บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติของเนื้อลำไยบดก่อนการอบแห้ง

จากการเตรียมเนื้อลำไยบด โดยการนำมาผ่านการลดขนาดด้วยการตัดให้มีขนาดเล็กพอที่จะสามารถลอยตัวได้ในห้องอบแห้งเมื่อฉีดพ่นลมร้อนเข้าไป คือเฉลี่ยประมาณ 0.5 มิลลิเมตร และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของเนื้อลำไยบดก่อนการอบแห้ง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของเนื้อลำไยบดก่อนการอบแห้ง

คุณภาพ	**ค่าที่วัดได้**
ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักฐานเปียก)	77.71±0.32
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	22.29±0.32
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	15.4±0.02
ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w)	0.989±0.01
ค่าสี L	61.77±0.88
a*	1.29±0.18
b*	4.53±0.25

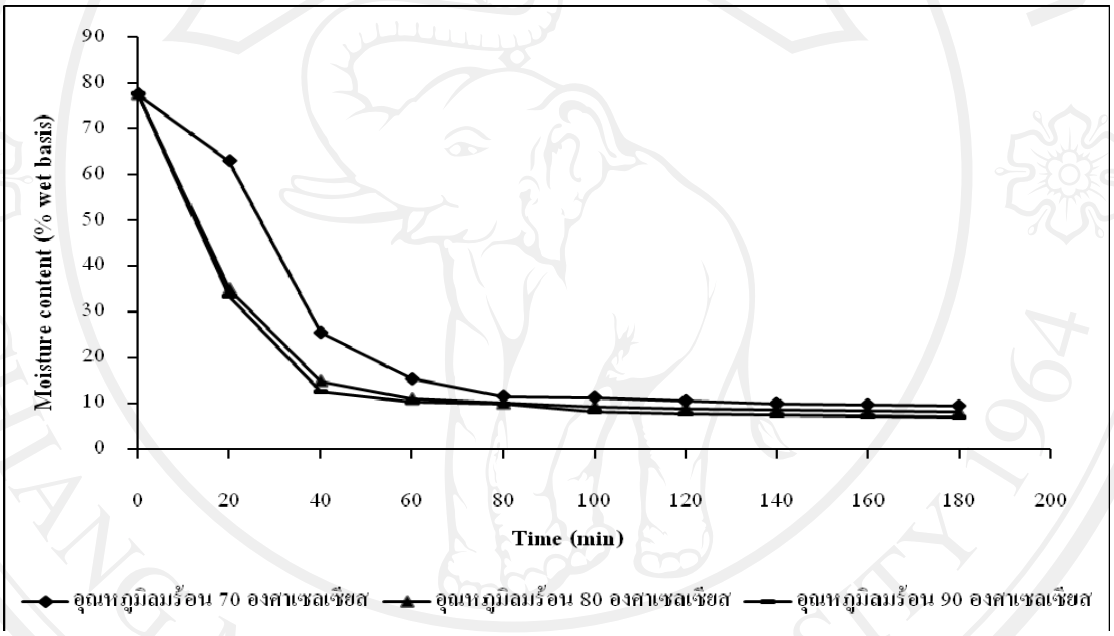
หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตาราง หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.1 พบว่า เนื้อลำไยบดมีค่า a_w เท่ากับ 0.989 ปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 77.71 (โดยน้ำหนักฐานเปียก) ปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 22.29 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการรายงานของรัตนาและคณะ (2547) คือเนื้อลำไยสดมีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 80.10 และเนื้อลำไยบดมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำเท่ากับ 15.4 องศาบริกซ์ มีค่าใกล้เคียงกับการรายงานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2549) คือเนื้อลำไยสดมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำประมาณ 16-20 องศาบริกซ์ ซึ่งผลการวิจัยที่แตกต่างกันนี้อาจเนื่องมาจากฤดูกาลและสถานที่เพาะปลูกที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้มีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ด้านสีพบว่ามีค่า L เท่ากับ 45.77 ค่า a* เท่ากับ 1.29 ค่า b* เท่ากับ 4.53 เมื่อเทียบกับงานวิจัยของรัตนาและอัจฉรา (2543) ที่มีค่า L เท่ากับ 41.5 ค่า a* เท่ากับ 2.6 ค่า b* เท่ากับ 4.2 พบว่ามีค่าแตกต่างกันทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากฤดูกาลและแหล่งที่ปลูกต่างกัน และกระบวนการเตรียมตัวอย่างอาจทำให้สีแตกต่างกันได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 พฤติกรรมการอบแห้งและจลนพลศาสตร์การอบแห้งเนื้อลำไยบด

จากการศึกษาการอบแห้งเนื้อลำไยบดโดยเครื่องสเปาเต็ดเบด โดยใช้ลมร้อนที่ความเร็ว 25 เมตรต่อวินาที ห้องอบมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 15.5 เซนติเมตรและสูง 170 เซนติเมตร ใช้เนื้อลำไยบดต่ออนุภาคเฉื่อย (เม็ดพลาสติกเทฟลอนขนาด 6x6 มิลลิเมตร ความหนาแน่น 2.0326 กรัมต่อมิลลิลิตร) เท่ากับ 2:1 ที่อุณหภูมิของลมร้อนเท่ากับ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที โดยสุ่มตัวอย่างเนื้อลำไยเพื่อหาปริมาณความชื้นทุกๆ 20 นาที เมื่อนำความชื้นในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งกับเวลาในการอบแห้งมาเขียนกราฟการลดลงของความชื้น ได้ผลดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การลดลงของความชื้นระหว่างการอบแห้งเนื้อลำไยบดโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบดร่วมกับอนุภาคเฉื่อย

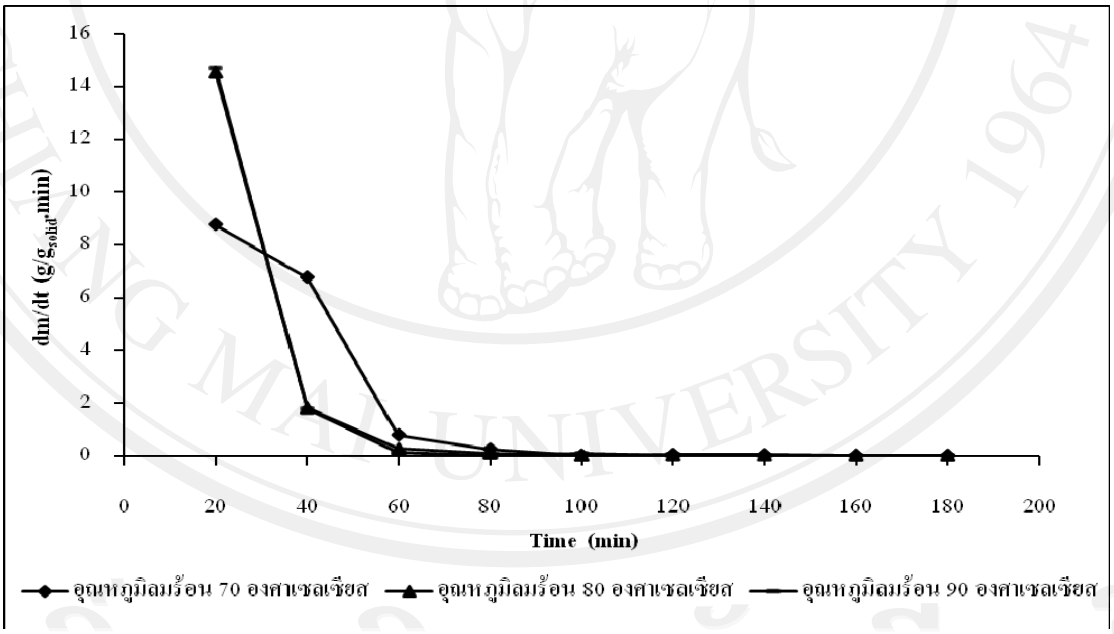
จากรูปที่ 4.1 พบว่า ลักษณะกราฟการลดลงของความชื้นระหว่างการอบแห้งเนื้อลำไยบดในแต่ละสภาวะการอบแห้งมีลักษณะคล้ายกัน คือ ในช่วงแรกที่เวลา 0-40 นาที เส้นกราฟมีลักษณะลาดเอียงลงโดยมีความชันมาก ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงแรกเนื้อลำไยมีปริมาณน้ำอิสระมาก ซึ่งสามารถระเหยได้เร็วเมื่อสัมผัสกับลมร้อนและในระหว่างกระบวนการอบแห้งมีลมร้อนทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการพาความร้อนและมีอนุภาคเฉื่อยทำหน้าที่เป็นตัวช่วยให้อนุภาคเกิดการผสมและกวนอย่างรุนแรง จึงทำให้เกิดการ spout ซึ่งเป็นการเพิ่มการสัมผัสกันระหว่างลมร้อนและผิวของอนุภาคเนื้อลำไยบด ทำให้น้ำที่อยู่ภายในเนื้อเยื่อระเหยออกมาอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว (Pallai *et al*., 2001) สำหรับในช่วงเวลา 60-180 นาที เส้นกราฟมีลักษณะลาดเอียงลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แต่มีความชันน้อยกว่าในช่วงแรกอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อลำไยจะหดตัวเมื่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ทำให้ช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อลำไยแคบลง น้ำที่อยู่ภายในเซลล์ของเนื้อลำไยแพร่ออกมาได้ยากกว่าในช่วงแรกๆ ประกอบกับปริมาณน้ำอิสระในเนื้อลำไยมีน้อยลง จึงทำให้อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในมายังผิวหน้าการระเหยภายในชิ้นลำไยช้าลง

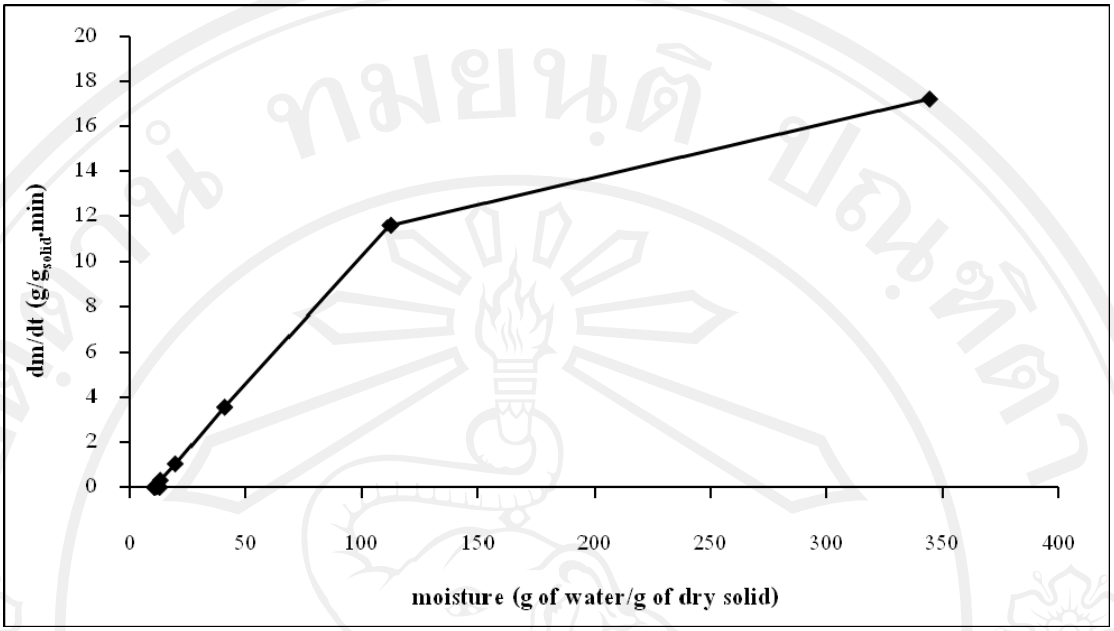
การอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 90 องศาเซลเซียส มีเส้นกราฟการลดลงของความชื้นในช่วงแรกมีความชันมาก แสดงว่ามีอัตราการอบแห้งสูงที่สุด ซึ่งเมื่ออัตราการทำแห้งสูงการทำแห้งเพื่อให้ได้ความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 18 จึงใช้เวลาสั้น เมื่อใช้อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส กราฟการลดลงของความชื้นชันน้อยที่สุด แสดงว่าการอบแห้งที่สภาวะนี้มีอัตราการอบแห้งต่ำที่สุด ทำให้ใช้เวลามากที่สุดในการทำแห้งให้ได้ความชื้นต่ำกว่าระดับที่กำหนดไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน สำ หรับผลไม้แห้ง คือความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 18 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2546)

นำข้อมูลความชื้นมาคำนวณหาอัตราการระเหยและเขียนกราฟอัตราการระเหยต่อเวลาและกราฟอัตราการระเหยต่อความชื้น การอบแห้งได้ผลดังรูปที่ 4.2–4.5

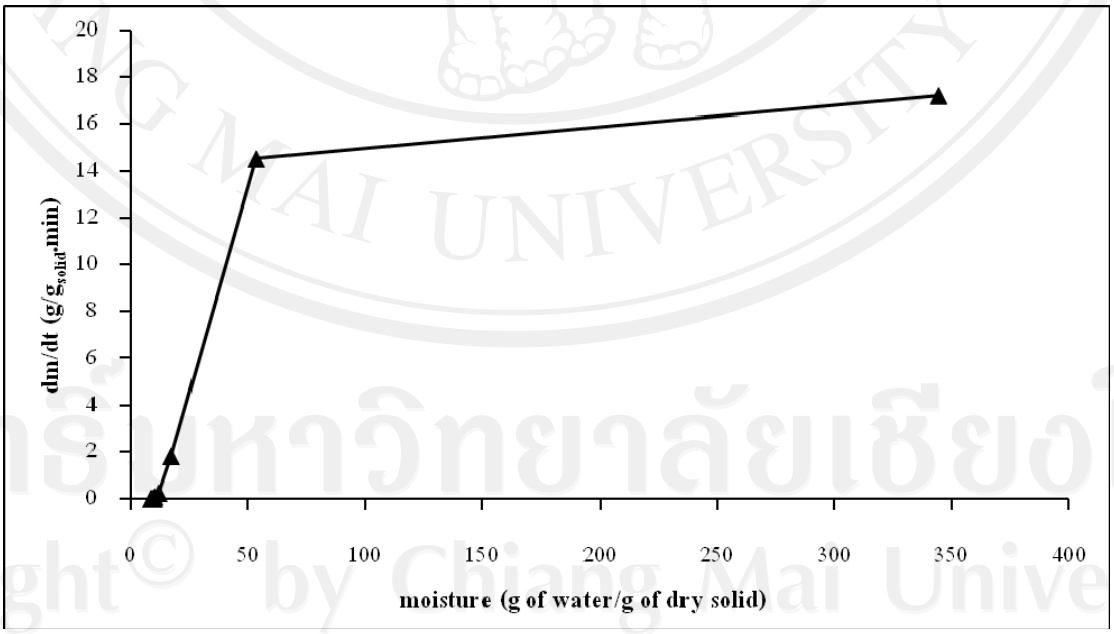


รูปที่ 4.2 อัตราการอบแห้งเนื้อลำไยบดโดยวิธีสเปาเต็ดเบดร่วมกับอนุภาคเฉื่อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

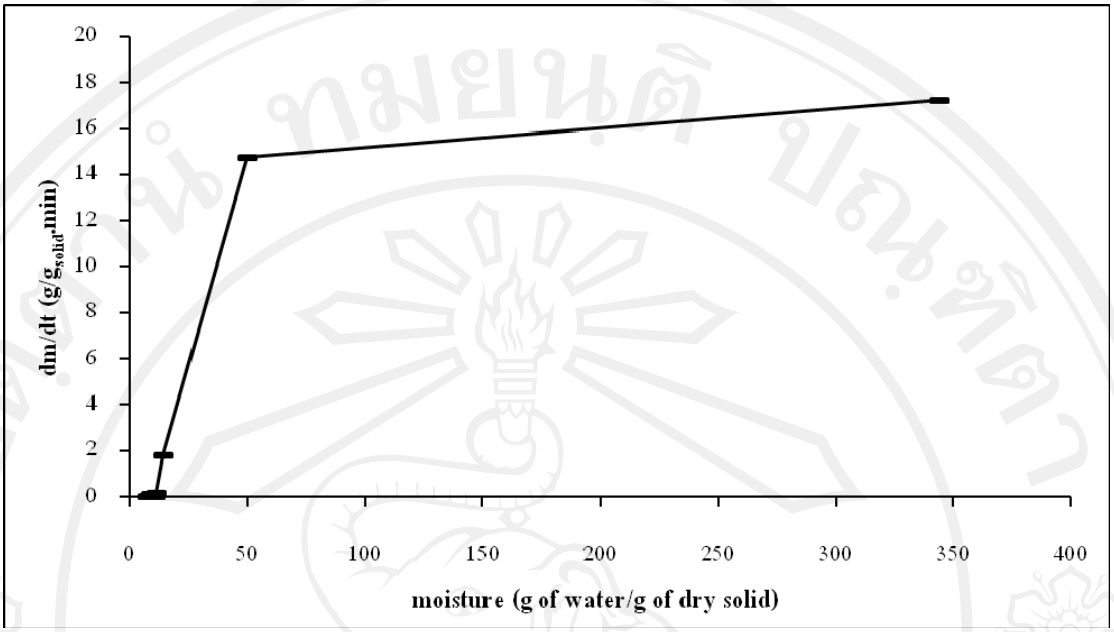


รูปที่ 4.3 อัตราการอบแห้งเนื้อลำไยบดโดยวิธีสเปาเต็ดเบดร่วมกับอนุภาคเฉื่อย ที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.4 อัตราการอบแห้งเนื้อลำไยบดโดยวิธีสเปาเต็ดเบดร่วมกับอนุภาคเฉื่อย ที่อุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



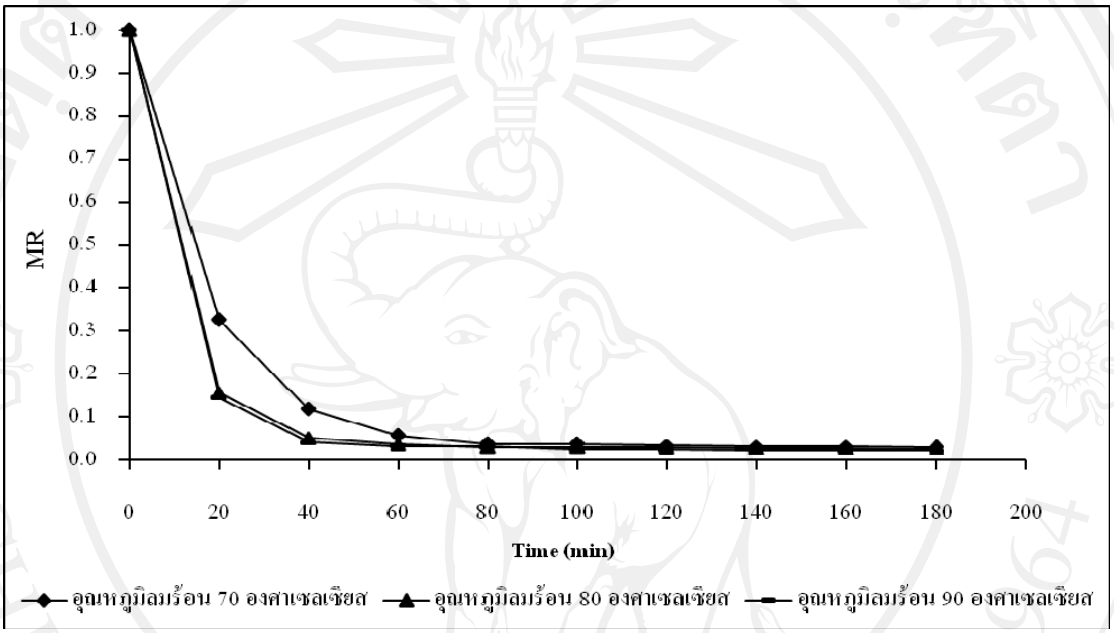
รูปที่ 4.5 อัตราการอบแห้งเนื้อลำไยบดโดยวิธีสเปาเต็ดเบดร่วมกับอนุภาคเฉื่อย ที่อุณหภูมิลมร้อน 90 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.2 พบว่า ในช่วงแรกที่เวลา 20-40 นาที มีอัตราการอบแห้งสูง หลังจากนั้นอัตราการอบแห้งมีแนวโน้มลดลงในช่วงเวลา 60-180 นาที ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงแรกเนื้อลำไยบดมีความชื้นสูง เมื่อความร้อนถูกถ่ายเทไปยังผิวของเนื้อลำไยและน้ำจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไออย่างรวดเร็ว จึงส่งผลให้มีอัตราการทำแห้งที่เร็ว เมื่อความชื้นของเนื้อลำไยลดต่ำลงอัตราการอบแห้งก็จะลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ที่ความชื้นสมดุล คือความชื้นในอาหารสมดุลกับความชื้นในอากาศแห้ง หรือเรียกว่าเป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling-rate period) (วิไล, 2546)

จากรูปที่ 4.3 ถึง 4.5 กราฟแสดงอัตราการอบแห้งที่ระดับความชื้นต่างๆ ของเนื้อลำไยบดที่อุณหภูมิลมร้อน 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากกราฟพบว่าไม่มีช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ซึ่งอาจเนื่องมาจากการที่น้ำในเนื้อลำไยส่วนใหญ่เป็นน้ำก่อพันธะ (bound water) ซึ่งจับกับองค์ประกอบที่เป็นน้ำตาล ซึ่งมีปริมาณมากในเนื้อลำไย และอาจเกิดจากการหดตัวอย่างรวดเร็วของเนื้อลำไยเมื่อสัมผัสกับความร้อนสูง ทำให้มีการระเหยของน้ำออกจากผิวหน้าของเนื้อลำไยอย่างรวดเร็ว เนื้อลำไยเกิดการหดตัวและต่อต้านการระเหยหรือการเคลื่อนที่ของน้ำ เมื่อเนื้อลำไยมีความชื้นในช่วงร้อยละ 50-100 โดยน้ำหนักแห้ง อัตราการอบแห้งจะช้าลงจนถึงอัตราการอบแห้งที่ต่ำมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การอบแห้งเนื้อลำไยบดโดยใช้เทคนิคสเปาเต็ดเบดร่วมกับอนุภาคเฉื่อยที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เนื้อลำไยมีอัตราการอบแห้งลดลง ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดเพื่อให้ได้ความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 18 สำหรับการอบแห้งเนื้อลำไยบดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลามากที่สุดในการลดความชื้นของเนื้อลำไยให้ต่ำกว่าร้อยละ 18



รูปที่ 4.6 สัดส่วนความชื้นของเนื้อลำไยในระหว่างการอบแห้งโดยวิธีสเปาเต็ดเบดร่วมกับอนุภาคเฉื่อย

จากการนำข้อมูลการอบแห้งมาคำนวณหาสัดส่วนความชื้น (MR) แล้วสร้างกราฟ MR ต่อเวลาที่อุณหภูมิการอบแห้งต่างๆได้ผลดังรูปที่ 4.6 จากการทดสอบการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ Lewis, Henderson and Pabis และ Wang and Singh เพื่อทำนายลักษณะการเปลี่ยนแปลง MR พบว่า แบบจำลอง Lewis สามารถทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งเนื้อลำไยบดในเครื่องอบแบบสเปาเต็ดเบดร่วมกับอนุภาคเฉื่อยได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับแบบจำลองของ Henderson and Pabis และ Wang and Singh โดยแบบจำลอง Lewis ให้ค่า R^2 สูงที่สุด คือ 0.729, 0.591 และ 0.604 และค่า RMSE ต่ำที่สุด คือ 0.211, 0.229 และ 0.242 สำหรับการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิลมร้อน 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยได้ค่าคงที่ k เท่ากับ 0.010 (ดังตารางที่ 4.2) ส่วนแบบจำลอง Henderson and Pabis นั้นไม่เหมาะสำหรับการทำนายลักษณะจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งเนื้อลำไยบดในเครื่องอบแบบสเปาเต็ดเบดร่วมกับอนุภาคเฉื่อย เนื่องจากได้ค่า R^2 ต่ำที่สุด และมีค่า RMSE สูง ทั้งนี้เนื่องจากการทำนายการเปลี่ยนแปลง MR โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นจะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พิจารณาจากค่า coefficient of determination (R^2) ที่สูงที่สุดโดยมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด ซึ่งหมายความว่าสมการที่ประมาณได้เป็นตัวแทนที่ดีของแบบจำลองทั้งหมดหรือค่าคงที่ที่ได้จากแบบจำลองสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ MR ได้มากกว่าและค่า root means squares error (RMSE) ที่ต่ำที่สุด (Abbasi *et al*., 2009) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Panchariya *et al*. (2002) ซึ่งศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ Lewis, Henderson and Pabis, Page, modified Page และ two term เพื่อทำนายจลน์ศาสตร์การอบแห้งชาดำ พบว่า แบบจำลองของ Lewis ให้ผลการทำนายที่ดีกว่าแบบจำลองอื่นๆ และอธิบายลักษณะพิเศษของการอบแห้งได้ดี เนื่องจากให้ค่า MSE ต่ำกว่า 0.018 และ R^2 มากกว่า 0.93 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการคำนวณที่สามารถบอกรูปร่างของชาดำได้อย่างชัดเจน และเป็นสมการที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในกระบวนการนี้มากที่สุด

ตารางที่ 4.2 ค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองจลนพลศาสตร์การอบแห้งของเนื้อลำไยบด

Temperature	Lewis equation			Henderson and Pabis equation				Wang and Singh equation			
(˚C)	k	R^2	RMSE	k	a	R^2	RMSE	a	b	R^2	RMSE
70	0.010	0.729	0.211	0.003	0.478	0.459	1.209	0.019	6E-05	0.691	1.745
80	0.010	0.591	0.229	0.003	0.408	0.350	1.180	0.019	6E-05	0.482	1.847
90	0.010	0.604	0.242	0.003	0.403	0.345	1.105	0.020	6E-05	0.468	1.947

4.3 อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสำหรับการอบแห้ง

4.3.1 ประสิทธิภาพการอบแห้งและปริมาณผลผลิต (yield)

จากการศึกษาหาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสม เพื่อให้ได้เนื้อลำไยบดอบแห้งมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 18 ตามมาตรฐานทางเคมีของเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548) โดยศึกษาอุณหภูมิของลมร้อน 3 ระดับคือ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที สุ่มตัวอย่างลำไยอบแห้งเพื่อวิเคราะห์คุณภาพทุกๆ 20 นาที โดยวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวม ค่าประสิทธิภาพการระเหยของกระบวนการอบแห้ง ปริมาณผลผลิต สมบัติทางกายภาพ-เคมี และการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเนื้อลำไยบดอบแห้งโดยวิธีสเปาเต็ดเบดร่วมกับอนุภาคเฉื่อย ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวม ประสิทธิภาพการระเหย และปริมาณผลผลิตของเนื้อลำไยอบแห้งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของลมร้อน (ตารางที่ 4.3) โดยค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวมและปริมาณผลผลิตของเนื้อลำไยอบแห้งเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้นอย่างมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิลมร้อน 90 องศาเซลเซียส มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวม ประสิทธิภาพการระเหย และปริมาณผลผลิตสูงที่สุด คือร้อยละ 33.68±1.50, 38.38±1.31 และ 88.75±4.54 ตามลำดับ โดยอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 90±2 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิขาออกเท่ากับ 75±5 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าปริมาณผลผลิตของเนื้อลำไยอบแห้งเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการใช้อุณหภูมิการอบแห้งสูง ทำให้น้ำภายในเนื้อลำไยระเหยออกมาได้มากและรวดเร็ว และเนื้อลำไยมีลักษณะแห้งโดยไม่เกาะติดผนังของห้องอบ ในขณะที่การใช้อุณหภูมิต่ำ น้ำภายในเนื้อลำไยระเหยออกมาช้าและใช้เวลามาก ซึ่งลำไยมีน้ำตาลมาก เมื่อได้รับความร้อนนานจะมีลักษณะเหนียวหนืดคล้ายยาง ทำให้เกาะติดผนังของห้องอบ จึงส่งผลให้ปริมาณผลผลิตของเนื้อลำไยอบแห้งลดลง

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและปริมาณผลผลิตของกระบวนการอบแห้ง

ประสิทธิภาพการผลิต	อุณหภูมิอบแห้ง (องศาเซลเซียส)		
	70	80	90
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน			
- ประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวม (ร้อยละ)	23.80^{C} ±2.61	26.36^{B}±1.05	33.68^{A}±1.50
- ประสิทธิภาพการระเหย (ร้อยละ)	24.54^{C}±2.72	27.32^{B}±3.84	38.38^{A}±1.31
ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)	52.81^{C}±2.55	72.92^{B}±2.38	88.75^{A}±4.54

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ค่าที่แสดงในตารางหมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

4.3.2 สมบัติทางกายภาพ เคมี และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเนื้อลำไยบดอบแห้ง

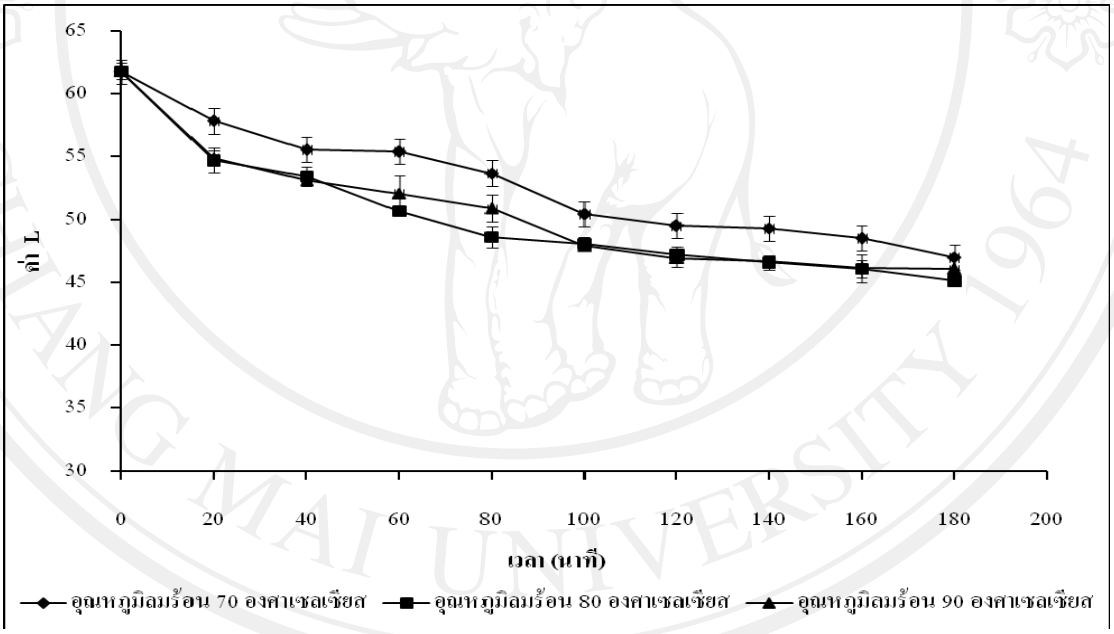
4.3.2.1 สมบัติทางกายภาพ

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพคือ ค่าสี (L, a*, b*) ความสามารถในการไหล และความสามารถในการคืนรูปของเนื้อลำไยบดที่ผ่านการอบแห้งโดยวิธีสเปาเต็ดเบดร่วมกับอนุภาคเฉื่อย ได้ผลดังรูปที่ 4.7 – 4.12

จากการวิเคราะห์ค่า L, a* และ b* ของเนื้อลำไยบดอบแห้ง พบว่า ทั้งอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งเนื้อลำไยบดโดยวิธีสเปาเต็ดเบดร่วมกับอนุภาคเฉื่อยมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) โดยเมื่ออุณหภูมิของลมร้อนและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า L และ b* มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่า a* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ดังรูปที่ 4.7-4.9) ทั้งนี้พบว่า

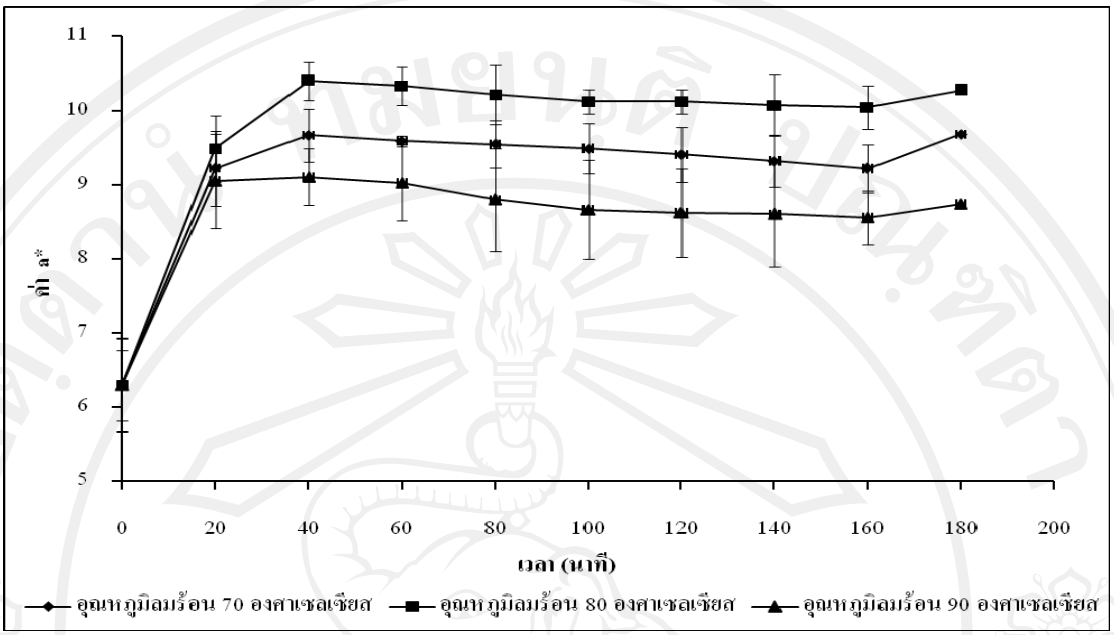
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีของเนื้อลำไยบดอบแห้งมากกว่าเวลา ($P \leq 0.05$) โดยมีค่า L อยู่ในช่วง 45.16-57.28 ค่า a* อยู่ในช่วง 8.47-10.48 และค่า b* อยู่ในช่วง 13.00-25.25 แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างกระบวนการอบแห้งเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ใช้เอนไซม์หรือเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดของน้ำตาลที่อยู่ในเนื้อลำไย (ทัศวรรณ, 2546; Fennema, 1976) สำหรับการเปลี่ยนแปลงของผลต่างของค่าสี (ΔE) ของเนื้อลำไยบดระหว่างอบแห้งที่เวลาเริ่มต้น (0 นาที) และ 180 นาที (ดังรูปที่ 4.10) พบว่าค่า ΔE ของค่าสีเนื้อลำไยบดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าอุณหภูมิของลมร้อนและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยบด เนื่องจากการให้ความร้อนสูงและเป็นเวลานานแก่เนื้อลำไยบดทำให้เกิดสารสีน้ำตาลหรือเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด เนื้อลำไยบดอบแห้งจึงมีสีเข้มขึ้นและมีสีน้ำตาลออกแดง (Fennema, 1976)

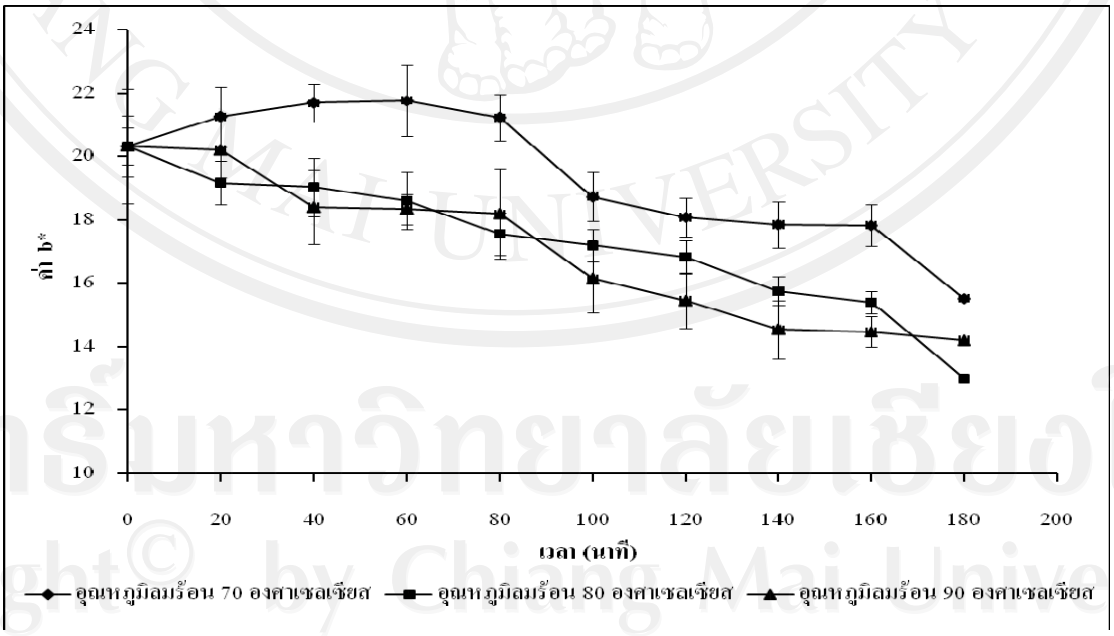


รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของค่า L ของเนื้อลำไยระหว่างการอบแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

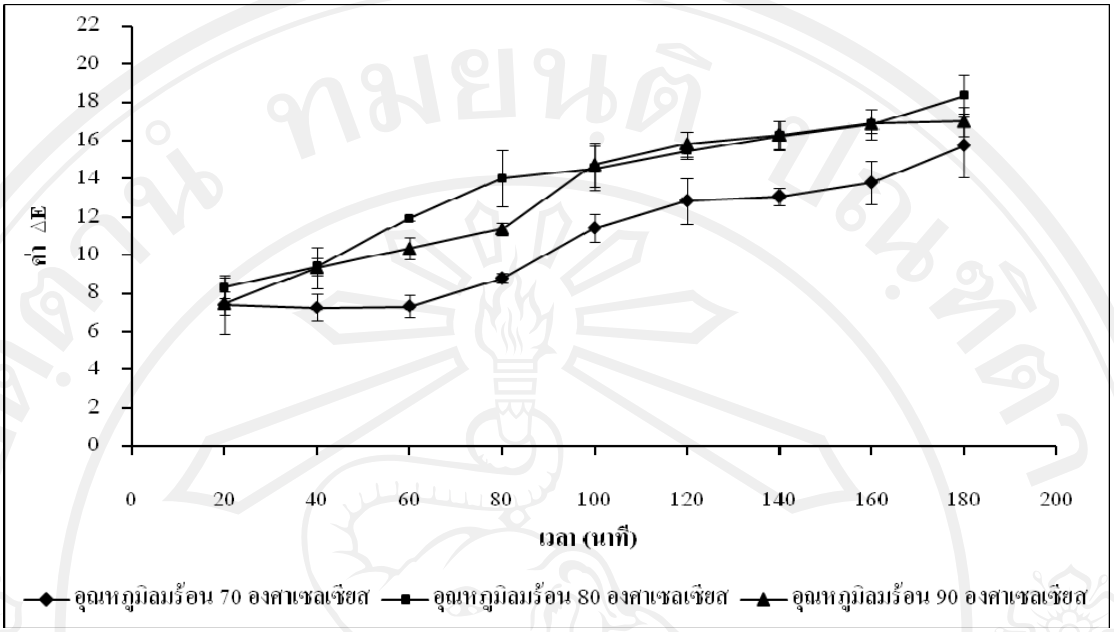


รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงของค่า a* ของเนื้อลำไยระหว่างการอบแห้ง



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงของค่า b* ของเนื้อลำไยระหว่างการอบแห้ง

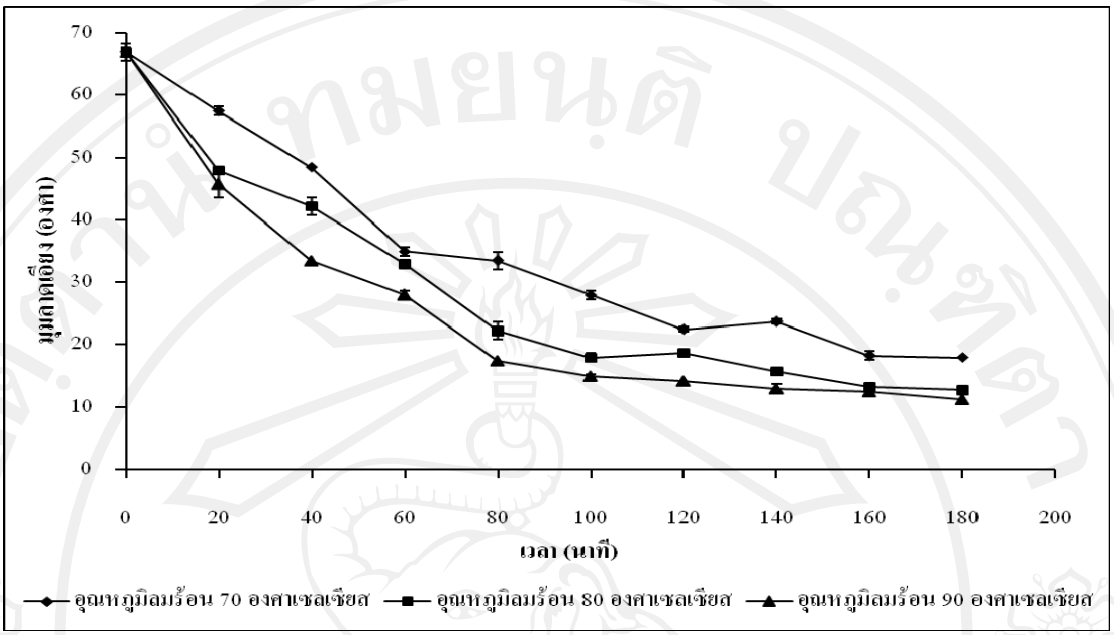
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงของค่า ΔE ของค่าสีของเนื้อลำไยระหว่างการอบแห้ง

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการไหลของเนื้อลำไยบดอบแห้งพบว่า อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งมีอิทธิพลต่อความสามารถในการไหลของผลิตภัณฑ์ โดยในช่วงแรกที่เวลา 20-60 นาที ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการไหลได้เล็กน้อย คือมีมุมลาดเอียง >35 เนื่องจากเนื้อลำไยบดยังมีความชื้นอยู่ค่อนข้างสูงสามารถเกาะติดกับผิวของวัตถุ หลังจากอบแห้งเป็นเวลา 80 นาที ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการไหลดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเนื้อลำไยบดอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 90 องศาเซลเซียส มีความสามารถการไหลดีที่สุด ส่วนที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส มีความสามารถการไหลต่ำที่สุด (ดังรูปที่ 4.11) แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้นและเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการไหลดีขึ้นทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์แห้งและมีความชื้นต่ำ ซึ่งความสามารถในการไหลของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส จัดอยู่ในระดับการไหลดี เนื่องจากมีมุมลาดเอียงเท่ากับ 14.50, 10.75 และ 9.25 องศา ตามลำดับ (Carr, 1965)

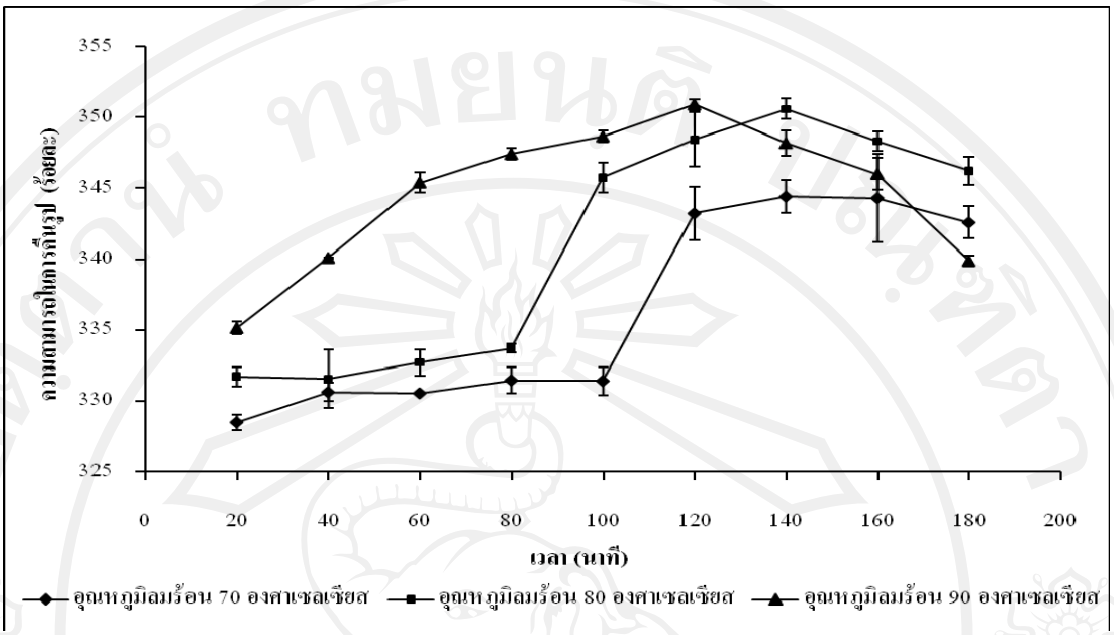
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการไหลของเนื้อลำไยระหว่างการอบแห้ง

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการคืนรูปของเนื้อลำไยบดอบแห้ง พบว่า ความสามารถในการคืนรูปของเนื้อลำไยบดที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการอบแห้งและมีแนวโน้มลดลงหลังจากอบแห้งได้ 120 นาที (ดังรูปที่ 4.12) ทั้งนี้อาจเนื่องจากกระบวนการอบแห้งมีผลต่อความสมบูรณ์ของเนื้อเยื่อพืชโดยเฉพาะเยื่อหุ้มเซลล์ การใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานในการอบแห้งจะส่งผลทำให้องค์ประกอบของเนื้อเยื่อเกิดการเสื่อมสภาพในระหว่างการอบแห้งและทำให้สูญเสียคุณลักษณะเชิงกล (Maldonado *et al*., 2010) ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งมีลักษณะการคืนรูปที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ โดยความร้อนจะลดความสามารถในการคืนรูปและความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ อัตราเร็วและความสามารถของการคืนรูปลดลง (สุคนธ์ชื่นและคณะ, 2546) นอกจากนั้นความสามารถในการคืนรูปของผลิตภัณฑ์อบแห้งจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อในระดับจุลภาค องค์ประกอบทางด้านเคมี และสภาวะที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น (Garcia-Pascual *et al*., 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



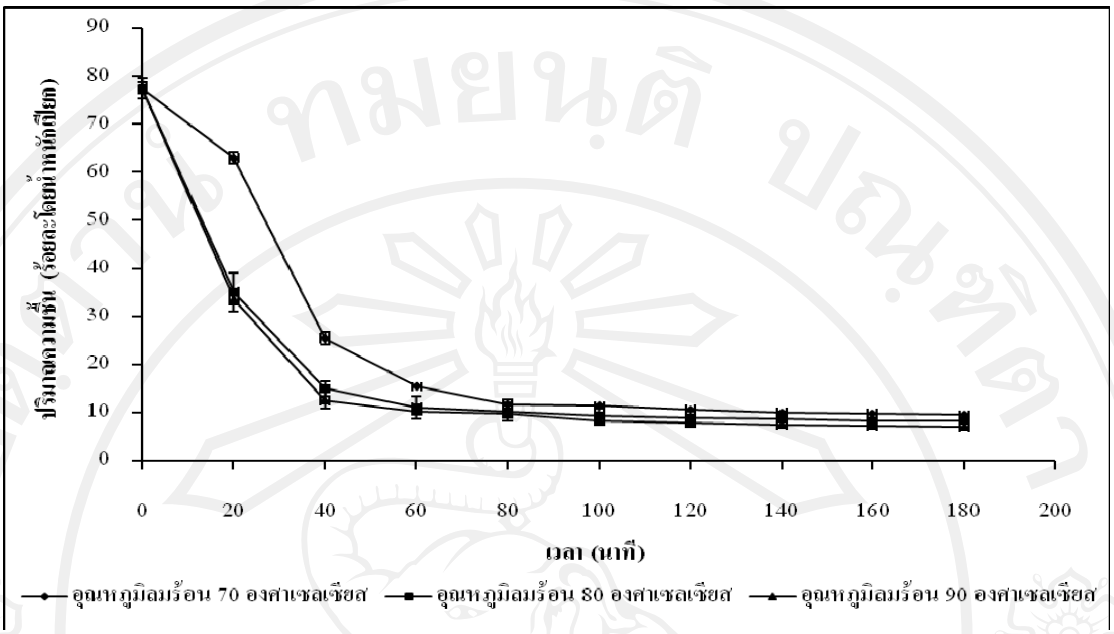
รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการคืนรูปของเนื้อลำไยระหว่างการอบแห้ง

4.3.2.2 สมบัติทางเคมี

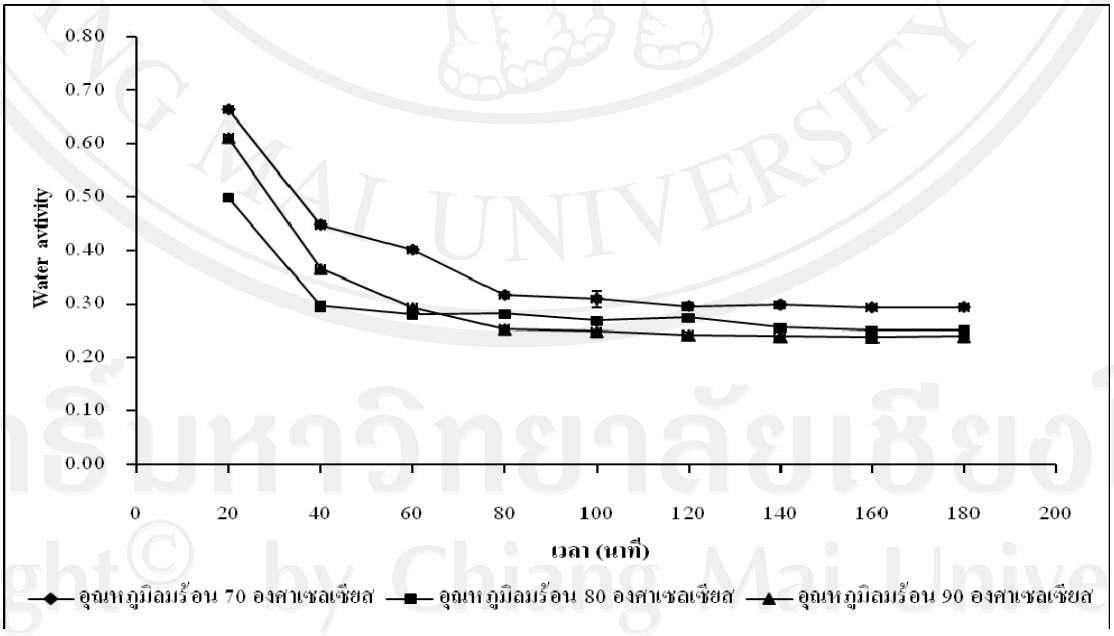
การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีคือ ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ของเนื้อลำไยบดอบแห้งโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบดร่วมกับอนุภาคเฉื่อย ได้ผลดังรูปที่ 4.13-4.16

ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยบดอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างการอบแห้ง (รูปที่ 4.13) เนื้อลำไยบดอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส มีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 9.41, 8.14 และ 6.93 ตามลำดับ ค่า a_w ลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (รูปที่ 4.14) ซึ่งแปรผันตามปริมาณความชื้นที่ลดลง โดยมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรง ผลิตภัณฑ์สุดท้ายหลังจากอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส มีค่า a_w เท่ากับ 0.29, 0.25 และ 0.24 ตาม ลำดับ โดยเนื้อลำไยบดอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นและค่า a_w ต่ำที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



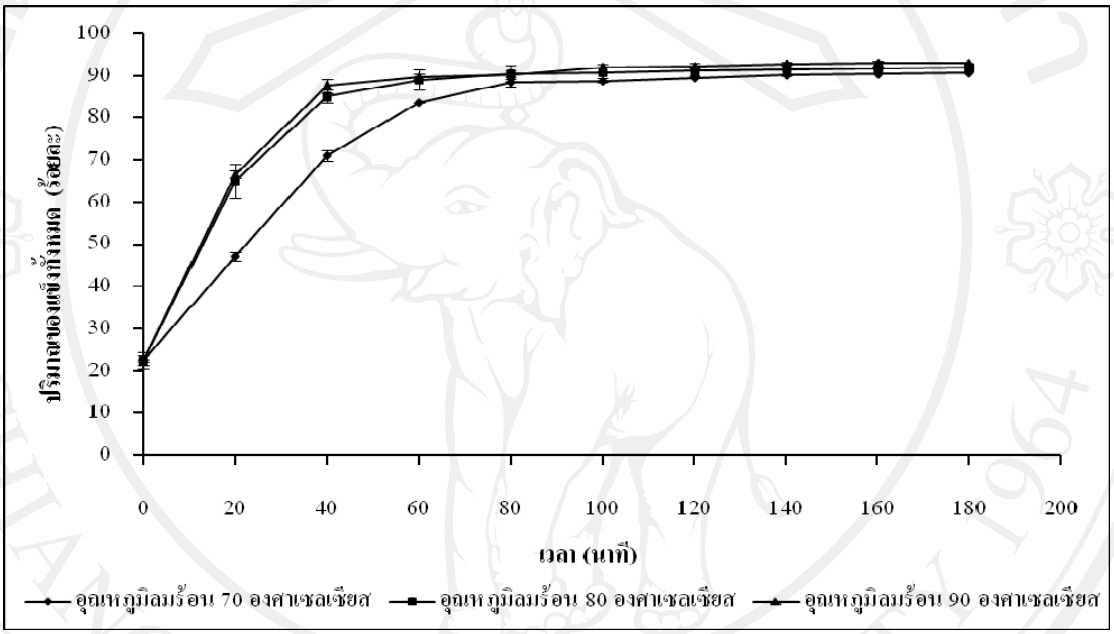
รูปที่ 4.13 ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยระหว่างการอบแห้ง



รูปที่ 4.14 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของเนื้อลำไยระหว่างการอบแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ) ของเนื้อลำไยบดอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างการอบแห้ง (รูปที่ 4.15) การที่ผลิตภัณฑ์มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากลำไยเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นค่อนข้างสูงถึงร้อยละ 80 ซึ่งปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมดคิดเป็นสัดส่วนผันแปรตามน้ำหนักทั้งหมดของอาหาร เมื่อใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานในการอบแห้งน้ำที่อยู่ในเนื้อเยื่อระเหยออกไปทำให้ความชื้นลดลงส่งผลให้ปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.15 ปริมาณของแข็งทั้งหมดของเนื้อลำไยบดระหว่างการอบแห้ง

4.3.2.3 การยอมรับทางประสาทสัมผัส

คัดเลือกเนื้อลำไยบดอบแห้งโดยพิจารณาตัวอย่างที่มีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก มีค่า a_w ไม่เกิน 0.6 และมีปริมาณของแข็งทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ที่เวลาการอบแห้งต่ำสุด อุณหภูมิละ 3 ตัวอย่าง ณ เวลาการอบแห้งต่างกัน 3 ระดับคือ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 140, 160 และ180 นาที ตามลำดับ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 100, 120 และ 140 นาที ตามลำดับ และอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 80, 100 และ 120 นาที ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่างมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 7.67-9.92 โดยน้ำหนัก นำมาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบชิม ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.4 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเนื้อลำไยบดอบแห้ง

สภาวะการอบแห้ง	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นลำไย ns	ความกรอบ	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
70 ° C,140 min	6.74^{a}±1.45	6.82^{a}±1.00	6.02±1.20	4.98^{d}±1.57	5.96^{d}±1.44	4.92^{e}±1.47
70 ° C,160 min	7.20^{a}±1.39	6.68^{ab}±1.35	5.88±1.41	6.16^{c}±1.49	6.14^{cd}±1.37	6.18^{bc}±1.32
70 ° C,180 min	7.02^{a}±1.36	6.82^{a}±1.22	5.92±1.29	5.98^{c}±1.46	6.24^{bcd}±1.45	6.00^{cd}±1.60
80 ° C,100 min	6.84^{a}±1.18	6.44^{ab}±1.28	5.64±1.70	5.28^{d}±1.63	6.42^{abcd}±1.20	5.50^{d}±1.64
80 ° C,120 min	6.90^{a}±1.07	6.50^{ab}±0.86	5.74±1.41	6.46^{bc}±1.33	6.66^{abc}±1.35	6.34^{abc}±1.22
80 ° C,140 min	6.86^{a}±1.32	6.58^{ab}±1.05	6.02±1.56	7.04^{ab}±1.16	6.96^{a}±1.21	6.74^{ab}±1.32
90 ° C,80 min	6.88^{a}±1.06	6.70^{ab}±0.74	6.06±1.38	7.00^{ab}±1.32	6.70^{abc}±1.23	6.92^{a}±1.31
90 ° C,100 min	6.16^{b}±1.28	5.54^{c}±1.61	5.58±1.33	7.54^{a}±1.23	6.48^{abcd}±1.03	6.58^{abc}±1.16
90 ° C,120 min	6.72^{a}±1.03	6.28^{b}±0.95	5.80±1.23	6.98^{ab}±1.42	6.80^{ab}±1.41	6.48^{abc}±1.45

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

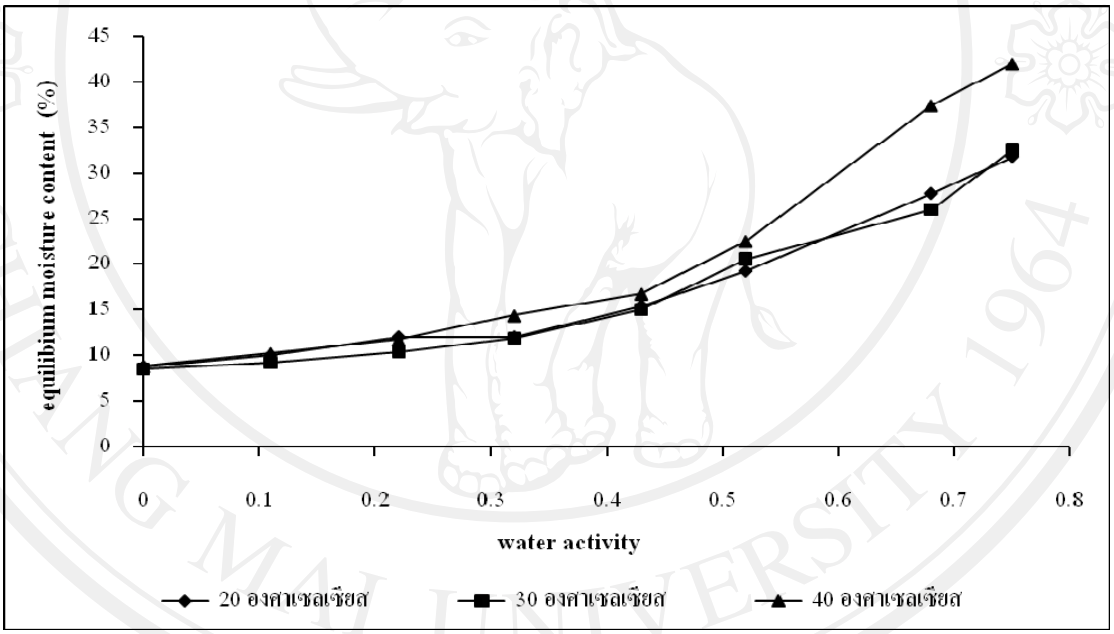
จากตารางที่ 4.4 พบว่า คะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี ความกรอบ รสชาติ และความชอบโดยรวม ของทุกตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ยกเว้นคะแนนความชอบด้านกลิ่นลำไย ซึ่งผู้ทดสอบชิมให้คะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 80 นาที ได้รับคะแนนด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด และเป็นตัวอย่างที่ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสภาวะอื่นๆ นอกจากนั้นตัวอย่างดังกล่าวยังมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 9.76±0.51 และมีค่า a_w เท่ากับ 0.25±0.01 ซึ่งเป็นระดับที่จะสามารถเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งได้นานเนื่องจากมีความชื้นต่ำและจุลินทรีย์จะไม่สามารถเจริญได้ นอกจากนั้นตัวอย่างยังมีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูง มีลักษณะการไหล การคืนรูปดีกว่าตัวอย่างอื่น ๆ ณ เวลาการอบแห้งเดียวกัน ดังนั้นจึงเลือกสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 80 นาที เป็นสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสม เพื่อใช้สำหรับการทดลองในตอนต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อคุณภาพของเนื้อลำไยบดอบแห้ง

4.4.1 ลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์ม (moisture sorption isotherm)

นำตัวอย่างเนื้อลำไยบดอบแห้งจากสภาวะการผลิตที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 80 นาที ไปศึกษาลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มโดยควบคุมระดับความชื้นสัมพัทธ์ 7 ระดับ (ร้อยละ 0-77) โดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวคือ potassium penta oxide, lithium chloride, potassium acetate, magnesium chloride, potassium carbonate, magnesium nitrate และ potassium iodide และอุณหภูมิ 20 30 และ 40 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นสมดุลในแต่ละสภาวะ ได้ลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มของเนื้อลำไยบดอบแห้งดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ซอร์ปชันไอโซเทอร์มของเนื้อลำไยบดอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มของเนื้อลำไยบดอบแห้งมีลักษณะคล้ายกัน โดยพบว่า กราฟมีลักษณะเป็น adsorption isotherm คือ ปริมาณความชื้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆในช่วงแรกเมื่อ a_w เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะการดูดซับน้ำของอาหารจำพวก low hygroscopicity และเส้นกราฟจะชันขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงปลาย ซึ่งแสดงการเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำของอาหารพวก high hygroscopicity ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ซึ่งลักษณะ adsorption isotherm ดังกล่าวเป็นสมบัติของอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูงเนื่องจากมี capillary adsorption ต่ำ ดังนั้นอาหารที่มีสมบัติเป็น hygroscopicity เมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จะทำให้ปริมาณความชื้นใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (นิธิยา, 2549) สอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Fabra *et al*. (2009) ซึ่งศึกษาซอร์ปชันไอโซเทอร์มขององุ่นโดยพบว่าที่ค่า a_w สูงๆ ปริมาณความชื้นสมดุลขององุ่นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อีกทั้งจากรายงานการวิจัยของ Yan *et al*. (2007) ซึ่งได้ศึกษาซอร์ปชันไอโซเทอมของกล้วย พบว่าปริมาณความชื้นสมดุลของกล้วยจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับค่า a_w สูงขึ้นที่ระดับอุณหภูมิการทำซอร์ปชันไอโซเทอร์มเดียวกัน ลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มประเภทนี้จะเกิดกับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง ซึ่งจัดเป็นซอร์ปชันไอโซเทอร์มประเภทที่ 3 เมื่อจำแนกตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นสมดุลของอาหารที่อุณหภูมิเดียวกัน (Rahman, 1995)

เมื่อพิจารณาถึงผลของอุณหภูมิต่อปริมาณความชื้น พบว่า ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยบดอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับอุณหภูมิสูงขึ้น โดยเฉพาะที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากสมบัติเฉพาะตัวของเนื้อลำไยที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะสามารถดูดซับความชื้น (hygroscopicity) ได้มากขึ้น เช่นเดียวกับผลการวิจัยของ Myhara and Sablani (2001) ซึ่งพบว่าลูกเกดมีน้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก ซึ่งมีปริมาณความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

จากข้อมูลซอร์ปชันไอโซเทอร์มของเนื้อลำไยบดอบแห้งนำมาวิเคราะห์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเลือกศึกษาในรูปแบบของ Oswin, Handersan, Halsey, Smith, *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) และ *Guggenheim-Anderson-de Boer* (GAB) เพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มในช่วงที่ไม่มีการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ได้ค่าคงที่ของแบบจำลอง Oswin, Halsey, Handersan, Smith, *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) และ *Guggenheim-Anderson-de Boer* (GAB) ดังตารางที่ 4.5 ถึง 4.10 ตามลำดับ นำมาหาความสัมพันธ์แบบอาร์เรเนียสระหว่างอุณหภูมิกับค่าคงที่ของแบบจำลองต่างๆ เพื่ออธิบายผลของอุณหภูมิที่มีต่อลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์ม และนำมาเปรียบเทียบกับค่าซอร์ปชันไอโซเทอร์มที่ได้จากการทดลอง เพื่อใช้ในการทำนายคุณภาพเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 ค่าคงที่ของแบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์มของ Oswin

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม		ช่วงของ a_w
	A	B	
20	3.025	0.399	
30	3.014	0.440	0-0.7
40	3.220	0.498	

หมายเหตุ : แบบจำลองของ Oswin $M_w = A\left[\frac{a_w}{1-a_w}\right]^B$

เมื่อ M_w = ความชื้น (g น้ำ/g ของแข็งแห้ง A, B = ค่าคงที่

ค่าคงที่ A และ B หาความสัมพันธ์แบบอาร์รีเนียสกับอุณหภูมิ ได้ดังสมการ (4.1) - (4.2)

$$A = 7.851e^{-282/T} \quad (4.1)$$
$$B = 12.66e^{-1015/T} \quad (4.2)$$

ตารางที่ 4.6 ค่าคงที่ของแบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์มของ Handerson

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม		ช่วงของ a_w
	A	B	
20	0.001	2.044	
30	0.002	1.820	0-0.7
40	0.003	1.633	

หมายเหตุ : แบบจำลองของ Henderson $M_w = \left[\frac{\ln(1-a_w)}{-A}\right]^{1/B}$

เมื่อ Mw = ความชื้น (g น้ำ/g ของแข็งแห้ง A, B = ค่าคงที่

ค่าคงที่ A และ B หาความสัมพันธ์แบบอาร์รีเนียสกับอุณหภูมิ ได้ดังสมการ (4.3) - (4.4)

$$A = 3341e^{-4311/T} \quad (4.3)$$
$$B = 0.061e^{1029/T} \quad (4.4)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.7 ค่าคงที่ของแบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์มของ Halsey

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม		ช่วงของ a_w
	A	B	
20	0.647	2.765	
30	0.691	2.736	0-0.7
40	0.800	2.898	

หมายเหตุ : แบบจำลองของ Halsey $M_w = \left[-\frac{A}{\ln a_w} \right]^{1/B}$

เมื่อ M_w = ความชื้น (g น้ำ/g ของแข็งแห้ง A, B = ค่าคงที่

ค่าคงที่ A และ B หาความสัมพันธ์แบบอาร์รีเนียสกับอุณหภูมิ ได้ดังสมการ (4.5) - (4.6)

$$A = 0.002e^{2983/T} \quad (4.5)$$

$$B = 0.048e^{968.9/T} \quad (4.6)$$

ตารางที่ 4.8 ค่าคงที่ของแบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์มของ Smith

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม		ช่วงของ a_w
	A	B	
20	6.538	19.712	
30	5.636	24.045	0-0.7
40	4.906	28.960	

หมายเหตุ : แบบจำลองของ Smith $M_w = A + B\ln(1 - a_w)$

เมื่อ M_w = ความชื้น (g น้ำ/g ของแข็งแห้ง A, B = ค่าคงที่

ค่าคงที่ A และ B หาความสัมพันธ์แบบอาร์รีเนียสกับอุณหภูมิ ได้ดังสมการ (4.7) - (4.8)

$$A = 0.073e^{1317/T} \quad (4.7)$$

$$B = 8117e^{-1764/T} \quad (4.8)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.9 ค่าคงที่ของแบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์มของ *Brunauer-Emmett-Teller* (BET)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม		ช่วงของ a_w
	M_0	B	
20	9.6960	88.1658	
30	11.0233	37.7352	0-0.7
40	12.4300	17.0507	

หมายเหตุ : แบบจำลองของ BET $$M_w = \frac{M_0 B_{bt} a_w}{(1-a_w)[1+(B_{bt}-1)a_w]}$$

เมื่อ M_0 = ปริมาณความชื้นชั้นเดี่ยว (monolayer moisture)
B_{bt} = ค่าคงที่ที่สัมพันธ์กับความร้อนสุทธิทั้งหมดของ sorption

ค่าคงที่ M และ B หาความสัมพันธ์แบบอาร์รีเนียสกับอุณหภูมิ ได้ดังสมการ (4.9) - (4.10)

$$M = 473.0e^{-1139/T} \quad (4.9)$$

$$B = 6E\text{-}10e^{7534/T} \quad (4.10)$$

ตารางที่ 4.10 ค่าคงที่ของแบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์มของ *Guggenheim-Anderson-de Boer* (GAB)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม			ช่วงของ a_w
	M_0	Y	K	
20	3.9133	3.5565	71.9274	
30	3.9953	3.5098	71.3848	0-0.7
40	4.0735	3.4667	70.8805	

หมายเหตุ : แบบจำลองของ GAB $$M_w = \frac{M_0 Yka_w}{(1-ka_w)(1-ka_w+Yka_w)}$$

เมื่อ M_0 = GAB monolayer moisture (kg water/kg dry solid)
Y และ k = ค่าคงที่ซึ่งเป็นผลเนื่องจากอุณหภูมิ

ค่าคงที่ α, β และ ε หาความสัมพันธ์แบบอาร์รีเนียสกับอุณหภูมิ ได้ดังสมการ (4.11)-(4.13)

$$M = 7.333e^{-184/T} \quad (4.11)$$

$$Y = 2.384e^{117.2/T} \quad (4.12)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$k = 57.18e^{67.23/T} \quad (4.13)$$

ตารางที่ 4.11 สัมประสิทธิ์ในการทำนายแบบจำลองคณิตศาสตร์ต่างๆ

แบบจำลอง	สัมประสิทธิ์ในการทำนาย			
	R^2	SEE	RSS	RMSE
Oswin	0.9158	2.9274	188.5347	2.8027
Henderson	0.8895	3.3538	247.4642	3.2112
Halsey	0.9478	2.3056	116.9530	2.2074
Smith	0.9503	2.2488	111.2569	2.1531
BET	0.9294	2.3139	117.7942	2.2154
GAB	0.9506	2.2431	110.7000	2.1476

หมายเหตุ : R^2 = Coefficient of determination, SEE = Standard error of estimation, RSS = Residual sum of squares, RMSE = Root mean squares error

จากตารางแสดงค่าคงที่ของแบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์ม พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเนื้อลำไยบดอบแห้ง เนื่องจากมีค่า SEE, RSS และ RMSE ต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 2.2431, 110.7000 และ 2.1476 ตามลำดับ และมีค่า R^2 สูงเท่ากับ 0.9506 ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของโยษิตา (2552) ซึ่งศึกษาแบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์มเพื่อทำนายคุณภาพของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB เป็นแบบจำลองที่เหมาะสำหรับแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง เนื่องจากให้ค่า R^2 สูงที่สุดคือ 0.9967 และให้ RMSE ต่ำที่สุดคือ 0.27 ซึ่งแบบจำลองของ GAB เป็นแบบ จำลองที่เหมาะสมกับอาหารหลากหลายชนิดและมีค่า a_w อยู่ในช่วงกว้าง ซึ่งกว้างกว่าแบบจำลองของ BET และสามารถใช้ทำนายลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้อย่างแม่นยำ (Rahman,1995) เช่น ในสับปะรดผง (Gabas *et al*.,2007) อินธผาลัมสดและอินธผาลัมผง (Ahmed *et al*., 2005) ราสเบอร์รี่ (Syamaladevi *et al*., 2009) ผลกีวี่ (Moraga *et al*., 2006) และองุ่น (Fabra *et al*., 2009) แบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์มของ Oswin มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9158 ค่า SEE, RSS และ RMSE มีค่าเท่ากับ 2.9274, 188.5347 และ 2.8027 ตามลำดับ ซึ่งแบบจำลองของ Oswin เหมาะสมกับอาหารประเภทเนื้อสัตว์ และผักต่างๆ (Rahman, 1995) แบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์มของ Henderson มีค่า R^2 ต่ำสุด และโดยมีค่าเท่ากับ 0.8895 และมีค่า SEE, RSS และ RMSE สูงสุด เท่ากับ 3.3538, 247.4642 และ 3.2112 ตามลำดับ ซึ่งแบบจำลองของ Henderson ใช้วิเคราะห์อาหารทั่วไป (Rahman, 1995) แบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์มของ Halsey มีค่า R^2 เท่ากับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

0.9478 ค่า SEE, RSS และ RMSE มีค่าเท่ากับ 2.3056, 116.9530 และ 2.2074 ตามลำดับ ซึ่งแบบจำลองของ Halsey เหมาะกับอาหารที่มีค่า a_w ในช่วง 0.1-0.8 (Rahman, 1995) แบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์มของ Smith มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9503 ค่า SEE, RSS และ RMSE มีค่าเท่ากับ 2.2488, 111.2569 และ 2.1531 ตามลำดับ ซึ่งแบบจำลองของ Smith เหมาะกับอาหารประเภท bio-polymers ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (Rahman, 1995) และแบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์มของ BET มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9294 และมีค่า SEE, RSS และ RMSE เท่ากับ 2.3139, 117.7942 และ 2.2154 ตามลำดับ ซึ่งแบบจำลองของ BET เหมาะกับอาหารที่มีค่า a_w ช่วง 0.05-0.45 (Rahman, 1995)

4.4.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษาการเก็บรักษาเนื้อลำไยบดอบแห้งที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกันโดยเป็นความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งอยู่ในระดับที่ทำให้เนื้อลำไยบดอบแห้งคงสภาพอยู่ได้ 3 ระดับ คือที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 11, 33 และ 52 ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เมื่อสุ่มตัวอย่างทุก ๆ 5 วัน เป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่าเนื้อลำไยบดอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ดังต่อไปนี้

4.4.2.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

การเปลี่ยนแปลงด้านสี แสดงดังตารางที่ 4.12-4.14 พบว่า ค่าความสว่าง (L) และค่า b* ของเนื้อลำไยบดอบแห้งมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยค่าความสว่าง (L) ของเนื้อลำไยบดอบแห้งลดลงเฉลี่ย 1.00 และ 1.11 เท่า ขณะที่ค่า b* ลดลงเฉลี่ย 1.09 และ 1.20 เท่า เมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 20 เป็น 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น พบว่า เนื้อลำไยบดอบแห้งมีค่าความสว่าง (L) และค่า b* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าความสว่าง (L) ของเนื้อลำไยบดอบแห้งลดลงเฉลี่ย 1.06 และ 1.13 เท่า ขณะที่ค่า b* ลดลงเฉลี่ย 1.09 และ 1.20 เท่า เมื่อปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 11 เป็น 33 และ 52 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์พบว่า เนื้อลำไยบดอบแห้งมีค่าความสว่าง (L) และค่า b* ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมากกว่าความชื้นสัมพัทธ์ ($P \leq 0.05$)

การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา พบว่าเนื้อลำไยบดอบแห้งมีค่าความสว่าง (L) และค่า b* ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเก็บรักษาครบ 30 วัน เนื้อลำไยบดมีค่าความสว่าง (L) อยู่ระหว่าง 46.52-33.19 จากเดิมวันที่ 0 มีค่าเท่ากับ 49.44 ส่วนค่า b วันที่ 30 มีค่าอยู่ระหว่าง 20.77 และ 11.60 จากเดิมวันที่ 0 มีค่าเท่ากับ 26.93

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขณะที่ค่า a* ของเนื้อลำไยบดอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.13) เมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยค่า a* ของเนื้อลำไยบดอบแห้งเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.01 และ 0.93 เท่า เมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 20 เป็น 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น พบว่า เนื้อลำไยบดอบแห้งมีค่า a* เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่า a* ของเนื้อลำไยบดอบแห้งเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.02 และ 1.16 เท่า เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 11 เป็น 33 และ 52 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จึงพบว่าเนื้อลำไยบดอบแห้งมีค่า a* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม หรือค่า ΔE ของเนื้อลำไยบดอบแห้งในวันที่ 0 และ 30 (ตารางที่ 4.15) พบว่า เมื่อระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น เนื้อลำไยบดอบแห้งมีค่า ΔE เพิ่มขึ้น โดยการเก็บรักษาที่สภาวะความชื้นร้อยละ 11 เนื้อลำไยบดอบแห้งจะมีค่า ΔE ต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของประสิทธิ์ (2548) ซึ่งศึกษาผลของออกซิเจนและวอเตอร์แอกทิวิตีต่อคุณภาพของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา พบว่า เนื้อลำไยบดอบแห้งที่มีค่า a_w เริ่มต้นเท่ากับ 0.4 (หรือความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 40) มีค่า ΔE ต่ำกว่าเนื้อลำไยอบที่มีค่า a_w เริ่มต้นเท่ากับ 0.6 (หรือปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ ร้อยละ 60) แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า a_w สูงขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าสีดังกล่าวเกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์บางชนิดที่มีอยู่ในเนื้อลำไยก่อนนำไปอบแห้ง โดยเฉพาะเอนไซม์ 1,2-benzene diol: oxygen oxido reducctase (polyphenol oxidase, PPO) ที่ถูกปลดปล่อยออกมารวมตัวกับสารตั้งต้นและมีออกซิเจนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้เนื้อลำไยมีสีคล้ำ (อรรณพและวรรณภา, 2550) เนื่องจากลำไยประกอบด้วยน้ำตาล 3 ชนิด ได้แก่ กลูโคส ฟรักโทส และซูโครส เมื่อได้รับความร้อนจะทำให้โมเลกุลของน้ำแยกออกและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันขอสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาลแดง เรียกปฏิกิริยานี้ว่าคาราเมลไรเซชัน ซึ่งอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพันธ์ที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในอาหารที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบจะมีอัตราเร็วเพิ่มขึ้น 5-10 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส หรือเมื่ออาหารมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น (นิธิยา, 2545) นอกจากนั้นยังอาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาบอนิลในน้ำตาลรีดิวซ์กับอะมิโนอิสระที่มีอยู่ในเนื้อลำไยที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Fennema, 1976) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื้อลำไยแห้งจึงมีสีเข้มขึ้นและมีสีน้ำตาลออกแดง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cano-Chauca (2002) พบว่า กล้วยอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะมีค่าความสว่าง (L) น้อยกว่า และค่า a* มากกว่ากล้วยอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะเร่งอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์เพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.12 ค่าความสว่าง (L) ของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัยเดี่ยว	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
20	$49.44^{A}\pm0.31$	$46.19^{Ba}\pm0.86$	$45.94^{Ba}\pm0.08$	$44.57^{Da}\pm0.23$	$45.38^{Ca}\pm0.86$	$45.13^{CDa}\pm0.92$	$44.07^{Ea}\pm0.05$
30	$49.44^{A}\pm0.31$	$45.92^{Ba}\pm0.45$	$45.78^{Ba}\pm0.36$	$45.63^{BCa}\pm0.98$	$44.78^{Ca}\pm0.91$	$44.14^{Db}\pm0.63$	$43.93^{Da}\pm0.16$
40	$49.44^{A}\pm0.31$	$41.93^{Bb}\pm0.32$	$41.70^{BCb}\pm0.13$	$41.46^{Cb}\pm03.20$	$40.53^{Db}\pm0.18$	$39.60^{Eb}\pm0.26$	$39.01^{Fc}\pm0.46$
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)							
11	$49.44^{A}\pm0.31$	$48.66^{Ba}\pm0.02$	$46.46^{Ca}\pm0.32$	$46.22^{Ca}\pm0.32$	$46.10^{CDa}\pm0.26$	$45.98^{Da}\pm0.65$	$45.74^{Da}\pm0.66$
33	$49.44^{A}\pm0.31$	$44.87^{Ba}\pm0.18$	$44.79^{Ba}\pm0.30$	$44.71^{Ba}\pm0.04$	$43.77^{Cb}\pm0.88$	$42.67^{Db}\pm0.24$	$42.08^{Eb}\pm0.01$
52	$49.44^{A}\pm0.31$	$41.95^{Cb}\pm0.01$	$41.85^{Cb}\pm0.46$	$41.73^{CDb}\pm0.29$	$42.53^{Bc}\pm0.66$	$40.57^{Dc}\pm0.30$	$38.36^{Ec}\pm0.04$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.12 ค่าความสว่าง (L) ของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา (ต่อ)

ปัจจัยร่วม	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ x ความชื้นสัมพัทธ์							
20 x 11	$49.44^{B}\pm0.31$	$51.99^{Aa}\pm0.62$	$47.83^{Ca}\pm0.63$	$46.99^{Dab}\pm0.64$	$46.14^{DEabc}\pm0.65$	$45.84^{Eab}\pm0.76$	$45.55^{Eabc}\pm0.15$
20 x 33	$49.44^{A}\pm0.31$	$47.09^{Bab}\pm0.05$	$46.52^{BCab}\pm0.10$	$45.94^{Cab}\pm0.05$	$45.01^{Da}\pm0.33$	$44.89^{Dbc}\pm0.37$	$42.69^{Ebc}\pm0.69$
20 x 52	$49.44^{A}\pm0.31$	$45.34^{Babc}\pm0.69$	$43.78^{Cbc}\pm2.78$	$43.51^{Ccd}\pm0.28$	$42.23^{Dbc}\pm2.85$	$41.70^{Ecd}\pm0.13$	$40.82^{Fc}\pm0.10$
30 x 11	$49.44^{A}\pm0.31$	$49.05^{ABa}\pm0.31$	$48.65^{Ba}\pm0.72$	$47.84^{Ca}\pm0.04$	$47.78^{Ca}\pm0.37$	$46.64^{Da}\pm0.77$	$46.52^{Dab}\pm0.07$
30 x 33	$49.44^{A}\pm0.31$	$47.08^{Ba}\pm0.38$	$45.91^{Cab}\pm0.79$	$45.03^{Dab}\pm0.68$	$44.89^{Dbc}\pm0.73$	$44.75^{Dbc}\pm0.78$	$42.72^{Eb}\pm0.17$
30 x 52	$49.44^{A}\pm0.31$	$44.18^{Babc}\pm0.72$	$43.64^{Cbc}\pm0.13$	$43.11^{Cc}\pm0.55$	$41.61^{Dd}\pm0.31$	$41.05^{Ec}\pm0.57$	$40.12^{Ed}\pm0.08$
40 x 11	$49.44^{A}\pm0.31$	$45.89^{Bab}\pm0.08$	$45.35^{BCa}\pm0.75$	$45.03^{BCabc}\pm0.20$	$44.18^{Cbc}\pm0.32$	$43.46^{Dcd}\pm0.41$	$42.74^{Ebc}\pm0.13$
40 x 33	$49.44^{A}\pm0.31$	$42.78^{Bc}\pm0.51$	$41.95^{Cc}\pm0.57$	$41.53^{Cd}\pm0.35$	$41.11^{Dcd}\pm0.62$	$40.28^{Ecd}\pm0.22$	$38.50^{Fd}\pm0.47$
40 x 52	$49.44^{A}\pm0.31$	$38.79^{Bd}\pm0.57$	$38.11^{Cd}\pm0.76$	$37.42^{Dd}\pm0.04$	$36.60^{Ee}\pm0.35$	$35.77^{Fe}\pm0.65$	$33.19^{Ge}\pm0.38$

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.13 ค่า a* ของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัยเดี่ยว	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
20	8.88^{AB} ±0.37	8.22^{Bb}±0.28	8.91^{ABb}±0.67	9.07^{ABa}±0.09	9.60^{Aa}±0.11	9.75^{Aa}±0.24	9.99^{Aa}±0.52
30	8.88^{B} ±0.37	8.26^{Cb}±0.78	8.75^{Ba}±0.68	9.16^{ABab}±0.59	9.22^{ABa}±0.04	9.52^{Aa}±0.09	10.05^{Aa}±0.02
40	8.88^{B} ±0.37	9.74^{Aa}±0.64	9.75^{Aa}±0.53	9.75^{Aa}±0.42	9.97^{Aa}±0.94	10.06^{Aa}±0.93	10.17^{Aa}±0.03
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)							
11	8.88^{B} ±0.37	9.15^{Ba}±0.55	9.54^{ABa}±0.04	9.87^{ABa}±0.99	9.93^{Aa}±0.61	10.43^{Aa}±0.44	10.77^{Aa}±0.86
33	8.88^{B} ±0.37	9.07^{Ba}±0.44	9.49^{ABa}±0.67	9.62^{ABa}±0.87	9.91^{Aa}±0.62	10.17^{Aa}±0.96	10.23^{Aa}±0.62
52	8.88^{AB} ±0.37	8.02^{Ba}±0.80	8.07^{Bb}±0.76	8.11^{Bb}±0.80	8.57^{ABb}±0.05	9.00^{ABa}±0.81	9.98^{Aa}±0.02

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.13 ค่า a* ของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา (ต่อ)

ปัจจัยร่วม	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ x ความชื้นสัมพัทธ์							
20 x 11	8.88^{B} ±0.37	8.50^{Bab}±0.64	9.20^{ABab}±0.22	9.52^{Aabc}±0.31	9.89^{Aa}±0.79	10.04^{Aab}±0.29	10.09^{Ab}±0.72
20 x 33	8.88^{B} ±0.37	7.96^{Cb}±0.75	8.99^{Bab} ±0.52	9.38^{Babc}±0.82	10.02^{Aa}±0.71	10.18^{Ab} ±0.52	10.80^{Aa}±0.11
20 x 52	8.88^{AB} ±0.37	8.21^{Bab}±0.46	8.31^{Bc}±0.34	8.40^{Bc}±0.23	8.55^{Bc} ±0.21	8.88^{ABa} ±0.87	9.69^{Ab}±0.53
30 x 11	8.88^{B} ±0.37	8.12^{Cb}±0.85	8.78^{Bbc} ±0.28	9.23^{ABabc}±0.38	9.44^{ABa} ±0.28	10.34^{Aab}±0.08	10.51^{Aab}±0.01
30 x 33	8.88^{AB} ±0.37	8.78^{Bab}±0.75	8.90^{ABbc}±0.01	9.02^{ABbc}±0.71	9.21^{Aab} ±0.05	9.62^{Aa} ±0.65	9.73^{Ab}±0.60
30 x 52	8.88^{B} ±0.37	7.88^{Cb}±0.95	8.10^{BCc}±0.91	8.31^{Bc}±0.76	8.32^{Bc}±0.86	9.49^{Aab} ±0.08	11.08^{Aa} ±0.22
40 x 11	8.88^{B} ±0.37	10.46^{ABa} ±0.37	10.65^{ABa} ±0.15	10.82^{Aa}±0.06	10.87^{Aa}±0.11	10.92^{Aa}±0.29	11.70^{Aa}±0.64
40 x 33	8.88^{C} ±0.37	10.09^{Ba} ±0.85	10.29^{ABab} ±0.18	10.47^{Aab}±0.50	10.59^{Aab}±0.34	10.70^{Aa}±0.18	10.76^{Aab}±0.44
40 x 52	8.88^{B} ±0.37	7.60^{Cc}±0.38	7.71^{Cc}±0.71	7.78^{Cc}±0.11	7.96^{Cb}±0.17	8.97^{Bab} ±0.10	9.97^{Aa} ±0.04

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.14 ค่า b* ของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัยเดี่ยว	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
20	26.93^{A} ±0.04	22.84^{Ba} ±0.04	21.86^{Ba} ±0.45	21.37^{BCa} ±0.39	20.33^{Ca} ±0.87	19.85^{CDa} ±0.86	17.83^{Da} ±0.73
30	26.93^{A} ±0.04	21.50^{Ba} ±0.49	20.17^{Bb} ±0.99	19.12^{Ca} ±0.44	18.88^{Ca} ±0.90	18.22^{Ca} ±0.08	16.26^{Da} ±0.08
40	26.93^{A} ±0.04	17.86^{Bb} ±0.77	17.58^{Bc} ±0.78	17.32^{Ba} ±0.44	17.18^{Ba} ±0.34	16.94^{Ca} ±0.98	16.77^{Ca} ±0.22
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)							
11	26.93^{A} ±0.04	23.57^{Ba} ±0.94	22.94^{Ba} ±0.20	22.81^{Ba} ±0.11	21.05^{Ca} ±0.79	20.99^{Ca} ±0.27	19.16^{Da} ±0.83
33	26.93^{A} ±0.04	21.21^{Bb} ±0.60	21.00^{Bb} ±0.42	19.31^{BCab} ±0.50	19.21^{BCa} ±0.83	18.93^{Cb} ±0.93	17.41^{Da} ±0.73
52	26.93^{A} ±0.04	18.17^{Bc} ±0.07	16.23^{Cb} ±0.86	15.67^{Cc} ±0.80	14.98^{CDb} ±0.33	14.92^{CDc} ±0.33	14.29^{Da} ±0.90

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.14 ค่า b* ของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา (ต่อ)

ปัจจัยร่วม	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ x ความชื้นสัมพัทธ์							
20 x 11	26.93^{A} ±0.04	25.15^{ABa}±0.26	24.74^{ABa}±0.01	24.33^{BCa}±0.01	21.78^{CDa}±0.61	21.37^{CDa}±0.97	18.41^{Da}±0.95
20 x 33	26.93^{A} ±0.04	22.38^{Bab}±0.02	22.27^{Bb}±0.42	22.03^{Bb}±0.98	20.18^{Ca}±0.37	20.12^{Cab}±0.65	17.97^{Da}±0.71
20 x 52	26.93^{A} ±0.04	20.98^{Bbc}±0.36	19.05^{Cab}±0.05	18.98^{Cc}±0.95	18.05^{Dab}±0.71	17.33^{Ed}±0.43	17.11^{Ea}±0.47
30 x 11	26.93^{A} ±0.04	22.93^{Bb}±0.45	22.74^{Bb}±0.46	22.51^{Bab}±0.14	20.51^{Cab}±0.48	20.39^{Ca}±0.29	18.27^{Da}±0.44
30 x 33	26.93^{A} ±0.04	23.16^{Bab}±0.49	21.34^{BCb}±0.27	20.05^{Ca}±0.09	19.17^{Cc}±0.01	19.15^{Cab}±0.20	16.94^{Da}±0.68
30 x 52	26.93^{A} ±0.04	18.82^{Bc}±2.35	16.44^{Cd}±0.92	16.20^{Cab}±0.27	15.26^{Ce}±0.31	15.01^{CDbc}±0.90	13.57^{Da}±0.88
40 x 11	26.93^{A} ±0.04	23.05^{Bb}±0.37	21.74^{BCb}±0.50	21.28^{BCa}±0.26	20.81^{Ca}±0.04	20.79^{Ca}±0.13	20.77^{Cbc}±0.30
40 x 33	26.93^{A} ±0.04	19.39^{Bc}±0.07	18.35^{BCab}±0.32	18.08^{Cc}±0.71	17.70^{Cab}±0.21	17.31^{Ca}±0.71	15.58^{De}±0.55
40 x 52	26.93^{A} ±0.04	14.71^{Bd}±0.88	13.45^{BCb}±0.19	12.19^{Ca}±0.48	12.17^{Cf}±0.07	11.89^{Cc}±0.27	11.60^{Ce}±0.08

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.15 ผลต่างของค่าสี (ΔE) ของเนื้อลำไยบดอบแห้ง วันที่ 0 และ 30

อุณหภูมิ x ความชื้นสัมพัทธ์	ΔE
20 x 11	9.4439
20 x 33	11.3811
20 x 52	13.0917
30 x 11	9.2833
30 x 33	12.0698
30 x 52	16.4375
40 x 11	9.5283
40 x 33	15.8758
40 x 52	22.3665

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านความสามารถในการไหลของเนื้อลำไยบดอบแห้ง (ตารางที่ 4.16) พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื้อลำไยบดอบแห้งมีมุมลาดเอียง (angle of slide) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งหมายถึงเนื้อลำไยบดอบแห้งมีความสามารถในการไหลลดลง โดยมุมลาดเอียงของเนื้อลำไยบดอบแห้งเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.96 และ 0.81 เท่า เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 20 เป็น 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เช่นเดียวกับเมื่อปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น พบว่าเนื้อลำไยบดอบแห้งมีองศาความลาดเอียงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมุมลาดเอียงของเนื้อลำไยบดอบแห้งเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.78 และ 0.90 เท่า เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 11 เป็น 33 และ 52 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จึงพบว่าเนื้อลำไยบดอบแห้งมีความสามารถในการไหลลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการไหลของเนื้อลำไยบดอบแห้งมากกว่าอุณหภูมิ

ความสามารถในการไหลลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเก็บรักษาครบ 30 วัน เนื้อลำไยบด มีมุมลาดเอียงอยู่ระหว่าง 18.91-29.95 องศา ขณะที่ 0 วัน เนื้อลำไยบดอบแห้งมีมุมลาดเอียงเท่ากับ 7.72 องศา ความสามารถในการไหลลดลงเมื่อมุมลาดเอียงเพิ่มขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการไหลของเนื้อลำไยบดอบแห้งเกิดจากความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นมีผลให้เนื้อลำไยบดอบแห้งเกาะตัวกัน (Geldart *et al.*, 2006) เนื่องจากเนื้อลำไยบดมีการเปลี่ยนแปลงสภาพจาก amorphous state ไปเป็นของเหลวหนืดคล้ายยาง (rubbery state) โดยเฉพาะในอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลักจะมีอัตรา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงวัฏภาคระหว่างการเก็บรักษาที่ค่อนข้างสูง และสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจนเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ในบางงานวิจัยยังพบว่าผลิตภัณฑ์อาหารแห้งเมื่อได้รับความชื้นและมีความชื้นสัมพันธ์มากกว่าร้อยละ 40 การเชื่อมโยงกันระหว่างอนุภาคจะเกิดขึ้น เป็นผลทำให้เกิดการเกาะตัวกันของอนุภาค (Bell and Labuza, 2000) โดยในการทดลองนี้พบว่า ไม่ควรเก็บเนื้อลำไยอบแห้งที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 11 และอุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีผลให้เนื้อลำไยเกาะติดกัน

ความสามารถในการละลายของเนื้อลำไยอบแห้ง แสดงในตารางที่ 4.17 ซึ่งพบว่า เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื้อลำไยบดอบแห้งมีความสามารถในการละลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยความสามารถในการละลายของเนื้อลำไยบดอบแห้งลดลงเฉลี่ย 1.27 และ 1.84 เท่า ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิในสภาวะการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 20 เป็น 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในระหว่างการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่า เนื้อลำไยบดอบแห้งมีความสามารถในการละลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เช่นเดียวกัน โดยความสามารถในการละลายของเนื้อลำไยบดอบแห้งลดลงเฉลี่ย 1.21-1.33 เท่า เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 11 เป็น 33 และ 52 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ จึงพบว่า เนื้อลำไยบดอบแห้งมีความสามารถในการละลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการละลายของเนื้อลำไยบดอบแห้งมากกว่าความชื้นสัมพัทธ์

เนื้อลำไยอบแห้งมีความสามารถในการละลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษาครบ 30 วัน เนื้อลำไยอบแห้งมีค่าความสามารถในการละลายอยู่ระหว่างร้อยละ 47.28-70.40 จากเดิมมีค่าเท่ากับร้อยละ 64.99 ในวันที่ 0 โดยตัวอย่างเนื้อลำไยบดอบแห้งที่เก็บรักษาในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 11 จะมีการเปลี่ยนแปลงช้าที่สุด ซึ่งความสามารถในการละลายลดลงเนื่องจากเนื้อลำไยบดอบแห้งเกิดการดูดความชื้น จึงเปลี่ยนสถานะไปเป็นของเหลวหนืดคล้ายยางและเกิดการเกาะตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ (ธัญนิชา, 2552) ทำให้ความสามารถในการกระจายตัวของอนุภาคผงในน้ำลดลงและมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสน้ำที่น้อยลง ดังนั้นความสามารถในการละลายของเนื้อลำไยบดอบแห้งจึงลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.16 ความสามารถในการไหล (องศาของมุมลาดเอียง) ของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัยเดี่ยว	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
20	7.72^{F} ±0.09	14.76^{Eb}±0.33	14.70^{Eb}±0.09	15.78^{Db}±0.22	17.21^{Cb}±0.99	18.00^{Bc}±0.09	18.91^{Ac}±0.79
30	7.72^{F} ±0.09	15.48^{Ea}±0.861	15.63^{Ea}±0.21	16.30^{Da}±0.20	17.21^{Cb}±0.32	18.46^{Bb}±0.43	20.96^{Ab}±0.38
40	7.72^{F} ±0.09	15.48^{Ea}±0.861	15.78^{DEa} ±0.95	16.23^{Da}±0.38	23.10^{Ca}±0.62	28.01^{Ba}±0.86	29.95^{Aa}±0.97
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)							
11	7.72^{F} ±0.09	14.08^{Ec}±0.71	14.15^{Ec}±0.48	14.70^{Dc}±0.18	16.66^{Cc}±0.25	18.20^{Bc}±0.60	18.95^{Ac}±0.12
33	7.72^{F} ±0.09	15.35^{Eb}±0.40	15.45^{Eb}±0.78	16.13^{Db}±0.55	18.53^{Cb}±0.81	20.56^{Bb}±0.40	22.38^{Ab}±0.27
52	7.72^{F} ±0.09	16.30^{Ea}±0.20	16.51^{Ea}±0.43	17.48^{Da}±0.26	22.33^{Ca}±0.09	25.71^{Ba}±0.17	28.50^{Aa}±0.48

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.16 ความสามารถในการไหล (องศาของมุมลาดเอียง) ของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา (ต่อ)

ปัจจัยร่วม	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ x ความชื้นสัมพัทธ์							
20 x 11	7.72^{F} ±0.09	13.25^{Ed}±0.35	13.60^{Ed}±0.14	14.60^{Dd}±0.14	16.10^{Ce}±0.14	17.10^{Bf}±0.14	18.25^{Af} ±0.35
20 x 33	7.72^{E} ±0.09	14.85^{Dc}±0.21	14.50^{Dc}±0.28	15.50^{Cc}±0.28	17.30^{Bd}±0.42	17.55^{Bef}±0.01	18.60^{Aef}±0.14
20 x 52	7.72^{E} ±0.09	16.20^{Dab}±0.28	16.00^{Db}±0.00	17.25^{Ca}±0.35	18.25^{Bc}±0.35	19.35^{Ad}±0.49	19.90^{Ad} ±0.14
30 x 11	7.72^{E} ±0.09	14.50^{Dc}±0.42	14.25^{Dc}±0.35	14.90^{CDd}±0.14	15.65^{Ce}±0.21	17.25^{Bef}±0.35	18.25^{Af}±0.35
30 x 33	7.72^{D} ±0.09	15.60^{Cb}±0.14	15.75^{Cb}±0.35	16.45^{Cb}±0.35	17.45^{BCd}±0.35	17.90^{ABe}±0.14	19.40^{Ade}±0.84
30 x 52	7.72^{F} ±0.09	16.35^{Ea}±0.21	16.90^{Ea}±0.14	17.55^{Da}±0.07	18.55^{Cc}±0.01	20.25^{Bc}±0.35	25.25^{Ac} ±0.35
40 x 11	7.72^{D} ±0.09	14.50^{Cc}±0.42	14.60^{Cc}±0.14	14.60^{Cd}±0.14	18.25^{Bc}±0.35	20.25^{Ac}±0.35	20.35^{Ad} ±0.49
40 x 33	7.72^{F} ±0.09	15.60^{Eb}±0.14	16.10^{DEb}±0.14	16.45^{Db}±0.35	20.85^{Cb}±0.21	26.25^{Bb}±0.35	29.15^{Ab} ±0.49
40 x 52	7.72^{F} ±0.09	16.35^{Ea}±0.21	16.65^{Ea}±0.21	17.65^{Da}±0.21	30.20^{Ca} ±0.28	37.55^{Ba}±0.21	40.35^{Aa} ±0.49

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.17 ความสามารถในการละลายของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัยเดี่ยว	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
20	64.99^{A} ±3.69	65.27^{Aa} ±0.52	64.30^{ABa} ±0.41	64.30^{ABa} ±0.42	63.05^{Ba} ±0.60	62.95^{Ba} ±0.08	62.31^{Ba} ±0.00
30	64.99^{A} ±3.69	63.43^{Ba} ±0.43	65.11^{Aa} ±0.52	62.98^{Ba} ±0.72	62.98^{Ba} ±0.72	59.82^{Cb} ±0.54	54.03^{Db} ±0.55
40	64.99^{A} ±3.69	64.00^{Aa} ±0.78	64.31^{ABa} ±0.62	61.46^{Ca} ±0.61	60.63^{Cb} ±0.34	60.22^{Cb} ±0.54	56.71^{Db} ±0.90
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)							
11	64.99^{F} ±3.69	76.98^{Aa} ±0.11	75.32^{Ba} ±0.92	74.51^{BCa} ±0.48	73.68^{Ca} ±0.76	71.75^{Da} ±0.40	70.40^{Ea} ±0.37
33	64.99^{A} ±3.69	62.06^{Bb} ±0.39	61.80^{Bb} ±0.30	59.01^{BCb} ±0.12	57.60^{Cb} ±0.81	57.36^{Cb} ±0.93	57.15^{Cb} ±0.75
52	64.99^{A} ±3.69	55.92^{Bc} ±0.10	55.08^{Bc} ±0.49	54.34^{BCc} ±0.40	53.97^{Cc} ±0.05	53.63^{Cc} ±0.26	47.28^{Dc} ±0.29

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.17 ความสามารถในการละลายของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา (ต่อ)

ปัจจัยร่วม	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ x ความชื้นสัมพัทธ์							
20 x 11	64.99^{C} ±3.69	76.22^{Aa}±0.11	75.69^{Aa}±0.98	75.13^{ABa}±1.00	75.15^{ABa}±0.79	75.10^{ABa}±0.79	72.60^{Ba}±0.92
20 x 33	64.99^{A} ±3.69	65.81^{Ab}±0.44	64.65^{ABb}±0.46	62.59^{ABbc}±0.93	59.49^{Bbc}±0.84	58.17^{Bc}d±0.88	57.96^{Bbc}±0.23
20 x 52	64.99^{A} ±3.69	55.17^{Bde}±0.24	54.99^{Bd}±0.54	54.94^{Be}±0.12	53.87^{Cde} ±0.32	54.55^{BCde}±0.09	54.49^{BCc}±0.17
30 x 11	64.99^{BC} ±3.69	78.08^{Ab}±0.12	75.63^{Aa}±0.82	73.53^{Ba}±0.09	73.53^{Ba}±0.09	62.66^{Cb}±0.92	62.29^{Cb}±0.94
30 x 33	64.99^{A} ±3.69	64.03^{Ab}±0.89	61.49^{Bbc}±0.88	60.78^{BCb}±0.95	60.78^{BCb} ±0.95	59.83^{CDbc}±0.32	52.90^{Dc}±0.96
30 x 52	64.99^{A} ±3.69	57.33^{Bcd}±0.19	55.77^{BCe}±0.71	54.63^{CDde}±0.92	54.63^{CDde} ±0.92	50.62^{De} ±0.40	46.54^{Ed}±0.09
40 x 11	64.99^{C} ±3.69	77.27^{Aa}±0.16	76.65^{Ac} ±0.03	75.93^{ABa} ±0.79	75.20^{ABa} ±0.63	74.90^{Ba} ±0.73	72.40^{Ba} ±0.80
40 x 33	64.99^{A} ±3.69	59.56^{Abcd}±0.94	59.25^{Acd} ±0.68	56.76^{ABcd}±0.11	54.82^{BCd} ±2.14	53.36^{BCc}±0.35	52.73^{Ce} ±0.21
40 x 52	64.99^{A} ±3.69	57.24^{Bcd}±0.74	57.04^{Bde}±0.19	56.76^{Bcd}±0.11	52.73^{Ce}±0.21	48.58^{De}±0.84	40.83^{De}±0.92

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสามารถการคืนรูปของเนื้อลำไยบดอบแห้ง แสดงในตารางที่ 4.18 เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื้อลำไยบดอบแห้งมีความสามารถการคืนรูปลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยความสามารถการคืนรูปของเนื้อลำไยบดอบแห้งลดลงเฉลี่ย 1.08 และ 1.15 เท่า เมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 20 เป็น 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น เนื้อลำไยบดอบแห้งมีความสามารถการคืนรูปลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เช่นเดียวกัน โดยความสามารถการคืนรูปของเนื้อลำไยบดอบแห้งลดลงเฉลี่ย 1.09 และ 1.16 เท่า เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 11 เป็น 33 และ 52 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ พบว่าเนื้อลำไยบดอบแห้งมีความสามารถการคืนรูปลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น

นอกจากนั้นยังพบว่า เนื้อลำไยบดอบแห้งมีความสามารถการคืนรูปลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเก็บรักษาครบ 30 วัน เนื้อลำไยบดอบแห้งมีค่าการคืนรูปอยู่ระหว่างร้อยละ 265.30 - 388.76 จากเดิมวันที่ 0 มีค่าเท่ากับร้อยละ 535.57 โดยอุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา มีผลให้ผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยบดอบแห้งมีความชื้นเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกับค่าความสามารถในการไหลและการละลายที่ลดลง คือความชื้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกาะตัวกัน ดังนั้นความสามารถการคืนรูปของเนื้อลำไยบดอบแห้งจึงลดลง เนื่องจากการเกาะตัวกันของผลิตภัณฑ์จะทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถการคืนรูป และอัตราเร็วในการคืนรูปลดลง (สุคนธ์ชื่น, 2539) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชนันท์ (2545) ได้ศึกษาการผลิตน้ำลำไยผงโดยวิธีอบแห้งแบบโฟม-แมท พบว่าในวันที่ 0 ลำไยผงมีค่าการคืนรูปเท่ากับร้อยละ 98.50 และเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน ลำไยผงมีค่าการคืนรูปลดลงอยู่ระหว่างร้อยละ 68.83- 98.08

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.18 ค่าการคืนรูปของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัยเดี่ยว	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
20	535.57^{A} ±5.94	435.73^{Ba}±0.78	414.06^{Ba} ±0.81	390.79^{Ca}±0.80	387.90^{Ca}±0.37	373.90^{Da}±0.84	350.95^{Ea}±0.12
30	535.57^{A} ±5.94	419.52^{Bb}±0.12	392.90^{Bb} ±0.39	375.65^{Cb}±0.49	361.31^{Da}±0.37	333.33^{Eb}±0.63	281.00^{Fc}±0.82
40	535.57^{A} ±5.94	382.58^{Bc}±0.64	363.34^{BCc}±0.99	343.8^{Cc}±0.69	315.93^{Db}±0.31	310.33^{Db}±0.05	289.50^{Ec}±0.81
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)							
11	535.57^{A} ±5.94	448.91^{Ba}±0.73	419.73^{BCa}±0.92	400.27^{BCa}±0.39	380.35^{CDa}±0.99	376.32^{Da}±0.83	350.73^{Ea}±0.31
33	535.57^{A} ±5.94	404.35^{Bb}±0.23	382.90^{Bb} ±0.67	365.16^{Cb}±0.47	346.06^{Db}±0.33	324.09^{Eb}±0.03	320.64^{Eb}±0.50
52	535.57^{A} ±5.94	384.57^{Bc}±0.19	367.67^{Bc}±0.54	344.86^{Cc}±0.06	324.73^{Dc}±0.70	298.97^{Ec}±0.45	282.27^{Fc}±0.95

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.18 ค่าการคืนรูปของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา (ต่อ)

ปัจจัยร่วม	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ x ความชื้นสัมพัทธ์							
20 x 11	535.57^{A} ±5.94	484.22^{Ba}±0.92	459.09^{BCa}± 0.81	454.22^{BCa}±0.55	430.53^{CDa}±0.36	408.79^{DEa}±0.19	388.76^{Ea}±0.02
20 x 33	535.57^{A} ±5.94	415.20^{Bc}±0.47	394.20^{BCc}±0.19	381.09^{Cbc}±0.78	374.09^{CDb}±0.04	368.66^{CDbc}±0.39	348.89^{Db}±0.04
20 x 52	535.57^{A} ±5.94	407.77^{Bd}±0.80	393.76^{Bc}±0.96	360.76^{Ccd}±0.82	344.27^{CDc}±0.14	330.54^{DEcd}±0.63	315.22^{Ec}±0.09
30 x 11	535.57^{A} ±5.94	446.90^{Bb}±0.32	415.08^{Cb}±0.27	396.97^{CDb} ±0.63	378.35^{Db} ±0.95	345.09^{Eb}±0.20	315.32^{Ed} ±0.55
30 x 33	535.57^{A} ±5.94	413.05^{Bc}±0.59	385.52^{BCcd}±0.36	367.14^{CDcd}±0.01	357.05^{Dbc}±0.02	338.52^{Dbc} ±0.78	279.75^{Eef} ±0.85
30 x 52	535.57^{A} ±5.94	398.63^{Be}±0.96	378.11^{Ccd}±0.17	362.86^{Ccd} ±0.86	348.55^{Dc} ±0.59	316.39^{Ec} ±0.69	247.94^{Fg} ±0.91
40 x 11	535.57^{A} ±5.94	415.63^{Bc}±0.11	389.89^{BCc}±0.59	373.31^{BCc} ±0.03	354.55^{Cbc}±0.77	353.92^{Cbc} ±0.14	318.34^{Dc} ±0.47
40 x 33	535.57^{A} ±5.94	384.80^{Bf}±0.15	368.99^{BCd} ±0.34	347.26^{Cd} ±0.26	312.49^{Dd} ±0.48	308.10^{Dde} ±0.50	284.86^{Ed} ±0.41
40 x 52	535.57^{A} ±5.94	347.30^{Bg}±0.83	331.15^{BCe} ±0.43	310.98^{CDe} ±0.93	281.38^{De} ±0.86	268.34^{Dfg}±0.79	265.30^{Ed}±0.58

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.19 แสดงอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g) ของเนื้อลำไยบดอบแห้ง เนื้อลำไยบดอบแห้งมีค่า T_g เริ่มต้น เท่ากับ 59.48 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า T_g ของเนื้อลำไยบดอบแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ซึ่งค่า T_g ของเนื้อลำไยบดอบแห้งมีค่าลดลงเฉลี่ย 1.02-1.05 เท่า เมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 20 เป็น 30 และ 40 องศาเซลเซียส และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ค่า T_g ของเนื้อลำไยบดอบแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เช่นเดียวกัน โดยเนื้อลำไยบดอบแห้งมีค่า T_g ลดลงเฉลี่ย 1.01 เท่า เมื่อปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในสภาวะการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 11 เป็น 33 และ 52 ซึ่งการลดลงของค่า T_g มีผลมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นทำให้อาหารเปลี่ยนโครงสร้างจากกลาส (glassy state) ไปเป็นของเหลวหนืดคล้ายยาง (rubbery state) (Kurozawa, *et al*., 2009)

เนื้อลำไยบดอบแห้งมีค่า T_g ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเก็บรักษาครบ 30 วัน เนื้อลำไยบด มีค่า T_g อยู่ระหว่าง 54.96-58.50 องศาเซลเซียส จากเดิมวันที่ 0 มีค่าเท่ากับ 59.48 องศาเซลเซียส ซึ่งในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูง น้ำจะมีผลต่อการเปลี่ยนสภาพของอาหารจากกลาส (glassy state) เป็นของเหลวข้นหนืดคล้ายยาง (plasticizing) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเกี่ยวกับผลไม้ผงหลายชนิด อาทิเช่น มะเขือเทศ gooseberry กีวี สตรอเบอรี่ และสับปะรด เป็นต้น (Goula *et al*., 2008; Wang *et al*., 2008; Moraga *et al*., 2004, 2006; Telis and Sobral, 2001) โดยค่า T_g เป็นค่าเฉพาะของอาหารแต่ละชนิดและเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของอาหารระหว่างการแปรรูป รวมถึงคุณภาพของอาหารที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา เพราะเมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาสูงกว่าค่า T_g ของอาหาร อาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เช่น มีปริมาตรเพิ่มขึ้น ความหนืดลดลง ความร้อนจำเพาะเพิ่มขึ้น การขยายตัวของความร้อนเพิ่มขึ้น (thermal expansion) และการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะมีผลต่อพฤติกรรมและโครงสร้างของอาหาร คืออาหารจะเหนียวขึ้น หรืออาจมีการยุบตัว (collapse) และการตกผลึกระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา (Goula *et al*., 2008)

ซึ่งในการทดลองนี้พบว่าการเก็บรักษาเนื้อลำไยบดอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส และสภาวะความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่าร้อยละ 33 สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่า T_g ของผลิตภัณฑ์ได้สูงสุด ซึ่งหมายความว่าผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยบดอบแห้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีน้อยที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.19 อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g) (องศาเซลเซียส) ของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัยเดี่ยว	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
20	59.48^{CD} ±0.03	61.53^{Aa}±0.25	61.50^{Aa}±0.25	60.89^{Ba}±0.20	60.79^{Ba}±0.24	60.69^{Ca}±0.48	59.38^{Da}±0.32
30	59.48^{BC} ±0.03	60.24^{Ab}±1.42	60.14^{Ab}±0.42	59.86^{Ab}±0.81	59.47^{BCb}±0.76	58.97^{Cb}±0.13	58.45^{Cb}±0.51
40	59.48^{A} ±0.03	58.64^{Bc}±0.31	58.65^{Bc}±0.31	58.12^{Cb}±1.48	57.20^{Dc}±0.10	57.15^{Dc}±1.21	56.18^{Cc}±1.18
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)							
11	59.48^{AB} ±0.03	60.41^{Aa}±1.23	60.30^{Aa}±0.57	59.91^{Aa}±1.00	59.51^{ABa}±1.62	58.98^{Ba}±0.70	58.43^{Ca}±0.68
33	59.48^{A} ±0.03	60.14^{Ab}±1.36	59.16^{Aa}±2.08	59.04^{ABb}±2.00	58.92^{ABb}±2.30	58.59^{Bb}±0.98	58.26^{Ba}±0.47
52	59.48^{A} ±0.03	59.74^{Ac}±1.28	59.59^{Aa}±1.87	58.85^{Bb}±2.23	58.10^{Cc}±2.62	57.96^{Dc}±1.50	57.81^{Db}±0.97

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.19 อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g) (องศาเซลเซียส) ของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา (ต่อ)

ปัจจัยร่วม	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ x ความชื้นสัมพัทธ์							
20 x 11	59.48^{C} ±0.03	61.20^{Ab}±0.05	61.10^{Aa}±0.14	60.92^{ABa}±0.07	60.74^{Bab}±0.07	59.03^{Dc}±0.06	58.31^{Eef}±0.05
20 x 33	59.48^{BC} ±0.03	61.60^{Aa}±0.14	61.09^{ABa}±0.25	60.98^{ABa}±0.02	60.86^{Ba}±0.29	59.42^{BCab}±0.20	58.09^{Cf}±0.14
20 x 52	59.48^{CD} ±0.03	61.71^{Aa}±0.08	60.85^{ABab}±0.07	60.49^{Babc}±0.02	60.13^{BCa}±0.01	59.68^{Ca}±0.21	58.50^{Da}±0.08
30 x 11	59.48^{AB} ±0.03	60.43^{Aa}±0.37	59.67^{ABd}±0.13	59.53^{ABbcd}±0.35	59.05^{Ba}±0.13	58.84^{CDc}±0.04	57.62^{Da}±0.34
30 x 33	59.48^{BC} ±0.03	60.23^{Ac}±0.32	59.55^{Bc}±0.28	59.42^{Ccd}±1.17	59.29^{Dab}±2.63	58.95^{Ebc}±0.11	57.34^{Fbc}±0.32
30 x 52	59.48^{D} ±0.03	60.99^{Aa}±0.08	60.62^{ABab}±0.15	60.54^{BCc}±0.07	60.24^{BCbc}±0.21	59.11^{Ebc}±0.02	57.96^{Fcd}±0.07
40 x 11	59.48^{A} ±0.03	58.35^{Bd}±0.07	58.34^{Bf}±0.07	57.24^{Cb}±0.61	56.10^{De}±0.44	56.03^{Ef}±0.19	54.96^{Fg}±0.27
40 x 33	59.48^{A} ±0.03	58.69^{Bab}±0.21	58.58^{Bf}±0.21	57.41^{CCe}±0.54	57.33^{Cb}±1.50	56.73^{CDe}±0.37	56.12^{Df}±0.69
40 x 52	59.48^{AB} ±0.03	59.78^{Aa}±0.26	58.98^{Be}±0.16	58.82^{BCab}±0.16	58.63^{CDd}±0.31	58.15^{Dd}±0.11	57.47^{Ee}±0.36

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา แสดงในตารางที่ 4.20 พบว่า เมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเนื้อลำไยบดอบแห้งมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยบดอบแห้งเพิ่มขึ้น 1.04 และ 1.08 เท่า เมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 20 เป็น 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น พบว่า เนื้อลำไยบดอบแห้งมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยบดอบแห้งเพิ่มขึ้น 1.30 และ 1.39 เท่า เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 11 เป็น 33 และ 52 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ พบว่า เนื้อลำไยบดอบแห้งมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่ออุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น

เนื้อลำไยบดอบแห้งมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และเมื่อเก็บรักษาครบ 30 วัน เนื้อลำไยบดมีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 10.23-15.42 จากเดิมวันที่ 0 มีค่าเท่ากับร้อยละ 7.96 โดยตัวอย่างเนื้อลำไยบดอบแห้งที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 55 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นสูงที่สุด ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นเกิดเนื่องจากเนื้อลำไยบดอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูงจึงมีสมบัติ hygroscopicity เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยสามารถส่งผลให้ปริมาณความชื้นในอาหารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (นิธิยา, 2549) Myhara and Sablani (2001) พบว่า ปริมาณความชื้นสมดุลของลูกเกดที่มีน้ำตาลกลูโคสสูงจะลดลง เมื่อระดับความชื้นสัมพัทธ์มีค่าไม่เกินร้อยละ 55 ขณะที่เมื่อระดับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณความชื้นของลูกเกดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากน้ำตาลกลูโคสในอาหารเป็นสาเหตุให้สมดุลของปริมาณความชื้น ณ อุณหภูมิต่างๆ แตกต่างกันเมื่อระดับความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์ค่า a_w ของเนื้อลำไยบดอบแห้งแสดงในตารางที่ 4.21 เมื่ออุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื้อลำไยบดอบแห้งมีค่า a_w เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยค่า a_w ของเนื้อลำไยบดอบแห้งเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.03 และ 1.09 เท่า เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 20 เป็น 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น พบว่าเนื้อลำไยบดอบแห้งมีค่า a_w เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยค่า a_w ของเนื้อลำไยบดอบแห้งเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.83-2.51 เท่า เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 11 เป็น 33 และ 52 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ จึงพบว่าเนื้อลำไยบดอบแห้งมีค่า a_w เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่ออุณหภูมิและความชื้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สัมพัทธ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากค่า a_w นั้นแปรผันตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของโยษิตา (2551) พบว่าที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์สูง ปริมาณความชื้นและค่า a_w ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะมีค่าสูง นอกจากนี้ปริมาณความชื้นและค่า a_w ของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

นอกจากนั้นยังพบว่า เนื้อลำไยบดอบแห้งมีค่า a_w เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเก็บรักษาครบ 30 วัน เนื้อลำไยบดมีค่า a_w สูงสุดที่ 0.569 จากเดิมวันที่ 0 มีค่าเท่ากับ 0.315

ปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อลำไยบดอบแห้ง (ตารางที่ 4.22) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่ออุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลงเฉลี่ย 1.01 เท่า เมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 20 เป็น 30 และ 40 องศาเซลเซียส และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น เนื้อลำไยบดอบแห้งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลงเฉลี่ย 1.03 และ 1.04 เท่า เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 11 เป็น 33 และ 52 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ จึงพบว่าเนื้อลำไยบดอบแห้งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น

เนื้อลำไยบดอบแห้งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเก็บรักษาครบ 30 วัน เนื้อลำไยบดอบแห้งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ระหว่างร้อยละ 84.26-89.63 จากเดิมวันที่ 0 มีค่าเท่ากับร้อยละ 92.04 ปริมาณของแข็งที่ลดลงจะสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมดคิดเป็นสัดส่วนผันแปรตามน้ำหนักทั้งหมดของอาหาร (Zamora *et al.,* 2005)

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อลำไยบดอบแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อลำไยบดอบแห้งลดลงเฉลี่ย 1.13 และ 1.20 เท่า เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 20 เป็น 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อลำไยบดอบแห้งลดลงเฉลี่ย 1.79 และ 2.12 เท่า เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 11 เป็น 33 และ 52 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ จึงพบว่าเนื้อลำไยบดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง เมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นความสามารถในการดูดซับน้ำก็สูงขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง อีกทั้งอุณหภูมิที่สูงจะส่งผลทำให้สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของโพลีฟีนอลิค ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในลำไยนั้นเกิดการสลายตัวเนื่องจากเป็นรงควัตถุที่มีความไวต่อความร้อน ซึ่งอัตราการเสื่อมสลายของสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของโพลีฟีนอลิคนั้นจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น รวมถึงระยะเวลาที่ได้รับความร้อน (Herbach *et al*., 2006; Rangkadilok *et al*., 2007; Rahman, 1995)

นอกจากนั้นยังพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเนื้อลำไยบดอบแห้งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยในวันที่ 0 เนื้อลำไยบดอบแห้งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับร้อยละ 57.90 และเมื่อเก็บรักษาครบ 30 วัน พบว่าเนื้อลำไยบดอบแห้งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ระหว่างร้อยละ 28.85-10.12 ซึ่งค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ลดลง เกิดจากสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในเนื้อลำไยบดอบแห้งเกิดการเสื่อมสลายในระหว่างการเก็บรักษา โดยทั่วไปเนื้อลำไยจะประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของโพลีฟีนอลิค คือ Gallic acid, Corilagin และ Ellagic acid สารทั้ง 3 ชนิดนี้มีสัดส่วนปริมาณแตกต่างกันไปตามขนาด, สายพันธุ์ และโครงสร้างของลำไย (Rangkadilok *et al*., 2007) โดยการเสื่อมสลายของสารต้านอนุมูลอิสระนั้นต้องการน้ำเข้าไปร่วมทำปฏิกิริยา จากการศึกษาของ Rahman (1995) พบว่าหากอาหารมีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 30 จะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆได้ดีขึ้น เช่น การไฮโดรไลซีส และการออกซิเดชัน เนื่องจากน้ำจะเป็นตัวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนไหวของสารที่เข้าร่วมทำปฏิกิริยา ดังนั้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีปริมาณน้ำจำกัดจะทำให้สารต้านอนุมูลอิสระมีความเสถียรมากกว่า (Fernema, 2008) นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงขึ้นยังเป็นปัจจัยสำคัญที่เร่งการเสื่อมสลายของสารต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระสามารถเสื่อมสลายได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงหรือเมื่อได้รับความร้อนเป็นเวลานาน (Kirca and Cemeroglu, 2003) เพราะฉะนั้นการเก็บรักษาเนื้อลำไยบดอบแห้งในสภาวะที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะช่วยลดการเสื่อมสลายของสารต้านอนุมูลอิสระได้ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.20 ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัยเดี่ยว	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
20	7.96^{F} ±0.17	10.70^{Eb} ±1.87	11.64^{Da} ±2.16	11.98^{Cb} ±1.84	12.30^{Bc} ±1.89	12.57^{ABb} ±1.93	12.73^{Ac} ±2.03
30	7.96^{D} ±0.17	10.56^{Cb} ±1.80	11.98^{Ba} ±2.44	12.87^{ABa} ±2.08	13.21^{Ab} ±2.11	13.48^{Aa} ±2.16	13.59^{Ab} ±2.12
40	7.96^{E} ±0.17	11.32^{Da} ±2.25	12.25^{Ca} ±2.46	13.30^{Ba} ±2.12	13.78^{Aa} ±2.46	13.74^{ABa} ±2.25	13.99^{Aa} ±2.34
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)							
11	7.96^{C} ±0.17	8.52^{Bc} ±0.51	9.04^{Bc} ±0.56	10.21^{Ac} ±0.55	10.40^{Ac} ±0.41	10.62^{Ac} ±0.49	10.75^{Ac} ±0.31
33	7.96^{F} ±0.17	11.32^{Eb} ±0.67	12.91^{Db} ±0.61	13.56^{Cb} ±0.91	13.93^{Bb} ±0.96	14.19^{Ab} ±0.94	14.26^{Ab} ±1.07
52	7.96^{E} ±0.17	12.75^{Da} ±0.60	13.93^{Ca} ±0.46	14.38^{BCa} ±0.68	14.96^{ABa} ±0.76	14.98^{ABa} ±0.50	15.30^{Aa} ±0.40

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.20 ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา (ต่อ)

ปัจจัยร่วม	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ x ความชื้นสัมพัทธ์							
20 x 11	7.96^{D} ±0.17	8.63^{Ce} ±0.14	9.01^{BCc}±0.08	9.84^{ABd}±0.94	10.01^{ABf}±0.38	10.23^{Ad}±0.12	10.37^{Ag}±0.04
20 x 33	7.96^{D} ±0.17	10.67^{Bd} ±0.08	12.19^{Ab} ±0.38	12.42^{Ac} ±0.05	12.74^{Ad} ±0.11	13.09^{Ac} ±0.70	12.95^{Ae}±0.40
20 x 52	7.96^{D} ±0.17	12.80^{Cab}±0.03	13.70^{Ba} ±0.77	13.72^{Bb} ±0.01	14.15^{ABc}±0.03	14.38^{ABb}±0.17	14.87^{Acd}±0.09
30 x 11	7.96^{C} ±0.17	8.39^{Ce}±0.70	8.94^{BCc}±1.07	10.21^{ABd}±0.12	10.51^{ABef}±0.30	10.75^{Ad} ±0.78	10.90^{Af}±0.20
30 x 33	7.96^{E} ±0.17	11.16^{Dcd}±0.13	13.26^{Cab} ±0.28	13.92^{Bab}±0.07	14.23^{ABc}±0.03	14.53^{Aab}±0.24	14.58^{Ad} ±0.03
30 x 52	7.96^{D} ±0.17	12.14^{Cbc}±0.70	13.74^{Ba}±0.72	14.47^{ABab}±0.17	14.88^{Ab}±0.07	15.15^{Aab} ±0.05	15.30^{Abc}±0.22
40 x 11	7.96^{C} ±0.17	8.54^{Be} ±0.85	9.16^{Bc}±0.59	10.60^{Ad}±0.13	10.67^{Ae}±0.36	10.87^{Ad} ±0.32	10.98^{Af}±0.06
40 x 33	7.96^{E} ±0.17	12.12^{Dbc}±0.21	13.27^{Cab}±0.28	14.35^{Bab} ±0.13	14.82^{ABb}±0.21	14.94^{Aab}±0.27	15.25^{Ab}±0.10
40 x 52	7.96^{E} ±0.17	13.39^{Da}±0.08	14.32^{Ca} ±0.29	14.95^{Ba} ±0.32	15.84^{Aa}±0.18	15.42^{ABa}±0.17	15.74^{Aa}±0.01

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.21 ค่า a_w ของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัยเดี่ยว	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
20	$0.315^{C} \pm 0.00$	$0.317^{Cc} \pm 0.11$	$0.351^{ABc} \pm 0.15$	$0.350^{Bc} \pm 0.14$	$0.349^{Bc} \pm 0.14$	$0.354^{Ab} \pm 0.15$	$0.353^{Ac} \pm 0.15$
30	$0.315^{C} \pm 0.00$	$0.342^{Cb} \pm 0.17$	$0.368^{Ab} \pm 0.15$	$0.360^{Bb} \pm 0.14$	$0.357^{Bb} \pm 0.14$	$0.357^{Bb} \pm 0.15$	$0.356^{Bb} \pm 0.15$
40	$0.315^{C} \pm 0.00$	$0.393^{Aa} \pm 0.09$	$0.392^{Aa} \pm 0.09$	$0.374^{Ca} \pm 0.17$	$0.370^{Ca} \pm 0.17$	$0.379^{Ba} \pm 0.17$	$0.381^{Ba} \pm 0.17$
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)							
11	$0.315^{A} \pm 0.00$	$0.204^{Cc} \pm 0.09$	$0.224^{Bc} \pm 0.07$	$0.179^{Dc} \pm 0.01$	$0.179^{Dc} \pm 0.01$	$0.179^{Dc} \pm 0.01$	$0.179^{Dc} \pm 0.00$
33	$0.315^{C} \pm 0.00$	$0.364^{Cb} \pm 0.01$	$0.368^{Bb} \pm 0.02$	$0.371^{Bb} \pm 0.01$	$0.371^{Bb} \pm 0.01$	$0.377^{Ab} \pm 0.01$	$0.378^{Ab} \pm 0.01$
52	$0.315^{E} \pm 0.00$	$0.484^{Da} \pm 0.05$	$0.519^{Ca} \pm 0.01$	$0.530^{Ba} \pm 0.04$	$0.530^{Ba} \pm 0.04$	$0.534^{Aa} \pm 0.03$	$0.533^{Aa} \pm 0.03$

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.21 ค่า a_w ของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา (ต่อ)

ปัจจัยร่วม	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ x ความชื้นสัมพัทธ์							
20 x 11	0.315^{A} ±0.00	0.172^{Bf} ±0.00	0.174^{Bh} ±0.00	0.173^{Bg} ±0.00	0.173^{Bg} ±0.00	0.174^{Bf} ±0.00	0.174^{Bg} ±0.00
20 x 33	0.315^{C} ±0.00	0.360^{Cd} ±0.00	0.365^{BCd} ±0.01	0.372^{ABd} ±0.00	0.372^{ABd} ±0.00	0.373^{Ad} ±0.00	0.371^{ABe} ±0.00
20 x 52	0.315^{D} ±0.00	0.418^{Cb} ±0.01	0.513^{Ab} ±0.00	0.502^{Bc} ±0.00	0.502^{Bc} ±0.00	0.515^{Ab} ±0.00	0.515^{Ab} ±0.00
30 x 11	0.315^{A} ±0.00	0.125^{Cg} ±0.01	0.184^{Bg} ±0.00	0.182^{Bf} ±0.00	0.182^{Bf} ±0.00	0.178^{Bf} ±0.01	0.175^{Bg} ±0.00
30 x 33	0.315^{C} ±0.00	0.379^{Bc} ±0.00	0.388^{Ac} ±0.00	0.376^{Bd} ±0.00	0.376^{Bd} ±0.00	0.375^{Bd} ±0.00	0.375^{Bd} ±0.00
30 x 52	0.315^{D} ±0.00	0.520^{Ba} ±0.00	0.533^{Aa} ±0.00	0.513^{Cb} ±0.00	0.513^{Cb} ±0.00	0.518^{Bb} ±0.00	0.517^{BCb} ±0.00
40 x 11	0.315^{A} ±0.00	0.314^{Ae} ±0.00	0.314^{Af} ±0.00	0.182^{Bf} ±0.00	0.182^{Bf} ±0.00	0.186^{Be} ±0.00	0.187^{Bf} ±0.00
40 x 33	0.315^{D} ±0.00	0.352^{Cd} ±0.00	0.352^{Ce} ±0.00	0.366^{Be} ±0.00	0.366^{Be} ±0.00	0.383^{Ac} ±0.00	0.387^{Ac} ±0.00
40 x 52	0.315^{C} ±0.00	0.514^{Ba} ±0.01	0.510^{Bb} ±0.00	0.575^{Aa} ±0.00	0.575^{Aa} ±0.00	0.570^{Aa} ±0.00	0.569^{Aa} ±0.00

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.22 ของแข็งทั้งหมดของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัยเดี่ยว	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
20	92.04^{A} ±0.17	89.30^{Ba}±1.87	88.36^{Ca}±2.16	88.01^{CDa} ±1.84	87.70^{Da}±1.89	87.43^{DEa} ±1.93	87.27^{Ea} ±2.03
30	92.04^{A} ±0.17	89.43^{Ba} ±1.80	88.02^{Ca}±2.44	87.13^{Db} ±2.08	86.79^{Db}±2.11	86.52^{Db} ±2.16	86.41^{Db}±2.12
40	92.04^{A} ±0.17	88.68^{Bb} ±2.25	87.75^{Ca}±2.46	86.70^{Db}±2.12	86.22^{DEc}±2.46	86.26^{Eb}±2.25	86.01^{Ec} ±2.34
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)							
11	92.04^{A} ±0.17	91.48^{Aa}±0.51	90.96^{ABa}±0.56	89.79^{Ba}±0.55	89.60^{Ba}±0.412	89.38^{Ba} ±0.49	89.25^{Ba} ±0.31
33	92.04^{A} ±0.17	88.68^{Bb} ±0.67	87.09^{BCb} ±0.61	86.44^{Cb}±0.91	86.07^{CDb}±0.96	85.81^{Db}±0.94	85.74^{Db} ±1.07
52	92.04^{A} ±0.17	87.25^{Bc} ±0.60	86.07^{Cc} ±0.46	85.62^{CDc}±0.68	85.04^{Dc} ±0.76	85.01^{Dc}±0.50	84.70^{Dc}±0.405

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.22 ของแข็งทั้งหมดของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา (ต่อ)

ปัจจัยร่วม	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ x ความชื้นสัมพัทธ์							
20 x 0.1	92.04^{A} ±0.17	91.36^{ABa} ±0.14	90.99^{Ba} ±0.08	90.16^{BCa} ±0.94	89.99^{Ca} ±0.38	89.77^{Ca} ±0.12	89.63^{Ca} ±0.04
20 x 0.3	92.04^{A} ±0.17	89.33^{Bb} ±0.08	87.81^{Cb} ±0.38	87.58^{Cb} ±0.05	87.26^{Cc} ±0.11	86.91^{Cb} ±0.70	87.05^{Cc} ±0.40
20 x 0.5	92.04^{A} ±0.17	87.20^{Bde} ±0.03	86.28^{Cc} ±0.01	86.30^{Cc} ±0.77	85.85^{CDd} ±0.03	85.62^{CDc} ±0.17	85.13^{Dde} ±0.09
30 x 0.1	92.04^{A} ±0.17	91.61^{Aa} ±0.70	91.06^{ABa} ±1.07	89.79^{BCa} ±0.12	89.49^{BCab} ±0.31	89.25^{BCa} ±0.78	89.10^{Cb} ±0.20
30 x 0.3	92.04^{A} ±0.17	88.84^{Bbc} ±0.13	86.73^{Cbc} ±0.28	86.08^{Dcd} ±0.07	85.77^{DEd} ±0.03	85.47^{Ecd} ±0.24	85.42^{Ed} ±0.03
30 x 0.5	92.04^{A} ±0.17	87.86^{Bcd} ±0.70	86.26^{Cc} ±0.72	85.52^{CDcd} ±0.17	85.12^{De} ±0.07	84.85^{Dcd} ±0.05	84.70^{Df} ±0.22
40 x 0.1	92.04^{A} ±0.17	91.46^{Aa} ±0.85	90.84^{ABa} ±0.59	89.40^{Ba} ±0.13	89.33^{Bb} ±0.36	89.13^{Ba} ±0.32	89.02^{Bb} ±0.06
40 x 0.3	92.04^{A} ±0.17	87.88^{Bcd} ±0.21	86.73^{Cbc} ±0.28	85.65^{Dcd} ±0.13	85.18^{DEe} ±0.21	85.06^{Ecd} ±0.27	84.75^{Eef} ±0.10
40 x 0.5	92.04^{A} ±0.17	86.70^{Be} ±0.08	85.67^{Cc} ±0.29	85.04^{CDd} ±0.32	84.16^{Df} ±0.18	84.58^{CDd} ±0.17	84.26^{CDg} ±0.01

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.23 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัยเดี่ยว	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
20	57.90^{A} ±0.24	54.77^{Ba} ±4.74	30.00^{Ca} ±10.66	24.26^{Da} ±9.34	22.29^{DEa} ±10.21	19.43^{EFa} ±8.47	18.50^{Fa} ±8.12
30	57.90^{A} ±0.24	42.30^{Bb} ±6.01	24.33^{Cb} ±10.02	23.47^{Da} ±10.40	20.75^{DEab} ±9.00	18.50^{DEab} ±8.98	16.46^{Eb} ±6.86
40	57.90^{A} ±0.24	38.96^{Bb} ±8.33	23.59^{Cb} ±10.46	22.88^{Ca} ±10.12	19.46^{Db} ±7.90	16.96^{DEb} ±7.38	15.23^{Ec} ±5.87
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)							
11	57.90^{A} ±0.24	51.38^{Ba} ±5.06	38.85^{Ca} ±5.56	36.05^{Ca} ±3.59	32.33^{Ca} ±2.98	28.66^{Da} ±2.53	25.48^{Da} ±2.98
33	57.90^{A} ±0.24	46.33^{Bb} ±8.61	20.87^{Cb} ±2.87	18.11^{DEb} ±0.85	15.75^{DEb} ±2.00	14.68^{Eb} ±0.83	13.91^{Eb} ±0.73
52	57.90^{A} ±0.24	38.33^{Bc} ±9.54	18.20^{Cb} ±3.35	16.46^{Cb} ±1.46	14.42^{CDb} ±0.90	11.55^{Dc} ±2.10	10.81^{Dc} ±1.07

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.23 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อลำไยบดอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา (ต่อ)

ปัจจัยร่วม	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)						
	0[ns]	5	10	15	20	25	30
อุณหภูมิ x ความชื้นสัมพัทธ์							
20 x 0.1	57.90^{A} ±0.24	57.86^{Aa}±0.03	43.00^{Ba}±7.57	36.30^{Ca}±0.53	35.34^{Ca}±2.84	30.10^{Da} ±1.12	28.85^{Da}±0.95
20 x 0.3	57.90^{A} ±0.24	57.14^{Aa}±0.39	24.54^{Bb} ±0.12	18.56^{Cb}±0.70	16.48^{Dc}±0.28	15.02^{Eb}±0.53	14.59^{Ed}±0.14
20 x 0.5	57.90^{A} ±0.24	49.32^{Bb}±4.73	22.46^{Cbc}±0.13	17.94^{Db}±1.07	15.06^{DEc} ±0.79	13.18^{EFb} ±3.55	12.06^{Fe}±0.88
30 x 0.1	57.90^{A} ±0.24	48.07^{Bb}±0.44	36.98^{Ca}±4.01	36.07^{Ca}±7.83	32.12^{Dab}±0.75	29.74^{Ea} ±2.77	25.02^{Fb} ±0.74
30 x 0.3	57.90^{A} ±0.24	43.09^{Bbc}±1.19	19.28^{Cbc}±0.26	18.10^{CDb}±0.16	15.56^{Dc} ±3.97	14.84^{DEb} ±0.81	14.12^{Ed} ±0.15
30 x 0.5	57.90^{A} ±0.24	35.74^{Bde}±5.03	16.74^{Cbc}±0.13	16.24^{CDb}±0.00	14.57^{Dc}±0.28	10.93^{Fb} ±1.10	10.24^{Ff}±0.22
40 x 0.1	57.90^{A} ±0.24	48.20^{Bb}±1.31	36.58^{Ca}±5.42	35.78^{CDa} ±1.57	29.52^{Eb} ±1.39	26.14^{Fa} ±2.00	22.56^{Gc} ±1.64
40 x 0.3	57.90^{A} ±0.24	38.77^{Bcd}±0.58	18.78^{Cbc}±0.70	17.67^{CDb}±1.53	15.22^{DEc} ±1.62	14.18^{Eb}±1.31	13.02^{Fde}±0.08
40 x 0.5	57.90^{A} ±0.24	29.92^{Be} ±3.32	15.41^{Cc}±0.07	15.20^{Cb}±1.38	13.64^{CDc} ±1.14	10.55^{Db} ±0.30	10.12^{Df} ±0.43

หมายเหตุ: 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.2.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านจุลชีววิทยา

จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count, CFU/g) แสดงในตารางที่ 4.24 พบว่าในวันที่ 0 ถึง 15 เนื้อลำไยบดอบแห้งทุกสภาวะการเก็บรักษามีการเจริญของจุลลินทรีย์น้อยกว่า 250 CFU/g แต่หลังจากวันที่ 20 พบว่าเนื้อลำไยบดอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ทุกระดับความชื้นสัมพัทธ์เริ่มมีการเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นมากกว่า 250 CFU/g และมีจำนวนเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อครบ 30 วัน ตรวจพบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ระหว่าง $3.45x10^2$ - $6.50x10^2$ CFU/g ในขณะที่อุณหภูมิ 20 และ 30 องศาเซลเซียส ทุกระดับความชื้นสัมพัทธ์เนื้อลำไยบดอบแห้งมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 250 CFU/g จนกระทั่งเก็บรักษาครบ 30 วัน ยกเว้นตัวอย่างเนื้อลำไยบดอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระดับความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 52 พบว่าหลังจาก 20 วัน จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมีจำนวนเพิ่มขึ้นมากกว่า 250 CFU/g โดยในวันที่ 30 ตรวจพบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด $3.0x10^2$ CFU/g ซึ่งจำนวนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากการปนเปื้อนในระหว่างกระบวนการเก็บรักษา แต่อย่างไรก็ตามจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในเนื้อลำไยบดอบแห้งทุกสภาวะการเก็บรักษายังคงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เนื่องจากตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนได้กำหนดว่า ผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้งต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน $1x10^4$ CFU/g ส่วนยีสต์และราต้องไม่เกิน 100 CFU/g (มผช.136/2546)

เมื่อวิเคราะห์จำนวนยีสต์และรา พบว่าเนื้อลำไยบดอบแห้งทุกสภาวะการเก็บรักษามีจำนวนโคโลนีของยีสต์และราน้อยกว่า 25 CFU/g ตลอดอายุการเก็บรักษา ดังนั้นผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยบดอบแห้งจึงมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด โดยทั่วไปการเสื่อมเสียของอาหารโดยมีจุลินทรีย์เป็นสาเหตุนั้น มักจะเกิดขึ้นจากการเจริญของแบคทีเรีย แต่เนื่องจากแบคทีเรียสามารถเจริญได้ที่ค่า a_w มากกว่า 0.90 ดังนั้นในการทดลองนี้แบคทีเรียจึงไม่มีบทบาทในการเสื่อมเสียของอาหาร ขณะที่ยีสต์และราสามารถเจริญได้ที่ค่า a_w 0.80-0.85 โดยสามารถทำให้อาหารเกิดการเน่าเสียได้ภายใน 1-2 อาทิตย์ และอาหารที่มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.75 การเสื่อมเสียจะเกิดขึ้นช้า เนื่องจากมีจุลินทรีย์เพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถเจริญได้ แต่ถ้าหากอาหารมีค่า a_w เท่ากับ 0.65 การเสื่อมเสียแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย และสามารถเก็บอาหารนี้ได้มากกว่า 2 ปี (นิธิยา, 2549) งานวิจัยของประสิทธิ์ (2548) ได้ศึกษาการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งที่มีค่า a_w เริ่มต้นแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 0.4, 0.5 และ 0.6 เป็นเวลา 6 เดือน เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา ตรวจพบว่าเนื้อลำไยอบแห้งมีการเจริญของเชื้อราทั้งหมดเฉลี่ย 2.0, 3.20 และ 1.27 CFU/g ส่วนปริมาณยีสต์สูงสุดที่ตรวจพบคือ 3.07 CFU/g และในงานวิจัยของชนันท์ (2545) ได้ศึกษาการเก็บรักษาลำไยผงในถุงสุญญากาศและถุงอะลูมิเนียมฟอล์ย โดยบรรจุแบบธรรมดา แบบเติมไนโตรเจน แบบเติมสารดูดความชื้น และแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เติมสารดูดความชื้นรวมกับสารดูดออกซิเจน พบว่าเมื่อครบระยะเวลา 6 เดือน ลำไยผงมีค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.122-0.161 โดยตรวจพบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 1.60-1.80x10^2 CFU/g ส่วนยีสต์และราตรวจพบอยู่ระหว่าง 36-45 CFU/g

ดังนั้นผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยบดอบแห้งโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบดร่วมกับอนุภาคเฉื่อยจึงสามารถเก็บรักษาได้นานเพราะผลิตภัณฑ์มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.65 โดยสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาคือที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกินร้อยละ 33 เนื่องจากสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาได้สูงสุด

ตารางที่ 4.24 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g) ของเนื้อลำไยบดอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา

อุณหภูมิเก็บรักษา (^oC)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)					
		5 วัน	10 วัน	15 วัน	20 วัน	25 วัน	30 วัน
20	11	<250	<250	<250	<250	<250	<250
	33	<250	<250	<250	<250	<250	<250
	52	<250	<250	<250	2.50x10^2	2.50x10^2	3.0x10^2
30	11	<250	<250	<250	<250	<250	<250
	33	<250	<250	<250	<250	<250	<250
	52	<250	<250	<250	2.50x10^2	2.50x10^2	3.45x10^2
40	11	<250	<250	<250	2.60x10^2	3.65x10^2	4.20x10^2
	33	<250	<250	<250	3.50x10^2	3.80x10^2	5.30x10^2
	52	<250	<250	<250	3.45x10^2	5.10x10^2	6.50x10^2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.25 จำนวนยีสต์และรา (CFU/g) ของเนื้อลำไยบดอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา

อุณหภูมิเก็บรักษา (^{o}C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
		5	10	15	20	25	30
20	11	<25	<25	<25	<25	<25	<25
	33	<25	<25	<25	<25	<25	<25
	52	<25	<25	<25	<25	<25	<25
30	11	<25	<25	<25	<25	<25	<25
	33	<25	<25	<25	<25	<25	<25
	52	<25	<25	<25	<25	<25	<25
40	11	<25	<25	<25	<25	<25	<25
	33	<25	<25	<25	<25	<25	<25
	52	<25	<25	<25	<25	<25	<25

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved