บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุเกษตร

ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง (*Citrus reticulata* Blanco cv. Sai Nam Peung) จากสวนเกษตรกรในอำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ ขนาดเบอร์ 5 - 6 เส้นผ่านศูนย์กลาง 6.0 – 6.5 เซนติเมตร เก็บเกี่ยวในระยะแก่ทางการค้า ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – มิถุนายน พ.ศ. 2552 ห่อหุ้มผลส้มด้วยโฟมตาข่ายและใส่กล่องกระดาษลูกฟูกที่รองพื้นด้วยฟองน้ำเพื่อป้องกันการช้ำระหว่าง การขนส่งจากนั้นขนส่งโดยรถยนต์มายังห้องปฏิบัติการสถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง นำผลส้มทั้งหมดล้างทำความสะอาด ผึ่งให้แห้ง คัดเลือกผลที่มีขนาดใกล้เคียงกัน และปราศจากตำหนิ สุ่มมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและความชื้นของเปลือก จากนั้นเก็บรักษาผลส้มไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อใช้ทำการทดลองในวันถัดไป

3.2 วัสดุอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องทดสอบการกดทับ รุ่น TA-XT2i/50 (Texture Analyzer) ประเทศอังกฤษ (ภาพ 3.1-3.2)

3.2.2 เครื่องจำลองการสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่ง (Vibration Tester) (ภาพ 3.3 - 3.5)

3.2.3 อุปกรณ์วัดระยะการกดทับของวัสดุ (Deformation Tester) (ภาพ 3.6 – 3.8)

3.2.4 เครื่อง Gas Chromatograph รุ่น GA-8A บริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น (ภาพ 3.10)

3.2.5 เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า รุ่น HI 8633 บริษัท Hanna ประเทศอิตาลี

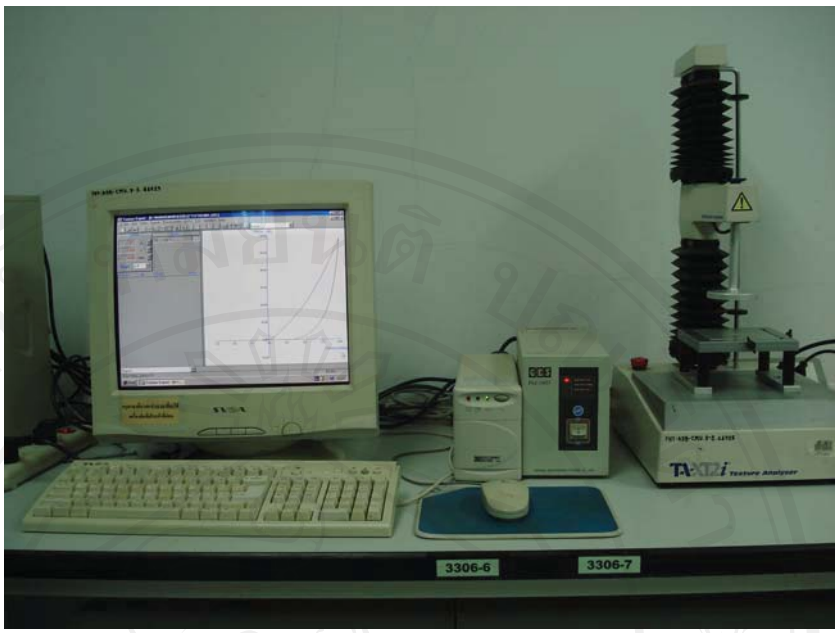
3.2.6 หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave) รุ่น HL-341 ขนาด 72 ลิตร ประเทศไต้หวัน

3.2.7 เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Digital Balance) รุ่น PB 1502-S Mettler - Toledo ประเทศสวิสเซอร์แลนด์

3.2.8 ตู้อบชนิดสุญญากาศ (Vacuum Dryer) รุ่น VD53 บริษัท Scientific Promotion

3.2.9 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Calipper)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 3.1 เครื่องทดสอบการกดทับ (texture analyzer)

ภาพ 3.2 หัวกดแบบแผ่นเรียบ

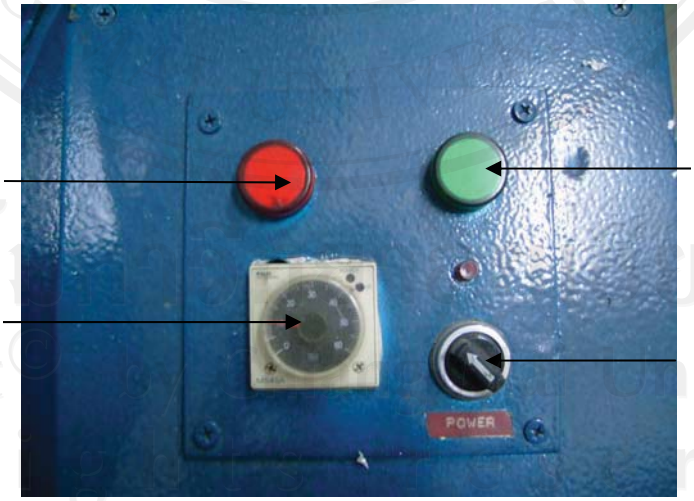
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3 รายละเอียดเครื่องทดสอบการสั่นสะเทือน (Vibration tester) (ภาพ 3.3)

เครื่องทดสอบการสั่นสะเทือนถูกออกแบบขึ้นใหม่เพื่อใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คือ ส่วนของตัวเครื่อง โครงสร้างเป็นรูปสี่เหลี่ยมทำจากอะลูมิเนียมและเหล็ก ภายในประกอบด้วย มอเตอร์ 220 V กำลัง ½ แรงม้า สายพาน เฟืองหรือเกียร์ และมู่เล่ สำหรับขับเคลื่อนให้เกิดการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง ด้วยความเร็วรอบเท่ากับ 4 Hz ซึ่งดัดแปลงตามมาตรฐาน ASTM D 3580-95 (ASTM, 2002) การทำงานของเครื่องใช้ระบบไฟฟ้าควบคุม ตัวเครื่องมีความสูงประมาณ 31 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 10 กิโลกรัม เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ขณะสั่นสะเทือน ส่วนที่ 2 คือ สวิตซ์ เปิด/ปิด และส่วนของตัวตั้งเวลาในการสั่นสะเทือน ติดอยู่ด้านนอกของตัวเครื่อง มีลักษณะเป็นสเกล สามารถปรับเวลาได้เป็นวินาที นาทีและชั่วโมงตามที่ต้องการ และมีสัญญาณไฟแสดงสถานะของเครื่อง ไฟสีเขียว แสดงว่าเครื่องกำลังทำงาน ไฟสีแดง แสดงว่าเครื่องหยุดทำงาน (ภาพ 3.4) ส่วนที่ 3 คือ ส่วนสำหรับใส่ตัวอย่าง เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีลักษณะคล้ายกล่อง ขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ 40 x 40 เซนติเมตร ต่อเข้ากับด้านบนของตัวเครื่องโดยมีแกนเหล็กยึดติด สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ ภายในประกอบด้วยท่อพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7.2 เซนติเมตร จำนวน 16 อัน สำหรับใส่ส้มและลูกตุ้มที่ใช้กดทับ (ภาพ 3.5) ด้านบนมีฝาปิดป้องกันไม่ให้ตัวอย่างหลุดออกขณะสั่นสะเทือน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 3.3 เครื่องทดสอบการสั่นสะเทือน (Vibration tester)



ภาพ 3.4 ตัวควบคุมเวลาและไฟแสดงสถานะการทำงานของเครื่อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 3.5 ช่องสำหรับใส่ตัวอย่างส้มในการจำลองการสั่นสะเทือน

3.4 การหาคุณสมบัติเบื้องต้นของผลส้ม

3.4.1 ความชื้นเปลือก สุ่มผลส้มสายน้ำผึ้งมา 10 ผล นำแต่ละผลมาแกะเปลือกออก จากนั้นนำเปลือกมาชั่งด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง ใส่ในกระป๋องโลหะสำหรับหาความชื้น (moisture can) จำนวน 10 ซ้ำๆ ละประมาณ 5 กรัม จากนั้นนำไปเข้าตู้อบชนิดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อบจนมีน้ำหนักคงที่โดยใช้เวลาประมาณ 72 ชั่วโมง (Singh and Reddy, 2006) จากนั้นนำมาชั่งหาน้ำหนักหลังอบอีกครั้ง และคำนวณหาความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์ จากสูตร

$$\text{ความชื้นตัวอย่าง (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

3.4.2 น้ำหนักผล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความหนาเปลือก

- **น้ำหนักผล** สุ่มผลส้มมา 10 ผล นำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าแบบ 2 ตำแหน่ง ชั่งที่ละผลจนครบ 10 ผล จากนั้นนำมาคำนวณหาน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล
- **ขนาดของผลส้ม** นำผลส้มชุดเดิมมาวัดขนาดด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ (Vernier Caliper) โดยวัดความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลาง จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยต่อผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- **ความหนาของเปลือก** นำผลส้มชุดเดิมมาวัดความหนาของเปลือก โดยนำผลส้มมาแกะเปลือกแยกส่วนขั้วผล ก้นผล และด้านข้างผล มาวัดความหนาของเปลือกโดยใช้เวอร์เนียคาร์-ลิปเปอร์ จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความหนาของเปลือกเฉลี่ย โดยแยกเป็นความหนาของแต่ละตำแหน่ง ดังกล่าวข้างต้น

3.5 การดำเนินการทดลอง

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เป็นการศึกษาคุณสมบัติในการรับแรงกดทับสูงสุดของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง และการวัดความเสียหายจากการจำลองการสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่ง โดยเฉพาะการซ้ำ แบ่งออกเป็น 4 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การทดสอบความสามารถในการรับแรงกดทับสูงสุด

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ปัจจัยที่ศึกษา คือ ตำแหน่งของผลส้มที่ทดสอบการกดทับ 2 ตำแหน่ง คือ ด้านขั้ว (ตามแนวตั้งของกลีบส้ม) และด้านข้าง (ตามขวางของกลีบส้ม) รวมทั้งหมด 2 กรรมวิธีๆ ละ 20 ซ้ำๆ ละ 1 ผล

วิธีการทดลอง

นำผลส้มสายน้ำผึ้งเบอร์ 5 - 6 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.0 - 6.5 เซนติเมตร) ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวและไม่ผ่านการแช่เย็น สุ่มมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติก่อนการทดลอง ได้แก่ ความชื้นของเปลือก น้ำหนักผล ขนาดของผล และความหนาของเปลือก หลังจากนั้นนำผลส้มมาทำการทดสอบการกดทับด้วยเครื่อง texture analyzer โดยกดทับ 2 ตำแหน่ง คือ ด้านขั้ว (ตามแนวตั้งของกลีบส้ม) และด้านข้าง (ตามขวางของกลีบส้ม) จำนวน 20 ซ้ำๆละ 1 ผล โดยใช้หัวกดแบบแผ่นเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 มิลลิเมตร กำหนดความเร็วเริ่มต้นของหัวกด 2 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วเมื่อหัวกดสัมผัสกับผลส้ม 1 มิลลิเมตรต่อวินาที และความเร็วเมื่อหัวกดถอนกลับ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที กำหนดให้หยุดกดทับเมื่อผลส้มเริ่มแตก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การบันทึกผลการทดลอง

1. พื้นที่ผิวสัมผัส ทำการทาสีขาวบริเวณหัวกดก่อนการทดสอบ และหลังจากทดสอบแล้วสีขาวจะติดตรงตำแหน่งที่ถูกกดทับบนผลส้ม วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยสีขาวและนำมาหาพื้นที่ผิวสัมผัสจากสูตรดังนี้

พื้นที่ผิวสัมผัส (เซนติเมตร^2) $= \P r^2$

เมื่อ r คือ $\frac{\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยสีขาว}}{2}$

2. ค่าแรงและระยะทางกดตรงจุดชีวคราก (bioyield point)

3. ค่า Young's modulus สามารถคำนวณจากสูตรดังนี้

Young's modulus (นิวตัน/มิลลิเมตร^2) $= \frac{\text{ความเค้น (Stress)}}{\text{ความเครียด (Strain)}}$

เมื่อ ความเค้น (Stress) คือ ค่าแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (นิวตัน/มิลลิเมตร^2)

ความเครียด (Strain) คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือรูปร่างของวัตถุ เนื่องจากแรง เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดหรือรูปร่างเดิม

การทดลองที่ 2 การทดสอบการกดทับด้วยระยะเวลาสั้นๆ ที่ระยะยุบตัวต่างๆ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ปัจจัยศึกษา คือ ระยะยุบตัวของผลส้ม 4 ระดับ คือที่ระดับ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงเริ่มต้นของผลส้ม รวมทั้งหมด 4 กรรมวิธี ทดสอบการกดทับที่ตำแหน่งด้านขั้วของผลส้ม (ตามแนวตั้งของกลีบส้ม) เนื่องจากการทดลองที่ 1 พบว่าตำแหน่งด้านขั้วและด้านข้างของผลส้มสามารถรับแรงกดทับได้ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้ทดลองจึงทำการกดทับตำแหน่งด้านขั้ว เนื่องจากสะดวกในการวางผลส้มและเป็นลักษณะปกติของผลส้มที่วางบนพื้นราบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการทดลอง

นำผลส้มสายน้ำผึ้งเบอร์ 5 - 6 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.0 - 6.5 เซนติเมตร) ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวและไม่ผ่านการแช่เย็น สุ่มมาวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น น้ำหนักผล ขนาดของผล และความหนาของเปลือก หลังจากนั้นนำผลส้มมาทำการทดสอบการกดทับที่ระยะยุบตัวต่างๆ ด้วยเครื่อง texture analyzer โดยใช้หัวกดแบบแผ่นเรียบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 มิลลิเมตร กำหนดให้ความเร็วเริ่มต้นของหัวกดเท่ากับ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วเมื่อหัวกดสัมผัสกับผลส้มเท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที และความเร็วเมื่อหัวกดถอนกลับเท่ากับ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะทางในการกดทับเท่ากับระยะยุบตัวของส้มตามที่กำหนดในแผนการทดลอง จากนั้นนำผลส้มมาทำการวัดความเสียหายจากการกดทับ

บันทึกผลการทดลอง

ประเมินความเสียหายจากการเกิดความช้ำ โดยการวัด

- การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์
- อัตราการหายใจ
- การเน่าเสีย หลังจากเก็บรักษา โดยวัดทุกๆ 2 วัน จนผลส้มหมดสภาพ
- การสูญเสียน้ำหนักทุกๆ 2 วัน ของการเก็บรักษา จนผลส้มหมดสภาพ
- อายุการเก็บรักษา
- การติดสีของเปลือกเมื่อย้อมด้วยสาร 2,3,5- triphenyltetrazolium chloride
- การเปลี่ยนสีของ Indicator paper

การทดลองที่ 3 ทดสอบการกดทับอย่างต่อเนื่องยาวนาน

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ปัจจัยศึกษา คือ แรงกดทับระดับต่างๆ คือ 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม รวมทั้งหมด 5 กรรมวิธี โดยใช้น้ำหนักกดทับที่ตำแหน่งด้านขั้วของผลส้ม (ตามแนวตั้งของกลีบส้ม) และบันทึกระยะเวลาที่ทำให้ผลส้มยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูง การทดลองนี้เป็นการจำลองการถูกกดทับของผลส้มจากแรงสถิต เป็นระยะเวลานานๆ อาทิเช่น ในการเก็บรักษาในระยะยาวหรือการขนส่งในระยะทางไกลๆ

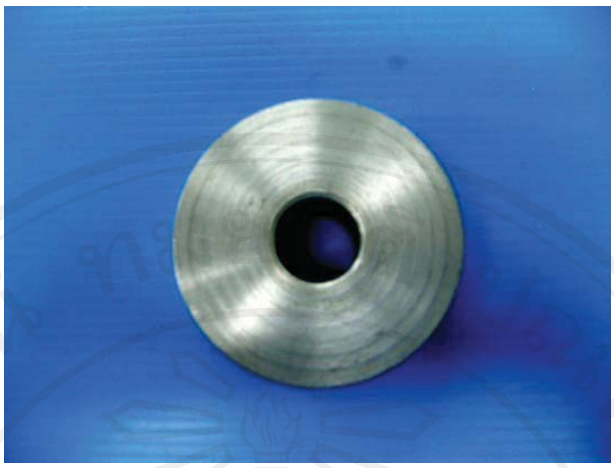
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการทดลอง

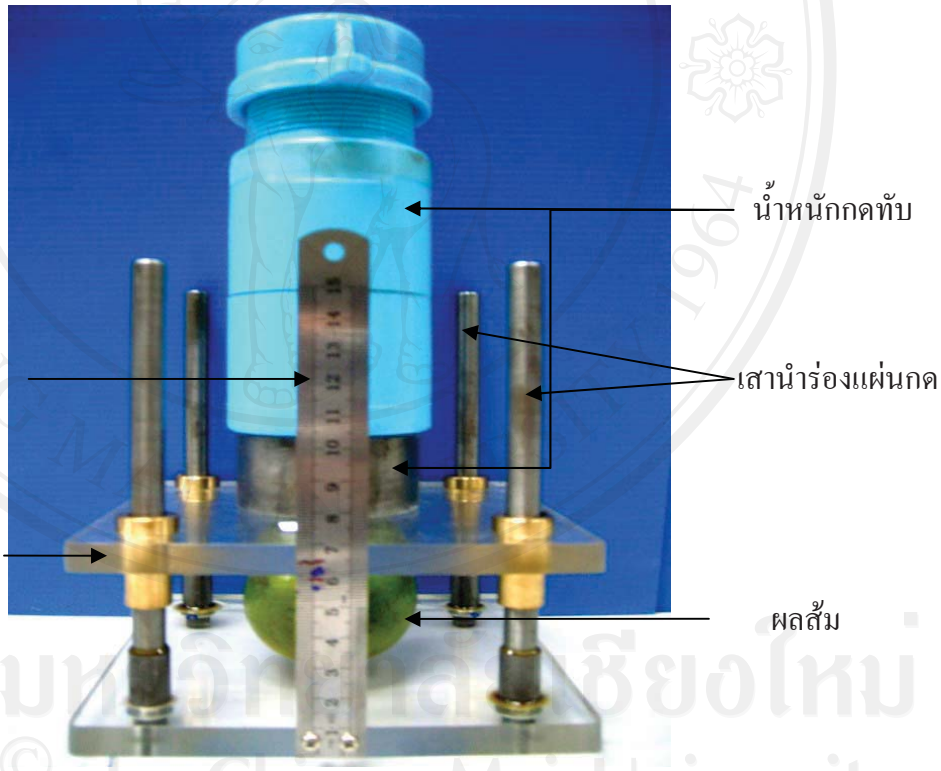
นำผลส้มสายน้ำผึ้งเบอร์ 5 - 6 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.0 - 6.5 เซนติเมตร) ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวและไม่ผ่านการแช่เย็น สุ่มมาวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น น้ำหนักผล ขนาดของผล และความหนาของเปลือก หลังจากนั้นนำผลส้มมาทำการทดสอบการกดทับที่ระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผลส้ม ด้วยแรงกดขนาดต่างๆ คือ 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม โดยใช้อุปกรณ์วัดระยะการกดทับ (deformation tester) (ภาพ 3.6) วางผลส้มให้อยู่ระหว่างแผ่นเรียบแล้วทำเครื่องหมายขนาดของผลส้มก่อนการกดทับและระยะยุบตัวของผลส้ม 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของผลส้มไว้ที่สเกล จากนั้นนำตุ้มน้ำหนักตามขนาดของแรงกดทับที่ทำการศึกษามาวางไว้บริเวณแผ่นเรียบด้านบนผลส้ม (ภาพ 3.7 และภาพ 3.8) จากนั้นบันทึกเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นจนขอบด้านล่างของแผ่นเรียบเลื่อนลงมาถึงสเกลที่ทำเครื่องหมายไว้ที่ระยะยุบตัวของผลส้ม 10 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำผลส้มไปตรวจวัดความเสียหายจากการช้ำด้วยวิธีการต่างๆ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2

ภาพ 3.6 อุปกรณ์วัดระยะกดทับ (Deformation tester)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 3.7 ตุ้มน้ำหนัก



ภาพ 3.8 การทดสอบการกดทับเป็นเวลานานที่ระยะยุบตัว 10 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 4 การจำลองการสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่ง

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD โดยปัจจัยที่1 ที่ศึกษา คือ เวลาในการขนส่งที่ความถี่ในการสั่นสะเทือนดัดแปลงตามมาตรฐาน ASTM D 3580-95 (ASTM, 2002) 4 ระยะเวลา คือ 0, 10, 40 และ 60 นาที ปัจจัยที่ 2 คือ แรงที่ใช้ในการกดทับ 5 ระดับ คือ 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม จำนวน 5 ซ้ำๆละ 16 ผล

วิธีการทดลอง

นำผลส้มสายน้ำผึ้งเบอร์ 5 - 6 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.0 – 6.5 เซนติเมตร) สุ่มมาวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้นของเปลือก น้ำหนักผล ขนาดของผล และความหนาของเปลือก หลังจากนั้นนำผลส้มมาทดสอบการกดทับโดยให้เวลาในการขนส่งที่ความถี่ในการสั่นสะเทือนดัดแปลงตามมาตรฐาน ASTM D 3580-95 (ASTM, 2002) 4 ระยะเวลา คือ 0, 10, 40 และ 60 นาที ด้วยแรงที่ใช้ในการกดทับ 5 ระดับ คือ 0, 700, 1,400, 2,100 และ 2,800 กรัม จำนวน 5 ซ้ำๆละ 16 ผล จากนั้นวิเคราะห์ความเสียหายจากการช้ำและบันทึกผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2

3.6 การวิเคราะห์ความเสียหายจากการเกิดการช้ำ

3.6.1 การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์

- การเตรียมสารละลายสารละลายแมนนิทอล (mannitol) ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์

ทำการเตรียมสารละลายแมนนิทอล (reagent grade, Scharlau, Spain) โดยการชั่ง แมนนิทอลจำนวน 72.87 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดปรับปริมาตร

- การเตรียมตัวอย่าง

ผลการศึกษาเบื้องต้นได้ทดลองวัดการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ของเปลือกผลส้มบริเวณตำแหน่งที่กดทับ (ด้านขั้ว), ด้านล่างและด้านข้างผล พบว่าตำแหน่งที่กดทับ (ด้านขั้ว) มีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์มากกว่าตำแหน่งอื่นๆ ดังนั้นผู้ทดลองจึงวัดการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ของเปลือกส้มในตำแหน่งที่กดทับ (ด้านขั้ว) ซึ่งดัดแปลงมาจาก King and Ludford (1983) โดยมีวิธีการเตรียมตัวอย่างดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนที่ 1 นำผลส้มมาแกะเปลือกออก โดยใช้มีดปลายแหลมกรีดบริเวณที่ถูกกดทับ ในที่นี้คือบริเวณรอบขั้วผล เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร โดยอย่าให้ถูกส่วนของเนื้อ ดังภาพ 3.9A – 3.9B

ขั้นตอนที่ 2 นำส่วนของเปลือกส้มที่แกะออก มาเจาะด้วย cock borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้นต่อซ้ำ 5 ซ้ำๆ ละ 1 ผล ภาพ 3.9C

ขั้นตอนที่ 3 นำชิ้นส่วนของเปลือกส้มที่เจาะด้วย cock borer แล้ว มาล้างด้วย deionize water จากนั้นซับให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู

วิธีการวัด

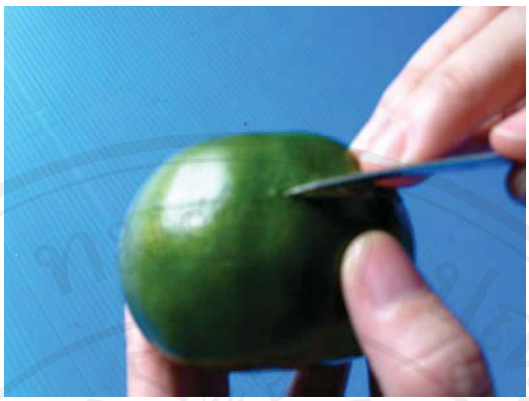
ขั้นตอนที่ 1 นำชิ้นส่วนของเปลือกส้มที่เจาะได้ แช่ลงในสารละลายแมนนิทอลความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตรที่อยู่ในหลอดทดลอง วางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายมาวัดค่าการนำไฟฟ้าโดยใช้เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 2 เทสารละลายกลับลงในหลอดทดลองหลอดเดิม นำไปนึ่งในหม้อนึ่งความดันไอ เพื่อทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง

ขั้นตอนที่ 3 นำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ ดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{ค่าการนำไฟฟ้าของสารอีเล็กโตรไลต์ที่รั่วไหลออกมา}}{\text{ค่าการนำไฟฟ้าของสารอีเล็กโตรไลต์ทั้งหมด}} \times 100$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



A

B

C

ภาพ 3.9 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างผลส้มก่อนนำไปวัดการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ (A - C)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.6.2 อัตราการหายใจ

นำผลส้มที่ผ่านการทดลองแล้ว มาชั่งน้ำหนักและวัดปริมาตร นำผลส้มบรรจุในกล่องพลาสติกที่ปิดสนิทปริมาตร 2 ลิตร ซึ่งทำเป็นระบบปิด ทำการเจาะรูบริเวณฝาของกล่องพลาสติก โดยมีเซปตั้มปิดไว้ที่รูเพื่อทำการดูดก๊าซ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 ˚C ใช้ syringe ขนาด 1 มิลลิลิตร พร้อมเข็มขนาด 0.53 x 25 มิลลิเมตร (Nipro, บริษัท นิโปร ประเทศไทย จำกัด, ประเทศไทย) ดูดก๊าซจากกล่องพลาสติกหลังจากที่บรรจุผลส้มเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและ 2 ชั่วโมงมาวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph (SHIMADZU, GC – 8A, Japan) (ภาพ 3.10) ซึ่งประกอบด้วย CTR – 1 packed column เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 มิลลิเมตร และยาว 2 เมตร (Alltech, Deerfield, IL, USA.) และ detector ชนิด thermal conductivity detector: TCD โดย oven temperature และ injection temperature เท่ากับ 80 องศาเซลเซียส และ column temperature เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส โดยมีก๊าซตัวพา คือ ฮีเลียม (150 มิลลิลิตรต่อนาที) ทำการวิเคราะห์โดยฉีดก๊าซปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการวิเคราะห์ 2 นาที ต่อตัวอย่าง นำพื้นที่ใต้กราฟที่ได้มาคำนวณหาปริมาตรก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลส้มปล่อยออกมาโดยเปรียบเทียบกับก๊าซมาตรฐานที่ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์และอากาศ จากนั้นคำนวณหาอัตราการหายใจ ตามสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{Respiration rate } (ml CO_2/kg.h) = \frac{\text{free volume (ml)} \times \%CO_2 - 0.03}{\text{Sample weight (kg)} \times 100 \times \text{sealed time (hr)}}$$

ภาพ 3.10 Gas Chromatograph (SHIMADZU, GC – 8A, Japan)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.6.3 การเกิดโรคและการเน่าเสีย

การเกิดโรคและการเน่าเสียของผลส้มพิจารณาจากการปรากฏเห็นของเชื้อราที่บริเวณผลส้ม เมื่อพบว่ามีเชื้อราและเกิดการเน่าเสียปรากฏให้เห็นถือว่าหมดอายุการเก็บรักษา แบ่งออกเป็น 5 ซ้ำๆละ 1 ผล คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียตามสูตรดังนี้

$$\text{การเน่าเสีย (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{จำนวนผลส้มที่เน่าเสีย x 100}}{\text{จำนวนเริ่มต้นของผลส้ม}}$$

3.6.4 การสูญเสียน้ำหนัก

ชั่งน้ำหนักผลส้มเมื่อวันเริ่มต้น โดยใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Digital Balance) แล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นชั่งน้ำหนักซ้ำทุกๆ 2 วัน โดยใช้ผลส้มชุดเดิมจนกระทั่งผลส้มมีลักษณะเหี่ยวจนไม่เป็นที่ยอมรับ นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด} = \frac{\text{น้ำหนักผลส้มเมื่อเริ่มต้น – น้ำหนักผลส้มหลังเก็บรักษา x 100}}{\text{น้ำหนักผลส้มก่อนเก็บรักษา}}$$

3.6.5 อายุการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษาของผลส้ม พิจารณาจากลักษณะภายนอกของผลส้ม เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก การเหี่ยวของผลส้ม และการเน่าเสีย ถือว่าหมดสภาพ ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

3.6.6 การวัดการช้ำโดยการย้อมสี ด้วยสาร 2,3,5- triphenyltetrazolium chloride

- การเตรียมสารละลาย 2,3,5- triphenyltetrazolium chloride ความเข้มข้น 0.1 w/v

ทำการเตรียมสารละลาย 2,3,5- triphenyltetrazolium chloride โดยชั่งสาร 2,3,5-triphenyltetrazolium chloride จำนวน 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดปรับปริมาตร

- นำสารละลาย 2, 3, 5 - triphenyltetrazolium chloride ความเข้มข้น 0.1 w/v มาต้มให้มีอุณหภูมิ 55°C จากนั้นนำผลส้มจุ่มลงในสารละลาย แช่ทิ้งไว้ 75 นาที นำผลส้มขึ้นมาผึ่งให้แห้ง แล้วประเมินการติดสีแดง ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

0 คะแนน เท่ากับ ไม่ติดสีแดง (ไม่ช้ำ)

1 คะแนน เท่ากับ ติดสีแดง 1 – 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว (ช้ำเล็กน้อย)

2 คะแนน เท่ากับ ติดสีแดง 26 – 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว (ช้ำปานกลาง)

3 คะแนน เท่ากับ ติดสีแดง 51 – 75 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว (ช้ำมาก)

4 คะแนน เท่ากับ ติดสีแดง 76 – 100 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว (ช้ำมากที่สุด)

3.6.7 วัดการช้ำโดยใช้ Indicator paper

การเตรียม Indicator paper

ทำการเตรียมสารละลายสำหรับทำ Indicator paper ดัดแปลงตามวิธีการของ Beckenbach (1997) โดยชั่ง phenolphthalein หนัก 1.5 กรัม และ sodium hydroxide หนัก 1.5 กรัม ละลายใน isopropanol ปริมาตร 150 มิลลิลิตร จากนั้นผสมน้ำ 250 มิลลิลิตร เทใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จุ่มกระดาษกรองลงไป ดังภาพ 3.11A ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที จากนั้นนำขึ้นมาผึ่งให้แห้ง (ภาพ 3.11B – 3.11C) แล้วเก็บไว้ในภาชนะปิดและอย่าให้ถูกแสง

A

B

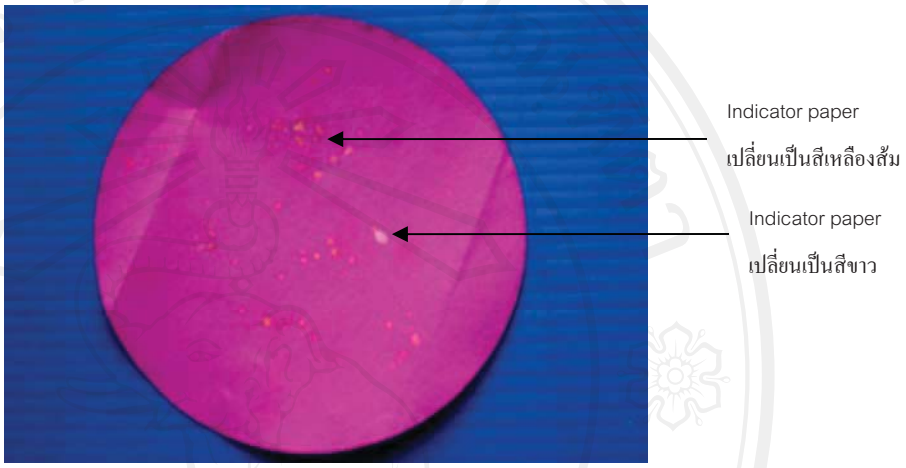
C

ภาพ 3.11 การเตรียม Indicator paper (A – C)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการวัด

นำ Indicator paper ที่เตรียมไว้มาสัมผัสกับผลส้มที่ผ่านการกดทับและการสั่นสะเทือนแล้ว Indicator paper จะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเหลืองส้มเมื่อสัมผัสกับน้ำมันของผลส้ม และจะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีขาว เมื่อสัมผัสกับน้ำคั้นของผลส้ม ดังภาพ 3.12



ภาพ 3.12 Indicator paper ที่เปลี่ยนสีหลังจากสัมผัสผลส้มที่ผ่านการทดลอง

จากนั้นนำ Indicator paper ที่เปลี่ยนสีแล้วมาประเมินผลโดยการให้คะแนน ดังนี้

0 คะแนน เท่ากับ Indicator paper ไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม (ไม่ช้ำ)

1 คะแนน เท่ากับ Indicator paper เปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม 1 – 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว (ช้ำเล็กน้อย)

2 คะแนน เท่ากับ Indicator paper เปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม 26 – 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว (ช้ำปานกลาง)

3 คะแนน เท่ากับ Indicator paper เปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม 51 – 75 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว (ช้ำมาก)

4 คะแนน เท่ากับ Indicator paper เปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม 76 – 100 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว (ช้ำมากที่สุด)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลที่บันทึกได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี ANOVA โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS Version 16