บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

แหล่งกำเนิดของปวยเหล็ง

ปวยเหล็ง (Spinach: *Spinacia oleracea* L.) เป็นผักใบที่จัดอยู่ในวงศ์ Chenopodiaceae หรือ Goosefoot มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางแถบตะวันตกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย (Salunkhe and Kadam, 1998) มีรายงานว่าแหล่งกำเนิดของปวยเหล็งอยู่ใกล้กับประเทศอิหร่านซึ่งมีการปลูกปวยเหล็งมาเป็นเวลานานกว่า 2,000 ปี นิยมใช้ส่วนของใบในการประกอบอาหาร โดยสามารถรับประทานสดและแปรรูป (Rubatzky and Yamaguchi, 1997)

คุณค่าทางโภชนาการของปวยเหล็ง

ปวยเหล็งเป็นผักใบที่ประกอบด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าหลายชนิด เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก วิตามินเอ วิตามินบี วิตามินบี 2 และไนอะซิน อีกทั้งยังมีสารเบต้าแคโรทีนและวิตามินซีเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีคุณสมบัติในการบำรุงสายตา ผิวพรรณ ทำให้กระดูกแข็งแรงและช่วยป้องกันโรคมะเร็งอีกด้วย (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547; Rubatzky and Yamaguchi, 1997)

การเก็บเกี่ยว (Rubatzky and Yamaguchi, 1997)

เริ่มเก็บเกี่ยวเมื่อปวยเหล็งเจริญเติบโตเต็มที่ หรือหลังจากหว่านเมล็ดแล้ว 25-45 วัน ก่อนที่ช่อดอกจะเจริญและมีการเปลี่ยนสีใบเป็นสีเหลือง ระยะเวลาของการเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับฤดูกาลและพันธุ์ที่ปลูก โดยทั่วไปจะนิยมเก็บเกี่ยวเมื่อใบมีขนาดใหญ่จำนวน 5-8 ใบ หรือมีใบรวมทั้งหมด 25 ใบหลังจากหยอดเมล็ด ใบแก่จะเหี่ยว เหลือง และร่วงไป การเก็บเกี่ยวล่าช้าอาจมีผลให้น้ำหนักต้นเพิ่มขึ้นแต่คุณภาพของใบไม่ดี

นิยมเก็บเกี่ยวในเวลาเช้าหรือเย็น เพื่อลดความสูญเสียจากการเก็บเกี่ยว เนื่องจากในตอนกลางวันใบจะกรอบ เปราะ และหักง่าย อีกทั้งอุณหภูมิสูงซึ่งจะทำให้ปวยเหล็งมีความร้อนสะสมภายในต้นมากขึ้น วิธีการเก็บเกี่ยวจะถอนพร้อมราก จากนั้นจะล้างทำความสะอาดและผึ่งให้แห้งก่อนทำการบรรจุและขนส่ง เพื่อป้องกันการเน่าเสียจากการขนส่งระยะทางไกล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาและชีวเคมีหลังการเก็บเกี่ยวของผัก

กระบวนการต่างๆ ทั้งทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวยังคงดำเนินไปอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับในสภาวะที่ยังไม่ได้ถูกเก็บเกี่ยว โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตผล การเปลี่ยนแปลงบางอย่างทำให้คุณภาพของผลิตผลดีขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงในบางลักษณะกลับทำให้คุณภาพของผลิตผลเลวลง (สายชล, 2528)

1. การหายใจและอัตราการหายใจ

การหายใจเป็นกระบวนการซึ่งยังคงเกิดขึ้นตลอดเวลาภายในเซลล์ผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อเผาผลาญสารอาหารต่างๆ ให้ได้เป็นพลังงานออกมาและนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ภายในเซลล์ (สายชล, 2528) ปวยเหล็งจัดเป็นผักที่มีอัตราการหายใจหลังการเก็บเกี่ยวสูงมาก คือ มากกว่า 60 mg CO_2 / kg-hr (Kader, 1992) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ปวยเหล็งเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว และในขณะหายใจ อาหารสะสมต่างๆ ภายในปวยเหล็งก็จะถูกนำออกไปใช้ตลอดเวลา ทำให้คุณค่าทางโภชนาการลดลงตามไปด้วย

อัตราการหายใจของผักขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของผักในขณะที่ทำการเก็บเกี่ยว โดยผลิตผลที่กำลังเจริญเติบโต เช่น หน่อไม้ฝรั่ง มีอัตราการหายใจค่อนข้างสูงเพราะต้องใช้พลังงานในการเสริมสร้างส่วนต่างๆ ขณะที่ผลิตผลที่อยู่ในระหว่างการพักตัว เช่น มันฝรั่ง มีอัตราการหายใจที่ต่ำมาก (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) อัตราการหายใจของผลิตผลเป็นดัชนีบ่งชี้อายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ โดยผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงมักมีอายุสั้นกว่าผลิตผลที่มีอัตราการหายใจต่ำ (สายชล, 2528; Ryall and Lipton, 1978)

2. การสูญเสียน้ำ

การสูญเสียน้ำของผลิตผล เป็นกระบวนการที่น้ำเคลื่อนที่ออกจากตัวผลิตผลไปสู่อากาศภายนอก ผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้วสามารถเกิดการสูญเสียน้ำได้ตลอดเวลา ปวยเหล็งจัดเป็นผักที่มีอัตราของพื้นที่ใบสูงกว่าน้ำหนักและมีน้ำเป็นองค์ประกอบของเซลล์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการสูญเสียน้ำภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความเสียหาย และทำให้น้ำหนักที่ขายได้ลดน้อยลง อีกทั้งยังส่งผลเชิงลบต่อลักษณะปรากฏ ทำให้มูลค่าของผลิตผลลดลงและอาจมีผลต่อรสชาติของผลิตผลเช่นเดียวกับผักใบชนิดอื่นๆ โดยทั่วไปถ้าผักและผลไม้มีการสูญเสียน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพียง 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ผักและผลไม้เหี่ยว คุณภาพลดลง และอาจขายไม่ได้ราคา (จริงแท้, 2549; ดนัย, 2540; Kader, 1992)

3. องค์ประกอบของโครงสร้างของผลิตผล

ปวยเหล่งเป็นผักรับประทานใบซึ่งมีเนื้อเยื่อในส่วนของ mesophyll ส่วนใหญ่เป็นเนื้อเยื่อพาเรงคิมา (parenchyma) ซึ่งมีความบอบบางและไม่ทนต่อการกระทบกระแทก ต่างจากผลิตผลที่ประกอบด้วยเนื้อเยื่อชนิดคอลเลงคิมา (collenchyma) และสเคอเรงคิมา (sclerenchyma) ซึ่งเป็นเซลล์ชนิดที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับเนื้อเยื่อ ทำให้ผลิตผลมีความทนทาน พบมากในผลไม้บางชนิด เช่น ฝรั่ง ละมุด สาลี่ เป็นต้น ทั้งนี้โครงสร้างของเนื้อเยื่อผลิตผลแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์กับความต้านทานต่อความเสียหายของผลิตผล ซึ่งอาจเกิดบาดแผล ชอกช้ำ และตำหนิ โดยเฉพาะโครงสร้างบริเวณผิว ความแข็งแรง และความหนาของเปลือกไม่ว่าจะเป็นผักหรือผลไม้ มีบทบาทสำคัญในการป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นขณะเก็บเกี่ยว บรรจุ ขนส่ง หรือเคลื่อนย้าย ผลิตผลบางอย่างจำเป็นต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากโครงสร้างของผลิตผลไม่ทนทานต่อการชอกช้ำ ดังนั้นการจัดการในขั้นตอนต่างๆ ต้องทำอย่างระมัดระวังมากกว่าผลิตผลบางชนิด เพื่อลดความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นตามมา (สายชล, 2528)

4. กระบวนการเสื่อมคุณภาพ

ในการตัดสินใจซื้อผักและผลไม้ของผู้บริโภค ลักษณะสำคัญที่ใช้เป็นปัจจัยสำหรับประกอบการตัดสินใจซื้อผลิตผล คือ สีของผลิตผล (Gross, 1987) โดยผลิตผลที่มีสีจะดึงดูดความสนใจ อีกทั้งยังสามารถใช้สีเป็นตัวชี้บ่งระยะความสุกแก่ของผลิตผล ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่น คุณค่าทางโภชนาการ และลักษณะโดยรวมของผลิตผลด้วย (ดนัยและนิธิยา, 2548) นอกจากนี้สียังเป็นสิ่งบ่งบอกถึงความมีชีวิตของผลิตผล ถ้าพืชหรือผลิตผลสิ้นสุดชีวิตลงสีเหล่านี้ก็หายไปด้วย (จริงแท้, 2550)

คลอโรฟิลล์

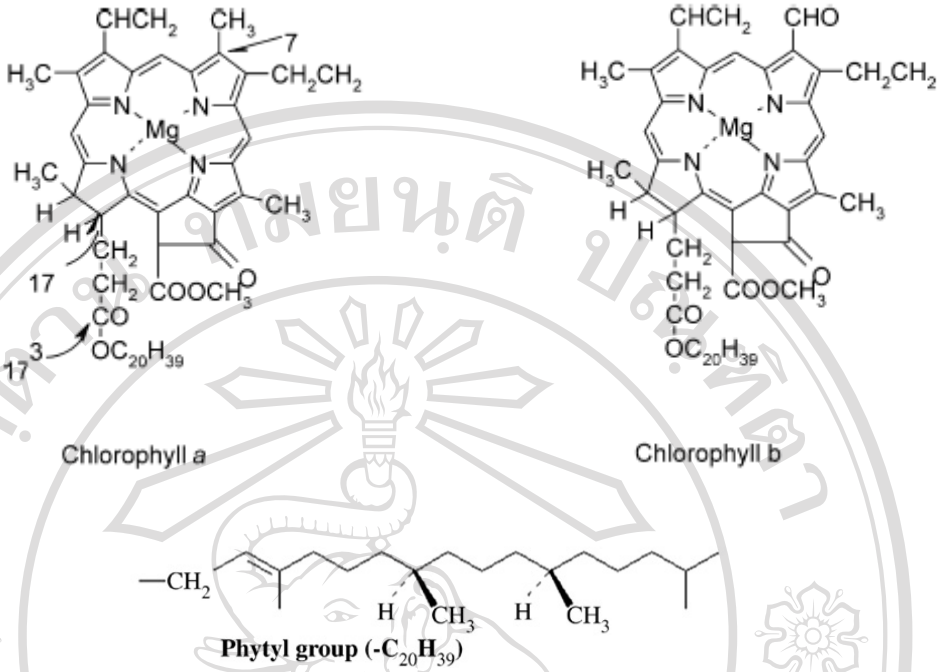
การเปลี่ยนแปลงสีเป็นลักษณะปรากฏภายนอกที่สามารถสังเกตเห็นได้ง่าย โดยเฉพาะในผักใบที่มีสีเขียว ซึ่งจะปรากฏอาการเหลืองของใบเมื่อเข้าสู่ระยะของการเสื่อมสภาพ (Fang *et al*., 1998) เช่นเดียวกับปวยเหล่งซึ่งจะปรากฏการเสื่อมสภาพ คือ เกิดการเปลี่ยนสีของใบจากสีเขียวกลายเป็นสีเหลือง โดยกลไกการเหลืองของใบปวยเหล่งนั้นเกิดขึ้นจากการเสื่อมสภาพของใบที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสลายของโปรตีน กรดนิวคลีอิก เยื่อหุ้มต่างๆ และคลอโรฟิลล์ (Buchanan-Wollaston, 1997; Nooden, 1998) ร่วมกับการสะสมสารสีเหลืองในกลุ่มแซนโทฟิลล์และแคโรทีนอยด์ที่สร้างขึ้นอยู่แล้ว การสลายตัวของสารสีสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์นี้ ส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพซึ่งเป็นดัชนีสำคัญในการเลือกซื้อของผู้บริโภค (นันทวัน, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คลอโรฟิลล์จัดเป็นสารสีในพืชที่มีความสำคัญที่สุดสำหรับสิ่งมีชีวิต เพราะเป็นสารสีที่มีหน้าที่หลักในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งรับพลังงานแสงแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมี ในพืชทุกชนิดมีทั้งคลอโรฟิลล์ เอ และ บี (Gross, 1987) แต่มีในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ดังนั้นสีเขียวของใบและต้นจึงแตกต่างกันออกไป (จริงแท้, 2550) คลอโรฟิลล์ เอ เป็นสารที่ให้สีออกไปทางสีเขียวอมน้ำเงินในขณะที่คลอโรฟิลล์ บี ให้สีออกไปทางสีเขียวอมเหลืองและมีความเป็นขั้วมากกว่าคลอโรฟิลล์ เอ (Gross, 1987)

โครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์ ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ วงแหวน porphyrins และส่วนหาง phytol โดยส่วนของวงแหวน porphyrins มีลักษณะโครงสร้างพื้นฐานเกิดจากการต่อกันของ pyrrole จำนวน 4 วง หรือเรียกว่า tetrapyrrole คลอโรฟิลล์เป็นโมเลกุลซึ่งไม่ค่อยเสถียร สลายตัวได้ง่ายจากความร้อน ออกซิเจน และสารเคมีอื่นๆ ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์แทบทุกชนิด และเมื่ออยู่ในสารละลายสามารถเรืองแสง (fluorescence) ได้ทั้งคลอโรฟิลล์ เอ และ บี แต่ในต้นพืช เฉพาะคลอโรฟิลล์ เอ เท่านั้นที่สามารถเรืองแสงได้ คลอโรฟิลล์ บี มีโครงสร้างแตกต่างจากคลอโรฟิลล์ เอ เล็กน้อยบริเวณตำแหน่งที่ 7 (ภาพ 1) ซึ่งมีหมู่อัลดีไฮด์มาแทนที่หมู่เมทิล โมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน 430 nm และสีแดง 660 nm ได้ดีกว่าช่วงคลื่นแสงอื่นๆ และสะท้อนสีเขียวออกมาทำให้เห็นเป็นสีเขียว และเมื่อคลอโรฟิลล์ เอ และ บี อยู่รวมกับโปรตีนบนเยื่อหุ้มไทลาคอยด์เป็น photosystem I และ II แล้วทำให้มีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 700 และ 680 nm ตามลำดับ (จริงแท้, 2550; Gross, 1987)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 1 โครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์

ที่มา : Schoefs, 2002; Fernandes, 2007

การสลายตัวของคลอโรฟิลล์

การเกิดสีเหลืองมีสาเหตุมาจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ในขณะที่พบการสลายตัวของสารสีชนิดอื่นน้อยมาก โดยปกติการสร้างและสลายตัวของคลอโรฟิลล์นั้นเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา แต่ในช่วงของการเสื่อมสภาพ มักพบการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ซึ่งจะเกิดขึ้นด้วยอัตราที่มากกว่าการสร้างคลอโรฟิลล์ (จริงแท้, 2549)

ขั้นตอนแรกของการสลายตัวของคลอโรฟิลล์เริ่มจากการย่อยเอาส่วนของ phytol ออกโดยเอนไซม์ chlorophyllase (Matile *et al*., 1989; Shimokawa *et al*., 1978) ซึ่งถือว่าเป็นเอนไซม์ตัวแรกที่ทำหน้าที่ในกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ จากการศึกษาในใบของบาร์เล่ย์และ oilseed rape ซึ่งเป็นพืชให้น้ำมันชนิดหนึ่ง พบเอนไซม์ chlorophyllase อยู่บริเวณเยื่อหุ้มชั้นในของคลอโร-พลาสต์ (Matile *et al*., 1997) การค้นพบนี้เป็นหลักฐานในการสนับสนุนทฤษฎีที่กล่าวว่าคลอโรฟิลล์และเอนไซม์ chlorophyllase ถูกแยกออกจากกันอย่างชัดเจนเพื่อป้องกันการถูกไฮโดรไลส์ของคลอโรฟิลล์โดยเอนไซม์ chlorophyllase ก่อนที่พืชจะเข้าสู่ระยะของการเสื่อมสภาพ (Fernandez-Lopez *et al*., 1991)

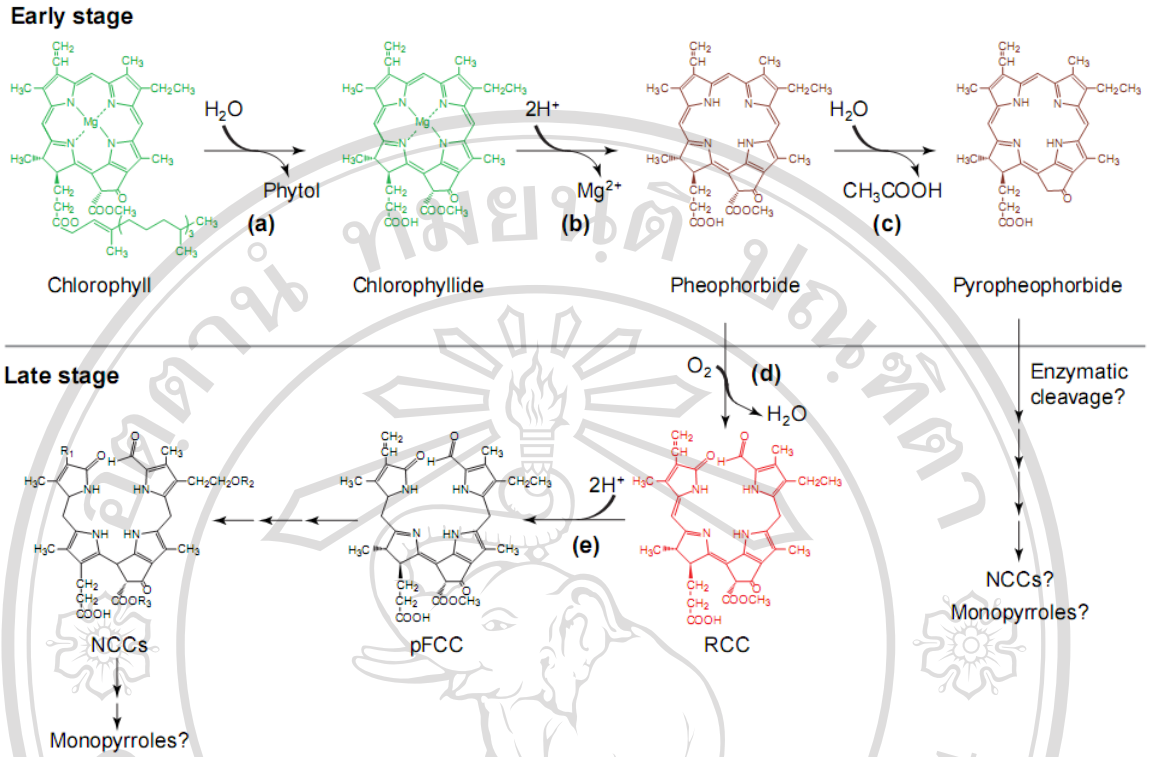
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

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

ขั้นตอนที่สามเป็นขั้นตอนการเปิดวงแหวน porphyrin ของ pheophorbide ออก ได้สารที่สูญเสียคุณสมบัติของสีเขียวไป แต่ยังคงสามารถเรืองแสงได้ เรียกสารนี้ว่า fluorescent chlorophyll catabolites (FCCs) (Ginsburg and Matile, 1993) ขั้นตอนนี้เป็นระยะที่ใบพืชซึ่งเข้าสู่ระยะของการเสื่อมสภาพเริ่มปรากฏอาการใบเหลืองให้เห็น (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) ด้วยเอนไซม์ต่างๆ ตลอดจนผ่านการ tautomerization โดยไม่ต้องใช้เอนไซม์จนได้เป็นสารที่ไม่มีสี หรือ non-fluorescent chlorophyll catabolites (NCCs) (จริงแท้, 2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2 ขั้นตอนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในพืช

ที่มา : Takamiya *et al*, 2000

a = chlorophyllase b = Mg-dechelatase c = pheophorbidase

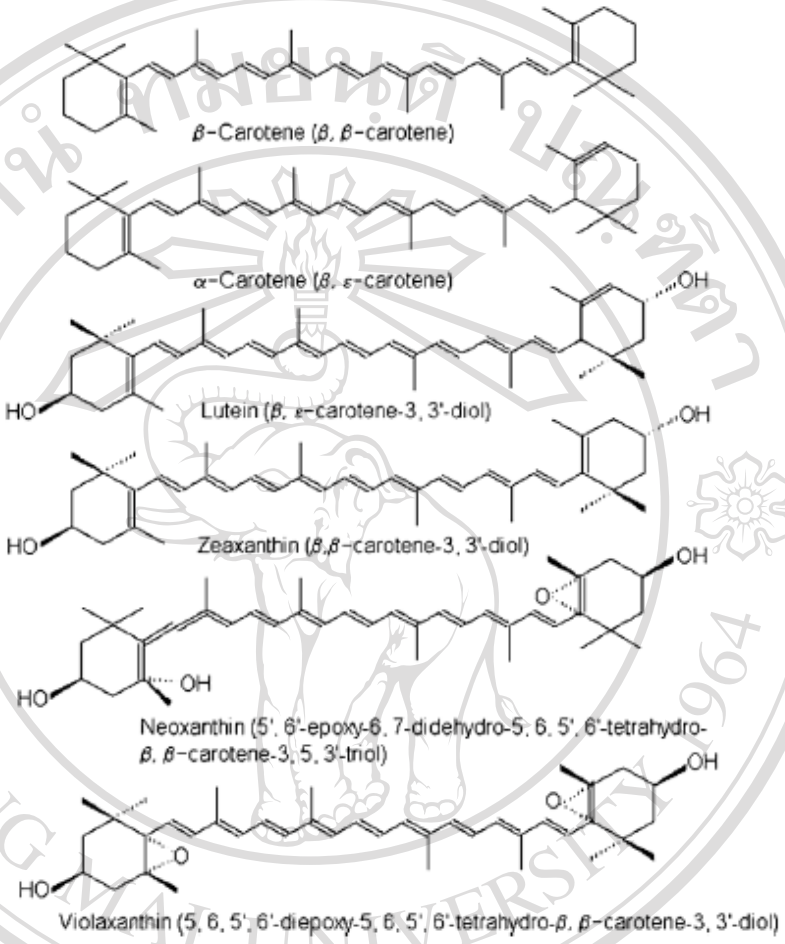
d = pheophorbide a oxygenase e = red chlorophyll catabolite reductase

แคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์เป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในไขมันอยู่ภายในพลาสทิดที่เรียกว่า 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 และทำหน้าที่กระจายพลังงานแสงส่วนเกินออกไปเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายขึ้นกับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื้อเยื่อพืช ถ้าพืชขาดแคโรทีนอยด์ พลังงานแสงจะกระตุ้นให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระมากขึ้นจนทำให้พืชตายได้ (จริงแท้, 2550)



ภาพ 3 โครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์ที่พบมากในผักใบ

ที่มา : Raju *et al*., 2007

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยปกติผลไม้มักเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองหรือแดง ในการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว คลอโรพลาสต์ซึ่งมีทั้งโมเลกุลของคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์จะพัฒนาไปเป็นโครโมพลาสต์ ซึ่งคลอโรฟิลล์สลายตัวไปในขณะที่แคโรทีนอยด์ถูกสร้างมากขึ้นหรือมีปริมาณคงที่เท่าเดิม ส่วนการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ระหว่างการเก็บรักษานั้นยังมีข้อมูลไม่ชัดเจน โดยทั่วๆ ไปแคโรทีนอยด์ค่อนข้างจะเสถียรอยู่ภายในพืชระหว่างการเก็บรักษา หลังการเก็บเกี่ยวปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโมเลกุลของแคโรทีนอยด์อยู่ภายในพลาสทิด และเกาะอยู่กับโปรตีนบนเยื่อหุ้มหรือรวมตัวกันเป็นผลึกจึงปลอดภัยต่อการ

สลายตัวจากปัจจัยภายนอก อย่างไรก็ตาม มีหลักฐานบ่งชี้ว่าเมื่อเก็บรักษาผักผลไม้ไว้นาน โดยเฉพาะในผลไม้เนื้อนุ่ม (soft fruit) เมื่อเยื่อหุ้มของเนื้อเยื่อต่างๆ ถูกทำลายลง แคโรทีนอยด์ก็จะถูกออกซิไดส์ไปด้วยเช่นกัน (จริงแท้, 2550)

5. การสูญเสียคุณค่าทางอาหาร

การสูญเสียคุณค่าทางอาหารบางส่วนในผักและผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยวนั้น มีสาเหตุจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมกับการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป โดยอุณหภูมิจะมีบทบาทต่อการทำงานของเอนไซม์ที่อยู่ในเซลล์ผลิตผล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี อีกทั้งชักนำให้เกิดการเสื่อมสภาพของผลิตผลที่เร็วกว่าปกติ (ดนัยและนิธิยา , 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) นอกจากนี้ยังพบว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการสูญเสียวิตามินซี โดยเฉพาะในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงเกินไปหรืออุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง สามารถทำให้เนื้อเยื่อของผลิตผลเกิดอันตรายและเร่งการเกิดออกซิ-เดชั่นของวิตามินซี ทำให้ผลิตผลมีการสูญเสียวิตามินซีเร็วขึ้น โดยปกติผักกินใบสามารถเก็บไว้และคงสภาพที่ดีได้ที่อุณหภูมิเหนือจุดเยือกแข็ง ซึ่งการเก็บรักษาผลิตผลในสภาพอุณหภูมิต่ำเป็นการป้องกันการสูญเสียวิตามินซีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด (สายชล, 2528) นอกจากนี้ในผักบางชนิด เช่น คะน้า เทอร์นิพ ปวยเหล็ง กะหล่ำปลี และถั่วพุ่ม เป็นผักที่เหี่ยวง่าย ซึ่งการเหี่ยวของผลิตผลนั้นเป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้ผลิตผลเกิดการสูญเสียวิตามินซีไปด้วย (ดนัยและนิธิยา, 2548)

แหล่งที่มาของความร้อนในผลิตผล

ผักและผลไม้เป็นสิ่งมีชีวิตที่แม้จะถูกเก็บเกี่ยวจากต้นแล้วก็ตาม ยังคงมีกระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ เกิดขึ้นมากมายซึ่งมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของผลิตผลจนกว่าจะถึงมือของผู้บริโภค โดยผลิตผลยังคงมีการหายใจอยู่ตลอดเวลา ผลของการหายใจนี้ทำให้เกิดความร้อนขึ้นดังสมการที่ 1

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{Heat } 673 \text{ Kcal} \qquad \textbf{สมการที่ 1}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการหายใจเป็นกระบวนการออกซิเดชั่น-รีดักชั่นอาหารที่พืชสะสมไว้ในขณะที่ยังติดอยู่กับต้น โดยอาหารสะสมจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนออกซิเจนที่เซลล์ได้รับจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นน้ำ อาหารที่เป็นสารเริ่มต้นของการหายใจ ได้แก่ แป้ง ฟรุคโตแซน ซูโครส น้ำตาลชนิดอื่นๆ ไขมัน กรดอินทรีย์ และในบางกรณีโปรตีนก็สามารถเป็นสารเริ่มต้นของการหายใจได้เช่นเดียวกัน (ดนัย, 2540; จริงแท้, 2549) ผลจากกระบวนการหายใจจะมีพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งถูกปล่อยออกมาด้วย เรียกว่า vital heat ซึ่งปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช พันธุ์ ระยะความแก่ ระยะการสุก การมีบาดแผล อุณหภูมิ และสภาวะความเครียดต่างๆ ความร้อนจาก vital heat นี้จะใช้เป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลในการจัดการด้านอุณหภูมิของผลิตผลก่อนการเก็บรักษา (ดนัยและนิธิยา, 2548) ความร้อนอีกส่วนหนึ่งที่ต้องกำจัดให้เร็วที่สุดหลังการเก็บเกี่ยว คือ ความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูก หรือเรียกว่า field heat เนื่องจากเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมคุณภาพของผลิตผล (McDonald and Sun, 2000) ผักและผลไม้ก่อนที่จะถูกเก็บเกี่ยวมาจะได้รับการถ่ายเทความร้อนจากสิ่งแวดล้อมรอบข้าง โดยเฉพาะแสงอาทิตย์ทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อม เกิดการสะสมของความร้อนในตัวค่อนข้างสูง (จริงแท้, 2549) เมื่อขนย้ายผลิตผลมายังโรงคัดบรรจุและกองรวมกันไว้ ถ้าการถ่ายเทอากาศไม่สะดวกจะทำให้ความร้อนที่คายออกมาจากผลิตผล (vital heat) รวมกับความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูก (field heat) สะสมอยู่ภายในกองผลิตผล ซึ่งจะไปเร่งกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ภายในเซลล์ให้เกิดเร็วขึ้น มีผลทำให้คุณภาพและอายุการเก็บรักษาสั้นลงตามไปด้วย (ดนัยและนิธิยา, 2548) มีรายงานว่าการลดอุณหภูมิของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวจาก 10 องศาเซลเซียส เหลือ 5 องศาเซลเซียส สามารถช่วยยืดอายุการวางจำหน่ายของผลิตผลได้นานเพิ่มขึ้นสองเท่า (Cheyney *et al*., 1979; McDonald and Sun, 2000) และการเก็บรักษาผักกาดหอมไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ สามารถเก็บรักษาผลิตผลไว้ได้นานถึง 14 วัน ซึ่งหากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องผลิตผลจะมีอายุการเก็บรักษาเพียง 3-5 วัน เท่านั้น (Artes and Martinez, 1996)

นอกจากความร้อนจากการหายใจและความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูกแล้ว ยังมีความร้อนจากสภาพแวดล้อมอื่นๆ อีก เช่น ความร้อนที่ติดมาจากภาชนะบรรจุ ความร้อนจากอากาศรอบๆ ผลิตผล ความร้อนจากดวงไฟในห้องลดอุณหภูมิ ฯลฯ ดังนั้นการลดอุณหภูมิผลิตผลควรพิจาณาอย่างละเอียดเพื่อให้การลดอุณหภูมิเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด (จริงแท้, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การลดอุณหภูมิ (Cooling)

การลดอุณหภูมิ เป็นการกำจัดความร้อนที่สะสมในผลิตผลหลังจากการเก็บเกี่ยวออกไปเพื่อให้อุณหภูมิของผลิตผลลดต่ำลง ก่อนที่จะนำไปเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น (ภูธร, 2543) โดยอาศัย

ตัวกลางเป็นตัวนำหรือพาออกไป สามารถช่วยยับยั้งการเน่าเสียและลดอัตราการสูญเสียทางด้านคุณภาพและรสชาติของผลิตผล (สายชล, 2528) อัตราของการทำให้เย็นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้ (จริงแท้, 2549)

- การนำความร้อน (thermal conductivity) ของผลิตผลและตัวกลาง ถ้านำความร้อนได้ดีอุณหภูมิก็จะลดลงได้เร็ว
- ความจุความร้อนของตัวกลาง ถ้ามีมากก็จะสามารถนำความร้อนออกจากผลิตผลได้มาก การลดอุณหภูมิทำได้เร็วขึ้น
- ความจุความร้อนของผลิตผล ถ้ามีมากจะส่งผลให้การลดอุณหภูมิเกิดได้ช้าลงเพราะความร้อนที่สะสมในผลิตผล
- ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผลิตผลกับตัวกลาง ยิ่งต่างกันมากยิ่งทำให้เย็นได้เร็วและเมื่อความแตกต่างลดลง อัตราการเย็นตัวก็ช้าลงไปด้วย
- การสัมผัสระหว่างตัวกลางกับผลิตผล ยิ่งผลิตผลมีพื้นที่สัมผัสกับตัวกลางมากเท่าใดเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิก็จะลดลง
- การเคลื่อนไหวของตัวกลาง ถ้าเคลื่อนไหวเร็วมากก็พาความร้อนออกไปได้มาก

ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้วิธีการลดอุณหภูมิ

การลดอุณหภูมิของผลิตผลสามารถทำได้หลายวิธี จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับชนิดของผลิตผล เนื่องจากผลิตผลต่างชนิดกันย่อมมีความแตกต่างทางสรีรวิทยาและกายวิภาคศาสตร์ทำให้อัตราการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยวต่างกัน การเลือกใช้วิธีใดต่อผลิตผลมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ (จริงแท้, 2549; ดนัยและนิธิยา, 2548)

1. ความสามารถในการรับแรงกระทบกระเทือนของผลิตผล เช่น ผลิตผลที่บอบบาง ช้ำง่าย ย่อมไม่เหมาะกับการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการใช้น้ำเย็น (hydrocooling) เพราะอาจทำให้ช้ำ และเน่าเสียเร็วยิ่งขึ้น

2. ภาชนะที่ใช้บรรจุผลิตผล เนื่องจากการลดความร้อนในแต่ละวิธีจะใช้ตัวกลางที่แตกต่างกันไป การเลือกใช้ภาชนะบรรจุให้เหมาะสมกับวิธีการจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้ดียิ่งขึ้น เช่น การลดอุณหภูมิด้วยวิธีการผ่านอากาศเย็น ภาชนะที่ใช้ต้องมีช่องระบายอากาศที่เพียงพอ ส่วนการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น ภาชนะที่ใช้ต้องทนน้ำ ไม่เสียรูปทรงเมื่อสัมผัสกับน้ำ

3. ระยะเวลาในการจัดการ วิธีการที่เลือกใช้ต้องสัมพันธ์กับเวลา โดยระยะเวลาเป็นปัจจัยที่ใช้กำหนดวิธีการในการปฏิบัติกับผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว เช่น ถ้าหากแหล่งผลิตอยู่ใกล้กับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปลายทางที่ต้องการขนส่ง ใช้เวลาไม่มากและคุณภาพของผลผลิตยังไม่เปลี่ยนแปลง ก็อาจไม่จำเป็นต้องทำการลดอุณหภูมิ แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าแหล่งผลิตอยู่ไกล ต้องใช้เวลาในการขนส่งนาน และมีเวลาในการจัดการกับผลิตผลน้อย ก็จำเป็นที่จะต้องเลือกวิธีการลดอุณหภูมิที่ใช้เวลาน้อยที่สุด

4. ต้นทุนในการจัดการ วิธีที่เลือกใช้ต้องเหมาะสมกับราคาผลิตผล เพื่อไม่ให้เป็นการเพิ่มต้นทุนให้กับผลิตผลมากเกินไปจนไม่คุ้มค่ากับการลงทุน

5. ความคุ้นเคยกับวิธีการของผู้ปฏิบัติงาน เพราะถ้าผู้ปฏิบัติงานมีความคุ้นเคยในวิธีการที่ปฏิบัติจะส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานมากยิ่งขึ้น

6. ความยาวของฤดูกาลเก็บเกี่ยว หากผลิตผลมีฤดูกาลเก็บเกี่ยวนาน มีผลิตผลออกสู่ตลาดอย่างต่อเนื่อง ถ้าต้องการเลือกใช้วิธีการที่มีต้นทุนสูงกว่า ก็สามารถทำได้ เนื่องจากคุ้มค่ากับการลงทุน แต่ถ้าฤดูกาลเก็บเกี่ยวสั้น การเลือกวิธีการที่มีต้นสูง อาจไม่คุ้มค่ากับการลงทุน

การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ (Vacuum Cooling)

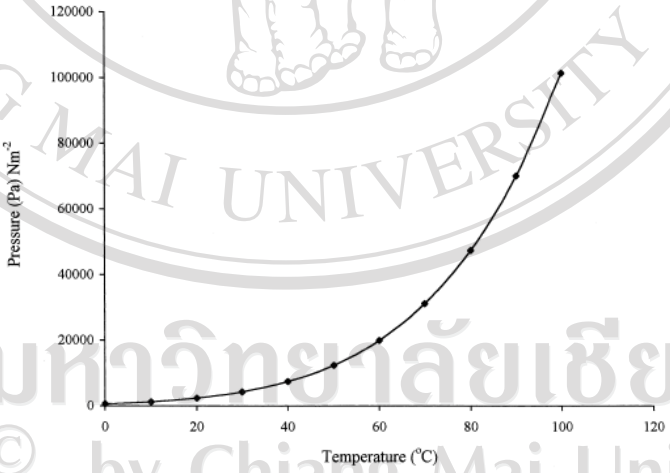
การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมอาหาร (McDonald *et al*., 2000) โดยนิยมใช้กับผลิตผลจำพวกผักใบ (Turk and Celik, 1993; Tambunan *et al*., 1994; Sullivan *et al*., 1996) และเห็ดต่างๆ (Gormley and MacCanna, 1967; Burton *et al*., 1987; Frost *et al*., 1989) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดความร้อน ยืดอายุการวางจำหน่าย และรักษาคุณภาพของผลิตผล ในประเทศสหรัฐอเมริกามีการใช้วิธีการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศกับผลิตผลทางการเกษตรมานานกว่า 50 ปี (Barger, 1961) ในปี ค.ศ. 1984 โรงงานแห่งหนึ่งในเมือง Salinas มลรัฐแคลิฟอร์เนีย ถือเป็นโรงงานแห่งแรกที่นำเทคนิคการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศไปใช้ในเชิงพาณิชย์โดยใช้กับผักกาดหอม (Thompson and Rumsey, 1984)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลักการทำงานของการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

การลดอุณหภูมิโดยวิธีนี้อาศัยหลักของการระเหยน้ำออกจากผลิตผลอย่างรวดเร็วด้วยการลดความดันบรรยากาศลงจนกระทั่งถึงระดับความดันไออิ่มตัว (saturated water vapor pressure) ของผลิตผล ณ อุณหภูมิที่ต้องการ ซึ่งจะทำให้จุดเดือดของน้ำต่ำลง (Tambunan *et al*., 1994) ดังนั้นความร้อนที่สะสมอยู่ในตัวผลิตผล (heat of vaporization) เพียงพอที่จะทำให้น้ำที่อยู่ภายในผลิตผลเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอและในเวลาเดียวกันสามารถพาเอาความร้อนออกจากตัวผลิตผลด้วย ทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิลดต่ำลง (Wang and Sun, 2001) ซึ่งปริมาณความชื้นที่ระเหยออกจากผลิตผล

ในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับความร้อนจำเพาะ (specific heat) และอุณหภูมิที่ลดลงของผลิตผลดังกล่าว (Lewis, 1990) ปริมาณไอน้ำที่ระเหยออกมาสามารถหาได้จากความร้อนที่สูญเสียไปของผลิตผล ซึ่งมีค่าเท่ากับความร้อนแฝงของการระเหยกลายเป็นไอ (Longmore, 1971; Anonymous, 1971) ขอบเขตของการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการนี้สามารถควบคุมได้โดยการปรับสภาวะสุญญากาศ หากต้องการลดอุณหภูมิของผลิตผลที่ความดันบรรยากาศลงเป็นอุณหภูมิเท่าใด จะต้องปรับค่าความดันในระบบให้สัมพันธ์กับความดันไออิ่มตัว ณ อุณหภูมิที่ต้องการ (Lewis, 1990) โดยทั่วไปผลิตผลที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบภายในเซลล์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เช่น ผักกาดหอม และเห็ดชนิดต่างๆ จะมีการสูญเสียน้ำประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ในทุกๆ 5.5-6.0 องศาเซลเซียส ของอุณหภูมิที่ลดลง (Barger, 1963; Frost *et al*., 1989) ดังนั้นการลดอุณหภูมิด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับผลิตผลที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบเป็นส่วนใหญ่ภายในเซลล์ และมีลักษณะโครงสร้างที่มีความพรุนของผิวสัมผัส ทำให้น้ำสามารถระเหยออกได้ง่าย (Zheng and Sun, 2004) นอกจากนี้ผลิตผลดังกล่าวควรมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงและทนต่อสภาวะที่ต้องมีการระเหยน้ำออกจากเซลล์โดยไม่เกิดความเสียหายต่อตัวผลิตผลมากจนเกินไปหลังการระเหยน้ำ (Nobel, 1985)



ภาพ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดเดือดของน้ำกับระดับความดันอิ่มตัว

ที่มา : McDonald and Sun, 2000

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศนี้มีทั้งข้อดีและข้อเสีย ผู้ใช้ควรพิจารณาอย่างละเอียดและเลือกใช้ให้เหมาะสมกับผลิตผลเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ข้อดี คือ

1. ประหยัดเวลาในการลดอุณหภูมิ โดยทั่วไปการลดอุณหภูมิผักกาดหอมด้วยวิธีการอื่นๆ เช่น การใช้วิธีการผ่านอากาศเย็น (forced-air cooling) พบว่าการลดอุณหภูมิจาก 26 องศาเซลเซียส เหลือ 2 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิทั้งหมด 3 ชั่วโมง 10 นาที (จิระพันธ์และคณะ, 2548) เมื่อเปรียบเทียบกับการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ พบว่าในการลดอุณหภูมิจาก 25 องศาเซลเซียส เหลือ 1 องศาเซลเซียส สามารถลดอุณหภูมิผลิตผลได้ตามต้องการภายในระยะเวลาเพียง 30 นาที (Everington, 1993) ซึ่งถือว่าเป็นลักษณะเด่นสำหรับการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากช่วยเสริมกำลังการผลิต ทำให้ผู้ผลิตสามารถจัดการกับผลิตผลจำนวนมากได้ในระยะเวลาอันสั้น และส่งผลให้การกระจายผลิตผลไปยังผู้บริโภคทำได้รวดเร็วยิ่งขึ้น (Zheng and Sun, 2004)

2. ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา มีรายงานว่าในการเก็บรักษาเห็ดซึ่งผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับบรรจุภัณฑ์ที่ดัดแปลงบรรยากาศ (modified atmosphere packaging) ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น (Zheng and Sun, 2004; Tao *et al*., 2007) เช่นเดียวกันกับผักกาดหอมที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและบรรจุในถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน มีผลทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นและช่วยลดอัตราการสูญเสียน้ำหนักสดของผลิตผลลงได้ (Barger, 1961; Aharoni and Yehosua, 1973; Artes and Martinez, 1996)

3. ผลิตผลมีอุณหภูมิสม่ำเสมอ การลดอุณหภูมิผลิตผลด้วยระบบนี้ สามารถดึงเอาความร้อนออกจากตัวผลิตผลได้ดี แม้ว่าผลิตผลจะถูกบรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์หรือถูกห่อหุ้มไว้ด้วยวัสดุใดๆ ก็ตาม การลดอุณหภูมิโดยวิธีนี้สามารถทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิที่สม่ำเสมอทั่วกันทั้งภายในและภายนอก (Barger, 1961; Nobel, 1985) แต่ทั้งนี้บรรจุภัณฑ์หรือวัสดุที่ใช้ห่อหุ้มผลิตผลนั้นต้องมีคุณสมบัติที่สามารถให้น้ำระเหยออกได้ด้วย (Barger, 1961)

4. ผลิตผลไม่ถูกกระทบกระเทือน การลดอุณหภูมิผลิตผลด้วยวิธีการอื่น อาจเกิดความเสียหายต่อตัวผลิตผลได้ เช่น การลดอุณหภูมิด้วยวิธีการใช้น้ำเย็น (hydrocooling) เนื่องจากในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมินี้ อาจเกิดการกระทบกระเทือนเนื่องด้วยการเคลื่อนที่ของผลิตผลในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ ซึ่งในการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศไม่มีการเคลื่อนที่ผลิตผลในระหว่างกระบวนการ จึงไม่เกิดความเสียหายต่อผลิตผลอันเนื่องมาจากการถูกกระทบกระเทือน (Longmore, 1973; Anonymous, 1971)

5. ประหยัดพลังงาน มีรายงานว่าการลดอุณหภูมิของผักกาดหอมด้วยระบบสุญญากาศ (vacuum cooling) โดยลดอุณหภูมิผลิตผลจาก 26 องศาเซลเซียส เหลือ 2 องศาเซลเซียส ใช้พลังงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประมาณ 0.56 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ต่อการลดอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น (hydrocooling) ซึ่งใช้พลังงาน 3.7 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ต่อการลดอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส (Wang and Sun, 2001) แสดงให้เห็นได้ว่าการลดอุณหภูมิด้วยวิธีสุญญากาศช่วยประหยัดต้นทุนในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลได้เป็นอย่างดี

6. ใช้พื้นที่น้อย เนื่องด้วยการลดอุณหภูมิผลิตผลด้วยระบบสุญญากาศเป็นวิธีการที่ประหยัดเวลา สามารถลดอุณหภูมิผลิตผลได้ตามต้องการภายในระยะเวลาอันสั้น เมื่อเปรียบเทียบกับการลดอุณหภูมิผลิตผลด้วยวิธีการผ่านอากาศเย็น (forced-air cooling) หรือการเก็บไว้ในห้องเย็น (room cooling) ซึ่งเป็นวิธีการที่มีความจำเป็นต้องใช้พื้นที่มากสำหรับการลดอุณหภูมิในแต่ละครั้ง อีกทั้งยังใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิที่นานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบสุญญากาศ ดังนั้นในระบบการผลิตใหญ่ๆ ที่มีผลผลิตออกออกสู่ตลาดคราวละมากๆ จึงจำเป็นต้องสร้างห้องลดอุณหภูมิให้มีขนาดเพียงพอต่อปริมาณผลผลิต ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนของผู้ผลิตให้สูงขึ้น ต่างจากการใช้ระบบสุญญากาศซึ่งสามารถลดอุณหภูมิผลิตผลได้คราวละมากๆ อีกทั้งยังใช้ระยะเวลาสั้นสำหรับการลดอุณหภูมิในแต่ละครั้ง ดังนั้นจึงทำให้ผู้ผลิตสามารถจัดการกับผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Greidanus, 1971)

ข้อเสีย คือ

1. การสูญเสียน้ำหนัก เป็นปัญหาหลักที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ เนื่องจากในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ ผลิตผลจะมีการสูญเสียน้ำโดยการระเหยกลายเป็นไอ (Barger, 1961) ซึ่งมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำหนักนี้โดยพื้นที่ผิวของผลิตผลก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องโดยตรง พบว่ายิ่งผลิตผลมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก การสูญเสียน้ำหนักก็มากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตผล (Nobel, 1985) ผู้ผลิตอาจลดการสูญเสียที่จะเกิดขึ้นนี้โดยการพรมผลิตผลด้วยน้ำเย็นก่อนทำการลดความดันบรรยากาศ (Chen, 1988; Sun, 1999) หรือฉีดพ่นละอองน้ำระหว่างการลดอุณหภูมิ (hydrovac) (ดนัยและนิธิยา, 2548) วิธีนี้สามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำจากผลิตผลลงได้มาก เพราะการระเหยกลายเป็นไอและการพาความร้อนออกจากผลิตผลจะเกิดกับน้ำที่พรมไว้ก่อน ทำให้ผลิตผลมีคุณภาพที่ดีขึ้นได้ (จริงแท้, 2548)

2. การลงทุนสูง การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศเป็นเทคโนโลยีที่ต้องมีการลงทุนสูง เนื่องจากชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆ มีราคาแพง ดังนั้นการลงทุนครั้งแรกในการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการลดอุณหภูมิจึงต้องใช้เงินลงทุนมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการลดอุณหภูมิด้วยวิธีอื่นๆ แล้วพบว่า การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีค่าใช้จ่ายในการลดอุณหภูมิแต่ละครั้งต่อหน่วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของผลิตผลต่ำกว่าวิธีอื่นๆ ดังนั้นเมื่อมองถึงการลงทุนในระยะยาวจึงถือว่าเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า (Longmore, 1973)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved