บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาการลดอุณหภูมิเฉียบพลันแบบสุญญากาศต่อยอดซาโยเต้อินทรีย์

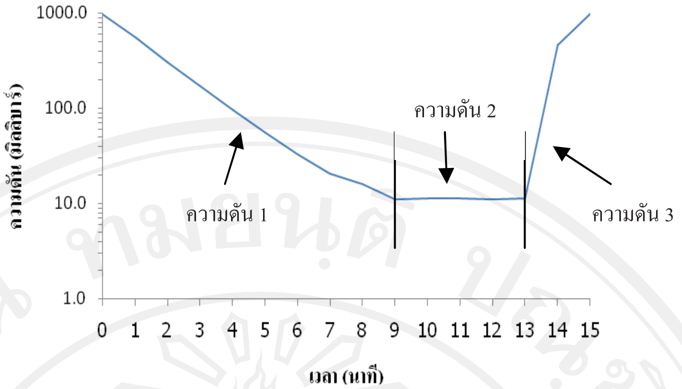
4.1.1 การทดลองที่ 1.1 การศึกษาหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์แบบสุญญากาศ

ศึกษาหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์โครงการหลวง (ถุงโพลีเอทิลีน) ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 18 รู พบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น 19-23 องศาเซลเซียส คือ การใช้ระดับความดันสุดท้ายที่ 10 มิลลิบาร์ ร่วมกับระยะเวลาการคงความดันที่ 3 นาทีและการใช้ระดับความดันที่ 11 มิลลิบาร์ ร่วมกับระยะเวลาการคงความดันที่ 5 นาที โดยทั้ง 2 พารามิเตอร์ข้างต้นจะใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิทั้งหมด 14 และ 15 นาทีตามลำดับ ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างทำการลดอุณหภูมิเท่ากับ 0.5 และ 0.6 ตามลำดับ และมีการใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิทั้งหมด 0.11 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงเท่ากัน ซึ่งคิดเป็นค่าไฟฟ้า 0.07 บาทต่อกิโลกรัม

4.1.1.1 ความดันในห้องลดอุณหภูมิ

จากภาพที่ 8 แสดงความดันในห้องลดอุณหภูมิระหว่างที่ทำการลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์แบบสุญญากาศพบว่า สามารถแบ่งความดันได้ออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วจากระดับความดันบรรยากาศปกติ (958.7 มิลลิบาร์) ไปถึงระดับความดันที่กำหนด (11 มิลลิบาร์) โดยมีอัตราการลดความดันอยู่ที่ 105.3 มิลลิบาร์ต่อนาที ซึ่งความดันที่ลดลงนี้เกิดจากการที่อากาศภายในห้องลดอุณหภูมิถูกปั๊มสุญญากาศดูดออกไป สำหรับช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่เครื่องลดอุณหภูมิสุญญากาศทำการคงสภาวะความดันสุดท้าย (11 มิลลิบาร์) ให้ครบตามระยะเวลาที่กำหนด (5 นาที) และช่วงที่ 3 คือช่วงที่ทำการปรับสภาวะความดันภายในเครื่องลดอุณหภูมิให้กลับสู่สภาวะบรรยากาศปกติหลังจากที่ทำการคงความดันครบตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วโดยทำการดึงเอาอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้องลดอุณหภูมิ

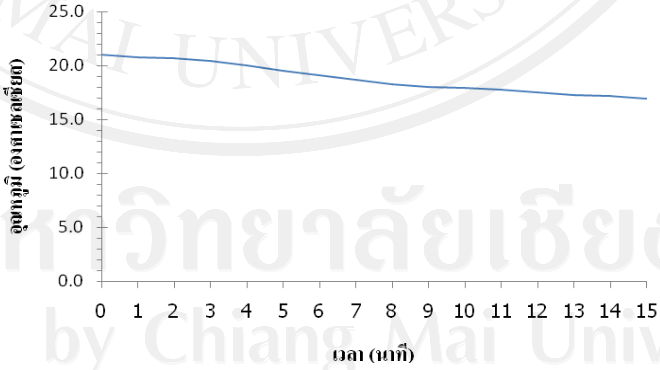
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 8 แสดงความดันภายในห้องลดอุณหภูมิระหว่างการลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์แบบสุญญากาศโดยใช้พารามิเตอร์ความดัน 11 มิลลิบาร์และระยะเวลาคงความดันที่กำหนดนาน 5 นาที

4.1.1.2 อุณหภูมิภายในห้องลดอุณหภูมิ

จากภาพที่ 9 อุณหภูมิภายในห้องลดอุณหภูมิมีการลดลงอย่างต่อเนื่องแปรผันตามความดันภายในห้องลดอุณหภูมิ โดยห้องลดอุณหภูมิมีอุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ที่ 21 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิหลังเสร็จสิ้นกระบวนการอยู่ที่ 16.9 องศาเซลเซียส อัตราการลดอุณหภูมิภายในห้องอยู่ที่ 0.3 องศาเซลเซียสต่อนาที

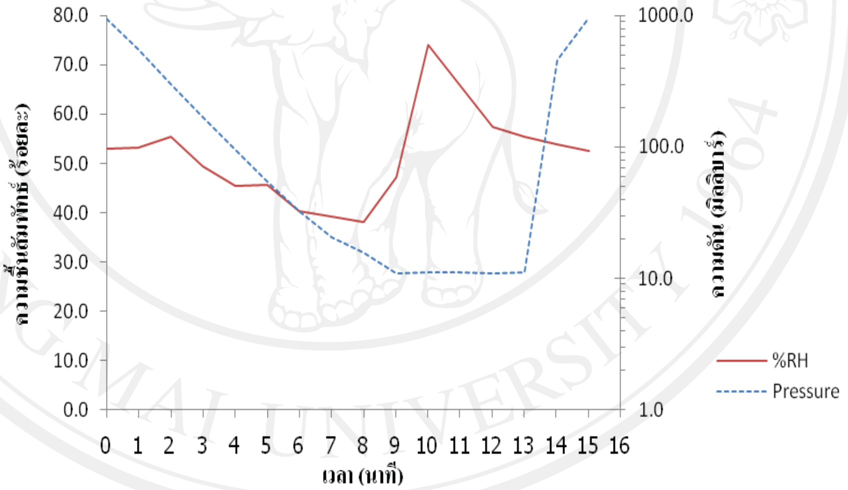


ภาพที่ 9 แสดงอุณหภูมิภายในห้องลดอุณหภูมิระหว่างการลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์ แบบสุญญากาศ โดยใช้พารามิเตอร์ความดัน 11 มิลลิบาร์ และระยะเวลาคง ความดันที่กำหนดนาน 5 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.1.3 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดอุณหภูมิ

จากภาพที่ 10 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดอุณหภูมิมีค่าเริ่มต้นที่ร้อยละ 53.0 เมื่อความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลง ร้อยละของความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงเช่นกัน เมื่อระยะเวลาการลดอุณหภูมิผ่านไปถึงนาทีที่ 8 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดอุณหภูมิจะมีค่าต่ำสุดคือร้อยละ 38.1 ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่อากาศภายในห้องลดอุณหภูมิถูกดูดออกไปอย่างรวดเร็วด้วยเครื่องปั๊มสุญญากาศ เมื่อความดันภายในห้องลดอุณหภูมิถึงระดับที่กำหนดที่ 11 มิลลิบาร์ในนาทีที่ 9 และคงระดับความดันนี้ไว้เป็นระยะเวลานาน 5 นาที พบว่าค่าร้อยละของความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดอุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลมาจากการที่น้ำภายในเซลล์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์เกิดการระเหยเนื่องจากความดันต่ำจึงทำให้ภายในห้องลดอุณหภูมิมีปริมาณความชื้นที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อสิ้นสุดกระบวนการลดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดอุณหภูมิมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 52.5

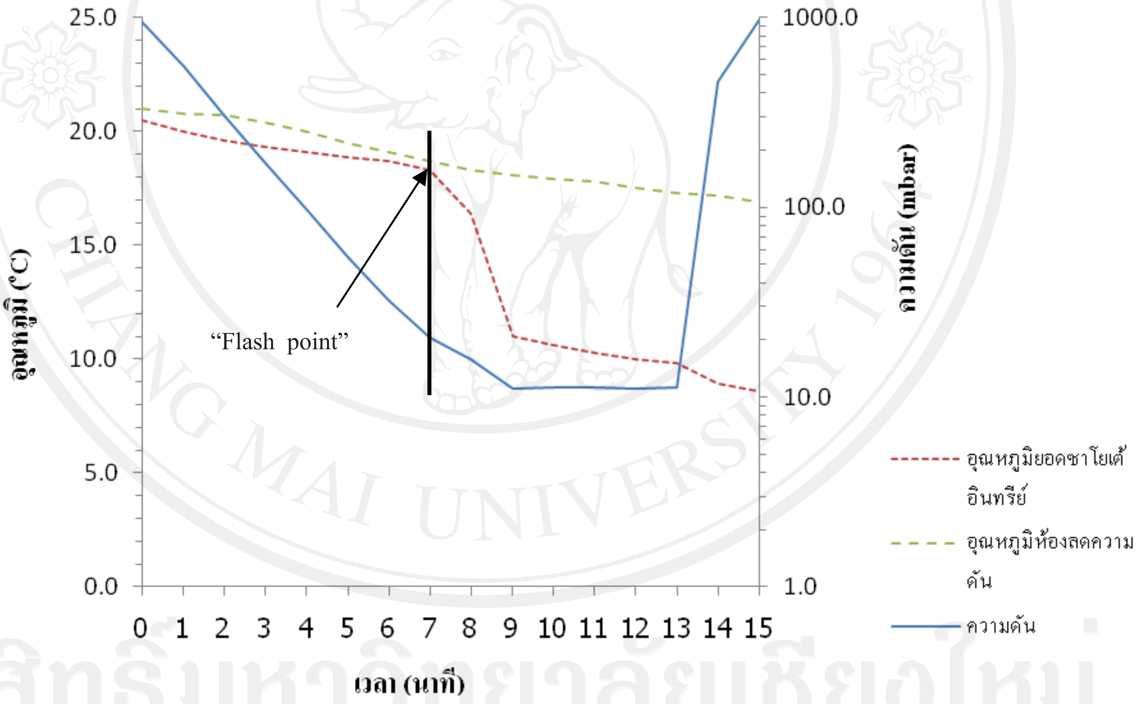


ภาพที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและความดันภายในห้องลดอุณหภูมิระหว่างการลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์แบบสุญญากาศ โดยใช้พารามิเตอร์ความดัน 11 มิลลิบาร์และระยะเวลาคงความดันที่กำหนดนาน 5 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.1.4 อัตราการลดอุณหภูมิ

จากภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์และระยะเวลาในการลดอุณหภูมิพบว่า ในช่วงแรกของกระบวนการเมื่อลดความดันลงอัตราการลดอุณหภูมิของยอดซาโยเต้อินทรีย์เกิดช้ามากเนื่องจากน้ำที่ระเหยออกไปเป็นน้ำที่อยู่บริเวณผิวของยอดซาโยเต้อินทรีย์ จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไปถึงนาทีที่ 7 ที่ความดัน 20.6 มิลลิบาร์ อัตราการลดอุณหภูมิของยอดซาโยเต้อินทรีย์จะเพิ่มสูงขึ้นทันที ทั้งนี้เนื่องจากน้ำที่อยู่ภายในเซลล์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์เปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอและระเหยสู่บรรยากาศ ซึ่งเรียกการเกิดสภาวะดังกล่าวว่า flash point ส่งผลให้อุณหภูมิของยอดซาโยเต้อินทรีย์ลดลงอย่างรวดเร็วภายใต้สภาวะความดันต่ำ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการยอดซาโยเต้อินทรีย์มีอุณหภูมิสุดท้ายอยู่ที่ 8.6 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์ อุณหภูมิห้องลดอุณหภูมิและความดันภายในห้องลดอุณหภูมิระหว่างการลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์แบบสุญญากาศ โดยใช้พารามิเตอร์ความดัน 11 มิลลิบาร์และระยะเวลาคงความดันที่กำหนดนาน 5 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.1.5 การสูญเสียน้ำหนักสด (ร้อยละ)

ในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ การสูญเสียน้ำหนักของยอดซาโยเต้อินทรีย์เกิดขึ้นเนื่องจากการที่น้ำภายในยอดซาโยเต้อินทรีย์เกิดการระเหย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความดันและระยะเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ จากการลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์โดยการเปรียบเทียบที่ความดัน 10 มิลลิบาร์และที่ 11 มิลลิบาร์ พบว่า ที่ความดัน 10 มิลลิบาร์มีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักสดที่สูงกว่าที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ (ตารางที่ 1) รวมทั้งเมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิที่ 3, 4 และ 5 นาที พบว่า หากทำการใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิยาวนานขึ้นจะทำให้การสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มสูงขึ้นด้วย (ตารางที่ 1)

4.1.1.6 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ

ข้อดีของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศเมื่อเทียบกับการลดอุณหภูมิด้วยวิธีอื่นๆ คือสามารถลดอุณหภูมิของผลิตผลได้อย่างรวดเร็วจึงส่งผลให้ประหยัดเวลาและพลังงาน จากตารางที่ 1 แสดงถึงพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์แบบสุญญากาศ พบว่า เมื่อกำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการคงวัตถุดิบให้นานขึ้นในสภาวะความดันที่กำหนดในระดับที่ต่ำจะส่งผลให้ใช้ระยะเวลาและพลังงานในการลดอุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยในระดับความดันที่ 10 มิลลิบาร์เป็นเวลา 3 นาที และที่ระดับความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที จะใช้ระยะเวลาในการทำให้เย็นทั้งหมด 13 นาที และ 15 นาที ตามลำดับ ใช้พลังงานไฟฟ้าในการลดอุณหภูมิเท่ากับ 0.11 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงเท่ากัน คิดเป็นค่าไฟฟ้าจำนวน 0.0058 บาทต่อกิโลกรัม

ภาพที่ 12 การจัดเรียงยอดซาโยเต้อินทรีย์ลงในตะกร้า (ซ้าย) และการจัดเรียงยอดซาโยเต้อินทรีย์ในห้องลดอุณหภูมิ

ตารางที่ 1 สภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศในการลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์

สภาวะการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ	**ค่าที่ทำการบันทึก**					
ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ (มิลลิบาร์)	10			11		
เวลาที่ยอดซาโยเต้อินทรีย์อยู่ภายใต้ความดัน (นาที)	3	4	5	3	4	5
เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ (นาที)	13	14	15	12	14	15
อุณหภูมิภายในห้องลดอุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	28.1	17.8	17.7	21.3	24.0	21.0
อุณหภูมิภายในห้องลดอุณหภูมิสุดท้าย (องศาเซลเซียส)	26.0	14.5	9.5	20.4	17.1	16.9
ความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้น (ร้อยละ)	67.9	98.4	70.7	64.8	57.7	53.0
ความชื้นสัมพัทธ์สุดท้าย (ร้อยละ)	65.7	96.1	68.7	50.4	48.9	53.8
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง)	0.11	0.13	0.13	0.11	0.11	0.11
ค่าไฟฟ้า (บาทต่อกิโลกรัม)	0.0058	0.0069	0.0067	0.0058	0.0058	0.0058
สภาวะของยอดซาโยเต้อินทรีย์						
อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	20.2	21.4	22.3	22.3	21.2	20.5
อุณหภูมิสุดท้าย (องศาเซลเซียส)	8.8	8.6	8.7	10.7	8.8	8.6
การสูญเสียน้ำหนักสด (ร้อยละ)	0.6	0.7	0.9	0.4	0.5	0.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2 การทดลองที่ 1.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของยอดซาโยเต้อินทรีย์หลังผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ

4.1.2.1 การสูญเสียน้ำหนักสด

ยอดซาโยเต้อินทรีย์หลังผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีการสูญเสียน้ำหนักสดที่มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 6.764±1.246 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยความดัน 10 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 3 นาที และความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งมีการสูญเสียน้ำหนักสดเท่ากับร้อยละ 4.944±1.634 และ 4.428±0.980 ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกการทดลองมีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2 ภาพที่ 14และ ตารางภาคผนวกที่ 7)

จากผลการทดลอง พบว่า การลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์แบบสุญญากาศสามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักสดได้ โดยปกติแล้วภายในเซลล์ผักมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 70-96 ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของผัก โดยอาจจะอยู่ในรูปของสารละลายภายในเซลล์ อวัยวะของเซลล์ ช่องว่างระหว่างเซลล์ หรืออาจจะเป็นองค์ประกอบภายในโมเลกุลของสารอื่นๆภายในเซลล์ของพืช (Sudheer and Indira, 2007) ซึ่งภายหลังการเก็บเกี่ยว ผักสดจะสูญเสียน้ำอยู่ตลอดเวลา โดยการคายน้ำผ่านทางปากใบหรือการสูญเสียน้ำผ่านทางช่องเปิดต่างๆ รวมถึงบาดแผลที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บเกี่ยวและการจัดการภายหลังการเก็บเกี่ยว (นิธิยาและดนัย, 2548) ซึ่งนอกจากจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักมวลรวมของผลิตผลทั้งหมดแล้วยังส่งผลให้เกิดการเหี่ยวของลำต้น ใบ และยอดของผักด้วย โดยปัจจัยที่ส่งผลให้ผักเกิดการสูญเสียน้ำได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ สภาพบรรยากาศโดยรอบของผลิตผล การหมุนเวียนของอากาศและอุณหภูมิโดยรอบผลิตผล และอุณหภูมิของผลิตผล ซึ่งการลดอุณหภูมิผักและผลไม้อย่างรวดเร็วก่อนนำมาเก็บรักษาเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลิตผลสดได้ (Wilson *et al*., 2009)

4.1.2.2 การเปลี่ยนแปลงสี

ยอดซาโยเต้อินทรีย์หลังผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 วัน พบว่า การลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์แบบสุญญากาศที่ความดัน 10 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 3 นาทีและที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 5 นาที มีค่า L* เท่ากับ 40.66±2.23 และ 41.85±1.71 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบบสุญญากาศ ที่มีค่า L* เท่ากับ 40.21±1.33 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ค่า L* ของสีใบยอดซาโยเต้อินทรีย์มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ (ตารางที่ 2 ภาพที่ 15และ ตารางภาคผนวกที่ 8)

ค่า chroma ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน10 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 3 นาทีและที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 5 นาทีมีค่าเท่ากับ 11.99±2.19 และ 12.88±2.49 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ ที่มีค่า chroma เท่ากับ 10.30±2.32 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ค่า chroma ของสีใบยอดซาโยเต้อินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ตารางที่ 2 ภาพที่ 16และ ตารางภาคผนวกที่ 9)

ในส่วนของค่า hue angle ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน10 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 3 นาทีและที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 5 นาทีมีค่าเท่ากับ 119.00±1.89 และ 118.42±1.37 ตามลำดับ อีกทั้งยังไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ ที่มีค่า hue angle เท่ากับ 116.98±2.94 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ค่า hue angle ของสีใบยอดซาโยเต้อินทรีย์มีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 2 ภาพที่ 17และ ตารางภาคผนวกที่ 10)

จากผลการทดลอง พบว่า การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของยอดซาโยเต้อินทรีย์ และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ค่า chroma และ ค่า hue angle ของยอดซาโยเต้อินทรีย์มีค่าที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและลดลงตามลำดับ ส่งผลให้การเปลี่ยนสีของใบยอดซาโยเต้อินทรีย์มีสีเข้มขึ้นและเปลี่ยนสีจากสีเขียวสดไปเป็นสีเขียวอมเหลือง สอดคล้องกับการทดลองของ ดนัยและชัยพิชิต (2551) ที่ศึกษาคุณภาพของบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งเปรียบเทียบกับบรอคโคลี่ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 8-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วันพบว่า ค่า chroma ของบรอคโคลี่มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นในขณะที่ค่า hue angle มีแนวโน้มที่ลดต่ำลง โดยทั่วไปแล้ว ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผล มักมีการเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้น ซึ่งพบว่าสีเขียวจะหายไปแล้วปรากฏสีเหลืองขึ้นมาแทน โดยการสูญเสียสีเขียวนี้เป็นสาเหตุมาจากการการสลายตัวของสารสีคลอโรฟิลล์ (จริงแท้, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2.3 ปริมาณวิตามินซี

ปริมาณวิตามินซีของยอดซาโยเต้อินทรีย์หลังผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 10 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 3 นาทีและที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 5 นาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลานาน 5 วัน มีค่าเท่ากับ 3.866±0.152 และ 3.200±1.126 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับปริมาณ

วิตามินซีของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ ที่มีค่าเท่ากับ 3.166±1.011 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาพบว่า ปริมาณวิตามินซีของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มที่ผันแปร (ตารางที่ 3 ภาพที่ 18และ ตารางภาคผนวกที่ 11)

จากการทดลอง พบว่า การลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์แบบสุญญากาศไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซีตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 3.000 ถึง 4.500 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด สอดคล้องกับการลดอุณหภูมิบรอคโคลี่โดยวิธีการที่แตกต่างกัน คือ air blast cooling, cold room cooling, plate cooling และ vacuum cooling เปรียบเทียบกับบรอคโคลี่ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิพบว่า ปริมาณวิตามินซีของบรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่าไม่แตกต่างกับปริมาณวิตามินซีของบรอคโคลี่ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ (Zhang and Sun, 2006)

ปริมาณวิตามินซีในผักผลไม้มีความแตกต่างกันจากหลายปัจจัยได้แก่ ความแตกต่างทางพันธุกรรม สภาพแวดล้อม วิธีการเก็บเกี่ยวและความบริบูรณ์ของผลิตผล รวมถึงการปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว โดยอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ส่งผลต่อปริมาณวิตามินซี หากอุณหภูมิสูงจะเร่งให้เกิดการเสื่อมสลายของวิตามินซีอย่างรวดเร็ว (Lee and Kader, 2000) นอกจากนี้ยังมีรายงานการทดลองเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิผลิตผลต่างๆที่ให้ผลเกี่ยวกับปริมาณวิตามินซีที่แตกต่างกันไป เช่น กรรณิการ์ (2551) ได้ศึกษาถึงผลของการลดอุณหภูมิแบบเฉียบพลันโดยวิธีผ่านอากาศเย็นต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลสตรอเบอรี่พันธุ์ 329 พบว่าปริมาณวิตามินซีของผลสตรอเบอรี่ที่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าสตรอเบอรี่ไม่ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.1.2.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์

ยอดซาโยเต้อินทรีย์หลังผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ แล้วทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 วัน พบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 10 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 3 นาทีและที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 5 นาที มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 0.080±0.016 และ 0.070±0.007 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ที่มีค่าเท่ากับ 0.072±0.017 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ยอดซาโยเต้อินทรีย์ทุกกรรมวิธีมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ค่อนข้างคงที่ (ตารางที่ 3 ภาพที่ 19และ ตารางภาคผนวกที่ 12)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธี ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 วัน พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 10 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 3 นาทีและที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 5 นาที มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี เท่ากับ 0.042±0.010, 0.046±0.009 และ 0.041±0.005 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ตลอดอายุการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีค่อนข้างคงที่ (ตารางที่ 3 ภาพที่ 20และ ตารางภาคผนวกที่ 13)

ในส่วนของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 10 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 3 นาทีและความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 5 นาที พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเท่ากับ 0.117±0.028, 0.129±0.026 และ 0.113±0.012 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดค่อนข้างคงที่ (ตารางที่ 3 ภาพที่ 21และ ตารางภาคผนวกที่ 14)

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลอง พบว่า การลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์แบบสุญญากาศไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Rannie *et al.* (2001) ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อพันธุ์ Iceberg ด้วยระบบสุญญากาศด้วยอัตราเร็วในการลดความดันบรรยากาศในห้องลดอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 3 ระดับ จากนั้นทำการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 เปรียบเทียบกับผักกาดหอมห่อที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป 16 วัน ปริมาณคลอโรฟิลล์ของผักกาดหอมห่อค่อนข้างคงที่และมีปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน

โดยปกติแล้วในระหว่างที่พืชเกิดการวาย (senescence) หรือการเก็บรักษาผลิตผล คลอโรฟิลล์จะสลายตัวไปเป็นสารที่ไม่มีสีส่งผลให้สีของสารแคโรทีนอยด์ปรากฏออกมาให้เห็น ซึ่งการสลายตัวของปริมาณคลอโรฟิลล์เป็นส่วนที่แสดงถึงการเสื่อมสลายของพืชที่เกิดขึ้น (จริงแท้, 2549) การที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันมาก อาจมีสาเหตุจากหลังทำการลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์แล้วไม่ได้นำยอดซาโยเต้อินทรีย์ไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ทันที เนื่องด้วยสถานที่ในการลดอุณหภูมิและสถานที่สำหรับทำการเก็บรักษาเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของยอดซาโยเต้อินทรีย์เป็นคนละสถานที่กัน จึงทำให้เสียเวลาในการเดินทางขนย้ายยอดซาโยเต้อินทรีย์ประมาณ 15 นาที โดยการบรรจุยอดซาโยเต้อินทรีย์หลังจากที่ผ่านการลดอุณหภูมิแล้วลงในกล่องโฟมที่บรรจุน้ำแข็ง จากนั้นจึงขนย้ายยอดซาโยเต้อินทรีย์มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ซึ่งจากสาเหตุดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2.5 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

ยอดซาโยเต้อินทรีย์หลังผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วันพบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 10 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 3 นาทีและที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 5 นาที มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 4.470±0.262 และ 4.400±0.264 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 6.900±0.625 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่ายอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีการทดลอง มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 4 ภาพที่ 22และตารางภาคผนวกที่ 15)

จากผลการทดลอง พบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงกว่ายอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างที่ทำการลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์มีการสูญเสียน้ำส่งผลให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไปพบว่ายอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงกว่ายอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ เนื่องจากผลิตผลเกิดการสูญเสียน้ำอย่างต่อเนื่อง และเมื่อปริมาณน้ำในเซลล์ลดลงจึงส่งผลให้ปริมาณสารที่ละลายอยู่ภายในเซลล์มีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น (จริงแท้, 2544) และการที่ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีปริมาณสารที่ละลายได้น้อยกว่าเนื่องจากการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีผลช่วยลดความร้อนที่ติดมากับผลิตผลจากแปลงปลูก และลดอุณหภูมิภายในตัวผลิตผลลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้กระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ภายในเซลล์ผลิตผลลดลงและชะลอการเสื่อมสภาพ ทำให้ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผล (Rudnucki *et al*., 1991)

4.1.2.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอล

การลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์แบบสุญญากาศแล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วันพบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 10 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 3 นาทีและที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 5 นาที มีปริมาณเท่ากับ 0.373±0.035 และ 0.368±0.022 มิลลิกรัมกรัม gallic acid ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 0.443±0.040 มิลลิกรัมกรัม gallic acid ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตลอดอายุการเก็บรักษา ปริมาณสารประกอบฟีนอลมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นในทุกกรรมวิธีการทดลอง (ตารางที่ 4 ภาพที่ 23และตารางภาคผนวกที่ 16)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการทดลอง พบว่า เมื่อทำการเก็บรักษายอดซาโยเต้อินทรีย์นานขึ้นปริมาณสารประกอบฟีนอลมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น โดยยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิมีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากที่สุด สอดคล้องกับการทดลองของ Cantwell *et al*. (2002) ที่ทำการเก็บรักษามันแกวที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษานาน 14 วัน เช่นเดียวกับ ผักบางชนิด เช่น บรอคโคลี่ พริกหวาน ปวยเหล็ง และถั่วมีปริมาณสารประกอบฟีนอลที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา (Turkmen *et al*., 2005) รวมถึงการเก็บรักษามันฝรั่งที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น (Padda and Picha, 2008)

โดยการเพิ่มของปริมาณสารประกอบฟีนอลเกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อบาดแผลและการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของพืช ซึ่งปริมาณสารประกอบฟีนอลจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อพืชมีการซ่อมแซมตัวเองจากบาดแผลและต้านทานการบุกรุกจากเชื้อจุลินทรีย์ (Dixson and Paiva, 1995) สอดคล้องกับการทดลองของ De Reuck *et al*. (2009) ที่ทำการเก็บรักษาลิ้นจี่ในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ร่วมกับการเติมสาร 1-methylcyclopropene (1-MCP) แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์ polyphenoloxidase (PPO) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งเอนไซม์ PPO จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลและออกซิเจนก่อให้เกิดสารสีน้ำตาลเมื่อลิ้นจี่เกิดการแก่ เกิดบาดแผล หรือถูกรุกรานจากเชื้อจุลิทรีย์

4.1.2.7 กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วันพบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 10 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 3 นาทีและที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นเวลานาน 5 นาที มีปริมาณกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 0.039±0.006 และ 0.043±0.003 มิลลิกรัมกรัม gallic acid ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ ที่มีปริมาณกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 0.038±0.002 กรัม gallic acid ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง อีกทั้งปริมาณกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีทดลองมีปริมาณที่ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ตารางที่ 4 ภาพที่ 24และตารางภาคผนวกที่ 17)

จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระไม่มีความสัมพันธ์กันกับปริมาณสารประกอบฟีนอลในระหว่างที่ทำการเก็บรักษายอดซาโยเต้อินทรีย์ แต่มีความสัมพันธ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กับปริมาณสารคลอโรฟิลล์ โดยเฉพาะยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ กล่าวคือ ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการทดลองมีปริมาณกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระลดลง สอดคล้องกับการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ในระหว่างที่ทำการเก็บรักษา

สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารประกอบที่ทำหน้าที่ในการยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของโมเลกุลต่างๆ โดยสารต้านอนุมูลอิสระจะเข้ายับยั้งปฏิกิริยาในขั้นตอนของการเริ่มต้นหรือในระหว่างการเพิ่มจำนวนของปฏิกิริยาลูกโซ่ (Lanfer-Maequez *et al.*, 2005) โดยคลอโรฟิลล์เป็นกลุ่มของสารสีที่พบมากในพืชสีเขียว มีคุณสมบัติที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระได้ (Endo, 1985)

4.1.2.8 การเน่าเสีย

ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส พบว่า มีการเน่าเสียที่เกิดขึ้นน้อยกว่ายอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยความเสียหายที่เกิดขึ้นทำให้ยอดซาโยเต้อินทรีย์มีลักษณะลำต้นที่โค้งงอเป็นรูปตัวยู (U) สูญเสียความแข็งแรง ใบเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และมือเกาะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เพราะฉะนั้นการลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์ก่อนนำมาเก็บรักษาสามารถช่วยชะลออาการเน่าเสียที่จะเกิดขึ้นกับยอดซาโยเต้อินทรีย์ได้ (ภาพที่ 13)

การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีผลช่วยลดความร้อนที่ติดมากับผลิตผลจากแปลงปลูก และลดอุณหภูมิภายในตัวผลิตผลลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้กระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆภายในเซลล์ผลิตผลเกิดช้าลง การสูญเสียน้ำน้อยลง ชะลอการเสื่อมสภาพของผลิตผล และผลิตผลมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น (Rudnucki *et al*., 1991; Thompson *et al*., 2002) สอดคล้องกับการทดลองของ Artes and Martinez (1995) ที่รายงานว่า การลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อพันธุ์ Salinas โดยระบบสุญญากาศแล้วทำการบรรจุลงในถุงโพลีโพรพิลีน จากนั้นทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90-95 เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์พบว่า ผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยระบบสุญญากาศมีลักษณะปรากฏภายนอกและคุณภาพโดยรวมดีกว่าผักกาดหอมห่อที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังมีรายงานการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษา และพบว่าสามารถที่จะช่วยชะลอการเกิดสีชมพู (Pink Rib) บริเวณเส้นใบ และความเสียหายต่อใจกลางใบ ระหว่างการเก็บรักษาได้ (Martínez and Artés, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2.9 อายุการเก็บรักษา

ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส พบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่ความดัน 11 มิลลิบาร์เป็นระยะเวลานาน 5 นาที มีอายุการเก็บรักษานานที่สุดเท่ากับ 7.40±0.55 วัน ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่ความดัน 10 มิลลิบาร์เป็นระยะเวลานาน 3 นาทีมีอายุการเก็บรักษานาน 5.80±0.84 วัน ส่วนยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษานาน 5.00±0.00 วัน (ตารางที่ 4)

อายุการเก็บรักษาของยอดซาโยเต้อินทรีย์จากการทดลองนี้ใช้เกณฑ์ประเมินจากการเน่าเสียเป็นหลัก นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงทางด้านการสูญเสียน้ำหนักก็เป็นอีกหนึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการประกอบการตัดสินใจ โดยหากยอดซาโยเต้อินทรีย์ทุกกรรมวิธีในแต่ละการทดลองมีการสูญเสียน้ำหนักอยู่ในช่วงร้อยละ 4 ถึง 10 จะถือว่าคุณภาพของยอดซาโยเต้อินทรีย์เริ่มลดต่ำลง เมื่อทำการพิจารณาจากเกณฑ์ข้างต้นแล้ว จึงทำให้ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่ายอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ สอดคล้องกับการทดลองศึกษาการยืดอายุการใช้งานของดอกแดฟโฟดิล (Sun and Brosnan, 1999) และดอกลิลลี่ (Brosnan and Sun, 2003) โดยการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ พบว่า ดอกแดฟโฟดิลและดอกลิลลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

ตารางที่ 2 การสูญเสียน้ำหนักสด ค่า L*, ค่า chroma และ ค่า hue angle ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 5 วัน

วิธีการ	การสูญเสียน้ำหนักสด (ร้อยละ)	ค่า L*	ค่า chroma	ค่า hue angle (องศา)
Control	6.764±1.246[a]	40.21±1.33	10.30±2.32	116.98±2.94
Vacuum 1	4.944±1.634[b]	40.66±2.23	11.99±2.19	119.00±1.89
Vacuum 2	4.428±0.980[b]	41.85±1.71	12.88±2.49	118.42±1.37

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Vacuum 1 คือ พารามิเตอร์ที่ความดัน 10 mbar เป็นระยะเวลา 3 นาที

Vacuum 2 คือ พารามิเตอร์ที่ความดัน 11 mbar เป็นระยะเวลา 5 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3 ปริมาณวิตามินซี คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และ คลอโรฟิลล์ทั้งหมดของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 5 วัน

วิธีการ	ปริมาณวิตามินซี (mg/100 g FW)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (mg/100 g FW)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (mg/100 g FW)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg/100 g FW)
Control	3.166±1.011	0.072±0.017	0.042±0.010	0.117±0.028
Vacuum 1	3.866±0.152	0.080±0.016	0.046±0.009	0.129±0.026
Vacuum 2	3.200±1.126	0.070±0.007	0.041±0.005	0.113±0.012

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Vacuum 1 คือ พารามิเตอร์ที่ความดัน 10 mbar เป็นระยะเวลา 3 นาที

Vacuum 2 คือ พารามิเตอร์ที่ความดัน 11 mbar เป็นระยะเวลา 5 นาที

ตารางที่ 4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอล กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 วัน และอายุการเก็บรักษา

วิธีการ	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (ร้อยละ)	ปริมาณสารประกอบฟีนอล (mg/ g DW)	กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ (mg/g DW)	อายุการเก็บรักษา (วัน)
Control	6.900±0.625[a]	0.443±0.040[a]	0.038±0.002	5.00±0.00[a]
Vacuum 1	4.470±0.262[b]	0.373±0.035[b]	0.039±0.006	5.80±0.84[b]
Vacuum 2	4.400±0.264[b]	0.368±0.022[b]	0.043±0.003	7.40±0.55[c]

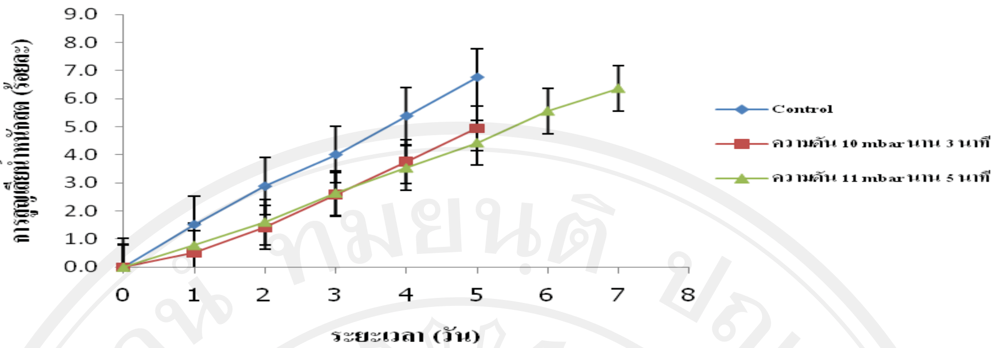
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Vacuum 1 คือ พารามิเตอร์ที่ความดัน 10 mbar เป็นระยะเวลา 3 นาที

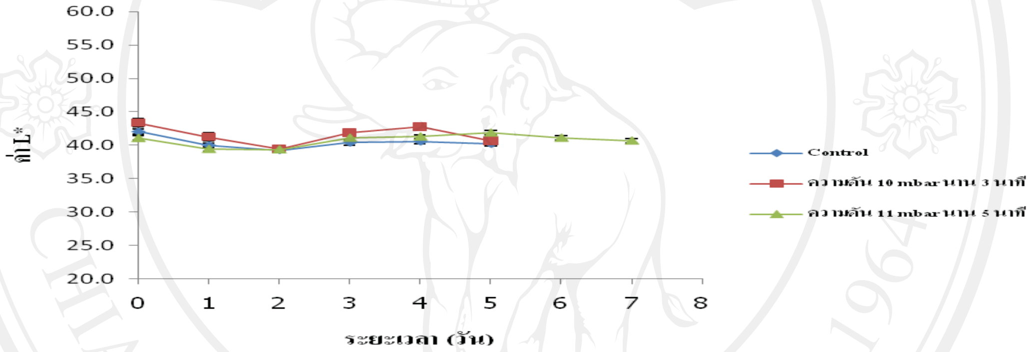
Vacuum 2 คือ พารามิเตอร์ที่ความดัน 11 mbar เป็นระยะเวลา 5 นาที

ภาพที่ 13 ยอดซาโยเต้อินทรีย์หลังผ่านการเก็บรักษา 5 วัน (ซ้าย) และลักษณะลำต้นที่โค้งงอของยอดซาโยเต้อินทรีย์ (ขวา)

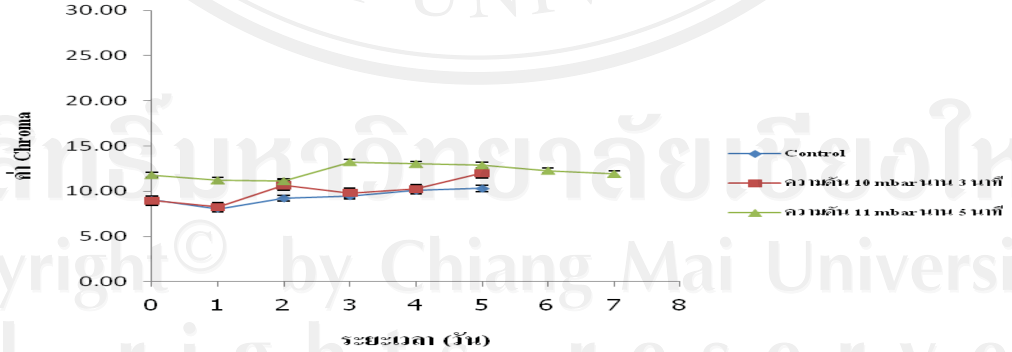
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 14 การสูญเสียน้ำหนักสด (ร้อยละ) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน

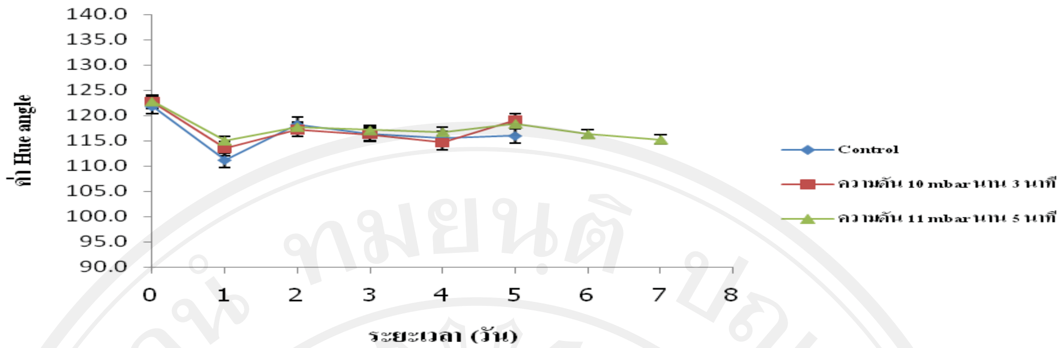


ภาพที่ 15 ค่า L* ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน

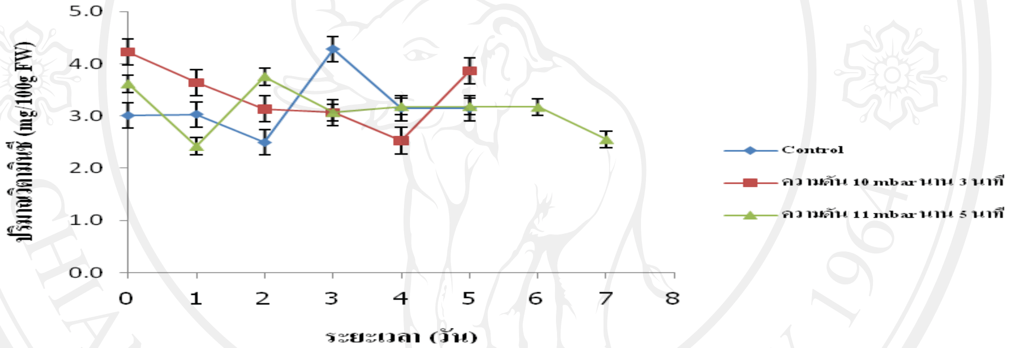


ภาพที่ 16 ค่า chroma ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน

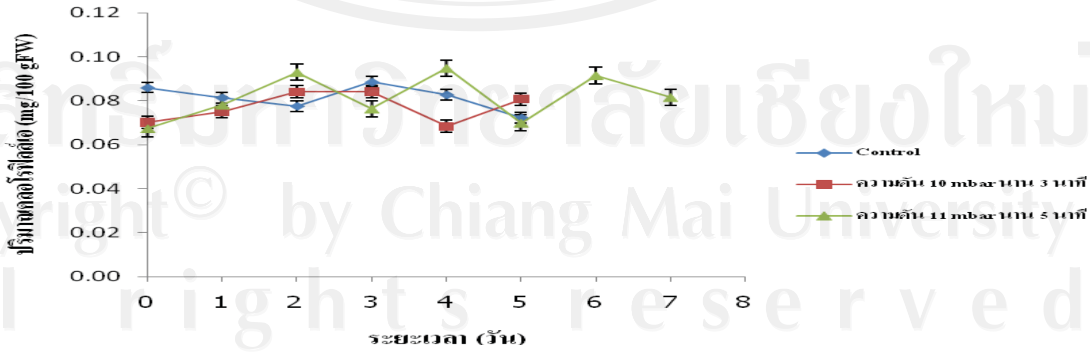
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 17 ค่า hue angle ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน

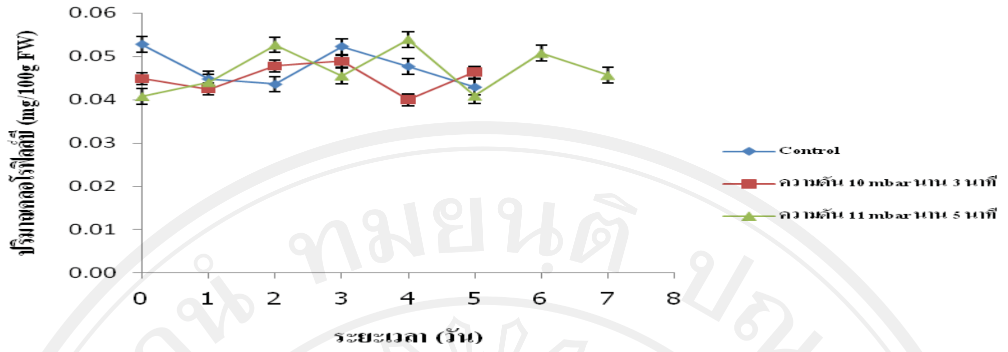


ภาพที่ 18 ปริมาณวิตามินซี (mg/100g FW) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน

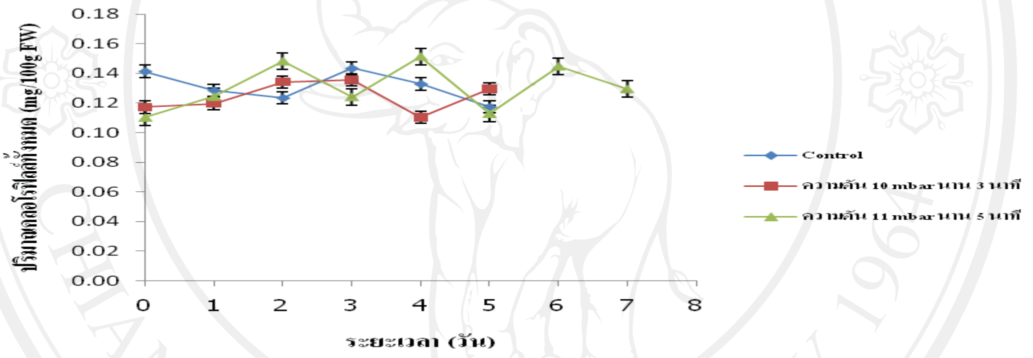


ภาพที่ 19 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (mg/100g FW) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน

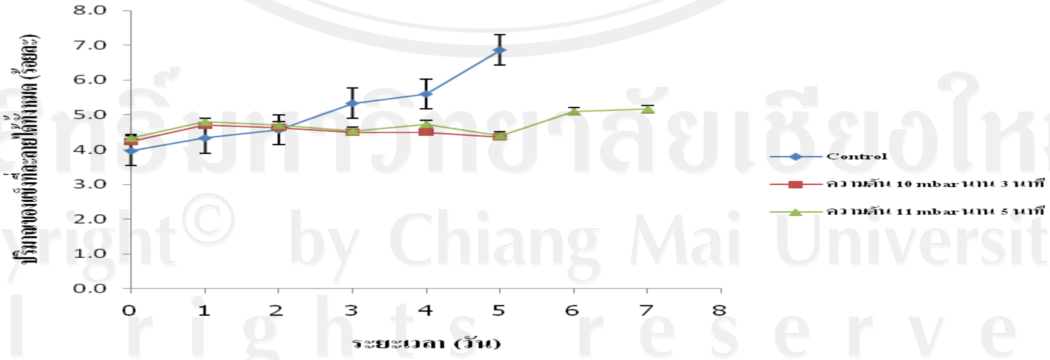
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 20 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (mg/100g FW) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 7 วัน

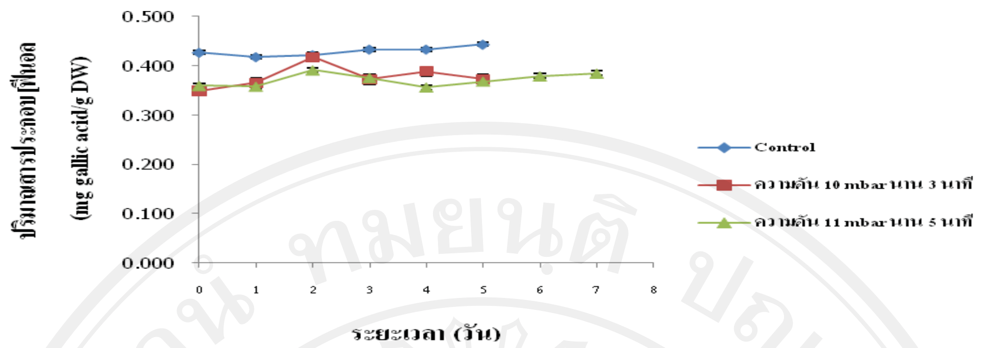


ภาพที่ 21 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg/100g FW) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 7 วัน

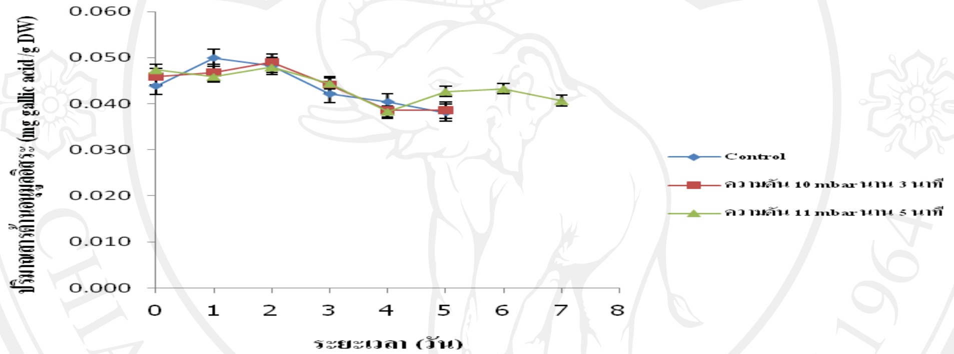


ภาพที่ 22 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (ร้อยละ) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 23 ปริมาณสารประกอบฟีนอล (mg gallic acid/g DW) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน



ภาพที่ 24 กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ (mg gallic acid/g DW) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน

4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาเพื่อคัดเลือกบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับยอดซาโยเต้อินทรีย์

4.2.1 การสูญเสียน้ำหนักสด

ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ แล้วนำมาทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุอยู่ในถุงโพลีเอทิลีนมีการสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 3.640±0.837 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับถุงชนิดอื่นที่ใช้ในการทดลอง ในขณะที่ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ มีการสูญเสียน้ำหนักสดที่น้อยที่สุดอยู่ที่ร้อยละ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

0.026±0.011 ตลอดอายุการเก็บรักษา ยอดซาโยเต้อินทรีย์มีการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นในทุกกรรมวิธี (ตารางที่ 5 ภาพที่ 27และตารางภาคผนวกที่ 18)

จากผลการทดลอง พบว่า สาเหตุที่ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนมีการสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุดเนื่องจาก ถุงโพลีเอทิลีนมีการเจาะรู จึงส่งผลให้อากาศและไอน้ำผ่านเข้าออกได้ง่ายทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าถุงชนิดอื่นที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักสดเกิดจากความแตกต่างระหว่างความชื้นภายในผลิตผลกับบรรยากาศ บรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยากาศจึงสามารถลดปัญหาการสูญเสียน้ำหนักสดได้เพราะผลิตผลมีโอกาสสัมผัสบรรยากาศได้น้อยลง (Akbudak, 2008) สอดคล้องกับการทดลองของ Lee (2008) ที่ทำการบรรจุผักสลัดไว้ในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟ 3 ชนิด คือ Cerifeldspar, Alimac และ Torustone แล้วทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 5 วัน พบว่า มีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่าผักสลัดชุดควบคุม รวมถึงการทดลองการเก็บรักษากะหล่ำปม (khorabi) ลงในบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิด oriented polypropylene (OPP) หนา 40 μm. และ บรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิด amide-polyethylene (amide-PE) หนา 40 μm. แล้วทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 วันพบว่า กะหล่ำปมที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์พลาสติกทั้งสองชนิดมีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่ากะหล่ำปมชุดควบคุมที่ไม่ได้บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์พลาสติก (Escalona *et al*., 2007)

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงสี

ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ แล้วนำมาทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ค่า L* ของสีใบยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุอยู่ในถุงแอกทีฟชนิด M2 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับสีใบของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟM4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ โดยยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุอยู่ในถุงแอกทีฟ M2 ถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟM4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ มีค่า L* เท่ากับ 35.56±2.52 , 40.45±1.07 , 41.07±1.24 และ 39.81±1.63 ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ค่า L* ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มที่ค่อนข้างคงที่ (ตารางที่ 5 ภาพที่ 28และตารางภาคผนวกที่ 19)

ค่า chroma ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงแอกทีฟชนิด M4 แล้วนำมาทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน มีค่าเท่ากับ 35.72±1.53 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ค่า chroma ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ตารางที่ 5 ภาพที่ 29และตารางภาคผนวกที่ 20)

สำหรับค่า hue angle ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอกทีฟชนิด M1 แล้วนำมาทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่ามีค่า hue angle มากที่สุด เท่ากับ 124.86±1.46 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ค่า hue angle ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อย (ตารางที่ 5 ภาพที่ 30และตารางภาคผนวกที่ 21)

จากการทดลอง เมื่อพิจารณาแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของสีใบยอดซาโยเต้อินทรีย์ตลอดการเก็บรักษา พบว่า บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองไม่มีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยค่า L* มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ ค่า chroma เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทำให้ใบของยอดซาโยเต้อินทรีย์มีความเข้มเพิ่มขึ้น และค่า hue angle ลดลง ทำให้สีใบของยอดซาโยเต้อินทรีย์เปลี่ยนจากสีเขียวสดไปเป็นสีเขียวแกมเหลือง ซึ่งสอดคล้องและแตกต่างกับการทดลองของ Rizzo and Muratore (2009) ที่ทำการเก็บรักษาเซลารี่ในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิดคือ polyolefin anti-fog (AF) และ polypropylene micro perforated (MP) แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 31 วันพบว่า ค่า chroma ของเซลารี่ที่บรรจุในฟิล์ม AF มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่เซลารี่ที่บรรจุในฟิล์ม MP มีค่าค่อนข้างคงที่ ส่วนเซลารี่ชุดควบคุมมีค่าที่ลดลง นอกจากนี้การทดลองเก็บรักษากระเทียมต้น (leeks) ด้วยการลดความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนร่วมกับการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า ค่า hue angle มีค่าที่ลดลง (Tsouvalzis *et al*., 2008) รวมถึงการเก็บรักษาแท่งเซลารี่ในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพอากาศ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 10 วันพบว่าค่า hue angle ที่ได้จากการทดลองมีค่าที่ลดลงเช่นเดียวกัน (Gomez and Artes, 2005)

4.2.3 ปริมาณวิตามินซี

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซีของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ แล้วนำมาทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องซาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน พบว่า ปริมาณวิตามินซีของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยปริมาณวิตามินซีของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และ ถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ มีค่าเท่ากับ 2.400±1.039, 2.400±1.039, 3.633±1.850, 3.000±1.039, 3.000±1.039 และ 2.400±1.039 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษายอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีพบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซีมีแนวโน้มที่ผันแปร (ตารางที่ 6 ภาพที่ 31และตารางภาคผนวกที่ 22)

จากผลการทดลอง พบว่า บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการบรรจุยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซี สอดคล้องกับการทดลองของ Fonseca *et al.* (2003) ที่ทำการเก็บรักษาผักคะน้าหั่นชิ้นพันธุ์ Galenga ไว้ในสภาพควบคุมบรรยากาศต่างๆ กัน พบว่าปริมาณวิตามินซีผักคะน้าที่เก็บในสภาพควบคุมมีปริมาณไม่ต่างจากผักคะน้าชุดควบคุม

4.2.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์

ผลการทดลองการบรรจุยอดซาโยเต้อินทรีย์ลงในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ แล้วนำมาทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีน โดยยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอกทีฟ M4 พบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มากที่สุด เท่ากับ 0.125±0.020 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ส่วนยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ พบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ น้อยที่สุด เท่ากับ 0.087±0.012 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตลอดการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีแนวโน้มที่ลดลง (ตารางที่ 6 ภาพที่ 32 และตารางภาคผนวกที่ 23)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ แล้วนำมาทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอกทีฟชนิด M4 มีปริมาณเท่ากับ 0.073±0.010 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ของกรรมวิธีที่เหลือจากการทดลอง ตลอดอายุการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีการทดลองมีแนวโน้มที่ลดลง (ตารางที่ 6 ภาพที่ 33และตารางภาคผนวกที่ 24)

สำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ แล้วนำมาทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีน โดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอกทีฟ M4 พบปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 0.202±0.031 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ส่วนยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ พบปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดน้อยที่สุด เท่ากับ 0.141±0.020 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตลอดการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมีแนวโน้มที่ลดลง (ตารางที่ 6 ภาพที่ 34และตารางภาคผนวกที่ 25)

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์จากตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ และ ปริมาณคลอโรฟิลล์มีแนวโน้มที่ลดต่ำลง สอดคล้องกับการทดลองของ Guevara *et al*. (2003) ที่ทำการบรรจุ prickly pear cactus (*Opuntia* spp.) ลงในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ 2 แบบ (passive และ semi-active) พบว่า prickly pear cactus (*Opuntia* spp.) มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ, คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดที่ลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา รวมถึงการทดลองบรรจุผักกาดฮ่องเต้ลงในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน 3 ชนิดคือ polyethylene; PE, PE+5%O_2+2%CO_2 และ perforated oriented polypropylene; POPP (Lu., 2007) และการทดลองการเก็บรักษาบรอคโคลี่ในพลาสติกฟิล์ม 3 ชนิดคือ macro-perforated; Ma-P, micro-perforated; Mi-P และ non-perforated; No-P (Serrano *et al*., 2006) พบว่า ปริมาณของคลอโรฟิลล์ทั้งหมดลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยทั่วไปแล้วในระหว่างการเกิดการวาย (senescence) หรือการเก็บรักษาของผลิตผล ปริมาณคลอโรฟิลล์จะสลายตัวไปเป็นสารที่ไม่มีสี ทำให้สีของแคโรทีนอยด์ปรากฏออกมาให้เห็น และการสูญเสียคลอโรฟิลล์ของผลิตผลนั้นเป็นสิ่งที่แสดงถึงการเสื่อมสลายที่เกิดขึ้น (จริงแท้, 2549)

4.2.5 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

ผลของการเก็บรักษายอดซาโยเต้อินทรีย์ในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่เก็บรักษาในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ เท่ากับร้อยละ 5.900±0.346, 5.800±1.121, 5.333±0.862, 4.933±0.709, 5.400±0.953 และ 5.623±0.577 ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ตารางที่ 7 ภาพที่ 35และตารางภาคผนวกที่ 26)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการทดลอง พบว่า บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ลายได้ และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Gómez and Artés (2005) ที่ทำการเก็บรักษาเซเลรี่ในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 วันพบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของเซลารี่ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย รวมถึงการทดลองในการเก็บรักษาลูกพลับพันธุ์ Fuyu ในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด polyolephynic (PO) และ low density polyethylene (LDPE) แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ร่วมกับที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อีก 5 วันพบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาลูกพลับพันธุ์ Fuyu มีแนวโน้มปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เพิ่มสูงขึ้น (Cia *et al.*, 2006) ในขณะที่บางการทดลอง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีทั้งที่เพิ่มขึ้นและลดลง ดังเช่นในรายงานการทดลองของ Rizzo and Muratore (2009) ที่ทดลองเก็บรักษาเซลารี่ในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือ polyolefin anti-fog และ polypropylene micro-perforated ซึ่งพบว่าเซเลรี่ที่บรรจุใน polyolefin anti-fog มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ลดลง ในขณะที่เซลารี่ที่บรรจุใน polypropylene micro perforated และชุดควบคุมมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เพิ่มสูงขึ้น

4.2.6 ความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์

ยอดซาโยเต้อินทรีย์ในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศมีความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนเท่ากับร้อยละ 0.160±0.357, 0.280±0.521, 0.260±0.527, 1.580±0.822 และ 0.000±0.000 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุภายในถุงโพลีเอทิลีน ที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 19.680±0.044 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนในทุกกรรมวิธียกเว้นถุงโพลีเอทิลีนมีแนวโน้มที่ลดลง (ตารางที่ 7 ภาพที่ 36และตารางภาคผนวกที่ 27)

จากผลการทดลอง พบว่า ชนิดของถุงที่ใช้บรรจุยอดซาโยเต้อินทรีย์มีผลต่อความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนเมื่อเทียบกับยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีน โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในถุงดังกล่าวจะลดต่ำลงและเข้าสู่สภาวะสมดุล ในขณะที่ความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนมีปริมาณค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องจากถุงโพลีเอทิลีนที่ใช้บรรจุยอดซาโยเต้อินทรีย์ มีการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 18 รู ส่งผลให้การถ่ายเทของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อากาศระหว่างสิ่งแวดล้อมกับอากาศภายในถุงเป็นไปได้อย่างอิสระ การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนจากการทดลองนี้ สอดคล้องกับการทดลองการสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงเพื่อทำการบรรจุผลิตผลเช่น ถั่วลันเตา (Pariasca *et al*., 2000) องุ่น (Del Nobile *et al*., 2008) หน่อไม้ฝรั่งสีเขียว (Villanueva *et al*., 2005) ลูกสาเก (Worrell *et al*., 2002) และ กะหล่ำปม (Escalona *et al*., 2007) ที่พบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนมีแนวโน้มที่ลดลงแล้วเริ่มมีปริมาณที่คงที่เมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลของก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์

ถุงแอกทีฟที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นการปรับสัดส่วนของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ โดยความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์จะลดลง ในขณะเดียวกันความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างพอเหมาะ เมื่อความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนลดลง อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนจึงเกิดน้อยลง (นิธิยาและดนัย, 2548) การสร้างสภาวะสมดุลของก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟนั้นเกิดจากช่องว่างระหว่างเฟสและลักษณะของรูพรุนซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติการยอมให้ก๊าซผ่านฟิล์ม และความสามารถในการเลือกให้ก๊าซผ่าน (กาญจนา, 2548)

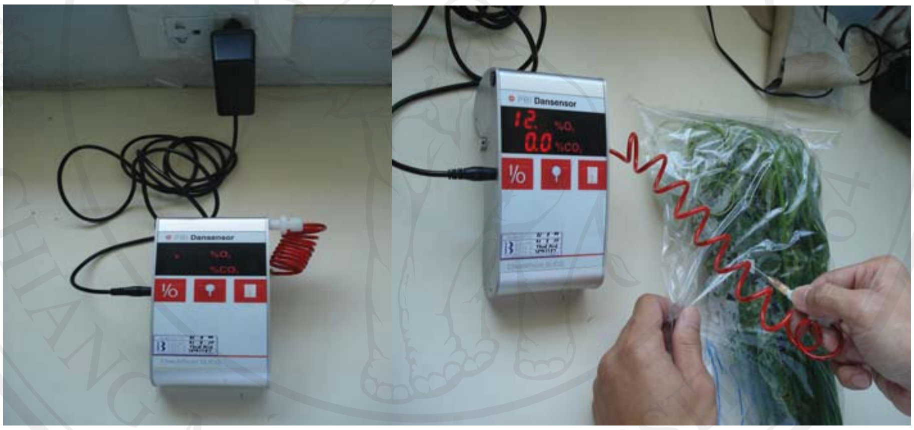
4.2.7 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์

ยอดซาโยเต้อินทรีย์ในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศมีความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 2.420±0.476, 2.300±0.412, 1.400±0.784 และ 10.400±1.234 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุภายในถุงโพลีเอทิลีน ที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.000±0.000 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในทุกกรรมวิธียกเว้นถุงโพลีเอทิลีนมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 7 ภาพที่ 37 และตารางภาคผนวกที่ 28)

จากผลการทดลอง พบว่า ชนิดของถุงที่ใช้บรรจุยอดซาโยเต้อินทรีย์มีผลต่อความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อเทียบกับยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีน โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในถุงดังกล่าวจะเพิ่มสูงขึ้นและเข้าสู่สภาวะสมดุล ในขณะที่ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องจากถุงโพลีเอทิลีนที่ใช้บรรจุยอดซาโยเต้อินทรีย์ มีการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 18 รู ส่งผลให้การถ่ายเทของอากาศระหว่างสิ่งแวดล้อมกับอากาศภายในถุงเป็นไปได้อย่างอิสระ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นภายในถุงที่ใช้ในการทดลองเกิดจากก๊าซออกซิเจนถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ ทำให้ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ทำให้ในระหว่างการเก็บรักษา ความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนมีค่าลดลงในขณะที่ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น (อศิราและคณะ, 2549) และขณะเดียวกันก็จะควบคุมการซึมผ่านเข้าออกของก๊าซให้อยู่ในสภาวะสมดุลตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ทั้งนี้อัตราการซึมผ่านเข้าออกของก๊าซก็ยังขึ้นอยู่กับชนิดของฟิล์มที่นำมาใช้ทำถุงด้วย (Serrano *et al*., 2006) โดยแนวโน้มของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Pariasca *et al*. (2000) ที่ทำการศึกษาการเก็บรักษาถั่วลันเตา และการทดลองของ Escalona *et al*. (2007) ที่ทำการศึกษาการเก็บรักษากะหล่ำปมในสภาพบรรยากาศที่มีการดัดแปลง



ภาพที่ 25 แสดงลักษณะเครื่อง check point (ซ้าย) และการวัดก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ด้วยเครื่อง check point (ขวา)

4.2.8 ปริมาณสารประกอบฟีนอล

ผลของการเก็บรักษายอดซาโยเต้อินทรีย์ในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอกทีฟชนิด M1 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศมีปริมาณเท่ากับ 0.420±0.034 และ 0.417±0.025 มิลลิกรัม gallic acid ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับปริมาณสารประกอบฟีนอลของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีน ที่มีปริมาณเท่ากับ 0.516±0.031 มิลลิกรัม gallic acid ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตลอด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระยะเวลาการเก็บรักษา ปริมาณสารประกอบฟีนอลของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย (ตารางที่ 8 ภาพที่ 38และตารางภาคผนวกที่ 29)

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีการทดลองตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ชนิดของถุงที่ใช้ในการทดลองไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลของยอดซาโยเต้อินทรีย์ และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Alasalvar *et al*. (2005) ที่ทำการเก็บรักษาแครอทสีส้มและสีม่วงหั่นชิ้นในบรรจุภัณฑ์โพลีเอทิลีนที่ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ ที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 13 วัน พบว่า แครอททั้งสองชนิดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลที่เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยแครอทสีม่วงมีแนวโน้มการเพิ่มของสารประกอบฟีนอลที่สูงกว่าแครอทสีส้มมาก การเพิ่มของปริมาณสารประกอบฟีนอลเกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อบาดแผลและการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของพืช ซึ่งปริมาณประกอบสารฟีนอลจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อพืชมีการซ่อมแซมตัวเองจากบาดแผลและต้านทานการบุกรุกจากเชื้อจุลินทรีย์ (Dixson and Paiva, 1995) สอดคล้องกับการทดลองของ De Reuck *et al*. (2009) ที่ทำการเก็บรักษาลิ้นจี่ในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ร่วมกับการเติมสาร 1-methylcyclopropene (1-MCP) แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์ polyphenoloxidase (PPO) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งเอนไซม์ PPO จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลและออกซิเจนก่อให้เกิดสารสีน้ำตาลเมื่อลิ้นจี่เกิดการแก่ เกิดบาดแผล หรือถูกรุกรานจากเชื้อจุลินทรีย์

4.2.9 กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ

การเก็บรักษายอดซาโยเต้อินทรีย์ในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ มีปริมาณของกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 0.045±0.002, 0.045±0.000, 0.042±0.001, 0.037±0.002 และ 0.045±0.002 มิลลิกรัม gallic acid ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีน ที่มีปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 0.025±0.002 มิลลิกรัม gallic acid ต่อกรัมน้ำหนัก ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีทดลองมีแนวโน้มที่ลดลง (ตารางที่ 8 ภาพที่ 39และตารางภาคผนวกที่ 30)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการทดลอง พบว่า ถุงแอกทีฟและถุงโพลีโพรพิลีนที่ใช้บรรจุยอดซาโยเต้ในการทดลองนี้มีผลต่อปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ โดยสามารถลดการสูญเสียปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระได้ และแนวโน้มของปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สอดคล้องกับการทดลองเก็บรักษาแครอทหั่นชิ้นสีส้มและสีม่วงในบรรจุภัณฑ์โพลีเอทิลีนที่ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ ที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 13 วัน พบว่า แครอทสีม่วงหั่นชิ้นมีกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา ในขณะที่แครอทสีส้มหั่นชิ้นมีกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างคงที่ (Alasalvar *et al*., 2005) รวมถึงขนุนตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน 3 ชนิด (gas-flushed PE bag, silicon membrane window PET jars และ PE bags) ก็มีกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระที่ลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา (Saxena *et al*., 2009)

การลดลงของปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของยอดซาโยเต้อินทรีย์เมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นจากการทดลอง พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลแต่สอดคล้องกับปริมาณของสารคลอโรฟิลล์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นซึ่งมีปริมาณที่ลดลงเช่นเดียวกัน โดยสารคลอโรฟิลล์เป็นกลุ่มของสารสีที่พบมากในพืชสีเขียวมีคุณสมบัติที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระได้ (Endo, 1985)

4.2.10 การเน่าเสีย

ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีนเกิดการเน่าเสียมากที่สุดเมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆที่ใช้ในการทดลอง ส่วนยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุอยู่ในถุงแอกทีฟชนิด M1 เกิดการเน่าเสียของยอดซาโยเต้อินทรีย์น้อยที่สุด ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นกับยอดซาโยเต้อินทรีย์ส่งผลให้เกิดลักษณะลำต้นที่โค้งงอเป็นรูปตัวยู (U) สูญเสียความแข็งแรง ใบเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และมือเกาะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ดังนั้นการนำยอดซาโยเต้อินทรีย์มาบรรจุลงในถุงแอกทีฟชนิด M1 ก่อนนำมาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส จึงสามารถช่วยชะลออาการเน่าเสียที่จะเกิดขึ้นกับยอดซาโยเต้อินทรีย์ได้ (ภาพที่ 14)

ภาวะบรรยากาศดัดแปลงในบรรจุภัณฑ์แบบสมดุลนี้จะส่งผลต่อการชะลอการหายใจ การคายน้ำ และลดการเสื่อมสภาพซึ่งทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลสดได้ 2-5 เท่า ได้มีการศึกษาบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศมาใช้ชะลอการเน่าเสียหรือลักษณะที่ไม่เป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภค โดยนำมาใช้กับหน่อไม้ ซึ่งลักษณะที่ไม่เป็นที่ยอมรับของหน่อไม้คือการเกิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สีน้ำตาลและการเพิ่มสูงขึ้นของเส้นใย พบว่า การนำหน่อไม้มาบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศสามารถลดการเกิดอาการดังกล่าวได้ (Shen *et al*., 2006) อีกทั้งยังมีการนำบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศมาใช้ในการเก็บรักษาทับทิมอีกเช่นกัน ซึ่งก็พบว่า สามารถช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลและการเน่าเสียของผลทับทิมได้ (Ding *et al*., 2002)

4.2.11 อายุการเก็บรักษา

ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอกทีฟชนิด M1 มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด คือ 9 วัน ส่วนยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนที่มีการเจาะรูและถุงแอกทีฟชนิด M4 มีอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุด คือ 5 วัน (ตารางที่ 8)

อายุการเก็บรักษาของยอดซาโยเต้อินทรีย์จากการทดลองนี้ใช้เกณฑ์ประเมินจากการเน่าเสียเป็นหลัก นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงทางด้านการสูญเสียน้ำหนักก็เป็นอีกหนึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการประกอบการตัดสินใจ โดยหากยอดซาโยเต้อินทรีย์ทุกกรรมวิธีในแต่ละการทดลองมีการสูญเสียน้ำหนักอยู่ในช่วงร้อยละ 4 ถึง 10 จะถือว่าคุณภาพของยอดซาโยเต้อินทรีย์เริ่มลดต่ำลง เมื่อทำการพิจารณาจากเกณฑ์ข้างต้นแล้ว จึงทำให้ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอกทีฟ M1 มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด

จากผลการทดลอง พบว่า การเก็บรักษายอดซาโยเต้อินทรีย์ไว้ในสภาพดัดแปลงบรรยากาศให้มีปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง สามารถชะลอกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ของผลิตผลและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลให้ยาวนานขึ้น แต่ปริมาณก๊าซออกซิเจนต้องไม่ต่ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต้องไม่สูงเกินกว่าระดับที่พืชสามารถทนได้ เพราะอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผลิตผล (นิธิยาและดนัย, 2548) โดยมีรายงานเกี่ยวกับการนำบรรจุภัณฑ์แบบสภาพบรรยากาศดัดแปลงมายืดอายุผลิตผลให้มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น เช่น การใช้ถุง micro-perforated (45 μm, 0.01% perforation) LDPE และฟิล์ม non-perforated LDPE ในการบรรจุหน่อไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค สามารถยืดอายุการเก็บรักษาหน่อไม้ได้นานถึง 28 วัน (Kleinhenz *et al*., 2000) การเก็บรักษาขนุนตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ผ่านการจุ่มด้วยแคลเซียมคลอไรด์+กรดแอสคอร์บิก+โซเดียมเบนโซเอทแล้วบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ gas-flushed PE bag, silicon membrane window PET jars และ PE bags พบว่ามีอายุการเก็บรักษานานถึง 35, 31 และ 27 วัน ตามลำดับ (Saxena *et al*., 2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 26 ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน 6 ชนิด หลังผ่านการเก็บรักษา 5 วัน

ตารางที่ 5 การสูญเสียน้ำหนักสด ค่า L*, ค่า chroma และค่า hue angle ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 วัน

บรรจุภัณฑ์	การสูญเสียน้ำหนักสด (ร้อยละ)	ค่า L*	ค่า chroma	ค่า hue angle (องศา)
Control	3.640±0.837^{a}	40.45±1.07^{b}	31.26±3.27	122.05±0.58^{a,b}
M1	0.202±0.021	38.09±0.82^{a,b}	27.15±1.00	124.86±1.46^{c}
M2	0.104±0.011	35.56±2.52^{a}	28.22±1.52	123.81±0.73^{b,c}
M3	0.108±0.008	38.66±2.03^{a,b}	29.97±2.14	122.91±1.16^{b}
M4	0.116±0.019	41.07±1.24^{b}	35.72±1.53^{a}	120.75±0.72^{a}
PP	0.026±0.011	39.81±1.63^{b}	31.02±2.81	123.17±0.90^{b,c}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 6 ปริมาณวิตามินซี คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 วัน

บรรจุภัณฑ์	ปริมาณวิตามินซี (mg/100 g FW)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (mg/100 g FW)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (mg/100 g FW)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg/100 g FW)
Control	2.400±1.039	0.113±0.011^{a,b}	0.065±0.007^{a,b}	0.181±0.018^{a,b}
M1	2.400±1.039	0.100±0.015^{a,b}	0.057±0.008^{a,b}	0.160±0.024^{a,b}
M2	3.633±1.850	0.120±0.020^{b}	0.071±0.011^{b,c}	0.196±0.032^{b}
M3	3.000±1.039	0.089±0.003^{a}	0.053±0.002^{a}	0.145±0.006^{a}
M4	3.000±1.039	0.125±0.020^{b}	0.073±0.010^{c}	0.202±0.031^{b}
PP	2.400±1.039	0.087±0.012^{a}	0.051±0.008^{a}	0.141±0.020^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 7 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 วัน

บรรจุภัณฑ์	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (ร้อยละ)	ก๊าซออกซิเจน (ร้อยละ)	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ)
Control	5.900±0.346	19.680±0.044^{a}	0.000±0.000^{a}
M1	5.800±1.121	0.160±0.357	2.420±0.476
M2	5.333±0.862	0.280±0.521	2.300±0.412
M3	4.933±0.709	0.260±0.527	1.400±0.784^{b}
M4	5.400±0.953	1.580±0.822^{b}	0.200±0.173^{a}
PP	5.623±0.577	0.000±0.000	10.400±1.234^{c}

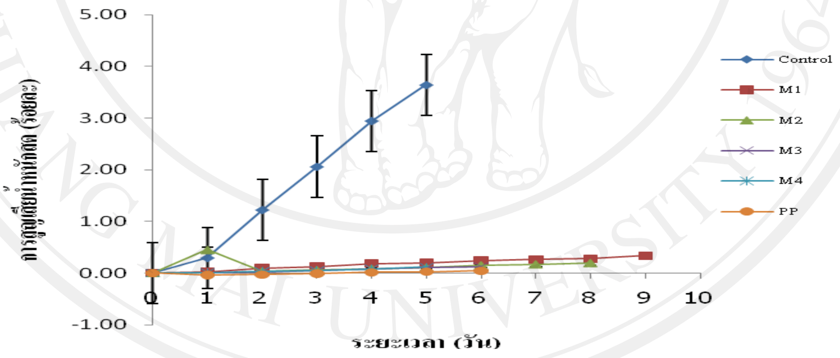
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 8 **ปริมาณสารประกอบฟีนอล กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 วัน และอายุการเก็บรักษา**

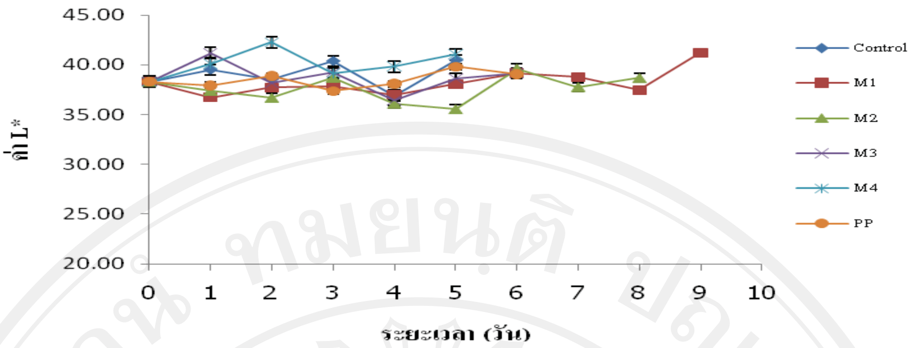
บรรจุภัณฑ์	ปริมาณสารประกอบฟีนอล (mg/ g DW)	กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ (mg/g DW)	อายุการเก็บรักษา (วัน)
Control	0.516±0.031[a]	0.025±0.002[a]	4.80±0.45[a]
M1	0.420±0.034[b]	0.045±0.002	9.00±0.71[f]
M2	0.426±0.020[a,b]	0.045±0.000	8.20±0.45[d]
M3	0.477±0.122[a,b]	0.042±0.001[b]	5.80±0.45[b,c]
M4	0.471±0.044[a,b]	0.037±0.002[c]	5.20±0.45[a,b]
PP	0.417±0.025[b]	0.045±0.002	6.40±0.55[c]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

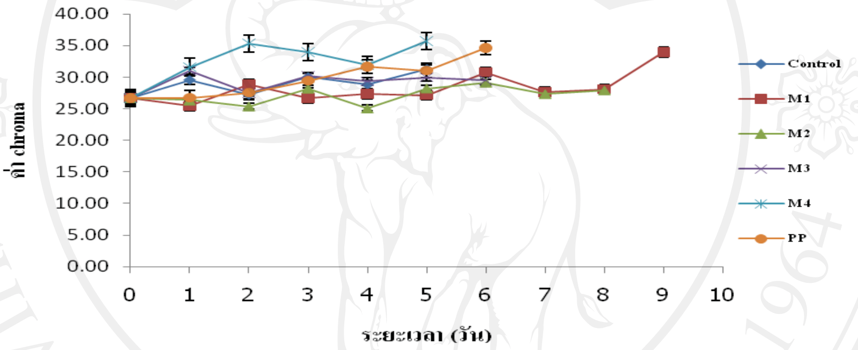


ภาพที่ 27 การสูญเสียน้ำหนักสด (ร้อยละ) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน

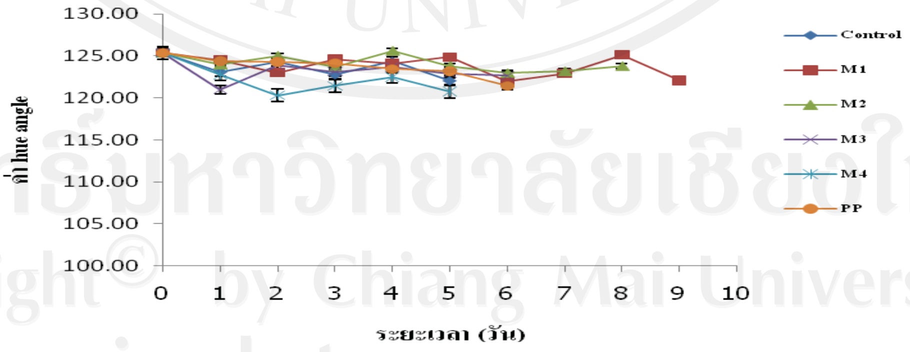
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 28 ค่า L* ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน

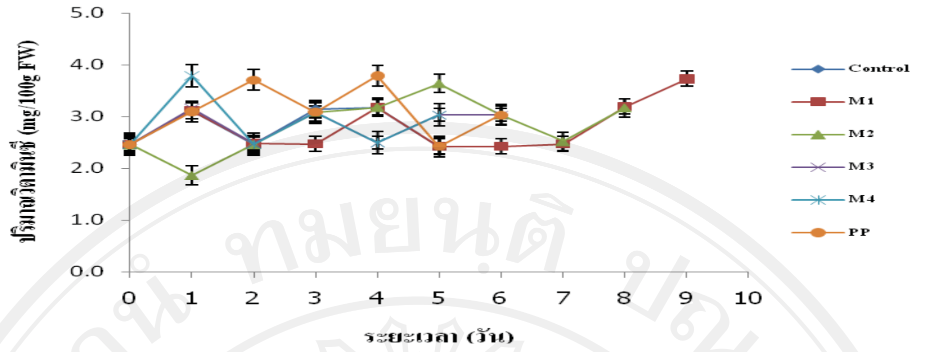


ภาพที่ 29 ค่า chroma ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน

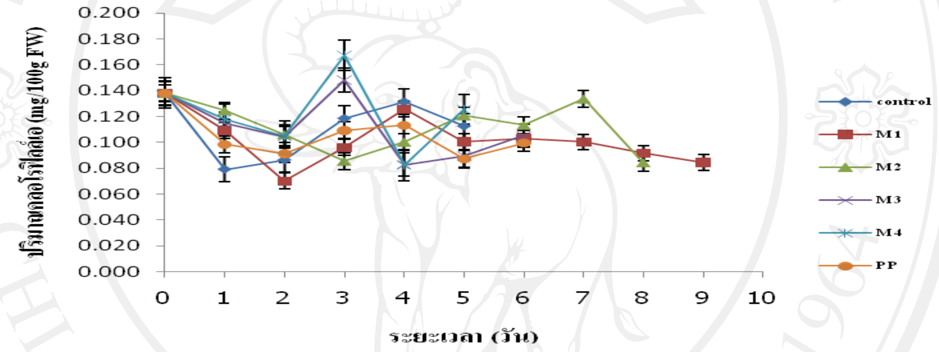


ภาพที่ 30 ค่า hue angle ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน

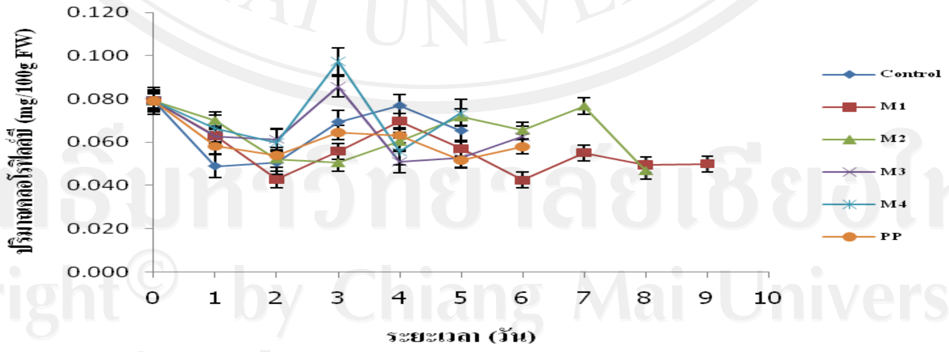
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 31 ปริมาณวิตามินซี (mg/100 g FW) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน

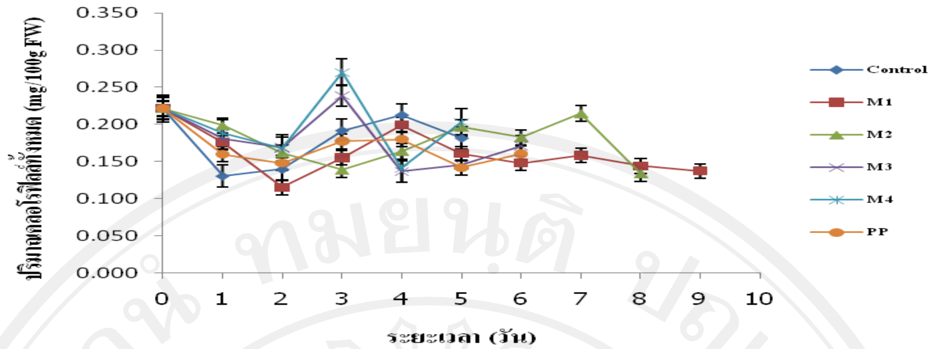


ภาพที่ 32 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (mg/100 g FW) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน

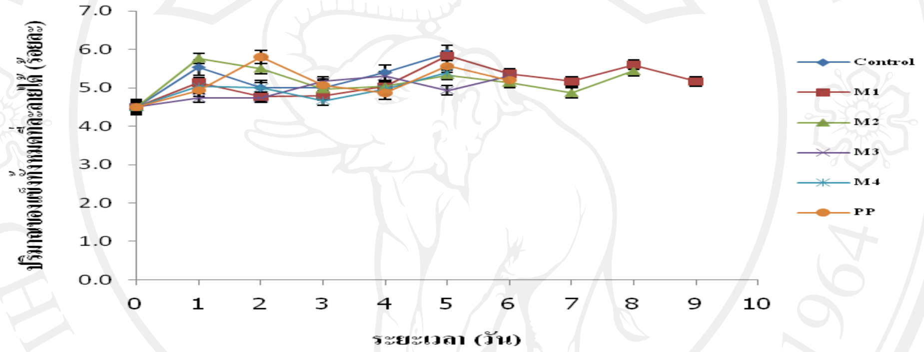


ภาพที่ 33 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (mg/100 g FW) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน

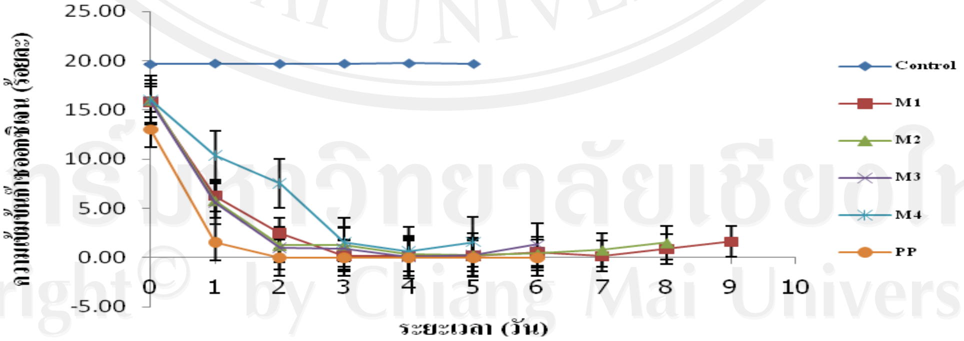
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่34 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg/100 g FW) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน

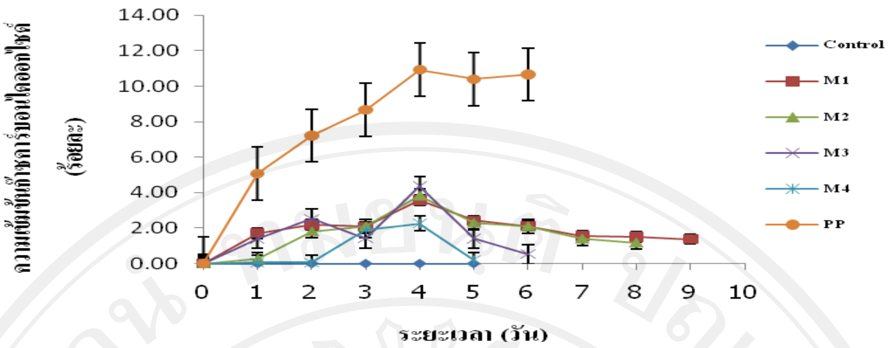


ภาพที่ 35 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (ร้อยละ) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9วัน

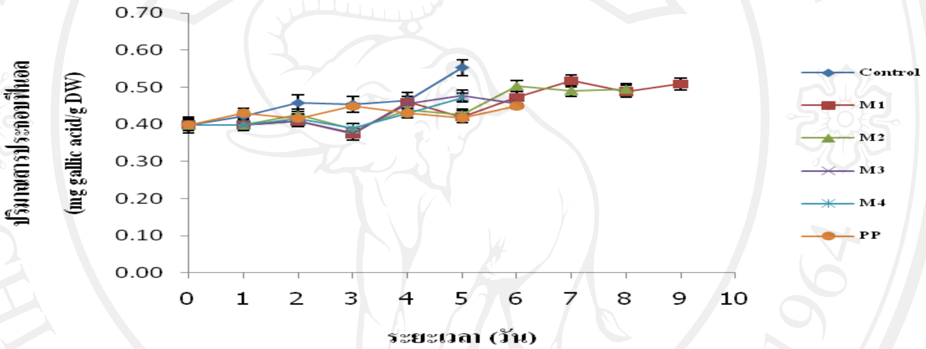


ภาพที่ 36 ความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนของยอดซาโยเต้อินทรีย์ (ร้อยละ) ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน

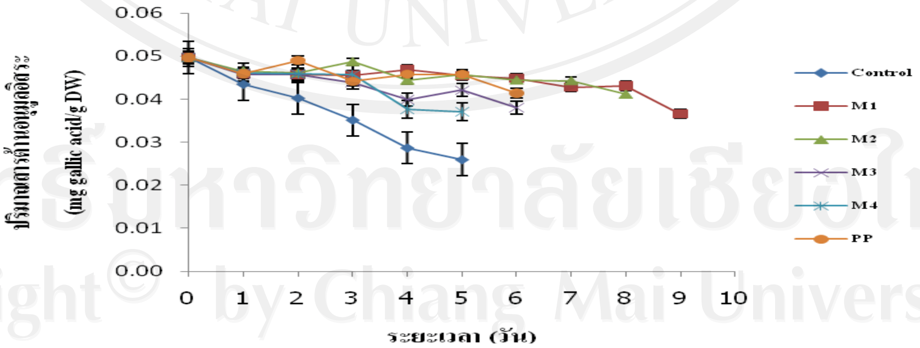
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 37 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ (ร้อยละ) ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน



ภาพที่ 38 ปริมาณสารประกอบฟีนอล (mg gallic acid/g DW) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 9 วัน



ภาพที่ 39 กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ (mg gallic acid/g DW) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็น เวลานาน 9 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของยอดซาโยเต้อินทรีย์เมื่อผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม

จากการทดลองที่ 1 พบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์แบบสุญญากาศคือ การใช้ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลานาน 5 นาที และจากการทดลองที่ 2 พบว่า บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับบรรจุยอดซาโยเต้อินทรีย์คือ ถุงแอกทีฟชนิด M1 และนำยอดซาโยเต้อินทรีย์มาบรรจุลงในถุงแอกทีฟชนิด M1 ร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศด้วยพารามิเตอร์ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลานาน 5 นาที เพื่อศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีเปรียบเทียบกับยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ใช้การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลานาน 5 นาที และยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงแอกทีฟชนิด M1 โดยมียอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนที่มีการเจาะรูและไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิเป็นชุดควบคุม

4.3.1 การสูญเสียน้ำหนักสด

ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์เป็นระยะเวลา 5 นาที ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอกทีฟชนิด M1 และยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟชนิด M1 ร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์ การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และ อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสอง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งแสดงว่าปัจจัยทั้งสามมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักสดของยอดซาโยเต้อินทรีย์ โดยอิทธิพลของถุงแอกทีฟชนิด M1 ส่งผลให้ยอดซาโยเต้อินทรีย์มีการสูญเสียน้ำหนักสดเท่ากับร้อยละ 0.166±0.062 ในขณะที่ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุถุงโพลีเอทิลีนที่มีการสูญเสียน้ำหนักสดเท่ากับร้อยละ 3.561±0.977 (ตารางที่ 9)

อิทธิพลของการลดอุณหภูมิยอดซาโต้อินทรีย์ด้วยระบบสุญญากาศที่พารามิเตอร์ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที ส่งผลให้ยอดซาโยเต้อินทรีย์มีการสูญเสียน้ำหนักสดเท่ากับร้อยละ 1.545±1.455 ซึ่งมีค่าน้อยกว่ายอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิที่มีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 2.182±2.240 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า การสูญเสียน้ำหนักสดของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 9 ภาพที่ 41และตารางภาคผนวกที่ 31)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ถุงแอกทีฟชนิด M1 และการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ พารามิเตอร์ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของยอดซาโยเต้อินทรีย์ได้ โดยการสูญเสียน้ำหรือการคายน้ำออกจากเนื้อเยื่อของพืชเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว เพราะนอกจากการสูญเสียน้ำจะส่งผลต่อน้ำหนักมวลรวมให้ลดลงแล้ว ยังส่งผลต่อคุณลักษณะภายนอกของผลิตผลด้วย เช่น การเหี่ยวแห้งของใบ การเหี่ยวย่นของผิวภายนอก และยังส่งผลต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสด้วย เช่น อ่อนนิ่มลง ความฉ่ำน้ำลดลง การแก้ปัญหาดังกล่าวอาจทำได้โดยการจัดการกับสภาพแวดล้อมที่ใช้เก็บรักษาเช่น เก็บรักษาไว้ที่ที่มีความชื้นสูง อุณหภูมิต่ำ หรือใช้วิธีการที่ปฏิบัติกับผลิตผลโดยตรง เช่น การเคลือบผิวหรือการบรรจุผลิตผลในภาชนะบรรจุที่เป็นพลาสติกหรือฟิล์มที่สามารถกีดขวางหรือลดการสูญเสียน้ำของผลิตผล (Kader and Rolle, 2004) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Tzoumaki *et al.* (2009) ที่พบว่า การบรรจุหน่อไม้ฝรั่งในถาดโฟมและหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์ม และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถที่จะชะลอการสูญเสียน้ำหนักของหน่อไม้ฝรั่งได้ เช่นเดียวกับ Sankat and Maharaj (1996) ศึกษาการเก็บรักษาผักชีฝรั่ง (*Eryngium foetidum* L.) ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์โพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักสดต่ำกว่าผักชีฝรั่งในชุดควบคุม รวมถึงการทดลองของ Tao *et al.* (2006) ที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของเห็ดสีขาวหลังจากที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ พบว่า การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักสดของเห็ดสีขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงสี

ผลการเปลี่ยนแปลงสีของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์เป็นระยะเวลา 5 นาที ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอกทีฟชนิด M1 และยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟชนิด M1 ร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์ การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และ อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับค่า L* และค่า chroma ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ แต่ในส่วนของค่า hue angle พบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับค่า hue angle ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ จากอิทธิพลของถุงแอกทีฟชนิด M1 พบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์มีค่า L*, chroma และค่า hue angle เท่ากับ 34.59±1.87, 29.17±3.53 และ 122.36±2.22 ตามลำดับ ในขณะที่ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บรรจุถุงโพลีเอทิลีนมีค่า L*, chroma และค่า hue angle เท่ากับ 35.93±2.44, 27.68±2.99 และ 119.32±1.16 ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

จากผลของการลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์แบบสุญญากาศที่พารามิเตอร์ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที พบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์มีค่า L*, chroma และ hue angle เท่ากับ 34.73±2.48, 28.85±3.29 และ 120.98±2.80 ตามลำดับ ในขณะที่ ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่า L*, chroma และ hue angle เท่ากับ 35.78±1.93, 27.99±3.37 และ 120.70±2.22 ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์มีค่า L* ค่อนข้างคงที่ ค่า chroma เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และค่า hue angle มีค่าลดลง (ตารางที่ 9 และ ตารางภาคผนวกที่ 31, 32 และ 33) เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสีของใบยอดซาโยเต้อินทรีย์ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 42, 43 และ 44) พบว่า ใบของยอดซาโยเต้อินทรีย์มีสีที่เข้มขึ้น เนื่องจากมีค่า chroma เพิ่มขึ้น และสีของใบเปลี่ยนจากสีเขียวสดไปเป็นสีเขียวปนเหลือง เนื่องมาจากค่า hue angle ที่ลดลงโดยปกติแล้วการเสื่อมสภาพของยอดหรือใบต่างๆในพืชเป็นผลมาจากการที่โปรตีน กรดนิวคลีอิก เยื่อหุ้มส่วนประกอบของเซลล์ เส้นทางการลำเลียงอาหารและน้ำ รวมทั้งคลอโรฟิลล์ถูกย่อยสลาย (Buchanan-Wollaston, 1997) ซึ่งการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์จะนำมาซึ่งการเปลี่ยนสีจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองในพืช (Vicentini *et al*., 1995)

การเปลี่ยนแปลงสีของยอดซาโยเต้อินทรีย์จากการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Pariasca *et al*. (2000) ที่ทำการศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศและควบคุมสภาพบรรยากาศในการเก็บรักษาถั่วลันเตา (*Pisum sativum* L. var. *saccharatum*) พบว่าชนิดบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อค่า L* แต่มีผลต่อค่า chroma และ hue angle และการทดลองของ Turk and Celik (1994) ที่ทำการศึกษาการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของผักกาดหอมพันธุ์ Yedikule และ Lital ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์โพลีเอธิลีนที่มีการเจาะรู พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของสีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับผักกาดหอมที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

4.3.3 ปริมาณวิตามินซี

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์เป็นระยะเวลา 5 นาที ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอกทีฟชนิด M1 และยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟชนิด M1 ร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน พบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์และการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสองมี

ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากอิทธิพลของถุงแอกทีฟ M1 ต่อปริมาณวิตามินซีของยอดซาโยเต้อินทรีย์ พบว่า ปริมาณวิตามินซีของยอดซาโยเต้อินทรีย์มีค่าเท่ากับ 2.433±0.981 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และปริมาณของวิตามินซีของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในถุงโพลีเอทิลีนมีค่าเท่ากับ 3.066±0.981 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 10)

จากอิทธิพลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศต่อปริมาณวิตามินซีของยอดซาโยเต้อินทรีย์ พบว่า ปริมาณวิตามินซีของยอดซาโยเต้อินทรีย์มีค่าเท่ากับ 2.750±1.040 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และปริมาณของวิตามินซีของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 2.750±1.040 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตลอดอายุการเก็บรักษา ปริมาณวิตามินซีของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มที่ค่อนข้างผันแปร (ตารางที่ 10 ภาพที่ 45 และ ตารางภาคผนวกที่ 35)

เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซีจากการทดลอง พบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองและการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลานาน 5 นาที ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี ซึ่งสอดคล้องกับกับผลการทดลองของ Fonseca *et al*. (2003) ที่รายงานว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาคะน้าพันธุ์ Galega หั่นชิ้นไว้ในสภาพควบคุมบรรยากาศที่แตกต่างกันที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสพบว่า คะน้าหั่นชิ้นที่เก็บรักษาไว้ในสภาพควบคุมบรรยากาศพบว่ามีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกับชุดควบคุม รวมถึงการทดลองการเก็บรักษาพริกหยวกในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิต่างๆก็ให้ผลของค่าปริมาณวิตามินซีที่ผันแปรตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นกัน (González-Aguilar *et al*., 2004) รวมถึงงานวิจัยของวิลาวัลย์ (2535) ที่ทำการลดอุณหภูมิต้นกระเทียมและปวยเหล็งแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน พบว่า การลดอุณหภูมิไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซีของผักทั้งสองชนิดในระหว่างที่ทำการเก็บรักษา ในส่วนของอิทธิพลร่วมระหว่างบรรจุภัณฑ์และการลดอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณวิตามินซีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่าสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pariasca *et el*. (2000) ทำการศึกษาอิทธิพลของบรรจุภัณฑ์และการลดอุณหภูมิต่อคุณภาพของถั่วลันเตา โดยนำถั่วลันเตามาผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงด้วยบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศและการลดอุณหภูมิถั่วลันเตาก่อนทำการเก็บรักษาที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์

ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์เป็นระยะเวลา 5 นาที ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอกทีฟชนิด M1 และยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟชนิด M1 ร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ปัจจัยทางด้านชนิดของบรรจุภัณฑ์ และปัจจัยด้านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของยอดซาโยเต้อินทรีย์ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสองต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของยอดซาโยเต้อินทรีย์นั้น พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากอิทธิพลของถุงแอกทีฟชนิด M1 ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของยอดซาโยเต้อินทรีย์ มีค่าเท่ากับ 0.103±0.013, 0.057±0.007 และ 0.164±0.021 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีน มีค่าเท่ากับ 0.126±0.010, 0.071±0.005 และ 0.202±0.016 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

จากผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลานาน 5 นาที มีค่าเท่ากับ 0.124±0.014, 0.069±0.008 และ 0.198±0.023 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีค่าเท่ากับ 0.105±0.013, 0.059±0.008 และ 0.168±0.022 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มที่ลดลง (ตารางที่ 10 ภาพที่ 46, 47,48และตารางภาคผนวกที่ 36, 37 และ 38)

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของปริมาณคลอโรฟิลล์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์ และการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ รวมถึงอิทธิพลร่วมระหว่างทั้งสองปัจจัยในการทดลองนั้นนั้น ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ และมีแนวโน้มที่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Guevara *et al*. (2003) ที่ทำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเก็บรักษา prickly pear cactus stems (*Opuntia* spp.) ในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ที่แตกต่างกันพบว่า prickly pear cactus stems มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยที่บรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศแบบ passive และ ที่ควบคุมความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ที่ร้อยละ 20 สามารถชะลอการเสื่อมสลายของปริมาณคลอโรฟิลล์ได้เมื่อเทียบกับชุด control รวมถึงการทดลองการเก็บรักษาคุณภาพของบรอคโคลี่ที่อุณหภูมิต่ำร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไปการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์จะมีแนวโน้มที่ลดต่ำลง (Serrano *et al*., 2006) โดยที่บรอคโคลี่ที่ไม่ได้บรรจุในบรรจุภัณฑ์มีแนวโน้มการเสื่อมสลายของปริมาณคลอโรฟิลล์ที่มากที่สุด เช่นเดียวกับการลดอุณหภูมิผักกาดหอมห่อด้วยระบบสุญญากาศเมื่อนำไปเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นพบว่าคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมีปริมาณลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา (He *et al.,* 2004) อีกทั้งการทดลองของ Martínez-Sánchez *et al*. (2006) ทำการศึกษาคุณภาพของร็อกเกตสลัดที่ผ่านการล้างทำความสะอาดด้วยวิธีต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี ของร็อกเกตสลัดมีปริมาณลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา เช่นเดียวกันกับการทดลองการเก็บรักษาร็อกเกตสลัดที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดลดลง เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน 14 วัน (Koukounaras *et al*., 2007)

โดยทั่วไปแล้วในระหว่างการเกิดการวาย (senescence) หรือการเก็บรักษาของผลิตผลปริมาณสารคลอโรฟิลล์จะสลายตัวไปเป็นสารที่ไม่มีสี ทำให้สีของแคโรทีนอยด์ปรากฏออกมาให้เห็นและการสูญเสียคลอโรฟิลล์ของผลิตผลนั้นเป็นสิ่งที่แสดงถึงการเสื่อมสลายที่เกิดขึ้น (จริงแท้, 2549) การป้องกันการเสื่อมสลายคลอโรฟิลล์อาจทำได้โดยการลดอุณหภูมิของผลิตผลลง และการเก็บรักษาในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำ เพื่อป้องกันการออกซิไดซ์ที่จะเกิดขึ้น หรือการให้อยู่ในสภาพที่มีแสงสว่าง เพื่อให้มีการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ขึ้นทดแทน (ยงยุทธ, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

4.3.5 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์เป็นระยะเวลา 5 นาที ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอกทีฟชนิด M1 และยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟชนิด M1 ร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของบรรจุภัณฑ์ การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และอิทธิพลร่วมระหว่างทั้งสองปัจจัยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่

ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการศึกษาอิทธิพลของถุงแอกทีฟ M1 ต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของยอดซาโยเต้อินทรีย์มีค่าเท่ากับร้อยละ 5.467±0.763 และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในถุงโพลีเอทิลีนมีค่าเท่ากับร้อยละ 5.920±0.831 (ตารางที่ 11)

จากอิทธิพลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของยอดซาโยเต้อินทรีย์มีค่าเท่ากับร้อยละ 5.550±0.800 และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับร้อยละ 5.831±0.830 ตลอดอายุการเก็บรักษา ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 11 ภาพที่ 49และ ตารางภาคผนวกที่ 39)

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ปัจจัยทางด้านชนิดของบรรจุภัณฑ์ ปัจจัยด้านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และอิทธิพลร่วมระหว่างทั้งสองปัจจัยในการทดลองนั้นนั้น ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ D'Aquino *et al*. (1998) ที่ทำการเก็บรักษาแทนเจอรีนพันธุ์ Minneola ด้วยการใช้ฟิล์มห่อหุ้ม 3 ชนิด คือ MP, CX และ MR film เพื่อสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลง แล้วทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 และ 60 วัน พบว่า แทนเจอรีนที่ห่อหุ้มด้วยฟิล์มทั้ง 3 ชนิดและที่ไม่ได้ถูกห่อหุ้มด้วยฟิล์มมีแนวโน้มของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และแทนเจอรีนที่ไม่ได้ห่อหุ้มด้วยฟิล์มมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มากที่สุด เช่นเดียวกับการทดลองเก็บรักษาข้าวโพดหวานที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยระบบ forced-air cooling และ room cooling ไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ซึ่งภายหลังจากเก็บรักษา เป็นระยะเวลานาน 7 และ 21 วันพบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของข้าวโพดหวานที่ผ่านการลดอุณหภูมิทั้งสองระบบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของข้าวโพดหวานที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ (Cortbaoui, 2005) อีกทั้งอิทธิพลร่วมระหว่างบรรจุภัณฑ์และการลดอุณหภูมิก็ไม่มีผลต่อค่าร้อยละปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้อาจเป็นเพราะเนื่องมาจากเมื่อทำการเก็บรักษานานขึ้นจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้น จึงส่งผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีความเข้มข้นที่สูงขึ้น (จริงแท้, 2544) โดยมีการทดลองที่สนับสนุนข้อความข้างต้นคือ การทดลองของ อนุวัตรและสุธีรา (2544) ที่ทำการศึกษาการเก็บรักษาทุเรียนโดยการเคลือบสาร 4 ชนิดคือ สาร mc, sf#7055, chitosan และ Glucomannan เทียบกับทุเรียนที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบสารพบว่า ทุเรียนในทุกการทดลองเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพิ่มขึ้น ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากทุเรียนมีการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษา

ปริมาณน้ำตาลซึ่งเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ที่วัดได้จาก refractometer ภายหลังการเก็บเกี่ยวอาจจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผลและสภาพแวดล้อมที่ทำการเก็บรักษา โดยปกติผลิตผลถึงแม้จะถูกเก็บเกี่ยวมาจากต้นแม่หรือแปลงปลูกแล้วยังคงมีการหายใจอยู่ตลอดเวลาจะใช้น้ำตาลเป็นแหล่งอาหารหรือพลังงานเป็นส่วนใหญ่ ทำให้ปริมาณน้ำตาลที่สะสมอยู่น้อยลง แต่ปริมาณน้ำตาลที่ลดลงเนื่องจากถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจนั้นนับว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียน้ำของผลิตผล ดั้งนั้นถ้าในระหว่างการเก็บรักษาผลิตผลนั้นยังคงมีการสูญเสียน้ำอย่างต่อเนื่อง อาจจะส่งผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีความเข้มข้นที่เพิ่มสูงขึ้น (จริงแท้, 2544)

4.3.6 ความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์

ผลการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์เป็นระยะเวลา 5 นาที ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอกทีฟชนิด M1 และยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟชนิด M1 ร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ปัจจัยด้านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และอิทธิพลร่วมระหว่างทั้งสองปัจจัยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ปัจจัยด้านชนิดของบรรจุภัณฑ์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากอิทธิพลของถุงแอกทีฟ M1 ต่อความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนของยอดซาโยเต้อินทรีย์ พบว่า ความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนของยอดซาโยเต้อินทรีย์มีค่าเท่ากับร้อยละ 4.66±2.14 และความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในถุงโพลีเอทิลีนมีค่าเท่ากับร้อยละ 19.71±0.12 (ตารางที่ 11)

จากอิทธิพลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศต่อความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนของยอดซาโยเต้อินทรีย์ พบว่า ความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับร้อยละ 11.43±8.73 และความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับร้อยละ 11.03±9.23 ตลอดอายุการเก็บรักษา ความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธียกเว้นยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนมีแนวโน้มที่ลดลงและเข้าสู่สภาวะสมดุล (ตารางที่ 11 ภาพที่ 50และ ตารางภาคผนวกที่ 40)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนของยอดซาโยเต้อินทรีย์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ปัจจัยทางด้านชนิดของบรรจุภัณฑ์ และอิทธิพลร่วมระหว่างทั้งสองปัจจัยในการทดลองนั้น มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนของยอดซาโยเต้อินทรีย์ และมีแนวโน้มลดลงและเข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองการสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงเพื่อทำการบรรจุผลิตผลเช่น ถั่วลันเตา (Pariasca *et al*., 2000) องุ่น (Del Nobile *et al*., 2008) หน่อไม้ฝรั่งสีเขียว (Villanueva *et al*., 2005) ลูกสาเก (Worrell *et al*., 2002) และ กะหล่ำปม (Escalona *et al*., 2007) เป็นต้น พบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนมีแนวโน้มที่ลดลงแล้วเริ่มมีปริมาณที่คงที่เมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลของก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ โดยบรรจุภัณฑ์แอกทีฟที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นการปรับสัดส่วนของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ โดยปริมาณของก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์จะลดลง ในขณะเดียวกันปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างพอเหมาะ เมื่อปริมาณของก๊าซออกซิเจนลดลง อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนจึงเกิดน้อยลง (นิธิยาและดนัย, 2548) โดยการสร้างสภาวะสมดุลของก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟนั้นเกิดจากช่องว่างระหว่างเฟสและลักษณะของรูพรุนซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติการยอมให้ก๊าซผ่านฟิล์ม และความสามารถในการเลือกให้ก๊าซผ่าน (กาญจนา, 2548)

4.3.7 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์

ผลการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์เป็นระยะเวลา 5 นาที ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอกทีฟชนิด M1 และยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟชนิด M1 ร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ปัจจัยด้านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและอิทธิพลร่วมระหว่างทั้งสองปัจจัยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ปัจจัยด้านชนิดของบรรจุภัณฑ์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากอิทธิพลของถุงแอกทีฟ M1 ต่อความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ พบว่า ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.26±0.30 และความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในถุงโพลีเอทิลีนมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.00±0.00 (ตารางที่ 11)

จากอิทธิพลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศต่อความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ พบว่า ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.10±0.23 และความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยอดซาโยเต้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.16±0.26 ตลอดอายุการเก็บรักษา ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธียกเว้นยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นและเข้าสู่สภาวะสมดุล (ตารางที่ 11 ภาพที่ 51 และ ตารางภาคผนวกที่ 41)

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า มีเพียงปัจจัยทางด้านชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นภายในถุงแอกทีฟเกิดจากก๊าซออกซิเจนถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ ทำให้ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ทำให้ในระหว่างการเก็บรักษามีความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนมีค่าลดลงในขณะที่ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณค่าที่เพิ่มสูงขึ้น (อศิราและคณะ, 2549) และขณะเดียวกันถุงแอกทีฟก็จะควบคุมการซึมผ่านเข้าออกของก๊าซให้อยู่ในสภาวะสมดุลตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ทั้งนี้อัตราการซึมผ่านเข้าออกของก๊าซก็ยังขึ้นอยู่กับชนิดของฟิล์มที่นำมาใช้ทำบรรจุภัณฑ์ด้วย (Serrano *et al*., 2006) โดยแนวโน้มของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้นนี้สอดคล้องกับการทดลองของPariasca *et al*. (2000) ที่ทำการศึกษาการเก็บรักษาถั่วลันเตา และการทดลองของ Escalona *et al*. (2007) ที่ทำการศึกษาการเก็บรักษากะหล่ำปมในสภาพบรรยากาศที่มีการดัดแปลง

4.3.8 ปริมาณสารประกอบฟีนอล

ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอกทีฟชนิด M1 และยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟชนิด M1 ร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของบรรจุภัณฑ์ และอิทธิพลร่วมระหว่างทั้งสองปัจจัยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ปัจจัยด้านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากอิทธิพลของถุงแอกทีฟ M1 ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลของยอดซาโยเต้อินทรีย์ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลของยอดซาโยเต้อินทรีย์มีค่าเท่ากับ0.454±0.034 มิลลิกรัม gallic acid ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และปริมาณสารประกอบฟีนอลของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในถุงโพลีเอทิลีนมีค่าเท่ากับ0.540±0.068 มิลลิกรัม gallic acid ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 12) แสดงให้เห็นว่าถุงแอกทีฟ M1 สามารถลดการเพิ่มขึ้นสารประกอบฟีนอลได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากอิทธิพลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลของยอดซาโยเต้อินทรีย์ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ0.480±0.040 มิลลิกรัม gallic acid ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และปริมาณสารประกอบฟีนอลของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ0.514±0.088มิลลิกรัม gallic acid ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตลอดอายุการเก็บรักษา ปริมาณสารประกอบฟีนอลของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 12 ภาพที่ 52และ ตารางภาคผนวกที่ 42)

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของปริมาณสารประกอบฟีนอลของยอดซาโยเต้อินทรีย์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า มีเพียงปัจจัยทางด้านชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลของยอดซาโยเต้อินทรีย์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Leja *et al.* (2001) ที่เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลของบรอคโคลี่ที่ห่อด้วยฟิล์มโพลีเมอริก (polymeric film) กับไม่ได้หุ้มฟิล์ม และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลของบรอคโคลี่ที่ไม่ได้ห่อด้วยฟิล์มโพลีเมอริกมีปริมาณสูงกว่าสารประกอบฟีนอลของบรอคโคลี่ที่ห่อด้วยฟิล์มโพลีเมอริค และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น รวมถึงการทดลองของ Alasalvar *et al.* (2005) ที่ทำการเก็บรักษาแครอทสีส้มและสีม่วงหั่นชิ้นในบรรจุภัณฑ์โพลีเอทธิลีนที่ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ ที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 13 วันพบว่า แครอททั้งสองชนิดมีปริมาณสารฟีนอลเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยแครอทสีม่วงมีแนวโน้มการเพิ่มของสารฟีนอลที่สูงกว่าแครอทสีส้มมาก ในส่วนของอิทธิพลร่วมระหว่างบรรจุภัณฑ์และการลดอุณหภูมิยอดซาโยเต้อินทรีย์นั้นก็มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการทดลองของ Cantwell *et al.* (2002) ที่ทำการเก็บรักษามันแกวที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษานาน 14   วัน เช่นเดียวกับ ผักบางชนิด เช่น บรอคโคลี่ พริกหวาน ปวยเหล็ง และถั่วมีปริมาณสารประกอบฟีนอลที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา (Turkmen *et al.*, 2005) รวมถึงการเก็บรักษามันฝรั่งที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น (Padda and Picha, 2008 การเพิ่มของปริมาณสารประกอบฟีนอลจะเกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อบาดแผลและการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของพืช ซึ่งปริมาณสารฟีนอลิกจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อพืชมีการซ่อมแซมตัวเองจากบาดแผลและต้านทานการบุกรุกจากเชื้อจุลินทรีย์ (Dixson and Paiva, 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.9 กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ

ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอกทีฟชนิด M1 และยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟชนิด M1 ร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของบรรจุภัณฑ์ ปัจจัยด้านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและอิทธิพลร่วมระหว่างทั้งสองปัจจัยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากอิทธิพลของถุงแอกทีฟ M1 ต่อปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของยอดซาโยเต้อินทรีย์ พบว่า ปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของยอดซาโยเต้อินทรีย์มีค่าเท่ากับ 0.042±0.001 มิลลิกรัม gallic acid ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในถุงโพลีเอทิลีนมีค่าเท่ากับ 0.031±0.005 มิลลิกรัม gallic acid ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 12)

จากอิทธิพลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศต่อปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของยอดซาโยเต้อินทรีย์ พบว่า ปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 0.040±0.002 มิลลิกรัม gallic acid ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 0.034±0.009 มิลลิกรัม gallic acid ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตลอดอายุการเก็บรักษา ปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของยอดซาโยเต้อินทรีย์ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มที่ลดลง (ตารางที่ 12 ภาพที่ 53 และตารางภาคผนวกที่ 43) เมื่อพิจารณาแนวโน้มของปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของยอดซาโยเต้อินทรีย์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ปัจจัยทางด้านชนิดของบรรจุภัณฑ์ ปัจจัยด้านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและอิทธิพลร่วมระหว่างทั้งสองปัจจัย มีผลต่อปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของยอดซาโยเต้อินทรีย์ แสดงให้เห็นว่าทั้งสามปัจจัยสามารถช่วยลดการสูญเสียปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระได้ และปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของยอดซาโยเต้อินทรีย์มีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองเก็บรักษาแครอทหั่นชิ้นสีส้มและสีม่วงในบรรจุภัณฑ์โพลีเอทธิลีนที่ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ ที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 13 วันพบว่า แครอทสีม่วงหั่นชิ้นมีกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา ในขณะที่แครอทสีส้มหั่นชิ้นมีกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างคงที่ (Alasalvar *et al*., 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการทดลองนี้ พบว่า ปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลแต่สอดคล้องกับปริมาณของสารคลอโรฟิลล์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นซึ่งมีปริมาณที่ลดลงเช่นเดียวกัน โดยสารคลอโรฟิลล์เป็นกลุ่มของสารสีที่พบมากในพืชสีเขียว มีคุณสมบัติที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระได้ (Endo, 1985)

4.3.10 การเน่าเสีย

การเน่าเสียยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1 ถุงโพลีเอทิลีนร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที และถุงแอกทีฟชนิด M1 ร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วนำมาทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องซาเซลเซียส พบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีนเกิดการเน่าเสียมากที่สุด ส่วนยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุอยู่ในถุงแอกทีฟชนิด M1 ร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาทีเกิดการเน่าเสียของยอดซาโยเต้อินทรีย์น้อยที่สุด ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นทำให้ยอดซาโยเต้อินทรีย์มีลักษณะลำต้นที่โค้งงอเป็นรูปตัวยู (U) สูญเสียความแข็งแรง ใบเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และมือเกาะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ดังนั้นการนำยอดซาโยเต้อินทรีย์มาบรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟชนิด M1 ก่อนนำมาการเก็บรักษาสามารถช่วยชะลออาการเน่าเสียที่จะเกิดขึ้นกับยอดซาโยเต้อินทรีย์ได้ (ภาพที่ 52) ซึ่งการเก็บรักษาผลิตผลสดไว้ในสภาพควบคุมบรรยากาศหรือดัดแปลงบรรยากาศร่วมกับอุณหภูมิต่ำสามารถช่วยรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลให้ยาวนานขึ้น เพราะนอกจากจะช่วยชะลอกระบวนการทางชีวเคมีให้เกิดช้าลงแล้วยังสามารถยับยั้งการเข้าทำลายและ/หรือการเจริญเติบโตของแมลงและจุลินทรีย์ต่างๆได้ (Ke and Kader, 1992; Sanchez *et al*., 2003) การลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาสามารถชะลอการเน่าเสียของยอดซาโยเต้อินทรีย์ได้เช่นกัน เนื่องจากการลดอุณหภูมิก่อนการเก็บรักษาเป็นการไล่ความร้อนที่ติดมากับผลิตผลจากสิ่งแวดล้อม และจากการหายใจ ซึ่งทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิต่ำ กระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆเกิดขึ้นช้าลง มีการสูญเสียน้ำน้อยลง และผลิตผลมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น (Thompson *et al.,* 2002) ซึ่งอาจประมาณได้ว่าถ้าอุณหภูมิของผักลดลงทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะช่วยลดอัตราการหายใจได้ประมาณ 2-4 เท่า และการเก็บรักษาผลิตผลที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยลดการสูญเสียน้ำและชะลอการเสื่อมสภาพของผลิตผลได้ แต่อุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาต้องไม่ลดลงมาต่ำกว่าอุณหภูมิที่จะทำให้เกิดการเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (นิธิยาและดนัย, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.11 อายุการเก็บรักษา

การศึกษาอายุการเก็บรักษาของยอดซาโยเต้อินทรีย์ของการทดลองนี้ใช้เกณฑ์ประเมินจากการเน่าเสียเป็นหลัก นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงทางด้านการสูญเสียน้ำหนักก็เป็นอีกหนึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการประกอบการตัดสินใจ โดยหากยอดซาโยเต้อินทรีย์ทุกกรรมวิธีในแต่ละการทดลองมีการสูญเสียน้ำหนักอยู่ในช่วงร้อยละ 4 ถึง 10 จะถือว่าคุณภาพของยอดซาโยเต้อินทรีย์เริ่มลดต่ำลง เมื่อทำการพิจารณาจากเกณฑ์ข้างต้นแล้ว จึงทำให้ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอกทีฟ M1 ร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาทีมีอายุการเก็บรักษานานที่สุด

อายุการเก็บรักษายอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1 ถุงโพลีเอทิลีนร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที และถุงแอกทีฟชนิด M1 ร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วนำมาทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องซาเซลเซียส พบว่า ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีนมีอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุดเท่ากับ 4.80±0.45 วัน ส่วนยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุอยู่ในถุงแอกทีฟชนิด M1 ร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาทีมีอายุการเก็บรักษานานที่สุดเท่ากับ 9.8±0.45 วัน (ตารางที่ 13)

จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ ถุงแอกทีฟที่เหมาะสม และอิทธิพลร่วมระหว่างการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศกับถุงแอกทีฟที่เหมาะสมสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษายอดซาโยเต้อินทรีย์ได้ สอดคล้องกับการทดลองของ Finger *et al.* (2008) ที่รายงานว่า กระเจี๊ยบเขียวที่หุ้มด้วยพลาสติก PVC แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษานานถึง 10 วัน ในขณะที่กระเจี๊ยบเขียวชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษาเพียง 5 วัน รวมถึงการทดลองการเก็บรักษามะเขือเทศพันธุ์ Buffalo ในระยะที่ผิวเปลี่ยนเป็นสีชมพูไว้ในสภาพควบคุมบรรยากาศที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนความเข้มข้นร้อยละ 4 ร่วมกับก๊าซปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมะเขือเทศได้นานกว่าการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ (Nunes *et al.*, 1996) การเก็บรักษาผลิตผลสดไว้ในสภาพควบคุมบรรยากาศหรือดัดแปลงสภาพบรรยากาศให้มีปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง สามารถชะลอกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆของผลิตผลสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลให้ยาวนานขึ้น แต่ปริมาณก๊าซออกซิเจนต้องไม่ต่ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต้องไม่สูงเกินกว่าระดับที่พืชสามารถทนได้ เพราะอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผลิตผล (นิธิยาและดนัย, 2548) ในส่วนของการใช้เทคโนโลยีการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว (pre-cooling) ภายหลังการเก็บเกี่ยวก่อนนำไปวางจำหน่ายหรือเก็บรักษาสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลสดได้ยาวนานขึ้น (Halevy and Mayak, 1981; Nowak and Rudnicki, 1990;

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Turk and Celik, 1993) โดยมีงานทดลองของ Sun and Brosnan (1999) และ Brosnan and Sun (2001) ที่ศึกษาอายุการปักแจกันของดอกแดฟโฟดิลและดอกลิลลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศพบว่าดอกแดฟโฟดิลและดอกลิลลี่มีอายุการปักแจกันที่นานขึ้นกว่าเดิม

ภาพที่ 40 ยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีน ถุงแอกทีฟชนิด M1 ถุงโพลีเอทิลีนร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที และถุงแอกทีฟชนิด M1 ร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

ตารางที่ 9 การสูญเสียน้ำหนักสด ค่า L*, ค่า chroma และค่า hue angle ของยอดซาโยเต้อินทรีย์เมื่อผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 วัน

วิธีการ	การสูญเสียน้ำหนักสด (ร้อยละ)	ค่า L*	ค่า chroma	ค่า hue angle (องศา)
ปัจจัยที่ 1 : บรรจุภัณฑ์				
Control	3.561±0.977[a]	35.93±2.44	27.68±2.99	119.32±1.16[a]
แอกทีฟ M1	0.166±0.062[b]	34.59±1.87	29.17±3.53	122.36±2.22[b]
ปัจจัยที่ 2 : การลดอุณหภูมิ				
ไม่ลดอุณหภูมิ	2.182±2.240[a]	35.78±1.93	27.99±3.37	120.70±2.22
vacuum cooling	1.545±1.455[b]	34.73±2.48	28.85±3.29	120.98±2.80
ปัจจัยที่ 1	*	ns	ns	*
ปัจจัยที่ 2	*	ns	ns	ns
ปัจจัยที่ 1x2	*	ns	ns	ns

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 10 ปริมาณวิตามินซี คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของยอดซาโยเต้อินทรีย์เมื่อผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 วัน

วิธีการ	ปริมาณวิตามินซี (mg/100 g FW)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (mg/100 g FW)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (mg/100 g FW)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg/100 g FW)
ปัจจัยที่ 1 : บรรจุภัณฑ์				
Control	3.066±0.981	0.126±0.010[a]	0.071±0.005[a]	0.202±0.016[a]
แอกทีฟ M1	2.433±0.981	0.103±0.013[b]	0.057±0.007[b]	0.164±0.021[b]
ปัจจัยที่ 2 : การลดอุณหภูมิ				
ไม่ลดอุณหภูมิ	2.750±1.040	0.105±0.013[a]	0.059±0.008[a]	0.168±0.022[a]
vacuum cooling	2.750±1.040	0.124±0.014[b]	0.069±0.008[b]	0.198±0.023[b]
ปัจจัยที่ 1	ns	*	*	*
ปัจจัยที่ 2	ns	*	*	*
ปัจจัยที่ 1x2	*	ns	ns	ns

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่11 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยอดซาโยเต้อินทรีย์เมื่อผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 วัน

วิธีการ	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (ร้อยละ)	ก๊าซออกซิเจน (ร้อยละ)	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ)
ปัจจัยที่ 1 : บรรจุภัณฑ์			
Control	5.920±0.831	19.69±0.10[a]	0.00±0.00[a]
แอกทีฟ M1	5.467±0.763	2.77±1.52[b]	0.26±0.30[b]
ปัจจัยที่ 2 : การลดอุณหภูมิ			
ไม่ลดอุณหภูมิ	5.831±0.830	11.03±9.23	0.16±0.26
vacuum cooling	5.550±0.800	11.43±8.73	0.10±0.23
ปัจจัยที่ 1	ns	*	*
ปัจจัยที่ 2	ns	ns	ns
ปัจจัยที่ 1x2	ns	ns	ns

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 12 ปริมาณสารประกอบฟีนอล กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ ของยอดซาโยเต้อินทรีย์เมื่อผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 วัน

วิธีการ	ปริมาณสารประกอบฟีนอล (mg/ g DW)	กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ (mg/g DW)
ปัจจัยที่ 1 : บรรจุภัณฑ์		
Control	0.540±0.068[a]	0.031±0.005[a]
แอกทีฟ M1	0.454±0.034[b]	0.042±0.001[b]
ปัจจัยที่ 2 : การลดอุณหภูมิ		
ไม่ลดอุณหภูมิ	0.514±0.088	0.034±0.009[a]
vacuum cooling	0.480±0.040	0.040±0.002[b]
ปัจจัยที่ 1	*	*
ปัจจัยที่ 2	ns	*
ปัจจัยที่ 1x2	*	*

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

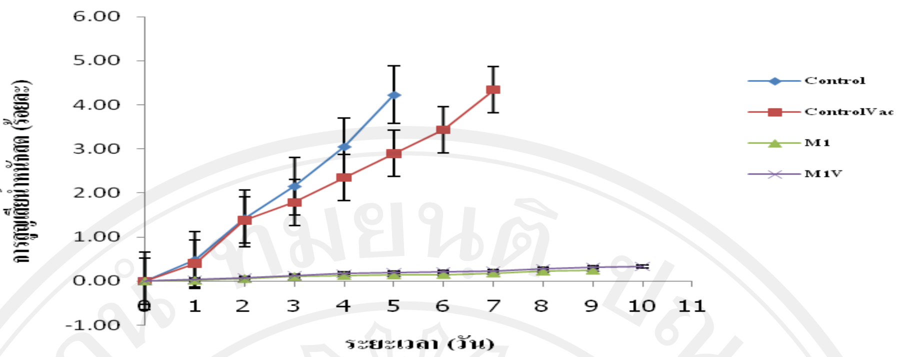
ns คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 13 อายุการเก็บรักษา ของยอดซาโยเต้อินทรีย์เมื่อผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 วัน

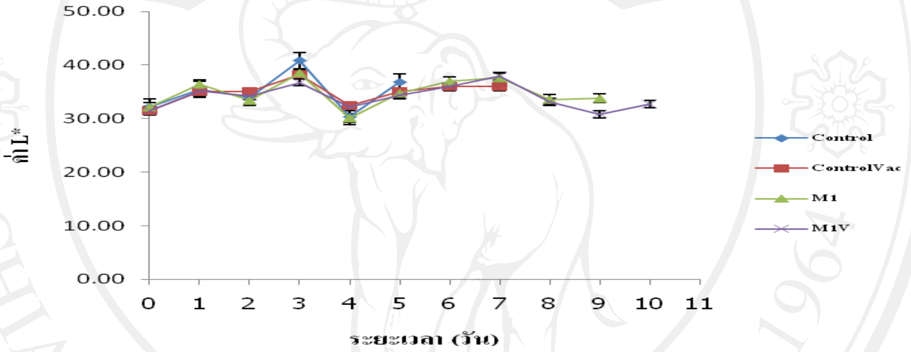
วิธีการ	อายุการเก็บรักษา (วัน)
Control	4.80±0.45[a]
Control+Vacuum cooling	7.0±0.71[b]
M1	8.8±0.45[c]
M1+Vacuum cooling	9.8±0.45[d]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

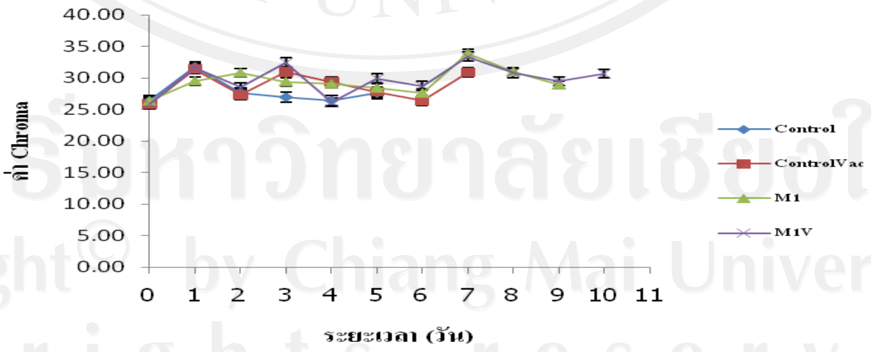
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 41 การสูญเสียน้ำหนักสด (ร้อยละ) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

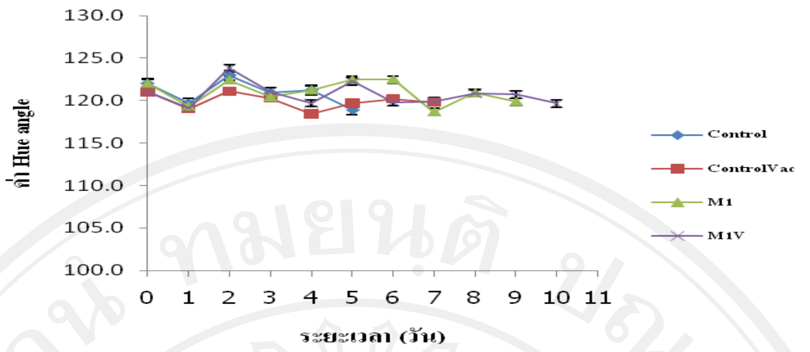


ภาพที่ 42 ค่า L* ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

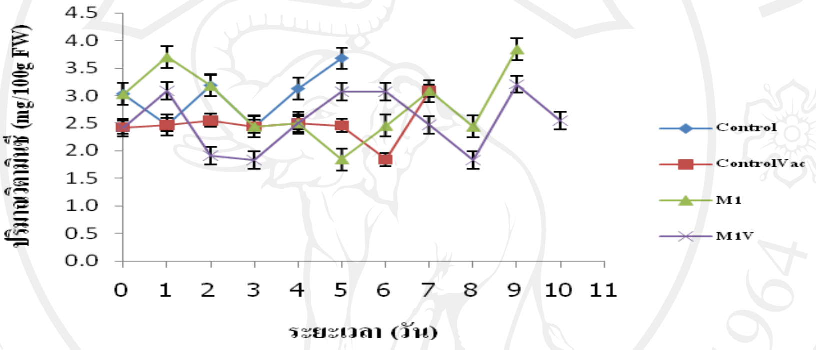


ภาพที่ 43 ค่า chroma ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

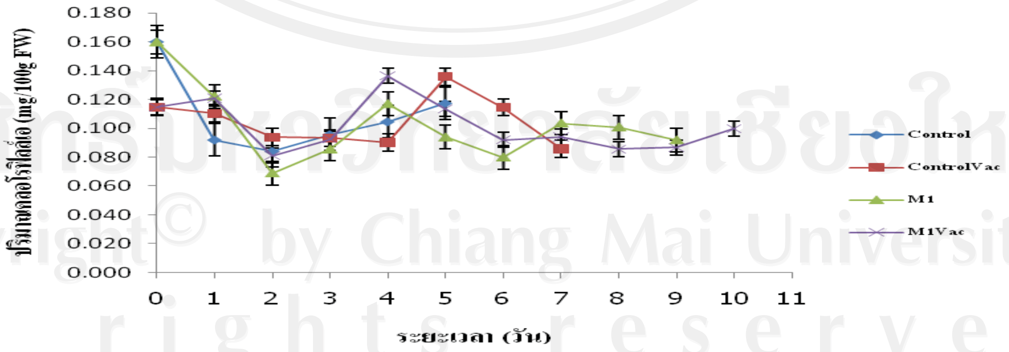
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 44 ค่า hue angle ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

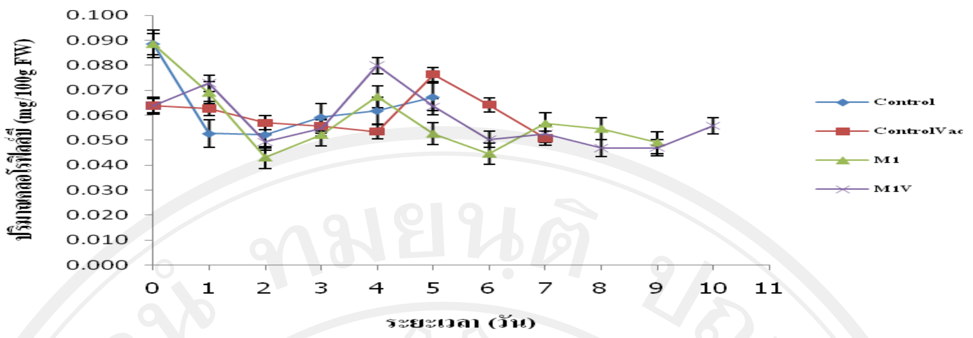


ภาพที่ 45 ปริมาณวิตามินซี (mg/100g FW) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้ บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

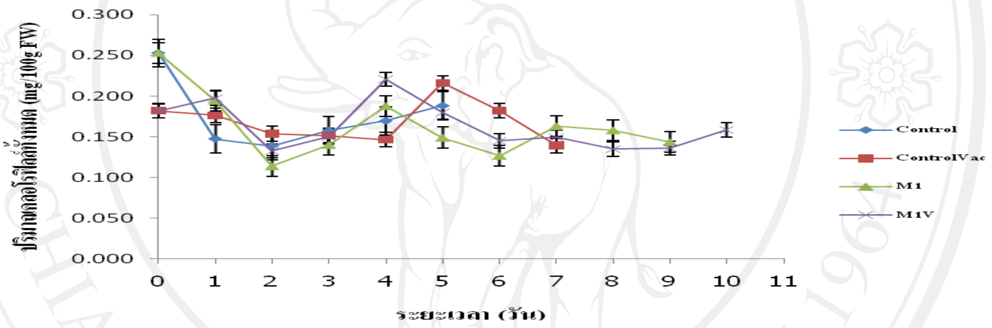


ภาพที่ 46 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (mg/100g FW) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้ บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

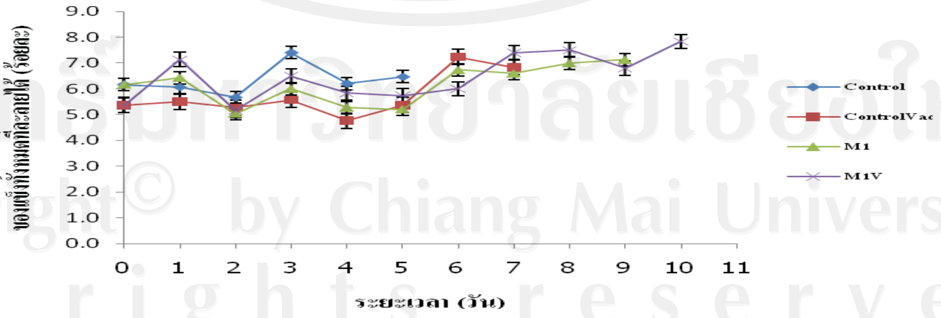
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 47 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (mg/100g FW) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้ บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

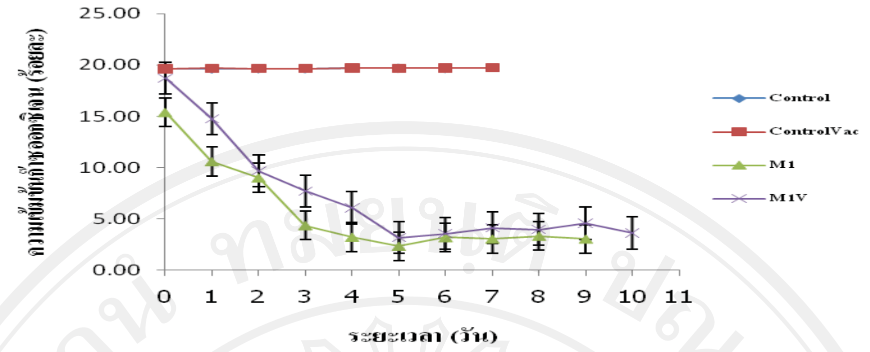


ภาพที่ 48 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg/100g FW) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้ บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

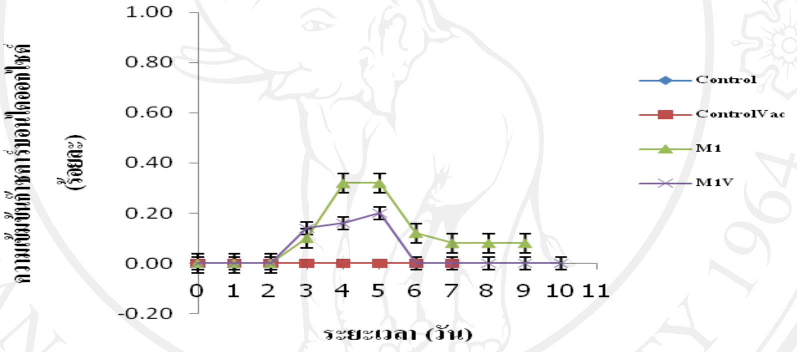


ภาพที่ 49 ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (ร้อยละ) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้ บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

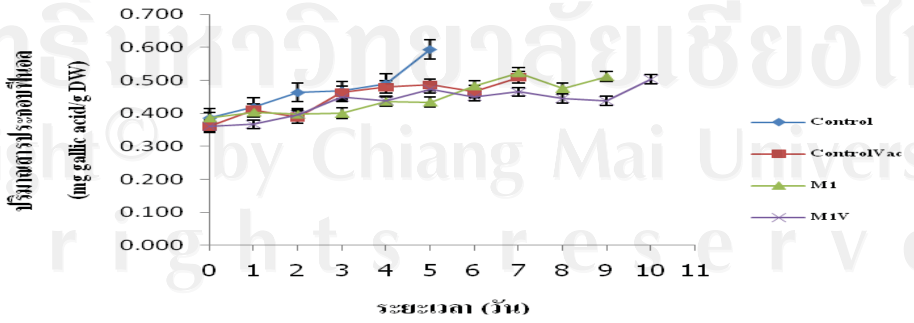
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 50 ความเข้มข้นก๊าซออกซิเจน(ร้อยละ) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้ บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

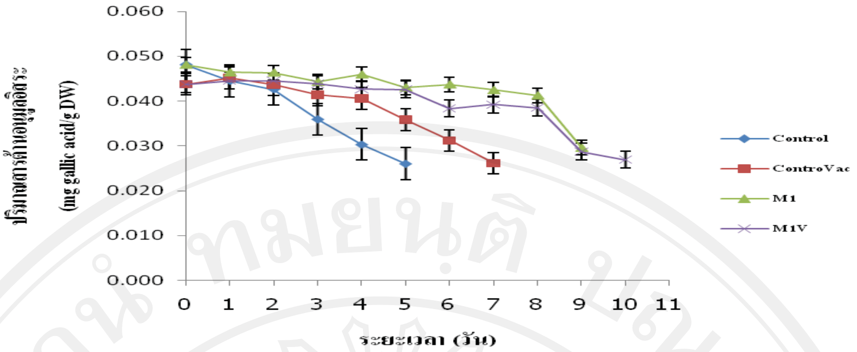


ภาพที่ 51 ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้ บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน



ภาพที่ 52 ปริมาณสารประกอบฟีนอล (mg gallic acid/g DW) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้ บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 53 กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ (mg gallic acid/g DW) ของยอดซาโยเต้อินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้ บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 วัน

4.4 การทดลองที่ 4 การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุยอดซาโยเต้อินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษา

4.4.1 การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุยอดซาโยเต้อินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษา

จากการทดลองที่ 2 และ 3 เมื่อทำการเก็บรักษายอดซาโยเต้อินทรีย์ร่วมกับการตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 6 ชนิด ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ ถุงโพลีเอทิลีนที่มีการเจาะรู ถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และ ถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ โดยทุกถุงมีขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร พบว่า ความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนภายในถุงทุกประเภทยกเว้นถุงโพลีเอทิลีนมีแนวโน้มที่ลดต่ำลงและเข้าสู่สภาวะสมดุลในวันที่ 3 ของการทดลอง แต่ในส่วนของถุงแอกทีฟชนิด M1 ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 11 มิลลิบาร์ เป็นระยะเวลานาน 5 นาที ความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนภายในถุงมีแนวโน้มที่ลดต่ำลงแต่เข้าสู่สภาวะสมดุลในวันที่ 5 ของการทดลอง

สำหรับความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนภายในถุงโพลีเอทิลีน มีความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนที่ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาคือ อยู่ในช่วงร้อยละ 19-21 ซึ่งเป็นความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนที่พบในสภาพบรรยากาศปกติทั่วไป ทั้งนี้เนื่องจากถุงโพลีเอทิลีนมีการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวนทั้งหมด 18 รู จึงทำให้การเคลื่อนที่เข้าออกของก๊าซออกซิเจน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ระหว่างสภาพแวดล้อมกับภายในถุงโพลีเอทิลีนเกิดขึ้นอย่างอิสระและทั่วถึง ด้วยเหตุนี้ความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนภายในถุงโพลีเอทิลีนจึงไม่นำมาศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สำหรับก๊าซออกซิเจนภายในถุงชนิดอื่นๆ พบว่ามีลักษณะแนวโน้มที่ลดลงแบบ exponential decay, hyperbola decay และ rational ซึ่งมีรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ ดังต่อไปนี้

f = a*exp (-b*x) ------------> รูปแบบสมการ 2 พารามิเตอร์ (4.1)

f = y_0 + a*exp (-b*x) ------> รูปแบบสมการ 3 พารามิเตอร์ (4.2)

f = (a*b)/(b+x) -------------> รูปแบบสมการ 2 พารามิเตอร์ (4.3)

f = (a+b*x)/(1+c*x) -------> รูปแบบสมการ 3 พารามิเตอร์ (4.4)

โดยที่ค่า y_0, a, b และ c คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ

f คือ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (%v/v)

x คือ ระยะเวลา (วัน)

จากนั้นทำการหาสมการที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละบรรจุภัณฑ์จากสมการที่เลือกมาทั้งหมด 4 สมการโดยการใช้ค่า Root Mean Square Error (RMSE) เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ โดยสมการที่ให้ค่า RMSE ที่ต่ำที่สุดคือสมการที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้สำหรับทำนายปริมาณก๊าซออกซิเจนในแต่ละบรรจุภัณฑ์ของการทดลองนี้ ค่า RMSE หาได้จากสมการ

$$RMSE = SQRT[Sum\frac{(P-R)^2}{N}]$$

โดยที่ P = Predicted data

R = Raw data

N = Number of data

ค่า RMSE ของแต่ละสมการสำหรับทำนายก๊าซออกซิเจนในแต่ละบรรจุภัณฑ์แสดงดังตารางที่ 14 สมการทำนายความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนที่เหมาะสมในแต่ละบรรจุภัณฑ์สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.5 – 4.10

M1 : f = 0.4346 + 15.4841*exp (-1.0426*x) (4.5)

M2 : f = 0.5965+15.4373*exp (-1.1875*x) (4.6)

M3 : f = 0.3959 + 15.5221*exp (-1.1999*x) (4.7)

M4 : f = -2.0656 + 18.3312*exp (-0.4068*x) (4.8)

PP : f = -0.0349 + 13.0369*exp (-2.1354*x) (4.9)

M1+Vac : f = 3.2564 + 16.0803*exp (0.4473*x) (4.10)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 14 ค่า RMSE ของสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (%v/v) ในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ

ชนิดบรรจุภัณฑ์	สมการ	ค่า RMSE
M1	Eq1 : $f = 15.8759*\exp(-0.9600*x)$	0.66
	Eq2 : $f = 0.4346 + 15.4841*\exp(-1.0426*x)$	0.57
	Eq3 : $f = \frac{(15.9211*0.3893)}{(0.3893+x)}$	1.03
	Eq4 : $f = \frac{15.9111+(-1.6944*x)}{1+(1.7955*x)}$	0.92
M2	Eq1 : $f = 15.9771*\exp(-1.0536*x)$	0.67
	Eq2 : $f = 0.5965+15.4373*\exp(-1.1875*x)$	0.49
	Eq3 : $f = \frac{(16.0268*0.3559)}{(0.3559+x)}$	0.85
	Eq4 : $f = \frac{16.0178+(-1.5264*x)}{1+(2.1033*x)}$	0.68
M3	Eq1 : $f = 15.8873*\exp(-1.1103*x)$	0.60
	Eq2 : $f = 0.3959 + 15.5221*\exp(-1.1999*x)$	0.54
	Eq3 : $f = \frac{(15.9015*0.3285)}{(0.3285+x)}$	0.98
	Eq4 : $f = \frac{15.8925+(-2.5777*x)}{1+(1.8797*x)}$	0.81
M4	Eq1 : $f = 16.4895*\exp(-0.5277*x)$	1.25
	Eq2 : $f = -2.0656 + 18.3312*\exp(-0.4068*x)$	1.15
	Eq3 : $f = \frac{(16.4771*0.9794)}{(0.9794+x)}$	2.01
	Eq4 : $f = \frac{16.2159+(-3.1752*x)}{1+(0.2995*x)}$	1.22
PP	Eq1 : $f = 13.0024*\exp(-2.1601*x)$	0.07
	Eq2 : $f = -0.0349 + 13.0369*\exp(-2.1354*x)$	0.06
	Eq3 : $f = \frac{(13.0020*0.0818)}{(0.0818+x)}$	0.34
	Eq4 : $f = \frac{13.0018+(-3.4427*x)}{1+(6.2961*x)}$	0.22
M1+Vac	Eq1 : $f = 17.9129*\exp(-0.2442*x)$	1.44
	Eq2 : $f = 3.2564 + 16.0803*\exp(0.4473*x)$	0.08
	Eq3 : $f = \frac{(19.3921*1.9486)}{(1.9486+x)}$	1.06
	Eq4 : $f = \frac{19.2993+(-0.3052*x)}{1+(0.4584*x)}$	1.05

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุยอดซาโยเต้อินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษา

จากการทดลองที่ 2 และ 3 เมื่อทำการเก็บรักษายอดซาโยเต้อินทรีย์ร่วมกับการตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 6 ชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ ถุงโพลีเอทิลีนที่มีการเจาะรู ถุงแอกทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และ ถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ โดยทุกถุงมีขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร พบว่า ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุทุกประเภท ยกเว้นถุงโพลีเอทิลีนที่มีการเจาะรู มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นและลดต่ำลงในวันสุดท้ายของการทดลอง แต่เฉพาะในส่วนของบรรจุภัณฑ์โพลีโพรพิลีนมีความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นและคงที่ใน 3 วันสุดท้ายของอายุการเก็บรักษา

ในส่วนของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงโพลีเอทิลีนที่มีการเจาะรู มีความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาคือ มีค่าร้อยละ 0.0 (หน่วยทศนิยมต่ำสุดที่เครื่องตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการทดลองสามารถวัดได้) ซึ่งคาดว่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พบในสภาพบรรยากาศปกติทั่วไป ทั้งนี้เนื่องจากบรรจุภัณฑ์โครงการหลวงมีการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวนทั้งหมด 18 รู จึงทำให้การเคลื่อนที่เข้าออกของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างสภาพแวดล้อมกับภายในถุงโพลีเอทิลีนเกิดขึ้นอย่างอิสระและทั่วถึง ด้วยเหตุนี้ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงโพลีเอทิลีนจึงไม่นำมาศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงแอกทีฟชนิด M3, M4 และ M1 ร่วมกับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ พบว่ามีแนวโน้มที่ไม่คงที่หรือไม่มีรูปแบบตายตัวที่ชัดเจน ยกเว้นในส่วนของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงแอกทีฟชนิด M1, M2 ที่มีแนวโน้มสอดคล้องกับรูปแบบสมการ log normal แบบ 3 พารามิเตอร์ ที่มีรูปแบบสมการดังนี้

$$f = (a/x)\exp[-0.5(\ln(x/x_0)/b)^2] \qquad (4.11)$$

สำหรับถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ มีแนวโน้มสอดคล้องกับรูปแบบสมการ polynomial, exponential rise to maximum (single), hyperbola (single rectangular) และ sigmoidal (hill) โดยรูปแบบของสมการสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.12 – 4.15

$f = y_0 + a*x + b*x^2$ -------> รูปแบบสมการแบบ quadratic (4.12)

f = a*(1-exp(-b*x)) ------> รูปแบบสมการแบบ 2 พารามิเตอร์ (4.13)

f = a*x/(b+x) -------------> รูปแบบสมการแบบ 2 พารามิเตอร์ (4.14)

f = a*x^b/(c^b+x^b) -----> รูปแบบสมการแบบ 2 พารามิเตอร์ (4.15)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยที่ค่า x_0, y_0, a , b และ c คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ

f คือ ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (%v/v)

x คือ ระยะเวลา (วัน)

ค่า RMSE ของสมการที่ใช้ทำนายความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในถุงแอกทีฟชนิด M1, M2 และ ถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ แสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 แสดงค่า RMSE ของสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (%v/v) ในถุงแอกทีฟชนิด M1, M2 และ ถุงโพลีโพรพิลีน

ชนิดบรรจุภัณฑ์	สมการ	ค่า RMSE
M1	$f = (13.5887/x)\ \exp[-0.5(\ln(x/12.3012)/1.2208)^2]$	0.18
M2	$f = (11.3218/x)\ \exp[-0.5(\ln(x/5.7571)/0.6675)^2]$	0.16
PP	$f = 0.471+4.029*x+(-0.426)*x^2$	0.50
	$f = 11.2695*[1-\exp(-0.5520*x)]$	0.42
	$f = \frac{(14.5161*x)}{(1.8768+x)}$	0.45
	$f = \frac{13.3629*(x^{1.1557})}{(1.5976^{1.1557})+(x^{1.1557})}$	0.44

สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในถุงแอกทีฟชนิด M1, M2 และ ถุงโพลีโพรพิลีน แสดงได้ดังสมการที่ 4.16 - 4.18

M1 ; $f = (13.5887/x)\ \exp[-0.5(\ln(x/12.3012)/1.2208)^2]$ (4.16)

M2 ; $f = (11.3218/x)\ \exp[-0.5(\ln(x/5.7571)/0.6675)^2]$ (4.17)

PP ; $f = 11.2695*[1-\exp(-0.5520*x)]$ (4.18)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved