บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษากะเพราแดงที่ไม่ทำให้กะเพราเกิดอาการสะท้านหนาว

4.1.1 การสูญเสียน้ำหนักสด

การเก็บรักษากะเพราแดงไว้ที่อุณหภูมิ 4, 7, 10 และ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 วัน พบว่า กะเพราแดงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักสดเท่ากับ 3.75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการสูญเสียน้ำหนักสดของกะเพราแดงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่มีค่าเท่ากับ 1.22 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกะเพราแดงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ที่มีการสูญเสียน้ำหนักสด เท่ากับ 3.60 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 1) ในขณะที่กะเพราแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักสด เท่ากับ 3.34 เปอร์เซ็นต์ กะเพราแดงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะการเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่สภาวะอุณหภูมิค่อนข้างสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะทำให้น้ำภายในเซลล์ระเหยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้ผลิตผลเกิดการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษาค่อนข้างสูง (จริงแท้, 2544) จึงเป็นผลให้กะเพราแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงมีการสูญเสียน้ำหนักสดสูงกว่ากะเพราแดงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ สอดคล้องกับรายงานของ Porter *et al*. (2003) ที่พบว่ากะหล่ำปลีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 สัปดาห์ มีการสูญเสียน้ำหนักถึง 5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กะหล่ำปลีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 2 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกันกับผลิตผลทางการเกษตรหลายชนิดเมื่อนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ กัน แล้วพบว่าการเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผลิตผลที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูง เช่น มะเขือเทศ (Javanmardi and Kubota, 2006) หน่อไม้ฝรั่ง (*Asparagus officinalis* L.) (Tzoumaki *et al*., 2009) มันแกว (*Pachirhizus erosus* L.) (Cantwell *et al*., 2002; Mercado-Silva *et al*., 1998) ผักชีฝรั่ง (*Eryngium foetidum* L.) (Sankat and Maharaj, 1996) ใบปอกระเจา (*Corchorus olitorius* L.) (Tulio, Jr. *et al*., 2002) และใบแมงลัก (*Ocimum x citriodourum*)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Wongsheree *et al*., 2009) นอกจากนี้การเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำเกินไป ผลิตผลจะเกิดอาการสะท้านหนาวขึ้น มีผลทำให้เกิดการสูญเสียน้ำได้มากเช่นกัน (ดนัย, 2540) กะเพราแดงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4, 7, 10 และ 13 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 9 และตารางภาคผนวกที่ 1) เช่นเดียวกับการเก็บรักษากะหล่ำปลีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 สัปดาห์ (Porter *et al*., 2003) และมะกอกโอลีฟ (*Olea europaea* L.) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 7.5 องศาเซลเซียส (Nanos *et al*., 2002) ที่มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น

4.1.2 สีของใบ

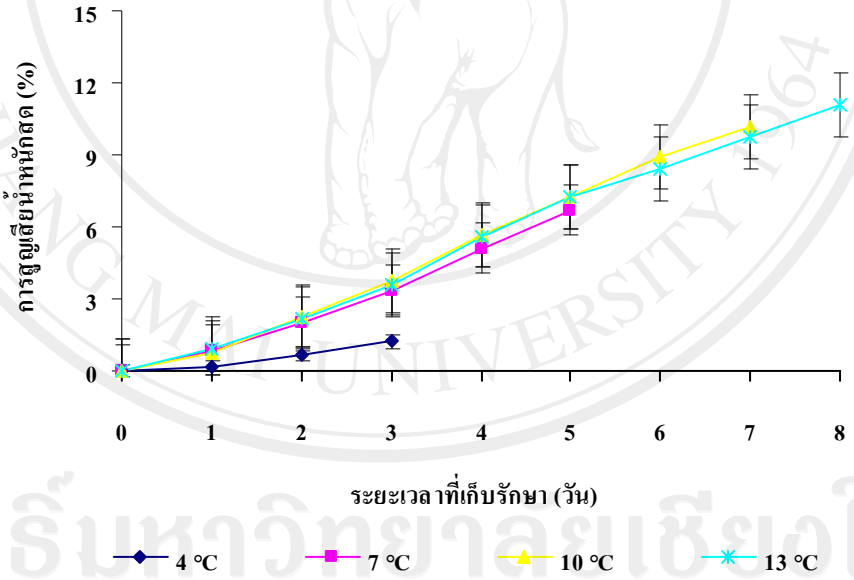
กะเพราแดงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4, 7, 10 และ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 วัน มีค่า L* ของสีใบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 52.13, 51.87, 51.54 และ 52.35 ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับค่า chroma ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่มีผลทำให้ใบกะเพราแดงมีค่า chroma แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งกระเพราที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4, 7, 10 และ 13 องศาเซลเซียส มีค่า chroma เท่ากับ 18.24, 18.19, 18.30 และ 17.98 ตามลำดับ ส่วนค่า hue angle นั้น พบว่า กะเพราแดงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีค่า hue angle ของสีใบเท่ากับ 113.76 องศา ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่า hue angle ของกะเพราแดงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส ที่มีค่าเท่ากับ 111.54 องศา แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับค่า hue angle ของกะเพราแดงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 13 องศาเซลเซียส ที่มีค่าเท่ากับ 112.48 และ 112.88 องศา ตามลำดับ (ตารางที่ 1) และตลอดอายุการเก็บรักษาค่า L* ค่า chroma และค่า hue angle ของกะเพราแดงมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 10-12 และตารางภาคผนวกที่ 2-4) ซึ่งค่า L* และค่า chroma ที่ลดลงแสดงให้เห็นว่ากะเพราแดงมีสีคล้ำลง ในขณะที่ค่า hue angle ลดลงแสดงให้เห็นว่าความเป็นสีเขียวของกะเพราแดงลดลง มีรายงานการศึกษาที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของสีที่ลดลงหลายฉบับ เช่น Nasar-Abbas *et al*. (2008) ได้ทำการศึกษาการเก็บรักษาถั่วปากอ้า (*Vicia faba* L.) ภายใต้สภาพดัดแปลงบรรยากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่า ถั่วปากอ้า มีค่า L*, ค่า chroma และค่า hue angle ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 12 เดือน ในขณะที่ถั่วลันเตา (*Pisum sativum* L. var. Saccharatum) มีค่า L*, ค่า chroma และค่า hue angle ลดลง เช่นเดียวกัน เมื่อเก็บรักษาภายใต้สภาพดัดแปลงบรรยากาศที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (Pariasca *et al*., 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 1 การสูญเสียน้ำหนักสด ค่า L*, ค่า chroma และค่า hue angle ของกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 7, 10 และ 13 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน

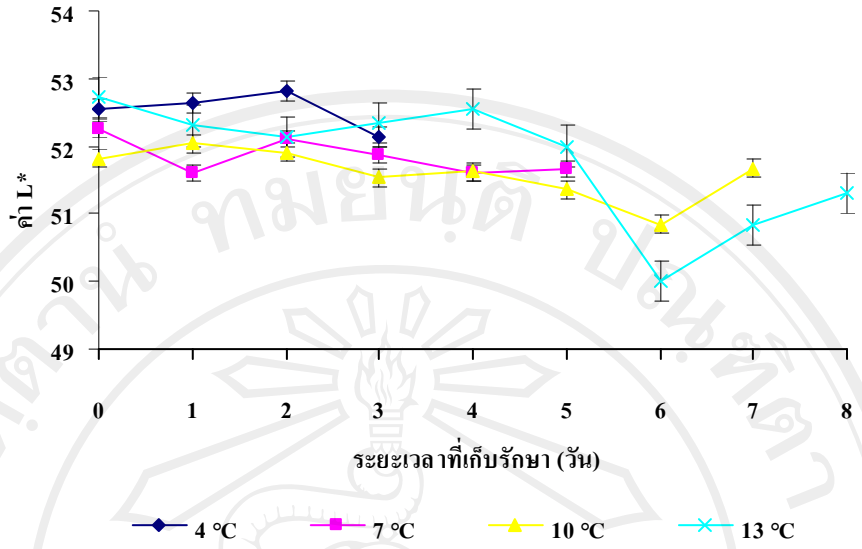
ระดับอุณหภูมิเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	การสูญเสียน้ำหนักสด (เปอร์เซ็นต์)	ค่า L*	ค่า chroma	ค่า hue angle (องศา)
4	1.22[c]	52.13	18.24	112.48[ab]
7	3.34[b]	51.87	18.19	111.54[b]
10	3.75[a]	51.54	18.30	113.76[a]
13	3.60[ab]	52.35	17.98	112.88[ab]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

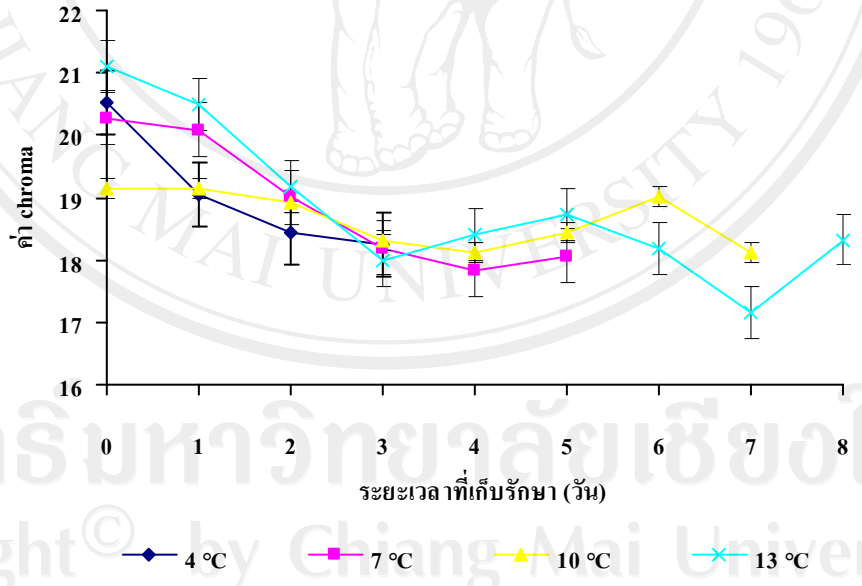


ภาพที่ 9 การสูญเสียน้ำหนักสดของกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 7, 10 และ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

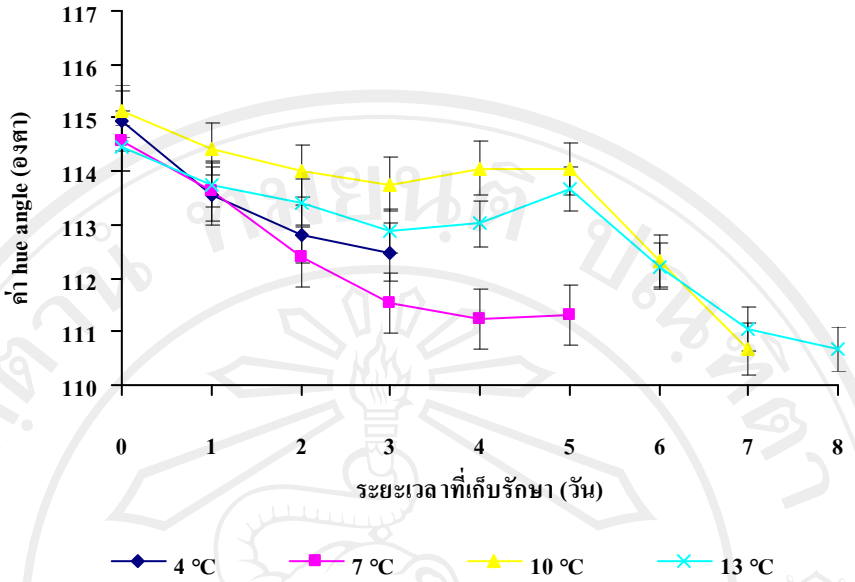


ภาพที่ 10 ค่า L* ของใบกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 7, 10 และ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 8 วัน



ภาพที่ 11 ค่า chroma ของใบกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 7, 10 และ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 12 ค่า hue angle ของใบกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 7, 10 และ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 8 วัน

4.1.3 การเน่าเสีย

ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับกะเพราแดงเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4, 7, 10 และ 13 องศาเซลเซียส คือ การเกิดอาการสะท้านหนาว หรือการเกิดความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ ซึ่งอาการจะเกิดขึ้นที่ใบของกะเพราแดง โดยมีลักษณะเป็นแผลหรือจุดสีน้ำตาล แผลจะแห้ง และเนื้อเยื่อบริเวณที่เป็นแผลยุบตัวลงไป และอาการดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงกับกะเพราแดงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ คือ 4 องศาเซลเซียส เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน 3 วัน ส่วนกะเพราแดงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส จะเริ่มแสดงอาการเมื่อเก็บรักษาไว้ได้ 4-5 วัน แต่ลักษณะอาการจะเกิดขึ้นน้อยกว่าการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และการเก็บรักษากะเพราแดงไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 13 องศาเซลเซียส ทำให้กะเพราแดงเกิดความเสียหายหรือเกิดอาการสะท้านหนาวเมื่อเก็บรักษาได้นาน 7 และ 8 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 13-15)

กะเพราแดงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 13 องศาเซลเซียส ใบจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นแผลหรือจุดสีน้ำตาล เพราะเกิดอาการสะท้านหนาวหรือเกิดความเสียหายเนื่องจากได้รับอุณหภูมิต่ำ ซึ่งนอกจากการเปลี่ยนสีของใบแล้ว กะเพราแดงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 13 องศาเซลเซียส ใบยังมีลักษณะเป็นแผลหรือจุดแห้งๆ เนื้อเยื่อบริเวณที่เป็นแผลยุบตัวลงไป และใบแสดงอาการเหี่ยวอย่างชัดเจน โดยอาการดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงกับกะเพราแดงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับการศึกษาของ ชวนพิศและคณะ (2548) ที่พบว่าการเก็บรักษากะเพรา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 8 องศาเซลเซียส แสดงอาการสะท้านหนาวเมื่อเก็บรักษาได้ 3 และ 6 วัน ตามลำดับ ในขณะที่การเก็บกะเพราที่ 13 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นาน 9 วัน และกะเพราที่เก็บรักษาในถุงเจาะรูมีการสูญเสียน้ำหนักสด และเกิดอาการสะท้านหนาวมากกว่ากะเพราในบรรจุภัณฑ์ถุงที่ปิดสนิท โหระพาเป็นพืชที่จัดอยู่ในตระกูลเดียวกันกับกะเพรา เมื่อนำโหระพาไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 และ 4 องศาเซลเซียส จะชักนำให้โหระพาเกิดอาการสะท้านหนาวอย่างรุนแรง และรุนแรงมากตามลำดับ เมื่อทำการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 4 วัน และรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น ในขณะที่ Niamthong *et al*. (2007) ทำการศึกษาการพัฒนาการเก็บรักษากะเพราโดยใช้อุณหภูมิต่ำและการเก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศ พบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ชักนำให้กะเพราเกิดอาการสะท้านหนาวเมื่อเก็บรักษาได้เพียง 3 วัน นอกจากนี้ Wongsheree *et al.* (2009) ได้ทำการศึกษาการเกิดอาการสะท้านหนาวกับใบแมงลัก พบว่า การเก็บรักษาใบแมงลักที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะชักนำให้ใบแมงลักเกิดอาการสะท้านหนาว เมื่อทำการเก็บรักษาได้นาน 12 ชั่วโมง ในขณะที่ใบแมงลักที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ยังไม่แสดงอาการสะท้านหนาว

ภาพที่ 13 อาการสะท้านหนาวของกะเพราแดงเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 14 ลักษณะของกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 7, 10 และ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 วัน

ภาพที่ 15 ลักษณะของกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7, 10 และ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2 อายุการเก็บรักษาของกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 7, 10 และ 13 องศาเซลเซียส

ระดับอุณหภูมิเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	อายุการเก็บรักษา (วัน)
4	3[d]
7	5[c]
10	7[b]
13	8[a]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.1.4 อายุการเก็บรักษา

การเก็บรักษากะเพราแดงไว้ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ทำให้กะเพราแดงมีอายุการเก็บรักษานานที่สุด คือ 8 วัน และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอายุการเก็บรักษาของกะเพราแดงที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10, 7 และ 4 องศาเซลเซียส ที่มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 7, 5 และ 3 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 2) การเก็บรักษาผลิตผลไว้ภายใต้อุณหภูมิที่เหมาะสมจะทำให้ผลิตผลนั้นมีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น ชวนพิศและคณะ (2548) พบว่าการเก็บกะเพราในบรรจุภัณฑ์ถุงปิดสนิทไม่เจาะรูที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับเป็นเวลา 9 วัน ในขณะที่การเก็บรักษากะเพราภายใต้สภาพดัดแปลงบรรยากาศที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้เป็นเวลา 9 วัน เช่นกัน (Niamthong *et al*., 2007) ส่วนการเก็บรักษาผักชีฝรั่ง (*Eryngium foetidum* L.) ไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถยืดอายุผักชีฝรั่งได้นานถึง 2 สัปดาห์ (Sankat and Maharaj, 1996)

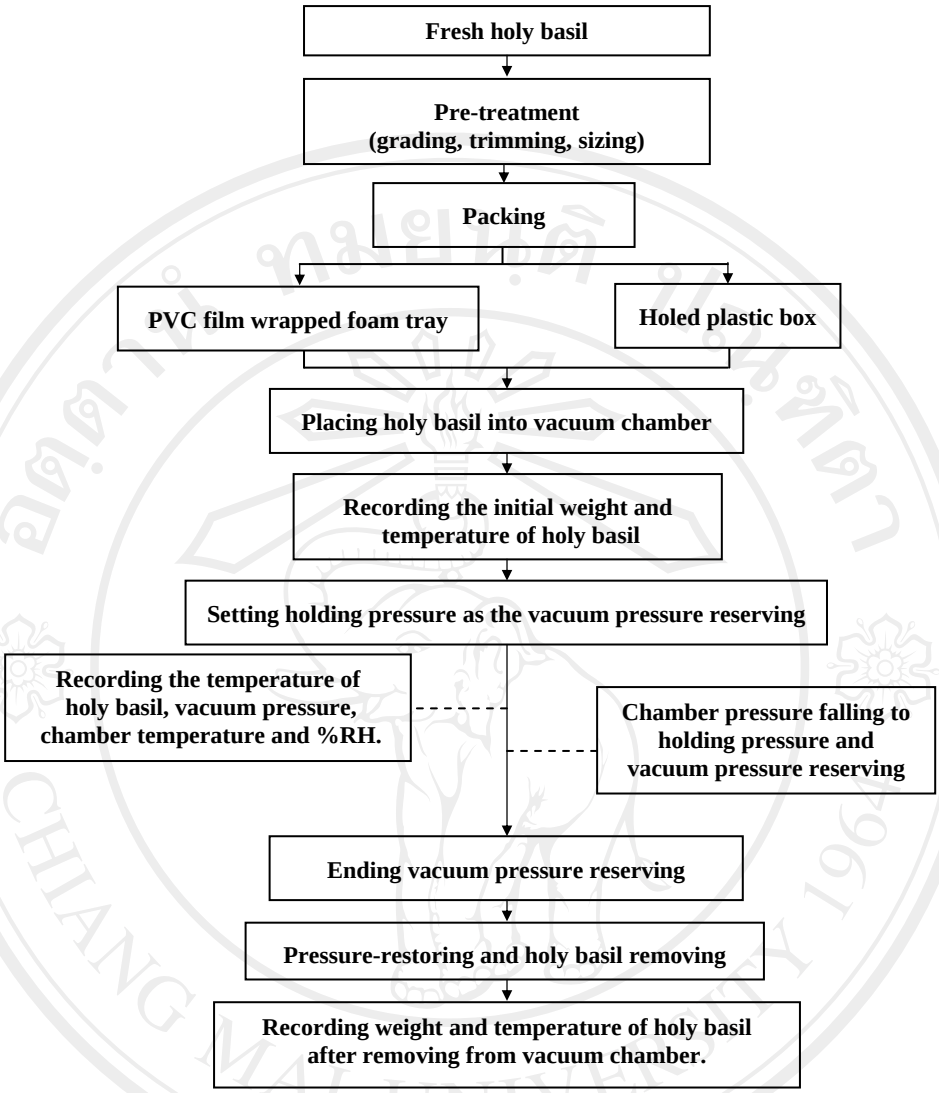
เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางกายภาพของกะเพราแดงที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 7, 10 และ 13 องศาเซลเซียส แล้วจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษากะเพราแดงที่ไม่ทำให้กะเพราแดงเกิดอาการสะท้านหนาว คือ 13 องศาเซลเซียส ดังนั้น ในการทดลองที่ 2 จึงเลือกใช้อุณหภูมิที่ 13 องศาเซลเซียส ในการกำหนดอุณหภูมิสุดท้ายของกะเพราแดงที่จะได้จากการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาหาพารามิเตอร์ในการทำงานที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของกะเพราแดง ในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด

ขั้นตอนการลดอุณหภูมิของกะเพราแดงด้วยระบบสุญญากาศ (ภาพที่ 16) สามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้ ขั้นตอนแรกหลังจากที่จัดเรียงกะเพราแดงจนเต็มห้องลดอุณหภูมิและปิดประตูห้องลดอุณหภูมิจนสนิทแล้ว เปิดสวิตซ์ให้เครื่องลดอุณหภูมิเริ่มทำงาน ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิจะมีค่าลดลงจากความดันบรรยากาศอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอากาศที่อยู่ภายในห้องถูกดึงออกสู่ภายนอกห้องด้วยเครื่องปั๊มสุญญากาศ และถึงแม้ว่าความดันภายในห้องลดอุณหภูมิจะมีค่าต่ำกว่าความดันบรรยากาศ แต่ก็ยังคงมีค่าสูงกว่าความดันไออิ่มตัว (saturation vapor pressure) ของอุณหภูมิเริ่มต้นของกะเพราแดง จึงเป็นผลทำให้การเปลี่ยนแปลงความดันในช่วงแรกของกระบวนการลดอุณหภูมิไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (Zheng and Sun, 2005) ต่อมาเมื่อความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงมาถึงความดันเริ่มต้นที่มีผลต่อการเดือดของน้ำภายในของผลิตภัณฑ์ ที่จุดนี้จะเรียกว่า flash point (Zheng and Sun, 2005) น้ำและความชื้นที่อยู่ภายในกะเพราแดงจะเริ่มเดือดและระเหยกลายเป็นไอ ทำให้อุณหภูมิของกะเพราแดงลดลงต่อเนื่องอย่างรวดเร็ว ขั้นตอนต่อมาเมื่อความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดต่ำลงมาถึงความดันสุดท้ายที่กำหนด เครื่องลดอุณหภูมิจะปิดเครื่องปั๊มสุญญากาศ และทำการรักษาระดับความดันให้คงที่เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันตามระยะเวลาที่กำหนด และเมื่อเครื่องทำการรักษาระดับความดันให้คงที่จนครบตามระยะเวลาที่กำหนดแล้ว เครื่องจะเปิดวาล์วระบายอากาศให้อากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้องลดอุณหภูมิเพื่อปรับความดันคืนสู่ความดันบรรยากาศ เมื่อความดันภายในห้องลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศแล้ว เครื่องจะเปิดประตูห้องลดอุณหภูมิซึ่งจะถือว่ากระบวนการลดอุณหภูมิสิ้นสุดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 16 ขั้นตอนการลดอุณหภูมิกะเพราแดงด้วยระบบสุญญากาศ

ภาพที่ 17 การจัดเรียงกะเพราแดงไว้ภายในห้องลดอุณหภูมิ และการกำหนดค่าพารามิเตอร์เครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1 การทดลองที่ 2.1 การศึกษาหาพารามิเตอร์ในการทำงานที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์

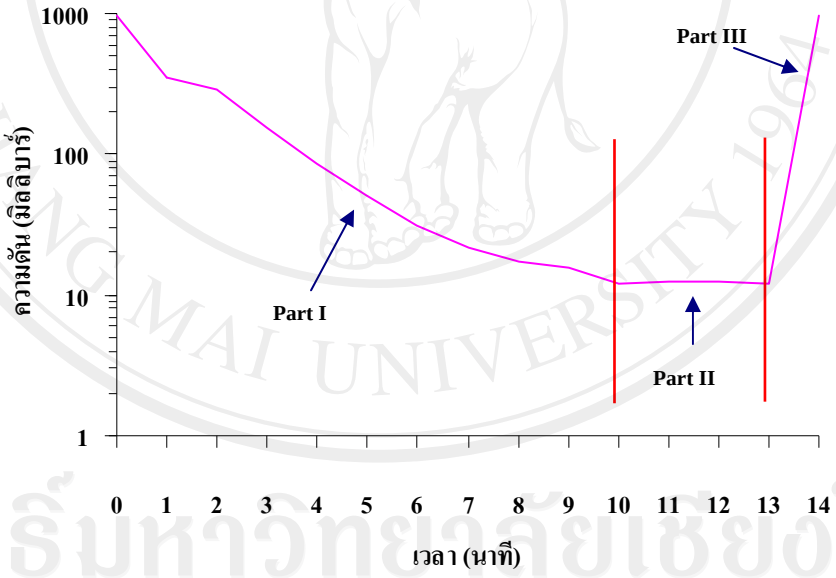
การศึกษาหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิของกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ด้วยระบบสุญญากาศ พบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิกะเพราแดงที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้น 21-24 องศาเซลเซียส คือ การใช้ระดับความดันสุดท้ายที่ 12.0 มิลลิบาร์ และกำหนดระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเป็นเวลา 3 นาที โดยใช้เวลาในการทำให้เย็น 14 นาที และมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ 1.17 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิเท่ากับ 0.10 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าจำนวน 0.022 บาทต่อกิโลกรัม

ภาพที่ 18 กะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ (ก) การจัดเรียงในตะกร้าพลาสติก (ข) การวัดอุณหภูมิเริ่มต้น (ค) การวัดอุณหภูมิใจกลางผักและความชื้นสัมพัทธ์ในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ (ง)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1.1 ความดันในห้องลดอุณหภูมิ

จากภาพที่ 19 ความดันในห้องลดอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ด้วยระบบสุญญากาศ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วจากความดันบรรยากาศ (971.4 มิลลิบาร์) ถึง 15.4 มิลลิบาร์ โดยใช้เวลา 9 นาที ในช่วงนี้อัตราการลดลงเฉลี่ยของความดัน คือ 106.22 มิลลิบาร์/นาที หลังจากนั้นความดันในห้องลดอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลง จนถึงช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่ความดันในห้องลดอุณหภูมิเริ่มคงที่ตามความดันสุดท้ายที่กำหนด คือ 12.0 มิลลิบาร์ เครื่องจะทำการรักษาระดับความดันให้คงที่ เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันตามระยะเวลาที่กำหนดเท่ากับ 3 นาที และช่วงสุดท้าย คือช่วงที่เครื่องลดอุณหภูมิคงความดันจนครบตามระยะที่กำหนดแล้ว ความดันในห้องลดอุณหภูมิจะถูกปรับเพิ่มขึ้นจนมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ



ภาพที่ 19 ความดันในห้องลดอุณหภูมิระหว่างการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ โดยใช้ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ 12 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 3 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1.2 อุณหภูมิในห้องลดอุณหภูมิ

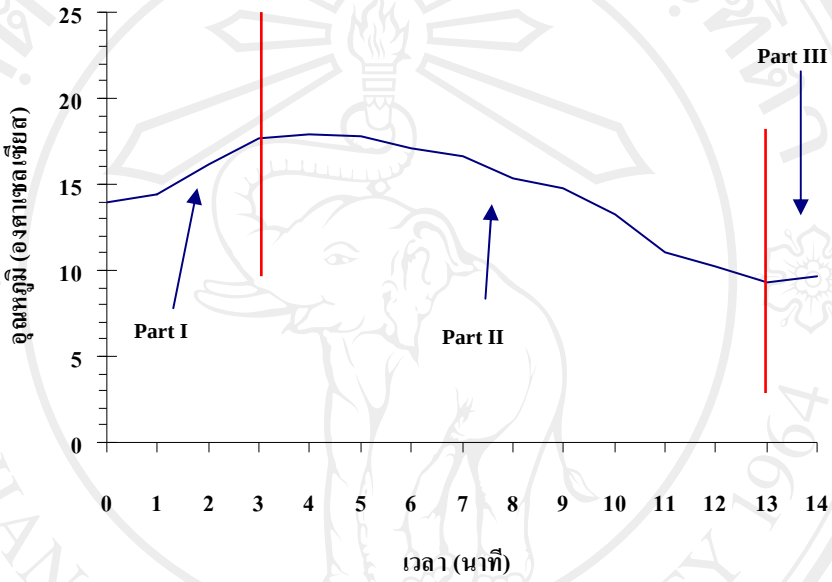
จากผลการศึกษาการลดอุณหภูมิกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ด้วยระบบสุญญากาศ พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในห้องลดอุณหภูมิ ดังภาพที่ 20 โดยที่อุณหภูมิเริ่มต้นในห้องลดอุณหภูมิ คือ 13.90 องศาเซลเซียส ในระหว่างการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในห้องลดอุณหภูมิสามารถแบ่งอุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิออกได้เป็น 3 ช่วงที่แตกต่างกัน คือ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยในช่วงแรก อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 13.90 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิสูงที่สุด คือ 17.90 องศาเซลเซียส เนื่องจาก กะเพราแดงมีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 21.40 องศาเซลเซียส ส่งผลให้กะเพราแดงมีการถ่ายเทความร้อนให้แก่ห้องลดอุณหภูมิที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จึงทำให้อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรกของกระบวนการ ในช่วงที่ 2 อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีค่าลดลงจากอุณหภูมิสูงสุดจาก 17.90 องศาเซลเซียส เหลืออุณหภูมิต่ำสุด คือ 9.30 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นช่วงที่ทั้งอุณหภูมิของกะเพราแดงและความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดต่ำลง จึงส่งผลให้อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีค่าลดลง และในช่วงที่ 3 เป็นช่วงสิ้นสุดกระบวนการลดอุณหภูมิ อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อยจาก 9.30 เป็น 9.60 องศาเซลเซียส เนื่องจากอากาศจากภายนอกที่มีอุณหภูมิสูงถูกนำเข้าสู่ภายในห้องลดอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการปรับความดันสู่ความดันบรรยากาศ

4.2.1.3 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดอุณหภูมิ

ภาพที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและความดันในห้องลดอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ด้วยระบบสุญญากาศ โดยความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้นภายในห้องลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 64.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงจนเวลาผ่านไป 4 นาที ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอากาศถูกดึงออกจากห้องลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วด้วยเครื่องปั๊มสุญญากาศ จึงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดอุณหภูมิมีค่าลดลง เมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิลดต่ำลงถึง 200 และ 100 มิลลิบาร์ ตามลำดับ (นาทีที่ 5-6) เครื่องอัดไอ (compressor) เครื่องที่ 1 และ 2 จะเริ่มทำงาน ตามลำดับ ในช่วงนี้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องจะเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากภายในห้องมีอุณหภูมิลดลง เมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 100 มิลลิบาร์ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ และเมื่อความดันภายในห้องลดอุณหภูมิถูกทำให้ลดต่ำลงถึง 12.0 มิลลิบาร์ ความชื้นสัมพัทธ์ภายใน

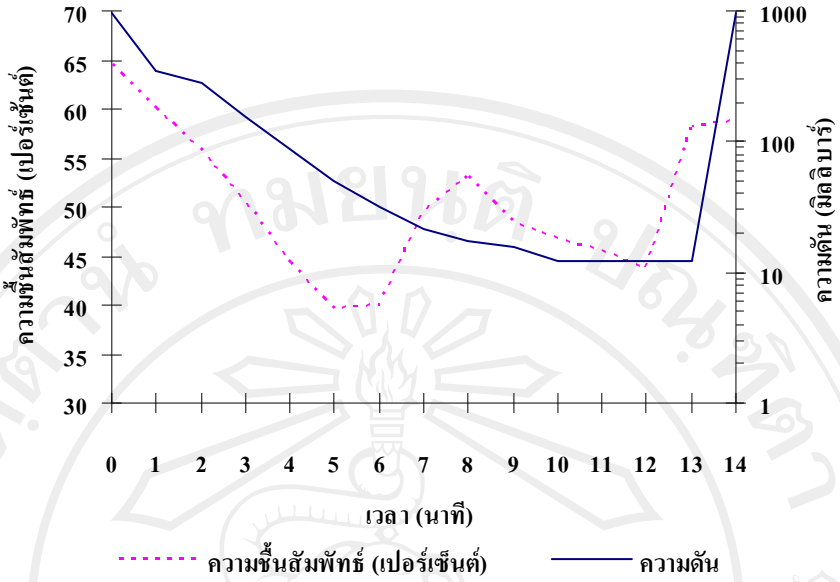
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ห้องลดอุณหภูมิมีค่าต่ำที่สุดที่ 43.60 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อมีการคงระดับความดันในห้องลดอุณหภูมิไว้นาน 3 นาที พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากอากาศภายในห้องมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจากการระเหยน้ำในเซลล์ของกะเพราแดงที่อยู่ในสภาวะที่มีความดันต่ำ โดยความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเมื่อสิ้นสุดกระบวนการลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 58.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 20 อุณหภูมิในห้องลดอุณหภูมิระหว่างการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ โดยใช้ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ 12 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 3 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

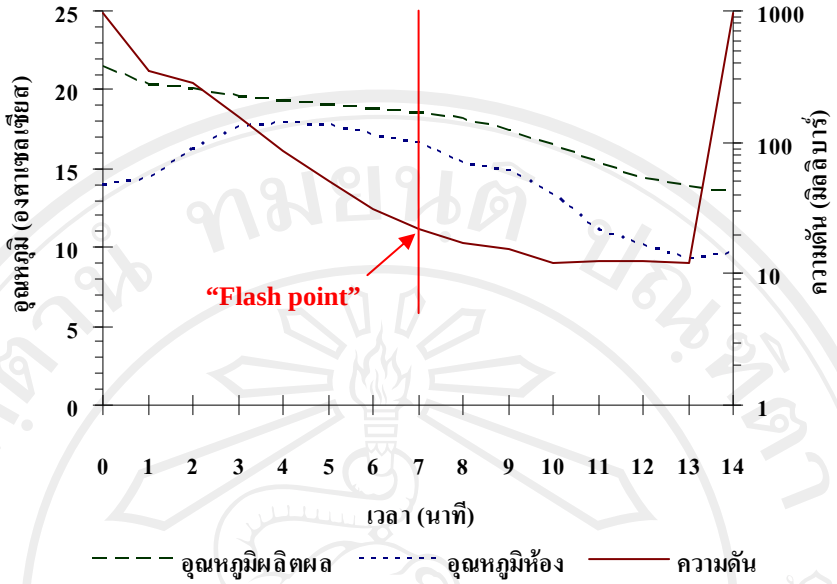


ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและความดันในห้องลดอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ โดยใช้ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ 12 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 3 นาที

4.2.1.4 อัตราการลดอุณหภูมิ

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิและเวลาของการลดอุณหภูมิกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ด้วยระบบสุญญากาศ แสดงในภาพที่ 22 โดยที่กะเพราแดงมีอุณหภูมิเริ่มต้น 21.4 องศาเซลเซียส ในช่วงแรกของการลดความดัน อัตราการลดอุณหภูมิของกะเพราแดงช้ามาก ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการระเหยของความชื้นบริเวณผิวใบของกะเพราแดง (Cheng and Huesh, 2007) แต่เมื่อความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงมาถึง 21.8 มิลลิบาร์ หรือนาทีที่ 7 ที่จุดนี้จะเรียกว่า flash point อัตราการลดอุณหภูมิของกะเพราแดงเร็วขึ้น เนื่องจากน้ำและความชื้นที่อยู่ภายในกะเพราแดงจะเริ่มเดือดและระเหยกลายเป็นไอ (Zheng and Sun, 2005) และอุณหภูมิของกะเพราแดงค่อยๆ ลดลงภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิของบรรยากาศต่ำ จนเมื่อสิ้นสุดกระบวนการลดอุณหภูมิ อุณหภูมิสุดท้ายของกะเพราแดงมีค่าเท่ากับ 13.5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิและเวลาของการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ โดยใช้ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ 12 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 3 นาที

4.2.1.5 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิเกิดขึ้นเนื่องจากการระเหยของน้ำที่อยู่ภายในของกะเพราแดง ที่ขึ้นอยู่กับความดันสุดท้ายที่กำหนด เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ โดยการใช้ระดับความดันที่แตกต่างกัน 2 ระดับ คือ 11 และ 12 มิลลิบาร์ พบว่า การใช้ระดับความดันที่ 11 มิลลิบาร์ มีแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงกว่าการใช้ระดับความดันที่ 12 มิลลิบาร์ (ตารางที่ 3) สอดคล้องกับการทดลองของ Ozturk and Ozturk (2009) ที่ศึกษาอิทธิพลของความดันที่ใช้ในการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อโดยใช้ระดับความดันที่ต่างกัน 3 ระดับ คือ 0.7, 1 และ 1.5 กิโลปาสคาล พบว่า การใช้ระดับความดันที่ 0.7 กิโลปาสคาล มีผลทำให้ผักกาดหอมห่อมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด ในขณะที่การใช้ระดับความดันที่ 1.5 กิโลปาสคาล มีผลทำให้ผักกาดหอมห่อมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด เมื่อกำหนดระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดนานขึ้นจะส่งผลให้กะเพราแดงมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย (ตารางที่ 3)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การลดอุณหภูมิกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ด้วยระบบสุญญากาศ โดยการใช้ระดับความดันที่ 12 มิลลิบาร์ และกำหนดระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเป็นเวลา 3 นาที มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ 1.17 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3)

4.2.1.6 ระยะเวลาและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ

การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ เป็นวิธีการทำความเย็นแบบระเหยที่รวดเร็ว จึงทำให้ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิที่สั้นและช่วยในการประหยัดพลังงาน (พัลลภ, 2550) ตารางที่ 4 แสดงระยะเวลาและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ โดยพบว่า ระยะเวลาและพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของกะเพราแดงขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด เมื่อกำหนดระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดนานขึ้นจะทำให้ เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิกะเพราแดงนานขึ้น และส่งผลให้มีการใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิมากขึ้นด้วย การลดอุณหภูมิกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ด้วยระบบสุญญากาศ โดยการใช้ระดับความดันที่ 12 มิลลิบาร์ และกำหนดระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเป็นเวลา 3 นาที จะใช้เวลาในการทำให้เย็นทั้งหมด 14 นาที โดยใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิเท่ากับ 0.10 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าจำนวน 0.022 บาทต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3 สภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและสภาวะของกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ระหว่างการลดอุณหภูมิ

สภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ	ค่าที่ทำการบันทึก					
ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ (มิลลิบาร์)	11			12		
เวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด (นาที)	2	3	4	2	3	4
สภาวะของกะเพราแดง	**ค่าที่ทำการบันทึก**					
อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	24.08	23.76	23.98	21.40	21.40	23.06
อุณหภูมิเมื่อสิ้นสุดการคงระดับความดัน (องศาเซลเซียส)	13.40	11.60	11.90	14.30	13.80	12.40
อุณหภูมิสุดท้ายเมื่อคืนความดันสู่ความดันบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)	13.00	11.60	12.00	13.90	13.50	12.50
อุณหภูมิสุดท้ายเมื่อนำออกจากห้องลดความดัน (องศาเซลเซียส)	13.62	13.68	12.44	11.72	13.46	13.90
ความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์)	54.50	60.10	55.20	54.20	64.40	58.50
ความชื้นสัมพัทธ์สุดท้าย (เปอร์เซ็นต์)	60.60	68.50	52.10	59.40	58.70	60.30
การสูญเสียน้ำหนักสด (เปอร์เซ็นต์)	0.90	2.40	2.55	1.04	1.17	1.25

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์

สภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ	ค่าที่ทำการบันทึก					
ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ (มิลลิบาร์)	11			12		
เวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด (นาที)	2	3	4	2	3	4
เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ (นาที)	13	14	15	13	14	17
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	0.09	0.09	0.11	0.09	0.10	0.12
ค่าไฟฟ้า (บาท/กิโลกรัม)	0.022	0.020	0.026	0.022	0.022	0.027

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2 การทดลองที่ 2.2 การศึกษาหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของกะเพราแดงในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต

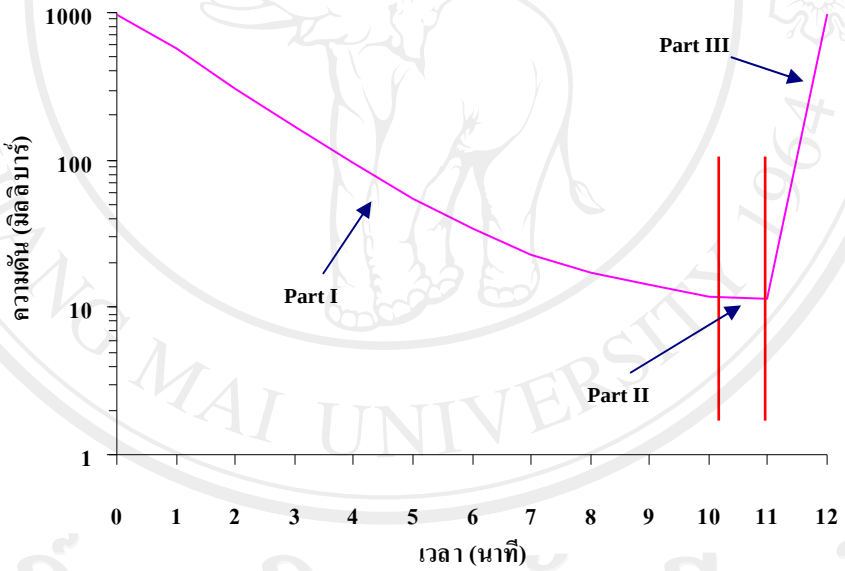
การศึกษาหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิของกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตด้วยระบบสุญญากาศ พบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิกะเพราแดงที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้น 21-24 องศาเซลเซียส คือ การใช้ระดับความดันสุดท้ายที่ 12 มิลลิบาร์ และกำหนดระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเป็นเวลา 1 นาที โดยใช้เวลาในการทำให้เย็น 12 นาที และมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ 0.88 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิเท่ากับ 0.09 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าจำนวน 0.017 บาทต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 3)

ภาพที่ 23 กะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (ก) การจัดเรียงในตะกร้าพลาสติก (ข) การวัดอุณหภูมิเริ่มต้น (ค) การวัดอุณหภูมิใจกลางผักและความชื้นสัมพัทธ์ในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ (ง)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2.1 ความดันในห้องลดอุณหภูมิ

จากภาพที่ 24 ความดันในห้องลดอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตด้วยระบบสุญญากาศ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วจากความดันบรรยากาศ (967.0 มิลลิบาร์) ถึง 14.2 มิลลิบาร์ โดยใช้เวลา 9 นาที ในช่วงนี้อัตราการลดลงเฉลี่ยของความดัน คือ 105.86 มิลลิบาร์/นาที หลังจากนั้นความดันในห้องลดอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลง จนถึงช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่ความดันในห้องลดอุณหภูมิเริ่มคงที่ตามความดันสุดท้ายที่กำหนด คือ 12.0 มิลลิบาร์ เครื่องจะทำการรักษาระดับความดันให้คงที่ เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันตามระยะเวลาที่กำหนดเท่ากับ 1 นาที และช่วงสุดท้าย คือช่วงที่เครื่องลดอุณหภูมิคงความดันจนครบตามระยะที่กำหนดแล้ว ความดันในห้องลดอุณหภูมิจะถูกปรับเพิ่มขึ้นจนมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ



ภาพที่ 24 ความดันในห้องลดอุณหภูมิระหว่างการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต โดยใช้ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ 12 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 1 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

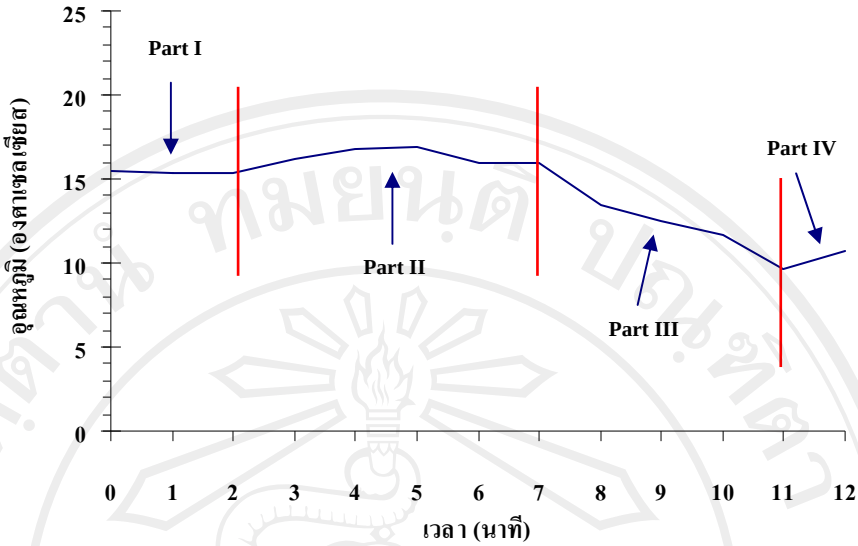
4.2.2.2 อุณหภูมิในห้องลดอุณหภูมิ

จากผลการศึกษาการลดอุณหภูมิกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตด้วยระบบสุญญากาศ พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในห้องลดอุณหภูมิ ดังภาพที่ 25 โดยที่อุณหภูมิเริ่มต้นในห้องลดอุณหภูมิ คือ 15.50 องศาเซลเซียส ในระหว่างการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในห้องลดอุณหภูมิสามารถแบ่งอุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิออกได้เป็น 4 ช่วงที่แตกต่างกัน คือ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ โดยในช่วงแรก อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีค่าลดลงจาก 15.50 เป็น 15.30 องศาเซลเซียส เนื่องจาก เป็นช่วงที่อากาศภายในห้องลดอุณหภูมิถูกดึงออกสู่ภายนอกด้วยเครื่องปั๊มสุญญากาศทำให้ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิมีค่าต่ำกว่าความดันบรรยากาศจึงส่งผลให้อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีค่าลดลงเล็กน้อย ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจาก 15.30 เป็น 16.90 องศาเซลเซียส เนื่องจากกะเพราแดงมีการถ่ายเทความร้อนสู่ห้องลดอุณหภูมิจึงทำให้อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ช่วงที่ 3 เป็นช่วงที่อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีค่าลดลงจาก 16.00 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิต่ำที่สุด คือ 9.70 องศาเซลเซียส และช่วงที่ 4 เป็นช่วงสิ้นสุดกระบวนการลดอุณหภูมิ อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อยจาก 9.70 เป็น 10.70 องศาเซลเซียส เนื่องจากอากาศร้อนจากภายนอกที่มีอุณหภูมิสูงถูกนำเข้าสู่ภายในห้องลดอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการปรับความดันสู่ความดันบรรยากาศ

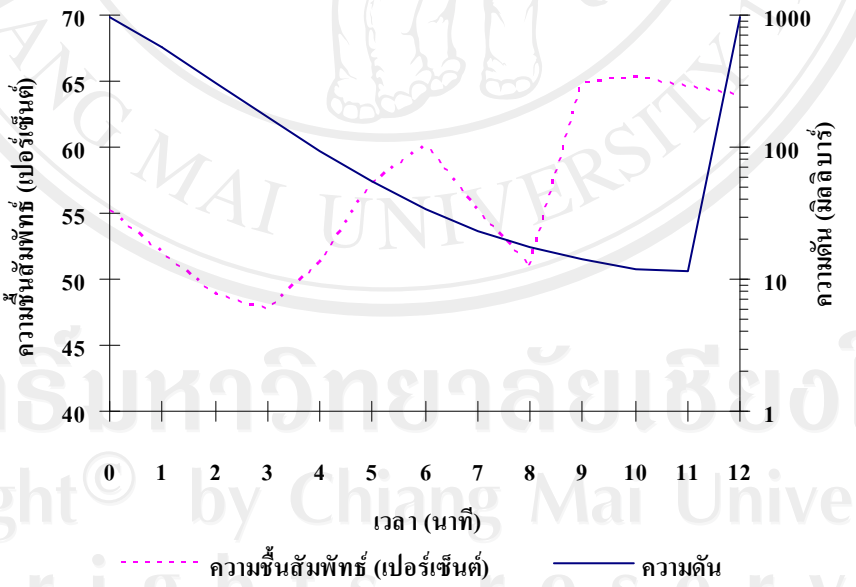
4.2.2.3 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดอุณหภูมิ

ภาพที่ 26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและความดันในห้องลดอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตด้วยระบบสุญญากาศ โดยความชื้นภายในห้องลดอุณหภูมิก่อนเริ่มกระบวนการมีค่าเท่ากับ 55.20 เปอร์เซ็นต์ จนเมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิลดต่ำลงถึง 12.0 มิลลิบาร์ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดอุณหภูมิมีค่าต่ำที่สุดที่ 50.90 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายหลังจากการลดอุณหภูมิเท่ากับ 64.00 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 5)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 25 อุณหภูมิในห้องลดอุณหภูมิระหว่างการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต โดยใช้ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ 12 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 1 นาที

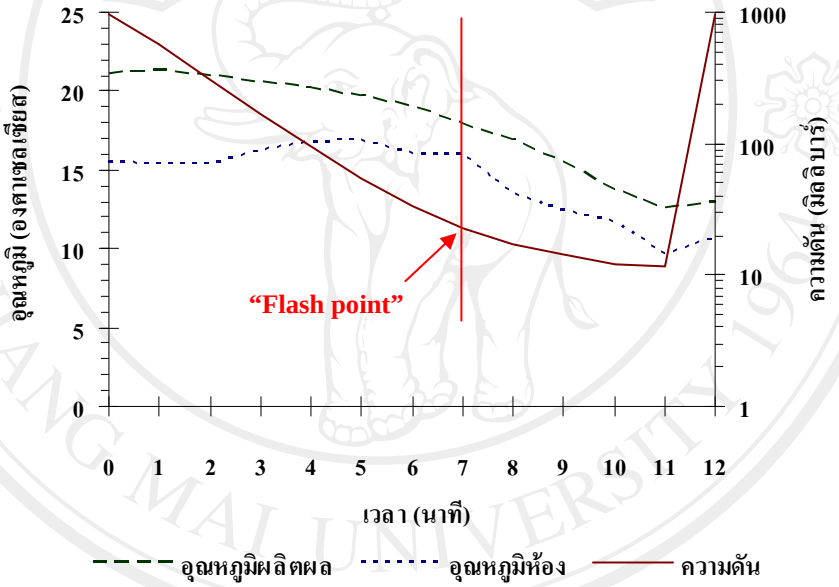


ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและความดันในห้องลดอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของกะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต โดยใช้ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ 12 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 1 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2.4 อัตราการลดอุณหภูมิ

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิและเวลาของการลดอุณหภูมิกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตด้วยระบบสุญญากาศ แสดงในภาพที่ 27 โดยที่กะเพราแดงมีอุณหภูมิเริ่มต้น 21.1 องศาเซลเซียส และเช่นเดียวกันกับการลดอุณหภูมิกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของกระบวนการลดอุณหภูมิ อัตราการลดอุณหภูมิของกะเพราแดงช้ามาก แต่เมื่อความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงมาถึง 23.0 มิลลิบาร์ หรือนาทีที่ 7 อัตราการลดอุณหภูมิของกะเพราแดงเร็วขึ้น จนเมื่อสิ้นสุดกระบวนการลดอุณหภูมิ อุณหภูมิสุดท้ายของกะเพราแดงมีค่าเท่ากับ 12.9 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิและเวลาของการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต โดยใช้ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ 12 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 1 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2.5 การสูญเสียน้ำหนัก

การลดอุณหภูมิกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตด้วยระบบสุญญากาศ โดยการใช้ระดับความดันที่ 12 มิลลิบาร์ และกำหนดระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเป็นเวลา 1 นาที มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ 0.88 เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิเกิดขึ้นเนื่องจากการระเหยของน้ำที่อยู่ภายในของกะเพราแดง ที่ขึ้นอยู่กับความดันสุดท้ายที่กำหนดและระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด จากการทดลองพบว่า ความดันสุดท้ายที่มีค่าต่ำกว่าและระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดนานขึ้นจะส่งผลให้กะเพราแดงมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 5)

4.2.2.6 ระยะเวลาและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ

การลดอุณหภูมิกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตด้วยระบบสุญญากาศ โดยการใช้ระดับความดันที่ 12 มิลลิบาร์ และกำหนดระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเป็นเวลา 1 นาที จะใช้เวลาในการทำให้เย็นทั้งหมด 12 นาที โดยใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิเท่ากับ 0.09 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าจำนวน 0.017 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งระยะเวลาและพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของกะเพราแดงขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด เมื่อกำหนดระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดนานขึ้นจะทำให้ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิกะเพราแดงนานขึ้น และส่งผลให้มีการใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิมากขึ้นด้วย (ตารางที่ 4)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 5 สภาวะในการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและสภาวะของกะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตระหว่างการลดอุณหภูมิ

สภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ	ค่าที่ทำการบันทึก					
ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ (มิลลิบาร์)	11			12		
เวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด (นาที)	1	2	3	1	2	3
สภาวะของกะเพราแดง	ค่าที่ทำการบันทึก					
อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	22.04	22.48	22.40	21.10	22.90	21.90
อุณหภูมิเมื่อสิ้นสุดการคงระดับความดัน (องศาเซลเซียส)	12.10	11.80	9.90	12.60	12.00	10.70
อุณหภูมิสุดท้ายเมื่อคืนความดันสู่ความดันบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)	11.80	11.60	9.40	12.90	11.80	11.00
อุณหภูมิสุดท้ายเมื่อนำออกจากห้องลดความดัน (องศาเซลเซียส)	12.04	12.26	10.36	11.98	11.54	10.84
ความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์)	56.80	72.20	58.20	55.20	56.20	51.50
ความชื้นสัมพัทธ์สุดท้าย (เปอร์เซ็นต์)	54.60	62.00	63.70	64.00	62.70	61.40
การสูญเสียน้ำหนักสด (เปอร์เซ็นต์)	0.60	1.26	2.24	0.88	0.87	1.83

ตารางที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการลดอุณหภูมิกะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตด้วยระบบสุญญากาศ

สภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ	ค่าที่ทำการบันทึก					
ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ (มิลลิบาร์)	11			12		
เวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด (นาที)	1	2	3	1	2	3
เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการดอุณหภูมิ (นาที)	12	13	13	12	13	14
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	0.09	0.10	0.09	0.09	0.10	0.09
ค่าไฟฟ้า (บาท/กิโลกรัม)	0.017	0.020	0.018	0.017	0.019	0.018

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 7 สภาวะในการทำงานที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของกะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ และกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต

พารามิเตอร์	กะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์ม PVC	กะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติก PET
ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ (มิลลิบาร์)	12	12
เวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด (นาที)	3	1
เวลาทั้งหมดที่ใช้ (นาที)	14	12
อุณหภูมิผักเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	21-24	21-24
อุณหภูมิผักสุดท้าย (องศาเซลเซียส)	12-14	12-14
การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)	1.17	0.88
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	0.10	0.09
ค่าไฟฟ้า (บาท/กิโลกรัม)	0.022	0.017

เมื่อพิจารณาจากสภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของกะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์และกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต ที่มีต่ออุณหภูมิสุดท้าย เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ระยะเวลาและพลังงานที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิแล้ว ในการทดลองที่ 3 จึงเลือกใช้ระดับความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิที่ 12 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 3 นาที สำหรับการลดอุณหภูมิกะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์และระดับความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิที่ 12 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 1 นาที สำหรับการลดอุณหภูมิกะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต หลังจากนั้นนำไปเก็บรักษาเปรียบเทียบกับกะเพราแดงชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส ระหว่างที่เก็บรักษาทำการตรวจสอบทางกายภาพ และทางเคมีทุกวันจนหมดอายุการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 การทดลองที่ 3 เปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของกะเพราแดงหลังการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

ศึกษาคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของกะเพราแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ โดยมีการแบ่งเป็นการทดลองย่อย 2 การทดลอง ดังนี้

4.3.1 การทดลองที่ 3.1 ศึกษาคุณภาพของกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์หลังการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

4.3.2 การทดลองที่ 3.2 ศึกษาคุณภาพของกะเพราแดงที่บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตหลังการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

4.3.1 การสูญเสียน้ำหนักสด

การลดอุณหภูมิกะเพราแดงด้วยระบบสุญญากาศแล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส พบว่า กะเพราแดงมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นในทุกการทดลอง และชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักสดของกะเพราแดง (ภาพที่ 28 และตารางภาคผนวกที่ 15) เมื่อเก็บรักษากะเพราแดงเป็นเวลานาน 4 วัน กะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตมีการสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่ากะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต มีการสูญน้ำหนักสดเท่ากับ 8.41±1.82 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกะเพราที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์มีการสูญเสียน้ำหนักสดเท่ากับ 4.99±0.85 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 8) การที่กะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตมีการสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่ากะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ เนื่องจากกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตมีช่องว่าง (รูเปิดรอบๆ กล่องจำนวน 12 รู) ที่อากาศสามารถเคลื่อนที่เข้าออกภาชนะบรรจุได้ง่ายกว่าถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ (เจาะรูด้วยเข็มเบอร์ 10 จำนวน 40 รู) ซึ่งการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลสดนั้นส่วนหนึ่งมาจากการเคลื่อนที่ของอากาศรอบๆ ตัวผลิตผล ถ้ามีการเคลื่อนที่ของอากาศมากจะทำให้น้ำมีการสูญเสียออกจากตัวผลิตผลได้เร็วขึ้น (นิธิยาและดนัย, 2548) ดังนั้นจึงทำให้กะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตมีการสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่ากะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Tzoumaki *et al.* (2009) ที่พบว่าการบรรจุหน่อไม้ฝรั่งในถาดโฟมและหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์ม และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สามารถที่จะชะลอการสูญเสียน้ำหนักของหน่อไม้ฝรั่งได้ เช่นเดียวกับ Sankat and Maharaj (1996) ศึกษาการเก็บรักษาผักชีฝรั่ง (*Eryngium foetidum* L.) ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักสดต่ำกว่าผักชีฝรั่งในชุดควบคุม

การลดอุณหภูมิกะเพราแดงด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักสดของกะเพรา โดยกะเพราแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและกะเพราแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีการสูญเสียน้ำหนักสด เท่ากับ 6.59±1.89 และ 6.82±2.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับงานทดลองของ Toivonen (1997) ที่พบว่า การลดอุณหภูมิบรอคโคลี่ด้วยน้ำเย็นก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักเมื่อเปรียบเทียบกับบรอคโคลี่ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ และเมื่อพิจารณาการสูญเสียน้ำหนักของกะเพราแดงในวันที่ 5-8 ของการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 15) พบว่า กะเพราแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีแนวโน้มของการสูญเสียน้ำมากกว่ากะเพราแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการทดลองของ สุกัลยาและคณะ (2548) ที่ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวโพดหวานโดยการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น พบว่า ข้าวโพดหวานมีการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นโดยมีแนวโน้มว่าการลดอุณหภูมิด้วยน้ำจะทำให้ข้าวโพดหวานมีการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยน้ำ ทั้งนี้อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์กะเพราแดงและการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นกะเพราแดงมีการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (ภาพที่ 28 และตารางภาคผนวกที่ 15)

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงสี

การลดอุณหภูมิกะเพราแดงด้วยระบบสุญญากาศแล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 วัน พบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อค่า L* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ มีค่า L* เท่ากับ 47.87±2.60 ซึ่งมากกว่าค่า L* ของกะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่มีค่าเท่ากับ 44.36±3.33 (ตารางที่ 8) และกะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ และกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต มีค่า chroma และค่า hue angle ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ และกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตมีค่า chroma เท่ากับ 15.45±3.73 และ 12.77±5.84 ตามลำดับ และมีค่า hue angle เท่ากับ 119.28±3.75 และ 109.59±18.66 องศา ตามลำดับ (ตารางที่ 8) และตลอดอายุการเก็บรักษา ค่า L*, ค่า chroma และค่า hue angle ของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กะเพราแดงทุกการทดลองมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง โดยที่ค่า L* ของกะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ และกะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต มีค่าอยู่ในช่วง 44.36-49.48 ส่วนค่า chroma มีค่าอยู่ในช่วง 12.77-15.66 และค่า hue angle มีค่าอยู่ในช่วง 109.38-121.03 (ภาพที่ 29-31 และตารางภาคผนวกที่ 16-18) เช่นเดียวกับผลิตผลอีกหลายชนิดที่เมื่อนำมาเก็บรักษาแล้วมีแนวโน้มของค่า L*, ค่า chroma และค่า hue angle ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เช่น มันแกว (*Pachyrhiruz erosus* L.) ที่เก็บรักษาที่ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน (Cantwell *et al*., 2002) กะหล่ำปมตัดแต่งพร้อมบริโภค (*Brassica oleracea* L. gongylodes group) ที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (Escalona *et al*., 2006) และมะเขือเทศตัดแต่งพร้อมบริโภคที่เก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน (Odriozola-Serrana *et al*., 2008)

การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของใบกะเพราแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกะเพราแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ มีค่า L* เท่ากับ 46.56±3.87 และ 45.66±3.05 ตามลำดับ ส่วน chroma มีค่าเท่ากับ 15.08±5.50 และ 13.14±4.43 ตามลำดับ และมีค่า hue angle เท่ากับ 115.36±11.33 และ 113.51±16.86 องศา ตามลำดับ และตลอดอายุการเก็บรักษา ค่า L* ค่า chroma และค่า hue angle ของกะเพราแดงทุกการทดลองมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง โดยที่ค่า L* ของกะเพราแดงที่ผ่านและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่าอยู่ในช่วง 45.13-49.80 ส่วนค่า chroma มีค่าอยู่ในช่วง 12.85-16.17 และค่า hue angle มีค่าอยู่ในช่วง 111.68-120.94 (ภาพที่ 29-31 และตารางภาคผนวกที่ 16-18) ซึ่งขัดแย้งกับงานทดลองของ Pariasca *et al.* (2001) ที่ทำการลดอุณหภูมิถั่วลันเตา (*Pisum sativum* L. var. saccharatum) ด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน พบว่ามีค่า L* ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่ค่า chroma และค่า hue angle มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์กับการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลต่อสีของใบกะเพราแดง (ตารางภาคผนวกที่ 16-18)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 8 การสูญเสียน้ำหนักสด ค่า L*, ค่า chroma และค่า hue angle ของกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 วัน

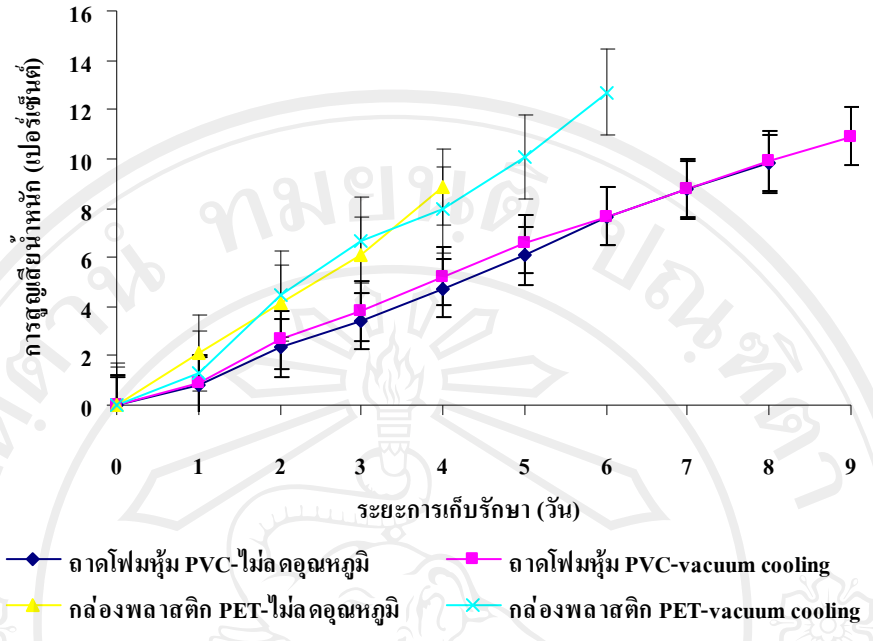
วิธีการ	การสูญเสียน้ำหนักสด (เปอร์เซ็นต์)	ค่า L*	ค่า chroma	ค่า hue angle (องศา)
ปัจจัยที่ 1 : บรรจุภัณฑ์				
ถาดโฟมหุ้ม PVC	4.99±0.85[b]	47.87±2.60[a]	15.45±3.73	119.28±3.75
กล่องพลาสติก PET	8.41±1.82[a]	44.36±3.33[b]	12.77±5.84	109.59±18.66
ปัจจัยที่ 2 : การลดอุณหภูมิ				
ไม่ลดอุณหภูมิ	6.82±2.63	45.66±3.05	13.14±4.43	113.51±16.86
vacuum cooling	6.59±1.89	46.56±3.87	15.08±5.50	115.36±11.33
ปัจจัยที่ 1	*	*	ns	ns
ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns	ns
ปัจจัยที่ 1x2	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

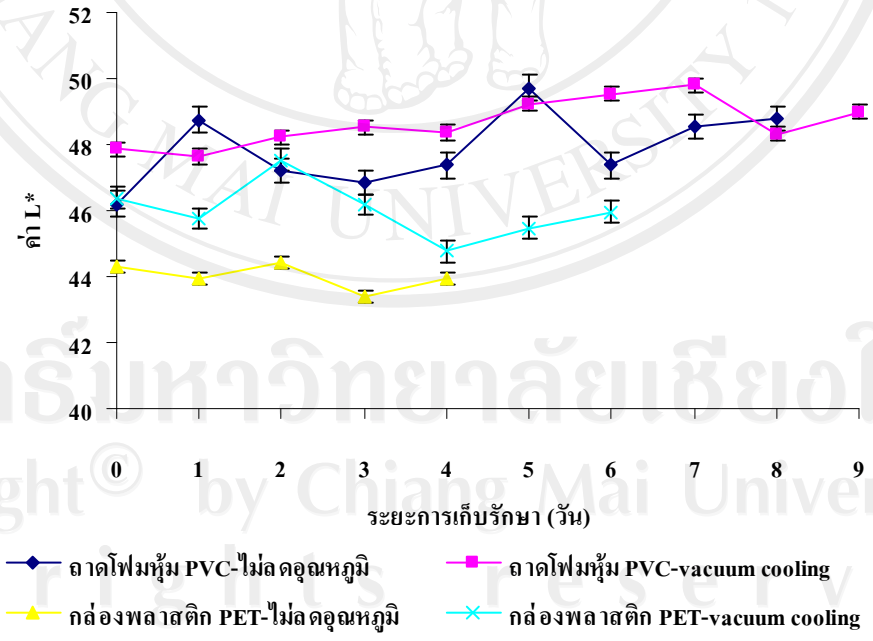
* คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

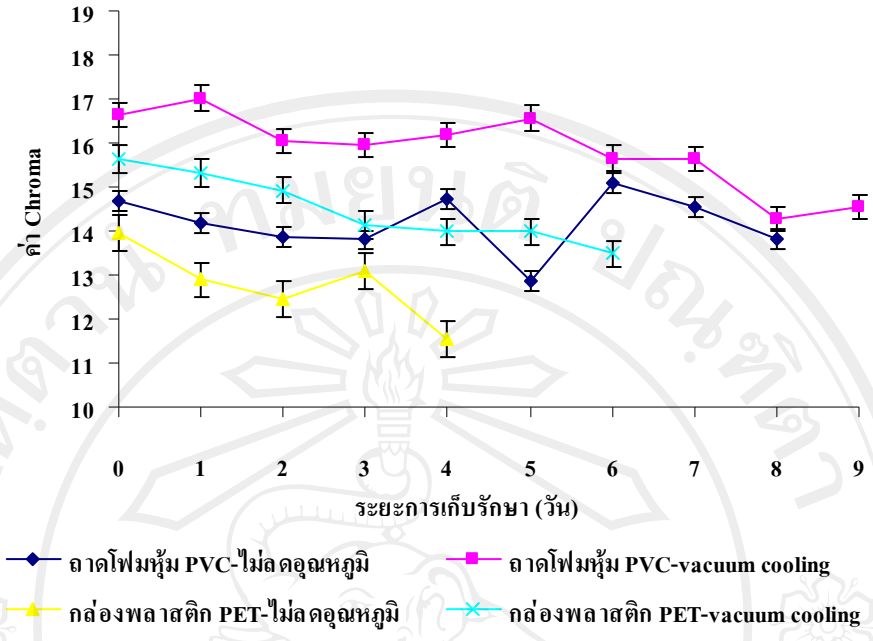


ภาพที่ 28 การสูญเสียน้ำหนักสดของกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน

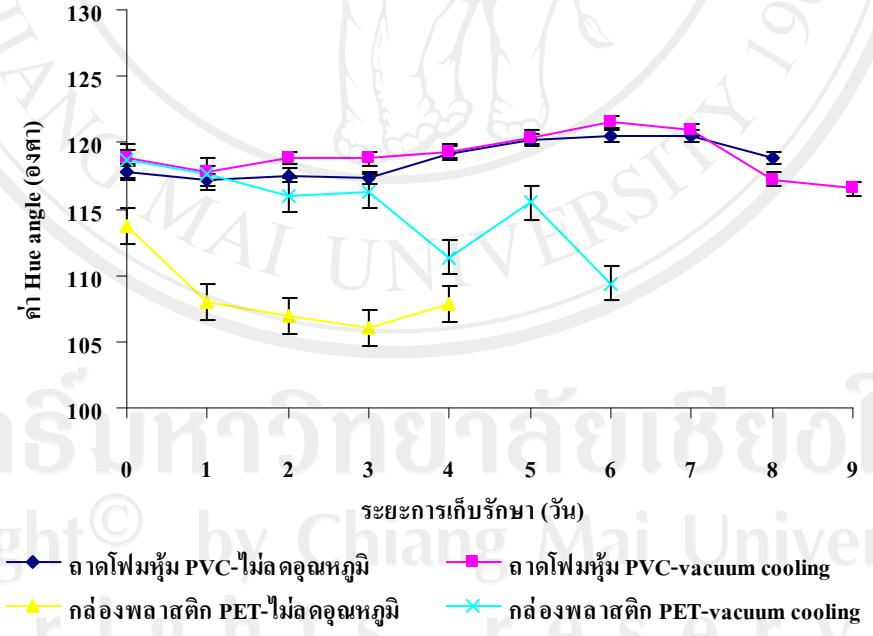


ภาพที่ 29 ค่า L* ของใบกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 30 ค่า chroma ของใบกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน



ภาพที่ 31 ค่า hue angle ของใบกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.3 ปริมาณวิตามินซี

การลดอุณหภูมิกะเพราแดงด้วยระบบสุญญากาศแล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน 4 วัน พบว่า กะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ และกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตมีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 29.58±9.17 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด และกะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 20.71±7.25 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 9) ตลอดอายุการเก็บรักษา กะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์มีแนวโน้มของปริมาณวิตามินซีที่สูงกว่ากะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต สอดคล้องกับการรายงานของ Odriozola-Serrano *et al.* (2008) ที่พบว่า การเก็บรักษามะเขือเทศตัดแต่งพร้อมบริโภคภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงร่วมกับอุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการสูญเสียปริมาณวิตามินซีได้ และปริมาณวิตามินซีมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 32 และตารางภาคผนวกที่ 19)

การลดอุณหภูมิกะเพราแดงด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซีของกะเพราแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกะเพราแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 26.63±9.72 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด และกะเพราแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีปริมาณวิตามินซี เท่ากับ 23.67±9.17 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 9) และตลอดอายุการเก็บรักษากะเพราแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีแนวโน้มของปริมาณวิตามินซีที่ต่ำกว่ากะเพราแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ซึ่งขัดแย้งกับงานทดลองของ Pariasca *et el.* (2001) ทำการศึกษาอิทธิพลของบรรจุภัณฑ์และการลดอุณหภูมิต่อคุณภาพของถั่วลันเตา โดยนำถั่วลันเตามาผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงด้วยบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า ถั่วลันเตาที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าถั่วลันเตาที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่กรรณิการ์ (2551) ได้ศึกษาถึงผลของการลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลันโดยวิธีผ่านอากาศเย็นต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสตรอเบอรี่พันธุ์ 329 พบว่าปริมาณวิตามินซีของผลสตรอเบอรี่ที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าสตรอเบอรี่ไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ทั้งนี้อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์กับการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน และหลังจากที่นำกะเพราแดงมาเก็บรักษา ปริมาณวิตามินซีของกะเพราแดงมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 32 และตารางภาคผนวกที่ 19) ทั้งชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของบรรจุภัณฑ์และการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซีของกะเพราแดง แต่กะเพราแดงที่เก็บรักษานานขึ้นปริมาณวิตามินซีจะมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณวิตามินซีของผลิตผลจะลดลงตามอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น อุณหภูมิที่สูงขึ้น และความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำลง เช่นเดียวกับผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศเมื่อนำไปเก็บรักษาในห้องเย็น พบว่า ปริมาณวิตามินซีมีปริมาณลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา (He *et al.,* 2004) นอกจากนั้นการได้รับความเสียหายทางด้านกายภาพ การเกิดอาการสะท้านหนาว ปัจจัยก่อนการเก็บเกี่ยวหลายๆปัจจัย และระบบการผลิตยังมีผลต่อปริมาณวิตามินซีในผลิตผลด้วย (Lee and Kader, 2000) มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับการลดลงของปริมาณวิตามินซีในระหว่างการเก็บรักษาในผลิตผลหลายชนิด เช่น ร็อกเกตสลัด (Martínez-Sánchez *et al*., 2006) กะหล่ำปลี (Wu *et al*., 2009) บรอคโคลี่ (Leja *et al*., 2001; ปรัศนีย์, 2551) คะน้าใบหยิก (Hagen *et al*., 2009) อาร์ติโช๊ค (Gil-Izquierdo *et al*., 2001) ในขณะที่ Toor and Savage (2006) ศึกษาการเก็บรักษามะเขือเทศที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า มะเขือเทศมีปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา

4.3.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์

เมื่อเก็บรักษากะเพราแดงไว้ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 วัน พบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีของกะเพราอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี เท่ากับ 0.250±0.036 และ 0.136±0.037 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีของกะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต ที่มีปริมาณเท่ากับ 0.175±0.032 และ 0.092±0.014 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 9) นอกจากนี้ชนิดของบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกะเพราแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเท่ากับ 0.385±0.072 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด และกะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเท่ากับ 0.268±0.046 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด (ภาพที่ 33-35 และตารางภาคผนวกที่ 20-22)

การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ของกะเพราแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศมีปริมาณเท่ากับ 0.184±0.039 และ 0.092±0.012 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คลอโรฟิลล์บีของกะเพราแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิที่มีปริมาณเท่ากับ 0.241±0.047 และ 0.137±0.036 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 9) และการลดอุณหภูมิกะเพราแดงด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกะเพราแดง โดยที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกะเพราแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีปริมาณเท่ากับ 0.276±0.050 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกะเพราแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีปริมาณเท่ากับ 0.378±0.083 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ทั้งนี้อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์กับการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกะเพราแดงที่เก็บรักษา และปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกะเพราแดงที่เก็บรักษามีแนวโน้มลดลงเมื่อกะเพราแดงใกล้หมดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 33-35 และตารางภาคผนวกที่ 20-22)

ชนิดของบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกะเพราแดง โดยที่กะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ และในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตมีสีของใบและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกันกับการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาที่ไม่มีผลทำให้สีของใบและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกะเพราแดงเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับกะเพราแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ แต่ในระหว่างการเก็บรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ของกะเพราแดงมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในระหว่างการเกิดการวาย (senescence) หรือการเก็บรักษาของผลิตผล ปริมาณคลอโรฟิลล์จะสลายตัวไปเป็นสารที่ไม่มีสี ทำให้สีของแคโรทีนอยด์ปรากฏออกมาให้เห็น และการสูญเสียคลอโรฟิลล์ของผลิตผลนั้นเป็นสิ่งที่แสดงถึงการเสื่อมสลายที่เกิดขึ้น (จริงแท้, 2549) การป้องกันการเสื่อมสลายคลอโรฟิลล์อาจทำได้โดยการลดอุณหภูมิของผลิตผลลงและการเก็บรักษาในสภาพที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำ เพื่อป้องกันการออกซิไดซ์ที่จะเกิดขึ้น หรือการให้อยู่ในสภาพที่มีแสงสว่าง เพื่อให้มีการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ขึ้นทดแทน (ยงยุทธ, 2539) Pariasca *et el*. (2001) ได้ศึกษาอิทธิพลของบรรจุภัณฑ์และการลดอุณหภูมิต่อคุณภาพของถั่วลันเตา โดยนำถั่วลันเตามาผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงด้วยบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของถั่วลันเตา ในขณะที่การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาถั่วลันเตามีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลง เช่นเดียวกับผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ เมื่อนำไปเก็บรักษาในห้องเย็น พบว่า คลอโรฟิลล์ทั้งหมดมีปริมาณลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา (He *et al.,* 2004) Martínez-Sánchez *et al*. (2006) ทำการศึกษาคุณภาพของร็อกเกตสลัดที่ผ่านการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ล้างทำความสะอาดด้วยวิธีต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีของร็อกเกตสลัดมีปริมาณลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา เช่นเดียวกับร็อกเกตสลัดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดลดลง เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน 14 วัน (Koukounaras *et al*., 2007)

Zhuang *et al*. (1997) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่เก็บรักษาต่อคุณภาพของบรอคโคลี่ และพบว่า การเก็บรักษาบรอคโคลี่ไว้ที่อุณหภูมิสูง (23 และ 13 องศาเซลเซียส) จะทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของบรอคโคลี่สลายตัวเร็วกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (2 องศาเซลเซียส) สอดคล้องกับการศึกษาของ Ferrante and Maggiore (2007) ที่ศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ของคอร์นสลัดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน และพบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 8 วัน คอร์นสลัดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส คลอโรฟิลล์มีปริมาณลดลง 22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสลายตัวช้ากว่าคลอโรฟิลล์ของคอร์นสลัดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ที่มีปริมาณลดลงมากถึง 35 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Tulio, Jr *et al*. (2002) พบว่าการเก็บรักษาใบปอกระเจา ที่อุณหภูมิ 1 และ 8 องศาเซลเซียส จะชักนำให้ใบปอเกิดอาการสะท้านหนาว (ใบเป็นแผลจุดสีน้ำตาล) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้คลอโรฟิลล์มีปริมาณลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 9 ปริมาณวิตามินซี คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 วัน

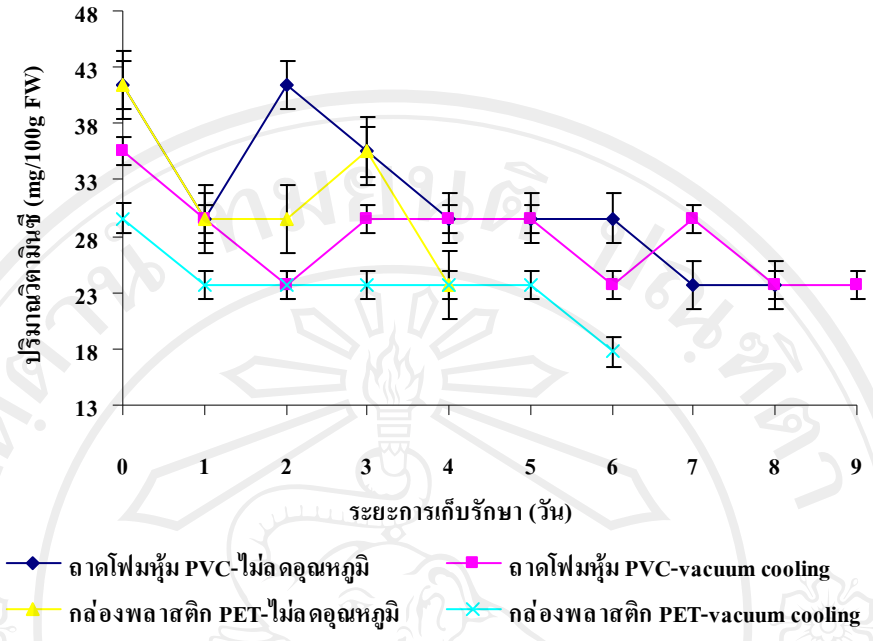
วิธีการ	วิตามินซี (มก./100 ก. น้ำหนักสด)	คลอโรฟิลล์เอ (มก./100 ก. น้ำหนักสด)	คลอโรฟิลล์บี (มก./100 ก. น้ำหนักสด)	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (มก./100 ก. น้ำหนักสด)
ปัจจัยที่ 1 : บรรจุภัณฑ์				
ถาดโฟมหุ้ม PVC	29.58±9.17	0.250±0.036[a]	0.136±0.037[a]	0.385±0.072
กล่องพลาสติก PET	20.71±7.25	0.175±0.032[b]	0.092±0.014[b]	0.268±0.046
ปัจจัยที่ 2 : การลดอุณหภูมิ				
ไม่ลดอุณหภูมิ	23.67±9.17	0.241±0.047[a]	0.137±0.036[a]	0.378±0.083
vacuum cooling	26.63±9.72	0.184±0.039[b]	0.092±0.012[b]	0.276±0.050
ปัจจัยที่ 1	ns	*	*	ns
ปัจจัยที่ 2	ns	*	*	ns
ปัจจัยที่ 1x2	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

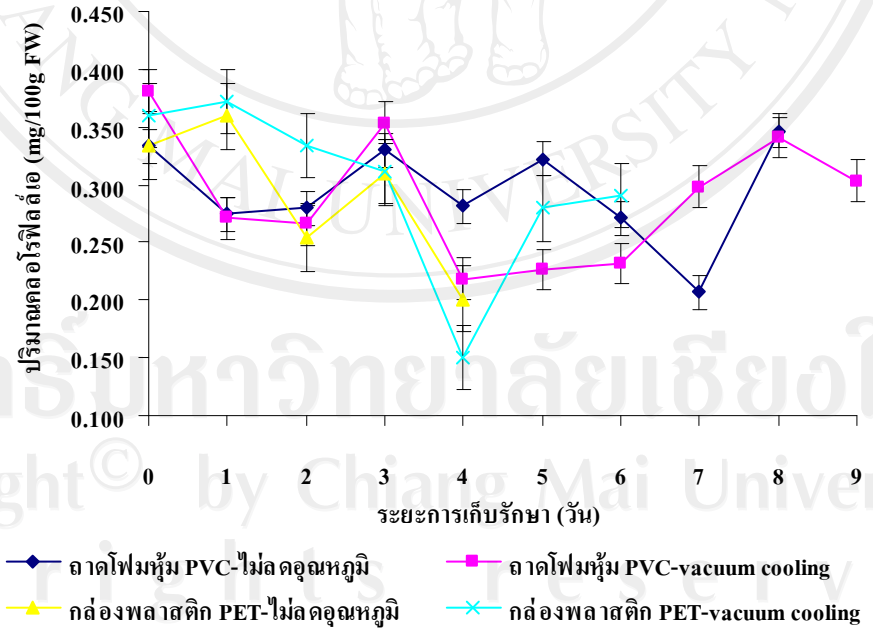
* คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

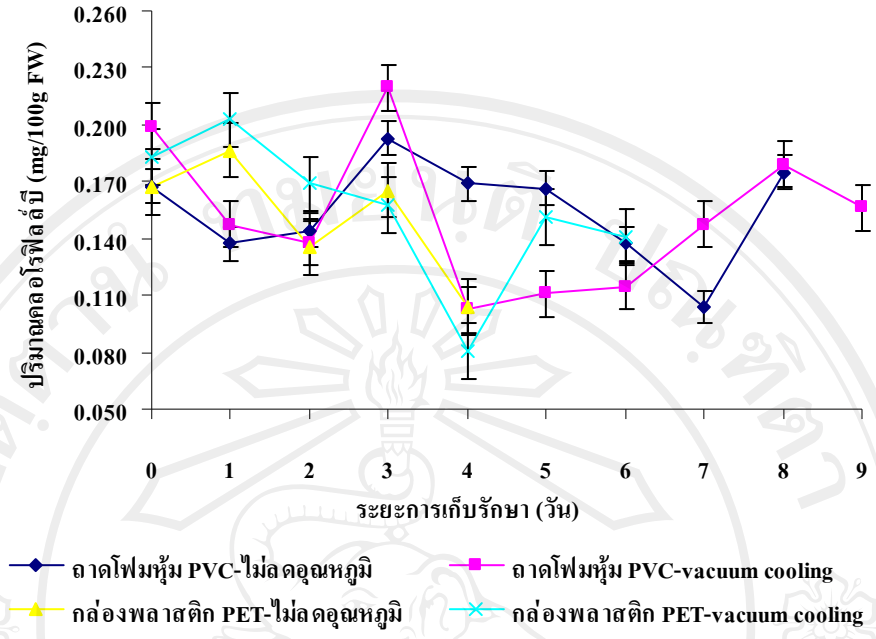


ภาพที่ 32 ปริมาณวิตามินซีของกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน

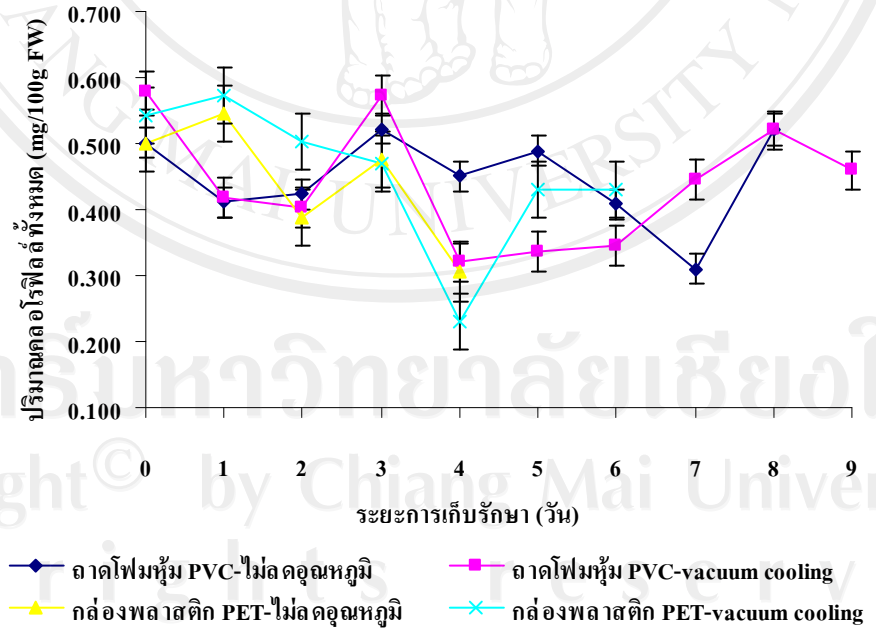


ภาพที่ 33 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 34 ปริมาณคลอโรฟิลล์บีของกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน



ภาพที่ 35 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.5 ปริมาณสารประกอบฟีนอล

การลดอุณหภูมิกะเพราแดงด้วยระบบสุญญากาศแล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 วัน พบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลของกะเพราแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลน้อยกว่ากะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต ซึ่งกะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิล-คลอไรด์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 56.74±5.60 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลของกะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต ที่มีค่าเท่ากับ 62.41±8.16 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 10) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา กะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลต่ำกว่ากะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (ตารางภาคผนวกที่ 23) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Leja *et al.* (2001) ที่เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลของบรอคโคลี่ที่ห่อด้วยฟิล์มโพลีเมอริก (polymeric film) กับไม่ได้หุ้ม และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลของบรอคโคลี่ที่ไม่ได้ห่อด้วยฟิล์มโพลีเมอริกมีปริมาณสูงกว่าสารประกอบฟีนอลของบรอคโคลี่ที่ห่อด้วยฟิล์มโพลีเมอริค และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลของกะเพราแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกะเพราแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 55.65±6.98 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณต่ำกว่ากะเพราแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 63.50±5.75 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 10) และตลอดอายุการเก็บรักษากะเพราแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีแนวโน้มของสารประกอบฟีนอลสูงกว่ากะเพราแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิ อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์กับการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลของกะเพราแดง และปริมาณสารประกอบฟีนอลของกะเพราแดงจะลดลงในช่วงแรกของการเก็บรักษา แล้วหลังจากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 36 และตารางภาคผนวกที่ 23) สอดคล้องกับ Turkmen *et al.* (2005) ที่พบว่า ผักบางชนิด เช่น บรอคโคลี่ พริกหวาน ปวยเหล็ง และถั่วมีปริมาณสารประกอบฟีนอลที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา เช่นเดียวกับ มันแกวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษานาน 14 วัน (Cantwell *et al.*, 2002) และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารประกอบฟีนอลจัดเป็นสารที่สนับสนุนกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าวิตามินซีและแคโรทีนอยด์ เนื่องจากกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระแสดงความสัมพันธ์ที่ดีมากกับปริมาณสารประกอบฟีนอล (r^2 = 0.96 และ 0.92 วิเคราะห์โดยวิธี ORAC และ DPPH ตามลำดับ) ดังนั้นสารประกอบฟีนอลจึงเป็นสารที่สนับสนุนกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ (Kanjana *et al*., 2006)

ผักและผลไม้ถือว่าเป็นแหล่งของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น วิตามินซี วิตามินอี และเบตาแคโรทีน จะช่วยป้องกันโรคต่างๆ นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลซึ่งเป็นกลุ่มสารที่พบในพืชทุกชนิดนั้นยังมีฤทธิ์ในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีเช่นเดียวกัน (นฤภัทรและคณะ, 2007) ในการศึกษาครั้งนี้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลของกะเพราแดงที่วิเคราะห์ได้ มีค่าอยู่ในช่วง 27.13-79.69 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่ามากกว่าปริมาณสารประกอบ ฟีนอลที่ Juliani and Simon (2002) และ Wiwat and Wallaya (2007) วิเคราะห์ได้ คือเท่ากับ 5110 ไมโครกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง และ 2650 ไมโครกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

4.3.6 กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

การลดอุณหภูมิกะเพราแดงด้วยระบบสุญญากาศแล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 วัน พบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะเพราแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์มีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 17.79±2.12 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่ามากกว่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่มีค่าเท่ากับ 14.45±1.58 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 10) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา กะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์มีแนวโน้มของกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากที่สุดจนถึงวันที่ 8 ของการเก็บรักษา และจะลดต่ำลงเมื่อกะเพราหมดอายุการเก็บรักษา และมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระที่ต่ำกว่ากะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (ตารางภาคผนวกที่ 24)

การลดอุณหภูมิกะเพราด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลต่อกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกะเพราแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่ากะเพราแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ซึ่งกะเพราแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษามีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 15.40±2.86 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะเพราแดง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิที่มีค่าเท่ากับ 16.83±1.94 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 10) การลดอุณหภูมิกะเพราแดงด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาทำให้กะเพราแดงมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่ากะเพราแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ทั้งนี้อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์กับการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลต่อกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะเพราแดง และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะเพราแดงจะลดลงในช่วงแรกของการเก็บรักษา แล้วหลังจากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อกะเพราแดงใกล้หมดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 37 และตารางภาคผนวกที่ 24) เช่นเดียวกับมะเขือเทศ (Javanmardi and Kubota, 2006; Toor and Savage, 2006) และมันเทศ (Padda and Picha, 2008) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น

กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้มีค่าอยู่ในช่วง 6.54-38.26 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่ามากกว่ากิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของกะเพราที่ Juliani and Simon (2002) และ Wiwat and Wallaya (2007) วิเคราะห์ได้ คือเท่ากับ 420 ไมโครโมล AA/กรัมน้ำหนักแห้ง และ 720 ไมโครกรัม Vitamin C equivalent/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ และซึ่งกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระจะแสดงความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณสารประกอบฟีนอล (Hagen *et al*., 2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 10 ปริมาณสารประกอบฟีนอลและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 วัน

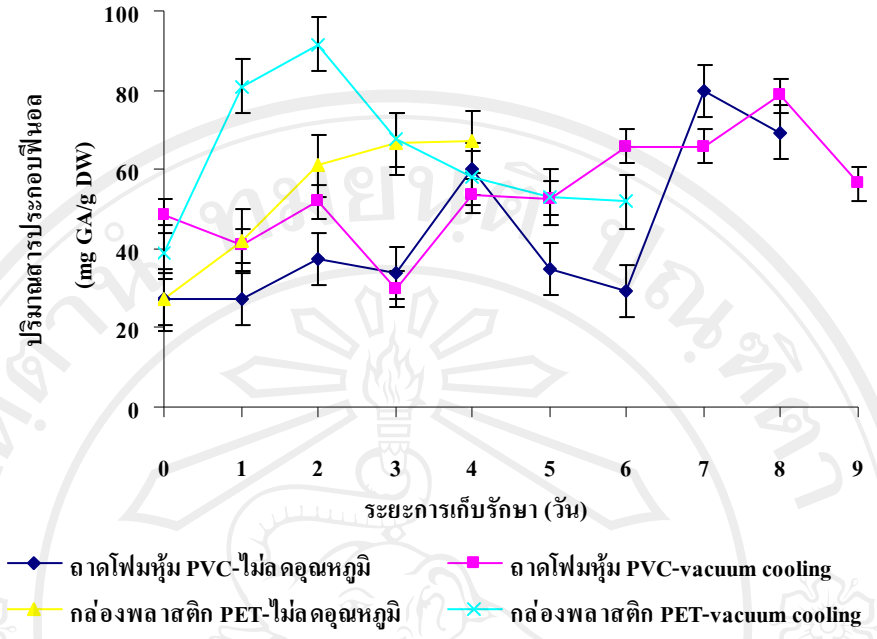
วิธีการ	ปริมาณสารประกอบฟีนอล (mg GA/g DW.)	กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (mg GA/g DW.)
ปัจจัยที่ 1 : บรรจุภัณฑ์		
ถาดโฟมหุ้ม PVC	56.74±5.60[b]	17.79±2.12[a]
กล่องพลาสติก PET	62.41±8.16[a]	14.45±1.58[b]
ปัจจัยที่ 2 : การลดอุณหภูมิ		
ไม่ลดอุณหภูมิ	63.50±5.75[a]	16.83±1.94
vacuum cooling	55.65±6.98[b]	15.40±2.86
ปัจจัยที่ 1	*	*
ปัจจัยที่ 2	*	ns
ปัจจัยที่ 1x2	ns	ns

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

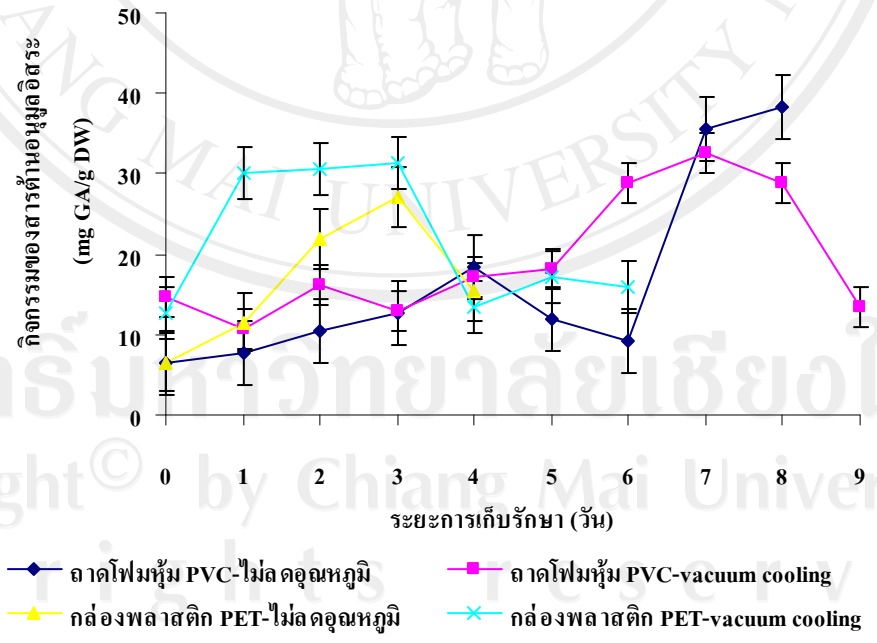
* คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 36 ปริมาณสารประกอบฟีนอลของกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน



ภาพที่ 37 กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.7 การเน่าเสีย

กะเพราแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความเสียหายที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการเหี่ยวและแห้งเป็นสีน้ำตาลของใบ โดยกะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตจะเหี่ยวและแห้งเร็วกว่ากะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ และการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาสามารถชะลอการเหี่ยวและแห้งของใบกะเพราแดงได้ (ภาพที่ 38-39)

กะเพราแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความเสียหายที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการเหี่ยวและแห้งเป็นสีน้ำตาลของใบ โดยกะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตจะเหี่ยวและแห้งเร็วกว่ากะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์เพราะกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตมีช่องว่างที่อากาศสามารถเคลื่อนที่เข้าออกภาชนะบรรจุได้ง่าย ซึ่งการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลสดนั้นส่วนหนึ่งมาจากการเคลื่อนที่ของอากาศรอบๆตัวผลิตผล ถ้ามีการเคลื่อนที่ของอากาศมากจะทำให้น้ำมีการสูญเสียออกจากตัวผลิตผลได้เร็วขึ้น ส่งผลให้กะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต แสดงอาการเหี่ยวมากกว่ากะเพราแดงที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ (นิธิยาและดนัย, 2548)

และการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาสามารถชะลอการเหี่ยวและแห้งของใบกะเพราแดงได้ เนื่องจากการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาเป็นการไล่ความร้อนที่ติดมากับผลิตผลจากสิ่งแวดล้อม และจากการหายใจ ซึ่งทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิต่ำ กระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ เกิดขึ้นช้าลง มีการสูญเสียน้ำน้อยลง และผลิตผลมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น (Thompson *et al.,* 2002) นอกจากยังมีรายงานการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาและพบว่าสามารถที่จะช่วยชะลอการเกิดสีชมพูบริเวณเส้นใบ และความเสียหายต่อใจกลางใบระหว่างการเก็บรักษาได้ (Martínez and Artés, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.8 อายุการเก็บรักษา

ชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของกะเพราแดง โดยที่กะเพราที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 8.30±0.67 วัน ซึ่งนานกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอายุการเก็บรักษาของกะเพราแดงที่บรรจุในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่มีอายุการเก็บรักษา 4.80±1.14 วัน สอดคล้องกับผลการทดลองของดนัยและพิมพ์นารา (2545) ที่พบว่า เลมอนทาย์มที่บรรจุในภาชนะบรรจุพลาสติกทรงกระบอกเจาะรู และถุงพลาสติกเจาะรูมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าเลมอนทาย์มที่บรรจุในภาชนะบรรจุพลาสติกทรงกระบอกไม่เจาะรูและถุงพลาสติกไม่เจาะรู โดยภาชนะบรรจุที่มีการเจาะรูจำนวนมากจะอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุด

การลดอุณหภูมิกะเพราแดงด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษามีผลทำให้กะเพราแดงมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกะเพราแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกะเพราแดงที่ผ่านการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษามีอายุการเก็บรักษานาน 7.30±1.64 วัน ในขณะที่กะเพราแดงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษาเพียง 5.80±2.15 วันเท่านั้น การลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาจะทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิลดต่ำลง โดยการลดอุณหภูมิหรือการทำให้ผลิตผลเย็นลงนั้นเป็นวิธีการลดอัตราการหายใจของผลิตผล โดยอาจประมาณได้ว่าถ้าอุณหภูมิของผักลดลงทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะช่วยลดอัตราการหายใจได้ประมาณ 2-4 เท่า และการเก็บรักษาผลิตผลที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยลดการสูญเสียน้ำและชะลอการเสื่อมสภาพของผลิตผลได้ แต่อุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาต้องไม่ลดลงมาต่ำกว่าอุณหภูมิที่จะทำให้เกิดการเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (นิธิยาและดนัย, 2548) Sun and Brosnan (1999) และ Brosnan and Sun (2001) ศึกษาอายุการปักแจกันของดอกแคฟโฟดิลและดอกลิลลี่ ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ พบว่า ดอกแคฟโฟดิลและดอกลิลลี่มีอายุการปักแจกันที่นานขึ้น ทั้งนี้อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์กับการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษามีผลต่ออายุการเก็บรักษาของกะเพราแดง โดยกะเพราที่บรรจุในในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ และผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษามีอายุการเก็บรักษานานถึง 10 วัน (ตารางที่ 11)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 11 อายุการเก็บรักษาของกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส

วิธีการ	อายุการเก็บรักษา (วัน)
ปัจจัยที่ 1 : บรรจุภัณฑ์	
ถาดโฟมหุ้ม PVC	8.30±0.67[a]
กล่องพลาสติก PET	4.80±1.14[b]
ปัจจัยที่ 2 : การลดอุณหภูมิ	
ไม่ลดอุณหภูมิ	5.80±2.15[b]
vacuum cooling	7.30±1.64[a]
ปัจจัยที่ 1	*
ปัจจัยที่ 2	*
ปัจจัยที่ 1x2	*

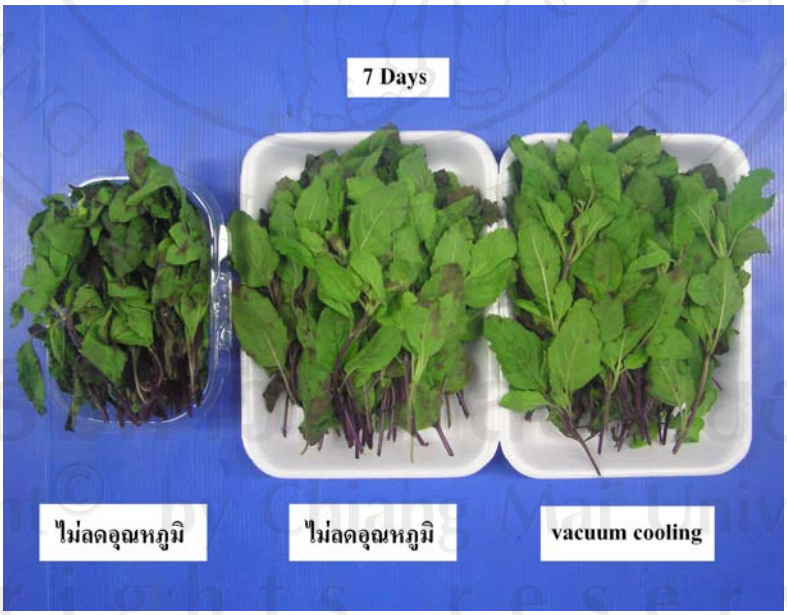
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

* คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 38 ลักษณะของกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 วัน



ภาพที่ 39 ลักษณะของกะเพราแดง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 การทดลองที่ 4 การศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของกะเพราแดงที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ

4.4.1 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์

การบรรจุกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เป็นเวลานาน 4 วัน พบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกะเพราในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุมมีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์มากที่สุด คือเท่ากับ 19.34 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กะเพราในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 มีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในถุงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีค่าเท่ากับ 15.11 และ 15.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 12) โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุมมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วง 19.19-19.38 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 มีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา จากนั้นจะเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา โดยมีค่าอยู่ในช่วง 14.64-15.70 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผักใกล้หมดอายุการเก็บรักษา ส่วนปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M2 มีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงวันที่ 2 ของการเก็บรักษา และเข้าสู่สภาวะสมดุลในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา โดยมีค่าอยู่ในช่วง 15.38-15.92 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา (ภาพที่ 40 และตารางภาคผนวกที่ 25)

ชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ โดยกะเพราในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M2 มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์เท่ากับ 2.19 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุม ที่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์เท่ากับ 1.78 และ 0.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 12) และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุมตรวจไม่พบปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะที่ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 มีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มลดลงต่ำลงจนถึงวันที่ 8 ของการเก็บรักษา แล้วมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนผักหมดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 41 และตารางภาคผนวกที่ 26)

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์จะสอดคล้องกับปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้เนื่องจากแก๊สออกซิเจนจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ ทำให้ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา จึงทำให้ในช่วงแรกของการเก็บรักษาปริมาณแก๊สออกซิเจนมีค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

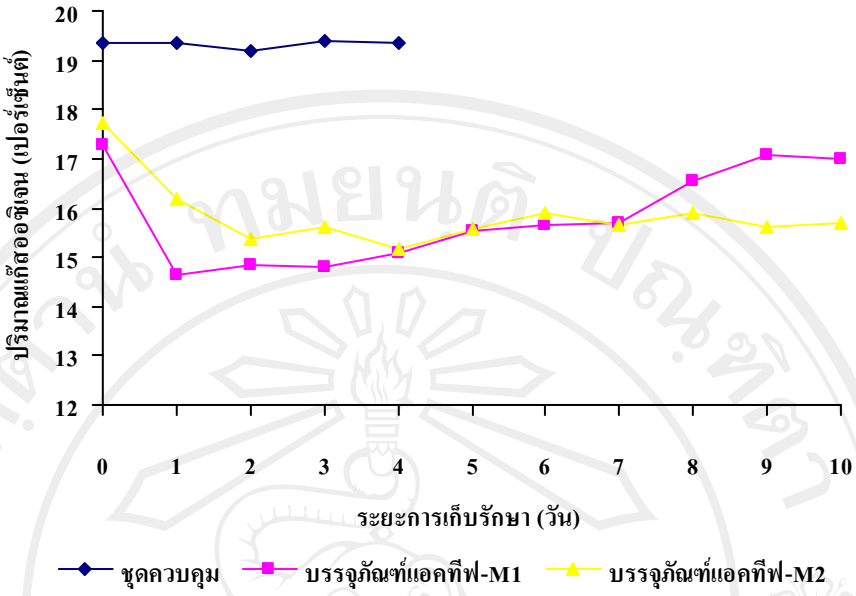
ลดลงในขณะที่ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น (อศิราและคณะ, 2550) และขณะเดียวกันบรรจุภัณฑ์แบบแอคทีฟก็จะควบคุมการซึมผ่านเข้าออกของแก๊สให้อยู่ในสภาวะสมดุลตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ทั้งนี้อัตราการซึมผ่านเข้าออกของแก๊สก็ยังขึ้นอยู่กับชนิดของฟิล์มที่นำมาใช้ทำบรรจุภัณฑ์ด้วย (Serrano *et al*., 2006) จากผลการทดลองพบว่าปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์แบบแอคทีฟทั้งชนิด M1 และ M2 มีค่าอยู่ในช่วง 14.64-17.73 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 0.94-3.92 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของกะเพราจากงานวิจัยของ Niamthong *et al*. (2007) ที่ทำการศึกษาการเก็บรักษากะเพราในบรรจุภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด คือ PE-3, PE-2 และ PE-1 ที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์อยู่ในช่วง 11-18 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 0.7-1.8 เปอร์เซ็นต์ และงานวิจัยของชวนพิศและคณะ (2548) ที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกะเพราที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่อุณหภูมิต่ำ และพบว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนไม่เจาะรูในสภาวะสมดุลที่ 13 องศาเซลเซียส มีค่าประมาณ 3.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่แก๊สออกซิเจนมีค่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 12 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของกะเพราแดงภายในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 วัน

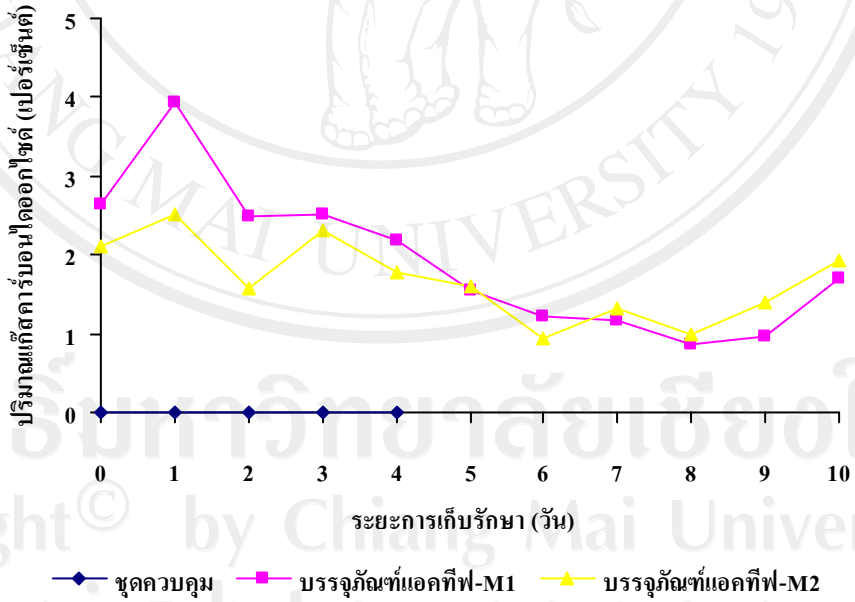
วิธีการ	ปริมาณแก๊สออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (เปอร์เซ็นต์)
ชุดควบคุม	19.34±0.05[a]	0.00±0.00[c]
บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ M1	15.11±1.95[b]	2.19±0.47[a]
บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ M2	15.18±0.77[b]	1.78±0.08[b]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 40 ปริมาณแก๊สออกซิเจนของกะเพราแดงภายในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน



ภาพที่ 41 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของกะเพราแดงภายในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.2 การสูญเสียน้ำหนักสด

การบรรจุกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เป็นเวลานาน 4 วัน พบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักสดของกะเพราแดง โดยกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุดคือเท่ากับ 3.60 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 ที่มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 0.49 และ 0.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 13) ตลอดอายุการเก็บรักษากะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุมมีการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 42 และตารางภาคผนวกที่ 27) ทั้งนี้เนื่องจากเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีการเจาะรูรอบๆ ทำให้มีช่องว่างที่อากาศสามารถเคลื่อนที่เข้าออกภาชนะบรรจุได้ง่าย จึงส่งผลให้เกิดการระเหยของน้ำเกิดขึ้นได้ง่าย ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Niamthong *et al*. (2007) ที่พบว่า กะเพราที่บรรจุในถุงเพอโฟเรทโพลีเอทิลีนมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักที่สูงกว่าถุง PE-3, PE-2 และ PE-1 ส่วนงานทดลองของชวนพิศและคณะ (2548) พบว่า ถุงโพลิเอทิลีนเจาะรูมีผลทำให้กะเพรามีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักที่สูงกว่าถุงโพลีเอทิลีนที่ปิดสนิท นอกจากนี้ปริมาณแก๊สออกซิเจนยังมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของกะเพราโดยกะเพราในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุมจะมีการสูญเสียน้ำหนักที่มากกว่ากะเพราที่บรรจุในภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลง ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บรักษาผลิตผลภายใต้สภาวะที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำกว่าปกติจะช่วยชะลอการหายใจของผลิตผล ดังนั้นจึงมีการสูญเสียน้ำซึ่งเป็นผลผลิตที่ได้จากกระบวนการหายใจลดลงไปด้วย (อมรรัตน์และคณะ, 2550) ในขณะที่กะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 มีการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 42 และตารางภาคผนวกที่ 27) บรรจุภัณฑ์แบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศมีอิทธิพลในการชะลอการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลได้ เนื่องจากคุณสมบัติของพลาสติกฟิล์มในการจำกัดการซึมผ่านเข้าออกของไอน้ำ และในทางกลับกันจะทำให้เกิดแรงดันไอน้ำภายในบรรจุภัณฑ์ที่ยิ่งสูงมากก็จะทำให้ความสามารถในการซึมผ่านของฟิล์มลดลง (Serrano *et al*., 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.3 การเปลี่ยนแปลงสี

เมื่อเก็บรักษากะเพราแดงเป็นเวลานาน 4 วัน พบว่า กะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุม บรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 มีค่า L* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่า L* ของกะเพราในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด มีค่าเท่ากับ 43.95, 44.36 และ 43.52 ตามลำดับ (ตารางที่ 13) เช่นเดียวกับดอกเห็ดที่บรรจุในพลาสติกฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ และโพลีฟินฟิล์ม 2 ชนิด (PD-941

และ PD-961) ที่มีค่า L* ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Kim *et al*., 2006) ซึ่งขัดแย้งกับงานทดลองของ Sivakumar and Korsten (2006) ที่พบว่า การบรรจุลิ้นจี่ในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ มีผลต่อค่าสีของลิ้นจี่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่า L* ของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุม บรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 มีแนวโน้มไม่คงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 43 และตารางภาคผนวกที่ 28) เช่นเดียวกับถั่วลันเตา (*Pisum sativum* L. var. *saccharatum*) ที่มีแนวโน้มของค่า L* ไม่คงที่ เมื่อเก็บรักษาภายใต้สภาพดัดแปลงบรรยากาศที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน (Pariasca *et al*., 2001)

ชนิดของบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อค่า chroma ของกะเพราแดง โดยกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุม บรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 มีค่า chroma เท่ากับ 29.21, 28.65 และ 27.92 ตามลำดับ (ตารางที่ 13) และตลอดอายุการเก็บรักษากะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุม บรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 มีแนวโน้มของค่า chroma ลดลงตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา (ภาพที่ 44 และตารางภาคผนวกที่ 29) นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาถึงอิทธิพลของบรรจุภัณฑ์ที่มีต่อค่า chroma เช่น Kim *et al*. (2004) ที่ศึกษาการบรรจุสลัดซาวอยในพลาสติกฟิล์มโพลีเอทิลีนที่มีอัตราการซึมผ่านต่างกัน 4 ระดับ (8.0, 16.6, 21.4 และ 29.5 pmol s^{-1} m^{-2} Pa^{-1}) และพบว่าความแตกต่างของอัตราการซึมผ่านของพลาสติกฟิล์มไม่มีผลต่อค่า chroma ของสลัดซาวอยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

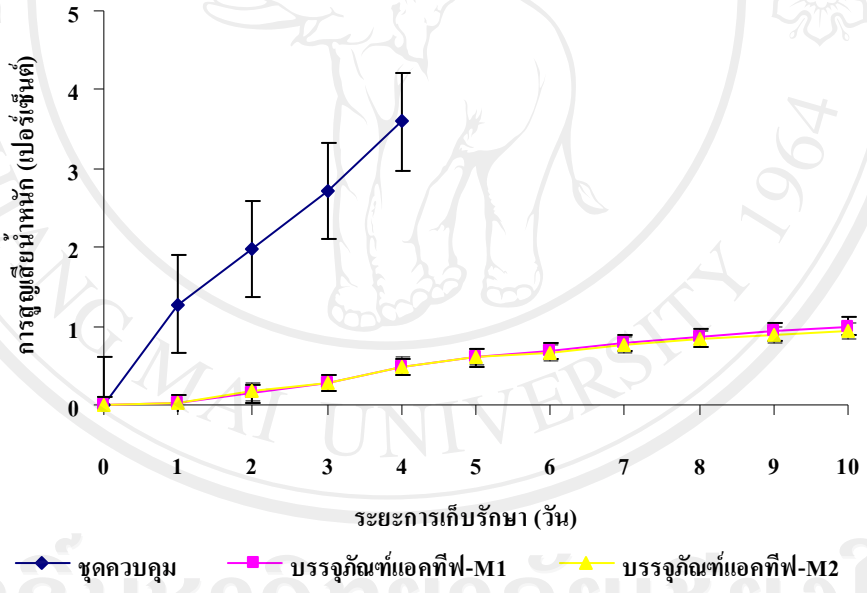
ชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุกะเพราแดงไม่มีผลต่อค่า hue angle อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุม บรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 มีค่า hue angle เท่ากับ 116.09, 115.95 และ 115.63 องศา ตามลำดับ (ตารางที่ 13) เช่นเดียวกับสลัดซาวอยที่บรรจุในพลาสติกฟิล์มโพลีเอทิลีนที่มีอัตราการซึมผ่านต่างกัน 4 ระดับ (8.0, 16.6, 21.4 และ 29.5 pmol s^{-1} m^{-2} Pa^{-1}) ที่พบว่าความแตกต่างของอัตราการซึมผ่านของพลาสติกฟิล์มไม่มีผลต่อค่า hue angle ของสลัดซาวอยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Kim *et al*., 2004) และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาค่า hue angle ของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุม บรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 มีแนวโน้มลดต่ำลงจากวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา (ภาพที่ 45 และตารางภาคผนวกที่ 30) เช่นเดียวกับหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการล้างด้วยกรรมวิธีต่างๆ กันร่วมกับการเก็บรักษาในถุงโอเรียนโพลีโพรพิลีน (OPP), เซเลอรี่ที่เก็บรักษาในถุง 2 ชนิด (low-density polyethylene, LDPE และ oriented polypropylene; OPP) และบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในพลาสติกฟิล์ม 3 ชนิด (macro-perforated; Ma-P, micro-perforated; Mi-P และ non-perforated; No-P) ที่มีค่า hue angle ลดลงตามระยะเวลาที่เก็บรักษานานขึ้น (Sothornvit and Kiatchanapibul, 2009; Gómez and Artés, 2005; Serrano *et al*., 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 13 การสูญเสียน้ำหนักสด ค่า L*, ค่า chroma และค่า hue angle ของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 วัน

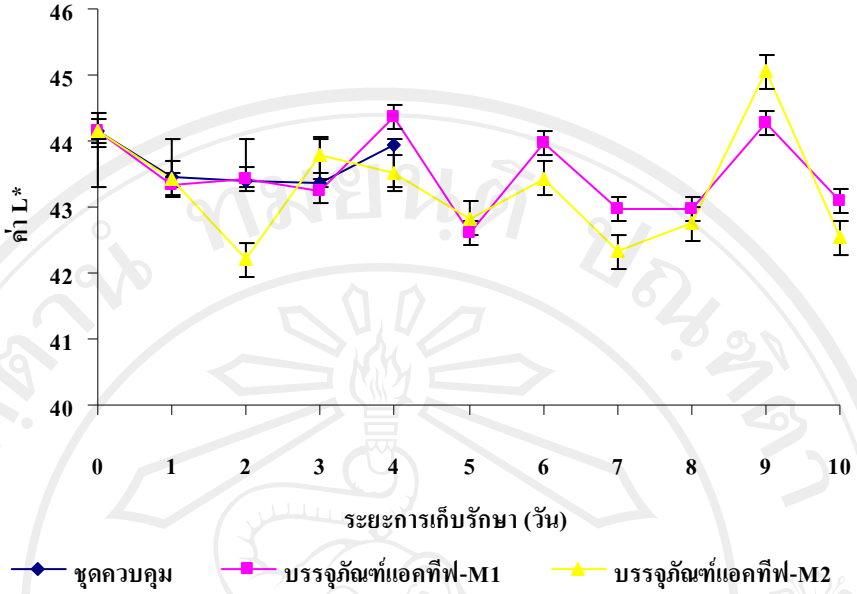
วิธีการ	การสูญเสียน้ำหนักสด (เปอร์เซ็นต์)	ค่า L*	ค่า chroma	ค่า hue angle (องศา)
ชุดควบคุม	3.60±0.73[a]	43.95±2.04	29.21±2.64	116.09±0.86
บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ M1	0.49±0.06[b]	44.36±2.80	28.65±3.04	115.95±1.24
บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ M2	0.49±0.03[b]	43.52±1.67	27.29±3.79	115.63±1.61

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

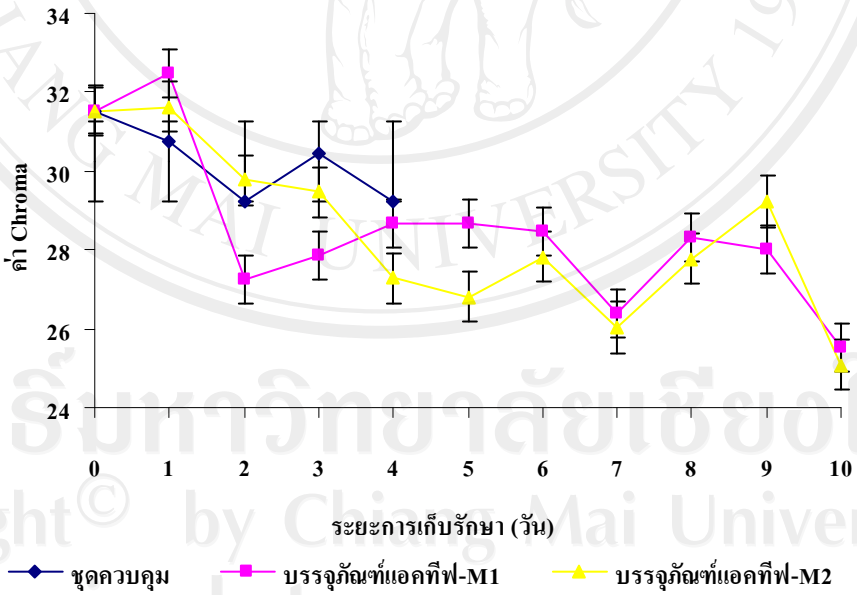


ภาพที่ 42 การสูญเสียน้ำหนักสดของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

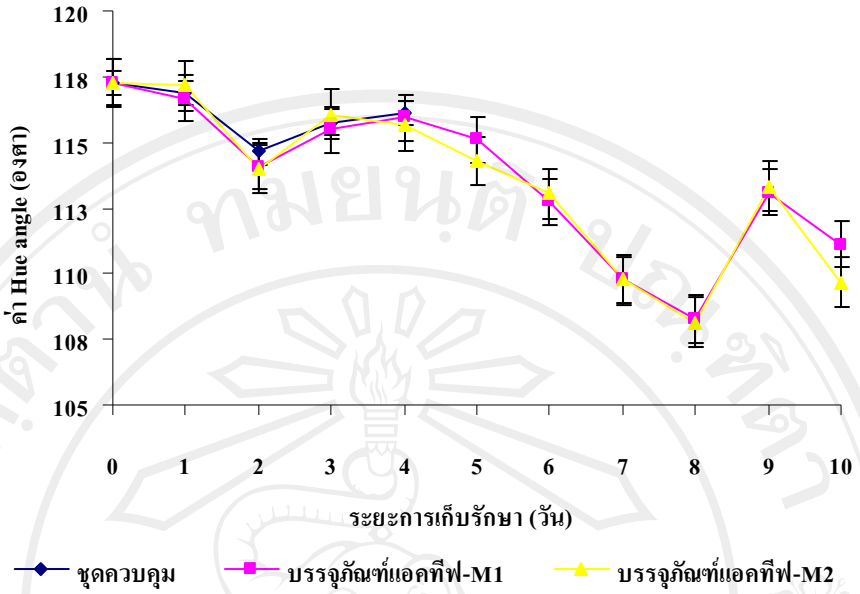


ภาพที่ 43 ค่า L* ของใบกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน



ภาพที่ 44 ค่า chroma ของใบกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 45 ค่า hue angle ของใบกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

4.4.4 ปริมาณวิตามินซี

การบรรจุกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซีตลอดอายุการเก็บรักษา โดยในวันที่ 4 ของการเก็บรักษาปริมาณวิตามินซีของกะเพราในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุม บรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 มีค่าเท่ากับ 18.52, 18.52 และ 24.69 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 14) โดยปริมาณวิตามินซีของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุม บรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 มีแนวโน้มลดต่ำลงตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 46 และตารางภาคผนวกที่ 31) สอดคล้องกับงานทดลองของ Li *et al.* (2007) ที่ศึกษาอิทธิพลของการบรรจุแบบสภาพบรรยากาศดัดแปลงร่วมกับการใช้หน้าต่างแลกเปลี่ยนแก๊สที่มีต่อดอกเห็ด (*Agrocybe chaxingu*) พบว่าปริมาณวิตามินซีของดอกเห็ดมีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และพริกหวานตัดแต่งพร้อมบริโภคที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์แบบสภาพบรรยากาศดัดแปลงและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้น ในขณะที่พริกหวานที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสมีปริมาณวิตามินซีลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (González-Aguilar *et al.*, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.5 ปริมาณคลอโรฟิลล์

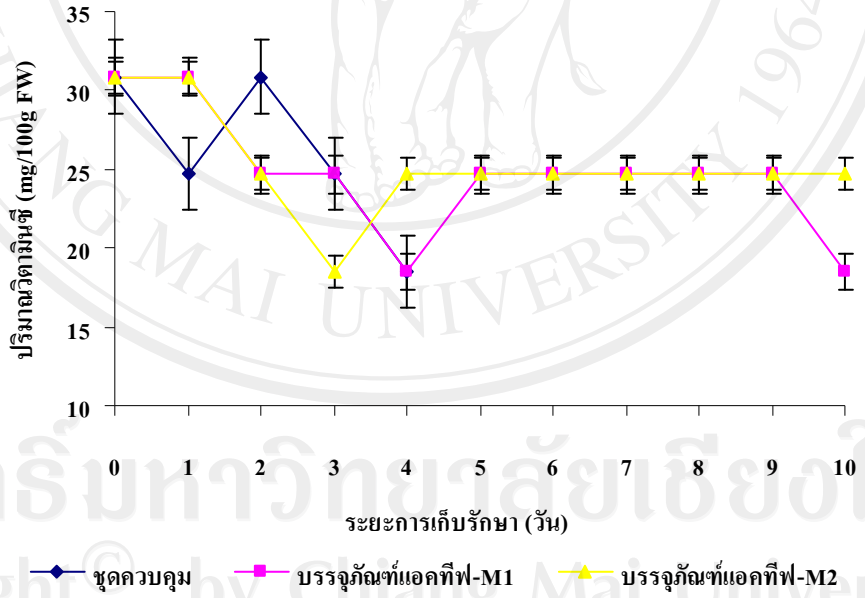
เมื่อเก็บรักษากะเพราแดงเป็นเวลานาน 4 วัน พบว่า กะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุม บรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 มีปริมาณปริมาณคลอโรฟิลล์เอไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.307, 0.308 และ 0.366 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกะเพราแดงใน บรรจุภัณฑ์ชุดควบคุม บรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีค่าเท่ากับ 0.442, 0.460 และ 0.525 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์บีของกะเพราตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งในวันที่ 4 ของการเก็บรักษากะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุม บรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 มีปริมาณคลอโรฟิลล์บี เท่ากับ 0.135, 0.152 และ 0.159 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 14) โดยตลอดอายุการเก็บรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ, คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ มีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 47-49 และตารางภาคผนวกที่ 32-34) เช่นเดียวกับ prickly pear cactus (*Opuntia* spp.) ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบสภาพบรรยากาศดัดแปลง 2 แบบ (passive และ semi-active) (Guevara *et al*., 2003) มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ, คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดที่ลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา และผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน 3 ชนิด [polyethylene PE, PE+(5%O_2+2%CO_2) และ perforated oriented polypropylene; POPP] (Lu., 2007) และบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในพลาสติกฟิล์ม 3 ชนิด (macro-perforated; Ma-P, micro-perforated; Mi-P และ non-perforated; No-P) มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดที่ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Serrano *et al*., 2006) ซึ่งขัดแย้งกับงานทดลองของ Charles *et al*. (2008) ที่ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์แบบ passive และ active ที่มีต่อคุณภาพของเอนไดว์ ซึ่งพบว่า เอนไดว์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 แบบ มีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 14 ปริมาณวิตามินซี คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 วัน

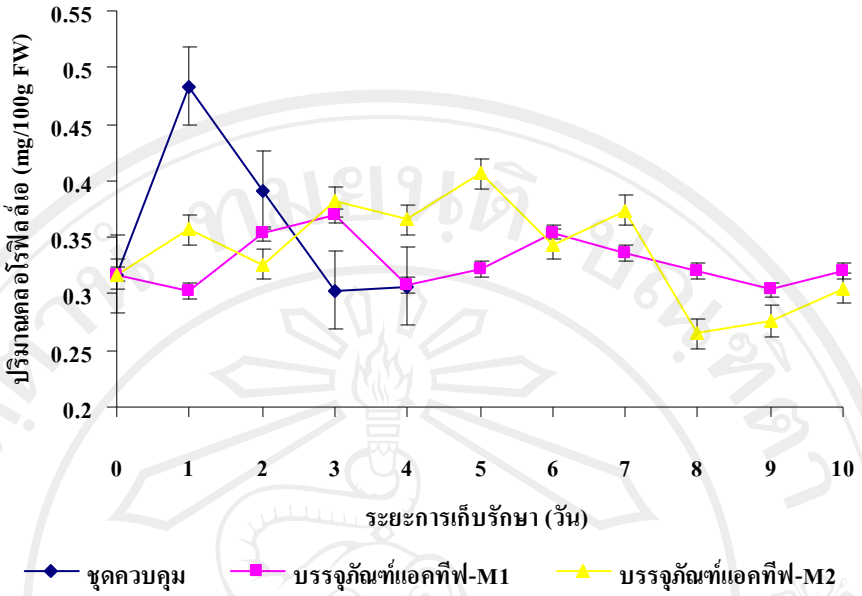
วิธีการ	วิตามินซี (มก./100 ก. น้ำหนักสด)	คลอโรฟิลล์เอ (มก./100 ก. น้ำหนักสด)	คลอโรฟิลล์บี (มก./100 ก. น้ำหนักสด)	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (มก./100 ก. น้ำหนักสด)
ชุดควบคุม	18.52±0.00	0.307±0.08	0.135±0.03	0.442±0.11
บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ M1	18.52±0.00	0.308±0.09	0.152±0.02	0.460±0.10
บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ M2	24.69±10.69	0.366±0.03	0.159±0.01	0.525±0.04

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

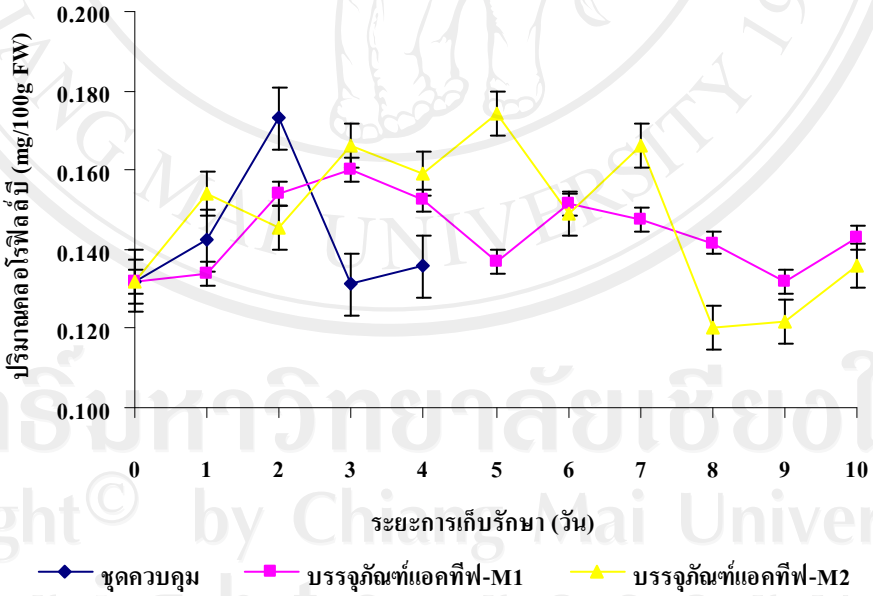


ภาพที่ 46 ปริมาณวิตามินซีของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

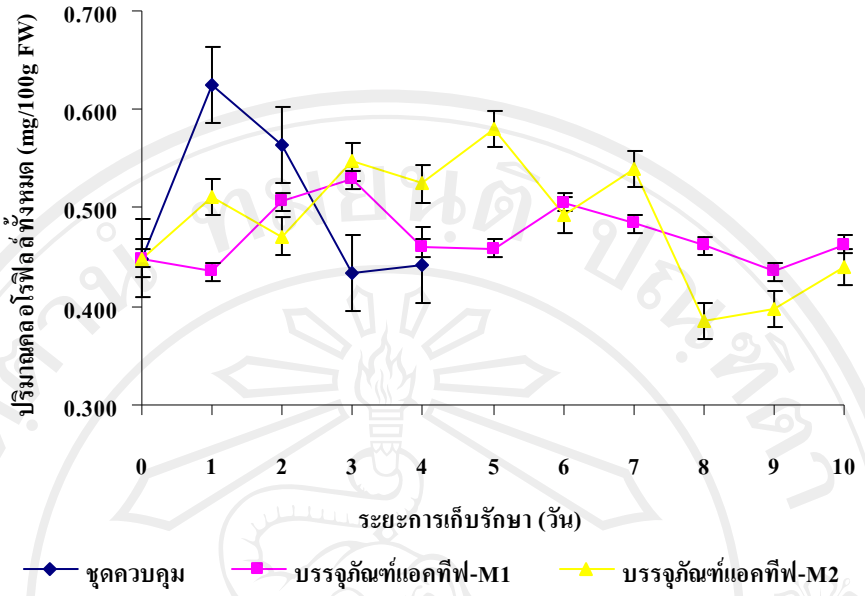


ภาพที่ 47 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน



ภาพที่ 48 ปริมาณคลอโรฟิลล์บีของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 49 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

4.4.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอล

การบรรจุกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เป็นเวลานาน 4 วัน พบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากที่สุด คือเท่ากับ 24.24 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M2 ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 21.52 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่กะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 19.73 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 15) และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย (ภาพที่ 50 และตารางภาคผนวกที่ 35) เช่นเดียวกับบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในพลาสติกฟิล์ม 3 ชนิด (macro-perforated; Ma-P, micro-perforated; Mi-P และ non-perforated; No-P) ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลงเพียงเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากบรรจุภัณฑ์แบบปรับสภาพบรรยากาศสามารถชะลอการลดลงของสารประกอบฟีนอลได้ (Serrano *et al*., 2006) ขนุนตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน 3 ชนิด (gas-flushed PE bag, silicon membrane window PET jars และ PE bags) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา (Saxena *et al*., 2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.7 กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

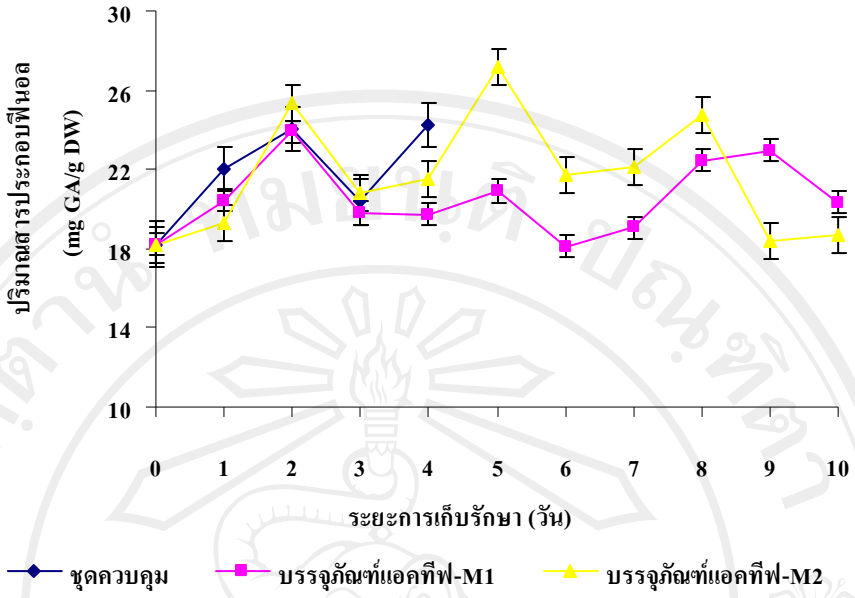
ชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะเพราแดง โดยในวันที่ 4 ของการทดลอง พบว่า กะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุมมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 7.50 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 ที่มีค่าเท่ากับ 6.45 และ 7.12 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 15) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา กะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุม บรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 มีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากที่สุดจนถึงวันที่ 3 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นมีค่าลดลงและมีการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเพียงเล็กน้อยจนกะเพราหมดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 51 และตารางภาคผนวกที่ 36) เช่นเดียวกับบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในพลาสติกฟิล์ม 3 ชนิด (macro-perforated; Ma-P, micro-perforated; Mi-P และ non-perforated; No-P) ที่มีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระที่ลดลงเพียงเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากบรรจุภัณฑ์แบบปรับสภาพบรรยากาศสามารถชะลอการลดลงของกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระได้ (Serrano *et al*., 2006) ขนุนตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน 3 ชนิด (gas-flushed PE bag, silicon membrane window PET jars และ PE bags) มีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา (Saxena *et al*., 2009)

ตารางที่ 15 ปริมาณสารประกอบฟีนอลและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 วัน

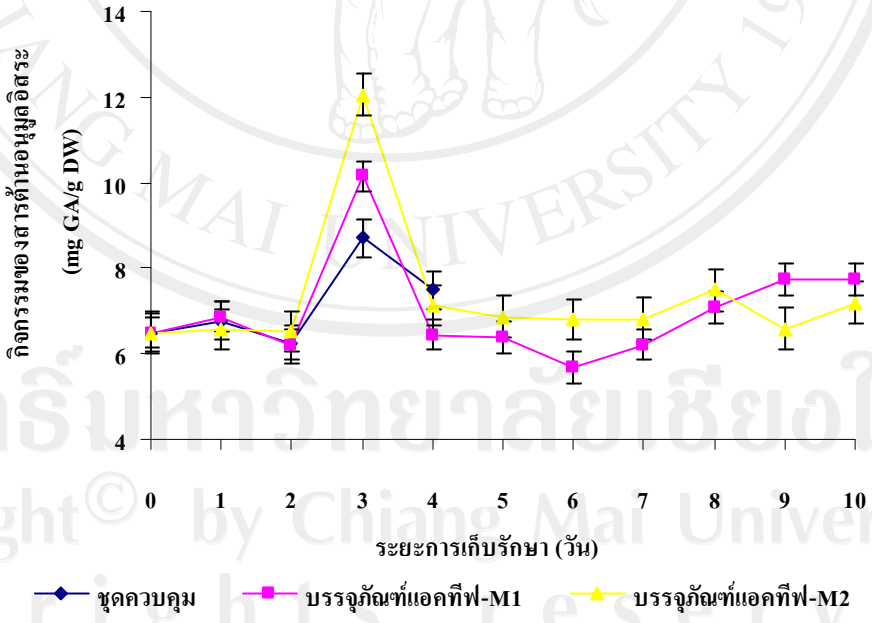
วิธีการ	ปริมาณสารประกอบฟีนอล (mg GA/g DW.)	กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (mg GA/g DW.)
ชุดควบคุม	24.24±1.23[a]	7.50±0.42[a]
บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ M1	19.73±1.69[c]	6.45±0.19[c]
บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ M2	21.52±1.27[b]	7.12±0.23[b]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 50 ปริมาณสารประกอบฟีนอลของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน



ภาพที่ 51 กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.8 การเน่าเสีย

การบรรจุกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ พบว่า กะเพราในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุม เกิดความเสียหายจากการเหี่ยวและแห้งเป็นสีน้ำตาลของใบในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 52) เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุม เป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีการเจาะรูรอบๆ ทำให้มีช่องว่างที่อากาศสามารถเคลื่อนที่เข้าออกภาชนะบรรจุได้ง่าย จึงส่งผลให้กะเพราในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุมแสดงอาการเหี่ยวมากกว่ากะเพราในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 ที่เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิท และมีคุณสมบัติในการควบคุมอัตราการซึมผ่านเข้าออกของแก๊สได้ดี จึงชะลอความเสียหายของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด สำหรับกะเพราในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 แสดงความเสียหายที่เกิดจากอาการสะท้านหนาว โดยมีอาการฉ่ำน้ำและการเกิดจุดสีน้ำตาลซึ่งจะขยายใหญ่ขึ้นเมื่อระยะเวลาในเก็บรักษานานขึ้น อาการสะท้านหนาวมักจะเกิดในใบแก่ก่อนใบอ่อน (ชวนพิศและคณะ, 2548) โดยกะเพราในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 เกิดอาการสะท้านหนาวอย่างรุนแรงจนไม่เป็นที่ยอมรับเมื่อเก็บรักษาได้ 10 วัน

(9) อายุการเก็บรักษา

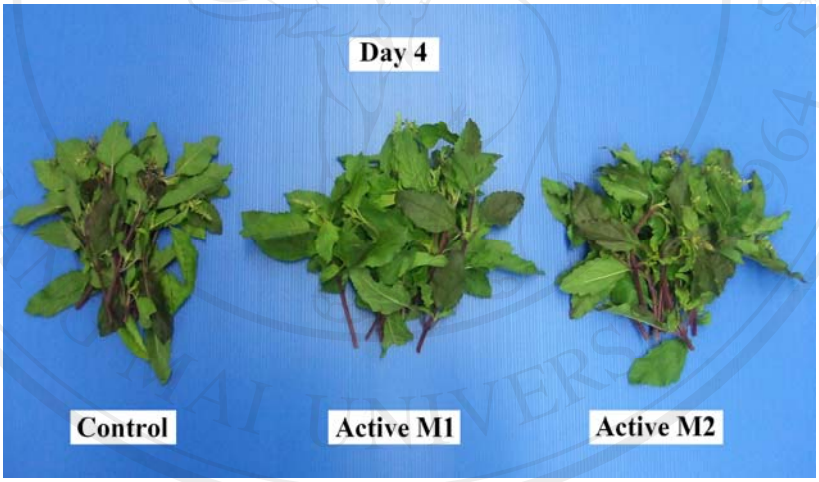
เมื่อเปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ พบว่า กะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 มีอายุการเก็บรักษานานที่สุดเท่ากัน คือ 9.80 วัน ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอายุการเก็บรักษาของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุมที่มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 3.80 วัน (ตารางที่ 16) ในขณะที่ชวนพิศและคณะ (2548) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกะเพราที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงที่อุณหภูมิต่ำ และถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนไม่เจาะรูมีอายุการเก็บรักษานาน 9 วัน มีรายงานเกี่ยวกับการนำบรรจุภัณฑ์แบบสภาพบรรยากาศดัดแปลงมายืดอายุผลิตผลให้มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น เช่น การใช้ถุง micro-perforated (45 μm, 0.01% perforation) LDPE และฟิล์ม non-perforated LDPE ในการบรรจุหน่อไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค สามารถยืดอายุการเก็บรักษาหน่อไม้ได้นานถึง 28 วัน (Kleinhenz *et al*., 2000) ขนุนตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการจุ่มด้วยแคลเซียมคลอไรด์+กรดแอสคอร์บิก+โซเดียมเบนโซเอทแล้วบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ gas-flushed PE bag, silicon membrane window PET jars และ PE bags พบว่ามีอายุการเก็บรักษานานถึง 35, 31 และ 27 วัน ตามลำดับ (Saxena *et al*., 2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 16 อายุการเก็บรักษาของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส

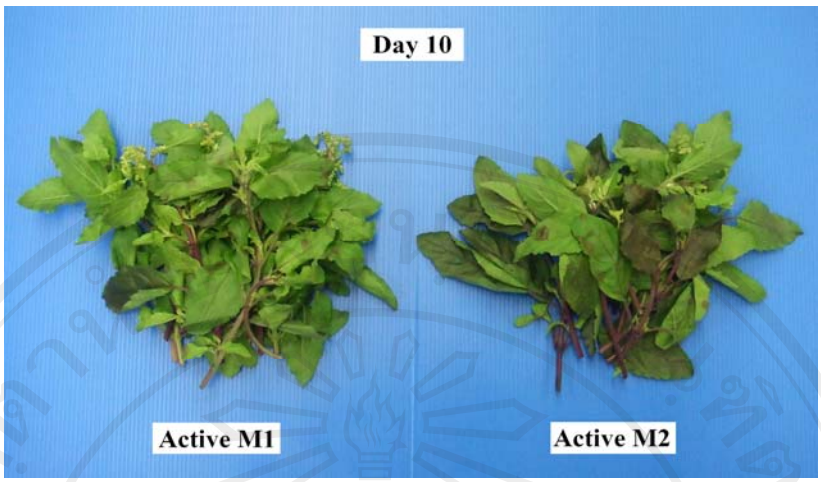
วิธีการ	อายุการเก็บรักษา (วัน)
ชุดควบคุม	3.80±0.45[b]
บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ M1	9.80±0.45[a]
บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ M2	9.80±0.45[a]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 52 ลักษณะของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 53 ลักษณะของกะเพราแดงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved