

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

แป้งข้าวเจ้าที่ใช้ในการทดลองนี้คือ แป้งข้าวเจ้าตรานิวเกรด จากบริษัทไทยวา จำกัด (มหาชน) มีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า

องค์ประกอบ	ปริมาณ(ร้อยละ)
ความชื้น	10.80 ± 0.17
โปรตีน	6.25 ± 0.53
ไขมัน	1.23 ± 0.07
เส้นใย	0.28 ± 0.06
เถ้า	0.66 ± 0.05
คาร์โบไฮเดรต	$80.78 \pm 0.11^{**}$

*ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.1 พบว่าแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเฉลี่ยร้อยละ 80.78 ปริมาณโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 6.25 จากปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่สูงแต่โปรตีนต่ำเช่นนี้เป็นสมบัติที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้เพื่อเป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารเสริมการผลิตสุราซึ่งเป็นแหล่ง คาร์โบไฮเดรตที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการทดลองนี้จะนำไปใช้ในการทดสอบระดับการเกิดเจลลิตินเซชัน และคำนวณค่าสมมูลย์กลูโคส (DE) อีกด้วย

4.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจลาตินเซชัน

4.2.1 ศึกษาสูตรที่ใช้คำนวณระดับการเกิดเจลาตินเซชัน

สูตรที่ใช้คำนวณ (Shetty, Lineback and Sieb, 1975)

$$Y = \frac{(X-B)(100)}{T} \quad 1$$

เมื่อ Y = ร้อยละของการเกิดเจลาตินเซชัน

X = ร้อยละของแป้งที่ถูกเอนไซม์ย่อย

B = correction factor

T = ปริมาณแป้งทั้งหมดในตัวอย่าง

เนื่องจาก correction factor (B) จากสมการที่ 1 ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งที่ถูกย่อย ชนิดและความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อย ในการทดลองนี้แป้งที่ใช้คือแป้งข้าวเจ้า เอนไซม์ที่เลือกใช้คือกลูโคอะมิเลส ส่วนความเข้มข้นของกลูโคอะมิเลสนั้นจะทำการทดลองเพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อไป

4.2.1.1 กำหนดภาวะที่เหมาะสมในการย่อยแป้งข้าวเจ้าติดด้วย

กลูโคอะมิเลส (A-3042, Sigma)

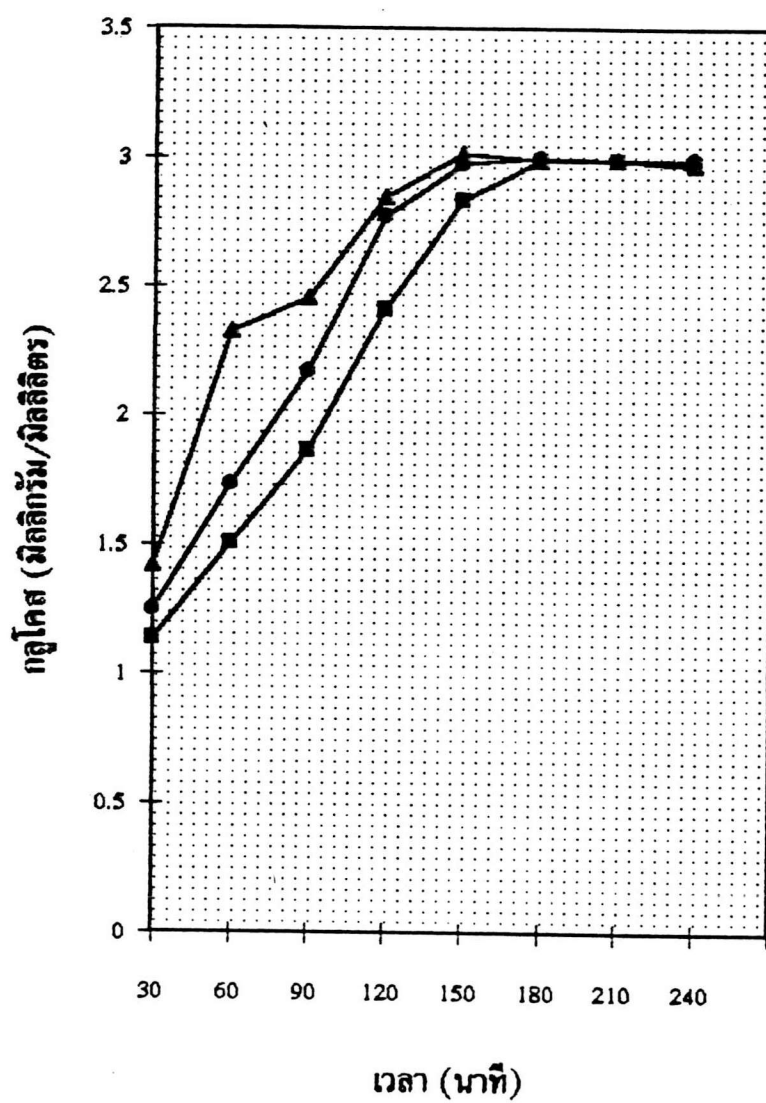
ย่อยแป้งข้าวเจ้าติด 100 มิลลิกรัม อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดต่าง 5.5 ด้วยสารละลายกลูโคอะมิเลสในอะซิเทตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.05 M ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ ตรวจวัดปริมาณกลูโคสที่เกิด จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มขึ้น เวลาที่ให้กลูโคสสูงสุดจะน้อยลงและที่ความเข้มข้นของกลูโคอะมิเลสร้อยละ 0.15 เวลา 120 นาที จะให้ปริมาณกลูโคสสูงสุด ไม่แตกต่างจากภาวะที่ใช้ความเข้มข้นของกลูโคอะมิเลสและเวลาสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของกลูโคอะมิเลสร้อยละ 0.15 โดยปริมาตรต่อน้ำหนักแป้ง และเวลา 120 นาทีเพื่อศึกษาสูตรการคำนวณร้อยละการเกิดเจลาตินเซชันต่อไป

ตารางที่ 4.2 ปริมาณกลูโคสจากการย่อยสลายแป้งข้าวเจ้า 100 มิลลิกรัมในอะซิเทตบัฟเฟอร์

0.05 M pH 5.5 อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสด้วยกลูโคอะมิเลส

เวลา (นาที)	ปริมาณกลูโคสจากการย่อยสลายแป้งข้าวเจ้า 100 มิลลิกรัม ด้วยกลูโคอะมิเลส		
	กลูโคอะมิเลส (ร้อยละ)		
	0.10	0.15	0.20
30	1.132 ^f ± 0.23	1.245 ^f ± 0.18	1.416 ^f ± 0.24
60	1.503 ^f ± 0.16	1.733 ^{ef} ± 0.13	2.325 ^{cd} ± 0.02
90	1.861 ^{ef} ± 0.55	2.172 ^b ± 0.13	2.457 ^{bcd} ± 0.05
120	2.414 ^{bcd} ± 0.35	2.776 ^{ab} ± 0.08	2.844 ^{ab} ± 0.12
150	2.834 ^{ab} ± 0.15	2.975 ^a ± 0.02	3.018 ^a ± 0.03
180	2.990 ^a ± 0.04	3.003 ^a ± 0.01	2.991 ^a ± 0.02
210	2.991 ^a ± 0.01	2.991 ^a ± 0.07	2.997 ^a ± 0.07
240	2.969 ^a ± 0.04	2.997 ^a ± 0.07	2.975 ^a ± 0.03

a,b,c,.....ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.1 ปริมาณกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายแป้งข้าวเจ้าคิบ 100 มิลลิกรัม อุณหภูมิ 55° ซ ด้วยกลูโคอะมิเลสร้อยละ ■0.10 ●0.15 ▲0.20

4.2.1.2 ทาค่า correction factor

4.2.1.1.1 ศึกษาร้อยละของแป้งดิบที่ถูกย่อยด้วยกลูโคอะมิเลส

ร้อยละ 0.15 (v/w)

จากการย่อยแป้งข้าวเจ้าดิบ 5,50,75 และ 100 มิลลิกรัมในอะซิเตดบัฟเฟอร์ 0.05 M ค่าความเป็นกรดต่าง 5.5 อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส 120 นาที ด้วยกลูโคอะมิเลสและตรวจวัดปริมาณกลูโคสจากปฏิกิริยา จากผลการทดลองตารางที่ 7 พบว่าเมื่อย่อยแป้งข้าวเจ้าดิบด้วยกลูโคอะมิเลสร้อยละ 0.15 ปริมาตรต่อน้ำหนักแป้ง แป้งข้าวเจ้าดิบถูกย่อยโดยเฉลี่ยร้อยละ 3.37 ไม่ว่าปริมาณแป้งดิบจะเพิ่มขึ้นเท่าใดก็ตาม แสดงให้เห็นว่าปริมาณแป้งดิบที่ถูกย่อยเท่ากับปริมาณแป้งดิบทั้งหมดที่เอนไซม์ย่อยได้ นั่นคือ

ร้อยละของแป้งดิบที่ถูกย่อยเฉลี่ย* (X)=3.37

ร้อยละของแป้งดิบทั้งหมดที่ถูกย่อยได้ *(T)=3.37

คิดเทียบจากแป้งข้าวเจ้ามีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบร้อยละ 80.78

จากสูตรที่ 1

$$Y = \frac{(X-B)(100)}{T} \quad \text{—————} \quad 1$$

แทนค่า X และ T=3.37

$$B = 0.034(100-Y)$$

แทนค่า B ลงในสูตรที่ 1

$$Y = \frac{(X-3.37)(100)}{[T-3.37]} \quad \text{—————} \quad 2$$

ตารางที่ 4.3 การย่อยสลายแป้งข้าวเจ้าด้วยกลูโคสมีเลสร้อยละ 0.15 โดยปริมาตรต่อ
น้ำหนักเมื่อเวลาในการย่อย 120 นาที

น้ำหนักแป้ง ข้าวเจ้า (กรัม)	ปริมาณ คาร์โบไฮเดรต	ปริมาณกลูโคส ที่ผลิตได้ (มิลลิกรัม ต่อมิลลิลิตร)	ร้อยละของแป้ง ที่ถูกย่อยสลาย (X)	เฉลี่ยร้อยละของแป้ง ที่ถูกย่อยสลาย (X)
25	20.20±0.21	0.75±0.02	3.36±0.28	} 3.37
50	40.39±0.04	1.51±0.07	3.36±0.17	
75	60.58±0.04	2.27±0.07	3.37±0.40	
100	80.78±0.06	3.04±0.03	3.38±0.26	

* คิดเทียบจากแป้งข้าวเจ้ามีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบร้อยละ 80.78

** ร้อยละของแป้งที่ถูกย่อยสลายเท่ากับ $\frac{\text{ปริมาณกลูโคส} \times 0.9 \times 100}{\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต}}$

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

4.2.1.1.2 ศึกษาปริมาณแป้งทั้งหมดที่มีในแป้งข้าวเจ้า

ย่อยสลายแป้งข้าวเจ้า 66.7 ไมโครกรัมที่ละลายใน
ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดต่าง 5.5 เป็นเวลา 120
นาที ตรวจวัดกลูโคสจากปฏิกิริยา คำนวณกลับเป็นปริมาณแป้งทั้งหมด (T) ผลการทดลอง
แป้งข้าวเจ้าที่ใช้มีปริมาณแป้งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 95.45 (ภาคผนวก ค)

4.2.1.1.3 ทดสอบความถูกต้องของสมการ

ย่อยแป้งข้าวเจ้าที่มีระดับการเกิดเจลลาคีโนเซชันมาตรฐานเป็น

0,5,10,25,50,75 และ 100 จำนวน 100 มิลลิกรัม ในอะซิเทคบีฟเฟอร์ ค่าความเป็นกรดต่าง 5.5 อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที ด้วยกลูโคอะมีเลส ร้อยละ 0.15 เปรียบเทียบระดับการเกิดเจลาตินในเซชันมาตรฐานกับที่คำนวณจากสมการแสดงผลในตารางที่ 4.4 พบว่าที่ระดับการเกิดเจลาตินในเซชันต่ำจะมีความแตกต่างระหว่างค่ามาตรฐานกับค่าที่คำนวณจากสูตรสูงกว่าที่ร้อยละการเกิดเจลาตินในเซชันสูง และความแตกต่างสูงสุดคือที่การเกิดเจลาตินในเซชันร้อยละ 5 มีความแตกต่างสูงถึงร้อยละ 10 การทดลองของ Shetty, Limback และ Seib (1975) พบปัญหามีเช่นกันที่การเกิดเจลาตินในเซชันร้อยละ 5 มีความแตกต่างระหว่างค่ามาตรฐานและค่าจากการคำนวณถึงร้อยละ 14 แต่เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วสูตรที่ใช้คำนวณสามารถตรวจวัดการเกิดเจลาตินในเซชันได้ดีโดยเฉพาะที่ร้อยละการเกิดเจลาตินในเซชันสูง ๆ

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบระดับการเกิดเจลาตินในเซชันของตัวอย่างมาตรฐานและที่คำนวณ

ระดับการเกิดเจลาตินในเซชันมาตรฐาน (1)	ร้อยละของแป้งที่ถูกย่อยจากการทดลอง (x)	ระดับการเกิดเจลาตินในเซชันจากการคำนวณ(2)	ร้อยละความแตกต่างระหว่าง 1 และ 2
0	3.38	0	0
5	7.49	4.5	10
10	12.13	9.5	5
25	25.68	24.2	3.2
50	47.68	47.9	4.2
75	70.18	72.6	3.2
100	93.48	97.9	2.1

4.2.2 ประเมินภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจลาตินในเซชัน

จากการย่อยแป้งข้าวเจ้า 100 มิลลิกรัม ในอะซิเทตบัฟเฟอร์ ค่าความเป็นกรดต่าง 5.5 นาน 120 นาที ด้วยกลูโคสมีเลสร้อยละ 0.15 ที่ความเข้มข้นของแป้งข้าวเจ้า อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ตรวจวัดกลูโคสจากปฏิกิริยา ตามภาคผนวก ข คำนวณค่าระดับการเกิดเจลาตินในเซชันจากสมการที่ 2 ให้ผลดังตารางที่ 4.5 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ของระดับการเกิดเจลาตินในเซชันของแป้งข้าวเจ้า พบว่าอุณหภูมิ เวลาและปัจจัยร่วมของอุณหภูมิ และเวลาเท่านั้นที่มี ผลต่อระดับการเกิดเจลาตินในเซชันของแป้งข้าวเจ้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ความเข้มข้นของแป้งข้าวเจ้าในช่วงร้อยละ 30-40 ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยระดับการเกิดเจลาตินในเซชันเพราะความเข้มข้นของแป้งข้าวเจ้าในช่วงนี้จะทำให้มีน้ำในปริมาณที่เพียงพอต่อการพองตัวและเหนียวน้ำ ให้บริเวณที่เป็นผลึกของเม็ดแป้งเกิดการละลายได้ทั้งหมด พิจารณารูปที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับการเกิดเจลาตินในเซชันของแป้งข้าวเจ้าที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายแป้ง อุณหภูมิและเวลาต่างๆ พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ระดับการเกิดเจลาตินในเซชันเพิ่มขึ้นจนถึง 80 องศาเซลเซียส ระดับการเกิดเจลาตินในเซชันจะไม่เพิ่มขึ้นอีกทั้งนี้เนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามีอุณหภูมิเจลาตินในเซชันสมบูรณ์เป็น 78 องศาเซลเซียส (Reichelt, 1983) เมื่อให้ความร้อนที่ 70 และ 75 องศาเซลเซียส การพองตัวของเม็ดแป้งยังเกิดได้ไม่เต็มที่ ดังนั้นระดับเจลาตินในเซชันจึงต่ำกว่าที่ 80 และ 85 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการเกิดเจลาตินในเซชัน 60 นาที มีค่าระดับการเกิดเจลาตินในเซชันเป็น 84.44 ต่ำกว่าที่เวลา 90 นาทีที่มีค่า 90.38 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมของเวลาและอุณหภูมิ ดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าเวลาและอุณหภูมิให้ผลเสริมกันและกัน ซึ่งจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยระดับการเกิดเจลาตินในเซชันเพิ่มขึ้น พบว่าเมื่อเวลา 60 นาที และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ให้ค่าเฉลี่ยระดับการเกิดเจลาตินในเซชัน 97.363 ไม่แตกต่างจากค่าที่ได้เมื่อใช้ อุณหภูมิและเวลา เพิ่มขึ้นดังนั้นจึงเลือกภาวะนี้มาใช้ในการทดลองต่อไป

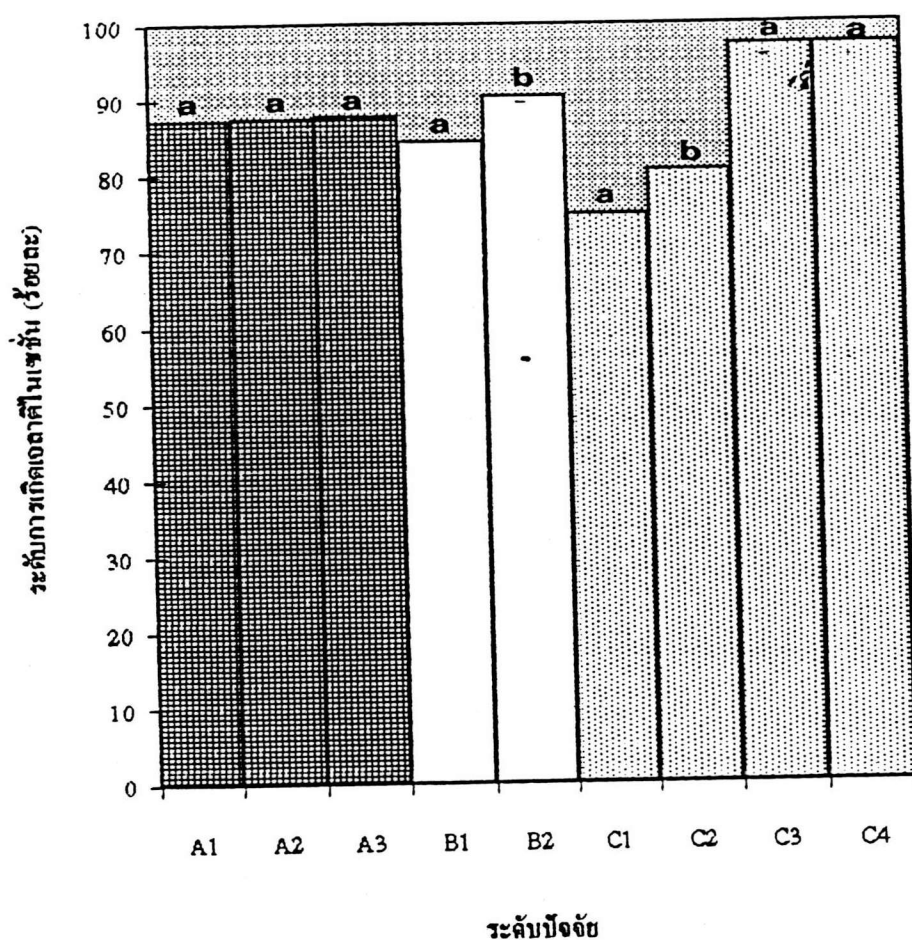
ตารางที่ 4.5 ระดับการเกิดเจลลิตโนเซนของแป้งข้าวเจ้าที่ความเข้มข้นของแป้ง เวลาและ อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ pH 5.5

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ระดับการเกิดเจลลิตโนเซนของแป้งข้าวเจ้าที่ระดับ ความเข้มข้นต่าง ๆ		
		แป้ง (ร้อยละ)		
		30	35	40
70	60	69.45 ± 0.73	69.95 ± 0.86	69.14 ± 0.29
	90	80.52 ± 0.29	80.11 ± 0.86	79.70 ± 0.86
75	60	74.22 ± 0.57	74.40 ± 0.26	73.61 ± 0.29
	90	86.61 ± 0.29	87.43 ± 0.29	86.61 ± 0.86
80	60	97.84 ± 0.86	97.23 ± 0.58	97.02 ± 0.86
	90	96.82 ± 0.00	97.63 ± 0.57	97.02 ± 0.29
85	60	96.82 ± 0.58	97.40 ± 0.83	97.02 ± 0.29
	90	97.23 ± 0.58	97.63 ± 1.15	97.63 ± 0.00

ตารางที่ 4.6 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาต่อค่าเฉลี่ยระดับการเกิดเจลาคีโนเซน
ของแป้งข้าวเจ้าที่ pH 5.5

เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ยระดับการเกิดเจลาคีโนเซนของแป้งข้าวเจ้า			
	อุณหภูมิ (°C)			
	70	75	80	85
60	69.514 ^a	74.077 ^a	97.363 ^a	97.083 ^a
90	80.111 ^{bc}	80.111 ^{bc}	86.885 ^b	97.498 ^a

* a,b,c..... อักษรที่แตกต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



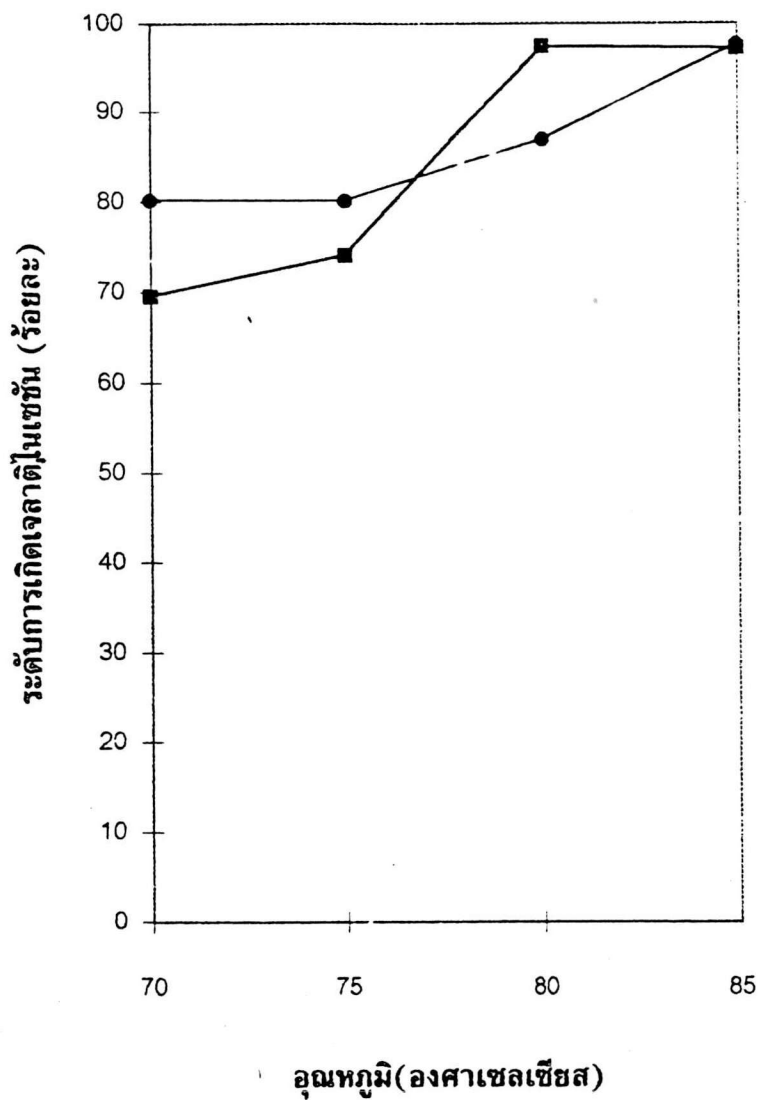
A(ความเข้มข้นของแป้ง, ร้อยละ) A1=30 A2=35 A3=40

B(เวลา, นาที) B1=60 B2=90

C(อุณหภูมิ, °C) C1=70 C2=75 C3=80 C4=85

a,b,c...ตัวอักษรที่แตกต่างในปัจจัยเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับการเกิดจุลินทรีย์ในเชชันของแป้งข้ามเจ้าที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายแป้ง อุณหภูมิและเวลาต่างๆ



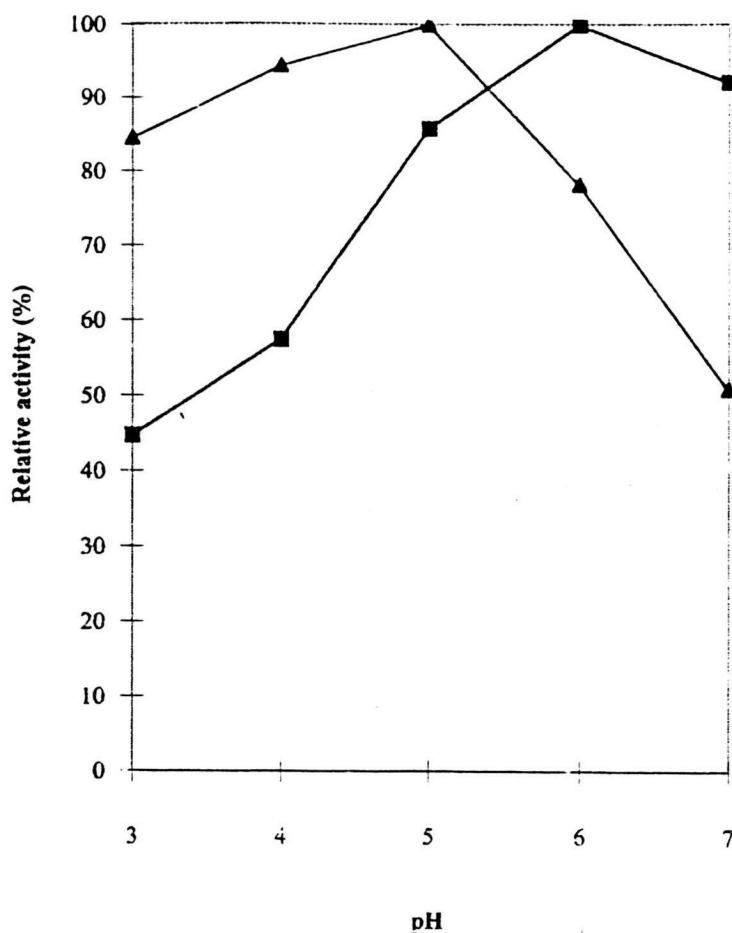
รูปที่ 4.3 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาต่อค่าเฉลี่ยระดับการเกิดจุลินทรีย์ในเซชันของ
แป้งข้าวเจ้า ■ 80 นาที ● 90 นาที

4.3 ทาภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยแป้งข้าวเจ้าสุกโดยใช้เอนไซม์

4.3.1 ภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยแป้งข้าวเจ้าโดยแอลฟา-อะมิเลสและ กลูโคอะมิเลส

4.3.1.1 ย่อยแป้งข้าวเจ้า 10 ไมโครมิลลิกรัมด้วยแอลฟา-อะมิเลส ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และกลูโคอะมิเลสความเข้มข้นร้อยละ 2 ตรวจวัดน้ำตาลรีดิวซ์จากปฏิกิริยา ผลการทดลองรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.7 พบว่าแอลฟา-อะมิเลสมีแอกติวิตีสูงที่ค่าความเป็นกรดต่าง 6 และ 7 ซึ่งสามารถผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ 0.237 และ 0.218 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ผลิตน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่าที่ค่าความเป็นกรด-ต่างอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์จะลดลงเมื่อค่าความเป็นกรดต่างลดลง ส่วนกลูโคอะมิเลสทำงานได้ดีที่ค่าความเป็นกรดต่าง 4 และ 5 ซึ่งผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ได้ 0.322 และ 0.341 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อความเป็นกรดต่างสูงขึ้นแอกติวิตีของเอนไซม์จะลดลง ช่วงของความเป็นกรดต่างที่เอนไซม์ทั้งสองน่าจะมิกิจกรรมร่วมกันได้ดีที่สุดคือที่ค่าความเป็นกรดต่าง 4.5 ถึง 6.0

4.3.1.2 จากรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.8 พบว่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไม่มีผลต่อแอกติวิตีของเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสจะให้แอกติวิตีสัมพัทธ์ค่าที่สุดในแอลฟา-อะมิเลสและกลูโคอะมิเลส ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะไปเพิ่มพลังงานจลน์ให้แก่กระบวนการ ทำให้การชนกันระหว่างโมเลกุลของสารตั้งต้นและเอนไซม์สูงขึ้น การเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์จะสูงขึ้น พบว่าแอลฟา-อะมิเลสมีแอกติวิตีสูงในช่วง 60 , 70 และ 80 องศาเซลเซียส โดยจะผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ได้ 0.334 , 0.363 และ 0.385 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ ส่วนกลูโคอะมิเลสมีแอกติวิตีสูงในช่วง 40 , 50 และ 60 องศาเซลเซียส ผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ได้ 0.571 , 0.612 และ 0.607 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ พิจารณาช่วงที่เอนไซม์ทั้งสองน่าจะทำงานร่วมกันได้ดีคือช่วงอุณหภูมิ 50 ถึง 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.4 ผลของความเป็นกรดต่างต่อการย่อยแป้งข้าวเจ้า 10 ไมโครกรัม

อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ด้วยเอนไซม์ :

■ แอลฟา-อะมิเลสร้อยละ 0.1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนักแป้ง ▲ กลูโคอะมิเลส
ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก

: 100% Relative activity ของแอลฟา-อะมิเลสคือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 0.237

ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

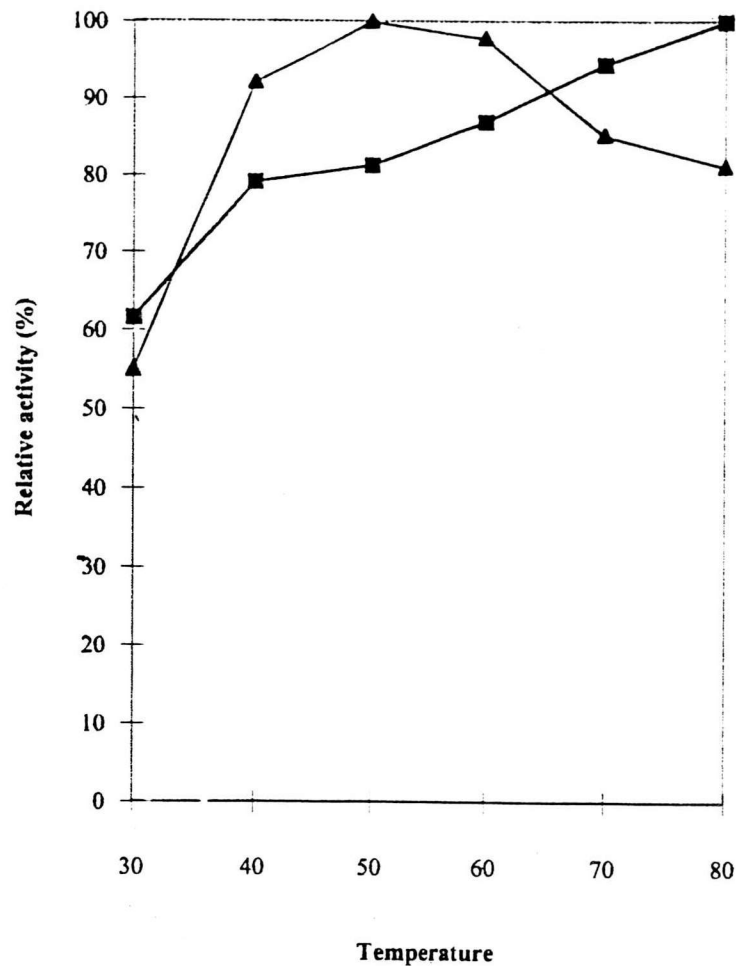
: 100% Relative activity ของกลูโคอะมิเลสคือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 0.341

ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ 4.7 ผลของความเป็นกรดต่างต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(ไมโครกรัมต่อมิลลิตร)ในการย่อยแป้งข้าวเจ้า 10 ไมโครกรัมโดยแอลฟา-อะมิเลส ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนักแป้งและกลูโคอะมิเลสความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักแป้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการย่อย 30 นาที

ระดับความเป็นกรดต่าง ของสารละลายปฏิกิริยา	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดจากการย่อยสลายแป้งข้าวเจ้า ด้วยเอนไซม์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิตร)	
	แอลฟา-อะมิเลส	กลูโคอะมิเลส
3	0.106 ^a ± 0.003	0.288 ^b ± 0.18
4	0.136 ^a ± 0.010	0.322 ^b ± 0.035
5	0.203 ^b ± 0.07	0.341 ^b ± 0.007
6	0.237 ^b ± 0.013	0.267 ^b ± 0.021
7	0.218 ^{ab} ± 0.016	0.174 ^c ± 0.007

a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $p(\leq 0.05)$



รูปที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิต่อการย่อยแป้งข้าวเจ้า 10 ไมโครกรัม ความเป็นกรดต่าง 6.0 และ 5.5 เมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อ ■ แอลฟา-อะมิเลส ร้อยละ 0.1 :โดยปริมาตร ต่อน้ำหนักแป้งและ ▲ กลูโคอะมิเลส ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักแป้งตามลำดับ เวลาในการย่อย 30 นาที

:100% Relative activity ของแอลฟา-อะมิเลสคือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 0.385

ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

:100% Relative activity ของกลูโคอะมิเลสคือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 0.620

ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ 4.8 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)จากการย่อยแป้งข้าวเจ้า 10 มิลลิกรัม โดยแอลฟา-อะมิเลส ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนักแป้ง ที่ pH 6.0 และ กลูโคอะมิเลส ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักแป้ง pH 5.0 เวลาในการย่อย 30 นาที

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์จากการย่อยแป้งข้าวเจ้าด้วยเอนไซม์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	
	แอลฟา-อะมิเลส	กลูโคอะมิเลส
30	0.237 ^a ± 0.010	0.341 ^a ± 0.017
40	0.304 ^{bc} ± 0.018	0.571 ^{ab} ± 0.046
50	0.312 ^b ± 0.047	0.620 ^a ± 0.008
60	0.334 ^{ab} ± 0.025	0.607 ^a ± 0.028
70	0.0363 ^{ab} ± 0.013	0.528 ^b ± 0.027
80	0.385 ^a ± 0.033	0.0506 ^b ± 0.028

a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแถวเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $p(\leq 0.05)$

4.3.2 ภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยแป้งข้าวเจ้าโดยใช้แอลฟา-อะมิเลสและกลูโคอะมิเลสร่วมกัน ย่อยแป้งข้าวเจ้า 10 มิลลิกรัมโดยใช้แอลฟา-อะมิเลสความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และกลูโคอะมิเลสความเข้มข้นร้อยละ 2 ร่วมกัน 30 นาที ที่อุณหภูมิและค่าความเป็นกรดต่างต่าง ๆ ตรวจวัดน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้ ผลการทดลองตารางที่ 4.9 และรูปที่ 15 พบว่าเมื่อใช้เอนไซม์ทั้งสองร่วมกันปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้จะสูงกว่าเมื่อผลิตโดยใช้เอนไซม์แยกกันพิจารณาที่ค่าแอดคทีวิตีสัมพัทธ์ 100 เมื่อใช้เอนไซม์ร่วมกันจะให้น้ำตาลรีดิวซ์ 2.8 ไมโครกรัม

ต่อมิลลิลิตร ขณะที่ผลรวมของน้ำตาลรีดิวิซ์จากการใช้เอนไซม์แยกกันจะเป็น 1.002 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในปี 1988 Fujii และคณะ พบว่าเมื่อใช้แอลฟา-อะมิเลส ร่วมกับ กลูโคอะมิเลสย่อยแป้งจะได้ผลผลิตสูงกว่าผลรวมของผลผลิตที่ได้จากการใช้เอนไซม์แยกกันถึง 2 เท่า ทั้งนี้เพราะการใช้เอนไซม์ร่วมกันจะทำให้เกิดการส่งเสริมกิจกรรมของกันและกัน ในการย่อยสลายแป้งแบบลำดับขั้น (Sequence) ชั้นแรกจะย่อยสลายแป้งด้วยแอลฟา-อะมิเลส ซึ่งจะให้ผลผลิตเป็นกลูแคนและน้ำตาลสายสั้น ๆ เช่นมอลโตสในปริมาณสูงผลผลิตเหล่านี้จะถูกย่อยโดยกลูโคอะมิเลสในขั้นที่สอง เนื่องจากกลูโคอะมิเลสย่อยน้ำตาลโมเลกุลต่ำในอัตราที่ต่ำกว่าคืออัตราการย่อยมอลโตสต่ออะมิโลเพคตินต่อมอลโตไตรโอส เป็น 100 ต่อ 1222 ต่อ 128 (Kusunoki et al, 1982) ดังนั้นในสารตั้งต้นที่มีน้ำตาลโมเลกุลต่ำสูง จึงถูกย่อยสลายช้า ผลผลิตจะต่ำส่วนการย่อยโดยใช้เอนไซม์ร่วมกัน (Simultaneous) แอลฟา-อะมิเลส จะย่อยอะมิเลสและอะมิโลเพคตินให้เข้มข้นโมเลกุลที่สั้นลงทำให้เกิดสารตั้งต้นที่มี หมูรีดิวิซ์มากขึ้นและความยาวของโมเลกุลไม่สั้นเกินไป ซึ่งสารตั้งต้นเหล่านี้จะถูกกลูโคอะมิเลสย่อยได้ดีกว่าน้ำตาลโมเลกุลต่ำ ส่งผลให้ผลผลิตที่ได้สูงกว่าเมื่อย่อยแบบลำดับขั้นจากการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของน้ำตาลรีดิวิซ์ที่ได้จากการย่อยแป้งข้าวเจ้า พบว่าความเป็นกรดต่าง อุณหภูมิ และปัจจัยร่วมของความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิ มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.6 ภาวะที่น้ำตาลรีดิวิซ์สูงสุด คือ เมื่อค่าความเป็นกรดต่าง 5.5 และอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

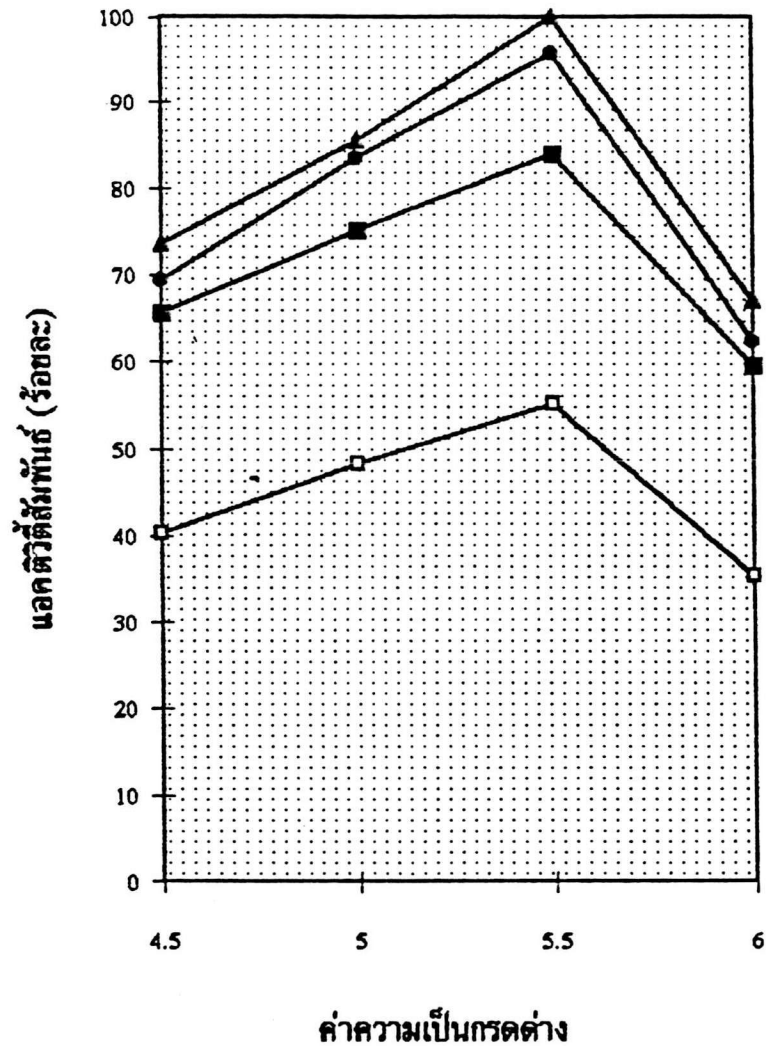
ตารางที่ 4.9 อิทธิพลร่วมระหว่างความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิต่อการย่อยแป้งข้าวเจ้า 10

ไมโครกรัม โดยใช้แอลฟา-อะมิเลสความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยปริมาตรต่อ

น้ำหนัก และกลูโคอะมิเลส ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรร่วมกัน

ระดับความเป็นกรด ต่างของสารละลาย ปฏิกิริยา	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในผลิตภัณฑ์จากการย่อยแป้งข้าวเจ้า (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)			
	อุณหภูมิ(°C)			
	55°C	60°C	65°C	70°C
4.5	1.832 ^{ef}	1.940 ^o	2.056 ^d	1.352 ⁱ
5.0	2.100 ^d	2.332 ^e	2.392 ^e	1.124 ^j
5.5	2.348 ^e	2.678 ^b	2.800 ^e	1.544 ^k
6.0	1.668 ^f	1.744 ^{fr}	1.872 ^e	0.988 ^t

a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแถวเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $p(\leq 0.05)$



รูปที่ 4.6 อิทธิพลร่วมระหว่างความเป็นกรดต่าง และอุณหภูมิต่อการย่อยแป้งข้าวเจ้า 10 ไมโครกรัม เวลา 30 นาทีโดยใช้แอลฟา-อะมิเลส ความเข้มข้นร้อยละ 0.10 โดยปริมาตรต่อหนักแป้งและกลูโคอะมิเลส ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อ น้ำหนักแป้งร่วมกัน : อุณหภูมิ ■55, ●60, ▲65 และ □70 องศาเซลเซียส
: 100%Relative activity คือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 2.800 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

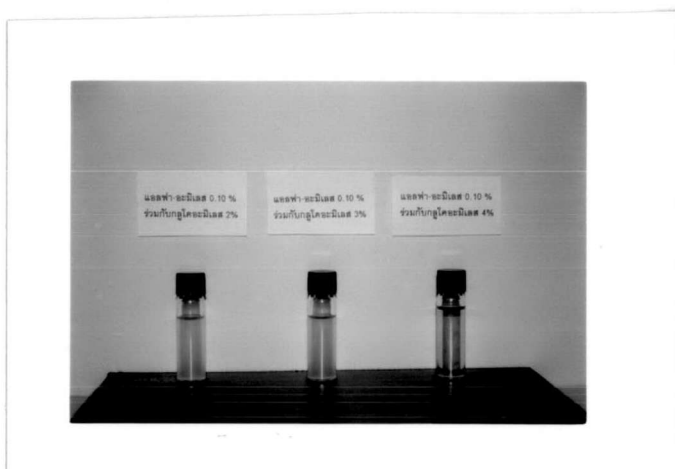
4.4 เปรียบเทียบสารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตในระบบไม่ต่อเนื่องโดยใช้แอลฟา-อะมิเลส และ กลูโคอะมิเลส

ผลิตสารเสริมการผลิตสุราจากแป้งข้าวจ้าวที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40 ค่าความเป็นกรดต่าง 5.5 เจลาติโนสโดยให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เข้าสู่กระบวนการลิเคอแฟคชันและแซคคาริฟิเคชันที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดต่าง 5.5 ศึกษาคุณสมบัติของสารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตได้ ณ เวลา ความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลส และกลูโคอะมิเลสที่ระดับต่างๆ พิจารณาคูสมบัติทางกายภาพด้านสีของสารเสริมการผลิตสุรา พบว่าเวลาในการผลิตที่เพิ่มขึ้นจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสารเสริมการผลิตสุรา พิจารณารูป 4.6, 4.7 และ 4.8 สารเสริมการผลิตสุราที่ได้จากการย่อยโดยแอลฟา-อะมิเลส ความเข้มข้นร้อยละ 0.05, 0.10 และ 0.15 โดยปริมาตรค่อน้ำหนักแป้งร่วมกับกลูโคอะมิเลส ความเข้มข้นร้อยละ 2, 3 และ 4 โดยน้ำหนักค่อน้ำหนัก เมื่อเวลาในการย่อยสลายเป็น 180 นาที พบว่าความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของกลูโคอะมิเลสจะส่งผลให้สีของสารเสริมการผลิตสุราเข้มขึ้น พิจารณารูปที่ 4.9 เปรียบเทียบสีของสารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตจากกลูโคอะมิเลสความเข้มข้นต่างๆ จะสามารถแบ่งสารเสริมการผลิตสุราได้เป็น 3 กลุ่มตามสีที่พบ คือกลุ่มที่มีสีน้ำตาลผลิตจากกลูโคอะมิเลสร้อยละ 2 กลุ่มที่มีสีน้ำตาลอ่อนผลิตจากกลูโคอะมิเลสร้อยละ 3 และกลุ่มที่มีสีน้ำตาลเข้มผลิตจากกลูโคอะมิเลสร้อยละ 4 ส่วนความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลส จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสารเสริมการผลิตสุราแม้ว่าสีของเอนไซม์ตั้งต้นเป็นสีน้ำตาลแก่เข้มกว่าสีของกลูโคอะมิเลส เนื่องจากในการผลิตจะใช้แอลฟา-อะมิเลสความเข้มข้นต่ำมาก คือร้อยละ 0.05, 0.10 และ 0.15 โดยปริมาตรค่อน้ำหนักแป้งดังนั้นจึงไม่รบกวนสีของสารเสริมการผลิตสุรามากนัก ขณะที่กลูโคอะมิเลสใช้ในปริมาณที่สูงคือร้อยละ 2, 3 และ 4 โดยน้ำหนักค่อน้ำหนักแป้งจึงมีผลต่อสีของสารเสริมการผลิตสุราสูง เพราะคุณสมบัติที่สำคัญข้อหนึ่งที่ทำให้ข้าวได้รับการยอมรับจากผู้ผลิตสุราโดยเฉพาะผู้ผลิตเบียร์คือ ลักษณะสีข้าวอ่อนของ มันซึ่งจะไม่รบกวนสีของผลิตภัณฑ์สุรา (Pomeranz, 1991)

ดังนั้นเมื่อนำข้าวมาแปรรูปเพื่อให้เป็นสารเสริมการผลิตสุราจึงควรควบคุมสมบัติข้อนี้ไว้ ฉะนั้นต้องพิจารณาความเข้มข้นของเอนไซม์ที่จะมีผลกระทบต่อสีของสารเสริมการผลิตสุรา แต่จะพิจารณาคุณสมบัตินี้เพียงอย่างเดียวไม่ได้ต้องพิจารณาคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ประกอบไปด้วย คุณสมบัติทางเคมีของสารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตได้มีดังต่อไปนี้



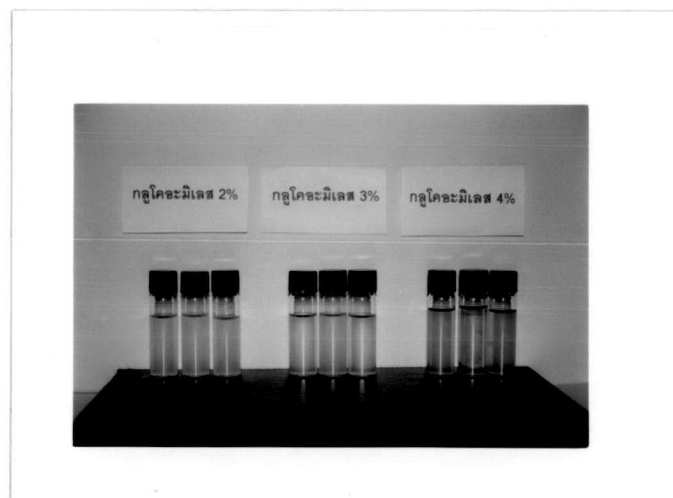
รูปที่ 4.7 สารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตจากแอลฟา-อะมิเลสความเข้มข้นร้อยละ 0.05 โดยปริมาตรต่อน้ำหนักร่วมกับกลูโคอะมิเลสความเข้มข้นร้อยละ 2, 3 และ 4 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักแป้งตามลำดับ



รูปที่ 4.8 สารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตจากแอลฟา-อะมิเลสความเข้มข้นร้อยละ 0.10 โดยปริมาตรต่อน้ำหนักร่วมกับกลูโคอะมิเลสความเข้มข้นร้อยละ 2, 3 และ 4 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักแป้งตามลำดับ



รูปที่ 4.9 สารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตจากแอลฟา-อะมิเลสความเข้มข้นร้อยละ 0.15 โดย ปริมาตรต่อน้ำหนักร่วมกับกลูโคอะมิเลสความเข้มข้นร้อยละ 2,3 และ 4 โดย น้ำหนักต่อน้ำหนักแป้งตามลำดับ

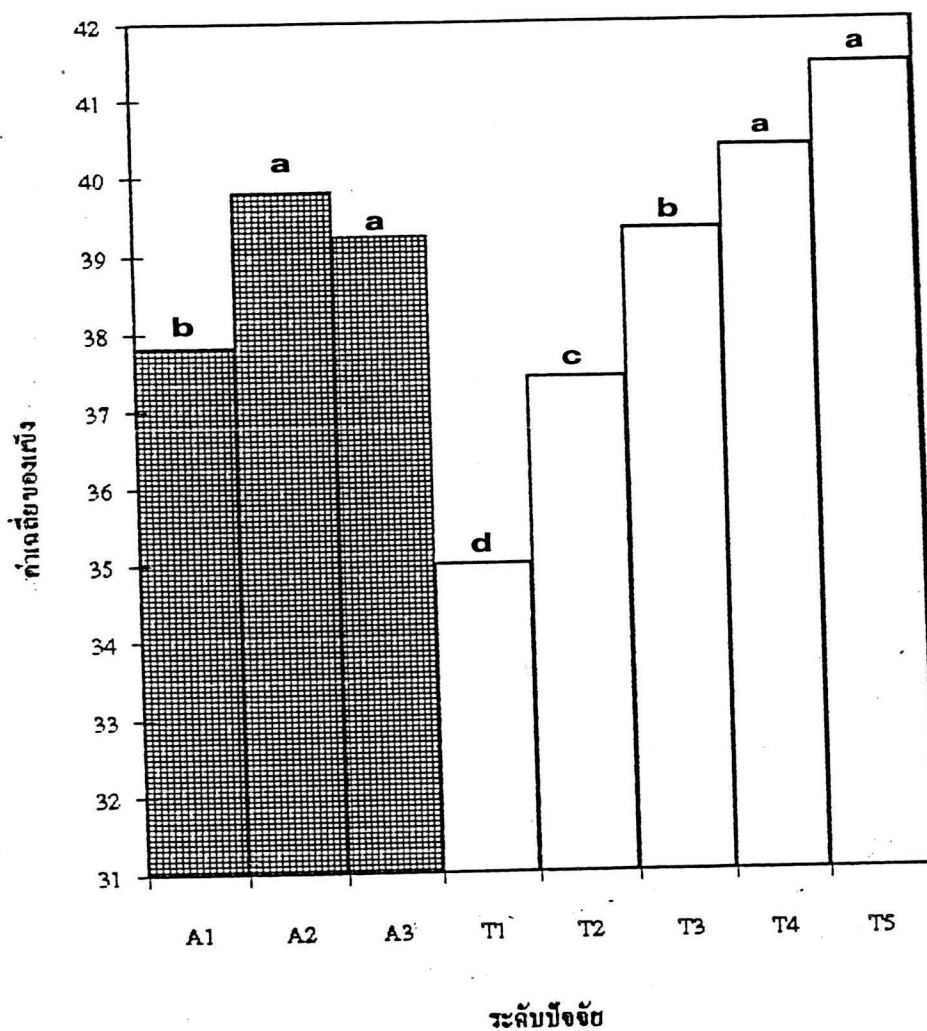


รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบสีของสารเสริมการผลิตสุราที่ได้จากกลูโคอะมิเลสเข้มข้นร้อยละ 2,3 และ 4 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักแป้ง

4.4.1 ของแข็ง(extract) ปริมาณของแข็งก่อนทำการระเหยของสารเสริมการผลิตสุรา แสดงในตารางที่ 4.10 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนปริมาณของแข็ง (ภาคผนวก ง) พบว่า เวลาและความเข้มข้นแอลฟา-อะมิเลสจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ขณะที่ความเข้มข้นของกลูโคอะมิเลสและอิทธิพลร่วมของ ปัจจัยทั้งสามไม่มีผลต่อปริมาณของของแข็งเลย จากรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของของแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเวลาในการผลิตเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นแอลฟา-อะมิเลส มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของของแข็งโดยความเข้มข้นร้อยละ 0.10 จะให้ค่าเฉลี่ยสูงกว่าความเข้มข้น 0.05 แต่จะให้ค่าเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกับความเข้มข้นร้อยละ 0.15 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากของแข็งที่มีในสารเสริมการผลิตสุรา ส่วนมากเป็นน้ำตาลที่เกิดจากการย่อยสลายแป้งของเอนไซม์ ดังนั้นจึงอาจใช้ปริมาณของแข็งเป็นตัวบ่งชี้ได้ว่าการย่อยสลายแป้งของเอนไซม์ เกิดขึ้นได้มากหรือน้อยเพียงไร ในการทดลองนี้จะควบคุมของแข็งของสารเสริมการผลิตสุราให้อยู่ในช่วงร้อยละ 78 ถึง 80 ระเหยน้ำออกโดยใช้เครื่องระเหยสูญญากาศ อุณหภูมิ 61 องศาเซลเซียส สารเสริมการผลิตสุราที่มีค่าของแข็ง ร้อยละ 78 ถึง 80 นี้จะนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้านอื่นต่อไป

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณของแข็ง (extract) (ร้อยละ)ของสารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตโดยการย่อยแป้งเข้มข้นร้อยละ 40 pH 5.5 อุณหภูมิ 65°C ผลิตเมื่อเวลาความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลสและกลูโคอะมิเลสที่ระดับต่าง ๆ

เวลา (นาที)	ปริมาณ กลูโคอะมิเลส (ร้อยละ)	ระดับของแข็งในสารเสริมการผลิตสุรา (ร้อยละ)		
		ปริมาณแอลฟา-อะมิเลส (ร้อยละ)		
		0.05	0.10	0.15
60	2	33.20±2.23	34.40±0.25	35.00±0.00
	3	33.00±1.15	36.10±0.20	35.40±1.09
	4	35.40±0.75	35.40±0.13	37.00±2.55
90	2	35.20±1.34	38.26±0.65	36.20±0.35
	3	36.80±0.49	38.20±1.13	38.70±0.47
	4	37.80±1.12	36.60±1.40	38.80±1.16
120	2	39.30±0.28	38.90±0.85	40.82±1.73
	3	38.10±0.57	40.60±1.97	39.60±1.27
	4	38.00±1.30	39.00±0.79	39.40±0.27
150	2	39.20±0.67	41.60±0.49	40.60±0.85
	3	38.90±0.36	42.00±0.75	41.50±0.64
	4	38.50±0.88	40.60±0.42	40.40±1.56
180	2	41.50±1.41	41.60±0.04	41.20±0.59
	3	40.80±1.13	41.60±1.05	40.90±1.00
	4	41.30±1.29	41.40±1.56	42.60±0.28



T (เวลา, นาที) T1=60 T2=90 T3=120 T4=150 T5=180

A (แอลฟาอะมิเลส, ร้อยละ) A1=0.05 A2=0.10 A3=0.15

a, b, c... อักษรที่แตกต่างกันในปัจจัยเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแข็งในสารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตโดยการย่อยสลาย

แป้งเข้มข้นร้อยละ 40 pH 5.5 และอุณหภูมิ 65° C ที่เวลาและความเข้มข้นของ

แอลฟา-อะมิเลส (ร้อยละโดยปริมาตรต่อน้ำหนักแป้ง) ต่างๆ

3.4.2 ความชื้น เนื่องจากความชื้นหาได้

จากสูตรร้อยละของความชื้น = $100 - \text{ร้อยละของแข็ง}$

ดังนั้นจึงพบว่าความชื้นจะมีความสัมพันธ์ผกผันกับค่าของของแข็งที่มีในสารเสริมการผลิตสุราจากตารางที่ 4.11 พบว่าความชื้นของสารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตได้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 57.40 ถึง 67.01 ความชื้นในระดับนี้สูงเกินไปไม่เหมาะแก่การนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ ต้องการระเหยน้ำออกให้มีค่าความชื้นอยู่ประมาณร้อยละ 80 ซึ่งจะทำให้การเก็บรักษา การขนย้ายสะดวกและลดปัญหาการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ได้ด้วย

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณความชื้น (ร้อยละ)ของสารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตโดย

การย่อยแป้งเข้มข้นร้อยละ 40 pH 5.5 อุณหภูมิ 65°C ผลิตเมื่อเวลา

ความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลสและกลูโคอะมิเลสที่ระดับต่าง ๆ

เวลา (นาที)	ปริมาณ กลูโคอะมิเลส (ร้อยละ)	ระดับความชื้นในสารเสริมการผลิตสุรา (ร้อยละ)		
		ปริมาณแอลฟา-อะมิเลส (ร้อยละ)		
		0.05	0.10	0.15
60	2	67.01±2.53	65.60±0.29	65.00±0.00
	3	67.00±1.15	63.90±0.20	64.60±1.09
	4	64.60±0.75	64.60±0.13	63.00±2.55
90	2	64.80±1.34	61.74±0.65	63.80±0.35
	3	63.20±0.49	61.80±1.13	61.30±0.47
	4	62.20±1.12	63.40±1.40	61.20±1.16
120	2	60.70±0.28	61.10±0.85	59.18±1.73
	3	61.40±0.14	59.40±1.97	60.40±1.27
	4	62.00±1.30	61.00±0.79	60.60±0.27
150	2	60.80±0.57	58.40±0.49	59.90±0.14
	3	61.10±0.35	58.00±0.75	58.50±0.64
	4	61.50±0.88	59.40±0.42	59.60±1.56
180	2	58.50±1.41	58.40±0.04	58.80±0.59
	3	59.70±0.42	58.40±1.05	59.10±1.00
	4	58.70±1.29	58.60±1.56	57.40±0.28

3.4.3 เถ้า

ผลจากการวิเคราะห์หาปริมาณแถ้าของสารเสริมการผลิตสุราหลังจากระเหยความชื้นจนมีค่าของแข็งประมาณร้อยละ 80 แสดงในตารางที่ 4.12 จากผลการทดลองพบว่าปริมาณแถ้าของสารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตได้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.12 ถึง 0.27

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบปริมาณแก้ว(ร้อยละ)ของสารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตโดย
การย่อยแป้งเข้มข้นร้อยละ 40 pH 5.5 อุณหภูมิ 65°C ผลิตเมื่อเวลา
ความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลสและกลูโคอะมิเลสที่ระดับต่าง ๆ

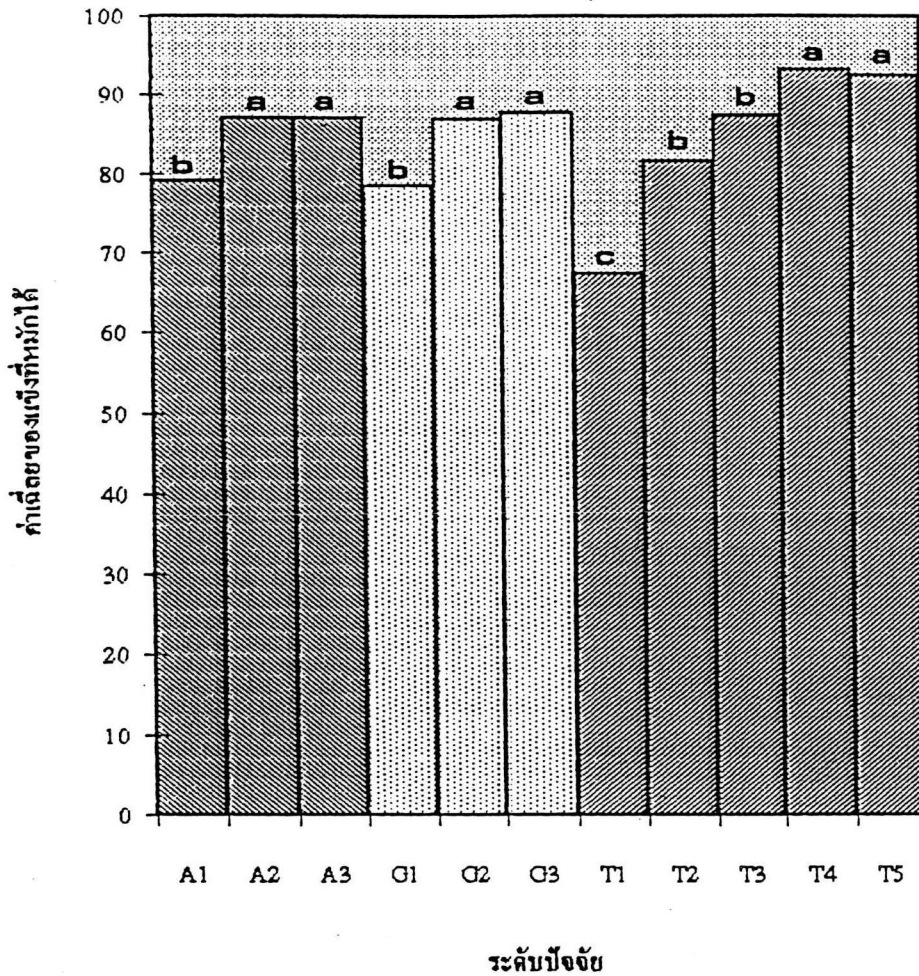
เวลา (นาที)	ปริมาณ กลูโคอะมิเลส (ร้อยละ)	ระดับแก้วในสารเสริมการผลิตสุรา (ร้อยละ)		
		ปริมาณแอลฟา-อะมิเลส (ร้อยละ)		
		0.05	0.10	0.15
60	2	0.23±0.02	0.20±0.01	0.21±0.02
	3	0.12±0.03	0.15±0.02	0.26±0.04
	4	0.21±0.01	0.26±0.05	0.22±0.01
90	2	0.18±0.03	0.19±0.01	0.27±0.03
	3	0.20±0.01	0.20±0.03	0.21±0.01
	4	0.23±0.03	0.18±0.01	0.14±0.00
120	2	0.19±0.03	0.22±0.04	0.20±0.03
	3	0.17±0.02	0.19±0.02	0.25±0.04
	4	0.24±0.01	0.22±0.02	0.25±0.03
150	2	0.16±0.03	0.14±0.00	0.14±0.03
	3	0.21±0.02	0.22±0.03	0.22±0.02
	4	0.23±0.10	0.17±0.03	0.20±0.01
180	2	0.22±0.04	0.22±0.01	0.27±0.05
	3	0.22±0.03	0.24±0.01	0.22±0.02
	4	0.23±0.04	0.23±0.05	0.22±0.03

3.4.4 ของแข็งที่หมักได้ (Fermentable extract) เนื่องจากความสามารถในการหมักเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของสารเสริมการผลิตสุราการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าของแข็งที่หมักได้ของสารเสริมการผลิตสุราจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างสูง ผลการทดลองวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่หมักได้ที่ผลิตในภาวะต่างๆ นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ภาคผนวก ง) พบว่า เวลาความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลส ความเข้มข้นของกลูโคอะมิเลส และอิทธิพลร่วมของปัจจัยมีผลต่อปริมาณของแข็งที่หมักได้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พิจารณาค่าเฉลี่ยของแข็งที่หมักได้ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาต่างๆ ดังรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งที่หมักได้จะเพิ่มขึ้น และเมื่อเวลา 150 นาที ปริมาณของแข็งที่หมักได้จะไม่แตกต่างจากเวลา 180 นาที การเปลี่ยนแปลงของเวลาจาก 60 นาที เป็น 180 นาทีจะทำให้ของแข็งที่หมักได้เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 40 จากผลการวิเคราะห์ค่าของแข็ง (extract) จะพบการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกันคือเวลาเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยของแข็งจะเพิ่มขึ้น ซึ่งน่าจะเกิดจากการย่อยสลายแป้งให้น้ำตาลสูงขึ้น และน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นนั้นจะเป็นน้ำตาลที่ถูกยีสต์หมักได้ด้วย และจากลักษณะการย่อยสลายแป้งโดยแอลฟา-อะมิเลสและกลูโคอะมิเลสร่วมกันจะให้ผลผลิตส่วนใหญ่เป็นกลูโคส เนื่องจากกลูโคสเป็นน้ำตาลที่มีความสามารถในการหมักร้อยละ 100 (Swain, 1975) ดังนั้นปริมาณของแข็งที่หมักได้ที่เพิ่มขึ้น น่าจะเป็นเพราะการเพิ่มขึ้นของกลูโคส นอกจากเวลาแล้ว ความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลสและกลูโคอะมิเลส จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งที่หมักได้ด้วย ปริมาณเอนไซม์ที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ของแข็งที่หมักได้เพิ่มไปด้วย แต่เมื่อถึงความเข้มข้นหนึ่งพบว่า การเพิ่มปริมาณเอนไซม์จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งที่หมักได้ พิจารณอิทธิพลร่วมของเวลากลูโคอะมิเลส และแอลฟา-อะมิเลส พบว่าการเพิ่มขึ้นของปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งหรือเพิ่มทุกปัจจัยจะให้ค่าเฉลี่ยของแข็งที่หมักได้สูงขึ้นยกเว้นเมื่อถึงภาวะที่ค่าเฉลี่ยของแข็งเพิ่มสูงสุดแล้วการเพิ่มขึ้นของปัจจัยต่างๆ จะไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ปริมาณของแข็งที่หมักได้จากการทดลองครั้งนี้มีความหลากหลายโดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 55 ถึง 99 ซึ่งจะทำให้สามารถนำไปใช้ในการผลิตสุราเพื่อ

วัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันได้ คือสารเสริมการผลิตสุราที่มีปริมาณของแข็งที่หมักได้สูง จะใช้เพื่อเพิ่มอัตราการหมักของสุรา ทำให้ระยะเวลาในการหมักสั้นลง

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบของแข็งที่หมักได้ (ร้อยละ)ของสารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตโดย
การย่อยแป้งเข้มข้นร้อยละ 40 pH 5.5 อุณหภูมิ 65°C ผลิตเมื่อเวลา
ความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลสและกลูโคอะมิเลสที่ระดับต่าง ๆ

เวลา (นาที)	ปริมาณ กลูโคอะมิเลส (ร้อยละ)	ของแข็งที่หมักได้ในสารเสริมการผลิตสุรา (ร้อยละ)		
		ปริมาณแอลฟา-อะมิเลส (ร้อยละ)		
		0.05	0.10	0.15
60	2	55.82±2.50	68.51±3.05	66.74±2.11
	3	58.91±2.09	74.81±1.30	73.15±1.84
	4	61.57±1.90	72.97±0.28	73.75±1.70
90	2	65.10±0.54	80.54±2.23	81.45±0.82
	3	75.16±0.35	87.65±1.32	87.82±1.15
	4	79.87±1.84	88.14±1.67	88.68±0.64
120	2	72.95±2.96	86.73±0.06	85.38±2.09
	3	86.94±1.16	91.24±0.55	91.72±0.71
	4	87.56±0.06	91.35±0.13	92.06±0.74
150	2	83.35±0.51	86.76±0.85	87.58±1.61
	3	94.67±0.74	98.47±0.55	98.02±0.23
	4	93.84±0.41	98.75±1.24	97.34±1.78
180	2	82.85±4.72	87.15±0.31	86.32±0.40
	3	93.98±0.16	96.05±1.00	96.15±0.69
	4	94.10±0.68	96.84±1.65	98.91±0.51



T (เวลา, นาที) T1=60 T2=90 T3=120 T4=150 T5=180

A (แอลฟาอะมิเลส, ร้อยละ) A1=0.05 A2=0.10 A3=0.15

G (กลูโคอะมิเลส, ร้อยละ) G1=2 G2=3 G3=4

a, b, c... อักษรที่แตกต่างกันในปัจจัยเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแข็งที่หมักได้ในสารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตโดยการย่อยสลายแป้งเข้มข้นร้อยละ 40 pH 5.5 และอุณหภูมิ 65°C ที่เวลา ความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลส (ร้อยละโดยปริมาตรต่อน้ำหนักแป้ง) และความเข้มข้นของกลูโคอะมิเลส (ร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก) ต่างๆ

ตารางที่ 14.14 ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างเวลาและความเข้มข้นของกลูโคอะมิเลสต่อค่าเฉลี่ยของแข็งที่หมักได้ เมื่อใช้สารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตได้เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต

กลูโคอะมิเลส (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยของแข็งที่หมักได้ในสารเสริมการผลิตสุรา (ร้อยละ)				
	เวลา (นาที)				
	60	90	120	150	180
2	68.69 ^a	75.70 ^f	81.69 ^e	85.90 ^{mn}	85.44 ^e
3	68.96 ^f	83.54 ^d	89.97 ^b	97.05 ^c	75.39 ^f
4	69.43 ^f	85.56 ^e	90.32 ^b	96.64 ^f	96.62 ^a

a, b, c.....อักษรที่แตกต่างในแถวเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.15 ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างเวลาและความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลสต่อค่าเฉลี่ยของแข็งที่หมักได้เมื่อใช้สารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตได้เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต

แอลฟา-อะมิเลส (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยของแข็งที่หมักได้ในสารเสริมการผลิตสุรา (ร้อยละ)				
	เวลา (นาที)				
	60	90	120	150	180
0.05	58.77 ^f	73.38 ^e	82.48 ^d	90.62 ^b	90.31 ^b
0.10	72.10 ^{mn}	85.44 ^e	89.77 ^b	94.66 ^c	93.35 ^c
0.15	72.21 ^f	85.98 ^e	89.72 ^b	94.31 ^c	93.79 ^c

a, b, c.....อักษรที่แตกต่างในแถวเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.16 ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลสและกลูโคอะมิเลส
ต่อค่าเฉลี่ยของแข็งที่หมักได้

กลูโคอะมิเลส (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยของแข็งที่หมักได้ในสารเสริมการผลิตสุรา (ร้อยละ)		
	เวลา (นาที)		
	0.05	0.10	0.15
2	72.01 ^d	81.94 ^c	81.49 ^c
3	81.93 ^c	89.64 ^a	89.37 ^a
4	83.39 ^b	89.61 ^a	90.15 ^a

a, b, c.....อักษรที่แตกต่างในแถวเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

4.4.5 ค่าสมมูลย์กลูโคส (Dextrose Equivalent, DE) คือร้อยละของน้ำตาลรีดิวิซ์ที่มีเทียบกับของแข็งทั้งหมด ค่าสมมูลย์กลูโคสของสารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตเมื่อภาวะใด ๆ แสดงผลดังตารางที่ 4.17 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสมมูลย์กลูโคสในตารางที่ 4.17 พบว่า เวลา ความเข้มข้นของกลูโคอะมิเลส ความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลส และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสามมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสมมูลย์กลูโคสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พิจารณารูปที่ 4.12 เมื่อเวลาในการผลิตใด ๆ พบว่าเมื่อเวลาในการผลิตสูงขึ้น ค่าสมมูลย์กลูโคสจะสูงขึ้นด้วย เวลาที่ให้ค่าเฉลี่ยค่าสมมูลย์กลูโคสสูงสุดคือ 150 นาที มีค่าสมมูลย์กลูโคสเท่ากับ 91.14 ซึ่งไม่แตกต่างจากเวลา 180 นาที ที่ให้ค่าสมมูลย์กลูโคสเท่ากับ 91.03 อย่างมีนัยสำคัญแต่จะให้ค่าให้ค่าสมมูลย์กลูโคสสูงกว่าเวลาที่ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากค่าสมมูลย์กลูโคสขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ที่ได้จากการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ ดังนั้นเมื่อค่าสมมูลย์กลูโคสเพิ่มตามเวลาที่เพิ่มขึ้น จึงชี้ให้เห็นว่าการย่อยแป้งโดยเอนไซม์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการย่อยสลายเพิ่มขึ้นและการย่อยสลายเกิดสูงสุดที่เวลา 150 นาที เมื่อให้เวลามากกว่านี้การย่อยสลายจะไม่เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกลูโคอะมิเลสเป็นร้อยละ 2 ให้ค่าเฉลี่ยสมมูลย์กลูโคส 78.92 เมื่อความเข้มข้นแอลฟา-อะมิเลสต่าง ๆ พบว่าความเข้มข้นของ แอลฟา-อะมิเลส ร้อยละ 0.10 ให้ค่าเฉลี่ยค่าสมมูลย์กลูโคส 85.66 แตกต่างจากความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยค่าสมมูลย์กลูโคส 78.92 แต่จะไม่แตกต่างกับการใช้ความเข้มข้น 0.15 ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยค่าสมมูลย์กลูโคส 85.15 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พิจารณาอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่าง ๆ ต่อค่าเฉลี่ยของให้ค่าเฉลี่ยสมมูลย์กลูโคส ดังตารางที่ 4.18, 4.19 และ 4.20 ผลที่ได้เป็นลักษณะเดียวกับที่พบในค่าเฉลี่ยของแข็งที่หมักได้ พิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างเวลาและความเข้มข้นของกลูโคอะมิเลสเมื่อเวลาเพิ่มจาก 60 นาทีถึง 150 นาที และหรือความเข้มข้นของกลูโคอะมิเลสเพิ่มจากร้อยละ 2 เป็นร้อยละ 3 ค่าเฉลี่ยสมมูลย์กลูโคสจะเพิ่มขึ้น อิทธิพลร่วมระหว่างเวลาและความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลสจะพบเช่นเดียวกัน คือเมื่อเวลาเพิ่มจาก 60 นาทีถึง 150

นาที่ และหรือความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลส เพิ่มจาก 0.05 เป็น 0.10 ค่าเฉลี่ยสมมูลย์กลูโคสจะเพิ่มขึ้นแต่เมื่อเพิ่มเวลาจาก 150 นาทีเป็น 180 นาที และหรือเพิ่มความเข้มข้นของกลูโคอะมิเลสจากร้อยละ 3 เป็นร้อยละ 4 หรือความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลสร้อยละ 0.10 เป็นร้อยละ 0.15 ค่าเฉลี่ยสมมูลย์กลูโคส จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยสมมูลย์กลูโคส พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยสมมูลย์กลูโคสจะมีลักษณะเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของของแข็งที่หมักได้ ดังที่กล่าวมาแล้วว่าค่าเฉลี่ยสมมูลย์กลูโคสหาได้จากร้อยละของน้ำตาลรีดิวซ์เทียบกับของแข็งทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ ขณะที่ค่าของแข็งที่หมักได้หาได้จากปริมาณน้ำตาลที่ยีสต์สามารถนำไปใช้ได้ เนื่องจากการทดลองครั้งนี้ย่อยสลายแป้งโดยใช้แอลฟา-อะมิเลสร่วมกับกลูโคอะมิเลส ดังนั้นน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่จะเป็นกลูโคส และจะมีมอลโตส มอลโตไตรโอสอยู่ด้วยส่วนน้ำตาลชนิดอื่น ๆ เช่น ฟรุคโตส ซูโครส พบในปริมาณที่น้อยมากเพราะฉะนั้นน้ำตาลที่ยีสต์นำไปใช้ส่วนมากจึงเป็นกลูโคส มอลโตส และมอลโตไตรโอส ซึ่งน้ำตาลทั้งสามชนิดนี้มีความสมบัติเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ดังนั้นค่าเฉลี่ยสมมูลย์กลูโคสและของแข็งที่หมักได้ของสารเสริมการผลิตจึงมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ดังนั้นจึงหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าให้ค่าสมมูลย์กลูโคสและของแข็งที่หมักได้ โดยใช้ Simple regression จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.13 และสมการที่ 3

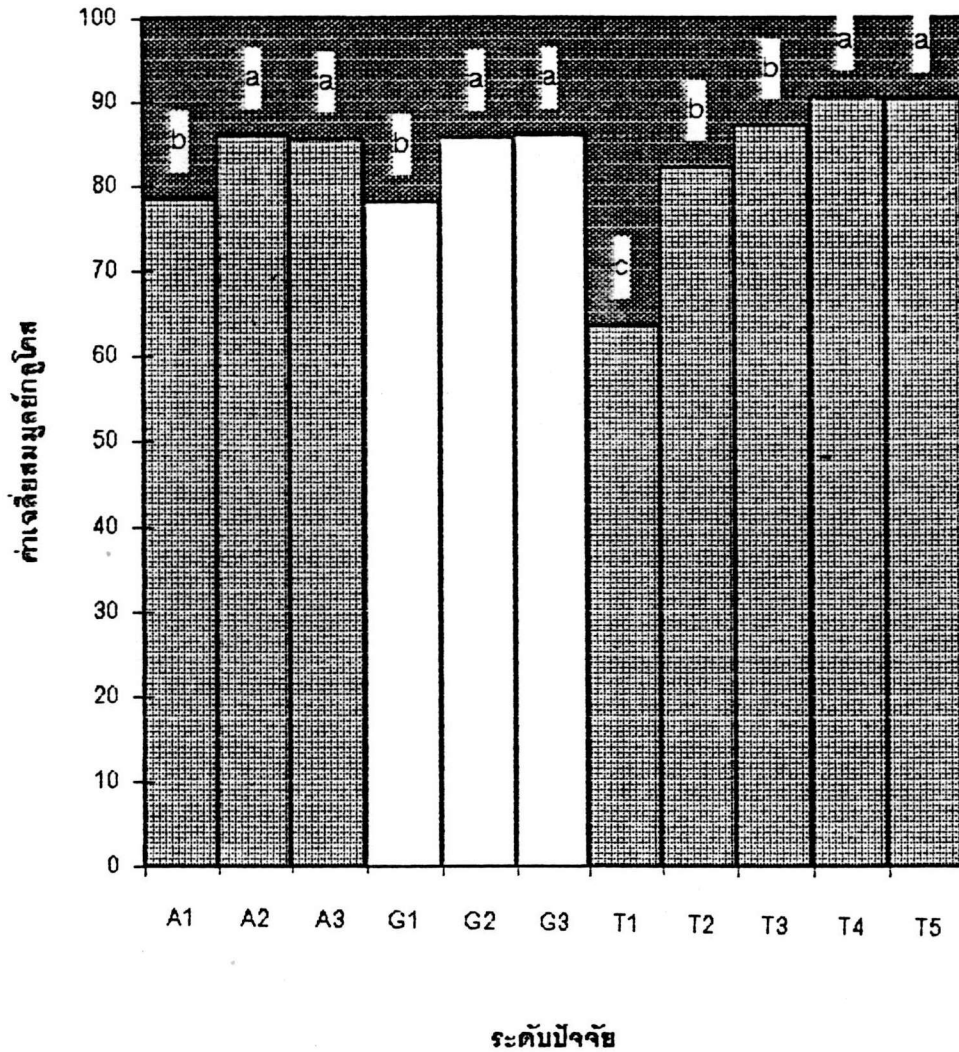
$$DE = 1.78 + 0.965 (\text{Fermentable extract}) \text{-----} 3$$

Standard error = 2.942 R-squared = 93.5 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์ค่าของแข็งที่หมักได้ยุ่งยากและใช้เวลานาน ดังนั้นเมื่อสามารถคาดคะเนค่าของแข็งที่หมักได้จากค่าสมมูลย์กลูโคสซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ที่ง่ายและใช้เวลาสั้น จึงเพิ่มความสะดวกในการนำสารเสริมการผลิตสุราไปใช้ได้มากขึ้น

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมมูลย์กลูโคสของสารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตโดยการ
 ย่อยแป้งเข้มข้นร้อยละ 40 pH 5.5 อุณหภูมิ 65 °C เมื่อเวลา ความเข้มข้นของ
 แอลฟา-อะมิเลสและกลูโคอะมิเลสต่าง ๆ

เวลา (นาที)	กลูโคอะมิเลส (ร้อยละ)	ค่าสมมูลย์กลูโคสจากการย่อยแป้งข้าวเจ้า		
		แอลฟา-อะมิเลส (ร้อยละ)		
		0.05	0.10	0.15
60	2	52.99±2.12	66.78±0.59	64.80±1.85
	3	58.27±0.83	69.97±0.64	68.27±0.51
	4	53.68±2.01	75.92±0.75	77.21±0.30
90	2	72.87±0.62	97.84±0.44	79.43±0.61
	3	77.97±1.36	86.29±0.00	88.34±2.11
	4	74.42±0.55	87.46±1.56	87.64±1.17
120	2	80.94±1.20	85.46±1.87	84.71±2.72
	3	84.60±1.02	88.35±0.17	90.83±0.66
	4	86.58±1.48	92.64±1.80	90.20±1.57
150	2	81.30±1.05	85.31±0.31	84.76±0.24
	3	95.62±3.07	95.84±1.73	94.32±0.98
	4	93.18±0.03	95.68±1.34	94.28±1.80
180	2	80.82±0.06	85.96±2.09	83.22±1.19
	3	94.83±2.46	95.37±3.05	94.06±1.75
	4	95.79±4.82	94.00±0.00	95.19±0.86



T (อุณหภูมิ, °C) T1=60 T2=90 T3=120 T4=150 T5=180

A (แอลฟา-อะมิเลส, ร้อยละ) A1=0.05 A2=0.10 A3=0.15

G (กลูโคอะมิเลส, ร้อยละ) G1=2 G2=3 G3=4

a,b,c....อักษรที่แตกต่างกันในปัจจัยเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.0$)

รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าสมมูลยุงโคสเมื่อเวลา ความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลส และกลูโคอะมิเลสต่างๆ

ตารางที่ 4.18 ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างเวลาและความเข้มข้นของกลูโคอะมิเลสต่อค่าเฉลี่ย

ค่าสมมูลย์กลูโคสของสารเสริมการผลิตสุรา

กลูโคอะมิเลส (ร้อยละ)	ค่าสมมูลย์กลูโคสจากการย่อยแป้งข้าวเจ้า				
	เวลา (นาที)				
	60	90	120	150	180
2	61.52 ^b	77.38 ^c	83.70 ^d	83.79 ^d	83.33 ^d
3	65.50 ^f	84.20 ^d	87.93 ^c	95.26 ^a	94.77 ^a
4	68.94 ^f	83.17 ^d	89.81 ^b	94.38 ^a	94.99 ^a

a, b, c.....อักษรที่แตกต่างในแถวเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.19 ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างเวลาและความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลสต่อค่าเฉลี่ย

สมมูลย์กลูโคสของสารเสริมการผลิตสุรา

แอลฟา-อะมิเลส (ร้อยละ)	ค่าสมมูลย์กลูโคสจากการย่อยแป้งข้าวเจ้า				
	เวลา (นาที)				
	60	90	120	150	180
0.05	54.98 ^a	75.09 ^f	84.04 ^c	90.03 ^{bd}	90.48 ^{abcd}
0.10	70.89 ^e	84.53 ^d	88.82 ^d	92.28 ^a	91.78 ^{ab}
0.15	70.09 ^e	85.14 ^d	88.58 ^d	91.12 ^{ab}	90.82 ^{abc}

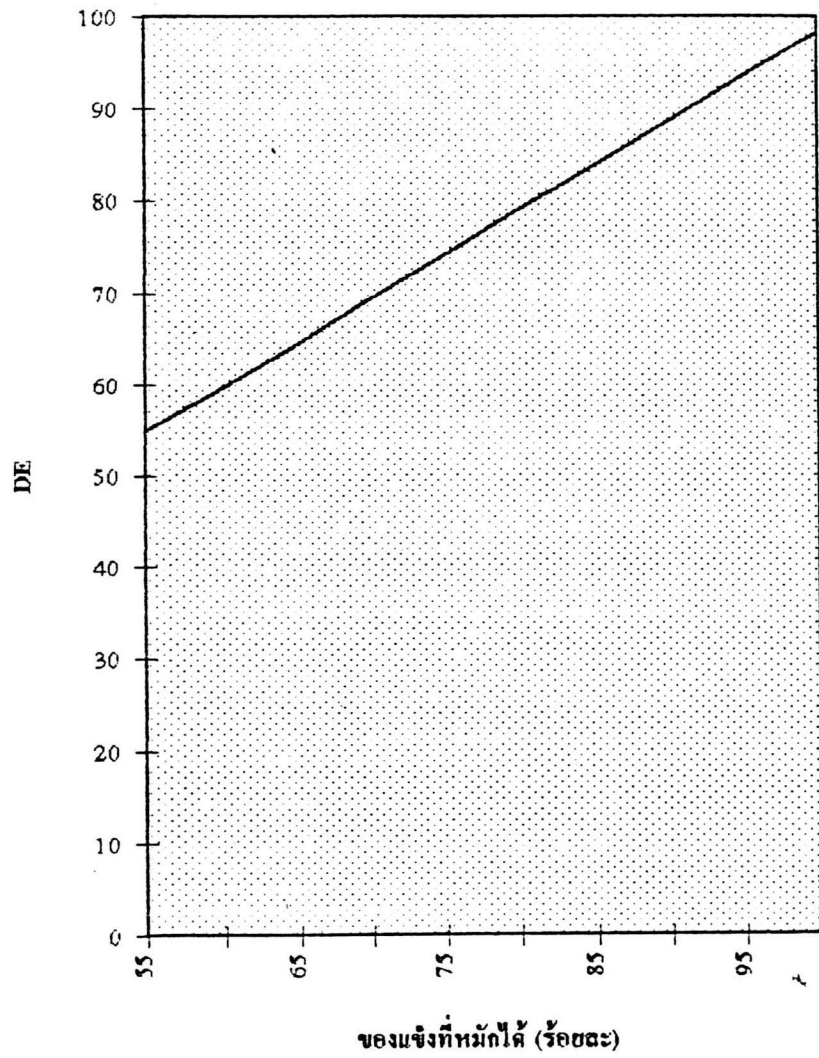
a, b, c.....อักษรที่แตกต่างในแถวเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.20 ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลสและ

กลูโคอะมิเลสต่อค่าเฉลี่ยค่าสมมูลย์กลูโคสของสารเสริมการผลิตสุรา

กลูโคอะมิเลส (ร้อยละ)	ค่าสมมูลย์กลูโคสจากการย่อยแป้งข้าวเจ้า		
	แอลฟา-อะมิเลส (ร้อยละ)		
	0.05	0.10	0.15
2	73.78 ^a	80.67 ^a	79.38 ^d
3	82.26 ^d	87.16 ^b	87.16 ^b
4	80.73 ^d	89.14 ^b	88.90 ^b

a, b, c.....อักษรที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ของค่าสมมูลย์กลูโคสกับของแข็งที่หมักได้

4.4.6 โปรตีน จากการทดลองวิเคราะห์หาโปรตีนในสารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตในการทดลอง ไม่พบโปรตีนในทุกตัวอย่าง อาจเนื่องการปั่นแยก 10,000 รอบต่อนาทีในกระบวนการผลิตทำให้โปรตีนตกตะกอนแยกตัวออกจากโปรตีนเป็นต้นกำเนิดของตะกอนชั้นและกลิ่นรสไม่ดีในผลิตภัณฑ์เบียร์ ดังนั้นสารเสริมการผลิตที่ผลิตได้ซึ่งไม่พบโปรตีนอยู่เลย หากนำไปใช้ในกระบวนการผลิตเบียร์น่าจะทำได้เบียร์ที่มีความคงตัวและกลิ่นรสดี

4.4.7 ประเภทของน้ำตาลที่วิเคราะห์จาก HPLC วิเคราะห์ชนิดของน้ำตาล DP_1 , DP_2 , DP_3 , และพวกที่มี DP มากกว่า 3 ในสารเสริมการผลิตสุราที่ผลิตได้จากการทดลองนี้ ตัวแทนของ DP_1 คือกลูโคสและฟรุคโตส DP_2 คือมอลโตสและซูโครส DP_3 คือมอลโตไตรโอส ส่วนพวกที่มี retention time สูงกว่ามอลโตไตรโอส และพวกที่ไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าเป็นน้ำตาลชนิดใดจะจัดเป็น $>DP_3$ ผลจากการวิเคราะห์ด้วย HPLC พบน้ำตาลฟรุคโตส และซูโครสในปริมาณที่ต่ำมากโดยเฉลี่ยร้อยละ 0.01 ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า DP_1 ของสารเสริมการผลิตสุราในการทดลองนี้เป็นกลูโคส และ DP_2 เป็นมอลโตส ชนิดของน้ำตาลแสดงในรูปที่ 4.15, 4.16 และ 4.17 พบว่า กลูโคสเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีมากที่สุดในการเสริมการผลิตสุราที่ผลิตได้ปริมาณของกลูโคสจะแปรผกผันกับ พวก DP สูงกว่า 3 พิจารณาผลผลิตที่ได้จากภาวะในการทดลอง พบว่าการผลิตกลูโคสในช่วงแรกจะสูงมากและปริมาณกลูโคสจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลสเพิ่มจากร้อยละ 0.05 เป็นร้อยละ 0.1 เนื่องจากจำนวนเอนไซม์ที่เข้าทำปฏิกิริยากับแป้งเพิ่มขึ้น การย่อยสลายจึงเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลสเป็นร้อยละ 0.15 ปริมาณกลูโคสจะไม่เพิ่มขึ้นอีกทั้งนี้เนื่องจากที่ความเข้มข้น ร้อยละ 0.1 สารตั้งต้นอิ่มตัวด้วยเอนไซม์แล้วดังนั้นการเพิ่มปริมาณเอนไซม์จึงไม่มีผลต่อการผลิตกลูโคส ในช่วงแรกของการผลิตที่เวลา 120 นาทีเป็นต้นไป พบว่าความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลสไม่มีผลต่อปริมาณกลูโคสแต่ความเข้มข้นของกลูโคอะมิเลสจะมีผลโดยเมื่อความเข้มข้นของกลูโคอะมิเลสเพิ่มจากร้อยละ 2 เป็น 3 และ 4 ปริมาณกลูโคส

จะเพิ่มจากร้อยละ 84.71 เป็น 93.39 และ 93.88 ตามลำดับเวลาในการผลิตที่เพิ่มขึ้น จะทำให้กลูโคสเพิ่มและทำให้ DP มากกว่า 3 ต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะในระยะแรกของปฏิกิริยา แต่ในระยะหลังเวลา 150 และ 180 นาที พบว่าปริมาณกลูโคสที่ผลิตได้จะเริ่มมีค่าคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณกลูโคสที่เกิดมากขึ้นจะไปยับยั้งการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะลดลง นอกจากนี้ยังมีสิ่งที่น่าสนใจในภาวะนี้คือเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรต จะพบโมเลกุลแปลกปลอมที่มี retention time แตกต่างจากน้ำตาลมาตรฐานที่ใช้ปริมาณที่พบโดยเฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 3 สันนิษฐานว่าโมเลกุลที่พบนี้อาจจะเป็นผลผลิตที่เกิดจากการรวมตัวกันของกลูโคสที่มีความเข้มข้นสูง ผลผลิตที่เกิดขึ้นนี้ร่วมกับการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โดยกลูโคสจะขัดขวางให้ปริมาณกลูโคสที่ได้จากการย่อยสลายแป้งข้าวเจ้าต่ำกว่าร้อยละ 100 จากการทดลองนี้ภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตสารเสริมการผลิตสุราที่ให้ปริมาณกลูโคสสูงสุดคือที่เวลาในการผลิต 150 นาที ความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลสเป็นร้อยละ 0.1 และกลูโคอะมิเลสเข้มข้นร้อยละ 3 และปริมาณกลูโคสสูงสุดที่ได้จากการทดลองนี้คือร้อยละ 93.39 และ 93.88 ซึ่งมีลักษณะโครมาโตแกรมดังแสดงในรูปที่ 4.18

หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า DE และองค์ประกอบคาร์โบไฮเดรตในสารเสริมการผลิตสุรา ด้วยวิธี Simple regression จะได้ความสัมพันธ์ดังตาราง 4.21

ตารางที่ 4.2.1 สมการและรายละเอียดของสมการความสัมพันธ์ของค่าสมมูลย์กลูโคส (X)

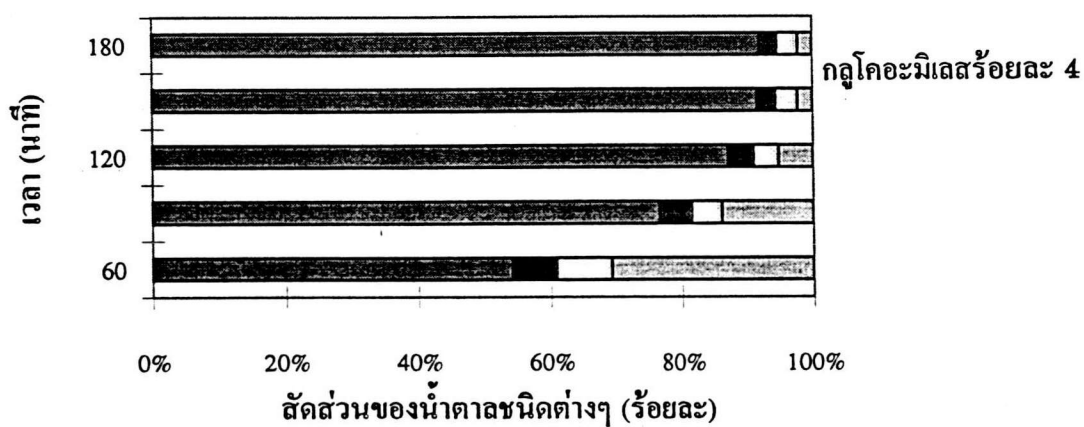
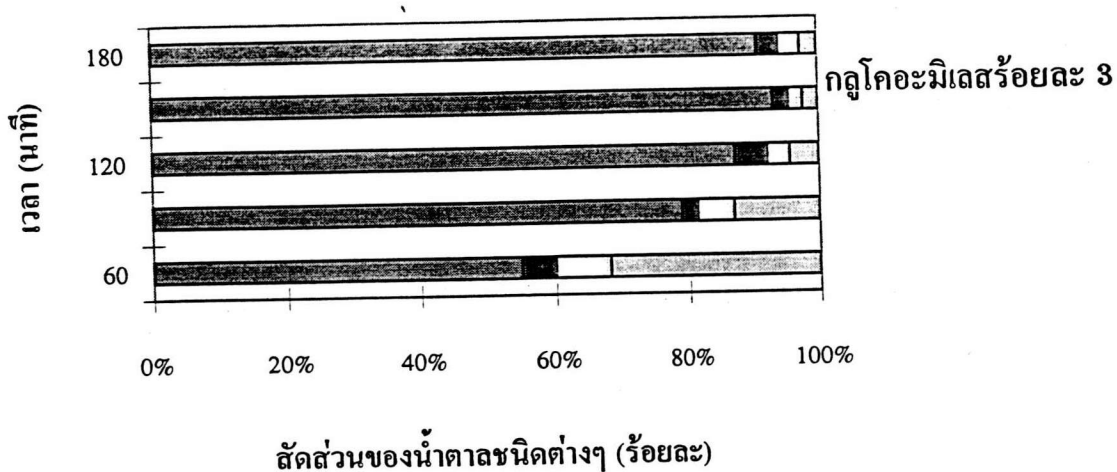
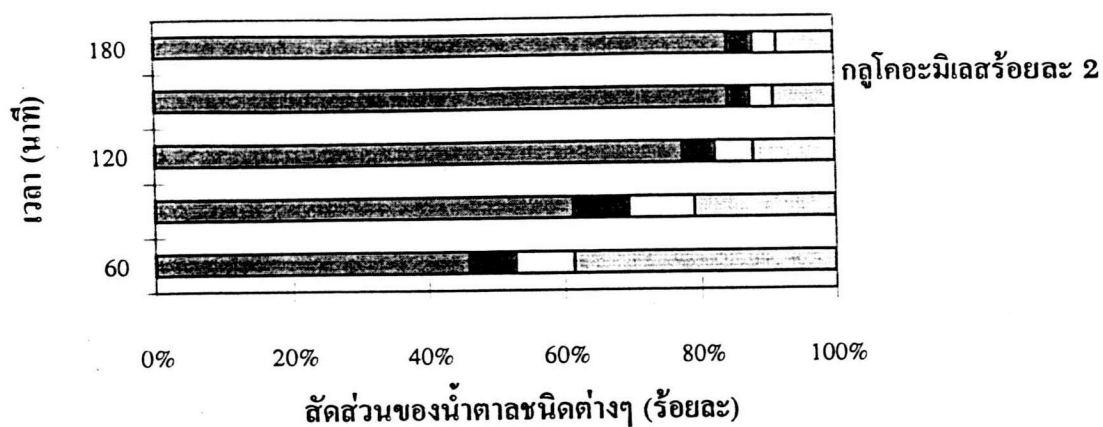
และสัดส่วนของน้ำตาลชนิดต่างๆในสารเสริมการผลิตสุราที่ระดับความเชื่อมั่น

ร้อยละ 95

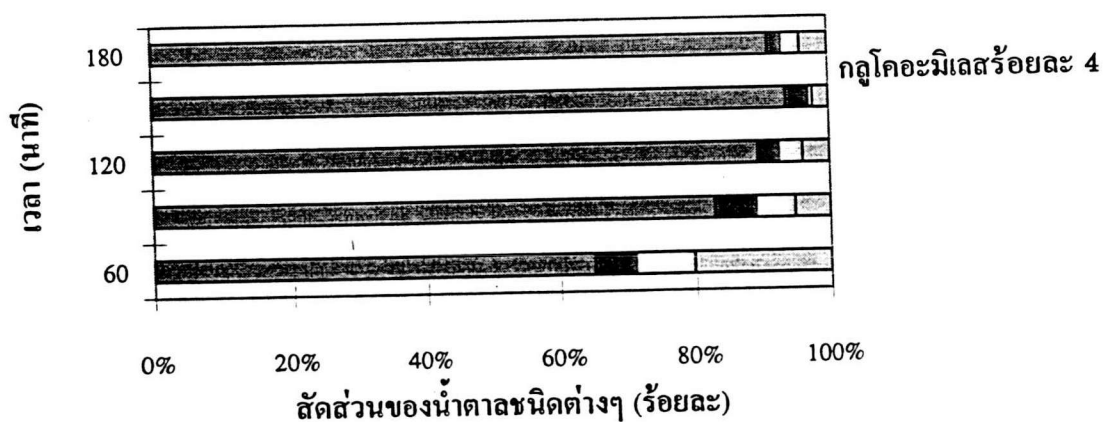
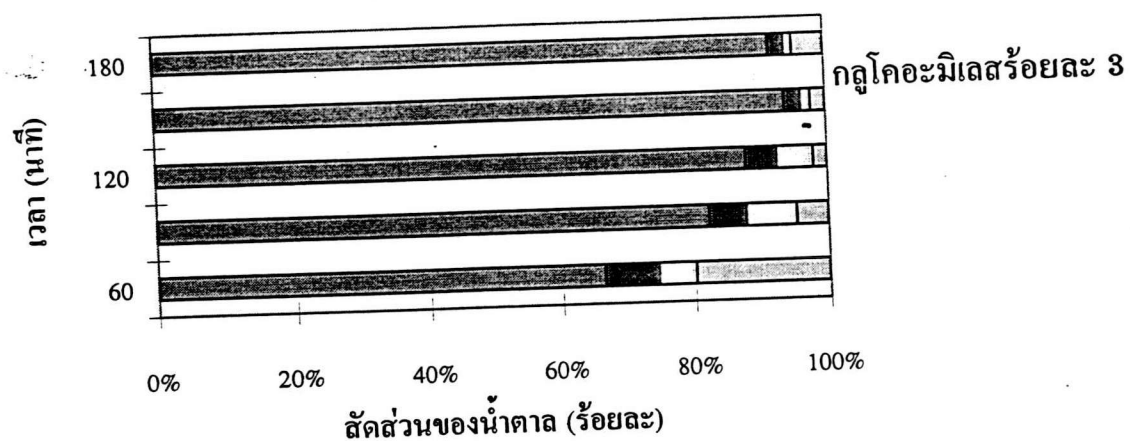
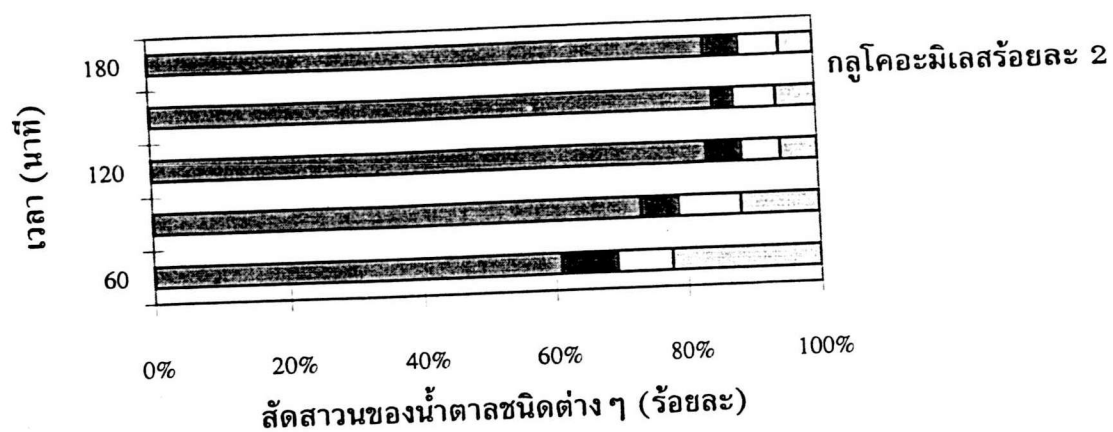
สมการ	Standard error	R-squared
$Y_1 = -7.14 + 1.060X$; $Y_1 = DP_1$	3.077	0.939
$Y_2 = 13.90 - 0.190X$; $Y_2 = DP_2$	1.325	0.576
$Y_3 = 17.00 - 0.139X$; $Y_3 = DP_3$	1.460	0.668
$Y_4 = 77.77 - 0.824X$; $Y_4 = >DP_3$	2.290	0.944

สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมมูลย์กลูโคสและองค์ประกอบคาร์โบไฮเดรตในสารเสริมการผลิตสุรา ดังรูปที่ 4.19 เปรียบเทียบสารเสริมการผลิตสุราจากการทดลองนี้กับของ Swain (1975) พบว่าที่ค่าสมมูลย์กลูโคสเดียวกัน สารเสริมการผลิตสุราจากการทดลองนี้จะให้กลูโคสสูงกว่าซึ่งจะทำให้ความสามารถในการหมักสูงกว่า สามารถแบ่งสารเสริมการผลิตสุราออกเป็น 2 กลุ่มตามค่าสมมูลย์กลูโคสคือกลุ่มที่มีค่าสมมูลย์กลูโคสต่ำกว่า 80 และกลุ่มที่มีค่าสมมูลย์กลูโคสสูงกว่า 80 สารเสริมการผลิตสุราที่มีค่าสมมูลย์กลูโคสต่ำกว่า 80 จะมีองค์ประกอบน้ำตาลใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สุราที่มีวัตถุดิบเริ่มต้นเป็นข้าว เช่นองค์ประกอบของน้ำตาลในน้ำหมักสาเกมีน้ำตาลที่หมักได้ร้อยละ 63.30 โดยเป็นกลูโคสถึงร้อยละ 60.64 และน้ำตาลที่หมักไม่ได้ร้อยละ 36.7 (Kodama and Yoshizawa, 1977) องค์ประกอบดังกล่าวจะใกล้เคียงกับสารเสริมการผลิตสุราที่มีค่าสมมูลย์กลูโคสอยู่ในช่วง 60 ถึง 70 ซึ่งจะมีกลูโคสและน้ำตาลที่หมักไม่ได้เป็นองค์ประกอบร้อยละ 56 ถึง 66 และ 21 ถึง 28 ตามลำดับ เพราะองค์ประกอบของน้ำตาลคล้ายคลึงกันจะทำให้ผลิตภัณฑ์สุราที่ได้จากการใช้สารเสริมการผลิตสุรานี้มีกลิ่นรสคงเดิมแต่จะมีความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตสาร

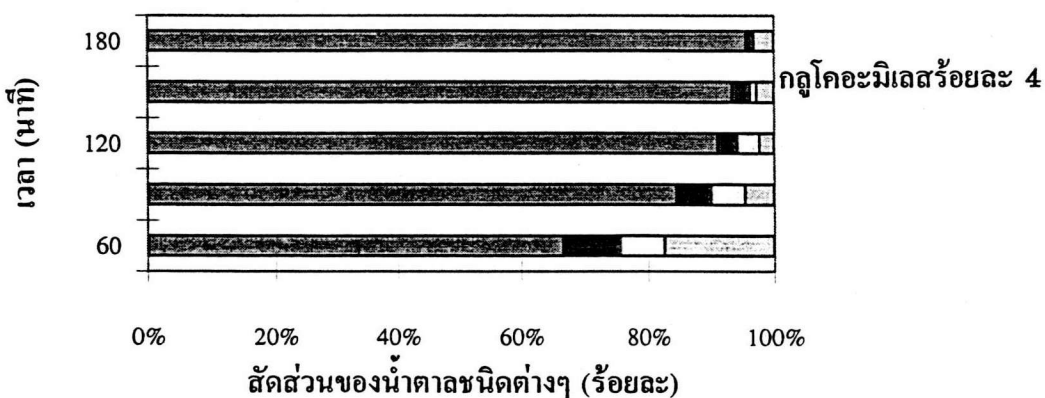
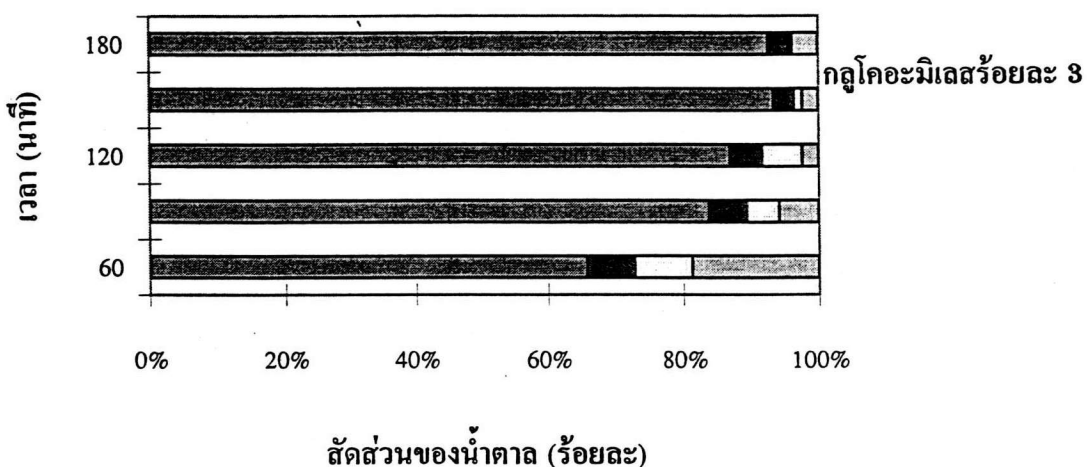
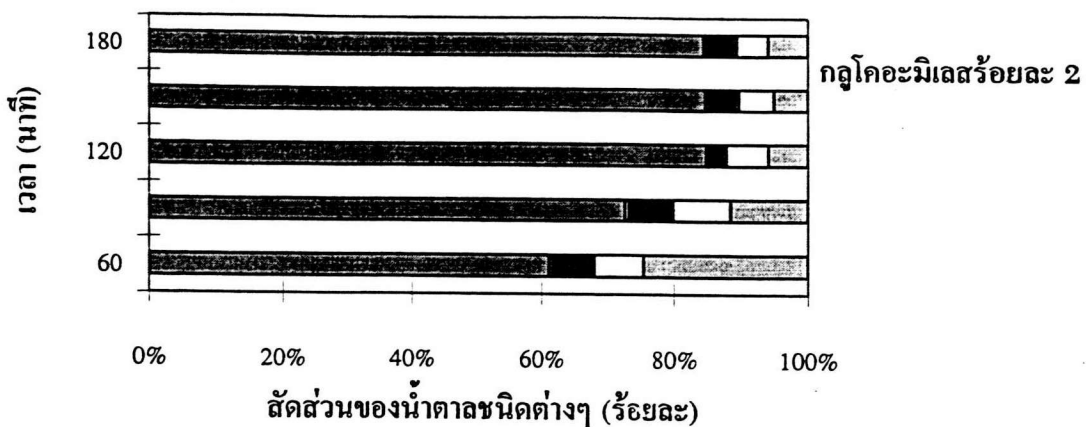
เสริมการผลิตสุราชนิดนี้โดยเฉพาะเมื่อต้องการนำไปใช้ในการผลิตสาเกคือเมื่อความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลสร้อยละ 0.05 ความเข้มข้นของกลูโคอะมิเลสร้อยละ 3 เวลาในการผลิต 60 นาที จะให้สารเสริมการผลิตสุราที่มีค่าสมมูลย์กลูโคส 58.27 ค่าของแข็งที่หมักได้ร้อยละ 58.90 มีกลูโคสเป็นองค์ประกอบร้อยละ 55.00 และมีน้ำตาลที่หมักไม่ได้ร้อยละ 38.91 สารเสริมการผลิตที่มีค่าสมมูลย์กลูโคสสูงกว่า 80 พบว่าองค์ประกอบคาร์โบไฮเดรตของสารเสริมการผลิตสุรากลุ่มนี้จะไม่ใกล้เคียงกับวัตถุดิบเริ่มต้นเลย และน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบหลักของสารเสริมการผลิตสุรากลุ่มนี้คือกลูโคส ซึ่งมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 77 ขึ้นไป เนื่องจากกลูโคสเป็นน้ำตาลที่มีความสามารถในการหมักสูงถึงร้อยละ 100 (Swain, 1975) จากคุณสมบัตินี้จะสามารถนำสารเสริมการผลิตสุรากลุ่มนี้ไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสุรา เพื่อเพิ่มความสามารถในการหมัก ปรับปรุงองค์ประกอบของน้ำหมักสุราให้มีอัตราการหมักหรือองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตตามต้องการ และใช้ผลิตสุราที่มีลักษณะพิเศษ เช่น เบียร์ที่มีความถ่วงจำเพาะสูง (high gravity) และเบียร์ที่มีพลังงานต่ำ (low calorie) เป็นต้น ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตสารเสริมการผลิตสุราที่มีความสามารถในการหมักสูงนี้คือเมื่อความเข้มข้นของแอลฟา-อะมิเลสร้อยละ 0.10 ความเข้มข้นของกลูโคอะมิเลสร้อยละ 3 เวลาในการผลิต 150 นาที จะให้สารเสริมการผลิตสุราที่มีค่าสมมูลย์กลูโคส 95.84 ค่าของแข็งที่หมักได้ร้อยละ 98.47 มีกลูโคสเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 93.88



รูปที่ 4.15 ผลของเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายแป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 40 ต่อ สัดส่วนของน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ (■DP1, ●DP2, +DP3, และ▲DP>3)
 อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดต่าง 5.5 แอลฟา-อะมิเลสร้อยละ 0.05 ปริมาตรต่อน้ำหนักแป้ง

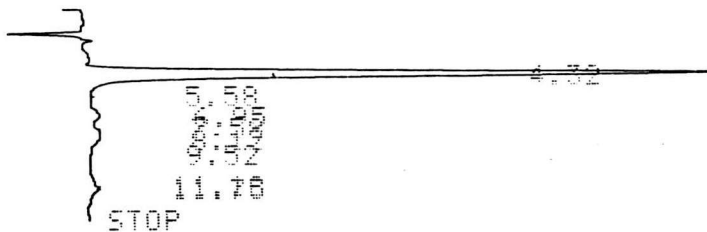


รูปที่ 4.16 ผลของเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายแป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 40 ต่อ สัดส่วนของน้ำตาดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ (■DP1, ●DP2, +DP3, และ▲DP>3) อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดต่าง 5.5 แอลฟา-อะมิเลสร้อยละ 0.10 ปริมาตรค่อน้ำหนักแป้ง



รูปที่ 4.17 ผลของเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายแป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 40 ต่อ สัดส่วนของน้ำตาดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ (■DP1, ●DP2, +DP3, และ ▲DP>3) อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดต่าง 5.5 แอลฟา-อะมิเลสร้อยละ 0.15 ปริมาตรค่อน้ำหนักแป้ง

START 04.03.13.27.

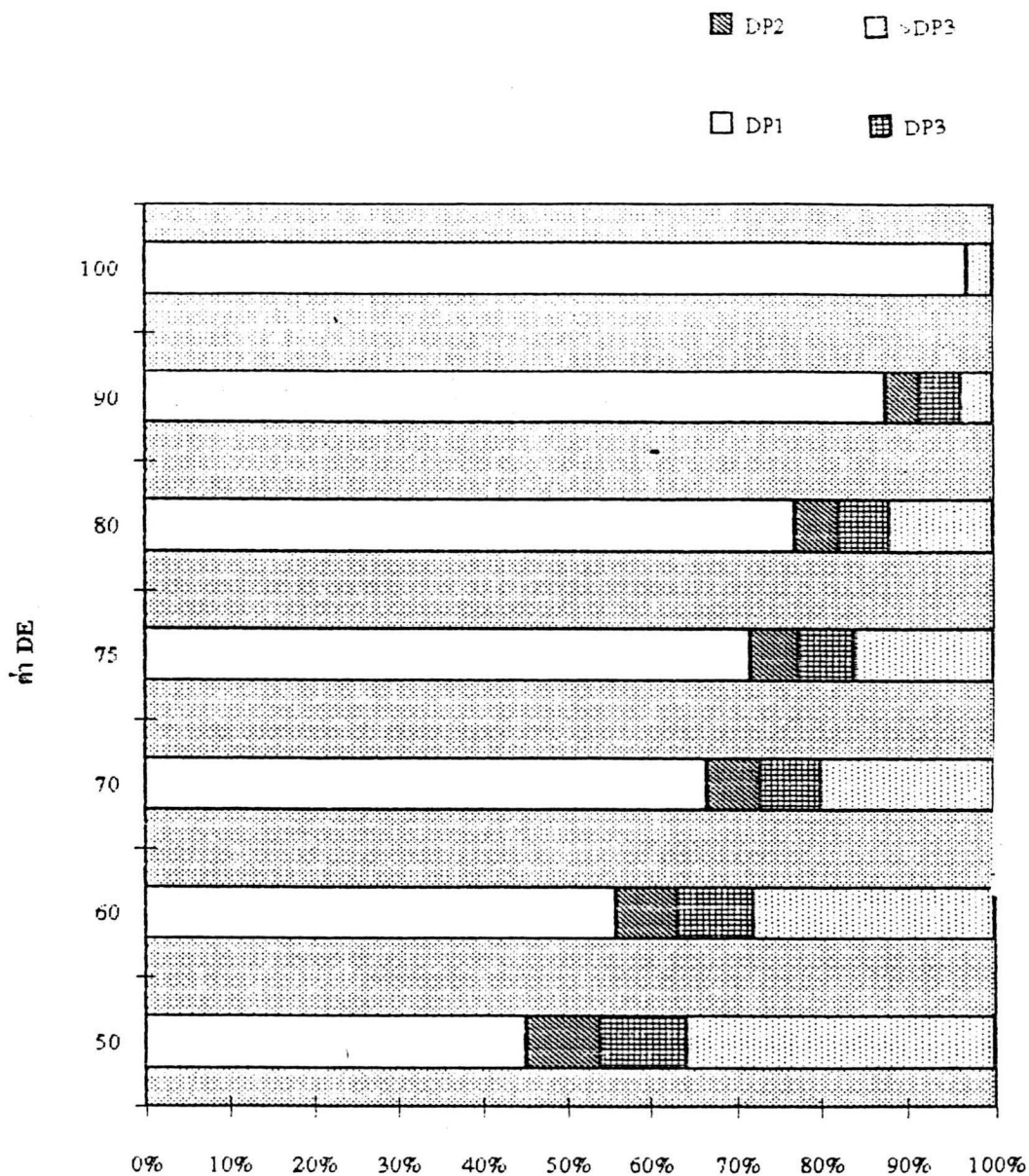


C-R1A
 SMPL # 00
 FILE # 1
 REPT # 4373
 METHOD 41

#	NAME	TIME	CONC	MK	AREA
0		4.32	93.386		304306
0		6.95	2.8019	T	9130
0		8.12	3.812	TV	12421
	TOTAL		100		325858

เมื่อ retention time 4.32 นาที คือ กลูโคส 6.95 นาที คือ มอลโตส
 และ 8.12 นาที คือโมเลกุลที่แตกต่างจากน้ำตาลมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์
 ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นน้ำตาลชนิดใด

รูปที่ 4.18 โครมาโตแกรมของสารเสริมการผลิตสุราที่ให้กลูโคสสูงสุด ภาวะในการผลิตคือ
 เวลา 150 นาที แอลฟา-อะมิเลสเข้มข้นร้อยละ 0.10 และกลูโคอะมิเลสเข้มข้น
 ร้อยละ 4 pH 5.5 และอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส



องค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)

รูปที่ 4.19 องค์ประกอบคาร์โบไฮเดรตของสารเสริมการผลิตสุราที่ค่าสมมูลย์กลูโคสต่างๆ