

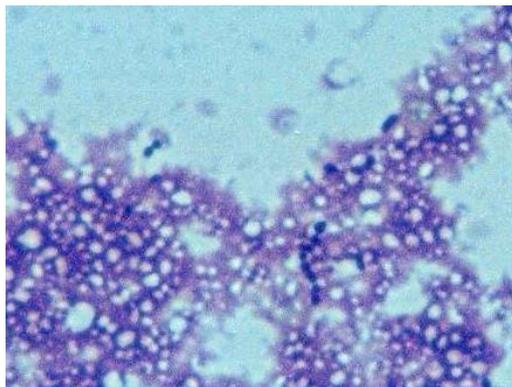
## บทที่ 4

### ผลและอภิปรายผล

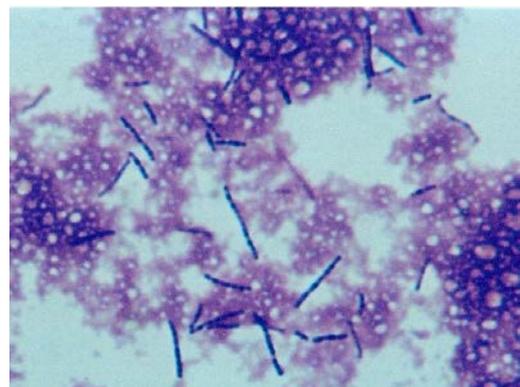
#### 4.1 โยเกิร์ตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

##### 4.1.1 การศึกษาปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสมในการเตรียมหัวเชื้อโยเกิร์ต

จุลินทรีย์โยเกิร์ตที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ซึ่งลักษณะของ *S. thermophilus* เป็นแบคทีเรียรูปร่างกลม เรียงตัวเป็นลูกโซ่ ดิคสีแกรมบวก ส่วน *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* เป็นแบคทีเรียรูปร่างท่อนยาว เรียงตัวเป็นเชลล์เดี่ยวหรือเป็นสายสั้นๆ ดิคสีแกรมบวก ลักษณะของแบคทีเรียทั้งสองแสดงในภาพที่ 3



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3 รูปร่างและการจัดเรียงตัวของ *S. thermophilus* (ก) และ *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (ข) ที่เพาะเลี้ยงในหัวเชื้อโยเกิร์ต ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

จากการศึกษาปริมาณเชื้อเริ่มต้นทั้ง 2 ชนิดในการเตรียมหัวเชื้อโยเกิร์ต โดยถ่ายเชื้อแต่ละชนิดจาก Mother culture ลงในน้ำนมที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วปริมาณร้อยละ 5 และ 10 โดยปริมาตร พบว่าลักษณะปรากฏของหัวเชื้อโยเกิร์ตที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ เกิดลิ่มนมหรือเคิร์ดที่เป็นเนื้อเดียวกันและไม่มีการแยกตัวของน้ำบนผิวหน้า ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณจุลินทรีย์ของหัวเชื้อโยเกิร์ตทั้ง 2 ชนิดที่ปริมาณร้อยละ 5 และ 10 มีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณจุลินทรีย์ของหัวเชื้อโยเกิร์ตที่เติมเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 และ 10 โดยปริมาตร

จุลินทรีย์โยเกิร์ต	ปริมาณหัวเชื้อ (ร้อยละ)	ปริมาณ (CFU/g)	ค่าความเป็น กรด-ด่าง
<i>S. thermophilus</i>	5	$2.6 \times 10^8$	4.95
	10	$4.1 \times 10^8$	4.81
<i>L. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>	5	$1.5 \times 10^9$	3.80
	10	$1.9 \times 10^9$	3.78

เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏ ปริมาณจุลินทรีย์และค่าความเป็นกรด-ด่างแล้ว พบว่า หัวเชื้อโยเกิร์ตที่เติมเชื้อเริ่มต้นปริมาณร้อยละ 5 และ 10 มีความใกล้เคียงกัน ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต จึงเลือกใช้หัวเชื้อโยเกิร์ตที่เติมเชื้อเริ่มต้นปริมาณร้อยละ 5 เป็นหัวเชื้อโยเกิร์ตในการศึกษาต่อไป

#### 4.1.2 การคัดเลือกสูตรพื้นฐานในการผลิตโยเกิร์ตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

##### 4.1.2.1 สูตรการผลิตโยเกิร์ต

จากการทดลองผลิตโยเกิร์ตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยดัดแปลงจากสูตรการผลิตโยเกิร์ตข้าวโพดหวาน 3 สูตร ได้แก่

สูตรที่ 1 ดัดแปลงจาก นวสนภา (2546)

สูตรที่ 2 ดัดแปลงจาก จิรากร (2546)

สูตรที่ 3 ดัดแปลงจาก กาญจนา และวราวุฒิ (2542)

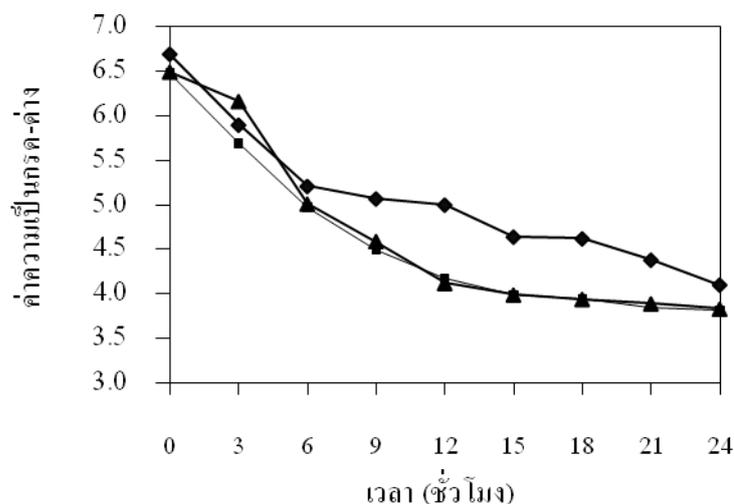
ส่วนประกอบทั้งหมดประกอบด้วย น้ํานมข้าวโพด นมผง น้ำตาลทราย และ เกล็ดลาติน ปริมาณของส่วนประกอบต่างๆแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งในแต่ละสูตรการผลิตเติมหัวเชื้อโยเกิร์ตร้อยละ 3 โดยปริมาตร

ตารางที่ 6 ส่วนประกอบของสูตรการผลิตโยเกิร์ตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ส่วนประกอบ	ร้อยละ		
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
น้ำนมข้าวโพด (ข้าวโพดต่อน้ำ 1:2)	83.8	84.9	83.4
นมผง	11.4	7.8	9.3
น้ำตาลทราย	4.8	7.2	7.2
เจลาติน	-	0.1	0.1

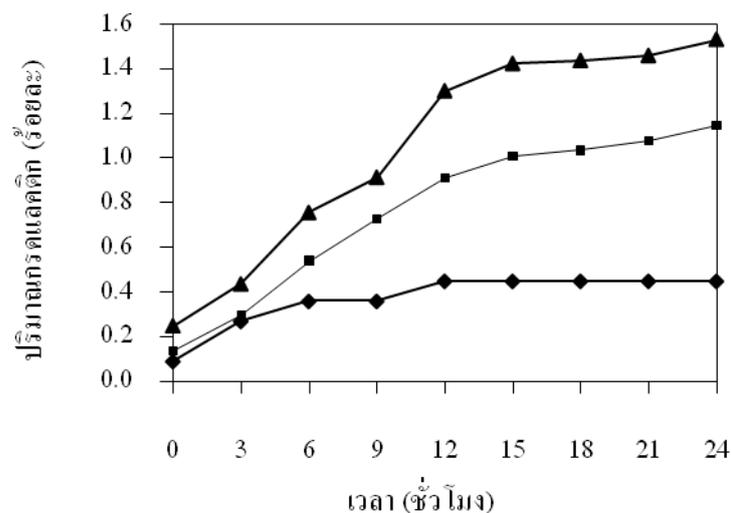
#### 4.1.2.2 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการกระบวนการหมักของโยเกิร์ตข้าวโพด

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านเคมีและจุลินทรีย์ในระหว่างการหมัก พบว่าโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตร มีค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นอยู่ในช่วง 6.48-6.70 และเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นค่าความเป็นกรด-ด่าง มีแนวโน้มลดลงต่ำลง ดังแสดงในภาพที่ 4 โยเกิร์ตสูตรที่ 2 และ 3 มีแนวโน้มลดลงไปในทางเดียวกัน คือ ช่วง 6 ชั่วโมงแรกของการหมักค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงชั่วโมงที่ 12 ของการหมักค่าความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีค่าความเป็นกรด-ด่างใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 3.8 ในขณะที่โยเกิร์ตสูตรที่ 1 หลังจาก 6 ชั่วโมงของการหมัก มีค่าความเป็นกรด-ด่างแนวโน้มลดลงช้ากว่าทั้งสองสูตร จนกระทั่งถึงชั่วโมงสุดท้ายของการหมักมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.10



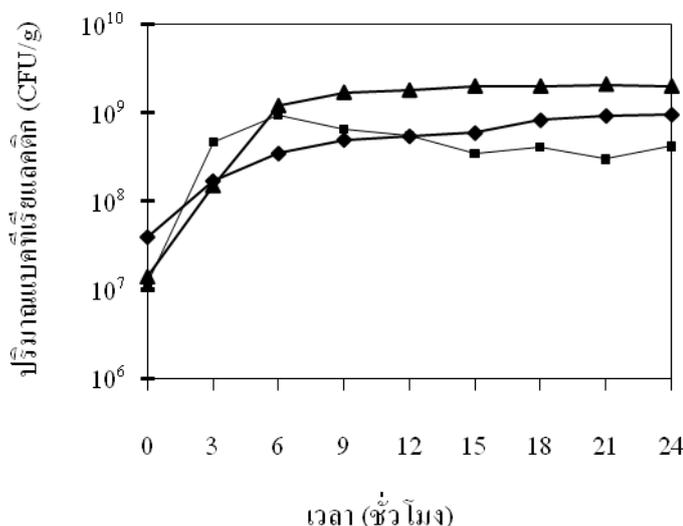
ภาพที่ 4 ค่าความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการหมักโยเกิร์ตข้าวโพดสูตรที่ 1 (◆) สูตรที่ 2 (■) และสูตรที่ 3 (▲)

ปริมาณกรดแลคติกในระหว่างกระบวนการหมักโยเกิร์ตข้าวโพดทั้ง 3 สูตรแสดงในภาพที่ 5 พบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาการหมัก หลังจากชั่วโมงที่ 12 ของการหมักปริมาณกรดแลคติกมีอัตราการเพิ่มค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักโยเกิร์ตสูตรที่ 2 และ 3 มีปริมาณกรดแลคติกค่อนข้างสูง คือ ร้อยละ 1.15 และ 1.53 ตามลำดับ ขณะที่โยเกิร์ตสูตรที่ 1 มีปริมาณกรดแลคติกน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.45



ภาพที่ 5 ปริมาณกรดแลคติกในระหว่างการหมักโยเกิร์ตข้าวโพดสูตรที่ 1 (◆) สูตรที่ 2 (■) และสูตรที่ 3 (▲)

การเจริญของแบคทีเรียแลคติก พบว่าโยเกิร์ตข้าวโพดทั้ง 3 สูตรมีแบคทีเรียแลคติกเริ่มต้นประมาณ  $10^7$  CFU/g เมื่อเวลาการหมักเพิ่มขึ้นปริมาณแบคทีเรียแลคติกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ซึ่งส่งผลให้ปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้นและค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เมื่อทำการหมักในชั่วโมงที่ 6-9 แบคทีเรียแลคติกมีการเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ  $10^8$ - $10^9$  CFU/g หลังจากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่ ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ปริมาณแบคทีเรียแลคติกในระหว่างการหมักโยเกิร์ตข้าวโพดสูตรที่ 1 (◆) สูตรที่ 2 (■) และสูตรที่ 3 (▲)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดแลคติก และการเจริญของแบคทีเรียแลคติก พบว่าในช่วง 6 ชั่วโมงแรกของการหมักแบคทีเรียมีอัตราการเจริญสูง ซึ่งอาจเกิดจากการปรับตัวของแบคทีเรียแลคติกในโยเกิร์ตให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงอย่างรวดเร็ว และมีปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ในช่วงหลังของการหมักมีแบคทีเรียแลคติกมีอัตราการเจริญต่ำ การสร้างกรดจึงมีปริมาณลดลง อย่างไรก็ตาม เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักก็มีกรดสะสมในผลิตภัณฑ์ปริมาณมากจึงทำให้ผลิตภัณฑ์เสียสภาพ

ลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตของทั้ง 3 สูตร พบว่าเมื่อระยะเวลาการหมักอยู่ในช่วง ชั่วโมงที่ 12 ลักษณะของเนื้อโยเกิร์ตมีลักษณะข้นหนืด เนื้อเนียน มีรูพรุนเล็กน้อย และมีกลิ่นหอมของข้าวโพด ซึ่งเป็นเพราะข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีปริมาณแป้งในเมล็ดสูงทำให้ช่วยเพิ่มความหนืดของผลิตภัณฑ์ซึ่ง วราวุธ และรุ่งนภา (2532) กล่าวว่าแป้งเป็นสารคงตัวชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส ความหนืด ลักษณะปรากฏด้านโครงสร้างของเคิร์ดได้ และข้าวโพดที่ผ่านความร้อนจะมีกลิ่นข้าวโพดซึ่งเป็นกลิ่นเฉพาะ แต่เมื่อทำการหมักหลังชั่วโมงที่ 12 พบว่าลักษณะของเนื้อโยเกิร์ตไม่แน่น ค่อนข้างเหลว แยกชั้น มีรูพรุนมาก และมีกลิ่นเปรี้ยวรุนแรง ไม่เป็นที่พึงประสงค์ของผู้บริโภค เนื่องจากปริมาณกรดแลคติกที่สะสมอยู่สูงขึ้นและค่าความเป็น กรด-ด่าง ลดต่ำลงทำให้เคิร์ดเสียสภาพไป

Tamine และ Robinson (1999) กล่าวว่าโยเกิร์ตจะมีคุณภาพดีและเป็นที่ยอมรับเมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่างสุดท้ายอยู่ในช่วง 3.8-4.2 และมีปริมาณกรดแลคติกในผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงร้อยละ 0.9-1.2 ซึ่งโยเกิร์ตข้าวโพดสูตรที่ 2 และ 3 เมื่อทำการหมักเป็นเวลา 12 ชั่วโมงมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 4.1 และมีปริมาณกรดแลคติกร้อยละ 0.9 และ 1.3 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 7 และเมื่อพิจารณาจากลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตร พบว่าหลังชั่วโมงที่ 12 ของการหมักลักษณะโยเกิร์ตมีรูพรุน เกิดการแยกชั้นอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงทำการหมักโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตรเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อนำไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและทำการคัดเลือกสูตรต่อไป

ตารางที่ 7 คุณลักษณะของโยเกิร์ตข้าวโพด 3 สูตรเมื่อทำการหมักเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

คุณลักษณะ	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	5.00	4.17	4.12
ปริมาณกรดแลคติก (ร้อยละ)	0.45	0.91	1.30
ปริมาณแบคทีเรียแลคติก (CFU/g)	$5.5 \times 10^8$	$8.5 \times 10^8$	$1.8 \times 10^9$
ค่าความหนืด (เซนติพอยส์)	5,550	4,920	5,720

เมื่อนำโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตร ไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบทุกคุณลักษณะของโยเกิร์ตสูตรที่ 3 สูงที่สุดในระดับชอบปานกลาง และมีความแตกต่างจากสูตรที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบในด้านสีของผลิตภัณฑ์สูงสุด

ตารางที่ 8 คะแนนเฉลี่ยความชอบในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตข้าวโพด 3 สูตร

สูตร	คะแนนเฉลี่ย				
	สี	กลิ่น	ลักษณะเนื้อสัมผัส	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
1	$7.13 \pm 0.97^a$	$6.33 \pm 0.96^a$	$5.77 \pm 0.97^a$	$5.30 \pm 0.88^a$	$6.07 \pm 0.98^a$
2	$7.37 \pm 0.96^a$	$6.40 \pm 0.77^a$	$6.43 \pm 0.97^b$	$6.37 \pm 0.89^b$	$6.43 \pm 0.97^a$
3	$7.77 \pm 0.90^b$	$7.37 \pm 0.96^b$	$7.37 \pm 0.89^c$	$7.10 \pm 0.80^c$	$7.10 \pm 0.88^b$

หมายเหตุ a-c หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

จากการทดสอบการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคโดยโยเกิร์ตข้าวโพดสูตรที่ 3 เป็นที่ยอมรับสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากโยเกิร์ตสูตรที่ 1 มีน้ำตาลทรายในผลิตภัณฑ์น้อยที่สุดซึ่งส่งผลต่อรสหวานของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่โยเกิร์ตสูตรที่ 2 และ 3 แตกต่างกันในปริมาณนมผงที่เป็นแหล่งน้ำตาลแลคโตสที่แบคทีเรียแลคติกสามารถนำไปใช้ในการผลิตกรดแลคติก โดยในสูตรที่ 3 มีปริมาณนมผงมากกว่าสูตรที่ 2 ซึ่งส่งผลต่อรสเปรี้ยวของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงเลือกสูตรโยเกิร์ตสูตรที่ 3 เป็นสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการพัฒนาการผลิตโยเกิร์ตข้าวโพดต่อไป

#### 4.1.3 การพัฒนาสูตรการผลิตโยเกิร์ตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

##### 4.1.3.1 การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับของโยเกิร์ตสูตรพื้นฐาน

จากการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับของโยเกิร์ตสูตรพื้นฐาน โดยให้ผู้ทดสอบ แสดงความคิดเห็นในแบบสอบถาม Just-about-right scale ได้สรุปความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตสูตรพื้นฐานดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สรุปความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตสูตรพื้นฐาน

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้บริโภค	สรุปผลความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ	ร้อยละ
กลิ่นโยเกิร์ต	- กลิ่นกำลังดี	50.0
	- ปรับกลิ่นให้มากขึ้น	50.0
ความหนืดของโยเกิร์ต	- ปรับความหนืดให้มากขึ้น	43.3
	- ความหนืดกำลังดี	50.0
	- ปรับความหนืดให้น้อยลง	6.7
รสเปรี้ยว	- ปรับรสเปรี้ยวให้มากขึ้น	6.7
	- รสเปรี้ยวกำลังดี	70.0
	- ปรับรสเปรี้ยวให้น้อยลง	23.3
รสหวาน	- ปรับรสหวานให้มากขึ้น	50.0
	- รสหวานกำลังดี	46.7
	- ปรับรสหวานให้น้อยลง	3.3

จากตารางที่ 9 พบว่าผู้ทดสอบร้อยละ 50 ให้ความคิดเห็นเกี่ยวกับกลิ่นและความหนืดของโยเกิร์ตมีความพอดี ผู้ทดสอบร้อยละ 70 พอใจในรสเปรี้ยวของโยเกิร์ต ในขณะที่ความคิดเห็นเกี่ยวกับรสหวานของโยเกิร์ต พบว่าผู้ทดสอบเพียงร้อยละ 46.7 พอใจในรสหวานของผลิตภัณฑ์ และร้อยละ 50 ต้องการให้ปรับรสหวานมากขึ้น ดังนั้นการพัฒนาสูตรจึงต้องปรับปริมาณน้ำตาลทรายเพื่อให้เพิ่มรสหวานให้มากขึ้น

#### 4.1.3.2 การหาปริมาณน้ำตาลที่เหมาะสม

จากการสอบถามผู้ทดสอบที่ต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีความหวานเพิ่มขึ้น จึงทำการผลิตโยเกิร์ตสูตรพื้นฐานที่มีการปรับปริมาณน้ำตาลขึ้น ซึ่ง Tamine และ Robinson (1999) กล่าวว่า ปริมาณน้ำตาลที่เติมลงในโยเกิร์ตร้อยละ 10-12 จะมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โยเกิร์ต ซึ่งเป็นผลมาจากความดันออสโมติกย้อนกลับ (adverse osmotic pressure) ของสารให้ความหวานในน้ำและปริมาณน้ำอิสระที่ลดลงในโยเกิร์ต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ปริมาณน้ำตาลทราย 2 ระดับ คือ ร้อยละ 8 และ 9 โดยน้ำหนัก ทำให้ได้สูตรการผลิตดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ส่วนประกอบของสูตรการผลิตโยเกิร์ตที่เติมน้ำตาลทรายปริมาณแตกต่างกัน

ส่วนประกอบ	ร้อยละ	
	ร้อยละ 8	ร้อยละ 9
นํ้านมข้าวโพด (ข้าวโพดต่อนํ้า 1:2)	82.7	81.8
นมผง	9.2	9.1
น้ำตาลทราย	8.0	9.0
เจลาติน	0.1	0.1

ลักษณะทางด้านกายภาพ เคมี่ และจุลินทรีย์ของโยเกิร์ตข้าวโพดสูตรพื้นฐานที่เติมน้ำตาลปริมาณร้อยละ 8 และ 9 แสดงในตารางที่ 11 พบว่ามีคุณลักษณะทางด้านต่างๆ ใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับโยเกิร์ตสูตรพื้นฐาน ปริมาณแบคทีเรียแลคติกลดลง อาจเกิดจากปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นมีผลในยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โยเกิร์ต ซึ่งสอดคล้องกับ วราวุฒิ และรุ่งนภา (2532) ที่กล่าวว่าการเติมสารให้ความหวานในปริมาณมากเกินไปอาจมีผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โยเกิร์ตได้ นอกจากนี้ปริมาณแบคทีเรียแลคติกที่ลดลงทำให้มีการผลิตกรดแลคติกต่ำลงจึงส่งผลให้ค่าความหนืดลดลง

**ตารางที่ 11** คุณลักษณะของโยเกิร์ตข้าวโพดสูตรพื้นฐานที่เติมน้ำตาลปริมาณแตกต่างกัน

คุณลักษณะ	ร้อยละ 8	ร้อยละ 9
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	4.10	4.17
ปริมาณกรดแลคติก (ร้อยละ)	1.07	0.95
ปริมาณแบคทีเรียแลคติก (CFU/g)	$2.5 \times 10^8$	$1.2 \times 10^8$
ค่าความหนืด (เซนติพอยส์)	3,920	3,780

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตข้าวโพดสูตรพื้นฐานที่ทำการปรับปริมาณน้ำตาลร้อยละ 8 และ 9 โดยน้ำหนักแสดงในตารางที่ 12 พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น และลักษณะเนื้อสัมผัสของทั้งสองสูตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนด้านรสชาติและความชอบโดยรวมผู้ทดสอบให้คะแนนสูตรที่ปรับปริมาณน้ำตาลร้อยละ 9 สูงกว่าร้อยละ 8 ในระดับชอบปานกลาง ดังนั้นจึงใช้โยเกิร์ตข้าวโพดที่ปรับปริมาณน้ำตาลร้อยละ 9 มาพัฒนาสภาวะการหมักที่เหมาะสมต่อไป

**ตารางที่ 12** คะแนนเฉลี่ยความชอบในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตข้าวโพดสูตรพื้นฐานที่เติมน้ำตาลปริมาณแตกต่างกัน

ปริมาณ น้ำตาล (ร้อยละ)	คะแนนเฉลี่ย				
	สี <sup>ns</sup>	กลิ่น <sup>ns</sup>	ลักษณะ <sup>ns</sup> เนื้อสัมผัส	รสชาติ	ความชอบ โดยรวม
8	$7.33 \pm 0.92$	$7.20 \pm 0.96$	$7.33 \pm 0.71$	$7.03 \pm 0.96^a$	$7.07 \pm 0.87^a$
9	$7.37 \pm 0.85$	$7.17 \pm 0.83$	$7.37 \pm 0.76$	$7.60 \pm 0.93^b$	$7.50 \pm 0.63^b$

หมายเหตุ a-b หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

#### 4.1.3.2 การศึกษาสภาวะการหมักที่เหมาะสมของโยเกิร์ตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การหมักโยเกิร์ตข้าวโพดสูตรที่พัฒนาได้มาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการหมัก ได้แก่ ปริมาณหัวเชื้อโยเกิร์ตร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยปริมาตร อุณหภูมิที่ใช้บ่มที่ 37 และ 43 องศาเซลเซียส และเวลาในการหมัก 4, 8 และ 12 ชั่วโมง ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดแลคติก และปริมาณแบคทีเรียแลคติก แสดงในตารางที่ 13 และ 14

ตารางที่ 13 คุณลักษณะของโยเกิร์ตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ทำการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาและปริมาณหัวเชื้อแตกต่างกัน

ระยะเวลา การหมัก (ชั่วโมง)	ปริมาณ หัวเชื้อโยเกิร์ต (ร้อยละ)	คุณลักษณะ		
		ค่าความเป็น กรด-ด่าง	ปริมาณ กรดแลคติก (ร้อยละ)	ปริมาณ แบคทีเรียแลคติก (CFU/g)
4	1	5.48	0.25	$5.5 \times 10^7$
	3	5.16	0.58	$3.9 \times 10^7$
	5	4.88	0.72	$1.6 \times 10^8$
8	1	4.99	0.69	$8.8 \times 10^7$
	3	4.34	0.86	$1.7 \times 10^7$
	5	4.28	0.89	$2.2 \times 10^8$
12	1	4.50	0.81	$9.1 \times 10^7$
	3	4.12	0.95	$1.2 \times 10^8$
	5	4.10	1.55	$7.3 \times 10^8$

เมื่อทำการหมักโยเกิร์ตที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 และ 8 ชั่วโมง โดยใช้หัวเชื้อปริมาณต่างๆ กัน เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดแลคติก พบว่าเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตโยเกิร์ต เนื่องจากแบคทีเรียแลคติกในโยเกิร์ตมีการเจริญน้อย ทำให้สร้างกรดแลคติกสะสมในผลิตภัณฑ์น้อย ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูง ซึ่ง Tamine และ Robinson (1999) กล่าวว่าโยเกิร์ตจะมีคุณภาพดีและเป็นที่ยอมรับเมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่างสุดท้ายอยู่ในช่วง 3.8-4.2 และมีปริมาณกรดแลคติกในผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงร้อยละ 0.9-1.2

เมื่อทำการหมักเป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าโยเกิร์ตสูตรที่เติมหัวเชื้อโยเกิร์ตปริมาณ ร้อยละ 5 มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 4.1 และมีปริมาณกรดแลคติกร้อยละ 1.55 ซึ่งมี กรดแลคติกสะสมในปริมาณที่มากเกินไป ทำให้โยเกิร์ตที่ได้มีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมากและเกิด การเสียดสภาพของเคิร์ด จึงเป็นสถานะที่ไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตโยเกิร์ต ส่วนโยเกิร์ตสูตรที่เติม หัวเชื้อโยเกิร์ตร้อยละ 3 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.12 และมีปริมาณกรดแลคติกร้อยละ 0.95 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมของโยเกิร์ต ดังนั้นจึงคัดเลือกโยเกิร์ตสูตรที่เติมหัวเชื้อโยเกิร์ตปริมาณร้อยละ 3 บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง สำหรับทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ต่อไป

**ตารางที่ 14** คุณลักษณะของโยเกิร์ตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ทำการหมักที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาและปริมาณหัวเชื้อแตกต่างกัน

ระยะเวลา การหมัก (ชั่วโมง)	ปริมาณ หัวเชื้อ โยเกิร์ต (ร้อยละ)	คุณลักษณะ		
		ค่าความเป็น กรด-ด่าง	ปริมาณ กรดแลคติก (ร้อยละ)	ปริมาณ แบคทีเรียแลคติก (CFU/g)
4	1	4.87	0.71	$6.2 \times 10^7$
	3	4.89	0.65	$8.3 \times 10^7$
	5	4.42	0.79	$1.1 \times 10^8$
8	1	4.88	0.65	$1.8 \times 10^8$
	3	4.57	0.80	$1.5 \times 10^8$
	5	4.35	0.85	$2.1 \times 10^8$
12	1	4.23	0.83	$1.2 \times 10^8$
	3	4.18	0.92	$1.5 \times 10^8$
	5	4.03	1.29	$9.1 \times 10^8$

เมื่อทำการหมักโยเกิร์ตที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 และ 8 ชั่วโมง โดยใช้ปริมาณหัวเชื้อปริมาณต่างๆ กัน เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดแลคติก พบว่าเป็นสถานะที่ไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตโยเกิร์ตเช่นเดียวกันกับการบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เมื่อทำการหมักโยเกิร์ตเป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 4.0-4.2 มีปริมาณกรดแลคติกร้อยละ 0.8-1.2 ส่วนโยเกิร์ตสูตรที่เติมหัวเชื้อโยเกิร์ตปริมาณร้อยละ 5 มีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก และเกิดการเสียสภาพของเกิร์ต จึงเป็นสถานะที่ไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตโยเกิร์ต ดังนั้นจึงคัดเลือกโยเกิร์ตสูตรที่เติมหัวเชื้อโยเกิร์ตปริมาณร้อยละ 1 และ 3 โดยบ่มที่ อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง สำหรับทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเพื่อ คัดเลือกสถานะที่เหมาะสมในการหมักต่อไป

จากการนำโยเกิร์ตข้าวโพดที่หมักโดยใช้สภาวะการหมัก 3 สถานะ ได้แก่ สูตรที่ เติมหัวเชื้อร้อยละ 3 บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง สูตรที่เติมหัวเชื้อร้อยละ 1 และ 3 บ่มที่ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง มาทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือก สถานะที่เหมาะสมในการหมัก พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะทางประสาท สัมผัสของโยเกิร์ตข้าวโพดเมื่อใช้ปริมาณหัวเชื้อ อุณหภูมิ และเวลาในการหมักต่างๆ ดังแสดงใน ตารางที่ 15 พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น และลักษณะเนื้อสัมผัสของทั้งสาม สูตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนด้านรสชาติและความชอบโดยรวมผู้ทดสอบให้ คะแนนสูตรที่เติมหัวเชื้อร้อยละ 3 บ่มที่ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง สูงกว่าสูตรอื่นใน ระดับชอบปานกลาง ดังนั้นจึงคัดเลือกโยเกิร์ตข้าวโพดที่เติมหัวเชื้อโยเกิร์ตปริมาณร้อยละ 3 โดย ปริมาตร ทำการหมักที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เป็นสถานะในการหมักเพื่อใช้ ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักโยเกิร์ตข้าวโพดต่อไป

**ตารางที่ 15** คะแนนเฉลี่ยความชอบในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตข้าวโพดเมื่อใช้ปริมาณหัวเชื้อ อุณหภูมิ และเวลาในการหมักต่างๆ

สภาวะการหมัก	คะแนนเฉลี่ย				
	สี <sup>ns</sup>	กลิ่น <sup>ns</sup>	ลักษณะเนื้อสัมผัส <sup>ns</sup>	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
หัวเชื้อ 3% 37 °C 12 ชั่วโมง	7.59 ± 0.50	7.00 ± 0.95	7.28 ± 0.85	6.65 ± 0.95 <sup>b</sup>	6.97 ± 0.90 <sup>b</sup>
หัวเชื้อ 1% 43 °C 12 ชั่วโมง	7.66 ± 0.48	7.16 ± 0.81	6.84 ± 0.95	5.56 ± 0.98 <sup>a</sup>	6.41 ± 0.98 <sup>a</sup>
หัวเชื้อ 3% 43 °C 12 ชั่วโมง	7.63 ± 0.72	7.25 ± 0.72	7.03 ± 0.78	7.25 ± 0.92 <sup>c</sup>	7.22 ± 0.71 <sup>b</sup>

หมายเหตุ a-b หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

#### 4.1.4 การวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จากการพัฒนาหมักโยเกิร์ตข้าวโพดโดยใช้หัวเชื้อโยเกิร์ตปริมาณร้อยละ 3 โดยปริมาตร ทำการหมักที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวโพดที่ผลิตได้มีคุณภาพทางด้านต่างๆ ดังนี้

คุณลักษณะทางด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต มีสีเหลืองอ่อนของข้าวโพด และเนื้อสัมผัสเนียน ดังแสดงในภาพที่ 7 มีกลิ่นหอมของข้าวโพด ซึ่งข้าวโพดเมื่อผ่านความร้อนจะมีกลิ่นข้าวโพดที่เป็นกลิ่นเฉพาะ มีค่า syneresis ร้อยละ 0 หรือไม่มีการแยกตัวของน้ำจากเคิร์ด มีความหนืด 3,730 เซนติพอยส์ ซึ่งลักษณะชั้นหนืดของโยเกิร์ตเกิดจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีปริมาณแป้งเป็นองค์ประกอบสูง เมื่อข้าวโพดผ่านความร้อนมีผลทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น เกล็ดินที่เติมลงในโยเกิร์ตจะทำหน้าที่เป็นสารคงตัวที่ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ และช่วยลดการแยกตัวของของเหลวออกจากเคิร์ด



ภาพที่ 7 ลักษณะของโยเกิร์ตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

คุณลักษณะทางด้านเคมีของโยเกิร์ตข้าวโพดแสดงในตารางที่ 16 พบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.18 มีปริมาณกรดแลคติกร้อยละ 0.92 และมีปริมาณน้ำตาลรีดิซเท่ากับ 111.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร อย่างไรก็ตามปริมาณกรดแลคติกของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 289 ที่กำหนดว่าต้องมีปริมาณกรดแลคติกไม่ต่ำกว่าร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก (ราชกิจจานุเบกษา, 2548)

ตารางที่ 16 คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

คุณลักษณะ	ปริมาณ
ค่า syneresis (ร้อยละ)	0
ค่าความหนืด (เซนติพอยส์)	3,730
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	4.18
ปริมาณกรดแลคติก (ร้อยละ)	0.92
ความชื้น (ร้อยละ)	77.43

คุณค่าทางโภชนาการของโยเกิร์ตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แสดงในตารางที่ 17 เมื่อเปรียบเทียบกับโยเกิร์ตไขมันตามท้องตลาดพบว่า มีปริมาณ ไขมันทั้งหมด ไขมันอิ่มตัว และโปรตีนต่ำกว่าโยเกิร์ตไขมันต่ำในท้องตลาด เนื่องจากโยเกิร์ตข้าวโพดผลิตจากน้ำนมข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ซึ่งเป็นวัตถุดิบมีปริมาณไขมันและโปรตีนต่ำ สอดคล้องกับนวนลภา (2546) ได้ทำการพัฒนาโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดจากข้าวโพดหวาน ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันและโปรตีน เท่ากับร้อยละ 0.62 และ

4.91 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปริมาณโปรตีนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 289 ที่ได้กำหนดให้มีปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 2.7 ของน้ำหนัก (ราชกิจจานุเบกษา, 2548) ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและวิตามินเอสูงกว่าโยเกิร์ตไขมันต่ำในท้องตลาด รวมทั้งมีใยอาหารซึ่งจะไม่พบในโยเกิร์ตที่ผลิตจากน้ำนมจากสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากทดแทนน้ำนมสัตว์ด้วยน้ำนมจากข้าวโพด ผลการวิเคราะห์คุณค่าทั้งหมดทางโภชนาการของโยเกิร์ตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แสดงใน ภาคผนวก ง

**ตารางที่ 17** คุณค่าทางโภชนาการโยเกิร์ตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และโยเกิร์ตไขมันต่ำตามท้องตลาด

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ ต่อ 100 กรัม	
	โยเกิร์ต ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	โยเกิร์ต ไขมันต่ำตามท้องตลาด*
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี)	88.92	56.00
พลังงานจากไขมัน (กิโลแคลอรี)	4.68	-
ไขมันทั้งหมด (กรัม)	0.52	1.00
ไขมันอิ่มตัว (กรัม)	0.26	0.70
โคเลสเตอรอล (มิลลิกรัม)	1.18	-
โปรตีน (กรัม)	2.88	4.80
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	18.18	7.40
ใยอาหาร (กรัม)	0.91	-
น้ำตาล (กรัม)	11.69	-
โซเดียม (มิลลิกรัม)	24.96	63.00
วิตามินเอ (ไมโครกรัม)	27.59	(carotene) trace
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.03	0.12
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.05	0.22
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	189.06	162.00
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.13	0.10

หมายเหตุ \* ข้อมูลจาก The National Dairy Council (yogurt, 2010)

- ไม่ได้ทำการทดสอบ

คุณลักษณะทางด้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต แสดงในตารางที่ 18 พบว่าปริมาณแบคทีเรียแลคติกและปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ  $9.1 \times 10^8$  และ  $1.3 \times 10^9$  CFU/g ตามลำดับ ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียน้อยกว่า 3 MPN/g ไม่พบยีสต์และรา และไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ได้แก่ *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* และ *Salmonella* sp. ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต มีปริมาณกรดแลคติกสูงและมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ จึงทำให้ไม่เหมาะต่อการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่น หรืออาจมีกลไกที่ทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่นได้

ปริมาณแบคทีเรียแลคติกในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 289 ที่กำหนดให้มีแบคทีเรียแลคติกเหลืออยู่ไม่น้อยกว่า  $10^7$  CFU/g ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียน้อยกว่า 3 MPN/g และต้องไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (ราชกิจจานุเบกษา, 2548)

**ตารางที่ 18** คุณลักษณะทางด้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จุลินทรีย์	ปริมาณ
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	$1.3 \times 10^9$
ปริมาณแบคทีเรียแลคติก (CFU/g)	$9.1 \times 10^8$
ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g)	ND
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (MPN/g)	< 3.0
<i>Staphylococcus aureus</i>	ND
<i>Bacillus cereus</i>	ND
<i>Salmonella</i> sp.	ND

หมายเหตุ ND (Not Detected) หมายถึง ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์

#### 4.1.5 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 100 คนต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ด้วยวิธี Hedonic scale โดยให้คะแนนความชอบที่ระดับ 1-9 ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 19 ผู้บริโภคให้การยอมรับในด้านสี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบ ซึ่งสีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์เป็นลักษณะเด่นที่ได้จากข้าวโพดคือ มีสีเหลืองและกลิ่นหอมของข้าวโพดโดยไม่ต้องเติมแต่งสารสังเคราะห์ใดๆลงไป ส่วนด้านความหวานและความเปรี้ยวอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

**ตารางที่ 19** คะแนนเฉลี่ยการยอมรับในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบเฉลี่ย
สี	7.52
กลิ่น	7.14
ลักษณะเนื้อสัมผัส	7.35
ความเปรี้ยว	6.93
ความหวาน	6.71
ความชอบโดยรวม	7.14

#### 4.1.6 การศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จากการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวโพด โดยเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิเฉลี่ย 8-10 องศาเซลเซียส ทำการเก็บตัวอย่างโยเกิร์ตทุก 3 วันมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 20 พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาโยเกิร์ตในช่วงเวลา 9 วัน แบคทีเรียแลคติกมีการเพิ่มปริมาณได้อย่างช้าๆ เมื่อเก็บรักษาได้ 12 วัน มีปริมาณแบคทีเรียแลคติกเท่ากับ  $2.1 \times 10^9$  CFU/g และยังคงมีกิจกรรมการหมักอยู่ทำให้มีปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้รสชาติเปรี้ยวที่เพิ่มขึ้น และทำให้โครงสร้างของเกิร์ตเสียสภาพ มีการแยกตัวของของเหลว

**ตารางที่ 20** การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเมื่อเก็บรักษาในตู้เย็น

คุณลักษณะ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)				
	0	3	6	9	12
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	4.18	4.16	4.11	3.98	3.95
ปริมาณกรดแลคติก (ร้อยละ)	0.92	0.95	0.98	1.12	1.15
ปริมาณแบคทีเรียแลคติก (CFU/g)	$1.5 \times 10^8$	$6.4 \times 10^8$	$9.6 \times 10^8$	$9.9 \times 10^8$	$2.1 \times 10^9$
ค่าความหนืด (เซนติพอยส์)	3,730	3,600	3,620	3,600	3,610
ค่า syneresis (ร้อยละ)	0	0	0	0	0.99

เมื่อนำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ดังแสดงในตารางที่ 21 พบว่าในวันแรกจนถึงวันที่ 6 ผู้ทดสอบยังคงยอมรับคุณลักษณะทางด้านสี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในระดับขอบปานกลาง เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 9 วัน ผู้ทดสอบเริ่มไม่ชอบคุณลักษณะทางด้านรสชาติ และความชอบโดยรวม เนื่องจากความเปรี้ยวที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณกรดแลคติกที่เพิ่มขึ้น จึงหยุดการทดสอบ อย่างไรก็ตามโยเกิร์ตยังคงมีเคิร์ดจับตัวกันแน่นและเรียบเนียนดี มีกลิ่นรสของข้าวโพดดีตลอดระยะเวลาการเก็บ สอดคล้องกับคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นและลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับวันเริ่มต้นผลิต

**ตารางที่ 21** คะแนนเฉลี่ยความชอบในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเมื่อเก็บรักษาในตู้เย็น

ระยะเวลา การเก็บรักษา (วัน)	คะแนนเฉลี่ย				
	สี <sup>ns</sup>	กลิ่น <sup>ns</sup>	ลักษณะ <sup>ns</sup> เนื้อสัมผัส	รสชาติ	ความชอบ โดยรวม
0	7.53 ± 0.68	7.23 ± 0.73	7.40 ± 0.93	7.23 ± 0.68 <sup>a</sup>	7.30 ± 0.92 <sup>a</sup>
3	7.67 ± 0.76	7.37 ± 0.85	7.23 ± 0.77	7.20 ± 0.81 <sup>a</sup>	7.33 ± 0.76 <sup>a</sup>
6	7.57 ± 0.82	7.27 ± 0.78	7.33 ± 0.88	7.20 ± 0.76 <sup>a</sup>	7.20 ± 0.76 <sup>a</sup>
9	7.10 ± 0.62	7.23 ± 0.66	7.00 ± 0.87	6.33 ± 0.88 <sup>b</sup>	6.27 ± 0.87 <sup>b</sup>

หมายเหตุ a-b หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

## 4.2 สาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

### 4.2.1 การคัดเลือกลูกแป้งที่มีประสิทธิภาพในการหมักสาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ตัวอย่างลูกแป้งที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 3 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 22 ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกัน ทั้งรูปร่าง ขนาด และสี ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตของผู้ผลิต คือ ตัวอย่างลูกแป้งจังหวัดหนองคาย ผู้ผลิตทำการบดลูกแป้งจนเป็นผงละเอียด เพื่อสะดวกในการนำมาใช้ ตัวอย่างลูกแป้งจากจังหวัดลพบุรีและสระบุรีมีลักษณะเป็นก้อนแป้ง สีของลูกแป้งพบว่าตัวอย่างลูกแป้งจากจังหวัดลพบุรีและสระบุรีมีสีขาวจนถึงสีเทาของแป้งที่ใช้ผลิต ส่วนลูกแป้งจากจังหวัดหนองคายมีสีเขียวจากการเติมขมขึ้นเครื่อง ซึ่งสีของลูกแป้งมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์สาโท คือ ถ้าลูกแป้งมีการเติมส่วนประกอบที่ไม่มีสี จะทำให้ได้สาโทที่มีลักษณะใส ส่วนลูกแป้งที่มีสีจะส่งผลให้สาโทมีสีตามสีของลูกแป้งได้ แหล่งที่มาและลักษณะปรากฏของตัวอย่างลูกแป้ง แสดงภาพที่ 8

ตารางที่ 22 แหล่งที่มาและลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างลูกแป้ง

ตัวอย่างลูกแป้ง	ที่มา	ลักษณะกายภาพ
ลูกแป้ง S	อำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี	ก้อนทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 3.2 ซม. มีรูพรุน เมื่อบดลูกแป้งพบเส้นใยเกาะแน่นในลูกแป้ง มีกลิ่นแป้ง
ลูกแป้ง L	อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี	ก้อนทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 2.5 ซม. มีรูพรุน เมื่อบด มีเส้นใยเกาะแน่นในลูกแป้ง มีกลิ่นแป้งหมัก
ลูกแป้ง NK	อำเภอพนพิสัย จังหวัดหนองคาย	เป็นผงละเอียด สีเขียวอ่อนหรือสีเหลือง มีกลิ่นหอม



ภาพที่ 8 รูปร่างและสีของตัวอย่างลูกแป้งที่ใช้ในการหมักสาโท

- (ก) ลูกแป้งจังหวัดสระบุรี
- (ข) ลูกแป้งจังหวัดลพบุรี
- (ค) ลูกแป้งจังหวัดหนองคาย

จากการนำตัวอย่างลูกแป้งทั้งสามชนิดมาทดลองหมักสาโทโดยใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นวัตถุดิบเพียงอย่างเดียว เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก พบว่าน้ำหมักที่ได้จากการหมักโดยลูกแป้งสามชนิดมีกลิ่นเปรี้ยวรุนแรง มีฝ้าขาวบนวัตถุดิบ และมีฟองแก๊สปริมาณมาก เนื่องจากเชื้อราในลูกแป้งไม่สามารถย่อยแป้งในข้าวโพดให้เป็นแหล่งน้ำตาลที่เพียงพอสำหรับการหมักแอลกอฮอล์ได้ จึงทำให้เกิดการเน่าเสียจากกลุ่มจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดอะซิติกและกรดแลคติก ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ สุมณา (2548) ที่ทำการหมักข้าวโพดหวานตกเกรดจากกระบวนการผลิตข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องกับลูกแป้งสุราพบว่า เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีแอลกอฮอล์ต่ำร้อยละ 1.00-3.27 และมีปริมาณกรดร้อยละ 0.77-0.97

ดังนั้นจึงทดลองใช้ข้าวเหนียวหนึ่งสุกเป็นแหล่งน้ำตาล โดยหมักร่วมกับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในอัตราส่วนข้าวโพดต่อข้าวเหนียวเท่ากับ 1:1 คลุกด้วยลูกแป้งร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ทำการหมักเป็นเวลา 4 วัน เติมน้ำและหมักต่อจนครบ 10 วัน ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำหมักแสดงในตารางที่ 23 พบว่าในช่วงแรกของการหมักจะมี น้ำคั่งเกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับหมักด้วยข้าวเหนียวเพียงอย่างเดียว หลังจากเติมน้ำและหมักจนสิ้นสุดการหมัก พบว่าน้ำหมักจากการหมักด้วยลูกแป้ง S และ NK มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดร้อยละ 9.20 และ 11.15 ตามลำดับ ส่วนน้ำหมักจากการหมักด้วยลูกแป้ง L มี ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 6.50 มีกลิ่นเปรี้ยวรุนแรงและเกิดแผ่นคล้ายวุ้นลอยบนน้ำหมัก ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักพบว่าน้ำหมักจากการหมักด้วยลูกแป้ง S มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำที่สุดเท่ากับ 2.91 ส่งผลให้น้ำหมักมีกลิ่น

รสเปรี้ยวชัดเจน ซึ่งอาจเกิดจากจุลินทรีย์กลุ่มอื่นที่เจริญและผลิตกรด เช่น แบคทีเรียกรดแลคติกและแบคทีเรียกรดอะซิติก มีแนวโน้มทำให้เกิดการเสื่อมเสีย ส่วนน้ำหมักจากลูกแป้ง NK มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุด ไม่พบปริมาณของแข็งละลายในน้ำหมักจากลูกแป้ง 3 ชนิด อาจเป็นเพราะน้ำตาลที่ได้จากการย่อยด้วยเชื้อรามีน้อยจึงไม่สามารถวัดได้ ปริมาณลูกแป้ง S และ NK ที่ใช้ในการหมักพบว่า ที่ร้อยละ 0.5 มีแอลกอฮอล์ต่ำที่สุด ส่วนที่ร้อยละ 1 และ 2 ปริมาณแอลกอฮอล์ไม่แตกต่างกัน และพบว่าที่ลูกแป้งร้อยละ 2 ทำให้น้ำหมักมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่าร้อยละ 1 ดังนั้นจึงเลือกปริมาณลูกแป้งร้อยละ 1 ไปใช้ในการหมักขั้นต่อไป

**ตารางที่ 23** ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งละลาย ปริมาณแอลกอฮอล์ และลักษณะปรากฏของน้ำหมักจากการหมักข้าวโพด

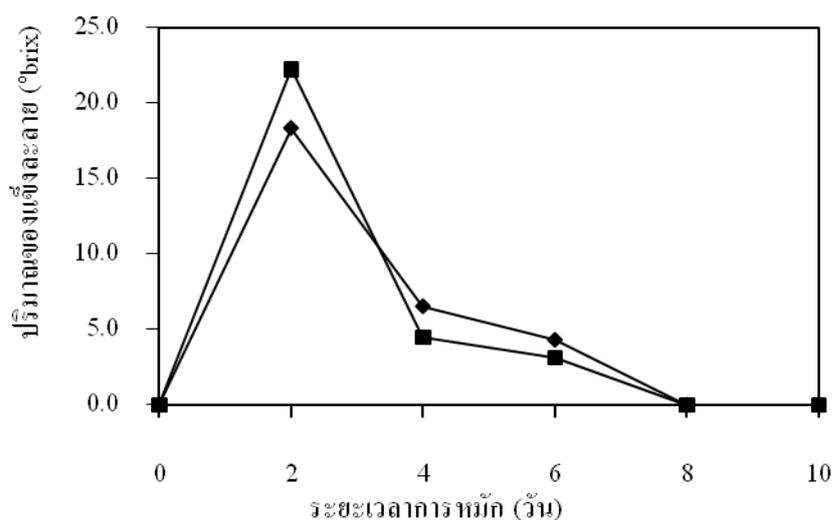
ตัวอย่างลูกแป้ง และปริมาณที่ใช้	ปริมาณ ของแข็งละลาย ( <sup>o</sup> brix)	ค่าความเป็น กรด - ด่าง	ปริมาณแอลกอฮอล์ (ร้อยละ)	ลักษณะของ น้ำหมัก
<b>ลูกแป้ง L</b>				
ร้อยละ 0.5	0.00	2.91	4.90	น้ำหมักมีกลิ่นเปรี้ยว
ร้อยละ 1	0.00	2.99	6.50	และมีแผ่นวุ้นลอยอยู่
ร้อยละ 2	7.36	2.91	4.00	บนผิวหน้า
<b>ลูกแป้ง S</b>				
ร้อยละ 0.5	0.00	3.21	7.00	น้ำหมักมีสีขาวขุ่น
ร้อยละ 1	0.00	3.23	9.20	
ร้อยละ 2	5.00	3.18	9.55	
<b>ลูกแป้ง NK</b>				
ร้อยละ 0.5	0.00	3.69	10.0	น้ำหมักมีสีเขียวอ่อน
ร้อยละ 1	0.00	3.92	11.15	ขุ่น กลิ่นหอม
ร้อยละ 2	0.00	3.44	10.98	

จากการพิจารณาถึงลักษณะปรากฏและทางเคมีของน้ำหมักที่เกิดจากการหมักของลูกแป้งทั้ง 3 ชนิดพบว่า ลูกแป้ง L ไม่เหมาะสมที่จะทำการหมักสาโทข้าวโพดจึงนำลูกแป้ง S และ NK ปริมาณร้อยละ 1 ไปพัฒนาการหมักสาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในขั้นต่อไป

## 4.2.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการหมักสาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

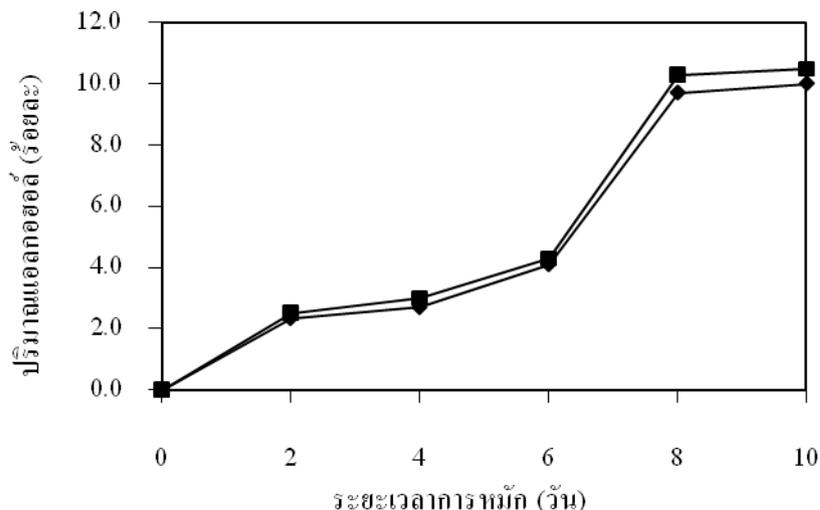
### 4.2.2.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการผลิตหมักสาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ทำการหมักสาโทข้าวโพดโดยใช้ลูกแป้ง S และ NK ปริมาณร้อยละ 1 เป็นแหล่งจุลินทรีย์ วัตถุดิบคือข้าวโพดและข้าวเหนียวในอัตราส่วน 1:1 หมักที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 วัน เติมน้ำและหมักต่อจนครบ 10 วัน พบว่าปริมาณของแข็งละลายในน้ำหมักซึ่งส่วนใหญ่ คือน้ำตาลจากการหมักด้วยลูกแป้งทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 2 ของการหมัก ดังแสดงในภาพที่ 9 โดยที่ลูกแป้ง NK และ S มีปริมาณของแข็งละลายเท่ากับ 22.2 องศาบริกซ์ และ 18.3 องศาบริกซ์ ตามลำดับ เนื่องจากเชื้อราย่อยแป้งในวัตถุดิบเป็นน้ำตาลกลูโคส หลังจากนั้นปริมาณของแข็งละลายมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากยีสต์นำน้ำตาลไปใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ ในวันที่ 4 ของการหมักมีการเติมน้ำลงในวัตถุดิบ ทำให้ปริมาณน้ำตาลถูกเจือจางเพื่อปรับสภาพให้เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการหมักแอลกอฮอล์โดยยีสต์



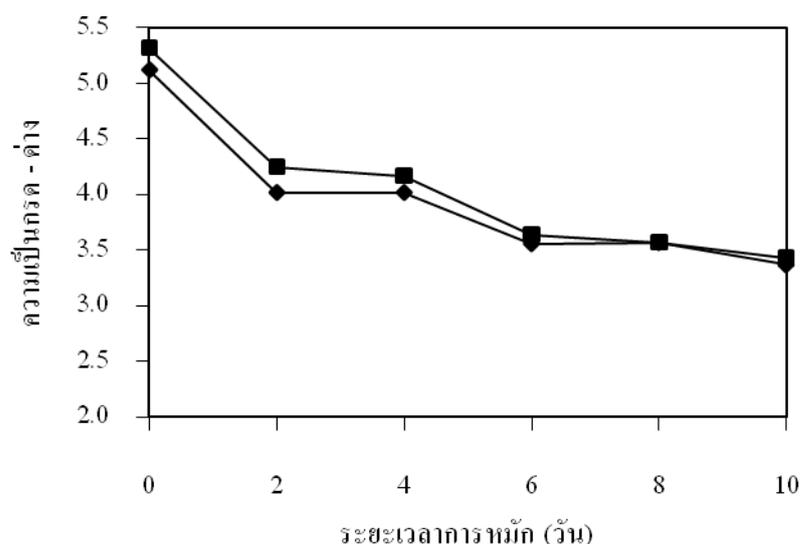
ภาพที่ 9 ปริมาณของแข็งละลายในน้ำหมักระหว่างการหมักด้วย ลูกแป้ง NK (■) และ S (◆)

ปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างการหมักสาโทข้าวโพด พบว่าปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการหมัก และจะมีอัตราเพิ่มสูงในช่วงหลังจากการเติมน้ำในวัตถุดิบคือ วันที่ 6-8 ของการหมัก และเมื่อสิ้นสุดการหมักในวันที่ 10 พบว่าน้ำหมักจากลูกแป้ง 2 ชนิดมีปริมาณแอลกอฮอล์สะสมในผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกันคือร้อยละ 10.00-10.50 ดังแสดงในภาพที่ 10 ซึ่งปริมาณแอลกอฮอล์ในผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์คุณภาพผลิตภัณฑ์สาโทของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสาโท (มผช. 3/2546)



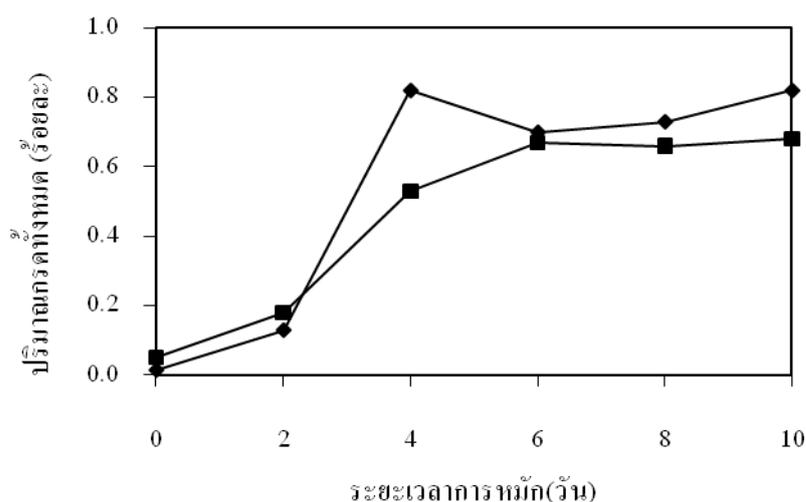
ภาพที่ 10 ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำหมักระหว่างการหมักด้วยลูกแป้ง NK (■) และ S (◆)

ค่าความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการหมัก พบว่าหลังจากวันที่ 2 ของการหมักมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงสุดกระบวนการหมัก โดยที่น้ำหมักที่หมักด้วยลูกแป้ง NK มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.32-3.43 และลูกแป้ง S มีค่าอยู่ในช่วง 5.12-3.37 ดังแสดงในภาพที่ 11 การลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการหมัก เป็นเพราะมีกรดสะสมในน้ำหมักจากการเจริญของแบคทีเรียแลคติก (Lactic acid bacteria) และแบคทีเรียอะซิติก (Acetic acid bacteria) ซึ่งสามารถผลิตกรดออกมาทำให้จุลินทรีย์ชนิดอื่นถูกยับยั้งนอกจากยีสต์ที่มีความสามารถในการเจริญเติบโตในอาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ (สุมัลลิกา, 2546)



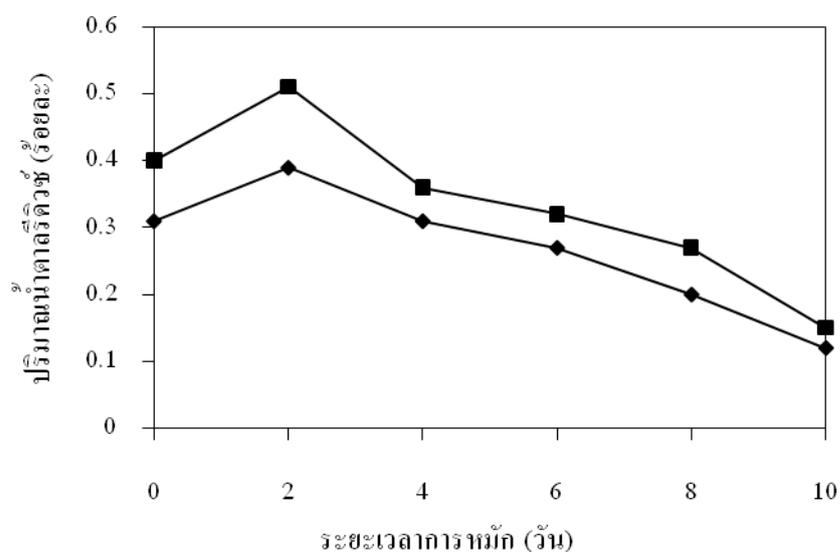
ภาพที่ 11 ค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำหมักระหว่างการหมักด้วยลูกแป้ง NK (■) และ S (◆)

ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดแลกติกในน้ำหมัก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนถึงสุดกระบวนการหมัก โดยที่น้ำหมักจากการหมักด้วยลูกแป้ง NK มีปริมาณกรดสูงกว่า ลูกแป้ง S เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีปริมาณกรดสะสมในน้ำหมักจากลูกแป้ง NK และ S เท่ากับ ร้อยละ 0.66 และ 0.52 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 12



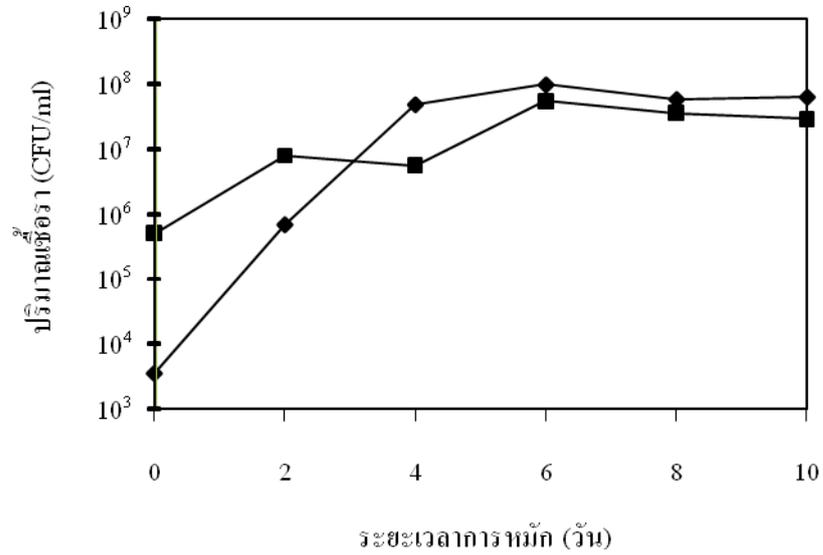
ภาพที่ 12 ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดแลกติกในน้ำหมักระหว่างการหมักด้วยลูกแป้ง NK (■) และ S (◆)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในกระบวนการหมัก พบว่าน้ำหมักจาก ลูกแป้ง S มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดในวันที่ 4 ของการหมักเท่ากับร้อยละ 0.6 และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆจนถึงสุดกระบวนการหมัก ส่วนน้ำหมักจากลูกแป้ง NK มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดในวันที่ 2 ของการหมักร้อยละ 0.51 แสดงถึงประสิทธิภาพในการย่อยแป้งในวัตถุดิบให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาล ดังแสดงในภาพที่ 13

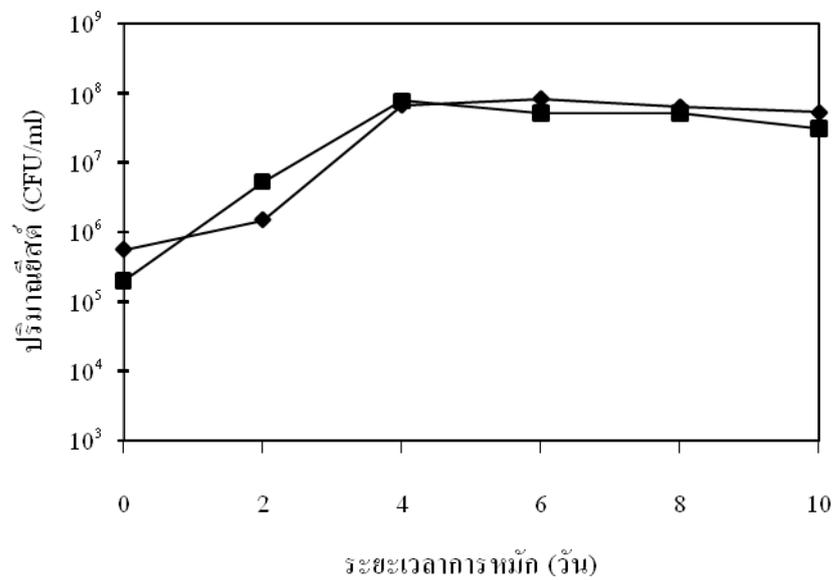


ภาพที่ 13 ปริมาณน้ำตาสดิวซ์ในน้ำหมักระหว่างการหมักด้วยลูกแป้ง NK (■) และ S (◆)

ปริมาณเชื้อราและยีสต์ในระหว่างการหมักด้วยลูกแป้ง 2 ชนิด แสดงในภาพที่ 14 และ 15 ในช่วงแรกของการหมักปริมาณจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเชื้อราในน้ำหมักจากลูกแป้ง NK และ S มีปริมาณ  $7.9 \times 10^6$  และ  $6.9 \times 10^5$  CFU/ml ตามลำดับ ส่วนยีสต์ในน้ำหมักจากลูกแป้ง NK และ S มีปริมาณ  $5.3 \times 10^6$  และ  $1.5 \times 10^6$  CFU/ml ตามลำดับ จนกระทั่งถึงวันที่ 4 ของการหมักที่มีการเติมน้ำ ปริมาณเชื้อราและยีสต์ในน้ำหมักมีปริมาณคงที่ จนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการหมัก



ภาพที่ 14 ปริมาณเชื้อราในน้ำหมักระหว่างการหมักด้วยลูกแป้ง NK (■) และ S (◆)



ภาพที่ 15 ปริมาณยีสต์ในน้ำหมักระหว่างการหมักด้วยลูกแป้ง NK (■) และ S (◆)

จากการคัดเลือกลูกแป้งที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการหมักสาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยศึกษาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและจุลินทรีย์ระหว่างกระบวนการหมัก พบว่าลูกแป้งที่มีประสิทธิภาพ คือ ลูกแป้ง NK สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงกว่าลูกแป้ง S ในวันที่ 8 ของการหมัก และมีปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดแลคติกสะสมในน้ำหมักน้อยที่สุด ซึ่งส่งผลถึงรสเปรี้ยวของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงเลือกลูกแป้ง NK ร้อยละ 1 และใช้ระยะเวลาการหมักทั้งหมด 8 วัน ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สาโทข้าวโพดในขั้นต่อไป

#### 4.2.2.2 ศึกษาวิธีการฆ่าเชื้อสาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จากการทดลองฆ่าเชื้อในสาโท 2 วิธี ได้แก่ การเติมโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ 0.1 g/L และการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรส์โดยการแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส 30 นาที พบว่าการฆ่าเชื้อโดยการเติมโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ เมื่อตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สาโทมีลักษณะเป็นฟองและมีฝ้าของฟิล์มยีสต์ปรากฏขึ้นที่ผิวหน้า ซึ่งอาจเกิดจากการฆ่าเชื้อยังไม่หมดจึงทำให้เกิดกระบวนการหมักต่อและทำให้สาโทมีลักษณะขุ่น ส่วนการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรส์พบว่า สาโทมีลักษณะใส เนื่องจากตะกอนของวัตถุดิบและจุลินทรีย์ตกลงก้นภาชนะ ทำให้สะดวกในขั้นตอนการทำให้สาโทใส เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์และปริมาณแอลกอฮอล์หลังการพาสเจอร์ไรส์ ดังแสดงในตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ปริมาณแอลกอฮอล์ ปริมาณเชื้อราและยีสต์ของสาโทข้าวโพดก่อนและหลังการพาสเจอร์ไรส์

คุณลักษณะ	ก่อนพาสเจอร์ไรส์	หลังพาสเจอร์ไรส์
ปริมาณเชื้อรา (CFU/ml)	$7.5 \times 10^7$	ND
ปริมาณยีสต์ (CFU/ml)	$8.0 \times 10^7$	ND
ปริมาณแอลกอฮอล์(ร้อยละ)	11.25	11.25

หมายเหตุ ND คือ ตรวจไม่พบจุลินทรีย์

### 4.2.3 การพัฒนาการผลิตสาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

#### 4.2.3.1 ศึกษาอัตราส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสม

จากการทดลองขั้นต้น พบว่าเมื่อทำการหมักข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ร่วมกับข้าวเหนียวในอัตราส่วน 1:1 เป็นวัตถุดิบ ดังนั้นเพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้สูงสุด จึงทำการแปรปริมาณข้าวโพดต่อข้าวเหนียวในอัตราส่วนต่างๆคือ 9:1, 8:2, 7:3 และ 6:4 ทำการหมักด้วยลูกแป้ง NK ร้อยละ 1 เป็นเวลา 8 วันซึ่งคุณลักษณะต่างๆแสดงในตารางที่ 25

ตารางที่ 25 คุณลักษณะทางเคมีและจุลชีววิทยาของสาโทข้าวโพดจากการหมักด้วยข้าวโพดร่วมกับข้าวเหนียวอัตราส่วนต่างๆ

คุณลักษณะ	อัตราส่วนข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อข้าวเหนียว			
	9:1	8:2	7:3	6:4
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	3.10	3.70	3.72	3.49
ปริมาณกรดทั้งหมด(ร้อยละ)	0.90	0.58	0.50	0.49
ปริมาณแอลกอฮอล์ (ร้อยละ)	6.80	9.30	9.80	9.90
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	0.05	0.08	0.08	0.08
ปริมาณเชื้อรา (CFU/g)	$4.4 \times 10^7$	$5.8 \times 10^7$	$2.3 \times 10^7$	$2.3 \times 10^7$
ปริมาณยีสต์ (CFU/g)	$5.5 \times 10^7$	$3.1 \times 10^7$	$2.6 \times 10^7$	$2.6 \times 10^7$

จากตารางพบว่าอัตราส่วนข้าวโพดต่อข้าวเหนียว 8:2, 7:3 และ 6:4 ให้ปริมาณแอลกอฮอล์ใกล้เคียงกัน คือ ปริมาณร้อยละ 9.30, 9.80 และ 9.90 ตามลำดับ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณข้าวเหนียวที่แตกต่างกันในขณะที่อัตราส่วน 9:1 แอลกอฮอล์ต่ำที่สุดร้อยละ 6.80 ซึ่งส่งผลถึงรสชาติของผลิตภัณฑ์รวมทั้งมีปริมาณกรดสูง ดังนั้นจึงเลือกสาโทที่อัตราส่วนวัตถุดิบ 8:2, 7:3 และ 6:4 ไปทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมต่อไป

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของสาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ผลิตจากวัตถุดิบอัตราส่วน 8:2, 7:3 และ 6:4 โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 30 คน คะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์ดังแสดงในตารางที่ 26 พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านกลิ่นและสีของอัตราส่วน 8:2, 7:3 และ 6:4 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกัน ในขณะที่คุณลักษณะด้านความใส รสชาติและความชอบโดยรวมผู้ทดสอบให้คะแนนอัตราส่วน 8:2 มีคะแนนสูงกว่าอัตราส่วนอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเนื่องจากสาโทข้าวโพดทั้ง 3 อัตราส่วนมีปริมาณน้ำตาลเหลือในผลิตภัณฑ์น้อยทำให้ขาดรสหวานและมีรสขมค่อนข้างชัดเจน ส่วนคุณลักษณะด้านความใสพบว่า ในกระบวนการหลังการหมักมีเพียงการกรองวัตถุดิบออกด้วยผ้าขาวบางและนำไปฆ่าเชื้อจึงทำให้สาโทที่มีข้าวเหนียวเป็นองค์ประกอบมากจะมีตะกอนของข้าวเหนียวที่ถูกย่อยจากจุลินทรีย์จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ขุ่นกว่าปริมาณข้าวเหนียวที่น้อย ประกอบกับข้อเสนอแนะของผู้ทดสอบให้เพิ่มความหวานให้กับผลิตภัณฑ์อีก

ตารางที่ 26 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของสาโทที่หมักจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ร่วมกับข้าวเหนียวในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน ข้าวโพด:ข้าวเหนียว	คะแนนเฉลี่ย				
	ความใส	กลิ่น <sup>ns</sup>	รสชาติ	สี <sup>ns</sup>	ความชอบโดยรวม
8:2	7.53±0.86 <sub>b</sub>	7.20±0.92	7.10±0.71 <sup>b</sup>	7.40±0.67	7.63±0.67 <sup>b</sup>
7:3	7.33±0.82 <sup>a</sup>	7.17±0.46	6.33±0.84 <sup>a</sup>	7.27±0.58	7.33±0.81 <sup>a</sup>
6:4	7.20±0.81 <sup>a</sup>	7.13±0.73	6.60±0.75 <sup>b</sup>	7.30±0.75	7.27±0.80 <sup>a</sup>

หมายเหตุ <sup>a-b</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวแนวตั้งเดียวกันที่มีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

#### 4.2.3.2 ศึกษาปริมาณน้ำตาลที่เหมาะสมในการหมักสาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จากการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นวัตถุดิบหลักในการหมักสาโทจากลูกแป้ง พบว่าปริมาณน้ำตาลลงเหลือในผลิตภัณฑ์มีน้อยมากซึ่งส่งผลถึงรสชาติโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงพัฒนากระบวนการผลิตในขั้นตอนของการเติมน้ำลงในวัตถุดิบที่มีการเติมน้ำตาลทราย ที่ปรับค่า

ความหวาน 3 ระดับคือ 5, 10 และ 15 องศาบริกซ์ ทำการหมักเป็นเวลา 8 วัน พบว่าคุณลักษณะทางเคมีและจุลินทรีย์ ดังแสดงในตารางที่ 27

ตารางที่ 27 คุณลักษณะทางเคมีและจุลินทรีย์ของสาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

คุณลักษณะ	ระดับความหวาน (องศาบริกซ์)		
	5	10	15
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	4.03	3.97	3.72
ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)	0.41	0.47	0.73
ปริมาณแอลกอฮอล์ (ร้อยละ)	8.00	11.25	14.80
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ร้อยละ)	0.10	0.17	0.11
ปริมาณเชื้อรา (CFU/ml)	$2.9 \times 10^7$	$2.0 \times 10^7$	$3.3 \times 10^7$
ปริมาณยีสต์ (CFU/ml)	$2.2 \times 10^7$	$2.6 \times 10^7$	$3.9 \times 10^7$

จากตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของสาโทการเติมน้ำตาลระดับความหวาน 5, 10 และ 15 องศาบริกซ์ เมื่อเปรียบเทียบกับสาโทที่เติมน้ำที่ไม่มีน้ำตาล พบว่าทั้ง 3 ระดับมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ แอลกอฮอล์และค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เพิ่มขึ้น ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดแลคติกและปริมาณจุลินทรีย์ลดลงเล็กน้อย จากตารางที่ 27 พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และแอลกอฮอล์มีแนวโน้มเพิ่มตามปริมาณน้ำตาลที่เติม ซึ่งการเติมน้ำตาลในขั้นตอนการหมักแอลกอฮอล์นอกจากมีผลให้เพิ่มน้ำตาลในผลิตภัณฑ์แล้ว ยังเป็นการเพิ่มแหล่งน้ำตาลให้กับยีสต์ ซึ่งเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ได้มากขึ้น สาโทที่หมักโดยการเติมน้ำตาล 3 ระดับมีปริมาณแอลกอฮอล์ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสาโท (มผช.3/2546) จึงนำสาโททั้งหมดไปทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อไป

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อสาโทที่เติมน้ำตาลที่ปรับความหวาน 3 ระดับ ผู้ทดสอบให้คะแนนด้านความใส กลิ่น และสี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 28 ทั้งนี้ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกัน คุณลักษณะด้านรสชาติผู้ทดสอบให้คะแนนระดับ 10 องศาบริกซ์สูงกว่าระดับ 5 องศาบริกซ์และไม่แตกต่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับที่ 15 องศาบริกซ์ คุณลักษณะความชอบโดยรวมสาโทที่เติมน้ำตาลที่ระดับ 10 องศาบริกซ์มีคะแนนสูงสุดแตกต่างจากระดับ 5 และ 15 องศาบริกซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถึงแม้จะมีการเติมน้ำตาลปริมาณสูงเพื่อเพิ่มความหวานให้ผลิตภัณฑ์ แต่ที่สาโทที่เติมน้ำตาลที่ระดับ 15 องศาบริกซ์กลับมีปริมาณแอลกอฮอล์สูงถึงร้อยละ 14.80 ทำให้ส่งผลถึงรสชาติและความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์

**ตารางที่ 28** ผลการทดลองการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพัฒนาผลิตภัณฑ์สาโทข้าวโพดโดยการเติมน้ำตาลที่ปรับความหวาน 3 ระดับ

ระดับความหวาน	คะแนนเฉลี่ย				
	ความใส <sup>ns</sup>	กลิ่น <sup>ns</sup>	รสชาติ	สี <sup>ns</sup>	ความชอบโดยรวม
5 <sup>0</sup> (brix)	7.33±0.80	7.19±0.68	6.81±0.81 <sup>a</sup>	7.33±0.58	7.00±0.55 <sup>a</sup>
10 <sup>0</sup> (brix)	7.48±0.66	7.33±0.64	7.33±0.84 <sup>b</sup>	7.48±0.73	7.57±0.73 <sup>b</sup>
15 <sup>0</sup> (brix)	7.43±0.51	7.14±0.54	6.90±0.54 <sup>ab</sup>	7.43±0.60	7.10±0.54 <sup>a</sup>

หมายเหตุ <sup>a-b</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวแนวตั้งเดียวกันที่มีอักษรต่างกันมีความ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

<sup>ns</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

#### 4.2.4 คุณลักษณะด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์สาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ผลิตภัณฑ์สาโทจากการหมักด้วยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ร่วมกับข้าวเหนียวในอัตราส่วน 8:2 ทำการหมักเป็นเวลา 4 วันเติมน้ำที่มีปริมาณน้ำตาลเท่ากับ 10 องศาบริกซ์และหมักต่อจนครบ 8 วัน นำน้ำหมักกรองด้วยผ้าขาวบางและทำการฆ่าเชื้อด้วยวิธีพาสเจอร์ไรส์ เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ พบว่าสาโทมีสีเขียวยอ่อน ใส มีตะกอนของวัตถุดิบเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 16 ซึ่งสามารถกำจัดตะกอนได้โดยการตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วันและทำการถ่ายลงในขวดแก้วและตั้งให้ตกตะกอนอีกครั้งประมาณ 3 วัน



ภาพที่ 16 ลักษณะปรากฏของสาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

คุณลักษณะทางด้านเคมี แสดงในตารางที่ 29 พบว่าผลิตภัณฑ์สาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 11.25 โดยปริมาตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสาโท (มพช3/2546) ที่กำหนดให้ปริมาณแอลกอฮอล์ในสาโทไม่เกินร้อยละ 15 ซึ่งยูพกนิษฐ์ (2550) กล่าวว่าสาโทที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาดทั่วไปมีปริมาณแอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 9-12 เมื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะทางเคมีของสาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์กับผลการวิเคราะห์คุณภาพสาโทที่เข้าร่วมและได้รับรางวัลจากโครงการประกวดสาโทของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม พบว่าคุณลักษณะต่างๆใกล้เคียงกับสาโททั่วไป ยกเว้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และโปรตีนมีค่าน้อยกว่าสาโททั่วไป เป็นเพราะใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทดแทนข้าวเหนียวในการผลิต นอกจากนี้ปริมาณของแข็งละลายได้ทั้งหมดของสาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เท่ากับ 0 องศาบริกซ์ ซึ่งมีความหวานน้อยกว่า 5 องศาบริกซ์ จัดเป็น Dry wine (ยูพกนิษฐ์, 2550) ผลการวิเคราะห์คุณค่าทั้งหมดทางโภชนาการของสาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แสดงใน ภาคผนวก ง

ตารางที่ 29 คุณลักษณะทางด้านเคมีสาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เปรียบเทียบกับตัวอย่างสาโทในท้องตลาด

คุณลักษณะ	สาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	สาโทนาฝาย	สาโทพลาญชัย	สาโทบางม่า	สาโทสักทอง
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	3.97	2.60	3.25	3.24	3.39
ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)	0.47	0.30	0.45	0.95	0.38
ปริมาณแอลกอฮอล์ (ร้อยละ)	11.25	6.85	9.25	7.30	11.90
ปริมาณน้ำตาลรีดิซ (ร้อยละ)	0.17	1.7	1.7	1.3	1.6
โปรตีน (ร้อยละ)	0.23	0.68	0.45	0.41	0.55
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	0.26	-	-	-	-
เหล็ก (ppm)	ไม่พบ	10	<2 ppm	< 2 ppm	<2 ppm

หมายเหตุ - คือ ไม่ได้ทำการตรวจสอบ

ที่มา : คัดแปลงจาก ยุพกนิษฐ์ (2550)

คุณลักษณะด้านจุลชีววิทยา จากการวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มโดยวิธี MPN และแบคทีเรียก่อโรคในผลิตภัณฑ์สาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่าปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มน้อยกว่า 3.0 และ *Bacillus cereus*, *Salmonella* sp. และ *Staphylococcus aureus* ทำให้สาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีคุณภาพตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสาโท (มผช. 3/2546) ดังแสดงในตารางที่ 30

ตารางที่ 30 ผลการทดลองการวิเคราะห์แบคทีเรียโคลิฟอร์มและแบคทีเรียก่อโรคในผลิตภัณฑ์  
สาโทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จุลินทรีย์	ปริมาณ
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (MPN/ml)	< 3.0
ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g)	ไม่พบ
<i>Salmonella</i> sp.	ND
<i>Staphylococcus aureus</i>	ND
<i>Bacillus cereus</i>	ND

หมายเหตุ ND คือ ตรวจไม่พบจุลินทรีย์