บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 ผลของการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศของผักกาดฮ่องเต้

1.1. ศึกษาหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้บรรจุในตะกร้าพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ

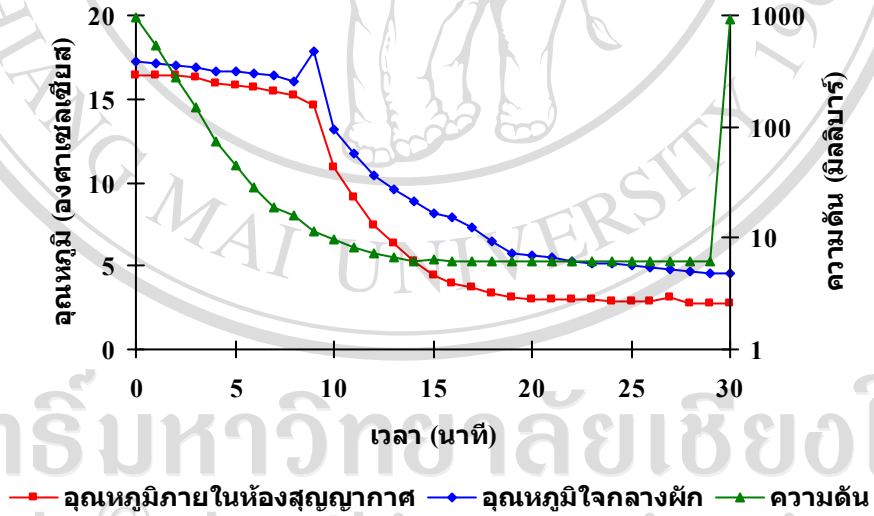
จากการศึกษาการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก โดยผักกาดฮ่องเต้มีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 18 องศาเซลเซียส พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศมีค่าความดันสุดท้ายที่ 6 มิลลิบาร์ และเวลาที่ผักอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 15 นาที มีระยะการทำงานของระบบ 30 นาที อุณหภูมิผักสิ้นสุดที่ 6.27 องศาเซลเซียส ขณะทำการลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด 2.86 เปอร์เซ็นต์ โดยคุณภาพผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศมีคุณภาพใกล้เคียงกับคุณภาพผักขั้นต้น โดยใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 4.00 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าจำนวน 0.04 บาทต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้บรรจุในตะกร้าพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ

Parameters	Value
Holding pressure (mbar)	6.00
Holding time (min)	15
Cycle time (min)	30
Initial temperature (°C)	18.00
Final temperature (°C)	6.27
Moisture content (%)	93.81
Weight loss (%)	2.86
The average produce center temperature at the end of the holding time process (°C)	5.87
The average produce ceneter temperature after restoring to the atmospheric pressure (°C)	4.50
Energy Consumption (kWh)	4.00
Electrical Expense (baht/kg)	0.04

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

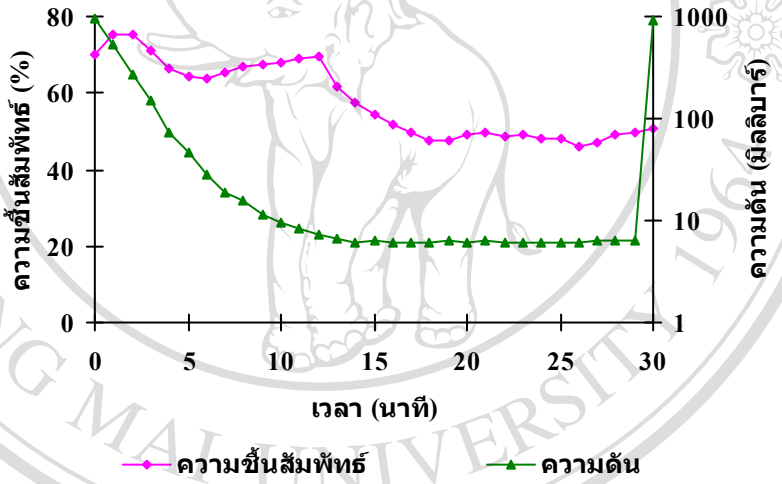
จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศกับเวลาและความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิของผักกาดฮ่องเต้บรรจุในตะกร้าพลาสติกแสดงในภาพที่ 4.1 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของความดันภายในห้องลดอุณหภูมิในช่วง 6 นาทีแรกความดันจะลดลงอย่างรวดเร็วจนมาอยู่ที่ประมาณ 15 มิลลิบาร์ อุณหภูมิอากาศในช่วงนี้จะลดลงช้าๆ ส่วนอุณหภูมิใจกลางผักกาดฮ่องเต้ เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยค่าลดลงเกือบคงที่ ต่อมาช่วงเวลาที่ 7-15 นาที อัตราการลดความดันในห้องลดอุณหภูมิเริ่มช้าลงส่วนอัตราการลดอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศและอุณหภูมิใจกลางผักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงนี้เป็นช่วงที่ความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงมาถึงความดันอิ่มตัวของอุณหภูมิเริ่มต้นของผักกาดฮ่องเต้ น้ำในผักกาดฮ่องเต้จะเริ่มระเหยกลายเป็นไอและมีอุณหภูมิลดลง จากนั้นเมื่อความดันลดลงมาอยู่ที่ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิผลิตผลที่ 6 มิลลิบาร์ เครื่องจะทำการรักษาระดับความดันให้คงที่เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันดังกล่าวตามระยะเวลาที่กำหนดเท่ากับ 15 นาที ซึ่งในช่วงนี้อุณหภูมิของผักค่อยๆ ลดลงภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิของบรรยากาศต่ำจนมาถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 6.27 องศาเซลเซียส ก่อนสิ้นสุดกระบวนการ



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศ อุณหภูมิใจกลางผัก และความดันกับเวลา ในการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้บรรจุในตะกร้าพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิผักฮ่องเต้แสดงในภาพที่ 4.2 จากการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องสุญญากาศ พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเริ่มลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 69.9 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเวลาผ่านไป 6 นาที เมื่อเริ่มมีการลดความดัน ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการลดความดันบรรยากาศในห้องลดอุณหภูมิเป็นการลดปริมาณอากาศที่มีความชื้นออก ทำให้ในห้องสุญญากาศมีปริมาณอากาศชื้นลดลง ส่งผลให้มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิถูกทำให้ลดลงจนอยู่ในระดับที่คงที่ประมาณ 6 มิลลิบาร์ อัตราการระเหยน้ำออกจากผักยังคงดำเนินต่อไปที่ความดันคงที่ ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 47-52 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ และความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้บรรจุในตะกร้าพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.2. **การศึกษาหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้บรรจุในตะกร้าพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ**

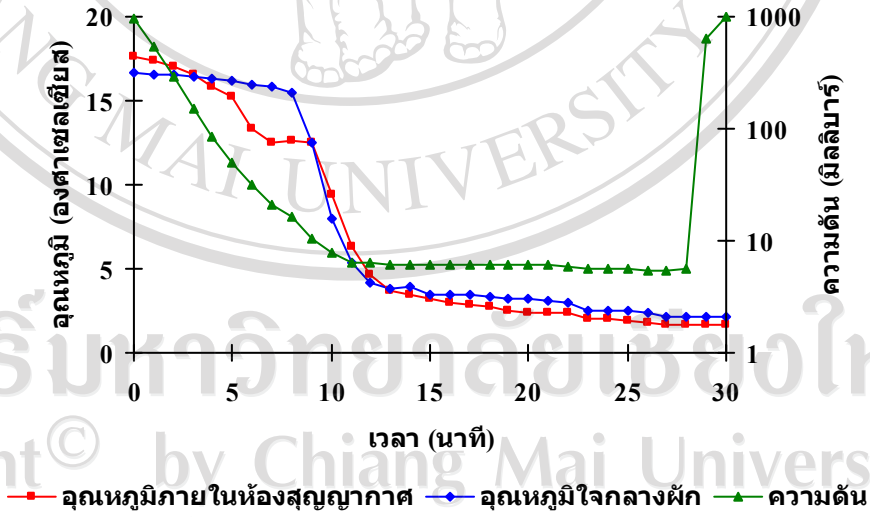
จากการศึกษาการลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศของผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในตะกร้าพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำ โดยผักกาดฮ่องเต้มีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 18.53 องศาเซลเซียส พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศมีค่าความดันที่ 6 มิลลิบาร์ และเวลาที่ผักอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 15 นาที มีระยะการทำงานของระบบ 30 นาที อุณหภูมิผักสิ้นสุดที่ 6.13 องศาเซลเซียส ขณะทำการลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด 2.25 เปอร์เซ็นต์ โดยคุณภาพผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศมีคุณภาพใกล้เคียงกับคุณภาพผักขั้นต้น โดยใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 3.80 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าจำนวน 0.04 บาทต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้บรรจุในตะกร้าพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

Parameters	Value
Holding pressure (mbar)	6.00
Holding time (min)	15
Water time (sec)	120
Cycle time (min)	30
Initial temperature (°C)	18.53
Final temperature (°C)	6.13
Moisture content (%)	96.28
Weight loss (%)	2.25
The average produce center temperature at the end of the holding time process (°C)	2.91
The average produce center temperature after restoring to the atmospheric pressure (°C)	2.20
Energy Consumption (kWh)	3.80
Electrical Expense (baht/kg)	0.04

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

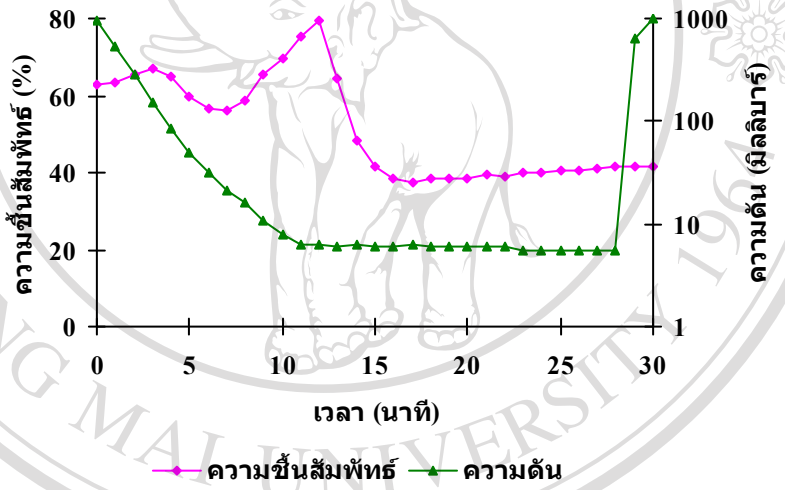
จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศกับเวลาและความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิของผักกาดฮ่องเต้บรรจุในตะกร้าพลาสติกแสดงในภาพที่ 4.3 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของความดันภายในห้องลดอุณหภูมิในช่วง 6 นาทีแรกความดันจะลดลงอย่างรวดเร็วจนมาอยู่ที่ประมาณ 15 มิลลิบาร์ อุณหภูมิอากาศในช่วงนี้จะลดลงช้าๆ ส่วนอุณหภูมิใจกลางผักกาดฮ่องเต้ อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยค่าลดลงเกือบคงที่ ต่อมาช่วงเวลาที่ 7-13 นาที อัตราการลดความดันในห้องลดอุณหภูมิเริ่มช้าลงส่วนอัตราการลดอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศและอุณหภูมิใจกลางผักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงนี้เป็นช่วงที่ความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงมาถึงความดันอิ่มตัวของอุณหภูมิเริ่มต้นของผักกาดฮ่องเต้ น้ำในผักกาดฮ่องเต้จะเริ่มระเหยกลายเป็นไอและมีอุณหภูมิลดลง จากนั้นเมื่อความดันลดลงมาอยู่ที่ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิผลิตผลที่ 6 มิลลิบาร์ เครื่องจะทำการรักษาระดับความดันให้คงที่เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันดังกล่าวตามระยะเวลาที่กำหนดเท่ากับ 15 นาที ซึ่งในช่วงนี้อุณหภูมิของผักค่อยๆ ลดลงภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิของบรรยากาศต่ำจนมาถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 6.13 องศาเซลเซียส ก่อนสิ้นสุดกระบวนการ



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศ อุณหภูมิใจกลางผัก และความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้บรรจุในตะกร้าพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิผักฮ่องเต้แสดงในภาพที่ 4.4จากการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องสุญญากาศ พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเริ่มลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 62.9 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเวลาผ่านไป 6 นาที เมื่อเริ่มมีการลดความดัน ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการลดความดันบรรยากาศในห้องลดอุณหภูมิเป็นการลดปริมาณอากาศที่มีความชื้นออก ทำให้ในห้องสุญญากาศมีปริมาณอากาศชื้นลดลง ส่งผลให้มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิถูกทำให้ลดลงจนอยู่ในระดับที่คงที่ประมาณ 6 มิลลิบาร์ อัตราการระเหยน้ำออกจากผักยังคงดำเนินต่อไปที่ความดันคงที่ ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 37-41 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ และความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้บรรจุในตะกร้าพลาสติก โดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.3. การศึกษาหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ

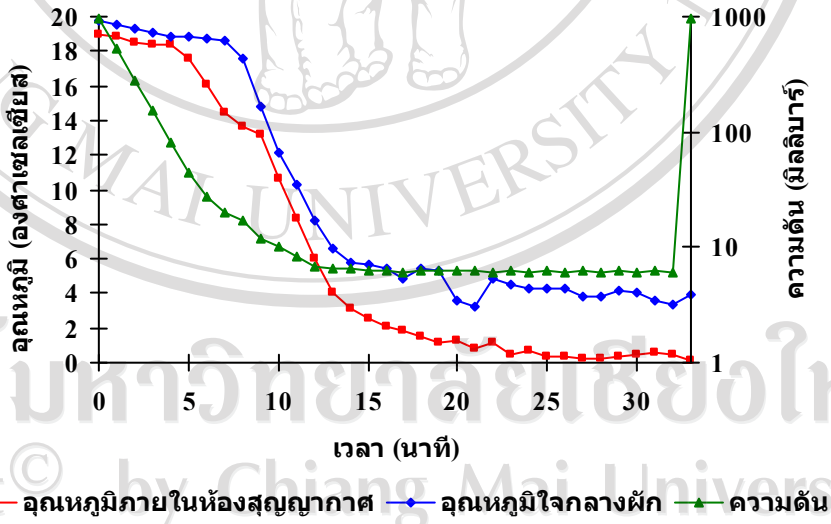
จากการศึกษาการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ พบว่า ผักกาดฮ่องเต้ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 19.80 องศาเซลเซียส และมีปริมาณความชื้น 96.64 เปอร์เซ็นต์ มีพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแสดงในตารางที่ 4.5 อุณหภูมิสุดท้ายที่ได้มีค่า 5.40 องศาเซลเซียส มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างการลดอุณหภูมิ 2.86 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิทั้งสิ้น 4.02 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าจำนวน 0.04 บาทต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ

Parameter	Value
Holding pressure (mbar)	6.00
Holding time (min)	20
Cycle time (min)	34
Initial temperature (°C)	19.80
Final temperature (°C)	5.40
Moisture content (%)	96.64
Weight loss (%)	2.86
The average produce center temperature at the end of the holding time process (°C)	4.51
The average produce center temperature after restoring to the atmospheric pressure (°C)	3.90
Energy Consumption (kWh)	4.20
Electrical Expense (baht/kg)	0.04

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

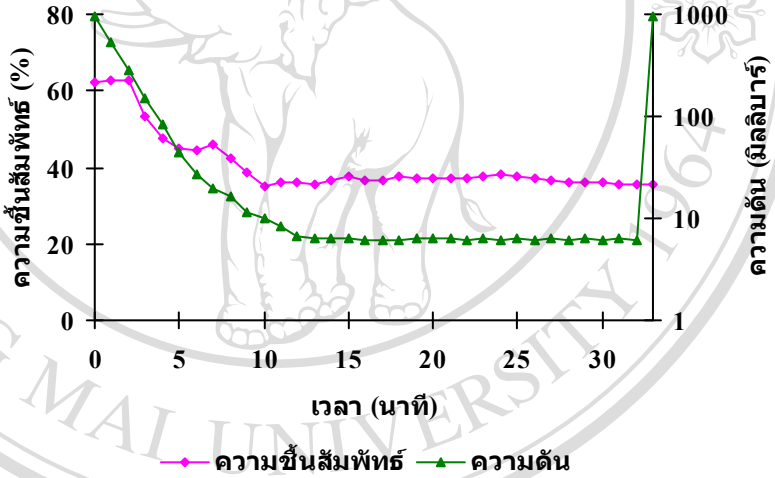
จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศกับเวลาและความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิของผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในถุงพลาสติกแสดงในภาพที่ 4.5 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของความดันภายในห้องลดอุณหภูมิในช่วง 6 นาทีแรกความดันจะลดลงอย่างรวดเร็วจนมาอยู่ที่ประมาณ 15 มิลลิบาร์ อุณหภูมิอากาศในช่วงนี้จะลดลงช้าๆ ส่วนอุณหภูมิใจกลางผักกาดฮ่องเต้เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยค่าลดลงเกือบคงที่ ต่อมาช่วงเวลาที่ 7-15 นาที อัตราการลดความดันในห้องลดอุณหภูมิเริ่มช้าลงส่วนอัตราการลดอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศและอุณหภูมิใจกลางผักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงนี้เป็นช่วงที่ความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงมาถึงความดันอิ่มตัวของอุณหภูมิเริ่มต้นของผักกาดฮ่องเต้ น้ำในผักกาดฮ่องเต้จะเริ่มระเหยกลายเป็นไอและมีอุณหภูมิลดลง จากนั้นเมื่อความดันลดลงมาอยู่ที่ความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิผลิตผลที่ 6 มิลลิบาร์ เครื่องจะทำการรักษาระดับความดันให้คงที่เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันดังกล่าวตามระยะเวลาที่กำหนดเท่ากับ 20 นาที ซึ่งในช่วงนี้อุณหภูมิของผักค่อยๆ ลดลงภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิของบรรยากาศต่ำจนมาถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 5.04 องศาเซลเซียส ก่อนสิ้นสุดกระบวนการโดยใช้ระยะเวลาในการดำเนินการทั้งสิ้น 34 นาที



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศ อุณหภูมิใจกลางผัก และความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างการลดอุณหภูมิผักฮ่องเต้แสดงในภาพที่ 4.6จากการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องสุญญากาศ พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเริ่มลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 62.1 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเวลาผ่านไป 6 นาที เมื่อเริ่มมีการลดความดัน ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการลดความดันบรรยากาศในห้องลดอุณหภูมิเป็นการลดปริมาณอากาศที่มีความชื้นออก ทำให้ในห้องสุญญากาศมีปริมาณอากาศชื้นลดลง ส่งผลให้มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิถูกทำให้ลดลงจนอยู่ในระดับที่คงที่ประมาณ 6 มิลลิบาร์ อัตราการระเหยน้ำออกจากผักยังคงดำเนินต่อไปที่ความดันคงที่ ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 35-37 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ และความดันกับเวลาในการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในถุงพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.4. เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

น้ำเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด โดยเฉพาะในเซลล์ผักจะมีปริมาณน้ำสูงมาก โดยทั่วไปผักมีการสูญเสียน้ำไปเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ผลิตผลเหี่ยว มีคุณภาพลดลง และอาจขายไม่ได้ราคา ปัจจัยสำคัญต่อการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผล คือ อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรซึ่งผักที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากจะมีการสูญเสียน้ำออกจากผักได้มากกว่าผักที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อย โดยผักใบ มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร เท่ากับ 50-100 ตารางเซนติเมตร/ลูกบาศก์เซนติเมตร ขณะที่พืชหัว (tubers) มีอัตราส่วนของพื้นที่ปริมาตร เท่ากับ 0.5-1.5 ตารางเซนติเมตร/ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้นจึงทำให้ผักใบมีการสูญเสียน้ำมากกว่าพืชหัว การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศของผักกาดฮ่องเต้โดยเปรียบเทียบการใช้ภาชนะบรรจุที่แตกต่างกันขณะทำการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศพบว่า การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศของผักกาดฮ่องเต้บรรจุในตะกร้าพลาสติก มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสด 2.86 เปอร์เซ็นต์ การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศของผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในถุงพลาสติก มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสด 2.86 เปอร์เซ็นต์ และการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้บรรจุในตะกร้าพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำ มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสด 2.25 เปอร์เซ็นต์ การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าวิธีอื่นๆ เนื่องจากการฉีดพ่นน้ำที่ผักก่อนทำการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศจะช่วยลดการสูญเสียน้ำ และวิธีนี้ยังใช้เวลาในการทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว (Zhang and Sun, 2006) โดยการฉีดพ่นน้ำก่อนเริ่มลดอุณหภูมิโดยสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อ เซเลอรี่ และข้าวโพดหวาน (Rennie, 2006)

1.5. เวลาในการทำให้เย็น

การลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในถุงพลาสติกจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมินานกว่าการลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้บรรจุในตะกร้าพลาสติกและการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำ โดยใช้เวลาในการลดอุณหภูมิตลอดทั้งกระบวนการทั้งหมด 34, 30 และ 30 นาที ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในถุงพลาสติกมีการจำกัดพื้นที่ในการระเหยน้ำในผักกาดฮ่องเต้โดยไอน้ำที่ระเหยออกมาจากผักกาดฮ่องเต้จะระเหยสู่บรรยากาศภายนอกโดยผ่านรูระบายอากาศรอบๆ ถุง ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 18 รู ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.8 เซนติเมตร ในขณะที่ผักกาดฮ่องเต้บรรจุในตะกร้าพลาสติกเมื่อน้ำในผักเกิดการระเหยสามารถระเหยสู่บรรยากาศได้โดยตรง ดังนั้นการลดอุณหภูมิโดยบรรจุในถุงพลาสติกจึงใช้ระยะในการเดินเครื่องเวลานานกว่าเพื่อให้อุณหภูมิภายในถึงอุณหภูมิที่กำหนด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศขึ้นอยู่กับรูปร่างของผลิตผล คุณสมบัติความมีรูพรุน ขนาดของรูพรุน การกระจายของรูพรุน ปริมาณน้ำอิสระในผลิตผล ลักษณะภาชนะบรรจุ และการบรรจุผลิตผลลงในภาชนะบรรจุ นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับค่าความดันและเวลาที่ผักอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด ซึ่งค่าต่างๆ เหล่านี้มีผลต่ออัตราเร็วในการลดอุณหภูมิของผักในการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ ได้มีการศึกษาความดันและเวลาในการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศของผักกาดหอมห่อ โดยทำการลดอุณหภูมิจาก 25 องศาเซลเซียส ไปถึง 5 องศาเซลเซียส พบว่าความดันที่ 0.70 กิโลปาสคาล ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิ 1,330 วินาที ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าที่ความดัน 1 กิโลปาสคาล โดยใช้เวลาในการลดอุณหภูมิ 1,570 วินาที (Ozturka and Ozturka, 2008)

1.6. อุณหภูมิของผลิตผล

ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของผักกาดฮ่องเต้ที่ 15-20 องศาเซลเซียส สามารถกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิได้ โดยกำหนดความดันที่ 6 มิลลิบาร์ และระยะเวลาที่ผักอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดขึ้นกับชนิดของบรรจุภัณฑ์ขณะทำการลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศ ผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในตะกร้าพลาสติกกำหนดระยะเวลาที่ผักอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 15 นาที และผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในถุงพลาสติกจะใช้เวลาที่ผักอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 20 นาที สำหรับผักกาดฮ่องเต้ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น 21-25 องศาเซลเซียส ต้องเพิ่มเวลาที่ผักอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดให้นานขึ้น โดยความดันที่กำหนดมีค่า 6 มิลลิบาร์ ที่ความดันต่ำกว่า 6 มิลลิบาร์ การตั้งค่าความดันที่ต่ำเกินไปจะทำให้ภาระการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิและปั๊มสุญญากาศทำงานหนักเกินไปและเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน คุณภาพผักหลังจากทำการลดอุณหภูมิมีคุณภาพต่ำ ใบมีลักษณะเหี่ยว ซึ่งสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน

1.7. ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และเวลา

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันของผักกาดฮ่องเต้ขณะทำการลดอุณหภูมิโดยระบบสุญญากาศ จากกราฟ 4.1, 4.3 และ 4.5 พบว่า ความดันขณะทำการลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศแบ่งออกเป็น 2 สภาวะ สภาวะแรกความดันภายในห้องสุญญากาศลดความดันจากความดันบรรยากาศปกติมาถึงความดันที่ต้องการคือ 6 มิลลิบาร์ ซึ่งในระหว่างนั้นอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สภาวะที่ 2 เริ่มจากการที่ความดันอิ่มตัวมาถึงจุด flash point อุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้จะลดลงอย่างต่อเนื่อง (Sun and Wang, 2001) อุณหภูมิห้องสุญญากาศลดลงตลอดกระบวนการลดอุณหภูมิ โดยน้ำในผักเริ่มระเหยจากบริเวณที่ผิวนอกก่อนมาถึงบริเวณกึ่งกลาง ความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงอยู่รวดเร็วขณะเริ่มลดอุณหภูมิแต่เมื่อความดันคงที่ความชื้นสัมพัทธ์จะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คงที่ ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะตรงกับการลดอุณหภูมิของเห็ด (Tao *et al.*, 2006) และผักกาดหอมห่อ (He and Li, 2008; Ozturka and Ozturka, 2008)

1.8. พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิ

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กันระยะเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ การลดอุณหภูมิที่ใช้ระยะเวลานานจะทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ค่าใช้จ่ายในการลดอุณหภูมิ (ค่าไฟฟ้า) เท่ากับ 0.04 บาท ต่อผัก 1 กิโลกรัม ทั้งนี้ไม่รวมถึงค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าเสื่อมราคาของอาคาร ค่าสาธารณูปโภค ค่าวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ และเงินเดือนของเจ้าหน้าที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(ก) **(ข)** **(ค)**

ภาพที่ 4.7 ลักษณะผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติก
ก. ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศ
ข. ผักกาดฮ่องเต้ผ่านการลดอุณหภูมิบรรจุในตะกร้าพลาสติก
ค. ผักกาดฮ่องเต้ผ่านการลดอุณหภูมิบรรจุในตะกร้าพลาสติกโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำ

(ก) **(ข)**

ภาพที่ 4.8 ลักษณะผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศที่บรรจุในถุงพลาสติก
ก. ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศ
ข. ผักกาดฮ่องเต้ผ่านการลดอุณหภูมิบรรจุในถุงพลาสติก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 2 ผลของการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศและระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผักกาดฮ่องเต้

2.1. คุณภาพของผักกาดฮ่องเต้ภายหลังการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศและระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำแล้ววางไว้บนชั้นวางจำหน่าย

1. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใจกลางผัก

อุณหภูมิจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทางเคมีภายในผัก ตลอดจนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่างๆ มีอัตราของปฏิกิริยาแปรตามอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงอัตราการเกิดปฏิกิริยาหรือการเจริญเติบโตก็สูง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้นและส่งผลให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิใจกลางผักกาดฮ่องเต้ทั้ง 4 กรรมวิธี ในวันที่ 4 ของการวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพันธ์ 80–85 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แนวโน้มของกราฟอุณหภูมิใจกลางผักมีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 5–7 องศาเซลเซียส ตลอดอายุการวางจำหน่าย ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการรักษาคุณภาพของผักกาดฮ่องเต้บนชั้นวางจำหน่าย (ตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.10) และอุณหภูมิใจกลางผักเริ่มต้นของผักกาดฮ่องเต้ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีค่ามากกว่าอุณหภูมิใจกลางผักในกรรมวิธีอื่นๆ และใช้เวลาในการลดอุณหภูมิจากอุณหภูมิผักเริ่มต้นมาอยู่ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษา คือ 5±2 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลามากกว่า 12 ชั่วโมง ทำให้ผักกาดฮ่องเต้ที่ไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิ (ชุดควบคุม) มีอายุการวางจำหน่ายสั้นกว่าผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศทุกกรรมวิธี แสดงให้เห็นว่ากระบวนการลดอุณหภูมิหลังการเก็บเกี่ยวมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษาผักกาดฮ่องเต้ เพราะหากผักกาดฮ่องเต้ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิหลังการเก็บเกี่ยวจะทำให้อุณหภูมิใจกลางผักต่ำลงและส่งผลดีต่อผลิตผลช่วยรักษาคุณภาพของผักและยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น ซึ่งอาจเนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดอัตราการหายใจของผัก คือ ถ้าอุณหภูมิสูงจะเร่งกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ภายในเซลล์ของผักให้เกิดเร็วขึ้น (ดนัยและนิธิยา, 2531) อัตราการหายใจก็สูงตามไปด้วยเมื่อผลิตผลมีการหายใจมากจึงทำให้ผักสูญเสียและเสื่อมสภาพเร็ว (มรกต, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของผัก สามารถจำแนกได้ 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก ปัจจัยภายใน คือ ลักษณะโครงสร้างของผัก เช่น รูเปิดตามธรรมชาติ ปากใบ เลนติเซล กระบวนการเมแมบอลิซึมต่างๆ โดยเฉพาะการหายใจ ผักหลังการเก็บเกี่ยวมาแล้วยังมีชีวิต

จำเป็นต้องใช้พลังงานซึ่งส่วนใหญ่ได้จากกระบวนการหายใจ ผลพลอยได้จากการหายใจคือพลังงานความร้อน และการสูญเสียน้ำ การลดอุณหภูมิเฉียบพลันและการเก็บรักษาผักไว้ที่อุณหภูมิต่ำช่วยชะลอการหายใจและการสูญเสียน้ำ (จริงแท้, 2538)

ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ และผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุม นำมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อวางไว้ 4 วัน ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.5) โดยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดฮ่องเต้ในทุกกรรมวิธี ดังตารางภาคผนวกที่ ค.1 และภาพที่ 4.11 พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการวางจำหน่าย การศึกษาผลของภาชนะบรรจุต่ออายุการเก็บรักษาของผักกาดฮ่องเต้ เมื่อนำผักกาดฮ่องเต้มาเก็บรักษาไว้ในถุงที่ทำการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ (MAP) ที่มีความเข้มข้นของออกซิเจน (O_2) 5 เปอร์เซ็นต์ และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 2 เปอร์เซ็นต์ และเก็บรักษาไว้ในถุงชนิด PE มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดเล็กน้อยมีค่าประมาณ 1.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาไว้ 10 วัน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และเก็บรักษาไว้ในถุงชนิด PP ที่เจาะรู 4 รู โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสด 11 เปอร์เซ็นต์ (Lu, 2007) เช่นเดียวกับการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศฝักกระเจี๊ยบเขียว ที่ลดอุณหภูมิจาก 26 องศาเซลเซียส มาถึง 10 องศาเซลเซียส แล้วนำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งระหว่างการเก็บรักษา 12 วัน มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสดสะสม 21.84 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการลดอุณหภูมิแบบผ่านอากาศเย็นแล้วนำมาเก็บรักษาไว้ที่สภาวะเดียวกัน ซึ่งมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสดสะสม 23.4 เปอร์เซ็นต์ (ภูธร, 2543) ซึ่งเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

3. การเปลี่ยนแปลงสี

ผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุม เริ่มแสดงอาการใบเหลืองเมื่อวางไว้ 4 วัน โดยส่วนของปลายใบจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง โดยเฉพาะใบที่อยู่นอกสุด ในขณะที่ใบของผักที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศทุกกรรมวิธีใบยังคงมีสีเขียวและบริเวณปลายใบไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลือง โดยผักชุดควบคุมมีค่า L* เท่ากับ 54.79±2.29 และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศทุกกรรมวิธี ผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในตะกร้าพลาสติกมีค่า L* เท่ากับ 55.41±1.95 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่า L* ผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติก และผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในตะกร้าพลาสติกร่วมกับการใช้น้ำ ซึ่งมีค่า L* เท่ากับ 51.98±2.78 และ 52.22±1.44 ตามลำดับ และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสองกรรมวิธีนี้ (ภาพที่ 4.10)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของเส้นกราฟของผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใกล้หมดอายุการวางจำหน่าย ค่าที่เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าสีของใบมีความสว่างขึ้น เนื่องจากคลอโรฟิลล์สลายตัวไปทำให้สีของแคโรทีนอยด์ปรากฏให้เห็น ส่วนผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศทุกกรรมวิธีเมื่อใกล้วันหมดอายุค่า L* มีแนวโน้มลดลง ค่า L* น้อยบ่งบอกถึงความมืด การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศช่วยคงความเข้มของสีใบ

เมื่อวางผักกาดฮ่องเต้ไว้นาน 4 วันพบว่าค่า Chroma ของผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติกมีค่า 18.54±1.46 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุม ผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศบรรจุตะกร้าพลาสติก และการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำ ซึ่งมีค่า 14.96±1.20, 15.97±0.61 และ 15.15±2.96 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) ส่วนค่า Hue angle นั้นพบว่าเมื่อเก็บรักษาไว้นาน 4 วันไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่า Chroma และ Hue angle ของผักกาดฮ่องเต้ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงแรกของการวางจำหน่าย แล้วหลังจากนั้นจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อผักกาดฮ่องเต้ใกล้หมดอายุการวางจำหน่าย (ภาพที่ 4.13 และ ภาพที่ 4.14) ผักกาดฮ่องเต้ที่เก็บรักษาไว้ในถุงชนิด PP ที่เจาะรู 4 รู มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร มีการสูญเสียสีเขียวในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา (Lu, 2007) บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ แล้วนำมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 8±2 องศาเซลเซียส พบว่าบรอคโคลี่ที่บรรจุในตะกร้าพลาสติกและบรรจุในถุงพลาสติก มีแนวโน้มของค่า Chroma และ Hue angle ลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา (ปรัศนีย์, 2551)

4. ลักษณะปรากฏและการเกิดโรค

การประเมินคะแนนการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภค ทำการสังเกต สี ความเหี่ยว ลักษณะปรากฏและการเกิดโรค โดยใช้คะแนนการยอมรับแบบ 9-Point Hedonic Scale โดยเกณฑ์คะแนนยอมรับต่ำสุดที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 6.00 คะแนน พบว่าเมื่อวางไว้ 4 วัน ผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมมีคะแนนการยอมรับโดยรวมเฉลี่ยที่ 6.00±0.61 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศทุกกรรมวิธี ผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติก มีคะแนนการยอมรับโดยรวมเฉลี่ย 6.60±0.55 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติก และการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำ ที่คะแนนการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคเฉลี่ย 7.80±0.45 และ 7.60±0.55 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) ในช่วงระยะแรกของการเก็บ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รักษาคะแนนการยอมรับผู้บริโภคมีค่าค่อนข้างสูง เมื่อใกล้หมดอายุการวางจำหน่ายคะแนนการยอมรับของผู้ประเมินต่ำ เนื่องจากผักเกิดการเสื่อมสภาพ อัตราการสูญเสียน้ำหนักสดสูง ทำให้ก้านใบมีความเหี่ยวสูง ใบมีลักษณะเหี่ยวปลายใบ การสูญเสียสีเขียวเป็นปัจจัยหลักในการสูญเสียของผักกาดฮ่องเต้ โดยการเปลี่ยนแปลงสีเริ่มจากปลายใบและขอบใบเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง (ตารางภาคผนวก ค.6, ภาพที่ 4.7 และภาพที่ 4.15)

5. คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ

การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยหักดูความกรอมของก้านใบ โดยใช้คะแนนการยอมรับแบบ 9-Point Hedonic Scale โดยเกณฑ์คะแนนยอมรับต่ำสุดที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 6.00 คะแนน พบว่าเมื่อวางไว้ 4 วัน ผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมมีคะแนนความกรอบเฉลี่ยที่ 6.20±0.45 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศทุกกรรมวิธี ผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติก มีคะแนนความกรอบเฉลี่ย 7.20±0.55 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติกและการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำ ที่คะแนนความกรอบเฉลี่ย 7.40±0.55 ทั้งสองกรรมวิธี (ตารางที่ 4.5) เมื่อใกล้หมดอายุการเก็บรักษาคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่ำ เนื่องจากผักเกิดการเสื่อมสภาพ อัตราการสูญเสียน้ำหนักสดสูง ทำให้ก้านใบมีความเหี่ยวสูง (ตารางภาคผนวก ค.7 และภาพที่ 4.16)

6. อายุการวางจำหน่าย

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติกและการใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำมีอายุการวางจำหน่าย 8 วัน รองลงมาคือการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติกเป็นเวลา 6 วัน และผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมมีอายุการวางจำหน่าย 4 วัน ก่อนหมดอายุการวางจำหน่ายของผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมจะแสดงอาการใบเหลืองก่อนแล้วค่อยเกิดอาการใบเหี่ยว ส่วนผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศทุกกรรมวิธีเมื่อใกล้หมดอายุการวางจำหน่ายผักกาดฮ่องเต้แสดงอาการใบเหี่ยว ก้านใบไม่กรอบ ก่อนการเปลี่ยนแปลงสีของใบ โดยปกติผักกาดหอมห่อที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิปกติจะมีอายุการเก็บรักษาเพียง 3-5 วัน แต่เมื่อนำไปทำ vacuum cooling ร่วมกับการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้มากกว่า 14 วัน (Artes and Martinez, 1995 ; 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้นการลดอุณหภูมิก่อนนำมาวางไว้ที่ชั้นวางจำหน่ายอุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส ช่วยรักษาคุณภาพของผักและยืดอายุการวางจำหน่ายได้นานขึ้น เนื่องจากผลการลดอุณหภูมิที่ติดมาจากแปลงปลูก การกำจัดความร้อนแฝงออกไปทำให้ช่วยชะลอปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ของขบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์พืชให้ดำเนินช้าลง และชะลออัตราการหายใจ (ยงยุทธ, 2535)

ตารางที่ 4.4 อายุการวางจำหน่ายผักกาดฮ่องเต้ บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส

กรรมวิธี	อายุการวางจำหน่าย (วัน)
ชุดควบคุม	4[c]
ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติก	6[b]
ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำบรรจุในตะกร้าพลาสติก	8[a]
ระบบสุญญากาศบรรจุในถุงพลาสติก	8[a]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชุดควบคุม

ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติก

ระบบสุญญากาศบรรจุในถุงพลาสติก

ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำบรรจุในตะกร้าพลาสติก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.9 ลักษณะของผักกาดฮ่องเต้วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน

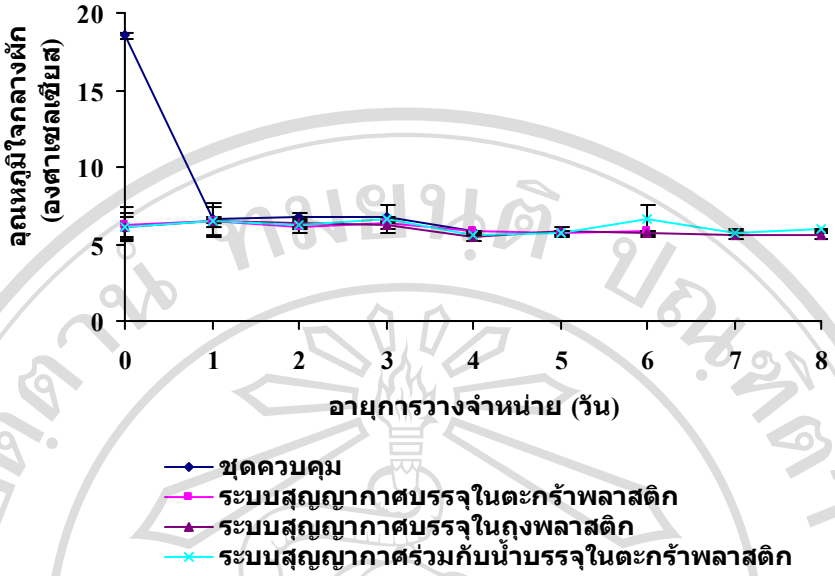
ตารางที่ 4.5 คุณภาพของผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศแล้ววางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน

กรรมวิธี	อุณหภูมิใจกลางผัก[1/]	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด (%)[1/]	ค่า L*[1/]	ค่า Chroma[1/]	ค่า Hue[1/]	การยอมรับของผู้ประเมิน[1/]	ความกรอบก้านใบ[1/]
ชุดควบคุม	5.80±0.10^{a}	2.46±0.73	54.79±2.29^{ab}	14.69±1.20^{b}	131.48±1.11	6.00±0.61^{c}	6.20±0.45^{b}
ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติก	5.80±0.10^{a}	2.89±0.87	55.41±1.95^{a}	15.97±0.61^{b}	133.86±0.47	6.60±0.55^{b}	7.20±0.55^{a}
ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำบรรุในตะกร้าพลาสติก	5.63±0.06^{ab}	2.43±0.20	52.22±1.44^{b}	15.15±2.96^{b}	133.30±1.83	7.60±0.55^{a}	7.40±0.55^{a}
ระบบสุญญากาศบรรจุในถุงพลาสติก	5.43±0.21^{b}	2.89±1.52	51.98±2.78^{b}	18.54±1.46^{a}	132.10±7.02	7.80±0.45^{a}	7.40±0.55^{a}

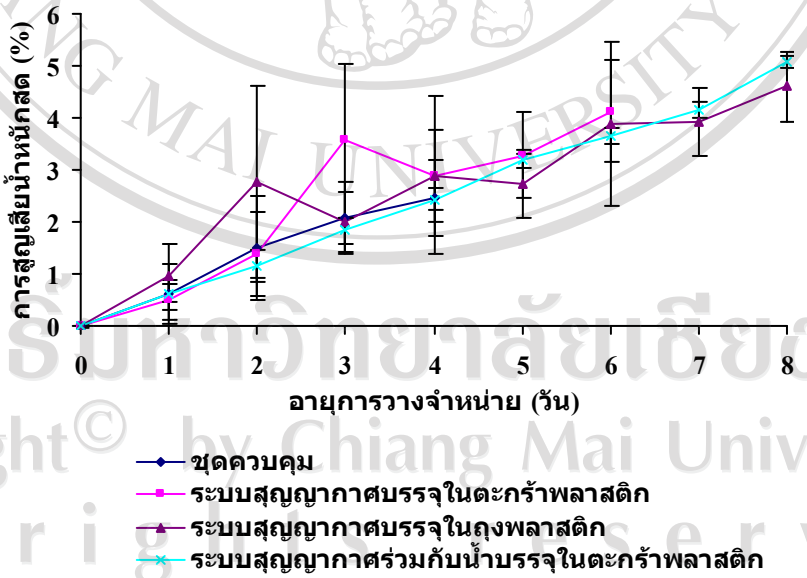
หมายเหตุ [1/] ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

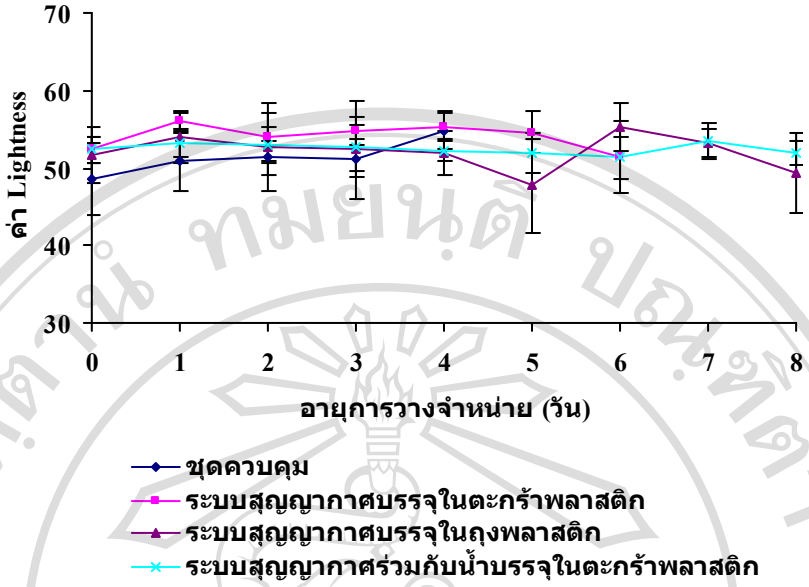


ภาพที่ 4.10 อุณหภูมิใจกลางผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

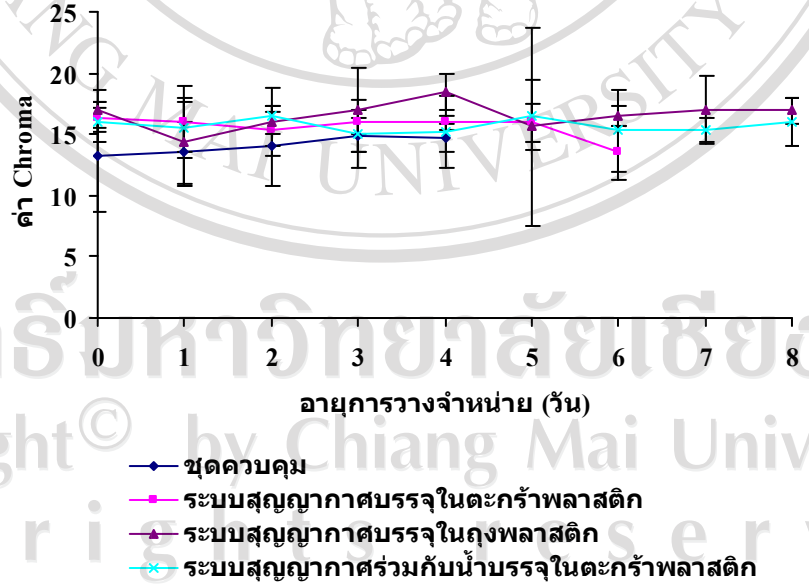


ภาพที่ 4.11 การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

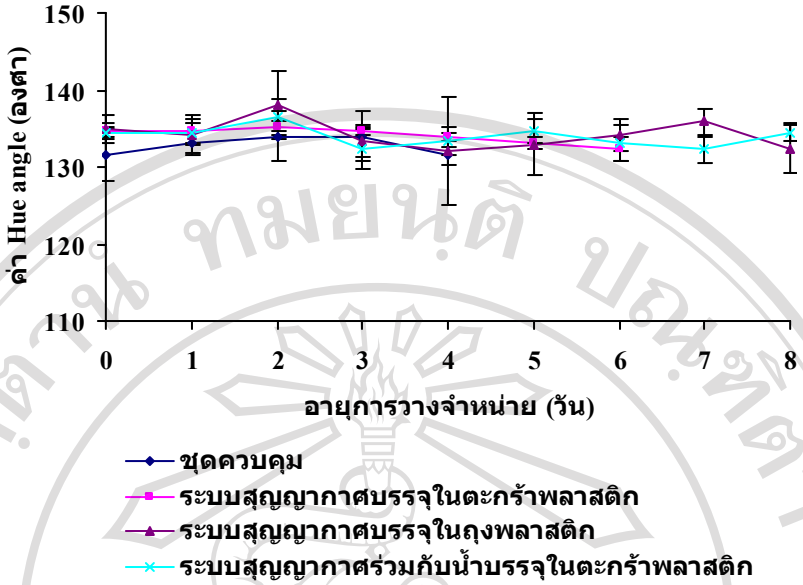


ภาพที่ 4.12 ค่า Lightness ของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

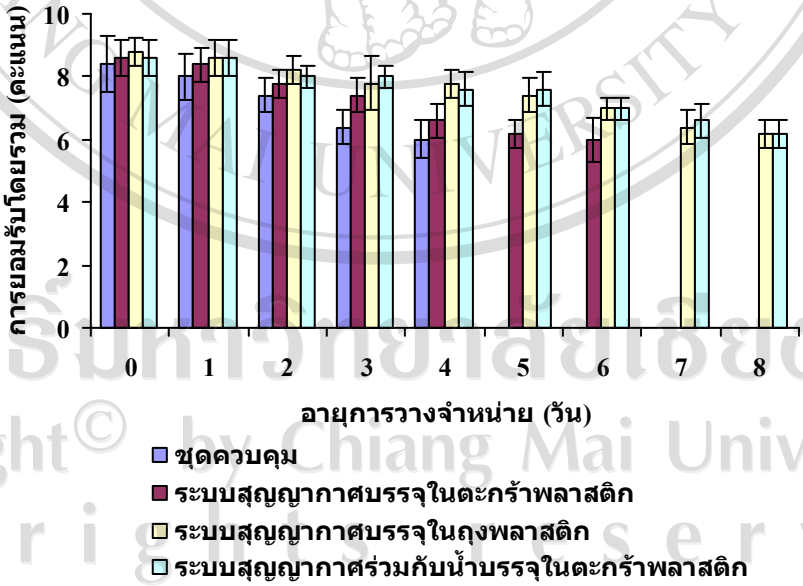


ภาพที่ 4.13 ค่า Chroma ของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

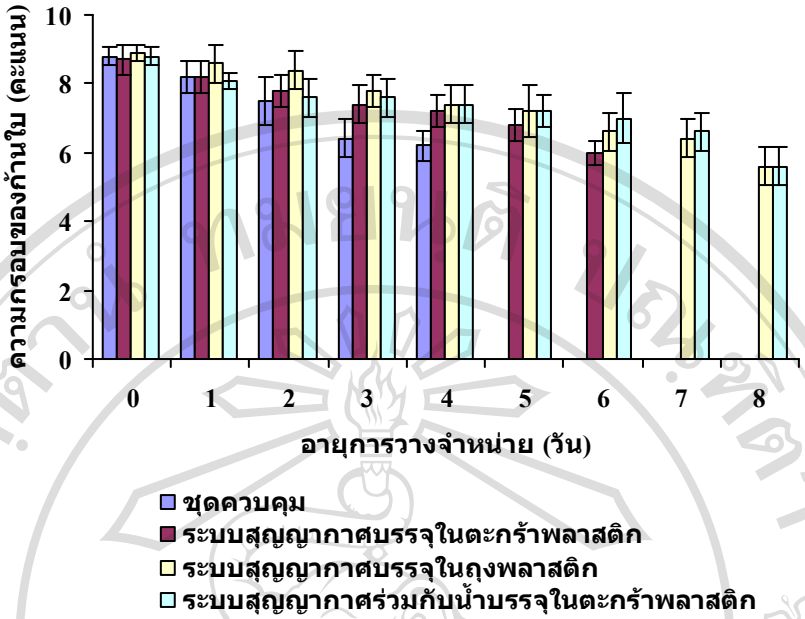


ภาพที่ 4.14 ค่า Hue angle ของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน



ภาพที่ 4.15 คะแนนการยอมรับโดยรวมของผู้ประเมินของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.16 คะแนนความกรอบของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2. คุณภาพของผักกาดฮ่องเต้ภายหลังการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศและระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำแล้วเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น

1. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใจกลางผัก

การเปรียบเทียบอุณหภูมิใจกลางผักกาดฮ่องเต้ทั้ง 4 กรรมวิธี ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่าแนวโน้มของกราฟอุณหภูมิใจกลางผักกาดฮ่องเต้เพิ่มขึ้นทุกกรรมวิธี อุณหภูมิใจกลางผักเริ่มต้นของผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุม มีค่ามากกว่าอุณหภูมิใจกลางผักในกรรมวิธีอื่นๆ ทำให้ผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศทุกกรรมวิธี แสดงให้เห็นว่ากระบวนการลดอุณหภูมิหลังการเก็บเกี่ยวมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษาผักกาดฮ่องเต้ กระบวนการลดอุณหภูมิหลังการเก็บเกี่ยวจะทำให้อุณหภูมิใจกลางผักต่ำลงและส่งผลดีต่อผัก ช่วยรักษาคุณภาพของผักและยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น ซึ่งอาจเนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดอัตราการหายใจของผัก คือ ถ้าอุณหภูมิสูงจะเร่งกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ภายในเซลล์ของผักให้เกิดเร็วขึ้น (ดนัยและนิธิยา, 2531) อัตราการหายใจก็สูงตามไปด้วยเมื่อผลิตผลมีการหายใจมากจึงทำให้ผักสูญเสียและเสื่อมสภาพเร็ว (มรกต, 2548)

2. เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศและสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ และผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุม แล้วเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเก็บรักษาระยะเวลา 14 วัน ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 4.7 โดยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดฮ่องเต้ในทุกกรรมวิธี ดังตารางภาคผนวก ค.9 และภาพที่ 4.19 พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา การสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างการเก็บรักษาเกิดจากปัจจัยหลายชนิด ได้แก่ ขนาดของผลิตผล ลักษณะของผลิตผล และสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษา เป็นต้น การควบคุมป้องกันการสูญเสียน้ำหนักทำได้โดยควบคุมปัจจัยต่างๆ ให้กับผัก โดยการสูญเสียส่วนใหญ่เกิดจากผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวยังคงมีชีวิตอยู่ และมีการหายใจ ผลพลอยได้จากการหายใจคือการคายน้ำ การสูญเสียน้ำทำให้เกิดความเสียหายในด้านเศรษฐกิจและคุณภาพ ทำให้น้ำหนักรวมของผักลดลง ส่งผลให้น้ำหนักของผักลดลง เกษตรกรจึงได้ค่าตอบแทนลดลง ในแง่คุณภาพ การสูญเสียน้ำหนัก ทำให้เนื้อสัมผัสของผักเสียไป เช่น ความกรอบและนิ่ม เป็นต้น ถ้าเป็นพวกผักใบจะแสดงอาการใบเหี่ยว การเก็บรักษาผักไว้ในห้องเย็นซึ่งมีอุณหภูมิไม่คงที่ อาจเกิดการกลั่นตัวของไอน้ำเป็นหยดน้ำภายในห้องเย็น เป็นสาเหตุทำให้เชื้อจุลินทรีย์เติบโตอย่างรวดเร็ว และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทำให้ภาชนะบรรจุที่เป็นกล่องกระดาษเกิดความเสียหายได้ง่ายและเร่งให้ผักมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้น การเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ จึงต้องการความชื้นสัมพัทธ์สูง แต่อุณหภูมิต้องคงที่ ถ้าอุณหภูมิขึ้นๆ ลงๆ จะเกิดการกลั่นตัวของไอน้ำเป็นหยดน้ำได้ง่ายและยังทำให้ผักเกิดการสูญเสียน้ำหนักได้ด้วย (ดนัย, 2531) ในระหว่างการเก็บรักษาไว้ในที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงควรบรรจุผักในบรรจุภัณฑ์ เช่น บรรจุในถุงพลาสติก หรือห่อด้วยฟิล์มพลาสติก เพื่อให้เกิดการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด

3. การเปลี่ยนแปลงสี

ผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุม เริ่มแสดงอาการใบเหลืองเมื่อเก็บรักษาไว้ 14 วัน โดยส่วนของปลายใบจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง โดยเฉพาะใบที่อยู่นอกสุด ในขณะที่ใบของผักที่ผ่านการลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศทุกกรรมวิธีใบยังคงมีสีเขียวและบริเวณปลายใบไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลือง โดยผักชุดควบคุมมีค่า L* เท่ากับ 53.45±1.07 และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิโดยใช้สุญญากาศทุกกรรมวิธี ผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติกมีค่า L* เท่ากับ 60.14±2.97 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่า L* ผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก และผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในตะกร้าพลาสติกร่วมกับการใช้น้ำ ซึ่งมีค่า L* เท่ากับ 56.60±0.48 และ 56.56±1.50 ตามลำดับ และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสองกรรมวิธีนี้ (ภาพที่ 4.20) การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของเส้นกราฟของผักกาดฮ่องเต้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใกล้หมดอายุการวางจำหน่าย ค่าที่เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าสีของใบมีความสว่างขึ้น เนื่องจากคลอโรฟิลล์สลายตัวไปทำให้ปรากฏสีของแคโรทีนอยด์

เมื่อเก็บรักษาผักกาดฮ่องเต้นาน 14 วันพบว่าค่า Chroma ของผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมมีค่า Chroma เท่ากับ 16.87±0.67 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ ผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศที่บรรจุถุงพลาสติก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศบรรจุตะกร้าพลาสติกและระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำ ซึ่งมีค่า 10.66±1.71, 14.22±0.82 และ 13.48±0.98 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) ดังภาพที่ 4.21 ส่วนค่า Hue angle นั้นพบว่าเมื่อเก็บรักษาไว้ 14 วัน ผักกาดฮ่องเต้ชุดความคุมมีค่า 132.60±0.73 มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติกและบรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติกมีค่า 126.50±3.63 และ 127.34±5.31 องศา ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำซึ่งมีค่า 131.62±1.13 องศา (ภาพที่ 4.22)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ลักษณะปรากฏและการเกิดโรค

การประเมินคะแนนการยอมรับโดยรวมของผู้ประเมิน ทำการสังเกต สี ความเหี่ยว ลักษณะปรากฏและการเกิดโรค โดยใช้คะแนนการยอมรับแบบ 9-Point Hedonic Scale โดยเกณฑ์คะแนนยอมรับต่ำสุดที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 6.00 คะแนน พบว่าเมื่อเก็บรักษา 14 วัน ผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมมีคะแนนการยอมรับโดยรวมเฉลี่ยที่ 6.20±0.84 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศทุกกรรมวิธี ผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติกมีค่าการยอมรับเฉลี่ย 7.00±0.61 คะแนน การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติกมีคะแนนการยอมรับผู้ประเมินเฉลี่ย 7.00±0.71 คะแนน และการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำ มีคะแนนการยอมรับโดยรวมจากผู้บริโภค 7.20±0.84 คะแนน (ตารางที่ 4.16) สาเหตุการสูญเสียของผักกาดฮ่องเต้เกิดจากการเหลืองของใบ (Hare *et al*., 2001) โดยการสูญเสียคลอโรฟิลล์จากผักที่เก็บเกี่ยวมาแล้วบ่งบอกถึงความชราภาพ ซึ่งจะต้องป้องกันไม่ให้เกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผักสดชนิดต่างๆ ซึ่งการป้องกันการสูญเสียคลอโรฟิลล์ทำได้โดยการลดอุณหภูมิผักลง เมื่อใกล้หมดอายุการเก็บรักษาคะแนนการยอมรับของผู้ประเมินต่ำ เนื่องจากผักเกิดการเสื่อมสภาพ อัตราการสูญเสียน้ำหนักสดสูง ทำให้ก้านใบมีความเหี่ยวสูง ใบมีลักษณะเหี่ยวที่ปลายใบ สีของปลายใบและขอบใบเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง (ตารางภาคผนวก ค.13, ภาพที่ 4.17 และภาพที่ 4.23)

5. คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการหักดูความกรอมของก้านใบ โดยใช้คะแนนการยอมรับแบบ 9-Point Hedonic Scale โดยเกณฑ์คะแนนการยอมรับต่ำสุดที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 6.00 คะแนน พบว่าเมื่อเก็บรักษา 14 วัน ผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมมีคะแนนความกรอบเฉลี่ยที่ 6.20±0.84 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศทุกกรรมวิธี ผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติก การลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติกและการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำ มีคะแนนความกรอบเฉลี่ย 7.00±0.71, 7.20±0.35 และ 7.20±0.84 คะแนน ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) เมื่อใกล้หมดอายุการเก็บรักษาคะแนนการยอมรับของผู้ประเมินต่ำ เนื่องจากผักเกิดการเสื่อมสภาพ อัตราการสูญเสียน้ำหนักสดสูง ทำให้ก้านใบมีความเหี่ยวสูง (ตารางภาคผนวก ค.14 และภาพที่ 4.24)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. อายุการเก็บรักษา

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำมีอายุการเก็บรักษา 18 วัน รองลงมาคือการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติกและการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติกเป็นเวลา 16 วัน และผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษา 14 วัน ผักกาดฮ่องเต้โดยปกติมีอายุการเก็บรักษาสั้นเพียง 2-3 วัน ที่อุณหภูมิปกติ เมื่อนำผักกาดฮ่องเต้มาลดอุณหภูมิลงอย่างเฉียบพลัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 21 วัน และการควบคุมอัตราส่วนความเข้มข้นของ CO_2:O_2 เท่ากับ 0:0, 0:3 และ 3:0 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (PSI) ในถุงชนิด PE โดยใส่สารดูดซับเอทิลีนความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 24 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 5 องศาเซลเซียส (รวี, 2549)

ผักที่เก็บเกี่ยวมาแล้วยังคงเป็นสิ่งมีชีวิตอยู่และมีอาหารสะสมในรูปแบบต่างๆ เช่น น้ำตาล แป้งหรือไขมัน ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและไม่สามารถสร้างขึ้นมาใหม่ได้อีก เมื่ออาหารเหล่านี้ถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจของผักจนอาหารในผักถูกใช้หมดไป ความมีชีวิตของผักนั้นก็จะจบสิ้นลง ดังนั้นอายุการเก็บรักษาของผักรวมทั้งคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวจึงขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจเป็นสำคัญ โดยอุณหภูมิเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญที่สุด เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ก็สามารถเกิดขึ้นในอัตราที่สูง รวมถึงการหายใจ ซึ่งประกอบไปด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีหลายอย่างเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องหรือพร้อมๆ กัน โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นเร็วประมาณ 2 เท่า (จริงแท้, 2544) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการลดอุณหภูมิผักก่อนนำไปเก็บรักษา เพื่อเป็นการลดอัตราการหายใจและความร้อนที่ติดมาจากแปลงปลูก ซึ่งสามารถช่วยในการยับยั้งกระบวนการเสื่อมสลาย และกระบวนการชราภาพ เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตผลให้อยู่ในระดับสูงและมีคุณภาพเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค เมื่อผลิตผลผ่านการลดอุณหภูมิแล้วต้องเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ โดยจะมีประโยชน์ต่อการป้องกันการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการ ได้แก่ เนื้อสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ กลิ่นรส และรสชาติ โดยเวลาในการเก็บเกี่ยวผักในแต่ละวันมีผลต่ออายุการเก็บรักษา (ปรัศนีย์, 2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.6 อายุการเก็บรักษาผักกาดฮ่องเต้ที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส

กรรมวิธี	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)
ชุดควบคุม	14[c]
ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติก	16[b]
ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำบรรจุในตะกร้าพลาสติก	18[a]
ระบบสุญญากาศบรรจุในถุงพลาสติก	16[b]

ชุดควบคุม

ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติก

ระบบสุญญากาศบรรจุในถุงพลาสติก

ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำบรรจุในตะกร้าพลาสติก

ภาพที่ 4.17 ลักษณะของผักกาดฮ่องเต้ที่เก็บรักษาไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

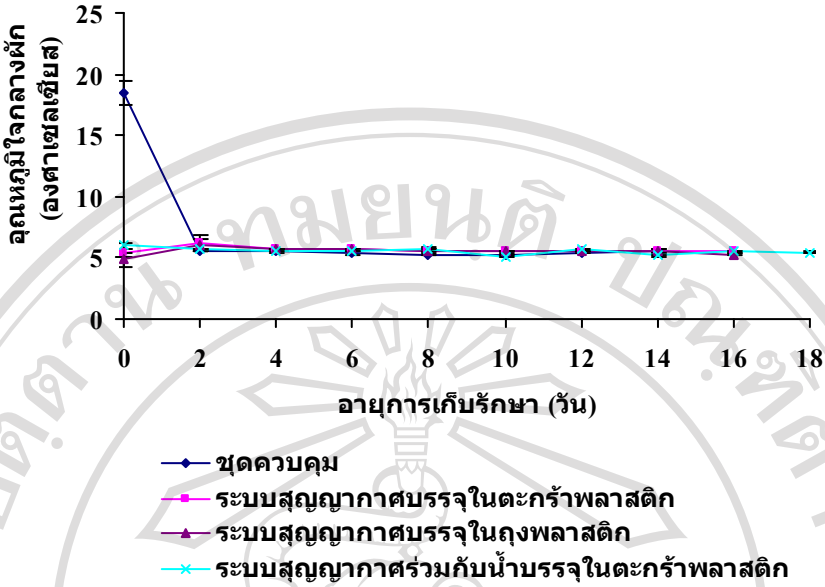
ตารางที่ 4.7 คุณภาพของผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ แล้วเก็บในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 วัน

กรรมวิธี	อุณหภูมิใจกลางผัก[1/]	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด (%)[1/]	ค่า L*[1/]	ค่า Chroma[1/]	ค่า Hue[1/]	การยอมรับของผู้ประเมิน[1/]	ความกรอบก้านใบ[1/]
ชุดควบคุม	5.53±0.06^{a}	3.83±2.08	53.45±1.07^{c}	16.87±0.67^{a}	132.60±0.73^{a}	6.20±0.84^{b}	6.20±0.84^{b}
ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติก	5.53±0.15^{a}	2.61±0.57	56.00±0.48^{b}	14.22±0.82^{b}	126.50±3.63^{c}	7.00±0.61^{a}	7.00±0.71^{a}
ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำบรรุในตะกร้าพลาสติก	5.20±0.01^{b}	2.83±0.71	56.56±1.50^{b}	13.48±0.98^{b}	131.62±1.13^{ab}	7.20±0.84^{a}	7.20±0.84^{a}
ระบบสุญญากาศบรรจุในถุงพลาสติก	5.53±0.15^{a}	3.50±0.20	60.14±2.97^{a}	10.62±1.71^{c}	127.84±5.31^{bc}	7.00±0.71^{a}	7.00±0.35^{a}

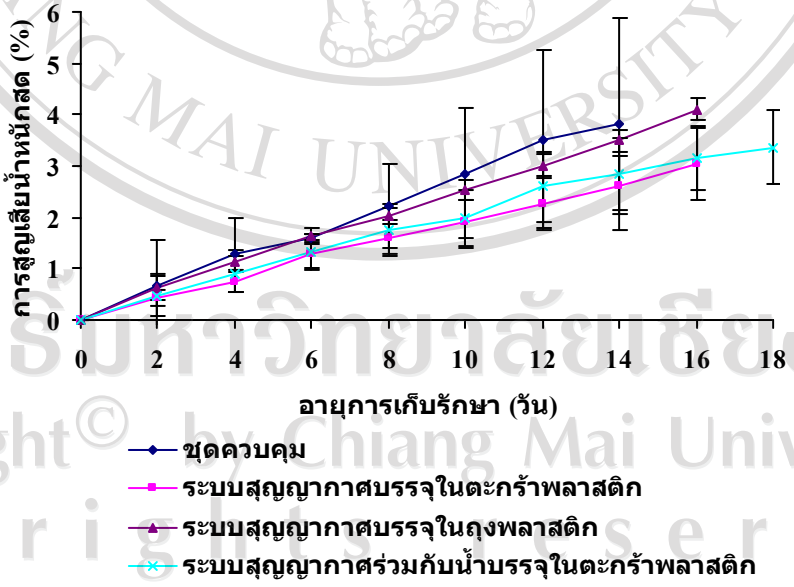
หมายเหตุ [1/] ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

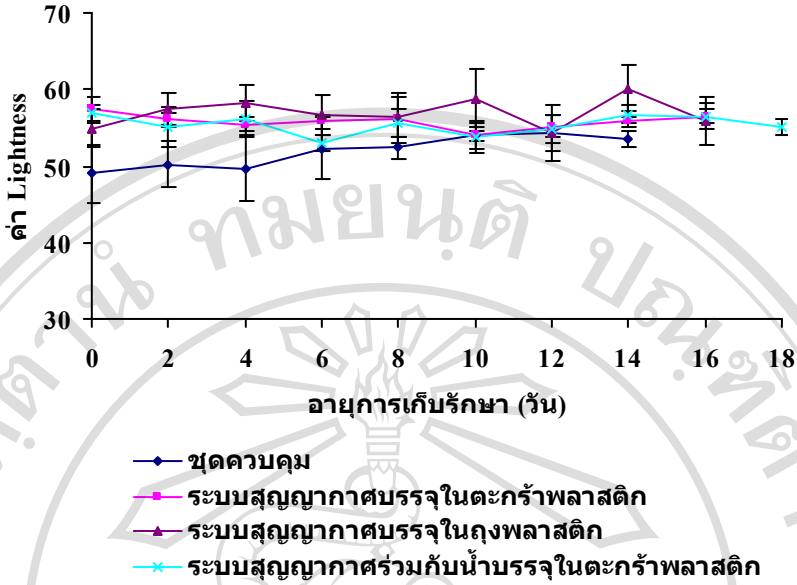


ภาพที่ 4.18 อุณหภูมิใจกลางผักกาดฮ่องเต้ที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

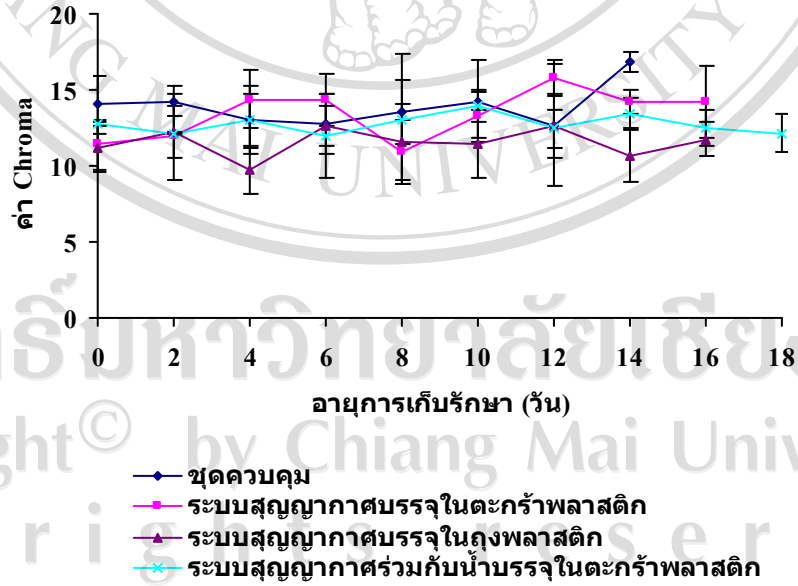


ภาพที่ 4.19 การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดฮ่องเต้ที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

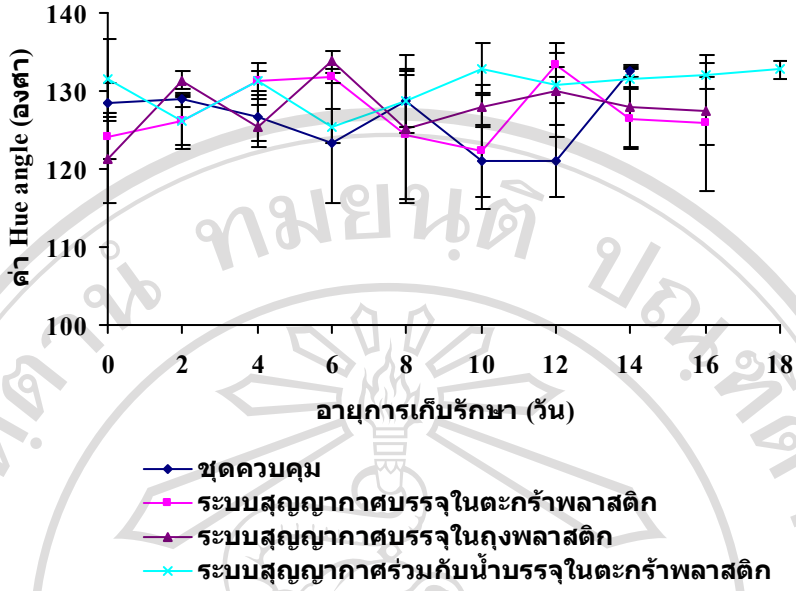


ภาพที่ 4.20 ค่า Lightness ของผักกาดฮ่องเต้ที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

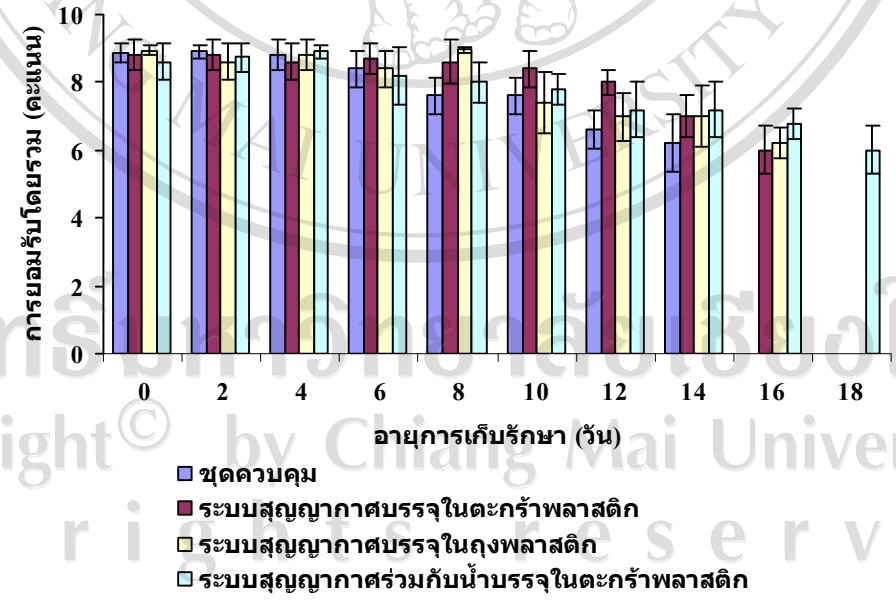


ภาพที่ 4.21 ค่า Chroma ของผักกาดฮ่องเต้ที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

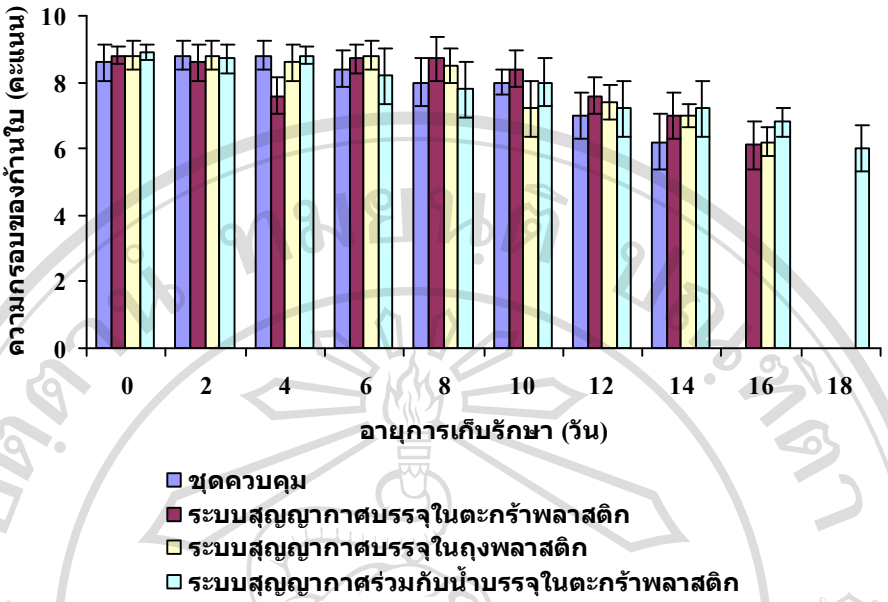


ภาพที่ 4.22 ค่า Hue angle ของผักกาดฮ่องเต้ที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน



ภาพที่ 4.23 คะแนนการยอมรับโดยรวมของผู้ประเมินของผักกาดฮ่องเต้ที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.24 คะแนนความกรอบของผักกาดฮ่องเต้ที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 3 การศึกษาคุณภาพกายภาพและเคมีของผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิเฉียบพลัน

การทดลองที่ 2.1 ผลการทดลองที่เหมาะสมคือผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติก มีอายุการวางจำหน่ายนานสุดเป็นเวลา 8 วัน ซึ่งเท่ากับผักกาดฮ่องเต้ที่ลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติกร่วมกับการใช้น้ำ และต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจากการนำระบบสุญญากาศเข้ามาช่วยคิดเป็นมูลค่า 0.04 บาทต่อกิโลกรัมเท่ากัน ผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในถุงพลาสติกก่อนแล้วนำไปลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ ช่วยประหยัดเวลาบรรจุเพราะสามารถตัดแต่งและบรรจุถุงในเวลาเดียวกัน และสามารถรักษาอุณหภูมิสายโซ่ความเย็นได้ดีกว่า ไม่เกิดการสูญเสียขณะนำไปบรรจุถุง สามารถนำไปลดอุณหภูมิแล้วนำไปจำหน่ายได้ทันที และช่วยลดปัจจัยเสี่ยงในการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำ ซึ่งผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในตะกร้าพลาสติกหลังจากผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศและระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำ ในขั้นตอนระหว่างการนำไปบรรจุถุงต้องใช้ระยะเวลาพอสมควร ทำให้อุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้เพิ่มขึ้นมาประมาณ 2-4 องศาเซลเซียล ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ผักกาดฮ่องเต้สูญเสียความเย็น

1 การสูญเสียน้ำหนักสด

ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด ผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมและผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติก แล้ววางไว้ที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผักกาดฮ่องเต้มีการสูญเสียน้ำหนักสดเท่ากับ 5.43±0.70 และ 4.16±0.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยการสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดฮ่องเต้เพิ่มขึ้นเมื่ออายุการวางจำหน่ายนานขึ้น ซึ่งผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติกมีการสูญเสียน้ำหนักสดในวันแรกของการเก็บรักษา 1.64±0.31 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับ Artes and Martinez (1999) นำผักกาดหอมพันธุ์ iceberg มาบรรจุในถุงชนิด PP ก่อนทำการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ แล้วนำมาเก็บรักษาไว้ที่ 2 องศาเซลเซียส พบว่าการนำผักบรรจุถุงก่อนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักขณะการเก็บรักษาไม่เกิน 0.93 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับผักที่ไม่ได้บรรจุในถุงซึ่งมีการสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่า 4.75 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องมาจากผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวจะมีการคายน้ำตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากกระบวนการหายใจ และปริมาณความชื้นภายในผลิตผลมักมีอยู่สูงกว่าความชื้นของอากาศภายนอก น้ำภายในผลิตผลจึงมีศักยภาพที่จะสูญเสียออกจากผลิตผลอยู่ตลอดเวลา เมื่อผักสูญเสียน้ำมากนอกจากจะทำให้น้ำหนักของผักลดลงแล้ว ยังทำให้ก้านใบไม่กรอบ เหี่ยว ไม่สามารถดึงดูดผู้บริโภคได้ (มรกต, 2548) การลดอุณหภูมิเฉียบพลันและ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเก็บรักษาผักไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยชะลอการหายใจและลดการสูญเสียน้ำของผลิตผลได้ (จริงแท้, 2544)

2. การเปลี่ยนแปลงสี

การวางผักกาดฮ่องเต้ไว้ที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน ผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุม มีค่า L* และค่า Chroma เท่ากับ 56.04±2.30 และ 20.30±1.32 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติก ซึ่งมีค่า L* เท่ากับ 51.70±0.94 และค่า Chroma เท่ากับ 13.09±5.49 และค่า Hue angle เท่ากับ 98.66±1.46 องศา ซึ่งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมซึ่งมีค่า Hue angle เท่ากับ 121.24±0.49 องศา ผักกาดฮ่องเต้เริ่มแสดงอาการใบเหลืองเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 8 วัน โดยส่วนปลายของใบจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง และจะเกิดขึ้นกับใบนอกสุดก่อน เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีใบมีผลทำให้ผักกาดฮ่องเต้มีค่า L* มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยและค่า Chroma และค่า Hue angle ของผักกาดฮ่องเต้มีแนวโน้มลดลงในระยะแรกของการเก็บรักษาแล้วหลังจากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผักกาดฮ่องเต้ใกล้หมดอายุการวางจำหน่าย ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลง เนื่องจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์จะทำให้สีของแคโรทีนอยด์ปรากฏให้เห็นชัดเจนขึ้น

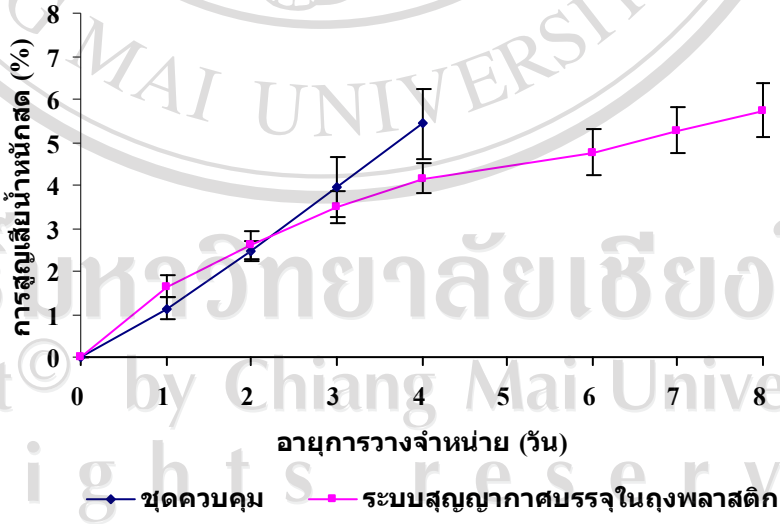
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด ค่า L* ค่า Chroma และค่า Hue angle ของผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ แล้ววางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน

กรรมวิธี	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด (%)[1/]	ค่า L*[1/]	ค่า Chroma[1/]	ค่า Hue [1/]
ชุดควบคุม	5.43±0.70[a]	56.04±2.30[a]	20.30±1.32[a]	121.24±0.49[a]
ระบบสุญญากาศบรรจุในถุงพลาสติก	4.16±0.79[b]	51.70±0.94[b]	13.09±5.49[b]	98.66±1.46[a]

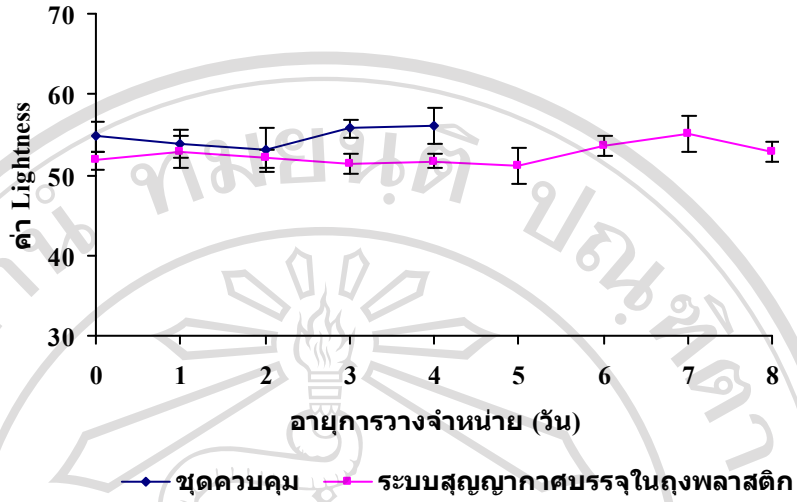
หมายเหตุ [1/] ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p<0.05$)

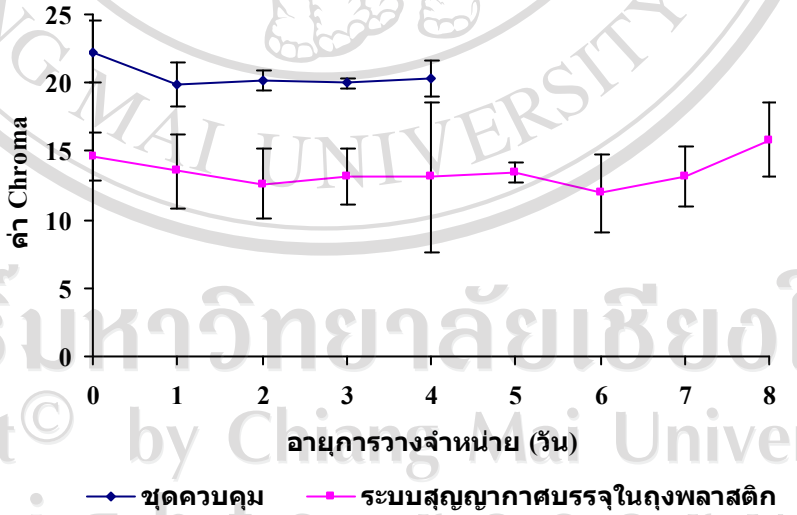


ภาพที่ 4.25 การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

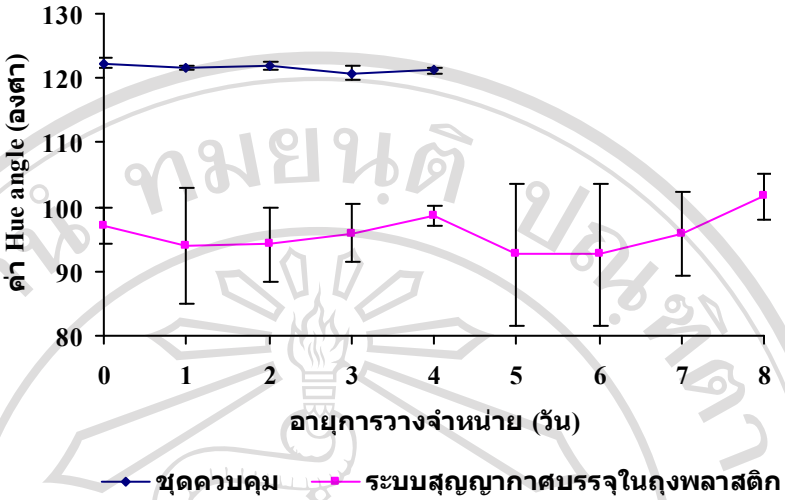


ภาพที่ 4.26 ค่า Lightness ของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน



ภาพที่ 4.27 ค่า Chroma ของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.28 ค่า Hue angle ของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

3. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้ที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน พบว่าผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 4.30±0.21 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.9) โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาติก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.93±1.79 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งสองกรรมวิธีมีความผันแปรตลอดอายุการวางจำหน่าย ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการหายใจของพืชการใช้กรดและน้ำตาลเป็นสารตั้งต้น ซึ่งทั้งกรดและน้ำตาลถือว่าเป็นส่วนประกอบหลักของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นเมื่อผักกาดฮ่องเต้เกิดการหายใจจึงทำให้กรดและน้ำตาลเกิดการสลายตัวและกลายเป็นพลังงานเพื่อใช้ในการดำรงชีวิตจึงส่งผลให้ผักกาดฮ่องเต้มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ปริมาณวิตามินซี

ปริมาณวิตามินซีของผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีความผันแปรตลอดอายุการวางจำหน่าย เมื่อวางผักกาดฮ่องเต้ไว้ที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน ผักกาดฮ่องเต้มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 51.90±6.67 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 4.9) เมื่อใกล้หมดอายุการวางจำหน่ายปริมาณวิตามินซีมีแนวโน้มลดลง ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณวิตามินซีของผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 51.23±5.95

มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งปริมาณวิตามินซีในผักและผลไม้มีความแตกต่างกันจากหลายปัจจัย ได้แก่ ความแตกต่างทางพันธุกรรม สภาพแวดล้อมและการปฏิบัติในการปลูก วิธีการเก็บเกี่ยวและความบริบูรณ์ของผลิตผลและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว สาเหตุที่ทำให้ผักกาดฮ่องเต้สูญเสียวิตามินซี เป็นเพราะผักกาดฮ่องเต้เกิดการสูญเสียน้ำในระหว่างการวางจำหน่าย และวิตามินซีเป็นสารรีดิวซ์ที่รุนแรง มีความคงตัวต่ำ และสลายตัวได้ง่ายโดยเฉพาะเมื่อถูกแสง ออกซิเจน และอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป จากการศึกษาการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศของฝักกระเจี๊ยบแล้วนำมาเก็บรักษาไว้ที่ 10 องศาเซลเซียส พบว่าตลอดอายุการเก็บรักษาปริมาณวิตามินซีลดต่ำลง (ภูธร, 2543) นอกจากนั้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดยังส่งผลให้เกิดการสลายตัวของวิตามินซีด้วย เช่น ascorbic acid oxidase, polyphenol oxidase, cytochrome oxidase และ peroxidase โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ascorbic acid oxidase จะทำให้เกิดปฏิกิริยาโดยตรงระหว่างสารตั้งต้นและโมเลกุลออกซิเจนในปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการสลายตัวของแอสคอร์บิกได้ ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้พบมากเมื่อเนื้อเยื่อของผักเกิดการเสียหายเนื่องจากการตัดแต่ง หั่น หรือเกิดรอยช้ำ (จริงแท้, 2544)

5. ปริมาณคลอโรฟิลล์

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมที่วางไว้ที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน มีค่าเท่ากับ 0.15±0.01, 0.06±0.01 และ 0.22±0.01 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9) และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติก มีค่า 0.28±0.01, 0.13±0.00 และ 0.40±0.01 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ และตลอดอายุการวางจำหน่ายปริมาณคลอโรฟิลล์ของผักกาดฮ่องเต้มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสีของใบจากสีเขียวเป็นสีเหลือง ในระหว่างการเก็บรักษาผักกาดฮ่องเต้ระยะเวลา 10 วัน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ผักกาดฮ่องเต้ที่เก็บรักษาไว้ในสภาพ MAP มีค่าคลอโรฟิลล์ลดลงจาก 8.7 เปอร์เซ็นต์ ไปถึง 5.9 เปอร์เซ็นต์ และผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในถุง PE มีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงลดลงเหลือ 4.2 เปอร์เซ็นต์ (Lu, 2007) ในพืชทุกชนิดมีทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และบี ในสัดส่วนที่ต่างกัน คลอโรฟิลล์ เอ เป็นสารที่ให้สีออกไปทางสีเขียวอมน้ำเงิน ส่วนคลอโรฟิลล์ บี ให้สีเขียวอมเหลือง โดยทั่วไปพืชชั้นสูงมีสัดส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์ทั้งสองชนิดอยู่ประมาณ 3:1 ปกติพืชมีการสร้างและเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ตลอดเวลาแต่เมื่อพืชเริ่มเกิดกระบวนการวายขึ้น การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์จะลดลง ในขณะที่การสลายตัวไม่ลดลงหรืออาจเพิ่มขึ้น จึงทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ของพืชลดลง และส่งผลให้สีของแค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

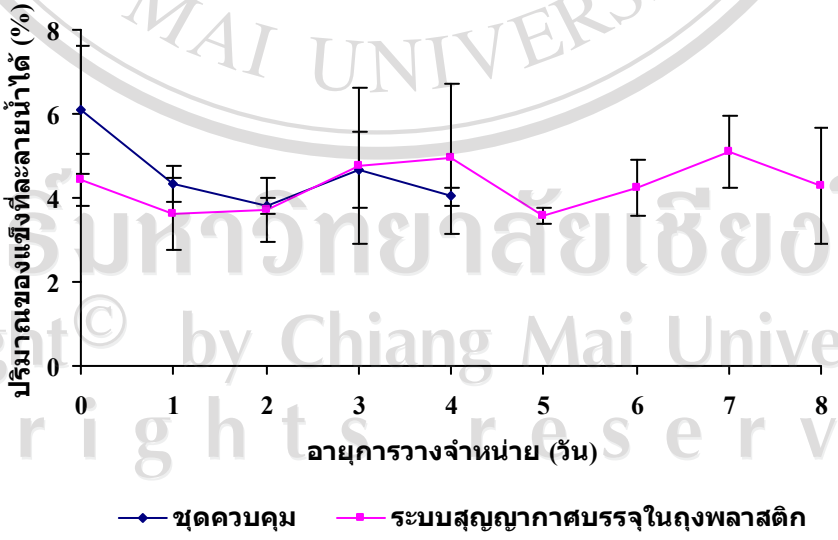
โรทีนอยด์ปรากฏให้เห็นชัดเจน (จริงแท้, 2549) ซึ่งผักที่ใช้ส่วนของใบในการบริโภค การสูญเสียสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์ถือเป็นการเสื่อมคุณภาพที่สำคัญ (มรกต, 2548)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ วิตามินซี คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ แล้ววางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน

กรรมวิธี	ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%)[1/]	วิตามินซี (มก./100 ก. น้ำหนักสด)[1/]	คลอโรฟิลล์ เอ (มก./100 ก. น้ำหนักสด)[1/]	คลอโรฟิลล์ บี (มก./100 ก. น้ำหนักสด)[1/]	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (มก./100 ก. น้ำหนักสด)[1/]
ชุดควบคุม	4.03±0.21[a]	51.23±5.95[a]	0.15±0.01[a]	0.06±0.01[a]	0.22±0.01[a]
ระบบสุญญากาศบรรจุในถุงพลาสติก	4.93±1.79[a]	51.90±6.67[a]	0.28±0.01[a]	0.13±0.00[a]	0.40±0.01[a]

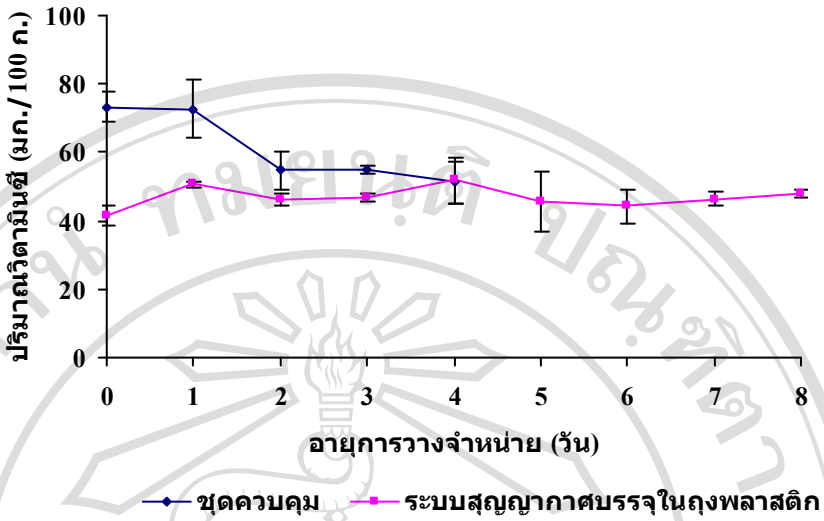
หมายเหตุ [1/] ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p<0.05$)

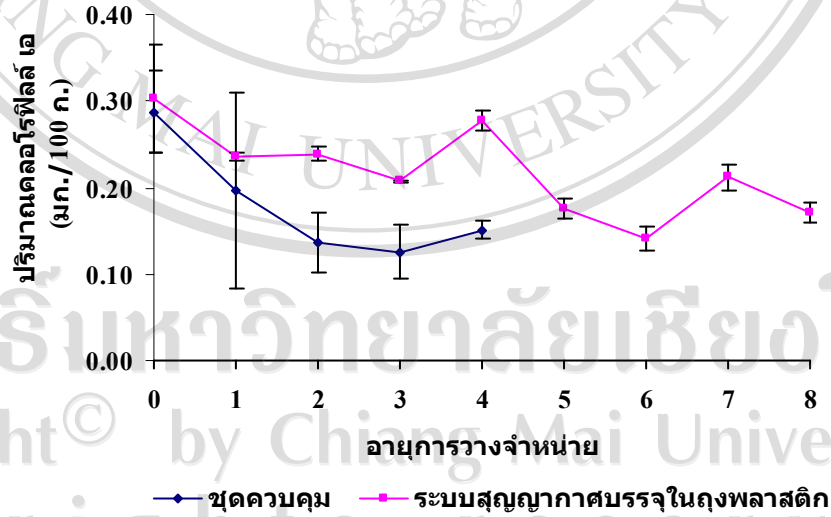


ภาพที่ 4.29 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

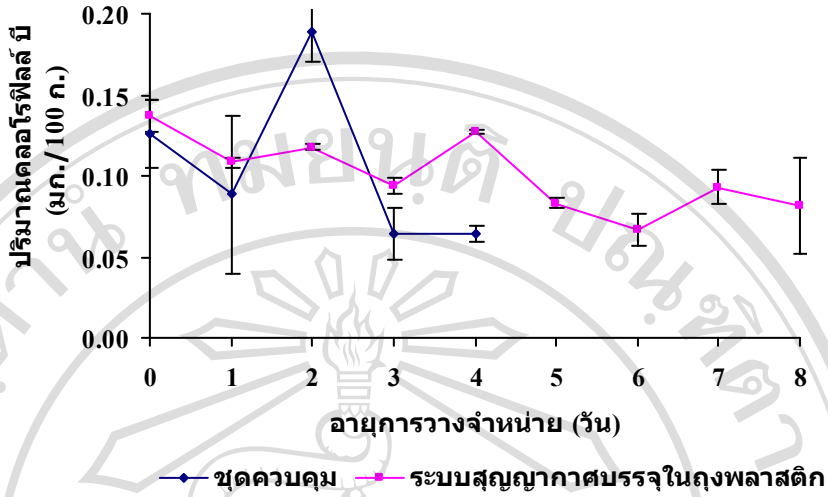


ภาพที่ 4.30 ปริมาณวิตามินซีของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

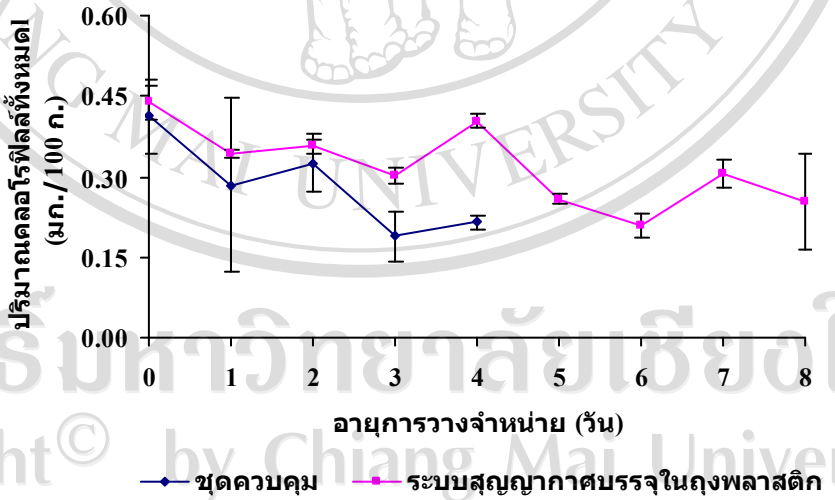


ภาพที่ 4.31 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.32 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน



ภาพที่ 4.33 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

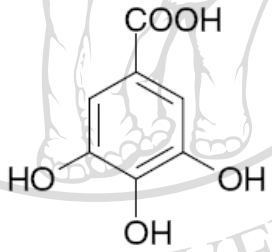
6. ปริมาณสารประกอบฟีนอลและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

การศึกษาความสามารถการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในผักกาดฮ่องเต้ โดยวิธี DPPH ในรูปของกรดแกลลิก โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (total phenolic compounds) ในรูปของกรดแกลลิก โดยใช้เวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้สารประกอบฟีนอลบางชนิดสามารถทำปฏิกิริยาการกับสารละลาย Folin-ciocalteu ได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลด้วย ถ้าตัวอย่างมีสารประกอบดังกล่าวมาก อาจต้องใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยานานมากกว่าสองชั่วโมงก็ได้ การใช้สารละลายเมทานอลในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ นิยมใช้กันมากเนื่องจากมีผลรบกวนต่อการเกิดปฏิกิริยาน้อยกว่าสารละลายชนิดอื่น เช่น อะซิโตน ซึ่งจะให้ค่าวิเคราะห์ที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง (Gao *et al*., 2001) สารต้านอนุมูลอิสระนับเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยยับยั้งความเสียหายที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาออกซิเดชันภายในเซลล์ ผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมที่วางไว้ที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ 1,426.32± 232.03 และ 149.09±15.72 ไมโครกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติก ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 746.00±115.06 และ 93.75±28.13 ไมโครกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักสด โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อผักกาดฮ่องเต้ใกล้หมดอายุการเก็บรักษา และผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใกล้หมดอายุการวางจำหน่าย สอดคล้องกับการทดลองของ Picha and Padda (2008) ที่เก็บรักษามันฝรั่งไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งสารประกอบฟีนอลนับว่าเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสารประกอบฟีนอลที่พบในพืชแต่ละชนิดด้วย เช่น พืชในวงศ์ Araliaceae, Asclepiadaceae, Cucurbitaceae, Labiatae และ Leguminoseae ที่ทำการสกัดและหาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระกับปริมาณสารประกอบฟีนอล วิตามินซี แทนนิน และแคโรทีนอยด์ พบว่ามีพืชบางชนิดเท่านั้นที่กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับวิตามินซีหรือแคโรทีนอยด์ (เทิด, 2550) สารประกอบฟีนอลเป็นสารที่สนับสนุนสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลงจึงทำให้กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระลดลงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ Turkmen *et al.* (2005) ที่พบว่าผักบางชนิด เช่น บรอคโคลี่ พริกหวาน ปวยเหล็ง และถั่ว มีปริมาณสารประกอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟีนอลเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา การศึกษาผลของสารอนุมูลอิสระของ Singh *et al*. (2007) ของผักในตระกูล *Brassica* ได้แก่ บรอคโคลี่ ผักกาดฮ่องเต้ กะกล่ำ กะหล่ำปลี เป็นต้น พบผักในตระกูล *Brassica* เป็นแหล่งอุดมสมบูรณ์ไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ

การตรวจหาและบ่งชี้ชนิดสารต้านอนุมูลอิสระจากผักพื้นบ้านและสมุนไพรไทยของอัญชนา (2544) พบว่าสารประกอบฟีนอลบางชนิดเท่านั้นที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ คือ gallic acid ซึ่งพบในกระถิน ผักชีล้อม ผักหนามปู่ย่า ฟ้าทะลายโจร และสะระแหน่ hydroquinone จากผักฮ้วนหมู pyrocatechol จากผักฮ้วนหมูและโหระพาช้าง pyrogallol จากกระถิน นอกจากนี้ยังมีสารประกอบฟีนอลบางชนิดไม่สามารถบอกชนิดได้อีกซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน จากผลการทดลองพบว่าผักพืชบ้านที่เลือกศึกษามี gallic acid เป็นองค์ประกอบและแสดงสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วย เมื่อพิจารณาโครงสร้างโมเลกุลของ gallic acid จะเห็นว่าประกอบด้วย hydroxyl group 3 หมู่ hydroxyl group ในโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลและมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ กล่าวคือสารประกอบฟีนอลที่มีจำนวนของ hydroxyl group มาก จะแสดงกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระสูง



Gallic acid

ภาพที่ 4.34 โครงสร้างของกรดแกลลิก

ที่มา : Kubola and Siriamornpun, 2008.

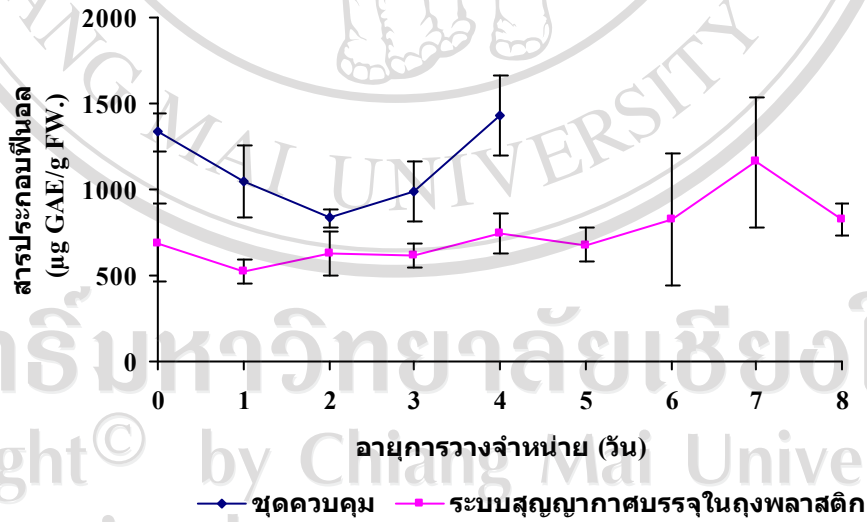
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.10 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ แล้ววางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน

กรรมวิธี	สารประกอบฟีนอล (µg GAE/g fw.)[1/]	กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (µg GAE/g fw.)[1/]
ชุดควบคุม	1,426.32±232.03[a]	149.09±15.72[a]
ระบบสุญญากาศบรรจุในถุงพลาสติก	746.00±115.06[b]	93.75±28.13[b]

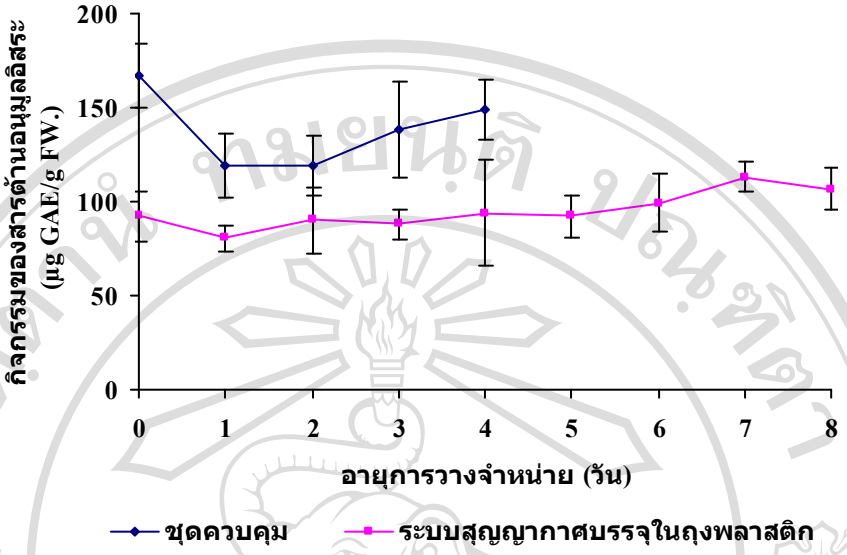
หมายเหตุ [1/] ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p<0.05$)



ภาพที่ 4.35 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



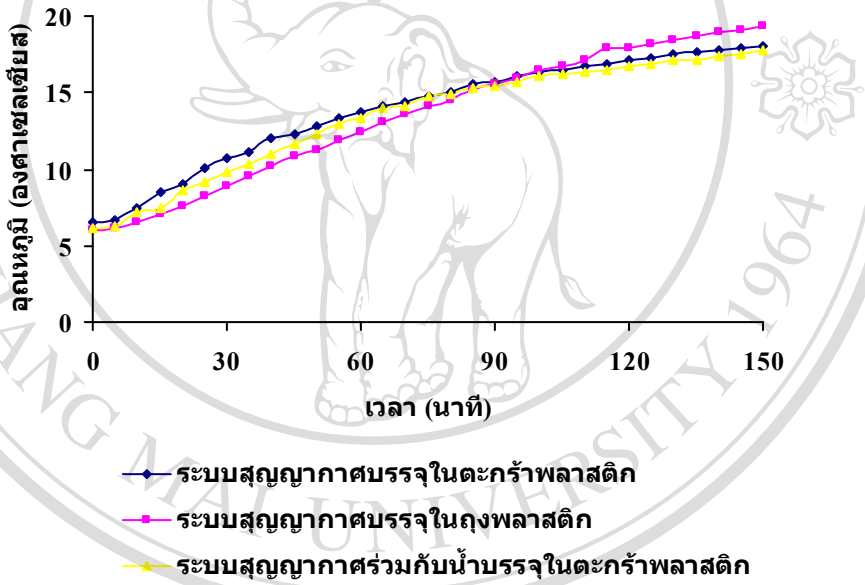
ภาพที่ 4.36 กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่สูงขึ้นในระบบสายโซ่ความเย็น

1. อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ

อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของผักกาดฮ่องเต้ทุกกรรมวิธีหลังจากผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศและนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 90 นาทีแรกเนื่องจากมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผักกาดฮ่องเต้กับอุณหภูมิอากาศภายในห้องสูงทำให้มีการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากสิ่งแวดล้อมสู่ผลิตผล ส่งผลให้ผลิตผลมีอุณหภูมิสูงขึ้น หลังจากนั้นประมาณ 120 นาที มีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิช้าลงเนื่องจากผักกาดฮ่องเต้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศโดยรอบทำให้การถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างผลิตผลกับอากาศช้าลง (ภาพที่ 4.37)



ภาพที่ 4.37 แสดงอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของผักกาดฮ่องเต้หลังจากผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศและนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใจกลางผัก

ผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศแล้วนำมาตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน โดยผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมและผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีอุณหภูมิใจกลางผักเฉลี่ย 5.80±0.10 และ 5.67±0.15 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการ

ลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติกและบรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าดอยคำ มีค่า 9.27±0.15 และ 4.47±0.35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 4.40) อุณหภูมิมีความสำคัญในการรักษาคุณภาพของผัก เมื่อนำผักมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 150 นาที เป็นการทำให้ระบบสายโซ่ความเย็นขาดช่วง อิทธิพลของอุณหภูมิสูงมีผลต่อกระบวนการต่างๆ ภายในของผัก โดยปฏิกิริยาต่างๆ เกิดเร็วขึ้น การหายใจและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอื่นๆ ภายในผักก็จะเกิดขึ้นเร็ว (ภักดี, 2547) ทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้นลง

3. เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดฮ่องเต้เมื่อเก็บไว้ 4 วัน พบว่าผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติกมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด 3.05±0.80 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมและผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในตะกร้าพลาสติกมีค่า 2.46±0.73 และ 2.55±0.66 ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่ลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำมีอัตราการสูญเสียน้ำหนัก 1.98±0.49 เปอร์เซ็นต์ ผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมและผักกาดฮ่องเต้บรรจุในตะกร้าพลาสติก (ตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.41) อัตราการสูญเสียน้ำหนักสดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการวางจำหน่าย ผักที่ได้จากการเก็บเกี่ยวยังคงมีชีวิตอยู่ ยิ่งเก็บไว้นานผักจะมีการสูญเสียมากขึ้น โดยมีการสูญเสียทางด้านคุณภาพ ได้แก่ สารอาหารที่พืชเก็บสะสมไว้ในชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งถูกใช้ไปเนื่องจากหน่วยย่อยๆ ของสิ่งมีชีวิตที่เรียกว่าเซลล์ โดยมีกระบวนการทางชีวเคมีในด้านการหายใจและการคายน้ำ เพื่อให้ได้พลังงานและการคายน้ำของผัก ยิ่งมีการหายใจมากก็ทำให้คายน้ำมากทำให้ผักเกิดการสูญเสียน้ำหนักสดสูง และอาจทำให้เกิดการเหี่ยวของใบ

4. การเปลี่ยนแปลงสี

ผักกาดฮ่องเต้ทุกกรรมวิธี เริ่มแสดงอาการใบเหลืองเมื่อเก็บไว้ 4 วัน โดยส่วนของปลายใบจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง โดยเฉพาะใบที่อยู่นอกสุด ในขณะที่ใบของผักที่ผ่านการลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศทุกกรรมวิธีใบยังคงมีสีเขียวและบริเวณปลายใบไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลือง โดยผักชุดควบคุมมีค่า L* เท่ากับ 54.79±2.29 และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติกค่า L* เท่ากับ 55.45±2.09 แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่า L* ผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถุงพลาสติก และผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในตะกร้าพลาสติกร่วมกับการใช้น้ำ ซึ่งมีค่า L* เท่ากับ 49.14±2.38 และ 51.28±3.35 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12) เมื่อเวลาในการเก็บนานขึ้นค่า L* มีแนวโน้มเพิ่มเนื่องจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (ภาพที่ 4.42)

เมื่อเก็บผักกาดฮ่องเต้เป็นระยะเวลา 4 วันพบว่าค่า Chroma ของผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศบรรจุในถุงพลาสติกมีค่า 21.10±3.09 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุม ผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศบรรจุตะกร้าพลาสติก และการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำ ซึ่งมีค่า 14.96±1.20, 15.97±1.04 และ 14.56±2.71 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12) ส่วนค่า Hue angle นั้นพบว่าเมื่อเก็บรักษาไว้นาน 4 วัน ผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมมีค่า 131.48±1.48 องศา มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศทุกกรรมวิธี ผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำมีค่า 131.94±1.48 องศา มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติกและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในตะกร้าพลาสติก มีค่า 134.92±0.84 และ 133.68±0.82 องศา (ตารางที่ 4.12) การเปลี่ยนแปลงค่า Chroma และ Hue angle ของผักกาดฮ่องเต้ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลงเมื่อผักกาดฮ่องเต้ใกล้หมดอายุการวางจำหน่าย (ภาพที่ 4.43 และ ภาพที่ 4.44)

5. ลักษณะปรากฏและการเกิดโรค

การประเมินคะแนนการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภค ทำการสังเกต สี ความเหี่ยว ลักษณะปรากฏและการเกิดโรค โดยใช้คะแนนการยอมรับแบบ 9-Point Hedonic Scale โดยเกณฑ์คะแนนยอมรับต่ำสุดที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 6.00 คะแนน พบว่าเมื่อเก็บรักษา 4 วัน ผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมและผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติกมีคะแนนการยอมรับโดยรวมเฉลี่ยที่ 6.00±0.50 และ 6.00±0.35 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศที่บรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติก มีคะแนนการยอมรับโดยรวมเฉลี่ย 6.6±0.55 คะแนน ผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ทุกกรรมวิธีที่คะแนนการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคเฉลี่ย 6.4±0.55 คะแนน (ตารางที่ 4.12) เมื่อใกล้หมดอายุการวางจำหน่ายคะแนนการยอมรับของผู้ประเมินต่ำ เนื่องจากผักเกิดการเสื่อมสภาพ อัตราการสูญเสียน้ำหนักสดสูง ทำให้ก้านใบมีความเหี่ยวสูง ใบมีลักษณะเหี่ยวปลายใบ สีของปลายใบและขอบใบเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง (ตารางภาคผนวก ค.31, ภาพที่ 4.39 และภาพที่ 4.45)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ

การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการหักดูความกรอบของก้านใบ โดยใช้คะแนนการยอมรับแบบ 9-Point Hedonic Scale โดยเกณฑ์คะแนนยอมรับต่ำสุดที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 6.00 คะแนน พบว่าเมื่อเก็บไว้ 4 วัน ผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมมีคะแนนความกรอบเฉลี่ยที่ 6.20±0.45 และผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำ มีคะแนนความกรอบเฉลี่ย 6.40±0.55 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติก มีคะแนนความกรอบเฉลี่ย 5.80±0.84 และผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติกมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศที่บรรจุในถุงพลาสติก ที่คะแนนความกรอบเฉลี่ย 6.80±0.84 ทั้งสองกรรมวิธี (ตารางที่ 4.12) เมื่อใกล้หมดอายุการวางจำหน่ายคะแนนการยอมรับของผู้ประเมินต่ำ เนื่องจากผักเกิดการเสื่อมสภาพ อัตราการสูญเสียน้ำหนักสดสูง ทำให้ก้านใบมีความเหี่ยวสูง (ตารางภาคผนวก ค.32 และภาพที่ 4.46)

7. อายุการวางจำหน่าย

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าผักกาดฮ่องเต้ทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ผักกาดฮ่องเต้ชุดควบคุมและผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติกมีอายุการวางจำหน่าย 4 วัน และผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในถุงพลาสติกและการใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำมีอายุการวางจำหน่ายนานสุด 5 วัน การจัดการระบบสายโซ่ความเย็น มีความจำเป็นต่อการรักษาคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผัก โดยการจัดการที่ถูกต้องต้องเริ่มทันทีที่ผลิตผลถูกเก็บเกี่ยวมา คือการลดอุณหภูมิที่ติดมาจากแปลงปลูก โดยการศึกษานี้เราทำการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ เมื่อลดอุณหภูมิแล้วจึงเก็บรักษาเพื่อรอการขนส่งที่อุณหภูมิเหมาะสม ระหว่างการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การบรรจุหีบห่อ ขนส่ง เก็บรักษา ควรดำเนินการที่อุณหภูมิต่ำ หากระบบสายโซ่ความเย็นขาดช่วง ผลที่ตามมาคือ อายุการวางจำหน่ายจะสั้นลง ตัวอย่างเช่น ข้าวโพดหวานมีการสูญเสียน้ำตาลประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ใน 1 วัน ที่อุณหภูมิห้อง แต่จะมีการสูญเสียน้ำตาลเพียง 20 เปอร์เซ็นต์ ใน 1 วัน ที่อุณหภูมิใกล้ 0 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่า การที่ผลิตผลได้รับอุณหภูมิสูงเพียงช่วงสั้นๆ ก็สามารถสูญเสียคุณภาพไปได้มาก หากสามารถลดการขาดช่วงของระบบสายโซ่ความเย็นได้ก็จะเป็นการช่วยรักษาคุณภาพของผักให้ได้นานยิ่งขึ้น (คู่มือการลดอุณหภูมิและการขนส่ง)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.11 อายุการวางจำหน่ายผักกาดฮ่องเต้ บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส

กรรมวิธี	อายุการวางจำหน่าย (วัน)
ชุดควบคุม	4
ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติก	4
ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำบรรจุในตะกร้าพลาสติก	5
ระบบสุญญากาศบรรจุในถุงพลาสติก	5

ชุดควบคุม

ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติก

ระบบสุญญากาศบรรจุในถุงพลาสติก

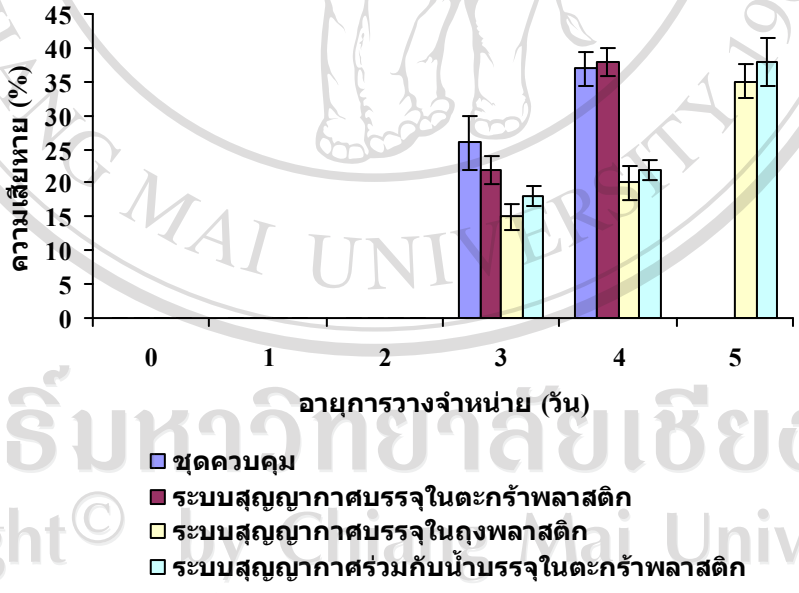
ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำบรรจุในตะกร้าพลาสติก

ภาพที่ 4.38 ลักษณะของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

8. เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย

การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 150 นาที พบว่าผักกาดฮ่องเต้เริ่มเสียหายในวันที่ 3 ของอายุการวางจำหน่าย เมื่อใกล้หมดอายุการวางจำหน่ายผักกาดฮ่องเต้มีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายสูง เนื่องจากหลังจากที่ผ่านการลดอุณหภูมิแล้วปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนานเกินไปทำให้สายโซ่ความเย็นขาดช่วง ผักไม่ได้ถูกควบคุมอุณหภูมิให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมอย่างต่อเนื่อง ผลของอุณหภูมิสูงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาต่างๆ เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อนำไปวางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่มีอุณหภูมิต่ำ ทำให้มีการสูญเสียอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ลักษณะปรากฏภายนอกเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าปกติ และผักเกิดการสูญเสียอย่างรวดเร็ว วันสุดท้ายของอายุการวางจำหน่าย ผักชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย 37 เปอร์เซ็นต์ การลดอุณหภูมิผักกาดฮ่องเต้บรรจุในตะกร้าพลาสติกในระบบสุญญากาศและระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้น้ำ มีเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย 38 เปอร์เซ็นต์ และผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิระบบสุญญากาศบรรจุในถุงพลาสติกแล้วนำมาบรรจุในตะกร้าพลาสติกมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย 38 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.39)



ภาพที่ 4.39 เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของผักกาดฮ่องเต้เมื่อระบบสายโซ่ความเย็นขาดช่วง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

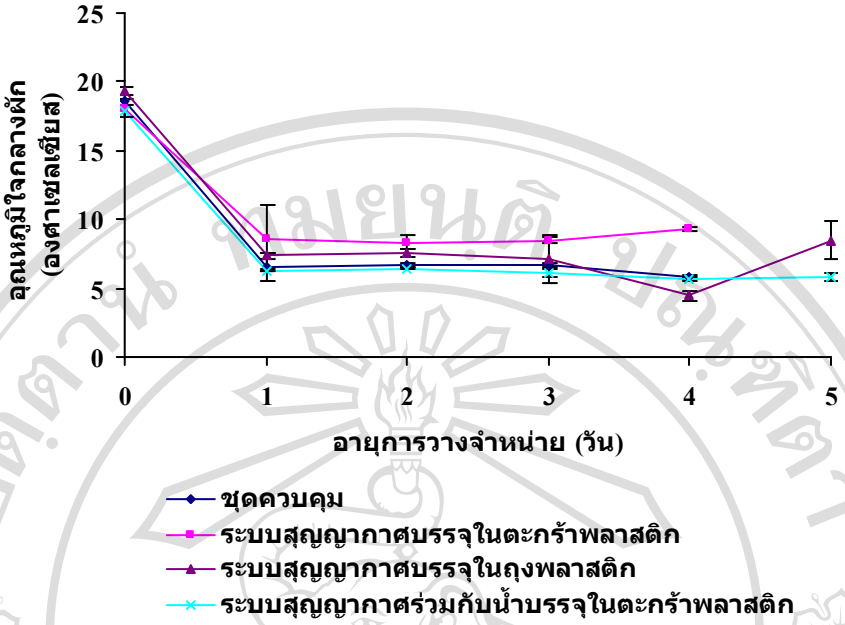
ตารางที่ 4.12 คุณภาพของผักกาดฮ่องเต้ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยระบบสุญญากาศในระบบสายโซ่ความเย็นแล้วเก็บไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 วัน

กรรมวิธี	อุณหภูมิใจกลางผัก[1/]	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด (%)[1/]	ค่า L*[1/]	ค่า Chroma[1/]	ค่า Hue[1/]	การยอมรับของผู้ประเมิน[1/]	ความกรอบก้านใบ[1/]
ชุดควบคุม	5.80±0.10^{a}	2.46±0.73^{ab}	54.79±2.29^{a}	14.69±1.20^{b}	131.48±1.12^{c}	6.00±0.50^{b}	6.20±0.45^{ab}
ระบบสุญญากาศบรรจุในตะกร้าพลาสติก	9.27±0.15^{a}	2.55±0.66^{ab}	55.45±2.09^{a}	15.97±1.04^{b}	133.68±0.82^{ab}	6.00±0.35^{b}	5.80±0.84^{b}
ระบบสุญญากาศร่วมกับน้ำบรรจุในตะกร้าพลาสติก	5.67±0.15^{b}	1.98±0.49^{b}	51.28±3.35^{b}	14.56±2.76^{b}	131.94±1.48^{bc}	6.40±0.55^{ab}	6.40±0.55^{ab}
ระบบสุญญากาศบรรจุในถุงพลาสติก	4.47±0.35^{c}	3.05±0.80^{a}	49.14±2.38^{b}	21.10±3.09^{a}	134.92±1.84^{a}	6.60±0.55^{a}	6.80±0.84^{a}

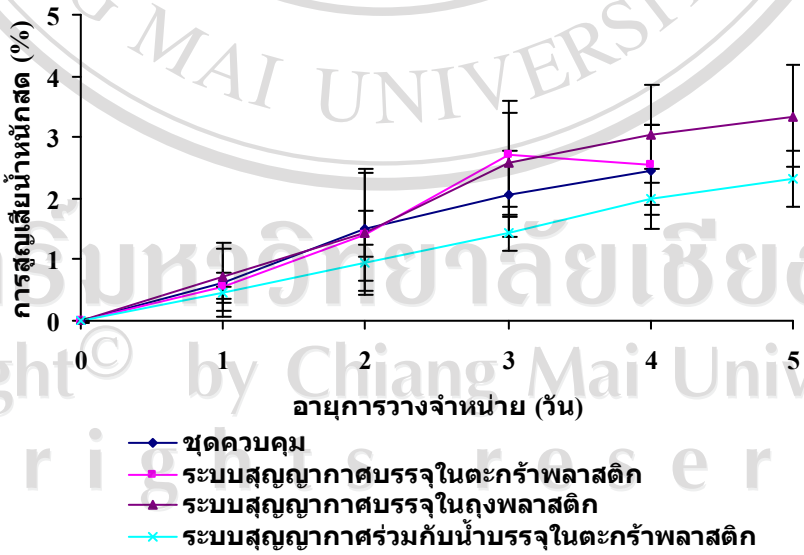
หมายเหตุ [1/] ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

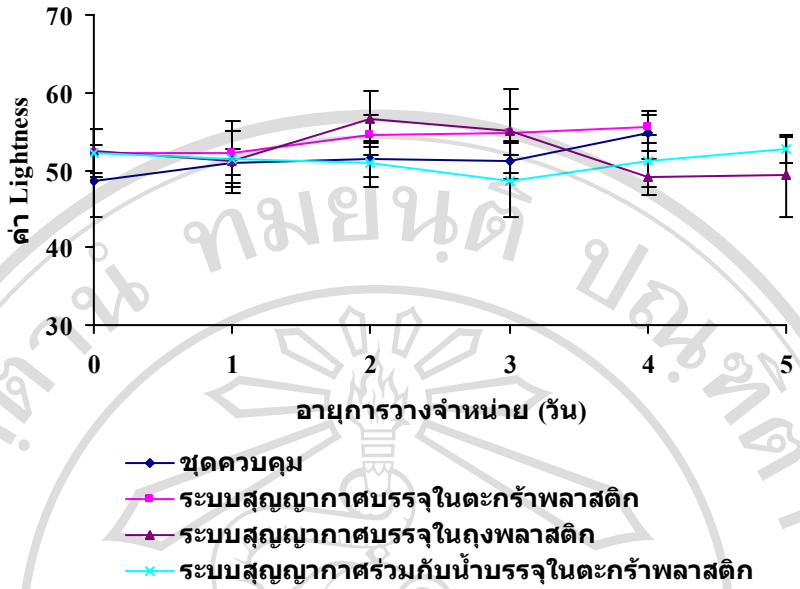


ภาพที่ 4.40 อุณหภูมิใจกลางผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

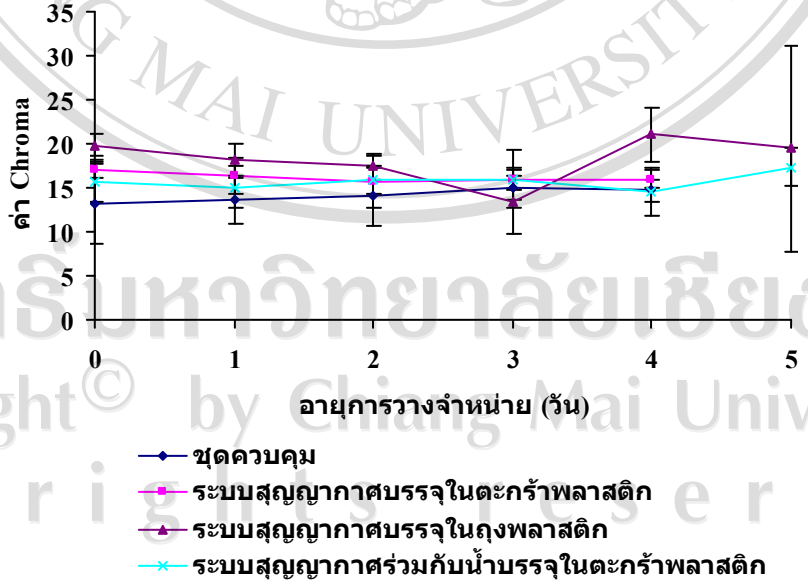


ภาพที่ 4.41 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

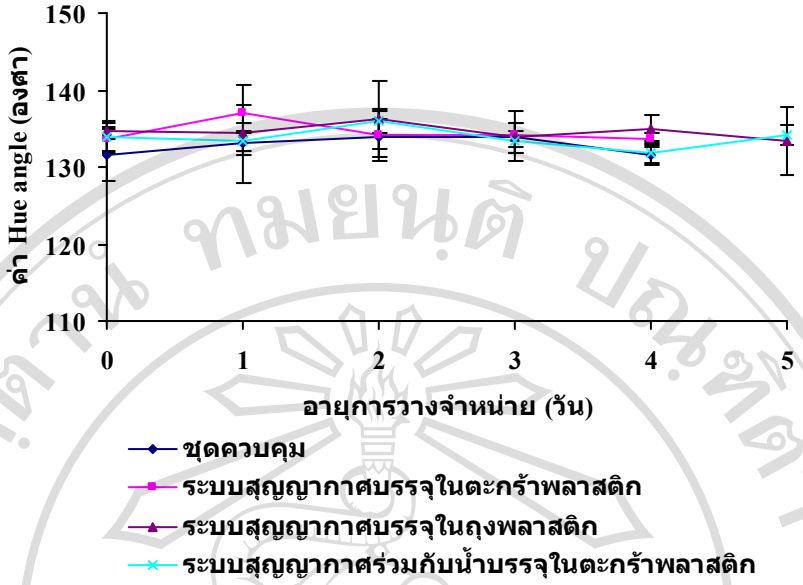


ภาพที่ 4.42 ค่า Lightness ของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

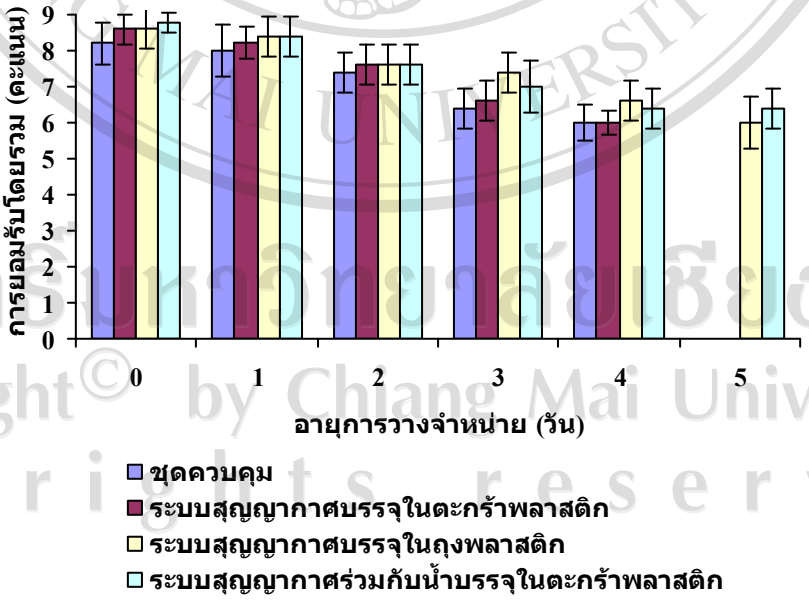


ภาพที่ 4.43 ค่า Chroma ของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

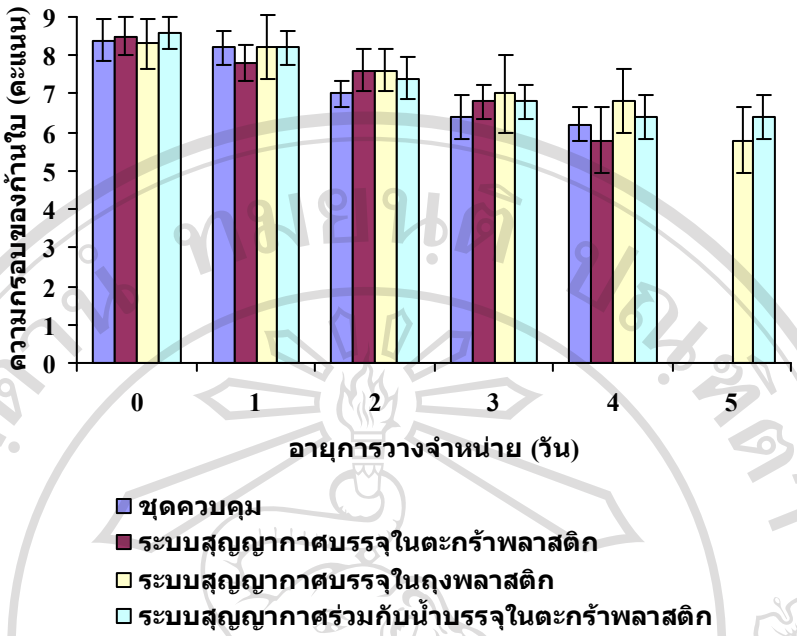


ภาพที่ 4.44 ค่า Hue angle ของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน



ภาพที่ 4.45 คะแนนการยอมรับโดยรวมของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.46 คะแนนความกรอบของผักกาดฮ่องเต้ที่วางไว้บนชั้นวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved