บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 ลักษณะทางด้านพฤกษศาสตร์ของลำไย

ลำไย (longan) จัดเป็นไม้ผลเขตร้อนและกึ่งร้อน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Dimocarpus longan* Lour. อยู่ในอันดับ Sapindales วงศ์ Sapindaceae มีชื่อสามัญเป็นภาษาอังกฤษว่า longan เป็นภาษาจีนว่า longyen หรือ lingeng (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2530)

พันธุ์ลำไยที่ชาวสวนนิยมปลูกคือ พันธุ์ดอหรืออีดอ เพราะเป็นพันธุ์เบา คือออกดอกและเก็บเกี่ยวผลก่อนพันธุ์อื่นๆ จึงขายได้ราคาดีและเป็นที่นิยมของตลาดต่างประเทศ ลักษณะต้นลำไยเป็นพุ่มกว้างมน ลำต้นไม่ค่อยแข็งแรง กิ่งเปราะหักง่าย ทนแล้งและทนน้ำได้ปานกลาง ใบเป็นใบรวม ใบย่อยจะเรียวสลับกัน ออกดอกเป็นช่อ ยาวประมาณ 15-30 เซนติเมตร ก้านช่อออวบแข็ง ดอกมีสีขาว หรือสีขาวออกเหลือง ขนาดประมาณ 6-8 มิลลิเมตร แบ่งเป็นดอกเพศผู้ ดอกเพศเมีย และดอกสมบูรณ์เพศ ดอกทั้ง 3 ชนิด อาจพบในช่อเดียวกัน ออกดอกติดผลง่าย แต่อาจไม่คงที่ ผลมีขนาดปานกลางถึงค่อนข้างใหญ่ น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 18.5 กรัมต่อผล ทรงผลกลมแป้น เบี้ยวเล็กน้อย ยกบ่าข้างเดียวและบริเวณฐานผล (หัวขั้ว) บุ๋ม เส้นผ่านศูนย์กลางผลส่วนกว้างประมาณ 2.6 เซนติเมตร ส่วนแคบ 2.3 เซนติเมตร ส่วนสูงประมาณ 2.4 เซนติเมตร เปลือกสีเขียวปนน้ำตาล ผิวผลมีลักษณะเป็นกระหรือตาห่างๆ กระมีสีน้ำตาลเข้ม เนื้อผลหนา สีขาวค่อนข้างขุ่น เนื้อเหนียว ไม่กรอบ มีกลิ่นหอมเล็กน้อย รสหวาน วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ และภายหลังการเก็บเกี่ยวความหวานจะลดลง ผลลำไยประกอบด้วยส่วนเนื้อ 72.9 เปอร์เซ็นต์ เมล็ด 14.7 เปอร์เซ็นต์ และเปลือก 12.4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผล เมล็ดโตปานกลาง กลมแบนเล็กน้อย สีดำเป็นมันวาว ขนาดไม่ใหญ่นักหากปล่อยไว้ให้ผลแก่จัด จุกจะขยายใหญ่ขึ้นหรือที่เรียกว่าขึ้นหัว (ธวัชชัยและศิวาพร, 2542; Jiang *et al*., 2002)

2.2 การกำหนดเกรดผลลำไยสด

ในการซื้อขายผลลำไยจะแบ่งออกเป็นเกรดโดยอาศัยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกรด	เส้นผ่านศูนย์กลางของผล (เซนติเมตร)
AA	มากกว่า 2.5
A	2.2 - 2.5
B	2.0 - 2.2
C	น้อยกว่า 2.0

(พิทยาและพาวิน, 2545)

2.3 ฤดูการเก็บเกี่ยว

การเก็บเกี่ยวผลลำไยสามารถแบ่งตามฤดูกาลได้ดังนี้

- ผลลำไยนอกฤดู เก็บเกี่ยวช่วงเดือนตุลาคม – เมษายน ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่
- ผลลำไยก่อนฤดู เก็บเกี่ยวช่วงเดือนพฤษภาคม – มิถุนายน ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่
- ผลลำไยในฤดู เก็บเกี่ยวช่วงเดือนกรกฎาคม – สิงหาคม ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่

2.4 ดัชนีการเก็บเกี่ยว

ลำไยเป็นผลไม้ชนิด non-climacteric ภายหลังการเก็บเกี่ยวออกจากต้นแล้วจะไม่พัฒนาต่อเนื่องไปจนสุก จึงต้องเก็บเกี่ยวเมื่อผลสุกพร้อมบริโภค เปลือกเปลี่ยนเป็นสีเหลือง – น้ำตาล และเนื้อผลมีคุณภาพเหมาะสมต่อการบริโภค ระยะความแก่ของผลลำไยสามารถประเมินได้จาก

1. ลักษณะทางด้านกายภาพ เช่น น้ำหนักผล ขนาด การเปลี่ยนสีของเปลือก และการนับจำนวนวันหลังดอกบาน
2. ลักษณะทางด้านเคมี เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

การเก็บเกี่ยวผลลำไยในระยะที่ไม่เหมาะสม เช่น อ่อนหรือแก่เกินไปจะมีผลกระทบต่อคุณภาพการบริโภค (eating quality) เช่น หากเก็บผลลำไยที่ยังไม่แก่จัด จะมีรสหวานน้อย ขนาดผลโตไม่เต็มที่ ทำให้มีน้ำหนักน้อย หากการเก็บเกี่ยวเมื่อผลลำไยแก่เกินไป จะขึ้นหัว (หัวจุกโตขึ้น) ความหวานลดลง และเนื้อจะแห้ง โดยปกติแล้วเมื่อผลลำไยแก่เต็มที่ ผิวเปลือกด้านนอกจะเรียบ เปลือกด้านในมีเส้นคล้ายร่างแห เมล็ดสีดำ เนื้อมีรสหวาน ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะอยู่ในช่วง 16-22 เปอร์เซ็นต์ (ธีรนุช, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 วิธีการเก็บเกี่ยว

ปัจจุบันการเก็บเกี่ยวผลลำไยจะใช้แรงงานคนเป็นหลัก มักจะเริ่มเก็บเกี่ยวตั้งแต่ตอนเช้าตรู่จนถึงบ่าย โดยใช้พะองพาดต้นเพื่อปีนขึ้นไปหักช่อผล ถ้าช่ออยู่ไกลจะใช้ตะขอดึงกิ่งแล้วโน้มลงมาหักช่อผล ผู้เก็บเกี่ยวจะหักช่อผลลำไยใส่เข่งที่นำขึ้นไปด้วย เมื่อผลลำไยเต็มเข่งแล้วจึงหย่อนเข่งลงมาเปลี่ยนเข่งใหม่ ช่อผลยาวที่หักจะมีความยาวประมาณ 1 ฟุตจากปลายช่อ และไม่หักช่อผลยาวเกินไป เพราะอาจจะทำให้เกิดรอยฉีกขาดเข้าไปในกิ่ง ถึงแม้จะมีการแนะนำให้ใช้กรรไกรตัดกิ่งในการเก็บเกี่ยวเพื่อลดความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับกิ่งลำไย แต่วิธีการดังกล่าวไม่เป็นที่นิยมในทางปฏิบัติ เพราะจะทำให้เก็บเกี่ยวช้าลง (ธีรนุช, 2543) การเก็บเกี่ยวผลลำไยจะกระทำครั้งเดียวให้หมดทั้งต้น หรืออาจเก็บเกี่ยวไม่เกิน 2 ครั้ง (พิทยาและพาวิน, 2545) หลังจากเก็บเกี่ยวเสร็จจะตัดแต่งเอาใบและก้านที่ไม่มีผลออก ช่อผลแต่ละช่อจะตัดให้ยาวประมาณ 5 นิ้ว คัดขนาดผลและบรรจุลงในตะกร้าพลาสติกเพื่อนำไปจำหน่ายในรูปผลสด สำหรับผลลำไยที่ร่วงจะบรรจุในตะกร้าพลาสติกหรือกระสอบปุ๋ยเพื่อนำไปแปรรูปเป็นผลลำไยอบแห้ง

2.6 กลไกของการเกิดความเสียหายเชิงกล

Holt and Schoorl (1977) ได้อธิบายขั้นตอนการเกิดความช้ำ ภายใต้การถูกกดทับของผลแอปเปิลว่าเนื้อเยื่อผลแอปเปิลปกติจะมีการจัดเรียงกันของเซลล์อย่างเป็นระเบียบ และมีของเหลวแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ มีเซลล์ทรงกลมเชื่อมต่อกันด้วยเยื่อที่มีลักษณะยืดหยุ่น และมีอากาศแทรกอยู่บริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์ จากข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้เป็นหลักฐานยืนยันการทดสอบการกดทับของผลแอปเปิลได้ โดยเมื่อผลแอปเปิลถูกกดทับ ตรงบริเวณที่ถูกกดทับจะยุบตัวลงและเซลล์เปลี่ยนรูปร่างจากทรงกลมเป็นทรงรูปไข่ภายใต้การแพร่กระจายของความเค้น เช่นเดียวกับที่พบในวัตถุทรงกลมที่มีความยืดหยุ่น และเมื่อผลแอปเปิลถูกกดทับด้วยแรงที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดการปริแตกของผนังเซลล์ตรงบริเวณที่มีค่าแรงเค้นเฉือน (shearing stress) สูง สำหรับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการปริแตกของเซลล์จากการถูกกดทับดังกล่าว เกิดจากกลไกการแพร่กระจายของพลังงาน ซึ่งเป็นหลักการเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นกับผลมะม่วง โดยเมื่อผลมะม่วงถูกกดทับพบว่าผนังเซลล์ตรงตำแหน่งที่ถูกกดทับจะยุบตัวลงและแผ่ออกด้านข้างเรื่อยๆ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ส่วนผนังเซลล์ตรงตำแหน่งด้านข้างผลจะโป่งพองออกเนื่องจากผลมะม่วงมีความยืดหยุ่น (Satirana, 1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7 ปฏิกิริยาทางเคมีและชีวเคมีที่ติดตามมาหลังหลังจากเกิดความเสียหายเชิงกล

สาเหตุการเกิดโรคในผลิตผลจะเริ่มจากการติดเชื้อ (infection) ซึ่งอาจจะเป็นเชื้อโรคที่ติดมาจากแปลงหรือเชื้อโรคในโรงเก็บรักษา จากนั้นจะเกิดการเพาะตัว (incubation) ถ้าเชื้อโรครอดตายก็จะเจริญและเพิ่มจำนวนขึ้น ในผลิตผลที่ถูกแรงเชิงกลกระทำจนเกิดบาดแผล เช่น การแตก การแทงทะลุ จะทำให้เกิดการติดเชื้อได้ง่ายมากขึ้น เนื่องผลิตผลปราศจากโครงสร้างป้องกันตัวเอง โดยระดับของการเกิดโรคในผลิตผลจะขึ้นอยู่กับจำนวนของเชื้อโรคที่เข้าทำลาย และความสามารถของผลิตผลในการต่อต้านการเข้าทำลายของเชื้อโรคหลังจากเกิดการติดเชื้อ (Moshenin, 1986)

การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเนื้อเยื่อผลิตผลที่ได้รับความเสียหายเชิงกล เกิดจากการทำงานของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) การแตกของเซลล์พืชทำให้เนื้อเยื่อบริเวณดังกล่าวสัมผัสกับอากาศที่อยู่บริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์ หรือมีอากาศจากภายนอกเข้าไปในเนื้อเยื่อที่เกิดการปริแตก จึงทำให้บริเวณดังกล่าวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (Moshenin, 1986) ตัวอย่างเช่น เนื้อด้านในของผลแอพริคอตจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลภายหลังจากถูกกระแทก แต่ไม่พบอาการบนเปลือก (Demartino *et al.*, 2002) ในขณะที่ผลมังคุดจะเกิดสีน้ำตาลบริเวณเปลือกหลังจากถูกกระแทก (เบญจมาส, 2549) และพบการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อของผลแอปเปิลและสาลี่หลังจากทดสอบการกระแทกเช่นเดียวกัน (García *et al.*,1995)

สำหรับการศึกษาการกดทับหัวมันฝรั่ง พบว่ามีความเสียหายเกิดขึ้นบริเวณด้านในของหัวมันฝรั่ง เรียกว่า ไส้ดำ (black heart) คือบริเวณใจกลางภายในหัวมันฝรั่งเกิดเป็นเนื้อเยื่อสีเข้ม (dark color) ซึ่งเกิดจากความบกพร่องของออกซิเจนภายในหัวมันฝรั่ง ภาระเชิงกลที่กระทำต่อหัวมันฝรั่งจะบดขยี้เนื้อเยื่อภายในหัวมันฝรั่ง ก่อให้เกิดภาวะเร่งการหายใจของเซลล์ ทำให้มีความต้องการใช้ออกซิเจนมาก จึงทำให้เกิดการขาดแคลนออกซิเจนและทำให้เนื้อเยื่อมีสีเข้มขึ้น (Finney, 1963 อ้างโดย Moshenin, 1986) สำหรับการเกิดจุดดำ (black spot) ในหัวมันฝรั่ง เกิดจากบาดแผลเชิงกลที่เกิดกับเนื้อเยื่อจากการกระแทก โดยเนื้อเยื่อจะเปลี่ยนเป็นสีเทาดำ ซึ่งเป็นผลมาจากการฟอร์มตัวของสารเมลานิน (melanin) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีดำ (Hopkin, 1953)

2.8 ดัชนีที่ใช้ประเมินความช้ำในผลิตผล

García *et al.* (1995) ได้ประเมินความเสียหายของผลแอปเปิลภายหลังจากถูกกระแทก โดยนำผลิตผลที่ผ่านการกระแทกมาผ่าครึ่งตรงบริเวณที่ได้รับความเสียหาย จากนั้นนำมาส่องดูรอยช้ำภายใต้กล้อง stereoscopic microscope วัดความกว้าง ความลึกของรอยช้ำ และคำนวณความเสียหาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นปริมาตรช้ำ (bruise volume) Berardinelli *et al.* (2005) ได้ประเมินความเสียหายของผลสาลี่ภายหลังจากทดสอบการสั่นสะเทือน โดยวัดการเกิดความช้ำตรงบริเวณผิวด้านนอกเป็นความกว้างและความยาวสูงสุด ส่วนบริเวณด้านในผลจะผ่าครึ่งผลและวัดความช้ำเช่นเดียวกับที่วัดตรงบริเวณผิวด้านนอก สำหรับการประเมินความช้ำของผลมะพร้าวอ่อนจากการกระแทก กระทำโดยผ่าดูรอยช้ำด้านในวัดความกว้างและความลึกของรอยช้ำ และคำนวณปริมาตรช้ำโดยใช้สูตรของ Chen and Sun (1981) (บัณฑิตและธนรัตน์, 2549)

