

การปรับปรุงคุณภาพสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง
ด้วยเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ

เกวลิน หอมหวล

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สิงหาคม 2556

การปรับปรุงคุณภาพสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง
ด้วยเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ

เกวดิน หอมหวด

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สิงหาคม 2556

การปรับปรุงคุณภาพสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง
ด้วยเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สูญญากาศ

เกวลิน หอมหวล

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ลักษณะ ไกรกานต์

.....กรรมการ

รองศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ วิริยาริ

.....กรรมการ

ดร. ศักดา พริงล้ำภู

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....

รองศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ วิริยาริ

6 สิงหาคม 2556

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ วิริยจารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำวิธีการทดลอง รวมทั้งแนะนำแนวคิดเพื่อ แก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการตรวจและแก้ไข วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ลักขณา รุจนะไกรกานต์ และ ดร.ศักดา พริงลำภู ที่ช่วยตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบุคลากรและเจ้าหน้าที่ของโรงงานแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ มูลนิธิ โครงการหลวง รวมทั้งคณาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลิขสิทธิ์ คณะ อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำ รวมถึงให้ ความรู้ และอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน

ขอขอบคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ ทุกคนที่ให้ความรู้ และช่วยเหลือ เป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ที่ช่วยสนับสนุน ให้กำลังใจ และความช่วยเหลือต่างๆ ด้วยดี ตลอดมา ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์นี้คงจะมีประโยชน์สำหรับผู้อ่านและผู้สนใจศึกษา ในรายละเอียดต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2542. สารให้ความหวาน: คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์. กรุงเทพฯ: จาร์พา เทคโนโลยี. หน้า 67.

กฤติยา เขื่อนเพชร. 2546. ผลของสารต้านการเกิดสีน้ำตาลต่อปลั๊กกึ่งแข็ง. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

โครงการพัฒนาขีดความสามารถในธุรกิจลำไยไทย. 2550. *สาระความรู้ลำไย*. สถาบันวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2550. *การบรรจุอาหาร (Food Packaging)*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์บริษัท เอส.พี. เอ็ม. การพิมพ์จำกัด. 389 หน้า.

เจิมขวัญ สังข์สุวรรณ วิญญู ศักดาพร และเปรม ทองชัย. 2549. การวิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมและมีศักยภาพเชิงการตลาดของลำไยอบแห้ง. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ชนันท์ ราษฎร์นิยม. 2545. การผลิตน้ำลำไยผงโดยวิธีอบแห้งแบบโฟม-แมท. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จิตติวดี วงศ์ธิดา. 2552. การคัดเลือกสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อมะม่วงอบแห้งพันธุ์โชคอนันต์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ณภัทร ปวีณพงษ์พัฒน์. 2547. ผลของกรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก โซเดียมอริทอไรเบต และ แคลเซียมคลอไรด์ต่อสีของลำไยอบแห้งพันธุ์ดอ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ณัฏยา คนเชื้อ. 2545. การพัฒนากระบวนการผลิตมะม่วงแก้วอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงาน แสงอาทิตย์แบบ อุโมงค์และเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ณัฐพร จำหั่นไว้ย้ ไพโรจน์ วิริยจารี สลักจิต บุญทาคำ วีระศักดิ์ แสนญาติสมุทธ และ กานต์ณัฏฐ์ เจริญทรัพย์. 2552. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ เพื่อการผลิตพรุณ. มุลนิธิโครงการหลวง.

นิธิยา รัตนานนท์. 2544. หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

นิธิยา รัตนานนท์. 2545. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

ปริญญญา จันทรทัตแก้ว. 2546. ความสัมพันธ์ระหว่างราคากับคุณภาพของลำไยอบแห้ง. การ ค้นคว้าแบบอิสระเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พงษ์ศักดิ์ แก้วจินดา. 2457. ผลของสารเจืออาหารและภาชนะบรรจุต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ น้ำตาลและสีของเนื้อลำไยอบแห้งพันธุ์ดอ. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พงษ์ศักดิ์ อังกสิทธิ์ คุชฎี ณ ลำปาง และรำไพพรรณ อภิชาติพงศ์ชัย. 2542. ลำไย: ผลไม้เศรษฐกิจ สำคัญเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรม. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พาวิณ มะโนชัย. 2543. ลำไย. สาขาไม้ผล ภาควิชาพืชสวน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัย แม่โจ้: เชียงใหม่.

ไพโรจน์ วิริยจารี ลักษณะ รุจนะไกรกานต์ และณัฐยา คนเชื้อ. 2544. การพัฒนากระบวนการผลิตมะม่วงแก้วอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์และเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ (ระยะที่ 1). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545. การประเมินทางประสาทสัมผัส. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2547. การออกแบบการทดลองขั้นสูง. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพโรจน์ วิริยจารี ชรินทร์ เตชะพันธุ์ ประเสริฐ หาญเมืองใจ และพรทิว ชนสัมพันธ์. 2549a. การผลิตลำไยกึ่งแห้งโดยใช้ระบบสารด้านการเกิดสีน้ำตาลและสารออกซิโมติกเพื่อทดแทน การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพโรจน์ วิริยจารี รัตติกร เตชะพันธุ์ และณัฐพร จำหื่นไวย. 2549b. การผลิตลำไยกึ่งแห้งสำเร็จรูปเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยี. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพโรจน์ วิริยจารี วัฒนัย วรรณจักรริยา ศักดา พริงลำพู โพธิ์ศรี ลีลาภัทร์ วิมาลิน เหล่าศิริถาวร ศักดิ์เกษม ระมิงค์วงศ์ ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา ชรินทร์ เตชะพันธุ์ เรวัตร พงษ์พิสุทธินันท์ กันต์กนิฐ จันทรศิริ และลลิตพรรณ พิบูลชัยสิทธิ์. 2552. การเสริมคุณค่าทางโภชนาการของข้าวเหนียวอบแห้งและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มูลนิธิไอทีเพื่อสังคม. 2554. “รับมือสถานการณ์ลำไยปี 2554”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.it4social.net/index.php?module=agriculture&page2=detail&id=36> (16 กันยายน 2554)

ยุทธนา พิมพ์ศิริผล. 2553. *เทคนิคการประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: นพบุรีการพิมพ์.

รัตนา อัดตปัญญา และอังฉรา เทียมภักดี. 2542. *วิธีการยืดอายุการเก็บรักษาลำไยสดเพื่อการแปรรูปเป็นเนื้อลำไยอบแห้งในเชิงพาณิชย์*. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2548. *การประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารในสภาวะเร่ง*. ใน เอกสารการสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง Safety Priorities and Food Technology. กรุงเทพฯ. 46 หน้า.

วิไล ริงสาตทอง. 2545. *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. 2556. *กลีเซอรอล*. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1926/glycerol> (8 กรกฎาคม 2556)

ศูนย์วิจัยและพัฒนาลำไยและลิ้นจี่มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2543. *การผลิตลำไย*. เชียงใหม่ : สิรินาถ การพิมพ์.

ศศิวิมล วรรณกุล และอริสา อินวรรณ. 2548. *การผลิตลำไยกึ่งแห้งโดยใช้สารต้านการเกิดสีน้ำตาล และ สารออกซิโมติก*. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศิวาพร ศิวเวช. 2546. *วัตถุเจือปนอาหาร เล่ม 1*. นครปฐม: โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรม การเกษตรแห่งชาติ.

สุกิจ นววงศ์. 2548. *คู่มือ วัตถุเจือปนอาหาร (Food additives hand book)*. กรุงเทพฯ : เอ็ม เทรคดิง . หน้า 132.

สุจินดา อินทโชติ และเสาวภา ไชยวงศ์. 2551. ผลของสารละลายแคลเซียมแลคเตทและวิธีการ heat-shock ที่มีต่อคุณภาพของแก้วมังกรสีแดงตัดแต่งพร้อมบริโภค. ว. วิทยาศาสตร์การเกษตร. 39(3) (พิเศษ): 73-76.

สุนิษา ลุงคะ. 2544. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากข้าวโพด. ปัญหาพิเศษ ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลูกภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2527. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 เรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2532. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 119 เรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2550. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเนื้อลำไยอบแห้ง; มพข. 1385/2550. กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ.

สำนักส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร. 2556. มาตรฐานลำไยอบแห้ง. ระบบออนไลน์. แหล่งที่มา http://www.ndoae.doae.go.th/article2010/longan/longan_standard.html (8 สิงหาคม 2556)

อัมพวา กันยารอง. 2550. การหาอายุการกักเก็บข้าวโพดหวานกระป๋องด้วยเทคนิคเคมีไฟฟ้าและเทคนิคทางเคมี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

AOAC. 2007. Official Method of Analysis AOAC International. 18th ed. AOAC International. Maryland, USA.

Alvarez, L. D. and Chiralt, A. 2000. Color of Minimally Processed Fruits and Vegetables as Affected by Some Chemical and Biochemical Changes. In: S. M. Alzamora, M. S. Tapia

and A. Lopez-Malo Eds., *Minimally Processed Fruits and Vegetables*. Aspen Publishers, Frederick, pp. 111-126.

Alzamora, S. M., Tapia, M. S., Leunda, A., Guerrero, S. N., Rojas, A. M., Gerschenson, L. N., and Parada-Arias, E. 2000. Minimal preservation of fruits: A cited project. In J. E. Lozano, C. Anon, E. Parada-Arias, & G. V. Barbosa-Canovas (Eds.). *Trends in food engineering* (pp. 205–225). Pennsylvania: Technomic Publishing Company. Chapter 16.

Bolin, H. R. and Huxsoll, C. C. 1993. Partial drying of cut pears to improve freeze–thaw texture. *Journal of Food Science*, 58: 357–360.

Bourne, M.C. 2002. *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. 2nd ed. Academic Press: New York.

Chiraporn, S., Teeraporn, K. and Wasna, N.P. 2008. Prevention of enzymatic browning of postharvest longan fruit by N-acetyl-L-cysteine and 4-hexylresorcinol. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 30: 31-35.

Cock, P. and Bechert, C.L. 2002. Erythritol. Functionality in noncaloric functional beverages. *Pure and Applied Chemistry*. 74: 1281–1289.

Dong, X., Wrosletad, R.E. and Sugar, D. 2000. Extending shelf life of fresh cut pears. *Journal of Food Sci.* 65: 181-186.

Irene, L. and Diane M. B. 2000. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology*. 19: 61–72.

- Iyidogan, N.F. and Bayindirli, A. 2004. Effect of L-cysteine, kojic acid and 4-hexylresorcinol combination on inhibition of enzymatic browning in Amasya apple juice. *Journal of Food Engineering*. 62: 299–304.
- Jeong, H. L., Jin, W. J., Kwang, D. M. and Kee, J. P. 2008. Effects of anti-browning agents on polyphenoloxidase activity and total phenolics as related to browning of fresh-cut 'Fuji' apple. *ASEAN Food Journal*. 15: 79-87.
- Li-Fei, W., Dong-Man K., Jong-Dae P. and Chang, Y. L. 2003. Various antibrowning agents and green tea extract during processing and storage. *Journal of Food Processing Preservation*. 27: 213-225.
- Lue, Y. and Barbosa-Canovas, G.V. 1995. Inhibition of Apple-Slices Browning by 4-Hexylresorcinol. In Lee, C.Y. and Whitaker, J.R., (ed). *Enzymatic Browning and to control*. ACS Symposium Series 600. Washington D.C.: American Chemical Society. Pp. 240-250.
- Luna-Guzman, I and Barette, D.M, 2000. Comparison of Calcium Chloride and Calcium Lactate Effectiveness in Maintaining Shelf Stability and Quality of Fresh-Cut Cantaloupe. *Postharvest Biology and Technology*. 19: 61-72.
- Martin-Diana, A.B., Rico, D., Firas, J.M., Henechan, G.T.M., Mulcahy, J., Barat, J.M. and Barry-Ryan, C. 2006. Effect of Calcium Lactate and Heat-Shock on Texture in Fresh-Cut Lettuce during Storage. *Postharvest Biology and Technology*. 77: 1069-1077.
- Martins, R.C., Lopes, V.V., Vicente A.A. and Teixeira, J.A. 2008. Computational Shelf-Life Dating: Complex Systems Approaches to Food Quality and Safety. *Food Bioprocess Technol* (1) :207–222.

- Martins, S. and Van B.S. 2003. Melanoidins extinction coefficient in the glucose/glycine Maillard reaction. *Food Chemistry*. 83: 135-142.
- McEvily, A.J. Iyenger, R. and Otwell, W.S. 1992. Inhibition of enzymatic browning in foods and beverages. *CRC Crit. Rve. Food Sci Nutr.*, 8 : 107-112.
- Mexis S.F. and Kontominas M.G. 2010. Effect of oxygen absorber, nitrogen flushing, packaging material oxygen transmission rate and storage conditions on quality retention of raw whole unpeeled almond kernels (*Prunus dulcis*). *Food Science and Technology*. 43: 1–11.
- Monsalave-Gonzalez, A., Barbosa-Canovas, G.V., Cavalieri, R.P. and Iyenger, R. 1993. Control of browning during storage of apple slices preserved by combined methods, 4-hexylresorcinol as antibrowning agent. *J. Food Sci.* 58: 797-801.
- Monsalave-Gonzalez, A., Barbosa-Canovas, G.V., McEvily, A.J. and Iyegar, R. 1995. Inhibition of Enzymatic Browning in Apple Products by 4-hexylresorcinol. *Food Technol.* 49: 110-118.
- Nongyao C. 2013. "Shelf Life Evaluation of Foods". [online]. Sorce: www.agro.kmutnb.ac.th/e-learning/yao/food.pdf. (18 June 2013).
- Occhino, E., Hernando, I., Llorca, E., Neri, L. and Pittia, P. 2011. Effect of vacuum impregnation treatments to improve quality and texture of zucchini (*Cucurbita pepo*, L). *Procedia Food Science*. 1: 829-835.
- Perez-Cabrera, L., Chafer, M., Chiralt A., and Gonzalez-Martinez, C. 2011. Effectiveness of antibrowning agents applied by vacuum impregnation on minimally processed pear. *Food Science and Technology*. 44: 2273-2280.

- Rico, D., Martin-Diana, A.B., Firas, J.M., Barat, J.M., Henechan, G.T.M. and Barry-Ryan, C. 2007. Improvement in Texture Using Calcium Lactate and Heat-shock Treatments for Stored Ready-to-eat Carrots. *Journal of Food Engineering*. 79: 1196-1206.
- Ryu, S.Y., Roh, H.J., Noh, B.S., Kim, S.Y., Oh, D.K., Lee, W.R and Kim, S.S. 2003. Effect of temperature and pH on the non-enzymatic browning reaction of tagatose-glycine model system. *Food Science and Biotechnology*. 12: 675-679
- Sapers, G.M. and Miller, R.L. 1998. Browning Inhibition in Fresh-cut Pears. *Journal of Food Sci.* 52: 1732-1733.
- Subhadrabandhu, S. 1990. Lychee and longan Cultivation in Thailand. *Rumthai Publication*. Thailand. 40 p.
- Thanutyot S. 2009. *Drying of Longan Using Hybrid Superheated Steam and Hot Air*. Doctor of Engineering in Energy Engineering. Chiangmai University.
- Thepnuan, R., Benjakul, S. and Visessanguan, W. 2008. Effect of Pyrophosphate and 4-Hexylresorcinol Pretreatment on Quality of Refrigerated White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Kept under Modified Atmosphere Packaging. *Journal of Food Science*, 73: 124-133.
- Vamos-Vigyazo L. 1995. Prevention of enzymatic browning in fruits and vegetables: a review of principals and practice. In Enzymatic browning and its prevention, ACS Symposium series. 0097-6156, 600, *American Chemical Society*, Washington, D.C.
- Zhao, Y. and Xie, J. 2004. Practical application of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. *Trends in Food Science and Technology*. 15: 20-25.

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. การศึกษาระบบสารละลายผสมของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลและสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลองย่อย ได้แก่ การกลั่นกรองชนิดของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลที่มีผลต่อการด้านการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในลำไยอบแห้ง พบว่า 4-เฮกซิลเรโซซินอล และกรดแอสคอร์บิก เป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการด้านการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในลำไยอบแห้ง จากการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลในระบบสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล พบว่า ควรใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอล และกรดแอสคอร์บิก ในปริมาณร้อยละ 0.01 และ 0.07 ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าสี L^* เท่ากับ 41.03 ค่าสี a^* เท่ากับ 8.86 ค่าสี b^* เท่ากับ 17.71 มีคะแนนด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวม สีเหลือง กลิ่น ลำไย รสชาติ ความเหนียว และความนุ่ม เท่ากับ 5.0, 4.9, 5.0, 5.1, 4.9, 4.8 ตามลำดับ จากคะแนนเต็ม 7 คะแนน จากการกลั่นกรองชนิดของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสในระบบสารละลายออสโมติกที่มีผลต่อการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง คือ แคลเซียมแลคเตต ส่วนปัจจัยรองที่มีผลกระทบ ได้แก่ กลีเซอรอล อิรีโททอล และซอร์บิทอล ซึ่งเมื่อทำการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสในระบบสารละลายออสโมติก พบว่า ควรใช้ แคลเซียมแลคเตต กลีเซอรอล อิรีโททอล และซอร์บิทอล ร้อยละ 0.8, 20, 1 และ 4 ตามลำดับ

2. การศึกษากระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสม โดยทำการศึกษาความเป็นสุญญากาศ เวลาแช่สารละลายในกระบวนการการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ และเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ พบว่า การใช้ความเป็นสุญญากาศ -0.9 บาร์ และเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ 30 นาที ซึ่งทำให้ค่าสี L^* เท่ากับ 41.04 ค่าสี a^* เท่ากับ 7.20 ค่าสี b^* เท่ากับ 16.31 ปริมาณความชื้นร้อยละ 16.58 ค่ากิจกรรมของน้ำเท่ากับ 0.471 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 7.12 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 15.36 คะแนนด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีเหลือง กลิ่นลำไย รสหวาน ความเหนียว ความนุ่ม และความรู้สึกล้นเท่ากับ 5.6, 5.3, 5.2, 5.1, 5.2 และ 5.1 ตามลำดับ จากคะแนนเต็ม 7 คะแนน มีค่าความแข็งเท่ากับ 908.92 g-force และค่าแรงเฉือนเท่ากับ 42.40 นิวตัน

3. ผลของการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์สุดท้าย พบว่าคุณภาพทางกายภาพ เคมี ประสาทสัมผัส และจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่ได้รับการพัฒนาได้ มีค่าดังนี้ ค่าสี L^* เท่ากับ 40.28 ค่าสี a^* เท่ากับ 8.33 ค่าสี b^* เท่ากับ 16.54 ปริมาณความชื้นร้อยละ 17.46 ค่ากิจกรรมของน้ำเท่ากับ 0.520 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 6.30 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 12.63 มีค่าความแข็งเท่ากับ 1,193.77 g-force และค่าแรงเคียนเท่ากับ 34.28 นิวตัน คะแนนด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวม สีเหลือง กลิ่นลำไย รสหวาน ความเหนียว ความนุ่ม และความรู้สึกหลังกลืนเท่ากับ 6.1, 6.0, 6.1, 5.9, 5.9, 6.0 และ 6.0 ตามลำดับ จากคะแนนเต็ม 7 คะแนน ตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ รา และ โคลิฟอร์ม ไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด

4. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า สภาวะการบรรจุ อุณหภูมิ และเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนจะชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการบรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จะช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลำไยที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ในสภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้เฉลี่ย 11.40 สัปดาห์ และ 15.33 สัปดาห์ ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ลำไยในสภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้เฉลี่ย 4.78 สัปดาห์ และ 5.03 สัปดาห์ ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ลำไยในสภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้เฉลี่ย 2.91 สัปดาห์ และ 2.62 สัปดาห์ ตามลำดับ

5. ต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่ผลิตด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศมีค่าเท่ากับ 150 บาทต่อหน่วยบรรจุ แบ่งเป็นค่าวัตถุดิบ 138 บาท ค่าภาชนะบรรจุ 12 บาท ซึ่งต้นทุนดังกล่าวเป็นต้นทุนที่คิดจากการทดลอง ซึ่งเป็นการซื้อวัตถุดิบต่างๆ มาในราคาขายปลีก หากผลิตในระดับอุตสาหกรรมจะส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยลดลงได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. สารต้านการเกิดสีน้ำตาลและสารออกซิโมติกบางชนิดที่ใช้ในการเตรียมสารละลายเพื่อแช่ลำไยในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศมีต้นทุนค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงควรมีการทดลองหาแนวทางในการนำสารละลายกลับมาใช้ซ้ำ เพื่อลดต้นทุนลงจากเดิม

2. ระยะเวลาในการผลิตลำไยอบแห้งด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศในการทดลองนี้ เป็นเพียงแนวทางในการพิจารณาเพื่อนำไปปฏิบัติ หากมีการผลิตเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ซึ่งจำเป็นต้องตระหนักถึงปริมาณของวัตถุดิบ รวมทั้งเวลาในการควบคุมกระบวนการผลิตอีกด้วย

3. จากการใช้สมการอาร์เรเนียสในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราและอุณหภูมิ เห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 25 และ 30 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันน้อยมาก ดังนั้นหากจะสร้างกราฟความสัมพันธ์ควรพล็อตจุดระหว่างอุณหภูมิ 25 และ 30 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้น เพื่อให้เห็นความแตกต่างยิ่งขึ้น

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาระบบสารละลายผสมของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลและสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่เหมาะสม

ตอนที่ 1.1 การกลั่นกรองชนิดของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลที่มีผลต่อการด้านการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในลำไยอบแห้ง

จากการศึกษาสารด้านการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่ 4-เฮกซิลเรโซซินอล กรดแอสคอร์บิก ซีตเทอีน กรดโคจิก และไลโดซาน โดยมีน้ำเปล่าเป็นชุดควบคุม วางแผนการทดลองแบบ Plackett and Burman design (N=8) โดยนำเนื้อลำไยมาแช่ในระบบสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล แล้วนำไปผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัส ได้ผลการศึกษาดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 คุณภาพด้านลักษณะสีปรากฏและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งจากการกลั่นกรองปัจจัยที่มีผลกระทบ

สิ่งทดลอง	ลักษณะสีปรากฏ			คุณภาพทางประสาทสัมผัส			
	ค่าสี L*	ค่าสี a*	ค่าสี b*	สีลำไย	กลิ่นลำไย	รสชาติ	ความเหนียว
1	43.24±2.45	6.59±1.59	17.06±2.13	5.3±1.0	4.6±0.9	3.9±1.0	5.2±1.0
2	38.32±2.81	10.14±1.67	16.58±2.48	3.5±1.0	4.2±0.8	3.4±1.0	4.3±1.0
3	45.95±1.79	3.59±0.80	17.28±2.82	5.3±1.3	3.2±0.9	2.8±0.9	3.3±1.0
4	42.07±2.73	8.73±1.61	21.30±2.70	4.6±1.1	4.8±0.9	4.8±0.9	4.3±1.0
5	43.23±1.69	9.88±1.68	22.60±1.94	4.6±0.9	4.5±0.9	4.3±1.4	5.0±0.8
6	48.72±2.11	5.04±1.17	23.11±2.81	5.0±1.5	4.4±1.1	4.4±1.1	4.6±1.2
7	45.24±3.05	5.20±1.13	19.95±1.85	5.6±1.2	3.6±1.0	3.6±1.0	4.7±1.1
8	44.80±1.67	7.73±1.70	20.40±1.77	5.5±0.7	5.8±0.7	5.3±0.8	5.1±0.9

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ทดสอบโดยวิธี 7-point hedonic scale (คะแนนเต็ม 7 คะแนน)

จากการศึกษาชนิดของสารต้านการเกิดสีน้ำตาลที่มีผลต่อการต้านปฏิกิริยาสีน้ำตาลในลำไยอบแห้งนอกจากจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยนั้นๆ ด้วยว่ามีอิทธิพลต่อลำไยอบแห้งมากน้อยเพียงใด โดยพิจารณาใช้ที่ระดับความเชื่อมั่นตั้งแต่ร้อยละ 80 ขึ้นไป ($p \leq 0.20$) เพื่อเป็นการลดปัญหาการมองข้ามปัจจัยที่น่าจะมีความสำคัญออกไป ดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ผลกระทบของชนิดของสารต้านสีน้ำตาลที่มีผลต่อค่าสีปรากฏของลำไยอบแห้ง

ปัจจัย		ค่าสี L*		ค่าสี a*		ค่าสี b*	
		Effect	t-test	Effect	t-test	Effect	t-test
A	4-เฮกซิลเรโซซินอล	-2.507	-6.731*	0.875	1.748	-2.810	-3.659*
B	กรดแอสคอร์บิก	-3.473	-9.321*	1.105	2.207*	-2.125	-2.767*
C	แอล-ซีสเทอีน	3.668	9.845*	-4.015	-8.020*	-0.870	-1.133
D	กรดโคจิก	-0.123	-0.329	0.905	1.808	1.550	2.019*
E	ไคโตซาน	0.752	2.020*	0.895	1.788	2.465	3.210*

หมายเหตุ: * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 (t-table = 1.886)

ตาราง 4.2 ผลกระทบของชนิดของสารต้านสีน้ำตาลที่มีผลต่อค่าสีปรากฏของลำไยอบแห้ง (ต่อ)

ปัจจัย		สีลำไย		กลิ่นลำไย		รสชาติ		ความเหนียว	
		Effect	t-test	Effect	t-test	Effect	t-test	Effect	t-test
A	4-เฮกซิลเรโซซินอล	-0.500	-1.040	-0.525	-0.857	-0.925	-2.308*	-0.225	-0.320
B	กรดแอสคอร์บิก	-0.350	-0.728	-0.175	-0.286	-0.275	-0.686	0.125	0.178
C	แอล-ซีสเทอีน	0.750	1.560	-0.875	-1.428	-0.775	-1.934*	-0.225	-0.320
D	กรดโคจิก	-0.500	-1.040	-0.425	-0.693	-0.275	-0.686	0.175	0.249
E	ไคโตซาน	-0.100	-0.208	0.375	0.612	0.575	1.435	0.425	0.604

หมายเหตุ: * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 (t-table = 1.886)

ในการพิจารณาว่าปัจจัยใดที่มีผลกระทบต่อการผลิตลำไยอบแห้งเป็นปัจจัยหลักและปัจจัยรองนั้นสามารถพิจารณาได้จากจำนวนผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อคุณลักษณะของลำไยอบแห้งว่ามีมากน้อยเพียงใด ตาราง 4.2 พบว่าปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง ได้แก่ 4-เฮกซิลเรโซซินอล และกรดแอสคอร์บิก เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลทางด้านกายภาพ และ

ด้านประสาทสัมผัสที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพในด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์มากที่สุด โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสิ่งทดลองต่างๆ สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังนี้

ตาราง 4.3 ผลกระทบของปัจจัยต่อค่าสังเกตและจำนวนผลกระทบที่มีผลต่อคุณภาพของลำไยอบแห้งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80

ปัจจัย	ผลกระทบของปัจจัย				
	ค่าสี L*	ค่าสี a*	ค่าสี b*	สีลำไย	กลิ่นลำไย
4-เฮกซิลเรโซซินอล	-2.507		-2.810		
กรดแอสคอร์บิก	-3.473	1.105	-2.125		
แอล-ซีสเทอีน	3.668	-4.015			
กรดโคจิก			1.550		
ไคโตซาน	0.752		2.465		

ตาราง 4.3 ผลกระทบของปัจจัยต่อค่าสังเกตและจำนวนผลกระทบที่มีผลต่อคุณภาพของลำไยอบแห้งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 (ต่อ)

ปัจจัย	ผลกระทบของปัจจัย			จำนวนผลกระทบ	
	รสชาติ	ความเหนียว	เชิงบวก	เชิงลบ	รวม
4-เฮกซิลเรโซซินอล	-0.925		0	3	3
กรดแอสคอร์บิก			1	2	3
แอล-ซีสเทอีน	-0.775		1	2	3
กรดโคจิก			1	0	1
ไคโตซาน			2	0	2

หมายเหตุ เชิงบวก หมายถึง เมื่อปัจจัยมีค่าเพิ่มขึ้น ผลกระทบของปัจจัยต่อค่าคุณภาพจะเพิ่มขึ้น

เชิงลบ หมายถึง เมื่อปัจจัยมีค่าเพิ่มขึ้น ผลกระทบของปัจจัยต่อค่าคุณภาพจะลดลง

4-เฮกซิลเรโซซินอล จากการศึกษาถึงอิทธิพลของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในด้านต่างๆ พบว่าการเติม 4-เฮกซิลเรโซซินอลลงไปจะมีผลทำให้ค่าสี L* b* และรสชาติของผลิตภัณฑ์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 ($p \leq 0.20$) โดยการเติม 4-เฮกซิลเรโซซินอล ในระดับสูง (ร้อยละ 0.1) จะทำให้ค่าสี L* มีค่าลดลง มีผลกระทบต่อค่าสี b* โดยทำให้ค่าสีเป็นไปในด้านลบคือ สีน้ำเงิน และมีผลต่อรสชาติ

ของผลิตภัณฑ์คือ เมื่อใส่ 4-เฮกซิลเรโซซินอล ในระดับสูงจะทำให้คะแนนความชอบด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ลดลง และเมื่อรับประทานจะเกิดการหาที่ปลายลิ้น ดังนั้นจึงควรใส่ 4-เฮกซิลเรโซซินอลในปริมาณน้อยกว่า 0.1 โดยในการทดลองต่อไปจะแปรผันปริมาณ 4-เฮกซิลเรโซซินอลในระดับ 0-0.05

กรดแอสคอร์บิก จากการศึกษาถึงอิทธิพลของกรดแอสคอร์บิกที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในด้านต่างๆ พบว่าการเติมกรดแอสคอร์บิกลงไปจะมีผลต่อค่าสี L^* a^* และ b^* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 ($p \leq 0.20$) โดยการใช้กรดแอสคอร์บิกในระดับสูงจะทำให้ค่าสี a^* มีค่าเพิ่มขึ้นในทิศทางบวก คือมีความเป็นสีแดงเพิ่มมากขึ้น และการใช้กรดแอสคอร์บิกในระดับต่ำจะทำให้ค่าสี L^* มีค่าเพิ่มขึ้น คือผลิตภัณฑ์จะมีสีสว่างขึ้น โดยกรดแอสคอร์บิกมีผลต่อค่าความสว่างของลำไยอบแห้ง เนื่องจากเป็นกรดอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการเป็นสารรีดิวซิงเอเจนต์ซึ่งจะรีดิวซ์ควิโนนให้กลับเป็นไดฟีนอล จึงสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ (ณภัทร, 2547) รวมทั้งกรดแอสคอร์บิกยังทำให้ค่าสี b^* มีค่าเพิ่มขึ้นในทิศทางลบ คือผลิตภัณฑ์จะมีสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงควรใช้กรดแอสคอร์บิกในระดับสูง แต่จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าการใส่กรดแอสคอร์บิกในระดับสูงจะทำให้เกิดการหาที่ปลายลิ้น ดังนั้นจึงควรใส่กรดแอสคอร์บิกในปริมาณน้อยกว่า 1.0 ซึ่งในการทดลองต่อไปจะแปรผันปริมาณกรดแอสคอร์บิกในระดับ 0-0.5

แอล-ซีสเทอีน จากการศึกษาถึงอิทธิพลของแอล-ซีสเทอีนที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในด้านต่างๆ พบว่าการเติมแอล-ซีสเทอีนจะมีผลต่อค่าสี L^* ค่าสี a^* และรสชาติของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 ($p \leq 0.20$) โดยการใช้แอล-ซีสเทอีนในระดับสูงจะทำให้ ค่าสี L^* มีค่าไปในทิศทางบวก คือมีความสว่างเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าสี a^* มีค่าไปในทิศทางลบ คือมีความเป็นสีเขียวเพิ่มมากขึ้น และยังมีผลให้รสชาติของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง แอล-ซีสเทอีน มีคุณสมบัติในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาล โดยการทำปฏิกิริยากับควิโนนรวมกันเป็นสารประกอบที่ไม่มีสี จึงสามารถต้านการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ลำไยได้ ซึ่งการใช้แอล-ซีสเทอีนที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น จะยิ่งเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการเปลี่ยนแปลงของสี อย่างไรก็ตามการใช้แอล-ซีสเทอีน ที่มีความเข้มข้นสูงเกินไปจะมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ได้ (Iyidogan and Bayindili, 2004) ดังนั้นจึงเลือกใช้ แอล-ซีสเทอีน ในระดับต่ำ (ไม่ใช้ในผลิตภัณฑ์)

กรดโคจิก จากการศึกษาถึงอิทธิพลของกรดโคจิกที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในด้านต่างๆ พบว่าการเติมกรดโคจิกจะมีผลต่อค่าสี b^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 ($p \leq 0.20$) โดยการใช้กรดโคจิกในระดับสูงจะทำให้ค่าสี b^* มีค่าเพิ่มขึ้น คือ

มีความเป็นสีเหลืองมากขึ้น กรดโคจิกสามารถช่วยยับยั้งสารโพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล และยังทำให้เมลานินซีดจางลง เนื่องจากกรดโคจิกจะช่วยลดปฏิกิริยาทางเคมีของสารสีน้ำตาลให้เป็นสารประกอบไม่มีสี (Iyidogan and Bayindili, 2004) แต่เนื่องจากการใช้กรดโคจิกในระดับอุตสาหกรรมมีข้อจำกัด และยังมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงควรใช้กรดโคจิกในระดับต่ำ (ไม่ใช้ในผลิตภัณฑ์)

ไคโตซาน จากการศึกษาถึงอิทธิพลของไคโตซานที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในด้านต่างๆ พบว่าการเติมไคโตซานลงไปจะมีผลต่อค่าสี L^* และ b^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 ($p \leq 0.20$) โดยการใช้ไคโตซานในระดับสูงจะทำให้ค่าสี L^* และ b^* มีค่าในทิศทางบวก กล่าวคือมีความสว่างเพิ่มขึ้นและเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากการใช้ไคโตซานมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองไม่น่ารับประทาน ดังนั้นจึงควรใช้ไคโตซานในระดับต่ำ (ไม่ใช้ในผลิตภัณฑ์)

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ควรศึกษาปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการดำนสีน้ำตาลของลำไยอบแห้ง คือ 4-เฮกซิลเรโซซินอล และกรดแอสคอร์บิก ในการทดลองต่อไป ซึ่งการใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอล ร่วมกับกรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่า (สิวพร, 2546)

ตอนที่ 1.2 การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลในระบบสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล

จากการศึกษาปริมาณสารด้านการเกิดสีน้ำตาลที่เหมาะสม คือ 4-เฮกซิลเรโซซินอล และกรดแอสคอร์บิกที่ได้จากการกลั่นกรองชนิดของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลจากการทดลองตอนที่ 1.1 วางแผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment in central composite design with 2 center points โดยนำเนื้อลำไยมาแช่ในระบบสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล แล้วนำไปผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ แล้วนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสได้ผลการศึกษาดังตาราง 4.4 – 4.5

ตาราง 4.4 คุณภาพด้านสีปรากฏของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารต้านการเกิดสีน้ำตาล

สิ่งทดลอง	คุณภาพด้านสีปรากฏ		
	ค่าสี L*	ค่าสี a*	ค่าสี b*
1	42.41±2.49	10.08±1.20	20.98±2.52
2	39.77±2.58	10.33±1.58	19.12±3.05
3	38.37±3.03	9.78±2.04	16.94±3.51
4	36.38±2.06	9.74±1.67	12.27±3.69
5	40.03±2.53	8.77±2.37	15.32±3.01
6	40.07±3.25	9.19±1.51	16.90±2.98
7	41.58±2.31	7.29±1.37	14.80±3.16
8	35.30±2.36	10.04±1.60	11.50±2.76
9	36.57±1.83	10.25±1.60	14.51±2.76
10	39.44±2.77	10.40±1.86	15.28±3.10

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.5 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารต้านการเกิดสีน้ำตาล

สิ่งทดลอง	คุณภาพทางประสาทสัมผัส				
	สีเหลือง	กลิ่นลำไย	รสชาติ	ความเหนียว	ความนุ่ม
1	5.6±1.0	5.5±1.0	5.7±0.9	5.3±1.0	5.1±1.2
2	4.9±1.3	4.6±1.4	4.6±1.2	4.5±1.3	4.6±1.3
3	4.3±1.3	4.6±1.2	4.3±1.3	4.5±1.3	4.6±1.4
4	4.3±1.5	4.5±1.5	4.4±1.5	4.7±1.4	4.7±1.4
5	4.4±1.2	4.2±1.3	4.0±1.5	4.1±1.4	4.4±1.6
6	4.4±1.6	4.4±1.3	4.3±1.4	4.8±1.2	4.8±1.2
7	5.0±1.4	4.6±1.3	4.6±1.3	4.8±1.4	4.8±1.4
8	4.1±1.3	4.2±1.4	4.3±1.4	4.4±1.3	4.5±1.4
9	4.2±1.3	4.6±1.4	4.5±1.4	4.4±1.3	4.5±1.3
10	4.7±1.4	4.3±1.4	4.3±1.7	4.4±1.7	4.3±1.6

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ทดสอบโดยวิธี 7-point hedonic scale (คะแนนเต็ม 7 คะแนน)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และด้านประสาทสัมผัสดังตาราง 4.4 และ 4.5 พบว่า ค่าสี L* อยู่ในช่วง 35.30-42.41 ค่าสี a* อยู่ในช่วง 8.77-10.40 ค่าสี b* อยู่ในช่วง 11.50-20.98 และผู้ทดสอบให้คะแนนด้านสีเหลือง อยู่ในช่วง 4.1-5.6 คะแนนด้านกลิ่นลำไย อยู่ในช่วง 4.2-5.5 คะแนนด้านรสชาติ อยู่ในช่วง 4.0-5.7 คะแนนด้านความเหนียว อยู่ในช่วง 4.1-5.3 และคะแนนด้านความนุ่ม อยู่ในช่วง 4.3-5.1 คะแนน

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และด้านประสาทสัมผัสมาวิเคราะห์ในรูปสมการถดถอย (Multiple regression) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนองกับปริมาณสารต้านการเกิดสีน้ำตาลที่ผันแปรในระดับต่างๆ พบว่าสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลมีผลต่อค่าสี L* และลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีเหลืองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสามารถแสดงในรูปสมการถดถอย ดังตาราง 4.6

ตาราง 4.6 สมการความสัมพันธ์ระหว่าง 4-เฮกซิลเรโซซินอล และกรดแอสคอร์บิกที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง

คุณภาพด้านสีปรากฏและ คุณภาพทางประสาทสัมผัส	สมการความสัมพันธ์กับตัวแปร	R ²
ค่าสี L*	$= 44.48 - 208.43(4\text{-hexylresocinol}) - 16.22(\text{Ascorbic acid}) + 3264.30 (4\text{-hexylresocinol})^2 + 6.81(\text{Ascorbic acid})^2 + 51.44 (4\text{-hexylresocinol} \times \text{Ascorbic acid})$	0.8519
สีเหลือง	$= 5.80 - 24.20372 (4\text{-hexylresocinol}) - 5.50 (\text{Ascorbic acid}) + 3.25 (\text{Ascorbic acid})^2 + 71.28 (4\text{-hexylresocinol} \times \text{Ascorbic acid})$	0.8160

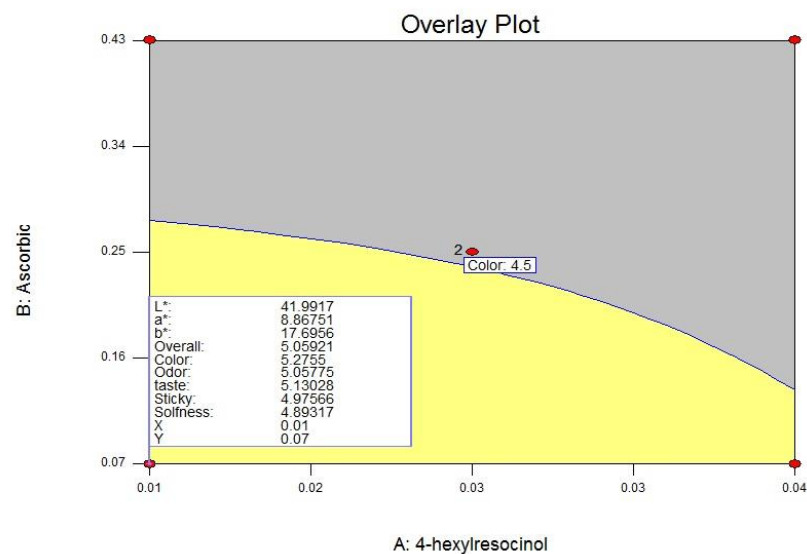
ตาราง 4.6 พบว่าค่าสี L* (ความสว่าง) จะขึ้นอยู่กับปริมาณ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิกในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล โดยค่าสี L* จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ 4-เฮกซิลเรโซซินอล แต่จะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิก ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งมีสีคล้ำขึ้น

คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีเหลืองจะขึ้นอยู่กับปริมาณ 4-เฮกซิลเรโซซินอลและกรดแอสคอร์บิกในสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล โดยเมื่อใช้ 4-เฮกซิลเรโซซินอลร่วมกับกรดแอสคอร์บิก จะทำให้คะแนนความชอบด้านสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเพิ่มขึ้น

จากนั้นนำสมการที่ได้มาหาปริมาณที่เหมาะสมของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลในระบบสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 7.1.0 (Statease Inc., Minneapolis, USA) วิเคราะห์ผลแบบ Numerical กำหนดขอบเขตของปัจจัยที่ศึกษาและขอบเขตของคุณลักษณะที่ต้องการดังนี้

ปริมาณ 4-เฮกซิลเรโซซินอล	กำหนดในช่วงที่ศึกษา	ร้อยละ 0-0.05
ปริมาณกรดแอสคอร์บิก	กำหนดในช่วงที่ศึกษา	ร้อยละ 0-0.5
ค่าสี L*	กำหนดในช่วงที่ศึกษา	35.30-42.41
คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีเหลือง	กำหนดให้เข้าใกล้ค่าสูงสุด	5.6 คะแนน

ในการกำหนดขอบเขตข้างต้น จะทำให้ได้ปริมาณที่เหมาะสมของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลในระบบสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล คือ ใช้ปริมาณ 4-เฮกซิลเรโซซินอล ร้อยละ 0.01 และกรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 0.07 ซึ่งจะทำให้ค่าสี L* (ความสว่าง) มีค่าเท่ากับ 41.99 ค่าสี a* (สีแดง-เขียว) มีค่าเท่ากับ 8.86 ค่าสี b* (สีเหลือง-น้ำเงิน) มีค่าเท่ากับ 17.70 และมีคะแนนด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวม สีเหลือง กลิ่นลำไยรสชาติ ความเหนียว และความนุ่ม เท่ากับ 5.0, 5.2, 5.0, 5.1, 4.9 และ 4.8 ตามลำดับ จากคะแนนเต็ม 7 คะแนน โดยมีพื้นที่การตอบสนองดังภาพ 4.1



ภาพ 4.1 พื้นที่การตอบสนองของค่าสี L* และคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง

**ตอนที่ 1.3 การกลั่นกรองชนิดของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสในระบบสารละลายออสโมติกที่มี
ผลต่อการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง**

ศึกษาสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง ได้แก่ กลีเซอรอล แคลเซียมแลคเตต อิริโททอล และซอร์บิทอล วางแผนการทดลองแบบ Placket and Burman design (N=8) โดยนำเนื้อลำไยมาแช่ในระบบสารละลายออสโมติก แล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ แล้วนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส ได้ผลการศึกษาดังตาราง 4.7-4.8

ตาราง 4.7 คุณภาพด้านสีปรากฏ เคมี และลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้งจากการกลั่นกรองสารออสโมติกที่มีผลกระทบ

สิ่งทดลอง	คุณภาพทางด้านสีปรากฏ		
	ค่าสี L*	ค่าสี a*	ค่าสี b*
1	41.83±2.32	5.95±0.86	16.41±1.20
2	42.64±1.87	5.36±0.92	16.33±2.33
3	41.06±1.73	6.85±1.26	17.81±1.22
4	44.36±1.93	4.87±0.43	16.04±2.23
5	41.68±2.28	9.22±1.29	21.15±2.77
6	41.20±1.52	8.69±1.49	18.39±1.40
7	44.04±1.36	6.41±1.23	17.89±2.09
8	42.73±1.37	7.94±1.42	17.17±1.11

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.7 คุณภาพด้านสีปรากฏ เคมี และลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้งจากการกลั่นกรองสารออสโมติกที่มีผลกระทบ (ต่อ)

สิ่งทดลอง	คุณภาพทางด้านเคมี			
	ค่ากิจกรรมของน้ำ	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)
1	0.574±0.03	28.18±2.64	8.23±0.39	19.44±0.12
2	0.511±0.01	24.73±0.54	8.95±0.71	27.95±2.48
3	0.570±0.05	28.26±2.87	7.49±1.62	14.74±3.75
4	0.653±0.04	34.38±2.12	6.17±0.22	14.43±0.91
5	0.458±0.02	19.38±0.40	6.41±0.50	13.06±1.67
6	0.437±0.03	18.48±0.45	7.09±0.28	24.86±2.01
7	0.597±0.01	30.00±1.04	7.75±0.60	17.76±0.64
8	0.555±0.01	28.21±4.00	9.00±1.78	17.52±2.29

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.7 คุณภาพด้านสีปรากฏ เคมี และลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้งจากการกลั่นกรองสารออสโมติกที่มีผลกระทบ (ต่อ)

สิ่งทดลอง	คุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัส	
	ความแข็ง (g-force)	แรงเนียน (นิวตัน)
1	7,417.32±744.83	31.08±4.33
2	7,979.32±1,069.64	25.51±1.76
3	7,154.84±935.92	31.87±3.11
4	5,100.61±1,243.67	30.50±3.51
5	12,448.50±2,819.84	33.63±3.37
6	13,374.41±1,615.01	35.11±3.30
7	12,116.07±2,327.18	37.65±5.74
8	13,672.25±2,611.20	32.51±4.09

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.8 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของลำไยอบแห้งจากการกลั่นกรองสารออกสโมติกที่มีผลกระทบ

สิ่งทดลอง	คุณภาพทางประสาทสัมผัส					
	สีเหลือง	กลิ่นลำไย	รสหวาน	ความเหนียว	ความนุ่ม	ความรู้สึกล้างกลืน
1	5.4±1.1	5.1±1.2	4.6±1.4	4.9±1.1	4.9±1.2	4.9±1.3
2	5.4±1.0	5.1±1.1	4.9±1.3	4.9±1.1	5.0±1.1	5.0±1.2
3	5.4±1.2	5.3±1.1	5.2±1.3	5.2±1.2	5.2±1.2	5.3±1.2
4	5.0±1.2	4.7±1.4	4.4±1.5	4.8±1.4	4.8±1.3	4.8±1.4
5	5.6±1.1	5.5±1.1	5.2±1.4	5.3±1.3	5.3±1.3	5.6±1.2
6	5.7±1.2	5.4±1.0	5.3±1.4	4.9±1.5	5.0±1.6	5.3±1.2
7	5.2±1.1	5.1±1.4	4.6±1.4	4.6±1.2	4.8±1.3	4.9±1.2
8	5.7±1.2	5.1±1.2	5.2±1.4	5.1±1.4	5.1±1.4	5.4±1.1

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ทดสอบโดยวิธี 7-point hedonic scale (คะแนนเต็ม 7 คะแนน)

ในการศึกษาชนิดของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสในสารละลายออกสโมติกที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสในลำไยอบแห้งนอกจากจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยนั้นๆ ด้วยว่ามีอิทธิพลต่อลำไยอบแห้งมากน้อยเพียงใด โดยพิจารณาใช้ที่ระดับความเชื่อมั่นตั้งแต่ร้อยละ 80 ขึ้นไป ($p \leq 0.20$) เพื่อเป็นการลดปัญหาการมองข้ามปัจจัยที่น่าจะมีความสำคัญไป ดังตาราง 4.9

ตาราง 4.9 ผลกระทบของชนิดของสารออกสโมติกที่มีผลต่อคุณภาพของลำไยอบแห้ง

ปัจจัย	ค่าสี L*		ค่าสี a*		ค่าสี b*	
	Effect	t-test	Effect	t-test	Effect	t-test
A กลีเซอรอล	-1.280	-2.736*	-0.110	-0.172	0.552	0.569
B แคลเซียมแลคเตต	1.550	3.313*	-2.550	-3.997*	-1.963	-2.021*
C อีวีโททอล	-0.820	-1.753*	0.150	0.235	-0.047	-0.049
D ซอร์บิทอล	-0.105	-0.224	1.040	1.630	1.583	1.630

หมายเหตุ: * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 (t-table = 1.638)

ตาราง 4.9 ผลกระทบของชนิดของสารออสโมติกที่มีผลต่อคุณภาพของลำไยอบแห้ง (ต่อ)

ปัจจัย	ค่ากิจกรรมของน้ำ		ปริมาณความชื้น		ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	
	Effect	t-test	Effect	t-test	Effect	t-test
A กลีเซอรอล	-0.032	-0.032	-2.630	-1.108	0.268	0.238
B แคลเซียมแลคเตต	0.079	0.079	5.740	2.418*	0.278	0.248
C อิริโททอล	0.000	0.000	-0.445	-0.187	0.008	0.007
D ซอร์บิทอล	-0.087	-0.087	-6.610	-2.785*	-0.173	-0.154

หมายเหตุ: * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 (t-table = 1.638)

ตาราง 4.9 ผลกระทบของชนิดของสารออสโมติกที่มีผลต่อคุณภาพของลำไยอบแห้ง (ต่อ)

ปัจจัย	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด		ความแข็ง		แรงเคียน	
	Effect	t-test	Effect	t-test	Effect	t-test
A กลีเซอรอล	0.155	0.032	-2,317.09	-1.186	-3.420	-1.536
B แคลเซียมแลคเตต	2.350	0.485	-3,510.42	-1.797*	-2.095	-0.941
C อิริโททอล	0.960	0.198	214.24	0.110	3.390	1.522
D ซอร์บิทอล	4.375	0.903	3,144.57	1.610	1.485	0.667

หมายเหตุ: * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 (t-table = 1.638)

ตาราง 4.9 ผลกระทบของชนิดของสารออสโมติกที่มีผลต่อคุณภาพของลำไยอบแห้ง (ต่อ)

ปัจจัย	สีเหลือง		กลิ่นลำไย		รสหวาน	
	Effect	t-test	Effect	t-test	Effect	t-test
A กลีเซอรอล	0.050	0.322	-1.200	-0.857	-1.200	-0.857
B แคลเซียมแลคเตต	-0.350	-2.251*	0.700	0.500	0.700	0.500
C อิริโททอล	0.000	0.000	1.300	0.928	1.300	0.928
D ซอร์บิทอล	0.100	0.643	-1.150	-0.821	-1.150	-0.821

หมายเหตุ: * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 (t-table = 1.638)

ตาราง 4.9 ผลกระทบของชนิดของสารออสโมติกที่มีผลต่อคุณภาพของลำไยอบแห้ง (ต่อ)

ปัจจัย	ความเหนียว		ความนุ่ม		ความรู้สึกหลังกลืน	
	Effect	t-test	Effect	t-test	Effect	t-test
A กลีเซอรอล	0.255	9.000*	0.175	7.000*	0.100	1.732*
B แคลเซียมแลคเตต	-0.325	-13.000*	-0.275	-11.000*	-0.500	-8.660*
C อิริโททอล	-0.125	-5.000*	-0.075	-3.000*	-0.100	-1.732*
D ซอร์บิทอล	-0.075	-3.000*	0.025	1.000	0.100	1.732*

หมายเหตุ: * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 (t-table = 1.638)

ในการพิจารณาว่าปัจจัยใดที่มีผลกระทบต่อการผลิตลำไยอบแห้งเป็นปัจจัยหลักและปัจจัยรองนั้นสามารถพิจารณาได้จากจำนวนผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อคุณลักษณะของลำไยอบแห้งว่ามีมากน้อยเพียงใด จากตาราง 4.9 พบว่าปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อนคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง ได้แก่ แคลเซียมแลคเตต เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลทางด้านเคมี-กายภาพ ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณภาพด้านประสาทสัมผัสที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อนคุณภาพในด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์มากที่สุด โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสิ่งทดลองต่างๆ สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังนี้

กลีเซอรอล จากการศึกษาถึงอิทธิพลของกลีเซอรอลที่มีต่อนคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในด้านต่างๆ พบว่าการเติมกลีเซอรอลลงไปจะมีผลทำให้ค่าสี L* (ค่าความสว่าง) คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียว และความนุ่ม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ($p \leq 0.10$) และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกหลังกลืนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 ($p \leq 0.20$) โดยการเติมกลีเซอรอลในระดับสูง (ร้อยละ 20) จะทำให้ค่าสี L* มีค่าลดลง คือมีความสว่างลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศศิวิมล และอริสา (2548) คือเมื่อเพิ่มระดับของกลีเซอรอลมากขึ้นจะทำให้ค่าสี L ลดลง แต่มีผลทำให้คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียว และความนุ่มเพิ่มขึ้น รวมทั้งทำให้คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกหลังกลืนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงใช้กลีเซอรอลในระดับสูง (ร้อยละ 20) ในการทดลองต่อไป

แคลเซียมแลคเตต จากการศึกษาถึงอิทธิพลของแคลเซียมแลคเตตที่มีต่อนคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในด้านต่างๆ พบว่าการเติมแคลเซียมแลคเตตลงไปจะมีผลทำให้ค่าสี L* ค่าสี a* ค่ากิจกรรมของน้ำ ปริมาณความชื้น คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านรสขม ความเหนียว ความนุ่ม ความรู้สึกหลังกลืนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ($p \leq 0.10$) ค่าสี b* คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีเหลือง มีความแตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 85 ($p \leq 0.15$) และค่าความแข็งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 ($p \leq 0.20$) โดยการเติมแคลเซียมแลคเตตในระดับสูง (ร้อยละ 5) จะทำให้ค่าสี L^* ค่ากิจกรรมของน้ำ ปริมาณความชื้น มีค่าเพิ่มขึ้น แต่จะทำให้ค่าสี a^* ค่าสี b^* ค่าความแข็ง คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีเหลือง ความเหนียว ความนุ่ม และความรู้สึกหลังกลืนมีค่าลดลง ดังนั้นจึงควรใช้แคลเซียมแลคเตตในระดับต่ำ (ร้อยละ 1) ซึ่งดำเนินการผันแปรปริมาณแคลเซียมแลคเตตในการทดลองต่อไป

อิริโททอล จากการศึกษาถึงอิทธิพลของอิริโททอลที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในด้านต่างๆ พบว่าการเติมอิริโททอลลงไปจะมีผลทำให้ค่าสี L^* และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกหลังกลืนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 ($p \leq 0.20$) คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียว และความนุ่ม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ($p \leq 0.10$) โดยการเติมอิริโททอลในระดับสูงจะทำให้ค่าสี L^* คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียว ความนุ่ม และความรู้สึกหลังกลืนมีค่าลดลง ดังนั้นจึงใช้อิริโททอลในระดับต่ำ (ร้อยละ 1) ในการทดลองต่อไป

ซอร์บิทอล จากการศึกษาถึงอิทธิพลของซอร์บิทอลที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในด้านต่างๆ พบว่าการเติมซอร์บิทอลลงไปผลิตภัณฑ์จะมีผลทำให้ค่ากิจกรรมของน้ำ ปริมาณความชื้น คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ($p \leq 0.10$) และความรู้สึกหลังกลืนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80 ($p \leq 0.20$) โดยการเติมซอร์บิทอลในระดับสูงจะทำให้ค่ากิจกรรมของน้ำ ปริมาณความชื้น และคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวมีค่าลดลง และจะทำให้คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกหลังกลืนมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงใช้ซอร์บิทอลในระดับสูงในการทดลองต่อไป (ร้อยละ 4)

ตอนที่ 1.4 การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสในระบบสารละลาย ออสโมติก

จากการแปรผันปริมาณแคลเซียมแลคเตตที่ได้จากการกลั่นกรองปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) แปรผันปริมาณแคลเซียมแลคเตตในระดับ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 โดยนำเนื้อลำไยมาแช่ในระบบสารละลายออสโมติกแล้วนำไปผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส ได้ผลการศึกษา ดังตาราง 4.10

ตาราง 4.10 คุณภาพด้านสีปรากฏของลำไยอบแห้งจากการแปรผันปริมาณแคลเซียมแลคเตต

แคลเซียมแลคเตต (ร้อยละ)	คุณภาพด้านสีปรากฏ		
	ค่าสี L*	ค่าสี a*	ค่าสี b*
0	36.87±2.49 ^a	9.26±1.49 ^c	16.56±1.41 ^d
0.2	38.93±2.01 ^b	9.30±1.29 ^c	15.06±1.22 ^c
0.4	40.70±1.81 ^{cd}	8.73±1.25 ^{de}	14.63±1.30 ^{bc}
0.6	40.26±1.76 ^{bcd}	9.37±1.43 ^e	14.91±2.02 ^c
0.8	39.39±1.75 ^{bc}	8.29±1.16 ^{cd}	14.14±1.06 ^{bc}
1.0	41.25±1.41 ^{de}	7.90±1.42 ^{bcd}	14.61±1.20 ^{bc}
1.5	40.70±1.81 ^{cd}	7.71±1.19 ^{abc}	14.09±1.38 ^{bc}
2.0	41.50±1.63 ^{de}	7.05±0.83 ^{ab}	13.51±1.55 ^{ab}
2.5	41.42±1.43 ^{de}	6.88±1.02 ^a	12.67±1.31 ^a
3.0	42.48±2.42 ^c	7.14±0.99 ^{ab}	14.72±1.61 ^c

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง 4.11 คุณภาพทางเคมีของลำไยอบแห้งจากการแปรผันปริมาณแคลเซียมแลคเตต

แคลเซียม แลคเตต (ร้อยละ)	คุณภาพทางด้านเคมี			
	ค่ากิจกรรม ของน้ำ	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณ น้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	ปริมาณ น้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)
0	0.568±0.01 ^g	26.90±0.62 ^g	4.44±0.62 ^{bc}	10.38±0.47 ^c
0.2	0.522±0.01 ^f	23.57±1.11 ^c	4.16±0.61 ^{abc}	9.81±1.56 ^c
0.4	0.503±0.01 ^{de}	22.07±0.05 ^{cd}	4.83±0.33 ^c	7.80±0.62 ^b
0.6	0.514±0.01 ^{ef}	23.01±0.27 ^{de}	3.86±0.23 ^{ab}	6.50±0.13 ^{ab}
0.8	0.495±0.01 ^{cd}	22.65±0.33 ^{cde}	4.68±0.27 ^c	6.93±0.51 ^{ab}
1.0	0.568±0.01 ^g	27.00±0.54 ^g	3.54±0.18 ^a	6.85±0.70 ^{ab}
1.5	0.438±0.01 ^b	18.19±0.13 ^b	3.84±0.37 ^{ab}	6.99±0.54 ^{ab}
2.0	0.488±0.01 ^c	21.99±0.58 ^c	4.16±0.13 ^{abc}	6.67±0.19 ^{ab}
2.5	0.397±0.01 ^a	15.98±0.60 ^a	4.59±0.76 ^{bc}	6.47±0.61 ^{ab}
3.0	0.560±0.01 ^g	25.49±0.17 ^f	4.06±0.21 ^{abc}	6.14±0.20 ^a

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง 4.12 คุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้งจากการแปรผันปริมาณแคลเซียม
แลกเตต

แคลเซียมแลกเตต (ร้อยละ)	คุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัส	
	ความแข็ง (g-force)	แรงเนียน (นิวตัน)
0	1,046.83±236.51 ^{ab}	27.70±4.27 ^a
0.2	1,5393.72±328.08 ^b	36.92±4.88 ^{bc}
0.4	1,028.15±290.87 ^{ab}	41.79±4.54 ^c
0.6	973.83±306.78 ^{ab}	41.24±5.46 ^c
0.8	1,249.87±210.80 ^{ab}	42.58±3.69 ^c
1.0	846.63±270.14 ^a	43.56±4.81 ^c
1.5	2,249.90±932.93 ^c	34.26±5.29 ^b
2.0	1,222.24±265.67 ^{ab}	40.93±5.44 ^c
2.5	2,729.42±1,315.73 ^c	58.80±2.80 ^c
3.0	1,393.23±252.33 ^{ab}	50.06±6.73 ^d

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง 4.10-4.13 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการแปรผันปริมาณแคลเซียมแลกเตตจะมีผลต่อค่าสี L*a*b* แรงเนียน ค่ากิจกรรมของน้ำ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นลำไย รสหวาน ความเหนียว ความนุ่ม และความรู้สึกลึกลับหลังกลืนของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง ($p \leq 0.05$) ผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่ไม่ได้ใส่แคลเซียมแลกเตตจะมีค่าสี L* น้อยที่สุด โดยเมื่อเพิ่มระดับของแคลเซียมแลกเตตมากขึ้น จะทำให้ค่าสี L* และแรงเนียนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแคลเซียมแลกเตตสามารถเพิ่มความแน่นเนื้อให้กับผลิตภัณฑ์ได้ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Irene and Diane (2000) แต่จะทำให้ค่าสี a* และ b* ลดลง คือ มีความเข้มของสีแดงและสีเหลืองลดลง รวมทั้งทำให้ค่ากิจกรรมของน้ำ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกัน

ตาราง 4.13 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของลำไยอบแห้งจากการแปรผันปริมาณแคลเซียม
แลกเตต

ปริมาณ แคลเซียม แลกเตต (ร้อยละ)	คุณภาพทางประสาทสัมผัส					
	สีเหลือง	กลิ่นลำไย	รสหวาน	ความ เหนียว	ความนุ่ม	ความรู้สึก หลังกลืน
0	4.6±1.5	4.9±1.3 ^{ab}	4.7±1.4 ^{ab}	4.8±1.5 ^b	5.0±1.5 ^a	4.9±1.2 ^{ab}
0.2	4.7±1.4	4.9±1.2 ^{ab}	4.9±1.4 ^b	5.0±1.2 ^b	5.1±1.4 ^b	4.9±1.2 ^{ab}
0.4	4.8±1.4	5.1±1.3 ^b	4.9±1.3 ^b	4.9±1.5 ^b	5.1±1.2 ^b	5.3±1.0 ^b
0.6	5.1±1.3	5.0±1.3 ^{ab}	4.8±1.4 ^b	4.9±1.4 ^b	5.1±1.1 ^b	5.1±1.1 ^b
0.8	5.0±1.5	5.3±1.3 ^b	5.0±1.2 ^b	5.1±1.3 ^b	5.2±1.2 ^b	5.3±1.3 ^b
1.0	5.1±1.4	5.0±1.4 ^{ab}	4.9±1.4 ^b	5.1±1.3 ^b	5.2±1.3 ^b	5.2±1.2 ^b
1.5	5.0±1.4	4.8±1.5 ^{ab}	4.8±1.4 ^{ab}	4.6±1.5 ^{ab}	4.7±1.3 ^b	5.0±1.3 ^b
2.0	5.0±1.4	4.9±1.3 ^{ab}	4.9±1.3 ^b	4.9±1.4 ^b	5.1±1.2 ^b	5.0±1.2 ^b
2.5	4.9±1.4	4.5±1.4 ^a	4.2±1.5 ^a	4.1±1.6 ^a	3.9±1.3 ^b	4.4±1.3 ^a
3.0	5.3±1.3	5.1±1.4 ^b	5.0±1.3 ^b	4.8±1.3 ^b	4.9±1.3 ^b	5.1±1.3 ^b

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ทดสอบโดยวิธี 7-point hedonic scale (คะแนนเต็ม 7 คะแนน)

เมื่อพิจารณาจากคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ที่ใช้ระดับปริมาณแคลเซียมแลกเตตเท่ากับร้อยละ 0.8 มากที่สุด โดยผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นลำไย รสหวาน ความเหนียว ความนุ่ม และความรู้สึกหลังกลืนเท่ากับ 5.3, 5.0, 5.1, 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ เนื่องจากแคลเซียมแลกเตตมีความสามารถในการเพิ่มความแน่นเนื้อให้กับผลิตภัณฑ์ได้ (สุจินดา และเสาวภา, 2551)

4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษากระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสม

จากการศึกษาความเป็นสุญญากาศ เวลาแช่สารละลายในกระบวนการการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ และเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ วางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial experiment with 2 center points โดยนำเนื้อลำไยมาแช่ในระบบสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลและสารละลายออสโมติกที่ได้จากการทดลองที่ 1 แล้วนำไปผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ แล้วนำสิ่งทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส ได้ผลการศึกษาดังตาราง 4.14-4.17

ตาราง 4.14 คุณภาพด้านสีปรากฏของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในการศึกษากระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสม

สิ่งทดลอง	คุณภาพด้านสีปรากฏ		
	ค่าสี L*	ค่าสี a*	ค่าสี b*
1	41.81±1.41	8.78±2.04	17.24±3.07
2	41.76±1.56	7.57±1.12	18.00±2.27
3	40.68±1.65	7.68±1.25	17.81±2.31
4	40.88±1.74	7.65±1.00	18.14±2.17
5	41.25±2.12	7.13±1.22	16.69±2.55
6	41.31±1.84	7.25±1.49	16.00±1.87
7	41.54±2.31	6.91±1.25	15.16±1.73
8	40.44±1.91	7.23±1.32	16.96±2.63
9	39.70±2.23	8.38±1.80	17.51±2.28
10	41.80±1.88	7.39±1.45	17.66±2.51

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.15 คุณภาพทางเคมีของลำไยอบแห้งจากการศึกษากระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสม

สิ่งทดลอง	คุณภาพทางด้านเคมี			
	ค่ากิจกรรมของน้ำ	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)
1	18.79±1.00	0.551±0.01	9.27±1.25	19.86±2.29
2	14.09±0.46	0.452±0.01	6.63±1.60	22.63±2.05
3	17.42±0.08	0.520±0.01	5.47±0.04	10.81±0.25
4	16.11±0.59	0.530±0.01	5.40±1.02	11.46±0.43
5	17.20±0.28	0.493±0.01	6.86±0.58	11.48±0.52
6	16.88±0.46	0.491±0.01	7.08±0.95	14.99±1.07
7	17.30±0.46	0.491±0.01	5.48±0.09	10.38±0.17
8	17.82±0.50	0.492±0.01	8.08±0.46	16.78±0.98
9	16.79±0.99	0.460±0.00	7.13±0.53	13.87±0.32
10	16.82±0.67	0.482±0.01	7.12±1.05	13.17±0.42

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์คุณภาพคุณภาพด้านสีปรากฏว่าคุณภาพทางเคมีดังตาราง 4.14-4.16 พบว่า ค่าสี L* อยู่ในช่วง 39.70-41.81 ค่าสี a* อยู่ในช่วง 6.91-8.78 ค่าสี b* อยู่ในช่วง 15.16-18.14 ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 14.09-18.14 ค่ากิจกรรมของน้ำ อยู่ในช่วง 0.452-0.551 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ อยู่ในช่วง 5.40-9.27 และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด อยู่ในช่วง 10.38-22.63 ส่วนค่าความแข็ง อยู่ในช่วง 670.51-1,540.94 g-force และแรงเหวี่ยง อยู่ในช่วง 28.37-43.36 นิวตัน

ตาราง 4.16 คุณภาพทางลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในการศึกษากระบวนการ
แทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสม

สิ่งทดลอง	คุณภาพทางลักษณะเนื้อสัมผัส	
	ความแข็ง (g-force)	แรงฉีก (นิวตัน)
1	1,422.33±288.41	33.38±0.79
2	1,109.78±172.61	42.30±3.28
3	670.51±125.06	28.37±2.71
4	756.53±221.59	36.43±4.54
5	757.76±181.83	33.51±4.99
6	909.44±164.36	43.36±1.64
7	853.74±285.03	28.96±0.99
8	732.59±136.76	29.81±4.59
9	1,540.94±164.68	34.35±4.28
10	1,096.25±253.67	35.32±1.78

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 4.17 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในการศึกษากระบวนการ
แทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสม

สิ่งทดลอง	คุณภาพทางประสาทสัมผัส					
	สีเหลือง	กลิ่นลำไย	รสหวาน	ความเหนียว	ความนุ่ม	ความรู้สึกลังกลืน
1	5.3±1.3	5.2±1.1	5.0±1.2	4.3±1.4	4.2±1.6	4.8±1.1
2	5.3±1.2	4.8±1.1	5.0±1.1	4.6±1.3	4.6±1.5	5.0±1.1
3	5.4±0.8	5.1±1.1	5.2±1.1	5.1±1.0	5.1±1.0	5.3±1.1
4	5.3±1.2	5.2±1.0	5.1±1.2	5.2±1.3	5.2±1.2	5.2±1.4
5	5.6±0.9	5.3±0.9	5.3±1.1	5.2±0.9	5.3±0.8	5.2±1.0
6	5.7±0.7	5.4±0.9	5.2±0.9	5.0±1.2	5.1±1.2	5.1±1.0
7	5.4±1.3	5.2±1.2	5.3±1.1	5.2±1.1	5.3±1.0	5.3±1.0
8	5.5±1.2	5.3±1.1	5.3±1.1	5.3±1.0	5.3±1.1	5.2±1.3
9	5.5±1.0	5.3±0.9	5.3±1.0	5.3±1.1	5.5±0.9	5.5±1.0
10	5.6±1.1	5.2±1.1	5.0±1.1	5.3±1.0	5.4±0.9	5.2±1.1

หมายเหตุ: ทดสอบโดยวิธี 7-point hedonic scale (คะแนนเต็ม 7 คะแนน)

ตาราง 4.17 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนด้านสีเหลือง อยู่ในช่วง 5.3-5.7 คะแนนด้านกลิ่นลำไย อยู่ในช่วง 4.8-5.3 คะแนนด้านรสหวาน อยู่ในช่วง 5.0-5.3 คะแนนด้านความเหนียว อยู่ในช่วง 4.3-5.3 คะแนนด้านความนุ่ม อยู่ในช่วง 4.2-5.5 และคะแนนด้านความรู้สึกหลังกลืน อยู่ในช่วง 4.8-5.5

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และด้านประสาทสัมผัสมาวิเคราะห์ในรูปสมการถดถอยเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนองกับความเป็นสุญญากาศ เวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ และเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่ผันแปรในระดับต่างๆ พบว่ากระบวนการดังกล่าวมีผลต่อปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด คะแนนความชอบด้านสีเหลือง ความเหนียว และแรงเนียนของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสามารถแสดงในรูปสมการถดถอย ดังตาราง 4.18

ตาราง 4.18 สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นสุญญากาศ เวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ และเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง

คุณภาพทางเคมี	สมการความสัมพันธ์กับตัวแปร	R ²
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	= 18.39 - 4.51(Vacuum) - 0.02(Vacuum time) - 0.03(Soak time) + 0.08(Vacuum x Vacuum time) + 0.12(Vacuum x Soak time)	0.9357
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	= 9.31 - 2.88(Vacuum) - 0.13(Vacuum time) - 0.08(Soak time) + 0.09(Vacuum x Vacuum time) + 0.10(Vacuum x Soak time) + 2.58 (Vacuum time x Soak time)	0.9859
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)	= 20.23 + 1.69(Vacuum) - 0.34(Vacuum time) - 0.32(Soak time) + 0.01(Vacuum x Vacuum time) + 0.12(Vacuum x Soak time) + 0.01 (Vacuum time x Soak time)	0.9604

ตาราง 4.18 สมการความสัมพันธ์ความเป็นสุญญากาศ เวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ และเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง (ต่อ)

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	สมการความสัมพันธ์กับตัวแปร	R ²
สีเหลือง	$= 5.32 + 1.67 \times 10^{-3}(\text{Vacuum time}) + 0.01(\text{Soak time}) - 2.78 \times 10^{-4}(\text{Vacuum time} \times \text{Soak time})$	0.7813
ความเหนียว	$= 4.51 + 0.02(\text{Vacuum time}) + 0.02(\text{Soak time}) - 6.11 \times 10^{-4}(\text{Vacuum time} \times \text{soak time})$	0.7744
แรงเคียน	$= 32.43 + 12.17(\text{Vacuum}) - 0.09(\text{Vacuum time}) + 0.07(\text{Soak time}) - 0.18(\text{Vacuum} \times \text{Vacuum time}) - 0.11(\text{Vacuum} \times \text{Soak time}) - 4.01 \times 10^{-3}(\text{Vacuum time} \times \text{Soak time})$	0.9622

ตาราง 4.18 แสดงว่าปริมาณความชื้นจะขึ้นอยู่กับความเป็นสุญญากาศ เวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ เวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ ความสัมพันธ์ร่วม (Interaction) ระหว่างความเป็นสุญญากาศและเวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ รวมทั้งความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเป็นสุญญากาศและเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ โดยปริมาณความชื้นจะลดลงเมื่อเพิ่มความเป็นสุญญากาศ เวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ และเมื่อเพิ่มความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเป็นสุญญากาศและเวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ และความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเป็นสุญญากาศและเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้น

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะขึ้นอยู่กับความเป็นสุญญากาศ เวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ เวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเป็นสุญญากาศและเวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเป็นสุญญากาศและเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ รวมทั้งความสัมพันธ์ร่วมระหว่างเวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศและเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ โดยพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะลดลงเมื่อเพิ่มความเป็นสุญญากาศ เวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ และเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึม

ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับความเป็นสุญญากาศ เวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ เวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเป็นสุญญากาศและเวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเป็นสุญญากาศและเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ รวมทั้งความสัมพันธ์ร่วมระหว่างเวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศและเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ โดยพบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะลดลงเมื่อเพิ่มความเป็นสุญญากาศความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเป็นสุญญากาศและเวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ รวมทั้งความสัมพันธ์ร่วมระหว่างเวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศและเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ แต่เมื่อลดเวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ จะทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น

คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวจะขึ้นอยู่กับเวลาแช่สารละลายในกระบวนการ
แทรกซึมภายใต้สุญญากาศเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ และ
ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศและเวลา
แช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ โดยพบว่าคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ด้านความเหนียวจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ และเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ แต่จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความสัมพันธ์ร่วมระหว่างเวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศและเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ

แรงเหวี่ยงจะขึ้นอยู่กับความเป็นสุญญากาศ เวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ เวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเป็นสุญญากาศและเวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเป็นสุญญากาศและเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ รวมทั้งความสัมพันธ์ร่วมระหว่างเวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศและเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ โดยพบว่าแรงเหวี่ยงจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเป็นสุญญากาศ และเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ แต่เมื่อเพิ่มเวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเป็นสุญญากาศและเวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเป็นสุญญากาศและเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ รวมทั้งความสัมพันธ์ร่วมระหว่างเวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศและเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ จะทำให้แรงเหวี่ยงของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

จากนั้นนำผลการที่ได้มาหาความเป็นสุญญากาศ เวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ และเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตลำไยอบแห้ง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 7.1 (Statease Inc., Minneapolis, USA) วิเคราะห์ผลแบบ Numerical กำหนดขอบเขตของปัจจัยที่ศึกษาและขอบเขตของคุณลักษณะที่ต้องการดังนี้

ความเป็นสุญญากาศ	กำหนดในช่วงที่ศึกษา	0-(-0.9) บาร์
เวลาแช่สารละลายในกระบวนการ	กำหนดในช่วงที่ศึกษา	0-30 นาที
แทรกซึมภายใต้สุญญากาศ		
เวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการ	กำหนดในช่วงที่ศึกษา	0-30 นาที
แทรกซึมภายใต้สุญญากาศ		
ปริมาณความชื้น	กำหนดในช่วงที่ศึกษา	ร้อยละ 14.09-18
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	กำหนดในช่วงที่ศึกษา	ร้อยละ 5.4-9.27

ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	กำหนดในช่วงที่ศึกษา	ร้อยละ 10.38-22.63
สีเหลือง	กำหนดให้เข้าใกล้ค่าสูงสุด	5.7 คะแนน
ความเหนียว	กำหนดให้เข้าใกล้ค่าสูงสุด	5.3 คะแนน
แรงเฉือน	กำหนดในช่วงที่ศึกษา	28.37-43.26 นิวตัน

จากการกำหนดขอบเขตข้างต้น จะทำให้ได้กระบวนการที่เหมาะสมในการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ คือ ใช้ความเป็นสุญญากาศ -0.9 บาร์ และเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ 30 นาทีซึ่งจะทำให้ค่าสี L^* (ความสว่าง) มีค่าเท่ากับ 41.04 ค่าสี a^* (สีแดง-เขียว) มีค่าเท่ากับ 7.20 ค่าสี b^* (สีเหลือง-น้ำเงิน) มีค่าเท่ากับ 16.31 ปริมาณความชื้นร้อยละ 16.58 ค่ากิจกรรมของน้ำเท่ากับ 0.471 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 7.12 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 15.36 คะแนนด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีเหลือง กลิ่นลำไย รสหวาน ความเหนียว ความนุ่ม และความรู้สึกหลังกลืนเท่ากับ 5.6, 5.3, 5.2, 5.1, 5.2 และ 5.1 ตามลำดับ จากคะแนนเต็ม 7 คะแนน มีค่าความแข็งเท่ากับ 908.92 g-force และมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ 42.40 นิวตัน โดยมีพื้นที่การตอบสนองดังภาพ 4.2 ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าการใช้ระบบสารละลายร่วมกับกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศจะช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้ (Occhino *et al.*, 2011)

DESIGN-EXPERT Plot

Overlay Plot

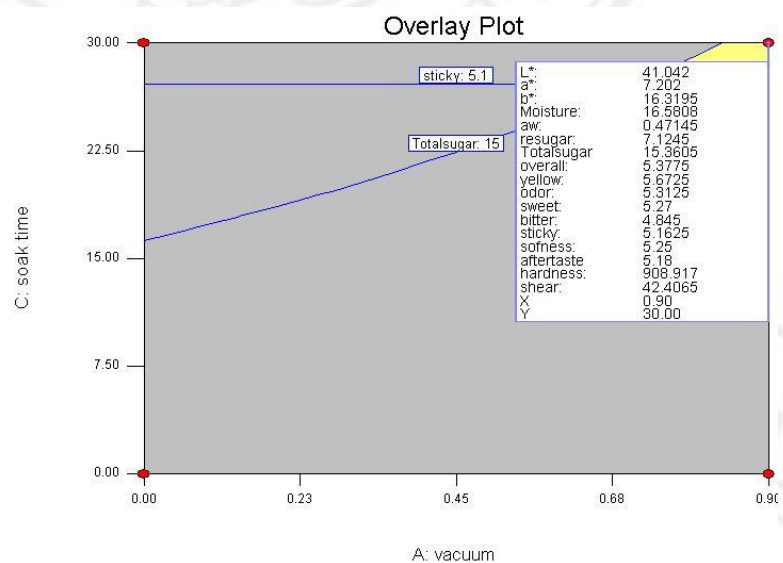
● Design Points

X = A: vacuum

Y = C: soak time

Actual Factor

B: vacuum time = 0.00



ภาพ 4.2 พื้นที่การตอบสนองของปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีเหลือง ความเหนียวและแรงเฉือนของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง

4.3 การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์สุดท้าย

ทำการผลิตลำไยอบแห้งโดยใช้ระบบสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลและสารออกซิโมติก ใช้กระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสมที่ได้จากการพัฒนามาแล้วในการทดลองที่ 1 และ 2 ทำการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ดังนี้

ตาราง 4.19 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี ประสาทสัมผัส และจุลินทรีย์ของ ผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่ทำการพัฒนาได้

ค่าวิเคราะห์	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้
ด้านกายภาพและเคมี	
-ค่าสี L* (ความสว่าง)	40.28±1.69
-ค่าสี a* (สีแดง)	8.33±0.94
-ค่าสี b* (สีเหลือง)	16.54±2.37
-ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	17.46±1.03
-ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w)	0.520±0.03
-ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	6.30±1.03
-ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)	12.63±1.40
ด้านลักษณะเนื้อสัมผัส	
-ความแข็ง (g-force)	1,193.77±345.25
-แรงฉีก (นิวตัน)	34.28±4.56
ด้านประสาทสัมผัส (คะแนนเต็ม 7)	
-ความชอบโดยรวม	6.1±0.8
-สีเหลือง	6.0±0.8
-กลิ่นลำไย	6.1±0.9
-รสหวาน	5.9±1.0
-ความเหนียว	5.9±0.9
-ความนุ่ม	6.0±0.9
-ความรู้สึกหลังกลืน	6.0±0.9
ด้านจุลินทรีย์	
-จุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)	<1.5
-ยีสต์ รา (log cfu/g)	<1.5
-โคลิฟอร์ม (MPN/g)	<1.5

ตาราง 4.19 จะพบว่าเมื่อวิเคราะห์คุณภาพของลำไยอบแห้งจะมีค่าสี L^* (ความสว่าง) เท่ากับ 40.28 ค่าสี a^* (สีแดง) เท่ากับ 8.33 ค่าสี b^* (สีเหลือง) เท่ากับ 16.54 มีปริมาณความชื้นร้อยละ 17.46 ค่ากิจกรรมของน้ำเท่ากับ 0.520 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 6.30 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 12.63 ค่าความแข็งเท่ากับ 1,193.77 g-force และมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ 34.28 นิวตัน คะแนนด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม สีเหลือง กลิ่นลำไย รสหวาน ความเหนียว ความนุ่ม และความรู้สึกหลังกลืนเท่ากับ 6.1, 6.0, 6.1, 5.9, 5.9, 6.0 และ 6.0 ตามลำดับ จากคะแนนเต็ม 7 คะแนน มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ รา และโคลิฟอร์มไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดของผลิตภัณฑ์ชุมชนเนื้อลำไยอบแห้ง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2550) โดยผู้บริโภคร้อยละ 91 ขอมรับผลิตภัณฑ์ และสนใจซื้อผลิตภัณฑ์ร้อยละ 84

ต้นทุนการผลิต

คำนวณต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์ 1 หน่วยบริโภค (200 กรัม) โดยคำนวณจากการผลิต 1 batch 10 กิโลกรัม ได้ผลิตภัณฑ์จำนวน 2 กิโลกรัม เมื่อคำนวณจำนวนผลิตภัณฑ์ได้ประมาณ 10 หน่วยบริโภค

ตาราง 4.20 ต้นทุนการผลิตลำไยอบแห้งด้วยเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ

วัตถุดิบ	จำนวนที่ใช้ (กรัม)	ราคา/กิโลกรัม	บาท
ลำไยพันธุ์คอกะเปือยกลว้านเมล็ด	10,000	60	600
4-เฮกซิลเรโซซินอล	1	102,680	102.68
กรดแอสคอร์บิก	7	1,380	9.66
กลีเซอรอล	2000	74	148
แคลเซียมแลคเตต	80	110	8.8
อีรีทออล	100	190	19
ซอร์บิทอล	400	120	48
น้ำ	10,000	1	10
แก๊ส			20
ไฟฟ้า			20
ค่าแรง/1 วัน/1 คน			300
รวม			1,286.14
ค่าสาธารณูปโภค (7%)			90.03
ต้นทุนการผลิต/ลำไยสด 10 กิโลกรัม (ได้ลำไยแห้ง 2 กิโลกรัม)			1,376.17
ต้นทุนการผลิต/หน่วยบริโภค (200 กรัม)			137.62
บรรจุภัณฑ์/หน่วยบริโภค			12
ต้นทุนรวม/หน่วยบริโภค			149.62

ตาราง 4.20 จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ลำไยสดจำนวน 10 กิโลกรัม เมื่ออบแห้งแล้วจะมีน้ำหนักประมาณ 2 กิโลกรัม ซึ่งมีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยบริโภค (200 กรัม) เท่ากับ 150 บาท

4.4 ผลการทดลองที่ 4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่ผลิตด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศในระหว่างการเก็บรักษา

4.4.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์

เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งแล้วจึงนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยบรรจุในถุงลามิเนต ทำการบรรจุภายใต้ 2 สภาวะ คือ ที่บรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน แล้วจึงนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส สุ่มเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 8 สัปดาห์ นำมาวิเคราะห์คุณภาพต่างๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าสี L^* a^* b^* ค่าความแข็งแรงเฉือน คุณภาพทางจุลชีววิทยาและคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น ความเหนียว และความนุ่ม แสดงผลดังตาราง 4.21

ตาราง 4.21 ที่อายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ พบว่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าความชื้นเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 18.11

เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 1-8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 0 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ จะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ส่วนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน จะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ ซึ่งปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้นานขึ้น

ตาราง 4.21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	สภาวะบรรยากาศปกติ			บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน		
	อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)		
	10	25	35	10	25	35
0	^A 18.11±0.80 ^{ns}	^A 18.11±0.80	^A 18.11±0.80	^A 18.11±0.80	^A 18.11±0.80	^A 18.11±0.80
1	^{BC} 37.07±1.08 ^c	^B 25.52±0.20 ^a	^C 25.11±0.25 ^a	^{DE} 32.03±0.94 ^b	^C 31.19±1.96 ^b	^{DE} 26.13±0.38 ^a
2	^D 40.68±2.29 ^c	^B 25.82±0.13 ^a	^G 31.73±0.53 ^b	^F 33.46±0.68 ^b	^C 32.33±0.41 ^b	^E 27.00±0.13 ^a
3	^{CD} 39.52±4.01 ^c	^C 27.88±0.78 ^a	^F 28.91±0.14 ^a	^G 34.74±0.89 ^b	^C 32.63±0.41 ^b	^{DE} 26.16±0.93 ^a
4	^B 35.89±2.29 ^d	^{CD} 28.81±0.62 ^c	^E 26.78±0.78 ^b	^H 42.60±0.56 ^e	^B 28.68±0.26 ^{bc}	^C 24.88±0.52 ^a
5	^B 34.69±0.93 ^d	^C 28.21±0.46 ^b	^{CD} 25.75±0.52 ^a	^{EF} 33.16±0.54 ^c	^E 36.01±0.97 ^e	^{DE} 26.42±0.44 ^a
6	^{BC} 36.88±1.57 ^c	^C 27.93±0.62 ^c	^{DE} 26.52±0.16 ^b	^B 28.31±0.06 ^c	^D 34.19±0.12 ^d	^B 22.97±0.32 ^a
7	^B 35.47±0.65 ^c	^B 25.66±0.05 ^a	^{CD} 25.86±0.28 ^a	^C 30.74±0.69 ^b	^{DE} 35.70±0.88 ^c	^{CD} 25.68±0.09 ^a
8	^{BCD} 37.96±0.36 ^c	^D 29.45±0.34 ^b	^B 22.51±0.15 ^a	^{CD} 31.88±0.27 ^c	^{DE} 34.84±0.08 ^c	^B 22.37±0.45 ^a

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษร A, B, C และ D ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร a, b, c, d, e, f, g และ h ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน ($p > 0.05$)

ตาราง 4.22 ที่อายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ พบว่าค่าสี L^* ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าสี L^* เริ่มต้นเท่ากับ 40.48

เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 1-8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีค่าสี L^* ลดลงจากสัปดาห์ที่ 0 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยในสัปดาห์ที่ 2, 7 และ 8 การเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่างกันบรรจุภัณฑ์ทั้งสองสภาวะจะทำให้ค่าสี L^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูง 25 และ 35 องศาเซลเซียส ค่าสี L^* ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนจะมีค่าต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ แต่ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ค่าสี L^* ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ จะมีค่าต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเจิมขวัญ (2549) ที่พบว่าเมื่อเก็บรักษาลำไยอบแห้งไว้ที่อุณหภูมิสูง (40 องศาเซลเซียส) ค่าความสว่างจะลดลงมากกว่าการเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง และการบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนจะสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างได้ดีกว่าการบรรจุในสภาวะปกติ

ตาราง 4.23 ที่อายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ พบว่าค่าสี a^* ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าสี a^* เริ่มต้นเท่ากับ 7.86

เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 1-8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีค่าสี a^* เพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 0 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยในสัปดาห์ที่ 1, 5 และ 6 การเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่างกันบรรจุภัณฑ์ทั้งสองสภาวะจะทำให้ค่าสี a^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าสี a^* เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเพียงเล็กน้อย ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนจะมีค่า a^* ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ แสดงว่าการเติมก๊าซไนโตรเจนสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของค่าสี a^* เมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำได้ (Mexis and Kontominas, 2010) การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยบรรจุภัณฑ์ทั้งสองสภาวะจะทำให้ค่าสี a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าสี a^* มีค่าเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 แต่จะมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 จนถึงสัปดาห์ที่ 8 แสดงให้เห็นว่าค่าสีแดงมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำขึ้น และเมื่อเก็บในระยะเวลาผ่านไป 3-8 สัปดาห์ ค่าสี a^* จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มอ่อนสีไปทางสีเขียว

ตาราง 4.22 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L* ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	สภาวะบรรยากาศปกติ			บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน		
	อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)		
	10	25	35	10	25	35
0	^C 40.48±2.72 ^{ns}	^E 40.48±2.72	^E 40.48±2.72	^C 40.48±2.72	^E 40.48±2.72	^F 40.48±2.72
1	^{BC} 40.28±2.90 ^{ns}	^D 38.66±3.03	^D 36.34±1.96	^C 40.18±2.31	^D 37.71±2.44	^E 37.44±2.32
2	^B 38.76±1.71 ^c	^C 36.50±1.72 ^b	^C 33.20±2.20 ^a	^{BC} 39.47±1.97 ^c	^{CD} 36.39±1.51 ^b	^D 35.66±1.12 ^b
3	^B 38.69±1.65 ^{ns}	^{BC} 35.99±1.14	^C 32.94±2.11	^{BC} 39.10±1.57	^C 35.97±1.66	^{CD} 34.53±1.30
4	^A 36.68±1.25 ^{ns}	^B 34.61±2.01	^{BC} 31.98±1.33	^{AB} 38.24±1.39	^C 35.27±1.64	^{BC} 33.41±1.57
5	^A 36.17±1.59 ^{ns}	^A 32.58±1.75	^{BC} 31.83±1.36	^A 37.43±1.27	^B 31.79±2.55	^B 32.39±1.36
6	^A 35.98±1.19 ^{ns}	^A 32.23±2.63	^{AB} 31.30±2.67	^A 37.04±1.45	^{AB} 31.55±1.54	^A 29.85±3.02
7	^A 35.87±2.01 ^c	^A 32.02±2.91 ^b	^{AB} 31.17±1.55 ^b	^A 37.02±1.98 ^c	^{AB} 31.44±1.56 ^b	^A 29.15±3.05 ^a
8	^A 35.14±2.34 ^c	^A 31.26±2.74 ^b	^A 30.20±1.57 ^{ab}	^A 36.96±1.28 ^d	^A 29.96±2.82 ^{ab}	^A 28.51±2.16 ^a

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษร A, B, C, D, E และ F ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน ($p > 0.05$)

ตาราง 4.23 การเปลี่ยนแปลงค่าสี a^* ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	สภาวะบรรยากาศปกติ			บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน		
	อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)		
	10	25	35	10	25	35
0	7.86±1.34 ^{ns}	^A 7.86±1.34	^{DE} 7.86±1.34	^B 7.86±1.34	^A 7.86±1.34	^{BC} 7.86±1.34
1	7.90±0.83 ^b	^A 7.92±0.75 ^b	^{DE} 7.96±1.36 ^b	^A 6.39±1.09 ^a	^{AB} 8.39±1.67 ^b	^{BC} 8.23±1.02 ^b
2	7.93±0.84 ^{ns}	^{AB} 8.12±1.50	^E 8.65±1.20	^{AB} 7.10±1.19	^{AB} 8.44±1.44	^C 8.49±0.77
3	8.01±1.15 ^{ns}	^{ABC} 8.18±0.99	^{DE} 7.89±0.76	^{AB} 7.23±0.70	^{AB} 8.61±1.64	^{BC} 7.82±0.80
4	8.08±1.29 ^{ns}	^{ABC} 8.28±0.82	^{CD} 7.34±1.71	^B 7.33±1.15	^{AB} 8.63±1.16	^B 7.58±0.81
5	8.19±1.16 ^{bc}	^{ABC} 8.36±1.54 ^{bc}	^B 6.33±1.14 ^a	^B 7.60±1.30 ^b	^{AB} 8.90±1.10 ^c	^B 7.59±1.16 ^b
6	8.27±1.23 ^{bc}	^{ABC} 8.67±0.91 ^c	^{BC} 6.77±1.05 ^a	^B 7.63±1.1ab ^l	^B 9.00±1.46 ^c	^B 7.65±1.23 ^{ab}
7	8.44±0.78 ^{ns}	^{BC} 9.01±1.38	^{AB} 5.89±0.84	^B 7.68±1.30	^B 9.03±1.19	^A 5.50±0.77
8	8.72±1.25 ^{ns}	^C 9.09±1.27	^A 5.31±0.99	^B 7.77±0.93	^B 9.12±0.69	^A 5.21±1.18

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษร A, B, C, D และ E ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน ($p > 0.05$)

ตาราง 4.24 การเปลี่ยนแปลงค่าสี b* ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	สภาวะบรรยากาศปกติ			บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน		
	อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)		
	10	25	35	10	25	35
0	^B 20.38±2.08 ^{ns}	^F 20.38±2.08	^E 20.38±2.08	^D 20.38±2.08	^F 20.38±2.08	^F 20.38±2.08
1	^C 16.23±2.99 ^{ns}	^E 14.50±2.09	^D 10.72±1.46	^C 15.79±1.72	^E 14.33±2.26	^E 11.76±1.93
2	^{BC} 14.70±2.94 ^{ns}	^D 12.49±2.32	^C 6.26±1.40	^{BC} 14.81±2.76	^D 12.34±1.31	^D 7.76±1.33
3	^C 13.98±1.95 ^{ns}	^C 10.75±2.54	^B 4.80±1.63	^{AB} 13.76±2.78	^D 12.29±2.71	^C 5.83±1.27
4	^{AB} 13.73±2.67 ^{ns}	^C 10.59±2.00	^B 4.30±1.86	^{AB} 13.66±2.52	^C 10.12±2.28	^C 5.46±2.38
5	^{AB} 13.68±2.34 ^c	^{BC} 9.72±1.54 ^d	^A 1.78±0.85 ^a	^{AB} 13.44±1.77 ^c	^B 7.97±1.72 ^c	^C 4.69±0.84 ^b
6	^{AB} 13.35±1.84 ^c	^B 8.72±2.41 ^d	^A 1.66±1.04 ^a	^{AB} 13.08±1.54 ^c	^A 6.51±2.23 ^c	^B 3.28±1.00 ^b
7	^{AB} 12.69±2.90 ^{ns}	^A 7.17±0.84	^A 2.84±1.27	^A 12.83±2.58	^A 5.90±1.71	^A 1.91±1.22
8	^A 11.84±2.19 ^{ns}	^A 6.12±1.51	^A 2.28±1.53	^A 12.39±2.22	^A 5.10±1.36	^A 1.37±1.03

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษร A, B, C, D, E และ F ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร a, b, c, d และ e ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน ($p > 0.05$)

ตาราง 4.24 ที่อายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ พบว่าค่า b^* ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่า b^* เริ่มต้นเท่ากับ 20.38

ในสัปดาห์ที่ 5 และ 6 ค่า b^* ของผลิตภัณฑ์อุณหภูมิต่างๆ ในบรรจุภัณฑ์สภาวะต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ค่า b^* ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่เมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูง คือ 35 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนจะมีค่า b^* ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนในสัปดาห์เดียวกัน แสดงว่าการเติมก๊าซไนโตรเจนช่วยชะลอการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ได้

เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 1-8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีค่า b^* ลดลงจากสัปดาห์ที่ 0 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ค่า b^* ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในอุณหภูมิทั้งสองสภาวะจะมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่า b^* ของผลิตภัณฑ์ลดลงมาก โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ค่า b^* จะลดลงมากที่สุด โดยการบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนและบรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ ค่า b^* ลดลงจาก 20.38 เหลือเพียง 2.28 และ 1.37 ตามลำดับ

ตาราง 4.25 ที่อายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ พบว่าค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าความแข็งเริ่มต้นเท่ากับ 1,564.72 g-force

ในสัปดาห์ที่ 3, 4 และ 6 ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์อุณหภูมิต่างๆ ในบรรจุภัณฑ์สภาวะต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์จะมีค่ามากกว่าการเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำ แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความแห้งและแข็งกว่า และในอุณหภูมิเดียวกันผลิตภัณฑ์ที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนจะมีค่าความแข็งน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ

เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 1-8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีค่าความแข็งลดลงจากสัปดาห์ที่ 0 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยเมื่อผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษานาน 8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะมีค่าความแข็งมากกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ คือ 1,085.68 g-force

ตาราง 4.25 การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

ลำดับที่	สภาวะบรรยากาศปกติ			บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน		
	อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)		
	10	25	35	10	25	35
0	^C 1564.72±324.69 ^{ns}	^C 1564.72±324.69	^B 1564.72±324.69	^D 1564.72±324.69	^D 1564.72±324.69	^D 1564.72±324.69
1	^B 1060.63±289.05 ^{ns}	^{AB} 753.19±226.71	^A 807.02±362.24	^{AB} 710.57±343.91	^A 508.90±158.54	^A 860.02±287.76
2	^A 633.99±183.07 ^{ns}	^{AB} 715.33±182.05	^B 1564.71±340.64	^{AB} 677.73±276.39	^A 503.13±167.13	^{BCD} 1286.10±129.07
3	^B 951.93±245.76 ^a	^B 1008.39±151.29 ^a	^B 1556.49±288.02 ^b	^C 1602.32±542.88 ^b	^{CD} 1343.49±438.72 ^{ab}	^{CD} 1431.19±272.00 ^b
4	^B 990.37±356.16 ^a	^D 2106.12±640.95 ^b	^C 2173.16±826.24 ^b	^C 1311.37±271.00 ^a	^{CD} 1395.80±171.17 ^a	^E 2348.17±612.18 ^b
5	^A 603.40±156.53 ^{ns}	^C 1430.22±367.14	^B 1370.64±381.32	^A 441.61±135.47	^C 1125.06±332.60	^A 821.91±310.14
6	^B 928.71±160.78 ^c	^A 611.16±148.27 ^{ab}	^{AB} 1297.75±438.77 ^d	^A 414.26±104.71 ^a	^B 825.82±130.10 ^{bc}	^{CD} 1488.27±304.57 ^d
7	^A 529.90±146.23 ^{ns}	^A 651.07±194.51	^{AB} 1132.78±444.52	^A 494.08±131.02	^{AB} 552.36±185.85	^{ABC} 1099.36±348.15
8	^A 792.90±158.53 ^{ns}	^A 643.23±238.73	^{AB} 1085.68±244.64	^B 938.27±244.72	^{AB} 586.54±54.98	^{AB} 999.11±161.71

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษร A, B, C, D และ E ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน ($p > 0.05$)

ตาราง 4.26 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงเฉือนของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	สภาวะบรรยากาศปกติ			บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน		
	อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)		
	10	25	35	10	25	35
0	^{AB} 33.00±3.26 ^{ns}	^{AB} 33.00±3.26	^{AB} 33.00±3.26	^{AB} 33.00±3.26	^{BC} 33.00±3.26	^A 33.00±3.26
1	^{BC} 39.97±6.64 ^{ns}	^{AB} 34.59±3.06	^{ABC} 35.29±4.70	^{AB} 34.02±4.17	^B 31.47±3.89	^B 39.75±5.01
2	^{ABC} 36.26±2.47 ^{ab}	^A 32.12±4.23 ^a	^{BC} 38.91±2.78 ^b	^C 39.63±4.56 ^b	^{BCD} 35.67±3.19 ^{ab}	^A 31.85±4.27 ^a
3	^{AB} 34.75±2.64 ^{ns}	^{AB} 42.30±2.55	^{BC} 36.18±4.33	^{AB} 32.24±0.64	^D 41.61±4.35	^{AB} 34.93±2.74
4	^A 31.06±4.23 ^b	^{AB} 33.85±4.77 ^{bc}	^A 29.72±1.59 ^{ab}	^{BC} 37.16±1.30 ^c	^A 25.42±4.38 ^a	^{AB} 34.93±3.25 ^{bc}
5	^{ABC} 38.53±4.70 ^{ns}	^A 31.94±5.43	^{ABC} 34.29±5.29	^{ABC} 35.90±2.00	^{BC} 34.14±2.83	^{AB} 35.90±3.62
6	^C 42.73±2.83 ^{ns}	^{AB} 37.23±3.62	^C 39.25±2.94	^{AB} 33.70±3.99	^{BCD} 36.24±4.60	^{AB} 35.14±1.25
7	^{BC} 39.48±4.65 ^b	^B 31.55±1.51 ^a	^{AB} 33.28±4.30 ^a	^A 30.85±3.57 ^a	^{BC} 33.34±5.00 ^a	^{AB} 35.06±2.64 ^{ab}
8	^{ABC} 35.70±4.34 ^{ab}	^{AB} 34.42±2.31 ^{ab}	^{ABC} 34.60±1.13 ^{ab}	^{AB} 31.74±4.31 ^a	^{CD} 39.27±3.02 ^b	^{AB} 36.63±2.81 ^{ab}

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษร A, B, C และ D ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน ($p > 0.05$)

ตาราง 4.27 การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	สภาวะบรรยากาศปกติ			บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน		
	อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)		
	10	25	35	10	25	35
0	^D 6.6±0.5 ^{ns}	^D 6.6±0.5	^F 6.6±0.5	^C 6.6±0.5	^D 6.6±0.5	^E 6.6±0.5
1	^{CD} 6.3±0.9 ^{ns}	^C 6.0±0.9	^E 5.5±0.9	^{BC} 6.3±0.8	^{CD} 6.2±0.8	^D 5.9±1.0
2	^{BC} 5.9±0.8 ^b	^D 6.1±0.7 ^b	^D 4.7±1.1 ^a	^{AB} 5.8±0.9 ^b	^{BC} 5.9±0.7 ^b	^{DE} 6.1±1.0 ^b
3	^C 5.9±0.8 ^{ns}	^B 5.3±0.7	^{DE} 5.1±1.0	^{AB} 5.8±0.8	^B 5.3±1.0	^D 5.5±0.7
4	^{CD} 6.1±0.6 ^{ns}	^{BC} 5.4±1.1	^C 3.0±0.9	^{AB} 5.8±0.7	^{BC} 5.6±0.8	^C 3.6±1.1
5	^{CD} 6.2±0.4 ^{ns}	^B 4.9±1.0	^C 2.6±0.8	^{AB} 5.9±0.8	^B 5.3±1.0	^B 2.6±0.8
6	^{BC} 5.8±0.6 ^{cd}	^A 3.6±0.9 ^b	^B 2.1±0.6 ^a	^{AB} 6.0±0.5 ^d	^B 5.4±1.0 ^c	^{AB} 2.0±0.8 ^a
7	^{AB} 5.4±0.8 ^{ns}	^A 3.7±0.9	^{AB} 1.8±0.9	^{AB} 5.8±0.7	^A 4.0±0.8	^{AB} 2.0±0.6
8	^A 5.2±0.9 ^{ns}	^A 3.6±0.8	^A 1.4±0.5	^A 5.7±0.8	^A 3.9±0.9	^A 1.4±0.5

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ทดสอบโดยวิธี 7-point hedonic scale (คะแนนเต็ม 7 คะแนน)

ตัวอักษร A, B, C, D, E และ F ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน ($p > 0.05$)

ตาราง 4.26 ที่อายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ พบว่าค่าแรงเหวี่ยงของผลิตภัณฑ์ล้าโยบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าแรงเหวี่ยงเริ่มต้นเท่ากับ 33 นิวตัน

ในสัปดาห์ที่ 2, 4, 7 และ 8 ค่าแรงเหวี่ยงของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ในบรรจุภัณฑ์สภาวะต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงขึ้นค่าแรงเหวี่ยงของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีลักษณะแห้งมากขึ้น เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 1-8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีค่าแรงเหวี่ยงเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 0 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยเมื่อผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษานาน 8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะมีค่าแรงเหวี่ยงมากกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ คือ 39.27 นิวตัน

ตาราง 4.27 ที่อายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ พบว่าคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ล้าโยบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีเริ่มต้นเท่ากับ 6.6 คะแนน

ในสัปดาห์ที่ 2 และ 6 คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ในบรรจุภัณฑ์สภาวะต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยล้าโยบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะมีคะแนนลดลงมากกว่าที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนก็มีแนวโน้มการลดลงของคะแนนในทำนองเดียวกัน อาจเนื่องมาจากการเก็บในอุณหภูมิสูงจะทำให้สีของล้าโยบแห้งคล้ำขึ้นมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ จากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ดในระหว่างการเก็บรักษา (นิธิยา, 2545) ทำให้ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับต่ำลง

เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 1-8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ล้าโยบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีลดลงจากสัปดาห์ที่ 0 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยการเก็บที่อุณหภูมิต่ำคะแนนจะลดลงเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงคะแนนก็จะลดลงเป็นอย่างมาก โดยเมื่อผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษานาน 8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ล้าโยบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ทั้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนจะมีค่าคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีลดลงเท่ากับ 1.4 คะแนน และการ

เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสจะมีค่าคะแนนสูงสุดเท่ากับ 5.7 คะแนน ซึ่งลดลงจากสัปดาห์ที่ 0 เพียงเล็กน้อย

ตาราง 4.28 ที่อายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ พบว่าคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีเริ่มต้นเท่ากับ 6.2 คะแนน

ในสัปดาห์ที่ 4 และ 8 คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ในบรรจุภัณฑ์สภาวะต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะมีคะแนนลดลงมากกว่าลำไยอบแห้งที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน เนื่องจากการเก็บที่อุณหภูมิสูงอาจทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ต่อผลิตภัณฑ์ได้

เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 1-8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นลดลงจากสัปดาห์ที่ 0 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยการเก็บที่อุณหภูมิต่ำค่าคะแนนจะลดลงเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงค่าคะแนนจะลดลงเป็นอย่างมาก โดยเมื่อผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษานาน 8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน จะมีค่าคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีลดลงเท่ากับ 1.5 และ 1.8 คะแนน ตามลำดับ การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสจะมีค่าคะแนนสูงสุดเท่ากับ 5.1 คะแนน ซึ่งลดลงจากสัปดาห์ที่ 0 เพียงเล็กน้อย

ตาราง 4.28 การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	สภาวะบรรยากาศปกติ			บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน		
	อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)		
	10	25	35	10	25	35
0	^B 6.2±0.8 ^{ns}	^D 6.2±0.8	^F 6.2±0.8	^B 6.2±0.8	^C 6.2±0.8	^E 6.2±0.8
1	^{AB} 5.7±0.9 ^{ns}	^{CD} 5.8±0.7	^F 5.9±0.7	^{AB} 6.3±0.8	^C 6.3±0.7	^E 5.8±0.7
2	^B 5.8±0.7 ^{ns}	^D 5.9±0.9	^F 5.7±1.1	^{AB} 5.8±0.7	^C 6.1±0.7	^E 5.9±0.9
3	^{AB} 5.6±0.7 ^{ns}	^{CD} 5.4±0.8	^E 4.8±0.8	^{AB} 5.7±0.9	^B 5.1±0.7	^D 5.1±0.8
4	^B 6.0±0.7 ^c	^{CD} 5.8±0.9 ^c	^D 3.7±1.1 ^a	^A 5.5±0.9 ^c	^B 5.3±0.9 ^c	^C 4.4±0.8 ^b
5	^B 5.8±0.5 ^{ns}	^B 4.6±1.1	^C 3.0±0.8	^{AB} 5.6±1.0	^B 4.9±0.9	^B 3.4±1.0
6	^{AB} 5.6±0.6 ^{ns}	^{BC} 5.1±1.0	^B 2.3±1.0	^A 5.4±0.8	^B 4.9±0.7	^A 2.2±1.2
7	^A 5.2±0.8 ^{ns}	^B 4.6±1.1	^A 1.6±0.5	^A 5.5±0.5	^B 5.0±1.1	^A 2.0±0.6
8	^A 5.1±0.9 ^d	^A 3.1±1.0 ^b	^A 1.5±0.5 ^a	^A 5.1±0.9 ^d	^A 4.1±0.9 ^c	^A 1.8±0.7 ^a

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ทดสอบโดยวิธี 7-point hedonic scale (คะแนนเต็ม 7 คะแนน)

ตัวอักษร A, B, C, D, E และ F ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน ($p > 0.05$)

ตาราง 4.29 การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	สภาวะบรรยากาศปกติ			บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน		
	อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)		
	10	25	35	10	25	35
0	^D 6.3±0.9 ^{ns}	^F 6.3±0.9	^F 6.3±0.9	^C 6.3±0.9	^C 6.3±0.9	^G 6.3±0.9
1	^{CD} 6.2±0.8 ^{ns}	^F 6.3±0.7	^E 5.6±0.8	^{ABC} 6.3±0.8	^C 6.2±0.7	^{FG} 6.0±0.7
2	^{BCD} 6.1±0.7 ^{ns}	^F 6.3±0.8	^{EF} 5.8±1.1	^{BC} 6.0±0.6	^C 5.9±0.9	^{EF} 5.7±0.5
3	^{ABC} 5.7±0.7 ^{ns}	^{DE} 5.5±0.7	^D 4.4±1.0	^{AB} 5.5±0.8	^C 5.9±0.8	^E 5.2±0.8
4	^{BCD} 6.1±0.7 ^c	^{EF} 6.1±0.8 ^c	^{BC} 2.7±0.9 ^a	^{ABC} 5.9±0.7 ^c	^B 4.8±0.9 ^b	^D 2.9±0.9 ^a
5	^{ABCD} 5.7±0.7 ^{ns}	^{CD} 5.0±1.0	^C 2.9±0.9	^{AB} 5.4±0.8	^B 5.0±0.9	^{CD} 2.5±0.5
6	^{BCD} 5.8±0.6 ^{ns}	^{BC} 4.8±0.8	^{AB} 2.1±0.9	^{AB} 5.6±0.5	^B 5.0±0.8	^{BC} 2.4±1.1
7	^A 5.2±0.7 ^{cd}	^A 4.1±1.0 ^b	^A 1.9±0.8 ^a	^{AB} 5.7±0.8 ^d	^B 4.7±1.1 ^b	^{AB} 1.9±0.8 ^a
8	^{AB} 5.1±0.9 ^{ns}	^{AB} 4.3±0.9	^A 1.5±0.5	^A 5.4±0.8	^A 4.0±0.8	^A 1.5±0.5

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ทดสอบโดยวิธี 7-point hedonic scale (คะแนนเต็ม 7 คะแนน)

ตัวอักษร A, B, C, D, E, F และ G ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน ($p > 0.05$)

ตาราง 4.29 ที่อายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ พบว่าคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านความเหนียวของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซ ไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีเริ่มต้นเท่ากับ 6.3 คะแนน

ในสัปดาห์ที่ 4 และ 7 คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวของ ผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ในบรรจุภัณฑ์สภาวะต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยการเก็บลำไยอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะมีคะแนนลดลงมากกว่าลำไยอบแห้งที่เก็บที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเก็บที่อุณหภูมิสูงอาจทำให้ ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่แข็งและเหนียวมากขึ้น

เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 1-8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวลดลงจากสัปดาห์ที่ 0 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยการเก็บที่อุณหภูมิต่ำค่าคะแนนจะลดลงเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงค่าคะแนนจะลดลงเป็นอย่างมาก โดยเมื่อผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษานาน 8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนจะมีค่าคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีลดลงเท่ากับ 1.5 คะแนน ส่วนการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จะมีค่าคะแนนด้านความเหนียวสูงสุดเท่ากับ 5.4 คะแนน ซึ่งลดลงจากสัปดาห์ที่ 0 เพียงเล็กน้อย

ตาราง 4.30 การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	สภาวะบรรยากาศปกติ			บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน		
	อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)		
	10	25	35	10	25	35
0	^E 6.6±0.6 ^{ns}	^E 6.6±0.6	^F 6.6±0.6	^E 6.6±0.6	^E 6.6±0.6	^F 6.6±0.6
1	^E 6.5±0.8 ^{ns}	^E 6.4±0.6	^E 5.9±0.6	^{CD} 6.0±0.8	^{DE} 6.2±0.8	^E 5.9±0.8
2	^{CD} 5.8±0.8 ^{ns}	^E 6.2±0.8	^E 5.3±1.1	^{DE} 6.1±0.5	^{CD} 5.9±0.9	^{DE} 5.9±0.8
3	^D 5.9±0.7 ^b ^c	^{DE} 6.1±0.8 ^c	^D 4.6±1.1 ^a	^{BCD} 5.7±0.8 ^{bc}	^{BC} 5.5±1.1 ^{bc}	^D 5.3±0.8 ^b
4	^{BCD} 5.8±0.9 ^{ns}	^{CD} 5.5±0.5	^C 2.9±1.0	^{AB} 5.4±0.8	^B 4.9±1.0	^C 3.1±1.0
5	^{BCD} 5.8±0.6 ^{ns}	^C 5.1±1.0	^C 2.9±0.9	^{BCD} 5.6±0.5	^B 5.1±0.7	^C 3.1±1.1
6	^{ABC} 5.4±0.6 ^c	^{CD} 5.6±0.5 ^c	^{BC} 2.6±0.8 ^a	^{BCD} 5.7±1.1 ^c	^A 4.2±1.0 ^b	^B 2.2±1.0 ^a
7	^{AB} 5.3±0.9 ^{ns}	^B 4.5±1.0	^{AB} 2.0±0.8	^{ABC} 5.4±0.7	^A 4.1±0.7	^B 2.3±1.0
8	^A 5.1±0.9 ^{ns}	^A 3.8±1.0	^A 1.4±0.5	^A 5.0±0.8	^A 3.9±0.9	^A 1.5±0.5

หมายเหตุ: ค่าของข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ทดสอบโดยวิธี 7-point hedonic scale (คะแนนเต็ม 7 คะแนน)

ตัวอักษร A, B, C และ D ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน ($p > 0.05$)

ตาราง 4.30 ที่อายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์ พบว่าคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีเริ่มต้นเท่ากับ 6.6 คะแนน

ในสัปดาห์ที่ 3 และ 6 คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มของผลิตภัณฑ์อุณหภูมิต่างๆ ในบรรจุภัณฑ์สภาวะต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยการเก็บลำไยอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะมีคะแนนลดลงมากกว่าลำไยอบแห้งที่เก็บที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเก็บที่อุณหภูมิสูงอาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้น

เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 1-8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวลดลงจากสัปดาห์ที่ 0 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยการเก็บที่อุณหภูมิต่ำค่าคะแนนจะลดลงเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงค่าคะแนนก็จะลดลงเป็นอย่างมาก โดยเมื่อผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษานาน 8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน จะมีค่าคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มลดลงเท่ากับ 1.4 และ 1.5 คะแนน และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสจะมีค่าคะแนนด้านความนุ่มสูงสุดเท่ากับ 5.1 คะแนน ซึ่งลดลงจากสัปดาห์ที่ 0 เพียงเล็กน้อย

ตาราง 4.31 คุณภาพทางด้านปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g) ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	สภาวะบรรยากาศปกติ			บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน		
	อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)		
	10	25	35	10	25	35
0	6.8×10^3	6.8×10^3	6.8×10^3	6.8×10^3	6.8×10^3	6.8×10^3
4	9.6×10^4	3.3×10^3	$< 30 \times 10^4$	9.0×10^4	$< 30 \times 10^3$	$< 30 \times 10^4$
8	$< 30 \times 10^5$	$< 30 \times 10^4$	$< 30 \times 10^4$	$< 30 \times 10^5$	$< 30 \times 10^4$	$< 30 \times 10^4$

จากตาราง 4.30 คุณภาพด้านปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งนาน 8 สัปดาห์ น้อยกว่า 30×10^5 cfu/g ซึ่งไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนลำไยอบแห้งซึ่งกำหนดไว้ที่ 10^6 cfu/g และตรวจไม่พบปริมาณยีสต์และรา เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งนาน 8 สัปดาห์ ดังตาราง 4.32

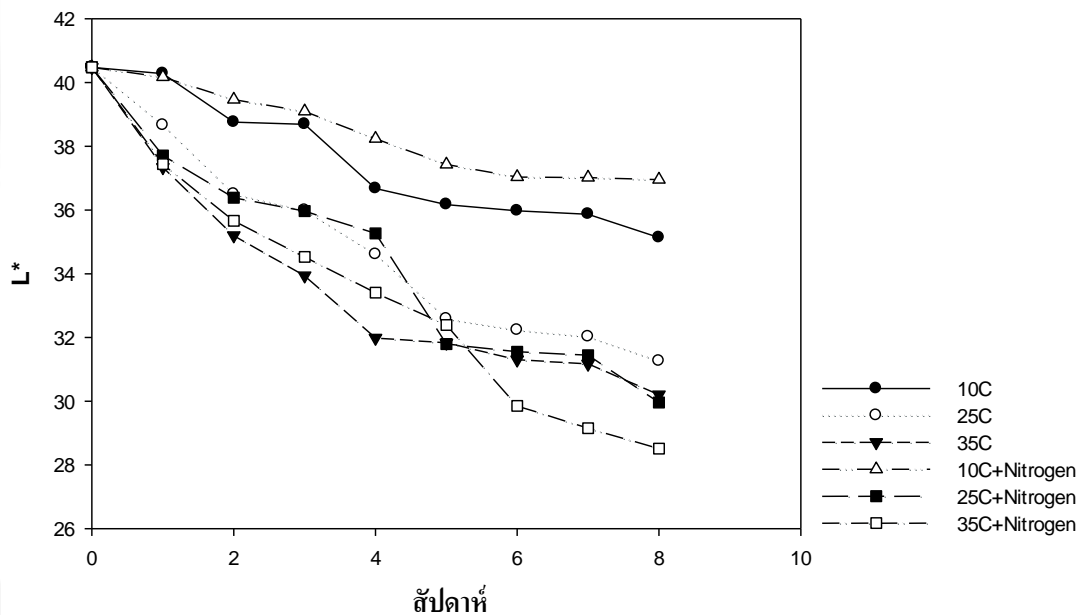
ตาราง 4.32 คุณภาพทางด้านปริมาณยีสต์รา (cfu/g) ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส

สัปดาห์ที่	สภาวะบรรยากาศปกติ			บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน		
	อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)		
	10	25	35	10	25	35
0	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
4	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
8	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

4.4.2 การคาดคะเนอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า อุณหภูมิในการเก็บรักษาและสถานะที่แตกต่างกันของบรรจุภัณฑ์มีผลต่อคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่าสี L^* b* คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น ความเหนียว และความนุ่ม ของผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญกับผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง ดังนั้นจึงใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง

4.2.2.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี L^* ของลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพ 4.3

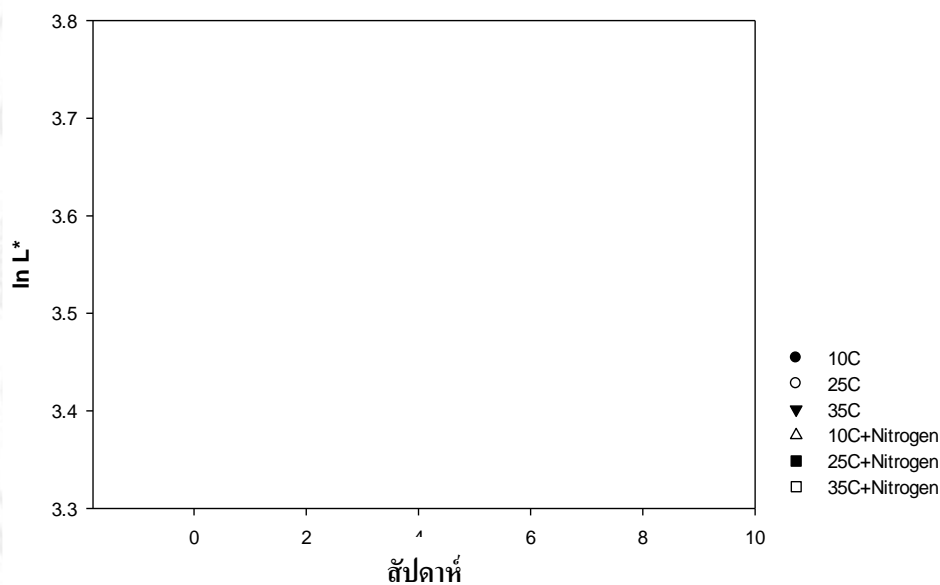


ภาพ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี L^* เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน

จากผลการทดลองวัดค่าสี L^* ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าสี L^* ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลา อุณหภูมิที่เก็บรักษา และสถานะของบรรจุภัณฑ์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าสี L^* ลดลง คือ ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพงษ์ศักดิ์ (2547)

ซึ่งรายงานว่าคุณค่า L ของผลิตภัณฑ์ล้าไยอบแห้งที่เก็บที่อุณหภูมิสูงจะลดลงได้มากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์ล้าไยอบแห้งที่เก็บรักษามีสีคล้ำกว่า

และจากตาราง 4.22 พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของคุณค่า L^* ในผลิตภัณฑ์ล้าไยอบแห้งเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง คือ มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นกับเวลาแบบ Logarithmic ภาพ 4.4 ดังนั้นจึงสามารถหาค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยา หรือค่า k ได้จากสมการของ Arrhenius (ยูทรีนา, 2553)

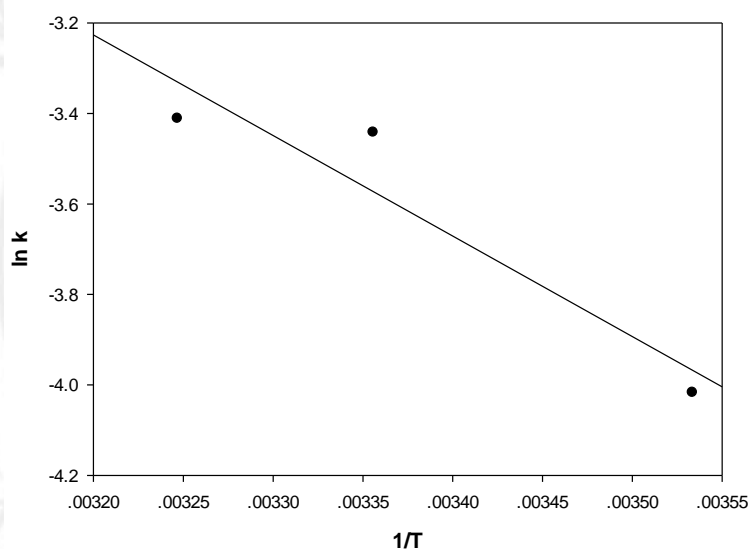


ภาพ 4.4 การลดลงของคุณค่า L^* ตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่งที่เปลี่ยนความสัมพันธ์เป็นแบบสมการเส้นตรง

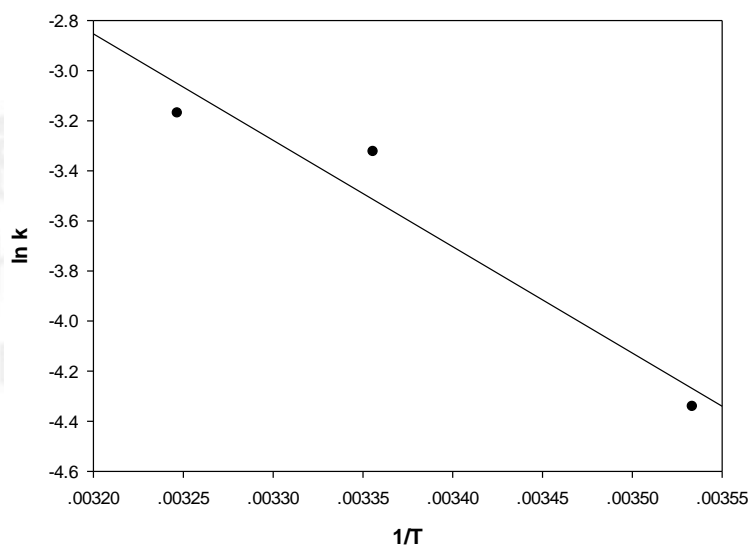
ตาราง 4.33 สมการเส้นตรงและค่าคงที่อัตราการลดลงของคุณค่า L^* เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน

สภาวะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สมการเส้นตรง	ค่าคงที่อัตรา (ต่อสัปดาห์)	R^2
บรรยากาศปกติ	10	$y = -0.018x + 3.700$	1.8×10^{-2}	0.936
	25	$y = -0.032x + 3.679$	3.2×10^{-2}	0.957
	35	$y = -0.033x + 3.647$	3.3×10^{-2}	0.894
บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน	10	$y = -0.013x + 3.700$	1.3×10^{-2}	0.949
	25	$y = -0.036x + 3.680$	3.6×10^{-2}	0.951
	35	$y = -0.042x + 3.676$	4.2×10^{-2}	0.981

ตาราง 4.33 พบว่าสมการเส้นตรงที่ได้มีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.894 ถึง 0.981 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาอันดับหนึ่งสามารถใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าสีของลำไยอบแห้งได้เป็นอย่างดี โดยพบว่าค่าคงที่อัตราที่เกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเก็บรักษา จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสี L^* โดยใช้สมการของอาร์เรเนียสในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราและอุณหภูมิ โดยพล็อตกราฟในรูปของ $\ln k$ เทียบกับส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์ ($\frac{1}{T}$) เพื่อให้ได้เป็นสมการเส้นตรง จะได้กราฟดังภาพ 4.5-4.6



ภาพ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของค่าสี L^* ของกล้วยฉาบในสภาวะบรรยากาศปกติตามสมการของอาร์เรเนียส



ภาพ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของค่าสี L^* ของกล้วยฉาบบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนตามสมการของอาร์เรเนียส

ภาพ 4.5-4.6 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่อัตรา และการเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* และเมื่อสร้างสมการถดถอย เพื่อใช้คาดคะเนอัตราเร็วของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาด้วยอุณหภูมิเนตในสภาวะบรรยากาศปกติ เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

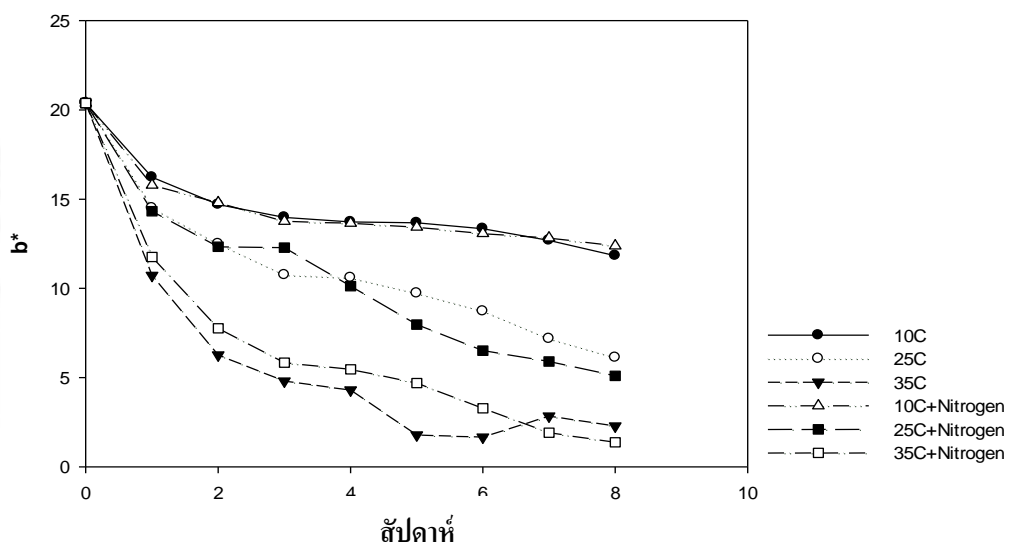
$$\ln k = -2222\left(\frac{1}{T}\right) + 3.886$$

สมการถดถอยของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิเนตบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

$$\ln k = -4248\left(\frac{1}{T}\right) + 10.74$$

เมื่อนำสมการถดถอยที่ได้ไปคำนวณหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความอ่อนไหวของปฏิกิริยาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (ยุทธนา, 2553) พบว่าค่าสี L^* ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาด้วยอุณหภูมิเนตในสภาวะบรรยากาศปกติมีพลังงานก่อกัมมันต์เท่ากับ 18.47 กิโลจูลต่อโมล ขณะที่ค่าสี L^* ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิเนตบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน จะมีค่าพลังงานก่อกัมมันต์เท่ากับ 35.31 กิโลจูลต่อโมล

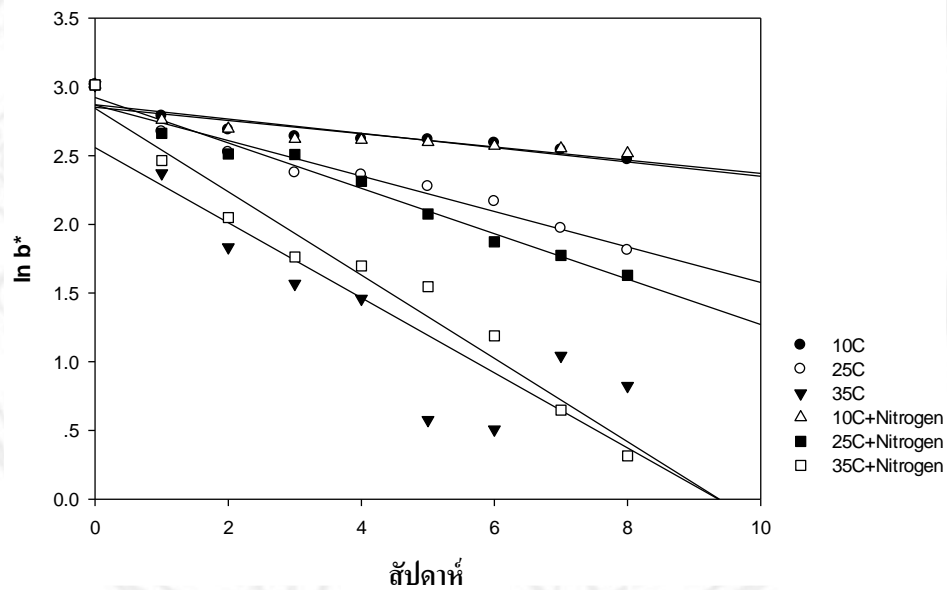
4.2.2.2 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี b^* ของลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพ 4.7



ภาพ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี b^* เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน

จากผลการทดลองวัดค่า b^* ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35°C เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่า b^* ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลา อุณหภูมิที่เก็บรักษา และสถานะของบรรจุภัณฑ์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่า b^* ลดลง คือ ผลิตภัณฑ์มีค่า b^* เหลือลดลง

จากตาราง 4.24 พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า b^* ในผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง คือ มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นกับเวลาแบบ Logarithmic ภาพ 4.8 ดังนั้นจึงสามารถหาค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยา หรือค่า k ได้จากสมการของ Arrhenius

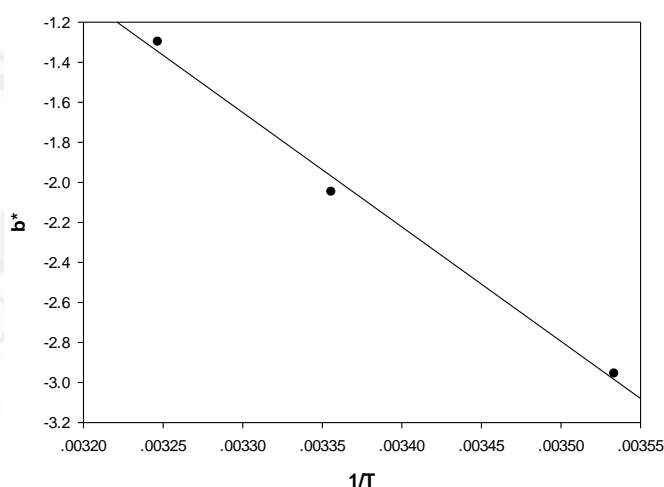


ภาพ 4.8 การลดลงของค่า b^* ตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่งที่เปลี่ยนความสัมพันธ์เป็นแบบสมการเส้นตรง

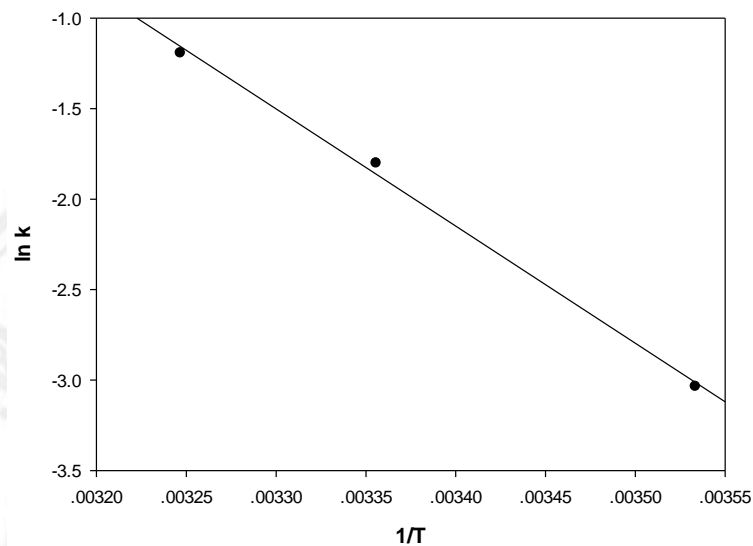
ตาราง 4.34 สมการเส้นตรงและค่าคงที่อัตราการลดลงของค่า b^* เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน

สภาวะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สมการเส้นตรง	ค่าคงที่อัตรา (ต่อสัปดาห์)	R^2
บรรยากาศปกติ	10	$y = -0.052x + 2.871$	5.20×10^{-2}	0.809
	25	$y = -0.129x + 2.868$	1.29×10^{-1}	0.950
	35	$y = -0.273x + 2.559$	2.73×10^{-1}	0.790
บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน	10	$y = -0.048x + 2.852$	4.80×10^{-2}	0.753
	25	$y = -0.165x + 2.924$	1.65×10^{-1}	0.977
	35	$y = -0.303x + 2.844$	3.03×10^{-1}	0.966

ตาราง 4.34 พบว่าสมการเส้นตรงที่ได้มีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.753 ถึง 0.977 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง สามารถใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงค่า b ของลำไยอบแห้งได้ โดยพบว่าค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเก็บรักษา จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า b^* โดยใช้สมการของอาร์เรเนียสในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราและอุณหภูมิ โดยพล็อตกราฟในรูปของ $\ln k$ เทียบกับส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์ ($\frac{1}{T}$) เพื่อให้ได้เป็นสมการเส้นตรง จะได้กราฟดังภาพ 4.9-4.10



ภาพ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของค่า b^* ของอุ้งลามีเนตในสภาวะบรรยากาศปกติตามสมการของอาร์เรเนียส



ภาพ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของค่า b^* ของอุณหภูมิเนตบรจด้วยก๊าซไนโตรเจนตามสมการของอาร์เรเนียส

ภาพ 4.9-4.10 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่อัตรา และการเปลี่ยนแปลงค่า b^* และเมื่อสร้างสมการถดถอย เพื่อใช้คาดคะเนอัตราเร็วของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาด้วยอุณหภูมิเนตในสภาวะบรรยากาศปกติ เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

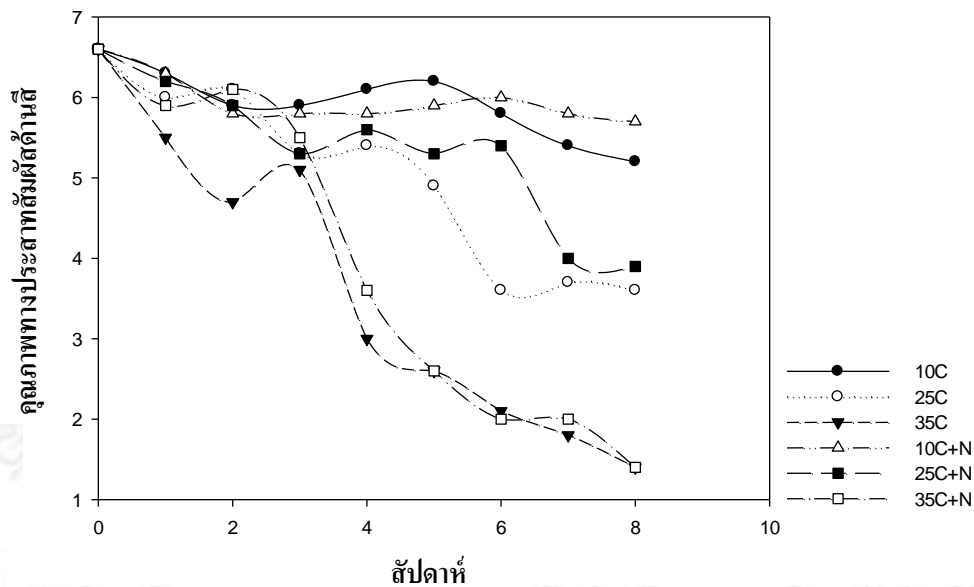
$$\ln k = -5715\left(\frac{1}{T}\right) + 17.21$$

สมการถดถอยของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิเนตบรจด้วยก๊าซไนโตรเจนเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

$$\ln k = -6474\left(\frac{1}{T}\right) + 19.86$$

เมื่อนำสมการถดถอยที่ได้ไปคำนวณหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ พบว่าค่า b^* ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาด้วยอุณหภูมิเนตในสภาวะบรรยากาศปกติ มีพลังงานก่อกัมมันต์เท่ากับ 47.51 กิโลจูลต่อโมล ขณะที่ค่า b^* ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิเนตบรจด้วยก๊าซไนโตรเจนจะมีค่าพลังงานก่อกัมมันต์เท่ากับ 53.82 กิโลจูลต่อโมล

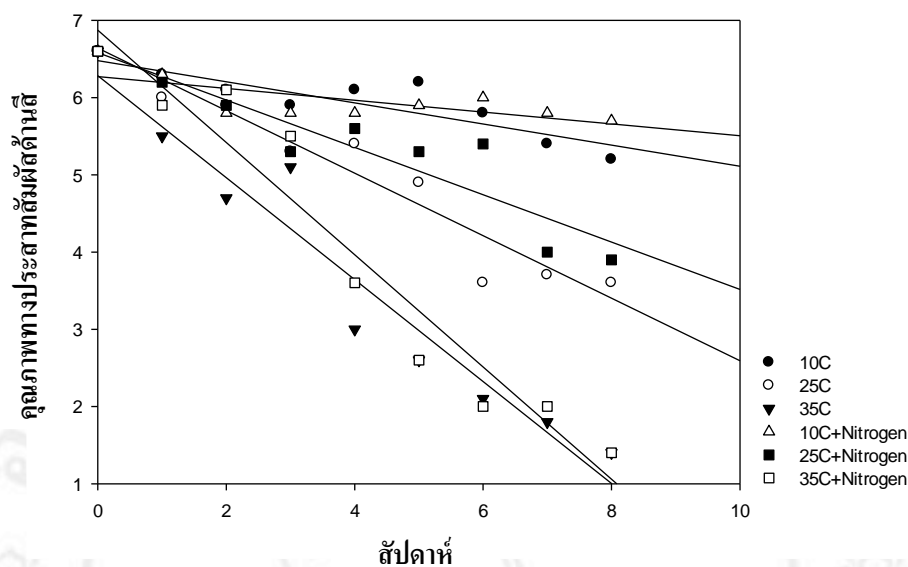
4.2.2.3 การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีของลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพ 4.11



ภาพ 4.11 การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน

จากผลของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าคะแนนของคุณลักษณะด้านสีของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลา อุณหภูมิที่เก็บรักษา และสภาวะของบรรจุภัณฑ์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ค่าคะแนนจะลดลงมากที่สุดจากคะแนนเริ่มต้น 6.6 เหลือเพียง 1.5 คะแนน

จากตาราง 4.27 พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีในผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ คือ มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของค่าคุณภาพกับเวลาเป็นแบบเส้นตรง ดังภาพ 4.12



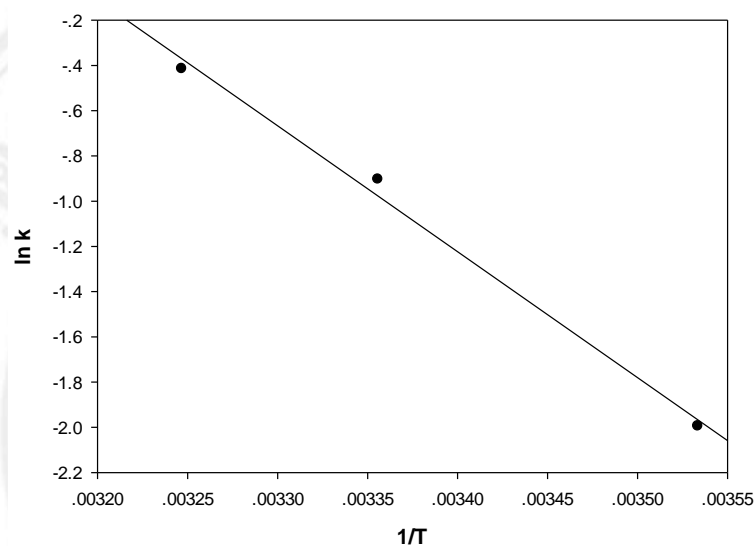
ภาพ 4.12 การลดลงของคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีตามปฏิริยา
อันดับศูนย์ที่เปลี่ยนความสัมพันธ์เป็นแบบสมการเส้นตรง

ตาราง 4.35 สมการเส้นตรงและค่าคงที่อัตราลดลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาท
สัมผัสด้านสีเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในสภาวะ
บรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน

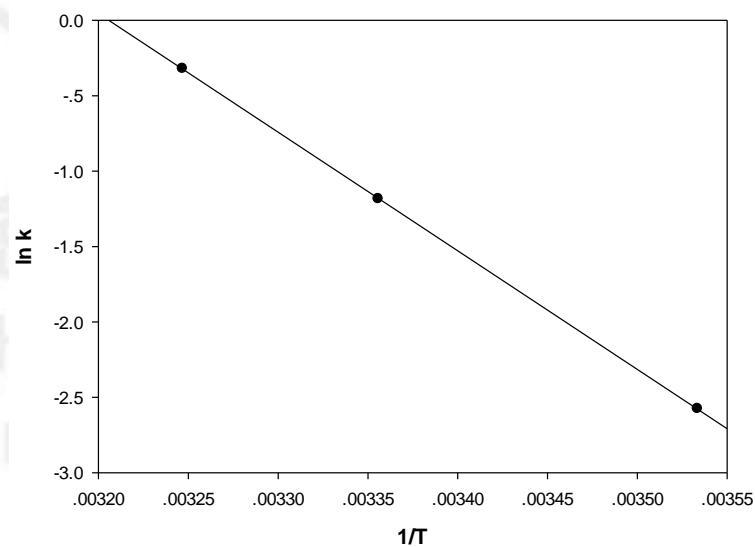
สภาวะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สมการเส้นตรง	ค่าคงที่อัตรา (ต่อสัปดาห์)	R ²
บรรยากาศปกติ	10	$y = -0.136x + 6.480$	1.36×10^{-1}	0.737
	25	$y = -0.405x + 6.642$	4.05×10^{-1}	0.925
	35	$y = -0.660x + 6.284$	6.60×10^{-1}	0.942
บรรจุด้วยก๊าซ ไนโตรเจน	10	$y = -0.076x + 6.273$	7.60×10^{-2}	0.503
	25	$y = -0.306x + 6.582$	3.06×10^{-1}	0.857
	35	$y = -0.726x + 6.873$	7.26×10^{-1}	0.934

ตาราง 4.35 พบว่าสมการเส้นตรงที่ได้มีค่า R² อยู่ในช่วง 0.737 ถึง 0.942 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า
ปฏิริยาอันดับศูนย์ สามารถใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าสีของลำไยอบแห้งได้ โดยพบว่าค่าคงที่
อัตราการเกิดปฏิริยาจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเก็บรักษา จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบของ
อุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี โดยใช้

สมการของอาร์เรเนียสในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราและอุณหภูมิ โดยพล็อตกราฟในรูปของ $\ln k$ เทียบกับส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์ ($\frac{1}{T}$) เพื่อให้ได้เป็นสมการเส้นตรง จะได้กราฟดังภาพ 4.13-4.14



ภาพ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีของถุงลามิเนตในสภาวะบรรยากาศปกติตามสมการของอาร์เรเนียส



ภาพ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีของถุงลามิเนตบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนตามสมการของอาร์เรเนียส

ภาพ 4.13-4.14 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่อัตรา และการเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี และเมื่อสร้างสมการถดถอยเพื่อใช้คาดคะเนอัตราเร็วของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาด้วยอุณหภูมิในสภาวะบรรยากาศปกติ เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

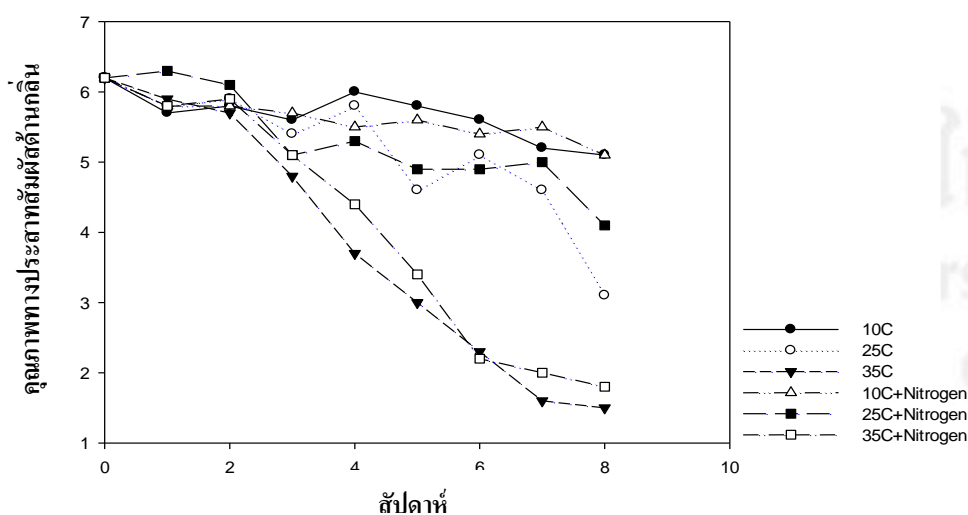
$$\ln k = -5568\left(\frac{1}{T}\right) + 17.70$$

สมการถดถอยของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิเนตรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

$$\ln k = -7864\left(\frac{1}{T}\right) + 25.21$$

เมื่อนำสมการถดถอยที่ได้ไปคำนวณหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ พบว่าค่าคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาด้วยอุณหภูมิในสภาวะบรรยากาศปกติ มีพลังงานก่อกัมมันต์เท่ากับ 46.29 กิโลจูลต่อ โมล ขณะที่คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิเนตรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน จะมีค่าพลังงานก่อกัมมันต์เท่ากับ 65.38 กิโลจูลต่อโมล

4.2.2.4 การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพ 4.15

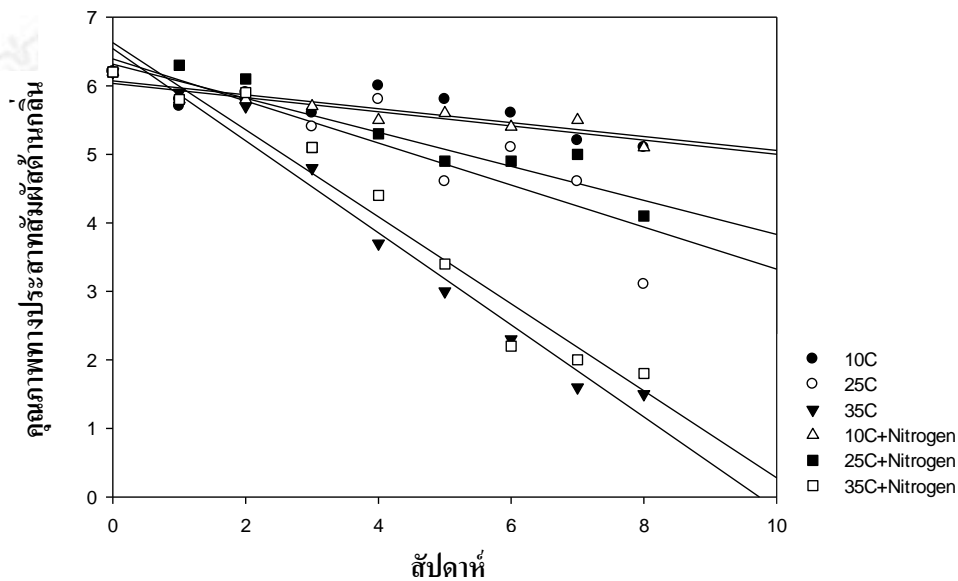


ภาพ 4.15 การเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น เมื่อเก็บรักษาที่

อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน

ผลของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าคะแนนของคุณลักษณะด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลา อุณหภูมิที่เก็บรักษา และสถานะของบรรจุภัณฑ์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ค่าคะแนนจะลดลงมากที่สุดจากคะแนนเริ่มต้น 6.2 เหลือเพียง 1.5 คะแนนในถุงลามิเนตในสภาวะบรรยากาศปกติ และ 1.8 คะแนน ในถุงลามิเนตที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน

ตาราง 4.28 พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ คือ มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของค่าคุณภาพกับเวลาเป็นแบบเส้นตรง ดังภาพ 4.16

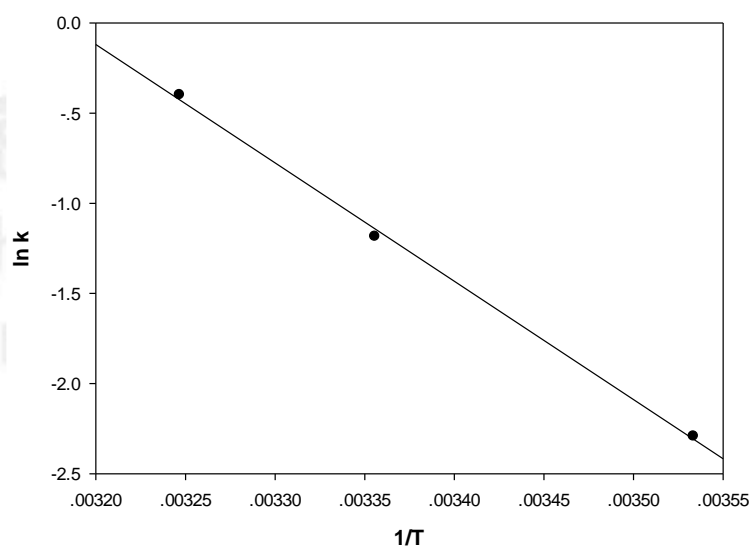


ภาพ 4.16 การลดลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์ที่เปลี่ยนความสัมพันธ์เป็นแบบสมการเส้นตรง

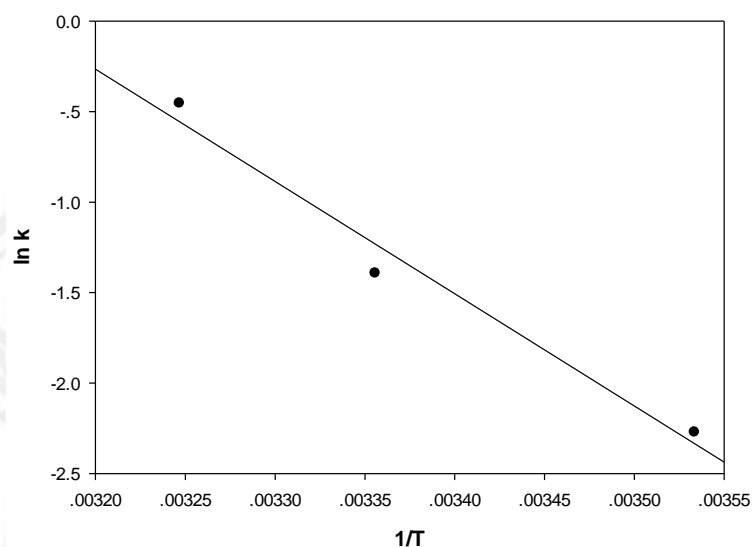
ตาราง 4.36 สมการเส้นตรงและค่าคงที่อัตราการลดลงของของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน

สภาวะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สมการเส้นตรง	ค่าคงที่อัตรา (ต่อสัปดาห์)	R ²
บรรยากาศปกติ	10	$y = -0.101x + 6.073$	1.01×10^{-1}	0.632
	25	$y = -0.306x + 6.393$	3.06×10^{-1}	0.764
	35	$y = -0.671x + 6.542$	6.71×10^{-1}	0.974
บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน	10	$y = -0.103x + 6.035$	1.03×10^{-1}	0.847
	25	$y = -0.248x + 6.315$	2.48×10^{-1}	0.853
	35	$y = -0.635x + 6.628$	6.35×10^{-1}	0.951

ตาราง 4.36 พบว่าสมการเส้นตรงที่ได้มีค่า R² อยู่ในช่วง 0.632 ถึง 0.974 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาอันดับศูนย์ สามารถใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของลำไยอบแห้งได้ โดยพบว่าค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเก็บรักษา จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น โดยใช้สมการของอาร์เรเนียสในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราและอุณหภูมิ โดยพล็อตกราฟในรูปของ $\ln k$ เทียบกับส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์ ($\frac{1}{T}$) เพื่อให้ได้เป็นสมการเส้นตรง จะได้กราฟดังภาพ 4.17-4.18



ภาพ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของถั่วลันเตาในสภาวะบรรยากาศปกติตามสมการของอาร์เรเนียส



ภาพ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของถั่วลันเตาบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนตามสมการของอาร์เรเนียส

ภาพ 4.17-4.18 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่อัตรา และการเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น และเมื่อสร้างสมการถดถอยเพื่อใช้คาดคะเนอัตราเร็วของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาด้วยถั่วลันเตาในสภาวะบรรยากาศปกติ เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

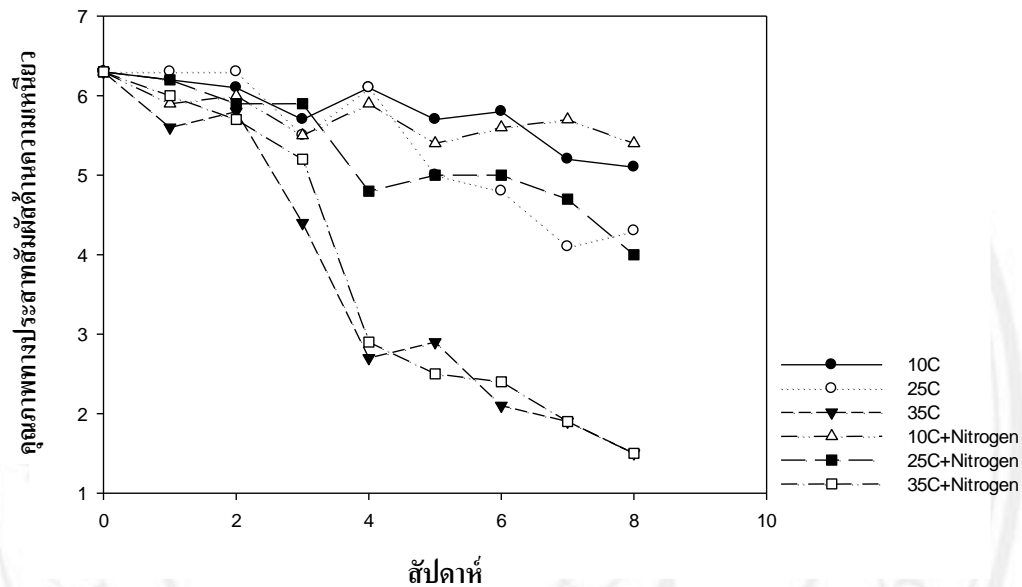
$$\ln k = -6566\left(\frac{1}{T}\right) + 20.89$$

สมการถดถอยของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาในถั่วลันเตาบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

$$\ln k = -6205\left(\frac{1}{T}\right) + 19.59$$

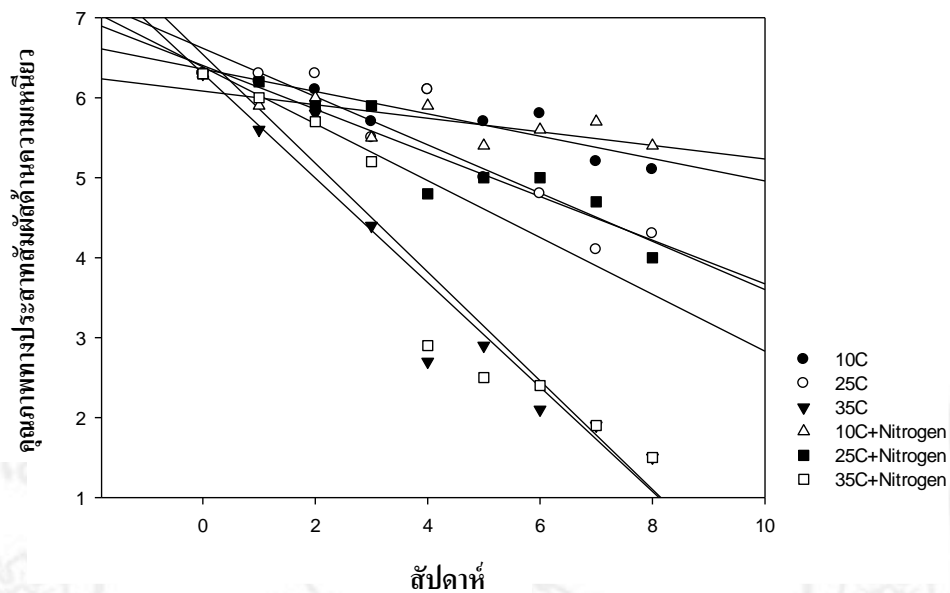
เมื่อนำสมการถดถอยที่ได้ไปคำนวณหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ พบว่าค่าคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาด้วยถั่วลันเตาในสภาวะบรรยากาศปกติ มีพลังงานก่อกัมมันต์เท่ากับ 54.58 กิโลจูลต่อโมล ขณะที่คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาในถั่วลันเตาบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนจะมีค่าพลังงานก่อกัมมันต์เท่ากับ 51.58 กิโลจูลต่อโมล

4.2.2.5 การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวของลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพ 4.19



ภาพ 4.19 การเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน

จากผลของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าคะแนนของคุณลักษณะด้านความเหนียวของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลา อุณหภูมิที่เก็บรักษาและสภาวะของบรรจุภัณฑ์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ค่าคะแนนจะลดลงมากที่สุด จากคะแนนเริ่มต้น 6.3 เหลือเพียง 1.5 คะแนน และจากตาราง 4.29 พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวในผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ คือ มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของค่าคุณภาพกับเวลาเป็นแบบเส้นตรง ดังภาพ 4.20



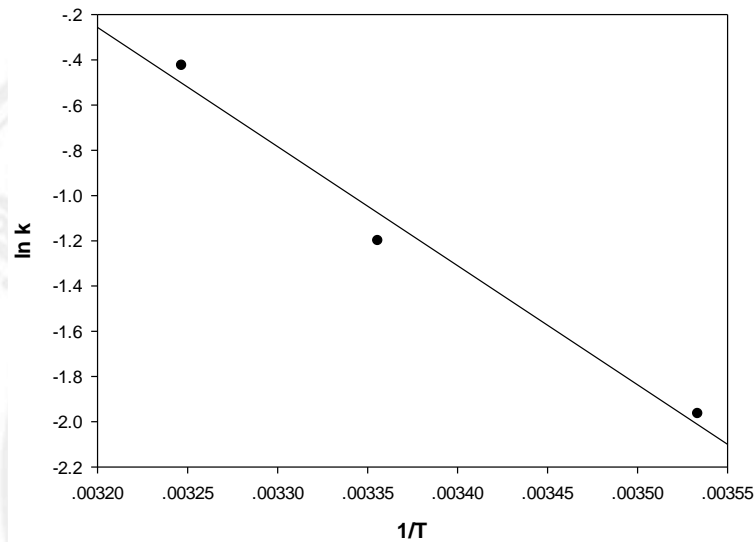
ภาพ 4.20 การลดลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวตาม
ปฏิริยาอันดับศูนย์ที่เปลี่ยนความสัมพันธ์เป็นแบบสมการเส้นตรง

ตาราง 4.37 สมการเส้นตรงและค่าคงที่อัตราลดลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาท
สัมผัสด้านความเหนียวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ใน
สภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน

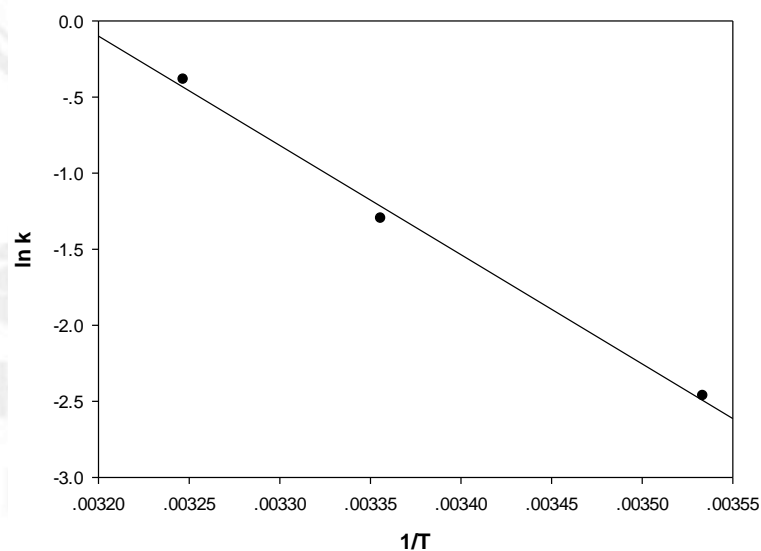
สภาวะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สมการเส้นตรง	ค่าคงที่อัตรา (ต่อสัปดาห์)	R ²
บรรยากาศปกติ	10	$y = -0.140x + 6.360$	1.40×10^{-1}	0.805
	25	$y = -0.301x + 6.617$	3.01×10^{-1}	0.860
	35	$y = -0.653x + 6.302$	6.53×10^{-1}	0.929
บรรจุด้วยก๊าซ ไนโตรเจน	10	$y = -0.085x + 6.084$	8.50×10^{-2}	0.584
	25	$y = -0.273x + 6.404$	2.73×10^{-1}	0.894
	35	$y = -0.680x + 6.542$	6.80×10^{-1}	0.924

ตาราง 4.37 พบว่าค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิริยาจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเก็บรักษา
จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะ
ทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียว โดยใช้สมการของอาร์เรเนียสในการอธิบายความสัมพันธ์

ระหว่างค่าคงที่อัตราและอุณหภูมิ โดยพล็อตกราฟในรูปของ $\ln k$ เทียบกับส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์ ($\frac{1}{T}$) เพื่อให้ได้เป็นสมการเส้นตรง จะได้กราฟดังภาพ 4.21-4.22



ภาพ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวของถุงลามิเนตในสภาวะบรรยากาศปกติตามสมการของอาร์เรเนียส



ภาพ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวของถุงลามิเนตบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนตามสมการของอาร์เรเนียส

ภาพ 4.21-4.22 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่อัตรา และการเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียว เมื่อสร้างสมการถดถอยเพื่อใช้คาดคะเนอัตราเร็วของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาด้วยอุณหภูมิในสภาวะบรรยากาศปกติ เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

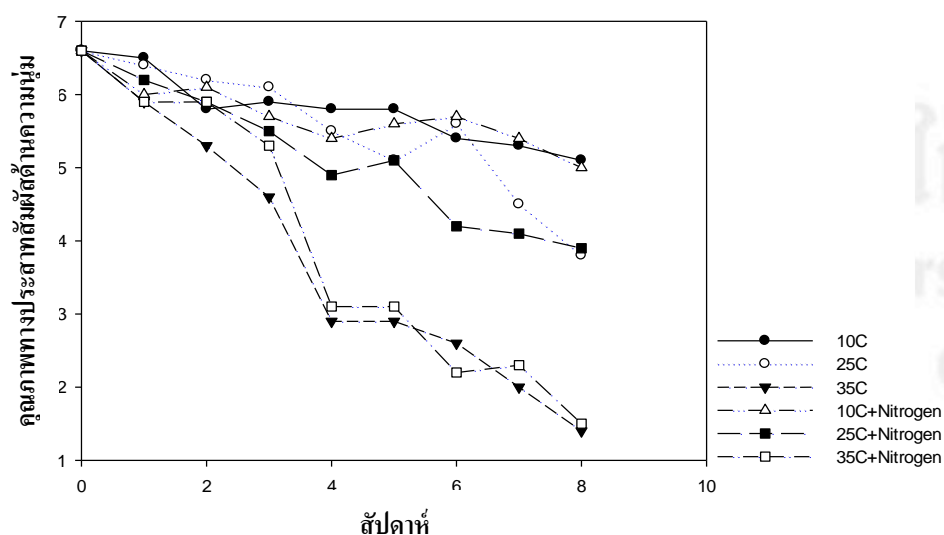
$$\ln k = -5265\left(\frac{1}{T}\right) + 16.59$$

สมการถดถอยของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิเนตบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

$$\ln k = -7182\left(\frac{1}{T}\right) + 22.88$$

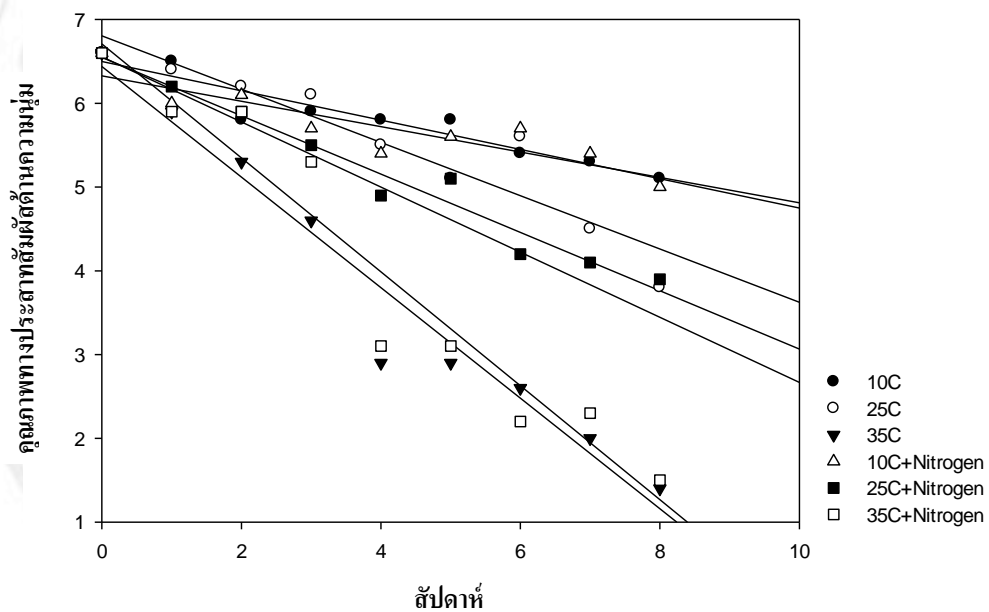
เมื่อนำสมการถดถอยที่ได้ไปคำนวณหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ พบว่าค่าคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาด้วยอุณหภูมิในสภาวะบรรยากาศปกติ มีพลังงานก่อกัมมันต์เท่ากับ 43.77 กิโลจูลต่อ โมล ขณะที่คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิเนตบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนจะมีค่าพลังงานก่อกัมมันต์เท่ากับ 59.71 กิโลจูลต่อโมล

4.2.2.6 การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มของลำไยอบแห้งที่บรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพ 4.23



ภาพ 4.23 การเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน

จากผลของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าคะแนนของคุณลักษณะด้านความนุ่มของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลา อุณหภูมิที่เก็บรักษา และสถานะของบรรจุภัณฑ์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ค่าคะแนนจะลดลงมากที่สุดจากคะแนนเริ่มต้น 6.6 เหลือเพียง 1.4 คะแนน และจากตาราง 4.30 พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ คือ มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของค่าคุณภาพกับเวลาเป็นแบบเส้นตรง ดังภาพ 4.24

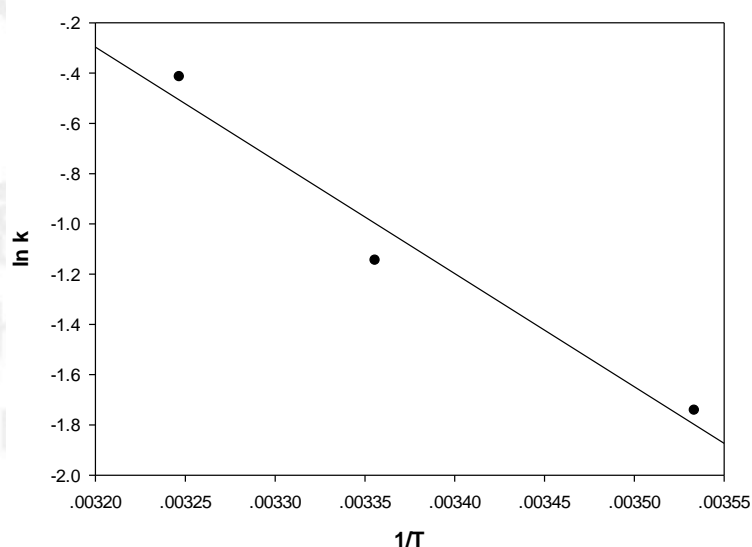


ภาพ 4.24 การลดลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มตาม
ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ที่เปลี่ยนความสัมพัทธ์เป็นแบบสมการเส้นตรง

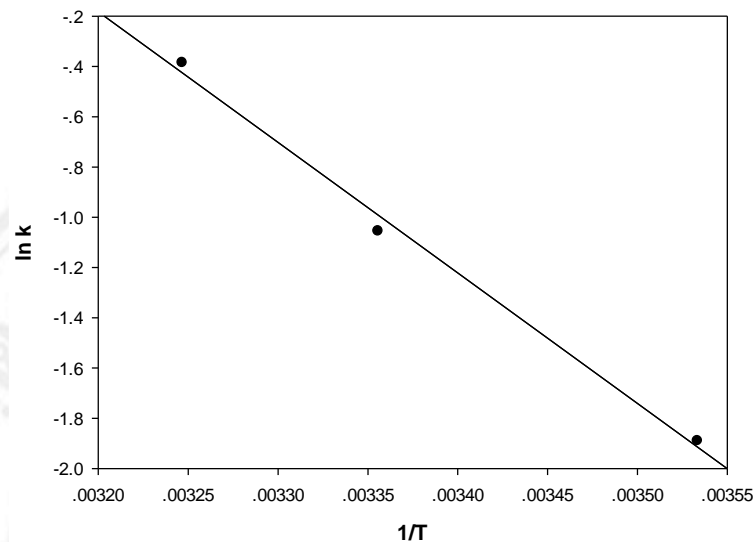
ตาราง 4.38 สมการเส้นตรงและค่าคงที่อัตราการลดลงของของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในสถานะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน

สถานะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สมการเส้นตรง	ค่าคงที่อัตรา (ต่อสัปดาห์)	R ²
บรรยากาศปกติ	10	$y = -0.175x + 6.500$	1.75×10^{-1}	0.900
	25	$y = -0.318x + 6.806$	3.18×10^{-1}	0.878
	35	$y = -0.660x + 6.440$	6.60×10^{-1}	0.960
บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน	10	$y = -0.151x + 6.328$	1.51×10^{-2}	0.795
	25	$y = -0.348x + 6.548$	3.48×10^{-1}	0.967
	35	$y = -0.680x + 6.708$	6.80×10^{-1}	0.935

ตาราง 4.38 พบว่าค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเก็บรักษา จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มโดยใช้สมการของอาร์เรเนียสในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราและอุณหภูมิ โดยพล็อตกราฟในรูปของ $\ln k$ เทียบกับส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์ ($\frac{1}{T}$) เพื่อให้ได้เป็นสมการเส้นตรง จะได้กราฟดังภาพ 4.25-4.26



ภาพ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มของถั่วลันเตาในสถานะบรรยากาศปกติตามสมการของอาร์เรเนียส



ภาพ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มของถุงลามิเนตบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนตามสมการของอาร์เรเนียส

ภาพ 4.25-4.26 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่อัตรา และการเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่ม เมื่อสร้างสมการถดถอยเพื่อใช้คาดคะเนอัตราเร็วของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาด้วยถุงลามิเนตในสภาวะบรรยากาศปกติ เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

$$\ln k = -4504\left(\frac{1}{T}\right) + 14.11$$

สมการถดถอยของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาในถุงลามิเนตบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

$$\ln k = -5192\left(\frac{1}{T}\right) + 16.43$$

เมื่อนำสมการถดถอยที่ได้ไปคำนวณหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ พบว่าค่าคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาด้วยถุงลามิเนตในสภาวะบรรยากาศปกติ มีพลังงานก่อกัมมันต์เท่ากับ 37.44 กิโลจูลต่อโมล ขณะที่คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเมื่อเก็บรักษาในถุงลามิเนตบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนจะมีค่าพลังงานก่อกัมมันต์เท่ากับ 43.16 กิโลจูลต่อโมล

สมการถดถอยที่ได้สามารถนำมาหาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง โดยการหาค่า k ที่อุณหภูมิใดๆ ที่ต้องการทราบอายุการเก็บรักษาจากสมการ แล้วแทนค่าลงสมการอาร์เรเนียส เพื่อหาอายุการเก็บรักษา เมื่อการยอมรับเริ่มต้นของดัชนีบ่งชี้การเสื่อมคุณภาพ โดยค่า L^* เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 40.48 และ Reject point มีค่าเท่ากับ 32.58 (เทียบค่าจากผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในสัปดาห์ที่ 5 ดังตาราง 4.22) ค่า b^* เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 20.38 และ Reject point มีค่าเท่ากับ 9.72 (เทียบค่าจากผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในสัปดาห์ที่ 5 ดังตาราง 4.24) แล้วนำไปแทนค่าในสมการ

$$\ln \left(\frac{A_t}{A_0} \right) = -kt$$

เมื่อ	A	=	ความเข้มข้นของสารที่สนใจที่เวลา t
	t	=	เวลา
	k	=	ค่าคงที่อัตรา

ส่วนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น ความเหนียว และความนุ่ม มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 6.6, 6.2, 6.3 และ 6.6 ตามลำดับ และ Reject point มีค่าเท่ากับ 4.9 เนื่องจากสเกลที่ใช้ในการวัดคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสมีคะแนนเต็ม 7 โดยที่ค่าคะแนนเท่ากับ 5 คือ ชอบเล็กน้อย ดังนั้นจึงเลือกค่าที่ผู้บริโภครู้สึกชอบผลิตภัณฑ์ลดลงจากคะแนน 5 เล็กน้อย มาเป็นจุด Reject point แล้วจึงนำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสมการอาร์เรเนียสตามปฏิริยาอันดับศูนย์เพื่อหาอายุการเก็บรักษา

$$A_t - A_0 = -kt$$

เมื่อ	A	=	ความเข้มข้นของสารที่สนใจที่เวลา t
	t	=	เวลา
	k	=	ค่าคงที่อัตรา

เมื่อแทนค่าลงในสมการแล้วจะได้อายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงดังตาราง 4.39

ตาราง 4.39 อายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในถุงลามิเนตที่สภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน

สภาวะ	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)						ค่าเฉลี่ย
		ค่าทางเคมี		ค่าทางประสาทสัมผัส				
		ค่าสี L*	ค่าสี b*	สี	กลิ่น	ความ เหนียว	ความนุ่ม	
บรรยากาศปกติ	10	10.59	12.63	11.20	13.12	10.49	10.34	11.40
	25	7.13	4.57	4.16	4.08	4.11	4.64	4.78
	35	5.60	2.45	2.27	1.99	2.32	2.84	2.91
บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน	10	14.36	13.04	22.39	13.44	17.02	11.55	15.33
	25	6.75	4.12	5.53	4.46	4.75	4.59	5.03
	35	4.25	2.04	2.35	2.27	2.17	2.61	2.62

ตาราง 4.39 พบว่าเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ อายุการเก็บรักษาของลำไยอบแห้งจะแตกต่างกัน โดยเมื่อพิจารณาจากดัชนีชี้วัดทั้งคุณภาพทางเคมีและคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เมื่อเก็บลำไยอบแห้งในถุงลามิเนตในสภาวะบรรยากาศปกติจะสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้ในช่วง 10.38-13.12 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.40 สัปดาห์ หรือเก็บได้ประมาณ 11 สัปดาห์ และในถุงลามิเนตบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนจะสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้ในช่วง 11.55-22.39 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.33 สัปดาห์ หรือเก็บได้ประมาณ 15 สัปดาห์

ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อเก็บลำไยอบแห้งในถุงลามิเนตในสภาวะบรรยากาศปกติจะสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้ในช่วง 4.08-7.13 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.78 สัปดาห์ หรือเก็บได้ประมาณ 5 สัปดาห์ และในถุงลามิเนตบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนจะสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้ในช่วง 4.12-6.75 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.03 สัปดาห์ หรือเก็บได้ประมาณ 5 สัปดาห์

และที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เมื่อเก็บลำไยอบแห้งในถุงลามิเนตในสภาวะบรรยากาศปกติจะสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้ในช่วง 1.99-5.60 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.91 สัปดาห์ หรือเก็บได้ประมาณ 3 สัปดาห์ และในถุงลามิเนตบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนจะสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้ในช่วง 2.04-4.25 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.62 สัปดาห์ หรือเก็บได้ประมาณ 3 สัปดาห์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมก๊าซไนโตรเจนสามารถชะลอการเสื่อมเสียของลำไยอบแห้งได้

ผลการทดลองสรุปได้ว่า การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งโดยเก็บในถุงลามิเนตบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจนเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จะให้คุณภาพทางด้านสี และการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ดีกว่า และคงคุณภาพได้นานกว่าการเก็บรักษาด้วยวิธีการบรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และการเก็บในสภาวะดังกล่าวจะสามารถคงคุณภาพด้านสี และเนื้อสัมผัสได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ

- ลำไยพันธุ์ดอ (*Dimocarpus longan* Lour) เกรด AA (เส้นผ่าศูนย์กลาง ≥ 28 มิลลิเมตร) เกรด AA จากอำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่

3.1.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตลำไยอบแห้ง

- 4-เฮกซิลเรโซซินอล (Sigma-Aldrich, USA)
- กรดแอสคอร์บิก (บริษัท ยูเนี่ยนชาयน์ จำกัด, ประเทศไทย)
- กลีเซอรอล (บริษัท ยูเนี่ยนชาयน์ จำกัด, ประเทศไทย)
- อีวีโททอล (บริษัท ฟู้ดส์ฟีดส์ อินเตอร์เนชันแนล จำกัด, ประเทศไทย)
- แคลเซียมแลคเตต (PURAC Biochem, Netherland)
- ซอร์บิทอล ร้อยละ 70 (บริษัท ยูเนี่ยนชาयน์ จำกัด, ประเทศไทย)
- น้ำสะอาด

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตลำไยอบแห้ง

- หม้ออัดความดันสุญญากาศ
- ตู้อบสุญญากาศ
- เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Analytical balance, Mettler: Model BB120)

3.1.4 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- เครื่องวัดค่าสี (KONICA Minolta CR-400, Japan)

- เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (TA-XT.plus Texture Analyzer Stable Micro System, UK)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

- เครื่องวัดค่ากิจกรรมของน้ำ (Novasina : Model AWC 200, Switzerland)
- ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Memmert: Model UNB 400, USA)
- ชุดอุปกรณ์เครื่องแก้วและเครื่องมือวิทยาศาสตร์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

- เครื่องตีปั่น (Laboratory blender stomacher, Seward Chemical: Model 400, England)
- ตู้บ่มเชื้อ (Incubator, Heraeus: Model D-6450 Hanau, Germany)
- หม้อนึ่งความดัน (Autoclave, HIRAYAMA: Model HA 300 MN, Japan)
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, Memmert: WB 14, Germany)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- ชุดอุปกรณ์ทดสอบชิม
- แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส (รายละเอียดดังภาคผนวก ข)

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH, RDI Labscan, Thailand)
- ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalene: $C_{20}H_{10}O_4$, Fisher Chemicals, UK)
- สารละลายซิงอะซิเตตไดไฮเดรต (Zinc acetate dehydrate; $ZnOAc \cdot 2H_2O$, Fluka, Switzerland)
- สารละลายโพแทสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ (Potassium Ferro Cyanide, $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$, UNIVAR, New Zealand)
- กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric; HCl, RDI Labscan, Thailand)
- กรดทาร์ทาริก (Tartaric acid, Merck, Germany)
- Potato Dextrose Agar (Difco Laboratories, USA)
- Plate Count Agar (Difco Laboratories, USA)

- Lauryl sulfate broth (Difco Laboratories, USA)
- Brilliant green lactose bile broth (Difco Laboratories, USA)
- Peptone (Difco Laboratories, USA)

เครื่องประมวลผลทางสถิติ

- โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel version 2007 (New York, USA)
- โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS version 17.0 (Stat-Ease Inc., USA)
- โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Design Expert version 7.1.0 (Stat-Ease Inc., USA)
- โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SigmaPlot version 12.0 (Systat Software Inc., USA)

3.2 วิธีการทดลอง

การทดลองที่ 1 การศึกษาระบบสารละลายผสมของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลและสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่เหมาะสม

แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1.1 การกลั่นกรองชนิดและสารด้านการเกิดสีน้ำตาลที่มีผลต่อการด้านการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในลำไยอบแห้ง

ศึกษาสารด้านการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่ 4-เฮกซิลเรโซซินอล กรดแอสคอร์บิก ซีสเทอีน กรดโคจิก และไลโคซาน โดยมีน้ำเปล่าเป็นชุดควบคุม วางแผนการทดลองแบบ Plackett and Burman design (N=8) (ไพโรจน์, 2547) โดยนำเนื้อลำไยมาแช่ในระบบสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล แล้วนำไปผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศตามภาพ 3.1 นำไปวิเคราะห์คุณภาพ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel version 2007 เพื่อหาชนิดของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลที่มีผลต่อการด้านปฏิกิริยาสีน้ำตาลในลำไยอบแห้ง โดยมีระดับปัจจัยที่ศึกษาดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ระดับชนิดสารด้านการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในลำไยอบแห้ง

ปัจจัย	ระดับปัจจัย (ร้อยละของน้ำ)	
	ระดับต่ำ (-)	ระดับสูง (+)
A: 4-เฮกซิลเรโซซินอล	0	0.1
B: กรดแอสคอร์บิก	0	1.0
C: แอล-ซีสเทอีน	0	0.5
D: กรดโคจิก	0	0.05
E: ไคโตซาน	0	3.0

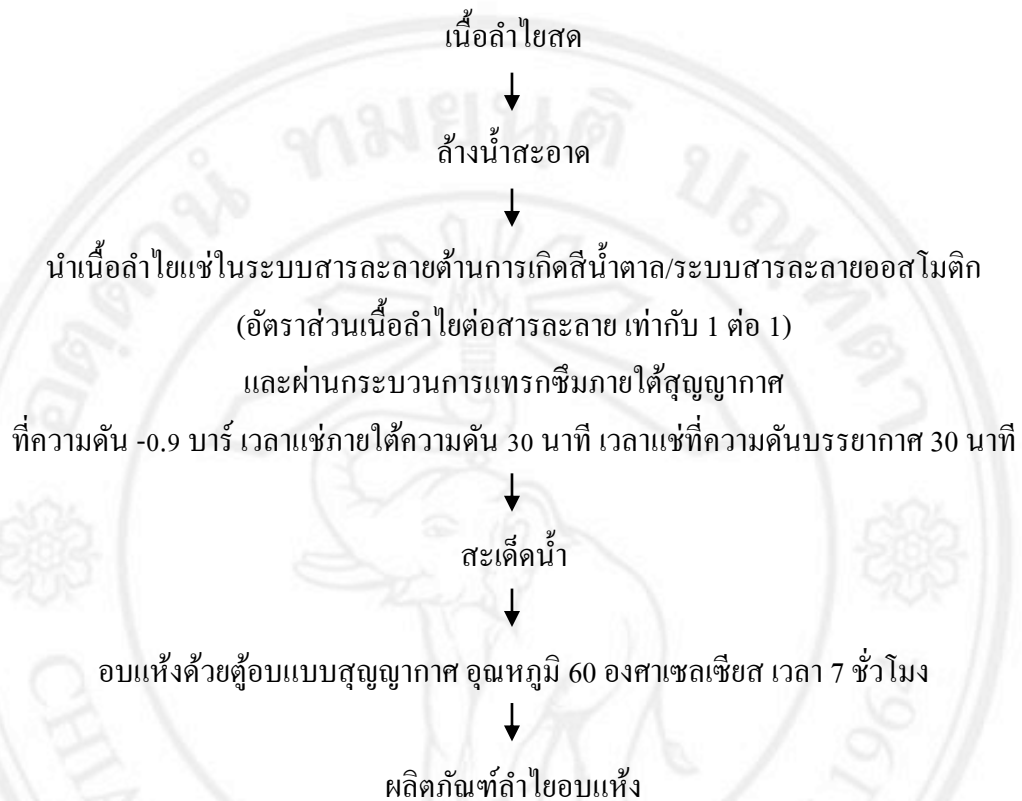
แผนการทดลองแบบ Plackett and Burman Design (N=8) ในการกลั่นกรองหาชนิดของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลที่มีผลกระทบต่อการต้านปฏิกิริยาสีน้ำตาลในลำไยอบแห้ง แสดงดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 แผนการทดลองแบบ Plackett and Burman Design (N=8)

สิ่งทดลอง	ปัจจัย						
	A	B	C	D	E	F	G
1	+	+	+	-	+	-	-
2	+	+	-	+	-	-	+
3	+	-	+	-	-	+	+
4	-	+	-	-	+	+	+
5	+	-	-	+	+	+	-
6	-	-	+	+	+	-	+
7	-	+	+	+	-	+	-
8	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ: เครื่องหมาย + คือ ระดับสูงของปัจจัย เครื่องหมาย - คือ ระดับต่ำของปัจจัย

กระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ



ภาพ 3.1 กระบวนการผลิตลำไยอบแห้งด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ

การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ

- ค่าสี $L^* a^* b^*$ (KONICA Minolta CR-400, Japan)

การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

- ใช้ 7-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน (ไพโรจน์, 2545)

ตอนที่ 1.2 การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลในระบบสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล

ศึกษาปริมาณสารด้านการเกิดสีน้ำตาลที่เหมาะสม คือ 4-เฮกซิลเรโซซินอล และกรดแอสคอร์บิกที่ได้จากการกลั่นกรองชนิดของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลจากการทดลองตอนที่ 1.1 วางแผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment in central composite design with 2 center points ระดับปัจจัยแสดงดังตาราง 3.3 โดยนำเนื้อลำไยมาแช่ในระบบสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล แล้ว

นำไปผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศตามดังภาพ 3.1 แล้วนำไปวิเคราะห์คุณภาพ เช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 1.1 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Design Expert 7.1.0 (Statease Inc., Minneapolis, USA)

ตาราง 3.3 ปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล และกรดแอสคอร์บิกที่ใช้ในการทดลอง

สิ่งทดลอง	รหัสปัจจัย	4-เฮกซิลเรโซซินอล (ร้อยละของน้ำ)	กรดแอสคอร์บิก (ร้อยละของน้ำ)
1	(1)	0.01	0.07
2	a	0.04	0.07
3	b	0.01	0.43
4	ab	0.04	0.43
5	$-\alpha_a$	0.00	0.25
6	$+\alpha_a$	0.05	0.25
7	$-\alpha_b$	0.025	0.00
8	$+\alpha_b$	0.025	0.50
9	cp1	0.025	0.25
10	cp2	0.025	0.25
ระดับที่	$-\alpha$	0.00	0.00
ระดับที่	-1	0.01	0.07
ระดับที่	0	0.025	0.25
ระดับที่	+1	0.04	0.43
ระดับที่	$+\alpha$	0.05	0.50

ตอนที่ 1.3 การกลั่นกรองชนิดของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสในระบบสารละลายออสโมติกที่มีผลต่อการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง

ศึกษาสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง ได้แก่ กลีเซอรอล แคลเซียมแลคเตต อิรีโททอล และซอร์บิทอล วางแผนการทดลองแบบ Placket and Burman design (N=8) (ไพโรจน์, 2547) โดยนำเนื้อลำไยมาแช่ในระบบสารละลายออสโมติก แล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศตามภาพ 3.1 แล้วนำไปวิเคราะห์คุณภาพ จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel version 2007 เพื่อหาชนิดของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสในระบบ

สารละลายออสโมติกที่มีผลต่อการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง โดยมีระดับปัจจัยที่ศึกษาดังตาราง 3.4

ตาราง 3.4 ระดับของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง

ปัจจัย	ระดับปัจจัย (ร้อยละของน้ำ)	
	ระดับต่ำ (-)	ระดับสูง (+)
A: กลีเซอรอล	10	20
B: แคลเซียมแลคเตต	1	5
C: อิริโททอล	1	4
D: ซอร์บิทอล	1	4

เมื่อได้ตัวอย่างทดลองทั้งหมดจะนำมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

การวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ

- ค่าสี $L^* a^* b^*$ (KONICA Minolta CR-400, Japan)
- ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA-XT.plus, Stable Micro System, UK)

การวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี

- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2007)
- ค่ากิจกรรมของน้ำ (Novasina : Model AWC 200, Switzerland)
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดด้วยวิธี Lane and Eynon (AOAC, 2007)

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- โดยใช้ 7-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน (ไพโรจน์, 2545)

ตอนที่ 1.4 การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสในระบบสารละลายออสโมติก

ทำการแปรผันปริมาณแคลเซียมแลคเตตที่ได้จากการกลั่นกรองปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) (ไพโรจน์, 2547) แปรผันปริมาณแคลเซียมแลคเตตในระดับ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 โดยนำเนื้อลำไยมาแช่ในระบบสารละลายออสโมติกแล้วนำไปผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศตามภาพ 3.1 นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS version 16.0 (SPSS Inc., Chicago, USA)

เมื่อได้ตัวอย่างทดลองทั้งหมดนำตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

การวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ

- ค่าสี $L^* a^* b^*$ (KONICA Minolta CR-400, Japan)
- ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA-Xt.plus, Stable Micro System, UK)

การวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี

- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2007)
- ค่ากิจกรรมของน้ำ (Novasina : Model AWC 200, Switzerland)
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดด้วยวิธี Lane and Eynon (AOAC, 2007)

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- โดยใช้ 9-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน (ไพโรจน์, 2545)

การทดลองที่ 2 การศึกษากระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสม

ศึกษาความเป็นสุญญากาศ เวลาแช่สารละลายในกระบวนการการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ และเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศดังตาราง 3.5 วางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial experiment with 2 center points โดยนำเนื้อลำไยมาแช่ในระบบสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลและสารละลายออกซิโมติกที่ได้จากการทดลองที่ 1 แล้วนำไปผ่านกระบวนการการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศตามภาพ 3.1 แล้วนำสิ่งทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์คุณภาพ แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Design Expert 7.1.0 (Statease Inc., Minneapolis, USA) โดยมีระดับปัจจัยที่ศึกษาดังตาราง 3.6

ตาราง 3.5 ระดับปัจจัยที่ศึกษาของกระบวนการการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ

ปัจจัย	ระดับต่ำ	ระดับสูง
	(-)	(+)
ความเป็นสุญญากาศ (บาร์)	0	-0.9
เวลาแช่สารละลายในกระบวนการการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ (นาท)	0	30
เวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ (นาท)	0	30

ตาราง 3.6 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศของสารละลายออกซิโมติก

สิ่งทดลอง	รหัสปัจจัย	ความดัน (บาร์)	เวลาในการ VI (นาที)	เวลาในการแช่หลัง VI (นาที)
1	(1)	0	0	0
2	a	-0.9	0	0
3	b	0	30	0
4	ab	-0.9	30	0
5	c	0	0	30
6	ac	-0.9	0	30
7	bc	0	30	30
8	abc	-0.9	30	30
9	0	-0.45	15	15
10	0	-0.45	15	15
ระดับต่ำ	-1	0	0	0
ระดับกลาง	0	-0.45	15	15
ระดับสูง	+1	-0.9	30	30

หมายเหตุ : VI คือ การแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ

เมื่อได้ตัวอย่างทดลองทั้งหมดจะนำมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

การวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ

- ค่าสี $L^* a^* b^*$ (KONICA Minolta CR-400, Japan)
- ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA-XT.plus, Stable Micro System, UK)

การวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี

- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2007)
- ค่ากิจกรรมของน้ำ (Novasina : Model AWC 200, Switzerland)
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดด้วยวิธี Lane and Eynon (AOAC, 2007)

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- โดยใช้ 7-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน (ไพโรจน์, 2545)

การทดลองที่ 3 การประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่ผลิตด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ

ผลิตลำไยอบแห้งโดยใช้กระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศและใช้สารละลายเพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลร่วมกับสารละลายออสโมติกที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่ได้จากการพัฒนาแล้วทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ รวมทั้งทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส

การวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ

- ค่าสี $L^* a^* b^*$ (KONICA Minolta CR-400, Japan)
- ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA-Xt.plus, Stable Micro System, UK)

การวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี

- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2007)
- ค่ากิจกรรมของน้ำ (Novasina : Model AWC 200, Switzerland)
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดด้วยวิธี Lane and Eynon (AOAC, 2007)

การวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์

- ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อยีสต์และรา

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- โดยใช้ 7-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 200 คน (ไพโรจน์, 2545)

การทดลองที่ 4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่ผลิตด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศในระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งแล้วจึงนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยบรรจุในถุงลามิเนตที่สภาวะบรรยากาศปกติและในสภาวะไนโตรเจน แล้วจึงนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส สุ่มเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 8 สัปดาห์ นำมาวิเคราะห์คุณภาพต่างๆ ดังนี้

การวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ

- ค่าสี $L^* a^* b^*$ (KONICA Minolta CR-400, Japan)
- ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA-Xt.plus, Stable Micro System, UK)

การวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี

- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2007)

การวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์

- ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อยีสต์และรา โดยวัดในขั้นเริ่มต้นและขั้นสุดท้ายของการเก็บรักษา (AOAC, 2007)

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- โดยใช้ 7-point hedonic scale (ไพโรจน์, 2545)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลำไย

ลำไย จัดเป็นพืชในตระกูล *Sapindaceae* สกุล *Euphoria* ชนิด *Longana* มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Dimocarpus longan* Lour. ลำไยเป็นพืชไม้ผลเขตร้อนและกึ่งร้อนนิยมปลูกในภาคเหนือของประเทศไทยที่จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง แพร่ น่าน พะเยา และในภาคอีสานที่จังหวัดนครราชสีมา เลย หนองคาย (พงษ์ศักดิ์, 2542) คนไทยนิยมบริโภคผลสดกันมาก ซึ่งนอกจากจะบริโภคกันภายในประเทศแล้ว ยังส่งไปจำหน่ายในตลาดต่างประเทศอีกด้วย โดยการแปรรูปเป็นลำไยอบแห้ง ลำไยกระป๋อง และลำไยแช่แข็ง ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะมีการส่งออกเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งลำไยอบแห้ง

ลำไยจัดเป็นผลไม้ชนิดบ่มไม่สุก (Non-climacteric fruit) (Subhadrabandhu, 1990) มีลำต้นสูงปานกลางจนถึงขนาดใหญ่ ขยายพันธุ์ได้ด้วยเมล็ดและตอนกิ่ง มีผลทรงกลม หรือแป้นมีสีน้ำตาลปนเหลือง หรือปนเขียวผลสุกมีเปลือกสีเหลืองหรือสีน้ำตาลอมแดง (พงษ์ศักดิ์, 2542) เนื้อลำไยสดจะมีรสหวาน มีกลิ่นหอม โดยมีความหวานประมาณ 16-20 องศาบริกซ์ มีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.7-6.9 (ชนันท์, 2545) นอกจากนี้ลำไยยังจัดว่าเป็นไม้ผลที่ให้พลังงานสูง เนื่องจากเนื้อของลำไยจะมีน้ำตาลอยู่ 3 ชนิด คือ กลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส เนื้อของผลลำไยสดและแห้งจะให้คุณค่าทางอาหารต่างๆ รวมทั้งแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส วิตามินซี โพแทสเซียม ไนอาซิน และวิตามินบี เป็นต้น (พาวัน, 2543)

2.1.1 ชนิดของลำไย

ลำไยเป็นพืชตระกูลมะคำดีควาย (*Sapindaceae* or soapberry family) ลำไยเท่าที่พบในประเทศไทยแบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ

1. ลำไยป่า (Indigenous longan) เป็นลำไยที่พบในบริเวณป่าทั่วไป ทรงพุ่มขนาดใหญ่ ผลขนาดเล็กมาก เนื้อบางเบา ใช้เป็นวัตถุดิบในการผสมพันธุ์ลำไย
2. ลำไยพื้นเมือง (Common or native longan) บางครั้งเรียกว่า “ลำไยกระดุก” พบเห็นอยู่ทั่วไปในภาคเหนือ ใต้นิยมปลูกและไม่มีราคา มีลักษณะเป็นทรงพุ่มตั้งตรงและขนาดใหญ่มาก ลำต้นและกิ่งมีผิวเปลือกขรุขระ ให้ผลดก ผลขนาดเล็ก เนื้อบาง เมล็ดใหญ่ แต่คุณภาพไม่ดี

3. ลำไยพันธุ์ดีหรือลำไยกะโหลก (Commercial or cultivated longan) นิยมปลูกกันมาก เพราะมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ผลขนาดใหญ่ เนื้อหนา เมล็ดเล็ก จะเรียกอีกแบบได้คือ กลุ่มลำไยอีโด

4. ลำไยเครือหรือลำไยเถา (Semi-vine longan) เป็นลำไยที่มีทรงพุ่มมีลักษณะเป็นเถาเลื้อย คล้ายเฟื่องฟ้า ผลขนาดเล็กมาก เมล็ดโต เนื้อผลมีกลิ่นคล้ายกำมะถัน พบทางภาคตะวันออกของ ประเทศไทย เช่น จังหวัดชลบุรี ใ้ปลูกเป็นไม้ประดับมากกว่ารับประทาน

5. ลำไยพันธุ์คอ หรืออีคอ (E-daw) เป็นลำไยพันธุ์เบา คือออกดอกและเก็บผลก่อนพันธุ์อื่น จะออกดอกในเดือนธันวาคม ผลแก่ปลายเดือนมิถุนายนถึงต้นเดือนกรกฎาคม ชาวสวนนิยมปลูก มากที่สุด ราคาดี ตลาดต่างประเทศนิยม เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตได้ดี โดยเฉพาะในดินที่อุดม สมบูรณ์และมีน้ำพอเพียง ทนแล้งและทนน้ำได้ดีปานกลาง ลำต้นทรงพุ่ม กิ่งกลมและจะแตกออก จากลำต้นในลักษณะตัววี เปลือกลำต้นเรียบ มีใบอ่อนสีเขียวอมเหลือง ใบแก่ด้านบนเป็นสีเขียวเข้ม ขอบใบเรียบ ปลายใบเรียวแหลมและบิดงอ ฐานใบเป็นลิ้ม ใบมีรูปร่างรีค่อนข้างกว้างมีขนาดใหญ่ แผ่นใบเป็นมัน ก้านใบประกอบด้านบนสีม่วงอมแดง และด้านล่างสีเขียว มีจำนวนใบย่อย 3 คู่ ผลกลมแบน กลมแป้น เบี้ยวเล็กน้อย ปลายผลป้าน ผิวเปลือกเรียบ สีน้ำตาล มีกระหรือตาห่างสี น้ำตาลเข้ม เนื้อผลหนา ค่อนข้างเหนียว สีขาวขุ่น เนื้อแน่น รสหวาน มีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 18 มี เมล็ดกลมและแบนด้านข้าง ขนาดปานกลาง สีน้ำตาลดำ ช่วงระยะเวลาออกดอกช่วงเดือนธันวาคม ถึงมกราคม ประมาณต้นเดือนกรกฎาคมผลลำไยเริ่มแก่ และระยะเวลาที่ดอกบานถึงผลแก่ใช้เวลา ประมาณ 6-7 เดือน

ลำไยพันธุ์คอแบ่งตามสีของยอดอ่อน ได้อีก 2 พันธุ์

1. อีคอดยอเขียว (E-daw Yodkhiao) หรืออีคอดยอขาว ลำต้นเป็น ทรงพุ่มลักษณะ กิ่งกลม เปลือกลำต้นเรียบ ใบอ่อนสีเขียว ใบย่อยยาว ใบแก่ด้านบนสีเขียวเข้ม ขอบใบเป็นคลื่น ปลายใบแหลม ฐานใบเป็นลิ้ม ใบมีรูปร่างรีค่อนข้างกว้าง แผ่นใบเป็นมัน ก้านใบประกอบด้านบน และด้านล่างสีเขียวอมน้ำตาล มีจำนวนใบย่อย 3-4 คู่ ออกดอกดก ผลกลมแป้น ปลายผลป้าน ผิวเปลือกขรุขระสีเขียวอมน้ำตาล เนื้อมีสีขาวขุ่น ค่อนข้างเหนียว รสหวานและมีกลิ่นหอม เมล็ด กลมและ แบนด้านข้าง สีน้ำตาลดำ

2. อีคอดยอแดง (E-daw Yoddaeng) ลำต้นทรงพุ่ม ลักษณะกิ่งกลม เปลือกลำต้นเรียบ ใบอ่อนสีเขียว ใบแก่ด้านบนสีเขียวอมเทา ขอบใบเรียบ แผ่นใบขนและด้านปลายใบเรียวแหลม ฐาน ใบเป็นลิ้ม ใบมีรูปร่างหอกกลับ ก้านใบประกอบด้านบนสีน้ำตาลอมเขียว ส่วนด้านล่างสีเขียวอม น้ำตาล ออกดอกดก ผลกลม ปลายผลป้านกลม เปลือกผิวเรียบ สีน้ำตาลอมเขียว เนื้อมีสีขาวขุ่น ปนเหลือง นุ่มหนา รสหวานและมีกลิ่นหอม เมล็ดกลมและแบนด้านข้าง สีน้ำตาลดำ

ลำไยพันธุ์คอแบ่งตามลักษณะของก้านช่อผล ได้ 2 พันธุ์

1. อีคอก้านอ่อน (E-daw Kaan-on) ใบมีจำนวนใบย่อย 3 คู่ ดอกเป็นช่อขนาดใหญ่ ต้นติดผลเป็นจำนวนมาก ก้านผลอ่อน เปลือกผลบาง ผลมีขนาดปานกลาง เนื้อผลมีรสหวาน และมีกลิ่นหอม มีปริมาณน้ำตาล ร้อยละ 19-20 เมล็ดมีขนาดปานกลาง

2. อีคอก้านแข็ง (E-daw Kaankhaeng) ใบมีจำนวนใบย่อย 3 คู่ ดอกเป็นช่อ ขนาดสั้น ออกผลเป็นกระจุก ก้านผลแข็ง เปลือกผลหนา ขนาดของผลไม่สม่ำเสมอ มีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ใน ช่อเดียวกัน ทรงผลกลมแป้น เบี้ยวข้างเดียว ผิวสีน้ำตาล มีกระหรือตาทางสีน้ำตาล เข้ม เนื้อผลมีแข็ง กรอบ รสหวาน เนื้อร้อนแต่ค่อนข้างเหนียว สีขาวนุ่น มีปริมาณน้ำตาล ร้อยละ 19-20 เมล็ดมีขนาดใหญ่ปานกลาง รูปร่างแบนเล็กน้อย

นอกจากนี้ยังมีลำไยพันธุ์อีคอที่เกิดจากการผสมระหว่างลำไย 2 พันธุ์ จนเกิดเป็นพันธุ์ใหม่ ซึ่งมีอยู่ 2 พันธุ์

1. อีคอค้าง สันนิษฐานว่า อาจเกิดจากพันธุ์คอดอยแดงผสมกับพันธุ์คองฮองช้างคิน (คอก้านแข็ง) จำนวนใบย่อยมี 4 คู่ มีช่อดอกขนาดใหญ่ ผลอ่อนจะมีสีเขียวเข้ม ผลแก่จะมีสีน้ำตาลอมเขียว ผลจะแก่ก่อนพันธุ์คองฮองช้างคิน ขนาดผลในช่อเดียวกันมีขนาดใกล้เคียงกัน หนักช่อละ 1-2 กก. มีการสลับผลทิ้งในกรณีที่ดินปลูกมากเกินไป ผลมีขนาดปานกลางจนถึงใหญ่ เนื้อหนา ปานกลาง แข็ง มีรสหวานและกลิ่นหอม มีปริมาณน้ำตาล ร้อยละ 19-20 เมล็ดมีขนาดปานกลางถึงใหญ่

2. อีคอแก้ว สันนิษฐานว่า อาจเกิดจากพันธุ์คอ (ก้านแข็ง) ผสมกับพันธุ์ชมพู มีจำนวนใบย่อย 3 คู่ ดอกเป็นช่อขนาดปานกลาง ผลมีขนาดปานกลาง เปลือกหนา ผิวเปลือกเวลาแก่ไม่ค่อยเรียบ เนื้อหนา เวลาแก่จัดมีสีชมพูจางๆ รสหวาน มีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 18-19 เมล็ดมีขนาดปานกลาง (โครงการพัฒนาขีดความสามารถในธุรกิจลำไยไทย, 2550)

สำหรับพันธุ์ลำไยที่นิยมนำมาทำการแปรรูป คือ ลำไยพันธุ์คอ ซึ่งเป็นลำไยพันธุ์เบา ความหมายของลำไยพันธุ์เบา คือ ออกดอกและเก็บผลก่อนพันธุ์อื่น ชาวสวนนิยมปลูกมากที่สุด เพราะเก็บเกี่ยวได้ก่อน ทำให้ได้ราคาดี ตลาดต่างประเทศนิยมสามารถจำหน่ายทั้งผลสดและแปรรูป ทำลำไยกระป๋องและอบแห้ง (ศูนย์วิจัยและพัฒนาลำไยและลิ้นจี่มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2543) ซึ่งนอกจากปริมาณผลผลิตจะพอเพียงต่อความต้องการบริโภคภายในประเทศแล้วยังสามารถส่งออกไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศทำรายได้เข้าประเทศปีละหลายร้อยล้านบาท และมีแนวโน้มว่าปริมาณและมูลค่าการส่งออกยังคงเพิ่มขึ้นทุกปี (ปริญญา, 2546)

2.1.2 ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของเนื้อลำไย

ลำไยเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรต เส้นใยอาหาร วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส โซเดียม และวิตามินซี (รัตน และอัจฉรา, 2542) ดังแสดงในตาราง 2.1 ทั้งนี้ขึ้นกับ ระยะความแก่-อ่อน สายพันธุ์ พื้นที่ปลูก และการดูแลระหว่างการเพาะปลูก

ตาราง 2.1 คุณค่าทางโภชนาการและส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อลำไยสดและเนื้อลำไยอบแห้ง

ส่วนประกอบ	เนื้อลำไยสด	เนื้อลำไยอบแห้ง
ความชื้น (ร้อยละ)	81.10	17.80
ไขมัน (ร้อยละ)	0.11	0.40
เส้นใย (ร้อยละ)	0.28	1.60
โปรตีน (ร้อยละ)	0.97	4.60
เถ้า (ร้อยละ)	0.56	2.86
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	16.98	72.70
ค่าพลังงานความร้อน (กิโลจูล/100 กรัม)	72.79	311.80
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	5.70	27.70
เหล็ก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.35	2.39
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/100 กรัม)	35.30	159.50
วิตามินซี (มิลลิกรัม/100 กรัม)	69.20	137.80
โซเดียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	4.50
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	2012.00
ไนอาซีน (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	3.03
กรดแพนโททินิก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	0.57
วิตามินบีสอง (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	0.375

ที่มา: รัตน และอัจฉรา (2542)

2.1.3 ประโยชน์ของลำไย

เปลือกของต้นมีสีน้ำตาลอ่อนหรือเทาและมีรสฝาดใช้ต้ม เป็นยาหม้อแก้ท้องร่วง ลำต้นมีขนาดใหญ่ เนื้อไม้มีสีแดงและแข็งสามารถใช้ทำเครื่องใช้ประดับบ้านได้ เนื้อลำไย สามารถบริโภคสด บรรจุกระป๋อง ตากแห้งสามารถทำเป็นชาชงใช้ดื่ม นอกจากนี้แล้ว น้ำลำไยยังช่วยบำรุงหัวใจ

และบำรุงม้าม เหมาะสำหรับผู้ที่มีร่างกายอ่อนแอหรือทรุดโทรม เช่น สตรีหลังคลอดบุตร สตรีที่มีประจำเดือนมาก คนไข้ที่ฟื้นคืนจากอาการป่วยหนัก รวมทั้งคนที่มีปัญหาเรื่องอาหารไม่ย่อย และการเบื่ออาหาร รวมทั้งช่วยบำรุงเลือด (Chemotherapy) เพื่อรักษาผู้ป่วยโรคมะเร็งได้ นอกจากนั้นแล้วยังช่วยให้นอนหลับง่าย คลายความเครียดและความกังวล

2.2 การแปรรูปลำไยอบแห้ง

ลำไยอบแห้ง หมายถึง ผลสดที่ผ่านการนำลำไยมาผ่านกรรมวิธีตามความเหมาะสม (ไม่รวมหมักดอง) แล้วนำมอลดความชื้นตามต้องการโดยกรรมวิธีตามธรรมชาติหรือใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสม โดยจะมีการปรุงแต่งรสหวานด้วยน้ำตาลหรือไม่ก็ได้ ความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 18

การอบแห้งลำไยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

การอบเนื้อ เป็นการอบลำไยโดยมุ่งอบเฉพาะเนื้อลำไย ซึ่งจะทำการแกะเปลือกและคว้านเมล็ดลำไยออก มีการใช้แรงงานในการดำเนินงานมาก มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง รวมทั้งใช้เวลาในการผลิตมากกว่า แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะสวยงาม และน่ารับประทาน เป็นที่ต้องการของตลาดภายในประเทศและมีราคาสูง

การอบทั้งเปลือก เป็นการอบผลลำไยสดที่ได้รับความนิยมสูง เพราะสามารถดำเนินงานได้ง่ายและรวดเร็ว ทำได้ครั้งละมากๆ โดยทำการคัดเกรดลำไย แล้วนำเข้าเตาอบ ใช้เวลาอบประมาณ 40-50 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบรรจุถุงพลาสติกและกล่องเพื่อส่งออกได้ เก็บรักษาไว้ได้นาน สามารถส่งออกหรือเก็บไว้บริโภคได้ตลอดปี แนวโน้มการผลิตและส่งออกค่อนข้างสูง โดยเฉพาะประเทศจีนและประเทศในแถบเอเชีย

2.3 มาตรฐานลำไยอบแห้ง

มาตรฐานลำไยอบแห้งของประเทศไทยได้กำหนดมาตรฐาน โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ มาตรฐานลำไยอบแห้งทั้งเปลือก และมาตรฐานลำไยอบแห้งเฉพาะเนื้อลำไย กำหนดโดยกรมส่งเสริมการเกษตรและกรมการค้าภายใน (สำนักส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร, 2556)

1. มาตรฐานลำไยอบแห้งทั้งเปลือก

การกำหนดมาตรฐานลำไยอบแห้งทั้งเปลือก ได้กำหนดเกณฑ์ทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ ดังนี้

ด้านปริมาณ (ขนาด) ของลำไยอบแห้งทั้งเปลือกแบ่งออกเป็น 4 เกรด ได้แก่

- 1) เกรด AA ลำไยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ขึ้นไป
- 2) เกรด A ลำไยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22-25 มิลลิเมตร

- 3) เกรด B ลำไยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19-21 มิลลิเมตร
- 4) เกรด C ลำไยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร

ด้านคุณภาพ ลำไยอบแห้งทั้งเปลือก ประกอบด้วย

- 1) ไม่เน่า ไม่มีเชื้อรา ไม่มีแมลงเจาะทำลาย
- 2) ถ้าต้องการรักษาไว้ได้นาน ไม่มีมอดหรือเชื้อราทำลาย ควรใช้ลำไยสดที่มีขั้วและก้านที่ติดผลอยู่
- 3) ถ้าต้องการให้เปลือกของลำไยมีสีเหลืองควรใช้เฉพาะพันธุ์ดอในการเป็นวัตถุดิบอบแห้ง

2. มาตรฐานลำไยอบแห้งเฉพาะเนื้อลำไย

ด้านปริมาณแบ่งตามสีของเนื้อออกเป็น 4 เกรด ได้แก่

- 1) เกรด A มีเนื้อสีทองเป็นผลชัดเจน ขนาดผลสม่ำเสมอ
- 2) เกรด B มีเนื้อสีน้ำตาลทองเป็นผลชัดเจน ขนาดผลไม่สม่ำเสมอ
- 3) เกรด C มีเนื้อเป็นสีน้ำตาลแดง นิยมเก็บไว้ทำน้ำลำไย หรือส่วนผสมของยาจีน
- 4) เกรดรวม มีเนื้อเป็นสีน้ำตาลดำ มีสิ่งเจือปนมาก

ด้านคุณภาพ ลำไยอบแห้งเฉพาะเนื้อลำไย ประกอบด้วย

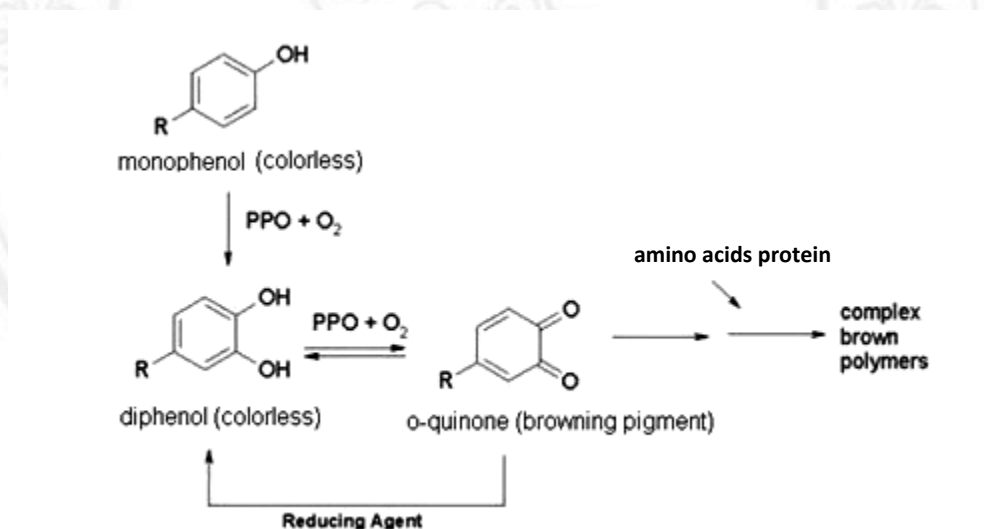
- 1) เนื้อลำไยมีลักษณะเป็นลูก ไม่มีขั้วเมล็ดติดอยู่ที่เนื้อ ผลสม่ำเสมอ
- 2) มีสีเหลืองทอง มีกลิ่นหอมของลำไย ไม่มีกลิ่นคาวหรือกลิ่นเหม็นไหม้
- 3) รสชาติหวาน ไม่ขม
- 4) ไม่มีเปลือกติด และไม่มีสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ
- 5) เนื้อลำไยจะแห้ง มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 18

2.4 ปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาล

โดยทั่วไปการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในอาหารสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ ปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction) และปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction) ซึ่งจะเกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปและระหว่างการเก็บรักษา (นิธิยา, 2545)

2.4.1 ปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction)

ปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อผลไม้มีรอยตำหนิหรือเสียหาย ส่วนของเนื้อเยื่อที่มีเอนไซม์ที่ยังคงมีกิจกรรมอยู่ เมื่อสัมผัสกับอากาศจะเกิดเป็นสีน้ำตาล ปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์เป็นปฏิริยาของสารประกอบโมโนฟีนอล เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศและมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol Oxidase; PPO) จะเกิดปฏิริยาไฮดรอกซิเลชัน ได้เป็น ออร์โท-ไดฟีนอล (*o*-diphenol) สารนี้จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นออร์โท-ควิโนน (*o*-quinone) เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส อาจมีชื่อเรียกว่าโพลีฟีนอลเลส ฟีนอลเลส ไทโรซิเนส ออร์โทฟีนอลออกซิเดส (*o*-diphenol oxidase) ควิโนนที่เกิดจากปฏิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO นี้ จะรวมตัวกันและเกิดปฏิริยาเมลลาร์ดกับสารประกอบควิโนนอื่นๆ หรือกับกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาล



ภาพ 2.1 ปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์

ที่มา: นิธิยา (2545)

2.4.2 ปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาลไม่อาศัยเอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction)

ปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารได้รับความร้อน มีการสูญเสียน้ำ (Dehydration) มีการสลายตัว (Degradation) และมีการรวมตัวกัน (Condensation) จนเกิดเป็นสารสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลและน้ำตาลแดง มีกลิ่นและรสชาติเฉพาะ โดยปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์สามารถจำแนกย่อยออกได้เป็น 2 แบบ คือ ปฏิริยาคาราเมลไลเซชัน

(Caramelization) และปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillardreaction) อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาทั้งสองมีสารตัวกลางและผลิตภัณฑ์สุดท้ายเหมือนกัน

2.4.2.1 ปฏิกิริยาการคาราเมลไลเซชัน (Caramelization)

เป็นการใช้ความร้อนสลายโมเลกุลน้ำตาลให้แยกออก (Thermolysis) และเกิดพอลิเมอร์เซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้สารเริ่มต้นจะเป็นน้ำตาลเท่านั้น โดยน้ำจะถูกกำจัดออกไปเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน สารประกอบที่เกิดขึ้นจะมีพันธะคู่เป็นวงแหวนที่มีความข้นหนืดและมีสีเข้มขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลา สารสีที่เกิดจากปฏิกิริยาการคาราเมลไลเซชันของน้ำตาลเพียงอย่างเดียวจะประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เรียกว่า คาราเมล (นิธิยา, 2545)

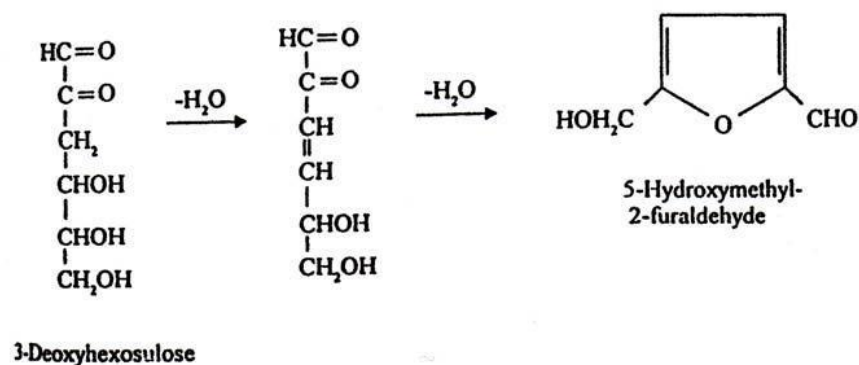
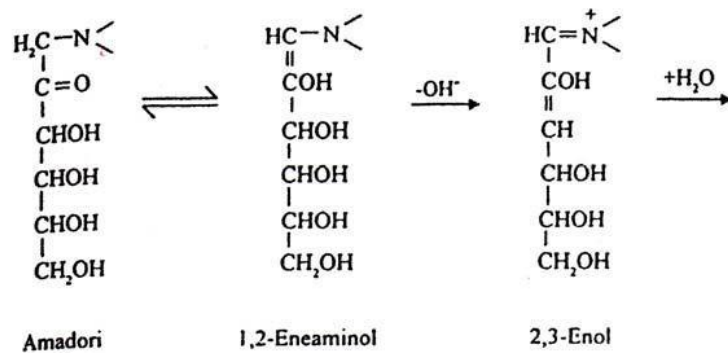
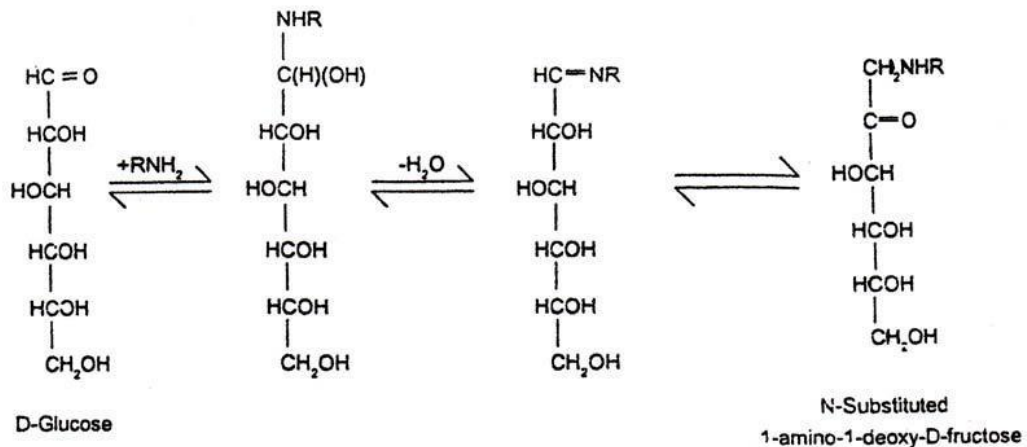
2.4.2.2 ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillardreaction)

เป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่อะมิโนอิสระจากกรดอะมิโนเปปไทด์ หรือ โปรตีนกับหมู่คาร์บอนิลจากโมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซิง โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน (Martins and Van, 2003; Ryu *et al.*, 2003) ปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดขึ้นขณะทอด อบ ปิ้ง ย่าง หรือระหว่างการเก็บรักษาอาหาร น้ำตาลรีดิวซิงจะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโน และโปรตีน ได้เป็นไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) และจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาล เรียกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ด หรือ Nonenzymatic browning ซึ่งต่างจากปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์

ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดมีดังนี้

1. น้ำตาลรีดิวซิงทั้งคีโตสและแอลโดส จะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน
2. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้เป็นอิมิน (Imines หรือ Schiff base) และมีการเรียงตัวใหม่ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Amadori rearrangement ได้เป็นแอลโดสเอมีน (Aldoseamine) หรือ คีโตสเอมีน (Ketoseamine) เรียกว่า Amadori products เช่น 1-อะมิโน-1-ดีออกซี-ดีโตส ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้ เมื่อมีพีเอช 5 หรือต่ำกว่า
3. เกิดปฏิกิริยา Enolization ของ Amadori products ได้เป็นคีโตสเอมีน หรือ ไดอะมิโนซูการ์ เช่น 3-ดีออกซีเฮกโซลูโลส
4. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันต่อได้เป็นอนุพันธ์ของฟูแรน (Furan) ถ้าเป็นน้ำตาลเฮกโซสอนุพันธ์ฟูแรน คือ 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอรัลดีไฮด์ (5-hydroxymethyl-2-furaldehyde หรือ HMF)

5. อนุพันธ์ฟูแรนวงแหวน เช่น HMF จะเกิดโพลิเมอร์อย่างรวดเร็วได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยและไม่ละลายน้ำ ซึ่งต่างจากการเกิดคาราเมลไลเซชันซึ่งมีน้ำตาลเพียงอย่างเดียว สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนี้จึงเรียกว่า เมลานอยดิน (Melanoidins)



ภาพ 2.2 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยามอลาร์ด

ที่มา: นิธิยา (2545)

ข้อเสียของปฏิกิริยาเมลลาร์ด คือทำให้กรดอะมิโนไลซีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็นลดน้อยลง ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบนี้จะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลงด้วย นอกจากนี้หากเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูงและได้รับความร้อนสูงด้วย ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะเป็นสาร Heterocyclic amine ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (นิธิยา, 2545)

สารประกอบคาร์บอนิลและเอมีนที่มีความคงตัวต่ำและสลายตัวได้ง่าย จึงเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ที่อุณหภูมิห้อง เช่น ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร น้ำตาลรีดิวซิง เช่น น้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลชนิดนอนรีดิวซิง เช่น น้ำตาลซูโครส

กรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นด่าง เช่น ไลซีนและกรดอะมิโนที่เป็นอนุพันธ์เอไมด์ เช่น แอสพาราจีน และกลูตามีน จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่ากรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นกลาง อัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ถ้าในอาหารมีน้ำตาลฟรุกโตสจะทำให้อัตราเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 5-10 เท่า การเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอปฏิกิริยาเมลลาร์ดให้ช้าลงได้ ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนิลกับเอมีนยังสามารถยับยั้งได้เมื่อลดค่าความเป็นกรด-ด่างให้ต่ำลง

ออกซิเจนไม่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด นอกจากออกซิเจนจะช่วยออกซิไดซ์สารอื่นให้เป็นรูปอื่นที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจึงเกิดขึ้นได้ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ส่วนแร่ธาตุที่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด ได้แก่ อีออนทองแดง เหล็ก และสังกะสี

2.4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

1. ชนิดของสารประกอบคาร์บอนิลในอาหาร ถ้าโครงสร้างคาร์บอนิลในอาหารเป็นน้ำตาลชั้นเดียวที่มีกลุ่มอัลดีไฮด์อิสระ จะทำปฏิกิริยาสีน้ำตาลเร็วกว่าน้ำตาลชนิดอื่น โดยเฉพาะ น้ำตาลเพนโตส (เช่น ไซโลสหรือไรโบส) จะเกิดสีน้ำตาลเร็วกว่า เฮกโซส (เช่น ฟรุกโตสหรือกลูโคส) และกลุ่มเฮกโซสเอง ถ้ามีโครงสร้างเป็นอัลโดสจะเกิดสีน้ำตาลเร็วกว่า คีโตส เพราะอัลโดสมีการรวมตัวดีกว่าคีโตส

2. ชนิดของสารประกอบอะมิโนในอาหาร สารประกอบอะมิโนที่ละลายน้ำได้จะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าสารประกอบกรด อะมิโนที่ละลายน้ำไม่ได้

3. อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการเกิดสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

4. pH หากเพิ่ม pH จะทำให้อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นด้วย ปฏิกิริยาจะช้า ถ้าหาก pH น้อยกว่า 5-6 และจะเพิ่มอย่างรวดเร็วหาก pH เท่ากับ 8-10

5. ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (a_w) อัตราสื่อน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นตามค่าการเพิ่มค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ และอัตราการเกิดสื่อน้ำตาลจะสูงสุดที่ช่วงค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ 0.65-0.70 หรือ 0.6-0.7 และ 0.5-0.8

2.5 เทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ

เทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ (Vacuum Impregnation ; VI) เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพต่อการนำมาใช้กับการแปรรูปผักและผลไม้ ซึ่งการใช้เทคโนโลยีนี้ร่วมกับระบบการแช่สารละลายจะเป็นการแลกเปลี่ยนน้ำจากภายในและภายนอกของอาหาร โดยน้ำหรือสารละลายภายนอกจะเข้าไปแทนที่รطوبةภายในช่องว่างของอาหารได้อย่างรวดเร็วมากยิ่งขึ้น ซึ่งระบบนี้จะเป็นตัวช่วยให้การแลกเปลี่ยนมวลสารในอาหารมีประสิทธิภาพมากขึ้น เทคนิคนี้จะนำไปใช้ในขั้นตอนของการเตรียมวัตถุดิบก่อนนำไปแปรรูปต่อไป (ไพโรจน์และคณะ, 2552)

หน้าที่หลักของเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ สามารถแบ่งได้ 2 ข้อ ดังนี้

1. เพื่อปรับปรุงคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์

โดยปรับปรุงรطوبةในโครงสร้างของอาหารให้ดีขึ้น ส่วนใหญ่จะใช้ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้นในผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการแปรรูปด้วยอุณหภูมิต่ำหรือความร้อนมีผลต่อการทำลายเนื้อเยื่อของพืช นอกจากนี้เทคนิคนี้ ยังช่วยในเรื่องของการรักษาสี กลิ่นและรสของผลิตภัณฑ์ และช่วยป้องกันการสูญเสียคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์เนื่องจากความร้อน เช่น การใช้น้ำตาลหรือน้ำเชื่อมร่วมกับระบบการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ จะช่วยป้องกันการสูญเสียกลิ่นในผลไม้สดได้ และยังพบว่าเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ มีผลในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นผลไม้จากเอนไซม์และการเกิดสื่อน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Alzamora *et al.*, 2000) นอกจากนี้เทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ ยังช่วยให้สารอาหารอื่นๆที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ สารที่ช่วยยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์สามารถซึมผ่านเข้าไปในโครงสร้างของอาหารซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพที่ดีขึ้นและมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น โดยจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของเนื้อสัมผัสและลดการสูญเสียน้ำในกระบวนการแปรรูปได้ (Bolin and Huxsoll, 1993)

2. ช่วยประหยัดพลังงาน โดยลดพลังงานและเวลาในการผลิต

เทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ เป็นเทคนิคที่ประยุกต์ใช้หลักการสุญญากาศและการออสโมซิสในระบบสารละลาย โดยอาศัยความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของสารละลาย ทั้งนี้เมื่อมีการประยุกต์ใช้ความดันแบบสุญญากาศเข้าไปในระบบทำให้การออสโมซิสเกิดได้รวดเร็วขึ้นส่งผลให้สามารถลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตได้ Zhao and Xie. (2004) ได้

ทำการสรุปพารามิเตอร์ที่ใช้ในเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ ของการแปรรูปผักและผลไม้ดังนี้

พารามิเตอร์	สถานะ
ความเข้มข้นของสารละลาย	โดยส่วนใหญ่จะใช้สารละลายซูโครสสำหรับระดับความเข้มข้น ใช้อย่างน้อยที่สุด 20 - <50 องศาบริกซ์ สำหรับ Dehydrated Food ใช้ 50-75 องศาบริกซ์
อุณหภูมิของสารละลาย	20-50 องศาเซลเซียส
ระดับสุญญากาศ	ใช้อย่างน้อยที่สุด 0.005-0.050 บาร์ สำหรับ Dehydrated Food ใช้ 0.050-0.20 บาร์
เวลาที่ใช้ในระดับสุญญากาศ	10-30 นาที
เวลาที่ใช้ในระดับความดันบรรยากาศ	ใช้เวลาอย่างน้อยที่สุด 10-20 นาที สำหรับ Dehydrated Food ใช้เวลาเป็นชั่วโมง

ณัฐพร และคณะ (2552) ได้ศึกษาถึงผลของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศเพื่อการผลิตพรม พบว่า การใช้เวลาในการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศนาน 6 ชั่วโมง 30 นาที และใช้ความเป็นสุญญากาศ -0.88 บาร์ จะทำให้ลูกพรมมีสัดส่วนเฉลี่ยด้านความยืดหยุ่นและความนุ่มเพิ่มขึ้น

2.6 กระบวนการทำแห้งอาหาร

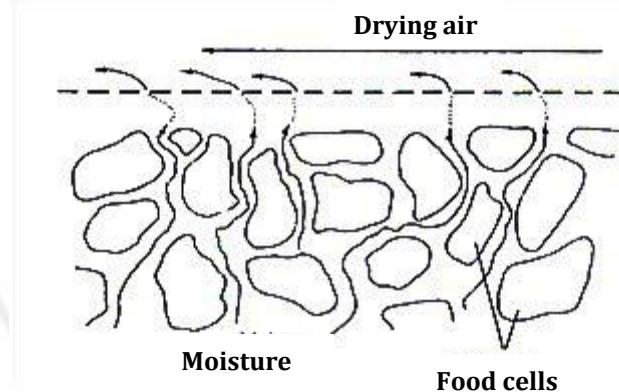
การทำแห้งในอาหารเป็นการใช้ความร้อนในสภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ออกในอาหาร ซึ่งจะช่วยในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์และช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ การอบแห้งยังเป็นการช่วยลดน้ำหนักและลดปริมาณของอาหาร ซึ่งจะเป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและเก็บรักษา แต่การอบแห้งก็มีข้อเสียคือ ทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพของการบริโภคและคุณภาพทางโภชนาการ (วิไล, 2545)

การทำแห้งเป็นการลดความชื้นของอาหารจนระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้คือ มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (Water activity, a_w) ต่ำกว่า 0.70 ทำให้เก็บอาหารไว้ได้

นาน อาหารแห้งแต่ละชนิดจะมีความชื้นในระดับที่ปลอดภัยไม่เท่ากัน เช่น ผลไม้แช่อิ่มเก็บได้ที่ความชื้นร้อยละ 15-20 แต่ถ้าเป็นเมล็ดพันธุ์พืชเก็บที่ความชื้นนี้จะเกิดเชื้อราได้ (วิไล, 2545)

2.6.1 กลไกการทำแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าของอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวนอกของอาหาร ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent heat of vaporization) จะทำให้น้ำระเหย กลายเป็นไอ และแพร่ผ่านฟิล์มอากาศ และถูกพัดพาไปโดยลมร้อนเคลื่อนที่ ทำให้บริเวณที่ผิวนอกกับความชื้นภายในชั้นอาหาร จึงเป็นแรงขับให้น้ำจากภายในเคลื่อนย้ายออกมาที่ผิวนอกของอาหาร ดังแสดงในภาพ 2.3



ภาพ 2.3 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง
ที่มา: วิไล (2545)

2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง

การทำแห้งคือการเคลื่อนย้ายน้ำออกจากอาหาร ดังนั้นปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเคลื่อนย้าย น้ำจึงมีผลต่ออัตราเร็วการทำแห้ง ดังนี้

1. ธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเนื้อเยื่อที่โปร่งจะมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหาร แบบผ่านช่องแคบเร็วกว่าการแพร่ในอาหารที่มีลักษณะเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารกลุ่มแรกจึงแห้งเร็วกว่ากลุ่มหลัง อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวเหนอะหนะ ซึ่งเป็นปัจจัยที่กีดขวางการเคลื่อนที่ ของน้ำทำให้การทำแห้งช้า อาหารที่มีการลวก นวดคลึง ทำให้เซลล์แตกจะแห้งได้เร็วขึ้น

2. ขนาดและรูปร่าง มีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่นอาหารที่มีรูปร่างเหมือนกัน ถ้ามีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย ถ้าชิ้นเล็กมากทั้บมกันการระเหยเกิดได้

เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้า ทั้งๆที่พื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักมีมาก ตำแหน่งของอาหารในเครื่องอบแห้งน้ำบนอาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่าหรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

3. ตำแหน่งของอาหารในเตา น้ำในอาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

4. ปริมาณอาหารต่อถาด ถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อนหรือได้รับความร้อนจากถาดแล้ว แต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านขึ้น อาหาร ตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า

5. ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน อากาศร้อนที่มีไอน้ำมากอยู่แล้วจะรับไอน้ำได้น้อยกว่าอากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่น้อย

6. อุณหภูมิของอากาศร้อน ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำและอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำในอาหารดีขึ้น

7. ความเร็วของอากาศร้อน อากาศร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ด้วยคั้งนั้นเมื่อความเร็วอากาศร้อนเพิ่มขึ้นการเคลื่อนย้ายไอน้ำก็จะเกิดขึ้นได้ดี การเคลื่อนย้ายไอน้ำเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตร/นาที่ นอกจากนั้นความเร็วของอากาศร้อนยังทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเครื่องอบแห้งอากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดีขึ้น (วิไล, 2545)

2.6.3 การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง

การอบแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารมากหรือน้อยขึ้นกับธรรมชาติของอาหารและสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งดังนี้คือ

1. การหดตัว เนื่องจากการเสียน้ำในเซลล์อาหารหดตัวจากผิวนอก ส่วนที่แข็งจะคงสภาพได้ ส่วนที่อ่อนกว่าจะเว้าลงไป อาหารที่มีน้ำมากจะหดตัวบิดเบี้ยวมาก การทำแห้งอย่างรวดเร็วจะหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งอย่างช้าๆ

2. การเปลี่ยนสี อาหารที่ผ่านการทำแห้งมักมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากความร้อน หรือปฏิกิริยาเคมีที่เกิดสีน้ำตาล อุณหภูมิและช่วงเวลาที่อาหารมีความชื้นร้อยละ 10-20 มีผลต่อความเข้มของสี จึงควรหลีกเลี่ยงอุณหภูมิสูงในช่วงความชื้นนี้

3. การเกิดเปลือกแข็ง เป็นลักษณะที่ผิวของอาหาร แข็งตัวเป็นเปลือกหุ้มส่วนในที่ยังไม่แห้งไว้ซึ่งจะเกิดเนื่องจากน้ำระเหยตัวเกินไปในช่วงแรกของการอบแห้ง น้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทัน หรือมีสารละลายของน้ำตาล โปรตีนเคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว ปัญหาดังกล่าว

สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ไม่สูงเกินไป และใช้อากาศที่มีความชื้นสูงเพื่อไม่ให้ผิวของอาหารแห้งก่อนเวลาอันควร

4. การเสียคุณค่าทางอาหารและสารระเหย เกิดการเสื่อมสลายของวิตามินซีและแคโรทีนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไบโอฟลาวันจากแสง ไขมันจากความร้อน เมื่อใช้เวลาทำห้านานการสูญเสียก็ยิ่งมาก โปรตีนมีการสูญเสียบางส่วนด้วยความร้อนเช่นเดียวกับการสูญเสียการระเหยเนื่องจากความร้อนทำให้กลิ่นของอาหารแห้งลดน้อยลง หรือแตกต่างไปจากเดิม

2.6.4 ประโยชน์ของการทำแห้ง

สามารถป้องกันการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเคมีและเอนไซม์ เก็บผลิตภัณฑ์ไว้ได้นานโดยไม่ต้องใช้ตู้เย็นให้เปลืองค่าใช้จ่ายและทำให้มีใช้ในยามขาดแคลน นอกฤดูการผลิตหรือในแหล่งห่างไกล ลดน้ำหนักอาหาร ทำให้สะดวกในการบรรจุ เก็บรักษาและขนส่ง และให้ความสะดวกสบายในการใช้ เช่น กาแฟผงสำเร็จรูป รวมทั้งได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ เช่น ลูกเกดจากการทำแห้งองุ่น (สุนิษา, 2544)

2.7 เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

เป็นการระเหยนํ้าออกจากอาหารภายใต้สุญญากาศ และอุณหภูมิต่ำกว่าความดันบรรยากาศ เพื่อให้การระเหยได้เร็วขึ้นแม้จะใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก ลักษณะของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ส่วนมากประกอบด้วยห้อง หรืออุโมงค์ที่สามารถลดความดันภายในได้ภายในห้องมีถาด หรือสายพานที่ใช้วางอาหารในการปฏิบัติงาน

อาหารที่นิยมใช้กับวิธีการอบแห้งชนิดนี้มักเป็นอาหารที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อใช้อุณหภูมิสูง (Heat sensitive food) เช่น ผัก หรือผลไม้ที่มีกลิ่นหอม ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสลายตัวของวิตามินบางชนิดที่ไม่ทนต่อความร้อน การสูญเสียกลิ่นรส เนื่องจากการสูญเสีย สารระเหยง่ายในระหว่างการดึงนํ้าออกจากอาหารภายใต้สุญญากาศจะให้นํ้าระเหยเร็วมากทำให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แห้งเกิดการแข็งและหดตัวทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งที่ผิวหน้าแต่ภายในยังและอยู่ซึ่งเป็นข้อเสียของการทำแห้งโดยวิธีนี้

2.7.1 ระบบการทำงาน

การทำแห้งในระบบความดันต่ำจะทำให้จุดเดือดของนํ้าต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยการลดความดัน ถาลดความดันบรรยากาศให้ต่ำลงเท่ากับ 0.6107 กิโลปาสคาล จุดเดือดของนํ้าจะเป็น 0 องศาเซลเซียส ระดับความดันและอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งในระบบนี้ขึ้นอยู่กับ

กับความไวต่อความร้อน อย่างไรก็ตามเมื่อน้ำระเหยไปจะทำให้อาหารหดตัวซึ่งจะทำให้พื้นที่สำหรับการถ่ายเทความร้อนลดลง เครื่องอบแห้งความดันต่ำที่ใช้สำหรับอบแห้งผัก และผลไม้เป็นแบบถาดหรือชั้นในกรณีที่ต้องการกำลังการผลิตสูงสามารถปรับใช้สายพานแบบต่อเนื่อง แต่ต้องมีระบบลดความดันที่มีประสิทธิภาพ และขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนใหญ่จะใช้เป็นการอบแห้งในขั้นตอนที่สองหลังจากที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง แบบลมร้อน และมีความชื้นเหลือประมาณร้อยละ 20-25 เพื่อที่จะลดความชื้นในขั้นตอนนี้ให้เหลือเพียงร้อยละ 1-3 ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 30-60 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ คุณสมบัติที่เหมาะสมของวัตถุดิบที่ใช้ควรจะเป็นวัตถุดิบที่ไวต่อความร้อน โดยเฉพาะกรณีที่ไม่ต้องการให้เกิดการสูญเสียวิตามินซี เช่น ผลไม้ประเภทส้ม สมุนไพร ที่ต้องการให้กลิ่นคงเดิม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพดี เนื่องจากอบที่อุณหภูมิต่ำ สารระเหยต่างๆ ยังคงอยู่ในผลิตภัณฑ์ ข้อดีอีกข้อหนึ่งคือ ใช้เวลาน้อยกว่าการทำแห้งแบบเยือกแข็ง และแบบอื่นๆมาก (วิไล, 2545)

2.7.2 ผลของการอบแห้งที่มีต่ออาหาร

1. ลักษณะเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสภายหลังจากการอบแห้งจะมีผลต่อคุณภาพของผลไม้ซึ่งสามารถปรับปรุงให้คุณภาพดีขึ้นได้โดยการลวกและอาจเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงไปในส่วนที่ใส่ลวก การปอกเปลือกและหั่นชิ้นก่อนทำแห้งก็จะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส โดยเฉพาะเมื่อแช่น้ำให้กิ่นตัว การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสอาจเกิดขึ้นเมื่อสตาร์ชเกิดเจลาติไนเซชัน หรือเกิดคริสตัลไลเซชันของเซลลูโลส การเคลื่อนย้ายของโมเลกุลน้ำในอาหารระหว่างการอบแห้ง ทำให้อาหารเหี่ยวและมีปริมาตรลดลง

2. กลิ่นและรสชาติ ระหว่างการอบแห้งความร้อนจะทำให้สารให้กลิ่นระเหยออกไปด้วย ดังนั้น การสูญเสียสารให้กลิ่นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ ความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดในอาหาร ความดันไอของสารที่ระเหยได้ และความสามารถในการละลายน้ำ หากเป็นสารที่ระเหยได้ง่ายจะสูญเสียตั้งแต่เริ่มต้นอบแห้ง ส่วนช่วงหลังของการอบจะมีการสูญเสียเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการควบคุมภาวะที่ใช้ในการอบแห้งจะช่วยลดการสูญเสียกลิ่นและรสชาติของอาหารได้

3. สี การทำแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนสีผิวของอาหารและเปลี่ยนการสะท้อนแสงของสี มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนและการออกซิเดชันระหว่างการอบแห้ง ยิ่งการอบแห้งใช้เวลานานและอุณหภูมิสูงยิ่งเกิดได้ง่าย และอาจเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษาหากยังมีกิจกรรมของเอนไซม์เหลืออยู่สามารถป้องกันการทำงานของเอนไซม์ได้โดยนำไปลวกและใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือ

วิตามินซี แต่ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อาจทำให้ผู้บริโภคบางคนแพ้ได้ การเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนสีน้ำตาลขึ้นอยู่กับค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) และอุณหภูมิที่ใช้ระหว่างการเก็บรักษา ยิ่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงยิ่งมีสีคล้ำ โดยเฉพาะเมื่ออาหารมีความชื้นมากกว่าร้อยละ 4-5 และอุณหภูมิสูงกว่า 38 องศาเซลเซียส

4. คุณค่าทางโภชนาการ วิตามินแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายน้ำที่แตกต่างกัน วิตามินซีไวต่อการทำลายด้วยความร้อนและการเกิดออกซิเดชันมากที่สุด หากต้องการลดการสูญเสียวิตามินซี ต้องใช้เวลาในการอบแห้งและการเก็บรักษาที่สั้น ใช้อุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์และออกซิเจนต่ำ วิตามินบีหนึ่งก็ไวต่อความร้อน แต่วิตามินชนิดอื่นค่อนข้างทนความร้อนและออกซิเดชัน วิตามินและสารอาหารที่ละลายได้ในไขมันค่อนข้างคงตัวในอาหารแห้งและมีความเข้มข้นมากขึ้น อย่างไรก็ตาม อัตราการเกิดออกซิเดชันจะเร็วขึ้นเมื่อมีน้ำน้อยลง เพราะตัวถูกละลายมีความเข้มข้นมากขึ้น วิตามินที่ละลายในไขมันอาจสูญเสีย ดังนั้นการลดออกซิเจน อุณหภูมิ และแสงจะช่วยชะลอการเกิดออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษาได้ การใช้ความร้อนระเหยเอาน้ำออกจากอาหาร ทำให้อาหารมีน้ำลดลงหรือทำให้อาหารอยู่ในสภาพแห้ง เป็นวิธีการถนอมอาหารโดยการลดค่า a_w แต่การใช้ความร้อนจะทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ดังนั้นการทำแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็งจึงเป็นการทำแห้งหรือลดค่า a_w โดยไม่ใช้ความร้อน อาหารอบแห้งที่ได้จะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและคงเหลือคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสได้เป็นอย่างดี ซึ่งนิยมใช้กับอาหารที่มีราคาสูง มีกลิ่นและลักษณะเนื้อสัมผัสเฉพาะ เช่น กาแฟ เห็ดหอม เครื่องเทศ สมุนไพร น้ำผลไม้ และเนื้อสัตว์ (นิธิยา, 2544)

การอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum oven) จะเป็นการระเหยน้ำออกจากอาหารภายใต้สุญญากาศ และใช้อุณหภูมิต่ำกว่าความดันบรรยากาศเพื่อให้น้ำระเหยได้เร็วขึ้น ตู้อบแห้งแบบสุญญากาศเหมาะกับวัตถุดิบที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อใช้อุณหภูมิสูงในการแปรรูป โดยการใช้ตู้อบชนิดนี้จะช่วยลดการสูญเสียวิตามินที่ไม่ทนร้อนและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ได้ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้จะเท่ากับ 30-60 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ส่วนข้อดีของวิธีนี้คือ ใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งแบบอื่นๆ

2.8 วัตถุเจือปนอาหาร

หมายถึง วัตถุที่ปกติมิได้ใช้เป็นอาหาร หรือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหาร ไม่ว่าวัตถุนั้นจะมีคุณค่าทางอาหารหรือไม่ก็ตาม แต่ใช้เจือปนในอาหาร เพื่อประโยชน์ทางเทคโนโลยีในการผลิต การบรรจุ การเก็บรักษา หรือการขนส่ง ซึ่งมีผลต่อคุณภาพหรือมาตรฐาน หรือลักษณะของอาหารและให้ความหมายรวมถึงวัตถุที่มีได้เจือปนอาหาร แต่ใช้รวมอยู่กับอาหาร เพื่อประโยชน์

ดังกล่าวข้างต้นด้วย (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2527; สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2532)

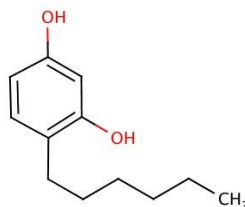
2.8.1 การควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล

ปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนทำให้ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ไม่ได้มาตรฐาน คือ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้มีสีผิดปกติเกิดขึ้น ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์หรือเป็นสาเหตุให้กลิ่นรสเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ การป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลอาจทำได้โดยการใช้กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร หรือใส่วัตถุเจือปนอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เช่น

2.8.1.1 4-เฮกซิลเรโซซินอล (4-Hexylresorcinol)

4-เฮกซิลเรโซซินอล ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมยา ซึ่งได้มีการนำมาประยุกต์ใช้กับอาหาร 4-เฮกซิลเรโซซินอล มีความปลอดภัยในการใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหารและมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในกุ้ง (Thepnuan R. *et al.*, 2008) และต้านการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล มันฝรั่ง อะโวคาโด และน้ำองุ่น เป็นต้น สารนี้มีประสิทธิภาพในการใช้งานเมื่อใช้ในปริมาณ 5-50 ส่วนในล้านส่วน และมีความปลอดภัยเนื่องจากมีการบริโภคสารชนิดนี้มาเป็นเวลานานแล้ว (Frankos *et al.*, 1991)

อนุพันธ์ของ Resorcinol เป็นสารประกอบ m-diphenols ซึ่งจะไปยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้โดยทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งแบบแข่งขัน (Competitive inhibitor) กับเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส เนื่องจากมีโครงสร้างคล้ายกับฟีนอลิกที่เป็นสารตั้งต้น โครงสร้างของ 4-เฮกซิล เรโซซินอล แสดงดังภาพ 2.4 ส่วนที่เป็น Hydrophobic aromatic resorcinol ring เช่น Hexyl, Dodecyl และ Cyclohexyl จะเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส



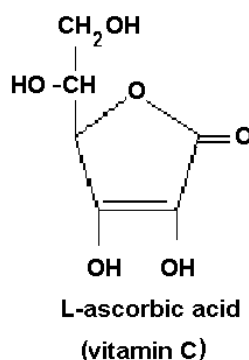
ภาพ 2.4 โครงสร้างของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล

ที่มา: นิธิยา (2545)

4-เฮกซิลเรโซซินอล เป็นสารที่มีความปลอดภัยต่อมนุษย์ (Generally Recognized as safe ; GRAS) และมีประสิทธิภาพมากกว่าซัลไฟต์ เมื่อเทียบกับปริมาณการใช้เป็นน้ำหนักรับประทาน 4-เฮกซิลเรโซซินอล เป็นส่วนประกอบหนึ่งในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล มีชื่อทางการค้าว่า 1 EverfreshTm (McEvily *et al.*, 1992; Monsalve-Gonzalez *et al.*, 1993; Lue and Barbosa-Canovas, 1997) โดยปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอลที่นำมาใช้กับแอปเปิ้ลในช่วง 200-500 ส่วนในล้านส่วน (Monsalve-Gonzalez *et al.*, 1993; Monsalve-Gonzalez *et al.*, 1995) และปริมาณที่ใช้กับลูกแพร์ คือ 50-100 ส่วนในล้านส่วน (Saper and Miller, 1998; Dong *et al.*, 2000)

2.8.1.2 กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid)

กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซี เป็นกรดที่พบทั่วไปในพืช โดยเฉพาะพืชตระกูลส้ม มีลักษณะเป็นผลึก ละลายน้ำได้ดี แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เป็นรีดิวซิงเอเจนต์ที่มีประสิทธิภาพดีมากเมื่ออยู่ในรูปของเหลว ในสภาวะที่มีอากาศและแสงจะถูกออกซิไดส์อย่างรวดเร็ว และปฏิกิริยาจะเกิดเร็วขึ้นถ้ามีด่าง เหล็ก และทองแดงเป็นตัวเร่ง แต่เมื่ออยู่ในรูปเกลือโซเดียมจะมีความคงตัวมากกว่า (ศิวาพร, 2546)



ภาพ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของกรดแอสคอร์บิก

ที่มา: ศิวาพร (2546)

วิตามินซีมีประโยชน์อย่างมากในการแปรรูปอาหาร เช่น ได้มีการนำวิตามินซีมาใช้เป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ วิตามินซีในรูปของอนุพันธ์ใช้เป็นสารต้านออกซิเดชันในน้ำมัน ผลิตภัณฑ์ปลา และใช้รักษาสภาพสีของเนื้อสัตว์ เป็นต้น (นิธิยา, 2545) การใช้กรดแอสคอร์บิกในอาหารนั้น บางครั้งจะมีการใช้กรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก และ

วัตถุที่ช่วยให้คงตัว เช่น แคลเซียมคลอไรด์ร่วม ทั้งนี้เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ดีขึ้น และช่วยกำจัดออกซิเจน รวมทั้งช่วยให้เนื้อสัมผัสดี

การที่กรดแอสคอร์บิกสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ ก็เนื่องจากการที่กรดแอสคอร์บิกสามารถรีดิวส์ควิโนน (Quinones) ซึ่งเป็นสารที่ได้จากการออกซิเดชันของโพลีฟีนอลที่มีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส เป็นตัวเร่งกลับไปเป็นไดไฮดรอกซีโพลีฟีนอล ถ้าหากไม่มีการสะสมของควิโนน ปฏิกิริยาที่จะเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นก็จะไม่เกิดขึ้น แต่เมื่อปริมาณกรดแอสคอร์บิกลดลง การสะสมของควิโนนก็จะเกิดขึ้นทำให้สีน้ำตาลเกิดขึ้นได้ (Vamos-Vigyazo, 1995) กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (Dehydroascorbic acid) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก จะเป็นสาเหตุให้เกิดสีน้ำตาลแบบที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ได้ทำให้สีของผลิตภัณฑ์อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงได้

กรดแอสคอร์บิกเป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในอาหารซึ่งมีมาตั้งแต่สมัยโบราณ และในปัจจุบันยังมีการใช้กันอยู่ ตัวอย่างการใช้กรดแอสคอร์บิกแบบภูมิปัญญาชาวบ้านคือการจุ่มหัวปลีที่หั่นแล้วในน้ำมะนาว พบว่าสามารถป้องกันสีน้ำตาลที่จะเกิดขึ้นได้

2.8.2 สารออสโมติก (Osmotic substance)

เป็นสารที่ใช้เพิ่มแรงดันออสโมติกให้แก่สารละลาย เพื่อให้เกิดการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากชิ้นอาหารด้วยความแตกต่างระหว่างแรงดันออสโมติกของสารละลายและชิ้นอาหาร สารละลายออสโมติกต้องมีรสชาติเป็นที่ยอมรับ ไม่มีพิษ ไม่ทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบอาหารและมีคุณสมบัติในการเพิ่มแรงดันออสโมติกอย่างสูง โดยทั่วไปสารที่นิยม ได้แก่ น้ำตาลซูโครส แลคโตส กลูโคส ฟรุคโตส มอลโตเดกซ์ทริน และน้ำเชื่อมข้าวโพด นอกจากนี้ ยังมีการใช้น้ำตาลแอลกอฮอล์ (Polyol) เช่น กลีเซอรอล และกลีเซอรีน (ศศิวิมล และอริสา, 2548)

ชนิดของสารละลายออสโมติกและการเลือกใช้

ชนิดของสารละลายออสโมติก

1. สารละลายออสโมติกที่นิยมใช้กับผลไม้ ได้แก่ น้ำตาลทรายขาว น้ำผลไม้เข้มข้น น้ำตาลแลคโตสผสมน้ำตาลทรายขาว น้ำตาลแลคโตสผสมมอลโตเดกซ์ทริน กลีเซอรอล เบะแซเหลว เป็นต้น
2. สารละลายออสโมติกที่นิยมใช้กับผัก ได้แก่ เกลือ เกลือผสมกับน้ำตาลทราย กลีเซอรอล โพพิลีนไกลคอล เป็นต้น

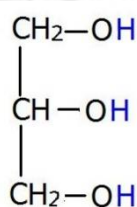
3. ในสารละลายออสโมติก ยังมีการเติมสารอื่นๆ ที่ใช้ในการผลิตลงไปด้วยก็ได้ เช่น การเติมกรดซิตริก กลีเซอิลไฟต์ แคลเซียมคลอไรด์ เป็นต้น

การเลือกใช้

1. สารละลายออสโมติกที่ใช้ต้องไม่มีผลกระทบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรสชาติ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป
2. ราคาของสารละลายออสโมติกควรมีราคาถูก ไม่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

2.8.2.1 กลีเซอรอล (Glycerol)

เป็นโพลีออลที่มีความสำคัญมากที่สุด มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวใส หนืด มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 92 จุดหลอมเหลว 18.17 องศาเซลเซียส มีจุดเดือดที่ 290 องศาเซลเซียส เมื่อผสมกับน้ำจะมีจุดเยือกแข็งที่ -46.5 องศาเซลเซียส เป็นสารที่ได้มาจากน้ำตาล ไม่มีพิษ ไม่ทำให้เกิดการระคายเคือง มีความหวานร้อยละ 65 ของน้ำตาลซูโครส ละลายน้ำได้เล็กน้อย แต่สามารถละลายได้ในสารหลายๆ ชนิด ให้พลังงาน 4.32 แคลอรีต่อกรัม (Food and Drug Administration; FDA) จัดให้เป็นสารเจือปนในอาหาร (Generally Recognized as safe; GRAS) มีค่าความถ่วงจำเพาะร้อยละ 96 มีสูตรโครงสร้างดัง ภาพ 2.6



ภาพ 2.6 โครงสร้างของกลีเซอรอล

ที่มา: ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร (2556)

ในผลิตภัณฑ์อาหารมีการใช้กลีเซอรอลเป็นตัวทำละลาย Humectant และ Plasticizer ในผลิตภัณฑ์ลูกกวาด กลีเซอรอลช่วยในการยับยั้งการเกิดผลึกน้ำตาล ทำให้ลูกกวาดที่ได้มีเนื้อสัมผัสนุ่มเนียนและเป็นครีม กลีเซอรอลยังเป็นสารเก็บความชื้น ป้องกันไม่ให้อาหารแห้ง เป็นสารให้ความหวานที่ไม่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย และไม่ทำให้ผู้บริโภคมีอาการแพ้หรือแพ้ทั้งเป็นสารที่เสริมในด้านความชื้นอีกด้วย

2.8.2.2 แคลเซียมแลคเตต (Calcium lactate)

แคลเซียมแลคเตต มีลักษณะทั่วไปเป็นเกล็ดเมล็ด หรือผงขาว ไม่มีกลิ่น ละลายได้ดีในน้ำร้อน สารละลายมี pH อยู่ระหว่าง 6.0-7.0 ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 218.22

แคลเซียมแลคเตตเป็นสารที่ใช้ปรับความเป็นกลาง ให้คุณภาพดีกว่าสารแคลเซียมชนิดเดียวกัน ช่วยปรับสภาพแห้งให้เป็นอาหารของยีสต์ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์จับกันเป็นก้อน เป็นสารกันหืนและสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับสารกันหืน ปกป้องสีของผลไม้ ช่วยเพิ่มความหอมและเพิ่มรสชาติให้กับผลิตภัณฑ์

การนำไปใช้ สามารถนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ธัญพืช เครื่องดื่ม ช่วยปรับปรุงรสชาติให้กับมันฝรั่งทอด ใช้กับเต้าหู้ เต้าเจี้ยว ผักดอง และขนมปัง โดยประเทศญี่ปุ่นให้ใช้เป็นแหล่งของแคลเซียมในอาหารได้สูงสุดถึงร้อยละ 7.7 (สุกิจ, 2548)

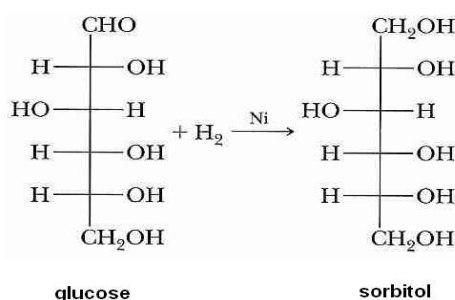
2.8.2.3 อิริโททอล (Erythritol)

อิริโททอล เป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลทั้งสิ้น 4 กลุ่ม ในธรรมชาติจะพบในผักผลไม้หลายชนิด เช่น สาลี่ แดงโม องุ่น เห็ดต่างๆ รวมทั้งในอาหารหมัก เช่น ไวน์ ซีอิ๊วที่ทำจากถั่วเหลือง และเนยแข็ง แต่อิริโททอลที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมจะได้ออกมาจากการหมักกลูโคสโดยใช้ยีสต์แล้วนำมาไฮโดรจีเนชันต่อไป

อิริโททอลเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นผลึกสีขาวและไม่มีกลิ่น ไม่ไวต่อความชื้น มีความหวานประมาณร้อยละ 70 (0.7 เท่า) ของน้ำตาลทราย แต่ให้พลังงานเพียง 0.2 calorie/g ทั้งนี้เพราะค่อนข้างทนต่อการถูกย่อย และเนื่องจากมีขนาดโมเลกุลเล็กจึงถูกดูดซึมได้อย่างรวดเร็วที่ลำไส้เล็ก นอกจากนั้นยังพบว่าร้อยละ 90 ของอิริโททอลที่มีการบริโภคจะถูกขับออกมากับปัสสาวะภายใน 24 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามการบริโภคอิริโททอลในปริมาณสูงก็จะทำให้เกิดอาการคล้ายท้องเสียและมีแก๊สได้ ในประเทศสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น อิริโททอลได้รับการจัดอยู่ในกลุ่ม GRAS และได้รับการแนะนำว่าเป็นสารให้ความหวานที่เหมาะสมกับผู้ป่วยโรคเบาหวานเนื่องจากมีข้อพิสูจน์ว่าการบริโภคอิริโททอลจะไม่ส่งผลกระทบต่อระดับอินซูลินในเลือด ส่วนในญี่ปุ่นนั้นอิริโททอลได้รับการเชื่อถือว่าสามารถใช้เป็นส่วนผสมในอาหารหลายชนิด เช่น ลูกกวาด ช็อกโกแลต เครื่องดื่ม หมากฝรั่ง เป็นต้น

2.8.2.4 ซอร์บิทอล (Sorbitol)

ซอร์บิทอล เป็นสารให้ความหวาน (Sweetener) ที่มีคุณสมบัติเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ (sugar alcohol) ใช้เป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาล มีความหวานเป็นครึ่งหนึ่งของซูโครส มีชื่อเรียกอื่นๆ เช่น Glucitol, D-glucitol, D-Sorbitol, Sorbite และ Hydrogenated Starch Hydrolysate (HSH) ผลิตจากผลิตผลทางการเกษตรที่มีสตาร์ช (Starch) เป็นส่วนประกอบ เช่น พืชหัว ได้แก่ มันสำปะหลัง มันฝรั่ง และเมล็ดธัญพืช ได้แก่ ข้าวโพดข้าว ข้าวสาลี กระบวนการผลิตซอร์บิทอลเริ่มต้นจากการย่อยโมเลกุลของสตาร์ช ให้เป็นโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส เรียกว่า Starch hydrolysis ได้สารตั้งต้น คือ น้ำเชื่อมกลูโคส แล้วจึงทำปฏิกิริยาไฮโดรเจเนชันด้วยการเติมไฮโดรเจน ให้กับโมเลกุลของน้ำตาล กลูโคส โดยมีนิกเกิลเป็นสารเร่งปฏิกิริยา



ภาพ 2.7 ปฏิกิริยาไฮโดรเจเนชันเปลี่ยนโมเลกุลกลูโคสเป็นซอร์บิทอล
ที่มา: ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร (2556)

คุณสมบัติเด่นของซอร์บิทอล

1. มีรสชาติดหวาน เมื่อละลายจะให้ความรู้สึก เย็น ช่ำ (Cooling effect) เนื่องจากระหว่างให้พลังงานจะดูดพลังงานความร้อนเพื่อใช้เป็นความร้อนแฝงของการละลาย
2. ให้พลังงาน 2.6 แคลอรีต่อกรัม (เทียบกับน้ำตาลทรายซึ่งให้ 4 แคลอรีต่อกรัม)
3. ร่างกายจะย่อยและดูดซึมช้ากว่าน้ำตาล จึงไม่ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูง
4. เป็นยาระบายอ่อนๆ (Laxative effect) เนื่องจากดูดซึมได้ช้า และตกค้างมาเป็นอาหารของแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่
5. ทนต่อกรดและความร้อนได้ดีกว่าน้ำตาลทราย และเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non enzymatic browning reaction) ได้ยากกว่า

6. เป็นสารที่เบคทีเรีย ไม่สามารถย่อยสลายให้เกิดสภาวะกรดในช่องปากได้ จึงไม่ทำให้ฟันผุ

การใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

1. ใช้เป็นสารแทนน้ำตาล (Sugar substitute) ในผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก (Diet food) อาหารให้พลังงานต่ำ (Low-calorie) หรือไม่มีน้ำตาล (Sugar-free) และใช้ในอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เช่น เบเกอรี่ แยม หมากฝรั่ง ลูกกวาดลูกอม และผสมเครื่องดื่ม
2. รักษาความชุ่มชื้น (Humectant) ในผลิตภัณฑ์
3. ป้องกันการตกผลึกของน้ำตาล ในการผลิตช็อกโกแลต ลูกกวาด ลูกอม
4. ป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็ง (cryoprotectant) โดยไปทำให้จุดเยือกแข็ง (Freezing point) ของอาหารลดลง น้ำในอาหารอยู่ในรูปของเหลวที่อุณหภูมิ ต่ำมาก จึงไม่เกิดผลึกน้ำแข็งที่ไปทำลายเซลล์เนื้อเยื่อ ใช้ในอาหารแช่แข็ง เช่น ซูริมิ ไอศกรีม เป็นต้น

2.9 อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร

นิยามของอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ อายุผลิตภัณฑ์ (Shelf life) หมายถึง สภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการแปรรูปและการเก็บอาหาร อาจมีผลต่อ คุณภาพของอาหารภายหลังการเก็บในช่วงเวลาหนึ่ง โดยลักษณะทางคุณภาพเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่ต้องการ อาจมีหนึ่งลักษณะหรือมากกว่าที่ระบุ ว่าอาหารนั้นไม่เหมาะสำหรับการบริโภค และกล่าวได้ว่าอาหารนั้นหมดอายุการเก็บ (รุ่งนภา, 2548) นอกจากนี้ อายุการเก็บผลิตภัณฑ์ยังหมายถึงระยะเวลา ที่คุณสมบัติของอาหารยังคงเป็นที่ยอมรับได้ ของลูกค้า ผู้ผลิตอาหารต้องรับผิดชอบว่าอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ของตนนั้นต้องไม่สั้นกว่าวันหมดอายุ (Expire date) ที่ประทับไว้บนผลิตภัณฑ์ (Martins *et al.*, 2008)

ความสำคัญของการระบุอายุของผลิตภัณฑ์ เพื่อคงคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมในช่วงเวลาที่ต้องการภายใต้สภาวะการเก็บ และการขนส่ง โดยอายุการเก็บของอาหารต่างๆ มีความแตกต่างกัน และขึ้นอยู่กับสภาวะการแปรรูปต่างๆ ในโรงงาน (Hazard Analysis and Critical Control Point; HACCP และ Good Manufacturing Practice; GMP) และอุณหภูมิการเก็บรักษา (รุ่งนภา, 2548)

โดยปกติแล้วการเปลี่ยนแปลงในขณะเก็บรักษาเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ เพราะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะ ปรากฏ ความคงตัว กลิ่นรส กลิ่น และเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีความสำคัญมากในการวิเคราะห์อายุการเก็บผลิตภัณฑ์ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหารทุกชนิดจะเปลี่ยนไปเมื่อเก็บรักษา อายุการเก็บผลิตภัณฑ์เป็นค่าที่ประมาณได้ยากเนื่องจากถ้าใช้วิธีทดสอบอายุการเก็บตามหลักการคือ บรรจุอาหารตามเงื่อนไขการผลิต เก็บในสภาวะที่ต้องการ การประเมินอายุการเก็บจริง กำหนดค่าช่วงเวลาของการทดสอบแล้วนำตัวอย่างอาหารมาตรวจวัดค่าตัวแปรที่ใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพ ติดตามดูเวลาเก็บที่ทำให้อาหารที่บรรจุเสื่อมสภาพ แต่การทดลองดังกล่าวใช้เวลานานและหากต้องการตรวจผลิตภัณฑ์ในปริมาณมาก เวลาที่ใช้ในการทดลองในแต่ละสภาวะจะเพิ่มมากขึ้น ในทางอุตสาหกรรมไม่สามารถรอผลการทดลองยาวนานได้ ดังนั้นจึงมีการทดลองในสภาวะเร่ง โดยทดสอบการเก็บตัวอย่าง ผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเรียกว่า การทดสอบในสภาวะเร่ง (Accelerated Shelf Life Test; ASLT) (อัมพา, 2550)

2.9.1 เกณฑ์ที่ใช้กำหนดอายุการเก็บของอาหาร

1. การเสื่อมเสียของอาหาร การที่อาหารที่เก็บมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพจนถึงจุดที่ไม่ต้องการ (Undersirable state) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสีย ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงทางเคมี การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัส และการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ การเสื่อมเสียของอาหารอาจเกิดจากปัจจัยต่างๆ เช่น ในระหว่างการขนส่งและการเก็บผลิตภัณฑ์อาหาร อาหารจะสัมผัสกับสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ออกซิเจน และแสง สิ่งแวดล้อมดังกล่าวสามารถกระตุ้นกลไกปฏิกิริยาต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียขึ้นในอาหารได้ (Nongyao, 2013) ซึ่งการบริโภคอาหารที่หมดอายุแล้ว อาจทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค ดังนั้นการระบุอายุการเก็บของอาหารด้วยการแสดงวันที่ผลิตหรือวันหมดอายุของผลิตภัณฑ์ อาหารจึงกำหนดเป็นข้อบังคับทางกฎหมาย การระบุ วันหมดอายุของประเทศไทยจะระบุดังนี้ (งามทิพย์, 2550)

- อาหารที่เก็บได้ไม่เกิน 90 วัน ให้แสดงวันเดือนปีที่หมดอายุการบริโภค
- อาหารที่เก็บได้เกิน 90 วัน ให้แสดงวันเดือนปีที่ผลิต หรือ วันเดือนและปีที่หมดอายุการบริโภค

2. การระบุพารามิเตอร์ เป็นการระบุตัวแปรที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารในระหว่างการทดสอบ ซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญมากที่สุดส่วนหนึ่งเพราะความถูกต้องของระบบวันที่จะขึ้นอยู่กับตัวแปรการตรวจสอบและการตอบสนอง (พารามิเตอร์ที่มีคุณภาพ) ตัวแทนพารามิเตอร์ที่มีคุณภาพ

ควรจะเลือกจากการเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยา การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงทางเคมี การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัส

เมื่อเลือกพารามิเตอร์ที่จำเป็นได้แล้ว ต่อไปต้องกำหนดตัวแปรที่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปใน Shelf-life dating (SLD) จะพิจารณาดังปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ ค่ากิจกรรมของน้ำ ออกซิเจน และออกซิเจนอิสระ ความเป็นกรดต่าง และแสง (Martins *et al.*, 2008) เมื่อได้ตัวแปรที่ควบคุมปฏิกิริยาต่างๆ แล้ว จะได้ปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์ที่เหมาะสม เพื่อนำมาปรับใช้กับผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพที่ต้องการและสามารถควบคุมระบบได้ ซึ่งสามารถนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับ (รุ่งนภา, 2548)

2.9.2 การประเมินอายุการเก็บ

การประเมินอายุการเก็บ (Shelf life evaluation) ของผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ ที่ผ่านการหีบห่อแล้ว ณ อุณหภูมิหนึ่งไม่เพียงแต่ใช้ข้อมูลของผลิตภัณฑ์แต่ยังใช้ข้อมูล จากกระบวนการและบรรยากาศที่ผลิตภัณฑ์ผ่านการแปรรูป การที่คุณภาพของอาหารลดลงหรือเกิดการเสื่อมเสียของอาหารขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลง ทางด้านเคมี กายภาพและจุลินทรีย์ การทดสอบอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารมี 2 วิธี ได้แก่ (งามทิพย์, 2550)

1. การทดสอบในสภาวะปกติ โดยการเก็บผลิตภัณฑ์ทดสอบไว้ที่สภาวะควบคุมปกติ สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบคุณภาพเป็นระยะๆ จนกระทั่งผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพโดยไม่เป็นที่ยอมรับ กำหนดอายุการเก็บตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพจนไม่เป็นที่ยอมรับเป็นอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์นั้น

2. การทดสอบในสภาวะเร่ง โดยการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่สภาวะควบคุมที่สามารถเร่งการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้ เช่น อุณหภูมิสูงกว่าปกติ ความเข้มข้นของออกซิเจนสูงกว่าปกติ เป็นต้น สภาวะการเก็บเหล่านี้จะทำให้เกิดการเสื่อมเสียเร็วขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบจึงสั้นลง จากนั้นนำ ค่าไปแปรผลเป็นอายุการเก็บที่สภาวะปกติ เช่น อาหารชนิดหนึ่งมีอายุการเก็บ 60 วันที่สภาวะปกติและ 15 วันที่สภาวะเร่ง ดังนั้นอายุการเก็บ 1 วันที่ สภาวะเร่งจะเท่ากับ 4 วันที่สภาวะปกติ

2.9.3 ปฏิริยาทางจลนพลศาสตร์

จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาและกราฟอายุการเก็บอาหารต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวภาพ ระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา วัตถุประสงค์ของการแปรรูปและการเก็บรักษามีวิธีการคือ ต้องการควบคุมตัวแปรต่างๆ ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาต่างๆ เกิดขึ้นอย่างเหมาะสมเพื่อให้ได้คุณภาพ ของผลิตภัณฑ์ตามที่ผู้บริโภคต้องการ ปฏิริยาต่างๆ ในอาหารที่เกิดขึ้นระหว่างการ

แปรรูปและการเก็บรักษาจะเกิดขึ้นด้วยอัตราที่แตกต่างกัน ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น ออกซิเดชัน ปฏิกริยาการเกิดน้ำตาล การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ เช่น การเกิดกลิ่นรสผิดปกติ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การเปลี่ยนสี การแยกชั้นของครีม การเปลี่ยนแปลงทางคุณค่าอาหาร เช่น การสูญเสียวิตามิน การเปลี่ยนแปลงของโปรตีน และการเปลี่ยนแปลงทางด้านประสาทสัมผัส เช่น การเปลี่ยนแปลงทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัส การสูญเสียกลิ่นรส (รุ่งนภา, 2548)

ปฏิกิริยาเหล่านี้ ไม่ว่าจะเกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปหรือการเก็บรักษา ต้องเลือกปฏิกิริยาต่างๆ ที่สำคัญที่สุดซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณภาพของ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ผู้บริโภคต้องการและเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาต่างๆ ในอาหาร (งามทิพย์, 2550) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงนี้จึงมักประยุกต์หลักการของปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์ (Kinetic reaction) เพื่อใช้ในการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงและประเมินอายุการเก็บรักษา โดยประเมินการเปลี่ยนแปลงนั้นๆ เป็นค่าอัตรา คือ การเทียบต่อเวลานั่นเอง (ยุทธนา, 2553)

การศึกษาปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์จะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือค่าคุณภาพที่เปลี่ยนไปตามเวลา ในการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงจาก A ไปเป็น B สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ได้ดังภาพ 2.8 โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ 2.1 และ 2.2

$$r_A = -\frac{d[A]}{dt} = k[A]^n \quad 2.1$$

$$r_B = \frac{d[B]}{dt} = k[B]^n \quad 2.2$$

เมื่อ r_A คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของ A เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ($d[A]/dt$)

r_B คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของ B เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ($d[B]/dt$)

k คือ ค่าคงที่อัตรา (สปีดค่า)

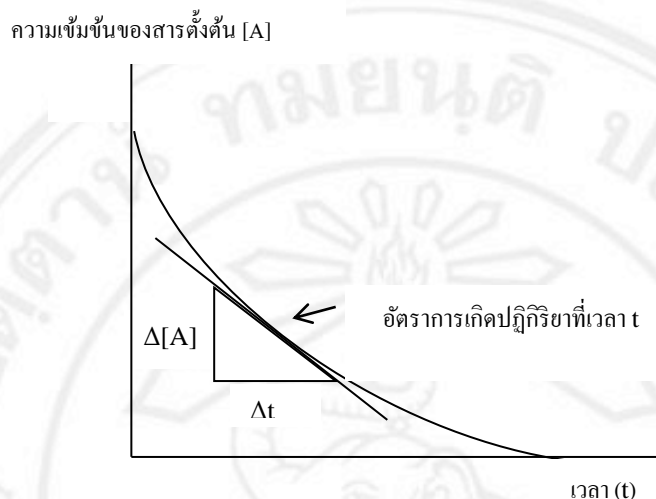
$[A]$ คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้น A

$[B]$ คือ ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ B

n คือ อันดับของปฏิกิริยา

จากสมการการเปลี่ยนแปลงตามกฎอัตราตามสมการ 2.1 และ 2.2 บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในอาหารระหว่างการเก็บรักษา โดยเครื่องหมายบวก (+) และลบ (-) เป็นการบอกทิศทาง

ของปฏิกิริยาว่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยจะประเมินหาค่าคงที่อัตรา (k) ได้จากค่าความชันของกราฟ จากภาพ 2.8



ภาพ 2.8 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ลดลงกับเวลา
ที่มา: ยุทธนา (2553)

2.9.4 อันดับของปฏิกิริยา (Reaction order)

อันดับของปฏิกิริยาเป็นตัวเลขที่ได้จากการทดลอง สามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงได้ดังภาพ 2.8 โดยทั่วไปในการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารต่างๆ มักจะทำให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถอธิบายได้ง่าย จึงมักพบการรายงานค่าอันดับของปฏิกิริยาคด้วยตัวเลขจำนวนเต็มเป็นส่วนใหญ่ เช่น ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่ง หรือสอง โดยความแตกต่างของอันดับของปฏิกิริยาสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.9.4.1 ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero order)

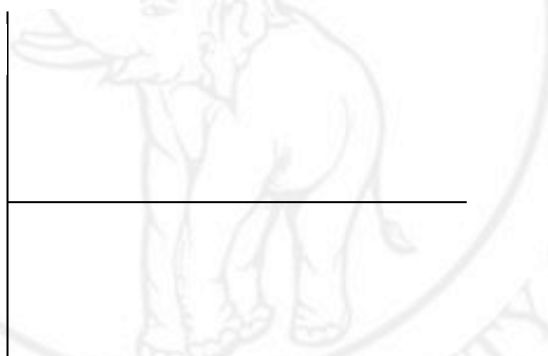
ปฏิกิริยาชนิดนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยามีค่าคงที่ เช่น การเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก A ไปเป็น B แสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ดังสมการ 2.3

$$r_A = -\frac{d[A]}{dt} = k[A]^0 = k \quad 2.3$$

การหาอันดับของปฏิกิริยาสามารถทำได้โดยการอินทิเกรต ซึ่งจะให้ได้รูปแบบของ Quality function ดังสมการ 2.4 โดยเมื่อนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยามีค่าคงที่ ดังภาพ 2.9

$$\begin{aligned} \int_{A_0}^A -dA &= \int_0^t k_z dt \\ -[A - A_0] &= k_z t \\ A &= A_0 - k_z t \\ A_t - A_0 &= -k_z t \end{aligned} \quad 2.4$$

อัตราการเกิดปฏิกิริยา



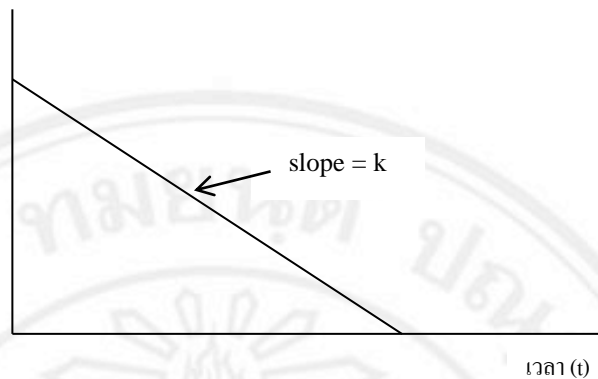
ความเข้มข้นของสารตั้งต้น A; [A]

ภาพ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้น A และอัตราการเกิดปฏิกิริยา

ที่มา: ยุทธนา (2553)

ในกรณีที่สารตั้งต้นมีความเข้มข้นอยู่ในหน่วยโมลาร์ ปฏิกิริยาอันดับศูนย์จะมีหน่วยเป็นโมลาร์ต่อวินาที ($\text{mol.L}^{-1}.\text{sec}^{-1}$) แต่ในกรณีที่ค่าคุณภาพอยู่ในหน่วยอื่นๆ เช่น ร้อยละ หน่วยที่ได้อาจเป็นร้อยละต่อวินาที ($\%.\text{sec}^{-1}$) เมื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูล การเปลี่ยนแปลงจะเป็นลักษณะเส้นตรง ซึ่งสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ของการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของค่าคุณภาพได้ดังภาพ 2.10

ความเข้มข้นของสารตั้งต้น A



ภาพ 2.10 การลดลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้น A เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นตามรูปแบบของ

ปฏิกิริยาอันดับศูนย์

ที่มา: บุทธนา (2553)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของปฏิกิริยาอันดับศูนย์อาจเป็นการเปลี่ยนแปลงที่พบในคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารแช่เยือกแข็งหรือการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด

2.9.4.2 ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First order)

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเป็นปฏิกิริยาที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังหนึ่ง โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลง สังเกตได้จากอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเป็นไปอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากมีความเข้มข้นของสารตั้งต้นมาก และจะอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะช้าลงจนเข้าสู่สภาวะคงที่ดังภาพ 2.11 โดยที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาเป็นดังสมการ 2.5 และอันดับของปฏิกิริยาสามารถหาได้โดยการอินทิเกรตให้ได้รูปแบบของ Quality function ดังสมการ 2.6

$$r_A = -\frac{d[A]}{dt} = k[A]^1 \quad 2.5$$

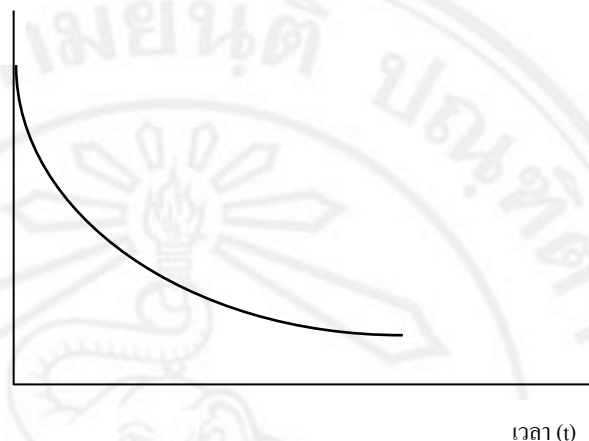
$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]^1 = k_f$$

$$\int_{A_0}^A -\frac{dA}{A} = \int_0^t k_f dt$$

$$-\ln \left[\frac{A}{A_0} \right] = k_f t$$

$$A = A_0 e^{-k_f t} \quad 2.6$$

ความเข้มข้นของสารตั้งต้น A



ภาพ 2.11 การลดลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้น A เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นตามรูปแบบของ
ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง
ที่มา: ยุทธนา (2553)

แต่อาจไม่สร้างความสัมพันธ์ด้วยการใช้ลอการิทึมธรรมชาติ (Natural log; ln) แต่
ใช้ \log_{10} ซึ่งจะได้รูปแบบความสัมพันธ์เปลี่ยนแปลงดังสมการ 2.7

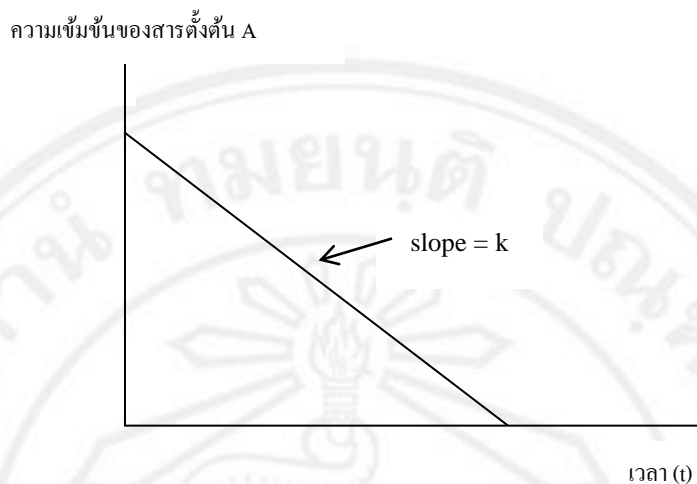
$$\log \left[\frac{A}{A_0} \right] = -\frac{k_f}{2.303} t$$

$$A = A_0 10^{-\frac{k_f}{2.303} t} \quad 2.7$$

โดยทั่วไปการตรวจสอบว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งหรือไม่ จะสร้างรูปแบบ
ความสัมพันธ์ใหม่ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง ($y = ax + b$) ด้วยการเปลี่ยนฐานลอการิทึมธรรมชาติ
ดังสมการ 2.8 และ 2.9 ซึ่งจะทำให้ได้ความสัมพันธ์ของกราฟดังภาพ 2.12

$$\ln(A_t - A_0) = -k t \quad 2.8$$

$$\ln \left(\frac{A}{A_0} \right) = -k_1 t \rightarrow \ln A = -k_1 t + \ln A_0 \quad 2.9$$



ภาพ 2.12 การลดลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้น A เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นตามรูปแบบของ
ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเมื่อทำการแปลงรูปแบบเป็นสมการเส้นตรง

ที่มา: ยุทธนา (2553)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งอาจเป็นการเปลี่ยนแปลงที่พบใน
คุณภาพทางเคมี เช่น การลดลงของปริมาณวิตามิน หรือการเพิ่มขึ้นของเชื้อจุลินทรีย์

2.9.4.3 ปฏิกิริยาอันดับสอง (Second order)

ปฏิกิริยาอันดับสองเป็นปฏิกิริยาที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ
สารตั้งต้นหนึ่งชนิดยกกำลังสอง หรือขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นสองชนิด แต่ละชนิดยก
กำลังหนึ่ง หรือเป็นความเข้มข้นของสารตั้งต้นสามชนิด แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับสารตั้ง
ต้นเพียงสองชนิด อัตราการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาสามารถเขียนได้ดังสมการ 2.10, 2.11 และ
2.12 ตามลำดับ และสามารถหาอันดับของปฏิกิริยาสามารถทำได้โดยการอินทิเกรต ซึ่งจะทำได้
รูปแบบของ Quality function ดังสมการ 2.13 โดยที่หน่วยของปฏิกิริยาอันดับสองอาจจะเป็นต่อ
ความเข้มข้นต่อวินาที ($\text{mol}^{-1} \cdot \text{L} \cdot \text{sec}^{-1}$)

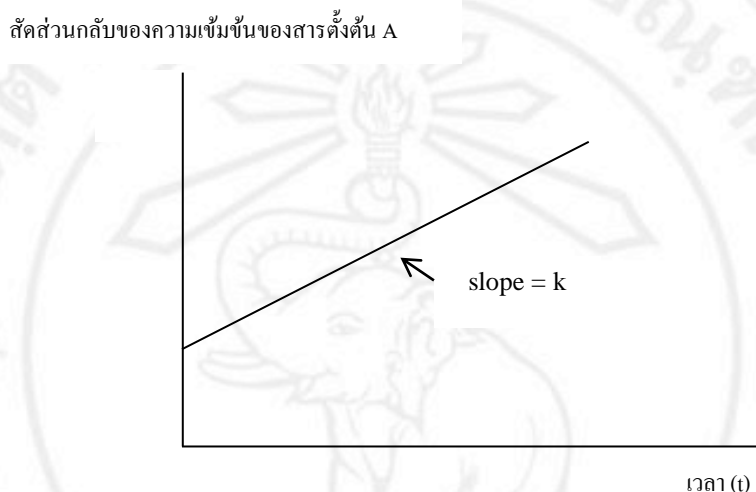
$$r = k_2 [A]^2 \quad 2.10$$

$$r = k_2 [A][B] \approx k_2 [A]^2 \quad 2.11$$

$$r = k_2 [A][B] \quad 2.12$$

$$\frac{1}{A_t} - \frac{1}{A_0} = kt \quad 2.13$$

ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาจะคล้ายกับปฏิกิริยาอันดับหนึ่งและเมื่อสร้างความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรงจะมีลักษณะดังภาพ 2.13



ภาพ 2.13 การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนกลับของความเข้มข้นของสารตั้งต้น A เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นตามรูปแบบของปฏิกิริยาอันดับสองเมื่อทำการแปลงรูปแบบเป็นสมการเส้นตรง

ที่มา: ยุทธนา (2553)

ส่วนอันดับปฏิกิริยาอื่นๆ สามารถประยุกต์ด้วยการหาอันดับของปฏิกิริยาได้ด้วยการอินทิเกรตได้เช่นกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในผลิตภัณฑ์อาหารที่พบว่าสามารถอธิบายได้ด้วยปฏิกิริยาอันดับสองไม่มากนัก เช่น การเกิดออกซิเดชัน เป็นต้น

2.9.5 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญซึ่งส่งผลต่ออายุการเก็บรักษา ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก โดยอุณหภูมิต่ำปฏิกิริยาจะเกิดอย่างช้าๆ และที่อุณหภูมิสูงปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่า ดังนั้นในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารจึงมักใช้อุณหภูมิในการศึกษาเป็นหลัก แล้วใช้แบบจำลองหรือโมเดลมาอธิบายการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยา

2.9.5.1 โมเดลเชิงเส้นตรง

ใช้อธิบายอัตราการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาที่ขึ้นกับอุณหภูมิ มีรูปแบบดังสมการ

2.14

$$k = k_0 e^{b(T-T_0)} \quad 2.14$$

เมื่อ	k_0	คือ ค่าคงที่อัตราที่อุณหภูมิ T_0 (องศาเซลเซียส; °C)
	k	คือ ค่าคงที่อัตราที่อุณหภูมิ T (องศาเซลเซียส; °C)
	b	คือ ค่าคงที่คุณสมบัติของปฏิกิริยา
	e	เท่ากับ 2.7183

2.9.5.2. โมเดลของอาร์เรเนียส

สมการของอาร์เรเนียสใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่ออธิบายผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยา โดยมีรูปแบบความสัมพันธ์ ดังสมการ 2.15

$$k = k_0 e^{\frac{-E_a}{RT}} \quad 2.15$$

เมื่อ k_0 คือ ค่าคงที่อัตราที่มักเรียกว่า Pre-exponential หรือ Frequency factor

k คือ ค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยา

E_a คือ ค่าพลังงานกระตุ้น (Activation energy) หรือค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (J/mol)

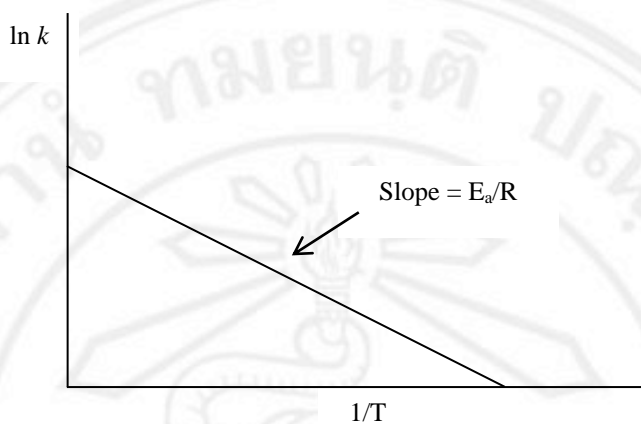
R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (8.314 J.mol⁻¹.K⁻¹)

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (องศาเคลวิน; °K)

โดยสามารถเปลี่ยนความสัมพันธ์ดังกล่าวให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงได้ โดยการเปลี่ยนฐานลอการิทึมธรรมชาติเข้าไป คล้ายคลึงกับการเปลี่ยนสมการความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งให้อยู่ในรูป Quality function ทำให้ได้สมการเส้นตรงดังสมการ 2.16

$$\ln k = \ln k_0 - E_a / RT \quad 2.16$$

และเมื่อนำสมการที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln k$ กับ $1/T$ จะได้ความชันของกราฟ คือ $-E_a/R$ แสดงดังภาพ 2.14



ภาพ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln k$ กับ $1/T$ ตามสมการของอาร์เรเนียส

ที่มา: ยุทธนา (2553)

ค่าพลังงาน E_a เป็นตัวบ่งชี้ว่าปฏิกิริยานั้นมีความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิมากหรือน้อย ถ้าค่า E_a สูงแสดงว่าปฏิกิริยานั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นอย่างมาก คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่ออุณหภูมิต่ำลงปฏิกิริยาจะเกิดได้ช้า ยุทธนา (2553)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาของ Iyidogan and Bayindirli (2004) พบว่าการใช้ปริมาณ แอล-ซีสเทอีน 3.96 มิลลิโมลาร์ กรดโคจิก 2.34 มิลลิโมลาร์ และ 4-เฮกซิลเรโซซินอล 2.34 มิลลิโมลาร์ ร่วมกันจะช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในน้ำแอปเปิ้ลได้ร้อยละ 89.2 เมื่อเก็บไว้ 24 ชั่วโมง นอกจากนี้ Perez-Cabrera *et al.* (2011) ได้ศึกษาผลของการดำนํ้าตาลในลูกแพร์ร่วมกับกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ พบว่า การใช้สารละลายแอสคอร์เบทร่วมกับแคลเซียมแลคเตทจะช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของลูกแพร์เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้นาน 20 วัน ส่วนแคลเซียมแลคเตทจะมีผลต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามจากการศึกษาด้านการเกิดสีน้ำตาลในลำไยหลังการเก็บเกี่ยวพบว่า เอ็น-อะซิติด-แอล-ซีสเทอีนและ 4-เฮกซิลเรโซซินอลช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลต่อลำไยได้ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน (Chiraporn *et al.*, 2008) และยังปรากฏรายงานของ ไพโรจน์ และคณะ (2549a) พบว่ามีการใช้ระบบสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ลำไยกึ่งแห้ง โดยระบบสารละลายที่เหมาะสม คือ 4-เฮกซิลเรโซซินอล 5 ส่วนในล้านส่วน กรดซิตริกร้อยละ 0.43 กรดแอสคอร์บิกร้อยละ 0.26 โซเดียมอีริทอร์เบทร้อยละ 3 และโซเดียมแอซิดไฟโรฟอสเฟตร้อยละ 3

กฤติยา (2546) ได้ศึกษาผลของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลของพลับกึ่งแห้ง พบว่าสูตรที่เหมาะสมของสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลคือ 4-เฮกซิลเรโซซินอล 100 ส่วนในล้านส่วน กรดแอสคอร์บิกร้อยละ 2 กรดซิตริกร้อยละ 1.7 โซเดียมอีริทอร์เบทร้อยละ 1.7 และโซเดียมแอซิดไฟโรฟอสเฟตร้อยละ 0.5 และยังศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการแช่พลับคือ 33 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 นาที รวมทั้งการทำแห้งด้วยเครื่องสุญญากาศจะใช้เวลาที่เหมาะสมคือ 48 ชั่วโมง

นอกจากนี้ ฐิตยวดี (2552) ได้ศึกษาเพื่อคัดเลือกสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่มีศักยภาพต่อเนื้อมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ พบว่า สารละลายผสมระหว่าง 4-เฮกซิลเรโซซินอลความเข้มข้นร้อยละ 0.01 กับไอโซแอสคอร์บิก ความเข้มข้นร้อยละ 9.0 กับโพแทสเซียมซอร์เบท ความเข้มข้นร้อยละ 0.85 ร่วมกับการแช่ในสภาวะสุญญากาศที่ระดับ 50 มิลลิเมตรปรอท เวลา 20 นาที และแช่ต่อที่สภาวะปกติ 2 นาที ก่อนนำไปอบแห้ง สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้มากที่สุด ดังนั้น สารละลายดังกล่าวจึงสามารถใช้เพื่อทดแทนการใช้สารประกอบซัลไฟด์ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ ได้

Jeong *et al.* (2008) ได้ศึกษาผลของสารละลายซีสเทอีนร้อยละ 0.5 และสารละลายกรดแอสคอร์บิกร้อยละ 0.5 พบว่าสามารถช่วยยับยั้งการเกิดโพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase; PPO) ซึ่งจะช่วยในการลดการเปลี่ยนแปลงของสีในแอปเปิ้ลพุดไม่ให้เกิดสีน้ำตาลได้ Li-Fei *et al.*

(2003) ได้ศึกษาความคงตัวของสีของสารสกัดชาเขียว พบว่าการใช้กรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 0.1 จะไม่ทำให้สีของสารสกัด ชาเขียวเปลี่ยนไปเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 3 วัน กรดแอสคอร์บิกสามารถใช้ได้อย่างปลอดภัย เพราะเป็นสารที่มาจากธรรมชาติ และได้รับการรับรองให้สามารถใช้ได้ในผักและผลไม้ (Alvarez and Chiralt, 2000)

ศศิวิมล และอริสรา (2548) ได้ศึกษาระบบสารละลายออสโมติกในการผลิตลำไยกึ่งแห้ง เพื่อให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มและมีรสหวานลดน้อยลง โดยผลการศึกษาพบว่า การใช้กลีเซอรอล จะส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ด้านแรงเค้น ซึ่งระดับที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 1 นอกจากนี้ในผลิตภัณฑ์ลูกกวาดกลีเซอรอลจะช่วยยับยั้งการเกิดผลึกของน้ำตาล ทำให้ลูกกวาดที่ได้มีความเนียน และอาจใช้ซอร์บิทอลหรือโพลิธรีนไกลคอลในระดับร้อยละ 4 แทนได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเป็น softener เพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความนุ่มและชุ่มชื้น (ไพโรจน์ และคณะ, 2549) นอกจากนี้ ไพโรจน์ และคณะ (2544) รายงานว่าการพัฒนากระบวนการผลิตมะม่วงแก้วอบแห้งเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยอาศัยกระบวนการร่วมระหว่างการแช่มะม่วงในระบบสารละลาย ได้แก่ น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 55 กลีเซอรอล ร้อยละ 45 โซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.15 และแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.25 ค่อน้ำ 100 กรัม เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาสูตรของสารละลายในระบบออสโมติกในการผลิตลำไยกึ่งแห้ง โดยใช้กลีเซอรอล ร้อยละ 17 และโพลิธรีนไกลคอลร้อยละ 2 เพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยกึ่งแห้ง (ไพโรจน์ และคณะ, 2549b) จากงานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ากลีเซอรอลมีความสามารถในการช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสได้

Irene and Diane (2000) ได้ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมแลคเตตในการยืดอายุการเก็บรักษาแคนตาลูปด้วยการแช่เป็นเวลา 1 นาที ที่ระดับร้อยละ 2.5 พบว่า แคลเซียมแลคเตตสามารถเพิ่มความแน่นเนื้อให้กับผลิตภัณฑ์ได้เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 วัน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับสารให้ความหวานอื่นๆ เช่น อิริโททอลเป็นสารชนิดหนึ่งที่ช่วยในการให้เนื้อสัมผัสและปรับปรุงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม มีการรับรองให้ใช้ในหลายประเทศและมีความปลอดภัยต่อการใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ (Cock and Bechert, 2002) ดังนั้นจึงน่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเนื้อลำไยเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสได้

งานวิจัยในปัจจุบันได้มีการใช้สารละลายแคลเซียมแลคเตตซึ่งไม่ทำให้กลิ่นและรสผิดปกติในแคนตาลูปตัดแต่งพร้อมบริโภค (Luna-Guzman and Barette, 2000) นอกจากนี้มีงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ความร้อน (Heat-shock) ร่วมกับสารละลายแคลเซียมในการรักษาความแน่นเนื้อ โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ของผักและผลไม้ตัดแต่ง เช่น เมล่อน แอปเปิ้ล แครอท และผักกาดหอมห่อ เป็นต้น (Martin-Diana *et al.*, 2006; Rico *et al.*, 2007) โดยจากการศึกษาของ

สุจินดาและเสาวภา (2551) ในการจุ่มแก้วมังกรสีแดงตัดแต่งพร้อมบริโกลในสารละลายแคลเซียม แลคเตทระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 1.5 และ 2.5 ที่อุณหภูมิ 20 และ 60 องศาเซลเซียส (Heat-shock) เป็นเวลานาน 1 นาที และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 12 วัน พบว่า การใช้สารละลายแคลเซียมแลคเตทที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะทำให้แก้วมังกรสีแดงตัดแต่งพร้อมบริโกลมีความแน่นเนื้อและได้รับคะแนนการยอมรับคุณภาพโดยรวมมากที่สุด และจากผลงานวิจัยของ Dong *et al.* (2000) ซึ่งได้ทดลองจุ่มลูกแพร์สดตัดแต่งในสารละลายผสมระหว่าง 4-เฮกซิลเรโซซินอลร้อยละ 0.01 กรดแอสคอร์บิกร้อยละ 0.5 แคลเซียมแลคเตทร้อยละ 1.0 เป็นเวลา 2 นาที และบรรจุในภาชนะบรรจุกึ่งสุญญากาศ นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-5 องศาเซลเซียส พบว่าลูกแพร์ที่ได้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสดีขึ้น และมีอายุการเก็บถึง 30 วัน

จากงานวิจัยของณัญญา (2545) ที่ได้ศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์มะม่วงแก้วอบแห้ง พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งมะม่วงด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ คือ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4.78 ชั่วโมง รวมทั้งไฟโรจน์ และคณะ (2549b) ยังได้ศึกษากระบวนการแช่ลำไยในระบบสารละลายออสโมติกในการผลิตลำไยกึ่งแห้งสำเร็จรูปเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยระบบสารละลายออสโมติกที่เหมาะสม คือกลูโคสไฮดรอลร้อยละ 30 มอลโทเด็กซ์ทรินร้อยละ 10 กลีเซอรอลร้อยละ 21 และโพแทสเซียมซอร์เบทร้อยละ 0.075 ร่วมกับการแช่แบบสุญญากาศที่ความดัน -0.8 บาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งลำไย 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ลำไยกึ่งแห้งสำเร็จรูปมากที่สุด

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ลำไยเป็นไม้ผลเศรษฐกิจหลักชนิดหนึ่งของไทย โดยสามารถผลิตได้ทั้งในฤดูและนอกฤดู ผลผลิตของลำไยจึงสามารถส่งออกจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ ทั้งแบบผลสด แต่ลำไยเป็นผลไม้ที่มีอายุการเก็บรักษาสั้น จึงมีการแปรรูปด้วยการอบแห้ง การแช่แข็ง หรือลำไยกระป๋อง เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาประเทศไทยนับเป็นผู้ส่งออกลำไยรายใหญ่ของโลก โดยมีตลาดส่งออกหลัก เช่น สาธารณรัฐประชาชนจีน อินโดนีเซีย และฮ่องกง โดยในปี 2553 ลำไยสดและผลิตภัณฑ์มีปริมาณการส่งออก 295,000 ตันเศษ คิดเป็นมูลค่า 5,632 ล้านบาท (มูลนิธิโอทีเพื่อสังคม, 2554)

ในผลลำไยจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 70 ของน้ำหนักผลสด การผลิตลำไยอบแห้งในปัจจุบันจะใช้วิธีการอบด้วยลมร้อน ซึ่งการอบแห้งผลลำไยให้สามารถเก็บรักษานานโดยไม่เกิดปัญหาเกี่ยวกับเชื้อรา ในการอบแห้งจะต้องลดความชื้นให้เหลือต่ำกว่าร้อยละ 18 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งลำไยอยู่ในช่วง 70-80 องศาเซลเซียส การควบคุมอุณหภูมิของตู้อบแห้งให้คงที่ในช่วงดังกล่าวเป็นปัจจัยที่สำคัญ ถ้าใช้อุณหภูมิลมร้อนต่ำ ระยะเวลาในการอบแห้งจะเพิ่มมากขึ้น ถ้าใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้เนื้อลำไยมีกลิ่นไหม้และมีสีดำ และจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหนึ่งที่เกิดในกระบวนการผลิตลำไยอบแห้ง โดยจะทำให้ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ซึ่งจะทำให้อายุการวางจำหน่ายสั้นลง โดยทั่วไปกระบวนการผลิตจะมีการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อไปยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล แต่สารดังกล่าวอาจทำให้ผู้บริโภคบางคนเกิดอาการแพ้ได้ (นิธิยา, 2544) ประกอบกับในปัจจุบันลำไยอบแห้งยังมีความเหนียวและมีรสหวานมากเกินไป รวมทั้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลสูง การหาสารที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลเพื่อทดแทนซัลเฟอร์ไดออกไซด์และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีต่างๆ ในการปรับปรุงทางด้านลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส และรสชาติของลำไยอบแห้งจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง โดยใช้เทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศเพื่อปรับปรุงลักษณะปรากฏด้านสี และลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง นอกจากนี้จะมีการศึกษาสารด้านการเกิดสีน้ำตาลเพื่อทดแทนการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

และศึกษาสารละลายออกซิโมติกเพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้น เพื่อเป็นปัจจัยในการยอมรับและปลอดภัยแก่ผู้บริโภค

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณที่เหมาะสมของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลในระบบสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่มีต่อคุณภาพสีของลำไยอบแห้ง
2. เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณที่เหมาะสมของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสในระบบสารละลายออกซิโมติกที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง
3. เพื่อศึกษากระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง
4. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่ผลิตด้วยเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ

1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎีและ/หรือเชิงประยุกต์

1. ทราบชนิดและปริมาณที่เหมาะสมของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลในระบบสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาลที่มีต่อคุณภาพสีของลำไยอบแห้ง
2. ทราบชนิดและปริมาณที่เหมาะสมของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสในระบบสารละลายออกซิโมติกที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง
3. ทราบถึงระดับความเป็นสุญญากาศ เวลาในการแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ และเวลาในการแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสม
4. ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่ผลิตด้วยเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ใช้ลำไยพันธุ์ดอ (*Dimocarpus longan* Lour.) จาก อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ เป็นวัตถุดิบในการผลิตลำไยอบแห้งด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ และใช้สารด้านการเกิดสีน้ำตาลในการปรับปรุงคุณภาพสีเพื่อทดแทนการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และใช้สารละลายออกซิโมติกในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้งเพื่อส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญ	๗
สารบัญตาราง	๘
สารบัญภาพ	๙
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ลำไย	3
2.2 การแปรรูปลำไยอบแห้ง	7
2.3 มาตรฐานลำไยอบแห้ง	7
2.4 ปฏิบัติการเกิดสีน้ำตาล	8
2.5 เทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ	13
2.6 กระบวนการทำแห้งอาหาร	14
2.7 เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ	17
2.8 วัตถุดิบอาหาร	19
2.9 อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร	26

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	41
3.1 วัตถุดิบ อุปกรณ์ และสารเคมี	41
3.2 วิธีการทดลอง	43
การทดลองที่ 1 การศึกษาระบบสารละลายผสมของสารด้านการเกิดสีน้ำตาล	43
และสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่เหมาะสม	
ตอนที่ 1.1 การกลั่นกรองชนิดและสารด้านการเกิดสีน้ำตาลที่มีผลต่อการ	43
ด้านการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในลำไยอบแห้ง	
ตอนที่ 1.2 การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลใน	45
ระบบสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล	
ตอนที่ 1.3 การกลั่นกรองชนิดของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสในระบบ	46
สารละลายออสโมติกที่มีผลต่อการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของ	
ลำไยอบแห้ง	
ตอนที่ 1.4 การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสใน	47
ระบบสารละลายออสโมติก	
การทดลองที่ 2 การศึกษากระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสม	48
การทดลองที่ 3 การประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่ผลิตด้วย	50
กระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ	
การทดลองที่ 4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่	50
ผลิตด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศในระหว่างการ	
เก็บรักษา	

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	
4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาระบบสารละลายผสมของสารด้านการเกิดสีน้ำตาล	52
และสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่เหมาะสม	
ตอนที่ 1.1 การกลั่นกรองชนิดและสารด้านการเกิดสีน้ำตาลที่มีผลต่อการ	52
ด้านการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในลำไยอบแห้ง	
ตอนที่ 1.2 การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลใน	56
ระบบสารละลายด้านการเกิดสีน้ำตาล	

ตอนที่ 1.3 การกลั่นกรองชนิดของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสในระบบ สารละลายออสโมติกที่มีผลต่อการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของ ลำไยอบแห้ง	60
ตอนที่ 1.4 การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสใน ระบบสารละลายออสโมติก	66
4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษากระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะที่เหมาะสม	70
4.3 การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์สุดท้าย	78
4.4 การทดลองที่ 4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่ ผลิตด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในระหว่าง การเก็บรักษา	81
4.4.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์	81
4.4.2 การคาดคะเนอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง	99
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	123
5.1 สรุปผลการทดลอง	123
5.2 ข้อเสนอแนะ	125
เอกสารอ้างอิง	126
ภาคผนวก	135
ภาคผนวก ก ภาพประกอบการทดลอง	136
ภาคผนวก ข แบบสอบถามทางประสาทสัมผัส	142
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์	145
ประวัติผู้เขียน	157

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 คุณค่าทางโภชนาการและส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อลำไยสดและเนื้อลำไยอบแห้ง	6
3.1 ระดับชนิดสารต้านการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในลำไยอบแห้ง	44
3.2 แผนการทดลองแบบ Plackett and Burman Design (N=8)	44
3.3 ปริมาณของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล และกรดแอสคอร์บิกที่ใช้ในการทดลอง	46
3.4 ระดับของสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง	47
3.5 ระดับปัจจัยที่ศึกษาของกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ	48
3.6 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศของสารละลายออสโมติก	49
4.1 คุณภาพด้านลักษณะสีปรากฏและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งจากการกลั่นกรองปัจจัยที่มีผลกระทบ	52
4.2 ผลกระทบของชนิดของสารต้านสีน้ำตาลที่มีผลต่อคุณภาพของลำไยอบแห้ง	53
4.3 ผลกระทบของปัจจัยต่อค่าสังเกตและจำนวนผลกระทบที่มีผลต่อคุณภาพของลำไยอบแห้งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 80	54
4.4 คุณภาพด้านลักษณะสีปรากฏและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งจากการกลั่นกรองปัจจัยที่มีผลกระทบ	57
4.5 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารต้านการเกิดสีน้ำตาล	57
4.6 สมการความสัมพันธ์ระหว่าง 4-เฮกซิลเรโซซินอล และกรดแอสคอร์บิกที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง	58
4.7 คุณภาพด้านสีปรากฏ เคมี และลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้งจากการกลั่นกรองสารออสโมติกที่มีผลกระทบ	60
4.8 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของลำไยอบแห้งจากการกลั่นกรองสารออสโมติกที่มีผลกระทบ	62
4.9 ผลกระทบของชนิดของสารออสโมติกที่มีผลต่อคุณภาพของลำไยอบแห้ง	62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.10 คุณภาพด้านสีปรากฏของลำไยอบแห้งจากการแปรผันปริมาณแคลเซียมแลคเตต	66
4.11 คุณภาพทางเคมีของลำไยอบแห้งจากการแปรผันปริมาณแคลเซียมแลคเตต	67
4.12 คุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้งจากการแปรผันปริมาณแคลเซียมแลคเตต	68
4.13 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของลำไยอบแห้งจากการแปรผันปริมาณแคลเซียมแลคเตต	69
4.14 คุณภาพด้านสีปรากฏของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในการศึกษากระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสม	70
4.15 คุณภาพทางเคมีของลำไยอบแห้งจากการศึกษากระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสม	71
4.16 คุณภาพทางลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในการศึกษากระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสม	72
4.17 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในการศึกษากระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสม	72
4.18 สมการความสัมพันธ์ความเป็นสุญญากาศ เวลาแช่สารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ และเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง	73
4.19 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี ประสาทสัมผัส และจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่ทำการพัฒนาได้	78
4.20 ต้นทุนการผลิตลำไยอบแห้งด้วยเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ	80
4.21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.22 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* ของผลิตภัณฑ์ล้าโยบแห่งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	84
4.23 การเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของผลิตภัณฑ์ล้าโยบแห่งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	85
4.24 การเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของผลิตภัณฑ์ล้าโยบแห่งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	86
4.25 การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ล้าโยบแห่งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	88
4.26 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงเฉือนของผลิตภัณฑ์ล้าโยบแห่งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	89
4.27 การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ล้าโยบแห่งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	90
4.28 การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ล้าโยบแห่งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	93
4.29 การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวของผลิตภัณฑ์ล้าโยบแห่งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.30	การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	96
4.31	ค่าสังเกตด้านปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g) ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	98
4.32	ค่าสังเกตด้านปริมาณยีสต์รา (cfu/g) ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา (สภาวะบรรยากาศปกติและบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน) ที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส	98
4.33	สมการเส้นตรงและค่าคงที่อัตราการลดลงของค่า L^* เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน	100
4.34	สมการเส้นตรงและค่าคงที่อัตราการลดลงของค่า b^* เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน	104
4.35	สมการเส้นตรงและค่าคงที่อัตราการลดลงของของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน	107
4.36	สมการเส้นตรงและค่าคงที่อัตราการลดลงของของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน	111
4.37	สมการเส้นตรงและค่าคงที่อัตราการลดลงของของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน	114
4.38	สมการเส้นตรงและค่าคงที่อัตราการลดลงของของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน	118

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 ปฏิบัติการเกิดสื่อน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์	9
2.2 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด	11
2.3 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง	15
2.4 โครงสร้างของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล	20
2.5 โครงสร้างทางเคมีของกรดแอสคอร์บิก	21
2.6 โครงสร้างของกลีเซอรอล	23
2.7 ปฏิบัติการไฮโดรจีเนชันเปลี่ยนโมเลกุลกลูโคสเป็นซอร์บิทอล	25
2.8 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ลดลงกับเวลา	30
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้น A และอัตราการเกิดปฏิกิริยา	31
2.10 การลดลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้น A เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นตามรูปแบบของปฏิกิริยาอันดับศูนย์	32
2.11 การลดลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้น A เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นตามรูปแบบของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง	33
2.12 การลดลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้น A เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นตามรูปแบบของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเมื่อทำการแปลงรูปแบบเป็นสมการเส้นตรง	34
2.13 การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนกลับของความเข้มข้นของสารตั้งต้น A เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นตามรูปแบบของปฏิกิริยาอันดับสองเมื่อทำการแปลงรูปแบบเป็นสมการเส้นตรง	35
2.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln k$ กับ $1/T$ ตามสมการของอาร์เรเนียส	37
3.1 กระบวนการผลิตลำไยอบแห้งด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ	45
4.1 พื้นที่การตอบสนองของค่า L^* และคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง	59
4.2 พื้นที่การตอบสนองของปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีเหลือง ความเหนียวและแรงฉีกของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง	77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.3 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี L^* เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน	99
4.4 การลดลงของค่าสี L^* ตามปฏิริยาอันดับหนึ่งที่เปลี่ยนความสัมพันธ์เป็นแบบ สมการเส้นตรง	100
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิริยาการเปลี่ยนแปลงของค่าสี L^* ของถูลามิเนตในสภาวะบรรยากาศปกติตามสมการของอาร์รีเนียส	101
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิริยาการเปลี่ยนแปลงของค่าสี L^* ของถูลามิเนตในสภาวะไนโตรเจนตามสมการของอาร์รีเนียส	101
4.7 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี b^* เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35°C เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน	102
4.8 การลดลงของค่าสี b^* ตามปฏิริยาอันดับหนึ่งที่เปลี่ยนความสัมพันธ์เป็นแบบ สมการเส้นตรง	103
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิริยาการเปลี่ยนแปลงของค่าสี b^* ของถูลามิเนตในสภาวะบรรยากาศปกติตามสมการของอาร์รีเนียส	104
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิริยาการเปลี่ยนแปลงของค่าสี b^* ของถูลามิเนตในสภาวะไนโตรเจนตามสมการของอาร์รีเนียส	105
4.11 การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุ ด้วยก๊าซไนโตรเจน	106
4.12 การลดลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีตามปฏิริยาอันดับศูนย์ ที่เปลี่ยนความสัมพันธ์เป็นแบบสมการเส้นตรง	107
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิริยาการเปลี่ยนแปลงของคะแนน คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีของถูลามิเนตในสภาวะบรรยากาศปกติตาม สมการของอาร์รีเนียส	108

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของคะแนน คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีของถุงลามิเนตในสภาวะไนโตรเจนตาม สมการของอาร์รีเนียส	108
4.15 การเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น เมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ในสภาวะบรรยากาศ ปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน	109
4.16 การลดลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นตามปฏิกิริยาอันดับ ศูนย์ที่เปลี่ยนความสัมพันธ์เป็นแบบสมการเส้นตรง	110
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของคะแนน คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของถุงลามิเนตในสภาวะบรรยากาศปกติ ตามสมการของอาร์รีเนียส	111
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของคะแนน คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของถุงลามิเนตในสภาวะไนโตรเจนตาม สมการของอาร์รีเนียส	112
4.19 การเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวเมื่อเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ในสภาวะบรรยากาศ ปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน	113
4.20 การลดลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวตามปฏิกิริยา อันดับศูนย์ที่เปลี่ยนความสัมพันธ์เป็นแบบสมการเส้นตรง	114
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของคะแนน คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวของถุงลามิเนตในสภาวะบรรยากาศ ปกติตามสมการของอาร์รีเนียส	115
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของคะแนน คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวของถุงลามิเนตในสภาวะ ไนโตรเจนตามสมการของอาร์รีเนียส	115

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.23	การเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ในสภาวะบรรยากาศปกติ และบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน	116
4.24	การลดลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์ที่เปลี่ยนความสัมพันธ์เป็นแบบสมการเส้นตรง	117
4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มของถั่วลันเตาในสภาวะบรรยากาศปกติตามสมการของอาร์วีเนียส	118
4.26	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มของถั่วลันเตาในสภาวะไนโตรเจนตามสมการของอาร์วีเนียส	119

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงคุณภาพสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้งด้วยเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ

ผู้เขียน นางสาวเกวลิน หอมหวล

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การพัฒนาลิขสิทธิ์อุตสาหกรรมเกษตร)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ วิริยจารี

บทคัดย่อ

การปรับปรุงคุณภาพสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้งด้วยเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ จะทำการศึกษาสารด้านการเกิดสีน้ำตาลและสารละลายออกซิโมติกเพื่อทดแทนการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไยอบแห้ง จากการศึกษาชนิดและปริมาณของสารด้านการเกิดสีน้ำตาลที่เหมาะสมพบว่า 4-เฮกซิลเรโซซินอล และกรดแอสคอร์บิก เป็นปัจจัยหลักที่มีความสำคัญต่อคุณภาพด้านกายภาพและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งระดับที่เหมาะสมของ 4-เฮกซิลเรโซซินอล เท่ากับร้อยละ 0.01 และกรดแอสคอร์บิก เท่ากับร้อยละ 0.07 จากนั้นศึกษาชนิดและปริมาณของสารละลายออกซิโมติกเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัส พบว่า แคลเซียมแลคเตต เป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณภาพด้านประสาทสัมผัส ของผลิตภัณฑ์มากที่สุด ซึ่งระดับที่เหมาะสมของ แคลเซียมแลคเตต เท่ากับร้อยละ 0.8 โดยปัจจัยรองที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ กลีเซอรอล อิริโททอล และซอร์บิทอล จะใช้ในระดับร้อยละ 20 ร้อยละ 1 และร้อยละ 4 ตามลำดับ และจากการศึกษากระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสมจะใช้เวลาเป็นสุญญากาศ -0.9 บาร์ และเวลาแช่สารละลายหลังกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ คือ 30 นาที

การศึกษากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษาพบว่า สภาวะการบรรจุ อุณหภูมิ และเวลาในการเก็บรักษา มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของ

ผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการเก็บรักษาในถุงลามิเนตบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จะให้คุณภาพทางด้านสี และการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ดีกว่า และคงคุณภาพได้นานกว่าการเก็บรักษาด้วยวิธีการบรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ และการเก็บในสภาวะดังกล่าวจะสามารถคงคุณภาพด้านสี และเนื้อสัมผัสได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส โดยผลิตภัณฑ์ไส้ยอบแห้งที่เก็บในถุงลามิเนตบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้นานถึง 15 สัปดาห์ ในขณะที่การบรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติจะเก็บได้นาน 11 สัปดาห์

Thesis Title	Color and Texture Improvement of Dried Longan by Vacuum Impregnation Technology
Author	Miss. Kaewalin Homhuan
Degree	Master of Science (Agro-Industrial Product Development)
Thesis Advisor	Associate Professor Dr. Pairote Wiriyacharee

ABSTRACT

The improvement of color and texture of dried longan using Vacuum Impregnation technology were studied. The use of antibrowning and osmotic solution in order to replace sulfur dioxide for drying longans were also studied. The study of antibrowning was found that 4-hexylresorcinol and ascorbic acid were the main effect. The study of optimum antibrowning substances and quantities to be used were found that of 0.01% 4-hexylresorcinol and 0.07% ascorbic acid. Then osmotic solution was studied, including glycerol, erythritol, calcium lactate and sorbitol for improvement of dried longan texture. It was found that calcium lactate was the main effect and the optimum level was 0.8% whereas related glycerol, erythritol and sorbitol has a little affect to quality of product which were 20%, 1% and 4% respectively. The study of the optimal vacuum impregnation process consisted of 30 minute vacuum at -0.9 bar.

A study on the alteration quality of dried longan during storage was found that packing condition, temperature and storage time were effect to quality of product ($p \leq 0.05$). The product packed in laminated bag with nitrogen and kept at 10°C was still in the good color quality and sensory than packed in laminated bag storage under atmosphere. In this condition, product had better quality and texture than the others kept at 25°C and 35°C. Dried longan packed in

laminated bag with nitrogen and kept at 10°C can be stored for 15 weeks. On the other hand, dried longan packed in laminated bag storage under atmosphere can be stored for 11 week.



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved



ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved



ภาคผนวก ก
ภาพประกอบการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการผลิตลำไยอบแห้งด้วยเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ



ภาพ ก-1 ลำไยสดพันธุ์ค้อ



ภาพ ก-2 ลำไยสดแกะเปลือกควั่นเมล็ด



ภาพ ก-3 แช่สารละลายต้านสีน้ำตาลและ
สารออกซิโมติก



ภาพ ก-4 ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้
สุญญากาศ (VI)



ภาพ ก-5 จัดเรียงใส่ตู้



ภาพ ก-6 อบแห้งด้วยเครื่องอบสุญญากาศ



ภาพ ก-7 ผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่พัฒนาได้

การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง



ภาพ ก-8 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในถุงลามิเนตที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน (ซ้าย)
และบรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ (ขวา)



ภาพ ก-9



ภาพ ก-10



ภาพ ก-11



ภาพ ก-12



ภาพ ก-13



ภาพ ก-14

ภาพ ก-9 และ ก-10 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ภาพ ก-11 และ ก-12 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ภาพ ก-13 และ ก-14 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

(ซ้าย) เป็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในถุงลามิเนตบรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ สัปดาห์ที่ 1

(ขวา) เป็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในถุงลามิเนตที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน สัปดาห์ที่ 1



ภาพ ก-15



ภาพ ก-16



ภาพ ก-17



ภาพ ก-18



ภาพ ก-19



ภาพ ก-20

ภาพ ก-15 และ ก-16 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ภาพ ก-17 และ ก-18 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ภาพ ก-19 และ ก-20 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

(ซ้าย) เป็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในถุงลามิเนตบรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ สัปดาห์ที่ 4

(ขวา) เป็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในถุงลามิเนตที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน สัปดาห์ที่ 4



ภาพ ก-21



ภาพ ก-22



ภาพ ก-23



ภาพ ก-24



ภาพ ก-25



ภาพ ก-26

ภาพ ก-21 และ ก-22 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ภาพ ก-23 และ ก-24 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ภาพ ก-25 และ ก-26 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

(ซ้าย) เป็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในถุงลามิเนตบรรจุในสภาวะบรรยากาศปกติ สัปดาห์ที่ 8

(ขวา) เป็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งในถุงลามิเนตที่บรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน สัปดาห์ที่ 8



ภาคผนวก ข

แบบสอบถามการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

แบบสอบถามทางประสาทสัมผัส

แบบสอบถามนี้เป็นส่วนหนึ่งในการประกอบการทำวิทยานิพนธ์ของนักศึกษาปริญญาโท สาขาการพัฒนผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้งด้วยเทคโนโลยีการแทรกซึม ภายใต้อุญญากาศ

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างให้ตรงตามรหัส แล้วระบุความชอบ โดยเขียนหมายเลขที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน ดังนี้

1= ไม่ชอบมากที่สุด

5= ชอบน้อยที่สุด

2= ไม่ชอบมาก

6= ชอบมาก

3= ไม่ชอบเล็กน้อย

7= ชอบมากที่สุด

4= เฉยๆ(บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ)

คุณลักษณะ	รหัส							
ความชอบรวม								
สีเหลือง								
กลิ่นลำไย								
รสชาติ								
ความเหนียว								

ข้อเสนอแนะ

.....

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

แบบสอบถามการยอมรับของผู้บริโภค

แบบสอบถามนี้เป็นส่วนหนึ่งในการประกอบการทำวิทยานิพนธ์ของนักศึกษาปริญญาโท สาขาการพัฒนผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้งด้วยเทคโนโลยีการแทรกซึม ภายใต้อุญญาการศ

คำแนะนำ: กรุณาขีดตัวอย่างให้ตรงตามรหัส แล้วระบุความชอบ โดยเขียนหมายเลขที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน ดังนี้

1= ไม่ชอบมากที่สุด

5= ชอบน้อยที่สุด

2= ไม่ชอบมาก

6= ชอบมาก

3= ไม่ชอบเล็กน้อย

7= ชอบมากที่สุด

4= เฉยๆ(บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ)

คุณลักษณะ	รหัส
ความชอบรวม	
สีเหลือง	
กลิ่นลำไย	
รสหวาน	
ความเหนียว	
ความนุ่ม	
ความรู้สึกหลังกลืน	

ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งหรือไม่

☐ยอมรับ

☐ไม่ยอมรับ

หากมีผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งวางจำหน่ายท่านสนใจซื้อหรือไม่

☐ซื้อ

☐ไม่ซื้อ

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ



ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

การวัดค่าสีระบบ Hunter Lab (KONICA Minolta CR-410, Japan)

เป็นการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี KONICA Minolta: Model CR-400 ซึ่งเป็นการวัดค่าสีในระบบ Hunter Lab โดยค่าสี L^* เป็นความสว่าง (Lightness) ค่าสี a^* เป็นสีแดงและสีเขียว (Redness/Greenness) และค่าสี b^* เป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน (Yellowness/Blueness)

เมื่อ	ค่า L^* คือ ความสว่าง	มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100
	ค่า a^* คือ ค่าสีแดง	เมื่อ a มีค่าเป็นบวก (+) แทนค่าสีแดง
		เมื่อ a มีค่าเป็นลบ (-) แทนค่าสีเขียว
	ค่า b^* คือ ค่าสีเหลือง	เมื่อ b มีค่าเป็นบวก (+) แทนค่าสีเหลือง
		เมื่อ b มีค่าเป็นลบ (-) แทนค่าสีน้ำเงิน

ก่อนทำการวัดค่าสีทุกครั้งต้องปรับมาตรฐานเครื่อง (Calibrate) โดยใช้แผ่นสีขาวมาตรฐาน (White blank; $L = 97.67$, $a = -0.18$, $b = 1.84$) แล้วจึงทำการวัดค่าสีของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ โดยการนำตัวอย่างลำไยอบแห้งที่ผ่านการตัดละเอียดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วใส่ลงในภาชนะใส (Petri dish) แล้วรองด้วยกระดาษสีขาว จึงวัดสีตัวอย่างผลิตภัณฑ์โดยทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

1. ค่าความแข็ง (Hardness)

วัดค่าความแข็งของลำไยด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (TA-Xt.plus Texture Analyzer Stable Micro System, UK) ใช้หัววัดแบบทรงกระบอก (Cylinder) โดยนำตัวอย่าง 10 ชิ้นต่อชุดการทดลองมาวัดค่า (ดัดแปลงจาก Bourne, 2002 และคำแนะนำสำหรับการวัดค่าตัวอย่างจากเครื่องมือวัด) นำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

สำหรับสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มีดังนี้

Test Mode (Compression)	Conditions
Cylinder	35 mm DIA Cylinder Stainless
Pre-Test Speed	1.0 mm/s
Test Speed	5.0 mm/s
Post-Test Speed	5.0 mm/s
Strain	75.0 %
Time	5.00 sec
Trigger Type	Auto-5 g



ภาพ ค-1 การวัดค่าความแข็ง

2. ค่าแรงเฉือน

วัดค่าแรงเฉือนของลำไยด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (TA-XT.plus Texture Analyzer Stable Micro System, UK) ใช้หัววัดแบบ HDP/BSW: Warner Bratzer shear blade กำหนดให้ Test speed เท่ากับ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที และระยะใบมีดกดลงบนตัวอย่างเท่ากับ 25 มิลลิเมตร โดยนำตัวอย่าง 5 ชิ้นต่อชุดการทดลองมาวัดค่า แล้วนำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ในหน่วยนิวตัน (Thanutyot, 2009)



ภาพ ค-2 การวัดค่าแรงเฉือน

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

วิธีวัดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (a_w)

นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาตัดให้มีขนาดเล็ก จากนั้นบรรจุตัวอย่างในตลับประมาณ 1/3 ของตลับ นำไปวัดค่าด้วยเครื่องวัดค่ากิจกรรมของน้ำ a_w meter (Novasina: Model AWC 200, Switzerland) ทำการตรวจวัด 3 ซ้ำแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (ดัดแปลงจาก AOAC, 2007)

ชั่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ทำการสุ่มตัวอย่างโดยตัดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วประมาณ 3-5 กรัม ใส่ใน Moisture can ที่ทำความสะอาดผ่านการอบแห้ง และทราบน้ำหนักแน่นอนแล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อน (Vacuum oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 5 ชั่วโมงจนได้น้ำหนักคงที่ แล้วนำไปไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นเป็นเวลา 30 นาที คำนวณหาปริมาณความชื้นเป็นหน่วยร้อยละ โดยคำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ(กรัม)}} \times 100$$

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยวิธี Lane and Eynon (AOAC, 2007)

การเตรียมสารเคมี

- สารละลาย Fehling no.1

สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate pentahydrate: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 69.28 กรัม ในน้ำกลั่น ปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร

- สารละลาย Fehling no.2

สารละลายโซเดียมโพแทสเซียมคาร์เตรต (Sodium potassium tartrate หรือ rechele salt : $\text{Na.K.H}_4\text{C}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 365 กรัม และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide : NaOH) ในน้ำกลั่น ปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร

- สารละลาย Carrez I

สารละลาย Zinc acetate dehydrate ($\text{ZnOAc} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 21.9 กรัม ในน้ำกลั่นที่มีกรดอะซิติกเข้มข้น 3 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

- สารละลาย Carrez II

สารละลายโพแทสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ ($\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 10.6 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์ – ใช้วิธีที่มีชื่อเรียกว่า Lane and Eynon' Method

การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชัน (D_{12})

- ชั่งตัวอย่างอาหารที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์มา 5.0 กรัม เติมน้ำกลั่นลงไปเล็กน้อยแล้วผสมตัวอย่างให้เข้ากัน

- เติม Clearing agent (Carrez I,II ลงไปอย่างละ 5 ml) เขย่าให้เข้ากัน ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 30 นาที

- กรองสารละลายที่ได้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนอินเวอร์ชัน

Preliminary titration

- นำสารละลายที่กรองได้ใส่ในบิวเรต จากนั้นเปิดสารละลายผสม Fehling's solution จำนวน 10 มิลลิลิตร (ใช้อย่างละ 5 มิลลิลิตร) ใส่ในฟลาสก์ เติมลูกแก้วเล็กๆ (Glass beads) ลงไป 8-10 เม็ด เพื่อป้องกันการเดือดและล้นออกมา

- ให้ความร้อนด้วย Hot Plate จนเดือด แล้วจึงไทเทรตกับสารละลายน้ำตาลตัวอย่างจนสีน้ำเงินจางลง ให้หยดเมธิลีนบลูลงไป 2-3 หยด ไทเทรตจนสีฟ้าหายไปหมดเหลือแต่ตะกอนสีส้มแดงของ CuO_2 บันทึกปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้

Accurate titration

- เมื่อได้ความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง (15-25 มิลลิลิตร) ให้ทำซ้ำเหมือนกับ Preliminary โดยให้เติมสารละลายน้ำตาลตัวอย่างจากบิวเรตลงไปในฟลasksที่กำลังเดือดทันที
- ให้ความร้อนจนเดือด หยดเมธิลีนบลูลงไป 2-3 หยด ไตเตรตต่อให้เสร็จภายใน 3 นาที ตั้งแต่เริ่มเดือดจนสารละลายเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นตะกอนสีส้มแดง (ขณะไตเตรตต้องให้สารละลายเดือดอยู่ตลอดเวลา) บันทึกปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังการอินเวอร์ชัน (D_2)

นำสารละลายน้ำตาลที่เหลือจากการหาน้ำตาลก่อนอินเวอร์ชัน ปริมาตร 40 มิลลิลิตรเติม 6.34 N HCl จำนวน 10 มิลลิลิตร นำไปต้มจนเดือดเป็นเวลา 5 นาที ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วปรับให้เป็นกลางด้วย 5 N NaOH แล้วจึงปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตรจากนั้นนำไปไตเตรตกับสารละลาย Fehling's solution ผสม (10 มิลลิลิตร) จดปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครส (Sucrose)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนและหลังอินเวอร์ชันแล้ว สามารถหาปริมาณน้ำตาลซูโครสได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละของน้ำตาลซูโครส} = \text{ร้อยละของผลต่าง } (D_2 - D_1) \times 0.95$$

เมื่อ D_1 = ร้อยละของน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดก่อนทำการอินเวอร์ชัน

D_2 = ร้อยละของน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดหลังทำการอินเวอร์ชัน

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

การหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. จานเพาะเชื้อ (Petri dish)
2. หลอดทดลอง (Test tube)
3. ปิเปต ขนาด 1, 5 และ 10 มิลลิลิตร (ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปใช้)
4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, Memmert: WB 14, Germany)
5. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator, Heraeus: Model D-6450 Hanau, Germany)
6. หม้อนึ่งความดัน (Autoclave, HIRAYAMA: Model HA 300 MN, Japan)

อาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลายสำหรับเจือจาง

1. สารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1
2. อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar (PCA)

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA 23.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร
2. ต้มจนอาหารเลี้ยงเชื้อละลายหมด
3. นำไปฆ่าเชื้อใน Autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C (15 psi) นาน 15 นาที

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมตัวอย่างอาหาร

1.1 ใช้มีดและปากกิบที่ปราศจากเชื้อ โดยการลนไฟและเช็ดด้วยแอลกอฮอล์ตัดตัวอย่างอาหารจากส่วนต่างๆ มาผสมกัน ชั่งน้ำหนักให้ได้ 10 กรัม ใส่ในถุงติบดที่มีสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 90 มิลลิลิตรผสมอยู่ ดีด้วยเครื่องติบดอาหาร 2 นาที จะได้ตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจาง $1:10 (10^{-1})$

1.2 เขย่าให้อาหารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจาง $1:10 (10^{-1})$ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดสอบที่มีสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex จะได้ตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจาง $1:100 (10^{-2})$

1.3 ปรับความเข้มข้นจากเดิมให้เจือจาง $1:1000 (10^{-3})$ และความเจือจางต่อๆ ไปด้วยวิธีเดียวกันจนถึงความเจือจาง $1:1000000 (10^{-6})$

2. การใส่อาหารเลี้ยงเชื้อ

2.1 ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร คูลสารละลายของตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจางต่างๆ ลงในจานเพาะเชื้อจานละ 1 มิลลิลิตร ความเจือจางละ 2 จาน

2.2 เทอาหารเพลทเคานต์ที่กำลังหลอมเหลวลงในจานเพาะเชื้อที่มีตัวอย่าง โดยใส่ลงไปจานละประมาณ 15-20 มิลลิลิตร ให้เสร็จภายในเวลา 15 นาที นับตั้งแต่ความเจือจางเริ่มต้น

2.3 ผสมตัวอย่างและอาหารเลี้ยงเชื้อให้เข้ากันดี วางทิ้งไว้จนอาหารแข็งตัว คำนวณอาหารเลี้ยงเชื้อลง

3. การบ่มเชื้อ

บ่มจานอาหารที่เตรียมไว้เสร็จเรียบร้อยแล้วที่อุณหภูมิ 30 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ± 3 ชั่วโมง โดยคำนวณอาหารเลี้ยงเชื้อลง และควรวางซ้อนกันประมาณ 5 ชั้น บรรจุในถุงพลาสติก มัดปากถุงด้วยยางรัด

4. การตรวจนับจำนวนโคโลนีและการรายงานผล

หลังบ่มเชื้อตามกำหนดเวลาแล้ว ตรวจนับจำนวนโคโลนีบนจานอาหารเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 30-300 โคโลนี หาค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีจากทั้ง 2 จาน เพาะเชื้อ รายงานผลการตรวจนับจำนวน Aerobic bacteria ในรูป โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม (cfu/g)

ปริมาณยีสต์และเชื้อรา (yeast and mold) ดัดแปลงจากวิธีของ AOAC, 2007

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. จานเพาะเชื้อ (Petri dish)
2. หลอดทดลอง (Test tube)
3. ปิเปตขนาด 1, 5 หรือ 10 มิลลิลิตร (ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปใช้)
4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, Memmert: WB 14, Germany)
5. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator, Heraeus: Model D-6450 Hanau, Germany)
6. หม้อนึ่งความดัน (Autoclave, HIRAYAMA: Model HA 300 MN, Japan)

อาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลายสำหรับเจือจาง

1. สารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน เข้มข้นร้อยละ 0.1
 - ชั่งเปปโตน 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร
 - ปิเปตใส่ในหลอดทดลองชนิดฝาเกลียว 9.3 มิลลิลิตรต่อหลอด (สำหรับเจือจางตัวอย่าง) หรือตวงใส่ขวดคูเรนจำนวน 90 มิลลิลิตรต่อขวด

- นำไปฆ่าเชื้อใน Autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส (15 psi) นาน 15 นาที
- 2. อาหารแข็งโพเตโดเดกซ์โตรส (Potato Dextrose Agar, PDA)
 - ชั่ง PDA (Dehydrate form) 39.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร บรรจุลงขวดคูเรน
 - นำไปฆ่าเชื้อใน Autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส (15 psi) นาน 15 นาที

*** ก่อนใช้ในปรับอาหารเลี้ยงเชื้อ ให้มีความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.5 โดยการเติมสารละลายกรดทาร์ทริกเข้มข้นร้อยละ 10 ลงไป (ประมาณ 1.7 มิลลิลิตร ต่ออาหารเหลว PDA 100 มิลลิลิตร) และอาหารที่ปรับให้มีความเป็นกรด-ด่างแล้วไม่ควรนำไป Re-melt หรือฆ่าเชื้อใหม่อีกครั้ง***

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมตัวอย่างอาหาร

1.1 ใช้มีดและปากกิบที่ปราศจากเชื้อ โดยการลนไฟและเช็ดด้วยแอลกอฮอล์ ตัดตัวอย่างอาหารจากส่วนต่างๆ มาผสมกัน ชั่งน้ำหนักให้ได้ 10 กรัม ใส่ในถุงติบคที่มีสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 90 มิลลิลิตรผสมอยู่ดีด้วยเครื่องติบคอาหาร 2 นาที จะได้ตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจาง $1:10 (10^{-1})$

1.2 เขย่าให้อาหารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจาง $1:10 (10^{-1})$ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดสอบที่มีสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex จะได้ตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจาง $1:100 (10^{-2})$

1.3 ทำให้อาหารมีความเจือจางจนถึง $1:100 (10^{-2})$

2. การใส่อาหารเลี้ยงเชื้อ

2.1 ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดสารละลายของตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจางต่างๆ ลงในจานเพาะเชื้อจานละ 1 มิลลิลิตร ความเจือจางละ 3 จาน

2.2 เทอาหาร PDA ที่กำลังหลอมเหลวลงในจานเพาะเชื้อที่มีตัวอย่าง โดยใส่ลงไปจานละประมาณ 15-20 มิลลิลิตร ให้เสร็จภายใน 15 นาทีหลังจากใส่เชื้อลงไปแล้ว

2.3 ผสมตัวอย่างและอาหารเลี้ยงเชื้อให้เข้ากันดี วางทิ้งไว้จนอาหารแข็งตัว

3. การบ่มเชื้อ

บ่มจานอาหารที่เตรียมไว้เสร็จเรียบร้อยแล้วในที่มืด ที่อุณหภูมิ 30 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

4. การตรวจนับจำนวนโคโลนีและการรายงานผล

หลังบ่มเชื้อตามกำหนดเวลาแล้ว ตรวจนับจำนวน โคโลนีบนจานอาหารเพาะเชื้อที่มีจำนวน โคโลนีอยู่ระหว่าง 10-150 โคโลนี หาค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีจากทั้ง 3 จานเพาะเชื้อ รายงานผล การตรวจนับ ในรูปโคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม (cfu/g)

การประมาณโคลิฟอร์มและอี.โคไล (Coliform and *E. coli*) โดยวิธี MPN (Most probable number method) ดัดแปลงจากวิธีของ AOAC, 2007

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดทดลอง (Test tube) พร้อมหลอดดักก๊าซ (Durham tube)
2. ปิเปตขนาด 1, 5 และ 10 มิลลิลิตร
3. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, Memmert: WB 14, Germany)
4. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator, Heraeus: Model D-6450 Hanau, Germany)
5. หม้อนึ่งความดัน (Autoclave, HIRAYAMA: Model HA 300 MN, Japan)

อาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลายสำหรับเจือจาง

1. สารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1
2. อาหารเลี้ยงเชื้อ Lauryl sulphate broth (LST)
3. อาหารเลี้ยงเชื้อ Brilliant green lactose bile broth

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตรที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว คูดเครื่องคั้นสารอาหารสูง ใส่หลอดทดลองที่มีสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมแบบหมุนวน (Vortex) จะได้อาหารที่เจือจาง $1:10 (10^{-1})$

1.2 ทำให้ตัวอย่างมีความเจือจาง $1:100 (10^{-2})$ และ $1:1000 (10^{-3})$ ด้วยวิธีตามข้อ 1.1

2. การทดสอบขั้นแรก (Presumptive coliforms)

2.1 ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร คูดตัวอย่างที่ระดับเจือจางต่างๆ (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}) ใส่ในหลอดอาหารเหลว LST ความเจือจางละ 3 หลอด หลอดละ 1 มิลลิลิตร (9 หลอดต่อหนึ่งตัวอย่าง/ไม่ว่าใช้เวลาเกิน 15 นาทีในการทำแต่ละตัวอย่าง)

2.2 นำหลอดอาหารทั้งหมดไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ± 2 ชั่วโมง โดยสังเกตการเกิดก๊าซในหลอดดักก๊าซในหลอดอาหารแต่ละหลอด หลังจากบ่มครบ 24 ชั่วโมง และหากหลอดใดไม่เกิดก๊าซให้บ่มต่ออีก 24 ชั่วโมงจึงนำมาตรวจผลอีกครั้งหนึ่ง

2.3 บันทึกจำนวนหลอดที่เกิดก๊าซในแต่ละความเจือจาง นำไปเทียบกับตาราง MPN รายงานผลเป็น MPN ของโคลิฟอร์ม (ขั้นแรก) ต่อมิลลิลิตร

3. การทดสอบยืนยัน (Confirm Test)

3.1 ถ่ายเชื้อจากหลอดที่เกิดก๊าซในข้อ 2 (Presumptive Test) แต่ละหลอดลงในอาหารเหลว BGLB หลอดต่อหลอด จำนวน 1 มิลลิลิตร

3.2 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 48 ± 2 ชั่วโมง โดยสังเกตการเกิดก๊าซในหลอดดักก๊าซ ในหลอดอาหารแต่ละหลอด หลังจากบ่มครบ 48 ชั่วโมง

3.3 บันทึกจำนวนหลอดที่เกิดก๊าซในแต่ละความเจือจาง ทำไปเทียบกับตาราง MPN รายงานผลเป็น MPN ของโคลิฟอร์ม (ขั้นยืนยัน) ต่อกรัม หรือ มิลลิลิตรของตัวอย่างอาหาร

4. การคำนวณจำนวนโคโลนี และรายงานผล

4.1 หลังจากทราบจำนวนหลอดที่เกิดก๊าซ (Positive) ในแต่ละความเจือจางแล้ว นำไปเทียบกับตาราง MPN รายงานผลเป็น MPN ของโคลิฟอร์ม (ขั้นแรก) ต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง

4.2 ตัวอย่าง : ถ้าจำนวนหลอดที่เกิดก๊าซที่ความเจือจาง 10^{-1} , 10^{-2} และ 10^{-3} เท่ากับ 3, 2 และ 1 หลอด ตามลำดับ จากการเปิดตาราง ได้ค่า MPN per g. = 150 ให้รายงานผลการตรวจนับว่ามีค่า MPN = 150 Total coliform / มิลลิลิตร.

หมายเหตุ

กรณีที่ต้องการทดสอบว่า โคลิฟอร์ม นั้นเป็น Fecal coliform ให้นำหลอดที่เกิดก๊าซจากการตรวจสอบขั้นแรก (อาหาร LST) ไปถ่ายเชื้อลงในอาหารเหลว EC หลอดต่อหลอด อีกครั้งหนึ่ง นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 45.5 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ตรวจสอบจำนวนหลอดที่เกิดก๊าซในแต่ละความเจือจาง และนำไปเทียบกับ MPN ในตาราง รายงานผลเป็น MPN ของฟีคัล-โคลิฟอร์ม ต่อ มิลลิลิตร

ถ้าต้องการยืนยันว่าฟีคัล-โคลิฟอร์ม นั้นเป็น อี.โคไลหรือไม่ ให้ถ่ายเชื้อจากหลอดที่เกิดก๊าซในอาหารเหลว EC ลงในอาหารแข็ง EMB (Eosin Methylene Blue agar) โดยทำการเขี่ยเชื้อลงบนอาหารดังกล่าว นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 18-24 ชั่วโมง ตรวจสอบลักษณะโคโลนีของอี. โคไล จะมีลักษณะกลม มีสีเข้มอยู่ตรงกลางและมีสีโลหะ (Metallic sheen) เหลือบอยู่ จากนั้นถ่ายเชื้อจากโคไลนึ่งดังกล่าวจำนวน 2-3 โคโลนี ต่ออาหารแข็ง EMB 1 จาน ลงในอาหารแข็ง PCA-slant นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 18-24 ชั่วโมง แล้วนำไปตรวจสอบในขั้นสมบูรณ์ (Complete Test)

ตารางที่ ข-1 ตารางแมคคราดี

จำนวนหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อและจำนวนตัวอย่างที่ เจือจางระดับต่างๆ ที่เติมในแต่ละหลอด			MPN ของแบคทีเรีย ต่อกรัมตัวอย่าง
3 หลอดที่ 1:10 จำนวน 1 มล.	3 หลอดที่ 1:100 จำนวน มล.	3 หลอดที่ 1:1000 จำนวน มล.	
0	0	0	<3
0	0	1	<3
0	1	0	3
0	2	0	6
1	0	0	4
1	0	1	7
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
2	0	0	9
2	0	1	14
2	1	0	15
2	1	1	20
2	2	0	21
2	2	1	28
2	3	0	30
3	0	0	23
3	0	1	39
3	0	2	64
3	1	0	43
3	1	1	75
3	1	2	120
3	2	0	93
3	2	1	150
3	2	2	210
3	3	0	240
3	3	1	460
3	3	2	1100
3	3	3	≥2400

ที่มา : AOAC (2007)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

นางสาวเกวลิน หอมหวล

วัน เดือน ปีเกิด

5 มีนาคม 2530

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการพัฒนา
ผลิตภัณฑ์ จากคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2551

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนวัดโนนทัย
พายัพ จังหวัดเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2548

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

เกวลิน หอมหวล ไพโรจน์ วิริยจารี ศักดา พริงลำภู โพธิ์ศรี ลีลาภรณ์ และเรวัตร พงษ์พิสุทธินันท์.
2556. การพัฒนาระบบสารละลายในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศเพื่อ
ปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยอบแห้ง. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัย
ระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 14. วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2556. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.