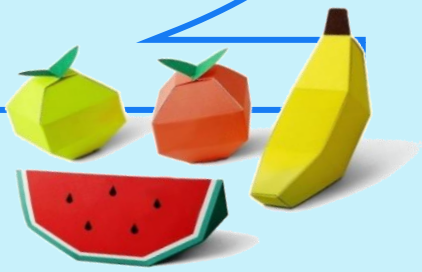
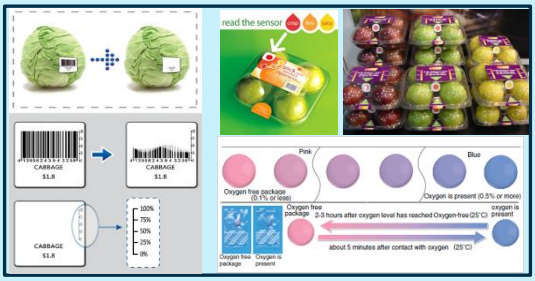
เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์
เพื่อยืดอายุผักและผลไม้สด





กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
กรมวิชาการเกษตร

การจัดการความรู้

เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์สำหรับยืดอายุผักและผลไม้สด

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

ที่ปรึกษา

ธีรชาต	วิชิตชลชัย
จารุวรรณ	บางแวก
รัมม์พัน	โกศลานันท์
วิไลศรี	ลิมปพยอม

คณะทำงาน

คมจันทร์	สรงจันทร์
ศิรกานต์	ศรีธัญรัตน์
ปรางค์ทอง	กวานห้อง
สิริพร	เต็งเร็ง
เนตรา	สมบูรณ์แก้ว
อรวรรณ	จิตต์ธรรม
อารีรัตน์	การุณสถิตย์ชัย
ภาวินี	หนูชนะภัย
สุปรียา	ศุขเกษม
รังสิมา	เก่งการพาณิช
ภาณุมาศ	โคตรพงศ์
งามพิศ	สุดเสน่ห์

คำนำ

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร ได้จัดทำคู่มือเรื่องเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์สำหรับยืดอายุผักและผลไม้สด สำหรับนักวิชาการ เจ้าหน้าที่ เกษตรกร ผู้ประกอบการ นักศึกษา และผู้สนใจ เป็นคู่มือที่อธิบายถึงอิทธิพลของลักษณะผลิตผลสดต่อการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม หน้าที่และชนิดของบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตผลเกษตร บรรจุภัณฑ์ฉลาดสำหรับผักและผลไม้ พร้อมทั้งแนวโน้มบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้ในอนาคต ด้วยเนื้อหาที่กระชับและเข้าใจง่าย

ขอขอบคุณคณะจัดทำองค์ความรู้ที่รวบรวม แก้ไข และจัดทำคู่มือ รวมทั้งผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ข้อคิดเห็นในการปรับปรุงเพื่อให้คู่มือฉบับนี้มีความสมบูรณ์ หวังว่าคู่มือเรื่องเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์สำหรับยืดอายุผักและผลไม้สดนี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจทุกท่าน สำหรับนำไปปรับใช้ในการเลือกบรรจุภัณฑ์เพื่อยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้ได้ต่อไป

(นายธีรชาต วิชิตชลชัย)

ผู้อำนวยการ
กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว
และแปรรูปผลิตผลเกษตร

สารบัญ

หน้า

บทนำ 1

บทที่ 1 ลักษณะผลิตผลสดกับการเลือกใช้รูปแบบการบรรจุและบรรจุภัณฑ์ 2

1.1 ความบริบูรณ์ของผักและผลไม้ (maturity) 2

1.2 การหายใจ (respiration) 3

1.2.1 รูปแบบการหายใจ 3

1.2.2 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการหายใจของผักและผลไม้ 4

1.3 บาดแผล 4

1.4 การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวอื่น ๆ 5

บทที่ 2 หน้าที่ ลักษณะเฉพาะของบรรจุภัณฑ์ และข้อควรคำนึงในการเลือกบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้ 6

2.1 หน้าที่ของบรรจุภัณฑ์ 6

2.2 ลักษณะเฉพาะของบรรจุภัณฑ์ 6

2.3 ข้อควรคำนึงในการเลือกบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้ 7

บทที่ 3 ชนิดของบรรจุภัณฑ์ 8

3.1 บรรจุภัณฑ์ไม้ 8

3.1.1 ลังไม้ 8

3.1.2 เข่งไม้ 9

3.2 บรรจุภัณฑ์กระดาษ 9

3.2.1 กล่องกระดาษแข็ง 9

3.2.2 กล่องกระดาษลูกฟูก 10

3.3 บรรจุภัณฑ์พลาสติก 16

3.3.1 บรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบกึ่งคงรูปและคงรูป 17

3.3.2 บรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบอ่อน 17

บทที่ 4 บรรจุภัณฑ์ฉลาด (smart packaging) 20

4.1 บรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ (modified atmosphere packaging) 20

4.1.1 วิธีการสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลง 20

4.1.2 วิธีการบรรจุที่เกี่ยวข้องกับการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ 21

4.1.3 สมบัติพื้นฐานของบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ 21

4.1.4 บรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง 22

4.2 บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (active packaging) 25

4.2.1 ชนิดของสารที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ 25

4.3 บรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ (intelligent packaging) 33

4.3.1 รูปแบบของบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ 33

บทที่ 5 แนวโน้มบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้ในปัจจุบันและอนาคต 44

บรรณานุกรม

บทนำ

ผักและผลไม้หลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้วมักเกิดการสูญเสียคุณภาพ โดยเฉพาะในระหว่างการขนส่งและกระจายสินค้า ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากปัจจัยภายในผลิตผลเอง เช่น การคายน้ำ การหายใจ การผลิตเอทิลีน การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี มีผลทำให้คุณภาพด้านต่าง ๆ ของผักและผลไม้ อาทิ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส รวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังมีปัจจัยภายนอกที่ส่งผลให้ผักและผลไม้เสื่อมสภาพเร็วขึ้น ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น องค์ประกอบของบรรยากาศ แสง โรคและแมลง ในระหว่างเก็บเกี่ยว เก็บรักษา และกระจายสินค้าสู่ผู้บริโภค

การยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผล เพื่อรักษาคุณภาพและลดการสูญเสียทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ จำเป็นต้องชะลอกระบวนการทางเมตาบอลิซึมของผลิตผล ต้องมีการจัดการที่ดีตั้งแต่เก็บเกี่ยวจนถึงมือผู้บริโภค โดยเก็บเกี่ยวในระยะที่เหมาะสม เก็บเกี่ยวและขนส่งด้วยความระมัดระวัง มิให้ผลิตผลถูกกระทบกระแทกหรือเกิดบาดแผล การเลือกรูปแบบการบรรจุและบรรจุภัณฑ์ก็เป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ช่วยปกป้องผลิตผลจากการกระทบกระแทก สะดวกต่อการขนย้ายและขนส่ง บรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง จากเข่งไม้ไผ่ กระดาษ จนถึงบรรจุภัณฑ์ฉลาดที่มีตัวบ่งชี้ความสุกและการเสื่อมสภาพ ข้อควรคำนึงในการเลือกบรรจุภัณฑ์ขึ้นอยู่กับลักษณะผลิตผล ราคาของผลิตผล ระยะเวลาการเก็บรักษา วัตถุประสงค์ของการเก็บรักษา และราคาของบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น

ลักษณะของบรรจุภัณฑ์ที่ดีควรง่ายต่อการทำความสะอาด สามารถเปียกน้ำได้ ทนทานต่อแรงกระแทก สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่และ/หรือย่อยสลายได้ง่าย แนวโน้มของบรรจุภัณฑ์ในปัจจุบันและอนาคตเป็นไปในลักษณะที่ใช้พลาสติกชีวภาพมากขึ้น สามารถควบคุมการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซ เป็นบรรจุภัณฑ์ฉลาด ต้านจุลินทรีย์ ดึงดูดใจผู้บริโภค และสะดวกต่อการใช้งาน

เอกสารวิชาการเล่มนี้จะกล่าวถึงบรรจุภัณฑ์สำหรับยืดอายุผักและผลไม้สด ตั้งแต่ลักษณะของผลิตผลกับการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ หน้าที่ ลักษณะเฉพาะของบรรจุภัณฑ์ ข้อควรคำนึงในการเลือกบรรจุภัณฑ์ ตลอดจนบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชน

บทที่ 1
ลักษณะผลิตผลสดกับการเลือกใช้รูปแบบการบรรจุและบรรจุภัณฑ์

การเลือกใช้วิธีการบรรจุและชนิดบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม เป็นสิ่งจำเป็นต่อการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว และยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลสด ผักและผลไม้แต่ละชนิดมีสรีระ การเปลี่ยนแปลงหลังเก็บเกี่ยว และลักษณะทางธรรมชาติอื่น ๆ แตกต่างกัน จึงมีความต้องการรูปแบบการบรรจุและชนิดของบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว รวมถึงลักษณะทางสรีรวิทยาและกายภาพของผลิตผล จึงเป็นข้อมูลสำคัญในการใช้เลือกบรรจุภัณฑ์และวิธีการบรรจุที่ถูกต้องและเหมาะสม

ผักและผลไม้ที่เก็บเกี่ยวแล้วยังคงมีชีวิต แต่ถูกจำกัดอาหารและน้ำ เนื่องจากถูกตัดขาดจากต้นและวัสดุปลูกที่เป็นทั้งแหล่งอาหารและน้ำ ทำให้ต้องใช้แหล่งพลังงานที่สะสมอยู่ในผลิตผลเอง เช่น คาร์โบไฮเดรต น้ำตาล ไขมัน และกรดอินทรีย์ มาใช้ในกระบวนการต่าง ๆ เพื่อรักษาความมีชีวิต หลังจากนั้นผักและผลไม้จะพัฒนาเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ระยะชราภาพ (senescence) และเสื่อมสลายไปในที่สุด แต่ละระยะการเปลี่ยนแปลงทำให้ผักผลไม้มีความแตกต่างทางสรีระ ความแน่นเนื้อ กลิ่น รสชาติ และสี ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ได้แก่

1.1 **ความบริบูรณ์ของผักและผลไม้ (maturity)**

ความบริบูรณ์ทางพืชสวนของผักและผลไม้ (horticultural maturity) คือ ระยะที่ผักและผลไม้มีการเจริญเติบโตเต็มที่และไม่มีการเจริญต่อไปอีก แต่จะพัฒนาเข้าสู่ระยะการสุกและชราภาพ เป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตามความบริบูรณ์ทางพืชสวนอาจไม่ใช่สิ่งที่ตลาดหรือผู้บริโภคต้องการ ผู้บริโภคอาจนิยมรับประทานผลิตผลในระยะก่อนผลเข้าสู่ระยะบริบูรณ์ทางพืชสวน เช่น มะม่วงดิบ มะละกอดิบ แตงโมอ่อน ขนุนอ่อน แตงกวา ถั่วฝักยาว ถั่วพู กระเจี๊ยบเขียว เนื่องจากให้เนื้อผลกรอบ มีเสี้ยนน้อย หรือมีรสหวานในทางกลับกันผลิตผลบางชนิดมักเก็บเกี่ยวเมื่อพัฒนาเข้าสู่ระยะการสุกไปแล้ว เช่น ลิ้นจี่ ลำไย สตรอว์เบอร์รี องุ่น และแตงโม ความบริบูรณ์ที่ตลาดต้องการนี้ คือ ความบริบูรณ์ทางการค้า (commercial maturity)

การเก็บเกี่ยวผลิตผลในระยะที่แตกต่างกันนี้มีผลต่อลักษณะทางสรีระและกายภาพเป็นอย่างมาก ผลิตผลที่เข้าสู่ระยะการสุกแล้ว มีโครงสร้างเนื้อเยื่อแข็งแรงน้อยกว่ากลุ่มที่ผลยังไม่เข้าสู่ระยะบริบูรณ์ มีความอ่อนนุ่ม ง่ายต่อการเกิดบาดแผลจากการกระทบกระเทือน (ภาพที่ 1.1) การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์และการจัดเรียงสินค้าในบรรจุภัณฑ์ระหว่างการขนส่งและวางจำหน่ายจึงเป็นเรื่องสำคัญ

ที่มา: http://www.all-magazine.com/Portals/0/sep2010
และ http://webboard.women.sanook.com

ภาพที่ 1.1 ตัวอย่างความบริบูรณ์ของผลิตผลเกษตรที่แตกต่างกัน (a) มะละกอดิบ เนื้อเยื่อของเนื้อผลและเปลือกมีโครงสร้างแข็งแรง ทนต่อแรงกดทับและการกระทบกระเทือน (b) มะละกอสุก พัฒนาเข้าสู่ระยะชราภาพ เนื้อเยื่อบอบบาง เกิดการเน่าเสียได้ง่าย

1.2 การหายใจ (respiration)

1.2.1 รูปแบบการหายใจ

การหายใจเป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา กายภาพ และชีวเคมีในผักและผลไม้ แบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การหายใจที่มีอัตราเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดและลดลง (climacteric respiration) และการหายใจอัตราต่ำและคงที่ตลอดอายุหลังการเก็บเกี่ยว (non-climacteric respiration) โดยสามารถจำแนกผลิตผลออกเป็น 2 กลุ่มจากรูปแบบการหายใจ คือ ผลิตผลที่มีการสุกอย่างชัดเจนหรือเป็นผลิตผลที่สามารถบ่มให้สุกได้ (climacteric fruit) และกลุ่มที่ไม่มีการสุกอย่างชัดเจน (non-climacteric fruit)

1) Climacteric fruit

ผลไม้กลุ่มนี้สะสมอาหารในรูปแป้งหรือไขมัน ได้แก่ กล้วย มังคุด มะละกอ มะม่วง ขนุน และทุเรียน เป็นต้น การสุกเกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน โดยเปลี่ยนแป้งหรือไขมันที่สะสมเป็นพลังงานใช้สำหรับกระบวนการต่าง ๆ มีอัตราการหายใจระหว่างการสุกเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุด (climacteric peak) และลดลงเพื่อเข้าสู่ระยะชราภาพ ผลจากการหายใจทำให้เกิดก๊าซเอทิลีน (ethylene) ขึ้นในเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ ซึ่งมีส่วนกระตุ้นให้เกิดกระบวนการสุก เมื่อผลิตผลเริ่มสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพและชีวเคมีภายใน เช่น การเปลี่ยนสีของเนื้อและเปลือก การเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล และการเปลี่ยนกรดอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานสำหรับหายใจ ทำให้ผลไม้สุกมีรสเปรี้ยวลดลง รสหวานเพิ่มมากขึ้น ส่งกลิ่นหอม เนื้อผลอ่อนนิ่ม และมีโครงสร้างเนื้อเยื่ออ่อนแอลง การเปลี่ยนแปลงข้างต้นย่อมมีผลกระทบต่อความทนทานของผลิตผลต่อการบรรจุหีบห่อ ดังนั้นจึงต้องเลือกรูปแบบการบรรจุและวัสดุบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมกับสภาพของผลิตผล นอกจากนี้ระยะที่ผลิตผลผลิตก๊าซเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นนั้น ต้องพิจารณาชนิดของผลิตผลที่จัดวางในบริเวณเดียวกัน เนื่องจากผลิตผลบางชนิดอ่อนไหวต่อก๊าซเอทิลีน อาจก่อให้เกิดการสูญเสียของผลิตผลที่อ่อนไหวนั้น ๆ ได้ เช่น การบรรจุช่อผลลองกองในบริเวณเดียวกับขนุนที่อยู่ในระยะสุกหรือกำลังถูกบ่มให้สุก ก๊าซเอทิลีนจากกระบวนการสุกของขนุนสามารถกระตุ้นการหลุดร่วงของผลลองกองจากช่อผลได้

2) Non-climacteric fruit

เป็นผลิตผลกลุ่มที่เก็บเกี่ยวมาแล้วมีการหายใจอัตราต่ำและค่อนข้างคงที่ มีรูปแบบการหายใจแบบ non-climacteric จะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีอย่างช้า ๆ อาหารที่สะสมอยู่ในผลิตผลกลุ่มนี้มักอยู่ในรูปกรดอินทรีย์ และน้ำตาลรูปแบบต่าง ๆ จึงไม่สามารถบ่มให้สุกได้ การสุกของผักและผลไม้กลุ่มนี้ไม่แสดงชัดเจน เช่น ถั่วพู ถั่วฝักยาว กระเจี๊ยบเขียว มะเขือ พริก มะนาว องุ่น ส้ม ลิ้นจี่ สตรอว์เบอร์รี ลำไย แตงโม สับปะรด ดังนั้นต้องเก็บเกี่ยวผลิตผลกลุ่มนี้เมื่อเข้าสู่ระยะสุกแล้วเท่านั้น

1.2.2 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการหายใจของผักและผลไม้

นอกจากระยะความบริบูรณ์ของผลิตผลมีอิทธิพลต่ออัตราการหายใจของผักและผลไม้แล้ว อุณหภูมิและปริมาณสัดส่วนก๊าซต่าง ๆ ในบรรจุภัณฑ์หรือในบริเวณที่เก็บรักษา เป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่ออัตราการหายใจของผลิตผล

1) อุณหภูมิ

ปัจจัยภายนอกที่สำคัญต่ออัตราการหายใจของผลิตผล คือ อุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมเพิ่มขึ้น การหายใจประกอบด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีหลายกระบวนการ ส่งผลทำให้ผักและผลไม้เสื่อมสภาพเร็ว ดังนั้นการลดอุณหภูมิของผลิตผลจึงจำเป็นต่อการคงคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ต้องพิจารณาถึงรูปแบบการลดอุณหภูมิให้กับผลิตผล เช่น การลดอุณหภูมิด้วยน้ำ ภาชนะบรรจุต้องทนน้ำได้ดี มีช่องเปิดให้น้ำเข้าและออกสะดวก หรือการลดอุณหภูมิโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง เช่น forced-air cooling บรรจุภัณฑ์ควรมีช่องเปิดให้อากาศผ่านเข้าออกสะดวก ขณะเดียวกันต้องไม่ทำให้ผลิตผลสูญเสียน้ำ เพื่อป้องกันการเหี่ยวแห้งและสูญเสียน้ำหนัก

2) ปริมาณและสัดส่วนของก๊าซในบรรจุภัณฑ์หรือบริเวณที่เก็บรักษาผลิตผล

ปริมาณก๊าซออกซิเจนมีผลต่อการหายใจ การสร้างเอทิลีน และกระบวนการ ออกซิเดชั่นต่าง ๆ ทำให้เกิดสารสีน้ำตาลในเนื้อและบนเปลือกผลไม้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นผลลัพธ์จากกระบวนการหายใจหากมีปริมาณมากจะทำให้กระบวนการหายใจลดลงและขัดขวางการทำงานของก๊าซเอทิลีนได้ ดังนั้น จึงมีการดัดแปลงปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์เพื่อชะลอการหายใจและการเสื่อมสภาพของผลิตผล แต่ปริมาณหรือสัดส่วนของก๊าซทั้ง 2 ชนิดต้องเหมาะสม หากมีปริมาณออกซิเจนต่ำ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์สูงเกินไป อาจทำให้ผักและผลไม้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะกับผลไม้ที่อ่อนไหวกับสภาพออกซิเจนต่ำ เช่น ผลไม้กลุ่มส้ม ทำให้มีแอลกอฮอล์และอะซีทัลดีไฮด์สะสมในเนื้อผลไม้ ส่งผลต่อรสชาติ

อย่างไรก็ตาม การดัดแปลงปริมาณก๊าซชนิดต่าง ๆ ยังต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะคุณสมบัติการยอมให้ก๊าซผ่าน (permeability) เข้าออกสะดวก ปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์อาจไม่แตกต่างจากอากาศปกติ หรือการไม่ยอมให้ก๊าซผ่านเข้าออกได้เลย จะทำให้เกิดสภาพออกซิเจนต่ำได้

1.3 บาดแผล

การสูญเสียหรือความเสียหายของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว มักเกิดจากแรงกระทบกระเทือนจากภายนอกระหว่างการบรรจุและขนส่ง เช่น ความเสียหายจากการบีบอัด (compression) การตกกระแทก (impact) และการสั่นสะเทือน (vibration) เป็นต้น สาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลิตผลเสียหาย เกิดจากการเลือกใช้ภาชนะบรรจุไม่เหมาะกับโครงสร้างผิวของผลิตผล ขนาด รูปร่าง รวมถึงปริมาณของผลิตผลที่ต้องการบรรจุ ผลิตผลขนาดเล็กจำเป็นต้องบรรจุในภาชนะบรรจุขนาดเล็กเพื่อลดช่องว่างระหว่างผลและบรรจุภัณฑ์ ขณะที่บรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่ มีความแข็งแรงและรับน้ำหนักได้มาก จะเหมาะสมกับผลิตผลขนาดใหญ่ ผลิตผลที่มีลักษณะผิวบอบบาง เช่น ฝรั่ง กล้วยไข่ และสตรอว์เบอร์รี ควรบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่สามารถลดการเคลื่อนไหวตามแรงสั่นสะเทือนภายนอกได้ แรงสั่นสะเทือนทำให้ผลิตผลเกิดรอยขีดข่วนและรอยช้ำ มะละกอเป็นผลไม้ที่ผิวบางและมีน้ำหนักมาก การวางเรียงมะละกอในภาชนะบรรจุไม่ควรวางนอน เพราะทำให้เกิดรอยกดทับที่ผิวและเนื้อที่อยู่ด้านล่างได้ การวางเรียงควรให้ขั้วผลอยู่ด้านล่าง เนื่องจากเนื้อของมะละกอด้านขั้วผลจะสุกช้ากว่าส่วนอื่น ๆ ทำให้รับน้ำหนักได้ดีกว่า และไม่แสดงรอยช้ำ

ผลิตผลที่มีการตัดแต่ง (minimally processed produces) ต้องการบรรจุภัณฑ์พิเศษ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากโครงสร้างเซลล์ของผลิตผลประเภทนี้ถูกทำลาย ก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีมากมาย อาหารที่สะสมในเซลล์ถูกนำไปใช้มาก มีการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว และง่ายต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ บรรจุภัณฑ์สำหรับผักผลไม้ตัดแต่งจึงถูกผลิตจากวัสดุร่วมกันหลายชนิด เช่น พอลิเอทิลีน (polyethylene: PE) พอลิโพรพิลีน (polypropylene: PP) เพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ การยอมให้ผ่านเข้าออกของไอน้ำ ก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ให้เหมาะสมกับความต้องการของผลิตผลแต่ละชนิด พร้อมทั้งมีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อจุลินทรีย์และดูดซับก๊าซต่าง ๆ เช่น เอทิลีน เพื่อชะลอการเสื่อมสภาพของผลิตผล นอกจากนี้ยังต้องทนต่อสภาพการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและความชื้นสูงได้

1.4 การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวอื่น ๆ

ในผลไม้บางกลุ่มมีการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อให้ผลไม้มีคุณภาพตามความต้องการของตลาด ซึ่งอาจยับยั้งหรือกระตุ้นกระบวนการเมตาบอลิซึมบางขั้นตอนของผลิตผล เช่น การรมลำไยด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างสารฟินอลที่เปลือก และออกซิเจนในอากาศรอบ ๆ ผลิตผล การรมด้วยก๊าซดังกล่าวทำให้เปลือกลำไยมีสีเหลืองทอง ตามความต้องการของตลาดในสาธารณรัฐประชาชนจีน ภาชนะบรรจุจึงต้องมีช่องเปิดให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้าไปสัมผัสกับลำไยทุกผลอย่างสม่ำเสมอขณะรมและยอมให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกจากภาชนะบรรจุหลังจากรม เพื่อลดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ส่วนเกินที่ผลลำไย ที่อาจทำให้เกิดอันตรายให้กับผู้บริโภคได้

ดังนั้นการศึกษาให้เข้าใจถึงความต้องการของผลิตผลแต่ละชนิดจึงเป็นสิ่งสำคัญมาก ในการเลือกใช้วิธีการจัดเรียง การบรรจุ วัสดุบรรจุภัณฑ์ และลักษณะบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม เพื่อลดการสูญเสียที่เกิดจากความเสียหายต่าง ๆ ระหว่างการบรรจุหีบห่อและขนส่ง คงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว และยืดอายุการวางจำหน่ายของผักและผลไม้

บทที่ 2
หน้าที่ ลักษณะเฉพาะของบรรจุภัณฑ์ และข้อควรคำนึงในการเลือกบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้

1.1 หน้าที่ของบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์มีความสำคัญในด้านเศรษฐกิจทั้งการขนส่งและการจำหน่าย เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ทำหน้าที่ป้องกันผลิตผลจากสภาวะสิ่งแวดล้อมภายนอกและรักษาคุณภาพ ทำให้เกิดความสะดวกในการเคลื่อนย้ายผลิตผล นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์ยังมีบทบาทด้านการส่งเสริมการตลาด โดยมีส่วนในการเพิ่มคุณค่าและกระตุ้นให้เกิดความต้องการซื้อ โดยทั่วไปผู้ผลิตต้องการใช้บรรจุภัณฑ์เพื่อ

1.1.1 รองรับผลิตผล บรรจุภัณฑ์ทำหน้าที่รองรับผลิตผลให้รวมกันอยู่เป็นกลุ่ม ไม่กระจัดกระจาย โดยบรรจุภัณฑ์ต้องมีความแข็งแรง สามารถรองรับผลิตผลตลอดระยะเวลาของการขายและการใช้ ทนต่อการขนย้าย หรือขนส่งไปยังผู้บริโภค

1.1.2 ป้องกันและรักษาผลิตผล บรรจุภัณฑ์ช่วยรักษาผลิตผลที่บรรจุอยู่ภายในไม่ให้ยุบสลาย เสียรูป หรือเสียหายจากสภาพสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ สภาพการขนส่งที่ไม่เหมาะสม

1.1.3 รักษาคุณภาพ บรรจุภัณฑ์ช่วยรักษาคุณภาพผลิตผลที่อยู่ภายใน เช่น ยืดอายุผลิตผล ตลอดจนสร้างความน่าเชื่อถือ และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมจะสามารถรักษาคุณภาพผลิตผลให้ความเสียหายต่ำที่สุด หรือมีคุณภาพใกล้เคียงกับวันที่เก็บเกี่ยวมากที่สุด

1.1.4 บ่งชี้หรือแจ้งข้อมูลรายละเอียด บรรจุภัณฑ์ช่วยบ่งชี้หรือแจ้งข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ ของผลิตผลของผลิตผลที่อยู่ภายใน เช่น ชนิดของผลิตผล จำนวน น้ำหนัก วันหมดสภาพ ข้อมูลทางโภชนาการ

1.1.5 ดึงดูดความสนใจ บรรจุภัณฑ์ที่มีขนาดเหมาะสม รูปร่าง สี รูปทรงสวยงาม วัสดุแข็งแรง มีข้อความรายละเอียดของผลิตผลถูกต้อง น่าสนใจ และเป็นประโยชน์กับผู้บริโภค ตัวอักษรชัดเจน สวยงาม ที่ปรากฏบนภาชนะบรรจุ จะเป็นแรงดึงดูดจูงในการซื้อผลิตผลเพิ่มมากขึ้น

1.1.6 ช่วยเพิ่มผลกำไร บรรจุภัณฑ์จะไม่สามารถทำหน้าที่อย่างสมบูรณ์ ถ้าหากไม่สามารถช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตผลที่บรรจุอยู่ บรรจุภัณฑ์ที่ได้รับการออกแบบเป็นอย่างดี จะสามารถดึงดูดตา ดึงดูดใจผู้บริโภค ทำให้สินค้ามีราคาสูงขึ้น

2.2 ลักษณะเฉพาะของบรรจุภัณฑ์

ลักษณะเฉพาะของบรรจุภัณฑ์สำหรับการยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ ประกอบด้วย

2.2.1 ปกป้องการกระทบกระเทือน บรรจุภัณฑ์ต้องช่วยปกป้องการกระทบกระเทือนให้แก่ผักและผลไม้ ไม่ให้เกิดบาดแผลที่จะทำให้ได้รับความเสียหาย หรือเน่าเสียง่าย

2.2.2 ลดอัตราการหายใจของผลิตผลได้ สามารถลดปริมาณก๊าซออกซิเจน และเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พอเหมาะ ทำให้การสุกแก่ของผักและผลไม้ช้าลง จึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้

2.2.3 ควบคุมก๊าซเอทิลีน เมื่อผักและผลไม้เริ่มสุก ปริมาณเอทิลีนจะสูง เร่งให้ผักและผลไม้สุกงอมเร็วขึ้น ถ้าสามารถควบคุมหรือลดปริมาณเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์ก็จะยืดอายุการเก็บรักษาได้

2.2.4 ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ถ้าผักและผลไม้มีบาดแผล แล้วภายในบรรจุภัณฑ์มีความชื้นสัมพัทธ์สูง จะทำให้ผักและผลไม้เน่าเสียง่าย จึงต้องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้เหมาะสม ซึ่งควรอยู่ในช่วงประมาณ 85-90 เปอร์เซ็นต์

2.3 ข้อควรคำนึงในการเลือกบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้

ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการเลือกบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมกับการยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้แต่ละชนิดเพื่อลดความสูญเสีย คือ

2.3.1 ชนิดของผักและผลไม้ ผักและผลไม้แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทั้งทางด้านรูปร่าง ขนาด ความนุ่ม ความแข็ง และประเภทของการหายใจว่าเป็น climacteric หรือ non-climacteric ดังนั้นต้องพิจารณาเพื่อเลือกใช้บรรจุภัณฑ์และการจัดการให้ถูกต้อง

2.3.2 วัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ เดิมบรรจุภัณฑ์จะใช้ไม้ หรือไม้ไผ่ ซึ่งมีความแข็งแรง แต่มักจะทำให้ผักและผลไม้เกิดบาดแผลง่าย วัสดุที่นิยมนำมาใช้ทำเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้ ในปัจจุบันมี 2 ชนิด คือ

1) กระดาษ เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา ราคาถูกสามารถใช้งานได้สะดวกเนื่องจากสามารถพับเก็บได้ทำให้ประหยัดเนื้อที่ในการจัดเก็บ สามารถใช้กับผักและผลไม้ได้หลายชนิด เช่น ทุเรียน มะม่วง มังคุด อีกทั้งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับธรรมชาติ แต่มีข้อเสียคือ ไม่ทนต่อความชื้น และแมลงกัดแทะ

2) พลาสติก เป็นวัสดุที่สามารถขึ้นรูปได้ง่ายและทำได้หลายรูปแบบ เนื่องจากมีความยืดหยุ่น พลาสติกที่นำมาใช้ทำบรรจุภัณฑ์มีหลายชนิด เช่น พอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน พลาสติกแต่จะชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น ความยืดหยุ่น ความแข็ง ความสามารถในการซึมผ่านก๊าซ แต่มีข้อเสียคือ ย่อยสลายได้ยาก

2.3.3 ตลาดเป้าหมาย ก่อนที่จะเลือกบรรจุภัณฑ์ ควรศึกษาถึงความต้องการของกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย เช่น พฤติกรรมการซื้อ ปริมาณการซื้อ วิธีเก็บรักษา เพื่อที่จะเลือกบรรจุภัณฑ์ให้ตรงกับความต้องการของกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย

2.3.4 วิธีการจัดจำหน่าย เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกบรรจุภัณฑ์ เช่น ผลิตผลที่ส่งจำหน่ายตรงไปยังผู้บริโภคจะต้องใช้บรรจุภัณฑ์แบบหนึ่ง แต่หากขายผ่านพ่อค้าคนกลาง จะต้องพิจารณาว่าพ่อค้าคนกลางขายสินค้าอย่างไร มีการจัดร้านลักษณะใด มีวิธีการขาย และการเก็บรักษาอย่างไร ซึ่งอาจต้องเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ในลักษณะที่แตกต่างออกไป

2.3.5 วิธีการบรรจุและการใช้เครื่องจักรในการบรรจุ ถือว่าเป็นอีกข้อหนึ่งที่จะต้องพิจารณาเพราะหากออกแบบบรรจุภัณฑ์โดยที่ไม่คำนึงถึงขนาดและน้ำหนักผลิตผล อาจจะทำให้เกิดปัญหาระหว่างการบรรจุได้

2.3.6 วิธีการจัดวางและระยะเวลาในการเก็บรักษา ผลิตผลแต่ละชนิดมีน้ำหนักไม่เท่ากัน หากผลิตผลมีน้ำหนักมากและต้องการวางซ้อนกันเพื่อประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บ ตัวบรรจุภัณฑ์จะต้องมีความ

แข็งแรงเป็นพิเศษ นอกจากนี้อาจต้องพิจารณาถึง อุณหภูมิ ความชื้น และแมลงศัตรูพืช ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนเป็นปัจจัยสำคัญส่วนหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณา สำหรับระยะเวลาในการเก็บรักษา หากต้องจัดเก็บเป็นระยะเวลานาน บรรจุภัณฑ์จะต้องออกแบบให้สามารถรักษาคุณภาพของผลิตผลให้ได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด เป็นต้น

2.3.7 ราคาของบรรจุภัณฑ์ เป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงให้ราคาไม่สูงจนเกินไป บรรจุภัณฑ์ที่นำมาใช้ให้เหมาะกับลักษณะของผลิตผลและการยืดอายุการเก็บรักษา บรรจุภัณฑ์นั้น ๆ ไม่ควรจะมีราคาสูงจนเกินไป เพราะจะเป็นการเพิ่มต้นทุนให้กับผู้ผลิต

บทที่ 3
ชนิดของบรรจุภัณฑ์

การเลือกใช้ชนิดของบรรจุภัณฑ์ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้ เช่น เพื่อการขายปลีก หรือเพื่อการขนส่ง วัสดุที่นำมาใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตผลสดมีหลายชนิด ที่นิยมใช้ทั่วไป ได้แก่

3.1 บรรจุภัณฑ์ไม้

บรรจุภัณฑ์ไม้ที่นำมาใช้กับผลิตผลสดมี 2 แบบ คือ

3.1.1 ลังไม้

ทำจากไม้ค่อนข้างบาง มีความหนาไม่เกิน 6 มิลลิเมตร เย็บติดกันด้วยลวด (ภาพที่ 3.1) มีข้อดีคือ สามารถขนส่งบรรจุภัณฑ์เปล่าได้ง่าย ไม่เปลืองพื้นที่ ขึ้นรูปได้ง่าย แข็งแรง ทนน้ำ และสามารถเรียงซ้อนกันได้หลายชั้น ขึ้นกับรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ ทำให้สามารถขนส่งผลิตผลได้จำนวนมาก รวมทั้งสามารถกลับมาใช้ได้อีก เพราะสามารถทำความสะอาดได้ด้วยการอบน้ำยาและไม่มีสารเคมีตกค้าง เหมาะกับผลิตผลที่ต้องผ่านการลดอุณหภูมิแบบ hydro-cooling เช่น บล็อคโคลี แต่ข้อเสียของลังไม้คือ ไม้ที่นำมาใช้ควรแห้ง โดยมีความชื้นของไม้ไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ เพราะหากไม้มีความชื้นสูง เชื้อราจะเจริญเติบโตและปนเปื้อนผลิตผล นอกจากนี้ลังไม้อาจมีการเข้าทำลายของแมลงศัตรูทำลายไม้ ได้แก่ ปลวก มอดรูเข็ม เป็นต้น และแมลงศัตรูอีกหลายชนิดที่สามารถติดไปกับบรรจุภัณฑ์ไม้ ได้แก่ asian longhorn beetle (*Anoplophora glabripennis*) pinewood nematode (*Bursaphelen chusxylophilus*) และ emerald ash borer (*Agrillus planipennis*) เป็นต้น

บรรจุภัณฑ์ไม้ที่ใช้ในการค้าระหว่างประเทศจะต้องทำตามมาตรฐานระหว่างประเทศสำหรับมาตรการสุขอนามัยพืช ฉบับที่ 15 เรื่อง แนวทางการควบคุมบรรจุภัณฑ์ไม้ในการค้าระหว่างประเทศ เพื่อควบคุมบรรจุภัณฑ์ไม้ให้ปราศจากศัตรูพืช โดยกำหนดให้บรรจุภัณฑ์ไม้จะต้องได้รับการกำจัดศัตรูพืชก่อนการส่งออกด้วยการรมสารเมทิลโบไมด์ และอบด้วยความร้อน จากนั้นจึงประทับตรารับรองบนบรรจุภัณฑ์ไม้ตามแบบที่ Internationl plant protection convention (IPPC) กำหนด มาตรการนี้จะต้องดำเนินการควบคุมและขึ้นทะเบียนผู้ผลิตวัสดุบรรจุภัณฑ์ไม้ โดยองค์กรอารักขาพืชแห่งชาติ ซึ่งกรมวิชาการเกษตรเป็นผู้ดำเนินการตรวจสอบรับรองให้แก่ผู้ผลิตวัสดุบรรจุภัณฑ์ไม้

ที่มา: C&F farm, n.d.

ภาพที่ 3.1 ลังไม้ที่ใช้ในการขนส่งผลิตผลเกษตรในต่างประเทศ

3.1.2 เข่งไม้ไผ่

เข่งไม้ไผ่เป็นบรรจุภัณฑ์พื้นบ้านที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในประเทศ ทำจากไม้ไผ่ มีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย สามารถบรรจุผลิตผลได้เกือบทุกชนิด กันน้ำได้ และมีการระบายอากาศดี มีรูปทรงหลายแบบ เช่น แบบปากกว้าง หรือแบบสอบเรียวลง (ภาพที่ 3.2) บรรจุผลิตผลได้ตั้งแต่ 15-25 กิโลกรัม แต่เข่งไม้ไผ่มีข้อเสียคือ มีโครงสร้างไม่แข็งแรง ผลิตผลได้รับการกระทบกระเทือนง่าย ไม่เหมาะกับผลิตผลเกษตรบางชนิดที่ต้องมีการบ่มให้สุกก่อนการจำหน่ายด้วยก๊าซเอทิลีน หรือรมซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อฆ่าเชื้อ

ที่มา: ไทยตำบลดอทคอม, ม.ป.ท.

ภาพที่ 3.2 ลักษณะของเข่งไม้ไผ่

3.2 บรรจุภัณฑ์กระดาษ

กระดาษที่นำมาใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ เป็นเยื่อกระดาษที่ทำจากไม้เนื้ออ่อนโดยไม่ฟอกสี มีความแข็งแรงและคุณภาพแตกต่างกันตามความเหนียว ความทนทานต่อการฉีกขาด ดึงขาด ดันทะลุ สามารถตัด ดัด พับ งอได้ง่าย สามารถออกแบบหลากหลาย เป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีราคาถูกและน้ำหนักเบา โดยทั่วไปกระดาษยอมให้น้ำและก๊าซซึมผ่านได้ดี ไม่สามารถป้องกันความชื้นได้ บรรจุภัณฑ์กระดาษจะเสียความแข็งแรงเมื่อถูกน้ำหรืออยู่ในสภาวะที่เปียกชื้น มีความคงรูป พิมพ์ได้งดงาม และสามารถใช้หมุนเวียนได้ จึงไม่ก่อปัญหามลภาวะ สามารถทำเป็นหีบห่อได้มากมาย ซึ่งแต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับการใช้งานแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของสินค้า บรรจุภัณฑ์กระดาษมีหลายรูปแบบ เช่น ซองกระดาษ ถุงกระดาษ เยื่อกระดาษขึ้นรูป กระป๋องกระดาษ ลังกระดาษ แต่บรรจุภัณฑ์กระดาษที่นิยมใช้กับผลิตผลสดคือ กล่องกระดาษแข็ง และกล่องกระดาษลูกฟูก

3.2.1 กล่องกระดาษแข็ง

นิยมใช้สำหรับบรรจุภัณฑ์ขายปลีก กระดาษแข็งมีหลายชนิด ได้แก่ กระดาษไม่เคลือบ กระดาษการ์ด กระดาษอาร์ตมัน กระดาษฮาร์ดบอร์ด เป็นต้น นอกจากนี้มีการเคลือบวัสดุอื่นเพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษแก่กระดาษ เช่น กระดาษเคลือบพลาสติก เพื่อให้มีคุณสมบัติทนต่อความชื้นสูง และมีความแข็งแรงมากขึ้น

การขึ้นรูปกล่องกระดาษแข็งเพื่อบรรจุผักและผลไม้ ที่พบในท้องตลาดมี 2 รูปแบบคือ กล่องแบบพับได้และกล่องแบบคงรูป โดยเนื้อกระดาษแข็งที่ใช้ทำกล่องมี 2 ประเภทคือ กระดาษกล่องขาวไม่เคลือบ กระดาษชนิดนี้คล้ายกับชนิดเคลือบแต่เนื้อหยาบกว่า สีขาวของกระดาษไม่สม่ำเสมอ แต่ราคาถูกกว่า ต้องพิมพ์ด้วยระบบธรรมดา และกระดาษกล่องขาวเคลือบ กระดาษชนิดนี้นิยมใช้ในการบรรจุสินค้าอุปโภคและบริโภคกันมาก เพราะสามารถพิมพ์ระบบออฟเซ็ทได้สวยงาม เรียกอีกชื่อว่ากระดาษแข็งเทา-ขาว

การเลือกใช้กล่องกระดาษแข็งต้องพิจารณาคุณสมบัติที่เกี่ยวกับการใช้งานเป็นหลัก เช่น การทนต่อความชื้น การต้านแรงดันทะลุ ความสามารถในการรับน้ำหนักได้ ซึ่งขึ้นกับขนาดและความหนาของกระดาษ ความเรียบของผิวกระดาษ ความขาว ความสว่าง สามารถพิมพ์สีได้ดี คงทนต่อการโค้งงอ สำหรับการออกแบบกล่องกระดาษแข็งจะขึ้นอยู่กับชนิดของสินค้าและความต้องการของตลาด การตั้งวาง ความแข็งแรง ความสวยงามเมื่อตั้งวางเป็นกลุ่ม ง่ายแก่การหยิบและถือ ซึ่งบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษแข็งนิยมใช้บรรจุผลไม้ที่นำเข้าต่างประเทศ พบในการวางจำหน่ายซูเปอร์มาร์เก็ตพรีเมี่ยม เช่น เมล่อน กีวี เชอร์รี่ องุ่น (ภาพที่ 3.3)

ภาพที่ 3.3 กล่องกระดาษแข็งบรรจุผลไม้

3.2.2 กล่องกระดาษลูกฟูก

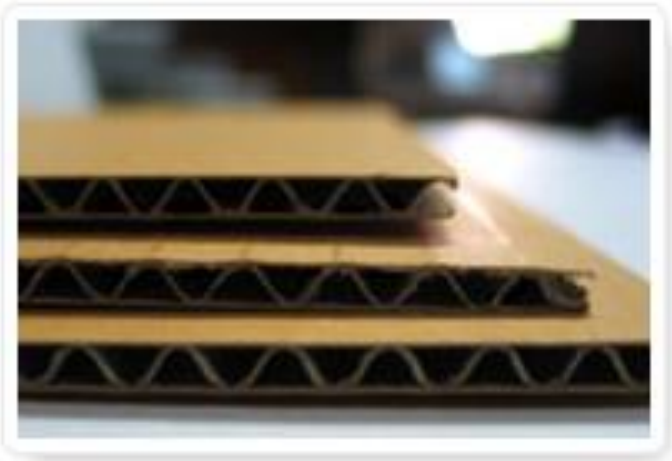
เป็นบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้ในการขนส่งและมีปริมาณการใช้สูง เนื่องจากเป็นกล่องที่มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรง สามารถพิมพ์ข้อความหรือรูปต่าง ๆ ได้นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาออกแบบกล่องกระดาษลูกฟูกให้เป็นทั้งบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งและชั้นวางสินค้า โดยโครงสร้างของกล่องกระดาษลูกฟูกขึ้นกับชนิดของกระดาษคราฟท์ที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของกล่องกระดาษลูกฟูก ชนิดของลอน รูปแบบของกล่อง รอยต่อของกล่อง รวมทั้งรูปแบบการปิดฝากล่อง

1) แผ่นกระดาษลูกฟูก

แผ่นกระดาษลูกฟูกที่นำมาทำกล่องกระดาษลูกฟูก มี 2 ประเภท คือ

ก. แผ่นกระดาษลูกฟูก 3 ชั้น (single wall)

ประกอบด้วยกระดาษแผ่นเรียบ 2 แผ่น ประกบกับลอนลูกฟูก 1 แผ่น โดยลอนลูกฟูกจะอยู่ตรงกลางระหว่างกระดาษแผ่นเรียบทั้ง 2 แผ่น (ภาพที่ 3.4) มักใช้กับสินค้าที่มีน้ำหนักปานกลาง หรือไม่เน้นความแข็งแรงมากนัก



ที่มา: บริษัทพรปณิธานแพ็ค จำกัด. ม.ป.ท.

ภาพที่ 3.4 กระดาษลูกฟูก 3 ชั้น

2) แผ่นกระดาษลูกฟูก 5 ชั้น (double wall)

ประกอบด้วยกระดาษแผ่นเรียบ 3 แผ่น ประกบกับลอนลูกฟูก 2 แผ่น โดยกระดาษลอนลูกฟูกที่อยู่ติดกับผิวกล่องด้านนอกเป็นลอน B เพื่อประโยชน์ทางการพิมพ์ และกระดาษลอนลูกฟูกที่อยู่ด้านในเป็นลอน C (ภาพที่ 3.5) เพื่อประโยชน์ทางด้านรับแรงกระแทก นิยมใช้สำหรับสินค้าที่ต้องการการป้องกันสูง หรือมีน้ำหนักมาก

ที่มา: บริษัทพรปณิธานแพ็ค จำกัด. ม.ป.ท.

ภาพที่ 3.5 กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น

ลอนกระดาษลูกฟูกมาตรฐานที่ใช้อยู่มี 4 ประเภท คือ ลอน A B C E ตัวอักษร A B C นี้ ไม่ได้แสดงการเรียงตามคุณสมบัติและขนาดในความเป็นจริง ลอน A เป็นลอนใหญ่ ลอน B จะเป็นลอนเล็ก และลอน C

จะเป็นลอนขนาดกลางระหว่าง A และ B ส่วนลอน E นั้นรู้จักกันในนามของลอนจิ๋ว การเรียกโครงสร้างของลอนกระดาษลูกฟูกจะเรียกตามน้ำหนักของกระดาษ เป็นกรัมต่อตารางเมตรและตามด้วยประเภทของลอน (ตารางที่ 3.1 และ 3.2)

ตารางที่ 3.1 ชนิด ความสูง จำนวนลอน และสมบัติของลอนลูกฟูก

ชนิด	ความสูงของลอน (มิลลิเมตร)	จำนวน ลอน/เมตร	สมบัติ
ลอน A	4.8-4.0	125-105	เหมาะกับสินค้าที่ต้องการรับน้ำหนักการเรียงซ้อนมาก และไม่เน้นการพิมพ์
ลอน B	3.0-2.1	185-150	เหมาะกับสินค้าที่รับน้ำหนักได้ด้วยตัวมันเอง เช่น กระป๋องเหล็ก
ลอน C	3.9-3.2	145-120	นิยมใช้กันมากเหมาะกับสินค้าทั่วไปที่รับน้ำหนักได้ปานกลาง
ลอน E	1.8-1.0	320-290	รองรับการพิมพ์ได้ดีที่สุด เหมาะกับกล่องไดคัทขนาดเล็ก หรือกล่องออฟเซ็ท

ที่มา: บริษัทพรปณิธานแพ็ค จำกัด. ม.ป.ท.

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของลอนกระดาษลูกฟูก

คุณสมบัติ	ลอน A (ลอนใหญ่)	ลอน B (ลอนเล็ก)	ลอน C (ลอนกลาง)	ลอน E (ลอนจิ๋ว)
การรับแรงในการเรียงซ้อน	++++	++	+++	+
คุณภาพการพิมพ์	+	+++	++	++++
คุณภาพการตัดและอัด	+	+++	++	++++
ความต้านทานต่อการเพิ่มทะลุ	+++	++	++++	+
การใช้งานในการเก็บคงคลัง	++++	++	++	+
การทับเส้น/การทับพับ	+	+++	++	++++
การป้องกันการสั่นและการกระแทก	++++	++	+++	+
การดันทะลุ	+	+++	++	++

++++=ดีมาก +++=ดี ++=พอใช้ +=เลว

ที่มา: บริษัทพรปณิธานแพ็ค จำกัด. ม.ป.ท.

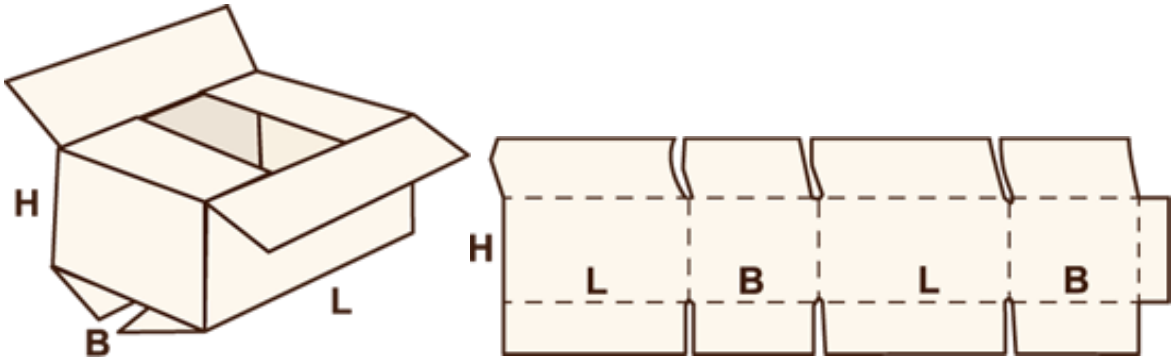
ความแข็งแรงของกล่องลูกฟูกนอกจากจะขึ้นกับโครงสร้างของแผ่นกระดาษลูกฟูกแล้ว ยังขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษ คุณภาพของกระดาษ น้ำหนักกระดาษ และแบบของกล่อง ซึ่งมีผลทำให้คุณสมบัติของกล่องต่างกันไป เช่น กล่องที่ทำมาจากแผ่นกระดาษลูกฟูก 5 ชั้นมีความแข็งแรงในการรับแรงกดตามแผ่นตั้งสูงกว่า

กล่องที่ทำจากแผ่นกระดาษลูกฟูก 3 ชั้น ดังนั้นการเลือกใช้กล่องแบบใดขึ้นอยู่กับประเภทและน้ำหนักของสินค้าเป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับวิธีการลำเลียงและขนส่งด้วย

2) ประเภทของกล่องกระดาษลูกฟูก

กล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้สำหรับการบรรจุมีหลายรูปแบบ ที่นิยมใช้ทั่วไป เช่น

ก. กล่องธรรมดาฝาชน (regular slotted container: RSC) เป็นกล่องที่ฝาเปิดปิดกว้างเท่ากัน โดยฝากล่องแผ่นนอกบรรจบกันที่แนวกึ่งกลางตามด้านยาวของฝากล่อง และฝากกล่องแผ่นในเว้นช่องห่างตามขนาดของกล่อง (ภาพที่ 3.6) ใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์ทั่ว ๆ ไป มีความแข็งแรงพอประมาณ ง่ายต่อการบรรจุและปิดกล่อง ส่วนใหญ่นิยมใช้บรรจุกับผลไม้ เช่น ทุเรียน มะม่วง มังคุด (ภาพที่ 3.7)

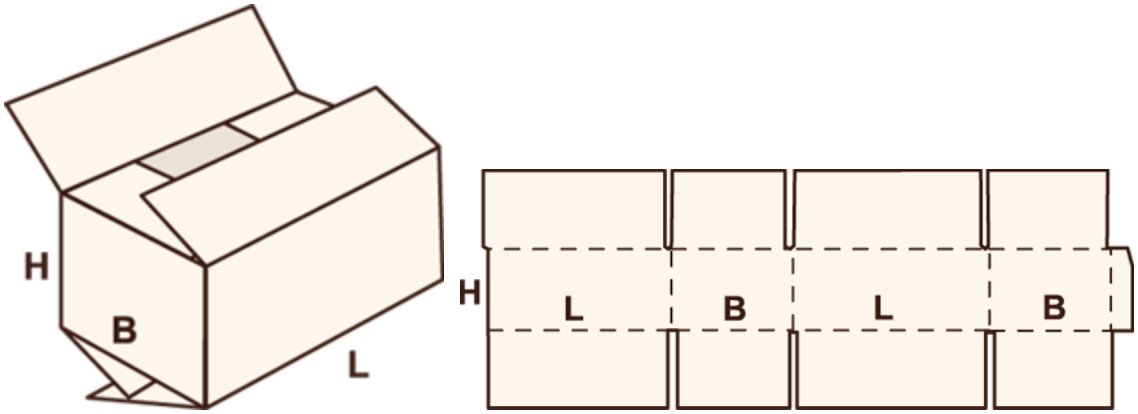


ที่มา: บริษัทศานติบรรจุภัณฑ์ จำกัด. ม.ป.ท.

ภาพที่ 3.6 ลักษณะกล่องกระดาษลูกฟูกธรรมดาฝาชน

ภาพที่ 3.7 กล่องกระดาษลูกฟูกธรรมดาฝาชนบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้

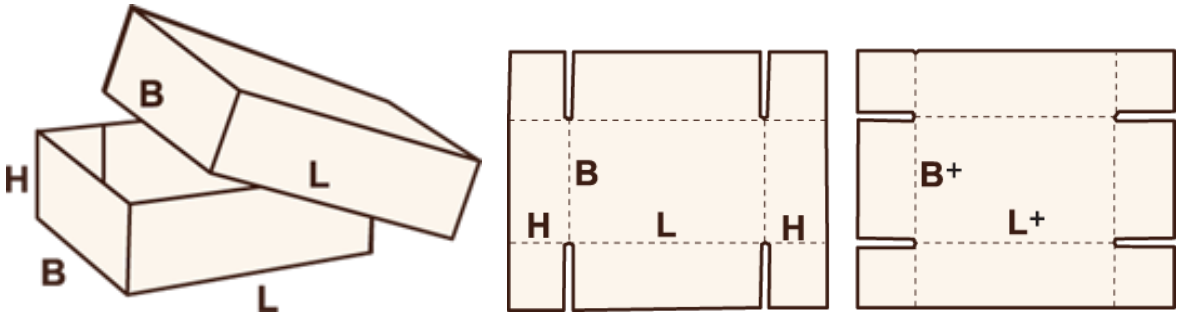
ข. กล่องฝาเกย (overlap slotted container: OSC) คล้ายกล่องแบบ RSC แต่กล่องแบบนี้ฝากล่องแผ่นนอกซ้อนทับกัน โดยระยะที่ซ้อนทับกันนี้ ไม่ต่ำกว่า 1 นิ้ว และมีความยาวไม่มากกว่าความกว้างของกล่อง กล่องแบบนี้มักใช้ในกรณีที่กล่องมีขนาดด้านยาว แตกต่างจากด้านกว้างมากๆ ซึ่งทำให้ฝากล่องแผ่นในห่างกันมาก (ภาพที่ 3.8) ใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์ทั่วไป มีความแข็งแรงมาก



ที่มา: บริษัทศานติบรรจุภัณฑ์ จำกัด. ม.ป.ท.

ภาพที่ 3.8 ลักษณะกล่องกระดาษลูกฟูกฝาเกย

ค. กล่องฝาครอบ (full telescope design style box: FTD) ลักษณะกล่องประกอบด้วยฝาครอบและตัวกล่อง ซึ่งทั้งสองส่วนมีด้านปิดเพียงด้านเดียว ฝาครอบมีความสูงเท่ากับความสูงของตัวกล่อง (ภาพที่ 3.9) กล่องแบบนี้ทนต่อการวางซ้อนกันได้ดี เปิดปิดได้สะดวก ใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแสดงสินค้าให้เห็นได้ชัดเจนในขณะที่เปิดกล่องหรือต้องการระบายอากาศ ส่วนใหญ่นิยมใช้บรรจุผลไม้ เช่น มะม่วง มังคุด กล้วยหอม กล้วยไข่ ส้มโอ (ภาพที่ 3.10)

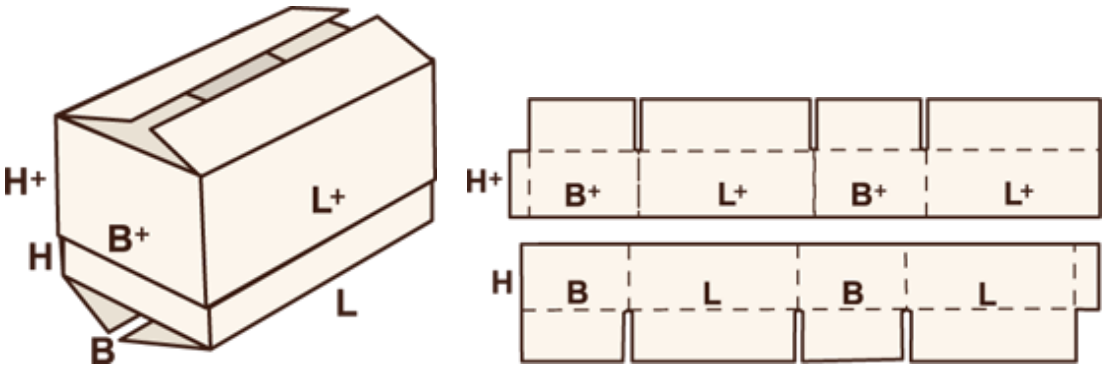


ที่มา: บริษัทศานติบรรจุภัณฑ์ จำกัด. ม.ป.ท.

ภาพที่ 3.9 ลักษณะกล่องกระดาษลูกฟูกฝาครอบ

ภาพที่ 3.10 กล่องลูกฟูกแบบฝาครอบบรรจุกล้วยไข่

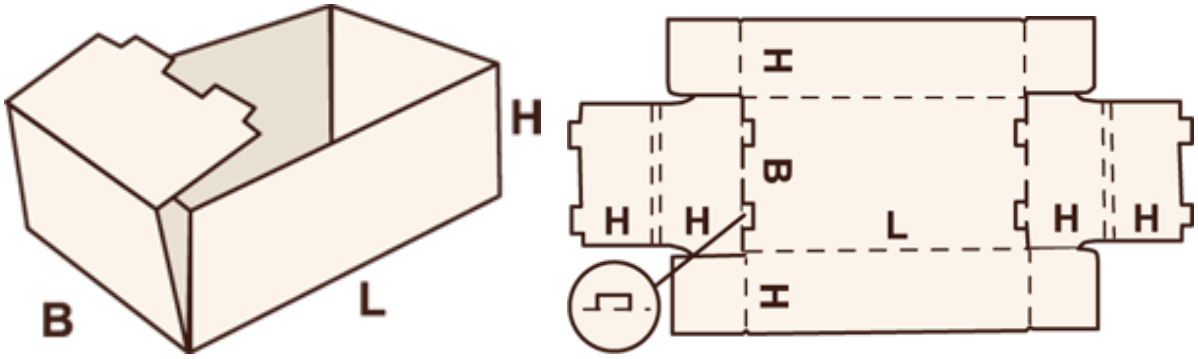
ง. กล่องผลไม้ (full telescope half slotted: FTHS) ลักษณะกล่องประกอบด้วยกล่องแบบ Slotted Container ซึ่งมีฝาด้านเดียว 2 ส่วน สวมเข้าด้วยกัน แต่กล่องส่วนบนมีความสูงเท่ากับกล่องส่วนล่าง สามารถเปิดได้โดยแยกกล่องที่สวมกันอยู่ หรือเปิดจากฝาด้านบนและด้านล่าง โดยใช้ลักษณะของกล่อง FTD กับ RSC มาผสมกัน มี 2 ชั้น แต่ละชั้นสามารถเปิดด้านบนและด้านล่างได้ โดยมีฝาแบบฝาชน สามารถประกอบตัวกล่องได้ง่าย (ภาพที่ 3.11) กล่องแบบนี้ทนต่อการวางซ้อนกันได้ดี และใช้กันมากในการบรรจุผักผลไม้สดต่าง ๆ ซึ่งจะต้องมีการเปิดออกเพื่อตรวจสภาพสินค้าที่บรรจุภายใน



ที่มา: บริษัทศานติบรรจุภัณฑ์ จำกัด. ม.ป.ท.

ภาพที่ 3.11 กล่องผลไม้

จ. กล่องไดคัท (die-cut) มีลักษณะขึ้นอยู่กับความต้องการและลักษณะของสินค้า มีความแข็งแรง สวยงาม สามารถทำตามรูปร่างของสินค้าได้รูปแบบที่สวยงาม สามารถออกแบบใช้งานได้ตามประสงค์ (ภาพที่ 3.12) ส่วนใหญ่นิยมใช้บรรจุกับผลไม้ เช่น มะม่วง ชมพู่ เมล่อน ส้มโอ (ภาพที่ 3.13)



ที่มา: บริษัทศานติบรรจุภัณฑ์ จำกัด. ม.ป.ท.

ภาพที่ 3.12 ลักษณะกล่องไดคัท

ภาพที่ 3.13 กล่องไดคัทสำหรับบรรจุกล้วยหอมและเมล่อน

3.3 บรรจุภัณฑ์พลาสติก

บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ใช้บรรจุผักและผลไม้มีหลายแบบ ตั้งแต่ลังขนาดใหญ่สำหรับการบรรจุในแปลง ลังขนาดเล็ก ตะกร้า ถาด ถุง ถุงตาข่าย กระสอบ และฟิล์มชนิดต่าง ๆ ลักษณะของบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ต้องการคือ ไม่ทำความเสียหายแก่ผลิตผล ขึ้นรูปได้ง่าย มีหลายรูปแบบ ทำความสะอาดง่าย สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้สะดวก โดยเฉพาะภาชนะแบบแข็ง ซึ่งทนต่อการแตกหักเสียหาย ทนน้ำ และความชื้น เม็ด

พลาสติกที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกสามารถเลือกใช้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ เช่น สี ความใส ความแข็งแรง ความยืดหยุ่น การป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซ การปิดผนึกด้วยความร้อน การทนต่ออุณหภูมิ บรรจุภัณฑ์พลาสติกแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ

3.3.1 บรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบกึ่งคงรูปและคงรูป (semi-rigid and rigid plastic package)

บรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบกึ่งคงรูปและคงรูป คือบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกขึ้นรูปโดยใช้แม่แบบสามารถคงรูปทรงนั้นไว้ได้โดยไม่ต้องบรรจุสินค้า เช่น ถาด ถ้วย แก้ว ตะกร้า ลัง เป็นต้น เป็นภาชนะที่สามารถใช้หมุนเวียน และรับน้ำหนักได้มาก เช่น ลังขนาดใหญ่ที่ทำจากพอลิเอทิลีน (polyethylene: PE) โฟมที่ทำจากพอลิสไตรีน (polystyrene: PS) ซึ่งมีรูพรุน เหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุกันกระแทก เช่น ถาดรองผลไม้ ตาข่ายป้องกันการกระแทกเฉพาะผล นอกจากนี้ยังมีบรรจุภัณฑ์คงรูปชนิดที่บางและมีความใสมาก ทำจากพอลิเอสเทอร์ (polyester) หรือพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (polyethylene terephthelate: PET) ซึ่งยอมให้น้ำและอากาศผ่านได้น้อย จำเป็นต้องเจาะรูให้อากาศถ่ายเท ส่วนใหญ่นิยมใช้บรรจุกับผลไม้ เช่น ลำไย มะม่วง องุ่น เป็นต้น (ภาพที่ 3.14)

ภาพที่ 3.14 ตะกร้าพลาสติกสำหรับบรรจุผลไม้

3.3.2 บรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบอ่อน

บรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบอ่อน เช่น กระสอบ ส่วนใหญ่ถักจากแถบพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene: HDPE) หรือพอลิเอทิลีน มีสมบัติถ่ายเทอากาศและความร้อนสะสมของผลิตผลได้ เหมาะกับการบรรจุผลิตผลเกษตรที่ต้องการความชื้นในการเก็บรักษาไม่เกิน 70 เปอร์เซ็นต์ เช่น หอมหัวใหญ่ หอมแดง กระเทียม พริกแห้ง

ส่วนถุงพลาสติก ทำจากพอลิเอทิลีนมี 2 ชนิดคือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene: LDPE) มีความใส และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene: HDPE) มีความขุ่นและความแข็งแรงมากกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ นอกจากนี้ยังมีถุงที่ทำจากพอลิโพรพิลีน (polypropylene: PP) มีความใสมากเป็นพิเศษ ซึ่งถุงทั้ง 3 ชนิด ยอมให้อากาศและน้ำผ่านได้น้อย จึงต้อง

เจาะรูเพื่อให้อากาศถ่ายเทได้ นิยมใช้บรรจุผักและผลไม้ทั่วไป ทั้งในลักษณะขายส่งและขายปลีก (ภาพที่ 3.15-3.16)

ภาพที่ 3.15 การใช้ถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนบรรจุผักและผลไม้ในลักษณะขายส่ง

ภาพที่ 3.16 การใช้ถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนในลักษณะบรรจุภัณฑ์ขายปลีก

ส่วนฟิล์มพลาสติกที่ใช้ในการห่อหุ้มผักและผลไม้ (ภาพที่ 3.17) มีทั้งที่ทำจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง พอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride: PVC) พอลิไวนิลลีดีนคลอไรด์ (polyvinylidene chloride: PVDC) แต่ละชนิดมีสมบัติการหดตัว การยืดตัว การปิดผนึก การยอมให้อากาศและน้ำผ่าน ความใส ความเป็นเงามัน และความง่ายในการพิมพ์ข้อความแตกต่างกัน การใช้งานฟิล์มพลาสติกมี 2 รูปแบบ คือ การใช้ฟิล์มแบบยืด ซึ่งนิยมใช้กันมาก มีสมบัติยอมให้น้ำและอากาศผ่านเข้าออกได้ง่าย และฟิล์มแบบหด ไม่เป็นที่นิยมเพราะมีต้นทุนสูง

ภาพที่ 3.17 การใช้ฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์หุ้มถาดบรรจุผัก

การเลือกชนิดของบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสม ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ที่มีต่อผักและผลไม้ ความสามารถในการป้องกันความเสียหาย และการรักษาคุณภาพของผลิตผลก่อนถึงมือผู้บริโภค รวมถึงต้นทุนการผลิต ควบคู่กับการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าในแต่ละกลุ่ม เช่น การใช้ตะกร้าพลาสติกสำหรับบรรจุผักและผลไม้เพื่อการขนส่งและกระจายสินค้าไปยังตลาดค้าส่งภายในประเทศ บรรจุภัณฑ์ที่ใช้มุ่งเน้นการขนส่งในปริมาณมาก จึงจำเป็นต้องเลือกบรรจุภัณฑ์ที่มีความแข็งแรง รองรับน้ำหนักของผลิตผลและการซ้อนทับได้ดี ตัวบรรจุภัณฑ์สามารถปกป้องผลิตผลจากความเสียหายได้ และมีต้นทุนบรรจุภัณฑ์ที่ต่ำ เนื่องจากตะกร้าพลาสติกสามารถนำมาหมุนเวียนใช้ซ้ำได้อีก

ส่วนการจัดจำหน่ายผักและผลไม้ในกลุ่มลูกค้าตลาดท้องถิ่น เป้าหมายหลักมุ่งเน้นการกระจายผลิตผลอย่างรวดเร็ว มีการขนส่งและการเก็บรักษาไม่นาน ดังนั้นการเลือกใช้ถุงพลาสติกหรือถุงตาข่ายจึงมีความสะดวก รวดเร็ว และลดต้นทุนแก่ผู้ค้า และเมื่อมองถึงกลุ่มลูกค้าตลาดพรีเมี่ยม บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ต้องเด่น สะดุดตา และดึงดูดความสนใจจากลูกค้า รวมทั้งสามารถให้ข้อมูลรายละเอียดสินค้าได้เป็นอย่างดี กล่องกระดาษจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจกับการนำเสนอผักและผลไม้ที่มีคุณภาพแก่กลุ่มลูกค้าตลาดพรีเมี่ยม

บทที่ 4
บรรจุภัณฑ์ฉลาด (smart packaging)

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาและออกแบบบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ให้เหมาะสมสำหรับการยืดอายุผักและผลไม้ ที่สามารถบ่งบอกคุณภาพ สภาพแวดล้อมภายในบรรจุภัณฑ์ และช่วยยืดอายุการเก็บรักษา เรียกว่า บรรจุภัณฑ์ฉลาด (smart packaging) โดยบรรจุภัณฑ์ฉลาด เป็นบรรจุภัณฑ์รูปแบบใหม่ที่เน้นทางด้านความสะดวกสบายต่อผู้บริโภค แตกต่างจากบรรจุภัณฑ์แบบเดิม ที่มีหน้าที่เพียงปกป้องสินค้า หรือเพื่อความสวยงาม แต่บรรจุภัณฑ์ฉลาดเป็นการนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่ทางด้านวัสดุศาสตร์ นาโนเทคโนโลยี พลาสติกอิเล็กทรอนิกส์ เช่น วัสดุแบบใหม่ที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพดีขึ้น จอแสดงผลแบบโค้งงอได้ แบตเตอรี่แบบบางเหมือนกระดาษ เซ็นเซอร์ และฉลากอิเล็กทรอนิกส์แบบพิมพ์ได้ รวมถึงนวัตกรรมการควบคุมหรือปกป้องมาผสมผสานกับบรรจุภัณฑ์ เพื่อยืดอายุผลิตผลในบรรจุภัณฑ์นั้นให้มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น ด้วยการใช้สารประกอบบางชนิดเป็นตัวควบคุมบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ หรือด้วยวิธีสกัดกั้นหรือควบคุมการแพร่ของก๊าซต่าง ๆ ซึ่งการทำงานของบรรจุภัณฑ์ชนิดนี้ วัสดุหรือฟิล์มที่ใช้ในการบรรจุภัณฑ์สามารถเกิดปฏิสัมพันธ์และควบคุมบรรยากาศหรือก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ได้ บรรจุภัณฑ์ฉลาดสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

4.1 บรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ (modified atmosphere packaging: MAP)

การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง หมายถึง การเก็บรักษาผลิตผลในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิท ซึ่งสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ถูกดัดแปลงหรือเปลี่ยนแปลงไป เพื่อให้ได้สภาพบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพผลิตผลสด

บรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ คือบรรจุภัณฑ์ที่ช่วยเปลี่ยนแปลงสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้มีออกซิเจนต่ำ และ/หรือคาร์บอนไดออกไซด์สูง เพื่อลดกระบวนการเมตาบอลิซึมของผลิตผล เช่น การหายใจ การสร้างเอทิลีน เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผล โดยหลักการสำคัญของการดัดแปลงบรรยากาศที่ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้คือ การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของก๊าซในบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ผักและผลไม้จนสามารถยับยั้งหรือชะลอกระบวนการหายใจของผักและผลไม้ แต่หากเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่ถูกต้องจะทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับผักและผลไม้ได้ ซึ่งจะทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลงกว่าเดิม

4.1.1 วิธีการสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลง

การดัดแปลงสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้มีสัดส่วนของก๊าซตามที่ต้องการ สามารถเกิดขึ้นได้อย่างช้า ๆ โดยผลิตผล หรือจงใจทำให้เกิดขึ้น ดังนี้

1) การดัดแปลงสภาพบรรยากาศแบบพาสซีฟ (passive modified atmosphere) ถ้าลักษณะเฉพาะของผลิตผลเหมาะสมกับอัตราการซึมผ่านของก๊าซของฟิล์มพลาสติก สภาพบรรยากาศดัดแปลงสามารถค่อย ๆ เกิดขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิท โดยเป็นผลจากการใช้ออกซิเจนและการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจ เพื่อที่จะรักษาสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมภายในบรรจุภัณฑ์ อัตรา

การซึมผ่านของก๊าซของฟิล์ม จะต้องยอมให้ออกซิเจนผ่านเข้าไปในบรรจุภัณฑ์ในอัตราที่ชดเชยปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปโดยผลิตผล เช่นเดียวกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะต้องแพร่ออกจากบรรจุภัณฑ์เท่ากับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สร้างขึ้นโดยผลิตผล สภาพบรรยากาศเช่นนี้ต้องเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และไม่ทำให้เกิดอันตรายเนื่องจากสภาพขาดออกซิเจน หรือเกิดความเสียหายเนื่องจากระดับคาร์บอนไดออกไซด์สูง

2) การดัดแปลงสภาพบรรยากาศแบบแอคทีฟ (active modified atmosphere) เป็นสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ที่ถูกสร้างขึ้นอย่างรวดเร็ว หรือปรับเปลี่ยนโดยการดึงเอาอากาศภายในออก แล้วบรรจุก๊าซผสมที่ต้องการเข้าไปในบรรจุภัณฑ์ หรืออาจปรับเปลี่ยนโดยการใช้สารดูดซับออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ หรือเอทิลีน

4.1.2 วิธีการบรรจุที่เกี่ยวข้องกับการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ

1) การบรรจุภายใต้บรรยากาศแบบควบคุม (control atmosphere packaging: CAP) โดยการเก็บรักษาผลิตผลในบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ยอมให้อากาศผ่านเข้าออกได้ ซึ่งอัตราส่วนของก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน ไอน้ำ และก๊าซอื่น ๆ เปลี่ยนแปลงไปจากบรรยากาศปกติ โดยก๊าซต่าง ๆ จะถูกเลือกควบคุม เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ซึ่งอัตราส่วนจะคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา ปัจจุบันยังไม่มีระบบ CAP ที่ใช้อย่างเป็นการค้า อย่างไรก็ตามการใส่สารดูดซับออกซิเจนหรือเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์ หรือผสมเข้าไปในเนื้อฟิล์ม ร่วมกับสารที่ปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ จัดว่าเป็น CAP ได้ในช่วงระยะเริ่มต้นของการเก็บรักษาผลิตผลในบรรจุภัณฑ์

2) การบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลง เป็นการเก็บรักษาผักและผลไม้ในถุงพลาสติก หรือถาดพลาสติกมีฝาปิด ซึ่งสภาพบรรยากาศดัดแปลงภายในบรรจุภัณฑ์เกิดขึ้นจากการหายใจของผลิตผล ทำให้อัตราส่วนของก๊าซชนิดต่าง ๆ แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ มีปริมาณออกซิเจนต่ำและมีคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น โดยอัตราส่วนของก๊าซนี้จะเปลี่ยนแปลงได้ตามระยะเวลา และอายุการเก็บรักษา รวมถึงขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผล และวัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์

3) Gas flush packaging เป็นการดัดแปลงสภาพบรรยากาศโดยบรรจุผลิตผลในบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี แล้วไล่หรือแทนที่อากาศภายในบรรจุภัณฑ์ด้วยก๊าซชนิดใดชนิดหนึ่ง เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน หรือก๊าซผสมตามที่ต้องการจากนั้นปิดผนึก ซึ่งบรรจุภัณฑ์อาจมีลักษณะโป่งพองในลักษณะคล้ายหมอน (pillowing)

4) การบรรจุแบบสูญญากาศ (vacuum packaging) เป็นการบรรจุผลิตผลในบรรจุภัณฑ์ที่ยอมให้ออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำ แล้วดึงเอาอากาศเกือบทั้งหมดออกจากบรรจุภัณฑ์ก่อนปิดผนึก บรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์สูญญากาศอาจมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์หรือผลิตผล หรือการซึมผ่านของก๊าซทำให้สภาพบรรยากาศถูกดัดแปลง

4.1.3 สมบัติพื้นฐานของบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ

สมบัติของบรรจุภัณฑ์ด้านการซึมผ่านของก๊าซ มีผลโดยตรงต่อองค์ประกอบของบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ สำหรับผักและผลไม้ที่มีการหายใจจะมีการใช้ออกซิเจนและเกิดการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งนำไปสู่การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่งผลให้ผักและผลไม้เสื่อมเสียได้เร็วขึ้น บรรจุภัณฑ์จึงควรมีอัตรา

การซึมผ่านของก๊าซที่สูง เพื่อให้มีปริมาณออกซิเจนเพียงพอสำหรับการหายใจ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่งมีผลต่ออัตราการซึมผ่านออกซิเจนของฟิล์ม รวมถึงอัตราการหายใจ ซึ่งทำให้สัดส่วนของก๊าซในบรรจุภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป โดยสมบัติที่สำคัญของบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ ได้แก่

1) สมบัติการซึมผ่านของก๊าซ (gas permeability) ซึ่งฟิล์มแต่ละชนิดมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซที่แตกต่างกัน การเลือกใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์จึงขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผล อายุการเก็บรักษา และสภาวะการเก็บรักษา

2) สมบัติการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate: WVTR) การเลือกวัสดุบรรจุภัณฑ์จากค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ต้องระวังปัญหาหยดน้ำภายในภาชนะบรรจุ และการสูญเสียความชื้นของผลิตผล ซึ่งอาจเลือกใช้ฟิล์มที่ใส่สารป้องกันการเกิดหยดน้ำ หรือการเจาะรูเล็ก ๆ เพื่อช่วยระบายไอน้ำบางส่วนออกจากภาชนะบรรจุ

3) การปิดผนึกด้วยความร้อน (heat sealability) การปิดผนึกด้วยความร้อนเป็นที่นิยม เนื่องจากเป็นการปิดผนึกที่แน่นสนิท ป้องกันการผ่านเข้าออกของกลิ่น ก๊าซ ไอน้ำ และเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี นอกจากนี้ยังทำได้ง่าย และใช้ระยะเวลาในการปิดผนึกสั้นมาก

4.1.4 บรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง ได้แก่

1) ถุงพลาสติก เป็นบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้สำหรับการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง โดยถุงพลาสติกที่ใช้สำหรับบรรจุผักและผลไม้สด (ภาพที่ 4.1) มาจากฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ ได้แก่

ก. ฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีน (polyethylene: PE) เป็นฟิล์มพลาสติกที่ยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้ดี ทำให้มีก๊าซออกซิเจนซึมผ่านเข้ามาเพียงพอให้ผักและผลไม้หายใจ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตผลคายออกมาก็สามารถซึมผ่านออกไปได้ง่าย ในบางกรณีจำเป็นต้องเจาะรูที่ถุงเพื่อช่วยระบายไอน้ำที่ผลิตผลคายออกมา

ข. ฟิล์มพลาสติกพอลิโพรพิลีน (polypropylene: PP) เป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนแต่มีความทนทานต่อความร้อนได้สูงถึง 120 องศาเซลเซียส ฟิล์มพลาสติกพอลิโพรพิลีนไม่เหมาะกับการบรรจุผลิตผลสด เนื่องจากมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซต่ำ หากนำมาใช้สำหรับบรรจุผักและผลไม้สด ต้องมีการเจาะรูเพื่อเพิ่มอัตราการซึมผ่านของก๊าซ

ค. ฟลมพลาสติกที่มีรูขนาดไมโครอน (micro-perforated films) เป็นฟิล์มที่เจาะรูขนาดไมครอน โดยฟิล์มชนิดนี้มีช่องว่างหรือรูเจาะขนาดเส้นผาศูนยกลางอยู่ในชวง 40-200 ไมโครเมตร ฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอนมีสมบัติยอมให้ก๊าซผ่านได้สูงกว่าฟิล์มพลาสติกทั่วไป ซึ่งอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (oxygen transmission rate: OTR) อัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide transmission rate: CO_2TR) และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate: WVTR) ของฟิล์มจะขึ้นอยู่กับจำนวนและขนาดของรูเจาะ

ง. ฟิล์มแอคทีฟ (active film) เป็นฟิล์มพลาสติกที่พัฒนาขึ้นให้มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนครอบคลุมตั้งแต่ช่วง 6,000 – 20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน แผ่นฟิล์มมีลักษณะใส เกิดฝ้าน้อย และมีความหนาน้อยกว่าฟิล์มพลาสติกทั่วไปประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ แต่คงความแข็งแรงเท่าฟิล์มพลาสติกที่

จำหน่ายในท้องตลาด และมีสมบัติพิเศษคือ ยอมให้ก๊าซแต่ละชนิดผ่านฟิล์มในอัตราที่แตกต่างกัน (perm-selectivity) ซึ่งสมบัติพิเศษนี้เป็นผลมาจากการควบคุมโครงสร้างระดับโมเลกุลของพอลิเมอร์ การควบคุมโครงสร้างรูพรุน การพัฒนาโครงสร้างผลึกแบบพิเศษ และการใช้กระบวนการขึ้นรูปฟิล์มหลายชั้น

จ. พลาสติกชีวภาพ (bioplastics) คือ พลาสติกที่ผลิตจากพืชหรือวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนได้ (renewable resources) หรือพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (biodegradable) พลาสติกชีวภาพสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- พลาสติกแตกสลายทางชีวภาพได้ (biodegradable plastics) คือ พลาสติกที่มีแหล่งกำเนิดทั้งจากวัตถุดิบชีวมวล (biomass) หรือจากปิโตรเคมี (petro-based materials) ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการหมักทางชีวภาพหลังการใช้งาน จะสลายตัวได้ทางชีวภาพ

- พลาสติกที่ผลิตจากวัตถุดิบชีวมวล (bio-based plastics) เป็นพลาสติกที่ผลิตขึ้นจากวัตถุดิบที่ปลูกทดแทนใหม่ได้ (renewable resources) เช่น ข้าวโพด มันฝรั่ง ข้าวสาลี อ้อย ไม้ โดยพลาสติกในกลุ่มนี้มีคุณสมบัติทั้งสลายตัวได้ทางชีวภาพ (degradable) หรือไม่สลายตัวได้ทางชีวภาพ (non degradable)

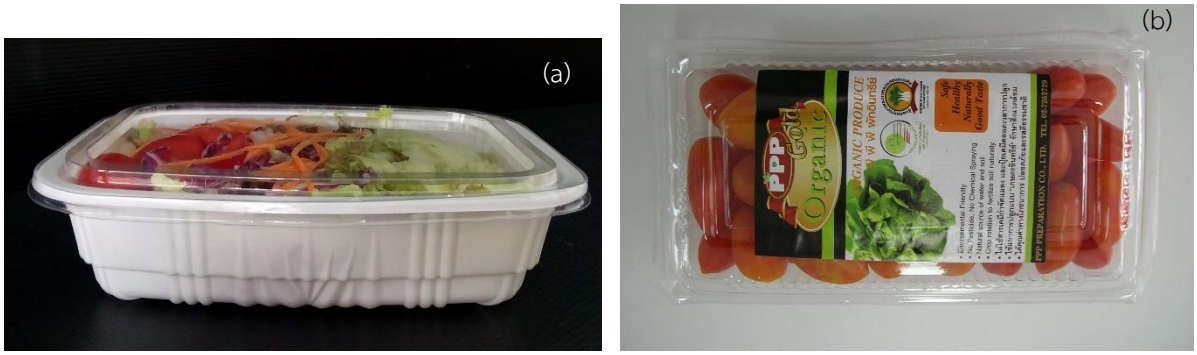
การใช้พลาสติกชีวภาพยังมีข้อจำกัดด้านคุณสมบัติบางประการ เช่น คุณสมบัติด้านการซึมผ่านของก๊าซ การทนต่อความร้อน การไวต่อความชื้น ความเปราะ ทำให้มีข้อจำกัดต่อการใช้งาน จึงต้องอาศัยเทคโนโลยีการคอมพาวนด์ โดยการเติมสารเติมแต่ง (additive) ลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเม็ดพลาสติกชีวภาพให้ดียิ่งขึ้น เช่น การเติมสารที่มีความยืดหยุ่นและนุ่ม (impact modifier) เพื่อเพิ่มความเหนียว ลดความเปราะ

ภาพที่ 4.1 ลักษณะการใช้ถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนมาบรรจุผัก

2) ถาดพลาสติก ผลิตจากพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน หรือพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (polyethylene terephthalate: PET) โดยถาดพลาสติกมีฝาปิด 2 แบบ คือ

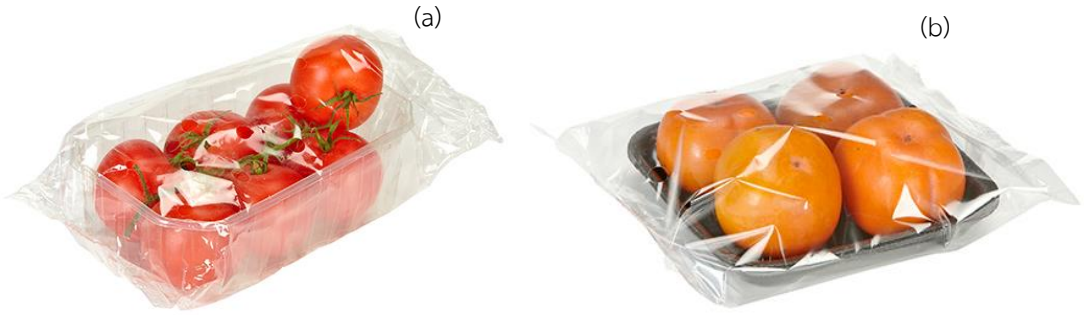
ก. ถาดพลาสติกพร้อมฝาปดพลาสติก (tray and lid) (ภาพที่ 4.2a) ซึ่งเป็นถาดพลาสติกที่มีตัวถาดและฝาปิดแยกกัน โดยฝาด้านบนที่ปดผนึกกับตัวถาดต้องมีสมบัติป้องกันการซึมผานของกาซออกซิเจนที่ดีและมีสมบัติในการปดผนึกที่ดี เพื่อชวยรักษาสภาวะการดัดแปลงสภาพบรรยากาศภายในบรรจุ

ข. ถาดพลาสติกชนิดมีฝาปิดแบบกาบหอย (clamshell tray) (ภาพที่ 4.2b) เป็นถาดพลาสติกที่มีฝาปิดพับมาประกบกันได้



ภาพที่ 4.2 ถาดพลาสติกพร้อมฝาปิด (a) และถาดพลาสติกชนิดมีฝาปิดแบบกาบหอย (b)

1.2.3 ถาดและถุง (ภาพที่ 4.3a และ b) เป็นการบรรจุผักและผลไม้สดบนถาดพลาสติกพอลิโพรพิลีน หรือพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตแบบไม่มีฝาปิด หรือถาดโฟมที่ผลิตจากพลาสติกพอลิสไตรีน แลวบรรจุในถุงพลาสติกอีกครั้ง โดยสามารถเลือกใช้ฟิล์มพลาสติกได้ตามความต้องการ การบรรจุในลักษณะนี้คล้ายกับการบรรจุผักและผลไม้ในถุงพลาสติก แต่มีการใส่ถาดเพื่อเพิ่มความสวยงาม และให้บรรจุภัณฑ์มีความคงรูป



ที่มา: LC packaging, n.d.

ภาพที่ 4.3 การบรรจุผักและผลไม้ในถาดพลาสติก (a) หรือถาดโฟม (b) แล้วบรรจุในถุงพลาสติก

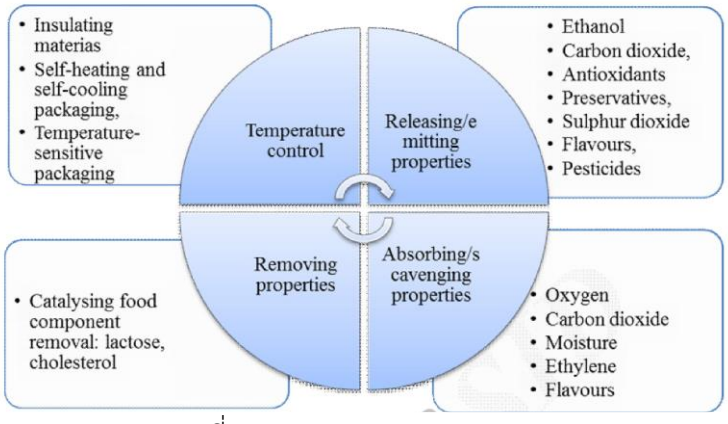
1.2.4 ถาดและฟลมปิด โดยใช้ถาดพลาสติกพอลิโพรพิลีนในการบรรจุผักและผลไม้สด แล้วปิดด้านผนึกบนของถาดด้วยฟิล์มพอลิโพรพิลีนด้วยความร้อน หรือบรรจุผักและผลไม้สดในถาดพอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต หรือโฟมพอลิสไตรีน แล้วหุ้มด้วยฟิล์มยืดพอลิไวนิลคลอไรด์ (ภาพที่ 4.4a และ b)

ที่มา: sunset company, n.d.

ภาพที่ 4.4 การบรรจุในพลาสติกแล้วปิดด้านบนด้วยฟิล์มโดยใช้ความร้อนปิดผนึก (a) และปิดด้วยฟิล์มยืดพอลิไวนิลคลอไรด์ (b)

4.2 บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (active packaging)

บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (active packaging) คือ บรรจุภัณฑ์ที่สามารถควบคุมสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์โดยการยอมหรือสกัดกั้นการแพร่ของก๊าซต่าง ๆ ให้ผ่านเข้าออกภาชนะบรรจุได้อย่างเหมาะสมตามความต้องการของผลิตผลนั้น ๆ จนทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษา ชะลอการเน่าเสีย และป้องกันการถูกทำลายด้วยปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความชื้น แสงแดด จุลินทรีย์ การประยุกต์ใช้บรรจุภัณฑ์แอคทีฟมีหลายวิธีแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์และคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ ได้แก่ การควบคุมอุณหภูมิ โดยบรรจุภัณฑ์สามารถร้อนขึ้นหรือเย็นลงได้ด้วยตัวเอง การปลดปล่อยหรือกำจัด เช่น ปลดปล่อยหรือกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปลดปล่อยสารต้านอนุมูลอิสระ ปลดปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กำจัดกลิ่น การดูดซับ เช่น ดูดซับก๊าซออกซิเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ หรือเอทิลีน ดูดซับความชื้น รวมถึงควบคุมสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์โดยการยอมหรือสกัดกั้นการแพร่ของก๊าซต่าง ๆ ให้ผ่านเข้าออกภาชนะบรรจุให้เหมาะสม (ภาพที่ 4.5) โดยความต้องการบรรจุภัณฑ์แอคทีฟทั่วโลกจะสูงขึ้น 5.7 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็น 7.7 หมื่นล้านบาทในปี 2560 แสดงให้เห็นว่าบรรจุภัณฑ์แอคทีฟกำลังเป็นที่ได้รับความสนใจและใช้งานกันมากขึ้น



ที่มา: Hosseinnejad, 2014

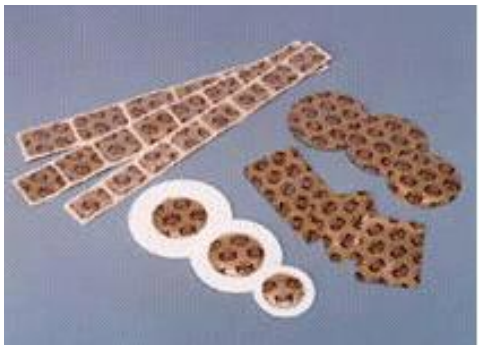
ภาพที่ 4.5 การประยุกต์ใช้บรรจุภัณฑ์แอคทีฟในอุตสาหกรรม

4.2.1 ชนิดของสารที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ

1) สารกำจัดก๊าซออกซิเจน (oxygen scavenger)

สารกำจัดก๊าซออกซิเจน เป็นสารที่ช่วยป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลิตผลเกษตรเสื่อมคุณภาพ วิตามินลดลง เกิดการเปลี่ยนสี กลิ่น และรสชาติ เช่น ปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) ทำให้ผลิตผลเปลี่ยนสี ปฏิกิริยาการออกซิเดชันของไขมัน ที่ทำให้ผลิตผลที่มีไขมันและน้ำมันสูงเกิดกลิ่นหืน รวมทั้งป้องกันการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน โดยมีรายงานการใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศ สารเคมีที่ใช้กำจัดหรือดูดซับก๊าซออกซิเจน ได้แก่ สารประกอบเหล็ก ผงทองแดง แพลทินัม เกลือโลหะ ไนลอน-MXD6 กรดแอสคอบิก การใช้งานนิยมบรรจุสารเคมีดังกล่าวในซองขนาดเล็ก (sachet) แล้ววางไว้ในบรรจุภัณฑ์หลัก หรือใช้เติมเป็นส่วนผสมในฟิล์มที่เป็นบรรจุภัณฑ์ ปัจจุบันมีการผลิตออกมาจำหน่ายและใช้งานทางการค้าแล้ว ทั้งในรูปแบบซองขนาดเล็กและสติกเกอร์ (ภาพที่ 4.6)

(a)



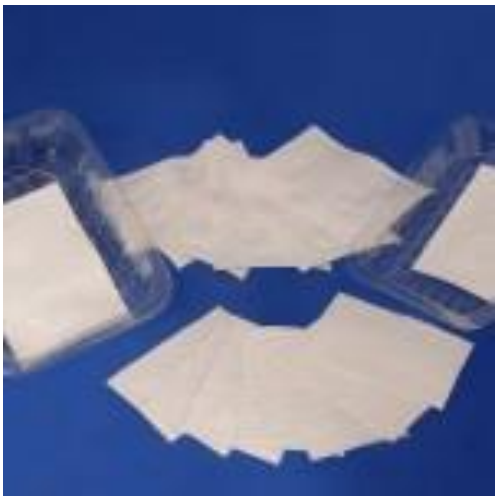
(b)

ที่มา: Katagi, 2014

ภาพที่ 4.6 สารกำจัดก๊าซออกซิเจนในรูปแบบซองขนาดเล็ก (a) และในรูปแบบสติ๊กเกอร์ (b)

2) สารกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide scavengers)

สารกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีหลายชนิด เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ ซิลิกาเจล การใช้งานโดยทั่วไปนิยมบรรจุอยู่ในซองขนาดเล็กหรือเคลือบบนแผ่นเซลลูโลส (ภาพที่ 4.7) แล้วนำไปวางในบรรจุภัณฑ์หลัก นิยมใช้กับกาแฟสดหรือกาแฟคั่วบด ผักและผลไม้สด เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลทำให้สีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป



ที่มา: Pomona, 2017

ภาพที่ 4.7 บรรจุภัณฑ์ดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3) สารกำจัดเอทิลีน (ethylene scavenger)

สารกำจัดเอทิลีนมีลักษณะการทำงาน 2 แบบคือ ใช้สารเคมีทำปฏิกิยากับก๊าซเอทิลีน และดูดซับก๊าซเอทิลีนไว้ในโมเลกุลของสารกำจัด เนื่องจากเอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งที่ช่วยเร่งอัตราการเสื่อมสภาพของ

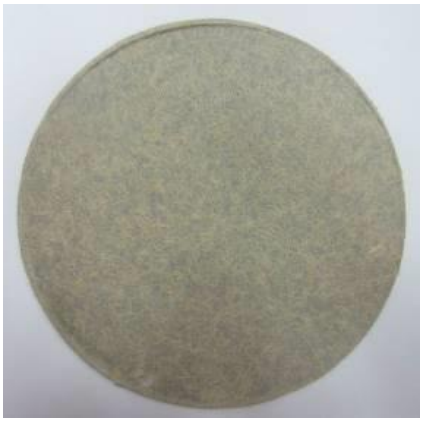
พืช โดยปกติการผลิตเอทิลีนจะมีปริมาณต่ำ แต่เมื่อผลไม้สุกหรือถูกกระทบกระเทือนจะเกิดการเร่งกระบวนการสร้างเอทิลีนเพิ่มมากขึ้น เอทิลีนจะไปกระตุ้นเนื้อเยื่อพืชให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้น กระตุ้นให้เกิดการสุก ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาผักและผลไม้สั้นลง สารกำจัดเอทิลีนนิยมใช้กับพืชผักผลไม้เพื่อช่วยชะลอการสุก และใช้กับดอกไม้เพื่อป้องกันดอกร่วง ซึ่งผักและผลไม้แต่ละชนิดผลิตเอทิลีนได้แตกต่างกัน เช่น มะม่วง กล้วยหอม มังคุด มะเขือเทศ ทุเรียน อยู่ในกลุ่มผลิตก๊าซเอทิลีนได้ปานกลาง คือ ผลิตได้ในอัตรา 1.0-10.0 ไมโครลิตร/กิโลกรัม/ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

สารเคมีและวัสดุที่สามารถกำจัดก๊าซเอทิลีนได้มีหลายชนิด เช่น ด่างทับทิมหรือโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) และ activated clays/zeolite เป็นต้น ที่นิยมใช้กันและมีออกมาจำหน่ายทางการค้าเป็นจำนวนมาก คือ ด่างทับทิมที่บรรจุใส่ซองขนาดเล็ก (ภาพที่ 4.8) ใช้งานโดยนำมาวางในบรรจุภัณฑ์หลักของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการยืดอายุการเก็บรักษา

ที่มา: Lal, 2016และ Retarder, 2017

ภาพที่ 4.8 สารกำจัดก๊าซเอทิลีนชนิดด่างทับทิมที่ถูกบรรจุอยู่ในซองขนาดเล็ก

ส่วนถ่านกัมมันต์ เป็นวัสดุที่มีรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในจำนวนมากกว่า 400 ตารางเมตร/กรัม ทำให้อนุภาคของสารและโมเลกุลของก๊าซสามารถเกิดปฏิกิริยาหรือถูกกักอยู่ภายในรูพรุนได้ โดยส่วนมากจะผสมลงในเนื้อบรรจุภัณฑ์ เช่น กระดาษดูดซับเอทิลีน (ภาพที่ 4.9) ได้ทดลองผสมถ่านกัมมันต์ลงในกระดาษที่ผลิตจากเปลือกทุเรียน แล้วนำไปห่อผลมะม่วงน้ำดอกไม้ พบว่า สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิห้องได้นาน 15 วัน ใกล้เคียงกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า และมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซเอทิลีนได้มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงแรกของการดูดซับ



ภาพที่ 4.9 กระดาษดูดซับที่ใช้ถ่านกัมมันต์ผสมในเนื้อกระดาษเพื่อเป็นตัวดูดซับเอทิลีน

นอกจากนี้ยังมีการผลิตสารกำจัดเอทิลีนออกมาในรูปแบบสติกเกอร์ เมื่อต้องการใช้งานจึงนำมาติดไว้ในบรรจุภัณฑ์หลัก (ภาพที่ 4.10) และการผลิตเป็นฟิล์มกำจัดก๊าซเอทิลีนเพื่อชะลอการสุกของผลไม้

ที่มา: Sirane, 2017

ภาพที่ 4.10 สติกเกอร์กำจัดก๊าซเอทิลีน

4) สารกำจัดจุลินทรีย์ (antimicrobial)

เป็นสารที่หยุดหรือลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ช่วยรักษาคุณภาพของผักและผลไม้ให้นานขึ้น มีรูปแบบของการนำไปใช้ ดังนี้

1) ซองหรือแผ่นปลดปล่อยสารระเหย เช่น ซองปลดปล่อยเอทานอล (ethanol emitters) โดยเอทานอลจะถูกดูดซับอยู่ในวัสดุตัวพาหรือถูกห่อหุ้มไว้ด้วยเทคนิคเอนแคปซูเลชั่น แล้วบรรจุไว้ในซองขนาดเล็กหรือผสมลงในบรรจุภัณฑ์โดยตรง

2) แผ่นปลดปล่อยก๊าซ ใช้ควบคุมการเจริญของราที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียของผลไม้

3) ฟิล์มเคลือบสารต้านจุลินทรีย์ นิยมใช้กับสารต้านจุลินทรีย์ที่ไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิ โดยสารต้านจุลินทรีย์จะถูกเติมลงในสารเคลือบและนำมาเคลือบบนแผ่นฟิล์มอีกครั้ง เช่น ไนซิน/เซลลูโลส อีเทอร์ เคลือบบนฟิล์มพอลิเอทิลีน

4) ฟิล์มดูดซับต่อต้านจุลินทรีย์ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งนอกเหนือจากการเคลือบ เพื่อให้สารต้านจุลินทรีย์ที่ไวต่อความร้อน สามารถเติมลงไปในฟิล์มได้ โดยต้องมีการปรับแต่งโครงสร้างของพอลิเมอร์

5) ฟิล์มเกาะติดต่อต้านจุลินทรีย์ ทำโดยให้สารต่อต้านจุลินทรีย์เกาะติดพอลิเมอร์โดยอาศัยพันธะโควาเลนต์หรือพันธะไอออนิค ซึ่งต้องอาศัยหมู่ฟังก์ชั่นของทั้งสารต่อต้านจุลินทรีย์และพอลิเมอร์

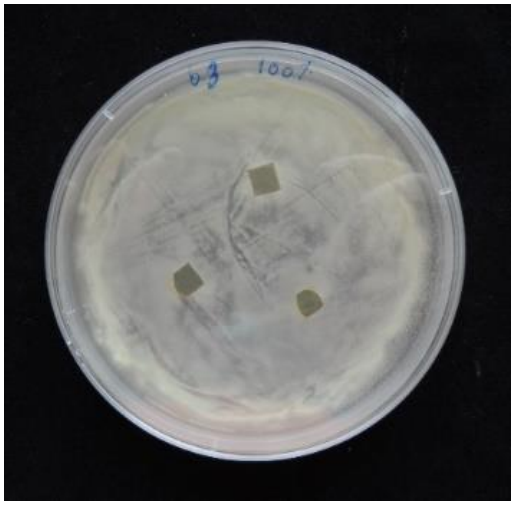
6) ฟิล์มแต่งเติมต่อต้านจุลินทรีย์ เป็นการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ลงไปในฟิล์มพลาสติกโดยตรง ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้สารต่อต้านจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้นประมาณ 0.1-5.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

7) ฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์โดยกำเนิด ได้แก่ พอลิเมอร์ที่มีประจุบวก เช่น พอลิแอลไลซีนและไคโตรแซน โดยประจุบวกจะก่อให้เกิดการจับตัวของเซลล์ ทำให้เกิดการรั่วของสารสำคัญภายในเซลล์ของจุลินทรีย์

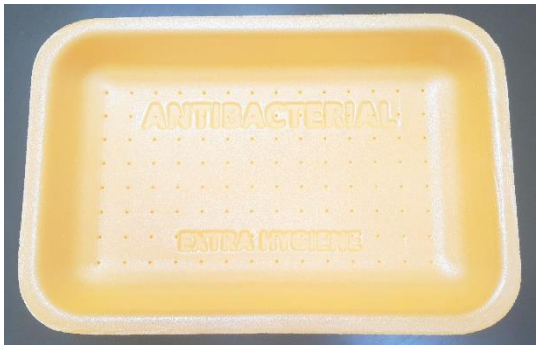
8) ฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ดัดแปรพื้นผิว เป็นการดัดแปรพื้นผิวของพอลิเมอร์ให้มีคุณสมบัติต่อต้านจุลินทรีย์

สารยับยั้งจุลินทรีย์ที่นิยมใช้และได้รับการอนุมัติจากองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา ได้แก่ ซิลเวอร์ไอออน และซีโอมิค เป็นต้น ซึ่งได้มีการผลิตออกมาจำหน่ายทางการค้าแล้ว

นอกจากนี้กรมวิชาการเกษตรยังมีการวิจัยใช้สารสกัดสมุนไพร น้ำมันหอมระเหย หรือสารจากธรรมชาติเป็นตัวยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในบรรจุภัณฑ์ เช่น การใช้น้ำคั้นกระเทียมควบคุมเชื้อราและสาร อะฟลาทอกซินในพริก การใช้สารสกัดจากเปลือกมังคุดเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อรา และการงอกของสปอร์เชื้อสาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วง การพัฒนาแผ่นฟิล์มหอมระเหยเพื่อลดการปนเปื้อนของอะฟลาทอกซินในพริกแห้ง การพัฒนาบรรจุภัณฑ์กระดาษต่อต้านการเจริญของจุลินทรีย์โดยใช้น้ำมันกานพลูเป็นสารเคลือบ และการผลิตฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซานซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Aspergillus flavus* สายพันธุ์ A39 (ภาพที่ 4.11) โดยรูปแบบการใช้งาน นอกจากผลิตเป็นฟิล์มต้านจุลินทรีย์แล้วยังผลิตในรูปแบบสติกเกอร์ติดไว้กับบรรจุภัณฑ์หลัก ผลิตเป็นถาดโฟมต้านจุลินทรีย์ (ภาพที่ 4.12a) และผลิตเป็นแผ่นกระดาษต้านจุลินทรีย์ (ภาพที่ 4.12b) ซึ่งสามารถใช้งานได้กับผลิตภัณฑ์หลายชนิด



ภาพที่ 4.11 ฟิล์มต้านจุลินทรีย์จากแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซานอัตราส่วน 1:1 ยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Aspergillus flavus* สายพันธุ์ A39 ในอาหาร PDA



(a)

(b)

ที่มา: Whitworth, 2015 และ fenugreen, 2012

ภาพที่ 4.12 บรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ในลักษณะต่าง ๆ แบบถาดโฟม (a) และแบบแผ่นกระดาษ (b)

5) สารดูดซับความชื้น (moisture absorbers)

สารดูดซับความชื้น เป็นสารที่ช่วยควบคุมความชื้น เพื่อป้องกันการเน่าเสียของผักและผลไม้จากเชื้อจุลินทรีย์ สารเคมีที่นิยมใช้ เช่น ซิลิกาเจล activated clays โดยสารดูดซับความชื้นจะถูกบรรจุอยู่ในซองขนาดเล็ก (ภาพที่ 4.13) การเลือกใช้สารดูดซับความชื้นจะต้องพิจารณาจากปัจจัยต่อไปนี้

1) ขนาดและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

2) อายุการเก็บรักษาที่ต้องการ

3) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในบริเวณที่วางผลิตภัณฑ์

4) อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของบรรจุภัณฑ์

5) ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์

6) การตอบสนองต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์

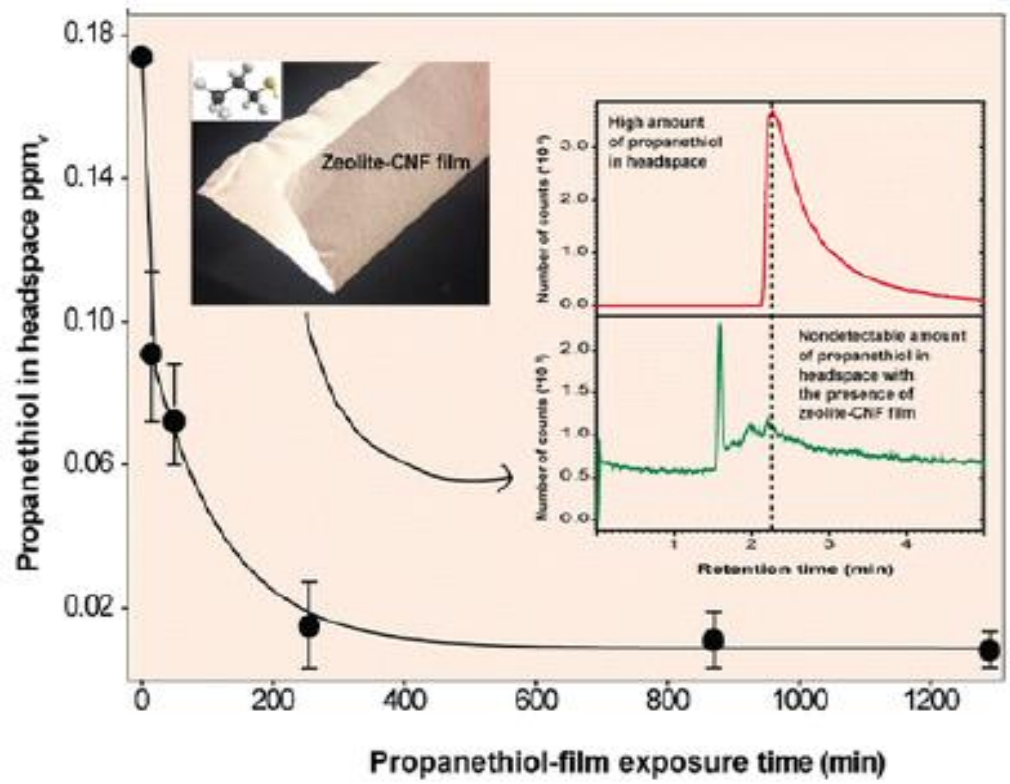
ที่มา: Absorb King, 2016

ภาพที่ 4.13 ลักษณะของสารดูดซับความชื้นแบบซอง

6) สารดูดซับรส/กลิ่น (flavor/odor absorbers)

สารดูดซับรส/กลิ่น เป็นสารที่ช่วยกำจัดหรือดูดซับกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของพอลิเมอร์ (polymer oxidation) ของบรรจุภัณฑ์ โดยสารเคมีที่ใช้ เช่น ถ่านกัมมันต์ ซีโอไลต์ กรดซิตริก เซลลูโลสไตรอะซิเตท เกลือของเหล็ก โดยส่วนมากสารเคมีดังกล่าวจะถูกผสมอยู่ในตัวบรรจุภัณฑ์ หรือเป็นบรรจุภัณฑ์อีกชั้นหนึ่งของบรรจุภัณฑ์หลัก นิยมใช้กับผลไม้

นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาฟิล์มคอมโพสิทที่ผสมกันระหว่างนาโนเซลลูโลสกับซีโอไลต์(nanocellulose-zeolite composite films) เพื่อใช้กำจัดกลิ่นของผักและผลไม้ที่มีกลิ่นแรงในระหว่างการขนส่ง และการเก็บรักษา เช่น หอม ทุเรียน (ภาพที่ 4.14)



ที่มา: Lamanna, 2017

ภาพที่ 4.14 ประสิทธิภาพการการกำจัดกลิ่นของฟิล์มคอมโพสิทระหว่างนาโนเซลลูโลสกับซีโอไลต์ (ซีโอไลต์ 89% w/w)

7) สารต้านการออกซิเดชั่นหรือสารปลดปล่อยสารต้านออกซิแดนส์ (antioxidants/anti-oxidant release)

สารต้านทานการออกซิเดชั่น เช่น สารสกัดโรสแมรี่ buthylated hydroxytolune (BHT) buthylated hydroxyanisole (BHA) จะถูกผสมอยู่ในฟิล์มบรรจุภัณฑ์ ช่วยป้องกันการออกซิเดชั่นของไขมันในอาหาร นิยมใช้กับถั่ว

4.3. บรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ (intelligent packaging)

เป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีความสามารถพิเศษมากกว่าบรรจุภัณฑ์ทั่วไป เป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีตัวบ่งชี้อยู่ภายนอกหรือภายใน ซึ่งจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับตัวผลิตภัณฑ์ หรือบันทึกการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมภายในหรือภายนอกผลิตภัณฑ์ได้

วัตถุประสงค์การประยุกต์ใช้บรรจุภัณฑ์อัจฉริยะสำหรับผลิตผลสด มีดังนี้

1) บ่งบอกคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตผลสด จากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของผลิตผลหรือสภาพแวดล้อมภายในบรรจุภัณฑ์ เช่น การใช้ตัวตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของเวลาและอุณหภูมิ (TTIs) การตรวจจับจุลินทรีย์ที่ก่อโรค

2) บ่งบอกหลักฐานของการปนเปื้อนภายในบรรจุภัณฑ์ หรือบอกความสมบูรณ์ของการบรรจุ เช่น บอกการฉีกขาด หรือแตกของบรรจุภัณฑ์

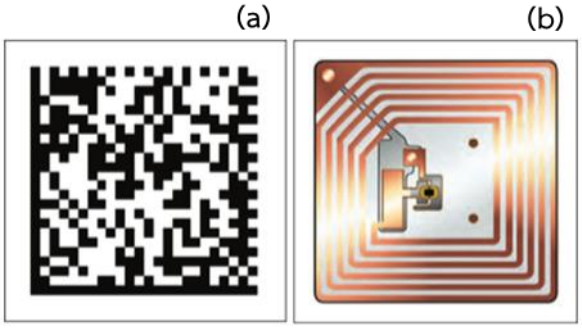
3) บันทึกประวัติของผลิตภัณฑ์ระหว่าง การขนส่ง การเก็บรักษา หรือวางจำหน่าย เพื่อสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ เช่น การใช้ฉลากอัจฉริยะแบบป้ายอิเล็กทรอนิกส์อาร์เอฟไอดี (RFID tag) ซึ่งเป็นป้ายที่สามารถอ่านค่าได้โดยผ่านคลื่นวิทยุ และสามารถให้การรับรองผลิตภัณฑ์ได้

4.3.1 รูปแบบของบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 3 กลุ่ม ได้แก่

1) ฉลากอัจฉริยะแบบป้ายอิเล็กทรอนิกส์อาร์เอฟไอดี (radio frequency identification tag: RFID tag)

เป็นป้ายที่สามารถอ่านค่าได้โดยผ่านคลื่นวิทยุจากระยะห่างเพื่อตรวจ ติดตาม และบันทึกข้อมูลที่ติดอยู่กับป้าย ซึ่งนำไปฝังไว้ในหรือติดอยู่กับวัสดุต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ กล่อง ทำให้สามารถติดตามข้อมูลของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ว่า คืออะไร ผลิตที่ไหน ใครเป็นผู้ผลิต ผลิตอย่างไร ผลิตวันไหน เมื่อไร ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ รวมถึงตำแหน่งของผลิตภัณฑ์ว่าอยู่ในตำแหน่งใด โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการสัมผัสหรือเห็นผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ก่อน

แถบป้าย RFID มีข้อได้เปรียบเหนือกว่าบาร์โค้ดหลายข้อ เช่น ความละเอียดของข้อมูลเพราะบรรจุข้อมูลได้มากกว่า ความเร็วในการอ่านข้อมูลจากแถบป้าย สามารถอ่านข้อมูลได้พร้อมกันหลายแถบ ส่งข้อมูลไปยังเครื่องรับที่อยู่ในระยะไกลได้ และสามารถเขียนทับข้อมูลได้ จึงทำให้นำกลับมาใช้ใหม่ได้ ความเสียหายของแถบป้ายมีน้อยเนื่องจากไม่จำเป็นต้องติดไว้ภายนอกของบรรจุภัณฑ์ ระบบความปลอดภัยสูงทำให้ปลอมแปลงได้ยาก นอกจากนี้ยังทนทานต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน และการกระทบกระแทกอีกด้วย (ภาพที่ 4.15)



ที่มา: ASAP Systems, 2016

ภาพที่ 4.15 ตัวอย่างแถบป้ายบาร์โค้ดแบบ data matrix (a) และแถบป้าย RFID (b)

การใช้แถบป้าย RFID มีประโยชน์สำหรับระบบการตรวจสอบคุณภาพผลิตผลสดแบบย้อนกลับ (traceability system) ตั้งแต่แหล่งผลิตจนกระทั่งถึงตลาดปลายทาง ทำให้ทราบข้อมูลของผลิตผลสดนั้น ๆ ว่าเก็บเกี่ยวเมื่อไร ขนส่งอย่างไร อุณหภูมิขณะขนส่งหรือเก็บรักษาเป็นอย่างไร อายุการเก็บรักษานานเท่าไร แล้วนำข้อมูลเหล่านี้เป็นแนวทางในการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพ การวางจำหน่ายผลิตผลสดในแต่ละครั้งของการเก็บเกี่ยว ให้เป็นไปตามลำดับการผลิต โดยใช้หลักเข้าก่อนออกก่อน หรือ FIFO (first in - first out) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลสด ตัวอย่างของผลิตผลที่มีการใช้แถบป้าย RFID เช่น

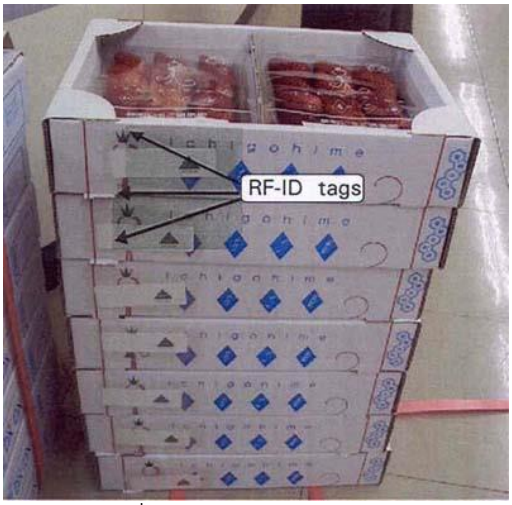
ก. การใช้แถบป้าย RFID เพื่อตรวจสอบคุณภาพย้อนกลับของผลิตผลสด ได้แก่ สตรอว์เบอร์รี (ภาพที่ 4.16-4.18) หรือผักโขม (ภาพที่ 4.19) จากฟาร์มจนถึงร้านค้าส่ง

ที่มา: Mohammed, 2015

ภาพที่ 4.16 การใช้แถบป้าย RFID ติดที่ด้านข้างของบรรจุภัณฑ์สตรอว์เบอร์รี

ที่มา: Claire, 2009

ภาพที่ 4.17 การวางแถบป้าย RFID บนบรรจุภัณฑ์สตรอว์เบอร์รีก่อนการกระจายสินค้า



ที่มา: Sugahara, 2009

ภาพที่ 4.18 แถบป้าย RFID ด้านข้างกล่องกระดาษบรรจุภัณฑ์สตรอว์เบอร์รี ณ ตลาดค้าส่ง

ที่มา: Sugahara, 2009

ภาพที่ 4.19 บรรจุภัณฑ์ผักโขมที่มีแถบป้าย RFID

ข. การประยุกต์ใช้แถบป้าย RFID กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการตรวจสอบย้อนกลับคุณภาพสินค้าเกษตรในประเทศญี่ปุ่น (ภาพที่ 4.20)

ที่มา: Sugahara, 2009

ภาพที่ 4.20 การอ่านแถบป้าย RFID ที่ติดด้านข้างบรรจุภัณฑ์ระหว่างรอการขนส่งโดยผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

2) ฉลากอัจฉริยะแบบบ่งชี้ (indicator) คุณภาพผลิตภัณฑ์

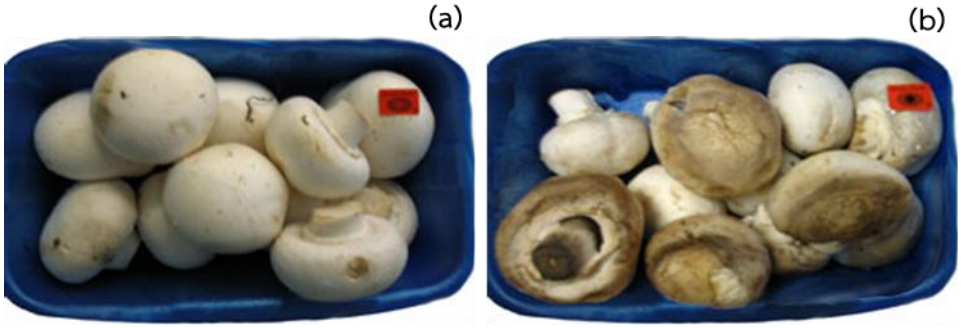
เป็นฉลากที่มีการพัฒนาเพื่อบ่งชี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ละเอียดมากขึ้น จากเดิมเป็นการให้ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสภาวะในการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ เช่น อุณหภูมิ เวลา ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นข้อมูลทางอ้อมในการบ่งชี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้รู้ระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์นั้นคงอยู่ได้ หรือฉลากบอกการรั่วซึมของบรรจุภัณฑ์ ต่อมาได้มีการพัฒนาฉลากบ่งชี้จนสามารถบอกถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง โดยการให้ข้อมูลที่มีการชี้เฉพาะเจาะจงถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์เมื่อผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมสภาพ เช่น สารประกอบต่าง ๆ ที่ระเหยออกมาจากผลิตภัณฑ์ ได้แก่ กรดที่เป็นสารอินทรีย์ แอลกอฮอล์ สารประกอบไนโตรเจน สารประกอบซัลฟิวริก เชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เป็นต้น

ฉลากอัจฉริยะแบบบ่งชี้แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

ก. ตัวบ่งชี้ความสด (freshness indicator)

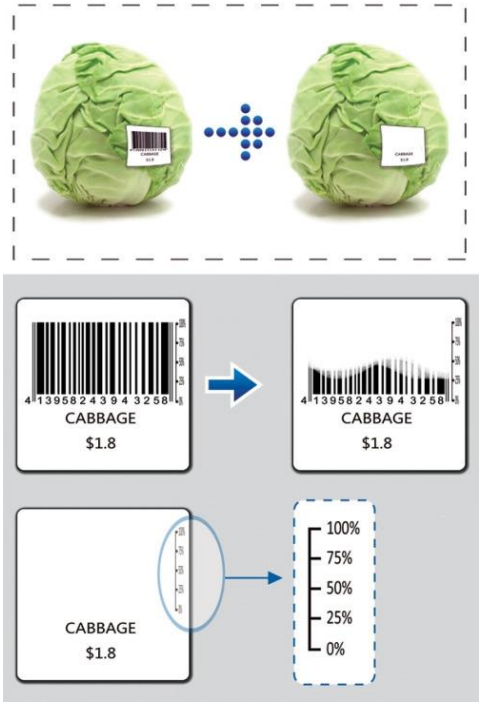
เป็นตัวบ่งชี้ความสดของอาหาร โดยสังเกตจากการเปลี่ยนสีที่ฉลากของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ความสดของอาหารได้หลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ อาหารทะเล ระหว่างที่วางจำหน่ายอาหาร หากอาหารเน่าเสียจะมีสารหรือก๊าซระเหยออกมา โดยจะเกิดปฏิกิริยาทำให้สีบนฉลากเปลี่ยนไป แสดงว่าอาหารไม่สด

ภาพที่ 4.21 แสดงตัวอย่างภาชนะบรรจุเห็ดที่มีสติกเกอร์ติดไว้เพื่อบอกความสด เมื่อผลิตผลสดยังมีความสด แถบสีของวงกลมที่อยู่ตรงกลางฉลากมีสีแดง แต่เมื่อเวลาผ่านไปความสดลดลง ส่วนวงกลมที่อยู่ตรงกลางฉลากจะมีสีดำ เป็นการบอกให้ทราบว่าไม่ควรบริโภคแล้ว และภาพที่ 4.22 แสดงฉลากบอกความสดโดยใช้การเปลี่ยนแปลงของบาร์โค๊ด หากบาร์โค๊ดเปลี่ยนสีไปจนไม่สามารถอ่านได้แสดงว่าไม่สด



ที่มา: Visegard University Association, 2017

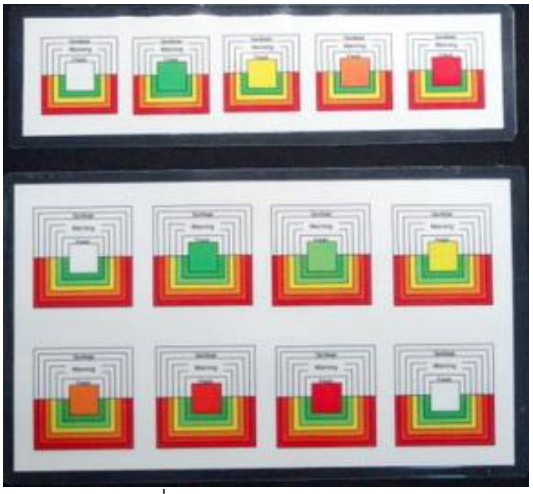
ภาพที่ 4.21 ฉลากบอกความสดบนบรรจุภัณฑ์ ขณะที่ผลิตผลยังมีความสดแถบสีตรงกลางของวงกลมมีสีแดง (a) และเมื่อความสดลดลง แถบสีตรงกลางของวงกลมเปลี่ยนเป็นสีดำ (b)



ที่มา: http://25.media.tumblr.com/tumblr_kzhjwdGHbn1qzpwi0o1_500.jpg

ภาพที่ 4.22 การใช้ฉลากบอกความสดในรูปแบบบาร์โค้ด

ในประเทศไทย ฉลากบ่งชี้ความสดได้มีการพัฒนาโดยทีมนักวิจัยจากคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นฉลากบอกความสดใหม่ของอาหารที่ทำจากแป้งขาวเจามีชื่อว่า “เคยู เฟรชเซ็นซ ” (KU FreshZense) การทำงานของฉลากอาศัยหลักการวัดปริมาณของสารเมทาบอไลทเพื่อทำปฏิกิริยากับสีย้อมผสม กอให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่บ่งบอกความเป็นกรด-ด่าง โดยนำสีย้อมมาผสมกับแป้งข้าวเจ้าหรือที่เรียกว่า “สตาร์ชข้าว” แล้วนำไปขึ้นรูปสี่เหลี่ยมคล้ายแผ่นฟิลมบาง ๆ จากนั้นนำไปเคลือบบนสติกเกอร์มีลักษณะเป็นแถบเทียบสี 4 ระดับ ซึ่งระดับของสีที่เทียบจะบอกลักษณะของอาหาร 4 ประเภท ได้แก่ สดใหม่ (สีเขียว) สด (สีเหลือง) เริ่มไม่สด (สีส้ม) และไม่ควรรับประทาน (สีแดง) (ภาพที่ 4.23) โดยจะทำการเคลือบแถบเทียบสีด้วยฟิล์มแป้งข้าวเจ้าอีกหนึ่งชั้น เพื่อป้องกันไม่ให้สีย้อมสัมผัสกับอาหารโดยตรง และเป็นชั้นดูดซับความชื้นจากผลิตภัณฑ์ โดยฉลากชนิดนี้สามารถบอกถึงความสดใหม่ของอาหารในบรรจุภัณฑ์ได้ดีกว่าฉลากบอกวันหมดอายุทั่วไป ง่ายต่อความเข้าใจ และการใช้งานสำหรับผู้บริโภค ทั้งยังให้ความแม่นยำ มีต้นทุนในการผลิตต่ำ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะทำจากแป้งข้าวที่สามารถย่อยสลายได้



ที่มา: ผู้จัดการออนไลน์, 2552

ภาพที่ 4.23 ฉลากบอกความสด “KU FreshZense” ดูความเปลี่ยนแปลงสีในช่องกลาง
(เขียว=สดใหม่ สีส้ม=เริ่มไม่สด สีแดง=ไม่ควรรับประทาน)

ข. ตัวบ่งชี้ความสุก (ripeness indicator)

นำมาใช้บอกระดับของความสุกในผลไม้ เพื่อลดปัญหาการเน่าเสียของผลไม้จากรอยช้ำซึ่งเกิดขึ้นจากการเลือกของผู้บริโภค ใช้หลักการความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสุกกับความหวาน ความกรอบ และรสชาติที่ผู้บริโภคต้องการ โดยการทำงานของตัวบ่งชี้ความสุก เป็นลักษณะของเซ็นเซอร์ตรวจจับกลิ่นหอมของผลไม้สุก เมื่อผลไม้มีความสุกมากขึ้นกลิ่นหอมยิ่งมากจะส่งผลให้ฉลากเปลี่ยนสีไปตามระดับการสุกของผลไม้นั้น ๆ ดังภาพที่ 4.24 แสดงให้เห็นถึงฉลากบ่งชี้ความสุกระดับต่าง ๆ จากสีของสติกเกอร์ที่ติดบนบรรจุภัณฑ์ เช่น สีแดงบ่งชี้ว่าผลไม้อยู่ในระยะที่มีความกรอบ สีส้มอยู่ในระยะที่มีเนื้อแน่น และสีเหลืองอยู่ในระยะที่มีความหวานฉ่ำ ทำให้ผู้ซื้อเลือกได้จากสีของสติกเกอร์ แทนการกดเลือกจากผลไม้โดยตรง

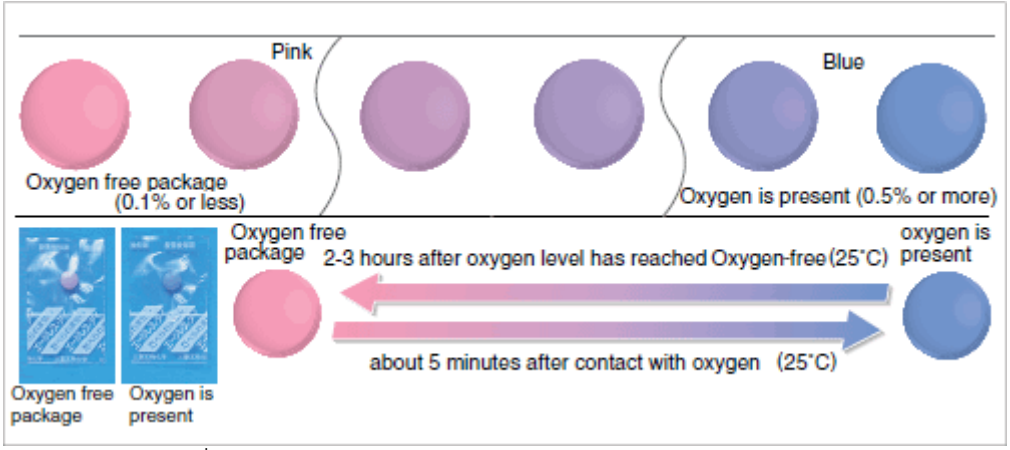
ที่มา: Ripesense Limited, n.d.

ภาพที่ 4.24 ฉลากบ่งชี้ความสุกระดับต่าง ๆ ด้วยสีของสติกเกอร์ที่ปรากฏบนบรรจุภัณฑ์

ค. ตัวบ่งชี้รอยรั่ว (leak indicator)

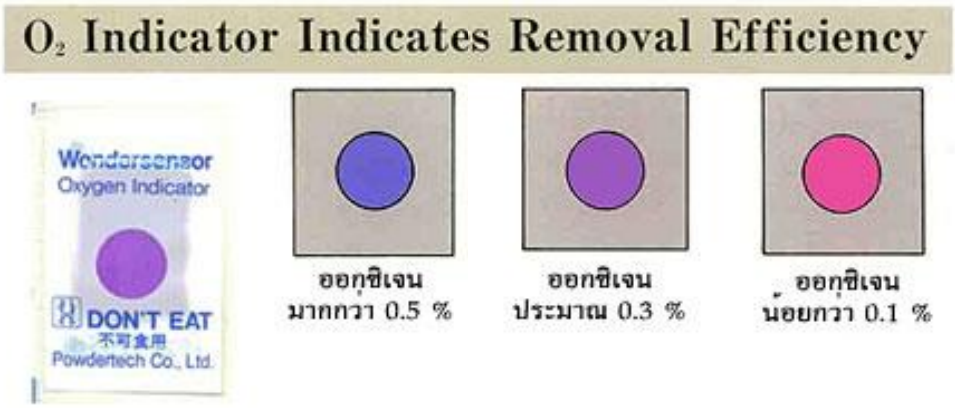
ใช้สำหรับบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุแบบสูญญากาศหรือแบบปรับสภาพบรรยากาศ ที่มีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนต่ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความสมบูรณ์ของรอยปิดผนึกของบรรจุภัณฑ์เพื่อป้องกันรอยรั่วที่อาจเกิดขึ้น และจะเป็นสาเหตุให้ผลิตผลสดเกิดการเสื่อมคุณภาพหรือเน่าเสียเร็วกว่าที่ประเมินไว้ จึงเป็นการสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคได้ในระดับหนึ่ง

ฉลากบ่งชี้รอยรั่วอาจใช้ร่วมกับบรรจุภัณฑ์ที่มีการใชวัตถุดูดซับออกซิเจน เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของวัตถุดูดซับออกซิเจนในระหวางการเก็บรักษา ฉลากประกอบด่วยสีย่อมที่มีประจุพร่อมสำหรับการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ เชน เมทิลีนบลู (methylene blue) สารประกอบแอลคาไลน เชน โซเดียมไฮดรอกไซด (sodium hydroxide) โดยเคลือบสีหรือสารประกอบเหล่านี้ไว้บนกระดาษหรือแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์แล้วนำไปติดที่บรรจุภัณฑ์ ถ่าบรรจุภัณฑ์นั้นมีปริมาณออกซิเจนซึมผานออกมา จะทำปฏิกิริยากับสีที่เคลือบไว้ ทำให้ฉลากเกิดการเปลี่ยนสี (ภาพที่ 4.25-4.26) ส่วนฉลากบ่งชี้รอยรั่วของกาซคารบอนไดออกไซด มีการนำมาใช้กับบรรจุภัณฑ์แบบ MAP เพื่อรักษาระดับความเขมขนของปริมาณกาซที่อยูภายใต้บรรจุภัณฑ์นั้น



ที่มา: Mitsubishi Gas Chemical Company, Inc., n.d.

ภาพที่ 4.25 ฉลากบ่งชี้รอยรั่วสำหรับบ่งชี้ปริมาณออกซิเจน



ที่มา: Janjaras Chem Supplied Co., Ltd., n.d.

ภาพที่ 4.26 ฉลากบ่งชี้รอยรั่ว “WonderSensor” สำหรับบ่งชี้ปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์

ง. ตัวบ่งชี้เวลา-อุณหภูมิ (time-temperature indicators: TTIs)

ฉลากบ่งชี้เวลา-อุณหภูมิ อาศัยการทำปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อเปลี่ยนสีของแถบสีตามเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ระหว่างการเก็บสินค้า เป็นการแสดงประวัติเวลา และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาหรือวางจำหน่าย ซึ่งฉลากจะมีการเปลี่ยนสีเมื่อสภาวะในการเก็บผลิตภัณฑอยู่ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิที่อ้างอิง ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยทั่วไปมีการนำฉลากบ่งชี้เวลา-อุณหภูมิมาใชกับอาหารประเภทเสื่อมเสียงาย เชน ปลาแชเย็น ผลิตภัณฑ์นม เนื้อสด เนื้อแชแข็ง ผักและผลไมแชแข็ง

ฉลากบ่งชี้เวลา-อุณหภูมิในทองตลาดมีหลายชนิดตามหลักการทำงานที่ต่างกัน บางชนิดใชหลักการซึมของผงสีผ่านกระดาษกรอง ในขณะที่บางชนิดใชถุงบรรจุสารละลายแบคทีเรียซึ่งจะเปลี่ยนสีเมื่ออยู่ในสภาวะที่

อุณหภูมิและเวลามาถึงจุดที่ตั้งคาไว้ บางชนิดใช้หลักการเกิดพอลิเมอรของโมโนเมอรที่สามารถเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงส่งผลให้สีเปลี่ยน หรือใช้การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์เมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่ง

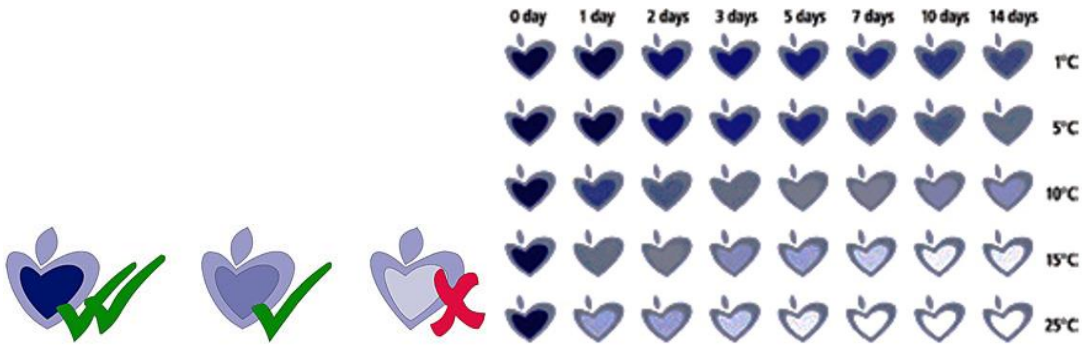
ตัวอย่างของฉลากบ่งชี้เวลา-อุณหภูมิ ที่มีนำมาใช้งานกับผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่

- ฉลากสำหรับชี้วัดอุณหภูมิ (ภาพที่ 4.27) เป็นผลิตภัณฑ์ในการตรวจสอบอุณหภูมิระหว่างการขนส่งและเก็บรักษาเพื่อเตือนให้ทราบว่าผลิตภัณฑ์นั้น ๆ มีการสัมผัสอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าที่กำหนดหรือไม่ โดยติดฉลากบนบรรจุภัณฑ์ของสินค้าระหว่างการเก็บรักษา หรือขนส่งเพื่อเป็นตัวชี้วัดการสัมผัสอุณหภูมิแวดล้อม เป็นการเตือนว่าควรต้องตรวจสอบคุณภาพสินค้า ซึ่งตัวชี้วัดอุณหภูมินี้มีหลายช่วงอุณหภูมิ และระยะเวลาให้เลือกใช้งาน ตั้งแต่ -15 องศาเซลเซียส ถึง 31 องศาเซลเซียส ตามวัตถุประสงค์หรือคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

ที่มา: 3M Thailand Ltd., 2017

ภาพที่ 4.27 ฉลากสำหรับชี้วัดอุณหภูมิ

- ฉลากสำหรับชี้วัดอุณหภูมิและเวลา (ภาพที่ 4.28) เป็นฉลากบ่งชี้เพื่อบอกคุณภาพ ความสดใหม่และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ โดยใช้สัญลักษณ์เป็นรูปแอปเปิลที่มีสีผลิตจากหมึกชนิดพิเศษ มีคุณสมบัติไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในสภาวะการเก็บรักษา สามารถบันทึกอุณหภูมิที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ซึ่งแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติและพฤติกรรมการเน่าเสีย ลูกแอปเปิ้ลสีน้ำเงินเข้มเป็นระดับสีอ้างอิงหมายถึงผลิตภัณฑ์มีความสดใหม่และเก็บรักษาในอุณหภูมิที่เหมาะสม จากนั้นสีของฉลากจะลดระดับความเข้มลงเมื่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงในระหว่างการเก็บรักษา



ที่มา: ศูนย์อัจฉริยะเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร, 2558

ภาพที่ 4.28 ฉลากสำหรับชี้วัดอุณหภูมิและเวลา โดยใช้การเปลี่ยนสีเพื่อบอกคุณภาพของผลิตภัณฑ์

3) ฉลากอัจฉริยะแบบเซ็นเซอร์ (sensors) ตรวจจับสภาพแวดล้อม

เป็นฉลากที่ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับสภาวะแวดล้อมเพื่อบ่งบอกคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ตัวตรวจจับจุลินทรีย์ หรือ ไบโอเซ็นเซอร์ (bio-sensor) และตัวตรวจจับก๊าซ (gas-sensor)

ก. ไบโอเซ็นเซอร์ เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดทางชีวภาพที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วน คือ ส่วนของสารชีวภาพ และส่วนของตัววัดสัญญาณ โดยที่สารชีวภาพต้องมีความจำเพาะเจาะจงต่อสารที่ต้องการวัด ตัวอย่างของสารชีวภาพ ได้แก่ เอนไซม์ จุลินทรีย์ แอนติเจน แอนติบอดี เป็นต้น เมื่อสารชีวภาพทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการวัดจะทำให้เกิดเป็นสัญญาณที่สามารถตรวจจับได้ด้วยตัววัดสัญญาณที่เหมาะสม ตัวอย่างของฉลากไบโอเซ็นเซอร์ ได้แก่

- การประยุกต์ใช้ไบโอเซ็นเซอร์โดยการนำ specific-pathogen antibody มาติดกับเมมเบรน ที่เป็นส่วนหนึ่งของบาร์โค๊ด เมื่อมีการปนเปื้อนของเชื้อ เช่น *Salmonella sp*. *Escherichia coli* หรือ *Listeria monocytogenes* จะทำให้บาร์โค๊ดเปลี่ยนเป็นสีดำ และไม่สามารถอ่านได้โดยเครื่องสแกน เป็นการแสดงว่าอาหารนี้เน่าเสียแล้ว (ภาพที่ 4.29)

ที่มา: http://www.tappi.org/content/events/09PLACESY/Symp_Papers/yezza.pdf

ภาพที่ 4.29 การใช้ไบโอเซ็นเซอร์ในรูปแบบที่เคลือบไว้ที่บาร์โค้ด

- การใช้ไบโอเซ็นเซอร์ชนิด diamine oxidase (DAO) เพื่อตรวจวัดปริมาณสารเอมีน (amine) และใช้ไบโอเซ็นเซอร์ชนิด polyamine oxidase (PAO) เพื่อตรวจวัดปริมาณสารสเปอร์มิดีน (spermidine) และสเปอร์มีน (permine) ในการบอกคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลไม้บางชนิดในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ เช่น ผลแอปริคอท ผลเชอรี่หวาน โดยผลิตผลสดที่มีปริมาณเอมีน สเปอร์มิดีน และสเปอร์มีนในบรรจุภัณฑ์สูงกว่า แสดงว่ามีคุณภาพที่ดีกว่าและสามารถเก็บรักษาได้นานกว่า

ข. ตัวตรวจจับก๊าซ ที่มีการใช้ทั่วไป ได้แก่ ออกซิเจนเซ็นเซอร์ มีหลักการตรวจวัด คือ ต้องมีตัวรับออกซิเจน และใช้ตัววัดสัญญาณ เพื่อวัดและอ่านค่าปริมาณออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ เช่น amperometric oxygen sensors (electrochemical sensors) fluorescence oxygen sensors (optical sensors) และ piezoelectric crystal sensors (ภาพที่ 4.30)

ที่มา: Evangelyn and Yun, 2009

ภาพที่ 4.30 ออกซิเจนเซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัดปริมาณออกซิเจน

บทที่ 5
แนวโน้มบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้ในปัจจุบันและอนาคต

การนำบรรจุภัณฑ์มาใช้ในการบรรจุผักและผลไม้ มีความจำเป็นมากในทุกขั้นตอนการผลิต ตั้งแต่ผู้ผลิต ผู้จำหน่าย จนถึงมือผู้บริโภค เพราะช่วยลดความสูญเสียของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น ทำให้ลดการเน่าเสียและปริมาณขยะลง การพัฒนาเทคโนโลยีการบรรจุและบรรจุภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับสังคมมนุษย์ ลักษณะโครงสร้างและรูปแบบการดำเนินชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไปของผู้บริโภค ส่งผลให้ความต้องการบรรจุภัณฑ์เปลี่ยนแปลงตาม จึงทำให้มีการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ เรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน สำหรับแนวโน้มบรรจุภัณฑ์ในปัจจุบันและอนาคตสรุปได้ดังนี้

1. การเปลี่ยนมาใช้พลาสติกชีวภาพมากขึ้น ซึ่งพลาสติกชีวภาพเป็นพลาสติกที่ผลิตจากพืชและจุลินทรีย์ จึงสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ก่อให้เกิดสารพิษตกค้างในระบบนิเวศน์ และยังช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปัจจุบันประชากรเริ่มให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น ทำให้บรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพได้รับความนิยม เช่น PLA (polylactic acid) ซึ่งผลิตมาจากพืช เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง มันฝรั่ง ข้าว อ้อย โดยมีกระบวนการผลิตจากการใช้เอนไซม์ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลกลูโคส แล้วจึงนำไปหมักเพื่อให้ได้กรดแลคติก จากนั้นจึงนำกรดแลคติกที่ได้ไปผ่านกระบวนการพอลีเมอร์ไรเซชั่น (polymerization) จะได้เป็นเม็ดพลาสติกชีวภาพที่มีคุณสมบัติพิเศษ สามารถย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติภายหลังจากการใช้งาน

2. บรรจุภัณฑ์ที่มีความสามารถควบคุมการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซต่าง ๆ เช่น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ หรือจุลินทรีย์ และกลิ่นได้ดีขึ้น โดยการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีศาสตร์ด้านวัสดุนาโนมาผลิตบรรจุภัณฑ์ มีการเติมสารเติมแต่งหรือสารที่มีอนุภาคระดับนาโนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น การพัฒนาฟิล์มพลาสติกนาโนคอมโพสิทที่มีความสามารถในการสกัดกั้นการผ่านของก๊าซบางชนิดและไอน้ำ เพื่อใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มมูลค่าการส่งออก หรือการนำอนุภาคนาโนมาใช้ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์

3. บรรจุภัณฑ์ฉลาด เป็นบรรจุภัณฑ์ที่รวมคุณสมบัติทั้งบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ และบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะไว้ด้วยกัน โดยบรรจุภัณฑ์แอคทีฟเน้นการปกป้องและควบคุมสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ ป้องกันการผ่านเข้า-ออกของก๊าซต่าง ๆ ทำให้ผลิตผลสดมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น ส่วนบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะเป็นนวัตกรรมการบรรจุภัณฑ์ที่ผู้ผลิตอาหารให้ความสนใจ เพราะต้องการให้ผลิตผลสดใหม่และปลอดภัย บรรจุภัณฑ์ชนิดนี้จะมีตัวบ่งชี้ติดอยู่ โดยทั่วไปจะบ่งชี้ถึงความสดและความสุก-แก่ของผักและผลไม้ เวลาและอุณหภูมิเก็บรักษาที่เหมาะสม การรั่วซึมของบรรจุภัณฑ์ ซึ่งมักจะถูกพัฒนาในรูปแบบของโลหะชิ้นเล็ก ๆ หรือชิป (chip) ติดบนบรรจุภัณฑ์ โดยตัวบ่งชี้จะเปลี่ยนสีเมื่อสภาวะของผลิตผลหรือบรรจุภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป เป็นต้น

4. บรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ คือ การใช้สารต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial agent) ร่วมกับระบบการบรรจุ ซึ่งอาจใช้ในรูปของการบรรจุสารต้านจุลินทรีย์ การแต่งเติมสารต้านจุลินทรีย์ในวัสดุบรรจุ หรือการใช้

พอลิเมอร์ที่มีสมบัติต้านจุลินทรีย์ รวมถึงการพัฒนาฟิล์มบรรจุอาหารที่เติมสารธรรมชาติที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น การผลิตแผ่นฟิล์มบรรจุอาหารจากไคโตซานที่มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำและก๊าซต่าง ๆ และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้

5. บรรจุภัณฑ์ที่มีลักษณะปรากฏที่ดี ดึงดูดใจ และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในด้านต่าง ๆ เช่น พื้นผิว ความใส หรือให้ความสำคัญกับความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ เน้นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้งานง่าย เปิดง่าย สะดวก มีขนาดพอเหมาะกับการรับประทานในแต่ละครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับวิถีชีวิตของคนยุคใหม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วยลดเวลาในการประกอบอาหาร เป็นต้น นอกจากนี้ บรรจุภัณฑ์ต้องรักษาคุณภาพผลิตผลสดได้นานในสภาพที่เก็บรักษาง่าย มีความสวยงาม และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือสามารถย่อยสลายได้ง่าย

บรรณานุกรม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2555. ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้: การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์. (21 มิถุนายน 2557). สืบค้นจาก: http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR31.pdf.

งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2550. การบรรจุอาหาร. เอส พี เอ็ม การพิมพ์. กรุงเทพฯ. 389 หน้า.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 396 หน้า.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2544. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 396 หน้า.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2547. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 396 หน้า.

ดวงฤทัย ธำรงโชติ. 2550. เทคโนโลยีภาชนะบรรจุ. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 184 หน้า.

บริษัท พรปณิธานแพ็ค จำกัด. ม.ป.ท. ประเภทของกล่องลูกฟูก. (16 พฤษภาคม 2560). สืบค้นจาก: http://www.pt-pack.com/กล่องกระดาษลูกฟูก/ประเภทของกล่องลูกฟูก.html.

บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. ม.ป.ท. ยืดอายุผักและผลไม้สดด้วยบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศ. (25 กุมภาพันธ์ 2559). สืบค้นจาก: https://www.mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge/1389-.

บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. ม.ป.ท. สาระน่ารู้: ถ่านปลุกฤทธิ์. (25 กุมภาพันธ์ 2559). สืบค้นจาก: https://www.mtec.or.th/academic- services/mtec-knowledge/552-2016-02-09-03-10-28.

บุษกร ภู่แส. 2557. พลาสติกชีวภาพยืดอายุผักผลไม้ เป็นความก้าวหน้าล่าสุดของแวดวงผลิตภัณฑ์รักโลก. (15 มีนาคม 2560). สืบค้นจาก: http://www.bangkokbiznews.com/news/detail/598073.

ปิยวรรณ ปนิทานเต. 2553. บรรจุภัณฑ์ล้ำสมัยเพื่อโลกยุคใหม่: ฉลากอัจฉริยะบอกสถานะผลิตภัณฑ์. วารสารเทคโนโลยีวัสดุ (เดือนเมษายน-มิถุนายน). 59: 37-43. (15 มีนาคม 2560). สืบค้นจาก: https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/countfavor_column.asp?a=load&fileid=406&Run_no=dlkejlhsz.

ผู้จัดการออนไลน์. 2552. อาหารสดใหมแคไหน บอกไดดวย “สติ๊กเกอรอัจฉริยะจากแปงขาวเจา”. (16 มีนาคม 2560). สืบค้นจาก: http://www.manager.co.th/Campus/ViewNews.aspx?NewsID=9520000137176.

รัติยา พงศพิสุทธา ชัยณรงค รัตนกรีฑากุล บุชยา โพธิกิจ และรณภพ บรรเจิดเชิดชู. 2554. การทดสอบเบื้องต้นของสารสกัดเปลือกมังคุดตอการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides.* ว.วิทย. 42 (3) (พิเศษ): 73-76.

วาณี ชนเห็นชอบ. ม.ป.ป. เทคโนโลยีการบรรจุอาหาร. (15 มีนาคม 2560). สืบค้นจาก: http://synergysupply.co.th/docs/lamination_knowledge.pdf.

ศักดิ์ชัย วิทยาอารีย์กุล อุทัย วิชัย สุภาพร ล้ำเลิศธน และโสภิต ธิราช. 2553. การพัฒนาแผ่นฟิล์มหอมระเหยเพื่อลดการปนเปื้อนของอะฟลาทอกซินในพริกแห้ง. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานสนับสนุนกองทุนวิจัย. 70 หน้า.

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. ม.ป.ท. บรรจุภัณฑ์ยืดอายุผลิตผลสดประเภทฟิล์มเจาะรูขนาดไมครอน (micro-perforated film) ด้วยเลเซอร์. (20 มีนาคม 2560). สืบค้นจาก: https://www.mtec.or.th/mtec-research-and-dev/mtec-research-projects/1514.

ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. 2552. Active packaging. Postharvest Newsletter. 8: 6-7.

ศูนย์อัจฉริยะเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. 2558. หมดเวลาของเทอร์โมมิเตอร์เมื่อมี “ONVU”. Innovation corner เดือนพฤษภาคม 2558. (16 มีนาคม 2560). สืบค้นจาก: http://fic.nfi.or.th/technologyandinnovation-detail.php?smid=18).

สถาบันพลาสติก. 2556. ไบโอพลาสติกโพลีเมอร์แห่งอนาคต. Plastics foresight. 8: 22-34.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2559. งานเปิดโลกทัศน์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 53 ปี วว. “Food for the Future”: Smart packaging. (6 กุมภาพันธ์ 2560). สืบค้นจาก: http://www.tistr.or.th/fff/39.pdf.

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. ม.ป.ท. การบรรจุในสภาพดัดแปรบรรยากาศ. (25 กุมภาพันธ์ 2560). สืบค้นจาก: http://packaging.oie.go.th/new/index.php.

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. ม.ป.ท. เทคโนโลยีการบรรจุผลิตผลเกษตร. (25 กุมภาพันธ์ 2560). สืบค้นจาก: http://packaging.oie.go.th/new/index.php.

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. ม.ป.ท. ภาชนะบรรจุฉลาดหรืออัจฉริยะ (Intelligent packaging). (25 มีนาคม 2560). สืบค้นจาก: http://packaging.oie.go.th/new/admin_control/file_technology/1095372846.pdf.

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ. 2560. วัสดุชีวภาพ. (5 พฤษภาคม 2560). สืบค้นจาก: http://www.nia.or.th/nia/strategy/innovation-project/strategy/bio-based-materials/).

สุทธิ์สุดา วานิช ภาณุวัฒน์ สรรพกุล และธัญญารัตน์ จิญกาญจน์. 2553. ประสิทธิผลของกระดาษต้านจุลินทรีย์ที่เคลือบด้วยน้ำมันกานพลูในตัวพาแป้งดัดแปร. (17 ธันวาคม 2555). สืบค้นจาก: http://kucon.lib.ku.ac.th/Fulltext/KC4806013.pdf.

สุพัฒน์ คำไทย. 2550. การประเมินประสิทธิภาพกระดาษถ่านกัมมันต์ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ เศรษฐกิจ. ว.วิทย. กษ. 38 (5) (พิเศษ): 25-28.

สรินทร ลิ่มปนาท. 2547. บรรจุภัณฑ์อาหารในอนาคต. (15 มีนาคม 2560). สืบค้นจาก: http://www.material.chula.ac.th/RADIO48/February/radio2-3.htm.

อมรา ชินภูติ เนตรา สมบูรณ์แก้ว สุพี วนศิรากุล มัทนา วานิชย์ อัจฉราพร ศรีจุดานุ และบุญญวดี จิระวุฒิ. 2555. การใช้น้ำคั้นกระเทียมควบคุมเชื้อราและสารแอลฟาทอกซินในพริกแห้ง และพริกป่น. หน้า 54-69 ในรายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำปี 2555 สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

อศิรา เฟื่องฟูชาติ วราวุธ ภัทโรพงศ์ วาณี ชนเห็นชอบ วรรณี ฉินศิริกุล ตะวัน สุขน้อย ดวงพร ศิริกิตติกุล สุรพิชญ ลอยกุลนันท์ ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และอรพินท์ ชัยกำพลเลิศ. 2552. การพัฒนาฟิล์มกำจัดก๊าซเอทิลีนเพื่อชะลอการสุกและการเสื่อมสภาพของผลิตผลสด. (20 ธันวาคม 2554). สืบค้นจาก: http://www.nstda.or.th/thairesearch/index.php?q=node/16540.

3M Thailand Ltd. 2017. Time temperature monitoring. (6 March 2017). Available from: http://solutions.3mthailand.co.th/wps/portal/3M/th_TH/FoodSafety_APAC/Home/product-applications/Six/.

Ahvenainen, R. 2003. Active and intelligent packaging: An introduction, p. 5-21. In: R. Ahvenainen, ed. Novel Food Packaging Techniques. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.

Asapsystems. 2016. Barcodes Vs. RFID. (16 March 2017). Available from: https://www.asapsystems.com/asap-systems-blog/barcode-vs-rfid/.

CCTA 2008. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 295. Springer, Boston, MA. DOI: 10.1007/978-1-4419-0213-9_82

Claire, S. 2009. Strawberry grower deploys RFID to fix temperature troubles. (16 March 2017). Available from: http://www.rfidjournal.com/articles/pdf?5191.

Day, Brain P. F. 2008. Active Packaging of Food. p.1-18. In: Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods. John Wiley & Sons, Ltd.

Day, Brain P. F. and Potter, L. 2011. Active Packaging. p.251-262. In: Food and Beverage Packaging Technology. 2nd edition. Blackwell Publishing Ltd.

Esti, M., G. Volpe, L. Massignan, D. Compagnone, E. La Notte and G. Palleschi. 1998. Determination of amines in fresh and modified atmosphere packaged fruits using electrochemical biosensors. J. Agric. Food Chem. 46 (10): 4233–4237.

Evangelyn, C.A. and W. Yun. 2009. Nanobio sensors and integrated microsystems for intelligent food. *In*: 2009 Symposium on nanomaterials for flexible packaging. (16 March 2017). Available from: http://www.tappi.org/content/events/09PLACESY/Symp_Papers/alocilja.pdf.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2011. Packaging in fresh produce supply chains in Southeast Asia. Bangkok.

Hosseinnejas, M. 2014. Active packaging for food applications: A review. International journal of advanced Biological and Biomedical Research. 2 (4):1174-1180.

Islem, A.Y. 2009. Printed intelligence in packaging: Current and potential applications of nanotechnology. Symposium on Nanomaterials for Flexible Packaging. 30 April 2009, Columbus, Ohio, USA. (20 March 2017). Available from: http://www.tappi.org/content/events/09PLACESY/Symp_Papers/y ezza.pdf.

Janjaras Chem Supplied Co., Ltd. n.d. Wondersensor, the oxygen indicator. (16 March 2017). Available from: http://www.janjaras.com/html/oxygen.htm.

Karleigh, H. n.d. Active and Intelligent Packaging: Innovations for the Future. (2 March 2017). Available from: http://www.iopp.org/files/public/VirginiaTechKarleighHuff.pdf.

LC packaging. n.d. BOPP film. (http://lcpackaging.com/AGRI/Films--Punnets/BOPP-film). 11 May 2017.

Lingle, R. 2014. Smart packaging forecast to grow 8 percent annually. In: Smart packaging. (15 February 2017). Available from: http://www.packagingdigest.com/smart-packaging/smart-packaging-forecast-grow-8-percent-annually.

Mitsubishi Gas Chemical Company, Inc. n.d. AGELESS EYE Oxygen indicator. (16 March 2017). Available from: http://www.mgc.co.jp/eng/products/abc/ageless/eye.html.

Mohammed, H. D. 2015. Food packaging technology uses RFID to increase safety. (16 March 2017). Available from: https://www.linkedin.com/pulse/food-packaging-technology-uses-rfid-increase-safety-mohammed-dawood.

Nayik, G. A. and Muzaffar, K. 2014. Developments in packaging of fresh fruits-shelf life perspective: review. American Journal of Food Science and Nutrition Research. 1 (5): 34-39.

NNZ company. n.d. Grapes packaging. (http://www.nnz.com/grapes-1.html) 11 May 2017.

Prasad, P. and Kochhar, A. 2014. Active Packaging in food industrial: A Review. IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. 8 (5): 1-7.

Produce Packaging company. n.d. Trays punnets & lids. (11 May 2017). Available from: http://www.producepackaging.co.uk/products/trays-punnets-lids/plastic/hf-g8160-with-vents-and-bubble-pad.aspx.

Ripesense Limited. n.d. The ripeSense® sensor. (16 March 2017). Available from: http://www.ripesense.co.nz/.

Robertson G.L. 2012. Food packaging: principles and practice 3rd edition. CRC Press. USA. 307 p.

Rooney, M.L. 1995. Ethylene-removing packaging. p.38-54. In: ACTIVE FOOD PACKAGING. 1st edition. Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall. UK. 293p.

Sandhya. 2010. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. LWT-Food Sci. Technol. 43: 381-392.

Sarnti packaging CO. LTD. n.d. Corrugated carton box. (21 September 2017). Available from: http://www.sarnti.co.th/sarnti_paper/content_desc.php?cmd=service&id=3.

Southeast farmpress. 2014. RFID tags used to track produce freshness from farm to store. (16 March 2017) .Available from: http://www.southeastfarmpress.com/vegetables/rfid-tags-used-track-produce-freshness-farm-store.

Sugahara, K. 2009. Traceability system for agricultural products based on RFID and mobile technology. p. 2293-2301 *In*: Zhao, C. and D. Li. (eds). Computer and computing technologies in agriculture II, Volume 3.

Sunset company. n.d. Angel sweet. (11 May 2017). Available from: http://www.sunsetgrown.com/products/angel-sweet/.

TCL packaging company. n.d. Extended shelf-life films. (11 May 2017). Available from: http://www.tcl-packaging.com/products/extended-shelf-life-films/.

Thompson, A.K. 2010. Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. 2nd edition. CABI International. Oxfordshire. UK

Trucco company Inc. n.d. Our kiwis. (11 May 2017). Available from: http://www.kiwistarkiwi.com/.

Visegrad University Association. 2017. Intelligent pacaking/Smart packaging. (16 March 2017). Available from: http://vua.uniag.sk/sites/default/files/PresentationsOfLectures/Presentation_Pavelkova.ppt

Yam, K.L., P.T. Takhistov and J. Miltz. 2005. Intelligent packaging: concepts and applications. *J. Food Sci*. 70: R1–R10. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2005.tb09052.x.

Zagory, D. and Kader, A.A. 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. Food technol., 42 (9): 70-74 & 76-77.