53	2.5	0.9
	0.32	0.38	0.40	0.37	0.54	0.52	0.52	0.53	2.5	0.93
	0.42	0.40	0.40	0.41	0.54	0.58	0.54	0.55	2.5	0.9
	0.52	0.50	0.50	0.51	0.66	0.60	0.64	0.63	2.9	0.9
	0.46	0.48	0.46	0.47	0.60	0.56	0.52	0.56	>2.5	0.76
3.4	0.60	0.58	0.58	0.59	0.66	0.78	0.80	0.75	2.5	0.82
	0.60	0.50	0.54	0.55	0.84	0.74	0.74	0.77	2.5	0.74
	0.62	0.60	0.62	0.61	0.67	0.76	0.82	0.75	2.5	0.94
	0.52	0.62	0.58	0.57	0.76	0.76	0.78	0.77	2.5	0.8
	0.50	0.54	0.48	0.51	0.68	0.68	0.68	0.68	2.5	0.92
	0.54	0.50	0.52	0.52	0.70	0.74	0.68	0.71	>2.5	0.86
	0.40	0.42	0.42	0.41	0.60	0.60	0.64	0.61	5	0.74
	0.52	0.54	0.60	0.55	0.76	0.78	0.80	0.78	>2.5	0.9
	0.50	0.50	0.50	0.50	0.70	0.68	0.64	0.67	>2.5	0.82
	0.54	0.52	0.54	0.53	0.80	0.76	0.70	0.75	>2.5	0.94
	0.66	0.62	0.56	0.61	0.82	0.86	0.78	0.82	>2.5	0.92
	0.58	0.62	0.62	0.61	0.82	0.80	0.72	0.78	>2.5	0.98
	0.44	0.44	0.48	0.45	0.60	0.56	0.62	0.59	>2.5	0.8
	0.46	0.44	0.42	0.44	0.58	0.58	0.58	0.58	>2.5	0.9
	0.50	0.54	0.54	0.53	0.60	0.64	0.58	0.61	>2.5	0.9
	0.48	0.46	0.46	0.47	0.62	0.56	0.66	0.61	<2.5	0.88

	0.48	0.48	0.48	0.48	0.70	0.68	0.64	0.67	<2.5	0.9
	0.58	0.50	0.54	0.54	0.86	0.86	0.94	0.89	2.5	x
	0.52	0.50	0.52	0.51	0.64	0.72	0.74	0.70	>2.5	0.9
	0.44	0.48	0.50	0.47	0.66	0.60	0.68	0.65	2.5	0.9
	0.40	0.46	0.46	0.44	0.58	0.52	0.52	0.54	2.5	0.76
	0.40	0.48	0.46	0.45	0.54	0.54	0.54	0.54	2.5	0.82
	0.42	0.46	0.48	0.45	0.40	0.44	0.42	0.42	>2.5	0.74
	0.38	0.42	0.40	0.40	0.49	0.52	0.52	0.51	>2.5	0.94
	0.40	0.42	0.44	0.42	0.58	0.56	0.52	0.55	5	0.8
	0.50	0.48	0.44	0.47	0.46	0.52	0.48	0.49	3.4	0.92
	0.42	0.46	0.42	0.43	0.56	0.56	0.52	0.55	3.3	0.86
	0.46	0.48	0.50	0.48	0.52	0.52	0.54	0.53	3.6	0.74
	0.42	0.42	0.44	0.43	0.44	0.46	0.42	0.44	4	0.9
	0.48	0.44	0.48	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48	2.67	0.88
3.5	0.50	0.52	0.52	0.51	0.72	0.66	0.58	0.65	2.5	0.94
	0.56	0.54	0.52	0.54	0.68	0.68	0.68	0.68	2.5	0.92
	0.50	0.50	0.50	0.50	0.70	0.66	0.68	0.68	2.5	0.98
	0.58	0.58	0.52	0.56	0.60	0.72	0.78	0.70	2.5	0.8
	0.54	0.50	0.50	0.51	0.56	0.62	0.70	0.63	>2.5	0.9
	0.42	0.42	0.42	0.42	0.48	0.78	0.58	0.61	>2.5	0.9
	0.46	0.42	0.46	0.45	0.60	0.52	0.50	0.54	>2.5	0.88
	0.46	0.42	0.44	0.44	0.62	0.56	0.60	0.59	>2.5	0.9
	0.44	0.42	0.44	0.43	0.62	0.60	0.64	0.62	>2.5	0.93
	0.52	0.46	0.48	0.49	0.52	0.43	0.52	0.49	<2.5	0.9
	0.52	0.50	0.50	0.51	0.52	0.46	0.46	0.48	<2.5	0.9
	0.50	0.48	0.50	0.49	0.64	0.70	0.70	0.68	2.5	0.76
	0.46	0.50	0.48	0.48	0.50	0.54	0.52	0.52	3	0.82
	0.46	0.46	0.44	0.45	0.58	0.56	0.54	0.56	2.5	0.74
	0.52	0.52	0.52	0.52	0.42	0.50	0.44	0.45	2.5	0.94

	0.48	0.48	0.46	0.47	0.44	0.50	0.42	0.45	2.5	0.8
	0.46	0.46	0.44	0.45	0.52	0.56	0.52	0.53	2.9	0.92
	0.42	0.42	0.42	0.42	0.52	0.56	0.48	0.52	2.8	0.86
	0.46	0.46	0.46	0.46	0.48	0.48	0.46	0.47	5	0.74
	0.46	0.48	0.50	0.48	0.42	0.46	0.44	0.44	2.9	0.9
	0.48	0.48	0.50	0.49	0.50	0.48	0.46	0.48	2.8	0.82
	0.52	0.50	0.50	0.51	0.58	0.56	0.58	0.57	3	0.82
	0.48	0.46	0.46	0.47	0.54	0.60	0.54	0.56	3	0.8
	0.48	0.44	0.44	0.45	0.54	0.58	0.58	0.57	3	0.82
	0.42	0.42	0.44	0.43	0.60	0.54	0.52	0.55	5	0.86
	0.46	0.52	0.52	0.50	0.46	0.42	0.42	0.43	2.9	0.72
	0.46	0.46	0.46	0.46	0.40	0.46	0.46	0.44	2.9	0.78
	0.46	0.48	0.48	0.47	0.34	0.42	0.40	0.39	3	0.8
	0.44	0.46	0.46	0.45	0.50	0.46	0.54	0.50	2.67	0.7
	0.50	0.52	0.52	0.51	0.52	0.54	0.52	0.53	2.68	0.84
4.1	0.42	0.44	0.46	0.44	0.58	0.56	0.56	0.57	2.68	0.7
	0.52	0.49	0.50	0.50	0.64	0.66	0.62	0.64	2.45	0.84
	0.42	0.42	0.42	0.42	0.58	0.60	0.62	0.60	2.35	0.78
	0.42	0.44	0.42	0.43	0.62	0.58	0.58	0.59	2.3	0.68
	0.44	0.46	0.49	0.46	0.62	0.66	0.62	0.63	2.45	0.66
	0.44	0.48	0.48	0.47	0.64	0.66	0.64	0.65	2.5	0.74
	0.44	0.44	0.46	0.45	0.62	0.66	0.70	0.66	2.78	0.64
	0.49	0.49	0.49	0.49	0.62	0.70	0.56	0.63	2.5	0.52
	0.44	0.40	0.42	0.42	0.54	0.54	0.52	0.53	2.5	0.68
	0.52	0.52	0.52	0.52	0.54	0.66	0.64	0.61	2.5	0.72
	0.54	0.64	0.62	0.60	0.76	0.62	0.66	0.68	2.67	0.76
	0.52	0.52	0.54	0.53	0.76	0.70	0.68	0.71	2.76	0.76
	0.46	0.52	0.50	0.49	0.62	0.60	0.74	0.65	5	0.74
	0.36	0.36	0.40	0.37	0.78	0.62	0.62	0.67	2.35	0.76

	0.30	0.36	0.34	0.33	0.46	0.50	0.48	0.48	2.67	0.58
	0.40	0.46	0.46	0.44	0.38	0.46	0.44	0.43	2.56	0.5
	0.36	0.36	0.38	0.37	0.50	0.44	0.46	0.47	2.78	0.58
	0.35	0.37	0.30	0.34	0.52	0.54	0.60	0.55	2.75	0.48
	0.39	0.46	0.43	0.43	0.56	0.50	0.48	0.51	5	0.46
	0.40	0.43	0.39	0.41	0.52	0.54	0.50	0.52	5.2	0.74
	0.44	0.36	0.39	0.40	0.50	0.54	0.50	0.51	5.1	0.54
	0.48	0.50	0.50	0.49	0.74	0.56	0.72	0.67	5.2	0.82
	0.48	0.44	0.50	0.47	0.62	0.62	0.62	0.62	5.2	0.64
	0.39	0.39	0.42	0.40	0.60	0.52	0.40	0.51	5.1	0.7
	0.48	0.52	0.52	0.51	0.62	0.62	0.64	0.63	5.1	0.64
	0.40	0.42	0.38	0.40	0.48	0.50	0.52	0.50	5.2	0.64
	0.44	0.46	0.44	0.45	0.42	0.46	0.48	0.45	5.1	0.58
	0.44	0.42	0.42	0.43	0.52	0.50	0.50	0.51	5.2	0.54
	0.38	0.40	0.38	0.39	0.60	0.52	0.54	0.55	5.2	0.58
	0.42	0.34	0.40	0.39	0.46	0.48	0.44	0.46	5.2	0.58
4.2	0.60	0.58	0.62	0.60	0.68	0.64	0.64	0.65	2.84	0.74
	0.72	0.76	0.68	0.72	0.80	0.74	0.66	0.73	2.67	0.78
	0.52	0.52	0.48	0.51	0.64	0.64	0.62	0.63	5.2	0.64
	0.46	0.42	0.42	0.43	0.54	0.52	0.50	0.52	5.1	0.62
	0.50	0.48	0.48	0.49	0.54	0.54	0.52	0.53	5.3	0.62
	0.50	0.46	0.44	0.47	0.48	0.50	0.50	0.49	5	0.74
	0.46	0.46	0.48	0.47	0.56	0.50	0.50	0.52	5	0.64
	0.52	0.50	0.48	0.50	0.58	0.56	0.54	0.56	5	0.60
	0.54	0.54	0.52	0.53	0.60	0.60	0.58	0.59	5	0.58
	0.46	0.50	0.46	0.47	0.52	0.52	0.54	0.53	5	0.56
	0.56	0.52	0.52	0.53	0.62	0.58	0.54	0.58	5	0.78
	0.46	0.42	0.40	0.43	0.48	0.52	0.44	0.48	5	0.60
	0.48	0.44	0.42	0.45	0.44	0.42	0.40	0.42	5	0.46

	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.44	0.45	5	0.58
	0.46	0.48	0.46	0.47	0.42	0.40	0.40	0.41	5	0.52
	0.38	0.34	0.38	0.37	0.50	0.48	0.50	0.49	5	0.56
	0.44	0.46	0.44	0.45	0.48	0.48	0.50	0.49	5	0.56
	0.50	0.48	0.52	0.50	0.40	0.38	0.36	0.38	5	0.38
	0.44	0.42	0.44	0.43	0.48	0.46	0.44	0.46	5	0.60
	0.48	0.44	0.44	0.45	0.50	0.48	0.50	0.49	5	0.56
	0.52	0.52	0.50	0.51	0.48	0.44	0.46	0.46	5	0.40
	0.44	0.50	0.44	0.46	0.50	0.46	0.46	0.47	5	0.44
	0.46	0.48	0.46	0.47	0.46	0.50	0.44	0.47	5	0.44
	0.48	0.48	0.50	0.49	0.42	0.40	0.42	0.41	5	0.64
	0.50	0.52	0.48	0.50	0.38	0.38	0.40	0.39	5	0.52
	0.52	0.54	0.50	0.52	0.44	0.42	0.40	0.42	5	0.46
	0.46	0.46	0.48	0.47	0.38	0.36	0.38	0.37	5	0.56
4.3	0.70	0.72	0.78	0.73	0.94	0.80	0.70	0.81	2.56	0.78
	0.46	0.54	0.60	0.53	0.80	0.74	0.79	0.78	2.56	0.72
	0.64	0.70	0.68	0.67	0.58	0.62	0.70	0.63	2.58	0.78
	0.60	0.62	0.66	0.63	0.58	0.54	0.82	0.65	2.54	0.70
	0.60	0.62	0.58	0.60	0.66	0.76	0.90	0.77	2.5	0.70
	0.62	0.64	0.70	0.65	0.76	0.86	0.64	0.75	2.56	0.72
	0.52	0.50	0.52	0.51	0.56	0.68	0.82	0.69	2.56	0.74
	0.54	0.52	0.56	0.54	0.64	0.64	0.82	0.70	5	0.68
	0.48	0.44	0.46	0.46	0.56	0.52	0.64	0.57	5	0.62
	0.44	0.46	0.52	0.47	0.60	0.60	0.64	0.61	5	0.60
	0.56	0.50	0.54	0.53	0.64	0.68	0.60	0.64	5	0.64
	0.62	0.64	0.62	0.63	0.64	0.72	0.76	0.71	5	0.70
	0.46	0.46	0.44	0.45	0.54	0.66	0.62	0.61	5	0.64
	0.42	0.42	0.40	0.41	0.50	0.46	0.62	0.53	5	0.60
	0.38	0.40	0.40	0.39	0.48	0.50	0.58	0.52	5	0.58

	0.38	0.40	0.40	0.39	0.46	0.56	0.54	0.52	5	0.58
	0.34	0.36	0.36	0.35	0.44	0.56	0.50	0.50	5	0.54
	0.44	0.48	0.50	0.47	0.62	0.58	0.46	0.55	5	0.62
	0.42	0.40	0.42	0.41	0.58	0.64	0.52	0.58	2.67	0.58
	0.34	0.34	0.40	0.36	0.48	0.46	0.50	0.48	5.1	0.62
	0.30	0.30	0.32	0.31	0.50	0.52	0.52	0.51	5.2	0.56
	0.36	0.34	0.34	0.35	0.44	0.46	0.42	0.44	5.3	0.52
	0.38	0.44	0.42	0.41	0.42	0.48	0.60	0.50	5.3	0.66
	0.38	0.40	0.42	0.40	0.54	0.44	0.48	0.49	5	0.54
	0.50	0.52	0.50	0.51	0.64	0.56	0.58	0.59	5	0.68
	0.52	0.56	0.56	0.55	0.52	0.66	0.74	0.64	5	0.64
	0.58	0.50	0.50	0.53	0.52	0.68	0.84	0.68	5	0.70
	0.44	0.40	0.46	0.43	0.64	0.48	0.56	0.56	5	0.52
	0.38	0.30	0.36	0.35	0.36	0.36	0.34	0.35	5	0.45
	0.42	0.40	0.40	0.41	0.38	0.38	0.34	0.37	5	0.48
4.4	0.68	0.62	0.60	0.63	0.64	0.62	0.64	0.63	2.45	0.80
	0.58	0.64	0.64	0.62	0.76	0.76	0.76	0.76	2.67	0.72
	0.58	0.58	0.58	0.58	0.62	0.64	0.62	0.63	2.6	0.72
	0.56	0.60	0.58	0.58	0.78	0.78	0.72	0.76	2.6	0.60
	0.50	0.52	0.52	0.51	0.72	0.64	0.54	0.63	2.6	0.70
	0.54	0.50	0.48	0.51	0.62	0.64	0.62	0.63	2.6	0.74
	0.48	0.48	0.46	0.47	0.62	0.62	0.64	0.63	2.6	0.64
	0.40	0.42	0.44	0.42	0.60	0.60	0.58	0.59	2.5	0.74
	0.44	0.42	0.54	0.47	0.72	0.60	0.58	0.63	2.5	0.64
	0.54	0.54	0.52	0.53	0.62	0.70	0.64	0.65	2.5	0.64
	0.42	0.46	0.48	0.45	0.54	0.62	0.54	0.57	2.5	0.68
	0.46	0.44	0.42	0.44	0.58	0.66	0.58	0.61	2.59	0.64
	0.44	0.40	0.44	0.43	0.50	0.58	0.48	0.52	2.67	0.60
	0.44	0.40	0.42	0.42	0.62	0.52	0.62	0.59	2.67	0.52

	0.40	0.44	0.46	0.43	0.64	0.64	0.62	0.63	5.1	0.64
	0.38	0.40	0.42	0.40	0.56	0.64	0.56	0.59	5.2	0.62
	0.38	0.38	0.38	0.38	0.52	0.56	0.52	0.53	5.1	0.50
	0.44	0.42	0.44	0.43	0.44	0.52	0.42	0.46	5	0.48
	0.38	0.38	0.38	0.38	0.52	0.44	0.54	0.50	5	0.64
	0.38	0.36	0.38	0.37	0.46	0.52	0.46	0.48	5.1	0.52
	0.38	0.42	0.44	0.41	0.40	0.47	0.40	0.42	5.1	0.48
	0.42	0.40	0.42	0.41	0.38	0.42	0.38	0.39	5	0.54
	0.46	0.44	0.44	0.45	0.42	0.38	0.42	0.41	5	0.42
	0.42	0.42	0.40	0.41	0.40	0.41	0.40	0.40	5	0.58
	0.44	0.42	0.46	0.44	0.42	0.40	0.46	0.43	5	0.42
	0.38	0.34	0.42	0.38	0.42	0.40	0.40	0.41	5	0.50
4.5	0.50	0.54	0.56	0.53	0.58	0.56	0.66	0.60	2.5	0.92
	0.44	0.40	0.38	0.41	0.60	0.52	0.50	0.54	5	0.66
	0.48	0.48	0.50	0.49	0.54	0.60	0.62	0.59	5	0.66
	0.44	0.48	0.48	0.47	0.64	0.62	0.60	0.62	5	0.70
	0.40	0.42	0.38	0.40	0.54	0.56	0.58	0.56	5	0.64
	0.34	0.36	0.36	0.35	0.56	0.44	0.43	0.48	5	0.58
	0.36	0.40	0.42	0.39	0.62	0.58	0.50	0.57	5	0.62
	0.40	0.40	0.42	0.41	0.58	0.56	0.58	0.57	5	0.56
	0.36	0.38	0.40	0.38	0.48	0.48	0.52	0.49	5	0.62
	0.32	0.30	0.32	0.31	0.38	0.48	0.38	0.41	5	0.60
	0.48	0.48	0.44	0.47	0.58	0.52	0.58	0.56	5	0.62
	0.30	0.30	0.32	0.31	0.34	0.48	0.36	0.39	5	0.58
	0.30	0.36	0.34	0.33	0.38	0.40	0.42	0.40	5	0.46
	0.30	0.30	0.30	0.30	0.38	0.40	0.40	0.39	5	0.46
	0.38	0.38	0.40	0.39	0.48	0.46	5.00	1.98	5	0.48
	0.34	0.30	0.36	0.33	0.44	0.48	0.46	0.46	5	0.52
	0.34	0.30	0.30	0.31	0.32	0.42	0.40	0.38	5	0.52

	0.30	0.34	0.42	0.35	0.38	0.36	0.36	0.37	5	0.48
	0.28	0.30	0.30	0.29	0.44	0.38	0.38	0.40	5	0.52
	0.30	0.32	0.30	0.31	0.42	0.42	0.46	0.43	5	0.44
	0.40	0.36	0.38	0.38	0.38	0.40	0.36	0.38	5	0.42
	0.42	0.40	0.38	0.40	0.30	0.28	0.34	0.31	5	0.44
	0.38	0.38	0.40	0.39	0.28	0.26	0.26	0.27	5	0.50
	0.40	0.36	0.36	0.37	0.38	0.36	0.38	0.37	5	0.44
	0.38	0.38	0.36	0.37	0.46	0.42	0.36	0.41	5	0.46
	0.38	0.38	0.40	0.39	0.32	0.32	0.32	0.32	5	0.44
	0.44	0.42	0.40	0.42	0.30	0.28	0.30	0.29	5	0.42
	0.38	0.40	0.42	0.40	0.38	0.30	0.34	0.34	5	0.44
	0.40	0.36	0.38	0.38	0.40	0.38	0.40	0.39	5	0.44
	0.38	0.38	0.40	0.39	0.40	0.40	0.40	0.40	5	0.44
5.1	0.52	0.52	0.62	0.55	0.44	0.42	0.40	0.42	2.5	0.58
	0.58	0.62	0.60	0.60	0.42	0.44	0.46	0.44	2.5	0.64
	0.64	0.66	0.60	0.63	0.52	0.54	0.60	0.55	2.5	0.62
	0.50	0.48	0.48	0.49	0.40	0.40	0.42	0.41	2.5	0.72
	0.60	0.62	0.62	0.61	0.42	0.44	0.46	0.44	2.5	0.76
	0.64	0.62	0.62	0.63	0.42	0.46	0.40	0.43	2.5	0.78
	0.44	0.44	0.44	0.44	0.48	0.50	0.50	0.49	2.5	0.76
	0.38	0.38	0.38	0.38	0.42	0.46	0.44	0.44	2.5	0.84
	0.44	0.40	0.40	0.41	0.46	0.44	0.46	0.45	2.5	0.74
	0.38	0.36	0.36	0.37	0.40	0.44	0.40	0.41	2.5	0.8
	0.36	0.34	0.34	0.35	0.40	0.40	0.38	0.39	2.5	0.8
	0.42	0.40	0.40	0.41	0.48	0.46	0.46	0.47	2.5	0.86
	0.44	0.40	0.40	0.41	0.36	0.36	0.36	0.36	2.5	0.76
	0.40	0.38	0.38	0.39	0.46	0.40	0.44	0.43	2.5	0.74
	0.30	0.32	0.32	0.31	0.46	0.46	0.46	0.46	2.5	0.8
	0.26	0.30	0.30	0.29	0.40	0.40	0.42	0.41	2.5	0.78

	0.34	0.32	0.32	0.33	0.44	0.42	0.42	0.43	2.5	0.74
	0.34	0.36	0.36	0.35	0.44	0.46	0.44	0.45	2.5	0.78
	0.40	0.38	0.38	0.39	0.44	0.44	0.44	0.44	2.5	0.8
	0.40	0.42	0.42	0.41	0.40	0.42	0.42	0.41	2.5	0.78
5.2	0.62	0.66	0.60	0.63	0.52	0.52	0.52	0.52	2.5	0.82
	0.48	0.48	0.54	0.50	0.44	0.42	0.40	0.42	2.5	0.88
	0.44	0.46	0.48	0.46	0.42	0.42	0.40	0.41	2.5	0.8
	0.40	0.48	0.44	0.44	0.36	0.40	0.40	0.39	2.5	0.82
	0.48	0.48	0.46	0.47	0.40	0.42	0.44	0.42	2.5	0.72
	0.50	0.44	0.52	0.49	0.44	0.52	0.52	0.49	2.5	0.78
	0.42	0.46	0.44	0.44	0.42	0.40	0.42	0.41	2.5	0.8
	0.48	0.48	0.42	0.46	0.44	0.44	0.39	0.42	2.5	0.82
	0.46	0.60	0.54	0.53	0.48	0.46	0.48	0.47	2.5	0.8
	0.46	0.52	0.50	0.49	0.42	0.40	0.40	0.41	2.5	0.74
	0.42	0.40	0.40	0.41	0.44	0.46	0.46	0.45	2.5	0.74
	0.40	0.40	0.38	0.39	0.48	0.46	0.46	0.47	2.5	0.72
	0.38	0.40	0.44	0.41	0.42	0.42	0.42	0.42	2.5	0.78
	0.38	0.40	0.40	0.39	0.46	0.46	0.48	0.47	2.5	0.79
	0.48	0.44	0.50	0.47	0.36	0.40	0.40	0.39	2.5	0.72
	0.48	0.50	0.56	0.51	0.44	0.44	0.44	0.44	2.5	0.78
	0.44	0.40	0.40	0.41	0.46	0.46	0.46	0.46	2.5	0.78
	0.36	0.30	0.36	0.34	0.42	0.42	0.44	0.43	2.5	0.82
	0.38	0.36	0.38	0.37	0.42	0.46	0.44	0.44	2.5	0.82
	0.40	0.40	0.40	0.40	0.46	0.44	0.44	0.45	2.5	0.8
5.3	0.78	0.72	0.58	0.69	0.60	0.58	0.58	0.59	2.5	0.82
	0.64	0.58	0.68	0.63	0.54	0.50	0.50	0.51	2.5	0.78
	0.52	0.64	0.62	0.59	0.46	0.44	0.46	0.45	2.5	0.76
	0.54	0.44	0.52	0.50	0.40	0.42	0.44	0.42	2.5	0.78
	0.42	0.46	0.50	0.46	0.44	0.42	0.40	0.42	2.5	0.76

	0.41	0.40	0.44	0.42	0.44	0.42	0.42	0.43	2.5	0.76
	0.42	0.42	0.40	0.41	0.40	0.40	0.40	0.40	2.5	0.74
	0.48	0.42	0.44	0.45	0.42	0.42	0.42	0.42	2.5	0.74
	0.48	0.48	0.50	0.49	0.40	0.42	0.42	0.41	2.5	0.76
	0.50	0.48	0.50	0.49	0.46	0.42	0.42	0.43	2.5	0.8
	0.38	0.36	0.34	0.36	0.40	0.38	0.38	0.39	2.5	0.76
	0.40	0.44	0.42	0.42	0.42	0.40	0.40	0.41	2.5	0.74
	0.34	0.32	0.34	0.33	0.40	0.40	0.40	0.40	2.5	0.72
	0.40	0.44	0.42	0.42	0.44	0.44	0.44	0.44	2.5	0.72
	0.68	0.64	0.58	0.63	0.46	0.48	0.48	0.47	2.5	0.74
5.4	0.56	0.54	0.52	0.54	0.46	0.46	0.46	0.46	2.5	0.76
	0.48	0.46	0.54	0.49	0.46	0.46	0.46	0.46	2.5	0.74
	0.66	0.62	0.62	0.63	0.50	0.50	0.52	0.51	2.5	0.7
	0.62	0.58	0.50	0.57	0.48	0.50	0.52	0.50	2.5	0.78
	0.40	0.40	0.40	0.40	0.44	0.46	0.44	0.45	2.5	0.72
	0.44	0.38	0.40	0.41	0.58	0.44	0.46	0.49	2.5	0.76
	0.46	0.50	0.44	0.47	0.50	0.48	0.46	0.48	2.5	0.78
	0.40	0.42	0.40	0.41	0.50	0.48	0.48	0.49	2.5	0.72
	0.42	0.44	0.42	0.43	0.42	0.42	0.44	0.43	2.5	0.74
	0.42	0.40	0.40	0.41	0.50	0.48	0.48	0.49	2.5	0.68
	0.46	0.48	0.46	0.47	0.48	0.44	0.46	0.46	2.5	0.76
	0.30	0.38	0.30	0.33	0.36	0.38	0.38	0.37	2.5	0.7
	0.36	0.40	0.33	0.36	0.52	0.52	0.48	0.51	2.5	0.68
	0.36	0.32	0.34	0.34	0.48	0.48	0.50	0.49	2.5	0.74
5.5	0.50	0.54	0.52	0.52	0.44	0.52	0.58	0.51	2.5	0.72
	0.58	0.46	0.54	0.53	0.60	0.58	0.60	0.59	2.5	0.72
	0.44	0.62	0.62	0.56	0.62	0.58	0.58	0.59	2.5	0.76
	0.42	0.58	0.50	0.50	0.60	0.54	0.60	0.58	2.5	0.72
	0.42	0.40	0.40	0.41	0.54	0.56	0.54	0.55	2.5	0.78

0.44	0.38	0.40	0.41	0.48	0.46	0.44	0.46	2.5	0.74
0.46	0.50	0.44	0.47	0.44	0.46	0.48	0.46	2.5	0.74
0.40	0.42	0.40	0.41	0.46	0.46	0.48	0.47	2.5	0.76
0.42	0.44	0.42	0.43	0.48	0.44	0.48	0.47	2.5	0.66
0.42	0.40	0.40	0.41	0.52	0.50	0.50	0.51	2.5	0.68
0.46	0.48	0.46	0.47	0.40	0.46	0.42	0.43	2.5	0.7
0.30	0.38	0.30	0.33	0.46	0.46	0.44	0.45	2.5	0.76
0.36	0.40	0.33	0.36	0.45	0.52	0.52	0.50	2.5	0.72
0.36	0.32	0.34	0.34	0.46	0.46	0.56	0.49	2.5	0.72
0.46	0.48	0.46	0.47	0.48	0.46	0.44	0.46	2.5	0.7
0.30	0.38	0.30	0.33	0.46	0.44	0.46	0.45	2.5	0.76

ภาคผนวก ข
ข้อมูลดัชนีการเก็บเกี่ยวโดยการวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมสี แดง เขียว น้ำเงิน (RGB)

หมายเลขข้อ	ค่าสเปกตรัม		
	RED	GREEN	BLUE
85	187	156	134
	123	102	86
	106	87	70
	199	165	137
	104	76	53
	201	170	136
	187	162	130
	53	43	39
	212	173	147
	111	93	82
	121	107	98
	117	88	69
	115	87	69
	214	180	154
	131	112	101
	129	112	101
	251	218	186
	175	145	120
	132	114	101
	195	180	162
86	112	74	54
	111	74	54
	147	122	103

	125	99	82
	139	104	79
	174	139	114
	182	154	132
	178	152	130
	209	144	105
	138	89	56
	134	87	54
	255	246	198
	153	126	112
	122	80	53
	152	123	106
	255	218	182
	48	25	141
	93	64	45
	140	90	54
	132	87	51
88	255	255	236
	198	152	120
	255	255	237
	154	131	117
	149	129	116
	179	141	116
	120	86	67
	125	120	120
	156	115	89
	210	167	140
	0	0	67
	0	67	0

	198	152	120
	179	141	116
	120	86	67
	125	120	120
	156	115	89
	210	167	140
	0	0	67
	0	67	0
89	255	255	210
	255	255	243
	168	145	126
	166	137	118
	151	127	108
	148	125	106
	164	141	122
	255	220	175
	255	255	206
	199	171	140
	166	137	118
	151	127	108
	148	125	106
	164	141	122
	255	220	175
	255	255	206
	199	171	140
	255	220	175
	255	255	206
	199	171	140

91	217	175	144
	176	151	129
	215	172	137
	182	155	136
	255	218	171
	178	135	121
	255	195	159
	255	243	198
	255	218	164
	255	224	189
	215	172	137
	182	155	136
	255	218	171
	178	135	121
	255	195	159
	255	243	198
	255	218	164
	255	224	189
	255	218	164
	255	224	189
92	255	255	233
	183	124	91
	170	105	70
	34	16	70
	102	49	27
	120	83	66
	69	34	186
	186	124	93
	137	102	85

	151	67	37
	34	16	70
	102	49	27
	120	83	66
	69	34	186
	186	124	93
	137	102	85
	151	67	37
	186	124	93
	137	102	85
	151	67	37
93	255	208	180
	231	171	138
	255	236	187
	41	27	181
	91	70	54
	218	189	165
	239	199	169
	133	75	48
	255	205	163
	255	206	255
	41	27	181
	91	70	54
	218	189	165
	239	199	169
	133	75	48
	255	205	163
	255	206	255

	133	75	48
	255	205	163
	255	206	255
95	116	106	127
	255	241	194
	122	113	109
	97	69	52
	130	89	68
	210	154	131
	164	114	114
	255	183	147
	255	227	177
	255	212	161
	122	113	109
	97	69	52
	130	89	68
	210	154	131
	164	114	114
	255	183	147
	255	227	177
	255	212	161
	255	227	177
	255	212	161
96	103	58	45
	241	151	110
	255	174	112
	243	195	164
	173	132	112
	21	4	112

	198	148	119
	254	161	147
	255	254	149
	13	0	147
	243	195	164
	173	132	112
	21	4	112
	198	148	119
	254	161	147
	255	254	149
	13	0	147
	254	161	147
	255	254	149
	13	0	147
98	234	167	140
	255	217	177
	249	157	120
	191	144	105
	255	211	177
	255	183	151
	185	146	109
	255	203	167
	255	178	133
	255	173	144
	191	144	105
	255	211	177
	255	183	151
	185	146	109

	255	203	167
	255	178	133
	255	173	144
	255	203	167
	255	178	133
	255	173	144
99	224	184	153
	255	205	168
	255	255	222
	255	216	191
	255	255	249
	118	87	65
	255	240	202
	255	215	157
	255	235	202
	255	227	164
	160	129	111
	255	255	255
	255	255	240
	255	240	202
	255	215	157
	255	235	202
	255	227	164
	160	129	111
	255	255	255
	255	255	240
100	255	255	255
	255	255	255
	177	128	105

	255	202	180
	98	80	69
	4	0	0
	255	255	226
	255	231	167
	238	179	147
	255	220	181
	250	193	175
	255	255	210
	109	92	75
	255	231	167
	238	179	147
	255	220	181
	250	193	175
	255	255	210
	250	193	175
	255	255	210
102	255	255	255
	255	255	255
	255	255	232
	45	6	5
	236	173	140
	195	145	122
	255	255	255
	255	215	158
	255	255	255
	228	149	115
	45	6	5
	236	173	140

	195	145	122
	255	255	255
	255	215	158
	255	255	255
	228	149	115
	255	215	158
	255	255	255
	228	149	115
103	255	249	218
	254	184	150
	255	255	224
	255	220	195
	255	197	165
	255	236	198
	255	235	187
	223	154	123
	255	252	205
	255	255	224
	255	220	195
	255	197	165
	255	236	198
	255	235	187
	223	154	123
	255	252	205
	255	235	187
	223	154	123
	255	252	205
	255	252	205
105	255	234	194

	255	197	167
	255	192	151
	255	195	164
	245	165	132
	217	131	97
	255	192	168
	255	202	175
	255	255	255
	255	192	167
	255	255	225
	255	174	129
	255	195	164
	245	165	132
	217	131	97
	255	192	168
	255	202	175
	255	255	255
	255	192	167
	255	255	225
106	255	255	245
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	247
	255	255	255
	255	247	255
	255	255	255
	255	255	243
	255	255	255
	255	255	245

	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	249
	255	255	249
114	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	248
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	247
	255	255	245
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	247
	255	255	246
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
116	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255

	255	255	255
	255	255	255
	255	255	249
	255	255	249
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	247
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	243
117	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	247
	255	255	247
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255

	255	255	255
	255	255	255
	255	255	249
	255	255	249
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
119	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	248
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	247
	255	255	245
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	247
	255	255	246
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
	255	255	255
120	255	255	255

255	255	255
255	255	255
255	255	255
255	255	249
255	255	249
255	255	255
255	255	255
255	255	255
255	255	255
255	255	255
255	255	247
255	255	255
255	255	255
255	255	255
255	255	255
255	255	247
255	255	255
255	255	247
255	255	255

ภาคผนวก ค
ดัชนีการเก็บเกี่ยวโดยการค่าประจุไฟฟ้า

อายุ		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
85	1	3050	165	49.8	1088.27
	2	120	0.23	10.23	43.49
	3	54.5	0.72	225.3	93.51
	4	28.45	467.5	0.23	165.39
	5	39.5	123.34	0.9	54.58
	6	0.56	56.4	287.56	114.84
	7	210.34	34.6	89.4	111.45
	8	67.8	120.6	289.1	159.17
	9	0.57	4.5	301.3	102.12
86	1	178	94.4	43.5	105.30
	2	10.23	378	0.98	129.74
	3	13.25	64.6	67	48.28
	4	245	25.67	84.5	118.39
	5	145.6	76.4	65.78	95.93
	6	66.9	67.9	0.86	45.22
	7	44.9	114.4	78.67	79.32
	8	130.6	24.54	36	63.71
	9	14.5	25.6	0.23	13.44
88	1	30.5	65.4	94	63.30
	2	12.56	23	37.8	24.45
	3	79.8	72	63	71.60
	4	46	46.75	0.25	31.00
	5	37.7	123.34	76.4	79.15
	6	56.56	345	67.9	156.49
	7	10.34	34.6	114.4	53.11

	8	67.8	120.6	24.54	70.98
	9	12.4	15.7	25.6	17.90
89	1	56.4	87.6	3.45	49.15
	2	0.98	420.4	65.78	162.39
	3	23.7	56.9	0.86	27.15
	4	3.45	11.3	87.6	34.12
	5	65.78	56.4	420.4	180.86
	6	0.86	78.5	56.9	45.42
	7	78.67	0.76	56.78	45.40
	8	123	245.6	0.54	123.05
	9	0.23	5.7	210	71.98
91	1	56	449	49.8	184.93
	2	89.13	783	10.23	294.12
	3	72	790	225.3	362.43
	4	67.5	25.67	0.23	31.13
	5	334	76.4	0.9	137.10
	6	64.5	97.6	287.56	149.89
	7	64.3	4.11	89.4	52.60
	8	120.6	245.5	289.1	218.40
	9	45.7	256	301.3	201.00
92	1	94.4	49.8	43.5	62.57
	2	78.3	10.23	0.98	29.84
	3	790	25.5	67	294.17
	4	25.67	0.23	84.5	36.80
	5	76.4	0.9	65.78	47.69
	6	97.6	287.56	0.86	128.67
	7	44.11	89.4	78.67	70.73
	8	245.5	69.8	36	117.10
	9	256	30.1	0.23	95.44

93	1	49.8	23.7	165	79.50
	2	10.23	3.45	0.23	4.64
	3	225.3	65.78	0.72	97.27
	4	0.23	0.86	467.5	156.20
	5	0.9	78.67	123.34	67.64
	6	287.56	87.6	56.4	143.85
	7	89.4	420.4	34.6	181.47
	8	289.1	56.9	120.6	155.53
	9	301.3	11.3	4.5	105.70
95	1	4.4	49.8	49.8	34.67
	2	78.3	10.23	10.23	32.92
	3	79.7	25.5	225.3	110.17
	4	256.8	0.23	0.23	85.75
	5	76.4	0.9	0.9	26.07
	6	67.9	287.56	287.56	214.34
	7	441.1	89.4	89.4	206.63
	8	55.24	69.8	289.1	138.05
	9	65.2	30.1	301.3	132.20
96	1	498	23.7	43.5	188.40
	2	102.3	3.45	0.98	35.58
	3	53.22	65.78	67	62.00
	4	24.3	0.86	84.5	36.55
	5	98.9	78.67	65.78	81.12
	6	28.7	87.6	0.86	39.05
	7	14.6	420.4	78.67	171.22
	8	9.1	56.9	36	34.00
	9	31.09	11.3	0.23	14.21
98	1	0.24	0.4	0.3	0.31
	2	0.25	0.26	0.29	0.27

	3	0.31	0.25	0.24	0.27
	4	0.36	0.35	0.33	0.35
	5	0.44	0.46	0.3	0.40
	6	0.23	0.45	0.4	0.36
	7	0.34	0.42	0.26	0.34
	8	0.25	0.3	0.25	0.27
	9	0.43	0.29	0.35	0.36
99	1	0.24	0.24	0.46	0.31
	2	0.31	0.33	0.28	0.31
	3	0.25	0.3	0.28	0.28
	4	0.34	0.44	0.28	0.35
	5	0.45	0.23	0.36	0.35
	6	0.4	0.34	0.24	0.33
	7	0.26	0.25	0.25	0.25
	8	0.25	0.43	0.31	0.33
	9	0.35	0.24	0.36	0.32
100	1	0.46	0.32	0.44	0.41
	2	0.32	0.42	0.25	0.33
	3	0.26	0.25	0.25	0.25
	4	0.25	0.43	0.31	0.33
	5	0.35	0.24	0.36	0.32
	6	0.46	0.32	0.44	0.41
	7	0.32	0.42	0.25	0.33
	8	0.3	0.42	11.3	4.01
	9	0.29	0.3	0.4	0.33
102	1	0.24	0.29	0.26	0.26
	2	0.33	0.24	0.25	0.27
	3	0.3	0.33	0.35	0.33

	4	0.4	0.3	0.46	0.39
	5	0.26	0.44	0.45	0.38
	6	0.25	0.23	0.42	0.30
	7	0.35	0.34	0.3	0.33
	8	0.46	0.25	0.29	0.33
	9	0.28	0.43	0.24	0.32
103	1	0.28	0.24	0.33	0.28
	2	0.28	0.32	0.3	0.30
	3	0.36	0.42	0.44	0.41
	4	0.24	0.25	0.23	0.24
	5	0.25	0.43	0.34	0.34
	6	0.31	0.24	0.25	0.27
	7	0.36	0.32	0.34	0.34
	8	0.44	0.42	0.25	0.37
	9	0.25	0.33	0.43	0.34
105	1	0.25	0.3	0.24	0.26
	2	0.46	0.44	0.31	0.40
	3	0.32	0.23	0.25	0.27
	4	0.3	0.34	0.34	0.33
	5	0.29	0.25	0.45	0.33
	6	0.24	0.43	0.4	0.36
	7	0.33	0.24	0.26	0.28
	8	0.3	0.25	0.25	0.27
	9	0.4	0.43	0.35	0.39
106	1	0.26	0.24	0.46	0.32
	2	0.33	0.31	0.46	0.37
	3	0.3	0.25	0.32	0.29
	4	0.44	0.34	0.3	0.36

	5	0.23	0.45	0.29	0.32
	6	0.34	0.4	0.24	0.33
	7	67.9	120.6	67.9	85.47
	8	114.4	45.7	114.4	91.50
	9	24.54	94.4	24.54	47.83
109	1	25.6	78.3	25.6	43.17
	2	65.4	790	65.4	306.93
	3	23	25.67	23	23.89
	4	72	76.4	72	73.47
	5	46.75	97.6	46.75	63.70
	6	123.34	44.11	123.34	96.93
	7	345	245.5	345	311.83
	8	34.6	256	34.6	108.40
	9	120.6	49.8	120.6	97.00
110	1	15.7	10.23	15.7	13.88
	2	87.6	225.3	87.6	133.50
	3	420.4	0.23	420.4	280.34
	4	56.9	0.9	56.9	38.23
	5	11.3	287.56	11.3	103.39
	6	56.4	89.4	56.4	67.40
	7	78.5	289.1	78.5	148.70
	8	0.76	301.3	0.76	100.94
	9	245.6	4.4	245.6	165.20
	10	5.7	78.3	5.7	29.90
112	1	449	79.7	449	325.90
	2	783	256.8	783	607.60
	3	790	76.4	790	552.13
	4	25.67	67.9	25.67	39.75

	5	76.4	441.1	76.4	197.97
	6	97.6	55.24	97.6	83.48
	7	4.11	65.2	4.11	24.47
	8	245.5	498	245.5	329.67
	9	256	102.3	256	204.77
113	1	49.8	53.22	49.8	50.94
	2	10.23	24.3	10.23	14.92
	3	25.5	98.9	25.5	49.97
	4	0.23	28.7	0.23	9.72
	5	0.9	14.6	0.9	5.47
	6	287.56	9.1	287.56	194.74
	7	89.4	31.09	89.4	69.96
	8	69.8	0.24	69.8	46.61
	9	30.1	0.25	30.1	20.15
114	1	23.7	0.31	23.7	15.90
	2	3.45	0.36	3.45	2.42
	3	65.78	0.44	65.78	44.00
	4	0.86	0.23	0.86	0.65
	5	78.67	0.34	78.67	52.56
	6	87.6	0.25	87.6	58.48
	7	420.4	0.43	420.4	280.41
	8	56.9	0.24	56.9	38.01
	9	11.3	0.31	11.3	7.64
	10	49.8	0.25	49.8	33.28
116	1	10.23	0.34	10.23	6.93
	2	25.5	0.45	25.5	17.15
	3	0.23	0.4	0.23	0.29
	4	0.9	0.26	0.9	0.69

	5	287.56	0.25	287.56	191.79
	6	89.4	0.35	89.4	59.72
	7	69.8	0.46	69.8	46.69
	8	30.1	0.32	30.1	20.17
	9	23.7	0.26	23.7	15.89
	10	3.45	0.25	3.45	2.38
117	1	65.78	0.35	65.78	43.97
	2	0.86	0.46	0.86	0.73
	3	78.67	0.32	78.67	52.55
	4	87.6	0.3	87.6	58.50
	5	420.4	0.29	420.4	280.36
	6	56.9	0.24	56.9	38.01
	7	11.3	0.33	11.3	7.64
	8	0.4	0.3	0.4	0.37
	9	0.26	0.4	0.26	0.31
	10	0.25	0.26	0.25	0.25
119	1	0.35	0.25	0.35	0.32
	2	0.46	0.35	0.46	0.42
	3	0.45	0.46	0.45	0.45
	4	0.42	0.28	0.42	0.37
	5	0.3	0.28	0.3	0.29
	6	0.29	0.28	0.29	0.29
	7	0.24	0.36	0.24	0.28
	8	0.33	0.24	0.33	0.30
	9	0.3	0.25	0.3	0.28
	5	0.44	0.31	0.44	0.40
	6	0.23	0.36	0.23	0.27
	7	0.34	0.44	0.34	0.37
	8	0.25	0.25	0.25	0.25

	9	0.43	0.25	0.43	0.37
	10	0.24	0.46	0.24	0.31
120	1	0.32	0.32	0.32	0.32
	2	0.42	0.3	0.42	0.38
	3	0.25	0.29	0.25	0.26
	4	0.43	0.24	0.43	0.37
	5	0.24	0.33	0.24	0.27
	6	0.32	0.3	0.32	0.31
	7	0.42	0.4	0.42	0.41
	8	0.42	0.26	0.42	0.37
	9	0.3	0.33	0.3	0.31
	10	0.29	0.3	0.29	0.29
	11	0.24	0.44	0.24	0.31

ภาคผนวก ง
ข้อมูลการฉายรังสี

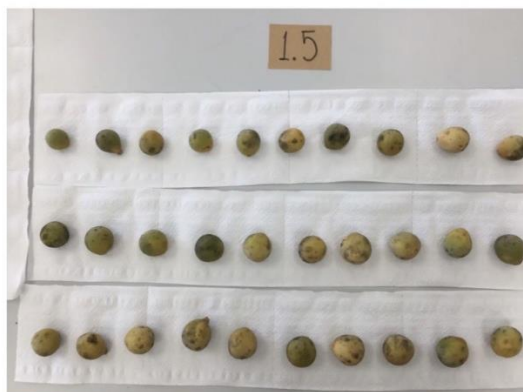
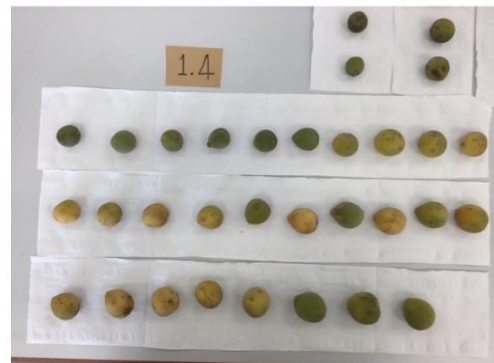
ความ เข้มรังสี	อายุ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	เฉลี่ย	หน่วย
100	91	8	8	8	9	10	11	12	13	14	10	วัน
	98	6	6	10	10	10	11	1	11	13	9	วัน
	105	5	6	8	8	9	10	11	12	12	9	วัน
200	91	6	7	7	8	9	10	12	14	14	10	วัน
	98	5	5	7	8	9	9	11	12	14	9	วัน
	105	6	7	8	8	8	8	9	10	13	9	วัน
300	91	6	6	7	7	8	9	9	14	14	9	วัน
	98	5	7	8	9	9	9	13	14	14	10	วัน
	105	7	7	8	8	9	9	15	15	15	10	วัน
400	91	6	6	9	12	12	13	13	14	15	11	วัน
	98	6	7	13	13	13	14	14	15	15	12	วัน
	105	5	6	11	11	11	11	12	13	15	11	วัน
500	91	5	9	9	11	14	14	15	15	15	12	วัน
	98	8	9	10	14	14	15	15	15	15	13	วัน
	105	6	6	7	11	11	11	11	12	12	10	วัน
600	91	6	6	8	8	10	12	12	13	14	10	วัน
	98	6	6	6	6	7	10	11	13	14	9	วัน
	105	6	6	6	6	8	8	10	11	11	8	วัน
700	91	5	6	8	8	9	9	11	12	13	9	วัน
	98	6	6	11	11	11	11	12	12	12	10	วัน
	105	6	6	6	6	7	7	8	8	8	7	วัน
800	91	7	8	8	8	11	12	12	12	13	10	วัน
	98	6	6	7	11	11	12	12	12	12	10	วัน
	105	6	7	7	8	8	11	11	11	11	9	วัน

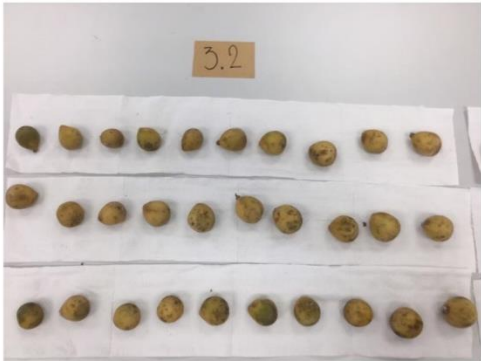
900	91	5	6	6	6	6	6	8	8	8	7	วัน
	98	5	6	6	6	6	11	11	11	11	8	วัน
	105	8	8	8	8	8	11	11	11	11	9	วัน
Control	91	5	5	6	7	8	8	8	10	10	7	วัน
	98	5	5	5	7	7	8	8	8	10	7	วัน
	105	6	7	8	8	10	10	10	10	10	9	วัน

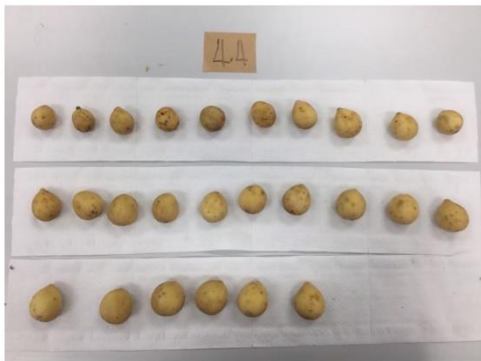
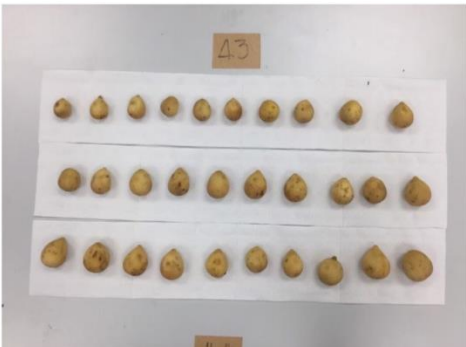
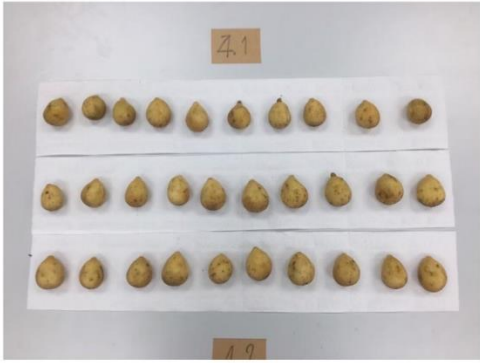
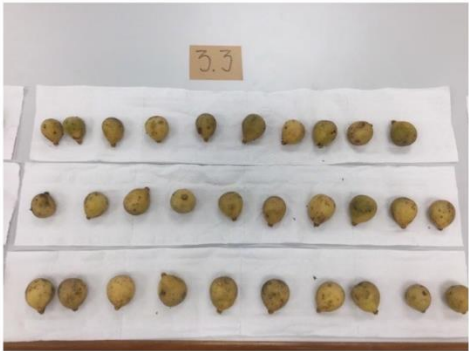
ภาคผนวก จ
ภาพลงพื้นที่ในสวนล่องกองบ้าน คุณกุลิตีธี เคียรสุวรรณ



ภาคผนวก ฉ
ภาพลองกองในงานวิจัย







ภาคผนวก ข
งานวิจัยที่เผยแพร่

บทความวิจัย

การกำหนดดัชนีเก็บเกี่ยวลองกอง (*Lansium domesticum* Corr.)
โดยใช้เทคนิคไมโครเวฟเซ็นเซอร์
Determination of Longkong (*Lansium domesticum* Corr.)
by Microwave Sensor Technique

นิโรชานา นิโสะ¹ ปิยะ ผ่านศึก² และพวงทิพย์ แก้วทับทิม^{3*}
Nikosana Niksoh¹, Piya Phansuke² and Pungtip Kaewtupim^{3*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวช่อลองกองเพื่อนำส่งตลาดต่างประเทศหรือตลาดไกลสวน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของคลื่นไมโครเวฟที่ผ่านผลลองกองด้วยเครื่องมือ Microwave Optics แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่อปริมาณกรด (TSS: TA) ของผลลองกองที่อายุ 85-120 วันหลังดอกบาน พบว่า ค่าความเข้มข้นของคลื่นไมโครเวฟ ในช่วง 0.75-0.58 mA ซึ่งผลลองกองมีช่วงอายุ 91-103 วันหลังดอกบาน และมีค่า TSS: TA อยู่ระหว่าง 6.13-9.86 ซึ่งผลลองกองมีผิวเหลือง ผลติดช่อแน่น มีรสชาติหวาน เหมาะสำหรับส่งไปขายตลาดไกลหรือต่างประเทศ สำหรับค่าความเข้มข้นของคลื่นไมโครเวฟที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.58-0.41 mA ค่า TSS: TA อยู่ในช่วง 9.86-13.55 ซึ่งผลลองกองมีอายุอยู่ในช่วง 103-115 วันหลังดอกบาน ช่วงนี้ผลลองกองมีรสชาติหวานมาก ผิวผลลองกองเหลืองเข้ม นำมารับประทานเหมาะสำหรับขายตลาดใกล้ ๆ สวน

คำสำคัญ: ลองกอง ดัชนีการเก็บเกี่ยว ไมโครเวฟเซนเซอร์

Abstract

The purpose of this research is to determine the suitable harvest index for harvesting Longkong bunches for export to overseas or distant markets. The technique for analyzing concentration of microwave through Longkong fruit with microwave optics was used. The results from the microwave concentration

¹ นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรฟิสิกส์ประยุกต์ สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี 94000

² อ., สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี 94000

³ ผศ.ดร., สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี 94000

¹ Graduate Student, Master's Degree in Applied Physics at Department of Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani Campus 94000, Thailand

² Lecturer, Department of Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani Campus, 94000, Thailand

³ Asst. Prof. Dr., Department of Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani Campus, 94000, Thailand

* Corresponding author Tel:0819594215 E-mail address: pungtip.k@psu.ac.th

(Received: July 7, 2020; Revised: December 3, 2020; Accepted: December 21, 2020)

analysis were compared with the ratio of total soluble solids to acid content (TSS: TA) of Longkong fruit ages of 85-120 days after anthesis. The results showed that the concentration of microwave was in the range of 0.75-0.58 mA, which the Longkong fruit have the ages of 91-103 days after anthesis and TSS: TA was between 6.13-9.86. The Longkong fruit has yellow skin, firmly attached to Longkong bunch, and a sweet taste, suitable for export to distant markets or overseas. For the concentration of microwave in the range of 0.58-0.41 mA, the TSS: TA was in the range of 9.86-13.55, in which the Longkong fruit was 103-115 days after anthesis, the Longkong fruits are very sweet, and the skin is dark yellow, tasty. It was suitable for selling near the orchard.

Keywords: Longkong, Harvesting Index, Microwave Sensor

บทนำ

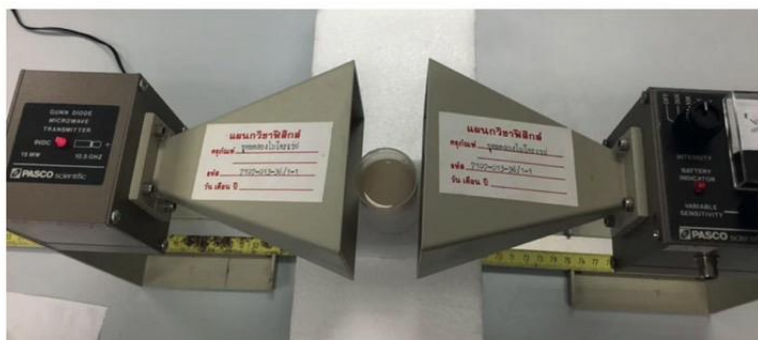
ดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลองกองที่เหมาะสมส่งผลต่อคุณภาพของผลองกอง ซึ่งผลองกองที่ช่อสวยถูกติดแน่น ผิวเปลือกสีเหลือง รสชาติหวาน มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวนาน สามารถขนส่งไปขายระยะไกลได้ เช่น ตลาดต่างประเทศเพื่อให้ได้ราคาของผลผลิตองกองสูง ด้วยองกองเป็นผลไม้ชนิด Non-climacteric Fruit เป็นผลไม้ที่ไม่สามารถบ่มเพาะได้ จะไม่สุกเพิ่มหลังการเก็บเกี่ยว หากเก็บเกี่ยวผลองกองระยะที่สุกมากมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้น เนื่องจากการหลุดร่วงของผลออกจากช่อผลภายหลังการเก็บเกี่ยวเพียง 4-5 วัน [1] เท่านั้น ทำให้ช่วงเวลาของการวางจำหน่ายผลองกองไม่นาน ตลาดของการจำหน่ายผลองกองจึงอยู่ระยะใกล้สวน และประกอบด้วยผลผลิตองกองในแต่ละสวนออกสู่ตลาดพร้อม ๆ กัน จึงทำให้เกษตรกรประสบปัญหาราคาผลผลิตองกองถูก โดยปกติดัชนีการเก็บเกี่ยวองกอง เกษตรกรใช้การนับอายุของผลองกอง นับจากดอกเริ่มบานจนผลสุกและเก็บเกี่ยวองกองที่สุกร้อยละ 80-90 เพื่อเป็นการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยว ไม่เก็บในช่วงผลสุกร้อยละ 100 เพราะผลร่วงจากช่อเร็วมาก [1] อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวค่อนข้างยุ่งยาก นอกจากนี้เกษตรกรยังใช้วิธีดูสีผิวผลองกองด้วยตาเปล่าเพื่อเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยว แต่วิธีนี้มีความคลาดเคลื่อนสูง ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวองกองโดยใช้ไมโครเวฟเซนเซอร์ผ่านผลองกองเพื่อกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวผลองกองที่เหมาะสม ซึ่งเป็นวิธีไม่ทำลายผลผลิต ไม่ยุ่งยาก และมีความแม่นยำสูง แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนความหวานต่อกรด (TSS: TA) และอายุของผลองกอง ซึ่งงานวิจัยการจำแนกระยะสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ค่า TSS: TA สามารถเป็นตัวแปรที่สามารถจำแนกระยะสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ถึง 91.7 % [2] เหมาะต่อการเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลไม้ ซึ่งในการเกษตรได้ใช้ไมโครเวฟในการอบแห้งผลผลิตมาแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาช่วยแก้ปัญหาผลผลิตเกษตรกรล้นตลาดได้ [3] และการใช้สเปกโทรสโกปีช่วงแสงที่มองเห็นได้ที่เปลือกเป็นวิธีการที่เคยใช้สำหรับแยกอายุอ่อนแก่ของทุเรียน [4] และใช้ตรวจสอบความชื้นในผัก และผลไม้ [5]

วิธีการดำเนินการ

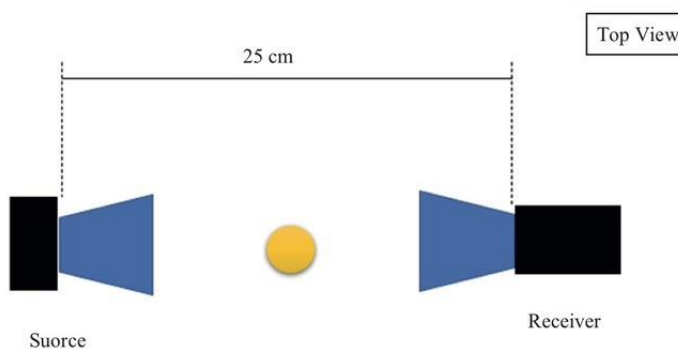
ในการศึกษาใช้วัตถุหลักคือ ผลองกองจากสวนในจังหวัดยะลา ซึ่งเป็นผลไม้พันธุ์องกองกันรู้ดี

1. ศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวผลองกองด้วยไมโครเวฟเซนเซอร์ คลื่นไมโครเวฟ (Microwave, MW) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงชนิดหนึ่งที่สายตามนุษย์มองไม่เห็นแต่สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือ

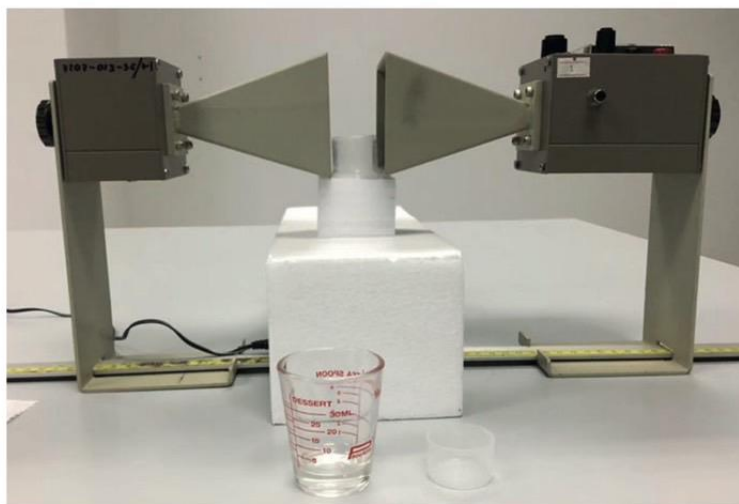
เฉพาะเท่านั้น ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 1mm-1 m และความถี่ 300 MHz ถึง 300 GHz ในการวัดความสูงของผลลองกองด้วย MW โดยอาศัยคุณสมบัติของการส่งผ่าน (Transmission) ของ MW นั่นคือเมื่อ MW วิ่งกระทบพลาสติก คลื่นสามารถทะลุผ่านได้ ดังนั้น พลาสติกจึงสามารถใช้เป็นภาชนะสำหรับใส่ผลลองกองในการวัด MW สำหรับผลลองกองที่อยู่ต่างกันมีปริมาณน้ำในผลแตกต่างกัน ทำให้การดูดซับ (Absorption) ของ MW ต่างกัน (ถ้าปริมาณน้ำในผลลองกองสูงทำให้มีการดูดซับของ MW มาก ในทางตรงกันข้ามถ้าปริมาณน้ำในผลลองกองต่ำทำให้การดูดซับ MW น้อย) ทั้งนี้ MW หลังถูกดูดซับสลายตัวทันทีจึงไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค [4] ในงานวิจัยนี้วัด MW ผ่านผลลองกองโดยไม่ปอกเปลือก ด้วยเครื่องมือ Microwave Optics ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ Microwave Optics เป็นเครื่องมือการศึกษาการแพร่กระจายของคลื่นในย่านความถี่ไมโครเวฟเพื่อตรวจสอบการส่งผ่านของคลื่นผ่านผลลองกอง หลักการทำงานของเครื่องมือ Microwave Optics มีแหล่งกำเนิดของคลื่นในย่านไมโครเวฟและมีตัวรับคลื่น กำหนดช่วงความห่างระหว่างตัวรับและตัวส่งที่ 25 cm บันทึกค่าความเข้มข้นของ MW ขณะไม่มีตัวอย่างซึ่งเป็นค่าพื้นหลัง แล้วนำผลลองกองจำนวน 1 ผลใส่ภาชนะพลาสติก จากนั้นนำมาวางกึ่งกลางระหว่างตัวส่งและตัวรับสัญญาณ บันทึกค่าความเข้มข้นของ MW หลังหักลบค่าพื้นหลัง โดยแต่ละผลทำซ้ำ 3 ครั้ง โดยจัดวางอุปกรณ์การทดลองดังภาพที่ 1-4



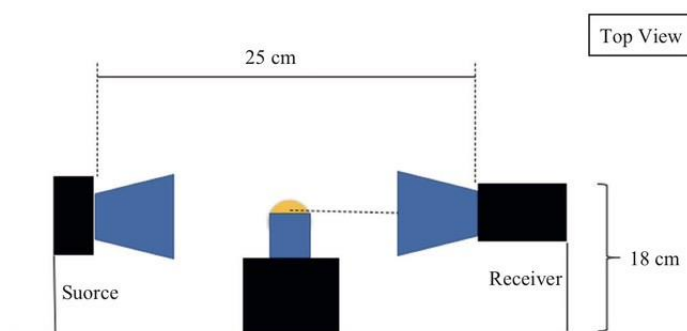
ภาพที่ 1 มุมบนของเครื่องมือ Microwave Optics



ภาพที่ 2 Top View Microwave Optics



ภาพที่ 3 มุมหน้าของเครื่องมือ Microwave Optics



ภาพที่ 4 Side View Microwave Optics

2. ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของลองกอง

2.1 นำผลลองกองจากข้อ 1 มาปั่นแล้วกรองด้วยผ้าขาวบางให้ได้ปริมาณ 2.5 ml นำไปทดสอบความหวานของผลลองกอง โดยวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Soluble Solid: TSS) ด้วยเครื่องมือ Hand Refractometer ค่าที่ได้มีหน่วยเป็นองศาบาริกซ์ ($^{\circ}\text{Bx}$) หรือ %TSS

2.2 วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (Titratable Acidity: TA) โดยแบ่งน้ำลองกองจากข้อ 2.1 จำนวน 2.4 ml มาไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide Solution) โดยใช้ Phenolphthalein เข้มข้น 0.0938 N เป็น Indicator แล้วคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก (Citric Acid) [2] ดังสมการ

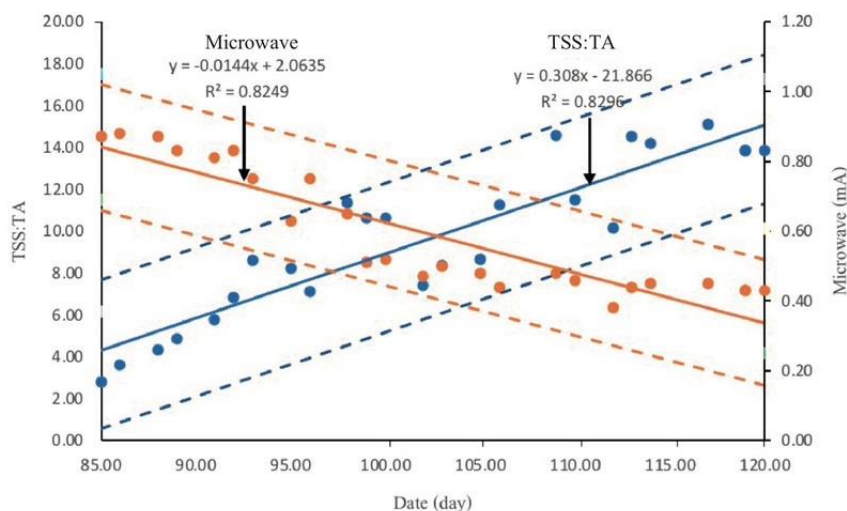
$$\% \text{citic} = \frac{\text{N base} \times \text{ml base} \times \text{meq. Wt. of citric acid} \times 100}{\text{ml of sample}} \quad (1)$$

โดย	N base	คือ Normality ของสารละลาย
	ml base	คือ ปริมาณของ NaOH ที่ใช้ในการไตเตรท
	ml of sample	คือ ปริมาตรของน้ำคั้น
	meq. Wt of citric acid	คือ 0.06404

2.3 คำนวณอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่อกรด (TSS: TA) นำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์หีโมโครเวฟเซนเซอร์ เพื่อกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ซึ่งค่า TSS: TA เป็นตัวแปรที่สามารถจำแนกระยะสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ดีถึง 91.7 % [2]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลองุ่นด้วยค่า MW เปรียบเทียบกับค่า TSS: TA และอายุของผลองุ่นแสดงดังภาพ



ภาพที่ 5 การวิเคราะห์ผลจากการนับวันดอกบาน กับ ค่า TSS: TA และ ค่า Microwave

การศึกษาดัชนีเก็บเกี่ยวของผลองุ่นที่เหมาะสม โดยวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของ MW เปรียบเทียบกับค่า TSS: TA และอายุของผลองุ่น พบว่า ค่า MW มีค่าลดลงเมื่ออายุของผลองุ่นมากขึ้น ส่วนค่า TSS: TA มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออายุของผลองุ่นมากขึ้น ดังนั้นจึงสามารถกำหนดช่วงเก็บเกี่ยวผลองุ่นที่เหมาะสมสำหรับส่งไปขายตลาดไกลและตลาดต่างประเทศ เมื่อค่า MW อยู่ในช่วง 0.75-0.58 mA ซึ่งมีค่า TSS:TA อยู่ในช่วง 6.13-9.86 โดยผลองุ่นมีอายุระหว่าง 91-103 วัน นับจากดอกบาน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Kaewtubtim, P. et al. and Taesakul, P. et al. [6-7] โดยผลองุ่นในช่วงนี้มีผิวผลองุ่นเหลือง รสหวาน

ผลดีคือสวดย สามารถนำไปขายไกลได้ และหากมีการโคสร้างสีให้ผลล่องก่องก็จะเพิ่มอายุหลังการเก็บเกี่ยว สามารถไปขายต่างประเทศได้ สำหรับดัชนีการเก็บเกี่ยวผลผลิตล่องก่องเพื่อไปขายตลาดไกลๆ ส่วน ค่า MW มีค่าอยู่ในช่วง 0.58-0.41 mA โดยมีค่า TSS: TA อยู่ในช่วง 9.86-13.55 ซึ่งล่องก่องมีอายุอยู่ในช่วง 103-115 วัน นับวันจากดอกบาน [8] ซึ่งผลล่องก่องมีรสชาติดหวานมาก ผิวผลล่องก่องเหลืองเข้ม นำมารับประทาน อย่างไร ก็ตามข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากงานวิจัยนี้สมควรเก็บข้อมูลจากผู้ทดสอบชิมเพื่อเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของ ผลล่องก่องสำหรับผู้บริโภคมาเปรียบเทียบกับข้อมูลไมโครเวฟ อายุ และ TSS: TA

สรุปผลการวิจัย

ดัชนีการเก็บเกี่ยวล่องก่องที่เหมาะสมสำหรับนำไปขายตลาดไกลมีค่า MW ในช่วง 0.75-0.58 mA ซึ่งมีค่า TSS: TA อยู่ในช่วง 6.13-9.86 โดยล่องก่องมีอายุระหว่าง 91-103 วัน นับจากดอกบาน ในช่วงนี้มี ล่องก่องที่แน่นและสวดย มีรสชาติดหวานอมเปรี้ยว สำหรับการนำผลผลิตล่องก่องไปขายตลาดไกลๆ ส่วน เมื่อใช้ดัชนีการเก็บเกี่ยว MW มีค่าอยู่ในช่วง 0.58-0.41 mA โดยมีค่า TSS:TA อยู่ในช่วง 9.86-13.55 ซึ่ง ล่องก่องมีอายุอยู่ในช่วง 103-115 วัน นับวันจากดอกบาน ในช่วงนี้มีสีผิวเหลือง ล่องก่องมีรสหวาน หอม อร่อย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณกฤษิทธิ์ เศียรสุวรรณ ขอขอบคุณทุนการ ศึกษาผลการเรียนดีเด่นเข้าศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ขอขอบคุณทุน วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และขอขอบคุณแผนกฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับสถานที่ทำการทดลองทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

References

- [1] Lichanporn, I., Nanthachai, N., Tanganurat, P., Singkhum, A., & Techavuthiporn, C. (2016). Use of oxalic acid to inhibit browning on longkong fruit after harvesting. *Huachiew Chalermprakiet Science and Technol Journal*, 2(1), 36–44.
- [2] Sombatpraiwan, S., Tipwimol, T., & Treeumnak, K. (2012). Postharvest changes in quality characteristics of Nam Dokmai mango (*Mangifera indica* L.). In *The 13th TSAE National Conference*. 521. April 4–5, 2012, Imperial Mae Ping Hotel. Chiang Mai: Thai Society of Agricultural Engineering.
- [3] Assavarachan, R. (2011). Drying agricltral products by microwave. *Kasem Bundit Engineering Journal*, 1(2), 31–42.
- [4] Timkhun, P., & Terdwongworakul, A. (2013). Non-destructive classification of durian maturity of 'Mongthong' cultivar by visible spectroscopy of the husk. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal*, 19(1), 1–6.
- [5] Orsat, V., & Vijaya Raghavan, G.S. (2007). Microwave in postharvest applications with fresh fruits and vegetable. *Fresh Produce*, 1(1), 16–22.

- [6] Kaewtubtim, P., Chittrakarn, T., Bhongsuwan, T., Aiyarak, P., & Kongsang, S. (2007). Spectral reflectance analysis of longkong (*Lansium domesticum* Corr.) bunches as an indicator for optimal harvesting. *Songklanakar Journal of Science and Technology*, 29(5), 1427–1438.
- [7] Taesakul, P., Imsabai, W., & Siriphanich, J. (2018). Fruit drop at the junction between the and fruit of longkong (*Lansium domesticum* Corr.) dose not depend on ethylene or ethylene or the induction of cell wall degrading enzymes. *Postharvest Biology and Technology*, 144, 77–85. DOI:10.1016/j.postharvbio.2018.05.015.
- [8] Venkatachalam, K., & Meenune, M. (2012). Changes in physiochemical quality and browning related enzyme activity of longkong fruit during for different weeks of on-tree maturation. *Food Chemistry*, 131(4), 1437–1442. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.10.022.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวนิโรชานา นิไช้ะ

รหัสประจำตัวนักศึกษา 6220320802

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	สถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วท.บ. (ฟิสิกส์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2562

ทุนการศึกษา

ทุนการศึกษาผลการเรียนดีเด่นเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ปีการศึกษา 2561

ทุนอุดหนุนวิจัยวิทยานิพนธ์ ประจำปีการศึกษา 2562

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

นิโรชานา นิไช้ะ ปิยะ ผานศึก และ พวงทิพย์ แก้วทับทิม. 2564. การกำหนดดัชนีเก็บเกี่ยวลองกอง (*Lansium domesticum* Corr.) โดยใช้เทคนิคไมโครเวฟเซ็นเซอร์. ASEAN Journal of Scientific and Technological Report. 24(1). 42-48.