บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

บรอกโคลี (Broccoli) เป็นผักที่อยู่ในวงศ์ Brassicaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Brassica oleracea* var. *italica* ซึ่งอยู่ในตระกูลเดียวกับ กะหล่ำปลี คะน้า ผักกาดขาวปลี และเทอร์นิพ มีแหล่งกำเนิดอยู่ทางตะวันออกของทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ต่อมาได้กลายเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจทางภาคตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย และอเมริกาเหนือ ในศตวรรษที่ 19 (Tsang and Furutani, 2002) บรอกโคลีถูกนำมาปลูกในประเทศไทยประมาณ 30 ปี แต่คนไทยไม่นิยมบริโภค เนื่องจากมีสีเขียว โดยจะนิยมบริโภคกะหล่ำดอกมากกว่า แต่ปัจจุบันผลิตผลชนิดนี้กลับมีความสำคัญมากขึ้น เพราะมีการสั่งซื้อมาจากตลาดต่างประเทศ ทั้งจำหน่ายสดและอุตสาหกรรมแช่แข็ง นอกจากนี้คนไทยเริ่มนิยมบริโภคบรอกโคลีเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากขึ้น

ดอกบรอกโคลีประกอบด้วยดอกอ่อน (flower bud) สีเขียวขนาดเล็กจำนวนมากรวมกันเป็นกระจุก มีลักษณะหลวม ไม่อัดตัวกันแน่นเป็นก้อนเหมือนกะหล่ำดอก ดอกแรกหรือดอกประธานอาจมีขนาดใหญ่ 10-15 เซนติเมตรหรือมากกว่า การใช้ประโยชน์จากดอกบรอกโคลีนิยมนำไปประกอบอาหารประเภทผัด และก้านดอกนิยมนำไปทำแกงส้ม (ไฉน, 2542)

บรอกโคลีประกอบด้วยคุณค่าทางโภชนาการมากมายที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยขนาดรับประทาน 91 กรัม จะให้พลังงาน 31 แคลอรี และให้สารอาหารต่างๆ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน แคลเซียม โซเดียม เหล็ก และวิตามิน A และ C นอกจากนั้นบรอกโคลียังประกอบไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการอื่น ๆ อีก เช่น วิตามิน B_1 B_2 B_3 B_6 แมกนีเซียม โพแทสเซียม และสังกะสี เป็นต้น งานวิจัยของสภาบัน National Cancer Institute แสดงให้เห็นว่าบรอกโคลี หรือพืชที่อยู่ในวงศ์ Brassicaceae มีส่วนประกอบสำคัญในการป้องกันมะเร็งบางชนิดได้ เช่น beta carotene, vitamin C, calcium, fiber, phytochemical, indoles และ aromatic isothiocynates ซึ่งมีการตอบสนองต่อเอนไซม์ที่ช่วยในการล้างพิษในร่างกาย และยังช่วยป้องกันการเกิดโรคร้ายแรงต่าง ๆ เช่น มะเร็ง เบาหวาน โรคหัวใจ และโรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น นอกจากนั้น บรอกโคลียังช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดได้ โดยนักวิจัยของสถาบัน U. S. Department of Agriculture' s Regional พบว่า บรอกโคลีมีส่วนประกอบของ pectin fiber หรือที่เรียกว่า calcium pectate ซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สามารถลดปริมาณการปล่อยคอเลสเตอรอลจากตับสู่กระแสเลือดได้ โดยให้ผลดีเท่ากับยาที่ใช้ลดปริมาณคอเลสเตอรอลหลายๆ ชนิด (Tsang and Furutani, 2002)

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมามีความต้องการผักและผลไม้หั่นชิ้นพร้อมปรุงเพิ่มขึ้นทั่วโลก ทั้งนี้เนื่องจากรูปแบบการใช้ชีวิตที่เปลี่ยนไปส่งผลให้ในปัจจุบัน มีการวางจำหน่ายบรอกโคลีในรูปหั่นชิ้นพร้อมปรุงและพร้อมบริโภคเพิ่มขึ้น (Izumi *et al.,* 1996; Baldwin *et al.,* 1995)

ผลิตผลหั่นชิ้น หมายถึง ผลิตผลที่นำมาผ่านการปฏิบัติใด ๆ ก็ตามภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การปอก การตัดแต่ง การหั่นชิ้น การหั่นฝอย เป็นต้น โดยที่ผลิตผลยังมีชีวิตอยู่ (Wiley, 1994)

การแปรรูปผลิตผลหั่นชิ้น เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายของผู้บริโภคในปัจจุบัน เนื่องจากทำให้สะดวกในการจัดเตรียมวัตถุดิบอาหาร ประหยัดเวลาของผู้บริโภค ผักที่นิยมนำมาหั่นชิ้นส่วนใหญ่ที่พบ ได้แก่ ผักกาดหอมห่อ แครอท เซเลอรี กะหล่ำดอก กะหล่ำปลี และบรอกโคลี เป็นต้น (Cantwell, 2002) ผลิตผลชนิดต่างๆ ผ่านกระบวนการหั่นชิ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเซลล์และเนื้อเยื่อของผลิตผลดังกล่าวอยู่ในสภาพที่ถูกทำลายจากกระบวนการหั่นชิ้น อีกทั้งยังง่ายต่อการเข้าทำลายหรือการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการเน่าเสียและความปลอดภัยสำหรับการบริโภค ดังนั้นจึงมีวิธีการรักษาคุณภาพผลิตผลหั่นชิ้นหลากหลายวิธีเพื่อคงคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตผลหั่นชิ้นไว้ เช่น การใช้ความร้อน การใช้รังสี การใช้สารละลายคลอรีน การใช้สารยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน การใช้บรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ การดัดแปลงบรรยากาศในการเก็บรักษา และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งแต่ละวิธีสามารถปฏิบัติร่วมกันหรือแยกกัน เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตผลหั่นชิ้นในระหว่างการเก็บรักษา (Wiley, 1994)

การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวบรอกโคลี

การเก็บเกี่ยวบรอกโคลีควรเก็บเกี่ยวในช่วงเช้าหรือเย็น โดยเลือกเก็บเฉพาะดอกที่ได้ระยะพอดี คือเก็บในขณะที่กลุ่มดอกยังเกาะตัวกันแน่น และต้องเก็บก่อนที่ดอกย่อยจะบานแย้มกลีบสีเหลืองออกมาให้เห็น บรอกโคลีที่ตลาดต้องการมาก คือต้องเป็นดอกที่มีขนาดใหญ่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-15 เซนติเมตร ก้านดอกยาวประมาณ 15 เซนติเมตร

การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวบรอกโคลี โดยเมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้วนำมาเตรียมเพื่อส่งตลาดดังนี้

(1) การล้าง โดยทั่วไปการทำความสะอาดดอกบรอกโคลีไม่จำเป็นต้องล้างน้ำ ส่วนใหญ่ใช้เช็ดด้วยผ้าสะอาด หรือใช้แปรงปัด อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการเก็บเกี่ยวบรอกโคลีในขณะที่มีอุณหภูมิสูง และมีการลดอุณหภูมิภายในดอก โดยจุ่มดอกลงในน้ำ หรือฉีดพ่นด้วยน้ำสะอาด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2) การตัดแต่ง เนื่องจากก้านดอกของบรอกโคลีมีคุณค่าทางอาหารสูง และมีความสด สามารถนำไปประกอบอาหารได้ด้วย ดังนั้น การเก็บเกี่ยวต้องตัดให้มีก้านดอกติดมาด้วย เสร็จแล้วใช้มีดที่คมตัดก้านใบที่ติดกับก้านดอกออกให้ชิดกับก้านดอก แต่เหลือก้านใบที่ติดอยู่กับดอกให้เหลือไว้เพื่อป้องกันดอกถูกกระทบกระเทือนแต่ให้ตัดใบและก้านใบออกให้เหลือพอดีกับระดับดอก

(3) การคัดเกรด ขึ้นอยู่กับความต้องการของตลาด โดยส่วนมากเกรดเอ เป็นดอกที่ได้จากดอกประธาน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-15 เซนติเมตร รูปทรงของดอกดี สมบูรณ์ ตรงตามพันธุ์ทั้งทางด้านสีดอกและขนาด ลักษณะดอกอัดกันแน่น ดอกย่อยยังไม่บาน และปราศจากโรคและแมลง

(4) การบรรจุ และการเก็บรักษา เมื่อบรรจุบรอกโคลีเรียบร้อยแล้วให้นำส่งตลาดทันที หรือเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0-5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ (ไฉน, 2542)

การสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว

ผักและผลไม้หลังเก็บเกี่ยวมาแล้วยังคงมีชีวิตอยู่ กระบวนการสรีรวิทยาและชีวเคมียังคงดำเนินต่อไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้น มีความสำคัญต่อคุณภาพของผักและผลไม้ การเปลี่ยนแปลงบางอย่างทำให้คุณภาพของผักและผลไม้เสียไป เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้นั่นเอง

สถาบัน National Academy of Science สหรัฐอเมริกา ได้ศึกษาและอธิบายถึงการสูญเสียหลังเก็บเกี่ยวของผลิตผลที่เสียหายง่าย (perishable crops) และให้คำจำกัดความถึงความแตกต่างระหว่างการถูกทำลาย (damage) และการสูญเสีย (loss) ของผลิตผล ดังนี้คือ

การถูกทำลาย คือ การเสื่อมคุณภาพของผลิตผล ซึ่งวัดออกมาเป็นตัวเลขไม่ได้ เพราะขึ้นอยู่กับการยอมรับหรือไม่ยอมรับผลิตผลที่ถูกทำลายแล้ว ซึ่งสัมพันธ์กับปัจจัยทางเศรษฐกิจและวัฒนธรรม

การสูญเสีย คือ การหายไปของผลิตผล ซึ่งจะวัดออกมาเป็นตัวเลขได้และทำได้โดยตรงในแง่ของเศรษฐกิจ ปริมาณ คุณภาพ และคุณค่าทางอาหาร (ดนัยและนิธิยา, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาและชีวเคมีหลังการเก็บเกี่ยวของผัก

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลสดทางพืชสวนยังคงมีชีวิตอยู่ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาและชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ยังคงดำเนินต่อไปเช่นเดียวกันกับพืชก่อนการเก็บเกี่ยว

ซึ่งอายุการเก็บรักษาของผลิตผลจะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา และชีวเคมีภายในผลิตผลนั้นๆ ซึ่งได้แก่ (สายชล, 2528)

1. องค์ประกอบของโครงสร้างของผลิตผล

ผลิตผลที่ประกอบด้วยโครงสร้างที่แข็งแรงจะเก็บรักษาได้นานกว่าผลิตผลที่ประกอบด้วยโครงสร้างที่อ่อนแอ เช่น กลุ่มพืชหัว และกลุ่มเมล็ดแก่จะเก็บรักษาได้นาน มีอัตราการหายใจต่ำและทนทานต่อแรงกระแทกในขณะขนส่งได้ดี ส่วนผลิตผลกลุ่มผลแก่ ผลอ่อน และยอดอ่อนจะมีอัตราการหายใจสูง เกิดการเน่าเสียได้ง่าย มีการสูญเสียน้ำหนักมาก และไม่ทนต่อแรงกระแทก เนื่องจากการขนส่ง ผลิตผลบางชนิดมีเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่ป้องกันซึ่งจะอยู่ตามผิวด้านนอกมีคุณสมบัติพิเศษ เช่น สารประเภทไข (wax หรือ cutin) เคลือบอยู่ หรือเซลล์ชั้นนอกสุด (cuticle) มีคุณสมบัติไม่ยอมให้น้ำผ่าน หรือมีส่วนคล้ายกับขน (trichome) ขึ้นอยู่ หรือพืชหัวใต้ดินบางชนิดสร้าง cork cell เพื่อป้องการกระแทก การสูญเสียน้ำ และการเข้าทำลายของโรคและแมลง ความแข็งแรงของโครงสร้างจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะของเนื้อเยื่อของผลิตผล ซึ่งลักษณะของเนื้อเยื่อจะผันแปรขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความเต่งของเซลล์ (turgidity) การยอมให้สารผ่านเข้าออกระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์ (membrane permeability) การติดยึดกันของเซลล์ (cohesioness) การมีเนื้อเยื่อพยุง (supporting tissues) ขนาด และรูปร่างของเซลล์ และส่วนประกอบของเนื้อเยื่อ เช่น ปริมาณแป้ง แคลเซียม และเพกติน เป็นต้น (ดนัย, 2540; สายชล, 2528) จากการศึกษาของ Lipton (1987) และ Yano and Hayami (1978) พบว่า ผักกาดหอมห่อที่มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นสูงมีอายุการเก็บรักษาได้นานกว่า แต่การสูญเสียน้ำตาลนั้นมีอัตราที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ถึงแม้ว่าในพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลเริ่มต้นแตกต่างกันถึง 25 เปอร์เซ็นต์ก็ตาม ถ้าไม่คำนึงถึงพันธุ์ และความแก่ในขณะเก็บเกี่ยวผักกาดหอมห่อจะหมดอายุการวางจำหน่ายเมื่อปริมาณน้ำตาลลดลง 10 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

2. การหายใจและอัตราการหายใจ

ภายหลังการเก็บเกี่ยวกระบวนการต่างๆ ทางชีวเคมีภายในเซลล์ของผลิตผลยังคงดำเนินอยู่ตามปกติ และยังคงต้องการพลังงานเพื่อให้มีชีวิตดำรงอยู่ต่อไปได้ ดังนั้นผลิตผลจึงยังคงมีกระบวนการหายใจเพื่อเผาผลาญสารอาหารต่างๆ ให้ได้พลังงานออกมา การเผาผลาญสารอาหารดังกล่าวสามารถเกิดได้ทั้งในสภาพที่มีแก๊สออกซิเจนและไม่มีแก๊สออกซิเจน ในสภาพที่มีแก๊สออกซิเจนจะเกิดการออกซิเดชันที่สมบูรณ์ ทำให้ได้พลังงานออกมามากกว่าในสภาพที่ไม่มีแก๊สออกซิเจน เนื่องจากในสภาพที่ไม่มีแก๊สออกซิเจนจะเกิดการออกซิเดชันไม่สมบูรณ์ (สายชล, 2528)

อัตราการหายใจของผักขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของผักในขณะที่ทำการเก็บเกี่ยว โดยผลิตผลที่กำลังเจริญเติบโต เช่น หน่อไม้ฝรั่ง มีอัตราการหายใจค่อนข้างสูงเพราะต้องใช้พลังงานในการเสริมสร้างส่วนต่างๆ ขณะที่ผลิตผลที่อยู่ในระหว่างการพักตัว เช่น มันฝรั่ง มีอัตราการหายใจที่ต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มาก (จริงแท้, 2549) นอกจากนี้ผลิตผลแต่ละชนิดที่เก็บรักษาในสภาพที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันจะมีอัตราการหายใจแตกต่างกันด้วย เช่น ที่อุณหภูมิ 0 5 10 และ 15 องศาเซลเซียส กระเทียมต้นมีอัตราการหายใจเท่ากับ 16 29 68 และ 117 มิลลิกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนปวยเหล็งมีอัตราการหายใจเท่ากับ 46 110 179 และ 230 มิลลิกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ (Ryall and Lipton, 1978) และบรอกโคลีจัดเป็นผักที่มีอัตราการหายใจสูงมาก คือ สูงกว่า 60 มิลลิกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยมีรูปแบบการหายใจและการผลิตเอทิลีนแบบ climacteric มีการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นพร้อมกับการเหลืองของเนื้อเยื่อ (King and Morris, 1994) ซึ่งอัตราการหายใจของผลิตผลเป็นดัชนีบ่งชี้อายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ โดยผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงมักมีอายุสั้นกว่าผลิตผลที่มีอัตราการหายใจต่ำ (สายชล, 2528; Ryall and Lipton, 1978)

3. การสูญเสียน้ำ

ผักส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำประมาณ 80-95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการสูญเสียน้ำทำให้คุณภาพของผักเปลี่ยนไป เช่น เมื่อมีการสูญเสียน้ำอาจทำให้รูปทรงของผักเปลี่ยนไป ผักจะเหี่ยวและไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค การสูญเสียน้ำของผลิตผล เป็นกระบวนการที่น้ำเคลื่อนที่ออกจากตัวผลิตผลไปสู่อากาศภายนอก ผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้วสามารถเกิดการสูญเสียน้ำได้ตลอดเวลา บรอกโคลีเป็นผักที่มีการคายน้ำ เพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ ในภาวะเช่นนี้ปริมาณความชื้นภายในบรอกโคลีจึงสูงกว่าความชื้นของอากาศภายนอก ทำให้น้ำภายในออกจากผลิตผลผ่านทางปากใบ และ lenticels ตลอดเวลา นอกจากการถ่ายเทน้ำแล้ว ที่บริเวณดังกล่าวยังเป็นช่องทางสำหรับนำแก๊สออกซิเจนเข้าเพื่อการหายใจ และระบายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา เป็นผลให้น้ำหนักผลิตผลลดลง เนื่องจากการสูญเสียน้ำของผลิตผล และนอกจากช่องทางธรรมชาติที่กล่าวมาแล้ว บาดแผลยังเป็นบริเวณที่เกิดการสูญเสียน้ำได้อีกทางหนึ่ง (Coursey *et al.,* 1983) จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า บรอกโคลีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 2.4 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 4 สัปดาห์ ซึ่งมีมากกว่าบรอกโคลีที่เก็บรักษาในกล่องพลาสติกที่มีสภาพเป็น controlled atmosphere ซึ่งสูญเสียน้ำหนักเพียง 1.3 เปอร์เซ็นต์ (Makhlouf *et al.,* 1989)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. กระบวนการเสื่อมสภาพ (senescence)

หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วปฏิกิริยาต่างๆ ทางชีวเคมีภายในเซลล์พืชยังคงดำเนินต่อไป อาหารที่สะสม และสารต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลล์พืชถูกเปลี่ยนสภาพไป ทำให้เกิดการเสียชีวิตในที่สุด การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางชีวเคมีที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของพืชมีหลายกระบวนการ ได้แก่

1) การสูญเสียวิตามินซี วิตามินซีเป็นสารอาหารที่ถูกทำลายได้ง่ายที่สุดนั้น พบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญโดยเฉพาะในสภาพอุณหภูมิสูงหรือที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของผลิตผลจะไปเร่งกระบวนการออกซิเดชันของวิตามินซีให้เปลี่ยนเป็นสารอื่น (สายชล, 2528) ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลง ซึ่งวิตามินซีในผลิตผลจะถูกออกซิไดซ์อย่างรวดเร็ว ถ้าผลิตผลอยู่ในสภาพอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปตัวอย่างของผลิตผลที่มีถิ่นกำเนิดในเขตหนาว เช่น คะน้า และปวยเหล็ง ถ้าเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะเกิดการสูญเสียวิตามินซีน้อยกว่าการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูง โดยการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ผลิตผลจะสูญเสียวิตามินซีเพียงเล็กน้อย แต่ผลิตผลที่มีถิ่นกำเนิดในแถบร้อนมีการสูญเสียวิตามินซีมากเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง เช่น มะม่วง กล้วย และมะเขือเทศ ระหว่างการเก็บรักษาผลิตผลทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลง แต่ถ้าเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิต่ำจะชะลอการสูญเสียวิตามินซีให้ช้าลง และการสูญเสียวิตามินซีของผลิตผลยังมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำ เนื่องจากการสูญเสียน้ำมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ออกซิเดส มีผลทำให้เกิดการออกซิไดซ์วิตามินซีมากขึ้น (สายชล, 2528; สุรพงษ์, 2531) จากการศึกษาของ Zepplin and Elevehjem (1994) พบว่า ผักกาดหอมชนิดใบ (leaf lettuce) มีการสูญเสียวิตามินซีประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาไว้ในสภาพอุณหภูมิห้องนาน 1 วัน

2) คลอโรฟิลล์ คลอโรฟิลล์จัดเป็นสารสีในพืชที่มีความสำคัญที่สุดสำหรับสิ่งมีชีวิต เพราะเป็นสารสีที่มีหน้าที่หลักในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งรับพลังงานแสงแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในพืชทุกชนิดมีทั้งคลอโรฟิลล์ เอ และ บี (Gross, 1987) แต่มีในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ดังนั้นสีเขียวของใบและต้นจึงแตกต่างกันออกไป (จริงแท้, 2550) คลอโรฟิลล์ เอ เป็นสารที่ให้สีออกไปทางสีเขียวอมน้ำเงินในขณะที่คลอโรฟิลล์ บี ให้สีออกไปทางสีเขียวอมเหลือง และมีความเป็นขั้วมากกว่าคลอโรฟิลล์ เอ (Gross, 1987)

การสลายตัวของคลอโรฟิลล์

การเกิดสีเหลืองมีสาเหตุมาจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ในขณะที่พบการสลายตัวของสารสีชนิดอื่นน้อยมาก โดยปกติการสร้างและสลายตัวของคลอโรฟิลล์นั้นเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา เห็นได้ชัดจากการใช้วัสดุทึบแสงปิดใบไม้ที่กำลังเจริญเติบโตใบเหล่านี้จะเหลืองภายในเวลาไม่นาน และจะกลับเขียวขึ้นอีกครั้งเมื่อได้รับแสง แต่ในช่วงของการเสื่อมสภาพ มักพบการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ซึ่งจะเกิดขึ้นในอัตราที่มากกว่าการสร้างคลอโรฟิลล์ (จริงแท้, 2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

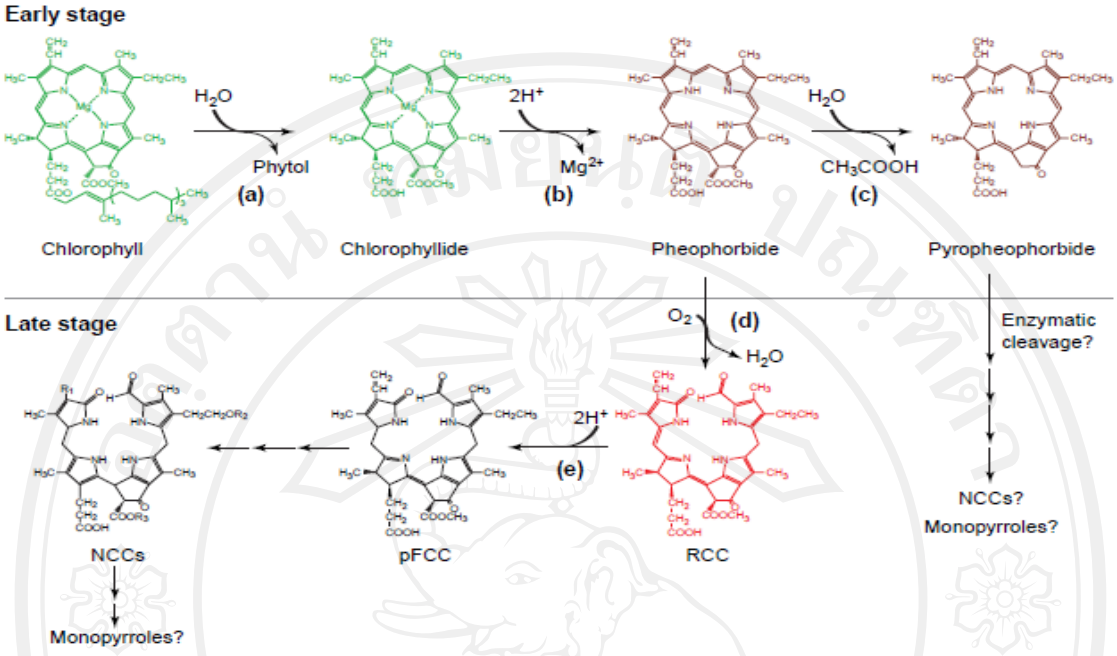
ขั้นตอนแรกของการสลายตัวของคลอโรฟิลล์เริ่มจากการย่อยเอาส่วนของ phytol ออกโดยเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) (Matile *et al.,* 1989; Shimokawa *et al.,* 1978) ซึ่งถือว่าเป็นเอนไซม์ชนิดแรกที่ทำหน้าที่ในกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ จากการศึกษาในใบข้าวบาร์เล่ย์ และ oilseed rape ซึ่งเป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่ง พบเอนไซม์คลอโรฟิลเลสอยู่บริเวณเยื่อหุ้มชั้นในของคลอโรพลาสต์ (Matile *et al.,* 1997) การค้นพบนี้เป็นหลักฐานในการสนับสนุนทฤษฎีที่กล่าวว่าคลอโรฟิลล์และเอนไซม์คลอโรฟิลเลสถูกแยกออกจากกันอย่างชัดเจนเพื่อป้องกันเอนไซม์คลอโรฟิลเลสไฮโดรไลส์คลอโรฟิลล์ ก่อนที่พืชจะเข้าสู่ระยะของการเสื่อมสภาพ (Fernandez-Lopez *et al.,* 1991)

ขั้นตอนที่สอง เอนไซม์ Mg-dechelatase จะดึงเอาอะตอมของแมกนีเซียมออกจากวงแหวน porphyrin ได้เป็น pheophorbide a (จริงแท้, 2550; Owens and Falkowski, 1982) ซึ่งมีรายงานว่าสามารถตรวจพบเอนไซม์ Mg-dechelatase ตั้งแต่ในช่วงก่อนที่ใบจะเริ่มเข้าสู่ระยะของการเสื่อมสภาพแต่เอนไซม์ที่ตรวจพบนี้ยังอยู่สภาวะที่ไม่พร้อมทำงาน ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลกระตุ้นให้เอนไซม์ Mg-dechelatase ทำงาน คือ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคลอโรพลาสต์จากสภาวะปกติกลายเป็น gerontoplast ซึ่งมีโครงสร้างแตกต่างไปจากเดิม กล่าวคือ เยื่อหุ้มไทลาคอยด์มีลักษณะบวมพอง กรานาค่อยๆ หายไป ในขณะที่ plastoglobule มีขนาดใหญ่ขึ้น (จริงแท้, 2550; Langmeier *et al.,* 1993)

ขั้นตอนที่สามเป็นขั้นตอนการเปิดวงแหวน porphyrin ของ pheophorbide ออก ได้สารที่สูญเสียคุณสมบัติของสีเขียวไป แต่ยังคงสามารถเรืองแสงได้ เรียกสารนี้ว่า fluorescent chlorophyll catabolites (FCCs) (Ginsburg and Matile, 1993) ขั้นตอนนี้เป็นระยะที่ใบพืชซึ่งเข้าสู่ระยะของการเสื่อมสภาพเริ่มปรากกฏอาการใบเหลืองให้เห็น (Matile *et al.,* 1996) โดยเอนไซม์หลักที่ทำหน้าที่ในขั้นตอนนี้ คือ pheophorbide a oxygenase ซึ่งพบอยู่ใน gerontoplast envelope (Matile and Schellenberg, 1996) และสามารถตรวจพบกิจกรรมของเอนไซม์นี้เฉพาะในใบที่อยู่ในระยะของการเสื่อมสภาพเท่านั้น (Hortensteiner *et al.,* 1995)

ขั้นตอนสุดท้ายของการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ fluorescent chlorophyll catabolites (FCCs) จะถูกดัดแปลงไปได้หลายรูปแบบ เช่น ถูกดึงเอากลุ่ม methyl ออกไปด้วยเอนไซม์ methyl esterase หรืออาจถูก hydroxylate หรือจับคู่ (conjugate) ด้วยเอนไซม์ต่าง ๆ ตลอดจนผ่านการ tautomerization โดยไม่ต้องใช้เอนไซม์จนได้เป็นสารที่ไม่มีสี หรือ non-fluorescent chlorophyll catabolites (NCCs) (จริงแท้, 2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



a = chlorophyllase b = Mg-dechelatase c = pheophobidase

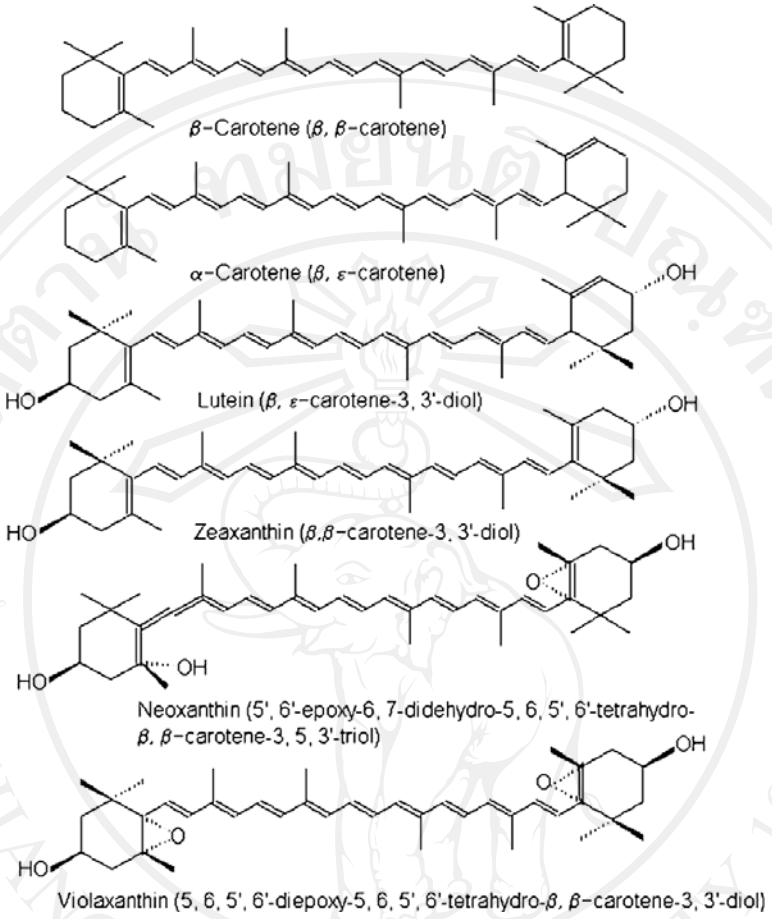
d = pheophorbide a oxygenase e = red chlorophyll catabolite reductase

ภาพ 1 ขั้นตอนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในพืช

ที่มา : Takamiya *et al,* 2000

3) แคโรทีนอยด์ แคโรทีนอยด์เป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในไขมัน อยู่ภายในพลาสทิดที่เรียกว่า โครโมพลาสต์ (chromoplast) มีโครงสร้างพื้นฐานที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันด้วยโมเลกุลของ geranylgeranyl diphosphate (C20) จำนวน 2 โมเลกุล (Schoefs, 2002) แคโรทีนอยด์ในพืชมีอยู่ทั้งในส่วนที่มีสีเขียวและไม่มีสีเขียว โดยในส่วนของพืชที่มีสีเขียว ได้แก่ ใบ และผลไม้สีเขียว พบ β-carotene ประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์ lutein 40-50 เปอร์เซ็นต์ violaxanthin 10-15 เปอร์เซ็นต์ และ neoxanthin 10-15 เปอร์เซ็นต์ ยิ่งพืชมีสีเขียวมาก ยิ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์มาก แต่สีเหลืองและแดงของแคโรทีนอยด์เหล่านี้ถูกบดบังด้วยสีเขียวของคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ที่อยู่ในเนื้อเยื่อสีเขียวเหล่านี้ ประกอบกันอยู่กับ photosystem ทำหน้าที่เก็บพลังงานแสงแล้วส่งถ่ายให้คลอโรฟิลล์เพื่อการสังเคราะห์แสง และทำหน้าที่กระจายพลังงานแสงส่วนเกินออกไปเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายขึ้นกับเนื้อเยื่อพืช ถ้าพืชขาดแคโรทีนอยด์ พลังงานแสงจะกระตุ้นให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระมากขึ้นจนทำให้พืชตาย (จริงแท้, 2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2 โครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์ที่พบในผักใบ

ที่มา: Raju *et al.,* 2007

ภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยปกติผักและผลไม้มักเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองหรือแดง ในการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว คลอโรพลาสต์ซึ่งมีทั้งโมเลกุลของคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์จะพัฒนาไปเป็นโครโมพลาสต์ ซึ่งคลอโรฟิลล์สลายตัวไปในขณะที่แคโรทีนอยด์ถูกสร้างมากขึ้นหรือมีปริมาณคงที่เท่าเดิม ส่วนการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ระหว่างการเก็บรักษานั้นยังมีข้อมูลไม่ชัดเจน โดยทั่ว ๆ ไปแคโรทีนอยด์ค่อนข้างจะเสถียรอยู่ภายในพืชระหว่างการเก็บรักษา หลังการเก็บเกี่ยวปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโมเลกุลของแคโรทีนอยด์อยู่ภายในพลาสทิด และเกาะอยู่กับโปรตีนบนเยื่อหุ้มหรือรวมตัวกันเป็นผลึกจึงปลอดภัยต่อการสลายตัวจากปัจจัยภายนอก อย่างไรก็ตาม มีหลักฐานบ่งชี้ว่าเมื่อเก็บรักษาผักผลไม้ไว้นาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยเฉพาะในผลไม้เนื้อนุ่ม (soft fruit) เมื่อเยื่อหุ้มของเนื้อเยื่อต่างๆ ถูกทำลายลง แคโรทีนอยด์ก็จะถูกออกซิไดส์ไปด้วยเช่นกัน (จริงแท้, 2550)

4) เอนไซม์ ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น เอนไซม์คะ-ตะเลส เพกตินเอสเทอเรส เซลลูเลส และอะไมเลส จะเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา แต่ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ออกซิเดสจะลดลง ความสามารถในการทำงานของเอนไซม์จะผันแปลตามอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาและระยะความแก่ของผลิตผลด้วย

5) การสูญเสียคุณค่าทางอาหาร

การสูญเสียคุณค่าทางอาหารบางส่วนในผักและผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยวนั้นมีสาเหตุจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมกับการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป โดยอุณหภูมิจะมีบทบาทต่อการทำงานของเอนไซม์ที่อยู่ในเซลล์ผลิตผล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี อีกทั้งชักนำให้เกิดการเสื่อมสภาพของผลิตผลที่เร็วกว่าปกติ (ดนัย และ นิธิยา, 2548)

ในบรรดาสารอาหารต่างๆ ที่มีอยู่ในผักแต่ละชนิดนั้น วิตามินซี (ascorbic acid) ถูกจัดเป็นสารอาหารที่ถูกทำลายได้ง่ายมากชนิดหนึ่ง เนื่องด้วยวิตามินซีมีคุณสมบัติละลายน้ำ และไวต่อสภาพแวดล้อม ได้แก่ สภาพความเป็นกรด-ด่าง แสง และความร้อน ซึ่งส่งเสริมให้เกิดการเสื่อมสลายของวิตามินซี นอกจากนี้วิตามินซียังถูกทำลายได้ง่ายจากการถูกออกซิไดส์โดยเอนไซม์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น ascorbic acid oxidase เป็นต้น (Brewer *et al.,* 1994)

เนื่องจากผลิตผลพืชสวนภายหลังการเก็บเกี่ยวยังเป็นสิ่งมีชีวิต มีกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ เช่น การหายใจ การคายความร้อน การคายน้ำ และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาต่างๆ การเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่มีประสิทธิภาพ จะช่วยลดกระบวนการดังกล่าวให้เกิดช้าลง เมื่อนำผลิตผลที่มีคุณภาพสูงบรรจุใส่ในภาชนะบรรจุจะช่วยรักษาคุณภาพที่ดีของผลิตผลให้คงอยู่ได้นานขึ้น ถึงแม้ภาชนะบรรจุไม่ได้เป็นตัวช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตผลให้ดีขึ้นก็ตาม (ดนัยและนิธิยา, 2548)

บรรจุภัณฑ์ (Packaging)

หน้าที่สำคัญของบรรจุภัณฑ์ คือ บรรจุอาหาร และป้องกันไม่ให้อาหารสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมภายนอก ในขณะเดียวกันก็ช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพของอาหาร ลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ให้ความสะดวกสบายในการขนส่งและการจำหน่าย (Downes, 1989)

สาเหตุที่จำเป็นต้องใช้บรรจุภัณฑ์กับผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภค เพราะผักสดตัดแต่งพร้อมบริโภคเป็นเนื้อเยื่อที่ยังมีชีวิตอยู่ มีการหายใจ มีปฏิกิริยาทางชีวเคมี และมีการเจริญของจุลินทรีย์เกิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขึ้นอยู่ตลอดเวลา (Zerbini, 1990) การใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์จากภายนอกได้

ลักษณะของบรรจุภัณฑ์ที่ดี (Hui, 1992; Schlimme and Rooney, 1994)

1. ต้องมีความปลอดภัย
2. สามารถป้องกันหรือชะลอการสูญเสียคุณภาพ
3. สามารถป้องกันการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์
4. ควบคุมการผ่านเข้า-ออกของความชื้นและแก๊ส
5. สามารถเก็บรักษากลิ่นของอาหารไว้ได้
6. สามารถป้องกันไม่ให้อาหารเกิดการกระทบกระเทือนจากภายนอกระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา และการตลาด
7. ง่ายต่อการบรรจุ ปิดมิดชิด และสะดวกต่อการเก็บรักษา
8. ทนต่ออุณหภูมิในการเก็บรักษา
9. สะดวกต่อการนำไปบริโภค
10. มีรูปร่าง ลักษณะ ขนาดเหมาะสมกับอาหารที่บรรจุ
11. มีรายละเอียดบนฉลากเป็นที่ดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค
12. มีราคาถูก

พลาสติกที่มีความสำคัญสำหรับบรรจุผลิตผลสด

1) พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) เป็นพลาสติกที่มีการใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมบรรจุ เนื่องจากราคาต่ำ และมีสมบัติทางการบรรจุที่ดีหลายประการ โดยมีความเฉื่อยต่อสารเคมีค่อนข้างสูง และมีขั้วต่ำ ทำให้ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี แต่ยอมให้ออกซิเจนซึมผ่านได้ง่าย ป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้ต่ำ และการพิมพ์บนฟิล์มพอลิเอทิลีนทำได้ยาก นอกจากจะมีการปรับสภาพผิวก่อน จุดอ่อนตัวของพอลิเอทิลีนมีค่าระหว่าง 80-130 องศาเซลเซียส ทำให้สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้ง่าย รวมทั้ง Tg (glass transition temperature) ของพอลิเอทิลีนมีค่าต่ำประมาณ 120 องศาเซลเซียส จึงมีความยืดหยุ่นสูงที่อุณหภูมิห้อง และทนทานการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำๆ ได้ดี เช่น การบรรจุอาหารแช่แข็ง โดยทั่วไปพอลิเอทิลีนแบ่งเป็น 3 ประเภทตามค่าความหนาแน่น คือ

1.1 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) ความหนาแน่น 0.910 - 0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

1.2 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (medium density polyethylene, MDPE) ความหนาแน่น 0.926 - 0.940 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.3 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) ความหนาแน่น 0.941 - 0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความหนาแน่นนี้จะมีผลโดยตรงกับสมบัติพอลิเอทิลีนที่สำคัญ คือ เมื่อความหนาแน่นของพอลิเอทิลีนเพิ่มขึ้นจะทำให้ความใสลดลง ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ความทนทานต่อความร้อนสูงขึ้น และการป้องกันการซึมผ่านของแก๊สเพิ่มขึ้นด้วย

การใช้ประโยชน์ ใช้ห่ออาหารได้เกือบทุกชนิด และจากคุณสมบัติที่ยอมให้แก๊สผ่านได้ดี และความชื้นผ่านได้น้อย จึงนิยมใช้ทำถุงบรรจุขนมปัง ผัก และผลไม้สด

2) พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) จะมีกลุ่มเมทิล (-CH3) แทนที่ไฮโดรเจน 1 อะตอม คุณสมบัติของพอลิโพรพิลีนจะขึ้นกับการเรียงตัวของกลุ่มเมทิลในโมเลกุลของพอลิเมอร์ เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลคล้ายคลึงกับพอลิเอทิลีนมาก ทำให้คุณสมบัติใกล้เคียงกัน คือโปร่งใสดีจุดหลอมเหลวสูงและช่วงแคบ ทำให้ปิดผนึกด้วยความร้อนยากกว่าพอลิเอทิลีน ต้านทานแรงดึงได้ดีกว่าพอลิเอทิลีน แต่ต้านทานแรงทิ่มทะลุและการยืดตัวน้อยกว่าพอลิเอทิลีน ต้านทานไขมันได้ดีและป้องกันการซึมผ่านของความชื้น แก๊สและกลิ่นได้ดีกว่าพอลิเอทิลีน

การใช้ประโยชน์ ใช้บรรจุอาหารร้อนได้ ไม่นิยมใช้ทำถุงจากพอลิโพรพิลีนอย่างเดียวเพราะว่าปิดผนึกความร้อนไม่ดี การใช้พอลิเมอร์ร่วมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับพอลิเอทิลีนจะใช้งานได้ดีขึ้นสามารถนำไปใช้บรรจุขนมปัง ห่อลูกกวาด และบรรจุผักและผลไม้ได้

3) พอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) ภายในโมเลกุลของพอลิสไตรีนจะมีอะตอมเบนซินแทนที่ไฮโดรเจนอยู่ 1 อะตอม ทำให้พอลิสไตรีนเกิดผลึกได้ยาก จึงมีความใสดีมาก ป้องกันการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำได้น้อย และทนทานการซึมผ่านของไขมันได้น้อย มีค่า Tg สูง 74-105 องศาเซลเซียส จุดอ่อนตัวต่ำ 90-95 องศาเซลเซียส จึงไม่เหมาะกับการบรรจุอาหารหรือเครื่องดื่มร้อนมากๆ การใช้ประโยชน์ นิยมใช้ทำช่องหน้าต่างของกล่อง และจากการที่ยอมให้แก๊สผ่านเข้าออกได้ดีจึงนำมาใช้ห่อผักและผลไม้สด (งามทิพย์, 2550)

ฟิล์มทางการค้าที่กล่าวมาข้างต้น ส่วนใหญ่มีค่าสภาพการซึมผ่านได้ของแก๊สที่ไม่เพียงพอต่ออัตราการหายใจของผลิตผลบางชนิด จึงได้มีการพัฒนาฟิล์มให้มีสภาพการซึมผ่านได้ของแก๊สที่สูงขึ้น ด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

(1) การเจาะรู เจาะรูเล็กๆ ลงบนฟิล์มเพื่อให้ฟิล์มมีอัตราการซึมผ่านแก๊สออกซิเจนที่สูงขึ้น โดยวิธีการเจาะรูด้วยเลเซอร์ เปลวไฟหรือเทคโนโลยีทางกล และหากต้องการอัตราการซึมผ่านแก๊สออกซิเจนที่สูงกว่านี้ต้องใช้ฟิล์มเจาะรู ซึ่งแก๊สออกซิเจนอาจจะแพร่ผ่านฟิล์มแทนการซึมผ่านทำให้ฟิล์มเจาะรูมีอัตราการซึมผ่านแก๊สออกซิเจนที่สูงมาก (Lange, 2000)

(2) การพัฒนาโครงสร้างฟิล์ม การพัฒนาโครงสร้างฟิล์มด้วยกระบวนการแปรรูปและตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดใหม่ที่สามารถผลิตเป็นฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านแก๊สที่สูงกว่าฟิล์มทาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การค้าทั่วไป (Yam and Lee, 1995) ซึ่งฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านที่สูงนี้จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงๆได้

บรรจุภัณฑ์แอกทีฟที่พัฒนาจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) ก็จัดเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ได้จากการพัฒนาโครงสร้างของพอลิเมอร์ในระดับโมเลกุล หรือระดับนาโน ได้แก่ การควบคุมการกระจายตัวของสารตัวเติม เพื่อปรับแต่งโครงสร้างหรือช่องว่างระหว่างเฟส มีผลกระทบต่อการผ่านแก๊สในบรรจุภัณฑ์ต้นแบบที่ยอมให้แก๊สออกซิเจนผ่านได้สูง และการควบคุมโครงสร้างรูพรุน รัศมีรูพรุน และการเชื่อมต่อกันของรูพรุน ที่มีผลต่อสมบัติการยอมให้แก๊สผ่าน ซึ่งสามารถสร้างสภาวะบรรยากาศดัดแปลงภายในบรรจุภัณฑ์ให้เป็นสภาวะสมดุล หรือเรียกว่า equilibrium modified atmosphere (EMA) package โดยกลไกของบรรจุภัณฑ์ประเภทนี้เป็นหลักการหนึ่งในกลุ่มเทคโนโลยีแบบแอกทีฟที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นเทคโนโลยีการรักษาความสมดุล และการถนอมอาหารแห่งทศวรรษที่ 21 สภาวะบรรยากาศดัดแปลงในบรรจุภัณฑ์แบบสมดุลนี้จะส่งผลต่อการชะลอการหายใจ การคายน้ำ และลดการเสื่อมสภาพของผลิตผลได้ 2-5เท่า ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้สดได้ (วรรณี และ คณะ, 2548) ในปัจจุบันมีการนำบรรจุภัณฑ์แอกทีฟมาใช้ในการบรรจุผลิตผลพืชสวนเพิ่มขึ้น(งามทิพย์, 2550) ซึ่ง Gill *et al.* (2002) รายงานว่า การเก็บรักษามะเขือเทศพร้อมบริโภคที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟช่วยลดการเกิดฝ้าไอน้ำภายในบรรจุภัณฑ์และช่วยลดปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ในมะเขือเทศ นอกจากนี้ Oms-Oliu *et al.* (2008) พบว่า บรรจุภัณฑ์แอกทีฟช่วยลดปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ในผลสาลี่พร้อมบริโภคได้ แต่ไม่สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลของผลสาลี่พร้อมบริโภคได้ Barth and Zhuang (1996) รายงานว่า การเก็บรักษาบรอกโคลีเพื่อให้มีคุณภาพที่ดี ควรเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส และบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 90 เปอร์เซนต์ โดยการบรรจุในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ เป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ประหยัด และมีประสิทธิภาพในการยืดอายุภายหลังเก็บเกี่ยวและรักษาคุณภาพของบรอกโคลีโดยใช้อุณหภูมิต่ำ (Jones *et al.,* 2006; Serrano *et al.,* 2006) ซึ่งการเก็บรักษาบรอกโคลีใน Modified atmosphere packaging (MAP) และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถรักษาปริมาณ glucoraphanin และลักษณะทางคุณภาพได้ไม่น้อยกว่า 10 วัน (Rangkadilok *et al.,* 2002)

การบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงเป็นการบรรจุที่บรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์มีองค์ประกอบแก๊สแตกต่างจากบรรยากาศปกติ คือจะมีระดับแก๊สออกซิเจนที่ต่ำและระดับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับอากาศ (Gorny, 2003) อาจมีการดึงอากาศออกจากบรรจุภัณฑ์และแทนที่ด้วยแก๊สหนึ่งชนิดหรือแก๊สผสม โดยแก๊สที่ใช้จะขึ้นกับชนิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเก็บรักษาตามปัจจัยต่างๆ เช่น การหายใจของผลิตผลที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ การ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และการซึมผ่านแก๊สของบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น (Blakiston, 1999) โดยการเกิดสภาวะบรรยากาศดังกล่าวภายในบรรจุภัณฑ์นั้น มี 2 วิธี

1. Active modified atmosphere packaging

การบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบแอกทีฟเกิดจากการเติมแก๊สที่ทราบชนิดและความเข้มข้นแก๊สเพื่อให้ได้ปริมาณแก๊สตามที่ต้องการ และช่วยให้แก๊สเข้าสู่สมดุลได้อย่างรวดเร็ว แต่เป็นวิธีที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง

2. Passive modified atmosphere packaging

การบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากการที่ผลิตผลที่มีการหายใจถูกบรรจุลงในภาชนะบรรจุที่มีการซึมผ่านของแก๊สทำให้บรรยากาศภายในภาชนะบรรจุเปลี่ยนแปลง ขึ้นกับปัจจัยหลักที่สำคัญ 2 ปัจจัย ได้แก่ การหายใจของผลิตผลและการซึมผ่านแก๊สของวัสดุบรรจุ และระดับแก๊สทั้งสองจะเข้าสู่สมดุลเมื่อปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ผลิตผลใช้ไปเท่ากับปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ซึมผ่านเข้าสู่บรรจุภัณฑ์ เช่นเดียวกัน ณ จุดสมดุลแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตจากผลิตผลก็จะเท่ากับปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลออกจากบรรจุภัณฑ์ ซึ่ง ณ จุดนี้ภายในบรรจุภัณฑ์จะเต็มไปด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ขณะที่แก๊สออกซิเจนจะมีปริมาณน้อยทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้นเนื่องจากบรรยากาศดังกล่าวจะทำให้ผลิตผลมีอัตราการหายใจลดลง ชะลอการเน่าเสีย และป้องกันการเกิดสีน้ำตาล (Al-Ati and Hotchkiss, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved