บทที่ 4
ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 : สภาวะที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิเฉียบพลันของบรอคโคลี่ โดยใช้ระบบสุญญากาศ

4.1.1 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิเฉียบพลันบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ

ตารางที่ 2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม (bleed pressure เท่ากับ 5.5 มิลลิบาร์ และ soak time เท่ากับ 25 นาที) ที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าด้วยระบบสุญญากาศ โดยบรอคโคลี่ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 17.6 องศาเซลเซียส หลังจากทำการลดอุณหภูมิแล้ว บรอคโคลี่มีอุณหภูมิสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 6.4 องศาเซลเซียส และมีการสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างกนะบวนการลดอุณหภูมิ 3.16 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3) โดยใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 35 นาที และใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิเท่ากับ 4.0 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าจำนวน 0.043 บาทต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4)

จากการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้า โดยกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศตามตารางที่ 2 พบว่า ค่า half-cooling time ของบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 16.55 นาที และค่า seven-eighths cooling time มีค่าเท่ากับ 35.10 นาที สำหรับค่า cooling coefficients ของบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 0.0672 และค่า lag factor มีค่าเท่ากับ 1.5203 แสดงว่ามีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง ทำให้สามารถลดอุณหภูมิบรอคโคลี่ให้ถึงอุณหภูมิสุดท้ายในระยะเวลา 35 นาที (ตารางที่ 5)

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิของบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าแสดงในภาพที่ 8 และ 9 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของความดันภายในห้องลดอุณหภูมิในช่วง 7 นาทีแรกความดันจะลดลงอย่างรวดเร็วจนมาอยู่ที่ประมาณ 15 มิลลิบาร์ อุณหภูมิอากาศในช่วงนี้จะลดลงช้าๆส่วนอุณหภูมิของบรอคโคลี่มีค่าคงที่ ต่อมาช่วงเวลาที่ 7-15 นาที อัตราการลดความดันในห้องลดอุณหภูมิเริ่มช้าลงส่วนอัตราการลดอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในช่วงนี้เป็นช่วงที่ความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงมาถึงความดันอิ่มตัวของอุณหภูมิเริ่มต้นของบรอคโคลี่ น้ำในบรอคโคลี่จะเริ่มระเหยกลายเป็นไอและมีอุณหภูมิลดลง จากนั้นเมื่อความดันลดลงมาอยู่ที่ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิผลิตผลที่ 5.5 มิลลิบาร์ เครื่องจะทำการรักษาระดับความดันให้คงที่เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันดังกล่าวตามระยะเวลาที่กำหนดเท่ากับ 25 นาที ซึ่งในช่วงนี้อุณหภูมิของผัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่อยๆลดลงภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิของบรรยากาศต่ำจนมาถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 6.4 องศาเซลเซียส ก่อนสิ้นสุดกระบวนการ

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศแสดงดังภาพที่ 10 พบว่า ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเริ่มลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 59.1 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเวลาผ่านไป 7 นาที เมื่อเริ่มมีการลดความดัน ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการลดความดันบรรยากาศในห้องลดอุณหภูมิเป็นการลดปริมาณอากาศที่มีความชื้นออก ทำให้ในห้องสุญญากาศมีปริมาณอากาศชื้นลดลง ส่งผลให้มีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิถูกทำให้ลดลงจนอยู่ในระดับที่คงที่ประมาณ 5.5 มิลลิบาร์ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในห้องค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 30-40 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงสุดท้ายของการลดอุณหภูมิมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น เนื่องจาก อากาศภายในห้องมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจากการระเหยน้ำในเซลล์ของบรอคโคลี่ระหว่างที่อยู่ในสภาวะที่มีความดันต่ำโดยมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายหลังจากการลดอุณหภูมิ เท่ากับ 55.6 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2 สภาวะการทำงานที่เหมาะสมในกระบวนการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศ

สภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศ	ค่าที่ทำการบันทึก
ความดันในห้องลดอุณหภูมิ (มิลลิบาร์)	5.5
เวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด (นาที)	25
เวลาที่ใช้ในการพ่นน้ำ (วินาที)	-
เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ (นาที)	35

ตารางที่ 3 สภาวะของบรอคโคลี่ก่อนและหลังการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศ

สภาวะของผลิตผล	ข้อมูลจากการทดลอง
การสูญเสียน้ำหนักสด (เปอร์เซ็นต์)	3.16
อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	17.6
อุณหภูมิสิ้นสุด (องศาเซลเซียส)	6.4

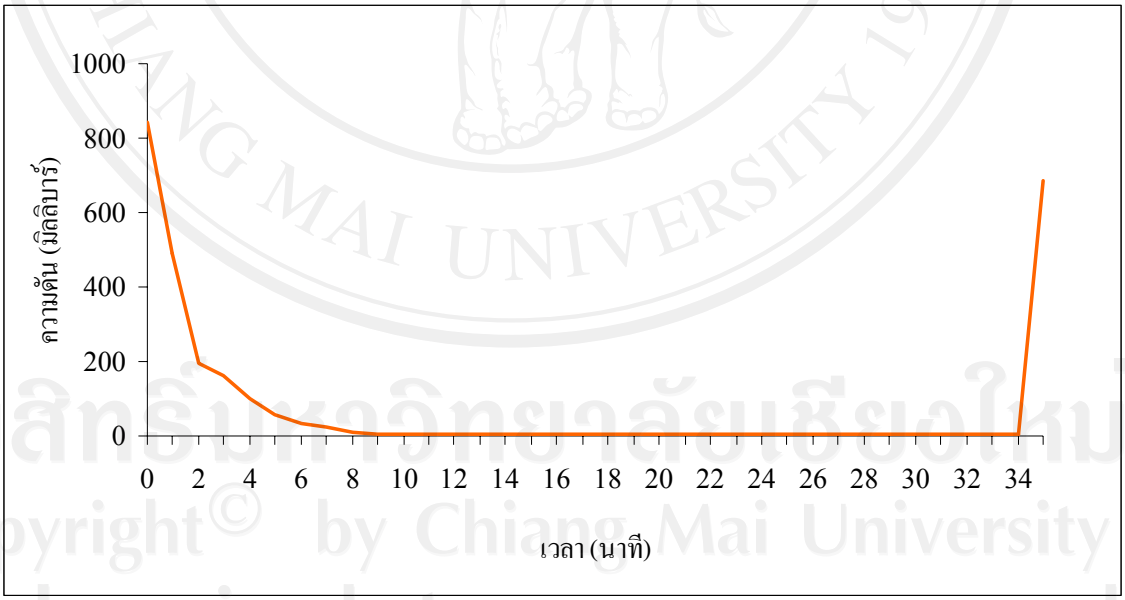
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4 ค่าพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศ

พลังงานที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิ	ข้อมูลจากการทดลอง
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	4.0
ค่าไฟฟ้า (บาท/กิโลกรัม)	0.043

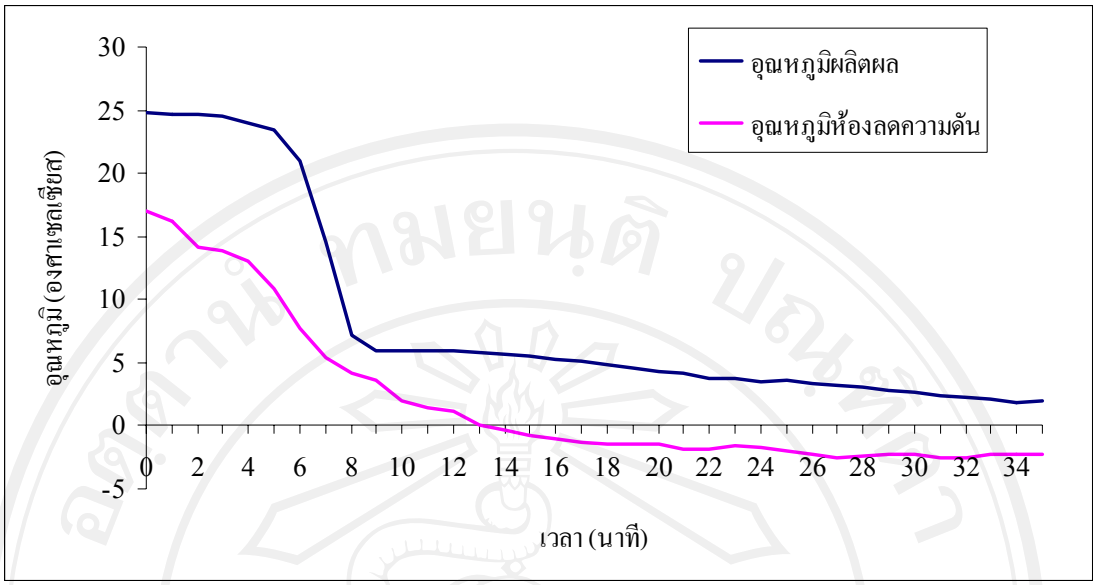
ตารางที่ 5 ค่า Cooling Parameters ในการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศ

Cooling Parameters	ค่าพารามิเตอร์
Half cooling time (Z) (นาที)	16.55
Seven-eighths cooling time (S) (นาที)	35.10
Cooling coefficient (C) (1/นาที)	0.0672
Lag factor (J)	1.5203

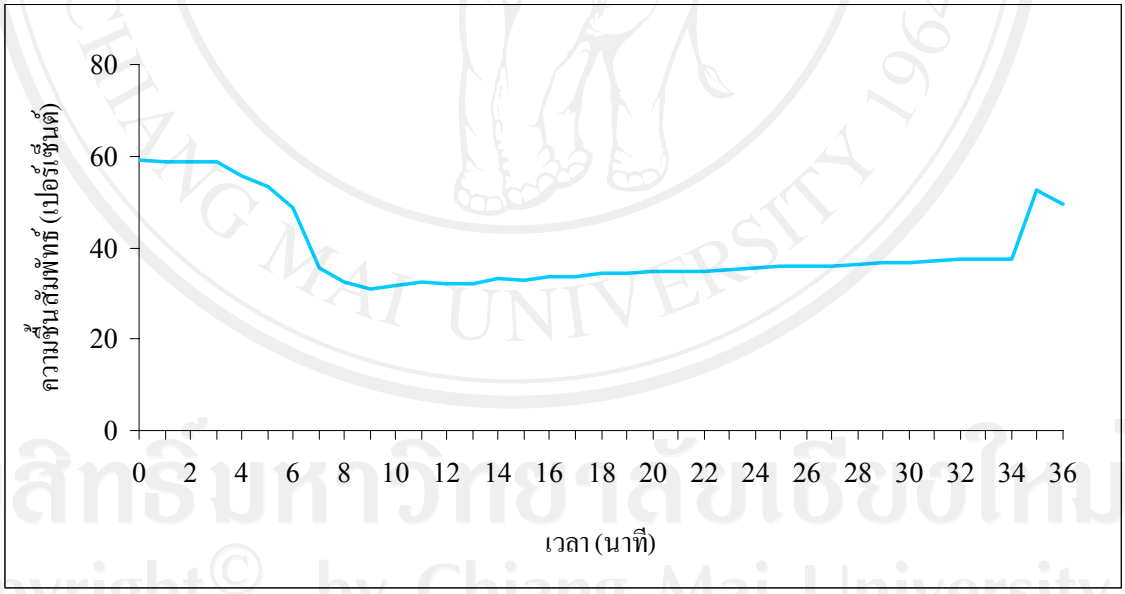


ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศ



ภาพที่ 10 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิเฉียบพลันบรอคโคลี่ที่บรรจุในตะกร้าพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

ตารางที่ 6 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม (bleed pressure เท่ากับ 5.5 มิลลิบาร์ soak time เท่ากับ 20 นาที และ water time เท่ากับ 300 วินาที) ในกระบวนการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ โดยบรอคโคลี่ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 15.76 องศาเซลเซียส หลังจากทำการลดอุณหภูมิแล้ว บรอคโคลี่มีอุณหภูมิสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 4.3 องศาเซลเซียส และมีการสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ 1.82 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 7) โดยใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 40 นาที และใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิเท่ากับ 5.2 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าจำนวน 0.055 บาทต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 8)

จากการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ โดยกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศตามตารางที่ 6 พบว่า ค่า half-cooling time ของบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 13.38 นาที และค่า seven-eighths cooling time มีค่าเท่ากับ 39.68 นาที สำหรับค่า cooling coefficients ของบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 0.0527 และค่า lag factor มีค่าเท่ากับ 1.0119 แสดงว่ามีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงทำให้สามารถลดอุณหภูมิบรอคโคลี่ให้ถึงอุณหภูมิสุดท้ายในระยะเวลา 40 นาที (ตารางที่ 9)

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเวลาและอุณหภูมิกับเวลาในการลดอุณหภูมิของบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำแสดงในภาพที่ 11 และ 12 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของความดันภายในห้องลดอุณหภูมิในช่วง 7 นาทีแรกความดันจะลดลงอย่างรวดเร็วจนมาอยู่ที่ประมาณ 15 มิลลิบาร์ อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิของบรอคโคลี่ลดลงเล็กน้อยเนื่องจากมีการพ่นละอองน้ำในห้องลดอุณหภูมิ ต่อมาช่วงเวลาที่ 7-15 นาที อัตราการลดความดันในห้องลดอุณหภูมิเริ่มช้าลงส่วนอัตราการลดอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในช่วงนี้เป็นช่วงที่ความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงมาถึงความดันอิ่มตัวของอุณหภูมิเริ่มต้นของบรอคโคลี่ น้ำในบรอคโคลี่จะเริ่มระเหยกลายเป็นไอและมีอุณหภูมิลดลง จากนั้นเมื่อความดันลดลงมาอยู่ที่ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิผลิตผลที่ 5.5 มิลลิบาร์ เครื่องจะทำการรักษาระดับความดันให้คงที่เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันดังกล่าวตามระยะเวลาที่กำหนดเท่ากับ 15 นาที ซึ่งในช่วงนี้อุณหภูมิของผักค่อยๆลดลงภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิของบรรยากาศต่ำจนมาถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 4.3 องศาเซลเซียส ก่อนสิ้นสุดกระบวนการ

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศแสดงดังภาพที่ 13 พบว่า ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเริ่มลดอุณหภูมิมีค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เท่ากับ 62.5 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเวลาผ่านไป 9 นาที เมื่อเริ่มมีการลดความดัน ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการลดความดันบรรยากาศในห้องลดอุณหภูมิเป็นการลดปริมาณอากาศที่มีความชื้นออก ทำให้ในห้องสุญญากาศมีปริมาณอากาศชื้นลดลง ส่งผลให้มีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิถูกทำให้ลดลงจนอยู่ในระดับที่คงที่ประมาณ 5.5 มิลลิบาร์ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในห้องค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 30-40 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงสุดท้ายของการลดอุณหภูมิมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น เนื่องจาก อากาศภายในห้องมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจากการระเหยน้ำในเซลล์ของบรอคโคลี่ระหว่างที่อยู่ในสภาวะที่มีความดันต่ำโดยมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายหลังจากการลดอุณหภูมิ เท่ากับ 56.1 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

สภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศ	**ค่าที่ทำการบันทึก**
ความดันในห้องลดอุณหภูมิ (มิลลิบาร์)	5.5
เวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด (นาที)	20.0
เวลาที่ใช้ในการพ่นน้ำ (วินาที)	300
เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ (นาที)	40

ตารางที่ 7 สภาวะของบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าก่อนและหลังการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

สภาวะของผลิตผล	**ข้อมูลจากการทดลอง**
การสูญเสียน้ำหนักสด (เปอร์เซ็นต์)	1.82
อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	15.76
อุณหภูมิสิ้นสุด (องศาเซลเซียส)	4.3

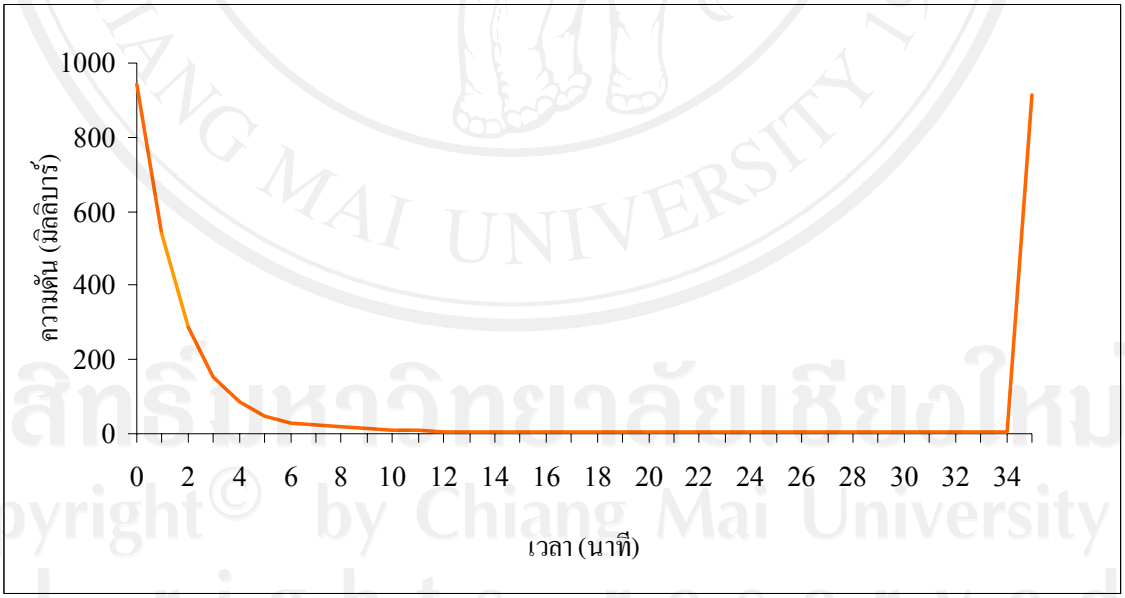
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 8 ค่าพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

พลังงานที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิ	ข้อมูลจากการทดลอง
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	5.2
ค่าไฟฟ้า (บาท/กิโลกรัม)	0.055

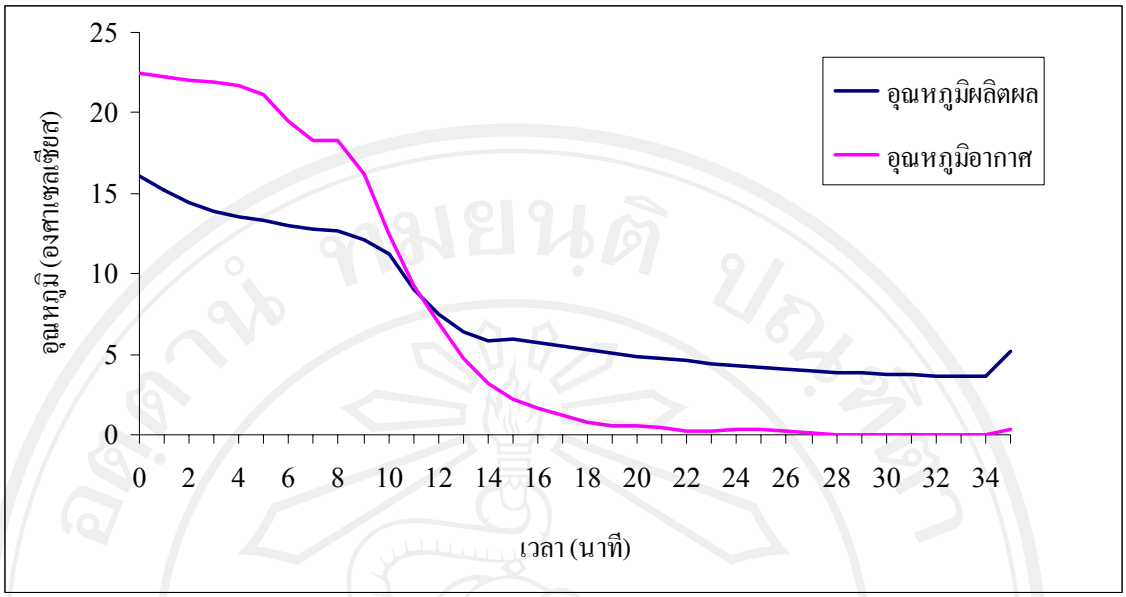
ตารางที่ 9 ค่า Cooling Parameters ในการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

Cooling Parameters	ค่าพารามิเตอร์
Half cooling time (Z) (นาที)	13.38
Seven-eighths cooling time (S) (นาที)	39.68
Cooling coefficient (C) (1/นาที)	0.0527
Lag factor (J)	1.0119

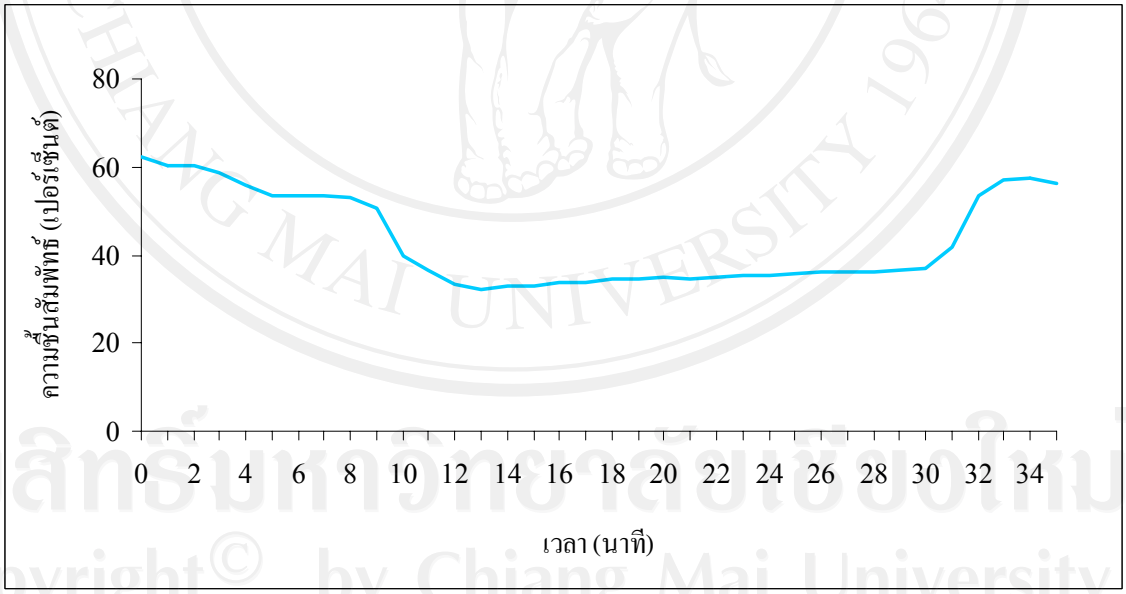


ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ



ภาพที่ 13 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.3 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิเฉียบพลันบรอคโคลี่ที่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ

ตารางที่ 10 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม (bleed pressure เท่ากับ 5.5 มิลลิบาร์ และ soak time เท่ากับ 30 นาที) ในกระบวนการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุถุงพลาสติก ด้วยระบบสุญญากาศ โดยบรอคโคลี่ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส หลังจากทำการลดอุณหภูมิแล้ว บรอคโคลี่มีอุณหภูมิสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 6.2 องศาเซลเซียส และมีการสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ 3.25 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 11) โดยใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 40 นาที และใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิเท่ากับ 5.4 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าจำนวน 0.058 บาทต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 12)

จากการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่ที่บรรจุในถุงพลาสติก โดยกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศตามตารางที่ 10 พบว่า ค่า half cooling time ของบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 6.80 นาที และค่า seven-eighths cooling time มีค่าเท่ากับ 58.34 นาที สำหรับค่า cooling coefficients ของบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 0.0269 และค่า lag factor มีค่าเท่ากับ 0.6004 แสดงว่ามีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงทำให้สามารถลดอุณหภูมิบรอคโคลี่ให้ถึงอุณหภูมิสุดท้ายในระยะเวลา 40 นาที (ตารางที่ 13)

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิของบรอคโคลี่ที่บรรจุในถุงพลาสติกแสดงในภาพที่ 14 และ 15 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของความดันภายในห้องลดอุณหภูมิในช่วง 7 นาทีแรกความดันจะลดลงอย่างรวดเร็วจนมาอยู่ที่ประมาณ 15 มิลลิบาร์ อุณหภูมิอากาศในช่วงนี้จะลดลงช้าๆ ส่วนอุณหภูมิของบรอคโคลี่มีค่าคงที่ ต่อมาช่วงเวลาที่ 7-15 นาที อัตราการลดความดันในห้องลดอุณหภูมิเริ่มช้าลงส่วนอัตราการลดอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในช่วงนี้เป็นช่วงที่ความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงมาถึงความดันอิ่มตัวของอุณหภูมิเริ่มต้นของบรอคโคลี่ น้ำในบรอคโคลี่จะเริ่มระเหยกลายเป็นไอและมีอุณหภูมิลดลง จากนั้นเมื่อความดันลดลงมาอยู่ที่ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิผลิตผลที่ 5.5 มิลลิบาร์ เครื่องจะทำการรักษาระดับความดันให้คงที่เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันดังกล่าวตามระยะเวลาที่กำหนดเท่ากับ 30 นาที ซึ่งในช่วงนี้อุณหภูมิของผักค่อยๆ ลดลงภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิของบรรยากาศต่ำจนมาถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 6.2 องศาเซลเซียส ก่อนสิ้นสุดกระบวนการ

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศแสดงภาพที่ 16 พบว่า ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเริ่มลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 63.1 % หลังจากเวลาผ่านไป 10 นาที เมื่อเริ่มมีการลดความดัน ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อากาศลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการลดความดันบรรยากาศในห้องลดอุณหภูมิเป็นการลดปริมาณอากาศที่มีความชื้นออก ทำให้ในห้องสุญญากาศมีปริมาณอากาศชื้นลดลง ส่งผลให้มีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิถูกทำให้ลดลงจนอยู่ในระดับที่คงที่ประมาณ 5.5 มิลลิบาร์ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในห้องค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 30-40 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงสุดท้ายของการลดอุณหภูมิมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น เนื่องจาก อากาศภายในห้องมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจากการระเหยน้ำในเซลล์ของบรอคโคลี่ระหว่างที่อยู่ในสภาวะที่มีความดันต่ำโดยมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายหลังจากการลดอุณหภูมิ เท่ากับ 56.1 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 10 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ

สภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศ	**ค่าที่ทำการบันทึก**
ความดันในห้องลดอุณหภูมิ (มิลลิบาร์)	5.5
เวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด (นาที)	30.0
เวลาที่ใช้ในการพ่นน้ำ (วินาที)	-
เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ (นาที)	40

ตารางที่ 11 สภาวะของบรอคโคลี่บรรจุในถุงพลาสติกก่อนและหลังการลดอุณหภูมิ

สภาวะของผลิตผล	**ข้อมูลจากการทดลอง**
การสูญเสียน้ำหนักสด (เปอร์เซ็นต์)	3.25
อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	24.5
อุณหภูมิสิ้นสุด (องศาเซลเซียส)	6.2

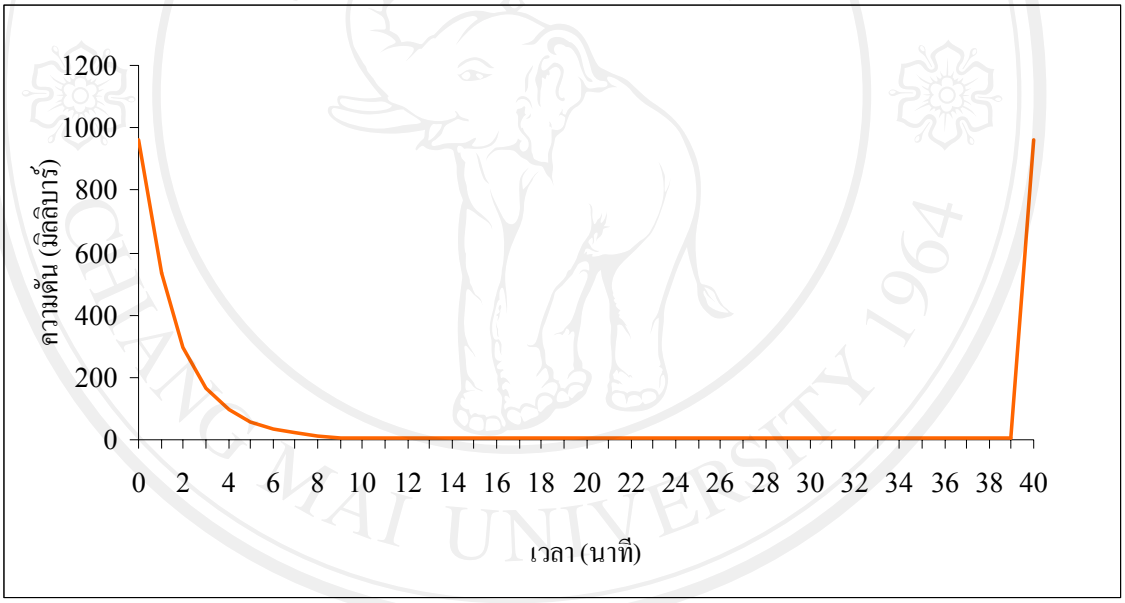
ตารางที่ 12 ค่าพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ

พลังงานที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิ	**ข้อมูลจากการทดลอง**
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	5.4
ค่าไฟฟ้า (บาท/กิโลกรัม)	0.058

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

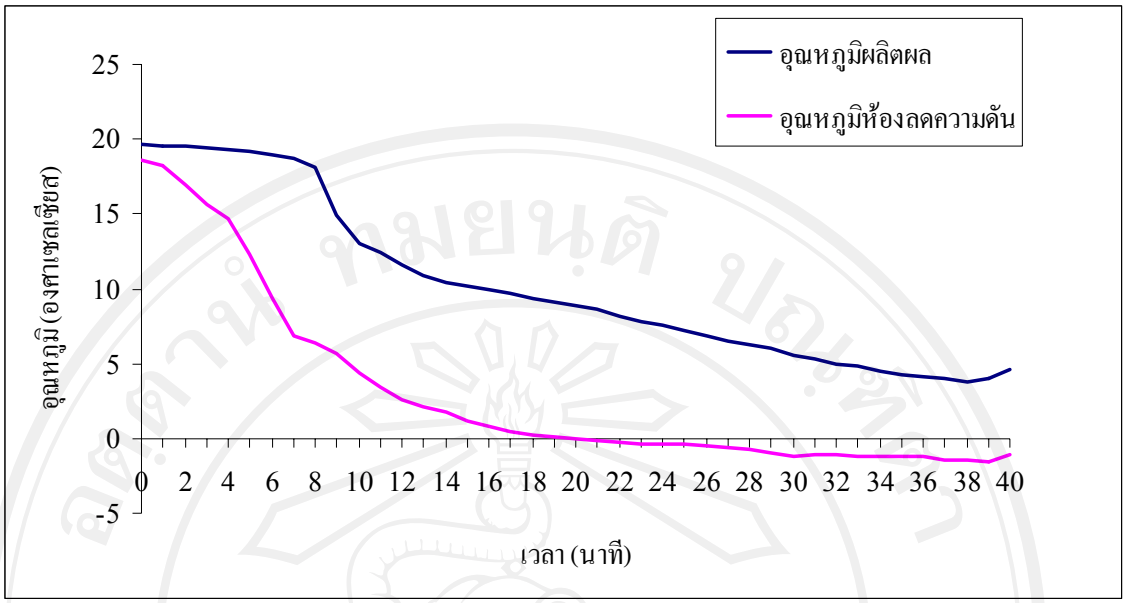
ตารางที่ 13 ค่า Cooling Parameters ในการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ

Cooling Parameters	**ค่าพารามิเตอร์**
Half cooling time (Z) (นาที)	6.80
Seven-eighths cooling time (S) (นาที)	58.34
Cooling coefficient (C) (1/นาที)	0.0269
Lag factor (J)	0.6004

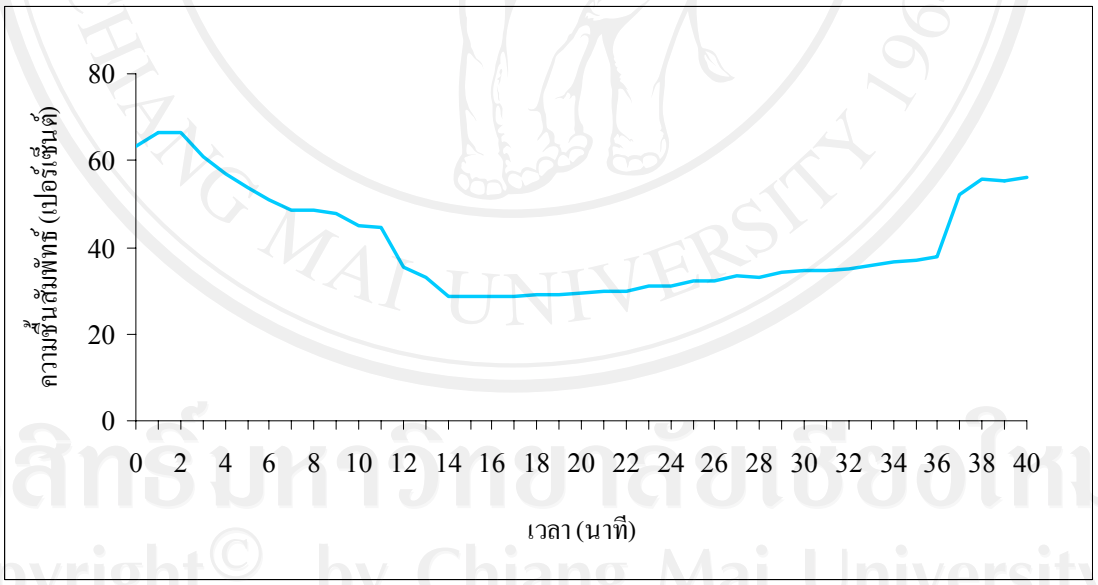


ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ



ภาพที่ 16 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.4 สภาวะที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิเฉียบพลันบรอคโคลี่ที่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

ตารางที่ 14 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม (bleed pressure เท่ากับ 5.5 มิลลิบาร์ soak time เท่ากับ 20 นาที และ water time เท่ากับ 300 วินาที) ในกระบวนการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุถุงพลาสติก ด้วยระบบสุญญากาศ โดยบรอคโคลี่ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 19.0 องศาเซลเซียส หลังจากทำการลดอุณหภูมิแล้ว บรอคโคลี่มีอุณหภูมิสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 6.6 องศาเซลเซียส และมีการสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ 1.48 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 15) โดยใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 40 นาที และใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิเท่ากับ 4.8 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าจำนวน 0.051 บาทต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 16)

จากการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่ที่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ โดยกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศตามตารางที่ 14 พบว่า ค่า half cooling time ของบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 13.86 นาที และค่า seven-eighths cooling time มีค่าเท่ากับ 67.38 นาที สำหรับค่า cooling coefficients ของบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 0.0259 และค่า lag factor มีค่าเท่ากับ 0.7159 แสดงว่ามีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงทำให้สามารถลดอุณหภูมิบรอคโคลี่ให้ถึงอุณหภูมิสุดท้ายในระยะเวลา 40 นาที (ตารางที่ 17)

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเวลาและอุณหภูมิกับเวลาในการลดอุณหภูมิของบรอคโคลี่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำแสดงในภาพที่ 17 และ 18 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของความดันภายในห้องลดอุณหภูมิในช่วง 7 นาทีแรกความดันจะลดลงอย่างรวดเร็วจนมาอยู่ที่ประมาณ 15 มิลลิบาร์ อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิของบรอคโคลี่ลดลงเล็กน้อย เนื่องจากมีการพ่นละอองน้ำในห้องลดอุณหภูมิ ต่อมาช่วงเวลาที่ 7-15 นาที อัตราการลดความดันในห้องลดอุณหภูมิเริ่มช้าลงส่วนอัตราการลดอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในช่วงนี้เป็นช่วงที่ความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงมาถึงความดันอิ่มตัวของอุณหภูมิเริ่มต้นของบรอคโคลี่ น้ำในบรอคโคลี่จะเริ่มระเหยกลายเป็นไอและมีอุณหภูมิลดลง จากนั้นเมื่อความดันลดลงมาอยู่ที่ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิผลิตผลที่ 5.5 มิลลิบาร์ เครื่องจะทำการรักษาระดับความดันให้คงที่เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันดังกล่าวตามระยะเวลาที่กำหนดเท่ากับ 20 นาที ซึ่งในช่วงนี้อุณหภูมิของผักค่อยๆลดลงภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิของบรรยากาศต่ำจนมาถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 6.6 องศาเซลเซียส ก่อนสิ้นสุดกระบวนการ

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบสุญญากาศแสดงภาพที่ 19 พบว่า ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเริ่มลดอุณหภูมิมีค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เท่ากับ 66.5 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเวลาผ่านไป 10 นาที เมื่อเริ่มมีการลดความดัน ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการลดความดันบรรยากาศในห้องลดอุณหภูมิเป็นการลดปริมาณอากาศที่มีความชื้นออก ทำให้ในห้องสุญญากาศมีปริมาณอากาศชื้นลดลง ส่งผลให้มีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิถูกทำให้ลดลงจนอยู่ในระดับที่คงที่ประมาณ 5.5 มิลลิบาร์ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในห้องค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 30-40 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงสุดท้ายของการลดอุณหภูมิมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น เนื่องจาก อากาศภายในห้องมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจากการระเหยน้ำในเซลล์ของบรอคโคลี่ระหว่างที่อยู่ในสภาวะที่มีความดันต่ำโดยมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายหลังจากการลดอุณหภูมิ เท่ากับ 60.3 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 14 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

สภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศ	ค่าที่ทำการบันทึก
ความดันในห้องลดอุณหภูมิ (มิลลิบาร์)	5.5
เวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด (นาที)	20.0
เวลาที่ใช้ในการพ่นน้ำ (วินาที)	300
เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ (นาที)	40

ตารางที่ 15 สภาวะของบรอคโคลี่บรรจุในถุงพลาสติกก่อนและหลังการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบ สุญญากาศร่วมกับน้ำ

สภาวะของผลิตผล	ข้อมูลจากการทดลอง
การสูญเสียน้ำหนักสด (เปอร์เซ็นต์)	1.48
อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	19.0
อุณหภูมิสิ้นสุด (องศาเซลเซียส)	6.6

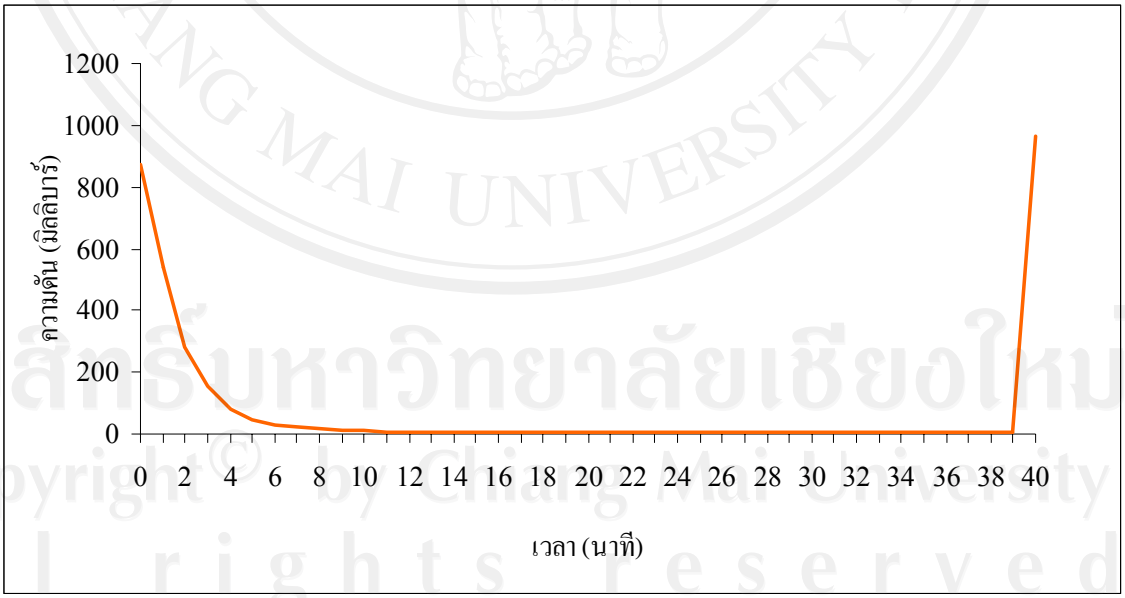
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 16 ค่าพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

พลังงานที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิ	ข้อมูลจากการทดลอง
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	4.8
ค่าไฟฟ้า (บาท/กิโลกรัม)	0.0512

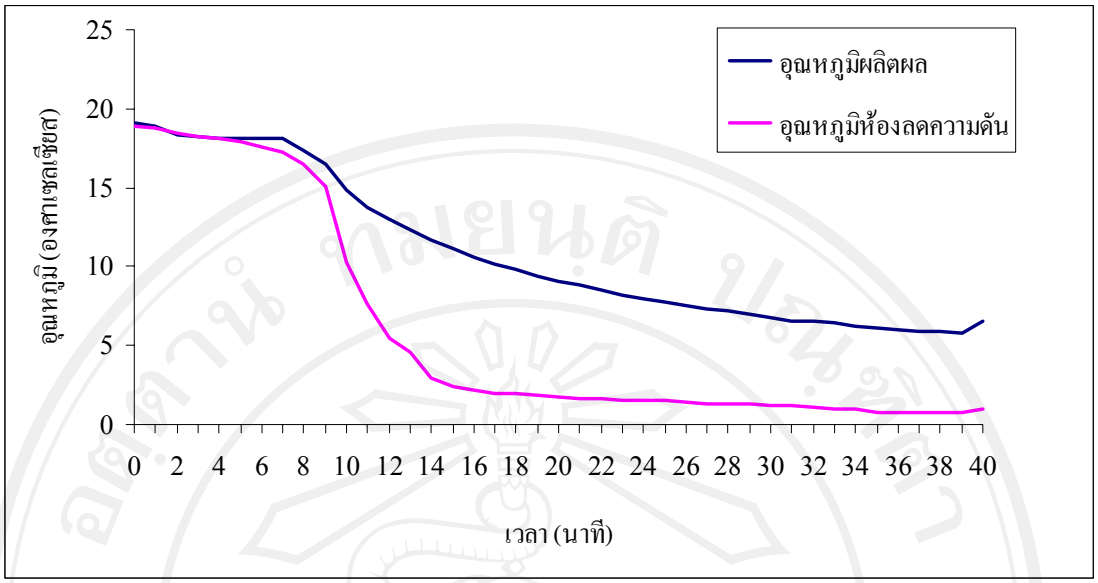
ตารางที่ 17 ค่า Cooling Parameters ในการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

Cooling Parameters	ค่าพารามิเตอร์
Half cooling time (Z) (นาที)	13.86
Seven-eighths cooling time (S) (นาที)	67.38
Cooling coefficient (C) (1/นาที)	0.0259
Lag factor (J)	0.7159

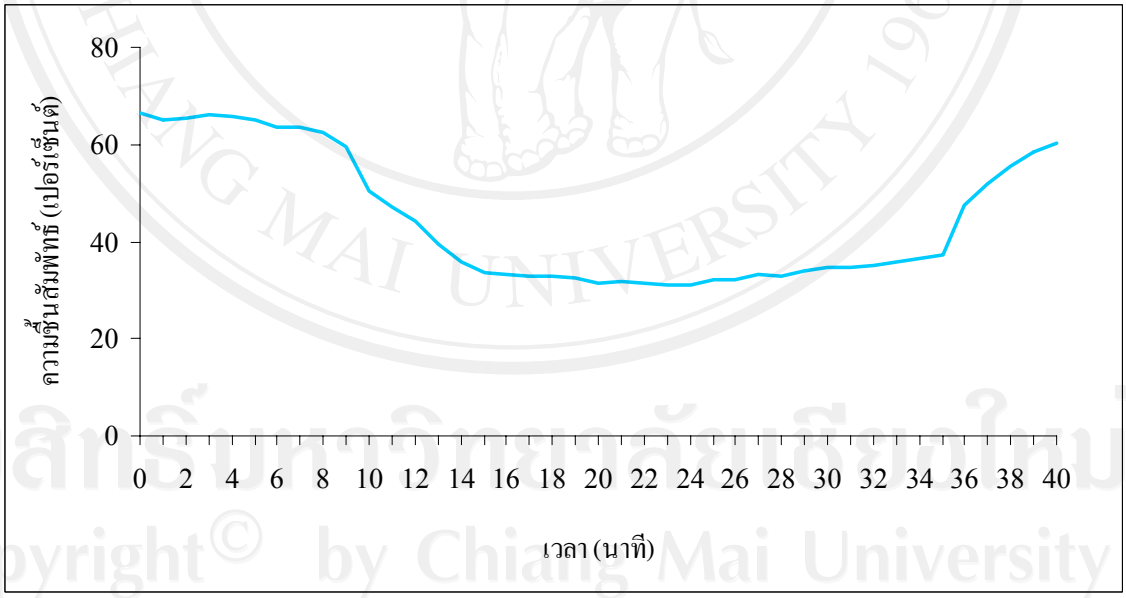


ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่ในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมน้ำ



ภาพที่ 19 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.5 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

จากการทดลองลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศโดยเปรียบเทียบการใช้ภาชนะบรรจุที่แตกต่างกันพบว่า การลดอุณหภูมิโดยบรรจุในตะกร้าและในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบปกติมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 3.16 และ 3.25 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในตะกร้าและในถุงพลาสติกโดยใช้น้ำมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 1.82 และ 1.48 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า การลดอุณหภูมิทุกสภาวะมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของบรอคโคลี่น้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผักและผลไม้ที่มีปริมาณน้ำในเซลล์มากเมื่อนำมาลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศจะทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้นประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ (McDonald and Sun, 2000) โดยระบบที่มีการใช้น้ำในการลดอุณหภูมิจะทำให้มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าระบบปกติ แสดงว่าการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการลดอุณหภูมิได้ (Zhang and Sun, 2006)

4.1.6 ระยะเวลาในการทำให้เย็น

จากการทดลองพบว่าการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่โดยบรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบปกติและใช้น้ำ ใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิประมาณ 35 นาที และการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบปกติและใช้น้ำ จะใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิประมาณ 40 นาที เนื่องจากมีการกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่ที่บรรจุในถุงพลาสติกจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมินานกว่าบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าเนื่องจากมีการจำกัดพื้นที่ในการระเหยของน้ำในบรอคโคลี่โดยไอน้ำที่ระเหยออกมาจากบรอคโคลี่จะระเหยสู่บรรยากาศภายนอกโดยผ่านรูระบายอากาศรอบๆถุง จำนวน 18 รู ในขณะที่บรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าเมื่อเกิดการระเหยของไอน้ำในบรอคโคลี่ สามารถแพร่ออกสู่บรรยากาศได้โดยตรง ดังนั้นการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่โดยบรรจุในถุงพลาสติกจึงใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมินานกว่าการบรรจุในตะกร้า

4.1.7 อุณหภูมิของผลิตผล

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 4 สภาวะพบว่าการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่โดยใช้ระบบสุญญากาศให้มีอุณหภูมิสุดท้ายอยู่ในช่วง 4±2 องศาเซลเซียส สามารถกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิได้ 2 สภาวะ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเริ่มต้นของบรอคโคลี่ โดยบรอคโคลี่ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ในช่วง 15 – 20 องศาเซลเซียส จะกำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 5.5 มิลลิบาร์ และระยะเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 25 นาที สำหรับบรอคโคลี่ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ในช่วง 21 – 25 องศาเซลเซียส จะกำหนดความดันสุดท้ายในห้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลดอุณหภูมิเท่ากับ 5.5 มิลลิบาร์ และระยะเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 30 นาที (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 18 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่โดยใช้ระบบสุญญากาศให้มีอุณหภูมิสิ้นสุดเท่ากับ 4±2 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิผักเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	ความดันในห้องลดอุณหภูมิ (มิลลิบาร์)	เวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด (นาที)	เวลาทั้งหมดที่ใช้ (นาที)	หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	ค่าไฟฟ้า บาท/กก.
15 - 20	5.5	25	35	4.0	0.043
21 - 25	5.5	30	40	5.4	0.058

4.1.8 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิ

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กันระยะเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ โดยการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าโดยใช้ระบบปกติและใช้น้ำ ใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิประมาณ 35 นาที และ 40 นาที ใช้พลังงานไฟฟ้าในการลดอุณหภูมิ 4.0 และ 5.2 หน่วยคิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.043 และ 0.055 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบปกติและใช้น้ำ จะใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิประมาณ 40 นาที ทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการลดอุณหภูมิ 5.4 และ 4.8 หน่วย คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.058 และ 0.051 บาทต่อกิโลกรัมตามลำดับ ดังนั้นการลดอุณหภูมิที่ใช้ระยะเวลานานจะทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น

4.1.9 ตัวแปรแสดงประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิ

จากการทดลองพบว่าการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่โดยใช้ระบบสุญญากาศในสภาวะต่างๆ มีค่า half cooling time (Z) อยู่ในช่วง 6-17 นาที โดยการบรรจุในถุงพลาสติกและลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบปกติมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 6.80 นาที และการบรรจุในตะกร้าและลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบปกติมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 16.55 นาที และค่า seven-eighths cooling time (S) ของการทดลองอยู่ในช่วง 35-68 นาที โดยการบรรจุในตะกร้าและลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบปกติมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 35.10 นาที และการบรรจุในถุงพลาสติกและลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำ มีค่ามากที่สุดเท่ากับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

67.38 นาที สำหรับค่า cooling coefficient (C) เป็นค่าที่แสดงถึงอัตราการลดอุณหภูมิของผลิตผลจากการทดลองพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง $2 \times 10^{-2} - 7 \times 10^{-2}$ 1/นาที ซึ่งเป็นค่าที่สูง แสดงว่าสามารถลดอุณหภูมิให้ถึงอุณหภูมิที่ต้องการ โดยใช้ระยะเวลาที่สั้น เมื่อเปรียบเทียบกับการลดอุณหภูมิโดยใช้วิธี force-air cooling (ธีรพงษ์, 2548) สำหรับค่า lag factor ของการลดอุณหภูมิทุกสภาวะมีค่าประมาณ 1 แสดงว่า บรอคโคลี่มีความต้านทานความร้อนภายในน้อยมาก และมีค่าการนำความร้อนภายในผลิตผลสูง การถ่ายเทความร้อนเป็นแบบการพาความร้อนเพียงอย่างเดียว และอาศัยหลักการระเหยของน้ำที่ความดันต่ำ ทำให้สามารถลดอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับการลดอุณหภูมิโดยวิธีอื่นๆ (Zhang and Sun, 2006)

สำหรับการลดอุณหภูมิโดยกำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 6.0 และ 6.5 มิลลิบาร์นั้นพบว่า ไม่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่ เนื่องจากเป็นความดันที่ไม่ต่ำเพียงพอต่อการระเหยน้ำออกมาจากบรอคโคลี่ซึ่งมีโครงสร้างทางสรีระที่ค่อนข้างหนาแน่น ถึงแม้ว่าในบางระบบสามารถลดอุณหภูมิบรอคโคลี่ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ในช่วง 15–20 องศาเซลเซียส ให้มีอุณหภูมิสุดท้ายอยู่ในช่วง 4±2 องศาเซลเซียสได้ แต่ก็ใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมินานเกินไป ทำให้เป็นภาระของเครื่องลดอุณหภูมิและเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน และไม่สามารถลดอุณหภูมิบรอคลี่ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นสูงกว่า 20 องศาเซลเซียสได้ (ตารางภาคผนวกที่ 1-24) สำหรับการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ พบว่าเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสมต่อการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่ เนื่องจากมีการพ่นน้ำในระหว่างที่ทำการลดอุณหภูมิ ทำให้หลังจากลดอุณหภูมิแล้วมีน้ำบางส่วนเกาะอยู่ภายนอกถุงที่บรรจุบรอคโคลี่ และสำหรับบรอคโคลี่ที่บรรจุในตะกร้าพบว่า ดอกบรอคโคลี่ค่อนข้างเปียก ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น(ภาพที่ 20-21) เนื่องจากอาจเป็นสาเหตุของการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ติดมากับน้ำที่ใช้ และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักหลังจากการลดอุณหภูมิระหว่างระบบธรรมดากับระบบที่มีการใช้น้ำพบว่าไม่มีความแตกต่างกันมากนัก โดยจะมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่า 4 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นในการทดลองที่ 2 จึงเลือกใช้การลดอุณหภูมิโดยระบบสุญญากาศ โดยกำหนดพารามิเตอร์ในการทำงานของเครื่องตามอุณหภูมิเริ่มต้นของบรอคโคลี่ และทำการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่โดยบรรจุในตะกร้า และบรรจุในถุงพลาสติก ให้มีอุณหภูมิสุดท้ายอยู่ในช่วง 4±2 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำไปเก็บรักษาเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยเก็บรักษาไว้ใน 2 สภาวะได้แก่ การเก็บรักษาในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 4±2 องศาเซลเซียส และการเก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 8±2 องศาเซลเซียส ระหว่างที่เก็บรักษาทำการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีทุกวันจนหมดอายุการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 20 เปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ตกค้างจากการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่ที่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำและการใช้ระบบธรรมดา

ภาพที่ 21 ลักษณะของบรอคโคลี่บรรจุในตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 การทดลองที่ 2 คุณภาพและอายุการเก็บรักษาของบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิเฉียบพลันโดยใช้ระบบสุญญากาศ

4.2.1 คุณภาพและอายุการเก็บรักษาของบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิเฉียบพลันโดยใช้ระบบสุญญากาศที่เก็บรักษาในห้องเย็น

นำบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 มาเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส โดยแบ่งออกเป็น 3 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 : ชุดควบคุม (ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ)

กรรมวิธีที่ 2 : บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในตะกร้า

กรรมวิธีที่ 3 : บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในถุงพลาสติก

4.2.1.1 การประเมินคุณภาพทางเคมี

(1) ปริมาณคลอโรฟิลล์

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 3, 6, 7, และ 8 ของการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 25)โดยในวันที่ 8 ของการเก็บรักษาพบว่า บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติกมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 0.080 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้า และชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.058 และ 0.047 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ โดยบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้าและชุดควบคุมมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ตารางที่ 20) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอของ บรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 24)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ บีของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 6, 7, และ 8 ของการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 26)โดยในวันที่ 8 ของการเก็บรักษาพบว่า บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติกมีปริมาณคลอโรฟิลล์ บีเท่ากับ 0.046 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้าซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.036 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.024 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ในขณะที่บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้าไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับชุดควบคุม (ตารางที่ 20) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอของ บรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 25)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 3, 6, 7, และ 8 ของการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 27) โดยในวันที่ 8 ของการเก็บรักษาพบว่า ทุกกรรมวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในถุงพลาสติกมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาคือ บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในตะกร้า และชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.126, 0.094 และ 0.071 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 20) เนื่องจากปริมาณคลอโรฟิลล์ เอและบีมีแนวโน้มลดลงเหมือนกันทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 26) ในพืชทุกชนิดมีทั้งคลอโรฟิลล์ เอ และบี แต่มีในสัดส่วนที่ต่างกัน คลอโรฟิลล์ เอ เป็นสารที่ให้สีออกไปทางสีน้ำเงิน ส่วนคลอโรฟิลล์ บี ให้สีเขียวอมเหลือง โดยทั่วไปในพืชชั้นสูงสัดส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์ทั้งสองชนิดนี้อยู่ประมาณ 3:1 คลอโรฟิลล์เป็นสารสีที่ให้สารสีเขียวในผักและผลไม้หลายชนิด และมีคุณสมบัติเป็นพฤกษเคมี (Phytochemical) จึงมีการนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารที่เพิ่มคุณประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด แต่คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่มีการสลายตัวง่าย ระหว่างกระบวนการผลิต ทำให้มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Schoefs, 2003) การสลายตัวของคลอโรฟิลล์เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา เมื่อกระบวนการวายเริ่มขึ้น การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ในพืชลดลง ในขณะที่การสลายตัวไม่ลดลงหรืออาจเพิ่มขึ้น จึงทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวมต่ำลง ส่งผลให้สีเขียวของพืชลดน้อยลง ซึ่งการชะลอการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์เพื่อลดการสูญเสียคุณภาพที่เกิดการสีเหลืองของดอกเป็นเป้าหมายที่สำคัญในการจัดการที่สำคัญหลังการเก็บเกี่ยวของบรอคโคลี่ โดยมีวิธีปฏิบัติได้หลายวิธี ได้แก่ การลดอุณหภูมิ การใช้ความร้อน การบรรจุในภาชนะบรรจุแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศ และการใช้ UV treatment โดยมีการศึกษาการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่โดยวิธี hydro-cooling เปรียบเทียบกับการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง (top icing) และการลดอุณหภูมิโดยใช้ห้องเย็น (room cooling) จากนั้นห่อด้วยฟิล์มพลาสติกเจาะรูแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียสพบว่า วิธี hydro-cooling สามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก และมีความแน่นเนื้อและสามารถรักษาสีเขียวของบรอคโคลี่ได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ (Chen *et al*., 2008) จากการทดลองจากเนื้อเยื่อของบรอคโคลี่ พบว่า โมเลกุลของคลอโรฟิลล์อาจถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ peroxidase เมื่อมีน้ำหรือสารประกอบฟีนอลอยู่ด้วย และเมื่อให้ความร้อนแก่ บรอคโคลี่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งเป็นวิธีการรักษาความสดเขียวของบรอคโคลี่ ก็พบว่า เอนไซม์ peroxidase นี้ถูกยับยั้งไปกว่าครึ่ง (จริงแท้, 2549) การบรรจุบรอคโคลี่ในสภาพดัดแปลงบรรยากาศโดยใช้ฟิล์มพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนเจาะรูขนาดเล็ก หรือไม่เจาะรูพบว่าพบว่า สามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก การเกิดสีเหลือง การเสื่อมสลายของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คลอโรฟิลล์ และการแข็งของก้านได้โดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาที่ 1 องศาเซลเซียสได้นาน 28 วัน (Serrano *et al*., 2006) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้ UV-C treatment กับบรอคโคลี่พบว่าสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase และ chlorophyllase ซึ่งเป็นผลทำให้ชะลอการเสื่อมสลายของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี และชะลอการเกิดสีเหลืองของบรอคโคลี่ระหว่างการเก็บรักษา (Chen *et al*., 2008)

(2) ปริมาณวิตามินซี

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณวิตามินซีของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 2, 3, 5, 6, 7 และ 8 ของการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 28) โดยในวันที่ 8 ของการเก็บรักษาพบว่า ทุกกรรมวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในถุงพลาสติกมีปริมาณวิตามินซีมากที่สุด รองลงมาคือ บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในตะกร้า และชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีปริมาณวิตามินซีน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 54.15, 38.36 และ 24.18 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 20) และมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 27) โดยทั่วไปปริมาณของกรดแอสโคบิคในบรอคโคลี่สดจะมีค่าสูงประมาณ 77-93 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด เมื่อผ่านกระบวนการแช่แข็ง (freezing) หรือผ่านการลวก (blanching) แล้วสามารถรักษาปริมาณวิตามินซีได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ และมีการสูญเสียระหว่างการเก็บรักษาในสภาพแช่แข็งน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ (Favell, 1997) ในการศึกษาผลของวิธีการแช่แข็งบรอคโคลี่ที่แตกต่างกันต่อปริมาณสารประกอบที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระพบว่าการแช่แข็งโดยใช้วิธีดั้งเดิม คือ การลวกแล้วนำไปแช่แข็งทำให้มีปริมาณวิตามินซีเหลืออยู่น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บรักษาบรอคโคลี่ไว้ที่อุณหภูมิ -20 หรือ -30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 4, 8 และ 12 วัน พบว่า มีปริมาณวิตามินซีเหลืออยู่ประมาณ 29-33 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับบรอคโคลี่สด (Gębczyński and Lisiewska, 2006) ปริมาณวิตามินซีในผักผลไม้มีความแตกต่างกันจากหลายปัจจัยได้แก่ ความแตกต่างทางพันธุกรรม, สภาพแวดล้อมและการปฏิบัติในการปลูก วิธีการเก็บเกี่ยวและความบริบูรณ์ของผลิตผล และการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว โดยอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการรักษาปริมาณวิตามินซีในผักและผลไม้ โดยอุณหภูมิสูงจะไปเร่งให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีอย่างรวดเร็ว และในสภาวะที่มีการสูญเสียน้ำหลังการเก็บเกี่ยวจะทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะอย่างยิ่งในผักประเภทที่รับประทานใบ (Lee and Kader, 2000) ภายหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณวิตามินซีมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นค่อนข้างมากกว่าวิตามินชนิดอื่นๆ โดยทั่วไปผักรับประทานใบและช่อดอก มักมีการสูญเสียวิตามินซีค่อนข้างสูง วิตามินซีอาจสูญเสียไปได้ทั้งจาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น ascorbic acid oxidase, polyphenoloxidase และ peroxidase ที่มีอยู่ในผลิตผล สภาพแวดล้อมในระหว่างการเก็บรักษาผลิตผลมีอิทธิพลอย่างมากต่อการสลายตัวของกรดแอสโคบิก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการสูญเสียกรดแอสโคบิคจะมีมากขึ้น และปริมาณการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลทำให้มีการสูญเสียกรด ascorbic มากขึ้น การให้ความชื้นกับผลิตผลระหว่างการเก็บรักษา นอกจากจะช่วยรักษาความสดไว้แล้ว ยังช่วยรักษาคุณค่าทางอาหารไว้ด้วย (จริงแท้, 2544)

4.2.1.2 การประเมินคุณภาพทางกายภาพ

(1) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

จากผลการทดลองพบว่า บรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 29) และในวันที่ 8 ของการเก็บรักษาพบว่า เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักอยู่ในช่วง 2.50-3.60 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 21) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น (ภาพที่ 28) การสูญเสียน้ำหนักที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งเกิดจากการสูญเสียน้ำของผลิตผล โดยเฉพาะผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้วถูกตัดขาดจากแหล่งน้ำที่เคยได้จากราก แต่การสูญเสียน้ำเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ซึ่งจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆอย่าง ได้แก่ ขนาดของผลิตผล ลักษณะของผลิตผลเช่นกะหล่ำปลี สามารถเก็บรักษาได้นาน เนื่องจากลักษณะของใบกะหล่ำปลีที่เรียงซ้อนกันอยู่ ทำให้มีพื้นที่ผิวสำหรับการระเหยน้ำเฉพาะใบชั้นนอกสุดเท่านั้น พื้นที่ผิวของใบชั้นในๆ เข้าไปไม่มีโอกาสสัมผัสกับอากาศภายนอกจึงทำให้มีการคายน้ำน้อย และคงความสดของใบข้างในไว้ได้นาน ซึ่งการป้องกันการสูญเสียน้ำทำได้โดยการควบคุมปัจจัยต่างๆ ให้ผลิตผลกับบรรยากาศภายนอกมีความแตกต่างของความดันไอน้ำน้อยที่สุด โดยเริ่มตั้งแต่การเก็บเกี่ยวต้องทำด้วยความระมัดระวังไม่ให้เกิดบาดแผลขึ้น แล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นจึงเก็บรักษาไว้ในสภาพที่มีความชื้นสูงและมีอุณหภูมิต่ำ (จริงแท้, 2544) ถ้านำผลิตผลออกจากห้องเย็นมาวางไว้ในอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่า อากาศรอบๆ ผลิตผลจะเย็นลง ทำให้ไอน้ำในอากาศเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเกาะอยู่บนผิวของผลิตผลได้ การเก็บรักษาผลผลิตในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิไม่คงที่ อาจทำให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำเป็นหยดน้ำภายในห้องเก็บรักษา จะทำให้เชื้อจุลินทรีย์เติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้ภาชนะบรรจุที่เป็นกล่องกระดาษเกิดความเสียหายได้ง่าย และเร่งให้ผลิตผลมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ จึงต้องการความชื้นสัมพัทธ์สูง แต่อุณหภูมิต้องคงที่ ถ้าอุณหภูมิขึ้นๆลงๆ จะเกิดการกลั่นตัวของไอน้ำเป็นหยดน้ำได้ง่าย และยังทำให้ผลิตผลเกิดการสูญเสียน้ำหนักด้วย (ดนัย, 2531) ในระหว่างการเก็บรักษาจึงต้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เก็บรักษาไว้ในที่มีความชื้นสูงโดยการบรรจุในถุงพลาสติก หรือห่อด้วยฟิล์มพลาสติก (Watada *et al*., 1996) เพื่อให้มีการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด แต่เนื่องจากในการปฏิบัติจริงบางครั้งไม่มีการควบคุมความชื้นของสภาพแวดล้อมในการขนส่งและการวางจำหน่าย ดังนั้นบรรจุภัณฑ์อาจจำเป็นต้องออกแบบให้มีเครื่องกั้นหรือฉนวนสำหรับป้องกันการสูญเสียน้ำด้วย (ยงยุทธ, 2544)

(2) การเปลี่ยนแปลงสี (ค่า L*, Chroma และ Hue angle)

จากผลการทดลองพบว่า บรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นมีค่า L* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 0, 1, 3 และ 8 ของการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 30) โดยในวันที่ 8 ของการเก็บรักษาพบว่า บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติกมีค่า L* เท่ากับ 31.06 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้า ซึ่งมีค่า L* เท่ากับ 35.86 ในขณะที่บรอคโคลี่ชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิซึ่งมีค่า L* เท่ากับ 32.62 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติก และบรรจุตะกร้า (ตารางที่ 21) และบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นมีแนวโน้มของค่า L* อยู่ในช่วง 30-40 (ภาพที่ 29)

ค่า Chroma ของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 4 และ 8 ของการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 31) โดยในที่ 8 ของการเก็บรักษาพบว่า บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในถุงพลาสติกมีค่า Chroma เท่ากับ 31.32 ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.10 แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้าซึ่งมีค่าเท่ากับ 19.08 (ตารางที่ 21) โดยระหว่างที่ทำการเก็บรักษาในห้องเย็น บรอคโคลี่มีค่า Chroma อยู่ในช่วง 15-35 (ภาพที่ 30)

ค่า Hue angle ของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 4 และ 5 ของการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 32) โดยในวันที่ 8 ของการเก็บรักษาพบว่า บรอคโคลี่ทุกกรรมวิธีมีค่า Hue angle ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 21) โดยค่า Hue angle ของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นมีค่าอยู่ในช่วง 90-110 องศา และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น (ภาพที่ 31) ซึ่งแสดงถึงช่วงสีเหลืองถึงเหลืองเขียวของวัตถุ แสดงว่า บรอคโคลี่มีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาหาอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของบรอคโคลี่ โดยการเก็บเกี่ยวบรอคโคลี่ในระยะความแก่ 3 ระยะ คือ ดอกตูมมีขนาดเล็กและแน่นมาก ดอกตูมขยายขนาดและยังแน่น และดอกตูมมีขนาดใหญ่และมีความแน่นลดลง แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 8-10

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 4 วัน พบว่า ตลอดอายุการเก็บรักษาค่า L* และค่า Chroma ของดอกบรอคโคลี่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใกล้หมดอายุการเก็บรักษา ในขณะที่ค่า Hue angle มีแนวโน้มลดต่ำลง (ดนัย และ ชัยพิชิต, 2550) การเก็บรักษาบรอคโคลี่หั่นชิ้นในพลาสติกที่แตกต่างกัน (PVC และ Three P-Plus) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่า Hue angle ของบรอคโคลี่ประมาณ 105 องศา และมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 11 ของการเก็บรักษา เนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติ ซึ่งกิจกรรมเมแทบอลิซึมต่างๆจะถูกเร่งให้เร็วขึ้นเมื่อเก็บรักษาในสภาวะที่มีแสง เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่มีแสง (Olarte *et al*., 2008)

(3) อายุการเก็บรักษา

จากผลการทดลองลดอุณหภูมิบรอคโคลี่โดยบรรจุในตะกร้า และถุงพลาสติก โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ เมื่อนำไปเก็บรักษาในห้องเย็น พบว่า บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในถุงพลาสติกมีอายุการเก็บรักษานาน 12 วัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในตะกร้าที่มีอายุการเก็บรักษานาน 10 วัน แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิซึ่งมีอายุการเก็บรักษานาน 8 วัน ในขณะที่บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้ามีอายุการเก็บรักษาไม่แตกต่างทางสถิติกับชุดควบคุม (ตารางที่ 19) เนื่องจาก บรอคโคลี่ที่บรรจุในตะกร้าหลังจากผ่านการลดอุณหภูมิแล้วต้องนำไปบรรจุลงในถุงพลาสติกเพื่อนำไปเก็บรักษาในห้องเย็น และนำไปวางบนชั้นวางจำหน่าย ซึ่งขั้นตอนในการบรรจุถุงใช้ระยะเวลานาน ทำให้บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแล้วมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นมาประมาณ 3-4 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปเก็บรักษาจึงมีการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม เช่นเดียวกับ การเปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาของกะหล่ำปลีที่ไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิกับกะหล่ำปลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบผ่านอากาศเย็นโดยวิธีต่างๆ โดยพบว่ากะหล่ำปลีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุดคือ 8 วัน ในขณะที่กะหล่ำปลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบผ่านอากาศเย็นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอายุการเก็บรักษานานที่สุดคือ 20 วัน (มรกต, 2548) การเก็บรักษาบรอคโคลี่ในสภาพดัดแปลงบรรยากาศที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสมีอายุการเก็บรักษานาน 23 วัน ในขณะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสมีอายุการเก็บรักษานาน 5 วัน (Jia *et al*., 2008) สำหรับผลิตที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว ยังคงเป็นสิ่งที่มีชีวิตอยู่และมีอาหารสะสมในรูปแบบต่างๆ กัน เช่น น้ำตาล แป้งหรือไขมัน ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและไม่สามารถสร้างขึ้นมาใหม่ได้อีก เมื่ออาหารเหล่านี้ถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจของพืช จนอาหารในผลิตผลถูกใช้ให้หมดไปความมีชีวิตของผลิตผลนั้นก็จะจบสิ้นลง ดังนั้นอายุการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของผลิตผล รวมทั้งคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวจึงขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจเป็นสำคัญ โดยอุณหภูมิเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญที่สุด เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ปฏิกิริยาเคมีต่างๆก็สามารถเกิดขึ้นได้ในอัตราที่สูงขึ้น รวมถึงการหายใจ ซึ่งประกอบด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีหลายอย่างเกิดขึ้นต่อเนื่องหรือพร้อมๆกัน โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นเร็วประมาณ 2 เท่า (จริงแท้, 2544) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการลดอุณหภูมิผลิตผลก่อนนำไปเก็บรักษา เพื่อเป็นการลดอัตราการหายใจและความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูกของผลิตผล ซึ่งสามารถช่วยในการยับยั้งกระบวนการเสื่อมสลาย และกระบวนการชราภาพ เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตผลให้อยู่ในระดับสูงและมีคุณภาพเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค (Brosnan and Sun, 2001) เมื่อผลิตผลผ่านการลดอุณหภูมิแล้วต้องเก็บรักษาผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำ โดยจะเป็นประโยชน์ต่อการป้องกันการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการ ได้แก่ เนื้อสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ กลิ่นรส และรสชาติ โดยเวลาในการเก็บเกี่ยวผลิตผลในแต่ละวันมีผลต่ออายุการเก็บรักษา นอกจากนั้นการลดอุณหภูมิที่ปฏิบัติได้ช้าหลังการเก็บเกี่ยวทำให้คุณภาพ และอายุการเก็บรักษาของผลิตผลลดลง (Paull, 1999) บรอคโคลี่เป็นพืชที่ไม่ไวต่ออุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการป้องกันการเสื่อมสภาพของบรอคโคลี่ โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง (มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์) (Chen *et al*., 2008)

ตารางที่ 19 อายุการเก็บรักษาของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์

กรรมวิธี	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)
ชุดควบคุม	8^{b}
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้า	10^{ab}
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติก	12^{a}

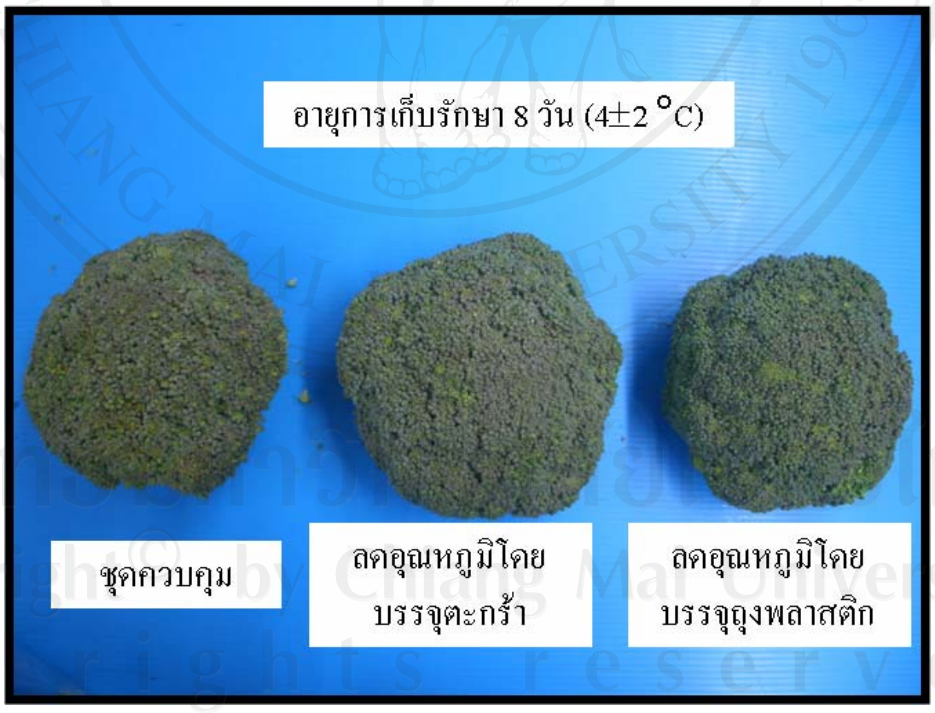
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

(4) ลักษณะปรากฏภายนอก

ลักษณะปรากฏของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นเป็นระยะเวลา 8 วันพบว่า ชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีการบานของดอกมากกว่าบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในตะกร้า และ บรรจุในถุงพลาสติก โดยบรอคโคลี่ ทั้ง 3 กรรมวิธีสามารถรักษาสีเขียวของดอกได้ (ภาพที่ 22) การเก็บรักษาในวันที่ 12 พบว่า บรอคโคลี่ทุกกรรมวิธีมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยชุดควบคุมมีการเกิดสีเหลืองมากที่สุด และเริ่มมีการเน่าของดอกเกิดขึ้น ในขณะที่บรอคโคลี่ที่

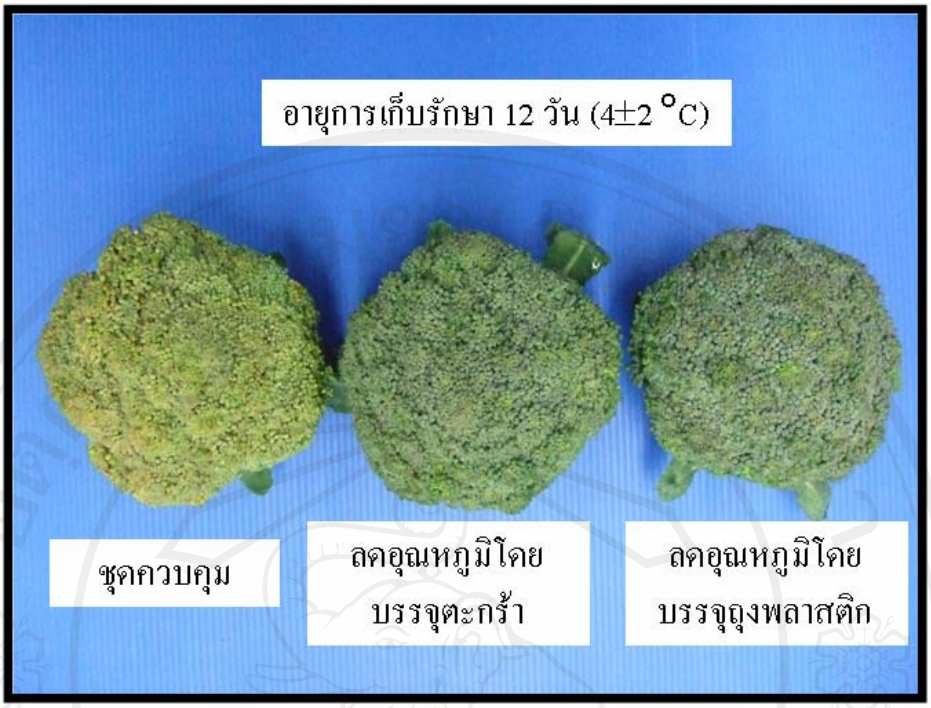
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยบรรจุในตะกร้า และบรรจุในถุงพลาสติกมีการเกิดสีเหลืองในระดับที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าการลดอุณหภูมิเฉียบพลันสามารถชะลอการเกิดสีเหลืองของดอกบรอคโคลี่ได้ แต่บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในตะกร้าจะเกิดการบานของดอกมากกว่า และมีความแข็งของก้านดอกน้อยกว่าบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในถุงพลาสติก เนื่องจากบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในตะกร้ามีการสูญเสียน้ำหนักระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิมากกว่าบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในถุงพลาสติก จึงทำให้เกิดการเหี่ยวของดอก และก้านดอกมีความแข็งลดลง (ภาพที่ 23) เช่นเดียวกับ การเก็บรักษาบรอคโคลี่ในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้บรรจุถุง พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสีและลักษณะปรากฏของบรอคโคลี่แตกต่างกันในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีลักษณะปรากฏที่แตกต่างกันในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา โดยการลดปริมาณก๊าซออกซิเจน และเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถช่วยในการป้องกันการเสื่อมสภาพของบรอคโคลี่ ซึ่งไม่ทำให้เกิดอาการผิดปกติ หรือกลิ่นรส และรสชาติที่ผิดปกติเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน (Jia *et al*., 2008)



ภาพที่ 22 ลักษณะปรากฏของดอกบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 23 ลักษณะปรากฏของดอกบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 12 วัน

ตารางที่ 20 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์เป็นระยะเวลา 8 วัน

กรรมวิธี	คลอโรฟิลล์ เอ (มก./100 ก. น้ำหนักสด)	คลอโรฟิลล์ บี (มก./100 ก. น้ำหนักสด)	คลอโรฟิลล์ ทั้งหมด (มก./100 ก. น้ำหนักสด)	วิตามินซี (มก./100 ก. น้ำหนักสด)
ชุดควบคุม	0.047^{b}	0.024^{b}	0.071^{c}	24.18^{c}
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้า	0.058^{b}	0.036^{ab}	0.094^{b}	38.36^{b}
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติก	0.080^{a}	0.046^{a}	0.126^{a}	54.15^{a}

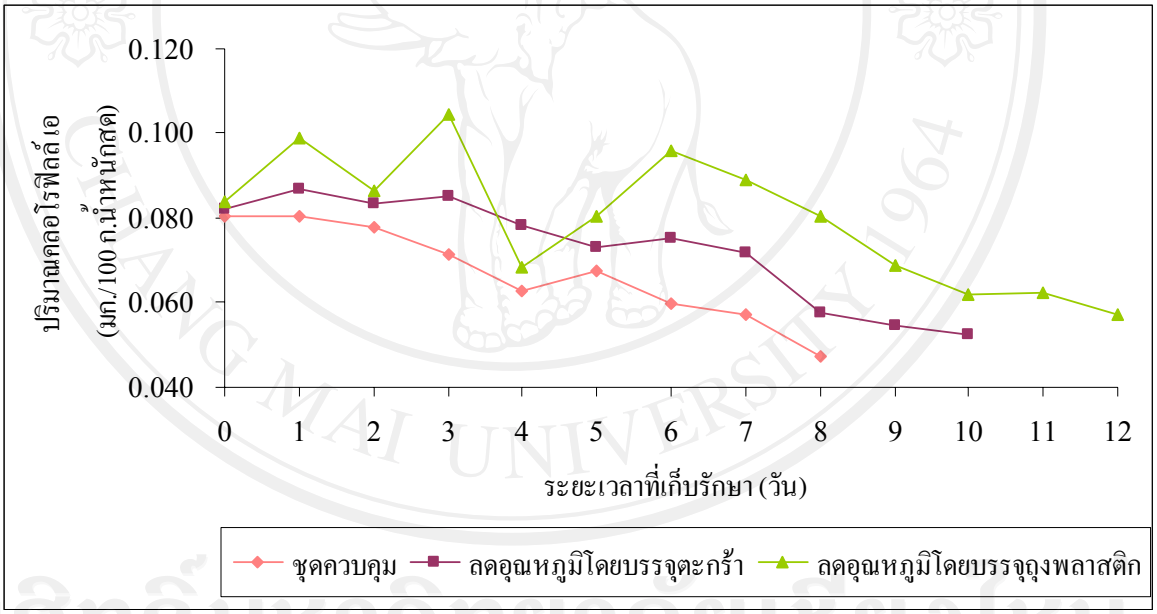
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 21 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์เป็นระยะเวลา 8 วัน

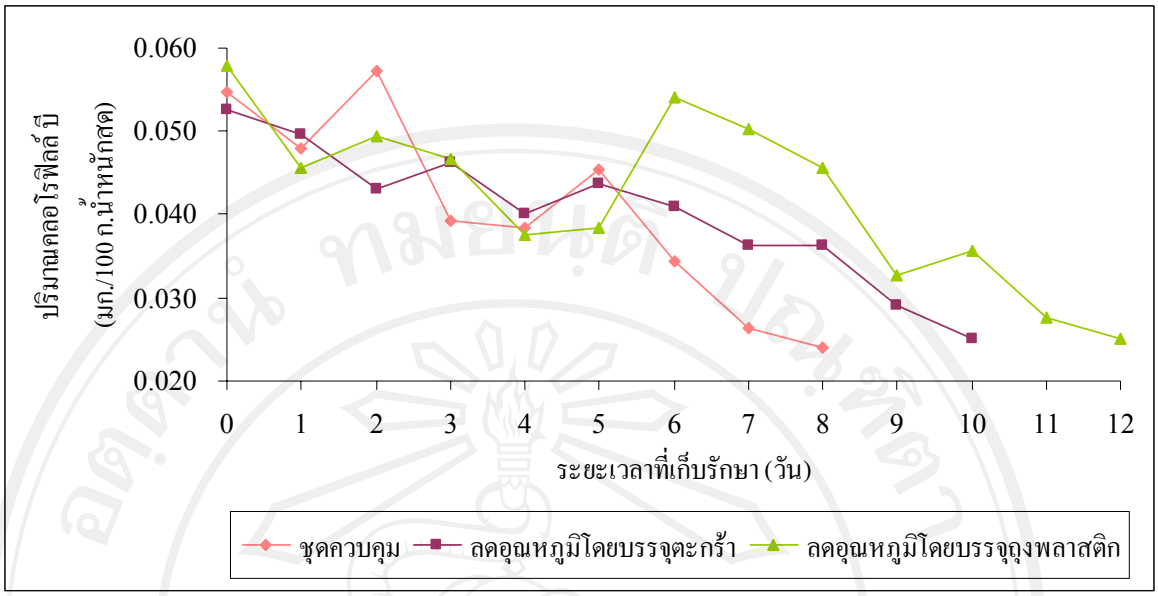
กรรมวิธี	การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)	L*	Chroma	Hue angle
ชุดควบคุม	3.58	32.62^{ab}	21.10^{a}	94.26
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้า	2.84	35.86^{a}	19.08^{b}	101.44
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติก	2.44	31.06^{b}	31.32^{a}	97.96

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

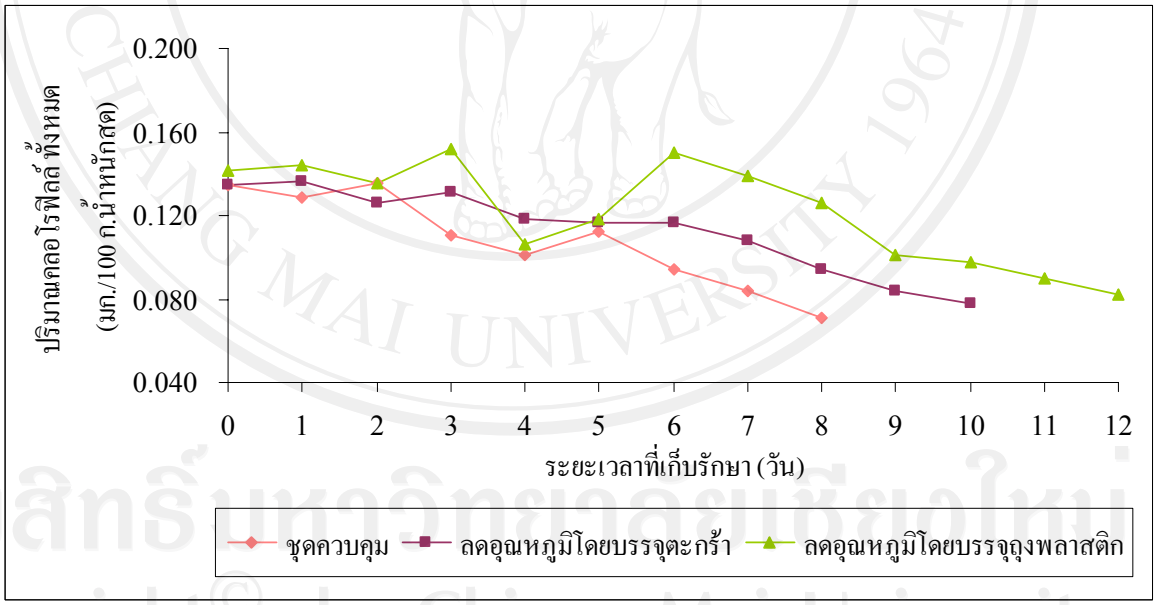


ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ เอของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

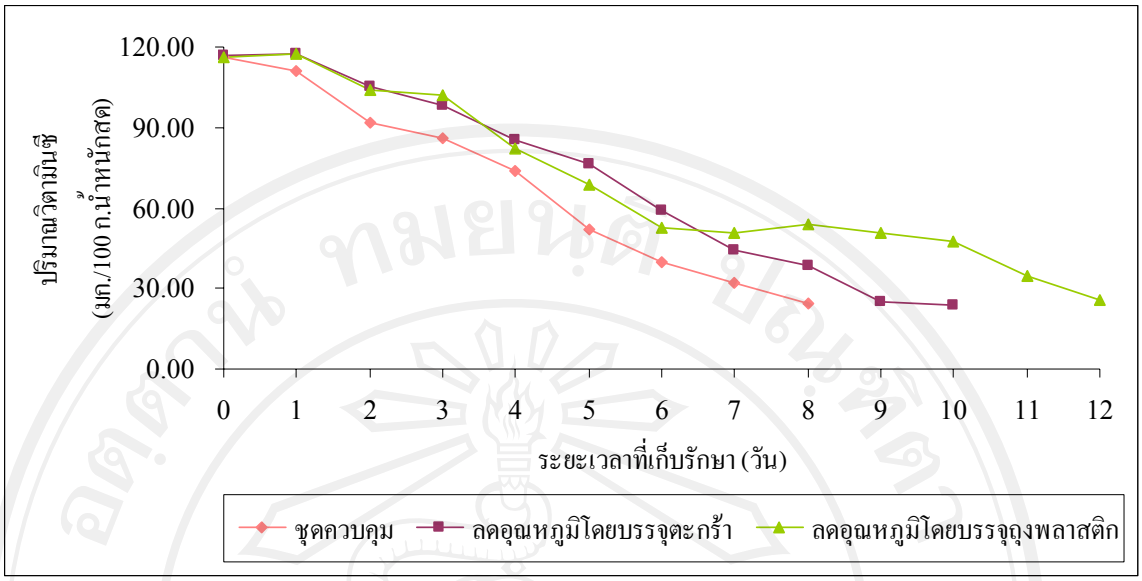


ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ บีของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์

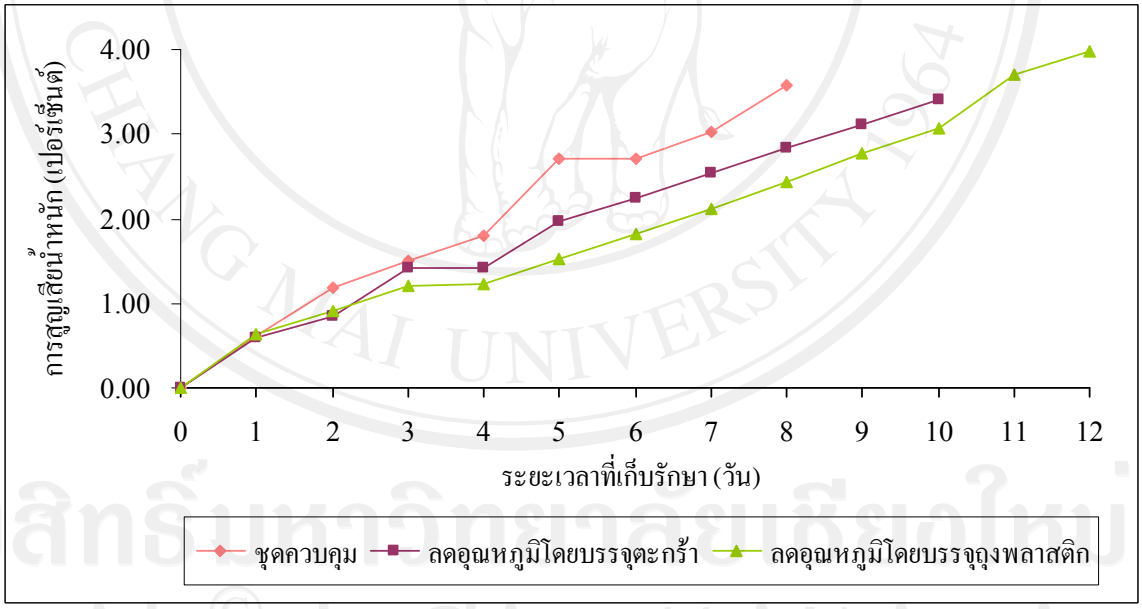


ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

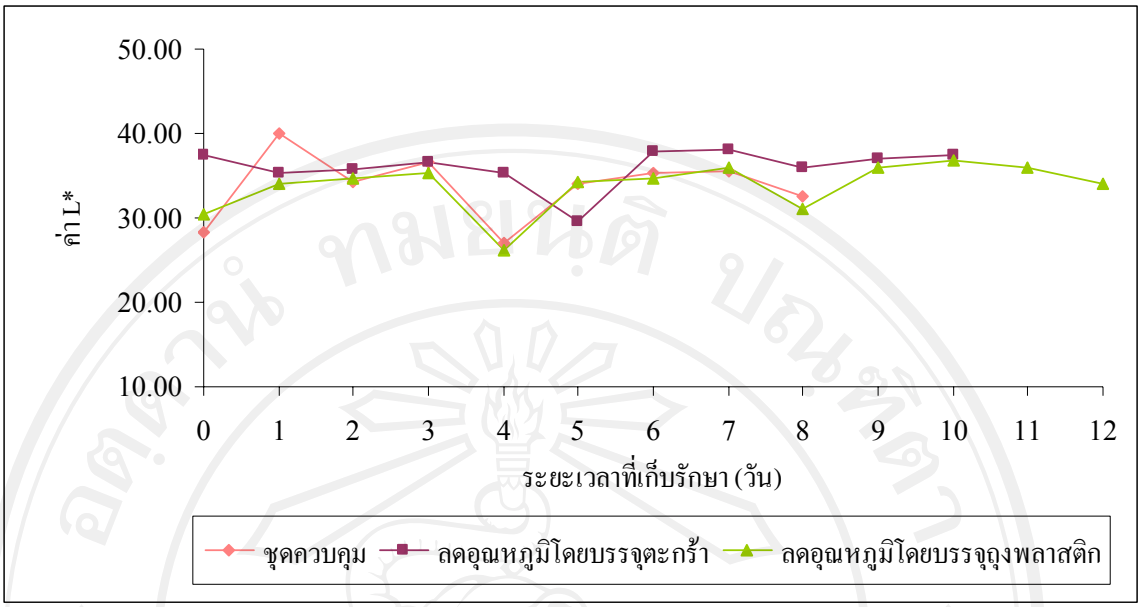


ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์

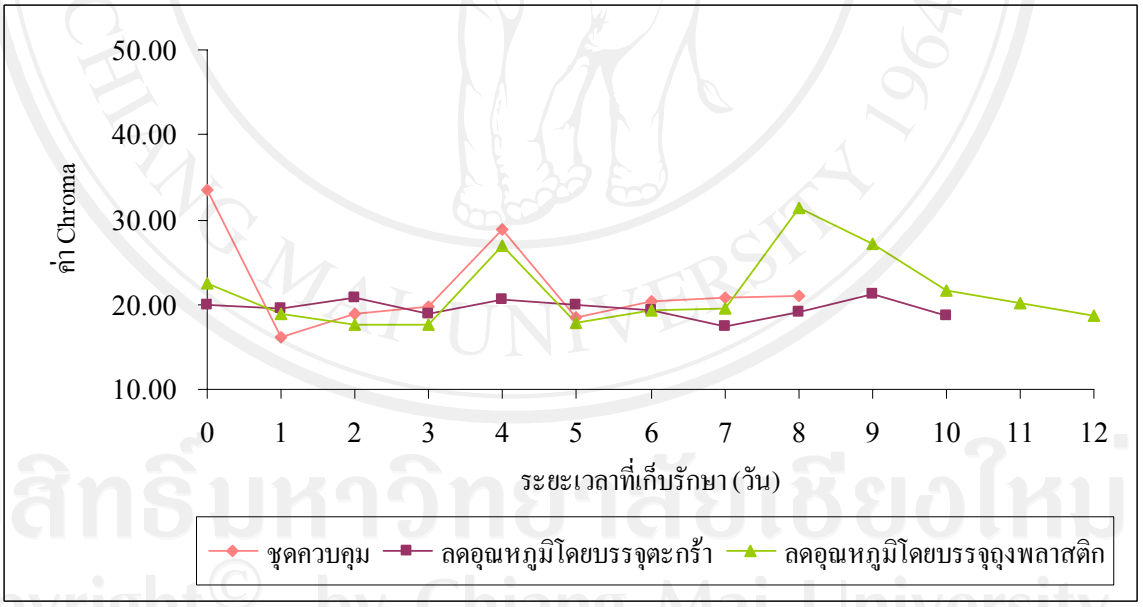


ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

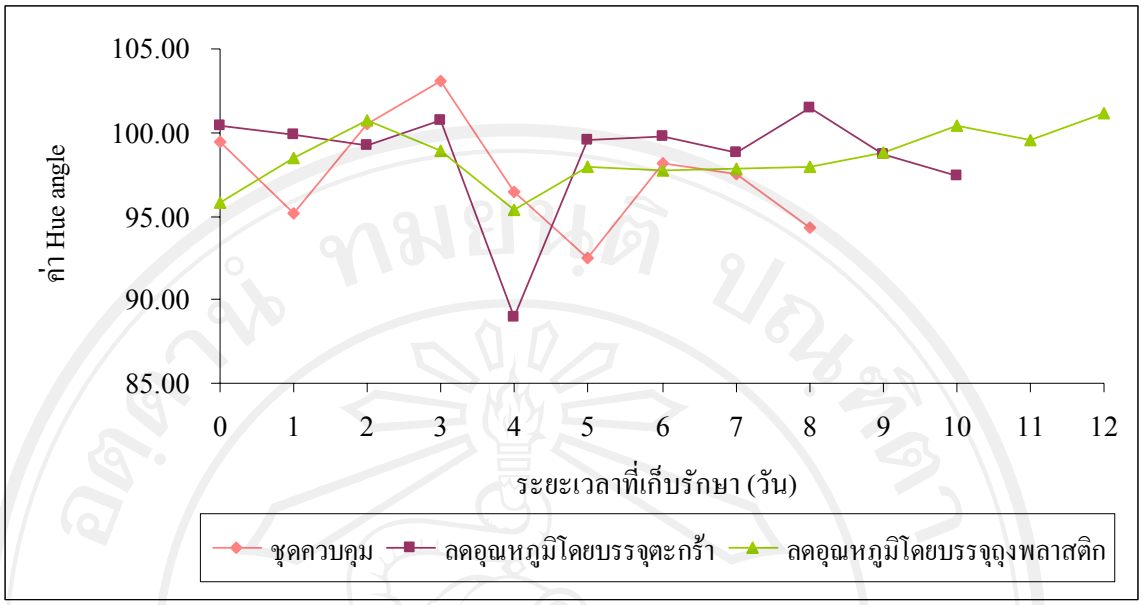


ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงค่า Chroma ของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 31 การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle ของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2 คุณภาพและอายุการเก็บรักษาของบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิเฉียบพลันโดยใช้ระบบสุญญากาศที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย

นำบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 มาเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส โดยแบ่งออกเป็น 3 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 : ชุดควบคุม (ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ)

กรรมวิธีที่ 2 : บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในตะกร้า

กรรมวิธีที่ 3 : บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในถุงพลาสติก

4.2.2.1 การประเมินคุณภาพทางเคมี

(1.) ปริมาณคลอโรฟิลล์

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตลอดอายุการเก็บรักษา โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เออยู่ในช่วง 0.03-0.08 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด และมีปริมาณคลอโรฟิลล์ บีอยู่ในช่วง 0.01-0.05 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด และมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.05-0.13 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด (ตารางภาคผนวกที่ 33, 34 และ 35) และมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 34, 35 และ 36) เนื่องจากหลังจากผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่ให้มีอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 4±2 องศาเซลเซียส แล้วนำมาเก็บรักษาร่วมกับบรอคโคลี่ชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยนำไปวางบนชั้นวางจำหน่ายที่มีอุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิสุดท้ายที่ทำการลดอุณหภูมิ ทำให้ระหว่างที่เก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ของบรอคโคลี่ทั้งที่ผ่านการลดอุณหภูมิและไม่ผ่านการลดอุณหภูมิไม่แตกต่างกัน อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเก็บรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ โดยมีผลต่อลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และสรีระ และมีผลต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์โดยกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ได้แก่ การหายใจ การคายน้ำ และกระบวนการสุกล้วนแล้วแต่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นหลัก โดยทั่วไป อัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีจะเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส ซึ่งการเก็บรักษาผลิตผลในสภาวะที่อุณหภูมิไม่คงที่โดยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงระหว่างการเก็บรักษา มีผลต่อส่วนประกอบของบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ และมีผลต่อคุณภาพของผลิตผล โดยบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศและเก็บรักษาที่อุณหภูมิคงที่ 3 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงสีเขียว และปริมาณคลอโรฟิลล์หลังจาก 30 วันของการเก็บรักษา ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกันแต่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขึ้นลงระหว่าง 3-13 องศาเซลเซียสที่มีการสูญเสียสีเขียวและปริมาณคลอโรฟิลล์อย่างรวดเร็ว (Tano *et al*., 2007) กระบวนการทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียคลอโรฟิลล์ในพืชจนกระทั่งปัจจุบันยังไม่มีการเข้าใจที่แน่ชัด โดยทั่วไปแล้ว ระหว่างการเกิดการชราภาพ (senescence) หรือการเก็บรักษาผักและผลไม้ คลอโรฟิลล์จะสลายตัวไปเป็นสารที่ไม่มีสี ทำให้แคโรทีนอยด์ ปรากฏออกมาให้เห็น (สายชล, 2528) การเก็บรักษาในอุณหภูมิสูงมีผลต่อการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยการศึกษาเก็บรักษาผักกาดหอมห่อที่อุณหภูมิ 4 หรือ 10 องศาเซลเซียส พบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 5 วันมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง 13 เปอร์เซ็นต์และเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 วัน พบว่า ผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสมีปริมาณวิตามินซีลดลง 22 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ 10 องศาเซลเซียสมีปริมาณวิตามินซีลดลง 35 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์มีความสัมพันธ์กันโดยในช่วงที่มีการเจริญของพืชคาโรทีนอยด์จะทำหน้าที่ในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยา photo oxidation ของคลอโรฟิลล์ แต่หลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้ว สารสีต่างๆเกิดการเสื่อมสลายไปอย่างต่อเนื่อง เป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตผล ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์เริ่มลดลงหลังจากเก็บเกี่ยวทันที ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงระหว่างการเก็บรักษาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นหลัก ซึ่งมีการศึกษาในผักหลายชนิด ได้แก่ rocket, Swiss chard และ ปวยเล้ง (Ferrante and Maggiore, 2007) โดยมีการศึกษาผลของอุณหภูมิและภาชนะบรรจุต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของดอกบรอคโคลี่ พบว่า บรอคโคลี่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงอย่างรวดเร็วมากกว่าที่ 5 องศาเซลเซียส และการบรรจุใน polyethylene foil ทำให้ชะลอการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ในดอกบรอคโคลี่ระหว่างการเก็บรักษาได้ (Starzyńska *et al*., 2003) นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาพบว่า การใช้ความร้อนประมาณ 50 องศาเซลเซียส สามารถลดการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ในบรอคโคลี่ได้ โดยมีผลต่อการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ (Funamoto *et al*., 2002) ในการป้องกันการสูญเสียคลอโรฟิลล์ อาจทำได้โดยการลดอุณหภูมิของผลิตผลลง และการเก็บรักษาในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำ เพื่อป้องกันการออกซิไดซ์ที่จะเกิดขึ้น หรือให้อยู่ในสภาพที่มีแสงสว่าง เพื่อให้มีการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ขึ้นทดแทน (ยงยุทธ, 2539) การเก็บรักษาบรอคโคลี่ในสภาวะที่มีการควบคุมบรรยากาศ (controlled-atmosphere, CA) ที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณก๊าซออกซิเจน 5 เปอร์เซ็นต์ สามารถรักษาสีเขียวของบรอคโคลี่ได้เป็นระยะเวลา 5 วัน โดยมีการสูญเสียน้ำ และปริมาณคลอโรฟิลล์เพียงเล็กน้อย (Chen *et al*., 2008) โดยการควบคุมบรรยากาศระหว่างการเก็บรักษามีผลต่อการแสดงออกของยีนที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการเสื่อมสภาพของบรอคโคลี่ทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บรอคโคลี่ที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะการควบคุมบรรยากาศชะลอการเสื่อมสภาพหลังการเก็บเกี่ยวได้ (Eason *et al*., 2007)

(2.) ปริมาณวิตามินซี

จากผลการทดลองพบว่า บรอคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายมีปริมาณวิตามินซีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแตกต่างกันในวันที่ 1, 2 และ 3 ของการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 36) โดยมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 37) โดยในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาพบว่า บรอคโคลี่ที่ผ่านการบดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติกมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 81.53 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้าและชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ซึ่งมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 74.17 และ 68.94 มิลลิกรัม/100 กรัม ในขณะที่บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้า และชุดควบคุม มีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 23) ผักและผลไม้สดเป็นแหล่งที่สำคัญของวิตามินซี ซึ่งสามารถลดระดับของ C-reactive protein (CRP) ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับการอักเสบของเนื้อเยื่อ และเป็นโปรตีนที่แสดงถึงความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ ซึ่งวิตามินซีที่มนุษย์สามารถบริโภคได้พบในผักและผลไม้มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ (Podsędek, 2007) ในอาหารพืชสามารถสังเคราะห์วิตามินซีได้จากน้ำตาลเฮกโซส เช่น กลูโคส โดยในบรอคโคลี่มีปริมาณวิตามินซีอยู่ประมาณ 100 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมส่วนที่กินได้ (ดนัย, 2531) จากการศึกษาเก็บรักษาคะน้าที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ในสภาวะที่มีแสงน้อย (21.8 μmol $m^{-2}s^{-1}$) หรือในสภาวะที่ไม่มีแสง พบว่า วิตามินซีมีผลต่อกิจกรรมทางชีวเคมีต่างๆในร่างกายมนุษย์ โดยพบว่า ปริมาณกรดแอสคอบิคของคะน้าที่เก็บรักษาในสภาวะที่ไม่มีแสงลดลงมากกว่าในสภาวะที่มีแสงน้อย โดยการสูญเสียน้ำจะทำให้เกิดการเสื่อมสลายของปริมาณวิตามินซีเร็วขึ้น และการเก็บรักษาในสภาวะที่มีแสงสามารถป้องกันการลดลงของปริมาณวิตามินซี โดยทำให้ปริมาณน้ำตาลและแป้งในใบคะน้าเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (Noichinda *et al*., 2007) ปริมาณวิตามินซี จะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพืชผักบริโภคใบหลายชนิด ซึ่งการสูญเสียอาจเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิด เช่น เอนไซม์ Ascorbic acid oxidase เอนไซม์ Polyphenol oxidase และเอนไซม์ Peroxidase และยังอาจเกิดจากกระบวนการ ออกซิเดชันที่มีโลหะหนักเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้การสูญเสียของปริมาณวิตามินซียังเกี่ยวข้องกับ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยทั่วไปแล้วการเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิสูง มักมีการสูญเสียวิตามินซีมาก (ยงยุทธ, 2539) จากการศึกษาผลของการใช้ภาชนะบรรจุที่แตกต่างกันต่อคุณภาพด้านต่างๆของดอกบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เซลเซียสเป็นระยะเวลามากกว่า 6 วันพบว่า บรอคโคลี่ที่บรรจุในภาชนะบรรจุแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศ (modified atmosphere packaging) มีปริมาณวิตามินซีหลงเหลืออยู่ประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ และยังมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น และสีเกิดขึ้นน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาใน ventpackaging และ automatic misting (Margaret and Zhuang, 1996)

4.2.2.2 การประเมินคุณภาพทางกายภาพ

(1) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

จากผลการทดลองการเก็บรักษาบรอคโคลี่บนชั้นวางจำหน่ายพบว่า บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้า และถุงพลาสติกเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 37) โดยมีแนวโน้มของการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 38) โดยในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาพบว่า มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักอยู่ในช่วง 1.5-2.3 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 24) เช่นเดียวกับการลดอุณหภูมิหลังการเก็บเกี่ยวผักกาดหอมห่อโดยวิธีผ่านอากาศเย็น (force-air cooling) ที่มีอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส แล้วขนส่งโดยรถห้องเย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของผักกาดหอมห่อได้ โดยมีอัตราการสูญเสียน้ำหนัก 1.85 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับผักกาดหอมห่อที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแล้วขนส่งด้วยรถบรรทุกธรรมดาซึ่งมีอัตราการสูญเสียน้ำหนัก 4.00 เปอร์เซ็นต์ (ยงยุทธ, 2535) ผลิตผลทางการเกษตรได้แก่ ผักและผลไม้ที่ได้จากการเก็บเกี่ยว ชิ้นส่วนของพืชเหล่านั้นยังคงมีชีวิตอยู่ ยิ่งเก็บไว้นาน ผักและผลไม้ต่างๆจะมีการสูญเสียมากขึ้น โดยมีการสูญเสียด้านคุณภาพ (quality loss) ได้แก่ สารอาหาร (nutrition) ที่พืชเก็บสะสมไว้ในชิ้นส่วนต่างๆซึ่งจะถูกใช้ไปเนื่องจากหน่วยย่อยๆ ของสิ่งมีชีวิตที่เรียกว่าเซลล์ โดยมีกระบวนการทางชีวเคมีในด้านการหายใจและการคายน้ำ เพื่อให้ได้พลังงานและคงความมีชีวิตของเซลล์ไว้ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลิตผลมีความสัมพันธ์กับการหายใจและการคายน้ำของผลิตผล ยิ่งมีการหายใจและคายน้ำมากจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักมาก และอาจปรากฏการเหี่ยวของใบ (สมโภชน์, 2539) การเคลื่อนที่ของน้ำออกจากตัวผลิตผลหลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้ว เป็นการเคลื่อนที่แบบ Diffusion หรือการแพร่กระจาย ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของน้ำจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ อัตราการแพร่กระจายของน้ำจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความเข้มข้นของน้ำ ถ้ามีความแตกต่างกันมาก การแพร่กระจายจากตัวผลิตผลสู่บรรยากาศภายนอกจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยจะเกิดขึ้นจนกว่าความเข้มข้นทั้งสองบริเวณจะเท่ากัน (ยงยุทธ, 2539)โดยวิธีการลดการเปลี่ยนแปลงนี้ อาจทำได้โดยเพิ่มความชื้นในห้องเก็บรักษา หรือบรรจุผลิตผลในภาชนะบรรจุที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2) การเปลี่ยนแปลงสี (ค่า L*, Chroma และ Hue angle)

จากผลการทดลองพบว่า บรอคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายมีค่า L* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 38) โดยบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติกมีค่า L* มากที่สุด รองลงมาคือชุดควบคุม และบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้ามีค่า L* น้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 46.74, 42.86 และ 46.74 ตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 39) ค่า Chroma ของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายเป็นระยะเวลา 3 วันพบว่า บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติกมีค่า Chroma เท่ากับ 17.70 ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุรหภูมิโดยบรรจุตะกร้าที่มีค่าเท่ากับ 19.58 และชุดควบคุมที่มีค่าเท่ากับ 15.94 แต่พบว่าบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ (ตารางที่ 24) และมีแนวโน้มอยู่ในช่วง 13-23 ตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 40) สำหรับค่า Hue angle ของบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในตะกร้าและบรรจุในถุงพลาสติกเปรียบเทียบกับชุดควบคุมเมื่อเก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตลอดอายุการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 40) และมีแนวโน้มอยู่ในช่วง 80-95 องศา (ภาพที่ 41) เช่นเดียวกับ การศึกษาคุณภาพของบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งในอัตราส่วนโดยน้ำหนักบรอคโคลี่ต่อน้ำแข็ง 1:1, 2:1 และ 3:1 เปรียบเทียบกับบรอคโคลี่ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ (ชุดควบคุม) แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลานาน 4 วัน พบว่า ค่า L* และค่า Chroma ของดอกบรอคโคลี่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใกล้หมดอายุการเก็บรักษา ในขณะที่ค่า Hue angle มีแนวโน้มลดต่ำลง (ดนัยและชัยพิชิต, 2550) การเก็บรักษาใบรอคเกต (*Eruca sativa* Mill.) ไว้ที่อุณภูมิที่แตกต่างกัน พบว่า ใบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสมีสีเหลืองเกิดขึ้นในวันที่ 8 ของการเก็บรักษาซึ่งมากกว่าใบที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำและการเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียสมีการเกิดสีเหลืองมากกว่า 0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใบที่เก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียสมีการเปลี่ยนแปลงค่า L* และค่า Chroma มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และค่า Hue angle มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ใบที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียสมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าสีของใบในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา (Koukounaras *et al*., 2007)

(3) อายุการเก็บรักษา

จากผลการทดลองพบว่า บรอคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายมีอายุการเก็บรักษาแตกต่างกัน โดยบรอคโคลี่ที่บรรจุในถุงพลาสติกมีอายุการเก็บรักษานาน 6 วัน ซึ่งไม่มีความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แตกต่างกันทางสถิติกับบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในตะกร้ามีอายุการเก็บรักษานาน 5 วัน แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิที่มีอายุการเก็บรักษานาน 3 วัน (ตารางที่ 22) จากผลการทดลองจะเห็นว่าชุดควบคุมมีการเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว ทั้งคุณภาพทางเคมี และทางกายภาพ จึงทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิ เช่นเดียวกับการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อโดยกระบวนการลดอุณหภูมิแบบผ่านอากาศเย็นโดยวิธีต่างๆ เปรียบเทียบกับผักกาดหอมห่อที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยผักกาดหอมห่อที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุดคือ 8 วัน ส่วนผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่ใช้ในปัจจุบัน และผักกาดหอมห่อที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิโดยปรับเปลี่ยนวิธีคลุมผ้าใบมีอายุการเก็บรักษาเท่ากันคือ 14 วัน (มรกต, 2548) อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ อุณหภูมิสูงผักและผลไม้จะมีการเปลี่ยนแปลงและเสื่อมคุณภาพไปอย่างรวดเร็ว จึงทำให้อายุในการวางขายหรือใช้ในการบริโภคลดต่ำลง การลดอุณหภูมิและการเก็บรักษาให้ผลิตผลมีต่ำอยู่เสมอจึงเป็นสิ่งจำเป็น (จริงแท้, 2544) บรอคโคลี่เป็นผลิตผลที่เกิดความเสียหายได้ง่าย โดยมีอายุการเก็บรักษาและลักษณะปรากฏขึ้นอยู่สภาวะการเก็บรักษาเป็นหลักได้แก่ อุณหภูมิ ส่วนประกอบของบรรยากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ จากการศึกษาพบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ 4 องศาเซลเซียส ร่วมกับการดัดแปลงสภาพบรรยากาศในภาชนะบรรจุพบว่า สามารถยืดอายุการเก็บรักษาบรอคโคลี่ให้นานขึ้นได้ (Jia *et al*., 2008) การศึกษาผลของอุณหภูมิที่เก็บรักษา ระยะเวลาการเก็บรักษา การลดอุณหภูมิโดยใช้วิธี hydro-cooling และการห่อด้วย micro-perforated wrap ต่ออายุการเก็บรักษาของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายอุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส พบว่า สามารถเก็บรักษาได้นาน 5 วัน โดย การใช้ hydro-cooling และการห่อด้วย micro-perforated wrap สามารถรักษาความแน่นเนื้อได้ และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 10 หรือ 17 วันก่อนที่จะนำมาวางจำหน่าย สามารถลดการเกิดสีเหลืองของดอกบรอคโคลี่ได้ และสามารถนำไปใช้กับการบรรจุแบบดัดแปลงสภาพบรรยากาศได้ (Toivonen, 1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 22 อายุการเก็บรักษาของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

กรรมวิธี	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)
ชุดควบคุม	3[b]
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้า	5[a]
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติก	6[a]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

(4) ลักษณะปรากฏภายนอก

ลักษณะปรากฏของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย เป็นระยะเวลา 3 วันพบว่า ชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงสีของดอกจากสีเขียวเป็นเหลืองอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในตะกร้า และบรรจุในถุงพลาสติก ซึ่งยังคงมีสีเขียวอยู่ (ภาพที่ 32) แสดงว่า การลดอุณหภูมิเฉียบพลันของบรอคโคลี่ก่อนนำมาเก็บรักษาสามารถช่วยชะลอการเกิดสีเหลืองในดอกบรอคโคลี่ได้ เช่นเดียวกับ การศึกษาลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อโดยวิธีผ่านอากาศเย็นสามารถลดอาการเหี่ยว อาการเน่า และอาการก้านใบเป็นจุดสีน้ำตาลแดง เมื่อเปรียบเทียบกับผักกาดหอมห่อที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ (ยงยุทธ, 2535) ซึ่งความบริบูรณ์ของดอกขณะที่ เก็บเกี่ยวก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีเหลืองของดอกบรอคโคลี่เช่นกัน โดยมีผลต่อการสร้างและการตอบสนองต่อเอทธิลีน อัตราการหายใจ และ การสูญเสียคลอโรฟิลล์ (Tian *et al*., 2000) เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 วัน พบว่าทุกกรรมวิธีมีการเกิดสีเหลืองเพิ่มขึ้น และชุดควบคุมมีการเกิดสีเหลืองมากที่สุด (ภาพที่ 33) เนื่องจากมีการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในดอกบรอคโคลี่ตามระยะเวลาการเก็บรักษาเมื่อคลอโรฟิลล์สลายตัวไป สีของแคโรทีนอยด์จึงปรากฏขึ้น โดยทั่วไปการสูญเสียสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์จากผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้วบ่งบอกถึงความชราภาพ ซึ่งจะต้องป้องกันไม่ให้เกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผักสดชนิดต่างๆ ซึ่งการป้องกันการสูญเสียคลอโรฟิลล์ทำได้โดยการลดอุณหภูมิของผลิตผลลง (จริงแท้, 2544) การเกิดสีเหลืองเป็นสาเหตุที่สำคัญของการเสื่อมเสียคุณภาพของบรอคโคลี่ โดยเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในบรอคโคลี่ที่ไม่ได้ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกและเก็บรักษาที่ 4 และ 20 องศาเซลเซียส ในขณะที่บรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในสภาพดัดแปลงบรรยากาศและมีปริมาณความชื้นสูงทำให้การเปลี่ยนแปลงสีเกิดช้าลง และรักษาลักษณะปรากฏให้มีคุณภาพดีระหว่างการเก็บรักษา (Jia *et al*., 2008)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 32 ลักษณะปรากฏของดอกบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 3 วัน

ภาพที่ 33 ลักษณะปรากฏของดอกบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 6 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 23 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 3 วัน

กรรมวิธี	คลอโรฟิลล์ เอ (มก./100 ก. น้ำหนักสด)	คลอโรฟิลล์ บี (มก./100 ก. น้ำหนักสด)	คลอโรฟิลล์ ทั้งหมด (มก./100 ก. น้ำหนักสด)	วิตามินซี (มก./100 ก. น้ำหนักสด)
ชุดควบคุม	0.050	0.025	0.075	68.94[b]
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้า	0.060	0.030	0.090	74.17[b]
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติก	0.059	0.027	0.086	81.53[a]

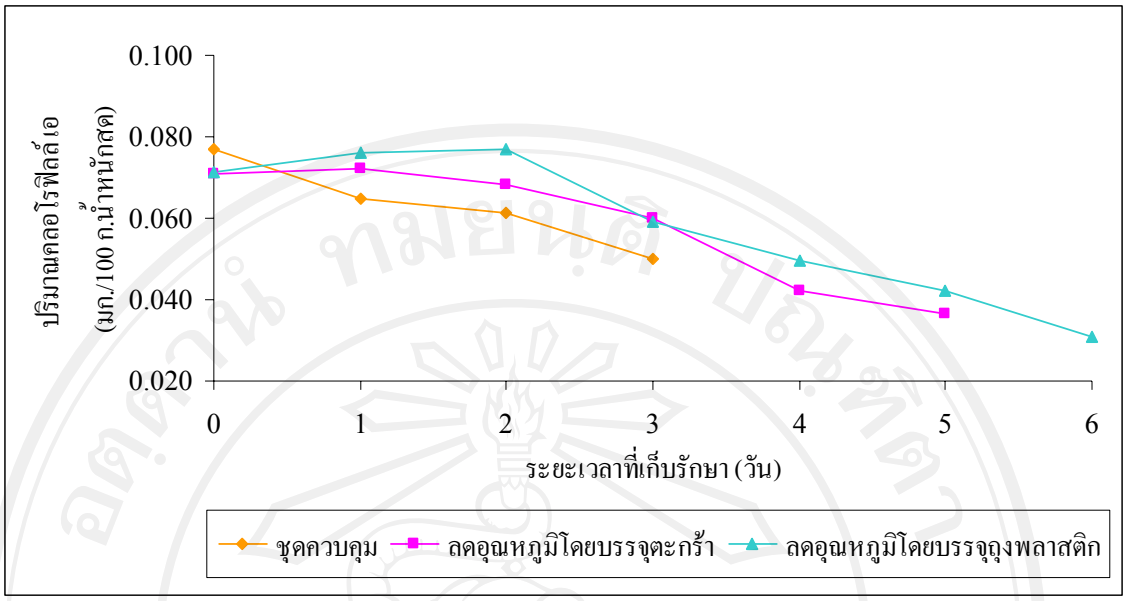
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 24 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 3 วัน

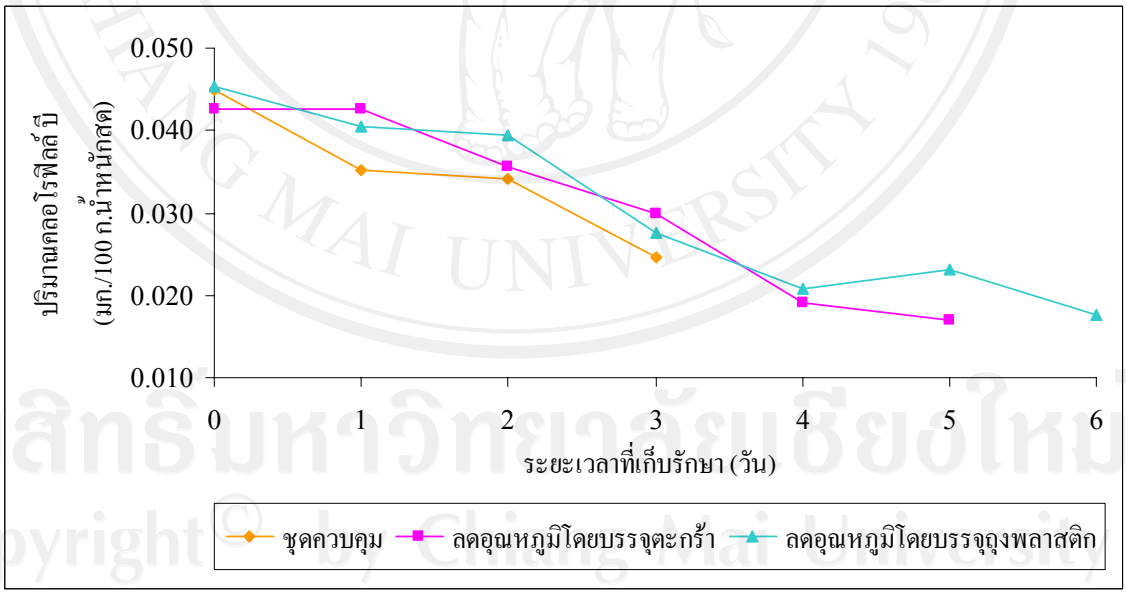
กรรมวิธี	การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)	L*	Chroma	Hue angle
ชุดควบคุม	2.29	42.86[b]	15.94[b]	90.92
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้า	1.59	36.30[c]	19.58[a]	94.30
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติก	1.88	46.74[a]	17.70[ab]	89.46

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

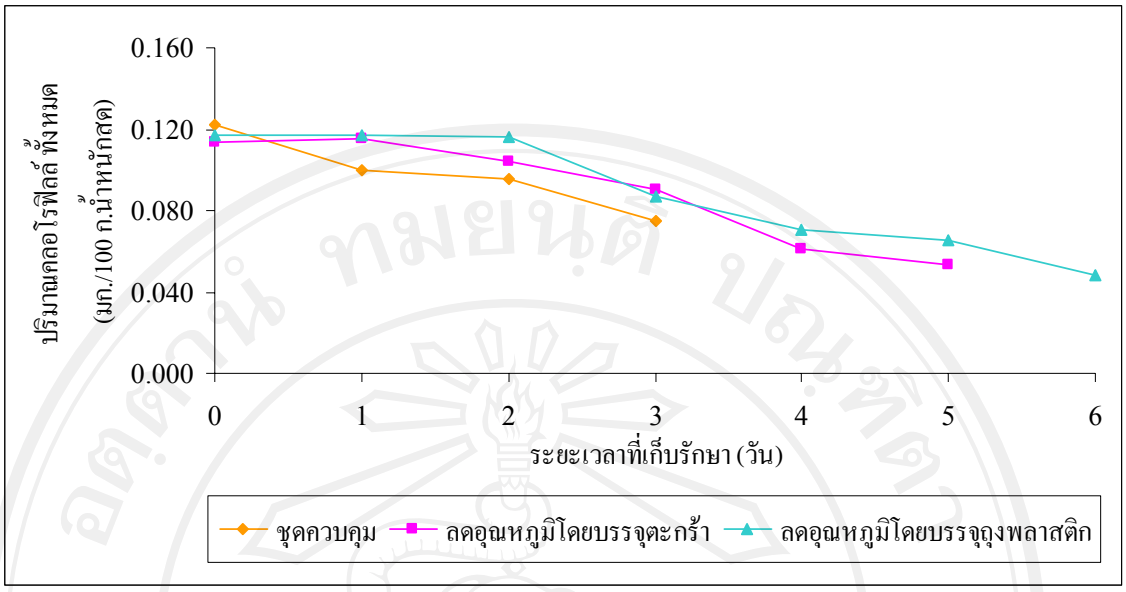


ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ เอของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

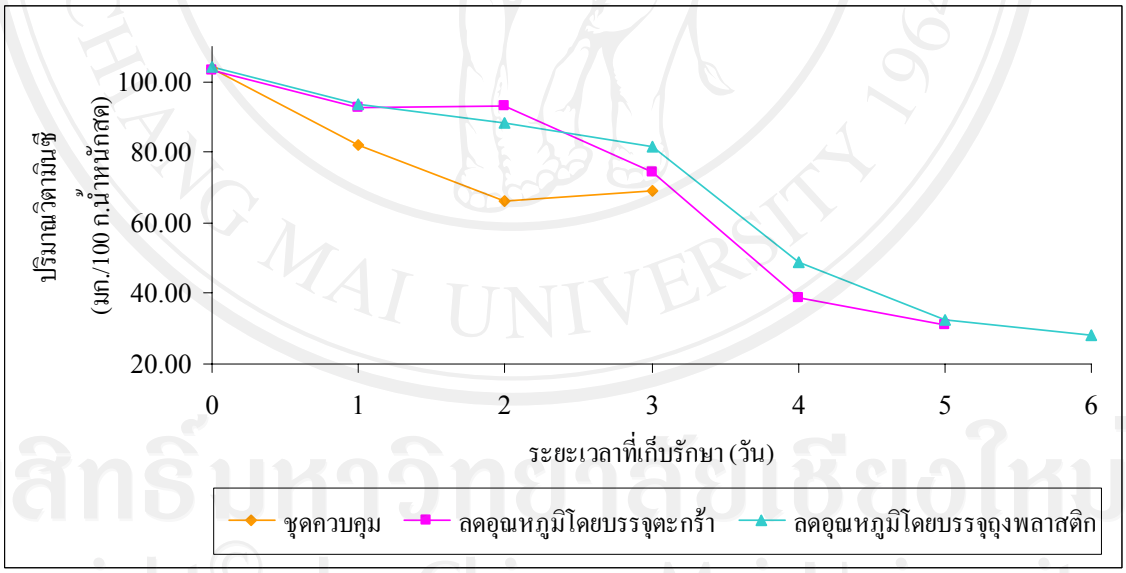


ภาพที่ 35 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ บีของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

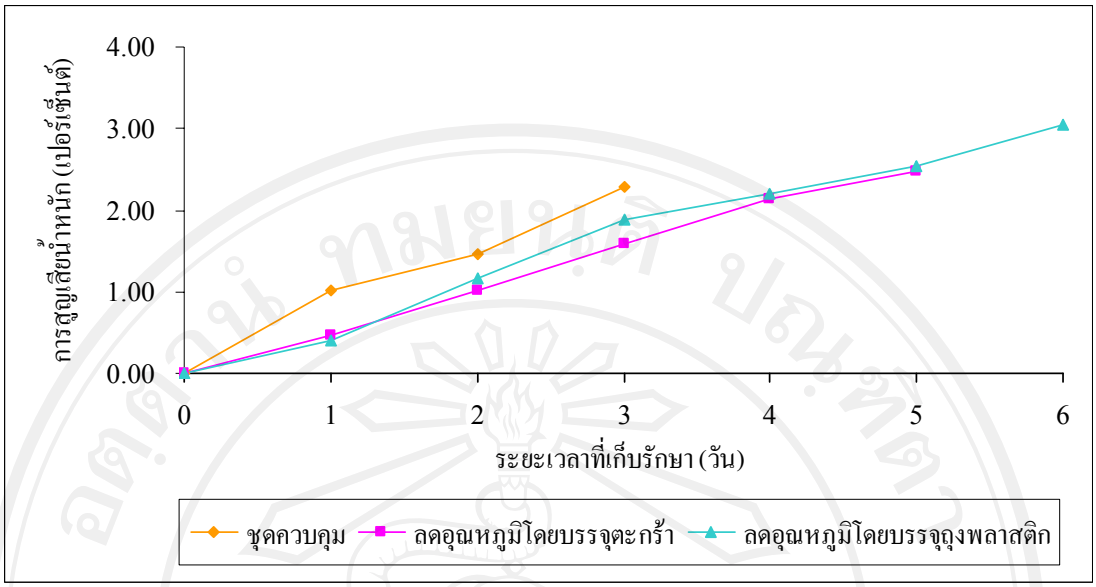


ภาพที่ 36 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

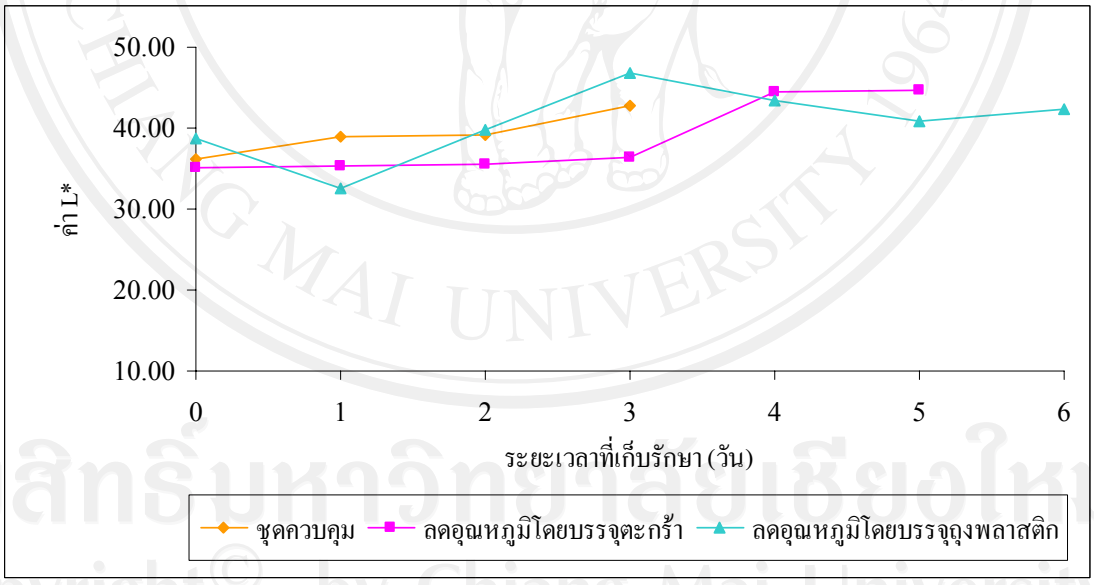


ภาพที่ 37 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

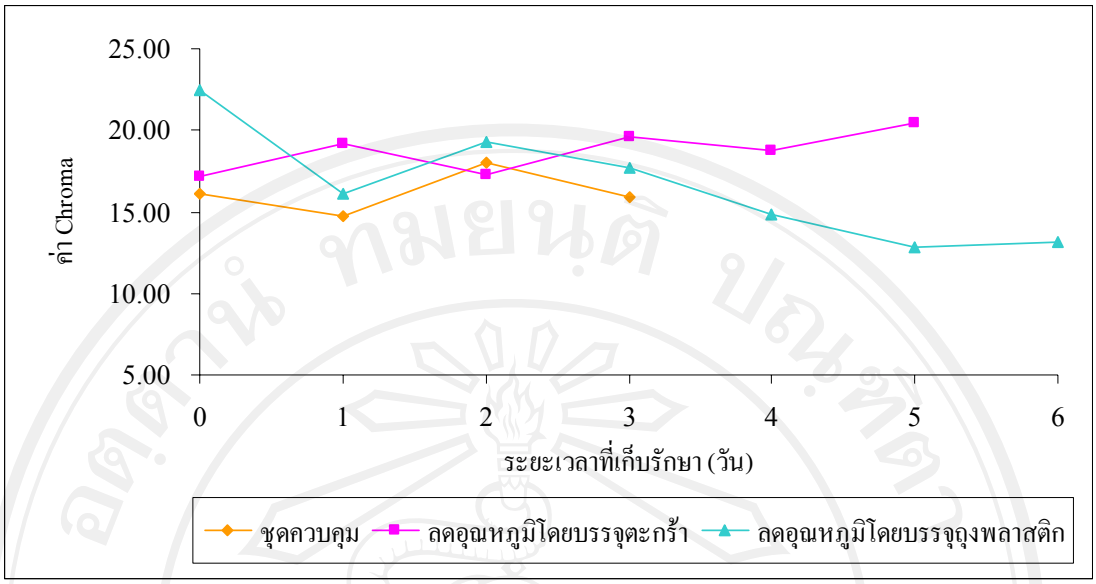


ภาพที่ 38 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

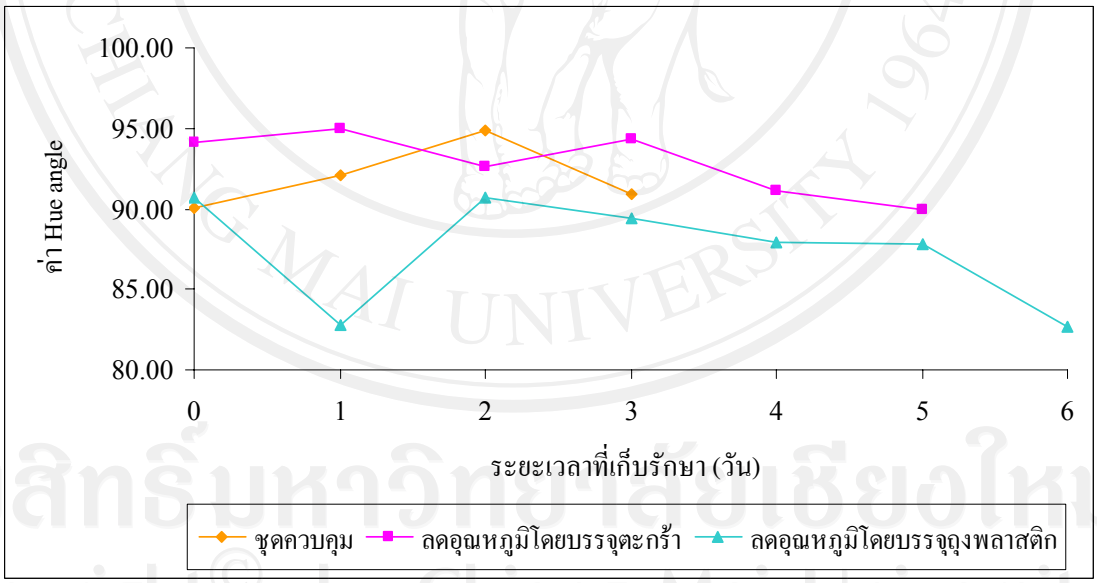


ภาพที่ 39 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 40 การเปลี่ยนแปลงค่า Chroma ของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 41 การเปลี่ยนแปลงค่า Hue angle ของบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved