

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการดัดแปร โครงสร้างของกากมะพร้าวซึ่งเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรให้มีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบอาหารของสัตว์น้ำ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยและใช้ประโยชน์ในสัตว์ รวมทั้งช่วยลดต้นทุนในการผลิตสัตว์น้ำ โดยดัดแปรโครงสร้างของกากมะพร้าวด้วยวิธีทางฟิสิกส์ ได้แก่ การแช่น้ำ การไมโครเวฟ การฉายรังสีแกมมา และการฉายลำแสงอิเล็กตรอน และนำกากมะพร้าวที่ผ่านกระบวนการไปตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ และประเมินประสิทธิภาพการย่อยในหลอดทดลอง การรายงานผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ตอน คือ ตอนที่ 1 ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของกากมะพร้าว ตอนที่ 2 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของกากมะพร้าว และตอนที่ 3 ผลการประเมินประสิทธิภาพการย่อยในหลอดทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของกากมะพร้าว

ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของกากมะพร้าวที่ผ่านการดัดแปรโครงสร้างเปรียบเทียบกับกากมะพร้าวชุดควบคุมประกอบด้วย โปรตีน ลิพิด คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ เยื่อใย และเถ้า ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.1 และมีรายละเอียดผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1.1 โปรตีน

ผลการวิเคราะห์โปรตีนในกากมะพร้าวพบว่า กากมะพร้าวที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีการแช่น้ำ การใช้คลื่นไมโครเวฟ และฉายรังสีแกมมามีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างจากกากมะพร้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปร ($p > 0.05$) ในขณะที่ปริมาณโปรตีนของกากมะพร้าวที่ผ่านการฉายลำแสงอิเล็กตรอนมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

1.2 ลิพิด

กากมะพร้าวที่ผ่านการดัดแปร โครงสร้างด้วยวิธีการแช่น้ำ การใช้คลื่นไมโครเวฟ และการฉายรังสีแกมมามีปริมาณลิพิดแตกต่างจากกากมะพร้าวชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p < 0.05$) โดยปริมาณลิพิดของกากมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสีแกมมามีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนกากมะพร้าวที่ผ่านการแช่น้ำและใช้คลื่นไมโครเวฟมีค่าลดลง ในขณะที่กากมะพร้าวที่ผ่านการตัดแปรรูปโครงสร้างด้วยวิธีการฉายลำแสงอิเล็กตรอนมีปริมาณลิพิดไม่แตกต่างจากกากมะพร้าวหุ้ดควบคุม ($p > 0.05$)

1.3 เถ้า

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า พบว่า กากมะพร้าวที่ผ่านการตัดแปรรูปโครงสร้างด้วยวิธีการแช่น้ำ การฉายรังสีแกมมา และการฉายลำแสงอิเล็กตรอนมีปริมาณเถ้าแตกต่างจากกากมะพร้าวหุ้ดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยกากมะพร้าวที่ผ่านการตัดแปรรูปด้วยวิธีดังกล่าวมีปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้น โดยกากมะพร้าวที่ผ่านการแช่น้ำมีปริมาณเถ้ามากที่สุด รองลงมาคือการฉายรังสีแกมมา และการฉายลำแสงอิเล็กตรอน ตามลำดับ ขณะที่กากมะพร้าวที่ผ่านการใช้คลื่นไมโครเวฟมีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างจากกากมะพร้าวหุ้ดควบคุม ($p > 0.05$)

1.4 เชื้อใยและคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้

เชื้อใยของกากมะพร้าวที่ผ่านการตัดแปรรูปมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยกากมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสีแกมมามีปริมาณเชื้อใยลดลงมากที่สุด รองลงมาคือการฉายลำแสงอิเล็กตรอน การใช้คลื่นไมโครเวฟ และการแช่น้ำ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ในขณะที่การศึกษาปริมาณคาร์โบไฮเดรตพบว่า กากมะพร้าวที่ผ่านการตัดแปรรูปมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกากมะพร้าวหุ้ดควบคุม โดยกากมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสีแกมมามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด รองลงมา คือ วิธีการฉายลำแสงอิเล็กตรอน การใช้คลื่นไมโครเวฟ และการแช่น้ำ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) ของกากมะพร้าวชูดควบคุมและกากมะพร้าวที่ผ่านการดัดแปรโครงสร้าง

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	วิธีการดัดแปร				
	ชูดควบคุม	แช่น้ำ	คลิ่น ไมโครเวฟ	รังสี แกมมา	ลำแสง อิเล็กตรอน
โปรตีน	4.63 ± 0.05^a	4.60 ± 0.00^{ab}	4.70 ± 0.05^a	4.68 ± 0.00^a	4.46 ± 0.04^b
ลิพิด	31.00 ± 0.01^b	30.08 ± 0.10^c	30.08 ± 0.03^c	32.14 ± 0.25^a	31.44 ± 0.22^b
เถ้า	1.03 ± 0.00^c	1.26 ± 0.06^a	1.09 ± 0.04^{bc}	1.17 ± 0.01^{ab}	1.17 ± 0.02^{ab}
เยื่อใย	36.89 ± 0.05^a	33.02 ± 0.41^b	28.74 ± 0.10^c	24.38 ± 0.61^d	25.49 ± 0.34^d
คาร์โบไฮเดรต	26.45 ± 0.07^d	31.04 ± 0.43^c	35.39 ± 0.12^b	37.63 ± 0.66^a	37.44 ± 0.41^a

ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแถวเดียวกันแสดงด้วยอักษรต่างกัน ($p < 0.05$) โดยค่าของ

$a > b > c > d$ ตามลำดับ

ตอนที่ 2 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของกากมะพร้าว

ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพประกอบด้วยค่าพีเอช การละลายน้ำ โครงสร้างระดับจุลภาค การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ และค่าความเป็นผลึก ซึ่งมีรายละเอียดผลการศึกษา ดังนี้

2.1 ค่าพีเอช

ค่าพีเอชของกากมะพร้าวที่ผ่านการดัดแปรโครงสร้างมีความแตกต่างจากชูดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$, ตารางที่ 4.2) โดยกากมะพร้าวที่ผ่านการแช่น้ำและใช้คลิ่นไมโครเวฟมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ขณะที่กากมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา และฉายลำแสงอิเล็กตรอนมีค่าพีเอชลดลง

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของกากมะพร้าวชูดควบคุมและกากมะพร้าวที่ผ่านการคัดแปรโครงสร้าง

สมบัติทางเคมีกายภาพ	วิธีการคัดแปร				
	ชูดควบคุม	แช่น้ำ	คลื่นไมโครเวฟ	รังสีแกมมา	ลำแสงอิเล็กตรอน
ค่าพีเอช	5.61 ± 0.01^c	6.84 ± 0.01^b	6.95 ± 0.01^a	5.34 ± 0.02^d	5.27 ± 0.00^c
การละลายน้ำ (ร้อยละ)	5.78 ± 0.58^b	8.69 ± 0.62^a	6.09 ± 0.30^b	5.50 ± 0.53^b	5.19 ± 0.16^b
ความเป็นผลึก (ร้อยละ)	5.66	3.93	4.40	5.16	5.63

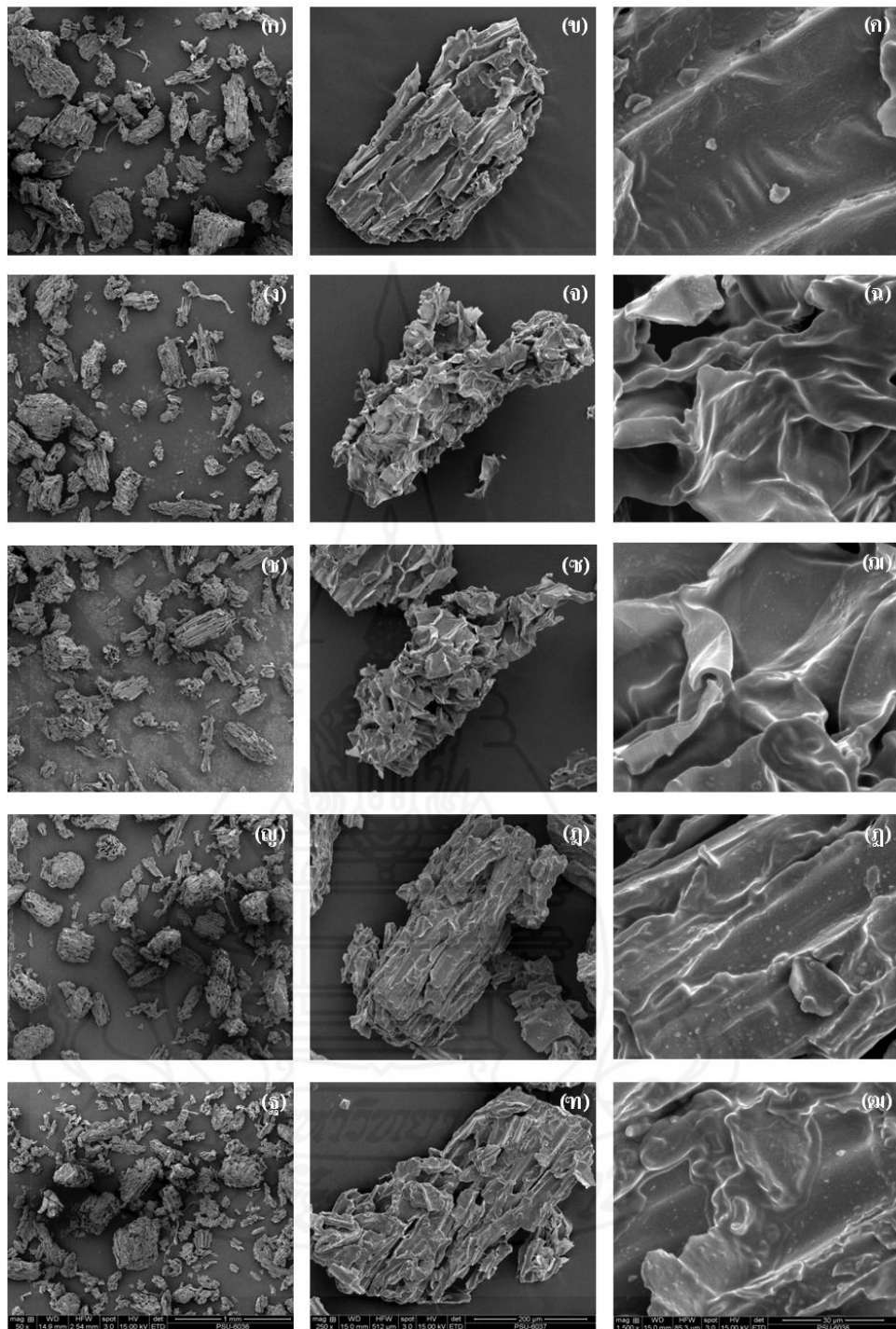
ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแถวเดียวกันแสดงด้วยอักษรต่างกัน ($p < 0.05$) โดยค่าของ $a > b > c > d$ ตามลำดับ

2.2 สมบัติการละลายน้ำ

การละลายน้ำของกากมะพร้าวที่ผ่านการแช่น้ำมีค่าสูงสุด ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$, ตารางที่ 4.2) กับค่าการละลายน้ำของกากมะพร้าวที่ผ่านการคัดแปรด้วยวิธีอื่นๆ ซึ่งมีค่าการละลายน้ำไม่แตกต่างกับกากมะพร้าวชูดควบคุม ($p > 0.05$)

2.3 โครงสร้างระดับจุลภาค

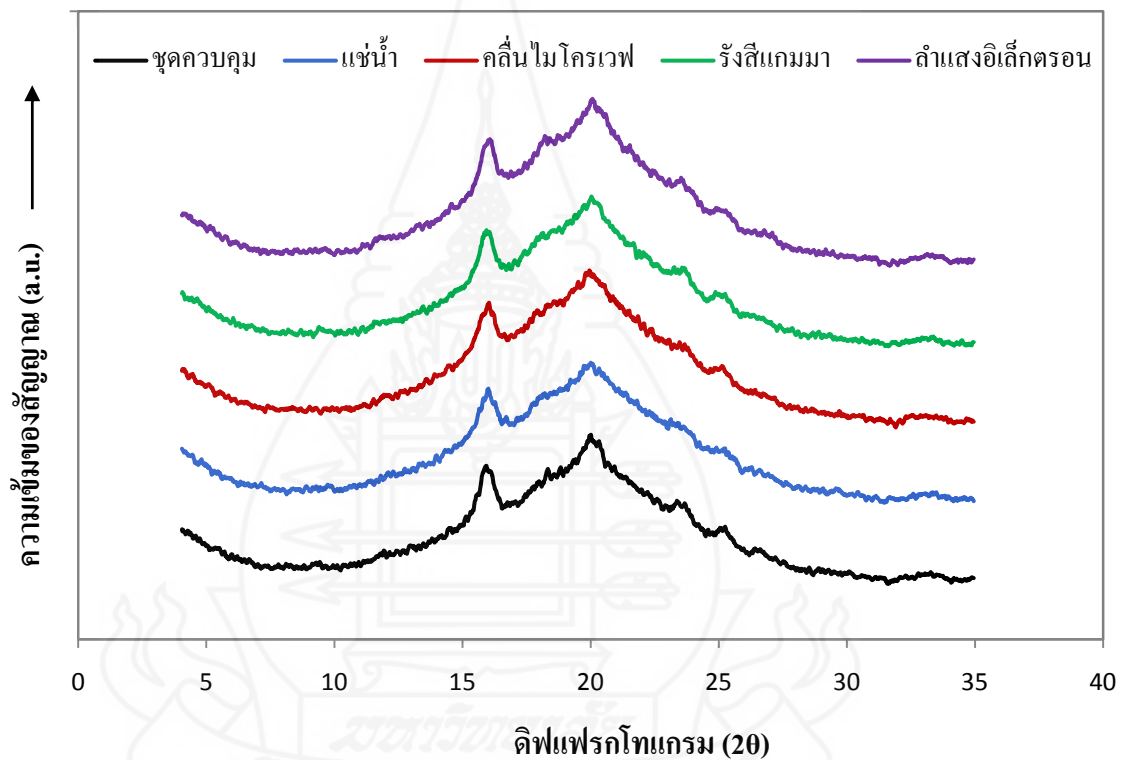
กากมะพร้าวที่ผ่านการคัดแปรมีโครงสร้างระดับจุลภาคแตกต่างจากชูดควบคุม (ภาพที่ 4.1 ก-ค) โดยการคัดแปรด้วยวิธีการแช่น้ำ (ภาพที่ 4.1 ง-ฉ) และการใช้คลื่นไมโครเวฟ (ภาพที่ 4.1 ช-ฉ) ทำให้โครงสร้างของกากมะพร้าวมีลักษณะโค้งงอและม้วนพับมากขึ้น ขณะที่กากมะพร้าวที่ผ่านการคัดแปรโดยใช้รังสีแกมมา (ภาพที่ 4.1 ญ-ฎ) และลำแสงอิเล็กตรอน (ภาพที่ 4.1 ฐ-ฒ) จะมีการม้วนพับของโครงสร้างเพียงเล็กน้อย พื้นผิวบางส่วนถูกทำลายและมีการแตกหัก



ภาพที่ 4.1 โครงสร้างระดับจุลภาคของพื้นผิวกากมะพร้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปรร (ก-ค) กากมะพร้าวที่ตัดแปรรโดยการแช่น้ำ (ง-ล) การใช้คลื่นไมโครเวฟ (ข-ฅ) การฉายรังสีแกมมา (ญ-ฎ) และลำแสงอิเล็กตรอน (ฐ-ฒ) กำลังขยายของภาพบันทึกที่ 50 (ซ้าย) 250 (กลาง) และ 1,500 (ขวา) เท่า ตามลำดับ

2.4 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และค่าความเป็นผลึก

รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของกากมะพร้าวก่อนและหลังการตัดแปรมีความคล้ายคลึงกัน (ภาพที่ 4.2) โดยพบพีคหลักที่มุมเลี้ยวเบน (2θ) 15.9° , 20.1° , 23.6° และ 25.2° ผลการคำนวณความเป็นผลึกสัมพัทธ์พบว่ากากมะพร้าวที่ผ่านการตัดแปรมีค่าความเป็นผลึกลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกากมะพร้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปร โดยการตัดแปรด้วยวิธีแช่น้ำมีค่าความเป็นผลึกสัมพัทธ์ลดลงมากที่สุด รองลงมาคือ การใช้คลื่นไมโครเวฟ การฉายรังสีแกมมา และการฉายลำแสงอิเล็กตรอน ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2)



ภาพที่ 4.2 ดิฟแฟร็กโทแกรมแสดงการกระจายรังสีเอกซ์ของกากมะพร้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปร และกากมะพร้าวที่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีการแช่น้ำ การใช้คลื่นไมโครเวฟ การฉายรังสีแกมมา และการฉายลำแสงอิเล็กตรอน

2.5 สมบัติทางความร้อน

กากมะพร้าวที่ผ่านการคัดแปร โครงสร้างมีสมบัติทางความร้อนความแตกต่างกับกากมะพร้าวชุดควบคุม (ตารางที่ 4.3) ผลการศึกษาพบว่า เกิดพีคจุดความร้อนใน 2 ช่วง โดยพีคแรกเกิดในช่วงอุณหภูมิ 40 ถึง 150 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4.3 ก) และพีคที่ 2 เกิดในช่วงอุณหภูมิ 260 ถึง 360 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4.3 ข) โดยพีคที่ 1 พบว่า กากมะพร้าวที่ผ่านการคัดแปรด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมา และฉายลำแสงอิเล็กตรอนมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่เกิดการเปลี่ยนแปลง (Onset Temperature: T_o) อุณหภูมิพีคที่เกิดการเปลี่ยนแปลง (Peak Temperature: T_p) และอุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดการเปลี่ยนแปลง (Conclusion Temperature: T_c) สูงกว่ากากมะพร้าวชุดควบคุม (ตารางที่ 4.3) ส่วนกากมะพร้าวที่ผ่านการแช่น้ำและการใช้คลื่นไมโครเวฟมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงกว่า แต่มีอุณหภูมิพีคและอุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดการเปลี่ยนแปลงต่ำกว่ากากมะพร้าวชุดควบคุม

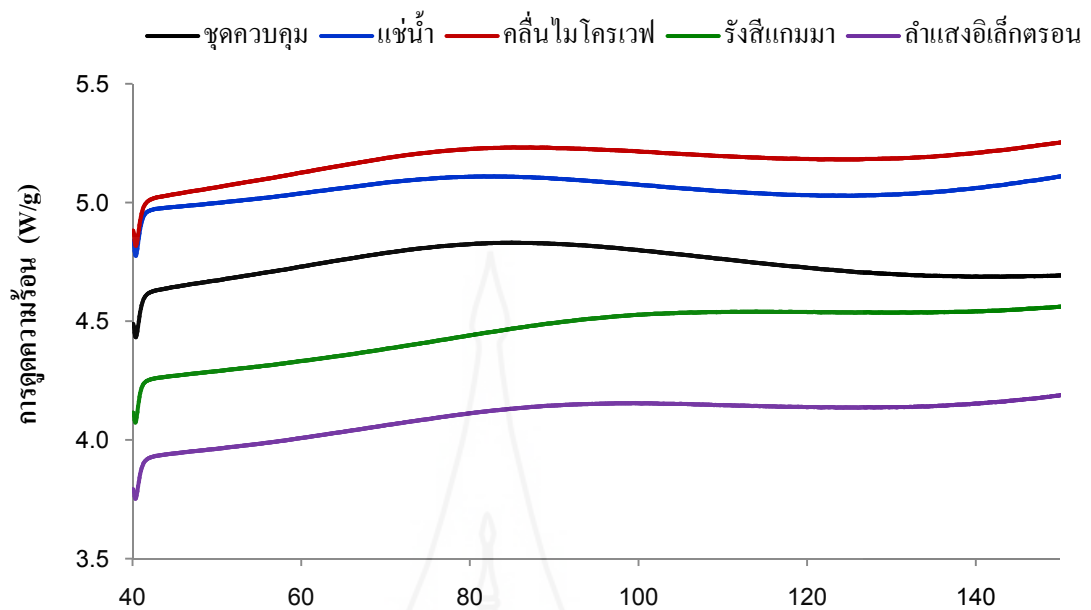
สำหรับการเปลี่ยนแปลงในพีคที่ 2 พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของกากมะพร้าวที่ผ่านการคัดแปรมีค่าสูงกว่ากากมะพร้าวชุดควบคุม อุณหภูมิพีคที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นในกากมะพร้าวที่ผ่านการใช้คลื่นไมโครเวฟ และการฉายลำแสงอิเล็กตรอน ขณะที่กากมะพร้าวที่ผ่านการแช่น้ำ และฉายรังสีแกมมามีค่าอุณหภูมิดังกล่าวต่ำลง ส่วนอุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดการเปลี่ยนแปลงมีค่าสูงขึ้นในกากมะพร้าวที่ผ่านการใช้คลื่นไมโครเวฟ และมีค่าต่ำลงในกากมะพร้าวที่คัดแปรด้วยวิธีอื่น ๆ ผลการวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิในการหลอมเหลว ($T_c - T_o$) ของพีคที่ 1 พบว่า กากมะพร้าวที่ผ่านการคัดแปรโดยวิธีการแช่น้ำ การใช้คลื่นไมโครเวฟ และการฉายลำแสงอิเล็กตรอนมีช่วงอุณหภูมิในการหลอมเหลวต่ำลง ส่วนการฉายรังสีแกมมาทำให้ช่วงอุณหภูมิดังกล่าวสูงขึ้น ขณะที่ผลการศึกษาในพีคที่ 2 พบว่ากากมะพร้าวที่ผ่านการคัดแปรมีช่วงอุณหภูมิในการหลอมเหลวต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับกากมะพร้าวชุดควบคุม สำหรับเอนทัลปีของการหลอมละลาย (ΔH) ของกากมะพร้าวที่ผ่านการคัดแปรทั้งหมดมีค่าต่ำกว่ากากมะพร้าวชุดควบคุม และผลการคำนวณร้อยละการเกิดเจลละติไนเซชัน (Degree of Gelatinization) ของพีคที่ 1 พบว่ากากมะพร้าวที่ผ่านการคัดแปรโดยการแช่น้ำมีระดับการเกิดเจลละติไนเซชันสูงสุด รองลงมาคือกากมะพร้าวที่ผ่านการฉายลำแสงอิเล็กตรอน การฉายรังสีแกมมาและการใช้คลื่นไมโครเวฟ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนของกากมะพร้าวหุ้ดควบคุม และกากมะพร้าวที่ดัดแปรโครงสร้างโดยการแช่น้ำ การใช้คลื่นไมโครเวฟ การฉายรังสีแกมมา และการฉายลำแสงอิเล็กตรอน

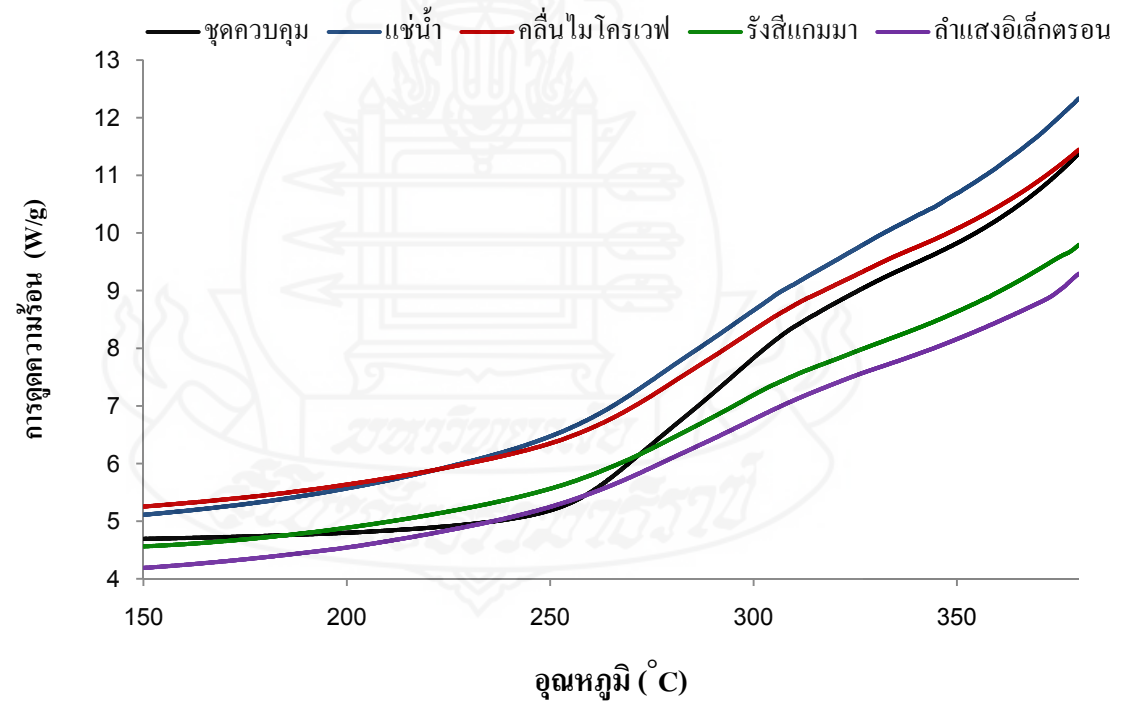
พารามิเตอร์	วิธีการดัดแปร				
	หุ้ดควบคุม	แช่น้ำ	คลื่นไมโครเวฟ	รังสีแกมมา	ลำแสงอิเล็กตรอน
พืคที่ 1					
T_o (°C)	46.47	54.10	47.85	61.23	59.17
T_p (°C)	82.83	81.67	80.25	97.25	89.17
T_c (°C)	119.68	110.93	113.87	152.17	125.92
$T_c - T_o$	73.21	56.83	66.02	90.94	66.75
ΔH (J/g)	95.73	46.72	67.94	60.24	48.97
DG (%)*	0.00	51.19	29.02	37.07	48.84
พืคที่ 2					
T_o (°C)	264.33	293.26	278.97	285.67	283.15
T_p (°C)	308.92	306.58	311.17	308.08	312.67
T_c (°C)	354.75	344.61	361.42	353.89	353.15
$T_c - T_o$	90.42	51.35	82.45	68.22	70.00
ΔH (J/g)	279.31	79.49	117.80	67.75	69.37

* ร้อยละการเกิดเจลาตินในเซชัน (DG, %) คำนวณจาก $(1 - \Delta H \text{ ของกากมะพร้าวที่ผ่านการดัดแปร}) \times 100$
 ΔH ของกากมะพร้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปร

(ก)



(ข)



ภาพที่ 4.3 เทอร์โมแกรมแสดงสมบัติทางความร้อนของกากมะพร้าวชูดควบคุมและกากมะพร้าวที่ผ่านคัดแปรโครงสร้างในช่วงอุณหภูมิ 40–140 องศาเซลเซียส (ก) และ 150–400 องศาเซลเซียส (ข)

ตอนที่ 3 ผลการประเมินประสิทธิภาพการย่อยในหลอดทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยกากมะพร้าวที่ผ่านการตัดแปรรูปโครงสร้างด้วยวิธีทางฟิสิกส์พบว่าเอนไซม์จากปลาเศรษฐกิจทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ปลาดู ปลาตะเพียน ปลานิล และปลาช่อนมีความสามารถในการย่อยวัตถุดิบชนิดเดียวกันได้ต่างกัน โดยผลการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต (ตารางที่ 4.4) มีดังนี้

3.1 ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในกากมะพร้าวที่ผ่านการตัดแปรรูปโครงสร้างของปลาทั้ง 3 ชนิดมีดังนี้

3.1.1 ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลาดู

ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในกากมะพร้าวที่ผ่านการตัดแปรรูปโครงสร้างโดยวิธีการแช่น้ำ การใช้คลื่นไมโครเวฟ และการฉายลำแสงอิเล็กตรอน มีค่าไม่แตกต่างจากกากมะพร้าวในชุดควบคุม ($p > 0.05$, ภาพที่ 4.4 ก) โดยกากมะพร้าวที่ผ่านการตัดแปรรูปด้วยวิธีการแช่น้ำมีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนสูงสุด รองลงมาคือ กากมะพร้าวชุดควบคุม กากมะพร้าวที่ตัดแปรรูปโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ และกากมะพร้าวที่ฉายลำแสงอิเล็กตรอน ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนเท่ากับ 1.61 ± 0.05 , 1.58 ± 0.03 , 1.54 ± 0.03 และ 1.53 ± 0.03 มิลลิโมล ดีแอล-อะลานีน/กรัม ตามลำดับ ขณะที่ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของกากมะพร้าวที่ผ่านการฉายรังสีแกมมามีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากกากมะพร้าวชุดควบคุม โดยมีค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนลดลง คือ 1.05 ± 0.05 มิลลิโมล ดีแอล-อะลานีน/กรัม

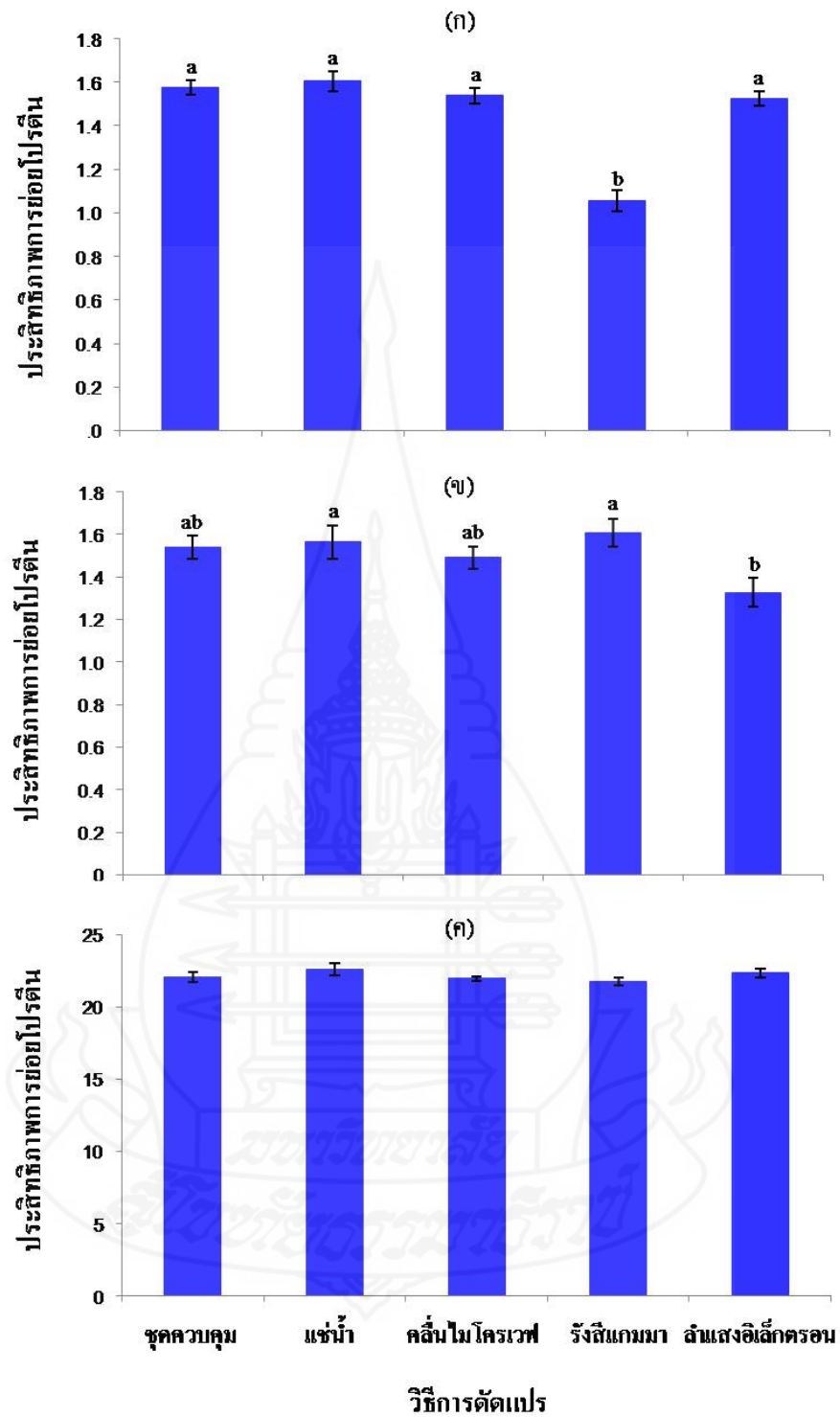
3.1.2 ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลานิล

ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของกากมะพร้าวที่ผ่านการตัดแปรรูปโครงสร้างโดยวิธีการแช่น้ำ การใช้คลื่นไมโครเวฟ และการฉายรังสีแกมมา มีค่าไม่แตกต่างจากกากมะพร้าวในชุดควบคุม ($p > 0.05$, ภาพที่ 4.4 ข) โดยกากมะพร้าวที่ผ่านการตัดแปรรูปด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมามีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนสูงสุด รองลงมาคือ การแช่น้ำ กากมะพร้าวชุดควบคุม และกากมะพร้าวที่ตัดแปรรูปโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนเท่ากับ 1.61 ± 0.07 , 1.56 ± 0.08 , 1.54 ± 0.06 และ 1.49 ± 0.05 มิลลิโมล ดีแอล-อะลานีน/กรัม ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในกากมะพร้าวที่ผ่านการฉายลำแสงอิเล็กตรอนมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากกากมะพร้าวชุดควบคุม โดยมีค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนลดลง คือ 1.33 มิลลิโมล ดีแอล-อะลานีน/กรัม

3.1.3 ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลาช่อน

ประสิทธิภาพการย่อยของโปรตีนในกากมะพร้าวที่ผ่านการดัดแปรโครงสร้างมีค่าไม่แตกต่างจากกากมะพร้าวในชุดควบคุม ($p > 0.05$, ภาพที่ 4.4 ค) โดยกากมะพร้าวที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีการแช่น้ำมีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนสูงสุด รองลงมาคือ การนาลำแสงอิเล็กตรอน กากมะพร้าวชุดควบคุม กากมะพร้าวที่ดัดแปรโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ และ นายรังสีแกมมา ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนเท่ากับ 22.57 ± 0.40 , 22.35 ± 0.32 , 22.06 ± 0.32 , 21.94 ± 0.18 และ 21.75 ± 0.30 มิลลิโมล ดีแอล-อะลานีน/กรัม ตามลำดับ





ภาพที่ 4.4 ประสิทธิภาพการข่อยไปร่ดินในหลอดทดลอง โดยใช้เอนไซม์ทริปซิน 1,000 หน่วยที่สกัดจากปลาตะเพียน (ก) ปลานิล (ข) และปลาช่อน (ค) ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงด้วยตัวอักษรต่างกัน

3.2 ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรต

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในกากมะพร้าวที่ผ่านการตัดแปรรูปโครงสร้างของปลาทั้ง 3 ชนิดมีดังนี้

3.2.1 ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของปลาตะเพียน

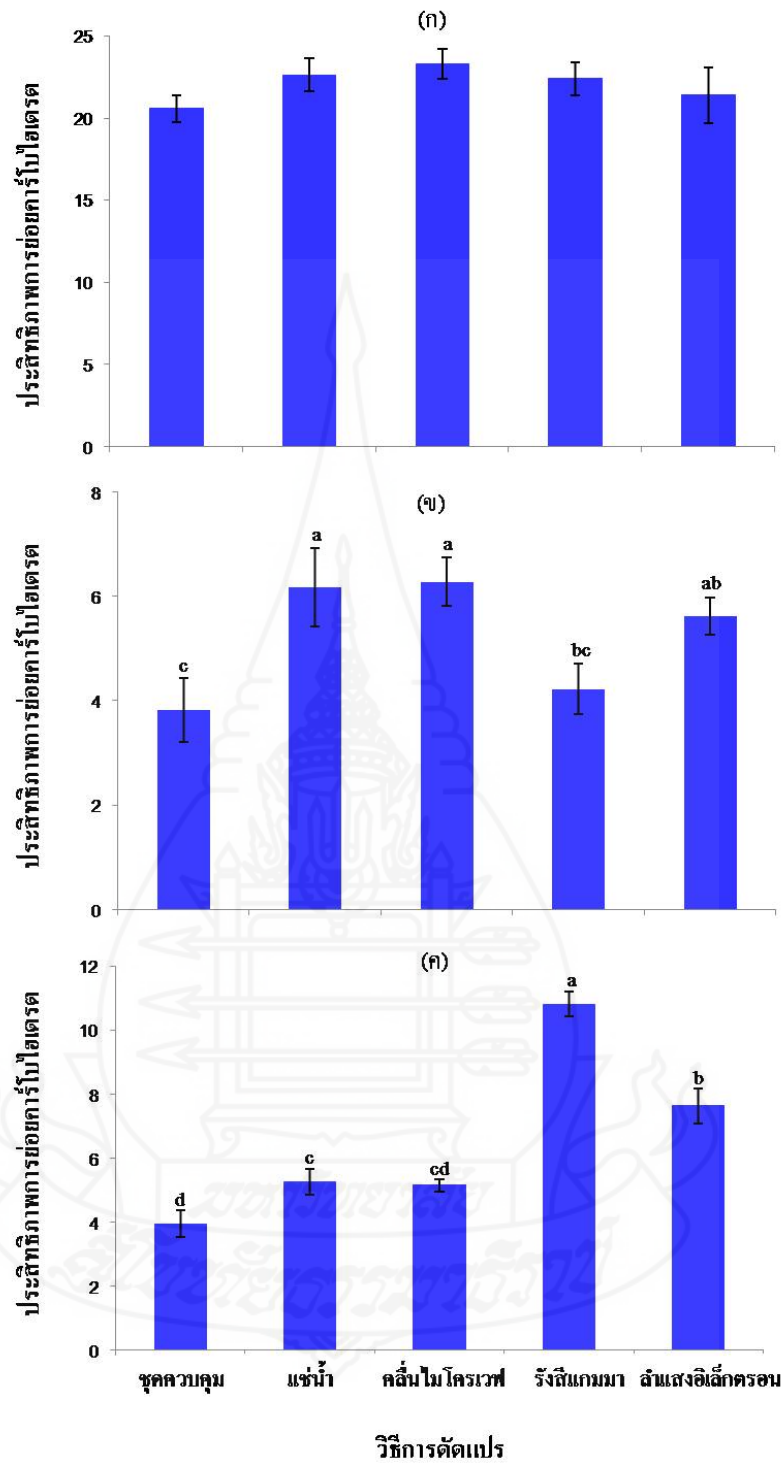
ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของกากมะพร้าวที่ผ่านการตัดแปรรูปไม่แตกต่างจากกากมะพร้าวของชุดควบคุม ($p > 0.05$, ภาพที่ 4.5 ก) โดยกากมะพร้าวที่ผ่านการตัดแปรรูปด้วยคลื่นไมโครเวฟมีประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตสูงสุด (23.28 ± 0.88 ไมโครโมล มอลโทส/กรัม) รองลงมาคือ การแช่น้ำ การฉายรังสีแกมมา การฉายลำแสงอิเล็กตรอน และกากมะพร้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปรรูป ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 22.38 ± 1.01 , 22.62 ± 1.02 , 21.39 ± 1.70 และ 20.56 ± 0.82 ไมโครโมล มอลโทส/กรัม ตามลำดับ

3.2.2 ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของปลานิล

การตัดแปรรูปกากมะพร้าวมีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของปลานิลอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$, ภาพที่ 4.5 ข) โดยการใช้คลื่นไมโครเวฟและการแช่น้ำทำให้ประสิทธิภาพการย่อยมีค่าสูงสุด (6.28 ± 0.46 และ 6.17 ± 0.76 ไมโครโมล มอลโทส/กรัม) รองลงมาคือ การใช้ลำแสงอิเล็กตรอน (5.62 ± 0.36 ไมโครโมล มอลโทส/กรัม) ขณะที่การใช้รังสีแกมมามีค่าประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างจากกากมะพร้าวในชุดควบคุม ($p > 0.05$) ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 4.23 ± 0.48 และ 3.82 ± 0.61 ไมโครโมล มอลโทส/กรัม ตามลำดับ

3.2.3 ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของปลาช่อน

การตัดแปรรูปกากมะพร้าวมีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของปลาช่อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$, ภาพที่ 4.5 ค) โดยการฉายรังสีแกมมาทำให้ประสิทธิภาพการย่อยมีค่าสูงสุด (10.82 ± 0.39 ไมโครโมล/กรัม) รองลงมาคือ การฉายลำแสงอิเล็กตรอน (7.64 ± 0.55 ไมโครโมล มอลโทส/กรัม) และการแช่น้ำ (5.27 ± 0.41 ไมโครโมล มอลโทส/กรัม) ขณะที่การใช้คลื่นไมโครเวฟ (5.15 ± 0.18 ไมโครโมล มอลโทส/กรัม) พบว่าค่าที่ได้ไม่แตกต่างจากกากมะพร้าวในชุดควบคุม (3.95 ± 0.42 ไมโครโมล มอลโทส/กรัม) ($p > 0.05$)



ภาพที่ 4.5 ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในหลอดทดลอง โดยใช้เอนไซม์อะไมเลส 1,000 หน่วย ที่สกัดจากปลาคะเพียน (ก) ปลานิล (ข) และปลาช่อน (ค) ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงด้วยตัวอักษรต่างกัน

ตารางที่ 4.4 สรุปประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตในหลอดทดลองของปลาตะเพียน ปลานิล และปลาช่อน

ประสิทธิภาพการย่อย ในหลอดทดลอง	วิธีการตัดแปร				
	ชุดควบคุม	แช่น้ำ	กลั่น ไมโครเวฟ	รังสี แกมมา	ลำแสง อิเล็กตรอน
โปรตีน*					
ปลาตะเพียน	1.58 ± 0.03^a	1.61 ± 0.05^a	1.54 ± 0.03^a	1.05 ± 0.05^b	1.53 ± 0.03^a
ปลานิล	1.54 ± 0.06^{ab}	1.56 ± 0.08^a	1.49 ± 0.05^{ab}	1.61 ± 0.07^a	1.33 ± 0.07^b
ปลาช่อน	22.06 ± 0.32	22.57 ± 0.40	21.94 ± 0.18	21.75 ± 0.30	22.35 ± 0.32
คาร์โบไฮเดรต**					
ปลาตะเพียน	20.56 ± 0.82	22.62 ± 1.02	23.28 ± 0.88	22.38 ± 1.01	21.39 ± 1.70
ปลานิล	3.82 ± 0.61^c	6.17 ± 0.76^a	6.28 ± 0.46^a	4.23 ± 0.48^{bc}	5.62 ± 0.36^{ab}
ปลาช่อน	3.95 ± 0.42^d	5.27 ± 0.41^c	5.15 ± 0.18^{cd}	10.82 ± 0.39^a	7.64 ± 0.55^b

* ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนแสดงค่าในหน่วย มิลลิโมล ดีแอล-อะลานีน/กรัม

** ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตแสดงค่าในหน่วย ไมโครโมล มอลโทส/กรัม

ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแถวเดียวกันแสดงด้วยอักษรต่างกัน ($p < 0.05$) โดยค่าของ

$a > b > c > d$ ตามลำดับ