บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1: ศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทำงานของกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ และสุญญากาศร่วมกับน้ำของผักกาดหอมห่อ

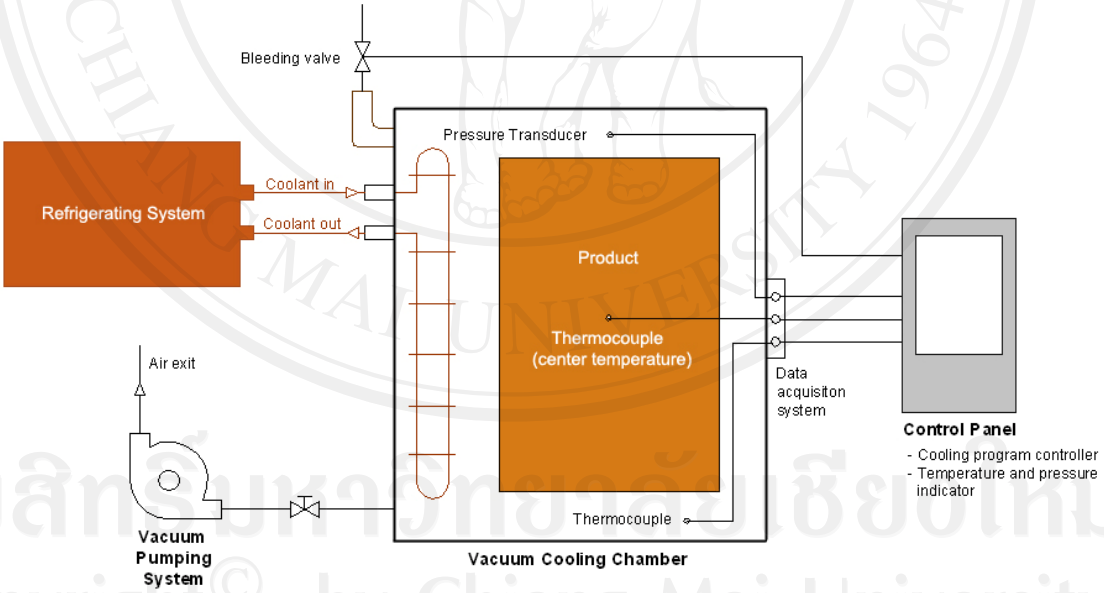
4.1.1 การศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทำงานของกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก (dry cycle)

การทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศสามารถอธิบายได้ดังนี้ ขั้นแรกอากาศภายในห้องลดอุณหภูมิ (vacuum chamber) จะถูกดึงออกจากห้องด้วยปั๊มสุญญากาศ (ภาพที่ 4.1) ทำให้ความดันและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดอุณหภูมิลดลง ความชื้นบางส่วนจะถูกดึงออกไปจากห้องพร้อมกับอากาศที่ถูกดึงออกจากห้องด้วยปั๊มสุญญากาศ เมื่อความดันภายในห้องลดลงถึง 200 และ 100 มิลลิบาร์ เครื่องทำความเย็นตัวที่ 1 และ 2 จะเริ่มทำงาน ตามลำดับ ในช่วงนี้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิภายในห้องลดอุณหภูมิลดลง และเมื่อความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงจนถึงระดับความดันสุดท้ายที่กำหนด (holding pressure) เครื่องจะทำการรักษาระดับความดันให้คงที่ เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันดังกล่าวตามระยะเวลาที่กำหนด (holding time) ความชื้นที่ระเหยออกจากผลิตผลในช่วงนี้จะควบแน่นกลายเป็นน้ำที่แผงทำความเย็น (evaporator coil) เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดเครื่องจะปล่อยให้อากาศจากภายนอกกลับเข้าสู่ห้องลดอุณหภูมิจนความดันภายในห้องกลับเข้าสู่สภาวะปกติ (1 บรรยากาศ) ซึ่งเป็นการสิ้นสุดกระบวนการลดอุณหภูมิ

จากการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศในกระบวนการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก โดยทดลองกำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเป็น 3 ระดับคือ 6.0, 6.5 และ 7.0 มิลลิบาร์ และกำหนดเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันในแต่ละระดับเป็น 12, 15 และ 20 นาที เพื่อให้ผักกาดหอมห่อมีอุณหภูมิสุดท้ายอยู่ระหว่าง 4±2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่โครงการหลวงกำหนดให้เก็บรักษาและขนส่งของผักกาดหอมห่อ พบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศสำหรับผักกาดหอมห่อที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ในช่วง 20-25 องศาเซลเซียส คือ การกำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 6 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด เท่ากับ 15 นาที (ตารางที่ 4.1) ด้วยสภาวะการทำงานนี้สามารถลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 22.0 องศาเซลเซียส ให้มีอุณหภูมิสุดท้ายเฉลี่ยประมาณ 3.5 องศาเซลเซียส หลังจาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิแล้ว และพบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักสดเฉลี่ย 3.97 เปอร์เซ็นต์ รวมใช้เวลาในการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อให้ถึงอุณหภูมิสุดท้ายในระยะเวลา 30 นาที เนื่องจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิแปรผันตรงกับระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ ซึ่งผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศใช้พลังงานไฟฟ้าในการลดอุณหภูมิ 0.20 หน่วย คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.002 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นการกำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 15 นาที จึงเป็นพารามิเตอร์ในการทำงานของระบบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ พัลลภ และคณะ (2550) ที่ได้ทดลองกระบวนการทำความเย็นแบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อ พบว่าผักกาดหอมห่อเมื่อผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศแล้วทำให้อุณหภูมิแกนกลางของผักกาดหอมห่อลดลงอย่างรวดเร็วจาก 24.7 องศาเซลเซียส เหลือ 2.6 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 20 นาที และมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในผักกาดหอมห่อเท่ากับ 5.28 เปอร์เซ็นต์ หลังสิ้นสุดของกระบวนการทำความเย็น



ภาพที่ 4.1 ส่วนประกอบของเครื่องลดอุณหภูมิสุญญากาศที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิ

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิผลิตผล อุณหภูมิอากาศ กับเวลาที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติกแสดงดังภาพที่ 4.2 พบว่า ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึง 6.0 มิลลิบาร์ซึ่งเป็นความดันสุดท้ายที่กำหนด ภายในระยะเวลา 13 นาที ส่วนอุณหภูมิอากาศจะลดลงอย่างช้าๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับอุณหภูมิของผักกาดหอมห่อค่อนข้างคงที่ จนกระทั่งเมื่อความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงจนถึง 14 มิลลิบาร์ที่นาทีที่ 9 อุณหภูมิของผักกาดหอมห่อจะลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งที่จุดนี้เรียกว่า flash point เป็นเวลาที่น้ำในผลิตผลจะเริ่มเดือดและระเหยกลายเป็นไอทำให้ผักกาดหอมห่อมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อความดันลดต่ำลงน้ำยังคงเดือดและระเหยกลายเป็นไออย่างต่อเนื่องทำให้อุณหภูมิของผักกาดหอมห่อลดลงด้วยความชันสูงจนกระทั่งเมื่อความดันสุดท้ายลดลง มาอยู่ที่ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิผลิตผลที่ 6.0 มิลลิบาร์ เครื่องจะทำการรักษาระดับความดันให้ค่อนข้างคงที่ เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันตามระยะเวลาที่กำหนดเท่ากับ 15 นาที ซึ่งในช่วงนี้อุณหภูมิของผักกาดหอมห่อจะลดลงด้วยความชันลดลงจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 3.6 องศาเซลเซียส ที่นาทีที่ 30 ซึ่งได้สอดคล้องกับการทดลองของ พัลลภ และคณะ (2550) ที่ได้หาปริมาณความชื้นเฉลี่ยของผักกาดหอมห่อระหว่างการทำความเย็นแบบสุญญากาศ พบว่า ตอนเริ่มต้นของการทำความเย็น 2 ถึง 3 นาทีแรก อัตราการระเหยของไอน้ำสูงหลังจากนั้นอัตราการระเหยไอน้ำจะลดลง หลังจากการทำความเย็น 20 นาที

จากการศึกษาผลของพารามิเตอร์ในการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศในกระบวนการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อต่อเวลาทั้งหมด (cycle time) ที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ, เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด (ตารางที่ 4.1) และ อุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผล พบว่า ระดับความดันสุดท้ายที่กำหนดและเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด มีผลต่อเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ, เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด และอุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผล โดยพบว่า ยิ่งระดับความดันสุดท้ายที่กำหนดลดลง เวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเพิ่มขึ้นจะเป็นผลทำให้เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ, เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นในขณะที่อุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผลต่ำลง

เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพันธ์ของอากาศระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติกแสดงในภาพที่ 4.3 พบว่า เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเริ่มลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 60.7 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิภายในห้องลดลง แต่หลังจากเวลาผ่านไป 7 นาที เมื่อมีการลดความดันอย่างต่อเนื่อง เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการลดความดันบรรยากาศในห้องลดอุณหภูมิเป็นการดึงอากาศที่มีความชื้นออก ทำให้ภายในห้องลดอุณหภูมิมีปริมาณความชื้นลดลง ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องลดอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิถูกทำให้ลดลงจนอยู่ในระดับที่ความดันสุดท้ายเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 30-40 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงนาทีที่ 13-28 และในช่วงสุดท้ายของการลดอุณหภูมิมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น เนื่องจาก

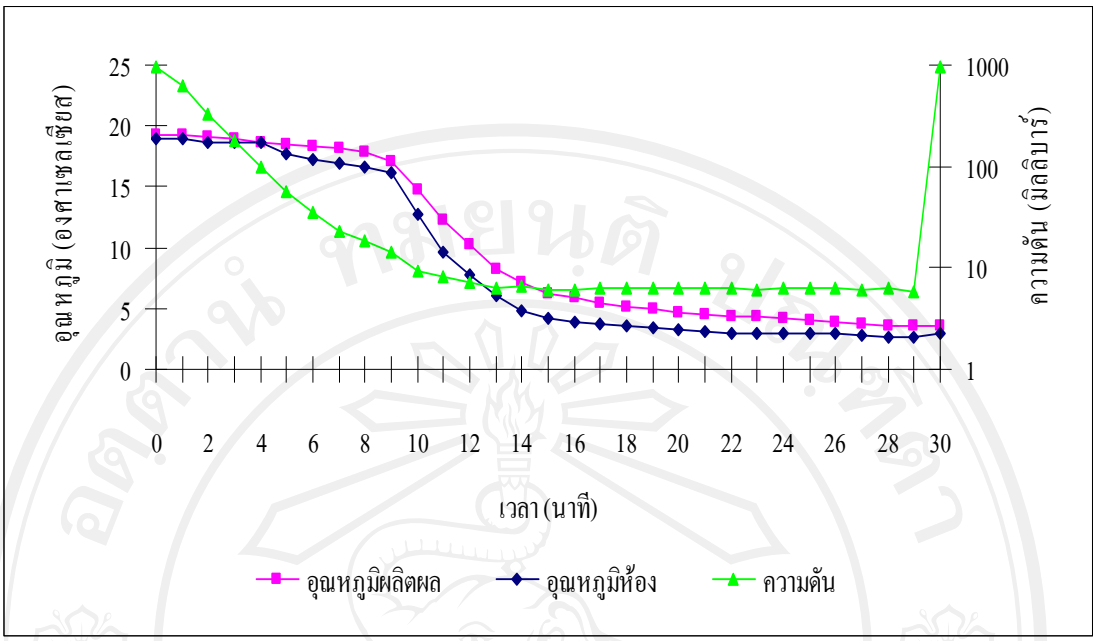
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อากาศภายในห้องลดอุณหภูมิมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากการระเหยน้ำจากเซลล์ของผักกาดหอมห่อระหว่างที่อยู่ในสภาวะที่มีความดันต่ำทำให้มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายหลังจากการลดอุณหภูมิ เพิ่มขึ้นเป็น 52.5 เปอร์เซ็นต์

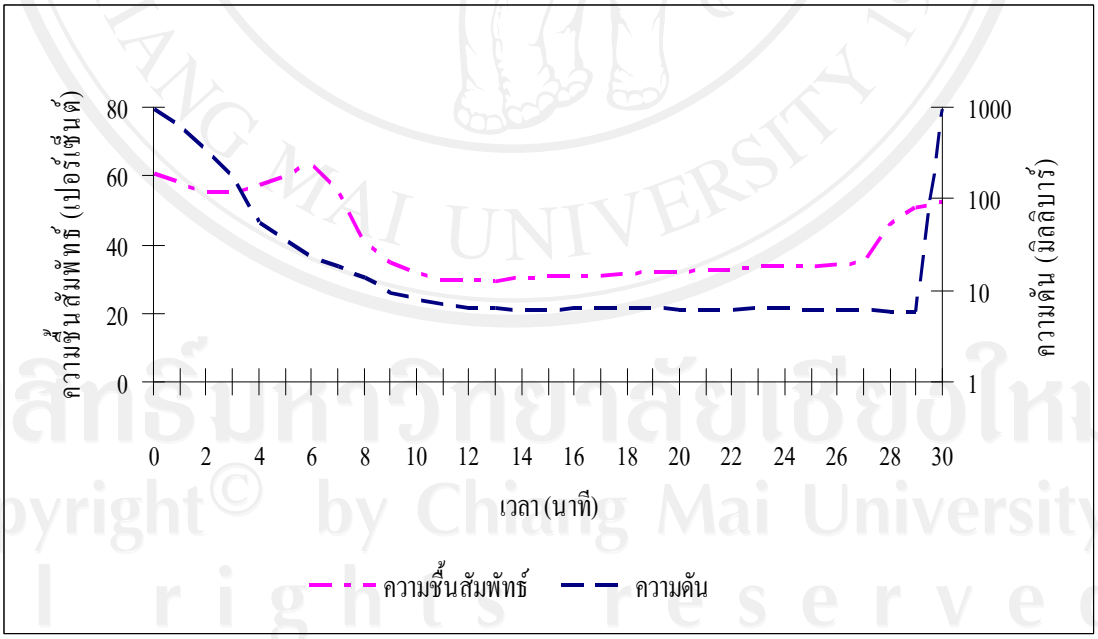
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก

สภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศ	ข้อมูลจากการทดลอง
ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิ (มิลลิบาร์)	6.00
เวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด (นาที)	15.00
เวลาที่ใช้ในการพ่นน้ำ (นาที)	-
เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ (นาที)	30.00
น้ำหนักวัตถุดิบก่อนทำการลดอุณหภูมิ (กรัม)	151.00
น้ำหนักวัตถุดิบหลังทำการลดอุณหภูมิ (กรัม)	145.00
การสูญเสียน้ำหนักสด (เปอร์เซ็นต์)	3.97
อุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยของวัตถุดิบ (องศาเซลเซียส)	22.00
อุณหภูมิเฉลี่ยของวัตถุดิบที่ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	3.50
อุณหภูมิเฉลี่ยของวัตถุดิบที่ความดันปกติ (องศาเซลเซียส)	3.60
อุณหภูมิเฉลี่ยสุดท้ายของวัตถุดิบขณะที่นำออกจากห้องลดอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	5.20
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	0.20
ค่าไฟฟ้า (บาท/กิโลกรัม)	0.002

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความดันต่อเวลาในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และความดันต่อเวลาในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2 การศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทำงานของกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ (hydro vacuum cooling) ของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก (wet cycle)

การทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำสามารถอธิบายได้ดังนี้ ขั้นแรกอากาศภายในห้องลดอุณหภูมิจะถูกดึงออกจากห้องด้วยปั๊มสุญญากาศ (ภาพที่ 4.1) ทำให้ความดันและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดอุณหภูมิลดลง และทำการพ่นละอองน้ำสะอาดจากหัวฉีดด้านบนลงมาสัมผัสกับผิวด้านนอกของผลิตผลเป็นเวลา 5 และ 10 นาที ตามที่ได้กำหนดไว้สำหรับแต่ละกระบวนการ ความชื้นบางส่วนจะถูกดึงออกไปจากห้องพร้อมกับอากาศที่ถูกดึงออกจากห้องด้วยปั๊มสุญญากาศ เมื่อความดันภายในห้องลดลงถึง 200 และ 100 มิลลิบาร์ เครื่องทำความเย็นเครื่องที่ 1 และ 2 จะเริ่มทำงาน ตามลำดับ ในช่วงนี้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิภายในห้องลดอุณหภูมิลดลง และเมื่อความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงจนถึงระดับความดันสุดท้ายที่กำหนด เครื่องจะทำการรักษาระดับความดันให้คงที่ เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันดังกล่าวตามระยะเวลาที่กำหนด ความชื้นที่ระเหยออกจากผลิตผลในช่วงนี้จะควบแน่นกลายเป็นน้ำที่แผงทำความเย็น จากนั้นจะทำการพ่นละอองน้ำสะอาดจากหัวฉีดด้านบนลงมาสัมผัสกับผิวด้านนอกของผลิตผลอีกครั้ง เป็นเวลา 5 และ 10 นาที ตามที่ได้กำหนดไว้ในแต่ละกระบวนการ เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดเครื่องจะปล่อยให้อากาศจากภายนอกกลับเข้าสู่ห้องลดอุณหภูมิจนความดันภายในห้องกลับเข้าสู่สภาวะปกติ (1 บรรยากาศ) ซึ่งเป็นการสิ้นสุดกระบวนการลดอุณหภูมิ

จากการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำในกระบวนการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก โดยทดลองกำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเป็น 3 ระดับคือ 6.0, 6.5 และ 7.0 มิลลิบาร์ และกำหนดเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันในแต่ละระดับเป็น 12, 15 และ 20 นาที โดยกำหนดเวลาในการพ่นละอองน้ำสะอาดลงบนผลิตผลเป็นเวลา 5 และ 10 นาที เพื่อให้ผักกาดหอมห่อมีอุณหภูมิสุดท้ายอยู่ระหว่าง 4±2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาของผักกาดหอมห่อ พบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำสำหรับผักกาดหอมห่อที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ในช่วง 15-20 องศาเซลเซียส คือ การกำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด เท่ากับ 12 นาที และมีระยะเวลาในการพ่นน้ำสะอาด เท่ากับ 5 นาที (ตารางที่ 4.2) ด้วยสภาวะการทำงานนี้สามารถลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 15.07 องศาเซลเซียส ให้มีอุณหภูมิสุดท้ายเฉลี่ยประมาณ 1.80 องศาเซลเซียส หลังจากผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิแล้ว และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักสดเฉลี่ย 2.23 เปอร์เซ็นต์ รวมใช้เวลาในการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อให้ถึงอุณหภูมิสุดท้ายในระยะเวลา 30 นาที เนื่องจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิแปรผันตรงกับระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ ซึ่งผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ ใช้พลังงานไฟฟ้าในการลดอุณหภูมิ 0.17 หน่วย คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.0027 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นการกำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 12 นาที โดยมีระยะเวลาในการพ่นน้ำเป็นเวลา 5 นาที จึงเป็นพารามิเตอร์ในการทำงานของระบบที่เหมาะสมที่สุด

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิผลิตผล อุณหภูมิอากาศ กับเวลาที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติกแสดงดังภาพที่ 4.4 พบว่า ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึง 6.0 มิลลิบาร์ ซึ่งเป็นความดันสุดท้ายที่กำหนดภายในระยะเวลา 12 นาที ส่วนอุณหภูมิอากาศจะลดลงอย่างช้าๆ สำหรับอุณหภูมิของผักกาดหอมห่อค่อนข้างคงที่ จนกระทั่งเมื่อความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงจนถึง 10.4 มิลลิบาร์ที่นาทีที่ 9 อุณหภูมิของผักกาดหอมห่อจะลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งที่จุดนี้เรียกว่า flash point เป็นเวลาที่น้ำในผลิตผลจะเริ่มเดือดและระเหยกลายเป็นไอทำให้ผักกาดหอมห่อมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อความดันลดต่ำลงน้ำยังคงเดือดและระเหยกลายเป็นไออย่างต่อเนื่องทำให้อุณหภูมิของผักกาดหอมห่อลดลงด้วยความชันสูงจนกระทั่งเมื่อความดันสุดท้ายลดลง มาอยู่ที่ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิผลิตผลที่ 6.0 มิลลิบาร์ เครื่องจะทำการรักษาระดับความดันให้ค่อนข้างคงที่ เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันตามระยะเวลาที่กำหนดเท่ากับ 12 นาที ซึ่งในช่วงนี้อุณหภูมิของผักกาดหอมห่อจะลดลงด้วยความชันลดลงจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 1.8 องศาเซลเซียส ที่นาทีที่ 30

จากการศึกษาผลของพารามิเตอร์ในการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำในกระบวนการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อต่อเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ, เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด (ตารางที่ 4.2) และ อุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผล พบว่าระดับความดันสุดท้ายที่กำหนดและเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด มีผลต่อเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด และอุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผล โดยพบว่า ยิ่งระดับความดันสุดท้ายที่กำหนดลดลง เวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเพิ่มขึ้นจะเป็นผลทำให้เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นในขณะที่อุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผลต่ำลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

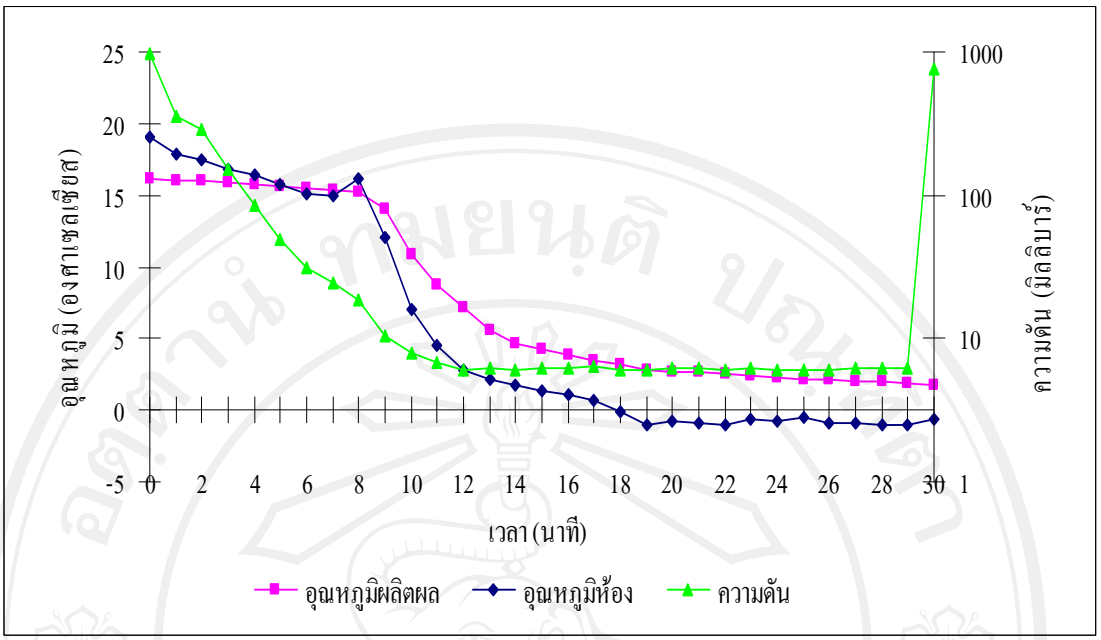
เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพันธ์ของอากาศระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติกแสดงในภาพที่ 4.5 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเริ่มลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 50.6 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิภายในห้องลดลง แต่หลังจากเวลาผ่านไป 6 นาที เมื่อมีการลดความดันอย่างต่อเนื่อง เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการลดความดันบรรยากาศในห้องลดอุณหภูมิเป็นการดึงอากาศที่มีความชื้นออก ทำให้ภายในห้องลดอุณหภูมิมีปริมาณความชื้นลดลง ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องลดอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิถูกทำให้ลดลงจนอยู่ในระดับที่ความดันสุดท้ายเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 30-40 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงนาทีที่ 13-29 และในช่วงสุดท้ายของการลดอุณหภูมิมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น เนื่องจากอากาศภายในห้องลดอุณหภูมิมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากการระเหยน้ำจากเซลล์ของผักกาดหอมห่อระหว่างที่อยู่ในสภาวะที่มีความดันต่ำทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายหลังจากการลดอุณหภูมิ เพิ่มขึ้นเป็น 59.9 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

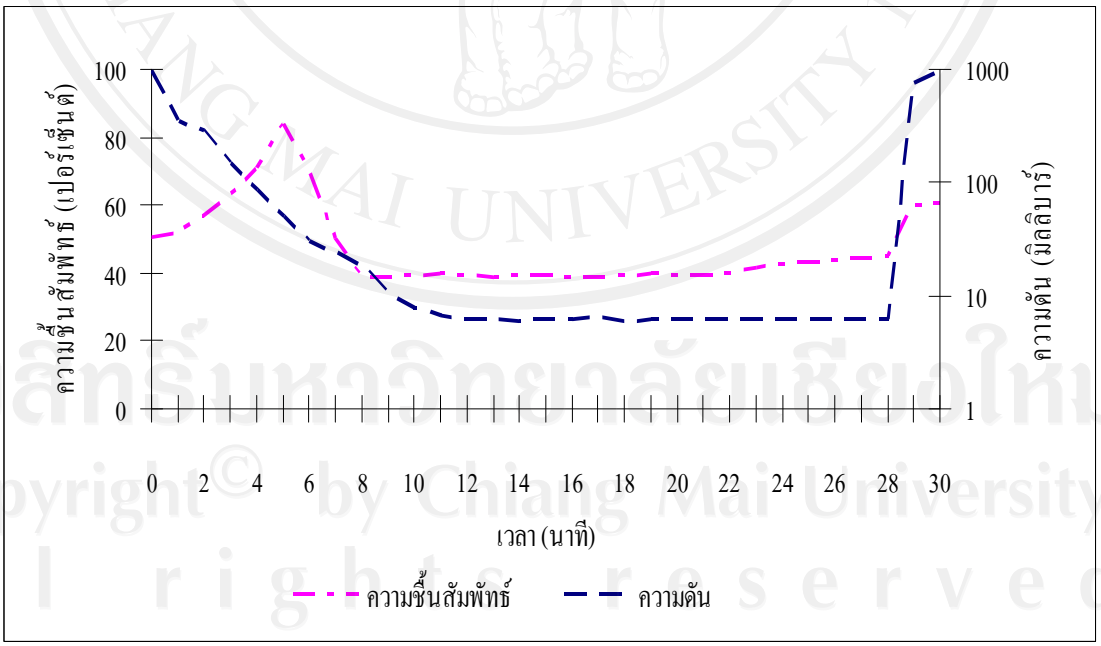
ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก

สภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศ	ข้อมูลจากการทดลอง
ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิ (มิลลิบาร์)	6.00
เวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด (นาที)	12.00
เวลาที่ใช้ในการพ่นน้ำ (นาที)	300
เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ (นาที)	30.00
น้ำหนักวัตถุดิบก่อนทำการลดอุณหภูมิ (กรัม)	200.74
น้ำหนักวัตถุดิบหลังทำการลดอุณหภูมิ (กรัม)	196.27
การสูญเสียน้ำหนักสด (เปอร์เซ็นต์)	2.23
อุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยของวัตถุดิบ (องศาเซลเซียส)	15.07
อุณหภูมิเฉลี่ยของวัตถุดิบที่ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	1.90
อุณหภูมิเฉลี่ยของวัตถุดิบที่ความดันปกติ (องศาเซลเซียส)	1.80
อุณหภูมิเฉลี่ยสุดท้ายของวัตถุดิบขณะที่นำออกจากห้องลดอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	3.97
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	0.17
ค่าไฟฟ้า (บาท/กิโลกรัม)	0.0027

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความดันต่อเวลาในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และความดันต่อเวลาในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.3 การศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทำงานของกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในถุงพลาสติก (dry cycle)

จากการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศในกระบวนการลดอุณหภูมิของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในถุงพลาสติก โดยทดลองกำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเป็น 3 ระดับคือ 6.0, 6.5 และ 7.0 มิลลิบาร์ และกำหนดเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันในแต่ละระดับเป็น 12, 15 และ 20 นาที เพื่อให้ผักกาดหอมห่อมีอุณหภูมิสุดท้ายอยู่ระหว่าง 4±2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาของผักกาดหอมห่อ พบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศสำหรับผักกาดหอมห่อที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ในช่วง 20-25 องศาเซลเซียส คือ การกำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด เท่ากับ 20 นาที (ตารางที่ 4.3) ด้วยสภาวะการทำงานนี้สามารถลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 22.03 องศาเซลเซียส ให้มีอุณหภูมิสุดท้ายเฉลี่ยประมาณ 4.0 องศาเซลเซียส หลังจากผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิแล้ว และพบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักสดเฉลี่ย 2.99 เปอร์เซ็นต์ รวมใช้เวลาในการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อให้ถึงอุณหภูมิสุดท้ายในระยะเวลา 32 นาที เนื่องจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิแปรผันตรงกับระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ ซึ่งผักกาดหอมห่อที่บรรจุในถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ใช้พลังงานไฟฟ้าในการลดอุณหภูมิ 0.32 หน่วย คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.0034 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นการกำหนดความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 20 นาที จึงเป็นพารามิเตอร์ในการทำงานของระบบที่เหมาะสมที่สุด

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิผลิตผล อุณหภูมิอากาศ กับเวลาที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในถุงพลาสติกแสดงดังภาพที่ 4.6 พบว่า ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึง 6.0 มิลลิบาร์ซึ่งเป็นความดันสุดท้ายที่กำหนด ภายในระยะเวลา 20 นาที ส่วนอุณหภูมิอากาศจะลดลงอย่างช้าๆ สำหรับอุณหภูมิของผักกาดหอมห่อค่อนข้างคงที่ จนกระทั่งเมื่อความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงจนถึง 12.8 มิลลิบาร์ที่นาทีที่ 9 อุณหภูมิของผักกาดหอมห่อจะลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งที่จุดนี้เรียกว่า flash point เป็นเวลาที่น้ำในผลิตผลจะเริ่มเดือดและระเหยกลายเป็นไอทำให้ผักกาดหอมห่อมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อความดันลดต่ำลงน้ำยังคงเดือดและระเหยกลายเป็นไออย่างต่อเนื่องทำให้อุณหภูมิของผักกาดหอมห่อลดลงด้วยความชันสูงจนกระทั่งเมื่อความดันสุดท้ายลดลงมาอยู่ที่ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิผลิตผลที่ 6.0 มิลลิบาร์ เครื่องจะทำการรักษาระดับความดันให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่อนข้างคงที่ เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันตามระยะเวลาที่กำหนดเท่ากับ 20 นาที ซึ่งในช่วงนี้อุณหภูมิของผักกาดหอมห่อจะลดลงด้วยความชันลดลงจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 4.0 องศาเซลเซียสที่นาทีที่ 32

จากการศึกษาผลของพารามิเตอร์ในการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศในกระบวนการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อต่อเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ, เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด (ตารางที่ 4.3) และ อุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผล พบว่าระดับความดันสุดท้ายที่กำหนดและเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด มีผลต่อเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ, เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด และอุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผล โดยพบว่า ยิ่งระดับความดันสุดท้ายที่กำหนดลดลง เวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเพิ่มขึ้นจะเป็นผลทำให้เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นในขณะที่อุณหภูมิสุดท้ายของผลิตผลต่ำลง

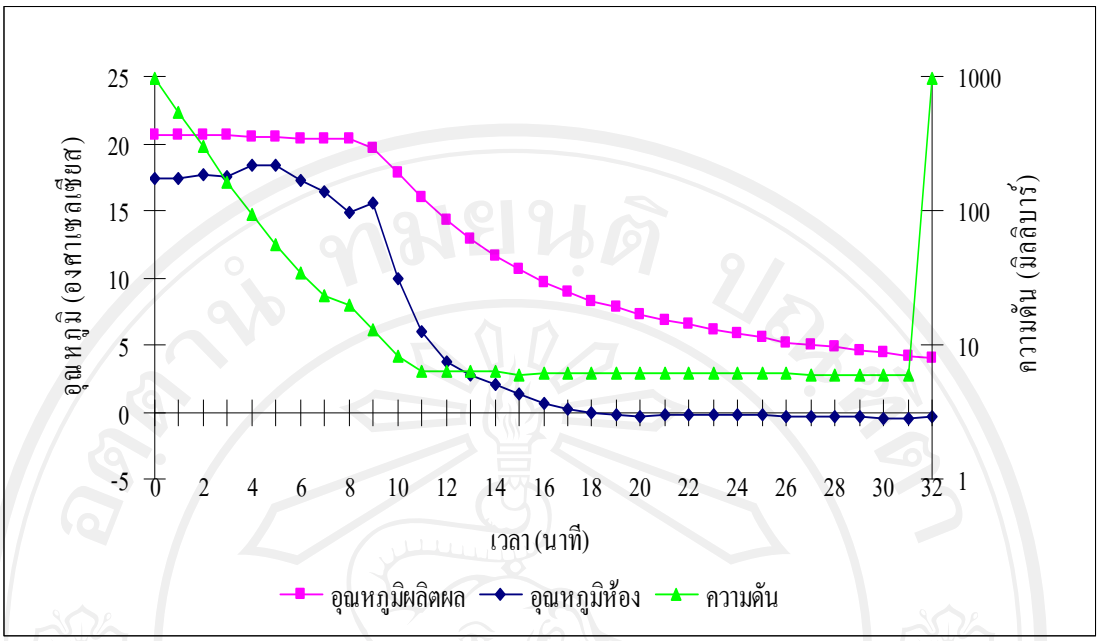
ภาพที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพันธ์ของอากาศระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในถุงพลาสติก พบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเริ่มลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 55.0 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิภายในห้องลดลง แต่หลังจากเวลาผ่านไป 7 นาที เมื่อมีการลดความดันอย่างต่อเนื่อง เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการลดความดันบรรยากาศในห้องลดอุณหภูมิเป็นการดึงอากาศที่มีความชื้นออก ทำให้ภายในห้องลดอุณหภูมิมีปริมาณความชื้นลดลง ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องลดอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิถูกทำให้ลดลงจนอยู่ในระดับที่ความดันสุดท้ายเท่ากับ 6.0 มิลลิบาร์ เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 50-60 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงนาทีที่ 8-28 และในช่วงสุดท้ายของการลดอุณหภูมิมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น เนื่องจากอากาศภายในห้องลดอุณหภูมิมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากการระเหยน้ำจากเซลล์ของผักกาดหอมห่อระหว่างที่อยู่ในสภาวะที่มีความดันต่ำทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายหลังจากการลดอุณหภูมิ เพิ่มขึ้นเป็น 76.9 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

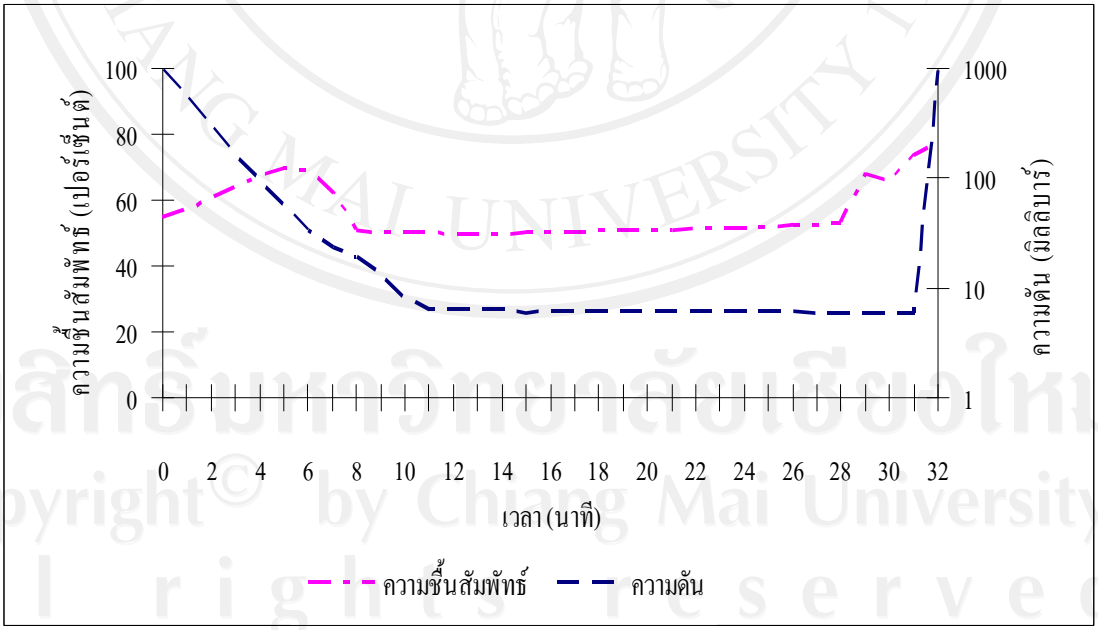
ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในถุงพลาสติก

สภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศ	ข้อมูลจากการทดลอง
ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิ (มิลลิบาร์)	6.00
เวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด (นาที)	20.00
เวลาที่ใช้ในการพ่นน้ำ (นาที)	-
เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ (นาที)	32.00
น้ำหนักวัตถุดิบก่อนทำการลดอุณหภูมิ (กรัม)	159.99
น้ำหนักวัตถุดิบหลังทำการลดอุณหภูมิ (กรัม)	156.77
การสูญเสียน้ำหนักสด (เปอร์เซ็นต์)	2.99
อุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยของวัตถุดิบ (องศาเซลเซียส)	22.03
อุณหภูมิเฉลี่ยของวัตถุดิบที่ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	4.20
อุณหภูมิเฉลี่ยของวัตถุดิบที่ความดันปกติ (องศาเซลเซียส)	4.00
อุณหภูมิเฉลี่ยสุดท้ายของวัตถุดิบขณะที่นำออกจากห้องลดอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	3.70
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	0.32
ค่าไฟฟ้า (บาท/กิโลกรัม)	0.0034

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความดันต่อเวลาในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในถุงพลาสติก



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และความดันต่อเวลาในการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในถุงพลาสติก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในสภาวะการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในถุงพลาสติก พบว่า มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในห้องลดอุณหภูมิในช่วงสุดท้ายสูงกว่าผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก ทั้งนี้เนื่องจากขณะที่ภายในห้องลดอุณหภูมิมีการลดความดันอย่างต่อเนื่อง น้ำระเหยออกจากผลิตผลแต่ไม่สามารถที่จะระเหยออกมาสู่อากาศภายในห้องลดอุณหภูมิดีกว่าผักกาดหอมห่อที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติก เนื่องจากมีถุงพลาสติกห่อหุ้มอยู่ เมื่อเข้าสู่ช่วงความดันสุดท้ายน้ำภายในถุงสามารถระเหยออกมาได้มากขึ้น ซึ่งช่วงเวลานั้นไม่มีการดึงอากาศออกจากห้องลดอุณหภูมิอีกต่อไป จึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในห้องลดอุณหภูมิสูงกว่ากระบวนการลดอุณหภูมิของผักกาดหอมห่อที่บรรจุในตะกล้าพลาสติก

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดเฉลี่ยของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ พบว่า ผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศที่บรรจุในตะกร้าพลาสติกมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด รองลงมาคือ ผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศที่บรรจุในถุงพลาสติกและผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.97, 2.99 และ 2.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำจะมีการพ่นละอองน้ำสะอาดจากหัวฉีดด้านบนลงมาสัมผัสกับผิวด้านนอกของผลิตผลทำให้มีหยดน้ำเกาะอยู่ที่ผิวของผลิตผล ดังนั้นเมื่อความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงมาถึง flash point น้ำอยู่บนผลิตผลเริ่มเดือดและระเหยกลายเป็นไอก่อนน้ำภายในเซลล์ จึงทำให้มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลิตผล เมื่อเปรียบเทียบกับผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ (dry cycle) น้อยที่สุด

ทำการทดลองโดยใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 4.1.1, 4.1.2 และ4.1.3 แล้วนำผลิตผลมาทำการเก็บรักษาเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพ และทางสรีระใน 2 สภาวะ โดยทำการจำลองการเก็บรักษาในห้องเย็นและบนชั้นวางจำหน่ายของศูนย์คัดบรรจุดอยคำ มูลนิธิโครงการหลวงเชียงใหม่ และทำการประเมินคุณภาพทุกวัน

4.2 การทดลองที่ 2 คุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิเฉียบพลันโดยใช้ระบบสุญญากาศที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส

นำผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 4.1.1, 4.1.2 และ 4.1.3 มาเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียสโดยทำการจำลองการเก็บรักษาในห้องเย็นของศูนย์คัดบรรจุดอยคำ มูลนิธิโครงการหลวงเชียงใหม่ และทำการประเมินคุณภาพทางกายภาพและทางสรีรวิทยาทุกวัน โดยแบ่งออกเป็น 4 กรรมวิธีดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรรมวิธีที่ 1: ชุดควบคุม (ไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิ)

กรรมวิธีที่ 2: ผักกาดหอมห่อบรรจุถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ (dry cycle)

กรรมวิธีที่ 3: ผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ (dry cycle)

กรรมวิธีที่ 4: ผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ (wet cycle)

4.2.1 การประเมินคุณภาพทางสรีระ

4.2.1.1 อุณหภูมิใจกลางผัก

จากการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิใจกลางผักกาดหอมห่อที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิเฉียบพลันโดยใช้ระบบสุญญากาศและระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่าผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพันธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ มีอุณหภูมิใจกลางผักในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.4) โดยผักกาดหอมห่อบรรจุถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ และผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำมีอุณหภูมิใจกลางผักเฉลี่ยเท่ากันและมีค่ามากที่สุด รองลงมา คือผักกาดหอมห่อในชุดควบคุมโดยมีค่าเท่ากับ 4.83 และ 4.47 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเทียบกับผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีค่าอุณหภูมิใจกลางผักเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 1.90 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาอุณหภูมิใจกลางผักกาดหอมห่อ พบว่า แนวโน้มของกราฟอุณหภูมิใจกลางผักเฉลี่ยเทียบกับเวลาในการเก็บรักษาไม่คงที่ทุกกรรมวิธี (ภาพที่ 4.8) ซึ่งจะมีอุณหภูมิใจกลางผักอยู่ในช่วง 3-5 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเก็บรักษาผักกาดหอมห่อในห้องเย็น แสดงให้เห็นว่า กระบวนการลดอุณหภูมิหลังการเก็บเกี่ยวมีความสำคัญต่อคุณภาพหลังการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อ เพราะหากผักกาดหอมห่อผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิหลังการเก็บเกี่ยวแล้วจะทำให้อุณหภูมิใจกลางผักต่ำลงและส่งผลต่อคุณภาพของผลิตผล ช่วยรักษาคุณภาพผลิตผลและยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดอัตราการหายใจของผลิตผล คือ ถ้าอุณหภูมิสูงจะเร่งขบวนการเมตาบอริซึมต่าง ๆ ภายในเซลล์ของผลิตผลให้เกิดเร็วขึ้น (ดนัย และนิธิยา, 2531; มรกต, 2548) อัตราการหายใจก็จะสูงตามไปด้วย เมื่อผลิตผลมีการหายใจมากจึงทำให้ผลิตผลสูญเสียและเสื่อมสภาพเร็ว (Mc Donald and Sun, 2000) แต่ในกรณีของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผักกาดหอมบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีอุณหภูมิใจกลางผักเฉลี่ยต่ำก็อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ โดยเฉพาะกับผลิตผลในเขตร้อนอาจเกิดอาการผิดปกติที่เรียกว่า อาการสะท้านหนาว (chilling injury) ขึ้นได้ (จริงแท้, 2538)

4.2.1.2 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

จากผลการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศและชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ พบว่า ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุด รองลงมา คือ ผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติก และผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ โดยมีค่าเท่ากับ 3.90, 3.27 และ1.16 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.72 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.4)

จากผลการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อทุกกรรมวิธี พบว่า เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.9) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของมรกต (2548) ที่พบว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผักกาดหอมห่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา เนื่องมาจากผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวแล้วจะต้องคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ ซึ่งในขณะที่ปริมาณความชื้นภายในผลิตผลมักมีอยู่สูงกว่าความชื้นของอากาศภายนอก น้ำภายในผลิตผลจึงมีศักยภาพที่จะสูญเสียออกจากผลิตผลอยู่ตลอดเวลา เมื่อผลิตผลสูญเสียน้ำมากนอกจากจะทำให้น้ำหนักของผลิตผลลดลงแล้วยังทำให้รสชาติเปลี่ยนไป ผิวเหี่ยวย่น ไม่เป็นที่ดึงดูดต่อผู้บริโภค (จริงแท้, 2538) นอกจากนี้ มรกต (2548) ยังรายงานว่าการปรับเปลี่ยนภาชนะบรรจุโดยใช้ภาชนะบรรจุที่มีช่องระบายอากาศกว้างกว่าภาชนะบรรจุเดิมทำให้ผลิตผลสัมผัสกับอากาศเย็นได้ง่ายกว่า และอากาศเย็นเคลื่อนที่ผ่านผิวผลิตผลด้วยความเร็วกว่า เมื่ออากาศเย็นเคลื่อนที่เร็วก็ยิ่งทำให้ผลิตผลสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น เพราะว่าเกิดการกำจัดผิวบาง ๆ ของอากาศที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำรอบ ๆ ผิวผลิตผลซึ่งมีความดันไอน้ำอยู่ในสภาพที่ที่มีสมดุลกับภายในของผลิตผล มีผลทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำมากใกล้ ๆ กับผิวของผลิตผล ความชื้นหรือน้ำจากเนื้อเยื่อของผลิตผลพยายามจะเคลื่อนที่มาสู่ภายนอกเพื่อพยายามรักษาความสมดุลของความดันไอน้ำ ทำให้ผลิตผลสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น (ดนัย, 2544) นอกจากนี้ในการเก็บรักษาไว้ในที่มีความชื้นสูงโดยการบรรจุในถุงพลาสติก หรือห่อด้วยฟิล์ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พลาสติกเพื่อให้มีการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด แต่ในทางปฏิบัติบางครั้งไม่มีการควบคุมความชื้น ของสภาพแวดล้อมในการขนส่งและการจำหน่าย เพราะฉะนั้นบรรจุภัณฑ์อาจต้องออกแบบให้มีฉนวนสำหรับป้องกันการสูญเสียน้ำด้วย (ยงยุทธ, 2544) และในการสูญเสียน้ำหนักในผลิตผลอาจเกิดจากความแตกต่างของความดันภายในและภายนอก ทำให้ผลิตผลมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นทำให้เซลล์เกิดการแตกออกมาส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น (Martinez-Romero et al., 2007)

4.2.1.3 การเปลี่ยนแปลงสี

จากผลการเปลี่ยนแปลงสีของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ พบว่า ผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ พบว่าในวันที่ 12 ของอายุการเก็บรักษา มีค่า L* ในแต่ละกรรมวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยชุดควบคุมมีค่า L* มากที่สุด รองลงมาคือ ผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้า และบรรจุถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ โดยมีค่าเท่ากับ 55.30, 54.90 และ 53.50 ตามลำดับ ส่วนผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำมีค่า L* น้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 49.57 (ตารางที่ 4.5) และผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็นแต่ละกรรมวิธีจะมีค่า L* ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 3, 8 และ 12 ของอายุการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 7)

การเปลี่ยนแปลงค่า L* เส้นกราฟของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิในแต่ละกรรมวิธีและชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.10) ซึ่งได้สอดคล้องกับงานทดลองของ มรกต (2548) ที่ศึกษาผลของการลดอุณหภูมิต่อคุณภาพผักโดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงสี พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่า L* เส้นกราฟของผักกาดหอมห่อที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิแบบผ่านอากาศเย็นโดยปรับเปลี่ยนวิธีคลุมผ้าใบ มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงตลอดอายุการเก็บรักษา แสดงว่าสีของผักกาดหอมห่อค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

เมื่อเก็บรักษาผักกาดหอมห่อในห้องเย็น พบว่า ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีค่า chroma ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยผักกาดหอมห่อบรรจุถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีค่า chroma มากที่สุด รองลงมา คือ ผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ และผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ โดยมีค่าเท่ากับ 25.57, 25.00 และ 24.77 ตามลำดับ และชุดควบคุมมีค่า chroma น้อยที่สุด โดยมีค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เท่ากับ 23.20 (ตารางที่ 4.5) แต่ผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็นแต่ละกรรมวิธีจะมีค่า chroma แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 8) ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อในห้องเย็นของแต่ละกรรมวิธี พบว่า ค่าchroma มีแนวโน้มของเส้นกราฟเป็นเส้นตรงตลอดอายุการเก็บรักษา แสดงว่าความสดของสีของผักกาดหอมห่อค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดอายุการเก็บรักษา นอกจากนั้นยังพบว่ากระบวนการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า chroma (ภาพที่ 4.11)

ค่า hue angle ในวันที่ 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11 และ 12 ของการเก็บรักษา ของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางภาคผนวกที่ 9) โดยในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ผักกาดหอมห่อบรรจุถุงพลาสติก และบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ โดยมีค่าเท่ากับ 94.40, 91.80 และ 87.87 ตามลำดับ และผักกาดหอมห่อในชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีค่า hue angle น้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 81.70 (ตารางที่ 4.5) โดยระหว่างที่ทำการเก็บรักษาในห้องเย็นผักกาดหอมห่อมีค่าอยู่ที่ช่วง 80-100 องศา และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น (ภาพที่ 4.12) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสีของผักกาดหอมห่อจากสีเขียวเป็นสีเหลืองปนน้ำตาลเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น เช่นเดียวกับงานทดลองของมรกต (2548) ที่ศึกษาผลของการลดอุณหภูมิต่อคุณภาพผักโดยผักกาดหอมห่อมีค่า hue angle มีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผักกาดหอมห่อมีสีเขียวลดลงมีสีเหลืองมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเสื่อมสภาพของคลอโรฟิลล์ในระหว่างการเก็บรักษา

4.2.1.4 การเปลี่ยนแปลงความแน่นของหัว

จากผลการทดลองการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความแน่นของหัวของแต่ละกรรมวิธีหลังการเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (Instorn) ซึ่งมีการกำหนดค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการเจาะเท่ากับ 5 นิวตัน กำหนดความลึกที่หัวเจาะสามารถเจาะลงไปได้ลึก 50 มิลลิเมตร และหัวเจาะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 0.6 มิลลิเมตร พบว่า ในวันที่ 12 ของอายุการเก็บรักษา ผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการเปลี่ยนแปลงความแน่นของหัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีค่าการเปลี่ยนแปลงความแน่นของหัวมากที่สุด รองลงมา คือ ผักกาดหอมห่อบรรจุถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สุญญากาศ และผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ โดยมีค่าเท่ากับ 30.98, 14.92 และ 13.16 นิวตัน ตามลำดับ ส่วนผักกาดหอมห่อในชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่าการเปลี่ยนแปลงความแน่นของหัวน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 12.60 นิวตัน (ตารางที่ 4.4) นอกจากนี้ผักกาดหอมห่อในแต่ละกรรมวิธีมีค่าการเปลี่ยนแปลงความแน่นของหัวที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 1-7 และ 11-12 ของอายุการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 10)

ผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีค่าการเปลี่ยนแปลงความแน่นของหัวมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อาจเนื่องมาจากแรงที่กระทำกับผักกาดหอมห่อจนถึงจุดสูงสุดของกราฟ (yield point) นั้น เป็นช่วงที่ผิวหน้าของผักกาดหอมห่อเริ่มแตกออก หลังจากนั้นกราฟจะตกลงมาอย่างรวดเร็วซึ่งแสดงถึงความกรอบของผักกาดหอมห่อซึ่งช่วงนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เพราะเป็นการเปลี่ยนแปลงจากโครงสร้างภายนอกเข้าสู่โครงสร้างภายใน (จันทิมา และคณะ, 2547) นอกจากนี้เมื่อหัวเจาะสามารถเจาะทะลุเข้าไปในโครงสร้างภายในของผักกาดหอมห่อในแต่ละกรรมวิธี จะสังเกตเห็นว่า กราฟมีลักษณะไม่คงที่ (ภาพที่ 4.13) แต่มีการขึ้นลงโดยมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่ก็ยังแสดงถึงความกรอบของโครงสร้างภายในใกล้เคียงกับโครงสร้างภายนอก เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นแนวโน้มของแรงเจาะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการต้านแรงแยก นั่นก็คือ ความเหนียว ซึ่งเกิดจากความเหนียวของเส้นใย (จันทิมา และคณะ, 2547) ภายในโครงสร้างของผักกาดหอมห่อส่งผลให้แนวโน้มของแรงที่ใช้เจาะลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งได้สอดคล้องกับรายงานการทดลองของ วีนิลและคณะ (2547) ในการทดลองการวัดเนื้อสัมผัสของอาหาร พบว่า ในการใช้หัวเจาะเจาะผลแอบเปิ้ล แรงที่หัววัดกระทำกับผลแอบเปิ้ลจนถึงจุดสูงสุดของกราฟ (yield point) เป็นช่วงที่เปลือกแอบเปิ้ลแตก หลังจากนั้นกราฟตกลงมาอย่างรวดเร็ว เพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากเปลือกไปสู่เนื้อ แต่เมื่อหัววัดทะลุเข้าไปในเนื้อแอบเปิ้ลแล้วจะสังเกตเห็นว่า กราฟนั้นจะมีลักษณะไม่คงที่ แต่ก็มีการขึ้นลงเพียงเล็กน้อย แต่ก็ยังแสดงถึงความกรอบภายในผลแอบเปิ้ลโดยมีความกรอบของแต่ละจุดใกล้เคียงกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางสรีรวิทยาของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์

กรรมวิธี	อุณหภูมิใจกลางผัก (องศาเซลเซียส)	การสูญเสียน้ำหนักสด (เปอร์เซ็นต์)	ความแน่นของหัว (นิวตัน)
ชุดควบคุม	4.47[a]	3.90[a]	12.60[b]
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติก	4.83[a]	3.27[a]	14.92[b]
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้าพลาสติก	1.90[b]	0.72[b]	30.98[a]
ลดอุณหภูมิร่วมกับน้ำโดยบรรจุตะกร้า	4.83[a]	1.16[b]	13.16[b]

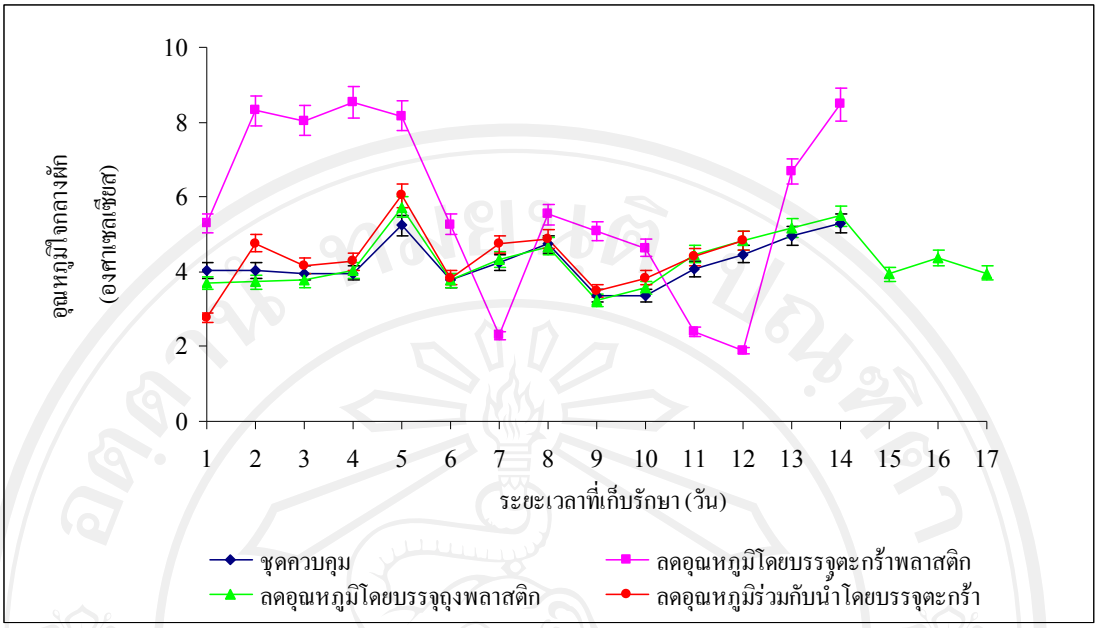
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่า L*, chroma และ hue angle ของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์

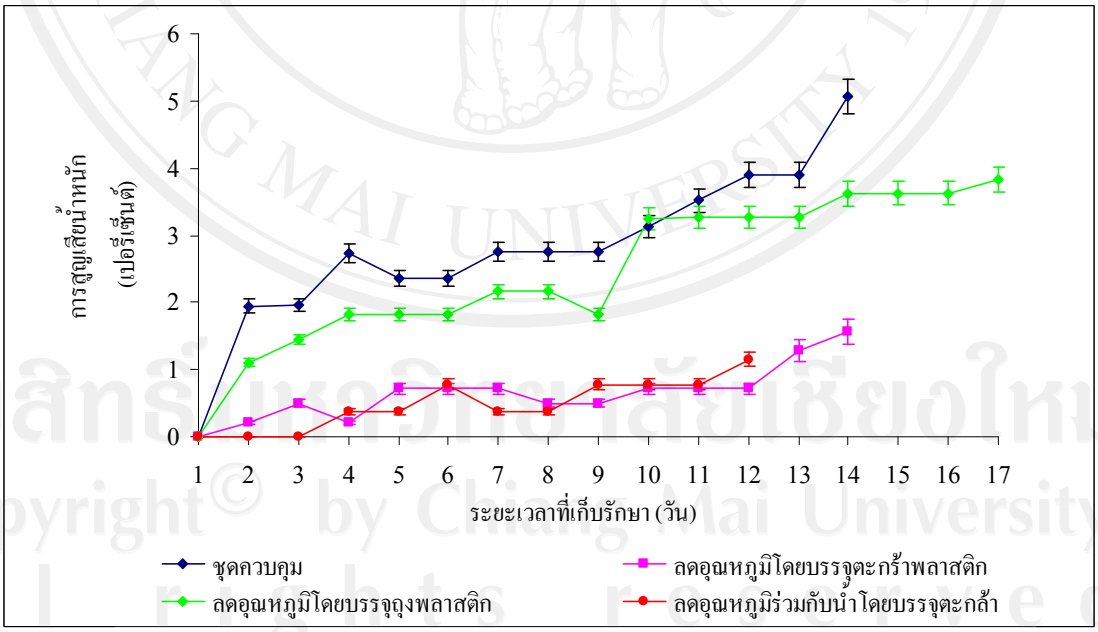
กรรมวิธี	L*	Chroma	Hue angle
ชุดควบคุม	55.30[a]	23.20	81.70[c]
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติก	53.50[ab]	25.57	91.80[a]
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้าพลาสติก	54.90[ab]	24.77	87.87[ab]
ลดอุณหภูมิร่วมกับน้ำโดยบรรจุตะกร้า	49.57[c]	25.00	94.40[a]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

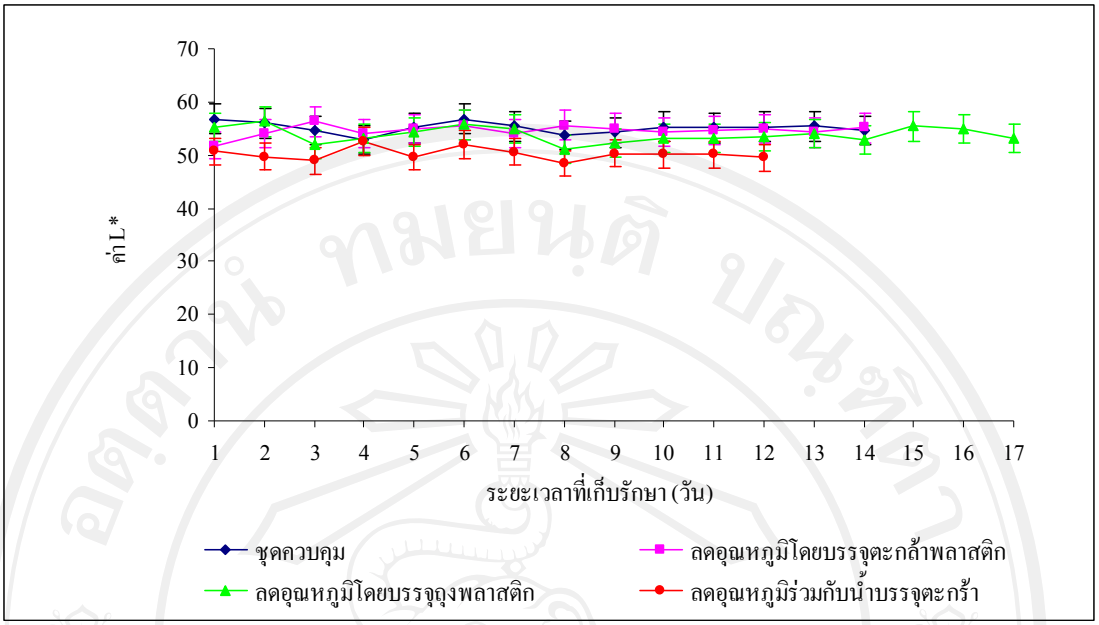


ภาพที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใจกลางของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์

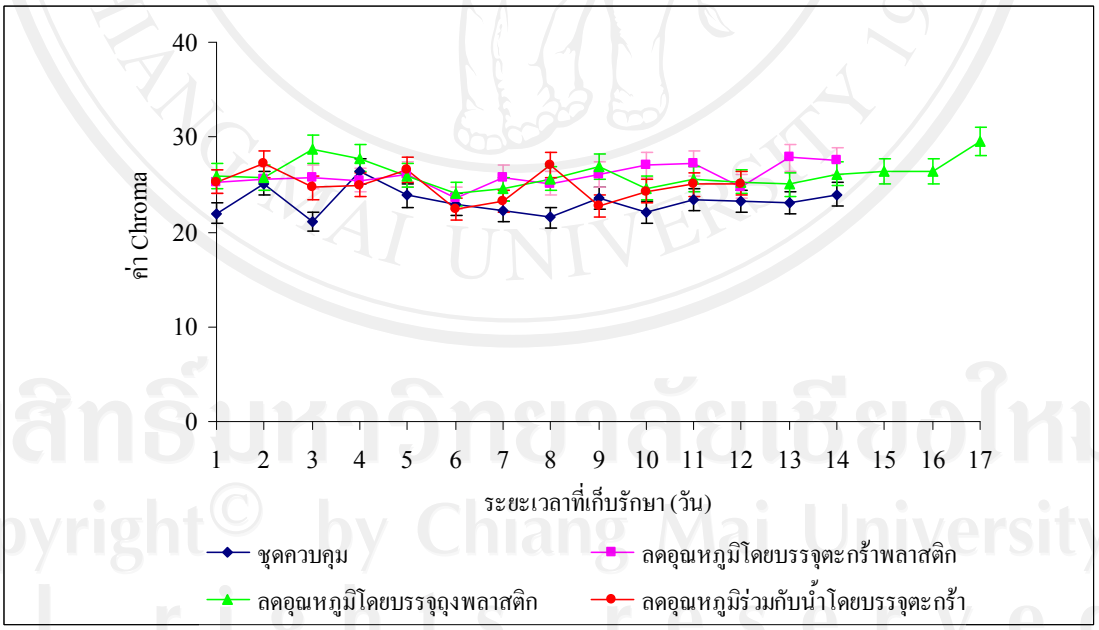


ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

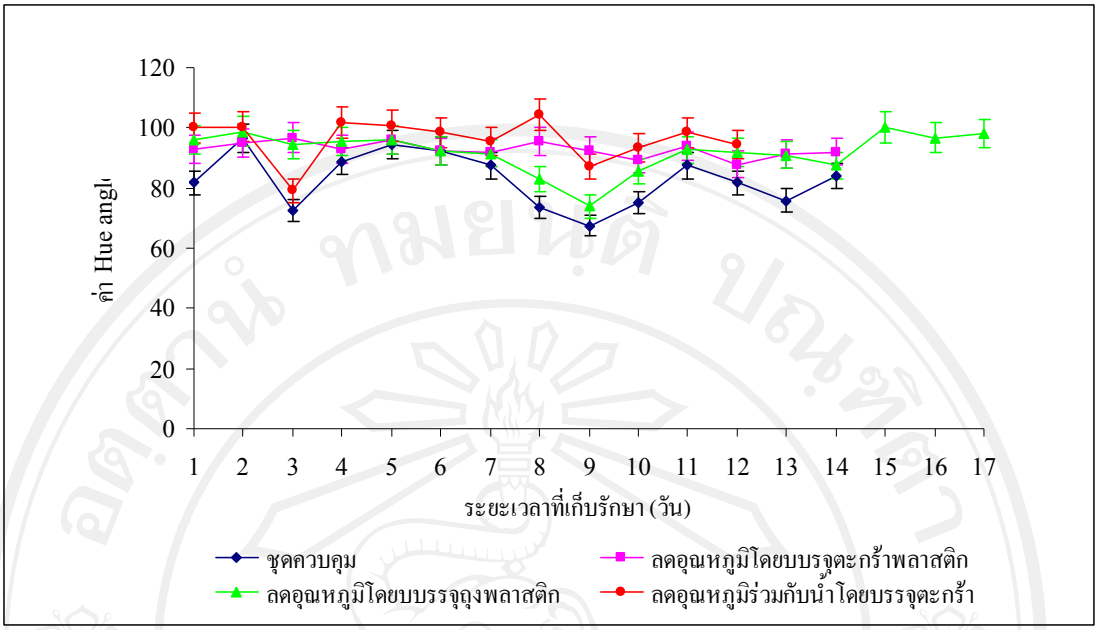


ภาพที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์

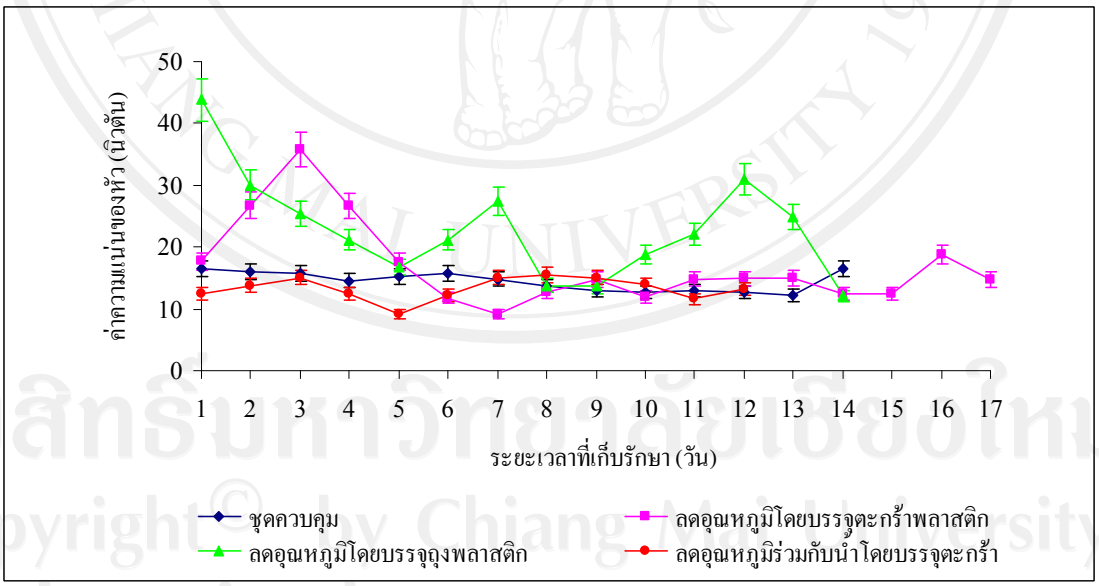


ภาพที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงค่า chroma ของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นของหัวของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2 การประเมินคุณภาพทางกายภาพ

4.2.2.1 อายุการเก็บรักษา

จากการทดลองลดอุณหภูมิของผักกาดหอมห่อโดยบรรจุถุงพลาสติก บรรจุตะกร้าด้วยระบบสุญญากาศ และระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิเมื่อนำมาเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติกมีอายุการเก็บรักษานานที่สุด คือ 17 วัน รองลงมา คือ ผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้า และชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีอายุการเก็บรักษาเท่ากัน คือ 14 วัน และผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ มีอายุการเก็บรักษาน้อยที่สุด คือ 12 วัน (ตารางที่ 4.6) นอกจากนี้ Sun and Zheng (2005) ได้กล่าวไว้ว่า ในการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อโดยใช้ระบบสุญญากาศและนำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ พบว่ามีอายุการวางจำหน่ายมากกว่า 14 วัน แสดงว่า การลดอุณหภูมิส่งผลดีต่อผลิตผลช่วยรักษาคุณภาพของผลิตผลและยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น ในการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศเป็นกระบวนการลดอุณหภูมิภายใต้สภาพที่มีความดันต่ำโดยทำการดูดอากาศออกจากห้องลดอุณหภูมิ เมื่อความดันบรรยากาศลดต่ำลงแล้วน้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ แต่เนื่องจากเป็นการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ มีปริมาณน้ำที่ถูกพ่นฝอยลงมาบนผลิตผล และถ้าน้ำที่เกาะอยู่บนผลผลิตไม่สามารถระเหยไปได้หมดค้างอยู่ที่ผิวของผลิตผลจะทำให้เกิดโรคเน่าเละที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น และเชื้อแบคทีเรียจะเข้าทำลายทางแผลที่เกิดจากการหัก การช้ำของใบ หรือบริเวณที่ผักเปียกน้ำมาก (นิธิยาและคนัย, 2533) จึงส่งผลให้ผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำมีอายุการเก็บรักษาน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับผักกาดหอมห่อบรรจุถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิซึ่งมีอายุการเก็บรักษานานที่สุด เมื่อทำการลดอุณหภูมิของผลิตผลแล้วยังต้องเก็บรักษาผลิตผลไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการป้องกันการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการ อาทิเช่น คุณค่าทางโภชนาการ กลิ่นรสชาติ และเนื้อสัมผัส (texture) นอกจากนี้ Paull (1999) ยังได้กล่าวไว้ว่า การลดอุณหภูมิที่ปฏิบัติได้ช้าหลังการเก็บเกี่ยวทำให้คุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตผลลดลงด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.6 อายุการเก็บรักษาของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็น อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์

กรรมวิธี	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)
ชุดควบคุม	14[b]
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติก	17[a]
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้าพลาสติก	14[b]
ลดอุณหภูมิร่วมกับน้ำโดยบรรจุตะกร้า	12[c]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.2.2.2 ลักษณะปรากฏภายนอกและการเกิดโรค

จากการเปรียบเทียบลักษณะปรากฏภายนอกของผักกาดหอมห่อหลังจากการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำเปรียบเทียบกับผักกาดหอมห่อชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ และนำมาเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ในวันที่ 8 ของอายุการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อในชุดควบคุม และผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำเริ่มเกิดอาการผิดปกติโดยมีลักษณะของขอบใบเป็นสีน้ำตาล ก้านใบเป็นจุดสีน้ำตาลกระจาย ในขณะที่ผักกาดหอมห่อบรรจุถุงพลาสติกและบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศยังไม่มีอาการผิดปกติ เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ เกิดอาการใบเน่าเละ ก้านหัก ใบหงิกงอ ขอบใบมีสีน้ำตาล สีของใบเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองปนน้ำตาล รอยตัดมีสีน้ำตาลเข้มและเป็นแผลเน่าตรงรอยตัด ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับชุดควบคุม เริ่มมีก้านเหี่ยว ก้านเริ่มเป็นสีน้ำตาลส่งผลให้เป็นโรคเน่าเละ (soft rot) ซึ่งเกิดจากเชื้อแบคทีเรียทำให้เกิดการเน่าเละและมีกลิ่นเหม็น เชื้อแบคทีเรียเข้าทำลายทางแผลที่อาจเกิดจากการหัก การช้ำของใบผักกาดหอมห่อที่อยู่ชั้นล่างถูกทับระหว่างการขนส่ง (ดนัย และนิธิยา, 2533) แต่ผักกาดหอมห่อที่บรรจุในถุงพลาสติกและบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีลักษณะใบเหี่ยวเพียงเล็กน้อย แต่ใบก็ยังมีลักษณะเขียวสด ลักษณะไม่มีความแตกต่างกันมากนัก (ภาพที่ 4.14)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชุดควบคุม

ลดอุณหภูมิร่วมกับน้ำโดยบรรจุตะกร้า (wet cycle)

ลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติก (dry cycle)

ลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้าพลาสติก (dry cycle)

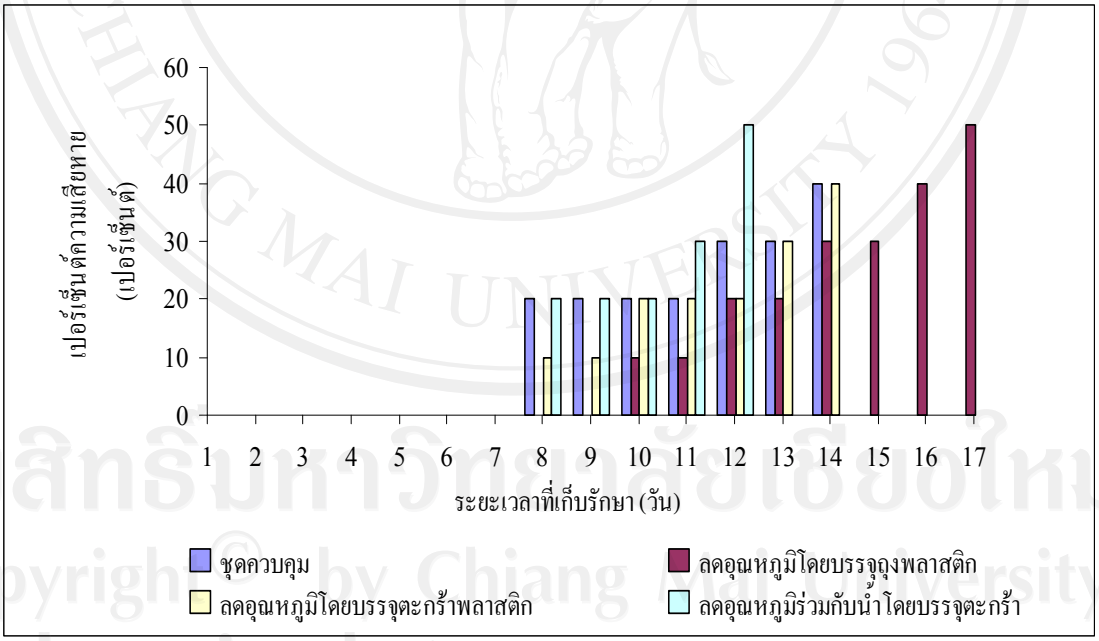
ภาพที่ 4.14 ลักษณะปรากฏของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 17 วัน

4.2.2.3 เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย

จากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ และนำมาเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ, ผักกาดหอมห่อที่บรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ และระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ เริ่มมีความเสียหายเกิดขึ้นในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนผักกาดหอมห่อที่บรรจุถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศเริ่มมีความเสียหายที่เกิดขึ้นในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นจนกระทั่งถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำมีลักษณะไม่เป็นที่ยอมรับ มีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ และในวันที่ 14 ของอายุการเก็บรักษา ผักกาดหอมห่อในชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ และผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีลักษณะไม่เป็นที่ยอมรับ มีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผักกาดหอมห่อที่บรรจุถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีลักษณะไม่เป็นที่ยอมรับในวันที่ 17 ของอายุการเก็บรักษาโดยมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นในแต่ละกรรมวิธีมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายที่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิเริ่มต้นที่แตกต่างกัน ถ้าหากมีอุณหภูมิสูงก็ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาต่าง ๆ เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (จริงแท้, 2544) ทำให้ลักษณะภายนอกเกิดการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าปกติ และเกิดการสูญเสียของผลิตผลอย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 4.15)



ภาพที่ 4.15 เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของผักกาดหอมห่อ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 การทดลองที่ 3: คุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิเฉียบพลันโดยใช้ระบบสุญญากาศที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายอุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส

นำผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 4.1.1, 4.1.2 และ 4.1.3 มาเก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายอุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียสโดยทำการจำลองการเก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายของศูนย์คัดบรรจุดอยคำ มูลนิธิโครงการหลวงเชียงใหม่ และทำการประเมินคุณภาพทางกายภาพและทางสรีรวิทยาทุกวัน โดยแบ่งออกเป็น 4 กรรมวิธีดังนี้

กรรมวิธีที่ 1: ชุดควบคุม (ไม่ผ่านกระบวนการการลดอุณหภูมิ)

กรรมวิธีที่ 2: ผักกาดหอมห่อบรรจุถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ (dry cycle)

กรรมวิธีที่ 3: ผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ (dry cycle)

กรรมวิธีที่ 4: ผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ (wet cycle)

4.3.1 การประเมินคุณภาพทางสรีระ

4.3.1.1 อุณหภูมิใจกลางผัก

จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิใจกลางของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ กับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ พบว่า ผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายอุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ มีอุณหภูมิใจกลางผักไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.7) โดยผักกาดหอมห่อชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีอุณหภูมิใจกลางผักมากที่สุด รองลงมา คือ ผักกาดหอมห่อบรรจุถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ และผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ โดยมีค่าเท่ากับ 7.70, 7.50 และ 7.37 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีอุณหภูมิใจกลางผักน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 7.30 องศาเซลเซียส และผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายในแต่ละกรรมวิธีจะมีอุณหภูมิใจกลางผักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ในวันที่ 1, 2 และ 3 ของอายุการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 12)

จากการศึกษาอุณหภูมิใจกลางผักกาดหอมห่อ พบว่า แนวโน้มของกราฟอุณหภูมิใจกลางผักเทียบกับเวลาการเก็บรักษาไม่คงที่ทุกกรรมวิธี (ภาพที่ 4.16) ซึ่งผักกาดหอมห่อจะมีอุณหภูมิใจ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลางผักอยู่ในช่วง 5-10 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสำหรับเก็บรักษาผักกาดหอมห่อบนชั้นวางจำหน่าย และอุณหภูมิเริ่มต้นของผักกาดหอมห่อชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ และผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำมีอุณหภูมิเริ่มต้นมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ จึงทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าผักกาดหอมห่อในกรรมวิธีอื่น ๆ ซึ่งได้สอดคล้องกับรายงานการทดลองของ มรกต (2548) ที่ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิใจกลางผักของกะหล่ำปลี พบว่า อุณหภูมิใจกลางผักของกะหล่ำปลีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีค่ามากกว่าอุณหภูมิใจกลางผักในกรรมวิธีอื่น ๆ ทำให้กะหล่ำปลีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่ากะหล่ำปลีในกรรมวิธีอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่า กระบวนการลดอุณหภูมิหลังการเก็บเกี่ยวมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตผลหลังการเก็บรักษา เพราะผักที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิหลังการเกี่ยวจะทำให้มีอุณหภูมิใจกลางผักต่ำลงและส่งผลต่อผลิตผลช่วยรักษาคุณภาพของผลิตผลและยืดอายุการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งอาจเนื่องมาจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดอัตราการหายใจของผลิตผล คือ ถ้าอุณหภูมิสูงจะเร่งขบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ ภายในเซลล์ของผลิตผลให้เกิดเร็วขึ้น (ดนัยและนิธิยา, 2531) อัตราการหายใจก็จะสูงตามไปด้วย เมื่อผลิตผลมีการหายใจมากจึงทำให้ผลิตผลสูญเสียและเสื่อมสภาพเร็ว (Mc Donald and Sun, 2000)

4.3.1.2 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

จากผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ พบว่า ผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยผักกาดหอมห่อบรรจุถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้สุญญากาศมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุด รองลงมา คือ ผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิ และผักกาดหอมห่อในชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยมีค่าเท่ากับ 2.75, 2.39 และ 1.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนผักกาดหอมห่อที่บรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 1.04 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.7) แต่ผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายแต่ละกรรมวิธีจะมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ในวันที่ 5 และ วันที่ 7 ของอายุการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 11)

ผลการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผักกาดหอมห่อทุกกรรมวิธี พบว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพ 4.17) ซึ่งได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สอดคล้องกับรายงานการทดลองของ มรกต (2548) ที่ได้ศึกษาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของกะหล่ำปลี พบว่า กะหล่ำปลีที่ทดลองในทุกกรรมวิธี มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยกะหล่ำปลีที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิแบบผ่านอากาศเย็นโดยปรับเปลี่ยนวิธีคลุมผ้าใบ มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดใกล้เคียงกับกะหล่ำปลีที่ไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิ และกะหล่ำปลีที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิแบบผ่านอากาศเย็นโดยปรับเปลี่ยนภาชนะบรรจุและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังได้สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของบร็อคโคลี่ที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย พบว่าบร็อคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้าและถุงพลาสติกเปรียบเทียบกับกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดอายุการเก็บรักษา (ปรัศนี, 2551) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวแล้วจะต้องคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ ขณะเดียวกับปริมาณความชื้นภายในผลิตผลมักมีอยู่สูงกว่าความชื้นของอากาศภายนอก น้ำภายในผลิตผลจึงมีศักยภาพที่จะสูญเสียออกจากผลิตผลอยู่ตลอดเวลา (จริงแท้, 2538) นอกจากนี้ การเคลื่อนที่ของน้ำจากตัวของผลิตผลหลังจากเก็บเกี่ยวแล้วจะเป็นการเคลื่อนที่แบบแพร่กระจาย (diffusion) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของน้ำจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำทำให้อัตราการแพร่กระจายของน้ำจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความเข้มข้นของน้ำ ถ้ามีความแตกต่างกันมาก การแพร่กระจายจากตัวผลิตผลสู่บรรยากาศภายนอกจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยจะเกิดขึ้นจนกว่าความเข้มข้นทั้งสองบริเวณจะมีความเท่ากัน (ยงยุทธ, 2539) เมื่อผลิตผลสูญเสียน้ำมากนอกจากจะทำให้น้ำหนักของผลิตผลลดลงแล้วยังทำให้รสชาติเปลี่ยนไปผิวเหี่ยวย่น ไม่ดึงดูดผู้บริโภค (จริงแท้, 2538)

4.3.1.3 การเปลี่ยนแปลงสี

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ และสุญญากาศร่วมกับน้ำ เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ พบว่าผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 10 ของอายุการเก็บรักษา มีค่า L* ของแต่ละกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ มีค่า L* มากที่สุด รองลงมา คือ ผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ และผักกาดหอมห่อที่บรรจุถุงพลาสติก ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ โดยมีค่าเท่ากับ 52.53, 52.13 และ 50.93 ตามลำดับ ส่วนผักกาดหอมห่อในชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่า L* น้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 49.50 (ตารางที่ 4.8) แต่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายในแต่ละกรรมวิธีมีค่า L* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 1 และ 7 ของอายุการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 13)

จากการวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิแล้วนำมาเก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย พบว่า ผักกาดหอมห่อในแต่ละกรรมวิธีมีการเปลี่ยนแปลงค่า L* ของเส้นกราฟมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงตลอดอายุการเก็บรักษา (ภาพ 4.18) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ มรกต (2548) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า L* ของกะหล่ำปลี พบว่า เส้นกราฟของกะหล่ำปลีที่ไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิ, กะหล่ำปลีที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิแบบผ่านอากาศเย็นที่ใช้ในกรรมวิธีในปัจจุบัน และกะหล่ำปลีที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิแบบผ่านอากาศเย็นโดยปรับเปลี่ยนภาชนะบรรจุ มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงตลอดอายุการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังได้สอดคล้องกับงานทดลองของ ปรัศนีย์ (2551) ที่ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีของบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ พบว่า กราฟของ L* มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงตลอดอายุการเก็บรักษา ดังนั้นแสดงให้เห็นว่า สีของผักกาดหอมห่อในแต่ละกรรมวิธีที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

เมื่อเก็บรักษาผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ในวันที่ 10 ของอายุการเก็บรักษา ผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ และชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีค่า chroma ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ มีค่า chroma มากที่สุด รองลงมา คือ ผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ และผักกาดหอมห่อบรรจุถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ โดยมีค่าเท่ากับ 33.77, 33.37 และ 28.60 ตามลำดับ ส่วนผักกาดหอมห่อในชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีค่า chroma น้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 26.63 (ตารางที่ 4.8) และผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่นำมาเก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย มีค่า chroma ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 1, 3, 4, 7, 8 และ 9 ของอายุการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 14)

ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อบนชั้นวางจำหน่ายของแต่ละกรรมวิธี พบว่า ค่า chroma มีแนวโน้มของกราฟเป็นเส้นตรงตลอดอายุการเก็บรักษา แสดงว่า สีของผักกาดหอมห่อค่อนข้างคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ยกเว้น ผักกาดหอมห่อในชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีแนวโน้มของกราฟลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น แสดงว่า สีของผักกาดหอมห่อมีความเข้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 4.19) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ มรกต (2548) ที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า chroma ของกะหล่ำปลี พบว่า ค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

chroma ของกะหล่ำปลีที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิแบบผ่านอากาศเย็นโดยปรับเปลี่ยนวิธีคลุมผ้าใบ มีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา แสดงว่า สีของกะหล่ำปลีมีความเข้มลดลง ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา

ค่า hue angle ผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายในแต่ละกรรมวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 1, 3, 6, 7, 8, 9 และ 10 (ตารางภาคผนวกที่ 15) และในวันที่ 10 ของอายุการเก็บรักษา ผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีค่า hue angle มากที่สุด รองลงมา คือ ผักกาดหอมห่อในชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ และผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ โดยมีค่าเท่ากับ 97.97, 80.00 และ 77.50 ตามลำดับ ส่วนผักกาดหอมห่อบรรจุถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ มีค่า hue angle น้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 70.57 (ตารางที่ 4.8) โดยระหว่างที่ทำการเก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย ผักกาดหอมห่อมีค่าอยู่ในช่วง 80-100 องศา และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสีของผักกาดหอมห่อจากสีเขียวเป็นสีเหลือง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการเสื่อมเสียของคลอโรฟิลล์ในระหว่างการเก็บรักษา ยกเว้นผักกาดหอมห่อในชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีแนวโน้มของกราฟเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากการแปรผันของข้อมูล (ภาพที่ 4.20) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ มรกต (2548) ที่ทำการศึกษาค่า hue angle ของกะหล่ำปลี พบว่าค่า hue angle ของกะหล่ำปลีค่อนข้างผันแปร โดยกะหล่ำปลีที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิแบบผ่านอากาศเย็นโดยปรับเปลี่ยนภาชนะบรรจุ มีแนวโน้มลดลง ค่า hue angle ที่ลดลงแสดงให้เห็นว่า กะหล่ำปลีมีสีเขียวลดลงมีสีเหลืองมากขึ้น เมื่อเก็บรักษานานขึ้น

4.3.1.4 การเปลี่ยนแปลงความแน่นของหัว

จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงความแน่นของหัวของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิหลังการเก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (Instron) ซึ่งมีการกำหนดค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการเจาะ 5 นิวตัน กำหนดความลึกที่หัวเจาะสามารถเจาะได้ลึก 50 มิลลิเมตร และหัวเจาะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.6 มิลลิเมตร พบว่า ในวันที่ 10 ของอายุการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อในแต่ละกรรมวิธีมีค่าการเปลี่ยนแปลงความแน่นของหัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยผักกาดหอมห่อในชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่าการเปลี่ยนแปลงความแน่นของหัวมากที่สุด รองลงมา คือ ผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าพลาสติก และบรรจุถุงพลาสติกที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ โดยมีค่าเท่ากับ 18.02, 14.19 และ 12.93 นิวตัน ตามลำดับ ส่วนผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำมีค่าการเปลี่ยนแปลงความแน่นของหัวน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 10.72 นิวตัน (ตารางที่ 4.7) นอกจากนี้ผักกาดหอมห่อในแต่ละกรรมวิธีมีค่าการเปลี่ยนแปลงความแน่นของหัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 5, 8 และ 9 ของอายุการเก็บรักษา (ตารางภาคผนวกที่ 16)

ผักกาดหอมห่อในชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่าการเปลี่ยนแปลงความแน่นของหัว มากกว่าผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ อาจเป็นเพราะผักกาดหอมห่อในชุดควบคุมยังไม่มีการสูญเสียน้ำออกไปมากเนื่องจากไม่ได้ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ เมื่อแรงที่กระทำกับผักกาดหอมห่อในช่วงแรก ๆ ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดของกราฟ (yield point) นั้น เป็นช่วงที่ผิวหน้าของผักกาดหอมห่อเริ่มแตกออก หลังจากนั้นกราฟจะตกลงมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งแสดงถึงความกรอบของผักกาดหอมห่อ ซึ่งช่วงนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เพราะเป็นการเปลี่ยนแปลงจากโครงสร้างภายนอกเข้าสู่โครงสร้างภายใน (จันทิมา และคณะ, 2547) นอกจากนี้เมื่อหัวเจาะสามารถเจาะทะลุเข้าไปในโครงสร้างภายในของผักกาดหอมห่อในแต่ละกรรมวิธี จะสังเกตเห็นว่า กราฟมีลักษณะไม่คงทุกกรรมวิธีแต่มีการขึ้นลงโดยมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย (ภาพที่ 4.21) แต่ก็ยังแสดงถึงความกรอบของโครงสร้างภายในที่ใกล้เคียงกับโครงสร้างภายนอก เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นแนวโน้มของแรงที่ใช้ในการเจาะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการต้านแรงแยก นั้นก็คือ ความเหนียว ซึ่งเกิดจากความเหนียวของเส้นใย (จันทิมา และคณะ, 2547) ภายในโครงสร้างของผักกาดหอมห่อส่งผลให้แนวโน้มของแรงที่ใช้ในการเจาะลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการทดลองของ วีนิลและคณะ (2547) ในการทดลองวัดเนื้อสัมผัสของอาหาร พบว่า ในการใช้หัวเจาะ เจาะผลแอบเปิ้ล ซึ่งแรงที่หัววัดกระทำกับผลแอบเปิ้ล จนถึงจุดสูงสุดของกราฟ (yield point) เป็นช่วงที่เปลือกแอบเปิ้ลแตก หลังจากนั้นกราฟตกลงมาอย่างรวดเร็ว เพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจากเปลือกไปสู่เนื้อ แต่เมื่อหัวเจาะวัดทะลุเข้าไปในเนื้อแอบเปิ้ลแล้วจะสังเกตเห็นว่า กราฟช่วงนั้นจะมีลักษณะไม่คงที่ แต่ก็มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่ก็ยังแสดงถึงความกรอบภายในผลแอบเปิ้ลโดยมีความกรอบของแต่ละจุดใกล้เคียง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางสรีรวิทยาของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายอุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

กรรมวิธี	อุณหภูมิใจกลางผัก (องศาเซลเซียส)	การสูญเสียน้ำหนักสด (เปอร์เซ็นต์)	ความแน่นของหัว (นิวตัน)
ชุดควบคุม	7.70	1.43	18.02
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติก	7.50	2.76	12.93
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้า	7.30	2.39	14.19
ลดอุณหภูมิร่วมกับน้ำโดยบรรจุตะกร้า	7.37	1.04	10.72

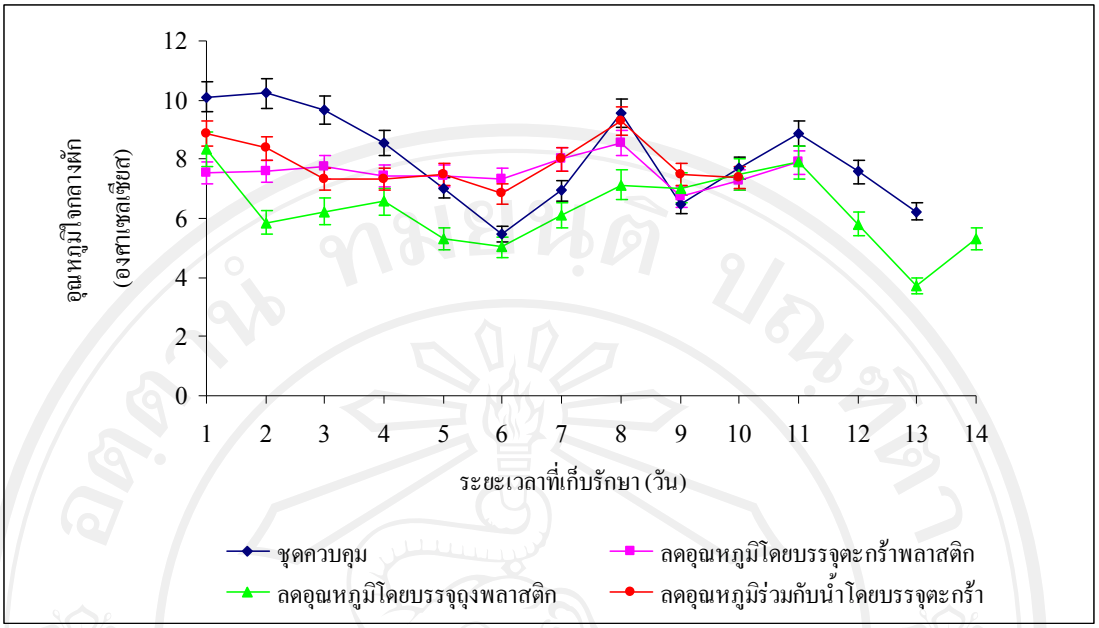
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า L*, chroma และ hue angle ของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

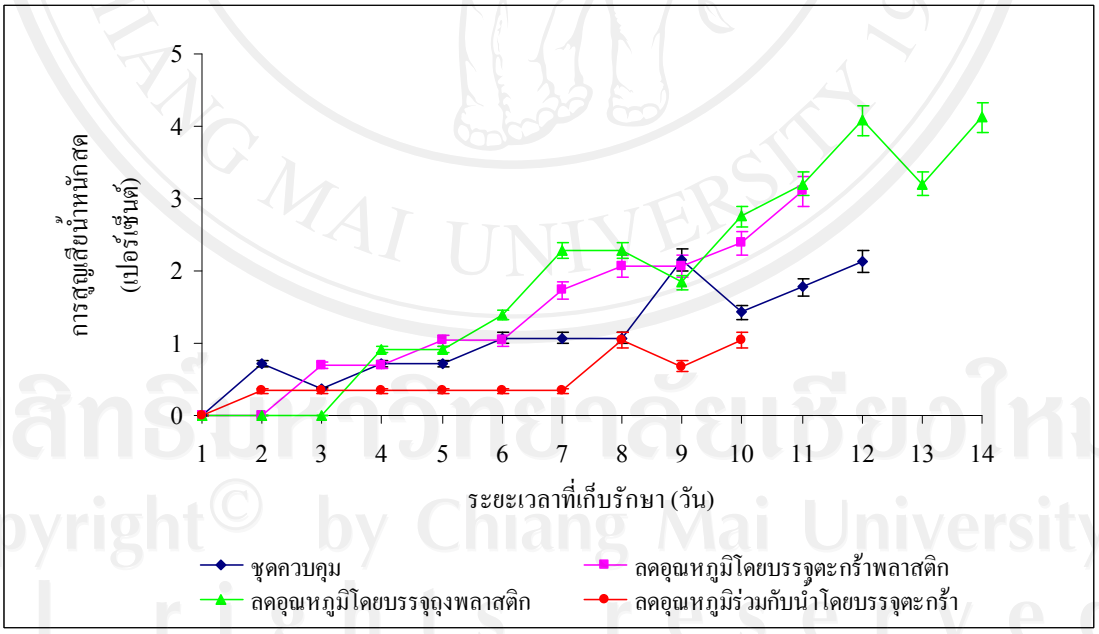
กรรมวิธี	L*	Chroma	Hue angle
ชุดควบคุม	49.50	26.63	80.00^{b}
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติก	50.93	28.60	70.57^{b}
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้าพลาสติก	52.53	33.77	97.97^{a}
ลดอุณหภูมิร่วมกับน้ำโดยบรรจุตะกร้า	52.13	33.37	77.50^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

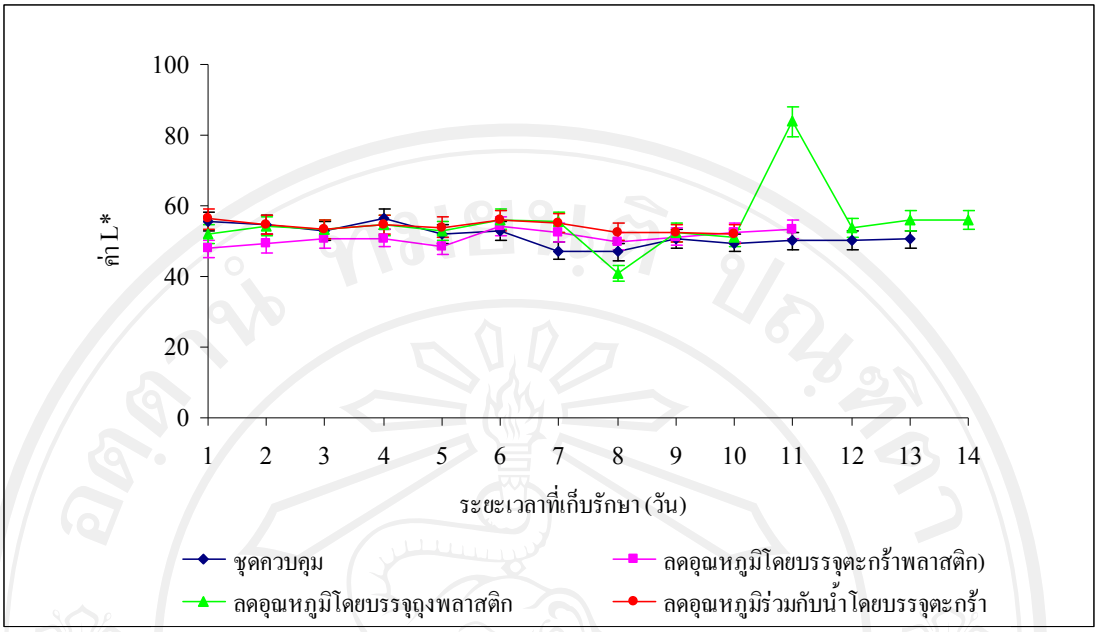


ภาพที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใจกลางของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

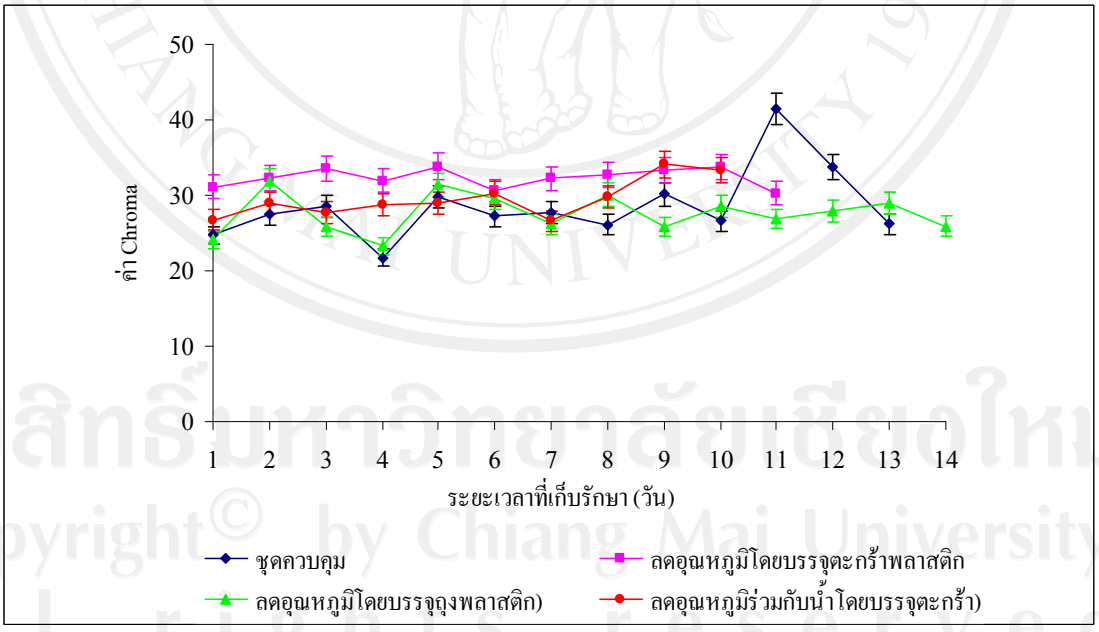


ภาพที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

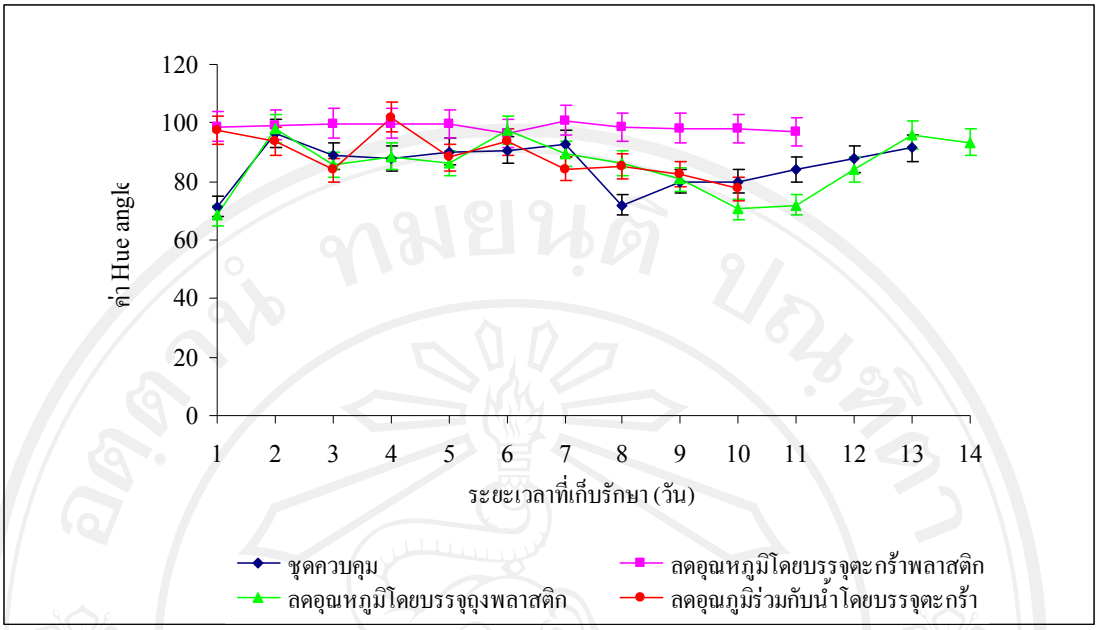


ภาพที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

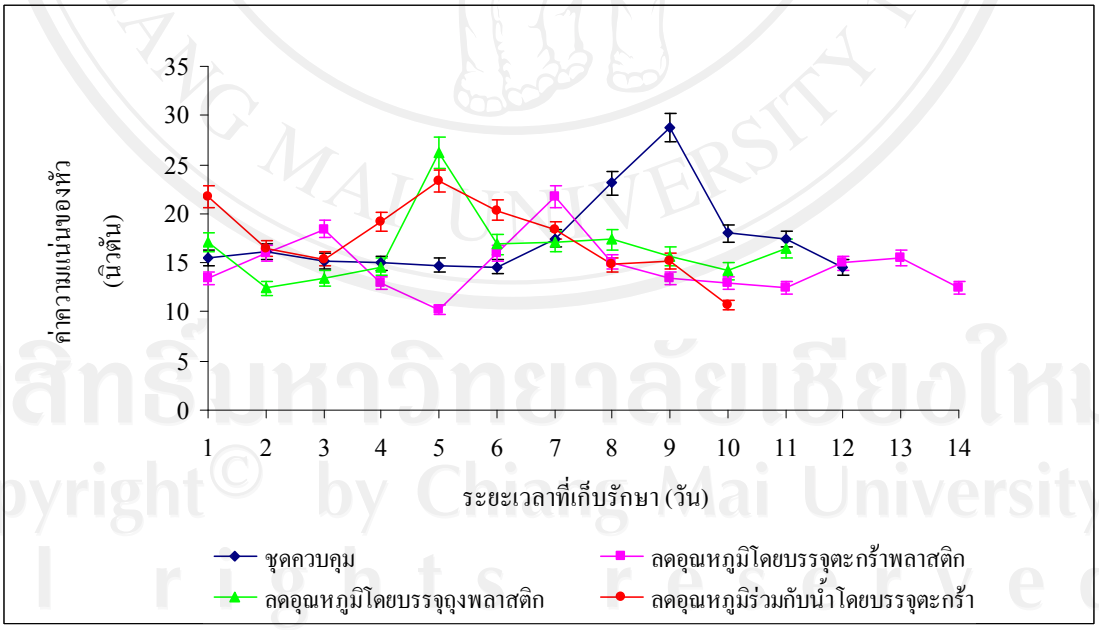


ภาพที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงค่า chroma ของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงค่า ความแน่นเนื้อของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.2 การประเมินคุณภาพทางกายภาพ

4.3.2.1 อายุการเก็บรักษา

จากการทดลองลดอุณหภูมิของผักกาดหอมห่อโดยใช้ระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับน้ำ เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ เมื่อนำมาเก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่ายมีอายุการเก็บรักษาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผักกาดหอมห่อบรรจุถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด คือ 14 วัน รองลงมา คือ ผักกาดหอมห่อในชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ และผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ โดยมีอายุการเก็บรักษา คือ 12 และ 11 วัน ตามลำดับ ส่วนผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ มีอายุการเก็บรักษาน้อยที่สุด คือ 10 วัน (ตารางที่ 4.9)

จากผลการทดลอง แสดงว่าการลดอุณหภูมิส่งผลดีต่อผลิตผลช่วยรักษาคุณภาพของผลิตผลและยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น ในการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศเป็นกระบวนการลดอุณหภูมิภายใต้สภาพที่มีความดันต่ำโดยการดึงอากาศออกจากห้องลดอุณหภูมิ เพื่อให้ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดต่ำลงแล้วน้ำในผลิตผลเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ แต่เนื่องจากเป็นการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ มีปริมาณน้ำที่ถูกพ่นฝอยลงมาบนผลิตผล และถ้าน้ำที่เกาะอยู่บนผลผลิตไม่สามารถระเหยไปได้หมดค้างอยู่ที่ผิวของผลิตผลจะทำให้เกิดโรคเน่าและที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น และเชื้อแบคทีเรียจะเข้าทำลายทางแผลที่เกิดจากการหักการช้ำของใบ หรือบริเวณที่ผักเปียกน้ำมาก (นิธิยาและดนัย, 2533) จึงส่งผลให้ผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำมีอายุการเก็บรักษาน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับผักกาดหอมห่อบรรจุถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิซึ่งมีอายุการเก็บรักษานานที่สุด เมื่อทำการลดอุณหภูมิของผลิตผลแล้วยังต้องเก็บรักษาผลิตผลไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการป้องกันการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการ อาทิเช่น คุณค่าทางโภชนาการ กลิ่นรสชาติ และเนื้อสัมผัส (texture) นอกจากนี้ Paull (1999) ยังได้กล่าวไว้ว่า การลดอุณหภูมิที่ปฏิบัติได้ช้าหลังการเก็บเกี่ยวทำให้คุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตผลลดลงด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.9 อายุการเก็บรักษาของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 เปอร์เซ็นต์

กรรมวิธี	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)
ชุดควบคุม	12[b]
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติก	14[a]
ลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้าพลาสติก	11[b]
ลดอุณหภูมิร่วมกับน้ำโดยบรรจุตะกร้า	10[c]

<u>หมายเหตุ</u> ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.3.2.2 ลักษณะปรากฏภายนอกและการเกิดโรค

จากการเปรียบเทียบลักษณะปรากฏภายนอกของผักกาดหอมห่อหลังจากการลดอุณหภูมิกับผักกาดหอมห่อชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ และนำมาเก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ในวันที่ 4 ของอายุการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ใบเริ่มเป็นสีน้ำตาล ขอบใบหยิกงอ ก้านเริ่มเป็นจุดสีน้ำตาล เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ เกิดอาการใบเน่า ก้านหัก ใบหงิกงอ ขอบใบมีสีน้ำตาล สีของใบเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองปนน้ำตาล รอยตัดมีสีน้ำตาลเข้มและเป็นแผลเน่า ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับชุดควบคุม จากนั้นเมื่อเก็บรักษานานเป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่า ทุกกรรมวิธีมีอาการใบเหลือง ขอบใบหงิกงอ มีสีน้ำตาลรอยตัดมีแผลสีน้ำตาลเข้ม ผักกาดหอมห่อชุดควบคุมและผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำมีลักษณะก้านใบเหี่ยว และใบมีสีน้ำตาลส่งผลให้เกิดโรคเน่าเละ (soft rot) ซึ่งเกิดจากเชื้อแบคทีเรียทำให้เกิดการเน่าเละ และมีกลิ่นเหม็น เชื้อแบคทีเรียเข้าทำลายทางแผลที่อาจเกิดจากการหัก การช้ำของใบ ผักกาดหอมห่อที่อยู่ชั้นล่างถูกทับถมระหว่างขนส่ง (ดนัยและนิธิยา, 2533) แต่ในขณะที่ผักกาดหอมห่อบรรจุถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ มีลักษณะใบเหี่ยวเล็กน้อย แต่ใบก็มีลักษณะเขียวสดอยู่ (ภาพที่ 4.22) นอกจากนี้อาการใบเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองนั้นอาจเกิดจากการสูญเสียคลอโรฟิลล์จากผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมา ส่งผลให้เกิดความชราภาพของผลิตผล (จริงแท้,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2544) ซึ่งได้สอดคล้องกับงานทดลองของปรัศนี (2551) ที่ศึกษาลักษณะปรากฏภายนอกของบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ พบว่า เมื่อเก็บรักษาบรอคโคลี่บนชั้นวางจำหน่ายเป็นระยะเวลา 6 วันทุกกรรมวิธีมีการเกิดสีเหลืองของดอกเพิ่มขึ้น และชุดควบคุมมีการเกิดสีเหลืองมากที่สุด เนื่องจากมีการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในดอกบรอคโคลี่ตามระยะเวลาที่เก็บรักษา

4.3.2.3 เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย

จากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิ กับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ และนำมาเก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ผักกาดหอมห่อชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ, ผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ และระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ เริ่มมีความเสียหายเกิดขึ้นในวันที่ 4 ของอายุการเก็บรักษา ส่วนผักกาดหอมห่อบรรจุถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศเริ่มมีความเสียหายเกิดขึ้นในวันที่ 8 ของอายุการเก็บรักษา เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นจนกระทั่งถึงวันที่ 10 และ 11 ของอายุการเก็บรักษา ผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำและผักกาดหอมห่อบรรจุตะกร้าที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีลักษณะไม่เป็นที่ยอมรับโดยมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเท่ากัน คือ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในวันที่ 12 ของอายุการเก็บรักษา ผักกาดหอมห่อชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีลักษณะไม่เป็นที่ยอมรับ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นจนกระทั่งถึงวันที่ 14 ของอายุการเก็บรักษา ผักกาดหอมห่อบรรจุถุงพลาสติกที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีลักษณะไม่เป็นที่ยอมรับ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย เท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นในแต่ละกรรมวิธีมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายที่แตกต่างกัน อาจเนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นที่แตกต่างกัน ถ้าหากมีอุณหภูมิสูงก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาต่าง ๆ เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (จริงแท้, 2544) ทำให้ลักษณะภายนอกเกิดการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าปกติ และเกิดการสูญเสียของผลิตผลอย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 4.23)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชุดควบคุม (control)

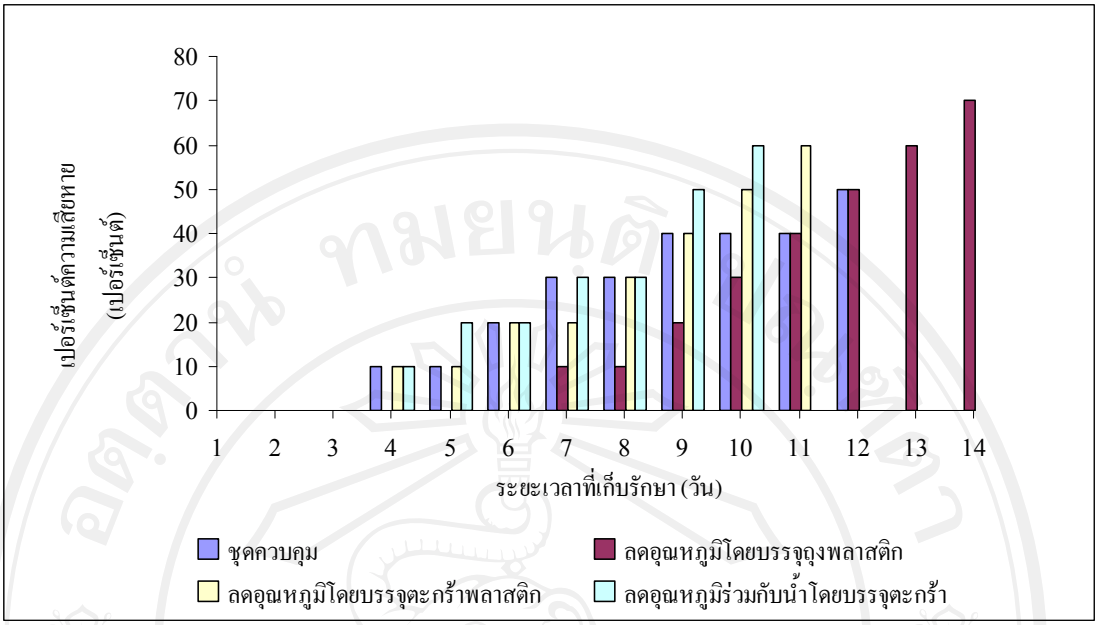
ลดอุณหภูมิร่วมกับน้ำโดยบรรจุตะกร้า (wet cycle)

ลดอุณหภูมิโดยบรรจุถุงพลาสติก (dry cycle)

ลดอุณหภูมิโดยบรรจุตะกร้าพลาสติก (dry cycle)

ภาพที่ 4.22 ลักษณะปรากฏของผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.23 เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของผักกาดหอมห่อ เก็บรักษาบนชั้นวางจำหน่าย 8±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์

4.4 แบบจำลองทำนายอุณหภูมิสุดท้าย และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศโดยใช้วิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว (Response Surface Methodology)

4.4.1 แบบจำลองผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิวที่ใช้ทำนายอุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

จากชุดข้อมูลจำนวน 48 ชุด นำมาทำนายสมการซึ่งได้นำข้อมูลทั้งตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว สามารถทำนายสมการได้ดังนี้

- สมการทำนายอุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

$$Y = -2.730 + 1.396X_1 - 0.066X_2 \qquad (4.1)$$

เมื่อ X_1 = holding pressure
X_2 = holding time
X_3 = initial produce temperature
X_4 = initial chamber temperature

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แต่อย่างไรก็ตามสมการที่ได้นี้สามารถอธิบายได้เฉพาะในการทดลองนี้เท่านั้น ทำให้สมการมีข้อจำกัดไม่สามารถใช้ได้อย่างกว้างขวาง

จากสมการที่ 4.1 ตัวแปรที่นำมาทดสอบโดยใช้วิธีทำนายสมการผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิวที่มีผลต่ออุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ คือ holding pressure, holding time, initial produce temperature และ initial chamber temperature พบว่า ผลของอุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ (Y) ที่ได้เป็นผลหรืออิทธิพลจากตัวแปร holding pressure (X_1) และ holding time (X_2) 89 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลืออีก 11 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลจากตัวแปรหรือปัจจัยอื่นที่ไม่ทราบค่าได้ และจากสมการที่ 4.1 ได้แทนค่าลงไปเพื่อคำนวณค่า R^2 และค่าความผิดพลาดจำนวน 48 ชุด (ตารางที่ 4.10)

จากนั้นนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าที่ได้จากการแทนค่าลงในสมการทำนายโดยวิธีแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว (Response Surface Methodology) ต่ออุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ จำนวน 48 ชุด ดังภาพที่ 4.24 จะเห็นได้ว่า เส้นกราฟที่ได้จากการแทนค่าลงในสมการทำนายโดยวิธีแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิวมีค่าใกล้เคียงกับเส้นกราฟที่ได้จากการทดลองจริงที่มีผลต่ออุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ และเมื่อนำสมการมาทดสอบโดยใช้ชุดทดสอบจำนวน 8 ชุด เพื่อคำนวณค่า RMS, MAPE และ Maximum APE (ตารางที่ 4.11) เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายสมการในชุดทดสอบ พบว่า ค่าที่ได้จากการทำนายสมการมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่จากการทดลองจริง (ภาพที่ 4.25) และพบว่า เมื่อเพิ่ม เวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันสุดท้ายตามระยะเวลาที่กำหนดจะส่งผลให้อุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อมีค่าลดต่ำลง แต่ถ้าหากเพิ่มค่าความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิจะส่งผลให้อุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.26)

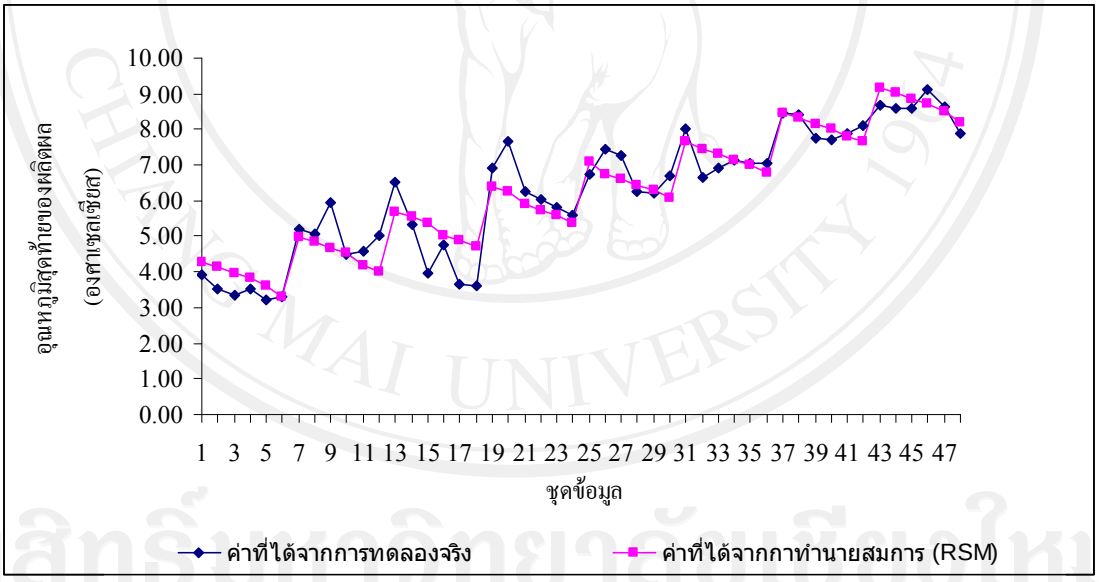
ตารางที่ 4.10 ค่า R^2 และค่าความผิดพลาดของข้อมูลจำนวน 48 ชุดจากสมการทำนายอุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

R^2 และค่าความผิดพลาด	ค่า
R^2	0.89
RMS	0.57
MAPE (%)	8.20
Maximum APE	34.86

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

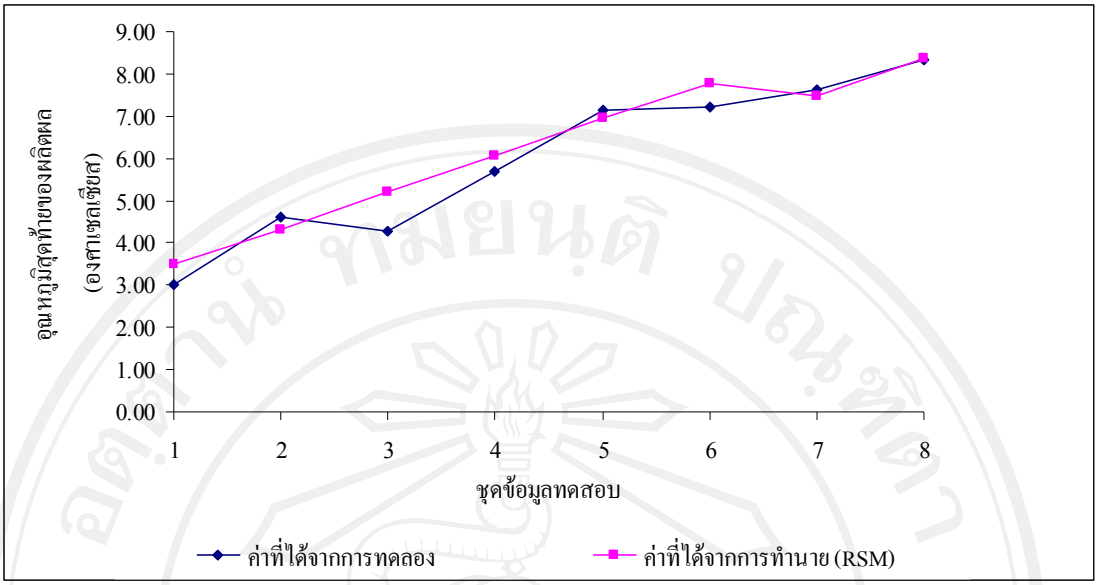
ตารางที่ 4.11 ค่าความผิดพลาดของข้อมูลจำนวน 8 ชุดทดสอบจากสมการทำนายอุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

ค่าความผิดพลาด		ค่า
APE (%)	1	15.38
	2	5.96
	3	22.30
	4	6.18
	5	2.55
	6	8.03
	7	1.89
	8	0.62
RMS		0.46
MAPE (%)		7.86
Maximum APE (%)		22.30

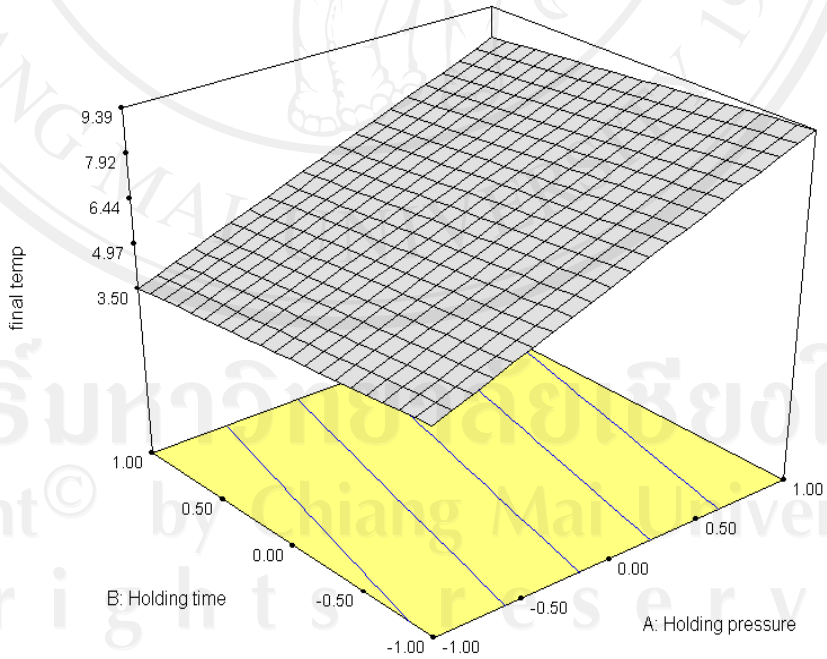


ภาพที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าที่ได้จากการแทนค่าลงในสมการทำนายโดยวิธีแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว (Response Surface Methodology) จำนวน 48 ชุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าที่ได้จากการแทนค่าลงในสมการทำนายโดยวิธีแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว (Response Surface Methodology) ใน 8 ชุดทดสอบ



ภาพที่ 4.26 กราฟจากสมการทำนายโดยวิธีตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิวต่ออุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.2 แบบจำลองผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิวที่ใช้ทำนายเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

จากชุดข้อมูลจำนวน 48 ชุด นำมาทำนายสมการ ซึ่งได้นำข้อมูลทั้งตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว สามารถทำนายสมการได้ดังนี้

- สมการการทำนายเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

$$Y = 1.118 - 0.2X_1 + 0.127X_3 \qquad (4.2)$$

เมื่อ X_1 = holding pressure
X_2 = holding time
X_3 = initial produce temperature
X_4 = initial chamber temperature

แต่อย่างไรก็ตามสมการที่ได้นี้สามารถอธิบายได้เฉพาะในการทดลองนี้เท่านั้น ทำให้สมการมีข้อจำกัดไม่สามารถใช้ได้อย่างกว้างขวาง

จากสมการที่ 4.2 ตัวแปรที่นำมาทดสอบด้วยวิธีทำนายสมการผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิวที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ คือ holding pressure, holding time, initial produce temperature และ initial chamber temperature พบว่าผลของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ (Y) ที่ได้เป็นผลหรืออิทธิพลจากตัวแปร holding pressure (X_1) และ initial produce temperature (X_3) 19 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลืออีก 81 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลจากตัวแปรหรือปัจจัยอื่นที่ไม่ทราบค่าได้ และจากสมการที่ 4.2 ได้แทนค่าลงไปเพื่อคำนวณ R^2, RMS, MAPE และ Maximum APE จำนวน 48 ชุด ดังตารางที่ 4.12

จากนั้นนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายโดยวิธีแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว (Response Surface Methodology) ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ จำนวน 48 ชุดทดสอบ จะเห็นได้ว่า เส้นกราฟที่ได้จากสมการทำนายเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อมีค่าที่ไม่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง (ภาพที่ 4.26) เนื่องจากสมการทำนายมีค่า R^2 เท่ากับ 0.19 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่น้อยมาก และเมื่อนำสมการมาทดสอบโดยใช้ชุดทดสอบจำนวน 8 ชุด เพื่อคำนวณค่า RMS, MAPE และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Maximum APE (ตารางที่ 4.13) เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายสมการในชุดทดสอบ พบว่า ค่าที่ได้จากการทำนายสมการมีค่าไม่ใกล้เคียงกับค่าที่จากการทดลองจริง (ภาพที่ 4.28) และจากภาพที่ 4.29 เมื่อเพิ่มเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันสุดท้ายตามระยะเวลาที่กำหนด จะส่งผลให้การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่ถ้าหากเพิ่มความความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผักกาดหอมห่อลดลง

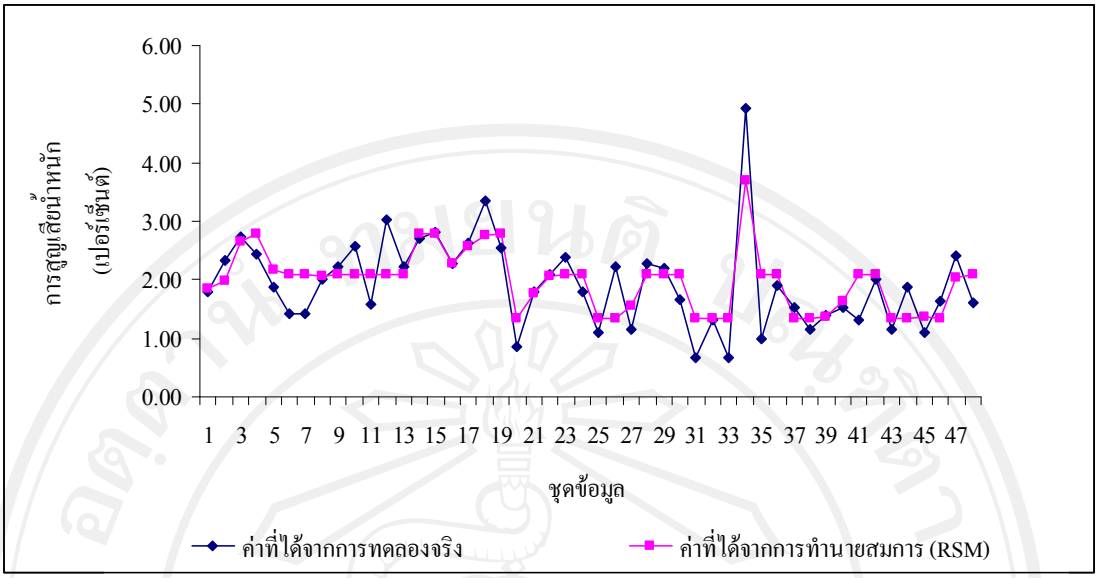
ตารางที่ 4.12 ค่า R^2 และค่าความผิดพลาดของข้อมูลจำนวน 48 ชุดจากสมการทำนายเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

R^2 และค่าความผิดพลาด	ค่า
R^2	0.19
RMS	0.66
MAPE (%)	25.47
Maximum APE	134.17

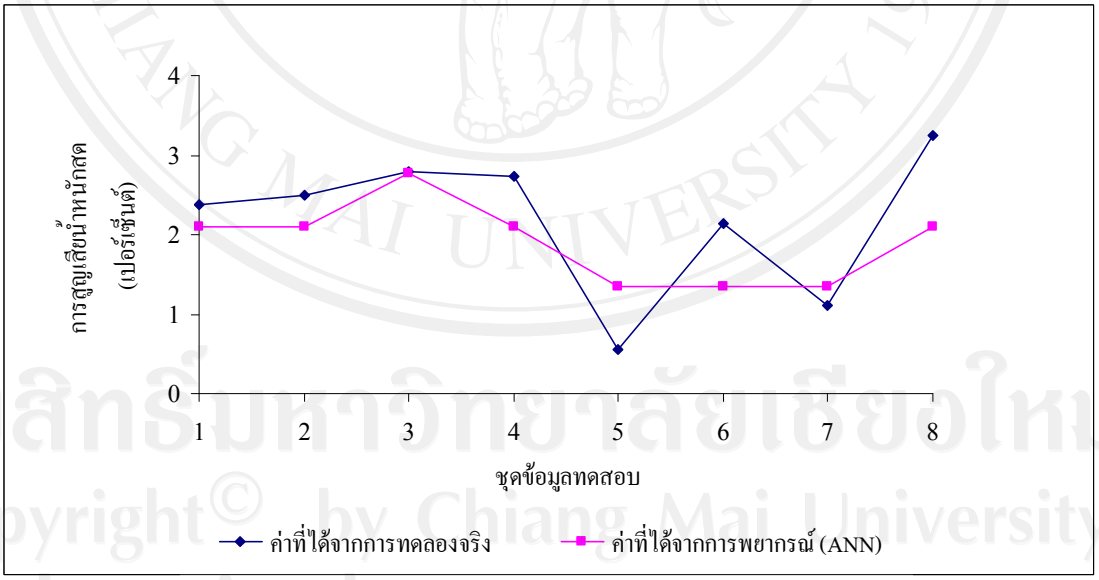
ตารางที่ 4.13 ค่าความผิดพลาดของข้อมูลจำนวน 8 ชุดจากสมการทำนายเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

ค่าความผิดพลาด		**ค่า**
APE (%)	1	8.89
	2	4.05
	3	23.53
	4	23.00
	5	172.72
	6	14.31
	7	37.21
	8	42.00
RMS		0.70
MAPE (%)		40.71
Maximum APE (%)		172.72

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

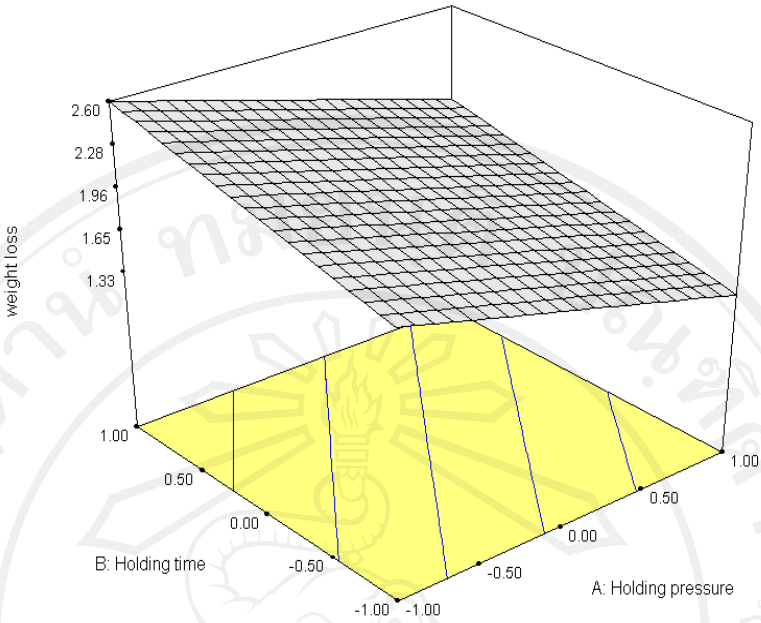


ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงและค่าที่ได้จากการแทนค่าลงในสมการทำนายเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศจำนวน 48 ชุด



ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงและค่าที่ได้จากการแทนค่าลงในสมการทำนายเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศจำนวน 8 ชุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.29 กราฟจากสมการทำนายโดยวิธีตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิวต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

4.5 ผลการพยากรณ์อุณหภูมิสุดท้าย และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

4.5.1 แบบจำลองการพยากรณ์อุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

การทดลองพยากรณ์อุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ทำการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม 3 โครงข่าย ดังนี้

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 1

แบบจำลองที่ 1 ประกอบด้วย input layer 2 neurons, hidden layer 2 neurons และ output layer 1 neuron

Input :

- Holding pressure
- Holding time

Output :

- Final produce temperature

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 2

แบบจำลองที่ 2 ประกอบด้วย input layer 3 neurons, hidden layer 2 neurons และ output layer 1 neuron

Input :
- Holding pressure
- Holding time
- Initial produce temperature

Output :
- Final produce temperature

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 3

แบบจำลองที่ 3 ประกอบด้วย input layer 4 neurons, hidden layer 3 neurons และ output layer 1 neuron

Input :
- Holding pressure
- Holding time
- Initial produce temperature
- Initial chamber temperature

Output :
- Final produce temperature

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 1 - 3 ซึ่งได้ผ่านการฝึกฝน (training) และทดสอบ (testing) แล้วนั้นจะเห็นได้ว่า แบบจำลองเหล่านี้มีความแตกต่างกันทางในปัจจัยด้านข้อมูลขาเข้า (input layer) และ hidden layer โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 1 และ 2 ประกอบด้วย hidden layer จำนวน 2 neurons และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 3 ประกอบด้วย hidden layer จำนวน 3 neurons ซึ่งในตารางที่ 4.14 ได้แสดงค่าเปรียบเทียบ R^2, RMS, MAPE และ Maximum APE ของแต่ละแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในชุดข้อมูลที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 48 ชุด พบว่า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 3 มีค่า RMS, MAPE และ Maximum APE ที่ต่ำที่สุด และค่า R^2 ที่สูงที่สุดจึงทำการเลือกแบบจำลองนี้ โดยแบบจำลองที่ 3 ปัจจัยขาเข้าประกอบไปด้วย holding pressure, holding time, initial produce temperature และ initial chamber temperature ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าทั้ง 4 ปัจจัยขาเข้า มีผลและความสำคัญต่ออุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ และจากตารางที่ 4.15 ได้แสดงค่าความผิดพลาด ของชุดทดสอบจำนวน 8 ชุดโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 3 เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมจำนวน 8 ชุดทดสอบของแบบจำลองที่ดีที่สุด (แบบจำลองโครงข่าย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประสาททียมที่ 3) มาเขียนกราฟ พบว่า ค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง (ภาพที่ 4.30)

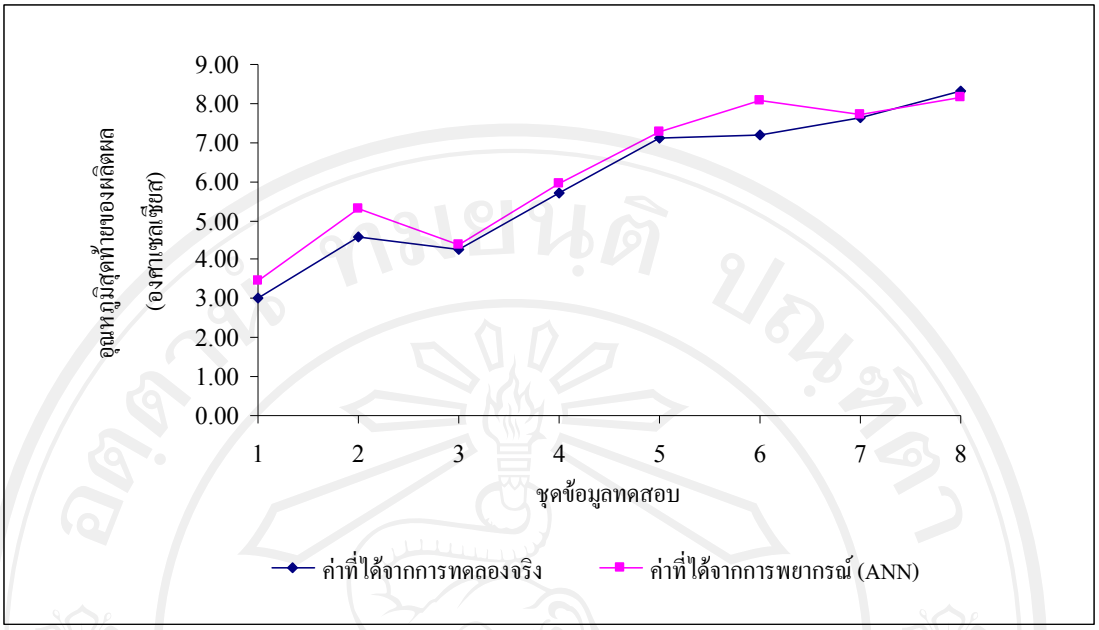
ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบค่า R^2 และค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ในแต่ละแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในข้อมูลจำนวน 48 ชุด (training set)

ค่าความผิดพลาด	แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม		
	Model 1	**Model 2**	**Model 3**
R^2	0.90	0.91	0.95
RMS	0.52	0.52	0.36
MAPE (%)	6.76	6.69	4.96
Maximum APE (%)	38.02	38.28	16.39

ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ในข้อมูลจำนวน 8 ชุดทดสอบ (testing set) ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 3

ค่าความผิดพลาด		ค่า
APE (%)	1	14.27
	2	15.08
	3	2.60
	4	4.39
	5	2.18
	6	12.18
	7	1.22
	8	2.31
RMS		0.44
MAPE (%)		6.78
Maximum APE (%)		15.08

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.30 ความสัมพันธ์ของแบบจำลองการพยากรณ์อุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศระหว่างค่าจากการทดลองและค่าพยากรณ์จำนวน 8 ชุดทดสอบโดยโครงข่ายประสาทเทียมของแบบจำลองที่ 3

4.5.2 แบบจำลองการพยากรณ์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

การทดลองพยากรณ์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ทำการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม 3 โครงข่าย ดังนี้

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 1

แบบจำลองที่ 1 ประกอบด้วย input layer 2 neurons, hidden layer 2 neurons และ output layer 1 neuron

Input :

- Holding pressure
- Holding time

Output :

- Weight loss

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 2

แบบจำลองที่ 2 ประกอบด้วย input layer 3 neurons, hidden layer 2 neurons และ output layer 1 neuron

Input :

- Holding pressure
- Holding time
- Initial produce temperature

Output :

- Weight loss

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 3

แบบจำลองที่ 3 ประกอบด้วย input layer 4 neurons, hidden layer 2 neurons และ output layer 1 neuron

Input :

- Holding pressure
- Holding time
- Initial produce temperature
- Initial chamber temperature

Output :

- Weight loss

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 1 - 3 ซึ่งได้ผ่านการฝึกฝน และทดสอบแล้วนั้นจะเห็นได้ว่า แบบจำลองเหล่านี้มีความแตกต่างกันทางในปัจจัยด้านข้อมูลขาเข้า (input layer) แต่มีความเหมือนกันที่ hidden layer ซึ่งประกอบไปด้วย 2 neurons โดยในตารางที่ 4.16 แสดงค่าเปรียบเทียบ R^2, RMS, MAPE และ Maximum APE ของแต่ละแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในชุดข้อมูลที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 48 ชุด พบว่า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 3 ที่มีค่า R^2 สูงที่สุด และมีค่า RMS และ MAPE ที่น้อยที่สุด แต่จะมีค่า Maximum APE ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 2 มีค่าน้อยกว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 3 แต่ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก เนื่องจากมีค่า R^2 ที่สูงที่สุด ดังนั้นจึงทำการเลือกแบบจำลองที่ 3 นี้ โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 3 ปัจจัยขาเข้าประกอบไปด้วย holding pressure, holding time, initial produce temperature และ initial chamber temperature ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าทั้ง 4 ปัจจัยขาเข้า มีผลและความสำคัญต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ และจากตารางที่ 4.17 ได้แสดงค่าความผิดพลาด ของชุดทดสอบ จำนวน 8 ชุดโดยพยากรณ์แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 3 เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม 8 ชุดทดสอบของแบบจำลองที่ดีที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 3) มาเขียนกราฟ พบว่าค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ไม่ใกล้เคียงกับ ค่าที่ได้จากการทดลองจริง (ภาพที่ 4.31)

การสูญเสียน้ำหนักที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งเกิดจากการสูญเสียน้ำของผลิตผล โดยเฉพาะผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้วถูกตัดขาดจากแหล่งน้ำที่เคยได้จากราก แต่การสูญเสียน้ำเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาจะเกิดมากขึ้นหรือน้อยลงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง ซึ่งกระบวนการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศเป็นวิธีที่กระทำในสภาพที่มีความดันต่ำโดยจะทำการดูดเอาอากาศออกจากห้องลดอุณหภูมิ เมื่อความดันบรรยากาศลดลงจะทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอออกไปได้ง่าย โดยการเปลี่ยนสถานะนี้จะใช้พลังงานความร้อนที่อยู่ภายในผลิตผลนั้นเอง (นิธิยาและดนัย, 2548) ถ้าหากผลิตผลมีอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำก็สามารถใช้พลังงานความร้อนที่มีอยู่ภายในได้น้อย แต่ถ้าหากผลิตผลมีอุณหภูมิเริ่มต้นสูงก็สามารถใช้พลังงานความร้อนที่มีอยู่ภายในได้มาก นอกจากนี้ ถ้าหากผลิตผลใดที่มีพื้นที่ผิวมากจะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนออกมาได้มากตามไปด้วยทำให้เกิดการสูญเสียน้ำออกไป จึงเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผลิตผล และได้สอดคล้องกับการศึกษาการพยากรณ์คุณภาพส้มสายน้ำผึ้งหลังการขนส่งทางรถบรรทุกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม พบว่า ภาชนะบรรจุและตำแหน่งที่วางภาชนะบรรจุบนรถบรรทุก มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของส้มสายน้ำผึ้งที่ผ่านการขนส่งจากผู้ผลิตไปยังตลาดกลางค้าส่ง เนื่องจากการสั่นสะเทือนของรถบรรทุก และการเสียดสีระหว่างผลิตผลกับภาชนะบรรจุ มีผลโดยตรงกับความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผลิตผลในระหว่างการขนส่ง (ธัญนันท์, 2549)

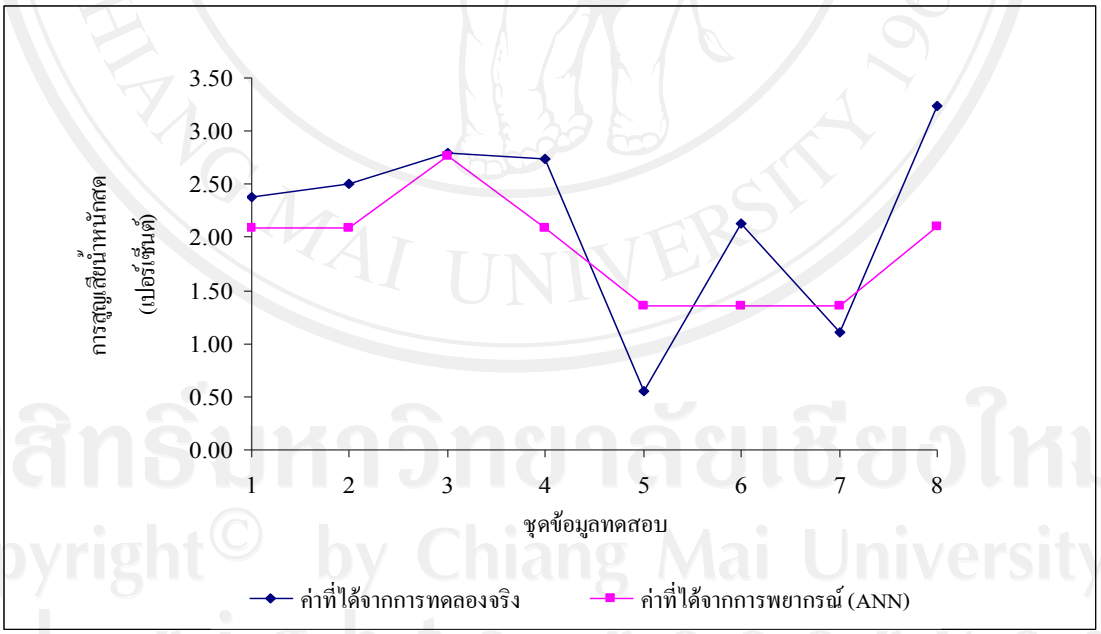
ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบค่า R^2 และค่าความผิดพลาดของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ในแต่ละแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในข้อมูลจำนวน 48 ชุด

ค่าความผิดพลาด	แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม		
	Model 1	**Model 2**	**Model 3**
R^2	0.35	0.34	0.38
RMS	0.60	0.60	0.45
MAPE (%)	30.64	23.92	22.40
Maximum APE (%)	153.65	112.58	113.65

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ในข้อมูลจำนวน 8 ชุดทดสอบ ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 3

R^2 และค่าความผิดพลาด		ค่า
APE (%)	1	12.03
	2	16.26
	3	0.78
	4	23.56
	5	141.05
	6	36.63
	7	22.72
	8	35.21
RMS		0.64
MAPE (%)		36.03
Maximum APE (%)		141.05



ภาพที่ 4.31 ความสัมพันธ์ของแบบจำลองการพยากรณ์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศระหว่างค่าจากการทดลองและ ค่าพยากรณ์จำนวน 8 ชุดทดสอบ โดยโครงข่ายประสาทเทียมของแบบจำลองที่ 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.6 การเปรียบเทียบระหว่างการทำนายสมการด้วยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว และแบบจำลองการใช้โครงข่ายประสาทเทียม

4.6.1 อุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

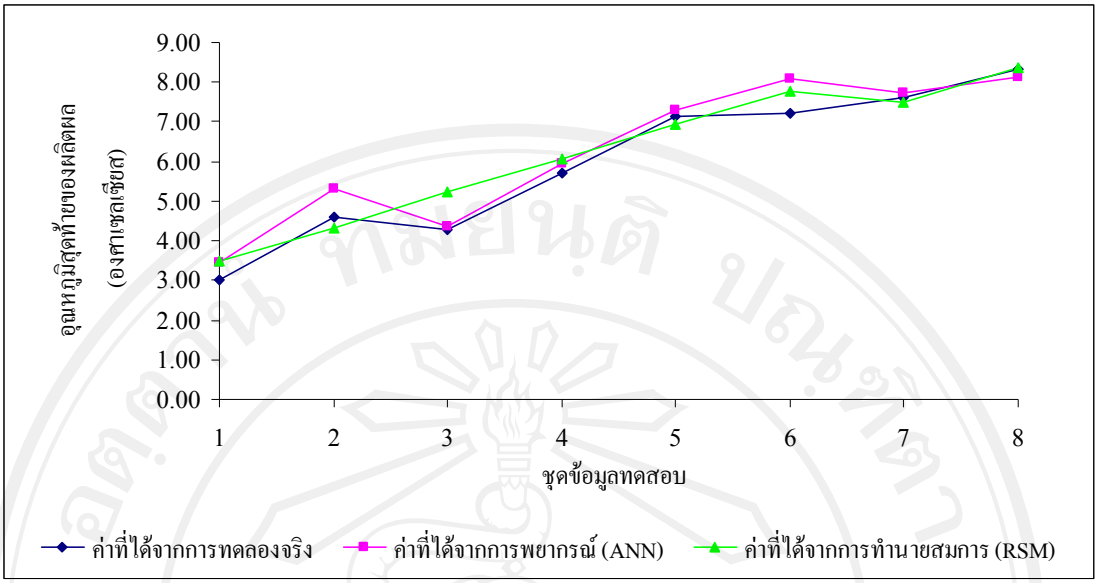
จากการทดลองข้างต้น ได้นำข้อมูลการทำนายสมการด้วยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว มาทำการเปรียบเทียบกับการพยากรณ์ที่ได้เลือกจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุด (แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 3) ที่มีผลต่ออุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ จะเห็นได้ว่า การพยากรณ์ด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์ได้ดีกว่าการทำนายด้วยการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว ในชุดข้อมูลทดสอบจำนวน 8 ชุด ดังตารางที่ 4.18 เนื่องจากการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า RMS, MAPE และ Maximum APE ที่ต่ำกว่าการทำนายด้วยการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว

จากนั้นนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่มีผลต่ออุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศในชุดทดสอบจำนวน 8 ชุด พบว่า พบว่าเส้นกราฟที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าใกล้เคียงกับเส้นกราฟที่ได้จากการทดลองจริงมากกว่าเส้นกราฟที่ได้จากการแทนค่าลงในสมการทำนาย (ภาพที่ 4.32)

ตารางที่ 4.18 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศในชุดทดสอบจำนวน 8 ชุด ระหว่างการทำนายสมการด้วยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ค่า	ผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว	โครงข่ายประสาทเทียม
APE (%) 1	15.38	14.27
2	5.96	15.08
3	22.30	2.60
4	6.18	4.36
5	2.55	2.18
6	8.03	12.18
7	1.89	1.22
8	0.62	2.31
RMS	0.46	0.44
MAPE (%)	7.86	6.78
Maximum APE (%)	22.30	15.08

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงและค่าที่ได้จากการทำนายสมการด้วยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมต่ออุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศในชุดทดสอบจำนวน 8 ชุด

4.6.2 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ

จากการทดลองข้างต้น ได้นำข้อมูลการทำนายสมการด้วยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว มาทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการพยากรณ์ที่ได้เลือกจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุด (แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 3) ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ จะเห็นได้ว่า การพยากรณ์ด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์ได้ดีกว่าการทำนายสมการด้วยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว ในชุดข้อมูลทดสอบจำนวน 8 ชุด ดังตารางที่ 4.19 เนื่องจากการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า RMS, MAPE และ Maximum APE ที่ต่ำกว่าการทำนายสมการด้วยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว

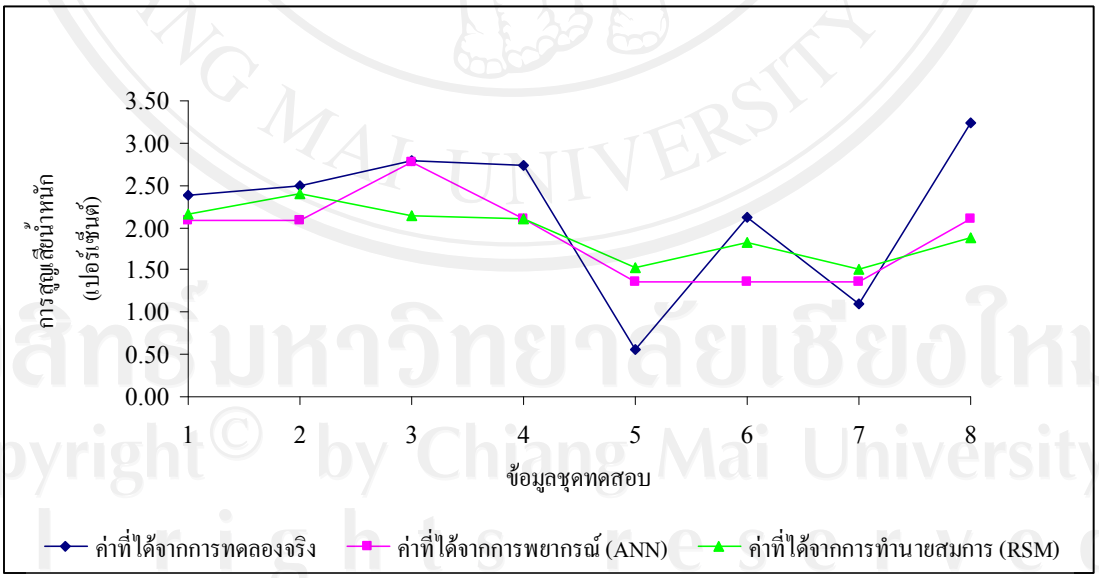
จากนั้นนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายสมการด้วยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศในชุดทดสอบจำนวน 8 ชุด พบว่า ค่าที่ได้จากการทำนายสมการด้วยวิธีแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว และค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองโครงข่าย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประสาทเทียมมีค่าไม่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง เนื่องจากมีค่า MAPE เท่ากับ 40.71 และ 36.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่มีความผิดพลาดค่อนข้างมาก (ภาพที่ 4.33)

ตารางที่ 4.19 การเปรียบเทียบค่า R^2 และค่าความผิดพลาดของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศในชุดทดสอบจำนวน 8 ชุด ระหว่างการทำนายสมการด้วยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ค่า	ผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว	โครงข่ายประสาทเทียม
APE (%) 1	8.89	12.03
2	4.05	16.26
3	23.53	0.78
4	23.00	23.56
5	172.72	141.05
6	14.31	36.63
7	37.21	22.72
8	42.00	35.21
RMS	0.70	0.64
MAPE (%)	40.71	36.03
Maximum APE (%)	172.72	141.05



ภาพที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงและค่าที่ได้จากการทำนายสมการด้วยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศในชุดทดสอบจำนวน 8 ชุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการพยากรณ์อุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ จำนวน 48 ชุด โดยการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมจำนวน 3 โครงข่าย พบว่า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 3 สามารถพยากรณ์ได้ดีที่สุด เนื่องจากมีค่า R^2 สูงที่สุด และมีค่า RMS, MAPE และ Maximum APE ที่ต่ำที่สุด ส่วนการพยากรณ์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ จำนวน 48 ชุดโดยการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม 3 โครงข่าย พบว่า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 3 สามารถพยากรณ์ได้ดีที่สุด โดยมีค่า R^2 ที่สูงที่สุด และมีค่า RMS และ MAPE น้อยที่สุด แต่มีค่า Maximum APE ที่พยากรณ์โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 2 น้อยกว่าแต่ก็ไม่มีความแตกต่างกันมาก

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการทำนายสมการด้วยวิธีแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการพยากรณ์อุณหภูมิสุดท้ายและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อ ใน 8 ชุดทดสอบ พบว่า การพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์ได้ดีกว่าการทำนายสมการด้วยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว เนื่องจากมีค่า RMS, MAPE และ Maximum APE ที่ต่ำกว่า และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีความเหมาะสมกับการพยากรณ์อุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อมากกว่าการพยากรณ์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อ เนื่องจากการพยากรณ์อุณหภูมิสุดท้ายของผักกาดหอมห่อมีค่าความผิดพลาดต่ำกว่าในขณะที่การพยากรณ์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดมีค่าความผิดพลาดค่อนมาก อาจเนื่องมาจากช่วงข้อมูลของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อนั้นแคบ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม จึงส่งผลต่อการพยากรณ์ได้ไม่ค่อยจะดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved