บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุเกษตร

ผลลำไยพันธุ์ดอซื้อมาจากสวนเกษตรกรในอำเภอดอยหล่อ จังหวัดเชียงใหม่ ที่เก็บเกี่ยวในระยะแก่ทางการค้าชั้นมาตรฐาน A บรรจุใส่ตะกร้าพลาสติกตะกร้าละ 10 กิโลกรัม ขนส่งโดยทางรถยนต์มายังห้องปฏิบัติการสถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระยะเวลาหลังจากเก็บเกี่ยวจนถึงเริ่มทำการทดลองประมาณ 5 ชั่วโมง นำผลลำไยทั้งหมดมาตัดก้านออกให้เหลือขั้วประมาณ 0.5 เซนติเมตร คัดเลือกผลที่มีขนาดสม่ำเสมอกัน ไม่มีรอยตำหนิ และไม่เน่าเสีย จากนั้นสุ่มมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและความชื้นของผลลำไย

3.2 วัสดุอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องทดสอบการกระแทกของวัสดุ Impact Tester (ภาพ 3.2)

3.2.2 เครื่องทดสอบการกดทับของวัสดุ รุ่น TA-XT2i/50 (Texture Analyzer) ประเทศอังกฤษ (ภาพ 3.8)

3.2.3 เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบชั่งจากด้านบน 2 ตำแหน่ง (Digital Balance) รุ่น PB 1502-S Mettler-Toledo ประเทศสวิสเซอร์แลนด์

3.2.4 ตู้อบชนิดสุญญากาศ (Vacuum Dryer) รุ่น VD53 บริษัท Scientific Promotion

3.2.5 ตู้ Incubator รุ่น MIR-553 บริษัท SANYO ประเทศญี่ปุ่น

3.2.6 เครื่องวัดสี (colorimeter) รุ่น Color Quest XE บริษัท Hunter Lab ประเทศญี่ปุ่น

3.2.7 เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า รุ่น HI 8633 บริษัท Hanna ประเทศอิตาลี

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

3.2.9 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Calipper)

3.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและความชื้นของผลลำไย

3.3.1 ความชื้น สุ่มผลลำไยมาประมาณ 10 ผล นำแต่ละผลมาแยกส่วนเปลือก เนื้อ และเมล็ด ออกจากกัน ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง และนำแต่ละส่วนของผลลำไยใส่ใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระป๋องโลหะสำหรับหาความชื้น (moisture can) ทำส่วนละ 10 ซ้ำๆ ละ 1 ผล จากนั้นนำไปเข้าตู้อบชนิดสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อบจนมีน้ำหนักคงที่โดยใช้เวลาประมาณ 72 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งหาน้ำหนักภายหลังอบอีกครั้งหนึ่ง และคำนวณหาความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์จากสูตร

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

3.3.2 น้ำหนักผล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผล และความหนาเปลือก

- *น้ำหนักผล* สุ่มผลลำไยมาประมาณ 20 ผล นำไปชั่งหาน้ำหนักผลด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าแบบ 2 ตำแหน่ง ชั่งน้ำหนักทีละผลจนครบ 20 ผล จากนั้นนำมาคำนวณหาน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล

- *ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผล* นำผลลำไยชุดเดิมมาวัดหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผลด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Caliper) โดยวัดผลละ 3 ด้าน คือ ด้านกว้าง 2 ด้าน และด้านยาว 1 ด้าน จากนั้นนำมาคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยต่อผลจากสูตร

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยต่อ 1 ผล (มิลลิเมตร)

$$= \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางด้านกว้าง} + \text{เส้นผ่านศูนย์กลางด้านแคบ} + \text{เส้นผ่านศูนย์กลางด้านส่วนสูง}}{3}$$

- *ความหนาของเปลือก* นำผลลำไยชุดเดิมมาวัดหาความหนาของเปลือก โดยนำผลลำไยมาผ่าครึ่งผล แยกเอาแต่ส่วนเปลือกมาวัดหาความหนาของเปลือกตรงตำแหน่งด้านขั้ว ด้านข้าง และด้านล่างผลด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความหนาของเปลือกเฉลี่ย โดยแยกเป็นความหนาของแต่ละตำแหน่ง 3 ตำแหน่งดังกล่าวข้างต้น

3.3.3 ความเหนียวของเปลือก สุ่มผลลำไยมาประมาณ 20 ผล ผ่าครึ่งผลแยกเอาแต่ส่วนเปลือกมาตัดแยกเป็น 3 ตำแหน่ง คือ ด้านขั้ว ด้านข้าง และด้านล่างผล ตัดเปลือกลำไยแต่ละตำแหน่งให้มีขนาด กว้างxยาว เท่ากับ 0.8x2.2 เซนติเมตร จากนั้นนำมาวัดหาความเหนียวของเปลือกด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยใช้หัวดึง Tensile Grips (ภาพ 3.1) กำหนดความเร็วของหัวดึงก่อนดึง 1 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วขณะดึง 1 มิลลิเมตร/วินาที และความเร็วหลังจากดึงเสร็จ 10 มิลลิเมตร/วินาที และกำหนดระยะทางในการดึง 10 มิลลิเมตร บันทึกค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้เปลือกลำไยขาด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 3.1 หัวดึง Tensile Grips

3.4 การทดสอบการกระแทก (Impact tester)

เครื่องทดสอบการกระแทก ประกอบด้วย ตัวโครงสร้างทำจากเหล็ก มีความสูง 38.5 เซนติเมตร ส่วนล่างสุดของตัวโครงสร้างเป็นฐานวงกลมทำจากเหล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร ยกสูงขึ้นมาจากพื้นและสามารถปรับความสูงได้ (ภาพ 3.2) ที่ตำแหน่งด้านบนของโครงสร้างมีแผ่นทองเหลืองวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 เซนติเมตร บนแผ่นทองเหลืองนี้มีสเกลบอกมุม ซึ่งเริ่มตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา และมีขีดย่อยซึ่งมีความละเอียด 0.5 องศา สำหรับส่วนของค้อนตีประกอบด้วยลูกตุ้มทรงสี่เหลี่ยมมีน้ำหนัก 0.47 กิโลกรัม ซึ่งล็อคติดกับปลายแท่งเหล็กยาว 24 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 0.34 กิโลกรัม สำหรับปลายด้านบนของแท่งเหล็กจะถูกล็อคติดกับส่วนบนของตัวโครงสร้าง (ภาพ 3.2)

ที่ตำแหน่งด้านหลังของเครื่องกระแทกจะมีที่ล็อคค้อนตีและสามารถปลดล็อคให้ค้อนตีเคลื่อนที่มากระแทกผลลำไย ซึ่งวางอยู่บนฐานด้านล่าง (ภาพ 3.3) ที่ปลายด้านบนของแท่งเหล็กตรงตำแหน่งที่ล็อคติดกับโครงสร้างของตัวเครื่องจะมีเข็มชี้ล็อคติดอยู่ และสามารถเคลื่อนที่ไปพร้อมกับค้อนตี โดยเข็มชี้นี้จะชี้สเกลบนแผ่นทองเหลืองเพื่อบอกค่ามุมแกว่งของค้อนตี (ภาพ 3.2)

ตรงส่วนของค้อนตีมีลูกตุ้มที่ใช้ทดสอบ 2 แบบ คือลูกตุ้มเหล็กและลูกตุ้มลำไย โดยลูกตุ้มเหล็กมีแผ่นเหล็กน้ำหนัก 0.08 กิโลกรัม ล็อคติดกับตัวลูกตุ้ม (ภาพ 3.4) สำหรับลูกตุ้มลำไยจะมีแผ่นเหล็กน้ำหนัก 0.05 กิโลกรัม ล็อคผลลำไยให้ติดกับตัวลูกตุ้ม (ภาพ 3.5) สำหรับผลลำไยที่ใช้ล็อคติดกับตัวลูกตุ้ม เป็นผลลำไยสดมีขนาดน้ำหนักประมาณ 0.012 กิโลกรัม และมีตัวถ่วงน้ำหนัก 2 ตัว ล็อคติดกับแท่งเหล็ก ตัวแรกทำจากทองเหลืองมีน้ำหนัก 0.36 กิโลกรัม และตัวที่ 2 ทำจากเหล็กมีน้ำหนัก 0.57 กิโลกรัม (ภาพ 3.2) และในระหว่างทดสอบการกระแทกจะมีกล่องซึ่งบุด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟองน้ำเพื่อรองรับผลลำไยหลังจากถูกกระแทก (ภาพ 3.6) โดยเมื่อผลลำไยถูกกระแทกแล้ว ผลลำไยจะกระเด็นจากฐานไปตกที่กล่องซึ่งวางอยู่ด้านข้าง (ภาพ 3.6)

ภาพ 3.2 เครื่องทดสอบการกระแทกของวัสดุ Impact tester (มองจากด้านหน้า)

ภาพ 3.3 เครื่องทดสอบการกระแทกของวัสดุ Impact tester (มองจากด้านข้าง)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 3.4 ลูกตุ้มเหล็ก

ภาพ 3.5 ลูกตุ้มลำไย

ภาพ 3.6 กล่องสำหรับรองรับผลลำไยหลังจากทดสอบการกระแทก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.5 การดำเนินการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกและการกดทับของผลลำไยพันธุ์ดอ รวมทั้งหาวิธีการวัดความเสียหาย โดยเฉพาะการเกิดความช้ำ แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การทดสอบความสามารถในการรับแรงกดทับ

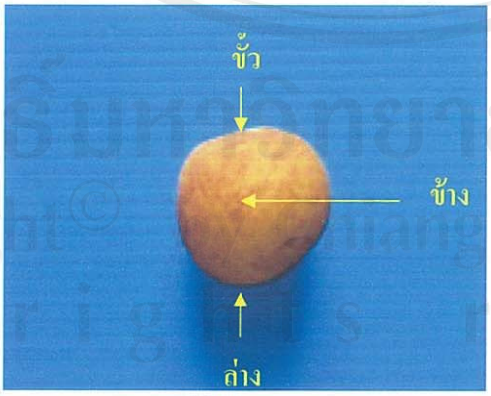
วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ปัจจัยที่ศึกษา คือ ตำแหน่งของผลลำไยที่ทดสอบการกดทับ 3 ตำแหน่ง คือ ด้านขั้ว ด้านข้าง และด้านล่าง (ภาพ 3.7) รวมทั้งหมด 3 กรรมวิธีๆ ละ 10 ซ้ำๆ ละ 1 ผล

วิธีการทดลอง

นำผลลำไยเกรด A มาประมาณ 10 กิโลกรัม ตัดขั้วออกให้หมด สุ่มมาวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น น้ำหนักผล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาเปลือก และความเหนียวเปลือก

หลังจากนั้นแบ่งผลลำไยออกเป็น 2 ชุด นำผลลำไยชุดที่ 1 ไปทดสอบการกดทับทันที

ส่วนชุดที่ 2 จะนำมาบรรจุใส่ในถุงพลาสติกแบบซิปล็อคขนาด กว้างxยาว เท่ากับ 18x26.5 เซนติเมตร (ภาพ 3.8) บรรจุถุงละ 60 ผล จากนั้นนำไปแช่เย็นในตู้ Incubator (3.2.5 จากหน้า 12) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน โดยเป็นการศึกษาการเกิดความเสียของผลลำไยสดในระหว่างการแช่เย็นเพื่อรอการจำหน่าย และในระหว่างการขนส่งผลลำไยสดโดยใช้รถห้องเย็นไปยังจุดจำหน่าย ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 0-3 วัน และต้องการศึกษาการเกิดความเสียของผลลำไยสดที่เย็นทั่วทั้งผล จากนั้นนำไปทดสอบการกดทับเช่นเดียวกับชุดที่ 1



ภาพ 3.7 ตำแหน่งที่ทดสอบการกดทับผลลำไย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 3.8 ลักษณะผลลำไยที่บรรจุในถุงเพื่อนำไปแช่เย็นในตู้ Incubator ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน

นำผลลำไยทั้ง 2 ชุด มาทดสอบการกดทับด้วยเครื่อง Texture Analyzer (ภาพ 3.9) โดยใช้หัวกด 2 แบบ คือหัวกดเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ซึ่งจำลองจากขนาดผลลำไยเกรด A (ภาพ 3.10) และหัวกดแผ่นเรียบทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (ภาพ 3.11) กำหนดความเร็วเริ่มต้นของหัวกด 1 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วเมื่อหัวกดสัมผัสกับผลลำไย 1 มิลลิเมตร/วินาที และความเร็วเมื่อหัวกดถอนกลับ 10 มิลลิเมตร/วินาที กำหนดระยะทางในการกดทับเมื่อกดด้วยหัวเหล็กกลมที่ตำแหน่งด้านขั้ว 7.5 มิลลิเมตร ด้านข้าง 8.0 มิลลิเมตร และด้านล่าง 8.5 มิลลิเมตร และกำหนดระยะทางในการกดทับด้วยหัวกดแผ่นเรียบที่ตำแหน่งด้านขั้ว ด้านข้าง และด้านล่างผล 6.5 มิลลิเมตร (ภาพ 3.7)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 3.9 เครื่อง Texture Analyzer

ภาพ 3.10 หัวกดเหล็กกลม

ภาพ 3.11 หัวกดแผ่นเรียบทรงกระบอก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การบันทึกผลการทดลอง

1. พื้นที่ผิวสัมผัส ในการทดลองจะใช้สีขาวทาตรงบริเวณหัวกดก่อนการทดสอบ และหลังจากทดสอบเสร็จแล้ว สีขาวจะติดตรงตำแหน่งที่ถูกกดบนผลลำไย วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยสีขาวและนำมาคำนวณหาพื้นที่ผิวสัมผัสจากสูตรดังนี้

$$\text{พื้นที่ผิวสัมผัส (เซนติเมตร}^2) = \pi r^2$$

เมื่อ r คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยสีขาว/2

2. ค่าแรงและระยะทางกดตรงจุดชีวคราก (bioyield point)
3. ค่า Young's modulus สามารถคำนวณจากสูตรดังนี้

$$\text{Young's modulus (N/cm}^2) = \frac{\text{ความเค้น (stress)}}{\text{ความเครียด (strain)}}$$

เมื่อ ความเค้น (stress) คือ ค่าแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (นิวตัน/เซนติเมตร^2)
ความเครียด (strain) คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือรูปร่างของวัตถุเนื่องจากแรงเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดหรือรูปร่างเดิม

การทดลองที่ 2 การทดสอบการกดทับที่ระยะยุบตัวต่างๆ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ปัจจัยที่ศึกษาคือระยะยุบตัวของผลลำไย 3 ระดับ คือที่ระดับ 5, 15 และ 23 เปอร์เซ็นต์ของความสูงเริ่มต้นของผลลำไย รวมทั้งหมด 3 กรรมวิธี ทดสอบการกดทับบนตำแหน่งด้านข้างของผล ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ถูกกดทับแล้วผลลำไยจะแตกด้วยแรงกดทับที่ต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงกดทับที่ตำแหน่งด้านขั้วและด้านล่าง (ผลการทดลองที่ 1) สำหรับการวางผลลำไยเพื่อทดสอบการกดทับ จะวางตำแหน่งด้านข้างที่เป็นส่วนกว้างเป็นด้านรับแรงกดทับ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จัดวางบนฐานได้ง่ายกว่าส่วนแคบ

การทดลองที่ 2.1 การทดสอบการกดทับกับผลลำไยที่เก็บเกี่ยวมาใหม่

นำผลลำไยสดเกรด A มาประมาณ 12 กิโลกรัม ตัดก้านออกให้เหลือขั้วประมาณ 0.5 เซนติเมตร สุ่มมาวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น น้ำหนักผล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาของเปลือก และความเหนียวของเปลือก จากนั้นแบ่งผลลำไยออกเป็น 2 ชุด นำผลลำไยชุดที่ 1 ไปทดสอบการรับแรงกดทับทันที สำหรับชุดที่ 2 จะไม่นำไปทดสอบการรับแรงกดทับ โดยจะใช้เป็นชุดควบคุม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการทดลอง

นำผลลำไยชุดที่ 1 มาทดสอบการกดทับที่ระยะยุบตัว 5, 15 และ 23 เปอร์เซ็นต์ของความสูงเริ่มต้นของผลลำไย ทดสอบกรรมวิธีละ 250 ผล ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (ภาพ 3.9) ใช้หัวกดเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร (ภาพ 3.10) กำหนดความเร็วเริ่มต้นของหัวกด 1 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วเมื่อหัวกดสัมผัสกับผลลำไย 1 มิลลิเมตร/วินาที และความเร็วเมื่อหัวกดถอนกลับ 10 มิลลิเมตร/วินาที

หลังจากนั้นนำผลลำไยทั้ง 2 ชุด มาบรรจุในถุงพลาสติกแบบซิปล็อคขนาด กว้างxยาว เท่ากับ 12x15 เซนติเมตร เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร จำนวน 8 รู ซึ่งเป็นจำนวนรูที่ทำให้ภายในถุงเกิดไอน้ำและทำให้เปลือกผลลำไยแห้งน้อยที่สุด (จากการศึกษาเบื้องต้น) บรรจุถุงละ 10 ผล (ภาพ 3.12) นำผลลำไยที่บรรจุถุงเสร็จเรียบร้อยแล้วไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งเน่าเสีย

ภาพ 3.12 ลักษณะผลลำไยที่บรรจุในถุงก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

บันทึกผลการทดลอง

1. ค่าแรงกดทับสูงสุด ระยะทางที่กดทับ และพลังงานดูดซับ (absorbed energy) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$A_w = FD/t$$

เมื่อ A_w = พลังงานดูดซับ, จูล

F = แรงกดทับสูงสุด, นิวตัน

D = ระยะทางที่กดทับ, เมตร

t = เวลาในการกดทับ, วินาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. ความเสียหายจากการเกิดความช้ำ ค่าสีเปลือก การเน่าเสีย และการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ วิเคราะห์ผลทุกวันจนกระทั่งผลลำไยเน่าเสียประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์จึงหยุดการทดลอง

การทดลองที่ 2.2 การทดสอบการกดทับกับผลลำไยที่ผ่านการแช่เย็น

นำผลลำไยสดเกรด A มาประมาณ 12 กิโลกรัม ตัดก้านออกให้เหลือขั้วประมาณ 0.5 เซนติเมตร สุ่มมาวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น น้ำหนักผล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาเปลือก และความเหนียวเปลือก

หลังจากนั้นนำผลลำไยทั้งหมดมาบรรจุในถุงพลาสติกแบบซิปล็อคขนาด กว้างxยาว เท่ากับ 18X26.5 เซนติเมตร (ภาพ 3.8) บรรจุถุงละ 60 ผล แล้วนำไปแช่ในตู้ Incubator ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นแบ่งผลลำไยออกเป็น 2 ชุด นำไปทดสอบการกดทับและบันทึกผลเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1

การทดลองที่ 3 การทดสอบการกระแทก

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ปัจจัยที่ศึกษา คือ มุมกางของค้อนตีก่อนกระแทกผลลำไย 3 ระดับ คือ 90, 130 และ150 องศา รวมทั้งหมด 3 กรรมวิธี ทดสอบการกระแทกที่ตำแหน่งด้านข้างของผลลำไย บนพื้นผิวเหล็กและผลลำไยสด

การทดลองที่ 3.1 การทดสอบการกระแทกผลลำไยที่เก็บเกี่ยวมาใหม่ด้วยลูกตุ้มเหล็ก

นำผลลำไยสดเกรด A มาประมาณ 12 กิโลกรัม ตัดก้านออกให้เหลือขั้วประมาณ 0.5 เซนติเมตร สุ่มมาวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น น้ำหนักผล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาของเปลือก และความเหนียวของเปลือก หลังจากนั้นแบ่งผลลำไยออกเป็น 2 ชุด นำผลลำไยชุดที่ 1 ไปทดสอบการกระแทกทันที สำหรับชุดที่ 2 จะไม่นำไปทดสอบการกระแทก แต่จะใช้เป็นชุดควบคุม

วิธีการทดลอง

นำผลลำไยชุดที่ 1 มาทดสอบการกระแทกด้วยเครื่องทดสอบการกระแทก (ภาพ 3.2) ใช้ลูกตุ้มเหล็ก (ภาพ 3.4) กำหนดมุมกางของค้อนตีก่อนกระแทกผลลำไย 3 ระดับ คือ 90°, 130° และ 150° ทดสอบกรรมวิธีละ 250 ผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลังจากนั้นนำผลลำไยทั้ง 2 ชุด มาบรรจุในถุงพลาสติกแบบซิปล็อคขนาด กว้างxยาว เท่ากับ 12x15 เซนติเมตร เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร จำนวน 8 รู บรรจุถุงละ 10 ผล (ภาพ 3.12) นำผลลำไยที่บรรจุถุงเสร็จเรียบร้อยแล้วไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งเน่าเสีย

บันทึกผลการทดลอง

1. งานทั้งหมดที่มาจากการใช้ค้อนตี (input work) สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$I = mgh$$

เมื่อ I = งานทั้งหมดที่มาจากการใช้ค้อนตี, นิวตัน.เมตร

m = น้ำหนักของค้อนตี, กิโลกรัม

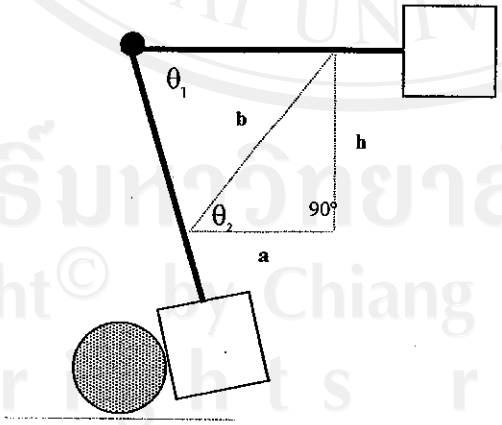
g = ค่าแรงโน้มถ่วง, เมตร/วินาที^{2}

h = ระยะทางแนวดิ่งจากจุดศูนย์ถ่วงน้ำหนักของค้อนตีเมื่อกางที่มุมทดสอบ θ_1 ถึงจุดตั้งฉากระหว่างจุดศูนย์ถ่วงน้ำหนักของค้อนตีเมื่อกางที่มุมทดสอบ θ_1 และจุดศูนย์ถ่วงน้ำหนักของค้อนตีเมื่อปะทะกับผลลำไย (เมตร) ซึ่งคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$h = b.\sin\theta_2$$

เมื่อ b = ระยะทาง b, เมตร (ภาพ 3.13)

θ_2 = มุมตรงข้ามมุมฉาก, องศา (ภาพ 3.13)



ภาพ 3.13 กลไกการกระแทกผลลำไยของเครื่องทดสอบการกระแทก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. งานที่ได้รับขณะเกิดการกระแทก (absorbed work) ซึ่งคำนวณได้จากสูตรของ Burmistrowa (1963) ดังนี้

$$A = G\,r\,(\cos\alpha - \cos\beta)$$

เมื่อ A = งานที่ได้รับขณะเกิดการกระแทก, นิวตัน.เมตร

G = น้ำหนักของค้อนตี, นิวตัน

r = ระยะทางจากตำแหน่งที่แขวนค้อนตีถึงจุดศูนย์ถ่วงน้ำหนักของค้อนตี, เมตร (หาโดยการถ่วงน้ำหนัก)

α = มุมแกว่งของค้อนตีจากการกระแทกผลลำไย, องศา

β = มุมแกว่งของค้อนตีจากการปล่อยโดยไม่กระแทกผลลำไย, องศา

หมายเหตุ: ในกรณีที่มุม α และ β มีค่ามากกว่า 180° ซึ่งทำให้ได้ค่า cos ติดลบ ดังนั้นให้ลบด้วย 180 จึงจะได้ค่า cos เป็นบวก

3. ความสูงเทียบเท่ากับการตกกระแทก หมายถึงความสูงที่เมื่อปล่อยให้ผลลำไยตกลงกระแทกพื้นโดยอิสระ ผลลำไยจะได้รับงานเท่ากับการถูกค้อนตี ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$H = A/mg$$

เมื่อ H = ความสูงเทียบเท่ากับการตกกระแทก, เมตร

A = งานที่ได้รับขณะเกิดการกระแทก, นิวตัน.เมตร

m = น้ำหนักเฉลี่ยของผลลำไย, กิโลกรัม

g = ค่าแรงโน้มถ่วง, เมตร/วินาที^{2}

4. ความเสียหายจากการเกิดความช้ำ ได้แก่ ค่าสีเปลือก การเน่าเสีย และการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ วิเคราะห์ผลทุกวันจนกระทั่งผลลำไยเน่าเสียประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์จึงหยุดการทดลอง

การทดลองที่ 3.2 การทดสอบการกระแทกผลลำไยที่ผ่านการแช่เย็นด้วยลูกตุ้มเหล็ก

นำผลลำไยสดเกรด A มาประมาณ 12 กิโลกรัม ตัดก้านออกให้เหลือขั้วประมาณ 0.5 เซนติเมตร สุ่มมาวิเคราะห์หาลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น น้ำหนักผล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาของเปลือก และความเหนียวของเปลือก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นำผลลำไยทั้งหมดมาบรรจุในถุงพลาสติกแบบซิปล็อคขนาด กว้างxยาว เท่ากับ 18X26.5 เซนติเมตร (ภาพ 3.8) บรรจุถุงละ 60 ผล จากนั้นนำไปแช่ในตู้ Incubator ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นแบ่งผลลำไยออกเป็น 2 ชุด นำไปทดสอบการกระแทกและบันทึกผลเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.1

การทดลองที่ 3.3 การทดสอบการกระแทกระหว่างผลลำไยกับผลลำไยที่เก็บเกี่ยวมาใหม่

ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.1 แต่เปลี่ยนลูกตุ้มที่ใช้ทดสอบการกระแทกเป็นลูกตุ้มลำไย

การทดลองที่ 3.4 การทดสอบการกระแทกระหว่างผลลำไยกับผลลำไยที่ผ่านการแช่เย็น

ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.2 แต่เปลี่ยนลูกตุ้มที่ใช้ทดสอบการกระแทกเป็นลูกตุ้มลำไย

3.6 การวิเคราะห์ความเสียหายจากการเกิดความช้ำ

3.6.1 การวัดสีเปลือก

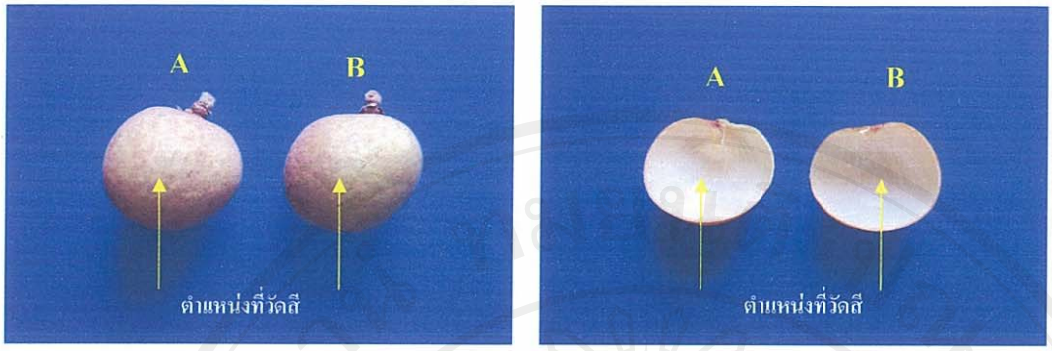
วัดสีเปลือกด้านนอกและด้านในผล โดยใช้เครื่อง Colorimeter บันทึกค่าในระบบ CIE ให้ค่าเป็น L*, chroma (C*) และ hue angle (h°) แหล่งแสง D65 ทำการทดลอง 10 ซ้ำๆ ละ 1 ผล ในการทดลองที่ 2 วัดสีผลละ 1 ตำแหน่ง คือตรงตำแหน่งที่ทดสอบการกดทับ ส่วนชุดควบคุมวัดสีตรงตำแหน่งเดียวกับชุดที่ทดสอบการกดทับ (ภาพ 3.14) สำหรับการทดลองที่ 3 นำผลลำไยชุดที่ 1 มาวัดสีผลละ 2 ตำแหน่ง คือตำแหน่งที่ทดสอบการกระแทกและด้านตรงข้ามซึ่งเป็นด้านที่ไม่ได้ทดสอบการกระแทก (ภาพ 3.15) ส่วนชุดควบคุมไม่ได้นำมาวัดค่าสีเปลือก จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่า L*, chroma (C*) และ hue angle (h°) จากสูตร

$$\text{การเปลี่ยนแปลงค่า L* (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\left|\text{ค่า L*วันเริ่มเก็บรักษา} - \text{ค่า L*วันที่เก็บรักษา}\right|}{\text{ค่า L* วันเริ่มเก็บรักษา}} \times 100$$

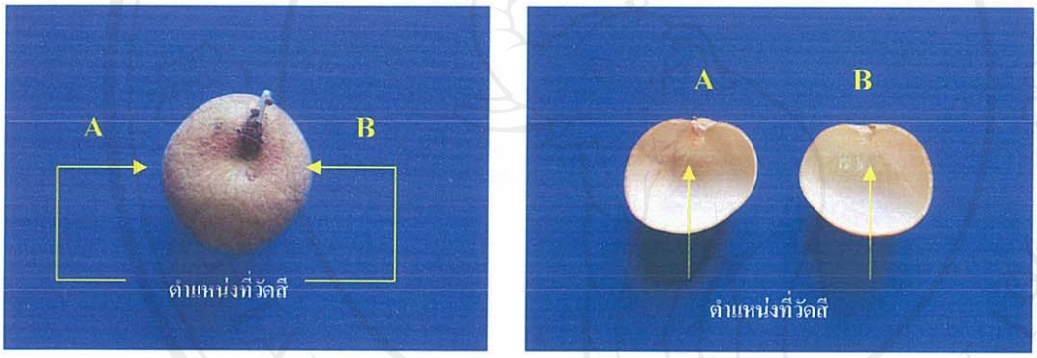
$$\text{การเปลี่ยนแปลงค่า C* (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\left|\text{ค่า C*วันเริ่มเก็บรักษา} - \text{ค่า C*วันที่เก็บรักษา}\right|}{\text{ค่า C* วันเริ่มเก็บรักษา}} \times 100$$

$$\text{การเปลี่ยนแปลงค่า h° (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\left|\text{ค่า h°วันเริ่มเก็บรักษา} - \text{ค่า h°วันที่เก็บรักษา}\right|}{\text{ค่า h° วันเริ่มเก็บรักษา}} \times 100$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 3.14 การวัดสีเปลือกลำไยในการทดลองที่ 2 ผลลำไยที่ถูกกดทับ (A) ผลลำไยที่ไม่ถูกกดทับ (B)



ภาพ 3.15 การวัดสีเปลือกลำไยในการทดลองที่ 3 ตำแหน่งที่ถูกกระแทก (A) ตำแหน่งที่ไม่ถูกกระแทก (B)

ค่า L* แสดงสีดำเมื่อเท่ากับ 100 และแสดงสีขาวเมื่อเท่ากับ 0

ค่า C* ที่เข้าใกล้ 0 แสดงว่าวัตถุมีสีซีดจาง ถ้า C* มีค่าสูงแสดงว่าวัตถุมีสีเข้ม

ค่า h° เป็นค่าที่แสดงสีที่แท้จริงของวัตถุ (Malkoc *et al.*, 2005) คือ

0-45	องศาแสดงสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง	45-90	องศาแสดงสีส้มแดงถึงสีเหลือง
90-135	องศาแสดงสีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว	135-180	องศาแสดงสีเหลืองเขียวถึงสีเขียว
180-225	องศาแสดงสีเขียวถึงสีน้ำเงินเขียว	225-270	องศาแสดงสีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน
270-315	องศาแสดงสีน้ำเงินถึงสีม่วง	315-360	องศาแสดงสีม่วงถึงสีม่วงแดง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.6.2 การเน่าเสีย

การเน่าเสียของผลลำไยจะพิจารณาจากการปรากฏให้เห็นของเชื้อราที่ผลลำไย โดยเมื่อพบว่ามีเชื้อราปรากฏให้เห็นให้ถือว่าหมดอายุการเก็บรักษา แบ่งออกเป็น 5 ซ้ำๆ ละ 10 ผล คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียตามสูตรดังนี้

$$\text{การเน่าเสีย (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{จำนวนผลลำไยที่เน่าเสีย}}{\text{จำนวนเริ่มต้นของผลลำไย}} \times 100$$

3.6.3 การรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์

การเตรียมสารละลาย

- สารละลายแมนนิทอล (mannitol) ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์

เตรียมโดยชั่งแมนนิทอล (reagent grade, Scharlau, Spain) น้ำหนัก 72.86 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดปรับปริมาตร

การเตรียมตัวอย่าง

ผลการศึกษาเบื้องต้นได้ทดลองวัดการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ผลลำไยที่ไม่แกะเปลือกออก พบว่าผลลำไยของแต่ละกรรมวิธีในการทดลองที่ 2 และ 3 มีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้ทดลองจึงวัดการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ของผลลำไยที่แกะเปลือกออกแล้ว ซึ่งดัดแปลงมาจาก King and Ludford (1983) โดยมีวิธีการเตรียมตัวอย่างดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำผลลำไยมาแกะเปลือกออก โดยใช้มีดคัดเตอร์กรีดตามยาวตรงเปลือกด้านขั้วของผลลำไยลงมาประมาณ 0.5 เซนติเมตร และกรีดตามขวางประมาณ 0.5 เซนติเมตร แต่อย่าให้มีดบาดส่วนเนื้อดังภาพ 3.16 (a) จากนั้นใช้มีดคัดเตอร์ปอกเปลือกตรงส่วนขั้วออกให้หมด (ภาพ 3.16, b)

ขั้นตอนที่ 2 หลังจากนั้นใช้มีดคัดเตอร์กรีดตามยาวตรงตำแหน่งด้านข้างลงมาประมาณ 0.7 เซนติเมตรดังภาพ และปอกเปลือกออกจนหมดทั้งผล (ภาพ 3.16, c-d)

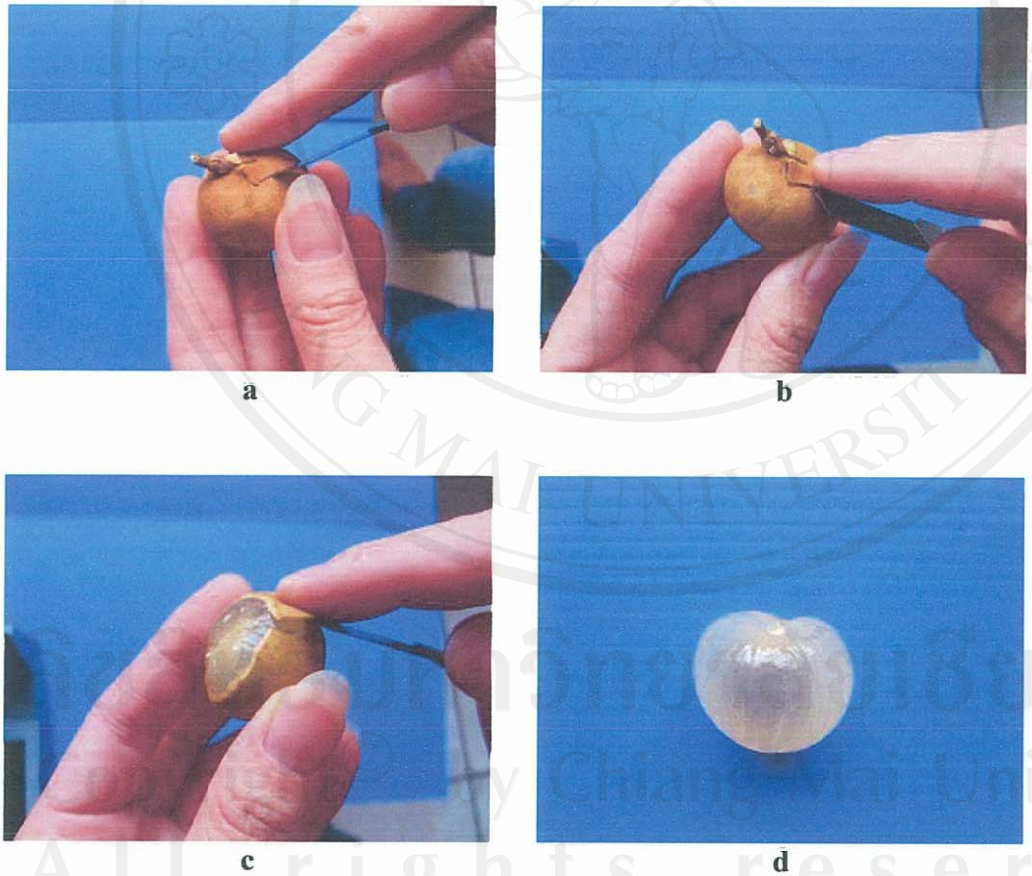
ขั้นตอนที่ 3 นำผลลำไยที่แกะเปลือกออกแล้ว มาล้างด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน ซับด้วยกระดาษทิชชู แบ่งออกเป็น 10 ซ้ำๆ ละ 1 ผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการทดลอง

นำผลลำไยที่แกะเปลือกออกแล้ว แช่ลงในสารละลายแมนนิทอลความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตรที่อยู่ในบีกเกอร์ วางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำสารละลายมาวัดค่าการนำไฟฟ้าโดยใช้เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า เทสารละลายกลับลงไปในบีกเกอร์ใบเดิม นำไปนึ่งในหม้อนึ่งความดันไอ เพื่อทำลายผนังเซลล์ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยให้เย็นแล้วนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ของผลลำไยที่แกะเปลือกออกแล้ว

$$\text{การรั่วไหลของสารอิเล็กโตรไลต์ (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{ค่าการนำไฟฟ้าของสารอิเล็กโตรไลต์ที่รั่วไหลออมา}}{\text{ค่าการนำไฟฟ้าของสารอิเล็กโตรไลต์ทั้งหมด}} \times 100$$



ภาพ 3.16 ขั้นตอนการปอกเปลือกผลลำไยก่อนนำไปวัดการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved