บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของผักชีไทยอินทรีย์

4.1.1 การทดลองที่ 1.1 การศึกษาหาพารามิเตอร์ในการทำงานที่เหมาะสมของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของผักชีไทยอินทรีย์

การศึกษาหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่โครงการหลวงใช้ในปัจจุบันซึ่งเป็นถุงโพลีเอทิลีนขนาด 20x30 เซนติเมตร เจาะรูขนาด 0.5 เซนติเมตรจำนวน 18 รู พบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิผักชีไทยอินทรีย์ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น 22 - 26 องศาเซลเซียส คือการใช้ระดับความดันสุดท้ายที่ 6 มิลลิบาร์ และใช้ระยะเวลาที่ให้ผักชีไทยอินทรีย์อยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเป็นเวลา 1 นาที โดยใช้เวลาในการลดอุณหภูมิผักชีไทยอินทรีย์เป็นเวลา 12 นาที โดยที่ผักชีไทยอินทรีย์มีการสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ 0.67 เปอร์เซ็นต์ และมีการใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิ 0.09 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งคิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.01 บาทต่อกิโลกรัม

4.1.1.1 ความดันในห้องลดอุณหภูมิ

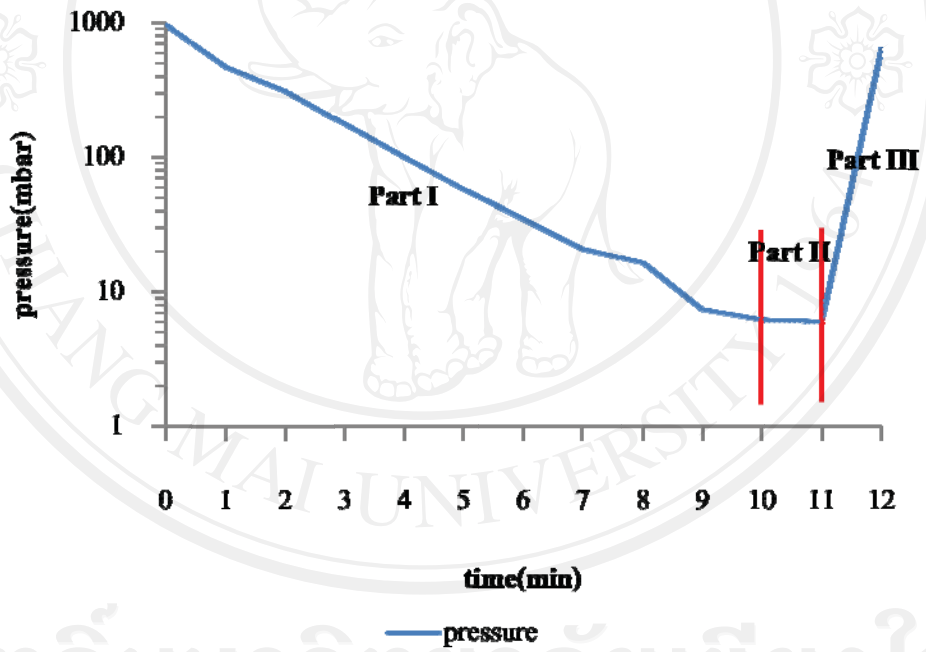
ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิที่ระดับ 6 มิลลิบาร์ ระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของผักชีไทยอินทรีย์ ทำให้อุณหภูมิสุดท้ายของผักชีไทยอินทรีย์ถึงอุณหภูมิที่กำหนดคือ 5 องศาเซลเซียส แต่ที่ระดับความดัน 7 มิลลิบาร์ ไม่สามารถทำให้อุณหภูมิสุดท้ายของผักชีไทยอินทรีย์ถึงอุณหภูมิที่กำหนดได้ ดังตารางที่ 1 โดยที่สามารถแบ่ง ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิออกเป็น 3 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่ความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วจากความดันบรรยากาศ (970 มิลลิบาร์) ถึง 6.2 มิลลิบาร์ ซึ่งใช้เวลาในการลดความดัน 10 นาที โดยในช่วงนี้อัตราการลดลงเฉลี่ยของความดัน คือ 96.46 มิลลิบาร์/นาที หลังจากนั้นเมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงจนถึงช่วงที่ 2 ซึ่งเป็นช่วงที่ความดันในห้องลดอุณหภูมิเริ่มคงที่ตามความดันสุดท้ายที่กำหนด คือ 6.0 มิลลิบาร์ และทำการรักษาระดับความดันให้คงที่ เพื่อให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันตามระยะเวลาที่กำหนดเท่ากับ 1 นาที และช่วงสุดท้าย คือ ช่วงที่เครื่องลดอุณหภูมิคงความดันจน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ครบตามระยะที่กำหนดแล้ว ความดันในห้องลดอุณหภูมิจะถูกปรับเพิ่มขึ้นจนมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ ดังภาพที่ 7

ตารางที่ 1 อุณหภูมิของผักชีไทยอินทรีย์ก่อนและหลังลดอุณหภูมิ

อุณหภูมิของผักชีไทยอินทรีย์	6 มิลลิบาร์			7 มิลลิบาร์		
	1 นาที	2 นาที	3 นาที	1 นาที	2 นาที	3 นาที
อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	25.6	26.8	23.4	24.3	22.4	23.4
อุณหภูมิสุดท้าย (องศาเซลเซียส)	5.6	5.7	4.6	16.3	12.2	7.5



ภาพที่ 7 ความดันในห้องลดอุณหภูมิระหว่างการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของผักชีไทยอินทรีย์ โดยใช้ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ 6 มิลลิบาร์ โดยให้อยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 1 นาที

4.1.1.2 อุณหภูมิในห้องลดอุณหภูมิ

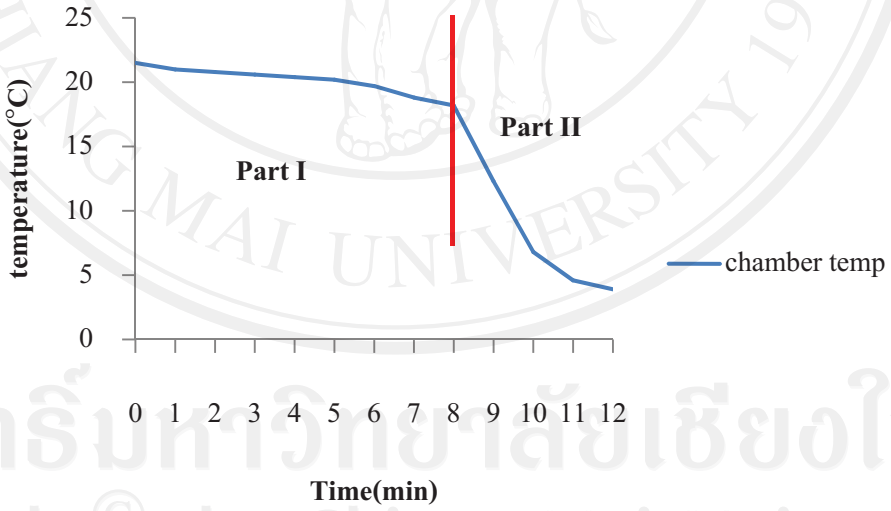
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในห้องลดอุณหภูมิของผักชีไทยอินทรีย์ แสดงดังตารางที่ 2 โดยที่อุณหภูมิเริ่มต้นในห้องลดอุณหภูมิ คือ 21.5 องศาเซลเซียส ในระหว่างการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในห้องลดอุณหภูมิสามารถแบ่งอุณหภูมิของห้องลด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิออกได้เป็น 2 ช่วงที่แตกต่างกัน โดยในช่วงแรก อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีค่าลดลงเล็กน้อยจาก 21.5 องศาเซลเซียส เป็น 18.2 องศาเซลเซียส เนื่องจากผักชีไทยอินทรีย์มีการสะสมพลังงาน ทำให้ดึงความร้อนจากห้องลดอุณหภูมิไปทำให้มีอุณหภูมิลดต่ำลง หลังจากนั้นในช่วงที่ 2 อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจากอุณหภูมิสูงสุด 18.2 องศาเซลเซียส เป็น 3.9 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นช่วงที่ความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงต่ำมากร่วมกับการทำงานของเครื่องทำความเย็น (compressor) ทำให้อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 2 อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิก่อนและหลังลดอุณหภูมิ

อุณหภูมิของห้องลดอุณหภูมิ	6 มิลลิบาร์			7 มิลลิบาร์		
	1 นาที	2 นาที	3 นาที	1 นาที	2 นาที	3 นาที
อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	21.5	23.4	23.1	22.9	22.7	21.6
อุณหภูมิสุดท้าย (องศาเซลเซียส)	3.9	3.1	3.8	6.9	6.5	5.3

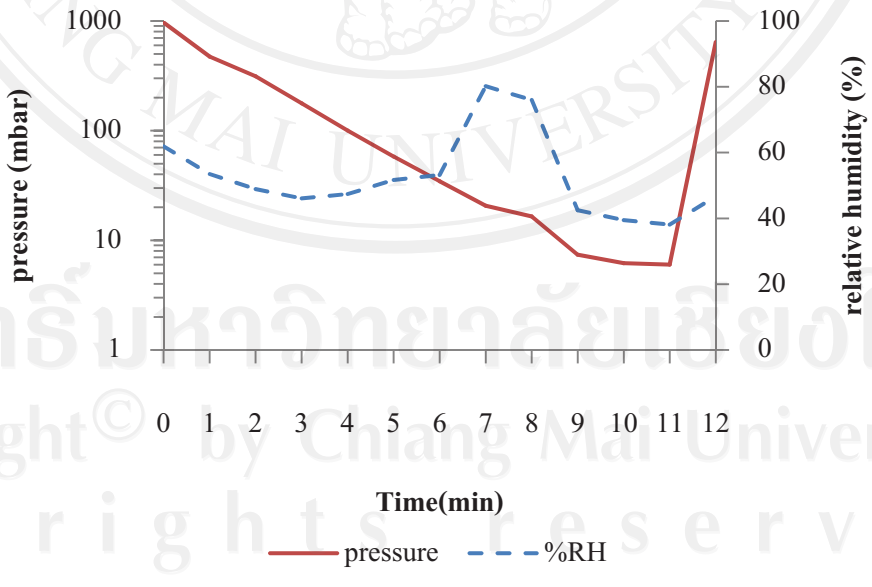


ภาพที่ 8 อุณหภูมิในห้องลดอุณหภูมิระหว่างการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของผักชีไทยอินทรีย์โดยใช้ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ 6 มิลลิบาร์ โดยให้ผักชีไทยอินทรีย์อยู่ภายใต้ ความดันที่กำหนด 1 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.1.3 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดอุณหภูมิ

ความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้นภายในห้องลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 61.9 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอากาศถูกดึงออกจากห้องลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วด้วยเครื่องปั๊มสุญญากาศ จึงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดอุณหภูมิมีค่าลดลงจนกระทั่งเวลาผ่านไป 2 นาที ความชื้นสัมพัทธ์จะเริ่มลดลงอย่างช้าๆ และเมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิลดต่ำลงถึง 200 และ 100 มิลลิบาร์ ตามลำดับ (นาทีที่ 3 -4) เครื่องอัดไอ (compressor) เครื่องที่ 1 และ 2 จะเริ่มทำงาน ตามลำดับ ในช่วงนี้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องจะเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากภายในห้องมีอุณหภูมิลดลง จนกระทั่งถึงนาทีที่ 7 ความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นจาก 53.2 เปอร์เซ็นต์ เป็น 80.2 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำในผักชีไทยอินทรีย์ ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ และเมื่อความดันในห้องลดอุณหภูมิลดลงไปจนถึง 6 มิลลิบาร์ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดอุณหภูมิมีค่าต่ำที่สุดที่ 38.1 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากคงระดับความดันในห้องลดอุณหภูมิไว้นาน 1 นาที พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากมีการนำอากาศภายนอกห้องเข้ามาเพื่อปรับความดันให้ปกติ ทำให้มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น โดยความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเมื่อสิ้นสุดกระบวนการลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 46.7 เปอร์เซ็นต์

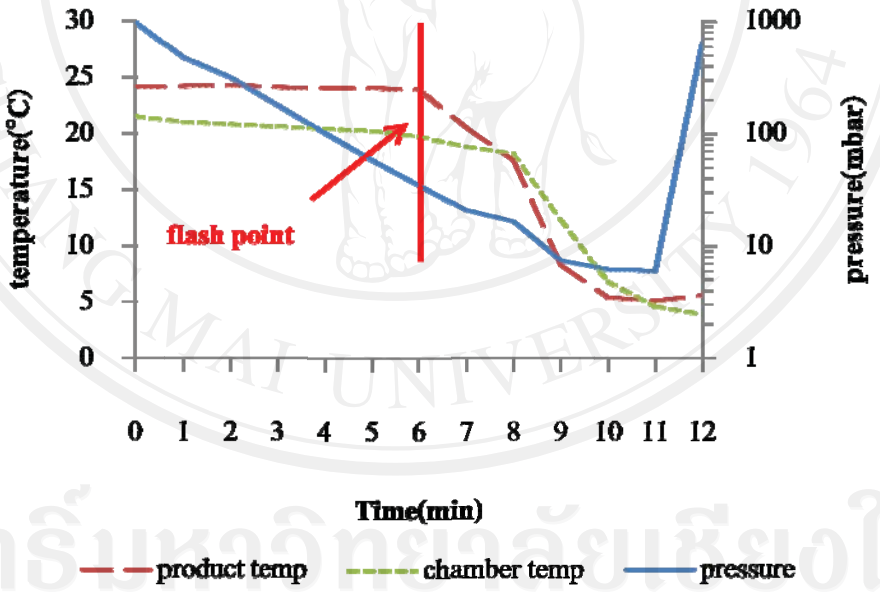


ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและความดันในห้องลดอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของผักชีไทยอินทรีย์โดยใช้ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ 6 มิลลิบาร์ ภายใต้ความดันที่กำหนด 1 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.1.4 อัตราการลดอุณหภูมิ

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิและเวลาของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของผักชีไทยอินทรีย์ แสดงในภาพที่ 10 โดยผักชีไทยอินทรีย์มีอุณหภูมิเริ่มต้น 24.1 องศาเซลเซียส ในช่วงแรกของการลดความดัน อัตราการลดอุณหภูมิของผักชีไทยอินทรีย์ช้ามาก ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสะสมพลังงานของผักชีไทยอินทรีย์และมีการระเหยของความชื้นเพียงบริเวณผิวใบของผักชีไทยอินทรีย์ (Cheng and Huesh, 2007) แต่เมื่อความดันภายในห้องลดอุณหภูมิลดลงมาถึง 34.6 มิลลิบาร์ หรือนาทีที่ 6 ที่จุดนี้จะเรียกว่า flash point อัตราการลดอุณหภูมิของผักชีไทยอินทรีย์จะสูงมาก เนื่องจากจุดเดือดของน้ำอยู่ที่อุณหภูมิ 22.9 องศาเซลเซียสซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิของผักชีไทยอินทรีย์ที่มีอุณหภูมิ 23.9 องศาเซลเซียสทำให้น้ำและความชื้นที่อยู่ภายในผักชีไทยอินทรีย์จะเริ่มเดือดและระเหยกลายเป็นไอ (Zheng and Sun, 2005) และอุณหภูมิของผักชีไทยอินทรีย์ค่อยๆ ลดลงภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิของบรรยากาศต่ำ จนเมื่อสิ้นสุดกระบวนการลดอุณหภูมิ อุณหภูมิสุดท้ายของผักชีไทยอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 5.6 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิและเวลาของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของผักชีไทยอินทรีย์ โดยใช้ความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิ 6 มิลลิบาร์ ภายใต้ความดันที่กำหนด 1 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.1.5 การสูญเสียน้ำหนัก

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักภายหลังการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแสดงในตารางที่ 3 การลดอุณหภูมิโดยการใช้ระดับความดันที่ 6 มิลลิบาร์ และกำหนดระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเป็นเวลา 1 นาที มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ 0.67 เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิเกิดขึ้นเนื่องจากการระเหยของน้ำที่อยู่ภายในของผักชีไทยอินทรีย์ ที่ขึ้นอยู่กับความดันสุดท้ายที่กำหนดและระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด จากการทดลองพบว่า ระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดนานขึ้นจะส่งผลให้ผักชีไทยอินทรีย์มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้น แต่การใช้ความดันที่ 7 มิลลิบาร์มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าการใช้ความดันที่ 6 มิลลิบาร์ เนื่องจากผักชีไทยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองมีการขนส่งมาครั้งละจำนวนมาก แต่การลดอุณหภูมิผักชีไทยอินทรีย์ในแต่ละครั้งจำเป็นต้องทำให้ห้องลดอุณหภูมิมีอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิสภาพแวดล้อมภายนอกเพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการทดลอง การลดอุณหภูมิผักชีไทยอินทรีย์ให้ครบทุกพารามิเตอร์จึงใช้ระยะเวลานาน

4.1.1.6 ระยะเวลาและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิ

ระยะเวลาและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิผักชีไทยอินทรีย์แสดงในตารางที่ 3 โดยการใช้ระดับความดันที่ 6 มิลลิบาร์ และกำหนดระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเป็นเวลา 1 นาที จะใช้เวลาในการทำให้เย็นทั้งหมด 12 นาที โดยใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิเท่ากับ 0.09 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าจำนวน 0.01 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งระยะเวลาและพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผักชีไทยอินทรีย์ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด เมื่อกำหนดระยะเวลาที่ให้วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดนานขึ้นจะทำให้ใช้เวลาในการลดอุณหภูมินานขึ้น และส่งผลให้มีการใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิมากขึ้นด้วย

ตารางที่ 3 การสูญเสียน้ำหนัก ระยะเวลาและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ

ค่าที่บันทึก	6 มิลลิบาร์			7 มิลลิบาร์		
	1 นาที	2 นาที	3 นาที	1 นาที	2 นาที	3 นาที
การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)	0.67	0.81	1.33	0.98	1.61	2.18
ระยะเวลาที่ใช้ (นาที)	12	13	14	12	12	14
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	0.09	0.10	0.12	0.09	0.10	0.11

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพิจารณาผลจากการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของผักชีไทยอินทรีย์ ที่มีต่ออุณหภูมิสุดท้าย เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ระยะเวลาและพลังงานที่ใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิแล้วในการทดลองที่ 1.2 จึงเลือกใช้ระดับความดันสุดท้ายในห้องลดอุณหภูมิที่ 6 มิลลิบาร์ และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 1 และ 2 นาที เพื่อทำการศึกษาหาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีต่อไป

4.1.2 การทดลองที่ 1.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผักชีไทยอินทรีย์หลังการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศด้วยสภาวะที่เหมาะสม 2 สภาวะจากการทดลองที่ 1.1 เปรียบเทียบกับผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

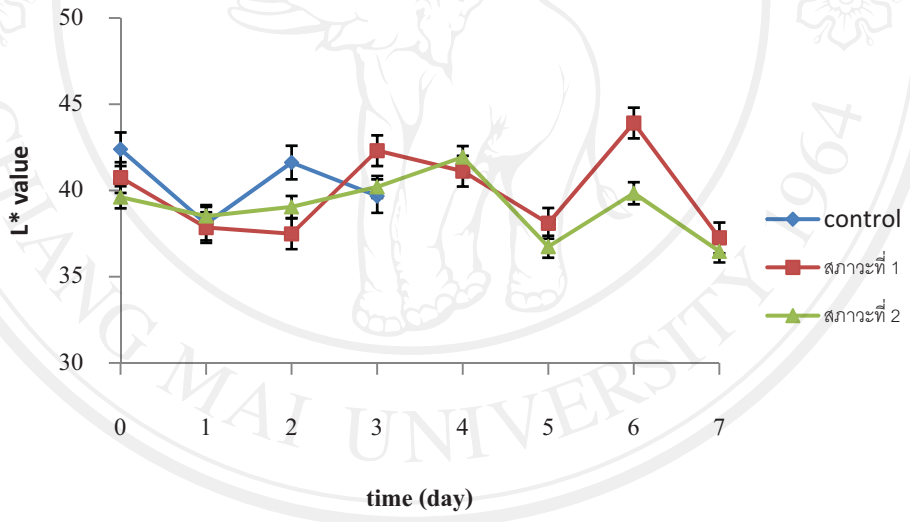
4.1.2.1 การเปลี่ยนแปลงสีของผัก (L*, C*, h°)

ผักชีไทยอินทรีย์ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 วัน พบว่าการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่มีผลต่อ ค่า L*, ค่า chroma และ ค่า hue angle โดยที่ผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีค่า L* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่ 6 มิลลิบาร์นาน 1 นาทีและ 2 นาที โดยที่มีค่า L* เท่ากับ 39.67±1.27, 42.31±1.01 และ 40.21±0.76 ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับค่า chroma และค่า hue angle ที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่า chroma เท่ากับ 19.93±1.81, 20.60±0.66 และ 21.14±0.75 ตามลำดับและ ค่า hue angle มีค่าเท่ากับ 132.4±0.87, 133.0±1.03 และ 131.3±0.50 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) และตลอดอายุการเก็บรักษา ค่า hue angle ของผักชีไทยอินทรีย์มีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้นแสดงให้เห็นว่าสีของผักชีไทยอินทรีย์เปลี่ยนจากสีเหลืองเขียวไปเป็นสีเหลืองมากขึ้น แต่ค่า L* และ ค่า chroma มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 11-13) ซึ่งขัดแย้งกับการทดลองของ Escalona *et al.* (2006) ที่พบว่าแนวโน้มของค่า L*, ค่า chroma และค่า hue angle ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาของกะหล่ำปมตัดแต่งพร้อมบริโภค (*Brassica oleracea* L. gongylodes group) ที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของ Loaiza & Cantwell (1997) ที่พบว่า ค่า L* และค่า chroma ขอผักชีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและค่า hue angle มีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษาผักชีที่ 0 องศาเซลเซียส นาน 6 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

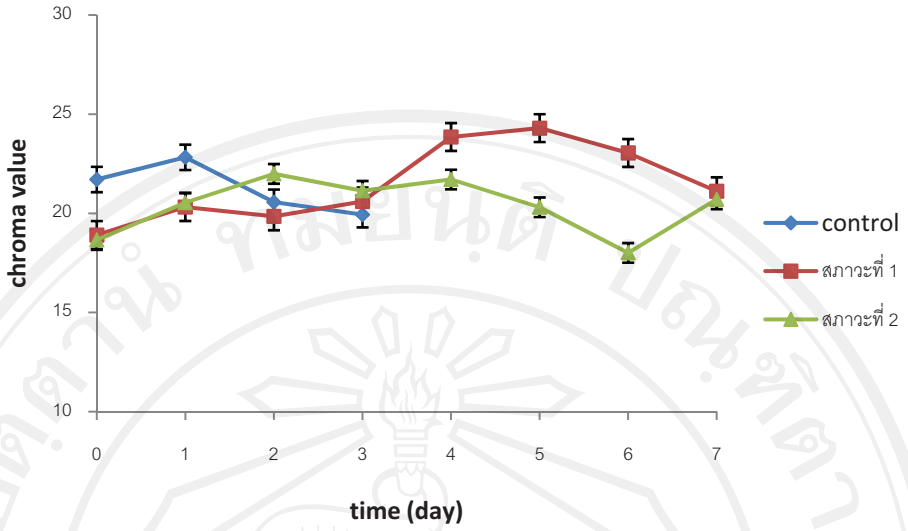
ตารางที่ 4 ค่า L*, ค่า chroma และค่า hue angle ของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน

วิธีการ	L*	chroma	hue angle (องศา)
- ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ (control)	39.67±1.27	19.93±1.81	132.4±0.87
- ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิที่สภาวะที่ 1 (ความดัน 6 มิลลิบาร์ 1 นาที)	42.31±1.01	20.60±0.66	133.0±1.03
- ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิที่สภาวะที่ 2 (ความดัน 6 มิลลิบาร์ 2 นาที)	40.21±0.76	21.14±0.75	131.3±0.50

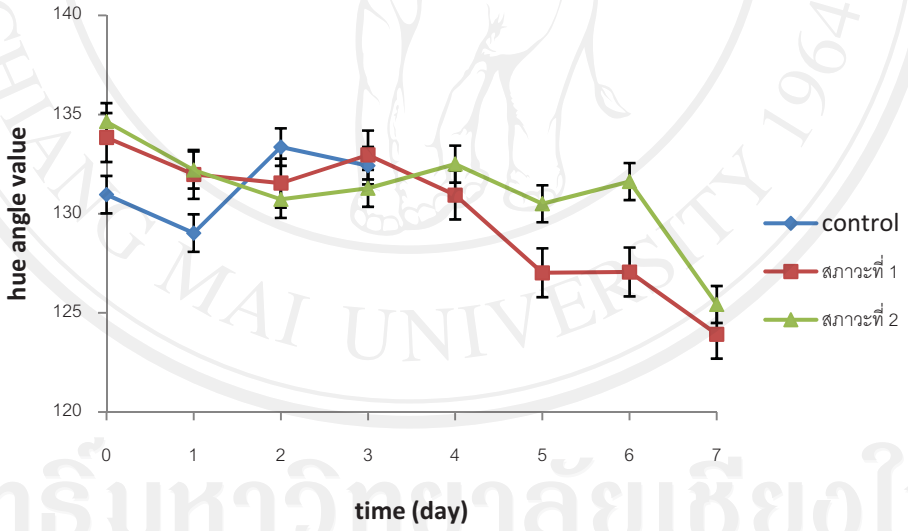


ภาพที่ 11 ค่า L* ของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 12 ค่า chroma ของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 13 ค่า hue angle ของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์

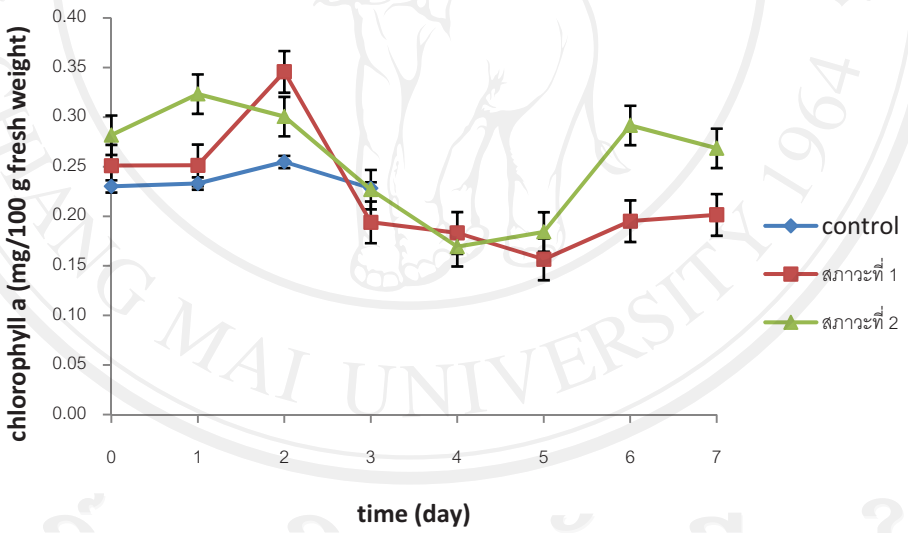
เมื่อเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์ไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 วัน พบว่า การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผักชีไทยอินทรีย์ โดยผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเท่ากับ 0.228±0.028, 0.092±0.011 และ 0.326±0.039 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่ความดัน 6 มิลลิบาร์ นาน 1 นาที และผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่ความดัน 6 มิลลิบาร์นาน 2 นาที โดยที่ผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่ความดัน 6 มิลลิบาร์ นาน 1 นาที มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเท่ากับ 0.194±0.014, 0.079±0.005 และ 0.278±0.020 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ และผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่ความดัน 6 มิลลิบาร์ นาน 2 นาที มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเท่ากับ 0.227±0.012, 0.091±0.005 และ 0.324±0.017 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

จากการทดลองพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บีและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผักชีไทยอินทรีย์ทุกวิธีการมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษาดังภาพที่ 14-16 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Koukounaras et al. (2007) ที่เก็บรักษาร็อกเกตสลัดที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน 14 วัน และMartínez-Sánchez et al. (2006) ที่เก็บรักษาร็อกเกตสลัดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี มีปริมาณลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา เช่นเดียวกับ Pariasca et el. (2000) ที่พบว่าการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาถั่วลันเตามีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

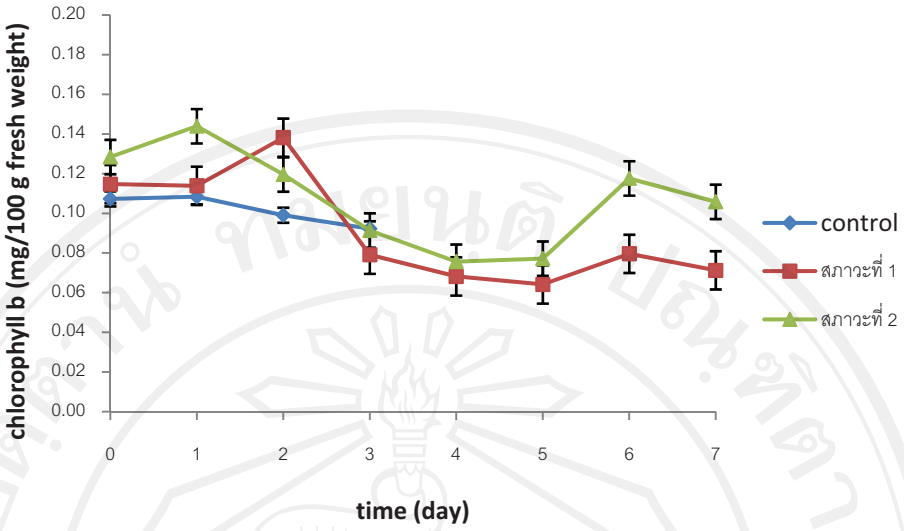
ตารางที่ 5 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผักชีไทยอินทรีย์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน

วิธีการ	คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด)		
	เอ	บี	ทั้งหมด
- ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ (control)	0.228±0.028	0.194±0.014	0.227±0.012
- ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิที่สภาวะที่ 1 (ความดัน 6 มิลลิบาร์ 1 นาที)	0.194±0.014	0.079±0.005	0.091±0.005
- ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิที่สภาวะที่ 2 (ความดัน 6 มิลลิบาร์ 2 นาที)	0.227±0.012	0.278±0.020	0.324±0.017

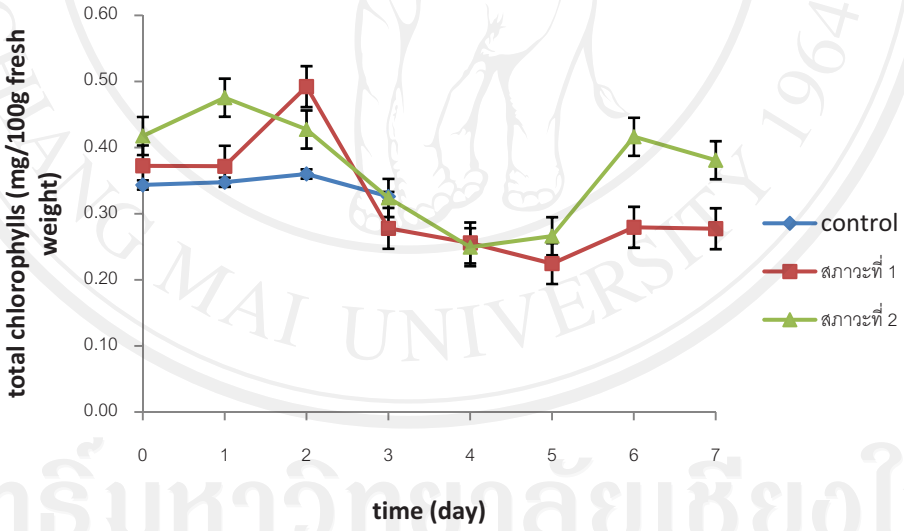


ภาพที่ 14 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 15 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 16 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2.3 ปริมาณวิตามินซี

หลังจากเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสนาน 3 วันพบว่าผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่ความดัน 6 มิลลิบาร์ นาน 2 นาที มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 10.19±1.27 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสดซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่ความดัน 6 มิลลิบาร์ นาน 1 นาที ที่มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 20.38±1.27 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิที่มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 29.30±2.55 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 6) โดยจะเห็นว่าผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุดเนื่องจากผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีการสูญเสียน้ำหนักสูงที่สุด ซึ่งวิตามินซีเป็นวิตามินที่ละลายในน้ำ เมื่อมีการสูญเสียน้ำมากส่งผลให้มีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น

ตลอดอายุการเก็บรักษา ผักชีไทยอินทรีย์มีปริมาณวิตามินซีไม่คงที่ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 10.19±1.27 - 47.74±1.29 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสดดังภาพที่ 17 โดยการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศส่งผลให้ผักชีไทยอินทรีย์มีปริมาณวิตามินซีที่สูงกว่าผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ซึ่งขัดแย้งกับการทดลองของ He *et al*. (2004) ที่พบว่าตลอดอายุการเก็บรักษาผักกาดหอมห่อที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ และนำไปเก็บรักษาในห้องเย็น พบว่าปริมาณวิตามินซีมีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับกะหล่ำปม (Wu *et al*., 2009) ร็อกเกตสลัด (Martínez-Sánchez *et al*., 2006)

4.1.2.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

หลังจากเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วันพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยที่ผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่ความดัน 6 มิลลิบาร์ นาน 1 นาทีและผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่ความดัน 6 มิลลิบาร์ นาน 2 นาที มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 8.50±0.10, 8.77±0.90 และ 6.80±0.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 6) ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่ส่งผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของผักชีไทยอินทรีย์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยตลอดอายุการเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นดังภาพที่ 17 ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยส่วนใหญ่แล้วมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งอาจถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจ เพราะหลังจากเก็บเกี่ยว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลิตผลแล้ว ผลิตผลยังคงมีการให้ใจเกิดขึ้นตลอดเวลา ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลง (จริงแท้, 2549)

4.1.2.5 การสูญเสียน้ำหนักสด

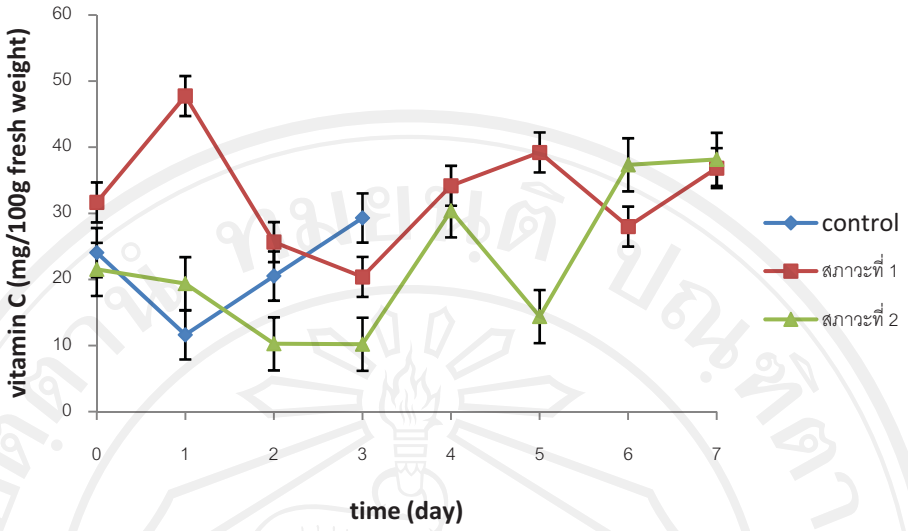
จากการทดลองพบว่าการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่ส่งผลต่อการสูญเสียน้ำหนักสดของผักชีไทยอินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับ Martínez and Artés (1999) ที่พบว่าการลดอุณหภูมิไม่ส่งผลต่อการสูญเสียน้ำหนักสดของผักกาดหอม โดยที่หลังจากเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีการสูญเสียน้ำหนักสดเท่ากับ 4.59±0.33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่ความดัน 6 มิลลิบาร์ นาน 1 และ 2 นาที ที่มีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 3.49±0.51 และ 3.16±0.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 6) โดยตลอดอายุการเก็บรักษาพบว่าผักชีไทยอินทรีย์มีการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มสูงขึ้นดังภาพที่ 18

ตารางที่ 6 ปริมาณวิตามินซี ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและการสูญเสียน้ำหนักสดของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน

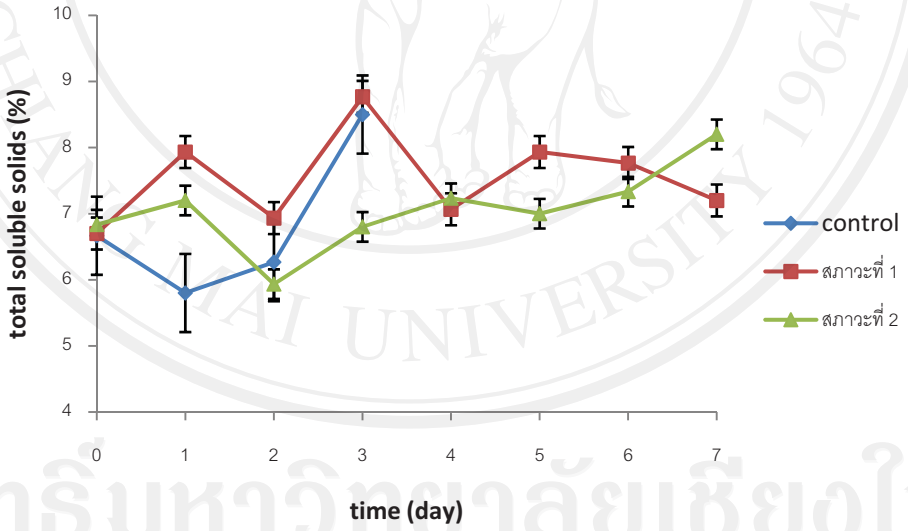
สิ่งทดลอง	วิตามินซี (มิลลิกรัมต่อ100 กรัม น้ำหนักสด)	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)
- ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ (control)	29.30±2.55 [a]	8.50±0.10	4.29±0.33
- ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิที่สภาวะที่ 1 (ความดัน 6 มิลลิบาร์ 1 นาที)	20.38±1.27 [b]	8.77±0.90	3.49±0.51
- ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิที่สภาวะที่ 2 (ความดัน 6 มิลลิบาร์ 2 นาที)	10.19±1.27 [c]	6.80±0.40	3.16±0.54

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้ง คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

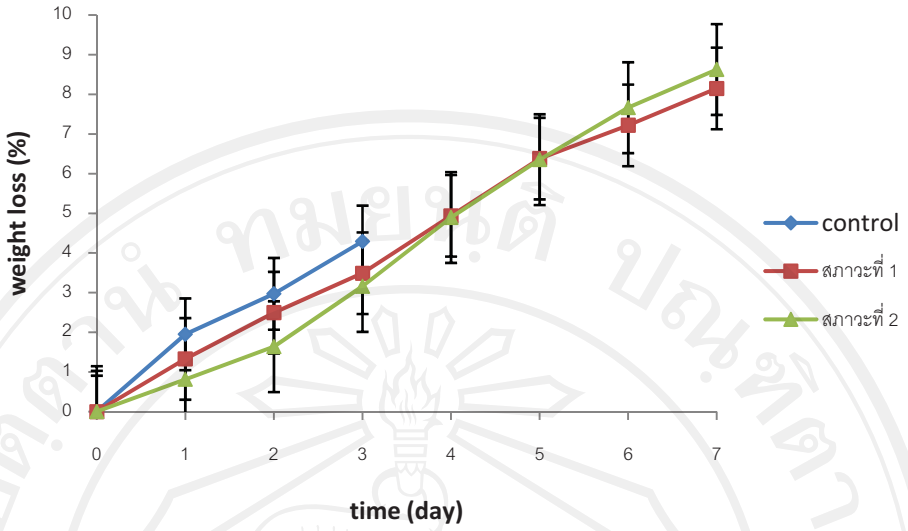


ภาพที่ 17 ปริมาณวิตามินซี ของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 18 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 19 การสูญเสียน้ำหนักสด ของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

4.1.2.6 กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

จากผลการทดลองพบว่าการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศส่งผลต่อค่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของผักชีไทยอินทรีย์ โดยที่หลังจากเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 1.18±0.07 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่ความดัน 6 มิลลิบาร์ นาน 1 และ 2 นาที ที่มีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 1.54±0.05 และ 1.88±0.05 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 7) โดยตลอดอายุการเก็บรักษาพบว่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มลดลงดังภาพที่ 19 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Javanmardi and Kubota (2006) ที่พบว่าการเก็บรักษามะเขือเทศไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะส่งผลให้มีค่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งค่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระแสดงถึงความสัมพันธ์แบบแปรผันโดยตรงกับปริมาณสารประกอบฟีนอล (Hagen *et al*., 2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอล

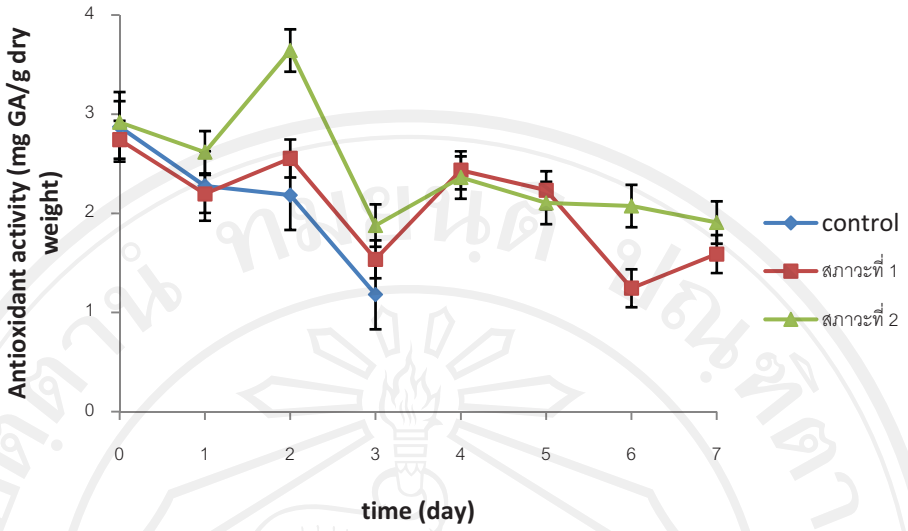
หลังจากเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 3 วันพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลของผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 6.87±0.36 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่ความดัน 6 มิลลิบาร์ นาน 2 นาที (8.22±0.85 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง) แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่ความดัน 6 มิลลิบาร์ นาน 1 นาที ที่มีค่าเท่ากับ 9.80±1.09 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 7) ตลอดอายุการเก็บรักษาจะเห็นได้ว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลในผักชีไทยอินทรีย์ลดลงดังภาพที่ 20 ซึ่งแตกต่างจากผลการทดลองของ Turkmen *et al*. (2005) ที่พบว่า บรอคโคลี่ พริกหวาน ปวยเล้ง และถั่วมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 7 กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน

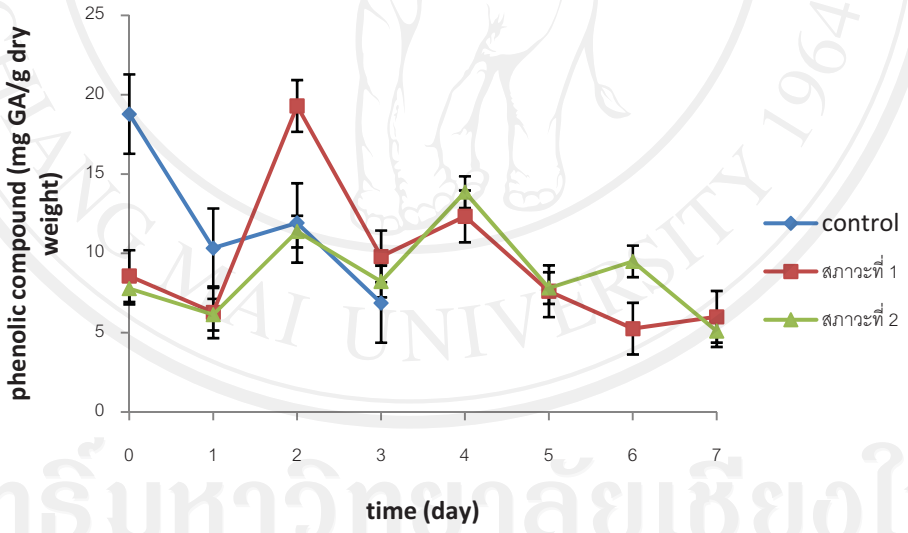
สิ่งทดลอง	กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง)	สารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง)
- ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ (control)	1.18±0.07 [c]	6.87±0.36 [b]
- ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิที่สภาวะที่ 1 (ความดัน 6 มิลลิบาร์ 1 นาที)	1.54±0.05 [b]	9.80±1.09 [a]
- ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิที่สภาวะที่ 2 (ความดัน 6 มิลลิบาร์ 2 นาที)	1.88±0.05 [a]	8.22±0.85 [ab]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้ง คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 20 กิจกรรมการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 21 ปริมาณสารประกอบฟีนอลของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2.8 อายุการเก็บรักษา

ผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศก่อนการเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์มีผลทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาของผักชีไทยอินทรีย์ให้นานขึ้นได้ โดยที่ผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีอายุการเก็บรักษาเพียง 3.20±0.45 วันซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิที่ความดัน 6 มิลลิบาร์ นาน 1 และ 2 นาที ที่มีอายุการเก็บรักษานาน 7.40±0.55 และ 6.80±0.45 วันตามลำดับ (ตารางที่ 8) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Artes & Martinez (1995) ที่พบว่าการใช้การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถทำให้ผักกาดหอมที่มีอายุการเก็บรักษานาน 3-5 วัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เพิ่มขึ้นเป็น 14 วัน

ตารางที่ 8 อายุการเก็บรักษาของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	อายุการเก็บรักษา (วัน)
- ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ (control)	3.20±0.45 [b]
- ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิที่สภาวะที่ 1 (ความดัน 6 มิลลิบาร์ 1 นาที)	7.40±0.55 [a]
- ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิที่สภาวะที่ 2 (ความดัน 6 มิลลิบาร์ 2 นาที)	6.80±0.45 [a]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้ง คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผักชีไทยอินทรีย์หลังการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศพบว่าการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 6 มิลลิบาร์ โดยให้ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเป็นเวลา 1 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศผักชีไทยอินทรีย์เนื่องจากในวันที่ 7 ผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 6 มิลลิบาร์ โดยให้ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเป็นเวลา 1 นาที มีความเป็นสีเหลืองน้อยกว่าผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 6 มิลลิบาร์ โดยให้ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเป็นเวลา 2 นาที ซึ่งเห็นได้จากค่า hue angle และปริมาณคลอโรฟิลล์ของผักชีไทยอินทรีย์ อีกทั้งยังมีการใช้เวลาทั้งหมดในการลดอุณหภูมิแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สุญญากาศที่สั้นกว่าเพียง 12 นาทีโดยที่ผักชีไทยอินทรีย์ยังมีค่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระสูงถึง 1.59±0.04 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้งและมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บีและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเท่ากับ 0.201±0.005, 0.071±0.003 และ 0.277±0.007 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ดังนั้นจึงนำสภาวะที่ได้ไปทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่สภาวะที่เหมาะสมร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการทดลองที่ 3 ต่อไป

4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิด

การศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ส่งผลต่อผักชีไทยอินทรีย์โดยใช้ถุงแอคทีฟที่มีอัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนต่างกัน 4 ระดับ คือ 10,000 – 12,000 cc/m^2 day (M1), 12,000 – 14,000 cc/m^2 day (M2), 10,000 – 11,000 cc/m^2 day (M3), 14,000 – 16,000 cc/m^2 day (M4), ถุงโพลิโพรพิลีนที่ดัดแปลงสภาพบรรยากาศโดยควบคุมให้มีปริมาณออกซิเจนเริ่มต้นร้อยละ 10 และถุงโพลีเอทิลีนขนาด 20x30 เซนติเมตร เจาะรูขนาด 0.5 เซนติเมตรจำนวน 18 รู (ถุงดอยคำ) หลังจากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส และทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี โดยมีผลการเปลี่ยนแปลงดังต่อไปนี้

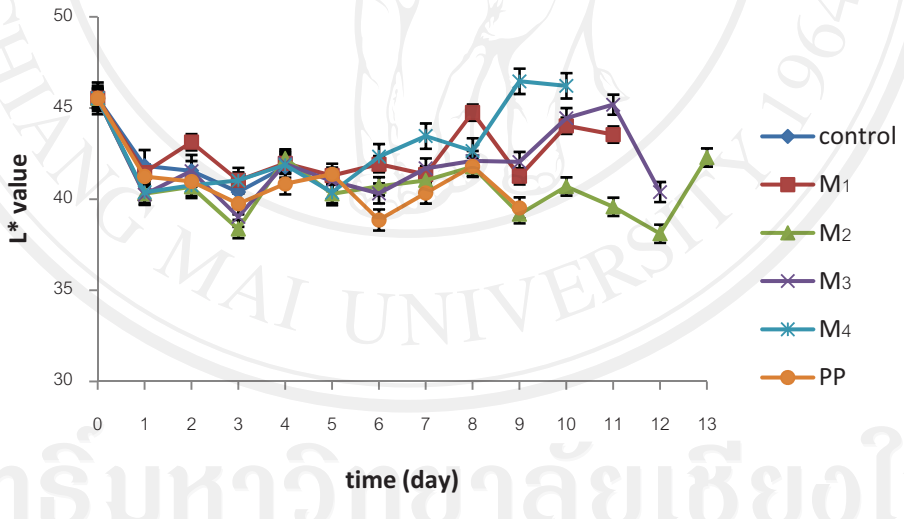
4.2.1 การเปลี่ยนแปลงสีของผัก

เมื่อเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์นาน 4 วัน พบว่าบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดไม่มีผลต่อค่า L* โดยผักชีไทยอินทรีย์มีค่า L* อยู่ในช่วง 40.84±0.50 – 42.23±0.63 เช่นเดียวกันกับค่า chroma และค่า hue angle ที่ชนิดของบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อค่า chroma และ hue angle ของผักชีไทยอินทรีย์โดยค่า chroma อยู่ในช่วง 28.17±1.05 – 31.40±0.82 และค่า hue angle อยู่ในช่วง 115.1±0.38 – 116.4±0.32 (ตารางที่ 9) ซึ่งตลอดอายุการเก็บรักษาค่า L* และค่า chroma มีแนวโน้มไม่คงที่ดังภาพที่ 21 และ 22 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Pariasca *et al*. (2001) ที่พบว่าเมื่อเก็บรักษาภายใต้สภาพดัดแปลงบรรยากาศที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน ถั่วลันเตา (*Pisum sativum* L. var. saccharatum) มีแนวโน้มของค่า L* ไม่คงที่ แต่ค่า hue angle ของผักชีไทยอินทรีย์ตลอดอายุการเก็บรักษามีแนวโน้มลดลงซึ่งแสดงให้เห็นว่าสีของผักชีไทยอินทรีย์เปลี่ยนจากสีเหลืองเขียวเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 23 ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกันกับการทดลองของ Serrano *et al*. (2006) ที่พบว่าบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในฟิล์มพลาสติก 3 ชนิด (macro-perforated; Ma-P, micro-perforated; Mi-P และ non-perforated; No-P) มีค่า hue angle ลดลงตามระยะเวลาที่เก็บรักษานานขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

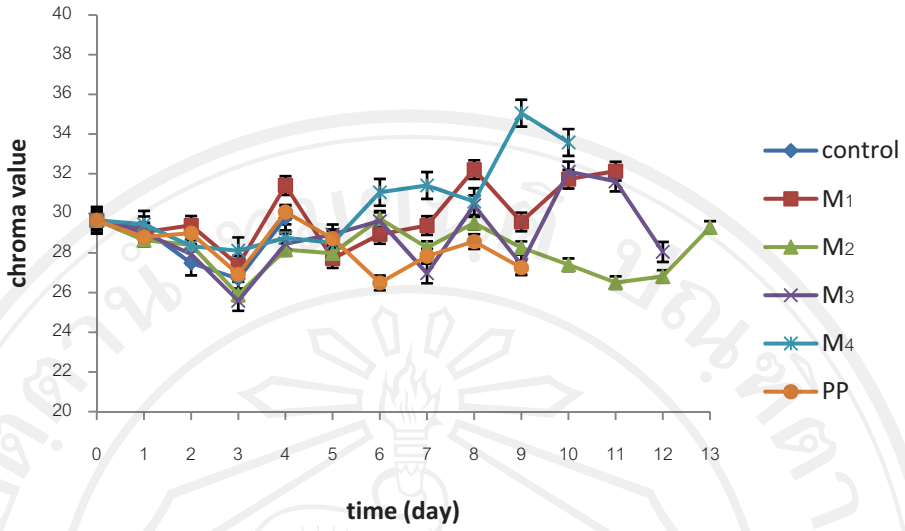
ตารางที่ 9 ค่า L*, ค่า chroma และค่า hue angle ของผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน

สิ่งทดลอง	L*	chroma	hue angle (องศา)
- ถุงโพลีเอทิลีน (control)	41.77±0.60	29.76±0.57	115.3±0.35
- ถุงแอคทีฟชนิด M1	41.97±0.57	31.40±0.82	115.4±0.25
- ถุงแอคทีฟชนิด M2	42.23±0.63	28.17±1.06	115.1±0.38
- ถุงแอคทีฟชนิด M3	41.94±0.75	28.47±0.97	116.4±0.32
- ถุงแอคทีฟชนิด M4	41.87±0.62	28.77±0.90	116.0±0.32
- ถุงโพลีโพรพีลีน (PP)	40.84±0.50	30.05±0.60	115.7±0.32

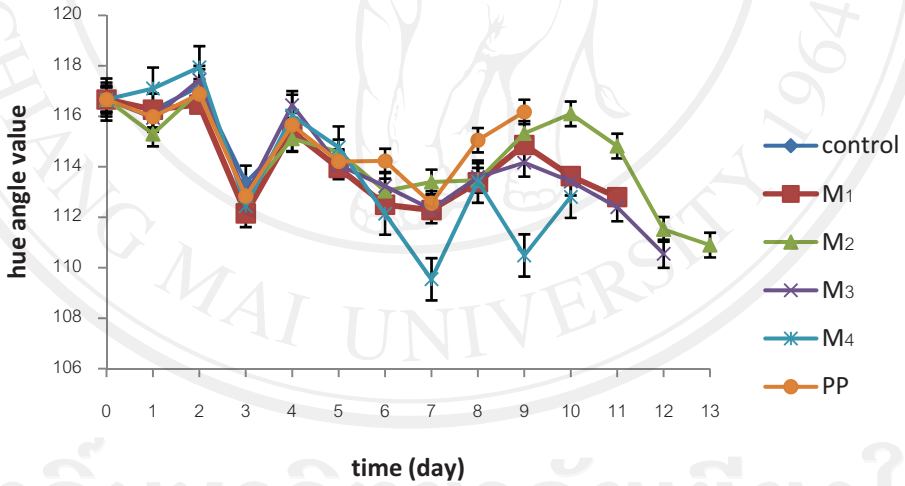


ภาพที่ 22 ค่า L* ของผักชีไทยอินทรีย์เก็บรักษาที่บรรจุในถุงแอคทีฟแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 23 ค่า chroma ของผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 24 ค่า hue angle ของผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์

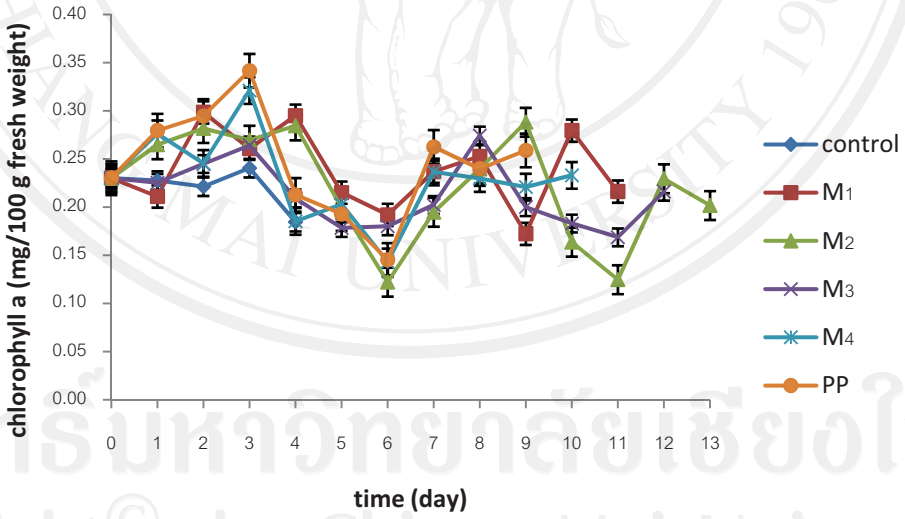
เมื่อเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์นาน 4 วันพบว่า ผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟชนิด M1 และ M2 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 0.295±0.004 และ 0.285±0.017 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M3, M4, ถุงโพลีโพรพิลีน และถุงโพลีเอทิลีน ดังตารางที่ 10 ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ บี พบว่าผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี เท่ากับ 0.108±0.003 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M1 และถุงโพลีโพรพิลีน ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บีเท่ากับ 0.119±0.001 และ 0.088±0.014 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M3, M4 และถุงโพลีเอทิลีน (ตารางที่ 10) และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2 (0.399±0.018 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M1 (0.421±0.005 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด) แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M3, M4, ถุงโพลีโพรพิลีน และถุงโพลีเอทิลีน (ตารางที่ 10) ซึ่งตลอดอายุการเก็บรักษาพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเกิดจากการวาย (senescence) ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์จะสลายตัวไปเป็นสารที่ไม่มีสี ทำให้สีของแคโรทีนอยด์ปรากฏออกมาให้เห็น และการสูญเสียคลอโรฟิลล์ของผลิตผลนั้นเป็นสิ่งที่แสดงถึงการเสื่อมสลายที่เกิดขึ้น (จริงแท้, 2549) ดังภาพที่ 24-26 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Serrano *et al*. (2006) ที่พบว่าบรอคโคลี่ที่เก็บรักษาในฟิล์มพลาสติก 3 ชนิด (macro-perforated; Ma-P, micro-perforated; Mi-P และ non-perforated; No-P) มีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และผักกาดฮ่องเต้ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน 3 ชนิด [polyethylene PE, PE+(5%O2+ 2%CO2) และ perforated oriented polypropylene; POPP] มีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นเดียวกัน (Li., 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 10 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ของผักชีไทยอินทรีย์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน

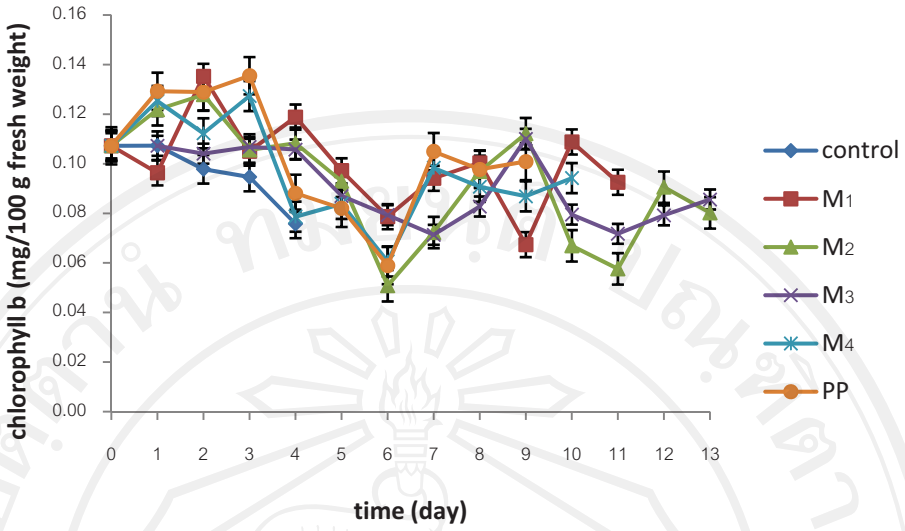
สิ่งทดลอง	คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด)		
	เอ	บี	ทั้งหมด
- ถุงโพลีเอทิลีน (control)	0.185±0.007^{b}	0.076±0.003^{c}	0.265±0.010^{b}
- ถุงแอคทีฟชนิด M1	0.295±0.004^{a}	0.119±0.001^{a}	0.421±0.005^{a}
- ถุงแอคทีฟชนิด M2	0.285±0.017^{a}	0.108±0.003^{ab}	0.399±0.018^{a}
- ถุงแอคทีฟชนิด M3	0.209±0.006^{b}	0.087±0.003^{c}	0.301±0.009^{b}
- ถุงแอคทีฟชนิด M4	0.185±0.025^{b}	0.079±0.006^{c}	0.269±0.020^{b}
- ถุงโพลีโพรพีลีน (PP)	0.213±0.035^{b}	0.088±0.014^{bc}	0.306±0.050^{b}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้ง คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

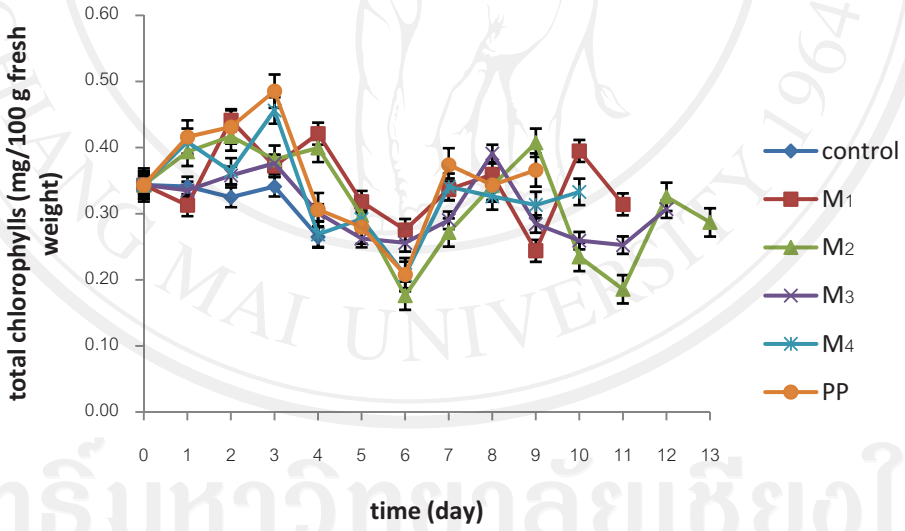


ภาพที่ 25 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 26 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 27 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ของผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.3 ปริมาณวิตามินซี

เมื่อเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์ไว้นาน 4 วัน พบว่าผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดมีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 24.69±0.62 - 32.10±1.63 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 11) โดยตลอดอายุการเก็บรักษาพบว่าปริมาณวิตามินซีในผักชีไทยอินทรีย์ลดลง ดังภาพที่ 27 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Jianshen *et al*. ที่พบว่าการเก็บรักษาหน่อไม้ฝรั่งที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิด (LDPE และ ถุงที่บรรจุแก๊สผสม 10 kPa O_2 และ 5 kPa CO_2) มีแนวโน้มของปริมาณวิตามินซีลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น

4.2.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของผักชีไทยอินทรีย์ที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ นาน 4 วัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผักชีไทยอินทรีย์มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 5.20±0.17 - 6.07±0.27 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 11) โดยตลอดอายุการเก็บรักษาพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีแนวโน้มไม่คงที่ ดังภาพที่ 28 ซึ่งขัดแย้งกับการทดลองของ Patrícia *et al*. ที่พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของ 'Fuyu' persimmon ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด [Control (corrugated paperboard boxes), 58 μm thick PO film, 50 μm thick LDPE film, 38 μm thick microperforated PO] มีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น

4.2.5 การสูญเสียน้ำหนักสด

การสูญเสียน้ำหนักสดของผักชีไทยอินทรีย์ที่เก็บรักษาไว้นาน 4 วันพบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักสดของผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนมีการสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุดคิดเป็น 3.74±0.55 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนที่มีการสูญเสียน้ำหนักสดอยู่ในช่วง 0.00±0.00 - 0.09±0.03 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 11) เนื่องจากถุงโพลีเอทิลีนมีการเจาะรู จำนวน 12 รู ทำให้อากาศสามารถเคลื่อนที่เข้าออกภาชนะบรรจุได้ง่ายกว่าถุงแอคทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีน ซึ่งการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลสดนั้นส่วนหนึ่งมาจากการเคลื่อนที่ของอากาศรอบๆ ตัวผลิตผล ถ้ามีการเคลื่อนที่ของอากาศมากจะทำให้น้ำมีการสูญเสียออกจากตัวผลิตผลได้เร็วขึ้น (นิธิยาและดนัย, 2548) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Patrícia C. *et al*. ที่พบว่า 'Fuyu' persimmon ในชุดควบคุมมีการสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆ โดยที่ตลอดอายุการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

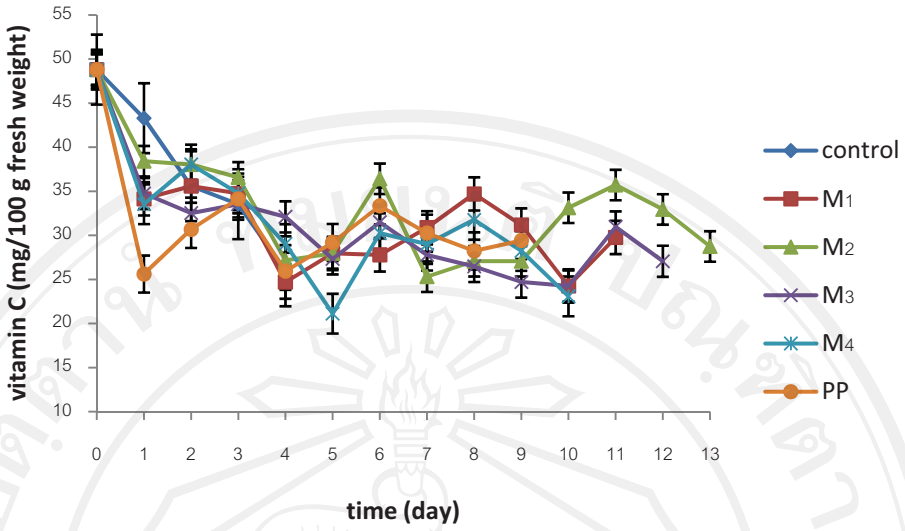
ผักชีไทยอินทรีย์มีแนวโน้มของการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 29 โดยภายในถุงโพลีโพรพิลีนมีหยดน้ำเกาะอยู่ภายในถุง น้ำหนักที่ชั่งได้จึงเป็นน้ำหนักของผักชีไทยอินทรีย์กับหยดน้ำที่เกาะอยู่ภายในถุง การสูญเสียน้ำหนักสดของผักชีไทยอินทรีย์ในถุงโพลีโพรพิลีนจึงมีค่าเท่ากับ 0.00±0.00 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 11 ปริมาณวิตามินซี ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและการสูญเสียน้ำหนักสดของผักชีไทยอินทรีย์ ที่บรรจุในถุงแอคทีฟแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน

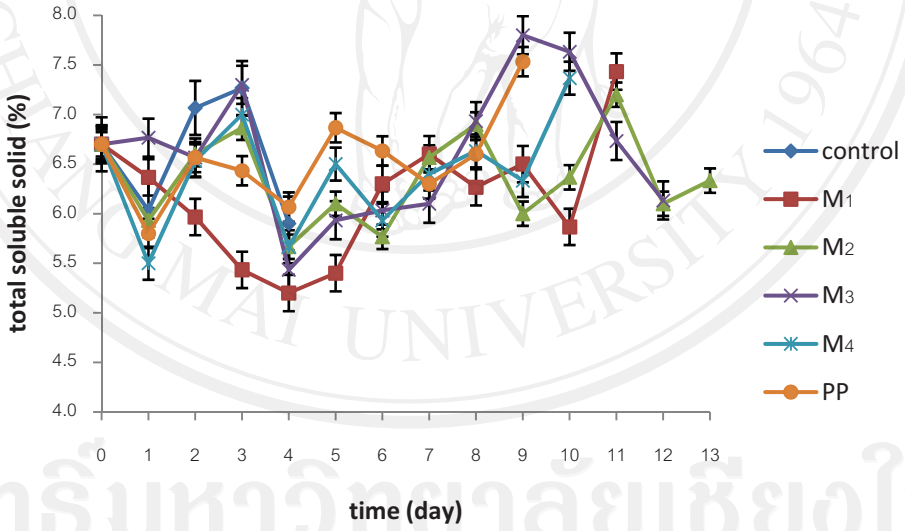
สิ่งทดลอง	วิตามินซี (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด)	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)
- ถุงโพลีเอทิลีน (control)	25.93±1.07	5.90±0.06	3.74±0.55[a]
- ถุงแอคทีฟชนิด M1	24.69±0.62	5.20±0.17	0.07±0.01[b]
- ถุงแอคทีฟชนิด M2	27.16±2.69	5.67±0.50	0.06±0.02[b]
- ถุงแอคทีฟชนิด M3	32.10±1.63	5.43±0.50	0.02±0.01[b]
- ถุงแอคทีฟชนิด M4	29.01±1.63	5.67±0.52	0.09±0.03[b]
- ถุงโพลีโพรพีลีน (PP)	25.92±3.85	6.07±0.27	0.00±0.01[b]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้ง คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

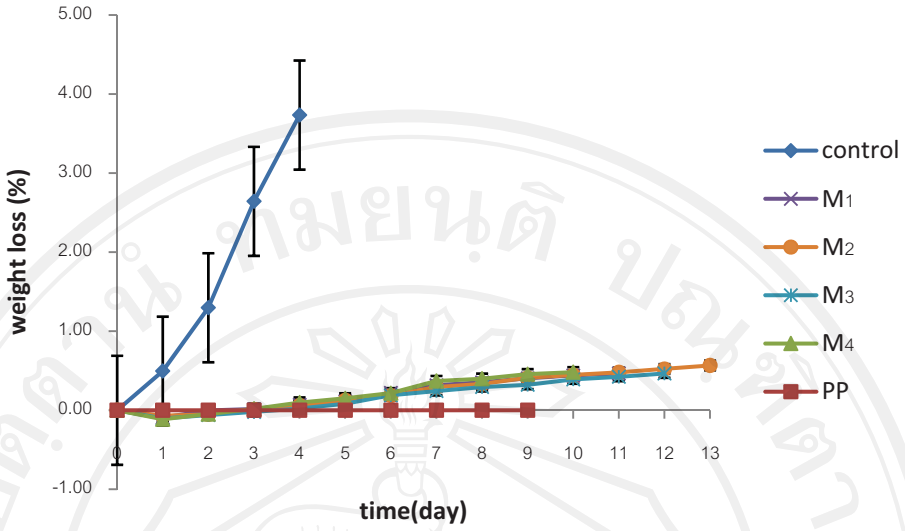


ภาพที่ 28 ปริมาณวิตามินซี ของผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 29 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 30 การสูญเสียน้ำหนักสด ของผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

4.2.6 กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์นาน 4 วันพบว่าผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนมีค่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดเท่ากับ 2.138±0.026 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M1, M2, M3, M4 และถุงโพลีโพรพิลีนซึ่งมีค่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วง 1.453±0.077 - 1.890±0.037 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง และผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีโพรพิลีนแต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M1, M3 และ M4 (ตารางที่ 12) ซึ่งตลอดอายุการเก็บรักษาของผักชีไทยอินทรีย์พบว่าค่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มลดลงดังภาพที่ 30 เมื่อพิจารณากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระพบว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Saxena *et al.* (2009) ที่พบว่าตลอดอายุการเก็บรักษา ขนุนตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน 3 ชนิด (gas-flushed PE bag, silicon membrane window PET jars และ PE bags) มีแนวโน้มของกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระลดลง ซึ่งค่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระจะแสดงความสัมพันธ์แบบแปรผันโดยตรงกับปริมาณสารประกอบฟีนอล (Hagen *et al*., 2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอล

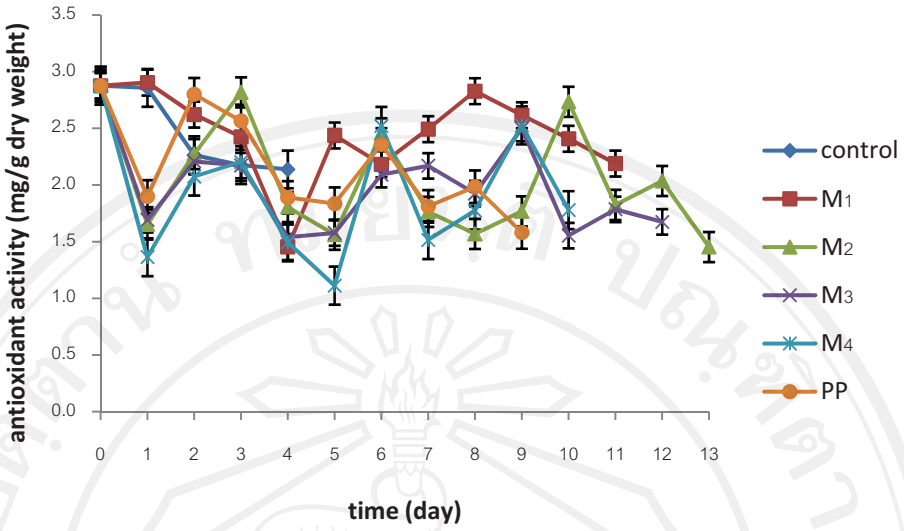
ชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุผักชีไทยอินทรีย์ไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลของผักชีไทยอินทรีย์ โดยที่ผักชีไทยอินทรีย์ที่เก็บรักษาไว้นาน 4 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลอยู่ในช่วง 7.042±0.213 - 9.917±0.991 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งจากการทดลองพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลไม่มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ แสดงให้เห็นว่าจากการทดลองนี้สารประกอบฟีนอลอาจจะไม่ใช่สารต้านอนุมูลอิสระ โดยผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีโพรพิลีนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากที่สุดเท่ากับ 9.917±0.991 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 12) ซึ่งตลอดอายุการเก็บรักษาพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลในผักชีไทยอินทรีย์มีแนวโน้มลดลง ดังภาพที่ 31 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Saxena *et al*. (2009) ที่พบว่าตลอดอายุการเก็บรักษา ขนุนตัดแต่งพร้อมบริโภคที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน 3 ชนิด (gas-flushed PE bag, silicon membrane window PET jars และ PE bags) มีแนวโน้มของปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลง

ตารางที่ 12 กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอล ของผักชีไทยอินทรีย์ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน

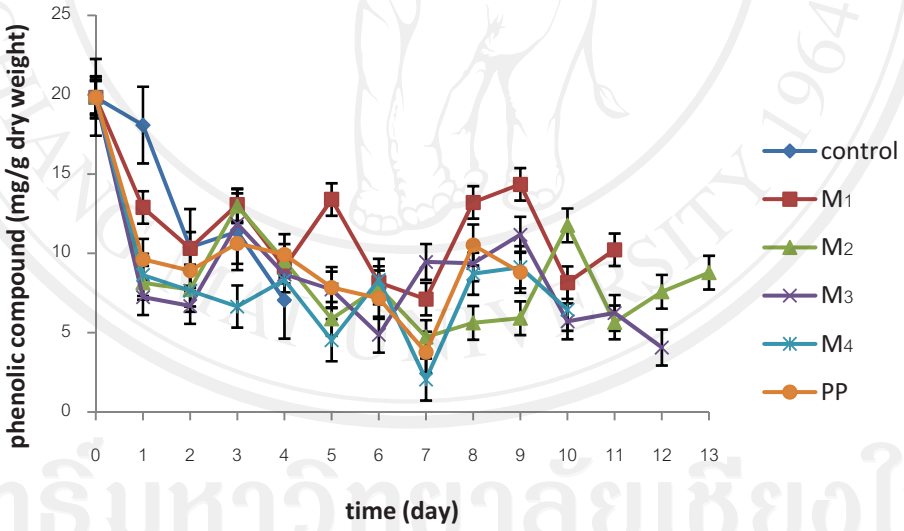
สิ่งทดลอง	กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง)	สารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง)
- ถุงโพลีเอทิลีน (control)	2.138±0.026[a]	7.042±0.213
- ถุงแอคทีฟชนิด M1	1.453±0.077[c]	9.131±0.764
- ถุงแอคทีฟชนิด M2	1.805±0.154[b]	9.522±1.451
- ถุงแอคทีฟชนิด M3	1.539±0.060[c]	8.673±0.523
- ถุงแอคทีฟชนิด M4	1.494±0.018[c]	8.321±0.907
- ถุงโพลีโพรพีลีน (PP)	1.890±0.037[b]	9.917±0.991

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้ง คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 31 กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 32 ปริมาณสารประกอบฟีนอลของผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.8 อายุการเก็บรักษา

ผลของการใช้ถุงแอคทีฟในการเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์มีผลทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาของผักชีไทยอินทรีย์ให้นานขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีน โดยผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2 มีอายุการเก็บรักษานานที่สุดเท่ากับ 13.40±0.24 วัน ในขณะที่ผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีน มีอายุการเก็บรักษาเพียง 3.80±0.20 วันเท่านั้น (ตารางที่ 8) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Victor *et al.* ที่พบว่าการเก็บรักษาข้าวโพดหวานในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 2 สัปดาห์จากเดิมเก็บได้นาน 4 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 13 อายุการเก็บรักษาของผักชีไทยอินทรีย์ ที่บรรจุในถุงแอคทีฟแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	อายุการเก็บรักษา (วัน)
- ถุงโพลีเอทิลีน (control)	3.80±0.20^{f}
- ถุงแอคทีฟชนิด M1	10.80±0.20^{c}
- ถุงแอคทีฟชนิด M2	13.40±0.24^{a}
- ถุงแอคทีฟชนิด M3	11.80±0.20^{b}
- ถุงแอคทีฟชนิด M4	9.80±0.20^{d}
- ถุงโพลีโพรพีลีน (PP)	8.60±2.40^{e}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้ง คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดพบว่าบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับบรรจุผักชีไทยอินทรีย์เพื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส คือถุงแอคทีฟ เนื่องจากภายในถุงโพลีโพรพิลีนมีหยดน้ำเกาะภายในถุง อาจทำให้เกิดการเจริญของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นสาเหตุของการเน่าเสีย และเมื่อพิจารณาเฉพาะถุงแอคทีฟ พบว่าถุงแอคทีฟชนิด M2 เป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมเนื่องจากมีอายุการเก็บรักษานานถึง 13 วัน ดังนั้นจึงนำถุงแอคทีฟชนิด M2 มาทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่สภาวะที่เหมาะสมร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการทดลองที่ 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่สภาวะที่เหมาะสมร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม

จากการทดลองที่ 1 จะเห็นได้ว่าสภาวะของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ใช้ความดันที่ 6 มิลลิบาร์และเวลาที่วัตถุดิบอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนด 1 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของผักชีไทยอินทรีย์ และจากการทดลองที่ 2 บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์คือ ถุงแอคทีฟชนิด M2 และเมื่อนำทั้งสองปัจจัยคือการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่สภาวะที่เหมาะสมและบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมมาใช้ร่วมกันได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

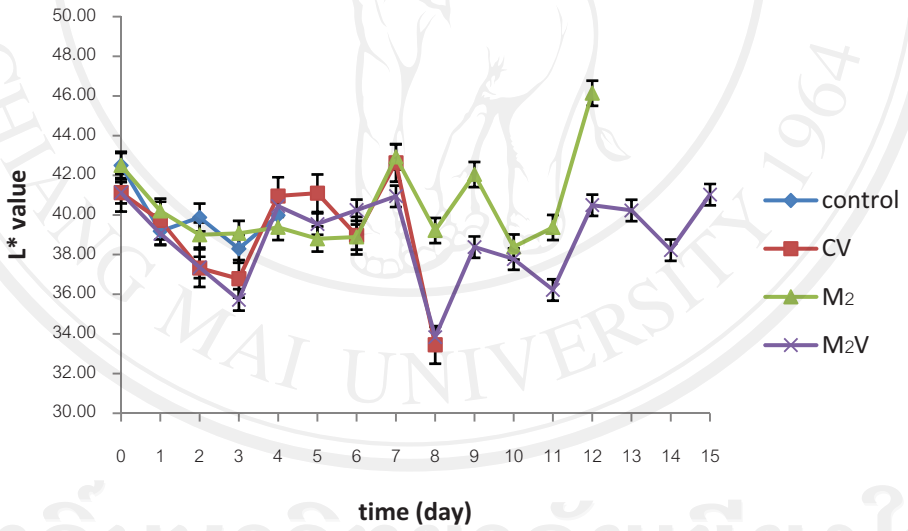
4.3.1 การเปลี่ยนแปลงของสี

เมื่อเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์นาน 4 วันพบว่าค่า L*, ค่า chroma และค่า hue angle ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ค่า L*, chroma และ hue angle มีค่าอยู่ในช่วง 39.37±0.94 - 40.95±0.83, 20.34±0.68 - 22.22±1.17 และ 130.2±0.42 - 133.4±1.20 ตามลำดับ (ตารางที่ 14) โดยตลอดอายุการเก็บรักษาค่า L* และค่า chroma มีแนวโน้มไม่คงที่ในขณะที่ค่า hue angle มีแนวโน้มลดลงแสดงให้เห็นว่า ผักชีไทยอินทรีย์มีการเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเขียวเป็นสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 32 - 34 ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าทั้งผลของการลดอุณหภูมิและผลของบรรจุภัณฑ์รวมถึงอิทธิพลร่วมของการลดอุณหภูมิและชนิดของบรรจุภัณฑ์ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีของผักชีไทยอินทรีย์ (ค่า L*, ค่า chroma และ ค่า hue angle)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

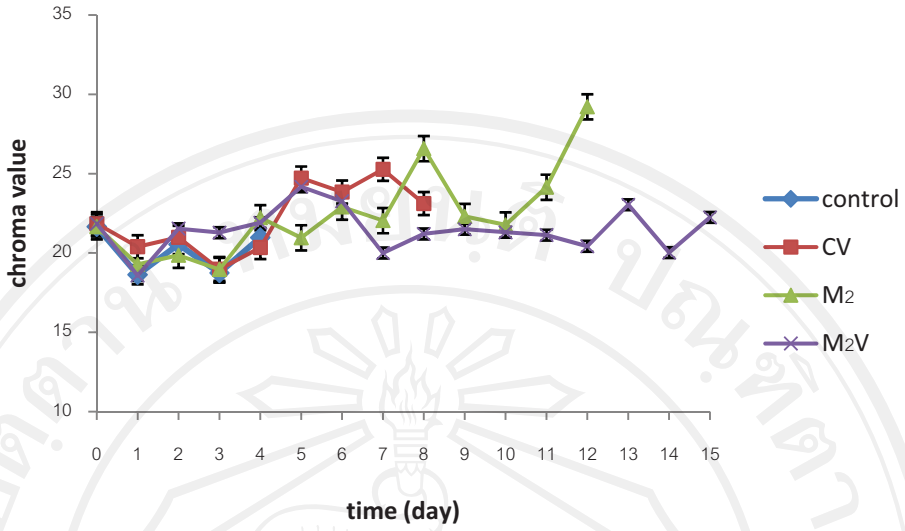
ตารางที่ 14 ค่า L*, ค่า chroma และค่า hue angle ของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน

สิ่งทดลอง	L*	chroma	hue angle (องศา)
- ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน	39.97±1.28	20.97±0.76	130.2±0.42
- ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน	40.95±0.83	20.34±0.68	133.4±1.20
- ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2	39.37±0.94	22.22±1.17	131.6±0.17
- ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2	40.44±0.42	21.91±0.78	131.9±1.18

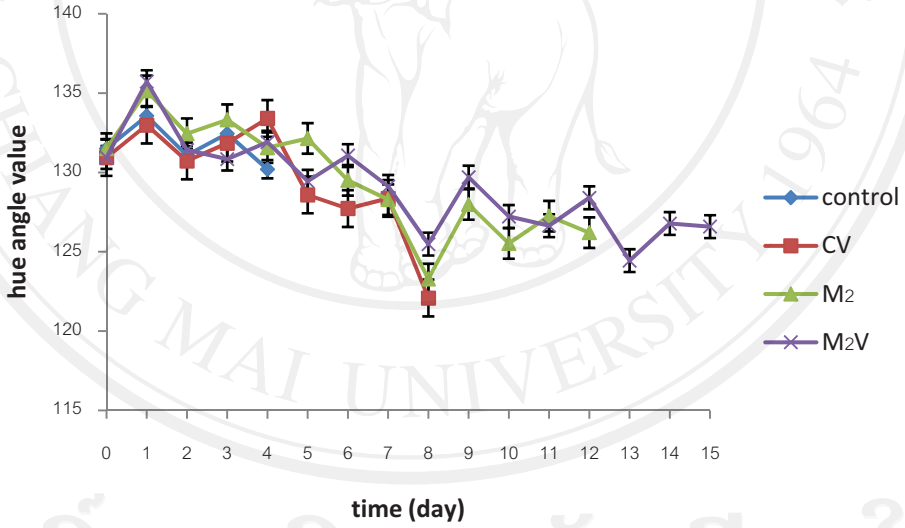


ภาพที่ 33 ค่า L* ของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 34 ค่า chroma ของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 35 ค่า hue angle ของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

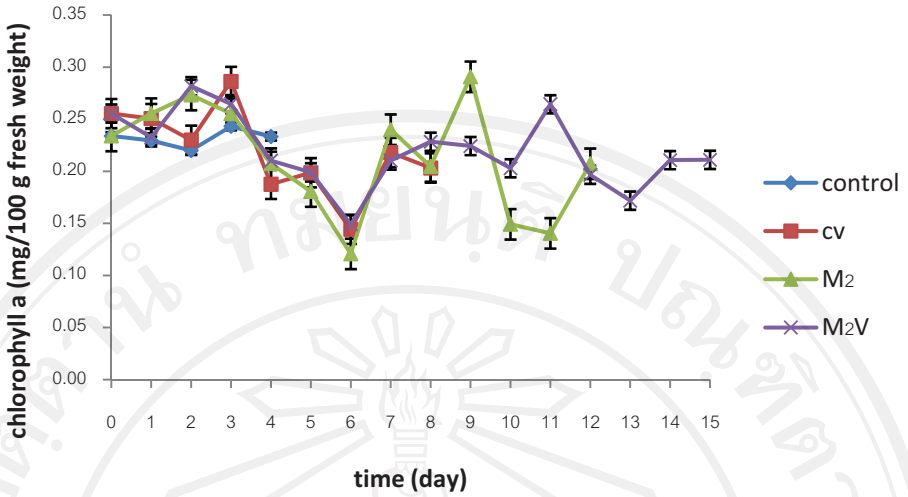
4.3.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์

ผักชีไทยอินทรีย์ที่เก็บรักษาไว้นาน 4 วัน ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละสิ่งทดลองโดยที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในช่วง 0.187±0.030 - 0.233±0.019 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี อยู่ในช่วง 0.080±0.011 - 0.094±0.007 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด และมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด อยู่ในช่วง 0.272±0.041 - 0.333±0.026 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 15) โดยตลอดอายุการเก็บรักษาจะเห็นได้ว่าผักชีไทยอินทรีย์มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด มีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 35 – 37) ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าทั้งการลดอุณหภูมิ ชนิดของบรรจุภัณฑ์ และอิทธิพลร่วมของการลดอุณหภูมิและชนิดของบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บีและคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ของผักชีไทยอินทรีย์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

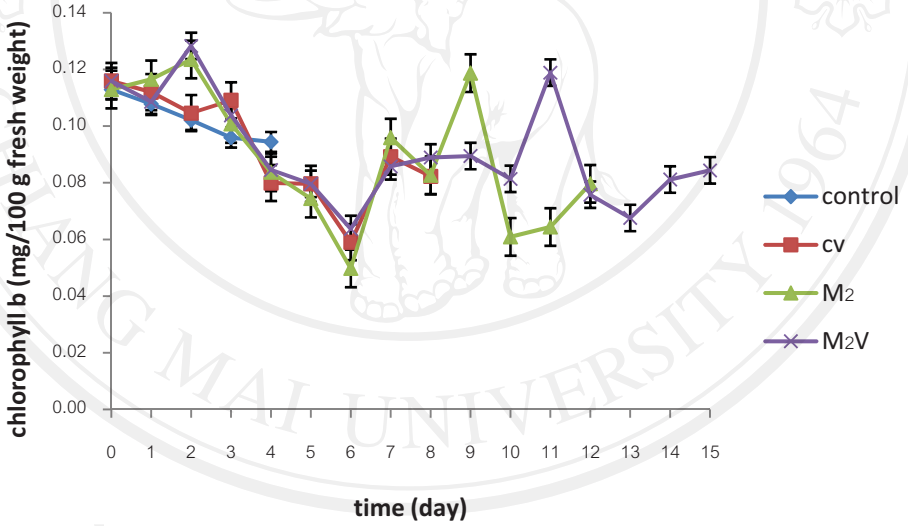
ตารางที่ 15 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บีและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน

สิ่งทดลอง	คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด)		
	เอ	บี	ทั้งหมด
- ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน	0.233±0.019	0.094±0.007	0.333±0.026
- ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน	0.187±0.030	0.080±0.011	0.272±0.041
- ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2	0.207±0.002	0.084±0.001	0.296±0.003
- ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2	0.210±0.017	0.084±0.003	0.300±0.014

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

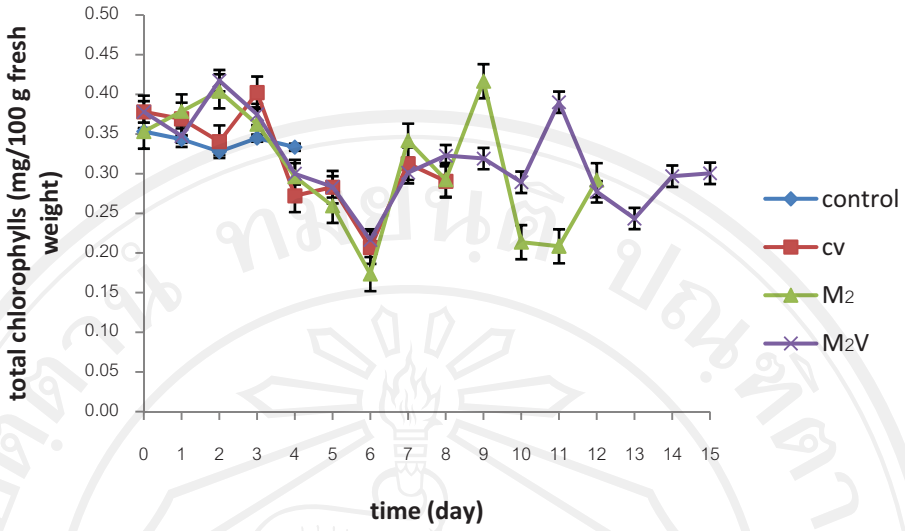


ภาพที่ 36 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 37 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 38 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

4.3.3 ปริมาณวิตามินซี

เมื่อเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน พบว่าปริมาณวิตามินซีของผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนมีปริมาณวิตามินซีมากที่สุดเท่ากับ 29.30±1.27 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสดซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน ที่มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 26.75±2.21 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2 และผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2 ที่มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 11.46±0.00 และ 21.65±2.55 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสดตามลำดับ (ตารางที่ 16) โดยตลอดอายุการเก็บรักษาพบว่า ปริมาณวิตามินซีของผักชีไทยอินทรีย์ในแต่ละสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลงดังภาพที่ 38

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการลดอุณหภูมิไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซีในผักชีไทยอินทรีย์ แต่ชนิดของบรรจุภัณฑ์ส่งผลต่อปริมาณวิตามินซี เช่นเดียวกันกับอิทธิพลร่วมของการลดอุณหภูมิและชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ส่งผลต่อปริมาณของวิตามินซีในผักชีไทยอินทรีย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

หลังจากเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการลดอุณหภูมิ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (8.93±0.03 เปอร์เซ็นต์ และ 9.23±0.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2 ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการลดอุณหภูมิ (7.53±0.67 เปอร์เซ็นต์ และ 6.53±0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ดังตารางที่ 16 ซึ่งตลอดอายุการเก็บรักษาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของผักชีไทยอินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 39

จากการทดลองพบว่าการลดอุณหภูมิไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เช่นเดียวกันกับอิทธิพลร่วมของการลดอุณหภูมิและชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของผักชีไทยอินทรีย์ แต่พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของผักชีไทยอินทรีย์

4.3.5 การสูญเสียน้ำหนักสด

การสูญเสียน้ำหนักสดของผักชีไทยอินทรีย์เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 4 วัน พบว่าผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน มีการสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุดถึง 5.62±0.64 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนที่มีการสูญเสียน้ำหนักสด 4.84±0.68 เปอร์เซ็นต์ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2 และผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2 ที่มีการสูญเสียน้ำหนักสด 0.13±0.01และ 0.21±0.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 16)

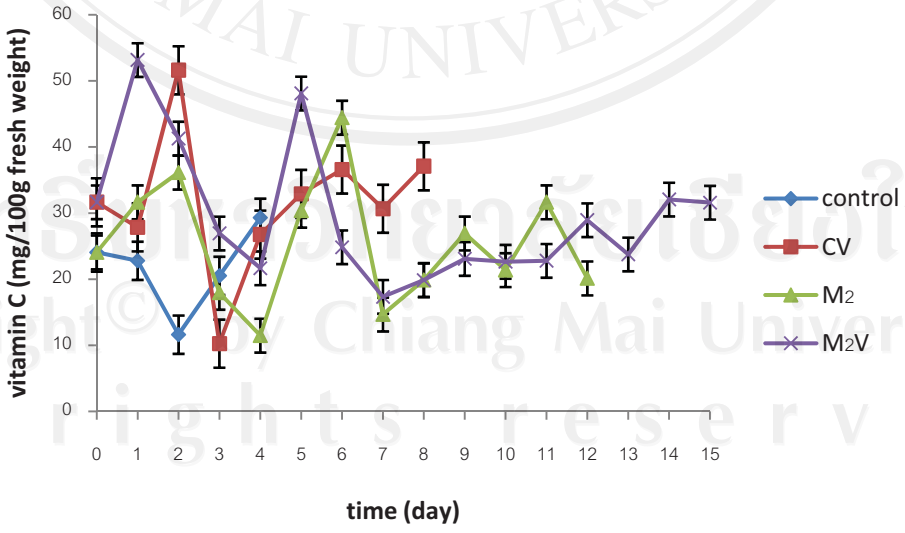
ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าการลดอุณหภูมิไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักสด แต่ชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักสดของผักชีไทยอินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Sankat and Maharaj (1996) ที่ทำการศึกษาการเก็บรักษาผักชีฝรั่ง (*Eryngium foetidum* L.) ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักสดต่ำกว่าผักชีฝรั่งในชุดควบคุม ซึ่งจากการทดลองพบว่าผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนมีการสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่าผักชีไทยอินทรีย์ที่บรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2 และอิทธิพลร่วมของการลดอุณหภูมิและชนิดของบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักสดของผักชีไทยอินทรีย์ และตลอดอายุการเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 40)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 16 ปริมาณวิตามินซี ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและการสูญเสียน้ำหนักสดของผักชีไทยอินทรีย์ ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน

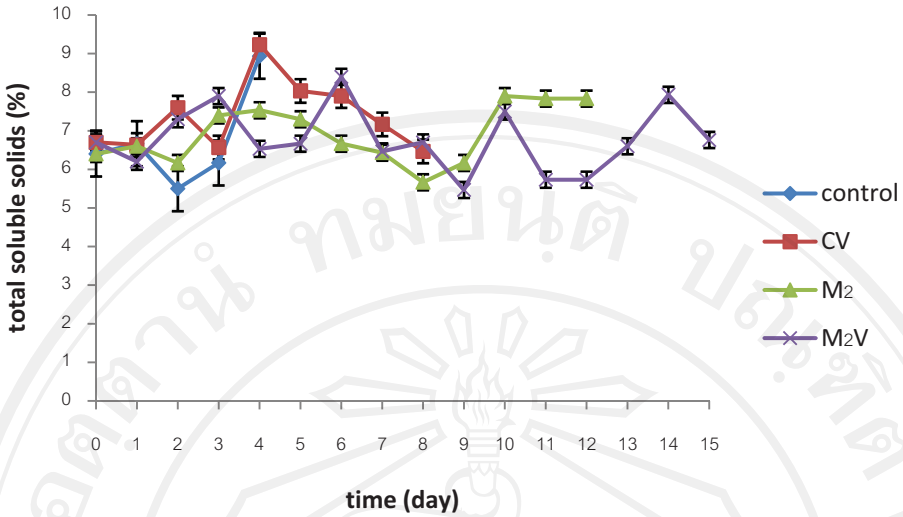
สิ่งทดลอง	วิตามินซี (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด)	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)
- ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน	29.30±1.27[a]	8.93±0.03[a]	5.62±0.64[a]
- ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน	26.75±2.21[ab]	9.23±0.24[a]	4.84±0.68[a]
- ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2	11.46±0.00[c]	7.53±0.67[b]	0.13±0.01[b]
- ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2	21.65±2.55[b]	6.53±0.44[b]	0.21±0.01[b]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้ง คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

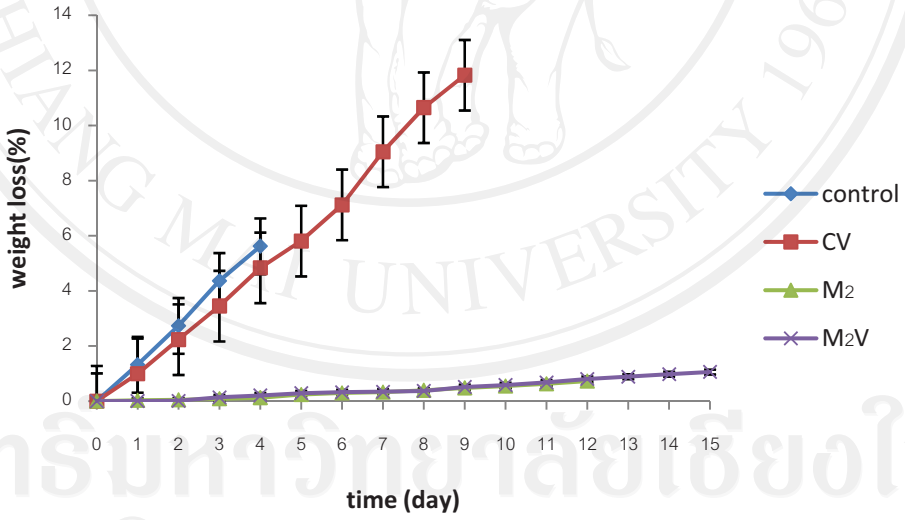


ภาพที่ 39 ปริมาณวิตามินซีของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 40 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 41 การสูญเสียน้ำหนักสดของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.6 กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ

หลังจากเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน พบว่าผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน มีค่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดคือ 1.97±0.07 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2 (1.94±0.03 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง) แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยที่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2 และผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน ที่มีค่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 1.53±0.03 และ 1.09±0.02 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 17) โดยตลอดอายุการเก็บรักษาพบว่าค่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มลดลง ดังภาพที่ 41 ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าทั้งการลดอุณหภูมิ ชนิดของบรรจุภัณฑ์และอิทธิพลร่วมของการลดอุณหภูมิและชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อค่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของผักชีไทยอินทรีย์

4.3.7 สารประกอบฟีนอล

ผักชีไทยอินทรีย์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลของผักชีไทยอินทรีย์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีปริมาณของสารประกอบฟีนอลอยู่ในช่วง 5.66±0.32 - 9.43±1.75 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากที่สุดเท่ากับ 9.43±1.75 มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง ดังตารางที่ 17 ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งการลดอุณหภูมิ ชนิดของบรรจุภัณฑ์และอิทธิพลร่วมของการลดอุณหภูมิและชนิดของบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลในผักชีไทยอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตลอดอายุการเก็บรักษาผักชีไทยอินทรีย์พบว่าสารประกอบฟีนอลมีแนวโน้มลดลงดังภาพที่ 42 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Rizzo and Muratore ที่พบว่าการเก็บรักษาเซเลอรี่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ polyolefin anti-fog (AF) และ polypropylene micro perforated (MP) มีแนวโน้มของปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น

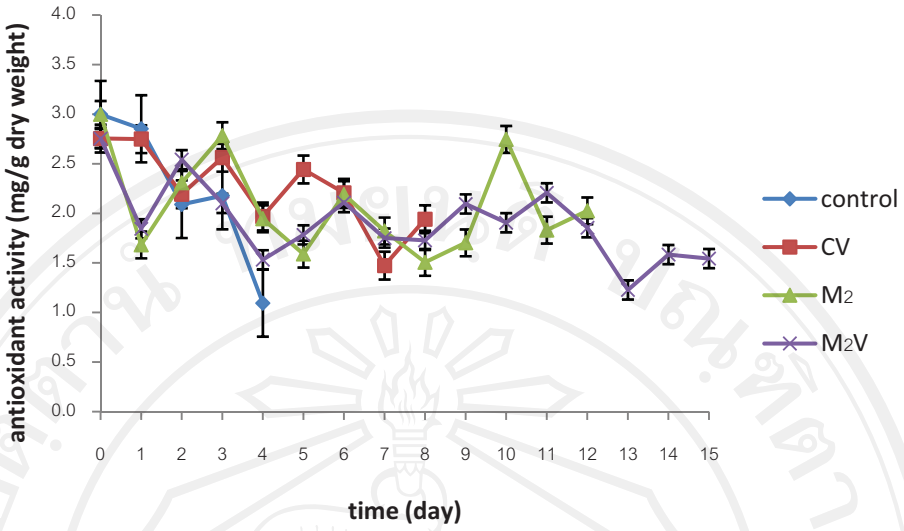
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 17 กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลของผักชีไทยอินทรีย์ ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน

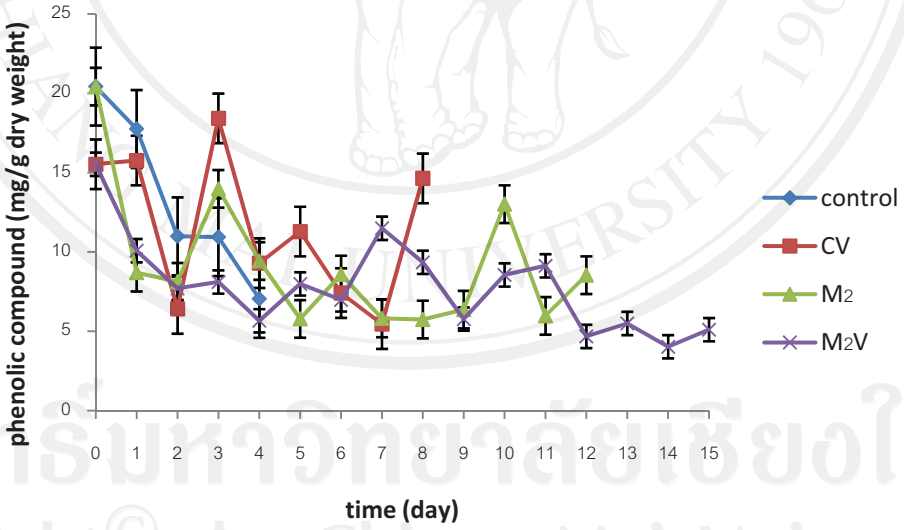
สิ่งทดลอง	กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง)	สารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม gallic acid equivalent/กรัมน้ำหนักแห้ง)
- ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน	1.09±0.02[c]	7.05±0.35
- ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน	1.97±0.07[a]	9.29±0.83
- ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2	1.94±0.03[a]	9.43±1.75
- ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2	1.53±0.03[b]	5.66±0.32

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้ง คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 42 ค่ากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 43 ปริมาณสารประกอบฟีนอลของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.8 อายุการเก็บรักษา

จากการทดลองพบว่าการลดอุณหภูมิและชนิดของบรรจุภัณฑ์มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของผักชีไทยอินทรีย์ แต่อิทธิพลร่วมของการลดอุณหภูมิและชนิดของบรรจุภัณฑ์ไม่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผักชีไทยอินทรีย์ โดยที่ผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2 มีอายุการเก็บรักษานานที่สุดเท่ากับ 15.20±0.20 วัน ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน ผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน และผักชีไทยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2 ที่มีอายุการเก็บรักษานาน 3.80±0.20, 7.80±0.20 และ 11.80±0.20 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 18 อายุการเก็บรักษาของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	อายุการเก็บรักษา (วัน)
- ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน	3.80±0.20^{d}
- ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน	7.80±0.20^{c}
- ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2	11.80±0.20^{b}
- ผ่านการลดอุณหภูมิและบรรจุในถุงแอคทีฟชนิด M2	15.20±0.20^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้ง คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

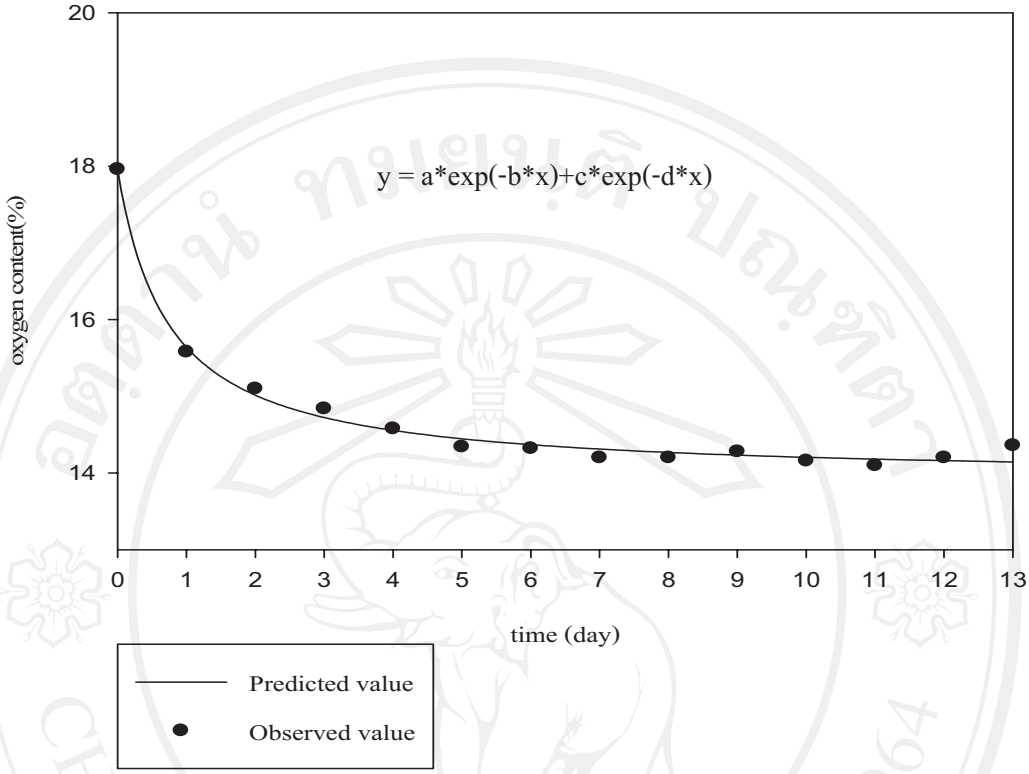
4.4 การทดลองที่ 4 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุผักชีไทยอินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา

สุ่มตัวอย่างผักชีไทยอินทรีย์จากการทดลองที่ 2 แล 3 มาวัดความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ พบว่าถุงโพลีเอทิลีน ไม่มีการลดลงของปริมาณออกซิเจนและไม่มีการสะสมของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้เนื่องจากถุงโพลีเอทิลีนมีการเจาะรู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 18 รู อากาศจึงมีการถ่ายเทได้อย่างสะดวกดังนั้นอากาศภายในบรรจุภัณฑ์จึงไม่แตกต่างจากอากาศภายนอกบรรจุภัณฑ์ ส่วนถุงแอคทีฟและถุงโพลีโพรพิลีนมีการลดลงของความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนแต่ไม่มีการสะสมก๊าซ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นการศึกษาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงทำได้เพียงสำหรับทำนายปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์เท่านั้น ซึ่งจากการทดลองที่ 2 พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับถุงแอคทีฟชนิด M1 คือ สมการ double exponential decay ชนิด 4 parameters โดยที่มีค่า adj R^2 เท่ากับ 0.9632 และค่า Root Mean Square Error (RMSE) เท่ากับ 0.1770 (ตารางที่ 19) โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนกับระยะเวลาในการเก็บรักษา แสดงดังภาพที่ 44 และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสำหรับถุงแอคทีฟชนิด M2, M3 และ M4 คือสมการ modified exponential decay ชนิด 3 parameters ดังตารางที่ 20 - 22 ซึ่งมีค่า adj R^2 มากที่สุดเท่ากับ 0.9900, 0.9667 และ 0.8800 ตามลำดับและมีค่า RMSE น้อยที่สุดเท่ากับ 0.0906, 0.2181 และ 0.3405 ตามลำดับ โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนกับระยะเวลาในการเก็บรักษา แสดงดังภาพที่ 45-47 สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับถุงโพลีโพรพิลีนคือสมการ Lorentzian ชนิด 3 Parameters ซึ่งมีค่า adj R^2 เท่ากับ 0.9070 และมีค่า RMSE เท่ากับ 0.3565 ดังแสดงในตารางที่ 23 โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนกับระยะเวลาในการเก็บรักษา แสดงดังภาพที่ 48 พบว่าความเข้มข้นของออกซิเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเก็บรักษาและมีแนวโน้มลดลงในช่วงท้ายของการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Gill et al. (2002) ที่พบว่าการเก็บรักษามะเขือเทศตัดแต่งพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์ OPP (bioriented polypropylene film) มีการเปลี่ยนแปลงสภาพบรรยากาศเล็กน้อยจากบรรยากาศเริ่มต้น (14 kPa O_2 + 0 kPa CO_2) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากนั้นคงที่ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 15 kPa O_2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



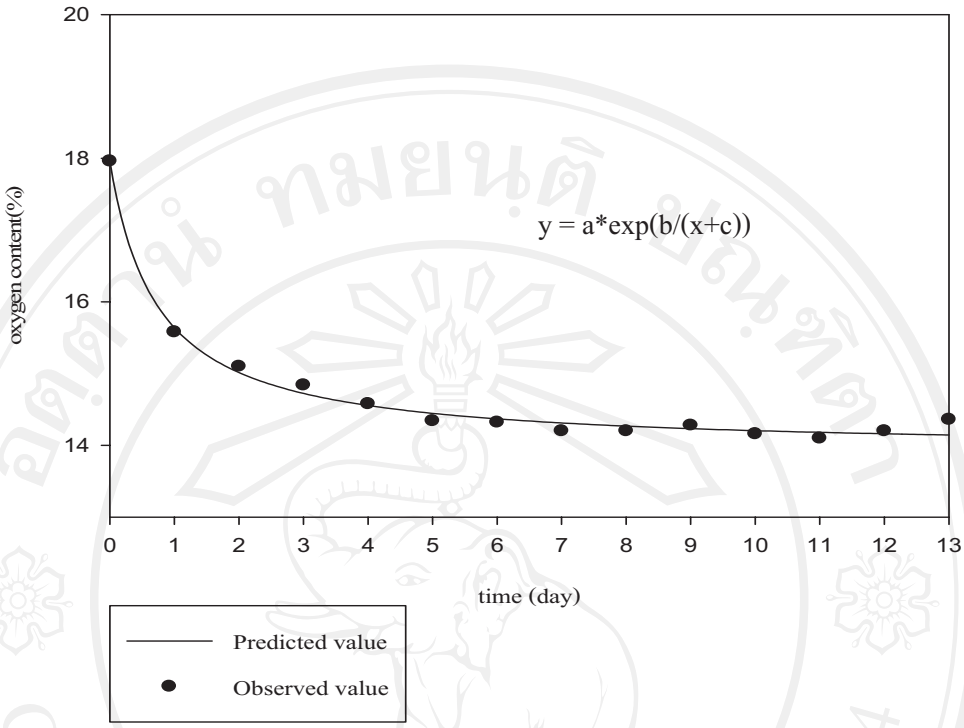
เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)

x คือ จำนวนวัน (วัน)

a, b, c และ d คือ ค่าคงที่ (ไม่มีหน่วย)

ภาพที่ 44 แสดงค่าการทำนายสมการ double exponential decay ชนิด 4 parameters ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนกับระยะเวลาในการเก็บรักษาของผักชีไทยอินทรีย์ในถุงแอคทีฟชนิด M1 ในการทดลองที่ 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



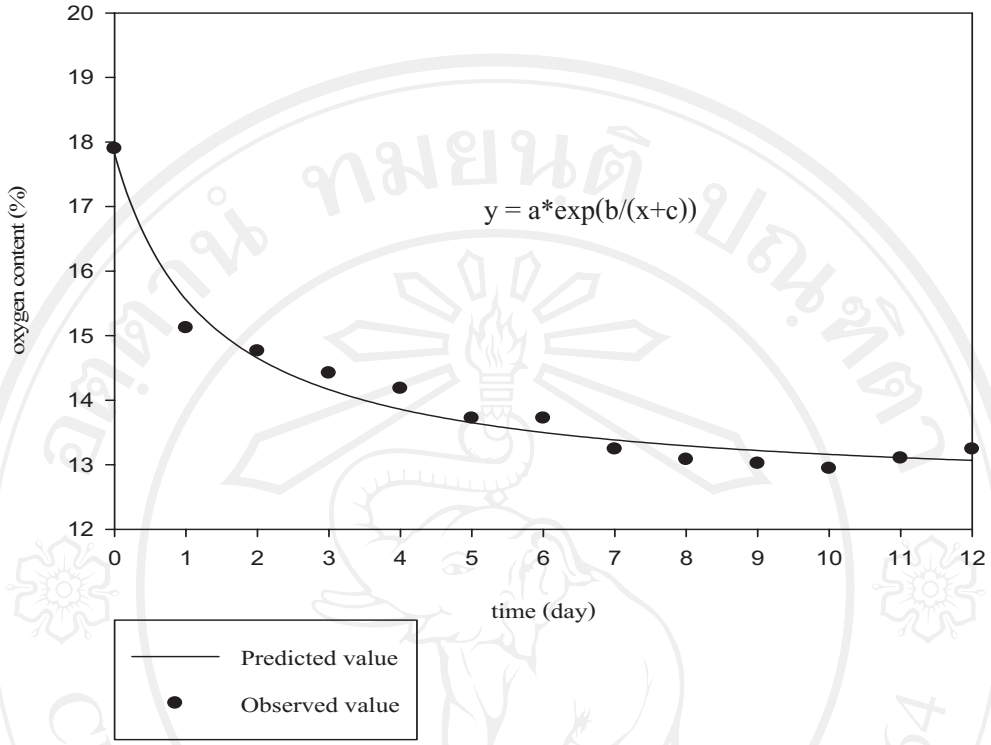
เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)

x คือ จำนวนวัน (วัน)

a, b และ c คือ ค่าคงที่ (ไม่มีหน่วย)

ภาพที่ 45 แสดงค่าการทำนายสมการ modified exponential decay ชนิด 3 parameters ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนกับระยะเวลาในการเก็บรักษาของผักชีไทยอินทรีย์ในถุงแอคทีฟชนิด M2 ในการทดลองที่ 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



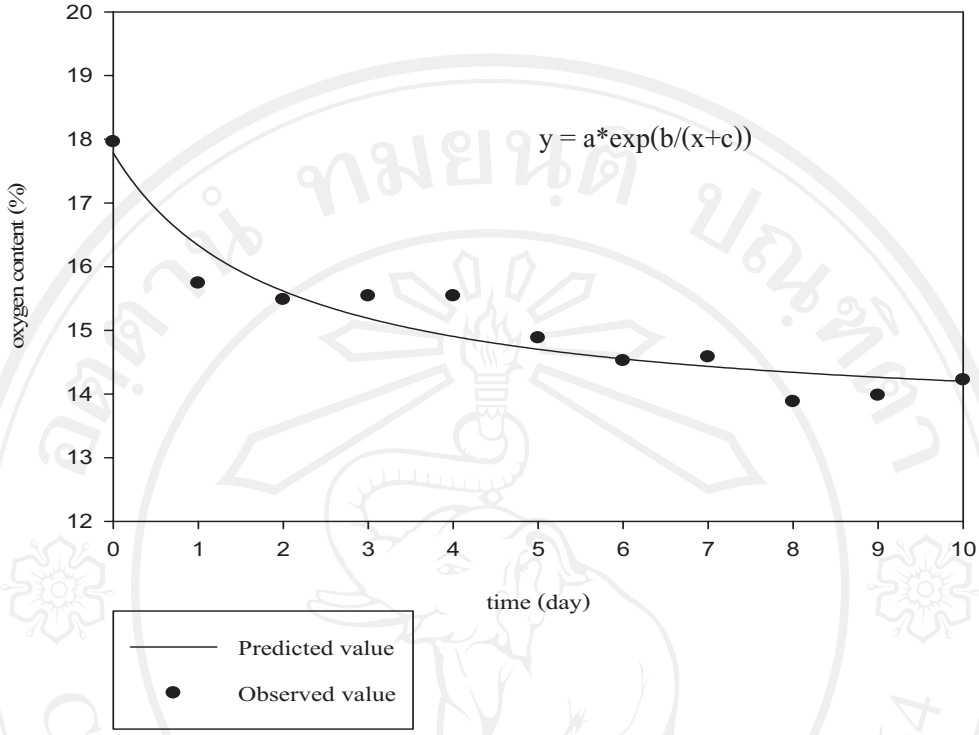
เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)

x คือ จำนวนวัน (วัน)

a, b และ c คือ ค่าคงที่ (ไม่มีหน่วย)

ภาพที่ 46 แสดงค่าการทำนายสมการ modified exponential decay ชนิด 3 parameters ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนกับระยะเวลาในการเก็บรักษาของผักชีไทยอินทรีย์ในถุงแอคทีฟชนิด M3 ในการทดลองที่ 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



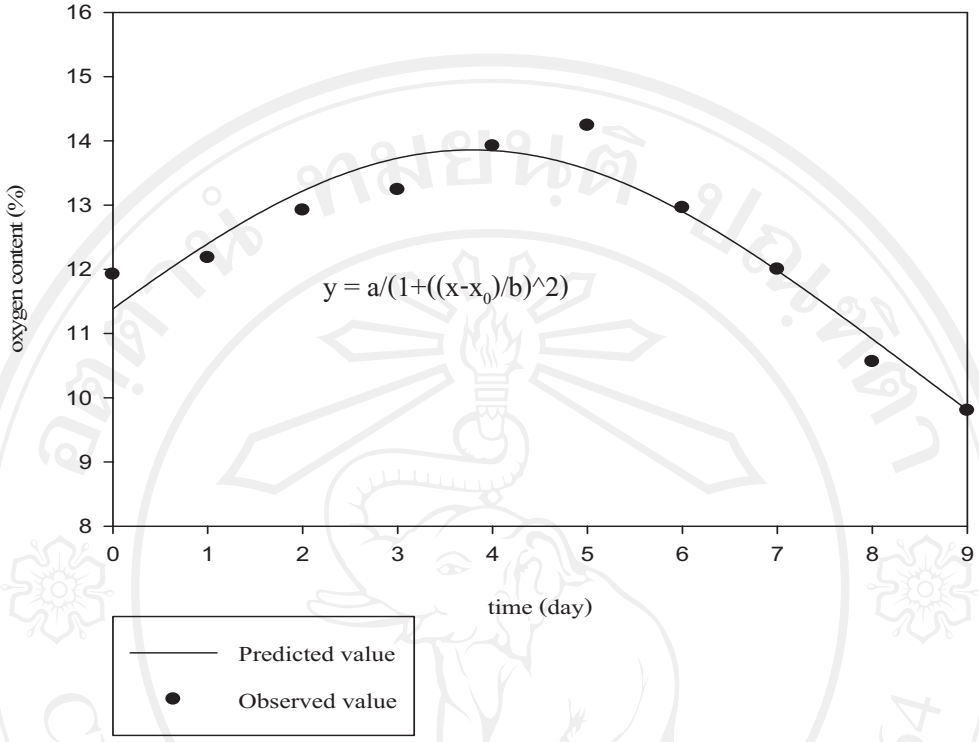
เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)

x คือ จำนวนวัน (วัน)

a, b และ c คือ ค่าคงที่ (ไม่มีหน่วย)

ภาพที่ 47 แสดงค่าการทำนายสมการ modified exponential decay ชนิด 3 parameters ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนกับระยะเวลาในการเก็บรักษาของผักชีไทยอินทรีย์ในถุงแอคทีฟชนิด M4 ในการทดลองที่ 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)

x คือ จำนวนวัน (วัน)

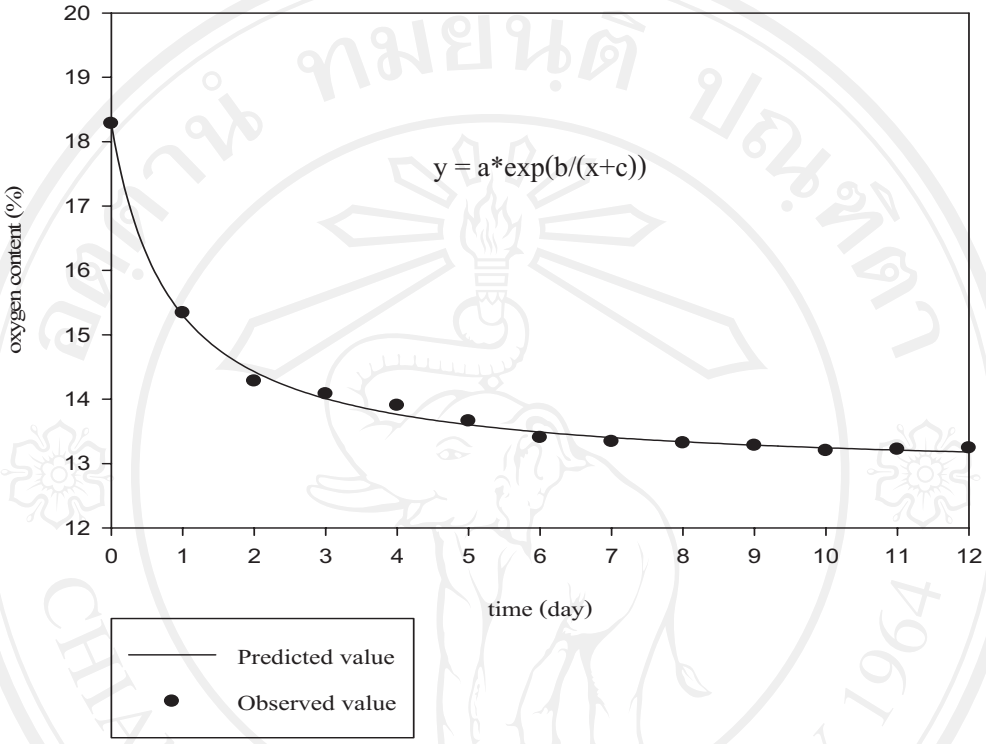
a, b และ x_0 คือ ค่าคงที่ (ไม่มีหน่วย)

ภาพที่ 48 แสดงค่าการทำนายสมการ Lorentzian ชนิด 3 Parameters ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนกับระยะเวลาในการเก็บรักษาของผักชีไทยอินทรีย์ในบรรจุภัณฑ์ถุง PP ในการทดลองที่ 2

จากการทดลองที่ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนสำหรับบรรจุภัณฑ์ชนิด M2 คือสมการ exponential decay ชนิด modified single 3 parameter ซึ่งเป็นสมการเดียวกับที่ได้จากการทดลองที่ 2 แต่มีความแตกต่างกันที่ตัวแปร โดยที่มีค่า adj R^2 เท่ากับ 0.9966 และค่า RMSE เท่ากับ 0.0724 (ตารางที่ 24) โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนกับระยะเวลาในการเก็บรักษา แสดงในภาพที่ 49 และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของถุงแอคทีฟชนิด M2 ที่ภายในบรรจุผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิคือสมการ exponential decay ชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

modified single 3 parameter โดยที่มีค่า adj R^2 เท่ากับ 0.9805 และค่า RMSE เท่ากับ 0.1302 (ตารางที่ 25) โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนกับระยะเวลาในการเก็บรักษาแสดงในภาพที่ 50



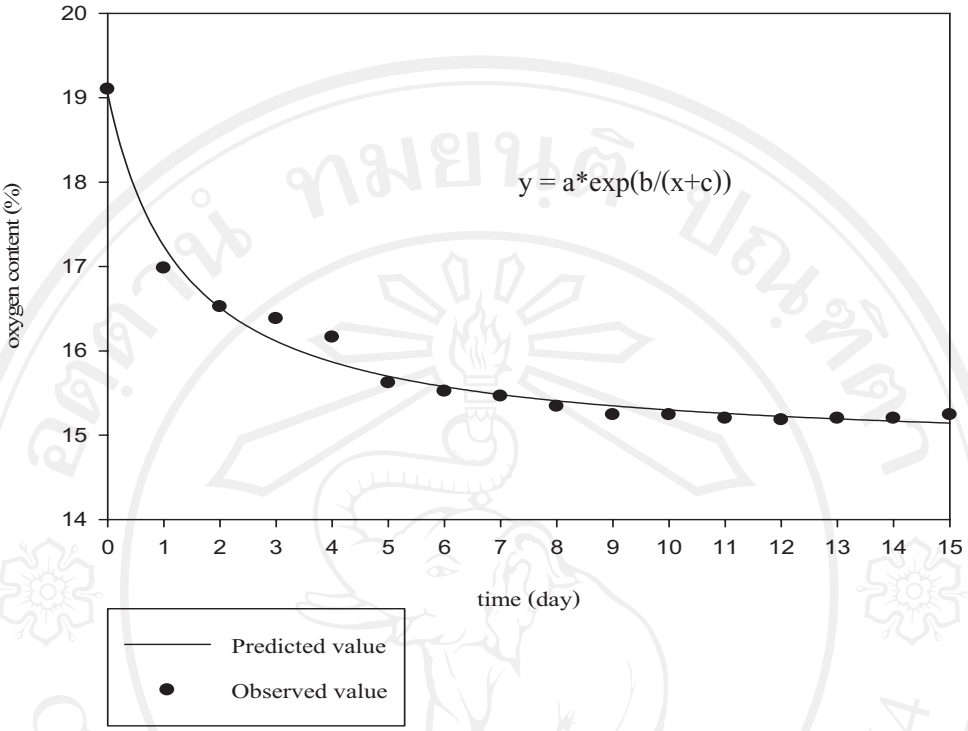
เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)

x คือ จำนวนวัน (วัน)

a, b และ c คือ ค่าคงที่ (ไม่มีหน่วย)

ภาพที่ 49 แสดงค่าการทำนายสมการ modified exponential decay ชนิด 3 parameters ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนกับระยะเวลาในการเก็บรักษาของผักชีไทยอินทรีย์ในถุงแอคทีฟชนิด M2 ในการทดลองที่ 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)

x คือ จำนวนวัน (วัน)

a, b และ c คือ ค่าคงที่ (ไม่มีหน่วย)

ภาพที่ 50 แสดงค่าการทำนายสมการ modified exponential decay ชนิด 3 parameters ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนกับระยะเวลาในการเก็บรักษาของผักชีไทยอินทรีย์ในถุงแอคทีฟชนิด M2V ในการทดลองที่ 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 19 สมการทางคณิตศาสตร์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในถุงแอคทีฟชนิด M1 ของผักชีไทยอินทรีย์ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สมการ	ตัวแปร					adj R^2	RMSE
	y_0	a	b	c	d		
$y = a*exp(-b*x)$	-	16.1897±0.3572	0.0183±0.0036	-	-	0.6882	0.5756
$y = y_0+a*exp(-b*x)$	13.9662±0.1769	3.5044±0.3734	0.5349±0.1313	-	-	0.8888	0.3261
$y = a*exp(-b*x)+c*exp(-d*x)$	-	2.4073±0.2939	2.0971±0.9381	15.3338±0.2005	0.0110±0.0018	0.9632	0.1770
$y = a*exp(b/(x+c))$	-	13.4567±0.2396	0.3883±0.1347	1.4261±0.4409	-	0.9339	0.2515
$y = y_0+a*exp(-b*x)+c*x$	15.2970±0.1931	2.4440±0.2899	2.0251±0.8552	-0.1567±0.0264	-	0.9627	0.1782

เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)

x คือ จำนวนวัน (วัน)

a, b, c และ d คือ ค่าคงที่ (ไม่มีหน่วย)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 20 สมการทางคณิตศาสตร์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในถุงแอคทีฟชนิด M2 ของผักชีไทยอินทรีย์ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สมการ	ตัวแปร					adj R^2	RMSE
	y_0	a	b	c	d		
$y = a*exp(-b*x)$	-	15.9069±0.3911	0.0120±0.0034	-	-	0.4667	0.6903
$y = y_0+a*exp(-b*x)$	14.2603±0.0527	3.6122±0.1580	0.7970±0.0776	-	-	0.9768	0.1378
$y = a*exp(-b*x)+c*exp(-d*x)$	-	3.3648±0.2050	0.9842±0.1399	14.5526±0.1569	0.0022±0.0012	0.9795	0.1235
$y = a*exp(b/(x+c))$	-	13.9289±0.0574	0.2132±0.0251	0.8392±0.0922	-	0.9900	0.0906
$y = y_0+a*exp(-b*x)+c*x$	14.5472±0.1550	3.3697±0.2038	0.9809±0.1387	-0.0311±0.0170	-	0.9795	0.1237

เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)

x คือ จำนวนวัน (วัน)

a, b, c และ d คือ ค่าคงที่ (ไม่มีหน่วย)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 21 สมการทางคณิตศาสตร์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในถุงแอคทีฟชนิด M3 ของผักชีไทยอินทรีย์ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สมการ	ตัวแปร					adj R^2	RMSE
	y_0	a	b	c	d		
$y = a*exp(-b*x)$	-	15.8904±0.4323	0.0213±0.0041	-	-	0.6712	0.7189
$y = y_0+a*exp(-b*x)$	13.1612±0.1544	4.4023±0.3317	0.4900±0.0841	-	-	0.9373	0.2994
$y = a*exp(-b*x)+c*exp(-d*x)$	-	3.2307±0.3726	1.3933±0.4246	14.6468±0.2691	0.0112±0.0023	0.9613	0.2230
$y = a*exp(b/(x+c))$	-	12.5398±0.1948	0.5601±0.1288	1.5955±0.3265	-	0.9667	0.2181
$y = y_0+a*exp(-b*x)+c*x$	14.5658±0.2655	3.3051±0.3726	1.3066±0.3812	-0.1468±0.0323	-	0.9597	0.2276

เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)

x คือ จำนวนวัน (วัน)

a, b, c และ d คือ ค่าคงที่ (ไม่มีหน่วย)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 22 สมการทางคณิตศาสตร์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในถุงแอคทีฟชนิด M4 ของผักชีไทยอินทรีย์ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สมการ	ตัวแปร					adj R^2	RMSE
	y_0	a	b	c	d		
$y = a*exp(-b*x)$	-	16.7170±0.3345	0.0205±0.0036	-	-	0.7568	0.5142
$y = y_0+a*exp(-b*x)$	14.0502±0.3843	3.4481±0.4670	0.3366±0.1253	-	-	0.8473	0.3841
$y = a*exp(b/(x+c))$	-	13.5022±0.4877	0.6169±0.3481	2.2406±1.0666	-	0.8800	0.3405

เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)

x คือ จำนวนวัน (วัน)

a, b, c และ d คือ ค่าคงที่ (ไม่มีหน่วย)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 23 สมการทางคณิตศาสตร์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ถุง PP ของผักชีไทยอินทรีย์ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สมการ	ตัวแปร				adj R^2	RMSE
	a	b	c	x_0		
$y = a*exp(-0.5*((x-x_0)/b)^2)$	13.7893±0.2111	6.1976±0.3820	-	3.7869±0.1751	0.9056	0.3590
$y = a*exp(-0.5*abs(x-x_0)/b)^c)$	13.8692±0.3453	6.3075±0.6358	1.8417±0.5057	3.7925±0.1964	0.8917	0.3561
$y = a/(1+((x-x_0)/b)^2)$	13.8594±0.2202	8.1155±0.5516	-	3.7856±0.1738	0.9070	0.3565
$y = a*(c*(1/(1+((x-x_0)/b)^2))+ (1-c)*exp(-0.5*((x-x_0)/b)^2))$	13.8436±0.2767	6.9273±4.2661	0.4146±2.1821	3.7867±0.1980	0.8918	0.3560

เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)

x คือ จำนวนวัน (วัน)

a, b, c และ x_0 คือ ค่าคงที่ (ไม่มีหน่วย)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 24 สมการทางคณิตศาสตร์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในถุงแอคทีฟชนิด M2 ของผักชีไทยอินทรีย์ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสจากการทดลองที่ 3

สมการ	ตัวแปร					adj R^2	RMSE
	y_0	a	b	c	d		
y = a*exp(-b*x)	-	15.7939±0.5279	0.0201±0.0051	-	-	0.504	0.8803
$y = y_0+a*exp(-b*x)$	13.3511±0.0685	4.8407±0.1920	0.7750±0.0689	-	-	0.9821	0.1654
y = a*exp(-b*x)+c*exp(-d*x)	-	4.2797±0.1668	1.0755±0.0990	13.9900±0.1298	0.0055±0.0011	0.9934	0.0954
y = a*exp(b/(x+c))	-	12.8264±0.0520	0.3523±0.0257	0.9943±0.0661	-	0.9966	0.0724
$y = y_0+a*exp(-b*x)+c*x$	13.9737±0.1269	4.2953±0.1652	1.0686±0.0977	-0.0726±0.0150	-	0.9933	0.0961

เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)

x คือ จำนวนวัน (วัน)

a, b, c และ d คือ ค่าคงที่ (ไม่มีหน่วย)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 25 สมการทางคณิตศาสตร์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในถุงแอคทีฟชนิด M2V ของผักชีไทยอินทรีย์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสจากการทดลองที่ 3

สมการ	ตัวแปร					adj R^2	RMSE
	y_0	a	b	c	d		
$y = a*exp(-b*x)$	-	17.1984±0.3214	0.0111±0.0022	-	-	0.6068	0.6072
$y = y_0+a*exp(-b*x)$	15.2472±0.0777	3.5951±0.1998	0.4673±0.0557	-	-	0.9585	0.1901
$y = a*exp(-b*x)+c*exp(-d*x)$	-	3.0742±0.2688	0.7546±0.1465	15.9234±0.2158	0.0037±0.0013	0.9655	0.1666
$y = a*exp(b/(x+c))$	-	14.7925±0.0913	0.3885±0.0555	1.5364±0.2045	-	0.9805	0.1302
$y = y_0+a*exp(-b*x)+c*x$	15.9004±0.2125	3.0934±0.2663	0.7426±0.1426	-0.0561±0.0198	-	0.9653	0.1671

เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)

x คือ จำนวนวัน (วัน)

a, b, c และ d คือ ค่าคงที่ (ไม่มีหน่วย)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved