บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ผักกาดหอมมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sativa* L. เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Asteraceae (Compositae) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศยุโรปและเอเชีย (Thompson and Kelly, 1957)

ผักกาดหอมเป็นพืชที่ปลูกในประเทศเขตหนาวและเขตกึ่งร้อนของโลก ประเทศสหรัฐอเมริกา ถือว่าเป็นแหล่งผลิตผักกาดหอมที่สำคัญของโลก ในปี ค.ศ.1997 สหรัฐอเมริกามีพื้นที่ปลูกผักกาดหอมทั้งสิ้นรวม 113,000 ไร่ ได้ผลผลิต 3.9 ล้านตัน เป็นมูลค่า 1,600 ล้านเหรียญสหรัฐ ชนิดของผักกาดหอมที่นิยมปลูก คือ ผักกาดหวาน (Cos) ประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตรองลงมาคือ Butterhead และผักกาดหอมใบ (Leaf type) นอกจากนี้ยังมีการผลิตในอีกหลายประเทศ ได้แก่ อังกฤษ เนเธอร์แลนด์ อิตาลี ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น และอิสราเอล เป็นต้น (Ryder, 1998)

ผักกาดหอมเป็นพืชในเขตหนาว เจริญเติบโตได้ดีเมื่ออุณหภูมิช่วงกลางวันอยู่ระหว่าง 18-25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิช่วงกลางคืนอยู่ในช่วง 10-15 องศาเซลเซียส (Ryder, 1998) แต่ถ้าปลูกผักกาดหอมในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง ผลผลิตสดที่ได้จะมีคุณภาพต่ำ คือ ใบมีรสขม และเกิดการแทงช่อดอกเร็ว ผักกาดหอมเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินแทบทุกชนิด แต่สามารถปลูกได้ผลดีที่สุดในดินร่วน ซึ่งมีการระบายน้ำและระบายอากาศดี มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อยู่ราวๆ 6.5-7.2 มีความชื้นในดินพอสมควร พื้นที่ปลูกผักกาดหอมควรให้ได้รับแสงเต็มที่ตลอดวัน มีธาตุอาหารอย่างเพียงพอ ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจน นอกจากนี้ผักกาดหอมยังมีการตอบสนองต่อดินเค็ม โดยเฉพาะในดินทราย ซึ่งจะมีผลไปยับยั้งการงอกหรือทำให้การเจริญเติบโตชะงัก เกิดอาการแคระแกร็น (Ryder, 1998 ; สุทธิชัย, 2543 ; เมฆ, 2544) ปัจจุบันสามารถแบ่งผักกาดหอมออกตามลักษณะของต้นและใบได้ 5 กลุ่มคือ (นิพนธ์, 2543)

1. Leaf Lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa* L.) บางครั้งเรียกว่า bunching lettuce หรือ loose-leaf (สลัดใบหรือผักกาดหอม) สายพันธุ์นี้จะมีลำต้นสั้นและใบเจริญเป็นกระจุก มีใบจำนวนมาก ลักษณะรูปร่างและสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ ในประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ โดยเฉพาะพันธุ์ที่มีใบสีเขียวอ่อน เช่น พันธุ์ Blackseeded Simpson และ Grand Rapid เป็นต้น
2. Crisp-head (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.) บางครั้งเรียกว่า head lettuce หรือ iceberg type (สลัดปลี ผักกาดหอมห่อ ผักกาดแก้ว หรือสลัดแก้ว) มีใบขนาดใหญ่น้ำหนักมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ใบในจะม้วนและซ้อนกันคล้ายกะหล่ำปลี หัวแน่น ใบแข็ง กรอบกว่าสายพันธุ์อื่นๆ ใบนอกจะมีสีเขียวเข้ม ใบในมีสีเหลืองปนขาว ทนทานต่อการขนส่ง

3. Butterhead (*Lactuca sativa* var. *capitata* Lam.) บางครั้งเรียก Bibb หรือ Boston lettuce คือ สลัดกึ่งห่อหรือสลัดบัตเตอร์ ใบอ่อนและนิ่ม ห่อปลีหลวม ใบด้านในมีลักษณะคล้ายมีน้ำมันหรือเนยจับที่ผิวใบ การปลูกในฤดูหนาวให้หัวขนาดใหญ่และหัวแน่นกว่าฤดูร้อน การปลูกในฤดูร้อน ฤดูฝน ควรปลูกในโรงเรือนที่สามารถลดอุณหภูมิ ความเข้มของแสง และป้องกันฝน บางสายพันธุ์ในกลุ่มนี้มีความต้านทานต่อโรคใบด่างของสลัด (Lettuce Mosaic Virus : LMV) รสชาติดีแต่ไม่ทนทานต่อการขนส่ง
4. Cos หรือ Romain (*Lactuca sativa* var. *longefolia* Bailey) สลัดคอส สลัดโรเมน หรือผักกาดหวาน ใบมีลักษณะตั้งตรงยาวและห่อ สีเขียวเข้ม เนื้อใบหนามีเส้นใบนูนเด่นออกมาด้านหลัง ใบในจะมีปลายโค้งเข้าข้างในทำให้หัวกลมยาว
5. Stem (*Lactuca sativa* var. *asparagina*) ในบางครั้งเรียก Asparagus หรือ Celtuce (Celery-Lettuce) มีลักษณะลำต้นสูง ใบจะเรียวยาว เจริญติดๆ กันขึ้นไปจนถึงช่อดอก อาจจะทยอยเก็บเกี่ยวโดยเริ่มจากใบล่าง เหมาะสำหรับใช้เป็นพืชผักสวนครัว ลำต้นสามารถนำไปประกอบอาหารและแปรรูปได้

ผักกาดหอมโอ๊คลีฟ (Oak Leaf Lettuce) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Lactuca sativa* var. *crispa* L. ลักษณะทั่วไปของผักกาดหอมโอ๊คลีฟ คือ ใบมีลักษณะบาง ขอบใบหยัก มีทั้งสีเขียวและแดงขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชีย และยุโรป เป็นพืชฤดูเดียว มีลำต้นอวบสั้นช่วงข้อถี่ ใบจะเจริญจากข้อเป็นกลุ่ม มีระบบรากแก้วที่สามารถเจริญลงไปในดินอย่างรวดเร็ว ช่อดอกเป็นแบบ panicle สูง 2-4 ฟุต ประกอบด้วยดอก 10-25 ดอกต่อช่อ เป็นดอกสมบูรณ์เพศกลีบดอกสีเหลืองหรือขาวปนเหลือง ดอกจะบานช่วงเช้า และเป็นในระยะสั้น โดยเฉพาะในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ (สำนักพัฒนาเกษตรที่สูง สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

ผักกาดหอมโอ๊คลีฟเป็นพืชที่ต้องการสภาพอากาศเย็น โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 10-24 องศาเซลเซียส ซึ่งในสภาพอุณหภูมิสูง เป็นสาเหตุทำให้พืชมีการเจริญเติบโตทางใบลดลง และพืชสร้างสารคล้ายน้ำนม หรือยางมาก เส้นใยสูง เหนียว และมีรสขม

สภาพดินที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกควรเป็นดินร่วนซุย มีความอุดมสมบูรณ์ และมีอินทรียวัตถุสูง หน้าดินลึก และอุ้มน้ำได้ดีปานกลาง สภาพความเป็นกรดด่างของดินอยู่ระหว่าง 6.0-6.5 พื้นที่ปลูกควรเป็นพื้นที่โล่ง และได้รับแสงแดดอย่างเต็มที่ เนื่องจากใบผักกาดหอมมีลักษณะบาง ไม่ทนต่อฝน ดังนั้นในช่วงฤดูฝนควรปลูกในโรงเรือน

ข้อควรระวัง

1. ในฤดูฝนควรทำการเก็บเกี่ยวก่อนผักเจริญเติบโตเต็มที่ประมาณ 2-3 วัน เพราะว่าผักเน่าเสียง่าย
2. ควรเก็บซากพืชนำไปเผาหรือฝังลึกประมาณ 1 ฟุต เพื่อป้องกันการระบาดและสะสมโรคในแปลงปลูก

ตารางที่ 1 โรคแมลงศัตรูที่สำคัญในระยะต่างๆ ของการเจริญเติบโต

ระยะการเจริญเติบโต	ระยะกล้า 20-25 วัน	ระยะย้ายปลูกตั้งตัว 25-30 วัน	ระยะเจริญเติบโต 30-35 วัน	ระยะเก็บเกี่ยว 45-55 วัน
โรคกล้าเน่า	← →			
โรคใบจุด		← →		
โรครากปม	← →			

ที่มา : สำนักพัฒนาเกษตรที่สูง สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2546)

ปัจจุบันมีการปลูกผักในระบบไฮโดรโพนิกส์ในระดับการค้า โดยผักกาดหอมเป็นผักที่ได้รับความนิยมในการผลิตด้วยระบบไฮโดรโพนิกส์ พันธุ์ที่นิยมนำมาปลูกเป็นการค้าในเมืองไทย มีดังนี้ Red Coral, Red Oak, Green Oak, Bathavia, Butterhead และ Green Cos เป็นต้น สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ ระดับความเข้มข้นของสารละลาย EC (Electrical Conductivity) มีค่าเท่ากับ 0.8-1.0 mS/cm ระดับ pH ของสารละลาย มีค่าเท่ากับ 6.0-6.8 ต้องการแสงเต็มที่ตลอดเวลา ในพวกที่เป็นใบต้องการอุณหภูมิ 21-26 องศาเซลเซียส และพวกห่อ 15-21 องศาเซลเซียส (มนูญ, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความหมายของ “การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน” (ดิเรก, 2547)

จากคำว่า “ไฮโดรโพนิกส์” หรือ “ไฮโดรพอนิกส์” มาจากภาษาอังกฤษคือ “Hydroponics” เป็นการปลูกพืชที่ไม่ใช้วัสดุปลูก (Nonsubstrate หรือ Water Culture) กล่าวคือจะทำการปลูกพืชลงบนสารละลายธาตุอาหารพืช โดยให้รากพืชสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารโดยตรงนั่นเอง คำว่า Hydroponics มาจากการรวมคำในภาษากรีกสองคำ คือคำว่า “Hydro” หมายถึง “น้ำ” และ “Ponos” หมายถึง “งาน” เมื่อรวมคำสองคำเข้าด้วยกันแล้วความหมายก็คือ “Water working” หรือหมายถึง การทำงานของน้ำที่มีสารละลายธาตุอาหารผ่านรากพืช

ความแตกต่างระหว่างการปลูกผักบนดินตามธรรมชาติกับการปลูกผักโดยไม่ใช้ดิน (ดิเรก, 2547)

โดยปกติแล้วการที่พืชจะเจริญเติบโตได้ดีนั้นต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ ที่เหมาะสมหลายอย่าง เช่น สภาพภูมิอากาศ แสงแดด อุณหภูมิ น้ำ ธาตุอาหารที่มาจากดิน เป็นต้น ซึ่งการที่พืชนำธาตุอาหารไปใช้ได้นั้นเกี่ยวข้องกับความเป็นกรดด่าง (pH) ของดิน

การปลูกพืชบนดินโดยทั่วไปถึงแม้ดินจะมีธาตุอาหารอันเป็นปัจจัยที่พืชต้องการ แต่ก็มักมีข้อเสีย คือ ดินจะไม่มีความอุดมสมบูรณ์ตามที่พืชต้องการ รวมทั้งดินจะมีคุณสมบัติที่ไม่แน่นอนแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่ เช่น โครงสร้างของดิน ปริมาณธาตุอาหารหรือความอุดมสมบูรณ์ ระดับ pH ไม่เหมาะสม ทำให้ยุ่งยากต่อการปรับปรุงคุณภาพและเสียค่าใช้จ่ายสูง ปัญหาเหล่านี้ทำให้ได้ผลผลิตที่ไม่แน่นอน ส่วนการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินนั้น พืชจะได้รับสารละลายที่มีธาตุอาหารเรียกว่า “สารละลายธาตุอาหารพืช” ที่ประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช ซึ่งอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที เพราะมีการปรับค่า EC (Electrical Conductivity) และ ค่า pH ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ตลอดเวลา

ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินนั้น พืชจะได้รับสารอาหารที่ต้องการในปริมาณที่เหมาะสมอยู่ตลอดเวลา ในขณะที่การปลูกพืชบนดินตามธรรมชาติ พืชอาจได้รับปุ๋ยและสารอาหารที่ให้ไม่แน่นอน เนื่องจากปัจจัยของสภาพแวดล้อมและองค์ประกอบของดินที่ยากแก่การควบคุม ดังนั้นการปลูกพืชผักแบบไร้ดินจึงควบคุมคุณภาพของผลผลิตได้มากและสะดวกกว่าการปลูกพืชผักบนดินอย่างเห็นได้ชัดเจน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อดีของการปลูกพืชแบบไร้ดิน (ดิเรก, 2547 ; โสระยา, 2548)

1. ใช้พื้นที่ปลูกน้อยและสามารถผลิตได้อย่างสม่ำเสมอ สอดคล้องกับ Takakura (1988) รายงานว่า การผลิตผักส่วนใหญ่ในประเทศญี่ปุ่นได้จากระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เช่น ผักสลัด (lettuce) จะใช้เวลาการผลิตตั้งแต่เพาะเมล็ดจนเก็บเกี่ยวประมาณ 35 วัน ในพื้นที่ 300 ตารางเมตร สามารถเก็บเกี่ยวได้ทุกวัน ในอัตราเฉลี่ยประมาณ 500 ต้นต่อวัน
2. สามารถปลูกพืชได้อย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปีในพื้นที่เดียวกัน
3. สามารถปลูกพืชผักได้ในบริเวณพื้นที่ที่มีดินไม่ดี หรือสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก
4. ประหยัดเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายในการเตรียมดินและกำจัดวัชพืช
5. ใช้แรงงานน้อยแต่มีประสิทธิภาพสูง
6. ประหยัดค่าขนส่ง เพราะสามารถเลือกผลิตใกล้เขตชุมชนหรือแหล่งรับซื้อได้ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ทำให้มีศักยภาพในเชิงการค้าสูง
7. ตัดปัญหาศัตรูพืชที่เกิดจากดิน โดยเฉพาะโรคทางดินและวัชพืช ทำให้สามารถปลูกพืชในพื้นที่เดียวกันได้ตลอดปี ถึงแม้จะเป็นพืชชนิดเดียวกัน
8. พืชเจริญเติบโตได้เร็วและให้ผลผลิตที่เร็วกว่าการปลูกแบบบนดินตามธรรมชาติอย่างน้อย 1-2 สัปดาห์ เนื่องจากพืชได้รับการกระทบกระเทือนน้อยในขณะย้ายกล้า และในระหว่างการเจริญเติบโตพืชได้รับแร่ธาตุอาหารที่อุดมสมบูรณ์เพียงพอ นอกจากนี้รวมถึงปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมต่างๆ พอเหมาะ จึงทำให้สามารถให้ผลผลิตได้เร็วกว่าพืชที่ปลูกในดิน สามารถลดระยะเวลาการปลูกลง ทำให้สามารถปลูกพืชได้หลายครั้งต่อปี จากการศึกษาของ Cooper (1979) พบว่า ผักสลัดที่ปลูกในระบบ Nutrient Film Technique (NFT) จะสามารถเก็บเกี่ยวได้ 8 ครั้งต่อปี ในขณะที่ปลูกในดินสามารถเก็บเกี่ยวได้ 7 ครั้งต่อปี สอดคล้องกับการศึกษาของ ถนิมนันต์และศุภชัย (2538) ที่พบว่าการปลูกสะระแหน่ในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินตามวิธีที่ประยุกต์มาจาก Deep Flow Technique (DFT) ให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกในดิน และสามารถลดค่าใช้จ่ายในด้านแรงงานลงไปได้มาก
9. สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชได้อย่างถูกต้องแน่นอนและรวดเร็ว โดยเฉพาะในระดับรากพืช ซึ่งได้แก่ การควบคุมปริมาณธาตุอาหาร ค่า pH อุณหภูมิ ความเข้มข้นของออกซิเจน ฯลฯ ซึ่งการปลูกพืชบนดินทำได้ยาก ทำให้คุณภาพและปริมาณของผลผลิตที่ได้สูงกว่าการปลูกพืชแบบทั่วๆไป นอกจากนี้ยังมีการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการควบคุมปัจจัยทางสภาพแวดล้อมในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยใช้คอมพิวเตอร์ซึ่งจะทำหน้าที่รับสัญญาณจากเครื่องวัดต่างๆ เช่น pH meter, Electro-conductivity meter, Humidity sensor, Thermometer เข้าไปประมวลผลตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ และส่งสัญญาณผ่านออกมาสั่งการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น วาล์วไฟฟ้า ปั๊มน้ำ มอเตอร์ พัดลมดูดอากาศ เป็นต้น เพื่อควบคุมปัจจัยทางสภาพแวดล้อมภายในระบบให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช (อิทธิสุนทร, 2538)

10. สามารถใช้น้ำและธาตุอาหารพืชอย่างมีประสิทธิภาพ คือ มีการใช้น้ำลดลงไม่ต่ำกว่า 10 เท่าของการปลูกพืชบนดินตามธรรมชาติ เป็นต้น
11. ให้ผลผลิตสูง เจริญเติบโตเร็วมีความสม่ำเสมอ สามารถประมาณการปริมาณผลผลิตสู่ตลาดได้แม่นยำ (ดังตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณผลผลิตต่อเอเคอร์ของการปลูกพืชในดินและไม่ใช้ดิน

ชนิดพืช	ปริมาณผลผลิตต่อเอเคอร์	
	ปลูกในดิน	ปลูกแบบไม่ใช้ดิน
ถั่ว	5 ตัน	21 ตัน
ข้าวสาลี	600 ปอนด์	4,100 ปอนด์
ข้าว	1,000 ปอนด์	5,000 ปอนด์
มันฝรั่ง	8 ตัน	70 ตัน
กะหล่ำ	13,000 ปอนด์	18,000 ปอนด์
ผักกาดหอม	9,000 ปอนด์	21,000 ปอนด์
มะเขือเทศ	5 – 10 ตัน	60 – 300 ตัน
แตงกวา	7,000 ปอนด์	28,000 ปอนด์

ที่มา : Resh (1991)

เช่นเดียวกับการศึกษาของ Benoit and Ceusterman (1986) พบว่า มะเขือเทศที่ปลูกในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน จะให้ผลผลิตสูงกว่าที่ปลูกในดินประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ต้นฟักทองให้ผลผลิตมากกว่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เร็วกว่า อีกทั้งผลผลิตที่ได้ยังมีคุณภาพดี สะอาด และอายุการเก็บรักษานานกว่า นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ได้อีก ผลผลิตรวมทั้งหมดจึงสูงกว่าพืชที่ปลูกในดิน (Resh, 1991)

12. คุณภาพผล เนื้อผลแน่น มีอายุการเก็บรักษายาวนาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อเสียของการปลูกพืชแบบไร้ดิน (ดิเรก, 2547 ; โสระยา, 2548)

1. ต้องควบคุมและดูแลอย่างสม่ำเสมอ
2. มีต้นทุนในการผลิตเริ่มแรกค่อนข้างสูง เนื่องจากต้องใช้อุปกรณ์ต่างๆ มากมายและมีราคาแพง แต่มีศักยภาพในการคืนทุนเร็ว
3. ผู้ปลูกต้องมีความชำนาญและมีประสบการณ์มากพอในการควบคุมดูแล
4. วัสดุปลูกบางชนิดเน่าเปื่อยหรือสลายตัวยากจนอาจเกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม หากไม่มีการควบคุมดูแลที่ดีพอ
5. ถ้าหากไม่มีความรู้และความสามารถในการจัดการที่ดีพอ อาจทำให้มีปริมาณธาตุอาหารในการผลิตพืชผัก เช่น ไนเตรทสูงจนเป็นอันตรายต่อการบริโภคได้
6. สารอาหารที่พืชใช้แล้ว หากไม่มีการจัดการที่ดีพออาจสร้างปัญหาให้กับน้ำได้
7. คุณภาพผล เนื้อผลนุ่ม ฟ่าม เนื่องจากมักขาดโพแทสเซียมและแคลเซียม ทำให้มีอายุเก็บรักษาสั้น

ไนเตรทกับการนำไปใช้ของพืช

ไนเตรท (NO_3^-) และแอมโมเนียม (NH_4^+) เป็นรูปหนึ่งของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ในสภาพแวดล้อมที่มีดินระบายอากาศดี มีความชื้น อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อมอื่นๆ เหมาะสม ซึ่งแอมโมเนียมจะถูกเปลี่ยนให้เป็นไนเตรทและไนไตรท์ ตามลำดับ โดยเรียกกระบวนการนี้ว่า nitrification ส่วนใหญ่พืชจะดูดไนเตรทขึ้นไปเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสร้างสารประกอบอินทรีย์หลายชนิด ส่วนสารไนเตรทที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ยังคงเป็นไนเตรทไอออนสะสมอยู่ในเซลล์พืช หากสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการสะสมไนเตรท เช่น ปลูกเลี้ยงในสภาพแสงน้อย พืชจะมีการดูดสารไนเตรทจากดินเข้าไปมาก เนื่องจากพืชมีการกระตุ้นการสะสมไนเตรทเป็นการชดเชยแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ทดแทนความเข้มข้นของอินทรียสาร (คาร์โบไฮเดรต) ที่ลดลง ซึ่งผลเนื่องมาจากพืชมีอัตราการสังเคราะห์แสงลดลงด้วย (Seginer *et al.*, 1999) และในขณะเดียวกันพืชสามารถเปลี่ยนไนเตรทให้เป็นสารอินทรีย์ (กรดอะมิโน) ได้น้อย นอกจากนี้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูง ส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ไนเตรทรีดักเทสลดลง (nitrate reductase) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสารไนเตรท เป็นสาเหตุทำให้พืชมีการสะสมไนเตรทมากขึ้น (Maynard *et al.,* 1972)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารไนเตรทจะสะสมในส่วนต่างๆ ของพืชแตกต่างกันไป ในพืชต้นเดียวกันส่วนที่แก่กว่าจะมีการสะสมมากกว่าส่วนที่อ่อนกว่า ดอกจะมีความเข้มข้นของสารไนเตรทน้อยที่สุด รองลงมาคือ ผล ใบ ราก โดยก้านใบมีการสะสมมากที่สุด ตามลำดับ (Maynard and Baker, 1972) ในผักหลายชนิดมีการสะสมไนเตรทค่อนข้างสูง เช่น ปวยเหล็ง (spinach) บีท (beet) ผักกาดเขียว (mustard green) (ดิเรก, 2547) ผักบางชนิดมีการสะสมสารไนเตรทได้มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด เช่น ผักกาดหอม (Wolff and Wasserman, 1972) เช่นเดียวกับ Tosun and Ustun (2004) รายงานว่าในประเทศอังกฤษกำหนดว่า ฤดูร้อนในหัวของผักกาดหอมหลังจากการเก็บเกี่ยวปริมาณไนเตรทต้องไม่เกิน 3,000 ส่วนต่อล้านส่วน และฤดูหนาวไม่เกิน 4,500 ส่วนต่อล้านส่วน

เนื่องจากแต่ละประเทศได้กำหนดค่าระดับสูงสุดของไนเตรทในพืชแต่ละชนิดแตกต่างกันไป เช่น ปวยเหล็ง (spinach) สหรัฐอเมริกากำหนดให้ที่ 3,600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และรัสเซียกำหนดที่ 2,100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ดิเรก, 2547) ส่วนประเทศในแถบยุโรป ได้มีการกำหนดค่าระดับสูงสุดของไนเตรทในพืชแต่ละชนิดและระยะเวลาที่บริโภคของผู้บริโภค (แสดงในตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ค่าสูงสุดของปริมาณไนเตรท (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) ที่ยอมให้มีได้ในพืชผัก

พันธุ์พืช	ปริมาณสารไนเตรท (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด)	
	ฤดูฝนและฤดูร้อน	ฤดูหนาว
ผักกาดหอม	2,500	3,000
เอนไดว์	2,500	3,000
	ทุกฤดูกาล	
แรดิช	3,000	
หัวบีท	3,000	
เซลารี่	4,000	
มันฝรั่ง	2,000	

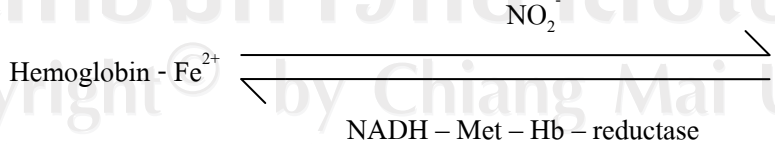
ที่มา : ดิเรก (2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อันตรายจากการบริโภคอาหารที่ปนเปื้อนสารไนเตรท

การบริโภคผักหรืออาหารอื่นๆ ที่มีการสะสมของสารไนเตรท (NO_3^-) สามารถทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและชีวิตของผู้บริโภคได้ (Sebecic and Vedrina-Dragojevic, 1999) สารไนเตรทเมื่อเข้าสู่กระเพาะอาหาร แบคทีเรียในลำไส้จะเปลี่ยนไนเตรทให้เป็นสารไนไตรท์ (NO_2^-) ในกระบวนการ nitrate reduction ซึ่งสารไนไตรท์สามารถซึมเข้าสู่กระแสเลือดไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับเม็ดเลือดแดง เปลี่ยนเม็ดเลือดแดงจาก Hemoglobin เป็น Methemoglobin โดยจะไปออกซิไดซ์ Fe^{2+} ในเม็ดเลือดให้กลายเป็น Fe^{3+} ซึ่งเม็ดเลือดที่เปลี่ยนแปลงไปนี้จะไม่สามารถลำเลียงออกซิเจนไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ในร่างกาย หากมีปริมาณ Methemoglobin เพิ่มขึ้นมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดแดงทั้งหมด ผู้ป่วยจะมีอาการตัวเขียว อ่อนเพลีย หายใจหอบถี่ ปวดศรีษะ และหัวใจเต้นแรง ซึ่งจังหวะการเต้นจะเร็วกว่าปกติ เป็นต้น ดังนั้นถ้ามีการบริโภคสารไนเตรทเข้าไปจำนวนมาก ร่างกายจะเกิดภาวะที่ขาดออกซิเจนฉับพลันได้ โดยเฉพาะในเด็กทารกจะอ่อนแอต่ออาการขาดออกซิเจน มีอาการเนื้อตัว ผิวหนัง ปากเปลี่ยนเป็นสีเขียวคล้ำ และอาจถึงแก่ชีวิตได้ เรียกโรคนี้ว่า “methemoglobinemia” หรือ “Blue baby syndrome” (Maynard and Baker, 1972) สอดคล้องกับ ดิเรก (2547) รายงานว่า ไนไตรท์ทำให้หลอดเลือดขยายโตขึ้นและความดันเลือดต่ำลง ทำให้ผู้ป่วยรู้สึกเหมือนเป็นลมหมดสติ และทำให้ตับไม่สามารถสะสมวิตามินเอได้ตามปกติ

ผู้ใหญ่จะมีความต้านทานต่อความเป็นพิษของไนเตรทได้มากกว่าทารก เมื่อได้รับไนเตรทในอัตราส่วนต่อน้ำหนักร่างกายที่เท่ากัน เนื่องจากในเม็ดเลือดแดงของผู้ใหญ่มีเอนไซม์ชนิดหนึ่ง คือ NADH-methemoglobin reductase ซึ่งสามารถเปลี่ยน methemoglobin ให้เป็น hemoglobin อย่างเดิมได้ดังนี้



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในเด็กทารกมีความเป็นกรดในกระเพาะอาหารต่ำ แต่มีแบคทีเรียมากกว่า ทำให้แบคทีเรียเปลี่ยนไนเตรทให้เป็นไนไตรท์ (ดิเรก, 2547)

นอกจากนี้เมื่อไนเตรทเข้าสู่ร่างกาย ยังสามารถทำให้เกิดอันตรายในรูปแบบอื่นได้อีก คือ ไนเตรทหรือไนไตรท์ อาจจะทำปฏิกิริยากับสารเอมีน (amines) บางชนิด ซึ่งเกิดเป็นสารประกอบไนโตรซามีน (nitrosamine) สารประกอบนี้มีรายงานว่าเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogenic) (Tannenbaum *et al.*, 1978)

ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมปริมาณไนเตรทในพืช

1. ความเข้มของแสง

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีแสงแดดจัดตลอดทั้งวัน ในธรรมชาติกระบวนการเจริญเติบโตของพืช เมื่อได้รับไนเตรทเข้าไปพืชจะรีดิวซ์ไนเตรทให้เป็นแอมโมเนีย เพื่อให้เปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปอินทรียสารต่อไป ซึ่งแสงมีผลต่อปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในกระบวนการนี้ให้เกิดขึ้นตามปกติ ส่งผลให้ไม่เกิดการสะสมของไนเตรทในผลิตผล (ดิเรก, 2547) และแสงยังมีผลกระทบทางอ้อมกับการสะสมไนเตรทด้วย เพราะแสงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการทำงานของเอนไซม์ไนเตรทรีดักเทส ซึ่งเอนไซม์นี้จะมีกิจกรรมช้าลงหรือไม่ทำงานเมื่อพืชอยู่ในที่มืด (Maynard and Barker, 1972) ในสภาวะเช่นนี้พืชจะนำไนเตรทไปใช้น้อยลงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ Burns *et al*. (2004) ที่รายงานว่า ในช่วงฤดูร้อนเมื่อให้ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเกินความต้องการ ถ้าแสงสว่างลดลงหรือเกิดจากส่วนใบของผักกาดหอมบังแสง ส่งผลให้ผักกาดหอมมีการสะสมไนเตรทในก้านและใบเพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงฤดูหนาวผักกาดหอมจะมีการสะสมไนเตรทเพิ่มขึ้น อาจจะเนื่องมาจากพืชมีอัตราการเจริญเติบโตช้าลง เมื่อเทียบกับอัตราการดูดใช้ไนเตรทเพราะว่ามีพลังงานแสงน้อยในการเปลี่ยนรูปไนเตรทให้อยู่ในรูปไนโตรเจน จึงเป็นสาเหตุให้ปริมาณผลผลิตต่ำ

2. อุณหภูมิ

โดยทั่วไปอุณหภูมิสูงจะส่งเสริมให้พืชสะสมไนเตรทมากขึ้น (Bassioni, 1971) เนื่องจากเอนไซม์ไนเตรทรีดักเทสไม่ทำงานหรือทำงานช้าลง ทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมของไนเตรทลดลง (Viets and Hageman, 1971) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Cantliffe (1972) พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจาก 5-25 องศาเซลเซียส มีผลต่อปริมาณไนเตรทในผักปวยเหล็งเพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับ Santamaria and Gonnella (2001) พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 10 องศาเซลเซียส เป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

20 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณไนเตรทใน rocket เพิ่มขึ้น 2 เท่า ขณะที่ปริมาณ dry matter ของ rocket ลดลง

3. ชนิดของพืช

Brown and Smith (1966) รายงานว่า ผักที่รับประทานใบและลำต้นเป็นอาหาร เช่น ผักกาดหอม ผักปวยเหล็ง เป็นต้น มีการสะสมปริมาณไนเตรทมากกว่าผักที่รับประทานส่วนราก หรือหัว เช่น แครอท หอมหัวใหญ่ เป็นต้น นอกจากนี้ Maynard and Barker (1972) ที่พบว่า ในพืชชนิดเดียวกัน แต่คนละพันธุ์ ยังมีการสะสมไนเตรทแตกต่างกัน แม้ว่าจะแตกต่างกันไม่มากนัก

4. ส่วนของพืช

ในส่วนต่างๆ ของพืชมีไนเตรทกระจายในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยพบว่า ก้านใบมีปริมาณไนเตรทมากที่สุด รองลงมาคือ แผ่นใบ และราก ตามลำดับ ส่วนดอกมีปริมาณไนเตรทต่ำที่สุด นอกจากนี้ในพืชต้นเดียวกัน ใบแก่จะมีปริมาณไนเตรทมากกว่าใบอ่อน ทั้งนี้เนื่องจากส่วนที่แก่กว่าจะมีกระบวนการเมแทบอลิซึมเป็นไปอย่างช้าๆ (Wright and Davison, 1994)

5. อายุของพืช

โดยทั่วไปความเข้มข้นของไนเตรทในพืชจะมีปริมาณมากในช่วง vegetative growth และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่ (Brown and Smith, 1966) จากการศึกษาของ ธรรมศักดิ์ และคณะ (2546) เกี่ยวกับผักกาดหอม 2 ชนิดคือ คอสและเรดโอ๊ค ซึ่งปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร Enshi ที่ 2 ระดับความเข้มข้น คือ 1.2 และ 2.4 mS/cm พบว่า ผักกาดหอมทั้งสองชนิดที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีการสะสมไนเตรทมากขึ้นตามอายุปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยวที่ 5 สัปดาห์ และ Wright and Davison (1994) ที่รายงานว่า ในระยะที่พืชเจริญเติบโตเต็มที่ความสามารถของพืชในการใช้ไนโตรเจนในดินจะลดลง ดังนั้นพืชจึงใช้ประโยชน์จากไนเตรทที่สะสมตามส่วนต่างๆ ของพืช ทำให้ความเข้มข้นของไนเตรทลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

6. ปริมาณของปุ๋ย

การงดปุ๋ยหรือการให้น้ำแทนการให้สารละลายธาตุอาหารพืช เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดปริมาณการสะสมไนเตรทในพืชได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ มนัชญาและคณะ (2546) พบว่า การงดปุ๋ยในช่วงระยะ 0, 3, 6 และ 9 วันก่อนเก็บเกี่ยว ช่วงระยะการงดปุ๋ยที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณการสะสมไนเตรทใน Water cress ลดต่ำลง

การเก็บเกี่ยว

ผักกาดหอมชนิดใบที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ ซึ่งจะเก็บเกี่ยวเมื่อผักกาดหอมมีอายุได้ประมาณ 40-50 วัน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ โดยที่ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คลีฟจะทำการเก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุประมาณ 45 วัน หลังจากย้ายปลูก และควรทำการเก็บเกี่ยวตอนบ่ายหรือค่ำ เพื่อป้องกันความเสียหายในการขนส่ง หลังจากนั้นทำความสะอาดรากด้วยน้ำธรรมดา และทำการคัดเกรด โดยนำผักมาตัดแต่งส่วนที่เสียหายออก ป้ายปูนแดงที่บริเวณรอยตัดเพื่อป้องกันการแพร่เชื้อโรค บรรจุในลังพลาสติกที่มีกระดาษบรู๊ฟรอง นอกจากนี้การนำผักมาแช่ในน้ำเย็นเพื่อลดอุณหภูมิ (pre-cooling) ก่อนบรรจุส่งขายจะทำให้ผักมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น ส่วนผักกาดหอมชนิดใบที่ปลูกในดินจะเก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุได้ประมาณ 40-60 วัน ซึ่งการเก็บควรเลือกเก็บขณะที่ใบยังอ่อน กรอบ ไม่เหนียว กระด้าง ไม่ควรเก็บขณะต้นแก่เพราะว่าจะมีรสขม วิธีการตัดโดยใช้มีดตัดตรงโคนต้น แล้วตัดแต่งใบเสียทิ้ง หลังจากนั้นล้างยางสีขาวออกและสลัดน้ำออกให้หมด เพื่อป้องกันการเน่าเสีย และนำมาบรรจุในลังพลาสติกที่มีกระดาษบรู๊ฟรอง เพื่อป้องกันการกระทบกระเทือนของผลิตผลระหว่างทำการขนส่ง (โสระยา, 2548 ; สุนทร, 2540)

การเก็บรักษาผักกาดหอม

ผักกาดหอมเป็นพืชที่เน่าเสียได้ง่าย และเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้อง หลังจากเก็บเกี่ยวผักกาดหอมควรผ่านขั้นตอนการลดอุณหภูมิเฉียบพลัน ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 2 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการเก็บรักษาผักกาดหอม คือ ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95-100 เปอร์เซ็นต์ สามารถเก็บรักษาผักกาดหอมได้นาน 12 วัน ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่กำหนดอายุการเก็บรักษาผักกาดหอม เช่น การเก็บรักษาผักกาดหอมไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 6 วัน และที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาไว้ได้เพียง 1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วัน อุณหภูมิจุดเยือกแข็งของผักกาดหอมอยู่ที่ -0.2 องศาเซลเซียส (Tan, 2005) โดยผักกาดหอมแสดงอาการช้ำน้ำ นิ่ม ซึ่งจะแสดงอาการเมื่อนำมาไว้ที่อุณหภูมิปกติ และเมื่อนำไปปรุงอาหารอาจจะเกิดกลิ่นที่ผิดปกติได้ (ดนัย, 2540) อุณหภูมิต่ำจะชะลอปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ของกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์พืชให้ดำเนินช้าลง ชะลออัตราการหายใจ (Lipton, 1987) เช่น ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คลีฟที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 22.1 มิลลิกรัมCO_2/กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งมีอัตราการหายใจสูงกว่าผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คลีฟที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.4 มิลลิกรัมCO_2/กิโลกรัม/ชั่วโมง (Cantwell *et al*., 1998) และอุณหภูมิต่ำยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผักกาดหอม เช่น การสูญเสียน้ำหนัก ซึ่ง Boonyakiat *et al.* (1986) รายงานว่า การเก็บรักษาผักกาดหอมห่อพันธุ์ King Crown ที่อุณหภูมิ 6-8 องศาเซลเซียส นาน 2 วัน มีการสูญเสียน้ำหนัก 1.54 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อุณหภูมิประมาณ 28 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนัก 5.6 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณวิตามินซี จากการศึกษาของ Zepplin and Elevehjem (1944) พบว่า ผักกาดหอมชนิดใบ (leaf lettuce) มีการสูญเสียวิตามินซีประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาไว้ในสภาพอุณหภูมิห้องนาน 1 วัน เป็นต้น แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีความสำคัญต่ออายุการวางจำหน่ายของผักกาดหอมมาก

นอกจากวิธีการเก็บรักษาโดยวิธีการใช้อุณหภูมิต่ำ การควบคุมหรือดัดแปลงบรรยากาศยังเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ โดยใช้ออกซิเจน 1-3 เปอร์เซ็นต์ และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0-5 องศาเซลเซียส สามารถลดอัตราการหายใจและผลกระทบเนื่องจากแก๊สเอทธิลีน (Cantwell and Suslow, 2006) รวมไปถึงการบรรจุหีบห่อ และการใช้สารเคมี เช่น การใช้ 1-เมทธิลไซโคลโพรพีน (1-methylcyclopropene : 1-MCP) ซึ่งช่วยชะลอการเสื่อมสภาพและการเน่าเสียของผลิตผลเนื่องจากการเกิดโรค (Watkins and Ekman, 2005)

การสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว

ผักและผลไม้หลังเก็บเกี่ยวมาแล้วยังคงมีชีวิตอยู่ กระบวนการสรีรวิทยาและชีวเคมียังคงดำเนินต่อไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้น มีความสำคัญต่อคุณภาพของผักและผลไม้ การเปลี่ยนแปลงบางอย่างทำให้คุณภาพของผักและผลไม้เสียไป เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้นั่นเอง

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การถูกทำลาย คือ การเสื่อมคุณภาพของผลิตผล ซึ่งวัดออกมาเป็นตัวเลขไม่ได้ เพราะขึ้นอยู่กับการยอมรับหรือไม่ยอมรับผลิตผลที่ถูกทำลายแล้ว ซึ่งสัมพันธ์กับปัจจัยทางเศรษฐกิจและวัฒนธรรม

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

การเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาและชีวเคมีหลังการเก็บเกี่ยวของผัก

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลสดทางพืชสวนยังคงมีชีวิตอยู่ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาและชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ยังคงดำเนินต่อไปเช่นเดียวกันกับพืชก่อนการเก็บเกี่ยว ซึ่งอายุการเก็บรักษาของผลิตผลจะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา และชีวเคมีภายในผลิตผลนั้นๆ ซึ่งได้แก่ (สายชล, 2528)

1. องค์ประกอบของโครงสร้างของผลิตผล

ผลิตผลที่ประกอบด้วยโครงสร้างที่แข็งแรงจะเก็บรักษาได้นานกว่าผลิตผลที่ประกอบด้วยโครงสร้างที่อ่อนแอ เช่น กลุ่มพืชหัว และกลุ่มเมล็ดแก่จะเก็บรักษาได้นาน มีอัตราการหายใจต่ำและทนทานต่อแรงกระแทกในขณะขนส่งได้ดี ส่วนผลิตผลกลุ่มผลแก่ ผลอ่อน และยอดอ่อนจะมีอัตราการหายใจสูง เกิดการเน่าเสียได้ง่าย มีการสูญเสียน้ำหนักมาก และไม่ทนต่อแรงกระแทกเนื่องจากการขนส่ง 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 และเพคติน เป็นต้น (ดนัย, 2540 ; สายชล, 2528) จากการศึกษาของ Lipton (1987) และ Yano and Hayami (1978b) พบว่า ผักกาดหอมห่อที่มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นสูงมีอายุการเก็บรักษาได้นานกว่า แต่การสูญเสียน้ำตาลนั้นมีอัตราที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ถึงแม้ว่าในพันธุ์ที่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปอร์เซ็นต์น้ำตาลเริ่มต้นแตกต่างกันถึง 25 เปอร์เซ็นต์ก็ตาม ถ้าไม่คำนึงถึงพันธุ์ และความแก่ในขณะเก็บเกี่ยว ผักกาดหอมห่อจะหมดอายุการวางจำหน่ายเมื่อปริมาณน้ำตาลลดลง 10 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

2. การหายใจและอัตราการหายใจ

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

3. กระบวนการเสื่อมสภาพ (senescence)

หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วปฏิกิริยาต่างๆ ทางชีวเคมีภายในเซลล์พืชยังคงดำเนินต่อไป อาหารที่สะสม และสารต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลล์พืชถูกเปลี่ยนสภาพไป ทำให้เกิดการเสียชีวิตในที่สุด การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางชีวเคมีที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของพืชมีหลายกระบวนการ ได้แก่

1) การสลายตัวของคลอโรฟิลล์

ในระหว่างที่เกิดการเสื่อมสภาพ สารสีคลอโรฟิลล์ที่อยู่ภายในเซลล์พืชสลายตัวเป็นสารที่ไม่มีสี ซึ่งเป็นส่วนผสมของ chlorines และ purpurins โดยที่อัตราการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ความเป็นกรดด่างภายในเซลล์ ปริมาณของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) ปริมาณของเอทธิลีนและสภาพอุณหภูมิสูง Lipton (1987) ได้รายงานไว้ว่า การสูญเสียส่วนประกอบทางเคมีภายในของผักที่รับประทานใบ ได้แก่ การสูญเสียสีเขียวเนื่องมาจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ และความสัมพันธ์ของระดับของฮอร์โมนภายใน คือ ไซโตไคนิน จิบเบอเรลลิน เอทธิลีน และกรดแอบซิสสิก เช่น กรณีที่ระดับของฮอร์โมนไซโตไคนินและจิบเบอเรลลินลดลง หรือเอทธิลีนและกรดแอบซิสสิกเพิ่มขึ้น ทำให้มีการสลายตัวของคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงนั้นมีการลดลงของไซโตไคนินมากกว่าสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับโครงสร้าง พันธุ์ และชนิดของผลิตผล เช่น ผักกาดหอมห่อที่เนื้อเยื่อยังอ่อนจะมีการสูญเสียคลอโรฟิลล์ต่ำกว่าเนื้อเยื่อที่แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพราะว่าเนื้อเยื่อที่แก่จะอยู่ในระยะเริ่มต้นของการเสื่อมคุณภาพ ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์เริ่มต้นต่ำกว่าเนื้อเยื่อที่อ่อนกว่าและยังขึ้นอยู่กับพันธุ์อีกด้วย เช่น ผักกาดหอมห่อพันธุ์ Penn Lake มีปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่าพันธุ์ Great Lake 336 โดยปกติแล้วผักกาดหอมห่อจะหมดอายุการวางจำหน่ายเมื่อปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ (Yano and Hayami, 1978b.) นอกจากนี้จากการศึกษาของ Yano and Hayami (1978a. ; 1978b.) พบว่า การเก็บเกี่ยวผักกาดหอมห่อที่อายุเหมาะสม ทำให้สูญเสียคลอโรฟิลล์ช้าและเกิดความเสียหายน้อยกว่าผักกาดหอมห่อที่เก็บเกี่ยวแก่จนเกินไป

4. การสูญเสียน้ำ

ผักส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำประมาณ 80-95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการสูญเสียน้ำทำให้คุณภาพของผักเปลี่ยนไป เช่น เมื่อมีการสูญเสียน้ำอาจทำให้รูปทรงของผักเปลี่ยนไป ผักจะเหี่ยวและไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

5. การสูญเสียวิตามินซี

วิตามินซีเป็นสารอาหารที่ถูกทำลายได้ง่ายที่สุดนั้น พบว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญโดยเฉพาะในสภาพอุณหภูมิสูงหรือที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของผลิตผลจะไปเร่งกระบวนการออกซิเดชันของวิตามินซีให้เปลี่ยนเป็นสารอื่น (สายชล, 2528) ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลง ซึ่งวิตามินซีในผลิตผลจะถูกออกซิไดซ์อย่างรวดเร็ว ถ้าผลิตผลอยู่ในสภาพอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป ตัวอย่างของผลิตผลที่มีถิ่นกำเนิดในเขตหนาว เช่น คะน้า และปวยเหล็ง ถ้าเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะเกิดการสูญเสียวิตามินซีน้อยกว่าการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูง โดยการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ผลิตผลจะสูญเสียวิตามินซีเพียงเล็กน้อย แต่ผักที่มีถิ่นกำเนิดในแถบร้อนมีการสูญเสียวิตามินซีมากเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง เช่น มะม่วง กล้วย และมะเขือเทศ ระหว่างการเก็บรักษาผลิตผลทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลง แต่ถ้าเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิต่ำจะชะลอการสูญเสียวิตามินซีให้ช้าลง และการสูญเสียวิตามินซีของผักยังมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำ เนื่องจากการสูญเสียน้ำมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ออกซิเดส มีผลทำให้เกิดการออกซิไดซ์วิตามินซีมากขึ้น (สายชล, 2528 ; สุรพงษ์, 2531) จากการศึกษาของ Zepplin and Elevehjem (1944) พบว่า ผักกาดหอมชนิดใบ (leaf lettuce) มีการสูญเสียวิตามินซีประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาไว้ในสภาพอุณหภูมิห้องนาน 1 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปรียบเทียบคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผักที่ปลูกในระบบปกติและปลูกในระบบไม่ใช้ดิน

1. น้ำหนัก

น้ำหนักเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ซึ่งผันแปรไปตามชนิดของพืชและระยะการสุก (ดนัย, 2540) ซึ่ง Fontana *et al.* (2004) ศึกษาเปรียบเทียบ corn salad ที่ปลูกในดินกับที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน พบว่า ระบบการปลูกผักมีผลต่อน้ำหนักแห้งและ dry matter โดย corn salad ที่ปลูกในดินมีน้ำหนักแห้งและ dry matter เท่ากับ 2.19 กรัม และ 10.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า corn salad ที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.77 กรัม และ 8.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับ Incrocci *et al*. (2001) รายงานว่า ปริมาณ dry matter ของ rocket ที่ปลูกในดินมีค่าสูงกว่า rocket ที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากพืชที่เจริญเติบโตในระบบไม่ใช้ดินสามารถใช้ประโยชน์จากน้ำและแร่ธาตุอาหารได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้มวลน้ำหนักสดของพืชที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดินมีค่าสูงกว่าการปลูกในดิน แต่ใบของพืชที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดินมีลักษณะอวบน้ำ (more aqueous) ซึ่งสอดคล้องกับ Nicola *et al.* (2005) ซึ่งพบว่า ระบบการปลูกมีอิทธิพลต่อ dry matter โดยแรดิชที่ปลูกในดินมี dry matter มากกว่าแรดิชที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 11.4 และ 9.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่แรดิชที่ปลูกในดินมีน้ำหนักสดน้อยกว่าแรดิชที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.3 และ 3.2 กรัม ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากพืชที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดินใช้ประโยชน์จากน้ำและแร่ธาตุอาหารได้อย่างต่อเนื่อง ส่วนพืชที่ปลูกในดิน พบว่า ปุ๋ยที่ให้แก่พืชมีการปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้าๆ นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุปลูกที่ใช้ในระบบไม่ใช้ดินเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ mass partitioning แตกต่างกัน เพราะว่าวัสดุปลูกแต่ละชนิดมีองค์ประกอบแตกต่างกัน เช่น พีท เวอร์มิคูไลท์ เพอร์ไลท์ เป็นต้น ซึ่งเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุปลูก มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของรากและต้นพืช (Nicola and Cantliffe, 1996)

2. คลอโรฟิลล์

Siomos *et al.* (2001) ทำการศึกษาคุณภาพและองค์ประกอบของผักกาดหอมพันธุ์ Plenty ที่ปลูกในดินและปลูกในระบบไม่ใช้ดิน พบว่า ผักกาดหอมพันธุ์ Plenty ที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ต่ำกว่าผักกาดหอมพันธุ์ Plenty ที่ปลูกในดิน และทำการวิเคราะห์ธาตุอาหารภายในพืช พบว่า ผักกาดหอมพันธุ์ Plenty ที่ปลูกใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระบบไม่ใช้ดิน มีปริมาณธาตุแมกนีเซียม เหล็ก และแมงกานีส ต่ำกว่าผักกาดหอมพันธุ์ Plenty ที่ปลูกในดิน ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุปลูกที่ใช้ในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน (เพอร์ไลท์) มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และสัดส่วนประจุของแร่ธาตุภายในรากพืช ซึ่งส่งผลต่อการดูดแร่ธาตุอาหารขึ้นไปใช้ ขัดแย้งกับการศึกษาของ Ferrante *et al.* (2003) ซึ่งพบว่า rocket ที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดสูงกว่า rocket ที่ปลูกในดิน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 23±0.56 และ 21.6±0.56 ไมโครกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร ตามลำดับ และปริมาณคลอโรฟิลล์ใน rocket ที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน ลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้ในที่มีแสงสว่าง

3. ปริมาณกรดแอสคอร์บิก

จากการศึกษาของ Chiesa *et al.* (2005) หลังจากเก็บเกี่ยวผักกาดหอม พบว่า ปริมาณแอสคอร์บิกของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับผักกาดหอมที่ปลูกในดิน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.3 และ 4.8 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ แต่เมื่อเก็บรักษานาน 7 วัน พบว่า ผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงกว่าผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส

4. ปริมาณไนเตรท

ระบบการปลูกและพันธุ์ของพืชมีผลต่อปริมาณไนเตรท จากการศึกษาของ Nicola *et al.* (2005) พบว่า แรดิชที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน มีปริมาณไนเตรทต่ำกว่าแรดิชที่ปลูกในดิน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 211.3 และ 444.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Santamaria and Valenzano (2001) ; Incrocci *et al.* (2001) ที่รายงานว่า การปลูกผักในระบบไม่ใช้ดินช่วยลดปริมาณไนเตรทได้ เนื่องจากสามารถควบคุมแร่ธาตุอาหารที่ให้แก่พืชได้ตามมาตรฐาน ทำนองเดียวกันกับ Fontana *et al.* (2004) พบว่า ปริมาณไนเตรทใน corn salad ที่ปลูกในดินและปลูกในระบบไม่ใช้ดิน มีปริมาณไนเตรทต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด (ซึ่งมีค่าต่ำกว่าระดับความปลอดภัย) แสดงว่าปริมาณไนเตรทในสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินมีความเหมาะสม

นอกจากนี้การสะสมไนเตรทในพืชยังขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัย เช่น การให้ปุ๋ย ลักษณะของดิน ช่วงของการเจริญเติบโต อุณหภูมิของอากาศ ความเข้มแสง และช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยว เป็นต้น (Dejonckheera *et al*., 1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผักแปรรูปพร้อมปรุง

ผักแปรรูปพร้อมปรุง คือ ผักที่ผ่านการปฏิบัติใดๆ ก็ตามภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การทำความสะอาด การปอก การตัดแบ่ง การหั่นชิ้น การบรรจุ เป็นต้น โดยที่ผักยังคงมีชีวิตอยู่ (จริงแท้, 2538)

การแปรรูปพร้อมปรุงเป็นวิธีการที่นิยมของผู้บริโภคในยุคปัจจุบัน เนื่องจากทำให้สะดวกในการเตรียมอาหารและการตรวจสอบคุณภาพของผัก (Schlimme, 1995) ผักชนิดต่างๆ ที่นิยมนำมาแปรรูปพร้อมบริโภค ได้แก่ หอมหัวใหญ่ ผักกาดหอม และผักกาดหอมห่อ เป็นต้น เมื่อผ่านการแปรรูปจะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเซลล์ของผักดังกล่าวอยู่ในสภาพที่ถูกทำลายจากกระบวนการแปรรูป (Brecht, 1995) อีกทั้งยังง่ายต่อการเข้าทำลายหรือการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการเน่าเสียและความปลอดภัยสำหรับการบริโภค

การรักษาคุณภาพของผักแปรรูปพร้อมปรุง

1. อุณหภูมิต่ำ

โดยทั่วไปผักแปรรูปพร้อมปรุงมักเกิดการเน่าเสียได้ง่าย เนื่องจากได้รับสภาพความเครียดหลายอย่าง เช่น การปอกเปลือก การตัด การหั่น การฉีก และการกำจัดแกนกลางออก ดังนั้นจำเป็นต้องเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิต่ำ จากการศึกษาของ Bolin *et al.* (1977) พบว่า การเก็บรักษาผักกาดหอมห่อแปรรูปพร้อมปรุงที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส มีคุณภาพดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส และ Hyodo *et al.* (1978) รายงานว่า ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0.5 องศาเซลเซียส สามารถลดการเกิดจุดสีน้ำตาลแดงของผักกาดหอมห่อได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 5.5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. การใช้คลอรีน

ปัจจุบันการบริโภคผักผลไม้สดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่ผักผลไม้ที่ล้างทำความสะอาดอย่างไม่ถูกสุขลักษณะมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรค เนื่องจากอาหารเป็นพาหะ ผู้บริโภคจึงหันมาใช้สารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เช่น ด่างทับทิม สารประกอบไบคาร์บอเนต ตลอดจนสารประกอบคลอรีนชนิดต่างๆ เช่น สารประกอบ

คลอไรท์ ไฮโปคลอไรท์ เป็นต้น ซึ่งพบว่า สารดังกล่าวสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคได้ดี (ณัฐวุฒิและวราภา, 2547) จากการศึกษาของ Behrsing *et al.* (2000) พบว่า การจุ่มผักกาดหอมในคลอรีน ทำให้ *E. coli* อยู่ในรูปที่ทำงานไม่ได้และมีจำนวนลดลง

3. การใช้สารละลายอื่นๆ

การสูญเสียคลอโรฟิลล์ระหว่างการเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่อผักสีเขียว เนื่องมาจากปัจจัยต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา รวมทั้งเกี่ยวข้องกับกระบวนการทำงานต่างๆ ของเอนไซม์ chlorophyllase และเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ จากการศึกษาของ Castaner *et al.* (1997) การยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลด้วยกรดอินทรีย์ในผักกาดหอมพันธุ์ Baby และเอนไดว์ พบว่า การใช้ ascorbic acid, erythorbic acid และ citric acid สามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งเกี่ยวข้องกับเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) และทำการศึกษาต่อ พบว่า acetic acid และ propionic acid (50 g/L) มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษาและการวางจำหน่าย เช่นเดียวกับการศึกษาของ Ihl *et al.* (2003) พบว่า การแช่ผักกาดหอมในสารละลายต่างๆ (calcium chloride, pectin, potassium sorbate, สารสกัดจากกระเทียม และ citric acid) พบว่า calcium chloride 1 g/L สารสกัดจากกระเทียม 250 g/L และ citric acid 2 g/L มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล มีการยอมรับได้ 80 เปอร์เซ็นต์ในช่วงวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ซึ่งสารละลายต่างๆ ที่ใช้มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของผักกาดหอม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved