



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้เทคนิคไมโครเวฟตรวจวัดความแก่ของผลไม้

Determination of maturity in fruit by microwave technique

ดร. ระจิตร สุวพานิช

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2551

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCIT

SB

379

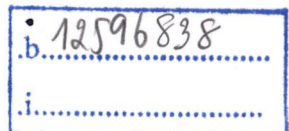
. M2

5214ก

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 131.062

วัน,เดือน,ปี 21 11 2551



ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การใช้เทคนิคไมโครเวฟตรวจวัดความแก่ของผลไม้

แหล่งทุน งบประมาณเงินรายได้ คณะอุตสาหกรรมเกษตร

ประจำปีงบประมาณ 2550 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 28,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ตุลาคม 2550 ถึงกันยายน 2551 /

หัวหน้าโครงการ และหน่วยงานต้นสังกัด

ดร. ระจิตร สุวพานิช สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจวัดความอ่อนแก่ของมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่มีอายุหลังดอกบาน 65, 70, 85 และ 90 วัน ด้วยเทคนิคไมโครเวฟ พบว่าค่า ϵ มะม่วงที่วัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟสามารถแยกระดับความอ่อนแก่ของมะม่วงได้เป็น 3 ระดับ คือ ระดับที่ 1 มะม่วงอ่อน (อายุ 65-70 วัน หลังดอกบาน) มีค่า ϵ ที่วัดได้อยู่ในช่วง 5.8988 ถึง 6.0776, ระดับที่ 2 มะม่วงที่มีอายุหลังดอกบาน 85 วัน มีค่า ϵ ที่วัดได้เท่ากับ 6.6655 และ ระดับที่ 3 มะม่วงที่มีอายุหลังดอกบาน 90 วัน มีค่า ϵ ที่วัดได้เท่ากับ 10.0416 ค่า ϵ ของมะม่วงมีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ดีกว่าองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ และมีสมการแสดงความสัมพันธ์ดังนี้ $Y = 1.7158x - 1.7498$ มีค่า $R^2 = 0.9973$ และมีความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากสมการโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.285 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : มะม่วงน้ำดอกไม้ ความแก่ เทคนิคไมโครเวฟ

Research Title: Determination of maturity in fruit by microwave technique

Researcher: Dr. Rachit Suwapanich

Faculty: Agro-Industry

Department: -

ABSTRACT

Determination of maturity in mango fruits cv. Nam Dok Mai No.4 by microwave technique at difference maturity 65, 70, 85 and 90 days after full bloom. The results showed that \bar{E} can separate mango into 3 stages. Stage 1 which 65-70 days after full bloom : \bar{E} 5.8988 to 6.0776, Stage 2 (85 days after full bloom) is \bar{E} measured as 6.6655 and stage 3 (95 days after full bloom) with \bar{E} measured as 10.0416. The relation between \bar{E} and Total soluble solid is better than other chemical components. The equations is $Y = 1.7158x - 1.7498$ with $R^2 = 0.9973$. The difference between the actual value and the value obtained from the equation is 1.285 percent.

Keywords : mango; maturity , microwave technique

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2550

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์โมไนย ไกรฤกษ์ ที่ให้คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณ นางสาวพนทิพย์ อภิบาลเกียรติกุล และ นางสาวธนาพร ศิรินาวี นักศึกษาสาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่ช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลงานวิจัย

ระจิดร สุวพานิช

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์วิธีการ	14
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	18
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	32
เอกสารอ้างอิง	34

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ลักษณะมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (เบอร์ 4)	4
ภาพที่ 2 แสดงคลื่นสะท้อนและส่วนของคลื่นที่ส่งผ่าน ณ จุดรอยต่อของตัวกลางไดอิเล็กตริก ต่างกัน	12
ภาพที่ 3 หลักการกำหนดด้านมะม่วง	15
ภาพที่ 4 เทคนิคการทดสอบโดยคลื่นไมโครเวฟ	16
ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' มะม่วงแห้งผลกับ ค่าความถี่จำเพาะของผล มะม่วง	23
ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' มะม่วงแห้งผลกับ ค่าความถี่จำเพาะของผล มะม่วง (เมื่อตัดข้อมูลที่อายุ 65 วันหลังดอกบาน)	24
ภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' มะม่วงแห้งผลกับ เปอร์เซ็นต์ความชื้นเปลือก มะม่วง	24
ภาพที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' มะม่วงแห้งผลกับ เปอร์เซ็นต์ความชื้น เปลือกมะม่วง (เมื่อตัดข้อมูลที่อายุ 65 วันหลังดอกบาน)	25
ภาพที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' มะม่วงแห้งผลกับ เปอร์เซ็นต์ความชื้นเนื้อ มะม่วง	26
ภาพที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' มะม่วงแห้งผล กับ %TSS	27
ภาพที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' มะม่วงแห้งผล กับ %TA	28

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ความถ่วงจำเพาะ ความจมน้ำ และช่องว่างระหว่างเมล็ดกับเอ็น โคคาร์บ	6
ตารางที่ 2 ค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุหรือสารบางชนิด	11
ตารางที่ 3 ค่า ϵ' , ϵ'' และค่า Loss tangent ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ระดับความแก่แตกต่างกัน	18
ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่า ϵ'' มะม่วงทั้งผลที่ระดับความแก่แตกต่างกัน	19
ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมี ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ระดับความแก่แตกต่างกัน	20
ตารางที่ 6 ตารางการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ได้กับค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้จากการทดลอง	29
ตารางที่ 7 ตารางการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ได้กับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเปลือกมะม่วงที่ได้จากการทดลอง	29
ตารางที่ 8 ตารางการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ได้กับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเนื้อมะม่วงที่ได้จากการทดลอง	30
ตารางที่ 9 ตารางการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ได้กับค่า %TSS ที่ได้จากการทดลอง	30
ตารางที่ 10 ตารางการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ได้กับค่า %TA ที่ได้จากการทดลอง	30

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีมูลค่าการส่งออกผลิตผลทางการเกษตรประมาณ 13,925.68 ล้านบาท (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) ทำรายได้จากการส่งออกผลิตผลทางการเกษตรในแต่ละปีเป็นจำนวนไม่น้อย ผลิตผลทางการเกษตรที่ทำรายได้เป็นอันดับต้นๆ คือผลไม้ ได้แก่ ทุเรียน มังคุด มะม่วง สับปะรด เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันมะม่วงจัดเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ มะม่วงเป็นผลไม้เมืองร้อนที่รู้จักและปลูกกันทั่วภูมิภาคของประเทศไทย แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ รับประทานผลดิบ เช่น พิมเสน แรด เขียวเสวย หนองแขง สายฝน ฟ้ายัน และ รับประทานผลสุก เช่น อกร่อง น้ำดอกไม้ หนั่งกลางวัน ทองคำ เป็นต้น แต่ปัญหาที่สำคัญสำหรับการส่งออกผลิตผลทางการเกษตร คือ การควบคุมคุณภาพของผลิตผล นับจากอดีตจนถึงปัจจุบัน การควบคุมคุณภาพของผลิตผลอาศัยความชำนาญของเกษตรกรเป็นหลัก ซึ่งทำให้คุณภาพของผลิตผลที่ได้ไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน และไม่เหมาะสำหรับการตรวจสอบผลิตผลที่มีจำนวนมากในเวลาจำกัด จึงมีความพยายามที่จะศึกษาค้นคว้าเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการคัดแยกผลไม้อ่อนออกจากผลไม้แก่ โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งเครื่องมือและวิธีการที่ใช้ต้องเป็นวิธีการที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลไม้ (Non-destructive measurement) เช่น การใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (NIR) การใช้เทคนิคการวัดความถี่ธรรมชาติ และการใช้เทคนิคไมโครเวฟ NIR เป็นเทคนิคที่มีความถูกต้องแม่นยำ แต่เครื่องมือมีราคาแพง ดังนั้นงานศึกษานี้จึงนำแนวคิดการใช้เทคนิคไมโครเวฟตรวจวัดความอ่อนแก่ของมะม่วง ประกอบกับทางห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย ภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้สร้างเครื่องต้นแบบสำหรับตรวจวัดความหวานของสับปะรด ทางผู้วิจัยจึงได้เกิดแนวความคิดในการนำเครื่องต้นแบบดังกล่าวมาศึกษาความเป็นไปได้ในการวัดความอ่อนแก่ของมะม่วง โดยอาศัยคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัตถุที่แตกต่างกันนั่นเอง

1.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจวัดความอ่อนแก่ของมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ด้วยเทคนิคไมโครเวฟ

2. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จากเทคนิคไมโครเวฟกับค่าทางกายภาพและทางเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จากเทคนิคไมโครเวฟกับค่าทางเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้ และสามารถนำความสัมพันธ์นี้ไปใช้ในการตรวจวัดความอ่อนแก่ของมะม่วงน้ำดอกไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

มะม่วง (*Mangifera indica* L.) เป็นไม้ผลเขตร้อน อยู่ในวงศ์ Anacardiaceae มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดีย และมีศูนย์กระจายพันธุ์อยู่ในอินโดจีน จากหลักฐานทางประวัติศาสตร์ ทราบว่ามะม่วงเป็นผลไม้ที่รู้จักกันในอินเดียและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นานกว่า 4,000 ปี ประเทศไทยมีภูมิประเทศและดินฟ้าอากาศเหมาะสม คนไทยจึงนิยมปลูกกันอย่างกว้างขวาง ปี 2543 มีพื้นที่ปลูกมะม่วงทั้งหมด 2,235,804 ไร่ ในเขตภาคกลางและภาคตะวันตกเป็นแหล่งผลิตมะม่วงที่สำคัญของประเทศ ทั้งมะม่วงรับประทาน ผลสุก และดิบ พันธุ์ที่รับประทานสุก ได้แก่ น้ำดอกไม้ หนั่งกลางวัน อกร่อง และพันธุ์ที่รับประทานดิบ ได้แก่ ทองคำ ฟาลัน เขียวเสวย แรด (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547)

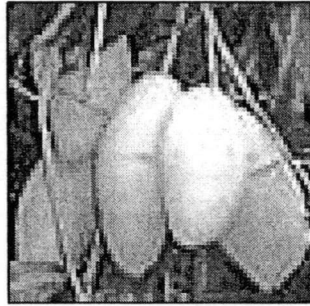
2.2 มะม่วงน้ำดอกไม้

มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นมะม่วงรับประทานสุก นิยมปลูก มีการเจริญเติบโตรวดเร็ว ใบใหญ่เป็นคลื่น ทรงพุ่มโปร่ง มีนิสัยออกดอกทะวาย ออกดอกคด ติดผลปานกลาง ให้ผลทุกปี ผลมีขนาดใหญ่หนักประมาณ 400 กรัม ลักษณะผลอ้วนเกือบกลม หัวใหญ่ ปลายแหลม ผลค่อนข้างยาว เนื้อมาก เมล็ดเล็ก มีผิวบาง เมื่อดิบมีรสเปรี้ยว ผิวสีเขียวนวล เนื้อแน่น เมื่อผลสุกมีผิวสีเหลือง กลิ่นหอม เนื้อละเอียด มีเสี้ยนน้อย รสหวาน

มะม่วงน้ำดอกไม้มีเปลือกบาง จึงชำได้ง่าย และไม่ค้อยด้านทานต่อโรคแอนแทรกโนส โดยเฉลี่ยอายุจากดอกบาน เก็บผลแก่อยู่ระหว่าง 90-115 วัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

มะม่วงน้ำดอกไม้ได้รับความนิยม เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ออกดอกง่าย ตอบสนองต่อการบังคับให้ออกก่อนฤดูได้เป็นอย่างดี และเป็นพันธุ์ที่มีลักษณะตรงกับความต้องการของตลาดต่างประเทศ

พันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน คือ น้ำดอกไม้เบอร์ 4 และน้ำดอกไม้สีทอง (บ้านมะม่วง, 2549)



ภาพที่ 1 ลักษณะมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (เบอร์ 4)

1. การปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงอาจทำได้หลายวิธี เช่น ใช้มือปลิดกิ่งผลใช้ไม้หรือตะกร้อสอย เป็นต้น แต่วิธีการดังกล่าว ทำให้คุณภาพผลมะม่วงต่ำ เนื่องจากผลอาจแตกชำและน้ำยางไหลเปราะเปื้อนผลอีกด้วย ดังนั้นวิธีการเก็บผลมะม่วงเพื่อให้ได้คุณภาพ ควรใช้เครื่องสอยมะม่วง ซึ่งมีกรรไกรสำหรับตัดกิ่ง และมีถุงรองรับป้องกันมะม่วงหล่นลงพื้น และอีกประการหนึ่งที่สำคัญควรหลีกเลี่ยง การเก็บในเวลาเช้าจนถึงเวลา 9.00 น. เพราะเป็นช่วงที่มีน้ำยางไหลมาก และการเก็บเกี่ยวควรตัดก้านให้ยาวอย่างน้อย 4 เซนติเมตร เพื่อป้องกันโรคขั้วผลเน่า เมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้ว ต้องปลิดเอาขั้วออกพร้อมกับปลิดด้านก้นผลลงบนวัสดุกระดาษ หรือกระสอบให้ยางไหลออกไปจนหมด (กรมวิชาการเกษตร, 25--)

2. การทำความสะอาด การทำความสะอาดผลผลิตที่เก็บเกี่ยวมาแล้วเป็นการปรับปรุงคุณภาพ ดังนั้น น้ำที่ใช้ในการทำความสะอาด ต้องเป็นน้ำที่สะอาด ปราศจากเชื้อโรค เช่น การใช้คลอรีนความเข้มข้น 50-200 ppm.

3. การกำหนดมาตรฐานคุณภาพ (การคัดเกรด) ขั้นตอนของการกำหนดมาตรฐานคุณภาพ อาจแบ่งออกได้เป็นการคัดเลือกและการคัดขนาด โดยขั้นแรกจากผลที่น้ำยางแห้งดีแล้วมาทำการคัดเอาพวกที่มีตำหนิต่างๆ เช่น พวกที่มีรูปร่างผิดปกติ มีรอยแตก รอยชำ มีตำหนิจากโรคหรือแมลง ฯลฯ ออกจากผลที่ดีก่อน จากนั้นนำผลที่ดีมาคัดขนาด ซึ่งอาจจะใช้คนหรือเครื่องคัดขนาด ปกติแล้วการคัดขนาดจะใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์ แยกผลที่มีขนาด ใกล้เคียงกันเป็นพวกเดียวกัน เนื่องจากมะม่วงแต่ละพันธุ์มีขนาดน้ำหนักผลไม่เท่ากัน กลุ่มงานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยพืชสวน จึงได้ทำการศึกษาเบื้องต้น ในการจัดร่างมาตรฐานมะม่วงบางพันธุ์ขึ้นการกำหนดมาตรฐานคุณภาพของมะม่วง

4. การบ่มและการเก็บรักษา ในการบ่ม การเก็บรักษาและระหว่างการขนส่ง ผลมะม่วงจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา อาหารและสารประกอบต่าง ๆ ภายในผล จะถูกเผาผลาญ เพื่อให้เกิดเป็นพลังงาน ในที่สุดผลจะเสื่อมลงและเน่าในที่สุด ในระหว่างนี้มีข้อที่ควรพิจารณาเพื่อช่วยในการเก็บผล การบ่ม การขนส่ง เสียหายน้อยที่สุด

2.3 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญเติบโตของผลมะม่วง

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

1. การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด

กรดที่พบปริมาณมากในผักและผลไม้ มักจะอยู่ในรูปของเกลือของกรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก (Citric acid) และกรดมาลิก (Malic acid) เป็นต้น โดยกรดซิตริกซึ่งพบมากในผลมะม่วงเกิดจาก Acetyl Co-enzyme A ร่วมกับกรดออกซาลออะซิติก (Oxaloacetic acid) จนได้กรดซิตริก จากนั้น กรดซิตริกจะเปลี่ยนเป็นสารตัวอื่นๆในวัฏจักรเครปส์ โดยกรดมักถูกเก็บสะสมไว้ในแวคิวโอลในปริมาณมาก ในช่วงผลอ่อนจะมีการสะสมของกรดมาก เนื่องจากสะสมกรดเหล่านี้มาจากสารตัวกลางในวัฏจักรเครปส์ การตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนและการเคลื่อนย้ายกรดอินทรีย์จากส่วนต่างๆของพืช ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต กรดจะเพิ่มขึ้นและต่อมาจะเริ่มลดลง เมื่อเข้าสู่ระยะแก่ (Kays, 1991)

2. การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตจะมีการสะสมคาร์โบไฮเดรตน้อยมาก และเป็นไปอย่างช้าๆ ปริมาณของกลูโคสและฟรุกโตสอาจจะต่ำมากหรือไม่มีเลย เมื่อปรากฏน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งขึ้นในเนื้อแสดงว่าได้ถึงจุดที่เกือบจะสุกแล้ว เมื่อมะม่วงแก่จะมีการเพิ่มปริมาณน้ำตาลรวมกลูโคสและฟรุกโตสทันที แต่การสะสมแป้งจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเจริญเติบโต ในมะม่วง น้ำดอกไม้น้ำตาลของแป้งจะเพิ่มมากในสัปดาห์ที่ 9 จนถึงระยะแก่ ในมะม่วงพันธุ์เดียวกันนี้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้จะเพิ่มขึ้นช้าๆ จนถึงระยะแก่

3. การเปลี่ยนแปลงปริมาณแป้ง

ในมะม่วงแป้งจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆในช่วงแรก เพราะเป็นช่วงที่แป้งบางส่วนถูกใช้ในการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ (embryo) ในเมล็ดและแป้งจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเมล็ดแข็งตัวและผลมีการเจริญเติบโตช้าลง ปริมาณแป้งจึงถูกใช้น้อย ดังนั้นปริมาณแป้งจึงมีการสะสมเพิ่มขึ้น เมื่อผลมะม่วงเริ่มแก่ขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในมะม่วงพันธุ์หนึ่งกลางวัน (วุฒิคุณ, 2530) พันธุ์ทองคำ (สายชล และคณะ, 2534) และพันธุ์เขียวเสวย (เสาวลักษณ์, 2530) ที่พบว่าเซลล์ของผลจะมีการสะสมแป้งเพิ่มขึ้น เมื่อผลแก่เพิ่มขึ้น

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

1. การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ปริมาตร และความถ่วงจำเพาะ

หลังจากการเพิ่มขนาดของผลที่เพิ่มขึ้นจะมีการลำเลียงน้ำและสารอาหารจากต้นแม่สู่ผลเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะมีการสะสมของแป้งเป็นส่วนใหญ่ทำให้ผลมีน้ำหนักและปริมาตรเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีค่าความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วงมากกว่า 1.00 ซึ่งในทางปฏิบัติอาจไม่ต้องคำนวณหาความถ่วงจำเพาะโดยตรง แต่ใช้วิธีสังเกตจากการจมและลอยน้ำ ผลมะม่วงที่แก่บางพันธุ์นั้นมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 จึงสามารถลอยน้ำได้ ผลมะม่วงที่แก่จะลอยน้ำ พบว่ามีช่องว่างระหว่างเมล็ดมากและเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอกที่แข็งหรือเอ็น โดคาร์บขณะที่ผลแก่จัด ส่วนผลมะม่วงแก่ที่จมน้ำ จะมีช่องว่างระหว่างเมล็ดและเปลือกหุ้มชั้นนอกน้อย (สายชล, 2533 และ Pantastico, 1975) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ความถ่วงจำเพาะ ความจมน้ำ และช่องว่างระหว่างเมล็ดกับเอ็นโดคาร์บ

พันธุ์	ความถ่วงจำเพาะ	การจมน้ำ	ช่องว่างระหว่างเมล็ดกับเอ็นโดคาร์บ
มะลิลา	0.98	ลอย	มาก
ทองคำ	1.01	จม	น้อย
เขียวเสวย	0.97	ลอย	มาก
แรด	0.99	ลอย	มาก
พิมเสนมัน	1.00	ลอย	มาก
น้ำดอกไม้	1.03	จม	น้อย
หนังกลางวัน	1.03	จม	น้อย

ที่มา : สายชล (2533)

มะม่วงบางพันธุ์เมื่อเริ่มแก่ก็จะจมน้ำ จึงอาจได้ผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวแล้วไม่แก่เต็มที่และเมื่อผลมะม่วงสุกจะมีรสชาติค่อนข้างเปรี้ยว ดังนั้นจึงมีการเติมเกลือแกงร้อยละ 2-2.5 ลงในน้ำที่ใช้ลอยผลมะม่วง ทำให้ได้ผลมะม่วงที่แก่จัดจมน้ำ ส่วนผลมะม่วงที่ไม่แก่จัดจะลอยปริ่มน้ำ

2. การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ

การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลมะม่วงโดยส่วนใหญ่ในช่วงผลอ่อนจนถึงผลแก่จะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงของความแน่นเนื้อลดลงบ้างในช่วงผลแก่ โดยมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลมะม่วงหลายๆ พันธุ์ ได้แก่ ในมะม่วงพันธุ์ทองคำ

เมื่อผลมะม่วงมีอายุ 2 สัปดาห์มีความแน่นเนื้อค่อนข้างต่ำ คือ 5.08 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร หลังจากนั้นความแน่นเนื้อจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งผลมีความแน่นเนื้อเท่ากับ 19.26 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (สายชล และคณะ 2534) มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ในช่วงผลอ่อนจะมีความแน่นเนื้อค่อนข้างคงที่ หลังจากนั้นความแน่นเนื้อลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผลเข้าสู่ระยะการแก่ โดยมีค่าเท่ากับ 25 – 26.5 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (นิพนธ์, 2534)

3. เปอร์เซ็นต์ความชื้นและน้ำหนักแห้งของเนื้อผล

โดยทั่วไปในผลมะม่วงเมื่อผลแก่เพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ความชื้นจะลดลงและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกี่ยวข้องกับปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้น (Mendoza, 1984) โดย Liza (1997) รายงานว่า ในขณะที่ผลมะม่วงพันธุ์ Alphonso และ Dashehari จะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนกระทั่งเก็บเกี่ยว รวมทั้งมีเปอร์เซ็นต์แป้ง ปริมาณน้ำตาลและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาเจริญเติบโต ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงตลอดการเจริญเติบโต

4. การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและสีเนื้อ

การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผลเป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสีสันของผลไม้มีความสำคัญมากในการแสดงคุณภาพของผลไม้ประการหนึ่ง สีของผลไม้ที่ปรากฏอยู่นั้นเกิดจากกลุ่มของรงควัตถุ (pigment) ต่างๆ ที่มีอยู่ในเซลล์พืช โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งชนิดและปริมาณของรงควัตถุตลอดระยะเวลาการเจริญพัฒนาของผลผลิตแต่ละชนิด รงควัตถุหลักที่พบมากในผลไม้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) มีสีเขียว แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) มีสีเหลืองจนถึงสีแดง และฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) มีตั้งแต่สีแดงจนไปถึงสีม่วงหรือน้ำเงิน ซึ่งในแต่ละกลุ่มมีรงควัตถุที่สำคัญได้แก่ คลอโรฟิลล์ แคโรทีน (Carotene) และแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ตามลำดับ (คณัย, 2540) ส่วนการเปลี่ยนแปลงของสีเนื้อนั้นจะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลืองเมื่อผลแก่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น

Pantastico (1975) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสีเนื้อ และเปลือกผลมะม่วงพบว่าการเปลี่ยนสีเปลือกจากเขียวเป็นเหลืองมากขึ้นเมื่อผลมีความแก่เพิ่มขึ้น ซึ่งมะม่วงพันธุ์ Alphonso และ Pairi ใช้เวลาตั้งแต่ติดผลจนกระทั่งเก็บเกี่ยวนาน 110-125 วัน ผลแก่จะมีสีผิวเปลี่ยนจากเขียวเข้มเป็นเขียวอ่อน และเนื้อเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลือง เช่นเดียวกับมะม่วงพันธุ์ไทยหลายๆพันธุ์ คือ มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (ดวงตรา, 2526) มะม่วงพันธุ์หนังกกลางวัน (วุฒิกุล, 2530 และอารี, 2536) และพันธุ์ทองดำ (สายชล และคณะ, 2534) เป็นต้น

2.3 ดัชนีความแก่

ดัชนีที่ใช้บอกความแก่ของมะม่วง จำแนกได้ดังนี้

1. นับอายุหลังจากดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ จนถึงเก็บเกี่ยวได้ เช่น

มะม่วงน้ำดอกไม้ จะเก็บเกี่ยวได้หลังจากดอกบานแล้ว	100	วัน
มะม่วงทองคำ จะเก็บเกี่ยวได้หลังจากดอกบานแล้ว	100	วัน
มะม่วงเขียวเสวย จะเก็บเกี่ยวได้หลังจากดอกบานแล้ว	120	วัน
2. นับอายุหลังติดผลขนาดหัวแมลงวันหรือหัวไม้ขีดไฟ อายุถึงวันเก็บเกี่ยวได้

มะม่วงน้ำดอกไม้	98	วัน
มะม่วงทองคำ	90	วัน
มะม่วงเขียวเสวยและมะม่วงหนังกลางวัน	110	วัน
3. นำผลไปลอยน้ำ ซึ่งมะม่วงส่วนใหญ่เมื่อแก่จะจม แต่มีบางพันธุ์ที่แก่แต่ยังไม่จม ถ้านำผลมะม่วงไปลอยน้ำเกลือแคง 2.5 เปอร์เซ็นต์ (เกลือแคง 250 กรัม ในน้ำ 20 ลิตร) ถ้าจมในน้ำเกลือ แสดงว่าแก่จัด ในมะม่วงน้ำดอกไม้จากระยะแรกๆ ถึงอายุ 12 สัปดาห์ ปริมาตรของผลจะมากกว่าน้ำหนัก แสดงว่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 แต่หลังจากนั้นน้ำหนักจะเพิ่มขึ้นจนมากกว่าปริมาตร และทำให้ความถ่วงจำเพาะกลายเป็น 1.03-1.04 (กฤษฎา และคณะ, 2547)
4. ดัดฟังเสียง แก่จัดเมื่อตีจะมีเสียงดังแป๊กๆ ผลอ่อนจะมีเสียงดังโป๊กๆ
5. สุ่มผ่าดูเนื้อใน ชิมดูรสชาติ
6. ดูด้วยสายตา สำหรับผู้ที่มีความชำนาญสูง
 - ทรงกลมอ้วน
 - ผิวมีนวล
 - สีซีดลงจากเดิม บางชนิดออกเหลือง สำหรับพันธุ์ต่างประเทศจะมีสีแดง ม่วง ส้ม เหลือง ปรากฏที่ผิวด้วย
 - จุดบนผิว (Lenticel) แห่งเป็นสีน้ำตาล ขณะอ่อนเป็นสีเขียวอ่อน
7. การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ รวมทั้งกรดอินทรีย์ต่างๆ (Total soluble solid : TSS)

การวัดเปอร์เซ็นต์ TSS หรือปริมาณสารประกอบที่ละลายน้ำได้ หรือปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ รวมทั้งกรดอินทรีย์ต่างๆ แต่ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล เช่น มะม่วงน้ำดอกไม้เมื่ออายุได้ 16 สัปดาห์ หรือ 112 วัน วัด TSS ได้ 10.0 %Brix เมื่อสุกจะมีค่า TSS 22.1 %Brix
8. การวัดเปอร์เซ็นต์ TA (Titratable acidity)

การวัดเปอร์เซ็นต์ TA หรือ เปอร์เซ็นต์เกรดที่ไต่เตรตได้ มะม่วงจะมีความบริสุทธิ์ คุณภาพ ดีที่สุด หลังจากติดผล 13 สัปดาห์ หรือ 91 วัน มีปริมาณกรด 8-9 เปอร์เซ็นต์ หรือมีอัตราส่วนของ ปริมาณน้ำตาลต่อปริมาณกรด (TSS/TA ratio) ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ (กฤษฎา และคณะ, 2547)

2.4 คลื่นไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นยาวกว่าความถี่ terahertz (THz) แต่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าคลื่นวิทยุ ไมโครเวฟมีช่วงความยาวคลื่นประมาณ 1 มิลลิเมตร – 30 เซนติเมตร หรือโดยทั่วไปมีช่วงความถี่ระหว่าง 300 MHz – 300 GHz

โดยปกติสเปกตรัมของคลื่นไมโครเวฟจะมีพลังงานของสนามแม่เหล็กที่ชัดเจนอยู่ในช่วงความถี่ประมาณ 1 GHz – 1000 GHz ส่วนใหญ่คลื่นไมโครเวฟที่นำไปใช้ประโยชน์จะมีช่วงความถี่ภายใน 1 - 40 GHz (บัณฑิต, 2539)

2.5 ลักษณะเฉพาะและประโยชน์ของไมโครเวฟ

ไมโครเวฟนอกจากจะมีคุณสมบัติที่เคลื่อนที่ได้เร็วเพราะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วยังมีคุณสมบัติที่เด่นๆ อีกหลายประการ จึงทำให้ไมโครเวฟถูกนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ มากมายหลายด้านด้วยกัน คุณสมบัติเหล่านี้ได้แก่

1. การมีความถี่สูงกว่า 1 GHz ซึ่งหมายถึงความยาวคลื่นจะต่ำกว่า 30 เซนติเมตร ลงมา
 2. ในย่านไมโครเวฟสัญญาณรบกวนที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made noise) มีระดับต่ำเมื่อเทียบกับย่านความถี่ต่ำกว่า
 3. โครงสร้างโมเลกุลของวัสดุหลายๆ ชนิดสามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้เป็นอย่างดี
 4. คุณสมบัติการกระจายคลื่นไมโครเวฟคงที่
 5. อัตราขยายสัญญาณของสายอากาศสูง
 6. ทิศทางของสายอากาศเป็นแนวพุ่งตรงไปในทิศทางที่ต้องการ
 7. สามารถทำให้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนดีขึ้น คือมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อย
 8. การก่อสร้างทำได้ง่าย
 9. สามารถส่งคลื่นได้ในย่านกว้างเพราะคลื่นมีความถี่สูงมาก
 10. เครื่องข่ายไมโครเวฟมีความเชื่อถือสูงในการใช้งาน
 11. สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างน้อย ใช้ค่าใช้จ่ายน้อยแต่คุณภาพสูง
- จากคุณสมบัติต่างๆ จึงนำคลื่นไมโครเวฟมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้แก่

1. ระบบเชื่อมต่อสัญญาณในระดับสายตา ใช้ในงานสื่อสารโทรคมนาคมระหว่างจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง อย่างเช่น การโทรศัพท์ทางไกล ใช้การส่งผ่านสัญญาณโทรศัพท์จากจุดหนึ่งไปยังสถานีทวนสัญญาณจากจุดหนึ่งและส่งผ่านสัญญาณไปเรื่อยๆ จนถึงปลายทาง และในการส่งโทรศัพท์นั้นก็ทำการส่งสัญญาณโทรศัพท์จากห้องส่งไปยังเครื่องส่งไมโครเวฟ ส่งไปทางสายอากาศ และแพร่กระจายคลื่นของโทรศัพท์ของสถานีนั้นๆ ระยะห่างของสถานีสัญญาณจะเป็นดังนี้ ถ้าความถี่สูงระยะห่างระหว่างสถานีสัญญาณก็จะน้อย แต่ถ้าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟต่ำ ระยะห่างของสถานีทวนสัญญาณก็จะมาก

2. ระบบเหนือขอบฟ้า เป็นระบบสื่อสารไมโครเวฟที่ใช้ชั้นบรรยากาศห่อหุ้มโลก (ชั้นโทรโพสเฟียร์) ช่วยในการสะท้อนและหักเหคลื่นไมโครเวฟ ให้ถึงปลายทาง ที่ระยะทางมากขึ้น การใช้ในรูปแบบนี้ไม่ค่อยนิยมจะใช้เฉพาะในกรณีที่ทำเป็นเท่านั้น เช่น ในเขตที่ไม่สามารถตั้งสถานีทวนสัญญาณได้ เนื่องจากการใช้งานรูปแบบนี้สามารถทำได้ในระยะทางที่ไกลมาก ดังนั้นในการส่งคลื่นจึงทำให้คลื่นมีการกระจายระจาย จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องส่งที่มีกำลังส่งที่สูงและสายอากาศที่รับต้องมีอัตราการขยายสัญญาณที่สูง เช่นเดียวกัน

3. ระบบดาวเทียม เป็นการใช้สถานีทวนสัญญาณลอยอยู่เหนือพื้นโลกกว่า 30,000 กิโลเมตร โดยการใช้ดาวเทียมทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณ การใช้ระบบนี้สามารถทำการสื่อสารได้ไกลมากๆ ได้ ซึ่งเป็นระบบที่นิยมใช้ระบบหนึ่งในปัจจุบัน

4. ระบบเรดาร์ ระบบนี้จะเป็นการใช้ไมโครเวฟในการตรวจจับวัตถุต่าง โดยการส่งคลื่นไมโครเวฟออกไป ในมุมแคบ แล้วไปกระทบวัตถุที่อยู่ไกลออกไปและจากนั้นคลื่นก็จะสะท้อนกลับมาแล้วนำสัญญาณที่ได้รับเทียบกับสัญญาณเดิม แล้วนำสัญญาณไปแปรค่าเป็นข้อมูลต่างๆ อีกครั้งหนึ่ง

5. ระบบเตาไมโครเวฟ สำหรับคุณสมบัติที่โมเลกุลของสารต่างๆ สามารถดูดคลื่นพลังงานคลื่นไมโครเวฟได้ต่างกันนั้น จะใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน การใช้ประโยชน์ที่ใกล้ชิดกับชีวิตในสังคมปัจจุบันมากที่สุด ก็คือ การทำเป็นเตาไมโครเวฟที่ใช้ในการอุ่นหรือปรุงอาหาร โดยการส่งคลื่นไมโครเวฟที่มีกำลังสูงส่งในพื้นที่แคบๆ ที่ทำด้วยโลหะ คลื่นไมโครเวฟนี้จะสะท้อนโลหะนั้นทำให้มีคลื่นไมโครเวฟกระจุกกระจายอยู่พื้นที่นั้น และการกระตุ้นให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนซึ่งจะสร้างความร้อนขึ้นทำให้อาหารสุกได้ ข้อดีของการให้ความร้อนแบบนี้ คือ ความร้อนจะเกิดขึ้นภายในชิ้นอาหารซึ่งต่างจากการให้ความร้อนโดยการนำความร้อนหรือการพาความร้อนทั่วไป

6. การวิเคราะห์ตัวอย่างของแร่ธาตุและสารประกอบต่างๆ โดยอาศัยหลักการที่สารต่างๆ ดูดคลื่นคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ต่างกัน

7. การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลาย โดยอาศัยหลักการที่สารต่างๆมีความสามารถในการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้ต่างกัน

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าไมโครเวฟถึงแม้จะถูกค้นพบและเริ่มใช้งานมานานพอสมควรแล้ว ปัจจุบันนี้ก็ยังมีบทบาทอย่างสูงในสาขาต่างๆ โดยเฉพาะในงานด้านโทรคมนาคม นอกจากนี้ยังมีการประดิษฐ์คิดค้นและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ ทางด้านไมโครเวฟซึ่งจะทำให้มีการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟมากขึ้นไปอีกในอนาคต

2.6 คุณสมบัติไดอิเล็กตริก

คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของสารที่ต้องการตรวจสอบ

สารไดอิเล็กตริก สารที่สามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้ เรียกว่า สารไดอิเล็กตริก ซึ่งความสามารถในการดูดกลืนไมโครเวฟนี้จะบอกโดยค่าไดอิเล็กตริก หากสารใดมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงแสดงว่าสารนั้นสามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้ดีโดยสารแต่ละชนิดนั้นก็จะมีค่าการดูดกลืนได้แตกต่างกันตามชนิดของสาร สถานะ และประจุของสาร ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 2 ค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุหรือสารบางชนิด

วัสดุหรือสาร	ค่าไดอิเล็กตริก
อากาศ	1.00
โพลีเอทิลีน	2.25
หิมะ	1.20
น้ำกลั่น	76.70
กรดอะซิติก	6.20
กลีเซอริน	39.00
เมทานอล	30.68

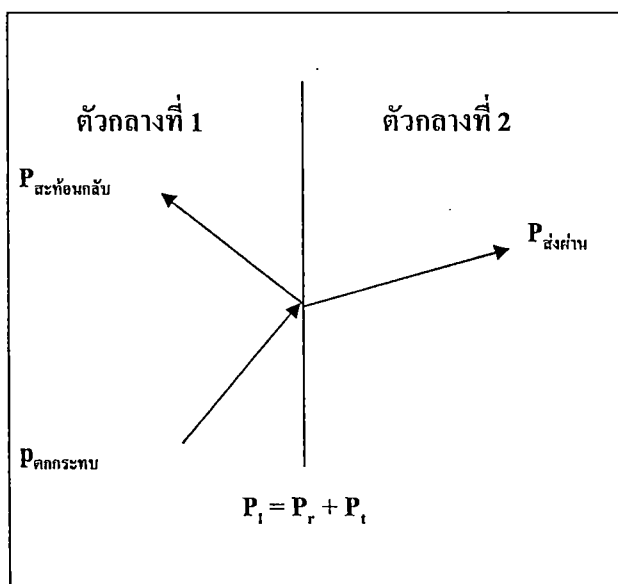
ที่มา : พิชัย (2549)

จากตารางที่ 2 ทำให้ทราบว่าวัสดุหรือ สารใดๆที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ จะสามารถดูดกลืนพลังงานของคลื่นไมโครเวฟได้ดี

การสะท้อนและการส่งผ่านของคลื่นไมโครเวฟ

เมื่อไรก็ตามที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังตัวกลางอีกแห่งหนึ่ง ซึ่งมีค่าเพอร์มิตติวิตี(permittivity)ที่แตกต่างกัน พลังงานบางส่วนจะถูกส่งผ่าน ไปยังตัวกลางใหม่ และ

พลังงานบางส่วนจะสะท้อนกลับมายังตัวกลางเดิม แสดงให้เห็นดังรูป พลังงานรวมทั้งหมดของคลื่นตกกระทบจะมีค่าเท่ากับ ผลรวมของพลังงานที่สะท้อนกลับและพลังงานส่วนที่ส่งผ่านไปยังตัวกลางใหม่ (พิชัย, 2549).



ภาพที่ 2 แสดงคลื่นสะท้อนและส่วนของคลื่นที่ส่งผ่าน ณ จุดรอยต่อของตัวกลางไดอิเล็กทริกต่างกัน

ที่มา : พิชัย (2549)

2.7 การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์แบบไม่ทำลาย

การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นการสุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาตรวจสอบ ซึ่งเป็นวิธีการที่จะต้องทำลายผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ จึงทำให้มีการคิดค้นและพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพโดยไม่ทำลายผลชิ้น ที่เป็นประโยชน์สามารถนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ได้ โดยไม่ให้เกิดความเสียหายและให้ความแม่นยำสูง การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายผลมีหลายเทคนิค เช่น X-ray and Gamma Ray Transmission, Optical Reflectance and Transmission, Nuclear Magnetic Resonance Near Infrared, Microwave เป็นต้น โดยวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลาย เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดการลดต้นทุนการผลิต และเพื่อการปรับปรุงเทคนิคการผลิต

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Nelson (2005) ใช้ช่วงความถี่ 10 MHz – 1.8 GHz ศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของตัวอย่างเนื้อเยื่อจากผลไม้ 9 ชนิด ได้แก่ แอปเปิ้ล อะโวคาโด กล้วย แคนตาลูป แครรอต แตงกวา องุ่น ส้ม และมะเขือเทศ ที่อุณหภูมิ 5 - 65 °C พบว่าที่ความถี่สูงกว่า 1 GHz คุณสมบัติไดอิเล็กตริกจะแปรผันตามอุณหภูมิ แต่ที่ความถี่ต่ำกว่า 1 GHz คุณสมบัติไดอิเล็กตริกจะแปรผกผันกับอุณหภูมิ

Rutparlom และคณะ (2006) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของเนื้อทุเรียนกับค่า complex permittivity เพื่อตรวจสอบความแก่ของทุเรียน พบว่าการตรวจสอบความแก่ของทุเรียนแบบไม่ทำลายคุณภาพ โดยใช้ไมโครเวฟวัดค่า complex permittivity ของวัตถุ เช่น ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร สามารถวัดได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องแน่นอน ผลลัพธ์ที่ได้ คือ เทคนิคนี้ให้ความถูกต้องแน่นอนถึงร้อยละ 90

โมนอย และคณะ (2549) แยกระดับความสุกของสับปะรดโดยเปรียบเทียบระหว่าง 2 วิธีที่แตกต่างกัน คือ เทคนิคการทดสอบแบบใช้คลื่นไมโครเวฟจากเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น และเทคนิคการทดสอบแบบ Brix ซึ่งเป็นการวัดปริมาณน้ำตาลในน้ำที่คั้นจากสับปะรดในตำแหน่งที่ทำการทดสอบแบบไมโครเวฟโดยใช้ Refractometer พบว่าการทดสอบสับปะรดแบบใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นวิธีการทดสอบที่ไม่ทำลาย แต่จากผลการทดสอบจากเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น ยังไม่มีประสิทธิภาพในการแยกระดับความสุกได้ดีพอเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดสอบสับปะรดแบบ Brix ซึ่งเป็นการทดสอบแบบทำลาย

Nelson, Guo, Trabelsi and Kay (2007) ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณสารไดอิเล็กตริกและปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในเนื้อแตงโม(soluble solid content:SSC) ที่มีผลต่อคุณภาพของแตงโม จากการศึกษาพบว่า SSC สามารถคำนวณได้จากสมบัติไดอิเล็กตริกของแตงโม

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.2 วัตถุประสงค์

มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เบอร์ 4 จากอำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยมีอายุการเก็บเกี่ยว ดังนี้

- มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เบอร์ 4 อายุ 65 วันหลังดอกบาน
- มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เบอร์ 4 อายุ 70 วันหลังดอกบาน
- มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เบอร์ 4 อายุ 85 วันหลังดอกบาน
- มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เบอร์ 4 อายุ 90 วันหลังดอกบาน

3.2 สารเคมี

1. สารละลายต่างมาตรฐาน (NaOH) 0.1 N
2. Phenolphthalein 1 %

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

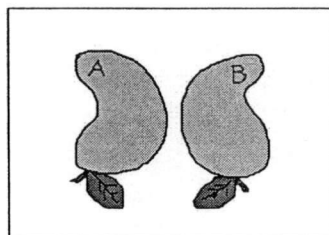
1. เครื่องวัดโมโครเวฟ
2. Hand Refractometer ยี่ห้อ ATAGO (N₁ Brix 0-32 เปอร์เซนต์)
3. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven)
4. เครื่องชั่งดิจิตอล 1 ตำแหน่ง
5. เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง
6. Blender ปั่นเปียก และปั่นแห้ง
7. desiccator
8. stand+clampมือ
9. กระบอกตวง 50 มิลลิลิตร
10. บิวเรต + Stand
11. ปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
12. ปีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร

13. ปิเปต 10 มิลลิลิตร
14. tong
15. ถุงซิปล
16. ถ้วยฟอยล์

3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมวัสดุดิบ

1. คัดเลือกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เบอร์ 4 ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน มีก้านติดอยู่ที่ผลและไม่มีรอยบาดแผล ปราศจากโรคและแมลง
2. นำมะม่วงจากข้อ 1 มาตัดก้านให้มีความยาวของก้านประมาณ 1 เซนติเมตร ปล่อยให้แห้งอย่างไหลออกหมด แล้วจึงนำผ้าชุบน้ำพอมาดเช็ดที่ผิวมะม่วงเบาๆ และทำการเช็ดให้แห้งอีกครั้ง
3. กำหนดด้านมะม่วง แต่ทำการทดลองเพียงด้าน A ด้านเดียวเท่านั้น ดังรูป



ภาพที่ 3 หลักการกำหนดด้านมะม่วง

3.4.2 ขั้นตอนการทดลอง

โดยแบ่งชุดทดลองออกเป็น 4 ชุด ดังนี้

- ชุดทดลอง ที่ 1 มะม่วง อายุ 65 วัน หลังดอกบาน 30 ผล
- ชุดทดลอง ที่ 2 มะม่วง อายุ 70 วัน หลังดอกบาน 30 ผล
- ชุดทดลอง ที่ 3 มะม่วง อายุ 85 วัน หลังดอกบาน 30 ผล
- ชุดทดลอง ที่ 4 มะม่วง อายุ 90 วัน หลังดอกบาน 30 ผล

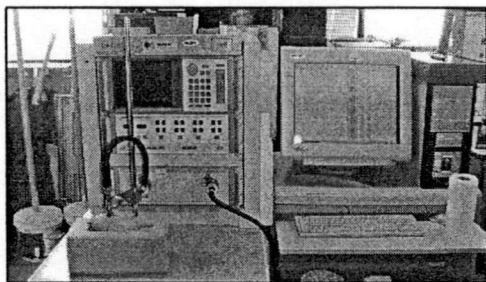
นำผลมะม่วงทั้งหมดในแต่ละชุดทดลอง มาทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1. การทดสอบโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ วัดมะม่วงด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่มะม่วงทั้งผล และเนื้อมะม่วงด้าน A บันทึก ค่า E' และ E''

เมื่อ

- ค่า ϵ' คือ Dielectric properties ซึ่งวัดได้จากค่าที่คลื่นไมโครเวฟถูกดูดซับด้วยองค์ประกอบทางเคมี และปริมาณความชื้นในมะม่วง
- ค่า ϵ'' คือ Dielectric loss factor วัดจากคลื่นที่ทะลุผ่านออกมา ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ถูกดูดซับจากองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณความชื้นในมะม่วง

คำนวณค่า Loss tangent จากค่าอัตราส่วนระหว่าง ϵ' และ ϵ'' (ϵ'' / ϵ') หลังจากนั้นนำผลมะม่วงไปตรวจวัดองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีต่อไป



ภาพที่ 4 เทคนิคการทดสอบโดยคลื่นไมโครเวฟ

2 ตรวจวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมี

นำผลมะม่วงทั้งหมดในแต่ละชุดทดลอง มาทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

2.1. ความถ่วงจำเพาะ ทำการชั่งน้ำหนักมะม่วงในอากาศ และชั่งน้ำหนักมะม่วงในน้ำ
คำนวณค่าความถ่วงจำเพาะดังสมการ

$$SG = \frac{W_a - SG_w}{W_1}$$

เมื่อ SG = ความถ่วงจำเพาะของตัวอย่าง

SG_w = ความถ่วงจำเพาะของน้ำ

W_a = น้ำหนักตัวอย่างที่ชั่งในอากาศ (กิโลกรัม)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างที่ชั่งในน้ำ (กิโลกรัม)

โดยน้ำที่ 27 องศาเซลเซียส มีความถ่วงจำเพาะ 1.003

2.2 เเปอร์เซ็นต์ความชื้น โดยทำการหั่นเนื้อมะม่วงด้าน A เป็นลูกบาศก์ขนาด 0.5 เซนติเมตร ใส่เนื้อมะม่วงหนัก 5 กรัม (4 ตำแหน่ง) ลงในถ้วยฟอยล์ และบันทึกน้ำหนักมะม่วงก่อนอบ นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทำให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 30 นาที พร้อมทั้งบันทึกน้ำหนักหลังอบ และทำการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่เปลือกมะม่วงด้าน A ด้วยวิธีการเดียวกัน คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น ดังสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักมะม่วงก่อนอบ} - \text{น้ำหนักมะม่วงหลังอบ}}{\text{น้ำหนักมะม่วงก่อนอบ}} \times 100$$

2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid; TSS) ทำการวัดปริมาณ TSS โดยใช้ น้ำคั้นจากเนื้อมะม่วงด้วยเครื่อง Hander Refractometer อ่านค่าที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์บริกซ์ บันทึกผล

2.4 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (Titratable Acidity; TA) ทำการวัดปริมาณ TA โดยนำน้ำคั้นจากเนื้อมะม่วงปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 49 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Phenolphthalein 1 % 3-5 หยด เพื่อใช้เป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นนำไปไตเตรตด้วยสารละลายต่างมาตรฐาน (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 N จนกระทั่งถึงจุดยุติ (น้ำคั้นเปลี่ยนเป็นสีชมพูอย่างถาวร) บันทึกปริมาณต่างเพื่อใช้ในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์กรดซิตริก

$$\text{เปอร์เซ็นต์ TA} = \frac{\text{ความเข้มข้นของ NaOH (0.1) } \times \text{ปริมาณ NaOH ที่ใช้ (มิลลิลิตร)} \times 0.064^* \times 100}{\text{ปริมาณน้ำคั้นมะม่วง (มิลลิลิตร)}}$$

* milliequivalent of citric acid (anhydrous) = 0.064

2.5 อัตราส่วน TSS/TA โดยนำค่าระหว่าง TSS และ TA มาคำนวณหา อัตราส่วน TSS/TA

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

ตารางที่ 3 ค่า \mathcal{E}' , \mathcal{E}'' และค่า Loss tangent ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ระดับความแก่แตกต่างกัน

จำนวนวัน หลังดอก บาน	มะม่วงทั้งผล			เนื้อมะม่วง		
	\mathcal{E}' มะม่วง	\mathcal{E}'' มะม่วง	Loss tangent	\mathcal{E}' มะม่วง	\mathcal{E}'' มะม่วง	Loss tangent
65	26.3397	5.8988	0.2234	52.8611	13.8606	0.2624
70	22.8372	6.0776	0.2658	50.2036	14.2166	0.2845
85	24.1101	6.6655	0.2764	52.2865	14.2694	0.2807
90	24.7008	10.0416	0.2040	62.4563	14.5910	0.2339

ค่า \mathcal{E}' ของมะม่วงทั้งผลเมื่อมีอายุหลังดอกบาน 65 – 90 วัน มีค่าอยู่ในช่วง 22.8372 - 26.3397 ในขณะที่ค่า \mathcal{E}'' มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความแก่ของผล โดยเพิ่มจาก 5.8988 เมื่อมะม่วงมีอายุ 65 วันหลังดอกบานเป็น 10.0416 เมื่อมีอายุ 90 วันหลังดอกบาน เช่นเดียวกับค่า \mathcal{E}' ของเนื้อมะม่วงที่มีค่าอยู่ในช่วง 50.2036-62.4563 และค่า \mathcal{E}'' มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 13.8606 เป็น 14.5910 เมื่อผลมะม่วงมีอายุเพิ่มขึ้น การที่ค่า \mathcal{E}'' ของเนื้อมะม่วงมีค่าสูงกว่าค่า \mathcal{E}' ของมะม่วงทั้งผล เนื่องจาก ค่า \mathcal{E}'' ของมะม่วงทั้งผล เป็นค่าที่วัดได้จากคลื่นที่ทะลุผ่านทั้งเนื้อและเปลือกของมะม่วง แต่ \mathcal{E}'' ของเนื้อมะม่วงวัดได้จากคลื่นที่ทะลุผ่านออกมาจากเนื้อมะม่วงเพียงชั้นเดียว ดังนั้นคลื่นจะถูกดูดซับด้วยองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณความชื้นในเนื้อมะม่วงเท่านั้น ทำให้ค่า \mathcal{E}'' ของเนื้อมะม่วงมีค่าสูงกว่า \mathcal{E}' ของมะม่วงทั้งผล

จากตารางทำให้ทราบว่าค่า \mathcal{E}' มีค่าเป็นช่วงไม่สามารถแยกมะม่วงออกจากกันได้ ส่วนค่า \mathcal{E}'' มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า \mathcal{E}' ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จากเทคนิคไมโครเวฟกับองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมี สำหรับเหตุผลของการเลือกใช้ค่า \mathcal{E}' ของมะม่วงทั้งผลเนื่องจากคลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นที่ใช้เพื่อตรวจวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร

แบบไม่ทำลาย ดังนั้นจึงเลือกใช้ ค่า ϵ ของมะม่วงทั้งผลซึ่งเป็นค่าที่วัดได้จากส่วนที่เป็นทั้งเปลือก และเนื้อของมะม่วง โดยไม่ต้องทำลายผลมะม่วง

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่า ϵ ของมะม่วงทั้งผลที่ระดับความแก่แตกต่างกัน

ค่าทางเคมี	อายุมะม่วง (วันหลังดอกบาน)			
	65	70	85	90
ϵ มะม่วงทั้งผล	5.8988 ^a	6.0776 ^a	6.6655 ^b	10.0416 ^c

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ($P < 0.05$)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ LSD และ Duncan พบว่า ค่า ϵ มะม่วงทั้งผล มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุมะม่วงเพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ยกเว้นมะม่วงอายุ 65-70 วันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นเมื่อพิจารณาเฉพาะค่า ϵ สามารถแยกระดับความอ่อนแก่ของมะม่วงได้ 3 ระดับ คือ ระดับที่ 1 มะม่วงอ่อน อายุ 65-70 วันหลังดอกบาน ระดับที่ 2 มะม่วงอายุ 85 วันหลังดอกบาน และระดับที่ 3 มะม่วงแก่ทางการค้า อายุ 90 วันหลังดอกบาน

4.2 องค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมี ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ ที่ระดับความแก่แตกต่างกัน

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมี ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ระดับความแก่แตกต่างกัน

ค่าทางเคมี	อายุมะม่วง (วันหลังดอกบาน)			
	65	70	85	90
ความถ่วงจำเพาะ	1.0000 ^a	1.0163 ^b	1.0182 ^b	1.0352 ^c
ความชื้นของเปลือก (%)	70.8060 ^a	72.4860 ^b	72.6237 ^b	74.2313 ^c
ความชื้นของเนื้อ (%)	85.0050 ^a	83.9547 ^{ab}	82.7620 ^{ab}	79.4055 ^b
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (% TSS)	8.34 ^a	8.89 ^a	9.48 ^{ab}	15.51 ^b
ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (%TA)	3.32 ^a	2.90 ^b	2.44 ^c	0.90 ^d
TSS/TA	2.5573 ^a	2.8197 ^a	3.9064 ^a	18.7333 ^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ($P < 0.05$)

4.2.1 ความถ่วงจำเพาะ

ค่าความถ่วงจำเพาะของมะม่วงมีค่าเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากค่า 1.0000 เป็น 1.0352 เมื่อผลมีอายุเพิ่มจากอายุ 65 เป็น 90 วันหลังดอกบาน (ตารางที่ 5) สอดคล้องกับการทดลองของสายชล (2533) ที่รายงานว่าผลความถ่วงจำเพาะของมะม่วงจะมีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.00 และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขนาดของผล ทำให้มีการลำเลียงน้ำและสารอาหารจากต้นไปสู่ผลมากขึ้น โดยเฉพาะการสะสมของแป้ง ทำให้ผลมีน้ำหนักและปริมาตรเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความถ่วงจำเพาะของมะม่วงมากกว่า 1.00 และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีการนำค่าความถ่วงจำเพาะมาใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยว เช่น ดวงตรา (2526) พบว่ามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่มีอายุ 84 วันขึ้นไปหลังติดผล มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 1.03- 1.04 และสามารถใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ ในขณะที่ อารี (2536) ศึกษามะม่วงพันธุ์หนังกกลางวัน พบว่าผลที่อายุ 109 วันหลังติดผลขึ้นไปจะมีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.00 สามารถเก็บเกี่ยวได้ นิพนธ์(2534)

ศึกษาการเจริญเติบโตของมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ พบว่าผลที่อายุ 91 วันหลังติดผลจะมีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.00 สามารถเก็บเกี่ยวได้ อย่างไรก็ตาม จากการทดลองพบว่าความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วงระหว่าง 70-85 วัน มีค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4) ทั้งนี้อาจเนื่องจากช่วงที่ผลมะม่วงมีอายุ 70-85 วัน เป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดผลมะม่วงและปริมาณแป้งน้อย

4.2.2 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเปลือกและเนื้อมะม่วง

ปริมาณความชื้นของเปลือกมะม่วง จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (แตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) ตามความแก่ของผล โดยมีค่าเพิ่มจาก 70.81 เปอร์เซ็นต์ เป็น 74.23 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 5) เมื่อมะม่วงมีอายุเพิ่มจาก 65 เป็น 90 วันหลังดอกบาน เช่นเดียวกับค่าความถ่วงจำเพาะ ในขณะที่ปริมาณความชื้นของเปลือกมะม่วงที่มีอายุ 70 และ 85 วันหลังดอกบาน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การที่เปลือกมะม่วงมีความชื้นเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับสรรพมงคล (2545) พบว่า ปริมาณความชื้นของเปลือกมะม่วงพันธุ์มหาชนกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อความแก่เพิ่มขึ้น

ในขณะที่ปริมาณความชื้นของเนื้อมะม่วง กลับพบว่ามีค่าลดลง เมื่อผลมีความแก่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 5) สอดคล้องกับ Mendoza (1984) ที่รายงานผลว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งและการลดลงของความชื้นจะเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณแป้ง วุฒิคุณ (2530) อธิบายว่าแป้งในมะม่วงจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆในช่วงแรก เป็นช่วงที่แป้งบางส่วนถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ (Embryo) ในเมล็ด และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเมล็ดแข็งตัวในขณะที่ผลมีการเจริญเติบโตช้าลง ปริมาณแป้งจึงถูกใช้น้อย ดังนั้นปริมาณแป้งจึงมีการสะสมเพิ่มขึ้นเมื่อผลมะม่วงเริ่มแก่ขึ้นและมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นในเนื้อมะม่วงมีปริมาณลดลง ดังนั้นจึงใช้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งและเปอร์เซ็นต์ความชื้นเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยว เช่น Lakshminarayana และคณะ (1970) ศึกษาในมะม่วงพันธุ์อัลฟองโซใช้น้ำหนักแห้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ความชื้น 80 เปอร์เซ็นต์เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยว

4.2.3 ปริมาณของแป้งที่ละลายน้ำ (% TSS) ปริมาณของแป้งในมะม่วงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (แตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) ตามความแก่ของผล โดยมีค่าเพิ่มจาก 8.34 เป็น 15.51 (ตารางที่ 5) เมื่อมะม่วงมีอายุเพิ่มจาก 65 เป็น 90 วันหลังดอกบาน สอดคล้องกับวุฒิคุณ (2530) ที่ศึกษาในมะม่วงพันธุ์หนังกกลางวันพบว่า มะม่วงพันธุ์หนังกกลางวันมีปริมาณ %TSS เพิ่มขึ้นเมื่อผลแก่เพิ่มขึ้น โดยมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ %TSS ในช่วงแรกค่อนข้างน้อย เป็นเพราะมะม่วงมีการสะสมแป้งมากกว่าน้ำตาล แต่เมื่อผลแก่เพิ่มขึ้นแป้งจะสลายไปเป็นน้ำตาลส่งผลให้มี

ปริมาณ %TSS เพิ่มขึ้นส่วนการสะสมแป้งในช่วงแรกจะทำให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงเนื่องจากน้ำตาลกลูโคสจะถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์แป้ง

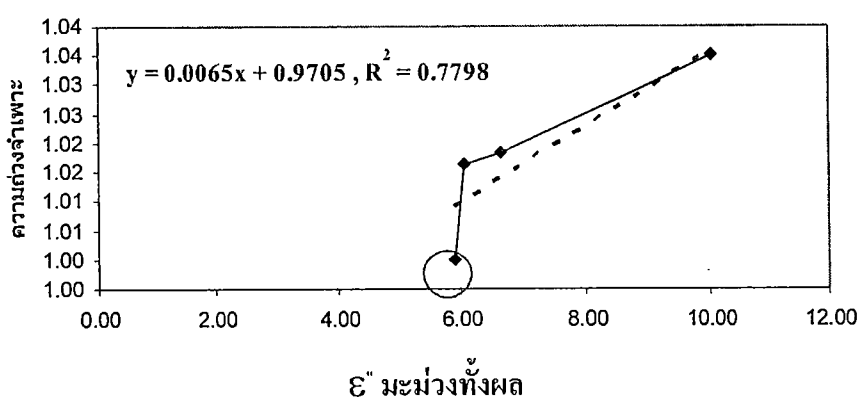
4.2.4 ปริมาณกรดที่ไคเตรตได้ (%TA) พบว่า %TA มีแนวโน้มลดลง (แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) ตามความแก่ของผล โดยมีค่าลดลงจาก 3.32 เป็น 0.90 เมื่อมะม่วงมีอายุเพิ่มจาก 65 เป็น 90 วันหลังดอกบาน โดย %TA สามารถแยกความอ่อนแก่ของมะม่วงออกจากกันได้อย่างชัดเจน คือ ระยะที่ 1 อายุ 65 วันหลังดอกบาน, ระยะที่ 2 อายุ 70 วันหลังดอกบาน, ระยะที่ 3 อายุ 85 วันหลังดอกบาน และระยะที่ 4 อายุ 90 วันหลังดอกบาน สอดคล้องกับ Kays (1991) ที่รายงานผลว่า กรดซิตริกซึ่งพบมากในผลมะม่วงเกิดจาก Co-enzyme A ร่วมกับกรดออกซาลออะซิติก (oxaloacetic acid) ได้กรดซิตริก จากนั้นกรดซิตริกก็จะถูกเปลี่ยนเป็นสารตัวอื่นๆ ในวัฏจักรเครปส์ และสอดคล้องกับ Medlicott และ Thomson (1985) รายงานผลว่าในมะม่วงพันธุ์เคียทท์ (Keitt) จะมีกรดลดลงเมื่อผลมะม่วงมีความแก่เพิ่มขึ้น โดยกรดซิตริกเป็นกรดหลักที่มีปริมาณลดลงมากที่สุด ในขณะที่กรดมาลิกมีปริมาณน้อยในช่วงผลแก่ แต่จะลดลงมากในช่วงผลสุก เนื่องจากพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ malate dehydrogenase เพิ่มขึ้นระหว่างผลสุก โดยเฉพาะในช่วง Climacteric peak

4.2.5 TSS/TA เมื่อผลมะม่วงมีความแก่เพิ่มขึ้น ค่า TSS/TA มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างผลที่อายุ 65 วันหลังดอกบานกับอายุ 90 วันหลังดอกบาน ในขณะที่มะม่วงที่มีอายุ 65, 70 และ 85 วันหลังดอกบาน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อวิเคราะห์โดยรวมจากองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมี สามารถแยกมะม่วงได้ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ มะม่วงอ่อน กับ มะม่วงแก่ แต่มะม่วงที่อยู่ในช่วงมะม่วงที่กำลังพัฒนาผลเข้าสู่ระยะที่แก่ (อายุ 70 ถึง 85 วันหลังดอกบาน) ไม่สามารถแยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน โดยจะเห็นได้ชัดในค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อมะม่วงและค่า %TSS ยกเว้น %TA ที่สามารถแยกกลุ่มมะม่วงออกจากกันได้ชัดเจน คือ อ่อนมาก อ่อน เริ่มแก่ และแก่การค้า

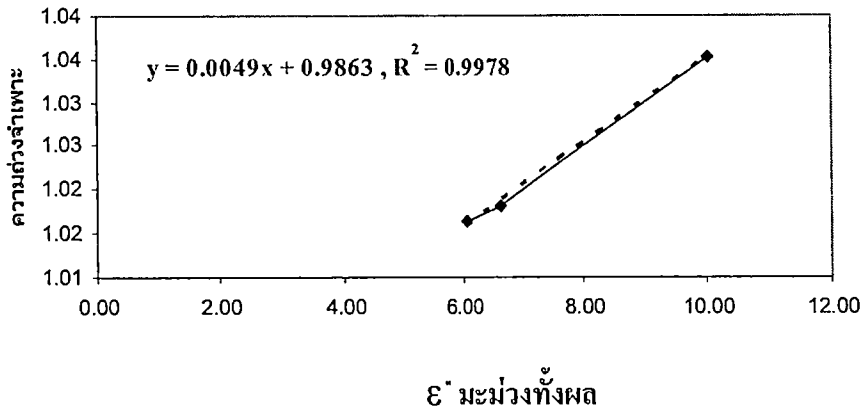
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางไฟฟ้ากับองค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ ที่ระดับความแตกต่างกัน

เนื่องจากคลื่น ไมโครเวฟเป็นคลื่นที่ใช้เพื่อตรวจวัดคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตรแบบไม่ทำลาย ดังนั้นจึงเลือกใช้ ค่า ϵ'' ของมะม่วงทั้งผลซึ่งเป็นค่าที่วัดได้จากส่วนที่เป็นทั้งเปลือกและเนื้อของมะม่วง โดยไม่ต้องทำลายผลมะม่วง



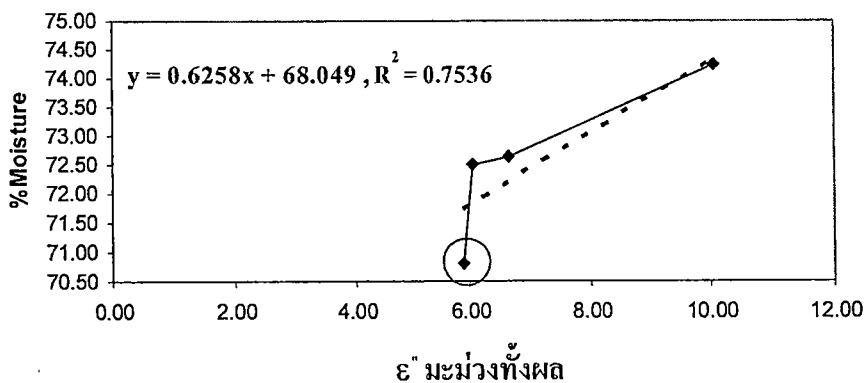
ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' มะม่วงทั้งผลกับ ค่าความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วง

ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' มะม่วงทั้งผล กับค่าความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วงพบว่า ค่า ϵ'' มะม่วงทั้งผลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบแปรผันตามกับค่าความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วง กล่าวคือ เมื่อผลมะม่วงมีความแก่เพิ่มขึ้น ค่า ϵ'' ของมะม่วงทั้งผล และ ค่าความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วง จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยค่า ϵ'' มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีภายในมะม่วงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่า ϵ'' ดังนั้นเมื่อองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีในมะม่วงมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะการสะสมของแป้ง ทำให้ผลมีน้ำหนักและปริมาตรเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความถ่วงจำเพาะของมะม่วงมากกว่า 1.00 และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น(สายชล, 2533) ทำให้ค่า ϵ'' มีค่าเพิ่มขึ้น และความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการ $Y = 0.0065X + 0.9705$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสอง (R^2) = 0.7798 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของชุดข้อมูล หาก R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าชุดข้อมูลทั้ง 2 นี้มีความสัมพันธ์กันมาก แต่ค่า R^2 ของกราฟความสัมพันธ์นี้มีค่าไม่เข้าใกล้ 1 เพราะมีชุดข้อมูลของมะม่วง 65 วันแตกกลุ่ม เมื่อตัดชุดข้อมูลของมะม่วงที่มีอายุ 65 วันหลังดอกบาน ได้กราฟความสัมพันธ์ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ' มะม่วงทั้งผลกับ ค่าความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วง (เมื่อตัดข้อมูลที่อายุ 65 วันหลังคอกบาน)

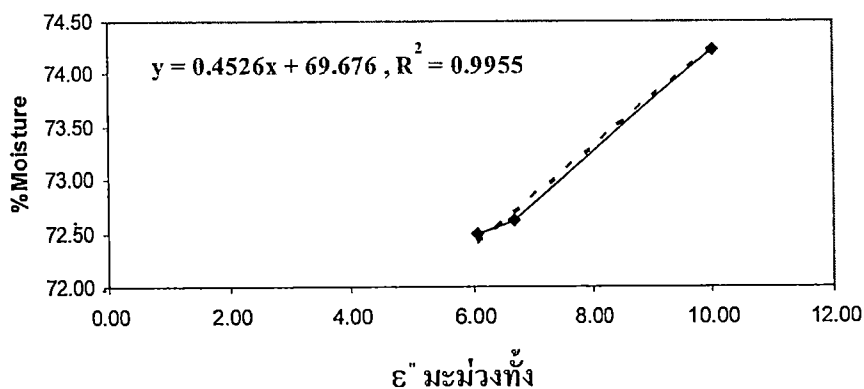
ภาพที่ 6 พบว่า ค่า ϵ' มะม่วงทั้งผลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบแปรผันตามกันกับค่าความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วง โดยเมื่อมะม่วงมีความแก่เพิ่มขึ้น ค่า ϵ' ของมะม่วงทั้งผลและค่าความถ่วงจำเพาะจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ' ของมะม่วงทั้งผลกับค่าความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วง จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ $Y = 0.0049X + 0.9863$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสอง (R^2) = 0.9978 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสอง (R^2) มีค่าเข้าใกล้ 1 มากยิ่งขึ้น จะเห็นได้ว่าข้อมูลมีความผันผวนมากขึ้น



ภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ' มะม่วงทั้งผลกับ เปอร์เซนต์ความชื้นเปลือกมะม่วง

ภาพที่ 7 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' มะม่วงแห้งผล กับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเปลือกมะม่วง ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบแปรผันตามกัน กล่าวคือ เมื่อผลมะม่วงมีความแก่เพิ่มขึ้นปริมาณความชื้นของเปลือกมะม่วงและค่า ϵ'' ของมะม่วงแห้งผลจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมะม่วงมีความแก่เพิ่มขึ้น มะม่วงมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีมีผลทำให้ค่าความสามารถในการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ (dielectric) เปลี่ยนแปลงไป สมบัติไดอิเล็กตริกจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณความชื้นของวัตถุ (ดิเรก, 2546) ดังนั้นเมื่อเปลือกมะม่วงมีความชื้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่า ϵ'' ของมะม่วงแห้งผลมีค่าลดลง แต่สาเหตุที่ค่า ϵ'' ของมะม่วงแห้งผลมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งที่ควรมีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากปริมาณความชื้นของเปลือกมะม่วงมีปริมาณเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณความชื้นทั้งหมดในผลมะม่วง ดังนั้นหากปริมาณความชื้นของเปลือกมะม่วงมีค่ามากขึ้น จึงไม่มีผลทำให้ค่า ϵ'' มีค่าลดลง

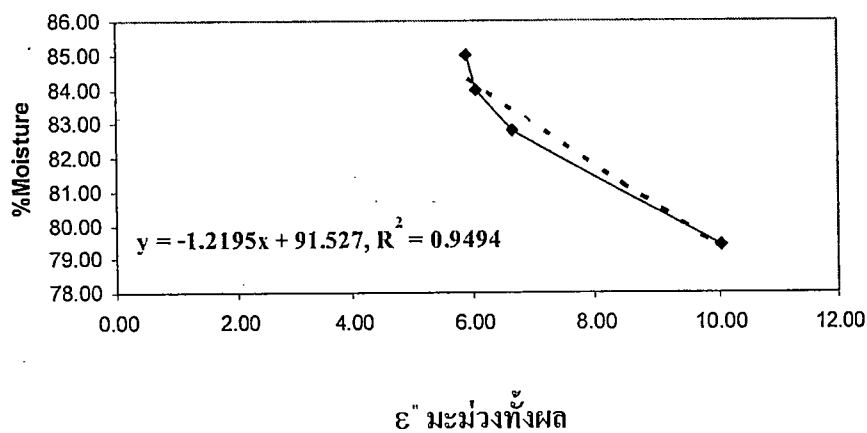
และเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' ของมะม่วงแห้งผลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเปลือกมะม่วง จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ $Y = 0.6258X + 68.049$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสอง (R^2) = 0.7536 ค่า R^2 ของกราฟความสัมพันธ์นี้มีค่าไม่เข้าใกล้ 1 เพราะมีชุดข้อมูลของมะม่วง 65 วัน แยกกลุ่ม เมื่อตัดชุดข้อมูลของมะม่วงที่มีอายุ 65 วันหลังคอกบาน ได้กราฟความสัมพันธ์ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' มะม่วงแห้งผลกับ เปอร์เซ็นต์ความชื้นเปลือกมะม่วง

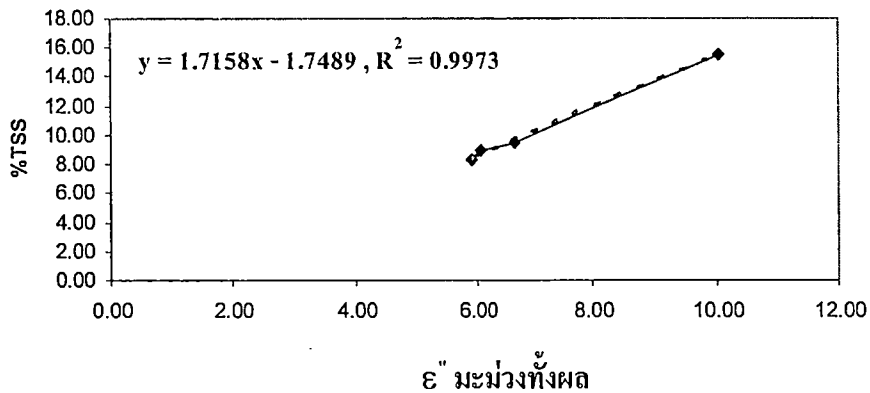
ภาพที่ 8 พบว่า ค่า ϵ'' มะม่วงแห้งผลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบแปรผันตามกันกับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเปลือกมะม่วง โดยเมื่อมะม่วงมีความแก่เพิ่มขึ้น ค่า ϵ'' ของมะม่วงแห้งผลและค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเปลือกมะม่วงจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' ของมะม่วงแห้งผลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเปลือกมะม่วง จะได้ความสัมพันธ์ดัง

สมการ $Y = 0.4526X + 69.676$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสอง (R^2) = 0.9955 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสอง (R^2) มีค่าเข้าใกล้ 1 มากยิ่งขึ้น นั่นคือ ข้อมูล มีความสัมพันธ์กันมากขึ้น



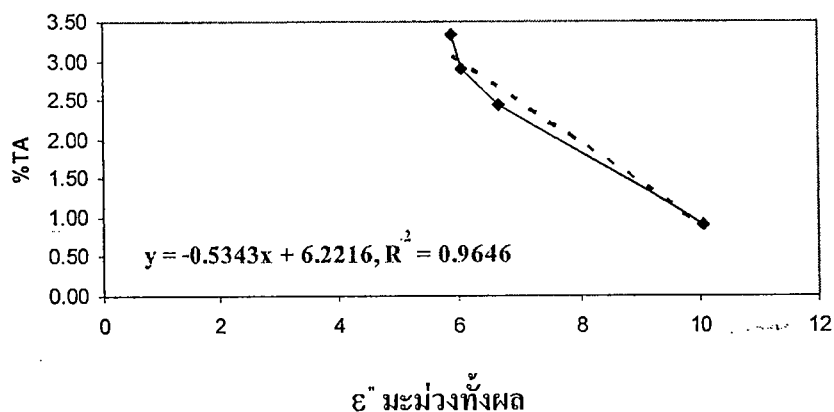
ภาพที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' มะม่วงแห้งผลกับ เปอร์เซ็นต์ความชื้นเนื้อมะม่วง

จากภาพที่ 9 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' มะม่วงแห้งผล กับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อมะม่วง พบว่า ค่า ϵ'' มะม่วงแห้งผลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อมะม่วง กล่าวคือ เมื่อผลมะม่วงมีความแก่เพิ่มขึ้นปริมาณความชื้นในเนื้อมะม่วงมีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำมีการระเหยเพิ่มขึ้นเมื่อผลมะม่วงเริ่มแก่ขึ้น และมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นในเนื้อมะม่วงมีปริมาณลดลง (วุฒิกุล, 2530) ในขณะที่ค่า ϵ'' มะม่วงแห้งผลจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่า ϵ'' คือ Dielectric loss factor วัดจากคลื่นที่ทะลุผ่านออกมา ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ถูกดูดซับจากองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณความชื้นในมะม่วง กล่าวคือ ดังนั้นเมื่อปริมาณความชื้นลดลงทำให้คลื่นที่ทะลุผ่านออกมาจากผลมะม่วงมีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' ของมะม่วงแห้งผลกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อมะม่วง จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ $Y = -1.2195X + 91.527$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสอง (R^2) = 0.9494 เข้าใกล้ 1



ภาพที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' มะม่วงทั้งผล กับ %TSS

ภาพที่ 10 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' มะม่วงทั้งผล กับ %TSS ของเนื้อมะม่วง พบว่า ค่า ϵ'' มะม่วงทั้งผลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบแปรผันตามกันกับ %TSS ในเนื้อมะม่วง กล่าวคือ เมื่อผลมะม่วงมีความแก่เพิ่มขึ้นปริมาณ %TSS ของเนื้อมะม่วงและค่า ϵ'' มะม่วงทั้งผลจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากตลอดระยะเวลาการพัฒนาของผลมะม่วงมีการสะสมอาหารเพิ่มขึ้นจึงทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น และอาหารสะสมที่สำคัญของผลมะม่วง คือ แป้ง(Mendoza, 1984) และมีการสะสมของแป้งอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่มีการเพิ่มขึ้นของขนาดผลรวมทั้งปรากฏว่ามีการสูญเสียความชื้นจากเนื้อเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้น (Litz, 1997) โดยค่า ϵ'' มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณ %TSS ภายในมะม่วงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่า ϵ'' ดังนั้นเมื่อปริมาณ %TSS ในมะม่วงมีค่าเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ค่า ϵ'' มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' ของมะม่วงทั้งผลกับ %TSSของเนื้อมะม่วง จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ $Y = 1.7158X - 1.7489$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ กำลังสอง (R^2) = 0.9973



ภาพที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' มะม่วงทั้งผล กับ %TA

จากภาพที่ 11 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' มะม่วงทั้งผล กับ %TA ของเนื้อมะม่วง พบว่าค่า ϵ'' มะม่วงทั้งผลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบแปรผกผันกับ %TA ในเนื้อมะม่วง กล่าวคือ เมื่อผลมะม่วงมีความแก่เพิ่มขึ้น ปริมาณ %TA ในเนื้อมะม่วงมีค่าลดลงเนื่องจากเมื่อผลมะม่วงแก่เพิ่มขึ้นปริมาณกรดลดลง เนื่องจากกรดจะถูกใช้ในการหายใจผ่านวัฏจักรเครปส์ (Mattoo และคณะ, 1975) ในขณะที่ค่า ϵ'' มะม่วงทั้งผลจะมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ'' ของมะม่วงทั้งผล กับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อมะม่วง จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ $Y = -0.5343X + 6.2216$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสอง (R^2) = 0.9646

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางไฟฟ้ากับคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี (แสดงในตารางที่ 6 ถึง 10) จากสูตร

$$\% \text{ ค่าความแตกต่าง} = \frac{|\text{Data from equation} - \text{Data from experiment}|}{\text{Data from equation}} \times 100$$

ตารางที่ 6 ตารางการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ได้กับค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้จากการทดลอง

	จำนวนวันหลังคอกบาน			
	65	70	80	90
ค่าที่วัดได้จริง	1.0000 ^a	1.0163 ^b	1.0182 ^b	1.0352 ^c
ค่าจากสมการ	1.0088	1.0100	1.0138	1.0358
% ค่าความแตกต่าง	0.8723	0.6238	0.4340	0.0579

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (P< 0.05)

ตารางที่ 7 ตารางการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ได้กับความชื้นของเปลือก (เปอร์เซ็นต์) ที่ได้จากการทดลอง

	จำนวนวันหลังคอกบาน			
	65	70	80	90
ค่าที่วัดได้จริง	70.8060 ^a	72.4860 ^b	72.6237 ^b	74.2313 ^c
ค่าจากสมการ	71.7405	71.8524	72.2203	74.3330
% ค่าความแตกต่าง	1.3026	0.8818	0.5586	0.1368

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (P< 0.05)

ตารางที่ 8 ตารางการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ได้กับความชื้นของเนื้อ (เปอร์เซ็นต์) ที่ได้จากการทดลอง

	จำนวนวันหลังดอกบาน			
	65	70	80	90
ค่าที่วัดได้จริง	85.0050 ^a	83.9547 ^{ab}	82.7620 ^{ab}	79.4055 ^a
ค่าจากสมการ	84.3334	84.1154	83.3984	79.2813
% ค่าความแตกต่าง	0.7964	0.1910	0.7631	0.1567

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (P< 0.05)

ตารางที่ 9 ตารางการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ได้กับค่า %TSS ที่ได้จากการทดลอง

	จำนวนวันหลังดอกบาน			
	65	70	80	90
ค่าที่วัดได้จริง	8.34 ^a	8.89 ^a	9.48 ^{ab}	15.51 ^b
ค่าจากสมการ	8.37	8.68	9.69	15.48
% ค่าความแตกต่าง	0.36	2.42	2.17	0.19

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (P< 0.05)

ตารางที่ 6 ถึง 9 ค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากสมการมีความใกล้เคียงกัน เมื่อหาเปอร์เซ็นต์ค่าความแตกต่าง พบว่ามีความแตกต่างกันน้อย คือมีเปอร์เซ็นต์ค่าความแตกต่างไม่ถึง 5 แสดงว่าสมการที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการทำนายผลได้

ตารางที่ 10 ตารางการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ได้กับค่า %TA ที่ได้จากการทดลอง

	จำนวนวันหลังดอกบาน			
	65	70	80	90
ค่าที่วัดได้จริง	3.32 ^a	2.90 ^b	2.44 ^c	0.90 ^d
ค่าจากสมการ	3.07	2.97	2.66	0.86
% ค่าความแตกต่าง	8.14	2.36	8.27	4.65

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (P< 0.05)

ตารางที่ 10 เมื่อนำสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า E'' มะม่วงทั้งผลกับค่า %TA มาตรวจสอบความถูกต้อง พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 5.855 แสดงว่าสมการที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า E'' มะม่วงทั้งผลกับค่า %TA อาจยังไม่สามารถนำมาใช้ในการทำนายผลได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจวัดความอ่อนแก่ของมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่มีอายุหลังดอกบาน 65, 70, 85 และ 90 วัน พบว่าค่า E'' มะม่วงทั้งผล ที่วัดด้วยเทคนิค ไมโครเวฟสามารถแยกแยะระดับความอ่อนแก่ของมะม่วงได้เป็น 3 ระดับ คือ

- ระดับที่ 1 มะม่วงอ่อน (65-70 วันหลังดอกบาน) มีค่า E'' ที่วัดได้เท่ากับ 5.8988 ถึง 6.0776
- ระดับที่ 2 มะม่วงอายุหลังดอกบาน 85 วัน มีค่า E'' ที่วัดได้เท่ากับ 6.6655
- ระดับที่ 3 มะม่วงที่มีความแก่ทางการค้า (90 วันหลังดอกบาน) มีค่า E'' ที่วัดได้เท่ากับ 10.0416

เมื่อหาความสัมพันธ์ของค่า E'' มะม่วงทั้งผล กับองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมี พบว่าค่า E'' มะม่วงทั้งผล มีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ดีกว่าองค์ประกอบอื่นๆ และมีการแสดงความสัมพันธ์ $Y = 1.7158X - 1.7489$, $R^2 = 0.9973$ และมีความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการศึกษา โดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.285 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษานี้การใช้เทคนิคไมโครเวฟยังไม่สามารถแยกแยะระดับความอ่อนแก่ของมะม่วงได้อย่างชัดเจน

ข้อเสนอแนะ

1. ความแก่ของมะม่วง เนื่องจากไม่ได้นับจำนวนวันหลังดอกบานที่แน่นอน ทำให้ผลการทดลองที่ได้อาจจะบอกระดับความแก่ได้ไม่ชัดเจน
2. ค่าไดอิเล็กตริกมีการแปรผันตามอุณหภูมิ แต่เนื่องจากการทดลอง ผู้ทำการทดลองไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ ทำให้ผลการทดลองที่ได้ อาจเกิดความคลาดเคลื่อน
3. น่าจะมีการศึกษามะม่วงที่รู้จำนวนวันหลังดอกบานที่แน่นอน และมีความแตกต่างกันของชุดการทดลองมากกว่านี้
4. จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองอาจไม่ใช่ตัวแทนที่ดีของมะม่วง
5. ในการหาความสัมพันธ์ของค่า E'' กับองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมี อาจต้องพิจารณาหลายองค์ประกอบร่วมกัน

6. ควรมีการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ใช้ในการทำนาย โดยใช้ตัวอย่างมะม่วง นอกเหนือจากตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตรการเกษตร. 25--. มะม่วง. [เข้าถึง] สืบค้นได้จาก: http://www.doa.go.th/pl_data/02_LOCAL/oard5/mango_eat/main.html. [20 มกราคม 2551]
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2547. สถิติการปลูกไม้ผล-ไม้ยืนต้น ปี 2544. ฝ่ายข้อมูลส่งเสริมการเกษตร กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2551. มะม่วง. [เข้าถึง] สืบค้นได้จาก:<http://www.doae.go.th/plant/mango.html>. [20 มกราคม 2551]
- กฤษฎา วิรุณหะ, คณะธิปไตย โชศรี และวิรัตน์ วันไชยสงศ์. 2547. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเนื้อสัมผัสกับความอ่อนแก่ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. ปรินญาณิพนธ์มหบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 8-12.
- ดนัย บุญเกียรติ. 2540. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 222 หน้า.
- ดวงตรา กสานติกุล. 2526. การศึกษาการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 56 หน้า.
- ดิเรก เพ็ชรจินดา. 2546. การตรวจวัดปริมาณความชื้นในเมล็ดพืชแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ. 69 หน้า.
- นิพนธ์ ประพันธ์เทพากุล. 2534. การเจริญเติบโต และดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงพันธุ์โชคนันต์. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาไม้ผล ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่. 32 หน้า.
- บัณฑิต โรจน์อารยานนท์. 2539. วิศวกรรมไมโครเวฟ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บ้านมะม่วง. 2549. มะม่วง. [เข้าถึง] สืบค้นได้จาก:http://www.phtnet.org/postech/web/mango/pages/mango/Nam_doc_mai.html. [20 มกราคม 2551]
- พิชัย ภัคดีพานิชเจริญ. 2549. ไมโครเวฟ. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.
- โมไนย ไกรฤกษ์. 2549. รายงานความก้าวหน้าเครื่องทดสอบผลไม้แบบพกพา (Handheld fruit tester) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ประจำปี 2549.

- วุฒิคุณ กรร่า. 2530. การเติบโต และดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาสอนวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 95 หน้า
- สรรพมงคล บุญกัน. 2545. การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและเคมีในระหว่างการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์มหาชนก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาชีววิทยา. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 125 หน้า.
- สายชล เกตุษา. 2533. การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติต่อผลมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยว. รวมยุทธมะม่วง. หน้าที่ 65-68.
- สายชล เกตุษา, สมชาย รัตนมาลี และฉลองชัย แบบประเสริฐ. 2534. การเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงพันธุ์ทองคำ. ว. เกษตรศาสตร์. 25 : 391-399.
- เสาวลักษณ์ กังวานตระกูล. 2530. การเติบโตและดัชนีการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาการสอนชีววิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 72 หน้า.
- อารี ใจเพชร. 2536. การศึกษาการเจริญเติบโต และดัชนีการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 64 หน้า.
- A.O.A.C 1990. Official Method of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Inc, Virginia. 1298 p. Gould, W.A. 1977. Food Quality Assurance. The Avl Publishing Company, Inc. Connecticut. 314.
- Kays S. K. 1991. Postharvest Physiology of Perishable Plant Products. An AVI Book Published by Van Nostrand Reinhold, New York. 532p.
- Lakshminarayana S., Subhadra N.V. and Subramanyam H. 1970. Some aspects of developmental Physiology of mango fruit. J. Hort. Sci. 45:133-142
- Litz R.E. 1997. The Mango : Botany, Production and Uses. The University Press., Cambridge. 587 p.
- Mattoo A.K., Murata T., Pantastico Er. B., Chachin K., Ogata K. and Phan C.T. 1975. Chemical Changes during ripening and senescence. In Pantastico Er.B.(ed.). Postharvest Physiology, Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits and Vegetables AVI Publishing Company, Westport, Connecticut. pp. 103-127.

- Medlicott A.P. and Thompson A.K. 1985. Analysis of sugars and organic acid in ripening mango fruits (*Mangifera indica* L. var. Keitt) by high performance liquid chromatography. *J. Sci. food agric.* 36:561-566.
- Mendoza D.B. 1984. Mango: Fruit development, postharvest physiology and marketing in ASEAN. ASEAN Postharvest Horticulture Training and Research Centre, University of the Philippines at Los Banos, College, Laguna, Philippines. 95 p.
- Nelson, S. O. 2005. Dielectric spectroscopy of fresh fruit and vegetable tissues. [online] Available: <http://www.asabe.org>. [21 June 2007]
- Nelson, S. O., Guo, W., Trabelsi, S and Kay, S. J. 2007. Spectroscopy of watermelon for sensing and technology. [online] Available: <http://www.ars.usda.gov/pandp/people/people.htm?personid:4709>. [26 July 2007].
- Pantasico Er. B. 1975. Postharvest Physiology, Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruit and Vegetables. The AVI Publishing company, Westport, Connecticut. 560 p.
- Rutparlom, T., Chmnongthai, K., Kumhom, P. and Krairikjh, M. 2006. Non-destructive durian maturity determination by using microwave free space measurement. [online] Available: http://ieeexplore.ieee.org/xls/abs_all.jsp?arnumber=1692844. [26 July 2007].