

กลไกการช้ำในผลไม้ Bruise mechanism in fruits

ลำแพน ขวัญพูล¹

บทคัดย่อ

การช้ำในผลไม้เป็นลักษณะความผิดปกติทางสรีรวิทยาประการหนึ่งซึ่งส่งผลให้เกิดการปฏิเสธต่อการซื้อขายในตลาดค้าส่ง ค้าปลีก และผู้บริโภค ความเสียหายจากการช้ำนี้เกิดขึ้นได้ชัดเจนในขั้นตอนการปฏิบัติหลังเก็บเกี่ยว เช่นการคัดเลือก แยกเกรด บรรจุ และการขนส่ง ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากแรงกระทำเพียงหนึ่งหรือหลายประเภทร่วมกัน ได้แก่ แรงที่เกิดจากการกด การกระทบ และการสั่นสะเทือน เป็นต้น ซึ่งความรุนแรงของการช้ำนอกจากจะขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำแล้วยังมีปัจจัยหลายอย่างเกี่ยวข้อง รวมทั้งอุณหภูมิของผลไม้ขณะที่ทำให้เกิดการช้ำ และอุณหภูมิในการเก็บรักษา ขณะที่คุณสมบัติของผลไม้ถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความรุนแรงของการช้ำ เช่น สายพันธุ์ ขนาดและรูปร่างของผล ความบริบูรณ์ เนื้อสัมผัส ความแข็งแรงและยืดหยุ่นของผนังเซลล์ การสลายของเพคติน และกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายผนังเซลล์ รวมถึงปัจจัยอื่นๆ เช่น การจัดการสวน และฤดูกาลเก็บเกี่ยว แรงและความถี่ที่กระทำกับผลไม้ เป็นต้น สำหรับการวัดการช้ำในผลไม้มักรายงานเป็นปริมาณของรอยช้ำ (Bruise volume; BV) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความอ่อนแอของผลไม้ต่อการช้ำ โดยเมื่อผลไม้เกิดการช้ำ มักเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่สังเกตเห็นได้ชัดเจนคือ รอยช้ำเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเนื่องจากการเกิดการออกซิไดซ์ของสารประกอบฟีนอล ผลไม้มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นภายใน 24 ชั่วโมง และผลไม้บางชนิดพบว่าเนื้อสัมผัสเกิดการอ่อนนุ่มอย่างรวดเร็วภายใน 2 ถึง 3 วันหลังจากที่ทำให้เกิดการช้ำ ซึ่งสอดคล้องกับการมีกิจกรรมของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์เพิ่มสูงขึ้นนั่นเอง

คำสำคัญ : การช้ำ การอ่อนนุ่ม อาการสีน้ำตาล ผนังเซลล์ สารประกอบฟีนอล

Abstract

Bruise damage is a postharvest physiological disorder that is the most important reasons for fruit rejection by wholesale, retail market and consumer. This damage can occur during postharvest handling, sorting and grading, packing and transporting caused by one or more types of loading: compression, impact and vibration. Severity of bruising can be affected by many factors rather than the injury that is applied. Fruit temperature at the time of bruise induction and storage temperature is known to affect bruise development. Fruit properties such as variety, size and shape, maturity, texture, cell wall elasticity and turgidity, pectin solubilization and activity of cell wall degrading enzymes are also the important factors affecting bruise severity. Orchard management, harvesting season and impact energy and frequency are also included. The bruise size prediction and measurement can be reported in term of bruise volume (BV) which indicates the bruise susceptibility. Due to the oxidation of phenolic compounds, changes in physiological disorders especially browning symptom can be occur. The respiration and ethylene production increase within 24 hours. In some fruits, the tissue softening appears within a few

¹สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

days after the bruise development which corresponding with the increase in the activity of cell wall degrading enzymes.

Keywords: Bruise, Softening, Browning, Cell wall, Phenolic compound

คำนำ

การช้ำที่เกิดขึ้นในผลไม้ เป็นการสูญเสียหลังเก็บเกี่ยวที่เกิดขึ้นได้ในทุกขั้นตอนของการปฏิบัติหลังเก็บเกี่ยว ตั้งแต่การคัด บรรจุ ล้างทำความสะอาด การขนส่ง ซึ่งมีปัจจัยต่างๆ เป็นตัวส่งเสริมให้เกิดการช้ำในระดับที่แตกต่างกัน เช่น สายพันธุ์ ความบริบูรณ์ อายุและอุณหภูมิในการเก็บรักษา แรงกระทำต่อผลิตภัณฑ์ โครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์ แตกต่างกัน เป็นต้น โดยลักษณะภายนอกที่สามารถสังเกตเห็นได้คือ การเปลี่ยนสีบริเวณที่เกิดรอยช้ำ โดยมักเกิดสีน้ำตาลคล้ำจนกระทั่งดำ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนสารประกอบฟีนอลเป็นสารควิโนน และรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่โดยการทำงานของเอนไซม์ Polyphenol oxidase (PPO) และ Phenylalanine ammonia lyase (PAL) นอกจากนี้ยังพบว่า เนื้อเยื่อบริเวณดังกล่าวมีความแน่นเนื้อลดลง เพราะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ ซึ่งโครงสร้างอาจถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลง (de-polymerize) และมีความสามารถในการละลาย (solubility) เพิ่มขึ้น โดยเป็นผลจากการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยสลายองค์ประกอบของผนังเซลล์ เช่น Polygalacturonase (PG), Pectinmethyl-esterase (PME) และ Endoglucanase (EGase) หรืออาจเกิดจากการย่อยแขนงน้ำตาล (sugars side chain) ของเพคตินก่อน โดยการทำงานของเอนไซม์ β -Galactosidase (GAL) เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลให้มีเชื้อโรคเข้าทำลายได้ง่ายขึ้น เกิดการยุบตัวของผลและเสียรูปทรง ผลิตภัณฑ์เกิดการสูญเสียทั้งในด้านคุณภาพและด้านปริมาณ ดังนั้นการศึกษากลไกการช้ำ และปัจจัยต่างๆ ที่ส่งเสริมให้เกิดการช้ำ จะช่วยให้เข้าใจกลไกระดับโมเลกุลของการช้ำ โดยความรู้ความเข้าใจดังกล่าวจะช่วยให้สามารถป้องกันไม่ให้เกิดผลเกิดการช้ำ ลดการสูญเสีย และป้องกันการเสื่อมสภาพ ทำให้ผลิตภัณฑ์คงคุณภาพดีเมื่อถึงมือผู้บริโภค

1. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการช้ำในผลไม้

ความอ่อนแอต่อการช้ำในผลไม้มีปัจจัยต่างๆ เป็นตัวกำหนด ทั้งปัจจัยที่เกิดจากความแตกต่างของผลิตภัณฑ์เอง ได้แก่ สายพันธุ์ ฤดูกาลเก็บเกี่ยว ลักษณะเนื้อสัมผัส ระยะความบริบูรณ์ทางสรีรวิทยา ความแน่นเนื้อ ขนาดและรูปร่างของผล และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ เช่นความสามารถในการละลายของเพคติน และการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ เป็นต้น (Studman *et al.*, 1997; Van linden *et al.*, 2006) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกด้วย เช่น การจัดการสวน อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา เป็นต้น

1.1 สายพันธุ์

จากการศึกษาความรุนแรงของการช้ำในแอปเปิลสายพันธุ์ต่างๆ พบว่าแอปเปิลสายพันธุ์ Fuji มีความอ่อนแอต่อการทำให้เกิดการช้ำมากกว่าสายพันธุ์ Gala (Pasini *et al.*, 2004) ขณะที่ Schulte-Pason *et al.* (1992) ได้จัดลำดับสายพันธุ์แอปเปิลที่มีความอ่อนแอต่อการช้ำจากมากไปหาน้อยคือ McIntosh, Red Delicious, Golden Delicious และ Northern Spy ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างของการช้ำเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆ ภายในผลผลิต เช่น ความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ รวมทั้งพันธะที่ยึดกันภายในเซลล์และระหว่างเซลล์ เป็นต้น จากผลการศึกษาของ Ragni and Berardinelli (2001) พบว่า ความรุนแรงของการช้ำแปรผันตรงกับความแน่นเนื้อ กล่าวคือสายพันธุ์แอปเปิลที่มีความแน่นเนื้อสูง มักมีความอ่อนแอต่อการช้ำสูง ซึ่งอธิบายได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่างค่าความแน่นเนื้อ (firmness) และค่าความแข็ง (stiffness) ของผลิตภัณฑ์ ส่วนการศึกษาในผลสาลี่ทั้งหมด 22 สายพันธุ์พบว่าสายพันธุ์ที่ไวต่อการช้ำขึ้นอยู่กับคุณสมบัติสองประการคือ องค์ประกอบภายนอก เช่น มวลและรูปร่างของผล และองค์ประกอบภายใน ได้แก่ความยืดหยุ่นของเนื้อเยื่อ (Blahovec and Paprstein, 2005)

1.2 คุณภูมิของผลัดผลและสภาพการเก็บรักษา

คุณภูมิเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ผลัดผลมีความไวต่อการชำแตกต่างกัน โดยปริมาตรของรอยชำ (bruise volume) ในผลแอปเปิลมีขนาดเล็กลงเมื่อทำให้ผลัดผลเกิดการชำที่คุณภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส แต่จะมีปริมาตรของรอยชำมากขึ้นเมื่อทำให้ผลัดผลเกิดการชำที่คุณภูมิ 1 องศาเซลเซียส (Schoorl and Holt, 1983) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Pang *et al.* (1992) และ Van Zeebroeck (2005) ที่รายงานว่าผลแอปเปิลที่มีคุณภูมิ 1 องศาเซลเซียส มีความไวต่อการชำมากกว่าผลแอปเปิลที่มีคุณภูมิใกล้เคียงกับคุณภูมิห้อง เนื่องจากคุณภูมิต่ำทำให้ผลัดผลมีความยืดหยุ่นของเนื้อเยื่อภายในน้อยกว่าที่คุณภูมิสูง นอกจากนี้ยังพบว่าคุณภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษามีผลต่อความรุนแรงของการชำ กล่าวคือ ผลพีชที่เก็บรักษาที่คุณภูมิ 20 องศาเซลเซียส มักเกิดการชำของผลมากกว่าผลที่เก็บรักษาไว้ที่คุณภูมิ 3 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในผลพลับที่ก่อให้เกิดการชำและเก็บรักษาที่คุณภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะเกิดการชำมากกว่าผลที่เก็บรักษาที่คุณภูมิ 0 องศาเซลเซียส (Lee *et al.*, 2005) และจากการศึกษาของ Ahmadi *et al.* (2010) พบว่าผลพีชเก็บรักษาที่คุณภูมิ 3 องศาเซลเซียส แสดงอาการชำน้อยกว่าผลพีชเก็บรักษาที่คุณภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยมีความแตกต่างของการชำต่างกัน 28 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ระดับแรงกดที่ต่ำ (18.4 นิวตัน) แต่แตกต่างกันเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ระดับแรงกดที่สูง (56.7 นิวตัน) ส่วน Bruswitz and Bartsh (1989) ได้รายงานว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของการชำต่อหน่วยของการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานของการตกกระทบ (impact energy) เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษา

1.3 ระยะการพัฒนามาของผลและฤดูกาลเก็บเกี่ยว

ระยะการพัฒนามาของผลที่ทำการเก็บเกี่ยวมีผลต่อทั้งขนาดของผล และความโค้งงอของผลแอปเปิล โดยพบว่ามวลของผลลดลงเมื่อผลถูกเก็บเกี่ยวในช่วงปลายฤดู แต่ในระยะนี้พบว่าความโค้งงอของผลเพิ่มขึ้นมากกว่าผลที่เก็บเกี่ยวก่อนและกลางฤดู การเปลี่ยนแปลงขนาดของรอยชำแปรผันไปตามฤดูกาลเก็บเกี่ยว โดยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรอยชำ (bruise diameter) เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการเก็บเกี่ยวผลัดผลก่อนและปลายฤดู เช่นเดียวกับที่พบความแตกต่างของปริมาตรรอยชำระหว่างผลัดผลที่เก็บในช่วงกลางฤดูและช่วงปลายฤดู โดยผลแอปเปิลมีปริมาตรรอยชำลดลงเมื่อเก็บในช่วงปลายฤดู ส่วนการเปลี่ยนแปลงความลึกของรอยชำ (bruise depth) พบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของรอยชำ แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยว (Opara, 2007) และพบว่าผลผลัดที่เก็บเกี่ยวช้ามักมีการชำของผลค่อนข้างสูง ซึ่งเกี่ยวข้องกับ การสุกของผล โดยเมื่อผลัดผลเกิดการสุก ความเต่งและความแน่นเนื้อของผลลดลง ซึ่งทำให้ผลมีความไวต่อการชำมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาในมะม่วงน้ำดอกไม้ (Chonhenchob and Singh, 2003) โดยอาจเกี่ยวข้องกับแรงสั่นสะเทือนภายในผล (Garcia *et al.*, 1995) ดังรายงานในผลพีชที่สุก พบว่ามีความไวต่อการชำมากกว่าผลที่ยังไม่สุกเนื่องจากมีแรงสั่นสะเทือนภายในผลลดลง (Ahmadi *et al.*, 2010) สอดคล้องกับการศึกษาในมะเขือเทศ ซึ่งพบว่าผลมะเขือเทศในระยะที่มีการสุกมักมีความรุนแรงต่อการชำมากกว่าผลที่ยังดิบ (Van linden *et al.*, 2006) ขณะที่การศึกษาของ Lee (2005) พบว่าเมื่อทำให้ผลมะเขือเทศพันธุ์ Roma ในระยะผลเริ่มเปลี่ยนสี (breaker) แสดงอาการชำมากกว่ามะเขือเทศระยะดิบเขียว (mature green)

1.4 การจัดการสวน

การจัดการสวนที่ต่างกันมีผลต่อมวลของผลและความโค้งงอของผล จากการศึกษาในแอปเปิลพันธุ์ Gala พบว่าความถี่ของการให้น้ำต่ำ และจำนวนผลบนต้นน้อย ทำให้ผลแอปเปิลมีมวลและความโค้งงอของผลเพิ่มขึ้น ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวพบได้เฉพาะในผลที่เก็บเกี่ยวในระยะก่อนฤดูเท่านั้น ส่วนผลที่เก็บเกี่ยวปลายฤดู พบว่ามีเพียงความถี่ของการให้น้ำเท่านั้นที่มีผลต่อการเพิ่มขนาดของผล (Martinez-Romeo *et al.*, 2004) ขณะที่การให้น้ำปุ๋ยไนโตรเจนไม่ส่งผลชัดเจนต่อการเพิ่มขนาดของผล ซึ่งผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยการจัดการสวนที่ต่างกัน มีผลต่อปริมาตรและความลึกของรอยชำ โดย Opara (2007) พบว่าการลดปริมาณของผลต่อต้นลง ทำให้ผลมีความอ่อนแอต่อการชำลดลง

มากกว่า 9% สำหรับการศึกษานี้ของ Pasini *et al.* (2004) แสดงให้เห็นว่าการจัดการสวนที่มีระบบการให้ปุ๋ย (fertilization system) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อความอ่อนแอต่อการช้ำของผลแอปเปิลพันธุ์ Fuji และพันธุ์ Gala รวมไปถึงลักษณะของความเสียหายที่เกิดจากการช้ำ โดยผลิตผลที่ได้จากแปลงที่มีระบบการให้ปุ๋ยไปตามระบบน้ำ (fertigation system) หลังจากเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลาสั้นๆ พบว่า ผลิตผลเกิดการสูญเสียเนื่องจากการช้ำน้อยกว่าผลิตผลที่ได้จากแปลงที่มีการให้ปุ๋ยแบบดั้งเดิม (conventional fertilization system) โดยการหว่านปุ๋ยเม็ดรอบโคนต้น

1.5 ระดับของแรงที่กระทำต่อผลิตผล

การศึกษาในผลพีชพบว่าความรุนแรงของการช้ำขึ้นอยู่กับระดับของแรงตกกระทบ โดยพบว่าการใช้แรงตกกระทบต่ำๆ ผลขนาดเล็กมักเกิดการช้ำมากกว่าผลที่มีขนาดใหญ่ แต่หากทำให้เกิดการช้ำด้วยแรงตกกระทบที่ระดับสูง พบว่าผลขนาดเล็กและผลขนาดใหญ่มีการช้ำของผลไม่แตกต่างกัน (Ahmadi *et al.*, 2010) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าผลไม้ที่ตกกระทบลงไปยังพื้นผิวที่แข็ง มักเกิดการช้ำมากกว่าการตกกระทบไปยังพื้นผิวที่มีความยืดหยุ่น (Van Zeebroeck *et al.*, 2007) ซึ่งนอกจากแรงตกกระทบยังมีรายงานว่าระดับของแรงกดต่อความรุนแรงของการช้ำในผลแอปเปิลพันธุ์ 8S6923 โดยพบว่าหากแรงกดเพิ่มขึ้นจาก 22.2 นิวตัน เป็น 66.7 นิวตัน จะทำให้ผลแอปเปิลเกิดความเสียหายมากขึ้น (Toivonen *et al.*, 2007) ส่วนการศึกษาของ Zarifneshat *et al.* (2010) ที่พบว่าความรุนแรงของการช้ำของผลแอปเปิลสายพันธุ์ Golden Delicious ขึ้นอยู่กับระดับของแรงกดและรัศมีความโค้งของผล กล่าวคือ แอปเปิลที่มีรัศมีความโค้งของผลเท่ากับ 34 มิลลิเมตร ที่ได้รับแรงกดที่ระดับ 25.8 และ 101.5 นิวตัน มีพื้นที่การเกิดรอยช้ำเท่ากับ 54 และ 27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สำหรับการศึกษานี้ของ Zhou *et al.* (2007) พบว่าแรงสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่งโดยรถบรรทุกขนาดบรรจุ 2 ตัน ในตำแหน่งด้านหน้า (front) และด้านหลัง (rear) โดยจัดเรียงกล่องบรรจุผลสาลีซ้อนกันที่ระดับความสูง 1.8 เมตร พบว่าผลสาลีเกิดการช้ำหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 36 วัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผลสาลีในกล่องชั้นบนสุดทั้ง ในตำแหน่งด้านหน้าและท้ายรถเกิดความเสียหายมากกว่าผลสาลีที่อยู่ในกล่องด้านล่างและผลในกล่องชั้นบนสุดในตำแหน่งท้ายรถเกิดความเสียหายมากกว่าด้านหน้ารถ

1.6 ปัจจัยอื่นๆ

ในผลไม้ที่มีความเต่ง (turgidity) และความแน่นเนื้อของผลแตกต่างกัน ส่งผลให้มีความอ่อนแอของผลไม่ต่อการช้ำแตกต่างกัน ในผลที่มีความเต่งของผลมาก เมื่อทำให้เกิดการช้ำ มักเกิดความเครียด (stress) ในเนื้อเยื่อสูง ทำให้ผลไม้เหล่านี้มีความรุนแรงต่อการช้ำได้มากยิ่งขึ้น ดังนั้นหากความเต่งของผลเปลี่ยนไปหรือลดลงจะทำให้ผลไม้อ่อนแอต่อการช้ำลดลง ส่วนปัจจัยเรื่องความแน่นเนื้อต่อความรุนแรงของการช้ำมีรายงานในชมพู่พันธุ์ทองสามสี ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีลักษณะบอบบางและเกิดการช้ำได้ง่าย โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างส่วนบน ส่วนกลางและส่วนล่างของผลชมพู่ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ขายส่งในปัจจุบัน พบว่าการช้ำเกิดขึ้นที่บริเวณส่วนบนของผลชมพู่ มากกว่าส่วนกลางและส่วนล่าง ซึ่งสอดคล้องกับความแข็งแรง (strength) ที่ผิวบริเวณส่วนบนของผลชมพู่ พบว่ามีความแข็งแรงเท่ากับ 5.50 นิวตันซึ่งน้อยกว่าส่วนล่างของผลที่มีค่าเท่ากับ 8.89 นิวตัน (สยาม และบัณฑิต, 2549)

นอกจากนี้ยังพบว่าตัวแปรทางกายภาพอีกชนิดคือ การเสียสภาพ (deformation) ของผิวผลบริเวณที่เกิดการช้ำ สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงความเต่งของผลได้ และจากการศึกษาในแอปเปิลและสาลีพบว่าความเต่งของผลเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความรุนแรงของการช้ำมากกว่าความแน่นเนื้อของผล (Garcia *et al.*, 1995) โดยความเต่งของผลไม้จะลดลงเมื่อผลไม้เกิดการสูญเสียน้ำ (weight loss) โดยกระบวนการ dehydration จากการศึกษานี้ของ Zhang (1994) พบว่าการวางผลไม้ไว้ในสภาพอากาศปกติ (ambient air) เป็นเวลาหลาย ๆ วัน ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และหากมีค่าตั้งแต่ 2 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป จะส่งเสริมให้ผลไม้เกิดการช้ำรุนแรงเพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อประเมินจากปริมาตรของรอยช้ำพบว่ามีความใหญ่ขึ้นหากผลแอปเปิลมีความเต่งลดลงเนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำ

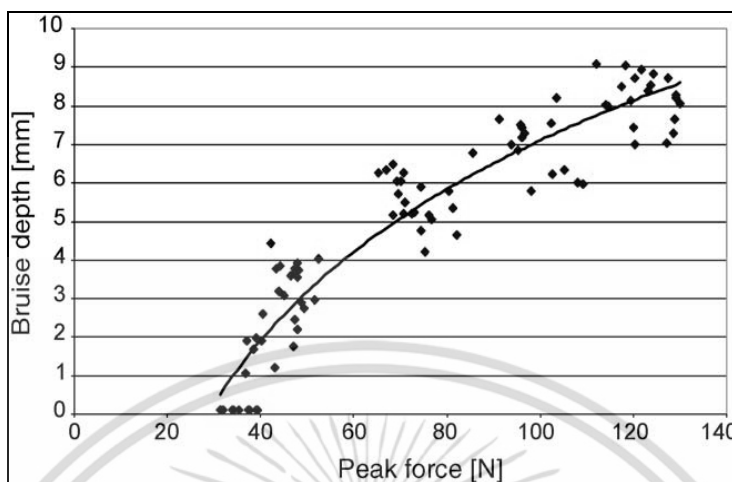


Figure 1 The relationship between peak impact forces (newton) and bruise depth (mm) in 'Jonagold' apple fruit. Source: Van Zeebroeck *et al.* (2006)

จาก Figure 1 จะได้สมการของความสัมพันธ์ในเชิงบวก (positive correlation) ระหว่างความลึกของรอยช้ำและแรงที่กระทำสูงสุดโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.89 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองชนิดดังสมการที่ 3

$$\text{Bruise depth (BDE)} = 5.67\ln(\text{PF}) - 18.99 \dots\dots\dots(3)$$

โดยค่า PF คือ แรงกระทำสูงสุด (peak force) มีหน่วยเป็นนิวตัน (Newton)

3. การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในผลไม้ที่เกิดการช้ำ

3.1 การเปลี่ยนแปลงสี

บริเวณที่ผลไม้เกิดการช้ำมักมีความสว่าง (lightness; L) ลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่เกิดการช้ำมีกลไกในการป้องกันตัวเองโดยเอนไซม์ PAL จะเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนสารประกอบฟีนอลไปเป็นสารตัวกลางชนิดต่างๆ จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นสารควิโนน (quinone) จากนั้นเอนไซม์ PPO จะเร่งปฏิกิริยาการรวมตัวกันของสารควิโนนให้ได้เป็นสารโมเลกุลใหญ่ขึ้นและมีสีน้ำตาล (browning) โดยเอนไซม์ชนิดนี้ทำงานได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจน ในผักและผลไม้หลายชนิดโดยเฉพาะผลไม้ที่มีสารประกอบฟีนอลค่อนข้างสูง เช่นมะเขือ แอปเปิล ท้อ เนคทารีนและสาลี่ มักสังเกตเห็นการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลบริเวณที่เกิดการช้ำได้อย่างชัดเจน และรวดเร็ว (Zhou *et al.*, 2007)

จากรายงานของ Samim and Banks (1993) พบว่าความรุนแรงของการช้ำโดยวัดจากพื้นที่ของการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวผลของแอปเปิลพันธุ์ Granny Smith มีความสัมพันธ์ในเชิงบวก (positive correlation) กับความถี่ของการตกกระทบ (drop frequency) และความสูงของการตกกระทบ (drop height) โดยภายใน 24 ชั่วโมง พบว่าผลแอปเปิลมีค่าความสว่างลดลงอย่างรวดเร็วจาก 80 เป็น 58 และเมื่อวัดการทำงานของเอนไซม์ PAL และ PPO พบว่าเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้มีการทำงานเพิ่มมากขึ้นภายในวันที่ 2 ของการตกกระทบ และสอดคล้องกับการลดลงของสารประกอบฟีนอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสร้างสารสีน้ำตาลนั่นเอง จากการศึกษาของ Amiot *et al.* (1992) พบว่าการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสารฟีนอล ในผลแอปเปิล 11 สายพันธุ์ สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสีในเนื้อเยื่อที่เกิดการช้ำ ขณะที่การศึกษาของ Lee *et al.* (2005) พบว่าผลพลับที่ทำให้เกิดการช้ำ มีการทำงานของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นมากกว่าในผลที่ไม่ได้ทำให้เกิดการช้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีการทำงานของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นมากกว่าผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามกลไกการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก

การซ้ำของผลไม้อย่างยิ่งเกี่ยวกับการทำงานของเอนไซม์ชนิดอื่น โดยจากการศึกษาของ Knee and Miller (2002) พบว่าหลังจากที่ผลแอปเปิลถูกทำให้เกิดการซ้ำ สารประกอบฟีนอลในแควิวโอล เปลี่ยนไปเป็นสาร quinone และรวมตัวกันเป็นสารโมเลกุลใหญ่เกิดเป็นสารสีน้ำตาล โดยการทำงานของเอนไซม์ Catechol oxidase และการศึกษาการเกิดสีน้ำตาลในผลโอลิฟพันธุ์ Manzanilla ที่เกิดการซ้ำเนื่องจากการเก็บเกี่ยว พบว่ากลไกการเกิดสีน้ำตาลเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ β -glucosidases กระตุ้นการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอล คือ hydroxytyrosol, oleuropein และ hydroxytyrosol glucoside จากนั้นสารประกอบฟีนอลจะถูกออกซิไดซ์ให้เป็นสารสีน้ำตาลโดยการทำงานของเอนไซม์ PPO (Garcia-Garcia *et al.*, 2009) ในผลไม้อื่นๆ เช่น พลับ (Lee *et al.*, 2005) ซึ่งนอกจากค่าความสว่างที่ผิวผลลดลงอย่างรวดเร็วแล้ว ยังพบว่าค่าความเป็นสีแดง (+a) ลดลงเช่นกัน โดยผลการศึกษาในมะเขือเทศระยะเริ่มเปลี่ยนสี (breaker) หลังจากทำให้ผลเกิดการซ้ำ พบว่าสีผิวผลเปลี่ยนเป็นสีแดงอย่างรวดเร็วภายใน 24 ชั่วโมง และเปลี่ยนเป็นสีแดงคล้ำภายในวันที่ 2 โดยการเพิ่มขึ้นของค่า a ในช่วงวันแรกหลังจากที่ทำให้เกิดการซ้ำ และเมื่อพัฒนาไปได้ในระยะที่มีสีแดงเต็มที่พบว่าค่า a มีค่าลดลง สอดคล้องกับการลดลงของค่า L ทำให้ผิวผลมีลักษณะเป็นสีแดงคล้ำ (Van linden *et al.*, 2008)

งานวิจัยเรื่องการซ้ำส่วนมากมุ่งเน้นไปที่การศึกษาในผลไม้เขตร้อนเช่น แอปเปิล สาลี่ เนคทารีน และพลับ เป็นต้น แต่ในผลไม้เขตร้อนยังมีการศึกษากันน้อยมาก อย่างไรก็ตามมีรายงานเกี่ยวกับการซ้ำและการเปลี่ยนแปลงสีในผลไม้เขตร้อนบางชนิด เช่น ในผลละมุด ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีสารประกอบฟีนอลค่อนข้างสูง (435 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ซึ่งการซ้ำในผลละมุดมักเกิดขึ้นอย่างมากในขั้นตอนของการล้างทำความสะอาดเพื่อเอาส่วนของชั้นอีพิเดอร์มิส (epidermis) ที่เกิดการเสื่อมสภาพ โดยการนำผลผลิตใส่ตะแกรงขนาดใหญ่ และหมุนตะแกรงผ่านน้ำที่มีแปลงขัดผิวผล พบว่าในระยะที่ผลยังไม่สุก มักแสดงอาการซ้ำโดยการสังเกตจากลักษณะภายนอกไม่ชัดเจนนัก แต่เมื่อปอกเปลือกสามารถสังเกตการซ้ำที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนของการล้าง หรือทำความสะอาดได้อย่างชัดเจน โดยมีการพัฒนาเป็นสีน้ำตาลและน้ำตาลเข้มภายในวันที่ 2 หลังจากการล้าง (จริงและวรวรยา, 2551) และเมื่อผลละมุดเริ่มเข้าสู่กระบวนการสุกผิวผลรวมทั้งสองส่วนของเนื้อจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม เช่นเดียวกับที่รายงานโดย จรุงญ (2554) ที่พบว่าผลละมุดพันธุ์มะกอกที่เกิดการซ้ำ เมื่อทำการปอกเปลือกบริเวณที่เกิดการซ้ำมีสีน้ำตาลคล้ำชัดเจน สอดคล้องกับการลดลงของค่า L ตั้งแต่วันแรกของการเก็บรักษา เช่นเดียวกับการลดลงของค่าความสว่างของสีผิวผลและสีเนื้อในบริเวณที่ผลมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์และพันธุ์แขกดำเกิดการซ้ำ โดยรอยซ้ำที่เกิดขึ้นสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา (รัฐอนันท์, 2554; ภูมิ, 2554) และในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ พบว่าอาการสีน้ำตาลที่ผิวผลเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นเมื่อผลมะม่วงเกิดการซ้ำ ส่งผลให้มะม่วงอ่อนต่อการเข้าทำลายของเชื้อโรค ทำให้ผลมะม่วงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเกิดการสูญเสียทางด้านปริมาณและคุณภาพ (Chonhenchob and Singh, 2003)

3.2 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส (texture)

การซ้ำในผลไม้เกี่ยวข้องกับการทำลายโครงสร้างของผนังเซลล์ ทำให้เกิดการทำลายพันธะภายในโครงสร้างของผนังเซลล์ เมื่อผนังเซลล์ถูกย่อยไปความแข็งแรงของโครงสร้างเซลล์ก็ลดลง ซึ่งผลไม้นี้แต่ละชนิดมีความอ่อนแอต่อความเสียหายที่เกิดจากการซ้ำได้แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยภายใน เช่น ชนิดของเนื้อเยื่อพืช การจัดเรียงตัวของเซลล์ การยึดเกาะกันของเซลล์ที่อยู่ระหว่างชั้นของ middle lamella และความแข็งแรงของผนังเซลล์ เป็นต้น โดยพบว่าเมื่อผลไม้เกิดการซ้ำ เซลล์บริเวณดังกล่าวเกิดการยุบตัว ทำให้เนื้อสัมผัสเกิดการอ่อนนุ่มอย่างรวดเร็ว (Van linden *et al.*, 2008) ในผลไม้บางชนิดเช่นมะเขือเทศ ไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้ชัดเจน โดยเฉพาะลักษณะการเกิดอาการสีน้ำตาลที่พบในแอปเปิล แต่ลักษณะความเสียหายที่เกิดจากการซ้ำที่ตรวจพบในมะเขือเทศภายในวันที่ 2 หลังจากที่ได้ผลผลิตได้รับความเสียหายเนื่องจากการตกกระทบคือ เนื้อเยื่อเกิดการอ่อนนุ่มอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆ ภายในผล โดยเฉพาะเรื่องการสุกและลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) โดยพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสบริเวณที่เกิดรอยซ้ำ สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการละลาย (solubility) ของ

เพคติน ปริมาณหมู่เมทิลในสายโพลีเมอร์ของเพคติน (degree of methylation) และการกระจายขนาดโมเลกุล (size distribution) ของเพคติน และการทำงานของเอนไซม์ PME และ PG โดยการซ้ำที่เกิดขึ้นในผลมะเขือเทศสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ PME และ PG อย่างมีนัยสำคัญกับการสุกที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการละลาย และการเปลี่ยนแปลงขนาดโมเลกุลของเพคติน กับการซ้ำในผลมะเขือเทศหลังจากที่ทำให้เกิดการซ้ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่า การซ้ำที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงโครงข่ายของ xyloglucan อีกด้วย (Van linden *et al.*, 2008) สอดคล้องกับการศึกษาของ Rose and Bennett (1999) ที่ได้รายงานความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงโครงข่ายของ xyloglucan ซึ่งเกี่ยวข้องกับการบวมของผนังเซลล์ และการเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่อ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อที่สังเกตเห็นได้ชัดเจนจากภายนอกคือ ลักษณะการซ้ำที่พบเห็นได้ในผลไม้มันเอง และที่ผ่านมามีการศึกษาส่วนใหญ่ได้มุ่งศึกษาบทบาทของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ และความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของเอนไซม์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเพคติน ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิ (Devaux *et al.*, 2005) มีรายงานว่า การเกิดบาดแผลที่เป็นผลมาจากการซ้ำกระตุ้นให้มีการสร้าง และการทำงานของเอนไซม์ PG เพิ่มขึ้น (Huber *et al.*, 2001)

3.3 อัตราการหายใจ

ผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูง มักทำให้เกิดการสูญเสียสารอาหารภายในผลิตผลอย่างรวดเร็ว และมีการผลิตความร้อนออกมาอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ผลิตผลเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว การศึกษาในเชอร์รี่สายพันธุ์ต่างๆ พบว่า อัตราการหายใจของผลิตผลเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยมีความสัมพันธ์กันแบบ Linear regression ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.98 และเมื่อศึกษาความเสียหายของผลเชอร์รี่หลังจากทำให้เกิดการซ้ำโดยการตกกระทบที่อุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่า ผลเชอร์รี่ที่ตกกระทบที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีความเสียหายของผลเนื่องจากกรซ้ำทั้งภายนอกและภายในต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และเมื่อวัดอัตราการหายใจพบว่า เชอร์รี่สายพันธุ์ Bing มีความเสียหายเนื่องจากการซ้ำน้อยกว่าสายพันธุ์อื่นๆ เนื่องจากมีอัตราการหายใจที่ต่ำกว่า (35 มก. $CO_2/kg \cdot hr$) ขณะที่สายพันธุ์ Tulare และ King ที่เกิดความเสียหายเนื่องจากการซ้ำของผลสูงกว่า เพราะมีอัตราการหายใจที่ค่อนข้างสูง (45-55 มก. $CO_2/kg \cdot hr$) (Crisosto *et al.*, 1993) ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถใช้เป็นข้อมูลในการจัดการควบคุมอุณหภูมิของผลิตผลเพื่อช่วยลดอัตราการหายใจ จะทำให้ช่วยยืดอายุของผลิตผลหลังเก็บเกี่ยวให้นานที่สุด และช่วยลดความเสียหายเนื่องจากการซ้ำของผลิตผลไม่ว่าจะเป็นการเก็บเกี่ยว

3.4 การสร้างเอทิลีน

การศึกษาในมะเขือเทศโดย MacLeod *et al.* (1976) ซึ่งทำให้ผลมะเขือเทศเกิดการซ้ำโดยตกกระทบพื้นจากระดับความสูง 40 เซนติเมตร พบว่า อัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งที่ตกกระทบ โดยผลที่ตกกระทบพื้นจำนวน 8 ครั้งมีอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มมากกว่าชุดควบคุมถึง 2 เท่า ส่วนรายงานของ Knee and Miller (2002) พบว่า ผลแอปเปิลในระยะ preclimacteric หรือ early climacteric มีอัตราการสร้างเอทิลีนสูงเมื่อผลเกิดบาดแผลเนื่องจากการซ้ำ สอดคล้องกับการศึกษาในแอปเปิลที่พบว่าผลที่ทำให้เกิดการซ้ำโดยการตกกระทบพื้นจากระดับความสูง 30 เซนติเมตร มีอัตราการผลิต เอทิลีนมากกว่าในผลที่ไม่ได้ทำให้เกิดการซ้ำ โดยพบความแตกต่างได้ตั้งแต่วันที่ 5 หลังจากทำให้เกิดการซ้ำ จากนั้นพบว่าอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีอัตราการผลิตสูงที่สุดในชั่วโมงที่ 30 หลังจากที่ทำให้เกิดการซ้ำ โดยมีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงกว่าผลที่ไม่ได้ทำให้เกิดการซ้ำประมาณ 2 เท่า (DeMartino *et al.*, 2002) (Figure 2)

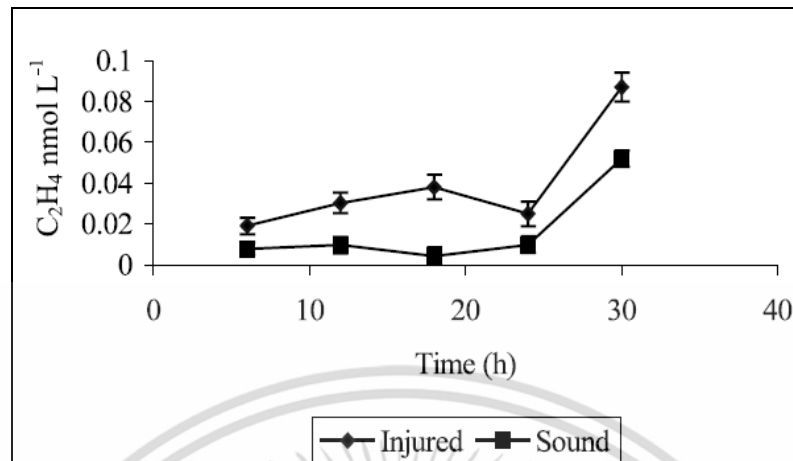


Figure 2 Ethylene production rate in injured and sound apricot after impact from 30 cm at 18°C, 80% RH. Source: DeMartino *et al.* (2002)

3.5 คุณภาพในการรับประทาน

ในผลแอปเปิ้ลที่เกิดการช้ำ พบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักสดของผลตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเนื้อเยื่อและคุณสมบัติทางเคมี ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์เพิ่มขึ้นและเมื่อวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (soluble solids; SS) ซึ่งมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับความหวาน (sweetness) พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น โดยพบว่ามีค่า SS สูงในผลแอปเปิ้ลที่เกิดการช้ำ (Lu, 2003) สอดคล้องกับการศึกษาในมะเขือเทศ พันธุ์ Roma (Lee, 2005) ส่วนการศึกษาในละมุดพันธุ์มะกอกที่ทำให้เกิดการช้ำด้วยแรงกดขนาด 15 นิวตัน พบว่ามีปริมาณ SS เพิ่มขึ้นมากกว่าผลที่ไม่ได้ทำให้เกิดการช้ำในช่วง 5 วันของการเก็บรักษา (จรรยา, 2554) ส่วนการศึกษาในมะละกอฟันธุ์ฮอลแลนด์ (รัฐธนินท์, 2554) และพันธุ์แขกดำ (ภูมิ, 2554) พบว่าผลมะละกอกที่ไม่ได้ทำและทำให้เกิดช้ำมีปริมาณ SS ไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาแต่มีแนวโน้มว่าผลที่ทำให้เกิดการช้ำโดยการตกกระทบจากที่ระดับความสูง 75 เซนติเมตร มีค่า SS เพิ่มขึ้นมากกว่าผลที่ทำให้เกิดการช้ำโดยการตกกระทบจากที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร และผลที่ไม่ได้ทำให้เกิดการช้ำ ตามลำดับ

สรุป

ในการช้ำของผลไม้มีปัจจัยทั้งภายในและภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งแต่ละปัจจัยส่งผลให้ผลไม้แต่ละชนิดมีความรุนแรงต่อการช้ำแตกต่างกัน โดยปัจจัยภายนอกเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมให้มีผลกระทบต่อการสูญเสียเนื่องจากการช้ำให้ลดลงได้ เช่นอุณหภูมิ ระยะเวลาการเก็บรักษา แรงที่กระทำต่อผลผลิตผล เป็นต้น ขณะที่ปัจจัยภายในโดยเฉพาะองค์ประกอบของเนื้อเยื่อ โครงสร้างของผนังเซลล์และระดับการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกลไกการช้ำมีความแตกต่างกัน ซึ่งรูปแบบการช้ำที่รายงานออกมาส่วนใหญ่มีกรายงานเป็นปริมาตรของรอยช้ำ (bruise volume) ซึ่งขึ้นอยู่กับแรงกระทำ รัศมีและความโค้งของผล ความแข็งและความยืดหยุ่นของเนื้อเยื่อผลไม้ชนิดนั้นๆ และอุณหภูมิของผลไม้ที่ทำให้เกิดการช้ำ เป็นต้น เมื่อผลไม้ถูกทำให้เกิดการช้ำ มักพบการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เช่นการเปลี่ยนแปลงสีเป็นสีน้ำตาลหรือคล้ำมากขึ้น สัมพันธ์กับการทำงานของเอนไซม์ PPO และ PAL เพิ่มขึ้น มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้น มีความแน่นเนื้อลดลง ขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ เช่น PG และ PME เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการเปลี่ยนรูปของเพคตินจากรูปที่ไม่ละลายน้ำ

(protopectin) เป็นรูปที่ละลาย (water soluble pectin) เพิ่มขึ้น มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในการรับประทาน และส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีคุณภาพโดยรวมไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

จากข้อมูลเรื่องกลไกการซ้ำในผลไม้ที่กล่าวมาข้างต้น การทราบถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์เกิดการซ้ำ จะช่วยให้สามารถป้องกันและลดความเสียหายของผลิตภัณฑ์ โดยการปฏิบัติก่อนและหลังเก็บเกี่ยวที่ถูกต้องและมีความระมัดระวังมากขึ้น ควรทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาพที่ลดอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน รวมทั้งการใช้สารยับยั้งการสร้างและการทำงานของเอทิลีนระหว่างการเก็บรักษา เช่น การรมผลิตผลด้วยสาร 1-methyl cyclopropane (1-MCP) รวมทั้งการใช้สารสังเคราะห์ที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคมาช่วยในการทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่นเนื้อ เช่น การใช้สารละลายเกลือแคลเซียม ซึ่งจะช่วยลดการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ การจุ่มผลิตผลในสารละลายกรดซิตริกหรือกรดแอสคอร์บิกก่อนการเก็บรักษาเพื่อลดอาการสีน้ำตาลที่เกิดจากการซ้ำ ซึ่งวิธีการที่กล่าวมาข้างต้นเป็นวิธีการที่ปฏิบัติได้ง่าย และต้นทุนการจัดการที่ไม่สูง แต่น่าจะสามารถช่วยลดการสูญเสียของผลิตผลเนื่องจากการซ้ำได้

เอกสารอ้างอิง

- จริงแท้ ศิริพานิช และวรวรยา สุธรรมชัย. 2551. ผลของอายุการเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพของละมุด. ว. วิทย. กษ. 39(3): 349-360.
- จรรยา คุณจรรยา. 2554. ผลของสารละลายแคลเซียมแลคเตตต่อการซ้ำของละมุดพันธุ์มะกอก. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 56 หน้า.
- ภูมิ เปรมประยูรวงศา. 2554. ผลของสารละลายแคลเซียมแลคเตตต่อการซ้ำในมะละกอฟันธุ์แขกดำ. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 63 หน้า.
- รัฐอนันท์ ปานะพงศ์ปภรณ์. 2554. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ในมะละกอฟันธุ์ฮอลแลนด์ที่เกิดการซ้ำ. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 63 หน้า.
- สยาม ตุ่มแสงทอง และบัณฑิต จริโมภาส. 2549. การทดสอบประเมินผลบรรจุภัณฑ์ขายส่งผลชมพู่. ว. วิทย. กษ. 37: 5 (พิเศษ): 252-255.
- Ahmadi, E., H.R. Ghassemzadeh, M. Sadeghi, M. Moghaddam and S.Z. Neshat. 2010. The effect of impact and fruit properties on the bruising of peach. J. Food Eng. 97: 110-117.
- Amiot, M.J., M. Tacchini, S. Aubert, J. Nicolas. 1992. Phenolic composition and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. J. Food. Sci. 57, 958-962.
- Bajema, R.W. and G.M. Hyde. 1998. Instrumented pendulum for impact characterization of whole fruit and vegetable specimens. Trans. Amer. Soc. Agr. Eng. 41: 1399-1405.
- Blahovec, J. and F. Paprštein. 2005. Susceptibility of pear varieties to bruising. Postharvest Biol. Technol. 38: 231-238.
- Brusewitz, G.H. and J.A. Bartsch. 1989. Impact parameters related to postharvest bruising of apple. Trans. Amer. Soc. Agr. Eng. 32: 953-957.
- Chonhenchob, V. and S. P. Singh. 2003. A comparison of corrugated boxes and reusable plastic containers for mango distribution. Packaging Technology and Science. 16: 231-237.
- Crisosto, C.H., D.Garner, J. Doyle and K.R. Day. 1993. Relationship between fruit respiration, bruising susceptibility, and temperature in Sweet Cherries. Hort. Sci. 28(2): 132-135.
- DeMartino, G., R. Massantini, R. Botondi and F. Mencarelli. 2002. Temperature affects impact injury on apricot fruit. Postharvest Biol. Technol. 25: 145-149.
- Devaux, M.F., A. Barakat, P. Robert, B. Bouchet, F. Guillon, B. Navez and M. Lahaye. 2005. Mechanical breakdown and cell wall structure of mealy tomato pericarp tissue. Postharvest Biol. Technol. 37: 209-221.
- Garcia, J.L., M. Ruiz-Altisent and P. Barreiro. 1995. Factors influencing mechanical properties and bruise susceptibility of apple and pears. J. Agri. Eng. Res. 61: 11-18.
- Garcia-Gacia, P., Segovia-Bravo, K., Lopez-Lopez, A., Jaren-Galain M., and Garrido-Fernandez, A. 2009. Mechanism and polyphenols involved in the browning reaction of olives. Czech J. Food Sci. S195-S196.
- Huber, D.J., Y. Karakurt and J. Jeong. 2001. Pectin degradation in ripening and wounded fruits. Brazilian J. Plant Physiol. 13: 224-241.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Knee, M. and A.R. Miller. 2002. Mechanical injury. In Knee, M. (Ed.) Fruit quality and its biological basis. Sheffield, UK, pp. 157-179.
- Lee, E. 2005. Quality changes induced by mechanical stress on Roma-type tomato and potential alleviation by 1-methylcyclopropene. Thesis in Master of Science. University of Florida. United State of America.
- Lee, H.J., T.C. Kim, S.J. Kim and S.J. Park. 2005. Bruising injury of persimmon (*Diospyros kaki* cv. Fuyu) fruits. Sci. Hortic. 103: 179-185.
- Lu, R. 2003. Detection of bruises on apples using near-infrared hyperspectral imaging. Trans. Amer. Soc. Agr. Eng. 46(2): 523-530.
- MacLeod, R.F., A.A. Kader and L.L. Morris. 1976. Simulation of ethylene and CO₂ production of mature-green tomatoes by impact bruising. Hort. Sci. 11(6): 604-606.
- Martinez-Romeo, D., M. Serrano, A. Carbonell, S. Castillo, F. Riquelme and D. Valero. 2004. Mechanical damage during fruit by post-harvest handling: Technical and physiological implication. In Dris, R. and Jain, S. M. (eds.), Production Practices and quality assessment of food crops. 3: 233-252.
- Opara, L.U. 2007. Bruise susceptibilities of 'Gala' apples as affected by orchard management practice and harvest date. Postharvest Biol. Technol. 43: 47-54.
- Pang, W., C.J. Studman and G.T. Ward. 1992. Bruising damage in apple-to-apple impact. J. Agri. Eng. Res. 4: 229-240.
- Pasini, L., L. Ragni, A.D. Rombolà, A. Berardinelli, A. Guarneri and B. Marangoni. 2004. Influence of the Fertilization System on the Mechanical Damage of Apples. Biosyst. Eng. 88(4): 441-452.
- Ragni, L. and A. Berardinelli. 2001. Mechanical behavior of apples, and damage during sorting and packaging. J. Agr. Eng. Res. 78: 273-279.
- Ross, J.K.C. and A.B. Bennett. 1999. Comparative disassembly of the cellulose xyloglucan network of plant cell walls: parallel between cell expansion and fruit ripening. Trends Plant Sci. 4: 1360-1385.
- Samim, W. and N.H. Banks. 1993. Colour changes in bruised apple fruit tissue. New Zeal. J. Crop Hort. 21: 367-372.
- Schoorl, D. and J.E. Holt. 1983. Mechanical damage in agricultural products: a basis for management. Agric. Systems. 11: 143-157.
- Schulte-Pason, N.L., G.K. Brown and E.J. Timm. 1992. Apple impact damage thresholds. Appl. Eng. Agric. 8: 55-60.
- Studman, C.J., G.K. Brown, E.J. Timm, N.L. Schulte and M.J. Vreede. 1997. Bruising on blush and non-blush sides in apple-to-apple impacts. Trans. Amer. Soc. Agr. Eng. 40: 1655-1663.
- Toivonen, P.M.A., C. Hampson, S. Stan, D. McKenzie and R. Hocking. 2007. Factors affecting severity of bruises and degree of apparent bruise recovery in a yellow-skinned apple. Postharvest Biol. Technol. 45: 276-280.
- Van linden, V., N. Scheerlinck, M. Desmet, and J. De Baerdemaeker. 2006. Factors that affect tomato bruise development as a result of mechanical impact. Postharvest Biol. Technol. 42: 260-270.
- Van linden, V. and J. De Baerdemaeker. 2005. The phenomenon of tomato bruising: where biomechanics and biochemistry meet. Acta Hortic. 682: 925-932.
- Van linden, V., D.N., Sila, T. Duvetter, J.D. Baerdemaeker and M. Hendrickx. 2008. Effect of mechanical impact-bruising on polygalacturonase and pectinmethylesterase activity and pectic cell wall components in tomato fruit. Postharvest Biol. Technol. 47: 98-106.
- Van Zeebroeck, M. 2005. The discrete element method (DEM) to simulate fruit impact damage during transport and handling. Ph.D. thesis No. 643, Faculty of Applied Bioscience and Engineering, Catholic University Leuven.
- Van Zeebroeck, M., E. Tijskens, E. Dintwa, J. Kafashan, J. Loodts, J. De Baerdemaeker and H. Ramon. 2006. The discrete element method (DEM) to simulate fruit impact damage during transport and handling: Model building and validation of DEM to predict bruise damage of apples. Postharvest Biol. Technol. 41: 85-91.
- Van Zeebroeck, M., V. Van linden, P. Darius, B. De Ketelaere, H. Ramon and E. Tijskens. 2007. The effect of fruit properties on the bruise susceptibility of tomatoes. Postharvest Biol. Technol. 45: 168-175.
- Zarifshat, S., H.R. Ghassemzadeh, M. Sadeghi, M.H. Abbaspour-Fard, E. Ahmadi, A. Javadi and T. Shervani-Tabar. 2010. Effect of impact level and fruit properties on Golden Delicious apple bruising. Amer. J. Agri. Biological Sci. 5(2): 114-121.
- Zhang, W. 1994. Apple impact bruise analysis. Ph. D. Dissertation, Biological Systems Engineering Dept., College of Engineering and Architecture, Washington State University, Pullman, WA 99164-6120.
- Zhou, R., S. Su, L. Yan and Y. Li. 2007. Effect of transport vibration levels on mechanical damage and physiological responses of Huanghua pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. Huanghua). Postharvest Biol. Technol. 46: 20-28.