การผลิตกะปิผงจากของเหลวที่ได้จากการหมักกะปิ

สำนักหอสมุดกลาง

โดย
นางสาวดวงทิพย์ ศรีตาแสน

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การผลิตกะปิผงจากของเหลวที่ได้จากการหมักกะปิ

สำนักหอสมุดกลาง

โดย

นางสาวดวงทิพย์ ศรีตาแสน

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

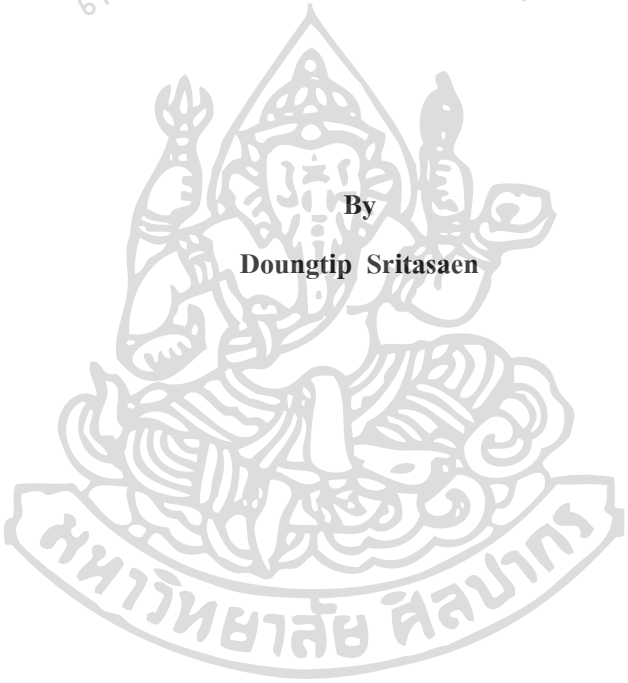
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

PRODUCTION OF SEASONING POWDER FROM LIQUID BY PRODUCT OF SHRIMP FERMENTATION

สำนักหอสมุดกลาง



By

Doungtip Sritasaen

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Food Technology

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2011

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้การค้นคว้าอิสระเรื่อง " การผลิตกะปิผงจากของเหลวที่ได้จากการหมักกะปิ " เสนอโดย นางสาวดวงทิพย์ ศรีตาแสน เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

…….....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร

คณะกรรมการตรวจสอบการค้นคว้าอิสระ

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อินณวงศ์)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร)
...../...../.....

สำนักหอสมุดกลาง
มหาวิทยาลัยศิลปากร

51403306 : สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
คำสำคัญ : น้ำกะปิ,การอบแห้งแบบพ่นฝอย,การอบแห้งแบบเยือกแข็ง

ดวงทิพย์ ศรีตาแสน : การผลิตกะปิผงจากของเหลวที่ได้จากการหมักกะปิ. อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ : ผศ.ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร. 76 หน้า.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการผลิตผงปรุงรสจากน้ำกะปิด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยและแบบเยือกแข็งโดยใช้ตัวพา 3 ชนิดคือ มอลโตเด็กซ์ตรินซ์, สตาร์ช และกัมอะราบิค ในอัตราส่วน 10% และ 20% การเก็บรักษาของผงปรุงรสและศึกษาคุณภาพของผงปรุงรสที่ได้จากการอบแห้ง ผลการทดลองพบว่าผงปรุงรสจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยมีลักษณะเป็นผงสีขาว ส่วนผงปรุงรสที่ได้จากการอบแห้งแบบเยือกแข็งเป็นผงสีเหลืองออกน้ำตาลเข้ม เมื่อนำผงปรุงรสมาบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์เก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 90 วัน พบว่าผงปรุงรสจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยและแบบเยือกแข็งมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ปริมาณความชื้น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งผงปรุงรสที่ใช้ มอลโตเด็กซ์ตรินซ์ 20% มีค่าสูงที่สุดและมีการจับตัวเป็นก้อนต่ำไม่แตกต่างกันกับสตาร์ช 20% ผงปรุงรสที่ได้จากการอบแห้งแบบเยือกแข็งที่ใช้มอลโตเด็กซ์ตรินซ์ 20% มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสตาร์ช 20% และสูงกว่าการอบแห้งแบบพ่นฝอย ผงปรุงรสที่ได้จากการอบแห้งแบบเยือกแข็งมีแนวโน้มการดูดความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นจาก 55, 65, 75, 85% โดยการใช้มอลโตเด็กซ์ตรินซ์ 20% จะดูดซับความชื้นได้น้อยกว่าการใช้สตาร์ช 20% ส่วนลักษณะโครงสร้างด้วยกล้อง SEM พบว่าอนุภาคของผงปรุงรสที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้มอลโตเด็กซ์ตรินซ์ 20% อนุภาคเป็นทรงกลมกลวง เป็นก้อนขนาดเล็กมีรูพรุน ลักษณะผิวของอนุภาคขรุขระและมีผลึกเกลือกระจายอยู่ที่ผิวและจมอยู่ในอนุภาค ส่วนการใช้สตาร์ช 20% อนุภาคเป็นทรงกลมกลวง ลักษณะผิวอนุภาคขรุขระ มีผลึกเกลือกระจายอยู่ที่ผิว อนุภาคของผงปรุงรสที่ได้จากการอบแห้งแบบเยือกแข็งอนุภาคมีลักษณะผิวอนุภาคขรุขระ จับกันเป็นก้อนใหญ่และมีผลึกเกลือกระจายอยู่ที่ผิว

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2554

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ .....

514403306 : MAJOR : FOOD TECHNOLOGY
KEY WORDS : LIQUID OF SHRIMP FERMENTATION/ SPRAY DRY/ FREEZE DRY
DOUNGTIP SRITASEAN : PRODUCTION OF SEASONING POWDER FROM LIQUID BY PRODUCT OF SHRIMP FERMENTATION. INDEPENDENT STUDY ADVISOR : ASST.PROF. ARUNSRI LEEJEERAJUMNEAN,Ph.D. 76 pp.

The objectives of this research were study of the production of seasoning powder from liquid byproduct of fermented shrimps using spray dryer and freeze dryer with different carrier. Maltodextrin, modified tapioca starch and gum arabic at the concentration of 10 and 20 % (w/v) were used as carrier in drying process. The seasoning powder were kept in aluminium foil bags at temperature (35^0C) for 90 days the study properties of the liquid by product of fermented shrimps, such as color, water activity, degree of caking and antioxidants were analyzed. The results showed that the color, moisture content and water activity activity of seasoning powder dried by spray dryer using 20% maltodextrin as carrier had white powder, water activity 0.28, moisture content 8.19% (w/w) and lightness (L*) 90.32 higher than others while the one with 20% maltodextrin and dried by freeze drying had yellow-brown powder, water activity 0.39, high moisture content 12.15% (w/w) and lightness (L*) 67.85 higher than others. The results showed that the degree of caking and antioxidants of seasoning powder dried by spray dryer using 20% maltodextrin and 20% modified tapioca starch as carrier were not significantly different ($p>0.05$). The Scanning Electron Microscopy (SEM) of seasoning powder dried by spray dryer using 20% maltodextrin had hollow and porus sphere with NaCl on surface particles while using 20% modified tapioca starch had porus sphere with little NaCl on the surface particles. The seasoning powder dried by freeze dryer using 20% maltodextrin had hollow and porus sphere with NaCl on surface particles while using 20% modified tapioca starch had porus sphere with little NaCl on the surface particles. Comparing with physical properties of seasoning powder dried by spray dryer and freeze dryer resulted that the seasoning powder made by spray dryer gave better quality.

Department of Food Technology Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2011

Student's signature .....

Independent Study Advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ เป็นผู้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ให้แนวคิด ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจด้วยดีมาตลอด และคณาอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ ให้คำแนะนำ ให้ความรู้เกี่ยวกับเรื่องการเรียนและการสอบด้วยดีตลอดมา

กราบขอบพระคุณคุณแม่ ขอบคุณน้องๆ เพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจช่วยเหลือและสนับสนุนในเรื่องการศึกษามาโดยตลอด ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 3
2 ตรวจเอกสาร 4
กะปิ 4
การทำแห้งแบบพ่นฝอย 8
ตัวพา 11
การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง 14
อนุมูลอิสระ 16
สารต้านอนุมูลอิสระ 17
สารละลายลิ่มเลือด 19
3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย 20
วัตถุดิบและสารเคมี 20
อุปกรณ์และเครื่องมือ 20
วิธีการทดลอง 21
4 ผลการทดลอง 25
คุณสมบัติของน้ำกะปิ 25
การผลิตน้ำกะปิผง 29
คุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของน้ำกะปิผง 35

บทที่ หน้า

5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 59

คุณสมบัติของน้ำกะปิ 59

การผลิตน้ำกะปิผง 59

คุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของน้ำกะปิผง 60

ข้อเสนอแนะ 62

บรรณานุกรม 63

ภาคผนวก 69

ประวัติผู้วิจัย 76

สำนักหอสมุดกลาง

มหาวิทยาลัย ศิลปากร

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติทางด้านเคมีของน้ำกะปิอายุ 6 เดือน	7
2	สมบัติทางด้านกายภาพของน้ำกะปิอายุ 6 เดือน	25
3	สมบัติทางด้านจุลชีววิทยาของน้ำกะปิอายุ 6 เดือน	27
4	สมบัติทางด้านเสริมสุขภาพของน้ำกะปิอายุ 6 เดือน	28
5	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (A_w) ปริมาณความชื้นและการวัดสีของน้ำกะปิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย	30
6	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (A_w) ปริมาณความชื้นและการวัดสีของน้ำกะปิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	33
7	การเปลี่ยนแปลงค่า A_w ของน้ำกะปิผงที่เก็บไว้ในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน	37
8	การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณความชื้น (moisture content) ของน้ำกะปิผงที่เก็บไว้ในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน	38
9	การเปลี่ยนแปลงค่าการจับตัวเป็นก้อนของน้ำกะปิผงที่เก็บไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน	44
10	ลักษณะปรากฏของน้ำกะปิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและเก็บไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วัน	45
11	ลักษณะปรากฏของน้ำกะปิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบเยือกแข็งและเก็บไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วัน	46
12	คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (Free radical scavenging activity) ของน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย	48
13	คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (Free radical scavenging activity) ของน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	49
14	คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบเยือกแข็งที่เก็บไว้ในถุงอะลูมิเนียฟอยด์ 90 วัน	50
15	สมบัติทางสารละลายลิมเลือดของน้ำกะปิผง	51
16	สมบัติทางด้านจุลชีววิทยาของน้ำกะปิผง	51

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขั้นตอนของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย	8
2	โครงสร้างของมอลโตเดกซ์ตริน.....	12
3	การหยดสารสกัดลงบนลิ่มเลือดจำลอง.....	23
4	การเก็บตัวอย่างในการวิเคราะห์การดูดความชื้นในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ.....	24
5	น้ำกะปิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยใช้ตัวพาร้อยละ 20 ก. มอลโตเดกซ์ตริน ข.แป้งมันสำปะหลังดัดแปร ค.กัมอะราบิค.....	31
6	น้ำกะปิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งใช้ตัวพาร้อยละ 20 ก. มอลโตเดกซ์ตริน ข.แป้งมันสำปะหลังดัดแปร ค.กัมอะราบิค.....	34
7	การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยและเก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยด์เป็นเวลา 90 วัน ในตู้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่มีการควบคุมความชื้น	39
8	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (a*) ของน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยและเก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์เป็นเวลา 90 วัน ในตู้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่มีการควบคุมความชื้น	39
9	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยและเก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์เป็นเวลา 90 วัน ในตู้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่มีการควบคุมความชื้น	40
10	การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและเก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยด์เป็นเวลา 90 วัน ในตู้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่มีการควบคุมความชื้น	40
11	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (a*) ของน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและเก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยด์เป็นเวลา 90 วัน ในตู้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่มีการควบคุมความชื้น	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
12	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและเก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยด์เป็นเวลา 90 วัน ในตู้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่มีการควบคุมความชื้น	41
13	ค่าการดูดความชื้นของน้ำกะปิผงหลังผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็งเมื่อใช้มอลโตเดกซ์ตรินและแป้ง 20% เป็นตัวพา เก็บไว้ในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง	53
14	ลักษณะโครงสร้างอนุภาคของผงน้ำเคยผงจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20	57
15	ลักษณะโครงสร้างอนุภาคของผงน้ำเคยผงการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20.....	57
16	ลักษณะโครงสร้างอนุภาคของผงน้ำเคยผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20	58
17	ลักษณะโครงสร้างอนุภาคของผงน้ำเคยผงจาก การทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20.....	58

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันมีความนิยมใช้สารปรุงแต่งกลิ่นรสในอาหารกันอย่างแพร่หลาย โดยมีการใช้สารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารเป็นปริมาณถึงร้อยละ 10 – 15 ของการใช้วัตถุเจือปนในอาหารทั้งหมด สารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารที่นิยมมากกลุ่มหนึ่งได้แก่ สารปรุงแต่งกลิ่นรสของเนื้อและสารปรุงรสอื่นๆ ที่คล้ายกัน สารปรุงแต่งกลิ่นรสเหล่านี้ ส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนของวัตถุดิบ กระบวนการย่อยสลายโปรตีนกระทำได้ทั้งทางเคมี และทางชีวเคมี ซึ่งกระบวนการทางเคมีที่นิยมใช้กันได้แก่ การใช้กรด การใช้ความร้อน ส่วนกระบวนการทางชีวเคมีที่นิยมใช้กัน ได้แก่ การหมักด้วยจุลินทรีย์ การใช้เอนไซม์ เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนได้แก่ ของผสมของกรดอะมิโน เปปไทด์ หรือโพลีเปปไทด์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารที่ให้กลิ่นรสหรือเป็นสารตั้งต้นที่ให้กลิ่นรส วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารสามารถใช้วัตถุดิบทั้งจากสัตว์ พืช และจุลินทรีย์ วัตถุดิบจากสัตว์ เช่น น้ำปลา กะปิ เป็นต้น

กะปิมีขั้นตอนการหมักเริ่มจากการนำกุ้งมาทำกะปิ หรือที่เรียกว่า เคย คลุกกับเกลือเม็ด สะเด็ดน้ำคาวทิ้งไป จากนั้นหมักกุ้งเคยทิ้งไว้ 1 คืน มีน้ำคาวไหลออกมาอีก ต้องเทน้ำคาวทิ้งไป ซึ่งคิดเป็นน้ำหนักราวร้อยละ 20 ของของน้ำหนักกุ้งสด จากนั้นนำกุ้งผึ่งแดดไว้ 4-5 ชั่วโมง จนแห้งหมาด โรงงานรับไปหมักต่อ โดยทำการหมักในบ่อซีเมนต์ขนาดราว 3x3x3 เมตร ซึ่งแต่ละบ่อมีกุ้งเคยประมาณ 3,000 กิโลกรัม และปิดทับเคยบดไว้ด้วยเกลือป่นหนาราว 0.5- 1 ฟุต ทิ้งให้เกิดการหมักเป็นเวลา 3-6 เดือน ก่อนนำมาบรรจุ และส่งจำหน่าย ระหว่างที่หมักกะปิได้ราว 1-2 เดือน มีน้ำไหลออกมา น้ำที่ได้ช่วงนี้เรียกว่า ‘น้ำเคย’ ซึ่งมีสีเหลือง ยังไม่สามารถนำไปรับประทานหรือผลิตเป็นซอสปรุงรส ทางโรงงานมักทิ้งไป เนื่องจากยังมีกลิ่นคาวมาก ซึ่งจะหมักรวมกันไว้ในบ่อน้ำเคยรวมโดยไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์แต่อย่างใด เมื่อหมักเคยได้ราว 6-8 เดือน ก็ได้เป็นกะปิที่พร้อมส่งจำหน่าย เมื่อผ่านการหมัก 6-8 เดือนไปแล้วน้ำที่ไหลออกมามีสีดำและมีกลิ่นหอมพร้อมจะใช้เป็นซอสปรุงรส และทางโรงงานได้ตักมารวมกันไว้ในบ่อต่างหาก และอาจปล่อยให้หมักต่อจนอายุได้ราว 6-8 เดือน เรียกน้ำหมักนี้ว่า ‘น้ำกะปิ’ โดยน้ำกะปิจะประกอบด้วยกรดอะมิโน เปปไทด์ หรือโพลีเปปไทด์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนของเคย ด้วยเอนไซม์ของ

จุลินทรีย์ แต่กลิ่นรสของน้ำกะปียังไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคและยังอาศัยเวลานาน ดังนั้นการ พัฒนาน้ำกะปีเป็นสารปรุงรสอาหารเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม (value added products) จากผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้เป็นการเพิ่มศักยภาพของผู้ประกอบการการผลิตกะปีในประเทศไทย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อยให้สามารถแข่งขันในเวทีการค้าระดับโลกได้

ปัญหาของงานวิจัยนี้คือประเทศไทยยังไม่มีการนำของเหลวที่ได้ จากการหมักกะปีไปใช้ประโยชน์ เพียงแต่ขายให้โรงงานน้ำปลา เพื่อผสมกับน้ำปลาเกรดต่ำทั้งที่ของเหลวที่ได้จากการหมักกะปีเป็น protein hydrolysate มีกลิ่นรสเฉพาะตัว เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานานเกิดการพัฒนาของกลิ่นรส และสีจนเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคบางกลุ่ม (แสงไทยและเริงฤดี, 2520 ; จิราวรรณและคณะ, 2521) ในฟิลิปปินส์กะปียังเป็นแหล่งอาหารที่มี DNA สูง (Montano, 2001) อีกทั้งยังมีสารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น สารจำพวกไขมันที่เป็นกรดไขมันอิสระ กรดอะมิโน และแร่ธาตุต่างๆ รวมทั้งมีสารต้านอนุมูลอิสระด้วย (Binsan และคณะ, 2007) เนื่องจากน้ำกะปีมีคุณประโยชน์หลายๆ ด้าน งานวิจัยนี้จึงทดลองนำมาผลิตเป็นน้ำกะปีผงและศึกษาองค์ประกอบที่สำคัญของของเหลวดังกล่าวซึ่งคาดว่าอาจพบสารประกอบที่เสริมสุขภาพ นักวิจัยจึงใช้ของเหลวจากการหมักกะปีเป็นวัตถุดิบตั้งต้น เพื่อผลิตน้ำกะปีผงเพื่อใช้ปรุงรสอาหารพร้อมรับประทาน คาดว่าน่าจะทำการตลาดได้และผลิตภัณฑ์ในรูปสารปรุงรสผงที่น่าจะมีตลาดดีกว่าการขายกะปี เพราะกะปีมีกลิ่นแรงมากและไม่เป็นที่ยอมรับของตลาดสากล

สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยศิลปากร

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ทางจุลินทรีย์และทางสุขภาพ ในน้ำกะปีอายุ 6 เดือน
2. เพื่อศึกษาวิธีการผลิตน้ำกะปีผงโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็ง
3. เพื่อศึกษาคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา

สำนักหอสมุดกลาง
มหาวิทยาลัย ศิลปากร

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 กะปิ

กะปิคือผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสอาหารไทยที่นิยมใช้มากถึงกับนำชื่อมาใช้เป็นเอกลักษณ์ของอาหารตำรับนั้นๆ เช่น น้ำพริกกะปิ ข้าวคลุกกะปิ กะปิคั่ว หมูผัดกะปิ วัตถุดิบในการผลิตกะปิคือเคย (planktonic shrimp) มี 2 ชนิดคือ เคยตาดำและเคยตาแดงซึ่งจะมีผลต่อสีและกลิ่นของกะปิ การผลิตนำเคยมาผสมเกลือในอัตราส่วน 10:1 ถึง 10: 3 ทิ้งให้สะเด็ดน้ำผึ่งแดดพอหมาด นำไปบดให้ละเอียดอัดใส่โอ่งหรือบ่อให้แน่นปิดหน้าด้วยเกลือหมักไว้ 3-4 เดือน ได้กะปิที่มีกลิ่นเฉพาะตัว เนื้อสัมผัสเหนียวจับเป็นก้อน ขณะหมักจะมีของเหลวซึมออกมาจากผลของการหมักจากจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ มีรายงานว่าเป็นเชื้อแบคทีเรียที่มีรูปร่างเป็นท่อนและชอบเกลือ (rod-shaped) ที่มีความสามารถในการย่อยโปรตีน (proteolytic activity) (Namwong และคณะ, 2006) ของเหลวที่ซึมออกมาเรียกว่า น้ำเกรอะกะปิ ต้องนำออกจากส่วนที่เป็นเนื้อกะปิ มิได้นำไปใช้ประโยชน์พบว่ามีประมาณร้อยละ 10-15 ของน้ำหนักกะปิ ซึ่งน่าจะนำมาเพิ่มมูลค่าได้ทั้งในรูปซอสปรุงรสและเป็นอาหารเสริมสุภาพ มีรายงานการพบ fibrinolytic enzyme (Mine และคณะ, 2004, Mine และคณะ, 2005) ช่วยรักษาโรคหัวใจได้ เนื่องจาก fibrinolytic enzyme ละลายการแข็งตัวของลิ่มเลือดได้ นอกจากนี้ Montano และคณะ (2001) พบว่ากะปิในฟิลิปปินส์ เป็นแหล่งอาหารที่มี Docosahexaenoic acid (DHA) สูง แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานคุณค่าของอาหารเสริมสุขภาพทั้งในแง่ fibrinolytic activity หรือการสลายลิ่มเลือดหรือการต้านอนุมูลอิสระในน้ำกะปิ ด้าน Tou และคณะ (2007) พบว่าในกุ้งนั้นมีสารอาหารสูงและมีสารประกอบเพื่อสุขภาพมนุษย์สูงด้วย ได้แก่ กรดไขมันโอเมกา 3 กรดอะมิโน และสารต้านอนุมูลอิสระ

จากการ ไฮโดรไลซ์โปรตีนในเคยขณะหมักเป็นเวลา 3 เดือน (Kim และคณะ, 2003) พบกรดอะมิโนหลายชนิด ได้แก่ aspartic acid, glutamic acid, alanine, luecine, lysine กรดอะมิโนดังกล่าวน่าจะมีส่วนในการสร้างกลิ่นรสของกะปิ จากการศึกษาของ Bisan และคณะ (2007) พบว่า

ส่วนที่เหลือจากการผลิตกุ้งคือส่วนหัวของกุ้งจะมีมันกุ้งอยู่ ส่วนนี้จะมีสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น สารจำพวกไขมันที่เป็น Free fatty acid โปรตีนที่ผ่านการย่อยเป็นกรดอะมิโน เช่น Glutamine Lysine และ Asparagine เป็นต้น อีกทั้งยังมีแร่ธาตุต่างๆ และมีสารต้านอนุมูลอิสระอยู่จำนวนหนึ่ง การย่อยกุ้งด้วยเอนไซม์โปรติเอสทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ Nakkarike และ Narayan (2008) พบว่าของเสียจากกุ้งที่ผ่านกระบวนการหมักนั้นมีสารต้านอนุมูลอิสระอยู่จำนวนมากอีกทั้งยังมีสารจำพวกเปปไทด์ และกรดอะมิโนที่เกิดจากการย่อยของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการหมักและในกุ้งยังมีสารจำพวกแคโรทีนอยด์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ในสัตว์จำพวกกุ้งเคยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ประมาณ 0.5 % ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดขึ้นในระหว่างการหมัก ทำให้สีของน้ำเคยเข้มขึ้น และยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโน อีกทั้งยังทำให้เกิดสารต้านอนุมูลอิสระที่เกิดจากน้ำตาลและกรดอะมิโนจับตัวกันอีกด้วย (Benjakul และคณะ, 2005 และ Binsan และคณะ, 2007)

กะปีเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหมักพื้นเมืองที่นิยมบริโภคกันมากในแถบเอเชีย ลักษณะการบริโภคในประเทศไทยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ แบบการบริโภคสด และแบบการบริโภคที่มีการให้ความร้อน กะปีเป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารที่คนไทย และคนในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รู้จักกันดี กะปีเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักเคยกับเกลือในอัตราส่วนที่เหมาะสม แล้วนำมาผ่านกระบวนการแยกน้ำออกเป็นบางส่วน และบดให้เป็นเนื้อเดียวกันจากนั้นก็หมักต่ออีกระยะหนึ่ง จนได้กลิ่นรสที่ต้องการ ผลิตภัณฑ์พลอยได้ (by products) จากกระบวนการผลิตกะปีได้แก่ น้ำกะปี

กะปีจัดเป็นอาหารประเภทโปรตีนที่ให้กลิ่นรส ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ การย่อยสลายโปรตีนของวัตถุดิบ(เคย) เกิดจากเอนไซม์ที่มีอยู่ในตัววัตถุดิบเอง และจุลินทรีย์ที่ปะปนมาทั้งในเกลือและวัตถุดิบ เอนไซม์ที่สำคัญคือเอนไซม์โปรติเอส ซึ่งจะย่อยสลายโปรตีนให้เป็นเปปไทด์และกรดอะมิโนแบคทีเรีย พวก facultative anaerobic เป็นตัวการสำคัญในการหมักกะปี (Daengsubha, 1970) ในระยะแรกกระบวนการหมักจะเกิดขึ้นเนื่องจาก ปฏิกิริยาของเอนไซม์ร่วมกับแบคทีเรียกลุ่มดังกล่าว ซึ่งเป็นตัวการทำให้เกิดกลิ่นกะปีแต่ระยะหลังของการหมัก จะมีแต่ปฏิกิริยาของเอนไซม์เพียงอย่างเดียว (โอภาส, 2508)

กลิ่นรสของกะปีเคยเริ่มมีกลิ่นกะปีเมื่อหมักได้ 30 วัน (เติมศักดิ์, 2523) และจะมีกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับเมื่อหมักได้ประมาณ 80 วัน (แสงไทยและเริงฤดี, 2520 ; จิรารวรรณและคณะ, 2521)

ระหว่างการหมักกะปิจะมีน้ำกะปิเกิดขึ้น ซึ่งน้ำกะปิที่ได้จะมีกลิ่นรสของกะปิอยู่บ้างแต่ยังไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค น้ำกะปิที่ทิ้งไว้เป็นเวลานานเกิดการพัฒนาของกลิ่นรสและสีของน้ำกะปิขึ้นจนเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคบางกลุ่มเท่านั้น (จากการสอบถามผู้ประกอบการ) การพัฒนาของกลิ่นรสและสีของน้ำกะปิจะเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำตาล และกรดอะมิโนที่เกิดจากการย่อยสลายวัตถุดิบทำให้เกิดสารที่ให้กลิ่นรสและสีขึ้นเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในน้ำปลา นอกจากปฏิกิริยาทางเคมีแล้วปฏิกิริยาทางชีวเคมีจากเอนไซม์ก็เกิดขึ้นเช่นกัน (ประเสริฐ, 2511) เอนไซม์ส่วนใหญ่เป็นเอนไซม์โปรติเอส ซึ่งจะทำการย่อยโปรตีนแล้วให้สารที่ให้กลิ่นรส เพื่อเป็นการย่นระยะเวลาและปรับปรุงกลิ่นรสของน้ำกะปิให้ดีขึ้น ปฏิกิริยาทางเคมี (ความร้อน) และการใช้เอนไซม์โปรติเอสและเอนไซม์ไรโบนิวคลีเอสที่ชอบเกลือ ซึ่งจะให้สารประกอบนิวคลีโอไทด์ที่จะช่วยให้กลิ่นและรสชาติของน้ำกะปิดีขึ้น

สารประกอบนิวคลีโอไทด์ ได้แก่ สาร 5'- GMP และ 5'- IMP เป็นสารประเภทกระตุ้นให้เกิดกลิ่นรส (flavor enhancer) ในอุตสาหกรรมผลิตจาก yeast extract หรือได้จากการย่อย soy protein (US patent 6190709) นิยมใช้เป็นกลิ่นเนื้อ กลิ่นผักหรือกลิ่นนมในอาหารคนและอาหารสัตว์ แต่ยังไม่มีการศึกษาสารชนิดนี้ในน้ำกะปิ

น้ำกะปิเป็นน้ำที่ได้ระหว่างการหมักกะปิโดยน้ำกะปิจะประกอบไปด้วย กรดอะมิโนเปปไทด์หรือโพลีเปปไทด์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กที่ได้จาการย่อยสลายโปรตีนของเคยด้วยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ แต่กลิ่นรสของน้ำกะปิยังไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคและยังอาศัยเวลานาน ดังนั้นการพัฒนาซอสปรุงรสจากน้ำกะปิจึงเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม (value added products) จากผลิตภัณฑ์พลอยได้เป็นการเพิ่มศักยภาพของผู้ประกอบการการผลิตกะปิในประเทศไทย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อมให้สามารถแข่งขันในเวทีการค้าระดับโลกได้

ตารางที่ 1 สมบัติทางด้านเคมีของน้ำกะปิอายุ (อรุณศรี และคณะ, 2552)

Characteristics	
Chemical compositions	
Total solids (g/100 ml)	21.60 (0.53)
NaCl (g/100 ml)	18.07 (0.18)
Total nitrogen content (mg N/ ml)	3.85 (0.00)
Protein Nitrogen (mg N/ ml)	24.04 (0.00)
Non protein nitrogen (mg N/ ml)	75.90 (0.02)
Formal nitrogen content (mg N/ ml)	28.42 (0.28)
Amnonia nitrogen content (mg N/ ml)	1.58 (0.04)
Amino nitrogen content (mg N/ ml)	26.84 (0.31)
Total volatile base nitrogen (TVB-N, mg N/ml)	2.55 (0.03)
Trimethylamine (TMA, mg N/ml)	0.30 (0.02)
Protein content (g/100 ml)	2.41 (0.00)
Fat content (g/100 ml)	0.54 (0.04)
Carbohydrate (g/100 ml)	0.58 (0.12)

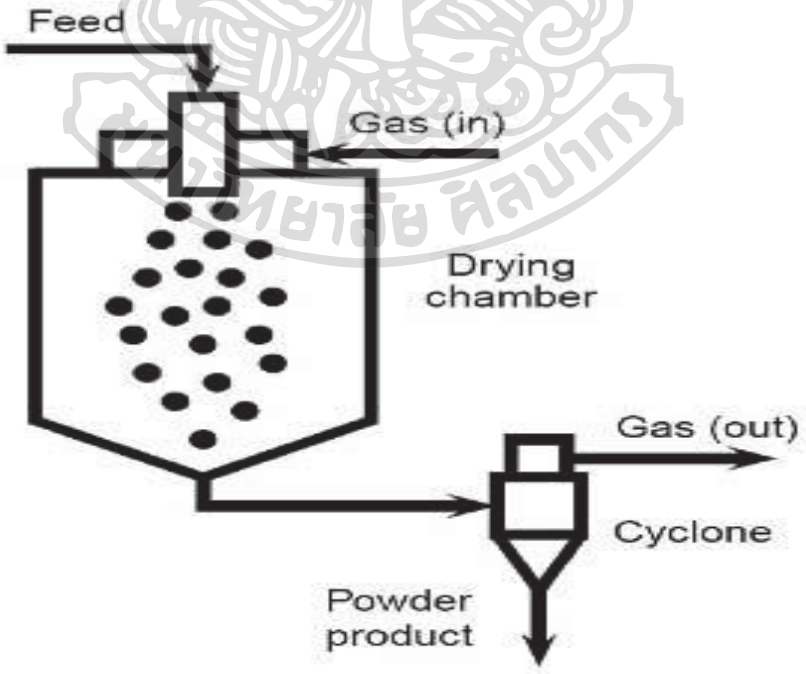
แสดงผลในรูปของค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

หมายเหตุ n=3

สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศิลปากร

2.2 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (ปรัชญา, 2544)

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการทำแห้งที่ใช้กับอาหารซึ่งอยู่ในสภาพของสารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous solution) หรือสารละลายที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (non-homogeneous solution) โดยอาจอยู่ในรูปของของผสมระหว่างของแข็งและของเหลว (slurry) หรือของเหลวกับของเหลว (emulsion) หลักการทำแห้งคือ การทำให้ของเหลวดังกล่าวแตกตัวเป็นละอองหรือหยดเล็กๆ แล้วผ่านไปในห้องอบแห้ง (chamber) ซึ่งมีอากาศร้อนไหลผ่าน เนื่องจากหยดอาหารมีขนาดเล็กมากประมาณ 100-200 μm การระเหยจึงเกิดขึ้นบนพื้นที่ผิวของหยดเล็กๆ อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาอบแห้งสั้นๆ ประมาณ 1 - 10 วินาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการทำแห้งจะอยู่ในสภาพผงแห้ง ซึ่งคุณสมบัติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถควบคุม และปรับเปลี่ยนได้ตามต้องการ เช่น ปริมาณความชื้น รูปร่าง และขนาดอนุภาค ความหนาแน่นโดยรวม เป็นต้น การทำแห้งแบบพ่นฝอยจะได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือดีนั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการทำให้ของเหลวแตกตัวเป็นหยดเล็กๆ และขึ้นกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของการสัมผัสระหว่างหยดของเหลวกับอากาศร้อน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่เลือกใช้ในการอบแห้ง (Master, 1991)



ภาพที่ 1 ขั้นตอนของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา : http://www.google.co.th [accept 08/01/2011]

2.2.1 หลักการพื้นฐานของการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เมื่อของเหลวถูกฉีดเป็นละอองฝอยให้สัมผัสกับอากาศร้อนภายในห้องอบแห้ง น้ำในอาหารจะระเหยไปอย่างรวดเร็ว จากนั้นผงแห้งจะถูกแยกออกจากลมร้อนเพื่อนำไปบรรจุต่อไป ดังภาพที่ 1 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1.1 การทำให้ของเหลวมีขนาดเล็กหรือเป็นละอองฝอย (atomization stage) ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญมากเนื่องจากทำให้เกิดพื้นที่ผิวในการระเหยซึ่งถ้ามีพื้นที่ผิวสูงก็สามารถระเหยน้ำออกจากอาหารได้รวดเร็ว นอกจากนี้การทำให้เป็นอนุภาคเล็กๆ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเฉพาะทั้งขนาด รูปร่าง ตลอดจนความหนาแน่น เนื่องจากของเหลวมีขนาดเล็กลงซึ่งจะเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนได้มาก ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ หัวฉีดที่ใช้กับเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

ก. หัวฉีดแบบหมุน (rotary atomizer) ของเหลวที่สามารถใช้ได้อาจเป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่เป็นเนื้อเดียวกันก็ได้ ลักษณะของหัวฉีดคล้ายจานหมุน อาหารจะถูกส่งไปยังศูนย์กลางของวงล้อที่หมุนด้วยความเร็วสูง ทำให้อาหารเหลวกระจายเป็นแผ่นบางๆ บนผิวของล้อแล้วถูกเหวี่ยงออกจากจานหมุนเป็นละอองฝอยขนาดเล็กมากตั้งแต่ 30-120 μm ประสิทธิภาพของหัวฉีดแบบนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของเหลวที่นำมาอบแห้งด้วย เช่น ความเข้มข้น ความหนืด อุณหภูมิของของเหลว เป็นต้น

ข. หัวฉีดแบบแรงดัน (pressure nozzle) เป็นหัวฉีดที่ใช้สำหรับการอบแห้งที่มีกำลังการผลิตมากๆ จะให้ละอองของเหลวที่มีรูปร่างสม่ำเสมอกว่าหัวฉีดแบบ two-fluid nozzle ของเหลวจะถูกทำให้หมุนรอบแกนด้วยความเร็วสูงมากภายใต้ความดัน ซึ่งความดันที่ใช้อาจสูงถึง 1000 lb/in^2 ขนาดของอนุภาคที่ได้มีตั้งแต่ 120-250 μm ขึ้นกับความดันและขนาดของหัวฉีด เหมาะสำหรับอาหารเหลวที่มีความหนืดสูง

ค. หัวฉีดแบบ two-fluid nozzle ใช้กับการอบแห้งที่ต้องการอัตราการอบแห้งต่ำ ของเหลวจะกลายเป็นละอองฝอยเนื่องจากถูกอัดอากาศภายใต้ความดัน หัวฉีดแบบนี้ประกอบด้วย

ทางเข้าของอากาศและทางเข้าของของเหลว ของเหลวจะถูกพ่นออกมาเป็นลำเล็กๆ เมื่อกระทบกับอากาศที่มีความดันสูงจะทำให้ของเหลวแตกตัวเป็นละอองมาก ความดันที่ใช้ประมาณ 5-60 lb/in^2

2.2.1.2 การสัมผัสระหว่างหยดของเหลวและอากาศร้อน (spray-air contact stage) ในขั้นตอนนี้หยดของเหลวจะสัมผัสกับอากาศร้อน เพื่อให้น้ำในอาหารได้รับความร้อนทำให้เกิดการระเหยออกไป การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงมากถ้าทิศทางการไหลของอากาศเหมาะสมก็จะทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดได้เร็วขึ้น ทั้งนี้ขึ้นกับจุดประสงค์ของการทำแห้ง คุณสมบัติของสารละลาย รวมทั้งคุณภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ การสัมผัสระหว่างหยดของเหลวและอากาศร้อนแบ่งได้ 3 แบบคือ

ก. การไหลในทิศทางเดียวกัน(co-current flow) อาหารจะถูกพ่นฝอยในทิศทางเดียวกับอากาศร้อน วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายอาหารที่ไม่ทนต่อความร้อน เนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำได้อย่างรวดเร็ว อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะต่ำกว่าของอากาศร้อนที่ไหลออก

ข. การไหลสวนทางกัน (counter-current flow) อาหารเหลวที่ถูกพ่นฝอยและอากาศร้อนจะไหลในทิศทางตรงกันข้าม เริ่มจากหยดของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำแล้วจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเท่ากับอุณหภูมิอากาศร้อน ลักษณะแบบนี้ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะกับอาหารที่ทนต่อความร้อนสูง อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ไหลออก

ค. การไหลแบบผสมกัน (mixed flow) สารละลายและอากาศร้อนจะมีทั้งไหลไปในทางเดียวกันและสวนทางพร้อมๆ กัน อากาศร้อนที่ใช้ในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยได้จากความร้อนสองประเภทคือ การทำให้ร้อนโดยตรงและโดยทางอ้อม ประเภทแรกเป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้อากาศร้อนแล้วนำไปใช้โดยตรง หรือได้จากขดลวดไฟฟ้าให้ความร้อนกับอากาศ

2.2.1.3 ช่วงการระเหย (evaporation stage) การระเหยของน้ำออกจากอนุภาคของอาหารที่ถูกพ่นฝอยเกิดขึ้นจากการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสาร การทำแห้งวิธีนี้เป็นการระเหยของน้ำในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่เป็นส่วนมาก เนื่องจากอนุภาคอาหารมีความชื้นสูงทำให้กระบวนการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นดังนี้ อันดับแรกอนุภาคถูกทำให้ร้อนขึ้นหรืออุณหภูมิสูงขึ้นจากการนำความร้อน และการพาความร้อนซึ่งเกิดขึ้นที่บริเวณผิวของอนุภาค แล้วเปลี่ยนอยู่ในรูปของความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ จากนั้นส่วนของไอน้ำจะถูกถ่ายเทมวล

ให้อากาศร้อนโดยการแพร่ (diffusion) และโดยการพา (convection) ออกไปจากผิวหน้าของอนุภาค อัตราการระเหยน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศร้อน ความชื้นสัมพัทธ์หรือความดันไอ และคุณสมบัติในการถ่ายเทของอากาศ ขนาดอนุภาค ความเร็วลมของอากาศร้อน ตลอดจนองค์ประกอบของส่วนประกอบที่เป็นของแข็งในอนุภาคด้วย

2.2.1.4 การแยกอาหารผงจากระบบการอบแห้ง (product recovery stage) เมื่อมีการระเหยน้ำออกจากหยดของเหลวเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว อาหารผงจะตกลงสู่ส่วนล่างของถังอบแห้งและถูกดูดออกมาตามท่อลมออก ซึ่งอาหารผงสามารถแยกออกจากอากาศร้อนด้วยระบบไซโคลน (cyclone separator) โดยอาศัยแรงเหวี่ยงและการถ่ายเทโมเมนตัม

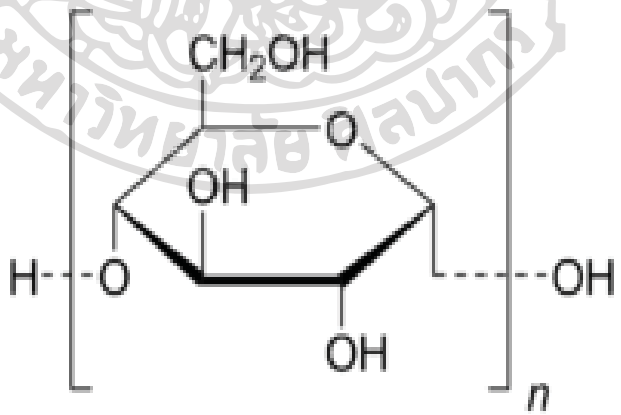
2.3 ตัวพา (carrier)

ตัวพาที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย หมายถึง สารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นวัตถุเจือปนอาหารที่ทำหน้าที่หลักในการขนส่งและกระจายสารเคมีบางอย่าง ที่สามารถถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อนหรือเป็นสารพวกที่สามารถระเหยได้ง่าย เช่น สารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของกลิ่นรส สี วิตามิน หรือสารอาหารต่างๆ ในอาหาร (Risch และ Reineccius, 1995) โดยสารตัวพาจะทำหน้าที่ดักจับและกักเก็บสารเหล่านี้ไว้แทน ทำให้ถูกทำลายด้วยความร้อนหรือระเหยได้น้อยลง เมื่อนำอาหารผงนั้นไปคืนตัวโดยการเติมน้ำ สีหรือกลิ่นรสของอาหารนั้นจะถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้ลักษณะและคุณค่าของอาหารที่ได้คล้ายกับวัตถุดิบก่อนนำมาทำแห้ง (กัลยาณี, 2540) นอกจากนั้นตัวพายังทำหน้าที่เพิ่มปริมาณของ แข็งให้กับอาหารก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อความประหยัดเวลาในการทำแห้ง เช่น อาหารที่มีปริมาณของแข็งต่ำหรือของแข็งส่วนใหญ่คือน้ำตาล หากทำแห้งจนเป็นผงแล้วน้ำตาลเหล่านี้ จะมีความเข้มข้นสูงมากขึ้นและสามารถดูดกลับความชื้นได้อย่างรวดเร็วเหนียวติดภาชนะหรือไม่สามารถทำให้เป็นผงได้ ดังนั้นตัวพาจะช่วยทำหน้าที่เจือจางปริมาณน้ำตาลในผงให้ มีความเข้มข้นลดลง สารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวพา ได้แก่ เดกซ์ตริน มอลโตเดกซ์ตริน แป้ง กัมอะราบิค และนมผงขาดมันเนย เป็นต้น (Re, 1998)

2.2.1 มอลโตเดกซ์ตริน (maltodextrin ; $(C_6H_{10}O_5)H_2O$)

มอลโตเดกซ์ตริน คือ วัตถุเจือปนอาหารที่ได้จากการดัดแปรทางเคมีของแป้งด้วยกระบวนการ Dextrinization โดยใช้ความร้อนหรือความร้อนกับกรด ได้สายโพลิเมอร์ของแซคคาไรด์ประกอบด้วย D-glucose ยูนิต หลายๆ ยูนิตต่อกันด้วยพันธะชนิด α1-4 และได้น้ำแป้งที่มีค่า

สมมูลเดกซ์โตส (Dextrose Equivalent หรือ DE) อยู่ในช่วง 10-15 หรือต่ำกว่า 20 เรียกผลิตภัณฑ์นี้ว่า moltodextrin ซึ่งถ้าต้องการผลิตเป็น moltodextrin ผงก็นำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์และนำมาทำให้แห้งโดยการพ่นฝอยก็จะได้ moltodextrin ผงที่มีความชื้นประมาณ 3-5% มีความหนาแน่นปรากฏ (bulk density) อยู่ในช่วง 0.31-0.61 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Onwulata, 1994) ปัจจุบันได้มีการนำ moltodextrin มาใช้ในกระบวนการผลิตอาหารอย่างมากมาย เช่น ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย การผลิตครีมเทียม การผลิตซุปกึ่งสำเร็จรูป เนื่องจากมีข้อดีคือมีความสามารถในการละลายในน้ำเย็นได้และให้ลักษณะที่ใส มีความหนืดน้อย (กล้ารงค์, 2542) เมื่อนำไปใช้กับกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะให้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีความคงตัว เช่น ดูดความ ชื้นได้ต่ำ โดยเฉพาะพวกที่มี DE ต่ำๆ ทำให้สามารถเก็บรักษาในสภาพปกติได้นาน และเมื่อนำมาละลายน้ำจะมีความสามารถในการละลายสูง ความสามารถในการละลายจะขึ้นอยู่กับค่า DE การละลายเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่า DE เพิ่มขึ้นจาก DE 5 เป็น DE 18 จากนั้นก็ค่อยๆ ลดลง ค่าความหนืดของสารละลายจะลดลงเมื่อค่า DE สูงขึ้น และความหนืดยังขึ้นกับปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินในสารละลายด้วย โดยหากมีปริมาณสูงความหนืดของสารละลายก็จะสูงตาม (ปรัชญา, 2544) มีผู้วิจัยจำนวนมากได้ทำการศึกษาถึงวัตถุเจือปนอาหารชนิดต่างๆ เพื่อนำมาใช้กับกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่ามอลโตเดกซ์ตรินเป็นวัตถุเจือปนอาหารที่เหมาะสมกับการอบแห้งแบบพ่นฝอยมากที่สุด (Sheu, 1998 และ Chuy, 1994)



α-1,4

$2 < n < 20$

ภาพที่ 2 โครงร้างของมอลโตเดกซ์ตริน

ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Maltodextrin#mw-head[accept 09/26/2010]

2.2.2 แป้ง (Starch)

แป้งหรือสตาร์ชเป็นพอลีแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่ง ซึ่งพืชสร้างสตาร์ชและเก็บสำรองไว้ที่ส่วนต่างๆ เช่น ราก หัว และเมล็ด โดยเก็บสะสมไว้ในรูปของเม็ดสตาร์ช (starch granules) ที่มีลักษณะเฉพาะของพืช เม็ดสตาร์ชมีคุณสมบัติเป็นผลึกบางส่วน เม็ดสตาร์ชไม่ละลายน้ำเย็น สามารถไฮเดรตน้ำได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิเจลาติไนเซชันของสตาร์ชแล้ว เม็ดสตาร์ชจะสามารถไฮเดรตน้ำได้มากและขยายขึ้นได้หลายเท่าตัวให้สารละลายที่มีความหนืด เม็ดสตาร์ชมีขนาดเล็กมากมีขนาดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช สตาร์ชส่วนใหญ่ได้มาจากเมล็ดของธัญพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง บางส่วนได้จากหัวและรากของพืช เช่น มันเทศ มันฝรั่ง มันสำปะหลัง ภายในเม็ดสตาร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์กลูแคน 2 ชนิดผสมกันคือ อะไมโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์สายยาวของ α-(1-4) กลูแคน อะไมโลเพกติน (amylopectin) เป็นสายแขนงที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และน้ำหนักโมเลกุลสูงต่อกันด้วยพันธะ α-(1-4) เป็นสายตรงและมีพันธะ α-(1-6) เป็นสายแขนง (นิธิยา, 2545) สตาร์ชมีบทบาทสำคัญในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เพราะสามารถทำหน้าที่เป็น adhesive, binding, dusting, film forming, foam strengthening, antistaling, gelling, glazing, moisture retaining, stabilizing, texturizing และ thickening เป็นต้น ดังนั้นการเติมสตาร์ชลงในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีน้ำ จะทำให้คุณภาพของเนื้อสัมผัสอาหารเปลี่ยนไป การนำสตาร์ชไปใช้ประโยชน์อาจทำให้ได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารที่ไม่เหมาะสม เช่น เม็ดสตาร์ชจากมันฝรั่งและมันสำปะหลัง จะเกิดการพองตัวและแตกตัวอย่างรวดเร็วทำให้ได้สารละลายที่มีความหนืดสูง ดังนั้นจึงมีการดัดแปรสตาร์ชก่อนนำไปใช้ประโยชน์เพื่อให้ได้สตาร์ชที่ละลายน้ำดีขึ้น มีความคงตัวเพิ่มขึ้น เกิดเจลที่แข็งแรง ลดการเกิดซินเนอรีซิสทำให้เกิดฟิล์มได้ง่ายและทนน้ำได้ดี และเพิ่มความคงตัวต่อกรด ความร้อนและแรงเฉือน

2.2.3 กัมอะราบิค (Gum arabic)

กัมอะราบิคหรือกัมอะคาเซีย เป็นสารประกอบธรรมชาติชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มสารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) ที่นิยมใช้กันแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมอาหาร กัมอะราบิคมาจากน้ำยางธรรมชาติที่ ไหลออกมาจากผิวเปลือกของลำต้นของพืชได้จากต้น Acacia โดยการกรีดด้วยมีดที่กิ่งหรือลำต้น จะมีกัมเหลวข้นซึมเยิ้มออกมามีสีสันแตกต่างกันไปตั้งแต่ขาวใสจน

ถึงเหลืองอำพัน รูปทรงมองดูคล้ายหยดน้ำ ทรงกลมรี ไปจนถึงมีเหลี่ยมมุมบ้างตามธรรมชาติ เมื่อนำมาอบแห้งจะมีสีอำพันเรียกว่ากัมหยาบ ต้องทำความสะอาดก่อนำไปแปรรูปเป็น กัมอะราบิค ซึ่งละลายได้ในน้ำที่มีความเข้มข้นสูงมากกว่า 50 น้ำยางในกลุ่มพืชอากาเซียมีอยู่มากมายหลายชนิด ซึ่งชนิดที่ให้น้ำยางมีคุณภาพดีที่สุดคือ อากาเซียเซเนกัล (Acacia Senegal) ที่เจริญ เติบโตได้ดีในพื้นที่ตอนกลางของประเทศซูดานในทวีปอาฟริกา (Sahel Zone) จึงมีชื่อเรียกขานและเป็นที่รู้จักกันอย่างดีในเชิงพาณิชย์ว่า กัมอารบิก (Gum Arabic) และกัมอากาเซีย (Acacia Gum) หรือกัมซูดาน (Sudan Gum) อันสืบเนื่องมาจากการจัดขนส่งทางเรือที่ท่าเรือในกลุ่มประเทศอาหรับ เป็นพอลีแซกคาไรด์เชิงซ้อนประกอบด้วยน้ำตาล 4 ชนิดคือ L-แอราบิโนส, D-กาแลกโทส, L-แรมโนส และกรด D-กลูโรนิก โดยสายโซ่หลักประกอบด้วย β-กาแลกโทไพแรโนสจับด้วยพันธะ β-1,3 และมีกิ่งต่อออกไปจากสายโซ่หลัก สามารถละลายได้ดีในน้ำทั้งอุณหภูมิปกติ น้ำร้อน หรือน้ำเย็นได้ง่าย เพียงนำมาเทผสมในน้ำและกวนหรือคนอยู่จนละลาย กัมอารบิกสามารถละลายได้ดีที่ความเข้มข้นสูงถึงร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นซึ่งค่อนข้างละลายได้ยาก และละลายได้ไม่เกินความเข้มข้นที่ร้อยละ 5 เท่านั้น สารละลายมีความหนืดต่ำ มีความเป็นกรดเล็กน้อย ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ทำให้เกิดเจลได้ กัมอะราบิคจัดเป็นกัมที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมาก เช่น ใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันแต่งรสชาติสำหรับพวกเครื่องดื่ม ใช้เป็นสารช่วยความคงตัวของฟองเบียร์ ใช้เป็นตัวยับยั้งการเกิดผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมและเชอร์เบต (นิธิยา, 2545) กัมอะราบิคเป็นสารตัวพาที่ใช้กันมานานในการเป็นเอนแคปซูเลชั่นเพราะมีความสามารถเก็บรักษาสารต่างๆ ได้ดี แต่กัมอะราบิคมีราคาแพงและคุณภาพขึ้นอยู่กับสภาวะของอากาศ (Thevent, 1988)

2.4 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

การทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze drying) คือขบวนการที่ทำให้สารที่เปียกแห้งได้โดยทำให้สารนั้นเย็นจนแข็งตัวและระเหยเอาน้ำแข็งออกไป เป็นกระบวนการที่เอาน้ำออกจากอาหารในสภาวะที่น้ำเป็นของแข็งกลายสภาพเป็นไอ เกิดกระบวนการระเหิดขึ้นเมื่อความดันไอและอุณหภูมิที่ผิวหน้าน้ำแข็งมีค่าต่ำกว่าจุดวัฏภาคของก๊าซ ของเหลว และของแข็งอยู่ในสภาวะสมดุล โดยความดันไอของน้ำในอาหารเยือกแข็งเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิเมื่ออยู่ในสภาวะน้ำแข็ง

2.4.1 การถ่ายเทมวลสารและความร้อน

โดยทฤษฎีแล้วทุกๆ ปอนด์ของน้ำที่จะระเหิดไปจากผิวหน้าของน้ำแข็งจะต้องมีพลังงานที่ทำให้เกิดการระเหิด พลังงานที่ใช้จะต้องมีค่าเท่ากับพลังงานความร้อนแฝงของการระเหิดของน้ำ ดังนั้นกระบวนการอบแห้งแบบเยือกแข็งจึงเกี่ยวข้องกับหลักการถ่ายเทความร้อนและมวล และอัตราการทำแห้งก็ขึ้นอยู่กับระดับความต้านทานของปัจจัยทั้งสอง

2.4.1.1 การถ่ายเทความร้อน เครื่องอบแห้งแบบเยือกแข็งแบบสุญญากาศ ความร้อนจะถ่ายเทจากที่ผิวหน้าของอาหารและผ่านชั้นของผลิตภัณฑ์ไปยังบริเวณการระเหิด โดยความร้อนแฝงของการระเหิดจะถ่ายเทจากแหล่งให้ความร้อนไปยังบริเวณการระเหิดภายในชิ้นอาหาร และไอน้ำที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่านไปเครื่องควบแน่นของเครื่องเย็น

2.4.1.2 การถ่ายเทมวลสารไอน้ำที่เกิดจากการระเหิดจะถูกถ่ายเทไปยังผิวหน้าของผลิตภัณฑ์เป็นอันดับแรกและจะถูกถ่ายเทออกจากผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ มิฉะนั้นแล้วจะทำให้ความดันไอและอุณหภูมิบริเวณส่วนหน้าของการระเหิดสูงขึ้น ทำให้เกิดการหลอมเหลวของอาหารเยือกแข็ง การถ่ายเทไอจะเกิดขึ้นภายใต้ความดันแตกต่างจำกัดค่าหนึ่ง โดยความดันไอที่บริเวณด้านหน้าของการระเหิดมีค่าต่ำกว่าความดันอิ่มตัวของน้ำที่อุณหภูมิซึ่งผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในสภาพแข็งตัว การถ่ายเทไอที่เกิดขึ้นก็เป็นเหมือนกับการไหลของมวล

2.4.2 หลักการพื้นฐานในการทำแห้งแบบเยือกแข็ง

2.4.2.1 ช่วงการแช่เยือกแข็ง(Prefreezing) เป็นขั้นตอนแรกเป็นการลดอุณหภูมิของสารหรือการแช่เย็น เพื่อทำให้เกิดก้อนผลึกของน้ำก่อนการทำ Primary Drying ขั้นตอนนี้จะทำภายใน sample chamber ของเครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็งหรืออาจทำให้แข็งตัวในภาชนะเฉพาะ เช่น อ่างน้ำแข็ง (chilling bath) ที่มีแอลกอฮอล์หรืออะซีโตนเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิภายในอ่าง หรือแช่แข็งด้วยอากาศที่อุณหภูมิ -18 ถึง -40 องศาเซลเซียส หรือแช่แข็งอย่างรวดเร็วโดยใช้ไนโตรเจนเหลว (อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส) ความหนาของสารที่เหมาะสมในการแช่แข็งหรือการทำแห้งสั้นคือ ประมาณ 10 มิลลิเมตร และไม่ควรเกิน 15 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้สารแข็งตัวอาจไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสาร เช่น สารมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบมากจุดเยือกแข็งของสารก็จะต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของสารตามปกติ เป็นต้น การทำให้สารแข็งตัวนี้เพื่อที่จะยึดให้สารอยู่ในสภาพ solid matrix เพื่อจะได้ไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีหรือกายภาพ ในขณะที่ระเหิดน้ำออก โดยทั่วไป จะใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง ในการทำให้สารแข็งตัวอย่างสมบูรณ์

2.4.2.2 ช่วงการระเหิด(Primary Drying) เป็นขั้นตอนการระเหิด (sublimation) หรือการ freeze drying เพื่อดึงน้ำแข็งออกจากผลิตภัณฑ์ และเมื่อทำ primary drying เสร็จสมบูรณ์ น้ำแข็งก็จะระเหิดออกไปจนหมดแต่ยังอาจเหลือความชื้นอยู่เล็กน้อย ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกนำ เข้าสู่ขั้นตอน secondary drying เพื่อเอาความชื้นออกต่อไป

2.4.2.3 ช่วงการดูดความชื้น(Secondary Drying) เป็นขั้นตอนการดูดความชื้นที่หลงเหลือมาจากขั้นตอน primary drying ออก หรือเรียกขั้นตอนนี้ว่าการคาย (desorption) กระบวนการในขั้นตอนนี้ทำเพื่อเพิ่มความคงตัวของสาร จากนั้นหลังจากดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์จนหมดแล้วจึงปิดผนึกภาชนะที่บรรจุผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะสุญญากาศ เป็นอันเสร็จกระบวนการ

2.4.3 รูปแบบของการทำแห้งเยือกแข็ง

การทำแห้งแบบเยือกแข็ง โดยเครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็งนั้นมีรูปแบบของการทำแห้งอยู่ 3 แบบ ซึ่งแบ่งตามลักษณะการทำแห้งของเครื่อง โดยเครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็งชนิด manifold จะมีรูปแบบการทำแห้งแบบ manifold แบบเดียว ในขณะที่เครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็งชนิด tray dryer จะมีรูปแบบการทำแห้ง 2 แบบ คือ แบบ batch และ bulk

2.4.3.1 Manifold Method วิธีนี้ภาชนะบรรจุตัวอย่าง (ฟลาส หรือ หลอด) จะแยกติดกับช่องของ drying chamber แบบเดี่ยวๆ ผลิตภัณฑ์จะถูกทำให้แข็งจากตู้แช่แข็ง (freezer) ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่แข็งแล้วจะต้องนำเข้าสู่ drying chamber อย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ที่อาจจะเกิดขึ้นจากการละลาย สภาพสุญญากาศถูกสร้างขึ้นในภาชนะบรรจุตัวอย่างอย่างรวดเร็ว และทำงานภายใต้ไอระเหยที่เย็นจัดเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ วิธีการนี้สามารถใช้ประโยชน์ได้มากเพราะภาชนะบรรจุตัวอย่างต่ออยู่กับ drying chamber อย่างเดี่ยวๆ ฟลาสหรือหลอดแต่ละชิ้นต่อตรงกับส่วนเก็บ (collector) และสามารถใช้ภาชนะหรือผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกันมาทำกระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็งพร้อมกันได้ วิธีนี้เหมาะกับตัวอย่างที่มีปริมาตรน้อย สิ่งที่ต้องระวังในการทำแห้งแบบเยือกแข็งวิธีนี้คือ อุณหภูมิห้องและการสัมผัสกับภาชนะบรรจุ ดังนั้นห้องที่วางเครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็งจึงควรเป็นห้องที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ และระมัดระวังการสัมผัสกับภาชนะบรรจุ ซึ่งจะไม่มีผลิตภัณฑ์เสียหาย

2.4.3.2 Batch Method ในการทำแห้งแบบเยือกแข็งวิธีนี้ ภาชนะที่มีขนาดเดียวกันจำนวนมากที่บรรจุตัวอย่างวางอยู่ด้วยกันในถาดทำแห้ง(tray dryer) ผลิตภัณฑ์จะถูกทำให้แข็งบนชั้นและ

ทำแห้งภายใน Freeze Dryer ชนิด Manifold Freeze Dryer ชนิด Tray Dryer sample chamber การทำแห้งเยือกแข็งด้วยวิธีนี้ทุกตัวอย่างจะถูกทำแห้งพร้อมกันด้วยสภาวะเดียวกัน วิธีนี้เหมาะกับการทำแห้งตัวอย่างจำนวนมากและมักใช้ในอุตสาหกรรมประเภทเภสัชภัณฑ์ โดยเฉพาะตัวอย่างที่วางอยู่ใกล้กับประตูของ sample chamber ซึ่งเป็นกระจกใส ดังนั้นความร้อนและอุณหภูมิจากภายนอกอาจมีผลต่อตัวอย่างที่วางได้

2.5 อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ (Free radicals) ที่มีอิทธิพลมากต่อสิ่งมีชีวิต คือสารที่มีออกซิเจนและไวต่อปฏิกิริยา (Reactive oxygen species, ROS) อนุมูลอิสระ ROS มีอยู่มากมายหลายชนิด แต่ชนิดที่สำคัญคือ ซูเปอร์ออกไซด์ที่มีประจุลบ อนุมูลไฮดรอกซีล และอนุมูลเปอร์ไฮดรอกซีล อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายเนื่องจากมีมูลเหตุจากออกซิเจนจึงมีชื่อเรียกทางภาษาอังกฤษว่า Reactive oxygen species (ROC) อนุมูลอิสระที่สำคัญได้แก่

Superoxide anion	O_2^-
Hydrogen peroxide	H_2O_2
Hydroxyl radical	OH

อนุมูลอิสระเกิดได้ทั้งภายในร่างกายและภายนอกร่างกาย อนุมูลอิสระภายในร่างกายเกิดจากกระบวนการเผาผลาญอาหารที่ ใช้ออกซิเจนก่อให้เกิดออกซิเจนที่มีประจุลบ (O -) หรืออนุมูลอิสระเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ที่ให้พลังงานมากกว่าการเผาผลาญแบบไม่ใช้ออกซิเจน

2.6 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) คือ สารประกอบที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดกระบวนการออกซิเดชัน กระบวนการออกซิเดชันที่เกิดภายในร่างกาย เช่น การย่อยสลายโปรตีนและไขมันจากอาหารที่กินเข้าไป มลพิษทางอากาศ การหายใจ ควันบุหรี่ รังสียูวีล้วนทำให้เกิดอนุมูลอิสระทำให้ เกิดอนุมูลอิสระในร่างกายของเรา ซึ่งสร้างความเสียหายต่อร่างกายได้ แต่ละกลไกจะต้องใช้สารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันในการหยุดกระบวนการออกซิเดชัน แต่ในอีกแง่หนึ่งกระบวนการออกซิเดชันเป็นกระบวนการที่สำคัญของร่างกาย เช่น เราใช้ออกซิเจนจาก

อากาศในการหายใจเข้าไปเผาผลาญอาหารที่ร่างกายได้รับให้เป็นพลังงานสำหรับการทำงานของเซลล์ต่างๆ แต่ก็ทำให้เกิดอนุมูลอิสระเป็นผลพลอยได้

สารต้านอนุมูลอิสระอยู่ในธรรมชาติ ได้แก่ สารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน แคโรทีนอยด์ วิตามินเอ วิตามินอี และกรดอะมิโน เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วของเสียที่ได้จากการแปรรูปสัตว์ทะเลจะถูกนำมาผลิตเป็นอาหารสัตว์หรืออาหารปลา เนื่องจากเข้าใจว่าของเสียเหล่านี้ไม่มีสารอาหารที่จะเป็นหลงเหลืออยู่ (Benjakul and Morrissey, 1997) จากการศึกษาของ Binsan และคณะ (2007) พบว่าส่วนที่เหลือจากการผลิตกุ้งคือส่วนหัวของกุ้งจะมีมันกุ้งอยู่ ซึ่งส่วนนี้จะมีสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น สารจำพวกไขมันที่เป็น Free fatty acid โปรตีนที่ผ่านการย่อยเป็นกรดอะมิโน เช่น Glutamine Lysine และ Asparagine เป็นต้น และมีสารต้านอนุมูลอิสระอยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งสารเหล่านี้สามารถนำมาเพิ่มมูลค่าโดยการทำเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารได้ดีกว่าการนำมาทำอาหารสัตว์ การย่อยกุ้งด้วยเอนไซม์โปรติเอสทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่ง Kunio และคณะ (2000) ได้ทำการแยกส่วนที่ได้จากการย่อยโดยใช้เอนไซม์โปรติเอส เมื่อทำการแยกโดยใช้เทคนิคการแยกด้วยความดันสูงหรือ HPLC จะได้เปปไทด์ที่มี peak เด่นสามเส้นคือ Ile-Lys-Lys Phe-Lys-Lys และ Phe-Ile-Lys-Lys เมื่อทำการเปรียบเทียบกับสารโทโคเฟอรอลหรือวิตามินอี พบว่าเปปไทด์ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโน Phe-Ile-Lys-Lys มีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าเปปไทด์สองเส้น ซึ่งจริงๆ แล้วโปรตีนหลายชนิดสามารถทำหน้าเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดี Nakkarike และ Narayan (2008) พบว่าของเสียจากกุ้งที่ผ่านกระบวนการหมักมาแล้วนั้นมักมีสารต้านอนุมูลอิสระอยู่จำนวนมาก อีกทั้งยังมีสารจำพวกเปปไทด์และกรดอะมิโนที่เกิดจากการย่อยของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการหมักด้วย และในกุ้งยังมีสารจำพวกแคโรทีนอยด์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ส่วนมากแล้วนิยมนำมาผลิตเป็นสารให้สี (coloring) หรือสารให้กลิ่นรส (flavoring) ในผลิตภัณฑ์จำพวกปลาและกุ้ง ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในของเหลวที่ผ่านการหมักจะมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของของเหลวนั้น (Nakkrike and Narayan, 2008) เนื่องจากในสัตว์จำพวกกุ้งเคยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ประมาณร้อยละ 0.5 ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดขึ้นในระหว่างการหมัก ทำให้สีของน้ำเคยเข้มขึ้นและยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโน อีกทั้งยังทำให้เกิดสารต้านอนุมูลอิสระที่เกิดจากน้ำตาลและกรดอะมิโนจับตัวกันอีกด้วย (Benjakul และคณะ, 2005 ; Binsan และคณะ, 2007)

จากการศึกษาของ Binsan (2007) พบว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในมันกุ้งมีความสามารถทนต่อความร้อนสูงได้ เนื่องจากในสารสกัดมันกุ้งมีสารที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระอยู่หลายตัว และแต่ละตัวสามารถทนความร้อนได้แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จึงไม่มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Choi (2005) ซึ่งศึกษาการให้ความร้อนในเห็ด Shiitake พบว่าถ้าหากให้ความร้อนกับเห็ดเป็นเวลานานจะทำให้ปริมาณของ Phenolic compounds เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความร้อนไปทำให้ผนังเซลล์ของเห็ดอ่อนตัวลงทำให้สารที่มีมวลโมเลกุลต่ำที่ระเหยง่าย จึงสามารถระเหยออกมาได้มากกว่าการไม่ให้ความร้อนเลย แต่ถ้าหากให้ความร้อนเป็นเวลานานและอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส สารต้านอนุมูลอิสระจะลดลงประมาณร้อยละ 20 เนื่องจากโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติ ทำให้ไม่มีความสามารถทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้อีก

2.7 สารละลายลิ่มเลือด

ในกะปิมีรายงานการพบ fibrinolytic enzyme (Mine และคณะ, 2004, Mine และคณะ, 2005) ช่วยรักษาโรคหัวใจได้ เนื่องจาก fibrinolytic enzyme มีความสามารถละลายการแข็งตัวของลิ่มเลือดได้ และยังพบอีกว่าในอาหารหมักของชาวเอเชีย เช่น นัตโตะ ซอสถั่วเหลือง กะปิ มี fibrinolytic activity หรือการสลายลิ่มเลือดสูง โดยเฉพาะในกะปิ นอกจากนี้ Montano และคณะ (2001) พบว่า กะปิในฟิลิปปินส์ เป็นแหล่งอาหารที่มี Docosahexaenoic acid (DHA) สูง

จากการรายงานของ Nikai และคณะ (1984) พบว่า fibrinolytic enzyme สามารถพบได้ในธรรมชาติ ซึ่งพบในสารพิษที่อยู่ในอาหารจำพวกอาหารขบเคี้ยว และน้ำคัดหลั่งของไส้เดือน (Mihara และ คณะ, 1991) ส่วน Jeon และคณะ (1995) พบว่า fibrinolytic enzyme ถูกผลิตได้มาจากแบคทีเรียกลุ่มบาซิลลัสที่อยู่ในอาหารหมักดอง และยังพบ fibrinolytic enzyme ในอาหารอีกหลายชนิด เช่น นัตโตะของญี่ปุ่น ซอสถั่วเหลืองของเกาหลี เห็ดน้ำผึ้งและอาหารหมักดอง (Kim และคณะ, 1999 ; Kim และคณะ, 1996)

Kim และคณะ (1997) รายงานว่า แบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus sp.* มีความสามารถในการผลิต fibrinolytic enzyme จากการหมักปลาในเกาหลีได้สูง สามารถทำงานได้ดีที่ pH 7 และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และยังพบว่าในผลิตภัณฑ์นัตโตะของญี่ปุ่นใช้ fibrinolytic

activity เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ (Hsia และคณะ, 2009) แต่ยังไม่มีรายงานว่า fibrinolytic enzyme มีอยู่ในน้ำกะปิ

สำนักหอสมุดกลาง
มหาวิทยาลัย ศิลปากร

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ และสารเคมี

3.1.1 น้ำกะปิอายุ 6-8 เดือน จากโรงงานบริษัททองสินพัฒนาถาวร จำกัด

3.1.2 Maltodextrin DE 10, Merck, Germany

3.1.3 Modifide starch (Topioca starch ; M1, National Starch Food Innovation co. Lot no DHB 8611)

3.1.4 Gum arabic, Merck, Germany

3.1.5 Plate count agar, Merck, Germany

3.1.6 Potato dextrose agar, Merck, Germany

3.1.7 DPPH (2,2-diphenyl-1-picryhydrazyl)(Sigma-Aldrich, Germany)

3.1.8 Methanol (99.9%, Merck, Germany)

3.1.9 Sodium Chloride, J.T. Baker, U.S.A.

3.1.10 Boric acid, Merck, Germany

3.1.11 Sodium Tetraborate, Merck, Germany

3.1.12 Calcium Chloride, J.T. Baker, U.S.A.

3.1.13 Thrombin enzyme, Sigma-Aldrich, Germany

3.1.14 Brovine fibrinogen, Sigma-Aldrich, Germany

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 เครื่องวัดสี (Color – view Spectrometer, Germany)

3.2.2 เครื่อง Spray dryer (Niro A/S, USA)

สำนักหอสมุดกลาง
มหาวิทยาลัย ศิลปากร

3.2.3 เครื่อง Freeze dryer (LSL Secfroid Sa รุ่น Lul A, Germany)

3.2.4 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH M210 Standard pH meter Germany)

3.2.5 เครื่องวัด Aw (water activity รุ่น Thermoconatanter Germany)

3.2.6 เครื่อง Scanning electron microscopy, Leica, Cambridge

3.2.7 เครื่อง Analysis sieve shaker (Retsch Model As 200 Basic, Germany)

3.2.8 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV/ Visible spectrophotometer) ยี่ห้อ Thermo Spectronic รุ่น Genesys 10uv, USA

3.2.9 เครื่องชั่ง Satorious Model RC 250S, Germany

3.2.10 ถ้วยอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น

3.2.11 เครื่อง Autoclave (Tomy Seiko รุ่น SS-325, Japan)

3.2.12 ตู้บ่มเชื้อ (Memmert รุ่น 600, Japan)

3.2.13 เครื่องนับโคโลนี (Colony counter, Japan)

3.2.14 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (Scientific Promotion รุ่น FD, Japan)

3.2.15 ชุดเครื่องแก้ว (Schott Duran และ Pyrex)

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ในน้ำกะปิ จากโรงงานบริษัททองสินพัฒนาถาวร จำกัด

3.3.1.1 นำน้ำกะปิ มาทำการวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ด้วยเครื่อง Water Activity วัดค่าสีด้วยเครื่อง Color – view Spectrometer และวัดปริมาณความชื้นตามวิธี AOAC (1995) ดังแสดงในภาคผนวก ก หน้า 69

3.3.1.2 นำน้ำกะปิ มาหาปริมาณของแข็งตามวิธี AOAC(1995) วัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ตามวิธี AOAC (1995) วัดความเป็นกรดด่างด้วยเครื่อง pH meter และวัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดด้วยวิธี Kjeldahl ตามวิธี AOAC (1995) ดังแสดงในภาคผนวก ข หน้า 71

3.3.1.3 นำน้ำกะปิ มาวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดตามวิธี AOAC (1995) และวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และราทั้งหมดตามวิธี AOAC (1995) ดังแสดงในภาคผนวก ค หน้า 72

3.3.1.4 นำน้ำกะปิ มาวิเคราะห์ antioxidant activity ด้วยเทคนิค DPPH เทียบ

กับ BHT+BHA (50%:50%) (Blois, 1995) และวิเคราะห์ fibrinolytic activity ด้วยวิธี Fibrin Plate Assay (Mine และคณะ, 2004, Mine และคณะ, 2005) ดังแสดงในภาคผนวก ง หน้า 73

3.3.2 การศึกษาวิธีการผลิตน้ำกะปิผงโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็ง

3.3.2.1 ผลิตน้ำกะปิผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย นำน้ำกะปิมาเจือจางกับน้ำในอัตราส่วน 20 : 80 เพื่อลดปริมาณของแข็งในน้ำกะปิ นำน้ำกะปิที่เจือจางแล้วมาผสมกับสารตัวพามอลโตเดกตรินซ์ แป้งมันสำปะหลังดัดแปร และกัมอะราบิค โดยใช้สารตัวพาแต่ละชนิดในปริมาณร้อยละ10 และ 20 ของน้ำกะปิ เมื่อละลายนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิขาเข้า 190 องศาเซลเซียส อุณหภูมิขาออก 80 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการไหล 50 มิลลิลิตรต่อนาที

3.3.2.2 ผลิตน้ำกะปิผงด้วยการทำแห้งแบบเยือกแข็งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง นำน้ำกะปิมาเจือจางกับน้ำในอัตราส่วน 20:80 เพื่อลดปริมาณของแข็งในน้ำกะปิ นำน้ำกะปิที่เจือจางแล้วมาผสมกับสารตัวพามอลโตเดกตรินซ์ แป้งมันสำปะหลังดัดแปร และกัมอะราบิค โดยใช้สารตัวพาแต่ละชนิดในปริมาณร้อยละ10 และ 20 ของน้ำกะปิ เมื่อละลายแล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส แล้วนำไปอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยใช้อุณหภูมิ -35 องศาเซลเซียส ความดันสุญญากาศ 0.01 บาร์ ใช้อัตราความเร็วในการระเหิด 250 มิลลิลิตรต่อ 4 ชั่วโมง

3.3. 3 การศึกษาคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของน้ำกะปิผง

3.3.3.1 นำน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมาวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ด้วยเครื่อง Water Activity วัดสีด้วยเครื่อง Color – view Spectrometer และปริมาณความชื้นตามวิธี AOAC (1995) ทุกๆ 15 วัน นาน 3 เดือน ที่อุณหภมิ 35 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาคผนวก ก หน้า 66

3.3.3.2 นำน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมาวัดการจับตัวกันเป็นก้อนโดยการใช้ตะแกรงร่อนขนาด 25, 35, 45, 60, 80 และ 100 mesh ตามวิธีของวรเดช (2545) ทุกๆ 15 วัน นาน 3 เดือน ที่อุณหภมิ 35 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาคผนวก ก หน้า 66

3.3.3.4 วิเคราะห์ antioxidant activity โดยใช้เทคนิควิธี DPPH เทียบกับ BHT+BHA (50%:50%) (Blois, 1958) โดยมีขั้นตอนการทดสอบเริ่มจากการ ปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 0.1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 6×10^{-5} โมลาร์ ปริมาตร 3.9 มิลลิลิตร นำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดนาน 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตร ทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 120 นาที หรือจนกว่าค่าการดูดกลืนแสงจะคงที่ นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวนหา % Radical Scavenging Activity

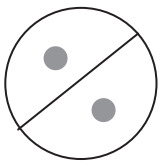
3.3.3.5 วิเคราะห์ fibrinolytic activity โดยใช้วิธี Fibrin Plate Assay (Mine และคณะ, 2004, Mine และคณะ, 2005) โดยเริ่มจากการสกัดตัวอย่างก่อนแล้วถึงจะนำไปทดสอบ ดังนี้คือ

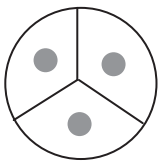
สำนักวิทยบริการฯ

ขั้นตอนการทดสอบ

สร้างเส้นใยไฟบรินขึ้นมาก่อนในจานแก้ว (Petri dish) โดยใส่สารละลายเอนไซม์ Trombin (10 หน่วย/มิลลิลิตร) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ลงบนจานแก้ววนจานเบาๆ เป็นวงกลมเพื่อให้เอนไซม์กระจายโดยทั่ว จากนั้นเติม Fibrinnogen ความเข้มข้นร้อยละ 0.6 ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ลงกลางจานแก้ว อาจหมุนวนจานแก้วเบาๆ อีกเล็กน้อยเพื่อให้สารกระจายไปทั่วบริเวณ แล้วตั้งทิ้งไว้นิ่งๆ รอระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจนทั่ว จนเห็นเป็นลักษณะคล้ายวุ้นสีขาวขุ่น โดยตั้งทิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิห้องและแง้มฝาครอบเล็กน้อย เพื่อให้ผิวหน้า Fibrin แห้งหมาด พร้อมสำหรับการทดสอบ

เมื่อจะทดสอบให้หยดสารสกัดตัวอย่างอาหารปริมาตร 30 ไมโครลิตร ลงบนลิ่มเลือดจำลอง หากตัวอย่างอาหารสามารถสลายลิ่มเลือดได้จะเห็นเป็นวงใสเกิดขึ้น เปรียบเทียบขนาดวงใสเป็นตารางมิลลิเมตรหรือเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นเซนติเมตรที่เกิดภายหลังจากตั้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง





ภาพที่ 3 แสดงการหยดสารสกัดลงบนลิ่มเลือดจำลอง

3.3.3.6 วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราทั้งหมด โดยตามวิธี AOAC (1995) ดังแสดงในภาคผนวก ค หน้า 71

3.3.3.7 วิเคราะห์การดูดความชื้น (moisture absorption) โดยการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างที่เหลือเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 55%, 65%, 75% และ 85% ตามวิธีของวรเดช (2545) โดยมีการดัดแปลงการวิเคราะห์ดังภาพที่ 4

สำนักหอสมุดกลาง

ภาพที่ 4 แสดงการเก็บตัวอย่างในการวิเคราะห์การดูดความชื้นในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

3.3.4.8 วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผิว โดยวิธีการใช้กล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างของอนุภาคน้ำกะปิผงหลังการทำแห้ง ตามวิธีของวรเดช (2545) ดังแสดงในภาคผนวก ก หน้า 67

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติของน้ำกะปิ

4.1.1 คุณสมบัติด้านกายภาพ

น้ำกะปิหรือน้ำเคยอายุ 6 เดือน มีลักษณะเป็นสีเหลือง เป็นของเหลือทิ้งจากการหมักกะปิ น้ำกะปิเมื่อหมักเป็นเวลานานจะมีสีดำเข้ม โดยมีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองเป็นศูนย์ โดยน้ำกะปิอายุ 6 เดือน มีค่า L* เท่ากับ 0.09 ± 0.00 มีค่า b* เท่ากับ 0.00 ± 0.00 (ตารางที่ 2) Binsan และคณะ (2007) รายงานว่าการเกิดสีดำเข้มในมันกุ้งนั้นน่าจะเกิดมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโน หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วปฏิกิริยาเมลลาร์ดมักจะเกิดขึ้นได้สูงสุดในอาหารจำพวก Intermediate moisture foods ที่มี A_w ราว 0.7 (Fennema, 1996) ซึ่งในน้ำกะปิอายุ 6 เดือนนี้ มีค่า A_w เท่ากับ 0.704 ± 0.004 และมีค่า pH เท่ากับ 6.74 ± 0.02 (ตารางที่ 2) จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่คาดว่าน่าจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้เป็นอย่างดี และทำให้เกิดสารประกอบ melanoidins ที่มีสีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้มขึ้น จึงส่งผลให้น้ำกะปิที่หมักนานมีสีดำเข้ม

ตารางที่ 2 สมบัติทางด้านกายภาพของน้ำกะปิอายุ 6 เดือน

คุณสมบัติ	
คุณสมบัติทางกายภาพ	
สี	
ค่าความสว่าง (L*)	**0.09 (0.00)**
ค่าความเป็นสีแดง (a*)	**0.00 (0.00)**
ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)	**0.00 (0.00)**
ความเป็นกรดด่าง (pH)	**6.74 (0.02)**
วอเตอร์แอคติวิตี้ (A_w)	**0.704 (0.004)**
ปริมาณความชื้นMoisture (g/100 ml)	**78.40 (0.25)**

4.1.2 คุณสมบัติด้านเคมี

องค์ประกอบทางด้านเคมีของน้ำกะปิที่หมักอายุ 6 เดือน แสดงดังตารางที่ 1 มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 21.60 ± 0.53 ในของแข็งทั้งหมดประกอบด้วยเกลือแร่ ซึ่งวิเคราะห์

ในรูปเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 18.07 ± 0.18 นอกนั้นเป็นไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen content ตารางที่ 2) ร้อยละ 0.385 มีโปรตีนร้อยละ 2.41± 0.00 มีไขมันร้อยละ 0.54 ± 0.04 และมีคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 0.58 ± 0.12 Tou และคณะ (2007) รายงานว่าในเนื้อกุ้ง (shrimp) มีวิตามินหลายชนิดทั้งที่ละลายได้ในไขมันและที่ละลายในน้ำ เช่น วิตามินเอ 180 (IU/100g) วิตามินอี 1.10 (mg/100g) Thiamine 0.028 (mg/100g), Riboflavin 0.034 (mg/100g), Niacin 2.552 (mg/100g), Vitamin B6 0.140 (mg/100g), Folate 3 (µg/100g) และ Vitamin B12 1.16 (µg/100g) ซึ่งวิตามินเอและวิตามินอีเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายในไขมัน เมื่อเทียบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ฉบับที่ 1347 พ.ศ. 2549 เรื่องน้ำปลาจากเคย เกี่ยวกับสมบัติทางเคมีกำหนดให้มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ไม่น้อยกว่า 200 กรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร มีไนโตรเจนทั้งหมดไม่น้อยกว่า 9 กรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ซึ่งน้ำกะปีที่ได้มีคุณสมบัติเข้าตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ้าพิจารณาในแง่ของไนโตรเจนทั้งหมดพบว่าไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen content) ประกอบด้วยสองส่วน คือ protein nitrogen (หรืออาจเรียกว่า soluble protein nitrogen) และ non protein nitrogen จากขั้น ตอนการหมักกะปี soluble protein nitrogen ถูกย่อยโดยแบคทีเรียที่ปนเปื้อนมาในกุ้งเคยและเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ย่อยโปรตีนจะทำการย่อยโปรตีนได้เป็นเปปไทด์และกรดอะมิโนอิสระ ซึ่งกรดอะมิโนอิสระจะถูกย่อยต่อไปจนได้แอมโมเนีย ดังนั้นค่าโปรตีนไนโตรเจนควรลดลงตามระยะเวลาของการหมักกะปี ส่วนกรดอะมิโนไนโตรเจน แอมโมเนียไนโตรเจน ควรเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการหมักด้วย เมื่อมีกรดอะมิโนไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้นจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดมากขึ้นทำให้น้ำกะปีมีสีเข้มขึ้น ในขณะเดียวกันสารระเหยให้กลิ่นไนโตรเจนทั้งหมดก็จะเพิ่มตามด้วย Tunngkawachara และคณะ (2003) รายงานว่าในการหมักน้ำปลามีปริมาณสูงขึ้นตามระยะเวลาในการหมัก และแสดงถึงปริมาณ ของการไฮโดรไลท์เปปไทด์ ซึ่งเกิดจากการย่อยโดยเอนไซม์โปรติเอสจากจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการหมัก ในการหมักน้ำกะปียังพบฟอร์มอลไนโตรเจน กรดอะมิโนไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจน พบว่าปริมาณของฟอร์มอลไนโตรเจนใกล้เคียงกับปริมาณของกรดอะมิโนไนโตรเจนอีกด้วย (อรุณศรี และคณะ, 2552)

นอกจากนี้แล้วยังพบสารไตรเมทิลเอมีน (TMA) โดยสารดังกล่าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้กลิ่นคาว สาร TMA เป็นผลิตภัณฑ์หลักของปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของ สารไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ (trimethylamine oxide, TMAO) ซึ่งเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนที่พบมากในสัตว์ทะเล (อรุณศรี และคณะ, 2552)

4.1.3 คุณสมบัติด้านจุลชีววิทยา

จุลินทรีย์ที่พบในน้ำกะปี 6 เดือน ส่วนใหญ่จะเป็นพวกแบคทีเรีย ส่วนราและยีสต์พบน้อยมาก (ตารางที่ 3) เนื่องจากในน้ำกะปีมีค่า Aw เท่ากับ 0.704 ± 0.004 และมีค่า pH เท่ากับ 6.74 ± 0.02 จุลินทรีย์ที่จะเจริญได้น่าจะเป็นกลุ่มที่ชอบ Aw ต่ำ ทนเกลือได้ (halotolerant) และที่มีบทบาทต่อการย่อยสลายโปรตีนด้วย เพราะในการหมักกะปีใช้กุ้งเคยกับเกลือ และในน้ำกะปีอายุ 6 เดือน มีเกลือโซเดียมคลอไรด์สูงถึงร้อยละ 18.07 ± 0.18 ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ฉบับที่ 1347 พ.ศ. 2549 เรื่องน้ำปลาจากเคย ไม่ได้มีการกำหนดมาตรฐานที่เกี่ยวกับสมบัติทางจุลชีววิทยา เมื่อเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ฉบับที่ 511 พ.ศ. 2547 เรื่องน้ำซีอิ๊ว เกี่ยวกับสมบัติทางจุลชีววิทยาให้มีปริมาณยีสต์และราไม่เกิน 10 โคโลนีในอาหาร 1 กรัม แสดงว่าน้ำกะปีอายุ 6 เดือน มีปริมาณยีสต์และราเข้ามาตรฐานถ้าเทียบกับมาตรฐานของน้ำซีอิ๊ว

ตารางที่ 3 สมบัติทางด้านจุลชีววิทยาของน้ำกะปีอายุ 6 เดือน

คุณสมบัติทางจุลชีววิทยา	**ปริมาณ**
จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	1.60×10^3 (0.20)
ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g)	< 10 (0.00)

แสดงผลในรูปของค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

4.1.4 คุณสมบัติด้านเสริมสุขภาพ

มีรายงานการพบ DHA ในกะปีจากฟิลิปปินส์ Montano และคณะ (2001) และยังพบกรดอะมิโนหลายชนิดได้แก่ aspartic acid, glutamic acid, alanine, luecine, lysine กรดอะมิ

โนเหล่านี้ได้จากการย่อยโปรตีนในกุ้งเคย หลังจากหมักเป็นเวลา 3 เดือน (Kim และคณะ, 2003) กรดอะมิโนเปปไทด์ หรือโพลีเปปไทด์ ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ที่ได้จาการย่อยสลายโปรตีนของเคยด้วยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ มีการรายงานว่าเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (He และคณะ, 2006) และนอกจากนี้ยังมีรายงานว่า พบสารต้านอนุมูลอิสระจากสารฟีนอลลิกจากเปลือกกุ้ง (Seymour and Li, 1996)

มีรายงานการพบ fibrinolytic enzyme (Mine และคณะ, 2004, Mine และคณะ, 2005) ในกะปิและช่วยรักษาโรคหัวใจได้ เนื่องจาก fibrinolytic enzyme ละลายการแข็งตัวของลิ่มเลือดได้ แต่ยังไม่มีรายงานคุณค่าของอาหารเสริมสุขภาพทั้งในแง่ fibrinolytic activity หรือการสลายลิ่มเลือด หรือสารต้านอนุมูลอิสระในส่วนของน้ำกะปิ

จากการวิเคราะห์สมบัติของการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำกะปิอายุ 6 เดือน โดยใช้วิธี DPPH ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4 โดยพบว่าน้ำกะปิอายุ 6 เดือน มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 58.50±0.30 ส่วนค่า Fibrinogen activity ของน้ำกะปิอายุ 6 เดือน มีค่าเท่ากับ 3.20±0.30 เซนติเมตร (ตารางที่ 4) ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานกำหนดเกี่ยวกับปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารละลายลิ่มเลือดในอาหาร

ตารางที่ 4 สมบัติทางด้านเสริมสุขภาพของน้ำกะปิอายุ 6 เดือน

คุณสมบัติ	ปริมาณสาร
สารละลายลิ่มเลือด (diameter, cm)	3.20 (0.30)
สารต้านอนุมูลอิสระ (% radical scavenging activity at 60 min)	58.50 (0.30)

แสดงผลในรูปของค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

4.2 การผลิตน้ำกะปิผง

4.2.1 การผลิตน้ำกะปิผงโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry)

จากการทดลองได้ผลิตน้ำกะปิผงโดยการใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย นำน้ำกะปิอายุ 6 เดือน มาเจือจางกับน้ำในอัตราส่วน 20:80 (v/v) เพื่อลดปริมาณของแข็งและความเค็มในน้ำกะปิ ผสมกับมอลโตเดกซ์ตรินที่มีค่า DE 10 แป้งมันสำปะหลังดัดแปรและกัมอะราบิคในปริมาณร้อยละ 10 และ 20 ผสมกันจนละลายแล้วนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้อุณหภูมิขาเข้า 190 องศาเซลเซียส อุณหภูมิขาออก 80 องศาเซลเซียส และใช้อัตราการไหล 50 มิลลิลิตรต่อนาที ทุกการทดลอง พบว่าลักษณะและคุณสมบัติของน้ำกะปิผงที่ได้จากการใช้ตัวพา 3 ชนิดคือ มอลโตเดกซ์ตริน แป้งมันสำปะหลังดัดแปร และกัมอะราบิค ใช้ปริมาณตัวพาแต่ละชนิดร้อยละ 10 และ 20 ดังแสดงในตารางที่ 5 น้ำกะปิผงที่ได้มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวสว่างใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 5) โดยน้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 เป็นตัวพามีสีขาวสว่างใกล้เคียงกันแต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) กับตัวพาชนิดอื่น น้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 มีค่าความเป็นสีแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) กับตัวพาชนิดอื่น ส่วนค่าความเป็นสีเหลืองน้ำกะปิผงที่ใช้กัมอะราบิคร้อยละ 10 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) กับตัวพาชนิดอื่น โดยทั่วไปแล้วค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินเป็นตัวพาจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใช้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น เพราะสีขาวของมอลโตเดกซ์ตรินทำให้ผงที่ได้มีมีความสว่างเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับที่พบในการทำแห้งของน้ำผลไม้ Gac ผง ซึ่งค่าความสว่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้มอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 20 (Kha และคณะ, 2010) โดยจากการรายงานของ Porrarud และคณะ (2010) พบว่าในน้ำใบเตยผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินเป็นตัวพามีค่าความสว่างมากที่สุด ส่วนที่ใช้กัมอะราบิคและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรเป็นตัวพานั้นมีความสว่างต่ำกว่า เมื่อใช้ตัวพาในปริมาณร้อยละ 30

สำหรับค่า A_w ของน้ำกะปิผงที่ใช้ตัวพาทั้ง 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) ส่วนปริมาณความชื้นของน้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 เป็นตัวพา ไม่มีความแตกต่างกันแต่มีความแตกต่างกับน้ำกะปิผงที่ใช้กัมอะราบิคร้อยละ 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) ซึ่งการที่น้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 มีค่า A_w สูงมากกว่าสารตัวอื่นๆ น่าจะเป็นผลมาจากการที่มอลโตเดกซ์ตรินเป็นตัวพาที่มีความชื้นต่ำกว่าสารอื่น เมื่อนำมาผสมกับน้ำกะปิซึ่งมีเกลือเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยจึงสามารถดูดซับและจับตัวกับน้ำได้เป็นอย่างดี ทำให้ระหว่างการทำแห้งจึงระเหยน้ำออกไปได้ไม่มากนัก ส่งผลให้น้ำกะปิผงที่ได้มีปริมาณความชื้นสูง

ตารางที่ 5 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (A_w) ปริมาณความชื้นและการวัดสีของน้ำกะปิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ตัวอย่าง	ลักษณะ	ค่า A_w	ค่าMoisture	การวัดสี		
				ค่า L* (ความสว่าง)	ค่า a* (เขียว-แดง)	ค่า b* (น้ำเงิน-เหลือง)
น้ำกะปิผง 20% มอลโตเดกซ์ตริน	ผงละเอียด สีขาวสว่าง	$0.28^{c}\pm0.02$	$8.19^{c}\pm0.08$	$90.32^{c}\pm0.19$	$0.05^{a}\pm0.02$	$10.01^{a}\pm0.02$
น้ำกะปิผง 10% มอลโตเดกซ์ตริน	ผงละเอียด สีขาวสว่าง	$0.25^{b}\pm0.01$	$7.20^{b}\pm0.12$	$86.21^{a}\pm0.16$	$0.20^{c}\pm0.01$	$10.69^{ab}\pm0.05$
น้ำกะปิผง 20% แป้งมันสำปะหลังดัดแปร	ผงละเอียด สีขาวสว่าง	$0.27^{c}\pm0.02$	$8.10^{c}\pm0.08$	$89.75^{c}\pm0.15$	$0.21^{c}\pm0.02$	$11.11^{b}\pm0.05$
น้ำกะปิผง 10% แป้งมันสำปะหลังดัดแปร	ผงละเอียด สีขาวสว่าง	$0.24^{b}\pm0.01$	$7.15^{b}\pm0.08$	$87.25^{ab}\pm0.14$	$0.18^{c}\pm0.01$	$11.76^{b}\pm0.06$
น้ำกะปิผง 20% กัมอะราบิค	ผงละเอียด สีขาวสว่าง	$0.25^{c}\pm0.01$	$7.05^{a}\pm0.09$	$87.34^{ab}\pm0.14$	$0.20^{c}\pm0.02$	$11.27^{b}\pm0.05$
น้ำกะปิผง 10% กัมอะราบิค	ผงละเอียด สีขาว	$0.22^{a}\pm0.01$	$6.06^{a}\pm0.10$	$86.14^{a}\pm0.11$	$0.21^{c}\pm0.02$	$12.25^{c}\pm0.04$

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) n = 3

ภาพที่ 5 น้ำกะปิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยใช้ตัวพาร้อยละ 20 มอลโตเดกซ์ตริน (ก) แป้งมันสำปะหลังดัดแปร (ข) และกัมอะราบิค (ค)

4.2.2 การผลิตน้ำกะปิผงโดยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dry)

จากการทดลองได้ผลิตน้ำกะปิผงโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยนำน้ำกะปิอายุ 6 เดือน มาเจือจางกับน้ำในอัตราส่วน 20:80 (v/v) เพื่อลดปริมาณของแข็งและความเค็มในน้ำกะปิ ผสมกับมอลโตเดกซ์ตรินที่มีค่า DE 10 แป้งมันสำปะหลังดัดแปร และกัมอะราบิค ใช้ปริมาณตัวพาแต่ละชนิดร้อยละ 10 และ 20 ผสมกันจนละลายแล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง แล้วนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยใช้อุณหภูมิ -35 องศาเซลเซียส ความดันสุญญากาศ 0.01 บาร์ และใช้อัตราเร็วในการระเหิด 50 มิลลิลิตรต่อนาที ทุกการทดลอง พบว่าลักษณะและคุณสมบัติของน้ำกะปิผงที่ได้จากการใช้ตัวพา 3 ชนิดคือมอลโตเดกซ์ตริน แป้งมันสำปะหลังดัดแปรและกัมอะราบิค ใช้ปริมาณตัวพาแต่ละชนิดร้อยละ 10 และ 20 ดังแสดงในตารางที่ 6 น้ำกะปิผงที่ได้เมื่อใช้สารตัวพาในปริมาณร้อยละ 20 (ภาพที่ 6) ส่วนที่ใช้สารตัวพาปริมาณร้อยละ 10 จะมีลักษณะเป็นแผ่นสีเหลืองออกสีน้ำตาล โดยน้ำกะปิผงที่ใช้ตัวพาทั้ง 3 ชนิด มีค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) แต่การใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ 20 เป็นตัวพามีค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสายพิณ (2547) ในการผลิตน้ำปลาผงจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าค่าความสว่างและค่าสีของน้ำปลาผงแตกต่างกัน เมื่อใช้มอลโตเดกซ์ตรินเป็นตัวพาในปริมาณที่ต่างกัน โดยค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองสูงเมื่อใช้มอลโตเด็กซ์ตรินเป็น ตัวพาร้อยละ 20

สำหรับค่า A_w ของน้ำกะปิผงที่ใช้ตัวพาทั้ง 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) ส่วนปริมาณความชื้นของน้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 10 และ 20 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

ตารางที่ 6 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (A_w) ปริมาณความชื้นและการวัดสีของน้ำกะปิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ตัวอย่าง	ลักษณะ	ค่า A_w	ค่า Moisture	การวัดสี		
				ค่า L* (ความว่าง)	ค่า a* (เขียว-แดง)	ค่า b* (น้ำเงิน-เหลือง)
น้ำกะปิผง 20% มอลโตเดกซ์ตริน	เกล็ดสีหลืองออกน้ำตาลเข้ม	$0.39^{c}\pm0.01$	$12.15^{c}\pm0.06$	$67.85^{b}\pm0.14$	$3.92^{b}\pm0.03$	$24.28^{bc}\pm0.12$
น้ำกะปิผง 10% มอลโตเดกซ์ตริน	เกล็ดสีหลืองออกน้ำตาล	$0.35^{b}\pm0.02$	$11.13^{b}\pm0.06$	$70.60^{c}\pm0.18$	$2.98^{a}\pm0.03$	$19.62^{a}\pm0.09$
น้ำกะปิผง 20% แป้งมันปะหลังดัดแปร	เกล็ดสีหลืองออกน้ำตาลเข้ม	$0.37^{c}\pm0.02$	$12.01^{c}\pm0.07$	$66.27^{a}\pm0.12$	$4.16^{bc}\pm0.02$	$24.87^{bc}\pm0.10$
น้ำกะปิผง 10% แป้งมันปะหลังดัดแปร	เกล็ดสีหลืองออกน้ำตาล	$0.34^{b}\pm0.02$	$11.05^{b}\pm0.07$	$67.25^{ab}\pm0.13$	$3.38^{bc}\pm0.03$	$21.20^{ab}\pm0.10$
น้ำกะปิผง 20% กัมอะราบิค	เกล็ดสีหลืองออกน้ำตาลเข้ม	$0.32^{a}\pm0.01$	$10.85^{a}\pm0.08$	$64.69^{a}\pm0.09$	$4.77^{c}\pm0.01$	$25.55^{c}\pm0.15$
น้ำกะปิผง 10% กัมอะราบิค	แผ่นสีหลืองออกน้ำตาลเข้ม	$0.30^{a}\pm0.01$	$10.25^{a}\pm0.09$	$67.58^{ab}\pm0.12$	$3.68^{bc}\pm0.02$	$24.05^{bc}\pm0.13$

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) n = 3

สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

สำนักหอสมุดกลาง
มหาวิทยาลัย ศิลปากร

<u>ภาพที่ 6</u> น้ำกะปิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยใช้ตัวพาร้อยละ 20 มอลโตเดกซ์ตริน (ก) แป้งมันสำปะหลังดัดแปร (ข) และกัมอะราบิค (ค)

4.3 คุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของน้ำกะปิผง

4.3.1 ปริมาณความชื้น ค่าสี และค่า A_w ของน้ำกะปิผง

หลังจากการทำแห้งแล้วนำน้ำกะปิผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย และแบบแช่เยือกแข็งบรรจุน้ำกะปิผง 100 กรัม ลงในถุงอลูมิเนียมฟอยด์กว้าง 5 นิ้ว แล้วซีลด้วยความร้อนปิดปากถุงให้สนิท เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ทุก 15 วัน นำตัวอย่างน้ำกะปิผงออกมาวิเคราะห์ค่า A_w ความชื้น วัดสี โดยเก็บตัวอย่างชุดละ 3 ถุง มาทำการทดลอง

ถุงอลูมิเนียมฟอยด์ที่ใช้ผลิตจากบริษัท Hoda Food Contain Foil จากประเทศจีน ซึ่งบริษัทผู้ผลิตรายงานว่า ทำด้วยโลหะผสม (alloy): 3003/8011 มีความแข็ง (temper) : H24/O มีความหนา (thickness) ขนาด 11 - 16 μm ซึ่งเมื่อเทียบความหนากับอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนจากหนังสือบรรจุภัณฑ์โลหะของปุ่นและสมพร (2551) พบว่ามีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ < 2.5 (กรัม/ตารางเมตร. 24 ชั่วโมง) และมีอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน 0 - 180 (กรัม/ตารางเมตร. 24 ชั่วโมง) เนื่องจากความหนาไม่มากของถุงอลูมิเนียมฟอยด์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ทำให้ยังมีการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจน ปกติถ้าเลือกถุงอลูมิเนียมฟอยด์ที่หนาตั้งแต่ 25.4 μm ขึ้นไปก็จะป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนได้ รวมทั้งป้องกันแสงและกลิ่นได้ด้วย (ปุ่นและสมพร, 2551)

จากการทดลองพบว่าค่า A_w ของน้ำกะปิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ตัวพาทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ตามระยะเวลาในการเก็บรักษา แต่มีการเปลี่ยนแปลงค่า A_w ของน้ำกะปิผงเริ่มแตกต่างกันที่ 45 วัน (ตารางที่ 7) ส่วนปริมาณความชื้นก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) แต่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของน้ำกะปิผงเริ่มแตกต่างกันที่ 45 วัน (ตารางที่ 8) สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยพบว่าในภาพรวมมีสีเข้มขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นาน จากการทดลองพบว่ามีค่าความสว่าง (L*) ลดลง (ภาพที่ 7) และมีค่าความเป็นสีแดง (a*) (ภาพที่ 8) และสีเหลือง (b*) (ภาพที่ 9) เพิ่มขึ้น การที่ค่าความสว่างลดลง น่าจะเป็นผลมาจากการที่น้ำกะปิผงดูดซับปริมาณความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้นทำให้ส่วนผสมของตัวพามีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบเกิดการดูดน้ำมากขึ้นและเกิดปฏิกิริยากับกรดอะมิโนที่มีอยู่ในน้ำกะปิผงหรือเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด จึงทำให้น้ำกะปิผงเปลี่ยนสีจากสีขาวนวลเป็นสีเหลืองออกสีน้ำตาลจนกลายเป็นสีน้ำตาลเข้มได้เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น

สำหรับค่า A_w ของน้ำกะปิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ใช้ตัวพาทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95 ($p>0.05$) เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ตามระยะเวลาในการเก็บรักษาแต่มีการเปลี่ยนแปลงค่า A_w ของน้ำกะปิผงเริ่มแตกต่างกันที่ 45 วัน (ตารางที่ 7) ส่วนปริมาณความชื้นก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) แต่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของน้ำกะปิผงเริ่มแตกต่างกันที่ 45 วัน (ตารางที่ 8) สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่า ในภาพรวมมีสีเข้มขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นาน จากการทดลองพบว่ามีค่าความสว่าง (L*) (ภาพที่ 10) และมีค่าความเป็นสีเหลือง (b*) (ภาพที่ 11) ลดลง ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a*) (ภาพที่ 12) เพิ่มขึ้น การที่ค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองลดลง น่าจะเป็นผลมาจากการที่น้ำกะปิผงสามารถดูดซับปริมาณความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้ส่วนผสมของตัวพาซึ่งมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบเกิดการละลายจับตัวกันเป็นก้อนและเหนียว ทำให้น้ำกะปิผงเปลี่ยนสีจากสีเหลืองออกน้ำตาลกลายเป็นสีน้ำตาลเข้มได้ เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น

จากการทำแห้งทั้งสองวิธีที่ใช้ตัวพาทั้ง 3 ชนิดพบว่า ปริมาณความชื้นและค่า A_w ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) โดยทั่วไปแล้วหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย ค่า A_w และปริมาณความชื้นของน้ำกะปิผงจะต่ำกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ในการทดลองนี้การทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็งมีค่า Aw เริ่มต้น 0.22 - 0.28 และ 0.30 - 0.39 ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 6.06 - 8.19 และ 10.25 - 12.15 ตามลำดับ) เนื่องจากในการทำแห้งแบบพ่นฝอยใช้อุณหภูมิสูงจึงทำให้น้ำระเหยออก ไปได้มาก จึงทำให้น้ำกะปิผงดูดซับ ความชื้นกลับได้รวดเร็ว จึงจำเป็นต้องเก็บไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ที่ป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้และปิดผนึกให้สนิท

จากการทดลองในการทำแห้งน้ำกะปิผงทั้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็งที่ใช้ตัวพาทั้ง 3 ชนิดพบว่าค่า A_w ปริมาณความชื้นและค่าสีที่วิเคราะห์ได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) จึงไม่สามารถใช้ค่าต่างๆ ที่วิเคราะห์มาใช้เป็นพารามิเตอร์ในการตัดสินว่าตัวพาชนิดใดมีความเหมาะสมที่สุดได้ ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์การจับตัวเป็นก้อนและการดูดความชื้นของน้ำกะปิผง เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อไป

ตารางที่ 7 การเปลี่ยนแปลงค่า Aw (water activity) ของน้ำกะปิผงที่เก็บไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน

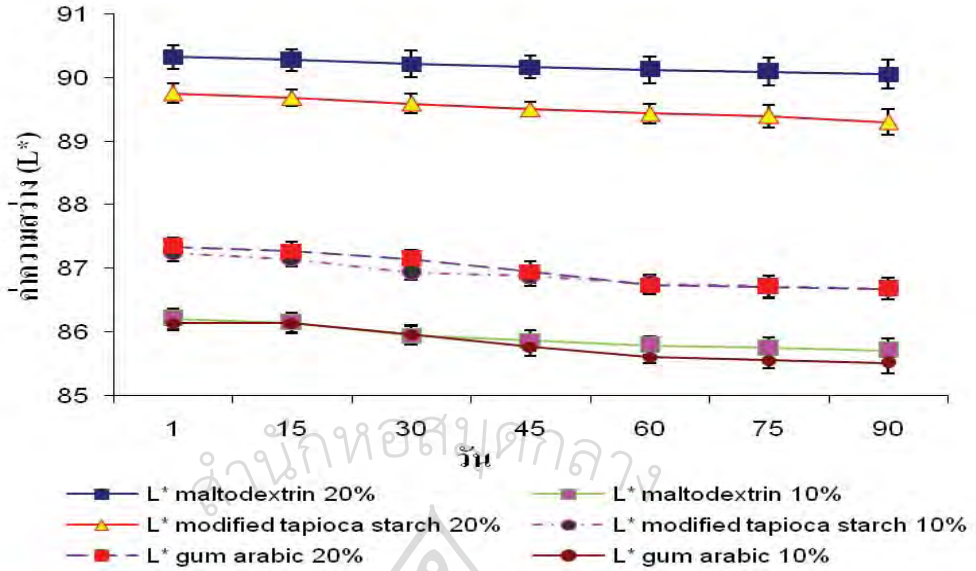
		0 วัน	15 วัน	30 วัน	45 วัน	60 วัน	75 วัน	90 วัน
การทำแห้งแบบพ่นฝอย	มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20	$0.28^{a} \pm 0.02$	$0.30^{ab} \pm 0.01$	$0.31^{ab} \pm 0.02$	$0.33^{b} \pm 0.03$	$0.35^{bc} \pm 0.02$	$0.37^{c} \pm 0.02$	$0.39^{c} \pm 0.01$
	มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10	$0.25^{a} \pm 0.01$	$0.27^{ab} \pm 0.02$	$0.29^{b} \pm 0.02$	$0.30^{b} \pm 0.01$	$0.32^{bc} \pm 0.01$	$0.34^{c} \pm 0.02$	$0.36^{c} \pm 0.01$
	แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20	$0.27^{a} \pm 0.02$	$0.29^{ab} \pm 0.01$	$0.30^{b} \pm 0.02$	$0.32^{b} \pm 0.02$	$0.34^{bc} \pm 0.03$	$0.36^{c} \pm 0.02$	$0.37^{c} \pm 0.02$
	แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 10	$0.24^{a} \pm 0.01$	$0.25^{a} \pm 0.01$	$0.27^{ab} \pm 0.01$	$0.29^{b} \pm 0.02$	$0.31^{bc} \pm 0.01$	$0.33^{bc} \pm 0.02$	$0.35^{c} \pm 0.02$
	กัมอะราบิคร้อยละ 20	$0.26^{a} \pm 0.01$	$0.28^{ab} \pm 0.01$	$0.29^{ab} \pm 0.02$	$0.30^{b} \pm 0.01$	$0.31^{b} \pm 0.01$	$0.33^{bc} \pm 0.01$	$0.34^{c} \pm 0.01$
	กัมอะราบิคร้อยละ 10	$0.22^{a} \pm 0.01$	$0.23^{a} \pm 0.01$	$0.24^{ab} \pm 0.02$	$0.26^{b} \pm 0.01$	$0.27^{b} \pm 0.01$	$0.29^{bc} \pm 0.02$	$0.31^{c} \pm 0.01$
การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20	$0.39^{a} \pm 0.01$	$0.39^{a} \pm 0.01$	$0.41^{ab} \pm 0.02$	$0.43^{b} \pm 0.01$	$0.45^{bc} \pm 0.01$	$0.47^{bc} \pm 0.20$	$0.49^{c} \pm 0.01$
	มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10	$0.35^{a} \pm 0.02$	$0.35^{a} \pm 0.01$	$0.37^{ab} \pm 0.01$	$0.39^{b} \pm 0.01$	$0.41^{b} \pm 0.02$	$0.43^{bc} \pm 0.01$	$0.45^{c} \pm 0.01$
	แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20	$0.37^{a} \pm 0.02$	$0.38^{a} \pm 0.02$	$0.40^{ab} \pm 0.01$	$0.42^{b} \pm 0.02$	$0.43^{b} \pm 0.03$	$0.45^{bc} \pm 0.02$	$0.47^{c} \pm 0.02$
	แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 10	$0.34^{a} \pm 0.02$	$0.35^{a} \pm 0.02$	$0.36^{ab} \pm 0.02$	$0.38^{b} \pm 0.01$	$0.39^{b} \pm 0.02$	$0.41^{bc} \pm 0.01$	$0.43^{bc} \pm 0.01$
	กัมอะราบิคร้อยละ 20	$0.32^{a} \pm 0.01$	$0.32^{a} \pm 0.02$	$0.33^{ab} \pm 0.02$	$0.35^{b} \pm 0.03$	$0.36^{b} \pm 0.02$	$0.38^{bc} \pm 0.02$	$0.40^{c} \pm 0.01$
	กัมอะราบิคร้อยละ 10	$0.30^{a} \pm 0.01$	$0.30^{a} \pm 0.02$	$0.31^{ab} \pm 0.02$	$0.33^{b} \pm 0.02$	$0.35^{bc} \pm 0.01$	$0.36^{bc} \pm 0.02$	$0.38^{c} \pm 0.01$

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) n = 3

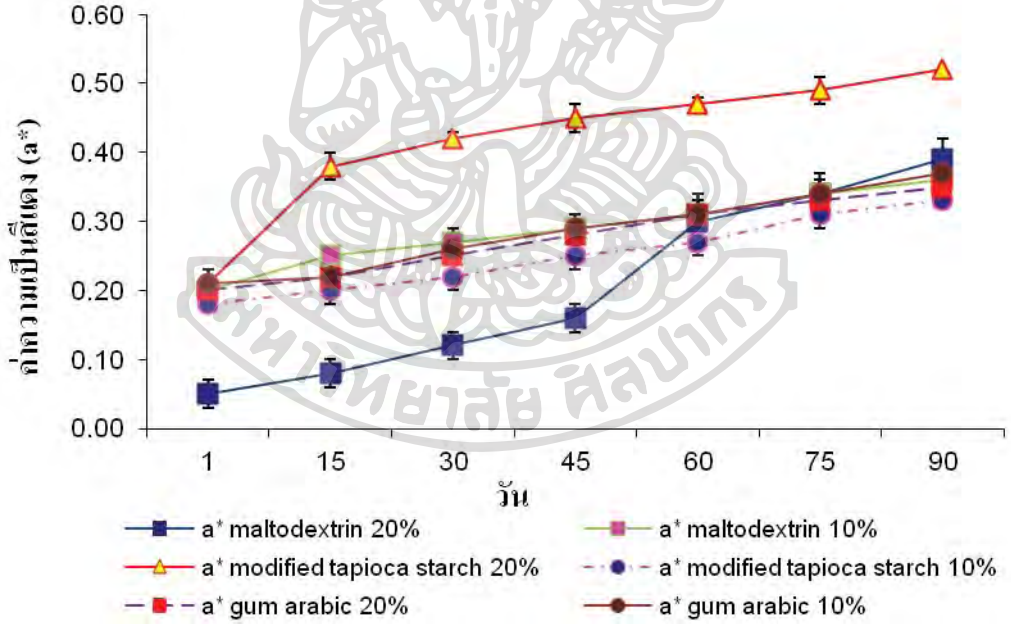
ตารางที่ 8 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณความชื้น (moisture content) ของน้ำกะปิผงที่เก็บไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน

		0 วัน	15 วัน	30 วัน	45 วัน	60 วัน	75 วัน	90 วัน
การทำแห้งแบบพ่นฝอย	มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20	8.19 ^{a} ± 0.08	8.22 ^{a} ± 0.12	8.25 ^{ab} ± 0.15	8.28 ^{b} ± 0.12	8.32 ^{bc} ± 0.14	8.37 ^{c} ± 0.15	8.41 ^{c} ± 0.17
	มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10	7.20 ^{a} ± 0.12	7.22 ^{a} ± 0.14	7.25 ^{ab} ± 015	7.28 ^{b} ± 0.17	7.30 ^{bc} ± 0.16	7.32 ^{bc} ± 0.19	7.35 ^{c} ± 0.18
	แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20	8.10 ^{a} ± 0.08	8.14 ^{a} ± 0.12	8.19 ^{ab} ± 0.15	8.2 1 ^{b} ± 0.14	8.24 ^{bc} ± 0.17	8.28 ^{c} ± 0.19	8.32 ^{c} ± 0.18
	แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 10	7.15 ^{a} ± 0.08	7.18 ^{a} ± 0.12	7.22 ^{ab} ± 0.15	7.25 ^{b} ± 0.17	7.27 ^{bc} ± 0.16	7.30 ^{bc} ± 0.18	7.33 ^{c} ± 0.16
	กัมอะราบิคร้อยละ 20	7.05 ^{a} ± 0.09	7.09 ^{a} ± 0.12	7.12 ^{ab} ± 0.15	7.15 ^{b} ± 0.15	7.18 ^{bc} ± 0.16	7.20 ^{c} ± 0.18	7.23 ^{c} ± 0.19
	กัมอะราบิคร้อยละ 10	6.06 ^{a} ± 0.10	6.09 ^{a} ± 0.13	6.13 ^{ab} ± 0.13	6.17 ^{b} ± 0.14	6.20 ^{bc} ± 0.12	6.22 ^{c} ± 0.14	6.25 ^{c} ± 0.16
การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20	12.15 ^{a} ± 06	12.17 ^{a} ± 0.08	12.18 ^{ab} ± 0.06	12.20 ^{b} ± 0.10	12.22 ^{bc} ± 0.12	12.24 ^{c} ± 013	12.25 ^{c} ± 0.11
	มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10	11.13 ^{a} ± 06	11.16 ^{a} ± 0.07	11.18 ^{ab} ± 0.10	11.21 ^{b} ± 0.07	11.23 ^{bc} ± 0.10	11.25 ^{c} ± 0.13	11.28 ^{c} ± 0.14
	แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20	12.01 ^{a} ± 07	12.03 ^{a} ± 0.09	12.06 ^{ab} ± 0.11	12.10 ^{b} ± 0.09	12.13 ^{bc} ± 0.13	12.15 ^{c} ± 0.12	12.17 ^{c} ± 0.15
	แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 10	11.05 ^{a} ± 07	11.07 ^{a} ± 0.09	11.09 ^{ab} ± 0.11	11.12 ^{b} ± 0.15	11.14 ^{bc} ± 0.13	11.17 ^{c} ± 0.16	11.19 ^{c} ± 0.18
	กัมอะราบิคร้อยละ 20	10.85 ^{a} ± 08	10.87 ^{a} ± 0.10	10.89 ^{ab} ± 0.09	10.92 ^{b} ± 0.11	10.95 ^{bc} ± 0.12	10.97 ^{c} ± 0.10	10.99 ^{c} ± 0.13
	กัมอะราบิคร้อยละ 10	10.25 ^{a} ± 09	10.27 ^{a} ± 0.10	10.28 ^{ab} ± 0.12	10.29 ^{b} ± 0.10	10.31 ^{b} ± 0.11	10.33 ^{bc} ± 0.13	10.35 ^{c} ± 0.14

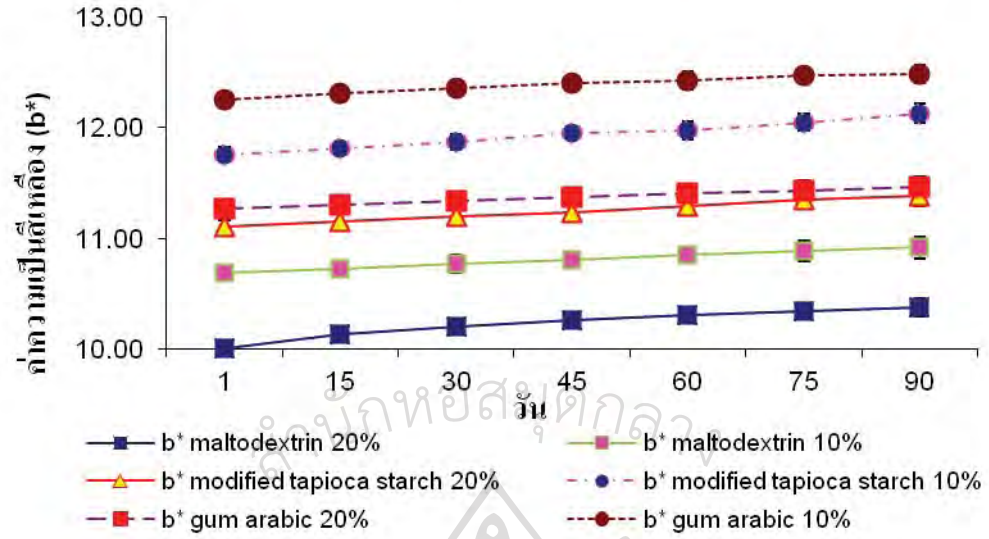
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) n = 3



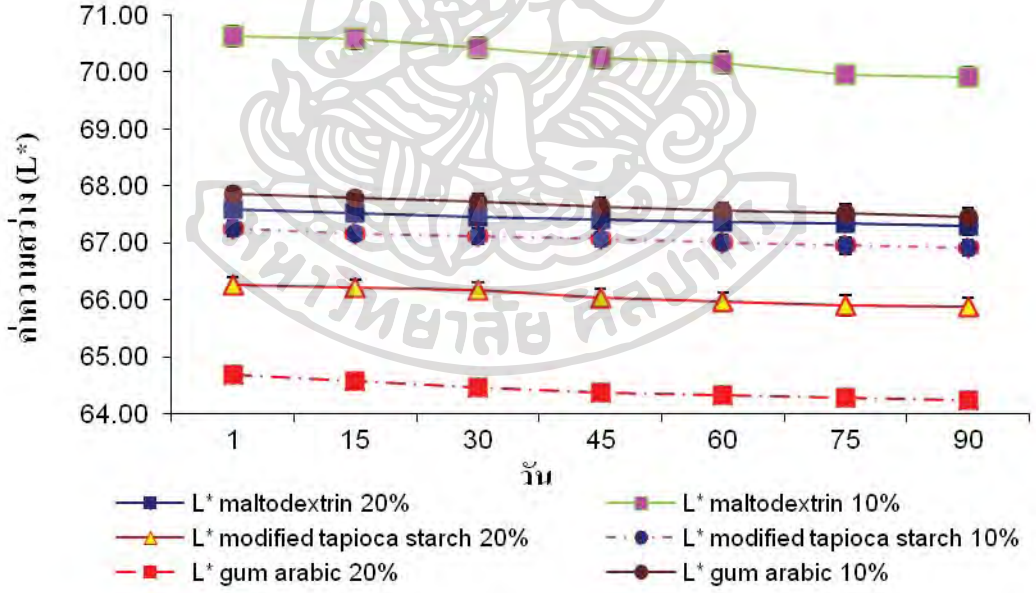
ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของน้ำกะปิผงที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยและเก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยด์เป็นเวลา 90 วัน ในตู้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่มีการควบคุมความชื้น



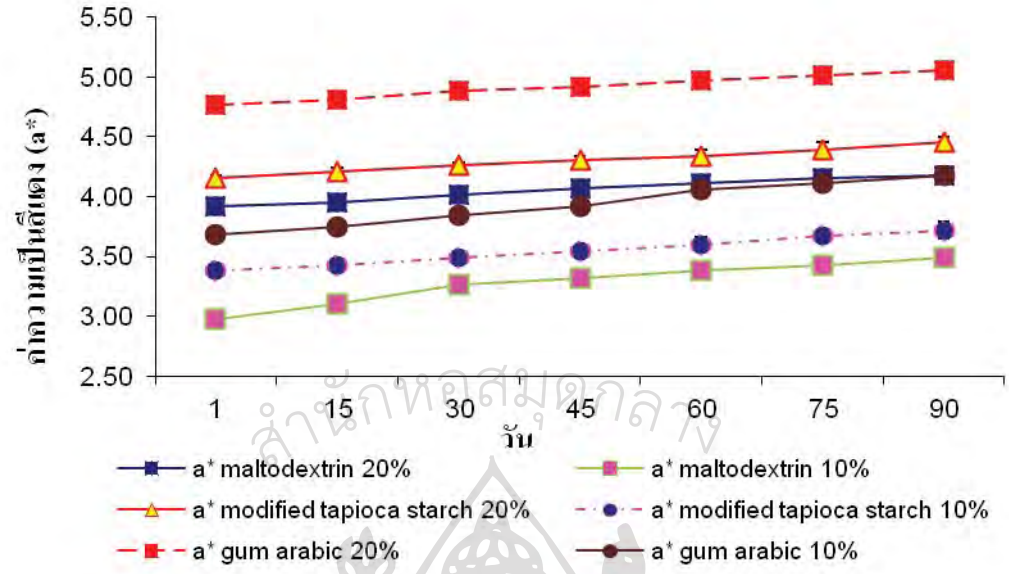
ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (a*) ของน้ำกะปิผงที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยและเก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยด์เป็นเวลา 90 วัน ในตู้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่มีการควบคุมความชื้น



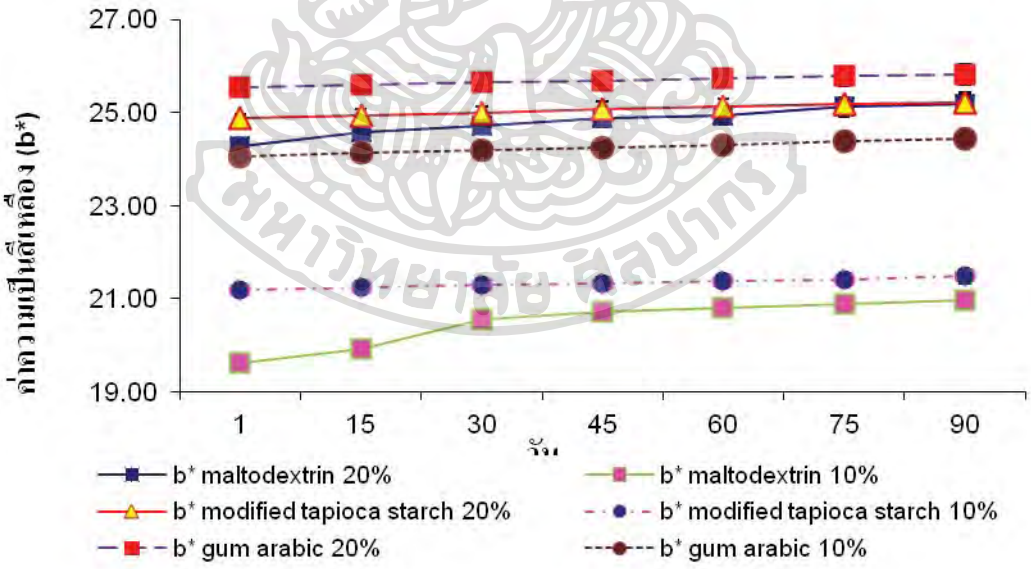
ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของน้ำกะปิผงที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอย และเก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยด์เป็นเวลา 90 วัน ในตู้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่มีการควบคุมความชื้น



ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และเก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยด์เป็นเวลา 90 วัน ในตู้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่มีการควบคุมความชื้น



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (a*) ของน้ำกะปิผงผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและเก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยด์เป็นเวลา 90 วัน ในตู้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่มีการควบคุมความชื้น



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของน้ำกะปิผงผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและเก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยด์เป็นเวลา 90 วัน ในตู้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไม่มีการควบคุมความชื้น

4.3.2 การจับตัวเป็นก้อนของน้ำกะปิผง

ในการศึกษาการจับตัวเป็นก้อนของน้ำกะปิผง จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยและแบบเยือกแข็ง ทำการวัดโดยการร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาด 25, 35, 45, 60, 80 และ 100 mesh แล้วชั่งน้ำหนักน้ำกะปิผงที่เหลืออยู่บนตะแกรงแต่ละขนาด

จากการวัดการจับตัวเป็นก้อนของน้ำกะปิผงทั้ง 6 ตัวอย่าง ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้ตัวพาในปริมาณที่แตกต่างกันพบว่าน้ำกะปิผงทั้ง 6 ตัวอย่าง มีการจับตัวเป็นก้อนเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษา ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) ซึ่งน้ำกะปิผงที่ใช้ตัวพาแต่ละชนิดมีร้อยละของการจับตัวเป็นก้อนเริ่มแตกต่างกันที่ 45 วัน (ตารางที่ 9) โดยน้ำกะปิผงมีลักษณะเป็นก้อนเล็กๆและก้อนใหญ่ๆ ปนกันมากขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บ (ตารางที่ 10) ซึ่งน้ำกะปิผงที่ใช้กัมอะราบิคร้อยละ 10 และ 20 เป็นตัวพาจะเริ่มจับตัวเป็นก้อนในขณะที่ตัวพาชนิดอื่นๆ ยังไม่มีการจับตัวเป็นก้อน สำหรับน้ำกะปิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบเยือกแข็งทั้ง 6 ตัวอย่าง ก็เช่นเดียวกันมีร้อยละของการจับตัวเป็นก้อนเพิ่มมากขึ้นเหมือนกัน (ตารางที่ 9) มีลักษณะการจับตัวเป็นก้อนเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บ มีลักษณะเป็นก้อนเล็กๆและก้อนใหญ่ๆ ปนกัน (ตารางที่ 11) แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

น้ำกะปิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็งที่ใช้ตัวพาทั้ง 3 ชนิดมีร้อยละของการจับตัวเป็นก้อนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) แต่ค่าร้อยละของการจับตัวเป็นก้อนที่ได้ของน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสูงกว่า เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาค่า A_w สูงขึ้น และมีปริมาณความชื้นสูงตามด้วยจึงทำให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อนเพิ่มขึ้น เพราะอนุภาคของน้ำกะปิผงมีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากจึงดูดซับความชื้นในอากาศได้ดีและรวดเร็ว แสดงว่าตัวอย่างที่มีความชื้นและค่า A_w เริ่มต้นต่ำจะมีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้ดีกว่า เพื่อปรับสภาวะให้เกิดความชื้นสมดุลในอากาศนั่นเอง

ในการคัดเลือกน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยใช้ตัวพา 3 ชนิดคือ มอลโตเดกซ์ตริน แป้งมันสำปะหลังดัดแปร และกัมอะราบิค ในปริมาณร้อยละ 10 และ 20 พบว่า ค่า A_w ปริมาณความชื้น และร้อยละของการจับตัวเป็นก้อนที่วัดได้ในระหว่างการเก็บรักษาของน้ำกะปิผงที่ใช้ตัวพาทั้ง 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) แต่น้ำกะปิผงที่มีค่า A_w ต่ำ เมื่อเก็บรักษาจะเกิดการดูดซับความชื้นในอากาศได้เร็วกว่าน้ำกะปิผงที่มีค่า A_w สูง และเกิดการจับตัวเป็นก้อนสูงตามด้วย เนื่องจากน้ำกะปิผงจะดูดซับความชื้นจากอากาศเข้าไปทำให้ปริมาณความชื้นของน้ำกะปิผงไม่อยู่ในสภาวะสมดุล ดังนั้นเพื่อให้ความชื้นอยู่ในสภาวะสมดุลจึงทำให้น้ำกะปิผงเกิดการดูดซับความชื้นเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงจุดสมดุล (นิธิยา, 2545) ซึ่งยากต่อการเก็บรักษา นอกจากนี้แล้วปริมาณเกลือในน้ำกะปิผงที่ใช้ตัวพาเพียงร้อยละ 10 จะมีปริมาณสูงกว่าน้ำกะปิผงที่ใช้ตัวพาร้อยละ 20 เนื่องจากถูกดูดซับหรือเจือจางปริมาณเกลือจากตัวพาได้น้อยจึงทำให้มีเกลือในปริมาณสูงกว่า และส่งผลให้เกิดการดูดความชื้นเข้าสู่โมเลกุลของน้ำกะปิผงได้มากขึ้นด้วย ทำให้น้ำกะปิผงที่ใช้ตัวพาร้อยละ 10 จับตัวกันเป็นก้อนได้เร็วกว่า และเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลคล้ำได้เร็วกว่าน้ำกะปิผงที่ใช้ตัวพาร้อยละ 20

ดังนั้นจึงเลือกใช้ตัวพาที่ให้น้ำกะปิผงที่มีค่า A_w สูง เพื่อให้ได้น้ำกะปิผงที่มีอายุการเก็บได้นานกว่า 3 เดือน ซึ่งจากการทดลองพบว่าน้ำกะปิผงที่ใช้ มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 มีค่า A_w สูงใกล้เคียงกัน และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) ในด้านสีของน้ำกะปิผงที่ใช้ตัวพาทั้ง 3 ชนิด ก็มีค่าความสว่างสูงใกล้เคียงกันและสูงกว่าตัวพาชนิดอื่นด้วย อีกทั้งยังมีการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างลดลงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 90 วัน (ภาพที่ 9) ฉะนั้นจึงคัดเลือกน้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆ ต่อไป เนื่องจากตัวพาทั้งสองชนิดมีราคาไม่แพง สามารถละลายในน้ำเย็นได้และให้ลักษณะที่ใส มีความหนืดน้อยและทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำด้วย

ตารางที่ 9 การเปลี่ยนแปลงค่าการจับตัวเป็นก้อนของน้ำกะปิผงที่เก็บไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน

		การจับตัวเป็นก้อนของน้ำกะปิผง (ร้อยละ)						
		0 วัน	**15 วัน**	**30 วัน**	**45 วัน**	**60 วัน**	**75 วัน**	**90 วัน**
การทำแห้งแบบพ่นฝอย	**มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20**	$58.88^{a} \pm 0.25$	$58.98^{a} \pm 0.38$	$59.11^{a} \pm 0.49$	$59.23^{b} \pm 0.36$	$59.35^{b} \pm 0.23$	$59.48^{b} \pm 0.17$	$59.62^{bc} \pm 0.19$
	มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10	$64.96^{a} \pm 0.30$	$65.12^{a} \pm 0.55$	$65.23^{ab} \pm 0.23$	$65.35^{b} \pm 0.37$	$65.47^{bc} \pm 0.23$	$65.58^{cb} \pm 0.39$	$65.64^{bc} \pm 0.23$
	แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20	$59.28^{a} \pm 0.26$	$59.37^{a} \pm 0.40$	$59.44^{ab} \pm 0.37$	$59.51^{b} \pm 0.40$	$59.59^{bc} \pm 0.42$	$59.67^{bc} \pm 0.31$	$59.73^{bc} \pm 0.36$
	แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 10	$64.50^{a} \pm 0.15$	$64.64^{a} \pm 0.40$	$64.73^{a} \pm 0.30$	$64.85^{b} \pm 0.35$	$64.97^{b} \pm 0.20$	$65.14^{b} \pm 0.24$	$65.22^{bc} \pm 0.29$
	กัมอะราบิคร้อยละ 20	$70.02^{a} \pm 0.19$	$70.11^{a} \pm 0.80$	$70.17^{ab} \pm 0.27$	$70.26^{b} \pm 0.19$	$70.32^{b} \pm 0.33$	$70.41^{bc} \pm 0.55$	$70.55^{b} \pm 0.26$
	กัมอะราบิคร้อยละ 10	$75.40^{a} \pm 0.34$	$75.49^{a} \pm 0.44$	$75.56^{ab} \pm 0.29$	$75.65^{b} \pm 0.20$	$75.76^{b} \pm 0.26$	$75.84^{bc} \pm 0.32$	$75.89^{bc} \pm 0.23$
การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	**มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20**	$74.02^{a} \pm 0.18$	$74.11^{a} \pm 0.76$	$74.18^{ab} \pm 0.41$	$74.27^{b} \pm 0.34$	$74.34^{b} \pm 0.21$	$74.41^{bc} \pm 0.53$	$74.50^{bc} \pm 0.24$
	มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10	$75.89^{a} \pm 0.16$	$75.94^{a} \pm 0.39$	$76.05^{ab} \pm 0.56$	$76.09^{b} \pm 0.26$	$76.13^{ab} \pm 0.31$	$76.19^{b} \pm 0.23$	$76.24^{b} \pm 0.12$
	แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20	$74.65^{a} \pm 0.38$	$74.69^{a} \pm 0.35$	$74.75^{ab} \pm 0.42$	$74.79^{b} \pm 0.42$	$74.83^{b} \pm 0.21$	$74.87^{b} \pm 0.32$	$74.89^{b} \pm 0.14$
	แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 10	$76.50^{a} \pm 0.28$	$76.57^{a} \pm 0.33$	$76.63^{ab} \pm 0.48$	$76.70^{b} \pm 0.29$	$76.76^{ab} \pm 0.45$	$76.82^{b} \pm 0.37$	$76.87^{b} \pm 0.20$
	กัมอะราบิคร้อยละ 20	$77.73^{a} \pm 0.37$	$77.79^{a} \pm 0.31$	$77.85^{ab} \pm 0.50$	$77.91^{b} \pm 0.32$	$77.96^{b} \pm 0.33$	$78.06^{b} \pm 0.38$	$78.12^{b} \pm 0.16$
	กัมอะราบิคร้อยละ 10	$78.08^{a} \pm 0.24$	$78.17^{a} \pm 0.39$	$78.25^{ab} \pm 009$	$78.31^{b} \pm 0.20$	$78.42^{b} \pm 0.53$	$78.50^{bc} \pm 0.39$	$78.56^{bc} \pm 0.23$

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95($p>0.05$) n=3

ตารางที่ 10 ลักษณะปรากฏของน้ำกะปิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและเก็บไว้ในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ ณ. อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 วัน

	0 วัน	**15 วัน**	**30 วัน**	**45 วัน**	**60 วัน**	**75 วัน**	**90 วัน**
มอลโตเดกซ์ตริน ร้อยละ 20	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด มีเป็นก้อนเล็ก ๆ ปนเล็กน้อย	ผงละเอียด มีเป็นก้อนเล็ก ๆ ปนเล็กน้อย
มอลโตเดกซ์ตริน ร้อยละ 10	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด มีเป็น ก้อน เล็ก ๆ เล็กน้อย	จับตัวกัน มีทั้งก้อนเล็ก ก้อนใหญ่ปนกันเล็กน้อย	จับตัวกัน มีทั้งก้อนเล็ก ก้อนใหญ่ปนกันเล็กน้อย
แป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 20	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด มีเป็น ก้อนเล็กๆ เล็กน้อย	จับตัวกัน มีเป็นก้อนเล็ก ๆ เล็กน้อย	จับตัวกัน มีเป็นก้อนเล็ก ๆ และก้อนใหญ่เล็กน้อย
แป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 10	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด มีเป็นก้อนเล็ก ๆ เล็กน้อย	จับตัวกัน เป็นก้อนเล็ก ๆ เล็กน้อย	จับตัวกันมีทั้งก้อนเล็ก ก้อนใหญ่ปนกันเล็กน้อย
กัมอะราบิค ร้อยละ 20	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด มีเป็น ก้อนเล็ก ๆ เล็กน้อย	จับตัวกัน เป็นก้อนเล็ก ๆ เล็กน้อย	จับตัวกัน มีทั้งก้อนเล็ก ก้อนใหญ่ปนกันเล็กน้อย	จับตัวกันมีทั้งก้อนเล็ก ก้อนใหญ่ ปนกันเล็กน้อย
กัมอะราบิค ร้อยละ 10	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด มีเป็น ก้อนเล็ก ๆ เล็กน้อย	จับตัวกันมีทั้งก้อนเล็ก ก้อนใหญ่ ปนกันเล็กน้อย	จับตัวกัน มีทั้งก้อนเล็ก ก้อนใหญ่ปนกันปานกลาง	จับตัวกันมีทั้งก้อนเล็ก ก้อนใหญ่ ปนกันมาก

ตารางที่ 11 ลักษณะปรากฏของน้ำกะปิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบเยือกแข็งและเก็บไว้ในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ ณ. อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 วัน

	0 วัน	15 วัน	30 วัน	45 วัน	60 วัน	75 วัน	90 วัน
มอลโตเดกซ์ตริน ร้อยละ 20	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด มีเป็นก้อนเล็ก ๆ ปนเล็กน้อย	ผงละเอียด มีทั้งก้อนเล็กปนกันอยู่มาก	จับตัวกันมีทั้งก้อนเล็กก้อนใหญ่ปนเล็กน้อย
มอลโตเดกซ์ตริน ร้อยละ 10	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด มีเป็นก้อนเล็ก ๆ ปนอยู่มาก	ผงละเอียด มีทั้งก้อนเล็กก้อนใหญ่ปนเล็กน้อย	จับตัวกันมีทั้งก้อนเล็กก้อนใหญ่ปนปานกลาง	จับตัวกันมีทั้งก้อนเล็กก้อนใหญ่ปนมาก
แป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 20	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด มีเป็นก้อนเล็ก ๆ ปนอยู่เล็กน้อย	ผงละเอียด มีทั้งก้อนเล็กก้อนใหญ่ปนเล็กน้อย	จับตัวกันเป็นก้อนเล็กก้อนใหญ่ปนกันเล็กน้อย	จับตัวกันเป็นก้อนเล็กก้อนใหญ่ปนปานกลาง
แป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 10	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด มีเป็นก้อนเล็ก ๆ ปนอยู่เล็กน้อย	จับตัวกันเป็นก้อนเล็กก้อนใหญ่ปนเล็กน้อย	จับตัวกันเป็นก้อนเล็กก้อนใหญ่ปนกันปานกลาง	จับตัวกันเป็นก้อนเล็กก้อนใหญ่ปนกันมาก
กัมอะราบิค ร้อยละ 20	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด มีเป็นก้อนเล็ก ๆ ปนอยู่มาก	จับตัวกันเป็นก้อนเล็กก้อนใหญ่ปนเล็กน้อย	จับตัวกันเป็นก้อนปานกลางและก้อนใหญ่	จับตัวกันเป็นก้อนใหญ่
กัมอะราบิค ร้อยละ 10	ผงละเอียด	ผงละเอียด	ผงละเอียด เป็นก้อนเล็กๆบางส่วน	ผงละเอียด มีเป็นก้อนเล็ก ๆ ปนอยู่เล็กน้อย	จับตัวกันเป็นก้อนเล็กจำนวนมาก	จับตัวกันเป็นก้อนปานกลางและก้อนใหญ่	จับตัวกันเป็นก้อนใหญ่มาก

4.3.3 คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ(antioxidant activity)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทดสอบคุณสมบัติ การต้านอนุมูลอิสระกับสารที่สกัดด้วยบัฟเฟอร์ แล้ววัดการเปลี่ยนแปลง ของสีที่เกิดจากการกำจัดอนุมูลอิสระของ DPPH ซึ่ง DPPH เป็นอนุมูลอิสระที่เสถียร โดยใช้หลักการวัดของ DPPH คือเมื่ออะตอมของไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่เข้าไปจับกับอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวใน DPPH ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH ลดลง ซึ่งเป็นสัดส่วนกับการเพิ่มขึ้นของ non-radical ถ้าความสามารถในการจับกับอนุมูลอิสระสูงแสดงว่ามีสารต่อต้านการเกิดออกซิเดชันอยู่มาก (Molyneux, 2004)

ในการทดสอบคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำกะปิผง จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับสารต้านอนุมูลอิสระ BHA : BHT เข้มข้น 0.2 มก/มล ซึ่งมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระได้ถึง 86.88 ± 0.03 พบว่าน้ำกะปิผงทั้ง 6 ตัวอย่าง ยังสามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้ต่ำกว่าสารต้านอนุมูลอิสระ BHA : BHT และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 12

ในการทดสอบคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำกะปิผง จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับสารต้านอนุมูลอิสระ BHA : BHT เข้มข้น 0.2 มก/มล ซึ่งมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระได้ถึง 86.88 ± 0.03 พบว่า กะปิผงทั้ง 6 ตัวอย่าง สามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้ต่ำกว่าสารต้านอนุมูลอิสระ BHA : BHT และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 13 โดยภาพรวมแล้วพบว่าการทำแห้งน้ำกะปิผงโดยวิธีพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็งไม่ทำให้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำกะปิผงลดลง

ในการทดสอบคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำกะปิผง จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็งที่เก็บไว้ในถุงอะลูมิเนียฟอยด์ 90 วัน โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับสารต้านอนุมูลอิสระ BHA : BHT เข้มข้น 0.2 มก/มล ซึ่งมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระได้ถึง 86.81 ± 0.03 พบว่าน้ำกะปิผงทั้ง 4 ชนิด มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระได้ดีใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระ BHA : BHT แล้วยังมีประสิทธิภาพต่ำกว่าและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 14 จากการรายงานของ Renta และคณะ (2010) พบว่าสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำผลไม้จะลดลงเมื่อค่า A_w เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระลดลงหรือมีบาง

ตัวที่สามารถสลายตัวเมื่อได้รับความชื้นจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นขึ้น โดยค่า A_w ที่อยู่ในช่วง 0.28 - 0.30 จะเป็นช่วงที่มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นต่ำ (ปรรัตน์ และคณะ, 2009) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fang และคณะ(2011) ในการทำแห้งน้ำผลไม้ bayberry ด้วยวิธีพ่นฝอยและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่างกันเป็นเวลานาน 6 เดือน โดยในน้ำผลไม้จำพวก bayberry มีสารต้านอนุมูลอิสระจำพวกโพลีฟีนอลสูญเสียในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส และยังมีค่า A_w สูงกว่า 0.33

ตารางที่ 12 คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidation activity) ของน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

	สารต้านอนุมูลอิสระ (% radical scavenging activity at 60 min)
น้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20	$55.86^{ab} \pm 0.01$
น้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10	$52.71^{ab} \pm 0.03$
น้ำกะปิผงที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20	$53.03^{ab} \pm 0.02$
น้ำกะปิผงที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 10	$50.12^{a} \pm 0.02$
น้ำกะปิผงที่ใช้กัมอะราบิคร้อยละ 20	$48.45^{a} \pm 0.03$
น้ำะปิผงที่ใช้กัมอะราบิคร้อยละ 10	$46.79^{a} \pm 0.03$
BHA : BHT	$86.88^{c} \pm 0.03$

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) n = 3

ตารางที่ 13 คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ(antioxidation activity) ของน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบเยือกแข็ง

	สารต้านอนุมูลอิสระ (% radical scavenging activity at 60 min)
น้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20	$57.34^{ab} \pm 0.02$
น้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10	$54.25^{ab} \pm 0.03$
น้ำกะปิผงที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20	$55.22^{ab} \pm 0.01$
น้ำกะปิผงที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 10	$52.49^{a} \pm 0.03$
น้ำกะปิผงที่ใช้กัมอะราบิคร้อยละ 20	$50.90^{a} \pm 0.03$
น้ำะปิผงที่ใช้กัมอะราบิคร้อยละ 10	$48.24^{a} \pm 0.03$
BHA:BHT	$86.88^{c} \pm 0.03$

สำนักหอสมุดกลาง

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) $n = 3$

จากการทดลองพบว่าน้ำกะปิผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จะมีประสิทธิภาพมากกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากสารที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระบางชนิดที่ไม่ทนต่อความร้อน จากการรายงานของ He และคณะ (2006) พบว่ามีสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนในกุ้งเป็นสารฟีนอลลิก ซึ่งจัดเป็นพวก Phenolic compounds จึงอาจจะสูญเสียไปได้ในระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากโปรตีนหรือกรดอะมิโนที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติทำให้ไม่สามารถทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ ดังนั้นจึงทำให้มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระลดลงหรือมีบางตัวที่ทนต่อความร้อนได้เหลืออยู่ ส่วนน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีสารต้านอนุมูลอิสระเหลืออยู่มาก อาจเนื่องมาจากในกระบวนการไม่ได้รับความร้อนจึงไม่มีผลต่อสารต้านอนุมูลอิสระ

ในการทดลองน้ำกะปิผงพบว่าการทำแห้งทั้งสองวิธีที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 เป็นตัวพา มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงใกล้เคียงกับการใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 เนื่องจากในของเสียจากกุ้งที่ผ่านกระบวนการหมัก มีสารต้านอนุมูลอิสระจำพวกเปปไทด์ กรดอะมิโน สารประกอบฟีนอล และแคโรทีนอยด์ (Nakkrike และ Narayan, 2008 ; He และคณะ, 2006) ซึ่งมอลโตเดกซ์ตรินมีคุณสมบัติในการจับกับกลุ่มไฮโดรฟีลิกได้ดี ส่วนแป้งมันสำปะหลังดัดแปรมีคุณสมบัติในการจับกับกลุ่มทั้งไฮโดรฟีลิกและไฮโดรโฟรบิก (Apintanapong และคณะ, 2003)

ตารางที่ 14 คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) ของน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็งที่เก็บไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ 90 วัน

	สารต้านอนุมูลอิสระ (% radical scavenging activity at 60 min)
การทำแห้งแบบพ่นฝอย	
น้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20	$55.78^{a} \pm 0.03$
น้ำกะปิผงที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20	$52.66^{a} \pm 0.02$
การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	
น้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20	$57.24^{a} \pm 0.03$
น้ำกะปิผงที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20	$55.12^{a} \pm 0.02$
BHA:BHT	$86.81^{c} \pm 0.03$

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) $n = 3$

4.3.4 คุณสมบัติการสลายลิ่มเลือด (fibinolytic activity)

การศึกษาคุณสมบัติการสลายลิ่มเลือดนี้ ได้ศึกษาสารสกัดกะปิผงด้วยบัฟเฟอร์ โดย อาศัยเอนไซม์ที่มีคุณสมบัติในการย่อยโปรตีนไปย่อยสลายเส้นใยโปรตีน โดยนำน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้มอลโทเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ ร้อยละ 20 จากการทดลองมาทดสอบพบว่า น้ำกะปิที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินเป็นตัวพาในปริมาณที่ต่างกันไม่มีผลต่อการลดการสลายลิ่มเลือด (fibrinogen activity) โดยน้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ 20 และน้ำกะปิอายุ 6 เดือน มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 15 จากการรายงานของ Mine และคณะ (2005) พบ Fibrinogen enzymes ในอาหารหมักของชาวเอเชีย เช่น นัตโตะ ซอสถั่วเหลือง กะปิ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในสภาวะความเป็นกรดด่างช่วง pH 3-7 และอุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส ในระหว่างการหมักจะมีแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* เป็นตัวช่วยในการสร้าง Fibrinogen enzymes โดยเอนไซม์จะเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติได้ง่ายที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส ในสภาวะความเป็นกรดด่างช่วง pH 7 แสดงว่า Fibrinogen enzymes จะสูงหรือต่ำนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยของความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ และแบคทีเรียนั่นเอง

ตารางที่ 15 สมบัติสารละลายลิ่มเลือดของน้ำกะปิผง

	สารละลายลิ่มเลือด(เส้นผ่านศูนย์กลาง, เซนติเมตร)
น้ำกะปิอายุ 6 เดือน	3.20±0.30
น้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20	3.04±0.30
น้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10	3.01±0.30

4.3.5 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราทั้งหมด

จุลินทรีย์ที่พบในน้ำกะปิผง ส่วนใหญ่เป็นพวกแบคทีเรีย ส่วนราและยีสต์ < 10 cfu/g (ตารางที่ 16) เนื่องน้ำกะปิมีค่า A_w ต่ำ จุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรียที่จะเจริญได้น่าจะเป็นกลุ่มที่ชอบ A_w ต่ำ ทนเกลือได้ (halotolerant) และมีบทบาทต่อการย่อยสลายโปรตีนด้วย เพราะในน้ำกะปิผงมีเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย ราและยีสต์เจริญได้น้อยเนื่องจากไม่ต้องการหรือไม่ชอบเกลือโซเดียมคลอไรด์ จากการทดลองพบว่าน้ำกะปิผงที่ได้มีจุลินทรีย์ทั้งหมดในปริมาณสูงทั้งยังพบยีสต์และราอีกด้วย ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่น้ำกะปิผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้ระยะเวลาน้อยไปแม้จะใช้อุณหภูมิสูงก็ตามจึงทำให้ไม่สามารถฆ่าเชื้อได้ทั้งหมด เมื่อเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ฉบับที่ 494 พ.ศ. 2547 เรื่องผงปรุงรสอาหาร เกี่ยวกับสมบัติทางจุลินทรีย์กำหนดให้มีจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 10^4 โคโลนีในอาหาร 1 กรัม ปริมาณยีสต์และราไม่เกิน 10^2 โคโลนีในอาหาร 1 กรัม แสดงว่าน้ำกะปิผงที่ได้มีคุณสมบัติเข้ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

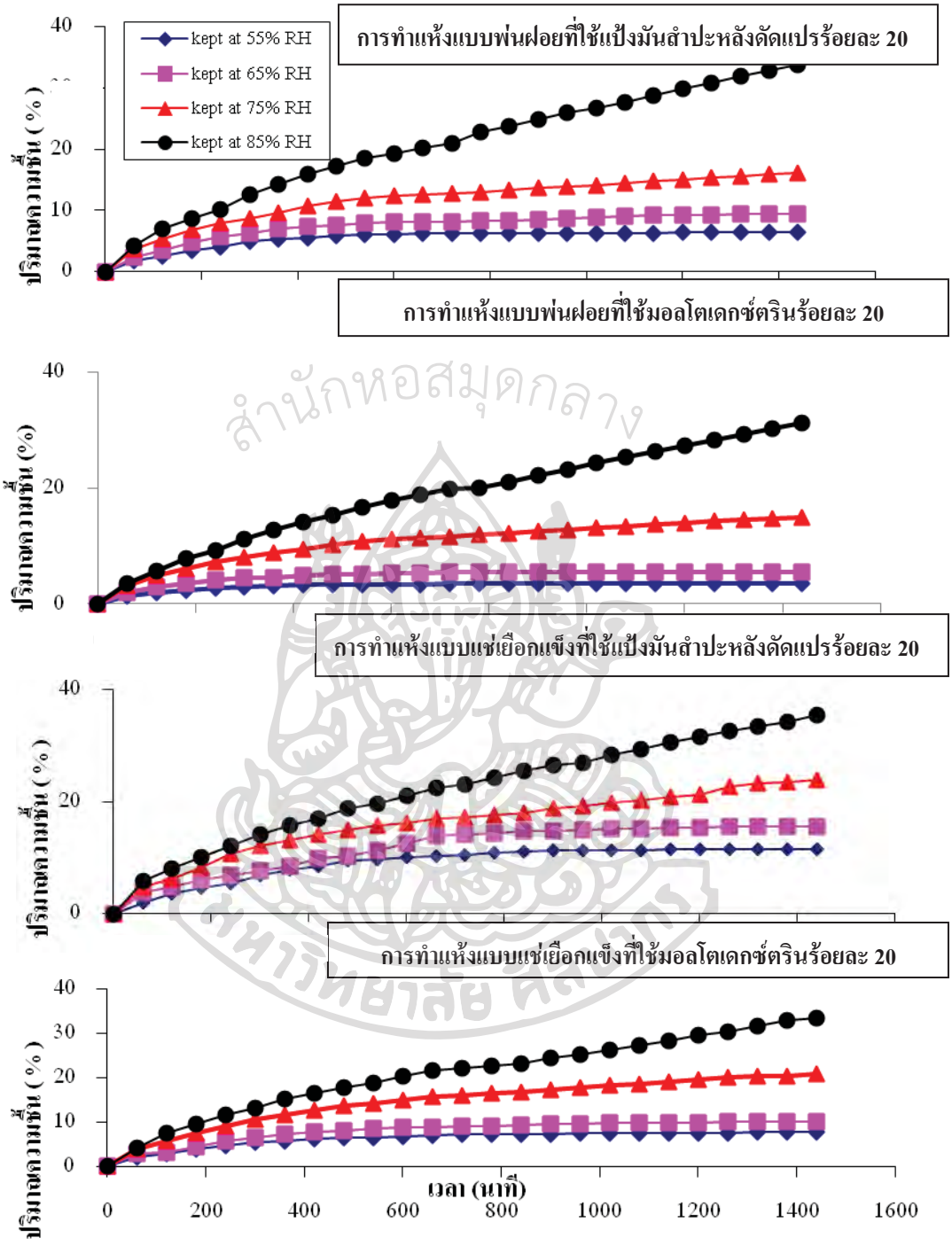
ตารางที่ 16 สมบัติทางด้านจุลชีววิทยาของน้ำกะปิผง

	Total plate count (CFU/g)	Yeast and mold count (CFU/g)
น้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตริน ร้อยละ 20 แบบพ่นฝอย	1.63×10^2 (0.03)	< 10 (0.00)
น้ำกะปิผงที่ใช้แป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 20 แบบพ่นฝอย	1.60×10^2 (0.03)	< 10 (0.00)
น้ำกะปิผง ที่ใช้มอลโตเดกซ์ตริน ร้อยละ 20 แบบแช่เยือกแข็ง	2.85×10^2 (0.03)	< 10 (0.00)
น้ำกะปิผง ที่ใช้แป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 20 แบบแช่เยือกแข็ง	2.83×10^2 (0.03)	< 10 (0.00)

4.3.6 การดูดความชื้น (moisture absorption)

ในการศึกษาการดูดความชื้นของน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็ง ทำการวัดโดยเตรียมสารละลายเกลืออิ่มตัวเพื่อใช้ในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ คือ แมกนีเซียมไนเตรต (55%) แมกนีเซียมคลอไรด์กับโซเดียมคลอไรด์ (65%) โซเดียมคลอไรด์ (75%) และโปตัสเซียมคลอไรด์ 85%) ใส่ในโถแก้วปิดฝาให้สนิท นำตัวอย่างใส่ในโถที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ นำตัวอย่างออกจากโถมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 60 นาที จนครบ 1,400 นาที โดยวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเทียบกับปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 0 นาที เป็นค่าการดูดความชื้น ซึ่งการวิเคราะห์การดูดความชื้นด้วยวิธีดังกล่าวเพื่อเปรียบเทียบว่าในระหว่างการเก็บรักษาน้ำกะปิผงที่เก็บในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ต่างกันมีการดูดความชื้นเป็นเช่นไร และผลที่ได้จะส่งผลไปถึงการจับตัวเป็นก้อนด้วย

จากการศึกษาการดูดความชื้นของน้ำกะปิผงพบว่าในการทดลองเมื่อนำน้ำกะปิผงเก็บในสภาวะที่มีระดับความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น โดยน้ำกะปิผงมีความชื้นเพิ่มขึ้นตามระดับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งน้ำกะปิผงที่มีความชื้นต่ำจะมีความชื้นเพิ่มขึ้นมากกว่าตัวอย่างที่มีความชื้นสูงกว่า แสดงให้เห็นว่ายิ่งระดับความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นจะทำให้ตัวอย่างมีความชื้นสูงตามไปด้วย การที่ตัวอย่างมีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้เพิ่มมากขึ้นนั้น เนื่องมาจากมีการเพิ่มระดับความชื้นสัมพัทธ์ทำให้มีปริมาณน้ำในอากาศเพิ่มมากขึ้น และทำให้โมเลกุลของน้ำในอากาศเกิดการชนกันแล้วไปสัมผัสกับผิวของอนุภาคตัวอย่าง ตัวอย่างดังกล่าวจึงสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้มากขึ้น (นิธิยา, 2545) และในตัวอย่างนั้นยังมีเกลือเป็นองค์ประกอบด้วยซึ่งเกลือสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำแล้วเกิดพันธะไอออนิก ทำให้ผิวอนุภาคของตัวอย่างเกิดการละลายและยุบตัวแล้วเกิดการแพร่ความชื้นเข้าไปภายในอนุภาคได้มากขึ้น จึงเป็นผลทำให้น้ำกะปิผงดูดซับความชื้นไว้ได้มากขึ้น สำหรับน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 มีปริมาณความชื้นที่จุดสมดุลสูงสุดเท่ากับร้อยละ 33.88 และมีปริมาณความชื้นที่จุดสมดุลต่ำสุดที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 55% เท่ากับร้อยละ 6.35 (ภาพที่ 13) ส่วนน้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 มีปริมาณความชื้นที่จุดสมดุลสูงสุดเท่ากับร้อยละ 32.33 และมีปริมาณความชื้นที่จุดสมดุลต่ำสุดที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 55% เท่ากับร้อยละ 3.58 (ภาพที่ 13) แสดงว่าน้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 มีการดูดซับความชื้นจากอากาศได้ต่ำกว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 และปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 13 ค่าการดูดความชื้นของน้ำกะปิผงหลังผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็งเมื่อใช้มอลโตเดกซ์ตรินและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 เป็นตัวพา โดยเก็บไว้ในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง

สำหรับน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 มีปริมาณความชื้นที่จุดสมดุลสูงสุดเท่ากับร้อยละ 35.54 และมีปริมาณความชื้นที่จุดสมดุลต่ำสุดที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 55% เท่ากับร้อยละ 11.53 (ภาพที่ 13) ส่วนน้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 มีปริมาณความชื้นที่จุดสมดุลสูงสุดเท่ากับร้อยละ 33.46 และมีปริมาณความ ชื้นที่จุดสมดุลต่ำสุดที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 55% เท่ากับร้อยละ 7.63 (ภาพที่ 13) แสดงว่าน้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 มีการดูดซับความชื้นจากอากาศได้ต่ำกว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 และปริมาณความ ชื้นมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อเก็บในสภาวะที่มีระดับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้นจาก 55%, 65%, 75% และ 85% ตามลำดับ (ภาพที่ 13) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของวรเดช (2545) ในการศึกษาผลขององค์ประกอบทางเคมีต่อจลศาสตร์การดูดความชื้นของซีอิ๊วผงอบแห้งแบบพ่นฝอยพบว่า ซีอิ๊วผงมีการดูดความชื้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณเกลือและระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้น และทำให้ซีอิ๊วผงมีอัตราการรวมตัวเป็นก้อนเพิ่มตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดต่อการดูดความชื้นของซีอิ๊วผง

จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็งพบว่า การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีการดูดความชื้นจากอากาศได้สูงกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งการทำแห้งทั้งสองวิธีที่ใช้ตัวพาทั้งสามชนิดมีค่า A_w ปริมาณความชื้น ค่าสี การจับตัวเป็นก้อน และการดูดความชื้นใกล้เคียงกันหรือไม่มีความแตกต่างกัน โดยภาพรวมแล้วค่า A_w มีผลต่อการเก็บรักษาน้ำกะปิผง เนื่องจากน้ำกะปิผงที่มีค่า A_w ต่ำ เมื่อเก็บรักษาไว้จะดูดกลับน้ำหรือความชื้นในอากาศได้อย่างรวดเร็วและส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลเข้มได้ซึ่งทำให้ยากต่อการเก็บรักษา เมื่อเทียบกันระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็งมีค่า A_w ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.22-0.29 และ 0.30 - 0.39 ตามลำดับ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่า A_w ที่สูงกว่า 0.30 เป็นช่วงที่มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้สูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ดีจึงทำให้น้ำกะปิผงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้เร็วขึ้นและยังมีกลิ่นเหม็นรุนแรงด้วย แสดงว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่ให้น้ำกะปิผงที่มีคุณภาพที่ดี สามารถเก็บรักษาได้นานในภาชนะที่ปิดสนิทและไม่มีกลิ่นของน้ำกะปิรุนแรงทำให้ผู้บริโภคยอมรับได้

4.3.7 ลักษณะโครงสร้างผิว

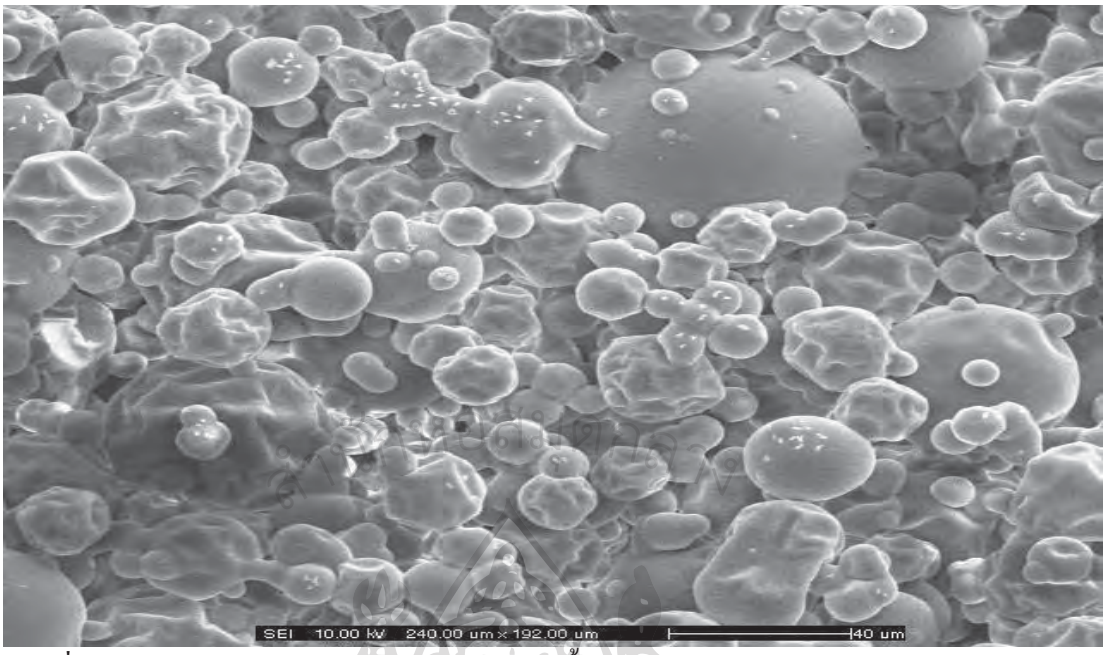
การศึกษาลักษณะโครงสร้างผิวของน้ำกะปิผง โดยวิธีการใช้กล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อดูลักษณะโครงสร้างของอนุภาคในน้ำกะปิผงหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็งพบว่า น้ำกะปิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยใช้มอลโตเดกซ์ตรินเป็นตัวพาร้อยละ 20 มีอนุภาคเป็นรูปทรงกลมเกาะกลุ่มกัน บริเวณผิวมีผลึกของเกลือกระจายตัวอยู่และมีรูพรุนเล็กน้อยที่ผิว (ภาพที่ 14) ผิวยุบตัว เพราะภายในจะมีลักษณะกลวง อนุภาคบางส่วนมีผิวเรียบแต่มีรอยแตกเนื่องจากเป็นบริเวณผิวที่ไม่เสถียร เมื่อดูดซับความชื้นแล้วจะเกิดการหลอมตัวของอนุภาคขึ้น ส่วนน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบเยือกแข็งโดยใช้ตัวพาเป็นแป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 มีอนุภาคทรงกลมไม่มีรูพรุน ผิวเรียบบ้างขรุขระบ้างจับตัวกันอยู่ บางส่วนเกาะกลุ่มติดกัน บริเวณผิวจะยุบตัวหรือเหี่ยวย่น (ภาพที่ 15) เนื่องจากน้ำเกิดการระเหิดกลายเป็นไอแล้วไอน้ำระเหยออกไป จากนั้นจึงทำให้อนุภาคเย็นอย่างเร็วส่งผลให้อนุภาคเกิดการหดตัวจึงมีรอยแตกและรอยเหี่ยวย่นเกิดขึ้น จากการรายงานของ Sansone และคณะ (2011) ในการทำแห้งสารสกัดจากพฤกษเคมีด้วยวิธีพ่นฝอยโดยใช้มอลโตเดกซ์ตรินและเพคตินเป็นตัวพา พบว่า อนุภาคมีลักษณะเป็นทรงกลม มีรูพรุน จับตัวกันเป็นกลุ่ม ผิวด้านหน้าเหี่ยวย่นและมีรอยแตก บริเวณผิวของอนุภาคมีผลึกกระจายตัวอยู่

สำหรับน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้มอลโตเดกซ์ตรินเป็นตัวพาร้อยละ 20 อนุภาคมีลักษณะผิวขรุขระบางส่วนมีผิวเรียบ อนุภาคมีขนาดไม่สม่ำเสมอกัน มีรอยย่นหรือยุบตัว และมีลักษณะเป็นทรงกลมจับกันเป็นกลุ่มแน่น (ภาพที่ 16) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Kurozawa (2009) ในการทำแห้งโปรตีนของเนื้อไก่ที่มีการใช้มอลโตเดกซ์ตรินเป็นตัวพาร้อยละ 20 และเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Jinapong (2008) ในการทำแห้งนมถั่วเหลืองแบบพ่นฝอยโดยใช้มอลโตเดกซ์ตรินเป็นตัวพา มีรูเกิดขึ้นและมีผลึกของเกลือเกาะอยู่บริเวณผิวด้านหน้าเป็นบางส่วน โดยมีรอยเหี่ยวย่นและมีผลึกเกลือเกาะที่ผิวมากกว่าน้ำกะปิผงที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 เป็นตัวพา ซึ่งรอยย่นที่เกิดขึ้นเกิดจากที่หยดของเหลวได้รับความร้อนในการทำแห้ง น้ำจึงระเหยกลายเป็นไอแล้วทำให้อนุภาคมีการขยายตัว หลังจากไอน้ำระเหยออกไปหมดแล้ว อนุภาคจะถูกทำให้เย็นอย่างรวดเร็วจึงเกิดการหดตัว แต่ผิวของอนุภาคนั้นไม่สามารถหดตัวได้เร็วจึงเกิดรอยเหี่ยวย่นขึ้น เนื่องจากการที่เกลือมีคุณสมบัติเป็นสารอนินทรีย์จึงมีโครงสร้างเป็นผลึกอยู่ในรูปของของแข็งหลังจากที่น้ำระเหยออกจากโมเลกุลของน้ำกะปิผงเมื่อ

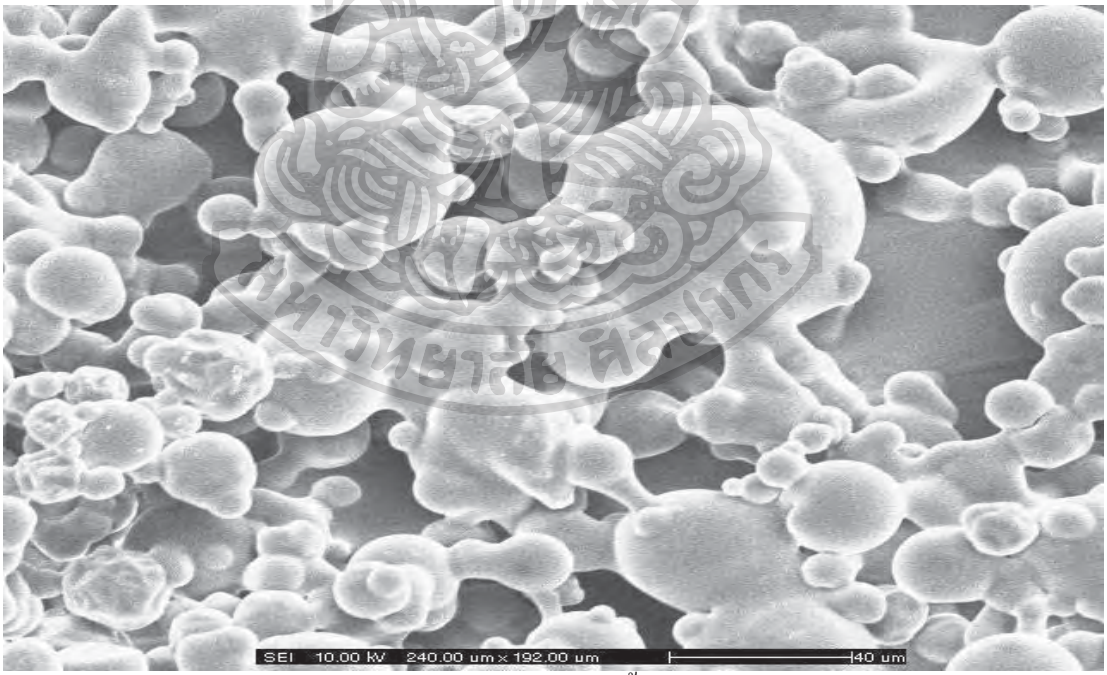
ได้รับความร้อนในระหว่างการทำแห้ง

ส่วนน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรเป็นตัวพาร้อยละ 20 มีลักษณะเป็นทรงกลมเกาะกันเป็นกลุ่มแน่น บริเวณผิวค่อนข้างเรียบและมีผลึกเกลือเกาะกระจายตัวอยู่ที่ผิวด้านหน้าหรือฝังอยู่ภายในอนุภาค (ภาพที่ 17) จากการรายงานของ Porrarud และคณะ (2010) ในการทำแห้งน้ำใบเตยโดยวิธีพ่นฝอยที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรเป็นตัวพาพบว่า อนุภาคมีลักษณะเป็นทรงกลมขนาดเล็กจับกันเป็นกลุ่ม ผิวเรียบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Kanakdande (2007) ในการทำไมโครเอนแคปซูเลตจากขมิ้นโดยใช้กัมอะราบิคมอลโตเดกซ์ตริน และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรเป็นตัวพาในการทำแห้งแบบพ่นฝอยพบว่าอนุภาคของผงขมิ้นที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปร มีลักษณะทรงกลมขนาดเล็กจับกันเป็นกลุ่ม ผิวเรียบ ส่วนอนุภาคของผงขมิ้นที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินมีลักษณะทรงกลมจับกันเป็นกลุ่ม มีขนาดไม่สม่ำเสมอกัน ผิวมีรอยเหี่ยวย่น

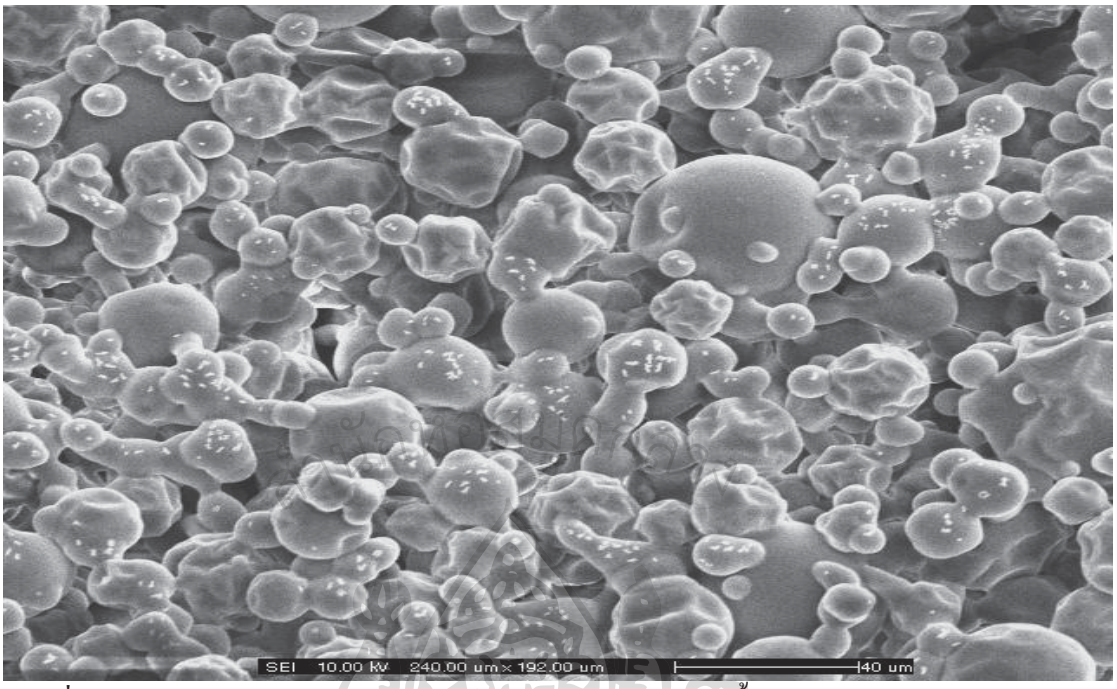
จากการทำแห้งทั้งสองวิธีพบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 เป็นตัวพา อนุภาคมีลักษณะทรงกลมเกาะกันเป็นกลุ่ม บางกลุ่มมีผิวเรียบบางกลุ่มผิวมีรอยแตกและยุบตัวเนื่องจากภายในมีลักษณะกลวง สามารถเก็บรักษากลิ่นของน้ำกะปิได้ดีเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 90 วัน ในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ปิดสนิท จากการรายงานของ Apintanapong และคณะ (2003) ในการทำไมโครเอนแคปซูเลตกลิ่นของข้าวพบว่า มอลโตเดกซ์ตรินเป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถรักษากลิ่นได้ดี มีความหนืดต่ำที่ปริมาณของแข็งสูง ซึ่งจะสอดคล้องกับการรายงานของอรุณศรี และคณะ (2552) ในการใช้ประโยชน์ของเหลวจากการหมักกะปิพบว่าการนำน้ำกะปิไปทำแห้งแบบพ่นฝอยได้น้ำกะปิผงที่มีปริมาณกลิ่นลดลงและเป็นกลิ่นที่ดีที่สามารถนำไปผลิตเป็นสารปรุงรสต่อไปได้ แสดงว่าน้ำกะปิผงที่มีคุณภาพดีจากการทำแห้งควรใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 เป็นตัวพา เนื่องจากอนุภาคมีการจับตัวเป็นก้อนต่ำ มีการหลอมตัวช้า ปริมาณกลิ่นเหม็นของน้ำกะปิน้อยลงสามารถกักเก็บกลิ่นได้ดี และมีการเปลี่ยนแปลงของสีค่อนข้างน้อยด้วย



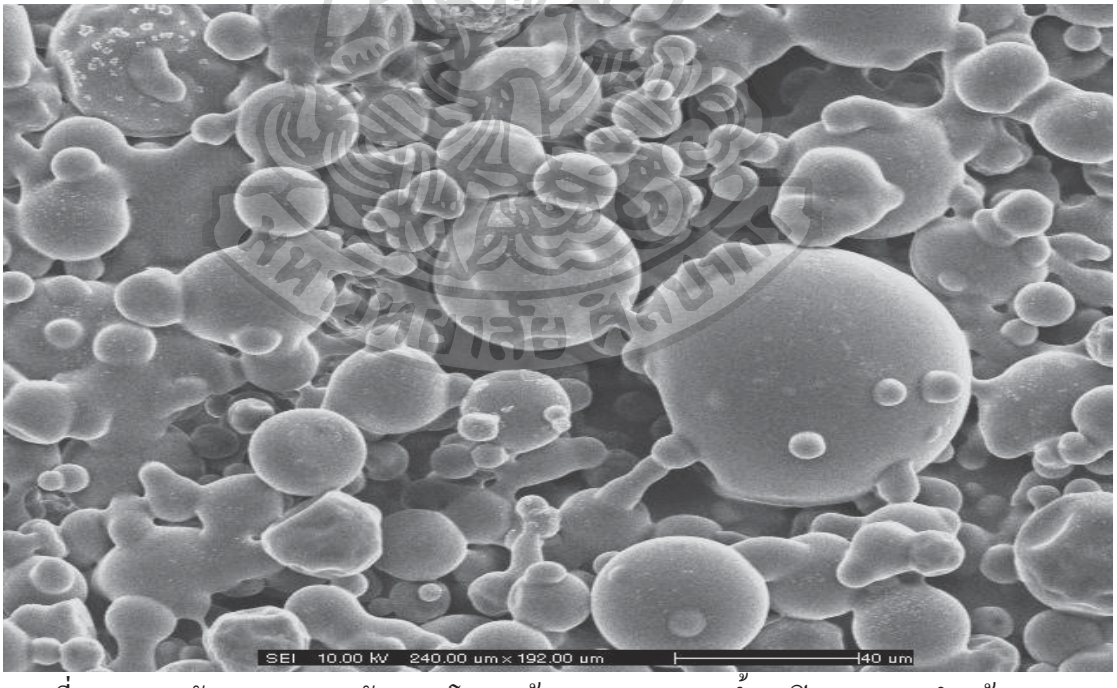
ภาพที่ 14 แสดงลักษณะโครงสร้างของผงอนุภาคน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20



ภาพที่ 15 แสดงแสดงลักษณะโครงสร้างของผงอนุภาคน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20



ภาพที่ 16 แสดงลักษณะ แสดงลักษณะโครงสร้างของผงอนุภาคน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20



ภาพที่ 17 แสดงลักษณะ แสดงลักษณะโครงสร้างของผงอนุภาคน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 คุณสมบัติของน้ำกะปิ

คุณสมบัติด้านกายภาพพบว่า น้ำกะปิอายุ 6 เดือน มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ วัดค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 0.09 ± 0.00 ค่าความเป็นสีแดง (a*) เท่ากับ 0.00 ± 0.00 และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 0.00 ± 0.00 ค่า pH เท่ากับ 6.74 ± 0.02 และค่า A_w เท่ากับ 0.74 ± 0.004 และปริมาณความชื้นร้อยละ 78.40 ± 0.25 ซึ่งสีของน้ำกะปีที่ได้เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างกรดอะมิโนกับน้ำตาลในช่วงของการหมักกะปิ เนื่องจากน้ำกะปีมีค่า A_w และค่า pH ที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทำให้เกิดสารประกอบ melanoidins ที่มีสีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้ม

คุณสมบัติด้านเคมีพบว่าน้ำกะปิอายุ 6 เดือน มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 21.60 ± 0.53 มีโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 18.07 ± 0.18 มีไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 0.385 และมีโปรตีนร้อยละ 2.41 ± 0.00 ซึ่งสารประกอบไนโตรเจนที่พบเกิดจากการย่อยโปรตีนในระหว่างการหมักกะปิ

คุณสมบัติด้านจุลชีววิทยาพบว่า มีจุลินทรีย์ทั้งหมด $3.20 \times 10^2 \pm 0.09$ cfu /g ส่วนยีสต์และราพบน้อยมากคือ < 10 cfu /g โดยจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่เจริญได้ในน้ำกะปีเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ชอบความเค็มสูงหรือทนต่อเกลือได้ดีที่ A_w ต่ำ

คุณสมบัติด้านสารเสริมสุขภาพพบว่า ในน้ำกะปีอายุ 6 เดือน มีสารสลายลิ่มเลือดเท่ากับ 3.20 (0.30) เซนติเมตร ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระนั้นมีค่าต่ำ ซึ่งน้ำกะปีอายุ 6 เดือน มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดคือ 58.50 (0.30)

5.2 การผลิตน้ำกะปีผง

น้ำกะปีผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นผงละเอียดสีขาวสว่างใกล้เคียงกัน น้ำกะปีผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 เป็นตัวพา มีสีขาวสว่างใกล้เคียง กันต่างกับตัวพาชนิดอื่น สำหรับค่า A_w และปริมาณความชื้นของน้ำกะปีผงไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

น้ำกะปีผงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีลักษณะเป็นเกล็ดสีเหลืองออกสีน้ำตาลเข้ม มีค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองใกล้เคียงกัน ค่า A_w และปริมาณ

ความชื้นของน้ำกะปิผงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

5.3 คุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของน้ำกะปิผง

คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน โดยน้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 55.86 ± 0.01 และ 57.34 ± 0.02 ตามลำดับ แต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเมื่อเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระ BHA : BHT เข้มข้น 0.2 มก/มล ที่มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระได้ 86.88 ± 0.03

น้ำกะปิผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็งที่ใช้ตัวพาทั้งสามชนิด คือ มอลโตเดกซ์ตริน แป้งมันสำปะหลังดัดแปร และกัมอะราบิค ในอัตราส่วนร้อยละ 10 และ 20 เก็บไว้ในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์มีปริมาณความชื้นและค่า A_w มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องตามระยะเวลาในการเก็บรักษา แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) ของน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็งที่เก็บไว้ในถุงอะลูมิเนียฟอยด์ 90 วัน เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับสารต้านอนุมูลอิสระ BHA : BHT เข้มข้น 0.2 มก/มล ที่มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระได้เท่ากับ 86.81 ± 0.03 โดยน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 และที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 ได้เท่ากับ 55.78 ± 0.03 และ 52.66 ± 0.02 ตามลำดับ ส่วนน้ำกะปิผงจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 และที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 ได้เท่ากับ 57.24 ± 0.03 และ 55.12 ± 0.02 ตามลำดับ

การจับตัวเป็นก้อนของน้ำกะปิผงทั้ง 6 ตัวอย่าง ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้ตัวพาทั้งสามชนิดในปริมาณร้อยละ 10 และ 20 มีร้อยละของการจับตัวเป็นก้อนเพิ่มมากขึ้นตามระยะ เวลาที่เก็บรักษา แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาสถิติท่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$) สำหรับน้ำกะปิผงที่ได้จากการทำห้งแบบแช่เยือกแข็งทั้ง 6 ตัวอย่าง มีร้อยละของการจับตัวเป็นก้อนเพิ่มมากขึ้นเหมือนกันแต่จะสูงกว่า ดังนั้นจึงคัดเลือกน้ำกะปิผงที่ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 เนื่องจากไม่มีความแตกต่างกันใน

เรื่องการจับตัวเป็นก้อน มีค่า A_w สูง และมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระได้สูง เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาต่อไป

น้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยใช้มอลโตเดกซ์ตรินและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 มีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 55.78 ± 0.03 และ 52.66 ± 0.02 ตามลำดับ ส่วนน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งใช้มอลโตเดกซ์ตรินและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 มีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 57.24 ± 0.02 และ 55.12 ± 0.03 ตามลำดับ ส่วนปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.63×10^2 (0.03) cfu/g และ 2.85×10^2 (0.03) cfu/g ตามลำดับ ปริมาณยีสต์และราพบน้อยมากคือ < 10 cfu /g ในทั้งสองวิธี

น้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยและแบบแช่เยือกแข็งที่ใช้ตัวพามอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 มีแนวโน้มการดูดความชื้นเพิ่มมากขึ้น เมื่อเก็บในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ ของอากาศ จาก 55% 65% 75% และ 85% ตามลำดับ

น้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 มีอนุภาคเป็นรูปทรงกลมเกาะกลุ่มกัน มีผลึกเกลือกระจายอยู่ที่ผิว ผิวยุบตัวเหี่ยวย่น ส่วนน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 มีอนุภาคทรงกลม ผิวเรียบเกาะกลุ่มติดกัน บริเวณผิวหลอมตัวติดกัน สำหรับน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 มีผิวอนุภาคเรียบ มีรอยเหี่ยวย่นหรือยุบตัว มีลักษณะเป็นทรงกลมจับกันเป็นกลุ่มแน่น และมีผลึกของเกลือเกาะอยู่บริเวณผิวด้านหน้าหรือฉมอยู่ภายในอนุภาค ส่วนน้ำกะปิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 20 เป็นทรงกลมเกาะกันแน่น ผิวขรุขระ มีรอยเหี่ยวย่นหรือยุบตัวและมีผลึกเกลือเกาะกระจายตัวอยู่ที่ผิวเป็นบางส่วน

ข้อเสนอแนะ

ในการทำน้ำกะปิผงควรใช้การทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากลักษณะผงที่ได้เป็นผงละเอียดสีขาวนวล มีกลิ่นของน้ำกะปิไม่รุนแรง มีอายุการเก็บรักษานาน 90 วัน และควรเก็บใน

ภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทสามารถกันไอน้ำ ความชื้น อากาศและแสงได้เพื่อยืดอายุในการเก็บ เช่น ถุงอลูมิเนียมฟอยด์ ในกรณีที่เปิดถุงใช้แล้วควรเก็บไว้ในที่อุณหภูมิต่ำเพื่อป้องกันการเปลี่ยนสี การละลายและการจับตัวเป็นก้อน

ศึกษาความคงตัวของสารสลายลิ่มเลือดว่ามีความคงตัวที่สภาวะของอุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง ระยะเวลาการหมัก เท่าใด เมื่อรับประทานแล้วจะคงตัวได้หรือไม่ และควรจัดเก็บไว้ในรูปของ เอนแคปซูเลชั่นด้วยสารใดที่ทำให้มีความคงตัวอยู่ได้

ศึกษาการหมักอาหารที่ใช้จุลินทรีย์ในกลุ่มของแบคทีเรียที่สร้าง fibrinogen activity เพื่อนำมาผลิตสารสลายลิ่มเลือดให้ได้ปริมาณมากในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณฮิสตามีนที่พบในน้ำกะปิ เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้บริโภคเกิดอาการแพ้จากการรับประทานน้ำกะปิผงได้

ศึกษาการนำน้ำกะปิไปใช้ในการผลิตอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารที่สำคัญอยู่หลายอย่าง เป็นการส่งเสริมให้ผู้บริโภคหันมาสนใจและดูแลสุขภาพกันมากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
มหาวิทยาลัย ศิลปากร

บรรณานุกรม

กัลยาณี โสมนัส. 2540. การผลิตกล้วยหอมผงโดยการทำแห้งแบบโฟมและแบบพ่นฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 146 น.

กล้าณรงค์ ศรีรอต. 2542. เทคโนโลยีของแป้ง, บริษัทเท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น. 225 น.

จิราวรรณ เศตะพราหมณ์, สุนีย์ พะยอมแจ่มศรี และ เริงฤดี พฤทธิอนันต์. 2521. ศึกษาทดลองผลิตกะปิจากเคยและวิเคราะห์คุณภาพระหว่างการหมักและช่วงการเก็บรักษา, น. 27-36. ในรายงานผลการทดลองปี 2521. กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง, กรุงเทพฯ

เติมศักดิ์ โชติวรรณวิรัช. 2523. การศึกษาจุลชีววิทยาของอาหารหมักพื้นเมือง : กะปิ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาจุลชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 487 น.

ปรรัตน์ เซ็นกลาง และ ปราณี อาจเปรื่อง. 2552. ผลของชนิดตัวพยุงต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและความคงตัวของผงคลอโรฟิลล์จากใบเตยด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. ปีที่ 40 ฉบับที่ 1 (พิเศษ) มกราคม-เมษายน 2552, น. 35-38.

ประเสริฐ สายสิทธิ์. 2511. กลิ่นและรสของน้ำปลา. วารสารประมง. 21(3) : 467-474.

ปรัชญา วงค์ธนบัติ. 2544. ผลของปัจจัยการแปรรูปต่อคุรภาพของน้ำกะทิอบแห้งแบบพ่นฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมอาหาร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.กรุงเทพฯ. 87 น.

ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ. 2551. บรรจุภัณฑ์โลหะ (metal packaging). ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค). อมรโปรดักส์ จำกัด กรุงเทพ. 752 น.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2547. ฉบับที่ 494 พ.ศ. 2547 เรื่องผงปรุงรสอาหาร.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2547. ฉบับที่ 511 พ.ศ. 2547 เรื่องน้ำซีอิ๊ว.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2549. ฉบับที่ 1347 พ.ศ. 2549 เรื่องน้ำปลาจากเคย.

วรเดช อรุณเลิศรัศมี.2545. ผลขององค์ประกอบทางเคมีต่อจลศาสตร์การดูดความชื้น.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.สาขาวิศวกรรมอาหาร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ

สายพิณ ไชยนันท์, ชัชวาล โพธิกำจร และ ยุทธการ นันทวิตร. 2547. น้ำปลาผงจากการอบแห้ง

แบบพ่นฝอย. เอกสารการประชุมสัมมนาวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 6. ภาควิชาจุลชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ

สายพิณ ไชยนันท์, ชัชวาล โพธิกำจร และ ยุทธการ นันทวิตร. 2547. น้ำปลาผงจากการทำแห้งในสภาพแช่แข็ง. เอกสารการประชุมสัมมนาวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 6. ภาควิชาจุลชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ

สุมณฑา วัฒนสินธุ์. 2549. ตำราจุลชีววิทยาทางอาหาร. จามจุรีโปรดักท์. กรุงเทพฯ. 425 น.

แสงไทย พจน์สมพงศ์ และ เริงฤดี พฤทธิอานันต์. 2520. ศึกษาคุณสมบัติของกะปี. II. การเปลี่ยนแปลงบางอย่างของกะปีเคยระหว่างการหมักดอง, น. 31-36. ใน รายงานผลการทดลองปี 2520. กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง, กรุงเทพฯ .

อรุณศรี ลีจีรจำเนียร ประมุข ภระกูลสุขสถิตย์ และสายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2552. การใช้ประโยชน์ของเหลวจากการหมักกะปี. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). 96 น.

โอภาส เดชารักษ์. 2508. การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการทำกะปี. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

AOAC. 1995. Official methods of analysis of AOAC International, 16 th ed. Vol II. Arlington.

Apintanapong, M. and Noomhorm, A. 2003. The use of spray drying to microencapsulate 2-acetyl-1 pyrroline, a major flavor component of aromatic rice. Internal Journal of Food Science and Technology 38 : 95-102.

Benjakul, S. and Morrisey, M.T. 1997. Protein Hydrolysates from Pacific Whiting Solid Wastes. Journal of Agricultural and Food Chemistry 45(9) : 3423-3430.

Benjakul, S., Lertittikul, W. and Bauer, F. 2004. Antioxidant activity of maillard reaction products from a porcine plasma protein-sugar model system. Food Chemistry 93 : 189-196.

Binsan, W., Benjakul, S., Visessanguan, W., Roytrakul, S., Tanaka, M. and Kishimura, H. 2007. Antioxidative activity of mungong an extract paste, from the cephalothorax of white shrimp (*Litopeneus vannamei*). Food Chemistry 106 :185-193.

Blois, M.S. 1995. Antioxidant Determination by the use of a stable free radical. Nature 181: 1199-1200.

Cano-Chauca, M., Stringheta, P.C., Ramos, AM. and Cal-Vidal, J. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. Innovative Food Scince and Emerging Technologies 6 : 420-428.

Cheow, W.S., Ling Ng,. Kho, K. and Hadinoto, K. 2011. Spray-freeze-drying production of thermally sensitive polymeric nanoparticle aggregates for inhaled derivery: Effect of freeze-drying adjuvants. International Journal of Pharmaceutics 404 : 289-300.

Choi, Y., Lee, S.M., Chun, J., Lee, H.B. and Lee, J. 2005. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. Food Chemistry 99 : 381-387.

Chuy, E.I. and Labuza, P. 1994. Caking and Stickiness of Dairy-Based Food Powders as related to Glass Transition. Journal of Food Science 59(1) : 43-46.

Daengsubha, W. 1970. A study on the microorganisms during the fermentation cycle in Kapi (shrimp paste) production. อ้างโดย ประเสริฐ สายสิทธิ์. กรรมวิธีอุตสาหกรรมประมงตอนที่ 2 กรรมวิธีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 251 น.

Ersus, S., and Yurdagel, U. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucuscarota L.*) by spray drier. Journal of Food Engineering 80 : 805-812.

Fang, Z. and Bhandari, B. 2011. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. Food Chemistry 129 : 1139-1147.

Fennama, O.R. 1996. Water and ice. In O.R. Fennema (Ed.), Food Chemistry (pp. 17-94). New York: Marcel Dekker.

Gallo, L., Llabot, J., Allemandi, D., Bucala, V. and Pina, J. 2011. Influence of spray drying operating conditions on Rhamnus purshiana extract powder physical properties. Powder Technology. 208 : 205-214.

Grabowski, J.A., Truong, V.D. and Daubert, C.R. 2006. Spray-drying of amylase hydrolyzed sweet potato puree and physicochemical properties of powder. Journal of Food Science 71(5) : 209-217.

Jeon, O.H., Moon, W.J. and Kim, D.S. 1995. An anticoagulant/fibrinolytic protease from *Lumbricus rubellus.* Journal of Biochemistry and Molecular Biology 28 : 138-142.

Jinapong, N., Suphantharika, M. and Jinapong, P. 2008. Production of instant soymilk powder by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. Journal of Food Engineering 84 : 194-205.

He, H., Chen, X., Sun, C., Zhang, Y. and Gao, P. 2006. Preparation and functional evaluation of oligopeptide-enriched hydrolysate from shrimp (*Acetes chinensis*) treat with crude protese from *Bacillus sp.* SM 98011. Bioresource Technology 97 : 385-390.

Hsia, C.H., Shen, M.C., Lin, I.S., Wen, Y.K., Hwang, K.L., Cham, T.M. and Yang, N.C. 2009. Nattokinase decreases plasma levels of fibrinogen, factor VII, and factor VIII in human subjects. Journal of Nutrition Research 29 : 190-196.

Kanakdande, D. 2007. Stability of cumin oleoresin microencapsulated in different combination of gum Arabic, maltodextrin and modified starch. Cabohydrate Polymers. 67 : 536-541.

Kha, T., Nguyen, M. and Roach, P. 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac fruit aril powder. Journal of Food Engineering 98 : 385-392.

Kim, W., Choi, K. and Kim, Y. 1996. Purification and characterization of a fibrinolytic enzyme produced from *Bacillus sp.* Strain CK 11-4 screened from Chungkook Jang. Applied and Environmental Microbiology 62 : 2482-2488.

Kim, H.K., Kim, G.T., Choi, W.A., Park, S.H., Jeong, Y.K. and Kong, I.S. 1997. Purification and Characterization of a Novel fibrinolytic enzyme from *Bacillus sp.* KA38 Originated from Fermented Fish. Journal of Fermentation and Bioengineering 84(4) : 307-312.

Kim, J. and Kim, Y.S. 1999. A fibrinolytic metalloproteasebfrom the fruiting bodied of an edible mushroom, *Armilla mellea.* Bioscience, Biotechnology and Biochemistry 63 : 2130-2136.

Kim, J.S., Shahidi,F. and Heu, M.S. 2003. Characteristics of salt-fermented sauces from shrimp processing by-products. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51 : 784-792.

Kunio, S. and Takahisa, N. 2000. Identification of an antihypertensive peptide from peptic digest of wakame (*Undaria pinnatifida*). Journal of Nation and Biochem 11 : 450-454.

Kurozawa, D. 2009. Effect of carrier agents on the physicochemical properties of a spray dried chicken meat protein hydrolysate. Journal of Food Engineering 94 : 326-333

Master, K., 1991. Spray drying Handbook, 5th ed., New York, Longman Scientific & Technical. 263-306.

Mihara, H., Sumi, H., Yonefa, T., Mizumoto, H., Ikeda, R., Seiki, M. 1991. A novel fibrinolytic enzyme extracted from the earthworm, *Lumbricus rubellus*. Journal of Physiology 41 : 461-472.

Mine, Y., Wong, A.H.K. and Jiang, B. 2004. Novel fibrinolytic enzyme in fermented shrimp paste, a traditional Asian fermented seasoning. Journal of Agricultural and Food Chemistry 52 : 980-986.

Mine, Y., Wong, A.H.K. and Jiang, B. 2005. Fribrinolytic enzymes in Asian traditional fermented foods. Food Research International. 38 : 243-250.

Molyneux, P. 2004. The use of the stable free radical diphenylpicryl-hydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. Journal of Science Technology 26 : 211-219.

Motano, N., Gavino, G. and Gavino, V.C. 2001. Polyunsaturated fatty acid contents of some traditional fish and shrimp paste condiments of Philippines. Food Chemistry 75(2) : 155-158.

Nakkarike, M.S. and Narayan, B. 2008. In vitro antioxidant activity of liquor from fermented shrimp biowaste. Journal of Bioresource Technology 99 : 9013-9016.

Namwong, S, Hiraga K, Takada K, Tsunemi M,Tanasupawat S. and Oda K.A.2006. Halophilic serine proteinase from *Halobacillus sp*. SR5-3 isolated from fish sauce : purification and characterization. Bioscience Biotechnology and Biochemistry 70 : 1395-1401.

Nikai, T., Mori, N., Kishida, M., Sugihara, H. and Tu, A. 1984. Isolation and biochemical characterization of hemorrhagic toxin from the venom of *Crotalus atrox*. Archives of Biochemistry and Biophysics 231 : 309-319.

Onwulata, C., Smith, P.W. and Craig, J.C. 1994. Physical properties of encapsulated Spray-dried Milkfat. Journal of Food Science 59(2) : 316-320.

Perez-Munoz, F. and Flores, R.A. 1998. Particle size of spray dried soymilk. Journal of Engineering in Agricultural 61(2) : 231-234.

Porrarud, S. and Pranee, A. 2010. Microencapsulation of Zn-chlorophyll from Pandan leaf by spray drying and its characteristic. International Food Research Journal 17 : 1031-1042.

Re, M.I. 1998. Microencapsulation by spray drying, Drying Technology. 16 : 1195-1236.

Risch, S.J. and Reineccius, G.A. 1995. Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients, ACS Symposium series 590, Washington DC. 1-203.

Sansome, F., Mencherini, T., Picerno, P., Amore, M., Aquino, R.P. and Lauro, M.R. 2011. Maltodextrin/pectin microparticles by spray drying as carrier for nutraceutical extracts. Journal of Food Engineering 105 : 468-476.

Sheu, T.Y. and Rosenberg, M. 1998. Microstructure of microcapsules consisting of whey Proteins and Carbohydrates. Journal of Food Science 63(3) : 491-494.

Thevent, F. 1988. Acacai gums : Stabilizers for flavor encapsulation. In S.J. Risch and G.A. Reineccius (eds) flavor encapsulation 370 : 37-44.

Tonon, R.V., Brabet, C. and Hubinger, M.D. 2010. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray dried acai juice produced with different carrier agents. Food Research International 43 : 907-914.

Tou,J.C., Jaczynski, J. and Chen, Y. 2007. Krill for human consumption : Nutritional value and potential health benefits. Nutrition Reviews 65(2) : 63-67.

Tunngkawachara,S., Parkm, J.W. and Choi, Y.J. 2003. Biochemical properties and consumer acceptance of Pacific whiting fish sauce. Journal of Food Science 68 : 855-860.

Yoshiki, M., Tsuge, K., Tsuruta, Y., Yoshimura, T., Koganemaru, K., Sumi, T., Matsui, T., Sumi, T. and Matsumoto, K. 2008. Production of new antioxidant compound from mycosporine-like amino acid porphyra-334 by heat treatment. Food Chemistry 113 : 1127-1132.

Young Quek, S., King Chok, N. and Swedlund, P. 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. Chemical Engineering and Processing 46 :386-392.

http://www.doctor.or.th/node/1346 [accept 09/26/2008]

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

1. การวัดสี (Color)

วัดค่า L* a* และ b* ของตัวอย่างตามวิธีของ CIE (1997) ด้วย color-view™ spectrophotometer (รุ่น 9000, Gardner, ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยใช้แสงชนิด D65 และมีการหมุนของแสง 10° ทั้งนี้ค่า L* จะบ่งบอกถึงค่าความสว่าง (L*=0 แสดงความเป็นสีดำและ L*=100 แสดงความเป็นสีขาว) ค่า a* แสดงค่าความเป็นสีแดง เมื่อ a* > 0 และค่า b* แสดงความเป็นสีเหลือง เมื่อ b* > 0 ทำการ วัดค่า 3 ซ้ำ

2. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture content; AOAC 1995)

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นในตัวอย่างตาม AOAC (1995) โดยนำถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาไปอบที่อุณหภูมิ 105 - 107 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง นำออกมาใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งให้เย็นแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก นำตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ใส่ในถ้วยอลูมิเนียมปิดฝาให้สนิทแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 - 107 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง นำออกมาใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งให้เย็น แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นในตัวอย่างจาก

$$\% \text{ ปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักหลังอบ}} \times 100$$

3. การวิเคราะห์การจับตัวเป็นก้อน (Degree of caking; วรเดช 2545)

วิเคราะห์ตามวิธีของวรเดช (2545) โดยเลือกตะแกรงร่อนขนาด 25, 35, 45, 60, 80 และ 100 mesh นำตะแกรงไปอบที่อุณหภูมิ 80 - 85 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น บรรจุตะแกรงทุกขนาดใส่ในเครื่อง ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่บนตะแกรงปิดฝาแล้วล็อคเครื่องให้แน่น เปิดเครื่องให้เขย่าที่ความเร็วคงที่ 10 นาที แล้วนำตัวอย่างที่เหลืออยู่บนตะแกรงทุกชั้นมารวมกันชั่งน้ำหนัก คำนวณการรวมตัวเป็นก้อนของตัวอย่างจาก

$$\% \text{ การรวมตัวเป็นก้อน} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างบนตะแกรง}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้นทั้งหมด}} \times 100$$

4. การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผิว (Scanning Electron Microscopey; วรเดช 2545)

วิเคราะห์ตามวิธีของวรเดช (2545) โดยนำตัวอย่างประมาณ 10 กรัม ไปอบให้แห้งแล้วนำตัวอย่างที่ได้จำนวนเล็กน้อย วางกระจายให้ทั่วบนแผ่นกระดาษกาวชนิดพิเศษ ที่ใช้สำหรับเครื่อง SEM จากนั้นก็นำไปทำการเคลือบด้วยผงทองประมาณ 10 - 15 นาที นำแผ่นกระดาษดังกล่าวใส่ใน Vacuum Chamber ปิดฝาให้สนิท เปิดเครื่ง SEM ทำการ Scan รูปภาพของตัวอย่าง เมื่อได้รูปภาพแล้วทำการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอลเพื่อเก็บผล

สำนักหอสมุดกลาง

5. การวิเคราะห์การดูดความชื้น (Moisture absorption; วรเดช 2545)

วิเคราะห์ตามวิธีของวรเดช (2545) โดยเตรียมสารละลายเกลืออิ่มตัวที่ใช้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์คือ แมกนีเซียมไนเตรต (55%) แมกนีเซียมคลอไรด์กับ โซเดียมคลอไรด์ (65%) โซเดียมคลอไรด์ (75%) และโปตัสเซียมคลอไรด์ 85%) ใส่ในโถแก้วปิดฝาให้สนิท แล้วนำตัวอย่างไปหาปริมาณความชื้นเริ่มต้นแล้วนำตัวอย่างอีกส่วน 25 กรัม ใส่ในโถที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ นำตัวอย่างออกจากโถมาชั่งน้ำหนักทุกๆ 60 นาที จนครบ 1,400 นาที โดยหาปริมาณความชื้นของตัวอย่างเทียบกับปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ 0 นาที เป็นค่าการดูดความชื้น

ภาคผนวก ข
วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

1. การวัดปริมาณของแข็ง (Total solid; AOAC 2000)

วิเคราะห์ปริมาณของแข็งในตัวอย่างตาม AOAC (2000) วิธีที่ 920.193 โดยกรณีที่ตัวอย่าง มีของแข็งแขวนลอยอยู่ ให้เขย่าจนเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้น ปิเปตตัวอย่างมา 100 มิลลิลิตร ใส่ในภาชนะที่ทราบน้ำหนัก นำตัวอย่างไประเหยที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ คำนวณค่าปริมาณของแข็งจากผลต่างของน้ำหนัก

2. การหาปริมาณเกลือ (Salt content; AOAC 2000)

วิเคราะห์ปริมาณเกลือในตัวอย่างตาม AOAC (2000) โดยเจือจางตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น 180 มิลลิลิตร นำตัวอย่างที่เจือจางแล้ว 1 มิลลิลิตร มาผสมกับสารละลาย $AgNO_3$ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล 10 มิลลิลิตร และสารละลาย HNO_3 เข้มข้น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำสารผสมที่ได้ไปต้มจนเดือดนานประมาณ 10 นาที หลังจากนั้นทำให้เย็น เติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร และสารละลายเฟอรริคอลัม (ferric alum) ซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำสารละลายผสมที่ได้ไปไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานของ KSCN ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งเกิดสีน้ำตาลอ่อน คำนวณหาร้อยละของปริมาณเกลือที่ได้

3. การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

นำตัวอย่าง 10 กรัม มาผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน นาน 30 วินาที นาน 30 วินาที วัดค่าความเป็นกรดด่างด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (รุ่น 510 pH meter, Eutech, บริษัท Cyberscan จำกัด, ประเทศสิงคโปร์)

4. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างหาจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยใช้เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนตาม AOAC (1995) วิธีที่ 955.04 ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างคำนวณได้จากผลคูณของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดกับ 6.25 ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

5. ปริมาณฟอร์มัลไนโตรเจน (Formal nitrogen content; ดัดแปลงจาก Dissaraphong และคณะ, 2006)

นำตัวอย่างที่เจือจาง 10 เท่า มา 10 มิลลิลิตร ไตเตรทให้ได้ pH 7 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล หลังจากนั้นเติมสารละลายฟอร์มาลิน (formalin) 10 มิลลิลิตร เพื่อให้เป็นกลาง ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งได้ pH 9 คำนวณค่าปริมาณฟอร์มัลไนโตรเจนจาก

ปริมาณฟอร์มัลไนโตรเจน (mg N/mL) = มิลลิลิตรของ NaOH (pH7-9) × 0.1 × 14

ภาคผนวก ค
วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางจุลชีววิทยา

1. ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total bacterial count; AOAC 1995)

นำตัวอย่างปริมาณ 10 มิลลิลิตร มาผสมกับ peptone water ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 225 มิลลิลิตร เจือจางให้มีความเข้มข้นที่ระดับต่างๆ ด้วย peptone water วิเคราะหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ที่เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยการบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

2. ปริมาณยีสต์และรา (Yeast and mold count; AOAC 1995)

นำตัวอย่างปริมาณ 10 มิลลิลิตร มาผสมกับ peptone water ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 225 มิลลิลิตร เจือจางให้มีความเข้มข้นที่ระดับต่างๆ ด้วย peptone water วิเคราะห์หาปริมาณยีสต์และราในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยการบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง

ภาคผนวก ง
วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านสุขภาพ

สำนักหอสมุดกลาง

1. คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity)

คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสามารถทดสอบได้ด้วยหลายวิธี แต่ละวิธีอาจมีหลักการแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิดของอนุมูลอิสระ ในที่นี้เลือกใช้การทดสอบความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (Radical Scarvenging Activity) ด้วยเทคนิค DPPH ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการตรวจหาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระอย่างง่าย มีหลักการคือ α,α-diphenyl-β-picryhydrazyl หรือ DPPH เป็นอนุมูลอิสระที่เสถียร เมื่อเตรียมในรูปสารละลายจะมีสีน้ำเงินเข้ม น้ำทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระ สีน้ำเงินจะจางลงและกลายเป็นสีเหลือง การเปลี่ยนแปลงสีจะแปรผันตามประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ ทั้งนี้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นด้วยเทคนิค Spectrophotometry

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 0.1 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 6×10^{-5} โมลาร์ ปริมาตร 3.9 มิลลิลิตร
3. บ่มไว้ 30 นาที ที่อุณหภูมิห้องในที่มืด
4. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 120 นาที หรือจนกว่าค่าการดูดกลืนแสงจะคงที่
5. คำนวณ % Radical Scavenging Activity (RSA) โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\%RSA = \frac{(OD\ control - OD\ sample)}{OD\ control} \times 100$$

2. คุณสมบัติการสลายลิ่มเลือด (Fibrinolytic activity; Astrup และ Mullertz 1952)

การศึกษาคุณสมบัติการสลายลิ่มเลือด มีหลักการตรงข้ามกับการศึกษาคุณสมบัติข้างต้น คือ เป็นการจำลองลิ่มเลือดหรือเส้นใยไฟบรินขึ้นมาก่อนในจานแก้ว (Petri dish) แล้วสังเกตว่าสารสกัดอาหารสามารถสลายลิ่มเลือดหรือเส้นใยที่จำลองขึ้นมาได้หรือไม่ ซึ่งวิธีนี้เรียกว่า Fibrin Plate Assay

<u>การสกัดตัวอย่าง</u>

นำตัวอย่าง 4 กรัม มาสกัดด้วยสารละลาย Tris-buffer saline ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ pH 8 ปริมาตร 8 มิลลิลิตร นำมาปั่นให้เข้ากันที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที นาน 1 นาที หลังจากนั้นนำไปเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บสารละลายส่วนใสที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกระทั่งทำการทดลอง

<u>การเตรียมสารละลาย 0.18 M กรดบอร์ริคบัฟเฟอร์ 7.5</u>

นำสารละลาย 0.18 M กรดบอร์ริค ผสมกับสารละลาย 0.18 M โซเดียมเตรตระบอเรต โดยใช้อัตราส่วน 50:2 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 200 มิลลิลิตร แล้วปรับให้มี pH 7.5$\pm$ 0.1 ด้วยสารละลาย 0.18 M กรดบอร์ริค และสารละลาย 0.18 M โซเดียมเตรตระบอเรตเก็บสารละลายที่ได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกระทั่งทำการทดลอง

<u>การเตรียมสารละลาย 0.1% แคลเซียมคลอไรด์ใน 0.18 M กรดบอร์ริคบัฟเฟอร์ 7.5</u>

นำสารแคลเซียมคลอไรด์ 0.1 กรัม ละลายในสารละลาย 0.18 M กรดบอร์ริคบัฟเฟอร์ 7.5 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วบรรจุในขวดและเก็บสารละลายที่ได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกระทั่งทำการทดลอง

<u>การเตรียมสารละลายเอนไซม์ Trombin 10 u/ml ในสารละลาย 0.1% แคลเซียมคลอไรด์ใน 0.18 M กรดบอร์ริคบัฟเฟอร์ 7.5</u>

เตรียม stock solution 1000 unit โดยใช้ 1 กรัมของเอนไซม์ Trombin ผสมกับสารละ ลาย 0.1% แคลเซียมคลอไรด์ใน 0.18 M กรดบอร์ริคบัฟเฟอร์ 7.5 ปริมาตร 10 มิลิลิตร ได้เป็น stock solution 1 (1000 unit/10 ml ในสารละลาย 0.1% แคลเซียมคลอไรด์ใน 0.18 M กรดบอร์ริคบัฟเฟอร์ 7.5) ดูดสารละลาย stock solution 1 มา 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย 0.1% แคลเซียมคลอไรด์ใน 0.18 M กรดบอร์ริคบัฟเฟอร์ 7.5 ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ได้เป็น stock

solution 2 (1000 unit/10 ml ในสารละลาย 0.1% แคลเซียมคลอไรด์ใน 0.18 M กรดบอร์ริค บัฟเฟอร์ 7.5) จากนั้นดูดสารละลาย stock solution 2 มา 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย 0.1% แคลเซียมคลอไรด์ใน 0.18 M กรดบอร์ริคบัฟเฟอร์ 7.5 ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ได้เป็นเอนไซม์ working 10 มิลลิลิตร (10 unit/10 ml ในสารละลาย 0.1% แคลเซียมคลอไรด์ใน 0.18 M กรดบอร์ริคบัฟเฟอร์ 7.5) เก็บสารละลายที่ได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกระทั่งทำการทดลอง

<u>การเตรียมสารละลาย 0.6% ไฟบริโนเจนในสารละลาย 0.1% แคลเซียมคลอไรด์ ใน 0.18 M กรดบอร์ริคบัฟเฟอร์ 7.5</u>

นำสารไฟบริโนเจนมา 0.6 กรัม ผสมกับสารละลาย 0.1% แคลเซียมคลอไรด์ ใน 0.18 M กรดบอร์ริคบัฟเฟอร์ 7.5 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ให้ละลายโดยใช้เครื่องเขย่าความเร็ว 50 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 17 ชั่วโมง กรองด้วยกรดาษกรองแล้วบรรจุขวดเก็บไว้ในที่เย็น

<u>ขั้นตอนการทดสอบ</u>

สร้างเส้นใยไฟบรินขึ้นมาก่อนในจานแก้ว (Petri dish) โดยใส่สารละลายเอนไซม์ Trombin (10 หน่วย/มิลลิลิตร) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ลงบนจานแก้ววนจานเบาๆ เป็นวงกลมเพื่อให้เอนไซม์กระจายโดยทั่ว จากนั้นเติม Fibrinnogen ความเข้มข้นร้อยละ 0.6 ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ลงกลางจานแก้ว อาจหมุนวนจานแก้วเบาๆ อีกเล็กน้อยเพื่อให้สารกระจายไปทั่วบริเวณ แล้วตั้งทิ้งไว้นิ่งๆ รอระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจนทั่ว จนเห็นเป็นลักษณะคล้ายวุ้นสีขาวขุ่น ตั้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิห้องโดยแง้มฝาครอบเล็กน้อยเพื่อให้ผิวหน้า Fibrin แห้งหมาดพร้อมสำหรับการทดสอบ

เมื่อจะทดสอบให้หยดสารสกัดตัวอย่างอาหารปริมาตร 30 ไมโครลิตร ลงบนลิ่มเลือดจำลอง หากตัวอย่างอาหารสามารถสลายลิ่มเลือดได้จะเห็นเป็นวงใสเกิดขึ้น เปรียบเทียบขนาดวงใสเป็นตารางมิลลิเมตรหรือเส้นผ่านญูนย์กลางเป็นเซนติเมตรที่เกิดภายหลังจากตั้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ภาพแสดงการหยดสารสกัดลงบนลิ่มเลือดจำลอง

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นางสาวดวงทิพย์ ศรีตาแสน
ที่อยู่	127/1 หมู่ 3 ตำบลท่าข้าม อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ 54000
ที่ทำงาน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ แขวงยานนาวา เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120 โทรศัพท์ (02) 2112052
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2538	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลลำปาง
พ.ศ. 2551	ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2540-2541	ผู้ช่วยผู้จัดการร้านเท็กซัสสุกี้
พ.ศ. 2542-2543	ผู้ช่วยผู้จัดการฮะจิบังราเมน
พ.ศ. 2544-ปัจจุบัน	อาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

สำนักหอสมุดกลาง
มหาวิทยาลัย ศิลปากร