

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมต่อการสกัดโปรตีนจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

4.1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันด้วยวิธีการของ AOAC (2000) แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

องค์ประกอบทางเคมี*	ปริมาณ (%)**
โปรตีน	12.82±0.67
ไขมัน	9.89±0.17
ความชื้น	10.26±0.47
เถ้า	10.93±0.60
เยื่อใย	14.55±0.77
คาร์โบไฮเดรต	56.10±0.23

* ค่าเฉลี่ย±SD คิดเป็น % โดยน้ำหนักแห้งยกเว้นความชื้นคิดเป็น % โดยน้ำหนักเปียก

** ข้อมูลได้จากกรวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ารำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกมีปริมาณไขมันคงเหลือ หลังจากกระบวนการบีบอัดสูงถึงร้อยละ 9.89 ส่วนปริมาณโปรตีนของรำข้าวเท่ากับร้อยละ 12.82 ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของสรญาและศุภวรรณ (2554) ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณ โปรตีนจากรำข้าวที่สกัด น้ำมันออกด้วยวิธีบีบอัด พบว่ามีไขมันและโปรตีนเหลืออยู่ร้อยละ 8.5 และ 14.1 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ารำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันมีปริมาณโปรตีนสูงและสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งสำหรับการสกัดโปรตีนเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป

4.1.2 ผลของปัจจัยและสภาวะการสกัดต่อปริมาณโปรตีนรำข้าวสังข์หยดพัทลุงที่สกัดได้

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาการสกัด ต่อปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ แสดงดังตารางที่ 4.2 จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB โดยประมวลผลด้วยวิธี Response Surface Methodology เพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ เมื่อใช้ปัจจัยสภาวะที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาการสกัด ซึ่งวางแผนการทดลองแบบ Rotatable Central Composite Design ต่อปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

สิ่งทดลอง	ความเข้มข้นสารละลาย NaOH (M)	อุณหภูมิสกัด (°C)	เวลาสกัด (min)	ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ (g โปรตีน/100 g รำข้าว)	ร้อยละของโปรตีนที่สกัดได้จากโปรตีนในรำข้าว
1	0.08	36	96.5	2.17	16.90
2	0.17	36	96.5	2.89	22.54
3	0.08	54	96.5	3.26	25.40
4	0.17	54	96.5	3.34	26.04
5	0.08	36	203.5	3.53	27.48
6	0.17	36	203.5	4.21	32.83
7	0.08	54	203.5	4.27	33.29
8	0.17	54	203.5	4.50	35.08
9	0.05	45	150.0	1.75	13.63
10	0.2	45	150.0	2.83	22.09
11	0.125	30	150.0	4.21	32.79
12	0.125	60	150.0	5.51	42.69
13	0.125	45	60.0	4.04	31.49
14	0.125	45	240.0	4.80	37.42
15	0.125	45	150.0	5.68	44.27
16	0.125	45	150.0	5.61	43.72
17	0.125	45	150.0	5.60	43.67

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับใช้ทำนายการสกัดโปรตีนจากรำข้าวด้วยปัจจัยสถานะที่ศึกษา

จากการวิเคราะห์ความเหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับใช้ทำนายการสกัดด้วยสถานะที่ทำการศึกษา โดยใช้โปรแกรม MINITAB สามารถจำแนกแบบจำลองที่มีความเป็นไปได้ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ (ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิ เวลาการสกัด) จำนวน 4 แบบจำลอง ดังสมการ 4.1-4.4

Linear Model

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i x_i \quad (4.1)$$

Linear + Interaction Model

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i x_i + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} x_{ij} \quad (4.2)$$

Linear + Square Model

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i x_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} x_i^2 \quad (4.3)$$

Full Quadratic Model

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i x_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} x_{ij} \quad (4.4)$$

โดย Y คือ ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ X_i และ X_{ij} เป็นตัวแปรอิสระ β_0 คือค่าคงที่ (constant) ของแบบจำลอง และ β_i , β_{ii} , β_{ij} คือค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของแต่ละตัวแปรอิสระในแบบจำลอง

จากการพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว ($R^2(\text{adj})$) ของแต่ละแบบจำลองเปรียบเทียบกับกัน เพื่อเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับอธิบายผลการทดลองได้ดีที่สุด ด้วยโปรแกรม MINITAB โดยประมวลผลด้วยวิธี Response Surface Methodology พบว่าได้ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแต่ละแบบจำลอง แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายผลของปัจจัยสถานะที่สกัด และปริมาณ โพรตีนที่สกัดได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

แบบจำลอง	R^2	$R^2(\text{adj})$	SE
Linear Model	0.1865	0.00	9.55
Linear + Square Model	0.9577	0.9025	2.96
Linear + Interaction Model	0.9429	0.9087	2.86
Full Quadratic Model	0.9616	0.9122	2.83

หมายเหตุ: R^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

$R^2(\text{adj})$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้วใช้ประกอบการพิจารณาเมื่อข้อมูลมีจำนวนน้อยกว่า 30 ตัวอย่าง
SE คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.3 พบว่าแบบจำลอง Full Quadratic Model มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว ($R^2(\text{adj})$) มากที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลอง Linear Model, Linear + Square Model และ Linear + Interaction Model โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.9616 และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) น้อยที่สุดเท่ากับ 2.83 แสดงว่าแบบจำลอง Full Quadratic Model มีความเหมาะสมที่สุดในการนำมาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายผลการทดลองผลของปัจจัยสถานะการสกัดและปริมาณ โพรตีนที่สกัดได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

4.1.4 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (β_i) ของตัวแปรในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ด้วยปัจจัยสถานะที่ทำการศึกษา

จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธี Response Surface Methodology เพื่อหาปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อปริมาณ โปรตีนที่สกัดได้ ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.4 พบว่าสามารถเขียนแบบจำลองแบบ Full Quadratic Model แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ โปรตีนที่สกัดได้กับตัวแปรอิสระ (ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาการสกัด) ได้ดังสมการที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระในการสกัดโปรตีนในสภาวะต่างๆ

Term	Coefficient	P-value
Constant	-170.724	0.000
Concentration (C)	1210.730	0.011
Temp (T)	3.769	0.027
Time (t)	0.550	0.007
Conc *Conc (C ²)	-4846.950	0.000
Temp *Temp (T ²)	-0.034	0.014
Time *Time (t ²)	-0.001	0.002
Conc * Temp (CT)	-0.210	0.935
Conc * Time (Ct)	0.455	0.310
Temp *Time (Tt)	-0.003	0.182

หมายเหตุ : R² = 0.9616 R²(adj) = 0.9122 SE = 2.83

Coefficient = ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (β_i) ของแต่ละตัวแปรในสมการ full quadratic model

P-value คือตัวสถิติที่ใช้ทดสอบความน่าจะเป็น

ร้อยละของปริมาณโปรตีนที่สกัดได้

$$= -170.724 + 1210.730C + 3.769T + 0.550t - 4846.950C^2 - 0.034T^2 - 0.001t^2 - 0.210CT + 0.455Ct - 0.003Tt \quad \dots\dots\dots(4.5)$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมลาร์)

t = เวลา (นาที)

T = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

* = ปัจจัยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและรูปแบบจำลองดังสมการที่ 4.5 แล้วจะเป็นการวิเคราะห์หาค่าสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (β_i) ของแต่ละตัวแปร โดยการสมมติฐานเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ซึ่งเป็นการทดสอบว่าตัวแปรอิสระ X_i แต่ละตัวในสมการมีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม (ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้) หรือไม่ โดยกำหนดสมมติฐานดังนี้

$H_0 = \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k \neq 0$ ตัวแปรอิสระ $i(x_i)$ ไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม

$H_1 = \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k = 0$ ตัวแปรอิสระ $i(x_i)$ มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม

หาก P-value มีค่าสูงกว่าระดับนัยสำคัญ (α) จะตัดสินใจยอมรับสมมติฐาน H_0 นั่นคือตัวแปรอิสระในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม แต่ถ้า P-value มีค่าต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ (α) จะตัดสินใจปฏิเสธสมมติฐาน H_0 (หรือยอมรับสมมติฐาน H_1) นั่นคือตัวแปรอิสระในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม

เมื่อพิจารณา Linear Terms คือ C, T และ t ที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 มีค่า P-value เท่ากับ 0.011, 0.027 และ 0.007 ตามลำดับ พบว่ามีค่า P-value ต่ำกว่า 0.05 (ยอมรับสมมติฐาน H_1) แสดงว่าปริมาณโปรตีนที่สกัดได้กับตัวแปรอิสระความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (C) อุณหภูมิ (T) และเวลาสกัด (t) มีอิทธิพลต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อพิจารณา Square Terms คือ C^2 , T^2 และ t^2 ที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 มีค่า P-value เท่ากับ 0.000, 0.014 และ 0.002 ตามลำดับ พบว่ามีค่า P-value ต่ำกว่า 0.05 (ยอมรับสมมติฐาน H_1) แสดงว่าปริมาณโปรตีนที่สกัดได้กับตัวแปรอิสระ C^2 , T^2 และ t^2 มีอิทธิพลต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อพิจารณา Quadratic Terms คือ CT, Ct และ Tt ที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 มีค่า P-value เท่ากับ 0.935, 0.310 และ 0.182 ตามลำดับ พบว่ามีค่า P-value สูงกว่า 0.05 (ยอมรับสมมติฐาน H_0) แสดงว่าปริมาณโปรตีนที่สกัดได้กับตัวแปรอิสระ CT, Ct และ Tt ไม่มีอิทธิพลต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

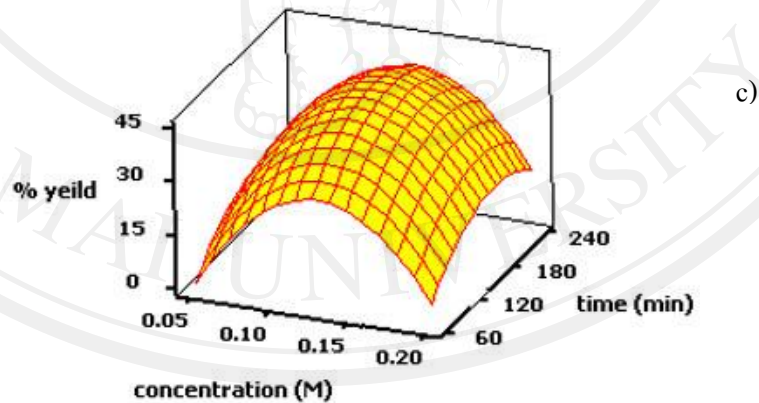
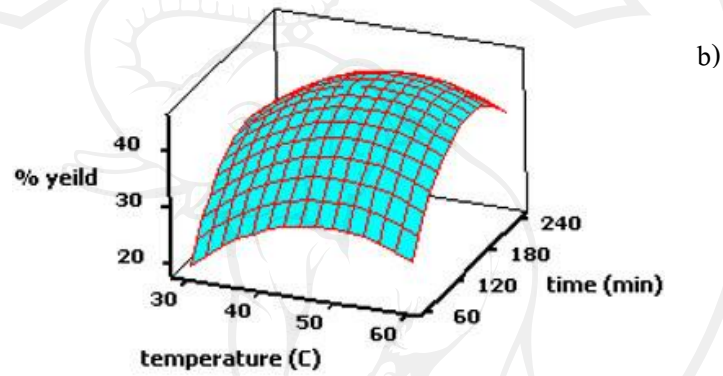
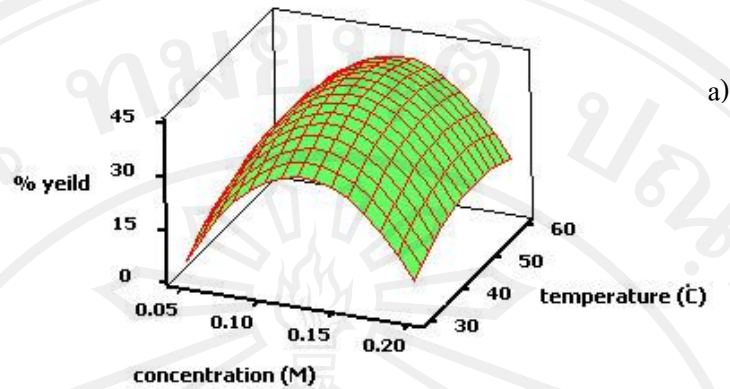
จากการพิจารณาข้างต้นพบว่าตัวแปรอิสระใน Quadratic Terms ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ แต่ยังสามารถใช้ในการพยากรณ์ดังสมการที่ 4.5 เนื่องจากเมื่อตัดตัวแปรอิสระใน Quadratic Terms ออกจากสมการที่มาจากแบบจำลอง Full Quadratic Model พบว่าแบบจำลองเปลี่ยนไปอยู่ในรูปแบบจำลอง Linear + Square Model ดังตารางที่ 4.3 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว ($R^2(\text{adj})$) เท่ากับ 0.9577 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจลดลงเมื่อเทียบกับแบบจำลอง Full Quadratic Model จึงคง Quadratic Terms ไว้ในสมการเพื่อให้สมการทำนายมีความแม่นยำยิ่งขึ้น

จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Response Surface Methodology (RSM) ด้วยโปรแกรม MINITAB Statistical Software ได้โครงร่างพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาการสกัดต่อปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ดังภาพที่ 4.1 และระดับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาการสกัดที่เหมาะสมสำหรับการสกัดโปรตีนจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง (ภาพที่ 4.2) พบว่าสภาวะในการสกัดที่เหมาะสมที่สุดคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.13 โมลาร์ อุณหภูมิ 49 องศาเซลเซียส เวลาสกัด 170 นาที สามารถสกัดโปรตีนได้ร้อยละ 45.20 ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในรำข้าวและเมื่อทำการทดลองสกัดโปรตีนจากรำข้าวด้วยสภาวะที่เหมาะสมที่คัดเลือกพบว่า ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 43.12 แสดงดังตารางที่ 4.5 โดยพบว่าค่าการทำนายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้จึงมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในการทำนายการสกัดโปรตีนจากรำข้าวได้อย่างแม่นยำ

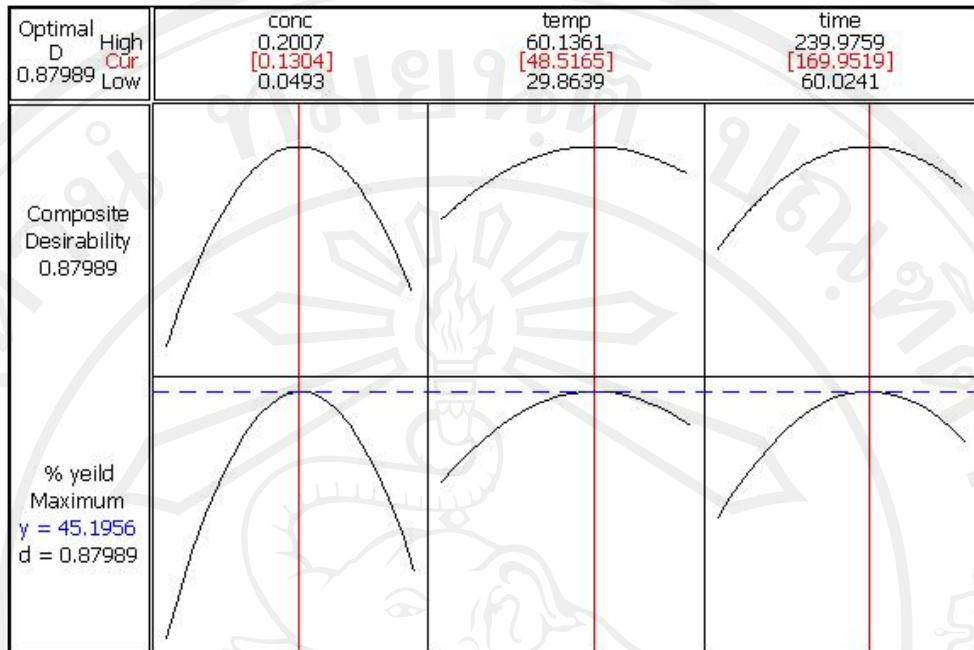
ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้เปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีนจากการทำนาย

การทดสอบ	ปริมาณโปรตีนที่ได้ (ร้อยละของโปรตีนทั้งหมดในรำข้าว)
ปริมาณโปรตีนจากการทำนาย	45.20
ปริมาณโปรตีนจากการทดลอง	43.12



ภาพ 4.1 โครงร่างพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาการสกัดต่อปริมาณโปรตีนที่สกัดได้

- a) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิสกัดต่อปริมาณโปรตีนที่สกัดได้
- b) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาสกัดต่อปริมาณโปรตีนที่สกัดได้
- c) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์และเวลาต่อปริมาณโปรตีนที่สกัดได้



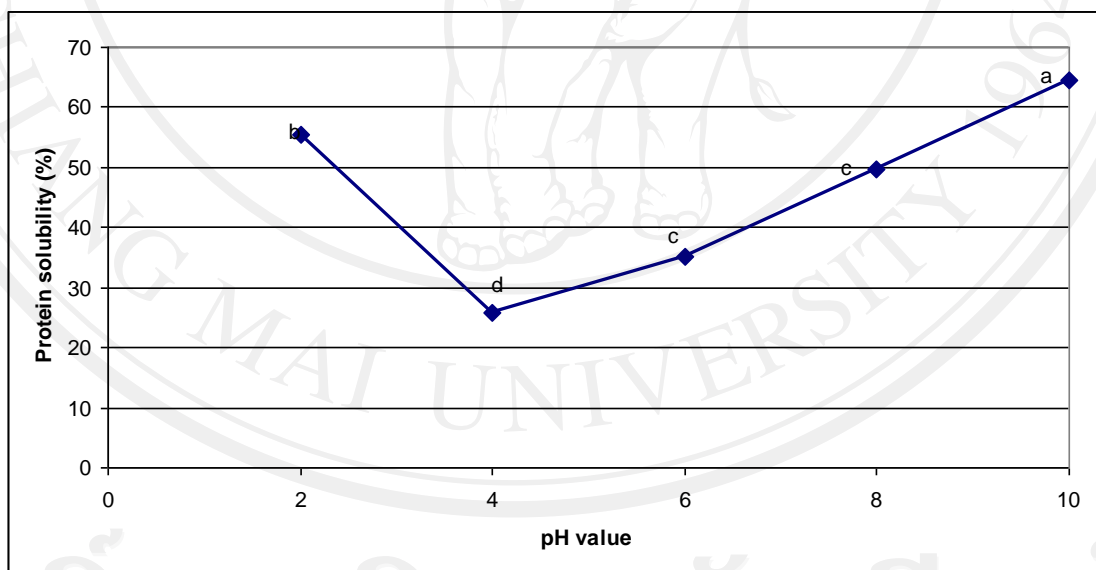
ภาพที่ 4.2 ระดับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิและเวลาการสกัดที่เหมาะสมสำหรับการสกัดโปรตีนจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัลุง

4.1.5 การศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่บางประการของโปรตีนจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัลุงที่สกัดได้

4.1.5.1 ความสามารถในการละลายของโปรตีนจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัลุง

ผลการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ด้านการละลายของสารสกัดโปรตีนที่ได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัลุงดังภาพที่ 4.3 พบว่าโปรตีนจากรำข้าวสามารถละลายได้ทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและด่าง โดยโปรตีนมีความสามารถละลายได้สูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 ($p < 0.05$) มีร้อยละการละลายเท่ากับ 68.25 และที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6 และ 8 มีร้อยละการละลายเท่ากับ 35.16 และ 51.70 ตามลำดับ ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2 มีร้อยละการละลายเท่ากับ 55.84 โดยการละลายมีค่าน้อยที่สุดที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 ($p < 0.05$) มีร้อยละการละลายเท่ากับ 26.88 ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 นั้น โปรตีนมีค่าความสามารถในการละลายต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากที่ค่าความเป็นกรด-ด่างดังกล่าวตรงกับค่าไอโซอิเล็กทริกพอยท์ของโปรตีนในรำข้าว จึงทำให้ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างนี้โปรตีนมีประจุรวมสุทธิเป็นศูนย์ (นิธิยา, 2545) แต่เมื่อปรับความเป็นกรด-ด่างของสารละลายให้ต่ำกว่าหรือสูงกว่าค่านี้ หรือที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2 และ 6, 8 และ 10 โปรตีนมีการละลายที่ดีขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าค่าไอโซอิเล็กทริกพอยท์ของโปรตีน จึงทำให้ประจุรวม

สัทธิบนโครงสร้างของโปรตีนมีค่าเป็นบวก (ในช่วงกรด) และเป็นลบ (ในช่วงด่าง) มากขึ้น มีผลให้เกิดการผลักกันของสายโซ่โพลีเมอร์ของโปรตีนทำให้การละลายมีค่าสูงขึ้น (Foegeding *et al.*, 1996) จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hye และคณะ (2009) ที่ทำการศึกษามบัติเชิงหน้าที่ของ โปรตีนจากรำข้าวที่ได้จากการสกัดด้วยเอนไซม์ พบว่าโปรตีนจากรำข้าวสามารถละลายได้ดีทั้งสภาวะที่เป็นกรดและด่าง โดยมีค่าการละลายได้ดีที่สุดในค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 และมีค่าการละลายน้อยที่สุดอยู่ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 นอกจากนี้มีงานวิจัยที่ทำการศึกษามบัติเชิงหน้าที่ด้านการละลายของโปรตีนจากวัตถุดิบที่แตกต่างกัน Guerrero และคณะ (2002) ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไอโซเลตจากถั่วแขก พบว่าโปรตีนไอโซเลตจากถั่วแขกมีความสามารถในการละลายมากในสารละลายทั้งกรดและด่าง โดยมีค่าการละลายดีที่สุดในค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2 และ 10 ส่วนที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 โปรตีนมีความสามารถในการละลายน้อยที่สุด จากการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการละลายพบว่า โปรตีนจากรำข้าวมีความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์อาหารเหลว เป็นต้น

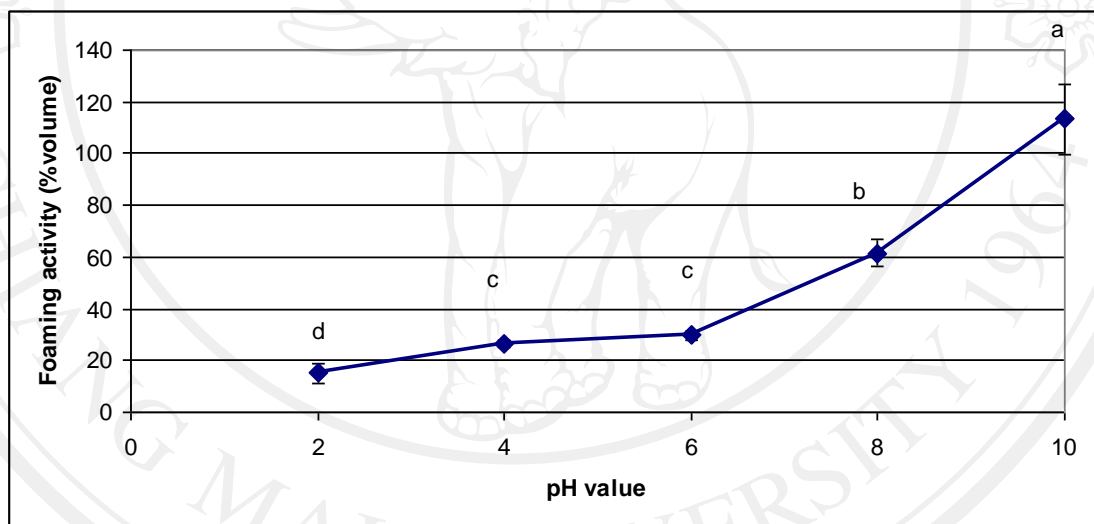


อักษร a, b, c, d แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาพที่ 4.3 ความสามารถในการละลาย (protein solubility, %) ของโปรตีนที่สกัดได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

4.1.5.2 ความสามารถในการเกิดโฟมของโปรตีนจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

ผลการทดสอบความสามารถในการเกิดโฟมของโปรตีนจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงแสดงดังภาพที่ 4.4 พบว่าที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 สารละลายโปรตีนมีค่าความสามารถในการเกิดโฟมมากที่สุดคือมีค่าเท่ากับร้อยละ 113 และความสามารถในการเกิดโฟมลดน้อยลงเมื่อระดับค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง คือที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8, 6, 4 และ 2 โดยมีค่าความสามารถในการเกิดโฟมเท่ากับ 61.40, 29.88, 26.60 และ 15.03 ตามลำดับ โดยผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bera and Mokherjee (1989) ซึ่งพบว่าความสามารถในการเกิดโฟมของโปรตีนรำข้าวเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้น แรงดึงดูดของสารละลายมีค่าลดลง ดังนั้นที่ระดับความเป็นกรด-ด่างสูงจึงมีความสามารถในการเกิดโฟมสูงกว่าที่ระดับความเป็นกรด-ด่างต่ำ

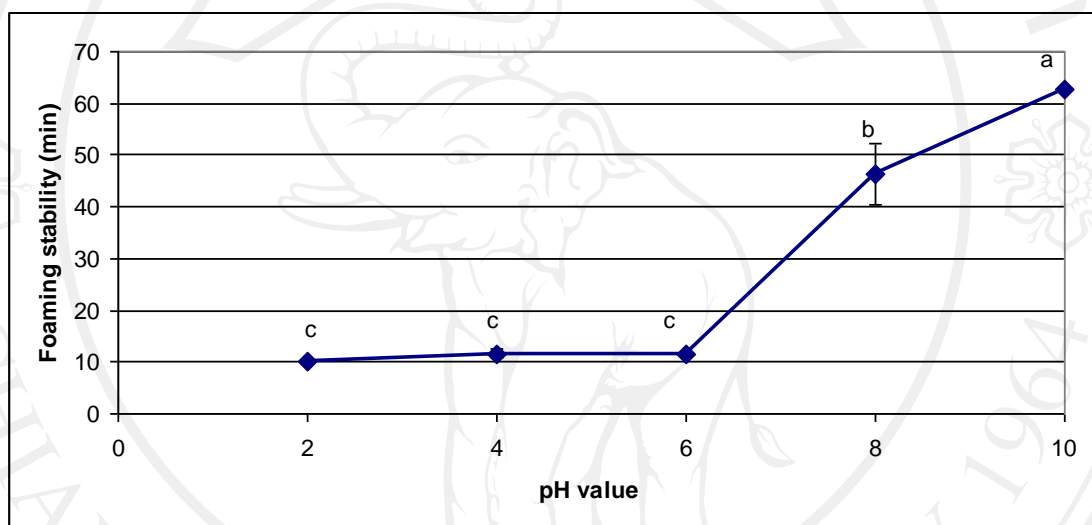


อักษร a, b, c, d แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาพที่ 4.4 ความสามารถในการเกิดโฟม (foaming activity, %volume) ของสารละลายโปรตีนที่สกัดได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

ผลการศึกษาความคงตัวของโฟมของสารละลายโปรตีนจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง แสดงดังภาพที่ 4.5 พบว่าที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 มีค่าความคงตัวสูงที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 62.59 นาที และค่าความคงตัวลดน้อยลงเมื่อระดับค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยลงคือที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8, 6, 4 และ 2 โดยมีค่าความคงตัวเท่ากับ 46.25, 11.40, 11.67 และ 10 นาที ตามลำดับ แต่ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2 และ 4 มีค่าความคงตัวไม่แตกต่างกันทาง

สถิติที่ ($p>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chandi and Sogi (2006) ซึ่งศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากรำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันในประเทศอินเดีย โดยพบว่าความคงตัวของการเกิดโฟมของสารละลายเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเกิดโฟมของโปรตีนจากรำข้าวพบว่า มีความสามารถในการเกิดโฟมที่ใกล้เคียงกับ โปรตีนจากถั่วเหลือง โดย Chau *et al.* (1997) ทำการศึกษาความสามารถในการเกิดโฟมของ โปรตีนสกัดถั่วเหลือง (*P. angularis*) ในประเทศจีนพบว่า โปรตีนถั่วเหลืองมีความสามารถในการเกิดโฟมสูงสุดที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 มีความสามารถในการเกิดโฟมร้อยละ 129



อักษร a, b, c, d แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

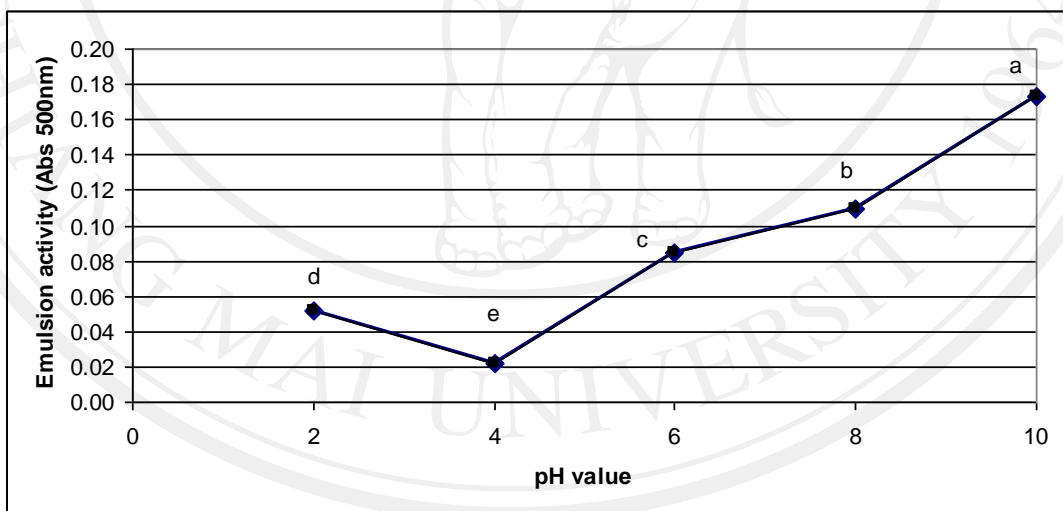
ภาพที่ 4.5 ความสามารถในการเกิดโฟม (foaming stability, min) ของสารละลายโปรตีนที่สกัดได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

การเกิดโฟมของโปรตีนจะเกิดได้ดี โปรตีนต้องมีความยืดหยุ่นสูง และสามารถเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ และแข็งแรงที่สามารถกักเก็บอากาศได้ โปรตีนที่มีความยืดหยุ่นที่สามารถเกิดโฟมได้ดีต้องมี surface hydrophobicity สูงๆ ซึ่งในระหว่างการตีหรือการทำให้เกิดโฟม เช่น โปรตีนเป็นสารที่ทำให้เกิดโฟม (foaming agent) แรกกลจาก การตี หรือปั่นอย่างรุนแรง ทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติ (protein denaturation) เกิดการคลายตัว (unfolding) ของโครงสร้างโปรตีน เกิดเป็นฟิล์ม และจับกับน้ำซึ่งอยู่รอบๆ ได้ โดยหันด้านที่เป็น hydrophobic ที่อยู่ด้านในโครงสร้างออกมาด้านนอก ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดโครงสร้างของโฟม โดยเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆที่สามารถกักเก็บอากาศไว้ได้ (Mike, 2012) นอกจากนี้ความสามารถในการเกิดโฟม

และความคงตัวของโฟมยังขึ้นกับความสามารถในการละลายของโปรตีนและประจุสุทธิบนโครงสร้างของโมเลกุลอีกด้วย (Wide and Clark, 1996) จากการศึกษาความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟม พบว่าโปรตีนจากรำข้าวมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตขนมหวานได้หลายชนิดที่ต้องการให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสเบาและมีรูพรุน เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ครีมแต่งหน้าอาหาร เมอแรงส์ มาชเมลโล่ เป็นต้น

4.1.5.3 ความสามารถในการเกิดอิมัลชันของโปรตีนจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

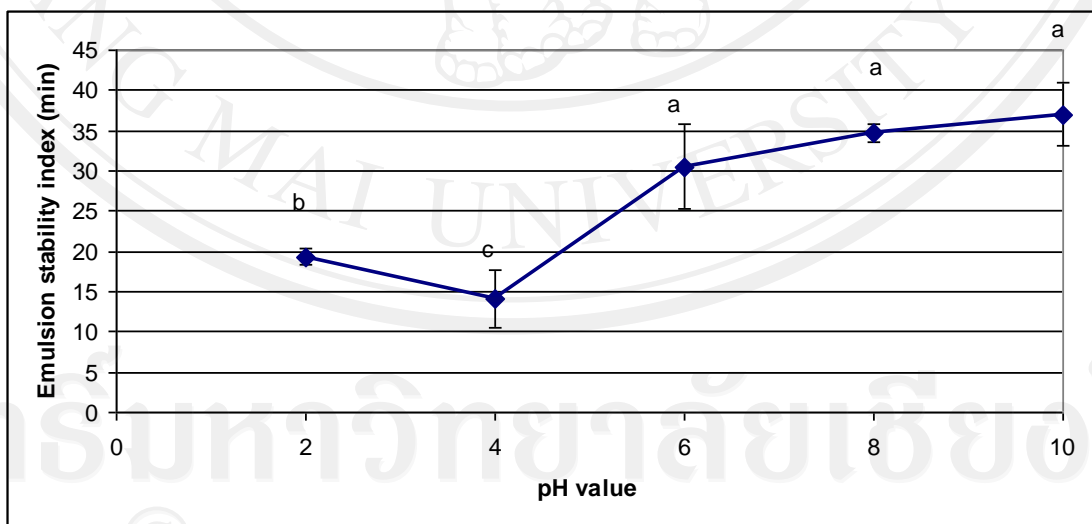
ผลการศึกษาความสามารถในการเกิดอิมัลชันของโปรตีนจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงแสดงดังภาพที่ 4.6 โดยการวัดดัชนีกิจกรรมการเกิดอิมัลชัน emulsifying activity index (EAI) พบว่าที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 มีค่าดัชนีกิจกรรมการเกิดอิมัลชันสูงสุดคือมีค่าดัชนีกิจกรรมการเกิดอิมัลชันเท่ากับ 0.17 ($Abs_{500\text{ nm}}$) โดยค่าดัชนีกิจกรรมการเกิดอิมัลชันลดลงเมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างลดลง และมีค่าน้อยที่สุดในช่วงระดับความเป็นกรด-ด่างที่ 4 คือมีค่าเท่ากับ 0.02 ($Abs_{500\text{ nm}}$)



อักษร a, b, c, d แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาพที่ 4.6 ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (emulsifying activity index, $Abs_{500\text{ nm}}$) ของสารละลายโปรตีนที่สกัดได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่าง ๆ

ผลของการศึกษาความคงตัวของอิมัลชัน emulsifying stability index (ESI) ของสารละลายโปรตีนจากรำข้าวและน้ำมันพืชแสดงดังภาพที่ 4.7 พบว่าที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 มีค่าดัชนีความคงตัวของอิมัลชันเท่ากับ 37.05 นาที จากนั้นค่าดัชนีความคงตัวของอิมัลชันจะลดลงเมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างลดลง และมีค่าน้อยที่สุดในช่วงระดับความเป็นกรด-ด่างที่ 4 คือมีค่า 14.13 นาที ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พรรณนภาและ โชคชัย (2549) ซึ่งพบว่าดัชนีกิจกรรมการเกิดอิมัลชันและความคงตัวของอิมัลชันของสารละลายโปรตีนที่สกัดได้จากรำข้าวมีค่าต่ำสุดที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 ซึ่งเป็นระดับที่มีความสามารถในการละลายของโปรตีนต่ำสุด โดยอาจกล่าวได้ว่าดัชนีกิจกรรมการเกิดอิมัลชันและความคงตัวของอิมัลชันขึ้นกับความสามารถในการละลายของโปรตีน การเกิดอิมัลชันเกี่ยวข้องกับชนิดของกรดอะมิโนที่ไม่มีขั้วบนผิวโมเลกุล โดยการเกิดอิมัลชันเป็นผลมาจากการดูดซับ โมเลกุลของโปรตีนไว้บนผิวของเม็ดน้ำมัน กรดอะมิโนที่ไม่มีขั้วทำให้โปรตีนสามารถเกาะตัวอยู่บนผิวของเม็ดน้ำมันได้ โดยกรดอะมิโนที่ไม่มีขั้วแทรกตัวเข้าไปยังพื้นผิวเม็ดน้ำมันและหัน โมเลกุลทางด้านที่มีขั้วเข้าหาโมเลกุลน้ำหรือ โมเลกุลมีขั้ว ซึ่งมีส่วนช่วยในการลดแรงตึงผิวระหว่างเม็ดน้ำมันและน้ำ จึงทำให้เกิดสภาพอิมัลชันขึ้น (นิธิยา, 2545) จากการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการเกิดอิมัลชันและความคงตัวของอิมัลชันพบว่า โปรตีนจากรำข้าวมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลายชนิด เช่น การทำไส้กรอกชนิดต่างๆ และการทำน้ำสลัดหรือมายองเนส เป็นต้น



อักษร a, b, c, d แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาพที่ 4.7 ความคงตัวของอิมัลชัน (emulsifying stability index, min) ของสารละลายโปรตีนที่สกัดได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

4.2 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพจากโปรตีนรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงด้วยเอนไซม์ย่อยโปรตีน

4.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากโปรตีนรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากโปรตีนรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงด้วยวิธีการของ AOAC (2000) แสดงดังตารางที่ 4.6 พบว่าปริมาณไขมัน ความชื้น เถ้า และคาร์โบไฮเดรตที่ได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.14, 14.10, 42.53 และ 34.98 ตามลำดับ ส่วนโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 7.25 ซึ่งมีค่าน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนจากรำข้าว (ร้อยละ 20.31) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ foh *et al.* (2011) ที่ศึกษาการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเนื้อปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ด้วยเอนไซม์อัลคาเลส 2.4L พบว่าปริมาณโปรตีนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผ่านการย่อยมีค่าต่ำกว่าปริมาณโปรตีนในโปรตีนเนื้อปลานิล ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมโปรตีนไฮโดรไลเสตมีการใช้กรดและด่างเพื่อช่วยปรับสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ รวมทั้งการหยุดปฏิกิริยาและการปรับความเป็นกรดต่างให้มีความเป็นกลางก่อนการไปทำแห้ง จึงทำให้เกิดเกลือขึ้นปริมาณมากในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่เตรียมได้ จึงทำให้มีปริมาณโปรตีนที่ลดลง ในขณะที่เดียวกันมีปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากโปรตีนรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

องค์ประกอบทางเคมี*	ปริมาณ (%)**
โปรตีน	7.25±0.02
ไขมัน	1.14±0.16
ความชื้น	14.10±0.30
เถ้า	42.53±0.23
คาร์โบไฮเดรต	34.98±0.13

* ค่าเฉลี่ย±SD คิดเป็น % โดยน้ำหนักแห้งยกเว้นความชื้นคิดเป็น % โดยน้ำหนักเปียก

** ข้อมูลได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

4.2.2 ผลของปัจจัยและสภาวะการย่อยต่อระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

จากการศึกษาผลของปริมาณเอนไซม์และเวลาการย่อยต่อระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงแสดงดังตารางที่ 4.7 จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB โดยประมวลผลด้วยวิธี Response Surface Methodology เพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง เมื่อใช้ปัจจัยสภาวะที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 4.7 ผลของปริมาณเอนไซม์และเวลาการย่อย ต่อระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

สิ่งทดลองที่	ปริมาณเอนไซม์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	เวลาย่อย (นาที)	ระดับการย่อยสลาย (ร้อยละ)	ร้อยละของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากโปรตีนรำข้าว
1	1.00	17.5	30.40	34.58
2	3.50	17.5	32.71	34.37
3	1.00	77.5	33.71	34.78
4	3.50	77.5	36.36	35.28
5	0.50	47.5	27.39	34.17
6	4.00	47.5	35.34	35.11
7	2.25	5.0	29.24	34.32
8	2.25	90.0	35.64	35.61
9	2.25	47.5	33.96	35.11
10	2.25	47.5	34.02	34.99
11	2.25	47.5	34.20	35.11

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับใช้ทำนายการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงด้วยปัจจัยสภาวะที่ศึกษา

จากการวิเคราะห์ความเหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับใช้ทำนายการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตด้วยสภาวะที่ทำการศึกษา โดยใช้โปรแกรม MINITAB สามารถจำแนกแบบจำลองที่มีความเป็นไปได้ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของระดับการย่อยสลาย (ปริมาณเอนไซม์และเวลาการย่อย) จำนวน 4 แบบจำลอง ดังสมการ 4.1-4.4

จากการพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว ($R^2(\text{adj})$) ของแต่ละแบบจำลองเปรียบเทียบกัน เพื่อเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับอธิบายผลการทดลองได้ดีที่สุด ด้วยโปรแกรม MINITAB โดยประมวลผลด้วยวิธี Response Surface Methodology พบว่าได้ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแต่ละแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายผลของปัจจัยสภาวะการย่อยและระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

แบบจำลอง	R^2	$R^2(\text{adj})$	SE
Linear Model	0.8098	0.7623	1.38
Linear + Square Model	0.8824	0.8040	1.25
Linear + Interaction Model	0.8102	0.7288	1.47
Full Quadratic Model	0.8828	0.7655	1.37

หมายเหตุ : R^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

$R^2(\text{adj})$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้วใช้ประกอบการพิจารณาเมื่อข้อมูลมีจำนวนน้อยกว่า 30 ตัวอย่าง

SE คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.6 พบว่า แบบจำลอง Linear + Square Model มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว ($R^2(\text{adj})$) มากที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลอง Linear Model, Linear + Interaction Model และ Full Quadratic Model โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.8824 และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) น้อยที่สุดเท่ากับ 1.25 แสดงว่าแบบจำลอง Linear + Square Model มีความเหมาะสมที่สุดในการนำมาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายผลการทดลองของ

ปัจจัยสภาวะการย่อยและระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลสได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

4.2.4 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (β_i) ของตัวแปรในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลสได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงด้วยปัจจัยสภาวะที่ทำการศึกษา

จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธี Response Surface Methodology เพื่อหาปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลสได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.9 พบว่าสามารถเขียนแบบจำลองแบบ Full Quadratic Model แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการย่อยสลายกับตัวแปรอิสระ (ปริมาณเอนไซม์และเวลาการย่อย) ได้ดังสมการที่ 4.6

ตารางที่ 4.9 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระในการย่อยโปรตีนไฮโดรไลสได้ในสภาวะต่างๆ

Term	Coefficient	P-value
Constant	23.092	0.000
Enzyme (E)	4.391	0.004
Time (t)	0.110	0.004
Enzyme *Enzyme (E ²)	-0.640	0.107
Time * Time (t ²)	-5.132	0.415

หมายเหตุ : R² = 88.24% R²(adj) = 80.40% SE = 1.25

Coefficient = คือสัมประสิทธิ์การถดถอย (β_i) ของแต่ละตัวแปรในสมการ full quadratic model

P-value คือตัวสถิติที่ใช้ทดสอบความน่าจะเป็น

$$\text{ระดับการย่อยสลาย (ร้อยละ)} = 23.092 + 4.391E + 0.110t - 0.640E^2 - 5.132t^2 \quad \dots\dots(4.6)$$

(Degree of hydrolysis, %)

เมื่อ E = ปริมาณเอนไซม์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

t = เวลา (นาที)

* = ปัจจัยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความ

เชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและรูปแบบจำลอง ดังสมการที่ 4.6 จากนั้นจึงวิเคราะห์หาค่าสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (β_i) ของแต่ละตัวแปร โดยการตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ซึ่งเป็นการทดสอบนัยสำคัญของตัวแปรอิสระ X_i แต่ละตัวในสมการต่อตัวแปรตาม (ระดัยการย่อยสลาย) โดยกำหนดสมมติฐานดังนี้

$$H_0 = \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k \neq 0 \quad \text{ตัวแปรอิสระ } i(x_i) \text{ ไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม}$$

$$H_1 = \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k = 0 \quad \text{ตัวแปรอิสระ } i(x_i) \text{ มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม}$$

หาก P-value มีค่าสูงกว่าระดับนัยสำคัญ (α) จะตัดสินใจยอมรับสมมติฐาน H_0 นั่นคือตัวแปรอิสระในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม แต่หาก P-value มีค่าต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ (α) จะตัดสินใจปฏิเสธสมมติฐาน H_0 (หรือยอมรับสมมติฐาน H_1) นั่นคือตัวแปรอิสระในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม

พิจารณา Linear Terms คือ E และ t ที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 พบว่ามีค่า P-value เท่ากับ 0.004 และ 0.004 ตามลำดับ พบว่ามีค่า P-value ต่ำกว่า 0.05 (ยอมรับสมมติฐาน H_1) แสดงว่าระดับการย่อยสลายกับตัวแปรอิสระปริมาณแอนไซม์ (E) และเวลาการย่อย (t) มีอิทธิพลต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

พิจารณา Quadratic Terms คือ E^2 และ t^2 ที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 มีค่า P-value เท่ากับ 0.107 และ 0.415 ตามลำดับ พบว่ามีค่า P-value ของ E^2 สูงกว่า 0.05 (ยอมรับสมมติฐาน H_0) แสดงว่าระดับการย่อยสลายกับตัวแปรอิสระ E^2 และ t^2 ไม่มีอิทธิพลต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

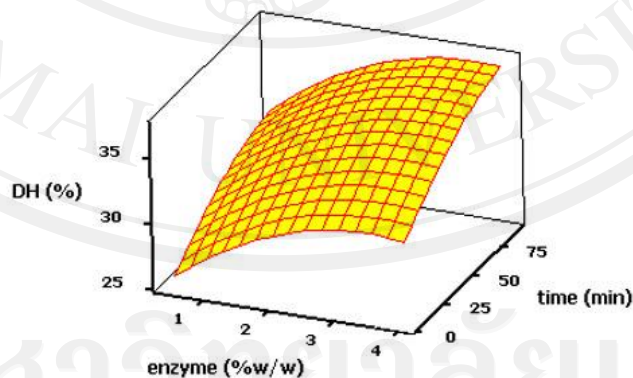
จากการพิจารณาข้างต้น พบว่าตัวแปรอิสระใน Quadratic Terms ไม่มีอิทธิพลต่อระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าว แต่นำตัวแปรอิสระมาใช้ในสมการที่ 4.6 เนื่องจากเมื่อตัดแปรอิสระใน Quadratic Terms ออกจากสมการแบบจำลอง Linear + Square Model พบว่าแบบจำลองเปลี่ยนไปอยู่ในรูป Linear Model ดังตารางที่ 4.6 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว ($R^2(\text{adj})$) เท่ากับ 0.8098 ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับแบบจำลอง Linear + Square Model เดิม จึงคง Quadratic Terms ไว้ในสมการเพื่อให้สมการทำนายมีความแม่นยำยิ่งขึ้น

จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Response Surface Methodology (RSM) ด้วยโปรแกรม MINITAB Statistical Software ได้โครงร่างพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปริมาณแอนไซม์และเวลาการย่อยต่อระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวสังข์

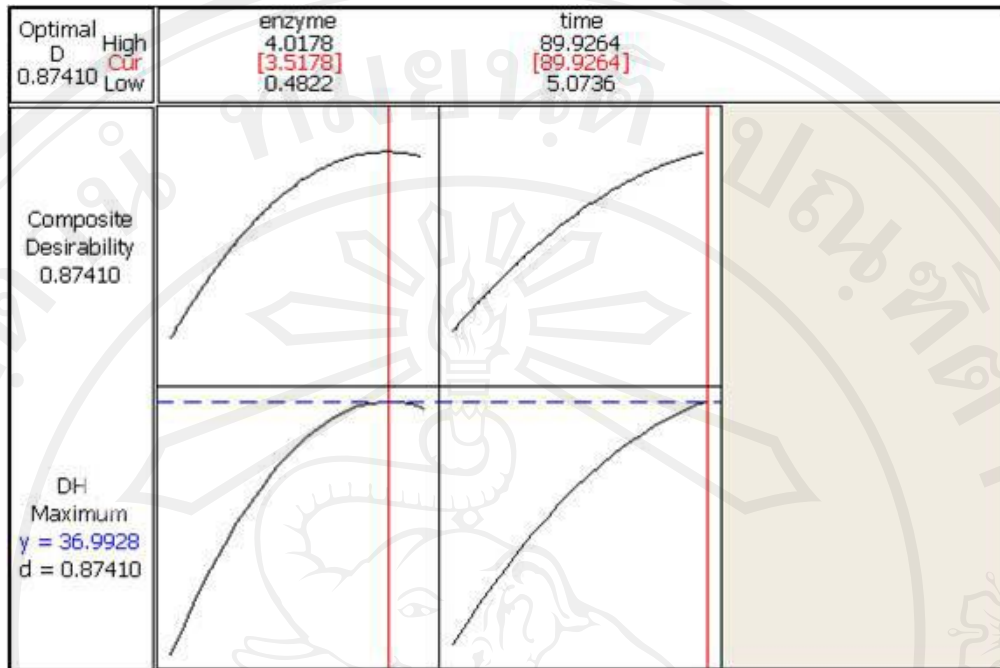
หอยคเมืองพัทลุงดังภาพที่ 4.8 และปริมาณเอนไซม์และเวลาการย่อยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวสังข์หอยคเมืองพัทลุง (ภาพที่ 4.9) พบว่าสภาวะการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตที่เหมาะสมที่สุดคือปริมาณเอนไซม์ร้อยละ 3.5 เวลาการย่อย 90 นาที ได้ระดับการย่อยสลายร้อยละ 36.99 และเมื่อทำการทดลองผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากโปรตีนรำข้าวด้วยสภาวะที่เหมาะสมที่คัดเลือก พบว่าระดับการย่อยสลายที่ได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 35.83 แสดงดังตารางที่ 4.10 โดยพบว่าค่าการทำนายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้จึงมีความเหมาะสม และสามารถนำไปใช้ในการทำนายการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากโปรตีนรำข้าวได้อย่างแม่นยำ

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากการทำนาย

การทดสอบ	ระดับการย่อยสลาย (ร้อยละ)
ระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลเสต จากการทำนาย	36.99
ระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลเสต จากการทดลอง	35.83



ภาพ 4.8 โครงร่างพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปริมาณเอนไซม์และเวลาการย่อยต่อระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวสังข์หอยคเมืองพัทลุง



ภาพ 4.9 ปริมาณเอนไซม์และเวลาการย่อยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโปรตีนไฮโดรไลสจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

4.2.4 การศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่บางประการของโปรตีนไฮโดรไลสจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

4.2.4.1 การวิเคราะห์ค่าสีของโปรตีนไฮโดรไลสที่สกัดได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของโปรตีนไฮโดรไลสจากรำข้าวเปรียบเทียบกับรำข้าวและโปรตีนจากรำข้าวแสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของโปรตีนไฮโดรไลสจากรำข้าวมีความแตกต่างจากรำข้าวและโปรตีนจากรำข้าว ($p \leq 0.05$) โดยรำข้าวมีค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 51.25, 8.30 และ 14.19 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าโปรตีนจากรำข้าว (45.54, 5.67, 4.85) และโปรตีนไฮโดรไลสจากรำข้าว (32.34, 0.80, 2.43) ตามลำดับ แสดงถึงตัวอย่างรำข้าวมีสีน้ำตาลอ่อน ส่วนสารสกัดโปรตีนจากรำข้าวมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น และโปรตีนไฮโดรไลสจากรำข้าวมีสีน้ำตาลเข้มที่สุด ดังภาพที่ 4.11 ทั้งนี้รำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงเป็นรำจากข้าวมีสีน้ำตาลแดง ซึ่งประกอบไปด้วยรงควัตถุกลุ่มแอนโทไซยานินในปริมาณสูง (Sawaddiwong *et al.*, 2008) จึงทำให้รำข้าวมีลักษณะสีเป็นสีน้ำตาลแดง เมื่อนำรำข้าวมาสกัดโปรตีนโดยใช้สารละลายต่างจึงทำให้แอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้ถูกสกัดออกมาพร้อมกับโปรตีนในปริมาณมากขึ้น หรือในสารละลายโปรตีนที่ได้มีความเข้มข้นของแอนโทไซยานินที่สูงขึ้นกว่าในรำข้าว จึงมีสีน้ำตาลที่เข้มขึ้น นอกจากนี้เมื่อนำโปรตีนจากรำข้าวไป

ผลิตเป็นโปรตีนไฮโดรไลเสต โดยเมื่อโมเลกุลของโปรตีนถูกย่อยให้มีขนาดสายสั้นลง จึงปลดปล่อยโมเลกุลของเปปไทด์สายสั้นๆ และกรดอะมิโนอิสระออกมามากขึ้น อีกทั้งรำข้าวซึ่งนำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการสกัดโปรตีนมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นอาจมีคาร์โบไฮเดรตที่สามารถละลายน้ำได้ โดยเฉพาะน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) โมเลกุลเล็ก ซึ่งอาจละลายมาอยู่ในสารสกัดโปรตีน และระหว่างกระบวนการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ กรดอะมิโนหรือเปปไทด์ที่เกิดขึ้นอาจเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซ์ หรือเรียกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Foegeding *et al.*, 1996) ดังกล่าวอย่างรวดเร็ว รวมถึงระหว่างการทำแห้งโปรตีนไฮโดรไลเสตที่เตรียมได้ จึงทำให้โปรตีนไฮโดรไลเสตมีสีน้ำตาลที่เข้มมากกว่ารำข้าวและโปรตีนจากรำข้าว

ตารางที่ 4.11 ค่าสีของรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง สารสกัดโปรตีนจากรำข้าว และโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าว

	L*	a*	b*
รำข้าว	51.25±0.17 ^a	8.30±0.11 ^a	14.19±0.08 ^a
โปรตีนจากรำข้าว	45.54±0.46 ^b	5.67±0.33 ^b	4.85±0.22 ^b
โปรตีนไฮโดรไลเสต	32.34±0.24 ^c	0.80±0.10 ^c	2.43±0.23 ^c

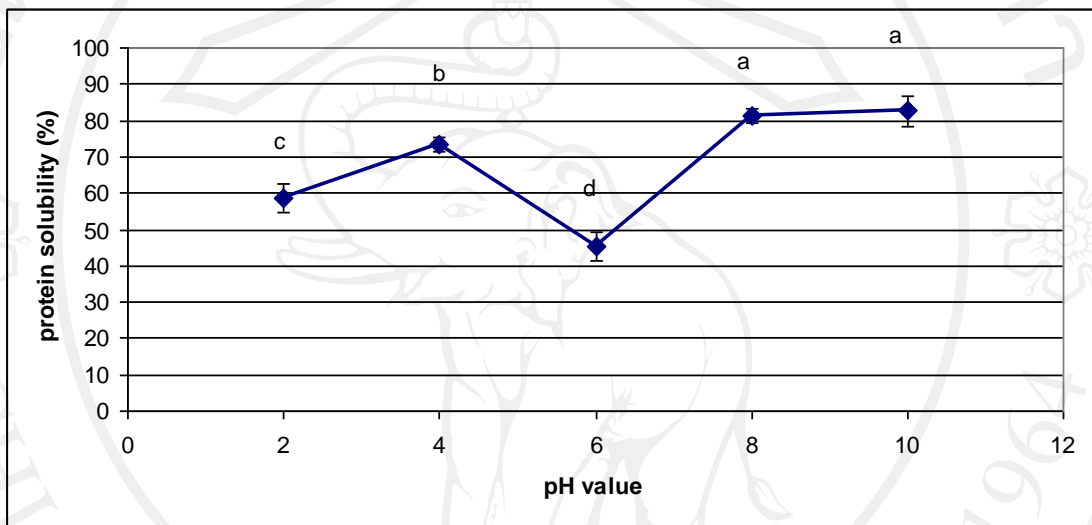
ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ และอักษรกำกับในคอลัมน์เดียวกันที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพ 4.10 รำข้าว (Rice bran) โปรตีนจากรำข้าว (Protein extract) และโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าว (Protein hydrolysate)

4.2.4.2 ความสามารถในการละลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

เมื่อนำโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์มาทำการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ด้านการละลายพบว่า โปรตีนไฮโดรไลเสตมีค่าการละลายสูงสุดที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 และ 8 มีค่าการละลายเท่ากับ 82.67 และ 81.33 ตามลำดับ ($p > 0.05$) และที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6 มีค่าการละลายต่ำสุดคือร้อยละ 45.33 ($p \leq 0.05$) ส่วนที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2 และ 4 มีค่าการละลายเท่ากับ 58.67 และ 73.33 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.11



อักษร a, b, c, d แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

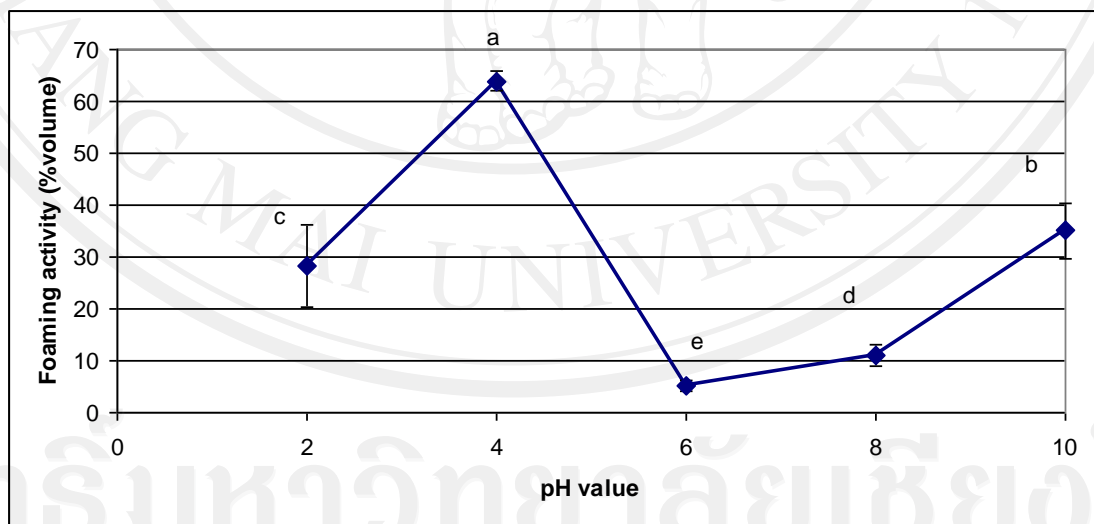
ภาพที่ 4.11 ความสามารถในการละลาย (protein solubility, %) ของสารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการละลายของสารละลายโปรตีนที่สกัดได้จากรำข้าวในตอนที่ 1 (ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2, 4, 6, 8 และ 10 มีค่าเท่ากับ 55.84, 26.88, 35.16, 51.70 และ 68.25 ตามลำดับ) และค่าการละลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ (ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2, 4, 6, 8 และ 10 มีค่าเท่ากับ 58.67, 73.33, 45.33, 81.33 และ 82.67 ตามลำดับ) พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์มีค่าการละลายสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์สามารถย่อยเปปไทด์ภายในโมเลกุลโปรตีนให้มีขนาดเล็กลง และอาจเป็นการทำให้ประจุสุทธิเพิ่มขึ้น และเป็นการเปิดโครงสร้างของโปรตีนทำให้มีกลุ่ม hydrophilic ที่สามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้ดีมากขึ้น ส่งผลให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายดีขึ้น (Wu *et al.*, 1998) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ พรชนัน (2548) ซึ่งทำการศึกษสมบัติของโปรตีนโอคารา (หรือกากถั่วเหลือง) และโปรตีนโอคาราที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์อัลคาเลสที่ระดับความเข้มข้น 1 กรัม

เอนไซม์ต่อโปรตีนโอคารา 100 กรัม พบว่าโปรตีนโอคาราที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์อัลคาเลสมีความสามารถในการละลายสูงกว่าโปรตีนโอคาราที่ไม่ผ่านการย่อย ($p \leq 0.05$) และมีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการย่อยเพิ่มขึ้นนอกจากนี้ Vilailak *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติการละลายของโปรตีนไฮโดรไลสได้จากปลาข้างเหลืองที่เตรียมโดยใช้เอนไซม์อัลคาเลส พบว่าโปรตีนไฮโดรไลสได้จากปลาข้างเหลืองสามารถละลายได้ดีทั้งในสภาวะทั้งกรดและด่าง โดยละลายได้ดีที่สุดในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10-12 ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีการละลายน้อยที่สุดอยู่ที่ระดับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4

4.2.4.3 ความสามารถในการเกิดโฟมของสารละลายโปรตีนไฮโดรไลสได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

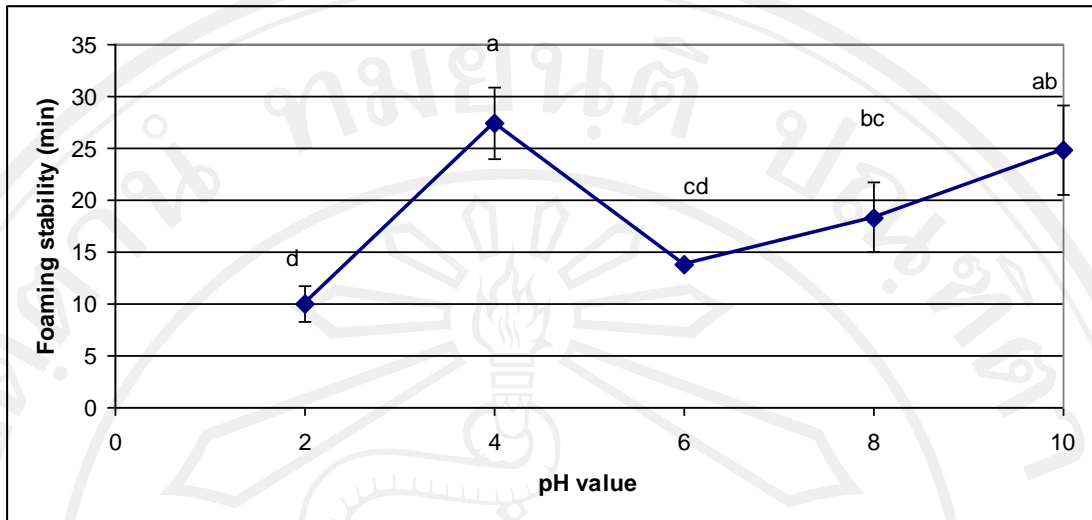
จากการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการเกิดโฟมของสารละลายโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์พบว่าค่ากิจกรรมการเกิดโฟมมีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 63.93 ที่ระดับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 และมีค่ากิจกรรมการเกิดโฟมมีค่าต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 5.26 ที่ระดับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6 นอกจากนี้ที่ระดับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2, 8 และ 10 มีค่ากิจกรรมการเกิดโฟมเท่ากับร้อยละ 28.21, 11.11 และ 35.14 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.12



อักษร a, b, c, d แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาพที่ 4.12 ความสามารถในการเกิดโฟม (foaming activity, %volume) ของสารละลายโปรตีนไฮโดรไลสได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

ความคงตัวของ การเกิด โฟม ของ สารละลาย โพรตีน ไฮโดรไลเสต แสดง ดัง ภาพ ที่ 4.13 พบว่า ค่าความคงตัวของ การเกิด โฟม มี ค่า สูง สุด ที่ ระดับ ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4 และมี ค่าความคงตัวของ การเกิด โฟม ต่ำ สุด ที่ ระดับ ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 2 ซึ่งมี ค่า เท่ากับ 27.38 และ 10.06 นาที ตามลำดับ นอกจากนี้ ค่าความคงตัวของ การเกิด โฟม ที่ ระดับ ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6, 8 และ 10 มี ค่า เท่ากับ 13.75, 18.33 และ 24.86 นาที ตามลำดับ ค่ากิจกรรมการเกิด โฟม และความคงตัวของ การเกิด โฟม ขึ้น อยู่ กับ ความสามารถ ในการละลาย ได้ ของ โพรตีน ไฮโดรไลเสต เมื่อ มี ปริมาณ โพรตีน ที่ ละลาย ได้ สูง ส่งผล ให้ ค่ากิจกรรมการเกิด โฟม และความคงตัวของ การเกิด โฟม สูง ขึ้น แต่ ค่ากิจกรรมการเกิด โฟม และความคงตัวของ การเกิด โฟม ที่ ระดับ ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8 และ 10 มี ค่า ต่ำ แม้ มี ค่า การละลาย สูง อาจ เกิด มา จาก ที่ สภาวะ ความเป็นด่าง หรือ สภาวะ เกลือ มี ผล ต่อ การ จัดเรียง ตัว ของ โมเลกุล โพรตีน ซึ่ง ส่งผล ต่อ ความสามารถ ของ โพรตีน ในการ ยึด เกาะ ผิว สัมผัส ระหว่าง อากาศ กับ ของเหลว ทำให้ ความสามารถ ในการ เกิด โฟม และความคงตัวของ การเกิด โฟม เปลี่ยน ไป (Zayas, 1997) โดย พบ ว่า ความสามารถ ในการ เกิด โฟม และความคงตัวของ โฟม ของ สารละลาย โพรตีน ไฮโดรไลเสต มี ค่า ต่ำ กว่า โพรตีน ที่ สกัด ได้ จาก รำ ข้าว ใน ตอนที่ 1 สอดคล้อง กับ งาน วิจัย ของ พรชนัน (2548) ที่ ศึกษา ความสามารถ ในการ เกิด โฟม และความคงตัวของ โฟม ของ โพรตีน ไฮโดรไลเสต จาก โอคารา (หรือ กาก ถั่ว เหลือง) ที่ ผ่าน การ ย่อย ด้วย เอนไซม์ แอลฟา อะไมเลส พบ ว่า โพรตีน ไฮโดรไลเสต จาก โพรตีน โอคารา มี ความสามารถ ในการ เกิด โฟม และความคงตัวของ โฟม ต่ำ กว่า โพรตีน โอคารา ทั้งนี้ เนื่อง จาก การ ย่อย โพรตีน ด้วย เอนไซม์ ทำให้ เกิด การ ตัด พัง ระเบียบ ไรต์ มาก ขึ้น ได้ โมเลกุล โพรตีน สาย สั้น จึง อาจ ทำให้ ความแข็งแรง ของ ฟิ ล์ม โพรตีน ซึ่ง เกิด ขึ้น จาก การ เรียง ตัว ของ โมเลกุล โพรตีน บน ผิว ของ โฟม ลดลง อีกทั้ง ปริมาณ ประจุ สุทธิ จำนวน มาก ที่ เกิด จาก การ ย่อย จะ ลด การ เกิด ปฏิกริยา ร่วม ระหว่าง โพรตีน กับ อากาศ และ ขัดขวาง การ เกิด elastic film ระหว่าง ชั้น อากาศ กับ ของเหลว ทำให้ ความคงตัวของ โฟม ลดลง (Chan and Ma, 1999) ดังนั้น โพรตีน ไฮโดรไลเสต จาก รำ ข้าว จึง มี ความสามารถ ในการ เกิด โฟม และมี ความคงตัว ต่ำ กว่า โพรตีน จาก รำ ข้าว ซึ่งมี ขนาด โมเลกุล ใหญ่ กว่า

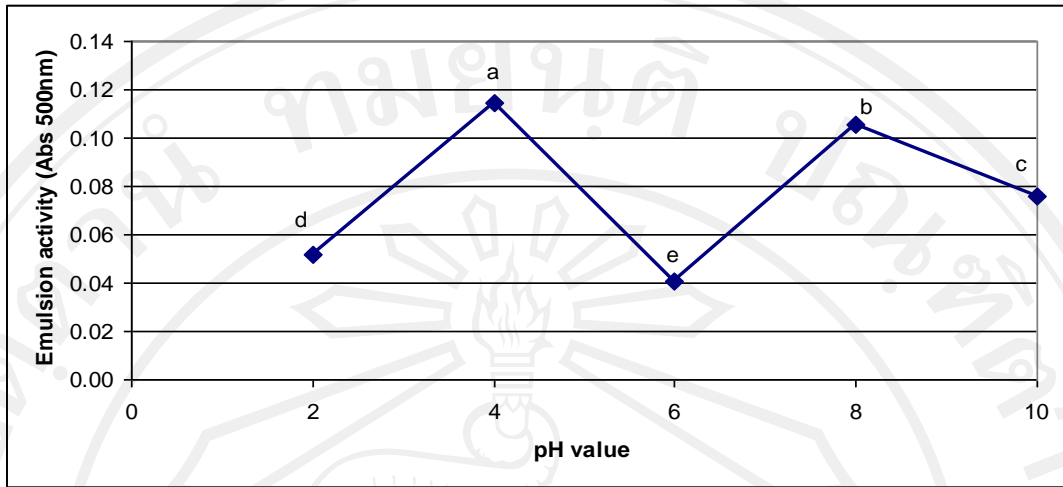


อักษร a, b, c, d แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาพที่ 4.13 ความคงตัวของโฟม (foam stability, min) ของสารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

4.2.4.4 ความสามารถในการเกิดอิมัลชันของสารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

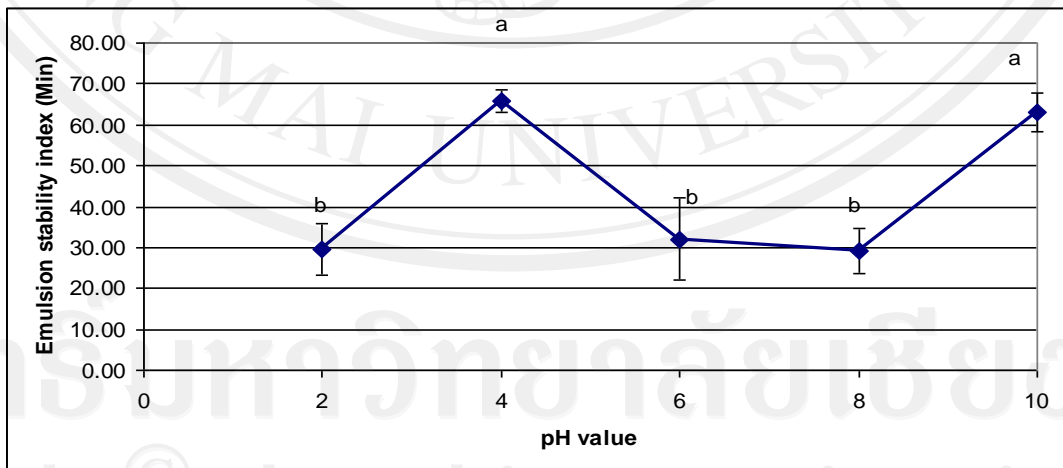
ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการเกิดอิมัลชันของสารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตและน้ำมันพืช ในรูปค่าการดูดกลืนแสงของอิมัลชัน ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4.14 พบว่าค่าดัชนีกิจกรรมการเกิดอิมัลชันที่ทุกระดับความเป็นกรด-ด่างมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 มีค่าดัชนีกิจกรรมการเกิดอิมัลชันสูงที่สุดเท่ากับ 0.115 (Abs_{500nm}) และที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6 มีค่ากิจกรรมการเกิดอิมัลชันต่ำสุดเท่ากับ 0.040 (Abs_{500nm}) ทั้งนี้เนื่องจากที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6 สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตมีการละลายของโปรตีนต่ำสุด ส่วนที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2, 8 และ 10 มีค่ากิจกรรมการเกิดอิมัลชันอยู่ที่ 0.052, 0.106 และ 0.076 (Abs_{500nm}) ตามลำดับ



อักษร a, b, c, d แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาพที่ 4.14 ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (emulsion activity, Abs 500_{nm}) ของสารละลายโปรตีนไฮโดรไลสได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

ผลการวิเคราะห์ความคงตัวของอิมัลชันของสารละลายโปรตีนไฮโดรไลสและน้ำมันพืช ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆแสดงดังภาพที่ 4.15 พบว่าที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 และ 10 ค่าความคงตัวของอิมัลชันมีค่าสูงกว่าที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2, 6 และ 8 ($p \leq 0.05$) ซึ่งที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 และ 10 มีค่าความคงตัวของอิมัลชันเท่ากับ 65.98 และ 63.17 min ตามลำดับ



อักษร a, b, c, d แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาพที่ 4.15 ความคงตัวของอิมัลชัน (emulsion stability, min) ของสารละลายโปรตีนไฮโดรไลสได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเกิดอนุมูลชั้นของสารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตและน้ำมันกับโปรตีนจากรำข้าวที่สกัดได้ในตอนที่ 1 พบว่าความสามารถในการเกิดอนุมูลชั้นของสารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตมีค่าต่ำกว่าสารละลายโปรตีนที่สกัดได้ในตอนที่ 1 ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของพรชนัน (2548) ซึ่งวิเคราะห์ความสามารถในการเกิดอนุมูลชั้นของโปรตีนโอคาราที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์อัลคาเลส พบว่าโปรตีนโอคาราที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์อัลคาเลสมีความสามารถในการเกิดอนุมูลชั้นต่ำกว่าโปรตีนโอคาราที่ไม่ผ่านการย่อย ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากขนาดสายเปปไทด์ที่สั้นลงเมื่อโปรตีนผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ ส่งผลให้ฟิล์มโปรตีนรอบๆหยดไขมันเกิดขึ้นได้น้อยลง จึงทำให้ความสามารถในการเกิดอนุมูลชั้นลดลง

4.2.4.5 การศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

จากการศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าโปรตีนจากรำข้าวเมื่อผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้น โดยกิจกรรมการจับอนุมูลอิสระ DPPH radical scavenging activity ของสารละลายโปรตีนจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงมีค่าเท่ากับ 20.90 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 กรัม (mg AAE/g sample) และกิจกรรมการให้อิเล็กตรอน Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) มีค่าเท่ากับ 16.42 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 กรัม (mg AAE/g sample) และกิจกรรมการจับอนุมูลอิสระ DPPH radical scavenging activity ของสารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตจากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง พบว่ามีค่าเท่ากับ 61.94 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 กรัม (mg AAE/g sample) และจากการทดสอบกิจกรรมการให้อิเล็กตรอน Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) พบว่ามีค่าเท่ากับ 52.33 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 กรัม (mg AAE/g sample) ดังตารางที่ 4.12 ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนไฮโดรไลเสตมีองค์ประกอบของเปปไทด์และกรดอะมิโนซึ่งทำหน้าที่จับกับไอออนของโลหะ เช่น เหล็กและทองแดงซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระ (ปิยาภัทร, 2550) นอกจากนี้ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระอาจมาจากแอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุสีแดงในรำข้าว โดยอมรรัตน์ (2552) กล่าวว่าสีแดงของข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงเป็นสีของรงควัตถุประเภทฟลาโวนอยด์ชนิดแอนโทไซยานิน ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันซึ่งสามารถกำจัดหรือลดอนุมูลอิสระได้ (อมรรัตน์, 2552) จึงทำให้โปรตีนไฮโดรไลเสตมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่ดี นอกจากนี้ สรจญาและสุภาวรรณ (2554) ซึ่งศึกษากิจกรรมการจับอนุมูลอิสระ DPPH radical scavenging activity ของสารละลาย

โปรตีนไฮโดรไลสได้จากรำข้าวหอมมะลิที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.337 มิลลิกรัมสมมูลของ Trolox ต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 กรัม (mg TE/g sample)

ตารางที่ 4.12 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของโปรตีนจากรำข้าวเปรียบเทียบกับโปรตีนไฮโดรไลสได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

ตัวอย่างทดสอบ	กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (mg ascorbic acid equivalent/g sample)	
	DPPH radical scavenging activity	Ferric reducing antioxidant power (FRAP)
โปรตีนจากรำข้าว	20.90±0.01	16.42±0.02
โปรตีนไฮโดรไลส	61.94±0.00	52.33±0.01

* ค่าเฉลี่ย±SD

** ข้อมูลได้จากกราฟวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

4.3 การประยุกต์ใช้โปรตีนไฮโดรไลสได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงเพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ลำไยระหว่างการอบแห้ง

4.3.1 สมบัติทางเคมีกายภาพของลำไยอบแห้ง

ผลการใช้โปรตีนไฮโดรไลสได้จากรำข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงเพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ลำไยระหว่างการอบแห้ง แสดงผลดังตารางที่ 4.13 พบว่าลำไยอบแห้งที่แช่น้ำ มีค่าความสว่างของสี (L^*) ต่ำที่สุดเท่ากับ 32.21 ส่วนลำไยที่แช่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลส ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ร่วมกับกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 มีค่าความสว่างมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 39.09 ในส่วนของค่า a^* ซึ่งบ่งบอกความเป็นสีแดงของลำไย พบว่าลำไยอบแห้งที่แช่น้ำ มีค่า a^* ต่ำที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.45 และลำไยอบแห้งที่แช่ด้วยสารละลายโปรตีนไฮโดรไลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ร่วมกับโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 มีค่า a^* สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 5.26 แสดงว่าลำไยอบแห้งที่แช่ด้วยสารละลายโปรตีนไฮโดรไลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ร่วมกับโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 มีความเป็นสีแดงมากที่สุด ค่า b^* เป็นค่าซึ่งบ่งบอกความเป็นสีเหลืองของลำไยอบแห้ง จากผลการทดลองพบว่าลำไยอบแห้งที่แช่น้ำมีค่า b^* น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 5.61 และลำไยที่แช่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ร่วมกับโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 มีค่า b^* สูง

ที่สุดเท่ากับ 12.83 แสดงว่าลำไยอบแห้งที่แช่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ร่วมกับโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 มีความเป็นสีเหลืองมากที่สุด

ตารางที่ 4.13 ผลของการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง

สิ่งทดลองที่	ความเป็นกรด-ด่าง	ความชื้น (ร้อยละ)	แรงเหนือน (นิวตัน)	ค่าสี		
				L*	a*	b*
1	7.08±0.07 ^a	16.13±0.55 ^{ab}	48.47±5.62 ^{dc}	32.21±0.70 ^d	3.45±0.66 ^d	5.61±1.22 ^d
2	6.92±0.05 ^b	15.72±0.55 ^{abc}	58.78±3.46 ^c	37.00±0.84 ^{bc}	4.05±0.86 ^{bcd}	11.16±0.96 ^{bc}
3	6.88±0.07 ^b	15.53±0.43 ^{abc}	78.49±8.29 ^{ab}	35.67±0.86 ^c	4.89±0.43 ^{abc}	10.67±1.08 ^c
4	5.96±0.05 ^f	14.93±0.05 ^c	82.22±4.53 ^a	38.45±1.76 ^{ab}	3.85±0.42 ^{cd}	11.81±1.83 ^{abc}
5	6.90±0.04 ^b	16.13±0.51 ^{ab}	57.41±5.95 ^{cd}	38.51±1.68 ^{ab}	3.65±1.53 ^d	11.93±1.43 ^{abc}
6	6.26±0.01 ^d	15.12±0.22 ^{bc}	72.15±1.45 ^b	39.09±0.77 ^a	3.56±0.44 ^d	12.48±0.82 ^{ab}
7	6.08±0.03 ^e	15.35±0.22 ^{abc}	55.68±1.88 ^{cd}	37.71±1.57 ^{ab}	4.97±0.30 ^{ab}	12.03±0.98 ^{abc}
8	6.78±0.07 ^c	15.20±1.41 ^{bc}	77.59±4.49 ^{ab}	38.29±1.04 ^{ab}	5.26±0.79 ^a	12.83±0.73 ^a
9	6.23±0.02 ^d	16.38±0.17 ^a	43.63±7.81 ^e	37.93±0.92 ^{ab}	4.89±0.57 ^{abc}	12.58±0.63 ^{ab}

อักษร a, b, c, d แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) * ค่าเฉลี่ย±SD ** ข้อมูลได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

สิ่งทดลองที่ 1 น้ำ

สิ่งทดลองที่ 2 โปรตีนไฮโดรไลเสตความเข้มข้นร้อยละ 0.05

สิ่งทดลองที่ 3 โปรตีนไฮโดรไลเสตความเข้มข้นร้อยละ 0.1

สิ่งทดลองที่ 4 กรดซิดริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1

สิ่งทดลองที่ 5 โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.2

สิ่งทดลองที่ 6 โปรตีนไฮโดรไลเสตความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ร่วมกับกรดซิดริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1

สิ่งทดลองที่ 7 โปรตีนไฮโดรไลเสตความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ร่วมกับกรดซิดริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1

สิ่งทดลองที่ 8 โปรตีนไฮโดรไลเสตความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ร่วมกับโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.2

สิ่งทดลองที่ 9 โปรตีนไฮโดรไลเสตความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ร่วมกับโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.2

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งแสดงให้เห็นว่าการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตเพียงอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ และกรดซิดริกในรูปของสารละลายผสมในขั้นตอนการแช่ก่อนอบแห้งสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านสีของลำไยอบแห้งได้ คือทำให้มีความสว่างและความเป็นสีเหลืองทองเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันสามารถช่วยลดระดับความเป็นสีแดงที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ดี ลักษณะของลำไยอบแห้งแสดงดังภาพที่ 4.16 โดยทั่วไปแล้วในกระบวนการผลิตลำไยหรือผลไม้อบแห้งมีการใช้กรดซิดริกและโพแทสเซียมเม

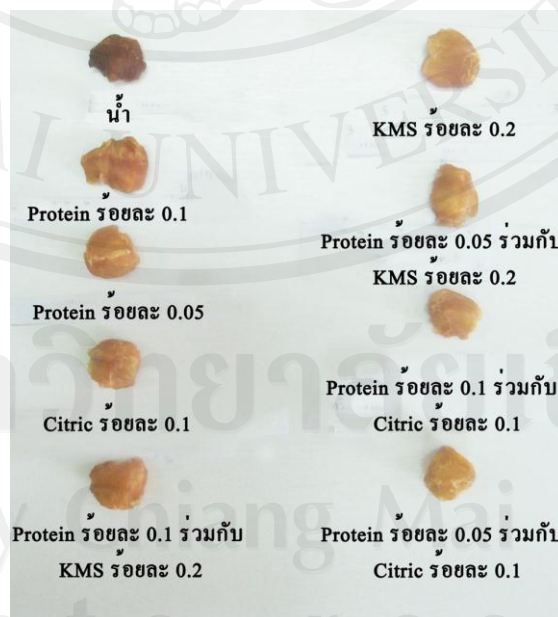
ตาไบซัลไฟต์อย่างแพร่หลาย เนื่องจากกรดซัลฟูริกมีบทบาทในการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล โดยกรดซัลฟูริกมีคุณสมบัติเป็นสารที่จับกับโลหะ (chelating agent) ที่รุนแรงซึ่งมีความสามารถเกิดพันธะกับอนุมูลของโลหะทองแดงและเหล็กที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเกิดเป็นสารที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อนหรืออยู่ในสภาพที่เฉื่อย จึงทำให้กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสถูกจำกัดลง ส่วนโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์นั้นเป็นสารประกอบซัลไฟต์ที่มีบทบาทในการช่วยฟอกสีผลิตภัณฑ์ (bleaching agent) สารดังกล่าวมีคุณสมบัติในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล อันได้แก่ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด และปฏิกิริยาการราเมลไรเซชัน โดยโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ไปทำให้สารที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยาให้อยู่ในรูปที่คงที่ขึ้น (อรรถนพและวรรณภา, 2550) นอกจากนี้โปรตีนไฮโดรไลสได้จากรำข้าวซึ่งมีองค์ประกอบของเปปไทด์ที่สามารถแสดงกิจกรรมทางชีวภาพต่างๆ ได้ โดยจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่าโปรตีนไฮโดรไลสได้จากรำข้าวที่ผลิตได้มีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนกับโลหะได้ดี ดังนั้นกลไกในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของโปรตีนไฮโดรไลส อาจจะเป็นการลดความว่องไวของเอนไซม์ในกลุ่มโพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งมีโลหะทองแดงและเหล็กเป็นองค์ประกอบ โดยโปรตีนไฮโดรไลสอาจทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนแก่โลหะทองแดงและเหล็ก (reducing activity) ซึ่งเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของเอนไซม์ ทำให้การทำงานหรือกิจกรรมของเอนไซม์ลดลงได้ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีในลำไยอบแห้ง อรรถนพและวรรณภา (2550) ได้การศึกษาผลของสารเคมีต่อคุณลักษณะด้านสีของลำไยอบแห้ง โดยนำเนื้อลำไยมาแช่ในสารเคมี 3 ชนิด ได้แก่ โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ กรดแอสคอร์บิกและกรดซัลฟูริก เป็นเวลา 10 นาที แล้วอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง พบว่า การใช้สารประกอบซัลไฟต์ในรูปสารละลายเพียงชนิดเดียว หรือใช้ร่วมกับสารชนิดอื่นในรูปของสารละลายผสมแช่ผลลำไยสดเป็นเวลานาน 10 นาที ก่อนนำไปอบแห้งสามารถช่วยปรับปรุงคุณลักษณะด้านสีของลำไยอบแห้งได้ ดังนั้นจากการศึกษานี้จึงเป็นแนวทางในการลดการใช้สารเคมีเพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ลำไยระหว่างการอบแห้งได้

ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของลำไยอบแห้งว่ามีความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.96 ถึง 7.08 โดยลำไยที่แช่สารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.96 ทั้งนี้เนื่องจากกรดซัลฟูริกมีความเป็นกรด-ด่างต่ำ เมื่อนำเนื้อลำไยไปแช่จึงเกิดการแพร่ของกรดซัลฟูริกในสารละลายเข้าสู่เซลล์ผลไม้ (ศิวพร, 2535) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ลำไยอบแห้งที่แช่ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกจึงมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของจันทนิษฐ์และอนุพงษ์ (2548) ซึ่งทำการศึกษาผลของสารเคมีต่อคุณภาพลำไยอบแห้งโดยพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของลำไยอบแห้งที่แช่สารละลายที่มีส่วนผสมของกรดซัลฟูริกก่อนนำไปอบแห้ง

จะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของลำไยอบแห้งมีค่าลดลง โดยจากการทดลองโปรตีนไฮโดรไลเสต มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดต่างเล็กน้อย

ผลการวิเคราะห์ความชื้นของลำไยอบแห้งพบว่า ลำไยที่ได้มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 14.93 ถึง 16.38 โดยที่ลำไยอบแห้งที่แช่สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 มีความชื้นต่ำสุด (ร้อยละ 14.93) และลำไยอบแห้งที่แช่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ร่วมกับโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 มีความชื้นสูงที่สุด (ร้อยละ 16.38) เมื่อนำมาเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้ง (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2532) ที่กำหนดให้ความชื้นในผลไม้แห้งต้องมีปริมาณไม่เกินร้อยละ 18 พบว่าลำไยอบแห้งทุกสภาวะทดสอบมีปริมาณความชื้นอยู่ในระดับตามเกณฑ์ที่กำหนด

ผลการวิเคราะห์แรงเฉือน (toughness) ซึ่งบ่งบอกถึงความเหนียวของลำไยอบแห้งพบว่า ค่าแรงเฉือนของลำไยอบแห้งที่แช่ด้วยสารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ร่วมกับโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ก่อนนำไปอบแห้ง มีแรงเฉือนต่ำสุด เท่ากับ 43.63 นิวตัน และลำไยอบแห้งที่แช่สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 มีแรงเฉือนสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 82.22 นิวตัน ค่าแรงเฉือนที่ได้สัมพันธ์กับค่าความชื้นของตัวอย่าง ดังนั้นเมื่อความชื้นต่ำลงจึงทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างเหนียวมากขึ้น จึงมีค่าแรงเฉือนสูง (สุรภา, 2548) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่มีค่าแรงเฉือนน้อยหรือมีความเหนียวน้อยกว่ามักได้รับความนิยมนจากผู้บริโภคมากกว่า



ภาพที่ 4.16 ลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล

4.3.2 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของลำไยอบแห้ง

ผลการทดสอบกิจกรรมการจับอนุมูลอิสระ DPPH radical scavenging activity และการทดสอบกิจกรรมการให้อิเล็กตรอน Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) ของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง แสดงดังตารางที่ 4.14 โดยลำไยอบแห้งชุดควบคุม (แช่น้ำก่อนการอบแห้ง) มีกิจกรรมการจับอนุมูลอิสระและกิจกรรมการให้อิเล็กตรอนต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.99 และ 2.84 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 กรัม (mg AAE/g sample) ตามลำดับ การแช่ลำไยในสารละลายโปรตีนไฮโดรไลสเสต สารละลายกรดซิตริก และสารละลายโปรตีนไฮโดรไลสเสตร่วมกับกรดซิตริกทำให้ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมีค่าสูงขึ้น โดยที่ลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลสเสตความเข้มข้นร้อยละ 0.05 มีกิจกรรมการจับอนุมูลอิสระ DPPH และกิจกรรมการให้อิเล็กตรอนสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.72 และ 5.29 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 กรัม (mg AAE/g sample) ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโปรตีนไฮโดรไลสเสตซึ่งมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ บางส่วนสามารถถูกดูดซับในเนื้อและบริเวณผิวหนังของลำไยอบแห้ง นอกจากนี้สารละลายโปรตีนไฮโดรไลสเสตที่สกัดได้ยังมีสารประเภทฟลาโวนอยด์ ชนิดแอนโทไซยานินสูง ซึ่งมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ (อมรรัตน์, 2552) ดังนั้นจึงอาจมีผลให้ผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการให้อิเล็กตรอนที่เพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการใช้โปรตีนไฮโดรไลสเสตซึ่งเตรียมได้จากรำข้าวในผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง นอกจากสามารถช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของลำไยแล้ว ยังสามารถช่วยเพิ่มกิจกรรมการต่อต้านอนุมูลอิสระได้อีกด้วย จึงเป็นแนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งเพื่อสุขภาพต่อไปได้

ตารางที่ 4.14 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของลำไยอบแห้ง

สิ่งทดลอง	กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (mg ascorbic acid equivalent/g sample)	
	DPPH Radical Scavenging Activity	Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP)
	น้ำ	1.99±0.00 ^e
โปรตีนไฮโดรไลเสตความเข้มข้น ร้อยละ 0.05	9.72±0.02 ^a	5.29±0.00 ^a
กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1	6.61±0.00 ^b	4.04±0.00 ^d
โปรตีนไฮโดรไลเสตความเข้มข้น ร้อยละ 0.05 ร่วมกับกรดซิตริกความ เข้มข้นร้อยละ 0.1	5.57±0.06 ^c	3.88±0.01 ^e
ผลิตภัณฑ์ทางการค้า 1	3.45±0.01 ^d	4.38±0.01 ^c
ผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2	3.73±0.01 ^d	4.97±0.00 ^b

อักษร a, b, c, d แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) * ค่าเฉลี่ย±SD และ ** ข้อมูลได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

จากการศึกษาผลของการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้ง ได้ทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งทั้งสิ้น 4 ผลิตภัณฑ์ที่มีการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลที่แตกต่างกัน เช่น สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสต สารละลายกรดซิตริก สารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ และสารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตร่วมกับสารละลายกรดซิตริกหรือสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ เพื่อทดสอบด้านประสาทสัมผัสของลำไยอบแห้ง โดยมีหลักเกณฑ์การคัดเลือกดังนี้

ลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสต พบว่าลำไยที่ผ่านการแช่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 และ 0.1 มีค่าสี L*, a* และ b* ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้นจึงเลือกลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 มาทำการทดสอบด้านประสาทสัมผัสเนื่องจากใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตในปริมาณต่ำ แต่ให้ค่าสีเทียบเท่ากับสารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1

ลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซิตริกและสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์เพียงอย่างเดียว พบว่าลำไยที่แช่สารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์มีการตกค้างของซัลไฟต์ในอาหารก่อให้เกิดอาการแพ้ (allergic) เช่น การเกิดโรคหอบหืด ดังนั้นจึงไม่นำตัวอย่างลำไย

อบแห้งที่แช่สารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ไปทดสอบทางประสาทสัมผัส ใช้เพียงลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 เท่านั้น

ลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตร่วมกับสารละลายกรดซิตริกหรือสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ พบว่าลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตร่วมกับสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์มีข้อเสียดังกล่าวมาข้างต้น จึงไม่นำไปใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส ส่วนลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตร่วมกับสารละลายกรดซิตริกพบว่า ลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ร่วมกับสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ร่วมกับสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 มีค่า L^* และ b^* ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนค่า a^* ของลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ร่วมกับสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 มีค่าต่ำกว่าลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ร่วมกับสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ซึ่งแสดงถึงความเป็นสีแดงที่ต่ำกว่า ดังนั้นจึงเลือกลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ร่วมกับสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ไปทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อไป

ส่วนลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำนำมาใช้เป็นชุดควบคุมเพื่อเปรียบเทียบลักษณะด้านสี นอกจากนี้ทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งทางการค้ามา 2 ยี่ห้อเพื่อทดสอบประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับลำไยอบแห้งที่เตรียมจากการทดลอง

4.3.3 การทดสอบด้านประสาทสัมผัสของลำไยอบแห้ง

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งซึ่งแช่ด้วยสารละลายชนิดต่างๆก่อนการอบแห้ง แสดงดังตารางที่ 4.15 พบว่า ลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซิตริกและลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ร่วมกับกรดซิตริกความเข้มข้น 0.1 ได้รับคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะอยู่ในระดับสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากคุณลักษณะด้านสีของลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่โปรตีนไฮโดรไลเสตความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ได้รับคะแนนความชอบในด้านสีสูงสุด และคุณลักษณะด้านสีเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการให้คะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิมต่อคุณลักษณะด้านอื่น ๆ โดยสีที่ปรากฏของผลิตภัณฑ์เป็นลักษณะทางประสาทสัมผัสแรกที่ทำให้ผู้บริโภคเกิดความสนใจในตัวผลิตภัณฑ์ โดยความสนใจใน

ด้านสีเป็นการตอบสนองการรับรู้ด้วยสายตา ความรู้สึก และอารมณ์ของมนุษย์ (ไพโรจน์, 2545) ดังนั้นตัวอย่างที่ได้รับคะแนนด้านสีสูงก็จะได้รับคะแนนด้านอื่น ๆ สูงตามไปด้วย สอดคล้องกับ จันทนีย์และอนุพงษ์ (2548) กล่าวว่าผู้ทดสอบชิมใช้คุณลักษณะที่แตกต่างกันด้านสีเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจให้คะแนนความชอบด้านอื่น ๆ ซึ่งตัวอย่างที่มีสีเป็นที่น่าพอใจก็มักได้รับคะแนนด้านอื่น ๆ สูงตามไปด้วย และลำโพงแห่งในทุกตัวอย่างเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ตารางที่ 4.15 ค่าการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลำโพงแห่ง

ลักษณะทาง ประสาทสัมผัส	สิ่งทดลอง					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
กลิ่น	6.18±1.49 ^b	6.96±1.03 ^a	6.60±1.29 ^{ab}	6.48±1.39 ^{ab}	4.96±1.64 ^c	5.02±1.71 ^c
รสขม	6.04±1.46 ^b	6.66±1.12 ^a	6.62±1.31 ^a	6.38±1.29 ^a	5.10±2.04 ^b	5.16±1.52 ^b
รสชาติโดยรวม	6.42±1.26 ^a	6.78±1.18 ^a	6.52±1.31 ^a	6.28±1.36 ^a	5.00±1.92 ^b	4.92±1.82 ^b
สี	6.70±1.39 ^b	7.38±1.03 ^a	6.96±0.97 ^{ab}	6.84±1.43 ^{ab}	4.32±1.70 ^d	5.14±1.74 ^c
ความแน่นเนื้อ	6.08±1.59 ^b	5.96±1.65 ^{ab}	5.68±1.78 ^{ab}	5.56±1.73 ^{ab}	5.18±2.11 ^b	5.42±1.92 ^{ab}
ความชอบโดยรวม	6.54±1.30 ^a	6.84±1.31 ^a	6.58±1.23 ^a	6.22±1.47 ^a	5.04±1.87 ^b	4.96±1.77 ^b

อักษร a, b, c, d แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$), * ค่าเฉลี่ย±SD ** ข้อมูลได้จากการทดสอบผู้บริโภค 50 คน (กลุ่มประชากร นักศึกษา คณาจารย์ และบุคลากร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่)

สิ่งทดลองที่ 1 (T1) น้ำ

สิ่งทดลองที่ 2 (T2) โพรตีนไฮโดรไลเสตความเข้มข้นร้อยละ 0.05

สิ่งทดลองที่ 3 (T3) กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1

สิ่งทดลองที่ 4 (T4) โพรตีนไฮโดรไลเสตความเข้มข้นร้อยละ 0.05

ร่วมกับกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1

สิ่งทดลองที่ 5 (T5) ผลิตภัณฑ์ทางการค้า 1

สิ่งทดลองที่ 6 (T6) ผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2