Demartino *et al.* (2002) ทดสอบการกระแทกกับแอพริคอต โดยปล่อยให้ตกลงสู่พื้น จากนั้นวัดค่า L* (สีคล้ำ) และ b* (สีเหลือง) ตรงบริเวณที่ถูกกระแทก พบว่าค่า L* และ b* ลดลงตามปริมาณการเกิดความช้ำ สำหรับผลพลัมที่ถูกกระแทกจะมีค่า chroma ต่ำกว่าผลพลัมที่ไม่ถูกกระแทก แต่จะมีอัตราการหายใจและการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่าผลที่ไม่ถูกกระแทก (Martínez-Romero, 2003) สำหรับผลพลัมที่ได้รับความเสียหายจากการถูกกดทับ มีอัตราการหายใจ การสูญเสียน้ำหนัก และการผลิตก๊าซเอทิลีนเพิ่มขึ้นมากกว่าผลพลัมที่ไม่ถูกกดทับ (Serrano *et al.*, 2004) เช่นเดียวกับหอมหัวใหญ่ที่ถูกกระแทก พบว่าจะมีอัตราการหายใจและการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่าหอมหัวใหญ่ที่ไม่ถูกกระแทก โดยเฉพาะในเดือนที่ 5 ของการเก็บรักษา (Herold *et al.*, 1998)

เมื่อผลิตผลได้รับความเสียหายจากภาวะการกดอัดทั้งสถิตและจลน์ พบว่าจะเกิดอาการช้ำขึ้นจากการแตกของเซลล์ โดยเกิดขึ้นเมื่อผนังเซลล์แตก (Diehl *et al.*, 1980) และมีการปลดปล่อยของเหลวออกมา ซึ่งพบในผลมะม่วง มะละกอ สับปะรด และแตงโมสุก (Peleg *et al.*, 1976) โดยเมื่อผลไม้กลุ่มที่บ่มให้สุกได้ (climacteric fruit) เข้าสู่กระบวนการสุกเนื้อเยื่อจะเริ่มเสื่อมและสลายตัว ส่งผลให้มีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ออกมามากกว่าปกติ การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ในมะม่วงและอะโวคาโดจะเพิ่มขึ้นตามระยะการสุก (Fuchs *et al.*, 1989) สำหรับผลไม้ที่ได้รับความเสียหายเชิงกลมีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์เช่นเดียวกัน โดยในผลกีวีที่ผ่านการตัดแต่ง (fresh-cut) พบว่ามีการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์มากกว่าผลที่ไม่ผ่านการตัดแต่ง (Mao *et al.*, 2007) สำหรับการศึกษาหาข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผลลำไยโดยทดสอบการกดทับผลลำไยสดที่ระยะยุบตัว 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงเริ่มต้นของผล พบว่าการกดทับที่ระยะยุบตัวดังกล่าวทำให้ผลลำไยแตก เมื่อนำผลลำไยที่ถูกกดทับและผลที่ไม่ถูกกดทับไปวัดการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ โดยทำชุดละ 10 ซ้ำๆ ละ 1 ผล พบว่าผลลำไยที่ถูกกดทับจนแตกมีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์ 30.9

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผลที่ไม่ผ่านการกดทับมีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์เพียง 20.1 เปอร์เซ็นต์ โดยการรั่วไหลของสารอีเล็กโตรไลต์จะเพิ่มขึ้นตามระยะยุบตัวของผลลำไยที่เพิ่มขึ้น

2.9 การทดสอบความเสียหายของผลิตผล

การปล่อยให้วัตถุตกลงสู่พื้น (drop test) เป็นวิธีการทดสอบที่ง่ายที่สุดในการหาความเสียหายจากการกระแทก เช่น Satriana (1993) ได้ใช้เครื่องมือการปล่อยตก (drop tester) ทดสอบผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ โดยผูกผลมะม่วงติดกับแกนด้านบนของเครื่อง มีระบบสุญญากาศ (vacuum) เป็นตัวยึดและปล่อยผลมะม่วงลงสู่พื้นพลาสติกพีวีซี ที่มีความหนา 1.3 เซนติเมตร โดยวางไว้บน load cell และ load cell นี้จะยึดติดกับฐานเหล็ก ซึ่งมีน้ำหนัก 30 กิโลกรัม และทั้งหมดจะวางอยู่บนฐานคอนกรีตอีกทีหนึ่ง สำหรับ load cell นี้สามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด 200 กิโลกรัม ที่ตัวเครื่องจะมี HAMEG memory oscilloscope เป็นเครื่องบันทึกค่า peak force และระยะเวลาของการกระแทก ค่าพลังงานดูดซับ (energy absorbed) สามารถคำนวณได้จาก ความสูงของการตกกระแทก (drop height) และความสูงของการกระดอนกลับหลังจากที่ผลมะม่วงตกลงสู่ฐาน (rebound height)

Ragni and Berardinelli (2001) ได้ทดสอบการปล่อยผลแอปเปิลให้ตกลงบนพื้นผิวต่างๆ โดยใช้เครื่องมือทดสอบการตก (drop tester) ซึ่งประกอบด้วยเส้นโลหะขนาดเล็ก สำหรับแขวนผลแอปเปิลให้ติดกับโครงสร้างของตัวเครื่อง ที่ฐานด้านล่างจะมีแผ่นเหล็กเรียบยึดติดกับฐานคอนกรีต โดยแผ่นเหล็กนี้สามารถเปลี่ยนเป็นพื้นผิวชนิดอื่นได้ ที่ตัวเครื่องทดสอบจะมีเครื่องมือวัดความเร็วขนาดเล็กมีน้ำหนักประมาณ 0.65 กรัม ผูกติดกับผลแอปเปิล และต่อเข้ากับ charge amplifier และ acquisition system ซึ่งจะบันทึกค่าความเร็วสูงสุด (peak acceleration) และค่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วของผลแอปเปิลเมื่อตกลงสู่พื้น

Van linden *et al.* (2006) ได้ทดสอบหาความไวในการเกิดความช้ำของผลมะเขือเทศที่เกิดจากการกระแทก โดยใช้เครื่องมือทดสอบการกระแทก (impact tester) ซึ่งประกอบด้วยลูกตุ้มอะลูมิเนียม (pendulum) ครึ่งวงกลมรัศมี 25 มิลลิเมตร ซึ่งจำลองมาจากขนาดของผลมะเขือเทศ ลูกตุ้มนี้จะยึดติดกับแขนไม้ และแขนไม้นี้จะแขวนกับตัวโครงสร้างโลหะอีกทีหนึ่ง ในการทดสอบจะกางลูกตุ้มที่ติดอยู่กับแขนไม้ให้เคลื่อนที่กระแทกกับผลมะเขือเทศที่วางอยู่บนฐานด้านล่าง ที่ด้านบนสุดของแขนไม้จะมีเข็มชี้ขนาดเล็กผูกติดกับตำแหน่งที่แขนไม้แขวนอยู่ และสามารถเคลื่อนที่ไปพร้อมกับแขนไม้ได้ และที่ตัวเครื่องทดสอบจะมีเครื่องบันทึกการหมุนของเข็ม (Heidenhain RON 275) ซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รายงานผลเป็นเวลาที่ใช้ในการกระแทก และมี force sensor (Dytran Instrments 1051V3. sensitivity : 11m V/N) ติดกับลูกตุ้ม โดยจะบันทึกค่าแรงจากการกระแทก (N)

Satriana (1993) ได้ทดสอบการปล่อยวัตถุให้ตกกระทบกับผลมะม่วง ใช้เครื่องทดสอบที่ประกอบด้วยหัวค้อนเหล็ก ซึ่งยึดติดกับแกนทองเหลืองและแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า ระบบจะทำงานบนพื้นฐานหลักการของ electromagnetic force เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไปยังขดลวดไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น ทำให้แกนที่มีหัวค้อนติดอยู่เคลื่อนที่ลงกระแทกผลมะม่วงซึ่งวางอยู่บนฐานด้านล่าง ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกนและความเร็วในการตกกระทบจะทราบได้จากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าในขดลวดที่อยู่ด้านบนแกน ค่า amplitude จะเป็นสัดส่วนต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าของความเร็วของแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อหัวค้อนกระทบกับผลมะม่วงระบบจะตัดไฟไม่ให้กระแสไฟเคลื่อนที่ไปยังขดลวดจึงทำให้เครื่องทดสอบไม่บันทึกแรงจากการกระดอนกลับ (rebound) ของหัวค้อน และที่ตัวเครื่องทดสอบจะมีเครื่องบันทึกเวลาในการทำงานของขดลวดไฟฟ้า

บัณฑิตและธนรัตน์ (2549) ได้ทดสอบการเกิดความช้ำของผลมะพร้าวอ่อนภายใต้การกระแทก โดยปล่อยหัว Plunger เหล็ก ขนาดต่างๆ ให้ตกกระทบผลมะพร้าวอ่อนที่ความสูงระดับต่างๆ สำหรับพลังงานกระแทกสามารถคำนวณได้จากมวลของหัวกระแทก ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก และระยะห่างระหว่างหัวกระแทกกับผิวของผลมะพร้าวอ่อน

สำหรับการทดสอบการกดทับ นักวิจัยหลายท่านใช้เครื่อง Instron โดยใช้ทดสอบกับผลไม้ทีละผล เพื่อหาขนาดของแรงกดทับที่ทำให้ผลไม้เกิดความช้ำ (Satriana, 1993; Pérez-Vicente *et al.*, 2002; Serrano, 2004) เช่น Singh and Reddy (2006) ได้ทดสอบการกดทับกับผลส้มโดยใช้ Texture Analyzer เพื่อหาขนาดของแรงและระยะทางกดที่ทำให้ผลส้มเกิดความช้ำ

2.10 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดความช้ำ

2.10.1 อุณหภูมิและระยะการเก็บรักษา

Baritelle and Hyde (2001) รายงานว่าอุณหภูมิมีผลต่อการตอบสนองต่อการเกิดความเสียหายเชิงกลของเนื้อเยื่อพืชอย่างมาก โดยพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในระหว่างการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวสามารถลดการเกิดความช้ำในเนื้อเยื่อของหัวมันฝรั่งและผลสาลี่บางพันธุ์ แต่ในผลพลัมพบว่าการลดอุณหภูมิโดยการผ่านอากาศเย็น (forced-air cooling) ก่อนทดสอบการตกจากระยะความสูง 90

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เซนติเมตร พบว่าสามารถลดความเสียหายเชิงกลได้เมื่อเปรียบเทียบกับผลพลัมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิก่อนการทดสอบ (Martínez-Romero, 2003)

Pang *et al.* (1996) ได้ประเมินความไวในการเกิดความช้ำของผลแอปเปิลหลังจากนำเข้าเครื่องคัดเกรด พบว่าผลแอปเปิลที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ มีจำนวนรอยช้ำขนาดเล็กมากกว่าผลแอปเปิลที่เก็บเกี่ยวมาใหม่และผลแอปเปิลที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 เซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ และผลการทดสอบการสั่นสะเทือนในระหว่างการขนส่งผลแอปเปิลที่มีอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส มีปริมาตรการช้ำมากกว่าผลแอปเปิลที่มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (Van Zeebroeck *et al.*, 2006) สำหรับผลมะม่วงที่ยังไม่แก่และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 13.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ เมื่อนำมาทดสอบการกดทับจะเกิดความเสียหายมากกว่าผลมะม่วงสดที่เก็บเกี่ยวมาใหม่ๆ (Satriana,1993)

2.10.2 ระยะการแก่และสุก

ผลการทดสอบการตกกระแทกและการกดทับ พบว่าความไวในการเกิดความช้ำของผลไม้จะผันแปรตามระดับระยะการแก่และสุก (Vergano *et al.*, 1991) เช่น ความไวในการเกิดความช้ำของผลมะเขือเทศจะเพิ่มขึ้นตามระยะการแก่และสุก โดยพันธุ์ Belgium ที่เก็บเกี่ยวเมื่อผลมีสีแดงเกิดความช้ำภายใน (internal bruising) จากการถูกกระแทกด้วยแรงขนาดต่ำกว่า 70 นิวตัน ในขณะผลที่เก็บเกี่ยวในช่วงเข้าสู่ระยะการแก่ เกิดความช้ำด้วยแรงกระแทกมากกว่า 70 นิวตันขึ้นไป (Desmet *et al.*, 2004)

Garcia *et al.* (1995) ได้ศึกษาหาปัจจัยที่มีผลกระทบทำให้เกิดความเสียหายเชิงกล พบว่าผลแอปเปิลและสาลี่ที่เก็บเกี่ยวก่อนเข้าสู่ระยะการแก่ประมาณ 7 วัน มีโอกาสเกิดความช้ำในระหว่างการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวน้อยกว่าผลที่เก็บเกี่ยวในวันที่ 7 หลังจากเข้าสู่ระยะการแก่ เนื่องจากผลที่เก็บเกี่ยวก่อนจะมีความแข็งและมีค่าความเค้นสูงกว่าผลที่เก็บเกี่ยวทีหลัง ส่วนผลการทดสอบการกดทับและการปล่อยตกผลมะม่วงน้ำดอกไม้ พบว่าเปอร์เซ็นต์ความช้ำจะเพิ่มขึ้นตามระดับการสุก ผลมะม่วงแก่และผลมะม่วงที่ยังอ่อนอยู่ (immature) มีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายไม่แตกต่างกัน (Satriana, 1993)

2.10.3 แรงสูงสุด (Peak Force)

ค่าแรงสูงสุด (peak force) เป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลกระทบอย่างมากต่อการเกิดความช้ำในผลิตผล เช่น การปล่อยผลมะม่วงให้ตกลงสู่พื้น พบว่าค่าแรงสูงสุดมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับปริมาตรช้ำ ซึ่งค่าแรงสูงสุดนี้เป็นค่าวิกฤตที่เห็นได้ชัดเจนในความเสียหายจากการกระแทก (Satriana, 1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.10.4 พลังงานดูดซับ

นักวิจัยหลายท่านรายงานว่า พลังงานดูดซับเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดความช้ำจากการกระแทก ตัวอย่างเช่น Hammerle and Mohsenin (1966) รายงานว่าพลังงานดูดซับและระยะเวลาในการกระแทกเป็นสาเหตุที่สำคัญมากที่ทำให้เกิดความเสียหาย และ Pang *et al.* (2005) ได้ทดสอบการกระแทกกันระหว่างผลแอปเปิล 2 ผล พบว่าปริมาตรช้ำที่เกิดขึ้นทั้งหมดของผลแอปเปิลทั้ง 2 ผล มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับพลังงานดูดซับ นอกจากนี้ Satriana (1993) ได้ทดสอบกับผลมะม่วง พบว่าพลังงานดูดซับมีความสัมพันธ์อย่างชัดเจนกับการเกิดความช้ำจากการกระแทก (r^2 = 0.96-0.99) สำหรับการทดสอบการกดทับพบว่าพลังงานดูดซับมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับการเกิดความช้ำของผลมะม่วงสุก (r^2 = 0.96-1.0)

2.10.5 พลังงานกระแทก (Impact Energy)

Satriana (1993) ทดสอบการปล่อยหัวค้อนให้ตกกระแทกผลมะม่วง พบว่าพลังงานกระแทกเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับปริมาตรช้ำของผลมะม่วง (r^2 = 0.87-0.92) เช่นเดียวกับผลมะเขือเทศเมื่อทดสอบการกระแทกโดยใช้ลูกตุ้ม พบว่าความช้ำจะเพิ่มขึ้นตามระดับของพลังงานกระแทก (Van linden *et al.*, 2006) ส่วน Sinobas *et al.* (2003) ได้ศึกษาการเกิดความช้ำของสาลี่จากการถูกกระแทกที่พลังงาน 3 ระดับ พบว่าระดับของความช้ำและความแน่นเนื้อจะสัมพันธ์กับระดับของพลังงานกระแทก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved