บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของผักกาดหอมพันธุ์ Green Oak Leaf

ลักษณะปรากฏ

จากผลการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ แล้วเก็บรักษานาน 2 วัน มีลักษณะใบเริ่มเหี่ยว และเริ่มมีสีเหลืองเล็กน้อย แต่ยังไม่หมดอายุการวางจำหน่าย และคะแนนลักษณะปรากฏดีกว่าผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติ ส่วนการเก็บรักษาผักกาดหอมที่อุณหภูมิห้อง ลักษณะใบเหี่ยวมาก มีสีเหลือง และหมดอายุการวางจำหน่าย (ตารางที่ 4 ตารางภาคผนวก 1 และภาพที่ 7)

โดยทั่วไปแล้วผักกาดหอมที่เก็บรักษานาน 2 วัน ใบมักจะมีลักษณะเริ่มเหี่ยว และเริ่มมีสีเหลืองเล็กน้อย เนื่องจากมีการสูญเสียน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้รูปทรงของผักเปลี่ยนไป และเกิดการเปลี่ยนสีโดยเฉพาะสีเขียวหายไป ปรากฏสีเหลืองขึ้นแทน (สายชล, 2528; จริงแท้, 2544) จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์มีลักษณะปรากฏดีกว่าผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติ เนื่องจากผักที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์มีน้ำเป็นส่วนประกอบมากกว่าผักที่ปลูกในระบบปกติ ซึ่งสอดคล้องกับ Nicola *et al.* (2005) ซึ่งรายงานว่า น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของรากแรดิชที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน มีค่าเท่ากับ 12.5 และ 0.59 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และรากแรดิชที่ปลูกในดิน มีค่าเท่ากับ 8.0 และ 0.44 กรัมต่อต้น ตามลำดับ แสดงว่าผลิตผลที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดินมีปริมาณน้ำภายในเซลล์มากกว่าผลิตผลที่ปลูกในดิน ซึ่งปริมาณน้ำมีผลต่อความสดและความเต่งของเซลล์ จึงมีผลโดยตรงต่อลักษณะปรากฏของผลิตผล (ดนัย, 2540)

อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษามีผลต่อลักษณะปรากฏ โดยผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0, 4 และ 8 องศาเซลเซียส มีลักษณะปรากฏดีกว่าผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพราะว่าอุณหภูมิต่ำจะชะลอปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ของกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์พืชให้ดำเนินช้าลง และชะลออัตราการหายใจ ทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น โดยช่วยรักษาสภาพของลักษณะปรากฏ รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการ (Lipton, 1987 ; Watkins and Ekman, 2005) สอดคล้องกับการศึกษาของ Cantwell *et al.* (1998) ซึ่งพบว่า ผักกาดหอมพันธุ์เรดโอ๊คที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน มีลักษณะปรากฏดีกว่าผักกาดหอมพันธุ์เรดโอ๊คที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การสูญเสียน้ำหนัก

ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาผักกาดหอม นาน 2 วัน พบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ และการเก็บรักษาผักกาดหอมไว้ที่อุณหภูมิต่ำ มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าที่อุณหภูมิห้อง (ตารางที่ 5 ตารางภาคผนวก 2 และภาพที่ 8)

ผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติ เนื่องจากใบของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์มีลักษณะอวบน้ำ ซึ่งเซลล์อ่อนแอต่อการถูกทำลาย ทำให้ผลิตผลที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์มีการสูญเสียน้ำมากกว่าการปลูกในดิน (Chiesa *et al.*, 2005) นอกจากนี้ผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้มีการให้สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุไนโตรเจนในระดับที่สูงและอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที ทำให้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เพราะไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของฮอร์โมนพืช คือ ออกซินและไซโตไคนิน ซึ่งฮอร์โมนทั้งสองชนิดมีผลช่วยกระตุ้นการแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ ส่งผลให้พืชมีลักษณะอวบน้ำ ต้นอ่อน และกรอบ จึงทำให้สูญเสียน้ำได้ง่าย (ยงยุทธ, 2546)

ส่วนอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อคุณภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งอุณหภูมิต่ำช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลให้ยาวนานขึ้น ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิต่ำช่วยชะลอปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ของกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์พืชให้ดำเนินช้าลง และช่วยลดอัตราการหายใจของผลิตผล จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การเก็บรักษาผักกาดหอมไว้ที่อุณหภูมิต่ำมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำอุ้มน้ำได้น้อยกว่าอากาศที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นในสภาพอุณหภูมิต่ำผลิตผลจะเกิดการสูญเสียน้ำน้อยกว่าสภาพอุณหภูมิสูง (สายชล, 2528) สอดคล้องกับ Boonyakiat *et al.* (1986) รายงานว่า การเก็บรักษาผักกาดหอมห่อพันธุ์ King Crown ที่อุณหภูมิ 6-8 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนัก 1.54 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อุณหภูมิประมาณ 28 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนัก 5.6 เปอร์เซ็นต์ หลังจากที่เก็บรักษาไว้นาน 2 วัน ในทำนองเดียวกันกับยงยุทธ (2539) ศึกษาการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อนาน 6 วันที่อุณหภูมิต่ำ พบว่า ผักกาดหอมห่อมีอัตราการสูญเสียน้ำหนัก 1.91 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับอุณหภูมิห้องซึ่งผักกาดหอมห่อมีอัตราการสูญเสียน้ำหนัก 13.07 เปอร์เซ็นต์ และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ทำให้ผักกาดหอมห่อมีคุณภาพดีกว่าที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงมีผลทำให้ผักกาดหอมห่อสูญเสียน้ำมาก สอดคล้องกับ Lertrittipong *et al.* (1984) ซึ่งได้ศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผักปวยเหล็ง พบว่า การเก็บรักษาผักปวยเหล็งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (32.2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 77 เปอร์เซ็นต์) มีการสูญเสียน้ำหนัก 29 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิ 1, 5 และ 9 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ย 17.5-21 เปอร์เซ็นต์ และพัชราภรณ์ (2532) ได้ทำการศึกษาคุณภาพหลังการเก็บรักษาผักบุ้งจีน พบว่า ผักบุ้งจีนที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำมีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่าการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูง

สี

ผลการทดลอง พบว่า ระบบการผลิตผักไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า L*, chroma และ hue ของผักกาดหอม แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า L*, chroma และ hue ของผักกาดหอม (ตารางที่ 6 ตารางภาคผนวก 3, 4, 5 และภาพที่ 9, 10, 11)

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า สีของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ เนื่องจากผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ ทำการเพาะปลูกในโรงเรือนพลาสติกใส แสงสามารถทะลุผ่านได้ ทำให้ได้รับแสงเต็มที่ตลอดทั้งวันเช่นเดียวกับผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติ (จริงแท้, 2549) สอดคล้องกับ Siomos *et al.* (2001) รายงานว่า ค่า L*, a และ b ของผักกาดหอมพันธุ์ Plenty ที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมพันธุ์ Plenty ที่ปลูกในระบบปกติ

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลต่างๆ มักมีการเปลี่ยนสีเกิดขึ้น โดยเฉพาะสีเขียวจะหายไป และมักจะปรากฏสีเหลืองขึ้นมาแทน ซึ่งการสูญเสียสีเขียวในผักรับประทานใบ เนื่องมาจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า L*, chroma และ hue ของผักกาดหอม โดยที่ผักกาดหอมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีค่า L*, chroma และ hue แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดหอมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะช่วยชะลอปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ของกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์พืช รวมถึงการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ให้ดำเนินช้าลง อีกทั้งยังช่วยชะลอกระบวนการเสื่อมสภาพ (จริงแท้, 2544 ; นิธิยาและคนัย, 2548 ; Lipton, 1987)

ปริมาณวิตามินซี

ผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ และปริมาณวิตามินซีของผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับปริมาณวิตามินซีของผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ตารางที่ 7 ตารางภาคผนวก 6 และภาพที่ 12)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ จากการศึกษาของ Augustic (1975) พบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในมันฝรั่งลดลงเมื่อมีการให้ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นแก่ต้นมันฝรั่ง เช่นเดียวกับในส้ม มะนาว และส้มโอ (Nagy, 1980) ซึ่งสอดคล้องกับ Lisiewska and Kmiecik (1996) ที่รายงานว่า การเพิ่มขึ้นของจำนวนปุ๋ยไนโตรเจนจาก 80 เป็น 120 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลทำให้ปริมาณวิตามินซีในกะหล่ำดอกลดลง ผลการทดลองที่พบว่า ผักไฮโดรโพนิกส์มีวิตามินซีต่ำกว่าอาจเนื่องมาจากผักที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์พืชจะได้รับสารละลายธาตุอาหาร ที่ประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช ที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที เพราะมีการปรับค่า EC (Electrical Conductivity) และ pH ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้ผักที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ได้รับธาตุอาหารโดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนมากกว่าผักที่ปลูกในระบบปกติ เมื่อพืชได้รับไนโตรเจนจะมีการเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโนและเอไมด์ เพื่อใช้ในกระบวนการสร้างโปรตีน และการสังเคราะห์กรดอะมิโนและเอไมด์จำเป็นต้องใช้คาร์โบไฮเดรต ซึ่งเคลื่อนย้ายมาจากใบเพื่อเป็นโครงคาร์บอน (carbon skeletons) และแหล่งพลังงาน (Marschner, 1995) อาจส่งผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในพืชลดลงและทำให้วิตามินซีลดลงด้วย เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินซี ซึ่งได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง (ดนัย, 2540) นอกจากนั้นการปลูกพืชในระบบไฮโดรโพนิกส์ส่วนใหญ่นิยมปลูกในโรงเรือน ซึ่งสามารถป้องกันฝน ลดความเข้มของแสง ซึ่งความเข้มของแสงจัดเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อปริมาณวิตามินซีในผลิตผล คือ ความเข้มของแสงต่ำลงจะส่งผลให้ปริมาณวิตามินซีในผลิตผลลดลงด้วย (นิพนธ์, 2543 ; ดนัยและนิธิยา, 2548) และผักกาดหอมที่นำมาทดลองครั้งนี้ มีการปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ ซึ่งพืชได้รับธาตุอาหารตลอดระยะเวลาของการเจริญเติบโตโดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน และอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที ทำให้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยมีจำนวนใบมากกว่า และขนาดของใบใหญ่กว่าการปลูกในระบบปกติ ส่งผลให้เกิดการบดบังแสงซึ่งกันและกัน ทำให้ใบที่อยู่ด้านล่างได้รับแสงไม่เต็มที่ ดังนั้นจึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลิตผลมีวิตามินซีลดลง (ยงยุทธ, 2546 ; Mozafar, 1993)

นอกจากนี้ผลการทดลองยังพบว่า ผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากวิตามินซีเป็นสารอาหารที่ถูกทำลายได้ง่าย โดยเฉพาะในสภาพอุณหภูมิสูงหรือที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของผลิตผล ซึ่งจะเร่งกระบวนการออกซิเดชันของวิตามินซีให้เปลี่ยนเป็นสารอื่น (สายชล, 2528) ทำนองเดียวกันกับการศึกษาของ Nam *et al.* (1997) ที่พบว่า ผักกาดหอมชนิดใบที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน มีปริมาณวิตามินซีลดลง 61 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 วัน พบว่า ปริมาณวิตามินซีลดลงเพียง 41

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Zepplin and Elevehjem (1944) พบว่า ผักกาดหอมชนิดใบมีการสูญเสียวิตามินซีประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่สภาพอุณหภูมิห้องนาน 1 วัน และจากการทดลองของ Ezell and Wilcox (1959) พบว่า การเก็บรักษาผักคะน้าที่อุณหภูมิ 21 และ 10 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียวิตามินซีสูงกว่าผักคะน้าที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกันกับผักปวยเหล็ง กะหล่ำปลี และบร็อคโคลี ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูงจะมีการสูญเสียวิตามินซีสูงกว่าการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (สายชล, 2528) นอกจากนี้ พัชราภรณ์ (2532) ได้ทำการศึกษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผักบุ้งจีน พบว่า ผักบุ้งจีนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±3 องศาเซลเซียส โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ 80-83 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าปริมาณวิตามินซีของผักบุ้งจีนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27-34 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75-78 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

เมื่อเก็บรักษาผักกาดหอมไว้นาน 2 วัน พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาผักกาดหอม พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 8 ตารางภาคผนวก 7 และภาพที่ 13)

ระบบการปลูกไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Siomos *et al.* (2001) พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผักกาดหอมพันธุ์ Plenty ที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมพันธุ์ Plenty ที่ปลูกในระบบปกติ เนื่องมาจากดินที่ใช้ในการเพาะปลูกมีความอุดมสมบูรณ์สูง และมีปริมาณธาตุอาหารเพียงพอต่อการเจริญเติบโต ทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง (ดิเรก, 2547 ; นิพนธ์, 2543)

ผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง มีการสูญเสียน้ำสูงกว่าผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้สูงกว่าผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เนื่องจากผักมีการคายน้ำหลังการเก็บเกี่ยว การสูญเสียน้ำมีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ทำให้มีความเข้มข้นมากขึ้น (Lertrittipong *et al*., 1984)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณคลอโรฟิลล์

ผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติและระบบไฮโดรโพนิกส์ แล้วเก็บรักษานาน 2 วัน พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 9 ตารางภาคผนวก 8, 9, 10 และภาพที่ 14, 15, 16)

จากผลการทดลอง พบว่า ระบบการผลิตผักไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด จากผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Ferrante *et al.* (2003) ซึ่งรายงานว่า rocket salad ที่ปลูกในระบบปกติแล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีปริมาณคลอโรฟิลล์ไม่แตกต่างกับปริมาณคลอโรฟิลล์ของ rocket salad ที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน

การป้องกันการสูญเสียคลอโรฟิลล์ ทำได้โดยการลดอุณหภูมิของผลิตผลลง ซึ่งอุณหภูมิต่ำเป็นปัจจัยที่สำคัญมากปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาได้ยาวนานขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะชะลอปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ของกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์พืชให้ดำเนินช้าลง ชะลออัตราการหายใจ ชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดสูงกว่าผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Nam *et al.* (1997) พบว่าผักกาดหอมชนิดใบที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเท่ากับ 54 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณคลอโรฟิลล์ในวันเริ่มต้นเก็บรักษา ในขณะที่ผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 วัน มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเท่ากับ 64 เปอร์เซ็นต์จากวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา

ปริมาณไนเตรท

ผลการทดลอง พบว่า ระบบการผลิตผักและอุณหภูมิที่เก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณไนเตรทของผักกาดหอม นอกจากนี้ยังพบว่าตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาปริมาณไนเตรทของผักกาดหอมในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 10 ตารางภาคผนวก 11 และภาพที่ 17)

จากการศึกษาของ Siomos *et al.* (2001) พบว่า ผักกาดหอมพันธุ์ Plenty ที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดินมีปริมาณไนเตรทสูงกว่าปริมาณไนเตรทของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติ ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลองในครั้งนี้ คือ ปริมาณไนเตรทของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณไนเตรทของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ โดยปริมาณไนเตรท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ของผักกาดหอมที่วิเคราะห์ได้มีค่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค สอดคล้องกับ Fontana *et al.* (2004) ที่รายงานว่า ปริมาณไนเตรทของ corn salad ที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดินและในระบบปกติ มีค่าต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด โดย Fontana *et al.* (2004) ได้ให้เหตุผลว่าการปลูกพืชในระบบไม่ใช้ดินมีปริมาณไนเตรทในสารละลายธาตุอาหารเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช สำหรับผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์แล้วนำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ทำการเพาะปลูกในโรงเรือนพลาสติกใส แสงสามารถทะลุผ่านได้ ทำให้ได้รับแสงเต็มที่ตลอดทั้งวัน เช่นเดียวกับผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติ นอกจากนี้ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีแสงแดดจัดตลอดทั้งวัน ในธรรมชาติกระบวนการเจริญเติบโตของพืชเมื่อได้รับไนเตรทเข้าไปแล้วพืชจะรีดิวซ์ไนเตรทให้เป็นแอมโมเนีย เพื่อให้เปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปอินทรียสารต่อไป ซึ่งแสงมีผลต่อปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในกระบวนการนี้ให้เป็นไปตามปกติ ทำให้ไม่เกิดการสะสมของไนเตรทในผลิตผล (ดิเรก, 2547) และแสงยังมีผลกระทบทางอ้อมกับการสะสมไนเตรทด้วย เพราะแสงเป็นตัวกระตุ้นให้เอนไซม์ไนเตรทรีดักเทสสามารถทำงานได้ ซึ่งเอนไซม์นี้จะมีกิจกรรมช้าลงหรือไม่มีกิจกรรมเมื่อพืชอยู่ในที่มืด (Maynard and Barker, 1972) นอกจากนี้ผักกาดหอมที่นำมาใช้ในการทดลองทำการเก็บเกี่ยวช่วงบ่ายของวันก่อนทำการขนส่งมายังห้องปฏิบัติการ ซึ่งปริมาณไนเตรทในพืชจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มแสงในแต่ละช่วงเวลาของวันที่เปลี่ยนแปลงไป โดยในช่วงเช้าของวันจะมีอุณหภูมิต่ำ ความเข้มแสงต่ำ ทำให้ในช่วงนี้พืชจะมีปริมาณไนเตรทสูง ส่วนในช่วงบ่ายความเข้มแสงสูงกว่าทำให้ปริมาณไนเตรทต่ำกว่าช่วงเช้า แสดงว่าการเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงบ่ายเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดปริมาณไนเตรทในพืชได้ (Maynard and Barker, 1972) ผักกาดหอมที่นำมาใช้ศึกษาในการทดลองนี้ได้มีการเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมีนาคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเข้มแสงสูง จึงส่งผลให้ผักกาดหอมมีปริมาณไนเตรทต่ำ อีกทั้งสูตรสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในระบบการปลูกผักกาดหอมครั้งนี้ พบว่า มีการเติมแมงกานีสลงไปในสารละลายธาตุอาหาร โดยแมงกานีสเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำในกระบวนการสังเคราะห์แสง ให้ได้น้ำตาลเพื่อนำมาใช้เป็นโครงคาร์บอนในการรวมตัวกับไนโตรเจนที่ได้จากไนเตรทและแอมโมเนียม เพื่อสังเคราะห์กรดอะมิโน (ยงยุทธ, 2546) อีกทั้งปริมาณไนเตรทในผักยังขึ้นอยู่กับชนิดของผัก การเขตกรรม สภาพแวดล้อม ความแก่ทางสรีรวิทยา และพันธุกรรม (Gurses, 1983)

อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณไนเตรทของผักกาดหอม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Rozek *et al.* (1999) ที่รายงานว่า หลังจากเก็บเกี่ยวกะหล่ำปลีที่ได้รับธาตุไนโตรเจนในรูปของปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรท แล้วนำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 และ 20 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่เก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทของกะหล่ำปลี แต่เมื่อเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผักกาดหอมไว้นานขึ้น พบว่า ปริมาณไนเตรทของผักกาดหอมในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งขัดแย้งกับรายงานของ Ferrante *et al.* (2003) ที่ทำการศึกษาใน rocket salad โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาพที่มีแสง นาน 4 วัน พบว่า ปริมาณไนเตรทลดลง ดังนั้นการที่ปริมาณไนเตรทของผักกาดหอมไม่ลดลง อาจจะเป็นผลเนื่องมาจากการทดลองในครั้งนี้ทำการเก็บรักษาผักกาดหอมไว้ในสภาพที่ไม่มีแสง ส่งผลให้เอนไซม์ไนเตรทรีดักเทสซึ่งทำหน้าที่รีดิวซ์ไนเตรทให้เปลี่ยนเป็นไนไตรท์ไม่สามารถทำงานได้หรือทำงานได้น้อยลง ประกอบกับผักกาดหอมมีการสูญเสียน้ำ ทำให้ปริมาณไนเตรทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

อายุการเก็บรักษา

ผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ นอกจากนี้ยังพบว่าผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำมีอายุการเก็บรักษานานกว่าผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ตารางที่ 11 ตารางภาคผนวก 12 และภาพที่ 18)

จากผลการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติมีการเน่าเสียมากกว่าผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมาจากแปลงเพาะปลูก เพราะการปลูกพืชในดินมักจะมีเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรค เช่น *Erwinia* sp. ซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุของโรคเน่าเละ *Sclerotinia sclerotiorium* (Lib.) de Bary, *S. minor* Jaggar และ *Botrytis cinerea* Pers. Fr. ซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุของโรคใบเหี่ยว *Rhizoctonia solani* Knn. เชื้อสาเหตุของโรคเน่า เป็นต้น โดยเฉพาะในดินที่ใช้ปุ๋ยคอกเพื่อเพิ่มผลผลิต หรือการใช้ปุ๋ยหมักที่ไม่ได้คุณภาพ ซึ่งสามารถแพร่กระจายและปนเปื้อนได้ตั้งแต่ในแปลงปลูกผัก และจากน้ำที่ใช้รดผัก นอกจากนี้ปัจจุบันยังเกิดปัญหาดินเสื่อมโทรมและดินขาดความอุดมสมบูรณ์เพราะว่าการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูก ทำให้ผลิตผลที่ได้มีคุณภาพต่ำกว่าผักที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ (อานัฐ, 2549) สอดคล้องกับ Nicola *et al.* (2005) รายงานว่า การปลูกพืชในระบบไม่ใช้ดินมีอายุการเก็บรักษานานกว่าพืชที่ปลูกบนดิน

ผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำมีอายุการเก็บรักษานานกว่าผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูง เพราะว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งอุณหภูมิต่ำจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ยาวนานขึ้น เพราะว่าอุณหภูมิต่ำช่วยชะลอปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ของกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์พืชให้ดำเนินช้าลง และช่วยชะลอการเสื่อมสภาพให้ช้าลง (จริงแท้, 2544 ; นิธิยาและดนัย, 2548 ; Lipton, 1987) เช่นเดียวกับ Poritt (1974) ; Ryall and Lipton (1978) ; McGregor (1987) ซึ่งรายงานว่า การเก็บรักษากระเทียม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต้นและผักปวยเหล็งไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ สามารถเก็บรักษาผักทั้งสองชนิดได้นาน 4-12 สัปดาห์ และ 10-14 วัน ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 7.00±2.97 วัน และผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 2.17±0.41 วัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Tan (2005) พบว่า ผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 6 วัน ในขณะที่ผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 1 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 2 คุณภาพผักกาดหอมพันธุ์ Green Oak Leaf พร้อมปรุง

การสูญเสียน้ำหนัก

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อเก็บรักษานาน 3 วัน ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติและระบบไฮโดรโพนิกส์มีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และการจุ่มสารละลายคลอรีนมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของผักกาดหอมพร้อมปรุงตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา พบว่า การสูญเสียน้ำหนักของผักกาดหอมพร้อมปรุงในทุกกรรมวิธีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (ตารางที่ 12 ตารางภาคผนวก 13 และภาพที่ 20)

ระบบการผลิตผักไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของผักกาดหอมพร้อมปรุง ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากปากใบมีผลต่อกระบวนการคายน้ำของพืช ซึ่งลักษณะทางพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อลักษณะสัณฐานของปากใบพืช ในพืชชนิดเดียวกันจะมีจำนวนปากใบต่อใบเท่ากันโดยมีลักษณะทางพันธุกรรมเป็นตัวกำหนด แม้ว่าพืชจะอยู่ภายใต้สิ่งแวดล้อมต่างกัน ซึ่งปัจจัยสิ่งแวดล้อมมีผลต่อความถี่ของปากใบ เช่น ในกรณีที่ความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจะทำให้ความถี่ของปากใบเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้ความถี่ของปากใบลดลง แต่ปัจจัยดังกล่าวไม่มีผลต่อจำนวนปากใบของพืช ดังนั้นเมื่อพืชชนิดเดียวกันอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมเช่นเดียวกันอาจจะทำให้การคายน้ำของพืชไม่แตกต่างกัน (Willmer, 1983) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ผักกาดหอมที่ปลูกในทั้งสองระบบมีสภาพแวดล้อมในการปลูกเลี้ยงใกล้เคียงกัน จึงทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกัน

การจุ่มสารละลายคลอรีนมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของผักกาดหอมพร้อมปรุง เพราะว่าในขั้นตอนการจุ่มสารละลายคลอรีนถือว่าเป็นขั้นตอนทำความสะอาดผลิตผล ซึ่งทำให้ไขตามธรรมชาติ เช่น คิวทิเคิลหรือแวกซ์ ที่เคลือบผลิตผลหลุดหายไป นอกจากนี้อาจจะทำให้โครงสร้างอื่นๆ เช่น เลนติเซล (lenticel) เกิดความเสียหาย ส่งผลให้ผักที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายคลอรีนเกิดการสูญเสียน้ำมากกว่าปกติ (จริงแท้, 2544)

สี

เมื่อเก็บรักษานาน 3 วัน พบว่า ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติ มีค่า L* และ chroma ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ แต่มีผลต่อค่า hue และการจุ่มผักกาดหอมพร้อมปรุงในสารละลายคลอรีน 100 ส่วนต่อล้านส่วน พบว่า มีค่า L*, chroma และ hue ไม่ต่างกับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารละลายคลอรีน เมื่อเก็บรักษาผักกาดหอมไว้นานขึ้น พบว่า ค่า L* และ hue มีค่าเพิ่มขึ้น และค่า chroma มีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 13 ตารางภาคผนวก 14, 15, 16 และภาพที่ 21, 22, 23)

ค่า L* และ chroma ของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติไม่แตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ เนื่องจากผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ ทำการเพาะปลูกในโรงเรือนพลาสติกใส แสงสามารถทะลุผ่านได้ ทำให้ได้รับแสงเต็มที่ตลอดทั้งวันเช่นเดียวกับผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติ (จริงแท้, 2549) ซึ่งสอดคล้องกับ Siomos *et al.* (2001) ที่รายงานว่า ค่า L*, a และ b ของผักกาดหอมพันธุ์ Plenty ที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับผักกาดหอมพันธุ์ Plenty ที่ปลูกในระบบปกติ

นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าการจุ่มสารละลายคลอรีนไม่มีผลต่อค่า L*, chroma และ hue ของผักกาดหอม ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะการใช้คลอรีนมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อทำความสะอาดและฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในผลิตผล ดังนั้นจึงไม่มีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตผล (Suslow, 2007 ; Online)

คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัด

จากผลการทดลอง พบว่า การเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัดของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติไม่มีความแตกต่างกับการเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัดของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ และการจุ่มผักกาดหอมพร้อมปรุงในสารละลายคลอรีน 100 ส่วนต่อล้านส่วน ทำให้ระดับคะแนนของการเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัดไม่ต่างกับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน (ตารางที่ 14 ตารางภาคผนวก 17 และภาพที่ 24)

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า การเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัดของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติไม่แตกต่างกับการเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัดของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าอัตราการหายใจของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติไม่แตกต่างกับอัตราการหายใจของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ ซึ่งกระบวนการเกิดสีน้ำตาลต้องอาศัยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการหายใจเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นของกระบวนการ เมื่อผลิตผลเกิดบาดแผลเนื่องจากกระบวนการหั่นชิ้น ทำให้ผลิตผลอยู่ภายใต้สภาวะเครียด โดยจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่บริเวณบาดแผล และสร้างผิวขึ้นมาใหม่ เพื่อป้องกันไม่ให้เชื้อจุลินทรีย์จากภายนอกเข้าทำลาย ซึ่งในผักและผลไม้บางชนิดมีเอนไซม์พวก phenolase,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

polyphenolase และ polyphenol oxidase โดยเอนไซม์เหล่านี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอล เช่น catechol และ caffeic acid ที่มีอยู่ในผักและผลไม้ ซึ่งเกิดจากกระบวนการสังเคราะห์ phenylpropaniod โดยมี phenylalanine เป็นสารตั้งต้นที่ได้จากกระบวนการหายใจ เมื่อผลิตผลผ่านกระบวนการแปรรูปพร้อมบริโภคจะทำให้เนื้อเยื่อของผลิตผลสัมผัสกับออกซิเจน ซึ่งมีผลไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase โดยเปลี่ยนโมเลกุลของฟีนอลไปเป็น quinone แล้วรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่เกิดเป็นสีน้ำตาลขึ้นที่ผลิตผล ซึ่งมีคุณสมบัติในการต่อต้านโรคและแมลง (คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2547 ; จริงแท้, 2544 ; Tomas-Barberan *et al*., 1997)

ระดับคะแนนของการเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัดของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่จุ่มสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 100 ส่วนต่อล้านส่วน ไม่แตกต่างกับระดับคะแนนของการเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัดของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน คือ มีลักษณะการเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัดเล็กน้อย เนื่องมาจากคลอรีนใช้ในกระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ จึงไม่มีผลโดยตรงต่อการเกิดสีน้ำตาลของผลิตผล (Suslow, 2007 ; Online)

การเกิดกลิ่นผิดปกติ

ระดับคะแนนการเกิดกลิ่นผิดปกติของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติไม่ต่างกับคะแนนการเกิดกลิ่นผิดปกติของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ สำหรับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่จุ่มในสารละลายคลอรีน 100 ส่วนต่อล้านส่วน และผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีนมีระดับคะแนนการเกิดกลิ่นผิดปกติไม่แตกต่างกัน โดยตลอดระยะ เวลาของการเก็บรักษา ไม่พบกลิ่นผิดปกติของผักกาดหอมพร้อมปรุงในทุกกรรมวิธี (ตารางที่ 14 ตารางภาคผนวก 18 และภาพที่ 25)

ระบบการผลิตผักไม่มีผลต่อระดับคะแนนการเกิดกลิ่นผิดปกติ เพราะว่ากลิ่นและรสชาติเป็นสมบัติเฉพาะอย่างหนึ่ง โดยจะแตกต่างกันตามชนิดของผักและผลไม้ ซึ่งกลิ่นเกิดจากสารระเหย (volatiles) มีอยู่มากมายหลายชนิดในผักและผลไม้ แต่ละชนิดจะมีปริมาณไม่มาก โดยทั่วไปจะมีอยู่ในปริมาณ 100 ส่วนต่อล้านส่วน ซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของผักและผลไม้ (ดนัยและนิธิยา, 2548) โดยในกระบวนการสังเคราะห์สารระเหยของพืชชนิดเดียวกันจะมีองค์ประกอบสำคัญที่เป็นสารชนิดเดียวกัน เป็นสาเหตุทำให้พืชชนิดเดียวกันมีกลิ่นไม่แตกต่างกัน ซึ่งในผักกาดหอมมีสารที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในการสังเคราะห์สารระเหย คือ ceryl alcohol, β-sitosterol, stigmasterol campesterol และ glycosides เป็นต้น ดังนั้นจึงทำให้ผักกาดหอมมีกลิ่นเฉพาะแม้ว่าจะอยู่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่าง (กฤษณาและวิริยา, 2546 ; ยงยุทธ, 2546 ; Knapp *et al*., 1968)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการทดลอง พบว่า ระดับคะแนนการเกิดกลิ่นผิดปกติของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่จุ่มในสารละลายคลอรีนไม่แตกต่างกับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน สอดคล้องกับ Baur *et al.* (2005) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการเก็บรักษาผักกาดหอมพันธุ์ Iceberg พร้อมบริโภค โดยจุ่มผักกาดหอมในคลอรีน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร นาน 60 วินาที แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศา-เซลเซียส พบว่า ผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 7 วัน ยังไม่เกิดกลิ่นผิดปกติ ทั้งนี้เนื่องมาจากผักที่ผลิตในทั้งสองระบบถูกเก็บรักษาไว้ภายใต้สภาพอุณหภูมิต่ำ สามารถลดอัตราการเสื่อมสภาพของผลิตผลได้ โดยรักษาสภาพของลักษณะปรากฏ กลิ่น รส และคุณค่าทางโภชนาการ จึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาไว้ได้นานขึ้น (Watkins and Ekman, 2005) นอกจากนี้การบรรจุหีบห่อเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อผลิตผลที่ผ่านกระบวนการแปรรูป โดยทั่วไปผลิตผลแปรรูปพร้อมบริโภคมักถูกบรรจุในภาชนะ เช่น ถาดพลาสติกหรือถาดโฟม แล้วห่อด้วยฟิล์มพลาสติกใส คือ พอลิไวนิล-คลอไรด์ (Polyvinyl Chloride : PVC) ซึ่งการใช้ฟิล์มพลาสติกมีคุณสมบัติในการยอมให้แก๊สและไอน้ำสามารถผ่านเข้า-ออกได้ ทำให้ไม่เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นผลิตผลจึงไม่เกิดกลิ่นหรือรสผิดปกติ (จริงแท้, 2544 ; ดนัยและนิธิยา, 2548)

การสูญเสียความกรอบ

ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติและระบบไฮโดรโพนิกส์ เก็บรักษานาน 3 วัน มีการสูญเสียความกรอบไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ในจุ่มสารละลายคลอรีน 100 ส่วนต่อล้านส่วน มีการสูญเสียความกรอบน้อยกว่าผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา พบว่าผักกาดหอมพร้อมปรุงในทุกกรรมวิธีมีการสูญเสียความกรอบเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 14 ตารางภาคผนวก 19 และภาพที่ 26)

จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า เมื่อเก็บรักษานาน 3 วัน ระดับคะแนนการสูญเสียความกรอบของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติไม่แตกต่างกับระดับคะแนนการสูญเสียความกรอบของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในทั้งสองระบบมีการสูญเสียน้ำไม่แตกต่างกัน เนื่องจากน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด โดยเฉพาะในเซลล์ของผักและผลไม้จะมีปริมาณน้ำสูงมาก ซึ่งมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ประมาณ 80-95 เปอร์เซ็นต์ โดยที่น้ำมีผลต่อความเต่งของเซลล์ ดังนั้นจึงส่งผลโดยตรงต่อความกรอบของผลิตผล (ดนัย, 2540)

ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่จุ่มในสารลายคลอรีน 100 ส่วนต่อล้าน มีการสูญเสียความกรอบน้อยกว่าผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน เนื่องจากผักบริโภคใบส่วนใหญ่มีจำนวน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปากใบมากกว่าผักและผลไม้ชนิดอื่นๆ และกระบวนการหั่นชิ้นยังเป็นการเปิดช่องทางการลำเลียงของท่อน้ำและท่ออาหาร ดังนั้นเมื่อจุ่มผักกาดหอมพร้อมปรุงในสารละลายคลอรีน น้ำคลอรีนจะเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในเซลล์แทนที่น้ำที่สูญเสียไปเนื่องจากการคายน้ำ ทำให้เกิดแรงดันขึ้นจึงทำให้เซลล์เต่ง (ดนัย, 2540 ; จริงแท้, 2544) ส่งผลให้ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่จุ่มสารละลายคลอรีนดูสดกว่าผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน

คุณภาพการยอมรับโดยรวม

ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติ มีระดับคะแนนคุณภาพการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างกับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ และระดับคะแนนของคุณภาพการยอมรับโดยรวมของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่จุ่มในสารละลายคลอรีน 100 ส่วนต่อล้านส่วน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา พบว่า ระดับคะแนนของคุณภาพการยอมรับโดยรวมของผักกาดหอมในทุกกรรมวิธีมีระดับคะแนนลดลง (ตารางที่ 14 ตารางภาคผนวก 20 และภาพที่ 27)

คุณภาพการยอมรับโดยรวม ส่วนใหญ่จะประเมินจากลักษณะภายนอก ซึ่งได้แก่ ลักษณะต่างๆ ที่มองเห็นด้วยตาเปล่า สัมผัสได้ด้วยมือ ซึ่งประกอบด้วย รูปร่าง ขนาด สีสัน ความเป็นมันเงา และลักษณะอื่นๆ เช่น ตำหนิ ซึ่งเป็นลักษณะภายนอกที่สำคัญมากอีกประการหนึ่ง ได้แก่ รอยบาดแผล รวมทั้งแผลเป็น ทั้งที่เกิดจากการเสียดสี แรงกระทบ และเกิดจากการเข้าทำลายของแมลง หรือจากสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืช รวมทั้งสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เช่น เชื้อราและแมลงเป็นต้น (จริงแท้, 2538) จากผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ระบบการผลิตผักไม่มีผลต่อคุณภาพการยอมรับโดยรวมของผักกาดหอม โดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งได้แก่ การเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัด การเกิดกลิ่นผิดปกติ และการสูญเสียความกรอบของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติไม่ต่างกับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในมะเขือเทศเชอรี่และผักกาดหอม ซึ่งพบว่า คุณภาพการยอมรับโดยรวมของมะเขือเทศเชอรี่และผักกาดหอมที่ปลูกในดินไม่แตกต่างกับคุณภาพการยอมรับโดยรวมของมะเขือเทศเชอรี่และผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ (Chiesa *et al.*, 2005)

ผลิตผลที่นำมาแปรรูปส่วนใหญ่มักจะมีปัญหาที่สำคัญ คือ การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด และการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ระดับคะแนนคุณภาพการยอมรับโดยรวมของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่จุ่มในสารละลายคลอรีนไม่แตกต่างกันทางสถิติกับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Baur *et al.*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2005) ที่พบว่า ผักกาดหอมพร้อมบริโภคที่จุ่มในสารละลายคลอรีนแล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน มีลักษณะเนื้อสัมผัสและการเกิดกลิ่นผิดปกติไม่ต่างกันกับผักกาดหอมพร้อมบริโภคที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน นอกจากนี้ Opatova *et al*. (2003) ได้รายงานว่าการจุ่มสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 100 ส่วนต่อล้านส่วน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกะหล่ำปลีและแครอทหั่นชิ้น

ปริมาณวิตามินซี

เมื่อเก็บรักษาผักกาดหอมพร้อมปรุง นาน 3 วัน พบว่า ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติมีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ แต่ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่จุ่มสารละลายคลอรีน 100 ส่วนต่อล้านส่วน มีปริมาณวิตามินซีต่ำกว่าผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน (ตารางที่ 15 ตารางภาคผนวก 21 และภาพที่ 28)

ระบบการผลิตผักไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซีในผักกาดหอมพร้อมปรุง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chiesa *et al.* (2005) ที่พบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ไม่แตกต่างกับปริมาณกรดแอสคอร์บิกของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.3 และ 4.8 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่จุ่มคลอรีนความเข้มข้น 100 ส่วนต่อล้านส่วน มีปริมาณวิตามินซีต่ำกว่าผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มคลอรีน อาจจะมีสาเหตุมาจากการจุ่มสารละลายคลอรีนทำให้ไขที่เคลือบผลิตผลและโครงสร้างอื่นๆ เช่น เลนติเซล (lenticel) ที่มีอยู่ตามธรรมชาติบนผิวของผลิตผลหลุดหายไป ส่งผลให้ผลิตผลสูญเสียน้ำมากกว่าปกติ เป็นสาเหตุให้สูญเสียวิตามินซีได้ง่าย เพราะการสูญเสียน้ำมีผลไปเร่งกระบวนการออกซิไดซ์วิตามินซีให้เปลี่ยนเป็นสารอื่น (จริงแท้, 2544 ; สายชล, 2528)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

เมื่อเก็บรักษา นาน 3 วัน พบว่า ระบบการผลิตผักมีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผักกาดหอมพร้อมปรุง สำหรับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่จุ่มในสารละลายคลอรีน 100 ส่วนต่อล้านส่วน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน โดยตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผักกาดหอมพร้อมปรุงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 16 ตารางภาคผนวก 22 และภาพที่ 29)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติมีค่าสูงกว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ เนื่องจากผักที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ได้รับธาตุไนโตรเจนที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที ทำให้มีการเจริญเติบโตเร็ว ส่งผลให้มีจำนวนใบมากกว่า และขนาดของใบใหญ่กว่าผักปกติ ซึ่งทำให้เกิดการบดบังแสงกันของใบ อาจส่งผลให้การสังเคราะห์แสงน้อยลง จึงมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติ (ดิเรก, 2547 ; Mozafar, 1993 ; ยงยุทธ, 2546)

การจุ่มสารละลายคลอรีนมีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียความกรอบ เนื่องจากผักบริโภคใบส่วนใหญ่มีจำนวนปากใบมาก ทำให้เมื่อจุ่มผักกาดหอมพร้อมปรุงในสารละลายคลอรีน ผลิตผลจะมีการดูดน้ำเข้าไปภายในเซลล์แทนที่น้ำที่สูญเสียไปเนื่องจากการคายน้ำ และกระบวนการหั่นชิ้นยังเป็นการเปิดช่องทางการลำเลียงของท่อน้ำและท่ออาหาร ทำให้ปริมาณน้ำในเซลล์เพิ่มขึ้นเกิดแรงดัน จึงส่งผลให้เซลล์เต่ง (ดนัย, 2540 ; จริงแท้, 2544) ดังนั้นเมื่อปริมาณน้ำภายในเซลล์สูงส่งผลให้ความเข้มข้นของสารละลายที่อยู่ภายในเซลล์เจือจางลง เป็นสาเหตุทำให้ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่จุ่มสารละลายคลอรีนมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน

ปริมาณคลอโรฟิลล์

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อเก็บรักษานาน 3 วัน ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ แต่ระบบการผลิตผักไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์บี สำหรับการจุ่มสารละลายคลอรีน 100 ส่วนต่อล้านส่วน ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผักกาดหอมพร้อมปรุงไม่แตกต่างกับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน (ตารางที่ 17 ตารางภาคผนวก 23, 24, 25 และภาพที่ 30, 31, 32)

ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติ มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ferrante *et al.* (2003) ที่รายงานว่า rocket salad ที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดสูงกว่า rocket salad ที่ปลูกในดิน เนื่องจากการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจะให้น้ำไปพร้อมกับธาตุอาหาร ในรูปของสารละลายธาตุอาหาร โดยระบบการให้น้ำแบบอัตโนมัติ มีการควบคุมค่า pH และค่า EC ในสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งสารละลายธาตุ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหารจะอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที ทำให้พืชได้รับสารอาหารที่ต้องการในปริมาณที่เหมาะสมอยู่ตลอดเวลา ตัวอย่างเช่น ทำให้พืชได้รับแมกนีเซียมในรูปของ Mg^{2+} ซึ่งเป็นรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที โดยธาตุแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ทำให้พืชมีสีเขียว นอกจากนี้แมกนีเซียมยังมีบทบาทในการดูดซึมธาตุอาหารและการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารของพืช ดังนั้นการปลูกพืชในระบบไม่ใช้ดินจึงสามารถควบคุมประจุไอออนของสารละลายธาตุอาหารได้ตามความต้องการของพืช (ดิเรก, 2547 ; Resh, 1991) นอกจากนี้ในสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในระบบการปลูกผักกาดหอมครั้งนี้ พบว่า มีการเติมเหล็ก Fe-EDTA ลงไปในระบบ ซึ่งแตกตัวให้ Fe^{2+} และ Fe^{3+} อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที เพราะว่า เหล็กเป็นองค์ประกอบในหมู่พอร์ไฟริน (porphyrin group) ที่บริเวณแอกทีฟของเอนไซม์ โดยมีบทบาทในปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันในกระบวนการสังเคราะห์แสง ดังนั้นเมื่อเซลล์พืชได้รับเหล็กจะถูกส่งเข้าไปภายในโครงสร้างของวงแหวนพอร์ไฟรินเสียก่อน และรวมตัวกันกลายเป็นสารเชิงซ้อนโคออร์ดิเนชันโดยมีเอนไซม์เฟอโรคีเลส ทำหน้าที่ช่วยเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะได้ฮีม และนำไปสังเคราะห์เป็นฮีมโปรตีนต่อไป เช่น ไซโทโครม และการสังเคราะห์ฮีมเอนไซม์ เช่น ไซโทโครมออกซิเดส คาทาเลส และเพอร์ออกซิเดส เป็นต้น นอกจากนี้ในกระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ยังพบเอนไซม์ σ-aminolevulinate dehydrase และ σ-aminolevulinate synthetase โดยมีธาตุเหล็กเป็นโคแฟกเตอร์อีกด้วย (ยงยุทธ, 2546) ดังนั้นจึงทำให้ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดสูงกว่าผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติ

การจุ่มสารละลายคลอรีนไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เนื่องมาจากคลอรีนมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนภายนอกผลิตผลไม่ได้แทรกซึมเข้าไปภายในเซลล์ ดังนั้นจึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ (Suslow, 2007 ; Online)

ปริมาณไนเตรท

เมื่อเก็บรักษานาน 3 วัน พบว่า ระบบการผลิตผักไม่มีผลต่อปริมาณไนเตรทของผักกาดหอมพร้อมปรุง นอกจากนี้ผลการทดลองยังพบว่า ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่จุ่มในสารละลายคลอรีน 100 ส่วนต่อล้านส่วน มีปริมาณไนเตรทไม่แตกต่างกับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน (ตารางที่ 18 ตารางภาคผนวก 26 และภาพที่ 33)

จากการศึกษาของ Siomos *et al*. (2001) พบว่า ผักกาดหอมพันธุ์ Plenty ที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดินมีปริมาณไนเตรทสูงกว่าปริมาณไนเตรทของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติ ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลองในครั้งนี้ คือ ปริมาณไนเตรทของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติไม่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความแตกต่างกับปริมาณไนเตรทของผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ เนื่องจากการปลูกพืชในระบบไม่ใช้ดินมีปริมาณไนเตรทในสารละลายธาตุอาหารเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์แล้วนำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ทำการเพาะปลูกในโรงเรือนพลาสติกใส แสงสามารถทะลุผ่านได้ ทำให้ได้รับแสงเต็มที่ตลอดทั้งวันเช่นเดียวกับผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติ นอกจากนี้ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีแสงแดดจัดตลอดทั้งวัน ในธรรมชาติกระบวนการเจริญเติบโตของพืชเมื่อได้รับไนเตรทเข้าไปแล้วพืชจะรีดิวซ์ไนเตรทให้เป็นแอมโมเนีย เพื่อให้เปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปอินทรียสารต่อไป ซึ่งแสงมีผลต่อปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในกระบวนการนี้ให้เป็นไปตามปกติ ทำให้ไม่เกิดการสะสมของไนเตรทในผลิตผล (ดิเรก, 2547) และแสงยังมีผลกระทบทางอ้อมกับการสะสมไนเตรทด้วย เพราะแสงเป็นตัวกระตุ้นให้เอนไซม์ไนเตรทรีดักเทสสามารถทำงานได้ ซึ่งเอนไซม์นี้จะมีกิจกรรมช้าลงหรือไม่มีกิจกรรมเมื่อพืชอยู่ในที่มืด (Maynard and Barker, 1972) นอกจากนี้ผักกาดหอมที่นำมาใช้ในการทดลองทำการเก็บเกี่ยวช่วงบ่ายของวันก่อนทำการขนส่งมายังห้องปฏิบัติการ ซึ่งปริมาณไนเตรทในพืชจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มแสงในแต่ละช่วงเวลาของวันที่เปลี่ยนแปลงไป โดยในช่วงเช้าของวันจะมีอุณหภูมิต่ำ ความเข้มแสงต่ำ ทำให้ในช่วงนี้พืชจะมีปริมาณไนเตรทสูง ส่วนในช่วงบ่ายความเข้มแสงสูงกว่าทำให้ปริมาณไนเตรทต่ำกว่าช่วงเช้า แสดงว่าการเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงบ่ายเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดปริมาณไนเตรทในพืชได้ (Maynard and Barker, 1972) นอกจากนี้ปริมาณไนเตรทในผักยังขึ้นอยู่กับชนิดของผัก การเขตกรรม สภาพแวดล้อม ความแก่ทางสรีรวิทยา และพันธุกรรม (Gurses, 1983)

การจุ่มสารละลายคลอรีนไม่มีผลต่อปริมาณไนเตรทของผักกาดหอมพร้อมปรุง อาจจะมีสาเหตุเนื่องมาจากคลอรีนใช้สำหรับฆ่าเชื้อจุลินทรีย์บนผลิตผล จึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนเตรทในผลิตผล (Suslow, 2007 ; Online)

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

จากผลการทดลองพบว่า ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ และการจุ่มผักกาดหอมพร้อมปรุงในสารละลายคลอรีน 100 ส่วนต่อล้านส่วน พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่าผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน และเมื่อเก็บรักษาผักกาดหอมพร้อมปรุงนานขึ้น พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 19 ตารางภาคผนวก 27 และภาพที่ 34)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ เพราะว่าการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถป้องกันเชื้อโรคที่ติดมาทางดินได้ ซึ่งการปลูกพืชในดินมีจุลินทรีย์ต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรค เช่น *Escherichia coli, Salmonella, Listeria, Shigella, Bacillus, Aeromonas, Clostridium* และ *Campylobacter* (Beuchat, 1995 ; Fain, 1996 ; Little *et al*., 1997) ซึ่งอาจติดมากับผัก นอกจากนี้การปลูกพืชในดินมีการใช้ปุ๋ยคอกเพื่อเพิ่มผลผลิต หรือใช้ปุ๋ยหมักที่ไม่ได้คุณภาพ ซึ่งสามารถทำให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อจุลินทรีย์และเกิดการปนเปื้อนได้ตั้งแต่ในแปลงปลูก แต่การปลูกพืชในระบบไม่ใช้ดินแต่ละครั้ง ก่อนปลูกพืชลงในระบบ ต้องทำการฆ่าเชื้อโดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ไหลผ่านเข้าในระบบ ซึ่งทำให้จำนวนเชื้อโรคในแหล่งปลูกลดลงได้บางส่วน และในสารละลายธาตุอาหารที่ให้แก่พืชที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน ส่วนใหญ่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ สามารถควบคุมเชื้อสาเหตุของการเกิดโรคพืชที่มาจากระบบการให้สารละลายธาตุอาหารได้ เช่น *Phytophthora cinnamomi* และ *P. capsisci* นอกจากนี้อาจเป็นเพราะในระบบไฮโดรโพนิกส์ยังสามารถติดตั้งอุปกรณ์พิเศษเพิ่มเติมลงไปในระบบ เช่น เครื่องกรองจุลินทรีย์ อุปกรณ์ฆ่าเชื้อด้วยความร้อน เป็นต้น (อานัฐ, 2549 ; Grech *et al.,* 1989 ; Van Os *et al*., 1999 ; Goldberg *et al*., 1992) ทำให้การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่าการปลูกพืชในดิน

ประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัย คือ ระยะเวลาในการจุ่มสารละลาย ความเข้มข้นของสารละลาย และวิธีการจุ่มสารละลาย สารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เช่น ด่างทับทิม สารประกอบไบคาร์บอเนต ตลอดจนสารประกอบคลอรีนชนิดต่างๆ เช่น สารประกอบคลอไรท์ ไฮโปคลอไรท์ (วราภาและณัฐวุฒิ, 2547) จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าการจุ่มผักกาดหอมในสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 100 ส่วนต่อล้าน สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้เมื่อเทียบกับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Souza *et al.* (2005) พบว่า การแช่ผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นในสารละลายไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 0, 100 และ 150 ส่วนต่อล้านส่วน นาน 3 นาที สามารถลดจำนวนแบคทีเรียลงได้ เช่นเดียวกับ Behrsing *et al.* (2000) รายงานว่า การจุ่มสารละลายคลอรีนสามารถลดจำนวน *E. coli* ได้ เพราะว่าคลอรีนทำให้ *E. coli* อยู่ในรูปที่ไม่สามารถทำงานได้ เมื่อคลอรีนทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้ HOCl ซึ่งแตกตัวให้ OCl^- และ H^+ โดยที่ OCl^- นั้นมีคุณสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์ (จริงแท้, 2544) ทำนองเดียวกันกับ Adams *et al.* (1989) พบว่า การจุ่มผักกาดหอมหั่นชิ้นในสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 100 ส่วนต่อล้านส่วน ที่มีค่า pH เท่ากับ 9 นาน 5 นาที สามารถลดจำนวน mesophilic aerobic bacteria ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อายุการเก็บรักษา

ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา พบว่า ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติ มีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกระบบไฮโดรโพนิกส์ และผักกาดหอมพร้อมปรุงที่จุ่มในสารละลายคลอรีน 100 ส่วนต่อล้านส่วน มีอายุการเก็บรักษาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน (ตารางที่ 20 ตารางภาคผนวก 28 และภาพที่ 35)

ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์มีอายุการเก็บรักษานานกว่าผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติ ซึ่งสอดคล้องกับ Nicola *et al.* (2005) ที่รายงานว่า การปลูกพืชในระบบไม่ใช้ดินมีอายุการเก็บรักษานานกว่าพืชที่ปลูกบนดิน อาจเนื่องมาจากการปลูกพืชโดยระบบไฮโดรโพนิกส์ได้รับธาตุอาหารอย่างเพียงพอต่อความต้องการ และธาตุอาหารอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที ซึ่งธาตุไนโตรเจนจำเป็นต่อการเจริญเติบโต โดยเฉพาะในผักที่รับประทานใบ ทำให้อัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างพืช และไนโตรเจนที่เป็นอาหารสะสมของพืชเพิ่มมากขึ้น (Broadley *et al*., 2000) นอกจากนี้การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถป้องกันเชื้อโรคที่ติดมาทางดินได้ ซึ่งการปลูกพืชในดินมีจุลินทรีย์ต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคพืช เช่น *Sclerotinia sclerotiorium*, *S. minor* และ *Botrytis cinerea* เป็นต้น โดยเฉพาะในดินที่ใช้ปุ๋ยคอกเพื่อเพิ่มผลผลิต หรือการใช้ปุ๋ยหมักที่ไม่ได้คุณภาพ ซึ่งสามารถแพร่กระจายและปนเปื้อนได้ตั้งแต่ในแปลงปลูก (อานัฐ, 2549)

กระบวนการทำความสะอาดผลิตผลทางพืชสวนที่หั่นชิ้นพร้อมบริโภค ในขั้นตอนการแปรรูปมีผลกระทบอย่างมากต่อคุณภาพ อายุการเก็บรักษา และความปลอดภัยของผลิตผล (Simons and Sanguansri, 1997) ซึ่งผักกาดหอมหั่นชิ้นพร้อมบริโภคมีอายุการเก็บรักษาที่จำกัด เนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลและผลิตผลถูกเชื้อจุลินทรีย์เข้าทำลาย (Bolin *et al*., 1977 ; Priepke *et al*., 1976) การจุ่มผักกาดหอมพร้อมปรุงในสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 100 ส่วนต่อล้านส่วน ทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นกว่าผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน เนื่องจากการจุ่มในสารละลายคลอรีนมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของผักกาดหอมพร้อมปรุง เพราะเป็นขั้นตอนทำความสะอาดผลิตผล ซึ่งในขั้นตอนนี้ต้องใช้แรงกดเพื่อให้ส่วนต่างๆ ของผักกาดหอมพร้อมปรุงทั้งหมดสัมผัสกับสารละลายคลอรีน ซึ่งอาจจะทำให้เกิดบาดแผล ส่งผลให้ผักกาดหอมพร้อมปรุงเกิดสีน้ำตาลขึ้น และยังทำให้ไขที่เคลือบผลิตผลและโครงสร้างอื่นๆ เช่น เลนติเซล (lenticel) ที่มีอยู่ตามธรรมชาติบนผิวของผลิตผลหลุดหายไป ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำเกิดขึ้นมากกว่าปกติ อีกทั้งในขั้นตอนการจุ่มสารละลายคลอรีนอาจจะทำให้มีน้ำที่ใช้ล้างผลิตผลตกค้างอยู่บนผลิตผล ซึ่งอาจก่อให้เกิดการเน่าเสียได้ (จริงแท้, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 3 อัตราการหายใจของผักกาดหอมพันธุ์ Green Oak Leaf

การทดลองที่ 3.1 การเปรียบเทียบอัตราการหายใจของผักกาดหอมพันธุ์ Green Oak Leaf ที่ปลูกในระบบปกติและในระบบไฮโดรโพนิกส์ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

เมื่อเก็บรักษานาน 6 วัน พบว่า อัตราการหายใจของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ และเมื่อเก็บรักษานานขึ้น พบว่า อัตราการหายใจของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติและในระบบไฮโดรโพนิกส์ มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 21 ตารางภาคผนวก 29 และภาพที่ 37)

การหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่เปลี่ยนพลังงานเคมีที่สะสมอยู่ในอาหารให้อยู่ในรูปของพลังงานที่สามารถนำไปใช้ในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต (จริงแท้, 2544) ซึ่งอัตราการหายใจเป็นสิ่งที่แสดงถึงอายุในการเก็บรักษาของผักและผลไม้ โดยผักและผลไม้ที่มีอัตราการหายใจต่ำจะมีอายุการเก็บรักษานานกว่าผักและผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูง เนื่องจากการหายใจนำไปสู่การเสื่อมสลาย ถ้าผลิตผลมีการหายใจช้าลง จะทำให้อัตราการเสื่อมสลายช้าลงด้วย (สายชล, 2528 ; ดนัย, 2540 ; ดนัยและนิธิยา, 2548) จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า อัตราการหายใจของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติสูงกว่าอัตราการหายใจของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ อาจจะเป็นเพราะว่าผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติมีการเน่าเสียมากกว่าผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ โดยมีสาเหตุมาจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมาจากแปลงเพาะปลูก ซึ่งการปลูกพืชในดินมักจะมีเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคพืช เช่น *Erwinia* sp. ซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุของโรคเน่าเละ โดยเชื้อจุลินทรีย์จะเข้าทำลายผลิตผลตั้งแต่ยังเป็นต้นอ่อนและอาศัยอยู่ภายในผลิตผล แต่ยังไม่ปรากฏอาการของโรค ในระหว่างการเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวจะสร้างเอนไซม์มาย่อยสลายเนื้อเยื่อ มีผลทำให้ส่วนที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์โดยเฉพาะเพกติน (pectin) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์เกิดความเสียหาย โดยเริ่มจากจุดช้ำน้ำเล็กๆ และขยายขนาดขึ้น ส่งผลให้เซลล์แยกออกจากกัน เนื้อเยื่อจึงยุบตัวลง และเกิดการนิ่มเละ โดยจะไปเร่งกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ภายในเซลล์ เช่น การผลิตเอทธิลีนเพื่อไปกระตุ้นกระบวนการสมานแผลให้สร้างผิวขึ้นมาใหม่ ซึ่งมีผลต่ออัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้นของผลิตผล (ดนัย, 2543 ; อานัฐ, 2549 ; จริงแท้, 2549) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Prusky *et al.* (2001) ซึ่งพบว่า ผลิตผลที่ติดเชื้อแบคทีเรียชนิด *Alternaria alternata* ซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุของการเกิดโรค black spot สามารถแทรกซึมเข้าสู่ผลิตผลได้โดยทางบาดแผลระหว่างการเก็บเกี่ยว โดยยังไม่แสดงอาการของการติดเชื้อ แต่จะแสดงอาการในระหว่างการเก็บรักษาส่งผลให้ผลิตผลมีอัตราการหายใจสูงกว่าผลิตผลที่ไม่ได้ติด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เชื้อ เช่นเดียวกับรายงานของ Maxcy (1982) ที่พบว่า จุลินทรีย์แกรมลบพวก psychrophilic bacteria ในผักกาดหอมห่อจะผลิตเอนไซม์เพกติโนไลติก เพื่อทำลายเนื้อเยื่อของผักกาดหอมห่อ โดยจะไปเร่งการเสื่อมสลายของเนื้อเยื่อ ทำให้อัตราการหายใจของผักกาดหอมห่อเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลการทดลองในครั้งนี้ยังพบว่า เมื่อระยะเวลาของการเก็บรักษาผ่านไปนานขึ้น อัตราการหายใจของผักกาดหอมในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลง เพราะสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการหายใจ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ถูกย่อยเป็นโมเลกุลเล็กๆ คือ น้ำตาล กรดไขมัน และกรดอะมิโน แล้วนำโมเลกุลขนาดเล็กเหล่านั้นไปใช้ในกระบวนการหายใจ เพื่อให้ได้พลังงาน และนำพลังงานที่ได้ไปใช้ในการดำรงชีวิต ซึ่งมีรายงานว่า กล้วยที่ไม่ติดเชื้อ *Botryodiplodia theobromae* มีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตในกลุ่มของน้ำตาลอยู่หลายชนิด ซึ่งได้แก่ glucose, sucrose, fructose, maltose และ raffinose แต่เมื่อกล้วยติดเชื้อพบเพียงน้ำตาล sucrose เท่านั้น แสดงให้เห็นว่าเชื้อสาเหตุของการเกิดโรคมีผลต่อปริมาณน้ำตาลในผลิตผล ส่งผลให้ผลิตผลมีสารตั้งต้นที่ใช้ในการหายใจลดลง (Odebode and Sansui, 1996)

การทดลองที่ 3.2 การเปรียบเทียบอัตราการหายใจของผักกาดหอมพันธุ์ Green Oak Leaf ทั้งหัวและผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติและในระบบไฮโดรโพนิกส์ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

อัตราการหายใจของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติและระบบไฮโดรโพนิกส์ ซึ่งเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน พบว่า อัตราการหายใจแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าการแปรรูปผักกาดหอมมีผลต่ออัตราการหายใจ โดยที่ในช่วงแรกของการเก็บรักษา อัตราการหายใจของผักกาดหอมในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ หลังจากนั้นลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้อิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตผักกับการแปรรูปมีปฏิสัมพันธ์กัน (ตารางที่ 22 ตารางภาคผนวก 30 และภาพที่ 38)

โดยปกติผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติจะมีอัตราการหายใจสูงกว่าผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ ดังได้กล่าวมาแล้วในการทดลองที่ 3.1 และการแปรรูปมีผลต่ออัตราการหายใจ พบว่า ผักกาดหอมพร้อมปรุงมีอัตราการหายใจสูงกว่าผักกาดหอมทั้งหัว เพราะผักกาดหอมพร้อมปรุงมีบาดแผลที่เกิดจากการหั่นชิ้น ซึ่งเป็นการทำลายส่วนที่ปกคลุมผิวของเนื้อเยื่อหรือคิวติเคิล และการหั่นชิ้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศ ส่งผลให้ผลิตผลหั่นชิ้นมีอัตราการหายใจสูงกว่าผลิตผลทั้งหัว นอกจากนี้การเกิดบาดแผลยังทำให้เชื้อจุลินทรีย์เข้าทำลายผลิตผลได้ง่ายในระหว่างการเก็บรักษา จึงทำให้ผลิตผลหั่นชิ้นเกิดการเน่าเสียได้ง่าย ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ให้ผลิตผลมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น (Huxsoll and Bolin, 1989 ; Watada *et al.,* 1996 ; Beuchat and Brackett, 1990) โดยสาเหตุการเน่าเสียของผักกาดหอมเนื่องมาจากการเข้าทำลายของเชื้อแบคทีเรียหลายชนิด เช่น *Pseudomonas fluorescens, Rahnella aquatilis* และ *Pantoea agglomerans* และอาจจะมียีสต์บางชนิดเข้าทำลายด้วย เช่น *Candida humicola* และ *Cryptococcus laurentii* เป็นต้น ส่งผลให้ผักกาดหอมมีอัตราการหายใจสูงขึ้น (Jacxsens *et al*., 2003) นอกจากนี้การหั่นชิ้นทำให้ผลิตผลเกิดบาดแผล และเกิดสภาวะเครียด ซึ่งมีผลไปกระตุ้นกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ของเนื้อเยื่อให้สูงขึ้น ทำให้ผลิตผลสร้างเอทธิลีนเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นอัตราการหายใจของผลิตผลหั่นชิ้นจึงสูงกว่าอัตราการหายใจของผลิตผลทั้งหัวหรือทั้งผล (ดนัย, 2540) สอดคล้องการศึกษาของ Martinez *et al.* (2005) ที่พบว่า ผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจสูงกว่าเป็น 2 เท่าของผักกาดหอมห่อทั้งหัว ในทำนองเดียวกับ Parry (1993) พบว่าแครอทหั่นชิ้นพร้อมบริโภคมีอัตราการหายใจสูงเป็น 5 เท่าของแครอทที่ไม่หั่นชิ้น เช่นเดียวกับ Abe and Watada (1991) พบว่า ผักกาดหอมห่อพร้อมบริโภคมีอัตราการหายใจสูงกว่าผักกาดหอมห่อทั้งหัว ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุมาจากบาดแผลที่เกิดจากการตัดและการหั่นชิ้นส่งผลให้เนื้อเยื่อของผลิตผลเกิดการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ Priepke *et al.* (1976) ยังได้รายงานว่า ผักกาดหอมห่อหั่นชิ้นที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4.4 องศาเซลเซียส นาน 2 วัน มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของผักกาดหอมห่อทั้งหัวที่ไม่ได้รับบาดแผล และ Escalona *et al.* (2003) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเก็บรักษาผักคะน้าไว้ที่อุณหภูมิต่ำ เป็นเวลา 4 วัน พบว่า การผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของผักคะน้าหั่นชิ้นมีค่าเพิ่มขึ้น 8 เท่าจากวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของผักคะน้าที่ไม่ได้หั่นชิ้น

การทดลองที่ 3.3 การเปรียบเทียบอัตราการหายใจของผักกาดหอมพันธุ์ Green Oak Leaf พร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติและในระบบไฮโดรโพนิกส์ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ผลการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติและระบบไฮโดรโพนิกส์ ซึ่งเก็บรักษานาน 6 วัน มีอัตราการหายใจไม่ต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่จุ่มสารละลายคลอรีน 100 ส่วนต่อล้านส่วน มีอัตราการหายใจต่ำกว่าผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน และเมื่อเก็บรักษาผักกาดหอมพร้อมปรุงไว้นานขึ้น พบว่า ในช่วงแรกของการเก็บรักษาอัตราการหายใจของผักกาดหอมพร้อมปรุงในทุก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรรมวิธีมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้อิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตผักกับการจุ่มคลอรีนมีปฏิสัมพันธ์กัน (ตารางที่ 23 ตารางภาคผนวก 31 และภาพที่ 39)

โดยปกติผักกาดหอมที่ปลูกในระบบปกติจะมีอัตราการหายใจสูงกว่าผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ ดังได้กล่าวมาแล้วในการทดลองที่ 3.1 แต่เมื่อนำผักกาดหอมที่ปลูกในทั้งสองระบบผ่านกระบวนการหั่นชิ้นพร้อมบริโภค ทำให้ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์มีอัตราการหายใจสูงขึ้นจากปกติ เป็นสาเหตุทำให้ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบปกติมีอัตราการหายใจไม่แตกต่างกับผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ ซึ่งในระหว่างกระบวนการหั่นชิ้นพร้อมบริโภคส่งผลให้เนื้อเยื่อของผลิตผลถูกทำลาย ทำให้ผลิตผลเกิดบาดแผลและอยู่ภายใต้สภาวะเครียด โดยที่เนื้อเยื่อเหล่านี้สามารถปลดปล่อยสารที่เป็นองค์ประกอบภายในเซลล์พืช และอาจทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น (elictor) ต่อเซลล์ใกล้เคียง ซึ่งเนื้อเยื่อที่อยู่ใต้รอยบาดแผลจะยังคงสภาพเดิม แต่อยู่ภายใต้สภาวะเครียด เช่น เกิดการสูญเสียน้ำ และอาจก่อให้เกิดการสร้างสัญญาณบาดแผล (wound signal) ขึ้นได้ ซึ่งเนื้อเยื่อที่อยู่ไกลออกไปและไม่ได้รับผลโดยตรงจากบาดแผล แต่สามารถรับและตอบสนองต่อสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นได้ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการแสดงออกของยีน เป็นสาเหตุทำให้มีการสังเคราะห์โปรตีนและผลิตเอทธิลีนเพิ่มขึ้นเพื่อไปกระตุ้นกระบวนการสมานแผลภายในพืช ได้แก่ การสะสมลิกนิน โดยการสังเคราะห์ลิกนินต้องอาศัยผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการหายใจเพื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้น (จริงแท้, 2549 ; Abeles *et al.,* 1992)

อายุการเก็บรักษาของผลิตผลพร้อมบริโภคถูกจำกัด โดยการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจ การคายน้ำ กิจกรรมของเอนไซม์ที่อยู่ในเนื้อเยื่อพืชหลังการเก็บเกี่ยว และภายหลังกระบวนการแปรรูป ซึ่งมีผลต่อการเน่าเสียและการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค (Nguyen-the and Carlin, 1994) เชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคโดยทั่วไปในผักพร้อมบริโภค คือ *Listeria monocytogenes* ซึ่งพบในกะหล่ำปลีหั่นชิ้น (coleslaw) และมิกซ์สลัด (Schlech *et al*., 1983 ; Sizmur and Walker, 1988 ; Steinbruegge *et al*., 1988) จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ผักกาดหอมพร้อมปรุงที่จุ่มสารละลายคลอรีนมีอัตราการหายใจต่ำกว่าผักกาดหอมพร้อมปรุงที่ไม่จุ่มสารละลายคลอรีน ทั้งนี้เพราะสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการหายใจ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน จะถูกย่อยเป็นโมเลกุลเล็กๆ คือ น้ำตาล กรดไขมัน และกรดอะมิโน แล้วนำโมเลกุลขนาดเล็กเหล่านั้นไปใช้ในกระบวนการหายใจ เพื่อให้ได้พลังงาน และนำพลังงานที่ได้ไปใช้ในการดำรงชีวิต ซึ่งมีรายงานว่า กล้วยที่ไม่ติดเชื้อ *Botryodiplodia theobromae* มีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตในกลุ่มของน้ำตาลอยู่หลายชนิด ซึ่งได้แก่ glucose, sucrose, fructose, maltose และ raffinose แต่เมื่อกล้วยติดเชื้อพบเพียงน้ำตาล sucrose เท่านั้น แสดงให้เห็นว่าเชื้อสาเหตุของการเกิดโรคมีผลต่อปริมาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำตาลในผลิตผล ส่งผลให้ผลิตผลมีวัตถุดิบที่ใช้ในการหายใจลดลง (Odebode and Sansui, 1996) อาจจะเป็นเพราะคลอรีนมีคุณสมบัติเป็น oxidizing agent ซึ่งกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวที่ใช้คลอรีนมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อทำความสะอาดและฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในผลิตผล (Suslow, 2007 ; Online) ตัวอย่างสารประกอบพวกคลอรีนที่นิยมใช้ เช่น สารประกอบคลอไรท์ ไฮโปคลอ-ไรท์ ซึ่งสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์บนผลิตผลได้ (วราภาและณัฐวุฒิ, 2547) สอดคล้องกับ Hong and Gross (1998) ที่ศึกษา พบว่า มะเขือเทศหั่นชิ้นและไม่ผ่านการจุ่มโซเดียมไฮโปคลอไรท์แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน มีการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ชนิด *Alternaria alternata* และมีการสังเคราะห์แก๊สเอทธิลีนและคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่ามะเขือเทศหั่นชิ้นที่จุ่มโซเดียมไฮโปรคลอไรท์ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าเชื้อจุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์มาเร่งการสลายเนื้อเยื่อของพืช ตัวอย่างเช่น จุลินทรีย์ในกลุ่มแกรมลบ psychrophilic bacteria จะผลิตเอนไซม์เพกติโนไลติกขึ้นเพื่อทำลายเนื้อเยื่อของผักกาดหอมห่อ และมีผลไปเร่งอัตราการหายใจให้สูงขึ้น ทำให้ผักกาดหอมห่อเสื่อมสภาพเร็วขึ้น (Maxcy, 1982 ; ดนัย, 2540) นอกจากนี้กระบวนการหั่นชิ้น การเฉือน การตัด และการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้อัตราการหายใจสูงขึ้น (Brackett, 1992 ; Nguyen-the and Carlin, 1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved