การศึกษากระบวนการผลิตแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

STUDY ON PRODUCTION OF KANOM TAN FLOUR MIX

บุญยกฤต รัตนพันธุ์
BOONYAKIT RATTANAPUN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-654-3

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษากระบวนการผลิตแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

STUDY ON PRODUCTION OF KANOM TAN FLOUR MIX

บุณยกฤต รัตนพันธุ์
BOONYAKIT RATTANAPUN

สขหมู.....
สขทะเบียน.....
วัน.เดือน.ปี.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-654-3

STUDY ON PRODUCTION OF KANOM TAN FLOUR MIX

BOONYAKIT RATTANAPUN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2002

ISBN 974-648-654-3

COPYRIGHT 2002
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษากระบวนการผลิตแป้งขนมตาลสำเร็จรูป
นักศึกษา	นายบุณยกฤต รัตนพันธุ์
รหัสประจำตัว	41066009
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์

บทคัดย่อ

การศึกษาเวลาที่ใช้ให้ความร้อนเนื้อลูกตาลสุก พบว่าการตุ๋นเนื้อลูกตาลสุกจนอุณหภูมิจุดกึ่งกลางเป็น 85 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาทีขึ้นไป สามารถทำลายเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในเนื้อลูกตาลสุกได้หมด ส่วนผลของการให้ความร้อนเนื้อลูกตาลสุกและการเก็บเนื้อลูกตาลผง พบว่าเนื้อลูกตาลผงที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนเมื่อเก็บในถุงลามิเนตชนิด OPP 20/MPET 12/LLDPE 30 ไมครอน ในสภาวะบรรยากาศเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ค่าสีแดง (a) ค่าสีเหลือง (b) และปริมาณเบต้าแคโรทีนจะลดลง แต่ค่าความสว่าง (L) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเก็บในสภาวะสุญญากาศ ค่าสี และปริมาณเบต้าแคโรทีนของเนื้อลูกตาลผงจะไม่เปลี่ยนแปลง ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบการทำแห้งเนื้อลูกตาลสุกด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด แบบลูกกลิ้ง แบบสุญญากาศ และแบบแช่แข็ง พบว่าเนื้อลูกตาลผงที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็งจะมีคุณภาพทั้งทางด้านสี ปริมาณเบต้าแคโรทีน ความสามารถในการดูดซึมน้ำ และอัตราการคืนรูปดีกว่าเนื้อลูกตาลผงที่ผ่านการทำแห้งแบบอื่น การผลิตแป้งขนมตาลสำเร็จรูปเริ่มจากการคัดเลือกสูตรขนมตาลที่เหมาะสมเป็นสูตรพื้นฐาน ได้สูตรที่มีส่วนผสมดังนี้คือ แป้งข้าวเจ้า 22.52% เนื้อลูกตาลสุก 9.23% กะทิสด 40.80% น้ำตาลทราย 27.35% และเกลือ 0.10% นำสูตรพื้นฐานมาปรับให้เป็นแป้งสำเร็จรูป โดยวิเคราะห์ความชื้นของส่วนผสมแล้วคำนวณส่วนผสมเป็นฐานแห้ง จากนั้นศึกษาปริมาณยีสต์และผงฟูในส่วนผสมของแป้งขนมตาลสำเร็จรูป พบว่าการใช้ปริมาณยีสต์ 0.5% และผงฟู 0.5% ของน้ำหนักแป้งสำเร็จรูปจะได้ขนมตาลที่ผู้ทดสอบยอมรับมากที่สุด สูตรของแป้งขนมตาลสำเร็จรูปประกอบด้วยแป้งข้าวเจ้า 37.82% เนื้อลูกตาลผง 1.83% น้ำตาลทราย 45.96% กะทิผง 13.36% เกลือ 0.17% ยีสต์ 0.5% และผงฟู 0.5% เมื่อศึกษาผลของการเก็บแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่อุณหภูมิห้องในถุงลามิเนตโดยบรรจุในสุญญากาศร่วมกับใช้ตัวดูดซับออกซิเจนเป็นเวลา 3 เดือน พบว่าสภาวะดังกล่าวช่วยรักษาคุณภาพแป้งขนมตาลสำเร็จรูปได้ดีกว่าการเก็บแบบอื่น

Thesis Title	Study on production of kanom tan flour mix
Student	Mr. Boonyakit Rattanapun
Student ID.	41066009
Degree	Master of Science
Programme	Food Science
Year	2002
Thesis Advisor	Assistant. Professor. Dr. Kittiphong Huangrak

ABSTRACT

Study on blanching time of palmyra palm (*Borassus flabellifer* L.) pulp, showed that heating at 85 ^{0}C for 5 minutes could inhibit peroxidase and β-carotene were most preserved. Heating effect and storage conditions on β-carotene and color of dried pulp were also studied. Blanched and unblanched pulp kept in laminated aluminum foil bags for 4 weeks showed that the color of dried pulp faded. If those two types of dried pulp were kept under vacuum, their color could be better preserved. Comparing of drying method of palmyra palm pulp by tray dryer, drum dryer, vacuum dryer and freeze dryer, it was found that palmyra palm pulp powder from freeze dryer was the best in color, β-carotene content, WAI and rehydration. Production of kanom tan was based on a basic formula composed of rice flour 22.52%, palmyra palm pulp 9.23%, coconut milk 40.80%, sugar 27.35% and salt 0.10%. This formulation was calculated to kanom tan flour mix on dry basis. The optimum content of yeast and baking powder in kanom tan flour mix were each 0.5% of total weight. The formulation of kanom tan flour mix was rice flour 37.82%, palmyra palm powder 1.83%, coconut milk powder 13.36%, sugar 45.96%, salt 0.17%, yeast 0.5% and baking powder 0.5%. Kanom tan flour mix was packed under vacuum in laminated aluminum foil bags with oxygen absorber for 3 months at room temperature, showed that the quality of flour mix could be preserved.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งช่วยกรุณาให้คำแนะนำต่าง ๆ พร้อมทั้งให้คำปรึกษา ตรวจทานและแก้ไขรูปเล่มวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. ระติพร หาเรือนกิจ และ ผศ. เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์ ที่ได้ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งช่วยตรวจสอบและแก้ไขรวมทั้งให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สิวลี ไทยถาวร ภาควิชาอาหารและโภชนาการ คณะคหกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตคลอง 6 ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ

ขอขอบพระคุณ โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสวนดุสิต ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

ขอขอบพระคุณ คุณแววตา สมมิตร บริษัทสยามพรีเสิร์ฟฟูดส์ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ในด้านวิทยาศาสตร์การอาหารให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณสถาบันราชภัฏกำแพงเพชร ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ช่างเทคนิค และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ปริญญาโทที่เป็นกำลังใจให้กันและกัน และให้ความช่วยเหลือกันด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกท่านที่ได้ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

บุณยกฤต รัตนพันธุ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VII

สารบัญรูป..... X

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 2

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 ตาลโตนด..... 3

2.1.1 ลักษณะตามธรรมชาติของตาลโตนด..... 3

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อลูกตาลสุก..... 4

2.2 เบต้าแคโรทีน..... 4

2.2.1 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเบต้าแคโรทีน..... 4

2.2.2 แหล่งของเบต้าแคโรทีน..... 5

2.2.3 ความสำคัญของเบต้าแคโรทีน..... 6

2.2.4 ปริมาณ เบต้าแคโรทีนที่ร่างกายควรได้รับ..... 8

2.3 การเสื่อมสลายของเบต้าแคโรทีน..... 8

2.3.1 การเสื่อมสลายเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน..... 8

2.3.2 แสงสว่าง..... 10

2.3.3 การปนเปื้อนของโลหะ..... 10

2.3.4 ความร้อน..... 11

2.3.5 น้ำและวอเตอร์แอกติวิตี้..... 13

2.3.6 เอนไซม์..... 14

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4 การทำแห้งผลิตภัณฑ์เกษตรบางชนิด..... 15

2.4.1 การเตรียมวัตถุดิบก่อนการทำแห้ง..... 15

2.4.2 การทำแห้ง..... 16

2.5 การสูญเสียเบต้าแคโรทีนเนื่องจากกระบวนการทำแห้งและการเก็บรักษา..... 18

2.6 ขนมตาล..... 20

2.6.1 กรรมวิธีผลิตขนมตาล..... 22

2.7 แป้งผสมสำเร็จรูป..... 23

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ..... 24

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย..... 24

3.1.1 เครื่องมือ..... 24

3.1.2 วัตถุดิบ..... 24

3.1.3 สารเคมี..... 25

3.1.4 อุปกรณ์..... 25

3.2 สถานที่ดำเนินงาน..... 25

3.3 ระยะเวลาที่ทำการทดลอง..... 25

3.4 วิธีการดำเนินงาน..... 26

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์..... 32

4.1 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนเนื้อลูกตาลสุกโดยใช้วิธีตุ๋น..... 32

4.2 ศึกษาผลของการให้ความร้อนและสภาวะการเก็บต่อการสูญเสียเบต้าแคโรทีนในเนื้อลูกตาลสุกอบแห้ง..... 35

4.3 ศึกษากระบวนการทำแห้งที่เหมาะสมในการทำแห้งเนื้อลูกตาลสุก..... 39

4.4 ศึกษาขั้นตอนการทำแป้งขนมตาลสำเร็จรูป..... 45

4.4.1 การคัดเลือกสูตรขนมตาลที่เหมาะสม..... 45

4.4.2 ศึกษาการปรับสูตรส่วนผสมให้เป็นแป้งผสมสำเร็จรูป..... 46

4.4.3 ศึกษาผลของยีสต์และผงฟูที่มีต่อคุณภาพขนมตาล..... 47

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.5 ศึกษาเปรียบเทียบขนมตาลจากเนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสดกับขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูป..... 52

4.6 ศึกษาสภาวะการเก็บรักษาแป้งขนมตาลสำเร็จรูป..... 55

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... 64

บรรณานุกรม..... 66

ภาคผนวก..... 74

ประวัติผู้เขียน..... 93

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเบต้าแคโรทีน..... 5

2.2 ปริมาณเบต้าแคโรทีนในผักผลไม้ชนิดต่าง ๆ..... 6

3.1 สูตรขนมตาลที่ใช้ในการทดลอง..... 28

4.1 ผลของเวลาให้ความร้อนเนื้อลูกตาลสุกกับการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส..... 32

4.2 ค่าความสว่าง(L) ค่าสีแดง (a) และสีเหลือง (b) ของเนื้อลูกตาลสุกที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการตุ๋นที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส 33

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเบต้าแคโรทีนที่เหลืออยู่กับเวลาที่ให้ความร้อน..... 34

4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปริมาณเบต้าแคโรทีน ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และสีเหลืองของเนื้อลูกตาลผง..... 35

4.5 ผลของการให้ความร้อนเนื้อลูกตาลสุกที่มีต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนและค่าสี..... 36

4.6 ผลของสภาวะบรรจุในการเก็บเนื้อลูกตาลผงต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนและค่าสี..... 37

4.7 ผลของระยะเวลาเก็บเนื้อลูกตาลผงต่อปริมาณ เบต้าแคโรทีนและค่าสี..... 37

4.8 ผลของการให้ความร้อนและสภาวะการบรรจุเนื้อลูกตาลผงต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนและค่าสี..... 38

4.9 ผลของการทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบต่าง ๆ ต่อคุณภาพเนื้อลูกตาลผง..... 40

4.10 ค่าสีของเนื้อลูกตาลสุกและเนื้อลูกตาลผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบต่าง ๆ..... 41

4.11 ปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อลูกตาลสดและเนื้อลูกตาลผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบต่าง ๆ..... 42

4.12 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมตาลที่ทำจากเนื้อลูกตาลสดเปรียบเทียบกับที่ทำจากเนื้อลูกตาลอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบต่าง ๆ..... 43

4.13 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมตาลเพื่อคัดเลือกสูตร..... 45

4.14 ความชื้นของส่วนผสมต่าง ๆ ในขนมตาล..... 46

4.15 องค์ประกอบของแป้งสำเร็จรูปและส่วนผสมก่อนนึ่ง..... 46

4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่า springiness การขึ้นฟู ความเป็นกรดด่างของส่วนผสมก่อนและหลังหมัก..... 47

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.17 ผลของปริมาณยีสต์ต่อค่า springiness การขึ้นฟู ความเป็นกรดด่างของส่วนผสมก่อนและหลังหมัก..... 48

4.18 ผลของปริมาณผงฟูต่อค่า springiness การขึ้นฟู ความเป็นกรดด่างของส่วนผสมก่อนและหลังหมัก..... 48

4.19 ค่าเฉลี่ยของค่า springiness การขึ้นฟู ความเป็นกรดด่างของส่วนผสมก่อนและหลังหมักเมื่อแปรปริมาณยีสต์และผงฟูในแป้งสำเร็จรูปเป็น 0.5 และ 1%..... 49

4.20 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมตาลเมื่อแปรปริมาณยีสต์และผงฟูในแป้งสำเร็จรูปเป็น 0.5 และ 1%..... 50

4.21 ค่าเฉลี่ยของค่า springiness และการขึ้นฟูของขนมตาลที่ใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสดกับขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูป..... 52

4.22 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมตาลที่ใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสดกับขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูป..... 53

4.23 ราคาของวัตถุดิบในการผลิตขนมตาลตาลที่ใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสดเปรียบเทียบกับขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูป..... 55

4.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ ค่าความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี้ ค่าสี ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) และค่า TBA ของแป้งขนมตาลสำเร็จรูป..... 56

4.25 ผลของสภาวะบรรจุต่อค่าความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี้ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) และค่า TBA เมื่อเก็บแป้งขนมตาลสำเร็จรูปนาน 3 เดือน..... 56

4.26 ผลของระยะเวลาการเก็บแป้งขนมตาลสำเร็จรูปต่อค่าความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี้ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) และค่า TBA..... 59

4.27 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมตาลที่ทำจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่บรรจุในสภาวะต่าง ๆ และเก็บไว้เป็นเวลา 3 เดือน..... 61

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ค. 1 สรุปปริมาณของแข็งและความชื้นในส่วนผสม..... 88

ค. 2 สรุปปริมาณของแข็งในแป้งผสม..... 89

ค. 3 สรุปส่วนผสมแป้งขนมตาลสำเร็จรูปจากฐานแห้ง 500 กรัม..... 89

ค. 4 องค์ประกอบของแป้งผสมสำเร็จรูปและส่วนผสมก่อนนึ่ง..... 90

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 สูตรโครงสร้างของเบต้าแคโรทีน..... 4

2.2 การไฮโดรไลซ์ของเบต้าแคโรทีน..... 7

2.3 การเกิดอีพอกซิเดชัน (epoxidation) และ อีพอกไซด์ไอโซเมอร์ไรเซชัน (epoxide isomerization)..... 9

2.4 สารประกอบที่ได้จากการแตกสลายด้วยความร้อนของ เบต้าแคโรทีน..... 11

2.5 การเกิดไอโซเมอร์ไรเซชัน (isomerization) ของเบต้าแคโรทีน..... 12

2.6 การเสื่อมสลายของทรานส์-เบต้าแคโรทีน..... 15

2.7 ผลของการทำแห้งแบบต่าง ๆ ที่มีต่อความคงตัวของเบต้าแคโรทีนในระหว่างการเก็บรักษา..... 19

2.8 ขั้นตอนการทำขนมตาล..... 22

4.1 ขนมตาลที่แปรปริมาณผงฟูและยีสต์ปริมาณต่างๆ ในแป้งสำเร็จรูป..... 51

4.2 เปรียบเทียบขนมตาลที่ได้จากการใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสดกับขนมตาลที่ได้จากแป้งสำเร็จรูป..... 54

ง. 1 กราฟสารละลายมาตรฐานเบต้าแคโรทีนที่ใช้ในการทดลอง..... 91

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ขนมตาลเป็นขนมไทยที่นิยมรับประทานตั้งแต่สมัยโบราณ มีส่วนผสมหลักประกอบไปด้วยแป้งข้าวเจ้า เนื้อลูกตาลสุก น้ำตาลทราย และกะทิ เนื้อลูกตาลสุกเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการให้กลิ่นหอมและทำให้ขนมตาลมีสีเหลืองน่ารับประทาน ในเนื้อลูกตาลสุกจะมีเบต้าแคโรทีนซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่ให้วิตามินเอเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ แต่เนื่องจากวิถีการใช้ชีวิตของคนไทยในปัจจุบันเปลี่ยนไปเป็นภาวะที่รีบเร่งและสมาชิกทุกคนต้องออกไปทำงานนอกบ้านทำให้ไม่มีเวลาในการเตรียมอาหาร ประกอบกับกรรมวิธีในการทำขนมตาลค่อนข้างยุ่งยากใช้เวลามากและปริมาณส่วนผสมในการทำขนมก็ไม่แน่นอนขึ้นอยู่ประสบการณ์ของผู้ผลิต ผู้ผลิตที่ไม่มีความชำนาญไม่สามารถทำขนมตาลให้ได้ลักษณะที่ดีได้ จึงทำให้ไม่ค่อยนิยมทำขนมตาลเพื่อบริโภคเองในบ้าน นอกจากนั้นเนื้อลูกตาลสุกที่ผ่านการยีแล้วไม่สามารถเก็บไว้ได้นานเพราะหากเก็บไว้นาน เมื่อนำมาทำขนมจะทำให้สี กลิ่นรส เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การศึกษาการทำแห้งเนื้อลูกตาลสุกจึงมีประโยชน์เพื่อเก็บรักษาให้นานขึ้นและพร้อมจะใช้งานได้ทันที แต่กระบวนการทำแห้งที่ไม่เหมาะสมจะมีผลให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อลูกตาลสุกลดลง การวิจัยนี้จึงศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการทำแห้งแบบต่าง ๆ รวมทั้งผลของกระบวนการทำแห้งนั้นต่อปริมาณการสูญเสียเบต้าแคโรทีนในเนื้อลูกตาลผง และศึกษากรรมวิธีการผลิตแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่ทำได้ง่าย สะดวก ประหยัดเวลา และเป็นการอนุรักษ์ขนมไทยอีกทางหนึ่งด้วย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการทำแห้งในแบบต่าง ๆ และสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งเนื้อลูกตาลสุก

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งในแบบต่าง ๆ ต่อการสูญเสียเบต้าแคโรทีนในเนื้อลูกตาลผง

1.2.3 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

1.2.4 เพื่อศึกษาสภาวะการเก็บรักษาแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยนี้ เป็นการศึกษากรรมวิธีการทำแห้งเนื้อลูกตาลสุก วิธีการผลิตและสภาวะการเก็บแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ผลงานวิจัยนี้จะทำให้สามารถเปรียบเทียบสภาวะการทำแห้งวิธีต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งเนื้อตาลสุกเพื่อใช้ในการผลิตแป้งขนมตาลสำเร็จรูป ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตผลในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ตาลโตนด

ตาลโตนดเป็นพืชประเภทปาล์มซึ่งคนไทยรู้จักกันมานานแล้ว โดยเป็นปาล์มทางเศรษฐกิจที่สำคัญในชีวิตประจำของคนไทยชนิดหนึ่ง ตาลโตนดมีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศอินเดียและมลายู แต่ในประเทศไทยยังไม่ทราบแน่ชัดเพราะไม่มีหลักฐานยืนยันที่แน่นอนได้ (ปิฏฐะ บุนนาค. 2524) ตาลโตนดมีชื่อสามัญว่า Palmyra palm และมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Borassus flabellifer* Linn. (สอาด บุญเกิด และคณะ. 2525) ในประเทศไทยมีชื่อเรียกหลายชื่อ เช่น ต้นตาล (ภาคกลาง) ตาลโตนด ต้นโหนด (ภาคใต้) ปอเก๊าะตา (จังหวัดยะลา ปัตตานี) (สมยศ ทุ่งหว้า. 2527)

ตาลโตนดที่พบในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 พันธุ์ คือ ตาลไข่ และตาลหม้อ โดยผลตาลสุกของทั้งสองพันธุ์จะมีลักษณะที่แตกต่างกันคือ ตาลไข่สีของเปลือกเวลาสุกจะมีสีเหลือง ส่วนตาลหม้อ ก้นของผลตาลจะมีสีเหลืองเวลาสุก แต่ด้านข้างของผลขึ้นไปหาขั้ว เปลือกจะมีสีดำ (อุดม ลดหวั่น. 2527)

2.1.1 ลักษณะตามธรรมชาติของตาลโตนด (สมยศ ทุ่งหว้า. 2527 ; พนัส บูรณศิลปิน. 2539)

ลำต้น ตาลโตนดเป็นปาล์มลำต้นเดี่ยวใบรูปพัดที่มีความสง่างามมากชนิดหนึ่ง มีความสูงได้ถึง 25-30 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นตรงส่วนโคนอาจถึง 1 เมตร ที่โคนต้นมีรากฝอยเกิดอยู่โดยรอบจำนวนมาก เมื่ออายุน้อยลำต้นจะมีสีดำหุ้มด้วยกาบใบแห้ง เมื่ออายุมากขึ้นลำต้นจะเรียบเหลือเพียงรอยแผลเป็นแคบๆ ที่กาบใบร่วงหลุดไป

ใบ เป็นชนิดรูปพัดมีประมาณ 30-40 ใบ ก้านใบแข็ง ยาว 60-120 เซนติเมตร ขอบมีลักษณะเป็นฟันเลื่อย

ดอก ตาลโตนดเป็นพืชที่มีดอกแบบไม่สมบูรณ์เพศ (imperfect flower) ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกันอยู่คนละต้น (dioecious) จึงเรียกตาลโตนดต้นผู้และตาลโตนดต้นเมียตามชนิดของดอกที่เกิด ลักษณะดอกเป็นช่อแทงออกมาจากต้นระหว่างกาบใบ โค้งงอและปลายค่อนข้างแหลมคล้ายงวง จึงเรียกว่า งวงตาล ดอกตัวผู้ประกอบด้วยก้านช่อดอกรวมหลายช่อแต่ละช่อจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-4 เซนติเมตร ยาว 30-40 เซนติเมตร ส่วนดอกตัวเมียจะมีขนาดของงวงและดอกย่อยที่ใหญ่และชุ่มน้ำหวานมากกว่า

ผล ผลของตาลโตนดมีลักษณะกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 15-20 เซนติเมตร หนักประมาณ 1.5 กิโลกรัม เมื่ออ่อนมีสีเขียวแต่เมื่อแก่เต็มที่จะมีสีม่วงเข้มเกือบดำ เปลือกผลชั้นกลาง (mesocarp) เป็นเส้นใยสีเหลืองส้ม มีกลิ่นหอม รับประทานได้ ในเส้นใยสีเหลืองของผลตาลสุกมีสารพวกแคโรทีนอยด์ (ศิวาพร ศิวเวชช. 2529)

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อลูกตาลสุก

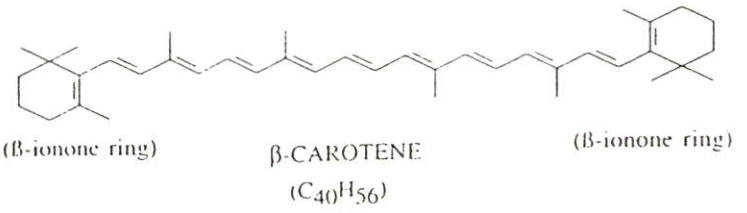
เนื้อลูกตาลสุกประกอบด้วยความชื้นประมาณ 86-90% มีของแข็งที่ละลายน้ำได้ 3.5 ^{0} Brix ความเป็นกรดด่าง 5.0-6.0 ปริมาณเบต้าแคโรทีน 6,075 หน่วยสากล(นฤมล เหลืองนภา. 2533) วิตามินซี 24 มิลลิกรัมต่อกรัม โปรตีน 0.7% ไขมัน 0.1% คาร์โบไฮเดรต 21% และเกลือแร่ 0.7% (Kularatnam. 1971)

2.2 เบต้าแคโรทีน

เบต้าแคโรทีน เป็นสารประกอบแคโรทีนอยด์ตัวหนึ่งที่มีความสำคัญมากเพราะเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ เบต้าแคโรทีนเป็นสารที่มีสีเหลืองถึงสีแดง พบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ ทั้งในผักและผลไม้ที่มีสีเหลือง เช่น แครอท มันเทศ มะละกอ ฟักทอง

2.2.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของเบต้าแคโรทีน

เบต้าแคโรทีนเป็นสารประเภทแคโรทีนอยด์ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (isoprene) 8 หน่วย มีจำนวนคาร์บอนอะตอมถึง 40 ตัว (C_{40}) (มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์. 2527) มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{40}H_{56}$ มีน้ำหนักโมเลกุล 536.85 ในธรรมชาติเบต้าแคโรทีนจะอยู่ในรูปทรานส์ไอโซเมอร์ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งถ้าแบ่งครึ่งโมเลกุลของ เบต้าแคโรทีนจะได้สองส่วนซึ่งเป็นภาพในกระจกเงาของกันและกัน(รัชนี ตัณฑะพานิชกุล. 2536)



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของเบต้าแคโรทีน
ที่มา : Fennema (1985)

เบต้าแคโรทีนมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเบต้าแคโรทีน

คุณสมบัติ	เบต้าแคโรทีน
จุดหลอมเหลว (melting point)	136 – 140 องศาเซลเซียส
สีของผลึก (color of crystals)	สีม่วงแดง (violet-red)
สีเมื่อละลายในน้ำมัน (color of oily solution)	สีเหลืองอ่อนถึงสีส้ม (light yellow – orange)
สีเมื่อกระจายตัวในน้ำ (aqueous dispersion)	สีเหลืองถึงสีส้ม (yellow – orange)
ค่าการดูดกลืนแสง	455 นาโนเมตร
ค่าการละลาย(solubility)(กรัม/100 มิลลิลิตร)	
-ในน้ำ (water)	ไม่ละลาย
-ในน้ำมันและไขมันพืช (veg.oil /fats)	0.05
-ในน้ำมันผิวส้ม (orange oil)	0.2 – 0.5
-ในเอทานอล (ethanol)	ต่ำกว่า 0.01
-ในอะซีโตน (acetone)	ประมาณ 0.1
ค่าการสังเคราะห์วิตามินเอในร่างกาย (biological activity vitamin A value)	1,667 IU/MG

ที่มา : วรรณา ตั้งเจริญชัย (2531), Emodi (1978)

2.2.2 แหล่งของเบต้าแคโรทีน

เบต้าแคโรทีนพบได้ในธรรมชาติ เช่น ผัก ผลไม้ เห็ด และสาหร่าย แหล่งที่พบเบต้าแคโรทีนจำนวนมากได้แก่ผักผลไม้ที่มีสีเหลืองเข้มหรือสีส้ม (Soontornpas. 1995) และในผักที่สีเขียวเข้ม ตัวอย่างผักที่มีสีเหลืองหรือสีส้ม เช่น แครอท มันเทศ ฟักทอง ส่วนผลไม้ที่มีสีเหลืองหรือสีส้ม เช่น แคนตาลูป มะละกอ แอพริคอท (apricot) เนคทารีน (nectarines) ท้อ (peaches) และผักสีเขียวเข้ม เช่น ยอดแค ใบกะเพรา ใบขี้เหล็ก ใบยอ ผักกะเฉด ผักขม บรอคโคลี่ นอกจากนี้ยังมีผักผลไม้ชนิดอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ที่นับว่าเป็นแหล่งของเบต้าแคโรทีนที่ดี (ทัศนีย์ ลิ้มสุวรรณ. 2540)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณเบต้าแคโรทีนในผักผลไม้ชนิดต่างๆ

	เบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัม/100 กรัม)		**เบต้าแคโรทีน** (ไมโครกรัม/100 กรัม)
ผัก			
ยอดแค	8,654	ยอดสะเดา	3,611
ใบกะเพรา	7,857	ใบเตย	2,987
ใบขี้เหล็ก	7,181	ใบตั้งโอ๋	2,722
แครอท	6,994	ใบผักคะน้า	2,512
เห็ดขมิ้น	5,494	ผักปวยเล้ง	2,520
ยอดผักแต้ว	4,366	ผักกวางตุ้ง	1,808
ใบยอ	3,999	ผักกาดหอม	1,719
ผักกะเฉด	3,710		
ผลไม้			
มะม่วงแก้วสุก	1,945	พรุนแห้ง	1,600
แคนตาลูป	2,040	ท้อ	1,000
แอพริคอท	2,700	เชอรี่	1,000
เนคทารีน	1,650	แตงโม	590

ที่มา : ทัศนีย์ ลิ้มสุวรรณ (2540)

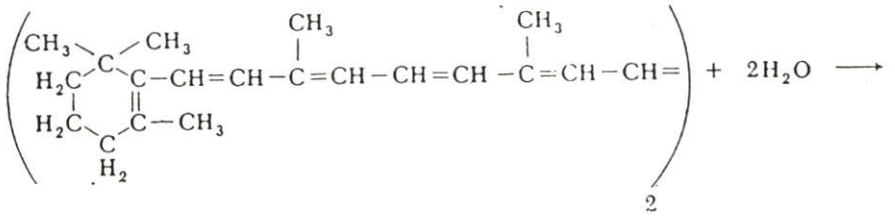
2.2.3 ความสำคัญของเบต้าแคโรทีน

2.2.3.1 การใช้เบต้าแคโรทีนเป็นสีผสมอาหาร

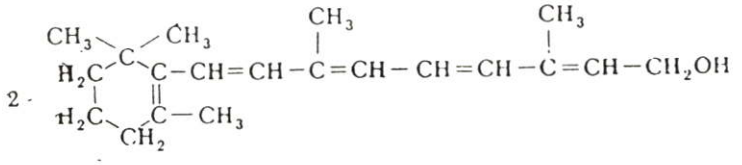
เบต้าแคโรทีนที่สกัดได้จากธรรมชาติสามารถนำมาใช้เป็นสีสำหรับอาหารหลายชนิด เช่น มาการีน (margarine) เนยเหลว (butter) เนยแข็ง (cheese) ข้าวโพดคั่ว (pop corn) ขนมหวานแช่แข็ง (frozen desserts) ไข่แดงแช่แข็งและไข่แดงผง น้ำผลไม้ และผลิตภัณฑ์ขนมอบ (Emodi. 1978) การใช้เบต้าแคโรทีนเพื่อให้สีในอาหารพวกไขมัน เช่น เนยแข็ง เนยเทียม และน้ำมันปรุงอาหาร นับเป็นวิธีที่ปลอดภัยเพราะเป็นของธรรมชาติที่ใช้แทนสีอะโซ (อรชุน เลียววัฒนะผล. 2539) แต่อย่างไรก็ตามการใช้เบต้าแคโรทีนเพื่อเป็นสีผสมอาหารในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มยังมีข้อจำกัดอยู่เนื่องจากเบต้าแคโรทีนไม่ละลายในน้ำ ทำให้ใช้ยากกว่าสีสังเคราะห์ (วรรณา ตั้งเจริญชัย. 2531)

2.2.3.2 เป็นสารตั้งต้นของวิตามิน เอ

เบต้าแคโรทีนเป็นสารตั้งต้น (precursor) ของวิตามินเอ เมื่อไฮโดรไลซ์ (hydrolyse) เบต้าแคโรทีนจะได้วิตามินเอ 2 โมเลกุล ดังรูปที่ 2.2



β-Carotene



Vitamin A

รูปที่ 2.2 การไฮโดรไลซ์ของเบต้าแคโรทีน

ที่มา : รัชนี ตัณฑะพานิชกุล (2536)

เบต้าแคโรทีนจะถูกไฮโดรไลซ์โดยเอนไซม์ 15, 15'-ไดออกซีจิเนส (15,15'-dioxygenase) ที่พันธะ 15, 15' ตรงกึ่งกลางของโมเลกุลเบต้าแคโรทีนได้เป็นเรตินอล 2 โมเลกุล การไฮโดรไลซ์ส่วนใหญ่จะเกิดที่เซลล์บุผนังลำไส้และอาจเกิดที่ตับได้เล็กน้อย (Soontornpas. 1995)

2.2.3.3 เป็นแอนติออกซิแดนท์

เบต้าแคโรทีนเป็นแอนติออกซิแดนท์และยังเป็นตัวกำจัดโมเลกุลออกซิเจนไร้คู่ (singlet oxygen) และอนุมูลอิสระ (free radicals) ออกซิเจนไร้คู่เป็นออกซิเจนที่มีลักษณะไม่คงที่ โดยอาจจะเปลี่ยนสภาพไปเป็นอนุมูลอิสระได้ สารเหล่านี้จะถูกสร้างจากปฏิกิริยาชีวเคมีต่าง ๆ ภายในร่างกาย เช่น เมตาบอลิซึมที่เกี่ยวข้องกับออกซิเจนจากปฏิกิริยาของลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) อนุมูลอิสระจะเป็นต้นเหตุทำให้เกิดโรคร้ายแรงต่าง ๆ จากการที่เซลล์ของร่างกายถูกทำลาย เช่น ภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง (atherosclerosis) และโรคมะเร็ง (วงสวาท ปัทมาคม. 2535) เบต้าแคโรทีนสามารถป้องกันการทำลายเซลล์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้โดยจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับอนุมูลเปอร์ออกซีดังสมการ ก โดยพันธะคู่ของโมเลกุลเบต้าแคโรทีนมีคุณสมบัติที่เป็นโปรออกซิแดนท์ซึ่งไวต่อการเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลเปอร์ออกซีได้เป็น β- car° β- car° ที่เกิดขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับออกซิเจน (O_2)

เกิดเป็น β- car-00° ดังสมการ ข ปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันนี้ขึ้นอยู่กับความดันของออกซิเจน ปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีเมื่อมีความดันของออกซิเจนต่ำ

β- carotene + ROO° ⟶ β- car° + ROOH.....(ก)

β- car° + O_2 ⟶ β- car-00°.....(ข)

β- car° + ROO° ⟶ inactive products.....(ค)

β- car° จะถูกกำจัดออกจากระบบโดยทำปฏิกิริยากับอนุมูลเปอร์ออกซีตัวอื่น แสดงดังสมการ ค (Soontornpas. 1995)

2.2.4 ปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ร่างกายควรได้รับ

ปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดว่าร่างกายควรได้รับเบต้าแคโรทีนในปริมาณเท่าไรแต่มีกำหนดไว้ในภาพรวมของวิตามินเอ โดยกำหนดว่าผู้ใหญ่ควรได้รับวิตามินเอวันละ 9.3 RE ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม RE หรือ retinol equivalent เป็นหน่วยที่ใช้บอกปริมาณวิตามินเอ โดย 1 RE มีค่าเท่ากับ 1 ไมโครกรัมของเรตินอล หรือ 6 ไมโครกรัมของเบต้าแคโรทีน คนไทยอายุ 20-60 ปี ควรได้รับวันละ 700 RE สำหรับเพศชายและ 600 RE สำหรับเพศหญิง (ทัศนีย์ ลิ้มสุวรรณ. 2540)

2.3 การเสื่อมสลายของเบต้าแคโรทีน

2.3.1 การเสื่อมสลายเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

เนื่องจากโครงสร้างของเบต้าแคโรทีนเป็นสายโซ่ยาวและมีพันธะคู่จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นสาเหตุหลักในการทำให้เบต้าแคโรทีนเสื่อมสลายโดยมีแสง ความร้อน และความชื้น ช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Arya *et al.* 1979) ซึ่งเป็นปัญหาในผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งอย่างมาก ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเบต้าแคโรทีนจะเกิดขึ้นได้คล้ายกับไขมัน

Goldman *et al.* (1983) ศึกษากลไกในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ เบต้าแคโรทีนโดยสรุปย่อเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

Initiation $RH \xrightarrow{\Delta, h\nu, O_2} R^\circ$

Propagation $R^\circ + O_2 \longrightarrow ROO_2$

$ROO^\circ + RH \longrightarrow ROOH$

$ROOH \longrightarrow RO^\circ + OH^\circ$

Termination $ROO^{\circ} + ROO^{\circ}$

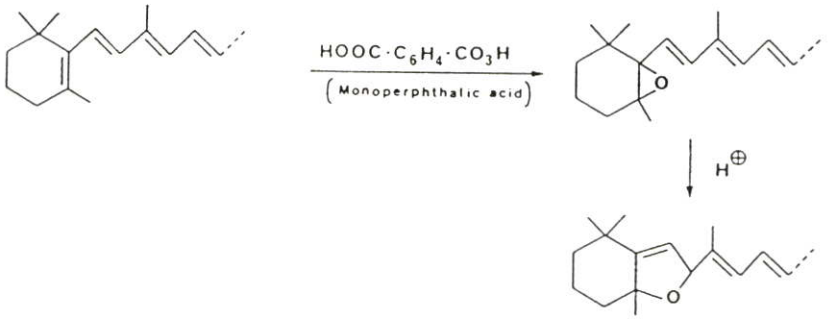
$R^{\circ} + R^{\circ}$

$R^{\circ} + ROO^{\circ}$

$\rightarrow$ nonradical product

ขั้นแรก (initation) ไฮโดรเจนถูกดึงออกจากโมเลกุลของเบต้าแคโรทีน (RH) เกิดเป็นอนุมูลอิสระ (free radicals) ส่วนขั้นที่ 2 (propagation) เป็นขั้นตอนที่มีบทบาทสำคัญ เนื่องจากเป็นขั้นตอนของการเกิดเปอร์ออกไซด์ (peroxide) โดยเป็นขั้นตอนที่ออกซิเจนเข้ารวมตัวกับอนุมูลอิสระเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ซึ่งเกิดได้รวดเร็วมากและเกิดปฏิกิริยาต่อไปเรื่อยๆ ส่วนในขั้นที่ 3 ปฏิกิริยาจะเกิดช้าลง โดยเป็นขั้นตอนที่อนุมูลอิสระรวมตัวกันเองเกิดเป็นสารประกอบที่เป็นกลางและเสถียรไม่ทำปฏิกิริยาต่อ

เบต้าแคโรทีนเมื่ออยู่ในสารละลายกรดเปอร์คาร์บอกซิลิก เบต้าแคโรทีนจะเกิดการออกซิเดชันแบบ อีพอกซิเดชัน (epoxidation) ซึ่งจะให้สารพวก 5,6-อีพอกไซด์ และจะเกิดไอโซเมอร์ไรเซชันไปเป็น 5, 8-ฟูรานออกไซด์ ดังรูปที่ 2.3 การเกิดอีพอกซิเดชันและอีพอกไซด์ไอโซเมอร์ไรเซชัน (epoxide isomerization) พบว่าเกิดในน้ำผลไม้กระป๋องซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียของสี (Wong. 1989)



รูปที่ 2.3 การเกิดอีพอกซิเดชัน (epoxidation) และ อีพอกไซด์ไอโซเมอร์ไรเซชัน (epoxide isomerization)

ที่มา : Wong (1989)

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะช้าหรือเร็วนั้นยังขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซออกซิเจน อุณหภูมิ แสง และโลหะ Goldman *et al.* (1983) ศึกษาผลของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่มีต่อความคงตัวของเบต้าแคโรทีนที่เหลืออยู่ พบว่าที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสในสภาพที่มีปริมาณวอเตอร์แอกติวิตี้ต่ำ (low water activity) เมื่อปริมาณก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้น จะทำให้ความคงตัวของเบต้าแคโรทีนลดลง

2.3.2 **แสงสว่าง**

แสงเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่ถ้าไม่มีออกซิเจนแคโรทีนอยด์จะเกิดการสูญเสียเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในเบต้าแคโรทีน แสงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนซีส-ทรานส์ไอโซเมอร์คล้ายกับที่เกิดจากความร้อน ขณะที่เบต้าแคโรทีนสัมผัสแสง ไอโอดีนจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซีส-ทรานส์ ไอโซเมอร์ที่อุณหภูมิห้อง (Goodwin. 1980)

Kearsley and Rodriguez (1981) ศึกษาผลของแสงต่อความคงตัวของเบต้าแคโรทีนที่ความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4.0 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่า ความคงตัวของเบต้าแคโรทีนจะลดลงคือมีสีอ่อนลง เมื่อเก็บไว้ในสภาพที่มีแสง

Chen and Tang (1998) ศึกษาผลของแสงที่มีต่อความเข้มข้นของทรานส์-เบต้าแคโรทีน พบว่าความเข้มข้นของทรานส์-เบต้าแคโรทีนจะลดลง 65.59% เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ส่วน 9-ซีส-เบต้าแคโรทีน 13-ซีส-เบต้าแคโรทีน 15-ซีส-เบต้าแคโรทีน และ 13, 15-ได-ซีส-เบต้าแคโรทีนจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น 59.72 14.33 14.46 และ 23.64% ตามลำดับ จะเห็นว่าแสงมีผลต่อการลดลงของทรานส์ไอโซเมอร์ และการเปลี่ยนแปลง ซีส-ทรานส์ ไอโซเมอร์นี้มีผลทำให้สีของผลิตภัณฑ์จางลง

2.3.3 **การปนเปื้อนของโลหะ**

อิออนของโลหะ เช่น ทองแดง เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้แคโรทีนอยด์เสื่อมสลายลง ถ้ามีไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ด้วยจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้ไลโคปีนเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนเร็วขึ้น 3.5 เท่า โดยอิออนของทองแดง (cupric ion) จะเป็นตัวทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Gross. 1991)

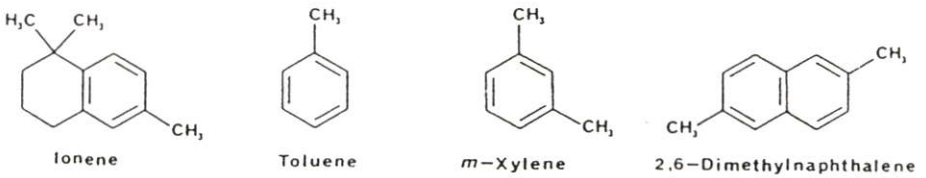
El-Tinay and Chichester (1970) ศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างเบต้าแคโรทีนกับออกซิเจนในทูลูอีน (toluene) ที่ 60 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการสูญเสียของเบต้าแคโรทีนจะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับเวลา นั่นคือเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจะมีการสูญเสียเบต้าแคโรทีนมากขึ้นด้วย และการสูญเสียเบต้าแคโรทีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีอิออนของทองแดง ผลิตภัณฑ์ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันคือ เบต้าแคโรทีน 5 , 6 -โมโนอีพอกไซด์ (β-carotene 5, 6-monoepoxide) และไอโซเมอร์คือ เบต้าแคโรทีน 5, 6, 5′, 6′-ไดอีพอกไซด์ (β-carotene 5, 6, 5′, 6′-diepoxide) สารอีกชนิดหนึ่งซึ่งตรวจพบคือ เบต้าแคโรทีน 5, 8-โมโนอีพอกไซด์ (β-carotene 5, 8-monoepoxide) โดยมีไอโซเมอร์คือ เบต้าแคโรทีน 5, 8, 5′, 8′-ไดอีพอกไซด์ (β-carotene 5, 8, 5′, 8′ -diepoxide)

2.3.4 **ความร้อน**

ความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตหรือความร้อนระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์จะมีผลต่อความคงตัวของเบต้าแคโรทีน โดยจะทำให้โครงสร้างของเบต้าแคโรทีนเกิดการแตกสลายได้เป็นสารประกอบที่ระเหยได้หรือเกิดไอโซเมอร์ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีอ่อนลง ความร้อนจะทำให้เบต้าแคโรทีนเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้

2.3.4.1 Thermal degradation

เบต้าแคโรทีนมีโมเลกุลที่ต่อกันเป็นสายโซ่ยาว เมื่อถูกความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 190 องศาเซลเซียส จะเกิดการแตกสลายของโครงสร้างทำให้ได้สารประกอบพวกไอโอนีน (ionene) ทูลูอีน (toluene) เอ็ม-ไซลีน (m-xylene) และ 2,6 ไดเมทธิลแนพทาลีน (2, 6-dimethyl naphthalene) ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งสารเหล่านี้จะมีสีเหลืองถึงน้ำตาลและเป็นยางเหนียว (Mader. 1964 ; Wong. 1989)



รูปที่ 2.4 สารประกอบที่ได้จากการแตกสลายด้วยความร้อนของเบต้าแคโรทีน
ที่มา : Wong (1989)

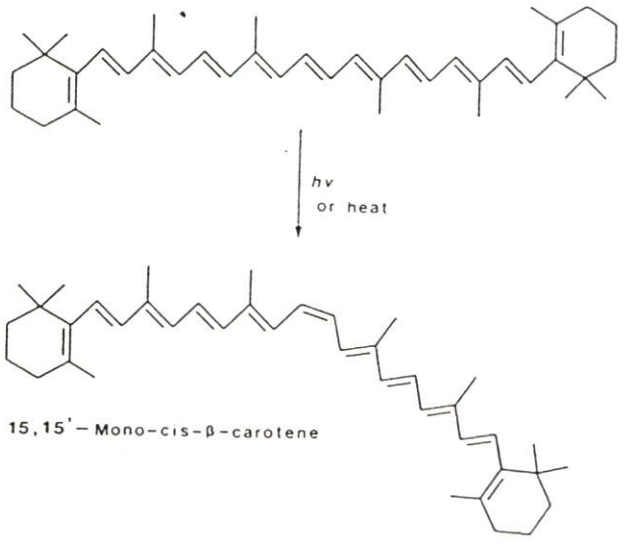
Onyewu *et al.* (1982) ศึกษาผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัวของเบต้าแคโรทีนด้วยความร้อน โดยใช้ liquid column และ thin-layer chromatography ในการแยก จากการทดลองให้ความร้อนเบต้าแคโรทีนที่ 210 องศาเซลเซียสนาน 4 ชั่วโมง จะพบสารประกอบ 2 ชนิดคือ 3, 7, 10-ไตร-เมทธิล-1-1, 12-บิส (2, 6, 6-ไตรเมทธิไซโคลเฮกซ์-1-อีนิล) โดเดคะ-1, 3, 5 , 7, 9, 11-เฮกเซอีน (3, 7, 10-tri-methyl-1-1, 12-bis (2, 6, 6-trimethycyclohex-1-enyl) dodeca-1, 3, 5, 7, 9, 11-hexaene) และ 3, 6-ไดเมทธิล-1, 8-บิส (2, 6, 6-ไตรเมทธิลไซโคลเฮกซ์-1-อีนิล)-1, 3, 5, 7-เตตราอีน (3, 6-dimethyl-1, 8-bis (2, 6, 6-trimethylcyclohex-1-enyl)-1, 3, 5, 7-tetraene)

Gross (1991) รายงานว่าการเพิ่มอุณหภูมิเบต้าแคโรทีนในช่วง 190-220 องศาเซลเซียส จะได้สารประกอบจากการสลายตัวด้วยความร้อนของเบต้าแคโรทีนเป็นสารระเหยพวกเบต้า-ไอโอโนน (β-ionone) ไดไฮโดรแอคติไนไดโอไลด์ (dihydroactinidiolide) และ 5,6 –อีพอกซี –เบต้า-ไอโอโนน (5, 6-epoxy-β-ionone)

Kanasawud and Crouzet (1990) ศึกษาการแตกตัวของเบต้าแคโรทีน ระหว่างการให้ความร้อนที่ 97 องศาเซลเซียสนาน 3 ชั่วโมงในสภาพที่มีออกซิเจน พบว่าจะเกิดสารประกอบที่ระเหยได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนของเบต้าแคโรทีน โดยไดไฮโดรแอคติไนไดโอไลด์ (dihydroactinidiolide) จะเป็นสารประกอบที่ระเหยได้ตัวแรกที่ได้ โดยมีมิวตาโตโครม (mutatochrome) เป็นสารตั้งต้น

2.3.4.2 Thermal isomerization

ในธรรมชาติเบต้าแคโรทีนส่วนใหญ่อยู่ในรูปทรานส์ แต่เมื่อเบต้าแคโรทีนถูกแสง ความร้อน หรือกรดจะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่าไอโซเมอร์ไรเซชัน (isomerization) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเกิดไอโซเมอร์ไรเซชัน (isomerization) ของเบต้าแคโรทีน
ที่มา : Wong (1989)

จากรูปที่ 2.5 เบต้าแคโรทีน จะเกิดไอโซเมอร์ไรเซชัน (isomerization) ด้วยความร้อนหรือแสงซึ่งจะเปลี่ยนเป็น 15, 15′-โมโน-ซีส-เบต้าแคโรทีน(15, 15′-Mono-cis-β-carotene) การเปลี่ยนแปลงรูปจากทรานส์เป็นซีสจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีอ่อนลง

Chandler and Schwartz (1987) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงซีส-ทรานส์ไอโซเมอร์ ในผักผลไม้ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปต่าง ๆ พบว่า เมื่อนำผักและผลไม้มาผ่านกระบวนการแปรรูปจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงซีส-ทรานส์ไอโซเมอร์ (cis-tran isomerizations) ขึ้น โดยเบต้าแคโรทีนในผักและผลไม้จะเปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปซีสเพิ่มขึ้นประมาณ 20.1-54.0 %

Chen *et al.* (1994) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงไอโซเมอร์ของเบต้าแคโรทีนด้วยความร้อน โดยให้ความร้อนที่ 150 องศาเซลเซียส พบว่าทรานส์-เบต้าแคโรทีนจะเกิดไอโซเมอร์ไรเซชันไปอยู่ในรูปของซีส ซึ่งจะทำความเข้มข้นของทรานส์-เบต้าแคโรทีนลดลงและความเข้มข้นของ 13-ซีส และ 9-ซีส เพิ่มขึ้น

Chen and Tang (1998) ศึกษากระบวนการผลิตและความคงตัวของแคโรทีนอยด์ผงจากเนื้อแครอทที่เหลือจากการผลิตน้ำแครอท (carrot pulp waste) โดยได้ศึกษาความคงตัวของทรานส์และซีสเบต้าแคโรทีนระหว่างการเก็บรักษา พบว่าตัวอย่างที่เก็บในที่มืดจะสูญเสียทรานส์-เบต้าแคโรทีนเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น โดยการสูญเสียหลังจากเก็บไว้ 12 สัปดาห์ ที่ 4 25 และ 45 องศาเซลเซียส จะเป็น 12.07 20.67 และ 30.33 ไมโครกรัมต่อกรัมตามลำดับ ในทางตรงข้ามความเข้มข้นของ 13-ซีส-เบต้าแคโรทีนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ส่วนการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ 9-ซีส-เบต้าแคโรทีนจะมีแนวโน้มเหมือนกันกับ 13-ซีส-เบต้าแคโรทีน แต่จะไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเมื่อเก็บไว้ที่มืดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของ 13-ซีส-เบต้าแคโรทีนจะเพิ่มขึ้นบ้างเล็กน้อยที่อุณหภูมิ 25 และ 45 องศาเซลเซียส

2.3.5 น้ำและวอเตอร์แอกติวิตี้ (Aw)

การทำแห้งอาหารจะต้องขจัดฟิล์มที่ป้องกันการสูญเสียความชื้นบริเวณผิวหน้าของอาหาร (Gross. 1991) ความชื้นที่มีอยู่ในอาหารจะช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้จากการช่วยทำลายอนุมูลอิสระ (free radicals) โดยน้ำจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ช่วยลดอัตราเร็วของการเปลี่ยนไฮโดรเปอร์ออกไซด์ไปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น และน้ำจะทำปฏิกิริยากับโลหะและลดความสามารถของโลหะในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล. 2536)

Arya *et al.* (1979) ศึกษาผลของวอเตอร์แอกติวิตี้ต่อการเสื่อมสลายของเบต้าแคโรทีนพบว่าเมื่อวอเตอร์แอกติวิตี้ลดลง การสูญเสียเบต้าแคโรทีนจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ระดับวอเตอร์แอกติวิตี้ต่ำจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย

Kearsley and Rodrignez (1981) ศึกษาผลของวอเตอร์แอกติวิตี้ตั้งแต่ 1-0.37 ต่อความคงตัวของสีของเบต้าแคโรทีน ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อวอเตอร์แอกติวิตี้ลดลงความคงตัวของสีจะลดลงด้วย

Goldman *et al.* (1983) ศึกษาผลของวอเตอร์แอกติวิตี้ต่อความคงตัวของเบต้าแคโรทีนพบว่าที่วอเตอร์แอกติวิตี้มีระดับสูงขึ้น จะทำให้อัตราการเสื่อมสลายของเบต้าแคโรทีนลดลง

2.3.6 **เอนไซม์** (Bauernfeind. 1981)

ในระดับเซลล์ แคโรทีนอยด์จะอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนของแคโรทีนอยด์กับโปรตีนที่มีเสถียรภาพดี ซึ่งจะทำหน้าที่ป้องกันสารในเนื้อเยื่อที่ยังไม่ถูกทำลายระหว่างการเก็บเกี่ยว แต่เมื่อเนื้อเยื่อถูกทำลายจะมีการปล่อยเอนไซม์ออกมา ทำให้เป็นจุดเริ่มต้นของการสูญเสียแคโรทีนอยด์โดยมีกลไกดังต่อไปนี้

2.3.6.1 เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) จะเปลี่ยนแคโรทีนอยด์ทั้งทางตรงและทางอ้อม การเปลี่ยนแปลงโดยตรงแสดงในสมการ ง

แคโรทีนอยด์ $\xrightarrow{\text{ก}}$ 5,6-อีพอกไซด์ $\xrightarrow{\text{ข}}$ 5,8- อีพอกไซด์.....(ง)

ก คือ เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

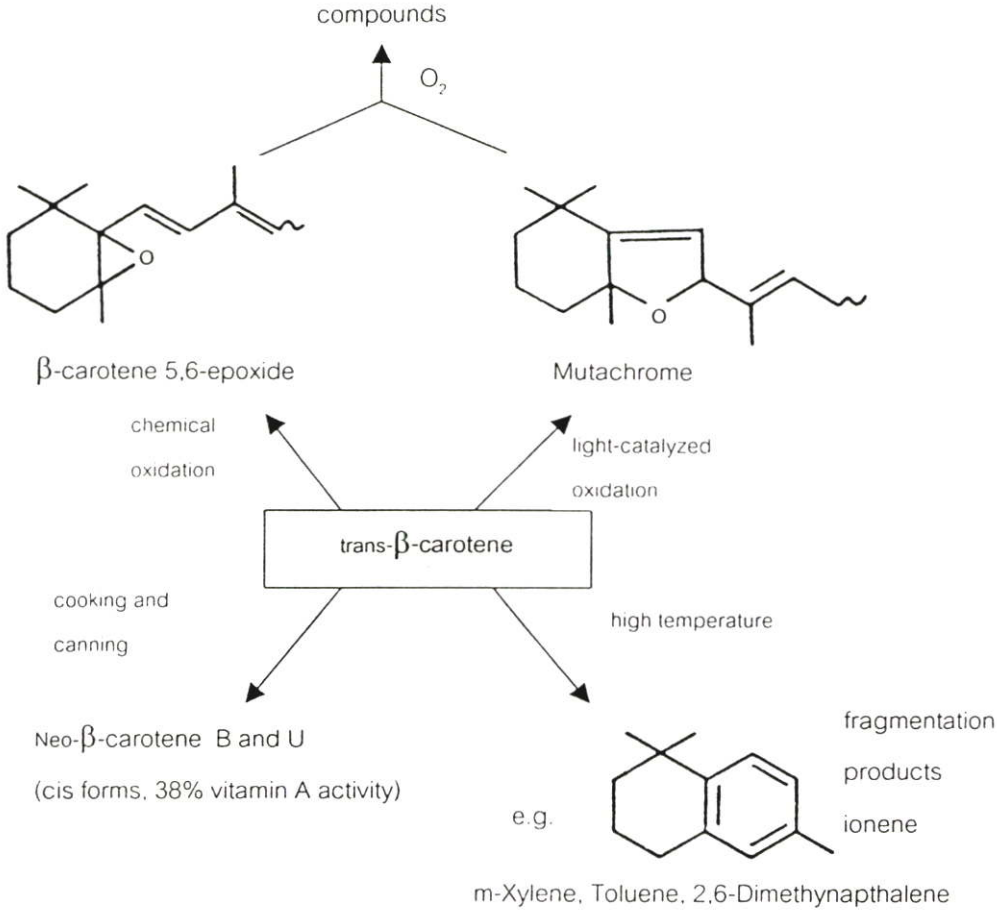
ข คือ กรดในพืช (plant acid)

การสูญเสียโดยทางอ้อม คือ การเกิดออกซิเดชันของไขมันทำให้แคโรทีนอยด์เกิดการออกซิไดซ์ตามไปด้วย

2.3.6.2 เอนไซม์ไลพอกซิเดส (lipoxidase) จะผลิตอนุมูลอิสระจากไขมันไม่อิ่มตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับแคโรทีนอยด์ในขั้นแรก ๆ

2.3.6.3 เอนไซม์ไลโพเปอร์ออกซิเดส (lipoperoxidase) จะมีผลถ้ามีเปอร์ออกไซด์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งถูกสร้างโดยเอนไซม์ไลพอกซีจิเนสอยู่ด้วย หรือสามารถทำให้เกิดออกซิเดชันโดยตัวเอนไซม์เอง มีความสำคัญมากในการสกัดน้ำมันถั่วเหลือง

จะเห็นว่าการเสื่อมสลายของเบต้าแคโรทีนเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ดังกล่าวมาข้างต้น Fennema (1985) ได้สรุปการเสื่อมสลายของทรานส์-เบต้าแคโรทีนดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การเสื่อมสลายของทรานส์-เบต้าแคโรทีน
ที่มา : Fennema(1985)

2.4 การทำแห้งผลิตภัณฑ์เกษตรบางชนิด

การทำแห้งหมายถึงการลดปริมาณน้ำในอาหารเพื่อลดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ลงมาให้อยู่ในระดับต่ำพอที่จะสามารถหยุดยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่จะก่อให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพและการเน่าเสียของอาหาร (โชคชัย ธีรกุลเกียรติ. 2539) โดยการทำแห้งมีขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.4.1 การเตรียมวัตถุดิบก่อนการทำแห้ง

การเตรียมวัตถุดิบก่อนการทำแห้ง ได้แก่ การคัดแยก การทำความสะอาด การปอกเปลือกและตัดแต่ง การลวก และการใช้สารเคมี เป็นต้น ขั้นตอนที่สำคัญในการเตรียมวัตถุดิบก่อนการทำแห้งคือการยับยั้งเอนไซม์ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่น รสชาติของผลิตภัณฑ์ อาจทำได้โดยการให้ความร้อนด้วยน้ำร้อนหรือไอน้ำ หรือใช้สารเคมี ซึ่งขั้นตอนการลวกเป็นกระบวนการที่สำคัญในการยับยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase)

2.4.2 การทำแห้ง

เมื่อเตรียมวัตถุดิบเรียบร้อยแล้ว จะนำวัตถุดิบหรืออาหารเข้าสู่ขั้นตอนการทำแห้งโดยใช้เครื่องมือในการทำแห้งแบบต่างๆ เช่น การทำแห้งแบบถาด (tray drier) การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum drier) การทำแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum drier) และการทำแห้งแบบแช่แข็ง (freeze drier) เป็นต้น โดยการทำแห้งแต่ละแบบจะมีข้อได้เปรียบและเสียเปรียบแตกต่างกันไป ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม (โชคชัย ธีรกุลเกียรติ. 2539)

นฤมล เหลืองนภา (2533) ศึกษาวิธีการทำลูกตาลผง โดยนำเนื้อลูกตาลสุกที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสนาน 5 นาทีผสมกับไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (disodiumhydrogenphosphate) 0.1% และแป้งข้าวเจ้า 5% เพื่อช่วยให้เนื้อตาลผงมีการละลายได้ดีขึ้นและป้องกันการจับตัวของเนื้อตาลผง จากนั้นนำเนื้อตาลที่ผสมแล้วมาทำแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ ดังนี้คือ วิธีแรกใช้ตู้อบแห้งธรรมดา โดยใช้เนื้อลูกตาลสุกที่ผสมแล้วใส่ถาดให้มีความหนา 0.5 เซนติเมตร อบที่ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 19 ชั่วโมง วิธีที่สองใช้ตู้อบแห้งแบบลดความชื้นที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสใช้เวลา 10 ชั่วโมง และวิธีที่สามคือใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งโดยใช้อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 5 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.15 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่า การทำแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบธรรมดาและตู้อบแห้งแบบลดความชื้น เนื้อตาลผงที่ได้จะมีความชื้นใกล้เคียงกันคือ 7.65 และ 7.00% ตามลำดับ ส่วนการทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะมีความชื้นต่ำสุดคือ 6.14% ดัชนีการดูดซึมน้ำของลูกตาลผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งจะมีมากที่สุดคือ 6.03 กรัมน้ำต่อกรัมเนื้อตาลแห้ง รองลงมาคือการทำแห้งด้วยตู้ลดความชื้นคือ 4.40 กรัมน้ำต่อกรัมเนื้อตาลแห้ง และการทำแห้งแบบตู้อบแห้งแบบธรรมดาจะมีดัชนีการดูดซึมน้ำต่ำที่สุดคือ 4.38 กรัมน้ำต่อกรัมเนื้อตาลแห้ง แต่สีของลูกตาลผงจากการทำแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบธรรมดาและตู้อบแห้งแบบลดความชื้นจะดีกว่าจากการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเนื่องจากใช้อุณหภูมิต่ำกว่า

ก่องกาญจน์ อังสุภานิช และคณะ (2536) ศึกษากรรมวิธีการผลิตว่านหางจระเข้ เปรียบเทียบระหว่างการทำแห้งแบบพ่นกระจายและการใช้ตู้อบแบบถาด โดยนำน้ำว่านหางจระเข้ปรับปริมาณของแข็งโดยเติมมอลโตเด็กซ์ตรินให้น้ำว่านหางจระเข้มีปริมาณของแข็ง 2 และ 3% จากนั้นระเหยน้ำออกจนน้ำว่านหางจระเข้มีปริมาณของแข็ง 5% แล้วนำมาอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิลมเข้า 150 และ 200 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมออกที่ 95 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของหัวฉีดเท่ากับ 6,400 รอบต่อนาที ส่วนการใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดทำที่อุณหภูมิ 50 55 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าผงว่านหางจระเข้ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นกระจายมีความสามารถในการกระจายตัวต่ำและมีการสูญเสียในระหว่างการทำแห้งมากกว่าการทำแห้งโดยใช้ตู้อบแบบถาด และพบว่ากระบวนการทำแห้งที่เหมาะสมทำโดยการเติมมอลโต

เด็กซ์ตรินในน้ำว่านหางจระเข้ให้มีปริมาณของแข็ง 2% ระเหยน้ำออกไปบางส่วนแล้วนำไปทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 13 ชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้ผง 0.4% ของใบว่านหางจระเข้สด โดยมีความสามารถในการกระจายตัว 77.25% ค่าสี L a และ b เท่ากับ 88.34 -2.30 และ 14.55 ตามลำดับ ค่าความหนืด 31.38 เซ็นติพอยส์ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 285 โคโลนีต่อกรัม ปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม

ศุกฤตย์ ไทยอุดม (2538) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นกระจายเพื่อผลิตน้ำบัวบกผงสำเร็จรูป โดยแปรอุณหภูมิลมเข้า 3 ระดับคือ 135 155 และ 175 องศาเซลเซียส แปรปริมาณสารไซโคลเดกซ์ทรินในน้ำบัวบกสดเป็น 0.33 0.66 และ 0.99 กรัมต่อน้ำบัวบกสด 100 มิลลิลิตร และแปรอัตราการไหลของน้ำบัวบกสดเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจายเป็น 9.67 21.50 และ 33.33 มิลลิลิตรต่อนาทีตามลำดับ ใช้การทดลอง Box-Behnken design พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำบัวบกผงคือ อุณหภูมิลมเข้า 150 องศาเซลเซียส ปริมาณสารไซโคลเดกซ์ทริน 0.665 กรัมต่อน้ำบัวบกสด 100 มิลลิลิตรและอัตราการไหลของน้ำบัวบกสด 12.77 มิลลิลิตรต่อนาที

Yang and Atallah (1985) ศึกษาผลของการทำแห้งแบบต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของโลบุช บลูเบอรี (lowbush blueberries) โดยเปรียบเทียบระหว่างการทำแห้งหลายแบบดังนี้คือ ทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสนาน 180 นาที ทำแห้งภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสนาน 100 นาทีที่ความดัน 29 นิ้วปรอท ทำแห้งด้วยไมโครเวฟที่ 70 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที และทำแห้งแบบแช่แข็งโดยแช่แข็งโลบุช บลูเบอรีที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียสนาน 30 นาทีและทำให้แห้งภายใต้สุญญากาศที่ 10-15 ไมโครเมตรปรอท เป็นเวลานาน 12-18 ชั่วโมง พบว่าการทำแห้งทั้ง 4 แบบทำให้ปริมาณวิตามินเอและไนอะซีนคงเหลืออยู่ไม่แตกต่างกัน แต่การทำแห้งแบบแช่แข็งจะมีปริมาณวิตามินซีคงเหลืออยู่มากที่สุด มีอัตราการคืนรูปดีกว่า และมีความหนาแน่นปรากฏต่ำกว่าวิธีอื่น นอกจากนี้การทำแห้งแบบแช่แข็งและการทำแห้งแบบสุญญากาศยังมีผลทำให้ของแข็งที่ละลายน้ำได้คงเหลืออยู่มากที่สุด

Henig and Mannheim (1971) ศึกษาการทำแห้งน้ำมะเขือเทศเข้มข้นด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ใช้สภาวะในการทำแห้งดังนี้คือ ความดันไอน้ำที่ 2.5-3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (อุณหภูมิประมาณ 125-140 องศาเซลเซียส) ความเร็วของลูกกลิ้ง 2-3.5 รอบต่อนาที และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.008 นิ้ว พบว่าน้ำมะเขือเทศผงที่ใช้ความเร็วของลูกกลิ้ง 2-2.5 รอบต่อนาทีจะเกิดสีน้ำตาลมากกว่าเมื่อใช้ความเร็วของลูกกลิ้ง 3-3.5 รอบต่อนาทีและจากสภาวะการทำแห้งดังกล่าวทำให้มีการสูญเสียไลโคปีน (lycopene) ประมาณ 9-10 %

2.5 การสูญเสียเบต้าแคโรทีนเนื่องจากกระบวนการทำแห้งและการเก็บรักษา

การสูญเสียเบต้าแคโรทีนในระหว่างการทำแห้งและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เกิดจากปฏิกิริยาของเปอร์ออกไซด์ (peroxide) หรืออนุมูลอิสระ (free radical) กับเบต้าแคโรทีน อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้น (Labuza. 1972) ทำให้เบต้าแคโรทีนในผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งเกิดออกซิเดชันได้ง่าย ดังนั้นภาวะของกระบวนการทำแห้งแบบต่าง ๆ จึงมีผลต่อการสูญเสียเบต้าแคโรทีน

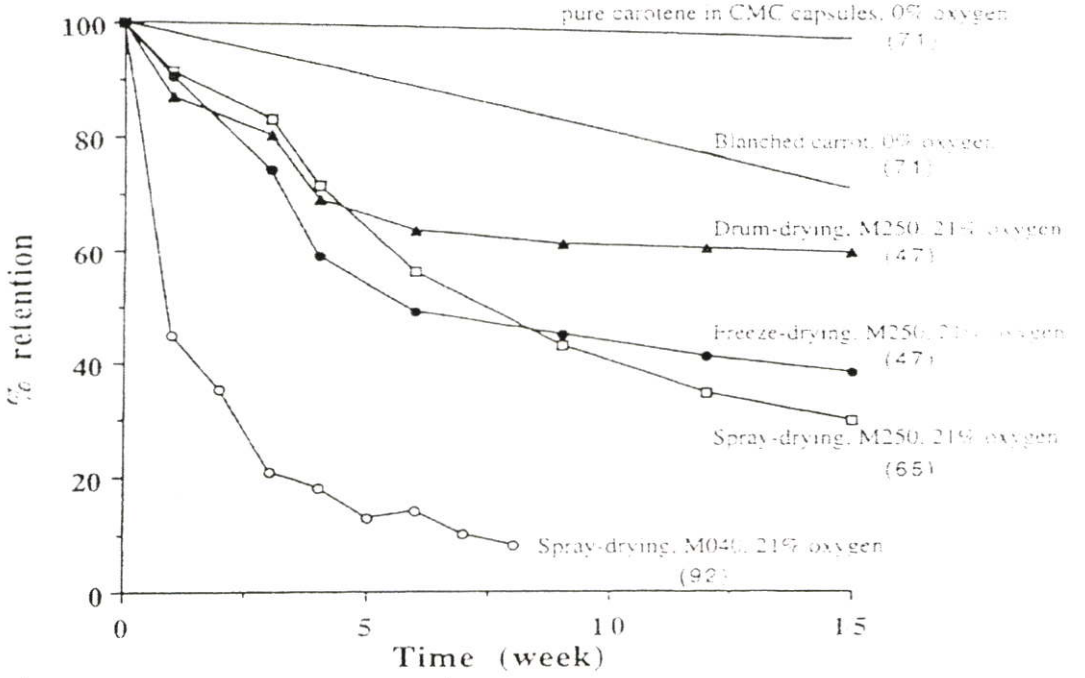
DellaMonica and McDowell (1965) ศึกษาผลของการทำแห้งแครอทต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนที่เหลืออยู่จากวิธีทำแห้ง 3 แบบคือ การทำแห้งโดยตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 200 องศาฟาเรนไฮต์ นาน 2 ชั่วโมง และ 150 องศาฟาเรนไฮต์นาน 6 ชั่วโมง การทำแห้งแบบพัฟ (puff drying) เป็นการทำให้แห้งโดยทำให้อาหารร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาฟาเรนไฮต์นาน 2 ชั่วโมง และทำให้เกิดความดันโดยใช้ความดัน 35 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แล้วจึงลดความดันลงทันที โดยน้ำที่อยู่ในอาหารจะกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว ดันให้ภายในชิ้นอาหารมีโครงร่างโปร่งและคงรูปไว้ได้ และการทำแห้งแบบแช่แข็งที่อุณหภูมิ 160 องศาฟาเรนไฮต์ ความดัน 1,000 ไมโครเมตรปรอท เป็นเวลา 4 ถึง 5 ชั่วโมง พบว่าการทำแห้งแบบแช่แข็งทำให้มีปริมาณเบต้าแคโรทีนคงเหลืออยู่มากที่สุดคือ 85% รองลงมาคือ การทำแห้งแบบพัฟ ทำให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนเหลืออยู่ 81% ส่วนการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนจะทำให้มีเบต้าแคโรทีนเหลืออยู่น้อยกว่าวิธีอื่นคือเหลือประมาณ 74%

Sweeney and Marsh (1971) รายงานว่า ในการทำแห้งแครอทโดยการทำแห้งแบบแช่แข็งจะมีการสูญเสียเบต้าแคโรทีนประมาณ 13%

Ammu *et al.* (1976) ศึกษาการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงซึ่งผ่านการทำแห้งแบบแช่แข็งในกระป๋องภายใต้สภาวะที่มีอากาศ และภายใต้ก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 26-30 และ 37 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน พบว่าการเก็บในภาชนะบรรจุในสภาพที่มีอากาศจะมีการสูญเสียเบต้าแคโรทีนมากกว่าที่บรรจุภายใต้ก๊าซไนโตรเจน และการเก็บที่อุณหภูมิ 26-30 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนคงเหลืออยู่มากกว่าที่ 37 องศาเซลเซียส เนื่องจากในสภาวะที่มีออกซิเจนและอุณหภูมิสูงจะมีการเกิดออกซิเดชันและการเปลี่ยนไอโซเมอร์มากกว่า

Chandler and Schwartz (1988) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเบต้าแคโรทีนในมันเทศในระหว่างการทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ความเร็วลูกกลิ้ง 25 รอบต่อนาที พบว่าเมื่อมันเทศผ่านการทำแห้งเบต้าแคโรทีนจะอยู่ในรูปซีสมากขึ้น ทำให้สีของมันเทศจางลง

Desobry *et al.* (1998) ศึกษาเปรียบเทียบผลของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นกระจาย แบบลูกกลิ้ง และแบบแช่แข็ง ที่มีต่อความคงตัวของเบต้าแคโรทีนที่ผ่านการทำไมโครเอนแคปซูเลชัน โดยใช้มอลโตเด็กซ์ตริน 25 DE เป็นสารเคลือบ พบว่าการทำแห้งแบบลูกกลิ้งทำให้เกิดการสูญเสียเบต้าแคโรทีนมากที่สุด 14 % ส่วนการทำแห้งแบบพ่นกระจาย และการทำแห้งแบบแช่แข็งจะมีเบต้าแคโรทีนสูญเสีย 11 และ 8% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการทำแห้งแบบลูกกลิ้งใช้อุณหภูมิสูงกว่าการทำแห้งวิธีอื่น และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณ เบต้าแคโรทีนที่เหลือในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 สัปดาห์ พบว่าการทำแห้งแบบลูกกลิ้งสามารถรักษาความคงตัวของเบต้าแคโรทีนได้ถึง 40% การทำแห้งแบบแช่แข็งสามารถรักษาเบต้าแคโรทีนได้ 38% ส่วนการทำแห้งแบบพ่นกระจายสามารถรักษาเบต้าแคโรทีนได้เพียง 27% ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ผลของการทำแห้งแบบต่างๆ ที่มีต่อความคงตัวของเบต้าแคโรทีนในระหว่างการเก็บรักษา

ที่มา : Desobry *et al.* (1998)

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าการทำแห้งแบบพ่นกระจายจะทำให้เบต้าแคโรทีนเหลืออยู่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการทำแห้งแบบอื่น เนื่องจากผงเบต้าแคโรทีนที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นกระจายจะมีขนาดอนุภาคเล็ก มีพื้นที่ผิวมากกว่าผงเบต้าแคโรทีนที่ได้จากการทำแห้งแบบอื่น ทำให้เบต้าแคโรทีนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย

2.6 ขนมตาล

เป็นขนมพื้นบ้านของประเทศไทยที่มีการทำกันมาแต่ช้านาน โดยเป็นการแปรรูปจากเนื้อลูกตาลสุก เป็นขนมที่รสอร่อยชวนรับประทาน (สำนักงานพาณิชย์จังหวัดพิษณุโลก. 2540) โดยส่วนผสมหลักของขนมตาลประกอบด้วย เนื้อลูกตาลสุก แป้งข้าวเจ้า น้ำตาลทราย และกะทิ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

-แป้งข้าวเจ้า

แป้งข้าวเจ้าได้จากการนำข้าวสารหรือปลายข้าวแช่น้ำแล้วโม่ให้ละเอียดทิ้งให้แป้งนอนก้นนำใส่ถุงผ้าทับให้สะเด็ดน้ำ ตากบนตะแกรงจนแห้ง บดเม็ดแป้งที่ได้ร่อนผ่านตะแกรงละเอียดหรืออาจจะทำโดยนำปลายข้าวมาบดให้ละเอียด แป้งข้าวเจ้าที่สุกจะมีลักษณะเป็นวุ้นใสนุ่ม (อบเชยและขนิษฐา. 2544) แป้งที่ใช้ทำขนมจะทำหน้าที่สำคัญในด้านการทำให้เกิดความข้นและเกิดลักษณะพองตัวข้นใส (gelatinization) ทำให้ขนมจับตัวกันและสุก

-น้ำตาลทราย

การใส่น้ำตาลทรายในขนมตาลจะช่วยให้เกิดความหวานและเป็นอาหารของจุลินทรีย์โดยแบคทีเรียและยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลทรายให้เป็นกลูโคสและฟรุคโตสก่อนโดยเอนไซม์อินเวอร์เตสหลังจากนั้นจะเกิดการหมักและสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นทำให้ขนมขึ้นฟูและเนื้อนุ่ม อัตราเร็วในการย่อยน้ำตาลของจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณน้ำตาล เช่น ถ้าใช้น้ำตาลกลูโคสหรือฟรุคโตส จุลินทรีย์จะใช้น้ำตาลและผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เท่ากัน แต่ถ้าใช้น้ำตาลกลูโคสรวมกับฟรุคโตส จุลินทรีย์จะใช้น้ำตาลกลูโคสได้เร็วกว่าน้ำตาลฟรุคโตส การใช้น้ำตาลมีผลต่อการจับตัวของเจล ถ้าใช้น้ำตาลเพิ่มขึ้นเจลที่ได้จะใสยิ่งขึ้นและนุ่มนวลมากขึ้น แต่เม็ดแป้งจะดูดน้ำช้าลงถึงแม้จะใช้อุณหภูมิสูง เนื่องจากโมเลกุลของน้ำตาลจับตัวกับน้ำได้ดีกว่าโมเลกุลของแป้ง น้ำตาลจึงดึงน้ำไม่ให้เข้าไปในเม็ดแป้ง การพองตัวของเม็ดแป้งจึงเป็นไปอย่างช้า ๆ ช่วงการสุกจึงยาวขึ้น แต่ถ้าใช้น้ำตาลเข้มข้นมากขึ้นการจับตัวจะมากขึ้นจนไม่มีโมเลกุลน้ำเหลือเป็นอิสระ แป้งจะไม่สุก (กนก ชวลิตพงศ์. 2542)

-กะทิ

กะทิเป็นของเหลวที่ได้จากการคั้นเนื้อมะพร้าวขูดสด โดยอาจเติมน้ำหรือไม่เติมก็ได้จะได้น้ำกะทิสีขาวคล้ายน้ำนม กะทิมีลักษณะเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) ซึ่งถูกทำให้คงตัวโดยโปรตีนในกะทิ

กะทิที่นำมาใช้ในการทำขนมส่วนใหญ่เป็นกะทิที่ได้จากการคั้นน้ำแรกหรือเรียกว่าหัวกะทิ บทบาทของกะทิในขนมคือ

-ช่วยเพิ่มรสชาติของขนมให้ดีขึ้น

-เป็นตัวนำความร้อนทำให้ขนมสุก

-ช่วยทำให้ขนมมีความมันสวยงามเพิ่มขึ้น

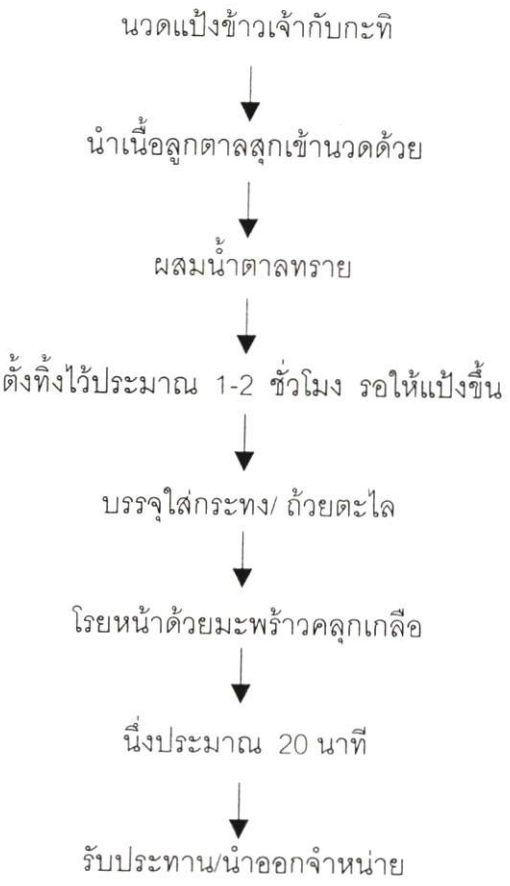
-ช่วยให้เนื้อสัมผัสขนมมีความแข็งตัวมากขึ้นเมื่อใช้หัวกะทิในส่วนประกอบของขนมมากขึ้น เนื้อสัมผัสขนมจะแข็งกระด้างแต่ความมันของเนื้อขนมมากขึ้น แต่ถ้าใช้ปริมาณน้อยเนื้อสัมผัสขนมจะมีความนุ่มแต่ไม่มีความมันของเนื้อขนมมากนัก (ธงชัย พุฒทองศิริ. 2542) ไขมันจากกะทิจะมีผลต่อเนื้อสัมผัสของขนมเนื่องจากจะไปห่อหุ้มที่ผิวของเม็ดแป้งทำให้น้ำซึมผ่านเข้าไปในเม็ดแป้งได้น้อยลง การพองตัวของเม็ดแป้งเป็นไปอย่างช้า ๆ มีผลให้การเกิดเจลลดลงและเม็ดแป้งแตกตัวน้อยลง ช่วยยับยั้งการคืนตัวของแป้งได้ ทำให้ขนมมีความเหนียวลดลง

-เนื้อลูกตาลสุก

เนื้อลูกตาลสุกได้จากการนำลูกตาลสุกมาล้างน้ำให้สะอาดทั้งลูก ลอกเปลือกดำออกให้หมด เมื่อแกะเม็ดออกจากกันจะพบดีตาลมีลักษณะเป็นส่วนแข็งอยู่ระหว่างเม็ด ยีลูกตาลกับน้ำทีละน้อย อย่าใช้น้ำมาก จนเนื้อลูกตาลหลุดออกมาหมด แล้วกรองด้วยกระชอนตาถี่ เพื่อกรองเส้นใยออก เทใส่ผ้าขาวชนิดหนาหรือผ้าดิบใช้เชือกผูกให้แน่น แขวนให้น้ำตกจนหมดทำค้างคืนไว้ 1 คืน ถ้ายังไม่แห้งให้หาของหนักทับให้แห้ง (จันทร ทศานนท์. 2532)

2.6.1 **กรรมวิธีผลิตขนมตาล**

ขั้นตอนการทำขนมตาลแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการทำขนมตาล

ที่มา : สำนักงานพาณิชย์จังหวัดพิษณุโลก (2540)

การทำขนมตาลนั้นไม่ง่าย หากแป้งไม่ขึ้นแล้ว ขนมตาลที่ได้จะแข็ง (ยุพยงษ์ สุทธิธรรม. 2540) การขึ้นฟูของแป้งนั้นเกิดจากยีสต์ที่มีอยู่ในเนื้อลูกตาลสุก ยีสต์ที่พบได้แก่ *Candida krusei Saccharomyces spp. Kloecula apiculata* และ *Henseniaspora spp.* โดยยีสต์ *Kloecula apiculata* และ *Henseniaspora spp.* สามารถสร้างกรดได้ (สมศรี ลีปิพัฒนวิทย์. 2529) ดังนั้นถ้าใช้เวลาหมักนานเกินไปจะทำให้ขนมตาลมีรสเปรี้ยวได้ ลักษณะที่ดีของขนมตาลคือ สีต้องเป็นสีเหลืองทอง มีมะพร้าวสีขาวโรยหน้าพองาม ขนมขึ้นฟูดี ผิวมันเนื้อละเอียดไม่เละหรือกระด้าง รสหวานพอดี มีรสมันเค็มจากมะพร้าวและหอมกลิ่นตาลสุกเสริมด้วยกลิ่นกะทิ (ทัศนีย์ โรจนไพบูลย์. 2532)

2.7 แป้งผสมสำเร็จรูป (flour mixes)

แป้งผสมสำเร็จรูป หมายถึง แป้งที่มีการผสมส่วนที่เป็นของแข็งทั้งหมดไว้ด้วยกันแล้ว เช่น แป้ง น้ำตาล นมผง ไข่ผง ชอทเทนนิ่ง (shortening) และยีสต์ แป้งชนิดนี้ได้มีผู้ผลิตมาประมาณ 50 ปีมาแล้ว ปัจจุบันได้มีการพัฒนาไปมากทั้งในเรื่องชนิดและส่วนผสม ตลอดจนคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แป้งชนิดนี้ให้ความสะดวกแก่ผู้ใช้มาก เพียงใส่ของเหลวลงไป ผสมให้เข้ากันแล้วดำเนินการตามขั้นตอนปกติ การใช้แป้งชนิดนี้นอกจากจะให้ความสะดวกในการใช้แล้ว ยังทำให้เสียค่าใช้จ่ายต่ำ ใช้เครื่องจักรน้อย ไม่ต้องใช้เนื้อที่เก็บวัตถุดิบมาก และยังทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ แป้งสำเร็จรูปมีหลายชนิด เช่น แป้งโดนัทสำเร็จรูป แป้งสำเร็จที่ใช้กับยีสต์ และแป้งเค้กสำเร็จรูป เป็นต้น (ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538)

Fan and Minn (1983) ศึกษาสูตรของแป้งขนมปังสำเร็จรูปซึ่งจะให้กลิ่นของยีสต์ที่ดี โดยไม่ต้องมีการนวดหรือการหมักโดซึ่งใช้เวลามาก โดยสูตรของแป้งขนมปังสำเร็จรูปประกอบด้วยส่วนผสมดังต่อไปนี้ แป้งสาลีกลูเตนสูง 14.7% (wheat flour) 100% ยีสต์ผง 5.0% นมผงที่ปราศจากไขมัน 2.0% น้ำตาลทราย 6.0% กัมผสม 3.6% โพรพิลีนไกลคอลอัลจิเนต 0.9% แซนแทน 0.9% คาราจีแนน 0.9% คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 0.9% ไข่ขาวผง 3.0% เกลือ 2.0% ผงฟู 10.0% สารปรับสภาพโด 0.6% ซึ่งเมื่อนำไปอบปริมาตรของขนมปังจะเพิ่มขึ้นเป็น 975 ซีซี และมีค่าการเกาะติดกัน (cohesivity) เท่ากับ 0.64

Radlove and Wheeling (1981) ได้ทดลองผลิตแป้งขนมเค้กแคลอรีต่ำสำเร็จรูป โดยใช้น้ำตาลฟรุกโตสจาก high fructose corn syrup เป็นสารให้ความหวานแล้วผสมกับส่วนผสมอื่น เช่น แป้ง อิมัลซิไฟเออร์ ผงฟู และ กลูโคโนเดลต้าแลคโตน ซึ่งจะทำให้เกิดกรดในส่วนผสมทำให้เค้กที่ได้มีปริมาตรเพิ่มขึ้น มีเนื้อสัมผัส กลิ่น ความชื้น และความรู้สึกขณะที่รับประทานดีขึ้น

ธงชัย พุฒทองศิริ (2542) ศึกษากรรมวิธีผลิตแป้งขนมชั้นสำเร็จรูป โดยได้สูตรพื้นฐานคือ แป้งมันสำปะหลัง 15% แป้งข้าวเจ้า 5% กะทิ 40% น้ำตาลทราย 30% และน้ำ 10% จากนั้นนำสูตรพื้นฐานที่ได้มาปรับให้เป็นแป้งขนมชั้นสำเร็จรูป โดยวิเคราะห์ความชื้นของส่วนผสมแล้วคำนวณส่วนผสมเป็นฐานแห้ง นอกจากนั้นยังได้ศึกษาการนำน้ำใบเตยมาใช้ในแป้งผสมขนมชั้น โดยคั้นน้ำใบเตยในอัตราส่วนใบเตยต่อน้ำเป็น 1 : 1 นำน้ำใบเตยที่ได้ไปผสมกับแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน อบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจนแห้ง แล้วบด เมื่อนำมาใช้ในส่วนผสมของแป้งขนมชั้นสำเร็จรูป พบว่า การใช้แป้งมันสำปะหลังผสมน้ำใบเตยในอัตราส่วน 1 : 1 จะได้ขนมชั้นที่มีคะแนนการยอมรับในด้านสี กลิ่น และความชอบรวมมากที่สุด และเมื่อนำขนมชั้นที่ทำจากแป้งสำเร็จรูปมาเปรียบเทียบกับขนมชั้นที่ทำจากวิธีดั้งเดิม พบว่าไม่มีความแตกต่างของคะแนนการยอมรับในคุณสมบัติด้านต่าง ๆ

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 เครื่องมือ

3.1.1.1	ตู้อบ (hot air oven)	Memmert	เยอรมัน
3.1.1.2	เครื่องทำแห้งแบบแช่เข็ง (freeze dryer)	-	-
3.1.1.3	เครื่องทำแห้งแบบถาด (tray dryer)	B.W.S-3	ไทย
3.1.1.4	เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum dryer)	Eyela , UT-50	ญี่ปุ่น
3.1.1.5	เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer)	-	ไทย
3.1.1.6	เครื่องวัดสี	Minolta , CR-300	ญี่ปุ่น
3.1.1.7	เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้	Novasina , Axair AG 8808	ญี่ปุ่น
3.1.1.8	เครื่องชั่งน้ำหนัก	Mettler PE3000	ญี่ปุ่น
3.1.1.9	เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง	Suntex, SP-701	ญี่ปุ่น
3.1.1.10	เครื่อง spectrophotometer	Shimadzu UV-1601	ญี่ปุ่น
3.1.1.11	เครื่องบรรจุแบบสุญญากาศ	Mutivac	ไทย
3.1.1.12	เครื่องวัดเนื้อสัมผัส	TA-XT2i	อังกฤษ

3.1.2 วัตถุดิบ

3.1.2.1 เนื้อลูกตาลสุก (*Borassus flabellifer* Linn.) ซื้อจากตลาดสดสายเนตร กม.8 เขตคันนายาว และจากตลาดสดหัวตะเข้ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

3.1.2.2 แป้งข้าวเจ้า ตราช้างสามเศียร ผลิตโดยบริษัท โรงเส้นหมี่ ชอเฮง จำกัด

3.1.2.3 น้ำตาล ตรามิตรผล ผลิตโดยบริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด

3.1.2.4 กะทิผง ตราชาวเกาะ ผลิตโดยบริษัทเทพผดุงพรมะพร้าว

3.1.2.5 ผงฟู ตราเบสท์ ฟู้ดส์ ผลิตโดยบริษัท ซีพีซี/อายิ(ประเทศไทย) จำกัด

3.1.2.6 ยีสต์ผง ตราเฟอร์มีพัน โรงงานกีสท์-โบแคท ฮอลแลนด์

3.1.2.7 ถุงลามิเนตชนิด OPP 20/MPET 12/LLDPE 30 ไมครอน

3.1.2.8 ตัวดูดซับออกซิเจน (oxygen absorber) Ageless ของบริษัท Mitsubishi gas chemical company, Inc. ญี่ปุ่น

3.1.3 สารเคมี

3.1.3.1 เฮกเซน (hexane) (AR grade) ของบริษัท Merck เยอรมัน

3.1.3.2 อะซิโตน (acetone) (AR grade) ของบริษัท Merck เยอรมัน

3.1.3.3 แอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต (anhydrous sodium sulphate) ของบริษัท Merck เยอรมัน

3.1.3.4 แมกนีเซีย (activated magnesia) ของบริษัท Merck เยอรมัน

3.1.3.5 ไดอะตอมเมเชียส เอิร์ธ (diatomaceous earth) ของบริษัท Merck เยอรมัน

3.1.3.6 เบต้าแคโรทีน (beta-carotene) (AR grade) ของบริษัท Merck เยอรมัน

3.1.4 อุปกรณ์

3.1.4.1 ถ้วยตะไล

3.1.4.2 ลังถึง

3.1.4.3 ชามผสม

3.1.4.4 เครื่องแก้วสำหรับงานวิเคราะห์

3.2 สถานที่ดำเนินงาน

3.2.1 ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.2.2 ภาควิชาอาหารและโภชนาการ คณะคหกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตคลอง 6

3.2.3 ห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหาร โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสวนดุสิต

3.3 ระยะเวลาที่ทำการทดลอง

1 ปี

3.4 วิธีการดำเนินงาน

3.4.1 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนเนื้อลูกตาลสุกโดยใช้วิธีตุ๋น

ใช้เนื้อลูกตาลสุกครั้งละ 200 กรัม ให้ความร้อนโดยตุ๋นเนื้อลูกตาลสุกในน้ำเดือด คนและวัดอุณหภูมิเนื้อลูกตาลสุกอยู่ตลอดเวลา เมื่อเนื้อลูกตาลสุกมีอุณหภูมิถึง 85 องศาเซลเซียส ทำการจับเวลา โดยแปรเวลาให้ความร้อนเป็น 0 1 3 5 และ 7 นาที หลังจากนั้นทำให้เย็นทันทีโดยแช่ในน้ำเย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที

ทำการตรวจสอบคุณภาพของเนื้อลูกตาลสุกดังนี้

3.4.1.1 ทดสอบการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ตามวิธีของ National Canners Association Research Laboratories (1976)

3.4.1.2 ค่าสี โดยใช้ Chroma meter

3.4.1.3 ปริมาณเบต้าแคโรทีน (AOAC. 1998)

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองข้อ 3.4.1.1-3.4.1.3 โดยใช้แผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS Version 7.5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test เพื่อเลือกเวลาในการให้ความร้อนที่สามารถทำลายเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้หมดและทำให้เนื้อลูกตาลสุกมีค่าสีที่ดีที่สุดและปริมาณเบต้าแคโรทีนที่มากที่สุด

3.4.2 ศึกษาผลของการให้ความร้อนและสภาวะการเก็บต่อการสูญเสียเบต้าแคโรทีนในเนื้อลูกตาลสุกอบแห้ง

ให้ความร้อนเนื้อลูกตาลสุกโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากการศึกษาในข้อ 3.4.1 จากนั้นนำเนื้อลูกตาลสุกที่ผ่านการให้ความร้อนแล้วและเนื้อลูกตาลสุกที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนไปทำแห้งในตู้อบลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส จนแห้งแล้วนำเนื้อลูกตาลแห้งมาบดให้เป็นผงด้วยเครื่องบดแบบหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กลางโดยใช้ตะแกรงขนาด 0.12 มิลลิเมตร แล้วนำไปบรรจุในถุงลามิเนตชนิด OPP 20/MPET 12/LLDPE 30 ไมครอน โดยศึกษาเปรียบเทียบสภาวะการบรรจุในบรรยากาศกับสุญญากาศ

เก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30±3 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ติดตามผลการเปลี่ยนแปลงในด้านสีและปริมาณเบต้าแคโรทีนของผลิตภัณฑ์ทุก 1 สัปดาห์

ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลที่ได้โดยใช้แผนการทดลองแบบ Factorial in Complete Randomized Design ขนาด 2X2X5 ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS Version 7.5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test เพื่อเลือกสภาวะในการทดลองที่เหมาะสมเพื่อรักษาสีและปริมาณเบต้าแคโรทีนของเนื้อลูกตาลผง

3.4.3 ศึกษากระบวนการทำแห้งที่เหมาะสมในการทำแห้งเนื้อลูกตาลสุก

นำเนื้อลูกตาลสุกที่ผ่านการเตรียมด้วยสภาวะที่เหมาะสมมาผ่านกระบวนการทำแห้ง 4 วิธีคือ การทำแห้งแบบถาด การทำแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ การทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ และการทำแห้งแบบแช่แข็ง โดยใช้สภาวะของแต่ละวิธีดังนี้

ก. การทำแห้งแบบถาด ใช้อุณหภูมิทำแห้ง 70 องศาเซลเซียส

ข. การทำแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ ใช้อุณหภูมิทำแห้ง 70 องศาเซลเซียส ระดับสุญญากาศ 76 เซนติเมตรปรอท

ค. การทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ใช้อุณหภูมิทำแห้ง 110 องศาเซลเซียส ความเร็วของลูกกลิ้ง 0.5 รอบต่อนาที

ง. การทำแห้งแบบแช่แข็ง ใช้อุณหภูมิทำแห้งช่วงแรกที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ช่วงที่สองใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสนาน 1.5 ชั่วโมง และอุณหภูมิในช่วงที่สามเป็น 45 องศาเซลเซียสนาน 9.5 ชั่วโมง

ตรวจสอบคุณภาพของเนื้อลูกตาลผงที่ได้ในด้าน

3.4.3.1 ค่าสี โดยใช้ Chroma meter

3.4.3.2 ความชื้น (AOAC. 1998)

3.4.3.3 ปริมาณเบต้าแคโรทีน (AOAC. 1998) และ % Retention โดย

$$\% \text{ Retention} = \frac{\text{ปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อลูกตาลสุกอบแห้ง}}{\text{ปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อลูกตาลสุก}} \times 100$$

3.4.3.4 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้โดยใช้เครื่อง Novasina

3.4.3.5 อัตราการคืนรูป (rehydration) (ดัดแปลงจาก Subadra *et al.* 1997)

3.4.3.6 ความสามารถในการละลาย (Anderson *et al.* 1969)

3.4.3.7 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Anderson *et al.* 1969)

3.4.3.8 นำเนื้อลูกตาลผงจากแต่ละสภาวะการทดลองมาทำขนมตาลแล้วนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มของสี ความสม่ำเสมอของสี ความชอบด้านสี ความแรงของกลิ่นตาลสุก ความชอบกลิ่นตาลสุก และการยอมรับรวม โดยใช้ตัวอย่างขนมตาลที่เตรียมจากเนื้อลูกตาลสุกสดที่ไม่ผ่านการทำแห้งเป็นตัวอย่างเปรียบเทียบ ใช้ผู้ทดสอบ 15 คน

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองข้อ 3.4.3.1 –3.4.3.7 โดยใช้แผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS Version 7.5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test เพื่อเลือกกระบวนการและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับทำแห้งเนื้อลูกตาลสุกต่อไป

3.4.4 ศึกษาขั้นตอนการทำแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

3.4.4.1 การคัดเลือกสูตรขนมตาลที่เหมาะสม

สูตรในการทำขนมตาลมีมากมายหลายสูตร แต่ส่วนผสมหลักโดยทั่วไป คือ แป้งข้าวเจ้า น้ำตาล กะทิ และเนื้อลูกตาลสุก ดังนั้นจึงทำการคัดเลือกสูตรขนมตาลที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้เป็นสูตรพื้นฐานในการทดลองทำแป้งขนมตาลสำเร็จรูปต่อไป สูตรต่างๆ ที่นำมาทดลองได้จากการรวบรวมจากเอกสารต่างๆ นำมาคำนวณส่วนผสมให้เป็นเปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สูตรขนมตาลที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนผสม	ปริมาณ (%)	
	สูตร 1*	สูตร 2**
เนื้อลูกตาลสุก	9.23	10.92
แป้งข้าวเจ้า	22.52	24.03
กะทิ	40.80	43.20
น้ำตาลทราย	27.35	21.85
เกลือ	0.10	-

ที่มา : * จันทร ทศานนท์ (2532)

** มิตรา หอรัตนชัย และ อวยศรี ชูฤกษ์ (ม.ป.ป)

โดยมีวิธีการทำขนมตาลดังนี้

ผสมแป้งข้าวเจ้ากับเนื้อลูกตาลสุกใส่กะทิ นวดให้เป็นเนื้อเดียวกัน ค่อย ๆ ใส่น้ำตาลทรายทีละน้อย นวดจนน้ำตาลละลาย นวดต่อจนส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำแป้งขนมตาลที่ได้ไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงจนแป้งขนมตาลขึ้นดีแล้วจึงนำแป้งขนมตาลที่ขึ้นดีแล้วใส่ถ้วยตะไล แล้วนำไปนึ่งในลังถึงที่ตั้งน้ำเดือด ไฟแรงประมาณ 20 นาที ยกลงทิ้งให้เย็น แคะออกจากถ้วยตะไล

เลือกสูตรขนมตาลที่ดีที่สุดจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบให้คะแนน (scoring test) 5 ระดับ (ไพโรจน์ วิริยจารี. 2535) ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 15 คน ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลด้วยแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS Version 7.5 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test เลือกสูตรที่ได้รับความนิยมมากที่สุดเพื่อไปใช้ในการทดลองทำแป้งขนมตาลสำเร็จรูปต่อไป

3.4.4.2 **ศึกษาการปรับสูตรส่วนผสมให้เป็นแป้งผสมสำเร็จรูป**

หาความชื้นในส่วนผสมทั้งหมดจากสูตรที่เลือกได้จากข้อ 3.4.4.1 ตามวิธีของ AOAC (1998) คำนวณเปอร์เซ็นต์ของส่วนผสมในขนมตาลโดยน้ำหนักแห้งจะได้ปริมาณของส่วนผสมแห้งในแป้งสำเร็จรูป ใช้กะทิผงตามปริมาณของแข็งของกะทิที่คำนวณได้ ปรับปริมาณส่วนผสมต่าง ๆ ในแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่เหมาะสมโดยการปรับปริมาณเนื้อลูกตาลผงที่ได้จากการทำแห้งตามสภาวะที่เหมาะสมในข้อ 3.4.3 ปริมาณกะทิผง และปริมาณน้ำที่ใช้ เพื่อให้ได้สูตรแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่เหมาะสม

3.4.4.3 **ศึกษาผลของยีสต์และผงฟูที่มีต่อคุณภาพขนมตาล**

ยีสต์และผงฟูมีผลต่อคุณภาพของขนมตาลในด้านของเนื้อสัมผัส การโปร่งฟูของเนื้อขนม และกลิ่นรสของขนมตาล ดังนั้นจึงต้องปรับปริมาณของยีสต์และผงฟูให้เหมาะสมโดยนำสูตรแป้งขนมตาลสำเร็จรูปจากข้อ 3.4.4.2 มาแปรปริมาณยีสต์และผงฟู 2 ระดับเหมือนกัน คือ 0.5 และ 1 % โดยน้ำหนักของแป้งผสมสำเร็จรูปตามลำดับ

ตรวจสอบคุณภาพของขนมตาลที่ได้ดังนี้

3.4.4.3.1 ค่า springiness ของขนมตาลใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส TA-XT2i

3.4.4.3.2 ความเป็นกรดด่างของแป้งก่อนและหลังหมัก

3.4.4.3.3 การขึ้นฟู (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2534)

3.4.4.3.4 ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยการทดสอบแบบให้คะแนน ขนาด 5 ระดับ ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 15 คน (ไพโรจน์ วิริยจารี. 2535)

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลในข้อ 3.4.4.3.1 – 3.4.4.3.3 ด้วยแผนการทดลองแบบ Factorial in Complete Randomized Design ขนาด 2X2 ส่วนข้อ 3.4.4.3.4 วิเคราะห์ข้อมูลตามแผนการทดสอบแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS Version 7.5 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.4.5 ศึกษาเปรียบเทียบขนมตาลจากเนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสดกับขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูป

นำแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่ได้จากข้อ 3.4.4.3 มาทำขนมตาลเพื่อเปรียบเทียบกับขนมตาลที่ทำโดยใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสด ตรวจสอบคุณภาพของขนมตาลที่ได้ดังนี้

3.4.5.1 เปรียบเทียบราคาขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูปกับวิธีดั้งเดิม

3.4.5.2 ค่า springiness ของขนมตาลโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส TA-XT2i

3.4.5.3 การขึ้นฟู (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2534)

3.4.5.4 ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยการทดสอบแบบให้คะแนน 5 ระดับ โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 15 คน (ไพโรจน์ วิริยจารี. 2535)

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลในข้อ 3.4.5.2 - 3.4.5.3 ด้วยแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ส่วนข้อ 3.4.5.4 วิเคราะห์ข้อมูลตามแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS Version 7.5 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.4.6 ศึกษาสภาวะการเก็บรักษาแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

เตรียมแป้งขนมตาลสำเร็จรูปด้วยสภาวะที่ดีที่สุดจากข้อ 3. 4.4.3 นำมาบรรจุในถุงชนิด OPP 20/MPET 12/LLDPE 30 ไมครอน โดยศึกษาสภาวะการบรรจุดังนี้

ก. ปิดผนึกในสภาวะบรรยากาศ

ข. ปิดผนึกแบบสุญญากาศด้วยเครื่องปิดผนึกสุญญากาศ

ค. ใส่ตัวดูดซับออกซิเจน (oxygen absorber) ในภาชนะบรรจุก่อนปิดผนึกในสภาวะสุญญากาศด้วยเครื่องปิดผนึกสุญญากาศ

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ โดยเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 เดือน ติดตามผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุก 1 เดือน ในด้าน

3.4.6.1 ความชื้น (AOAC. 1998)

3.4.6.2 ค่าสี โดยใช้ Chroma meter

3.4.6.3 วัดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Pate Count) (AOAC. 1998)

3.4.6.4 ค่า TBA (Kirk and Sawyer. 1991)

3.4.6.5 ทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีทดสอบแบบให้คะแนน 5 ระดับ (ไพโรจน์ วิริยจารี. 2535) ใช้ผู้ทดสอบ 15 คน โดยใช้ขนมตาลที่เตรียมจากเนื้อลูกตาลสุกสดเป็นตัวอย่างเปรียบเทียบ

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองข้อ 3.4.6.1 -3.4.6.4 แบบ Split-Plot Design สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS Version 7.5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test เพื่อเลือกสภาวะการเก็บที่เหมาะสม

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนเนื้อลูกตาลสุกโดยใช้วิธีตุ๋น

นำเนื้อลูกตาลสุกที่ผ่านการให้ความร้อนโดยตุ๋นในน้ำเดือดจนจุดกึ่งกลางมีอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 1 3 5 และ 7 นาที และผ่านการทำให้เย็นโดยทันทีมาทดสอบการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ค่าสี และปริมาณ เบต้าแคโรทีน ได้ผลดังตารางที่ 4.1 - 4.3

ตารางที่ 4.1 ผลของเวลาให้ความร้อนเนื้อลูกตาลสุกกับการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

เวลาในการให้ความร้อน (นาที)	Peroxidase test
0	Positive
1	Positive
3	Positive
5	Negative
7	Negative

หมายเหตุ : positive หมายถึงเกิดสีน้ำตาลแดงแสดงว่ามีการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส
negative หมายถึงไม่เกิดการเปลี่ยนสีแสดงว่าไม่มีการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

จากตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่เหลืออยู่หลังจากให้ความร้อนเนื้อลูกตาลสุกที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสเป็นเวลาต่างกัน พบว่าการให้ความร้อนเป็นเวลา 5 นาทีขึ้นไป สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้ทั้งหมด การให้ความร้อนเนื้อลูกตาลสุกก่อนทำแห้งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้สีของเนื้อลูกตาลสุกมีการเปลี่ยนแปลง สารให้สีในเนื้อลูกตาลสุกเป็นสารพวกแคโรทีนอยด์ (ศิวาพร ศิวเวชช. 2529) เอนไซม์ที่ทำให้แคโรทีนอยด์เปลี่ยนแปลงไปได้แก่เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและไลปอกซิเดส (Bauernfeind. 1981) โดยในการทดลองนี้ได้ใช้การทดสอบการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการให้ความร้อน เนื่องจากเอนไซม์ชนิดนี้สามารถทนความร้อนได้สูงกว่าชนิดอื่น (Robinson and Eskin. 1991) จากตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อให้ความร้อนเนื้อลูกตาลสุกนานขึ้น เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่อยู่ในเนื้อลูกตาลสุกจะถูกทำลายได้มากขึ้น โดยสังเกตจากเมื่อเวลาในการให้ความร้อนน้อยสีน้ำตาลแดงจะเข้มมาก สีน้ำตาลแดงจะเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกัวอะคอล (guaiacol) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่ง

เป็นสารที่ไม่มีสี แต่เมื่อทำปฏิกิริยากันโดยมีเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเป็นตัวเร่งแล้วจะเปลี่ยนเป็นเตตระกัวอะคอล (tetraguaiacol) ซึ่งมีสีน้ำตาลแดง (สินธนา สุคันธา. 2535) เมื่อใช้เวลาให้ความร้อนนานขึ้นสีที่เกิดขึ้นจะอ่อนลง การให้ความร้อนเป็นเวลา 5 นาทีขึ้นไปจะไม่เกิดสีน้ำตาลแดงหรือผลทดสอบเป็นลบ (negative) แสดงว่าการใช้เวลาตั้งแต่ 5 นาทีขึ้นไปเพียงพอในการยับยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

ตารางที่ 4.2 ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และสีเหลือง (b) ของเนื้อลูกตาลสุกที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการตุ๋นที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

เวลาในการให้ความร้อน (นาที)	ค่าสี		
	L^{ns}	a	b^{ns}
0	58.42±0.76	11.42±0.16^{b}	50.62±0.27
1	57.52±0.24	11.50±0.36^{b}	50.05±0.43
3	57.52±0.46	11.86±0.17^{ab}	50.47±0.23
5	57.32±0.40	11.39±0.30^{b}	49.94±1.27
7	57.36±0.35	12.13±0.30^{a}	51.32±0.38

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)
ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.2 พบว่าเวลาในการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลทำให้ค่าสีในด้านความสว่าง (L) และค่าสีเหลือง (b) แตกต่างกัน แต่ค่าสีแดง (a) ของเนื้อลูกตาลสุกจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น Bao and Chang (1994) ให้ความเห็นว่าค่าสีแดงที่เพิ่มขึ้นนี้อาจเกิดเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำของวัตถุดิบ การใช้เวลาให้ความร้อนนานขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำในวัตถุดิบลดลงเป็นผลให้ปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเบต้าแคโรทีนที่เหลืออยู่กับเวลาที่ให้ความร้อน

เวลาในการให้ความร้อน (นาที)	**ปริมาณเบต้าแคโรทีนเฉลี่ย** ^{ns} (ไมโครกรัม /100 กรัมน้ำหนักแห้ง)
0	819.70±76.83
1	825.77±74.99
3	812.91±53.57
5	823.16±51.95
7	805.98± 53.01

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05)

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเบต้าแคโรทีนที่เหลือในเนื้อลูกตาลสุกกับเวลาการให้ความร้อนเพื่อทำลายเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส พบว่าเวลาในการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนที่เหลืออยู่ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Howard *et al.* (1999) ที่พบว่าการให้ความร้อนผักโดยใช้ไอน้ำจะมีผลต่อการสูญเสียเบต้าแคโรทีนเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย Chandler and Schwartz (1988) ศึกษาผลของการลวกต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในมันเทศ ก็พบว่าการลวกจะทำให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนเพิ่มขึ้น 4.0-11.9% การเพิ่มขึ้นของปริมาณเบต้าแคโรทีนในมันเทศที่ผ่านการลวกที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 นาที เนื่องจากการลวกจะไปเพิ่มความสามารถในการสกัดเบต้าแคโรทีน โดยสันนิษฐานว่าความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเนื้อเยื่อพืชจึงทำให้ตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvents) แทรกซึมเข้าไปในเซลล์ทำให้มีการปลดปล่อยเบต้าแคโรทีนออกมามากขึ้น จากการใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องดูโครงสร้างของมันเทศ พบว่าเบต้าแคโรทีนจะอยู่ในส่วนโครโมพลาส (chromoplasts) ภายหลังการให้ความร้อน โครโมพลาสและผนังเซลล์ (cell wall) จะแตกออก จึงทำให้สกัดปริมาณเบต้าแคโรทีนได้มากขึ้น ปริมาณที่สกัดได้เพิ่มขึ้นชดเชยกับปริมาณที่สูญเสียด้วยความร้อนทำให้ปริมาณที่วิเคราะห์ได้จึงเปลี่ยนแปลงน้อยหรืออาจพบว่ามากขึ้น

เมื่อพิจารณาเวลาที่เหมาะสมในการทำลายเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส พบว่าการให้ความร้อนจนอุณหภูมิกึ่งกลางเป็น 85 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาทีขึ้นไป สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ โดยค่าสีและปริมาณเบต้าแคโรทีนของเนื้อลูกตาลสุกที่ใช้เวลาการให้ความร้อน 5 นาทีขึ้นไปไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนโดยการตุ๋นเนื้อลูกตาลสุกคือใช้เวลา 5 นาที

4.2 ศึกษาผลของการให้ความร้อนและสภาวะการเก็บต่อการสูญเสียเบต้าแคโรทีนในเนื้อลูกตาลสุกอบแห้ง

นำเนื้อลูกตาลสุกมาให้ความร้อนโดยการตุ๋นโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากการศึกษาในข้อ 4.1 คือการให้ความร้อนเนื้อลูกตาลสุกจนอุณหภูมิกึ่งกลางเป็น 85 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำเนื้อลูกตาลสุกทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนไปทำแห้งในตู้อบลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสจนมีน้ำหนักคงที่ บดให้เป็นผงด้วยเครื่องบดแบบหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กลางใช้ตะแกรงขนาด 0.12 มิลลิเมตร แล้วนำไปบรรจุในถุงลามิเนตชนิด OPP 20/MPET 12/LLDPE 30 ไมครอน โดยบรรจุเนื้อลูกตาลผงทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนในสภาวะบรรยากาศกับสุญญากาศ เก็บไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง (30±3 องศาเซลเซียส) ทำการตรวจวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนและค่าสี แล้ววิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ด้วยแผนการทดลองแบบ Factorial in Complete Randomized Design ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปริมาณเบต้าแคโรทีน ค่าความสว่าง ค่าสีแดงและสีเหลืองของเนื้อลูกตาลผง

SOV	df	P-value			
		เบต้าแคโรทีน	ค่าความสว่าง	ค่าสีแดง	ค่าสีเหลือง
สิ่งทดลอง	19	0.00*	0.71^{ns}	0.00*	0.00*
A(การให้ความร้อน)	1	0.90^{ns}	0.02*	0.11^{ns}	0.18^{ns}
B(สภาวะการบรรจุ)	1	0.00*	0.43^{ns}	0.00*	0.00*
C(ระยะเวลาเก็บรักษา)	4	0.00*	0.87^{ns}	0.03*	0.18^{ns}
AB	1	0.84^{ns}	0.71^{ns}	0.77^{ns}	0.32^{ns}
AC	4	0.96^{ns}	0.99^{ns}	0.37^{ns}	0.64^{ns}
BC	4	0.00*	0.37^{ns}	0.00*	0.04*
ABC	4	0.78^{ns}	0.86^{ns}	0.77^{ns}	0.53^{ns}
Error	20				
Total	39				

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.4 พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างการให้ความร้อนกับสภาวะการบรรจุเนื้อลูกตาลผงและระหว่างการให้ความร้อนกับระยะเวลาเก็บต่อปริมาณเบต้าแคโรทีน ค่าความสว่าง ค่าสีแดงและสีเหลือง (P>0.05) และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างการให้ความร้อน สภาวะการบรรจุ และระยะเวลาการเก็บ พบว่าไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณเบต้าแคโรทีน ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และสีเหลืองของเนื้อลูกตาลผง (P>0.05) ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างสภาวะการบรรจุกับระยะเวลาเก็บรักษาจะมีผลต่อปริมาณเบต้าแคโรทีน ค่าสีแดง และสีเหลือง (P≤0.05) ผลของการให้ความร้อนแก่เนื้อลูกตาลสุกต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนและค่าสีแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลของการให้ความร้อนเนื้อลูกตาลสุกที่มีต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนและค่าสี

การให้ความร้อน	**ปริมาณเบต้าแคโรทีน** (ไมโครกรัม /100 กรัมน้ำหนักแห้ง)[ns]	**ค่า L**	**ค่า a[ns]**	**ค่า b[ns]**
ไม่ผ่านการให้ความร้อน	686.32±215.62	71.67±1.03[b]	7.93±1.04	43.06±2.98
ผ่านการให้ความร้อน	681.34±214.22	72.91±1.55[a]	7.66±0.99	42.36±0.93

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(P>0.05)
ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของการให้ความร้อนแก่เนื้อลูกตาลสุกก่อนการทำแห้ง พบว่าเนื้อลูกตาลผงที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนจะมีปริมาณเบต้าแคโรทีน ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(P>0.05) ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะความร้อนจะไปทำลายสารแอนตี้ออกซิแดนท์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในเนื้อลูกตาลสุก จากงานวิจัยของ Nutting *et al.* (1970) ที่ศึกษาผลของการลวกต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในผักชีฝรั่งอบแห้ง พบว่าการลวกผักชีฝรั่งจะทำให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนก่อนการทำแห้งสูงกว่าเมื่อไม่ผ่านการลวก แต่เมื่อนำผักชีฝรั่งที่ผ่านและไม่ผ่านการลวกไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบ Bin-drying พบว่าผักชีฝรั่งที่ไม่ผ่านการลวกจะมีปริมาณเบต้าแคโรทีนมากกว่าที่ผ่านการลวก เนื่องจากการลวกถึงแม้จะยับยั้งเอนไซม์ได้ แต่จะทำลายแอนตี้ออกซิแดนท์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ จึงทำให้ความคงตัวของเบต้าแคโรทีนต่อความร้อนในการอบแห้งลดลง ส่วนผลของสภาวะบรรจุในการเก็บรักษาเนื้อลูกตาลผงต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนและค่าสีแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลของสภาวะบรรจุในการเก็บเนื้อลูกตาลผงต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนและค่าสี

สภาวะการบรรจุ	ปริมาณเบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัม /100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	ค่า L^{ns}	ค่า a	ค่า b
บรรยากาศปกติ	549.34±212.72^{b}	72.49±1.48	7.06±0.89^{b}	41.08±3.47^{b}
สุญญากาศ	818.32±95.19^{a}	72.09±1.42	8.53±0.43^{a}	44.34±1.86^{a}

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

จากตารางที่ 4.6 พบว่าการเก็บเนื้อลูกตาลผงในสภาวะสุญญากาศสามารถรักษาสีและปริมาณเบต้าแคโรทีนได้ดีกว่าการบรรจุในบรรยากาศปกติ ทั้งนี้เพราะเนื้อลูกตาลผงที่เก็บในบรรยากาศปกติจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเบต้าแคโรทีน (Fennema. 1985) ทำให้สีของเนื้อลูกตาลผงจางลง ผลของระยะเวลาในการเก็บเนื้อลูกตาลผงต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนและค่าสีของเนื้อลูกตาลผงแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลของระยะเวลาเก็บเนื้อลูกตาลผงต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนและค่าสี

ระยะเวลา (สัปดาห์)	ปริมาณเบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัม /100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	ค่า L^{ns}	ค่า a	ค่า b
0	792.43±85.89^{a}	72.11±1.72	8.09±0.73^{a}	46.36±0.93^{a}
1	774.91±93.78^{a}	72.33±1.35	8.18±0.50^{a}	44.09±1.74^{b}
2	687.38±214.32^{ab}	72.02±0.88	7.66±1.14^{ab}	41.28±3.23^{c}
3	624.17±213.62^{b}	72.21±1.81	7.68±1.10^{ab}	41.20±2.64^{c}
4	540.27±304.05^{c}	72.78±1.56	7.37±1.37^{b}	40.63±2.95^{c}

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)
ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤ 0.05)

จากตารางที่ 4.7 พบว่าเมื่อเก็บเนื้อลูกตาลผงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ปริมาณเบต้าแคโรทีน ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05) ส่วนค่าความสว่างของเนื้อลูกตาลผงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้งนี้อาจเนื่องจากระยะเก็บสั้นไป ผลของการให้ความร้อน สภาวะการบรรจุ และระยะเวลาเก็บรักษาต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนและค่าสีของเนื้อลูกตาลผงแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลของการให้ความร้อนและสภาวะการบรรจุเนื้อลูกตาลผงต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนและค่าสี

การให้ความร้อน	ระยะเวลา (สัปดาห์)	การบรรจุ	ปริมาณเบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัม /100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	ค่า L^{ns}	ค่า a	ค่า b
ไม่ผ่านการให้ความร้อน	0	บรรยากาศปกติ	756.67±30.57^{abc}	70.34±0.32	7.92±1.48^{abcd}	45.59±0.13^{ab}
		สภาวะสุญญากาศ	802.27±73.02^{ab}	72.28±1.60	7.97±0.45^{abcd}	46.92±0.00^{a}
	1	บรรยากาศปกติ	703.59±78.61^{abcd}	71.51±0.00	8.30±0.26^{ab}	42.29±2.19^{bcd}
		สภาวะสุญญากาศ	819.58±165.84^{ab}	71.79±0.39	8.77±0.16^{ab}	45.24±2.03^{ab}
	2	บรรยากาศปกติ	480.67±182.71^{cde}	71.96±0.50	7.08±0.46^{cdef}	41.18±2.04^{cde}
		สภาวะสุญญากาศ	902.83±121.82^{ab}	71.13±0.52	8.75±0.12^{ab}	42.99±2.23^{bc}
	3	บรรยากาศปกติ	473.79±170.77^{cde}	72.66±1.06	6.80±0.00^{def}	38.87±0.56^{def}
		สภาวะสุญญากาศ	787.72±212.45^{abc}	70.65±0.62	8.91±0.30^{a}	43.54±1.79^{abc}
	4	บรรยากาศปกติ	323.40±130.19^{ef}	73.31±0.20	6.03±0.00^{f}	38.14±1.06^{ef}
		สภาวะสุญญากาศ	812.21±81.46^{ab}	71.10±0.43	8.82±0.27^{a}	43.44±0.40^{abc}
ผ่านการให้ความร้อน	0	บรรยากาศปกติ	799.18±11.53^{ab}	72.70±2.47	7.88±0.18^{abcd}	45.99±1.41^{ab}
		สภาวะสุญญากาศ	811.62±30.81^{ab}	73.13±1.65	8.62±0.80^{ab}	46.92±0.00^{a}
	1	บรรยากาศปกติ	738.50±14.30^{abc}	72.76±1.99	7.53±0.34^{bcde}	42.29±2.19^{bcd}
		สภาวะสุญญากาศ	837.99±53.87^{ab}	72.76±1.99	8.13±0.00^{abc}	44.15±0.95^{abc}
	2	บรรยากาศปกติ	568.33±96.68^{bcde}	72.80±0.29	6.37±0.79^{ef}	37.33±3.65^{f}
		สภาวะสุญญากาศ	797.71±60.36^{ab}	73.18±1.41	8.48±0.81^{ab}	43.62±1.69^{abc}
	3	บรรยากาศปกติ	438.31±76.70^{def}	72.89±3.37	6.57±0.42^{ef}	38.97±0.16^{def}
		สภาวะสุญญากาศ	796.85±89.69^{ab}	72.66±2.34	8.45±0.22^{ab}	43.44±1.90^{abc}
	4	บรรยากาศปกติ	210.47±30.14^{f}	73.92±1.71	6.17±0.27^{f}	37.81±0.42^{ef}
		สภาวะสุญญากาศ	814.52±114.69^{ab}	72.82±2.18	8.46±0.22^{ab}	43.12±2.03^{abc}

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ (P> 0.05)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

จากตารางที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อลูกตาลผงที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนทั้งที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศและในบรรยากาศ พบว่าปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อตาลผงที่ไม่ผ่านความร้อนจะคงเหลืออยู่มากกว่า แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเก็บไว้นาน 4 สัปดาห์ ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากความร้อนจะไปทำลายสารแอนตี้ออกซิแดนท์ตามธรรมชาติในเนื้อลูกตาลสุกดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อพิจารณาสีของเนื้อลูกตาลผง พบว่าเมื่อเก็บไว้นาน 4 สัปดาห์ สีของเนื้อลูกตาลผงทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนที่เก็บในสภาวะบรรยากาศปกติจะจางลงโดยจะมีค่าสีแดงและค่าสีเหลืองลดลงแต่มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น ส่วนการเก็บในสภาวะสุญญากาศยังคงรักษาสีของเนื้อลูกตาลผงทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนไว้ได้ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนเนื้อลูกตาลสุกก่อนการทำแห้งแต่ต้องเก็บเนื้อลูกตาลผงไว้ในสภาวะสุญญากาศเพื่อที่จะรักษาคุณภาพของเนื้อลูกตาลผงไม่ให้เปลี่ยนแปลง

4.3 ศึกษากระบวนการทำแห้งที่เหมาะสมในการทำแห้งเนื้อลูกตาลสุก

เมื่อนำเนื้อลูกตาลสุกที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมาอบแห้งโดยเครื่องทำแห้งและสภาวะต่าง ๆ คือ เครื่องทำแห้งแบบถาดใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งใช้อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ความเร็วของลูกกลิ้ง 0.5 รอบต่อนาที เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระดับสุญญากาศ 76 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 7 ชั่วโมง และเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็งใช้อุณหภูมิในการทำแห้งช่วงแรกที่ 30 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที ช่วงที่สองใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสนาน 1.5 ชั่วโมง และอุณหภูมิในช่วงที่สามเป็น 45 องศาเซลเซียสนาน 9.5 ชั่วโมง จากนั้นนำเนื้อลูกตาลสุกที่แห้งแล้วจากแต่ละสภาวะมาบดให้เป็นผงด้วยเครื่องบดแบบหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กลางโดยใช้ตะแกรงขนาด 0.12 มิลลิเมตร วิเคราะห์คุณภาพในด้านต่าง ๆ ของเนื้อลูกตาลผง ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.9-4.11

ตารางที่ 4.9 ผลของการทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบต่าง ๆ ต่อคุณภาพเนื้อลูกตาลผง

คุณสมบัติของเนื้อลูกตาลสุกอบแห้ง	ชนิดเครื่องทำแห้ง			
	แบบถาด	แบบลูกกลิ้ง	แบบสุญญากาศ	แบบแช่แข็ง
ความชื้น(%)	6.64±0.002^{b}	4.90±0.325^{c}	7.26±0.007^{a}	7.25±0.177^{a}
Aw	0.293±0.004^{c}	0.292±0.002^{bc}	0.319±0.001^{a}	0.300±0.001^{b}
ความสามารถในการละลาย(WSI, %)^{ns}	16.66±1.00	17.36±0.92	17.55±3.36	17.66±0.02
ความสามารถในการดูดซึมน้ำ(WAI, g/g)	7.82±0.29^{a}	6.59±0.21^{b}	7.81±0.46^{a}	8.57±0.18^{a}
อัตราการคืนรูป	8.71±0.42^{b}	8.36±0.28^{c}	8.73±0.49^{b}	9.42±0.20^{a}

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)
ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

จากตารางที่ 4.9 พบว่าค่าความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี้ ความสามารถในการดูดซึมน้ำ และอัตราการคืนรูปของเนื้อลูกตาลผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบต่าง ๆ จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤ 0.05) ยกเว้นค่าความสามารถในการละลาย เมื่อพิจารณาค่าความชื้น พบว่าเนื้อลูกตาลผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีปริมาณความชื้นเหลืออยู่ในปริมาณต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้สูงกว่าการทำแห้งแบบอื่น และมีผลทำให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ต่ำไปด้วย และเมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำและอัตราการคืนรูป พบว่าเนื้อลูกตาลผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็งมีค่าสูงกว่าเนื้อลูกตาลผงจากเครื่องทำแห้งแบบอื่น ทั้งนี้เนื่องจากการทำแห้งแบบแช่แข็งจะระเหิดน้ำแข็งออกจากชิ้นอาหาร เกิดโครงสร้างที่โปร่ง ไม่เกิดการล้มพับของเนื้อเยื่อ (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2540) จึงทำให้การดูดซึมน้ำและอัตราการคืนรูปดีกว่าการทำแห้งแบบอื่น

ตารางที่ 4.10 ค่าสีของเนื้อลูกตาลสุกและเนื้อลูกตาลผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	L	a	b
เนื้อลูกตาลสด	60.23±0.14^{c}	16.14±0.56^{a}	57.25±0.35^{a}
เนื้อลูกตาลอบแห้งด้วยเครื่อง			
แบบถาด	68.99±0.14^{ab}	7.77±0.99^{d}	50.27±1.05^{b}
แบบลูกกลิ้ง	67.11±1.25^{b}	4.95±0.49^{e}	44.82±1.52^{c}
แบบสุญญากาศ	71.34±1.49^{a}	8.63±0.10^{c}	53.48±2.69^{ab}
แบบแช่แข็ง	70.50±1.64^{a}	10.00±0.21^{b}	55.80±0.87^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าสีของเนื้อลูกตาลสุก และเนื้อลูกตาลผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบต่าง ๆ พบว่าค่าความสว่าง(L) ของเนื้อลูกตาลสุกผงจะเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จากเนื้อลูกตาลสุกสด แต่ค่าสีแดง(a) และสีเหลือง(b) จะลดลง โดยค่าสีของเนื้อลูกตาลผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีค่าต่ำสุด ทั้งนี้เนื่องจากการทำแห้งแบบลูกกลิ้งใช้อุณหภูมิสูง ทำให้สีของเนื้อลูกตาลสุกถูกทำลาย Abonyi *et al.* (1999) ศึกษาการทำแห้งแครอทด้วยเครื่องทำแห้งแบบต่าง ๆ พบว่าสีของแครอทที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องแบบลูกกลิ้งจะถูกทำลายมากที่สุด ค่าสีเหลือง(b) จะลดลงเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของเบต้าแคโรทีนเป็นส่วนใหญ่ โดยเบต้าแคโรทีนจะเกิดการออกซิเดชันได้ในระหว่างการทำแห้งจากจำนวนพันธะคู่ในโครงสร้างของเบต้าแคโรทีนที่มีอยู่เป็นจำนวนมากนั่นเอง

ตารางที่ 4.11 ปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อลูกตาลสดและเนื้อลูกตาลผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ปริมาณเบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัม /100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	% Retention*
เนื้อลูกตาลสด	784.46±27.39[a]	100.00
เนื้อลูกตาลอบแห้งด้วยเครื่อง		
แบบถาด	451.76±54.56[c]	57.59
แบบลูกกลิ้ง	39.14±4.10[d]	4.99
แบบสุญญากาศ	575.06±24.07[b]	73.31
แบบแช่แข็ง	734.79±36.62[a]	93.67

หมายเหตุ : ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

* % Retention = $\frac{\text{ปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อลูกตาลสุกอบแห้ง}}{\text{ปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อลูกตาลสุก}} \times 100$

ตารางที่ 4.11 แสดงปริมาณเบต้าแคโรทีนและ % Retenion ของเบต้าแคโรทีนในเนื้อลูกตาลสุกที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องแบบต่าง ๆ พบว่าการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็งมี % Retenion ของเบต้าแคโรทีนมากที่สุด รองลงมาเป็นการทำแห้งโดยใช้เครื่องแบบสุญญากาศ เครื่องทำแห้งแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ นิธิยา รัตนปนนท์ (2544) ซึ่งรายงานว่าปริมาณเบต้าแคโรทีนจะผันแปรตามวิธีการทำแห้งที่ใช้ จากการศึกษาวิธีทำแห้งแครอท 2 วิธี คือ วิธีทำแห้งด้วยอากาศร้อน (air drying) และการทำแห้งแบบแช่แข็ง (vacuum freeze drying) พบว่าวิธีแรกทำให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนเหลือเพียง 60% ขณะที่วิธีหลังทำให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนเหลือถึง 80% นอกจากนี้ Abonyi *et al.* (1999) พบว่าแครอทที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็งและแบบลูกกลิ้งมีการสูญเสียปริมาณเบต้าแคโรทีนเท่ากับ 4.0 และ 56.1% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งใช้อุณหภูมิสูงจึงทำให้เบต้าแคโรทีนในตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงไอโซเมอร์ไป (Chandler and Schwartz . 1988) ปกติโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ส่วนใหญ่ในอาหารจะอยู่ในรูปทรานส์ซึ่งมีสีเข้ม แต่เมื่ออาหารได้รับอุณหภูมิสูง โมเลกุลจะเกิดการบิดตัวอยู่ในรูปซีส (cis-tran isomerization) เพิ่มมากขึ้น ทำให้สีของอาหารจางลง เมื่อแคโรทีนอยด์อยู่ในรูปซีสมากขึ้นจะทำให้คุณสมบัติการเป็นโปรวิตามิน เอ ของเบต้าแคโรทีนลดลง (Wong. 1989 ; นิธิยา รัตนาปนนท์. 2543)

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมตาลที่ทำจากเนื้อลูกตาลสดเปรียบเทียบกับที่ทำจากเนื้อลูกตาลอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบต่าง ๆ

	ขนมตาลจากเนื้อลูก	ขนมตาลจากเนื้อลูกตาลอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบต่าง ๆ			
	ตาลสด	แบบถาด	แบบลูกกลิ้ง	แบบสุญญากาศ	แบบแช่แข็ง
ความเข้มของสี	4.10±0.50[a]	2.60±0.44[c]	1.88±0.64[e]	2.88±0.59[c]	3.68±0.52[b]
ความสม่ำเสมอของสี	3.96±0.84[a]	3.14±0.79[b]	2.01±0.91[c]	3.59±0.82[a]	3.66±0.65[a]
ความชอบด้านสี	4.46±0.59[a]	2.55±0.86[d]	2.05±0.90[e]	3.18±0.68[c]	3.98±0.58[b]
ความแรงกลิ่นเนื้อลูกตาลสุก	4.23±0.51[a]	2.99±1.04[b]	2.76±0.87[b]	2.87±0.95[b]	4.23±0.72[a]
ความชอบกลิ่นตาลสุก	4.45±0.63[a]	3.06±0.80[b]	2.41±1.01[c]	3.26±0.84[b]	4.14±0.66[a]
การยอมรับรวม	3.99±0.78[a]	3.00±0.83[b]	2.66±1.04[b]	2.85±0.88[b]	4.28±0.77[a]

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤ 0.05)

ตารางที่ 4.12 แสดงคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของขนมตาลที่ทำจากเนื้อลูกตาลผงที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้ง 4 แบบเปรียบเทียบกับที่ทำจากเนื้อลูกตาลสด พบว่าขนมตาลที่ทำจากเนื้อลูกตาลสดมีความเข้มของสีมากกว่าที่ทำจากเนื้อลูกตาลผงที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งทั้ง 4 แบบ โดยขนมตาลที่ทำจากเนื้อลูกตาลผงที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็งมีความเข้มของสีมากกว่าที่ทำจากเนื้อลูกตาลผงที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ แบบถาด และแบบลูกกลิ้งตามลำดับ เมื่อพิจารณาความสม่ำเสมอของสี พบว่าขนมตาลที่ทำจากเนื้อลูกตาลผงที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะมีความสม่ำเสมอของสีต่ำสุด ส่วนความชอบด้านสีของขนมตาลที่ทำจากเนื้อลูกตาลผงที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็งจะมากกว่าที่ทำจากเนื้อลูกตาลที่ผ่านการทำแห้งแบบอื่น ทั้งนี้เพราะการทำแห้งแบบแช่แข็งใช้การระเหิดน้ำ น้ำแข็งในอาหารจะถูกเปลี่ยนเป็นไอน้ำภายใต้อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสมโดยไม่ต้องเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวก่อน และในกระบวนการใช้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเกือบเหมือนธรรมชาติ (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2540 ; นิธิยา รัตนาปนนท์. 2544) และเมื่อพิจารณาด้านกลิ่น ความชอบกลิ่นตาลสุก และการยอมรับรวม พบว่าขนมตาลที่ทำจากเนื้อลูกตาลผงที่ทำแห้งแบบแช่แข็งมีคะแนนใกล้เคียงกับของสด เนื่องจากการทำแห้งแบบแช่แข็งเป็นวิธีที่สามารถรักษากลิ่นรสไว้ได้มากที่สุด เนื่องจากใช้อุณหภูมิต่ำทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นรสใกล้เคียงกับของสดมากที่สุด (Ammu *et al.* 1977) ส่วนขนมตาลจากเนื้อลูกตาลผงที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีคะแนนต่ำสุด เนื่องจากในระหว่างการทำแห้งความร้อนสูงจะทำให้สารให้กลิ่นระเหยออกไป การสูญเสียสารให้กลิ่นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้และความดันไอของสารที่ระเหยได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์. 2544) ดังนั้นจึงเลือกวิธีการทำแห้งแบบแช่แข็งในการทำแห้งเนื้อลูกตาลสุก

4.4 ศึกษาขั้นตอนการทำแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

4.4.1 การคัดเลือกสูตรขนมตาลที่เหมาะสม

จากการคัดเลือกสูตรขนมตาลเพื่อนำไปใช้เป็นสูตรพื้นฐานในการทดลองทำแป้งขนมตาลสำเร็จรูป โดยทำขนมตาลตามสูตรที่แตกต่างกัน 2 สูตร แล้วนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมตาลเพื่อคัดเลือกสูตร

คุณลักษณะ	สูตร 1	สูตร 2
ความเข้มของสี ^{ns}	3.44±0.57	3.48±0.44
ความชอบด้านสี ^{ns}	3.31±0.49	3.53±0.62
ความแรงของกลิ่นตาลสุก	3.89±0.66^{a}	3.43±0.71^{b}
ความชอบด้านกลิ่นตาล	3.99±0.75^{a}	3.38±0.65^{b}
ขนาดโพรงอากาศ	3.96±0.72^{a}	3.59±0.62^{b}
ลักษณะเนื้อสัมผัส	3.53±0.62^{a}	2.99±0.73^{b}
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	3.74±0.72^{a}	3.14±0.51^{b}
ความขม ^{ns}	1.13±0.26	1.24±0.56
ระดับความหวาน	3.06±0.58^{a}	2.44±0.78^{b}
ความชอบด้านความหวาน	3.80±0.57^{a}	3.04±0.70^{b}
การยอบรับรวม	3.90±0.49^{a}	3.20±0.49^{b}

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05)
ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

จากตารางที่ 4.13 พบว่าขนมตาลสูตรที่ 1 มีความเข้มของสี ความชอบด้านสี และความขม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) กับสูตรที่ 2 สำหรับปัจจัยอื่นๆ ขนมตาลสูตรที่ 1 จะได้คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤ 0.05) ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่ 1 สำหรับศึกษาในขั้นตอนต่อไป

4.4.2 ศึกษาการปรับสูตรส่วนผสมให้เป็นแป้งผสมสำเร็จรูป

ความชื้นในส่วนผสมทั้งหมดตามวิธีของ AOAC (1998) แสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ความชื้นของส่วนผสมต่าง ๆ ในขนมตาล

ส่วนผสม	ปริมาณความชื้น(%)
แป้งข้าวเจ้า	11.33
เนื้อลูกตาลสุก	89.03
กะทิสด	81.11
น้ำตาลทราย	0.002

สูตรขนมตาลที่คัดเลือกได้จากข้อ 4.4.1 เมื่อคำนวณส่วนผสมเป็นสัดส่วนโดยน้ำหนักแห้ง (ภาคผนวก ค) ได้สูตรแป้งผสมที่มีองค์ประกอบดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 องค์ประกอบของแป้งสำเร็จรูปและส่วนผสมก่อนนึ่ง

ส่วนผสม	ปริมาณ(%)
<u>แป้งสำเร็จรูป</u>	
แป้งข้าวเจ้า	38.20
เนื้อลูกตาลผง	1.85
น้ำตาลทราย	46.42
กะทิผง	13.36
เกลือ	0.17
<u>ส่วนผสมก่อนนึ่ง</u>	
แป้งสำเร็จรูป	58.91
น้ำ	41.09

4.4.3 ศึกษาผลของยีสต์และผงฟูที่มีต่อคุณภาพขนมตาล

เนื่องจากการทำแห้งทำให้ยีสต์ที่มีอยู่ในตามธรรมชาติในเนื้อลูกตาลสุกถูกทำลายไปบางส่วน ทำให้เมื่อนำเนื้อลูกตาลผงมาใช้ ขนมตาลที่ได้ไม่ขึ้นฟูตามปกติ ดังนั้นจึงต้องปรับปริมาณของยีสต์และผงฟูให้เหมาะสมโดยนำสูตรแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่คัดเลือกไว้จากข้อ 4.4.2 มาแปรปริมาณยีสต์และผงฟูที่เติมลงไป 2 ระดับ คือ 0.5 และ 1 % ของน้ำหนักแป้งผสมสำเร็จรูป ผสมแป้งกับน้ำและหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสนาน 40 นาที จึงนำไปนึ่ง นำขนมตาลที่ได้มาทดสอบได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.16-4.20

ตารางที่ 4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่า springiness การขึ้นฟู ความเป็นกรดด่างของส่วนผสมก่อนและหลังหมัก

SOV	df	P-value			
		springiness (%)	การขึ้นฟู (มล./กรัม)	ความเป็นกรดด่างก่อนหมักแป้ง	ความเป็นกรดด่างหลังหมักแป้ง
สิ่งทดลอง	3	0.00*	0.01*	0.00*	0.00*
ยีสต์	1	0.00*	0.01*	0.12^{ns}	0.01*
ผงฟู	1	0.01*	0.01*	0.00*	0.00*
ยีสต์Xผงฟู	1	0.02*	0.03*	0.19^{ns}	0.04*
Error	8				
Total	11				

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤ 0.05)

จากตารางที่ 4.16 พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างผงฟูและยีสต์มีผลต่อค่า springiness การขึ้นฟู และความเป็นกรดด่างหลังหมัก (P≤0.05) แต่ไม่มีผลต่อความเป็นกรดด่างก่อนหมัก (P>0.05) เมื่อพิจารณาผลของปริมาณยีสต์ พบว่าจะมีผลต่อค่า springiness การขึ้นฟู และความเป็นกรดด่างของส่วนผสมหลังหมัก (P≤0.05) แต่ไม่มีผลต่อความเป็นกรดด่างของส่วนผสมก่อนหมัก (P>0.05) และเมื่อพิจารณาผลของปริมาณผงฟู พบว่าผงฟูจะมีผลต่อค่า springiness การขึ้นฟู และความเป็นกรดด่างของส่วนผสมก่อนและหลังหมัก (P≤ 0.05)

ตารางที่ 4.17 ผลของปริมาณยีสต์ต่อค่า springiness การขึ้นฟู และความเป็นกรดด่างของส่วนผสมก่อนและหลังหมัก

ปริมาณยีสต์ (%)	springiness (%)	การขึ้นฟู (มล./กรัม)	ความเป็นกรดด่างก่อนหมักแป้ง ns	ความเป็นกรดด่างหลังหมักแป้ง
0.5	59.84±0.84[a]	1.04±0.13[b]	6.14±0.23	5.79±0.20[a]
1	56.28±1.75[b]	1.34±0.24[a]	6.17±0.20	5.71±0.29[b]

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05)
ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

จากตารางที่ 4.17 การใส่ยีสต์ในปริมาณ 0.5 และ 1.0% ของน้ำหนักแป้งสำเร็จรูปจะมีผลทำให้ค่า springiness การขึ้นฟูและความเป็นกรดด่างของส่วนผสมหลังหมักมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) แต่จะไม่มีผลต่อความเป็นกรดด่างของส่วนผสมก่อนหมัก เมื่อพิจารณาปริมาณของยีสต์ที่ใช้ จะเห็นว่าการขึ้นฟูของขนมตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณยีสต์ แต่ค่า springiness กลับลดลง ทั้งนี้เพราะเมื่อหมักแป้ง ยีสต์จะเจริญเติบโตและผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ทำให้ฟองก๊าซภายในแป้งหมักมีขนาดใหญ่ขึ้นและจะสูญเสียได้ง่ายขึ้นเนื่องจากขนมตาลนั้นใช้แป้งข้าวเจ้าจึงไม่เกิดกลูเตนขึ้นเมื่อผสมทำให้ไม่สามารถเก็บก๊าซไว้ได้เหมือนแป้งสาลี ทำให้ค่า springiness ลดลง เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดด่างของส่วนผสมก่อนและหลังหมัก พบว่าปริมาณยีสต์ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรดด่างของส่วนผสมก่อนหมัก แต่เมื่อหมักแป้งนาน 40 นาที ค่าความเป็นกรดด่างของส่วนผสมจะลดลงเนื่องจากยีสต์จะเริ่มสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำเกิดกรดคาร์บอนิกทำให้ค่าความเป็นกรดด่างของแป้งหมักลดลง

ตารางที่ 4.18 ผลของปริมาณผงฟูที่มีต่อค่า springiness การขึ้นฟู และความเป็นกรดด่างของส่วนผสมก่อนและหลังหมัก

ปริมาณผงฟู (%)	springiness (%)	การขึ้นฟู (มล./กรัม)	ความเป็นกรดด่างก่อนหมักแป้ง	ความเป็นกรดด่างหลังหมักแป้ง
0.5	56.97±2.45[b]	1.34±0.25[a]	5.96±0.03[b]	5.53±0.01[b]
1	59.16±1.57[a]	1.03±0.11[b]	6.35±0.05[a]	5.97±0.01[a]

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05)
ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

จากตารางที่ 4.18 พบว่าการใส่ผงฟูในปริมาณ 0.5 และ 1.0% ของน้ำหนักแป้งสำเร็จรูปมีผลทำให้ค่า springiness การขึ้นฟู และความเป็นกรดด่างของแป้งผสมก่อนและหลังหมักแป้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยของค่า springiness การขึ้นฟู ความเป็นกรดด่างของส่วนผสมก่อนและหลังหมักเมื่อแปรปริมาณยีสต์และผงฟูในแป้งสำเร็จรูปเป็น 0.5 และ 1%

ปริมาณผงฟู (%)	ปริมาณยีสต์ (%)	springiness (%)	การขึ้นฟู (มล./กรัม)	ความเป็นกรดด่างก่อนหมักแป้ง	ความเป็นกรดด่างหลังหมักแป้ง
0.5	0.5	59.18±0.17^{b}	1.13±0.13^{b}	5.93±0.01^{b}	5.61±0.02^{b}
	1	54.75±0.54^{d}	1.55±0.07^{a}	5.99±0.06^{b}	5.44±0.10^{c}
1	0.5	60.51±0.64^{a}	0.94±0.00^{c}	6.35±0.05^{a}	5.98±0.01^{a}
	1	57.81±0.55	1.12±0.06^{b}	6.35±0.05^{a}	5.97±0.01^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.19 พบว่าขนมตาลที่ได้จากแป้งสำเร็จรูปเมื่อใช้ผงฟู 1.0% และยีสต์ 0.5% จะมีค่า springiness สูงที่สุด เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดด่างของส่วนผสมก่อนหมักพบว่าแป้งสำเร็จรูปที่ใช้ผงฟู 1.0% ให้ค่าสูงกว่าแป้งสำเร็จรูปที่ใช้ผงฟู 0.5% ทั้งนี้เนื่องจากผงฟูนั้นมีฤทธิ์เป็นด่าง ดังนั้นเมื่อใช้ในปริมาณสูงขึ้นจึงทำให้ความเป็นกรดด่างของแป้งหมักเพิ่มขึ้น ทำให้สภาวะของแป้งหมักไม่เหมาะสมต่อการเจริญของยีสต์ซึ่งต้องการค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 5.5 ในการเจริญเติบโต (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. 2539) จึงทำให้การขึ้นฟูของขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูปที่ใช้ผงฟู 1.0% ต่ำกว่าเมื่อใช้ผงฟู 0.5% และเมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดด่างของแป้งผสมหลังหมัก พบว่าเมื่อใช้ผงฟู 1.0% ค่าความเป็นกรดด่างของแป้งผสมที่ใช้ยีสต์ 0.5 และ 1.0% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แป้งสำเร็จรูปที่ใช้ผงฟู 0.5% และยีสต์ 1.0% จะมีค่าความเป็นกรดด่างที่ต่ำสุด

ตารางที่ 4.20 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมตาลเมื่อแปรปริมาณยีสต์และผงฟูในแป้งผสมสำเร็จรูปเป็น 0.5 และ 1%

ปริมาณผงฟู (%)	ปริมาณยีสต์ (%)	ความเข้มของสี ns	ความชอบด้านสี ns	ความแรงของกลิ่นตาลสุก ns	ขนาดโพรงอากาศ	ความฟู	ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความชอบด้านเนื้อสัมผัส ns	ลักษณะปรากฏ	การยอมรับรวม
0.5	0.5	3.28±0.75	3.20±0.88	2.94±0.90	2.65±0.58^{bc}	3.04±0.89^{b}	2.62±0.95^{b}	3.15±0.83	4.10±0.45^{a}	3.97±0.53^{a}
	1	3.09±0.58	3.27±0.75	2.92±0.52	4.43±0.41^{a}	3.85±1.04^{a}	3.47±0.77^{a}	3.32±0.84	3.35±0.61^{b}	3.49±0.64^{ab}
1	0.5	3.16±0.58	3.47±0.66	3.22±0.99	2.35±0.82^{c}	2.63±0.73^{b}	3.19±0.91^{ab}	3.16±0.91	3.28±0.84^{b}	3.16±1.04^{b}
	1	3.24±0.52	3.40±0.64	3.02±0.82	2.89±0.77^{b}	2.94±0.95^{b}	3.62±0.66^{a}	3.31±0.63	3.06±0.69^{b}	3.23±0.67^{b}

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

จากตารางที่ 4.20 พบว่าความเข้มของสี ความชอบด้านสี ความแรงของกลิ่นตาลสุก และความชอบด้านเนื้อสัมผัสของขนมตาลที่ได้จากแป้งสำเร็จรูปที่ใส่ปริมาณผงฟูและยีสต์ต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนขนาดโพรงอากาศ ความฟู ลักษณะเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และการยอมรับรวมของขนมตาลจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยขนมตาลที่ใช้ปริมาณผงฟู 0.5% และยีสต์ 1.0% มีขนาดโพรงอากาศใหญ่ที่สุดและขึ้นฟูมากที่สุดเนื่องมาจากแป้งหมักมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของยีสต์ แต่เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏและการยอมรับรวมแล้ว พบว่าขนมตาลที่ใช้ปริมาณผงฟู 0.5% และยีสต์ 0.5% ให้ลักษณะปรากฏและการยอมรับรวมมากที่สุดดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 ขนมตาลที่แปรปริมาณผงฟูและยีสต์ปริมาณต่าง ๆ ในแป้งสำเร็จรูป

1 คือ ขนมตาลที่ใช้ปริมาณผงฟู 1.0% ปริมาณยีสต์ 1.0%

2 คือ ขนมตาลที่ใช้ปริมาณผงฟู 1.0% ปริมาณยีสต์ 0.5%

3 คือ ขนมตาลที่ใช้ปริมาณผงฟู 0.5% ปริมาณยีสต์ 1.0%

4 คือ ขนมตาลที่ใช้ปริมาณผงฟู 0.5% ปริมาณยีสต์ 0.5%

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าเมื่อใช้ปริมาณผงฟู 1.0% (หมายเลข 1 และ 2) ขนมตาลมีการขึ้นฟูและลักษณะปรากฏของขนมตาลที่ไม่น่ารับประทานเมื่อเปรียบเทียบกับขนมตาลที่ใช้ปริมาณผงฟูที่ 0.5% (หมายเลข 3 และ 4) และเมื่อเปรียบเทียบขนมตาลที่ใช้ปริมาณผงฟู 0.5% เหมือนกัน พบว่าผู้บริโภคยอมรับขนมตาลที่ใช้ปริมาณยีสต์ 0.5% มากที่สุดเพราะขนมตาลมีขนาดโพรงอากาศที่ไม่ใหญ่จนเกินไปและมีลักษณะปรากฏเป็นที่ยอมรับมากที่สุด

4.5 ศึกษาเปรียบเทียบขนมตาลจากเนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสดกับขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูป

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูปกับขนมตาลที่ใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสดได้ผลดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยของค่า springiness และการขึ้นฟู ของขนมตาลที่ใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสดกับขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูป

	springiness(%)	การขึ้นฟู (มล./กรัม)^{ns}
ขนมตาลที่ใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสด	62.08±2.00^{a}	0.82±0.19
ขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูป	57.17±2.20^{b}	1.05±0.14

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05)
ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

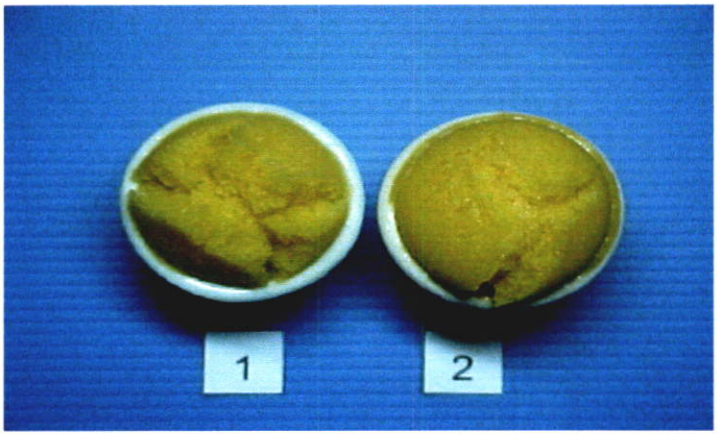
จากตารางที่ 4.21 พบว่าขนมตาลที่ใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสดจะมีค่า springiness สูงกว่าขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(P≤0.05) แต่การขึ้นฟูของขนมตาลทั้งสองแบบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(P>0.05) และเมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสจะได้ผลดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมตาลที่ใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสดกับขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูป

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ขนมตาลที่ใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสด	ขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูป
ความเข้มของสี	3.41±0.68[a]	2.93±0.79[b]
ความชอบด้านสี	3.94±1.06[a]	2.91±0.83[b]
ความแรงของกลิ่นตาลสุก	3.96±0.80[a]	2.93±0.70[b]
กลิ่นกะทิ	2.98±0.71[c]	3.67±0.76[a]
ขนาดโพรงอากาศ[ns]	3.28±0.88	2.79±0.71
ความฟู	3.65±0.63[a]	3.00±0.57[b]
ลักษณะเนื้อสัมผัส[ns]	3.50±0.88	3.58±0.80
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส[ns]	3.73±0.84	3.52±0.89
ลักษณะปรากฏ[ns]	3.75±0.91	3.52±0.46
การยอบรับรวม[ns]	3.78±0.94	3.70±0.56

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05)
ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

จากตารางที่ 4.22 พบว่าขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูปมีคะแนนขนาดโพรงอากาศ ลักษณะเนื้อสัมผัส ความชอบด้านเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และการยอบรับรวม ไม่แตกต่างกับขนมตาลที่ใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสด(P>0.05) แต่คะแนนความเข้มของสี ความชอบด้านสี และความแรงของกลิ่นตาลสุกของขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูปจะต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(P≤0.05) ทั้งนี้เพราะความสดของสีและกลิ่นตาลสุกของขนมตาลที่ทำจากเนื้อลูกตาลสดยังคงอยู่มากกว่าขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูป แต่เมื่อพิจารณาด้านกลิ่นกะทิ พบว่าขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูปมีคะแนนกลิ่นกะทิสูงกว่าขนมตาลที่ใช้กะทิสด ทั้งนี้เนื่องจากในแป้งสำเร็จรูปใช้กะทิผงเป็นส่วนผสม ดังนั้นกลิ่นของกะทิที่มากกว่านั้นจะเกิดจากกลิ่นที่เติมลงไปในกะทิผง เมื่อพิจารณาการยอมรับรวม ขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูปมีคะแนนไม่แตกต่างทางสถิติจากขนมตาลที่ใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสด แสดงให้เห็นว่าขนมตาลที่ได้จากแป้งสำเร็จรูปเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคไม่ต่างจากขนมตาลที่ทำกันอยู่ตามปกติ ลักษณะของขนมตาลทั้งสองแบบแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบขนมตาลที่ได้จากการใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสดกับขนมตาลที่ได้จากแป้งสำเร็จรูป

1 คือ ขนมตาลที่ใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสด

2 คือ ขนมตาลที่ได้จากแป้งสำเร็จรูป

<u>การคำนวณราคาขนมตาลที่ใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสดเปรียบเทียบกับจากแป้งสำเร็จรูป</u>

จากการทดลองทำขนมตาลที่ใช้ของสดและจากแป้งสำเร็จรูป พบว่าขนมตาลที่ใช้ของสดใช้วัตถุดิบเริ่มต้นน้ำหนักรวม 969 กรัม ทำขนมตาลได้ 50 ชิ้น ส่วนแป้งสำเร็จรูป 300 กรัม ทำขนมตาลได้ 30 ชิ้น ราคาของวัตถุดิบในการผลิตขนมตาลจากทั้งสองแบบแสดงดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ราคาของวัตถุดิบในการผลิตขนมตาลที่ใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสดเปรียบเทียบกับขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูป

ขนมตาลที่ใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสด				ขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูป			
วัตถุดิบ	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)	ราคาต่อกิโลกรัม (บาท)*	ค่าใช้จ่ายในการผลิต (บาท)	วัตถุดิบ	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)	ราคาต่อกิโลกรัม (บาท)*	ค่าใช้จ่ายในการผลิต (บาท)
แป้งข้าวเจ้า	218	16	3.49	แป้งข้าวเจ้า	114.6	16	1.37
เนื้อลูกตาลสุก	90	25	2.25	เนื้อลูกตาลสุกผง	5.58	25	1.40
น้ำตาลทราย	265	13	3.44	น้ำตาลทราย	139.26	13	1.81
กะทิ	395	10	3.95	กะทิผง	39.69	167	6.63
เกลือ	1	58	0.058	เกลือ	0.51	58	0.03
				ผงฟู	1.50	90	0.14
				ยีสต์	1.50	310	0.46
ราคารวมวัตถุดิบ			13.19	**ราคารวมวัตถุดิบ**			11.84
ราคาขนมตาลต่อชิ้น			0.26	**ราคาขนมตาลต่อชิ้น**			0.39

หมายเหตุ : * ราคาปี 2544

จะเห็นว่าราคาวัตถุดิบของขนมตาลที่ใช้เนื้อลูกตาลสุกสดและกะทิสดจะมีราคาต้นทุนต่อชิ้นเท่ากับ 0.26 บาท ในขณะที่ราคาวัตถุดิบของขนมตาลที่ได้จากแป้งสำเร็จรูปจะมีราคาต้นทุนต่อชิ้นเท่ากับ 0.39 บาท ซึ่งสูงกว่าเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาในด้านความสะดวกและเวลาที่ใช้แล้ว การใช้แป้งสำเร็จรูปจะมีความสะดวกมากกว่าและใช้เวลาที่น้อยกว่า ดังนั้นแป้งสำเร็จรูปจึงน่าจะมีแนวโน้มเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากขึ้น

4.6 ศึกษาสภาวะการเก็บรักษาแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

เมื่อเก็บรักษาแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่ได้จากข้อ 3.4.4.3 ในสภาวะบรรจุต่าง ๆ กันที่อุณหภูมิห้อง (30±3 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 เดือนและติดตามผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแป้งขนมตาลสำเร็จรูปทุก 1 เดือน ได้ผลดังตารางที่ 4.24-4.27

ตารางที่ 4.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี้ ค่าสี ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) และค่า TBA ของแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

SOV	df	P-value						
		ความชื้น	Aw	L	a	b	TPC	TBA
ระยะเวลา	3	0.019*	0.000*	0.008*	0.000*	0.000*	0.000*	0.009*
Error	4							
สภาวะบรรจุ	2	0.472^{ns}	0.001*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
ระยะเวลา x สภาวะบรรจุ	6	0.309^{ns}	0.164^{ns}	0.002*	0.000*	0.000*	0.000*	0.004*
Error	8							

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤ 0.05)

จากตารางที่ 4.24 พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาเก็บและสภาวะบรรจุมีผลต่อค่าสี ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และค่า TBA แต่ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ เมื่อพิจารณาสภาวะบรรจุแป้งขนมตาลสำเร็จรูปทั้ง 3 แบบคือ บรรจุในบรรยากาศปกติ บรรจุแบบสุญญากาศ และบรรจุในสภาวะสุญญากาศร่วมกับการใส่ตัวดูดซับออกซิเจน พบว่าสภาวะบรรจุจะมีผลต่อค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ค่าสี ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและค่า TBA แต่ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

ตารางที่ 4.25 ผลของสภาวะบรรจุต่อค่าความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี้ ค่าสี ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) และค่า TBA เมื่อเก็บแป้งขนมตาลสำเร็จรูปนาน 3 เดือน

	สภาวะการบรรจุ		
	บรรยากาศปกติ	สุญญากาศ	สุญญากาศ+ตัวดูดซับออกซิเจน
ความชื้น^{ns}	4.55±0.25	4.48±0.23	4.51±0.25
Aw	0.4533±0.03^{a}	0.4379±0.03^{b}	0.4398±0.04^{b}
ค่าสี			
L	90.82±0.79^{a}	90.07±0.40^{b}	89.98±0.11^{b}
a	-0.84±0.44^{c}	-0.40±0.25^{b}	-0.16±0.15^{a}
b	16.41±4.44^{c}	22.47±0.66^{b}	23.08±0.13^{a}
TPC (CFU/g)	1.6 x 10^{3}±1.4 x 10^{3a}	9.3 x 10^{2} ±4.9 x 10^{2b}	8.8 x 10^{2} ±4.9 x 10^{2c}
TBA	1.47±0.41^{b}	1.00±0.16^{a}	0.95±0.68^{a}

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

จากตารางที่ 4.25 พบว่าสภาวะบรรจุทั้งสามแบบไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น โดยปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกัน แต่จะมีผลต่อค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ค่าสี ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และค่า TBA ส่วนค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของการบรรจุในสุญญากาศและในสภาวะสุญญากาศร่วมกับตัวดูดซับออกซิเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าสี พบว่าค่าความสว่าง (L) ของแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีค่าสูงกว่าที่บรรจุในสุญญากาศและในสุญญากาศร่วมกับการใส่ตัวดูดซับออกซิเจน แสดงว่าแป้งขนมตาลสำเร็จรูปจะมีสีซีดจางลงเมื่อบรรจุในสภาวะบรรยากาศ ส่วนค่าความสว่างของแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศและในสุญญากาศร่วมกับการใส่ตัวดูดซับออกซิเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และยังพบว่าค่าสีแดง (a) และสีเหลือง (b) ของแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่บรรจุทั้งสามสภาวะนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยค่าสีแดง (a) และสีเหลือง (b) ของแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีค่าต่ำกว่าที่บรรจุในสุญญากาศ และแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่บรรจุในสุญญากาศร่วมกับการใส่ตัวดูดซับออกซิเจนมีค่าสีแดง (a) และสีเหลือง (b) สูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากการบรรจุในสุญญากาศในภาชนะบรรจุยังคงมีออกซิเจนเหลืออยู่เนื่องจากเครื่องปิดผนึกไม่สามารถกำจัดออกซิเจนได้หมด นอกจากนี้อาจเกิดจากภาชนะบรรจุที่ใช้ไม่สามารถป้องกันการผ่านเข้าของออกซิเจนได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นระหว่างการเก็บจะมีก๊าซออกซิเจนเข้ามาในภาชนะตลอดเวลา (งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2537) จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ การใช้ตัวดูดซับออกซิเจนจะช่วยกำจัดออกซิเจนที่หลงเหลืออยู่ในภาชนะบรรจุ ออกซิเจนเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารเกิดกลิ่นหืน เปลี่ยนสีและเกิดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิด การเปลี่ยนสีของแป้งขนมตาลสำเร็จรูปเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของแคโรทีนทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีอ่อนจางลง การใช้ตัวดูดซับออกซิเจนจะลดปฏิกิริยาลงได้ ตัวดูดซับออกซิเจนผลิตจากผงเหล็กซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสาร deoxidizer จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนดังนี้ (Abe and Kondon. 1989 ; วารุณี วารัญญานนท์ และ Hirata. 2540)

$$Fe \longrightarrow Fe^{+2} + 2e$$

$$1/2O_2 + H_2O + 2e \longrightarrow 2OH^-$$

$$Fe^{+2} + 2(OH)^- \longrightarrow Fe(OH)_2$$

$$Fe(OH)_2 + 1/4O_2 + 1/2H_2O \longrightarrow Fe(OH)_3$$

หรือ

$$Fe + 1/2O_2 + 2H_2O \longrightarrow Fe(OH)_3$$

$$Fe(OH)_2 + CO_2 \longrightarrow FeCO_3 + H_2O$$

Emenhiser *et al.* (1999) ศึกษาผลของภาชนะบรรจุและการเก็บมันเทศอบกรอบเป็นเวลา 210 วัน พบว่าการใส่ตัวดูดซับออกซิเจนร่วมกับการใช้ภาชนะบรรจุที่เป็น nylon film จะช่วยรักษาสีของมันเทศอบกรอบโดยมีปริมาณเบต้าแคโรทีนคงเหลืออยู่ไม่ต่างจากเมื่อเริ่มต้นเก็บ แต่การปิดผนึกในสภาวะสุญญากาศอย่างเดียวโดยไม่ใช้ตัวดูดซับออกซิเจนเมื่อเก็บรักษาไว้ 210 วัน ปริมาณเบต้าแคโรทีนจะลดลงและแตกต่างจากเมื่อเริ่มต้นเก็บอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ในด้านปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count ; TPC) พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่เก็บรักษาในบรรยากาศปกติจะมีค่ามากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะดังกล่าวยังมีออกซิเจนเหลืออยู่ ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนสามารถเจริญเติบโตได้ ส่วนแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศและในสภาวะสุญญากาศร่วมกับการใช้ตัวดูดซับออกซิเจนจะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยลง เนื่องจากเป็นสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำทำให้ไม่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศร่วมกับการใช้ตัวดูดซับออกซิเจนจะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยที่สุด ตัวดูดซับออกซิเจนนอกจากจะช่วยลดปริมาณออกซิเจนแล้วยังมีผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ด้วย (Abe and Kondon. 1989) เพราะตัวดูดซับออกซิเจนจะปล่อยเอทธิลแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์ จึงสามารถป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (วารุณี วารัญญานนท์ และ Hirata. 2540)

Smith *et al.* (1986) ศึกษาการเจริญของเชื้อราในขนมปังซึ่งเก็บในสภาพการปรับบรรยากาศต่าง ๆ กัน พบว่าการเก็บในสภาวะบรรยากาศปกติจะสังเกตเห็นเชื้อราภายใน 5-6 วัน ส่วนการเก็บในสภาวะที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไนโตรเจนเป็น 60 : 40 จะเห็นการเจริญของเชื้อราภายใน 16-18 วัน และในสภาวะที่มีแต่ไนโตรเจนจะพบการเจริญของเชื้อราภายใน 9-11 วัน แต่เมื่อใช้ตัวดูดซับออกซิเจนร่วมกับการบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศทั้ง 3 แบบ สามารถเก็บขนมปังโดยไม่เห็นการเจริญของเชื้อราได้นานถึง 60 วัน

ในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันจะเกิดสารประกอบคาร์โบนีลซึ่งทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน โดยตัวที่สำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนคือ มาโลนัลดีไฮด์ (malonaldehyde) ซึ่งแยกออกมาได้โดยการกลั่นด้วยไอน้ำในสภาพเป็นกรด มาโลนัลดีไฮด์ที่ถูกกลั่นออกมาสามารถทำปฏิกิริยากับกรด 2-ไธโอบาบิทูริก (2-thiobarbituric acid) ให้สารละลายสีชมพูซึ่งดูดกลืนแสงได้ดีที่ 538 นาโนเมตร ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของมาโลนัลดีไฮด์ โดยความเข้มข้นของมาโลนัลดีไฮด์ต่อตัวอย่างอาหาร 1 กิโลกรัม จะเป็นค่า TBA ซึ่งแสดงถึงระดับของปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้น ดังนั้นค่า TBA จึงถูกใช้เป็นตัวติดตามปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (มณีวรรณ เชิงชวโน. 2523) จากการทดลองพบว่าค่า TBA ของแป้ง

สำเร็จรูปที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีค่าสูงสุด ส่วนแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่บรรจุในสุญญากาศร่วมกับการใส่ตัวดูดซับออกซิเจนมีค่า TBA ต่ำสุด ทั้งนี้เพราะการบรรจุแบบสุญญากาศและการใช้ตัวดูดซับออกซิเจนทำให้ออกซิเจนเหลืออยู่ในภาชนะบรรจุน้อยกว่าแบบอื่น ส่วนการบรรจุในบรรยากาศปกติจะมีออกซิเจนแทรกอยู่ในผลิตภัณฑ์และช่องว่างเหนือผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุมากกว่าการบรรจุสภาวะอื่นจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาเหม็นหืนเร็ว

ตารางที่ 4.26 ผลของระยะเวลาการเก็บแป้งขนมตาลสำเร็จรูปต่อค่าความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี้ ค่าสี ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) และค่า TBA

	ระยะเวลาการเก็บรักษา(เดือน)			
	0	1	2	3
ความชื้น	4.29 ± 0.92^{c}	4.36 ± 0.63^{c}	4.60 ± 0.13^{b}	4.80 ± 0.13^{a}
Aw	0.4033 ± 0.005^{c}	0.4395 ± 0.014^{b}	0.4380 ± 0.007^{b}	0.4938 ± 0.008^{a}
ค่าสี				
L	89.83 ± 0.65^{c}	90.13 ± 0.34^{b}	90.57 ± 0.63^{c}	90.63 ± 0.88^{d}
a	-0.14 ± 0.01^{a}	-0.46 ± 0.42^{b}	-0.60 ± 0.40^{c}	-0.66 ± 0.44^{d}
b	23.14 ± 1.14^{a}	20.63 ± 3.33^{b}	19.62 ± 4.61^{c}	19.20 ± 5.30^{c}
TPC (CFU/g)	$1.2 \times 10^{3}\pm1.2 \times 10^{2b}$	$6.6 \times 10^{2} \pm1.6 \times 10^{2c}$	$4.0 \times10^{2}\pm 6.2\times10^{2d}$	$2.2\times10^{3}\pm1.2\times10^{3a}$
TBA	0.87 ± 0.04^{c}	1.16 ± 0.24^{a}	1.27 ± 0.39^{a}	1.28 ± 0.54^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงความแตกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ตารางที่ 4.26 แสดงผลของระยะการเก็บแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่สภาวะต่าง ๆ กันเป็นเวลา 3 เดือน พบว่าปริมาณความชื้นของแป้งขนมตาลสำเร็จรูปมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น แต่ความชื้นเมื่อเริ่มเก็บและเมื่อเวลาผ่านไป 1 เดือน จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P> 0.05$)

ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของแป้งขนมตาลสำเร็จรูปเมื่อเก็บไว้นานขึ้นจะเพิ่มขึ้น โดยหลังจากเก็บไว้ 1 และ 2 เดือนค่าวอเตอร์แอกติวิตี้จะต่างจากเมื่อเริ่มเก็บแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) หลังจากเก็บไว้ 3 เดือน ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของแป้งขนมตาลสำเร็จรูปมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.4938 ซึ่งยังต่ำกว่าที่จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารจะเจริญได้ (สุมาลี เหลืองสกุล. 2541)

ค่าความสว่าง (L) ของแป้งขนมตาลสำเร็จรูปเมื่อเก็บไว้นาน 3 เดือนมีค่าเพิ่มขึ้น โดยในเดือนที่ 2 กับเดือนที่ 3 จะมีค่าความสว่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ค่าความสว่างจะมีค่าจาก 0 (สีดำ) ไปจนถึง 100 (สีขาว) ค่าความสว่างของแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเก็บนานขึ้น แสดงว่าแป้งขนมตาลสำเร็จรูปมีสีซีดจางลง เมื่อพิจารณาค่าสีแดง (a) และสีเหลือง (b) ของแป้งขนมตาลสำเร็จรูป พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ค่าสีแดง (a) และสีเหลือง (b) จะลดลง แสดงว่าแป้งขนมตาลสำเร็จรูปมีสีจางลงเนื่องจากเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันดังที่กล่าวมาแล้ว

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในแป้งขนมตาลสำเร็จรูปเมื่อเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 1.2×10^3 CFU/g และเมื่อเก็บไว้ 3 เดือนมีจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 2.2×10^3 CFU/g แต่ยังไม่เกินข้อกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแป้งข้าวเจ้าซึ่งระบุว่าไม่ควรมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกิน 1×10^6 CFU/g (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2524)

ค่า TBA ของแป้งขนมตาลสำเร็จรูปเมื่อเก็บไว้นาน 3 เดือนมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเริ่มต้นเก็บจะมีค่า TBA แตกต่างจากเดือนที่ 1 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยในเดือนที่ 3 ของการเก็บแป้งขนมตาลสำเร็จรูปจะมีค่า TBA สูงสุดแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับแป้งที่เก็บไว้นาน 1 และ 2 เดือน

ตารางที่ 4.27 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมตาลที่ทำจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่บรรจุในสภาวะต่าง ๆ และเก็บไว้เป็นเวลา 3 เดือน

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	ขนมตาลจากเนื้อลูกตาลสด	ขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูปที่ใช้สภาวะบรรจุต่างกัน		
			บรรยากาศปกติ	สภาวะสุญญากาศ	สภาวะสุญญากาศ + สารดูดซับออกซิเจน
ความเข้มของสี	0	4.08±0.34^{a}	3.12±0.40^{b}	3.06±0.48^{b}	3.17±0.40^{b}
	1	4.29±0.50^{a}	1.89±0.42^{c}	3.36±0.71^{b}	3.55±0.48^{b}
	2	4.04±0.62^{a}	1.66±0.42^{c}	3.42±0.32^{b}	3.64±0.45^{b}
	3	4.15±0.74^{a}	1.70±0.50^{d}	3.34±0.46^{c}	3.75±0.50^{b}
ความชอบสี	0	4.12±0.53^{a}	3.48±0.59^{b}	3.60±0.48^{b}	3.58±0.61^{b}
	1	4.25±0.42^{a}	2.39±0.99^{c}	3.49±0.71^{b}	3.67±0.68^{b}
	2	3.89±0.97^{a}	1.71±0.52^{b}	3.49±0.55^{a}	3.69±1.0^{a}
	3	4.14±0.79^{a}	1.68±0.43^{c}	3.34±0.73^{b}	3.72±0.61^{ab}
ความแรงกลิ่นตาลสุก	0	4.02±0.85^{a}	3.44±0.64^{b}	3.45±0.78^{b}	3.55±0.72^{ab}
	1	4.32±0.34^{a}	2.39±0.97^{c}	3.22±0.96^{b}	3.64±0.65^{b}
	2	3.96±0.94^{a}	2.37±0.95^{c}	3.15±0.85^{b}	3.40±1.10^{b}
	3	3.93±0.84^{a}	1.88±1.00^{c}	3.10±1.12^{b}	3.40±1.00^{ab}
กลิ่นกะทิ	0	2.41±1.02^{b}	3.46±0.80^{a}	3.54±0.88^{a}	3.78±0.86^{a}
	1	2.78±0.81^{b}	3.41±1.09^{a}	3.75±0.86^{a}	3.77±0.92^{a}
	2	2.74±1.06^{b}	2.60±0.42^{b}	3.38±0.86^{a}	3.43±0.78^{a}
	3	2.58±0.92^{b}	2.90±1.07^{ab}	3.08±0.72^{ab}	3.41±0.53^{a}
กลิ่นหืน	0^{ns}	1.59±0.89	1.76±1.15	1.85±1.22	1.86±1.29
	1	1.57±0.76^{b}	2.23±1.26^{a}	1.78±0.91^{b}	1.78±0.98^{b}
	2	1.98±1.32^{b}	2.64±1.35^{a}	2.07±1.06^{b}	2.04±1.24^{b}
	3	1.80±1.10^{b}	2.74±1.40^{a}	2.05±1.08^{b}	1.80±0.85^{b}
ลักษณะปรากฏ	0^{ns}	3.88±0.67	3.78±0.62	3.78±0.57	3.76±0.58
	1	4.09±0.89^{a}	2.90±0.81^{c}	3.83±0.64^{b}	3.90±0.69^{b}
	2	3.78±0.75^{a}	2.19±0.84^{b}	3.66±0.96^{a}	3.71±0.80^{a}
	3	4.05±0.78^{a}	2.00±0.94^{b}	3.64±0.79^{a}	3.94±0.70^{a}
การยอมรับรวม	0^{ns}	3.90±0.65	3.89±0.55	3.75±0.59	3.85±0.45
	1	4.20±0.36^{a}	3.19±0.66^{b}	3.96±0.57^{a}	4.12±0.55^{a}
	2	3.80±0.92^{a}	2.16±0.63^{b}	3.69±0.80^{a}	3.73±0.92^{a}
	3	3.98±0.73^{a}	2.08±0.93^{b}	3.65±0.86^{a}	3.89±0.65^{a}

หมายเหตุ : ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05)

ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

ตารางที่ 4.27 แสดงคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ ของขนมตาลที่ทำจากแป้งสำเร็จรูปที่บรรจุในสภาวะต่าง ๆ และเก็บไว้เป็นเวลา 3 เดือนเปรียบเทียบกับขนมตาลที่ทำจากเนื้อลูกตาลสด ในด้านความเข้มของสีพบว่าเมื่อเก็บไว้ 1 2 และ 3 เดือน ความเข้มของสีขนมตาลที่ทำจากแป้งสำเร็จรูปที่บรรจุในบรรยากาศปกติจะซีดจางลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับขนมตาลที่ทำจากเนื้อลูกตาลสดและขนมตาลที่ทำจากแป้งสำเร็จรูปที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศและที่บรรจุในสุญญากาศร่วมกับการใส่ตัวดูดซับออกซิเจน ในเดือนที่ 3 ของการเก็บจะพบว่าความเข้มสีของขนมตาลที่ทำจากแป้งสำเร็จรูปที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศและใส่ตัวดูดซับออกซิเจนมากกว่าขนมตาลที่ทำจากแป้งสำเร็จรูปที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศและที่บรรจุในบรรยากาศปกติ

ในด้านความชอบด้านสี พบว่าหลังจากเดือนแรกของการเก็บ ขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูปที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีคะแนนความชอบด้านสีแตกต่างจากขนมตาลที่ทำจากแป้งสำเร็จรูปที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศและที่บรรจุในสุญญากาศร่วมกับการใส่ตัวดูดซับออกซิเจน ในเดือนที่ 3 ของการเก็บพบว่าคะแนนความชอบด้านสีของขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูปที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากสีของขนมตาลที่ได้จะซีดจนเกือบขาวจึงไม่เป็นที่พอใจของผู้ทดสอบ สีที่เปลี่ยนแปลงไปนี้เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารแคโรทีนอยด์ในเนื้อลูกตาลผงนั่นเอง

ในด้านความแรงของกลิ่นตาลสุก พบว่าหลังจากเดือนแรกของการเก็บ ขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูปที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีคะแนนความแรงของกลิ่นตาลสุกแตกต่างจากขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูปที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศและที่บรรจุในสุญญากาศและใส่ตัวดูดซับออกซิเจน หลังจากเก็บไว้ 3 เดือน พบว่าคะแนนความแรงของกลิ่นตาลสุกของขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูปที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีคะแนนต่ำที่สุด

ในด้านกลิ่นกะทิของขนมตาล พบว่าขนมตาลที่ทำจากเนื้อลูกตาลสดมีคะแนนด้านกลิ่นกะทิต่ำกว่าขนมตาลที่ทำจากแป้งสำเร็จรูป ทั้งนี้เนื่องมาจากขนมตาลที่ทำจากแป้งสำเร็จรูปมีส่วนผสมเป็นกะทิผงซึ่งมีการเติมสารให้กลิ่นกะทิ ทำให้ผู้ทดสอบให้คะแนนกลิ่นกะทิของขนมตาลที่ทำจากแป้งสำเร็จรูปสูงกว่าขนมตาลที่ทำจากของสด และเมื่อเก็บแป้งสำเร็จรูปในสภาวะการบรรจุต่าง ๆ พบว่าคะแนนของกลิ่นกะทิจะลดลง โดยการบรรจุในบรรยากาศปกติมีกลิ่นกะทิต่ำกว่าสภาวะการบรรจุอื่น

ในด้านกลิ่นหืนของขนมตาล พบว่าเมื่อเก็บแป้งสำเร็จรูปเป็นเวลา 3 เดือน ขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูปที่บรรจุในบรรยากาศปกติจะมีกลิ่นหืนสูงกว่าขนมตาลที่ทำจากแป้งสำเร็จรูปที่บรรจุในสุญญากาศและที่บรรจุในสุญญากาศร่วมกับใส่ตัวดูดซับออกซิเจน ทั้งนี้เนื่องจากการบรรจุในบรรยากาศปกติจะมีปริมาณออกซิเจนเหลืออยู่สูงจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี ทำให้กลิ่นหืนของขนมตาลเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาค่า TBA (ตารางที่ 4.25) พบว่าค่า TBA ของ

แป้งสำเร็จรูปที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีค่าสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ส่วนขนมตาลที่ทำจากแป้งสำเร็จรูปที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศและที่บรรจุในสุญญากาศร่วมกับการใส่ตัวดูดซับออกซิเจนจะมีกลิ่นหืนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05)

ในด้านลักษณะปรากฏ พบว่าเมื่อเก็บแป้งขนมตาลสำเร็จรูปเป็นเวลา 3 เดือน ขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูปที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีคะแนนต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากสีของขนมตาลซีดจางไม่สด ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ ส่วนขนมตาลที่ทำจากแป้งสำเร็จรูปที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศและที่บรรจุในสุญญากาศร่วมกับการใส่ตัวดูดซับออกซิเจนมีลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05)

ในด้านการยอมรับรวม พบว่าเมื่อเก็บแป้งขนมตาลสำเร็จรูปเป็นเวลา 3 เดือน ขนมตาลที่ทำจากแป้งสำเร็จรูปที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีคะแนนต่ำที่สุด ส่วนขนมตาลที่ทำจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศและที่บรรจุในสุญญากาศร่วมกับการใส่ตัวดูดซับออกซิเจนมีคะแนนการยอมรับรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05)

เมื่อพิจารณาผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าการเก็บแป้งขนมตาลสำเร็จรูปโดยบรรจุในสภาวะสุญญากาศร่วมกับการใช้ตัวดูดซับออกซิเจนสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าสภาวะการบรรจุแบบอื่น

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

1. การให้ความร้อนโดยการตุ๋นเนื้อลูกตาลสุกจนอุณหภูมิจุดกึ่งกลางเป็น 85 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 5 นาทีขึ้นไปสามารถทำลายเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในเนื้อลูกตาลสุกได้หมด

2. เนื้อลูกตาลสุกอบแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนเมื่อเก็บในสภาวะบรรยากาศปกติเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ค่าสีแดง (a) ค่าสีเหลือง (b) และปริมาณเบต้าแคโรทีนจะลดลง ส่วนค่าความสว่าง (L) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเก็บรักษาในสภาวะสุญญากาศ ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) ค่าสีเหลือง (b) และปริมาณเบต้าแคโรทีนจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าเบต้าแคโรทีนในเนื้อลูกตาลสุกอบแห้งจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนระหว่างการเก็บ

3. ไม่จำเป็นจะต้องให้ความร้อนในการทำลายเอนไซม์ในเนื้อลูกตาลสุกก่อนการทำแห้ง เพราะการให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อนเนื้อลูกตาลสุกจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเบต้าแคโรทีนและค่าสีของเนื้อลูกตาลสุกอบแห้งเมื่อเก็บนาน 4 สัปดาห์ถ้าเก็บภายใต้สุญญากาศ

4. จากการทำแห้งเนื้อลูกตาลสุกด้วยเครื่องทำแห้งแบบต่าง ๆ พบว่าเนื้อลูกตาลผงที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็งจะมีคุณภาพทั้งทางด้านสี ปริมาณ เบต้าแคโรทีน ความสามารถในการดูดซึมน้ำ และอัตราการคืนรูปดีกว่าเนื้อลูกตาลผงที่ผ่านการทำแห้งแบบอื่น

5. ส่วนผสมขนมตาลที่นำมาใช้เป็นสูตรพื้นฐานมีดังนี้ แป้งข้าวเจ้า 22.52% เนื้อลูกตาลสุก 9.23% กะทิ 40.80% น้ำตาลทราย 27.35% และเกลือ 0.10%

6. จากการศึกษาปริมาณยีสต์และผงฟูในส่วนผสมของแป้งขนมตาลสำเร็จรูป พบว่าการใช้ปริมาณยีสต์ 0.5% และผงฟู 0.5% โดยน้ำหนักของแป้งขนมตาลสำเร็จรูป จะได้ขนมตาลที่ผู้ทดสอบยอมรับมากที่สุด

7. แป้งสำเร็จรูปมีส่วนผสมดังนี้ แป้งข้าวเจ้า 37.82% เนื้อลูกตาลผง 1.83% น้ำตาลทราย 45.96% กะทิผง 13.36% เกลือ 0.17% ยีสต์ 0.5% และผงฟู 0.5%

8. เมื่อเปรียบเทียบขนมตาลที่ทำจากแป้งสำเร็จรูปกับขนมตาลที่ทำจากเนื้อลูกตาลสดและกะทิสด พบว่าขนมตาลจากแป้งสำเร็จรูปมีคะแนนของขนาดโพรงอากาศ ลักษณะเนื้อสัมผัส ความชอบด้านเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และการยอมรับรวมไม่แตกต่างจากขนมตาลจากของสด ($P>0.05$) แต่คะแนนความเข้มของสี ความชอบด้านสี และความแรงของกลิ่นตาลสุกของขนมตาลที่ได้จากแป้งสำเร็จรูปจะมีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$)

9. จากการศึกษาอายุการเก็บของแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่อุณหภูมิห้องในถุงลามิเนต ชนิด OPP 20/MPET 12/LLDPE 30 ไมครอน เป็นเวลา 3 เดือน โดยใช้สภาวะการบรรจุต่าง ๆ พบว่าแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศร่วมกับการใช้ตัวดูดซับออกซิเจน จะมีค่าสี ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และค่า TBA ดีกว่าสภาวะการบรรจุแบบอื่น

บรรณานุกรม

กนก ชวลิตพงศ์. 2542. "ขนมถ้วยฟู." วิทยานิพนธ์คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาคหกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ก่องกาญจน์ อังสุภานิช ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก และวิชัย หฤทัยธนาสันติ์. 2536. "การศึกษากรรมวิธีการผลิตว่านหางจระเข้ผง." **วารสารสงขลานครินทร์**. 15(4) : 371-379.

กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2540. **กระบวนการแปรรูปอาหาร**. กรุงเทพ ฯ : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2537. **ก๊าซกับการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร**. กรุงเทพ ฯ : ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จันทร ทศานนท์. 2532. **อาหารไทย**. กรุงเทพ ฯ : ศิริวัฒนาอินเตอร์พริ้น.

จิตธนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล. 2539. **เบเกอรีเทคโนโลยีเบื้องต้น**. กรุงเทพ ฯ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โชคชัย ธีรกุลเกียรติ. 2539. **การถนอมและแปรรูปอาหารด้วยการทำแห้ง หน่วยที่ 8 ในเอกสารการสอนชุดวิชา การถนอมและการแปรรูปอาหาร หน่วยที่** 8-15. กรุงเทพ ฯ : สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมธิราช.

ทัศนีย์ โรจนไพบูลย์. 2532. **ตำรับขนมไทย**. กรุงเทพ ฯ : เจเนอรัลบุ๊คส์ เซนเตอร์.

ทัศนีย์ ลิ้มสุวรรณ. 2540. "บทบาทใหม่ของเบต้าแคโรทีน." **ฟิตเนส**. 8(90) : 101-104.

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. **ธัญชาติและพืชหัว**. กรุงเทพ ฯ : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธงชัย พุฒทองศิริ. 2542. "แป้งขนมชั้นสำเร็จรูป." ปัญหาพิเศษ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นฤมล เหลืองนภา. 2533. "การผลิตและการใช้ประโยชน์เนื้อตาลสุกผงในขนมไทยบางชนิด." วิทยานิพนธ์คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาคหกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2543. **เคมีอาหาร**. เชียงใหม่ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2544. **หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ ฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

ปิฎฐะ บุนนาค. 2524. **ปาล์ม**. กรุงเทพ ฯ : บรรณกิจ.

พนัส บูรณศิลปิน. 2539. "ปาล์มทำไวน์และน้ำตาล." **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 11(2) : 19-29.

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2535. **การวางแผนและการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส**. เชียงใหม่ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มณีวรรณ เชิงชวโน. 2523. "อิทธิผลของตัวแปรต่างๆ ในการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพอาหารเด็กอ่อนโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์. 2527. **เคมีอินทรีย์ 2**. กรุงเทพ ฯ : โครงการตำราคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

มิตรา หอรัตนชัย และอวยศรี ชูฤกษ์. ม.ป.ป. **แม่บ้าน : ขนมไทยมรดกทางวัฒนธรรม**.

ยุพยงษ์ สุทธิธรรม. 2540. **ขนมไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ ฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

รัชนี ตัณฑะพานิชกุล. 2536. **เคมีอาหาร**. กรุงเทพ ฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

วงสวาท ปัทมาคม. 2535. **สารอาหารที่นิยมใช้เพื่อเสริมสุขภาพและต้านทานโรค**. กรุงเทพ ฯ : คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

วรรณา ตั้งเจริญชัย. 2531. "ท่านจะใช้แคโรทีนอยด์ในเครื่องดื่มได้อย่างไร." **วารสารอาหาร**. 18 (2) : 126-130.

วารุณี วารัญญานนท์ และ Hirata, T. 2540. "การพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารในประเทศญี่ปุ่น." **วารสารอาหาร**. 27 (1) : 1-13.

ศิวาพร ศิวเวชช. 2529. **วัตถุเจือปนอาหาร เล่ม** 2. กรุงเทพ ฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุกลฤย์ ไทยอุดม. 2538. "การพัฒนากระบวนการผลิตน้ำบัวบก *Centella asiatica* (Linn.) Urban ผงสำเร็จรูป." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สินธนา สุคันธา. 2535. **เอกสารประกอบการสอนวิชา ทอ. 402 การแปรรูปผักและผลไม้**. เชียงใหม่ : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะธุรกิจการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้.

สมยศ ทุ่งหว้า. 2527. "ตาลโตนด." **พืชศาสตร์สาส์น**. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 6(4) : 32-37.

สอาด บุญเกิด ทิพย์พรรณ สดากร และจเร สดากร. 2525. **ชื่อพรรณไม้ในเมืองไทย**. กรุงเทพฯ : กองทุนจัดพิมพ์ตำราป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมศรี ลีปิพัฒนวิทย์. 2529. " จุลินทรีย์ยีสต์ในผลตาลสุก." **วารสารคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์**. 5(11) : 11-17.

สำนักงานพาณิชย์จังหวัดพิษณุโลก. 2540. **รายงานการศึกษาสินค้าแปรรูปจากตาล**. โครงการพัฒนาตลาดเพื่อสนับสนุนการกระจายการผลิตในระดับจังหวัด(กนภ).

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2524. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า. มอก.** 638-2524.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2534. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์แป้งสาลีชนิดทำขนมปัง. มอก.** 374-2534.

สุมาลี เหลืองสกุล. 2541. **จุลชีววิทยาทางอาหาร**. กรุงเทพ ฯ : ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

อรชุน เลียววัฒนะผล. 2539. **ต้านโรคต้านมะเร็งด้วยเบต้าแคโรทีน**. กรุงเทพ ฯ :รวมทรรศน์.

อบเชย วงศ์ทอง และขนิษฐา พูนผลกุล. 2544. **หลักการประกอบอาหาร**. กรุงเทพ ฯ : ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุดม ลดหวั่น. 2527. "อาชีพเพาะจาวตาล." **ชาวเกษตร**. 4(46) : 23-28.

Abe, Y. and Kondon, Y. 1989. **Oxygen absorbers. In controlled/modified atmostphere / vacuum packaging of foods**. Food & nutrition press, Trumbull, CT.

Abonyi, B. L. , Tang, J. and Edwards, C. G. 1999. "Evaluation of energy efficiency and quality retention for the refractance window[tm] drying system." Research report. [Online] . Availble : http :// www.desertlake.com/

Ammu, K., K. G., Krishnappa, K. G., Subramanin, V., Sharma, T. R. and Nath, H. 1976. "Freeze drying of mango pulp." **Food Technol. in Australia**. 9 : 339-341.

Ammu, K., K. G., Krishnappa, K. G., Subramanin, V., Sharma, T. R. and Nath, H. 1977. "Storage behavior of freeze-dried fruit juice powders." **J. Food Technol**. 12 : 541-544.

Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F. and Griffin, E. L. 1969. "Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking". **Cereal Sci. Today**. 14 : 4-11.

AOAC. 1998. **Official methods of analysis of the association of official analytical Chemists**. 16 th ed. Gaithersburg, Maryland.

Arya, S. S., Natesan , V., Parihar, D. B. and Vijayaraghavan, P. K. 1979. "Stability of β-carotene in isolated systems." **J. Food Technol**. 14 : 571-578.

Bao, B. and Chang, K. C. 1994. " Carrot juice color, carotenoids and nonstarchy polysaccharides as affected by processing conditions." **J. Food Sci**. 59 (6) : 1155-1158.

Bauernfeind, C. 1981. **Carotenoids. In " Carotenoid as colorant and vitamin A ".** New York : Academic Press.

Chandler, L. A. and Schwartz, S. J. 1987. "HPLC separtion of cis-trans carotene isomers in fresh and processed fruits and vegetables." **J. Food Sci.** 52 (3) : 669-672.

Chandler, L. A. and Schwartz, S. J. 1988. "Isomerization and losses of trans-β-carotene in sweet potatoes as affected by processing treatments." **J. Agric. Food Chem.** 36 : 129 -133.

Chen, B. H., Chen, T. M. and Chien, J. T. 1994. "Kinetic model for studying the isomerization of α- and β-carotene during heating and illumination." **J. Agric. Food Chem.** 42 : 2391-2397.

Chen, B. H. and Tang, Y. C. 1998. "Processing and stability of powder from carrot pulp waste." **J. Agric. Food Chem.** 46 : 2312-2318.

DellaMonica, E. S. and McDowell, P. E. 1965. "Comparison of beta-carotene of dried carrots by three dehydration processes." **Food Technol.** 19(10) : 141-143.

Desobry, S. A. , Netto, F. M. and Labuza, T. P. 1998. "Preservation of β-carotene from carrots." **CRC Critical Reviews in Food Sci. and Nut.** 38 (5) : 381-396.

El-Tinay, A. H. and Chichester, C. O. 1970. "Oxidation of β-carotene. Site of initial attack." **J. Org. Chem.** 35 (7) : 2290-2293.

Emenhiser, C., Watkins, R. H., Simunovic, N., Solomona, N., Bulux, J., Barrows, J., and Schwartz, S. J. 1999. "Packaging preservation of β-carotene in sweet potato flakes using flexible film and oxygen absorber" . **J. Food Quality.** 22 : 63-73.

Emodi, A. 1978. "Carotenoids : properties and applications." **Food Technol.** 32 : 38-41.

Fan, S. T. and Minn, M. G. 1983. **Dry mix for bread.** United States Patent 4,395,426

Fennema, O. R. 1985. **Food chemistry**. New York and Basel : Marecel Dekker.

Goldman, M., Horev, B. and Saguy, I. 1983. "Decolorization of β-carotene in model systems simulating dehydrated foods." Mechanism and kinetic principles. **J. Food Sci.** 48 : 751-754.

Goodwin, T. W. 1980. **The biochemistry of the carotenoids vol. 1 plants**. London : Chapman and Hall.

Gross, J. 1991. **Pigments in vegetables : chlorophylls and carotenoids.** New York : AVI book.

Henig, Y. and Mannheim, C. H. 1971. "Drum drying of tomato concentrate." **Food Technol**. 25(2) : 157-160.

Howard, L. A., Wong, A. D., Perry, A. K. and Klein, B. P. 1999. "β-carotene and ascorbic acid retention in fresh and processed vegetables." **J. Food Sci.** 64(5) : 929-936.

Kanasawud, P. and Crouzet, J. C. 1990. "Mechanism of formation of volatile compounds by thermal degradation of carotenoid in aqueous medium. 1. β-carotene degradation." **J. Agric. Food Chem.** 38 : 237-243.

Kearsley, M. W. and Rodriguez, N. 1981. "The stability and use of natural colours in Food : anthocyanin, β-carotene and riboflavin." **J. Food technol.** 16 : 421-431.

Kirk, R. S. and Sawyer, R. 1991. **Pearson' s composition and analysis of foods.** Longman Scientific & Technical.

Kularatnam, P.K. 1971. "Some effects about the palmyra palm(tan) and its future importance." **Food** . 3(4) : 19.23.

Labuza, T. P. 1972. "Nutrient losses during drying and storage of dehydrated foods." **CRC Critical Reviews in Food Technology.** 3(2) : 217-240.

Mader, I. 1964. "Beta-carotene : Thermal degradation." **Science.** 144 : 533-534.

National canners association research laboratories. 1976. **Laboratory manual for food canners and processer**. California : The AVI Publishing.

Nutting, M. D., Neumann, H. J. and Wagner, J. R. 1970. "Effect of processing variables on the stability of β-carotene and xanthophylls of dehydrated parsley." **J. Sci. Food Agric.** 21 : 197-202.

Onyewu, P. N., Daun, H. and Ho, C. 1982. "Formation of two thermal degradation products of β-carotene." **J. Agric. Food Chem.** 38 (6) : 1147-1151.

Radlove, S,B. and Wheeling, I. 1981. **Premix product for a dietetic cake mix.** United States Patent 4,277,504

Robinson, D. S. and Eskin, N. A. M. 1991. **Oxidative enzymes in foods**. London : Elsevier Applied Science.

Smith, J. P., Doraikul, B., Koersen, W. J., Jackson, E. D. and Lewrence, R. A. 1986. "Novel approach to oxygen control in modified atmosphere packaging of bakery products." **Food Microbiol.** 3 : 315-320.

Soontornpas, C. 1995. " Pharmacokinetics of beta-carotene in health thai volunteers." Thesis master of science (pharmacy) in faculty of graduate studies Mahidol University.

Subadra, S., Monica, J and Dhabhai, D. 1997. "Retention and storage stability of beta-carotene in dehyrated drumstick leaves(*Moringa oleifera*)." **Inter. J. Food Sci. and Nut.** 48 : 373-379.

Sweeney, J. P. and Marsh, A. C. 1971. "Effect of processing on provitamin A in vegetables." **J. Am. Diet. Assoc.** 59 : 238. quoted in Labuza, T. P. 1972. "Nutrient losses during and storage of dehydrated foods." **CRC Critical Reviews in Food Technology**. 3(2) : 217-240.

Wong, D. W. S. 1989. **Mechanism and theory in food chemistry**. New York : AVI book.

Yang, C. S. T. and Atallah, W. A. 1985. "Effect of four drying methods on the quality of intermediate moisture lowbush blueberries." J. Food Sci. 50 : 1233-1237.

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์

1. **ความชื้น** (AOAC. 1998)

ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใน moisture can ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 130±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก ทดลองอบซ้ำอีกประมาณ 1 ชั่วโมง หรือจนได้น้ำหนักคงที่

<u>การคำนวณ</u>

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ-น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}\right) \times 100$$

2. **ปริมาณเบต้าแคโรทีน** (ดัดแปลงจากวิธี AOAC. 1998)

2.1 สารเคมี

2.1.1 อะซีโตน(acetone)

2.1.2 เฮกเซน(hexane) จุดเดือด 60-70 องศาเซลเซียส

2.1.3 แมกนีเซีย (activated manesia)

2.1.4 แอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต (anhydrous sodium sulphate)

2.1.5 ไดอะตอมเมเซียส เอิร์ธ(diatomaceous earth)

2.1.6 เบต้าแคโรทีน(beta-carotene)

2.2 การสกัด

ชั่งตัวอย่าง 2-5 กรัม เติมอะซีโตน 40 มิลลิลิตร เฮกเซน 60 มิลลิลิตรและแมกนีเซียมคาร์บอนเนต ($MgCO_3$) 0.1 กรัม ลงในเครื่องปั่น ปั่นผสมนาน 5 นาที ด้วยความเร็วสูงสุด ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน กรองแยกตะกอนออก ถ่ายส่วนใสลงในกรวยแยก ล้างตะกอนที่เหลือด้วยอะซิโตน 25 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง และเฮกเซน 25 มิลลิลิตร รวมเอาส่วนที่สกัดได้ไว้ด้วยกันในกรวยแยก ล้างอะซิโตนออกจากส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร 5 ครั้ง แล้วตั้งทิ้งไว้จนสารละลายแยกชั้น แยกเอาสารละลายส่วนล่างทิ้ง เอาเฉพาะสารละลายส่วนบนออกใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ซึ่ง มีอะซิโตนอยู่ 9 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเฮกเซน

2.3 การแยกสารให้สี

บรรจุ activated magnesia-diatomaceous earth mixture ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ลงในหลอดโครมาโทรกราฟีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ความยาว 175 มิลลิเมตร เตรียมคอลัมน์โดยใช้ใยแก้วหรือสำลีใส่ลงในก้นของคอลัมน์ บรรจุ activated magnesia-diatomaceous earth mixture อย่างหลวม ๆ ให้ได้ความสูงประมาณ 15 เซนติเมตร ติด suction flask กับคอลัมน์แล้วทำให้เกิดสุญญากาศโดยปั๊ม ทำให้ผิวหน้าเรียบโดยการใช้แท่งแก้วกระทุ้งหรือกดอัดเบา ๆ จนผิวหน้าเรียบและได้ความสูงของ activated magnesia-diatomaceous earth mixture ประมาณ 10 เซนติเมตร แล้วใส่แอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟตที่ผิวหน้าให้มีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร

เทส่วนที่สกัดได้ผ่านคอลัมน์ ใช้สารผสมอะซิโตน-เฮกเซน อัตราส่วน 1 ต่อ 9 จำนวน 50 มิลลิลิตร ในการแยกและชะแถบสีเหลืองของ เบต้าแคโรทีนผ่านตัวดูดซับ โดยจะต้องรักษาส่วนบนของคอลัมน์ให้มีอะซิโตน-เฮกเซนอยู่ตลอดเวลาในระหว่างการแยก เก็บสารละลายแคโรทีนที่ผ่านคอลัมน์มาใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารผสมอะซิโตน-เฮกเซน แล้วทำการวัดปริมาณของแคโรทีนด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 436 นาโนเมตร

2.4 การหาปริมาณเบต้าแคโรทีน

สร้างกราฟสารละลายเบต้าแคโรทีนมาตรฐานเพื่อนำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างที่วัดมาเปรียบเทียบกับกราฟเพื่อให้ทราบความเข้มข้นให้เท่ากับ A นำมาคำนวณโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณ เบต้าแคโรทีน(ไมโครกรัมต่อ100 กรัม)} = \frac{\text{A x final volume x dilution x 100}}{\text{น้ำหนักเนื้อลูกตาลผง}}$$

3. **อัตราการคืนรูป** (Rehydration ratio)(ดัดแปลงจากวิธี Subadra *et al.* 1997)

ชั่งน้ำหนักเนื้อลูกตาลผง 2.5 กรัมใส่ในน้ำ 100 มิลลิลิตร ปิดบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา

↓

ต้มจนน้ำเดือดแล้วจับเวลาต่อนาน 5 นาที

↓

นำไปหมุนเหวี่ยงที่ 3,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที

↓

เทน้ำส่วนที่แยกออกมาทิ้ง

↓

ชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือทั้งหมด

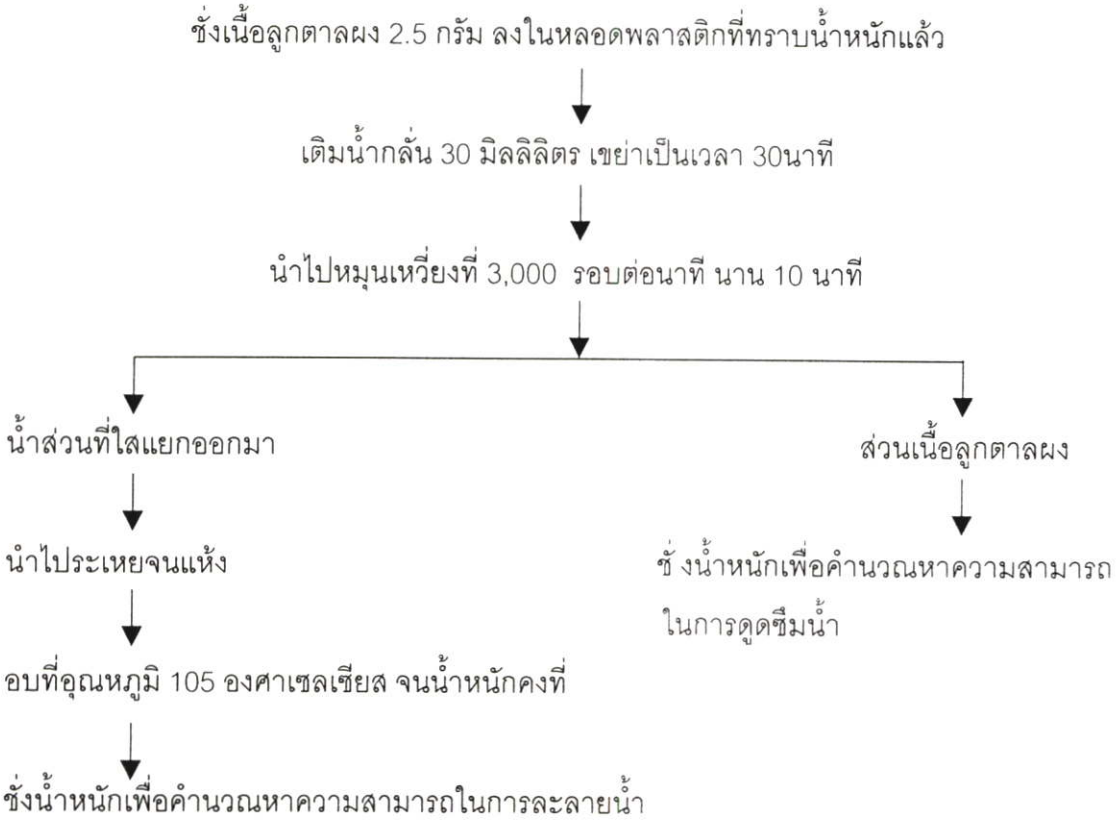
↓

นำไปคำนวณค่าอัตราการคืนรูป

<u>การคำนวณ</u>

$$\text{อัตราการคืนรูป} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อลูกตาลสุกที่คืนรูป}}{\text{น้ำหนักเนื้อลูกตาลผง}}$$

4. ความสามารถในการดูดซึมและการละลายน้ำ(water absortion and solubility index)
(Anderson *et al.* 1969)



<u>การคำนวณ</u>

ความสามารถในการดูดซึมน้ำ = $\frac{\text{น้ำหนักเนื้อลูกตาลผงหลังหมุนเหวี่ยง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น}}$
(water absortion, WAI, กรัมต่อกรัม)

ความสามารถในการละลายน้ำ = $\frac{\text{น้ำหนักส่วนใสหลังอบแห้ง} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น}}$
(water solubility index, WSI, %)

5. **Thiobarbituric acid number(TBA)** (Kirk and Sewyer. 1991)

ด้วยวิธี acid hydrolysis

ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม นำไปปั่นกับน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร นาน 2 นาที

↓

นำตัวอย่างที่ปั่นแล้วเทลงในขวดกลั่น ล้างตัวอย่างออกจากเครื่องปั่นด้วยน้ำกลั่น 47.5 มิลลิลิตรเท ลงขวดกลั่น

↓

เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4.0 โมลาร์ จำนวน 2.5 มิลลิลิตร เพื่อปรับความเป็นกรดด่าง ให้ได้ประมาณ 1.5

↓

ใส่ glass beads

↓

นำตัวอย่างไปกลั่นจนกระทั่งได้ของเหลว 50 มิลลิลิตร

↓

ปิเปตของเหลวที่กลั่นได้มา 5 มิลลิลิตร ใส่ลงหลอดที่มีฝาปิด

↓

เติมสารละลาย TBA (ละลาย TBA 0.2883 กรัม ด้วย 90% glacial acetic acid) 5 มิลลิลิตร เขย่าและต้มในน้ำเดือดนาน 35 นาที เตรียม blank โดยใช้น้ำกลั่น 5 มิลลิลิตรแทน

↓

ทำให้เย็นลงภายในเวลา 10 นาที

↓

นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสง(A)ที่ 538 nm

<u>การคำนวณ</u>

TBA no.(มิลลิกรัมของ malonaldehyde ต่อ ตัวอย่าง 1 กิโลกรัม) = 7.8A

6. **การทดสอบการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส** (Peroxidase activity)

ตามวิธีของ National canner association research laboratories(1978)

6.1 สารเคมี

6.1.1 สารละลาย guaiacol 1%

6.1.2 สารละลาย hydrogen peroxide 0.5%

6.2 วิธีการทดสอบ

6.2.1 ลวกเนื้อตาลสุกด้วยไอน้ำที่เวลาต่างๆ กัน

6.2.2 ชั่งเนื้อตาลสุกที่ลวกแล้วมา 5 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองขนาดกว้าง 1 นิ้ว

6.2.3 เติมน้ำ 5 มิลลิลิตร สารละลาย guaiacol 1 มิลลิลิตร และสารละลาย hydrogenperoxide 1 มิลลิลิตร

6.2.4 ผสมให้เข้ากัน โดยพลิกหลอดกลับไปกลับมา สังเกตปฏิกิริยาหลังจากตั้งทิ้งไว้ 2-5 นาที

6.3 การตรวจสอบปฏิกิริยา

เกิดสีน้ำตาลแดงในตัวอย่าง เป็น positive

ไม่มีสีน้ำตาลแดง เป็น negative

ระดับปฏิกิริยาเป็นตัวชี้กิจกรรมของ เปอร์ออกซิเดส

negative : ตรวจไม่พบการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

positive : ตรวจพบการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

ผล negative จึงถือว่าเวลาลวกเพียงพอในการยับยั้ง

7. **การขึ้นฟู** (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2534)

7.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง แล้วใส่ลงในภาชนะที่มีความสูงและกว้างกว่าตัวอย่าง

7.2 เติมเมล็ดงาให้เต็มช่องว่าง ทั้งด้านข้างและด้านบนปาดให้เรียบ วัดปริมาตรของเมล็ดงาที่ใช้เติมลงไปทั้งหมด

7.3 วัดปริมาตรของภาชนะโดยเติมเมล็ดงาเต็มภาชนะปาดให้เรียบ แล้ววัดปริมาตรเมล็ดงาทั้งหมด

การคำนวณ

$$\text{ปริมาตรการขึ้นฟู (มล. / กรัม)} = \frac{\text{ปริมาตรเมล็ดงาของภาชนะ} - \text{ปริมาตรเมล็ดที่มีขนมอยู่}}{\text{น้ำหนักขนมตาล}}$$

8. การวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง Minolta chroma meter

8.1 เครื่องมือ

Minolta chroma meter, CR 300 series

8.2 วิธีการ

วัดสีของผลิตภัณฑ์โดยใส่ตัวอย่างในภาชนะ ทำการวัด ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือคือค่า L a และ b โดยที่

ค่า L แทนค่าความสว่าง

ค่า a แทนค่าสีแดง (+) แทนค่าสีแดง (-) แทนค่าสีเขียว

ค่า b แทนค่าสีเหลือง (+) แทนค่าสีเหลือง (-) แทนค่าสีน้ำเงิน

9. ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC. 1998)

ชั่งตัวอย่างมา 25 กรัม ใส่ลงใน peptone water 225 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันได้ dilution 10^{-1} จากนั้นใช้ปิเปตดูดมา 1 มิลลิลิตรใส่ใน peptone water ที่อยู่ในหลอด 9 มิลลิลิตร ได้ dilution 10^{-2} แล้วทำเช่นเดิมจนได้ dilution 10^{-5} ใช้ปิเปตดูดสารละลายตัวอย่างในหลอด 1 มิลลิลิตร ใส่ในจานเลี้ยงเชื้อที่อบฆ่าเชื้อแล้ว เทอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar ที่หลอมเหลวและยังอุ่นอยู่ลงในจานเลี้ยงเชื้อเขย่าจานให้สารละลายตัวอย่างกระจายไปทั่ว จากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัว นำไปบ่มในตู้เพาะเชื้ออุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยเลือกจานที่มีจำนวนโคโลนี 30-300 โคโลนี

ภาคผนวก ข

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ข.1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมตาลที่ใช้ในการคัดเลือกสูตร

ชื่อ .....**วันที่**.....

ผลิตภัณฑ์.....ขนมตาล.....

คำชี้แจง : กรุณาชิมตัวอย่างและขีดเครื่องหมาย I ลงบนเส้นของแต่ละปัจจัยตามที่ท่านรู้สึกได้จากการชิม

1.ความเข้มของสี

2.ความชอบด้านสี

3.ความแรงของกลิ่นตาลสุก

4.ความชอบด้านกลิ่นตาลสุก

5.ขนาดโพรงอากาศ

6.ลักษณะเนื้อสัมผัส

7.ความชอบด้านเนื้อสัมผัส

8.ความขม

9.ระดับความหวาน

10.ความชอบด้านความหวาน

11.การยอมรับรวม

ข้อเสนอแนะ.....

ข. 2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมตาลที่ได้จากเนื้อลูกตาลสุกอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบต่าง ๆ

ชื่อ .....**วันที่**..... .....

ผลิตภัณฑ์.....ขนมตาล.....

คำชี้แจง : กรุณาทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการดูสีและดมกลิ่นของตัวอย่างและขีดเครื่องหมาย I ลงบนเส้นของแต่ละปัจจัยตามที่ท่านรู้สึกได้จากการทดสอบ

1. **สี**

1.1 ความเข้มของสี

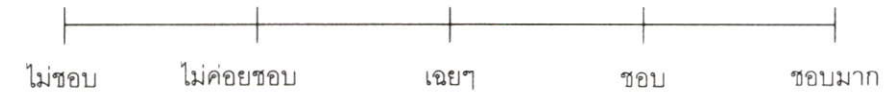
1.2 ความสม่ำเสมอของสี

1.3 ความชอบด้านสี

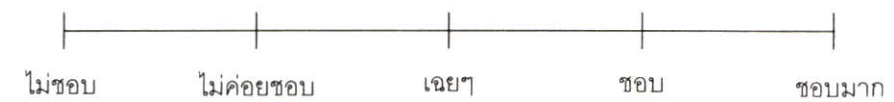
2. **กลิ่น**

2.1 ความแรงของกลิ่นตาลสุก

2.2 ความชอบด้านกลิ่นตาลสุก



3. **การยอมรับรวม**



ข. 3 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมตาลที่ใช้ศึกษาผลของผงฟูและยีสต์ในแป้งสำเร็จรูปที่มีต่อคุณภาพของขนมตาล

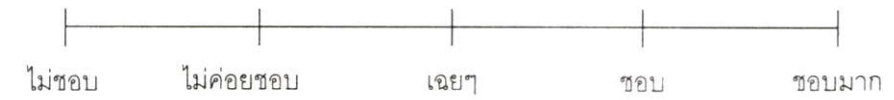
ชื่อ .....**วันที่**..... .....

ผลิตภัณฑ์.....ขนมตาล.....

คำชี้แจง : กรุณาชิมตัวอย่างและขีดเครื่องหมาย I ลงบนเส้นของแต่ละปัจจัยตามที่ท่านรู้สึกได้จากการชิม

1.ความเข้มของสี

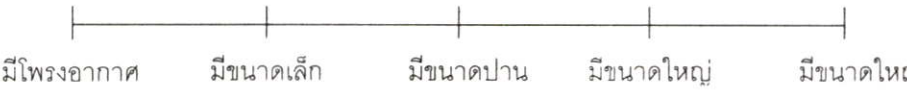
2.ความชอบด้านสี



3.ความแรงของกลิ่นตาลสุก

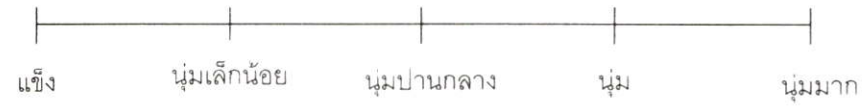
4.กลิ่นกะทิ

5.ขนาดโพรงอากาศ

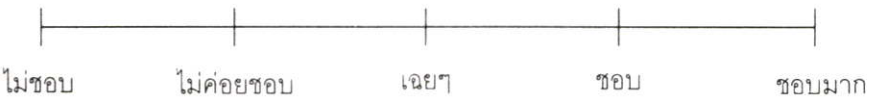


6.ความฟู

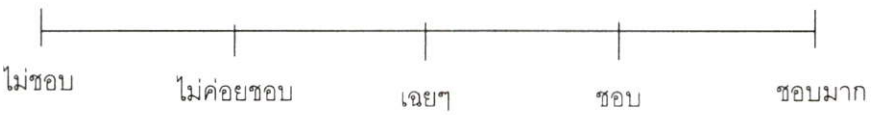
7.ลักษณะเนื้อสัมผัส



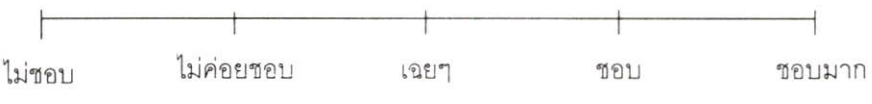
8.ความชอบด้านเนื้อสัมผัส



9.ลักษณะปรากฏ



10.การยอมรับรวม



ข้อเสนอแนะ.....

ข.4 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมตาลที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและอายุการเก็บรักษาแป้งสำเร็จรูปที่เก็บไว้ในสภาวะต่าง ๆ

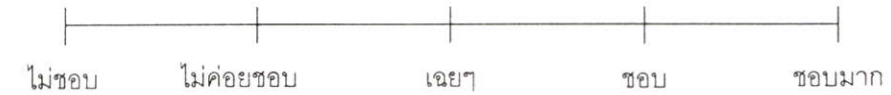
ชื่อ .....**วันที่**.....

ผลิตภัณฑ์.....ขนมตาล.....

คำชี้แจง : กรุณาชิมตัวอย่างและขีดเครื่องหมาย I ลงบนเส้นของแต่ละปัจจัยตามที่ท่านรู้สึกได้จากการชิม

1.ความเข้มของสี

2.ความชอบด้านสี

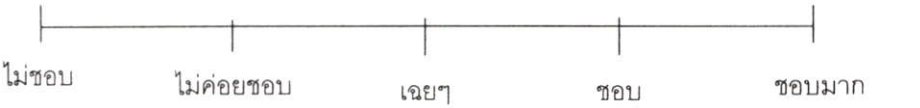


3.ความแรงของกลิ่นตาลสุก

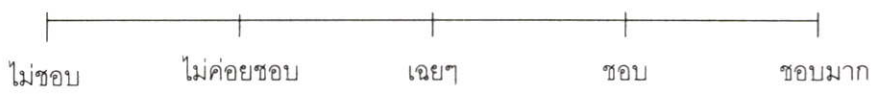
4.กลิ่นกะทิ

5.กลิ่นหืนของกะทิ

6.ลักษณะปรากฏ



7.การยอมรับรวม



ข้อเสนอแนะ.....

ภาคผนวก ค

การคำนวณส่วนผสมแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

โดยใช้สูตรที่ 1 คิดสัดส่วนของของแข็งและความชื้นในส่วนผสม 100 กรัม

แป้งข้าวเจ้า 22.50 กรัม เป็นสัดส่วนของความชื้น = $\frac{11.33x22.50}{100}$ = 2.55 กรัม

เป็นส่วนของของแข็ง = $\frac{88.67x22.50}{100}$ = 19.95 กรัม

เนื้อลูกตาลสุก 9.24 กรัม เป็นสัดส่วนของความชื้น = $\frac{89.03x9.24}{100}$ = 8.23 กรัม

เป็นส่วนของของแข็ง = $\frac{10.97x9.24}{100}$ = 1.01 กรัม

กะทิ 40.56 กรัม เป็นสัดส่วนของความชื้น = $\frac{81.11x40.76}{100}$ = 33.06 กรัม

เป็นส่วนของของแข็ง = $\frac{18.89x40.76}{100}$ = 7.70 กรัม

น้ำตาลทราย 27.35 กรัม เป็นของแข็ง = 27.35 กรัม

เกลือ 0.1 กรัม เป็นของแข็ง = 0.1 กรัม

ตารางที่ ค. 1 สรุปปริมาณของแข็งและความชื้นในส่วนผสม

ส่วนผสม	ปริมาณความชื้น(กรัม)	ปริมาณของแข็ง(กรัม)
แป้งข้าวเจ้า	2.55	19.95
เนื้อลูกตาลสุก	8.27	1.02
กะทิ	33.06	7.70
น้ำตาลทราย	-	27.35
เกลือ	-	0.1
รวม	43.88	56.12

คำนวณเปอร์เซ็นต์ของแข็งของส่วนผสม(ของแห้ง)

$$\text{แป้งข้าวเจ้า} = \frac{19.95x100}{56.12} = 35.55\ \%$$

$$\text{เนื้อลูกตาลสุก} = \frac{1.02x100}{56.12} = 1.82\ \%$$

$$\text{กะทิ} = \frac{7.70x100}{56.12} = 13.72\ \%$$

$$\text{น้ำตาลทราย} = \frac{27.35x100}{56.12} = 48.73\ \%$$

$$\text{เกลือ} = \frac{0.1x100}{56.12} = 0.18\ \%$$

ตารางที่ ค. 2 สรุปปริมาณของแข็งในแป้งผสม

ส่วนผสม	ปริมาณของแข็ง(%)
แป้งข้าวเจ้า	35.55
เนื้อลูกตาลสุก	1.82
กะทิ	13.72
น้ำตาลทราย	48.73
เกลือ	0.18

การคำนวณแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

จากฐานแห้ง 500 กรัม

ตารางที่ ค. 3 สรุปส่วนผสมแป้งขนมตาลสำเร็จรูปจากฐานแห้ง 500 กรัม

ส่วนผสม	น้ำหนักแห้ง	ความชื้น(%)	น้ำหนักที่ชั่ง(กรัม)
แป้งข้าวเจ้า	177.75	11.33	200.46
เนื้อลูกตาลผง	9.1	6.24	9.70
กะทิผง	68.6	2.15	70.11
น้ำตาลทราย	243.65	-	243.65
เกลือ	0.9	-	0.9
รวม			524.82

เพราะฉะนั้นในส่วนผสม 500 กรัม มีความชื้นเท่ากับ 525.35-500 = 25.35

ปริมาณน้ำที่ใช้เติมในแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

แป้งผสม 56.12 กรัม มีความชื้น 43.78 กรัม

แป้งผสม 500 กรัม มีความชื้น $\frac{43.78x500}{56.12}$ = 390.95 กรัม

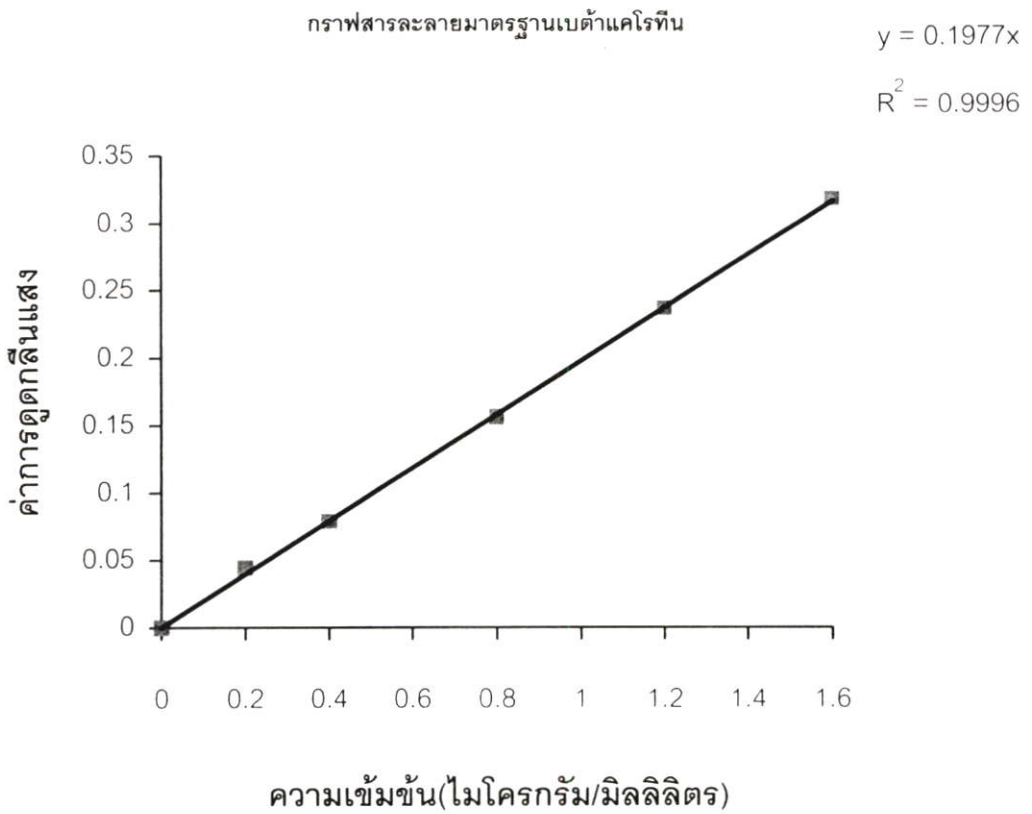
น้ำที่ต้องเติมจริง 390.95-24.82 = 366.13 กรัม

ตารางที่ ค. 4 องค์ประกอบของแป้งผสมสำเร็จรูปและส่วนผสมก่อนนึ่ง

ส่วนผสม	**ปริมาณ(%)**
<u>แป้งสำเร็จรูป</u>	
แป้งข้าวเจ้า	38.20
เนื้อลูกตาลผง	1.85
น้ำตาลทราย	46.42
กะทิผง	13.36
เกลือ	0.17
<u>ส่วนผสมก่อนนึ่ง</u>	
แป้งสำเร็จรูป	58.91
น้ำ	41.09

ภาคผนวก ง

กราฟสารละลายมาตรฐานเบต้าแคโรทีน



รูปที่ ง. 1 กราฟสารละลายมาตรฐานเบต้าแคโรทีนที่ใช้ในการทดลอง

ภาคผนวก จ

การทดสอบเนื้อสัมผัสขนมตาลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer)

1. เครื่องมือ

   เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) รุ่น TA XT2i

2. วิธีการทดลอง

   2.1 ทำการ calibrate force ก่อนการวัดทุกครั้ง

   2.2 ประกอบชุดเครื่องมือสำหรับกด ใช้หัว p 75 กับเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

   2.3 ทำการ calibrate probe ก่อนการวัด

   2.4 เลือกรูปแบบการวัดเป็น

   Test mode and option : Measure force in compression

   Hold until time

   Parameters

Pre test speed	1.0 mm/s
Test speed	1.0 mm/s
Post test speed	10.0 mm/s
Rupture test distance	15.0%
Distance	40.0%
Time	60.0 s

   2.5 วางชิ้นขนมตาลบนฐาน เมื่อเริ่มการวัดเครื่องคอมพิวเตอร์จะแสดงกราฟที่วัด จากนั้นสั่งให้โปรแกรมคำนวณหาค่า springiness ของขนมตาลออกมา

ประวัติผู้เขียน

นายบุณยกฤต รัตนพันธุ์ เกิดวันที่ 29 สิงหาคม พ.ศ. 2516 ที่จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร จากสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก ในปีการศึกษา 2537 ปัจจุบันรับราชการเป็นอาจารย์ในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ในสาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2544