บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวขาวดอกมะลิ 105

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ตามข้อ 3.1 ผลดังตารางที่ 4.1 พบว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณอะมิโลส17.56 (%) ซึ่งจัดเป็นข้าวประเภทอะมิโลสต่ำ (อะมิโลสน้อยกว่า 19%) เนื่องจากอะมิโลสมีผลให้เม็ดแป้งแตกและพองตัวได้ยาก (Sandhya and Bhattacharya ,1992) ดังนั้นข้าวที่มีอะมิโลสต่ำ เมื่อผ่านการเจลาทีไนเซชัน แล้วจะทำให้ได้ข้าวสุกที่มีความนุ่มไม่แข็งกระด้าง และข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวที่มีความหอมซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคชอบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นวัตถุดิบ เพื่อให้ได้ข้าวหุงสุกเร็วที่เป็นที่ยอมรับต่อผู้บริโภค จากรายงานของ Chandrasheka และ Kirleis,1988 พบว่า โปรตีนที่เป็นปัจจัยที่มีผลให้เม็ดแป้งในข้าวพองตัวได้ยาก ทำให้ข้าวเกิดเจลาทีไนเซชันได้ยากขึ้นในกรณีนี้**ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ใช้มีโปรตีน 6.56 % ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้ ปาเปน อัลคาเลส® และเปปซิน ย่อยโปรตีนที่ผิวข้าวเจ้าออกไป เพื่อให้ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้เกิดเจลาทีไนเซชันได้ง่ายขึ้น**

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวขาวดอกมะลิ 105

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวขาวดอกมะลิ 105	ปริมาณ (กรัม/ข้าว100กรัม)
ความชื้น	11.52 ± 0.28
โปรตีน	6.56 ± 0.12
เถ้า	0.339 ± 0.09
อะมิโลส	17.56 ± 0.20

4.2 ภาวะที่เหมาะสมในการย่อยโปรตีนในแป้งข้าวเจ้า

4.2.1 ผลของความเป็นกรดด่างในการย่อยโปรตีนในแป้งข้าวเจ้า

จากการทดลองในข้อ 3.2.1 พบว่าความเป็นกรดด่างมีผลต่อการแตกตัวของอนุมูลกรดอะมิโนที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ให้อยู่ในรูปที่สามารถจับกับสับสเทรตได้แตกต่างกัน อีกทั้งโปรตีนที่เป็นสับสเทรตตามการทดลองนี้คือโปรตีนจากข้าว ซึ่งมีองค์ประกอบโครงสร้างโมเลกุลแตกต่างจากโปรตีนอื่น และไม่ใช่โปรตีนบริสุทธิ์ แต่จะแทรกตัวอยู่ ในช่องระหว่างเม็ดแป้งและมีพันธะเชื่อมกับเม็ดแป้งดังนั้นจึงอาจมีภาวะที่เหมาะสมแตกต่างจากการย่อยโปรตีนชนิดอื่น ผลการย่อยโปรตีนข้าวด้วยปาเปน อัลคาเลส® และเปปซิน แสดงดังตารางที่ 4.2

เมื่อย่อยโปรตีนข้าวด้วยปาเปน (1.7 Units / mg. solid) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการย่อย 30 นาที **เมื่อค่าความเป็นกรดด่างเปลี่ยนจาก 4 เป็น 6 ค่าความเข้มข้นโปรตีนที่ย่อยได้จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจาก 5.60 ± 0.08 เป็น 8.33 ± 0.15 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แต่ที่ค่าความเป็นกรดด่าง 6.5 ค่าความเข้มข้นโปรตีนที่ย่อยได้จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว** และมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) คือ 23.37 ± 0.21 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ดังนั้นค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการย่อยโปรตีนข้าวของปาเปนคือ 6.5

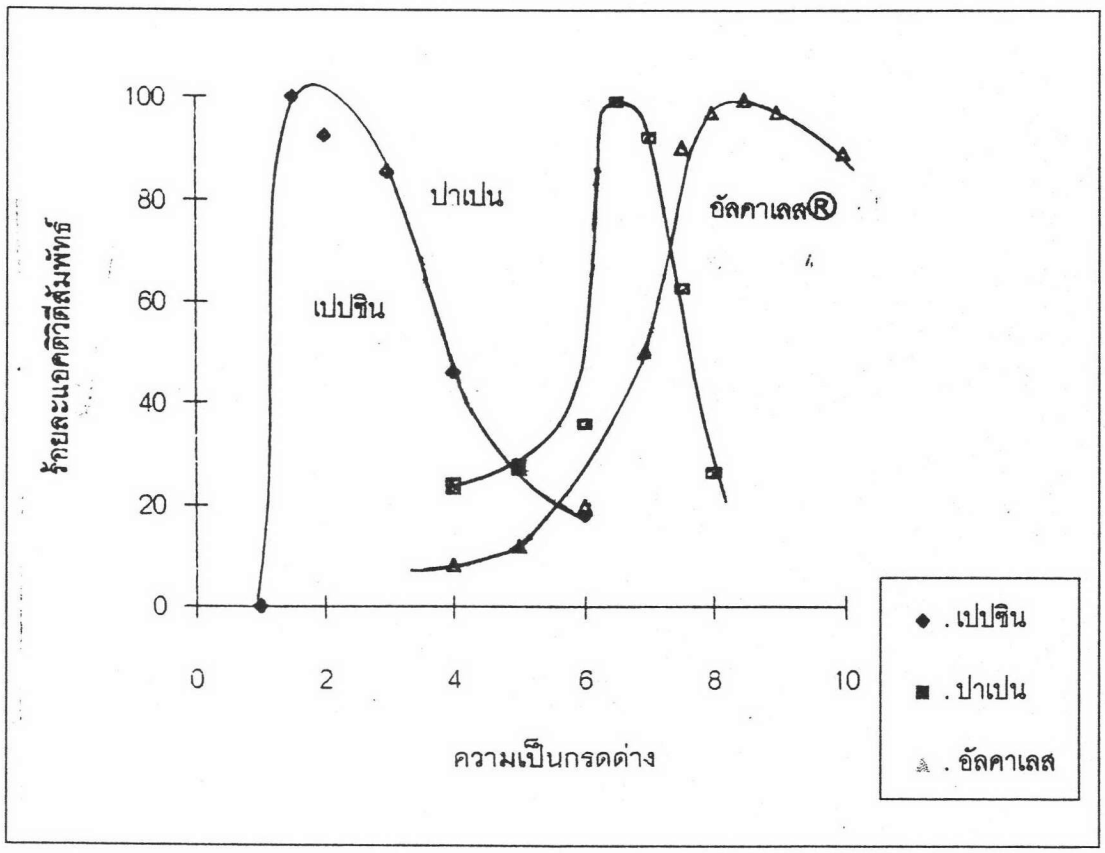
เมื่อย่อยโปรตีนข้าวด้วยอัลคาเลส® (2.4 AU/g.) เมื่อค่าความเป็นกรดด่างเปลี่ยนจาก 4 เป็น 6 ค่าความเข้มข้นโปรตีนที่ย่อยได้จะค่อยๆเพิ่มจาก 4.58 ± 0.09 เป็น 6.60 ± 0.07 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แต่ที่ค่าความเป็นกรดด่าง 7.5 ค่าความเข้มข้นโปรตีนที่ย่อยได้จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเป็น 50.68 ± 0.25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ที่ค่าความเป็นกรดด่าง 8.5 คือมีค่าความเข้มข้นโปรตีนเป็น 56.05 ± 0.10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร หลังจากนั้นเมื่อค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้นค่าความเร็วปฏิกิริยาจะลดลง **ดังนั้นค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการย่อยโปรตีนข้าวของอัลคาเลส® คือที่ 8.5 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส**

ตารางที่ 4.2 ผลของค่าความเป็นกรดด่างต่อร้อยละการย่อยสลายโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าด้วยปาเปน, อัลคาเลส® และเปปซิน อุณหภูมิ 30 ° C ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 30นาที

ค่าความเป็นกรดด่าง	ร้อยละของโปรตีนที่ถูกย่อยและละลายในสารละลายปฏิกิริยา (ไมโครกรัมโปรตีน/มิลลิลิตรของสารละลายปฏิกิริยา)		
	ปาเปน	อัลคาเลส®	เปปซิน
1.0	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	0^{g}
1.5	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	96.06 ± 0.49^{a}
2.0	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	88.61 ± 0.19^{b}
3.0	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	81.77 ± 0.12^{c}
4.0	5.60 ± 0.08^{f}	4.58 ± 0.09^{h}	43.91 ± 0.38^{d}
5.0	6.55 ± 0.06^{e}	6.60 ± 0.07^{g}	27.64 ± 0.24^{e}
6.0	8.33 ± 0.15^{d}	10.99 ± 0.07^{f}	17.27 ± 0.43^{f}
6.5	23.37 ± 0.21^{a}	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
7.0	21.72 ± 0.12^{b}	20.67 ± 28.18^{e}	ไม่มีข้อมูล
7.5	14.72 ± 0.15^{c}	50.68 ± 0.25^{d}	ไม่มีข้อมูล
8.0	6.17 ± 0.26^{ef}	54.64 ± 0.15^{b}	ไม่มีข้อมูล
8.5	ไม่มีข้อมูล	56.05 ± 0.10^{a}	ไม่มีข้อมูล
9.0	ไม่มีข้อมูล	54.65 ± 0.50^{c}	ไม่มีข้อมูล
10.0	ไม่มีข้อมูล	49.90 ± 0.51^{c}	ไม่มีข้อมูล

a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ไม่มีข้อมูล คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากไม่ได้อยู่ในขอบเขตงานวิจัย



รูปที่ 4.1 ผลของค่าความเป็นกรดด่างต่อการย่อยโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าด้วยปาเปน อัลคาเลส® และเปปซิน อุณหภูมิ 30 °C ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที

หมายเหตุ : ค่าแอคติวิตีสัมพัทธ์ 100% ของเอนไซม์

- เปปซิน ย่อยสลายโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าได้ 96.06 ± 0.49 ไมโครกรัมโปรตีน/มิลลิลิตรของสารละลายปฏิกิริยา
- อัลคาเลส® ย่อยสลายโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าได้ 56.05 ± 0.10 ไมโครกรัมโปรตีน/มิลลิลิตรของสารละลายปฏิกิริยา
- ปาเปน ย่อยสลายโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าได้ 23.37 ± 0.21 ไมโครกรัมโปรตีน/ มิลลิลิตรของสารละลายปฏิกิริยา

เมื่อย่อยโปรตีนข้าวด้วยเปปซิน (550 Units / mg. solid) **ที่ค่าความเป็นกรดด่าง 1.5 ค่าความเข้มข้นโปรตีนที่ย่อยได้จะมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ** ($P \leq 0.05$) **คือมีค่าความเข้มข้นโปรตีนที่ย่อยได้เป็น 96.06 ± 0.49 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร** หลังจากนั้นเมื่อค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้นค่าความเข้มข้นโปรตีนที่ย่อยได้จะลดลง ดังนั้นค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการย่อยโปรตีนข้าวของ เปปซินคือที่ 1.5

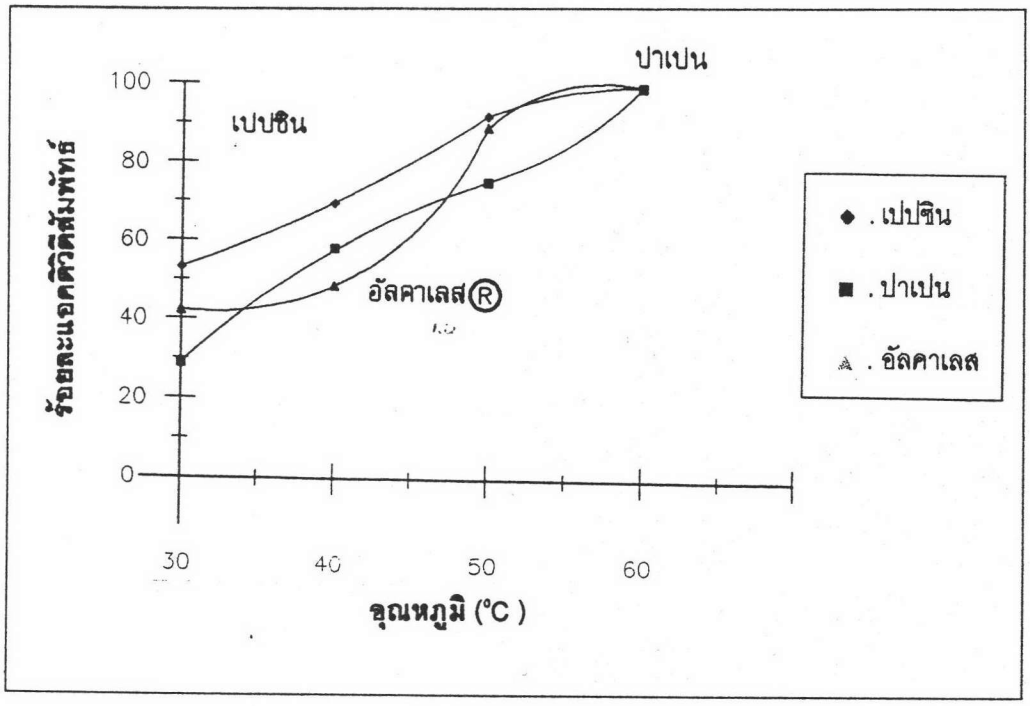
จากการทดลองพบว่าภาวะความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดคือ ปาเปนที่ 6.5 อัลคาเลส®ที่ 8.5 และเปปซินที่ 6.5 แต่เนื่องจากสารละลายเอนไซม์ที่ใช้ในการแช่ข้าวตามการทดลองไม่มีการปรับค่าความเป็นกรดด่างในสารละลายให้เป็นภาวะที่เหมาะสมตามการทดลองที่ได้ เนื่องจากการเติมสารเคมีเพื่อปรับค่าความเป็นกรดด่าง อาจจะมีผลต่อข้าวหุงสุกเร็วที่ได้ เช่น การใช้สารประกอบประเภทซิเตรท จะมีผลต่อโครงสร้างโปรตีนในเม็ดข้าวเช่นทำลายโครงสร้างโปรตีน (Smith et al.,1985) ที่ต้องการย่อย และจะมีผลต่อรสชาติ ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Rutledge, 1972 quoted in Smith et al.,1985) ดังนั้นในขั้นตอนการแช่ข้าวด้วยสารละลายเอนไซม์ ตามการทดลองนี้จึงใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายเอนไซม์แทนการใช้บัฟเฟอร์ **ค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายปาเปน อัลคาเลส® และเปปซิน ที่ได้คือ 6.2, 6.5 และ 3.4 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ 9 พบว่า ปาเปน มีค่าร้อยละแอกติวิตีสัมพัทธ์ประมาณ 85 % อัลคาเลส® มีค่าร้อยละแอกติวิตีสัมพัทธ์ประมาณ 39 % และ เปปซิน มีค่าร้อยละแอกติวิตีสัมพัทธ์ประมาณ 70 %**

4.2.2 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าด้วยเอนไซม์

ตารางที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการย่อยโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าด้วยปาเปน, อัลคาเลส® และ เปปซิน ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที ที่ค่าความเป็นกรดด่าง 6.5, 8.5 และ 1.5 ตามลำดับ

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณโปรตีนที่ถูกย่อยและละลายในสารละลายปฏิกิริยา (ไมโครกรัมโปรตีน/มิลลิลิตรของสารละลายปฏิกิริยา)		
	ปาเปน	อัลคาเลส®	เปปซิน
30	19.08 ± 1.22^{d}	45.07 ± 1.35^{d}	73.40 ± 1.03^{d}
40	38.44 ± 2.31^{c}	51.95 ± 2.11^{c}	96.02 ± 1.19^{c}
50	49.83 ± 1.87^{b}	95.37 ± 1.89^{b}	127.35 ± 2.36^{b}
60	65.45 ± 2.51^{a}	106.36 ± 2.38^{a}	137.97 ± 2.88^{a}

a,b,c,...ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $P \leq 0.05$



รูปที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการย่อยโปรตีนในแป้งข้าวจ้าวด้วยปาเปน อัลคาเลส® และ เปปซิน ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที ที่ค่าความเป็นกรดด่าง 6.5, 8.5 และ 1.5 ตามลำดับ

หมายเหตุ :

ค่าแอคติวิตีสัมพัทธ์ 100% ของเอนไซม์

-ปาเปน ย่อยสลายโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าได้ 65.45 $\pm$ 2.51ไมโครกรัมโปรตีน/ มิลลิลิตรของสารละลายปฏิกิริยา

-อัลคาเลส® ย่อยสลายโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าได้ 106.36 $\pm$ 2.38 ไมโครกรัมโปรตีน/ มิลลิลิตรของสารละลายปฏิกิริยา

- เปปซิน ย่อยสลายโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าได้ 137.97 $\pm$ 2.88 ไมโครกรัมโปรตีน/ มิลลิลิตรของสารละลายปฏิกิริยา

จากผลการทดลองในตามข้อ 4.2 พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงทำให้ความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิมีผลให้พลังงานจลน์ของเอนไซม์ และสับสเทรตมีค่ามากขึ้น แต่ที่อุณหภูมิสูงเกินไปจะมีผลให้เอนไซม์เสียสภาพ เพราะโครงสร้างระดับตติยภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลง และตามการทดลองนี้สับสเทรตที่ใช้คือสารละลายแป้งที่มีโปรตีนแทรกตัวอยู่ ซึ่งเพิ่มอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาปืน 70องศาเซลเซียสสารละลายแป้งจะเกิดการพองตัวอย่างถาวรเกิด

เจลาทีไนเซชันเปลี่ยนสภาพเป็นเจล สารละลายมีลักษณะเป็นแป้งเปียก ดังนั้นในการทดลองจึงแปรอุณหภูมิเป็น 30 , 40 , 50 และ 60 องศาเซลเซียส ค่าความเร็วปฏิกิริยาที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.3

จากการทดลองย่อยโปรตีนข้าวด้วยสารละลายปาเปน (1.7 Units / mg. solid), อัลคาเลส® (2.4 AU/g.) และเปปซิน (550 Units / mg. solid) ที่ค่าความเป็นกรดด่าง 6.5 , 8.5 และ 1.5 ตามลำดับ นาน 30 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความเข้มข้นโปรตีนที่ย่อยได้ด้วยเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด จะเพิ่มขึ้นจน**มีค่าความเข้มข้นโปรตีนที่ย่อยได้สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ** ($P \leq 0.05$) **ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกัน โดยมีค่าความเข้มข้นโปรตีนที่ย่อยได้เป็น** 65.45 ± 2.51 **ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร** 106.36± 2.38 **ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และ** 137.97± 2.88 **ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อย่อยโปรตีนแป้งข้าวด้วยปาเปน อัลคาเลส® และเปปซิน ตามลำดับ**

4.3 ภาวะที่เหมาะสมในการแช่ข้าวด้วยเอนไซม์

4.3.1 ปริมาณเอนไซม์ต่อข้าวที่เหมาะสม

เพื่อเป็นการใช้เอนไซม์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุด จึงทำการทดลองย่อยโปรตีนข้าว โดยแปรอัตราส่วนเอนไซม์ ต่อข้าวต่างๆกันตามการทดลองที่ 3.3.1 เพื่อเลือกภาวะที่ใช้ปริมาณเอนไซม์ต่อข้าวที่ต่ำที่สุด ที่สามารถย่อยโปรตีนที่ผิวข้าวได้สูงที่สุด ผลที่ได้จากการย่อยโปรตีนข้าวด้วย ปาเปน , อัลคาเลส® และเปปซิน ดังตารางที่ 4.4

เมื่อย่อยโปรตีนด้วยสารละลายสารละลาย ปาเปน (1.7 Units / mg. solid), อัลคาเลส® (2.4 AU/g.) และเปปซิน (550 Units / mg. solid) ที่ภาวะ ความเป็นกรดด่าง 6.2 , 6.5 และ 3.4 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์ต่อข้าวมากขึ้น ค่าความเข้มข้นโปรตีนที่ย่อยได้จะมากขึ้นตามลำดับ และจะคงที่เมื่อปริมาณเอนไซม์มากเกินพอ เลือกภาวะที่ใช้ ปริมาณเอนไซม์น้อยที่สุดที่ให้ค่าความเข้มข้นโปรตีนที่ย่อยได้สูงที่สุด คือเมื่อย่อยโปรตีนด้วยปาเปน **อัตราส่วนปาเปนต่อข้าวที่เหมาะสมคือ** 1:500 **กรัมต่อกรัม** มีค่า ความเข้มข้นโปรตีนที่ย่อยได้สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เป็น 48.77 ± 2.31 ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร เมื่อย่อยโปรตีนด้วยอัลคาเลส® **อัตราส่วนอัลคาเลส® ต่อข้าว ที่เหมาะสมคือ** 1:75 **มิลลิลิตรต่อกรัม** มีค่าความเข้มข้นโปรตีนที่ย่อยได้สูงที่

สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เป็น 30.55± 0.18 ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร และเมื่อย่อยโปรตีนด้วยเปปซิน **อัตราส่วนเปปซิน ต่อข้าวที่เหมาะสมคือ** 1:1,000 **กรัมต่อกรัม** มีค่าความเข้มข้นโปรตีนที่ย่อยได้สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เป็น 73.56 ± 1.94 ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร

ตารางที่ 4.4 ผลของอัตราส่วนเอนไซม์ต่อข้าว หลังการย่อยโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าที่แช่ด้วยสารละลาย ปาเปน (1.7 Units / mg. solid), อัลคาเลส® (2.4 AU/g.) และเปปซิน (550 Units / mg. solid)ที่ค่าความเป็นกรดด่าง 6.2, 6.5 และ 3.4 ตามลำดับ อุณหภูมิ 30 °C.

ปริมาณเอนไซม์ต่อข้าว *	ปริมาณโปรตีนที่ถูกย่อยและละลายในสารละลายปฏิกิริยา (ไมโครกรัมโปรตีน/มิลลิลิตรของสารละลายปฏิกิริยา)		
	ปาเปน	อัลคาเลส®	เปปซิน
1: 6,000	23.01 ± 2.69^{d}	ไม่มีข้อมูล	39.19± 2.17^{d}
1:3,000	34.54 ± 0.69^{e}	ไม่มีข้อมูล	55.33± 0.71^{c}
1:1,500	43.13 ± 3.08^{c}	ไม่มีข้อมูล	59.6 ± 1.29^{b}
1:1200	ไม่มีข้อมูล	8.62± 0.26^{e}	ไม่มีข้อมูล
1:1,000	43.76 ± 2.19^{c}	ไม่มีข้อมูล	73.56± 1.94^{a}
1:750	47.77 ± 0.28^{b}	ไม่มีข้อมูล	70.24 ±2.56 ^{a}
1:600	ไม่มีข้อมูล	11.57 ± 0.52^{d}	ไม่มีข้อมูล
1:500	48.77 ± 2.31^{a}	ไม่มีข้อมูล	77.89± 2.56^{a}
1:300	ไม่มีข้อมูล	14.08 ± 0.61 ^{c}	ไม่มีข้อมูล
1:250	50.52 ± 1.61 ^{a}	ไม่มีข้อมูล	77.34± 2.04^{a}
1:150	ไม่มีข้อมูล	17.37 ± 0.98 ^{b}	ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ผลของอัตราส่วนเอนไซม์ต่อข้าว หลังการย่อยโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าที่แช่ด้วยสารละลาย ปาเปน (1.7 Units / mg. solid), อัลคาเลส® (2.4 AU/g.) และ เปปซิน (550 Units / mg. solid) ที่ค่าความเป็นกรดด่าง 6.2, 6.5 และ 3.4 ตามลำดับ อุณหภูมิ 30 °C.

ปริมาณเอนไซม์ต่อข้าว *	ปริมาณโปรตีนที่ถูกย่อยและละลายในสารละลายปฏิกิริยา (ไมโครกรัมโปรตีน/มิลลิลิตรของสารละลายปฏิกิริยา)		
1:75	ไม่มีข้อมูล	30.55 ± 0.18[a]	ไม่มีข้อมูล
1:37.5	ไม่มีข้อมูล	30.21 ± 0.42 [a]	ไม่มีข้อมูล
1:18.5	ไม่มีข้อมูล	30.15± 0.34 [a]	ไม่มีข้อมูล

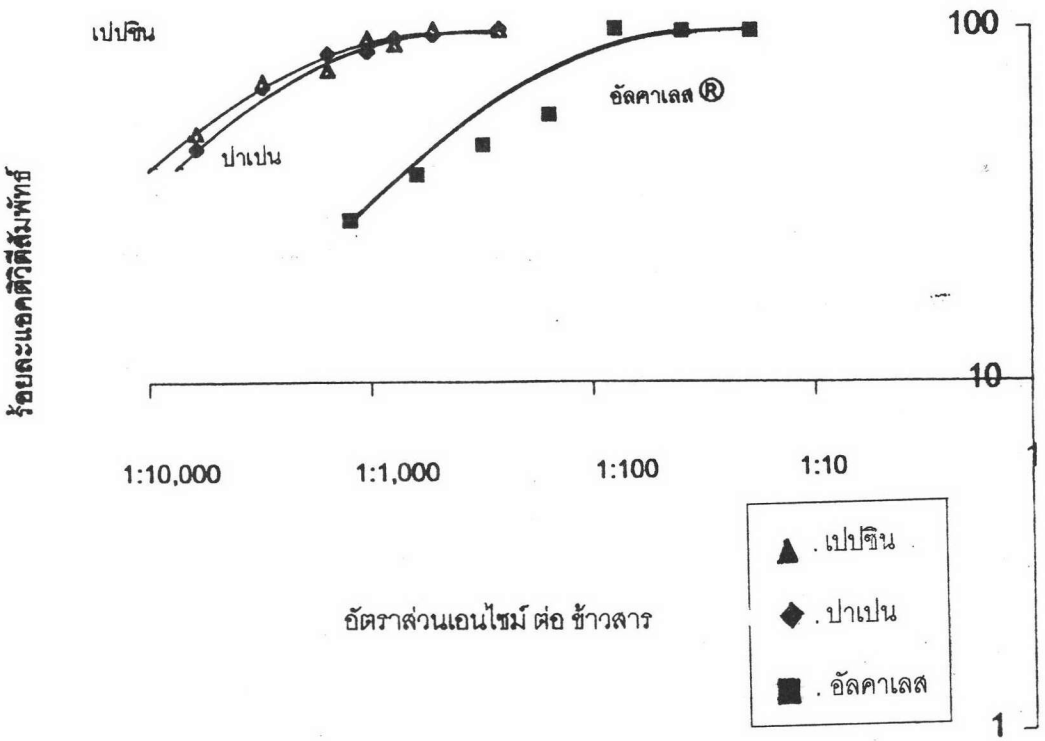
หมายเหตุ

- * หน่วยปริมาณเอนไซม์ต่อข้าว เมื่อใช้ ปาเปน และ เปปซิน คือ กรัม/กรัม
  หน่วยปริมาณเอนไซม์ต่อข้าว เมื่อใช้ อัลคาเลส® คือ มิลลิลิตร/กรัม
- ไม่มีข้อมูล คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากไม่ได้อยู่ในขอบเขตการทดลอง
- ค่าแอคติวิตีสัมพัทธ์ 100% ของเอนไซม์

  ปาเปน ย่อยสลายโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าได้ 50.52 ± 1.61 ไมโครกรัมโปรตีน/มิลลิลิตรของสารละลายปฏิกิริยา

  อัลคาเลส® ย่อยสลายโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าได้ 30.55 ± 0.18 ไมโครกรัมโปรตีน/มิลลิลิตรของสารละลายปฏิกิริยา

  เปปซิน ย่อยสลายโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าได้ 77.89± 2.56 ไมโครกรัมโปรตีน/มิลลิลิตร ของสารละลายปฏิกิริยา



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบผลของการย่อยโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าด้วยสารละลาย ปาเปน (1.7 Units / mg. solid), อัลคาเลส® (2.4 AU/g.) และเปปซิน (550 Units / mg. solid) ที่ค่าความ เป็นกรดด่าง 6.2, 6.5 และ 3.4 ตามลำดับ อุณหภูมิ 30 °C.

4.3.2 อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการแช่ข้าวสารด้วยเอนไซม์

โปรตีนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลาทีไนเซชัน(Marshall et al.,1990) และค่าทางประสาทสัมผัส(Arai and Watanabe,1994) **ในขั้นตอนการทดลองนี้จึงต้องการเลือกภาวะการย่อยโปรตีนที่มีค่าร้อยละการย่อยโปรตีนที่แตกต่างกัน 3 ระดับ เพื่อใช้เป็นตัวแปรในการศึกษาถึงผลของระดับการย่อยโปรตีนต่อการเกิดเจลาทีไนเซชัน และลักษณะข้าวหุงสุกเร็วที่ได้** โดยเลือกระดับการย่อยโปรตีนเป็น 3 ระดับคือ ระดับการย่อยโปรตีนระดับต่ำ ระดับกลาง และ ระดับสูง **ซึ่งที่แต่ละภาวะนั้นต้องมีค่าความชื้น 30-35% จึงจะเพียงพอที่จะเกิดการเจลาทีไนเซชันในขั้นต่อไปได้** ทดลองหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการแช่ข้าวตามการทดลองที่ 3.3.2 ผลที่ได้ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าความชื้นของข้าวเมื่อแปรอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวด้วยสารละลายปาเปน อัลคาเลส® และ เปปซิน

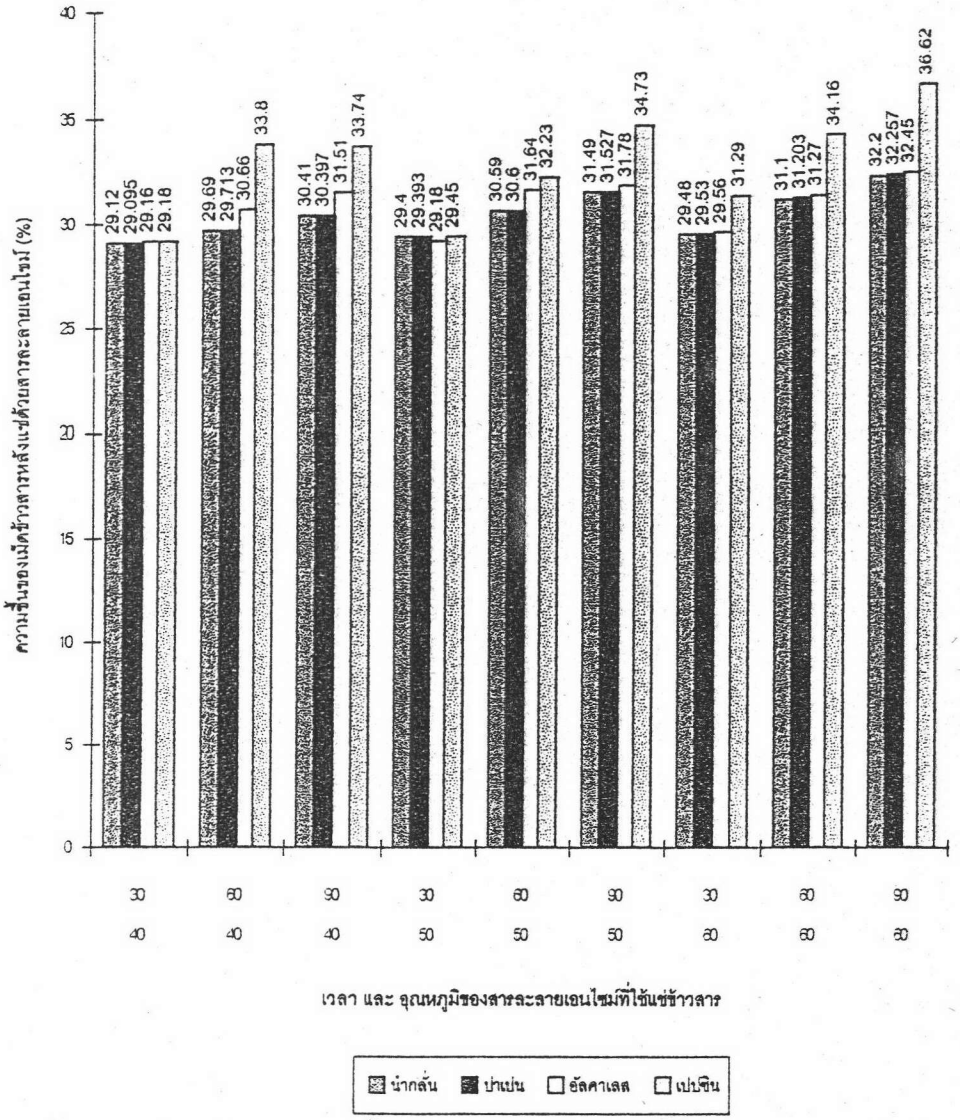
SOV	df	MS		
		ปาเปน	อัลคาเลส®	เปปซิน
อุณหภูมิ(A)	2	0.25*	0.98*	11.90*
เวลา(B)	2	20.18*	16.56*	46.53*
AB	4	0.17*	0.32*	1.00*
error	16	0.22	0.04	0.06

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6 ค่าความชื้นของข้าวสารหลังแช่ข้าวด้วยสารละลาย ปาเปน (1.7 Units / mg. solid), อัลคาเลส® (2.4 AU/g.) และเปปซิน (550 Units / mg. solid) ที่อุณหภูมิและ เวลาต่าง ๆ

ภาวะการทดลอง		ความชื้นของเม็ดข้าวสารหลังจากแช่ด้วยเอนไซม์ (%)		
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ปาเปน	อัลคาเลส®	เปปซิน
40	30	29.09 ± 1.34^{c}	29.16 ± 0.88^{f}	29.18 ± 1.48^{g}
	60	29.71 ± 0.59^{bc}	30.66 ± 0.72^{d}	33.80 ± 0.38^{d}
	90	30.39 ± 1.73^{ab}	31.51 ± 1.37^{bc}	33.74 ± 2.49^{d}
50	30	29.39 ± 0.04^{c}	29.18 ± 1.44^{f}	29.45 ± 2.18^{f}
	60	30.60 ± 0.70^{abc}	31.64 ± 0.10^{bc}	32.23 ± 1.47^{d}
	90	32.53 ± 0.19^{ab}	31.78 ± 1.28^{b}	34.73 ± 1.64^{b}
60	30	29.53 ± 1.12^{c}	29.56 ± 1.10^{e}	31.29 ± 1.32^{e}
	60	31.80 ± 1.12^{ac}	31.27 ± 0.67^{c}	34.16 ± 1.49^{c}
	90	33.26 ± 0.06^{a}	32.45 ± 0.24^{a}	36.62 ± 0.43^{a}

a,b,c,...ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าความชื้นของข้าวสาร หลังแช่ข้าวด้วยสารละลาย ปาเปน (1.7 Units / mg. solid), อัลคาเลส® (2.4 AU/g.) และเปปซิน (550 Units / mg. solid) เพื่อย่อยสลายโปรตีนข้าวที่อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์ทางสถิติดังตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า เมื่อแช่ข้าวด้วยสารละลาย ปาเปน อัลคาเลส® และเปปซิน พบว่าอุณหภูมิ เวลา และ อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิ และเวลา มีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่ออุณหภูมิ และ/ หรือเวลา มีค่าสูงขึ้นค่าความชื้นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลของค่าความชื้นในเม็ดข้าวที่ผ่านการแช่สารละลายเอนไซม์เมื่อแช่ข้าวด้วยสารละลายเอนไซม์ปาเปน (1.7 Units / mg. solid), อัลคาเลส® (2.4 AU/g.) และเปปซิน (550 Units / mg. solid) ด้วยอัตราส่วนเอนไซม์ต่อข้าวที่เหมาะสมตาม

การทดลองข้อที่ 3.3.1 คือ 1 : 500 กรัมต่อกรัม 1:75 มิลลิลิตรต่อกรัม และ 1:1,000 กรัมต่อกรัม ตามลำดับ ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.6 พบว่าอุณหภูมิในการแช่ข้าว ที่มีผลให้ข้าวทั้ง 3 ตัวอย่างมีความชื้นสูงที่สุดคือ ที่ 60 องศาเซลเซียส เพราะเนื่องจากที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ใกล้อุณหภูมิแป้งสุกของข้าวคือ 68 องศาเซลเซียส ซึ่งในภาวะที่มีน้ำมากเกินพอ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เม็ดแป้งจะสามารถเคลื่อนออกจากกันได้อย่างอิสระมากขึ้น (Kerr, 1989) ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเม็ดแป้ง มีผลให้น้ำที่ดูดซับไว้ที่ผิวจะผ่านเข้าไปในช่องเล็กๆระหว่างเม็ดแป้งได้มากขึ้น เม็ดแป้งจะเกิดการดูดซับน้ำและเกิดการพองตัวอย่างไม่ถาวร (reversible swelling) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวอย่างไม่ถาวรเพิ่มขึ้น การดูดน้ำมากขึ้น ข้าวจึงมีความชื้นสูงขึ้น เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านเวลา พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น 30 , 60 และ 90 นาที ค่าความชื้นของข้าวทั้ง 3 ตัวอย่างจะเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เพราะเวลาในการแช่ข้าว มีผลให้น้ำค่อยๆ ซึมเข้าไปภายในเมล็ดข้าวได้มากขึ้น และเวลามีผลให้ข้าวเกิดรอยร้าวเพิ่มมากขึ้น (Desikachar และ Subrahmanyan ,1960) ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในช่องว่างได้มากขึ้นค่าความชื้นจึงมากขึ้น **ซึ่งค่าความชื้นที่เพียงพอที่จะเกิดเจลาทีไนเซชันในขั้นต่อไปได้คือ 30-35% ดังนั้น เมื่อเวลา และอุณหภูมิในการแช่ข้าวมากขึ้นข้าวจึงมีค่าความชื้นมากขึ้นด้วย แต่ถ้าเวลาในการแช่ข้าวนานเกินไปอาจทำให้ข้าวสุกมีปริมาณเม็ดหักมากขึ้น เพราะข้าวจะเกิดรอยร้าวมากเกินไป** และจากรูปที่ 4.4 จะพบว่าการแช่ข้าวด้วยเปปซินจะทำให้ข้าวมีความชื้นมากกว่าเมื่อแช่ข้าวด้วยสารละลายอื่นที่ภาวะที่ใช้ในการแช่ข้าวเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าร้อยละการย่อยสลายโปรตีนของข้าวเมื่อแปรอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวด้วยสารละลายปาเปน อัลคาเลส® และ เปปซิน

SOV	df	MS		
		ปาเปน	อัลคาเลส®	เปปซิน
อุณหภูมิ(A)	2	20.74*	91.98*	85.41*
เวลา(B)	2	30.31*	64.54*	435.58*
AB	4	5.41*	10.52*	5.76*
error	16	0.70	6.09	0.79

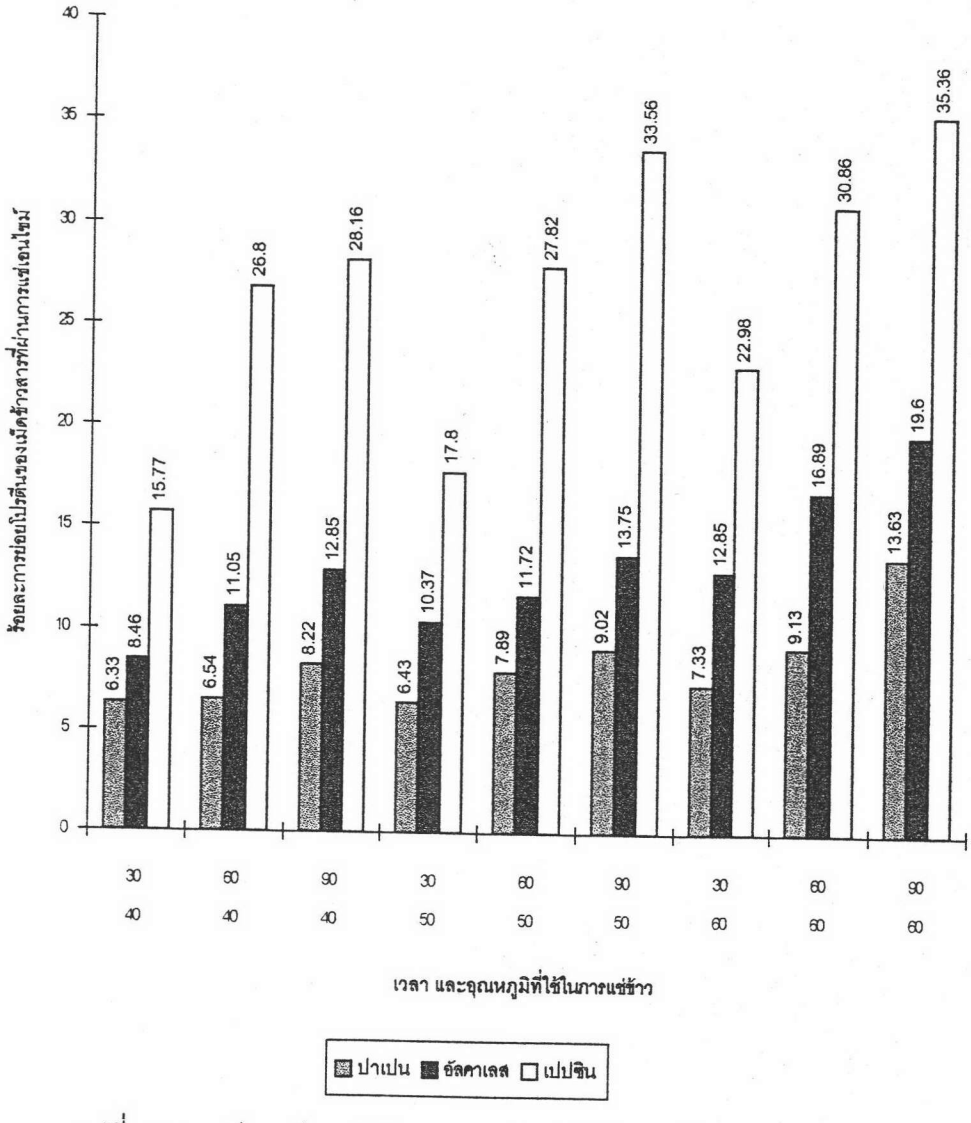
* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลของ อุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าว ต่อค่าร้อยละการย่อยโปรตีนเมื่อแช่ข้าวด้วยสารละลาย ปาเปน อัลคาเลส® และ เปปซิน พบว่าอุณหภูมิ เวลา และอิทธิพล ร่วมของ อุณหภูมิ และ เวลา มีผลต่อค่า ร้อยละการย่อยโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ตามตารางที่ 4.7 โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าร้อยละการย่อยโปรตีนจะเพิ่มมากขึ้น ผลของค่าร้อยละการย่อยโปรตีนในเม็ดข้าวสารที่ผ่านการแช่สารละลายเอนไซม์ ปาเปน (1.7 Units / mg. solid), อัลคาเลส® (2.4 AU/g.) และเปปซิน (550 Units / mg. solid) ด้วยอัตราส่วนเอนไซม์ต่อข้าวที่เหมาะสมตามการทดลองข้อที่ 3.3.1 คือ 1 : 500 1:75 และ 1:1,000 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.8 ซึ่งที่ 60 องศาเซลเซียส ให้ค่าร้อยละการย่อยโปรตีนสูงที่สุด เพราะเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด มีคุณสมบัติในการทนความร้อนได้ถึง 60 องศาเซลเซียส (Boyer , 1979) และจากผลการทดลองที่ 4.2.2 พบว่า ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด จะมีค่าความเร็วปฏิกิริยาสัมพัทธ์สูงที่สุด ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิในการแช่ข้าวสูงขึ้นค่า ร้อยละการย่อยสลายโปรตีนจึงมีค่ามากขึ้นเช่นกัน พิจารณาปัจจัยด้านเวลาในการแช่ข้าว เมื่อเวลาในการแช่ข้าวนานขึ้นค่าร้อยละการย่อยโปรตีนจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการย่อยโปรตีนด้วยปาเปน อัลคาเลส® และ เปปซิน เป็นลักษณะที่จับสารตั้งต้นได้หลายครั้ง เมื่อเอนไซม์ทำการย่อยพันธะเปปไทด์หนึ่งแล้ว เอนไซม์จะแยกตัวออกเพื่อย่อยพันธะเปปไทด์ที่มีความจำเพาะต่อไป ดังนั้นเมื่อเวลามากขึ้นเอนไซม์จะย่อยสลายโปรตีนได้มากขึ้น จนกระทั่งภาวะในการย่อยจะเปลี่ยนแปลงจนเอนไซม์สูญเสียแอคติวิตี และลักษณะสารตั้งต้นในการทดลองเป็นโปรตีนที่แทรกตัวอยู่ระหว่างกลุ่มเม็ดแป้ง อยู่ภายในเมล็ดข้าว ซึ่งในการทำปฏิกิริยาของ ปาเปน อัลคาเลส® และ เปปซิน เป็นการย่อยสลายพันธะเปปไทด์ด้วยน้ำ ดังนั้นเมื่อเวลามีผลให้น้ำซึมเข้าภายในเมล็ดข้าวได้มากขึ้น ตามผลการทดลองข้างต้นเอนไซม์จึงย่อยสลายโปรตีนได้มากขึ้น ดังนั้นเมื่อเวลามากขึ้นค่าร้อยละการย่อยโปรตีนจึงมากขึ้น เมื่อแช่ข้าว ด้วยสารละลายปาเปน **ภาวะที่ให้ค่าร้อยละการย่อยโปรตีนที่สูงที่สุดคือ การแช่ข้าวที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที เมื่อแช่ข้าวด้วยสารละลายปาเปน, อัลคาเลส® และเปปซินจะมีค่าร้อยละการย่อยโปรตีนเป็น** 13.63 $\pm$0.79 , 19.08$\pm$1.35 **และ** 35.36 $\pm$ 0.23 % **ตามลำดับ** และจากรูปที่ 4.5 จะพบว่าการแช่ข้าวด้วยเปปซินจะทำให้ข้าวมีค่าร้อยละการย่อยโปรตีนสูงกว่าเมื่อแช่ข้าวด้วยสารละลายอัลคาเลส® และปาเปน เมื่อแช่ข้าวที่ภาวะเดียวกัน

ตารางที่ 4.8 ค่าร้อยละการย่อยโปรตีนของข้าวสารหลังจากแช่ด้วยสารละลาย ปาเปน (1.7 Units / mg. solid), อัลคาเลส® (2.4 AU/g.) และเปปซิน (550 Units / mg. solid) ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

ภาวะการทดลอง		ค่าร้อยละการย่อยโปรตีนของข้าวสารหลังจากแช่ด้วยเอนไซม์		
อุณหภูมิ (^{o}C)	เวลา (นาที)	ปาเปน	อัลคาเลส®	เปปซิน
40	30	6.33 ± 0.68^{d}	$7.79\pm0.88f$	15.77 ± 0.70^{g}
	60	6.54 ± 0.68^{d}	8.71 ± 2.25^{f}	26.80 ± 0.81^{d}
	90	8.22 ± 0.11^{bc}	$13.22+0.68^{d}$	28.16 ± 2.31^{d}
50	30	6.43 ± 0.87^{d}	10.37 ± 3.6^{e}	17.80 ± 2.25^{f}
	60	7.89 ± 0.90^{bc}	12.72 ± 1.58^{d}	27.82 ± 0.11^{d}
	90	9.02 ± 2.51^{b}	14.75 ± 0.45^{c}	33.56 ± 0.64^{b}
60	30	7.33 ± 1.23^{cd}	12.85 ± 0.10^{d}	22.98 ± 0.10^{e}
	60	9.13 ± 0.34^{b}	16.89 ± 0.34^{b}	30.86 ± 0.68^{c}
	90	13.63 ± 0.79^{a}	19.08 ± 1.35^{a}	35.36 ± 0.23^{a}

a,b,c,...ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$)



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าร้อยละการย่อยโปรตีนของข้าวสารหลังแช่ด้วยสารละลายปาเปน (1.7 Units / mg. solid), อัลคาเลส® (2.4 AU/g.) และเปปซิน (550 Units / mg. solid) เพื่อย่อยสลายโปรตีนข้าวที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 จะสังเกตได้ว่าการแช่ข้าวด้วยเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดจะมีผลต่อค่าความชื้นและ ค่าร้อยละการย่อยโปรตีนของข้าวแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด ต่อค่าร้อยละการย่อยสลายโปรตีน และค่าความชื้น พบว่าชนิดเอนไซม์ชนิดเอนไซม์มีผลต่อค่าการย่อยสลายโปรตีนแลค่าความชื้น อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบผลของชนิดเอนไซม์ที่ใช้ในการแช่ข้าวสารต่อค่าความชื้นและค่าร้อยละการย่อยสลายโปรตีน ที่ 50 องศาเซลเซียส 60 นาที

ชนิดเอนไซม์	ร้อยละการย่อยโปรตีนในข้าวสาร	ความชื้น(%)
ปาเปน	8.28^{c}	30.80^{b}
อัลคาเลส®	13.21^{b}	31.03^{b}
เปปซิน	26.57^{a}	32.89^{a}

a,b,c,...ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.9 พบว่า เปปซิน และอัลคาเลส® มีความสามารถในการย่อยโปรตีนข้าวได้ดีกว่า ปาเปน ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงความจำเพาะต่อหมู่อะมิโนของเอนไซม์พบว่าเปปซิน และอัลคาเลส® เป็นโปรติเอสที่มีความจำเพาะกับอนุมูลกรด ไฮโดรโฟบิค เช่น เฟนีลอลานีล, ไทโรซีน และ ทริปโตเฟน แต่ปาเปนมีความจำเพาะกับอนุมูลกรด ไฮโดรฟีลลิค เช่น กลูตามิค , ไลซีน , และฮิสติดีน เป็นต้น และเมื่อพิจารณาปริมาณกรดอะมิโนที่มีในข้าวจะพบว่าโปรตีนในข้าวเจ้าประกอบด้วย อนุมูลกรดประเภทไฮโดรฟีลลิค ในปริมาณที่มากกว่าอนุมูลกรดไฮโดรโฟบิค ดังตารางที่ 2.4 จะเห็นว่าโปรตีนในข้าวเจ้าประกอบด้วย กรดกลูตามิคสูงถึง 15.8 % ของโปรตีนทั้งหมด แต่พบกรดอะมิโนเฟนีลอลานีลเพียง 5.27% แต่เนื่องจากโครงสร้างของโปรตีนที่พบในข้าวเป็นกลุ่มโปรตีนขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ซึ่งอาจเป็นได้ว่าถึงแม้จะมี อนุมูลกรด ไฮโดรโฟบิค น้อยกว่า แต่ลักษณะโครงสร้างทุติยภูมิ หรือตติยภูมิของกลุ่มโปรตีนมีการจัดเรียงตัว ให้อนุมูลกรดไฮโดรโฟบิค อยู่ที่ผิวนอกโมเลกุลมากกว่า (Hoseny, 1994) ดังนั้น อัลคาเลส® และ เปปซิน ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีความจำเพาะกับอนุมูล

กรดไฮโดรโฟบิค จึงมีโอกาสเข้าทำปฏิกิริยาได้มากกว่า และเมื่อโปรตีนถูกย่อยให้เป็นสายสั้นลงและละลายออกมากับน้ำแช่ข้าว จะทำให้ข้าวเกิดช่องเล็กๆภายในข้าวมากขึ้น น้ำจึงซึมเข้าไปได้มากขึ้น เม็ดแป้งสามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้น (Chandrashekar and Kirleis,1988) ทำให้ค่าความชื้นสูงขึ้น **ดังนั้นที่ภาวะการแช่ข้าวเดียวกัน ข้าวสารที่แช่ด้วยสารละลายเปปซินและจะมีค่าร้อยละการย่อยโปรตีนสูงกว่า ข้าวสารที่แช่ด้วยสารละลายปาเปน และมีผลให้ร้อยละความชื้นสูงกว่าเช่นกัน จะเห็นว่าการย่อยโปรตีนในข้าวจะมีผลช่วยลดระยะเวลาในการแช่ข้าวให้มีความชื้นตามต้องการ (30-35%) ได้เร็วขึ้น**

แต่เมื่อพิจารณาผลของชนิดเอนไซม์ต่อค่าความชื้นของข้าวสารโดยตรง พบว่าเมื่อแช่ข้าวสารด้วยเอนไซม์ต่างชนิดกัน ค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นในเม็ดข้าวสารจะแตกต่างกัน ดังสมการที่ 1, 2 และ 3 เมื่อแช่ข้าวด้วย ปาเปน , อัลคาเลส® และเปปซิน ตามลำดับ จากสมการพบผลของการย่อยโปรตีนข้าวด้วยปาเปน จะให้ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรชชันสูงกว่าการย่อยโปรตีนด้วยอัลคาเลส หรือเปปซิน คือ 0.5928, 0.2514 และ 0.3230 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชนิดของเอนไซม์ที่ใช้มีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำของข้าวสาร **ที่ระดับการย่อยโปรตีนที่ระดับเดียวกันเมื่อใช้ปาเปน จะมีผลให้ข้าวสารมีความชื้นสูงที่สุด เป็นเพราะว่า การย่อยด้วยปาเปนจะทำให้เกิดอนุมูลกรดไฮโดรฟิลลิคซึ่งสามารถจับกับโมเลกุลน้ำได้มากกว่า จึงทำให้ข้าวมีความชื้นมากกว่าการย่อยด้วยเปปซินหรืออัลคาเลส®**

$Y_1 = 0.5928\,X_1 + 25.791$.....(1) $r_1 = 0.90$

$Y_2 = 0.2514\,X_2 + 27.550$.....(2) $r_2 = 0.75$

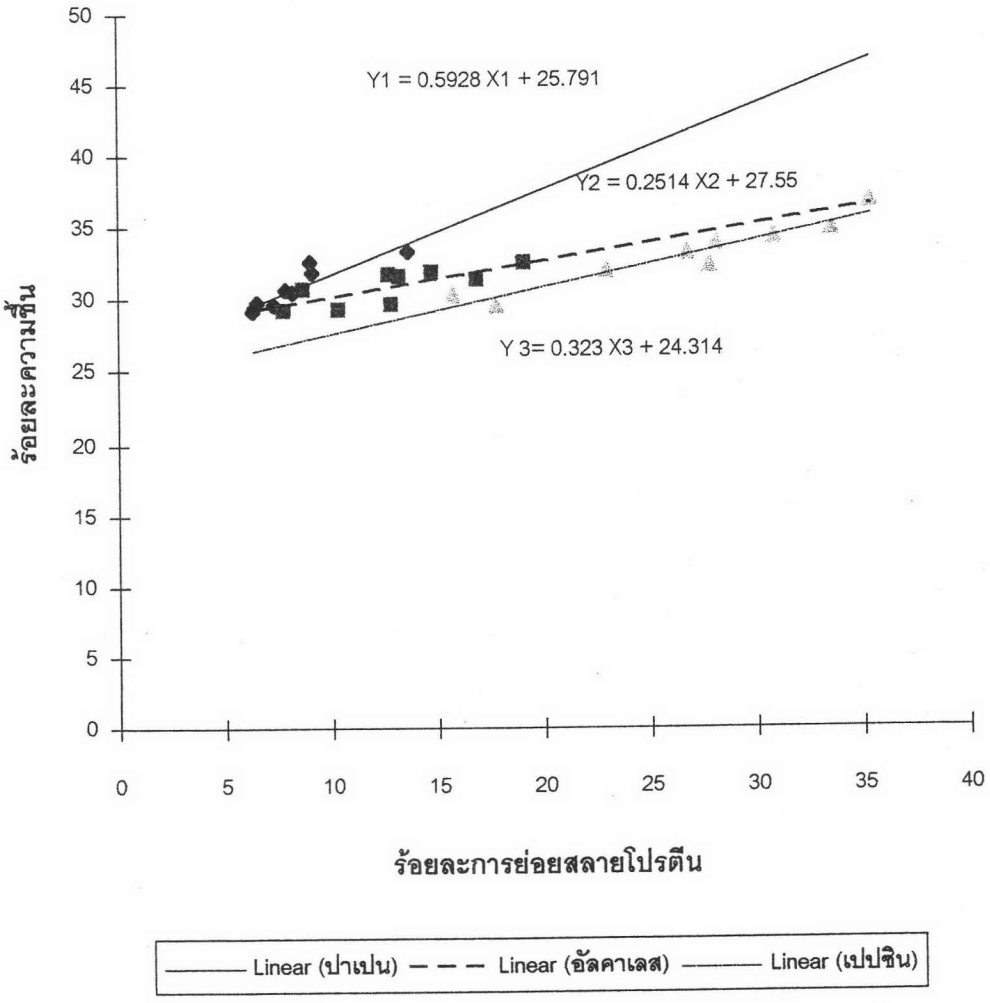
$Y_3 = 0.3230\,X_3 + 24.314$.....(3) $r_3 = 0.96$

Y คือ ร้อยละความชื้น

X คือ ร้อยละการย่อยโปรตีน

ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นในเม็ดข้าวสารที่ผ่านการแช่สารละลายเอนไซม์จะเป็นผลเนื่องจากปัจจัย 2 ประการคือ

1. ประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีนข้าว ถ้าสามารถย่อยโปรตีนข้าวได้มาก น้ำจะซึมผ่านเข้าภายในเม็ดข้าวได้มาก ความชื้นในเม็ดข้าวสารจึงสูงขึ้น
2. ความจำเพาะต่ออนุมูลกรดของเอนไซม์ที่ตัดสายพันธะเปปไทด์ ถ้าการตัดพันธะเปปไทด์นั้นมีผลให้เกิดอนุมูลไฮโดรฟิลลิค เม็ดข้าวจะสามารถอุ้มน้ำได้ดีขึ้น มีผลให้ความชื้นในเม็ดข้าวสารสูงขึ้น



รูปที่ 4.6 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าร้อยละการย่อยโปรตีน และ ร้อยละความชื้น ของ ข้าวสาร หลังการแช่ข้าวสาร ด้วยเอนไซม์ปาเปน อัลคาเลส® และเปปซิน

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวสาร ด้วยเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด มีผลต่อค่าร้อยละการย่อยสลายโปรตีน และความชื้น อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ซึ่งเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าร้อยละการย่อยสลายโปรตีน และ ค่าความชื้น เมื่อแช่ข้าวสารด้วย ปาเปน, เปปซิน และอัลคาเลส® ที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ ด้วยวิธี Multiple

regression จะได้สมการความสัมพันธ์แสดงได้ดังตารางที่ 4.10 จากสมการที่ได้พบว่าค่า R^2 ของสมการทั้ง 6 สมการมีค่าสูง ซึ่งแสดงว่าสมการที่ได้น่าจะใช้ในการทำนายภาวะในการแช่ข้าวสารได้อย่างถูกต้องมีประสิทธิภาพ เมื่อนำสมการที่ได้ไปสร้างกราฟ 2 มิติ (contour plot) ของค่าการย่อยสลายโปรตีน และค่าความชื้นเมื่อแช่ข้าวที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ โดยเมื่อแช่ข้าวด้วยปาเปน ได้กราฟดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 เมื่อแช่ข้าวด้วยอัลคาเลส® ได้กราฟดังรูปที่ 4.11 และ 4.12 เมื่อแช่ข้าวด้วยเปปซิน ได้กราฟดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ดังนั้นเพื่อพิจารณาเลือกภาวะการย่อยโปรตีนที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ที่มีค่าความชื้นระหว่าง 30 - 35% จึงต้องพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ เวลาในการแช่ข้าว และค่าร้อยละการย่อยสลายโปรตีน ร่วมกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ เวลาในการแช่ข้าว และค่าความชื้นของข้าวสารที่ได้

ตารางที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของค่าร้อยละการย่อยสลายโปรตีน และ ค่าความชื้น เมื่อแช่ข้าวที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ เมื่อด้วยปาเปน เปปซิน และอัลคาเลส®

เอนไซม์	สมการความสัมพันธ์	R^2
ปาเปน	$\%DH = -5.571+0.0445X+0.610Y+0.003X^2-0.003Y^2-8.33E\text{-}6XY$	0.98
	$\%MC = 24.488+0.176X-1.055Y-0.002X^2-6.11E\text{-}6Y^2-0.002XY$	0.98
เปปซิน	$\%DH = 46.138-1.518X-0.209Y+0.014X^2+0.0007Y^2-0.004XY$	0.98
	$\%MC = 53.046-1.105X+0.079Y+0.011X^2-0.0004Y^2+0.001XY$	0.98
อัลคาเลส®	$\%DH = 39.792-1.505X+0.015Y+0.017X^2-0.0003Y^2-0.002XY$	0.98
	$\%MC = 23.883+0.090X+0.100Y-0.001X^2-0.001Y^2-0.0005XY$	0.97

หมายเหตุ เมื่อ X คือ อุณหภูมิ และ Y คือ เวลา

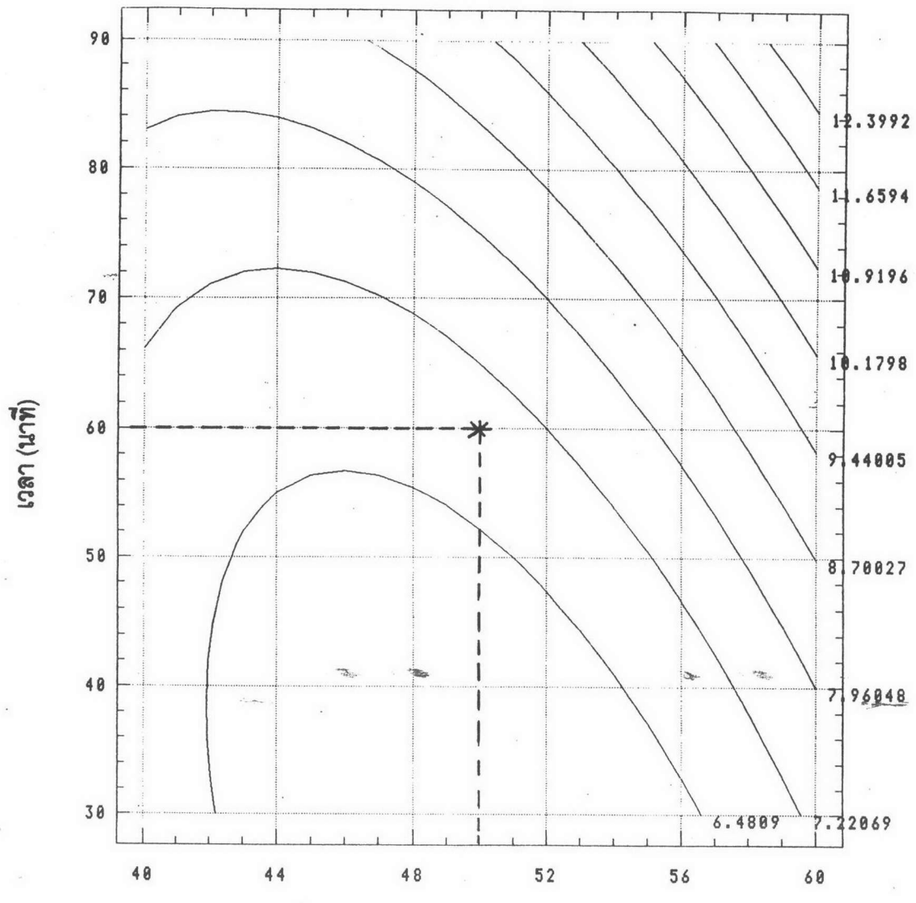
จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.10 **พบว่าเอนไซม์ที่ใช้ในการแช่ข้าวมีความสามารถในการย่อยโปรตีนข้าวได้แตกต่างกัน ปาเปนมีความสามารถย่อยโปรตีนข้าวได้**

ต่ำที่สุด อัลคาเลส® ย่อยได้ระดับกลาง และเปปซินย่อยโปรตีนข้าวได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกค่าการย่อยสลายโปรตีนข้าวระดับต่ำจากการย่อยด้วยปาเปน ค่าการย่อยสลายโปรตีนระดับกลางจากภาวะที่ย่อยด้วย อัลคาเลส® และค่าการย่อยสลายโปรตีนระดับสูงจากภาวะที่ย่อยด้วยเปปซิน โดยพิจารณาจากกราฟ 2 มิติของร้อยละการย่อยโปรตีนประกอบกับกราฟ 2 มิติ ของร้อยละความชื้น

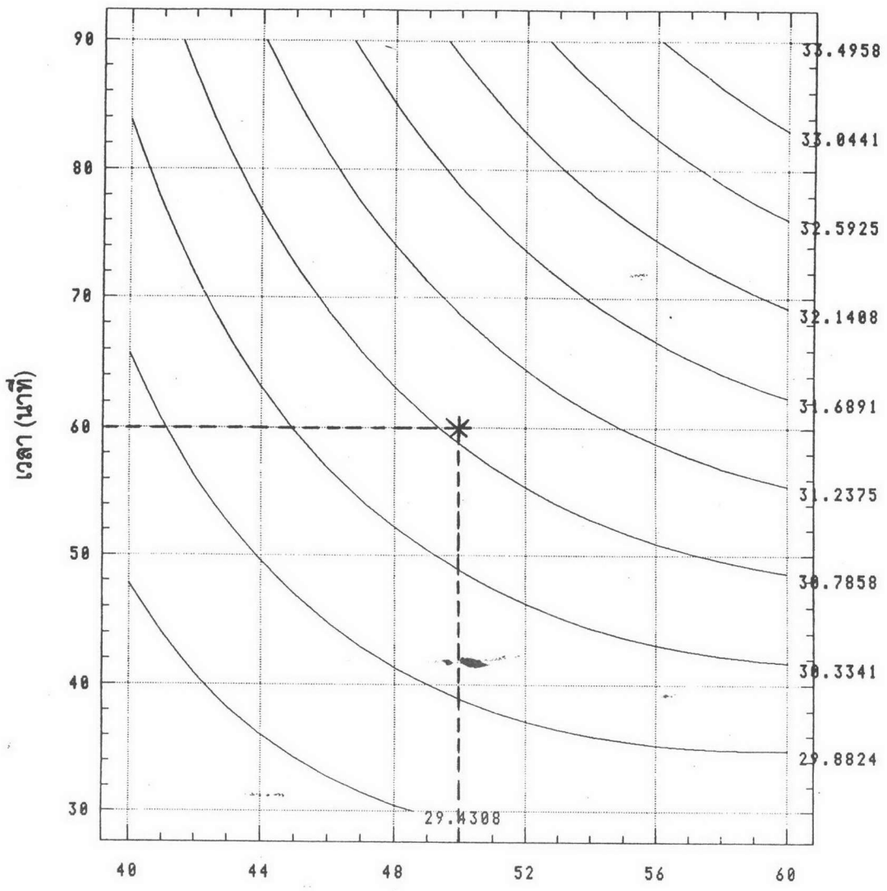
กรณีย่อยโปรตีนด้วยปาเปน ตามรูปที่ 4.7 และ 4.8 **เลือกภาวะที่ให้ค่าการย่อยโปรตีนต่ำที่สุดโดยมีค่าความชื้นมากกว่า 30% คือที่ระดับการย่อยโปรตีน 7 % ที่ภาวะ 50 องศาเซลเซียส 60 นาที มีค่าความชื้นประมาณ 32%** กรณีย่อยโปรตีนด้วยเปปซิน ตามรูปที่ 4.9 และ 4.10 **เลือกภาวะที่ให้ค่าการย่อยโปรตีนสูงที่สุดโดยมีค่าความชื้นไม่เกิน 35% คือที่ระดับการย่อยโปรตีน 31 % ที่ภาวะ 60 องศาเซลเซียส 60 นาทีค่าความชื้นประมาณ 34.5 %** ดังนั้นที่ระดับการย่อยโปรตีนที่มีค่ากึ่งกลางระหว่างค่าการย่อยโปรตีนต่ำสุด 7 % และสูงสุด 31% คือ 19 % **จึงเลือกภาวะการแช่ข้าวด้วยอัลคาเลส® ให้มีระดับการย่อยโปรตีนที่ 19 % ได้ที่ภาวะ 60 องศาเซลเซียส 90 นาที** จากกราฟ 2 มิติ ของร้อยละการย่อยโปรตีนรูปที่ 4.11 และเมื่อพิจารณาประกอบกับกราฟ 2 มิติ ของร้อยละความชื้นรูปที่ 4.12 พบว่ามีค่าความชื้นประมาณ 33 % ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอต่อการเกิดเจลาทีไนเซชันในขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.11 สรุปภาวะในการแช่ข้าวสารที่เลือกได้ และสมบัติของข้าวสารหลังการแช่ด้วยสารละลายเอนไซม์ ตามการทดลองที่ 3.3.2

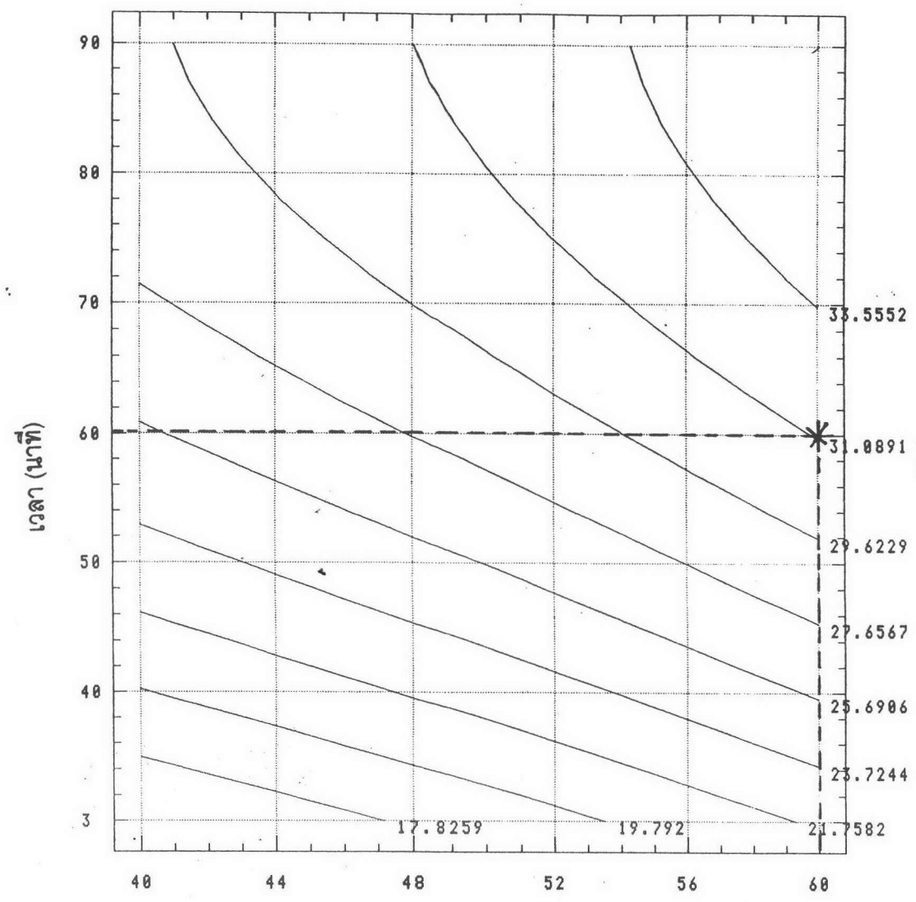
สารละลายเอนไซม์ที่ใช้แช่ข้าวสาร	สมบัติของข้าวสารหลังจากแช่ด้วยสารละลายเอนไซม์		ภาวะในการแช่ข้าวสารด้วยสารละลายเอนไซม์
	ร้อยละการย่อยโปรตีน	ความชื้น (%)	
ปาเปน	7	32	50 °C 60 นาที
อัลคาเลส®	19	33	60 °C 90 นาที
เปปซิน	31	34.5	60 °C 60 นาที



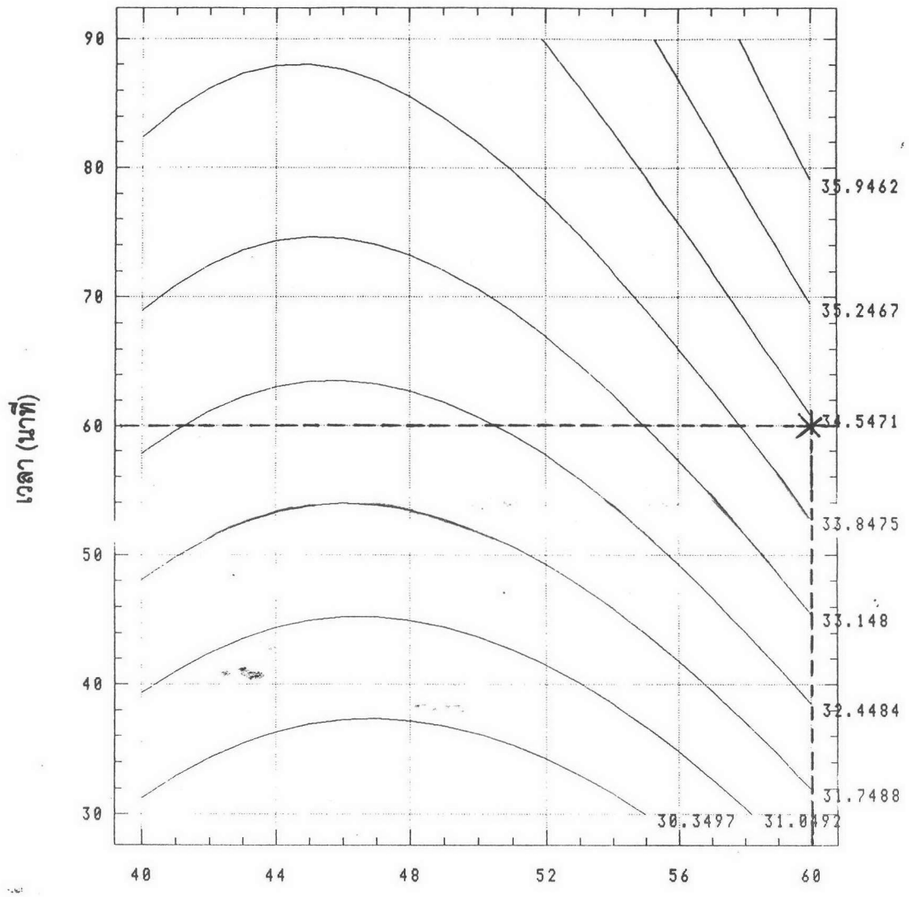
รูปที่ 4.7 กราฟ 2 มิติ สำหรับวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ เวลาในการแช่ข้าวสาร และค่าร้อยละการย่อยสลายโปรตีน หลังแช่ข้าวสารด้วยสารละลายปาเปนเพื่อย่อยสลายโปรตีนข้าว



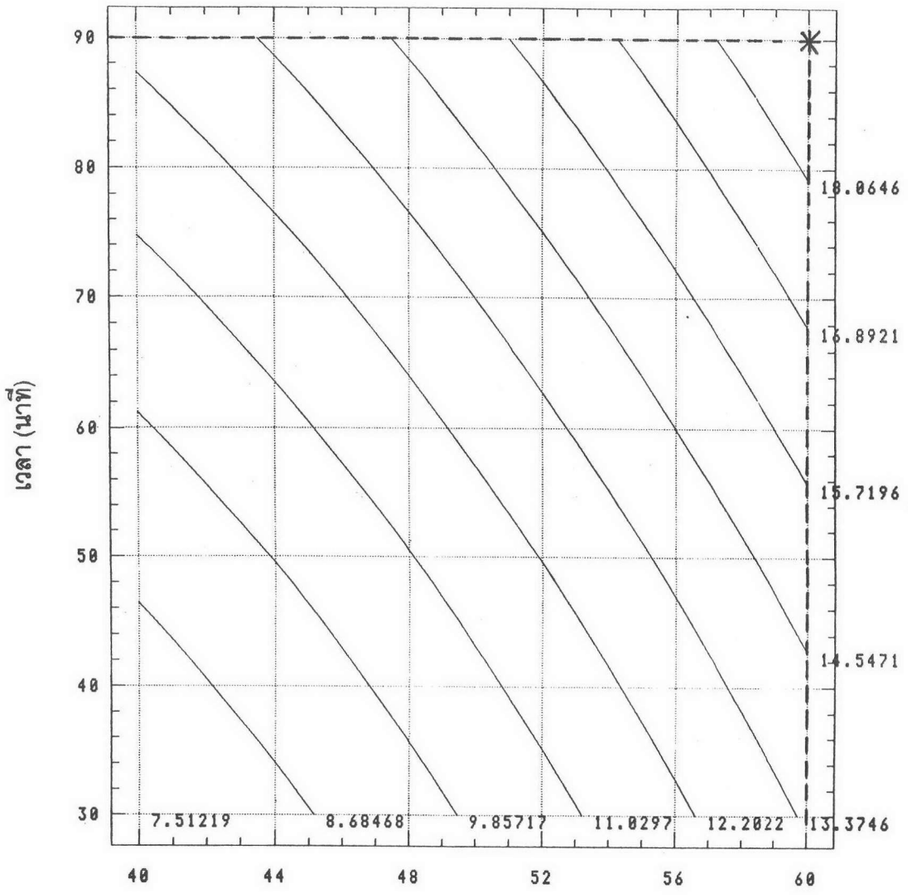
รูปที่ 4.8 กราฟ 2 มิติ สำหรับวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ เวลาในการแช่ข้าวสาร และค่าร้อยละความชื้น หลังแช่ข้าวสารด้วยสารละลายปาเปนเพื่อย่อยสลายโปรตีนข้าว



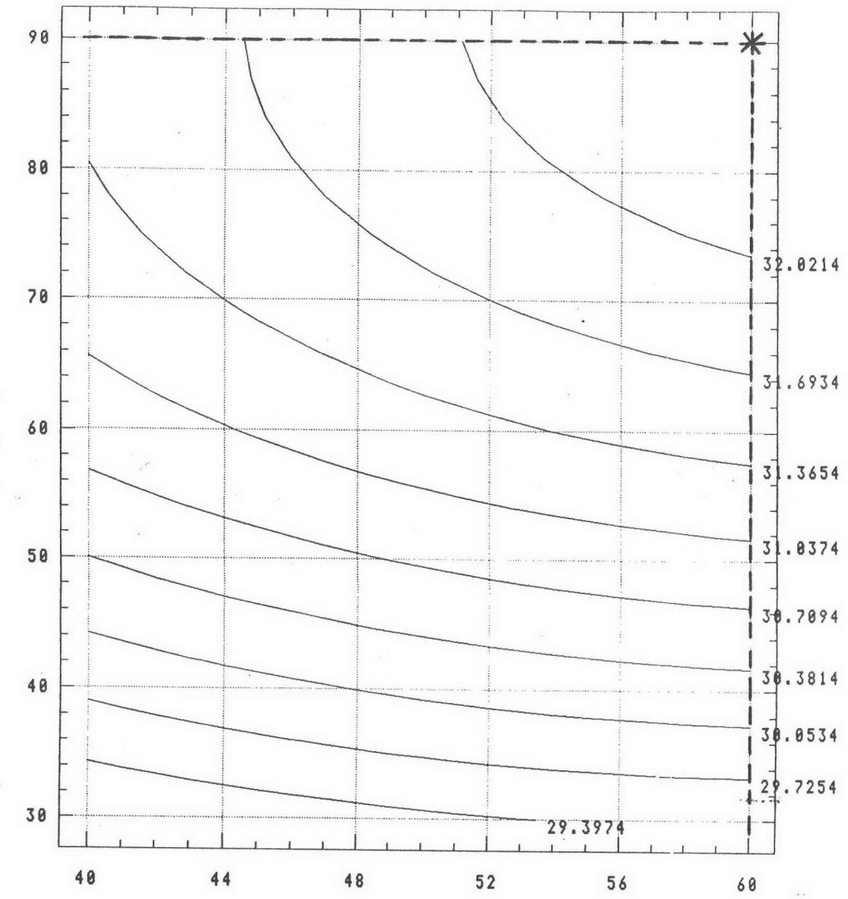
รูปที่ 4.9 กราฟ 2 มิติ สำหรับวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ เวลาในการแช่ข้าวสาร และค่าร้อยละการย่อยสลายโปรตีน หลังแช่ข้าวสารด้วยสารละลายเปปซิน เพื่อย่อยสลายโปรตีนข้าว



รูปที่ 4.10 กราฟ 2 มิติ สำหรับวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ เวลาในการแช่ข้าวสาร และค่าร้อยละความชื้น หลังแช่ข้าวสารด้วยสารละลายเปปซิน เพื่อย่อยสลายโปรตีนข้าว



รูปที่ 4.11 กราฟ 2 มิติ สำหรับวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ เวลาในการแช่ข้าวสาร และค่าร้อยละการย่อยสลายโปรตีน หลังแช่ข้าวสารด้วยสารละลายอัลคาเลส®เพื่อย่อยสลายโปรตีนข้าว



รูปที่ 4.12 กราฟ 2 มิติ สำหรับวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ เวลาในการแช่ข้าวสาร และค่าร้อยละความชื้นหลังแช่ข้าวสารด้วยสารละลายอัลคาเลส®เพื่อย่อยสลายโปรตีนข้าว

4.4 หาภาวะที่เหมาะสมในการทำให้ข้าวสุก

ตามการทดลองที่ 3.4 นำข้าวที่แช่ด้วยสารละลาย ปาเปน , อัลคาเลส® และเปปซิน ตามภาวะที่ได้จากผลการทดลองข้อที่ 4.3.2 ซึ่งข้าวที่ผ่านการแช่สารละลายเอนไซม์ที่ได้จะมีระดับการย่อยโปรตีนเป็น 7 , 19 และ 31 % ตามลำดับ มาต้มในภาวะที่มีน้ำมากเกินพอ อัตราส่วนน้ำหนักข้าวสารต่อปริมาตรน้ำเป็น 1:50 ที่ 85 และ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 , 10 และ 15 นาที และใช้ข้าวสารที่แช่น้ำกลั่นอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที เป็นตัวอย่างควบคุม

ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ อุณหภูมิ เวลา และระดับการย่อยโปรตีน ค่าร้อยละเจลาทีไนเซชัน ค่าความชื้น และอัตราการขยายตัวของข้าวสุก

SOV	df	MS		
		ร้อยละเจลาทีไนเซชัน	ความชื้น	อัตราการขยายตัว
อุณหภูมิ (A)	1	990.19*	1061.04*	10.63*
เวลา (B)	2	623.76*	549.07*	12.65*
AB	2	20.96*	0.60ns	0.28*
ระดับการย่อยโปรตีน (C)	3	172.78*	14.16*	0.19*
AC	3	0.76*	2.08*	0.19*
BC	6	14.3*	2.05*	0.08*
ABC	6	7.95*	1.41ns	0.58*
error	23	0.10	0.10	0.02

ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัย สำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.13 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิ เวลา และการย่อยโปรตีน ต่อค่าร้อยละการเกิดเจลาทีไนเซชัน ค่าความชื้น และอัตราการขยายตัวของข้าวสุก

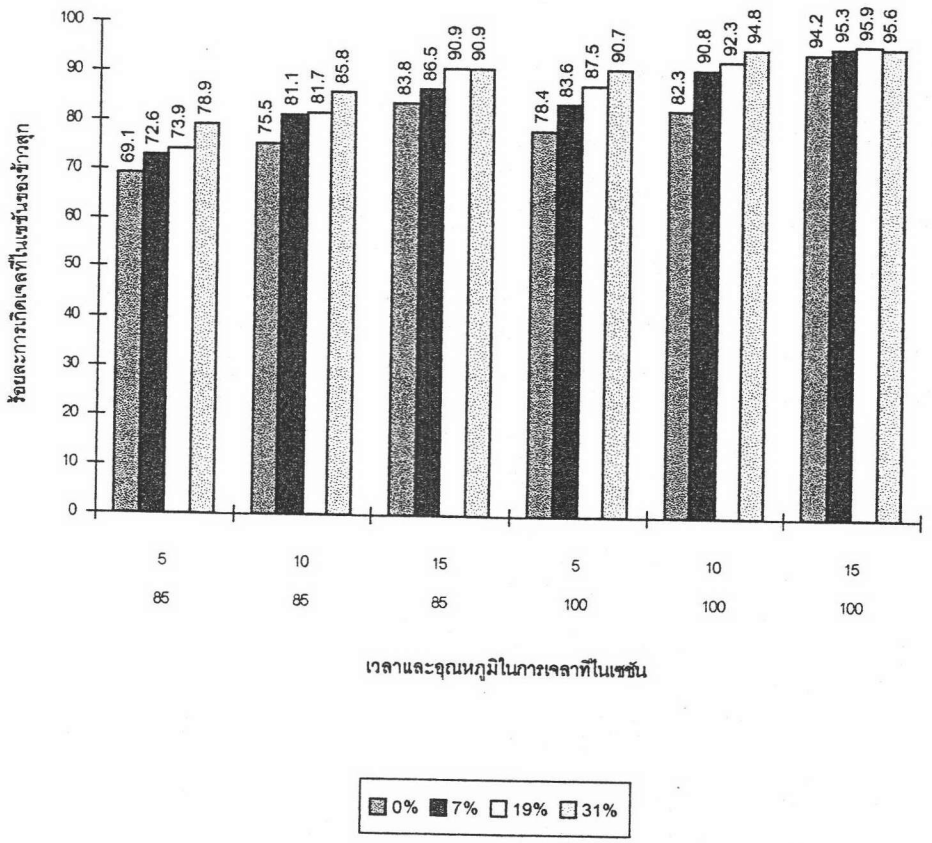
ภาวะในการเกิดเจลาทีไนเซชัน			สมบัติของข้าวสุก		
อุหณภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	การย่อยโปรตีน (%)	การเจลาทีไนเซชัน*(%)	ความชื้น ns (%)	อัตราการขยายตัว*(เท่า)
85	5	0	69.1 ±1.4^{q}	48.77±0.02	2.39±0.02^{h}
		7	72.6± 0.4^{p}	48.73± 0.70	2.45± 0.70^{g}
		19	73.9±1.1^{o}	49.41± 0.87	2.57± 0.87^{g}
		31	78.9 ± 0.4^{m}	50.67± 0.62	2.74± 0.62^{f}
	10	0	75.5± 0.6^{n}	56.41± 2.02	3.01±0.02^{d}
		7	81.1 ± 2.3^{i}	56.73± 0.70	3.01± 0.70^{d}
		19	81.7 ± 0.7^{kl}	56.75± 0.77	3.31± 0.77^{d}
		31	85.8 ± 2.1^{l}	57.38± 0.38	2.91± 0.38^{e}
	15	0	83.8 ± 0.6^{j}	59.57± 1.29	3.93± 0.29^{c}
		7	86.5 ± 1.0^{h}	60.91± 0.46	3.95± 0.46^{c}
		19	90.9 ± 1.2^{f}	61.66± 0.95	4.25± 0.95^{b}
		31	90.9 ± 1.0^{f}	62.93± 0.55	4.06± 0.55^{c}
100	5	0	78.4 ± 1.3^{m}	58.61 ±0.06	3.12 ±0.06^{d}
		7	83.6 ± 0.3^{kj}	59.33± 0.45	3.30± 0.45^{d}
		19	87.5 ± 0.8^{g}	59.42± 0.69	3.20± 0.69^{d}
		31	90.7 ± 1.8^{f}	59.72± 0.56	3.09± 0.56^{a}
	10	0	82.3 ± 0.7^{k}	64.92± 0.85	4.00± 0.85^{c}
		7	90.8 ± 2.1^{f}	65.15±0.25	4.46±0.25^{b}
		19	92.3 ± 1.2^{e}	65.21 ± 0.16	4.23 ± 0.16^{b}
		31	94.8 ± 0.4^{b}	68.82± 0.70	3.99± 0.70^{d}
	15	0	94.2 ± 3.1^{c}	69.12± 0.75	5.39± 0.75^{a}
		7	95.3 ± 0.6^{ab}	69.84± 0.24	5.43± 0.24^{a}
		19	95.90 ± 1.2^{a}	70.43± 0.84	5.43± 0.84^{a}
		31	95.6 ± 1.7^{a}	74.18± 1.17	4.51± 0.77^{b}

ns หมายถึงค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

4.4.1 เปรียบเทียบผลของ ระดับการย่อยโปรตีนของข้าวสาร อุณหภูมิ และเวลาในการต้ม ต่อ สมบัติของข้าวสุก

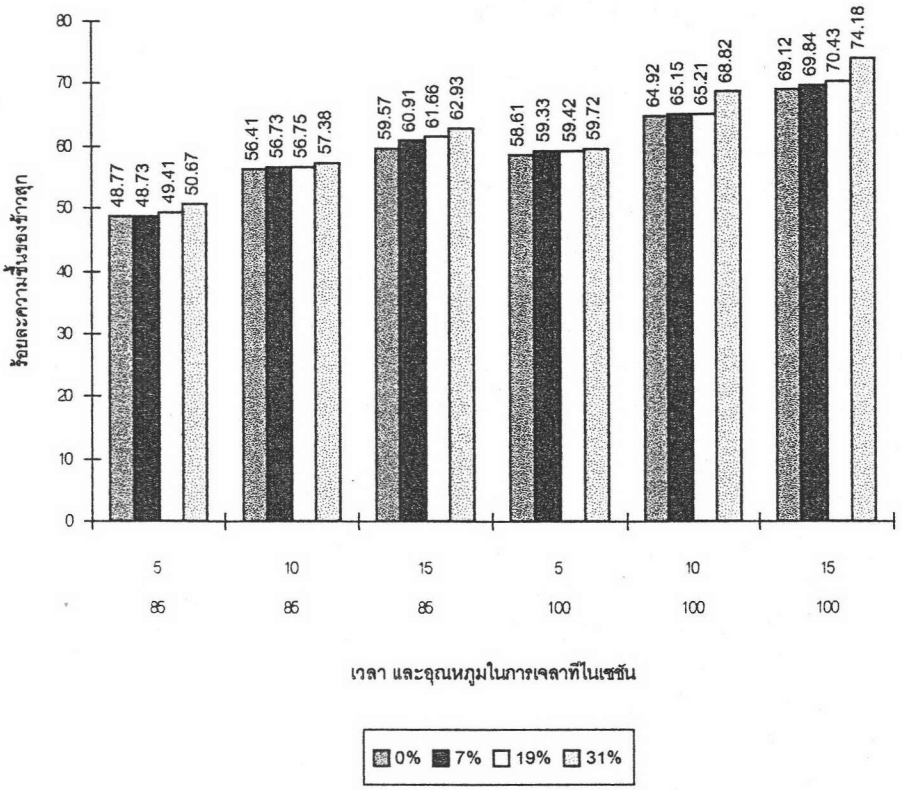
ผลของอุณหภูมิ เวลา และระดับการย่อยโปรตีน ต่อค่าร้อยละการเกิดเจลาทีไนเซชัน ของข้าวสุก จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าทั้ง ปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ , เวลา และ ระดับการย่อยโปรตีน ; อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย คือ ระหว่าง อุณหภูมิ กับ เวลา , อุณหภูมิ กับ ระดับการย่อยโปรตีน และ เวลา กับ ระดับการย่อยโปรตีน และอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย ระหว่าง อุณหภูมิ , เวลา และ ระดับการย่อยโปรตีน มีผลต่อค่าร้อยละการเกิดเจลาทีไนเซชันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.12 จากรูปที่ 4.13 จะพบว่า**เมื่ออุณหภูมิ เวลา หรือ ค่าร้อยละการย่อยโปรตีน มีค่าสูงขึ้น ค่าร้อยละการเกิดเจลาทีไนเซชันจะเพิ่มขึ้นด้วย** เพราะอุณหภูมิ และ เวลา เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลาทีไนเซชันของเม็ดแป้งโดยตรง (Kerr,1989) เมื่ออุณหภูมิ หรือ เวลา เพิ่มขึ้นข้าวจะเกิดเจลาทีไนเซชันมากขึ้น **ส่วนระดับการย่อยโปรตีนจะมีผลต่อค่าความชื้นในขั้นตอนการแช่ข้าวทำให้เม็ดแป้งอุ้มน้ำได้มากขึ้นดังตารางที่ 4.9 และมีผลให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวได้ง่ายขึ้นข้าวจึงเกิดเจลาทีไนเซชันมากขึ้น** (Chandrasheka and Kirleis,1988 : Marshall , Normand and Goynes,1990 ; Smith , Rao, Liuzzo and Champagne , 1985 ; Watanabe , Honma and Fulkar,1991) ดังนั้นข้าวที่ผ่านการย่อยโปรตีนที่ระดับสูงจึงเกิดเจลาทีไนเซชันได้ได้ดีกว่า เช่น ที่ภาวะในการต้มข้าวที่ 100 องศาเซลเซียส 10 นาที ข้าวที่ผ่านการย่อยโปรตีนที่ระดับ 0, 7, 19 และ 31% จะมีค่าร้อยละ เจลาทีไนเซชัน เป็น 82.3 ± 0.7, 90.8 ± 2.1, 92.3 ± 1.2 และ 94.8 ± 0.4 % ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณารูปที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้องขยายแบบฟลูออเรซเซนซ์ไมโครสโคป ประกอบ ตามรูปที่ 4.21 จะพบว่ารูป (ง) คือข้าวที่ผ่านการย่อยโปรตีนที่ 31% จะมีสภาพกลุ่มเม็ดแป้งที่ผิวนอกของเม็ดข้าวถูกทำลายมากกว่าข้าวที่ผ่านการย่อยโปรตีน 0, 7, และ 19% ตามรูป 4.21 (ก), (ข) และ (ค) ตามลำดับ ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่มีผลให้ข้าวสารที่ผ่านการย่อยโปรตีนที่ระดับสูงจึงสามารถดูดน้ำได้มากกว่า เม็ดแป้งเกิดการพองตัวได้ดีกว่า และทำให้ข้าวเกิดการเจลาทีไนเซชันได้ง่ายกว่า



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบผลของ ระดับการย่อยโปรตีนของข้าวสาร อุณหภูมิ และเวลาในการต้ม ต่อค่าร้อยละการเกิดเจลาทีในเซชันของข้าวสุก

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พิจารณาผลของอุณหภูมิ , เวลา และ ระดับการย่อยโปรตีน ต่อค่าความชื้นพบว่าทั้ง ปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย มีผลต่อค่าความชื้นของข้าวสุกอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.12 เมื่อ อุณหภูมิ , เวลา หรือ ระดับการย่อยโปรตีนสูงขึ้น ค่าความชื้นจะสูงขึ้นด้วย เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย ระหว่าง อุณหภูมิ กับ เวลา พบว่าไม่มีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย ที่มีค่าร้อยละการย่อยโปรตีนร่วมด้วย คือผลของ อุณหภูมิ กับ ระดับการย่อยโปรตีน และ เวลา กับ ระดับการย่อยโปรตีน พบว่ามีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) **แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และ เวลาที่ใช้ในการต้มข้าวจะทำให้ข้าวมีค่าความชื้นสูงสุดที่ระดับหนึ่ง แต่เมื่อมีการย่อยโปรตีนในข้าวลงจะทำให้ข้าวสุกที่ได้มีค่าความชื้นเพิ่มมากขึ้น** จากรูปที่

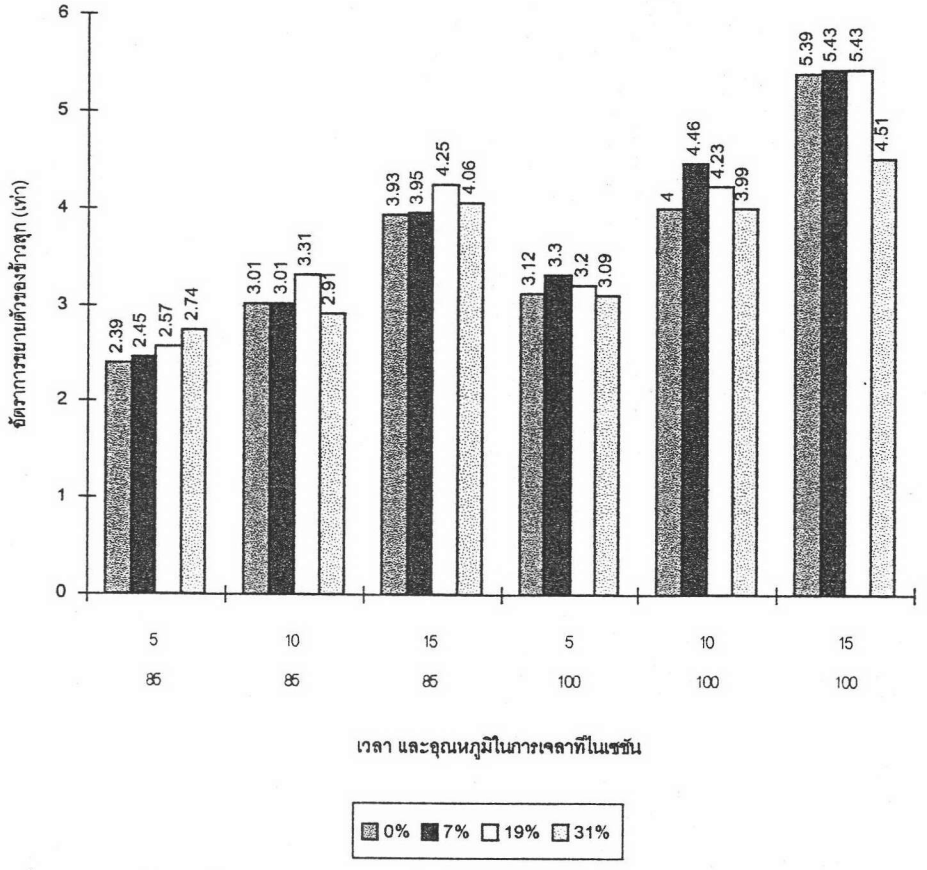
4.14 จะพบว่าที่ระดับการย่อยโปรตีนข้าว 31% จำให้ค่าร้อยละความชื้นสูงกว่าที่ระดับการย่อยโปรตีนอื่นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะเมื่อใช้อุณหภูมิ และ เวลาในการเจลาทีไนเซชันที่ระดับสูง ซึ่งค่าความชื้นจะมีผลต่อค่าอัตราการดูดน้ำกลับของข้าว ถ้าค่าความชื้นสูงเมื่อนำข้าวไปอบแห้งจะเกิดช่องว่างภายในมากมาย มีผลให้ข้าวมีรูพรุนมาก เมื่อนำไปคืนรูปข้าวจะดูดน้ำกลับคืนได้เร็วขึ้น ดังนั้นเมื่อค่าร้อยละการย่อยโปรตีนมีผลให้ข้าวสุกมีค่าความชื้นสูงขึ้น จึงน่าจะมีผลให้ข้าวหุงสุกเร็วที่ผ่านการย่อยโปรตีนคืนรูปได้ดีขึ้นเช่นกัน แต่อย่างไรก็ดีถ้าข้าวมีความชื้นมากเกินไปเมื่อคืนรูปแล้วจะทำได้ข้าวที่มีลักษณะเละ ข้าวที่ผ่านการเจลาทีไนเซชันแล้วควรมีความชื้นประมาณ 65-80% (Brooks et al., 1982) ส่วนอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย ระหว่าง อุณหภูมิ , เวลา และ ระดับการย่อยโปรตีน ไม่มีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบผลของ ระดับการย่อยโปรตีนของข้าวสาร อุณหภูมิ และเวลาในการต้มต่อค่าความชื้นของข้าวสุก

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พิจารณาผลของอุณหภูมิ , เวลา และ ระดับการย่อยโปรตีน ต่อค่าอัตราการขยายตัวของข้าวสุก พบว่าทั้ง ปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย ; อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย คือ ระหว่าง อุณหภูมิ กับ เวลา , อุณหภูมิ กับ ระดับการย่อยโปรตีน และ เวลา กับ ระดับการย่อยโปรตีน และ อิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย ระหว่าง อุณหภูมิ , เวลา และ ระดับการย่อย

โปรตีน มีผลต่อค่าร้อยละการย่อยโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.12 โดยจากรูปที่ 4.15 เมื่อพิจารณาปัจจัยหลักพบว่า **เมื่ออุณหภูมิ และเวลาสูงขึ้น อัตราการขยายตัวของข้าวสุกจะเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อระดับการย่อยโปรตีนสูงขึ้นอัตราการขยายตัวของข้าวสุก จะเพิ่มมากขึ้น จนถึงระดับหนึ่งค่าการขยายตัวของข้าวสุกจะลดลง** เช่นที่ภาวะ 100 องศาเซลเซียส 5 นาที อัตราการขยายตัวที่ระดับการย่อยโปรตีน 0 และ 7% จะมีค่าเพิ่มขึ้น จาก 3.12 $\pm$0.06 เป็น 3.30$\pm$ 0.45 เท่า แต่ที่ระดับการย่อยโปรตีน 19 และ 31% อัตราการขยายตัวของข้าวสุกจะลดลง เหลือ 3.20$\pm$ 0.69 และ 3.09$\pm$ 0.56 เท่า ตามลำดับ ซึ่งอัตราการขยายตัวที่ระดับการย่อยโปรตีน 31% มีค่าน้อยกว่าที่ระดับการย่อยโปรตีนอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เช่นเดียวกันเมื่อพิจารณาผลของ อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย คือ ระหว่างอุณหภูมิ กับเวลา ตามตารางที่ 4.12 พบว่าเมื่อ อุณหภูมิและเวลามีค่าสูงขึ้น อัตราการขยายตัวของข้าวสุก จะเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลของระดับการย่อยโปรตีน ร่วมด้วย คืออิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยของ อุณหภูมิกับระดับการย่อยโปรตีน และ เวลากับระดับการย่อยโปรตีน พบว่าเมื่อ อุณหภูมิกับระดับการย่อยโปรตีน หรือ เวลากับระดับการย่อยโปรตีน มีค่าสูงขึ้นอัตราการขยายตัวของข้าวสุก จะเพิ่มมากขึ้น จนถึงระดับหนึ่งค่าการขยายตัวของข้าวสุกจะลดลง ดังตารางที่ 4.13 และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย คือเมื่อ อุณหภูมิ, เวลา และระดับการย่อยโปรตีน มีค่าสูงขึ้นอัตราการขยายตัวของข้าวสุก จะเพิ่มมากขึ้น จนถึงระดับหนึ่งค่าการขยายตัวของข้าวสุกจะลดลงเช่นกัน ซึ่งผลของอุณหภูมิ , เวลา และระดับการย่อยโปรตีน ต่ออัตราการขยายตัวของข้าวสุก สามารถอธิบายได้ว่า เมื่ออุณหภูมิ และเวลามีค่าสูงขึ้นอัตราการขยายตัวของข้าวสุก จะเพิ่มมากขึ้นด้วยเนื่องจากว่าทั้งอุณหภูมิ และเวลาเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าร้อยละการเกิด เจลาทีไนเซชัน อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ซึ่งการเกิดเจลาทีไนเซชัน จะทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวอย่างถาวร (Wong,1989) ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิ และเวลามากขึ้นเม็ดแป้งเกิดการพองตัวมากขึ้น ข้าวจึงมีอัตราการขยายตัวมากขึ้นด้วย ส่วนระดับการย่อยโปรตีน สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อระดับการย่อยโปรตีนสูงขึ้น ทำให้ค่าความชื้นในขั้นตอนการแช่ข้าวจะมากขึ้น และมีการสูญเสียอะมิโลสมากขึ้น เพราะที่ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างเม็ดแป้งไว้จะแตกตัว น้ำสามารถซึมผ่านเข้าภายในเม็ดแป้งจับกับพันธะ อะมิโลสสามารถละลายออกมาจากเม็ดแป้งได้มากขึ้น (Kerr ,1989) และเพราะปริมาณอะมิโลสมีผลโดยตรงต่ออัตราการขยายตัวของข้าวสุก (Antonio and Juliano,1971) ดังนั้นเมื่อข้าวสูญเสียอะมิโลสมากอัตราการขยายตัวจึงน้อยลง



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบผลของ ระดับการย่อยโปรตีนของข้าวสาร อุณหภูมิ และเวลาในการต้ม ต่อค่าการขยายตัวของข้าวสุก

4.4.2 อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการต้มข้าวสาร เพื่อให้เกิดเจลาทีไนเซชัน

พิจารณาเลือกภาวะจากผลการทดลองข้อ 4.4.1 ที่ทำให้ข้าวสุกมีค่าร้อยละการเกิดเจลาทีไนเซชัน มากกว่า 80 เพื่อให้ข้าวสุกที่ได้ไม่มีส่วนที่เป็นแป้งดิบที่กึ่งกลางเม็ดข้าว และค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 80 เพื่อให้ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้ไม่มีลักษณะที่เละแฉะเกินไป เพื่อมาทำการทดสอบค่าทางประสาทสัมผัส ค่าความนิ่ม และลักษณะการแตกบานของข้าวสุก โดยวิธีทดสอบทางประสาทสัมผัสตามการทดลองข้อ 3.4.2 พิจารณาเลือกภาวะที่ได้รับคะแนนการ

ยอมรับด้านความนิ่มในปากสูงที่สุด และมีลักษณะการแตกบานของข้าวสุกที่ดี ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าทางประสาทสัมผัสด้านความนิ่ม และ ลักษณะการแตกบานของข้าวสุก ที่เตรียมได้จากข้าวสารที่แช่สารละลายเอนไซม์ และน้ำกลั่น

ภาวะในการต้มข้าวสาร		สมบัติด้านความนิ่มและลักษณะการแตกบานของข้าวสุก							
		น้ำกลั่น		สารละลายปาเปน		สารละลายอัลคาเลส®		สารละลายเปปซิน	
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ความนิ่ม	แตกบาน	ความนิ่ม	แตกบาน	ความนิ่ม	แตกบาน	ความนิ่ม	แตกบาน
85	5	- ไม่มีข้อมูล -							
	10	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	6.00^{c}	แตกบาน	6.13^{b}	แตกบาน	7.00^{c}	แตกบาน
	15	5.4^{b}	แตกบาน	7.47^{b}	แตกบาน	8.60^{a}	แตกบาน	8.80^{a}	แตกบาน
100	5	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	6.67^{c}	แตกบาน	6.87^{b}	แตกบาน	8.53^{ab}	แตกบาน
	10	6.4^{b}	แตกบาน	8.47^{a}	แตกบาน	8.67^{a}	แตกบาน	7.73^{bc}	แตกบาน
	15	8.87^{a}	แตกบานเกินไป	7.60^{b}	แตกบานเกินไป	8.00^{b}	แตกบานเกินไป	7.67^{bc}	แตกบาน

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ไม่มีข้อมูล คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากไม่ได้อยู่ในขอบเขตการทดลอง

ผลจากการต้มข้าวที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ ตามตารางที่ 4.13 พบว่า ข้าวที่แช่ด้วยน้ำกลั่นเมื่อต้มที่ภาวะต่างๆมีเพียง 3 ภาวะที่มีค่าร้อยละเจลาทีไนเซชันมากกว่า 80% คือ ที่ภาวะ 85 องศาเซลเซียส 15 นาที 100 องศาเซลเซียส 10 นาที และ 100 องศาเซลเซียส 15 นาที เมื่อพิจารณาค่าความนิ่มของข้าวสุกเมื่ออยู่ในปากพบว่า การต้มข้าวที่ภาวะ 85 องศาเซลเซียส 15 นาที 100 องศาเซลเซียส 10 นาที มีคะแนนการยอมรับด้านความนิ่ม 5.4 และ 6.4 ซึ่งหมายถึงข้าวยังมีส่วนแป้งดิบอยู่ แต่ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ได้รับคะแนนการยอมรับด้านความนิ่มสูงที่สุด แต่ว่าข้าวสุกมีลักษณะข้าวสุกที่แตกบานมากเกินไป พิจารณา**เลือกภาวะการต้มข้าวสำหรับข้าวที่แช่ด้วยน้ำกลั่นได้ที่ 100 องศาเซลเซียส 15 นาทีเพราะถึงแม้ข้าวสุกจะมีลักษณะที่แตกบานมากเกินไป แต่เป็นภาวะเดียวที่ได้รับคะแนนการยอมรับด้านความนิ่มที่อยู่ในเกณฑ์ที่ข้าวไม่มีส่วนแป้งดิบหลงเหลืออยู่ และได้รับคะแนนการยอมรับด้านความนิ่มสูงที่สุด**

เมื่อแช่ข้าวด้วย ปาเปน อัลคาเลส® และเปปซิน เลือกภาวะที่ทำให้ข้าวมีค่าร้อยละการเกิดเจลาทีไนเซชันมากกว่า 80 % ได้ 5 ภาวะ คือ 85 องศาเซลเซียส 10 นาที , 85 องศาเซลเซียส 15 นาที , 100 องศาเซลเซียส 5 นาที ,100 องศาเซลเซียส 10นาที และ 100 องศาเซลเซียส 15 นาที เมื่อพิจารณาค่าความนิ่มของข้าวสุกเมื่ออยู่ในปากพบว่า **ข้าวที่แช่ด้วย ปาเปน มีค่าการยอมรับด้านความนิ่มสูงที่สุด ที่ภาวะ 100 องศาเซลเซียส 10 นาที และข้าวสุกมีลักษณะแตกบานที่ดี ข้าวที่แช่ด้วย อัลคาเลส® มีค่าการยอมรับด้านความนิ่มสูงที่สุด ที่ภาวะ 85 องศาเซลเซียส 15 นาที และ 100 องศาเซลเซียส 10 นาที ข้าวสุกมีลักษณะแตกบานที่ดีเช่นกัน จึงพิจารณาเลือกภาวะการต้มที่ 85 องศาเซลเซียส 15 นาทีเพราะมีค่าการขยายตัวที่สูงกว่า** และ ข้าวที่แช่ด้วย เปปซิน มีค่าการยอมรับด้านความนิ่มที่ภาวะ 85 องศาเซลเซียส 15 นาที ไม่แตกต่างกับที่ 100 องศาเซลเซียส 5 นาที และข้าวสุกที่ได้มีลักษณะแตกบานอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเช่นกัน แต่ที่ภาวะ 85 องศาเซลเซียส 15 นาที จะได้ข้าวสุกที่มีอัตราการขยายตัวสูงกว่าที่ 100 องศาเซลเซียส 5 นาที ดังตารางที่ 4.[illegible] **ดังนั้นข้าวที่แช่ด้วยเปปซินจึงเลือกภาวะการต้มที่ 85 องศาเซลเซียส 15 นาที**

ตารางที่ 4.15 สรุปภาวะการเจลาทีไนเซชันที่เลือกได้จากการทดลองที่ 4.4.2

สารละลาย ในการแช่ข้าว	สมบัติของข้าวสารที่ผ่านการแช่เอนไซม์		อุณหภูมิและเวลา ในการเจลาทีไนเซชัน
	ความชื้น	ร้อยละการ ย่อยโปรตีน	
น้ำกลั่น (ตัวอย่างควบคุม)	32.20±1.81	0	100 °C 15 นาที
ปาเปน	32	7	100 °C 10 นาที
อัลคาเลส®	33	19	85 °C 15 นาที
เปปซิน	34.5	31	85 °C 15 นาที

4.5 ประเมินสมบัติข้าวหุงสุกเร็ว

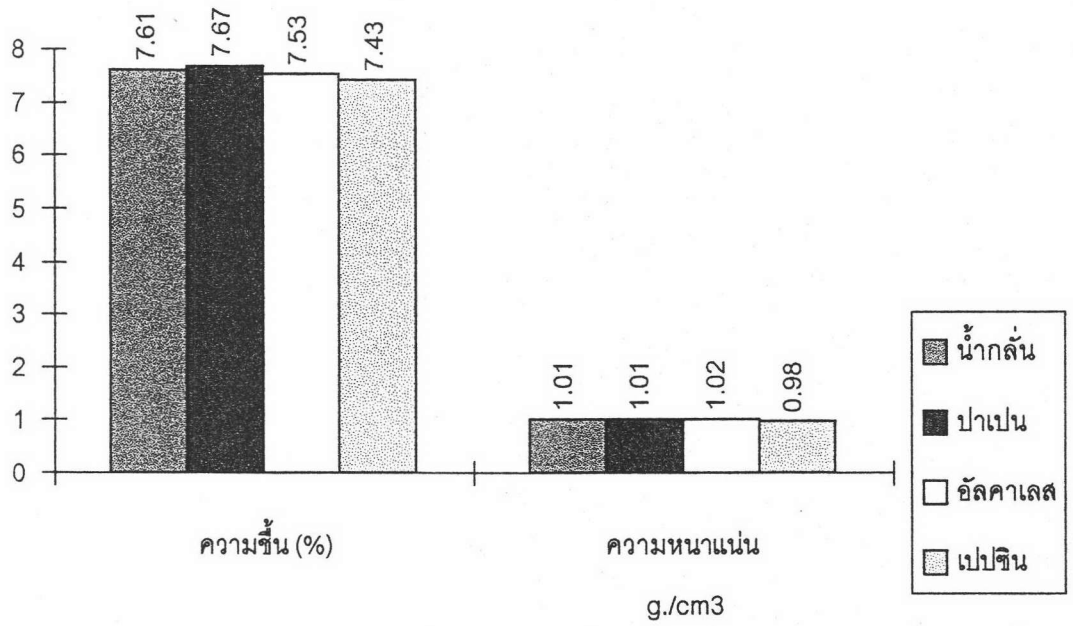
4.5.1 สมบัติของข้าวหุงสุกเร็วก่อนการคืนรูป

นำข้าวที่ผ่านการแช่ด้วย น้ำ ปาเปน อัลคาเลส® และ เปปซิน มาต้มในภาวะที่มีน้ำมากเกินพอ ตามภาวะที่ได้จากการทดลอง ข้อ 4.4.2 และทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ 200 องศาเซลเซียส 1 นาที และ 60 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ผลของค่าความชื้นและค่าความหนาแน่นของข้าวหุงสุกเร็วก่อนการคืนรูปที่ได้ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบค่าความชื้นและความหนาแน่น ของข้าวหุงสุกเร็วก่อนการคืนรูปที่ได้จากการใช้เอนไซม์และไม่ใช้เอนไซม์

สารละลาย ในการแช่ข้าว	ความชื้น ns (%)	ความหนาแน่น ns (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)
น้ำกลั่น (ตัวอย่างควบคุม)	7.61 ± 0.31	1.01 ± 0.03
ปาเปน	7.67 ± 0.18	1.01 ± 0.05
อัลคาเลส®	7.53 ± 0.02	1.02 ± 0.09
เปปซิน	7.43 ± 0.11	0.98 ± 0.02

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)



สมบัติของข้าวหุงสุกเร็วก่อนคืนรูป

รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบค่าความชื้นและความหนาแน่น ของข้าวหุงสุกเร็วก่อนการคืนรูปที่ได้จากการแช่ข้าวด้วยน้ำกลั่น ปาเปน อัลคาเลส® และเปปซิน

พบว่าข้าวหุงสุกเร็วก่อนการคืนรูปที่ได้จากข้าวที่ผ่านการย่อยโปรตีนทั้ง 4 ระดับ มีค่า ความชื้น และ ความหนาแน่น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญดังตารางที่ 4.16 คือข้าวที่ผ่านการแช่ด้วย น้ำ ปาเปน อัลคาเลส® และ เปปซิน มีค่าความชื้น 7.61, 7.67, 7.53 และ 7.43 % ตามลำดับ และมีค่าความหนาแน่น 1.01 , 1.01 , 1.02 และ 0.98 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ **ดังจะเห็นว่าถึงแม้ว่าภาวะที่ใช้ในการเจลาทีไนเซชันของข้าวที่ผ่านการแช่ด้วย ปาเปน อัลคาเลส® และเปปซิน จะใช้อุณหภูมิในการต้มต่ำกว่า และใช้เวลาน้อยกว่า คือปาเปนต้มที่ 100 องศาเซลเซียส 10 นาที** ในขณะที่ข้าวที่ผ่าการแช่ด้วยอัลคาเลส® และเปปซินต้มที่ 85 องศาเซลเซียส 15 นาที น้ำต้มที่ 100 องศาเซลเซียส 15 นาที แต่ข้าวหุงสุกเร็วก่อนคืนรูปที่ได้มีความชื้น และความหนาแน่นไม่แตกต่างจากข้าวที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำและ ต้มที่ 100 องศาเซลเซียส 15นาที **ดังจะเห็นว่าการใช้โปรติเอสแช่ข้าว แทนการแช่ข้าวด้วยน้ำกลั่นจะสามารถลดพลังงานที่ใช้ในการทำให้ข้าวสุกลงได้ โดยที่ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้มีสมบัติก่อนคืนรูปไม่แตกต่างกัน**

4.5.2 เวลาที่ใช้ในการคืนรูปข้าวหุงสุกเร็ว

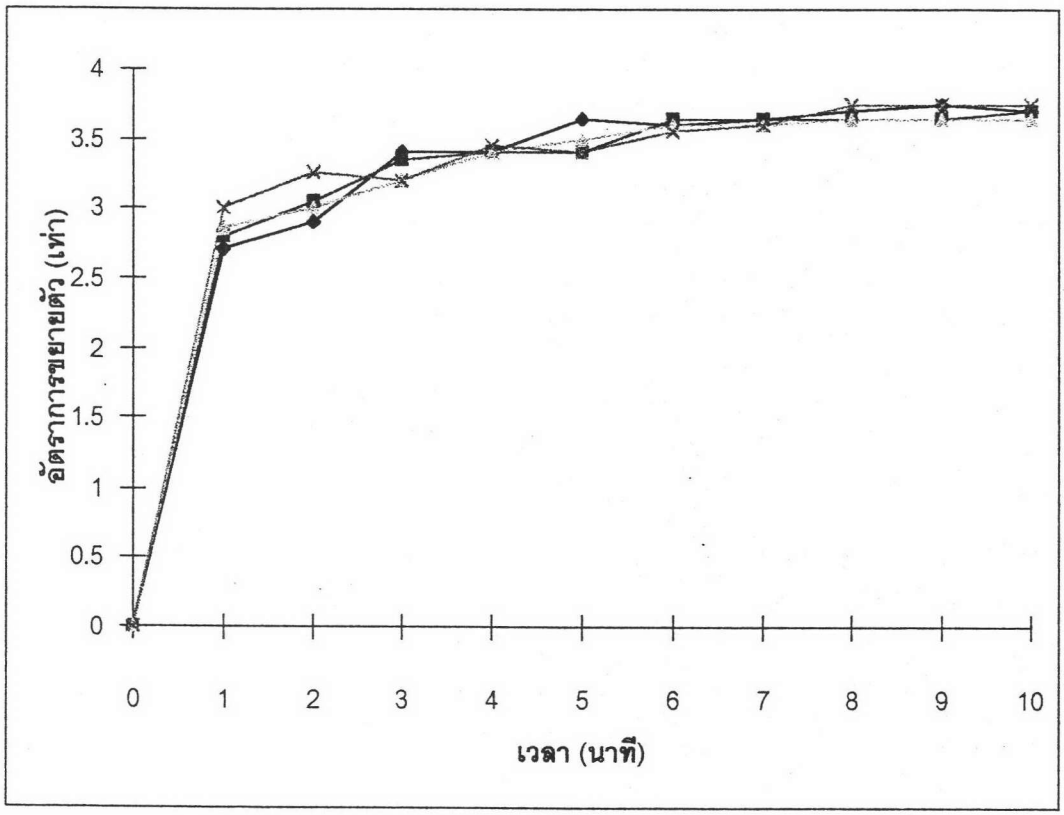
เมื่อคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วด้วยน้ำเดือดจัด ใช้อัตราส่วนน้ำหนักข้าวก่อนคืนรูปต่อปริมาตรน้ำเดือดเป็น 1 : 50 แปรเวลาเป็น 1, 2 , 3 , 4 , 5, 6 , 7 , 8 , 9 และ 10 นาที ตามการทดลองที่ 3.5.2 วัดค่าอัตราการการขยายตัว ที่เวลาต่างกันได้ดังตารางที่ 4.17 พิจารณาช่วงเวลาที่อัตราการขยายตัวไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น คือข้าวขยายตัวได้มากที่สุดแล้ว นำมาทดสอบค่าทางประสาทสัมผัสด้านความนิ่ม พิจารณาเลือกเวลาคืนรูปข้าวหุงสุกเร็ว จากคะแนนการยอมรับด้านความนิ่มในปากสูงที่สุด ซึ่งหมายถึงว่าข้าวคืนรูปที่ได้ต้องคืนรูปโดยสมบูรณ์ไม่มีจุดกึ่งกลางแข็ง และต้องไม่มีลักษณะที่เละแฉะเกินไป

เมื่อพิจารณาค่าอัตราการขยายตัว ที่เวลาในการคืนรูปด้วยน้ำเดือดต่างๆ ดังตารางที่ 4.17 พบว่าค่าอัตราการขยายตัว ของตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วที่แช่ด้วยน้ำกลั่น จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และที่ 1-3 นาทีแรก และจะเริ่มคงที่ที่นาทีที่ 4 นาที ส่วนข้าวหุงสุกเร็วที่ผ่านการแช่ด้วย ปาเปน อัลคาเลส® และเปปซิน เมื่อคืนรูปค่าอัตราการขยายตัวจะเริ่มคงที่ที่นาทีที่ 3 ดังนั้นเลือกเวลาที่ใช้ในการคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วด้วยน้ำเดือดจัด เป็น 3 , 5 และ 7 นาที เพื่อทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสทางด้านความนิ่มของข้าวเมื่ออยู่ในปากต่อไป เพื่อเลือกระยะเวลาในการคืนรูปที่สั้นที่สุด และข้าวหุงสุกเร็วคืนรูปที่ได้มีคะแนนการยอมรับด้านความนิ่มสูงที่สุด ผลที่ได้ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบอัตราการขยายตัวของข้าวหุงสุกเร็วคืนรูปที่ได้จากการแช่ข้าวด้วยสารละลายเอนไซม์และน้ำที่เวลาต่างๆ ตั้งแต่ 1 ถึง 10 นาที

เวลาในการคืนรูปด้วยน้ำเดือด(นาที)	อัตราการขยายตัวของข้าวคืนรูปคิดเป็นจำนวนเท่าของข้าวสาร			
	น้ำกลั่น	ปาเปน	อัลคาเลส®	เปปซิน
1	3.00 ± 0.07^{c}	2.85 ± 0.12^{c}	2.82 ± 0.11^{c}	2.71 ± 0.08^{c}
2	3.20 ± 0.11^{bc}	3.01 ± 0.23^{bc}	3.13 ± 0.03^{bc}	2.98 ± 0.07^{bc}
3	3.20 ± 0.08^{bc}	3.29 ± 0.06^{abc}	3.49 ± 0.07^{ab}	3.43 ± 0.07^{ab}
4	3.45 ± 0.21^{ab}	3.45 ± 0.02^{ab}	3.46 ± 0.06^{ab}	3.49 ± 0.13^{ab}
5	3.40 ± 0.14^{abc}	3.51 ± 0.21^{a}	2.54 ± 0.15^{a}	3.65 ± 0.05^{a}
6	3.55 ± 0.09^{ab}	3.62 ± 0.05^{a}	3.65 ± 0.14^{a}	3.62 ± 0.21^{a}
7	3.60 ± 0.13^{ab}	3.63 ± 0.13^{a}	3.65 ± 0.09^{a}	3.65 ± 0.15^{a}
8	3.75 ± 0.11^{a}	3.65 ± 0.10^{a}	3.65 ± 0.15^{a}	3.71 ± 0.06^{a}
9	3.75 ± 0.09^{a}	3.65 ± 0.13^{a}	3.98 ± 0.13^{a}	3.75 ± 0.10^{a}
10	3.75 ± 0.17^{a}	3.65 ± 0.08^{a}	3.73 ± 0.08^{a}	3.76 ± 0.22^{a}

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

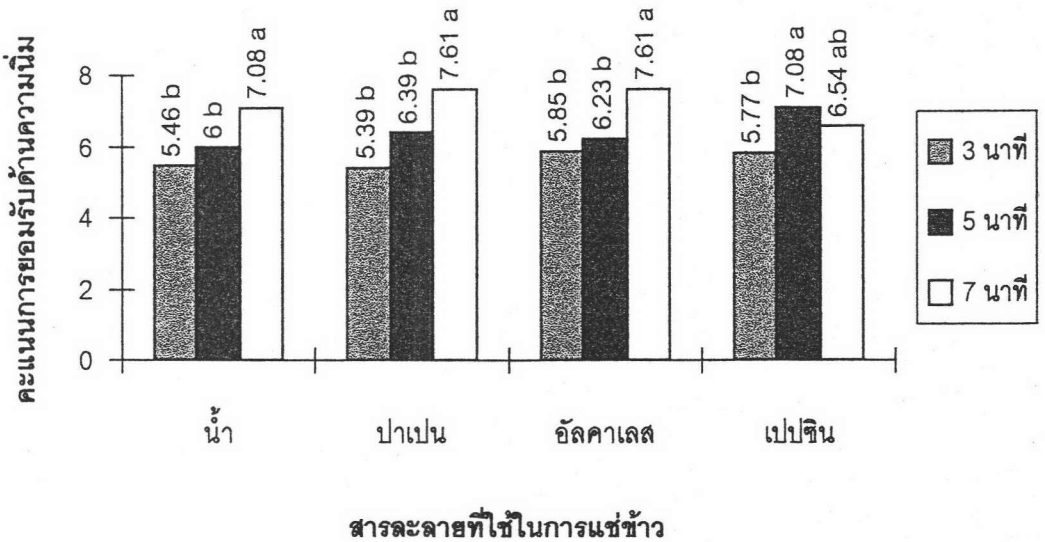


รูปที่ 4.17 อัตราการขยายตัวของข้าวหุงสุกเร็วคืนรูปที่เตรียมได้จากการแช่ด้วยน้ำกลั่น× ปา เปน ▲ อัลคาเลส® ■ และเปปซิน ◆ คืนรูปด้วยน้ำเดือดที่เวลา 1-10 นาที ด้วยอัตราส่วนข้าวก่อนคืนรูปต่อน้ำเดือดเป็น 1 : 50 น้ำหนักต่อปริมาตร

ตารางที่ 4.18 ค่าการยอมรับด้านความนิ่มของข้าวที่ผ่านการแช่น้ำ ปาเปน อัลคาเลส® และเปปซิน เมื่อคืนรูปด้วยน้ำเดือดที่เวลา 1-10 นาที ด้วยอัตราส่วนข้าวก่อนคืนรูปต่อน้ำเดือดเป็น 1 : 50 น้ำหนักต่อปริมาตร

เวลาในการคืนรูป (นาที)	ค่าทางประสาทสัมผัสด้านความนิ่ม			
	น้ำ	ปาเปน	อัลคาเลส®	เปปซิน
3	5.46^{b}	5.39^{b}	5.85^{b}	5.77^{b}
5	6.00^{b}	6.39^{b}	6.23^{b}	7.08^{a*}
7	7.08^{a*}	7.61^{a*}	7.61^{a*}	6.54^{ab}

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.18 ค่าการยอมรับด้านความนิ่มของข้าวที่ผ่านการแช่น้ำ ปาเปน อัลคาเลส® และเปปซิน เมื่อคืนรูปด้วยน้ำเดือดที่เวลา 3นาที 5นาที และ7นาที

ตารางที่ 4.18 พบว่าเมื่อใช้เวลาในการคืนรูปต่างกัน คะแนนการยอมรับด้านความนิ่มจะแตกต่างกัน โดยพบว่า ข้าวที่แช่ด้วย น้ำ , ปาเปน และ อัลคาเลส® เมื่อคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วด้วยน้ำเดือดเป็นเวลา 3 และ 5 นาที จะมีคะแนนการยอมรับด้านความนิ่มอยู่ในเกณฑ์ที่หมายถึงข้าวยังมีส่วนแข็งอยู่ แต่เมื่อคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วด้วยน้ำเดือดเป็นเวลา 7 นาที จะมีคะแนนการยอมรับด้านความนิ่มสูงที่สุดทั้ง 3 ตัวอย่าง คือมีคะแนนการยอมรับเป็น 7.08 , 7.61 และ 7.61 ตามลำดับ ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ข้าวไม่มีส่วนแข็งอยู่เลย ส่วนข้าวที่แช่ด้วย เปปซิน พบว่าคะแนนความชอบด้านความนิ่มในปากสูงที่สุดเมื่อใช้เวลาในการคืนรูปนาน 5 นาที มีคะแนนการยอมรับด้านความนิ่มเป็น 7.08 **ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการคืนรูปผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วของ ข้าวที่แช่ด้วย น้ำ , ปาเปน และ อัลคาเลส® คือ 7 นาที ส่วนข้าวที่แช่ด้วยเปปซิน ใช้เวลาคืนรูป 5 นาที**

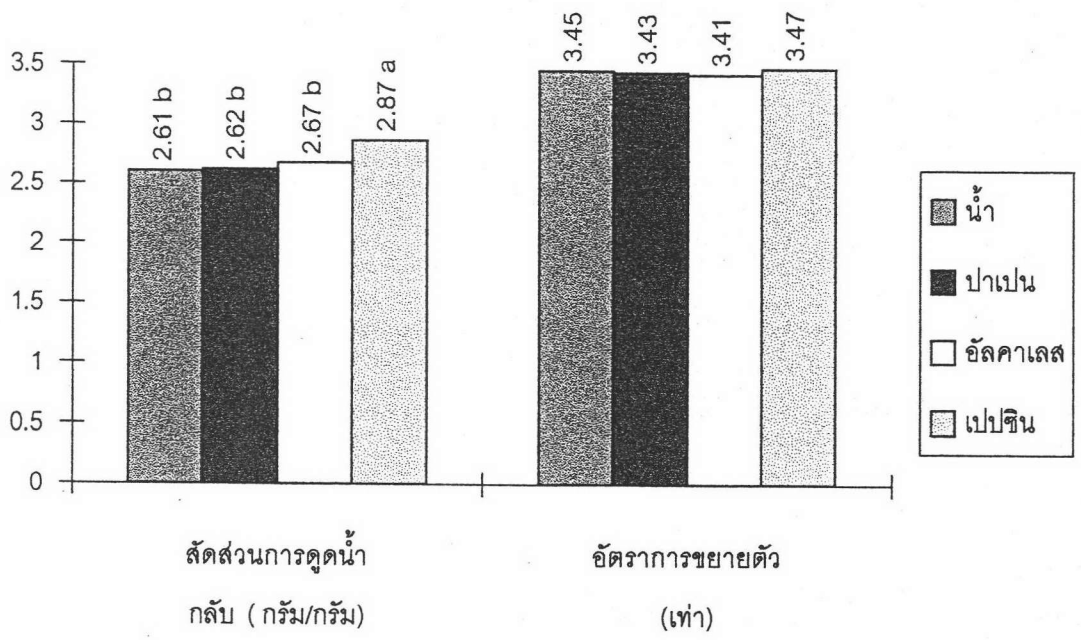
4.5.3 สมบัติของข้าวหุงสุกเร็วหลังการคืนรูป

คืนรูปข้าวหุงสุกเร็วด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเดือดตามการทดลองที่ 3.5.2 และใช้เวลาในการคืนรูปตามผลที่ได้จากการทดลองข้อ 4.4.2 ข้าวหุงสุกเร็วหลังคืนรูปที่ได้นำมาวิเคราะห์ค่าทางกายภาพ คือสัดส่วนการดูดน้ำกลับ และอัตราการขยายตัว ผลที่ได้ดังตารางที่ 4.19 หลังจากนั้นทดสอบค่าทางประสาทสัมผัสทางด้าน สี , กลิ่น , รสชาติ , ลักษณะเนื้อสัมผัส , ลักษณะปรากฏ และค่าการยอมรับตามลักษณะของข้าวหุงสุกเร็ว ด้วยวิธีการให้คะแนน ได้ผลดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.19 ค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับ และค่าอัตราการขยายตัว ของข้าวหุงสุกเร็วคืนรูป เมื่อแช่ข้าวด้วยสารละลาย น้ำกลั่น ปาเปน อัลคาเลส® และ เปปซิน

สารละลายในการแช่ข้าว	ค่าทางกายภาพของข้าวหุงสุกเร็วหลังการคืนรูป	
	สัดส่วนการดูดน้ำกลับ* (กรัม/กรัม)	อัตราการขยายตัว ns (เท่า)
น้ำ	2.61 ±0.36 b	3.45 ±0.36
ปาเปน	2.62 ±0.33 b	3.43 ± 0.30
อัลคาเลส®	2.67 ±0.40 b	3.41 ± 0.29
เปปซิน	2.87 ± 0.47 a	3.47± 0.26

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)



สมบัติทางกายภาพของข้าวหุงสุกเร็วหลังคืนรูป

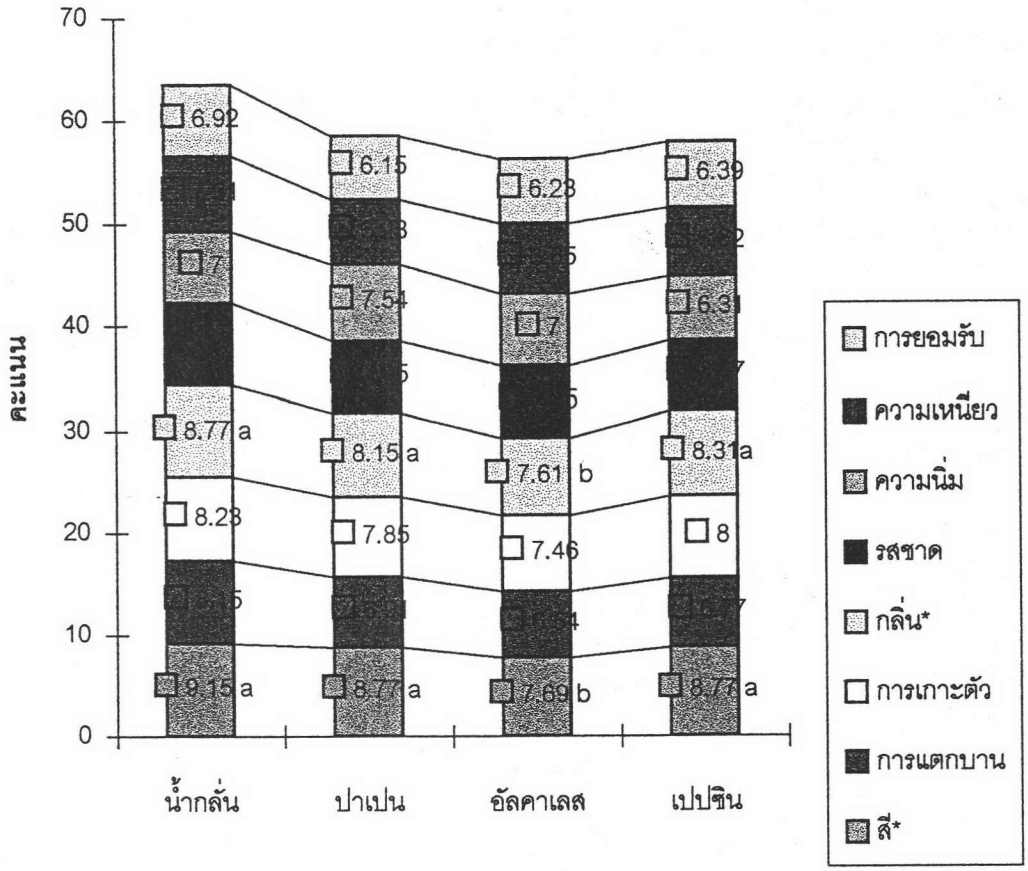
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับ และค่าอัตราการขยายตัว ของข้าวหุงสุก เร็ว คืนรูป ที่ได้จากการแช่ข้าวด้วย น้ำกลั่น , ปาเปน, อัลคาเลส®และเปปซิน

ข้าวที่แช่ด้วย น้ำ , ปาเปน และ อัลคาเลส® มีค่า สัดส่วนการดูดน้ำกลับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) คือ 2.61 , 2.62 และ 2.67 เท่าโดยน้ำหนัก แต่ข้าวที่แช่ด้วย เปปซิน มีค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับ สูงกว่า 3 ตัวอย่างแรกอย่างมีนัยสำคัญ คือ 2.87 เท่าโดยน้ำหนัก ส่วนอัตราการขยายตัว พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ทั้ง 4 ระดับกาารย่อยโปรตีน ดังตารางที่ 4.19 **แม้ว่าค่าอัตราการขยายตัวทั้ง 4 ตัวอย่างจะมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับของข้าวที่แช่ด้วยสารละลายเปปซินมีค่าสูงที่สุดซึ่งหมายถึงว่า ข้าวมีความเป็นรูพรุนมากกว่า จึงดูดซึมน้ำได้มากกว่า ซึ่งมีผลทำให้ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จากการแช่ด้วยสารละลายเปปซินใช้เวลาในการคืนรูปสั้นกว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จากการแช่ด้วยน้ำ , ปาเปน และ อัลคาเลส®**

ตารางที่ 4.20 ค่าทางประสาทสัมผัสข้าวหุงสุกเร็วคืนรูปที่ระดับการย่อยโปรตีนต่างๆ

สมบัติ	คะแนนทางด้านประสาทสัมผัส			
	น้ำกลั่น	ปาเปน	อัลคาเลส®	เปปซิน
ร้อยละการย่อยโปรตีน	0	7	19	31
สี*	9.15[a]	8.77[a]	7.69[b]	8.77[a]
การแตกบาน[ns]	8.15	6.91	6.54	6.77
การเกาะตัว[ns]	8.23	7.85	7.46	8.00
กลิ่น*	8.77[aa]	8.15[ab]	7.61[b]	8.31[ab]
รสชาด[ns]	8.00	6.85	6.85	6.67
ความนิ่ม[ns]	7.00	7.54	7.00	6.31
ความเหนียว[ns]	7.31	6.23	6.85	6.62
การยอมรับ[ns]	6.92	6.15	6.23	6.39

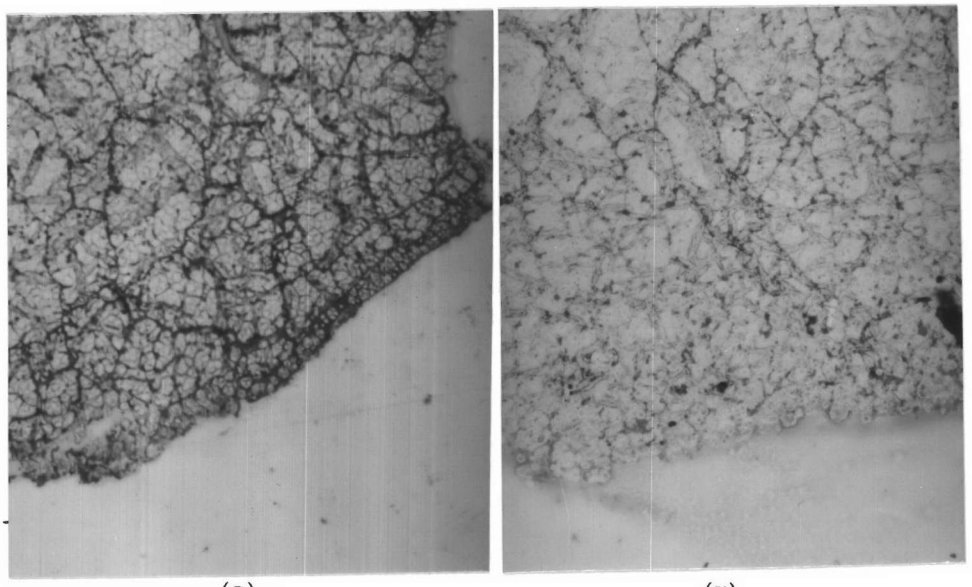
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)



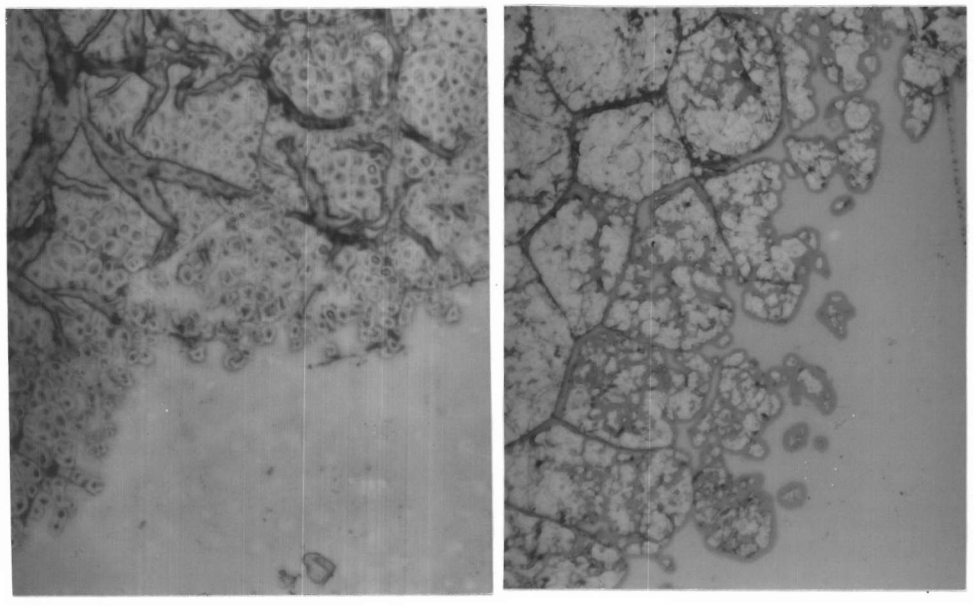
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบค่าทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกเร็วคืนรูป ที่ได้จากการแช่ข้าวด้วย น้ำกลั่น ปาเปน อัลคาเลส® และเปปซิน

จากรูปที่ 4.20 แม้จะพบว่าคะแนนรวมทางด้านค่าทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกเร็วคืนรูปที่ได้จากการแช่ด้วยเอนไซม์ทั้ง 3 ตัวอย่างมีคะแนนรวมต่ำกว่าตัวอย่างที่แช่ด้วยน้ำกลั่น ซึ่งเมื่อพิจารณาคะแนนที่ได้ทีละปัจจัย ตามตารางที่ 4.20 พบว่า ข้าวที่ผ่านการแช่ด้วยเอนไซม์ทั้ง 3 ตัวอย่าง มีคะแนนการยอมรับทางด้าน รสชาติ การแตกบาน การเกาะตัว ความนิ่ม ความเหนียว ของข้าวหุงสุกเร็วคืนรูปทั้ง 3 ชนิดอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง และมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) กับตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จากการแช่ข้าวสารด้วยน้ำกลั่น ส่วนคุณภาพทางด้านสี และกลิ่น พบว่า ข้าวที่แช่ด้วยอัลคาเลส® จะมีค่า

การยอมรับ ด้านสี และกลิ่น ต่ำที่สุด คือ 7.69 และ 7.61 แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับได้ อาจเนื่องจากว่า อัลคาเลส® เป็นเอนไซม์ที่มีกลิ่นรุนแรง และมีสีเข้ม อีกทั้งปริมาณที่ใช้ยังเป็นปริมาณที่มากกว่าการใช้ปาเปน และ เปปซิน คือ 1 มิลลิลิตร ต่อ ข้าว 75 กรัม ในขณะที่ ใช้ปาเปน และเปปซิน 1:500 (กรัม/กรัม) และ 1:1,000 (กรัม/กรัม) ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นว่าการย่อยโปรตีนที่ระดับการย่อยโปรตีนสูงจึงไม่มีผลต่อค่าทางประสาทสัมผัส แต่ลักษณะเฉพาะทางด้านสี และกลิ่นของเอนไซม์นั้นเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกเร็วคืนรูปที่ได้

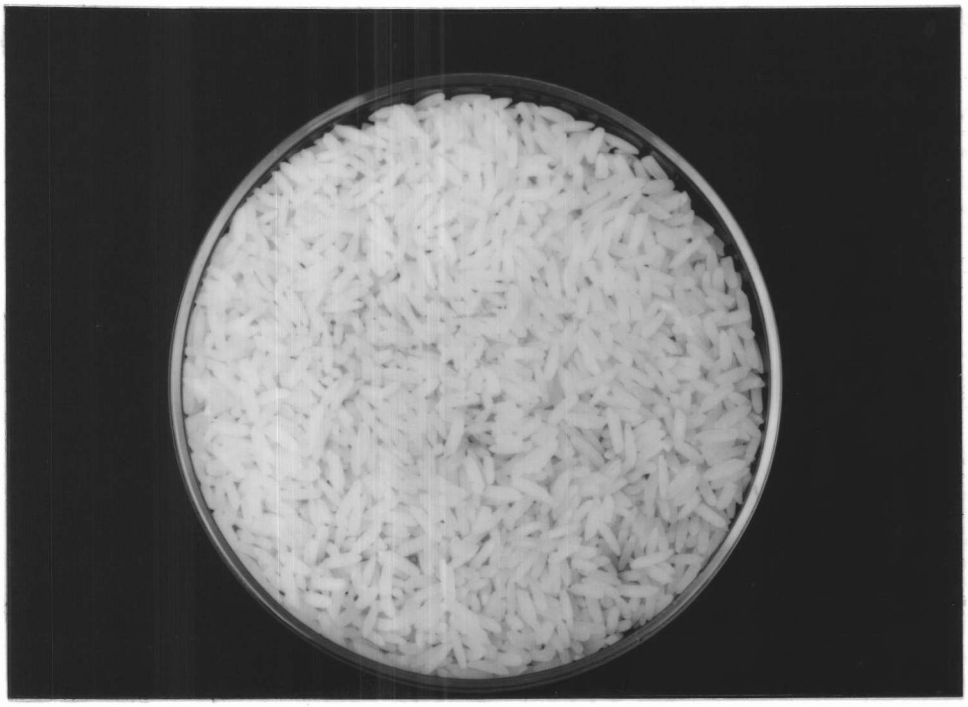


(ก) (ข)



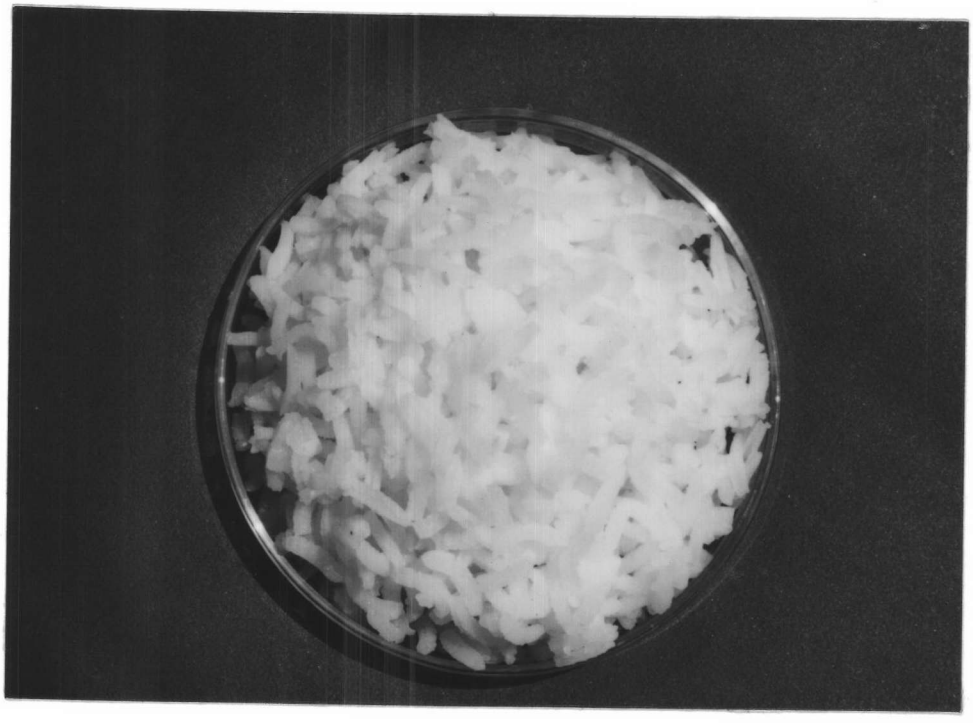
(ค) (ง)

รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบโครงสร้างผิวข้าวสารที่ผ่านการแช่ด้วย น้ำกลั่น (ก), ปาเปน (ข), อัลคาเลส® (ค) และเปปซิน (ง) ด้วยกล้องขยายฟลูออเรซเซนซ์ไมโครสโคป กำลังขยาย 200 เท่า



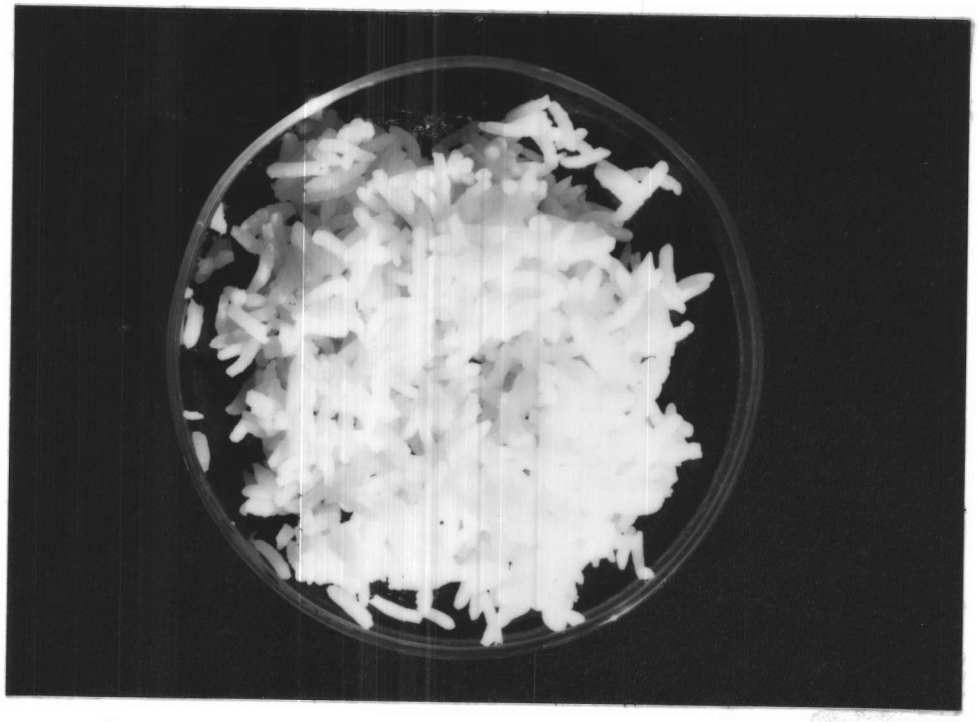
รูปที่ 4.22 ข้าวขาวดอกมะลิ 105

รูปที่ 4.23 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านการแช่สารละลายเปปซิน (550 Units / mg. solid) อัตราส่วนเอนไซม์ต่อข้าวสาร 1:1,00 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

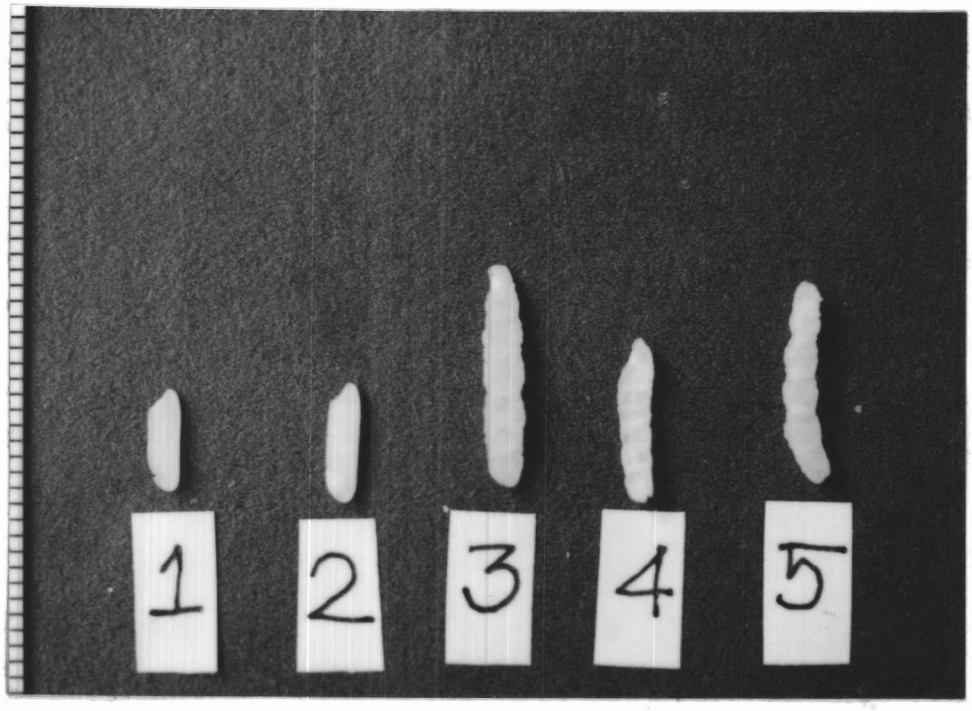


รูปที่ 4.24 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านการแช่สารละลายเปปซิน
และต้มที่ 85 องศาเซลเซียส 15 นาที

รูปที่ 4.25 ข้าวหุงสุกเร็วก่อนคืนรูป ที่ได้จากการแช่ข้าวด้วยสารละลายเปปซิน



รูปที่ 4.26 ข้าวหุงสุกเร็วหลังคืนรูป ที่ได้จากการแช่ข้าวด้วยสารละลายเปปซิน



รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านขั้นตอนการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว

หมายเหตุ หมายเลข 1 คือข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

หมายเลข 2 คือข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านการแช่สารละลายเปปซิน

หมายเลข 3 คือข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านการเจลาทีไนเซชัน

หมายเลข 4 ข้าวหุงสุกเร็วก่อนคืนรูป

หมายเลข 5 ข้าวหุงสุกเร็วหลังคืนรูป