

ผลของกราฟด้วยเทคนิคการเจือน้ำมันที่มีต่อสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ  
และทางประสาทสัมผัสของข้าวพองเสริมธาตุไฮโอดีน

นางสาวรัตนารณ์ ลุมภักตร์

## สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์รวมมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF FRYING WITH OIL DILUTION TECHNIQUE ON CHEMICAL, PHYSICAL  
AND SENSORY PROPERTIES OF IODINE FORTIFIED PUFFED RICE

Miss Rattanaporn Lamolphak

รายงานวิทยานิการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

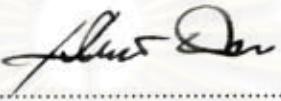
Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวขอวิทยานิพนธ์ ผลของการทดสอบด้วยเทคนิคการเจอน้ำมันที่มีต่อสมบัติทางเคมี  
โดย ทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของร้าวพองเสริมธาตุไฮโอดีน  
สาขาวิชา เนคโนโลยีทางอาหาร  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณา ศุลยชัย  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา

---

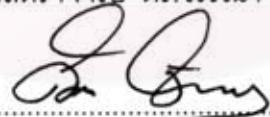
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรบริณญาณหนบัณฑิต

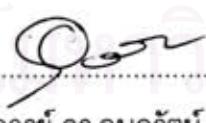
  
..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.เพีย์มศักดิ์ เมนะเศวต)

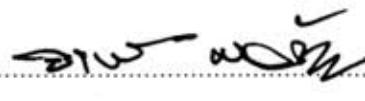
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุวนานา สุวิมาน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณา ศุลยชัย)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุบลรัตน์ สิริกัทธวรรณ)

  
..... กรรมการ  
(นายอาเนนท์ พลวัฒนา)

**รัตนภรณ์ ลุมภักดิ์**: ผลของการหยอดด้วยเทคนิคการเจอน้ำมันที่มีต่อสมบัติทางเคมี ทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของข้าวพองเสริมธาตุไฮโอดีน (EFFECTS OF FRYING WITH OIL DILUTION TECHNIQUE ON CHEMICAL, PHYSICAL AND SENSORY PROPERTIES OF IODINE FORTIFIED PUFFED RICE) อ. ที่ปรึกษา : ดร.ดร.วรรณยา ศุลยธัญ, อ.ที่ปรึกษาawan : ผศ.ดร.ศักดิ์ดา จงแจ้งวัฒนา 136 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการหยอดด้วยเทคนิคการเจอน้ำมันที่มีต่อสมบัติทางเคมี ทางกายภาพและประสาทสัมผัสของข้าวพองเสริมไฮโอดีนและน้ำมันที่ใช้หยอด การเสริมไฮโอดีนในเม็ดข้าวทำโดยผสมสารละลาย KIO<sub>3</sub> ลงในน้ำที่ใช้หุงต้มข้าว พนว่า ที่ความเข้มข้น 125 mg/I ในการหยอดด้วยไฮโอดีน 100 กรัมทำให้มีปริมาณไฮโอดีนในแผ่นข้าวก่อนหยอด 99.80 mg/I ในการหยอดด้วยข้าว 100 กรัม หลังการทำ dialysis ข้าวมีปริมาณไฮโอดีนคงเหลือ 25.67 mg/I ในการหยอดด้วยข้าว 100 กรัม เมื่อหยอดข้าวพองเสริมไฮโอดีนที่อุณหภูมิ  $190 \pm 5^{\circ}\text{C}$  นาน 7-8 วินาทีด้วยเทคนิคการเจอน้ำมัน 3 ระดับ (หยอดในน้ำมันควบคุม น้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำใหม่ 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ) นาน 5 วัน พนว่า การหยอดข้าวพองในน้ำมันทั้ง 3 แบบ ไม่มีผลต่อปริมาณไฮโอดีน ความชื้น % และค่าความแข็งของข้าวพองแต่การใช้น้ำมันที่มีน้ำมันเก่าต่อน้ำใหม่ 50:50 ทำให้ข้าวพองมีปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซึมน้อยกว่าข้าวพองที่หยอดในน้ำมันควบคุม ( $p \leq 0.05$ ) ค่า POV ของข้าวพองที่หยอดในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำใหม่ 75:25 และ 50:50 มีค่าน้อยกว่าข้าวพองที่หยอดในน้ำมันควบคุม ( $p \leq 0.05$ ) การเจอน้ำมันเก่าต่อน้ำใหม่ 50:50 ทำให้ข้าวพองมีค่า L สูงกว่าการใช้น้ำมันควบคุมและการเจอน้ำมันที่ด้วยน้ำมันใหม่ทั้ง 2 อัตราส่วน ทำให้ข้าวพองมีค่า a<sub>1</sub> และ b น้อยกว่าข้าวพองที่หยอดในน้ำมันควบคุม ( $p \leq 0.05$ ) SEM ของข้าวพองแสดงลักษณะเป็นโพรงอากาศและซ่องว่างที่มีรูปร่างเป็นวงกลมและวงรีขนาดแตกต่างกัน จัดเรียงตัวในตำแหน่งที่ไม่แน่นอน

การเจอน้ำมันเก่าตัวน้ำมันใหม่ทั้ง 2 อัตราส่วนทำให้ข้าวพองมีคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าข้าวพองที่หยอดในน้ำมันควบคุมและยังมีคะแนนความเข้มสี (สีขาวนวลกว่า) และกลิ่นที่น้อยกว่าข้าวพองที่หยอดในน้ำมันควบคุม ข้าวพองที่มีปริมาณน้ำมันสูงและเป็นน้ำมันที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพจากความร้อนมีผลทำให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายของเอนไซม์  $\alpha$ -amylase แบบ *in vitro* ลดลง

การใช้ FTIR ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน พนว่า น้ำมันที่มีสารประกอบไฮโดรperoxy ออกไซด์และปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจะมีค่าการคุดคลื่นแสงที่เลขคลื่น  $3474 \text{ cm}^{-1}$  และ  $1746 \text{ cm}^{-1}$  เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ FTIR spectrum ของน้ำมันใหม่ การเก็บรักษาข้าวพองในถุง polypropylene ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พนว่า ข้าวพองที่หยอดในน้ำมันทั้ง 3 แบบมีปริมาณไฮโอดีนลดลงเพิ่gn้อย การเจอน้ำมันทั้ง 2 อัตราส่วนทำให้ข้าวพองมีค่า POV น้อยกว่าข้าวพองที่หยอดในน้ำมันควบคุม ความชื้น % และค่าความแข็งของข้าวพองจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....  
สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....  
ปีการศึกษา.....2549.....

ลายมือชื่อนักเรียน.....**รัตนภรณ์ ลุมภักดิ์**.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....**ดร.วรรณยา ศุลยธัญ**.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาawan.....**ผศ.ดร.ศักดิ์ดา จงแจ้งวัฒนา**.....

# # 4672385123 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD : PUFFED RICE / OIL DILUTION TECHNIQUE/ IODINE FORTIFIED/ STARCH  
DIGESTION

RATTANAPORN LAMOOLPHAK: EFFECTS OF FRYING WITH OIL DILUTION TECHNIQUE  
ON CHEMICAL, PHYSICAL AND SENSORY PROPERTIES OF IODINE FORTIFIED PUFFED  
RICE. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. VANNA TULYATHAN, Ph.D., THESIS COADVISOR  
: ASST.PROF. SAKDA JONGKAEWWATTANA, Ph.D., 136 pp.

Effects of frying with oil dilution technique on chemical, physical and sensory properties of iodine fortified puffed rice and frying oil were investigated. Fortification of iodine in rice was done by adding potassium iodate ( $125 \mu\text{g}$  iodine/100 g rice) in cooking water provided dried rice pellet with  $99.80 \mu\text{g}$  iodine/100 g rice. After dialysis, dried cooked rice retained  $25.67 \mu\text{g}$  iodine/100 g rice. Puffed rice was fried with 3 oil dilution techniques [control, low oil dilution (used oil: fresh oil 75:25) and high oil dilution (used oil : fresh oil 50:50)] for 5 days at  $190 \pm 5^\circ\text{C}$  for 7-8 second. The results indicated that different oil dilution techniques had no effect on iodine content, moisture, water activity and hardness of fried puffed rice. Frying puffed rice with high oil dilution resulted in sample with less absorbed oil than those of the control ( $p \leq 0.05$ ). Peroxide values of puffed rice fried with low and high oil dilution were less than those fried in control ( $p \leq 0.05$ ). Puffed rice fried with high oil dilution had higher L value than puffed rice fried in the control, and frying with both oil dilution techniques resulted in lower a and b values than frying with the control ( $p \leq 0.05$ ). Scanning Electron Micrograph of puffed rice showed that there were round or oval air space and void space, with variable size and they were randomly located.

Sensory evaluation showed that puffed rice fried with oil dilution techniques had higher overall preference scores but lower color intensity scores (lighter color) and rancid flavor scores (less rancid) than those fried with the control. Efficiency of  $\alpha$ -amylase on starch digestion (*in vitro*) decreased when absorbed oil of fried puffed rice increased.

Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) indicated that the high content of hydroperoxide and free fatty acid in frying oil have FTIR absorbance at  $3474 \text{ cm}^{-1}$  and  $1746 \text{ cm}^{-1}$  which were higher than FTIR absorbance of fresh oil. After storing puffed rice at room temperature for 6 weeks, the results showed that iodine content were relatively stable whilst moisture, water activity and hardness increased throughout the storage time. Both oil dilution levels reduce peroxide value of fried puffed rice.

Department.....Food Technology....

Student's signature.....

*Rattanapon L.*

Field of study.....Food Technology....

Advisor's signature.....

*N. Tulyathan*

Academic year.....2006.....

Co-advisor's signature.....

*Sakda Jongkaeuw*

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้โดยการสนับสนุนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สวว.) และขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. วรรณฯ ตุลยธัญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เป็นอย่างสูงที่เสนอแนวคิดริเริ่มของงานวิจัยนี้ และได้คุยให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำอันมีประโยชน์ทั้งด้านวิชาการและอื่น ๆ อย่างดิ้นรนเสมอมา

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณฯ สุภิมาส ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุบลรัตน์ ศิริกทรัววรรณ และคุณอันันท์ ผลวัฒนะ ที่กรุณาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ กลั่นกรองและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

ขอขอบพระคุณ คุณอันันท์ ผลวัฒนะ นักวิชาการเกษตร ๘๒. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร สำหรับการอนุมเคราะห์ตัวอย่างข้าวที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารและเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ

ขอขอบคุณ บัณฑิต ลีฟหรัตนรักษ์ และลลิตาดี กึกพ่อค้าที่เคยช่วยเหลือเป็นอย่างดีในทุก ๆ ด้านมาโดยตลอด รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ระดับปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับกำลังใจ และน้ำใจที่มีให้ และผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือที่มิได้กล่าวนาม ก็ขอได้รับความขอบคุณจากผู้วิจัยไว้ ณ โอกาสนี้

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และขอบคุณน้องชายและญาติทุกคนในครอบครัวที่เคยเป็นกำลังใจ ให้การสนับสนุน และช่วยเหลือในทุกด้านแก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างดีเสมอมา จนสำเร็จการศึกษา

**จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	๑
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	๑
กิตติกรรมประกาศ.....	๒
สารบัญ.....	๓
สารบัญตาราง.....	๔
สารบัญรูป.....	๘
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	๙
บทที่ 1 บทนำ.....	๑
บทที่ 2 วารสารบริษัท.....	๓
2.1 ผลิตภัณฑ์ข้าวพอง (Puffed rice product).....	๓
2.2 การพองตัวของข้าว.....	๓
2.3 การหยอด.....	๗
2.4 ความสำคัญของชาตุไกโอดีน.....	๑๓
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	๑๖
3.1 ขอบเขตงานวิจัย.....	๑๖
3.2 วัตถุดิบ.....	๑๗
3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	๑๗
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	๒๔
4.1 ผลการศึกษาการเสริมชาตุไกโอดีนในข้าวสารพันธุ์ข้าวດอกมะลิ ๑๐๕.....	๒๔
4.2 ผลของการหยอดด้วยเทคนิคการเจือน้ำมันที่มีต่อสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของข้าวพองเสริมไกโอดีน.....	๒๗
4.2.1 ผลของการหยอดด้วยเทคนิคการเจือน้ำมันที่มีต่อสมบัติทางเคมี ของข้าวพองเสริมไกโอดีน.....	๒๗
4.2.2 ผลของการหยอดด้วยเทคนิคการเจือน้ำมันที่มีต่อสมบัติทาง กายภาพของข้าวพองเสริมไกโอดีน.....	๓๓
4.2.3 ผลของการหยอดด้วยเทคนิคการเจือน้ำมันที่มีต่อคุณภาพทาง ประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไกโอดีน.....	๔๔

4.3 ศึกษาผลของปริมาณและคุณภาพน้ำมันในผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไฮโอดีน ต่อประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่าเอมิเลสแบบ <i>in vitro</i> .....	50
4.4 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและการกายภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ ข้าวพอง.....	53
4.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวพองระหว่างการเก็บรักษา.	65
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>97</b>
<b>รายการอ้างอิง.....</b>	<b>100</b>
<b>ภาคผนวก</b>	
ภาคผนวก ก.....	107
ภาคผนวก ข.....	108
ภาคผนวก ค.....	124
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	136

# สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.....	24
4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไอกोดีนและร้อยละความชื้น ของข้าวที่เสริมไอกอเดินต่างระดับ.....	25
4.3 ปริมาณไอกอเดินและความชื้นในแผ่นข้าวเสริมไอกอเดินที่ใช้ความเข้มข้นของ สารละลายไอกอเดินต่างกัน.....	25
4.4 ปริมาณไอกอเดินในแผ่นข้าวเสริมไอกอเดินทั้งก่อนและหลังการทำ dialysis.....	26
4.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไอกอเดิน ความชื้น ปริมาณ การดูดซึบน้ำมัน และค่าเบอร์ออกไซด์ของข้าวพองเสริมไอกอเดินที่ทดสอบในน้ำมันที่มี อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน.....	28
4.6 ปริมาณไอกอเดินของข้าวพองเสริมไอกอเดินที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่า ต่อ น้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน.....	29
4.7 ร้อยละความชื้นของข้าวพองเสริมไอกอเดินที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่า ต่อ น้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน.....	30
4.8 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ที่มีต่อปริมาณน้ำมันในข้าวพองเสริม ไอกอเดิน.....	31
4.9 ผลของวันที่ทดสอบข้าวพองต่อปริมาณน้ำมันในข้าวพองเสริมไอกอเดิน.....	31
4.10 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ที่มีต่อค่าเบอร์ออกไซด์ในข้าวพองเสริม ไอกอเดิน.....	33
4.11 ผลของวันที่ทดสอบข้าวพองต่อค่าเบอร์ออกไซด์ในข้าวพองเสริมไอกอเดิน.....	33
4.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสี (L a b) ค่า water activity และค่า ความแข็ง (hardness) ของข้าวพองเสริมไอกอเดินที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมัน เก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน.....	34
4.13 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ที่มีต่อค่า L ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริม ไอกอเดิน.....	35
4.14 ผลของวันที่ทดสอบที่มีต่อค่า L ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกอเดิน.....	35

ตารางที่	หน้า
4.15 ค่า อ. ของข้าวพองเสริมไอกอโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน.....	38
4.16 ค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสข้าวพองเสริมไอกอโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน.....	39
4.17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวพองเสริมไอกอโอดีน.....	44
4.18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำตาล/mol โลสที่ได้จากการย่อยข้าวพองเสริมไอกอโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกันในกราฟด้วนที่ 5 ที่เวลาการย่อยต่างๆ.....	50
4.19 ปริมาณน้ำตาล/mol โลสที่ได้จากการย่อยข้าวพองเสริมไอกอโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในการทดสอบวันที่ 5.....	51
4.20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความเป็นกรด ค่าสี ( L a b) และค่าเบอร์ออกไซด์ของน้ำมันภายหลังการทดสอบข้าวพองที่วันต่าง ๆ.....	53
4.21 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าความเป็นกรดในน้ำมันภายหลังทดสอบข้าวพองในแต่ละวัน.....	54
4.22 ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าเบอร์ออกไซด์ในน้ำมันหลังทดสอบข้าวพองแต่ละวัน.....	56
4.23 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า L ในน้ำมันภายหลังทดสอบข้าวพองในแต่ละวัน.....	58
4.24 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีแดงในน้ำมันหลังทดสอบข้าวพองในแต่ละวัน.....	59
4.25 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีเหลืองในน้ำมันหลังทดสอบข้าวพองในแต่ละวัน.....	59
4.26 ค่าการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของน้ำมันที่ใช้ทดสอบข้าวพองในวันที่ 5 และมีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกัน.....	64
4.27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติปริมาณไอกอโอดีนของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์.....	66

## ตารางที่

## หน้า

4.28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของร้อยละความซึ้งของข้าพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์.....	68
4.29 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อร้อยละความซึ้งของข้าพองเสริมไฮโดรเจนเมื่อมีอายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์.....	69
4.30 ผลของวันที่ทดสอบที่มีต่อร้อยละความซึ้งของข้าพองเสริมไฮโดรเจนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันเมื่อมีอายุการเก็บ 1 3 5 และ 6 สัปดาห์.....	69
4.31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า POV ของข้าพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์.....	72
4.32 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า POV ของข้าพองที่มีอายุการเก็บรักษา 3 สัปดาห์.....	72
4.33 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า POV ของข้าพองที่มีอายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์.....	72
4.34 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า POV ของข้าพองที่มีอายุการเก็บรักษา 5 สัปดาห์.....	73
4.35 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า POV ของข้าพองที่มีอายุการเก็บรักษา 6 สัปดาห์.....	73
4.36 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่อค่า POV ของข้าพองที่ทดสอบในวันที่ 1 3 และ 5 เมื่อมีอายุการเก็บ 0-2 สัปดาห์.....	74
4.37 ผลของวันที่ทดสอบต่อค่า POV ของข้าพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันและมีอายุการเก็บ 0-2 สัปดาห์.....	74
4.38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า $a_w$ ของข้าพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์.....	77
4.39 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า $a_w$ ของข้าพองที่มีอายุการเก็บรักษา 1 สัปดาห์.....	77

ตารางที่	หน้า
4.40 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า $a_w$ ของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 3 สัปดาห์.....	78
4.41 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า $a_w$ ของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์.....	78
4.42 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า $a_w$ ของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 5 สัปดาห์.....	78
4.43 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่อค่า $a_w$ ของข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 1 3 และ 5 เมื่อมีอายุการเก็บ 6 สัปดาห์.....	80
4.44 ผลของวันที่ทดสอบต่อค่า $a_w$ ของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันและมีอายุการเก็บ 2 และ 6 สัปดาห์.....	80
4.45 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแข็งของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์.....	82
4.46 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า $L$ ของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์.....	84
4.47 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่อค่า $L$ ของข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 1 3 และ 5 เมื่อมีอายุการเก็บ 1 2 4 5 และ 6 สัปดาห์.....	85
4.48 ผลของวันที่ทดสอบต่อค่า $L$ ของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันและมีอายุการเก็บ 0-6 สัปดาห์.....	85
4.49 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีแดงของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์.....	87
4.50 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีแดงของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์.....	87
4.51 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีแดงของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 1 สัปดาห์.....	88
4.52 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีแดงของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 2 สัปดาห์.....	88

ตารางที่	หน้า
4.53 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีแดงของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 3 สัปดาห์.....	88
4.54 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีแดงของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์.....	89
4.55 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีแดงของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 5 สัปดาห์.....	89
4.56 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีแดงของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 6 สัปดาห์.....	89
4.57 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีเหลืองของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์.....	92
4.58 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีเหลืองของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์.....	93
4.59 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่อค่าสีเหลืองของข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 1 3 และ 5 เมื่อมีอายุการเก็บ 1 - 6 สัปดาห์.....	93
4.60 ผลของวันที่ทดสอบต่อค่าสีเหลืองของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันและมีอายุการเก็บ 1-6 สัปดาห์.....	93
ค.1 ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับและค่าเบอร์ออกไซด์ของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน.....	124
ค.2 ค่า L a และ b ของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน.....	125
ค.3 คะแนนทดสอบทางประสานสัมผัสด้านสี การพองตัว การเกาะกันของเม็ดข้าว กลิน ความกรอบและความชอบโดยรวมของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน.....	126
ค.4 ค่าความเป็นกรด ค่า POV และค่าสี (L a b ) ของน้ำมันที่ใช้ทดสอบข้าวพองวันต่างๆ..	127
ค.5 ปริมาณไอโอดีนของข้าวพองเสริมไอโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ.....	128

ตารางที่	หน้า
ค.6 ร้อยละความชื้นของข้าวพองเสริมไฮโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อ น้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ.....	129
ค.7 ค่าเปอร์เซ็นต์( meq/kg oil) ของข้าวพองเสริมไฮโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มี อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่ออน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บ รักษาต่าง ๆ.....	130
ค.8 ค่า $a_w$ ของข้าวพองเสริมไฮโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมัน ใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ.....	131
ค.9 ค่าความแข็งของข้าวพองเสริมไฮโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อ น้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ.....	132
ค.10 ค่า L ของข้าวพองเสริมไฮโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมัน ใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ.....	133
ค.11 ค่า a ของข้าวพองเสริมไฮโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมัน ใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ.....	134
ค.12 ค่า b ของข้าวพองเสริมไฮโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมัน ใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ.....	135



## สารบัญรูป

หัวที่	หน้า
2.1 ภาพถ่ายตัดขวางจากเทคนิค Confocal laser scanning microscopy (CLSM) ของมันฝรั่งที่ทอตด้วยอุณหภูมิ 185°C นาน 5 นาที .....	7
3.1 ขั้นตอนการเสริมไอโอดีนในข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.....	18
3.2 ขั้นตอนการผลิตข้าวพองเสริมไอโอดีน.....	20
4.1 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทอตต่อสีแดง(ค่า a)ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอโอดีน.....	36
4.2 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทอตต่อค่าสีเหลือง(ค่า b)ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอโอดีน.....	37
4.3 ลักษณะโครงสร้างของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (กำลังขยาย 1000 เท่า).....	40
4.4 ภาพตัดขวางแสดงลักษณะโครงสร้างของข้าวพองที่ทอตด้วยน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันและทดสอบในวันที่ 1 และวันที่ 5(กำลังขยาย 60 เท่า).....	41
4.5 ภาพขยายโพรงอากาศภายในโครงสร้างของข้าวพองที่ทอตด้วยน้ำมันที่เจือน้ำมันด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ และทดสอบในวันที่ 1 และวันที่ 5 (กำลังขยาย 60 เท่า).....	43
4.6 คะแนนความกรอบของข้าวพองที่ทอตในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่เป็นเวลา 5 วัน .....	45
4.7 คะแนนการเกาะกันของเม็ดข้าวของข้าวพองที่ทอตในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันเป็นเวลา 5 วัน .....	45
4.8 คะแนนด้านความเข้มสีของข้าวพองที่ทอตในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่เป็นเวลา 5 วัน .....	46
4.9 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่อคะแนนด้านกลิ่นหืนของข้าวพองเสริมไอโอดีน .....	47
4.10 ผลของวันที่ทอตต่อคะแนนด้านกลิ่นหืนของข้าวพองเสริมไอโอดีน.....	48
4.11 ผลของวันที่ทอตต่อคะแนนด้านการพองตัวของข้าวพองเสริมไอโอดีน.....	48
4.12 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่อคะแนนความชอบโดยรวมของข้าวพองเสริมไอโอดีน .....	49
4.13 ผลของวันที่ทอตต่อคะแนนความชอบโดยรวมของข้าวพองเสริมไอโอดีน.....	50
4.14 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทอตต่างกัน.....	54

รูปที่	หน้า
4.15 ค่าเบอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน..	56
4.16 ค่า L ของน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน .....	58
4.17 ค่า a ของน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน.....	60
4.18 ค่า b ของน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน.....	60
4.19 FTIR spectra ของตัวอย่างน้ำมันใหม่.....	63
4.20 FTIR spectra ของตัวอย่างน้ำมันเก่า: น้ำมันใหม่ อัตราส่วน 50:50.....	63
4.21 FTIR spectra ของตัวอย่างน้ำมันเก่า: น้ำมันใหม่ อัตราส่วน 75:25.....	64
4.22 การเปลี่ยนแปลงไอโอดีนระหว่างการเก็บรักษาข้าวพองเสริมไอโอดีนที่ทดสอบด้วยน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5.....	67
4.23 การเปลี่ยนแปลงร้อยละความชื้นในระหว่างการเก็บรักษาข้าวพองเสริมไอโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5.....	70
4.24 การเปลี่ยนแปลงค่า POV ระหว่างการเก็บรักษาข้าวพองเสริมไอโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ อัตราส่วนต่างๆ ในวันที่ 1 3 และ 5.....	75
4.25 การเปลี่ยนแปลงค่า a <sub>w</sub> ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวพองเสริมไอโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่อัตราส่วนต่าง ๆ ในวันที่ 1 3 และ 5.....	81
4.26 การเปลี่ยนแปลงค่า hardness ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวพองเสริมไอโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่อัตราส่วนต่างๆ ในวันที่ 1 3 และ 5.....	83
4.27 การเปลี่ยนแปลงค่า L ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวพองเสริมไอโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่อัตราส่วนต่าง ๆ ในวันที่ 1 3 และ 5.....	86
4.28 การเปลี่ยนแปลงสีแดง (ค่า a) ระหว่างการเก็บรักษาข้าวพองเสริมไอโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5.....	91
4.29 การเปลี่ยนแปลงสีเหลือง (ค่า b) ระหว่างการเก็บรักษาข้าวพองเสริมไอโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5.....	95

## นิยามศัพท์เฉพาะ

- % CV หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ใช้เป็นตัวชี้วัดถือความแม่นยำในการวิเคราะห์
- ตัวอย่างน้ำมันควบคุม คือ ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันใหม่ในการทดสอบข้าวของวันที่ 1 และวันนำน้ำมันจากวันที่ 1 ใช้ในการทดสอบวันที่ 2 วันที่ 3 ใช้น้ำมันจากวันที่ 2 และทำเช่นนี้จนถึงวันที่ 5
- น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 คือ ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันใหม่ในการทดสอบวันที่ 1 และวันที่ 2 ใช้น้ำมันจากวันที่ 1 ผสมกับน้ำมันใหม่ในอัตราส่วน 75:25 และทำเช่นนี้จนถึงวันที่ 5
- น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50 คือ ตัวอย่างที่ใช้น้ำมันใหม่ในการทดสอบวันที่ 1 และวันที่ 2 ใช้น้ำมันจากวันที่ 1 ผสมกับน้ำมันใหม่ในอัตราส่วน 50:50 และทำเช่นนี้จนถึงวันที่ 5
- ค่า L หมายถึง ค่าความสว่าง :  $L = 100$  (สีขาว),  $L = 0$  (สีดำ)
- ค่า a หมายถึง ค่าสีแดง :  $a = +$  (สีแดง),  $a = -$  (สีเขียว)
- ค่า b หมายถึง ค่าสีเหลือง :  $b = +$  (สีเหลือง),  $b = -$  (สีน้ำเงิน)
- meq/kg oil คือ milliequivalent of O<sub>2</sub>/kg oil
- $a_w$  คือ ค่า water activity
- POV คือ ค่า Peroxide value (Peroxide value)


  
**สถาบันวิทยบริการ**  
**จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

## บทที่ 1

### บทนำ

ข้าวพองเป็นผลิตภัณฑ์อาหารจากการแปรรูปข้าวที่ได้รับความนิยมในหลายประเทศ เช่น ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา พลิปปินส์และอินเดีย ซึ่งร้อยละ 10 ของผลผลิตข้าวภายในประเทศ อินเดียถูกนำไปแปรรูปเป็นข้าวพอง (Ghos และคณะ, 1960 ข้างต้นใน Chinnaswamy และ Bhattacharya, 1983) ประเทศไทยมีการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวพองในรูปแบบต่าง ๆ มาเป็น เวลานานและมีแนวโน้มที่จะมีความต้องการเพิ่มมากขึ้น การเรียกชื่อผลิตภัณฑ์ในกลุ่มข้าวพองนั้น แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว กระบวนการผลิตและภูมิภาค เช่น ภาคเหนือเรียกข้าวพองที่ได้ จากการทำแผ่นข้าวที่ผ่านการนึ่งและอบแห้งว่า ข้าวแต่นหื่น ภาคใต้เรียกว่า ข้าวพอง และข้าวพองที่ทำจากข้าวเจ้ามักเรียกว่า ข้าวตัง เป็นต้น (Shinthavalai, 1984) การผลิตข้าวพองมี หลายวิธีด้วยกัน เช่น การคั่วกับทรายร้อน การทอด การอบในตู้อบและการใช้เอกสาร์ทวูเดอร์ (Juliano, 1985) ปัจจุบันการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์ข้าวพองมีความสำคัญ มากขึ้นดังจะเห็นได้จากผลิตภัณฑ์อาหารเช้าจากธัญพืช (breakfast cereal) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ข้าว พองที่ผลิตโดยใช้เอกสาร์ทวูเดอร์จะมีการเสริมวิตามินและธาตุอาหารต่าง ๆ เช่น วิตามินเอ บี ซี และ ธาตุเหล็ก เป็นต้น นอกจากนี้ไฟเบอร์ รวมรัตน์วราสิกและคณะ (2545) ยังได้ผลิตข้าวพองที่มี คอเลสเตอรอลต่ำและมีไขอหารสูงโดยการเสริมไขอหารซึ่งสกัดจากข้าวร้อยละ 1.5 ในข้าว พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และทำให้พองตัวโดยใช้เครื่อง lite energy rice cake machine ที่ไม่ต้อง ใช้น้ำมันในการผลิตทำให้ได้ข้าวพองที่เป็นอาหารเพื่อสุขภาพชนิดหนึ่ง อย่างไรก็ตามยังไม่มี งานวิจัยใดศึกษาการผลิตข้าวพองเสริมไฮโอดีนซึ่งเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและ พัฒนาการของทารกและเด็กและจำเป็นสำหรับสภาวะการทำงานของร่างกายและสมองที่ปกติใน ผู้ใหญ่ (กรมอนามัย, 2535) จากความสำคัญของแร่ธาตุไฮโอดีนต่อร่างกายและการขาดแคลนสาร ไฮโอดีนในประชากรที่อยู่ในเขตชนบทจึงมีการศึกษาเพื่อเพิ่มไฮโอดีนในข้าวด้วยเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้คือ ชุติตาม อัศวะเสถียร (2543) และธนาณัต ใจนศศิธร (2545) ได้เสริมไฮโอดีนในข้าวด้วย เทคนิคการเคลือบด้วยเจลแป้งข้าว จากรากฟ้า ลือชา (2545) ศึกษาการเสริมไฮโอดีนในข้าวเนื้อด้วย การแซ่ข้าวในสารละลายโพแทสเซียมไฮโอดีต ( $KIO_3$ ) และปั๊มน้ำนมันท์ พงศ์นพัฒน์ (2546) ศึกษา การเสริมไฮโอดีนในข้าวหุงสุกเร็วโดยการแซ่ข้าวในสารละลาย  $KIO_3$  ซึ่งการเสริมไฮโอดีนในข้าวที่ ผ่านมาไม่ประสิทธิภาพดีแต่ไม่มีงานวิจัยใดได้ทดลองเสริมไฮโอดีนในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีน้ำมัน เป็นองค์ประกอบ เช่น ข้าวพองที่ผลิตด้วยวิธีการทำมาก่อนดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงการเสริม ไฮโอดีนในผลิตภัณฑ์ข้าวพองที่ทำให้เกิดการพองตัวโดยการทำ

การทดสอบกีอีเป็นวิธีการป้องอาหารดั้งเดิมและนิยมใช้จนถึงปัจจุบันเนื่องจากเป็นการผลิตที่ค่อนข้างง่ายและใช้เวลาน้อย ระหว่างกระบวนการทดสอบน้ำมันจะได้รับความร้อนเป็นเวลานาน ประกอบกับการมีน้ำจากการอาหารและออกซิเจน ทำให้น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Fritsch, 1981) เป็นผลให้น้ำมันมีค่าความเป็นกรดและสารประกอบที่ทำให้น้ำมันมีกลิ่นหืนเพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง สารประกอบที่มีวงแหวนและพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเพิ่มขึ้นทำให้น้ำมันมีความหนืดและเสี้ยวขึ้น (Blumenthal, 1991) คุณภาพของน้ำมันมีผลต่อคุณภาพของอาหารที่ผลิตได้เมื่อใช้น้ำมันที่ได้รับความร้อนสูงขึ้นจะทำให้อาหารมีกลิ่nhหืน สีเข้มและมีปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับมากซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค (Innawong และคณะ, 2004) อาหารที่มีปริมาณน้ำมันสูงโดยเฉพาะครัวเรือนก็มีผลกระทบต่อสุขภาพของคนในครอบครัวอย่างมาก สำหรับการใช้น้ำมันในการผลิตอาหาร อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Yilmaz (2004) พบว่า การใช้เทคนิคการเจือน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่อัตราส่วน 1:1 ในการทำครัวสามารถลดค่าความหนาแน่น ความเป็นกรด ปริมาณ alkaline contaminant material ของน้ำมันลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำมันที่ไม่มีการเจือน้ำมันใหม่และยังทำให้ได้น้ำมันน้อยลงและมีค่าแนะนำรับทางประสาทสัมผัสสูงกว่าตอนที่ทดลองในน้ำมันเก่าแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิคการเจือน้ำมันสามารถลดปริมาณการใช้น้ำมันใหม่ลงโดยไม่มีผลเสียต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของการทดสอบด้วยเทคนิคการเจือน้ำมันต่อสมบัติทางเคมี กายภาพและประสาทสัมผัสของข้าวโพงเสริมธาตุไอโอดีนและการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันที่ใช้ทดสอบ

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### สารสารปริทัศน์

#### 2.1 ผลิตภัณฑ์ข้าวพอง (Puffed rice product)

ข้าวพองเป็นผลิตภัณฑ์อาหารจากการแปรรูปข้าวด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ และได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในหลายประเทศ เช่น อินเดีย ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกาและพิลิปปินส์ ในประเทศไทย ข้าวพองเป็นอาหารตั้งเดิมที่ได้รับความนิยม เนื่องจากราคาไม่แพง ทำได้ง่ายโดยการนำข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งมาคั่วกับทรายร้อน ข้าวพองที่ได้ยังคงเป็นเม็ด มีความกรอบและมีสีขาว (Chandrasekhar และ Chattopadhyay, 1990) สำหรับข้าวพองที่ผลิตในประเทศไทยสหรัฐอเมริกา และออสเตรเลียมีลักษณะเป็นแผ่นแบน ผ่านการทำให้พองตัวโดยไม่ใช้สารช่วยในการจับยึด (binder) มีสีขาว มีความเป็นรูปพรรณมากจึงพองกรอบ มีแคลอรี่ต่ำประมาณ 30-40 กิโลแคลอรี่ต่อหนึ่งหน่วยบริโภค มีความหนาแน่นต่ำ มีน้ำหนัก 9-10 กรัมต่อชิ้น ส่วนผสมหลักเป็นข้าวสารหรือข้าวกล้อง (Hsieh และคณะ, 1989) สำหรับประเทศไทยมีการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวพองในรูปแบบต่าง ๆ มาเป็นเวลานานและมีแนวโน้มที่จะมีความต้องการเพิ่มมากขึ้น

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวมักใช้ข้าวที่มีคุณภาพแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสัดส่วนของปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพคติน ข้าวเหนียวซึ่งมีแอมิโลสอยู่น้อยมากหรือไม่มีอยู่เลยมักใช้ทำเป็นของหวาน ข้นมุดดึงและซอสต่าง ๆ ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำนิยมนำไปผลิตเป็นอาหารเข้าจากธัญพืช และอาหารสำหรับเด็กอ่อน โรงงานผลิตข้าวพองจากข้าวเนื้ง และข้าวตอกจากข้าวสาร นิยมใช้ข้าวเหนียวและข้าวเจ้าที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ เนื่องจากมีความสามารถในการพองตัวดีมาก ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลางนิยมนำมาทำซุปกระป่องและเป็นส่วนผสมของซุปแห้ง (dry soup mix) ข้าวแอมิโลสสูงให้เจลที่แข็งตัว เหมาะสำหรับการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว เพราะมีความคงตัวสูงมาก ทนทานต่อการสลายในระหว่างการหุงต้มและเป็นแผ่นดีมาก (มาลี ชีมศรีสกุล, 2534)

#### 2.2 การพองตัวของข้าว

การพองตัวของข้าวเป็นผลมาจากความร้อนและความดัน โดยความร้อนมีผลทำให้ข้าวเกิดการสูญเสียและทำให้น้ำที่อยู่ภายในเม็ดข้าวถูกไล่เป็นไอน้ำส่งผลให้เกิดความแตกต่างของความดันระหว่างภายในเม็ดข้าวและบรรยากาศ น้ำระเหยถูกไล่เป็นไออก่างทันทีทันใด ทำให้ข้าวเกิด

การพองตัวและมีความกรอบ กระบวนการทำให้ข้าวพองตัวแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วิสาสิก และคณะ, 2545) คือ

1. กระบวนการผลิตภายนอกตัว อาศัยหลักการการนำความร้อนมาทำให้น้ำภายในเม็ดข้าวลายเป็นไอน้ำอย่างรวดเร็ว เช่น การคั่วกับทรายร้อน การทอดในน้ำมัน และการอบในตู้อบลมร้อน

2. กระบวนการผลิตภายนอกตัวดันที่ลดลงอย่างรวดเร็ว โดยการนำวัตถุดินที่มีความชื้นเหมาะสมใส่ในภาชนะปิดสนิทและทำให้วัตถุดินที่มีความชื้นได้รับความร้อนอย่างยิ่งวด เมื่อเปิดภาชนะออกจะเกิดการลดความดันที่เกิดขึ้นไปสู่ที่มีความดันต่ำกว่าอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้เกิดการพองตัวขึ้น ได้แก่ การใช้เอกซ์ตรูเดอร์ (puffing by extrusion) การใช้เครื่อง gun puffing และการใช้เครื่อง lite energy rice cake machine

การทำให้ข้าวพองตัวโดยการทอดในน้ำมัน (oil puffing) ถือเป็นวิธีการดั้งเดิมและนิยมใช้จนถึงปัจจุบันเนื่องจากเป็นการผลิตที่ค่อนข้างง่ายและใช้เวลาไม่น้อย ดังเช่นงานวิจัยต่อไปนี้

Villareal และ Juliano (1987) ทดลองผลิตข้าวพองโดยการนำข้าวสารที่มีสายพันธุ์และมีปริมาณแอมิโลสแตกต่างกันที่ผ่านการนึ่งด้วยอุณหภูมิและความดันสูงมาทำให้พองตัวโดยการทอดในน้ำมันมะพร้าวอุณหภูมิ 210-220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 -8 วินาที พบร่วง ข้าวมีอัตราการพองตัวระหว่าง 1.8 – 3.0 ขั้นอยู่กับพันธุ์ข้าว โดยข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำจะมีการพองตัวมากกว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง เนื่องจากข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงทำให้สตาร์ชมีส่วนโครงสร้างแบบผลึก (crystalline) ที่ให้ความแข็งแรงมากจึงส่งผลให้มีการขยายตัวต่ำ ส่วนข้าวที่ผ่านการนึ่งด้วยอุณหภูมิและความดันสูง (อุณหภูมิ 127 องศาเซลเซียส ความดัน 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) มีปริมาตรการขยายตัวสูงกว่าข้าวที่ผ่านการนึ่งด้วยอุณหภูมิและความดันต่ำ (อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความดัน 0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) เนื่องจากการนึ่งด้วยอุณหภูมิและความดันสูงจะทำให้ starch granule ภายในเม็ดข้าวเกิดเจลาริตในเข็มมากขึ้นส่งผลให้ภายนอกตัวมีส่วนที่เป็นโครงสร้างแบบผลึกซึ้งขัดขวางการพองตัวน้อยลงจึงทำให้ข้าวเกิดการพองตัวได้ และเมื่อวัดค่าความแข็งของข้าวพอง พบร่วง ข้าวพองมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 1.1-1.6 กิโลกรัมซึ่งสอดคล้องกับ Kim และคณะ (2001) ที่ผลิตข้าวพอง (rice cake) ด้วยเครื่อง rice cake machine โดยใช้สัดส่วนระหว่างข้าวกล้องเม็ดปานกลางกับข้าวสีดำ รวมทั้งส่วนประกอบ ผลิตแตกต่างกัน แล้วได้ข้าวพองที่มีอัตราการขยายตัวสูงโดยมี specific volume 15.2-17.9 และมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 1.2-1.9 กิโลกรัม

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วิสาสิก และคณะ (2545) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของแผ่นข้าวโดยวิธีการทอด พบร่วง ข้าวสารที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ปริมาณความชื้นร้อยละ 12 และ

การทดสอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสจะทำให้ข้าวมีอัตราการพองตัวสูงสุดประมาณ 5.35 เท่า การที่อัตราการพองตัวสูงจะส่งผลให้มีค่าความกรอบและความขาวเพิ่มขึ้น

### ปัจจัยและสภาวะที่มีผลต่อการพองตัวของข้าว

การพองตัวของข้าวขึ้นอยู่กับปัจจัยและสภาวะการผลิตที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงปัจจัยและสภาวะการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวพองเป็นจำนวนมาก ดังงานวิจัยต่อไปนี้

Chinnaswamy และ Bhattacharya (1983) ได้ศึกษาถึงผลของการพองข้าว ระดับการสีข้าว รายเดกร้าวของเม็ดข้าวและอายุการเก็บของข้าวเปลี่ยนที่มีต่ออัตราการพองตัวของข้าว พบร่วมกันว่าจะมีการพองตัวดีเมื่อมีความชื้นร้อยละ 10.5 การที่ข้าวมีรอยแตกร้าวจะทำให้อัตราการพองตัวของข้าวลดลงเนื่องจากความชื้นที่อยู่ภายในเม็ดข้าวจะสูญเสียออกไปตามร้อยร้าว ทำให้มีความดันไออกไซในเม็ดข้าวต่ำลง อัตราการพองตัวจึงลดลง อายุการเก็บของข้าวมีผลลัพธ์ต่อค่าการพองตัว โดยช่วงแรกของการเก็บรักษาจะมีอัตราการพองตัวเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นจะมีอัตราการพองตัวลดลง ตามลำดับ เนื่องจากข้าวที่เก็บไว้นานจะมีโครงสร้างเป็น amylose-lipid complex มากรขึ้นส่งผลให้สถาพรซึ่มความแข็งแรงและดูดซับน้ำได้น้อย ความดันไอน้ำที่ช่วยให้เกิดการพองตัวของข้าวจะลดต่ำลง อัตราการพองตัวของข้าวพองที่ได้จะต่ำ

Villareal และ Juliano (1987) ได้ศึกษาถึงผลของการพรมน้ำมันแอมิโนและโปรตีนต่ออัตราการพองตัวของข้าว โดยใช้ข้าวที่มีปริมาณแอมิโนและโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 2.8-28.6 และมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 6-9 มาทำให้พองตัวโดยใช้เครื่อง Gun-puffing อุณหภูมิ 200-210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-7 วินาที พบร่วมกันว่า ข้าวที่มีปริมาณแอมิโนและโปรตีนต่ำจะมีอัตราการพองตัวสูงกว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโนและโปรตีนต่ำที่มีความชื้นทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เช่นเดียวกับผลของการพรมน้ำมันและโปรตีนในช่วงร้อยละ 6-9 ที่มีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจะมีอัตราการพองตัวลดลงเนื่องจากการมีปริมาณโปรตีนสูงจะทำให้องค์ประกอบที่เป็นสถาพรซ้ายในเม็ดลดลง

Huff และคณะ (1992) ได้ทดลองผลิต rice cake จากข้าวกล้องที่มีขนาดเม็ดปานกลาง และขนาดเม็ดยาวด้วยเครื่อง lite energy rice cake machine โดยประทิ้งข้าวมีความชื้นภายในห้องการ tempering ร้อยละ 12 14 และ 16 อุณหภูมิที่ใช้คือ 210 220 และ 230 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการให้ความร้อน 6 7 8 และ 9 วินาที พบร่วมกันว่า ข้าวกล้องที่มีขนาดเม็ดยาวจะมีอัตราการพองตัวดีที่สุดเมื่อข้าวที่ใช้มีความชื้นต่ำ อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการให้ความร้อนนาน ในขณะที่ข้าวกล้องที่มีขนาดเม็ดปานกลางจะมีอัตราการพองตัวสูงเมื่อมีความชื้นเริ่มต้นสูงและพบว่าข้าวกล้องเม็ดยาวให้ค่า specific volume สูงกว่าข้าวกล้องเม็ดขนาดปานกลาง

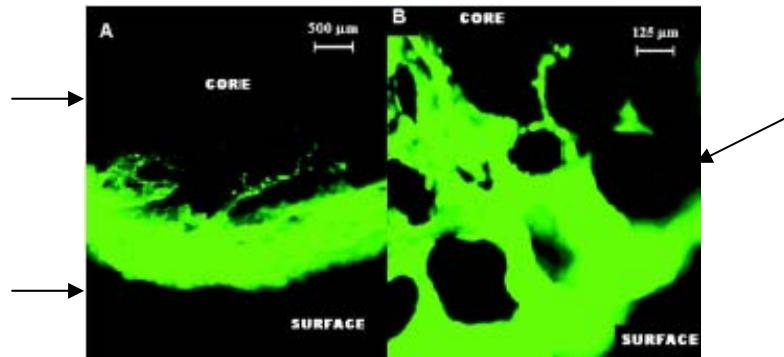
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เป็นวัตถุดิบในการผลิตข้าวพอง เนื่องจากข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 จัดเป็นข้าวที่มีปริมาณแอมิโน酇ส์ต่ำ ตามวิธีการจำแนกข้าวของงานชื่น คงเสรี (2542) โดยมีปริมาณแอมิโน酇ส์อยู่กว่าร้อยละ 19 นอกจากนี้ยังมีลักษณะเม็ดข้าวที่เรียวยาว ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้จะช่วยให้ข้าวมีอัตราการพองตัวสูงซึ่งอัตราการพองตัวมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวพอง โดยข้าวพองที่มีอัตราการพองตัวสูงจะมีเนื้อสัมผัสที่กรอบเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

เมื่อข้าวเกิดการพองตัวส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเม็ดข้าวจากโครงสร้างที่มีการจัดเรียงตัวของสตาร์ชซึ่งมีลักษณะเป็นรูปทรงหลาอย่างเดียวมอย่างอัดแน่นและเป็นเนื้อเดียวกันภายในเอนโดสเปอร์ม (Murugesan และ Bhattacharya, 1989) ไปเป็นโครงสร้างที่มีรูปrun ประกอบด้วยโพรงอากาศและส่วนที่เป็นช่องว่างที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมหรือวงรีที่มีขนาดและการจัดเรียงตัวไม่แน่นอนดังเช่นงานวิจัยต่อไปนี้

Villareal และ Juliano (1987) ศึกษาลักษณะโครงสร้างของข้าวที่ทำให้เกิดการพองตัวด้วยวิธีการหดในน้ำมันและการใช้เครื่อง gun puffing โดยการถ่ายภาพลักษณะโครงสร้างด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope พบร่วมข้าวที่เกิดการพองตัวด้วยเทคนิคทั้ง 2 นั้นมีลักษณะโครงสร้างเป็นรูปrun ที่มีรูปร่างและการจัดเรียงตัวในตำแหน่งที่ไม่แน่นอนเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Chandrasekhar และ Chattopadhyay (1990) ที่ได้ศึกษาโครงสร้างภายในของข้าวพองที่ผลิตจากข้าวนึ่งและยังศึกษาถึงลักษณะการพองตัวของข้าวที่เวลาต่างกัน พบร่วมข้าวจะมีการพองตัวจากเซลล์ที่อยู่ด้านนอกของเอนโดสเปอร์มก่อนและเซลล์ที่อยู่ถัดไปด้านในจะขยายตัวโดยตรงกลางเม็ดจะมีโพรงอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าบริเวณอื่น

Bouchon และคณะ (2003) ศึกษาถึงลักษณะการกระจายตัวของน้ำมันในชิ้นมันฝรั่งหอดด้วยเทคนิค Confocal laser scanning microscopy พบร่วมภายในโครงสร้างที่เป็นรูปrun ของชิ้นมันฝรั่งจะมีน้ำมันเกาะติดอยู่ดังแสดงในรูปที่ 2.1

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 ภาพถ่ายตัดขวางจากเทคนิค Confocal laser scanning microscopy (CLSM) ของมันฝรั่งที่ทอดด้วยอุณหภูมิ  $185^{\circ}\text{C}$  นาน 5 นาที บริเวณสีเทา (ลูกศรชี้) คือ น้ำมัน บริเวณสีเขียว คือ โครงสร้างของข้าวพอง ภาพ A คือ น้ำมันที่เกาะติดอยู่บริเวณเปลือกของชิ้นมันฝรั่ง ภาพ B คือ น้ำมันที่เกาะติดอยู่ภายในโครงสร้างที่เป็นรูป楚ของมันฝรั่ง

ที่มา: Bouchon และคณะ (2003)

### 2.3 การทอด

กระบวนการทอดเป็นหนึ่งในหน่วยปฏิบัติการให้ความร้อนแก่อาหารเพื่อทำให้อาหารสุก เมื่อจำแนกวิธีการทอดอาหารโดยใช้วิธีการถ่ายเทความร้อน สามารถแบ่งเป็นวิธีการทอดทาง อุตสาหกรรมได้ 2 วิธี (วีไล รังสรรคทอง, 2543) คือ

1. การทอดแบบใช้น้ำมันน้อย (shallow frying) วิธีนี้หมายความว่ารับอาหารที่มีอัตราส่วน พื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง เช่น เบคอน ไข่ และแฮม ความร้อนจากผิวกระทะจะเคลื่อนที่ผ่านชั้มน้ำมัน บาง ๆ ไปยังอาหาร ความหนาของชั้มน้ำมันแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของผิวน้ำ อาหาร ถ้าชั้มน้ำมันบาง ฟอง ไอน้ำเดือดจะทำให้อาหารเคลื่อนที่ขึ้ลงบนผิวของกระทะ การกระจายความร้อนจึงไม่สม่ำเสมอทำให้ผิวน้ำของอาหารที่ทอดมีสีน้ำตาลไม่สม่ำเสมอ

2. การทอดแบบน้ำมันท่วม (deep fat frying) การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีนี้เป็นทั้งการ พาความร้อนในน้ำมันร้อนและการนำความร้อนจากภายในอาหาร ผิวของอาหารทั้งหมดจะได้รับ ความร้อนใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดสีและลักษณะภายนอกที่สม่ำเสมอ การทอดแบบน้ำมันท่วม หมายความว่ารับปรุงอาหารทุกครั้ง แต่อาหารที่มีรูปร่างไม่แน่นอนจะมีน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีรูปร่างแน่นอน

## การทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep fat frying)

กระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม เป็นหนึ่งในกระบวนการแปรรูปอาหารที่เก่าแก่แต่ยังคงได้รับความนิยมใช้เป็นเทคนิคในการเตรียมอาหาร เนื่องจากมีความสะดวกและใช้ระยะเวลาในการเตรียมน้อย นอกจากนี้ผู้บริโภคยังคงมีความต้องการผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการทำแบบน้ำมันท่วมนี้เนื่องจากมีความซี๊ดชื้นของกลิ่นรสและลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความกรอบของอาหารตัวอย่างอาหารที่ได้รับความนิยม ได้แก่ มันฝรั่งแผ่นทอด french fries โดยทั่วไปมีการผสมของกรอบ fish stick และไก่ทอด เป็นต้น ปัจจุบันจึงพบผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการทำแบบน้ำมันท่วมในหลาย ๆ ประเทศของทวีปยุโรป เอเชีย อเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Moreir และคณะ, 1999)

ลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความกรอบนั้นเป็นผลเนื่องมาจากการเมื่อน้ำอาหารที่ต้องการจะทำให้สุกใส่ลงในน้ำมันที่ร้อน อุณหภูมิของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยที่จะมีการระเหยของน้ำออกจากราก ขณะที่ทำการทอดทั้งน้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกจากกฎพุ่นที่มีขนาดใหญ่ก่อนเป็นอันดับแรกและนำมันจะแทนที่น้ำและไอน้ำที่เคลื่อนที่ออกไป ความซึ้งจะเคลื่อนที่ออกมากจากผิวน้ำของอาหารนั้นจะเคลื่อนที่ผ่านไปยังผิวน้ำมัน (Fellow, 1990)

จากการนิยมในผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการทำแบบน้ำมันท่วม ดังนั้น จึงมีการนำน้ำมันและไขมันเพื่อการบริโภคส่วนใหญ่มาใช้ในการทอดอาหาร (Tseng และคณะ, 1996) จากปริมาณน้ำมันที่นำมาใช้ในการทอดทั้งหมด น้ำมันประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณน้ำถูกดูดซับเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งในอาหารและทิ้งน้ำมันส่วนที่เหลือไป (Hunter และ Applewhite, 1993) ซึ่งเป็นการใช้น้ำมันที่ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจและยังก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงวิธีการผลิตข้าวโพงทอดที่มีคุณภาพดีและสิ้นเปลืองการใช้น้ำมันทอดน้อยที่สุด จึงศึกษาถึงผลของการใช้เทคนิคการเจือน้ำมันก่อนด้วยน้ำมันใหม่ 3 ระดับในการทอดข้าวโพงโดยใช้น้ำมันปาล์มโอลิอินจากเนื้อปาล์ม

## น้ำมันปาล์มและเมล็ดปาล์ม (Palm and palm kernel oil )

น้ำมันปาล์มได้จากผลปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq) ประกอบด้วยส่วนที่ให้น้ำมัน คือ เนื้อนอกที่เป็นเส้นใย (mesocarp) ให้น้ำมันปาล์ม (palm oil) มีสีส้มแดง อีกส่วนหนึ่งได้แก่ เนื้อในเมล็ด (kernel) ซึ่งให้น้ำมันเมล็ดปาล์ม (palm kernel oil) ที่จัดเป็นผลผลิตได้มีสีเข้มกว่าน้ำมันมะพร้าวเล็กน้อย น้ำมันปาล์มดิบมีกรดไขมันอิสระสูงโดยเกิดจากเนื้อไขมันของผลปาล์มเอง จำเป็นต้องป้องกันโดยเมื่อตัดหัวถ่ายแล้วควรรีบนำไปสกัดน้ำมัน ผ่านขั้นตอนการทำลายเอนไซม์ องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์แตกต่างกันตามสายพันธุ์ปาล์ม

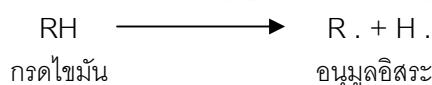
และแหล่งที่ปลูกรวมทั้งกระบวนการผลิต แต่โดยทั่วไปแล้วน้ำมันปาล์มน้ำมันอิมตัวเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 50 โดยมีกรดปาล์มิติกเป็นกรดไขมันคี่ตัวที่มีมากที่สุดร้อยละ 44 กรดไขมันเมื่อมีตัวที่มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง คือ กรดโอลิโกร์ก็อยละ 40 และกรดไขมันไม่มีอิมตัวที่มีพันธะคู่ 2 ตำแหน่ง คือ กรดลิโนเลอิกร์ก็อยละ 10 น้ำมันปาล์มน้ำมันเป็นน้ำมันที่มีความหมายในกระบวนการอาหารประเภทไขมันและน้ำมันที่มีความหมายในอาหาร เช่น น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วเหลือง (Hamilton, 1995)

### ผลของความร้อนต่อน้ำมัน

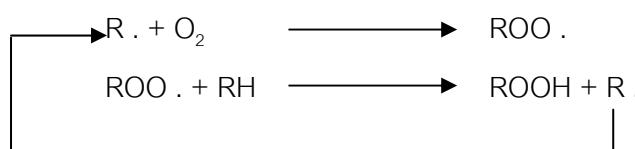
เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis reaction) ปฏิกิริยาออกไซเดชัน (Auto-oxidation reaction) และปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน (polymerization reaction) (Fennema, 1996)

1. ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนึ่งในน้ำมันเกิดการเสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis reaction) ปฏิกิริยาออกไซเดชัน (Auto-oxidation reaction) และปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน (polymerization reaction) (Fennema, 1996)

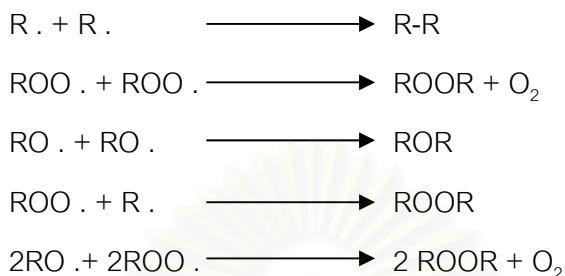
2. ปฏิกิริยาออกไซเดชัน เกิดเนื่องจากออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยาที่หมู่  $\text{CH}_2$  ที่ติดกับพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่มีอิมตัว นำไปสู่การสร้างสารประกอบไฮโดรpereroxide (hydroperoxides; ROOH) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาออกไซเดชันและจะเกิดการสลายตัวให้สารไม่เลกุลเล็ก ได้แก่ แอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ คิโตนและสารประกอบไฮดรคาร์บอนซึ่งสารประกอบเหล่านี้เป็นสารประเภท volatile compounds ที่จะทำให้น้ำมันมีกลิ่นเหม็น (rancid) อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระซึ่งมีกลไกการเกิดตังนี้ (Fennema, 1996) คือ ปฏิกิริยาเริ่มต้นของออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่มีอิมตัวได้อนุมูลอิสระ



หลังจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระกับออกซิเจนต่อเนื่องแบบ chain reaction



3. ปฏิกิริยา condensation ระหว่างอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนอกจากนี้ยังมีปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน เกิดขึ้นเนื่องจากพอกสารไม่เลกุลขนาดเล็กที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของต่อออกซิเดชันทำปฏิกิริยากันได้เป็นสารประกอบที่มีขนาดไม่เลกุลใหญ่ขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุให้น้ำมันมีความหนืดและสีเข้มขึ้น ดังตัวอย่างต่อไปนี้



การที่น้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและการภาพในระหว่างการทำจึงมีการศึกษาวิจัยเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันดังกล่าวตลอดจนผลกระทบที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารหลายงานวิจัย ดังตัวอย่างต่อไปนี้

Tan และคณะ (1985) ได้ศึกษาถึงสาเหตุที่ทำให้น้ำมันปาล์มเกิดการเปลี่ยนแปลงสีอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อน พบร่วมกันว่า การที่น้ำมันปาล์มมีสีเข้มกว่าน้ำมันชนิดอื่น ๆ นั้น เป็นผลเนื่องมาจากสารประกอบฟีโนลิก เช่น para-hydroxybenzoic acid และอาจรวมถึงแทนนิน (tannin) ที่มีอยู่ในผลปาล์มและจะมีอยู่ในน้ำมันที่ได้จากการบีบอัดผลปาล์ม ห้ามที่สุดจะคงเหลืออยู่ในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจึงเกิดพอลิเมอไรเซชันได้สารที่มีขนาดไม่เลกุลใหญ่ขึ้นมีลักษณะพันธะแบบ conjugation น้ำมันจึงมีสีเข้ม

Rhee และคณะ (1992) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด beef nuggets ที่เคลือบและไม่เคลือบด้วย defatted glandless cottonseed flour (GCF) โดยนำน้ำมันที่ใช้ทอด beef nuggets เป็นเวลา 24 ชั่วโมงมาวิเคราะห์คุณสมบัติ พบร่วมกันว่า น้ำมันที่ใช้ทอด nuggets ที่เคลือบด้วย GCF มีค่าความส่วน (ค่า L) มากกว่าน้ำมันที่ใช้ทอดตัวอย่างที่ไม่ได้เคลือบ เมื่อระยะเวลาที่ใช้น้ำมันเพิ่มขึ้นสีของน้ำมันจะมีความเข้มเพิ่มขึ้นและความแตกต่างระหว่างสีของน้ำมันที่ใช้ทอดตัวอย่างทั้งสองจะเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและออกซิเดชันที่เกิดขึ้นระหว่างการทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอนิลชนิดไม่อิมตัวส่งผลให้สีของน้ำมันเข้มขึ้น

Moreira และคณะ (1997) ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์ tortilla chip โดยทดสอบตัวอย่างที่มีความต้านทานต่อการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์ tortilla chip ด้วยสภาวะต่าง ๆ พบร่วมกันว่า ความชื้นเริ่มต้นและขนาดอนุภาคมีผลต่อปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์สุดท้าย เมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงและขนาดอนุภาคเล็กผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะมีปริมาณน้ำมันมาก อุณหภูมิที่ใช้ทอด tortilla chip และคุณภาพของน้ำมันไม่มีผลต่อปริมาณน้ำมันทั้งหมดในผลิตภัณฑ์สุดท้าย แต่ tortilla chip ที่ทอดในน้ำมันถ้วนเหลืองที่

ใช้แล้ว (น้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 ชั่วโมง จนมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 1.2 และมีสารประกอบที่มีขั้วทั้งหมด (total polar material) ร้อยละ 66) มีการสะสมน้ำมันอยู่บริเวณพื้นผิวมากกว่า tortilla chip ที่ทดสอบในน้ำมันถั่วเหลืองใหม่ ผู้วิจัยอธิบายว่าเป็นผลมาจากการหนึ่งของน้ำมันที่เพิ่มขึ้นและแรงตึงผิวของน้ำมันเก่าที่ลดลงทำให้น้ำมันเกาะติดกับพื้นผิวของผลิตภัณฑ์และยังพบว่าจากปริมาณน้ำมันทั้งหมดในผลิตภัณฑ์มีเพียงร้อยละ 20 ของปริมาณน้ำมันทั้งหมดเท่านั้นที่ถูกดูดซึมในระหว่างการทำ และร้อยละ 64 จะถูกดูดซึมในระหว่างการเย็นตัวและอีกร้อยละ 36 จะคงอยู่ที่พื้นผิวของ tortilla chip

Tan และ Che Man (1999) ได้ทดลองนำน้ำมันข้าวโพด น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลือง มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยสูญเสียร้อยละ 3 ของน้ำมัน แต่เมื่อเพิ่มน้ำมันข้าวโพด 2 ชั่วโมง พบว่า ตัวอย่างน้ำมันทั้ง 3 ชนิด มีค่าเบอร์ ออกไซด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณ anisidine ปริมาณสารประกอบที่มีขั้ว และ Totox value เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ได้รับความร้อน ในขณะที่ iodine value ของน้ำมันทั้ง 3 ชนิด ลดลง โดยน้ำมันข้าวโพดมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลือง

Yilmaz (2004) ศึกษาถึงผลของการเจือน้ำมันที่มีต่อคุณภาพของน้ำมันทดสอบและผลิตภัณฑ์โดยน้ำมัน พบว่า เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจากการทดสอบโดยน้ำมันอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2.5 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 5 วัน ค่าความหนาแน่น (oil density) ค่าความเป็นกรด และค่า alkaline contaminant material (ACM) ในตัวอย่างน้ำมันจะมากขึ้น โดยตัวอย่างที่มีการเจือด้วยน้ำมันใหม่จะมีค่าเหล่านี้เพิ่มขึ้นอย่างกว่าตัวอย่างน้ำมันที่ได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการเจือน้ำมันใหม่

เนื่องจากคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทดสอบอาหารมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารในระหว่างการเก็บรักษา (Hammond, 2002) จึงมีความพยายามที่จะยึดอายุการใช้งานของน้ำมันให้นานขึ้นด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น

Lin และคณะ (2001) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพการกรองด้วยสูญญากาศร่วมกับการใช้ตัวดูดซับ (adsorbent) ในน้ำมันที่ใช้ทดสอบได้เป็นเวลา 32 ชั่วโมง พบว่า การกรองน้ำมันด้วยสูญญากาศร่วมกับการใช้ตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพ คือ การใช้ Hubersorb<sup>®</sup> 600 ร้อยละ 3 ร่วมกับ Magnesol<sup>®</sup> ร้อยละ 3 และ Frypowder<sup>®</sup> ร้อยละ 2 สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 61.9 ปริมาณสารประกอบที่มีขั้วทั้งหมดร้อยละ 38 ค่า dielectric constant ร้อยละ 25.2 และการเปลี่ยนแปลงค่าสีร้อยละ 9.4 เมื่อเทียบกับตัวอย่างน้ำมันควบคุมที่ไม่ผ่านการกรอง จึงกล่าวได้ว่า การใช้ตัวดูดซับช่วยยึดอายุการใช้งานของน้ำมันให้นานขึ้น

บันทิต อินโนวงศ์ และ Mallikarjunan (2545) ได้ทดลองทดสอบ chicken cutlets ที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 184 kPa ทุก 20 นาที จำนวน 20 ครั้ง/วัน เป็นเวลา 7 วัน พบร่วมกับ เมื่อใช้เวลาทดสอบนานขึ้น ค่า dielectric constant ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) และค่าเปอร์ออกไซด์ (POV) ของน้ำมันจากทั้ง 2 ระบบ (ระบบที่สร้างความดันจากก๊าซในต่อเจน และระบบที่สร้างความดันจากความชื้นจากอาหาร) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยน้ำมันที่ได้จากการทดสอบโดยใช้ก๊าซในต่อเจนจะมีค่า dielectric constant FFA และ POV ต่ำกว่าระบบทดสอบที่สร้างความดันจากความชื้นของอาหาร

Yilmaz (2004) ได้ศึกษาการทดสอบโดยน้ำมันข้าวโพด 3 เทคนิค คือ 1) การใช้น้ำมันใหม่เพื่อรักษาระดับน้ำมันที่ใช้ทดสอบให้คงที่ 2) การใช้น้ำมันใหม่ผสมน้ำมันเก่า (1:1) และ 3) การใช้น้ำมันเก่าซ้ำตลอดเวลาการทดสอบ ทั้ง 3 วิธีทดสอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 2.5 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วันติดต่อ กัน พบร่วมกับ น้ำมันที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 3 วิธี มีค่าความหนาแน่น ความเป็นกรด และปริมาณ alkaline contaminant material (ACM) เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการใช้น้ำมันและโดยน้ำที่ได้จากการทดสอบทั้ง 3 วิธีมีแนวโน้มการคุดชับน้ำมันมากขึ้น โดยการทดสอบด้วยวิธีที่ 3 จะทำให้น้ำมันมีค่าความหนาแน่น ความเป็นกรด ปริมาณ ACM และการคุดชับน้ำมันของโดยน้ำมากกว่าวิธีที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโดยน้ำที่ทดสอบด้วยเทคนิคทั้ง 3 พบร่วมกับการทดสอบด้วยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 มีคะแนนการยอมรับที่ไม่แตกต่างกันและมีค่ามากกว่าการทดสอบด้วยวิธีที่ 3 โดยผู้ทดสอบชี้ว่าไม่ยอมรับโดยน้ำที่ทดสอบในน้ำมันเก่าซ้ำตลอดในการทดสอบที่ 4 และวันที่ 5 เมื่อพิจารณาถึงปริมาณน้ำมันใหม่ที่ใช้ พบร่วมกับการทดสอบโดยใช้น้ำมันใหม่ และรักษาระดับน้ำมันที่ใช้ทดสอบให้คงที่นั้นต้องใช้น้ำมันใหม่ทั้งสิ้น 15.3 ลิตร ในขณะที่การใช้น้ำมันใหม่ผสมน้ำมันเก่า (1:1) จะใช้น้ำมันใหม่ทั้งสิ้น 10.5 ลิตร ดังนั้นการใช้เทคนิคการเจือน้ำมันสามารถลดการใช้น้ำมันใหม่ลงได้ร้อยละ 31 โดยไม่ทำให้คุณภาพของโดยน้ำลดลง

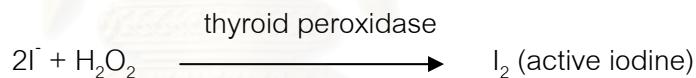
สำหรับกระบวนการทดสอบอาหารค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับน้ำมันเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะยึดถือการใช้งานของน้ำมันให้นานขึ้น เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านการผลิต และเมื่อพิจารณาจากลักษณะของผลิตภัณฑ์ข้าวโพงที่จำเป็นต้องใช้ความดันไอน้ำทำให้เกิดการพองตัวของข้าว ประกอบกับลักษณะของอุตสาหกรรมแล้ว งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาถึงผลของการเจือน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ที่มีต่อคุณภาพของข้าวโพง และการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี และกายภาพของน้ำมัน โดยการแปรอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่เพิ่มมากขึ้น

## 2.4 ความสำคัญของธาตุไอโอดีน

โดยทั่วไปในร่างกายผู้ใหญ่เมื่อไอดีนทั้งหมด 20-50 มิลลิกรัม ซึ่งร้อยละ 70-80 % อยู่ในต่อมไครอยด์ ไอโอดีนเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการสร้างฮอร์โมนไบร็อกซิน (T4) และไตรไอโอดีโนนีน (T3) โดยฮอร์โมนทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นฮอร์โมนที่อยู่ในต่อมไครอยด์ซึ่งมีความสำคัญต่อร่างกาย คือ ช่วยในการบันดาลคลื่นของcarboxypeptidase โปรตีนและไขมัน รวมทั้งช่วยในการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทอัตโนมัติ การสร้างฮอร์โมนทั้ง 2 ชนิดนี้ต้องอาศัย tyrosine residue และไอดีน (Hass, 2006)

### การดูดซึม (Absorption)

ไอกोเดตและไอกอเดินที่รวมอยู่กับโปรตีนในอาหารจะถูกเรียกว่าเป็นไอกอไดด์และถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายบริเวณลำไส้เล็ก เข้ากระเพาะแล้วเลือดแล้วเข้าสู่ต่อมไครอยด์เพื่อใช้ในการสร้างฮอร์โมนส่วนที่เหลือจะถูกขับถ่ายออกทางไตในรูปของปัสสาวะ ภายในต่อมไครอยด์ไอกอไดด์จะถูกออกซิไดส์ไปเป็นไอกอเดินด้วยเอนไซม์ thyroid peroxidase และ hydrogen peroxide ดังสมการ (White et al., 1973)



ร่างกายจะนำไอกอเดินที่ได้รับไปสร้างฮอร์โมนไบร็อกซินและไตรไอโอดีโนนีน โดยจับกับ tyrosine residue ที่รวมอยู่กับ thyroglobulin (glycoprotein เนพะของต่อมไครอยด์) เป็น mono- และ diiodothyrosine (MIT และ DIT) ซึ่ง MIT และ DIT จะรวมตัวกันได้เป็น triiodothyronine และ DIT ซึ่งจะรวมตัวกันเองได้เป็น tetraiodothyronine ซึ่งเป็น active form ของฮอร์โมนไตรไอโอดีโนโนนีนและไบร็อกซิน (White et al., 1973)

ฮอร์โมนไบร็อกซินและไตรไอโอดีโนนีนทำหน้าที่ควบคุมการเผาผลาญอาหารเพื่อให้พลังงานแก่ร่างกายและมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย ระบบประสาทและสมอง การขาดสารไอกอเดินทำให้ร่างกายผลิตไครอยด์ฮอร์โมนลดลง การที่ระดับของ thyroxine ลดลงจะเป็นการกระตุ้นต่อม pituitary ที่ควบคุมการผลิตไครอยด์ฮอร์โมนให้เพิ่มปริมาณการผลิต ต่อมไครอยด์จะทำงานหนักมากขึ้น ส่งผลให้มีลักษณะโตขึ้นเรียกว่า คอพอก (Goiter) การขาดสารไอกอเดินในหญิงมีครรภ์จะทำให้เกิดการแท้งได้ อัตราการตายของทารกและมารดาจากการคลอดดูสูง ทารกอาจมีความพิการมาแต่กำเนิด (congenital anomalies) เช่น หูหนวก เป็นไปได้

เจริญเติบโตขึ้นจะมีรูปร่างเตี้ยแคระ ปัญญาอ่อน พุงยื่น หลัง凸 เน้าอกแอบ และจมูกบาน ซึ่งเรียกว่า ภาวะเครติน (Cretinism) (ประณีต ผ่องแพร์, 2539) อายุ่งไว้กตามหากได้รับสารไอโอดีนมากเกินไปจะทำให้พิวนหันมีลักษณะการเกิดสิว หรือแผลฟางซ้ำในวัยรุ่นหรือผู้ใหญ่ตอนต้น และอาจเกิดอาการคอพอกได้ (Williams, 1988) ถ้าได้รับไอโอดีนปริมาณมากเป็นเวลานาน เช่น เกินวันละ 2,000 ppm ทำให้เกิดโรคคอพอกเป็นพิษ (Hyperthyroidism) ถ้าบริโภคโดยตรง 2 กรัมในครั้งเดียว ทำให้เกิดอาการปวดท้อง คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง เกิดแผลในกระเพาะอาหารและลำไส้ปอดอักเสบ ไตวาย หมดสติและเสียชีวิตได้ (กรมอนามัย, 2535)

ความต้องการสารไอโอดีนของร่างกายขึ้นอยู่กับช่วงอายุและสภาพร่างกาย โดยทั่วไปผู้ใหญ่มีความต้องการไอโอดีนประมาณ 100-150 ไมโครกรัม / คน / วัน หญิงมีครรภ์และให้นมบุตรจะมีความต้องการเพิ่มขึ้น (กรมอนามัย, 2535)

### การเสริมธาตุไอโอดีนในอาหาร

จากความสำคัญของสารไอโอดีนที่มีต่อร่างกายประกอบกับการที่ประชากรได้รับไอโอดีนจากอาหารไม่เพียงพอโดยเฉพาะชาวเขาและคนที่อยู่ในเขตชนบทห่างไกล จึงได้มีการทดลองเสริมไอโอดีนในอาหารหลายประเภท โดยรูปแบบของไอโอดีนที่ใช้ในการเสริมนั้นพิจารณาจากความบริสุทธิ์และความเสถียรของเกลืออัลคาไล ซึ่งมีอยู่ 2 รูปแบบที่นิยม คือ อัลคาไลไอโอด์และอัลคาไลไอโอดे�ต โดยอัลคาไลไอโอด์จะมีความคงตัวต่อสภาวะแวดล้อมที่ต้องสัมผัสโดยเฉพาะสภาวะอากาศร้อนชื้นซึ่งเป็น oxidizing condition ได้ดี การเลือกใช้อัลคาไลไอโอด์นิยมใช้ในรูปแบบของสารประกอบเชิงช้อนกับเกลือ ซึ่งจะไม่ระเหยง่ายเมื่อนำเกลืออัลคาไลไอโอด์ เมื่อใช้เสริมในปริมาณที่เหมาะสมจะไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษแก่ร่างกาย (McDowell, 1992)

การเพิ่มปริมาณไอโอดีนในข้าวและผลิตภัณฑ์จากข้าวมีขั้นตอนและกรรมวิธีแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ดังตัวอย่างงานวิจัยต่อไปนี้

ธนาณัต์ ใจนะศศิธร (2545) ศึกษาการเสริมไอโอดีน สังกะสีและเหล็ก โดยการเคลือบบนพิมพ์ด้วยโซเดียมเจลเป็นสารเคลือบ พบร้า ข้าวที่ได้จะมีค่าร้อยละการคงเหลือของไอโอดีนหลังล้างในข้าวพันธุ์คลองหลวงสูงถึงร้อยละ 94.16

จาฤกัทร ลือชา (2545) ศึกษาการผลิตข้าวกล้องนึ่งเสริมไอโอดีน โดยการแซ่ข้าวเปลือกและข้าวกล้องในสารละลายน้ำตาลและน้ำมันพืช เช่น ไอโอดีนที่มีความเข้มข้น 500 และ 1000 ไมโครกรัม ต่อข้าว 100 กรัม พบร้าไม่มีความแตกต่างของความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลและน้ำมันพืชที่เพิ่ม

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยข้าวกล้องนี่ที่ได้มีปริมาณไอกोดีนอยู่ในช่วง 90.79 และ 98.53 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

ปัญมนันท์ พงศ์นพวงศ์ (2546) ศึกษาการเสริมไอกอเดินในข้าวหุงสุกเร็ว โดยการแข่ข้าวในสารละลายโพแทสเซียมไอกอเดต ที่มีความเข้มข้น 500 และ 1000 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัมพบว่าไม่มีความแตกต่างของความเข้มข้นสารละลายต่อปริมาณไอกอเดินที่ได้ในข้าวหุงสุกเร็ว โดยมีปริมาณไอกอเดินใกล้เคียงกับงานวิจัยของจาลูภัทร คือ มีไอกอเดินอยู่ในช่วง 90.15 ถึง 93.10 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

เมื่อพิจารณาการเสริมไอกอเดินในข้าวรูปแบบต่าง ๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมาประกอบกับขั้นตอนการเตรียมแผ่นข้าวอบแห้งสำหรับทำข้าวพอง ที่ต้องการทำให้ข้าวเกิดการพองตัวและมีลักษณะโครงสร้างเป็นรูปกรุน การเสริมไอกอเดินด้วยวิธีการแข่ข้าวในสารละลายโพแทสเซียมไอกอเดตเข่นเดียวกับงานวิจัยของจาลูภัทรและปัญมนันท์จะมีความเหมาะสมกว่า แต่เพื่อความสะดวกและเหมาะสมกับกระบวนการผลิตแผ่นข้าวสำหรับทำข้าวพองจึงดัดแปลงวิธีการเสริมไอกอเดินของปัญมนันท์ พงศ์นพวงศ์ (2546) โดยการนำข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 มาเสริมไอกอเดินด้วยวิธีการหุงต้มในน้ำที่ผสมสารละลายโพแทสเซียมไอกอเดตอยู่แทนการแข่ข้าวในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง

จากเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมด งานวิจัยนี้จึงเตรียมแผ่นข้าวเสริมไอกอเดินโดยดัดแปลงจากวิธีของปัญมนันท์ พงศ์นพวงศ์ (2546) โดยประดับความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอกอเดตให้ต่ำลงและทดสอบด้วยเทคนิคการเจือน้ำมันโดยดัดแปลงจากการของ Yilmaz (2004) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการทดสอบด้วยเทคนิคการเจือน้ำมันที่มีต่อสมบัติทางเคมี ทางกายภาพและทางประสานสัมพัทธ์ของข้าวพองเสริมธาตุไอกอเดิน รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีและกายภาพของน้ำมัน

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยแบ่งการศึกษาออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่

##### 3.1.1 การเสริมชาตุไอกอเดินในข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ศึกษาการเสริมไอกอเดินในข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ใช้เตรียมแผ่นข้าว  
อบแห้งสำหรับทำข้าวพองด้วยวิธีการหุงต้มในน้ำที่มีสารละลายโพแทสเซียมไอกอเดต ( $KIO_3$ ) ผสม  
อยู่ซึ่งวิธีเสริมไอกอเดินนี้ดัดแปลงมาจากวิธีของปัญมนันท์ พงศ์ศนพรัตน์ (2546) และศึกษาปริมาณ  
ไอกอเดินคงเหลือภายหลังทดสอบการแพร่ผ่านเยื่อ (dialysis)

##### 3.1.2 ศึกษาผลของการทดสอบด้วยเทคนิคการเจอน้ำมันที่มีต่อสมบัติทางเคมี กายภาพและประสานสัมผัสของข้าวพองเสริมไอกอเดิน

ศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ และวันที่ทดสอบที่มีต่อการ  
เปลี่ยนแปลงค่าสี ปริมาณไอกอเดิน ปริมาณการดูดซับน้ำมัน ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณความชื้น ค่า  
water activity ( $a_w$ ) ค่าความแข็ง (hardness) ลักษณะโครงสร้างภายในข้าวพองและประเมิน  
คุณภาพด้านประสานสัมผัสของข้าวพอง

##### 3.1.3 ศึกษาผลของปริมาณและคุณภาพน้ำมันในผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกอเดิน ต่อประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่าเอมิเลสแบบ *in vitro*

ศึกษาผลของน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันที่ใช้ทดสอบข้าวพอง  
วันที่ 5 ต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายเป็นน้ำตาล/mol ต่อส่วนของเอนไซม์แอลฟ่าเอมิเลสแบบ *in  
vitro*

##### 3.1.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันที่ใช้ทดสอบข้าว พอง

ศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ และวันที่ทดสอบที่มีต่อการ  
เปลี่ยนแปลงค่าสี ค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และติดตามการเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน  
ด้วยเทคนิค Fourier transform infrared (FTIR)

**3.1.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวพองระหว่างการเก็บรักษา**  
 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสี ความชื้น ปริมาณไอโอดีน ค่าเปอร์ออกไซด์  $a_w$  และค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ข้าวพองที่ผ่านการทำด้วยเทคนิคการเจือน้ำมัน ในวันที่ 1 3 และ 5 ที่บรรจุในถุง polypropylene (PP) ปิดสนิท โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 สัปดาห์

## 3.2 วัตถุดิบ

ตัวอย่างข้าวที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่เพาะปลูกในพื้นที่ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก เก็บเกี่ยวผลผลิตในปี พ.ศ. 2547 โดยได้รับความอนุเคราะห์จาก สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ในการจัดหาตัวอย่าง เก็บ ข้าวสารในถุงกระสอบและใส่ในกล่องพลาสติกปิดฝาสนิทที่อุณหภูมิห้องนาน 1 เดือน ก่อนใช้ใน การทำวิจัย

## 3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.3.1 ศึกษาการเสริมธาตุไอโอดีนในข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

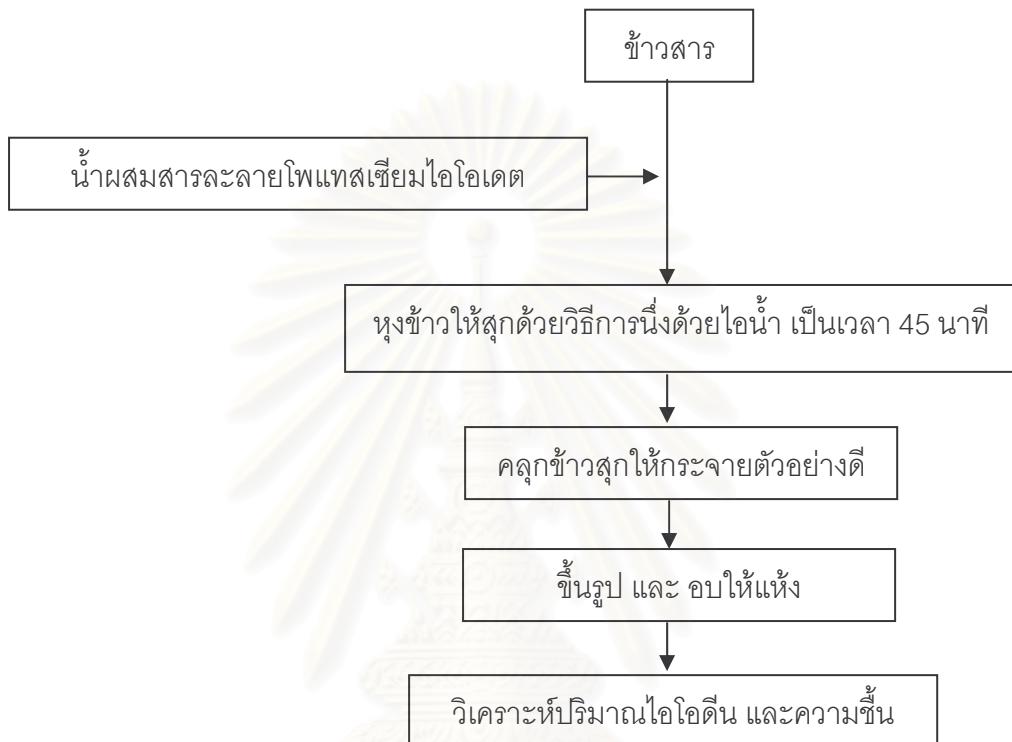
ออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ตัวแปรในการทดลองคือ ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอดีต ( $KIO_3$ ) 4 ระดับ คือ 0 125 250 และ 500 ไมโครกรัมต่อข้าวสาร 100 กรัม ทำการทดลอง 4 ชั้น นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยค่า least significant differences (LSD)

การเสริมไอโอดีนทำโดยผสมโพแทสเซียมไอโอดีตลงในน้ำประศจากไอกอน (deionized water) ที่ใช้หุ่งต้มข้าวให้สุก ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของป้อมนันท์ พงศ์นพัฒน์ (2546) โดยใช้อัตราส่วนของน้ำ ต่อ ข้าว เป็น 1 : 1 นำข้าวที่หุงสุกมาขึ้นรูปขณะร้อนโดยรีดข้าวเป็นแผ่นรูป สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่ หนา 0.5 เซนติเมตรและตัดเป็นแผ่นข้าวรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด  $5 \times 5$  เซนติเมตร (กว้าง x ยาว) ทึ้งไว้ให้เย็น แล้วจึงนำมาอบแห้งในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิประมาณ 85 – 100 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูป 3.1 นำตัวอย่างแผ่นข้าวเสริมไอโอดีนที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติ ดังต่อไปนี้

- วิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามวิธีของ A.O.A.C. (1995)
- วิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนด้วยวิธี Macro scale (Moxon and Dixon, 1980) ดังแสดงในภาคผนวก ข.1

ประเมินผลความเข้มข้นของ  $KIO_3$  ต่อปริมาณไอโอดีนที่ได้เพื่อนำไปใช้เสริมในขั้นตอนการเตรียมแผ่นข้าวอบแห้งสำหรับใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

- วิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนคงเหลือหลังการแพร์ฟ่านเยื่อโดยนำแผ่นข้าวอบแห้งที่เสริมไอโอดีนตามความเข้มข้นของ  $KIO_3$  ที่เลือกได้มาทดสอบการแพร์ฟ่านเยื่อ



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเสริมไอโอดีนในข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

### 3.3.2 ศึกษาผลของการทดลองด้วยเทคนิคการเจือน้ำมันที่มีต่อสมบัติทางเคมีภysis และประสานสัมผัสของข้าวพองเสริมไอโอดีน

ออกแบบการทดลองแบบ  $3 \times 5$  Asymmetric factorial in CRD ตัวแปรในการทดลองคือ อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 3 ระดับ คือ 100:0 75:25 และ 50:50 (ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 100:0 จัดเป็นตัวอย่างควบคุม) และวันที่ทดลอง 5 วัน ทำการทดลอง 2 ชั้้า วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยค่า LSD โดยนำตัวอย่างแผ่นข้าวที่มีความชื้นประมาณ 10-13 % มาทดลองในน้ำมันอุณหภูมิ  $190 \pm 5$  องศาเซลเซียส วันละ 200 ชิ้น (น้ำหนักแผ่นข้าว 1 ชิ้นประมาณ 10 กรัม) แบ่งการทดลองเป็น batch ซึ่งแต่ละ batch จะทดลองข้าวพองจำนวน 4 ชิ้น นาน 7-8 วินาที เป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน ระหว่างการทดลองแต่ละ batch อุณหภูมิของน้ำมันจะลดลงจึงอาจจนน้ำมันมีอุณหภูมิ  $190 \pm 5$  องศา

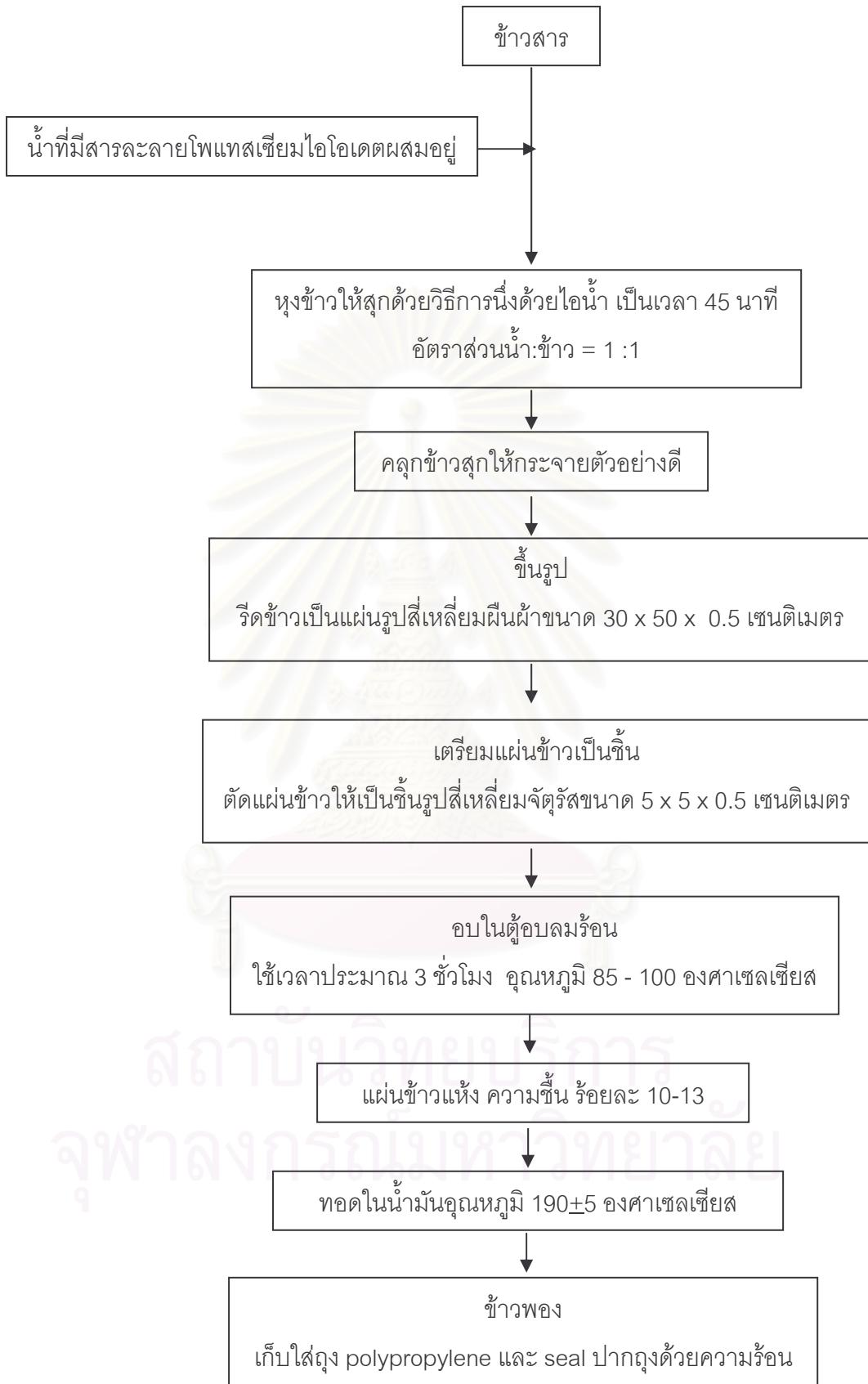
เซลเซียสแล็ปจึงทดลองข้าวพอง batch ต่อไป น้ำมันจะได้รับความร้อนเป็นเวลา 2.5 ชั่วโมงต่อวัน ดังสรุปขั้นตอนหลักในการผลิตข้าวพองเสริมไอกอเดินในรูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเจือน้ำมันในแต่ละ treatment มีรายละเอียดดังนี้

Treatment 1 คือ ตัวอย่างน้ำมันควบคุม โดยเริ่มทดลองข้าวพองในวันที่ 1 ด้วยน้ำมันใหม่ 3 ลิตร (น้ำมันปาล์มโอลีอินจากเนื้อปาล์ม ตามปกติ) การทดลองแต่ละ batch จะคงอุณหภูมิไว้ที่  $190 \pm 5$  องศาเซลเซียสและไม่มีการเติมน้ำมันใหม่เพื่อรักษาระดับน้ำมันให้คงที่ หลังจากทดลองข้าวพองในวันที่ 1 เสร็จ เก็บน้ำมันที่เหลือไว้ทดลองในวันที่ 2 และทำเช่นนี้จนถึงวันที่ 5 เมื่อทดลองข้าวพองในแต่ละวันเสร็จจะเก็บน้ำมันประมาณ 50 – 80 มิลลิลิตร ใส่ขวดสีชาและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกระทั่งนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติในข้อ 3.3.4

Treatment 2 คือ น้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75 ต่อ 25 โดยเริ่มทดลองข้าวพองในวันที่ 1 ด้วยน้ำมันใหม่ 1.5 ลิตร การทดลองแต่ละ batch จะคงอุณหภูมิไว้ที่  $190 \pm 5$  องศาเซลเซียสและเติมน้ำมันใหม่เพื่อรักษาระดับน้ำมันให้คงที่ระหว่างการทดลอง เมื่อทดลองข้าวพองในวันที่ 1 เสร็จ ก่อนเริ่มทดลองข้าวพองในวันที่ 2 นำน้ำมันเก่าจากวันที่ 1 มาผสมกับน้ำมันใหม่ อัตราส่วน 75 ต่อ 25 แล้วนำน้ำมันผสม 1.5 ลิตรไปใช้ทดลองข้าวพอง ในระหว่างการทดลองรักษา ระดับน้ำมันให้คงที่ด้วยน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75 ต่อ 25 เช่นกัน ทำเช่นนี้ใน การทดลองวันที่ 3 จนถึงวันที่ 5 เก็บตัวอย่างน้ำมันทั้งก่อนและหลังการทดลองในแต่ละวัน เช่นเดียวกับ treatment 1

Treatment 3 คือ น้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50 ต่อ 50 ทำการทดลองเช่นเดียวกับ treatment 2 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่เป็น 50 ต่อ 50

เมื่อนำข้าวพองขึ้นจากน้ำมันแล้วทิ้งให้ข้าวพองที่ได้ให้เย็นตัวบนตะแกรงนาน 15 นาที ก่อนบรรจุใส่ถุง polypropylene (ขนาด  $7.6 \times 23$  เซนติเมตร หนา 0.07 มิลลิเมตร) ถุงละ 10 ชิ้น ปิด (seal) ปากถุงให้สนิท เก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 1 วัน ก่อนวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสต่อไป



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการผลิตข้าวโพงเสริมไอกอเดิน

สูมตัวอย่างข้าวพองที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติดังต่อไปนี้

(1) สมบัติทางเคมีของข้าวพองเสริมไฮโอดีน

- วิเคราะห์ปริมาณไฮโอดีน
- ปริมาณความชื้น
- วิเคราะห์ปริมาณการดูดซับน้ำมัน (A.O.A.C., 1995)
- วิเคราะห์ค่า Peroxide value ( Low และ Ng, 1987 )  
แสดงในภาคผนวก ข.2

(2) สมบัติทางกายภาพของข้าวพองเสริมไฮโอดีน

- วิเคราะห์ค่าสีในระบบ Hunter ( L a b ) ด้วยเครื่อง Chroma Meter (Model CR-300 Series, Minolta, Japan)
- วิเคราะห์ค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Instron ( Instron<sup>®</sup> 5565, USA.) แสดงในภาคผนวก ข.6
- วิเคราะห์ค่า water activity (  $a_w$  ) ด้วยเครื่องวัด  $a_w$  (AquaLab Series 3 TE, USA.)
- ถ่ายภาพโครงสร้างภายในของข้าวพองโดยการใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) (JSM-5800 LV , JAPAN)

(3) ประเมินคุณภาพด้านประสิทธิภาพโดยพิจารณาลักษณะด้านต่าง ๆ ได้แก่ สี กลิ่น ความกรอบ ลักษณะการพองตัว การเกะกันของเม็ดข้าวและความชื้นโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คนและใช้แบบทดสอบแบบ Quantitative descriptive analysis with scoring test ออกแบบการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเบริยบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยค่า LSD

ประเมินผลอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี กายภาพของข้าวพองและได้ผลิตภัณฑ์ข้าวพองที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค

### 3.3.3 ศึกษาผลของปริมาณและคุณภาพน้ำมันในผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกोอีนต่อประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่าเอมิเลสแบบ *in vitro*

ออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ตัวแปรในการทดลองคือ อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 3 ระดับ คือ 100:0 (น้ำมันควบคุม) 75:25 และ 50:50 ทำการทดลอง 4 ชั้ว นำผลการทดลองที่ได้มารวบรวมทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยค่า LSD โดยนำข้าวพองที่ทดลองในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในการทดลองวันที่ 5 มาทดสอบการย่อยสลายเอนไซม์แอลฟ่าเอมิเลสที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 15 30 และ 60 นาที ตามวิธีของ Yokoyama และคณะ (1994) ดังแสดงในภาคผนวก ข. 4 และวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล/mol โคล็อกซิลที่เกิดขึ้นตามวิธีของ Bruner (1964) ดังแสดงในภาคผนวก ข. 5

### 3.3.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันที่ใช้ทดลองข้าวพอง

ออกแบบการทดลองแบบ  $3 \times 5$  Asymmetric factorial in CRD ตัวแปรในการทดลองคือ อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 3 ระดับ คือ 100:0 (น้ำมันควบคุม) 75:25 และ 50:50 และวันที่ทดลอง (5 วัน) ทำการทดลอง 2 ชั้ว วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยค่า LSD โดยนำตัวอย่างน้ำมันทั้งก้อนและหลังการทดลองในแต่ละวันที่บรรจุในขวดสีชาและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส วิเคราะห์สมบัติดังต่อไปนี้

- วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid value คำนวณในรูป % oleic acid) (A.O.C.S., 1999) ดังแสดงในภาคผนวก ข.3
- วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์
- ค่าสีในระบบ Hunter (L a b)
- ติดตามการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectrophotometer (FTIR) (Perkin Elmer, spectrum one) (Innawong และคณะ, 2004)

ประเมินผลอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ และวันที่ทดลองที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมัน

### 3.3.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกอเดินระหว่างการเก็บรักษา

ออกแบบการทดลองแบบ  $3 \times 3$  Symmetric Factorial in CRD ตัวแปรในการทดลองคือ อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 3 ระดับ คือ 100:0 (น้ำมันควบคุม) 75:25 และ 50:50 และวันที่ทดสอบ (วันที่ 1 3 5) ทำการทดลอง 2 ชั้า วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยค่า LSD โดยนำตัวอย่างข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 1 3 5 ของแต่ละ treatment มาบรรจุในถุง polypropylene (PP) (ขนาด  $7.6 \times 23$  เซนติเมตร หนา 0.07 มิลลิเมตร) ที่ปิดสนิท บรรจุถุงละ 100 กรัม (10 ชิ้น) และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง สูงตัวอย่างข้าวพองทุก ๆ สปดาห์ เป็นเวลา 6 สปดาห์มาวิเคราะห์สมบัติดังต่อไปนี้

- วิเคราะห์ปริมาณไอกอเดิน
- วิเคราะห์ปริมาณความชื้น
- วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value)
- วิเคราะห์ค่า  $a_w$  ด้วยเครื่องวัด  $a_w$  (AquaLab Series 3 TE, USA.)
- วิเคราะห์ค่าสีในระบบ Hunter (L a b)
- วิเคราะห์ค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Instron<sup>®</sup> 5565, USA.)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการศึกษาการเสริมธาตุไอโอดีนในข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

ข้าวสารที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ซึ่งเพาะปลูกในพื้นที่ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ปี พ.ศ. 2547 เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการ พบว่า ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 16.89 ( ตารางที่ 4.1) ซึ่งจัดเป็น ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ (งานชื่น คงเสรี, 2542 ) และมีปริมาณไอโอดีนเป็น 8.01 ไมโครกรัม/ข้าว 100 กรัม ซึ่งนับเป็นปริมาณที่ต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไอโอดีนที่ร่างกายต้องการ ได้รับในแต่ละวัน (150 ไมโครกรัม) (กรมอนามัย, 2532)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

คุณลักษณะ	ร้อยละ(น้ำหนักแห้ง) (Mean $\pm$ SD)
ความชื้น	10.30 $\pm$ 0.06
โปรตีน	6.26 $\pm$ 0.08
ไขมัน	1.17 $\pm$ 0.10
เกล้า	0.63 $\pm$ 0.07
เส้นใย	0.78 $\pm$ 0.07
คาร์บอไฮเดรต*	80.86
แอมิโลส	16.89 $\pm$ 0.25
ไอโอดีน (ไมโครกรัม/100 กรัม)	8.01 $\pm$ 0.19

\* ร้อยละคาร์บอไฮเดรตหายไปจากการคำนวณ

คาร์บอไฮเดรต = 100 - (ร้อยละความชื้น + โปรตีน + ไขมัน + เกล้า + เส้นใย )

ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ชุด และเป็นค่าเฉลี่ยต่อน้ำหนักแห้ง ยกเว้น ความชื้น

เมื่อนำข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 มาเสริมไอโอดีนโดยผสมโพแทสเซียมไอโอดีตลง ในน้ำประศจากไอโอน (deionized water) ที่ใช้หุงต้มข้าวให้สุก ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ ปัญมนันท์ พงศ์นพวงศ์ (2546) แล้วนำแผ่นข้าวเสริมไอโอดีนที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนและ ความชื้น จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ 4.2)

**ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไอโอดีนและร้อยละความชื้นของข้าวที่เสริมไอโอดีนต่างระดับ**

แหล่งความแปรปรวน (SOV)	ปริมาณไอโอดีน	ร้อยละของความชื้น
ความเข้มข้นของ $KIO_3$	*	ns
CV (%)	4.36	3.51

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ 4.2) พบร่วมกันว่า ความเข้มข้นของสารละลายน้ำโซเดียมไอโอดีต ( $KIO_3$ ) ไม่มีผลต่อความชื้นของแผ่นข้าวเสริมไอโอดีนที่ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่มีผลต่อปริมาณไอโอดีนในแผ่นข้าวโดยข้าวที่ผ่านการหุงต้มด้วยน้ำที่ผสมสารละลายน้ำโซเดียมไอโอดีต  $KIO_3$  ทั้ง 3 ความเข้มข้นมีปริมาณไอโอดีนมากกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมไอโอดีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3 ปริมาณไอโอดีนและร้อยละความชื้นในแผ่นข้าวเสริมไอโอดีนที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำโซเดียมไอโอดีนต่างกัน**

ปัจจัย	ปริมาณไอโอดีน*(ไม่รวมรัมต่อข้าว 100 กรัมหนักแห้ง) (Mean $\pm$ SD)	ร้อยละความชื้น*
ไม่เสริมไอโอดีน	8.78 $\pm$ 0.54 <sup>b</sup>	11.36 $\pm$ 0.27 <sup>a</sup>
เสริมไอโอดีน 125 ไมโครกรัมต่อ ข้าว 100 กรัม	99.80 $\pm$ 2.30 <sup>a</sup>	11.59 $\pm$ 0.31 <sup>a</sup>
เสริมไอโอดีน 250 ไมโครกรัมต่อ ข้าว 100 กรัม	102.11 $\pm$ 4.75 <sup>a</sup>	11.80 $\pm$ 0.40 <sup>a</sup>
เสริมไอโอดีน 500 ไมโครกรัมต่อ ข้าว 100 กรัม	104.40 $\pm$ 4.37 <sup>a</sup>	11.80 $\pm$ 0.58 <sup>a</sup>

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 4 ข้าว

a,b...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อพิจารณาความแตกต่างของระดับความเข้มข้นสารละลายน้ำโซเดียมไอโอดีน ( $KIO_3$ ) (125, 250 และ 500 ไมโครกรัม ต่อ ข้าว 100 กรัม) พบร่วมกันว่า ข้าวที่หุงต้มด้วยน้ำที่มีสารละลายน้ำโซเดียมไอโอดีน มีปริมาณไอโอดีนไม่แตกต่างกัน โดยมีปริมาณไอโอดีน 99.80 102.11 104.40 ไมโครกรัม ต่อ ข้าว 100 กรัม

ตามลำดับ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกสารละลาย  $KIO_3$  ความเข้มข้น 125 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม เพื่อใช้ในการเตรียมแผ่นข้าวสำหรับทดสอบเป็นข้าวพอง

เมื่อพิจารณาจากปริมาณไอโอดีนในแผ่นข้าวที่ได้เมื่อใช้  $KIO_3$  ความเข้มข้น 125 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม และเสริมลงไปในน้ำที่ใช้หุงข้าว ซึ่งเป็นการเสริมในภาวะที่มีอุณหภูมิสูงนั้นได้ปริมาณไอโอดีนไม่แตกต่างจากการวิจัยของปัญมนันท์ พงศ์นพัฒน์ (2546) ที่ศึกษาการเสริมไอโอดีนในผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็ว โดยการแช่ข้าวในสารละลาย  $KIO_3$  ที่มีความเข้มข้น 500 และ 1,000 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งความเข้มข้นที่ใช้นั้นมากกว่างานวิจัยนี้ จึงกล่าวได้ว่าการเสริมไอโอดีนในข้าวในภาวะที่มีอุณหภูมิสูงจะช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเม็ดข้าวและส่งผลให้อองค์ประกอบในข้าว เช่น สเตาร์ช สามารถยึดติดกับไอโอดีนได้ดียิ่งขึ้น

จากการรวมวิธีการผลิตแผ่นข้าวพองที่ต้องผ่านการให้ความร้อนในการหุงต้มและการอบแผ่นข้าวสุกให้แห้งแล้วยังมีปริมาณไอโอดีนคงเหลืออยู่ในแผ่นข้าวสูงแสดงให้เห็นว่าไอโอดีนที่เสริมเข้าไปสามารถสร้างพันธะกับองค์ประกอบภายในเม็ดข้าว เช่น สเตาร์ชและโปรตีนได้ดี

#### ปริมาณไอโอดีนภายในหลังการแพะผ่านเยื่อ ( dialysis)

เมื่อนำแผ่นข้าวเสริมไอโอดีนมาทดสอบการแพะผ่านเยื่อเพื่อหาปริมาณไอโอดีนที่คงเหลืออยู่ในแผ่นข้าวหลังการทำได้ผลลัพธ์โดยนำแผ่นข้าวเสริมไอโอดีนที่บดละเอียดละลายน้ำ ปราศจากไอโอนอัตราส่วนแบ่งข้าว ต่อ น้ำ เป็น 1:5 ใส่ลงในถุงได้ผลลัพธ์ที่มี molecular weight cut off เท่ากับ 3000 เป็นเวลา 24 ชั่วโมงโดยเปลี่ยนน้ำที่ใช้เช่นทุก 8 ชั่วโมง นำแบ่งที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนที่เหลือได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณไอโอดีนในแผ่นข้าวเสริมไอโอดีนก่อนและหลังการทำ dialysis

ตัวอย่าง	ปริมาณไอโอดีน (ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม)
ก่อน dialysis	98.40 ± 2.65
หลัง dialysis	25.67 ± 0.81

\* ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 4 ชั้้า

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าภายในหลังการทำ dialysis ในแบ่งข้าวที่บดจากแผ่นข้าวเสริมไอโอดีนพบแห่งยังคงมีปริมาณไอโอดีนเหลืออยู่ 25.67 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัมแสดงให้เห็นว่าไอโอดีนที่ใช้เสริมในข้าวสามารถสร้างพันธะกับองค์ประกอบภายในเม็ดข้าว เช่น สเตาร์ชและ

ประทีนได้ดี จากปริมาณไอโอดีนคงเหลือภายในหลังการทำไดแอลิชิสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงมีค่าน้อยกว่างานวิจัยของธรรมพ เหล่ากุลติก (2548) ที่รายงานปริมาณไอโอดีนคงเหลือหลังการทำไดแอลิชิสของข้าวเสริมไอโอดีนโดยการแขวนในสารละลาย KIO<sub>3</sub> และข้าวเสริมไอโอดีนด้วยการทำข้าวนึ่งที่มีปริมาณไอโอดีนคงเหลือสูงถึงร้อยละ 76.36 และ 84.87 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวิธีการเตรียมแผ่นข้าวเสริมไอโอดีนสำหรับทำข้าวพองใช้อุณหภูมิสูงทำให้เปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเม็ดข้าว เช่น สตาร์ช ที่มีผลต่อการยึดจับไอโอดีน ซึ่ง Lii และคณะ (2002) ได้รายงานว่าแอนไอโอนจะสามารถแทรกตัวเข้าสู่ภายในเม็ดสตาร์ชได้และจะเกิดปฏิกิริยาต้านทานของสตาร์ช นอกจานั้นยังได้เสนอรูปแบบการยึดจับกันของอิโอน สตาร์ชได้ดังนี้ { [ >CH-O- - - H- - - - - Anion ] Cation + } ดังนั้นมีอนามัยที่ผ่านการทำเจลาติในเชื้อน้ำเปลี่ยนไปเป็นอนามัยที่ผ่านการทำไดแอลิชิสจึงมีปริมาณไอโอดีนคงเหลืออยู่น้อย

นอกจากนี้เปลี่ยนที่ผ่านการทำเจลาติในเชื้อน้ำเปลี่ยนจะมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีขึ้น เมื่อนำเปลี่ยนข้าวมาละลายน้ำด้วยอัตราส่วนเปลี่ยนต่อน้ำเท่ากับ 1:5 ก่อนใส่ลงในถุงไดแอลิชิสไอโอดีนที่ยึดติดกับองค์ประกอบภายในเม็ดข้าวจึงละลายน้ำออกໄไปในระหว่างการทำไดแอลิชิสได้มากกว่างานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งเปลี่ยนข้าวที่ใช้ในการทำไดแอลิชิสยังคงเป็นเปลี่ยนดีบมีการละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องต่ำ อย่างไรก็ตามจากปริมาณไอโอดีนที่คงเหลือถึงแม้จะมีปริมาณน้อยแต่ก็แสดงให้เห็นได้ว่าไอโอดีนที่เสริมในข้าวสามารถยึดเกาะกับองค์ประกอบภายในเม็ดข้าวได้

#### 4.2 ผลของการทดสอบด้วยเทคนิคการเจือน้ำมันที่มีต่อสมบัติทางเคมี ทางกายภาพและทางประสานสัมผัสของข้าวพองเสริมไอโอดีน

##### 4.2.1 ผลของการทดสอบด้วยเทคนิคการเจือน้ำมันที่มีต่อสมบัติทางเคมีของข้าวพองเสริมไอโอดีน

งานวิจัยส่วนนี้ได้นำตัวอย่างแผ่นข้าวที่เสริมไอโอดีนซึ่งมีความชื้นประมาณร้อยละ 10-13 มาทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 3 ระดับ คือ น้ำมันควบคุม(ไม่มีการเจือน้ำมันใหม่) น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่อัตราส่วน 75:25 และน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่อัตราส่วน 50:50 ที่อุณหภูมิ  $190 \pm 5$  องศาเซลเซียส โดยการแบ่งวันละ 200 ชิ้น เป็นเวลา 5 วันติดต่อกันแล้วนำตัวอย่างข้าวพองที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน ความชื้น ปริมาณกรดดูดซับน้ำมันและค่าเบอร์ออกไซด์ นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไอกोโอดีน ความชื้น ปริมาณการดูดซับน้ำมัน และค่าเปอร์ออกไซด์ของข้าวพองเสริมไอกอโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน

SOV	ไอกอโอดีน	ความชื้น	การดูดซับน้ำมัน	ค่าเปอร์ออกไซด์
อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่	ns	ns	*	**
(A) วันที่ทดสอบ(B)	ns	ns	**	**
AxB	ns	ns	ns	ns
CV (%)	1.42	3.10	5.82	3.42

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

### ปริมาณไอกอโอดีน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ 4.5) พบว่า อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบไม่มีผลต่อปริมาณไอกอโอดีนในข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ข้าวพองเสริมไอกอโอดีนที่ได้จากการนำเข้าแผ่นข้าวเสริมไอกอโอดีนมาทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบแตกต่างกันนั้นมีปริมาณไอกอโอดีนไม่แตกต่างกัน โดยมีปริมาณไอกอโอดีนอยู่ในช่วง 87.69 – 89.09 ไมโครกรัม ต่อ ข้าว 100 กรัม

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไอกอโอดีนในตัวอย่างข้าวพองหลังทดสอบแล้วกับปริมาณไอกอโอดีนในแผ่นข้าวเสริมไอกอโอดีนที่เตรียมไว้ซึ่งมีปริมาณไอกอโอดีน 99.80 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม (ตารางที่ 4.3) พบว่า มีปริมาณไอกอโอดีนคงเหลือหลังทดสอบสูงถึงร้อยละ 89.99 แสดงว่าองค์ประกอบภายในข้าวสามารถจับกับไอกอโอดีนได้ดี ดังที่มีการรายงานปริมาณไอกอโอดีนคงเหลือในข้าวเสริมไอกอโอดีน ดังเช่นงานวิจัยของธนานันต์ ใจดี (2545) ที่ศึกษาการเสริมไอกอโอดีน สังกะสีและเหล็กโดยการเคลือบบนผิวข้าวโดยใช้เจลแป้งเป็นสารเคลือบ พบว่า ข้าวที่ได้จะมีค่าร้อยละการคงเหลือของไอกอโอดีนหลังล้างในข้าวพันธุ์คลองหลวงสูงถึงร้อยละ 94.16

การที่ปริมาณไอกอโอดีนลดลงอาจเนื่องมาจากทรุดหักของไอกอโอดีนเนื่องจากความร้อนไปบางส่วน แต่ก็สามารถกล่าวได้ว่าไอกอโอดีนที่อยู่ในรูปของสารประกอบเบิงซ์อนของเกลือไอกอโอดีนมีความเสถียรสูง จึงทำให้มีปริมาณไอกอโอดีนคงเหลืออยู่ในข้าวหลังการทดสอบที่อุณหภูมิสูงอยู่ในปริมาณมากซึ่ง

สอดคล้องกับ McDowell (1992) ที่กล่าวว่า เกลือไอโอดีนของสารประกอบไฮโดรเจนมีความเสถียร ละลายน้ำได้น้อยกว่าและไม่ระเหยง่ายเหมือนเกลือไฮโอดีด

**ตารางที่ 4.6 ปริมาณไฮโอดีนของข้าวพองเสริมไฮโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่า ต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน**

อัตราส่วนการเจือ น้ำมัน	ปริมาณไฮโอดีน(ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม)				
	วันที่ 1 <sup>ns</sup>	วันที่ 2 <sup>ns</sup>	วันที่ 3 <sup>ns</sup>	วันที่ 4 <sup>ns</sup>	วันที่ 5 <sup>ns</sup>
น้ำมันควบคุม	88.12±1.18	88.53±1.34	87.69±1.41	88.76±0.74	89.09±0.86
น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ (75:25)	88.86±1.36	88.86±0.83	88.78±0.53	88.64±1.41	88.34±1.08
น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ (50:50)	88.73±0.66	89.04±0.99	88.94±1.30	88.79±2.52	88.35±1.37

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

-ตัวอย่างน้ำมันควบคุม (ไม่เจือน้ำมันใหม่) คือ ตัวอย่างที่วันที่ 1 ใช้น้ำมันใหม่ วันที่ 2 ใช้น้ำมันจากวันที่ 1 วันที่ 3 ใช้น้ำมันจากวันที่ 2 ทำเช่นนี้ถึงวันที่ 5

-น้ำมันเก่า/น้ำมันใหม่ 75:25 คือ ตัวอย่างที่วันที่ 1 ใช้น้ำมันใหม่ วันที่ 2 ใช้น้ำมันจากวันที่ 1 ผสมกับน้ำมันใหม่ (75:25) ทำเช่นนี้จนถึงวันที่ 5

-น้ำมันเก่า/น้ำมันใหม่ 50:50 คือ ตัวอย่างที่วันที่ 1 ใช้น้ำมันใหม่ วันที่ 2 ใช้น้ำมันจากวันที่ 1 ผสมกับน้ำมันใหม่ (50:50) ทำเช่นนี้จนถึงวันที่ 5

### ร้อยละของความชื้น

ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่บ่งบอกคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวขบเคี้ยวและจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติในตารางที่ 4.5 พบร่วมกันว่า อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ วันที่ทดสอบและปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบไม่มีผลต่อความชื้นในข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ร้อยละความซื่นของข้าวพองเสริมไอกोดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน

อัตราส่วนการเจือ น้ำมัน	ร้อยละความซื่น				
	วันที่ 1 <sup>ns</sup>	วันที่ 2 <sup>ns</sup>	วันที่ 3 <sup>ns</sup>	วันที่ 4 <sup>ns</sup>	วันที่ 5 <sup>ns</sup>
น้ำมันควบคุม	3.73±0.13	3.72±0.19	3.86±0.11	3.62±0.30	3.79±0.08
น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ (75:25)	3.75±0.10	3.67±0.18	3.67±0.10	3.51±0.13	3.78±0.14
น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ (50:50)	3.68±0.08	3.79±0.12	3.71±0.07	3.59±0.12	3.75±0.14

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นว่า ข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ และวันที่ทดสอบต่างกันมีความซื่นอยู่ในช่วงร้อยละ 3.51-3.86 ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับแผ่นข้าวอบแห้งที่มีความซื่น ร้อยละ 11.59 (ตารางที่ 4.3) เนื่องจากในกระบวนการทดสอบ น้ำและไอน้ำที่อยู่ในแผ่นข้าวอบแห้งจะเคลื่อนที่ออกจากภูพรมของอาหาร จากนั้นน้ำมันจะเข้าไปแทนที่น้ำและไอน้ำที่เคลื่อนที่ออกไป (Fellows, 1990) ทำให้ความซื่นของข้าวพองเสริมไอกอเดินลดลง ซึ่งความซื่นดังกล่าวมีค่าไม่เกินมาตรฐานอุตสาหกรรมของขนมกรอบจากธัญชาติ (Crispy cereal-based snacks) ที่กำหนดไว้คือ ไม่เกินร้อยละ 4.0 (มอก.1534-2541)

#### น้ำมันที่ถูกดูดซับในข้าวพอง

อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่มีผลต่อบริมาณน้ำมันในข้าวพองเสริมไอกอเดินอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.8 ซึ่งจะเห็นว่า ข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันควบคุม(ไม่เจือน้ำมันใหม่) มีปริมาณน้ำมันมากกว่าข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50 อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 มีปริมาณน้ำมันไม่แตกต่างจากข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมและน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50 อย่างมีนัยสำคัญ ตามลำดับ

นอกจากนี้ ยังพบว่า วันที่ทดสอบข้าวพอง (จำนวนวันที่ใช้น้ำมันซ้ำ) มีผลต่อบริมาณน้ำมันในข้าวพองเสริมไอกอเดินอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) (ตารางที่ 4.5 และ 4.9) เมื่อวันที่ใช้น้ำมันทดสอบซ้ำมากขึ้นข้าวพองที่ได้จะมีปริมาณน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

**ตารางที่ 4.8 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ที่มีต่อปริมาณน้ำมันในข้าวพองเสริมไอกอเดิน**

อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่	น้ำมัน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
น้ำมันควบคุม(ไม่เจือน้ำมันใหม่)	15.16 <sup>a</sup>
น้ำมันเก่า ต่อ น้ำมันใหม่ (75:25)	14.45 <sup>ab</sup>
น้ำมันเก่า ต่อ น้ำมันใหม่ (50:50)	13.99 <sup>b</sup>

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.9 ผลของวันที่ทอข้าวพองต่อปริมาณน้ำมันในข้าวพองเสริมไอกอเดิน**

วันที่ทอ	น้ำมัน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
1	13.24 <sup>c</sup>
2	13.57 <sup>bc</sup>
3	14.42 <sup>b</sup>
4	15.51 <sup>a</sup>
5	15.94 <sup>a</sup>

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

น้ำมันในข้าวพองเกิดจากน้ำมันที่ใช้ทอดเข้าไปแทนที่น้ำและไอน้ำที่เคลื่อนที่ออกจากอาหาร (Fellows, 1990) แต่ข้าวพองที่ทอดในน้ำมันที่มีการเจือน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ อัตราส่วน 50:50 มีน้ำมันน้อยกว่าข้าวพองที่ทอดในน้ำมันควบคุมอยู่ร้อยละ 1.17 และเมื่อวันที่ทอข้าวพองเพิ่มมากขึ้น จะเห็นว่า ข้าวพองที่ทอดวันที่ 1 มีน้ำมันน้อยกว่าข้าวพองที่ทอดในวันที่ 5 อยู่ร้อยละ 2.70 แสดงว่าการเจือน้ำมันใหม่ในน้ำมันที่ใช้ทอดข้าวพองสามารถช่วยลดการดูดซับน้ำมันในตัวอย่างอาหารได้ เนื่องจากเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดสารประกอบประเภทคาร์บอนิล กรดไฮดรอกซี กรดคีโตและกรดอีพอกซี โดยกลไกหลักของน้ำมันสามารถตัวกันเป็นสารประกอบที่มีขนาดไม่เล็กในขั้นต้นด้วยปฏิกิริยาพลอลิเมอไรเซชันเป็นผลให้น้ำมันมีความหนืดสูงและมีความเป็นขี้วัวเพิ่มมากขึ้น (Lawson, 1985) แรงตึงผิวระหว่างอาหารที่นำมายอดกับน้ำมันจะมีค่าลดลง น้ำมันจึงเกะติดที่ผิวของข้าวพองมากขึ้นและเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในชั้นอาหารในระหว่างที่ผลิตภัณฑ์การเย็บลง น้ำมันใหม่ที่ผสมลงในน้ำมันที่ใช้ทอดจะช่วยลดความหนืดและความเป็นขี้วัวของน้ำมันลงส่งผลให้ข้าวพองที่ได้ดูดซับน้ำมันน้อยลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ

Yilmaz (2004) ที่ทดลองทดสอบโดยนักด้วยเทคนิคการเจือน้ำมัน โดยมีตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบ 3 ชนิด คือ ตัวอย่างน้ำมันควบคุม ตัวอย่างน้ำมันที่ทดสอบซ้ำโดยรักษาระดับน้ำมันที่ใช้ทดสอบให้คงที่ด้วยน้ำมันใหม่ และตัวอย่างน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50 เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน พบว่า เมื่อวันที่ทดสอบโดยนักมากขึ้น โดยจะมีน้ำมันเพิ่มขึ้นในทุกตัวอย่าง โดยที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมมีน้ำมันมากกว่าโดยที่ทดสอบในน้ำมันอีก 2 ชนิด อย่างมีนัยสำคัญ ตั้งแต่การทดสอบในวันที่ 2 เป็นต้นไป

### ค่าเบอร์ออกไซด์

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิตिในตารางที่ 4.5 พบว่า อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบข้าวพองมีผลต่อค่าเบอร์ออกไซด์ในข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และ 4.11

จากตารางที่ 4.10 พบว่า ข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมมีค่าเบอร์ออกไซด์มากกว่าข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีการเจือน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ อัตราส่วน 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ และเมื่อวันที่ทดสอบหรือจำนวนวันที่ใช้น้ำมันซ้ำเพิ่มมากขึ้นค่าเบอร์ออกไซด์ในข้าวพองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน (ตารางที่ 4.11) ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำมันควบคุมได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการเจือน้ำมันใหม่ลงไปจึงมีการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมัน ได้แก่ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่ทำให้มีกรดไขมันอิสระในน้ำมันมากและสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีขึ้นจึงส่งผลให้ความเข้มข้นของไฮโดรเบอร์ออกไซด์มากกว่าน้ำมันที่มีการเจือน้ำมันใหม่ลงไป เมื่อทดสอบข้าวพองในน้ำมัน ข้าวพองจะดูดซับเนื้อน้ำมันไปเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งในผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ค่าเบอร์ออกไซด์ของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมน้ำมีค่าสูง เช่นเดียวกับค่าเบอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ใช้น้ำมันทดสอบข้าวพองเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้น้ำมันซ้ำจะมีสารประกอบไฮโดรเบอร์ออกไซด์มากขึ้น แต่การที่ข้าวพองซึ่งทดสอบในน้ำมันที่เจือน้ำมันเก่าต่อ น้ำมันใหม่ทั้ง 2 อัตราส่วนมีค่าเบอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นซ้ำเพราะน้ำมันใหม่ที่เติมลงไปช่วยเจือจางความเข้มข้นของสารประกอบที่ส่งเสริมการเกิดออกซิเดชัน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการเจือน้ำมันใหม่สามารถลดการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารที่ทดสอบในน้ำมันได้ เนื่องจากคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบอาหารมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารลดลงจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารในระหว่างการเก็บรักษา (Hammond, 2002)

**ตารางที่ 4.10 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ที่มีต่อค่าเบอร์ออกไซด์ในข้าวพองเสริมไอกोดีน**

อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่	ค่าเบอร์ออกไซด์ (meq/kg oil)
น้ำมันควบคุม(ไม่เจือน้ำมันใหม่)	13.99 <sup>a</sup>
น้ำมันเก่า ต่อ น้ำมันใหม่ (75:25)	13.40 <sup>b</sup>
น้ำมันเก่า ต่อ น้ำมันใหม่ (50:50)	12.99 <sup>b</sup>

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.11 ผลของจำนวนวันที่ใช้น้ำมันทดสอบข้าวพองต่อค่าเบอร์ออกไซด์ในข้าวพองเสริมไอกอโอดีน**

วันที่ทดสอบ	ค่าเบอร์ออกไซด์ (meq/kg oil)
1	12.70 <sup>d</sup>
2	13.00 <sup>cd</sup>
3	13.53 <sup>bc</sup>
4	13.75 <sup>b</sup>
5	14.33 <sup>a</sup>

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.2.2 ผลของการทดสอบด้วยเทคนิคการเจือน้ำมันที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของข้าวพองเสริมไอกอโอดีน

งานวิจัยส่วนนี้ได้นำตัวอย่างข้าวพองเสริมไอกอโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างระดับกัน อุณหภูมิ  $190 \pm 5$  องศาเซลเซียส วันละ 200 ชิ้น เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกันมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ “ไดแก่ ค่าสี (L a b) ค่า water activity และค่าความแข็ง (hardness) จากนั้นนำผลที่ได้มามากวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ 4.12)

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสี (L a b) ค่า water activity และค่าความแข็ง (hardness) ของข้าวพองเสริมไอกोเดินที่ทดลองในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดลองต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน (SOV)	ค่า L	ค่า a	ค่า b	water activity	ค่าความแข็ง (hardness)
อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมัน	*	**	**	ns	ns
ใหม่(A)					
วันที่ทดลอง(B)	**	**	**	ns	ns
AxB	ns	**	*	ns	ns
CV (%)	1.37	-8.11	2.25	4.86	6.68

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

### ค่าสี (L a b) ของผลิตภัณฑ์ข้าวพอง

#### ค่า L (lightness)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ 4.12) ของค่า L ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสว่าง (lightness) ของผลิตภัณฑ์ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 เมื่อค่า L มีค่าเท่ากับ 0 แสดงถึงความสว่างน้อยที่สุดจนกระทั่งความสว่างมากที่สุด มีค่า L เท่ากับ 100 พบว่า อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่มีผลต่อค่า L อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.13 จะเห็นได้ว่า ข้าวพองที่ทดลองในน้ำมันควบคุมมีค่า L ต่ำสุด และข้าวพองที่ทดลองด้วยน้ำมันที่มีน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่อัตราส่วน 50:50 มีค่า L สูงสุด ในขณะที่ข้าวพองที่ทดลองในน้ำมันที่มีน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่อัตราส่วน 75:25 มีค่า L อยู่ระหว่างข้าวพองที่ทดลองในน้ำมันควบคุม และน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50

**จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

ตารางที่ 4.13 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ที่มีต่อค่า L ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกोดีน

ตัวอย่าง	ค่า L
น้ำมันควบคุม	64.49 <sup>b</sup>
น้ำมันเก่า ต่อ น้ำมันใหม่ 75:25	65.09 <sup>ab</sup>
น้ำมันเก่า ต่อ น้ำมันใหม่ 50:50	65.61 <sup>a</sup>

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชั้น

นอกจากนี้ยังพบว่าวันที่ทอడข้าวพองมีผลต่อค่า L ของผลิตภัณฑ์ที่ได้อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.14 ซึ่งจะพบว่า ค่า L ของข้าวพองที่ทอเดียวน้ำมันควบคุมมีค่าลดลง เมื่อจำนวนวันในการใช้น้ำมันข้าว (วันที่ทอ) เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับข้าวพองที่ทอเดียวน้ำมันที่มีน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่อัตราส่วน 75:25 และ 50:50 แต่ข้าวพองที่ทอเดียวน้ำมันที่มีการเจือน้ำมันใหม่ที่ปริมาณสูงจะมีค่า L ลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพองตัวอย่างอื่น ค่า L ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการทอดมากขึ้น

ตารางที่ 4.14 ผลของวันที่ทอที่มีต่อค่า L ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกอเดิน

วันที่ทอ	ค่า L
1	66.68 <sup>a</sup>
2	65.91 <sup>ab</sup>
3	65.13 <sup>bc</sup>
4	64.10 <sup>cd</sup>
5	63.49 <sup>d</sup>

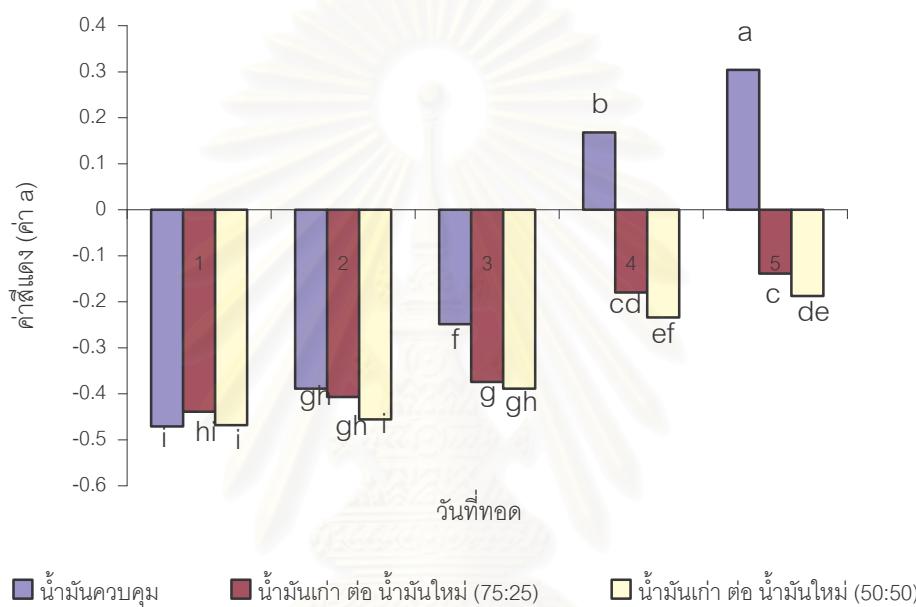
a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชั้น

### ค่า a

จากตารางที่ 4.12 พบร้า ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเจือน้ำมันและวันที่ทอ มีผลต่อค่า a ของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) ซึ่งค่า a เป็นค่าที่แสดงถึงสีของผลิตภัณฑ์ในช่วงสีแดงถึงสีเขียว เมื่อค่า a เป็นบวกแสดงค่าของสีแดง และค่า a เป็นลบแสดงค่าของสีเขียว ผลการวัดค่า a ของผลิตภัณฑ์ข้าวพอง แสดงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ข้าวพองที่ทอเดียวน้ำมันควบคุมจะมีค่าความเป็นสีแดงมากกว่าข้าวพองที่ทอในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมัน

ใหม่ 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากวันที่ทดสอบข้าวโพงพบว่า เมื่อวันที่ทดสอบข้าวโพงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าสีแดง (ค่า a เป็นบวก) มากขึ้นทุกตัวอย่าง โดยข้าวโพงที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดงอย่างรวดเร็ว รองลงมา คือ ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ โดยในวันสุดท้ายของการทดสอบ ข้าวโพงที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และ 50:50 มีค่า a อยู่ในช่วงที่เป็นลบ คือ มีความเป็นสีแดงน้อย โดยที่ระดับการเจือน้ำมันอัตราส่วน 50:50 มีค่าน้อยที่สุด ในขณะที่ข้าวโพงที่ทดสอบด้วยน้ำมันควบคุมมีค่า a อยู่ในช่วงบวก คือ มีความเป็นสีแดงมาก



รูปที่ 4.1 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า a ของผลิตภัณฑ์ข้าวโพงเสริมไฮโอดีน

a,b กราฟแท่งที่มีอคคีษร์กำบังต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

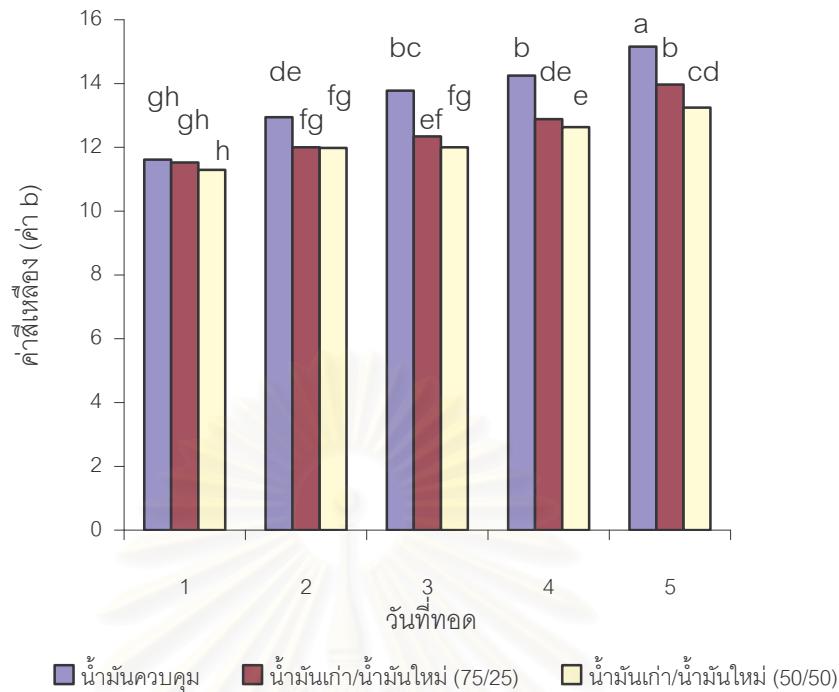
-น้ำมันควบคุม คือ วันที่ 1 ใช้น้ำมันใหม่ วันที่ 2 ใช้น้ำมันจากวันที่ 1 วันที่ 3 ใช้น้ำมันจากวันที่ 2 ทำเข็นนึ่นถึงวันที่ 5

-น้ำมันเก่า ต่อ น้ำมันใหม่ 75:25 คือ วันที่ 1 ใช้น้ำมันใหม่ วันที่ 2 ใช้น้ำมันจากวันที่ 1 ผสมกับน้ำมันใหม่ (75:25) ทำเข็นนึ่นถึงวันที่ 5

-น้ำมันเก่า ต่อ น้ำมันใหม่ 50:50 คือ วันที่ 1 ใช้น้ำมันใหม่ วันที่ 2 ใช้น้ำมันจากวันที่ 1 ผสมกับน้ำมันใหม่ (50:50) ทำเข็นนึ่นถึงวันที่ 5

### ค่า b

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเจือน้ำมันและวันที่ทดสอบมีผลต่อค่า b อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.12) ซึ่งค่า b เป็นค่าที่แสดงถึงค่าสีในช่วงสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน ผลการวัดค่า b ของผลิตภัณฑ์ข้าวโพงดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า b ของผลิตภัณฑ์ข้าวโพงเสริมไฮโอดีน

a,b กราฟแห่งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าข้าวโพงที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมมีค่าสีเหลืองมากกว่าข้าวโพงที่ทดสอบด้วยน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ และข้าวโพงที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และ 50:50 มีค่าสีเหลืองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อทดสอบข้าวโพงในวันที่ 1 ถึงวันที่ 4 แต่แตกต่างกันในวันที่ 5

เมื่อพิจารณาจากวันที่ทดสอบข้าวโพงพบว่า เมื่อวันที่ทดสอบข้าวโพงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ได้มีค่าสีเหลืองมากขึ้นในทุกอัตราส่วนการเจือน้ำมัน โดยข้าวโพงที่ได้จากการใช้น้ำมันควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว รองลงมา คือ ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และ 50:50

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวโพงเสริมไฮโอดีนที่มีค่า L ลดลง ค่า a และค่า b เพิ่มขึ้นเมื่อวันที่ทดสอบเพิ่มมากขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากการที่น้ำมันได้รับความร้อนเป็นเวลานานขึ้น น้ำมันที่ใช้ทดสอบจึงมีสีคล้ำลง เมื่อนำมาแผ่นข้าวอบแห้งมาทดสอบในน้ำมันนั้นระหว่างการพองตัว ข้าวพองจะดูดซับน้ำมันเข้าไปเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งในผลิตภัณฑ์ข้าวโพงส่งผลให้ข้าวโพงที่ได้มีสีคล้ำ สดคล่องกับ Lawson (1985) ที่กล่าวว่า เมื่อน้ำมันที่ใช้ทดสอบอาหารมีสีคล้ำจะส่งผลให้อาหารที่ทดสอบนั้นมีสีคล้ำตามไปด้วย

### ค่า water activity ( $a_w$ )

ค่า  $a_w$  สามารถใช้เป็นดัชนี (index) ที่แสดงถึงความสามารถของการเกิดปฏิกิริยาเคมี หลักชนิดในอาหารและการเสื่อมเดี้ยงของผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากจุลทรรศ์ (Fennema, 1996) ค่า  $a_w$  สามารถใช้ประเมินคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารได้ โดยค่า  $a_w$  หมายถึง อัตราส่วนความดันไอของน้ำในอาหารต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่จุดอิ่มตัวที่คุณภาพเดียวกัน จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ 4.12) พบร่วมกัน พบว่า อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบไม่มีผลต่อค่า  $a_w$  ของข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.15 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่า  $a_w$  ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกोดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ และวันที่ทดสอบต่างกันมีค่าอยู่ในช่วง 0.256 - 0.297 ซึ่งเป็นค่าในช่วงต่ำสุดของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (non-enzymatic browning หรือ Maillard reaction) ได้ และเป็นช่วงที่จุลทรรศ์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Fennema, 1996)

ตารางที่ 4.15 ค่า  $a_w$  ของข้าวพองเสริมไอกอคิดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน

อัตราส่วนการ เจือน้ำมัน	ค่า $a_w$				
	วันที่ 1 ns	วันที่ 2 ns	วันที่ 3 ns	วันที่ 4 ns	วันที่ 5 ns
น้ำมันควบคุม	0.258±0.009	0.293±0.001	0.295±0.003	0.289±0.000	0.295±0.005
น้ำมันเก่าต่อ					
น้ำมันใหม่ (75:25)	0.266±0.004	0.297±0.005	0.274±0.063	0.265±0.000	0.272±0.001
น้ำมันเก่าต่อ น้ำมันใหม่ (50:50)	0.289±0.016	0.283±0.000	0.274±0.036	0.256±0.001	0.270±0.003

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวพองในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

### ค่าความแข็ง (hardness)

อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบไม่มีผลต่อความแข็งของเนื้อสัมผัสข้าวพองเสริมไอกอคิดีนอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ ) (ตารางที่ 4.12) ซึ่งจะพบว่า ข้าวพองเสริมไอกอคิดีนที่

ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 ถึงวันที่ 5 มีค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.54 – 1.76 กิโลกรัม (ตารางที่ 4.16) สอดคล้องกับ Villareal และ Juliano (1987) ที่ทดลองผลิตข้าวพองจากข้าวที่ผ่านการนึ่งจนมีระดับเจลาตินซ์ต่างกันด้วยวิธีการทอดด้วยน้ำมันมะพร้าวอุณหภูมิ 210 - 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-8 วินาที พบว่า ข้าวพองที่ได้จากข้าวที่ผ่านการนึ่งจนเกิดเจลาตินซ์อย่างสมบูรณ์และเป็นข้าวในกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโน酳ต์จะมีอัตราการพองตัวมากกว่าข้าวพองที่ได้จากข้าวนึ่งที่เกิดเจลาตินซ์ไม่สมบูรณ์ เมื่ออัตราการพองตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความโปร่งและเกิดช่องว่างภายในผลิตภัณฑ์ทำให้มีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 1.1-1.6 กิโลกรัม

Kim และคณะ (2001) ได้ทดลองผลิตข้าวพอง (rice cake) จากข้าวกล้องที่มีเม็ดยาวปานกลางผสมกับข้าวสีดำ (black rice) ปริมาณร้อยละ 0.25 50 และ 75 ปริมาณความชื้นร้อยละ 16 18 และ 20 ด้วยเครื่อง rice cake machine ที่มีอุณหภูมิ 250 260 และ 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 6 และ 7 วินาที พบว่า ข้าวพองที่มีอัตราการขยายตัวสูงจะมี specific volume 15.2-17.9 จะมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 1.2-1.9 กิโลกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความแข็งของข้าวพองเสริมไอกोโอดีนที่ผลิตได้

#### ตารางที่ 4.16 ค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสข้าวพองเสริมไอกอโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน

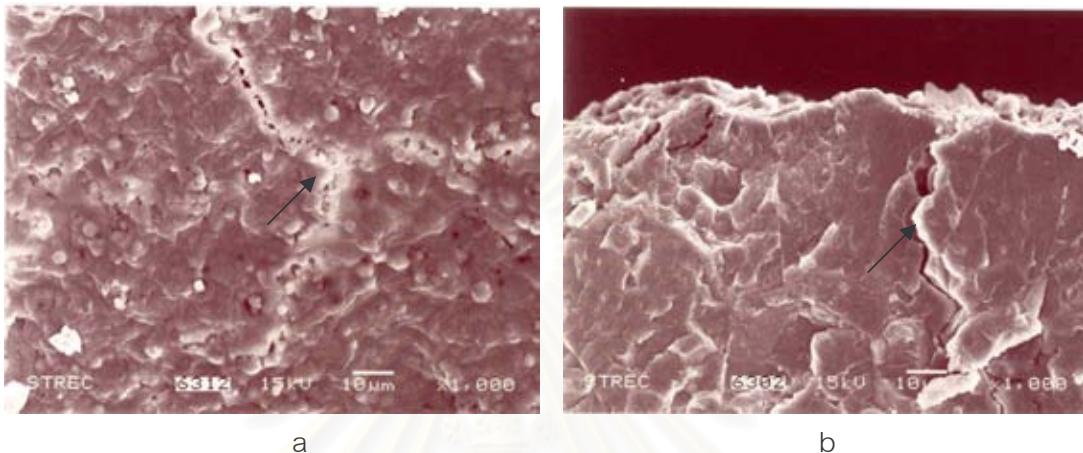
วันที่ทดสอบ	น้ำมันควบคุม <sup>ns</sup> (กิโลกรัม)	น้ำมันเก่า ต่อ น้ำมันใหม่ (75:25) <sup>ns</sup> (กิโลกรัม)	น้ำมันเก่า ต่อ น้ำมันใหม่ (50:50) <sup>ns</sup> (กิโลกรัม)
1	1.60 ± 0.10	1.56 ± 0.06	1.60 ± 0.08
2	1.56 ± 0.10	1.54 ± 0.05	1.57 ± 0.07
3	1.58 ± 0.13	1.54 ± 0.12	1.60 ± 0.10
4	1.64 ± 0.05	1.62 ± 0.14	1.58 ± 0.11
5	1.76 ± 0.14	1.63 ± 0.16	1.60 ± 0.13

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวพองในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด  
ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

#### ภาพถ่าย SEM ของโครงสร้างภายในเม็ดข้าวสารและข้าวพองหลังทดสอบ

โครงสร้างภายในของเม็ดข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หรือส่วนของเอนโคเดสเปร์มนั้นมีลักษณะการจัดเรียงตัวขององค์ประกอบเป็นเนื้อเดียวกันอย่างอัดแน่นไม่มีช่องว่างหรือโพรงอากาศอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 a และ b แต่เม็ดข้าวอาจมีรอยแตกร้าวซึ่งเกิดขึ้นจากการบวนการ

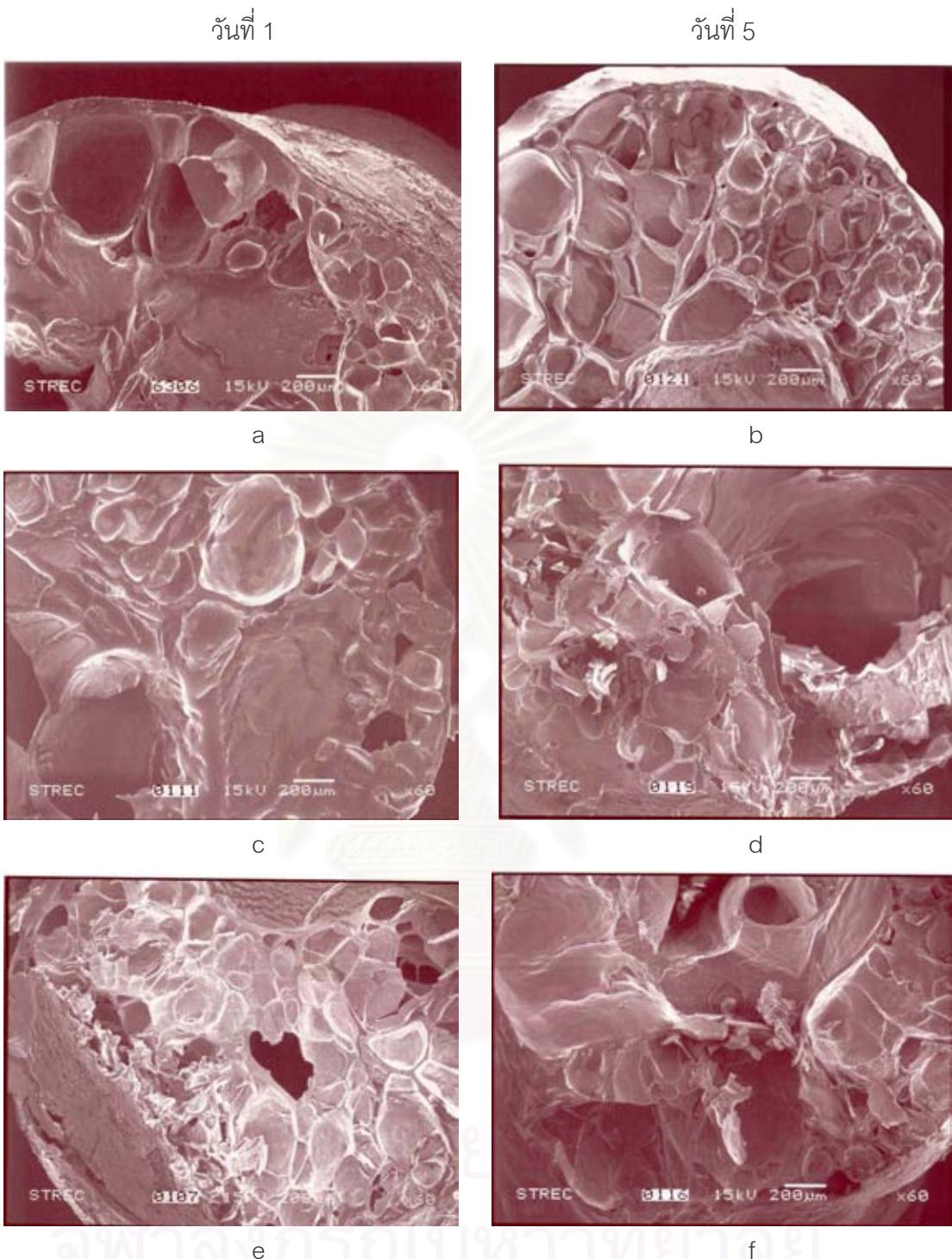
ขัดสีข้าวบ้าง ดังจะเห็นได้จากบริเวณที่ลูกครึ้นในรูปที่ 4.3 ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Murugesan and Bhattacharya (1989) ที่ได้อธิบายไว้ว่า สถาร์ชซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของข้าวมีลักษณะเป็นรูปทรงหลายเหลี่ยมที่จัดเรียงตัวกันอย่างอัดแน่นและเป็นเนื้อเดียวกันภายในเอนโดสเปริม



รูปที่ 4.3 ลักษณะโครงสร้างของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (กำลังขยาย 1000 เท่า)  
a ภาพถ่ายพื้นผิวเม็ดข้าว      b ภาพถ่ายตัดขวางเม็ดข้าว

เมื่อนำข้าวพองที่ทodoranที่ 1 และวันที่ 5 ในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 3 ระดับ คือ น้ำมันควบคุม น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75: 25 และน้ำมันเก่า ต่อน้ำมันใหม่ 50:50 มาถ่ายภาพโครงสร้างภายในด้วย SEM โดยแสดงภาพตัดขวางลักษณะโครงสร้างเม็ดข้าวพอง และภาพขยายโพรงอากาศภายในโครงสร้างของข้าวพองในรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 พบร่วมกันที่มีรูปร่างเป็นวงกลมและร่องรอยขนาดแตกต่างกัน จัดเรียงตัวอยู่ในตำแหน่งที่ไม่แน่นอน เช่นเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างของข้าวพองกับข้าวสาร จะเห็นว่า เมื่อข้าวเกิดการพองตัวสถาร์ชในส่วนของเอนโดสเปริมจะสูญเสียรูปทรงหลายเหลี่ยมที่อัดเรียงตัวกันแน่นไปเป็นโพรงอากาศ (air vacuoles) และส่วนที่เป็นช่องว่าง (void space) ที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมหรือร่องร่องขนาดแตกต่างกันและจัดเรียงตัวอยู่ในตำแหน่งที่ไม่แน่นอน ดังแสดงในรูปที่ 4.4 เนื่องจากความร้อนและความดันที่เกิดจากไอน้ำที่ยังคงอยู่ในเม็ดข้าวทำให้เกิดการย่อยสลายของแป้ง (dextrinization) ขึ้นในระหว่างการขยายตัวและทำให้คงลักษณะโครงสร้างที่มีการพองตัวไว้ (Villareal and Juliano, 1987; Chandrasekhar and Chattopadhyay, 1990 )



**รูปที่ 4.4** ภาพตัดขวางแสดงลักษณะโครงสร้างของข้าวโพงที่ทอด้วยน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันและทดสอบในวันที่ 1 และวันที่ 5 (กำลังขยาย 60 เท่า)

a, b ข้าวโพงที่ทอด้วยน้ำมันควบคุมในวันที่ 1 และ 5 ตามลำดับ

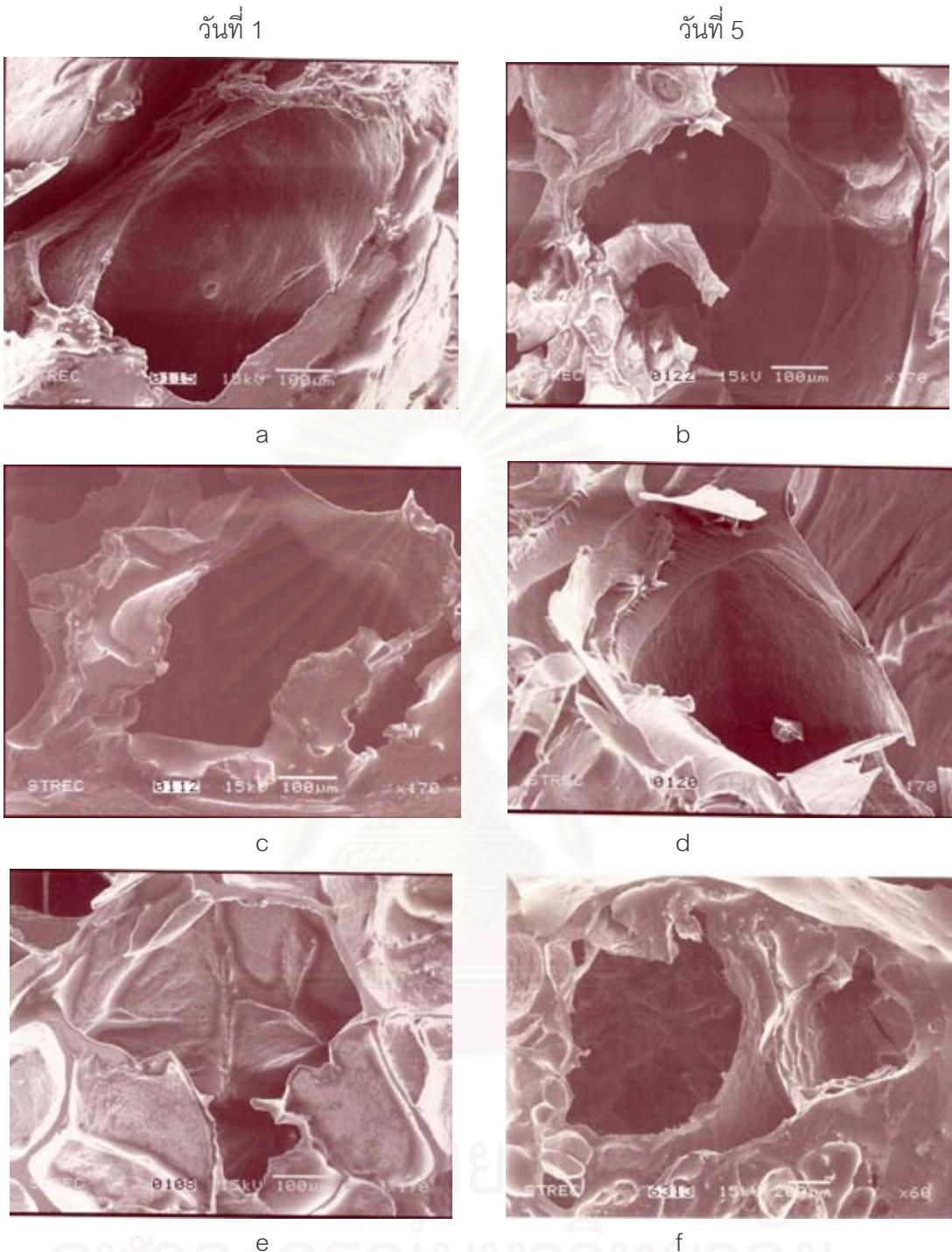
c, d ข้าวโพงที่ทอด้วยน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 วันที่ 1 และ 5 ตามลำดับ

e, f ข้าวโพงที่ทอด้วยน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50 วันที่ 1 และ 5 ตามลำดับ

นอกจากนี้ Chandrasekhar and Chattopadhyay (1990) ได้ศึกษาลักษณะโครงสร้างของข้าวที่พองตัวด้วยระยะเวลาต่างกัน พบว่า การพองตัวของข้าวจะเริ่มจากส่วนนอกของเอนโดสเปร์มก่อนและเซลล์ที่ถูกเข้าไปดำเนินจีบขยายตัวไปจนถึงส่วนกลางของเม็ด โดยบริเวณตรงกลางเม็ดจะมีช่องว่างและโพรงอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าบริเวณอื่นอยู่

ในงานวิจัยนี้โพรงอากาศและช่องว่างของข้าวพองบริเวณตรงกลางเม็ดก็มีขนาดใหญ่กว่าบริเวณอื่นเช่นกัน (รูปที่ 4.4) แต่จากการถ่ายส่วนขยายของโพรงอากาศภายในโครงสร้างของข้าวพองในงานวิจัยนี้ (รูปที่ 4.5) ไม่สามารถสังเกตเห็นลักษณะการกระจายตัวและตำแหน่งของน้ำมันที่อยู่ภายในชิ้นข้าวพองได้ ซึ่งจากการวิจัยของ Bouchon และคณะ (2003) ที่ได้ศึกษาถึงลักษณะการกระจายตัวของน้ำมันในชิ้นมันฝรั่งที่ทดสอบด้วยน้ำมันอุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ด้วยเทคนิค Confocal laser scanning microscopy พบว่า โครงสร้างภายในของชิ้nmันฝรั่งมีลักษณะเป็นรูพุ่นคล้ายฟองน้ำ ซึ่งรูพุ่นนั้นเกิดเนื่องจากการใช้ความร้อนในชั้นตอนการทดสอบโดยน้ำมันส่วนใหญ่จะเกาะติดอยู่ที่บริเวณเปลือกนอกของชิ้nmันฝรั่งและบริเวณโครงสร้างที่เป็นรูพุ่นดังกล่าว (รูปที่ 2.1) อย่างไรก็ตามจากการที่ชิ้nmันฝรั่งทดสอบมีลักษณะโครงสร้างภายในคล้ายกับข้าวพองในงานวิจัยนี้ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่น้ำมันจะมีการเกาะติดอยู่กับชิ้nx้าวพองในลักษณะเช่นเดียวกับมันฝรั่งทดสอบ แต่ที่ไม่สามารถสังเกตได้นั้นเนื่องมาจากการจำกัดของเทคนิคที่ใช้ในการถ่ายภาพ

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 ภาพขยายโพรงอากาศภายในโครงสร้างของข้าวโพงที่ทอตัวยน้ำมันที่เจือด้วยน้ำมัน

เก่าอัตราส่วนต่าง ๆ และทอในวันที่ 1 และวันที่ 5 (กำลังขยาย 60 เท่า)

a,b ข้าวโพงที่ทอในตัวอย่างน้ำมันควบคุม วันที่ 1 และ 5 ตามลำดับ

c, d ข้าวโพงที่ทอในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 วันที่ 1 และ 5 ตามลำดับ

e, f ข้าวโพงที่ทอในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50 วันที่ 1 และ 5 ตามลำดับ

### 4.2.3 ผลของการทดสอบด้วยเทคนิคการเจือน้ำมันที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกोดีน

งานวิจัยส่วนนี้ได้นำข้าวพองเสริมไอกอเดินที่ทดสอบด้วยน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกันมาศึกษาถึงผลของการทดสอบด้วยเทคนิคการเจือน้ำมันที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีกลืน ความกรอบ ลักษณะการพองตัว การเกาะกันของเม็ดข้าวและความชื้นโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบ 50 คน นำผลที่ได้ไวเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ 4.17)

**ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวพองเสริมไอกอเดิน**

แหล่งความแปรปรวน (SOV)	คงแหนน ด้านสี	คงแหนน ด้านกลืน	คงแหนน ด้านความกรอบ	คงแหนน ลักษณะ การพองตัว	คงแหนน กันของ เม็ดข้าว	คงแหนน ความชื้น
อัตราส่วน น้ำมันเก่าต่อ น้ำมันใหม่ (A)	**	**	ns	ns	ns	**
วันที่ทดสอบ(B)	**	**	ns	*	ns	**
AxB	**	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	21.59	34.99	27.44	29.11	22.34	20.13

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

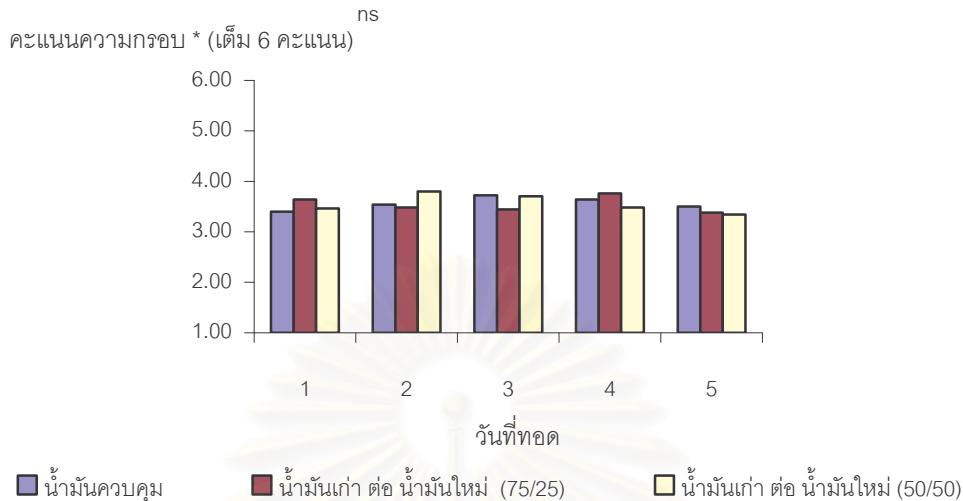
\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

#### คงแหนนด้านความกรอบและการเกาะกันของเม็ดข้าว

จากการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ พบร่วมกับ อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ และวันที่ทดสอบไม่มีผลต่อคงแหนนด้านความกรอบและคงแหนนการเกาะกันของเม็ดข้าวอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 พบร่วมกับ คงแหนนความกรอบและการเกาะกันของเม็ดข้าวของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ในวันที่ 1 ถึงวันที่ 5 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยคงแหนนความกรอบและการเกาะกันของเม็ดข้าวของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ทั้ง 3 ระดับ ในการทดสอบวันที่ 1 ถึงวันที่ 5

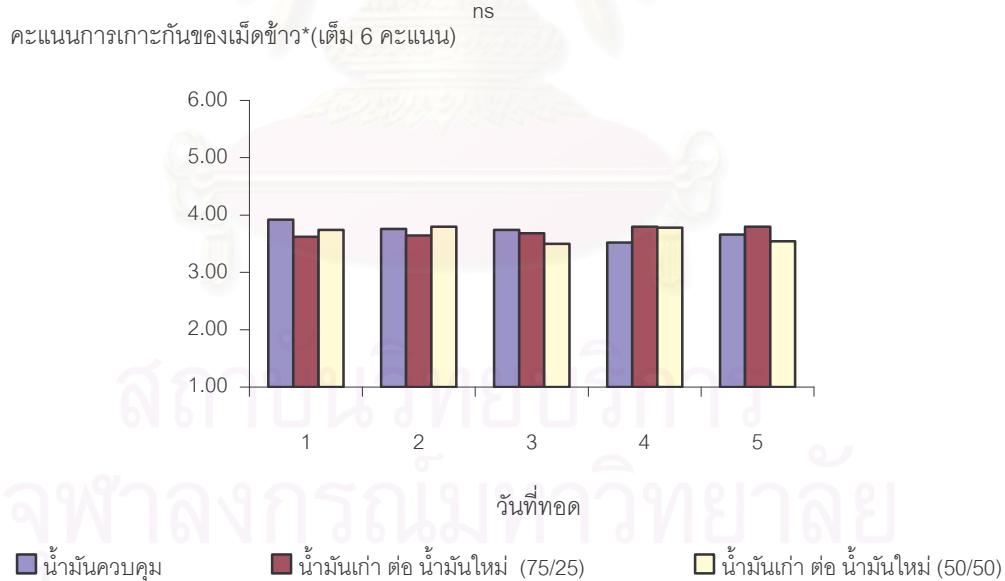
มีค่า 3.34-3.80 และ 3.50-3.92 ตามลำดับ โดยคะแนนในช่วง 3 ถึง 4 คือ มีความกรอบและการเกากันของเม็ดข้าวปานกลางถึงค่อนข้างมาก



**รูปที่ 4.6** คะแนนความกรอบของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่เป็นเวลา 5 วัน

\* คะแนนความกรอบของข้าวพอง ; กรอบมาก – ไม่กรอบ (6 – 1)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )



**รูปที่ 4.7** คะแนนการเกากันของเม็ดข้าวของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันเป็นเวลา 5 วัน

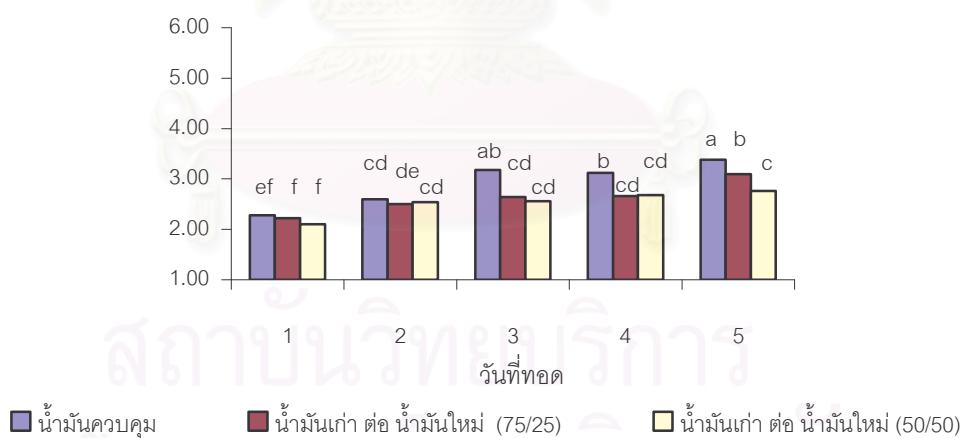
\* คะแนนการเกากันของเม็ดข้าวของข้าวพอง ; เกากันมาก – ไม่เกากัน (6 – 1)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

### คะแนนด้านสีของข้าวโพง

ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ตารางที่ 4.17) พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่าง อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทอตัวข้าวโพงต่อคะแนนด้านความเข้มของสีของข้าว พองอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.01) โดยผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่า คะแนนความเข้มสี ของข้าวพองที่ทอต้นน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ทั้ง 3 ระดับ มีคะแนนความเข้มสี เพิ่มขึ้นเมื่อวันที่ทอเพิ่มขึ้น โดยข้าวพองที่ทอต้นน้ำมันควบคุมมีคะแนนความเข้มสีเพิ่มขึ้นอย่าง ต่อเนื่องจากการทอต้นวันที่ 1 ถึงวันที่ 5 คือ มีคะแนนความเข้มสี 2.28-3.38 โดยคะแนนความ เข้มสีอยู่ในช่วง 2 (สีเข้มค่อนข้างน้อย) ถึงคะแนนความเข้มสีในช่วง 4 (สีเข้มค่อนข้างมาก) รองลงมา คือ ตัวอย่างข้าวพองที่ทอต้นน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 ที่มี คะแนนความเข้มสีในวันที่ 2, 3 และ 4 ไม่แตกต่างกัน คือ มีคะแนน 2.50-2.66 อยู่ในช่วงความเข้ม สี 2 (สีเข้มค่อนข้างน้อย) ถึง 3(สีเข้มปานกลาง) แต่แตกต่างจากวันที่ 1 และวันที่ 5 ที่มีคะแนน 2.22 และ 3.10 ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างข้าวพองที่ทอต้นน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อ น้ำมันใหม่ 50: 50 มีการเพิ่มขึ้นของคะแนนความเข้มสีในการทอวันที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ และ คะแนนความเข้มสีคงที่จากวันที่ 2 ถึง วันที่ 5 คือ มีคะแนน 2.54-2.76 โดยมีคะแนนความเข้มสีอยู่ ในช่วง 2 (สีเข้มค่อนข้างน้อย) ถึง 3(สีเข้มปานกลาง)

คะแนนความเข้มสี \* (ตั้ม 6 คะแนน)



รูปที่ 4.8 คะแนนด้านความเข้มสีของข้าวพองที่ทอต้นน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันเป็นเวลา 5 วัน

\* คะแนนความเข้มสีของข้าวพอง ; สีเข้มมาก – สีไม่เข้ม (6 – 1)

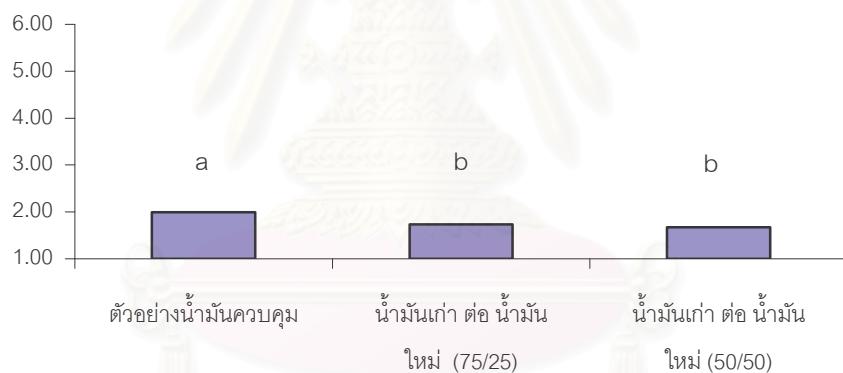
a,b กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)

### คะแนนด้านกลินทีน

ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ตารางที่ 4.17) พบว่า อัตราส่วนการเจือน้ำมันและวันที่ทดสอบต่อคะแนนกลินทีนของข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 จากผลการทดลองในรูปที่ 4.9 พบว่า คะแนนกลินทีนของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมแตกต่างจากคะแนนกลินทีนของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50 และ 75:25 ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมมีคะแนนกลินทีน 2.00 (มีกลินทีนค่อนข้างน้อย) รองลงมา คือ ตัวอย่างข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 ซึ่งมีคะแนนกลินทีน 1.74 และไม่แตกต่างจากข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50 ที่มีคะแนนกลินทีน 1.67

คะแนนกลินทีนของข้าวพองเสริมไฮโอดีนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อวันที่ทดสอบข้าวพองเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.10) โดยคะแนนกลินทีนของข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 5 ซึ่งเป็นวันที่มีคะแนนกลินทีนสูงสุดมีค่าในช่วง 2 (มีกลินทีนค่อนข้างน้อย)

คะแนนกลินทีน \* (เต็ม 6 คะแนน)

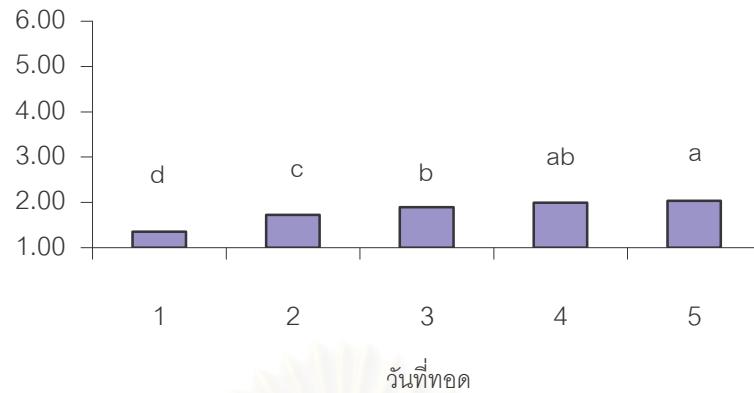


รูปที่ 4.9 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่อคะแนนด้านกลินทีนของข้าวพองเสริมไฮโอดีน

\* คะแนนกลินทีนของข้าวพอง ; กลินทีนมาก – ไม่มีกลินทีน (6 – 1)

a,b กราฟแห่งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

คะแนนกลืนหืน \* (เต็ม 6 คะแนน)



รูปที่ 4.10 ผลของวันที่ทดสอบต่อคะแนนด้านกลืนหืนของข้าวพองเสริมไอโอดีน

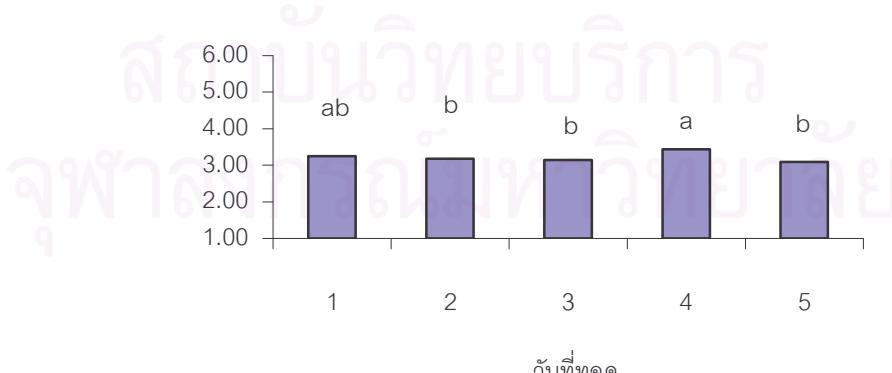
\* คะแนนกลืนหืนของข้าวพอง ; กลืนหืนมาก – ไม่มีกลืนหืน (6 – 1)

a,b กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

#### คะแนนด้านการพองตัวของข้าวพอง

วันที่ทดสอบข้าวพองเสริมไอโอดีนมีผลต่อคะแนนด้านการพองตัวของข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.17) ผลคะแนนการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อวันที่ทดสอบข้าวพองเพิ่มขึ้น คะแนนด้านการพองตัวของข้าวพองมีแนวโน้มลดลง โดยข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 2 3 และ 5 มีคะแนนการพองตัว (คะแนน 3.18 3.14 และ 3.09 ตามลำดับ) แตกต่างจากข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 4 (คะแนน 3.44) อย่างมีนัยสำคัญ แต่ข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 1 และ วันที่ 4 มีคะแนนการพองตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 1 2 3 และ 5 มีคะแนนการพองตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยคะแนนการพองตัวของข้าวพองทุกตัวอย่างอยู่ในช่วง 3 (พองตัวปานกลาง)

คะแนนด้านการพองตัว \* (เต็ม 6 คะแนน)



รูปที่ 4.11 ผลของวันที่ทดสอบต่อคะแนนด้านการพองตัวของข้าวพองเสริมไอโอดีน

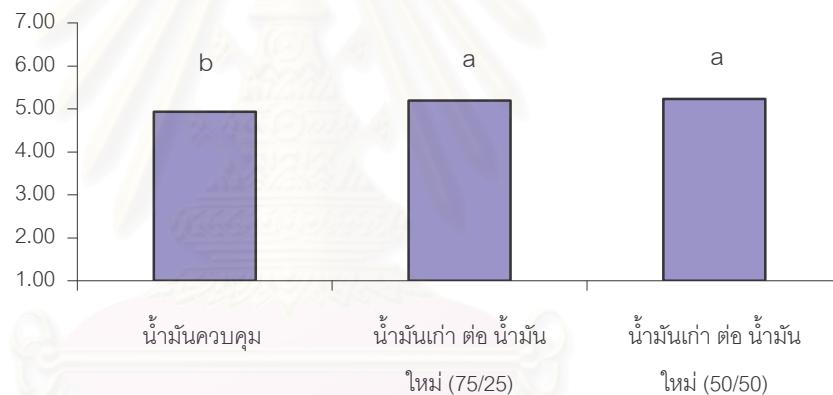
\* คะแนนการพองตัวของข้าวพอง ; พองตัวมาก – ไม่พองตัว (6 – 1)

a,b กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

### คะແນນຄວາມຂອບໂດຍຮວມ

อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบข้าวพองมีผลต่อคะແນນຄວາມຂອບໂດຍຮວມอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) (ตารางที่ 4.17) ผลคะແນນการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.12 และ 4.13 จากผลการทดลองในรูปที่ 4.12 พบว่า ข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมมีคะແນนด้านความชอบโดยรวมต่ำที่สุด คือ มีคะແນນความชอบโดยรวม 4.93 (ชอบเล็กน้อย) แตกต่างจากคะແນນความชอบรวมของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่า ต่อน้ำมันใหม่ 50:50 และ 75:25 อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยคะແນນความชอบรวมของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50 และ 75:25 มีคะແນน 5.23 และ 5.19 ตามลำดับ และเมื่อวันที่ทดสอบข้าวพองเพิ่มมากขึ้นคะແນນความชอบโดยรวมมีแนวโน้มลดลง(รูปที่ 4.13) โดยข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 5 มีคะແນນความชอบโดยรวมต่ำสุด คือ มีค่าคะแนน 4.83 โดยยังมีคะແນนอยู่ในช่วง 5 หมายถึง ชอบเล็กน้อย

คະແນນຄວາມຂອບໂດຍຮວມ \* (ເຕັມ 7 ດະແນນ)

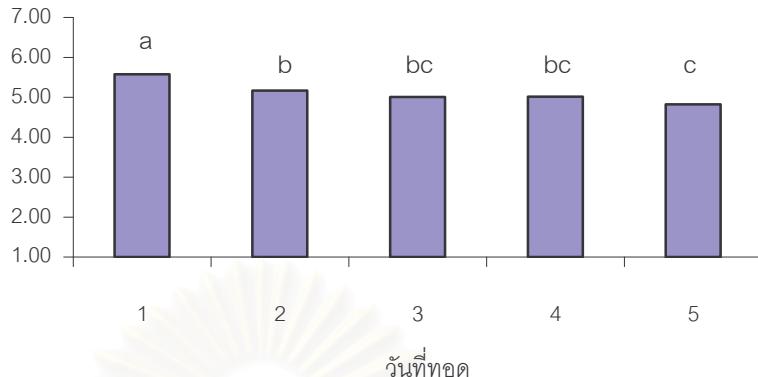


รูปที่ 4.12 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่อคະແນນຄວາມຂອບໂດຍຮວມของข้าวพอง เสริมໄໂໂດິນ

\* ດະແນນຄວາມຂອບໂດຍຮວມຂອງข้าวพอง ; ຂອບມາກ – ໄມ່ຂອບຕວ (7 – 1)

a,b กราഫທີ່ມີອັກຊາກຳກັບຕ່າງກັນມີຄໍາແຕກຕ່າງກັນອ່າງມື້ນຍື່ນຢູ່ ( $p \leq 0.05$ )

คะแนนความชอบโดยรวม \* (เต็ม 7 คะแนน)



รูปที่ 4.13 ผลของวันที่ทดสอบต่อคะแนนความชอบโดยรวมของข้าวพองเสริมไอกोอีดีน

\* คะแนนความชอบโดยรวมของข้าวพอง ; ชอบมาก – ไม่ชอบตัว (7 – 1)

a,b กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.3 ศึกษาผลของปริมาณและคุณภาพน้ำมันในผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกอีดีนต่อประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์แอลfa-แอมิเลสแบบ *in vitro*

เมื่อนำข้าวพองเสริมไอกอีดีนที่ทดสอบด้วยน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 5 มาศึกษาผลของปริมาณและคุณภาพน้ำมันที่ถูกดูดซึบในผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกอีดีนต่อประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหาร โดยศึกษาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการย่อยสลายของสารซึ่งเป็นน้ำตาลโมลโตสของเอนไซม์  $\alpha$ -amylase ในห้องปฏิบัติการที่มีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและเวลาที่ทำการทดสอบที่ต่างกัน 0, 15, 30 และ 60 นาที นำผลการทดลองที่ได้มามวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณน้ำตาลโมลโตสที่ได้จากการย่อยข้าวพองเสริมไอกอีดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 5 ที่เวลาการย่อยต่าง ๆ

แหล่งความแปรปรวน (SOV)	0 นาที	15 นาที	30 นาที	60 นาที
อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่	**	**	**	**
CV (%)	1.74	2.17	2.02	1.60

\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.01$ )

จากตารางที่ 4.18 พบร้า อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่มีผลต่อปริมาณน้ำตาล/mol โอลิสที่เกิดจากการย่อยของเอนไซม์  $\alpha$ -amylase แต่ละเวลาอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) โดยข้าวพองที่ทอคในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50 มีปริมาณน้ำตาล/mol โอลิส เกิดขึ้นมากกว่าข้าวพองที่ทอคในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และน้ำมันควบคุมอย่างมีนัยสำคัญและปริมาณน้ำตาล/mol โอลิสที่เกิดจากการย่อยข้าวพองที่ทอคในน้ำมันที่ มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และน้ำมันควบคุมไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.19 )

ตารางที่ 4.19 ปริมาณน้ำตาล/mol โอลิสที่ได้จากการย่อยข้าวพองเสริมไอกोดีนที่ทอคในน้ำมันที่มี อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในการทดสอบวันที่ 5

เวลา ย่อย (นาที)	ปริมาณน้ำตาล/mol โอลิส (mg/g sample)		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่า ต่อ น้ำมันใหม่ (75:25)	น้ำมันเก่า ต่อ น้ำมันใหม่ (50:50)
0	34.94 <sup>b</sup> ± 0.35	35.63 <sup>b</sup> ± 0.97	38.59 <sup>a</sup> ± 0.37
15	134.33 <sup>b</sup> ± 2.63	138.88 <sup>b</sup> ± 2.12	172.68 <sup>a</sup> ± 4.45
30	183.02 <sup>b</sup> ± 4.14	187.98 <sup>b</sup> ± 3.16	246.79 <sup>a</sup> ± 4.97
60	276.12 <sup>c</sup> ± 4.23	285.89 <sup>b</sup> ± 5.67	295.22 <sup>a</sup> ± 3.56

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันภายใน同一รายการเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 4 ชุด

จากตารางที่ 4.19 จะเห็นได้ว่า เมื่อระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาล/mol โอลิส ที่เกิดจากการย่อยข้าวพองที่ทอคในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ทั้ง 3 ระดับมีค่า เพิ่มขึ้น โดยปริมาณน้ำตาล/mol โอลิสที่ได้จากการย่อยข้าวพองที่ทอคในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมัน เก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50 ที่ระยะเวลา 0 15 30 และ 60 นาทีมีค่าสูงกว่าปริมาณน้ำตาลที่ได้จาก การย่อยข้าวพองที่ทอคในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และน้ำมันควบคุม ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากตารางที่ 4.19 ร่วมกับปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับในข้าวพองที่ ทดสอบด้วยน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 5 ที่พบว่า ข้าวพองที่ทอคใน น้ำมันควบคุมมีปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับสูงกว่าน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) ประกอบกับค่าเบอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่ใช้ทดสอบข้าวพองใน วันที่ 5 ที่มีค่าสูง (ตารางที่ 4.11) แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นและคุณภาพของน้ำมันที่ เสื่อมลงเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดเพิ่มขึ้นทำให้ประสีทิพิภพการย่อยแป้งของเอนไซม์  $\alpha$ -amylase ลดลงทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำมันที่เป็นองค์ประกอบภายใต้ผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริม

ไอโอดีนสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับแอมิโลสหรือที่เรียกว่าเกิด amylose-lipid complex โดยส่วนโครงสร้างที่เป็นไฮโดรฟอฟบิก (hydrophobic) ของไขมันเข้าไปอยู่ด้านใน helix coil ของแอมิโลสทำให้เกิดโครงสร้างที่ค่อนข้างแข็งแรงและทำให้เอนไซม์ทำลายพันธะ  $\alpha$  1-4 glycosidic bond ได้ยากขึ้น (กล้านวงศ์ ศรีรุต และเกื้อภูล ปีะจอมขวัญ, 2546) นอกจากการเกิด amylose-lipid complex แล้วน้ำมันยังสามารถเคลือบสถาร์ชส่งผลให้เอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยาได้ดีน้อยลง ดังนั้นข้าวพองที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณสูงประกอบกับน้ำมันนั้นเป็นน้ำมันที่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพจากปฏิกิริยาเคมีส่งผลให้กรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นสามารถเกิด complex กับแอมิโลสได้ดียิ่งขึ้นและการมีสารประกอบคาร์บอนิลที่มีโมเลกุลใหญ่จะทำให้การเข้าทำปฏิกิริยากับสถาร์ชของเอนไซม์  $\alpha$ -amylase ลดลง ปริมาณน้ำตาลมอลトイส์ที่เกิดขึ้นจึงน้อยกว่าข้าวพองที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบน้อยซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยดังต่อไปนี้

Hanna และ Lelievre (1975) พบร่วมกับ lipid ที่เป็นองค์ประกอบของสถาร์ชข้าวสาลีมีผลทำให้การเกิด amylolytic degradation ลดลงเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยากับเม็ดสถาร์ช (damaged starch) ทำให้อัตราเร็วในการสลายสถาร์ชเป็นน้ำตาลของเอนไซม์  $\alpha$ -amylase ลดลง

Guraya และคณะ (1997) ที่ศึกษาผลของการเกิด starch-lipid complex ต่อประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์  $\alpha$ -amylase โดยผสมสาร emulsifier ที่มีกรดไขมันอิมตัวสั้นและสายยาว รวมทั้งกรดไขมันไม่อิมตัวเป็นองค์ประกอบกับสถาร์ชข้าวและข้าวเหนียวพบว่า emulsifier ที่มีกรดไขมันอิมตัวสายยาวเป็นองค์ประกอบลดการย่อยสถาร์ชได้มากกว่า emulsifier ที่มีกรดไขมันอิมตัวสายสั้นและกรดไขมันไม่อิมตัวเป็นองค์ประกอบ โดยประสิทธิภาพการย่อยสถาร์ชข้าวที่ผสม emulsifier ที่มีกรดไขมันอิมตัวสายยาวเป็นองค์ประกอบลดลงถึงร้อยละ 33

Crowe และคณะ (2000) ศึกษาลักษณะของไขมันต่อประสิทธิภาพในการย่อยสถาร์ชของเอนไซม์แบบ *in vitro* โดยผสมแอมิโลส แอมิโลเพคตินและสถาร์ชของมันฝรั่งกับกรดไขมันอิสระชนิดต่างๆ ได้แก่ lauric acid, myristic acid, palmitic acid, oleic acid, stearic acid และ cholesterol ในอัตราส่วนแอมิโลสต่อกรดไขมันอิสระ 3.6:1 (w/w) และย่อยแอมิโลสและแอมิโลเพคตินด้วยเอนไซม์  $\alpha$ -amylase (EC 3.2.1.1) และเอนไซม์ amyloglucosidase (EC 3.2.1.33) ที่คุณหมูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที พบร่วมกับกรดไขมันอิสระ lauric acid, myristic acid, palmitic acid และ oleic acid ลดการไฮโดรไลซ์แอมิโลสลงร้อยละ 35 ในขณะที่ stearic acid และ cholesterol ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์แต่การมีกรดไขมันอิสระไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของเอนไซม์ amyloglucosidase ในการย่อยแอมิโลเพคติน สำหรับ

การย่ออยสตราช์ด้วยเคนไชมันน์พบว่าการมีกรดไขมันอิสระทำให้ประสิทธิภาพการย่ออยสตราช์ในส่วนที่เป็นแอมโมโนไดอลดลง

#### 4.4 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบข้าวพอง

งานวิจัยส่วนนี้ได้นำน้ำมันภายหลังการทดสอบข้าวพองเสริมไอกอเดินในแต่ละวันมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพดังต่อไปนี้ คือ ค่าความเป็นกรด(คำนวนในรูปปร้อยละกรดโคลอิก) ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าสี (L a b) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.20

**ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความเป็นกรด ค่าสี ( L a b ) และค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันภายหลังการทดสอบข้าวพองในวันต่าง ๆ**

แหล่งความแปรปรวน (SOV)	ค่าความเป็นกรด	ค่าเปอร์ออกไซด์	ค่า L	ค่า a	ค่า b
อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมัน	**	**	**	**	**
ใหม่(A)					
วันที่ทดสอบ(B)	**	**	**	**	**
AxB	**	**	**	**	**
CV (%)	3.81	4.88	0.41	-1.70	0.37

\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

#### ค่าความเป็นกรด

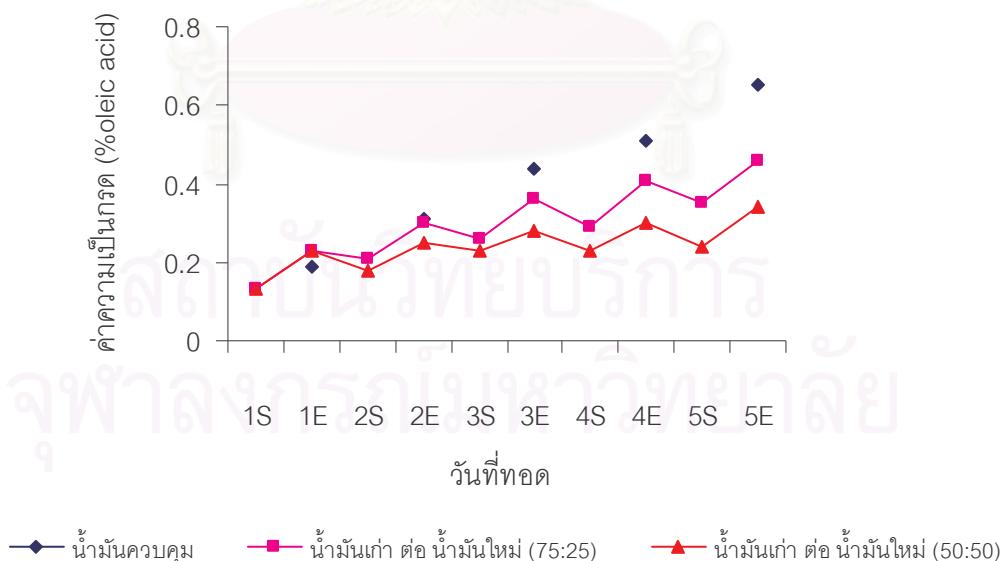
จากตารางที่ 4.20 พบร่วมกับสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบมีผลต่อค่าความเป็นกรดของน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.21 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อวันที่ใช้น้ำมันทดสอบมากขึ้นค่าความเป็นกรดของน้ำมันทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นโดยตัวอย่างน้ำมันควบคุมมีค่าความเป็นกรด และอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรดมากที่สุดรองลงมาเป็นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมัน 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.21 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าความเป็นกรดในน้ำมันภายหลังทดสอบข้าวโพงในแต่ละวัน

วันที่ทดสอบ	ค่าความเป็นกรด(คำนวณในรูปร้อยละกรดโดยเฉลี่ย)		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่า:น้ำมันใหม่ (75:25)	น้ำมันเก่า:น้ำมันใหม่ (50:50)
1	0.19 <sup>h</sup> ±0.01	0.23 <sup>g</sup> ±0.01	0.23 <sup>g</sup> ±0.01
2	0.30 <sup>f</sup> ±0.01	0.29 <sup>f</sup> ±0.01	0.25 <sup>g</sup> ±0.01
3	0.45 <sup>c</sup> ±0.02	0.36 <sup>e</sup> ±0.01	0.29 <sup>f</sup> ±0.02
4	0.51 <sup>b</sup> ±0.01	0.41 <sup>d</sup> ±0.01	0.30 <sup>f</sup> ±0.02
5	0.66 <sup>a</sup> ±0.01	0.46 <sup>c</sup> ±0.01	0.34 <sup>e</sup> ±0.02

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของน้ำมันก่อนและหลังการทดสอบแต่ละวัน ตัวอย่างน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50 และ 75:25 ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.14 ซึ่งจะเห็นได้ว่า น้ำมันที่มีการเจือน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่มีค่าความเป็นกรดน้อยกว่าตัวอย่างน้ำมันควบคุม เมื่อเติมน้ำมันใหม่ลงไปผสมกับน้ำมันเก่าก่อนการทดสอบในแต่ละวันค่าความเป็นกรดของน้ำมันจะลดลงโดยขึ้นกับปริมาณน้ำมันใหม่ที่เติมลงไป และมีค่าเพิ่มขึ้นอีครั้งเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน



รูปที่ 4.14 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน  
 - อักษร S ในรูปกราฟ หมายถึง ค่าความเป็นกรดก่อนการทดสอบแต่ละวัน  
 - อักษร E ในรูปกราฟ หมายถึง ค่าความเป็นกรดภายหลังการทดสอบแต่ละวัน

ผลการทดลองที่ได้จากการวิจัยนี้แสดงคล้องกับงานวิจัยของ Yilmaz (2004) ที่ได้ศึกษาผลของการเจือน้ำมันที่มีต่อคุณภาพของน้ำมันทอดและผลิตภัณฑ์โดย พบว่า ความเป็นกรดในตัวอย่างน้ำมันควบคุมมีค่ามากกว่าตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50: 50 และตัวอย่างที่ใช้น้ำมันใหม่ในการรักษาสารดับน้ำมันให้คงที่ตลอดเวลาที่ใช้น้ำมัน โดยตัวอย่างที่มีการเจือน้ำมันจะมีค่าความเป็นกรดลดลงเมื่อมีการเติมน้ำมันใหม่ลงไปก่อนการทอดในแต่ละวัน

ค่าความเป็นกรดของน้ำมันเป็นตัวบ่งชี้การเกิดการหืนของไขมันและน้ำมัน ถ้าค่าความเป็นกรดสูงแสดงถึงจำนวนไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ที่ถูกไฮโดรเจนไนท์เป็นกรดไขมันอิสระซึ่งทำให้น้ำมันเกิดออกซิเดชันและมีกลิ่นเหม็นได้ดีขึ้น (Fennema, 1996) โดยทั่วไปถ้าค่าความเป็นกรดมีค่ามากกว่า 1.0 % จะส่งผลให้น้ำมันมีคุณภาพดีขึ้นมาก ผลิตภัณฑ์อาหารจะดูดซับน้ำมันมาก (Dubois, 1989 ข้างถึงใน Yilmaz, 2004) ในงานวิจัยนี้ตัวอย่างน้ำมันควบคุมจะมีคุณภาพดีขึ้นมากกว่าตัวอย่างอื่นในการทอดวันที่ 3 เป็นต้นไป

### ค่าเบอร์ออกไซด์ (PV)

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติในตารางที่ 4.20 พบว่า ปฏิกิริยาไฮโดรเจน化อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบข้าวพองมีผลต่อค่าเบอร์ออกไซด์ของน้ำมัน ภายหลังการทอดข้าวพองในแต่ละวันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) ดังแสดงผลในตารางที่ 4.22 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อวันที่ใช้น้ำมันทอดมากขึ้นค่าเบอร์ออกไซด์ของน้ำมันทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นโดยน้ำมันควบคุมมีค่าเบอร์ออกไซด์และอัตราการพิมเขียนของค่าเบอร์ออกไซด์มากที่สุด รองลงมาเป็นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมัน 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ ผลการเจือน้ำมันใหม่ต่อค่าเบอร์ออกไซด์ทั้งก่อนและหลังการทอดแต่ละวันแสดงในรูปที่ 4.15 พบว่า เมื่อมีการเจือน้ำมันใหม่ลงไปส่งผลให้ค่าเบอร์ออกไซด์ในน้ำมันลดต่ำลงก่อนที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความร้อนจากการทอดข้าวพองแต่ละวัน

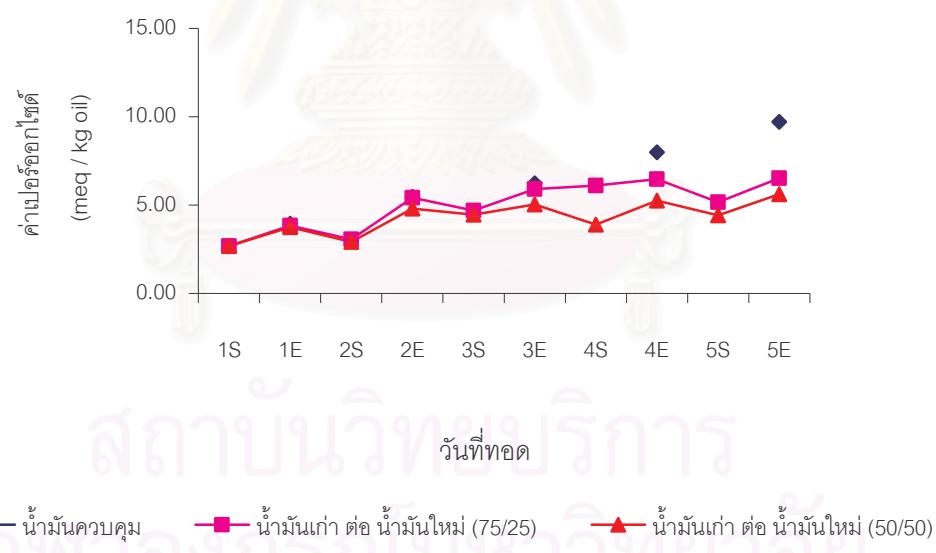
เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนในระหว่างการทอดข้าวพอง นอกจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรเจนไซท์พันธะ酇เทอร์โนไมเลกูลของไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบในน้ำมันจนส่งผลให้น้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นดังจะเห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดของน้ำมันในตารางที่ 4.21 และรูปที่ 4.14 แล้วยังมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่อิมตัวอิสระหรือที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกูลของไตรกลีเซอไรด์เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อน้ำมันสัมผัสน้ำมัน ความร้อนและออกซิเจน ซึ่งถือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้ความเข้มข้นของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์มีค่าสูงขึ้น (Fennema, 1996) ดังนั้นน้ำมันควบคุมที่ได้รับความร้อนต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน จึงมีค่า

เปอร์ออกไซด์มากกว่าน้ำมันที่มีการเจือน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ อัตราส่วน 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.22 ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันหลังทดสอบข้าวโพงแต่ละวัน**

วันที่ ทดสอบ	ค่าเปอร์ออกไซด์(meq/kg oil)		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่า:น้ำมันใหม่ (75:25)	น้ำมันเก่า:น้ำมันใหม่ (50:50)
1	$3.95^h \pm 0.04$	$3.84^h \pm 0.13$	$3.76^h \pm 0.14$
2	$5.48^{ef} \pm 0.09$	$5.42^{ef} \pm 0.37$	$4.81^g \pm 0.07$
3	$6.23^{cd} \pm 0.33$	$5.90^{de} \pm 0.05$	$5.03^{fg} \pm 0.10$
4	$7.98^b \pm 0.03$	$6.46^{cd} \pm 0.33$	$5.25^{fg} \pm 0.32$
5	$9.72^a \pm 0.61$	$6.52^c \pm 0.38$	$5.61^{ef} \pm 0.37$

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



**รูปที่ 4.15 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน**

- อักษร S ในรูปภาพ หมายถึง ค่าเปอร์ออกไซด์ก่อนการทดสอบแต่ละวัน
- อักษร E ในรูปภาพ หมายถึง ค่าเปอร์ออกไซด์ภายหลังการทดสอบแต่ละวัน

จากรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าการเจือน้ำมันใหม่ในน้ำมันก่อนการทดสอบแต่ละวันสามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์ลงได้ ก่อนที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจากการทดสอบข้าวโพง

ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำมันใหม่ที่เติมลงไปจะช่วยลดปริมาณกรดไขมันอิสระซึ่งมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าน้ำมันที่มีสารประกอบในรูป酇เทอร์ของกรดไขมันกับกลีเซอรอล (glycerol) (Fennema, 1996)

การที่งานวิจัยนี้ พบว่า ค่าเบอร์ออกไซด์สูงขึ้นเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนมากขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tan และ Che Man (1999) ที่ทดลองนำน้ำมันข้าวโพด น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยสูญเสียประมาณ 3% ของเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีทุก 2 ชั่วโมง พบร้า ค่าเบอร์ออกไซด์ในตัวอย่างน้ำมันทั้ง 3 ชนิดมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ได้รับความร้อน โดยน้ำมันข้าวโพดมีค่าเบอร์ออกไซด์เมื่อได้รับความร้อนครบ 12 ชั่วโมงสูงสุด รองลงมาคือ น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลือง โดยมีค่าเบอร์ออกไซด์เป็น 12.40 10.98 และ 9.61 meq / kg oil ตามลำดับ

### ค่าสี (L a b)

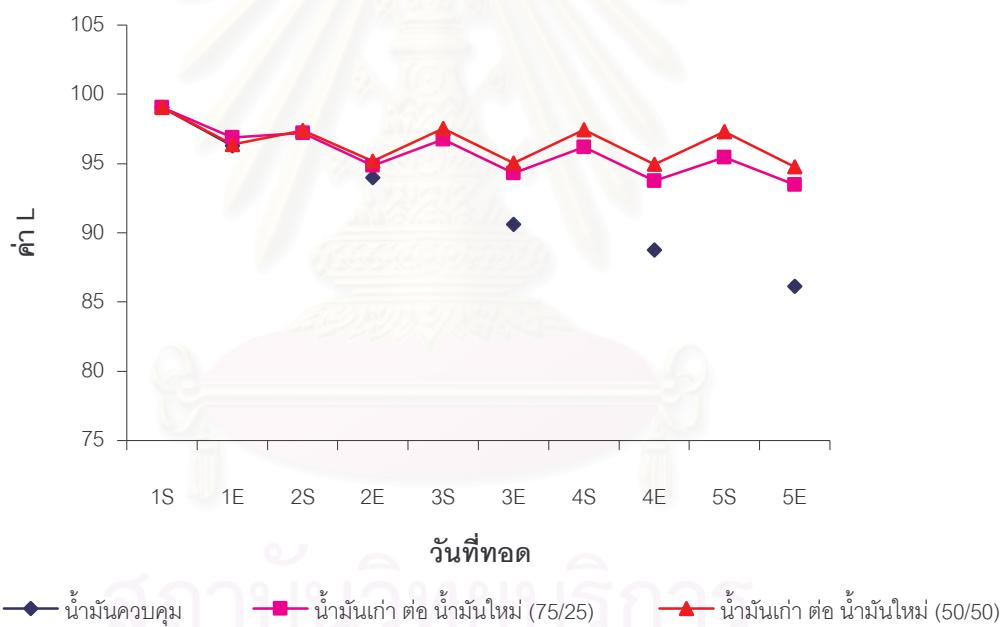
จากตารางที่ 4.20 พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสี (L a b) ของน้ำมันหลังการทดสอบข้าวโพงในแต่ละวันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) ดังแสดงผลในตารางที่ 4.23-4.25

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า L ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสว่าง (lightness) ของน้ำมัน พบว่า น้ำมันควบคุมและน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ทั้ง 2 อัตราส่วน มีค่า L ลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อระยะเวลาในการทดสอบเพิ่มขึ้น โดยน้ำมันควบคุมมีอัตราการลดลงของค่า L มากกว่าน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.23 ก่อนการทดสอบข้าวโพงในแต่ละวันน้ำมันที่มีการเจือน้ำมันใหม่ลงไป พบว่า จะมีค่า L เพิ่มมากขึ้นก่อนและจะมีค่าลดลงเมื่อได้รับความร้อนและเป็นเช่นนี้ไปตลอดการทดลอง (รูปที่ 4.16) ดังนั้นอัตราการลดลงของค่า L จึงเป็นไปอย่างช้าๆ และขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำมันใหม่ที่เพิ่มเข้าไป

ตารางที่ 4.23 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า L ในน้ำมันกากยหลังทดสอบข้าวโพงในแต่ละวัน

วันที่ทดสอบ	ค่า L		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่า:น้ำมันใหม่ (75:25)	น้ำมันเก่า:น้ำมันใหม่ (50:50)
1	96.28 <sup>a</sup> ± 0.81	96.86 <sup>a</sup> ± 0.36	96.37 <sup>a</sup> ± 0.42
2	93.95 <sup>def</sup> ± 0.83	94.83 <sup>bc</sup> ± 0.12	95.16 <sup>b</sup> ± 0.21
3	90.61 <sup>g</sup> ± 0.25	94.31 <sup>cde</sup> ± 0.29	95.05 <sup>bc</sup> ± 0.20
4	88.77 <sup>h</sup> ± 0.27	93.73 <sup>ef</sup> ± 0.35	94.96 <sup>bc</sup> ± 0.16
5	86.11 <sup>i</sup> ± 0.22	93.44 <sup>f</sup> ± 0.14	94.76 <sup>bcd</sup> ± 0.14

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



รูปที่ 4.16 ค่า L ของน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน

- อักษร S ในรูปกราฟ หมายถึง ค่า L ก่อนการทดสอบแต่ละวัน

- อักษร E ในรูปกราฟ หมายถึง ค่า L ภายหลังการทดสอบแต่ละวัน

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า a และ b ของน้ำมัน โดยค่า a เป็นค่าที่แสดงถึงสีของน้ำมันในช่วงสีเขียวถึงสีแดง เมื่อค่า a เป็นบวกแสดงค่าของสีแดงและค่า a เป็นลบแสดงค่าของสีเขียว ส่วนค่า b เป็นค่าที่แสดงถึงค่าสีในช่วงสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน เมื่อค่า b เป็นบวกแสดงค่าของสี

เหลืองและค่า b เป็นลบแสดงค่าของสีน้ำเงิน (MacDougall, 2002) จะพบว่า น้ำมันทั้ง 3 แบบมีค่า a และค่า b เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการใช้น้ำมันทดสอบเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 4.24 และ 4.25 ก่อนการทดสอบข้าวพองในแต่ละวันน้ำมันที่มีการเจือน้ำมันใหม่ลงไปจะมีค่า a และค่า b ลดลงก่อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความร้อนและเป็นเช่นนี้ไปตลอดการทดลอง ดังนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า a และค่า b ในน้ำมันที่มีการเจือน้ำมันใหม่จะเป็นไปอย่างช้าๆ และขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำมันใหม่ที่เพิ่มเข้าไป ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10

ตารางที่ 4.24 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีแดงในน้ำมันหลังทดสอบข้าวพองในแต่ละวัน

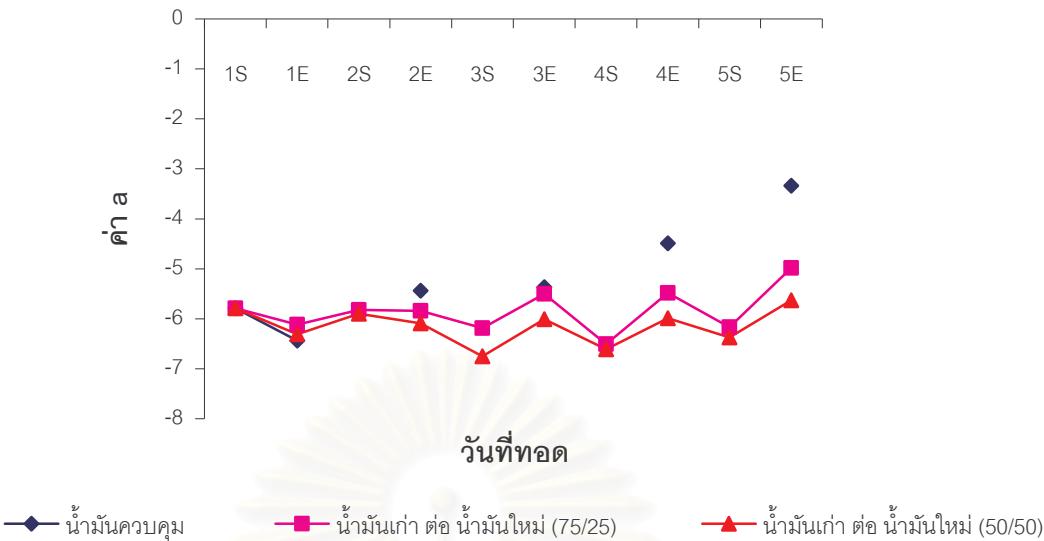
วันที่ทดสอบ	ค่าสีแดง (ค่า a)		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่า:น้ำมันใหม่ (75:25)	น้ำมันเก่า:น้ำมันใหม่ (50:50)
1	-6.44 <sup>i</sup> ± 0.02	-6.12 <sup>gh</sup> ± 0.11	-6.31 <sup>hi</sup> ± 0.18
2	-5.44 <sup>de</sup> ± 0.06	-5.84 <sup>f</sup> ± 0.17	-6.09 <sup>g</sup> ± 0.10
3	-5.38 <sup>d</sup> ± 0.12	-5.50 <sup>de</sup> ± 0.08	-6.01 <sup>fg</sup> ± 0.05
4	-4.49 <sup>b</sup> ± 0.10	-5.48 <sup>de</sup> ± 0.03	-5.99 <sup>fg</sup> ± 0.10
5	-3.34 <sup>a</sup> ± 0.05	-4.98 <sup>c</sup> ± 0.02	-5.63 <sup>e</sup> ± 0.05

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.25 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีเหลืองในน้ำมันหลังทดสอบข้าวพองในแต่ละวัน

วันที่ทดสอบ	ค่าสีเหลือง (ค่า b)		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่า:น้ำมันใหม่ (75:25)	น้ำมันเก่า:น้ำมันใหม่ (50:50)
1	33.99 <sup>m</sup> ± 0.42	31.82 <sup>o</sup> ± 0.06	33.22 <sup>n</sup> ± 0.28
2	45.34 <sup>g</sup> ± 0.06	40.90 <sup>j</sup> ± 0.05	39.43 <sup>l</sup> ± 0.06
3	62.28 <sup>c</sup> ± 0.07	47.75 <sup>f</sup> ± 0.06	40.47 <sup>k</sup> ± 0.04
4	68.78 <sup>b</sup> ± 0.36	50.81 <sup>e</sup> ± 0.13	41.71 <sup>i</sup> ± 0.09
5	76.58 <sup>a</sup> ± 0.04	53.91 <sup>d</sup> ± 0.12	43.72 <sup>h</sup> ± 0.12

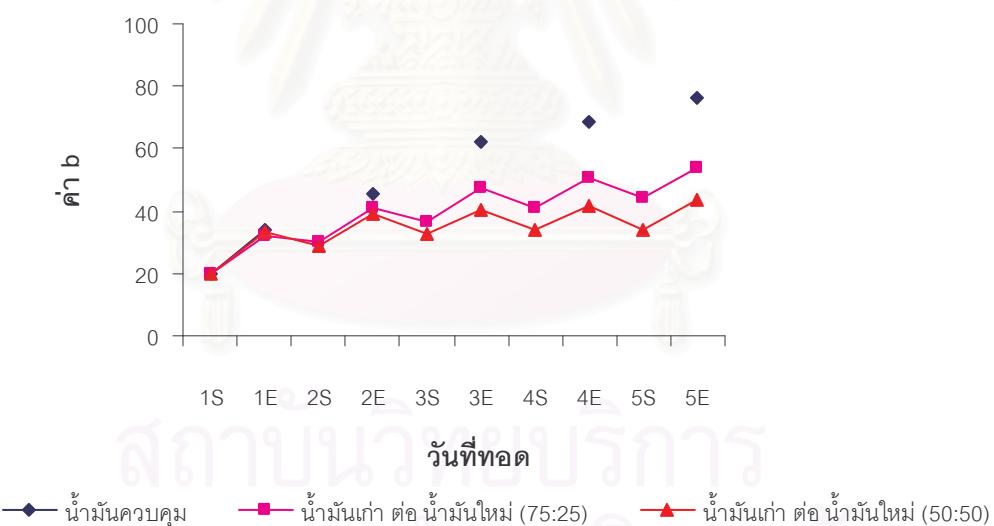
a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



รูปที่ 4.17 ค่า a ของน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน

- อักษร S ในรูปกราฟ หมายถึง ค่า a ก่อนการทดสอบแต่ละวัน

- อักษร E ในรูปกราฟ หมายถึง ค่า a ภายหลังการทดสอบแต่ละวัน



รูปที่ 4.18 ค่า b ของน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน

- อักษร S ในรูปกราฟ หมายถึง ค่า b ก่อนการทดสอบแต่ละวัน

- อักษร E ในรูปกราฟ หมายถึง ค่า b ภายหลังการทดสอบแต่ละวัน

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมันที่ได้รับความร้อนจากการทดสอบอาหารในสภาวะที่มีออกซิเจนและน้ำจากอาหารนั้นเกิดเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีหลายปฏิกิริยาร่วมกัน ได้แก่ ปฏิกิริยาไฮโดรเจน ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน รวมถึงปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซ็นของสาร

โมเลกุลขนาดเล็กในน้ำมัน การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเหล่านี้ส่งผลให้เกิดสารประกอบทางเคมีที่หลากหลาย เช่น สารประกอบคาร์บอนิลและสารประกอบที่มีข้าวอื่น ๆ เป็นต้น

การเกิดปฏิกิริยาเคมีที่หลากหลายและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอื่น ๆ ส่งผลให้น้ำมันเปลี่ยนจากสีเหลืองสว่างเป็นน้ำตาลส้ม มีสีคล้ำลง สีของน้ำมันที่คล้ำลงเป็นผลมาจากการเกิด unsaturated carbonyl compounds หรือองค์ประกอบที่ไม่มีข้าวของอาหารที่ละลายในน้ำมัน สำหรับองค์ประกอบเฉพาะที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันยังไม่สามารถยืนยันได้ (Rhee และคณะ, 1992) แต่ก็มีรายงานการวิจัยบางงานที่กล่าวถึงชนิดของสารเคมีที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีในน้ำมันปั่ง ดังตัวอย่างงานวิจัยดังต่อไปนี้

Goulombic (1942) ข้างลึ่งใน Tan และคณะ (1985) ที่พบว่า การเกิดออกซิเดชันของน้ำมันพืชมีผลทำให้สีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดสาร chroman -5,6-quinones

Mukai และคณะ (1965) ข้างลึ่งใน Tan และคณะ (1985) กล่าวไว้ว่า สีแดงที่เกิดขึ้นในน้ำมันถั่วเหลืองเมื่อได้รับความร้อนเนื่องจากการเกิดสารประกอบ  $\alpha$ ,  $\beta$ - และ  $\alpha, \alpha'$  unsaturated carbonyls

นอกจากนี้การที่เศษอาหารใหม็คคูในน้ำมันระหว่างการทอด เว่งให้น้ำมันมีสีคล้ำลงอย่างรวดเร็วและยังมีสารประกอบที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ระหว่างกรดอะมิโนและสารประกอบคาร์บอนิลในอาหาร (Lin และคณะ, 2001) เมื่อพิจารณาจากตัวอย่างที่มีการเจือน้ำมันในแหล่งไปแล้วมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี L a b อย่างช้า ๆ และมีค่า L มากกว่าน้ำมันควบคุม ค่าความเป็นสีแดง (a) และค่าความเป็นสีเหลือง (b) น้อยกว่าน้ำมันควบคุมเป็นผลเนื่องมาจากน้ำมันใหม่ไปช่วยลดปริมาณสารประกอบที่ก่อให้เกิดสีลง ดังนั้นความเข้มสีของน้ำมันจึงลดลง

### การติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

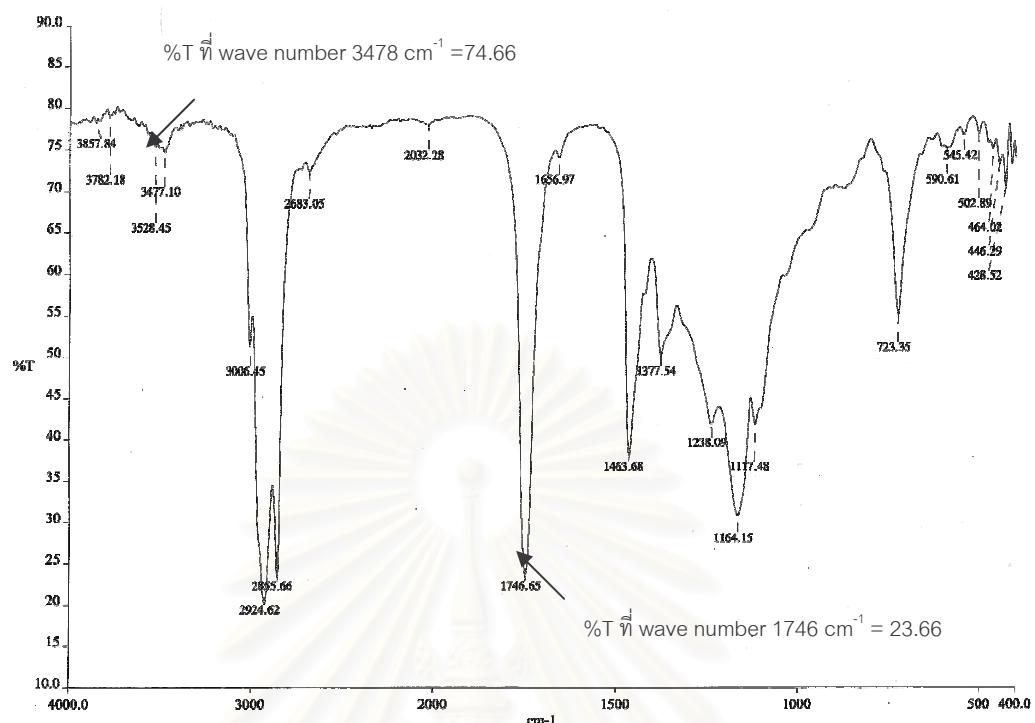
เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันด้วยเทคนิค FTIR โดยใช้แสงซึ่งกลางอินฟราเรด (mid-infrared region) ที่มีเลขค่าลี่ (wave number) ระหว่าง  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งจะแสดง band ที่เลขค่าลี่และมีความเข้มเฉพาะสำหรับ function group ของสารต่าง ๆ ในตัวอย่างน้ำมัน พบว่า spectrum ที่ได้มี band ของ C-H functional group เกิดขึ้นที่ความถี่ระหว่าง  $3000 - 2850 \text{ cm}^{-1}$  จากรูปที่ 4.19 แสดง spectrum ของน้ำมันที่ไม่ได้รับความร้อนจะมี band เกิดขึ้นที่ตำแหน่งต่าง ๆ คือ asymmetrical C-H stretching ( $\text{CH}_2$ ) ที่  $2924 \text{ cm}^{-1}$  และ symmetrical C-H

stretching ( $\text{CH}_2$ ) ที่  $2855 \text{ cm}^{-1}$  และมี weak shoulder ที่ตำแหน่ง  $3006 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นผลมาจากการ methylene asymmetrical strecthing band

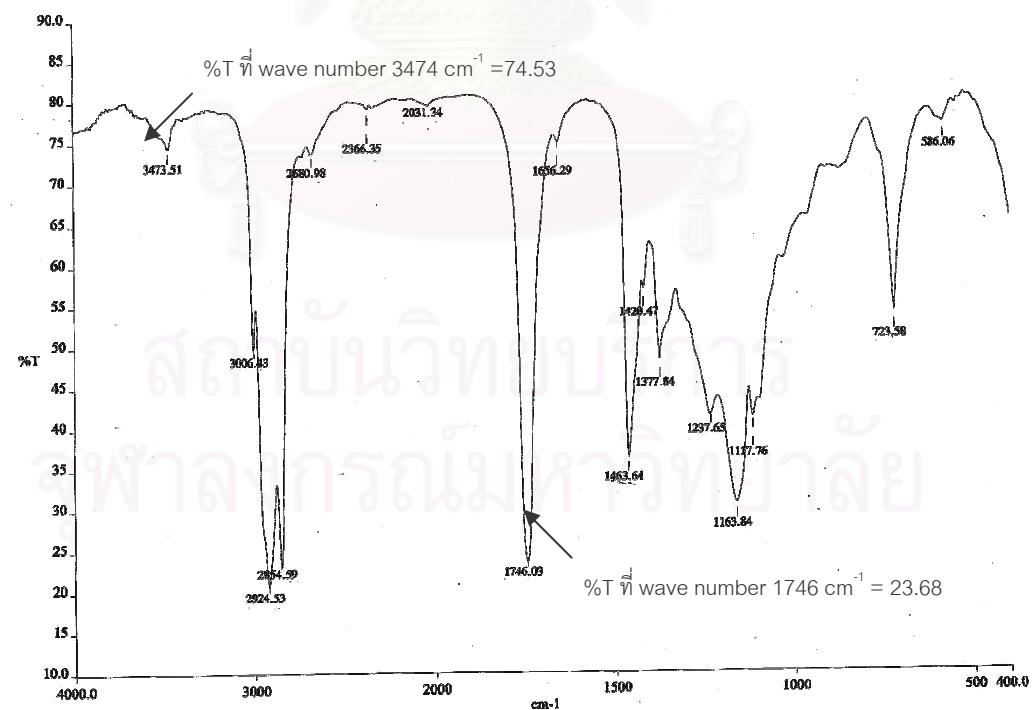
นอกจากนี้ยังมี band เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง  $1745 - 1464$  และ  $1164 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งแสดงถึง  $\text{C=O}$  (ester) strecthing, C-H bending และ  $\text{C-O,CH}_2$  strecthing bending ตามลำดับ (Innawong และคณะ, 2004) เมื่อเปรียบเทียบ FTIR spectra ของน้ำมันใหม่กับ FTIR spectra ของน้ำมันที่มีการเจือระหว่างน้ำมันเก่าและน้ำมันใหม่อัตราส่วน 50:50 และ 75:25 ที่ใช้ทดลองข้าว พองเป็นเวลา 5 วัน พบร่วมกับ FTIR spectra เข่นเดียวกัน แต่ความสูงของ band จะเพิ่มขึ้น โดยน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 มี band ที่สูงกว่าน้ำมันที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำมันเก่าต่อ น้ำมันใหม่ 50:50 และน้ำมันใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 4.19-4.21 ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Innawong และคณะ (2004) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทดลองໄก่เปรียบเทียบกับน้ำมันใหม่โดยใช้เทคนิค FTIR พบร่วมกับ FTIR spectra ของน้ำมันที่มีคุณภาพแตกต่างกันจะมีลักษณะเหมือนกันแต่แตกต่างที่ความสูงของ band ที่เพิ่มขึ้นเมื่อน้ำมันมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น

โดยทั่วไปน้ำมันที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทุกชนิดจะมี FTIR spectrum ใกล้กับ wave number  $3470 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็น overtone ของ glyceride ester carbonyl absorption (Guillen และ Cabo, 2002) เมื่อน้ำมันเกิดออกซิเดชันจะมีสารประกอบไฮdroperoxide (hydroperoxide) เกิดขึ้นซึ่งสารประกอบนี้จะให้ FTIR spectra band ที่ตำแหน่ง  $3471 \text{ cm}^{-1}$  (Innawong และคณะ, 2004) โดย band ที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะกว้างและไป overlap กับ overtone ของ glyceride ester group ทำให้ความถี่ของ glyceride ลดลงเมื่อน้ำมันเกิดออกซิเดชันมากขึ้น ดังจะเห็นได้จาก FTIR spectrum ของน้ำมันใหม่ที่มี band เกิดขึ้นที่  $3477 \text{ cm}^{-1}$  เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจะมี FTIR spectrum ที่ความถี่ต่ำลง คือ น้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50 และ 75:25 มี band เกิดขึ้นที่  $3474 \text{ cm}^{-1}$  (รูปที่ 4.20 และ 4.21)

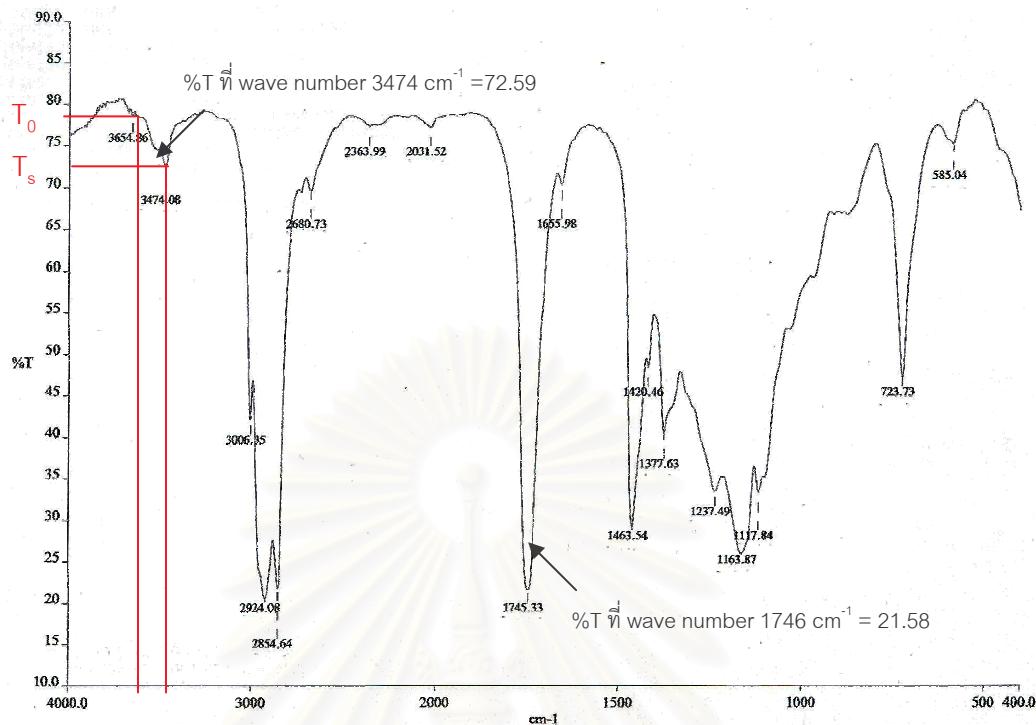
นอกจากนี้น้ำมันที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมี band ของ triglyceride ester group ที่ความถี่  $1746 \text{ cm}^{-1}$  ดังจะเห็นได้จากรูป 4.19 เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีส่งผลให้มีกรดไขมันอิสระ แอลดีไฮด์ และคิโนนเพิ่มขึ้น ซึ่งสารเหล่านี้จะมี FTIR spectra  $\text{C=O}$  ที่ความถี่  $1725-1700, 1740 - 1720$  และ  $1725-1705 \text{ cm}^{-1}$  ตามลำดับ โดยจะไป overlap กับ band ของ triglyceride ที่ตำแหน่ง  $1746 \text{ cm}^{-1}$  ทำให้ band มีความกว้างและความสูงเพิ่มขึ้น และความถี่ลดลงดังจะเห็นได้จากรูป 4.20 และ 4.21 ซึ่งน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 จะมี band ที่ตำแหน่ง  $1745 \text{ cm}^{-1}$  มีความกว้างและความสูงมากกว่า band ของน้ำมันใหม่และน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Che Man และคณะ (1999), Guillen และ Cabo (2002)



รูปที่ 4.19 FTIR spectra ของตัวอย่างน้ำมันใหม่



รูปที่ 4.20 FTIR spectra ของตัวอย่างน้ำมันเก่า: น้ำมันใหม่ อัตราส่วน 50:50



รูปที่ 4.21 FTIR spectra ของตัวอย่างน้ำมันเก่า: น้ำมันใหม่ อัตราส่วน 75:25

เนื่องจากระยะเวลาที่น้ำมันได้รับความร้อนและเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ผลให้มีปริมาณไฮโดรperoxida ไซด์และปริมาณกรดไขมันอิสระที่ทำให้ได้ FTIR – spectra ที่มีความสูงและความกว้างที่ไม่แตกต่างกันนักจึงสังเกตได้ไม่ชัดเจนเมื่อพิจารณาจากรูป spectra ดังนั้นจึงคำนวณค่าค่าการดูดกลืนแสงด้วยวิธี baseline โดยใช้สูตร  $A = \log(T_0/T_s)$  ดังแสดงวิธีทางค่า  $T_0$  และ  $T_s$  ในรูปที่ 4.21 ผลค่าการดูดกลืนแสงที่คำนวณได้แสดงในตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 ค่าการดูดกลืนแสงในฟรารีดของน้ำมันที่ใช้ทดสอบข้าวโพงในวันที่ 5 และมีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกัน

ตัวอย่าง	เลขคลื่น (cm⁻¹)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 3474 cm⁻¹	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 1746 cm⁻¹
น้ำมันใหม่	3478/1746	0.008	0.524
น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ (50:50)	3474/1746	0.020	0.534
น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ (75:25)	3474/1746	0.031	0.564

จากตารางที่ 4.26 จะเห็นว่า น้ำมันที่ใช้ทดสอบข้าวของที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50 และ 75:25 มีค่าการดูดกลืนแสงอินฟราเรดมากกว่าน้ำมันใหม่ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่มีการเจือน้ำมัน พบว่า น้ำมันที่มีการเจือน้ำมันใหม่มากกว่าจะมีค่าการดูดกลืนแสงอินฟราเรดน้อยกว่า แสดงถึงปริมาณไฮโดรperoxอดอกไซด์และปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่มีอยู่น้อยกว่า ดังนั้นการเจือน้ำมันจึงช่วยลดปริมาณสารประกอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมีของน้ำมันได้ โดยประสิทธิภาพขึ้นกับปริมาณน้ำมันใหม่ที่ใช้

#### 4.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวของระหว่างการเก็บรักษา

งานวิจัยส่วนนี้ได้นำตัวอย่างข้าวของเสริมไฮโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 บรรจุในถุง polypropylene ปิดผนึก (seal) ภายใต้ความดันปกติและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 สัปดาห์ สรุมตัวอย่างข้าวของมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ปริมาณไฮโอดีน ความชื้น ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่า  $a_w$  ค่าความแข็งและค่าสี ( $L a b$ ) เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ข้าวของเสริมไฮโอดีนระหว่างการเก็บรักษาได้ผลดังต่อไปนี้

##### การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโอดีน

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไฮโอดีนในผลิตภัณฑ์ข้าวของระหว่างการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่าง ๆ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.27) พบว่า อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ใช้น้ำมันทดสอบข้าวของไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของปริมาณไฮโอดีนในทุกระยะกาลเก็บรักษา ( $p>0.05$ )

**สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

ตารางที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติบริมานไมโอดีนของข้าวพองที่ทอในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์

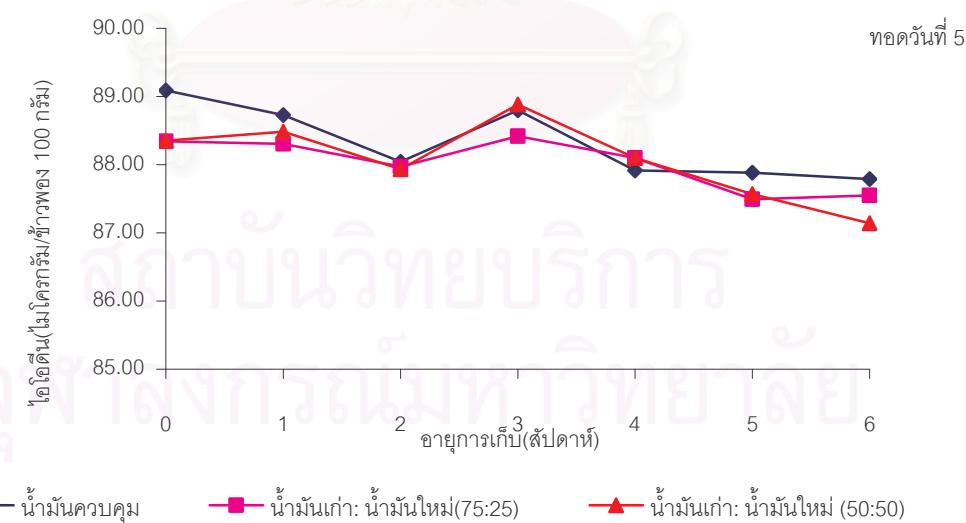
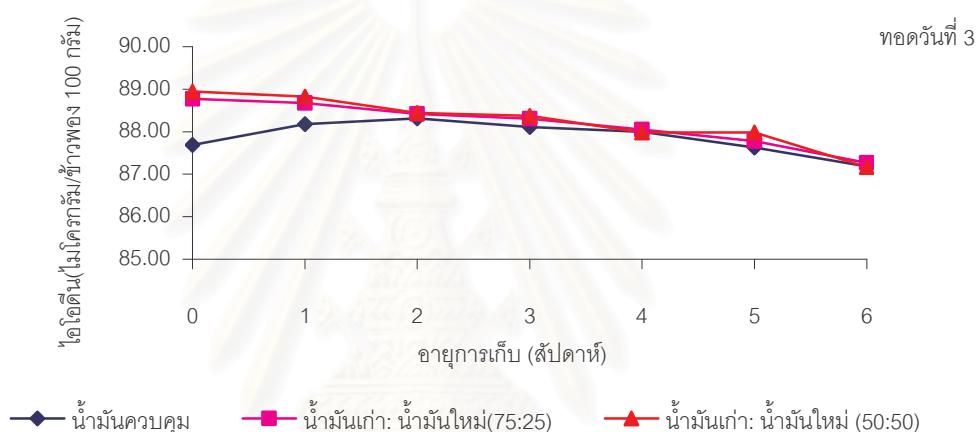
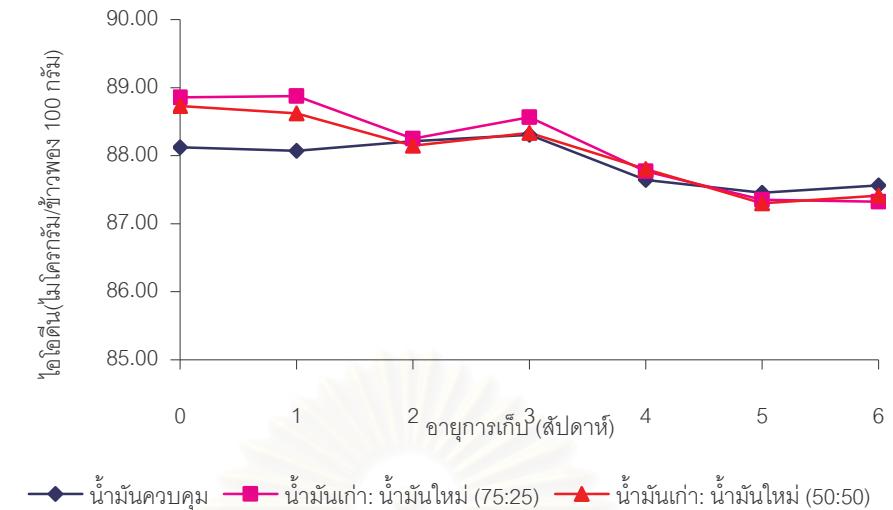
แหล่งความแปรปรวน (SOV)	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)						
	0	1	2	3	4	5	6
อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ (A)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
วันที่ทอ (B)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
A×B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
% CV	1.27	1.47	1.15	1.45	1.16	1.00	0.79

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

เมื่อพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงบริมานไมโอดีนของข้าวพองที่ทอในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ดังแสดงในรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าเมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ไมโอดีนในข้าวพองที่ทอในวันที่ 1 3 และ 5 มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างกัน คือ มีบริมานไมโอดีนลดลงจากบริมานเริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.85-1.56 1.14-1.77 และ 0.93-1.74 ไมโครกรัมต่อข้าวพอง 100 กรัม ตามลำดับ การสลายตัวของไมโอดีนระหว่างการเก็บรักษาเกิดขึ้นได้เมื่อมีการสัมผัสกับแสงแดดและความร้อน (McDowell, 1992) ซึ่งการเก็บรักษาข้าวพองโดยบรรจุในถุง polypropylene ที่อุณหภูมิห้องทำให้ข้าวพองมีโอกาสสัมผัสกับแสงและความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิห้องนั้นอาจสูงถึง 37 องศาเซลเซียสและอาจเนื่องด้วยสมบัติของถุง polypropylene ที่ไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้อย่างสมบูรณ์ขึ้นอยู่กับความหนาของพลาสติก (Robertson, 1993) และจากการที่ความชื้นสัมพัทธิ์ในบรรยากาศมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 60-70 (วัดด้วยเครื่อง Thermohygrometer รุ่น 608-H) ข้าวพองที่สัมผัสแสง ความร้อนและความชื้นจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีได้เป็นสาเหตุให้ไมโอดีนลดลง

## จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทดสอบวันที่ 1



รูปที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไอกोดีนในระหว่างการเก็บรักษาข้าวของเสริมไอกอเดินที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่อัตราส่วนต่าง ๆ ในวันที่ 1 3 และ 5

### การเปลี่ยนแปลงร้อยละความชื้น

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติร้อยละความชื้นของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาแต่ละสัปดาห์แสดงในตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติร้อยละความชื้นของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์

แหล่งความแปรปรวน (SOV)	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)						
	0	1	2	3	4	5	6
อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ (A)	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
วันที่ทดสอบ (B)	ns	**	ns	*	ns	**	*
AXB	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
% CV	1.04	1.94	1.37	2.83	1.99	1.58	1.38

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ 4.28) พบว่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ และวันที่ทดสอบมีผลต่อความชื้นของข้าวพองเมื่อมีอายุการเก็บรักษาที่ 0 สัปดาห์ (ภายหลังการทดสอบซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) ผลแสดงในตารางที่ 4.29 และวันที่ทดสอบมีผลต่อความชื้นของข้าวพองเสริมໄโคโอดีนเมื่อมีอายุการเก็บ 1 3 5 และ 6 สัปดาห์ดังแสดงผลในตารางที่ 4.30

**รายงานที่ปรึกษา**  
**จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

**ตารางที่ 4.29 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อร้อยละความชื้นของข้าวพองเสริมไฮโดรเจนเมื่อมีอายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์**

วันที่ทดสอบ	ร้อยละความชื้น *		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50
1	3.72 <sup>bcd</sup> ±0.00	3.80 <sup>ab</sup> ±0.02	3.69 <sup>cd</sup> ±0.01
3	3.86 <sup>a</sup> ±0.02	3.65 <sup>d</sup> ±0.06	3.71 <sup>bcd</sup> ±0.02
5	3.83 <sup>a</sup> ±0.03	3.78 <sup>abc</sup> ±0.05	3.74 <sup>bc</sup> ±0.06

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

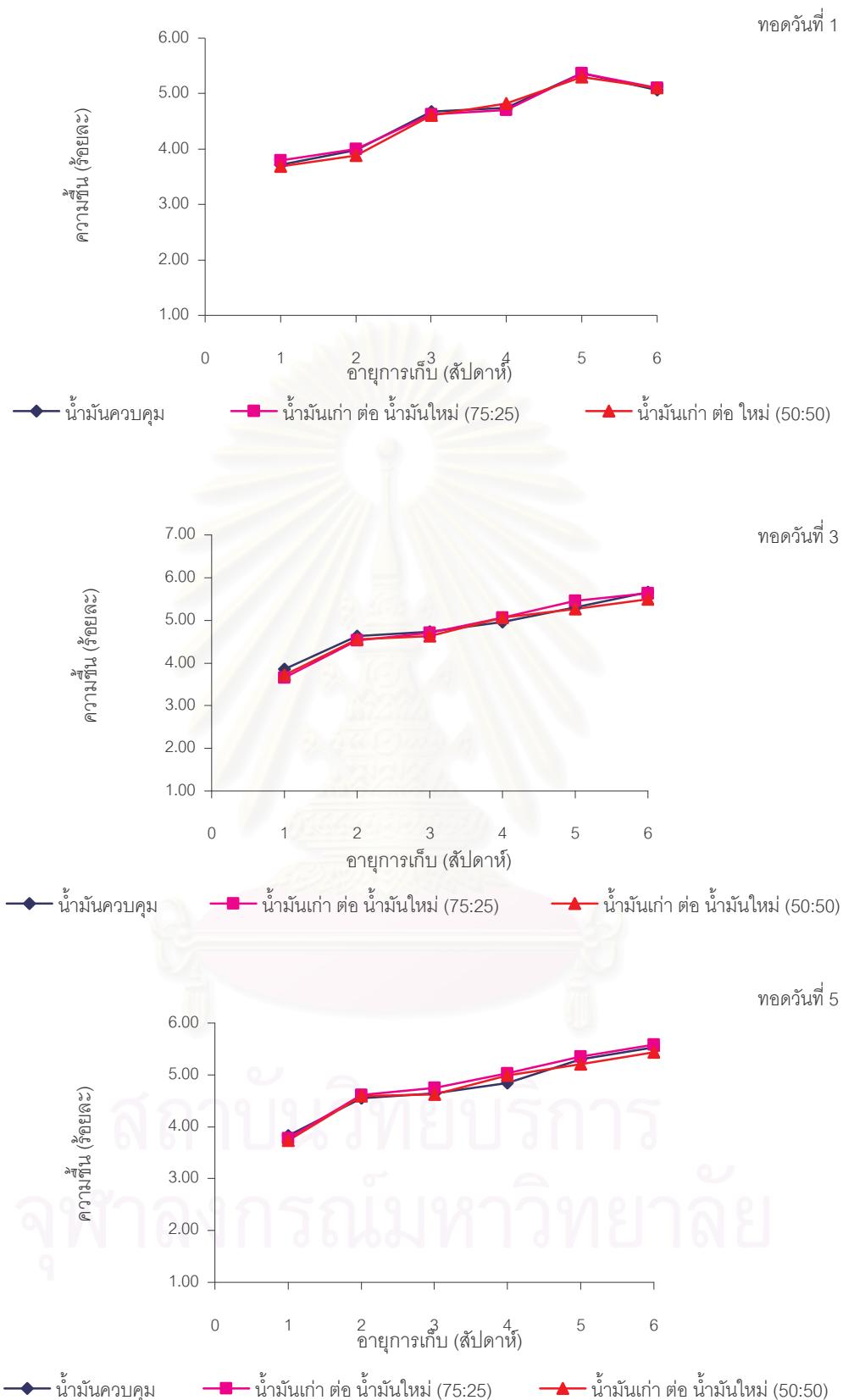
a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.30 ผลของวันที่ทดสอบที่มีต่อร้อยละความชื้นของข้าวพองเสริมไฮโดรเจนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันเมื่อมีอายุการเก็บ 1 3 5 และ 6 สัปดาห์**

วันที่ทดสอบ	ร้อยละความชื้น			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6
1	3.95 <sup>b</sup>	4.76 <sup>b</sup>	5.09 <sup>b</sup>	5.94 <sup>a</sup>
3	4.57 <sup>a</sup>	5.03 <sup>a</sup>	5.59 <sup>a</sup>	5.82 <sup>b</sup>
5	4.58 <sup>a</sup>	4.95 <sup>a</sup>	5.52 <sup>a</sup>	5.93 <sup>a</sup>

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันภายในกลุ่มเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 4.29 พบว่า เมื่อวันที่ทดสอบข้าวพองเพิ่มขึ้นข้าวพองที่ได้มีความชื้นเพิ่มขึ้นโดยข้าวพองที่ทดสอบด้วยน้ำมันที่มีน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่อัตราส่วน 50:50 ในวันที่ 5 มีความชื้นต่างกับข้าวพองที่ทดสอบด้วยน้ำมันควบคุมและจากตารางที่ 4.30 จะเห็นได้ว่า ข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 3 และ 5 มีความชื้นสูงกว่าข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 1 เมื่อมีอายุการเก็บ 1 3 และ 5 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับข้าวพองที่มีอายุการเก็บ 6 สัปดาห์ ข้าวพองที่ทดสอบวันที่ 1 และ 5 จะมีความชื้นสูงกว่าข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 3 และเมื่อพิจารณาจากผลวัดการเปลี่ยนแปลงร้อยละความชื้น พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นความชื้นของข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 1 3 และ 5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงร้อยละความชื้นในระหว่างการเก็บรักษาข้าวพองเสริม ไอโอดีนที่ทดลองในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5

ผลการเปลี่ยนแปลงความซึ้งสอดคล้องกับงานวิจัยของไฟบูลด์ ธรรมรัตน์วาสิกและคณะ (2545) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี กายภาพและประสาทสัมผัสของข้าวพองเสริมไนโตรเจนร้อยละ 1.5 ที่บรรจุในถุงพลาสติกามิเนตรระหว่าง polyamide/polyethylene (PA/PE) แบบสูญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 9 สัปดาห์ พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นความซึ้งจะเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา การที่ข้าวพองมีความซึ้งสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษานั้นเป็นผลมาจากการผลิตภัณฑ์มีความซึ้งในระดับต่ำกว่าความซึ้งในบรรณาการดึงมีโอกาสดูดความซึ้งจากภายนอกเข้าไปโดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง (Labuza, 1982) และการบรรจุข้าวพองในถุง polypropylene ที่ไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของอากาศและความชื้นได้โดยสมบูรณ์ ความซึ้งของข้าวพองเสริมไฮโดรเจนที่เก็บรักษาจนถึงสัปดาห์ที่ 6 จึงมีความซึ้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การทดสอบข้าวพองในน้ำมันที่ได้รับความร้อนเป็นเวลานาน เช่น น้ำมันคงคุณและน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 จะมีความเป็นข้าวสูงกว่าน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50 ซึ่งในกระบวนการทดสอบน้ำมันจะถูกดูดซับเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ข้าวพองจึงช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดจับกับน้ำในอากาศที่ผ่านเข้ามาในบรรจุภัณฑ์ได้ดี ข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันคงคุณและน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 จึงมีความซึ้งระหว่างการเก็บรักษาสูงกว่าข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50

#### การเปลี่ยนแปลงค่าเบอร์ออกไซด์(POV)

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ค่า POV ของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.31 ซึ่งจะเห็นได้ว่า อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบข้าวพองมีปฏิสัมพันธ์ต่อค่า POV ของข้าวพองที่เก็บรักษาเป็นเวลา 3-6 สัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 4.32-4.35

**ตารางที่ 4.31** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า POV ของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์

	แหล่งความแปรปรวน (SOV)	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)						
		0	1	2	3	4	5	6
อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ (A)		*	*	**	**	**	**	**
วันที่ทดสอบ (B)		**	**	**	**	**	**	**
AXB		ns	ns	ns	*	**	**	**
% CV		4.30	4.83	4.91	5.29	5.58	4.26	3.50

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

**ตารางที่ 4.32** ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า POV ของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 3 สัปดาห์

วันที่ทดสอบ	ค่า POV (meq/kg oil)*		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50
1	14.95 <sup>c</sup> ±0.43	13.52 <sup>c</sup> ±0.52	13.33 <sup>c</sup> ±0.86
3	19.55 <sup>c</sup> ±0.56	17.89 <sup>c</sup> ±0.92	15.94 <sup>c</sup> ±1.22
5	200.28 <sup>a</sup> ±5.08	186.26 <sup>b</sup> ±3.89	179.17 <sup>b</sup> ±9.53

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.33** ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า POV ของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

วันที่ทดสอบ	ค่า POV (meq/kg oil)		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50
1	16.79 <sup>de</sup> ±0.83	14.04 <sup>e</sup> ±0.48	13.20 <sup>e</sup> ±0.68
3	21.20 <sup>d</sup> ±0.18	18.19 <sup>de</sup> ±0.99	16.16 <sup>de</sup> ±0.36
5	47.86 <sup>c</sup> ±4.03	137.53 <sup>a</sup> ±4.17	90.62 <sup>b</sup> ±3.56

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.34 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า POV ของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 5 สัปดาห์**

วันที่ทดสอบ	ค่า POV (meq/kg oil)*		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50
1	19.27 <sup>f</sup> ±0.62	16.74 <sup>f</sup> ±1.30	14.68 <sup>f</sup> ±0.74
3	142.32 <sup>a</sup> ±2.15	125.05 <sup>b</sup> ±6.82	98.88 <sup>c</sup> ±2.31
5	42.67 <sup>e</sup> ±1.15	45.98 <sup>de</sup> ±1.09	51.35 <sup>d</sup> ±0.85

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.35 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า POV ของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 6 สัปดาห์**

วันที่ทดสอบ	ค่า POV (meq/kg oil)*		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50
1	21.30 <sup>f</sup> ±0.81	18.30 <sup>fg</sup> ±1.06	15.59 <sup>g</sup> ±0.40
3	158.74 <sup>a</sup> ±4.42	145.40 <sup>b</sup> ±2.73	119.92 <sup>c</sup> ±3.49
5	27.25 <sup>e</sup> ±0.79	33.73 <sup>d</sup> ±0.45	29.55 <sup>de</sup> ±1.50

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 4.32 พบว่า เมื่อเก็บรักษาข้าวพองเป็นเวลา 3 สัปดาห์ข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 5 จะมีค่า POV สูงกว่าข้าวพองที่ทดสอบวันที่ 1 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญ โดยข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมมีค่า POV สูงกว่าข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีการเจือน้ำมันใหม่ทั้ง 2 อัตราส่วนอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) และเมื่อข้าวพองมีอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 4-6 (ตารางที่ 4.33-4.35) มีการเปลี่ยนแปลงค่า POV ในลักษณะที่คล้ายกัน คือ ข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมวันที่ 5 มีค่า POV ลดลงมากที่สุดรองลงมาคือข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ ส่วนข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 1 และ 3 จะมีค่า POV เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบมีผลต่อค่า POV ของข้าวพองเมื่อมีอายุการเก็บ 0-2 สัปดาห์ ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.36 และ 4.37

ตารางที่ 4.36 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่อค่า POV ของข้าวโพงที่ทดสอบในวันที่ 1 และ 5 เมื่อมีอายุการเก็บ 0-2 สัปดาห์

อัตราส่วนน้ำมัน	ค่า POV (meq/kg oil)		
	สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2
น้ำมันควบคุม	14.12 <sup>a</sup>	15.17 <sup>a</sup>	16.75 <sup>a</sup>
น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	13.50 <sup>ab</sup>	14.34 <sup>ab</sup>	15.12 <sup>b</sup>
น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50	12.96 <sup>b</sup>	13.87 <sup>b</sup>	14.63 <sup>b</sup>

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

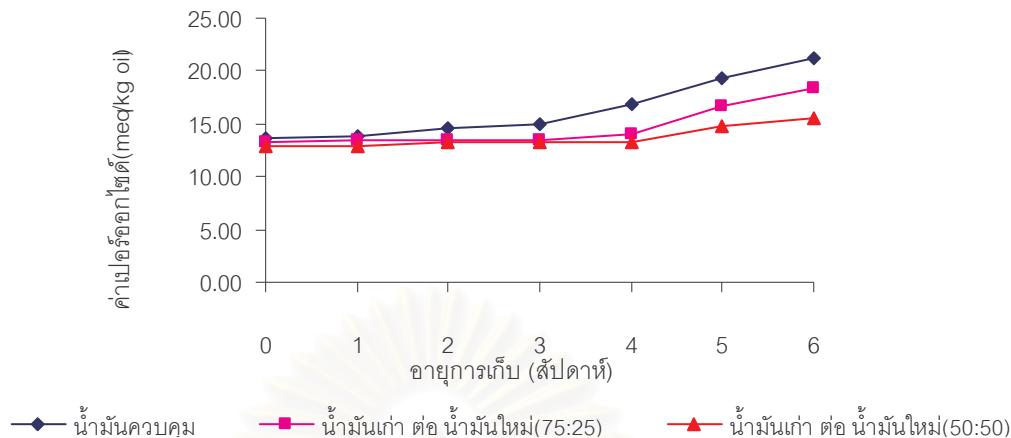
ตารางที่ 4.37 ผลของวันที่ทดสอบต่อค่า POV ของข้าวโพงที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันและมีอายุการเก็บ 0-2 สัปดาห์

วันที่ทดสอบ	ค่า POV (meq/kg oil)		
	สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2
1	13.24 <sup>b</sup>	13.35 <sup>b</sup>	13.73 <sup>c</sup>
3	14.53 <sup>a</sup>	15.80 <sup>a</sup>	17.10 <sup>a</sup>
5	12.80 <sup>b</sup>	14.24 <sup>b</sup>	15.67 <sup>b</sup>

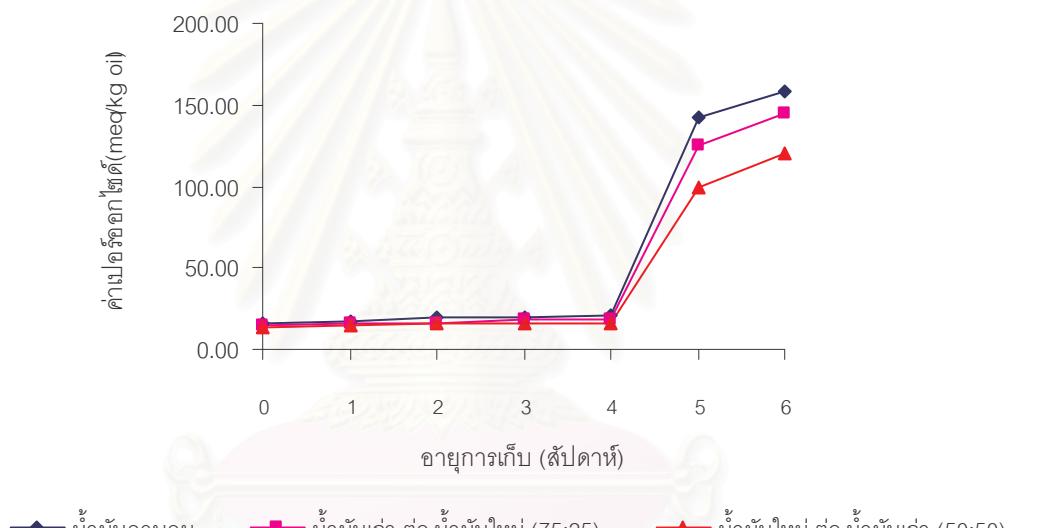
a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 4.36 จะเห็นได้ว่าระหว่างการเก็บรักษา 0-2 สัปดาห์ ข้าวโพงที่ทดสอบในน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50 มีค่า POV น้อยกว่าข้าวโพงที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมอย่างมีนัยสำคัญและข้าวโพงที่ทดสอบในวันที่ 3 จะมีค่า POV สูงกว่าข้าวโพงที่ทดสอบวันที่ 1 และ 5 อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.37) เมื่อพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงค่า POV ของข้าวโพง พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวโพงเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 6 ข้าวโพงที่ทดสอบในน้ำมันที่มีน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 3 อัตราส่วนในวันที่ 1 และ 3 มีค่า POV เพิ่มขึ้น โดยข้าวโพงที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมมีค่า POV เพิ่มขึ้นมากที่สุดรองลงมาคือ ข้าวโพงที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ สำหรับข้าวโพงที่ทดสอบวันที่ 5 ในน้ำมันทั้ง 3 แบบมีค่า POV เพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 3 ข้าวโพงจะมีค่า POV สูงสุด โดยข้าวโพงที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมมีค่า POV สูงรองลงมาคือข้าวโพงที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และ 50:50 ตามลำดับและค่า POV จะมีค่าลดลงจากสัปดาห์ที่ 4-6 โดยข้าวโพงที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมมีค่า POV ลดลงเร็วที่สุด เช่นกัน รองลงมาคือ น้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และ 50:50 ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4.24

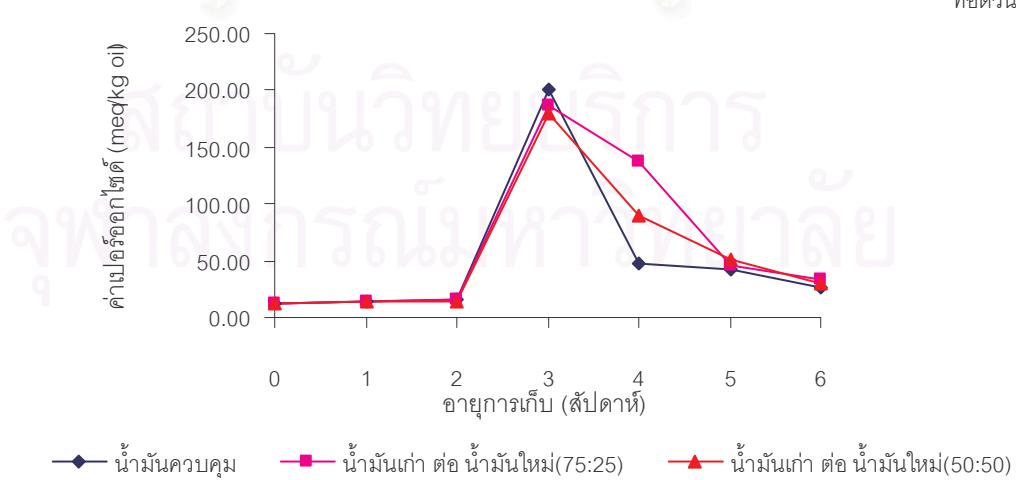
ทดลองที่ 1



ทดลองที่ 3



ทดลองที่ 5



รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงค่า POV ในระหว่างการเก็บรากษาข้าวพองเสริมไอกอเดินที่ทดลองในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ อัตราส่วนต่างๆ ในวันที่ 1 3 และ 5

การเปลี่ยนแปลงค่า POV ของข้าวพองระหว่างการเก็บรักษาจะเป็นผลเนื่องมาจากการที่มีโอกาสและไอน้ำแพร่ผ่านเข้าไปในถุง polypropylene ที่ใช้บรรจุข้าวพองประกอบกับระหว่างการเก็บรักษาข้าวพองได้ถูกแสงและอุณหภูมิห้องซึ่งบางครั้งสูงเกิน 37 องศาเซลเซียส ซึ่งทั้งสองเป็นปัจจัยที่ช่วยเร่งให้ข้าวพองที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สารประกอบไฮโดรperออกไซด์ (ROOH) ที่เกิดจากออกซิเดชันซึ่งสารประกอบชนิดนี้จะไม่เสียร กล่าวคือสามารถแตกตัวให้สารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น แอลกอฮอล์ คีโตนและแอลดีไฮด์มีผลต่อกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดนานขึ้น การเกิด ROOH จะลดน้อยลงมีผลให้ค่า POV ลดลงดังเช่นที่แสดงในผลการทดลอง (Fennema, 1996) จากงานวิจัยของ Rho และคณะ (1986) ที่ศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงค่า  $a_w$  ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงกึ่งสำเร็จลุյป Ramyon ที่ผ่านการทำแบบแบบน้ำมันท่วมโดยใช้น้ำมันปาล์มที่ไม่มีการเติม antioxidant และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่า การเกิดกลิ่นหืนหรือปิรามาน hexanal จะมีค่าต่ำสุดเมื่อบาหมีมีค่า  $a_w$  น้อยกว่า 0.30 และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า  $a_w$  เพิ่มสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า  $a_w$  และค่าเบอร์อกราไซด์ของข้าวพองเสริมไฮโอดีนในงานวิจัยนี้ เช่นกัน

นอกจากนี้งานวิจัยของ Jannalagadda และคณะ (2001) ที่ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวของอินเดีย 3 ชนิดที่ผ่านกระบวนการการทำแบบน้ำมันท่วม ได้แก่ Muruku (ผลิตภัณฑ์ทำจากการผสมแป้งข้าวกับแป้ง black gram dhal ผ่านการทำ extrude มีลักษณะคล้ายกวยเตี๋ยว) Chekodi (ทำจาก refined wheat flour) และ potato chips เพื่อกำหนดค่าทางเคมีที่บ่งบอกถึงคุณภาพผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาในถุง polyethylene ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0 15 30 และ 90 วัน พบว่า ในระหว่างการเก็บรักษา 30 วัน ค่า POV ของ Muruku และ Chekodi มีค่าเพิ่มขึ้น 13.6 และ 14.7 meq /kg oil ตามลำดับ ในขณะที่ค่าสังเกตอื่น ๆ ได้แก่ acid value kreis test p-anisidine และ thiobarbituric acid ไม่เปลี่ยนแปลงดังนั้นการใช้ค่า POV ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนมขบเคี้ยวที่ผ่านการทำแบบน้ำมันท่วมในช่วงการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน จึงมีความเหมาะสมและจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขนมกรอบจากธัญชาติ (มอก.1534-2541) ได้กำหนดให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า POV ไม่เกิน 30 meq/kg oil ดังนั้น ข้าวพองเสริมไฮโอดีนที่ทดสอบในน้ำมันควบคุม น้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และ 50:50 ที่ทดสอบในวันที่ 1 3 และ 5 มีค่า POV ไม่เกินมาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดเมื่อมีอายุการเก็บรักษา 6 สัปดาห์ (21.30 18.30 และ 15.59 meq/kg oil ) 4 สัปดาห์ (21.20 18.19 และ 16.16 meq/kg oil ) และ 2 สัปดาห์ (16.55 15.67 และ 14.79 meq/kg oil ) ตามลำดับ

### การเปลี่ยนแปลงค่า $a_w$

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติค่า  $a_w$  ของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่เวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.38

ตารางที่ 4.38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า  $a_w$  ของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์

แหล่งความแปรปรวน (SOV)	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)						
	0	1	2	3	4	5	6
อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ (A)	ns	ns	ns	**	**	**	**
วันที่ทดสอบ (B)	ns	**	**	**	*	**	**
A×B	ns	**	ns	*	**	**	ns
% CV	6.26	1.02	3.62	2.86	1.49	1.11	2.06

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ 4.38) พบว่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบมีผลต่อค่า  $a_w$  ของข้าวพองเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 3 4 และ 5 สัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 4.39-4.42

ตารางที่ 4.39 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า  $a_w$  ของ ข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 1 สัปดาห์

วันที่ทดสอบ	ค่า $a_w$ *		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50
1	$0.345^a \pm 0.002$	$0.340^a \pm 0.001$	$0.340^a \pm 0.002$
3	$0.340^a \pm 0.006$	$0.330^b \pm 0.001$	$0.325^b \pm 0.007$
5	$0.290^d \pm 0.003$	$0.310^c \pm 0.001$	$0.310^c \pm 0.000$

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ช้อน

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.40 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า  $a_w$  ของข้าวโพงที่มีอายุการเก็บรักษา 3 สัปดาห์**

วันที่ทดสอบ	ค่า $a_w^*$		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50
1	0.395 <sup>a</sup> ±0.004	0.360 <sup>b</sup> ±0.004	0.360 <sup>b</sup> ±0.002
3	0.390 <sup>a</sup> ±0.026	0.340 <sup>b</sup> ±0.000	0.355 <sup>b</sup> ±0.004
5	0.340 <sup>b</sup> ±0.001	0.350 <sup>b</sup> ±0.007	0.345 <sup>b</sup> ±0.009

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.41 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า  $a_w$  ของข้าวโพงที่มีอายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์**

วันที่ทดสอบ	ค่า $a_w^*$		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50
1	0.375 <sup>ab</sup> ±0.003	0.350 <sup>de</sup> ±0.004	0.340 <sup>ef</sup> ±0.001
3	0.385 <sup>a</sup> ±0.004	0.325 <sup>g</sup> ±0.004	0.335 <sup>fg</sup> ±0.008
5	0.365 <sup>bc</sup> ±0.005	0.360 <sup>cd</sup> ±0.002	0.350 <sup>de</sup> ±0.002

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.42 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่า  $a_w$  ของข้าวโพงที่มีอายุการเก็บรักษา 5 สัปดาห์**

วันที่ทดสอบ	ค่า $a_w^*$		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50
1	0.385 <sup>b</sup> ±0.003	0.380 <sup>b</sup> ±0.001	0.355 <sup>de</sup> ±0.002
3	0.400 <sup>a</sup> ±0.001	0.350 <sup>e</sup> ±0.001	0.380 <sup>b</sup> ±0.001
5	0.365 <sup>c</sup> ±0.005	0.360 <sup>cd</sup> ±0.002	0.350 <sup>e</sup> ±0.001

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

การเก็บรักษาข้าวพองทอดเป็นเวลา 1 3 4 และ 5 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.39-4.42) พบร่วมกันที่ทอเดินข้าวพองเพิ่มขึ้นค่า  $a_w$  ของข้าวพองมีแนวโน้มลดลงและการเจือน้ำมันด้วยน้ำมันใหม่ทั้ง 2 อัตราส่วนทำให้ข้าวพองที่ทอดในวันที่ 1 และ 3 มีค่า  $a_w$  น้อยกว่าข้าวพองที่ทอดในน้ำมันควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.40-4.42) แต่ที่อายุการเก็บ 3 และ 4 สัปดาห์ ข้าวพองที่ทอดในวันที่ 5 ด้วยน้ำมันทั้ง 3 แบบมีค่า  $a_w$  ไม่แตกต่างกัน

นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่มีผลต่อค่า  $a_w$  ของข้าวพองที่อายุการเก็บ 6 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.43) และวันที่ทอดมีผลต่อค่า  $a_w$  ของข้าวพองที่อายุการเก็บรักษา 2 และ 6 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.44) การทอดข้าวพองในน้ำมันที่มีการเจือน้ำมันใหม่ทั้ง 2 อัตราส่วน ทำให้ข้าวพองมีค่า  $a_w$  น้อยกว่าข้าวพองที่ทอดในน้ำมันควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) และเมื่อทอเดินข้าวพองในวันที่ 1 และ 3 ค่า  $a_w$  ของข้าวพองที่เก็บรักษาเป็นเวลา 2 และ 6 สัปดาห์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่อทอเดินข้าวพองในวันที่ 5 เมื่อพิจารณาจากผลวัดการเปลี่ยนแปลงค่า  $a_w$  (รูปที่ 4.25) พบร่วมกันที่ 1 3 และ 5 ข้าวพองที่ทอดในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันมีค่า  $a_w$  เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยข้าวพองที่ทอดในน้ำมันควบคุมมีค่า  $a_w$  สูงกว่าข้าวพองที่ทอดในน้ำมันที่มีการเจือน้ำมันใหม่ทั้ง 2 อัตราส่วน

การที่ค่า  $a_w$  ของข้าวพองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาันเป็นผลมาจากการชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้คือถุง polypropylene ซึ่งมีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ และไอน้ำได้ไม่สมบูรณ์จึงมีโอกาสที่ความชื้นจากบรรยากาศ (ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงร้อยละ 60-70) ที่มีค่าสูงกว่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์จะแพร่ผ่านเข้ามายังเป็นเหตุให้ผลิตภัณฑ์ดูความชื้นที่มีค่าสูงกว่าเข้าไปในผลิตภัณฑ์ (Labuza, 1982) ทำให้มีปริมาณความชื้นสูงขึ้นจากเดิมค่า  $a_w$  จึงมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วยและเหตุที่ข้าวพองที่ทอดในน้ำมันที่มีการเตือนคุณภาพเนื่องจากน้ำมันเมื่อได้รับความร้อนเป็นเวลานานความเป็นชื้นของน้ำมันจะเพิ่มขึ้น (Bheemreddy, 2002) จึงเกี่ยวโยงกับการจับไม้เลกุลของน้ำที่ผ่านเข้าไปภายในถุงบรรจุเพิ่มขึ้น ค่า  $a_w$  จึงเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของค่า  $a_w$  และความชื้นของข้าวพองมีผลให้ความกรอบของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงด้วยดังจะเห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของเนื้อสัมผัส

มีรายงานการเปลี่ยนแปลงค่า  $a_w$  ของข้าวพองระหว่างการเก็บรักษา เช่น งานวิจัยของไพบูลย์ ธรรมรัตน์วารสิกและคณะ (2545) ที่ทดลองเก็บรักษาข้าวพองเสริมไข่อาหารในถุง Laminate ระหว่าง PA/PE แบบสูญญากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 9 สัปดาห์ พบร่วมกันที่ค่า  $a_w$  ของข้าวพองมีค่าสูงขึ้นจาก 0.44 ในวันที่ 1 เป็น 0.61 ในสัปดาห์ที่ 9 ซึ่งเป็นผลให้ข้าวพองมีค่าความชื้นสูงขึ้นและมีค่าความกรอบลดลง (ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น) เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.43 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่อค่า  $a_w$  ของข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 13 และ 5 เมื่อมีอายุการเก็บ 6 สัปดาห์

อัตราส่วนน้ำมัน	ค่า $a_w$
น้ำมันควบคุม	0.395 <sup>a</sup>
น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	0.377 <sup>b</sup>
น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50	0.367 <sup>b</sup>

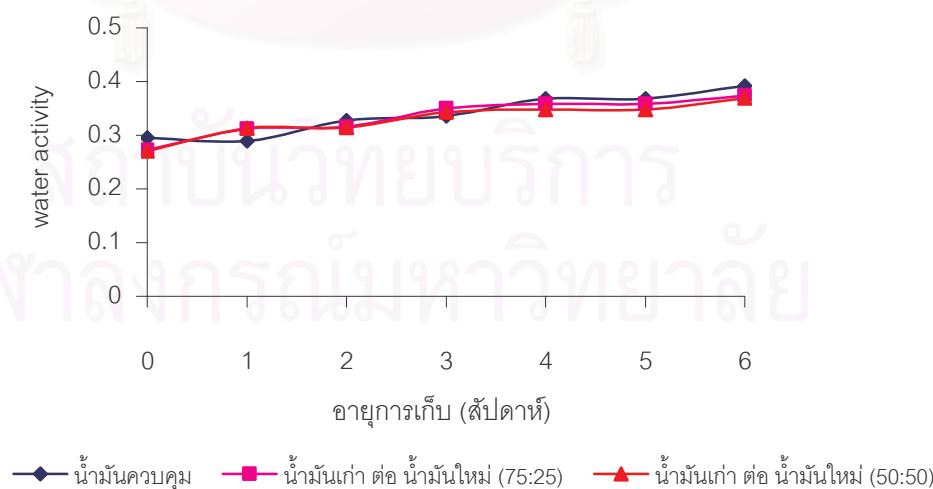
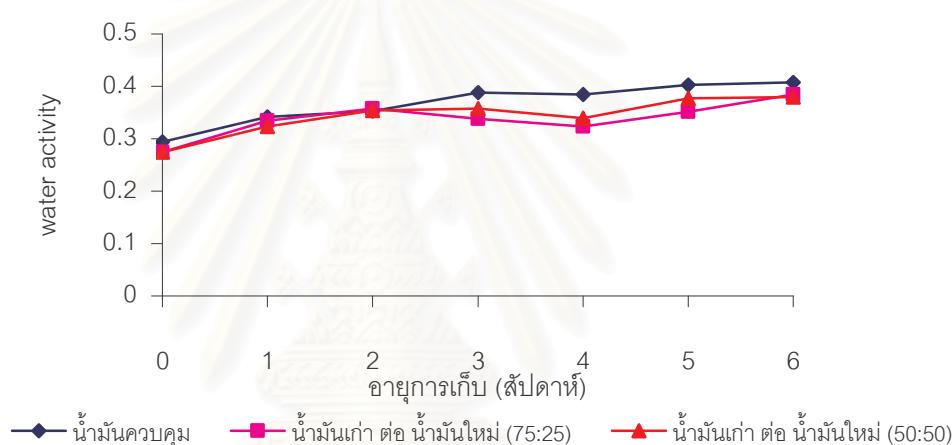
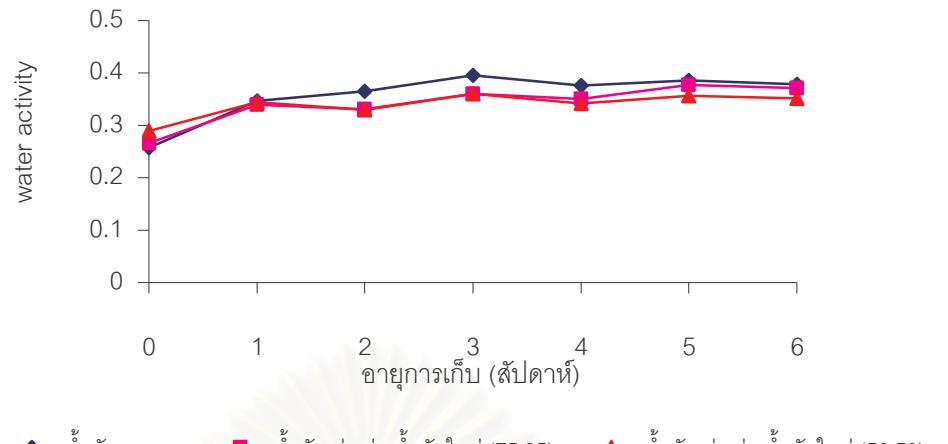
a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.44 ผลของวันที่ทดสอบต่อค่า  $a_w$  ของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันและมีอายุการเก็บ 2 และ 6 สัปดาห์

วันที่ทดสอบ	ค่า $a_w$	
	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 6
1	0.342 <sup>a</sup>	0.367 <sup>c</sup>
3	0.353 <sup>a</sup>	0.392 <sup>a</sup>
5	0.320 <sup>b</sup>	0.380 <sup>b</sup>

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**



รูปที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลงค่า  $a_w$  ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวของเสริมไฮโดรเจนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ อัตราส่วนต่างๆ ในวันที่ 1 3 และ 5

### การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็ง (hardness) ของเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสข้าวพองเสริมไอกोเดินที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ตลอดการเก็บรักษา 0-6 สัปดาห์ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.45 ซึ่งจะเห็นได้ว่า อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบไม่มีผลต่อค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสข้าวพองที่เก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

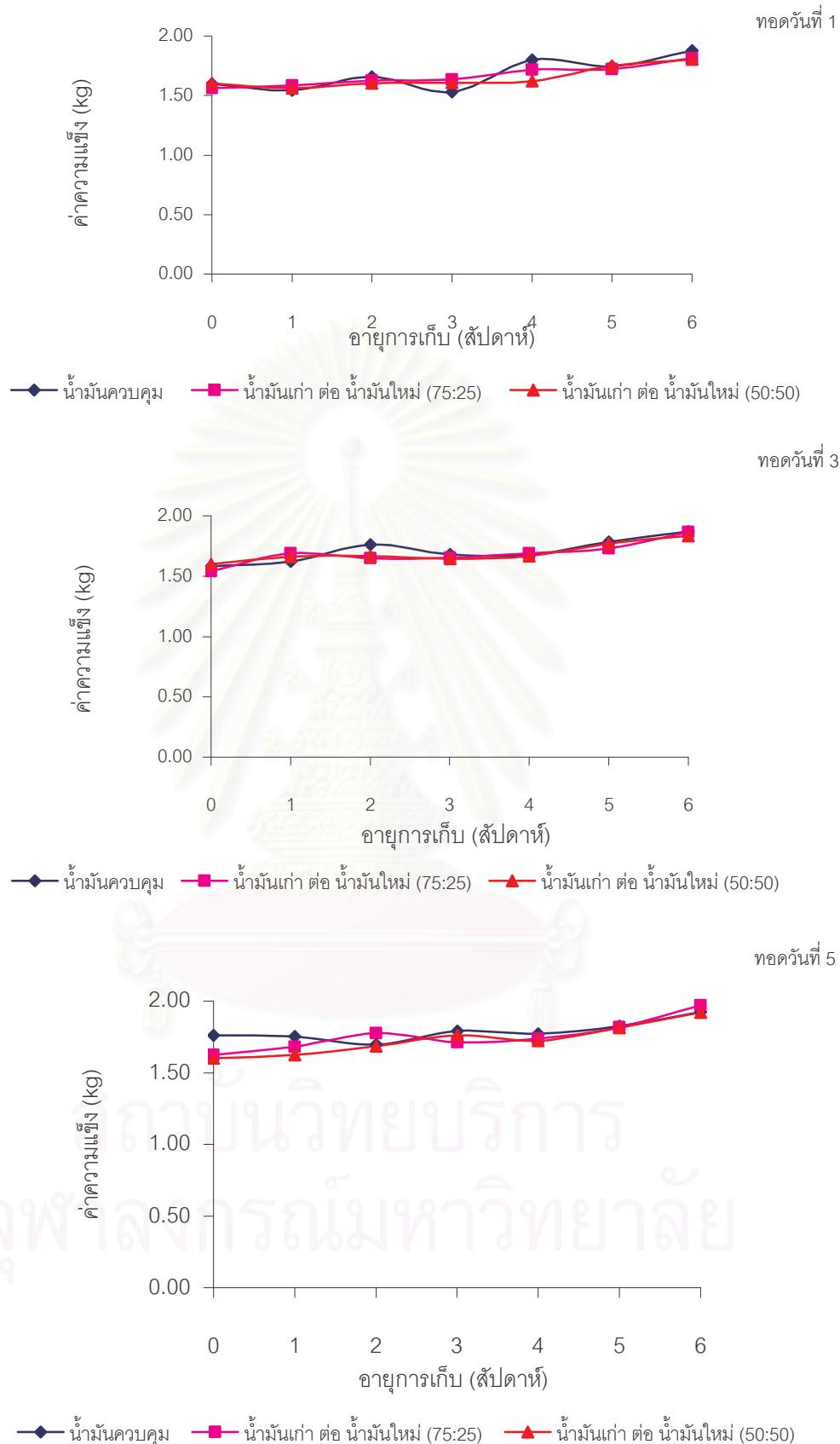
ตารางที่ 4.45 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแข็งของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์

แหล่งความแปรปรวน (SOV)	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)						
	0	1	2	3	4	5	6
อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ (A)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
วันที่ทดสอบ (B)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
A×B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
% CV	7.17	5.31	6.64	5.90	5.23	3.29	4.79

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

เมื่อพิจารณาจากผลวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสข้าวพอง พบร่วมกับข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันทั้ง 3 แบบในวันที่ 1 3 และ 5 มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมมีค่าความแข็งมากที่สุด รองลงมาคือข้าวพองที่ทดสอบด้วยน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ (รูปที่ 4.26)

**กระบวนการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**



รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงค่า hardness ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวพองเสริมไอกोเดินที่ทodoran ในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่า ต่อ น้ำมันใหม่อัตราส่วนต่าง ๆ ในวันที่ 1 3 และ 5

การที่ข้าวพองมีค่า hardness เพิ่มสูงขึ้นระหว่างการเก็บรักษาข้าวพองเนื่องจากไอน้ำที่แพร่ผ่านถุง polypropylene ที่ใช้บรรจุข้าวพองทำให้ข้าวพองมีความชื้นสูงขึ้นซึ่งปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็น plasticization ส่วนที่เป็น starch-protein matrix จะมีความนิ่มมากขึ้นก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ แรงสูงสุดที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการแตกหักหรือสูญเสียรูปร่างจึงสูงขึ้น (Martinez – Navarraete *et al.*, 2004 ; Katz และ Labuza, 1981)

### การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L ab)

### การเปลี่ยนแปลง ค่า L (lightness)

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ค่า L ของข้าวพองเสริมไฮโอดีนที่ทดสอบด้วยน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกัน ในวันที่ 1 3 และ 5 มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.46

ตารางที่ 4.46 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า L ของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์

	แหล่งความแปรปรวน (SOV)	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)						
		0	1	2	3	4	5	6
อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ (A)	ns	*	**	ns	*	*	**	
วันที่ทดสอบ (B)	**	**	**	**	**	**	**	
AXB	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
% CV	1.41	1.64	0.97	1.59	1.08	1.27	1.14	

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

จากตารางที่ 4.46 พบร้า อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่มีผลต่อค่า L ของข้าวพองที่เก็บรักษาเป็นเวลา 1 2 4 5 และ 6 สัปดาห์โดยการเจือน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ทั้ง 2 อัตราส่วนทำให้ข้าวพองมีค่า L สูงกว่าข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันควบคุม (ตารางที่ 4.47) และวันที่ทดสอบข้าวพองมีผลต่อค่า L ของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 0-6 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) เมื่อ

จำนวนวันที่ใช้น้ำมันข้าวในการทดสอบข้าวพองเพิ่มขึ้น ค่า L ของข้าวพองที่เก็บรักษาแต่ละสัปดาห์จะมีค่าลดลง (ตารางที่ 4.48)

**ตารางที่ 4.47** ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่อค่า L ของข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 1 3 และ 5 เมื่อมีอายุการเก็บ 1 2 4 5 และ 6 สัปดาห์

อัตราส่วนน้ำมัน	ค่า L				
	สัปดาห์ 1	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 5	สัปดาห์ 6
น้ำมันควบคุม	63.69 <sup>b</sup>	64.03 <sup>b</sup>	64.14 <sup>b</sup>	63.84 <sup>b</sup>	63.75 <sup>b</sup>
น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	64.87 <sup>ab</sup>	64.89 <sup>a</sup>	65.01 <sup>ab</sup>	65.02 <sup>a</sup>	64.92 <sup>a</sup>
น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50	65.49 <sup>a</sup>	65.60 <sup>a</sup>	65.58 <sup>a</sup>	65.61 <sup>a</sup>	65.63 <sup>a</sup>

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

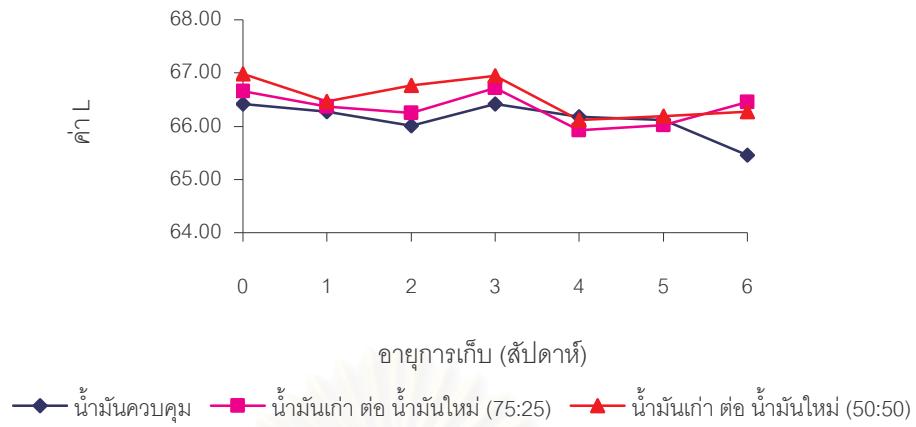
**ตารางที่ 4.48** ผลของวันที่ทดสอบต่อค่า L ของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันและมีอายุการเก็บ 0-6 สัปดาห์

วันที่	ค่า L						
	ทดสอบ	สัปดาห์ 0	สัปดาห์ 1	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 3	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 5
1	66.68 <sup>a</sup>	66.37 <sup>a</sup>	66.34 <sup>a</sup>	66.69 <sup>a</sup>	66.07 <sup>a</sup>	66.11 <sup>a</sup>	66.06 <sup>a</sup>
3	65.13 <sup>b</sup>	64.52 <sup>b</sup>	64.62 <sup>b</sup>	64.97 <sup>b</sup>	64.85 <sup>b</sup>	64.65 <sup>b</sup>	64.74 <sup>b</sup>
5	63.49 <sup>c</sup>	63.16 <sup>b</sup>	63.56 <sup>c</sup>	63.49 <sup>c</sup>	63.81 <sup>c</sup>	63.71 <sup>b</sup>	63.48 <sup>c</sup>

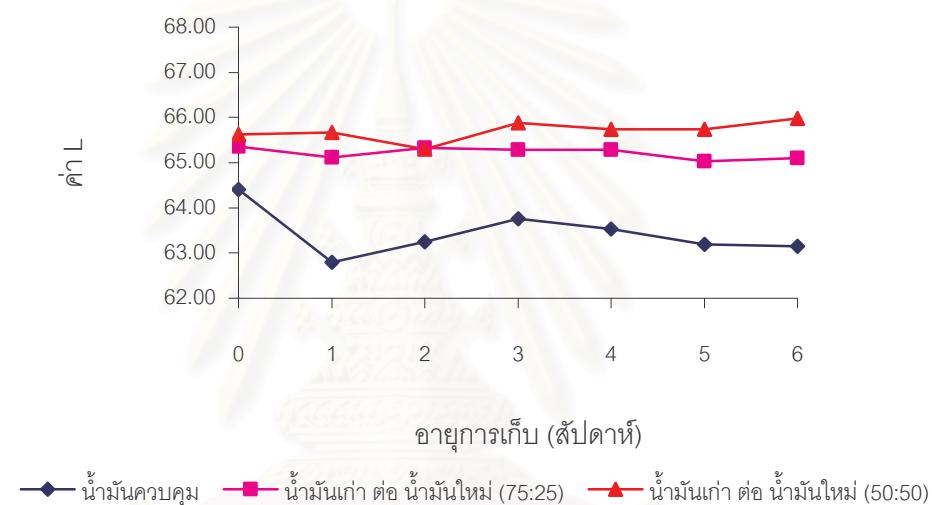
a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อพิจารณาจากผลวัดการเปลี่ยนแปลงค่า L ของข้าวพองเสริมไอกोดีนระหว่างการเก็บรักษา 6 สัปดาห์ (รูปที่ 4.27) พบร่วมค่า L ของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ทั้ง 3 ระดับในวันที่ 1 3 และ 5 มีแนวโน้มคงที่ระหว่างการเก็บรักษาในถุง polypropylene ที่อุณหภูมิห้องทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสภาวะแวดล้อมระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ ความชื้นและอุณหภูมิซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์อาหารเกิดปฏิกิริยาการเกิดสี น้ำตาล มีการเปลี่ยนแปลงหรือมีค่าต่ำกว่าระดับที่จะเร่งให้ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างการเก็บรักษาซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงคล่องที่ได้แสดงผลการวิจัยของไพบูลย์ ธรรมรัตน์ฯ สิกะและคณะ (2545) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวพองเสริมโดยอาหารระหว่างการเก็บรักษา 9 สัปดาห์ พบร่วมระยะเวลาเดียวกับการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่า L ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมโดยอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

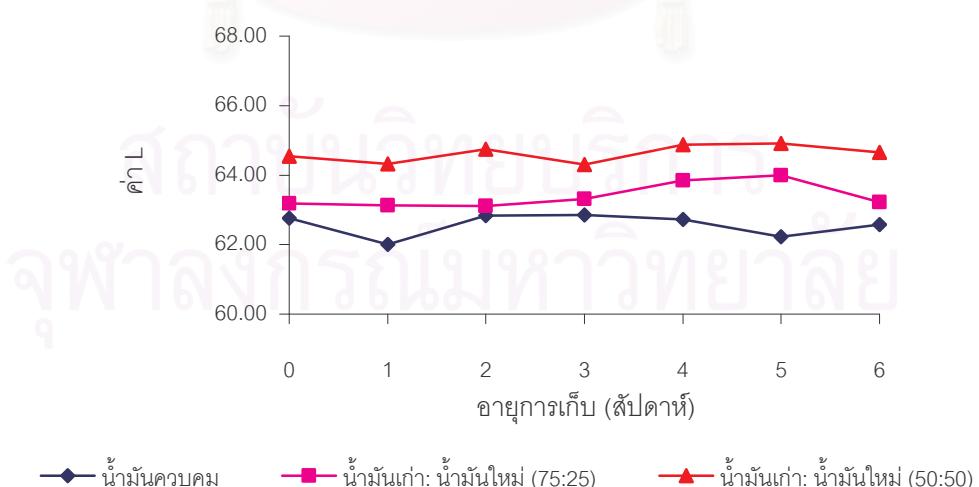
ทดสอบวันที่ 1



ทดสอบวันที่ 3



ทดสอบวันที่ 5



รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงค่า L ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวโพงเสริมไฮโดรเจนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่า ต่อ น้ำมันใหม่ อัตราส่วนต่างๆ ในวันที่ 1 3 และ 5

### การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (ค่า a)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของข้าวพองเสริมไอกोดีนระหว่างการเก็บรักษา 0-6 สัปดาห์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.49 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันก่อต่อ น้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบมีผลต่อค่าสีแดงของข้าวพองที่มีอายุการเก็บแต่ละสัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) ดังแสดงผลในตารางที่ 4.50-4.56

**ตารางที่ 4.49** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีแดงของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมัน ที่มีอัตราส่วนน้ำมันก่อต่อ น้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์

แหล่งความแปรปรวน (SOV)	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)						
	0	1	2	3	4	5	6
อัตราส่วนน้ำมันก่อต่อ น้ำมันใหม่ (A)	**	**	**	**	**	**	**
วันที่ทดสอบ (B)	**	**	**	**	**	**	**
AxB	**	**	**	**	**	**	**
% CV	-9.11	-8.23	-8.00	-8.54	-9.16	-8.77	-8.17

\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

**ตารางที่ 4.50** ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันก่อต่อ น้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีแดงของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์

วันที่ทดสอบ	ค่าสีแดง *		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันก่อต่อ น้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันก่อต่อ น้ำมันใหม่ 50:50
1	$-0.48 \pm 0.01$	$-0.44^{ef} \pm 0.04$	$-0.47^f \pm 0.03$
3	$-0.25^c \pm 0.02$	$-0.38^d \pm 0.03$	$-0.39^{de} \pm 0.02$
5	$0.30^a \pm 0.03$	$-0.14^b \pm 0.01$	$-0.19^b \pm 0.02$

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.51 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีแดงของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 1 สัปดาห์**

วันที่ทดสอบ	ค่าสีแดง *		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50
1	-0.46 <sup>e</sup> ±0.03	-0.47 <sup>e</sup> ±0.05	-0.50 <sup>e</sup> ±0.01
3	-0.24 <sup>c</sup> ±0.01	-0.37 <sup>d</sup> ±0.01	-0.37 <sup>d</sup> ±0.01
5	0.36 <sup>a</sup> ±0.03	-0.14 <sup>b</sup> ±0.01	-0.20 <sup>c</sup> ±0.01

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.52 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีแดงของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 2 สัปดาห์**

วันที่ทดสอบ	ค่าสีแดง*		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50
1	-0.44 <sup>f</sup> ±0.01	-0.43 <sup>f</sup> ±0.01	-0.50 <sup>g</sup> ±0.02
3	-0.27 <sup>d</sup> ±0.01	-0.36 <sup>e</sup> ±0.04	-0.40 <sup>ef</sup> ±0.04
5	0.34 <sup>a</sup> ±0.03	-0.15 <sup>b</sup> ±0.01	-0.20 <sup>c</sup> ±0.01

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.53 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีแดงของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 3 สัปดาห์**

วันที่ทดสอบ	ค่าสีแดง *		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50
1	-0.43 <sup>ef</sup> ±0.04	-0.49 <sup>g</sup> ±0.02	-0.47 <sup>fg</sup> ±0.04
3	-0.22 <sup>c</sup> ±0.01	-0.35 <sup>d</sup> ±0.01	-0.38 <sup>de</sup> ±0.01
5	0.36 <sup>a</sup> ±0.01	-0.15 <sup>b</sup> ±0.01	-0.22 <sup>c</sup> ±0.01

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.54 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีแดงของข้าวโพงที่มีอายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์**

วันที่ทดสอบ	ค่าสีแดง *		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50
1	-0.40 <sup>e</sup> ±0.00	-0.54 <sup>g</sup> ±0.03	-0.46 <sup>f</sup> ±0.03
3	-0.26 <sup>c</sup> ±0.02	-0.33 <sup>d</sup> ±0.01	-0.41 <sup>ef</sup> ±0.02
5	0.35 <sup>a</sup> ±0.03	-0.15 <sup>b</sup> ±0.01	-0.22 <sup>c</sup> ±0.00

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.55 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีแดงของข้าวโพงที่มีอายุการเก็บรักษา 5 สัปดาห์**

วันที่ทดสอบ	ค่าสีแดง *		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50
1	-0.43 <sup>fg</sup> ±0.03	-0.42 <sup>f</sup> ±0.03	-0.48 <sup>g</sup> ±0.02
3	-0.28 <sup>d</sup> ±0.01	-0.33 <sup>g</sup> ±0.02	-0.39 <sup>f</sup> ±0.03
5	0.36 <sup>a</sup> ±0.03	-0.15 <sup>b</sup> ±0.01	-0.22 <sup>c</sup> ±0.01

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.56 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีแดงของข้าวโพงที่มีอายุการเก็บรักษา 6 สัปดาห์**

วันที่ทดสอบ	ค่าสีแดง *		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50
1	-0.42 <sup>ef</sup> ±0.01	-0.46 <sup>fg</sup> ±0.04	-0.50 <sup>g</sup> ±0.01
3	-0.24 <sup>c</sup> ±0.02	-0.31 <sup>d</sup> ±0.01	-0.41 <sup>e</sup> ±0.02
5	0.33 <sup>a</sup> ±0.02	-0.15 <sup>b</sup> ±0.00	-0.21 <sup>c</sup> ±0.01

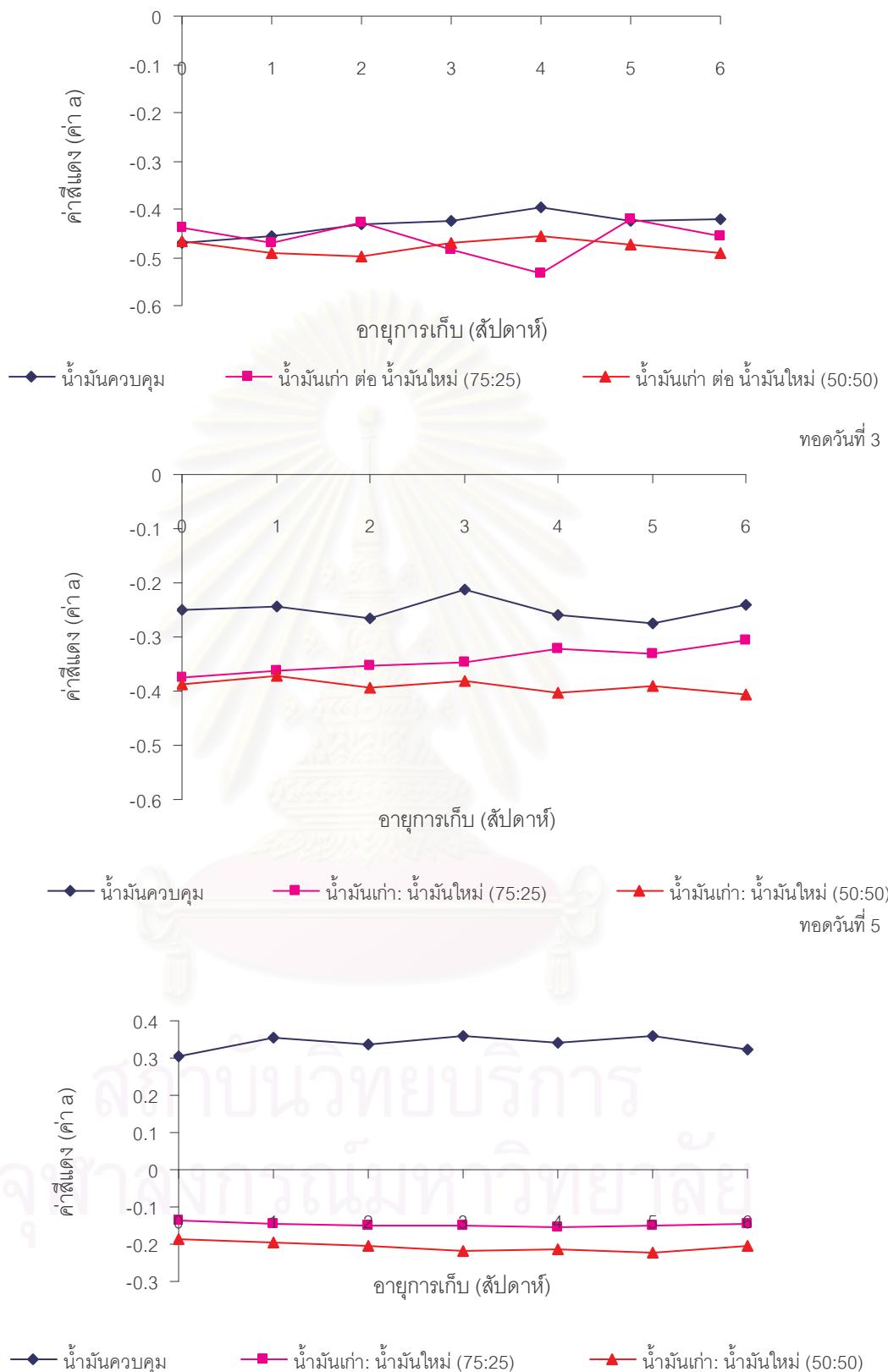
\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 4.50-4.56 พบร่วมระหว่างการเก็บรักษาข้าวพองแต่ละสัปดาห์ ข้าวพองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง เหมือนกัน คือ เมื่อวันที่ทดสอบข้าวพองเพิ่มขึ้นค่าสีแดงของข้าวพองจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การเจือน้ำมันใหม่มีผลทำให้ข้าวพองมีค่า  $a_w$  น้อยกว่าข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยระดับของความแตกต่างขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำมันใหม่ที่เติมลงไป เมื่อพิจารณาผลวัดการเปลี่ยนแปลงค่า  $a_w$  ของข้าวพองระหว่างการเก็บรักษา 6 สัปดาห์ ข้าวพองที่ทดสอบด้วยน้ำมันทั้ง 3 แบบในแต่ละวันมีแนวโน้มคงที่ (รูปที่ 4.28) โดยข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมมีค่าสีแดงสูงกว่าข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงค่า  $a_w$  ค่อนข้างน้อยดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์จะเกิดได้ช้า (Fennema, 1996) จึงทำให้ค่าสีแดงค่อนข้างคงที่ อย่างไรก็ตามข้าวพองซึ่งทดสอบในน้ำมันควบคุมในวันที่ 3 และ 5 มีค่าสีแดงสูงกว่าข้าวพองที่ทดสอบด้วยน้ำมันที่มีการเจือน้ำมันใหม่ทั้ง 2 อัตราส่วนนั้นเป็นผลมาจากการที่น้ำมันได้รับความร้อนเป็นเวลานานและเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน เช่น การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันได้สารประกอบที่ทำให้น้ำมันมีสีเข้มและส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบในน้ำมันนั้นด้วย

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ท่อคุณที่ 1



รูปที่ 4.28 การเปลี่ยนแปลงสีแดง (ค่า a) ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวพองเสริมไโอลีดีนที่ท่อ  
ในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ อัตราส่วนต่างๆ ในวันที่ 1 3 และ 5

### การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (ค่า b)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติค่าสีเหลืองของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.57

ตารางที่ 4.57 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสีเหลืองของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์

แหล่งความแปรปรวน (SOV)	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)						
	0	1	2	3	4	5	6
อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ (A)	**	**	*	*	**	**	**
วันที่ทดสอบ (B)	**	**	**	**	**	**	**
AXB	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
% CV	1.75	3.85	3.81	4.81	4.31	2.81	3.78

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ )

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ 4.57) จะเห็นได้ว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีเหลืองของข้าวพองที่เก็บรักษาเป็นเวลา 0 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) (ตารางที่ 4.58) นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่มีผลต่อค่าสีเหลืองของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 1-6 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.59) และวันที่ทดสอบมีผลต่อค่าสีเหลืองของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันเมื่อมีอายุการเก็บ 1-6 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p \leq 0.01$ ) ผลแสดงในตารางที่ 4.60

**ตารางที่ 4.58 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่อค่าสีเหลืองของข้าวพองที่มีอายุการเก็บรักษา 0 สัปดาห์**

วันที่ทดสอบ	ค่าสีเหลือง *		
	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50
1	11.62 <sup>ef</sup> ±0.21	11.53 <sup>ef</sup> ±0.24	11.30 <sup>f</sup> ±0.17
3	13.79 <sup>b</sup> ±0.08	12.35 <sup>d</sup> ±0.29	12.01 <sup>de</sup> ±0.01
5	15.16 <sup>a</sup> ±0.21	13.98 <sup>b</sup> ±0.18	13.25 <sup>c</sup> ±0.39

\* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวในแต่ละ treatment จำนวน 2 ชุด

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.59 ผลของอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่อค่าสีเหลืองของข้าวพองที่ทดสอบในวันที่ 1 3 และ 5 เมื่อมีอายุการเก็บ 1 - 6 สัปดาห์**

อัตราส่วนน้ำมัน	ค่าสีเหลือง					
	สัปดาห์ 1	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 3	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 5	สัปดาห์ 6
น้ำมันควบคุม	13.63 <sup>a</sup>	13.38 <sup>a</sup>	13.43 <sup>a</sup>	13.79 <sup>a</sup>	13.71 <sup>a</sup>	13.61 <sup>a</sup>
น้ำมันเก่าต่อ	12.89 <sup>b</sup>	12.69 <sup>b</sup>	12.76 <sup>ab</sup>	12.69 <sup>b</sup>	12.73 <sup>b</sup>	12.75 <sup>b</sup>
น้ำมันใหม่ 75:25						
น้ำมันเก่าต่อ	12.45 <sup>b</sup>	12.38 <sup>b</sup>	12.37 <sup>b</sup>	12.28 <sup>b</sup>	12.40 <sup>b</sup>	12.46 <sup>b</sup>
น้ำมันใหม่ 50:50						

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันภายในกลุ่มเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.60 ผลของวันที่ทดสอบต่อค่าสีเหลืองของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันและมีอายุการเก็บ 1-6 สัปดาห์**

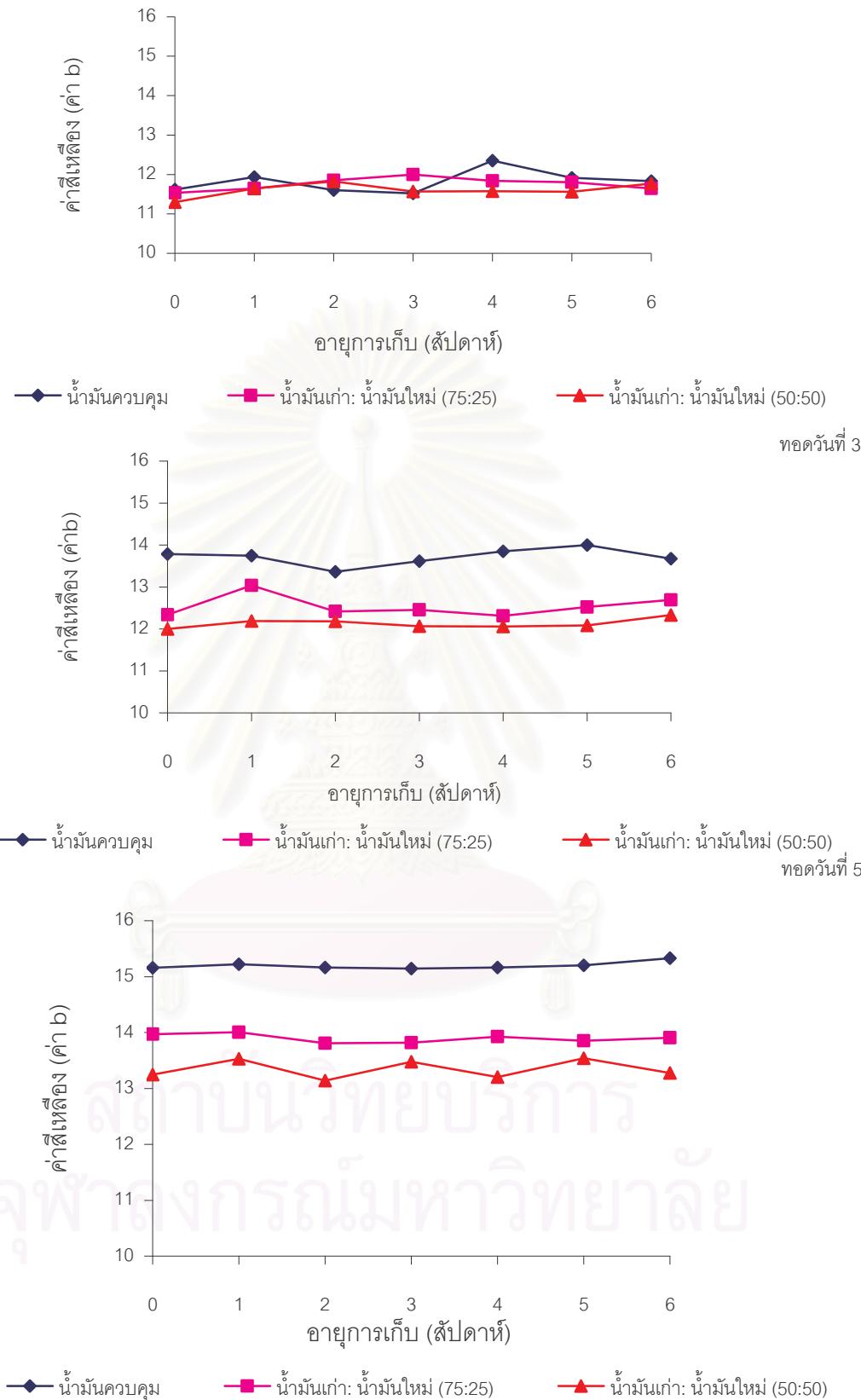
วันที่ทดสอบ	ค่าสีเหลือง					
	สัปดาห์ 1	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 3	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 5	สัปดาห์ 6
1	11.74 <sup>c</sup>	11.76 <sup>c</sup>	11.70 <sup>c</sup>	11.92 <sup>c</sup>	11.76 <sup>c</sup>	11.75 <sup>c</sup>
3	12.99 <sup>b</sup>	12.65 <sup>b</sup>	12.71 <sup>b</sup>	12.74 <sup>b</sup>	12.87 <sup>b</sup>	12.90 <sup>b</sup>
5	14.25 <sup>a</sup>	14.04 <sup>a</sup>	14.15 <sup>a</sup>	14.10 <sup>a</sup>	14.20 <sup>a</sup>	14.17 <sup>a</sup>

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันภายในกลุ่มเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 4.58 พบว่า เมื่อวันที่ทดสอบเพิ่มขึ้นค่าสีเหลืองของข้าวพองมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีการเจือน้ำมันใหม่ทั้ง 2 อัตราส่วนมีค่าสีเหลืองน้อยกว่าข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทดสอบข้าวพองในวันที่ 1 3 และ 5 การเจอน้ำมันใหม่ทั้ง 2 อัตราส่วนทำให้ข้าวพองมีค่าสีเหลืองน้อยกว่าข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมอย่างมีนัยสำคัญตลอดอายุการเก็บรักษา 1-6 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.59) และเมื่อวันที่ทดสอบข้าวพองเพิ่มขึ้นสูงผลให้ข้าวพองมีค่า b เพิ่มขึ้นตลอดเวลาการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 1-6 ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 4.60 และเมื่อพิจารณาจากผลวัดการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ทั้ง 3 ระดับในวันที่ 1 3 และ 5 มีแนวโน้มคงที่ระหว่างการเก็บรักษา (รูปที่ 4.29) สำหรับสาเหตุที่ค่าสีเหลืองไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับการเปลี่ยนแปลงค่า L และค่าสีแดงที่กล่าวถึงแล้วในข้างต้น

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทดสอบที่ 1



รูปที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลงสีเหลือง (ค่า b) ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวพองเสิร์ฟในโคลนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่า ต่อ น้ำมันใหม่ อัตราส่วนต่าง ๆ ในวันที่ 1 3 และ 5

## ค่าใช้จ่ายในการผลิตข้าวพองเสริมไอกोดีน

ค่าใช้จ่ายสำหรับการผลิตข้าวพองเสริมไอกอเดิน จำนวน 10 กิโลกรัม ประมาณ 1,000 ชิ้น  
(ไม่รวมค่าน้ำ ค่าไฟและค่าแรง)

- ข้าวสารพันธุ์ข้าวດอกมะลิ 105 10 กิโลกรัม ราคา 200 บาท
- ค่าสารโพแทสเซียมไอกอเดต ราคา 800 บาทต่อกิโลกรัม ในการเสริมไอกอเดินโดยใช้ข้าวสารเป็นวัตถุดิบ ที่ระดับความเข้มข้นไอกอเดินในการเสริม 125 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัมจะใช้สารโพแทสเซียมไอกอเดต 21.10 มิลลิกรัม คิดเป็นเงินเพียง 1 บาทต่อข้าวพอง 10 กิโลกรัม (ประมาณ 1,000 ชิ้น)
- ค่าน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์ม ตาม Markt) ราคาลิตรละ 36 บาท การหยอดแต่ละ treatment มีค่าใช้จ่ายจากน้ำมันพืชดังนี้
  - น้ำมันควบคุม ใช้น้ำมันหยอดข้าวพองปริมาตร 3 ลิตร คิดเป็นเงิน 108 บาท
  - น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ อัตราส่วน 75:25 ใช้น้ำมันหยอดข้าวพองปริมาตร 3.72 ลิตร คิดเป็นเงิน 134 บาท
  - น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ อัตราส่วน 50:50 ใช้น้ำมันหยอดข้าวพองปริมาตร 5.50 ลิตร คิดเป็นเงิน 198 บาท
- ค่าใช้จ่ายสำหรับการเจือน้ำมันอัตราส่วนต่าง ๆ คือ
  - น้ำมันควบคุม คิดเป็นเงิน 309 บาท
  - น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ อัตราส่วน 75:25 คิดเป็นเงิน 335 บาท
  - น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ อัตราส่วน 50:50 คิดเป็นเงิน 399 บาท

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การเสริมไฮโอดีนในข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยการใช้สารละลายน้ำ  $KIO_3$  ความเข้มข้น 125 ไมโครกรัมต่อข้าวสาร 100 กรัมทำให้แผ่นข้าวอบแห้งมีปริมาณไฮโอดีน 99.80 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม เมื่อนำมาแผ่นข้าวเสริมไฮโอดีนมาทดสอบการแพร์ฟานเยอ (dialysis) พบว่า มีปริมาณไฮโอดีนคงเหลือในแป้งข้าว 25.67 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม แสดงว่า ไฮโอดีนที่เสริมสามารถจับกับองค์ประกอบภายในเม็ดข้าวได้ดี

เมื่อทดสอบแผ่นข้าวอบแห้งเสริมไฮโอดีนด้วยเทคนิคการเจือน้ำมัน 3 ระดับ นาน 5 วัน แบบแรก คือ ไม่มีการเจือน้ำมันตลอด 5 วัน (น้ำมันควบคุม) และมีการเจือน้ำมันก่อนทดสอบทุกวันโดยใช้อัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ พบว่า การทดสอบข้าวพองด้วยเทคนิคการเจือน้ำมันไม่มีผลต่อปริมาณไฮโอดีน ความชื้น  $a_w$  และความแข็งของข้าวพองเสริมไฮโอดีน ( $p>0.05$ ) โดยข้าวพองที่ได้มีไฮโอดีนอยู่ในช่วง 87.69-89.09 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม ตั้งนั้นข้าวพอง 1 ชิ้น(น้ำหนักประมาณ 10 กรัม) มีไฮโอดีนประมาณ 8.77-8.91 ไมโครกรัม เมื่อรับประทานข้าวพอง 6 ชิ้นจะได้รับไฮโอดีน 1/3 ของปริมาณไฮโอดีนที่ร่างกายต้องการได้รับใน 1 วัน แต่การเจือน้ำมันมีผลทำให้ข้าวพองมีค่า POV และปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซึบน้อยกว่าการทดสอบในน้ำมันควบคุมและเมื่อทดสอบข้าวพองในวันที่ 5 ค่า POV และปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซึบในข้าวพองจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.83 และ 2.70 ตามลำดับ แสดงว่า เมื่อใช้น้ำมันทดสอบข้าวพองซ้ำมาก ขึ้นข้าวพองจะดูดซึบน้ำมันเพิ่มขึ้นแต่เมื่อทดสอบข้าวพองด้วยเทคนิคการเจือน้ำมันทำให้ข้าวพองมีกลิ่นทึบและน้ำมันที่ถูกดูดซึบน้อยลง

ค่า L (lightness) ของข้าวพองเสริมไฮโอดีนจะลดลงเมื่อจำนวนวันที่ใช้น้ำมันทดสอบซ้ำเพิ่มขึ้น การเจือน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่อัตราส่วน 50:50 ทำให้ข้าวพองมีค่า L สูงกว่าข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันควบคุมและข้าวพองที่ทดสอบด้วยน้ำมันที่มีการเจือน้ำมันใหม่ทั้ง 2 อัตราส่วนมีค่า a (ความเป็นสีแดง) และค่า b (ความเป็นสีเหลือง) น้อยกว่าข้าวพองที่ทดสอบด้วยน้ำมันควบคุม ( $p\leq0.05$ ) แสดงว่า การทดสอบข้าวพองด้วยเทคนิคการเจือน้ำมันจะทำให้ข้าวพองมีสีอ่อนกว่าการทดสอบข้าวพองด้วยน้ำมันควบคุม

โครงสร้างภายในของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะเป็นโพรงอากาศและช่องว่างที่มีรูปทรงเป็นวงกลมและวงรีขนาดแตกต่างกันจัดเรียงตัวอยู่ในตำแหน่งที่ไม่แน่นอน โพรงอากาศและช่องว่างของข้าวพองบริเวณตรงกลางเม็ดมีขนาดใหญ่กว่าบริเวณอื่น

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น ความกรอบ ลักษณะการพองตัว การเกาะกันของเม็ดข้าวและความชอบโดยรวม พบว่า ข้าวพองที่ทอดในน้ำมันควบคุมมีค่าแน่น ความชอบโดยรวมน้อยกว่าข้าวพองที่ทอดในน้ำมันที่มีการเจือน้ำมันใหม่ทั้ง 2 อัตราส่วน ( $p \leq 0.01$ ) นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวพองที่ทอดด้วยน้ำมันควบคุมมีค่าแน่นความเข้มสีและค่าแน่นกลิ่นหินสูงกว่าข้าวพองที่ทอดด้วยน้ำมันที่มีการเจือน้ำมันใหม่ทั้ง 2 อัตราส่วน โดยระดับความแตกต่างขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำมันใหม่ที่เติมลงไป

เมื่อนำข้าวพองเสริมไอกोดีนที่ทอดด้วยน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกัน ในวันที่ 5 มาศึกษาผลของปริมาณและคุณภาพน้ำมันที่ถูกดูดซับในผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกอเด็นต่อประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์  $\alpha$ -amylase แบบ *in vitro* พบว่า ข้าวพองที่มีปริมาณน้ำมันสูงและเป็นน้ำมันที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพจากความร้อนสูงมีผลทำให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายของเอนไซม์ลดลงหรืออาจกล่าวได้ว่าการใช้น้ำมันทอดช้าโดยไม่มีการเจือน้ำมันใหม่ทำให้การย่อยข้าวพองยากขึ้น

การให้ความร้อนแก่น้ำมันที่ใช้ทอดข้าวพองทั้ง 3 ตัวอย่างเป็นเวลานานขึ้นส่งผลให้น้ำมันมีค่าความเป็นกรด ค่า POV เพิ่มขึ้น และมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี โดยค่า L ลดลง ค่า a และ ค่า b สูงขึ้น การเจือน้ำมันใหม่สามารถลดความเป็นกรด ค่า POV ค่า a และ ค่า b ของน้ำมันลง ส่วนค่า L จะเพิ่มขึ้น แสดงว่า การเจือน้ำมันใหม่ทำให้น้ำมันมีกรดไขมันอิสระ กลิ่นหิน และความเข้มสีลดลง การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันสามารถติดตามด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy โดยน้ำมันที่ผ่านความร้อนจนเกิดปฏิกิริยาเคมีและมีสารประกอบไอกอเดรเปอร์ออกไซด์และปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจะมีค่าการดูดกลืนแสงที่เลขค่า  $3473\text{ cm}^{-1}$  และ  $1746\text{ cm}^{-1}$  เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ FTIR-spectrum ของน้ำมันใหม่

ระหว่างการเก็บรักษาข้าวพองซึ่งบรรจุในถุง polypropylene ที่อุดหนูมิห้องเป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ข้าวพองที่ทอดในน้ำมันทั้ง 3 แบบมีปริมาณไอกอเด็นลดลงเพียงเล็กน้อยอยู่ในช่วง  $0.85 - 1.77$  ไมโครกรัมต่อข้าวพอง 100 กรัม ปริมาณความชื้นเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยข้าวพองที่ทอดในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50 มีความชื้นต่ำกว่า ข้าวพองที่ทอดในน้ำมันควบคุมที่อายุการเก็บ 0 สัปดาห์ ระหว่างการเก็บรักษาเมื่อวันที่ทอดข้าวพองเพิ่มขึ้นปริมาณความชื้นของข้าวพองเพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) สำหรับค่า POV ของข้าวพองนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บรักษาเข่นกัน โดยข้าวพองที่ทอดในน้ำมันที่มีการเจือน้ำมันใหม่ทั้ง 2 อัตราส่วนมีค่า POV น้อยกว่าข้าวพองที่ทอดในน้ำมันควบคุมเมื่อใช้น้ำมันช้าในวันที่ 1 และ 3 สำหรับข้าวพองที่ทอดวันที่ 5 ในน้ำมันทั้ง 3 แบบมีค่า POV สูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 3 ( $200.28\text{ 186.27}$  และ  $179.17\text{ meq/kg oil}$  สำหรับน้ำมันควบคุม น้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25 และ 50:50 ตามลำดับ) และมีค่าลดลงเมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น  $a_w$  และค่า

ความแข็งของข้าวพองจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาในขณะที่ค่า L ค่า a และ ค่า b ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกอเดินมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ แสดงว่า ระหว่างการเก็บรักษาข้าวพองมีกลิ่นหืนเพิ่มขึ้น การทดสอบข้าวพองด้วยเทคนิคการเจือน้ำมันใหม่ทำให้ข้าวพองมีกลิ่นหืนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบด้วยน้ำมันควบคุม ในขณะที่สีของข้าวพองไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา

### ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยนี้ได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทดสอบข้าวพองด้วยเทคนิค FTIR ซึ่งเป็นการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงองค์ประกอบ ชนิด และปริมาณสารประกอบที่เกิดจากอาหารที่น้ำมันได้รับความร้อนด้วยเทคนิค FTIR หรือเทคนิคอื่นที่มีความเหมาะสมในลำดับต่อไป

2. จากผลการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวพองโดยการบรรจุในถุง polypropylene ซึ่งเป็นถุงที่นิยมใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ข้าวพองในทางการค้าแล้วพบว่าข้าวพองมีการเปลี่ยนแปลงสมบูรณ์ทางเคมีและกายภาพบางประการ เช่น ปริมาณไอกอเดินลดลง ความชื้น ค่า POV  $a_w$  และความแข็งเพิ่มขึ้นดังนั้นจึงน่าจะมีการศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวพองระหว่างการเก็บรักษา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

กล้านรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแบงค์. พิมพ์ครั้งที่ 3.

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

งามชื่น คงเสรี. 2542. คุณภาพข้าวสารและข้าวสูก. เอกสารประกอบการฝึกอบรม. ศูนย์วิจัยข้าว  
ปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร.

จากรุํภา. ลือชา. 2545. ผลของการเข้มข้นของไอโอดีนและพันธุ์ข้าวต่อคุณภาพของข้าวกล้องนึ่ง  
และข้าวเปลือกนึ่งเสริมไอโอดีน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทาง  
อาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชุติมา อัศวเสถียร. 2545. ประสิทธิภาพการเสริมไอโอดีนในข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต  
ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธนานันต์ ใจนศศิธร. 2545. การเสริมไอโอดีน สังกะสี และเหล็กโดยการเคลือบบนเมล็ดข้าว.  
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธรรมพ เหลาภูลิติก. 2548. ผลของการเสริมไอโอดีนต่อคุณภาพการสีข้าวและสมบัติทางเคมี  
ภายในของเมล็ดข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บัณฑิต อินโนวน์ และ Mallikarjunan, P. 2545. ผลของการดันในกระบวนการทอดแบบจุ่ม  
ต่อการเสียของน้ำมันทodor. การประชุมวิชาการ อุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 4 เรื่อง  
อาหารไทยเพื่อการพัฒนาประเทศและการส่งออก วันที่ 31 พฤษภาคม - 1 มิถุนายน  
2545, หน้า 200 – 208.

ปัญมนันท์ พงศ์นพัตน์. 2546. สมบัติทางเคมีและภายในของข้าวสารและผลของการเสริม  
ไอโอดีนที่มีต่อคุณภาพข้าวหุงสุกเร็ว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชา  
เทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประนีต ผ่องแฝง, บรรณาธิการ. 2539. โภชนาศาสตร์ชุมชน. กรุงเทพมหานคร: ลิฟิงทรานส์มี  
เดีย.

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก และคณะ. 2545. การผลิตข้าวพองเพื่อสุขภาพ. รายงานวิจัยฉบับ  
สมบูรณ์ชุดโครงการข้าวและผลิตภัณฑ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

- มาดี ชื่มศรีสกุล. 2534. ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพการของตัวของข้าวเปลือกและต่อคุณสมบัติของเป็นข้าวพองที่ได้. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วีดี รังสรรค์. 2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร: Food Processing Technology. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์เทคโนโลยีและอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2541. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขั้นตอนกรองจากข้าวชาติ. มอก. 1534-2541.
- อนามัย, กรม. 2532. ข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันและแนวทางการบริโภคอาหารสำหรับคนไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์องค์การส่งเสริมระหว่างประเทศแห่งประเทศไทย.
- อนามัย, กรม. 2535. การควบคุมโรคขาดสารอาหารในอดีตในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร : กองโภชนาการกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

### ภาษาอังกฤษ

- A.O.A.C. 1995. Official Method of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 16<sup>th</sup> ed. Washington D.C.: Association of Official Analytical Chemists.
- A.O.C.S. 1999. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society. 5<sup>th</sup> ed. Champaign, IL.: American Oil Chemists' Society.
- Bheemreddy, R.M., Chinnan, M.S., Pannu, K.S., and Reynolds, A.E. 2002. Active treatment of frying oil for enhanced fry-life. Journal of Food Science. 67(4): 1478-1484.
- Blumenthal, M.M. 1991. A new look at the chemistry and physics of deep-fat frying. Food Technology. 45:68-71,94.
- Bouchon, P., Aguilera, J.M., and Pyle, D.L. 2003. Structure oil absorption relationships during deep – fat frying. Journal of Food Science. 68: 2711-2716.
- Bruner, R.L. 1964. Determination of reducing value. In Method of Carbohydrate Chemistry, V. 4 (R.L. Whistler,ed). New York: Academic Press. pp.67-71.
- Chandrasekhar, P.R., and Chattopadhyay, P.K. 1990. Studies on microstructural changes of parboiled and puffed rice. Journal of Food Processing and Preservation. 14: 27-37.

- Che Man, Y.B., Moh, M.H., and Van de Voort, F.R. 1999. Determination of free fatty acids in crude palm oil and refined-bleached-deodorized palm olein using Fourier transform infrared spectroscopy. Journal of American Oil Chemists Society. 76(4): 485-490.
- Chinnaswamy, R., and Bhattacharya, K. R. 1983. Studies on Expanded Rice. Optimum Processing Conditions. Journal of Food Science. 48: 1604-1608.
- Crowe, T.C., Seligman, S.A., and Copeland, L. 2000. Inhibition of enzymic digestion of amylase by free fatty acids in vitro contributes to resistant starch formation. The Journal of Nutrition. 130: 2006-2008.
- Fellows, P.J. 1990. Food Processing Technology:Principle and Practice. New York:Ellis Horwood.
- Fennema, O.R. 1996. Food Chemistry. 3<sup>th</sup> ed. New York : Marcel Dekker.
- Fritsch, C.W. 1981. Measurements of frying fat deterioration: a brief review. Journal of American Oil Chemists Society. 58: 272-274.
- Guillen, M.D., and Cabo, N. 2002. Fourier transform infrared spectra data versus peroxide and anisidine values to determine oxidative stability of edible oils. Food Chemistry. 77: 503-510.
- Guraya, H.S., Kadan, R.S., and Champagne, E.T. 1997. Effect of rice starch-lipid complexes on in vitro digestibility, complexing index, and viscosity. Cereal Chemistry. 74(5): 561-565.
- Hamilton, R.J. 1995. Developments Oils and Fats. London : Blackie Academic and Professional.
- Hammond, E.W. 2002. Oil quality management and measurement during crisp/snack frying in palmolein-What is important to product quality?. Malaysian Oil Science and Technology. 11(1): 9-13.
- Hanna, T.G., and Lelievre, J. 1975. An effect of lipid on the enzymatic degradation of wheat starch. Cereal Chemistry. 52: 697-701.
- Hass, E.M. 2006. Excepted from stay health with nutrition: The complete guide to diet and nutritional medicine [online]. Available from: <http://www.healthy.net/scr/Article.asp?Id=2074.htm> [2006, September].

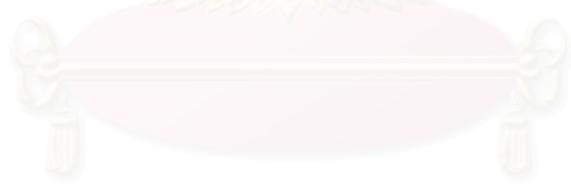
- Hsieh, F., Huff, H.E., Peng, I.C., and Marek, S.W. 1989. Puffing of rice cakes as influenced by tempering and heating conditions. *Journal of Food Science*. 54(5): 1310-1312.
- Huff, H.E., Hsieh, F., and Peng, I.C. 1992. Rice cake production using long grain and medium grain brown rice. *Journal of Food Science*. 57(5): 1164-1167.
- Hunter, J. E., and Applewhite, J. H. 1993. Correction of Dietary Fat Availability Estimates for Restage of Food Service Deep-Frying Fats. *Journal of the American Oil Chemist's Society*. 70: 613-617.
- Innawong, B., Mallikarjunan, P., Irudayaraj, J., and Marcy, J.E. 2004. The determination of frying oil quality using Fourier transform infrared attenuated total reflectance. *Lebensm-Wiss. U.-Technol.* 37: 23-28.
- Innawong, B., Mallikarjunan, P., and Marcy, J.E. 2004. The determination of frying oil quality using a chemosensory system. *Lebensm-Wiss. U.-Technol.* 37: 35-41.
- Jonnalagadda, P.R., Bhat, R.V., Sudershan, R.V., and Nadamuni Naidu, A. 2001. Suitability of chemical parameters in setting quality standards for deep-fried snacks. *Food Quality and Preference*. 12: 223-228.
- Juliano, B. O. 1985. *Rice:chemistry and technology*. St.Paul, Minnesota : American Association of Cereal Chemists.
- Katz, E.E., and Labuza, T.P. 1981. Effect of water activity on the sensory crispness and mechanical deformation of snack products. *Journal of food science*. 46: 403-409.
- Kim, J.D., Lee, J.C., and Hsieh, F.H. 2001. Rice cake production using black rice and medium-grain brown rice. *Food Science Biotechnology*. 10(3): 315-322.
- Labuza, T.P. 1982. Moisture gain and loss in package food. *Food Technology*. 36(4):92-93.
- Lawson, H.W. 1985. *Standards for fats and oils*. Westport Connecticut : AVI Publishing company,Inc. p.58.
- Lii, C.Y., Tomaszik, P., Hung, W.L., and Lai, V.M.F. 2002. Revised look at the interaction of starch with electrolyte: effect of salts of metals from the first non-transition group. *Food Hydrocolloids*. 16: 35-45.

- Lin, S., Akoh, C. C., and Reynolds, A. E. 2001. Recovery of used frying oils with adsorbent combinations:refrying and frequent oil replenishment. Food Research International. 34: 159-166.
- Low, T. K., and Ng, C. S. 1987. Determination of peroxide value. In H.Hasegawa(ed.), Laboratory Manual on Analytical Methods and Procedures for Fish and Fish Products. Marine Fisheries Research Department, Southeast Asia Fisheries Development Center, Singapore.
- MacDougall, D.B. 2002. Colour in food : improving quality . Woodhead Publishing Limited. New York:CRC Press.
- Martinez-Navarrete, N., Moraga, G., Talens, P., and Chiralt, A. 2004. Water sorption and the plasticization effect in wafers. International Journal of Food Science and Technology. 39: 555-562.
- McDowell, L. R. 1992. Minerals in Animal and Human Nutrition. San Diego: Academic Press.
- Moreira, R. G., Sun, X., and Chen, Y. 1997. Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. Journal of food Engineering. 31: 485-498.
- Moreira,R. G., Castell-Perez, M.E., and Barrufet, M.A. 1999. Deep-fat frying: Fundamentals and applications. USA: Aspen Publishers,Inc.
- Moxon, R. E., and Dixon, E. J. 1980. Semi-automatic Method for the Determination of Total Iodine in Food. Analyst. 105: 344-352.
- Murugesan, G., and Bhattacharya, K.P. 1989. The nature of starch in poped rice. Carbohydrate Polymers. 10: 215-225.
- Noomhorm, A., Kongeree, N., and Apintanapong, M. 1997. Effect of aging on the quality of glutinous rice crackers. Cereal Chemistry. 74(1): 12-15.
- Rhee, K. S., Housson, S. E., and Ziprin, Y. A. 1992. A research note: Enhancement of frying oil stability by a natural antioxidative ingredient in the coating system of fried meat nuggets. Journal of food science. 57: 789-791.
- Rho, K.L., Seib, P.A., Chung, O.K., and Chung, D.S. 1986. Retardation of rancidity in deep-fried instant noodles(Ramyon). Journal of the American Oil Chemist's Society. 63(2): 251-256.
- Robertson, G.L. 1993. Food Packaging. New York: Marcel Dekker, Inc. 676p.

- Senthil, A., Ravi, R., Bhat, K.K., and Seetalakshmi, M.K. 2002. Studies on the quality of fried snacks based on blends of wheat flour and soya flour. Food Quality and Preference. 13: 267-273.
- Sinthavalai, S. 1984. Thai snack foods: basic information for product development. Department of Product Development. Faculty of Agro-Industry Kasetsart University Bangkok, Thailand.
- Tan, C.P., and Che Man, Y.B. 1999. Differential scanning calorimetric analysis for monitoring the oxidation of heated oils. Food Chemistry. 67: 177-184.
- Tan, Y.A., Ong, S.H., Berger, K.G., Oon, H.H., and Poh, B.L. 1985. A study of the cause of rapid color development of heated refined palm oil. Journal of the American Oil Chemists's Society. 62 (6): 999-1006.
- Tseng, Y.C., Moreira, R., and Sun, X. 1996. Total frying use time effects on soybean oil deterioration and on tortilla chip quality. International Journal of Food Science and Technology. 31: 287-294.
- Villareal, C.P., and Juliano, B.D. 1987. Varietal differences in quality characteristics of puffed rices. Cereal Chemistry. 64: 337-342.
- Williams, S.R. 1988. Basic nutrition and diet therapy. 8<sup>th</sup> ed. St Louis, Toronto, Santa Clara. Times Mirror/Mosby College publishing.
- White, A., Philip, H., and Smith, L.M. 1973. Principles of Biochemistry. 5<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill.
- Yilmaz, E. 2004. An oil dilution technique used in small-scale frying to reduce oil expenditure. International Journal of Food Science and Technology. 39: 254-251.
- Yokoyama, W.H., Hudson, C.A., Chiu, M.M., and Betschart, A.A. 1994. Effect of formulation and processing on the enzymatic digestion of common cereal products. Cereal Food World. 39(6): 439-443.



ภาคผนวก



# สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

### รายละเอียดของวัตถุดิบและสารประกอบไฮโอดีน

#### วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

1. ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวเจ้า ที่มีปริมาณแอมิโน酳 ต่ำ เม็ดข้าวมีรูปร่างเรียว ยาว มีกลิ่นหอม เม็ดอ่อนนุ่มเมื่อนำมาหุงต้ม ได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันวิจัย ข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ในการจัดหาตัวอย่าง
2. น้ำมันปาล์มโอลีอินจากเนื้อปาล์มตราหมากรุกต ซื้อจากบริษัท เอก-ชัย ดีสทริบิวชั่น ชิล เทม จำกัด (TESCO LOTUS) เก็บที่อุณหภูมิห้องไม่เกิน 1 เดือนก่อนนำมาใช้ทดลอง ข้าวโพง

ชนิดของสารประกอบไฮโอดีน (โพแทสเซียมไฮโอดีต ( $KIO_3$ ) (The Merck Index, 1996)

Molecular weight	214.00
Component I	59.30%
K	18.27%
O	22.43%
Appearance	White odorless crystals or cryst powder
Density	3.89 g/l
Melting Point	560 <sup>0</sup> C with partial decomposer
Solubility	Slowly soluble in 12 parts water, in 3.1 parts boiling water. Insoluble in alcohol.

## ภาคผนวก ข

### วิธีการวิเคราะห์

#### ข.1 การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน

ดัดแปลงจากวิธีของ Moxon และ Dixon (1980)

#### หลักการ

เมื่อนำตัวอย่างข้าวไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูง (Muffle furnace) เพื่อย่อยสารอินทรี (Organic matter) ได้ไอโอดีนอยู่ในส่วนเก่า ตกดิบไอโอดีนออกมายากเก่าด้วยน้ำ และนำไปทำปฏิกิริยาเคมีเพื่อวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนโดยอาศัยหลักการที่ว่า ไอโอดีนจะเร่งปฏิกิริยาการทำลายไธโอลีซานต์โดยในตัวที่ซึ่งเป็นผลให้สีของ Iron (III) thiocyanate ลดลง

#### อุปกรณ์

1. เตาเผา (model: isotemp) item: FTO1/138 Fischer Scientific Work Wide
2. ถ้วยกระเบื้อง (Porcelain crucibles)
3. เครื่องแยกเหวี่ยง (Centrifuge) ยี่ห้อ Thermo IEC รุ่น model IEC Multi-RF, USA.
4. เครื่องผสมสารเคมี (Thermolyne type 37600 Mixer/Vortex)
5. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ยี่ห้อ spectronic 20 Genesys, USA.
6. เครื่องชั่งละเอียด ทนนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AB 204

#### สารเคมี

1. สารละลายน้ำโพแทสเซียมคาร์บอเนต ( $K_2CO_3$  AR grade) ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เตรียมโดยละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนตที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 30 กรัม ด้วยน้ำเกลี้ยงจากไอกอน ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

2. สารละลายนิโคชัลเฟต ( $ZnSO_4$ , AR grade) ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ต่อปริมาตร เตรียมโดยละลายนิโคชัลเฟตที่ทราบน้ำหนักแห่นอน 10 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจาก ไอโอดิน ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

3. สารละลายน็อตีเมทีฟไนโตรเจน ( $KSCN$ , AR grade) ความเข้มข้นร้อยละ 0.023 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เตรียมโดยละลายน็อตีเมทีฟไนโตรเจนที่ทราบน้ำหนักแห่นอน 0.23 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอโอดิน ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร และเก็บไว้ที่คุณภูมิ ตู้เย็น

4. สารละลายนิโตริก ( $NaNO_2$ , AR grade) ความเข้มข้นร้อยละ 2.07 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เตรียมโดยละลายนิโตริกที่ทราบน้ำหนักแห่นอน 2.07 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอโอดิน ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร และไม่เก็บไว้นานเกิน 1 วัน

5. สารละลายนีโนเมเนียมไอโอดินชัลเฟต ( $NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ , AR grade) เตรียมโดยละลายนีโนเมเนียมไอโอดินชัลเฟต 77 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอโอดินประมาณ 400 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดไนโตริก ( $HNO_3$ , AR grade) เข้าไป (ความถ่วงจำเพาะ 1.42) ปริมาตร  $167 \pm 1$  มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นปราศจากไอโอดิน ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร คนสารละลายนี้ให้เข้ากัน และเก็บไว้ที่คุณภูมิ ตู้เย็น

### การเตรียมสารละลายนิโตรเจนมาตราฐาน

1. การเตรียมสารละลายนิโตรเจนมาตราฐานที่ความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร เตรียมโดยใช้สารน็อตีเมทีฟไนโตรเจนที่ kobber (100 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำให้เย็นในตู้เย็น (ประมาณ 45 นาที) จำนวน 0.5232 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอโอดินให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ไม่เก็บไว้นานเกิน 1 เดือน

2. การเตรียมสารละลายนิโตรเจนมาตราฐานที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมโดยใช้สารละลายนิโตรเจนมาตราฐานที่ความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร ที่เตรียมไว้มา 10 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอโอดินให้ได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ไม่เก็บไว้นานเกิน 1 เดือน

3. การเตรียมสารละลายนิโตรเจนมาตราฐานที่ความเข้มข้น 200 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร เตรียมโดยใช้สารละลายนิโตรเจนมาตราฐานที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมไว้มา 5 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอโอดินให้ได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร และเก็บไว้ในขวดสีชา เพื่อป้องกันแสงและไม่เก็บไว้นานเกิน 1 เดือน

## การเตรียมสารละลายไอโอดีนมาตรฐานเพื่อใช้เป็น Working Standard

เตรียมโดยปั๊ปเดตสารละลายไอโอดีนมาตรฐานที่ความเข้มข้น 200 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร มา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิลิตร ตามลำดับ ในขาดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จำนวน 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกัดลั่นปราศจากไออกอนให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าขาดปรับปริมาตรให้สารละลายเข้ากันจะได้สารละลายไอโอดีนที่มีความเข้มข้น 0, 4, 8, 12, 16 และ 20 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ที่เก็บไว้ในที่ไม่มีแสง และไม่เก็บไว้นานเกิน 1 เดือน

### ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างอาหาร

#### ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างอาหาร

1. ซึ่งตัวอย่างอาหารที่บดละเอียดแล้ว 1 กรัม ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (ตัวอย่างอาหารไม่ควรนำไปโอดีนเกิน 1 ไมโครกรัมต่อกرام) ในถ้วยกระเบื้อง
2. เติมสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 30 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) 1 มิลลิลิตร และสารละลายซิงค์ซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) 1 มิลลิลิตร ในตัวอย่างอาหาร ใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างอาหารให้เข้ากับสารละลายแล้วใช้น้ำกัดลั่นปราศจากไออกอนปริมาตรน้อยที่สุดถังสารละลายที่ติดอยู่บนแท่งแก้วลงในถ้วยกระเบื้อง
3. อบตัวอย่างอาหารในถ้วยกระเบื้องที่อุณหภูมิ  $100 \pm 5$  องศาเซลเซียส จนตัวอย่างแห้ง
4. นำตัวอย่างอาหารออกจากการตู้อบ แล้วนำไปเผาในตู้ดูดอากาศ จนไม่มีควันปิดด้วยฝาปิดถ้วยกระเบื้อง นำเข้าเตาเผาระหว่างๆ ห้องจนถึง 550 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที เริ่มจับเวลาในการเผาที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที ปิดเตาเผาและปล่อยตัวอย่างไว้ในเตาเผาอีกประมาณ 1 ชั่วโมง นำตัวอย่างออกมาทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
5. เติมซิงค์ซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) 1 มิลลิลิตร ในตัวอย่างอาหารที่เผามาแล้ว 1 ครั้ง ใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างอาหารให้เข้ากับสารละลาย ถังสารละลายที่ติดอยู่บนแท่งแก้วลงในถ้วยกระเบื้องด้วยน้ำกัดลั่นปราศจากไออกอนปริมาตรน้อยที่สุด นำตัวอย่างอาหารเข้าอบที่อุณหภูมิ  $100 \pm 5$  องศาเซลเซียส และเผาอีกจนได้เหลือที่สมบูรณ์
6. นำตัวอย่างเหลือที่สมบูรณ์ มาถังตัวอย่างน้ำกัดลั่นปราศจากไออกอนมากที่สุดแล้วเทใส่หลอดสำหรับเหวี่ยงแยก

สาร จากนั้นนำสารละลายເຄົ້າປະເກີຍແຍກທີ່ 10,000 ຈອບຕ່ອນທີ່ ເປັນເວລາ 10 ນາທີ ນຳ  
ສາຮະລາຍຕົວຢ່າງໄປວິເຄຣະໜີໃນຂັ້ນຕ່ອປະ

### ຂັ້ນຕອນກາຣິເຄຣະໜີ

1. ປີເປັດສາຮະລາຍສ່ວນໃສຂອງສາຮະລາຍເຄົ້າ ສາຮະລາຍໄອໂອດືນມາຕຽບຈຸນແລະ  
ສາຮະລາຍ blank ພ່າຍດະ 4 ມິລລິລິຕົວໄສໃນຫຼອດທົດອັງ ເຕີມນໍາກໍລິນປາສຈາກໄອຂອນ 1  
ມິລລິລິຕົວ ສາຮະລາຍໂພແທສເຊີຍມໄທໂອໄໝຍາເນັດ 1 ມິລລິລິຕົວ ແລະສາຮະລາຍແອມໂມເນີຍມໄອຂອນ  
ໜັດເພີຕົວ 2 ມິລລິລິຕົວ ຜສມ ໃຫ້ເຫັກນໍາດ້ວຍເຄົ່ອງ Vortex

2. ເຕີມສາຮະລາຍໂຫຼີຍມໃນໄຕຣ໌ລົງໃນສາຮະລາຍແຕ່ລະຫຼອດ 1 ມິລລິລິຕົວ ໂດຍເວັນ  
ຮະຍະເວລາກາເຕີມໂຫຼີຍມໃນໄຕຣ໌ແຕ່ລະຫຼອດໃຫ້ເຫັກນີ້ອີ 30 ວັນທີຕ່ອກາເຕີມໂຫຼີຍມໃນໄຕຣ໌  
ແຕ່ລະຫຼອດ ເນື່ອເຕີມໂຫຼີຍມໃນໄຕຣ໌ແລ້ວໃໝ່ສາຮະລາຍແລະທີ່ໄວ້ 20 ນາທີ ເນື່ອກະບົບ 20 ນາທີ  
ວັດຄ່າກາຣຸດກລືນແສງໃນແຕ່ລະຫຼອດທັນທີ

3. ວັດຄ່າກາຣຸດກລືນແສງຂອງສາຮະລາຍໂດຍໃໝ່ເຄົ່ອງວັດຄ່າກາຣຸດກລືນແສງທີ່ຄວາມຍາວ  
ຄລືນ 450 ນາໂນມີຕົວ ແລະເວັນຮະຍະເວລາໃນກາຣອ່ານຄ່າກາຣຸດກລືນແສງຂອງສາຮະລາຍແຕ່ລະຫຼອດ  
ໃຫ້ທ່າງກັນ 30 ວັນທີ ບັນທຶກຄ່າກາຣຸດກລືນແສງຂອງສາຮະລາຍແຕ່ລະຫຼອດທີ່ອ່ານໄດ້

4. ນຳຄ່າກາຣຸດກລືນແສງແລະຄວາມເຂັ້ມ້ວນທີ່ແນ່ນອນຂອງສາຮະລາຍມາຕຽບຈຸນທີ່ໄດ້ຈາກ  
ກາຣິເຄຣະໜີແຕ່ລະຄັ້ງມາທຳເປັນກາຣົມມາຕຽບຈຸນແລະນຳຄ່າກາຣຸດກລືນແສງຂອງສາຮະລາຍ  
ຕົວຢ່າງມາເປົ້າຍບໍ່ເຫັນຫາຄວາມເຂັ້ມ້ວນຂອງໄອໂອດືນ (ນາໂນກວັນຕ່ອມມິລລິລິຕົວ) ຕ່ອປະ

### ກາຣຄໍານວນປົມານໄອໂອດືນໃນຕົວຢ່າງອາຫາຮ

$$\text{ປົມານໄອໂອດືນໃນຕົວຢ່າງອາຫາຮ (\text{ໄມ້ໂຄງຮັມຕ່ອ 100 ກຣັມ}) = [(C-B)*5]/W$$

ເມື່ອ C = ປົມານໄອໂອດືນໃນສາຮະລາຍຕົວຢ່າງອາຫາຮ (ນາໂນກວັນຕ່ອມິລລິລິຕົວ)

ທີ່ອ່ານໄດ້ຈາກກາຣົມມາຕຽບຈຸນ ຮີ້ວີ້ຄໍານວນຈາກ

$$C = [(Y\text{-intercept}) - OD]/slope$$

Y-intercept = ຄ່າກາຣຸດກລືນແສງທີ່ຈຸດຕັດແກນ Y (ng/ml)

OD = ຄ່າກາຣຸດກລືນແສງຂອງສາຮະລາຍຕົວຢ່າງ (ng/ml)

Slope = ຜລຕ່າງຂອງຄ່າກາຣຸດກລືນແສງໃນແນວແກນ Y

$$\overline{\text{ຜລຕ່າງຂອງຄວາມເຂັ້ມ້ວນໃນແນວແກນ X}}$$

B = ຄ່າເຄີຍປົມານໄອໂອດືນໃນສາຮະລາຍ Blank (ນາໂນກວັນຕ່ອມິລລິລິຕົວ)

5 = ตัวคูณที่ได้จากการใช้น้ำกลั่นปราศจากไฮโอน 50 มิลลิตร

W = น้ำหนักของตัวอย่างอาหาร (กรัม)

### ข้อแนะนำในการวิเคราะห์ไอโอดีน

1. น้ำหนักตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร ดังนั้นก่อนจะวิเคราะห์ตัวอย่างอาหารชนิดใดก็ตาม ควรทราบปริมาณไอโอดีนในตัวอย่างอาหารนั้นอย่างคร่าวๆ ก่อน ถ้าไม่ทราบควรลองสุมน้ำหนักตัวอย่างอาหารชนิดนั้นในหลาຍ ๆ ระดับ เพื่อทราบน้ำหนักของตัวอย่างที่เหมาะสม และสามารถคำนวณค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงได้

2. น้ำกลั่นที่ใช้ในการวิเคราะห์ควรเป็นน้ำกลั่นชนิดปราศจากไฮโอน(deionized water) เพื่อลดการรบกวนของประจุต่าง ๆ ในสารละลายที่ใช้ และสารละลายตัวอย่างซึ่งมีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างได้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ๑.๒ ค่าเบื้องต้นของไฮซ์ด์

### อุปกรณ์

- เครื่องระเหยสูญญากาศ (rotary evaporator)

### สารเคมี

- สารละลายน้ำฟอร์ม-กรดอะซิติก อัตราส่วน 2:3 โดยปริมาตร
- สารละลายน้ำโซเดียมไอกาโนไดร์ด อิมด้า เตรียมโดยละลายน้ำโซเดียมไอกาโนไดร์ด (KI, AR grade) 100 กรัม ในน้ำกลันที่ผ่านการต้มและทำให้เย็นแล้ว ปริมาตร 70 มิลลิลิตร เก็บสารละลายน้ำดีซี ให้เตรียมใหม่ทุกครั้งก่อนการใช้งาน
- สารละลายน้ำโซเดียมไอกาโซลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , AR grade) ความเข้มข้น 0.01 นอร์มัล เตรียมโดยละลายน้ำโซเดียมไอกาโซลเฟต 25 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร นำไปเติมให้เดือดอ่อน ๆ เป็นเวลา 5 นาที ยกลงเท่าไหร่น้ำดีซีจะละลายแล้ว นำน้ำมาใช้ให้เจือจางสารละลายน้ำกลันต้มใหม่จำนวน 10 เท่า
- น้ำแข็ง ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 เตรียมโดยชั้ง soluble starch 1.5 กรัม เติมน้ำ 100 มิลลิลิตร นำไปเติมให้เดือดเป็นเวลา 30 วินาที ยกลงทิ้งให้เย็น
- โพแทสเซียมไดโครเมต ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , AR grade) อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- สารละลายน้ำไฮดรคลอริก (HCl, AR grade) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล เตรียมโดยปฏิกัดไฮดรคลอริกเข้มข้นมา 8.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลันแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
- โพแทสเซียมไอกาโนไดร์ด (KI, AR grade)

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายน้ำโซเดียมไอกาโซลเฟต (A.O.A.C., 1995)

- ชั้งโพแทสเซียมไดโครเมต (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ในขวดซึมพู่ที่มีจุกปิด
- เติมน้ำที่ปราศจากคลอรีน 80 มิลลิลิตร ที่มีโพแทสเซียมไอกาโนไดร์ดอยู่ 2 กรัม
- เติมสารละลายน้ำไฮดรคลอริก ความเข้มข้น 1 นอร์มัล 20 มิลลิลิตร พร้อมกับแก้วงขวด แล้วปิดจุก เก็บในที่มีด้านที่เป็นเวลา 10 นาที

4. ไตรเตตด้วยสารละลายน้ำโซเดียมไฮโดรเจนไฟฟ์ เมื่อสารละลายในขวดเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน ให้เติมน้ำเปล่าแล้วไตรเตตต่อไป จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี
5. คำนวณหาความเข้มข้นสารละลายน้ำโซเดียมไฮโดรเจนไฟฟ์ได้ตามสูตร

$$\text{ความเข้มข้น(นอร์มัล)} = \frac{\text{น้ำหนักโพแทสเซียมไดโครเมต(กรัม)} * 1000}{\text{ปริมาตรโซเดียมไฮโดรเจนไฟฟ์(มิลลิลิตร)} * 49.032}$$

### วิธีการสกัดไขมัน (ตามวิธีของ A.O.A.C., 1995)

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการบดให้ละเอียดและอบไห่ความชื้นแล้วให้ทราบน้ำหนักແเน่นอน 5 กรัมใส่ลงกระดาษกรอง ห่อกระดาษกรองใส่ลงในทิมเบิล (thimble)
2. นำทิมเบิลที่ใส่ตัวอย่างและขวดกันกลมเปล่าที่ชั่งน้ำหนักแล้วไปประกอบเข้าในเครื่องสกัดไขมัน ที่ใช้สารละลายน้ำโซเดียมอีเทอร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตรเป็นสารละลายสกัด
3. สกัดไขมันนาน 3 ชั่วโมง
4. ระบายน้ำโซเดียมอีเทอร์ในขวดกันกลมออกด้วยเครื่องระบายน้ำ
5. อบขวดกันกลมในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ  $100 \pm 5$  องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโดยดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักขวดกันกลมหลังการสกัดไขมันที่แน่นอน เพื่อนำไปคำนวณหนาน้ำหนักไขมัน(ให้ทราบน้ำหนักແเน่นอน)
6. นำไขมันที่สกัดได้ไปหาค่าเปอร์เซนต์ต่อไป

### วิธีการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซนต์ (Low และ Ng, 1987)

1. เติมสารละลายคลอโรฟอร์ม-กรดอะซิติก บริಮาร์ 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดที่มีไขมันแล้วแกะง่ายเพื่อลดลายไขมัน
2. เติมสารละลายน้ำโซเดียมไฮโดรเจนไฟฟ์ จำนวน 1 มิลลิลิตร ปิดปากขวดทันที นำไปเก็บในที่มืดเป็นเวลา 5 นาที
3. เติมน้ำกลัน 20 มิลลิลิตร แล้วเขย่า
4. ไตรเตตไฮโดรเจนไฟฟ์ กิดชีนด้วยสารละลายน้ำโซเดียมไฮโดรเจนไฟฟ์ ความเข้มข้น 0.01 นอร์มัล จนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อน จึงเติมน้ำเปล่าจำนวน 1 มิลลิลิตร แล้วไตรเตตต่อไป จนกระทั่งสารละลายไม่มีสี
5. ทำ blank ตามวิธีข้างต้นแต่ไม่มีตัวอย่างไขมัน

## 6. คำนวณหาค่าเปอร์ออกไซด์ตามสูตรต่อไปนี้

$$\frac{\text{ค่าเปอร์ออกไซด์}}{(\text{milliequivalent/kg})} = \frac{(A-B) * C * 1000}{W}$$

- เมื่อ A คือ ปริมาณสารละลายน้ำเดี่ยมไฮโอดรอกไซด์ที่ใช้ในการตรวจตัวอย่าง (มิลลิลิตร)  
 B คือ ปริมาณสารละลายน้ำเดี่ยมไฮโอดรอกไซด์ที่ใช้ในการตรวจตัวอย่าง (มิลลิลิตร)  
 C คือ ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายน้ำเดี่ยมไฮโอดรอกไซด์ (นอร์มัล)  
 W คือ น้ำหนักไขมันตัวอย่าง (กรัม)

### ข. 3 ค่าความเป็นกรดของน้ำมัน

ตามวิธีของ A.O.C.S Official Method Cd 3d-63 (1999)

#### หลักการ

ค่าความเป็นกรดเป็นการหาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ใช้ในการไต่เตราต์กรดอิสระในน้ำมัน 1 กรัม ซึ่งสามารถหาค่าความเป็นกรดได้โดยการหารด้วยค่า factor ที่เหมาะสมเพื่อคำนวนเป็น % กรดไขมันอิสระ

#### อุปกรณ์

1. ขวดชามพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. บิวเรต

#### สารเคมีที่ใช้และวิธีการเตรียม

1. สารละลายน้ำเดี่ยมไฮดรอกไซด์ (KOH) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล
2. สารละลายน้ำเดี่ยมไฮดรอกไซด์ – โทลูอิน (solvent mixture) อัตราส่วน 1 : 1 โดยปริมาตร
3. สารละลายน้ำเดี่ยมไฮดรอกไซด์ – โทลูอิน (solvent mixture) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เตรียมโดยซึ่งฟีโนอลฟทาลีน 1 กรัมละลายน้ำเดี่ยมไฮดรอกไซด์

## วิธีวิเคราะห์

1. เติมสารละลายนินดิเคเตอร์ลงในสารละลายน้ำ solvent mixture ในอัตราส่วน 2 มิลลิลิตร ต่อ 125 มิลลิลิตร แล้วทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายน็อตโซเดียมไฮดรอกไซด์จนกว่าทั้งเกิดสีชมพูที่เสถียร
2. คำนวนขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ตามตาราง

Acid value	Mass, g of sample (±10%), g	Weighing accuracy
0 – 1	20	0.05
1 – 4	10	0.02
4 – 15	2.5	0.01
15 – 75	0.5	0.001
75 and over	0.1	0.0002

3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างตามตารางที่แสดงในข้อ 2 ใส่ลงในขวดชามพู่
4. เติมสารละลายน้ำ solvent mixture ที่ผ่านการทำให้เป็นกลางแล้วลงในขวดชามพู่ที่บรรจุตัวอย่าง เขย่าจนสารละลายน้ำและตัวอย่างผสมเข้ากันดี
5. นำสารละลายน้ำ solvent mixture ที่บรรจุตัวอย่างลงในขวดชามพู่ที่บรรจุตัวอย่าง ในขณะเดียวกัน จุนกระทั้งเกิดสีชมพูที่เสถียรเป็นเวลาอย่างน้อย 30 วินาที
6. เตรียมสารละลายน้ำ solvent mixture blank โดยใช้สารละลายน้ำ solvent mixture ที่ผ่านการทำให้เป็นกลางแล้วปริมาตร 125 มิลลิลิตร

การคำนวณ

$$\text{Acid value, mg KOH/ตัวอย่าง (g)} = \frac{(A-B) \times N \times 56.1}{W}$$

เมื่อ A = ปริมาณของโพแทสเซียมไไฮดรอกไซด์ (ml) ที่ใช้ในการตีต่อตัวอย่าง  
 B = ปริมาณของโพแทสเซียมไไฮดรอกไซด์ (ml) ที่ใช้ในการตีต่อตัวอย่าง blank  
 N = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไไฮดรอกไซด์ (N)  
 W = น้ำหนักตัวอย่าง (g)

### หมายเหตุ

ถ้าต้องการทำเป็น % oleic acid ให้นำ acid value ที่ได้หารด้วย factor 1.99

### ข. 4 การย่อยข้าวพองเสริมไโอลีดินด้วยเอนไซม์ $\alpha$ -amylase (In vitro digestive)

ตามวิธีของ Yokoyama, W.H. และคณะ (1994)

### อุปกรณ์

- shaking water bath ยี่ห้อ Julabo รุ่น SW 23, Germany.
- เครื่องแยกหัวใจ (Centrifuge) ยี่ห้อ Thermo IEC รุ่น model IEC Multi-RF, USA.

### สารเคมี

- สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์ (pH 6.9)
- สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) ความเข้มข้น 30 มิลลิโมลาร์
- สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์
- สารละลายเอนไซม์  $\alpha$ -amylase (ประกอบด้วยเอนไซม์  $\alpha$ -amylase 100 unit ละลายในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์)
- น้ำกลั่นปราศจากไอออน (deionized water)

### วิธีวิเคราะห์

- ชั้งตัวอย่างข้าวพองเสริมไโอลีดินที่บดละเอียดประมาณ 1 กรัมใส่ลงในขวดซึ่งมีฝาปิดขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมน้ำกลั่นปราศจากไออกอน 24 มิลลิลิตร สารละลายนอกสเปตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ( $\text{pH } 6.9$ ) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และสารละลายนಡเลชียมคลอไรด์ความเข้มข้น 30 มิลลิโมลาร์ปริมาตร 5 มิลลิลิตรลงในขวดซึ่งมีตัวอย่างข้าวพองเตรียมไว้อดีนอยู่ และผสมให้เข้ากัน

3. เติมสารละลายนเอนไซม์  $\alpha$ -amylase จำนวน 1 มิลลิลิตรลงในขวดซึ่งมีแล้วนำไปวางลงใน shaking water bath ที่มีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

4. ทิ้งไว้ให้อเอนไซม์ทำงานเป็นเวลา 0 15 30 และ 60 นาทีเมื่อครบกำหนดเวลา นำสารละลายนผสมต้มในน้ำเดือดนาน 8 นาทีเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์แล้วจึงทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

5. นำสารละลายนผสมที่ได้ไปเข้าเครื่องแยกเหวี่ยงที่มีความเร็วรอบ 8,000 รอบ/ นาที เป็นเวลา 15 นาที

6. วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลмолติสที่เกิดจากการย่อยแบ่งเป็นน้ำตาลของเอนไซม์  $\alpha$ -amylase ในสารละลายน่วนใสที่แยกได้ (supernatant) โดยมีหน่วยเป็น น้ำตาลмолติส (มิลลิกรัม) ต่อ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ๙. ๕ การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี 3,5-Dinitrosalicylic acid method

ตามวิธีของ Bruner, R.L. (1964)

### อุปกรณ์

1. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ยี่ห้อ spectronic 20 Genesys, USA.
2. บิวเรต
3. water bath

### สารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล เตรียมโดยชั่งน้ำหนักโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วอน 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปั้บปริมาตรสารละลายเป็น 1 ลิตร
2. สารละลาย 3,5-Dinitrosalicylic acid เตรียมโดยชั่งสาร 3,5-Dinitrosalicylic acid 20 กรัมละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 700 มิลลิลิตรและปั้บปริมาตรสารละลายเป็น 1 ลิตร นำสารละลายที่ได้เก็บไว้ในขวดที่ทำจาก polyethylene
3. สารละลาย D-glucose ความเข้มข้น 0.5 ถึง 14 ไมโครโมลสำหรับการสร้างกราฟมาตรฐานที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร และความเข้มข้น 5.5 ถึง 90 ไมโครโมลสำหรับการสร้างกราฟมาตรฐานที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร

### การสร้างกราฟมาตรฐานการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 และ 590 นาโนเมตร

1. นำหลอดทดลองที่มีฝาปิดซึ้งแห้งและสะอาดจำนวน 12 หลอดใส่ใน rack และวางแขวน อ่างน้ำแข็ง
2. ปีเปตสารละลาย 3,5-dinitrosalicylate reagent ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลองทุกหลอดและแขวนในอ่างน้ำแข็งต่ออีก 5 นาที
3. ปีเปตสารละลามาตรฐาน D-glucose ปริมาตรไม่เกิน 2.0 มิลลิลิตร(ความเข้มข้นของสารละลามาตรฐาน D-glucose 0.5-14 ไมโครโมล) ลงในหลอดทดลองปั้บปริมาตรรวมเป็น 4 มิลลิลิตร ผสมสารละลายให้เข้ากันอย่างรวดเร็วและแขวนอีก 5 นาที

4. แซ่หลดอดทดลองในน้ำเดือดนาน 5 นาทีแล้วยกกลับไปแข็งในอ่างน้ำแข็งทันที เจือจากสารละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 8 มิลลิลิตรก่อนวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร สำหรับกราฟมาตราฐานการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตรทำการทดลอง เช่นเดียวกันแต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตราฐาน D-glucose เป็น 5.5 ถึง 90 ไมโครโมล

### วิธีการวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวช์

1. ใส่หลดอดทดลองที่มีฝาปิดซึ้งแห้งและสะอาดเทากับจำนวนตัวอย่างที่ต้องการหาปริมาณน้ำตาลรีดิวช์ใน rack และวางแข็งในอ่างน้ำแข็ง
2. ปีเปตสารละลาย 3,5-dinitrosalicylate reagent ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตรใส่ในหลดอดทดลองทุกหลอดและแข็งในอ่างน้ำแข็งต่ออีก 5 นาที
3. ปีเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตรไม่เกิน 2.0 มิลลิลิตร ( ต้องมี D-glucose ความเข้มข้นไม่เกิน 90 ไมโครโมล) ลงในหลดอดทดลองปรับปริมาตรรวมเป็น 4 มิลลิลิตร ผสมสารละลายให้เข้ากันอย่างรวดเร็วและแข็งต่อในอ่างน้ำแข็งอีกจนสารละลายเย็น
4. แซ่หลดอดทดลองในน้ำเดือดนาน 5 นาทีแล้วยกกลับไปแข็งในอ่างน้ำแข็งทันทีก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ถ้าค่า O.D. ที่ได้เกิน 1.5 ให้เปลี่ยนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตรทันทีแล้วอ่านค่า O.D. ที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร
5. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ถ้าค่า O.D. ที่ได้เกิน 1.5 ให้เปลี่ยนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตรทันทีแล้วอ่านค่า O.D. ที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร
6. หากความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวช์โดยแทนค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างในสมการกราฟมาตราฐาน

**สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

## ๔.๖ การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้านความแข็งของข้าวพองเสริมไออกออดีนด้วยเครื่อง Instron

ตัดแปลงจากวิธีของ Noomhorm, A. และคณะ (1997); Senthil, A. และคณะ (2002)

### อุปกรณ์และเครื่องมือ

เครื่อง Instron ( Instron<sup>®</sup> 5565, USA.)

### วิธีการทดลอง

นำข้าวพองเสริมไออกออดีนไปวัดเนื้อสัมผัสด้านความแข็งด้วยเครื่อง Instron โดยนำตัวอย่างข้าวพองซึ่งมีขนาดกว้าง 5.5 เซนติเมตร ยาว 5.5 เซนติเมตร หนา 0.7 เซนติเมตร วางลงบน aluminum plate หนา 0.5 เซนติเมตร และวัดแรงกด (compression) สูงสุดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวพองแตกหักภายในได้สภาวะดังนี้

- Load cell 5 กิโลกรัม
- หัววัดชนิดทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร
- หัววัดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1.67 มิลลิเมตรต่อวินาที
- กดบริเวณกลางชิ้นตัวอย่างลงไปร้อยละ 50 ของความหนา วัดตัวอย่างข้าวพองชิ้นละ 1 ครั้ง วัดซ้ำ 10 ชิ้น จะได้ค่าความแข็ง (hardness) ที่รายงานในหน่วยกิโลกรัม

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ๑.๗ แบบทดสอบที่ใช้ประเมินคุณภาพทางประสพสัมผัส

ชื่อ.....

วันที่.....

ตัวอย่างที่ทดสอบหมายเลขอ.....

คำชี้แจง

- ทดสอบตัวอย่างซึ่งมีตัวเลข 3 ตัว กำกับไว้
- เปรียบเทียบระดับการยอมรับของตัวอย่าง โดยใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง □ เพื่อแสดงระดับความพอใจของท่านต่อตัวอย่างที่ทดสอบ

#### 1. กรุณابอกระดับความชอบต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกोอีน

- ความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกอีน

ไม่ชอบมาก ไม่ชอบปานกลาง ไม่ชอบเล็กน้อย เนยๆ ชอบเล็กน้อย ชอบปานกลาง ชอบมาก

คำชี้แจง

- เปรียบประเมินคุณภาพของตัวอย่าง โดยใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง □ เพื่อแสดงระดับความรู้สึกของท่านต่อตัวอย่างที่ทดสอบ

#### 2. กรุณابอกระดับความรู้สึกต่อคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกอีน

##### 2.1 ความรู้สึกด้านลักษณะปรากภู

- ความเข้มของสีผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกอีน

สีไม่เข้ม สีเข้มน้อย สีเข้มค่อนข้างน้อย สีเข้มปานกลาง สีเข้มค่อนข้างมาก สีเข้มมาก

- ลักษณะการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกอีน

ไม่พองตัว พองตัวน้อย พองตัวค่อนข้างน้อย พองตัวปานกลาง พองตัวค่อนข้างมาก พองตัวมาก

- การเกาะกันของเม็ดข้าวของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกอีน

ไม่เกาะกัน เกาะกันน้อย เกาะกันค่อนข้างน้อย เกาะกันปานกลาง เกาะกันค่อนข้างมาก เกาะกันมาก

##### 2.2 ความรู้สึกด้านกลิ่น

- ระดับกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมไอกอีน

ไม่มีกลิ่นหืน กลิ่นหืนน้อย กลิ่นหืนค่อนข้างน้อย กลิ่นหืนปานกลาง กลิ่นหืนค่อนข้างมาก กลิ่นหืนมาก

**2.3 ความรู้สึกด้านลักษณะเนื้อสัมผัส**

- ระดับความกรอบของผลิตภัณฑ์ข้าวโพงเสริมไอกोดีน

- |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> |
| ไม่กรอบ                  | กรอบน้อย                 | กรอบค่อนข้างน้อย         | กรอบปานกลาง              | กรอบค่อนข้างมาก          | กรอบมาก                  |

**3. ข้อเสนอแนะ**

---



---

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ๔

### ข้อมูลการทดลอง

**ตารางที่ ค.1 ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซึบและค่าเบอร์ออกไซด์ของข้าวโพงที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน**

อัตราส่วนน้ำมัน	วันที่ทดสอบ	น้ำมันที่ถูกดูดซึบ	ค่าเบอร์ออกไซด์
		(ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)*	(meq/kg oil)*
น้ำมันควบคุม	1	13.35(1.42)	12.76(0.70)
	2	14.03(0.92)	13.37 (0.64)
	3	14.95(1.01)	14.06 (0.51)
	4	16.70(0.04)	14.32 (0.49)
	5	16.79(0.33)	15.44 (0.49)
น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	1	13.36(0.31)	12.56(0.57)
	2	13.45(0.50)	12.86(0.63)
	3	14.48(1.38)	13.52(0.44)
	4	15.13(0.46)	13.89(0.53)
	5	15.82(1.33)	14.16(0.16)
น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50	1	13.00(0.29)	12.76(0.20)
	2	13.25(0.48)	12.76(0.31)
	3	13.82(0.77)	13.00(0.13)
	4	14.69(0.47)	13.04(0.22)
	5	15.19(1.17)	13.39(0.32)

\* ค่าเฉลี่ย(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) จากการวิเคราะห์จำนวน 2 ชั้ง

ตารางที่ ค.2 ค่า L<sup>a</sup> และ b ของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ และวันที่ทดสอบต่างกัน

อัตราส่วนน้ำมัน	วันที่ทดสอบ	ค่า L <sup>(*)</sup>	ค่า a <sup>(*)</sup>	ค่า b <sup>(*)</sup>
น้ำมันควบคุม	1	66.41(1.20)	-0.47(0.01)	11.62(0.21)
	2	65.44(0.61)	-0.39(0.03)	12.94(0.58)
	3	64.40(1.37)	-0.25(0.02)	13.78(0.08)
	4	63.41(0.07)	0.17(0.01)	14.25(0.09)
	5	62.76(0.65)	0.30(0.03)	15.16(0.21)
น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	1	66.65(0.07)	-0.44(0.04)	11.53(0.24)
	2	65.94(0.87)	-0.41(0.01)	12.00(0.06)
	3	65.35(1.04)	-0.37(0.03)	12.34(0.29)
	4	64.34(1.28)	-0.18(0.01)	12.89(0.23)
	5	63.18(0.45)	-0.14(0.01)	13.97(0.18)
น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50	1	66.97(0.32)	-0.47(0.03)	11.30(0.17)
	2	66.35(0.49)	-0.46(0.02)	11.98(0.53)
	3	65.62(0.58)	-0.39(0.02)	12.00(0.01)
	4	64.56(1.15)	-0.23(0.01)	12.63(0.31)
	5	64.54(1.47)	-0.19(0.02)	13.25(0.39)

(\*) ค่าเฉลี่ย (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) จากการวิเคราะห์จำนวน 2 ชุด

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ตารางที่ ค.3 คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี การพองตัว การเกากันของเม็ดข้าว กลิน  
ความกรอบและความชอบโดยรวมของข้าวพองที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมัน  
เก่าต่อน้ำมันใหม่และวันที่ทดสอบต่างกัน**

อัตราส่วน น้ำมัน	วันที่ ทดสอบ	สี*	การพอง ตัว*	การเกากันของเม็ด ข้าว*	กลิน*	ความ กรอบ*	ความชอบ*
						กลิน*	ความชอบ*
น้ำมัน	1	2.28(0.97)	3.14(0.90)	3.92(0.78)	1.38(0.49)	3.40(1.11)	5.38(0.75)
ควบคุม	2	2.60(0.99)	3.20(1.09)	3.76(0.92)	1.96(0.67)	3.54(1.09)	5.08(1.29)
	3	3.18(0.90)	3.18(1.06)	3.74(0.78)	2.24(0.72)	3.72(1.03)	4.86(1.23)
	4	3.12(0.87)	3.50(1.18)	3.52(0.97)	2.22(0.82)	3.64(0.92)	4.76(1.15)
	5	3.38(0.88)	3.22(0.91)	3.66(0.77)	2.18(0.80)	3.50(1.13)	4.58(1.34)
น้ำมันเก่า	1	2.10(0.76)	3.24(1.13)	3.74(0.72)	1.34(0.52)	3.46(1.13)	5.66(1.22)
ต่อน้ำมัน	2	2.54(1.07)	3.32(0.82)	3.80(0.78)	1.60(0.57)	3.80(0.97)	5.20(1.18)
ใหม่	3	2.56(0.67)	3.08(0.94)	3.50(0.74)	1.64(0.53)	3.70(0.97)	5.04(0.97)
(50/50)	4	2.68(0.62)	3.34(0.85)	3.78(0.97)	1.84(0.71)	3.48(1.01)	5.22(0.76)
	5	2.76(1.06)	3.08(1.10)	3.54(0.86)	1.94(1.00)	3.34(1.06)	5.04(0.88)
น้ำมันเก่า	1	2.22(0.65)	3.36(1.10)	3.62(0.85)	1.34(0.48)	3.64(1.16)	5.68(0.62)
ต่อน้ำมัน	2	2.50(0.97)	3.02(0.98)	3.64(0.94)	1.62(0.70)	3.48(0.97)	5.22(0.84)
ใหม่	3	2.64(1.03)	3.16(1.04)	3.68(0.84)	1.80(0.40)	3.44(0.99)	5.12(0.94)
(75/25)	4	2.66(1.17)	3.48(1.05)	3.80(0.93)	1.92(0.75)	3.76(0.92)	5.08(1.21)
	5	3.10(0.71)	2.96(1.03)	3.80(0.78)	2.00(0.81)	3.38(0.99)	4.86(0.90)

\* ค่าเฉลี่ย(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) จากการวิเคราะห์จำนวน 2 ชุด

ตารางที่ ค.4 ค่าความเป็นกรด ค่า POV และค่าสี (L a b) ของน้ำมันที่ใช้ทดสอบข้าวพองวันต่าง ๆ

อัตราส่วน	วันที่	ค่าความ	ค่า POV*	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*
		น้ำมัน	ทดสอบ	เป็นกรด*		
น้ำมัน	1E	0.19(0.01)	3.95(0.04)	96.28(0.81)	-6.44(0.02)	33.99(0.42)
ควบคุม	2E	0.30(0.01)	5.48(0.09)	93.95(0.83)	-5.44(0.06)	45.34(0.06)
	3E	0.45(0.02)	6.23(0.33)	90.61(0.25)	-5.37(0.12)	62.28(0.07)
	4E	0.51(0.01)	7.98(0.03)	88.77(0.27)	-4.49(0.10)	68.78(0.36)
	5E	0.66(0.01)	9.72(0.61)	86.11(0.22)	-3.34(0.05)	76.58(0.04)
น้ำมันเก่า	1S	0.13(0.01)	2.68(0.24)	99.06(0.17)	-5.79(0.07)	19.66(0.12)
ต่อน้ำมัน	1E	0.23(0.01)	3.84(0.13)	96.86(0.36)	-6.12(0.11)	31.81(0.06)
ใหม่	2S	0.21(0.02)	3.06(0.20)	97.20(0.23)	-5.82(0.05)	29.92(0.16)
75:25	2E	0.29(0.01)	5.42(0.37)	94.83(0.12)	-5.84(0.17)	40.90(0.05)
	3S	0.26(0.01)	4.70(0.29)	96.75(0.26)	-6.19(0.06)	36.51(0.13)
	3E	0.36(0.01)	5.90(0.05)	94.31(0.29)	-5.5(0.08)	47.75(0.06)
	4S	0.29(0.01)	6.10(0.22)	96.20(0.25)	-6.51(0.11)	41.17(0.15)
	4E	0.41(0.01)	6.46(0.33)	93.73(0.35)	-5.48(0.03)	50.81(0.13)
	5S	0.35(0.02)	5.15(0.07)	95.45(0.14)	-6.17(0.03)	44.53(0.10)
	5E	0.46(0.01)	6.52(0.38)	93.44(0.14)	-4.98(0.02)	53.91(0.12)
น้ำมันเก่า	1S	0.14(0.00)	2.68(0.24)	99.06(0.17)	-5.79(0.07)	19.66(0.12)
ต่อน้ำมัน	1E	0.23(0.01)	3.76(0.14)	96.37(0.42)	-6.31(0.18)	33.22(0.28)
ใหม่	2S	0.18(0.02)	2.92(0.20)	97.40(0.65)	-5.9(0.09)	28.59(0.05)
50:50	2E	0.25(0.01)	4.81(0.07)	95.16(0.21)	-6.09(0.10)	39.42(0.06)
	3S	0.23(0.01)	4.46(0.15)	97.51(0.97)	-6.75(0.20)	32.99(0.26)
	3E	0.29(0.02)	5.03(0.10)	95.05(0.20)	-6.01(0.05)	40.40(0.04)
	4S	0.22(0.00)	3.89(0.05)	97.41(0.63)	-6.61(0.05)	34.22(0.11)
	4E	0.30(0.02)	5.25(0.32)	94.96(0.16)	-5.99(0.10)	41.71(0.09)
	5S	0.24(0.00)	4.43(0.25)	97.31(0.29)	-6.37(0.23)	33.90(0.13)
	5E	0.34(0.02)	5.61(0.37)	94.76(0.14)	-5.63(0.05)	43.72(0.12)

\* ค่าเฉลี่ย(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) จากการวิเคราะห์จำนวน 2 ชุด

ขักซรา S หมายถึง ก่อนการทดสอบแต่ละวัน

ขักซรา E หมายถึง ก่อนการทดสอบแต่ละวัน

**ตารางที่ ค.5 ปริมาณไอกोดีนของข้าวพองเสริ่นไอกอคิดในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อ  
น้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ**

วันที่ ทodor	เวลา (week)	น้ำมันควบคุม*	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25*	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50*
		น้ำมันควบคุม*	75:25*	50:50*
1	0	88.12(1.18)	88.86(1.36)	88.73(0.66)
	1	88.07(2.12)	88.88(1.21)	88.62(1.18)
	2	88.21(1.20)	88.25(1.38)	88.15(0.78)
	3	88.31(1.43)	88.57(1.89)	88.34(0.42)
	4	87.64(1.17)	87.77(1.43)	87.80(0.98)
	5	87.46(0.96)	87.35(0.25)	87.30(1.05)
3	0	87.69(1.41)	88.78(0.53)	88.94(1.30)
	1	88.18(0.88)	88.68(0.99)	88.83(1.51)
	2	88.32(1.15)	88.42(1.00)	88.44(0.97)
	3	88.11(0.31)	88.31(1.86)	88.37(1.43)
	4	88.00(0.68)	88.05(0.51)	87.98(1.51)
	5	87.63(0.85)	87.78(0.66)	87.98(0.65)
5	0	89.09(0.86)	88.34(1.08)	88.35(1.37)
	1	88.73(0.46)	88.30(1.59)	88.48(1.03)
	2	88.04(1.20)	87.97(0.03)	87.93(0.77)
	3	88.80(1.35)	88.42(0.14)	88.88(1.26)
	4	87.92(1.24)	88.10(0.64)	88.10(0.04)
	5	87.88(1.45)	87.49(0.25)	87.57(1.01)
	6	87.79(1.79)	87.55(3.28)	87.14(1.65)

\* ค่าเฉลี่ย(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) จากการวิเคราะห์จำนวน 2 ชุด

**ตารางที่ ค.6 ร้อยละความซึ้งของข้าวพองเสริ่นไก่โอดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อ  
น้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ**

วันที่ ทดสอบ	เวลา (week)	น้ำมันควบคุม*	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25*	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50*
1	0	3.72(0.00)	3.79(0.02)	3.69(0.01)
	1	3.97(0.01)	4.00(0.02)	3.88(0.18)
	2	4.67(0.03)	4.63(0.14)	4.60(0.07)
	3	4.74(0.01)	4.70(0.01)	4.82(0.02)
	4	5.37(0.19)	5.36(0.02)	5.30(0.06)
	5	5.07(0.08)	5.10(0.02)	5.10(0.03)
	6	5.89(0.14)	5.98(0.03)	5.95(0.05)
3	0	3.86(0.02)	3.65(0.06)	3.71(0.02)
	1	4.63(0.08)	4.53(0.09)	4.55(0.09)
	2	4.72(0.02)	4.70(0.09)	4.63(0.03)
	3	4.96(0.27)	5.06(0.20)	5.06(0.19)
	4	5.30(0.03)	5.45(0.11)	5.26(0.21)
	5	5.65(0.07)	5.63(0.08)	5.50(0.16)
	6	5.87(0.11)	5.78(0.03)	5.80(0.05)
5	0	3.83(0.03)	3.78(0.05)	3.74(0.06)
	1	4.54(0.07)	4.61(0.00)	4.59(0.05)
	2	4.65(0.05)	4.75(0.04)	4.62(0.01)
	3	4.84(0.13)	5.03(0.02)	4.99(0.04)
	4	5.30(0.04)	5.35(0.04)	5.21(0.05)
	5	5.53(0.12)	5.58(0.07)	5.44(0.04)
	6	6.01(0.03)	5.93(0.10)	5.86(0.10)

\* ค่าเฉลี่ย(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) จากการวิเคราะห์จำนวน 2 ชุด

**ตารางที่ ค.7 ค่าเบปอร์ออกไซด์( meq/kg oil) ของข้าวพองเสริมไอก็อดในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ**

วันที่ ทดสอบ (week)	เวลา	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่
			75:25	50:50
1	0	13.59(0.16)	13.27( 0.79)	12.86(0.32)
	1	13.79(1.11)	13.36(0.28)	12.92(0.46)
	2	14.59(1.00)	13.42(0.43)	13.18(0.34)
	3	14.95(0.43)	13.52(0.52)	13.33(0.86)
	4	16.79(0.83)	14.05(0.48)	13.20(0.68)
	5	19.27( 0.62)	16.74(1.30)	14.68(0.74)
	6	21.30(0.81)	18.30(1.06)	15.59(0.40)
3	0	15.69(0.83)	14.65(0.49)	13.26(0.50)
	1	16.94(0.65)	15.58(0.81)	14.88(0.77)
	2	19.11(0.68)	16.28(1.19)	15.92(1.22)
	3	19.55(0.56)	17.89(0.92)	15.94(1.22)
	4	21.20(0.18)	18.19(0.99)	16.16(0.36)
	5	142.32(2.15)	125.05(6.82)	98.87(2.31)
	6	158.74(4.42)	145.40(2.73)	119.93(3.49)
5	0	13.08(0.85)	12.57(0.57)	12.76(0.20)
	1	14.79(0.52)	14.09(0.95)	13.83(0.21)
	2	16.55(0.42)	15.67(0.54)	14.79(0.31)
	3	200.29(5.08)	186.27(3.89)	179.17(9.53)
	4	47.86(4.03)	137.53(4.17)	90.62(3.56)
	5	42.67(1.15)	45.98(1.09)	51.35(0.85)
	6	27.25(0.79)	33.73(0.45)	29.55(1.50)

ค่าเฉลี่ย(ค่าเบปอร์แบบมาตรฐาน) จากการวิเคราะห์จำนวน 2 ชั้ง

ตารางที่ ค.8 ค่า  $a_w$  ของข้าวพองเสริมไอกोดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1, 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ

วันที่ ทดสอบ	เวลา (week)	น้ำมันคงคุณภาพ	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50
1	0	0.255(0.009)	0.270(0.004)	0.285(0.016)
	1	0.347(0.002)	0.340(0.001)	0.344(0.002)
	2	0.365(0.001)	0.331(0.003)	0.330(0.001)
	3	0.396(0.004)	0.360(0.004)	0.360(0.002)
	4	0.377(0.003)	0.350(0.004)	0.342(0.001)
	5	0.385(0.003)	0.377(0.001)	0.356(0.002)
3	0	0.295(0.003)	0.275(0.063)	0.275(0.036)
	1	0.341(0.006)	0.334(0.001)	0.323(0.007)
	2	0.353(0.000)	0.358(0.001)	0.354(0.001)
	3	0.387(0.026)	0.338(0.000)	0.357(0.004)
	4	0.385(0.004)	0.323(0.004)	0.340(0.008)
	5	0.403(0.001)	0.351(0.001)	0.377(0.001)
5	0	0.295(0.005)	0.272(0.001)	0.271(0.003)
	1	0.289(0.003)	0.313(0.001)	0.313(0.000)
	2	0.328(0.003)	0.316(0.032)	0.315(0.001)
	3	0.336(0.001)	0.350(0.007)	0.344(0.009)
	4	0.368(0.005)	0.358(0.002)	0.348(0.002)
	5	0.367(0.005)	0.358(0.002)	0.348(0.001)
	6	0.392(0.005)	0.374(0.005)	0.369(0.009)

ค่าเฉลี่ย (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) จากการวิเคราะห์จำนวน 2 ชุด

**ตารางที่ ค.9 ค่าความแย้งของข้าวพองเสริมไอกอเดินที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อ  
น้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่าง ๆ**

วันที่ ทดสอบ (week)	เวลา	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่
			75:25	50:50
1	0	1.60(0.10)	1.56(0.06)	1.60(0.08)
	1	1.54(0.06)	1.58(0.12)	1.56(0.06)
	2	1.66(0.04)	1.63(0.13)	1.60(0.13)
	3	1.53(0.07)	1.63(0.13)	1.61(0.10)
	4	1.80(0.15)	1.72(0.08)	1.62(0.12)
	5	1.75(0.09)	1.72(0.04)	1.75(0.07)
	6	1.88(0.05)	1.81(0.07)	1.80(0.12)
3	0	1.58(0.13)	1.54(0.12)	1.60(0.10)
	1	1.62(0.06)	1.69(0.09)	1.66(0.11)
	2	1.76(0.12)	1.65(0.07)	1.67(0.15)
	3	1.68(0.08)	1.65(0.08)	1.65(0.08)
	4	1.67(0.06)	1.69(0.05)	1.67(0.06)
	5	1.78(0.03)	1.73(0.09)	1.77(0.02)
	6	1.87(0.12)	1.87(0.07)	1.83(0.10)
5	0	1.76(0.14)	1.63(0.16)	1.60(0.13)
	1	1.75(0.13)	1.68(0.05)	1.62(0.06)
	2	1.70(0.04)	1.78(0.15)	1.69(0.10)
	3	1.79(0.17)	1.71(0.08)	1.76(0.03)
	4	1.77(0.10)	1.74(0.06)	1.72(0.08)
	5	1.82(0.05)	1.82(0.03)	1.81(0.05)
	6	1.92(0.07)	1.97(0.10)	1.92(0.08)

ค่าเฉลี่ย(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) จากการวิเคราะห์จำนวน 2 ชุด

ตารางที่ ค.10 ค่า L ของข้าวพองเสริมไอก็อดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

วันที่ ทดสอบ	เวลา (week)	น้ำมันคงคุณภาพ	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่
			75:25	50:50
1	0	66.42(1.20)	66.65(0.07)	66.97(0.32)
	1	66.27(1.21)	66.36(1.35)	66.46(1.35)
	2	66.01(1.33)	66.25(0.37)	66.76(0.25)
	3	66.41(0.31)	66.72(0.72)	66.94(2.39)
	4	66.17(0.11)	65.92(0.66)	66.11(0.89)
	5	66.11(0.23)	66.02(1.82)	66.18(0.07)
3	0	64.40(1.37)	65.35(1.03)	65.62(0.58)
	1	62.79(1.19)	65.11(1.17)	65.67(0.13)
	2	63.24(0.68)	65.33(0.35)	65.29(0.31)
	3	63.75(0.52)	65.28(0.62)	65.88(0.43)
	4	63.53(0.45)	65.28(1.23)	65.74(0.88)
	5	63.19(0.45)	65.03(0.95)	65.73(0.61)
5	0	62.76(0.65)	63.18(0.45)	64.54(1.47)
	1	62.01(1.03)	63.13(1.07)	64.33(0.20)
	2	62.83(0.35)	63.11(0.76)	64.75(0.47)
	3	62.86(0.51)	63.31(0.46)	64.30(1.43)
	4	62.72(0.56)	63.85(0.37)	64.88(0.47)
	5	62.23(0.70)	64.00(0.67)	64.91(0.54)
	6	62.58(0.69)	63.22(0.53)	64.64(0.57)

ค่าเฉลี่ย(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) จากการวิเคราะห์จำนวน 2 ชุด

ตารางที่ ค.11 ค่า a ของข้าวพองเสริมไอก็อดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ

วันที่ ทดสอบ (week)	เวลา	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่
			75:25	50:50
1	0	-0.48(0.01)	-0.44(0.04)	-0.47(0.03)
	1	-0.46(0.03)	-0.47(0.05)	-0.50(0.01)
	2	-0.44(0.01)	-0.43(0.01)	-0.50(0.02)
	3	-0.43(0.04)	-0.49(0.02)	-0.47(0.04)
	4	-0.40(0.00)	-0.54(0.03)	-0.46(0.03)
	5	-0.43(0.03)	-0.42(0.03)	-0.48(0.02)
	6	-0.42(0.01)	-0.46(0.04)	-0.50(0.01)
3	0	-0.25(0.02)	-0.38(0.03)	-0.39(0.02)
	1	-0.24(0.01)	-0.37(0.01)	-0.37(0.01)
	2	-0.27(0.01)	-0.36(0.04)	-0.40(0.04)
	3	-0.22(0.01)	-0.35(0.01)	-0.38(0.01)
	4	-0.26(0.02)	-0.33(0.01)	-0.41(0.02)
	5	-0.28(0.01)	-0.33(0.02)	-0.39(0.03)
	6	-0.24(0.02)	-0.31(0.01)	-0.41(0.02)
5	0	0.30(0.03)	-0.14(0.01)	-0.19(0.02)
	1	0.36(0.03)	-0.14(0.01)	-0.20(0.01)
	2	0.34(0.03)	-0.15(0.01)	-0.20(0.01)
	3	0.36(0.01)	-0.15(0.01)	-0.22(0.01)
	4	0.35(0.03)	-0.15(0.01)	-0.22(0.00)
	5	0.36(0.03)	-0.15(0.01)	-0.22(0.01)
	6	0.33(0.02)	-0.15(0.01)	-0.21(0.00)

ค่าเฉลี่ย(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)จากการวิเคราะห์จำนวน 2 ชุด

**ตารางที่ ค.12 ค่า b ของข้าวพองเสริมไอก็อดีนที่ทดสอบในน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ต่างกันในวันที่ 1 3 และ 5 ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่าง ๆ**

วันที่ ทดสอบ	เวลา (week)	น้ำมันควบคุม	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 75:25	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่ 50:50
		น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่	น้ำมันเก่าต่อน้ำมันใหม่
1	0	11.62(0.21)	11.53(0.24)	11.30(0.17)
	1	11.93(0.60)	11.64(0.63)	11.64(0.56)
	2	11.60(0.36)	11.85(0.63)	11.82(0.47)
	3	11.52(0.38)	12.00(0.83)	11.57(0.50)
	4	12.35(0.57)	11.84(0.33)	11.57(0.95)
	5	11.92(0.52)	11.80(0.22)	11.56(0.32)
3	0	13.78(0.08)	12.34(0.29)	12.00(0.01)
	1	13.75(0.37)	13.04(0.28)	12.19(0.52)
	2	13.36(0.29)	12.42(0.30)	12.18(0.64)
	3	13.62(0.48)	12.46(0.21)	12.06(0.46)
	4	13.85(0.40)	12.31(0.12)	12.06(0.34)
	5	14.00(0.29)	12.52(0.26)	12.08(0.23)
5	0	15.16(0.21)	13.97(0.18)	13.25(0.39)
	1	15.22(0.49)	14.01(0.13)	13.53(0.67)
	2	15.17(0.29)	13.81(0.39)	13.14(0.75)
	3	15.15(1.23)	13.82(0.26)	13.48(0.54)
	4	15.17(0.66)	13.93(0.56)	13.20(0.65)
	5	15.20(0.24)	13.85(0.55)	13.54(0.45)
6	0	15.33(0.23)	13.91(0.62)	13.28(0.02)
	1	15.33(0.23)	13.91(0.62)	13.28(0.02)

ค่าเฉลี่ย(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)จากการวิเคราะห์จำนวน 2 ชุด

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวรัตนารณ์ ลุมดugalตร์ เกิดวันที่ 27 สิงหาคม 2523 ที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจาก ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีคุณสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เมื่อปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย