สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

การตรวจวัดอาการฟ่ามในผลส้มเขียวหวานแบบไม่ทำลาย โดยใช้คุณสมบัติทางไฟฟ้า

Non-destructive detection of spongy disorder in orange using electrical properties

1. นายสนธิสุข ธีระชัยชยุติ
2. น.ส.กนกพร แก้วสมนึก
3. น.ส.มาลินี รังษี

RCH
SB
370
.M34
ส 1927
ฉ.1
สขหมู่.....
เลขทะเบียน 115483
วัน,เดือน,ปี 15 มี.ค. 2554

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2553
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณหารลาดกระบัง

b. 12312466
i.....

ชื่อโครงการ การตรวจวัดอาการฟ่ามในผลส้มเขียวหวานแบบไม่ทำลายโดยใช้คุณสมบัติทางไฟฟ้า
Non-destructive detection of spongy disorder in orange using electrical properties

แหล่งเงิน ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้ของคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2553 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 26,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2552 ถึง กันยายน 2553

หัวหน้าโครงการ: นายสนธิสุข ธีระชัยชยุติ

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทรศัพท์ 02 329 8000 ต่อ 7267 โทรสาร 02 329 8527 E-mail: ktsontis@kmitl.ac.th

ผู้ร่วมโครงการวิจัย: 1. น.ส.กนกพร แก้วสมนึก

2. น.ส.มาลินี รังษี

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทรศัพท์ 02 329 8000 ต่อ 7267 โทรสาร 02 329 8527

คำสำคัญ (Keywords): ส้มเขียวหวาน ฟ่าม ไม่ทำลาย ความจุไฟฟ้า (orange, granulation, non-destructive, electrical capacitance)

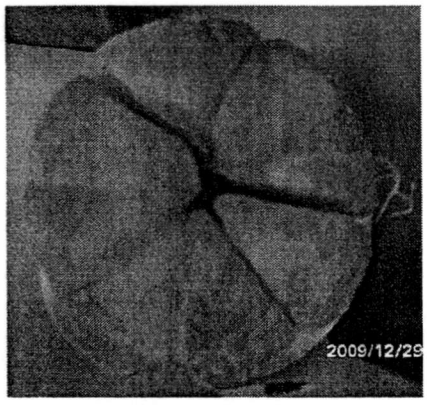
บทคัดย่อ

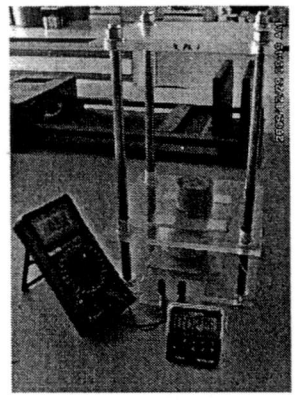
อาการฟ่ามในผลส้มเขียวหวานเป็นปัญหาคุณภาพภายในผลที่ไม่สามารถคัดแยกได้ด้วยตาเปล่า คุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และค่าทางไฟฟ้าของผลส้มเขียวหวานพันธุ์เขียวดำเนินได้ถูกนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ ผลการวิจัยพบว่าผลส้มปกติและผลส้มที่มีอาการฟ่ามที่ระดับความรุนแรงต่างกันจะมีความหนาแน่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและค่าความจุไฟฟ้าของผลส้มที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะหาวิธีการตรวจสอบอาการฟ่ามในผลส้มที่เหมาะสมแบบไม่ทำลายจึงได้ทำการออกแบบสร้างอุปกรณ์ขึ้นมาเพื่อตรวจสอบอาการฟ่ามในผลส้มโดยใช้เทคนิคการวัดค่าความจุไฟฟ้า พบว่าผลส้มปกติจะมีค่าความจุไฟฟ้าที่ต่ำกว่าส้มที่มีอาการฟ่าม ตัวอย่างส้มจำนวน 100 ผล ถูกนำมาใช้เป็นกลุ่มสำหรับการสร้างเกณฑ์กำหนดเพื่อการคัดแยก และตัวอย่างส้มจำนวน 45 ผล ถูกนำมาใช้เพื่อทดสอบความแม่นยำ ได้เกณฑ์ค่าความจุไฟฟ้าเพื่อใช้ในการคัดแยกคุณภาพส้มที่เวลาการวัด 3 นาทีต่อผล โดยผลส้มที่มีค่าความจุไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.75 nF จะเป็นส้มฟ่าม และค่าน้อยกว่า 1.75 nF จะเป็นส้มปกติ จากผลการทดสอบในการคัดแยกได้ความแม่นยำ 75.6 % ดังนั้น เทคนิคการวัดค่าความจุไฟฟ้ามีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้สำหรับการตรวจสอบอาการฟ่ามในผลส้มและสามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบการคัดแยกคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายได้ต่อไปในอนาคต

Abstract

Granulation disorder is a problem of internal quality in orange which can't be sorted by visible technique. Properties of tangerine 'Keaw Dumnuan' such as density, total soluble solids content (SSC) and electrical properties were studied in this research. It was investigated that the density, SSC and the electrical capacitance of normal orange and granulation orange were different. In order to determine a suitable non-destructive method for detect granulation disorder in orange, therefore an instrument was develop for measurement using an electrical capacitance technique. We found that the electrical capacitance of normal orange was lower than granulation orange's. A set of 100 samples was used to establish the threshold value for classification and a set of 45 samples was used for prediction. We obtained the threshold value for classification at 3 minutes of measurement. If a sample had the electrical capacitance equaled or more than 1.75 nF, it was a granulation sample. While a sample had the electrical capacitance less than 1.75 nF, it was a normal sample. The results showed that the accuracy of classification was 75.6%. Therefore, the electrical capacitance measurement technique is potential to use to nondestructively detect granulation disorder in orange and can be able to develop for sorting system in the future.

รูปผลงานวิจัย





(1) (2)

รูปอาการฟ่ามภายในผลส้ม (1) และอุปกรณ์การตรวจสอบโดยใช้การวัดค่าความจุไฟฟ้า (2)

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยนี้ ผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ทุนสนับสนุนจนทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสิ้นได้ด้วยดี

บทคัดย่อ

อาการฟ่ามในผลส้มเขียวหวานเป็นปัญหาคุณภาพภายในผลที่ไม่สามารถคัดแยกได้ด้วยตาเปล่า คุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และค่าทางไฟฟ้าของผลส้มเขียวหวานพันธุ์เขียวดำเนินได้ถูกนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ ผลการวิจัยพบว่าผลส้มปกติและผลส้มที่มีอาการฟ่ามที่ระดับความรุนแรงต่างกันจะมีความหนาแน่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและค่าความจุไฟฟ้าของผลส้มที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะหาวิธีการตรวจสอบอาการฟ่ามในผลส้มที่เหมาะสมแบบไม่ทำลายจึงได้ทำการออกแบบสร้างอุปกรณ์ขึ้นมาเพื่อตรวจสอบอาการฟ่ามในผลส้มโดยใช้เทคนิคการวัดค่าความจุไฟฟ้า พบว่าผลส้มปกติจะมีค่าความจุไฟฟ้าที่ต่ำกว่าส้มที่มีอาการฟ่าม ตัวอย่างส้มจำนวน 100 ผล ถูกนำมาใช้เป็นกลุ่มสำหรับการสร้างเกณฑ์กำหนดเพื่อการคัดแยก และตัวอย่างส้มจำนวน 45 ผล ถูกนำมาใช้เพื่อทดสอบความแม่นยำ ได้เกณฑ์ค่าความจุไฟฟ้าเพื่อใช้ในการคัดแยกคุณภาพส้มที่เวลาการวัด 3 นาทีต่อผล โดยผลส้มที่มีค่าความจุไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.75 nF จะเป็นส้มฟ่าม และค่าน้อยกว่า 1.75 nF จะเป็นส้มปกติ จากผลการทดสอบในการคัดแยกได้ความแม่นยำ 75.6 % ดังนั้น เทคนิคการวัดค่าความจุไฟฟ้ามีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้สำหรับการตรวจสอบอาการฟ่ามในผลส้มและสามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบการคัดแยกคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายได้ต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: ส้มเขียวหวาน ฟ่าม ไม่ทำลาย ความจุไฟฟ้า

Abstract

Granulation disorder is a problem of internal quality in orange which can't be sorted by visible technique. Properties of tangerine 'Keaw Dumnuan' such as density, total soluble solids content (SSC) and electrical properties were studied in this research. It was investigated that the density, SSC and the electrical capacitance of normal orange and granulation orange were different. In order to determine a suitable non-destructive method for detect granulation disorder in orange, therefore an instrument was develop for measurement using an electrical capacitance technique. We found that the electrical capacitance of normal orange was lower than granulation orange's. A set of 100 samples was used to establish the threshold value for classification and a set of 45 samples was used for prediction. We obtained the threshold value for classification at 3 minutes of measurement. If a sample had the electrical capacitance equaled or more than 1.75 nF, it was a granulation sample. While a sample had the electrical capacitance less than 1.75 nF, it was a normal sample. The results showed that the accuracy of classification was 75.6%. Therefore, the electrical capacitance measurement technique is potential to use to nondestructively detect granulation disorder in orange and can be able to develop for sorting system in the future.

Keyword: orange, granulation, non-destructive, electrical capacitance

สารบัญ

หน้า

ปก.....1
กิตติกรรมประกาศ.....4
บทคัดย่อ.....5
สารบัญ.....7
สารบัญตาราง.....9
สารบัญภาพ.....10
บทที่ 1 บทนำ.....12
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....12
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....13
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....13
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....13
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....14
2.1 ส้ม.....14
2.2 ค่าทางไฟฟ้า.....21
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....31
3.1 ตอนที่1 วัดค่าคุณสมบัติต่างๆของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่ามแบบไม่ทำลาย.....32
3.2 ตอนที่2 วัดค่าคุณสมบัติต่างๆของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่ามและวัดค่าทางไฟฟ้าของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่าม.....34
3.3 สถานที่ทำการทดลอง.....35
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....36
4.1 ผลตอนที่1 การวัดค่าคุณสมบัติต่างๆของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่ามแบบไม่ทำลาย..... 36
4.2 ผลตอนที่ 2 การวัดค่าคุณสมบัติต่างๆของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่ามและวัดค่าทางไฟฟ้าของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่าม.....37
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....49
บรรณานุกรม.....50

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก.....52

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงคุณสมบัติทางด้านกายภาพของส้ม.....18

4.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรคุณสมบัติต่างๆที่วัดแบบไม่ทำลายจากสมการการคัดแยก.....36

4.2 การทดสอบความแม่นยำโดยใช้เกณฑ์ค่าความจุไฟฟ้าในเวลา 3 นาที (<1.75nF= ส้มปกติ; ≥1.75nF= ส้มฟ่าม).....48

ก.1 แสดงค่าข้อมูลการวัดคุณสมบัติต่างๆแบบไม่ทำลายของส้มเขียวหวานจำนวน 130 ผล.....53

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 โครงสร้างของ capacitor 23
2.2 การวัดระดับของเหลวโดยใช้ capacitor.....24
2.3 แสดงตัวเก็บประจุ สัญลักษณ์ และโครงสร้างของคาปาซิเตอร์.....25
3.1 อุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบค่าทางไฟฟ้าของผลส้ม.....32
3.2 แสดงการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางด้วยเวอร์เนียร์ คาลิเปอร์.....33
3.3 แสดงการชั่งน้ำหนักส้มในน้ำ.....33
4.1 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นปรากฏของส้มปกติ และส้มฟ่ามที่ระดับความรุนแรงต่าง.....37
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดกับความหนาแน่นปรากฏของผลส้ม.....38
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด กับขนาดของผลส้ม.....39
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นปรากฏของผลส้มกับขนาดของผล.....39
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด.....40
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับความหนาแน่นปรากฏของผลส้ม.....41
4.7 ความหนาแน่นปรากฏของผลส้มปกติเปรียบเทียบกับส้มที่ระดับความรุนแรงของอาการฟ่ามแตกต่างกัน (1) ส้มปกติ (2) ระดับอาการฟ่าม 0-50% (3) ระดับอาการฟ่าม 50-100%.....42
4.8 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลส้มปกติเปรียบเทียบกับส้มที่ระดับความรุนแรงของอาการฟ่ามแตกต่างกัน(1) ส้มปกติ (2) ระดับอาการฟ่าม 0-50% (3) ระดับอาการฟ่าม 50-100%.....43
4.9 ค่าความจุไฟฟ้าของผลส้มจะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ระดับความรุนแรงของอาการฟ่ามแตกต่างกัน(1) ส้มปกติ (2) ระดับอาการฟ่าม 0-50% (3) ระดับอาการฟ่าม 50-100%.....44
4.10 ค่าความจุไฟฟ้าของกลุ่มส้มที่มีระดับความฟ่ามต่างกัน (1) ส้มปกติ (2) ระดับอาการฟ่าม 0-50% (3) ระดับอาการฟ่าม 50-100%.....45
4.11 ค่าความจุไฟฟ้าของผลส้มที่มีขนาดต่างกัน (1) ผลใหญ่ (2) ผลเล็ก.....46
4.12 ค่าความจุไฟฟ้าที่เวลา 3 นาที ของกลุ่มส้มที่มีระดับความฟ่ามต่างกัน (1) ส้มปกติ (2) ระดับอาการฟ่าม 0-50% (3) ระดับอาการฟ่าม 50-100%.....47

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ก.1 ส้มปกติ (ฟ้ามระดับความรุนแรง 0%).....54
ก.2 ส้มฟ้ามระดับความรุนแรง 0-50%.....54
ก.3 ส้มฟ้ามระดับความรุนแรง 50-100%.....54
ก.4 อุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบค่าทางไฟฟ้าของผลส้ม.....55

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ส้มเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ (อัญชลี, 2552) สามารถผลิตได้ทั่วทุกภาคของประเทศ และเป็นที่นิยมของผู้บริโภคโดยทั่วไป เชื่อกันว่าส้มมีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียอาคเนย์ ได้แก่ ประเทศอินเดียและประเทศพม่า สำหรับในประเทศไทยเชื่อว่าเป็นแหล่งกำเนิดของส้มหลายพันธุ์เหมือนกันเพราะพบไม้ป่าหลายชนิดที่มีลักษณะใกล้เคียงและอยู่ในตระกูลเดียวกับส้ม

สำหรับการแพร่กระจายพันธุ์ส้มเข้ามายังประเทศไทยนั้นยังไม่ปรากฏแน่ชัดว่าได้เริ่มปลูกเป็นการค้ามาตั้งแต่ในสมัยไหน แต่ปัจจุบัน มีการปลูกส้มเขียวหวานกันทั่วไปในภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคเหนือของประเทศ และเป็นพันธุ์ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจพืชหนึ่ง

การตลาดนับว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดหลังจากทำการปลูกส้มจนได้ผลผลิตแล้วสิ่งสำคัญ ก็คือทำอย่างไรที่จะให้ผลผลิตนั้นแปรเปลี่ยนเป็นเงินหรือรายได้ให้กับผู้ลงทุนให้ได้อย่างคุ้มค่ามากที่สุด กระบวนการแห่งความสำเร็จของการตลาดจะต้องทำให้สมบูรณ์ทั้งตัวสินค้าคือส้มที่มีคุณภาพ รูปลักษณ์สวยงามและรสชาติถูกปากผู้กิน ราคาเหมาะสม การกระจายตลาดที่ดี มีการส่งเสริมการขายเพื่อให้ตราสินค้านั้นๆ ติดตาและติดใจ หากชาวสวนสามารถดำเนินการตามส่วนผสมของหลักการตลาดทั้ง 4 ประการนี้ครบถ้วนและมีประสิทธิภาพแล้ว การทำสวนจะมีโอกาสประสบความสำเร็จแม้จะมีคู่แข่งเกิดขึ้นมากมายในระยะยาวต่อไปก็ตาม

อาการฟ่ามเป็นปัญหาหลักที่พบในส้ม ซึ่งอาการดังกล่าวสังเกตได้ยากจากลักษณะภายนอกของผล อาการฟ่ามของผลส้มเป็นปัญหาที่สำคัญของการผลิตส้มเป็นไปได้ยากที่จะคัดออกด้วยแรงงานคน ซึ่งจะต้องอาศัยความชำนาญเฉพาะบุคคล และใช้เวลานาน การคัดคุณภาพได้อย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว จึงเป็นการตอบสนองความต้องการของเกษตรกรผู้ผลิตส้มได้เป็นอย่างดี

ปัจจุบันปริมาณส้มที่ผลิตได้ในประเทศไทยยังไม่เพียงพอต่อความต้องการบริโภค จึงนับเป็นโอกาสที่ดีของการเพิ่มขยายพื้นที่การผลิต ประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตส้มได้หลาก หลายชนิด และมีความสามารถที่จะส่งออกด้วย แต่ต้องคำนึงถึงคุณภาพของส้มที่จำหน่ายด้วย

การวิจัยครั้งนี้จึงศึกษาเทคนิคที่จะคัดแยกส้มฟ่ามแบบไม่ทำลาย อันจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งและการตอบสนองความต้องการของเกษตรกร และผู้ประกอบการอุตสาหกรรมแปรรูปส้มได้อย่างมาก

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าได้แก่ ค่าความต้านทานและค่าความจุไฟฟ้าในการตรวจสอบอาการฟ่ามของผลส้มแบบไม่ทำลาย

1.2.2 เพื่อให้ได้ข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาเทคนิคสำหรับคัดแยกส้มที่มีคุณภาพแตกต่างกัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาส้มฟ่ามโดยใช้เทคนิคการวัดค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าได้แก่ ค่าความต้านทานและค่าความจุไฟฟ้า ประเมินความสัมพันธ์ของค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าได้แก่ ค่าความต้านทานและค่าความจุไฟฟ้ากับคุณภาพภายในของผลส้ม นำมาวิเคราะห์เพื่อใช้ในการทำนายคุณภาพ เพื่อกำหนดเป็นแนวทางในการคัดแยกส้มที่มีคุณภาพแตกต่างกัน

1.3.1 ได้ความสัมพันธ์ของค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าได้แก่ ค่าความต้านทานและค่าความจุไฟฟ้ากับอาการฟ่ามของผลส้ม

1.3.2 ได้ข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับคัดแยกคุณภาพภายในของผลส้ม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบข้อมูลพื้นฐานของความสัมพันธ์ระหว่างส้มปกติและส้มฟ่ามระดับความรุนแรงต่างๆ กับค่าทางไฟฟ้า

1.4.2 สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบเครื่องมือคัดแยกส้มปกติและส้มฟ่ามที่ระดับความรุนแรงต่างๆ โดยไม่ทำลายผลได้

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส้ม

2.1.1 ข้อมูลกี่ยวกับส้ม (ไชยา, 2531)

ส้ม (citrus) คือไม้ที่จัดอยู่ในวงศ์ Rutaceae เป็นไม้ผลชนิดหนึ่งในกลุ่มของไม้ผลกึ่งร้อน (subtropical fruit) พบได้ในเขตกึ่งร้อนและเขตหนาวของหลายประเทศ แม้ว่าถิ่นเดิมของพืชตระกูลส้มจะอยู่ในเอเชียอาคเนย์ แต่ได้มีการนำไปปลูกแพร่หลายในหลายท้องถิ่นเป็นเวลานานจนกลายเป็นเวลานานจนกลายเป็นพืชสำคัญของท้องถิ่นนั้นๆไป ในประเทศไทยมีการปลูกพืชตระกูลส้มหลายชนิด เช่น ส้มเขียวหวาน ส้มโอ ส้มเกลี้ยง ส้มตรา ส้มจุก มะนาว มะกรูด และส้มจี๊ด พันธุ์ส้มที่มีการปลูกมากเป็นอันดับหนึ่งของประเทศ คือ ส้มเขียวหวาน ซึ่งมีการปลูกมากกว่าครึ่งหนึ่งของพื้นที่ปลูกส้มทั้งหมด

อนุกรมวิธานของ ส้มนั้น มีความยุ่งยากและสับสนมาช้านาน และเป็นที่ถกเถียงในการจำแนกและตั้งชื่อชนิด (สปีชีส์) ของส้มอยู่เสมอ และการจำแนกกลุ่มยังขึ้นกับนักอนุกรมวิธานด้วย เช่น สวิงเกิล (swingle) จำแนกได้ 16 ชนิด, ทานาคา (tanaka) จำแนกได้ 162 ชนิด และฮอจสัน (hodgson) จำแนก 36 ชนิด ขณะที่บางท่านเสนอว่าส้มทั้งหลายจัดเป็นพืชชนิดเดียวกัน ที่สามารถผสมพันธุ์ระหว่างกันได้ขณะเดียวกัน การจำแนกอย่างละเอียดของทานาคา ก็สร้างความสำเร็จได้ เนื่องจากพบในภายหลังว่า บางชนิดเป็นเพียงการผสมข้ามสายพันธุ์เท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงไม่แปลกหากเราจะพบชื่อวิทยาศาสตร์ของส้มหลายชนิดที่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อความแน่นอน จึงมักจะระบุถึงนักอนุกรมวิธานผู้จำแนกเอาไว้ด้วยพืชตระกูลส้ม

ปัจจุบันนี้ มีการใช้เทคนิคในการระบุเอกลักษณ์ด้วยดีเอ็นเอ (DNA) และมีการเสนอว่าอาจจะมีชนิดพื้นฐานของส้มอย่างกว้างๆ 4 ชนิด ด้วยกัน คือ

C. halimii - พบทางภาคใต้ของไทย และตะวันตกของมาเลเซีย อาจเป็นชนิดต้นกำเนิดของส้ม Poncirus และ Fortunella

C. medica - ส้มโอมือ หรือส้มมือ อาจเป็นต้นกำเนิดของมะนาว หรือเลมอน (lemon)

C. reticulata - อาจเป็นต้นกำเนิดของส้มจำพวกส้มเขียวหวานทั้งหลาย

C. maxima (หรือ *C. grandis*) - ส้มโอ น่าจะเป็นต้นกำเนิดของส้มในปัจจุบันบางชนิดเช่นกัน

2.1.1.1 สายพันธุ์ส้มที่นิยมปลูกในประเทศไทย

ส้มเกลี้ยง (sweet orange: *C. sinensis*) เป็นไม้ผลขนาดกลาง ต้นสูงประมาณ 5-7 เมตร ทรงพุ่มค่อนข้างทึบ กิ่งก้านแข็งแรง มีหนามขนาดใหญ่ หลังจากปลูกแล้ว 3 ปี จะเริ่มให้ผลผลิต ตั้งแต่เริ่มออกดอกจนถึงดอกบานใช้เวลาประมาร 20 วัน นับจากดอกบานจนถึงผลแก่ใช้เวลาประมาณ 7.5-8 เดือน

ส้มเขียวหวาน (tangerine: *C. reticulata*) เป็นไม้ผลขนาดเล็ก ต้นสูงประมาณ 2.5-3 เมตร ทรงพุ่มมีลักษณะแน่นทึบ เริ่มให้ผลผลิตเมื่ออายุ 3 ปี และให้ผลผลิตไม่ต่ำกว่า 15 ปี ถ้ามีการดูแลรักษาอย่างดี ตั้งแต่เริ่มออกดอกจนถึงดอกบานใช้เวลาประมาณ 20-25 วัน นับจากดอกบานจนถึงผลแก่ใช่เวลาประมาณ 8 เดือน ต้นส้มเขียวหวานที่มีอายุ 10 ปี ให้ผลผลิตประมาณ 150-180 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี น้ำหนักเฉลี่ยของผลประมาณ 8 ผลต่อ 1 กิโลกรัม

ส้มจุก (neck orange: *C. nobilis*) เป็นไม้ผลขนาดกลาง เริ่มให้ผลผลิตหลังปลูกประมาณ 3 ปี และให้ผลต่อเนื่องไม่ต่ำกว่า 20 ปี ตั้งแต่ออกดอกจนถึงดอกบานใช้เวลาประมาณ 20 วัน นับจากดอกบานจนถึงผลแก่ใช้เวลาประมาณ 8 เดือน ต้นส้มจุกที่มีอายุ 5 ปี จะให้ผลผลิตที่มีน้ำหนักเฉลี่ยของผลประมาณ 5-6 ผลต่อ 1 กิโลกรัม

ส้มตรา (ส้มเช้ง) (acidless orange: *C. sinensis*) เป็นไม้ผลทรงพุ่มขนาดเล็ก ต้นสูงประมาณ 2.5-3 เมตร เริ่มให้ผลผลิตเมื่ออายุ 3 ปี และให้ผลผลิตไม่ต่ำกว่า 10 ปี ตั้งแต่เริ่มออกดอกจนถึงดอกบานใช้เวลาประมาณ 1 เดือน นับจากดอกบานจนถึงผลแก่ใช้เวลาประมาณ 8-9 เดือน ต้นส้มตราที่มีอายุ 5 ปี ให้ผลผลิตประมาณ 50 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี นำหนักเฉลี่ยของผลประมาณ 6-8 ผลต่อ 1 กิโลกรัม

ส้มโอ (pummelo: C. grandis หรือ *C. maxima*) เป็นไม้ผลทรงพุ่มขนาดกลาง ต้นสูงประมาณ 3-7 เมตร เริ่มให้ผลผลิตเมื่ออายุ 4 ปี และให้ผลผลิตไม่ต่ำกว่า 15-20 ปี นับจากดอกบานจนถึงผลแก่ใช้เวลาประมาณ 8 เดือน ต้นส้มที่มีอายุ 8 ปี จะให้ผลผลิตประมาณ 80-100 ผลต่อต้นต่อปี

สำหรับส้มเขียวหวาน มีชื่อสามัญ MANDARIN หรือ TANGERINE ชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus reticulate Rutaceae.* เป็นผลไม้ที่ทุกคนรู้จักกันดี และเป็นที่นิยมบริโภคของผู้คนทั่วไป เนื่องจากมีราคาไม่แพงมากนักและมีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด สามารถหาซื้อมารับประทานได้ง่าย อีกทั้งยังเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงอีกด้วย ข้อมูลจำเพาะทางด้านพืชสวนของส้มเขียวหวานที่น่าสนใจ หรือมีลักษณะพอบ่งชี้ได้ดังนี้

ลำต้น เป็นไม้ผลยืนต้น ทรงพุ่มขนาดปานกลาง เส้นผ่าศูนย์กลางของทรงพุ่มประมาณ 4-6 เมตร ความสูงของทรงพุ่มประมาณ 3.5-5 เมตร ลำต้นไม่มีหนาม กิ่งแก่มีสีเขียวเข้มไม่มีขน มีรอยแผลเป็นของใบและต่อมน้ำมันกระจายอยู่ทั่วไป ลักษณะของกิ่งอ่อนเป็นสี่เหลี่ยมเรียว

ใบ เป็นรูปไข่ค่อนข้างยาว หรือรูปโล่ หรือรูปหอก ปลายและฐานใบมีลักษณะมน ส่วนปลายสุดของใยมีรอยเว้าเข้า ผิวท้องใบมีสีเขียวอมเหลือง ผิวหลังใบเป็นมันสีเขียวเข้ม มีกลิ่นใบ ก้านใบมีปีกแคบหรือไม่มีปีก มีสีเขียวอมเหลือง ใบมีขนาดเล็ก

ดอก มีขนาดเล็ก ขนาดของดอกตูมมีความยาว 0.5-0.7 เซนติเมตร ดอกบานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5-2.5 เซนติเมตร ส่วนของกลีบดอกมีสีขาวและมีต่อมน้ำมันกระจายอยู่ แต่ละดอกจะมีจำนวนเกสรตัวผู้อยู่ในลักษณะแยกกันประมาณ 18-23 อัน ออกดอกในตำแหน่งซอกใบเป็นดอกเดียว หรือดอกช่อ

ผล มีรูปร่างกลมแบน ผิวเปลือกสีเขียว, เขียวอมเหลือง หรือส้มอมเหลือง จนถึงแดงอมส้ม ลักษณะของผิวเปลือกจะเรียบมีต่อมน้ำมันอยู่ภายใน ส่วนของเปลือกบางมีความหนาประมาณ 0.2-0.3 เซนติเมตร มีกลิ่นหอมแรง เปลือกด้านในสีเหลืองอ่อน ภายในหนึ่งผลประกอบด้วยกลีบหอมแรง เปลือกด้านในสีเหลืองอ่อน ภายในหนึ่งผลประกอบด้วยกลีบผลจำนวน 10-15 กลีบ แต่ละกลีบมีผนังบาง เนื้อมีน้ำมันมาก สีส้มรสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ก้านผลมีขนาดสั้น ขนาดผลแตกต่างกันตั้งแต่เส้นผ่าศูนย์กลาง 5-8 เซนติเมตร ยาว 4-7 เซนติเมตร ติดผลในลักษณะหัวห้อยลง

เมล็ด รูปร่างแบบรูปไข่หัวกลับ เนื้อเยื่อส่วนสะสมอาหารมีสีเขียวอ่อนหรือสีเขียวอมเหลือง จำนวนเม็ดมีมากน้อยแตกต่างกันในแต่ล่ะกลีบจากหนึ่งเมล็ดสามารถเพาะได้ต้นกล้าจำนวนมาก

อายุของต้น อายุของต้นที่สามารถเริ่มให้ผลผลิตประมาณ 4-5 ปี ภายหลังจากการปลูก และเริ่มให้ผลผลิตเต็มที่ตั้งแต่ 5-6 ปี หลังปลูก

ผลผลิต จัดเป็นไม้ผลยืนต้นชนิดหนึ่งในไม้ผลไม่กี่ชนิดที่สามารถให้ผลผลิตตลอดปีโดยใช้หลักวิชาการด้านไม้ผลวิทยา (ไม่ต้องใช้สารเคมีบังคับ) บังคับให้ออกดอกผลเป็นรุ่น (crop) ได้ตามต้องการ และสามารถบังคับการออกผลได้ประมาณ 2-4 รุ่นในรอบปี หรือหากต้องการผลผลิตเพียงรุ่นเดียวก็สามารถเลือกปฏิบัติได้

2.1.1.2 โครงสร้างของส้มเขียวหวาน

โครงสร้างประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ ดังนี้

2.1.1.2.1 เอปิคาร์ป (epicarp) หรือเฟลวิโด (flavedo) ภายในประกอบด้วยแคโรทีนอยด์ทำหน้าที่เป็นส่วนผลิตสีของเปลือก ซึ่งจะทำให้พืชกระถูลส้มมีที่แตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ภายในจะมีต่อมน้ำมันหอมระเหย (oil gland) อยู่ด้วย โดยที่เซลล์ในชั้นผิวหนังของเฟลวิโดจะมีการผลิตสารจำพวกขี้ผึ้ง (wax) (Baldwin, 1993) เคลือบที่ผิวของเปลือกผล เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.1.1.2.2 มีโซคาร์ป (mesocarp) หรืออัลบิโด (albedo) จะอยู่ถัดไปจากส่วนเอปิคาร์ป จะมีลักษณะหนา เป็นชั้น อ่อนนุ่ม มีสีขาว ประกอบด้วยเซลล์พาเรนไซมาตัส (parenchymatous cell) ขนาดใหญ่มากมาย มีสารประกอบจำพวกเพกติน (pectin suvstance) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) อยู่ โดยส่วนของเฟลวิโดและเอลบิโดรวมกัน จะเรียกว่า เพอร์ริคาร์ป (pericarp) หรือ เปลือก (peel) นั่นเอง

2.1.1.2.3 เอนโดคาร์ป (endocarp) เป็นส่วนที่สามารถนำมารับประทานได้ ประกอบด้วยกลีบหลายกลีบ ซึ่งภายในแต่ละกลีบจะประกอบด้วยถุงน้ำ (juice vesicle) อยู่มากมายซึ่งจะติดอยู่กับผนังกลีบด้วยก้านถุง (vesicle stalk)

2.1.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของส้มเขียวหวาน

องค์ประกอบทางเคมีของส้มเขียวหวานขึ้นอยู่กับปัจจัยมากมาย เช่น สภาวะการเจริญเติบโต ภูมิอากาศ ความแก่อ่อนของส้มเขียวหวาน โดยส้มเขียวหวานมีองค์ประกอบ ดังนี้

2.1.1.3.1 โปรตีน (protein) ส้มเขียวหวานมีส่วนประกอบของโปรตีนหรือสารประกอบไนโตรเจน เช่น เปปไทด์อย่างง่าย (simple protein) กรดอะมิโน ฟอสฟาไทด์ (phosphatide) เป็นต้น พบได้ในส่วนของเมล็ด เฟลวิโด เอลบิโด pulp และในน้ำส้มเขียวหวาน

2.1.1.3.2 ไขมัน (lipid) โดยส่วนมากจะพบสารประกอบไขมันไม่อิ่มตัวในเมล็ดส้มเขียวหวาน

2.1.1.3.3 น้ำตาล (sugar) ส้มเขียวหวานจะมีส่วนประกอบของน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแก่อ่อนของส้มเขียวหวาน

2.1.1.3.4 กรดอินทรีย์ (organic acid) กรดอินทรีย์ที่พบมากในน้ำส้มเขียวหวาน คือ กรดซิตริก (citric acid) และกรดมาลิก (malic acid) แต่ที่มีในปริมาณมากคือกรดซิตริก ดังนั้นความเป็นกรดของน้ำส้มเขียวหวานจึงมักวัดออกมาในรูปของปริมาณกรดซิตริก

2.1.1.3.5 เอนไซม์ (enzyme) ในน้ำส้มเขียวหวานมีเอนไซม์เพกทิเนสเทอเรส (pectinesteras) ซึ่งเชื่อว่าเป็นสาเหตุทำให้เกิดความสูญเสียความข้น

2.1.1.3.6 สารให้รสขม (bitter substance) ในส้มเขียวหวานจะมีสารพวกลิโมนิน (limonin) และไอโซลิมินิน (isoliminin) ทำให้เกิดความขม ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในชั้นเอลบิโด มีบางส่วนอยู่ในเมล็ด และเนื้อเยื่อส่วนนอกถุงน้ำส้มเขียวหวาน (Juice sack)

2.1.1.3.7 วิตามิน (vitamin) วิตามินที่พบมากในส้มเขียวหวานคือ วิตามินซี (ascorbic acid)

115483

2.1.1.3.8 สารประกอบแร่ธาตุ (mineral constituent) ส้มเขียวหวานมีส่วนประกอบของโปรแตสเซียม โซเดียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติทางด้านกายภาพของส้ม

Components	Physical composition of orange
Juice	40 - 45%
Flevedo (outer)	8 - 10%
Albedo (inner peel)	15 - 30%
Rag and pulp	20 - 30%
Seeds	0 - 4%

ที่มา : Deshpande, 1982

2.1.1.4 ประโยชน์ของส้มเขียวหวาน

การใช้ประโยชน์ของส้มเขียวหวานอาจแบ่งเป็น

2.1.1.4.1 ทางด้านโภชนาการ ส้มเขียวหวานจัดเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูง

2.1.1.4.2 ทางด้านการแพทย์ พบว่าส้มเขียวหวานมีสารซาโรนอยด์ (Slaronoid) กรดอินทรีย์ (Organic acid) ซิตรอล (Citral) และวิตามินซี ช่วนรักษาโรคลักปิดลักเปิด ขับเสมหะ และแก้ไอ (เพ็ญนภา ทรัพย์เจริญ และ ภัทราพร ตั้งสุขฤทัย, 2544)

2.1.1.4.3 ทางด้านอุตสาหกรรม สามารถนำส้มเขียวหวานมาใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมน้ำอัดลมที่ต้องใช้ส้มเขียวหวานเป็นเครื่องปรุงแต่งกลิ่นรส รวมไปถึงอุตสาหกรรมผลิตเครื่องสำอาง สบู่ น้ำมันใส่ผมและอื่นๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ส้มเขียวหวานเป็นส่วนประกอบทั้งสิ้น

2.1.1.4.4 ทางด้านเศรษฐกิจ สามารถส่งเป็นสินค้าออกทำรายได้ให้ประเทศไทยปีละไม่น้อย โดยส่งออกในลักษณะอบแห้ง ตากแห้ง ผลสด และน้ำส้มเขียวหวาน

2.1.1.5 คุณค่าทางอาหารของส้มเขียวหวาน ใน 100 กรัม มีสารอาหาร ดังนี้

-คาร์โบไฮเดรต 9.90 กรัม

-โปรตีน 0.60 กรัม

-ไขมัน 0.20 กรัม

-แคลเซียม 31 มิลลิกรัม

-เหล็ก 0.80 มิลลิกรัม

-ฟอสฟอรัส 18.00 มิลลิกรัม

-วิตามินเอ 4000 หน่วยสากล

-วิตามินบี 1 0.04 มิลลิกรัม

-วิตามินบี 2 0.05 มิลลิกรัม

-วิตามินซี 18.00 มิลลิกรัม

-เส้นใย 0.02 กรัม

-ความชื้น 88.70 กรัม

-แคลอรี 44 หน่วย

2.1.1.6 อาการผิดปกติทางสรีรวิทยาของส้ม

ลักษณะอาการของต้นพืชหรือส่วนต่างๆ ที่มีการเจริญเติบโตไม่เป็นไปตามแบบที่ควรจะเป็น แต่อาการดังกล่าวเหล่านั้น มิได้เกิดมาจากศัตรูพืชไม่ว่าจะเป็นโรค แมลง ไร ฯลฯ อาการที่ผิดไปจากเดิมนี้อาจมีผลเนื่องมาจากสภาพของภูมิอากาศ เกิดจากสภาพของดิน น้ำ หรือธาตุอาหาร ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจทราบหรือไม่ทราบสาเหตุที่แท้จริงก็ได้ แต่ผลลัพธ์ที่ได้นั้น คือ ต้นไม้หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของต้นไม้มีอาการไม่ปกติ เราจึงเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า " เป็นอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา " (physiological disorders) อาการผิดปกติในส้มที่มีการศึกษากันอย่างกว้าง และเป็นต้นแบบของพืชอื่น ก็คือ อาการขาดธาตุอาหาร (nutrient deficiency symptoms) นอกจากนี้ก็มีอาการอื่นๆ อีกหลายอย่างด้วยกัน เช่น อาการข้าวสาร เป็นต้น อาการผิดปกติทางสรีรวิทยาของส้มที่จะกล่าวถึง มีเรื่องต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.1.1.6.1 อาการข้าวสารหรือฟ่าม (granulation) อาการฟ่ามของผลส้มเป็นการผิดปกติทางสรีรวิทยามีหลายลักษณะเช่น ฟ่ามแห้ง (dry juice sac) ฟ่ามไต หรือ อาการข้าวสาร (granulation) และแดดเผา (sunburn) อาการข้าวสารหรือฟ่าม (บางครั้งก็เรียกกันว่า ricing) นี้ มีลักษณะของ กุ้ง (juice sac) ทางด้านขั้วผลกลายเป็นสีขุ่นขาว และแห้งไม่มีน้ำ ในผลที่เป็นมากอาจพบลามมาถึงครึ่งผลหรืออาจเกือบหมดผลดังเช่นที่พบในส้มโอ ผนังเซลล์ของ กุ้ง (juice sac) ที่เป็นอาการนี้จะหนากว่าปกติ และส่วนประกอบของเซลล์ก็แตกต่างกันออกไป ปริมาณของ pectic substances เพิ่มขึ้นและอยู่ในรูปของ gel ปริมาณน้ำตาล กรดอินทรีย์ และ คาร์โรทีนอยด์ ลดลงในขณะที่แร่ธาตุหลายชนิดเพิ่มปริมาณสูงขึ้น โดยเฉพาะ แคลเซียม และ แมกนีเซียม จากการที่พยายามศึกษาเพื่อหาสาเหตุของการเกิดอาการข้าวสารและหาแนวทางในการแก้ไข พบว่าอาการดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับลักษณะต่างๆ ดังนี้

2.1.1.6.1.1 ชนิดของส้ม อาการนี้พบมากในส้มโอ ส้มเขียวหวาน หรือกลุ่มแมนดาริน และลูกผสมของ แมนดาริน และ ส้มวาเลนเซีย

2.1.1.6.1.2 อายุของต้น ต้นส้มที่มีอายุน้อยผลจะมีโอกาสของการเกิดอาการข้าวสารมากกว่า

2.1.1.6.1.3 ขนาดของผล ผลที่มีขนาดยิ่งใหญ่มากขึ้นเท่าใด จะยิ่งมีโอกาสเกิดอาการฟ่ามได้เร็ว และมากกว่าผลที่มีขนาดเล็กกว่า

2.1.1.6.1.4 ปริมาณของการติดผล ต้นส้มที่มีปริมาณการติดผลต่ำจะยิ่งมีโอกาสของการเกิดได้มากยิ่งขึ้น

2.1.1.6.1.5 อายุของผล ผลที่มีอายุครบกำหนดแล้วหากปล่อยไว้ต่อไปอีกระยะหนึ่ง จะมีโอกาสเป็นมากกว่าผลส้มที่เก็บเกี่ยวเมื่อครบกำหนดอายุ

2.1.1.6.1.6 ระยะเวลาที่เก็บเกี่ยวผล ผลที่เก็บเกี่ยวในรุ่นท้ายจะมีโอกาสเกิดได้มากกว่าการใช้ปุ๋ย ต้นส้มที่มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณที่สูงโดยเฉพาะในระยะที่ผลใกล้แก่ จะมีโอกาสเกิดได้สูงกว่า ในขณะเดียวกัน หากผลส้มที่ใช้วิธีการเลี้ยงน้ำให้อยู่บนต้นเมื่อครบกำหนดอายุการเก็บเกี่ยว แล้ว ในระยะเวลาเดียวกัน หากมีการใช้ปุ๋ยที่มีโพแทสเซียมสูงกับต้นส้มนั้น ก็จะเป็นการกระตุ้นให้ยิ่งเกิดอาการฟ่ามได้เร็วมากยิ่งขึ้น

2.1.1.6.2 อาการผลแตก (fruit cracking) อาการผลแตกในขณะที่ผลยังอ่อนอยู่มักพบในพันธุ์ส้มที่มีเปลือกบาง เช่น เขียวหวาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพันธุ์โชกุนซึ่งมีเปลือกบางกว่า อาการดังกล่าวอาจรุนแรงมากในบางพื้นที่ เป็นเฉพาะบางสวน ในบางช่วงของระยะเวลาหรือบางฤดูกาลของรอบปี ข้อสันนิษฐานจากอาการดังกล่าวมักปรากฏในพื้นที่สวนที่มีการผลิตส้ม 3 – 4 รุ่นในต้นเดียวกัน ส้มแต่ละรุ่นมีความต้องการธาตุอาหาร หรือปุ๋ยในสัดส่วนที่ไม่เหมือนกัน เช่น ส้มรุ่นเล็กขนาดผลตั้งแต่ระยะกลีบดอกโรยถึงอายุประมาณ 3 เดือน ในช่วงนี้ การเจริญเติบโตของผลต้องการธาตุไนโตรเจน ในปริมาณที่ค่อนข้างสูงเพื่อช่วยในการเจริญเติบโตขยายขนาดของผล ซึ่งส่วนเปลือกต้องมีการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ให้ได้ในระดับหนึ่ง ก่อน ในขณะเดียวกัน หากส้มต้นเดียวกันมีผลที่อายุ 7 – 8 เดือน อยู่บนต้น ซึ่งผลส้มในอายุระดับนี้มีความต้องการธาตุโพแทสเซียมสูงกว่าไนโตรเจนเพื่อ ช่วยเพิ่มความหวานและรสชาติ รวมทั้งลดปริมาณของกากลง ทำให้เนื้อผล (ชัน หรือกาก) นิ่ม หากมีการใส่ปุ๋ยที่มี ไนโตรเจนสูงเพื่อช่วยให้ผลส้มที่มีขนาดเล็กสามารถขยายใหญ่ขึ้นมาได้ดี ผลกระทบย่อมเกิดกับผลรุ่นใหญ่ที่ใกล้เก็บเกี่ยวอย่างแน่นอน ทำให้ผลส้มแก่ช้าลง เปลือกหนา สีเขียว และรสชาติจืดชืด หรืออาจมีรสเปรี้ยวมากกว่า รวมทั้งส่วนของกากจะมีลักษณะค่อนข้างหยาบเหนียว และมีเป็นจำนวนมากด้วย ในทางกลับกัน หากต้องการให้ส้มรุ่นใหม่มีรสชาติดีด้วยการใส่ปุ๋ยที่มีโพแทสเซียมสูงนั้น ผลกระทบที่ตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ย่อมเกิด

ขึ้นกับผลส้มที่ยังอ่อนและมี ขนาดเล็กหน้าที่หลักของธาตุโพแทสเซียมที่สำคัญอันหนึ่งคือ ช่วยในเรื่องของการลำเลียงอาหาร (solute translocation) โดยเฉพาะน้ำตาล ไปยังส่วนที่เป็น sink ซึ่งก็คือส่วนของผลที่กำลังเจริญเติบโตนั้นเอง ผลส้มเล็กยังไม่ได้มีการขยายขนาดรองรับอย่างเพียงพอต่อการ ลำเลียงอาหารนี้ส่งผลให้มีน้ำตาลเคลื่อนย้ายเข้าไปยังส่วนผลนี้ในระดับที่ สูงกว่าปกติ เมื่อมีปริมาณน้ำตาลในผลสูงขึ้น จึงมีผลให้เกิดการปรับเปลี่ยนค่าของ osmotic potential ในทางที่ลดลง (น้ำในผลเข้มข้นขึ้น) ทำให้ผลมีแรงดูดน้ำสูงมากขึ้น น้ำจึงเคลื่อนย้ายเข้าสู่ผลในปริมาณมาก แต่ผลอ่อนซึ่งยังไม่ได้มีการขยายขนาดไว้รองรับน้ำในปริมาณที่มากกว่าปกติ และไม่สามารถคายน้ำออกได้ทันกับปริมาณจึงก่อให้เกิดอาการผลแตกขึ้น ผลอ่อนที่ได้บาดแผลมาก่อน ซึ่งอาจเกิดจากแมลงปากดูด หรือรอยกัด หรือรอยขูดขีดจากเครื่องมือ บริเวณรอยแผลนั้นจะเกิดเป็นจุดเปราะขึ้น ทำให้ผลมีโอกาสแตกได้มากขึ้น ในกรณีที่ผลสามารถคายน้ำออกได้ทันกับปริมาณที่ดูดเพิ่มเข้าไป มักพบว่าผิวผลอาจมีลักษณะแผลเป็นหรือเป็นจุดลาย สำหรับผลส้มที่มีอายุ 4 – 5 เดือน หากได้รับปุ๋ยที่มีธาตุโพแทสเซียมสูงก่อนกำหนด อาจไม่เกิดอาการแตก เนื่องจากผลมีขนาดใหญ่กว่า แต่ผลอาจไม่สามารถขยายขนาดต่อไปได้อีก ผลผลิตที่ได้จึงมีขนาดเล็กลง สำหรับแนวทางการแก้ไขปัญหาของผลแตกนี่คงจะเป็นไปได้ยาก หากชาวสวนยังคงนิยมปฏิบัติด้วยการปล่อยให้มีผลอยู่ 3 – 4 รุ่นในต้นเดียว คุณภาพของผลผลิตที่ได้ย่อมไม่สามารถช่วยให้มีคุณภาพสูงได้ อย่างดีก็จะอยู่ในระดับปานกลางเท่านั้น หรือคุณภาพเลว ในทางปฏิบัติหากชาวสวนแบ่งพื้นที่เป็นส่วนแยกจากกัน (แยกเป็น block หรือเป็นแปลงย่อย) แล้วควบคุมการออกดอกในต้นให้เหลือเพียง 1 รุ่น จะง่ายต่อการดูแลรักษาและการผลิตผลส้มให้มีคุณภาพสูงได้ ซึ่งจะสามารถช่วยลดปัญหาของผลแตกได้

2.2 ค่าทางไฟฟ้า

2.2.1 ความต้านทานไฟฟ้า

เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลหมาย ถึงมีการเคลื่อนไหวของอิเล็กตรอนในลวดสายไฟและ อิเล็กตรอนจะวิ่งชนกับอะตอมของ เส้นลวด เกิดการต้านทานการไหลของอิเล็กตรอนขึ้น เราเรียกว่า ความต้านทาน (Resistance) ความต้านทานมีหน่วยเป็นโอห์ม (Ohm ใช้สัญลักษณ์ Ω) ความต้านทานเกิดขึ้นทุก ๆ ที่ที่มีกระแสไฟฟ้าไหล ไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะในสายไฟเท่านั้น ตัวอย่าง ความ ต้านทานต่าง ๆ มีดังนี้

2.2.1.1 ความต้านทานของตัวนำ ได้แก่ความต้านทานของลวดสายไฟฟ้าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

2.2.1.2 ความต้านทานของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้แก่ความต้านทานของสารละลายของกรดเกลือกรดกำมะถัน น้ำเกลือ เป็นต้น

2.2.1.3 ความต้านทานของจุดสัมผัส ได้แก่ ความต้านทานที่เกิดขึ้นที่จุดสัมผัสของสวิตซ์หรือรอยเชื่อมต่อระหว่างสายไฟ ที่จุด สัมผัสนี้กระแสจะไหลได้ยากเพราะมีความต้านทานสูงความต้านทานของจุดสัมผัสนี้จะเป็นปัญหามากเมื่อให้กระแสไหลผ่าน เป็นจำนวนมากค่าความต้านทานนี้จะลดลงโดยการขัดผิวที่จุดสัมผัสให้เรียนหรือเพิ่มแรงกดที่จุดสัมผัส หรือบัดกรีเชื่อมต่อ ระหว่างสายไฟเสีย

2.2.1.4 ความต้านทานของสายดิน ได้แก่ ความต้านทานที่เกิดขึ้นระหว่างดินและแผ่นโลหะผังลงดิน

2.2.1.5 ความต้านทานของฉนวน เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสไฟฟ้ารั่วจากสายไฟจะใช้ไวนิลหรือยางซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าความ ต้านทานจำเพาะ สูงหุ้มสายไฟนั้นไว้ เราเรียกการป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วนี้ว่า การฉนวน และวัสดุที่ใช้ในการฉนวนนี้ว่า ฉนวน แต่การฉนวนนั้นมิได้หมายความว่ากระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไม่ได้เลย

เครื่องมือที่ใช้วัดความต้านทานเรียกว่า เทสมิเตอร์ (หรือมัลติมิเตอร์) เครื่องวัดนี้ สวิตซ์ที่สามารถสลับเพื่อวัดกระแส แรงดัน และความต้านทาน ได้เมื่อจะวัดค่าความต้านทานต้องสลับสวิตซ์มาที่จะใช้วัดความต้านทานเสียก่อน แล้วจึงนำปลายทั้งสอง ข้างของมิเตอร์มาแตะกัน ดังรูป ก แล้วปรับให้เข็มของมิเตอร์ชี้ที่เลข 0 โอห์ม จากนั้นจึงนำปลายทั้งสองข้างของมิเตอร์ไปต่อกับ ตัวต้านทาน แล้วอ่านค่าโอห์มจากมิเตอร์ก็จะทราบค่าความต้านทาน

2.2.2 ความจุไฟฟ้า

เมื่อให้ประจุไฟฟ้ากับตัวนำ จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้า ความจุไฟฟ้าเป็นอัตราส่วนระหว่างประจุไฟฟ้าที่วัตถุได้รับกับศักย์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น วัตถุที่มีความจุไฟฟ้ามากต้องการประจุไฟฟ้ามากกว่าวัตถุที่มีความจุไฟฟ้าน้อยในการทำให้ศักย์ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเท่ากัน (วัชระ, 2552)

$$Q = CV$$

เมื่อ C คือความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ เป็นอัตราส่วนระหว่างขนาดของประจุไฟฟ้าบนแผ่นประจุไฟฟ้าบนแผ่นประจุแต่ละแผ่น (Q) กับขนาดของความต่างศักย์ระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง (V) เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับรูปทรงเรขาคณิตของตัวนำและชนิดของตัวกลาง ที่ตัวนำวางอยู่

หน่วยของประจุไฟฟ้าคือ คูลอมป์/โวลต์ (C / V) ซึ่งเรียกว่า ฟารัด (farad , F)

farad: ฟารัด เป็นหน่วยของความจุไฟฟ้า วัตถุที่มีความจุไฟฟ้า 1 ฟารัดจะมีศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 1 โวลต์ เมื่อให้ประจุไฟฟ้ากับวัตถุนั้น 1 คูลอมบ์

2.2.2.1 capacitor: ตัวเก็บประจุ

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บประจุไฟฟ้าประกอบด้วยแผ่นโลหะขนานกัน และกั้นด้วยวัสดุที่เป็น

ฉนวน เรียกว่า ไดอิเล็กทริก ความจุของตัวเก็บประจุขึ้นอยู่กับไดอิเล็กทริกที่ใช้ ซึ่งจะถูกเลือกให้เหมาะกับความจุที่ต้องการและลักษณะของตัวเก็บประจุ

2.2.2.2 dielectric constant: ค่าคงตัวของไดอิเล็กทริก

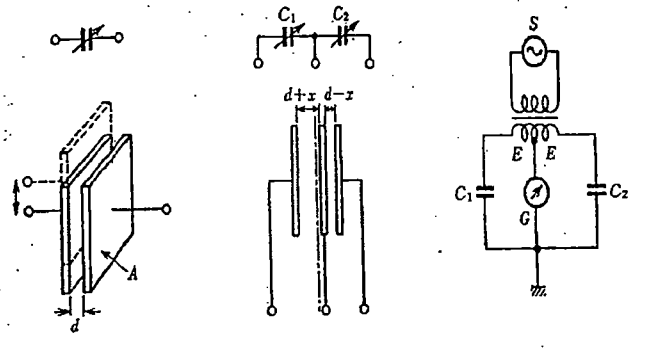
เป็นสัดส่วนระหว่างความจุของตัวเก็บประจุเมื่อใช้ไดอิเล็กทริกที่กำหนดให้กับความจุเมื่อเป็นสุญญากาศ ค่าคงที่ได้เป็นตัวเลขที่แสดงว่าเมื่อใช้ตัวเก็บประจุที่มีไดอิเล็กทริกที่กำหนดให้ จะเพิ่มความจุจากกรณีที่เป็นสุญญากาศ (มีผลใกล้เคียงกับอากาศ)

2.2.2.3 sensor: เซนเซอร์

คือ อุปกรณ์ที่ผลิตสัญญาณเอ้าท์พุทเพื่อจุดประสงค์ในการตรวจจับปรากฏการณ์ทางกายภาพ

2.2.2.4 transducer: ทรานสดิวเซอร์

คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณทางกายภาพจากรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่ง เซนเซอร์แบบความจุไฟฟ้า (capacitance transducers)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของ capacitor

โครงสร้าง&หลักการทำงาน: โครงสร้างอย่างง่ายของ capacitor จะประกอบด้วยแผ่นโลหะสองแผ่นวางคู่ขนานกัน โดยแผ่นหนึ่งเคลื่อนที่ อีกแผ่นอยู่กับที่ดังภาพที่ 2.1 การทำงานจะใช้หลักการเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าเมื่อแผ่นทั้งสองมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กัน สามารถเขียนความสัมพันธ์ของค่าความจุไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนานนี้ได้ว่า

$$C = \frac{kKA}{h}$$

เมื่อ C คือ ค่าความจุไฟฟ้าระหว่างแผ่นทั้งสอง, pF

k คือ proportionality constant;
k=0.225 for dimensions in inches and
k=0.00885 for dimensions in mm.

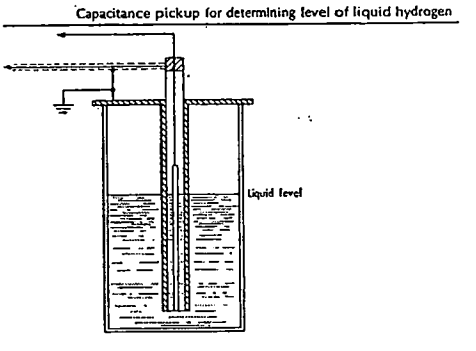
K คือ dielectric constant ของฉนวนระหว่างแผ่นplate
(K=1 สำหรับอากาศ)

H คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแต่ละแผ่นโลหะ

สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าโดยการ

- แปรระยะห่างระหว่างแผ่นอิเลคโทรด
- แปรค่า dielectric constant , permittivity ของตัวกลาง
- เปลี่ยนพื้นที่ที่หันเข้าหากันของแผ่นอิเลคโทรด

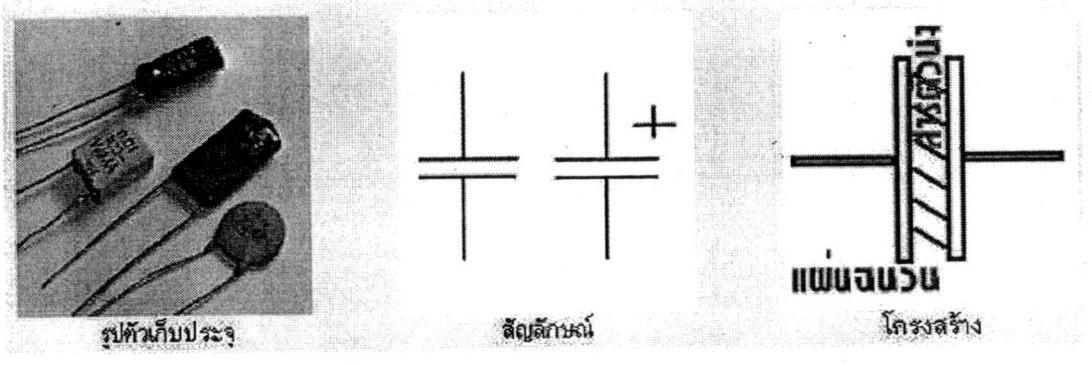


ภาพที่ 2.2 การวัดระดับของเหลวโดยใช้ capacitor

ตัวอย่างการประยุกต์การใช้งาน

- ตรวจจับการสัมผัส (touch sensing)
- วัดการเคลื่อนไหว (proximity sensing)
- วัดความชื้น
- วัดความสุกของผลไม้
- วัดระดับของเหลว และวัดการไหลของของเหลว ดังภาพที่ 2.2
- วัดความดัน

ตัวเก็บประจุ หรือ คาปาซิเตอร์ (อังกฤษ: capacitor) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่ง ทำหน้าที่เก็บพลังงานในสนามไฟฟ้า ที่สร้างขึ้นระหว่างคู่ฉนวน โดยมีค่าประจุไฟฟ้าเท่ากัน แต่มีชนิดของประจุตรงข้ามกัน บางครั้งเรียกตัวเก็บประจุนี้ว่า คอนเดนเซอร์ (condenser) เป็นอุปกรณ์พื้นฐานสำคัญในงานอิเล็กทรอนิกส์ และพบได้แทบทุกวงจร



ภาพที่ 2.3 แสดงตัวเก็บประจุ สัญลักษณ์ และโครงสร้างของคาปาซิเตอร์

การทำงานของคอนเดนเซอร์ เมื่อนำเอาแผ่นโลหะ 2 แผ่นมาวางให้หันเข้าหากัน แล้วต่อกับแบตเตอร์รี่ดังภาพที่ 2.3 แผ่นโลหะที่ต่อกับขั้วลบของแบตเตอร์รี่จะมีประจุลบ และแผ่นที่ต่อกัยขั้วบวกของแบตเตอร์รี่จะมีประจุบวกมาออกันอยู่ จึงเกิดการดูดซึ่งกันและกันประจุบวกและประจุลบจึงออกันอยู่ที่แผ่นโลหะทั้งสองนั้น แผ่นโลหะคู่นี้จะทำหน้าที่สะสมประจุไว้ได้ จึงเรียกว่า เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าสถิต (หรือเรียกสั้นๆว่า ตัวเก็บประจุ)

ปริมาณประจุไฟฟ้า Q ซึ่งจะสะสมในตัวเก็บประจุท่ทำด้วยแผ่นตัวนำที่ขนานกัน

- แปรผันตามแรงดันไฟฟ้า V (โวลต์) ที่ใส่เข้ามา
- แปรผันตามพื้นที่ของแผ่นโลหะตัวนำ ที่ขนานกันนั้น A (m^2)
- แปรผกผันกับระยะห่าง ระหว่างแผ่นตัวนำ ที่ขนานกันนั้น d (m)

ปริมาณของประจุ = (ε x พื้นที่ของแผ่นตัวนำ x แรงดันไฟฟ้า)/ระยะห่างระหว่าแผ่นตัวนำ

$$Q = (\varepsilon \times A \times V)/ d$$

ซึ่ง ε คือค่าคงที่ ที่กำหนดได้จากชนิดของฉนวน ที่อยู่ระหว่าแผ่นตัวนำ ที่ขนานหกันนี้ เรียกค่าคงที่ ไดอิเล็กตริค (dielectric constant)

ปริมาณของประจุไฟฟ้าขึ้นอยู่กับรูปร่างของตัวเก็บประจุ และวัสดุที่ใช้ ความสามารถในการเก็บประจุ ของตัวเก็บประจุ เรียกว่า ความจุไฟฟ้าสถิต (ใช้สัญลักษณ์ C) มีหน่วยเป็น ฟารัด (F) เมื่อใส่แรงดันไฟฟ้า 1 V แก่ตัวเก็บประจุแล้ว ตัวเก็บประจุนั้น สามารถเก็บประจุได้ 1 คูลอม ตัวเก็บประจุนั้นมีความจุไฟฟ้าสถิต 1 ฟารัด ดังนั้นถ้าตัวเก็บประจุมีพื้นที่ A (m^2) และห่างกันd (m) เมื่อใส่แรงดันไฟฟ้า V (V) สามารถเก็บประจุได้ Q (C)

ความจุไฟฟ้าสถิต C (F) จะเป็น

$$C = Q/V = (\varepsilon \times A)/d$$

$$C = (\varepsilon_r \varepsilon_o A)/d$$

ε_o คือ PERMITTIVITY ของที่ว่าง 8.854×10^{-12}, F/m

ε_r คือ RELATIVEPERMITTIVITY ของอากาศ , F/m

ตัวเก็บประจุนั้นประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า (หรือเพลต) 2 ขั้ว แต่ละขั้วจะเก็บประจุชนิดตรงกันข้ามกัน ทั้งสองขั้วมีสภาพความจุ และมีฉนวนหรือ ไดอิเล็กตริกเป็นตัวแยกคั่นกลาง ประจุนั้นถูกเก็บไว้ที่ผิวหน้าของเพลต โดยมีไดอิเล็กตริกกั้นเอาไว้ เนื่องจากแต่ละเพลตจะเก็บประจุชนิดตรงกันข้าม แต่มีปริมาณเท่านั้น ดังนั้นประจุสุทธิในตัวเก็บประจุ จึงมีค่าเท่ากับ ศูนย์ เสมอ

การเก็บประจุ คือ การเก็บอิเล็กตรอนไว้ที่แผ่นเพลตของตัวเก็บประจุ เมื่อนำแบตเตอรี่ต่อกับตัวเก็บประจุ อิเล็กตรอนจากขั้วลบของแบตเตอรี่ จะเข้าไปรวมกันที่แผ่นเพลต ทำให้เกิดประจุลบขึ้นและยังส่งสนามไฟฟ้าไป ผลักอิเล็กตรอนของแผ่นเพลตตรงข้าม ซึ่งโดยปกติในแผ่นเพลตจะมี ประจุเป็น + และ - ปะปนกันอยู่ เมื่ออิเล็กตรอนจากแผ่นเพลตนี้ถูก ผลักให้หลุดออกไปแล้วจึงเหลือประจุบวกมากกว่าประจุลบ ยิ่งอิเล็กตรอนถูกผลักออกไปมากเท่าไร แผ่นเพลตนั้นก็จะเป็นบวกมากขึ้นเท่านั้น

ตัวเก็บประจุที่ถูกประจุแล้ว ถ้าเรายังไม่นำขั้วตัวเก็บประจุมาต่อกัน อิเล็กตรอนก็ยังคงอยู่ที่แผ่นเพลต แต่ถ้ามีการครบวงจร ระหว่างแผ่นเพลตทั้งสองเมื่อไร อิเล็กตรอนก็จะวิ่งจากแผ่นเพลตทางด้านลบไปครบวงจรที่แผ่นเพลตบวกทันที เราเรียกว่า "การคายประจุ"

2.2.2.5 ชนิดของตัวเก็บประจุ

ชนิดของตัวเก็บประจุแบ่งตามวัสดุการใช้งานแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

2.2.2.5.1 ตัวเก็บประจุชนิดคงที่ Fixed capacitor

capacitor ชนิดนี้จะมีขั้วบวกและขั้วลบบอกไว้ ส่วนใหญ่จะเป็นแบบกลมดังนั้น การนำไปใช้งานจะต้องคำนึงถึงการต่อขั้วให้กับ capacitor ด้วย จะสังเกตขั้วง่าย ๆ ขั้วไหนที่เป็นขั้วลบจะมีลูกศรชี้ไปที่ขั้วนั้น และในลูกศรจะมีเครื่องหมายลบบอกเอาไว้

ตัวเก็บประจุแบบกระดาษ (paper capacitor) ตัวเก็บประจุแบบเปเปอร์ นำไปใช้งานซึ่งต้องการค่าความต้านทานของฉนวนที่มี ค่าสูง และ มี เสถียรภาพต่ออุณหภูมิสูงได้ดี มีค่าความจุที่ดีใน ย่านอุณหภูมิที่กว้าง

ตัวเก็บประจุแบบไมก้า (mica capacitor) ตัวเก็บประจุแบบไมก้านี้ จะมีเสถียรภาพต่ออุณหภูมิ และความถี่ดี มีค่าตัวประกอบการสูญเสียต่ำ และ สามารถทำงาน ได้ดีที่ความถี่สูง จะถูกนำมาใช้ในงานหลายอย่าง เช่น ในวงจะจูนวงจรออสซิสเตอร์ วงจรกรองสัญญาณ และวงจรขยาย ความ ถี่วิทยุกำลังสูง จะไม่มีการผลิตตัวเก็บประจุแบบไมก้าค่าความจุสูงๆ ออกมา เนื่องจากไมก้ามีราคาแพง จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงเกินไป

ตัวเก็บประจุแบบเซรามิก (ceramic capacitor)ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก โดยทั่วไปตัวเก็บประจุชนิดนี้มีลักษณะกลมๆ แบนๆ บางครั้งอาจพบแบบสี่เหลี่ยมแบนๆ ส่วนใหญ่ตัวเก็บประจุชนิดนี้ มีค่าน้อยกว่า 1 ไมโครฟารัด และเป็นตัวเก็บประจุชนิดที่ไม่มีขั้ว และสามารถทนแรงดันได้ประมาณ 50-100 โวลต์ ค่าความจุของตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกที่มีใช้กันในปัจจุบันอยู่ในช่วง 1 พิโกฟารัด ถึง 0.1 ไมโครฟารัด

ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลติก (electrolytic capacitor) ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กทรอไลติก ตัวเก็บประจุชนิดนี้ต้องระวังในการนำไปใช้งานด้วย เพราะมีขั้วที่แน่นอนพิมพ์ติดไว้ด้าน ข้างตัวถังอยู่แล้ว ถ้าป้อนแรงดันให้กับตัวเก็บประจุผิดขั้วละก็ อาจเกิดความเสียหายกับตัวมันและอุปกรณ์

ตัวเก็บประจุแบบน้ำมัน (oil capacitor)

ตัวเก็บประจุแบบโพลีสไตลีน (polyethylene capacitor)

ตัวเก็บประจุ แทนทาลั่ม (tantalum capacitor)

ตัวเก็บประจุแบบแทนทาลั่ม จะให้ค่าความจุสูงในขณะที่ตัวถังที่บรรจุมีขนาดเล็ก และมีอายุในการเก็บรักษาดีมาก ตัวเก็บประจุแบบแทนทาลั่มนี้มีหลายชนิดให้เลือกใช้ เช่น ชนิด โซลิต (solid type) ชนิด ซินเทอร์สลัก (sintered slug) ชนิดฟอลย์ธรรมดา (plain foil) ชนิดเอ็ชฟอยล์ (etched foil) ชนิด เว็ทสลัก (wet slug) และ ชนิดชิป (chip) การนำไปใช้งานต่างๆ ประกอบด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำ วงจรส่งผ่านสัญญาณ ชนิด โซลิตนั้นไม่ไวต่ออุณหภูมิ และ มีค่าคุณ สมบัติระหว่างค่าความจุอุณหภูมิต่ำกว่า ตัวเก็บประจุ แบบอิเล็กทรอไลติกชนิดใด ๆ สำหรับงานที่ตัวเก็บประจุแบบแทนทาลั่มไม่เหมาะกับ วงจรตั้งเวลาที่ใช้ RC ระบบกระตุ้น (triggering system) หรือ วงจรเลื่อนเฟส (phase - shift net work) เนื่องจากตัวเก็บประจุแบบนี้ มีค่าคุณสมบัติของการดูดกลืนของไดอิเล็กตริก สูง ซึ่งหมายถึงเมื่อตัวเก็บประจุถูกคายประจุ สารไดอิเล็กตริกยังคงมีประจุหลงเหลืออยู่ ดังนั้นแม้ว่าตัวเก็บประจุที่มีคุณสมบัติของ การดูดกลืนของสารไดอิเล็กตริกสูงจะถูกคายประจุประจุจนเป็นศูนย์แล้วก็ตาม จะยังคงมีประจุเหลืออยู่เป็นจำนวนมากพอ ที่ จะทำ ให้เกิดปัญหาในวงจรตั้งเวลา และ วงจรอื่นที่คล้ายกัน

ตัวเก็บประจุแบบไมลา (milar capacitor)

ตัวเก็บประจุแบบไบโพลา (bipolar capacitor)

ตัวเก็บประจุแบบโพลีโพรไพลีน (polypropyrene)

2.2.2.5.2 ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ Variable capacitor

เป็น capacitor ชนิดที่ไม่มีค่าคงที่ ซึ่งจะมีการนำวัสดุต่างๆ มาสร้างขึ้นเป็น capacitor โดยทั่วไปจะมีค่าความจุไม่มากนัก โดยประมาณไม่เกิน 1 ไมโครฟารัด (m F) capacitor ชนิดนี้เปลี่ยนค่าความจุได้ จึงพบเห็นอยู่ ในเครื่องรับวิทยุต่าง ๆ ซึ่งเป็นตัวเลือกหาสถานีวิทยุโดยมีแกนหมุน trimmer หรือ padder เป็น capacitor ชนิดปรับค่าได้ ซึ่งคล้าย ๆ กับ varible capacitor แต่จะมีขนาดเล็กกว่า การใช้ capacitor แบบนี้ถ้าต่อในวงจรแบบอนุกรมกับวงจรเรียกว่า padder capacitor ถ้านำมาต่อขนานกับวงจร เรียกว่า trimmer

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธงชัย (2542) ได้ใช้ค่าความถ่วงจำเพาะ นำมาใช้ตรวจสอบอาการผลฟ่ามและหลวมของส้มฟรีมองต์และส้มผิวทองจากการวิจัยพบว่าเทคนิคของค่าความถ่วงจำเพาะสามารถโดยมีความสัมพันธ์ด้วย $R^2 = 0.75$ และ 0.61 ตามลำดับ

วชิราพร เถินมงคล (2543) ได้ศึกษาอาการฟ่ามที่พบในส้มเขียวหวานพันธุ์ฟรีมองต์ โดยวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจสอบอาการฟ่ามแบบไม่ทำลายผลด้วยแสง จากการทดลองได้สร้างอุปกรณ์ในการส่องแสง ประกอบด้วยวัสดุสะท้อนแสงที่บุอยู่ภายในกล่องส่องแสงรูปสี่เหลี่ยม ที่ด้านล่างของกล่องติดหลอดกำเนิดแสง วัสดุสะท้อนแสงที่ใช้ได้แก่ แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ กระดาษขาวและไม้อัดสีน้ำตาล หลอดกำเนิดแสงที่ใช้ ได้แก่ หลอด halogen 50 วัตต์ 300 วัตต์และ 500 วัตต์ หลอด spotline 100 วัตต์ หลอด superlux 100 วัตต์ และหลอด filament 60 วัตต์ หลอดกำเนิดแสงจะให้แสงจากด้านล่างของผล และวัดความเข้มแสงที่ส่องทะลุผ่านผลส้มโดยวางให้ขั้วผลหรือก้นผลอยู่ด้านบน ค่าความเข้มแสงที่วัดได้นำมาคำนวณเป็นค่าการดูดกลืนแสงของผลส้ม การวัดแสงทั้งหมดทำในห้องมืด ผลส้มฟรีมองต์ที่ใช้ จำนวน 600 ผล ได้มาจากสวนส้มในจังหวัดเชียงใหม่ ผลส้มที่ผ่านการวัดแสงนำมาผ่าประเมินความฟ่ามเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามกับค่าการดูดกลืนแสง ความถ่วงจำเพาะเปอร์เซ็นต์น้ำคั้นและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ผลจากการศึกษาพบว่าเมื่อใช้วัสดุสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มแสงสว่างภายในกล่องวัด แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ให้ความสว่างมากกว่ากระดาษขาวและไม้ โดยมีค่าความเข้มแสง 60 47 และ 43 กิโลลักซ์ ตามลำดับ การศึกษาหลอดกำเนิดแสงที่เหมาะสม พบว่า หลอด halogen 500 วัตต์ มีค่าความเข้มแสงมากกว่า หลอด halogen 300 วัตต์ หลอด spotline 100 วัตต์ หลอด superlux 100 วัตต์ หลอด halogen 50 วัตต์ และหลอด filament 60 วัตต์ โดยวัด

ความเข้มแสงได้ 60 39 22 11 6.5 และ 1.3 กิโลลักซ์ ตามลำดับ การวัดแสงที่บริเวณก้นผลให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามดีกว่าเมื่อวัดที่บริเวณขั้วผล โดยมีค่า R^2 = 0.801 และ 0.715 ตามลำดับ การใช้หลอด halogen 500 วัตต์ โดยปรับความเข้มแสงที่ 47 20 4.9 และ 6.2 กิโลลักซ์ พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับเปอร์เซ็นต์ความฟ่าม โดยมีค่า R^2 = 0.725 0.707 0.663 และ 0.640 ตามลำดับ ผลจากการศึกษาอิทธิพลของสีเปลือกและเมื่อแกะเปลือกออกแล้วนำไปส่องแสง พบว่าแสงสามารถทะลุผ่านออกมาได้มากเมื่อเปลือกมีสีส้มและเมื่อแกะเปลือกออก ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะ เปอร์เซ็นต์น้ำตั้นและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามเพิ่มมากขึ้น

จริญญา พันธุ์รักษา (2542) ได้ศึกษาด้วยการตรวจสอบอาการฟ่ามของผลส้มฟรีมองต์แบบไม่ทำลายผลโดยการใช้เทคนิคเอกซเรย์ 2 วิธีคือ เทคนิคทาง Low energy X-ray และ Linescan X-ray พบว่าภาพเอกซเรย์จากด้านขั้วผลให้ผลถูกต้องแม่นยำกว่าภาพจากด้านข้างผล โดยเทคนิค Low energy X-ray และ Linescan X-ray สามารถใช้ตรวจสอบระดับความฟ่ามด้านขั้วผลได้ถูกต้องอย่างมีนับสำคัญด้วย R^2 = 0.98 และ 0.86 ตามลำดับ เทคนิคทั้ง 2 วิธีสามารถใช้ตรวจสอบความฟ่ามของผลส้มได้ดีโดยวิธี Low energy X-ray ให้ผลแม่นยำกว่า Linescan X-ray โดยเทคนิค Low energy X-ray พบว่าสามารถคาดคะเนผลส้มชุดใหม่ได้ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญด้วย R^2 = 0.97

การประเมินความฟ่ามของผลส้มเมื่อเก็บรักษาในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 % เป็นเวลา 0, 2, 4, 6 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้เทคนิค Low energy X-ray ตรวจสอบ พบว่าความฟ่ามมีการพัฒนาเพิ่มขึ้น 10.5 % ต่อ 2 สัปดาห์ ดังนั้นการตรวจสอบแบบไม่ทำลายผลด้วยเทคนิคเอกซเรย์ทั้ง 2 วิธี จึงมีศักยภาพที่อาจสามารถนำไปประยุกต์เพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์ในอนาคต

ในปัจจุบันยังคงมีความต้องการเทคนิคการตรวจสอบอาการฟ่ามของผลส้มแบบไม่ทำลายที่มีความแม่นยำ สะดวกในการใช้งาน และมีราคาต่ำ มีงานวิจัยที่นำค่าความจุไฟฟ้าไปใช้หาคุณสมบัติพื้นฐาน ได้แก่ ปริมาตรของรูพรุน (volume porosity), ความหนา และค่า dielectric permittivity ของซิลิกอนแบบไม่ทำลาย (Adamyan et al., 2007) มีการนำค่าความจุไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์หาปริมาตรของอากาศภายในวัสดุแบบไม่ทำลาย (Banasiak et al., 2009) มีการนำค่าไดอิเลคทริกส์ ไปใช้ในการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อวัว (Ghatass et al., 2008) มีการนำค่าความจุไฟฟ้าไปใช้หาความชื้นในเมล็ดถั่วและเมล็ดพันธุ์พืชแบบไม่ทำลาย (Kandala et al., 2007) มีการนำค่าไดอิเลคทริกส์ มาใช้เพื่อศึกษาความสุกแก่ของเมล็ดถั่วเหลือง (Sirikulrat and Sirikulrat, 2008) และมีการนำค่าความจุไฟฟ้าไปใช้ในการประเมินคุณภาพภายในของผลแตงโม (Kato, 1997) นอกจากนี้ยังมีการทดสอบและแนะนำการตรวจสอบความสุกของอะโวคาโดแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการวัดค่าความจุไฟฟ้า (Bean, 1962 และ Zachariah and Erickson,

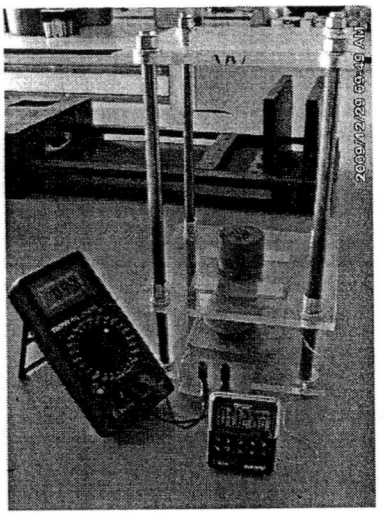
1965) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำค่าความจุไฟฟ้ามาศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจสอบอาการฟ่ามของผลสัมแบบไม่ทำลาย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ดำเนินการทดสอบโดยใช้ส้มเขียวหวาน พันธุ์เขียวดำเนิน แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่1 ทำการทดลองวัดค่าคุณสมบัติต่างๆของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่ามแบบไม่ทำลาย แบ่งผลส้มเป็นกลุ่มขนาดเล็ก กลาง และ ใหญ่ ทำการวัดขนาดและชั่งน้ำหนักแต่ละผล จากนั้น นำผลส้มแต่ละผลมาหาค่าความหนาแน่นปรากฏของผลส้ม ด้วยวิธีการแทนที่น้ำ (Mohsenin, 1984) ทำการปอกเปลือกผลส้มและตรวจการเป็นฟ่ามของผลส้มแต่ละผล ประเมินความรุนแรงของการเป็นฟ่ามโดยพิจารณาจากสัดส่วนพื้นที่ ที่เป็นฟ่ามกับพื้นที่ผิวทั้งหมดรอบๆผล แบ่งเป็นกลุ่มส้มปกติ ไม่มีอาการฟ่าม กลุ่มส้มที่มีอาการฟ่าม 0-50%และกลุ่มส้มที่มีอาการฟ่ามมากกว่า 50%

ตอนที่2 ทำการทดลองวัดค่าคุณสมบัติต่างๆของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่ามและวัดค่าทางไฟฟ้าของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่าม โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าของผลส้ม ตามภาพที่ 3.1 ทำการแบ่งผลส้มออกเป็นกลุ่มขนาดเล็ก กลาง และ ใหญ่ ทำการวัดขนาดและชั่งน้ำหนักแต่ละผล จากนั้นจึงวัดค่าทางไฟฟ้า แล้วจึงนำผลส้มแต่ละผลมาหาค่าความหนาแน่นปรากฏของผลส้ม ด้วยวิธีการแทนที่น้ำ (Mohsenin, 1984) ทำการปอกเปลือกผลส้มและตรวจการเป็นฟ่ามของผลส้มแต่ละผล ประเมินความรุนแรงของการเป็นฟ่ามโดยพิจารณาจากสัดส่วนพื้นที่ ที่เป็นฟ่ามกับพื้นที่ผิวทั้งหมดรอบๆผล แบ่งเป็นกลุ่มส้มปกติ ไม่มีอาการฟ่าม กลุ่มส้มที่มีอาการฟ่าม 0-50%และกลุ่มส้มที่มีอาการฟ่ามมากกว่า 50%จากนั้นนำเนื้อของแต่ละผลทั้งหมดมาคั้นด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ และทำการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ศึกษาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติต่างๆของกลุ่มส้มปกติและกลุ่มส้มที่มีอาการฟ่ามในระดับความรุนแรงต่างๆกันกับค่าทางไฟฟ้าที่วัดได้ โดยมีขั้นตอนโดยละเอียดดังนี้



ภาพที่ 3.1 อุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบค่าทางไฟฟ้าของผลส้ม

3.1 ตอนที่1 วัดค่าคุณสมบัติต่างๆของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่ามแบบไม่ทำลาย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. บีกเกอร์ขนาด1000 มล.
3. ขาตั้งเหล็ก
4. ไม้เสียบ
5. ตระกร้า
6. เวอร์เนียร์มิเตอร์

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

ส้มเขียวหวาน พันธ์เขียวดำเนิน

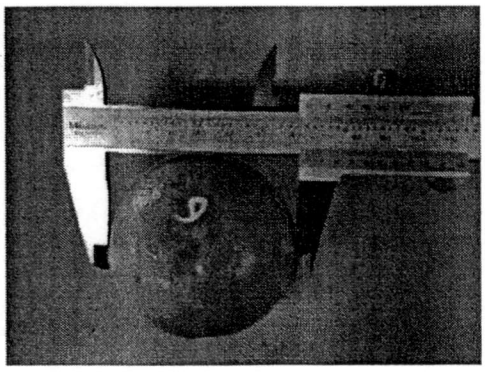
สิ่งที่ต้องการทดสอบ

ค่าคุณสมบัติต่างๆที่วัดได้แบบไม่ทำลายของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่าม ได้แก่ ขนาด น้ำหนัก และค่า Density ของผลส้ม

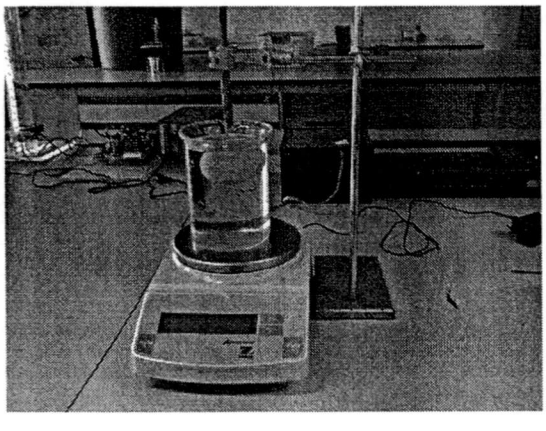
ขั้นตอนการทดลอง

1. นำส้มเขียวหวานจำนวน 138 ผล มากำหนดหมายเลขและด้านทั้งสี่รอบๆลูก

2. นำไปชั่งน้ำหนัก วัดความสูง และวัดเส้นผ่าศูนย์กลางด้วยเวอร์เนียร์ คาลิเปอร์ดังภาพที่ 3.2
3. นำไปชั่งน้ำหนักในน้ำ เพื่อจะหาค่าความหนาแน่นของผลส้ม ดังภาพที่ 3.3 แล้วบันทึกผลการทดลอง
4. นำส้มแต่ละผลปอกเปลือกตรวจคุณภาพและประเมินความรุนแรงของการเป็นฟ่าม
5. วิเคราะห์ผลการทดลองนำข้อมูลของผลส้มทั้ง 138 ผล นำผลการทดลองจากการตรวจวัดคุณสมบัติแบบไม่ทำลายของส้มแต่ละตัวอย่าง ได้แก่ ความหนาแน่น ขนาด และ น้ำหนัก นำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS ด้วยวิธี discriminant analysis เพื่อแยกกลุ่มส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่าม ตรวจสอบว่าตัวแปรใดที่มีผลต่อการคัดแยก



ภาพที่ 3.2 แสดงการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางด้วยเวอร์เนียร์ คาลิเปอร์



ภาพที่ 3.3 แสดงการชั่งน้ำหนักส้มในน้ำ

3.2 ตอนที่2 วัดค่าคุณสมบัติต่างๆของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่ามและวัดค่าทางไฟฟ้าของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่าม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เพลา
2. แผ่นโลหะ
3. สายไฟ
4. แผ่นพลาสติกใส
5. เทปกาว
6. แผงวงจรอิเล็กโทรนิก
7. ตะกร้า
8. digital LCR meter ยี่ห้อ tecpel model 610
9. digital refractrometer model Palette PR-101 (ATAGO, Japan)

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

ส้มเขียวหวาน พันธ์เขียวดำเนิน

สิ่งที่ต้องการทดสอบ

1. ค่าทางไฟฟ้าของผลส้มของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่าม
2. ค่าคุณสมบัติต่างๆที่วัดได้แบบไม่ทำลายของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่าม
3. ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่าม

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำส้มเขียวหวานจำนวน 145 ผล มากำหนดหมายเลขและด้านทั้งสี่รอบๆลูก
2. นำส้มแต่ละผลไปชั่งน้ำหนัก วัดความสูง และวัดเส้นผ่าศูนย์กลางด้วยเวอร์เนียร์ คาลิเปอร์
3. นำส้มแต่ละผลไปชั่งน้ำหนักในน้ำ เพื่อจะหาค่าความหนาแน่นของผลส้ม
4. นำส้มแต่ละผลไปวัดค่าทางไฟฟ้า
5. นำส้มแต่ละผลปอกเปลือกตรวจคุณภาพและประเมินความรุนแรงของการเป็นฟ่าม
6. นำส้มแต่ละผลไปวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

7. วิเคราะห์ผลการทดลองนำข้อมูลของผลส้มทั้ง 145 ผล นำผลการทดลองจากการตรวจวัดคุณสมบัติของส้มแต่ละตัวอย่าง ได้แก่ ค่าทางไฟฟ้า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ความหนาแน่น ขนาด และ น้ำหนัก นำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS วิธี discriminant analysis เพื่อแยกกลุ่มส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่าม ตรวจสอบว่าค่าทางไฟฟ้าที่มีผลต่อการคัดแยกหรือไม่
8. นำค่าทางไฟฟ้า มาสร้างเกณฑ์ในการคัดแยก โดยแบ่งกลุ่มส้มสำหรับการสร้างเกณฑ์จำนวน 100 ผล และแบ่งกลุ่มส้มที่จะใช้ในการทำนาย 45 ผล จากนั้นทำการทดสอบความแม่นยำในการคัดแยก

3.3 สถานที่ทำการทดลอง

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 4

ผลการทดลอง

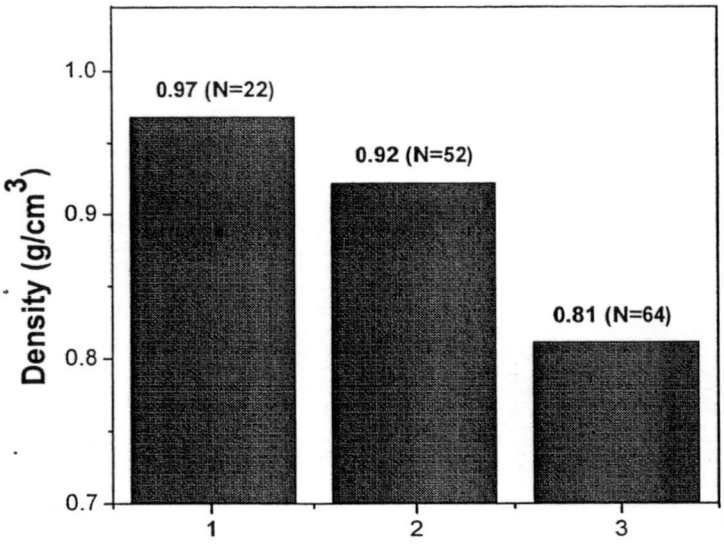
4.1 ผลตอนที่1 การวัดค่าคุณสมบัติต่างๆของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่ามแบบไม่ทำลาย

จากการทดลองการตรวจประเมินความฟ่ามของส้มเขียวหวานพันธุ์เขียวดำเนิน จำนวน 130 ผล ได้ทำการตรวจคุณสมบัติแบบไม่ทำลายผลส้มโดยทำการหาค่า น้ำหนัก ขนาด และ ความหนาแน่นปรากฏ จากนั้นนำมาหาค่าความสัมพันธ์ทางสถิติโดยใช้วิธี discriminant analysis เพื่อสร้างสมการการคัดแยก (Fisher's discriminant function) โดยกำหนดให้ส้มปกติคือ 0 และส้มที่มีอาการฟ่ามคือ 1 ได้ผลการทดสอบทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรคุณสมบัติต่างๆที่วัดแบบไม่ทำลายจากสมการการคัดแยก

	ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร
น้ำหนัก	-0.049
ขนาด	-0.280
ความหนาแน่นปรากฏ	1.046

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่า ความหนาแน่นปรากฏมีความสัมพันธ์กับอาการฟ่ามของส้มมากที่สุดเมื่อเทียบกับค่า ขนาดและน้ำหนัก ซึ่งเมื่อนำตัวแปรไปทดสอบทางสถิติพบว่า ค่าน้ำหนักและขนาดไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับอาการฟ่ามของส้มที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนค่าความหนาแน่นปรากฏมีความแตกต่างทางสถิติกับอาการฟ่ามของส้มที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นปรากฏของส้มปกติ และส้มฟ่ามที่ระดับความรุนแรงต่างๆ (1) ส้มปกติ (2) ระดับอาการฟ่าม 0-50% (3) ระดับอาการฟ่าม 50-100%

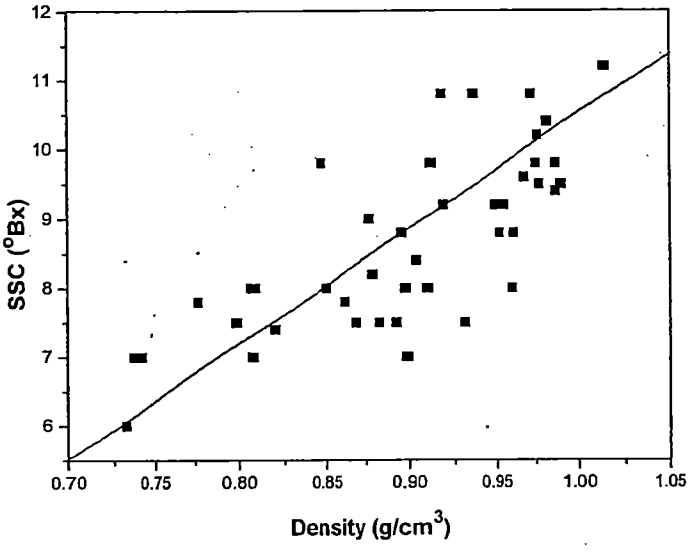
จากภาพที่ 4.1 แสดงความหนาแน่นปรากฏเฉลี่ยของกลุ่มส้มปกติจำนวน 22 ผล กลุ่มส้มฟ่ามระดับความรุนแรง 0-50% จำนวน 52 ผล และกลุ่มส้มฟ่ามระดับความรุนแรง 50-100% จำนวน 64 ผล พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกัน ส้มปกติจะมีค่าความหนาแน่นปรากฏมากกว่าส้มที่มีอาการฟ่าม และส้มฟ่ามจะมีค่าความหนาแน่นปรากฏต่างกันขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของอาการฟ่าม จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นปรากฏของส้มปกติจะมีค่ามากที่สุดที่ค่าความหนาแน่นปรากฏเฉลี่ยเท่ากับ 0.97 g/cm^3 และจะมีค่าน้อยลงในกลุ่มส้มฟ่ามที่มีระดับความรุนแรง 50-75% และ 75-100% ที่มีค่าความหนาแน่นปรากฏเฉลี่ยเท่ากับ 0.92 g/cm^3 และ 0.81 g/cm^3 ตามลำดับ

4.2 ผลตอนที่ 2 การวัดค่าคุณสมบัติต่างๆของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่ามและวัดค่าทางไฟฟ้าของส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่าม

เนื่องจากพบว่าค่าความต้านทานของผลส้ม ผลจากการวัดพบว่า ค่าที่วัดได้มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงไม่คงที่ ในขณะทำการวัด จึงไม่สามารถนำค่าความต้านทานมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้วัด หรืออาจเป็นเพราะภายในผลส้มมีองค์ประกอบหลักคือน้ำและมีช่องว่างที่เป็นอากาศ ซึ่งจัดเป็นของไหล จึงทำให้ค่าความต้านทานที่วัดได้มี

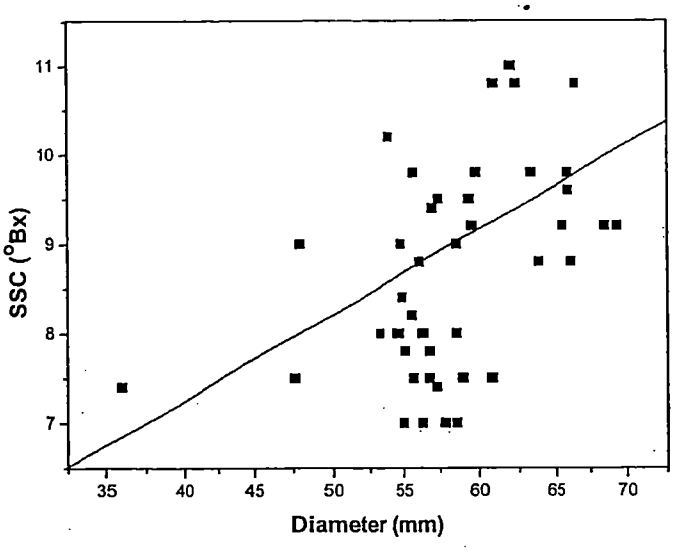
การเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขณะทำการวัด ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าเพื่อนำไปวิเคราะห์เท่านั้น

เมื่อพิจารณาค่าคุณสมบัติต่างๆที่ได้จากการวัดของผลส้มแต่ละผลและดูความสัมพันธ์พบว่าแนวโน้มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นของผลส้ม ตามที่แสดงในภาพที่ 4.2 กล่าวคือผลส้มที่มีความหนาแน่นมากจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมากด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อพิจารณาผลส้มที่มีขนาดเท่ากันหรือมีปริมาตรเท่ากัน การที่มีผลส้มที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมากกว่า จะทำให้ผลส้มนั้นมีมวลมากกว่า จึงมีผลทำให้มีความหนาแน่นมากกว่า

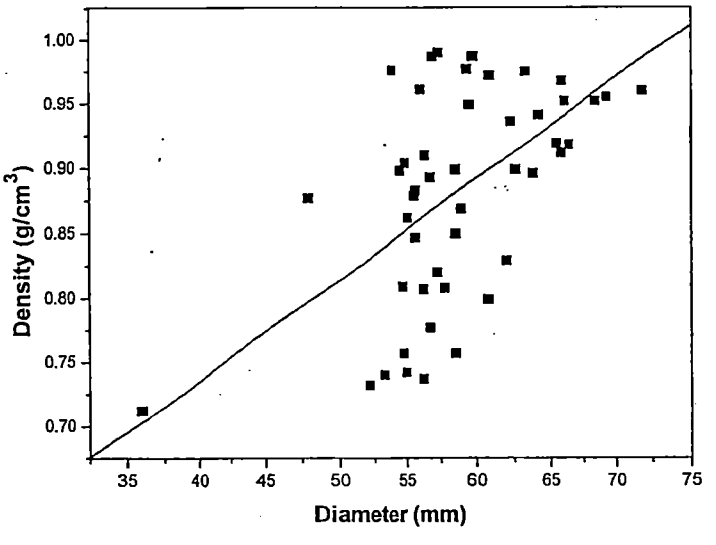


ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดกับความหนาแน่นปรากฏของผลส้ม

เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด กับขนาดของผลส้ม ได้ผลแสดงในภาพที่ 4.3 จากการทดลองนี้จะเห็นว่าแนวโน้มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด มีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของผลส้ม กล่าวคือผลส้มที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมากกว่าด้วยเช่นกัน

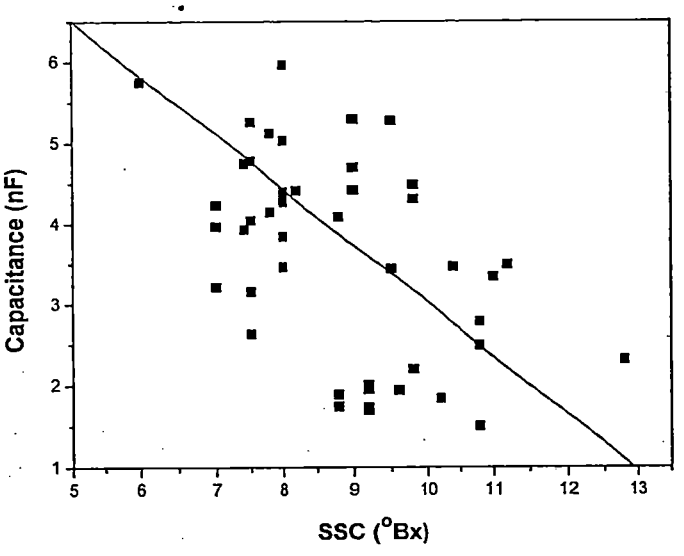


ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด กับขนาดของผลส้ม



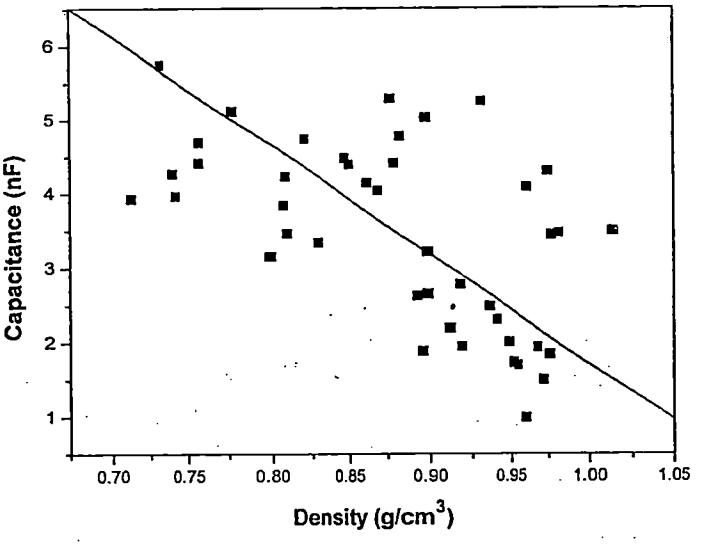
ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นปรากฏของผลส้มกับขนาดของผล

เช่นเดียวกับผลที่แสดงในภาพที่ 4.4 จากการทดลองนี้พบว่าแนวโน้มของค่าความหนาแน่นปรากฏของผลส้ม มีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของผล กล่าวคือผลส้มที่มีขนาดใหญ่จะมีความหนาแน่นปรากฏมากด้วยเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้ข้างต้นกล่าวคือเมื่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมากจะมีความหนาแน่นปรากฏของผลส้มมาก และจะมากขึ้นตามขนาดของผล



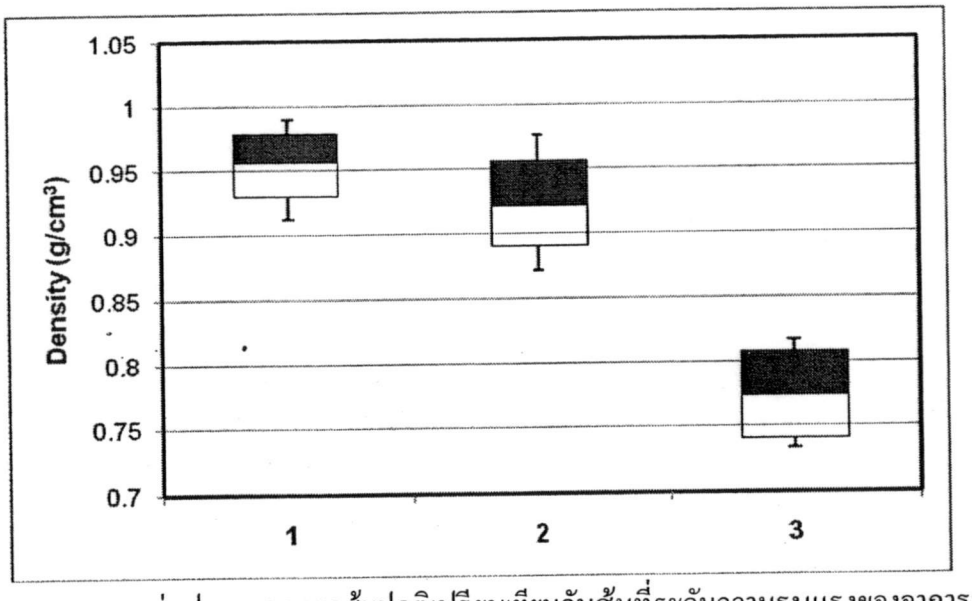
ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าความจุไฟฟ้ากับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ได้ผลแสดงในภาพที่ 4.5 พบว่าแนวโน้มค่าความจุไฟฟ้ามีความสัมพันธ์ผกผันกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลส้ม กล่าวคือผลส้มที่มีค่าความจุไฟฟ้ามากจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดน้อย ทั้งนี้เนื่องจากค่าความจุไฟฟ้าขึ้นอยู่กับค่า dielectric constant ของสารที่ทำการวัด และค่า dielectric constant ของน้ำมีค่ามากเมื่อเทียบกับสารอื่นๆ (Mehta, 2009) ด้วยเหตุนี้ เมื่อผลส้มมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมากจะทำให้มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่น้อยกว่า จึงส่งผลให้มีค่า dielectric constant น้อยกว่า นั่นคือทำให้มีค่าความจุไฟฟ้าน้อยกว่านั่นเอง



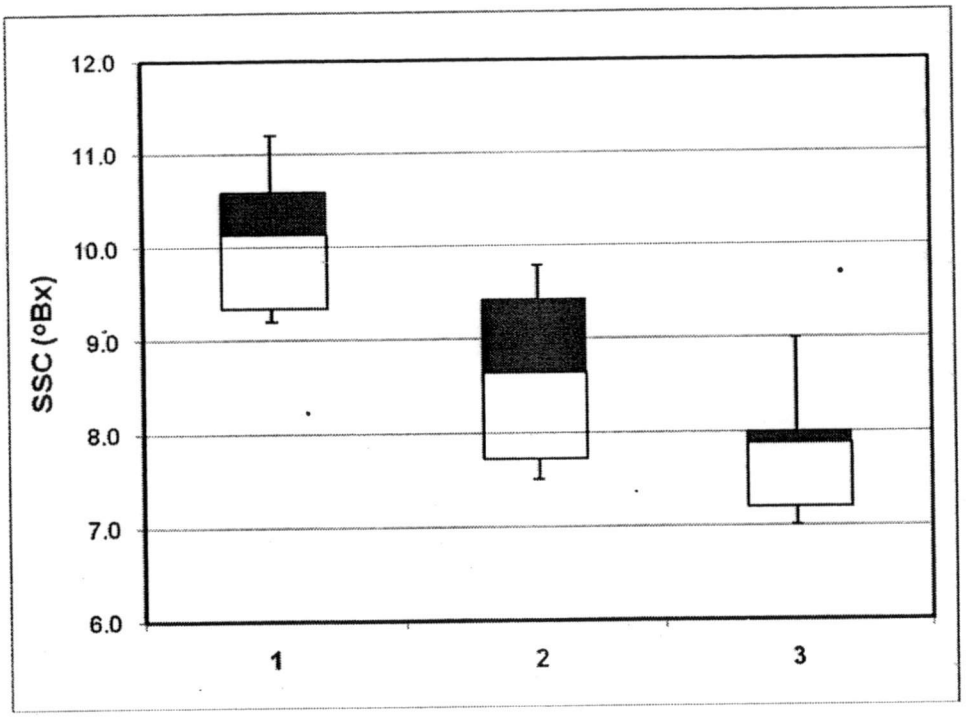
ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับความหนาแน่นปรากฏของผลส้ม

เมื่อพิจารณาค่าความจุไฟฟ้ากับความหนาแน่นปรากฏของผลส้ม ได้ผลแสดงในภาพที่ 4.6 แสดงแนวโน้มค่าความจุไฟฟ้ามีความสัมพันธ์ผกผันกับความหนาแน่นปรากฏของผลส้ม กล่าวคือผลส้มที่มีค่าความจุไฟฟ้ามากจะมีความหนาแน่นปรากฏน้อย ทั้งนี้เนื่องจากค่าความหนาแน่นปรากฏและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ดังนั้น ผลส้มที่มีความหนาแน่นปรากฏน้อย จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดน้อยเช่นกัน จึงส่งผลให้ค่าความจุไฟฟ้ามีค่ามาก



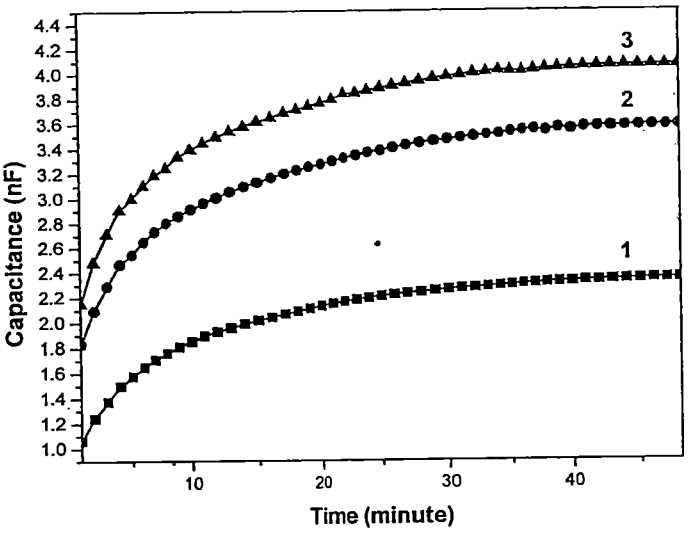
ภาพที่ 4.7 ความหนาแน่นปรากฏของผลส้มปกติเปรียบเทียบกับส้มที่ระดับความรุนแรงของอาการฟ่าม แตกต่างกัน (1) ส้มปกติ (2) ระดับอาการฟ่าม 0-50% (3) ระดับอาการฟ่าม 50-100%

เมื่อพิจารณาความหนาแน่นปรากฏของผลส้มปกติเปรียบเทียบกับส้มที่ระดับความรุนแรงของอาการฟ่ามแตกต่างกัน ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.7 จะเห็นว่าความหนาแน่นปรากฏของผลส้มปกติและส้มฟ่ามมีค่าแตกต่างกัน โดยที่ผลส้มที่มีระดับอาการฟ่ามมากกว่าจะมีความหนาแน่นปรากฏของผลน้อยกว่า



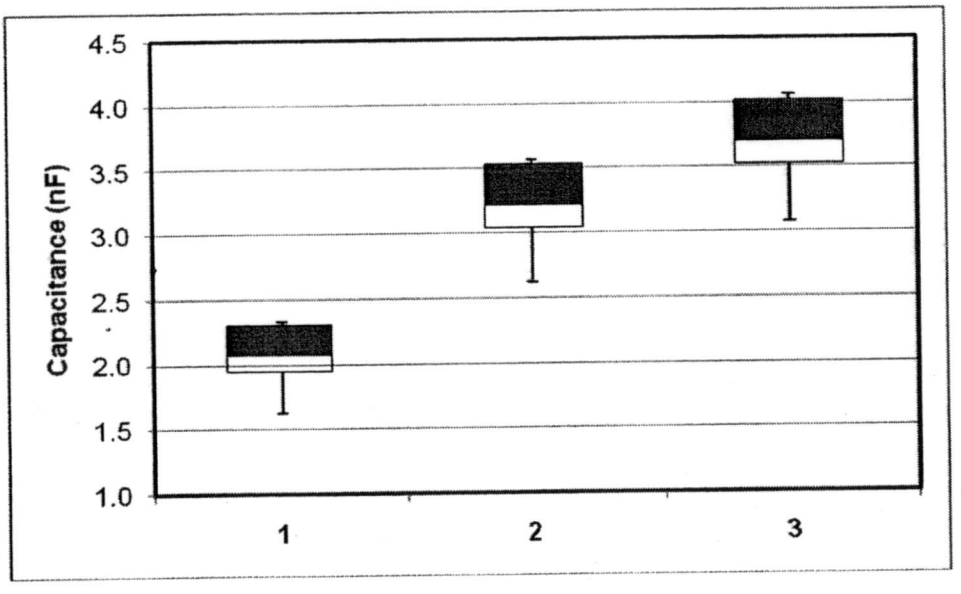
ภาพที่ 4.8 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลส้มปกติเปรียบเทียบกับส้มที่ระดับความรุนแรงของอาการฟ่ามแตกต่างกัน(1) ส้มปกติ (2) ระดับอาการฟ่าม 0-50% (3) ระดับอาการฟ่าม 50-100%

เช่นเดียวกันเมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลส้มปกติเปรียบเทียบกับส้มที่ระดับความรุนแรงของอาการฟ่ามแตกต่างกัน ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.8 พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลส้มปกติและส้มฟ่ามมีค่าแตกต่างกัน โดยที่ผลส้มที่มีระดับอาการฟ่ามมากกว่าจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดน้อยกว่า



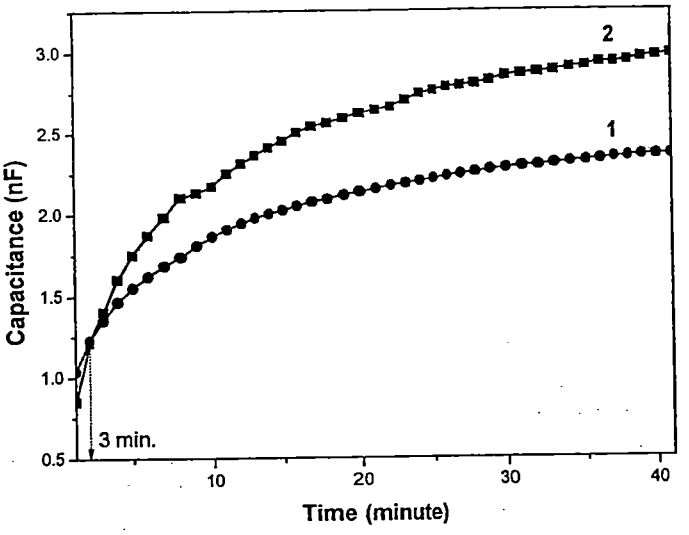
ภาพที่ 4.9 ค่าความจุไฟฟ้าของผลส้มจะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ระดับความรุนแรงของอาการฟ่าม แตกต่างกัน(1) ส้มปกติ (2) ระดับอาการฟ่าม 0-50% (3) ระดับอาการฟ่าม 50-100%

ค่าความจุไฟฟ้าของผลส้มจะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยจะมีเปลี่ยนแปลงในอัตราเร็วในช่วงแรกและจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ช้าลงเมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้น และจะมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 1 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 4.9 จะเห็นว่าผลส้มปกติและส้มฟ่ามที่มีระดับความรุนแรงของอาการต่างกันจะมีค่าความจุไฟฟ้าแตกต่างกัน โดยที่ผลส้มที่มีระดับอาการฟ่ามมากจะมีค่าความจุไฟฟ้ามาก ทั้งนี้สอดคล้องกับที่ได้ข้างต้น เมื่อส้มมีอาการฟ่ามมากขึ้นจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและความหนาแน่นปรากฏน้อยลง แต่จะมีค่าความจุไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น



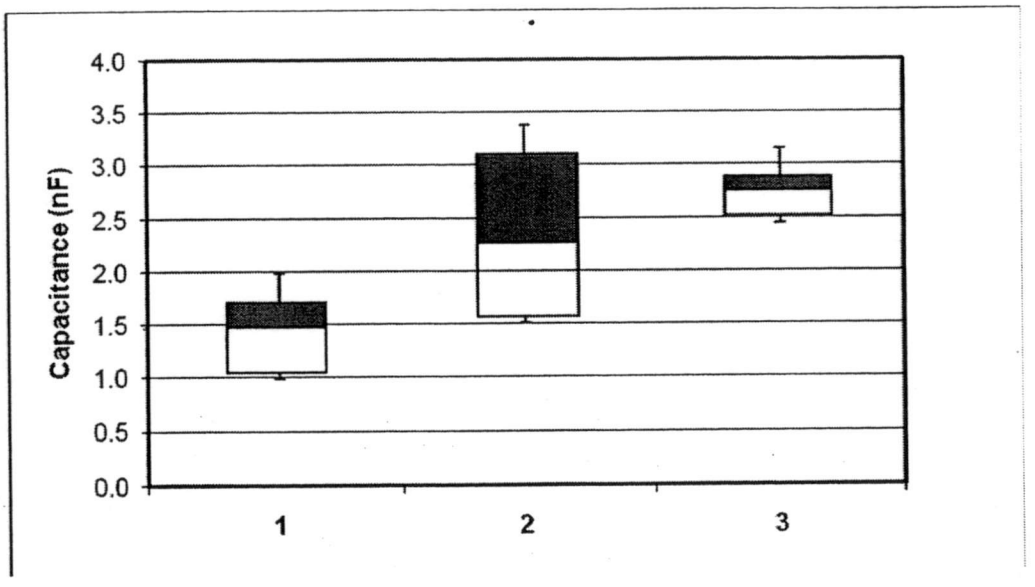
ภาพที่ 4.10 ค่าความจุไฟฟ้าของกลุ่มส้มที่มีระดับความฟ่ามต่างกัน (1) ส้มปกติ (2) ระดับอาการฟ่าม 0-50% (3) ระดับอาการฟ่าม 50-100%

เมื่อนำผลข้อมูลค่าความจุไฟฟ้าของกลุ่มส้มที่มีระดับความฟ่ามต่างกันมาเปรียบเทียบกัน แสดงในรูปของ box plot ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.10 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของค่าความจุไฟฟ้าของผลส้มปกติ จะมีค่าต่ำกว่าของส้มที่มีอาการฟ่าม และส้มฟ่ามที่อาการรุนแรงมากขึ้นจะมีค่าความจุไฟฟ้าที่สูงขึ้น



ภาพที่ 4.11 ค่าความจุไฟฟ้าของผลส้มที่มีขนาดต่างกัน (1) ผลใหญ่ (2) ผลเล็ก

จากการทดลองนี้พบว่าค่าความจุไฟฟ้าของผลส้มที่มีขนาดต่างกันจะมีค่าต่างกัน โดยผลส้มขนาดใหญ่จะมีค่าความจุไฟฟ้าน้อยกว่าของผลที่มีขนาดเล็กกว่า ดังแสดงในภาพที่ 4.11 จะเห็นว่าค่าความจุไฟฟ้ามีค่าผกผันกับขนาดของผลส้ม กล่าวคือผลส้มที่มีขนาดใหญ่จะมีค่าความจุไฟฟ้าน้อย ทั้งนี้สอดคล้องกับผลที่ได้ข้างต้น กล่าวคือ ผลส้มที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและความหนาแน่นปรากฏที่มากกว่า ทำให้มีค่าความจุไฟฟ้าน้อยกว่า แต่พบว่าในช่วงเวลาการวัดน้อยๆ ค่าความจุไฟฟ้าของผลส้มมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าเท่ากันที่เวลา 3 นาที หรือกล่าวได้ว่าที่เวลา 3 นาที ขนาดของผลส้มจะไม่มีผลต่อค่าความจุไฟฟ้าที่เวลา 3 นาที ในการทดลองนี้จึงเลือกใช้เวลาในการวัด ณ จุดนี้ในการทดสอบการคัดแยกเพื่อลดผลกระทบของขนาดที่มีผลต่อค่าความจุไฟฟ้าของผลส้ม



ภาพที่ 4.12 ค่าความจุไฟฟ้าที่เวลา 3 นาที ของกลุ่มส้มที่มีระดับความฟ่ามต่างกัน (1) ส้มปกติ (2) ระดับอาการฟ่าม 0-50% (3) ระดับอาการฟ่าม 50-100%

จากการนำผลส้มทั้งหมดจำนวน 100 ผล มาทดสอบพบว่าเป็นกลุ่มผลส้มปกติจำนวน 83 ผล กลุ่มผลส้มฟ่าม 0-50% จำนวน 14 ผล และกลุ่มส้มฟ่าม >50% จำนวน 3 ผล นำมาวัดค่าความจุไฟฟ้าเพื่อจะใช้เป็นเกณฑ์สำหรับการคัดแยก โดยทำการบันทึกค่าความจุไฟฟ้าที่เวลา 3 นาที ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.12 โดยจะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของค่าความจุไฟฟ้าของผลส้มปกติ จะมีค่าต่ำกว่าของส้มที่มีอาการฟ่าม 0-50% และส้มฟ่ามที่อาการรุนแรง >50% จะมีค่าความจุไฟฟ้าที่สูงขึ้น

เมื่อพิจารณาความแตกต่างของค่าความจุไฟฟ้าของส้มปกติและส้มฟ่าม จึงใช้ค่าความจุไฟฟ้ามาสร้างเป็นเกณฑ์เพื่อใช้ในการคัดแยกและทดสอบความแม่นยำ และนำมาใช้ในการกำหนดเกณฑ์สำหรับการคัดแยกจากค่าที่วัดได้เมื่อเวลา 3 นาที โดยที่เกณฑ์ที่ใช้คือค่ากึ่งกลางของค่า percentile ที่ 90% ของกลุ่มส้มปกติและค่า percentile ที่ 10% ของกลุ่มส้มที่เป็นฟ่าม ได้ค่าความจุไฟฟ้า ณ จุดดังกล่าวเท่ากับ 1.75 nF จึงใช้ค่าความจุไฟฟ้านี้เป็นค่าเกณฑ์ (threshold value) สำหรับการคัดแยก

นำส้มกลุ่มใหม่จำนวน 45 ผล โดยเป็นส้มปกติจำนวน 31 ผล และส้มฟ่ามจำนวน 14 ผล มาทดสอบความแม่นยำโดยทำการวัดค่าความจุไฟฟ้เมื่อเวลา 3 นาที และตรวจสอบจากเกณฑ์ที่กำหนดกล่าวคือถ้าค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าน้อยกว่า 1.75 nF จะเป็นส้มปกติ และถ้าค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้มีค่ามากกว่า หรือเท่ากับ 1.75 nF จะเป็นส้มฟ่าม ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 4.2 การทดสอบความแม่นยำโดยใช้เกณฑ์ค่าความจุไฟฟ้าในเวลา 3 นาที (<1.75nF= ส้มปกติ; ≥1.75nF= ส้มฟ่าม)

การวัดผล	จำนวนส้มปกติ (ผล)	จำนวนส้มฟ่าม (ผล)	จำนวนส้มทั้งหมด (ผล)	ความถูกต้อง (%)
ใช้ทำนาย	31	14	45	75.6
ทำนายถูกต้อง	23	11	34	
ทำนายผิด	8	3	11	

จากผลการทดสอบความแม่นยำโดยใช้เกณฑ์ที่ 1.75 nF ของค่าความจุไฟฟ้าที่วัดในเวลา 3 นาที พบว่าในกลุ่มส้มปกติมีความแม่นยำ 74.2% (ถูก 23 ผล; ผิด 8 ผล) ในขณะที่กลุ่มส้มฟ่ามมีความแม่นยำ 78.6% (ถูก 11 ผล; ผิด 3 ผล) หรือคิดเป็นความแม่นยำทั้งหมดเฉลี่ย 75.6% (ถูก 34 ผล; ผิด 11 ผล)

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองพบว่า ค่าคุณสมบัติของผลส้มที่วัดได้แบบไม่ทำลายที่มีความสัมพันธ์กับอาการฟ่ามของผลส้ม คือ ความหนาแน่นปรากฏ และค่าความจุไฟฟ้า แต่เนื่องจากการวัดค่าความจุไฟฟ้าสามารถทำได้สะดวกและไม่ทำให้ผลส้มเปียกชื้น จึงน่าจะเหมาะสมกว่าในทางปฏิบัติ และเมื่อสร้างเกณฑ์ในการทดสอบจากการวัดค่าความจุไฟฟ้าของผลส้มแบบไม่ทำลาย โดยทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าที่เวลา 3 นาที สามารถใช้ทำนายคุณภาพของผลส้มเพื่อการคัดแยกกลุ่มส้มปกติและส้มที่มีอาการฟ่ามได้แม่นยำ 75.6% กล่าวได้ว่าเทคนิคการวัดค่าความจุไฟฟ้ามีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เพื่อตรวจสอบอาการฟ่ามของส้ม และสามารถนำไปใช้เพื่อพัฒนาระบบการคัดแยกคุณภาพส้มแบบไม่ทำลายได้ต่อไปในอนาคต

บรรณานุกรม

1. ไชยา อุ้ยสูงเนิน. 2531. การปลูกส้มเขียวหวาน. เรื่องแสงการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
2. ธงชัย ยันตรศรี, จริญญา พันธุรักษา, วชิราพร เถินมงคล, กัลป์ กัลยาณมิตร, ดนัย บุณยเกียรติ และ จินดา ศรศรีวิชัย. 2542. เทคโนโลยีการตรวจสอบและคัดคุณภาพของผลไม้แบบไม่ทำลาย. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 55 หน้า.
3. วัชระ ทองเสมอ. 2552. ตัวเก็บประจุและความจุไฟฟ้า. เข้าถึงได้จาก: http://physics.flas.kps.ku.ac.th/wadchara/Myfile/Capacitance1.ppt (1 กรกฎาคม 2553).
4. วชิราพร เถินมงคล. 2543. การตรวจสอบอาการฟ่ามของส้มเขียวหวาน โดยใช้วิธีการส่องผ่านของแสง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 65 หน้า.
5. อัญชลี พัดมีเท้ศ. 2552. การปลูกส้มเขียวหวาน. กรมส่งเสริมการเกษตร. เข้าถึงได้จาก: http://web.ku.ac.th/agri/tangerine/index-1.htm (1 กรกฎาคม 2553).
6. Adamyan, A., Z. Adamian and V. Aroutiounian. 2007. Capacitance Method for Determination of Basic Parameters of Porous Silicon. Physica E 38: 164–167.
7. Banasiak, R., R. Wajman, J. Betiuk and M. Soleimani. 2009. Feasibility Study of Dielectric Permittivity Inspection using a 3D Capacitance CT method. NDT&E International 42: 316–322.
8. Bean, R. C. 1962. Avocado Maturity Studies: A Discussion of Possible Applications of Various Physical Measurements to Nondestructive Testing. California Avocado Society Yearbook. 46: 94-99.
9. Deshpande, S. S., H. R. Bolin and D. K. Salunkhe. 1982. Freeze Concentration of Fruit Juices. Food Technology 36: 68-82.
10. Ghatass, Z. F., M. M. Soliman and M. M. Mohamed. 2008. Dielectric Technique for Quality Control of Beef Meat in the Range 10 kHz - 1 MHz. American-Eurasian Journal of Scientific Research 3(1): 62-69.

11. Kandala, C.V.K., C.L. Butts and S.O. Nelson. 2007. Capacitance Sensor for Nondestructive Measurement of Moisture Content in Nuts and Grain. Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions 56(5): 1809 – 1813.

12. Kato, K. 1997. Electrical Density Sorting and Estimation of Soluble Solids Content of Watermelon. Journal of Agricultural Engineering Research,67: 161 – 170.

13. Mehta, N. 2009. Textbook of Engineering Physics, part 2. Asoke K. Ghosh, PHI Learning Private Limited, New Delhi.

14. Mohsenin, N. N. 1984. Physical Properties of Food and Agricultural Materials: A teching manual. Gordon and Breach Science, New York, USA.

15. Sirikulrat, K. and N. Sirikulrat. 2008. Dielectric Properties of Different Maturity Soybean. KMITL Sci. J. 8 (2):12-18.

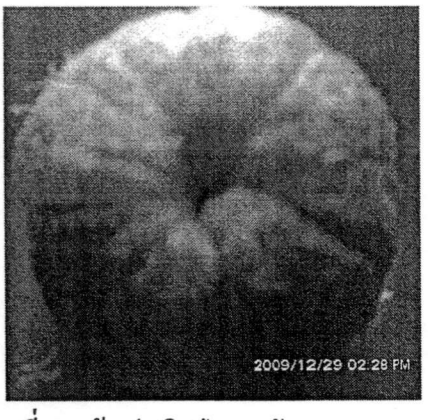
16. Zachariah, G. and L. C. Erickson. 1965. Evaluation of Some Physical Methods for Determinating Avocado Maturity. Califomia Avocado Society Yearbook. 49: 110-115.

ภาคผนวก ก

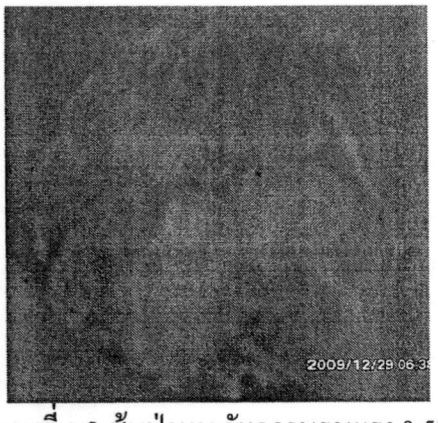
ตารางที่ ก.1 แสดงค่าข้อมูลการวัดคุณสมบัติต่างๆแบบไม่ทำลายของส้มเขียวหวานจำนวน 130 ผล

ส้ม	น้ำหนัก (กรัม)	ขนาด (mm)	Density (g/cm^3)
ปกติ	106.52 - 178.23	57.17 - 70.17	0.90 - 1.00
ฟ่าม 0-50%	93.72 - 204.95	56.39 - 72.05	0.62 - 1.00
ฟ่าม 50-100%	73.55 - 168.66	56.78 - 71.86	0.54 - 0.97

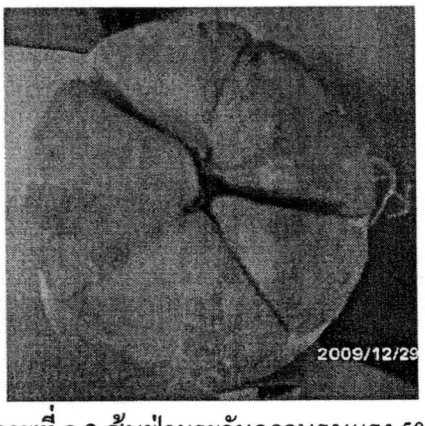
ก.1 ระดับความรุนแรงของส้มฟ่าม



ภาพที่ ก.1 ส้มปกติ (ฟ่ามระดับความรุนแรง 0%)

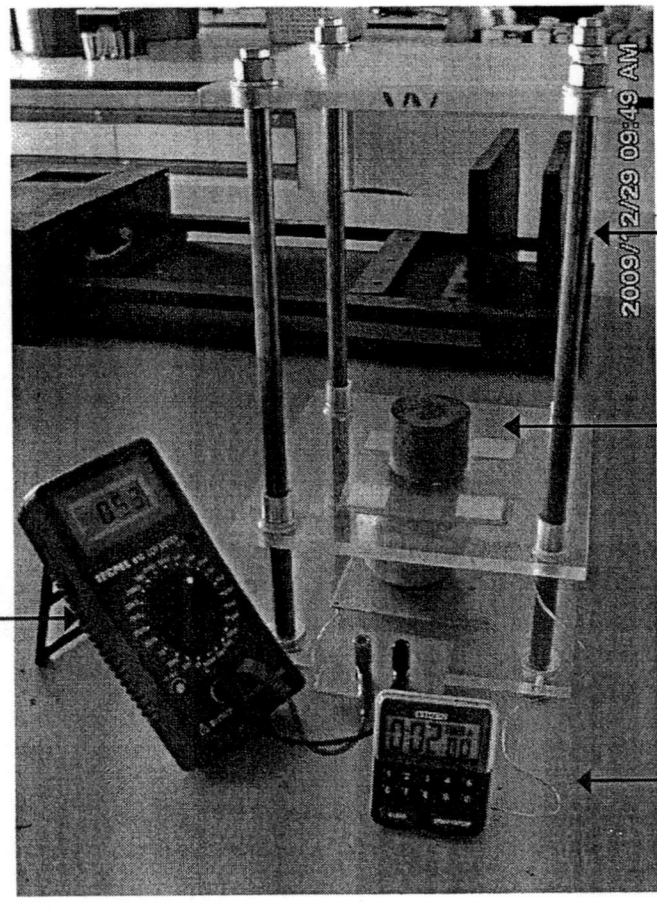


ภาพที่ ก.2 ส้มฟ่ามระดับความรุนแรง 0-50%



ภาพที่ ก.3 ส้มฟ่ามระดับความรุนแรง 50-100

ก.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ ก.4 อุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบค่าทางไฟฟ้าของผลส้ม (1) เครื่อง LCR meter (2) นาฬิกาจับเวลา (3) ลูกเหล็กน้ำหนัก 0.6 kg (4) ขาปรับระดับแผ่น plate