บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีระหว่างการเก็บรักษาปวยเหล็งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ลักษณะปรากฏ

เมื่อเก็บรักษานาน 2 วัน ปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65 เปอร์เซ็นต์) ใบมีลักษณะเหี่ยวมาก มีสีเหลือง ปรากฏอาการเน่า และหมดอายุการเก็บรักษา มีค่าคะแนนลักษณะปรากฏเท่ากับ 1.33±0.33 คะแนน ในขณะที่การเก็บรักษาปวย-เหล็งไว้ที่อุณหภูมิ 0, 4 และ 8 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะใบสีเขียวสด คือ มีความสดอยู่ระหว่าง 81-100 เปอร์เซ็นต์ ไม่ปรากฏอาการใบเหี่ยว เหลือง และเน่า และยังไม่หมดอายุการเก็บรักษา มีค่าคะแนนลักษณะปรากฏ เท่ากับ 5.00±0.00, 5.00±0.00 และ 5.00±0.00 คะแนน ตามลำดับ และตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา พบว่า คะแนนลักษณะปรากฏของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลง (ตาราง 1 ตารางภาคผนวก 1 และภาพ 8)

จากผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษามีผลต่อลักษณะปรากฏ โดยปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0, 4 และ 8 องศาเซลเซียส มีลักษณะปรากฏดีกว่าปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีลักษณะใบเหี่ยวมาก และมีสีเหลือง เนื่องจากน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในเซลล์ของผักและผลไม้ ซึ่งโดยปกติแล้วผักและผลไม้มีน้ำเป็นส่วนประกอบ 80-95 เปอร์เซ็นต์ (ดนัย, 2540) ดังนั้นเมื่อเก็บเกี่ยวผลิตผลมาแล้ว ผลิตผลจะถูกตัดขาดจากแหล่งน้ำที่เคยได้รับจากราก นอกจากนั้น การสูญเสียน้ำของผลิตผลยังคงเกิดขึ้นตลอดเวลา ในขณะที่ไม่มีน้ำจากแหล่งอื่นมาทดแทน ดังนั้น ผลิตผลจึงเกิดการเหี่ยวหรือหดตัว และเกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปทรงไปในทางที่เลวลง อีกทั้งเกิดการเปลี่ยนสี โดยเฉพาะส่วนของสีเขียวหายไป ปรากฏสีเหลืองขึ้นมาแทน (จริงแท้, 2549; ดนัย, 2540; สายชล, 2528) การเก็บรักษาผลิตผลไว้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำช่วยรักษาสภาพของลักษณะปรากฏ รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากอุณหภูมิต่ำชะลออัตราการหายใจ และปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ของกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์พืชให้ดำเนินช้าลง ทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น (Lipton, 1987; Watkins and Ekman, 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สอดคล้องกับการศึกษาของ Bergquist (2006) ที่รายงานว่า การเก็บรักษาปวยเหล็งไว้ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นาน 9 วัน มีลักษณะปรากฏดีกว่าปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งมีลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

การสูญเสียน้ำหนัก

ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาปวยเหล็ง นาน 2 วัน พบว่า การเก็บรักษาปวยเหล็งไว้ที่อุณหภูมิห้องมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 3.42±0.19 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับการสูญเสียน้ำหนักของปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0, 4 และ 8 องศาเซลเซียส ที่มีค่าเท่ากับ 1.81±0.10 , 2.30±0.17 และ 2.84±0.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง (ตาราง 1 ตารางภาคผนวก 2 และภาพ 9)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดต่อคุณภาพของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งการเก็บรักษาผลิตผลในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำช่วยชะลอปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ของกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์พืชให้ดำเนินช้าลง และช่วยลดอัตราการหายใจของผลิตผล จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าการเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำอุ้มน้ำได้น้อยกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิสูง (สายชล, 2528) สอดคล้องกับ Lertrittipong *et al.* (1984) ซึ่งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผักปวยเหล็ง พบว่า การเก็บรักษาผักปวยเหล็งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (32.2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 77 เปอร์เซ็นต์) มีการสูญเสียน้ำหนัก 29 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิ 1, 5 และ 9 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ย 17.5-21.0 เปอร์เซ็นต์ ในทำนองเดียวกับ Boonyakiat *et al.* (1986) รายงานว่า ภายหลังการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อพันธุ์ King Crown นาน 2 วัน ที่อุณหภูมิ 6-8 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนัก 1.54 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การเก็บรักษาผักกาดหอมห่อที่อุณหภูมิประมาณ 28 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนัก 5.6 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ผักรับประทานใบส่วนใหญ่นั้น มีน้ำเป็นองค์ประกอบภายในเซลล์มากถึง 85-95 เปอร์เซ็นต์ (Ryall and Lipton, 1978) และมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การสูญเสียน้ำเกิดได้ง่ายขึ้นในผักรับประทานใบ (Kays, 1991) โดยการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลมีผลต่อความสด เนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏภายนอกของผลิตผลอีกด้วย (Roura *et al*, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณวิตามินซี

ปวยเหล็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน พบว่า มีปริมาณวิตามินซีสูงสุด คือ มีค่าเท่ากับ 21.02±1.10 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ส่วนกรรมวิธีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 8 องศาเซลเซียส มีค่ารองลงมา คือ เท่ากับ 15.61±1.39 และ 13.38±1.11 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ สำหรับปวยเหล็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่า มีปริมาณวิตามินซีต่ำที่สุด คือ เท่ากับ 5.09±0.64 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ปริมาณวิตามินซีของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีมีค่าค่อนข้างผันแปร (ตาราง 1 ตารางภาคผนวก 3 และภาพ 10)

วิตามินซีในผักและผลไม้มีอยู่ด้วยกัน 3 รูป คือ reduced ascorbic acid ซึ่งอาจถูก oxidized ไปอยู่ในรูปที่ 2 คือ monohydroascorbic acid ซึ่งไม่เสถียร และถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปที่ 3 คือ dehydroascorbic acid (DHA) ซึ่งอาจถูก oxidized ไปเป็น 2, 3 deketogulonic acid ซึ่งไม่มีคุณสมบัติของวิตามินซี วิตามินซีในผลิตผลส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ reduced ascorbic acid (90 เปอร์เซ็นต์) ทั้งนี้ปริมาณวิตามินซีในรูปแบบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อายุของผลิตผลเมื่อเก็บเกี่ยว ตำแหน่งที่พบในส่วนต่างๆ ของพืช และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว เป็นต้น โดยพบว่าปริมาณวิตามินซีในผักรับประทานใบและช่อดอกจะลดลงค่อนข้างเร็วภายหลังการเก็บเกี่ยว (จริงแท้, 2549) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bergquist (2006) ที่พบว่า ปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซีลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อเก็บรักษานาน 9 วัน คาดว่าปวยเหล็งสูญเสียปริมาณวิตามินซีทั้งหมด พร้อมกับการมีลักษณะปรากฏซึ่งถือว่าหมดอายุการวางจำหน่าย เมื่อเปรียบเทียบกับปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ซึ่งยังคงสภาพลักษณะปรากฏที่ดี และมีปริมาณวิตามินซีมากกว่า นอกจากนี้การสูญเสียของวิตามินซีของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว อาจเกิดจากการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น ascorbic acid oxidase, polyphenol oxidase และ peroxidase หรืออาจเกิดจากการออกซิเดชั่นโดยมีโลหะหนักเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (จริงแท้, 2549; Burton, 1982)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สีใบ

การเก็บรักษาปวยเหล็งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 2 วัน มีค่า L* ของสีใบมากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 42.92±1.31 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์กับค่า L* ของปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0, 4 และ 8 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 36.61±0.08, 37.80±0.64 และ 36.97±0.82 ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา พบว่า ค่า

L* ของสีใบปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0, 4 และ 8 องศาเซลเซียส มีค่าค่อนข้างคงที่ (ตาราง 2 ตารางภาคผนวก 4 และภาพ 11)

สำหรับค่า chroma ของปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0, 4 และ 8 องศาเซลเซียส นาน 2 วัน มีค่าเท่ากับ 22.90±0.99, 20.73±0.89 และ 22.35±0.67 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับค่า chroma ของปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26.22±1.20 พบว่า ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ค่า chroma ของสีใบปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำมีค่าค่อนข้างคงที่ (ตาราง 2 ตารางภาคผนวก 5 และภาพ 12)

ค่า hue ของปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 2 วัน พบว่ามีค่าน้อยที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 109.41±0.70 องศา ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับค่า hue ของปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0, 4 และ 8 องศาเซลเซียส คือ มีค่าเท่ากับ 113.24±0.62, 113.88±0.55 และ 112.48±0.37 องศาตามลำดับ โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ค่า hue ของสีใบปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีมีค่าค่อนคงที่ (ตาราง 2 ตารางภาคผนวก 6 และภาพ 13)

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า L*, chroma และ hue ของปวยเหล็ง โดยพบว่าที่อุณหภูมิห้อง ปวยเหล็งมีการเพิ่มขึ้นของค่า L* อย่างรวดเร็วและในเวลาเดียวกัน พบว่าค่า hue angle ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับวันแรกของการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีใบจากสีเขียวแกมเหลืองเป็นสีเหลืองแกมเขียว ซึ่งแตกต่างจากกรรมวิธีอื่นๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ คือ 0, 4 และ 8 องศาเซลเซียส พบว่ามีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าสีต่างๆ ค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim *et al.* (2004) ที่รายงานว่า ผักกะหล่ำปลีซาวอยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส มีการลดลงของค่า hue อย่างรวดเร็ว แตกต่างกับผักกะหล่ำปลีที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่า hue ค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลต่างๆ มักมีการเปลี่ยนสีเกิดขึ้น ซึ่งในผักรับประทานใบ พบว่าสีเขียวจะหายไปและมักปรากฏสีเหลืองขึ้นมาแทน ซึ่งการสูญเสียสีเขียวในผักรับประทานใบนี้มีสาเหตุมาจากการสลายตัวของสารสีคลอโรฟิลล์ (จริงแท้, 2549) ทั้งนี้คลอโรฟิลล์จัดเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียร สลายตัวได้ง่าย (Monreal *et al*., 1999) การได้รับอิทธิพลจากปัจจัยแวดล้อมต่างๆ เช่น ค่าความเป็นกรดด่าง เอนไซม์ ออกซิเจน แสง สภาพในการเก็บรักษาและอุณหภูมิ (Schwartz and Lorenzo, 1990; Heaton and Marangoni, 1996) ทำให้โครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์เปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปของ pheophytins หรือ อนุพันธุ์อื่นๆ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตผลจากสีเขียวสดไปเป็นสีเขียวมะกอกหรือสีเหลืองอมเขียว (Gupte *et al*., 1964) ซึ่งการเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำช่วยชะลอปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ของกระบวนการเมแทบอลิซึมภายใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เซลล์พืช รวมถึงการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ให้เกิดช้าลง ส่งผลให้การเสื่อมสภาพและการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตผลเกิดช้าลงไปด้วย (ดนัย, 2540; Sornsrivichai et al., 1990)

ปริมาณคลอโรฟิลล์

ผลการทดลอง พบว่า การเก็บรักษาปวยเหล็งที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ได้ โดยปวยเหล็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 4 และ 8 องศาเซลเซียส นาน 2 วัน มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ คือ มีค่าเท่ากับ 0.379±0.014, 0.354±0.006 และ 0.390±0.020 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ แต่ทั้งนี้ พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของปวยเหล็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.231±0.029 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลง (ตาราง 3 ตารางภาคผนวก 7 และภาพ 14)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของปวยเหล็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นาน 2 วัน มีปริมาณน้อยที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 0.119±0.011 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของปวยเหล็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 4 และ 8 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.210±0.011, 0.190±0.003 และ 0.214±0.011 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลง (ตาราง 3 ตารางภาคผนวก 8 และภาพ 15)

ปวยเหล็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นาน 2 วัน มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดน้อยที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 0.350±0.041 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของปวยเหล็งที่เก็บรักษาที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ได้แก่ อุณหภูมิ 0, 4 และ 8 องศาเซลเซียส คือ มีค่าเท่ากับ 0.588±0.026, 0.544±0.010 และ 0.607±0.031 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา นาน 8 วัน ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีมีค่าลดลง (ตาราง 3ตารางภาคผนวก 9 และภาพ 16)

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการสูญเสียปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด โดยการเก็บรักษาปวยเหล็งไว้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำสามารถช่วยชะลออัตราการเสื่อมสลายของสีเขียวในใบปวยเหล็งได้ เห็นได้จากปวยเหล็งที่เก็บ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ได้แก่ อุณหภูมิ 0, 4 และ 8 องศาเซลเซียส มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดสูงกว่าปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เช่นเดียวกับการทดลองของ Nam and Known (1997) พบว่า การเก็บรักษาผักกาดหอมชนิดใบไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเท่ากับ 54 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณคลอโรฟิลล์ในวันเริ่มต้นการศึกษา ในขณะที่ผักกาดหอมที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 วัน มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเท่ากับ 64 เปอร์เซ็นต์จากวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา เห็นได้ว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตผล ซึ่งการเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ทำให้ผลิตผลมีอัตราการหายใจต่ำลง ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลให้นานขึ้น อีกทั้งยังช่วยชะลอการเสื่อมสภาพและการสูญเสียของคลอโรฟิลล์อีกด้วย (Watada *et al*., 1996; Roura *et al*., 2000)

โครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์ ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ วงแหวน tetrapyrrole และส่วนหาง phytol คลอโรฟิลล์เป็นโมเลกุลซึ่งไม่เสถียร สลายตัวได้ง่ายจากความร้อน ออกซิเจน และสารเคมีอื่นๆ ส่วนหาง phytol ถูกย่อยออกจากโมเลกุลได้ง่ายด้วยสารละลายที่เป็นด่างอ่อน และด้วยเอนไซม์ chlorophyllase ในขณะที่แมกนีเซียมในส่วน tetrapyrrole ถูกดึงออกได้ง่ายด้วยกรดอ่อน (จริงแท้, 2549)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของปวยเหล็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 0, 4 และ 8 องศาเซลเซียส นาน 2 วัน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ คือ มีค่าเท่ากับ 5.10±0.30, 4.93±0.30, 5.27±0.41 และ 5.13±0.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา นาน 8 วัน ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีมีค่าค่อนข้างผันแปร (ตาราง 4 ตารางภาคผนวก 10 และภาพ 17)

จากการทดลอง แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของปวยเหล็ง ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คลีฟที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คลีฟที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิห้อง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (วารินทร์, 2550) อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิในการเก็บรักษาอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ เช่น อัตราส่วน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของกลูโคสต่อฟรุกโตสและกรดอินทรีย์ต่างๆ ในระหว่างกระบวนการเก็บรักษาผลิตผล (Javanmardi and Kubota, 2006)

ปริมาณแคโรทีนอยด์

เมื่อเก็บรักษาปวยเหล็งไว้นาน 2 วัน พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ของปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 0, 4 และ 8 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ คือ มีค่าเท่ากับ 6.85±0.09, 6.92±0.18, 6.92±0.23 และ 6.94±0.23 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา นาน 8 วัน ปริมาณแคโรทีนอยด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ตาราง 4 ตารางภาคผนวก 11 และภาพ 18)

แคโรทีนอยด์เป็นสารสีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงในพืช ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยของสารสีคลอโรฟิลล์ในการดักจับพลังงานแสง พบมากในผักหรือผลไม้ที่แก่หรือสุก (Thomas-Barberan and Robins, 1997) โดยแคโรทีนอยด์ที่พบในพืชนั้น มีอยู่ทั้งในส่วนของพืชที่มีสีเขียวและส่วนที่ไม่มีสีเขียว พบว่า ยิ่งพืชมีสีเขียวมาก ก็ยิ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้น แต่โดยทั่วไปนั้น สีเหลืองและแดงของแคโรทีนอยด์เหล่านี้จะถูกบดบังด้วยสีเขียวของคลอโรฟิลล์ และจะปรากฏให้เห็นชัดเจนขึ้น เมื่อพืชเข้าสู่ระยะของการเสื่อมสภาพ ซึ่งคลอโรฟิลล์จะถูกทำลายไปบางส่วน ในขณะที่แคโรทีนอยด์อาจถูกสร้างมากขึ้นหรืออาจมีปริมาณคงที่เท่าเดิม โดยทั่วไปแคโรทีนอยด์เป็นสารที่มีคุณสมบัติค่อนข้างเสถียร อาจเนื่องมาจากโมเลกุลของแคโรทีนอยด์อยู่ภายในพลาสทิด และเกาะอยู่กับโปรตีนบนเยื่อหุ้มหรืออาจรวมตัวกันเป็นผลึกจึงปลอดภัยจากการสลายตัวซึ่งมีสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก (จริงแท้, 2549) สอดคล้องกับรายงานของ Bergquist (2006) พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ของปวยเหล็งในระหว่างการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจมีปริมาณเพิ่มขึ้นหรือลดลง ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ฤดูกาลในการปลูก และอุณหภูมิในการเก็บรักษา เป็นต้น

อายุการเก็บรักษา

ปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำมีอายุการเก็บรักษานานกว่าปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด คือ 8.00±0.00 วัน ส่วนปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 8 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษานาน 6.00±0.58 และ 4.00±0.58 วัน ตามลำดับ สำหรับปวยเหล็งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องมีอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุด คือ 2.00±0.58 วัน (ตาราง 5)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดำเนินไปของกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์ของผลิตผล รวมถึงการหายใจ (Lipton, 1987) การหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่เปลี่ยนพลังงานเคมีที่สะสมอยู่ในอาหารให้อยู่ในรูปของพลังงานที่สามารถนำไปใช้ในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต (จริงแท้, 2549) ซึ่งอัตราการหายใจเป็นดัชนีที่สามารถบ่งบอกถึงอายุในการเก็บรักษาของผักและผลไม้ชนิดนั้นๆ ได้ โดยผักและผลไม้ที่มีอัตราการหายใจต่ำจะมีอายุการเก็บรักษานานกว่าผักและผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูง (สายชล, 2528; ดนัย, 2540) เพราะว่าการหายใจเป็นกระบวนการที่นำมาซึ่งการเสื่อมสลาย ถ้าผลิตผลมีการหายใจช้าลง อัตราการเสื่อมสลายของผลิตผลนั้น จะเกิดช้าลงตามไปด้วย (ดนัยและนิธิยา, 2548) ทั้งนี้อุณหภูมิถือเป็นปัจจัยภายนอกที่สำคัญมากที่สุดต่อการหายใจของผักและผลไม้ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการหายใจของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำจะทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ เกิดช้าลง รวมทั้งการหายใจด้วย ซึ่งการลดอุณหภูมิต่ำลงทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะทำให้อัตราการหายใจของผลิตผลลดลง 2-4 เท่า (ดนัย, 2540) ดังนั้น ปวยเหล็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจึงมีอายุการเก็บรักษานานกว่าปวยเหล็งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิสูง ในทำนองเดียวกับ Poritt (1974) ; Ryall and Lipton (1978) ; McGregor (1987) ซึ่งรายงานว่า การเก็บรักษาปวยเหล็งไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ สามารถเก็บรักษาปวยเหล็งได้นาน 10-14 วัน นอกจากนี้ ผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Boonyakiat *et al.* (2007) ซึ่งเก็บรักษาปวยเหล็งไว้ที่อุณหภูมิต่ำ และพบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ปวยเหล็งมีอายุการเก็บรักษานานกว่าการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 1 ลักษณะปรากฏ การสูญเสียน้ำหนัก และปริมาณวิตามินซีของปวยเหล็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ นาน 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ลักษณะปรากฏ (คะแนน)	การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด)
ห้อง	1.33±0.33[b]	3.42±0.19[a]	5.09±0.64[c]
0	5.00±0.00[a]	1.81±0.10[c]	21.02±1.10[a]
4	5.00±0.00[a]	2.30±0.17[c]	15.61±1.39[b]
8	5.00±0.00[a]	2.84±0.21[b]	13.38±1.11[b]
$LSD_{0.05}$	0.54	0.52	3.56
C.V. (%)	7.07	14.91	13.72

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 2 ค่า L*, chroma และ hue ของปวยเหล็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ นาน 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา	สี		
(องศาเซลเซียส)	ค่า L*	ค่า chroma	ค่า hue (องศา)
ห้อง	42.92±1.31[a]	26.22±1.20[a]	109.41±0.70[b]
0	36.61±1.08[b]	22.90±0.99[b]	113.24±0.62[a]
4	37.80±0.64[b]	20.73±0.89[b]	113.88±0.55[a]
8	36.97±0.82[b]	22.35±0.67[b]	112.48±0.37[ab]
$LSD_{0.05}$	2.87	2.76	1.26
C.V. (%)	7.75	12.46	1.15

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของปวยเหล็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ นาน 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด)		
	คลอโรฟิลล์ เอ	คลอโรฟิลล์ บี	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด
ห้อง	0.231±0.029[b]	0.119±0.011[b]	0.350±0.041[b]
0	0.379±0.014[a]	0.210±0.011[a]	0.588±0.026[a]
4	0.354±0.006[a]	0.190±0.003[a]	0.544±0.010[a]
8	0.390±0.020[a]	0.214±0.011[a]	0.607±0.031[a]
$LSD_{0.05}$	0.064	0.033	0.095
C.V. (%)	9.950	9.410	9.670

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 4 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณแคโรทีนอยด์ของปวยเหล็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ นาน 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด)
ห้อง	5.10±0.30	6.85±0.09
0	4.93±0.30	6.92±0.18
4	5.27±0.41	6.92±0.23
8	5.13±0.46	6.94±0.23
$LSD_{0.05}$	1.22	0.62
C.V. (%)	12.65	4.80

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

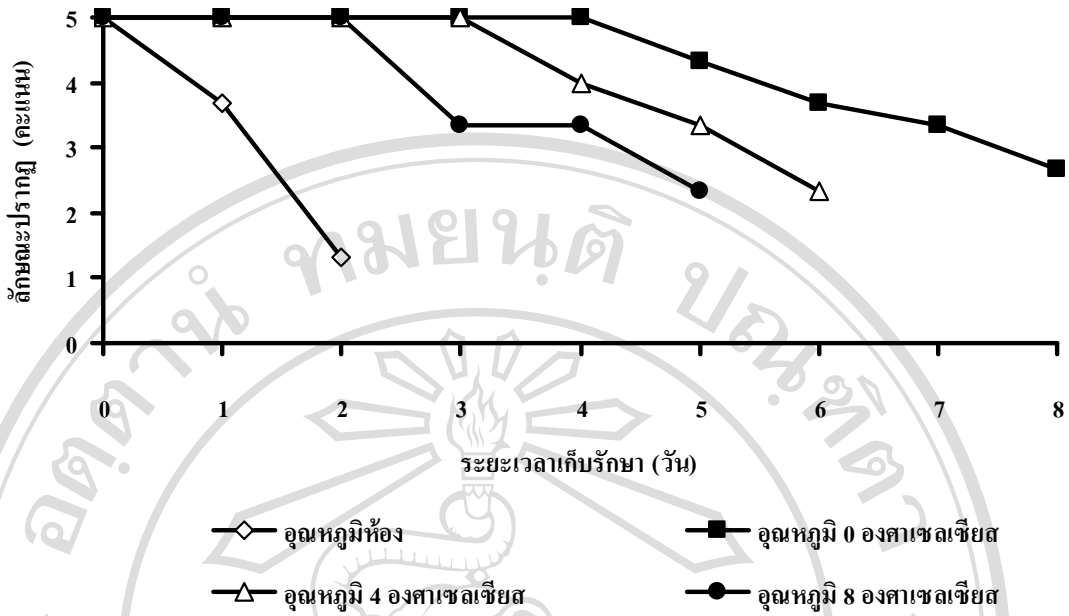
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 5 อายุการเก็บรักษาของปวยเหล็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ

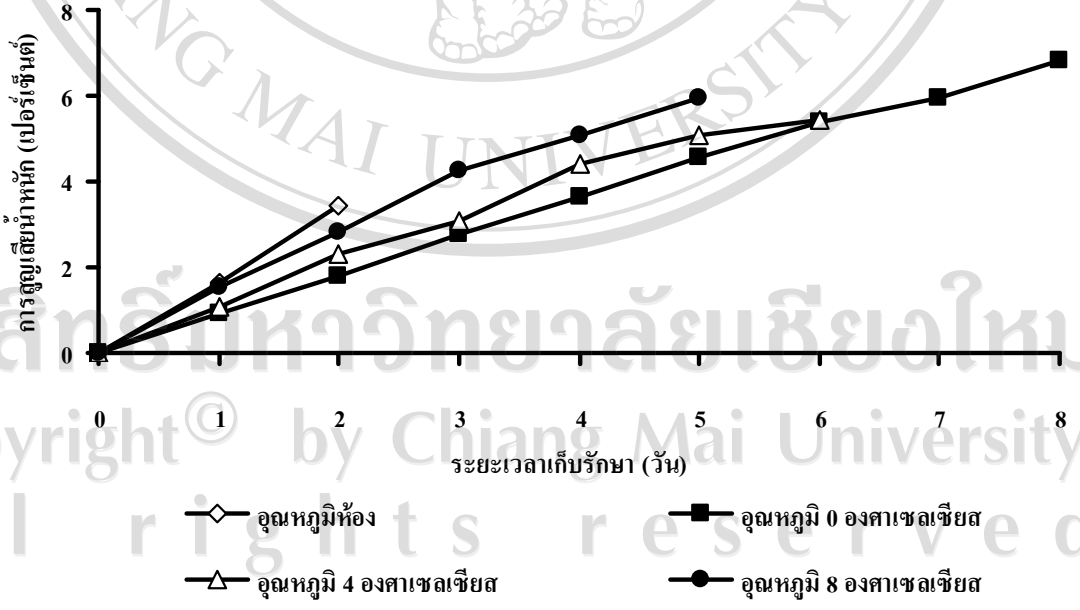
อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	อายุการเก็บรักษา (วัน)
อุณหภูมิห้อง	2.00±0.58[d]
0	8.00±0.00[a]
4	6.00±0.58[b]
8	4.00±0.58[c]
$LSD_{0.05}$	1.63
C.V. (%)	17.32

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

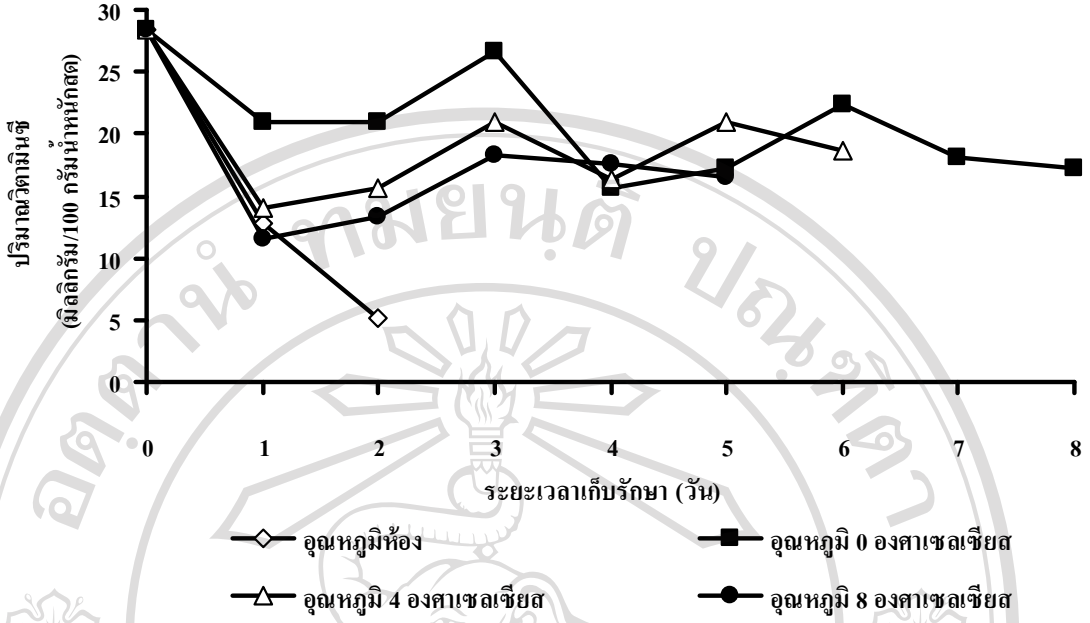


ภาพ 8 ลักษณะปรากฏของปวยเหล็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ นาน 8 วัน

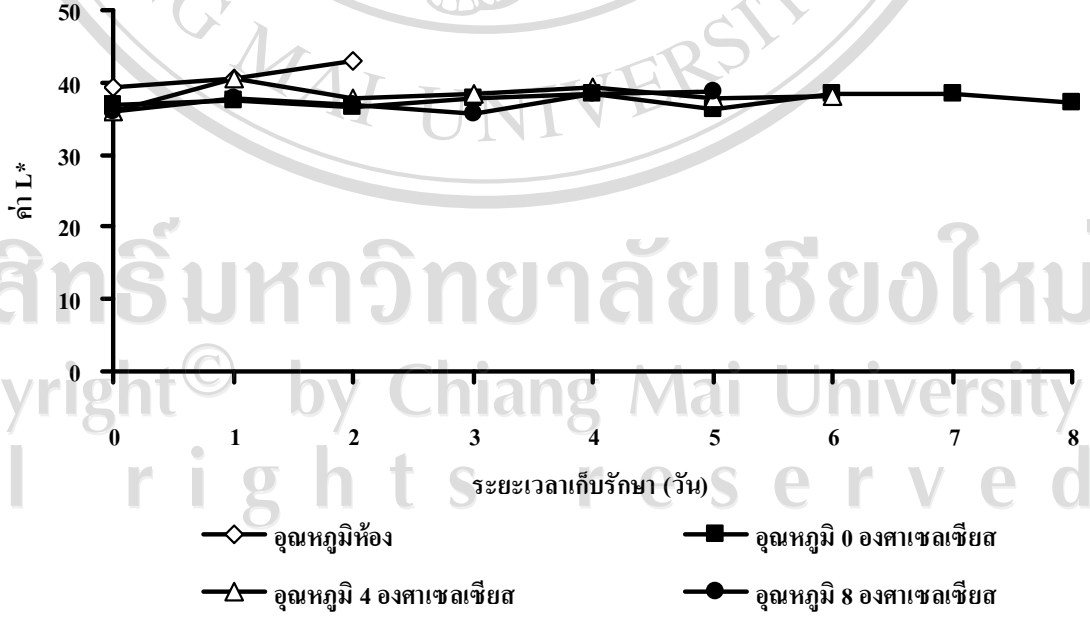


ภาพ 9 การสูญเสียน้ำหนักของปวยเหล็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ นาน 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

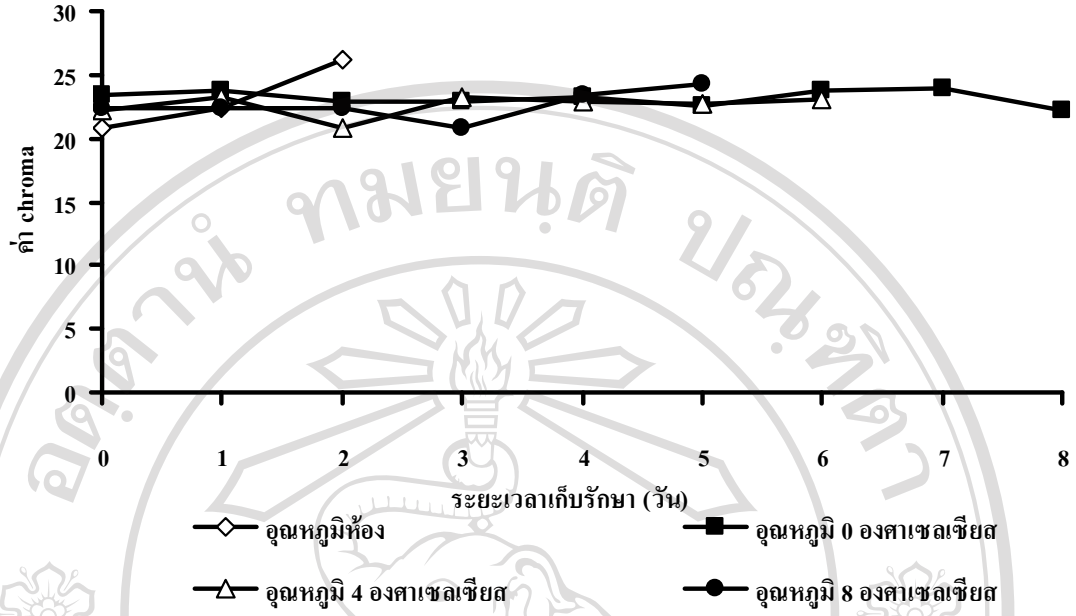


ภาพ 10 ปริมาณวิตามินซีของปวยเหล็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ นาน 8 วัน

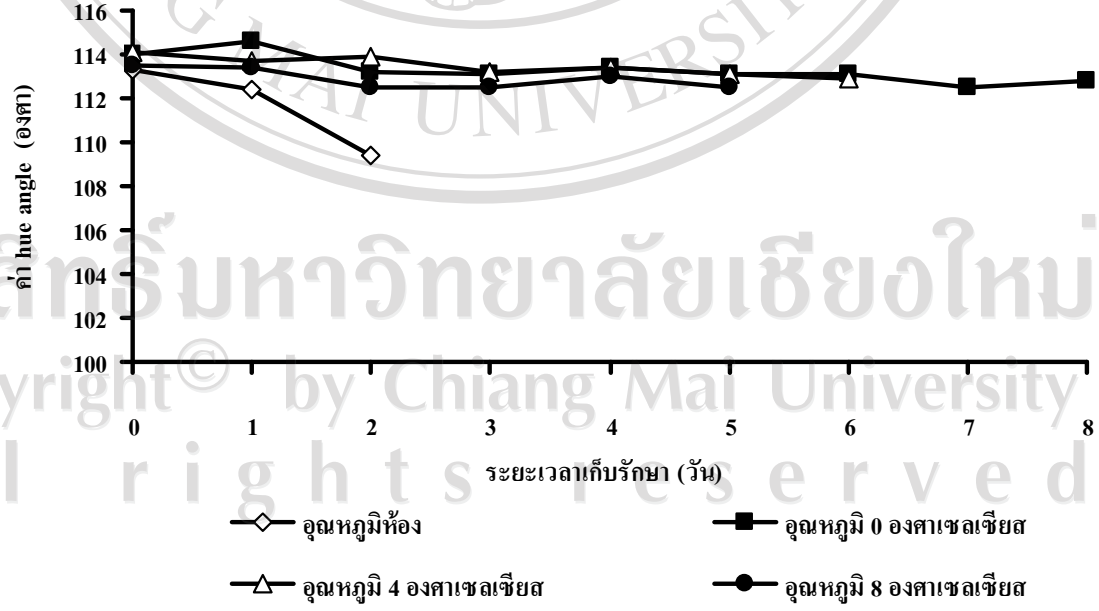


ภาพ 11 ค่า L* ของปวยเหล็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ นาน 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

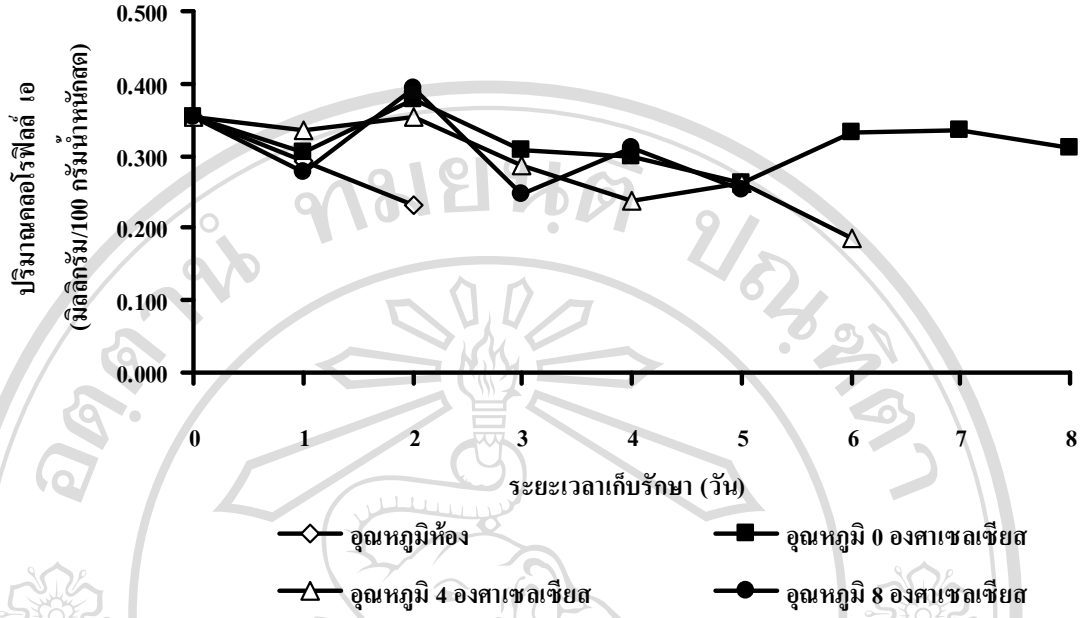


ภาพ 12 ค่า chroma ของปวยเหล็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ นาน 8 วัน

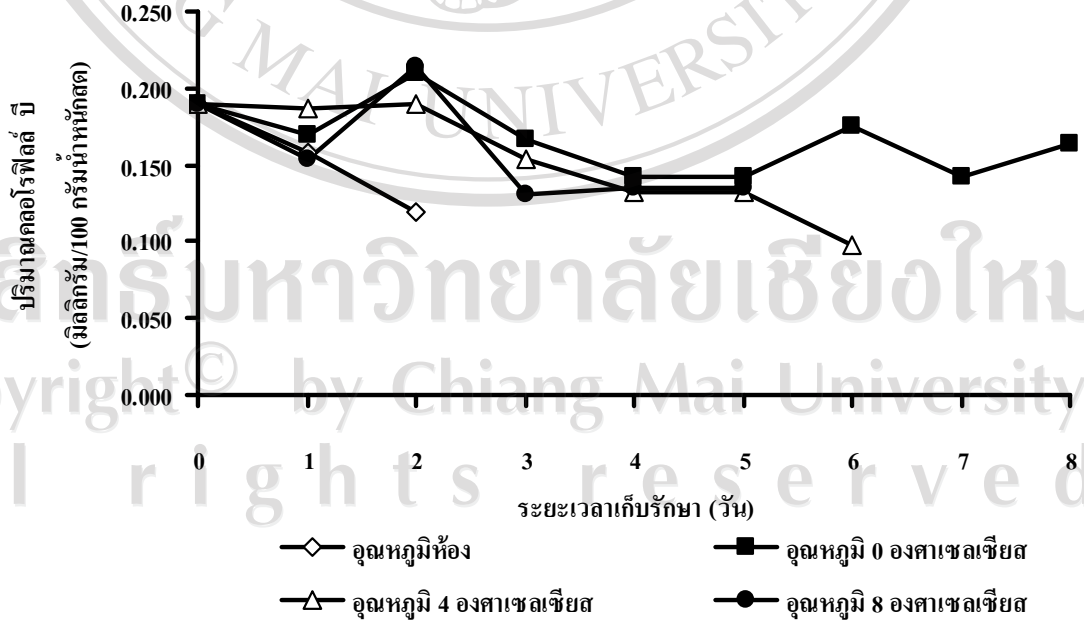


ภาพ 13 ค่า hue angle ของปวยเหล็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ นาน 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

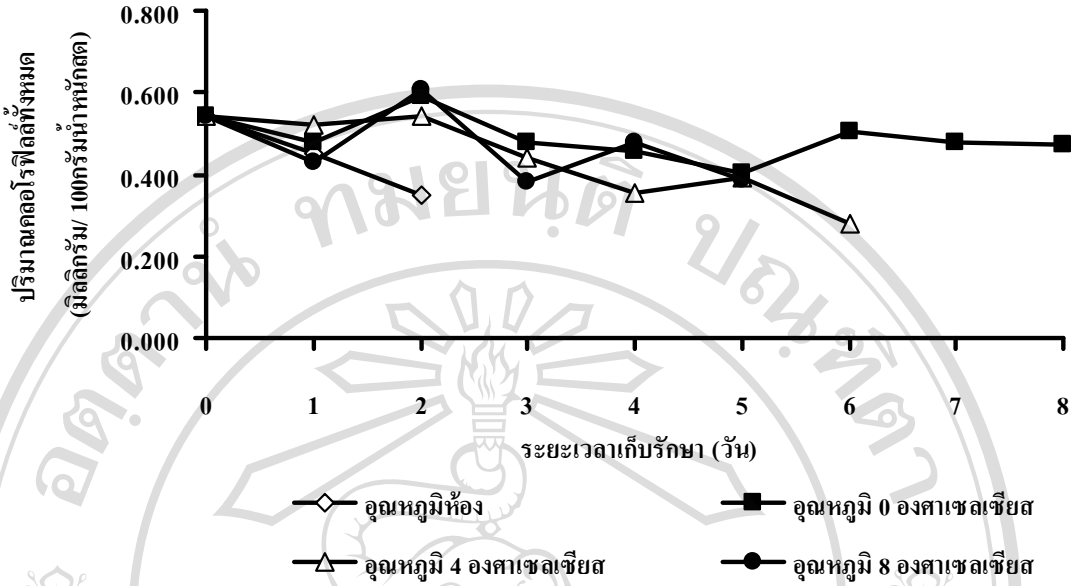


ภาพ 14 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของปวยเหล็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ นาน 8 วัน

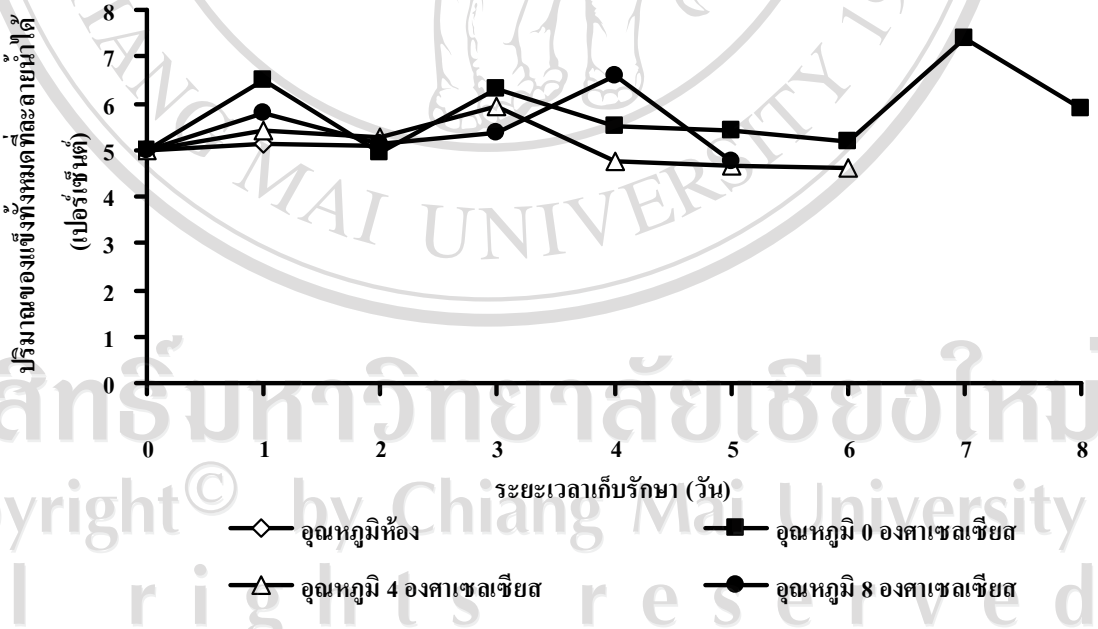


ภาพ 15 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของปวยเหล็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ นาน 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

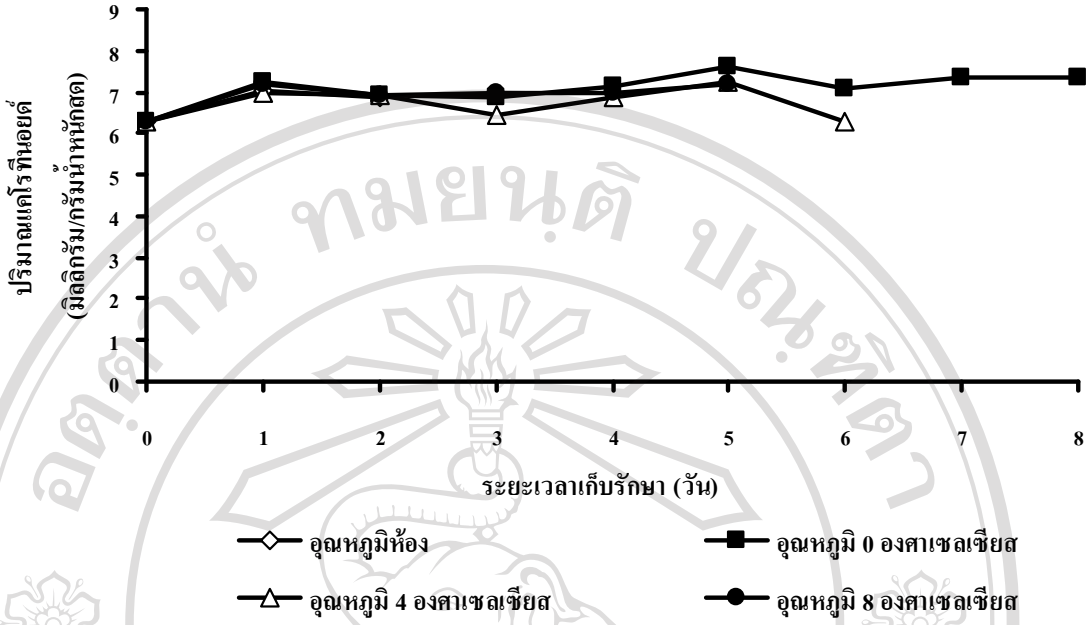


ภาพ 16 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของปวยเหล็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ นาน 8 วัน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 17 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของปวยเหล็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ นาน 8 วัน



ภาพ 18 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของปวยเหล็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ นาน 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 19 ลักษณะของปวยเหล็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ นาน 2 วัน

การทดลองที่ 2 การศึกษาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของการลดอุณหภูมิปวยเหล็งโดยใช้ระบบสุญญากาศ

จากผลการทดลองที่ 1 พบว่า อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาปวยเหล็ง โดยในการทดลองที่ 2 จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการลดอุณหภูมิปวยเหล็งด้วยระบบสุญญากาศที่สามารถลดอุณหภูมิของปวยเหล็งให้มีอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 2±2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษา (0 องศาเซลเซียส) และใช้เวลาในการลดอุณหภูมิน้อยที่สุด

การทดลองที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์ในการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิปวยเหล็งโดยใช้ระบบสุญญากาศ

ค่าพารามิเตอร์ในการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิปวยเหล็งโดยใช้ระบบสุญญากาศ (ตาราง 6) คือ กำหนดความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 6 มิลลิบาร์ และระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 8 นาที โดยปวยเหล็งที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 19.12 องศาเซลเซียส ปวยเหล็งมีอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 1.9 องศาเซลเซียส หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการลดอุณหภูมิ และมีการสูญเสียน้ำหนัก 1.63 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 7) ทั้งนี้ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 19 นาที และใช้พลังงานเท่ากับ 2.6 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้า 0.028 บาทต่อกิโลกรัม (ตาราง 8)

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิผลิตผลและอุณหภูมิอากาศกับเวลาที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของปวยเหล็งแสดงดังภาพที่ 20 พบว่า ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึง 6 มิลลิบาร์ซึ่งเป็นความดันสุดท้ายที่กำหนดภายในระยะเวลา 11 นาที ส่วนอุณหภูมิอากาศจะลดลงอย่างช้าๆ สำหรับอุณหภูมิของปวยเหล็งค่อนข้างคงที่ในช่วงแรก จนกระทั่งเมื่อความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงจนถึง 17.5 มิลลิบาร์ที่นาทีที่ 8 จากนั้นอุณหภูมิของปวยเหล็งจะลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งที่จุดนี้เรียกว่า “flash point” เป็นเวลาที่ใช้ในการลดความดันในห้องลดอุณหภูมิและน้ำในผลิตผลจะเริ่มเดือดและระเหยกลายเป็นไออย่างต่อเนื่องทำให้ปวยเหล็งมีอุณหภูมิลดลงด้วยอัตราเร็วสูง (ความชันของเส้นกราฟสูง) จนกระทั่งเมื่อความดันสุดท้ายลดลงมาอยู่ที่ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิที่ 6 มิลลิบาร์ เครื่องจะทำการรักษาระดับความดันให้ค่อนข้างคงที่ เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันตามระยะเวลาที่กำหนดเท่ากับ 8 นาที ซึ่งในช่วงนี้อุณหภูมิของปวยเหล็งจะลดลงด้วยความชันน้อยลงจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 1.9 องศาเซลเซียส ที่นาทีที่19

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิปวยเหล็งโดยใช้ระบบสุญญากาศแสดงดังภาพที่ 21 พบว่า ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเริ่มกระบวนการลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 65.5 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเวลาผ่านไป 7 นาที เมื่อเริ่มมีการลดความดัน พบว่า ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการลดความดันบรรยากาศในห้องลดอุณหภูมิเป็นการลดปริมาณอากาศที่มีความชื้นออกไป ดังนั้นจึงทำให้ภายในห้องลดอุณหภูมิมีปริมาณอากาศชื้นลดลง ส่งผลให้ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อระดับความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงจนอยู่ในระดับคงที่ประมาณ 6 มิลลิบาร์ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดอุณหภูมิมีค่าค่อนข้างคงที่ เฉลี่ยประมาณ 33.4 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาผลของพารามิเตอร์ในการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศในการลดอุณหภูมิปวยเหล็งต่อเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ, เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก (ตาราง 7) และอุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผล พบว่า ระดับความดันสุดท้ายที่กำหนดและเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันตามระยะเวลาที่กำหนด มีผลต่อเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ, เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก และอุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผล โดยพบว่า ยิ่งระดับความดันสุดท้ายที่กำหนดลดลงและเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเพิ่มขึ้นจะเป็นผลทำให้เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมินานขึ้นและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นในขณะที่อุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผลต่ำลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 6 ค่าพารามิเตอร์ในการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิปวยเหล็งโดยใช้ระบบสุญญากาศ

พารามิเตอร์ในการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศ	**ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด**
ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิ (มิลลิบาร์)	6
ระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด (นาที)	8
ระยะเวลาในการพ่นน้ำ (วินาที)	-
ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ (นาที)	19

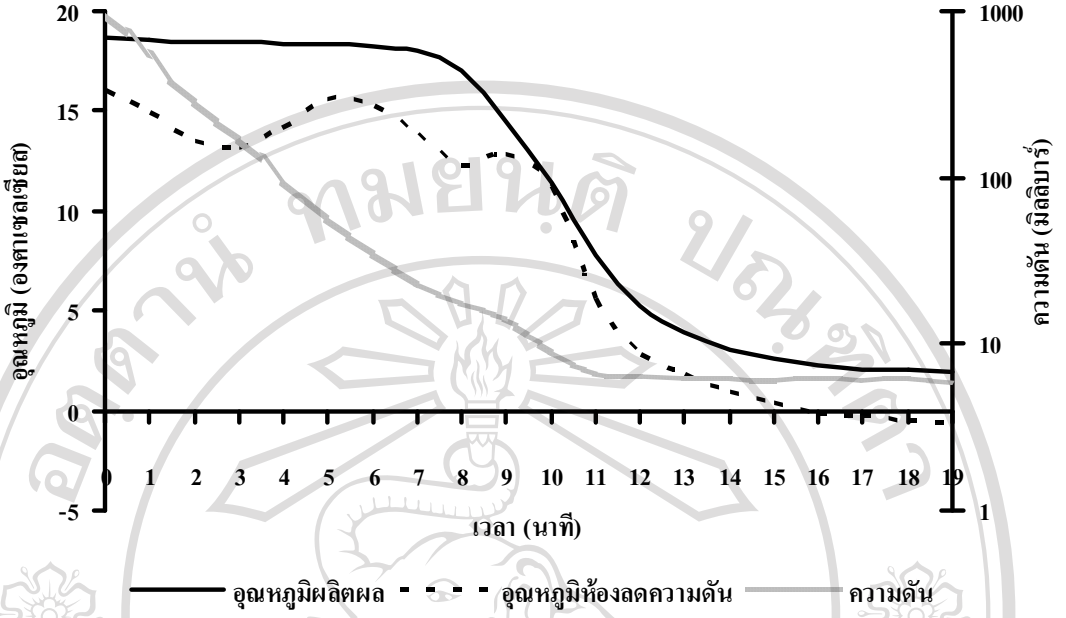
ตาราง 7 สภาวะของปวยเหล็งก่อนและหลังการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ

สภาวะของผลิตผล	**ข้อมูลจากการทดลอง**
อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	19.12
อุณหภูมิสุดท้าย (องศาเซลเซียส)	1.90
การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)	1.63

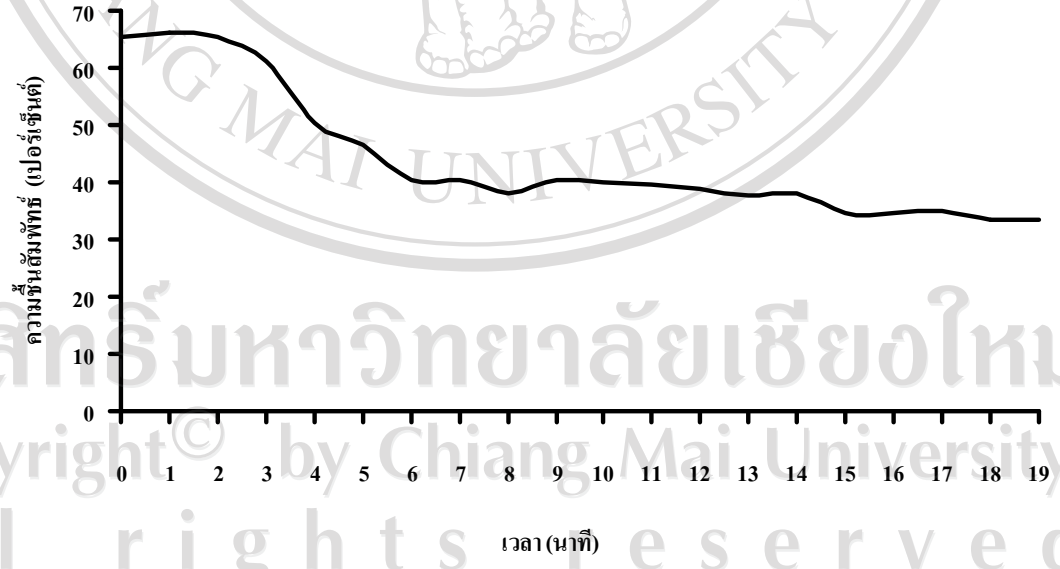
ตาราง 8 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการลดอุณหภูมิปวยเหล็งโดยใช้ระบบสุญญากาศ

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ	**ข้อมูลจากการทดลอง**
จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	2.6
ค่าไฟฟ้า (บาท/กิโลกรัม)	0.028

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความดัน และเวลาในการลดอุณหภูมิปวยเหล็งโดยใช้ระบบสุญญากาศ



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 21 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิปวยเหล็งโดยใช้ระบบสุญญากาศ

การทดลองที่ 2.2 ค่าพารามิเตอร์ในการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิปวยเหล็งโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

ค่าพารามิเตอร์ในการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิปวยเหล็งโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ (ตาราง 9) คือ กำหนดความดันภายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 7 มิลลิบาร์ ระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 5 นาที และระยะเวลาในการพ่นน้ำเท่ากับ 350 วินาที โดยปวยเหล็งที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 16.30 องศาเซลเซียส ปวยเหล็งมีอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 3.3 องศาเซลเซียส หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการลดอุณหภูมิและมีการสูญเสียน้ำหนัก 1.31 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 10) ทั้งนี้ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 23 นาที และใช้พลังงานเท่ากับ 2.60 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้า 0.028 บาทต่อกิโลกรัม (ตาราง 11)

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิผลิตผลและอุณหภูมิอากาศกับเวลาที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำของปวยเหล็งแสดงดังภาพที่ 22 พบว่าความดันภายในห้องลดอุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึง 7 มิลลิบาร์ซึ่งเป็นความดันสุดท้ายที่กำหนด ภายในระยะเวลา 12 นาที ส่วนอุณหภูมิอากาศจะลดลงอย่างช้าๆ สำหรับอุณหภูมิของปวย-เหล็งค่อนข้างคงที่ในช่วงแรก จนกระทั่งเมื่อความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงจนถึง 14.3 มิลลิบาร์ที่นาทีที่ 9 จากนั้นอุณหภูมิของปวยเหล็งจะลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งที่จุดนี้เรียกว่า “flash point” เป็นเวลาที่ใช้ในการลดความดันในห้องลดอุณหภูมิและน้ำในผลิตผลจะเริ่มเดือดและระเหยกลายเป็นไออย่างต่อเนื่องทำให้ปวยเหล็งมีอุณหภูมิลดลงด้วยอัตราเร็วสูง (ความชันของเส้นกราฟสูง) จนกระทั่งเมื่อความดันสุดท้ายลดลงมาอยู่ที่ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิที่ 7 มิลลิบาร์ เครื่องจะทำการรักษาระดับความดันให้ค่อนข้างคงที่ เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันตามระเวลาที่กำหนดเท่ากับ 5 นาที ซึ่งในช่วงนี้อุณหภูมิของปวยเหล็งจะลดลงด้วยความชันน้อยลงจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 3.3 องศาเซลเซียส ที่นาทีที่ 23

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิปวยเหล็งโดยใช้ระบบสุญญากาศแสดงดังภาพที่ 20 พบว่า ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเริ่มกระบวนการลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 70.5 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเวลาผ่านไป 9 นาที เมื่อเริ่มมีการลดความดัน พบว่า ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการลดความดันบรรยากาศในห้องลดอุณหภูมิเป็นการลดปริมาณอากาศที่มีความชื้นออกไป ดังนั้นจึงทำให้ภายในห้องลดอุณหภูมิมีปริมาณอากาศชื้นลดลง ส่งผลให้ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อระดับความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงจนอยู่ในระดับคงที่ประมาณ 7 มิลลิบาร์ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดอุณหภูมิมีค่าค่อนข้างคงที่ด้วย เฉลี่ยประมาณ 40.1 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการศึกษาผลของพารามิเตอร์ในการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำในการลดอุณหภูมิปวยเหล็งต่อเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ, เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก (ตาราง 7) และอุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผล พบว่า ระดับความดันสุดท้ายที่กำหนดและเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันตามระยะเวลาที่กำหนด มีผลต่อเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ, เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก และอุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผล โดยพบว่ายิ่งระดับความดันสุดท้ายที่กำหนดลดลงและเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเพิ่มขึ้นจะเป็นผลทำให้เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมินานขึ้นและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นในขณะที่อุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผลต่ำลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 9 ค่าพารามิเตอร์ในการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิปวยเหล็งโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

พารามิเตอร์ในการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศ	**ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด**
ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิ (มิลลิบาร์)	7
ระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด (นาที)	5
ระยะเวลาในการพ่นน้ำ (วินาที)	350
ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ (นาที)	23

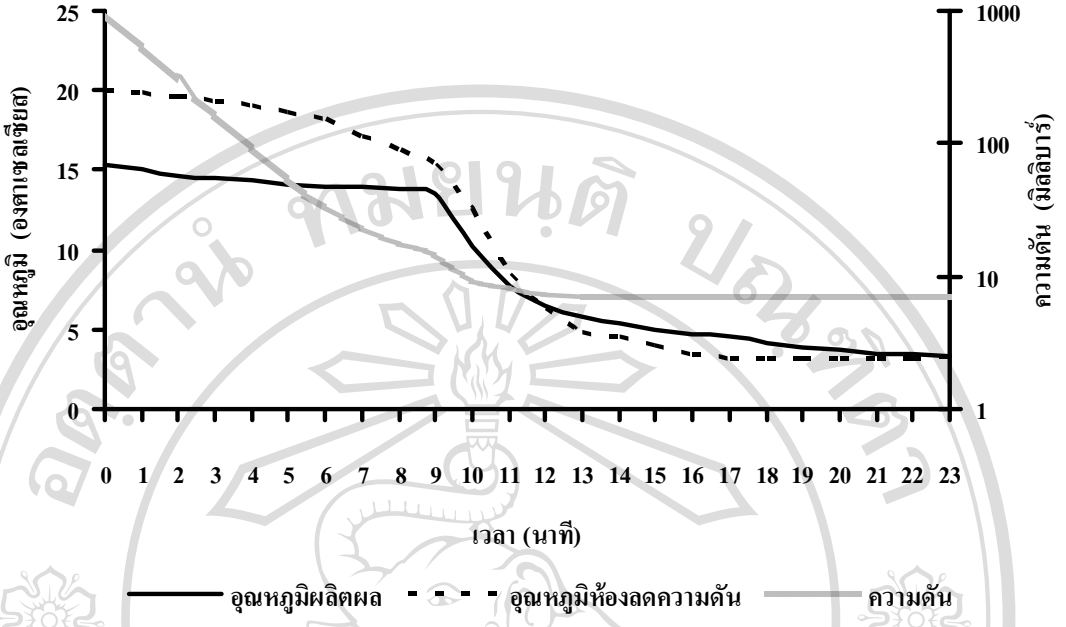
ตาราง 10 สภาวะของปวยเหล็งก่อนและหลังการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

สภาวะของผลิตผล	**ข้อมูลจากการทดลอง**
อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	16.30
อุณหภูมิสุดท้าย (องศาเซลเซียส)	3.30
การสูญเสียน้ำหนักสด (เปอร์เซ็นต์)	1.31

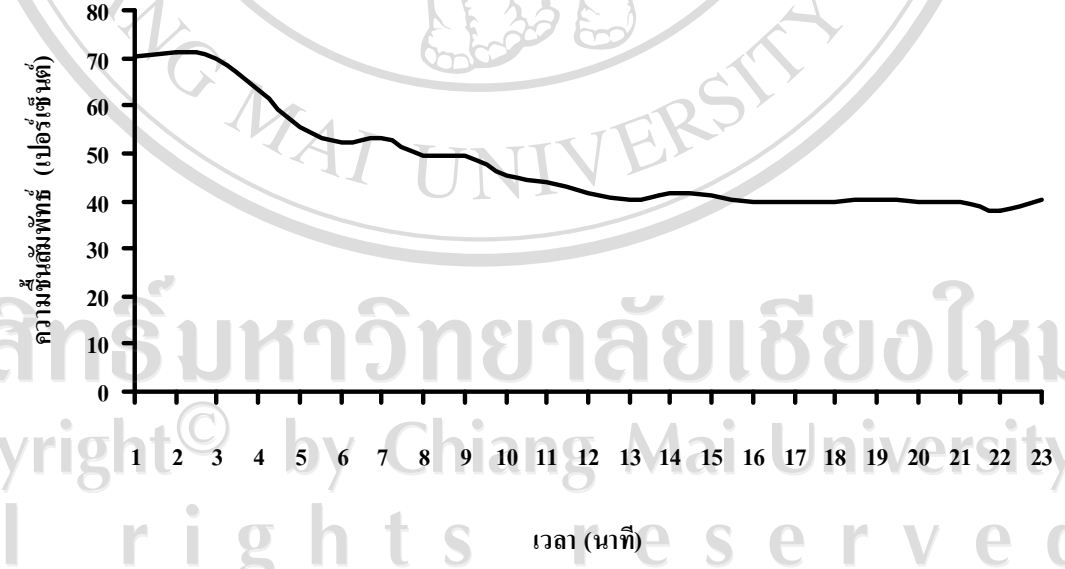
ตาราง 11 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการลดอุณหภูมิปวยเหล็งโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ	**ข้อมูลจากการทดลอง**
จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	2.6
ค่าไฟฟ้า (บาท/กิโลกรัม)	0.028

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความดัน และเวลาในการลดอุณหภูมิปวยเหล็งโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ



ภาพ 23 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิปวยเหล็งโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 3 ผลของการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศต่อคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของปวยเหล็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

ลักษณะปรากฏ

จากการประเมินลักษณะคุณภาพทางกายภาพ แสดงให้เห็นว่า ปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ แล้วเก็บรักษานาน 9 วัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ คะแนนลักษณะปรากฏสีของใบมีค่าเท่ากับ 3.67±0.33 และ 4.33±0.67 คะแนน ตามลำดับ ส่วนปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีคะแนนลักษณะปรากฏสีของใบ เท่ากับ 2.00±0.58 คะแนน ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาปวยเหล็งในทุกกรรมวิธี มีคะแนนลักษณะปรากฏสีของใบลดลง (ตาราง 12 ตารางภาคผนวก 36 และภาพ 24)

เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 9 วัน พบว่า ปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีคะแนนลักษณะปรากฏความกรอบเท่ากับ 1.67±0.33 คะแนน ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ โดยมีคะแนนลักษณะปรากฏความกรอบ เท่ากับ 3.67±0.33 และ 4.33±0.67 คะแนน ตามลำดับ ตลอดการเก็บรักษานาน 14 วัน ความกรอบของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง (ตาราง 12 ตารางภาคผนวก 37 และภาพ 25)

คะแนนลักษณะปรากฏด้านการเกิดโรคหรือแผลของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ เมื่อเก็บรักษานาน 9 วัน มีคะแนนเท่ากับ 3.67±0.33, 3.67±0.33 และ 4.67±0.33 คะแนน ตามลำดับ ตลอดระยะการเก็บรักษา พบว่า ระดับคะแนนการเกิดโรคหรือแผลของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลง (ตาราง 12 ตารางภาคผนวก 38 และภาพ 26)

คุณภาพการยอมรับโดยรวมของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ แล้วเก็บรักษานาน 9 วัน พบว่า ระดับคะแนนของคุณภาพการยอมรับโดยรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.67±0.33, 4.67±0.33 คะแนน ตามลำดับ สำหรับปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีระดับคะแนนของคุณภาพการยอมรับโดยรวม เท่ากับ 1.67±0.33 คะแนน ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับปวยเหล็งทั้งสองกรรมวิธีที่ผ่านการลดอุณหภูมิ ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ระดับคะแนนของคุณภาพการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ยอมรับโดยรวมของปวยเหล็ง มีค่าลดลงจากวันเริ่มต้นการทดลอง (ตาราง 12 ตารางภาคผนวก 39 และภาพ 27)

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า การลดอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อลักษณะปรากฏของปวยเหล็ง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ ได้ใช้คะแนนการประเมินคุณภาพการยอมรับโดยรวมเป็นหลักเกณฑ์ในการพิจารณาอายุการเก็บรักษาของปวยเหล็งด้วย โดยลักษณะปรากฏภายนอกที่มีผลอย่างมากต่อการยอมรับของผู้บริโภคสำหรับการทดลองครั้งนี้ คือ ลักษณะปรากฏความกรอบ เนื่องจาก ปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีถูกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาปวยเหล็ง ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงในลักษณะปรากฏอื่นๆ ได้แก่ การเปลี่ยนสีของใบและการเกิดโรคหรือแผลไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดมากนัก ซึ่งปวยเหล็งไม่ปรากฏอาการใบเหลืองอย่างชัดเจน รวมถึงไม่ปรากฏการเกิดโรคตลอดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะชะลอปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ของกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์พืชให้ดำเนินช้าลง และชะลออัตราการหายใจของผลิตผลอีกด้วย ทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยในการรักษารสชาติ คุณค่าทางโภชนาการ และสภาพของลักษณะปรากฏให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้นานขึ้น (Watkins and Ekman, 2005)

จากการวิจัย เห็นได้ว่า ลักษณะใบปวยเหล็งมีเพียงการเสื่อมคุณภาพของใบที่เกิดจากการสูญเสียความกรอบหรืออาการเหี่ยว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำหนัก โดยปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิ ส่งผลต่อคะแนนลักษณะปรากฏความกรอบ และคุณภาพการยอมรับโดยรวม ดังจะเห็นได้ว่า เมื่อเก็บรักษาได้ 9 วัน ปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีคะแนนคุณภาพการยอมรับโดยรวมต่ำกว่าเกณฑ์ ซึ่งถือว่าหมดอายุการเก็บรักษา สอดคล้องกับงานวิจัยในหัวข้อที่เกี่ยวกับผลของชนิดบรรจุภัณฑ์และการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศต่อคุณภาพของผักกาดหอมห่อ ซึ่งได้รายงานว่า การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศช่วยลดความเสียหายของผักกาดหอมห่อที่เกิดจากอาการ pink rip และ heart-leaf injury ได้ ทำให้ผักกาดหอมห่อมีลักษณะปรากฏที่ดีตลอดอายุการวางจำหน่าย (Martinez and Artes, 1999) เช่นเดียวกับ He *et al.* (2004) ที่ได้รายงานว่า การลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อด้วยระบบสุญญากาศมีประสิทธิภาพในการช่วยรักษาความกรอบของผักกาดหอมห่อได้ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ นอกจากนี้ การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศยังสามารถช่วยในการคงสภาพความสดของใบพาสเล่ย์ได้อีกด้วย (Aharoni *et al*., 1989)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การสูญเสียน้ำหนัก

เมื่อเก็บรักษา นาน 9 วัน พบว่า ปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด คือ 4.00±0.28 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำมีการสูญเสียน้ำหนัก เท่ากับ 2.53±0.20 และ 2.72±0.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา นาน 14 วัน ปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง (ตาราง 13 ตารางภาคผนวก 40 และภาพ 28)

โดยปกติแล้วผลิตผลหลังจากการเก็บเกี่ยวจะมีความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูก (field heat) ร่วมกับความร้อนที่เกิดขึ้นจากการหายใจ (vital heat) ซึ่งยังคงเกิดขึ้นตลอดเวลา นอกจากนี้ยังมีความร้อนที่เกิดขึ้นจากสิ่งแวดล้อมรอบๆ ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ส่งผลให้เกิดการสะสมความร้อนและทำให้อุณหภูมิภายในผลิตผลเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ โดยในสภาพอุณหภูมิสูง ผักและผลไม้จะมีการเปลี่ยนแปลงและเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว อายุในการวางจำหน่ายหรือใช้ในการบริโภคสั้นลง ทั้งนี้เพราะสภาพอุณหภูมิสูงจะกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ให้เกิดเร็วขึ้น การหายใจเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ของผลิตผลมากขึ้นด้วย ดังนั้นอุณหภูมิของผลิตผลและสภาพบรรยากาศ ตลอดจนความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่เก็บรักษามีผลอย่างมากต่อการสูญเสียน้ำ การลดอุณหภูมิและการเก็บรักษาผลิตผลในสภาพอุณหภูมิต่ำจึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งการทำให้เย็นลง (precooling) ด้วยวิธีการที่เหมาะสม เป็นการดึงเอาความร้อนออกจากผลิตผลโดยอาศัยตัวกลางเป็นตัวนำ และ/หรือพาความร้อนออกจากผลิตผล ก่อนจะนำไปเก็บรักษา (จริงแท้ , 2549) โดยปกติแล้วความดันไอของน้ำในช่องว่างภายในเนื้อเยื่อของผลิตผลจะสูงเกือบอิ่มตัว ถ้าความแตกต่างของความดันไอ (vapor pressure deficit หรือ VPD) ระหว่างเนื้อเยื่อและอากาศใกล้เคียงกัน พืชจะสูญเสียน้ำน้อย แต่ถ้ามีความแตกต่างกันมาก พืชก็จะสูญเสียน้ำมากขึ้น ในการลดความร้อนออกจากผลิตผล ถึงแม้อากาศเย็นจะอิ่มตัวด้วยไอน้ำ แต่ถ้าผลิตผลยังคงมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศอยู่ ก็ยังสามารถทำให้ผลิตผลเกิดการสูญเสียน้ำหนักได้ ดังนั้นการลดความร้อนออกจากผลิตผลจะต้องทำอย่างรวดเร็วและใช้เวลาน้อยที่สุด เพื่อทำให้ค่า VPD ระหว่างผลิตผลและอากาศมีค่าน้อยที่สุด ผลิตผลจึงจะสูญเสียน้ำน้อย (ดนัย, 2540)

ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิของปวยเหล็ง 2 ระบบ ระบบแรก คือ การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีอากาศเป็นตัวพาความร้อน และระบบที่สอง คือ การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ มีอากาศและน้ำเป็นตัวพาความร้อนออกจากปวยเหล็ง โดยใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิ 19 และ 23 นาที ตามลำดับ ซึ่งการลดอุณหภูมิทั้งสองระบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังกล่าวสามารถลดอุณหภูมิของปวยเหล็งได้ในระยะเวลาอันสั้น และปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิจึงมีอัตราการสูญเสียน้ำน้อยกว่าปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ

ปริมาณวิตามินซี

ปริมาณวิตามินซีของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ แล้วเก็บรักษานาน 9 วัน มีค่าเท่ากับ 37.11±4.91 และ 32.08±1.09 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์กับปริมาณวิตามินซีของปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ที่มีค่าเท่ากับ 29.56±4.91 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา พบว่า ปริมาณวิตามินซีของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีมีความผันแปรแต่มีแนวโน้มลดลง (ตาราง 13 ตารางภาคผนวก 40 และภาพ 29)

จากผลการทดลอง พบว่า การลดอุณหภูมิปวยเหล็งด้วยระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวิลาวัลย์ (2535) ที่รายงานว่าการลดอุณหภูมิกระเทียมต้นและปวยเหล็งก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 วัน ไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของผักทั้งสองชนิดในระหว่างการเก็บรักษา และเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น ผักทั้งสองชนิดมีปริมาณวิตามินซีลดลง

โดยทั่วไปแล้ว พบว่า ปริมาณวิตามินซีที่มีอยู่ในผลไม้ และผักสดนั้นจะลดลงตามอายุการเก็บรักษา ซึ่งมีปัจจัยทางสภาพแวดล้อมหลายอย่างที่มีผลต่อการลดลงของปริมาณวิตามินซีที่สามารถตรวจพบได้ในระหว่างการเก็บรักษาของผลิตผล เช่น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ การได้รับความเสียหายทางด้านกายภาพและการเกิดอาการสะท้านหนาว เป็นต้น นอกจากนี้ ปัจจัยก่อนการเก็บเกี่ยวหลายๆ ปัจจัย รวมถึงระบบการผลิตก็ยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อปริมาณวิตามินซีในผลิตผลอีกด้วย (Lee and Kader, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สีใบ

การเก็บรักษาปวยเหล็งไว้นาน 9 วัน พบว่า ค่า L* ของสีใบปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีค่า L* เท่ากับ 37.68±0.72 ส่วนปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ มีค่า L* เท่ากับ 39.80±0.84 และ 38.40±1.10 ตามลำดับ ตลอดอายุการเก็บรักษา นาน 14 วัน ค่า L* ของสีใบปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ (ตาราง 14 ตารางภาคผนวก 42 และภาพ 30)

ค่า chroma ของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำแล้วเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 9 วัน มีค่าน้อยที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 21.99±0.64 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับค่า chroma ของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 24.55±0.98 และ 24.76±0.65 ตามลำดับ โดยค่า chroma ของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา (ตาราง 14 ตารางภาคผนวก 43 และภาพ 31)

สำหรับค่า hue ของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ มีค่ามากกว่าปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ คือ มีค่าเท่ากับ 125.33±0.37 และ 124.26±0.35 องศา ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ที่มีค่าเท่ากับ 124.77±0.31 องศา ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ค่า hue ของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ (ตาราง 14 ตารางภาคผนวก 44 และภาพ 32)

จากผลการทดลอง เมื่อพิจารณาแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงสีใบปวยเหล็งตลอดระยะการเก็บรักษานาน 14 วัน แสดงให้เห็นว่า การลดอุณหภูมิปวยเหล็งด้วยระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีใบปวยเหล็ง โดยตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ค่า L* chroma และ hue angle ของสีใบปวยเหล็งมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ ซึ่งพบว่า มีความสอดคล้องกับแนวโน้มของปริมาณคลอโรฟิลล์ที่วัดได้ โดยปริมาณคลอโรฟิลล์ของปวยเหล็งมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา นอกจากนี้ ในการทดลองได้เก็บรักษาปวยเหล็งไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งการเก็บรักษาผลิตผลไว้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและเหมาะสมกับชนิดของผลิตผลนั้น สามารถช่วยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้ (จริงแท้, 2549) จึงทำให้ปวยเหล็งมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าสีค่อนข้างคงที่

โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวแล้วนั้น ได้รับอิทธิพลมาจากอุณหภูมิ กล่าวคือ ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง ผลิตผลจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงสีที่รวดเร็วและชัดเจนกว่าที่สภาพอุณหภูมิต่ำ (Kim *et al*., 2004) นอกจากนี้ จากการทดลองยังพบอีกว่า ลักษณะทางกายภาพที่ทำให้ปวยเหล็งหมดอายุการเก็บรักษา คือ การสูญเสียความกรอบหรืออาการเหี่ยว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำหนักของปวยเหล็ง โดยในการทดลองครั้งนี้ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ปวยเหล็งไม่ปรากฏอาการใบเหลืองแต่อย่างใด ทั้งนี้กลับพบลักษณะการสูญเสียความกรอบหรืออาการเหี่ยว ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นและเห็นได้อย่างชัดเจน อีกทั้งยังมีผลอย่างมากต่อการยอมรับของผู้บริโภคอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณคลอโรฟิลล์

ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาปวยเหล็ง นาน 9 วัน พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ และผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ คือ มีค่าเท่ากับ 0.387±0.019, 0.400±0.005 และ 0.358±0.008 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลง (ตาราง 15 ตารางภาคผนวก 45 และภาพ 33)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีที่เก็บรักษา นาน 9 วัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี เท่ากับ 0.139±0.010 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักสด ส่วนปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี เท่ากับ 0.142±0.002 และ 0.128±0.003 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา นาน 14 วัน ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลง (ตาราง 15 ตารางภาคผนวก 46 และภาพ 34)

สำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของปวยเหล็งที่เก็บรักษา นาน 9 วัน พบว่า ทุกกรรมวิธีมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด เท่ากับ 0.526±0.028 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ส่วนปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด เท่ากับ 0.542±0.006 และ 0.486±0.011 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลง (ตาราง 15 ตารางภาคผนวก 47 และภาพ 35)

เมื่อพิจารณาผลการทดลอง พบว่า การลดอุณหภูมิผลิตผลด้วยระบบสุญญากาศไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของปวยเหล็งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับการศึกษาของปรัศนีย์ (2551) ซึ่งได้รายงานว่า การลดอุณหภูมิเฉียบพลันของบรอคโคลี่โดยใช้ระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 6 วัน ไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของบรอคโคลี่ โดยปริมาณคลอโรฟิลล์มีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา

เนื่องด้วยในขั้นตอนหลังจากการลดอุณหภูมิให้ปวยเหล็งมีอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 2±2 องศาเซลเซียสแล้วนั้น ปวยเหล็งไม่ได้ถูกนำไปเก็บรักษาตามอุณหภูมิที่ได้กำหนดไว้ทันที เนื่องจาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปวยเหล็งในกรรมวิธีที่ลดอุณภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำนั้น ถูกบรรจุอยู่ในตะกร้าพลาสติก ขณะทำการลดอุณหภูมิ ส่วนปวยเหล็งในกรรมวิธีที่ลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกเรียบร้อยแล้ว ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการลดอุณหภูมิ เนื่องจากในขั้นตอนของการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ หากบรรจุปวยเหล็งในถุงพลาสติก อาจเกิดการตกค้างของน้ำที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ปวยเหล็งเกิดการเน่าเสียเร็วขึ้น ดังนั้นภายหลังจากการลดอุณหภูมิเสร็จสิ้นแล้วนั้น จะต้องนำปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำไปบรรจุในถุงพลาสติกชนิดเดียวกันกับกรรมวิธีอื่นๆ ดังนั้นในระหว่างขั้นตอนการบรรจุอาจเป็นไปได้ว่าปวยเหล็งมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจากอุณหภูมิสุดท้ายหลังจากกระบวนการลดอุณหภูมิ นอกจากนี้ สถานที่ในการลดอุณหภูมิและสถานที่สำหรับการเก็บรักษาเพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีเป็นคนละสถานที่กัน จึงทำให้ต้องขนส่งปวยเหล็งโดยรถห้องเย็นที่มีการควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ระดับ 4±2 องศาเซลเซียส จากศูนย์ผลิตผลมูลนิธิโครงการหลวง มายังห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งใช้เวลาในการเดินทางประมาณ 15 นาที หลังจากนั้นจึงทำการเก็บรักษาปวยเหล็งทุกกรรมวิธีที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

จากเหตุผลข้างต้น อาจเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิไม่เต็มที่ ส่งผลให้มองเห็นการเปลี่ยนแปลงในบางลักษณะของปวยเหล็งภายหลังจากการลดอุณหภูมิไม่ชัดเจน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกัน

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

เมื่อเก็บรักษาปวยเหล็งไว้นาน 9 วัน พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 5.87±0.24 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 6.90±0.50 และ 5.80±0.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 14 วัน ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิจากทั้ง 2 ระบบ มีค่าค่อนข้างผันแปรแต่มีแนวโน้มลดลง (ตาราง 16 ตารางภาคผนวก 48 และภาพ 36)

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า การลดอุณหภูมิเบื้องต้นด้วยระบบสุญญากาศไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของปวยเหล็ง ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Turk and

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Celik (1993) ดังที่ได้รายงานผลของการลดอุณหภูมิเฉียบพลันด้วยระบบสุญญากาศต่อคุณภาพของผักกาดหอมห่อ พบว่า การลดอุณหภูมิไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผักกาดหอมห่อ

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้โดยส่วนใหญ่นั้น มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งอาจถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจ เพราะหลังการเก็บเกี่ยว ผลิตผลยังคงมีการหายใจเกิดขึ้นตลอดเวลา ทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำมีการเปลี่ยนแปลง (จริงแท้, 2549)

ปริมาณแคโรทีนอยด์

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ แล้วเก็บรักษานาน 9 วัน มีค่าเท่ากับ 6.90±0.39 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 7.81±0.14 และ 7.63±0.68 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดตามลำดับ และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา นาน 14 วัน ปริมาณแคโรทีนอยด์มีค่าค่อนข้างผันแปร แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ตาราง 16 ตารางภาคผนวก 49 และภาพ 37)

ปวยเหล็งจัดเป็นผักชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคหลากหลายชนิด รวมถึงเป็นแหล่งของแคโรทีนอยด์ซึ่งมีปริมาณมากในผักชนิดนี้ด้วย แคโรทีนอยด์เป็นสารสีในพืชที่ให้สีเหลือง แดงหรือส้ม ซึ่งโดยทั่วไปนั้นแคโรทีนอยด์จะถูกบดบังด้วยสีเขียวของคลอโรฟิลล์ ในปัจจุบันนี้ มีข้อมูลจากงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่า แคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบที่มีความสามารถในการคงสภาพภายในเซลล์พืชได้ดีกว่าสารประกอบในกลุ่มของคลอโรฟิลล์และวิตามินซี (Berquist *et al*., 2006) ซึ่งคุณสมบัติเฉพาะในด้านความเสถียรของแคโรทีนอยด์นี้ เนื่องมาจากตำแหน่งและการกระจายตัวของสารสีชนิดนี้ในเซลล์พืช (Berquist *et al*., 2006; Kopaslane and Warthesen, 1995) ซึ่งพบโมเลกุลของแคโรทีนอยด์อยู่ภายในพลาสทิดและเกาะอยู่กับโปรตีนบนเยื่อหุ้มหรืออาจรวมตัวกันเป็นผลึก จึงเป็นสาเหตุให้แคโรทีนอยด์ปลอดภัยจากการสลายตัวอันเนื่องมาจากปัจจัยภายนอก (จริงแท้, 2549) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bunea *et al.* (2008) ที่พบว่า การเก็บรักษาปวยเหล็งในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและระยะเวลาในการเก็บรักษา เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ของปวยเหล็งเพียงเล็กน้อย ดังนั้น การลดอุณหภูมิปวยเหล็งด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ จึงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ในระหว่างการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

ผลการทดลอง พบว่า การลดอุณหภูมิเบื้องต้นไม่มีผลต่อกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของปวยเหล็ง โดยกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ และผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำแล้วเก็บรักษานาน 9 วัน มีค่าเท่ากับ 80.5±3.9, 79.9±7.0 และ 89.0±5.6 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา นาน 14 วัน กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในทุกกรรมวิธีมีค่าค่อนข้างผันแปร (ตาราง 17 ตารางภาคผนวก 50 และภาพ 38)

สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารประกอบที่ทำหน้าที่ในการยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลต่างๆ โดยสารต้านอนุมูลอิสระจะเข้ายับยั้งปฏิกิริยาในขั้นตอนของการเริ่มต้นหรือในระหว่างการเพิ่มจำนวนของปฏิกิริยาลูกโซ่ สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในธรรมชาติประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอล สารประกอบไนโตรเจน แคโรที-นอยด์ วิตามินซี และคลอโรฟิลล์ เป็นต้น (Velioglu *et al*., 1998; Shahidi, 1996; Lanfer-Maequez *et al*., 2005) จากข้อมูลของงานวิจัยต่างๆในปัจจุบันนี้ แสดงให้เห็นว่า สารต้านอนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญต่อมนุษย์ในการป้องกันเซลล์จากการถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระ อีกทั้งยังสามารถลดอัตราการเกิดโรคสำคัญต่างๆ ในมนุษย์ได้อีกด้วย (Shahidi, 1996)

ปวยเหล็งจัดเป็นพืชชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันของไขมันทั้งในเซลล์พืชและสัตว์ (Grossman, 1994) เมื่อพิจารณากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีร่วมกับปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ละลายได้ พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กัน แต่มีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ กล่าวคือ กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีค่าไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกันกับปริมาณคลอโรฟิลล์ของปวยเหล็งซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันในทุกกรรมวิธี โดยมีรายงานว่าสารประกอบฟีโอไฟทิน เอ และบี ฟีโอฟอไบด์ เอ และบี รวมถึงคลอโรฟิลล์ เอและบี จัดเป็นสารที่มีหน้าที่สำคัญในระบบต่อต้านการเกิดกระบวนการออกซิเดชั่นและยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็ง (Larson, 1998; Lanfer-Marquez et al., 2005) โดยคลอโรฟิลล์เป็นกลุ่มของสารสีที่พบมากในพืชที่มีสีเขียว มีคุณสมบัติที่สามารถให้โปรตอนแก่อนุมูลอิสระ และมีผลยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระได้ (Endo, 1985) นอกจากนี้ยังมีรายงานผลการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการว่า คลอโรฟิลล์ที่สกัดจากปวยเหล็งเป็นสารที่มีคุณสมบัติส่งเสริมกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย (Hunter and Fletcher, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ละลายได้

ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ละลายน้ำได้ของปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีค่าน้อยที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 894.4±13.2 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสด เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ละลายน้ำได้ของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำที่มีค่าเท่ากับ 1237.8±56.5 และ 1136.5±26.0 ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ละลายน้ำได้ของปวยเหล็งมีค่าค่อนข้างผันแปร แต่มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวันแรกของการเก็บรักษา (ตาราง 17 ตารางภาคผนวก 51 และภาพ 39)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของเอนไซม์และการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ของกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ของพืช โดยพบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ของเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ให้เกิดเร็วขึ้น (ดนัย, 2540; จริงแท้, 2549) นอกจากนี้อุณหภูมิสูงยังกระตุ้นอัตราการเสื่อมสภาพของเซลล์ และทำให้อายุการวางจำหน่ายของผลิตผลสั้นลงอีกด้วย ดังนั้นการลดอุณหภูมิของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวทันทีจะช่วยลดอัตราการสูญเสียที่อาจเกิดตามมาภายหลัง (Brosnan and Sun, 2001) ซึ่งการลดอุณหภูมิผลิตผลก่อนการนำมาเก็บรักษานั้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการเมแทบอลิซึมที่ช้าลง เช่น การลดกิจกรรมของเอนไซม์ต่างๆ (Farnham *et al*., 1978) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tao *et al*. (2007) ที่ได้รายงานไว้ว่า การลดอุณหภูมิเห็ดด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ลดลง โดยเมื่อเก็บรักษาเห็ดเป็นเวลา 7 วัน พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเห็ดที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมถึง 2.5 เท่า ซึ่งเอนไซม์ PPO จัดเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการกระตุ้นกระบวนการเปลี่ยนสารประกอบฟีนอลไปเป็นควิโนน และเป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาลในเซลล์ผักหรือผลไม้ (จริงแท้, 2549) จากผลการทดลอง พบว่า ปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศทั้งสองกรรมวิธีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ละลายได้มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และเมแทบอลิซึมของสารประกอบฟีนอลต่ำ ส่งผลให้ปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีปริมาณสารประกอบฟีนอลในปริมาณมากกว่าปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ

อายุการเก็บรักษา

ปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิจากทั้ง 2 ระบบ มีอายุการเก็บรักษานานกว่าปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด คือ 14±0.58 วัน ส่วนปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีอายุการเก็บรักษานาน 12±0.58 วัน สำหรับปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุด คือ 9±0.58 วัน (ตาราง 18 ตารางภาคผนวก 52)

การประเมินอายุการเก็บรักษาของปวยเหล็งนั้นใช้เกณฑ์การประเมินลักษณะปรากฏในด้านคุณภาพการยอมรับโดยรวม โดยกำหนดให้ปวยเหล็งหมดอายุการเก็บรักษา เมื่อมีระดับคะแนนคุณภาพการยอมรับโดยรวมต่ำกว่า 3 คะแนน ซึ่งบ่งบอกว่าผู้ประเมินเริ่มไม่พอใจในผลิตผลนั้นๆ ปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีคะแนนคุณภาพการยอมรับโดยรวมอยู่ในระดับที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับเร็วกว่าปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ จึงทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่า อุณหภูมิของผลิตผลและสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษาถือเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุดซึ่งมีอิทธิพลต่ออายุและคุณภาพของผลิตผลทางพืชสวนหลังการเก็บเกี่ยว (Turk and Celik, 1993) โดยทั่วไป การสูญเสียคุณภาพของผลิตผลที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีววิทยาซึ่งมีสาเหตุมาจากการหายใจและเมแทบอลิซึมต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว (Anonymous, 1990) ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องกำจัดความร้อนสะสมในผลิตผลซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการหายใจและเมแทบอลิซึมต่างๆ ออกไป โดยในขั้นตอนนี้จะต้องทำอย่างรวดเร็วที่สุดภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลมาจากแปลงปลูก (Savas *et al*, 1992) มีรายงานว่า ผลิตผลที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าผลิตผลที่ผ่านการลดอุณหภูมิ เป็นเพราะผลิตผลที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีความแตกต่างของความดันไอ (vapor pressure deficit หรือ VPD) ระหว่างเนื้อเยื่อและอากาศสูง จึงทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่า (Anonymous, 1990) ซึ่งมีความสอดคล้องกับการสูญเสียน้ำหนักของปวยเหล็ง โดยปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด รวมถึงเป็นไปในแนวทางเดียวกับคะแนนลักษณะปรากฏของปวยเหล็งในกรรมวิธีต่างๆ ด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 9 วัน ปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำมีคะแนนคุณภาพการยอมรับโดยรวมมากที่สุด ส่วนกรรมวิธีที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีค่ารองลงมาและเป็นที่ชัดเจนว่ากรรมวิธีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีคะแนนการยอมรับโดยรวมน้อยที่สุด สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Turk and Celik (1994) ที่พบว่า ผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศซึ่งกำหนดให้มีอุณหภูมิสุดท้าย เท่ากับ 2 องศาเซลเซียส มีคุณภาพดีกว่าผักกาดหอมห่อที่กำหนดอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 4 องศาเซลเซียส และผักกาดหอมห่อที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส

จากการทดลอง พบว่า การลดอุณหภูมิปวยเหล็งด้วยระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำไม่มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส โดยกิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสของปวยเหล็งในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้กิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสของปวยเหล็งที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ และผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำแล้วเก็บรักษานาน 9 วัน มีค่าเท่ากับ 5.08±1.75, 2.31±0.20 และ 2.89±1.42 หน่วยต่อมิลลิกรัมโปรตีน ตามลำดับ โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา กิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสของปวย-เหล็งในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลง (ตาราง 19 และภาพ 40)

การเสื่อมสภาพของใบมีความเกี่ยวข้องกับการเสื่อมสลายของโปรตีน กรดนิวคลีอิก เยื่อหุ้มเซลล์ และคลอโรฟิลล์ (Buchanan-Wollaston, 1997; Nooden, 1988) ซึ่งอาการใบเหลืองที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของใบนั้นมีความสัมพันธ์กับการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (Vicentini *et al*., 1995) โดยเอนไซม์คลอโรฟิลเลสเป็นเอนไซม์ชนิดแรกในวิถีของการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ทำหน้าที่ในการย่อยส่วนหางของโครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์ คือ phytol (Matile *et al*., 1989; Shimokawa *et al*., 1978) จากการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสของปวยเหล็ง พบว่าปวยเหล็งมีกิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสสูงที่สุดในช่วงแรกของการเก็บรักษาซึ่งเป็นระยะที่ใบปวยเหล็งยังคงความสดอยู่ ทั้งนี้กิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อใบเริ่มมีการเสื่อมสภาพเนื่องจากระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้น สอดคล้องกับผลการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสและการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในระหว่างการเสื่อมสภาพของใบ *Phaseolus vulgaris* L. ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการแสดงออกของกิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสที่สูงในระยะแรกของการเก็บรักษา และลดลงเมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะของการเสื่อมสภาพของใบ เช่นเดียวกันกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และ บี ซึ่งพบว่า มีการลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น (Fang *et al*., 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 12 สีของใบ ความกรอบ การเกิดโรค/แผล และคุณภาพโดยรวมของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 9 วัน

วิธีการลดอุณหภูมิ	สีของใบ (คะแนน)	ความกรอบ (คะแนน)	การเกิดโรค/แผล (คะแนน)	คุณภาพโดยรวม (คะแนน)
ไม่ลดอุณหภูมิ	2.00±0.58[b]	1.67±0.33[b]	3.67±0.33	1.67±0.33[b]
สุญญากาศ	3.67±0.33[ab]	3.67±0.33[a]	3.67±0.33	3.67±0.33[a]
สุญญากาศร่วมกับน้ำ	4.33±0.67[a]	4.33±0.67[a]	4.67±0.33	4.67±0.33[a]
$LSD_{0.05}$	1.88	1.63	1.15	1.15
C.V. (%)	28.28	25.34	14.43	17.32

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 13 การสูญเสียน้ำหนัก และปริมาณวิตามินซีของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 9 วัน

วิธีการลดอุณหภูมิ	การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด)
ไม่ลดอุณหภูมิ	4.00±0.28[a]	29.56±4.91
สุญญากาศ	2.53±0.20[b]	37.11±4.91
สุญญากาศร่วมกับน้ำ	2.72±0.18[b]	32.08±1.09
$LSD_{0.05}$	0.65	14.05
C.V. (%)	23.00	21.37

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 14 ค่า L*, chroma และ hue ของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 9 วัน

วิธีการลดอุณหภูมิ	สี		
	ค่า L*	ค่า chroma	ค่า hue (องศา)
ไม่ลดอุณหภูมิ	37.68±0.72	24.76±0.65[a]	124.77±0.31[ab]
สุญญากาศ	39.80±0.84	24.55±0.98[a]	124.26±0.35[b]
สุญญากาศร่วมกับน้ำ	38.40±1.10	21.99±0.64[b]	125.33±0.37[a]
$LSD_{0.05}$	2.61	2.25	1.01
C.V. (%)	7.37	10.30	0.88

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 15 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 9 วัน

วิธีการลดอุณหภูมิ	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด)		
	คลอโรฟิลล์ เอ	คลอโรฟิลล์ บี	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด
ไม่ลดอุณหภูมิ	0.387±0.019	0.139±0.010	0.526±0.028
สุญญากาศ	0.400±0.005	0.142±0.002	0.542±0.006
สุญญากาศร่วมกับน้ำ	0.358±0.008	0.128±0.003	0.486±0.011
$LSD_{0.05}$	0.042	0.020	0.062
C.V. (%)	5.52	7.36	5.99

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 16 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณแคโรทีนอยด์ของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 9 วัน

วิธีการลดอุณหภูมิ	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด)
ไม่ลดอุณหภูมิ	5.87±0.24	6.90±0.39
สุญญากาศ	6.90±0.50	7.81±0.14
สุญญากาศร่วมกับน้ำ	5.80±0.06	7.63±0.68
$LSD_{0.05}$	1.12	1.60
C.V. (%)	9.06	10.72

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 17 กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 9 วัน

วิธีการลดอุณหภูมิ	กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิก /กรัมน้ำหนักสด)	ปริมาณสารประกอบฟีนอล (ไมโครกรัมเทียบกับกรดแกลลิก /กรัมน้ำหนักสด)
ไม่ลดอุณหภูมิ	80.5±3.9	894.4±13.2[b]
สุญญากาศ	79.9±7.0	1237.8±56.5[a]
สุญญากาศร่วมกับน้ำ	89.0±5.6	1136.5±26.0[a]
$LSD_{0.05}$	17.0	110.7
C.V. (%)	16.6	8.3

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 18 อายุการเก็บรักษาของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

วิธีการลดอุณหภูมิ	อายุการเก็บรักษา (วัน)
ไม่ลดอุณหภูมิ	9±0.58[c]
สุญญากาศ	12±0.58[b]
สุญญากาศร่วมกับน้ำ	14±0.58[a]
$LSD_{0.05}$	1.63
C.V. (%)	7.00

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

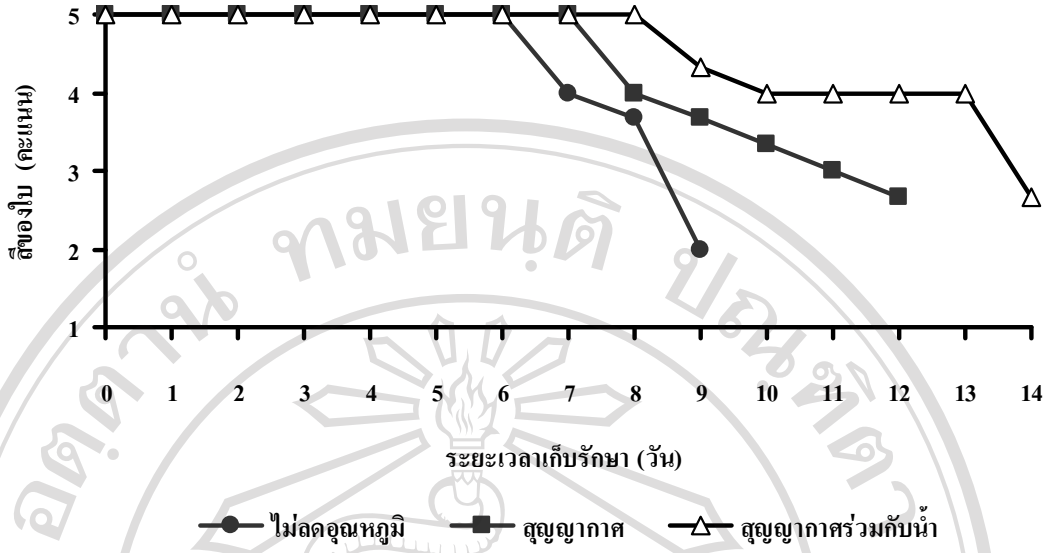
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 19 กิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

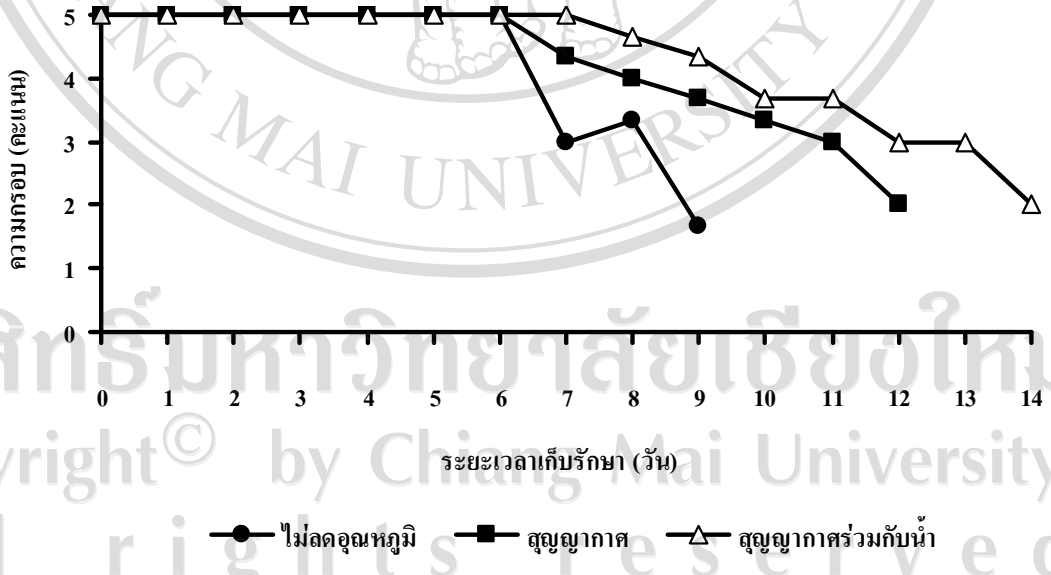
วิธีการลดอุณหภูมิ	กิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (หน่วย/มิลลิกรัมโปรตีน)							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	1	3	5	7	9	11	13
ไม่ลดอุณหภูมิ	11.39±1.71	9.53±1.12	7.62±1.03	6.97±2.05	5.49±1.29	5.08±1.75	-	-
สุญญากาศ	12.90±3.63	11.23±0.66	5.61±0.20	4.67±0.74	6.29±1.41	2.31±0.20	5.02±1.05	-
สุญญากาศร่วมกับน้ำ	16.69±0.46	10.89±2.91	6.88±0.32	9.63±1.41	5.29±1.23	2.89±1.42	6.43±0.54	4.63±0.40
$LSD_{0.05}$	8.07	6.37	2.20	5.18	4.54	4.52	-	-
C.V. (%)	29.56	30.24	16.40	36.55	39.96	65.91	-	-

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

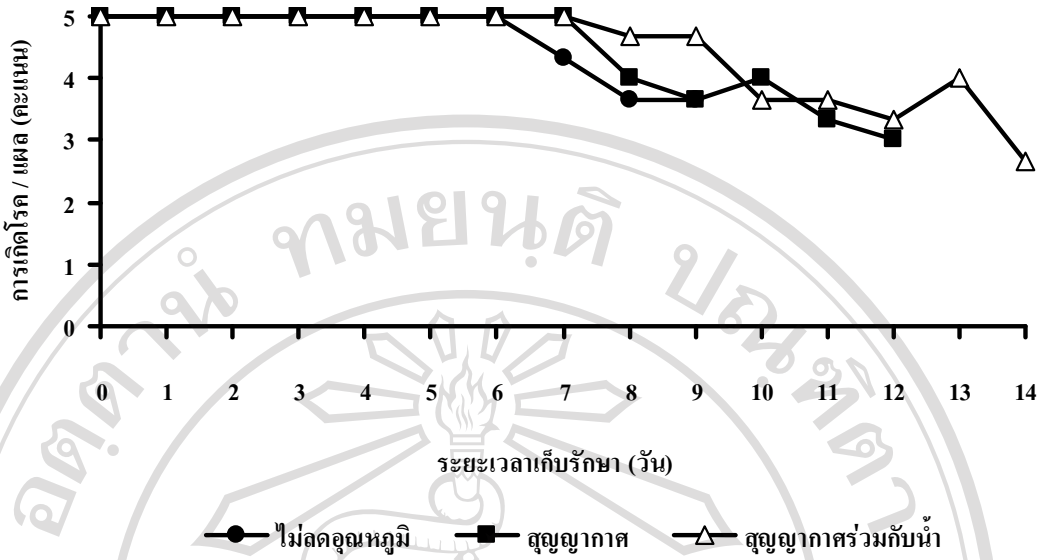


ภาพ 24 สีของใบปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

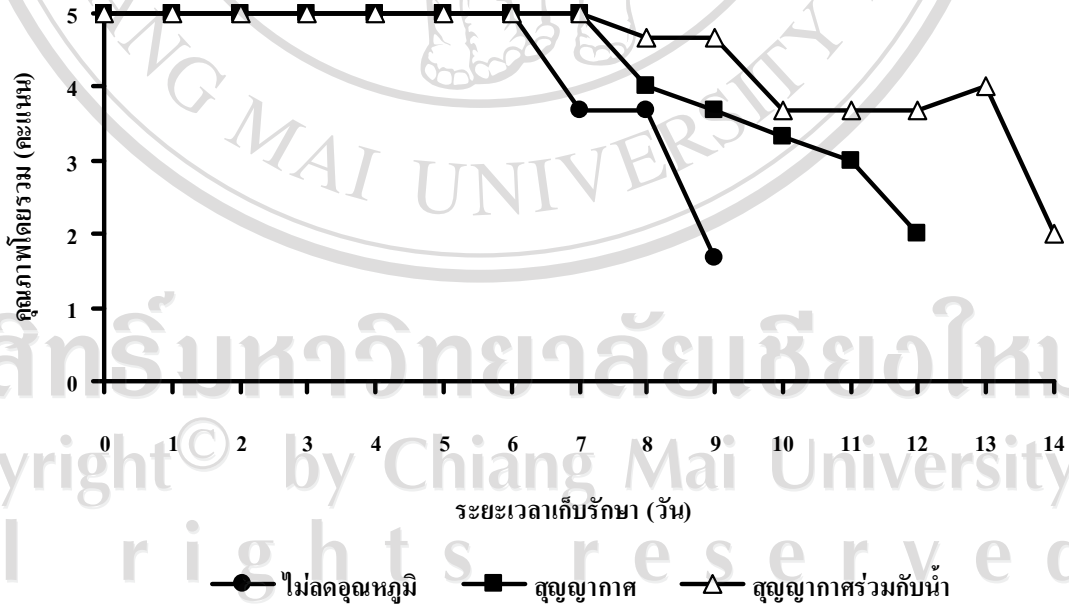


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 25 ลักษณะปรากฏความกรอบของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

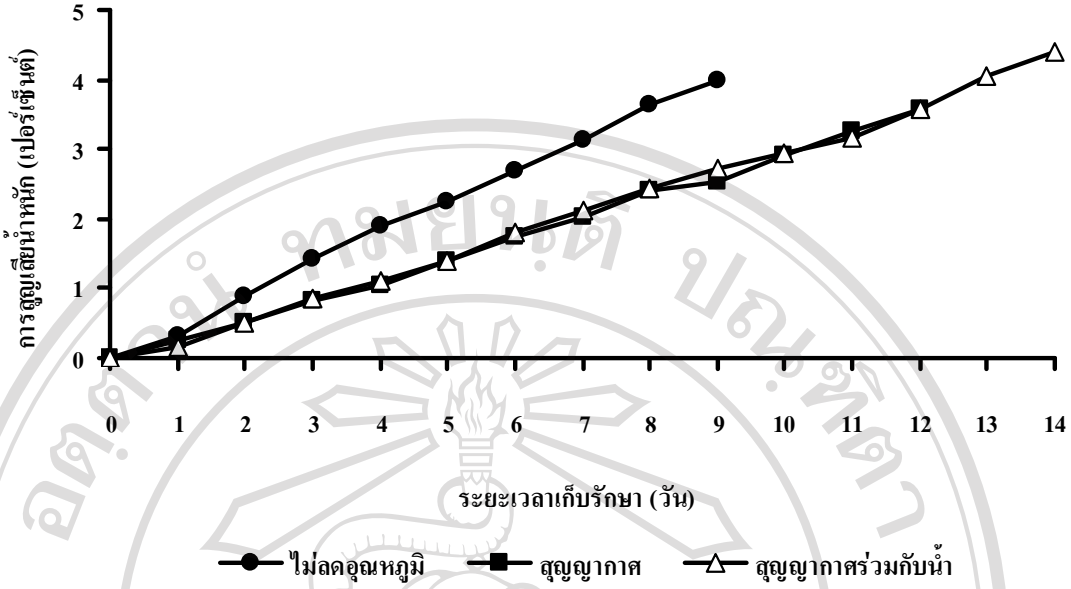


ภาพ 26 ลักษณะปรากฏการเกิดโรค/แผลของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

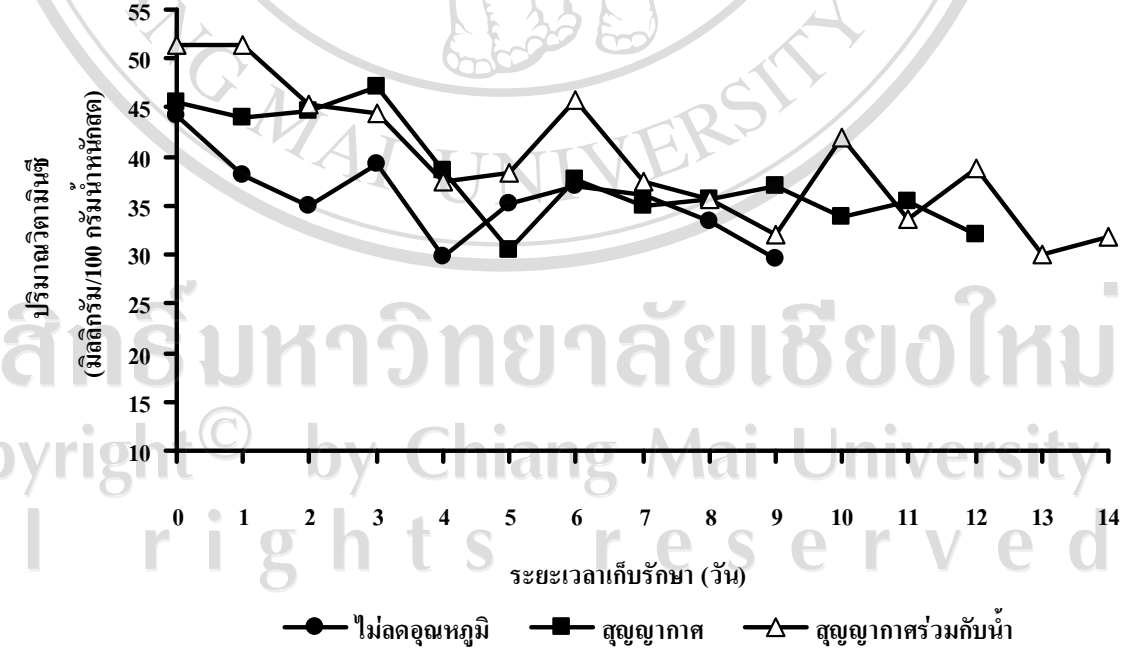


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 27 ลักษณะปรากฏคุณภาพโดยรวมของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

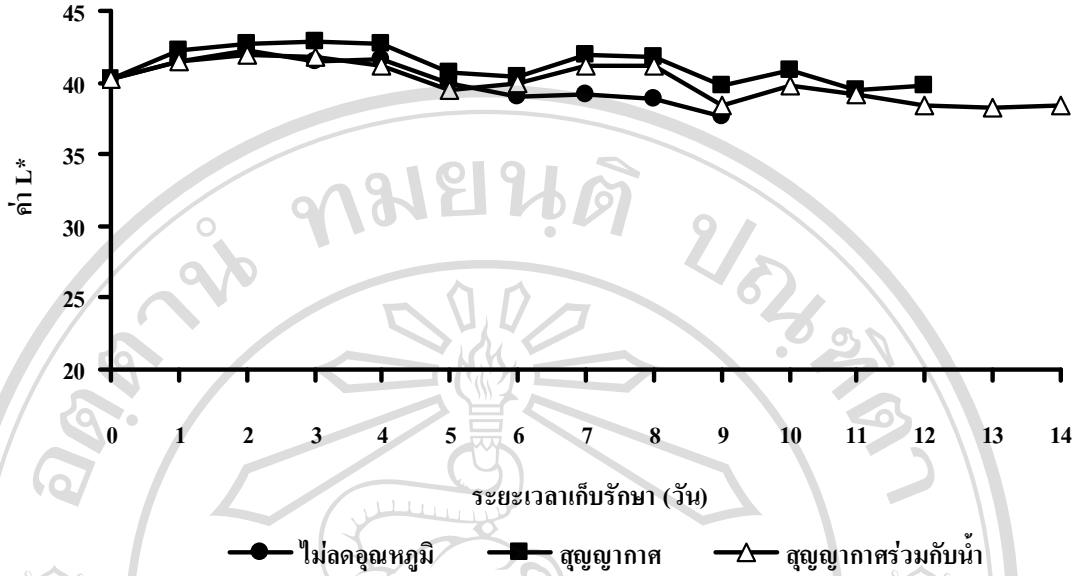


ภาพ 28 การสูญเสียน้ำหนักของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

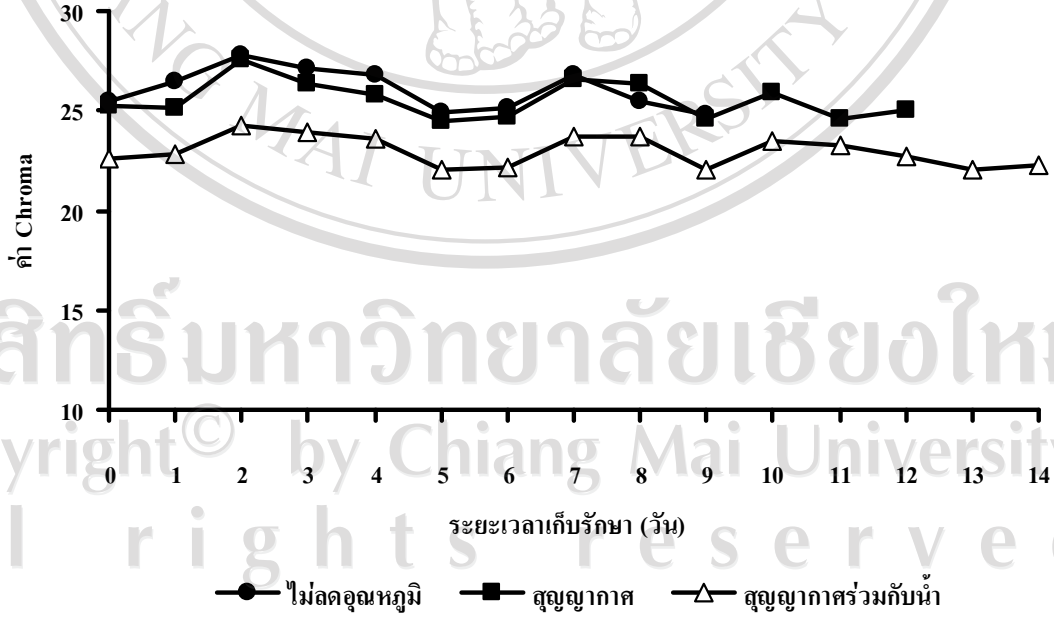


ภาพ 29 ปริมาณวิตามินซีของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

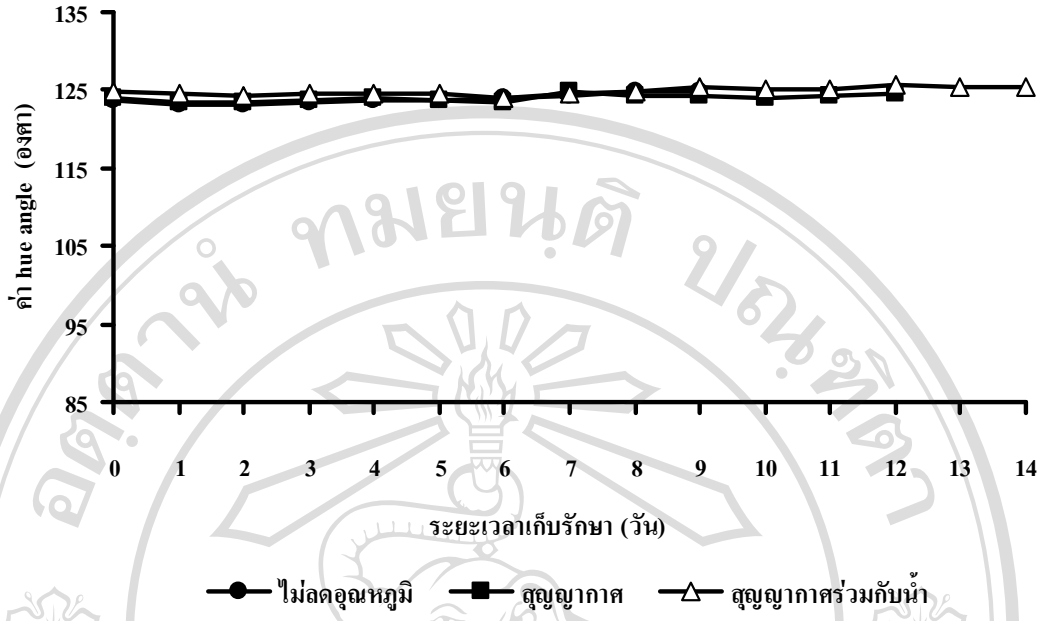


ภาพ 30 ค่า L*ของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

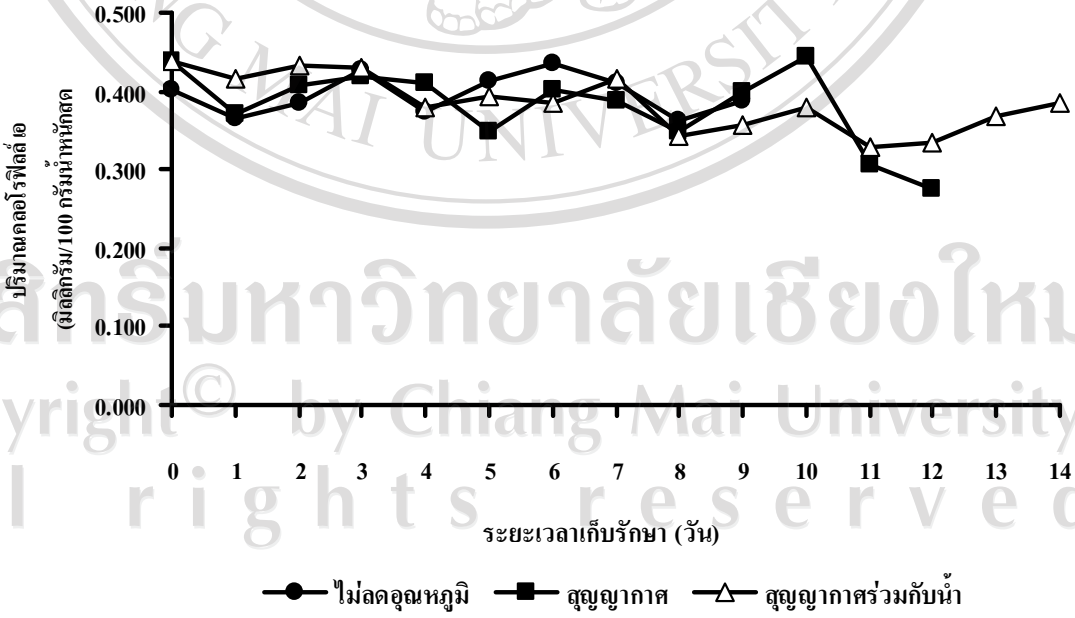


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 31 ค่า chroma ของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

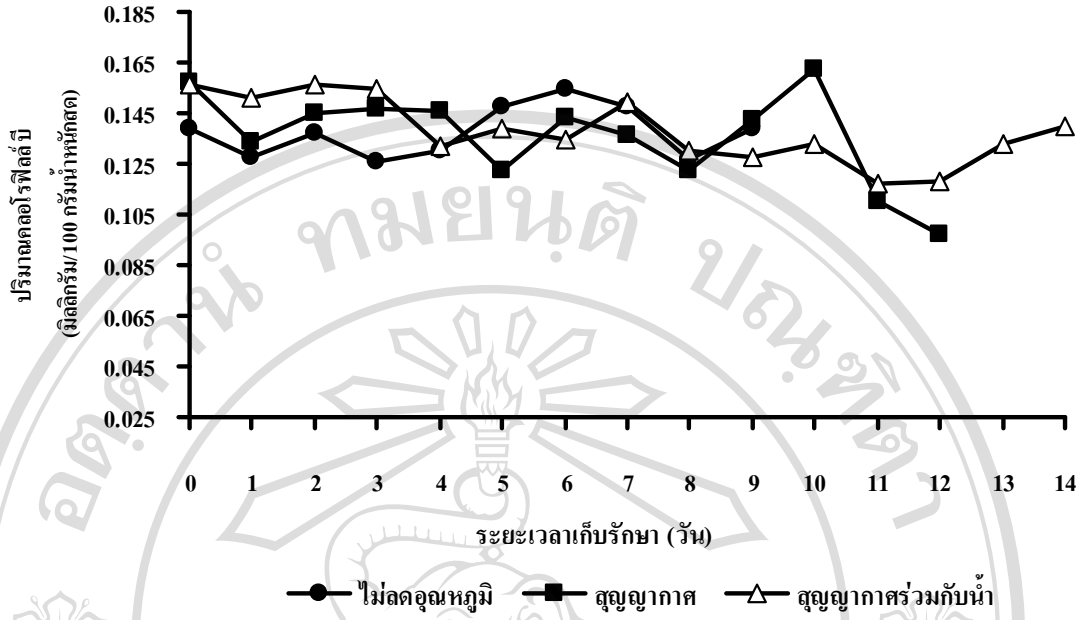


ภาพ 32 ค่า hue angle ของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

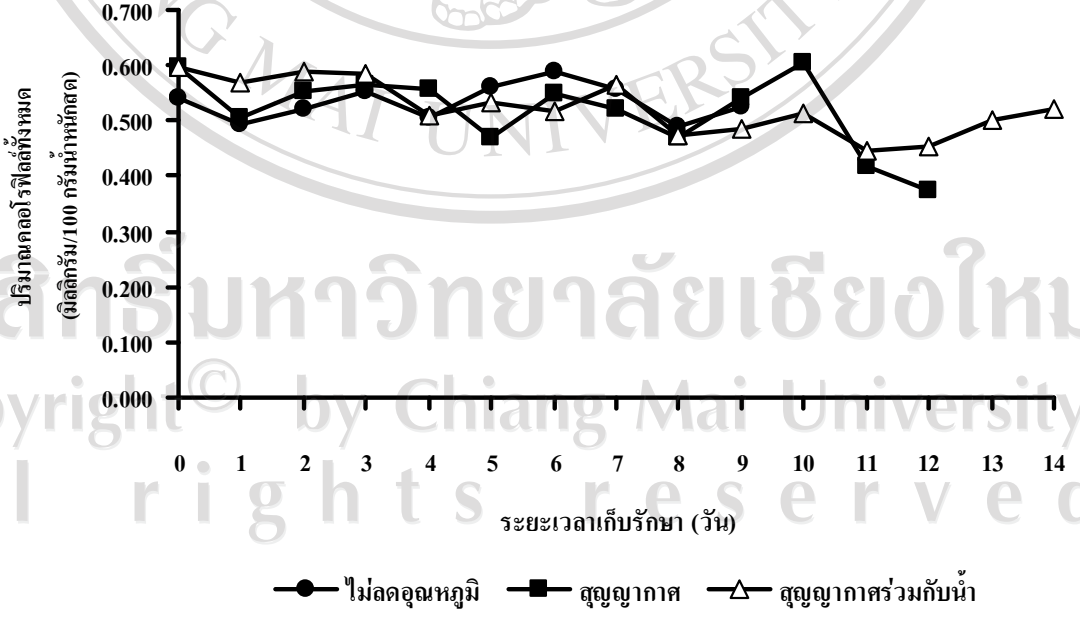


ภาพ 33 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

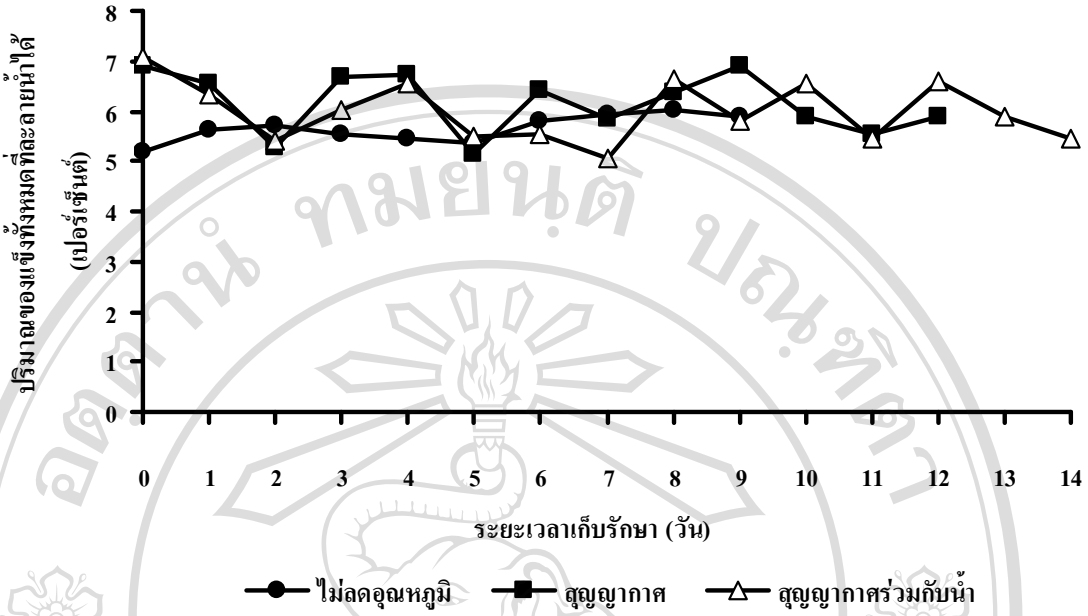


ภาพ 34 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

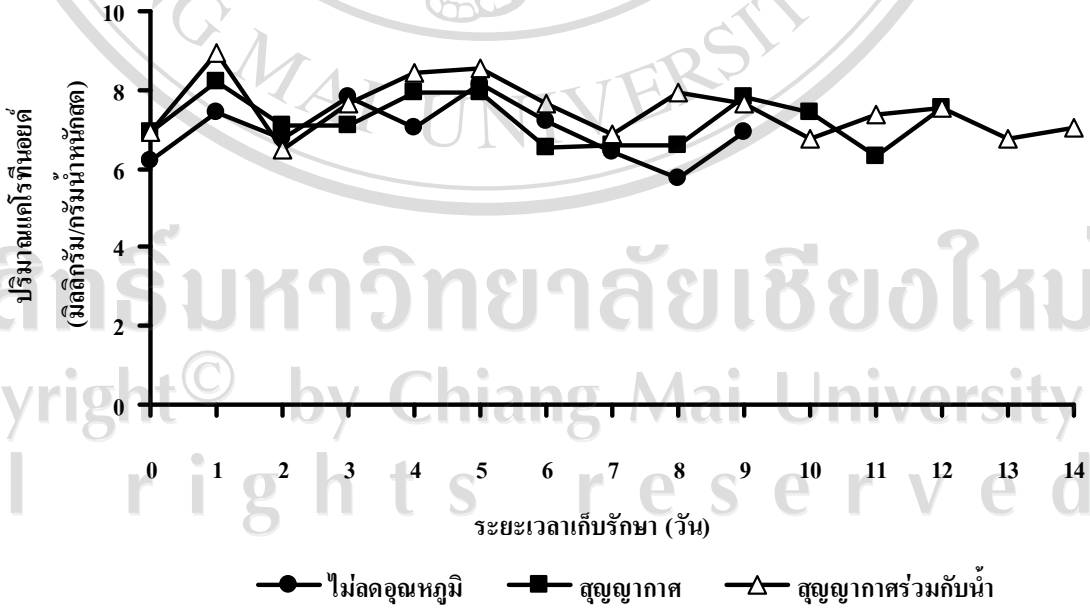


ภาพ 35 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

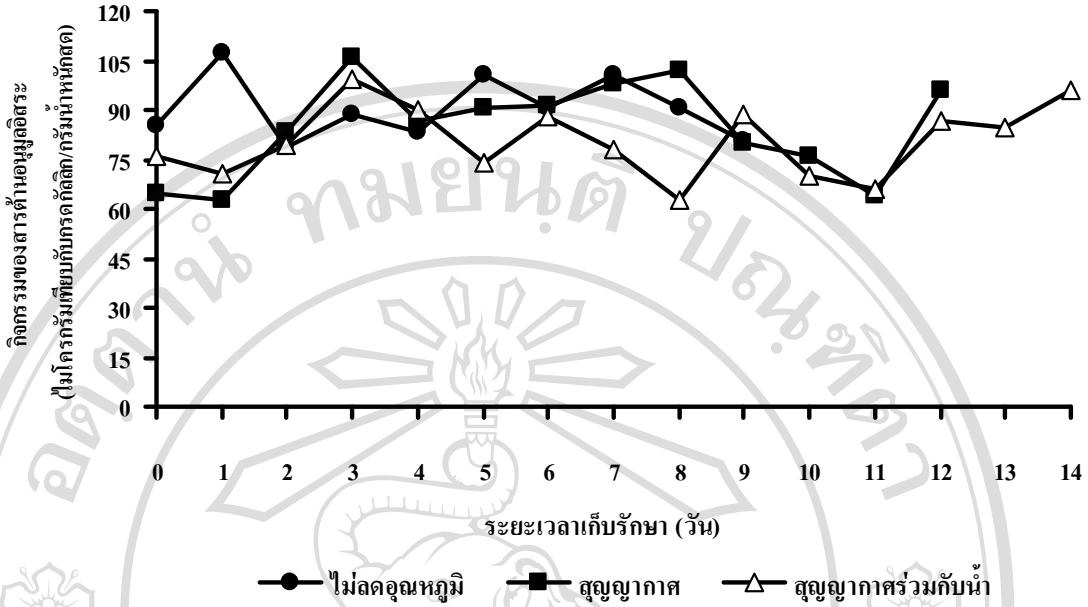


ภาพ 36 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

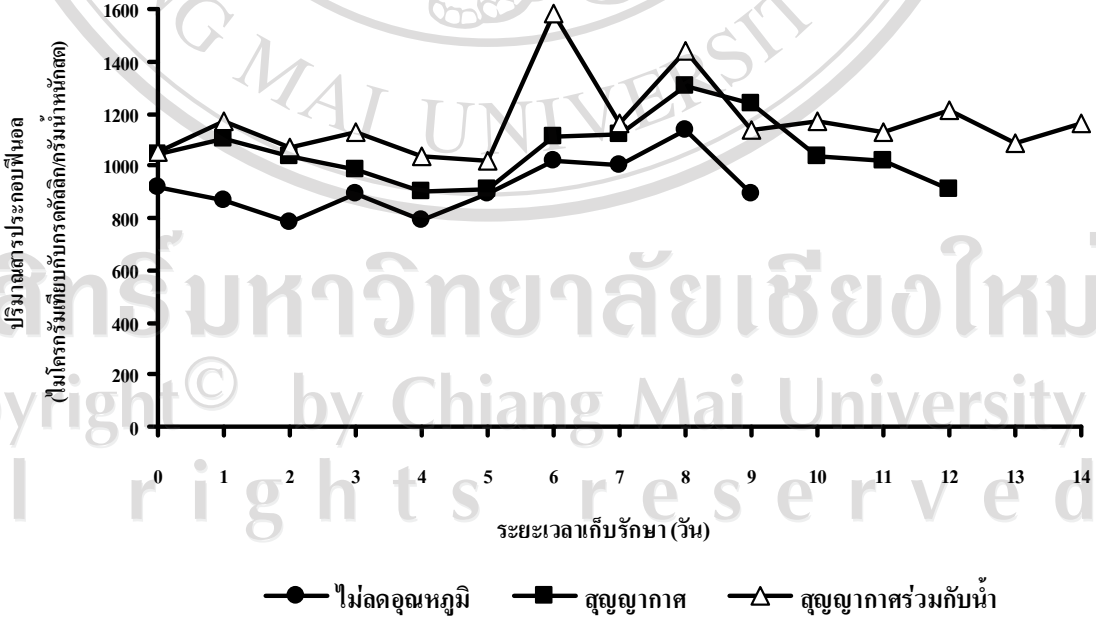


ภาพ 37 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

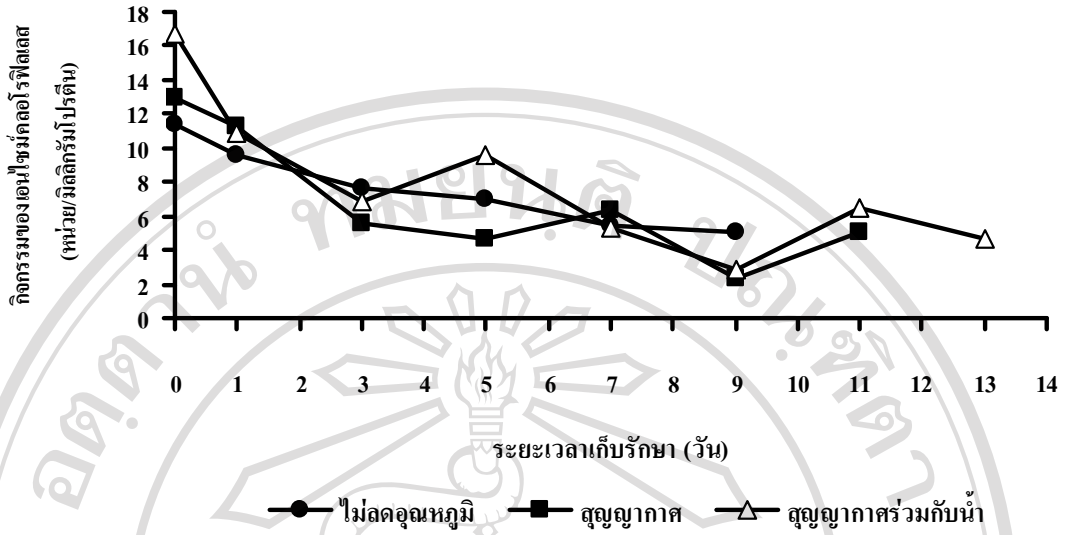


ภาพ 38 กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน



ภาพ 39 ปริมาณสารประกอบฟีนอลของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 40 กิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสของปวยเหล็งที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved