

บทที่ 4

ผล และวิจารณ์ผลการวิจัย

โครงการย่อยที่ 1: การผลิตฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (FOS) จากน้ำเชื่อมลำไย

งานวิจัยนี้ มีแนวคิดที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยการเปลี่ยนน้ำตาลในน้ำเชื่อมลำไย จากลำไยตากเกรด B และ C ให้เป็นสารฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (FOS) โดยการใช้เอนไซม์ และหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารออกฤทธิ์จากเมล็ดลำไย เปลือกลำไย และกากลำไย เพื่อแก้ปัญหาราคาลำไยตกต่ำ และเพิ่มมูลค่าให้แก่ลำไยคุณภาพต่ำคละเกรด B และ C ซึ่ง FOS ที่สังเคราะห์ได้นั้น มีประโยชน์ในการเป็นแหล่งอาหารที่ช่วยเร่งการเติบโตและเพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ดีในลำไส้ และยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ไม่ดีต่อสุขภาพ (Durieux *et al.*, 2001; Rycroft *et al.*, 2001) ป้องกันอาการท้องผูกและเกิดแก๊สในกระเพาะอาหาร ทำให้เซลล์ผนังลำไส้แข็งแรง ร่างกายจึงดูดซึมแร่ธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมที่มีประโยชน์ต่อกระดูกเข้าสู่ลำไส้ใหญ่ได้ง่ายขึ้น (Mussatto and Manchilha, 2007; Sangeetha *et al.*, 2004) นอกจากนี้ ยังมีสมบัติในการสร้างภูมิคุ้มกัน (Sangeetha *et al.*, 2004) เผาผลาญไขมัน (Mussatto and Manchilha, 2007) และต้านมะเร็ง (Poll-Zobel *et al.*, 2002) อีกด้วย



รูปที่ 4.1.1: ลำไยตากเกรดชนิดคละเกรด B และ C

4.1 การผลิต FOS จากน้ำเชื่อมลำไย

4.1.1 การผลิตน้ำเชื่อมลำไยจากลำไยเกรดต่ำแบบคละเกรด

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลด้วย HPLC ในน้ำเชื่อมลำไยจากลำไยคละเกรด (B และ C) ซึ่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 60 องศาบริกซ์ พบว่า น้ำเชื่อมลำไยมีน้ำตาลซูโครส 200.86 ± 2.50 กรัม/ลิตร กลูโคส 211.65 ± 2.54 กรัม/ลิตร ฟรุคโตส 185.87 ± 2.65 กรัม/ลิตร และ 1-คีสโตส (ซึ่งเป็น FOS ชนิดหนึ่ง) 8.07 ± 0.11 กรัม/ลิตร รวมปริมาณน้ำตาลเท่ากับ 606.44 ± 7.42 กรัม/ลิตร (ตารางที่ 4.1.1)

นอกจากนี้เมื่อนำน้ำเชื่อมลำไยอบแห้ง มาวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ที่มีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งประกอบด้วย กรดแกลลิก คอริลาจिन และกรดเอลลาจิก พบว่า น้ำเชื่อมลำไยมีปริมาณกรดแกลลิก คอริลาจिन และกรดเอลลาจิกเท่ากับ 0.40 ± 0.02 , 0.05 ± 0.01 และ 0.03 ± 0.01 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ รวมปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเท่ากับ 0.48 ± 0.02 มิลลิกรัม/กรัม (ตารางที่ 4.1.2)

ตารางที่ 4.1.1: ปริมาณน้ำตาลในน้ำเชื่อมลำไยคละเกรด

| ชนิดน้ำตาล | ปริมาณน้ำตาล (กรัม/ลิตร) |
|-----------------|--------------------------|
| ซูโครส | 200.86 ± 2.50 |
| กลูโคส | 211.65 ± 2.54 |
| ฟรุคโตส | 185.87 ± 2.65 |
| 1-คีสโตส | 8.07 ± 0.11 |
| รวมปริมาณน้ำตาล | 606.44 ± 7.42 |

ตารางที่ 4.1.2: ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในน้ำเชื่อมลำไยคละเกรด

| สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ | ปริมาณ (มิลลิกรัม/กรัม) |
|----------------------|-------------------------|
| กรดแกลลิก | 0.40±0.02 |
| คอร์ลาจิน | 0.05±0.01 |
| กรดเอลลาจิก | 0.03±0.01 |
| รวมปริมาณสารออกฤทธิ์ | 0.48±0.02 |

4.1.2 การผลิต FOS จากน้ำเชื่อมลำไยเกรดต่ำแบบคละเกรด

เมื่อนำน้ำเชื่อมลำไยจากลำไยทั้งลูก แบบคละเกรด B และ C ซึ่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเริ่มต้น 60 องศาบริกซ์ มาสังเคราะห์ให้เป็น FOS ด้วยเอนไซม์ทางการค้ายี่ห้อ Pectinex Ultra SP-L ในถังปฏิกรณ์ขนาด 10 ลิตร โดยควบคุมการสังเคราะห์ FOS ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และใช้อัตราเร็วในการกวนของใบพัด 150 รอบต่อนาที ด้วยการแปรปัจจัยในการผลิต 2 ปัจจัย คือ ปริมาตรของเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ (10-60 มิลลิลิตร/น้ำเชื่อมลำไย 1 ลิตร) และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา (3-24 ชั่วโมง) โดยวางแผนการทดลองแบบ Central composite design (CCD) และทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง (center point) 3 ซ้ำ (ตารางที่ 4.1.3) ผลการทดลอง พบว่า FOS ที่สังเคราะห์ได้จากน้ำเชื่อมลำไยคละเกรด B และ C มี น้ำตาล 1^F-ฟรุกโตฟิวราโนซิลนีสโทส ในช่วง 1.10-2.16 กรัม/ลิตร น้ำตาลนีสโทส ในช่วง 1.97-12.75 กรัม/ลิตร น้ำตาล 1-คีสโทส ในช่วง 10.84-56.98 กรัม/ลิตร น้ำตาลซูโครส ในช่วง 19.39-117.48 กรัม/ลิตร น้ำตาลกลูโคส ในช่วง 209.66-238.12 กรัม/ลิตร และน้ำตาลฟรุกโตส ในช่วง 138.50-187.79 กรัม/ลิตร ตามลำดับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา ที่มีผลต่อองค์ประกอบน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์ FOS แสดงดังตารางที่ 4.1.4

ก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษาการสังเคราะห์ FOS จากน้ำเชื่อมลำไยคละเกรด B และ C ที่มีของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 60 องศาบริกซ์ ด้วยเซลล์ตรึงของทางกลุ่มวิจัย พบว่า น้ำเชื่อมลำไย มีปริมาณซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส เริ่มต้น เท่ากับ 124, 102 และ 103 กรัม/ลิตร ตามลำดับ สามารถสังเคราะห์ FOS ได้ปริมาณ 1^F-ฟรุกโตฟิวราโนซิลนีสโทส 5 กรัม/ลิตร, นีสโทส 12 กรัม/ลิตร

และ 1-คีสโทส 72 กรัม/ลิตร รวมปริมาณ FOS ที่สังเคราะห์ได้เท่ากับ 89 กรัม/ลิตร จากปริมาณ ซูโครสเริ่มต้น 124 กรัม/ลิตร คิดเป็นผลได้ของ FOS เท่ากับร้อยละ 25.5 และเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาการสังเคราะห์มีซูโครส 48 กรัม/ลิตร, กลูโคส 175 กรัม/ลิตร และฟรุคโตส 40 กรัม/ลิตร (unpublished data)

นอกจากนี้ ศิริลักษณ์ (2555) ได้นำน้ำเชื่อมลำไยคละเกรด AA และ A ที่มีของแข็งที่ละลายน้ำได้ 60 องศาบริกซ์ มาสังเคราะห์ให้เป็น FOS ด้วยการแปรระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L (2.7-7.2 หน่วย/กรัม ซูโครส) เอนไซม์กลูโคสออกซิเดส (1,022-4,022 หน่วย/กรัม ซูโครส) และเวลาในการทำปฏิกิริยา (7-25 ชั่วโมง) จากการวางแผนการทดลองแบบ central composite design (CCD) ผลการทดลองพบว่า สามารถสังเคราะห์ 1-คีสโทสได้ในช่วง 22.44-131 กรัม/ลิตร นีสโทส ในช่วง 3.50-47.72 กรัม/ลิตร ซูโครส ในช่วง 8.38-111.97 กรัม/ลิตร กลูโคส ในช่วง 146.30-237.05 และฟรุคโตส ในช่วง 60.37-110.41 กรัม/ลิตร และเมื่อนำมาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ FOS จากน้ำเชื่อมลำไยคละเกรด AA และ A ที่มีของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 60 องศาบริกซ์ พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ การใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L ความเข้มข้น 3.3 หน่วย/กรัม ซูโครส เอนไซม์กลูโคสออกซิเดส ความเข้มข้น 1,022 หน่วย/กรัม ซูโครส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง 41 นาที และเมื่อนำสภาวะดังกล่าว มาทวนสอบกระบวนการผลิต พบว่า สามารถสังเคราะห์ 1-คีสโทส ได้ 115.96 กรัม/ลิตร นีสโทส 24.49 กรัม/ลิตร ซูโครส 78.14 กรัม/ลิตร กลูโคส 190.98 กรัม/ลิตร และฟรุคโตส 103.49 กรัม/ลิตร

ตารางที่ 4.1.3: ผลของปริมาณตรอนไซม์ (มิลลิลิตร/น้ำเชื่อมลำไย 1 ลิตร) และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง) ต่อปริมาณน้ำตาลชนิดต่าง ๆ

| สิ่งทดลอง | เอนไซม์ (มิลลิลิตร) | เวลาทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง) | ปริมาณ (กรัม/ลิตร) | | | | | |
|-----------|------------------------|------------------------------|--------------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | 1 ^F -ฟรุกโตซา | น้ำตาล | 1-คีโตส | ซูโครส | กลูโคส | ฟรุกโตส |
| 1 | 35 | 1.5 | - | 1.97±0.42 | 41.92±2.14 | 117.48±1.90 | 211.92±3.49 | 179.72±3.57 |
| 2 | 10 | 3 | - | 0.06±0.01 | 30.86±2.87 | 159.73±4.61 | 218.25±1.33 | 187.79±5.13 |
| 3 | 60 | 3 | - | 7.20±1.04 | 56.98±1.79 | 59.73±1.66 | 219.98±3.21 | 173.42±3.19 |
| 4 | 9.64 | 3 | - | 4.57±0.37 | 54.17±1.79 | 72.69±1.84 | 209.66±4.37 | 155.22±3.15 |
| 5 | 70.36 | 13.5 | 1.57±0.28 | 11.98±0.54 | 17.00±0.80 | 20.21±0.13 | 238.12±2.67 | 151.21±2.38 |
| 6 | 35 | 13.5 | 1.10±0.31 | 12.31±0.39 | 35.41±1.17 | 26.12±0.40 | 217.84±2.93 | 139.46±2.86 |
| 7 | 35 | 13.5 | 1.27±0.28 | 12.58±0.10 | 34.80±1.69 | 26.05±0.45 | 219.00±2.64 | 140.33±3.20 |
| 8 | 35 | 13.5 | 1.54±0.16 | 12.47±0.44 | 36.43±1.88 | 26.09±1.20 | 221.84±4.01 | 142.83±3.62 |
| 9 | 10 | 24 | - | 9.96±0.50 | 55.87±2.24 | 43.55±1.26 | 229.80±3.59 | 156.40±3.34 |
| 10 | 60 | 24 | 2.16±0.16 | 8.95±0.28 | 10.84±0.72 | 19.39±0.53 | 230.33±3.45 | 142.92±4.07 |
| 11 | 35 | 28.5 | 2.06±0.36 | 12.75±0.28 | 19.25±0.91 | 21.26±0.35 | 233.80±2.63 | 138.50±3.13 |

ตารางที่ 4.1.4: สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอนไซม์และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา
 ต่อปริมาณ 1^F-ฟรุคโตฟิวราโนซิลนิสโทส นิสโทส 1-คีสโทส ซูโครส กลูโคส และ
 ฟรุคโตส

| ตัวแปร | 1 ^F -ฟรุคโตส | นิสโทส | 1-คีสโทส | ซูโครส | กลูโคส | ฟรุคโตส |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------|----------|---------|---------|------------------------|
| ค่าคงที่ | +0.27 | -7.90 | +24.81 | +209.15 | +206.84 | +201.72 |
| X ₁ | -5.86×10 ⁻³ | +0.46 | +0.56 | -3.46 | +0.21 | -1.12 |
| X ₂ | -0.01 | +1.29 | +1.74 | -12.09 | +0.63 | -4.24 |
| X ₁ ² | | -3.85×10 ⁻³ | | +0.02 | | +0.01 |
| X ₂ ¹ | | -0.02 | | +0.22 | | +0.10 |
| X ₁ X ₂ | | -7.76×10 ⁻³ | -0.07 | +0.07 | | +8.48×10 ⁻⁴ |
| P-value | 0.1879 | 0.0076 | 0.0138 | 0.0001 | 0.0997 | 0.0396 |
| Adj. R² | 0.7803 | 0.9309 | 0.8603 | 0.9360 | 0.6253 | 0.8498 |

หมายเหตุ: X₁ คือ ปริมาณเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L ที่ใช้ในการสังเคราะห์ (มิลลิลิตร/น้ำเชื่อมลำไย 1 ลิตร)

X₂ คือ ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)

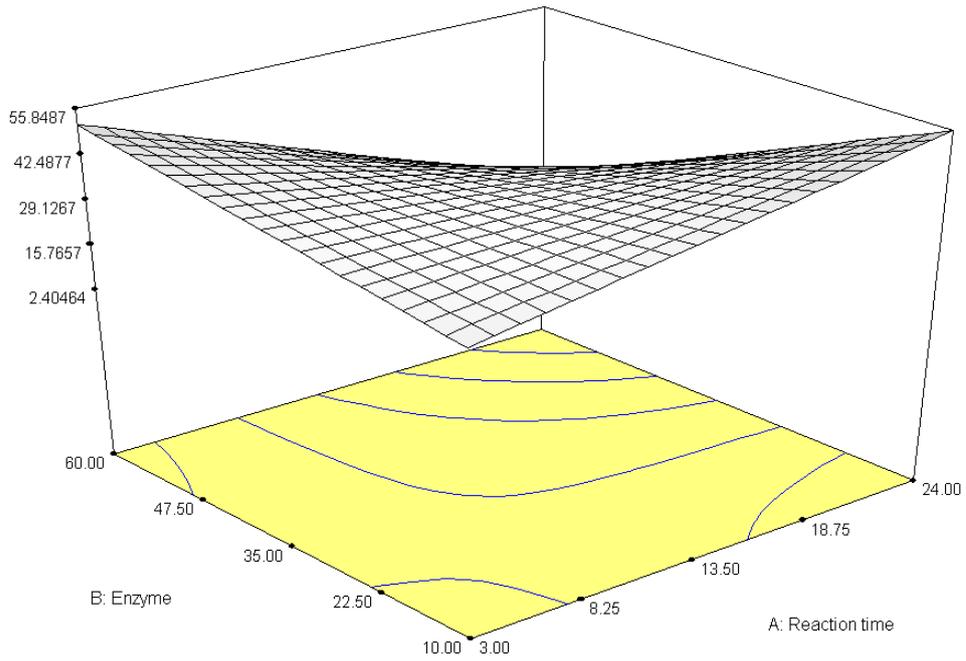
4.1.2.1 ปริมาณน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ที่สังเคราะห์ได้จากการทำปฏิกิริยาทาง เอนไซม์

1) 1-คีสโทส

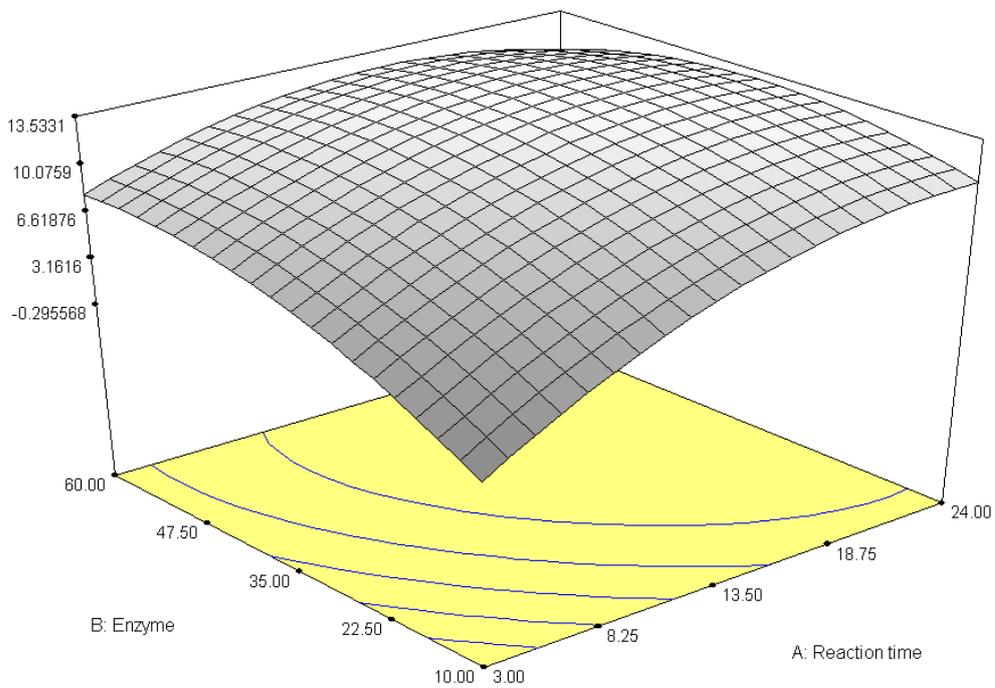
น้ำตาล 1-คีสโทส เป็นน้ำตาลฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่เกิดขึ้นเป็นลำดับแรกในปฏิกิริยาการสังเคราะห์ FOS ด้วยเอนไซม์ ซึ่งเป็น FOS ที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุล และน้ำตาลฟรุกโตส 2 โมเลกุล (GF_2) ผลการทดลองพบว่า ปริมาตรของเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L ที่ใช้ในการสังเคราะห์ และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา ส่งผลต่อปริมาณ 1-คีสโทสที่เกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบผลร่วมระหว่าง ปริมาตรของเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา โดยพบว่า การใช้เอนไซม์ในปริมาณมากและระยะเวลาการทำปฏิกิริยานาน สามารถสังเคราะห์ 1-คีสโทสได้ในปริมาณที่มากขึ้น จนถึงระดับหนึ่ง หลังจากปริมาณ 1-คีสโทสที่สังเคราะห์ได้จะลดลงเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1.2 เนื่องจากน้ำตาล 1-คีสโทส (GF_2) ทำหน้าที่เป็นตัวรับฟรุกโตส และเกิดสายโซ่ของน้ำตาลประเภทฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ยาวขึ้น กลายเป็นนิสโทส (GF_3) และ 1^F -ฟรุกโตพิวราโนซิลนิสโทส (GF_4) ตามลำดับ (Jung *et al.*, 1989)

2) นิสโทส

น้ำตาลนิสโทส เป็นน้ำตาลฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ลำดับถัดมาที่เกิดขึ้นหลังจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยเอนไซม์ โดยเป็น FOS ที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุล และน้ำตาลฟรุกโตส 3 โมเลกุล (GF_3) ผลการทดลองพบว่า ปริมาตรของเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L ที่ใช้ในการสังเคราะห์ และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา ส่งผลต่อปริมาณนิสโทสที่สังเคราะห์ได้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบผลร่วมระหว่าง ปริมาตรของเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา โดยพบว่า การใช้เอนไซม์ในปริมาณมากและระยะเวลาการทำปฏิกิริยานาน สามารถสังเคราะห์นิสโทสได้ในปริมาณที่มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1.3



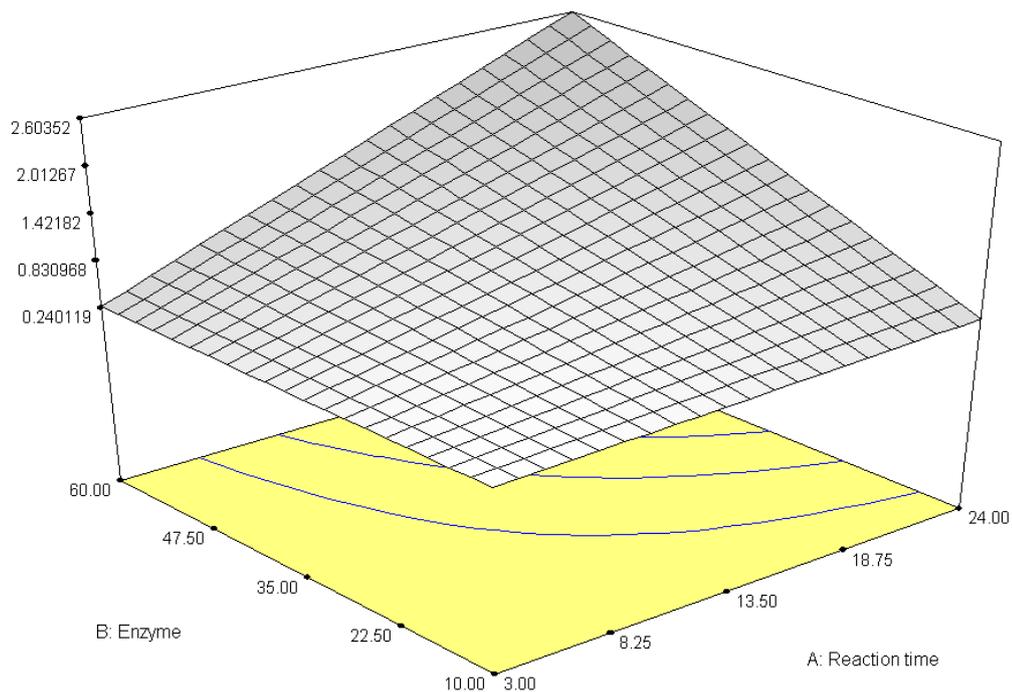
รูปที่ 4.1.2: พื้นที่การตอบสนองต่อปริมาณน้ำตาล 1-คีสโทส เมื่อทำการผันแปรปริมาณเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L (A) และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา (B)



รูปที่ 4.1.3: พื้นที่การตอบสนองต่อปริมาณน้ำตาลฟรุคโทส เมื่อทำการผันแปรปริมาณเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L (A) และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา (B)

3) 1^F -ฟรุคโตฟิวราโนซิลนีสโทส

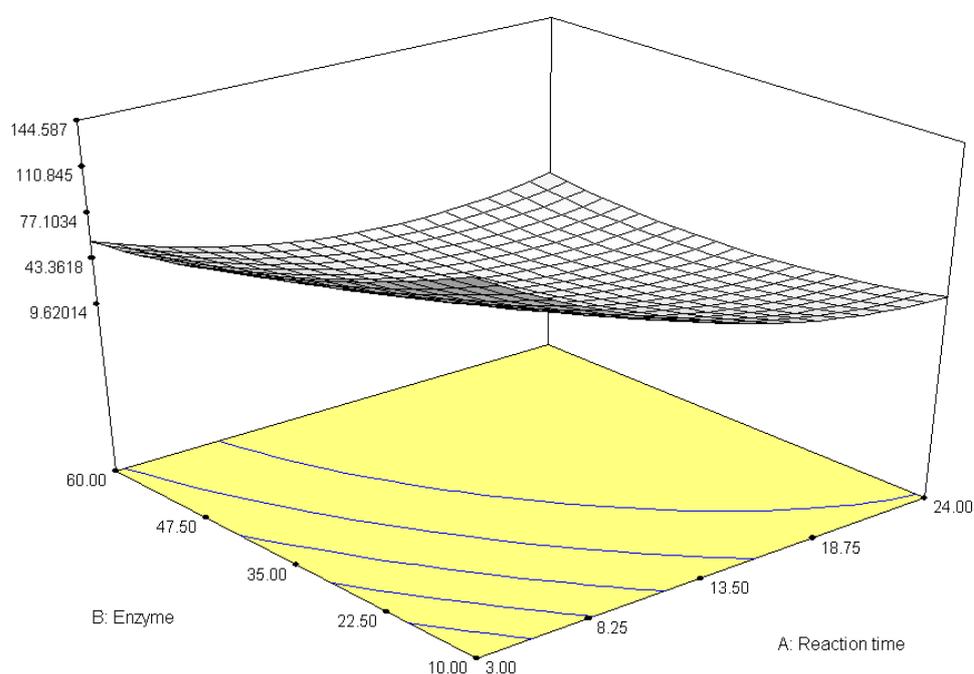
น้ำตาล 1^F -ฟรุคโตฟิวราโนซิลนีสโทส เป็น FOS ลำดับที่สามที่เกิดขึ้นหลังจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยเอนไซม์ โดยเป็น FOS ที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุล และน้ำตาลฟรุคโตส 4 โมเลกุล (GF_4) ผลการทดลองพบว่า ปริมาตรของเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L ที่ใช้ในการสังเคราะห์ และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา ส่งผลต่อความเข้มข้นน้ำตาล 1^F -ฟรุคโตฟิวราโนซิลนีสโทสที่สังเคราะห์ได้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ ยังพบผลร่วมระหว่าง ปริมาตรของเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา โดยพบว่าการใช้เอนไซม์ในปริมาณมากและระยะเวลาการทำปฏิกิริยานาน ทำให้ 1^F -ฟรุคโตฟิวราโนซิลนีสโทส ถูกสังเคราะห์ได้ในปริมาณที่มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1.4



รูปที่ 4.1.4: พื้นที่การตอบสนองต่อปริมาณน้ำตาล 1^F -ฟรุคโตฟิวราโนซิลนีสโทส เมื่อทำการผันแปร ปริมาตรเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L (A) และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา (B)

4) ซูโครส

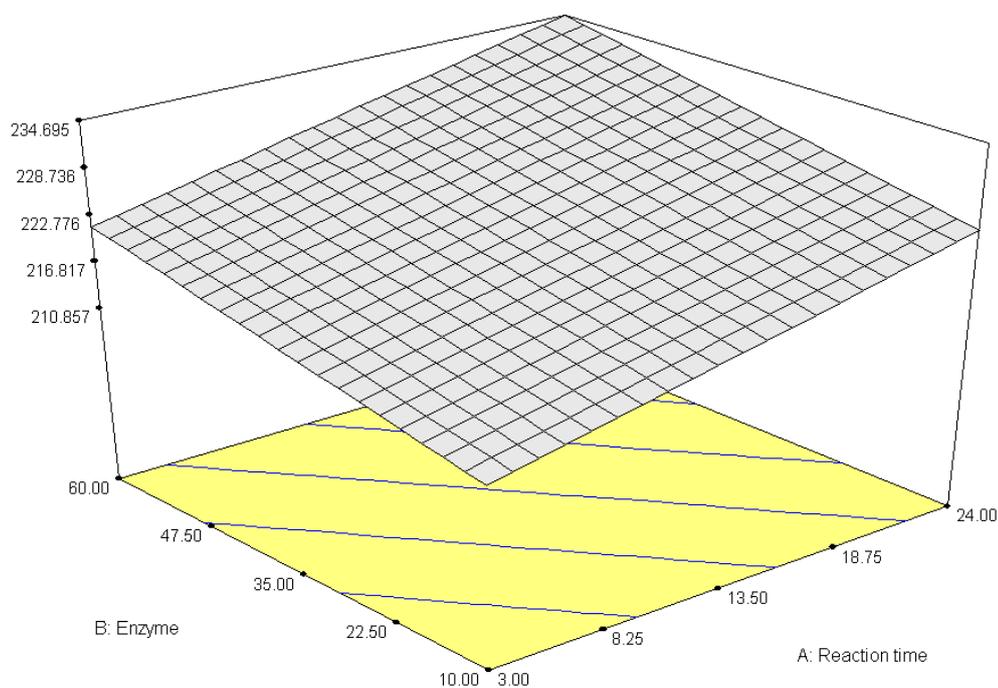
น้ำตาลซูโครสเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ FOS ด้วยเอนไซม์ ดังนั้นจึงพบว่า ปริมาณน้ำตาลซูโครสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อปริมาณของเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L ที่ใช้ในการสังเคราะห์เพิ่มขึ้น และระยะเวลาการทำปฏิกิริยานานขึ้น และยังพบผลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสองในการลดลงของซูโครส ดังแสดงในรูปที่ 4.1.5



รูปที่ 4.1.5: พื้นที่การตอบสนองต่อปริมาณน้ำตาลซูโครส เมื่อทำการผันแปรปริมาณเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L (A) และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา (B)

5) กลูโคส

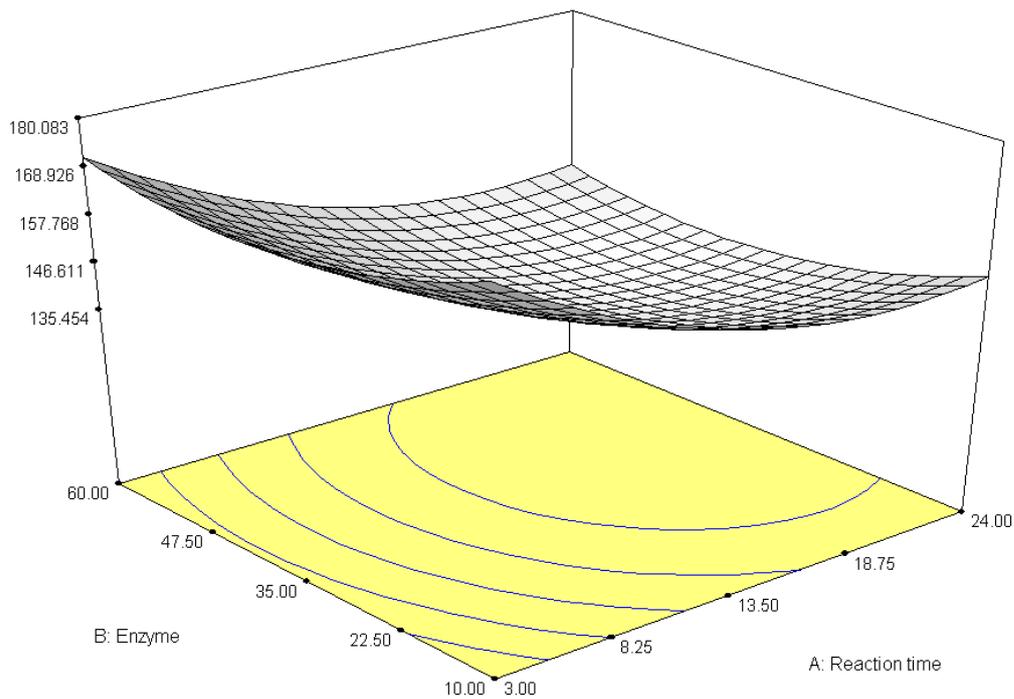
น้ำตาลกลูโคสเป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ (by-product) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ FOS ด้วยเอนไซม์เนื่องจากการสลายโมเลกุลน้ำตาลซูโครส และยังเป็นสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ FOS ผลการทดลองพบว่า ปริมาณกลูโคสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามปริมาณของเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L ที่ใช้ในการสังเคราะห์ และระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่มากขึ้น แต่ไม่พบผลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสองในการเพิ่มขึ้นของกลูโคส ดังแสดงในรูปที่ 4.1.6



รูปที่ 4.1.6: พื้นที่การตอบสนองต่อปริมาณน้ำตาลกลูโคส เมื่อทำการผันแปรปริมาณเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L (A) และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา (B)

6) ฟรุคโตส

น้ำตาลฟรุคโตสเป็นสารตั้งต้นร่วม (co-substrate) ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์ FOS ร่วมกับน้ำตาลซูโครส ด้วยการเชื่อมต่อกับซูโครสด้วยพันธะ α -D-glucopyranosyl- $[\beta$ -D-fructofuranosyl] $_{n-1}$ - β -fructofuranoside เพื่อให้เกิดเป็น FOS ซึ่งเป็นโมเลกุลร่วมระหว่างน้ำตาลซูโครสและฟรุคโตส (Gibson and Roberfroid, 2008) ผลการทดลองพบว่า ฟรุคโตสมีปริมาณลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามปริมาณของเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L ที่เพิ่มขึ้นในการสังเคราะห์ ในขณะที่ไม่พบผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ต่อปริมาณฟรุคโตสที่ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.1.7

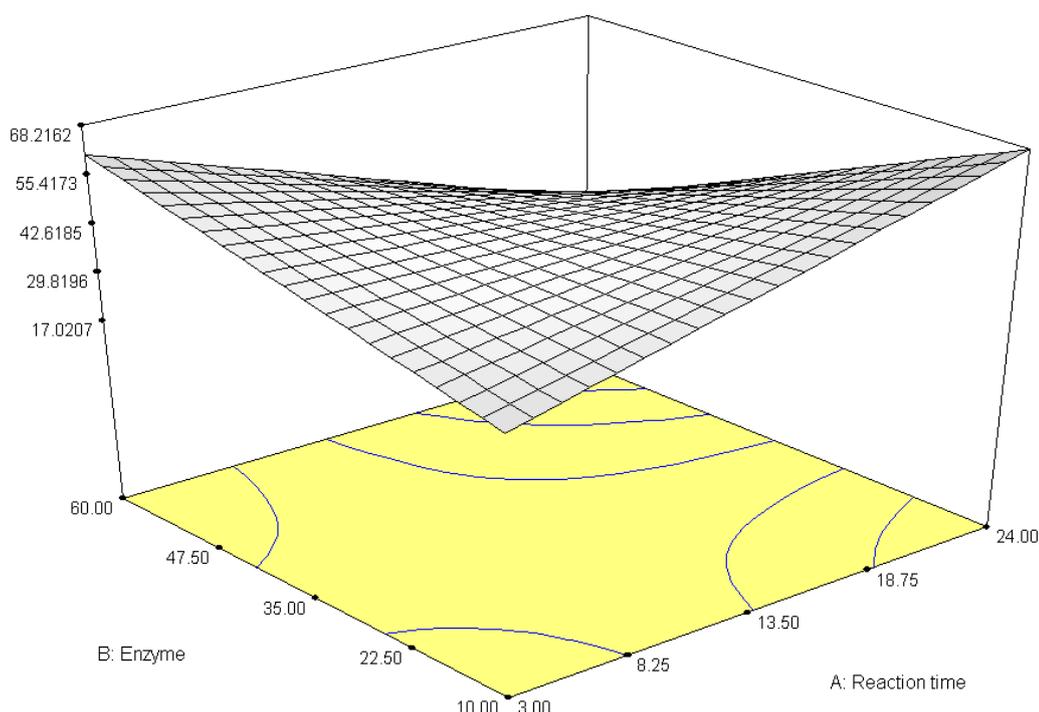


รูปที่ 4.1.7: พื้นที่การตอบสนองต่อปริมาณน้ำตาลฟรุคโตส เมื่อทำการผันแปรปริมาณเอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L (A) และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา (B)

4.1.2.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ FOS จากน้ำเชื่อมลำไยคละ

เกรด

สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ FOS จากน้ำเชื่อมลำไยคละเกรด ถูกกำหนดจาก ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ทั้งหมด ซึ่งได้แก่ 1^F-ฟรุกโตฟิวราโนซิลนิสโทส นิสโทส และ 1-คีสโทส ในระดับสูง ซึ่งพื้นที่การตอบสนองของกระบวนการสังเคราะห์ FOS ที่เหมาะสมแสดงดังรูปที่ 4.1.8 โดยสภาวะที่เหมาะสม คือ การใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L ปริมาตร 20.12 มิลลิลิตรต่อน้ำเชื่อมลำไย 1 ลิตร และระยะเวลาการทำปฏิกิริยานาน 24 ชั่วโมง ซึ่งจากการทำนาย ปริมาณน้ำตาล 1^F-ฟรุกโตฟิวราโนซิลนิสโทส นิสโทส 1-คีสโทส ซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส เท่ากับ 0.87, 12.07, 45.03, 22.53, 226.22 และ 142.55 กรัม/ลิตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.1.8: พื้นที่การตอบสนองที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์จาก น้ำเชื่อมลำไย

4.1.2.3 การทวนสอบกระบวนการสังเคราะห์ FOS จากน้ำเชื่อมลำไยคละเกรด

จากการหาสภาวะในการสังเคราะห์ FOS จากน้ำเชื่อมลำไยที่เหมาะสม ซึ่งพบว่า ควรใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L ปริมาตร 20.12 มิลลิลิตรต่อน้ำเชื่อมลำไย 1 ลิตร และระยะเวลาทำปฏิกิริยานาน 24 ชั่วโมง และเมื่อนำมาทวนสอบกระบวนการสังเคราะห์ พบว่า FOS ที่สังเคราะห์ได้ มีปริมาณ 1^F-ฟรุกโตฟิวราโนซิลนีสโทส นีสโทส 1-คีสโทส ซูโครส กลูโคส และ ฟรุกโตส เท่ากับ 1.15 ± 0.14 , 10.08 ± 0.18 , 55.87 ± 2.24 , 20.13 ± 0.25 , 229.80 ± 1.22 และ 156.40 ± 3.34 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งปริมาณ FOS ชนิด 1^F-ฟรุกโตฟิวราโนซิลนีสโทส และชนิด 1-คีสโทสที่สังเคราะห์ได้ มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการทำนาย ในขณะที่นีสโทสที่สังเคราะห์ได้ มีปริมาณน้อยกว่าที่ได้จากการทำนาย อย่างไรก็ตาม เมื่อรวมปริมาณน้ำตาลประเภทฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ทั้งหมดที่ได้จากการสังเคราะห์แล้ว (67.1 กรัม/ลิตร) ถือว่าอยู่ในระดับปกติสำหรับการสังเคราะห์ FOS โดยใช้น้ำตาลซูโครสเป็นสารตั้งต้น คือ สามารถผลิต FOS ร้อยละ 30 จากปริมาณซูโครสเริ่มต้น (Yun and Song, 1993) ซึ่งจากการสังเคราะห์ FOS ด้วยสภาวะที่เหมาะสมที่สุด สามารถผลิตน้ำตาลประเภทฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ได้ร้อยละ 33.40 จากปริมาณซูโครสเริ่มต้น 200.86 กรัม/ลิตร ในน้ำเชื่อมลำไยคละเกรดเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ (ตารางที่ 4.1.5)

4.1.2.4 การทดสอบความคงตัวด้านจุลินทรีย์ของ FOS

จากการศึกษาการวัดปริมาณเชื้อยีสต์และราด้วยวิธี Total plate count พบว่า เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นใน FOS ที่ถูกสังเคราะห์มีค่าเท่ากับ 5.7 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และเมื่อผ่านการเก็บรักษานาน 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า มีเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 110 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ซึ่งการที่เชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่าง FOS ที่ถูกเก็บรักษาเพิ่มขึ้นนั้นอาจเป็นเพราะ FOS ที่สังเคราะห์ได้มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดเพียง 60 บริกซ์ ถ้าหากเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดเป็น 80 บริกซ์ จะสามารถลดการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษาได้

ตารางที่ 4.1.5: ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาล (กรัม/ลิตร) ที่ได้จากการทดลองและการทำนาย

| น้ำตาล | ค่าที่ได้จากการทดลอง (กรัม/ลิตร) | ค่าที่ได้จากการ ทำนาย (กรัม/ลิตร) | ร้อยละของ ความแตกต่าง |
|---|-------------------------------------|---|--------------------------|
| 1 ^F -ฟรุกโตสฟิวราโนซิลนีสโทส | 1.15±0.14 | 0.87 | 32.2 |
| นีสโทส | 10.08±0.18 | 12.07 | -16.5 |
| 1-คีสโทส | 55.87±2.24 | 45.03 | 24.1 |
| ซูโครส | 20.13±0.25 | 22.53 | -10.6 |
| กลูโคส | 229.80±1.22 | 226.22 | 1.6 |
| ฟรุกโตส | 156.40±3.34 | 142.55 | 9.7 |

หมายเหตุ: ร้อยละของความแตกต่าง เท่ากับ (ค่าที่ได้จากการทดลอง-ค่าที่ได้จากการทำนาย)/ค่าที่ได้จากการทำนาย×100

เมื่อเปรียบเทียบผลได้ของ FOS จากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของศิริลักษณ์ (2555) ซึ่งใช้ลำไยคละเกรด AA และ A ในการสังเคราะห์ FOS (ตารางที่ 4.1.6) พบว่า FOS ที่ถูกสังเคราะห์จากน้ำเชื่อมลำไยที่ผลิตจากลำไยคละเกรด AA และ A ในสภาวะการสังเคราะห์ที่เหมาะสม ซึ่งประกอบด้วย การใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L เข้มข้น 3.3 หน่วย/กรัม ซูโครส ใช้เอนไซม์กลูโคสออกซิเดส เข้มข้น 1,022 หน่วย/กรัม ซูโครส และระยะเวลาทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง 41 นาที สามารถสังเคราะห์ FOS ชนิด นีสโทสและ 1-คีสโทส ได้เท่ากับ 24.49 และ 115.96 กรัม/ลิตร รวมปริมาณ FOS ที่สังเคราะห์ได้ เท่ากับ 140.45 กรัม/ลิตร คิดเป็นผลได้จากปริมาณซูโครสเริ่มต้น ร้อยละ 63.2 ซึ่งพบว่า งานวิจัยดังกล่าวสามารถสังเคราะห์ FOS ได้ในปริมาณที่มากกว่างานวิจัยนี้ ซึ่งอาจเป็นเพราะการใช้ลำไยสดคละเกรด AA และ A ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลซูโครสเริ่มต้นมากกว่าลำไยคละเกรด B และ C ซึ่งนพพล และคณะ (2556) ได้รายงานปริมาณน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ใน ลำไยสดเกรด AA และ A ว่ามีปริมาณน้ำตาลซูโครสที่ระดับ 0.074 และ 0.061 กรัม/กรัม ลำไยสด ตามลำดับ ในขณะที่ ลำไยสดเกรด B และ C มีปริมาณซูโครสเพียง 0.030 และ 0.056

กรัม/กรัม ลำไยสด ตามลำดับ นอกจากนี้ งานวิจัยของศิริลักษณ์ (2555) ยังได้มีการใช้ เอนไซม์กลูโคสออกซิเดสในกระบวนการสังเคราะห์ FOS อีกด้วย อย่างไรก็ตาม เมื่อคำนวณค่าใช้จ่าย ในการสังเคราะห์ FOS จากน้ำเชื่อมลำไย 60 องศาบริกซ์ ปริมาณ 1 กิโลกรัม (มีปริมาตรเท่ากับ 0.88 ลิตร) ดังแสดงในตารางที่ 4.1.7 แล้ว พบว่า งานวิจัยนี้มีต้นทุนด้านค่าใช้จ่ายในการผลิต FOS ต่อกิโลกรัมที่ต่ำกว่างานวิจัยของศิริลักษณ์ (2555) ประมาณร้อยละ 85

ตารางที่ 4.1.6: ปริมาณน้ำตาลและ FOS (กรัม/ลิตร) ที่สังเคราะห์ได้จากน้ำเชื่อมลำไยจากลำไยสด คละเกรด B และ C จากงานวิจัยนี้ เปรียบเทียบกับ FOS (กรัม/ลิตร) ที่สังเคราะห์ได้จากน้ำเชื่อมลำไยจากลำไยสดคละเกรด AA และ A จากงานวิจัยของศิริลักษณ์ (2550)

| น้ำตาล | งานวิจัยนี้ | ศิริลักษณ์ (2555) | ร้อยละของ ความแตกต่าง |
|--|-------------|----------------------|--------------------------|
| 1 ^F -ฟรุคโตฟิวราโนซิลนีสโทส | 1.15±0.14 | - | 100.00 |
| นีสโทส | 10.08±0.18 | 24.49±0.05 | -142.96 |
| 1-คีสโทส | 55.87±2.24 | 115.96±3.15 | -107.55 |
| ซูโครส | 20.13±0.25 | 78.14±9.42 | -288.18 |
| กลูโคส | 229.80±1.22 | 190.98±18.42 | 16.89 |
| ฟรุคโตส | 156.40±3.34 | 103.49±3.88 | 33.83 |

ตารางที่ 4.1.7: เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการสังเคราะห์ FOS จากน้ำเชื่อมลำไย 1 กิโลกรัมที่ผลิตจากลำไยเกรด AA และ A และลำไยเกรด B และ C

| รายการ | ราคา (บาท/กิโลกรัม) | จำนวนที่ใช้ (กิโลกรัม) | | จำนวนเงิน (บาท) | |
|---|-------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------|----------------------|
| | | งานวิจัยนี้ | ศิริลักษณ์ (2555) | งานวิจัยนี้ | ศิริลักษณ์ (2555) |
| ลำไยเกรด A และ AA | 17.50 [*] | - | 10 ^{**} | - | 175.00 |
| ลำไยเกรด B และ C | 6.50 [*] | 10 ^{**} | - | 65.00 | - |
| Pectinex Ultra SP-L | 4,500.00 ^{***} | 17.5 ^{****} | 24.42 ^{****} | 78.75 | 110.00 |
| กลูโคสออกซิเดส | 40,000.00 | - | 0.000135 ^{****} | - | 5.50 |
| กรดซิตริก | 1,560.00 | 0.0044 | 0.0044 | 7.00 | 7.00 |
| โซเดียมซิเตรต | 960.00 | 0.0196 | 0.0196 | 19.25 | 19.25 |
| รวมค่าใช้จ่ายในการสังเคราะห์ FOS จากน้ำเชื่อมลำไย 1 กิโลกรัม | | | | 170.00 | 316.75 |

หมายเหตุ: ^{*} คัดจากราคาเฉลี่ยของลำไยเกรด AA ราคา 20 บาท/กิโลกรัม เกรด A ราคา 15 บาท/กิโลกรัม ได้ราคาเฉลี่ยของเกรด A และ AA เท่ากับ 17.5 บาท/กิโลกรัม ลำไยเกรด B ราคา 10 บาท/กิโลกรัม และเกรด C ราคา 3 บาท/กิโลกรัม ได้ราคาเฉลี่ยของเกรด B และ C เท่ากับ 6.5 บาท/กิโลกรัม ณ วันที่ 2 ธันวาคม 2557 (ที่มา: http://www.prachatham.com/article_detail.php?id=46)
^{**} ลำไยสด 10 กิโลกรัมสามารถผลิตน้ำเชื่อมลำไย 60 องศาบริกซ์ ได้ 1 กิโลกรัม โดยมีปริมาตรเท่ากับ 0.88 ลิตร
^{***} ราคามีหน่วยเป็น บาท/ลิตร
^{****} ปริมาตรเอนไซม์ในหน่วย ลิตร และคิดจากการใช้น้ำเชื่อมลำไย 0.88 ลิตร

และเมื่อนำ FOS ที่สังเคราะห์ได้จากน้ำเชื่อมลำไยเกรดด้วยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดมาวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (ตารางที่ 4.1.8) พบว่า FOS ที่สังเคราะห์ได้มีกรดแกลลิก คอริลาจिन และกรดเอลลาจิก เท่ากับ 0.37 ± 0.02 , 0.05 ± 0.00 และ 0.04 ± 0.00 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) สำหรับปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเมื่อเทียบกับน้ำเชื่อมลำไยเกรด ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่า การสังเคราะห์ FOS จากน้ำเชื่อมลำไยเกรดโดยใช้เอนไซม์ ยังคงรักษาสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้ เนื่องจาก ตรวจพบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ กรดแกลลิก คอริลาจिन และกรดเอลลาจิก

ตารางที่ 4.1.8: ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพใน FOS ที่สังเคราะห์ได้จากสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

| สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ | ปริมาณ (มิลลิกรัม/กรัม) |
|----------------------|-------------------------|
| กรดแกลลิก | 0.37±0.02 |
| คอร์ลาจिन | 0.05±0.00 |
| กรดเอลลาจิก | 0.04±0.00 |
| รวมปริมาณสารออกฤทธิ์ | 0.45±0.02 |

4.1.3 การผลิตน้ำเชื่อมลำไยผง และ FOS ผง

จากการศึกษาของศิริลักษณ์ (2555) พบว่า การเติมมอลโตเดกซ์ทรินร้อยละ 35.5 และซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 1.3 ลงในน้ำเชื่อมลำไย เพื่อผลิตน้ำเชื่อมลำไยผงด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอย สามารถผลิตน้ำเชื่อมลำไยผงที่มีสมบัติที่เหมาะสมที่สุด งานวิจัยนี้จึงได้มีการดัดแปลงวิธีการผลิตน้ำเชื่อมลำไยผง และ FOS ผงจากงานวิจัยของศิริลักษณ์ โดยการใช้มอลโตเดกซ์ทรินและซิลิกอนไดออกไซด์ในระดับเดียวกัน แต่ใช้การอบแห้งแบบสุญญากาศแทนการใช้การอบแห้งแบบพ่นฝอยเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ในสายการผลิตน้ำเชื่อมลำไยของทางคณะวิจัย นอกจากนี้ ความหนืดของน้ำเชื่อมลำไยและ FOS เริ่มต้นยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะส่งผลกระทบต่อการผลิตน้ำเชื่อมลำไยผงด้วยการอบแห้งสุญญากาศ เนื่องจากน้ำเชื่อมลำไยและ FOS เริ่มต้นมีความหนืดสูง

เมื่อนำน้ำเชื่อมลำไยมาทำให้เป็นผงด้วยการอบแห้งสุญญากาศ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง พบว่า น้ำเชื่อมลำไยผงที่ผลิตได้ มีน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส เท่ากับ 149.62±0.54, 138.58±0.41 และ 120.56±0.70 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ โดยไม่สามารถตรวจพบน้ำตาล ฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิด 1-คีสโทส บนโครมาโทแกรมที่วิเคราะห์ได้จากเทคนิค HPLC เนื่องจากมี peak (เส้นโค้งการดูดกลืนแสง) ที่เพิ่มขึ้นมาจากการทำให้เป็นผง ตรงกับระยะเวลาที่น้ำตาลชนิด 1-คีสโทส ถูกตรวจจับและแสดงออกมาบนโครมาโทแกรม (แสดงในรูป ผ.1.3.4) ซึ่งคาดว่า ณ เวลาที่เกิด peak ดังกล่าว เป็นเวลาเดียวกับที่น้ำตาลชนิด 1-คีสโทส ถูกตรวจจับและ

แสดงออกมาบนโครมาโทแกรม ในขณะที่ FOS ผง สามารถตรวจจับการแสดงออกบนโครมาโทแกรมของน้ำตาลประเภทฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ได้ 2 ชนิด ได้แก่ นีสโทส และ 1-คีสโทส (แสดงในรูปผ.1.3.5) จากผลการทดลอง พบว่า FOS ผงมีน้ำตาลชนิด นีสโทส และ 1-คีสโทส เท่ากับ 1.75 ± 0.24 และ 7.37 ± 0.66 มิลลิกรัม/กรัม และมีน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตส เท่ากับ 13.18 ± 1.39 , 170.61 ± 0.35 และ 101.47 ± 0.31 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1.9: ปริมาณน้ำตาลในน้ำเชื่อมลำไยผงและ FOS ผง

| ชนิดน้ำตาล | ปริมาณน้ำตาล (มิลลิกรัม/กรัม) | |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| | น้ำเชื่อมลำไยผง | FOS ผง |
| ^F -ฟรุคโตฟิวราโนซิลนีสโทส | - | - |
| นีสโทส | - | 1.75 ± 0.24 |
| 1-คีสโทส | - | 7.37 ± 0.66 |
| ซูโครส | 149.62 ± 0.54 | 13.18 ± 1.39 |
| กลูโคส | 138.58 ± 0.41 | 170.61 ± 0.35 |
| ฟรุคโตส | 120.56 ± 0.70 | 101.47 ± 0.31 |

จากนั้น เมื่อนำน้ำเชื่อมลำไยผงและ FOS ผง มาวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ กรดแกลลิก คอริลาจिन และกรดเอลลาจิก พบว่า น้ำเชื่อมลำไยผงมีปริมาณกรดแกลลิก 0.34 ± 0.01 มิลลิกรัม/กรัม คอริลาจिन 0.06 ± 0.01 มิลลิกรัม/กรัม และกรดเอลลาจิก 0.04 ± 0.00 มิลลิกรัม/กรัม รวมปริมาณสารออกฤทธิ์ 0.43 ± 0.02 มิลลิกรัม/กรัม ในขณะที่ FOS ผง มี กรดแกลลิก 0.32 ± 0.02 มิลลิกรัม/กรัม คอริลาจिन 0.05 ± 0.00 มิลลิกรัม/กรัม และกรดเอลลาจิก 0.04 ± 0.00 มิลลิกรัม/กรัม รวมปริมาณสารออกฤทธิ์ 0.41 ± 0.02 มิลลิกรัม/กรัม (แสดงในตารางที่ 4.1.10) ซึ่งปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ตรวจพบในน้ำเชื่อมลำไยผงและ FOS ผงที่ได้ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่อย่างใด

ตารางที่ 4.1.10: ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในน้ำเชื่อมลำไยผงและ FOS ผง

| ชนิดของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ | ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (มิลลิกรัม/กรัม) | |
|-----------------------------|---|--------------------------|
| | น้ำเชื่อมลำไยผง | FOS ผง |
| กรดแกลลิก | 0.34 ^{ns} ±0.01 | 0.32 ^{ns} ±0.02 |
| คอร์ริลาจिन | 0.06 ^{ns} ±0.01 | 0.05 ^{ns} ±0.00 |
| กรดเอลลาจิก | 0.04 ^{ns} ±0.00 | 0.04 ^{ns} ±0.00 |
| รวมปริมาณสารออกฤทธิ์ | 0.43 ^{ns} ±0.02 | 0.41 ^{ns} ±0.02 |

หมายเหตุ: ^{ns} แสดงถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมลำไยและ FOS ก่อนและหลังการทำให้อยู่ในรูปผง พบว่า ปริมาณคอร์ริลาจिन และกรดเอลลาจิก ในน้ำเชื่อมลำไย และ FOS ทั้งก่อนการทำให้เป็นผงและหลังจากทำให้เป็นผงนั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่กรดแกลลิกในน้ำเชื่อมลำไยผง มีปริมาณลดลงเล็กน้อย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเป็นเพราะ กรดแกลลิกเกิดการรวมตัวกับสารอื่น อาทิ คาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ ในระหว่างการทำผง อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ตรวจพบในผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมลำไย และ FOS ทั้งก่อนและหลังการทำให้เป็นผงแล้ว พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงในระดับที่ไม่มากนัก ดังนั้น การนำน้ำเชื่อมลำไยและ FOS มาแปรรูปให้เป็นผงซึ่งมีความสะดวกในการพกพา และการนำไปใช้ประโยชน์ จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมลำไยและ FOS ในอีกทางเลือกหนึ่ง

ตารางที่ 4.1.11: เปรียบเทียบปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมลำไยและ FOS ก่อนและหลังการทำผง

| ชนิดของสารออกฤทธิ์ | ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (มิลลิกรัม/กรัม) | | | | |
|---------------------------|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | ทางชีวภาพ | น้ำเชื่อมลำไย | FOS | น้ำเชื่อมลำไยผง | FOS ผง |
| กรดแกลลิก | | 0.40 ^a ±0.02 | 0.37 ^a ±0.02 | 0.34 ^b ±0.01 | 0.32 ^b ±0.02 |
| คอร์ริลาจิน ^{ns} | | 0.05±0.01 | 0.05±0.00 | 0.06±0.01 | 0.05±0.00 |
| กรดเอลลาจิก ^{ns} | | 0.03±0.01 | 0.04±0.00 | 0.04±0.00 | 0.04±0.00 |
| รวมปริมาณสารออกฤทธิ์ | | 0.48 ^a ±0.02 | 0.45 ^b ±0.02 | 0.43 ^b ±0.02 | 0.41 ^b ±0.02 |

หมายเหตุ: 1. ตัวอักษรกำกับภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 2. ^{ns} แสดงถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.1.4. การสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเมล็ดลำไย เปลือกลำไย และกากที่เหลือจากการคั้นน้ำลำไยสด

การสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากส่วนต่าง ๆ ของลำไย ซึ่งประกอบไปด้วย เมล็ดลำไย เปลือกลำไย และกากที่เหลือจากการคั้นน้ำลำไยสดนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะนำของเหลือทิ้งจากการผลิตน้ำเชื่อมลำไยและการสังเคราะห์ FOS มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เนื่องจาก ส่วนประกอบต่าง ๆ ของลำไยเหล่านี้มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (Rangkadilok *et al.*, 2005; Soong and Barlow, 2006; Prasad *et al.*, 2009) ดังนั้น จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ลำไยล้นตลาดอีกวิธีหนึ่ง รวมทั้งยังเป็นกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าโดยไม่มีของเหลือทิ้งอีกด้วย

4.1.4.1. การคัดเลือกอัตราส่วนตัวทำละลายที่เหมาะสม

เมื่อนำเมล็ดลำไยอบแห้งมาสกัดหาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพด้วยตัวทำละลายเอทานอล พบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำเท่ากับ 0:100 หรือน้ำเปล่า สามารถสกัดกรดแกลลิกได้มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสกัดกรดแกลลิกได้

3.51±0.00 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ขณะที่อัตราส่วนตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำ 50:50 สามารถสกัดคอริลาจินและกรดเอลลาจิกได้มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสามารถสกัดได้ 5.74±0.05 และ 8.22±0.16 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อรวมปริมาณสารออกฤทธิ์ทั้งสามชนิดแล้วพบว่า อัตราส่วนตัวทำละลายเอทานอล:น้ำ 50:50 สกัดปริมาณกรดแกลลิก คอริลาจิน และกรดเอลลาจิก รวมกันได้มากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยได้ 16.23±0.19 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 4.1.12) รองลงมาคือ ระดับอัตราส่วนตัวทำละลายเอทานอล:น้ำ 60:40 โดยสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้รวมกันเท่ากับ 15.58±0.11 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง

เมื่อนำเปลือกลำไยอบแห้ง มาสกัดหาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ด้วยตัวทำละลายเอทานอล พบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำ 10:90 สามารถสกัดกรดแกลลิกได้มากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.87±0.06 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ขณะที่ตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำ 60:40 สามารถสกัดคอริลาจินได้มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.69±0.04 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และเมื่อนำเปลือกลำไยมาสกัดเพื่อหาปริมาณกรดเอลลาจิกด้วยตัวทำละลายเอทานอลที่แตกต่างกันพบว่า ที่อัตราส่วนเอทานอลต่อน้ำ 80:20 ถึง 50:50 สามารถสกัดปริมาณกรดเอลลาจิกได้มากที่สุดในช่วง 2.27-2.39 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และเมื่อรวมปริมาณสารออกฤทธิ์ทั้งสามชนิดแล้วพบว่า การใช้อัตราส่วนตัวทำละลายเอทานอล:น้ำ ที่ระดับ 70:30, 60:40 และ 50:50 สามารถสกัดกรดแกลลิก คอริลาจิน และกรดเอลลาจิกในเปลือกลำไยรวมกันได้มากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในช่วง 3.03-3.23 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง (แสดงในตารางที่ 4.1.13)

เมื่อนำกากลำไยที่เหลือจากการคั้นน้ำลำไยเพื่อผลิตเป็นน้ำเชื่อมลำไย มาอบแห้ง เพื่อสกัดหาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพด้วยตัวทำละลายเอทานอล พบว่า น้ำเปล่าสามารถสกัดปริมาณกรดแกลลิกได้มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสกัดได้ 0.79±0.03 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ขณะที่ตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำ 50:50 สกัดคอริลาจินได้มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.09±0.00 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และเมื่อนำเปลือกลำไยมาสกัดเพื่อหาปริมาณกรดเอลลาจิกด้วยระดับตัวทำละลายเอทานอลที่แตกต่างกัน พบว่า ที่อัตราส่วน

เอทานอลต่อน้ำ 80:20 ถึง 60:40 สามารถสกัดปริมาณกรดเอลลาจิกได้มากที่สุดในช่วง 2.04-2.13 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และเมื่อรวมปริมาณสารออกฤทธิ์ทั้งสามชนิดแล้ว พบว่า การใช้ตัวทำละลายเอทานอล:น้ำ ที่ระดับ 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 สามารถสกัดกรดแกลลิก คอริลาจिन และกรดเอลลาจิกในกากลำไยอบแห้ง รวมกันได้มากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยได้ปริมาณ 2.34-2.50 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 4.1.14)

ตารางที่ 4.1.12: สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเมล็ดลำไยอบแห้งเมื่อถูกสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลในอัตราส่วนต่าง ๆ

| อัตราส่วนเอทานอลต่อน้ำ | กรดแกลลิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | คอริลาจिन (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | กรดเอลลาจิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | รวมสารออกฤทธิ์ (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) |
|------------------------|--|--|--|---|
| 100 : 0 | 0.49 ⁱ ±0.03 | 0.83 ⁱ ±0.12 | 2.53 ^h ±0.01 | 3.85 ^h ±0.14 |
| 90 : 10 | 1.35 ^h ±0.04 | 1.74 ^h ±0.10 | 5.68 ^e ±0.11 | 8.76 ^s ±0.18 |
| 80 : 20 | 1.65 ^s ±0.06 | 4.52 ^e ±0.12 | 7.80 ^b ±0.10 | 13.98 ^d ±0.03 |
| 70 : 30 | 1.71 ^s ±0.06 | 5.23 ^c ±0.09 | 7.81 ^b ±0.12 | 14.76 ^c ±0.25 |
| 60 : 40 | 2.17 ^f ±0.07 | 5.53 ^b ±0.02 | 7.89 ^b ±0.14 | 15.58 ^b ±0.11 |
| 50 : 50 | 2.27 ^e ±0.05 | 5.74 ^a ±0.05 | 8.22 ^a ±0.16 | 16.23 ^a ±0.19 |
| 40 : 60 | 2.36 ^e ±0.02 | 5.41 ^b ±0.06 | 7.16 ^c ±0.20 | 14.92 ^c ±0.25 |
| 30 : 70 | 2.48 ^d ±0.05 | 5.01 ^d ±0.09 | 6.54 ^d ±0.28 | 14.03 ^d ±0.36 |
| 20 : 80 | 2.68 ^c ±0.03 | 3.72 ^f ±0.06 | 4.14 ^f ±0.18 | 10.53 ^e ±0.26 |
| 10 : 90 | 3.20 ^b ±0.16 | 3.41 ^s ±0.22 | 3.47 ^s ±0.14 | 10.09 ^f ±0.29 |
| 0 : 100 | 3.51 ^a ±0.00 | 3.85 ^f ±0.02 | 3.41 ^s ±0.01 | 10.77 ^e ±0.02 |

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.1.13: สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเปลือกลำไยอบแห้งเมื่อถูกสกัดด้วยตัวทำละลาย
เอทานอลในอัตราส่วนต่าง ๆ

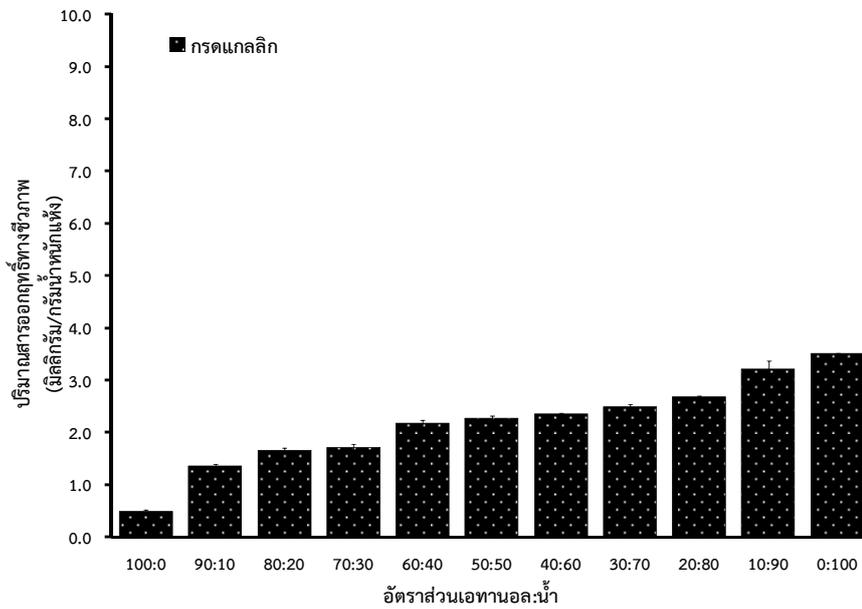
| อัตราส่วน เอทานอล ต่อน้ำ | กรดแกลลิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | คอร์ลาจิน (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | กรดเอลลาจิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | รวมสารออกฤทธิ์ (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) |
|--------------------------------|--|--|--|---|
| 100 : 0 | <0.01 ^h | 0.15 ⁱ ±0.04 | 0.75 ^f ±0.27 | 0.90 ^e ±0.32 |
| 90 : 10 | 0.08 ^s ±0.00 | 0.22 ^h ±0.01 | 1.70 ^c ±0.05 | 1.93 ^d ±0.06 |
| 80 : 20 | 0.03 ^f ±0.00 | 0.36 ^f ±0.02 | 2.27 ^{ab} ±0.08 | 2.66 ^c ±0.07 |
| 70 : 30 | 0.05 ^f ±0.00 | 0.59 ^c ±0.01 | 2.40 ^a ±0.06 | 3.03 ^{ab} ±0.06 |
| 60 : 40 | 0.13 ^e ±0.00 | 0.69 ^a ±0.04 | 2.41 ^a ±0.07 | 3.23 ^a ±0.11 |
| 50 : 50 | 0.15 ^e ±0.00 | 0.64 ^b ±0.01 | 2.39 ^a ±0.07 | 3.18 ^a ±0.08 |
| 40 : 60 | 0.21 ^d ±0.04 | 0.55 ^d ±0.01 | 2.17 ^b ±0.14 | 2.93 ^b ±0.17 |
| 30 : 70 | 0.34 ^c ±0.01 | 0.43 ^e ±0.00 | 1.75 ^c ±0.18 | 2.53 ^c ±0.19 |
| 20 : 80 | 0.61 ^b ±0.01 | 0.36 ^f ±0.01 | 1.48 ^d ±0.05 | 2.46 ^c ±0.06 |
| 10 : 90 | 0.87 ^a ±0.06 | 0.30 ^s ±0.01 | 0.93 ^e ±0.12 | 2.10 ^d ±0.17 |
| 0 : 100 | 0.60 ^b ±0.00 | 0.19 ^h ±0.01 | 0.24 ^s ±0.03 | 1.03 ^e ±0.02 |

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่แตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

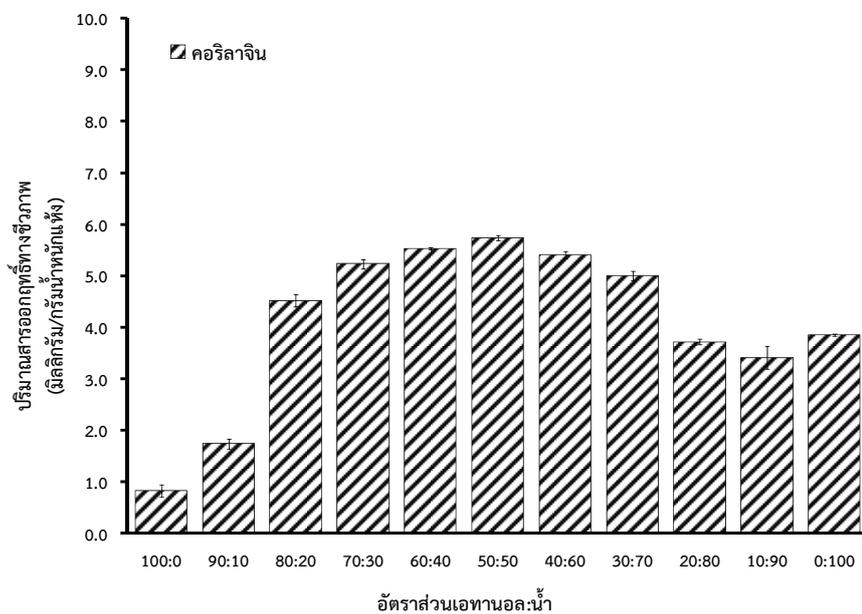
ตารางที่ 4.1.14: สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกากลำไยอบแห้งเมื่อถูกสกัดด้วยตัวทำละลาย
เอทานอลในอัตราส่วนต่าง ๆ

| อัตราส่วน เอทานอล ต่อน้ำ | กรดแกลลิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | คอริลาจิน (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | กรดเอลลาจิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | รวมสารออกฤทธิ์ (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) |
|--------------------------------|--|--|--|---|
| 100 : 0 | 0.11 ^j ±0.01 | 0.04 ^e ±0.00 | 1.30 ^e ±0.07 | 1.45 ^c ±0.06 |
| 90 : 10 | 0.20 ⁱ ±0.01 | 0.05 ^d ±0.00 | 1.86 ^c ±0.08 | 2.11 ^b ±0.09 |
| 80 : 20 | 0.23 ^h ±0.00 | 0.06 ^c ±0.00 | 2.08 ^{ab} ±0.05 | 2.34 ^a ±0.05 |
| 70 : 30 | 0.28 ^{gh} ±0.00 | 0.09 ^a ±0.00 | 2.13 ^a ±0.06 | 2.50 ^a ±0.06 |
| 60 : 40 | 0.29 ^{fg} ±0.08 | 0.08 ^b ±0.01 | 2.04 ^{ab} ±0.05 | 2.42 ^a ±0.13 |
| 50 : 50 | 0.34 ^{ef} ±0.01 | 0.09 ^a ±0.00 | 1.98 ^{bc} ±0.06 | 2.41 ^a ±0.08 |
| 40 : 60 | 0.38 ^{de} ±0.00 | 0.08 ^b ±0.00 | 1.68 ^d ±0.09 | 2.14 ^b ±0.10 |
| 30 : 70 | 0.42 ^d ±0.02 | 0.06 ^c ±0.00 | 1.07 ^f ±0.12 | 1.55 ^c ±0.14 |
| 20 : 80 | 0.54 ^c ±0.02 | 0.04 ^e ±0.00 | 0.58 ^g ±0.10 | 1.16 ^d ±0.09 |
| 10 : 90 | 0.61 ^b ±0.02 | 0.04 ^e ±0.00 | 0.43 ^h ±0.03 | 1.08 ^d ±0.05 |
| 0 : 100 | 0.79 ^a ±0.03 | 0.03 ^f ±0.00 | 0.28 ⁱ ±0.03 | 1.10 ^d ±0.06 |

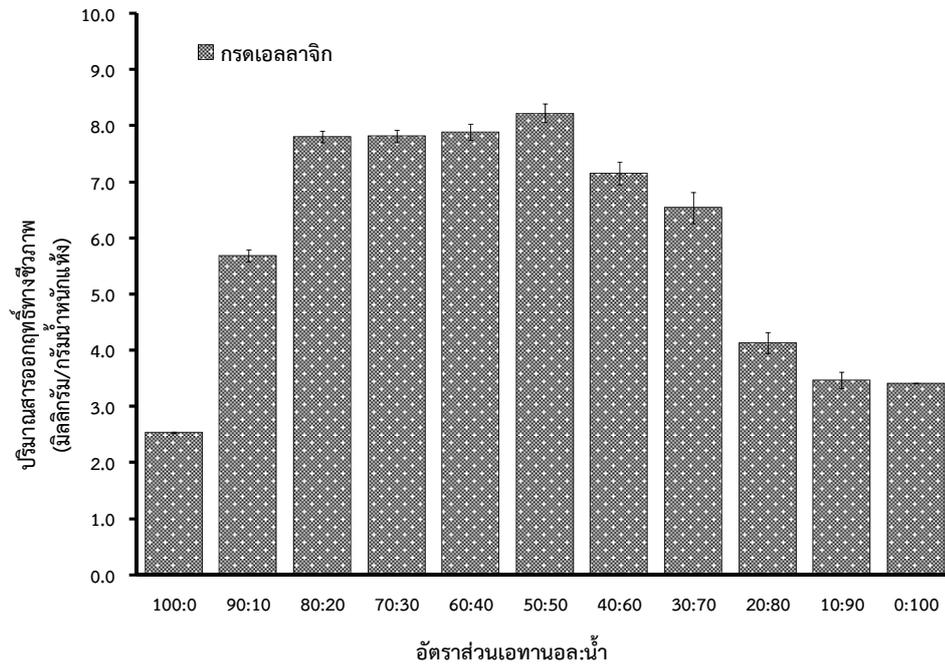
หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่แตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



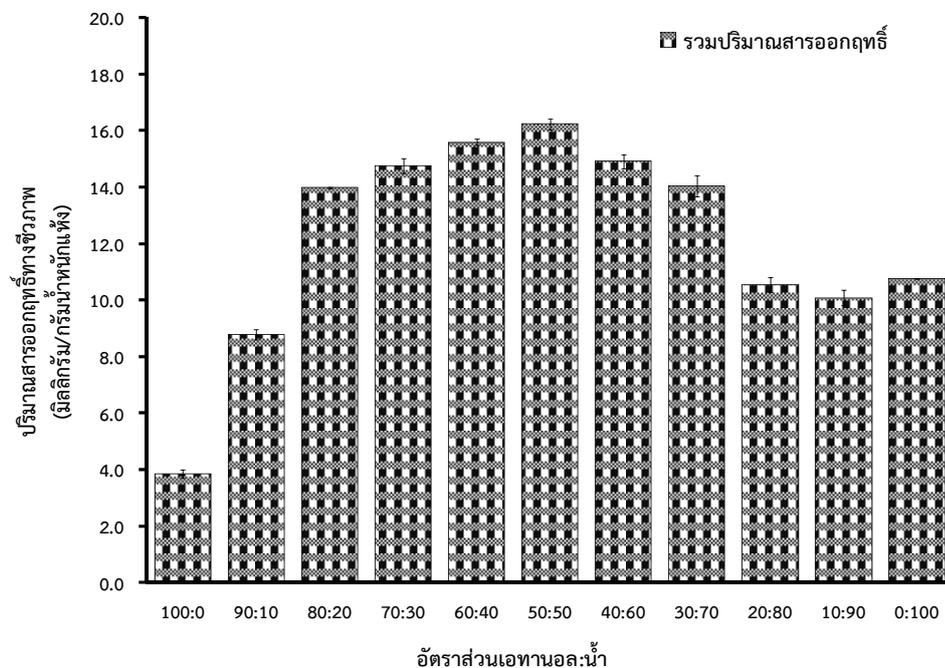
รูปที่ 4.1.9: ปริมาณกรดแกลลิกในเมล็ดลำไยอบแห้งที่ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำในระดับต่าง ๆ



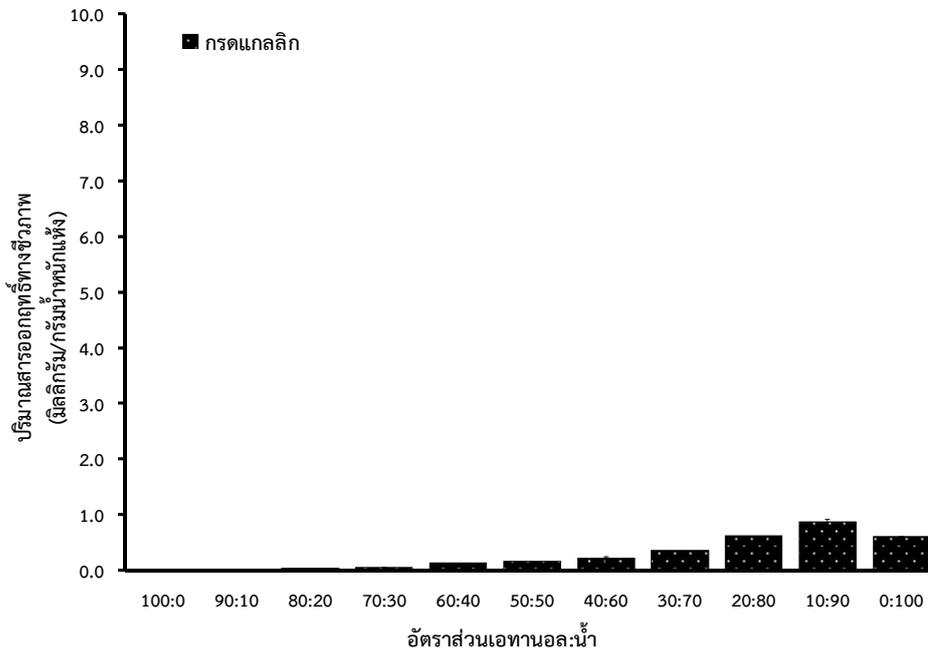
รูปที่ 4.1.10: ปริมาณคอริลาจินในเมล็ดลำไยอบแห้งที่ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำในระดับต่าง ๆ



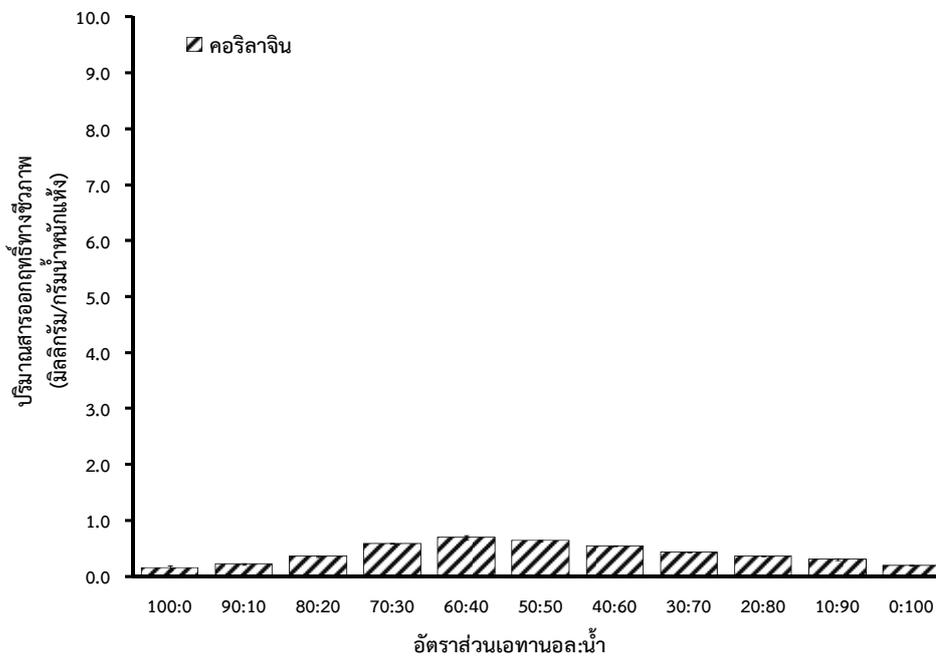
รูปที่ 4.1.11: ปริมาณกรดเอลลาจิก ในเมล็ดลำไยอบแห้งที่ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำในระดับต่าง ๆ



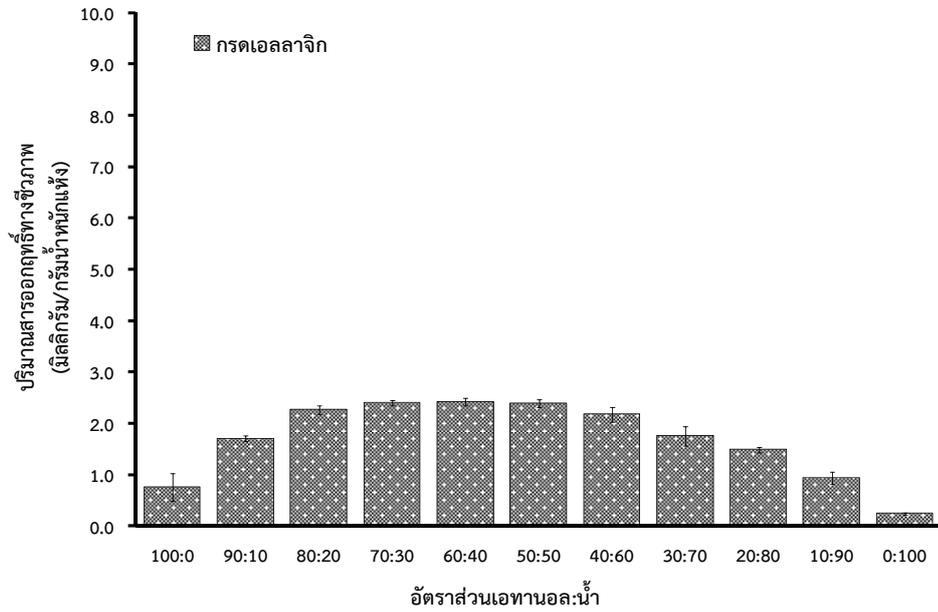
รูปที่ 4.1.12: ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยรวมในเมล็ดลำไยอบแห้งที่ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำในระดับต่าง ๆ



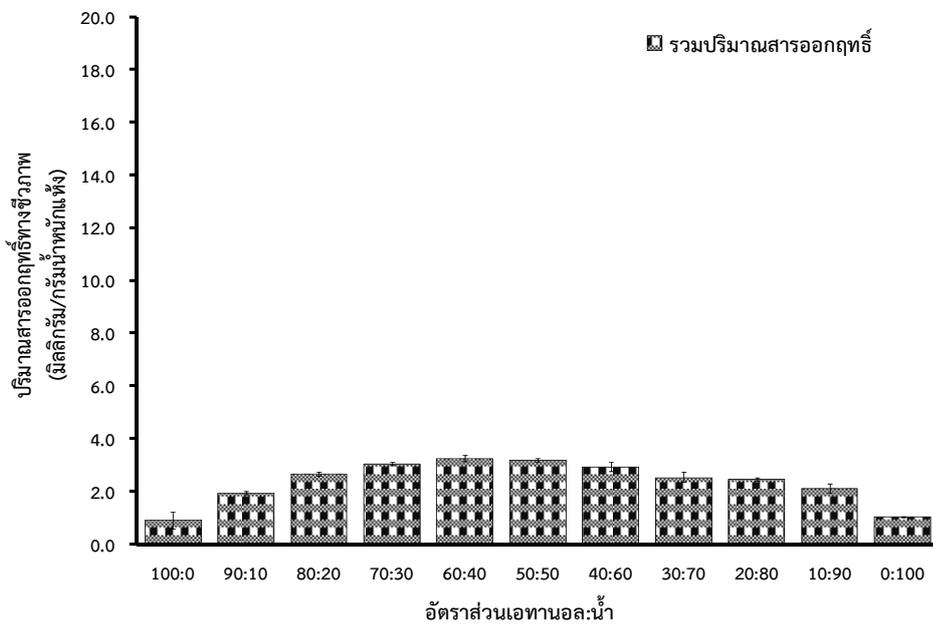
รูปที่ 4.1.13: ปริมาณกรดแกลลิกในเปลือกลำไยอบแห้งที่ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำ ในระดับต่าง ๆ



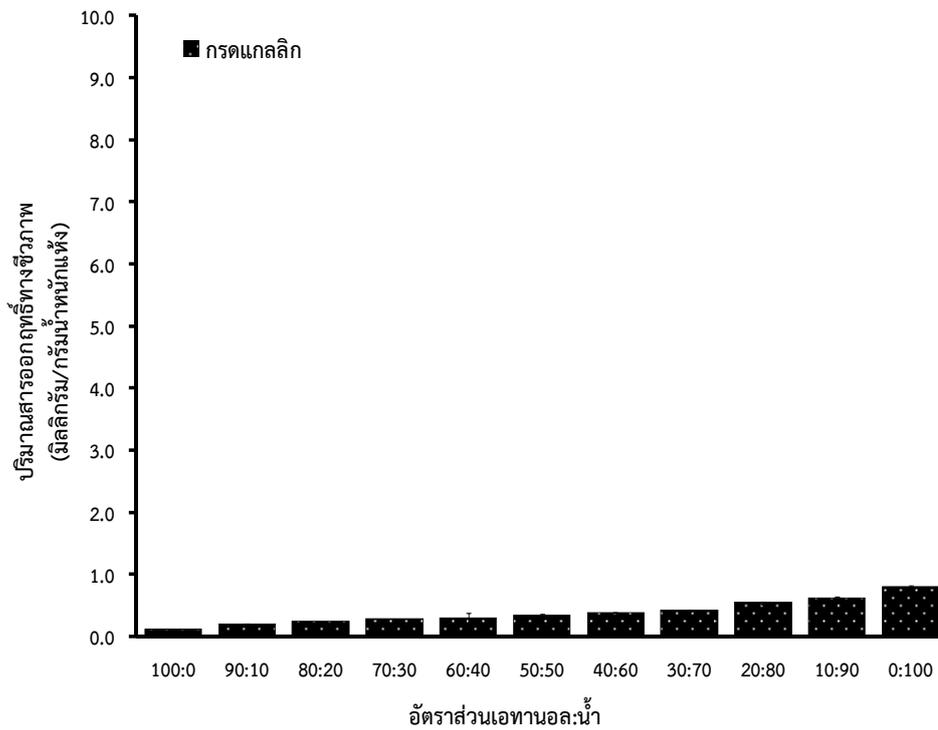
รูปที่ 4.1.14: ปริมาณคอรินาจีน ในเปลือกลำไยอบแห้งที่ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำ ในระดับต่าง ๆ



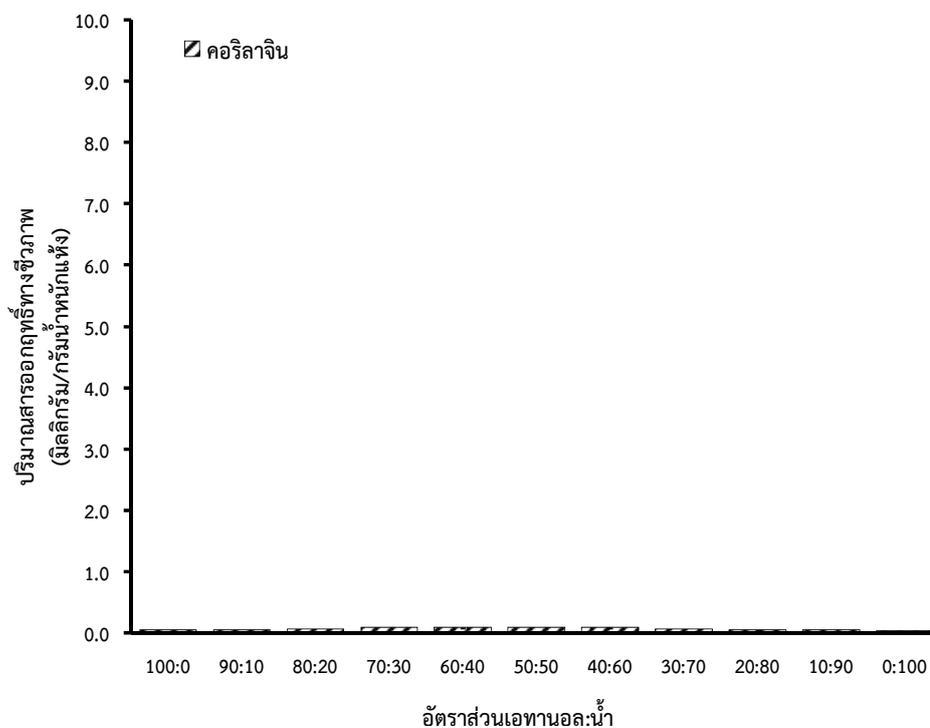
รูปที่ 4.1.15: ปริมาณกรดเอลลาจิกในเปลือกลำไยอบแห้งที่ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำในระดับต่าง ๆ



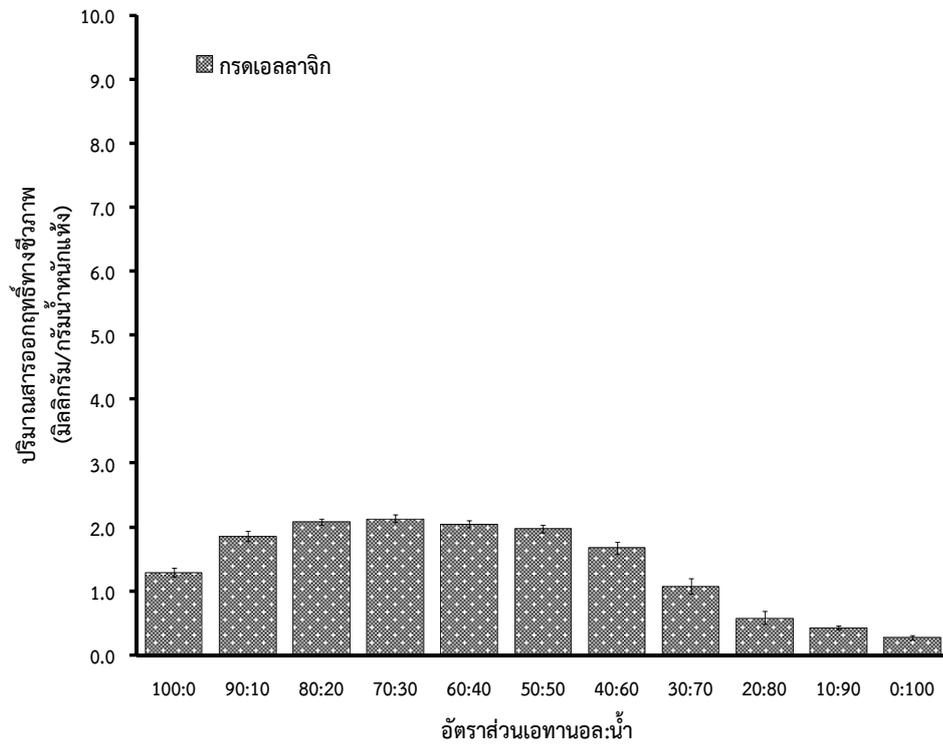
รูปที่ 4.1.16: ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยรวมในเปลือกลำไยอบแห้งที่ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำในระดับต่าง ๆ



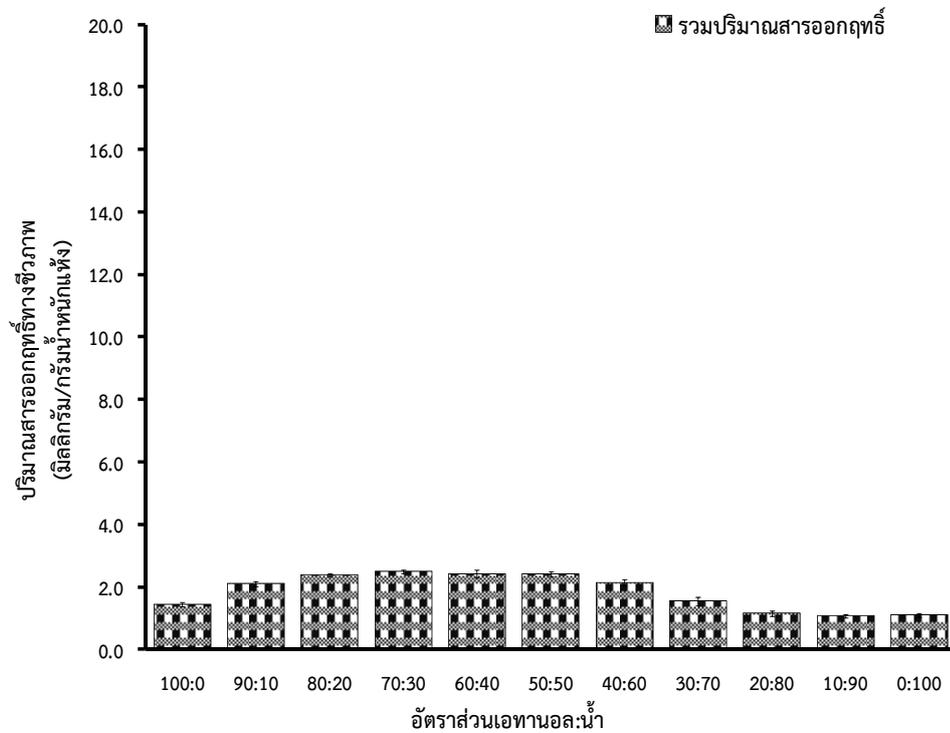
รูปที่ 4.1.17: ปริมาณกรดแกลลิก ในกากลำไยอบแห้งที่ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำ ในระดับต่าง ๆ



รูปที่ 4.1.18: ปริมาณคอริลาจินในกากลำไยอบแห้งที่ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำ ในระดับต่าง ๆ



รูปที่ 4.1.19: ปริมาณกรดเอลลาจิกในกากลำไยอบแห้งที่ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำในระดับต่าง ๆ



รูปที่ 4.1.20: ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยรวมในกากลำไยอบแห้งที่ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำในระดับต่าง ๆ

จากผลการทดลองการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ในเมล็ดลำไย
อบแห้ง เปลือกลำไยอบแห้ง และกากลำไยอบแห้ง แสดงให้เห็นว่า การใช้ตัวทำละลายเอทานอลต่อ
น้ำ ตั้งแต่ระดับ 60:40 ลงมาถึง 0:100 สามารถสกัดกรดแกลลิกและคอร์ริลาจินได้ในปริมาณมาก
เนื่องจากความเป็นไฮโดรฟิลิกของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพทั้งสองชนิด ทำให้ถูกทำให้ละลายออกมา
ในสารผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำ หรือน้ำเพียงอย่างเดียวได้ดี ขณะที่ตัวทำละลายที่มีระดับของ
เอทานอลมากขึ้น (ตั้งแต่ 70:30 ถึง 100:0) สามารถสกัดกรดแกลลิกและคอร์ริลาจินได้ในปริมาณ
ลดลง อาจเป็นเพราะ เอทานอลความเข้มข้นสูงทำให้โปรตีนในสารสกัดตกตะกอน และสารประกอบ
ลิพิดบางชนิดถูกสกัดออกมาด้วย จึงเกิดการต้านทานการแพร่ของโมเลกุลขนาดใหญ่ (Chen *et al.*,
2009) ส่งผลให้สกัดกรดแกลลิกและคอร์ริลาจินได้น้อยกว่าการใช้เอทานอลความเข้มข้นต่ำ ขณะที่
กรดเอลลาจิกละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย แต่ละลายได้ดีขึ้นในตัวทำละลายแอลกอฮอล์ (Daneshfar
et al., 2008) เนื่องจาก เอทานอลมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเท่ากับ 24.3 ซึ่งจัดว่ามีขั้วปานกลาง (ค่าคงที่
ไดอิเล็กทริกอยู่ในช่วง 20-50) (Stieger and Liebenberg, 2012) จากผลการทดลอง จึงเห็นได้ว่า
การใช้ตัวทำละลายที่มีเอทานอลสูง สามารถสกัดกรดเอลลาจิกได้ดีกว่าตัวทำละลายเอทานอลความ
เข้มข้นต่ำ เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ได้แล้ว พบว่า การใช้อัตราส่วนตัวทำละลายเอทานอลต่อ
น้ำ 50:50 สามารถสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในเมล็ดลำไย
อบแห้ง เปลือกลำไยอบแห้ง และกากลำไยอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวทำละลายควบคุมประเภท
มีขั้วสูง ได้แก่ น้ำ (จากตารางคือ อัตราส่วน 0:100) ซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเท่ากับ 78.5 และ
ตัวทำละลายควบคุมประเภทไม่มีขั้ว คือ เฮกเซน ซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเท่ากับ 1.88 (ไม่ได้แสดงใน
ตาราง เนื่องจากสกัดกรดเอลลาจิกได้เพียงชนิดเดียวเท่านั้น และได้ปริมาณน้อยมาก คือ 0.01
มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) ดังนั้น จึงเลือกอัตราส่วนตัวทำละลายเอทานอลต่อ
น้ำ 50:50 สำหรับการทดลองในขั้นตอนต่อไป

3.1.4.2 การศึกษาระยะเวลาการสกัดที่เหมาะสม

เมื่อนำเมล็ดลำไยอบแห้งมาสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลต่อ
น้ำ 50:50 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในสภาวะเขย่า 200 รอบต่อนาที ด้วยระยะเวลาที่แตกต่างกัน

พบว่า กรดแกลลิกสามารถถูกสกัดออกจากเมล็ดลำไยได้มากขึ้นตามระยะเวลาการสกัดที่เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการใช้เวลาสกัดนาน 24 ชั่วโมงสามารถสกัดกรดแกลลิกได้มากที่สุด เท่ากับ 2.14 ± 0.01 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือที่เวลาสกัด 21 และ 18 ชั่วโมง สามารถสกัดกรดแกลลิกได้ 2.11 ± 0.01 และ 2.10 ± 0.01 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับคอริลาจिन การสกัดที่ระยะเวลา 21 และ 24 ชั่วโมง สามารถสกัดคอริลาจिनได้มากที่สุด เท่ากับ 4.40 ± 0.02 และ 4.37 ± 0.02 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ รองลงมาคือ ระยะเวลา 18 ชั่วโมง สกัดคอริลาจिनได้ 4.30 ± 0.03 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ในส่วนของการสกัดกรดเอลลาจิก พบว่า การสกัด 3 ชั่วโมงแรก สกัดกรดเอลลาจิกได้ 3.52 ± 0.01 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง หลังจากนั้นในชั่วโมงที่ 9-21 ปริมาณกรดเอลลาจิกที่สกัดได้ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยอยู่ระหว่าง 3.54-3.61 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และกรดเอลลาจิกที่สกัดได้ มีค่าลดลง เมื่อการสกัดเข้าสู่ชั่วโมงที่ 24 โดยสามารถสกัดได้ 3.46 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 4.1.15) จากผลการทดลอง พบว่า ระยะเวลาการสกัดนาน 18 และ 21 ชั่วโมง สามารถสกัดสารออกฤทธิ์ทั้งสามชนิดได้มากที่สุด คือ 10.02 และ 10.10 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

การสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเปลือกลำไยอบแห้งด้วยระยะเวลาต่าง ๆ พบว่า กรดแกลลิกและคอริลาจिन ถูกสกัดได้ดีเมื่อเวลาสกัดเพิ่มขึ้น จากนั้นมีแนวโน้มลดลง โดยสามารถสกัดกรดแกลลิกออกมาได้มากที่สุด ในชั่วโมงที่ 15 และ 18 เท่ากับ 0.23 และ 0.22 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ขณะที่คอริลาจिनถูกสกัดออกมาได้มากที่สุด ในชั่วโมงที่ 18 เท่ากับ 0.45 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งแตกต่างจากกรดเอลลาจิก โดยพบว่า เมื่อระยะเวลาสกัดเพิ่มขึ้น สามารถสกัดกรดเอลลาจิกได้มากขึ้น ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 15 ถึงชั่วโมงที่ 24 โดยสามารถสกัดกรดเอลลาจิกสูงสุดได้ในช่วง 1.16-1.23 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง เมื่อรวมปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเปลือกลำไยอบแห้ง พบว่า การใช้เวลาสกัดนาน 15 และ 18 ชั่วโมง สามารถสกัดสารออกฤทธิ์ทั้งสามชนิดได้มากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 1.94 และ 1.97 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1.16)

เมื่อนำกากลำไยอบแห้งมาสกัดด้วยระยะเวลาต่าง ๆ พบว่ากรดแกลลิกสามารถถูกสกัดได้มากที่สุด ที่เวลา 24 ชั่วโมง เท่ากับ 0.38 ± 0.01 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือที่เวลา 15-21 ชั่วโมง เท่ากับ $0.36-0.37$ มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง เช่นเดียวกับคอร์ลาจิน โดยพบว่าที่เวลา 24 ชั่วโมงสามารถสกัดคอร์ลาจินได้มากที่สุด เท่ากับ 0.32 ± 0.00 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ ที่เวลาสกัด 21 ชั่วโมง สามารถสกัดได้ 0.28 ± 0.00 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ขณะที่กรดเอลลาจิกสามารถถูกสกัดออกมาได้มากที่สุด เมื่อใช้เวลาสกัดนาน 15 และ 18 ชั่วโมง เท่ากับ 2.43 และ 2.57 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ รวมปริมาณสารออกฤทธิ์ที่สกัดได้จากกากเมล็ดลำไยอบแห้ง พบว่า การใช้เวลาสกัดตั้งแต่ 15 ชั่วโมงขึ้นไป สามารถสกัดสารออกฤทธิ์รวมได้มากที่สุด ในช่วง 3.02-3.17 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 4.1.17)

ตารางที่ 4.1.15: สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเมล็ดลำไยอบแห้งเมื่อถูกสกัดด้วยระยะเวลาต่าง ๆ

| เวลาสกัด (ชั่วโมง) | กรดแกลลิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | คอร์ลาจิน (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | กรดเอลลาจิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | รวมสารออกฤทธิ์ (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) |
|-----------------------|--|--|--|---|
| 3 | $2.03^{ce} \pm 0.03$ | $4.09^e \pm 0.00$ | $3.52^{bc} \pm 0.01$ | $9.65^e \pm 0.04$ |
| 6 | $2.02^e \pm 0.00$ | $4.04^f \pm 0.02$ | $3.59^{ab} \pm 0.06$ | $9.65^e \pm 0.04$ |
| 9 | $2.08^c \pm 0.00$ | $4.12^e \pm 0.01$ | $3.54^{abc} \pm 0.07$ | $9.74^e \pm 0.08$ |
| 12 | $2.09^{bc} \pm 0.00$ | $4.19^d \pm 0.02$ | $3.59^{ab} \pm 0.02$ | $9.87^d \pm 0.04$ |
| 15 | $2.06^d \pm 0.01$ | $4.23^c \pm 0.01$ | $3.60^{ab} \pm 0.03$ | $9.89^{cd} \pm 0.05$ |
| 18 | $2.10^{bc} \pm 0.01$ | $4.30^b \pm 0.03$ | $3.61^a \pm 0.03$ | $10.02^a \pm 0.05$ |
| 21 | $2.11^b \pm 0.01$ | $4.40^a \pm 0.02$ | $3.60^{ab} \pm 0.06$ | $10.10^{ab} \pm 0.05$ |
| 24 | $2.14^a \pm 0.01$ | $4.37^a \pm 0.02$ | $3.46^c \pm 0.04$ | $9.98^{bc} \pm 0.08$ |

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.1.16: สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเปลือกลำไยอบแห้งเมื่อถูกสกัดด้วยระยะเวลาต่าง ๆ

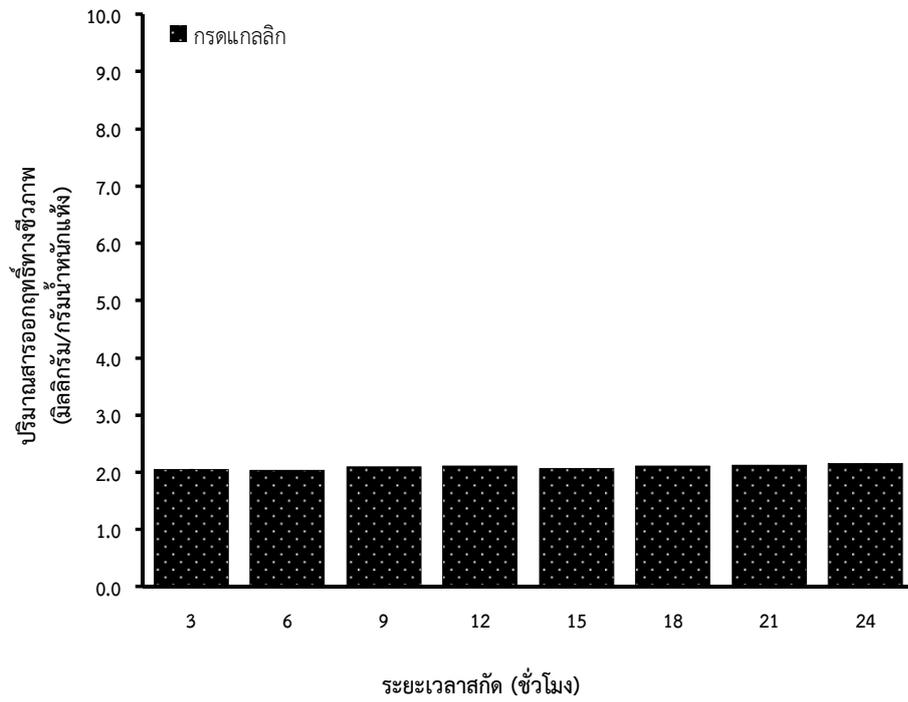
| เวลาสกัด (ชั่วโมง) | กรดแกลลิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | คอร์ิลาจิน (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | กรดเอลลาจิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | รวมสารออกฤทธิ์ (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) |
|-----------------------|--|---|--|---|
| 3 | 0.10 ^e ±0.00 | 0.19 ^f ±0.02 | 0.79 ^d ±0.04 | 1.08 ^e ±0.06 |
| 6 | 0.12 ^d ±0.00 | 0.21 ^e ±0.00 | 0.92 ^c ±0.04 | 1.25 ^d ±0.04 |
| 9 | 0.13 ^c ±0.00 | 0.22 ^e ±0.00 | 0.96 ^c ±0.03 | 1.32 ^d ±0.03 |
| 12 | 0.14 ^c ±0.00 | 0.26 ^d ±0.00 | 1.05 ^b ±0.04 | 1.44 ^c ±0.04 |
| 15 | 0.23 ^a ±0.00 | 0.49 ^b ±0.01 | 1.22 ^a ±0.05 | 1.94 ^a ±0.06 |
| 18 | 0.22 ^a ±0.01 | 0.52 ^a ±0.00 | 1.23 ^a ±0.04 | 1.97 ^a ±0.04 |
| 21 | 0.20 ^b ±0.00 | 0.45 ^c ±0.01 | 1.19 ^a ±0.05 | 1.83 ^b ±0.05 |
| 24 | 0.20 ^b ±0.00 | 0.44 ^c ±0.01 | 1.16 ^a ±0.05 | 1.84 ^b ±0.06 |

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

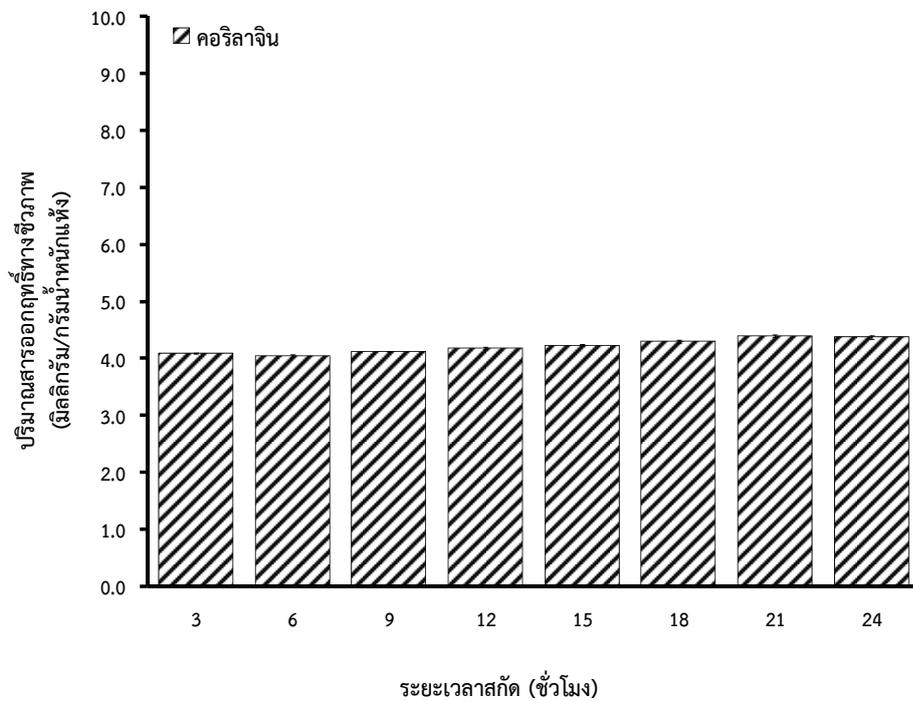
ตารางที่ 4.1.17: สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกากลำไยอบแห้งเมื่อถูกสกัดด้วยระยะเวลาต่าง ๆ

| เวลาสกัด (ชั่วโมง) | กรดแกลลิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | คอร์ริลาจิน (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | กรดเอลลาจิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | รวมสารออกฤทธิ์ (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) |
|-----------------------|--|--|--|---|
| 3 | 0.30 ^d ±0.00 | 0.12 ^s ±0.01 | 2.18 ^c ±0.18 | 2.60 ^d ±0.19 |
| 6 | 0.30 ^d ±0.00 | 0.13 ^s ±0.00 | 2.21 ^c ±0.13 | 2.65 ^{cd} ±0.13 |
| 9 | 0.32 ^c ±0.00 | 0.16 ^f ±0.00 | 2.36 ^{bc} ±0.14 | 2.84 ^{bc} ±0.14 |
| 12 | 0.33 ^c ±0.01 | 0.19 ^e ±0.01 | 2.34 ^{bc} ±0.05 | 2.86 ^b ±0.06 |
| 15 | 0.36 ^b ±0.00 | 0.23 ^d ±0.00 | 2.57 ^a ±0.07 | 3.17 ^a ±0.08 |
| 18 | 0.36 ^b ±0.01 | 0.24 ^c ±0.00 | 2.43 ^{ab} ±0.05 | 3.04 ^{ab} ±0.06 |
| 21 | 0.37 ^b ±0.00 | 0.28 ^b ±0.00 | 2.36 ^{bc} ±0.06 | 3.01 ^{ab} ±0.06 |
| 24 | 0.38 ^a ±0.01 | 0.32 ^a ±0.00 | 2.32 ^{bc} ±0.07 | 3.02 ^{ab} ±0.09 |

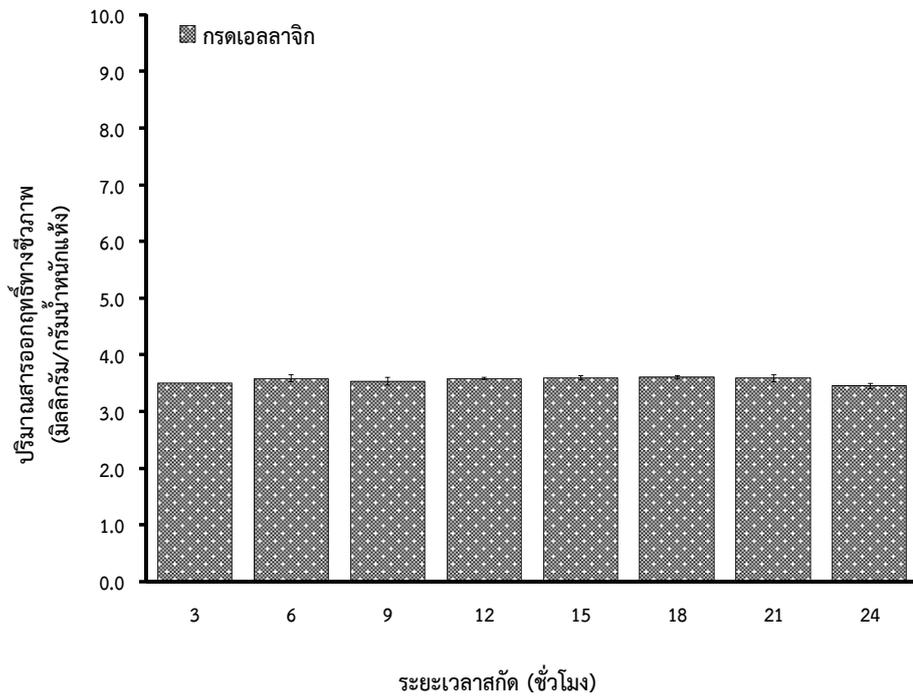
หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



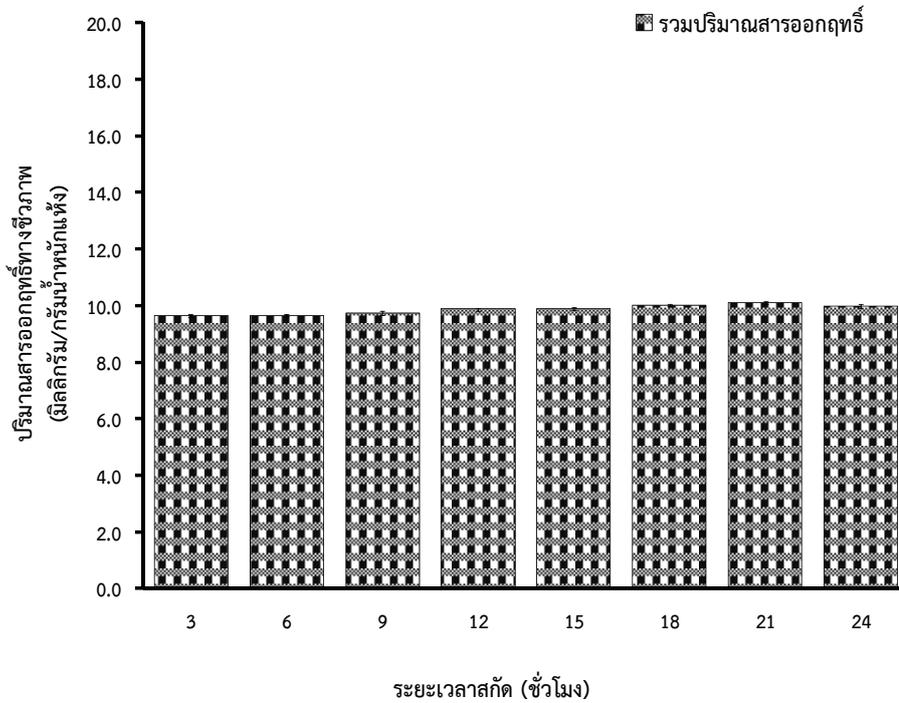
รูปที่ 4.1.21: ปริมาณกรดแกลลิกในเมล็ดตำไยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ เวลาต่าง ๆ



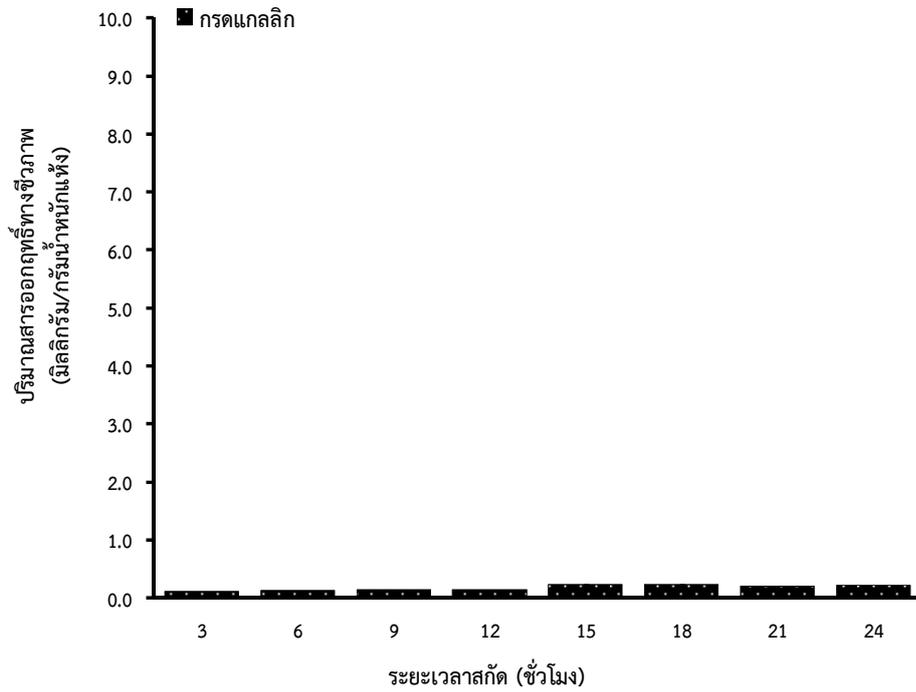
รูปที่ 4.1.22: ปริมาณคอรินาจินในเมล็ดตำไยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ เวลาต่าง ๆ



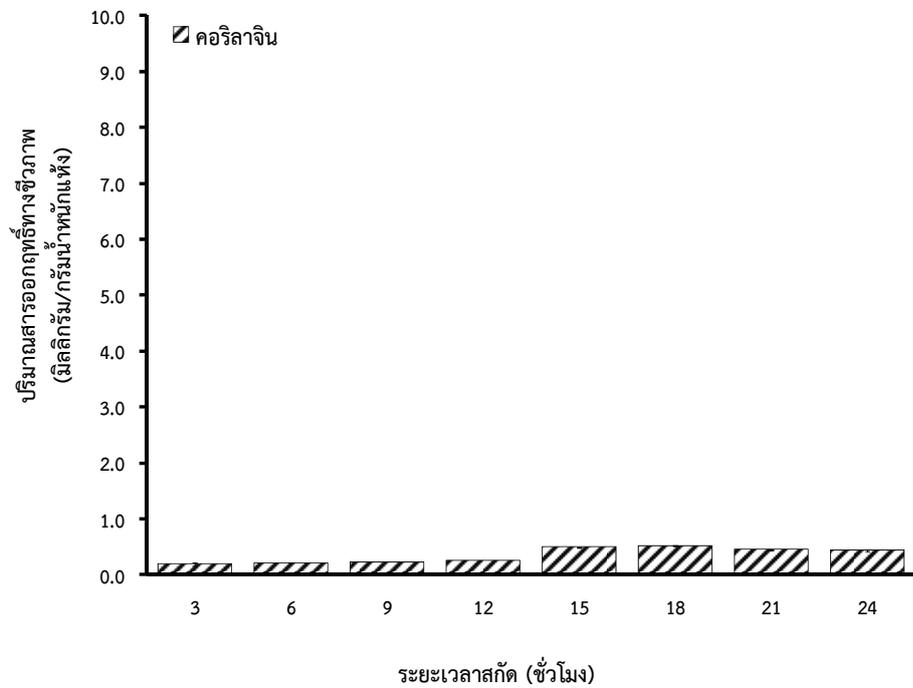
รูปที่ 4.1.23: ปริมาณกรดเอลลาจิกในเมล็ดลำไยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ เวลาต่าง ๆ



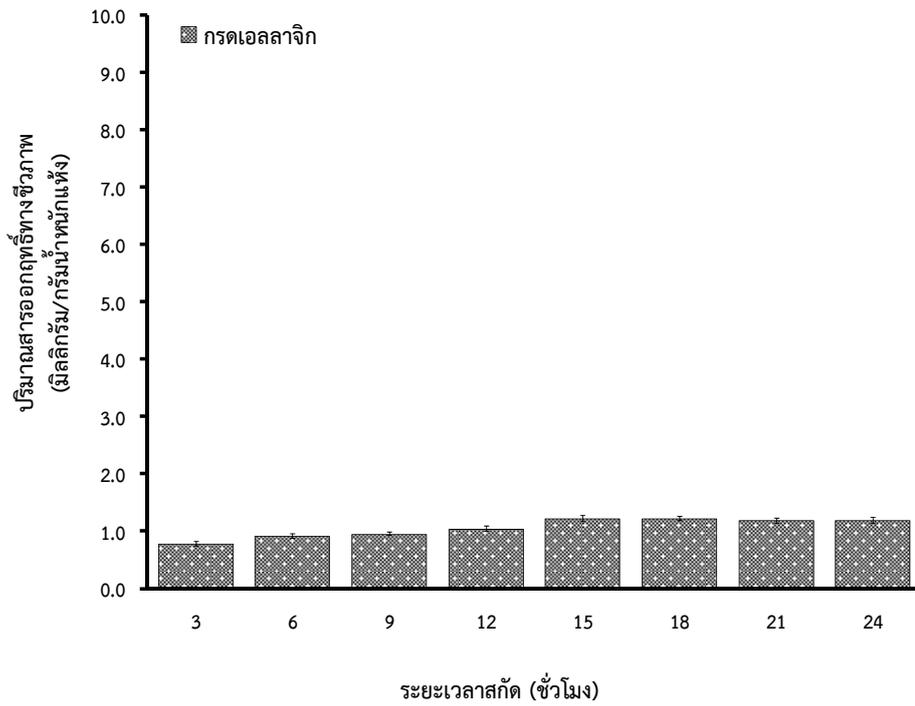
รูปที่ 4.1.24: ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยรวมในเมล็ดลำไยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ เวลาต่าง ๆ



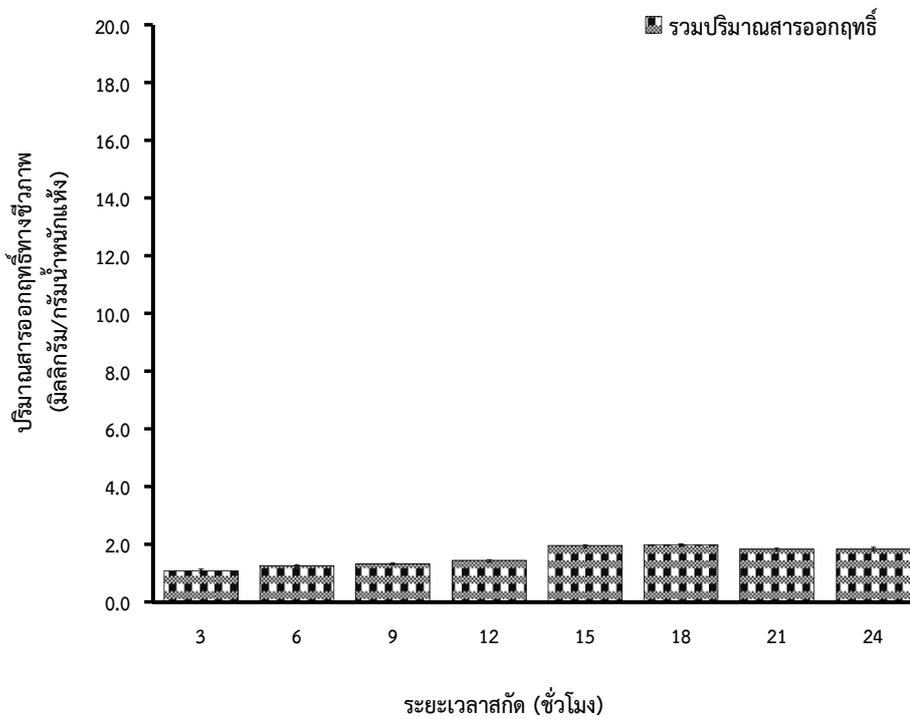
รูปที่ 4.1.25: ปริมาณกรตแกลลิกในเปลือกลำไยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ เวลาต่าง ๆ



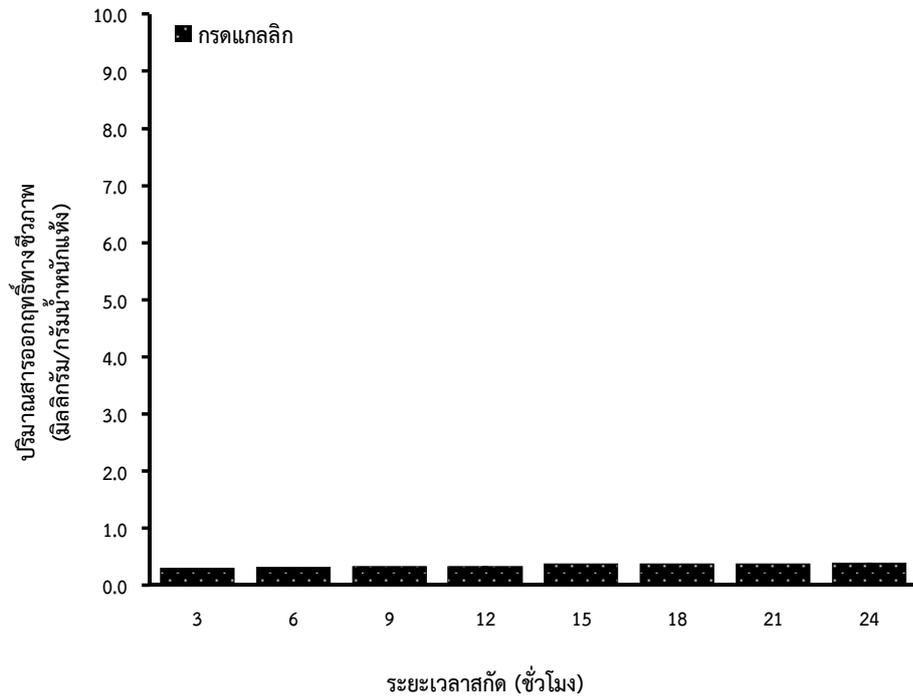
รูปที่ 4.1.26: ปริมาณคอรินาจินในเปลือกลำไยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ เวลาต่าง ๆ



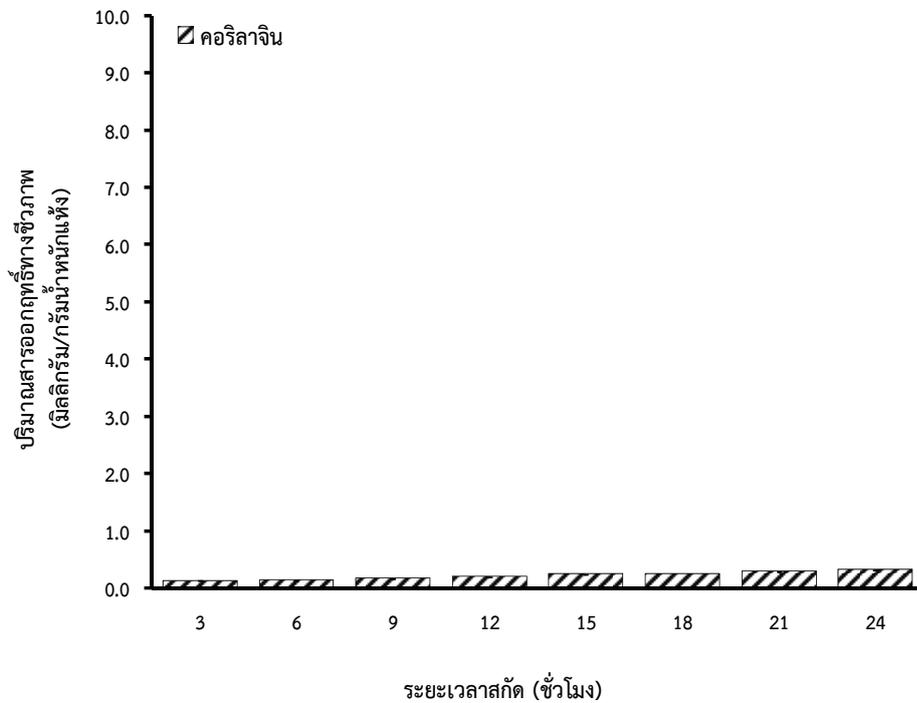
รูปที่ 4.1.27: ปริมาณและกรดเอลลาจิกในเปลือกลำไยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ เวลาต่าง ๆ



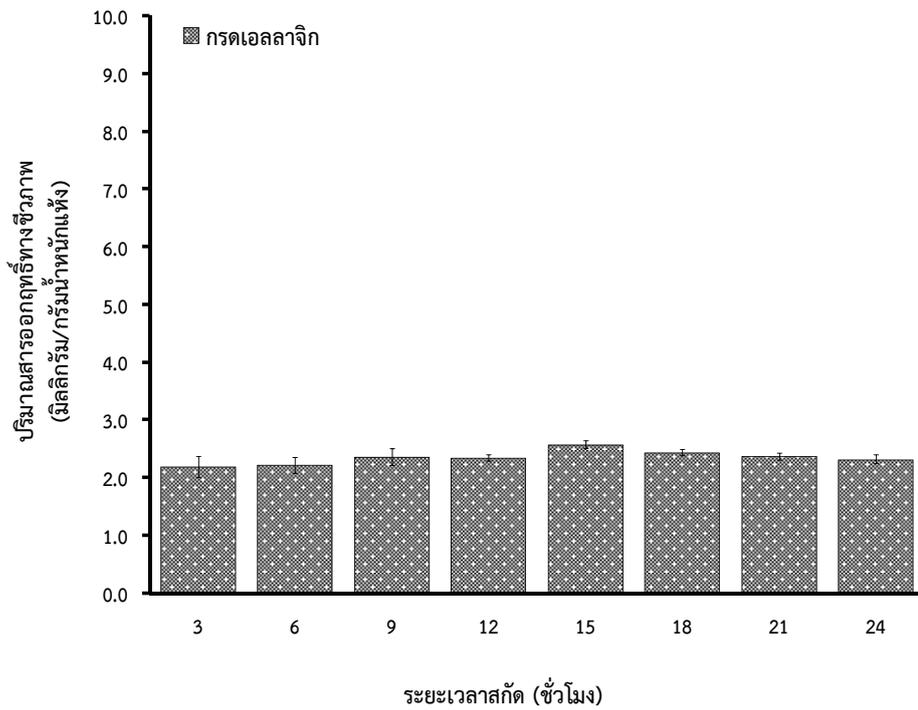
รูปที่ 4.1.28: ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยรวมในเปลือกโยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ เวลาต่าง ๆ



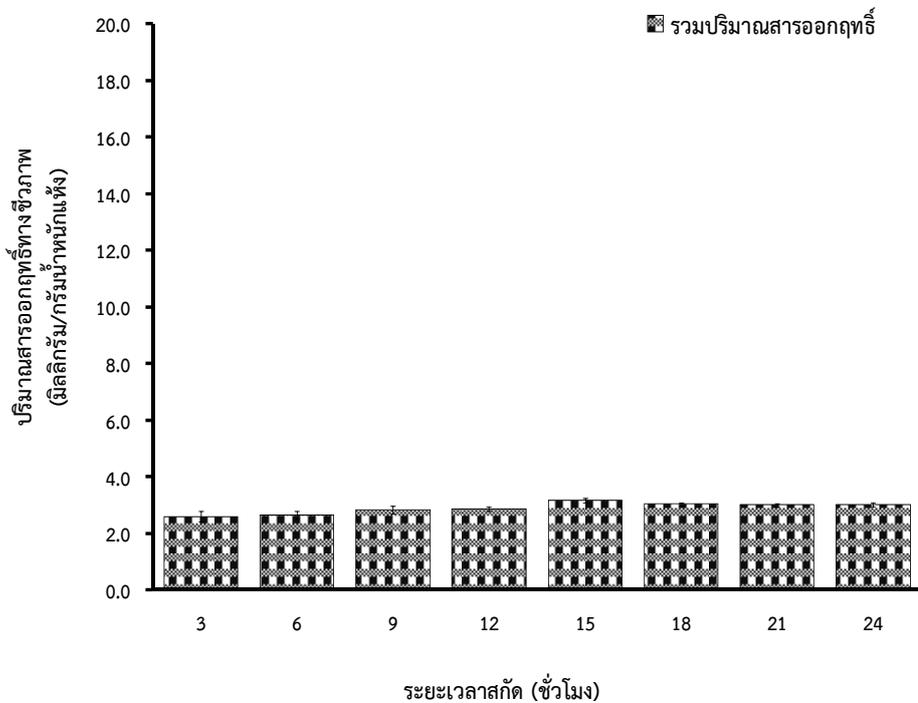
รูปที่ 4.1.29: ปริมาณกรตแกลลิกในกากลำไยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 4.1.30: ปริมาณคอริลาจินในกากลำไยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 4.1.31: ปริมาณกรดเอลลาจิกในกากลำไยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 4.1.32: ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยรวมในกากไยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ เวลาต่าง ๆ

จากผลการทดลอง การศึกษาระยะเวลาสกัดที่เหมาะสมสำหรับ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพทั้งสามชนิด พบว่า เมื่อใช้เวลากัดนานขึ้น สามารถสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้มากขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง หลังจากนั้นเมื่อดำเนินการสกัดต่อไป สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ถูกสกัดได้มีแนวโน้มลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยกฎข้อที่สองของฟิค (Fick's second law of diffusion) โดยความเข้มข้นของสารในระหว่างการแพร่จะเปลี่ยนแปลงตามเวลาจนกระทั่งถึงจุดสมดุลระหว่างตัวทำละลายและของแข็งในระบบ หลังจากนั้นเมื่อการแพร่เข้าสู่จุดสมดุลอัตราการสกัดที่ได้จึงค่อย ๆ ลดลง (Tan *et al.*, 2013) นอกจากนี้ ระยะเวลาสกัดที่นานขึ้นยังส่งผลให้เกิดการเสถียรภาพของสารออกฤทธิ์ในสารสกัด ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) หรือการรวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ (polymerization) ในระหว่างการสกัด (Spigno *et al.*, 2007)

เมื่อพิจารณาผลการทดลองการสกัดปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ กรดแกลลิก คอริลาจिन และกรดเอลลาจิก ในผลิตภัณฑ์จากลำไยทั้ง 3 ประเภท คือ เมล็ดลำไยอบแห้ง เปลือกลำไยอบแห้ง และกากจากการคั้นน้ำลำไยอบแห้ง เมื่อใช้ระยะเวลาการสกัดที่แตกต่างกัน พบว่า ช่วงระยะเวลาที่สามารถสกัดปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ดี คือ ตั้งแต่ 15 ชั่วโมงเป็นต้นไป ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงเลือกเวลากัด 15 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาการสกัดที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเมล็ดลำไยอบแห้ง เปลือกลำไยอบแห้ง และกากลำไยอบแห้ง เพื่อใช้ในการศึกษาคุณสมบัติที่เหมาะสมในการสกัดเป็นลำดับต่อไป

3.1.4.3 การศึกษาคุณสมบัติในการสกัดที่เหมาะสม

การศึกษาขั้นตอนนี้สุดท้ายสำหรับการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเมล็ดลำไยอบแห้ง เปลือกลำไยอบแห้ง และกากลำไยอบแห้ง ด้วยการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำในอัตราส่วน 50:50 เวลากัด 15 ชั่วโมง ในตู้บ่มชนิดหมุนได้ด้วยอัตรา การหมุน 200 รอบต่อนาที เพื่อหาคุณสมบัติในการสกัดที่เหมาะสมที่สุด

ในเมล็ดลำไยอบแห้ง พบว่า คุณสมบัติมีผลต่อการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณกรดแกลลิกที่สกัดได้มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิในการสกัด เพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับคอริลาจिनและกรดเอลลาจิก เมื่อใช้อุณหภูมิสกัดเพิ่มขึ้น สามารถสกัดสาร

ออกฤทธิ์ทั้งสองชนิดได้มากขึ้น โดยสกัดได้สูงสุดเท่ากับ 4.89 ± 0.04 และ 3.89 ± 0.06 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส รวมสารออกฤทธิ์ที่ถูกสกัดได้จากเมล็ดลำไย อบแห้ง พบว่า การสกัดด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้สารออกฤทธิ์มากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 10.87 ± 0.12 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 4.1.18)

ในเปลือกลำไยอบแห้ง พบว่า สามารถสกัดกรดแกลลิกได้มากขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้สกัดเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับคอริลาจิน โดยพบว่าสารทั้งสองชนิดถูกสกัดได้ปริมาณมากที่สุดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.17 ± 0.00 และ 0.66 ± 0.00 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ขณะที่กรดเอลลาจิกสามารถถูกสกัดได้มากที่สุดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.03 ± 0.06 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการสกัดเป็น 60 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดเอลลาจิกที่ถูกสกัดได้ลดลงเหลือ 0.99 ± 0.10 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง รวมปริมาณสารออกฤทธิ์ที่สกัดได้จากเปลือกลำไยอบแห้ง พบว่า อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สามารถสกัดสารออกฤทธิ์ทั้งสามชนิดได้มากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.1.19)

ในกากลำไยอบแห้ง พบว่า กรดแกลลิกและกรดเอลลาจิก สามารถถูกสกัดได้มากที่สุดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.40 ± 0.00 และ 3.05 ± 0.24 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการสกัดเพิ่มขึ้น สามารถสกัดกรดแกลลิกและเอลลาจิกได้ปริมาณลดลง ขณะที่คอริลาจินสามารถถูกสกัดได้มากที่สุดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.64 ± 0.01 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง รวมปริมาณสารออกฤทธิ์ที่สกัดได้ อยู่ในช่วง 2.70-3.50 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง โดยการใช้อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณสารออกฤทธิ์ทั้งสามชนิดรวมกันมากที่สุดเท่ากับ 3.50 ± 0.24 และ 3.43 ± 0.19 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1.20)

ตารางที่ 4.1.18: สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเมล็ดลำไยอบแห้งเมื่อถูกสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

| อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส) | กรดแกลลิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | คอร์ิลาจिन (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | กรดเอลลาจิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | รวมสารออกฤทธิ์ (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) |
|--------------------------------|--|---|--|---|
| 30 | 2.21 ^a ±0.01 | 3.50 ^d ±0.01 | 2.86 ^d ±0.01 | 8.57 ^d ±0.02 |
| 40 | 2.17 ^b ±0.03 | 3.64 ^c ±0.05 | 3.24 ^c ±0.05 | 9.06 ^c ±0.10 |
| 50 | 2.14 ^c ±0.01 | 4.31 ^b ±0.02 | 3.75 ^b ±0.03 | 10.20 ^b ±0.03 |
| 60 | 2.09 ^d ±0.04 | 4.89 ^a ±0.04 | 3.89 ^a ±0.06 | 10.87 ^a ±0.12 |

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.1.19: สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเปลือกลำไยอบแห้งเมื่อถูกสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

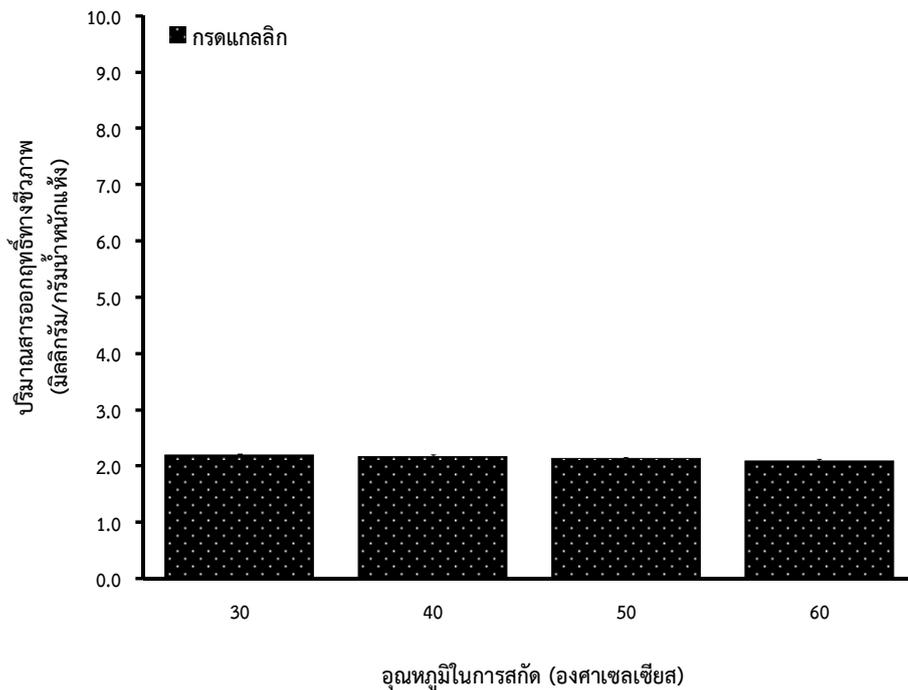
| อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส) | กรดแกลลิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | คอร์ิลาจिन (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | กรดเอลลาจิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | รวมสารออกฤทธิ์ (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) |
|--------------------------------|--|---|--|---|
| 30 | 0.15 ^b ±0.00 | 0.13 ^d ±0.01 | 0.77 ^c ±0.03 | 1.05 ^d ±0.03 |
| 40 | 0.15 ^b ±0.00 | 0.23 ^c ±0.02 | 0.91 ^b ±0.08 | 1.29 ^c ±0.08 |
| 50 | 0.15 ^b ±0.00 | 0.31 ^b ±0.02 | 1.03 ^a ±0.06 | 1.48 ^b ±0.08 |
| 60 | 0.17 ^a ±0.00 | 0.66 ^a ±0.00 | 0.99 ^b ±0.10 | 1.82 ^a ±0.11 |

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

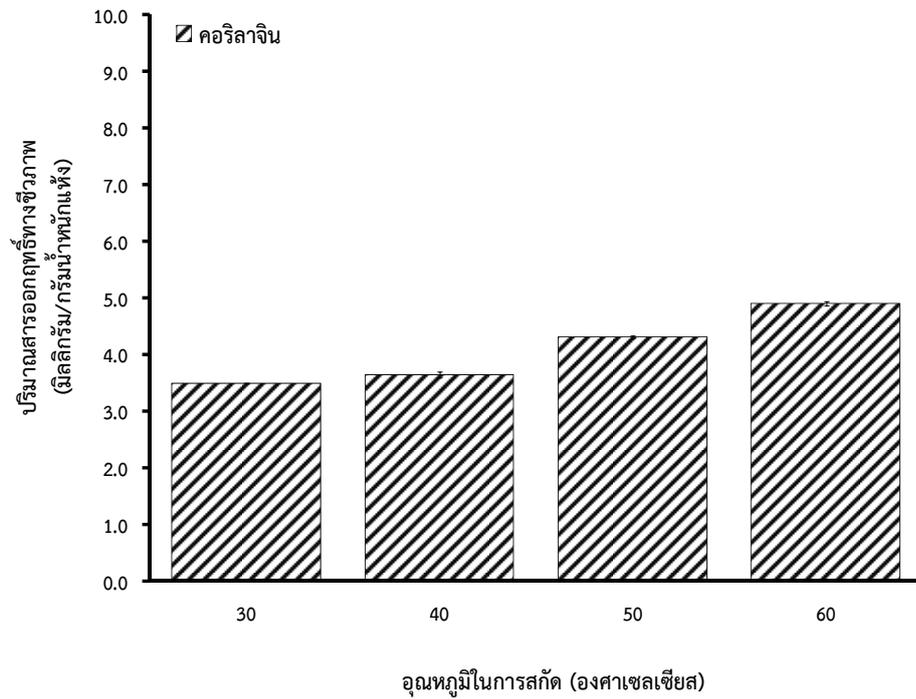
ตารางที่ 4.1.20: สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกากลำไยอบแห้งเมื่อถูกสกัดด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ

| อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส) | กรดแกลลิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | คอร์ราจิน (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | กรดเอลลาจิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | รวมสารออกฤทธิ์ (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) |
|--------------------------------|--|--|--|---|
| 30 | 0.34 ^c ±0.02 | 0.06 ^c ±0.01 | 2.29 ^c ±0.15 | 2.70 ^c ±0.16 |
| 40 | 0.40 ^a ±0.00 | 0.06 ^c ±0.00 | 3.05 ^a ±0.24 | 3.50 ^a ±0.24 |
| 50 | 0.38 ^b ±0.01 | 0.16 ^b ±0.00 | 2.70 ^b ±0.07 | 3.24 ^b ±0.08 |
| 60 | 0.38 ^b ±0.00 | 0.64 ^a ±0.01 | 2.42 ^c ±0.19 | 3.43 ^{ab} ±0.19 |

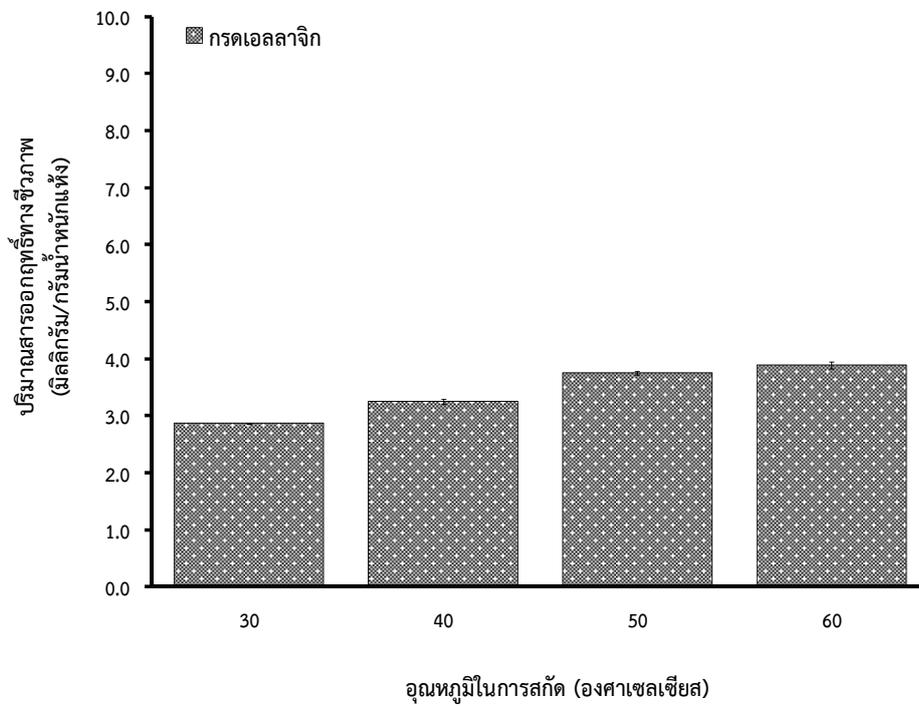
หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



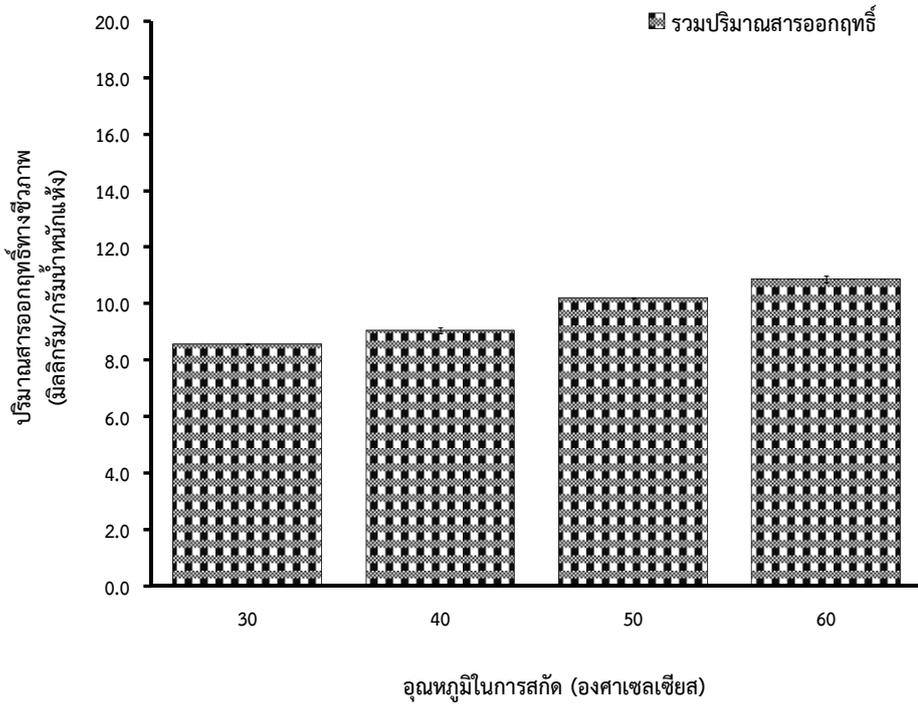
รูปที่ 4.1.33: ปริมาณกรดแกลลิกในเมล็ดลำไยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ อุณหภูมิต่าง ๆ



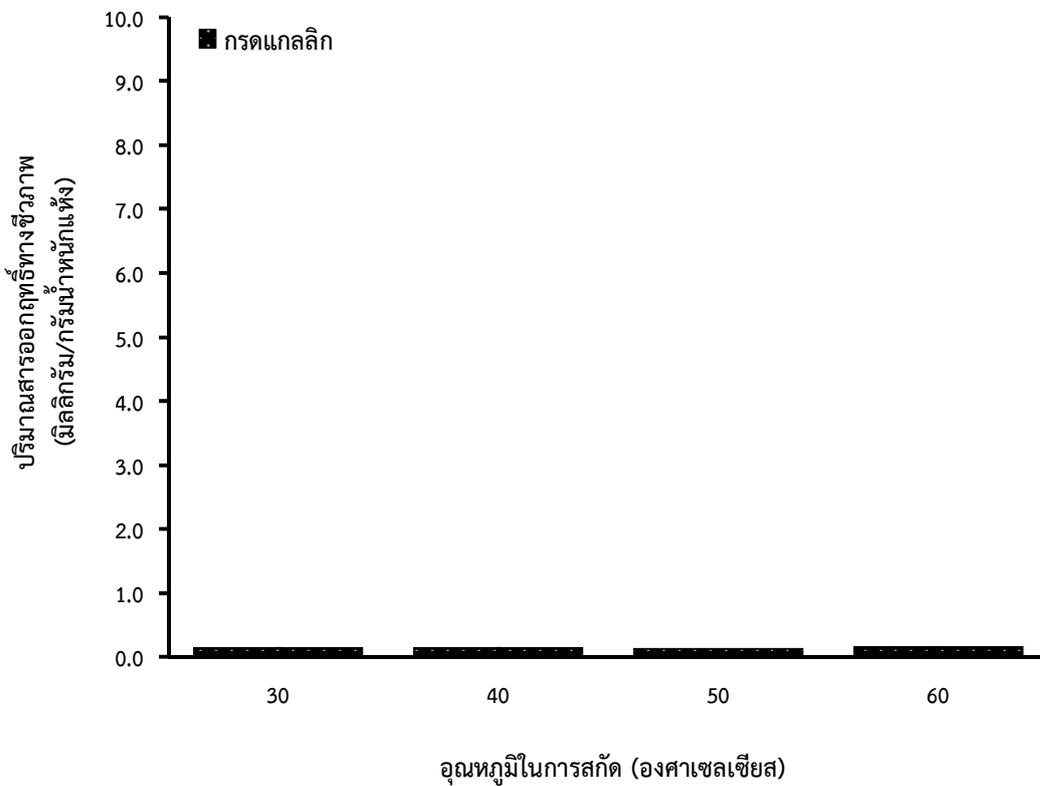
รูปที่ 4.1.34: ปริมาณคอร์ติลาจिनในเมล็ดลำไยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ อุณหภูมิต่าง ๆ



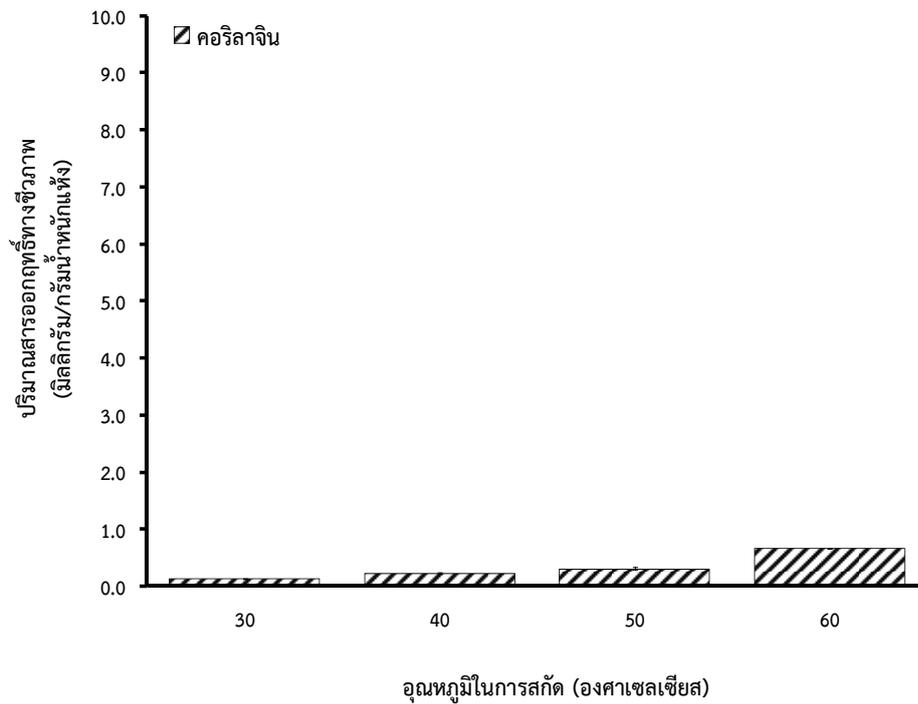
รูปที่ 4.1.35: ปริมาณกรดเอลลาจิกในเมล็ดลำไยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ อุณหภูมิต่าง ๆ



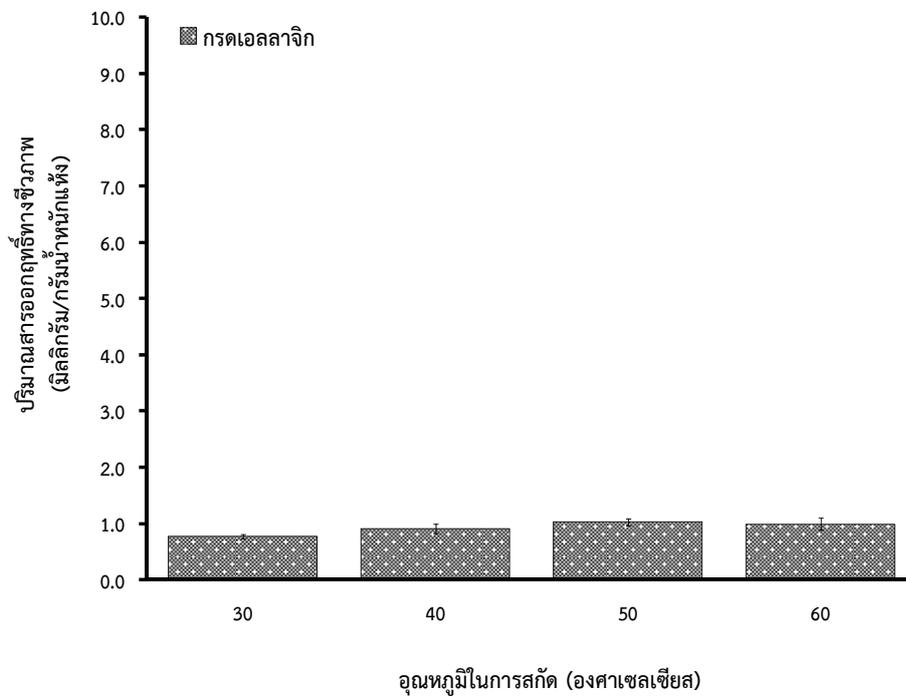
รูปที่ 4.1.36: ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยรวมในเมล็ดโยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ อุณหภูมิต่าง ๆ



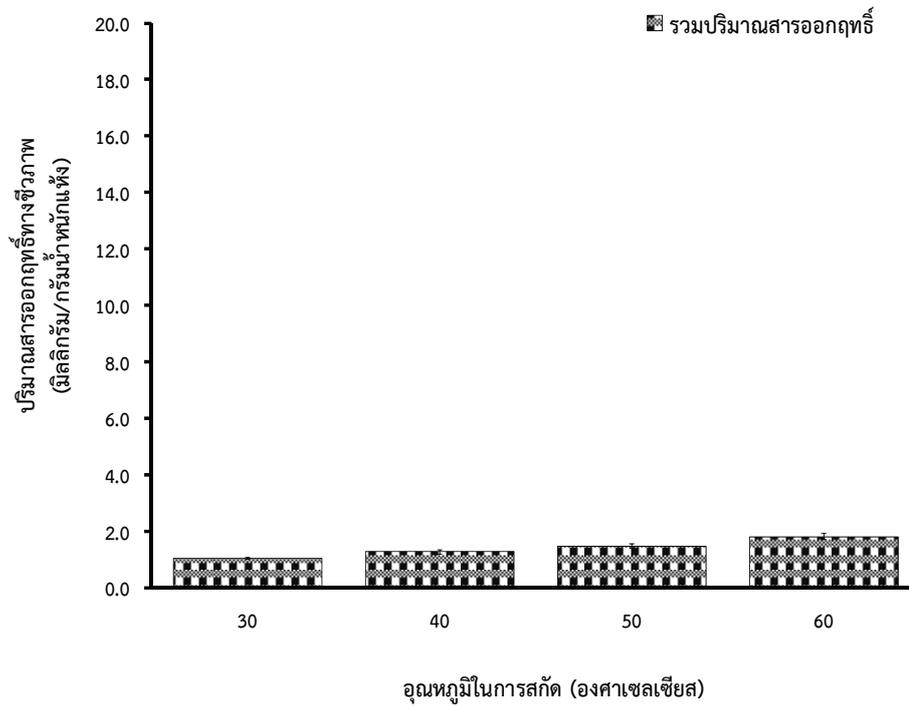
รูปที่ 4.1.37: ปริมาณกรดแกลลิกในเปลือกลำโยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ อุณหภูมิต่าง ๆ



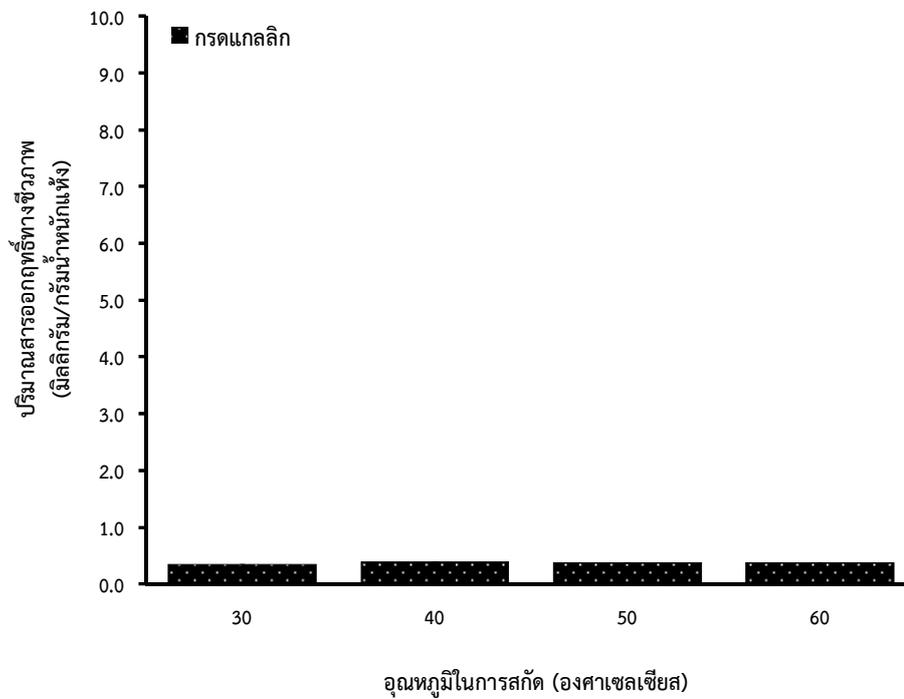
รูปที่ 4.1.38: ปริมาณคอริลาจินในเปลือกลำไยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ อุณหภูมิต่าง ๆ



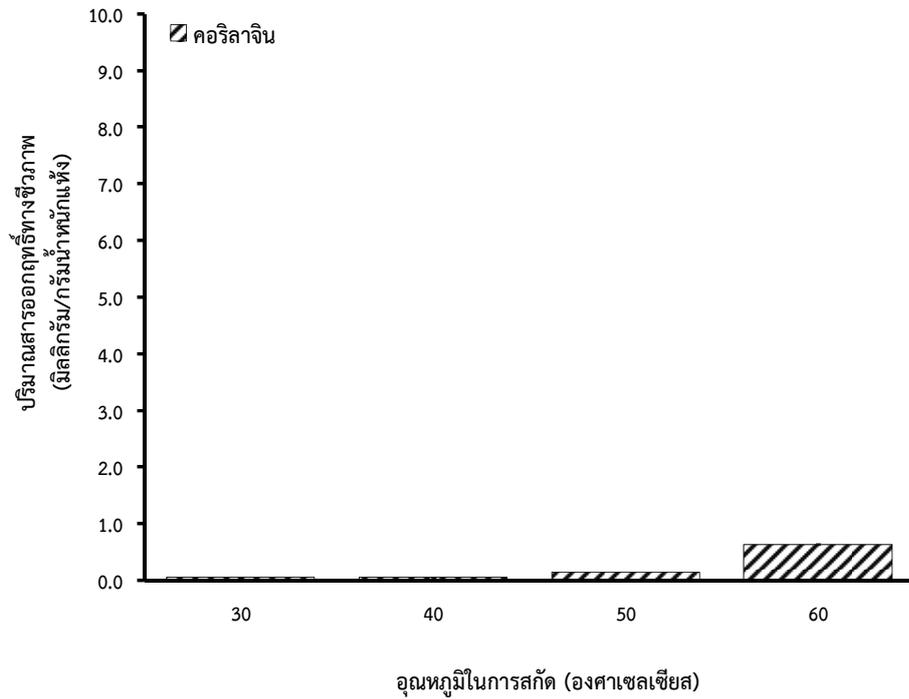
รูปที่ 4.1.39: ปริมาณกรดเอลลาจิกในเปลือกลำไยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ อุณหภูมิต่าง ๆ



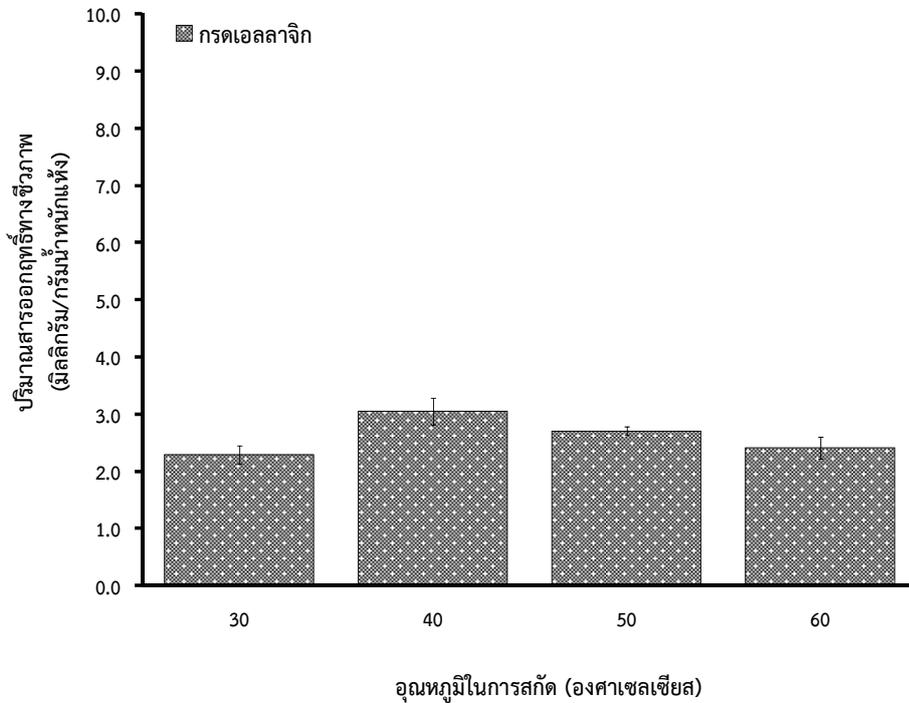
รูปที่ 4.1.40: ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยรวมในเปลือกโยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ อุณหภูมิต่าง ๆ



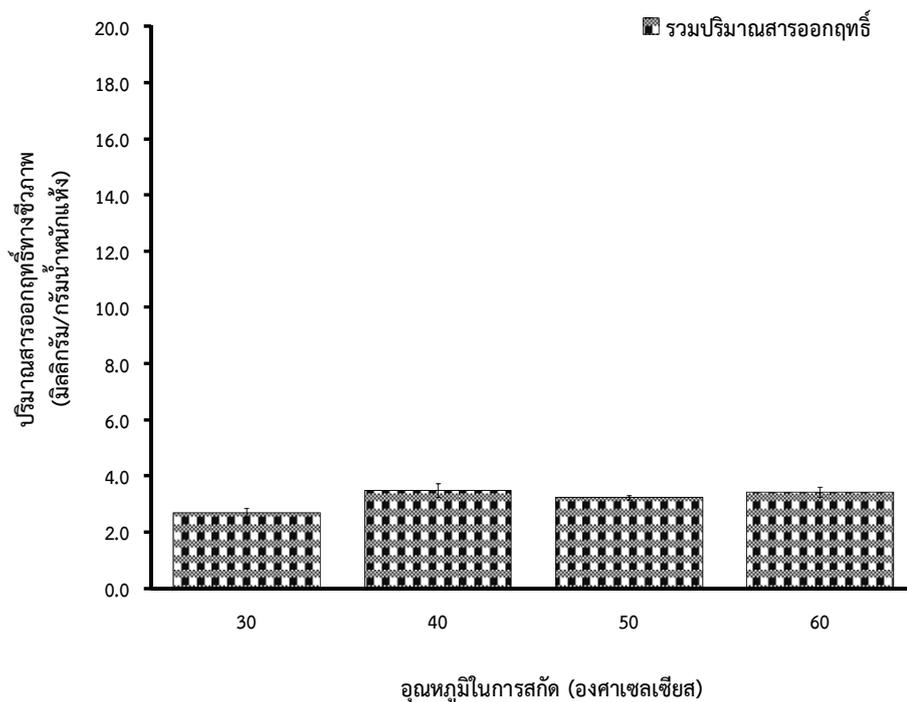
รูปที่ 4.1.41: ปริมาณกรดแกลลิกในกากลำโยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 4.1.42: ปริมาณคอริลาจินในกากลำไยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 4.1.43: ปริมาณกรดเอลลาจิกในกากลำไยอบแห้งที่ถูกสกัด ณ อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 4.1.44: ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยรวมในกากโยบแห้งที่ถูกสกัด ณ อุณหภูมิต่าง ๆ

จากผลการทดลอง พบว่า สารสำคัญทั้งสามชนิด ถูกสกัดได้ปริมาณมากขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการสกัด เนื่องจาก อุณหภูมิของการสกัดที่เพิ่มขึ้นทำให้สารออกฤทธิ์ละลายและแพร่ออกมาในสารสกัดได้ดีขึ้น (Chew *et al.*, 2011) รวมทั้งยังทำให้ความหนืดของตัวทำละลายเอทานอลที่ใช้สกัดลดลง จึงทำให้เกิดการถ่ายเทมวลและการทะลุทะลวงของเอทานอลเข้าไปในตัวอย่างที่น่ามาสกัดได้ดีขึ้น (Tan *et al.*, 2013) นอกจากนี้ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอาจทำให้เนื้อเยื่อของเซลล์ตัวอย่างจากส่วนต่าง ๆ ของลำไยอ่อนตัวลง และทำให้อันตรกิริยาระหว่างสารสำคัญกับสารโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีนหรือพอลิแซ็กคาไรด์ อ่อนแอลง จึงทำให้สารสำคัญถูกสกัดออกมาในตัวทำละลายได้มากขึ้น (Shi *et al.*, 2003)

เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ได้ พบว่า อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สามารถสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเมล็ดลำไย เปลือกลำไย และกากลำไยอบแห้งได้ดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารออกฤทธิ์ในผลิตภัณฑ์จากลำไยทั้งสามชนิด คือ การใช้ตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำในอัตราส่วน 50:50 ระยะเวลาสกัดนาน

15 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยสกัดในสภาวะเขย่า 200 รอบต่อนาที ผู้วิจัยจึงใช้สภาวะดังกล่าวนี้นำไปสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเมล็ดลำไยอบแห้ง เปลือกลำไยอบแห้ง และกากลำไยอบแห้ง จากนั้น นำสารสกัดที่ได้นำไประเหยให้เข้มข้นภายใต้สุญญากาศ และอบแห้งสารสกัดเข้มข้นที่ได้ให้เป็นผงด้วยการอบแห้งสุญญากาศ

และเมื่อนำผลการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญในลำไยด้วยสภาวะที่ดีที่สุดจากงานวิจัยนี้ เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ ก่อนหน้านี้ ทั้งในผลิตภัณฑ์จากลำไยด้วยกัน และผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น พบว่า สภาวะการสกัดที่ดีที่สุดจากงานวิจัยนี้สามารถสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ กรดแกลลิก คอริลาจิน และกรดเอลลาจิก ได้ในระดับที่ใกล้เคียงกับหลายงานวิจัย ที่ใช้สภาวะในการสกัดที่แตกต่างออกไป ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วพบว่า ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัด คือ ตัวทำละลายประเภทแอลกอฮอล์ และส่วนของวัตถุดิบที่นิยมนำมาสกัดคือ เมล็ด ดังแสดงในตารางที่ 4.1.21

ตารางที่ 4.1.21: การเปรียบเทียบปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สกัดได้ด้วยสภาวะต่าง ๆ

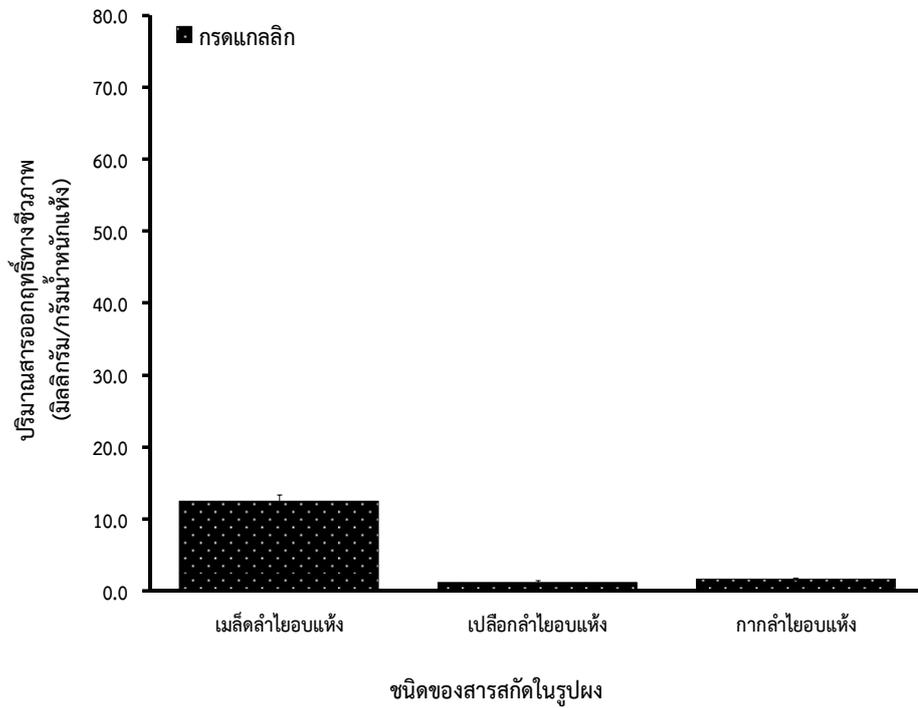
| ผู้วิจัย | วัตถุดิบ | ตัวทำละลาย | สภาวะการสกัด | สารออกฤทธิ์ที่สกัดได้ (มิลลิกรัม/กรัม) | | |
|--|-------------------------------|--------------------------------|---|--|-----------|-------------|
| | | | | กรดแกลลิก | คอร์ลาจิน | กรดเอลลาจิก |
| งานวิจัยนี้ | เมล็ดลำไยอบแห้ง | เอทานอล:น้ำ | 60 องศาเซลเซียส | 2.09±0.04 | 4.89±0.04 | 3.89±0.06 |
| | เปลือกลำไยอบแห้ง | อัตราส่วน 50:50 | นาน 15 ชั่วโมง | 0.17±0.00 | 0.66±0.00 | 1.03±0.06 |
| | กากลำไยอบแห้ง | | | 0.38±0.00 | 0.64±0.01 | 2.42±0.19 |
| Rangkadilok <i>et al.</i> (2005) | เมล็ดลำไยอบแห้ง (9 สายพันธุ์) | เมทานอล ร้อยละ 70 โดยปริมาตร | อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง | 0.8-2.3 | 3.7-8.6 | 1.4-2.5 |
| Soong and Barlow (2006) | เมล็ดลำไยอบแห้ง | เอทานอล:น้ำ อัตราส่วน 50:50 | 70 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง | 0.23 | - | 1.56 |
| Panyatpetch <i>et al.</i> (2013) | เมล็ดลำไยอบแห้ง | แอซีโตน ร้อยละ 80 โดยปริมาตร | อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง | 2.06 | - | 2.17 |
| Prasad <i>et al.</i> (2009) | เปลือกลำไยอบแห้ง | เอทานอล ร้อยละ 50 โดยปริมาตร | 30 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง | - | 2.35±0.4 | - |
| Volf <i>et al.</i> (2014) | เมล็ดองุ่นอบแห้ง | เอทานอล:น้ำ อัตราส่วน 7:3 | ใน Soxhlet อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง | 0.12 | - | - |
| Panichayupakaranant <i>et al.</i> (2010) | เปลือกทับทิมอบแห้ง | เมทานอล ร้อยละ 90 โดยปริมาตร | สภาวะรีฟลักซ์ 2 ชั่วโมง | - | - | 0.28 |

หลังจากนำสารสกัดจากเมล็ดลำไยอบแห้ง เปลือกลำไยอบแห้ง และกากลำไยอบแห้งในรูปผง มาวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ พบว่า สารสกัดจากเมล็ดลำไยอบแห้งในรูปผง มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพทุกชนิดมากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีกรดแกลลิก คอริลาจिन และกรดเอลลาจิก เท่ากับ 12.49 ± 0.92 , 27.76 ± 1.17 และ 36.21 ± 1.03 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ขณะที่สารสกัดจากเปลือกลำไยอบแห้ง และกากลำไยอบแห้งในรูปผง มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทั้ง 3 ชนิด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยสารสกัดจากเปลือกลำไยอบแห้งในรูปผง มีกรดแกลลิก คอริลาจिन และกรดเอลลาจิก เท่ากับ 1.27 ± 0.17 , 2.78 ± 0.20 และ 3.97 ± 0.54 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และกากลำไยอบแห้งในรูปผงมีกรดแกลลิก คอริลาจिन และกรดเอลลาจิก เท่ากับ 1.70 ± 0.14 , 1.04 ± 0.04 และ 3.97 ± 0.54 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ รวมปริมาณสารออกฤทธิ์ในเมล็ดลำไยอบแห้ง เปลือกลำไยอบแห้ง และกากลำไยอบแห้งในรูปผง เท่ากับ 76.46 ± 1.39 , 8.02 ± 0.84 และ 8.07 ± 1.38 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1.22)

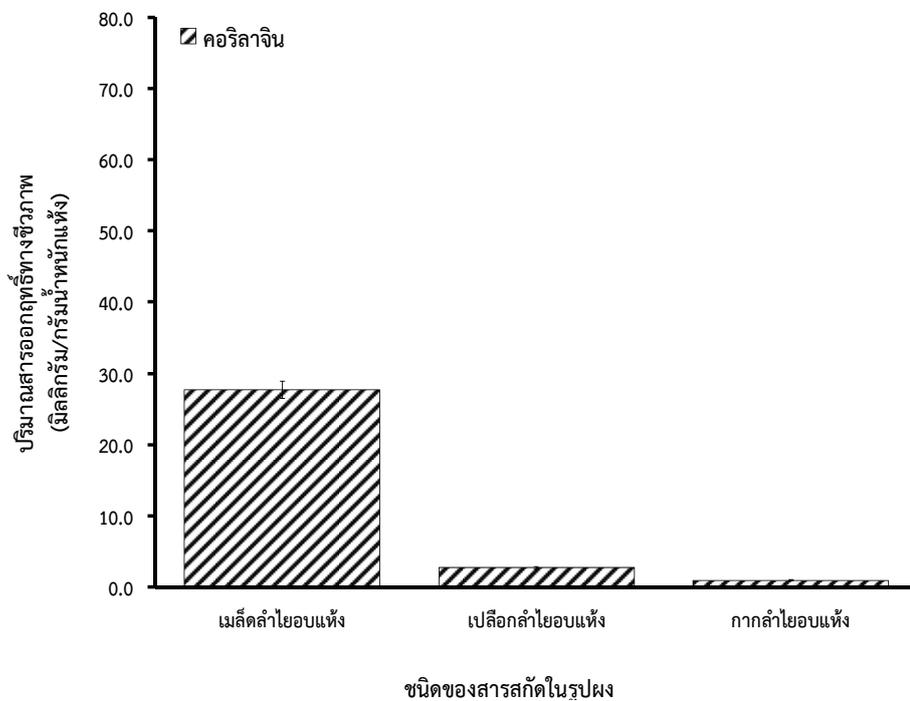
ตารางที่ 4.1.22: สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเมล็ดลำไยอบแห้ง เปลือกลำไยอบแห้ง และกากลำไยอบแห้งในรูปผงจากการสกัดด้วยสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

| สารสกัด | กรดแกลลิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | คอริลาจिन (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | กรดเอลลาจิก (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) | รวมสารออกฤทธิ์ (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) |
|---------|--|--|--|---|
| เมล็ด | $12.49^a \pm 0.92$ | $27.76^a \pm 1.17$ | $36.21^a \pm 1.03$ | $76.46^a \pm 1.39$ |
| เปลือก | $1.27^b \pm 0.17$ | $2.78^b \pm 0.20$ | $3.97^b \pm 0.54$ | $8.02^b \pm 0.84$ |
| กาก | $1.70^b \pm 0.14$ | $1.04^c \pm 0.04$ | $5.33^b \pm 1.50$ | $8.07^b \pm 1.38$ |

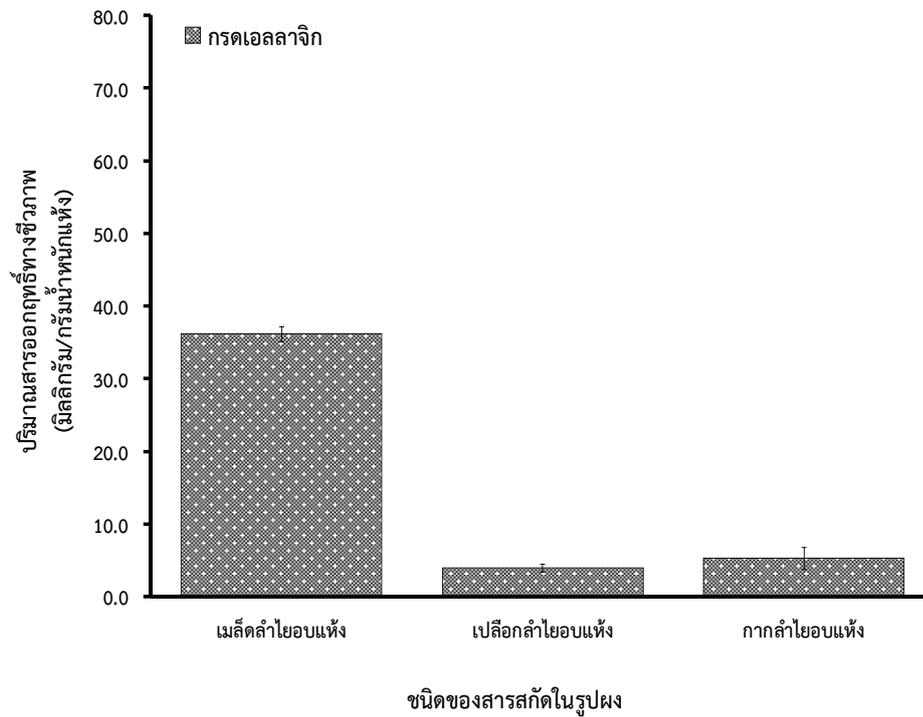
หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



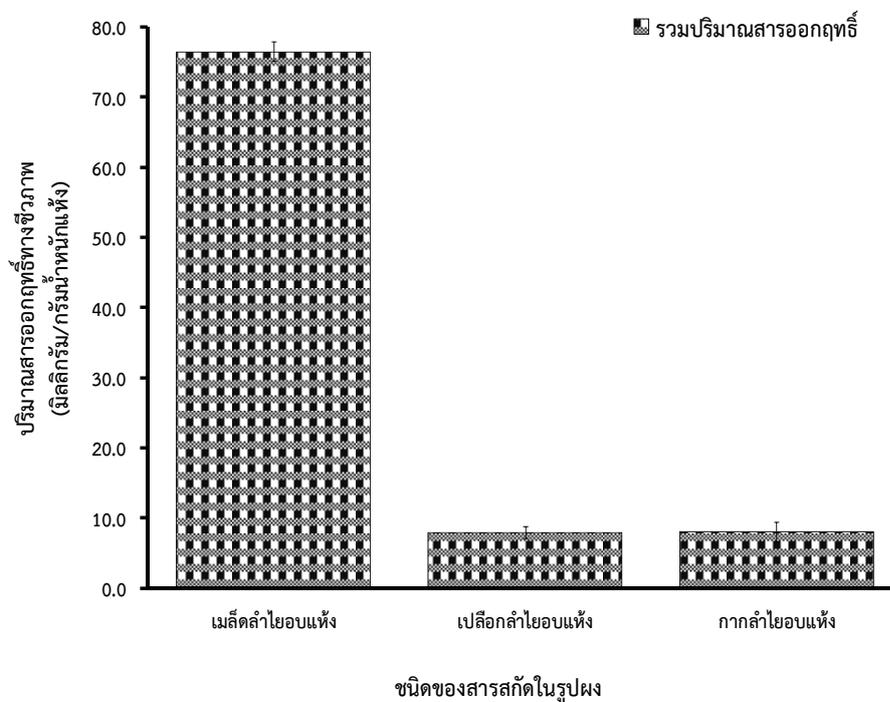
รูปที่ 4.1.45: ปริมาณกรตแกลลิกในเมล็ดลำไยอบแห้ง เปลือกลำไยอบแห้ง และกากลำไยอบแห้งในรูปผงจากการสกัดด้วยสภาวะที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 4.1.46: ปริมาณคอริลาจินในเมล็ดลำไยอบแห้ง เปลือกลำไยอบแห้ง และกากลำไยอบแห้งในรูปผงจากการสกัดด้วยสภาวะที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 4.1.47: ปริมาณกรดเอลลาจิกในเมล็ดลำไยอบแห้ง เปลือกลำไยอบแห้ง และกากลำไยอบแห้งในรูปผงจากการสกัดด้วยสภาวะที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 4.1.48: ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยรวมในเมล็ดลำไยอบแห้ง เปลือกลำไยอบแห้ง และกากลำไยอบแห้งในรูปผงจากการสกัดด้วยสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

4.1.5. การศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำเชื่อมลำไย FOS สารสกัดจากเมล็ดลำไยอบแห้ง สารสกัดจากเปลือกลำไยอบแห้ง และสารสกัดจากกากลำไยอบแห้ง

ผลิตภัณฑ์จากลำไยทั้ง 7 ชนิด ได้แก่ น้ำเชื่อมลำไย, น้ำเชื่อมลำไยผง, FOS, FOS ผง รวมทั้งสารสกัดจากเมล็ดลำไยอบแห้ง สารสกัดจากเปลือกลำไยอบแห้ง และสารสกัดจากกากลำไยอบแห้งที่ผ่านการทำให้อยู่ในรูปผงจากการอบแห้งสุญญากาศ ได้ถูกนำมาทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แก่ การทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH) การฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS) และการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (FRAP assay) แสดงดังตารางที่ 4.1.23

4.1.5.1 การทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH)

อนุมูลอิสระ DPPH เป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัวและมีสีม่วง เมื่ออนุมูลอิสระ DPPH ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายด้วยแอลกอฮอล์จะทำให้สีม่วงจางลงและเปลี่ยนเป็นสีเหลือง (บุหรัน, 2556) ผลการทดสอบสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์จากลำไยทั้ง 7 ชนิดเทียบกับสารมาตรฐานโทรลอคซ์ ซึ่งจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระประเภทวิตามิน อี ชนิดที่ละลายน้ำได้ พบว่า ผงสารสกัดจากเมล็ดลำไยอบแห้ง มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เทียบเท่ากับสารโทรลอคซ์ 15.68 ± 0.03 มิลลิกรัม/กรัม รองลงมาคือ ผงสารสกัดจากเปลือกลำไยอบแห้ง และผงสารสกัดจากกากลำไยอบแห้ง โดยมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เทียบเท่ากับสารโทรลอคซ์ 15.34 ± 0.03 และ 15.16 ± 0.07 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์จากน้ำเชื่อมลำไยและ FOS ทั้งในรูปของเหลวและผง มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเทียบเท่ากับการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้สารโทรลอคซ์ 1.55-1.60 มิลลิกรัม/กรัม

4.1.5.2 การฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS)

อนุมูลอิสระ ABTS เป็นสารสังเคราะห์สีเขียวปนน้ำเงิน เมื่อทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระแล้ว จะทำให้สีของอนุมูลอิสระ ABTS จางลง (บุหรัน, 2556) ผลการทดสอบสารต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของผลิตภัณฑ์จากลำไยทั้ง 7 ชนิด เทียบกับสารโทรลอคซ์

พบว่า ผงสารสกัดจากเมล็ดลำไยอบแห้ง มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS สูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เทียบเท่ากับสารโทรลอคซ์ 8.99 ± 0.01 มิลลิกรัม/กรัม รองลงมาคือ ผงสารสกัดจากเปลือกลำไยอบแห้ง และผงสารสกัดจากกากลำไยอบแห้ง โดยมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS เทียบเท่ากับสารโทรลอคซ์ 8.86 ± 0.02 และ 8.87 ± 0.02 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์จากน้ำเชื่อมลำไยและ FOS ทั้งในรูปของเหลวและผง มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ที่ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเทียบเท่ากับการต้านอนุมูลอิสระของสารโทรลอคซ์ $0.90-0.91$ มิลลิกรัม/กรัม

4.1.5.3 ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (FRAP assay)

วิธีวัดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระวิธีนี้ อาศัยหลักการของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถถ่ายเทอิเล็กตรอนให้กับสารประกอบเชิงซ้อน $[\text{Fe(III)(TPTZ)}_2]^{3+}$ ให้เปลี่ยนรูปเป็น $[\text{Fe(II)(TPTZ)}_2]^+$ ซึ่งจะมีสีที่เข้มมากขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีที่มากขึ้นนี้ สามารถนำมาประมาณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ในรูปของ FRAP value เทียบกับสารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO_4) (บุหรัน, 2556) ผลการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP พบว่า ผงสารสกัดจากเมล็ดลำไยอบแห้ง มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกให้กลายเป็นเฟอร์รัส สูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เทียบเท่ากับเฟอร์รัสซัลเฟต 2.27 ± 0.16 มิลลิโมล/กรัม รองลงมาคือ ผงสารสกัดจากเปลือกลำไยอบแห้ง และผงสารสกัดจากกากลำไยอบแห้ง โดยมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกให้กลายเป็นเฟอร์รัส เทียบเท่ากับสารเฟอร์รัสซัลเฟต 2.10 ± 0.06 และ 1.76 ± 0.07 มิลลิโมล/กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์จากน้ำเชื่อมลำไย และ FOS ทั้งในรูปของเหลวและผง มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก ให้กลายเป็นเฟอร์รัสเทียบเท่ากับเฟอร์รัสซัลเฟต ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเทียบเท่ากับการใช้เฟอร์รัสซัลเฟต $0.05-0.06$ มิลลิโมล/กรัม

ตารางที่ 4.1.23: กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำเชื่อมลำไย, FOS, FOS ผง, สารสกัดจากเมล็ดลำไยอบแห้ง, สารสกัดจากเปลือกลำไยอบแห้ง และสารสกัดจากกากลำไยอบแห้ง

| ผลิตภัณฑ์ | กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ | | |
|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| | DPPH (มิลลิกรัม โทรลอกซ์/ กรัม) | ABTS (มิลลิกรัม โทรลอกซ์/ กรัม) | FRAP (มิลลิโมล เฟอร์รัสซัลเฟต/ กรัม) |
| น้ำเชื่อมลำไย | 1.56 ^d ±0.01 | 0.91 ^c ±0.01 | 0.06 ^d ±0.01 |
| น้ำเชื่อมลำไยผง | 1.60 ^d ±0.01 | 0.90 ^c ±0.01 | 0.05 ^d ±0.01 |
| FOS | 1.55 ^d ±0.01 | 0.91 ^c ±0.01 | 0.05 ^d ±0.01 |
| FOS ผง | 1.60 ^d ±0.01 | 0.91 ^c ±0.01 | 0.05 ^d ±0.01 |
| ผงสารสกัดจากเมล็ดลำไยอบแห้ง | 15.68 ^a ±0.03 | 8.99 ^a ±0.01 | 2.27 ^a ±0.16 |
| ผงสารสกัดจากเปลือกลำไยอบแห้ง | 15.34 ^b ±0.03 | 8.86 ^b ±0.02 | 2.10 ^b ±0.06 |
| ผงสารสกัดจากกากลำไยอบแห้ง | 15.16 ^c ±0.07 | 8.87 ^b ±0.02 | 1.76 ^c ±0.07 |

หมายเหตุ: ตัวอักษรกำกับภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผู้วิจัยได้รวบรวมงานวิจัยเกี่ยวกับการวัดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากพืชชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4.1.21 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์จากลำไยทั้ง 7 ประเภทที่ได้พบว่า ผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำเชื่อมลำไยและ FOS ทั้งในรูปแบบของเหลวและผงมีกิจกรรมการฟอกสีอนุมูลอิสระ ABTS ใกล้เคียงกับสารสกัดจากใบย่านาง สารสกัดจากใบบัว สารสกัดจากดอกอัญชัน สารสกัดจากใบหม่อน และสารสกัดจากหัวกวาวเครือขาว ที่ถูกสกัดด้วยสัคน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิห้องนาน 72 ชั่วโมง จากนั้นระเหยให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ ซึ่งสารสกัดที่ได้เหล่านี้มีค่ากิจกรรมการฟอกสีอนุมูลอิสระ ABTS เทียบเท่ากับสารโทรลอกซ์ ระหว่าง 0.73-0.78

มิลลิกรัม/กรัม (กฤตติญารัตน์ และประสิทธิ์ , 2555) และมีความสามารถในการรีดิวซ์เพอร์ริคด้วยวิธี FRAP ใกล้เคียงกับสารสกัดจากตะไคร้ ที่ถูกสกัดด้วยคลอโรฟอร์ม นาน 72 ชั่วโมง แล้วระเหยด้วยสูญญากาศ โดยสารสกัดจากตะไคร้ของงานวิจัยนี้มีความสามารถในการรีดิวซ์เพอร์ริคให้กลายเป็นเฟอร์รัสเทียบเท่ากับเฟอร์รัสซัลเฟต 0.09 มิลลิโมล/กรัม (Lu *et al.*, 2014) และยังใกล้เคียงกับสารสกัดจากเปลือกลำไย สารสกัดจากเมล็ดลำไย สารสกัดจากเปลือกบลูเบอร์รี่ สารสกัดจากเปลือกมะม่วง สารสกัดจากเปลือกมะเฟืองที่ถูกสกัดด้วย สารละลายผสมระหว่างเมทานอล/กรดแอสติค/น้ำ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที ซึ่งมีความสามารถรีดิวซ์เพอร์ริคให้กลายเป็นเฟอร์รัสเทียบเท่ากับเฟอร์รัสซัลเฟตในช่วง 0.027-0.060 มิลลิโมล/กรัม (Deng *et al.*, 2012) ขณะที่สารสกัดในรูปผงจากเมล็ดลำไย เปลือกลำไย และกากลำไย มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากกว่าสารสกัดจากกะเพรา สารสกัดจากพริกไทยดำ สารสกัดจากกระเทียม สารสกัดจากขิง ซึ่งถูกสกัดด้วยเอทานอล ที่อุณหภูมิห้อง ด้วยสภาวะเขย่า 150 รอบ/นาที นาน 15 ชั่วโมง ซึ่งสารสกัดที่ได้มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เทียบเท่ากับโทรลอกซีในช่วง 2.5-7.8 มิลลิกรัม/กรัม (Mariutti *et al.*, 2008) และยังมีกิจกรรมการฟอกสีอนุมูลอิสระ ABTS ที่ใกล้เคียงกับสารสกัดจากเปลือกลำไย สารสกัดจากเมล็ดลำไย และสารสกัดจากมะเฟืองที่ถูกสกัดด้วยสารละลายผสม ระหว่างเมทานอล/กรดแอสติค/น้ำ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที ที่มีกิจกรรมการฟอกสีอนุมูลอิสระ ABTS เทียบเท่ากับสารโทรลอกซีในช่วง 6.13-8.87 มิลลิกรัม/กรัม (Deng *et al.*, 2012) และยังใกล้เคียงกับสารสกัดจากกะเพราและกระเทียมที่ถูกสกัดด้วยเอทานอล ที่อุณหภูมิห้อง ด้วยสภาวะเขย่า 150 รอบ/นาที นาน 15 ชั่วโมง ซึ่งมีความสามารถฟอกสีอนุมูลอิสระ ABTS เทียบเท่ากับสารโทรลอกซี 8.6 และ 8.5 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ (Mariutti *et al.*, 2008)

ตารางที่ 4.1.24: การเปรียบเทียบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระกับงานวิจัยอื่น ๆ

| ผู้วิจัย | วัตถุประสงค์ | สถานะในการสกัด | กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ | | |
|-------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|--|--|--|
| | | | DPPH (มิลลิกรัม ไทรลออกซ์/ กรัมตัวอย่าง) | ABTS (มิลลิกรัม ไทรลออกซ์/ กรัมตัวอย่าง) | FRAP (มิลลิโมล เฟอร์รัสซัลเฟต/ กรัมตัวอย่าง) |
| Deng <i>et al.</i> (2012) | เปลือกกล้วย | | | 6.13±0.75 | 0.027±0.00 |
| | เมล็ดลำไย | สกัดด้วยสารละลายระหว่างเมทา | | 7.33±0.65 | 0.030±0.00 |
| | เปลือกบลูเบอร์รี่ | นอล/กรดแอสซิติค/น้ำ ที่อุณหภูมิ 37 | | 4.85±0.46 | 0.042±0.00 |
| | เปลือกมะม่วง | องศาเซลเซียส นาน 90 นาที | | 11.55±0.12 | 0.060±0.00 |
| | เปลือกมะเฟือง | | | 8.87±0.97 | 0.053±0.00 |
| กฤติญารัตน์ และ ประสิทธิ์ (2555) | ใบย่านาง | | | 0.77±0.03 | |
| | ใบบัวบก | สกัดด้วยน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิห้อง | | 0.77±0.06 | |
| | ดอกอัญชัน | นาน 72 ชั่วโมง ระยะเวลาให้เข้มข้นด้วย | | 0.78±0.08 | - |
| | ใบหม่อน | เครื่องระเหยสุญญากาศ | | 0.75±0.04 | |
| | หัวกวาวเครือขาว | | | 0.73±0.03 | |
| Mariutti <i>et al.</i> (2008) | กะเพรา | สกัดด้วยเอทานอล ด้วยสภาวะเย่า | 6.5±0.6 | 8.6±0.5 | |
| | พริกไทยดำ | 150 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง | 2.5±0.1 | 5.7±0.2 | |
| | กระเทียม | นาน 15 ชั่วโมง | 6.7±0.3 | 8.5±0.2 | |
| | ขิง | | 7.8±0.1 | 23.0±0.3 | |

ตารางที่ 4.1.24 (ต่อ): การเปรียบเทียบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระกับงานวิจัยอื่น ๆ

| ผู้วิจัย | วัตถุประสงค์ | สถานะในการสกัด | กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ | | | |
|----------------------------------|--|---|---|---|--|--|
| | | | DPPH (มิลลิกรัม ไทรลอกซ์/ กรัมตัวอย่าง) | ABTS (มิลลิกรัม ไทรลอกซ์/ กรัมตัวอย่าง) | FRAP (มิลลิโมล เฟอร์รัสซัลเฟต/ กรัมตัวอย่าง) | |
| Chew <i>et al.</i> (2011) | ใบบัวบก | สกัดด้วยทานอลเข้มข้นร้อยละ 40 ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง | 1.8 | 4.9 | | |
| | | สกัดด้วยเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสในเครื่องอัลตราโซนิก นาน 90 นาที | 9.98±0.07 | | | |
| Kaushtik <i>et al.</i> (2012) | ผักกูด | สกัดด้วยเมทานอล | | | 4.16 | |
| | | อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส | | | | |
| Lu <i>et al.</i> (2014) | ตะไคร้หอม ตะไคร้ | สกัดด้วยคลอโรฟอร์ม นาน 72 ชั่วโมง | - | - | 1.03±0.002 | |
| | | แล้วระเหยด้วยสูญญากาศ | | | 0.09±0.002 | |
| Dudonne <i>et al.</i> (2009) | เปลือกอบเชย เมล็ดกาแฟ ใบกระวาน หน่อแปบ์เคอคอเรนท์ รากชিং | เปลือกอบเชย | | | 6.48±0.15 | |
| | | เมล็ดกาแฟ | | | 2.73±0.07 | |
| | | ใบกระวาน | | | 1.54±0.01 | |
| | | หน่อแปบ์เคอคอเรนท์ | | | 1.75±0.01 | |
| | | อบแห้งสูญญากาศ | | | 0.28±0.01 | |

โครงการย่อยที่ 2: การศึกษาความเป็นพิษของโพลิโกแซคาไรด์จากลำไยในสัตว์ทดลอง

4.2 การศึกษาความเป็นพิษของโพลิโกแซคาไรด์จากลำไยในสัตว์ทดลอง

4.2.1 การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของ FOS จากลำไยในหนูขาว

ในการทดลองการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของ FOS ในขนาด 5,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ให้แก่หนูขาวเพศเมีย โดยที่หนูกลุ่มควบคุมได้รับน้ำกลั่นในปริมาณที่เท่ากัน พบว่าการป้อน FOS ในขนาดสูงให้แก่หนูขาว ไม่ก่อให้เกิดการตายหรือความผิดปกติใด ๆ ทั้งนี้ ตลอดช่วงระยะเวลา 14 วันหลังป้อนสารทดสอบ หนูกลุ่มที่ได้รับ FOS ทุกตัวมีพฤติกรรมทั่วไป การกินอาหาร และการเจริญเติบโตอยู่ในเกณฑ์ปกติ โดยที่น้ำหนักตัวของหนูกลุ่มที่ได้รับ FOS ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งได้รับน้ำกลั่น (ตารางที่ 4.2.1) เมื่อสิ้นสุดการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันในหนูขาว หนูทุกตัวจากทั้ง 2 กลุ่ม ได้ถูกนำมาผ่าตัดตรวจดูอวัยวะภายในต่าง ๆ เช่น หัวใจ ปอด ตับ ไต ตับอ่อน กระเพาะอาหาร ลำไส้ เป็นต้น ซึ่งพบว่า สีและลักษณะของอวัยวะภายในต่าง ๆ ของหนูที่ได้รับ FOS ไม่มีความผิดปกติใด ๆ และไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมซึ่งได้รับน้ำกลั่น

ตารางที่ 4.2.1: ผลของ FOS จากลำไยที่ให้ทางปากในขนาดสูง (5,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ต่อ น้ำหนักตัวและการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวในหนูเพศเมีย

| กลุ่มและ สารทดสอบที่ได้รับ | น้ำหนักร่างกาย (กรัม) | | | น้ำหนักร่างกายที่ เพิ่มขึ้น (กรัม) |
|-------------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------------|--|
| | ก่อนให้ สารทดสอบ | หลังให้ สารทดสอบ 7 วัน | หลังให้ สารทดสอบ 14 วัน | |
| กลุ่มควบคุม (ได้น้ำกลั่น) | 197.60±1.94 | 220.00±3.03 | 235.60±3.12 | 38.00±1.67 |
| กลุ่มทดสอบ (ได้ FOS) | 196.80±1.62 | 216.80±2.72 | 234.40±2.78 | 37.60±2.13 |

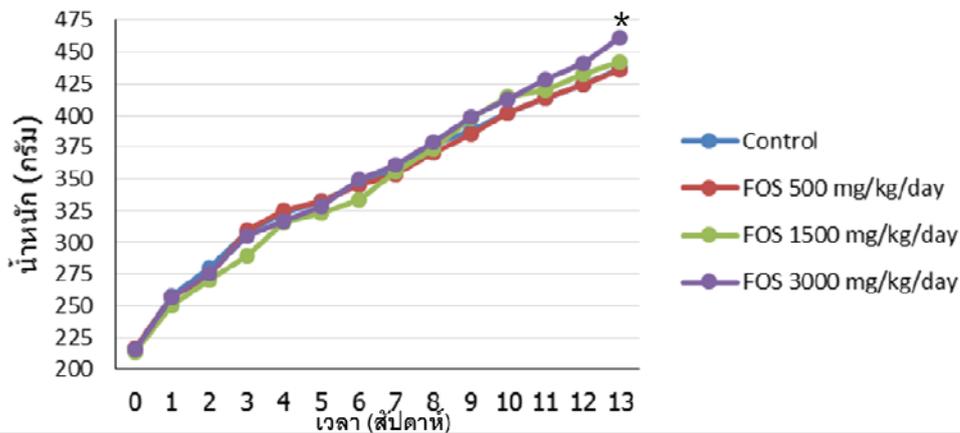
หมายเหตุ: 1. ข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมาตรฐาน (mean ± S.E.M.); n = 5
2. ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.2.2 การศึกษาความเป็นพิษกึ่งเรื้อรังของ FOS จากลำไยในหนูขาว

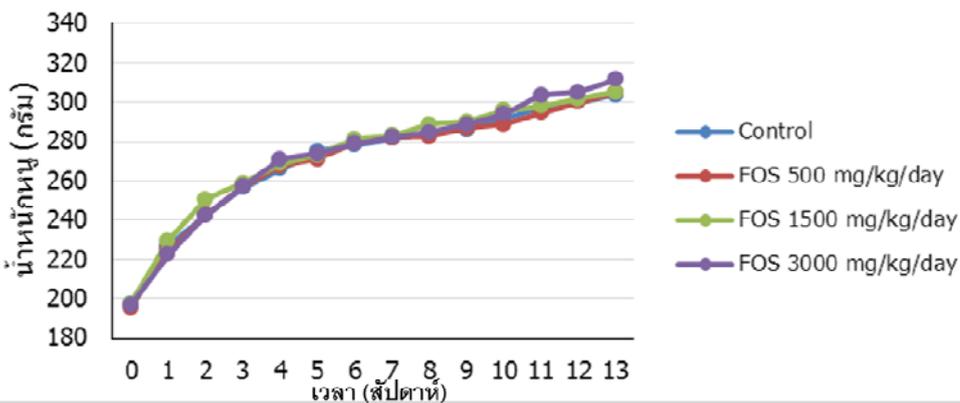
จากการศึกษาความเป็นพิษกึ่งเรื้อรังของ FOS ซึ่งทำการทดลองในหนูขาว สำหรับหนูกลุ่มทดสอบได้รับการป้อน FOS (ในขนาด 500, 1500 และ 3000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน) นาน 90 วัน และสำหรับหนูกลุ่มทดสอบติดตามซึ่งได้รับ FOS ในขนาด 3000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน แล้วถูกเลี้ยงต่อไปอีก 28 วันโดยไม่ได้ให้สารทดสอบ ทั้งนี้ ได้ทำการทดลองโดยเปรียบเทียบผลกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มควบคุมติดตาม ซึ่งทดลองด้วยวิธีการเดียวกัน โดยการป้อนด้วยตัวทำละลายคือน้ำกลั่น

4.2.2.1 ผลต่อพฤติกรรมทั่วไปและการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว

จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า FOS ไม่ก่อให้เกิดการตายหรืออาการผิดปกติใด ๆ โดยหนูขาวทุกกลุ่มทั้งเพศผู้และเพศเมีย มีการกินน้ำและอาหารได้ตามปกติ เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวของหนูขาวทั้งเพศผู้และเพศเมีย (รูปที่ 4.2.1 และ 4.2.2) พบว่า น้ำหนักตัวและการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวของหนูเพศเมียกลุ่มที่ได้รับ FOS ในขนาด 500, 1500 และ 3000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน กับหนูเพศผู้กลุ่มที่ได้รับ FOS ในขนาด 500 และ 1500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบผลกับหนูกลุ่มควบคุมซึ่งได้รับน้ำกลั่น อย่างไรก็ตาม ในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง หนูเพศผู้กลุ่มที่ได้รับ FOS จากลำไยในขนาด 3000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน มีน้ำหนักตัวมากกว่าเล็กน้อยโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม



รูปที่ 4.2.1: การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว (กรัม) ในหนูเพศผู้



รูปที่ 4.2.2: การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว (กรัม) ในหนูเพศเมีย

4.2.2.2 ผลต่อลักษณะ ขนาดและน้ำหนักของอวัยวะภายใน

เมื่อทำการตัดอวัยวะภายในของหนูขาวทั้งสองเพศออกมาตรวจดูสี ขนาด และลักษณะภายนอก พบว่า อวัยวะภายในต่าง ๆ ของหนูทุกกลุ่มมีสีและลักษณะที่ปกติ ไม่มีรอยโรค หรือความผิดปกติใด ๆ จากนั้น ได้นำอวัยวะภายในไปชั่งน้ำหนักและคำนวณหาน้ำหนักสัมพัทธ์ของอวัยวะภายในต่าง ๆ พบว่า ในหนูเพศผู้ (ตารางที่ 4.2.2) น้ำหนักของปอดและตับของหนูกลุ่มทดสอบที่ได้รับ FOS ในขนาด 3000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับน้ำกลั่น ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ น้ำหนักของปอดในหนูกลุ่มควบคุมติดตาม ก็แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \leq 0.05$) เช่นกัน

ส่วนผลการทดลองในหนูเพศเมีย (ตารางที่ 4.2.3) น้ำหนักของทุกอวัยวะของหนูกลุ่มที่ได้รับ FOS ทั้งสามขนาด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

ตารางที่ 4.2.2: ผลของ FOS ต่อน้ำหนักสัมพัทธ์ของอวัยวะภายในของหนูเพศผู้
(กรัม/100 กรัม น้ำหนักตัว)

| กลุ่ม | กลุ่มทดสอบ ^a | | | | กลุ่มติดตามผล ^b | | |
|------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|------------|-----------|
| | ชนิดสาร | น้ำกลั่น | FOS 500 | FOS 1500 | FOS 3000 | น้ำกลั่น | FOS 3000 |
| สมอง | | 0.48±0.01 | 0.47±0.01 | 0.47±0.01 | 0.46±0.01 | 0.48±0.01 | 0.47±0.01 |
| ต่อมไทมัส | | 0.10±0.01 | 0.10±0.01 | 0.11±0.02 | 0.10±0.01 | 0.11±0.01 | 0.11±0.02 |
| ปอด | | 0.44±0.01 | 0.45±0.02 | 0.48±0.01 | 0.49±0.01* | 0.49±0.02* | 0.47±0.03 |
| หัวใจ | | 0.37±0.01 | 0.37±0.01 | 0.39±0.01 | 0.36±0.01 | 0.38±0.01 | 0.39±0.01 |
| ตับ | | 3.15±0.04 | 3.08±0.04 | 3.04±0.06 | 2.97±0.06* | 3.06±0.06 | 3.10±0.06 |
| ม้าม | | 0.19±0.01 | 0.20±0.01 | 0.21±0.01 | 0.20±0.01 | 0.21±0.01 | 0.21±0.01 |
| ตับอ่อน | | 0.34±0.01 | 0.32±0.01 | 0.32±0.01 | 0.31±0.01 | 0.31±0.02 | 0.34±0.02 |
| ต่อมหมวกไต | | 0.01±0.00 | 0.01±0.00 | 0.01±0.00 | 0.01±0.00 | 0.01±0.00 | 0.01±0.00 |
| ไต | | 0.34±0.01 | 0.35±0.01 | 0.33±0.01 | 0.34±0.02 | 0.33±0.02 | 0.32±0.01 |
| อพิติโดมิส | | 0.19±0.01 | 0.20±0.01 | 0.20±0.01 | 0.21±0.01 | 0.20±0.01 | 0.20±0.01 |
| อวัยวะ | | 0.43±0.01 | 0.40±0.01 | 0.42±0.01 | 0.43±0.01 | 0.41±0.01 | 0.41±0.01 |

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมาตรฐาน (mean±S.E.M.)

a กลุ่มทดสอบซึ่งได้รับน้ำกลั่นหรือ FOS ทุกวัน เป็นเวลา 90 วัน ; n = 10

b กลุ่มติดตามผลซึ่งได้รับน้ำกลั่นหรือ FOS ทุกวัน เป็นเวลา 90 วัน และเลี้ยงต่อไปอีก 28 วันโดยไม่ได้รับสารทดสอบ; n = 5

* p<0.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (น้ำกลั่น)

ตารางที่ 4.2.3: ผลของ FOS ต่อน้ำหนักสัมพัทธ์ของอวัยวะภายในของหนูเพศเมีย

(กรัม/100 กรัม น้ำหนักตัว)

| กลุ่ม | กลุ่มทดสอบ ^a | | | กลุ่มติดตามผล ^b | | |
|------------|-------------------------|-----------|-----------|----------------------------|-----------|-----------|
| | น้ำหนัก | FOS 500 | FOS 1500 | FOS 3000 | น้ำหนัก | FOS 3000 |
| สมอง | 0.66±0.01 | 0.65±0.01 | 0.66±0.01 | 0.67±0.01 | 0.65±0.01 | 0.66±0.01 |
| ต่อมไทมัส | 0.12±0.01 | 0.12±0.01 | 0.12±0.01 | 0.12±0.01 | 0.12±0.01 | 0.12±0.01 |
| ปอด | 0.52±0.02 | 0.53±0.02 | 0.50±0.02 | 0.51±0.03 | 0.52±0.02 | 0.53±0.03 |
| หัวใจ | 0.36±0.01 | 0.37±0.01 | 0.36±0.01 | 0.35±0.01 | 0.35±0.01 | 0.36±0.01 |
| ตับ | 2.87±0.04 | 2.83±0.08 | 2.81±0.03 | 2.77±0.04 | 2.92±0.05 | 2.80±0.05 |
| ม้าม | 0.23±0.01 | 0.23±0.01 | 0.23±0.01 | 0.23±0.01 | 0.23±0.01 | 0.23±0.01 |
| ตับอ่อน | 0.39±0.02 | 0.38±0.02 | 0.37±0.01 | 0.37±0.01 | 0.38±0.02 | 0.38±0.01 |
| ต่อมหมวกไต | 0.01±0.00 | 0.01±0.00 | 0.01±0.00 | 0.01±0.00 | 0.01±0.00 | 0.01±0.00 |
| ไต | 0.35±0.01 | 0.35±0.01 | 0.35±0.01 | 0.35±0.01 | 0.35±0.02 | 0.36±0.01 |
| รังไข่ | 0.02±0.00 | 0.02±0.00 | 0.02±0.00 | 0.02±0.00 | 0.02±0.00 | 0.02±0.00 |
| มดลูก | 0.27±0.02 | 0.27±0.02 | 0.26±0.02 | 0.28±0.01 | 0.28±0.02 | 0.27±0.02 |

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมาตรฐาน (mean±S.E.M.)

a กลุ่มทดสอบซึ่งได้รับน้ำหนักหรือ FOS ทุกวัน เป็นเวลา 90 วัน ; n = 10

b กลุ่มติดตามผลซึ่งได้รับน้ำหนักหรือ FOS ทุกวัน เป็นเวลา 90 วัน และเลี้ยงต่อไปอีก 28 วันโดยไม่ได้รับสารทดสอบ; n = 5

* p<0.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (น้ำหนัก)

4.2.2.3 ผลต่อค่าโลหิตวิทยา (Hematology)

จากผลการตรวจค่าโลหิตวิทยาในหนูเพศผู้และเพศเมีย (ดังตารางที่ 4.2.4 และ 4.2.5) เมื่อพิจารณาจากหนูเพศผู้พบว่า หนูกลุ่มทดสอบทั้งสามกลุ่ม (ซึ่งได้รับ FOS ในขนาด 500, 1500 และ 3000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน) หนูกลุ่มควบคุมติดตาม และหนูกลุ่มทดสอบติดตาม (ซึ่งได้รับ FOS 3000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน) จะมีค่าตัวแปรทางโลหิตวิทยาที่ใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับน้ำกลั่น อย่างไรก็ตาม มีตัวแปรบางค่าที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ได้แก่ hematocrit, hemoglobin, red blood cell (RBC), mean corpuscular volume (MCV), mean corpuscular hemoglobin (MCH), mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC), monocyte, eosinophil และ platelet ทั้งนี้ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างกลุ่มควบคุมติดตามและกลุ่มทดสอบติดตาม

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาจากผลในหนูเพศเมียพบว่า หนูกลุ่มทดสอบทั้งสามกลุ่ม หนูกลุ่มควบคุมติดตาม และหนูกลุ่มทดสอบติดตาม จะมีค่าตัวแปรทางโลหิตวิทยาที่ใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม ถึงกระนั้นก็ตาม มีตัวแปรบางค่าที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ได้แก่ hematocrit, RBC, MCV, MCH, MCHC, monocyte และ platelet ทั้งนี้ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างกลุ่มควบคุมติดตามและกลุ่มทดสอบติดตาม

ตารางที่ 4.2.4: ผลของ FOS ต่อค่าโลหิตวิทยาในเลือดของหนูเพศผู้

| กลุ่ม | กลุ่มทดสอบ ^a | | | | กลุ่มติดตามผล ^b | | |
|----------------------------------|-------------------------|--------------|---------------|--------------|----------------------------|--------------|----------|
| | น้ำหนัก | FOS 500 | FOS 1500 | FOS 3000 | น้ำหนัก | FOS 3000 | FOS 3000 |
| Hematocrit (%) | 50.79±0.94 | 52.60±0.81 | 48.23±0.71* | 52.20±1.07 | 45.40±0.53* | 46.63±0.54* | |
| Hemoglobin (g/dl) | 16.27±0.19 | 15.74±0.19 | 15.76±0.23* | 15.78±0.25 | 15.82±0.16 | 15.81±0.13 | |
| RBC (x10 ¹² /L) | 9.51±0.21 | 9.91±0.15 | 8.46±0.12* | 9.66±0.22 | 8.15±0.10* | 8.04±0.09* | |
| MCV (fl) | 53.29±0.28 | 53.00±0.32 | 57.03±0.19* | 54.00±0.01 | 56.56±0.72* | 58.01±0.28* | |
| MCH (pg) | 17.18±0.44 | 15.90±0.13 | 18.64±0.08* | 16.30±0.12 | 19.41±0.20* | 19.67±0.12* | |
| MCHC (g/dl) | 32.22±0.72 | 30.04±0.20 | 32.68±0.11 | 30.30±0.21 | 34.33±0.11* | 33.93±0.17* | |
| WBC (x10 ⁹ /L) | 4.16±0.27 | 4.50±0.20 | 4.61±0.33 | 4.11±0.10 | 4.44±0.36 | 4.81±0.55 | |
| Neutrophil (%) | 20.14±1.37 | 18.28±1.47 | 16.77±0.35 | 22.93±1.09 | 22.04±2.25 | 18.76±2.44 | |
| Lymphocyte (%) | 71.86±1.46 | 73.93±1.98 | 75.99±0.78 | 68.40±1.30 | 71.04±3.01 | 72.92±1.45 | |
| Monocyte (%) | 6.96±0.63 | 6.61±0.71 | 6.21±0.80 | 6.99±1.03 | 5.54±1.33 | 3.48±0.88* | |
| Eosinophil (%) | 1.04±0.30 | 1.18±0.18 | 1.03±0.09 | 1.68±0.17* | 1.38±0.37 | 1.34±0.38 | |
| Platelets (x 10 ⁹ /L) | 688.30±15.48 | 680.70±41.18 | 761.90±20.11* | 697.00±18.55 | 651.40±45.21 | 726.80±21.61 | |

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมาตรฐาน (mean±S.E.M.); RBC: Red blood cell count; MCV: Mean corpuscular volume; MCH: Mean corpuscular hemoglobin; MCHC: Mean corpuscular hemoglobin concentration; WBC: White blood cell count

a กลุ่มทดสอบซึ่งได้รับน้ำหนักหรือ FOS ทุกวัน เป็นเวลา 90 วัน; n = 10;

b กลุ่มติดตามผลซึ่งได้รับน้ำหนักหรือ FOS ทุกวัน เป็นเวลา 90 วัน และเสียงต่อไปอีก 28 วันโดยไม่ได้รับสารทดสอบ; n = 5. *p<0.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

ตารางที่ 4.2.5: ผลของ FOS ต่อค่าโลหิตวิทยาในเลือดของหนูเพศเมีย

| กลุ่ม ชนิดสาร | กลุ่มทดสอบ ^a | | | | | กลุ่มติดตามผล ^b | |
|----------------------------------|-------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|----------------------------|---------------|
| | น้ำหนัก | FOS 500 | FOS 1500 | FOS 3000 | น้ำหนัก | FOS 3000 | FOS 3000 |
| Hematocrit (%) | 47.80±0.73 | 44.75±0.54* | 47.60±1.08 | 44.70±0.41* | 44.58±0.63* | 44.70±0.60* | 44.70±0.60* |
| Hemoglobin (g/dl) | 15.20±0.35 | 15.27±0.23 | 15.30±0.19 | 15.36±0.14 | 15.06±0.14 | 15.31±0.21 | 15.31±0.21 |
| RBC (x10 ¹² /L) | 9.01±0.25 | 7.93±0.23* | 9.34±0.11 | 8.16±0.06* | 7.78±0.17* | 7.75±0.11* | 7.75±0.11* |
| MCV (fl) | 53.33±1.19 | 56.80±1.36* | 51.04±1.46 | 54.81±0.40 | 57.43±0.42* | 57.69±0.21* | 57.69±0.21* |
| MCH (pg) | 16.86±0.22 | 19.41±0.60* | 16.38±0.17 | 18.85±0.13* | 19.42±0.34* | 19.76±0.09* | 19.76±0.09* |
| MCHC (g/dl) | 31.78±0.73 | 34.17±0.52* | 32.26±1.10 | 34.39±0.13* | 33.79±0.39* | 34.24±0.11* | 34.24±0.11* |
| WBC (x10 ⁹ /L) | 4.32±0.20 | 4.52±0.45 | 4.11±0.30 | 4.43±0.14 | 4.50±0.35 | 4.58±0.60 | 4.58±0.60 |
| Neutrophil (%) | 19.29±1.18 | 16.78±1.16 | 18.25±0.98 | 19.36±1.55 | 22.00±2.17 | 21.20±1.74 | 21.20±1.74 |
| Lymphocyte (%) | 74.16±1.09 | 77.01±1.22 | 75.52±1.19 | 74.43±1.49 | 73.20±2.44 | 74.80±1.91 | 74.80±1.91 |
| Monocyte (%) | 4.62±0.21 | 4.79±0.35 | 4.66±0.65 | 4.35±0.40 | 4.00±0.89 | 3.20±0.37* | 3.20±0.37* |
| Eosinophil (%) | 1.93±0.21 | 1.42±0.18 | 1.57±0.14 | 1.86±0.20 | 1.40±0.51 | 1.20±0.58 | 1.20±0.58 |
| Platelets (x 10 ⁹ /L) | 703.10±18.60 | 728.40±17.97 | 668.70±30.97 | 645.30± 22.75 | 622.40±27.92* | 614.40±48.91* | 614.40±48.91* |

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมาตรฐาน (mean±S.E.M.); RBC: Red blood cell count; MCV: Mean corpuscular volume; MCH: Mean corpuscular hemoglobin; MCHC: Mean corpuscular hemoglobin concentration; WBC: White blood cell count

a กลุ่มทดสอบซึ่งได้รับน้ำหนักหรือ FOS ทุกวัน เป็นเวลา 90 วัน ; n = 10;

b กลุ่มติดตามผลซึ่งได้รับน้ำหนักหรือ FOS ทุกวัน เป็นเวลา 90 วัน และเสียงต่อไปอีก 28 วัน โดยไม่ได้รับสารทดสอบ; n = 5. *p<0.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

4.2.2.4 ผลต่อค่าเคมีในเลือด (Blood chemistry)

จากผลการตรวจค่าเคมีในเลือดของหนูเพศผู้และเพศเมีย (ตารางที่ 4.2.6 และ 4.2.7) เมื่อพิจารณาจากหนูเพศผู้พบว่า หนูกลุ่มทดสอบที่ได้รับ FOS ในขนาด 500, 1500 และ 3000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ค่าตัวแปรบางค่า ได้แก่ creatinine, aspartate transaminase (AST), alanine aminotransferase (ALT), alkaline phosphatase (ALP) และ direct bilirubin มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ หนูกลุ่มทดสอบติดตาม มีค่า blood urea nitrogen (BUN) ที่สูงกว่าและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มควบคุมติดตามและกลุ่มทดสอบติดตาม

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากผลในหนูเพศเมีย (ตารางที่ 4.2.7) พบว่า หนูกลุ่มทดสอบทั้งสามกลุ่ม หนูกลุ่มควบคุมติดตาม และหนูกลุ่มทดสอบติดตาม จะมีค่าเคมีในเลือดที่ใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม ถึงกระนั้นก็ตาม มีตัวแปรบางค่าที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ได้แก่ BUN, creatinine, AST และ direct bilirubin ทั้งนี้ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างกลุ่มควบคุมติดตามและกลุ่มทดสอบติดตาม

ตารางที่ 4.2.6: ผลของ FOS ต่อค่าเคมีในเลือดของหนูเพศผู้

| ชนิดสาร | ค่าเฉลี่ย ± ค่าคลาดเคลื่อน | กลุ่มทดสอบ ^a | | | กลุ่มติดตามผล ^b | | |
|--------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------|-------------|----------------------------|-------------|-------------|
| | | FOS 500 | FOS 1500 | FOS 3000 | FOS 500 | FOS 1500 | FOS 3000 |
| Glucose (mg/dl) | 107.40±3.90 | 116.40±4.30 | 110.50±4.06 | 118.20±5.20 | 114.60±4.13 | 121.00±4.75 | 121.00±4.75 |
| BUN (mg/dl) | 20.71±1.38 | 18.69±0.68 | 20.34±0.73 | 22.24±0.80 | 22.82±1.06 | 24.96±0.95* | 24.96±0.95* |
| Creatinine (mg/dl) | 0.69±0.14 | 0.46±0.02* | 0.57±0.01 | 0.40±0.01* | 0.70±0.11 | 0.53±0.10 | 0.53±0.10 |
| AST (U/L) | 105.00±3.58 | 98.00±8.02 | 105.30±7.39 | 80.70±1.93* | 102.60±5.81 | 99.80±1.77 | 99.80±1.77 |
| ALT (U/L) | 43.00±2.45 | 37.00±1.96* | 38.70±2.55 | 34.10±1.45* | 40.60±2.87 | 39.60±2.54 | 39.60±2.54 |
| ALP (U/L) | 54.80±2.06 | 62.50±2.08* | 59.40±2.08 | 42.80±1.67* | 52.20±4.16 | 51.80±2.03 | 51.80±2.03 |
| Total bilirubin (mg/dl) | 0.16±0.03 | 0.13±0.02 | 0.13±0.02 | 0.10±0.00 | 0.13±0.03 | 0.13±0.04 | 0.13±0.04 |
| Direct bilirubin (mg/dl) | 0.05±0.01 | 0.07±0.00* | 0.09±0.00* | 0.05±0.00 | 0.06±0.01 | 0.05±0.02 | 0.05±0.02 |
| Total protein (g/dl) | 6.29±0.23 | 6.81±0.31 | 6.79±0.38 | 6.34±0.09 | 6.38±0.27 | 6.74±0.13 | 6.74±0.13 |
| Albumin (g/dl) | 2.81±0.10 | 2.95±0.28 | 2.95±0.32 | 2.76±0.03 | 2.50±0.30 | 2.72±0.21 | 2.72±0.21 |

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมาตรฐาน (mean±S.E.M.)

a กลุ่มทดสอบซึ่งได้รับน้ำกลั่นหรือ FOS ทุกวัน เป็นเวลา 90 วัน; n = 10;

b กลุ่มติดตามผลซึ่งได้รับน้ำกลั่นหรือ FOS ทุกวัน เป็นเวลา 90 วัน และเลี้ยงต่อไปอีก 28 วันโดยไม่ได้รับสารทดสอบ; n = 5. *p<0.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

AST: Aspartate transaminase; ALT: Alanine aminotransferase; ALP: Alkaline phosphatase; BUN: Blood urea nitrogen

ตารางที่ 4.2.7: ผลของ FOS ต่อค่าเคมีในเลือดของหนูเพศเมีย

| ชนิดสาร | กลุ่มทดสอบ ^a | | | | กลุ่มติดตามผล ^b | |
|--------------------------|-------------------------|--------------|-------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | น้ำกลั่น | FOS 500 | FOS 1500 | FOS 3000 | น้ำกลั่น | FOS 1500 |
| Glucose (mg/dl) | 104.50±3.81 | 102.40±6.60 | 99.60±4.10 | 111.00±2.74 | 107.00±2.59 | 115.20±4.82 |
| BUN (mg/dl) | 17.30±0.42 | 20.57±0.60* | 21.17±0.96* | 20.62±0.70* | 23.74±2.15* | 25.32±0.83* |
| Creatinine (mg/dl) | 0.58±0.02 | 0.59±0.02 | 0.61±0.02 | 0.47±0.01* | 0.57±0.10 | 0.58±0.10 |
| AST (U/L) | 90.30±4.66 | 105.00±3.74* | 100.90±5.75 | 86.20±3.01 | 102.40±3.76 | 93.20±7.68 |
| ALT (U/L) | 34.70±1.71 | 34.40±2.27 | 37.90±1.44 | 30.40±1.35 | 30.40±3.16 | 32.20±2.94 |
| ALP (U/L) | 47.90±2.39 | 45.20±1.15 | 48.40±1.63 | 40.70±3.67 | 41.80±6.58 | 39.80±6.04 |
| Total bilirubin (mg/dl) | 0.12±0.01 | 0.15±0.02 | 0.14±0.02 | 0.11±0.01 | 0.15±0.04 | 0.14±0.02 |
| Direct bilirubin (mg/dl) | 0.06±0.00 | 0.09±0.00* | 0.09±0.00* | 0.06±0.00 | 0.09±0.02* | 0.09±0.04* |
| Total protein (g/dl) | 5.88±0.15 | 5.97±0.14 | 6.14±0.18 | 5.96±0.13 | 6.02±0.26 | 5.98±0.19 |
| Albumin (g/dl) | 2.81±0.18 | 2.91±0.21 | 2.89±0.19 | 2.66±0.12 | 2.92±0.16 | 2.84±0.15 |

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมาตรฐาน (mean±S.E.M.)

a กลุ่มทดสอบซึ่งได้รับน้ำกลั่นหรือ FOS ทุกวัน เป็นเวลา 90 วัน; n = 10;

b กลุ่มติดตามผลซึ่งได้รับน้ำกลั่นหรือ FOS ทุกวัน เป็นเวลา 90 วัน และเลี้ยงต่อไปอีก 28 วันโดยไม่ได้รับสารทดสอบ; n = 5. *p<0.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

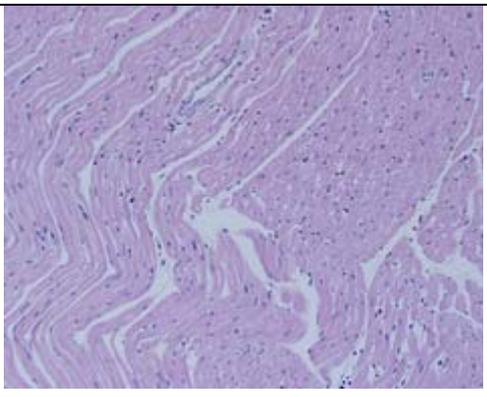
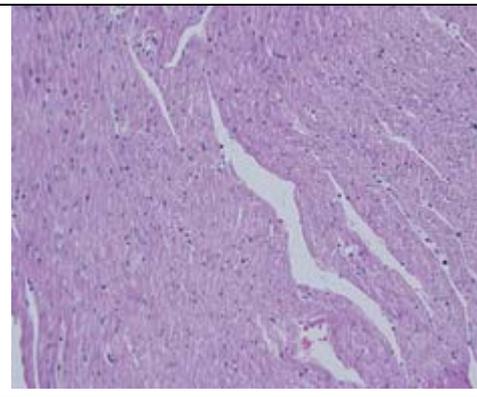
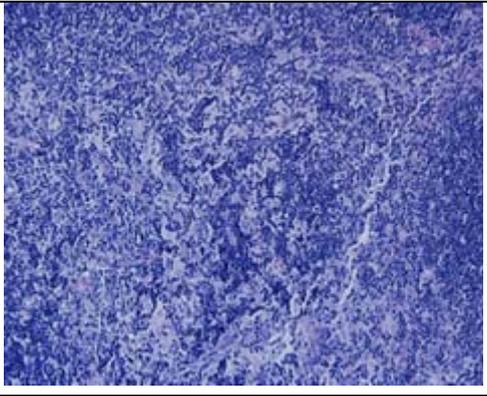
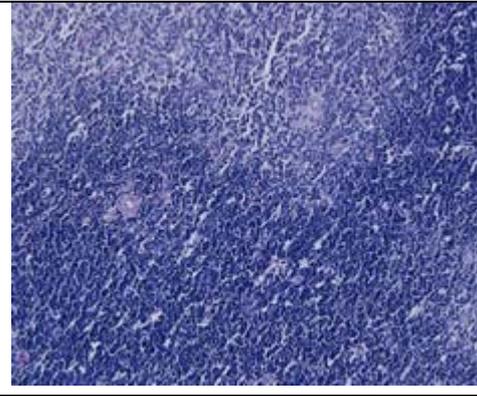
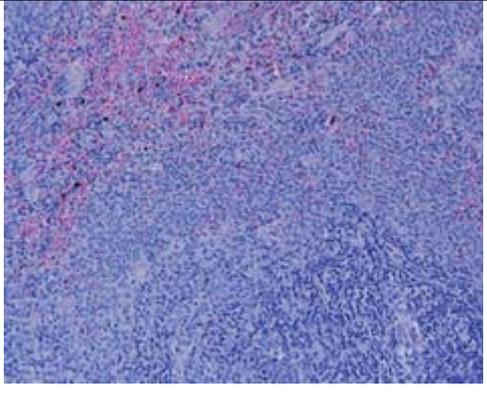
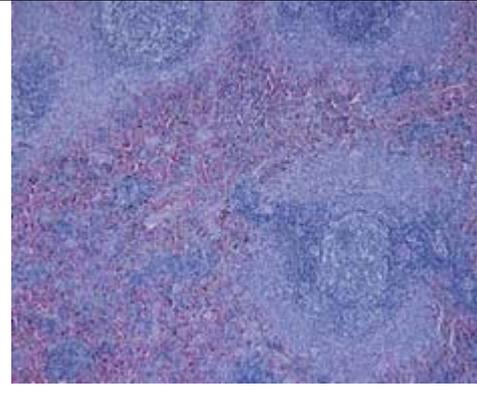
AST: Aspartate transaminase; ALT: Alanine aminotransferase; ALP: Alkaline phosphatase; BUN: Blood urea nitrogen

4.2.2.5 ผลการตรวจทางพยาธิวิทยาของอวัยวะภายในต่าง ๆ

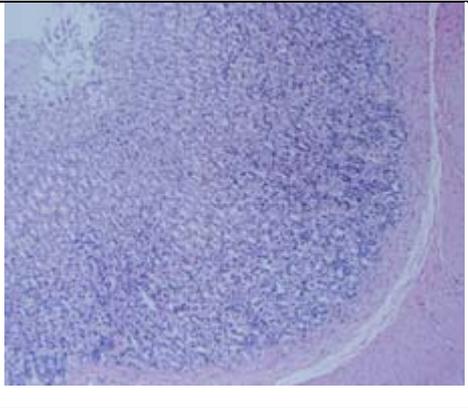
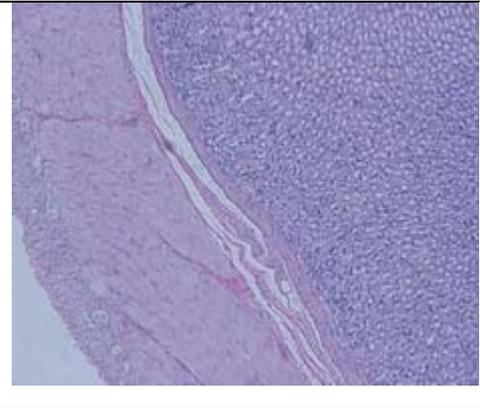
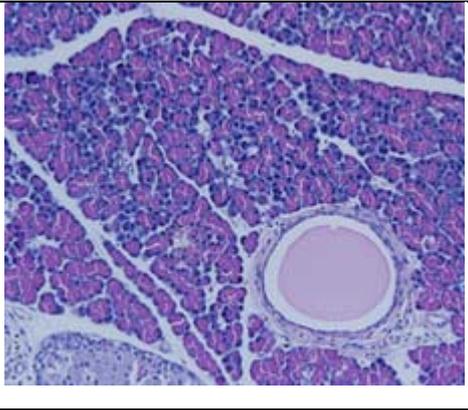
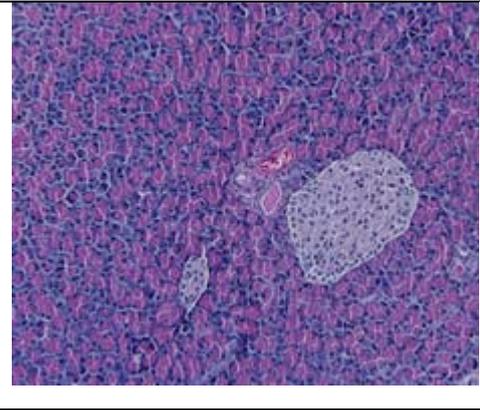
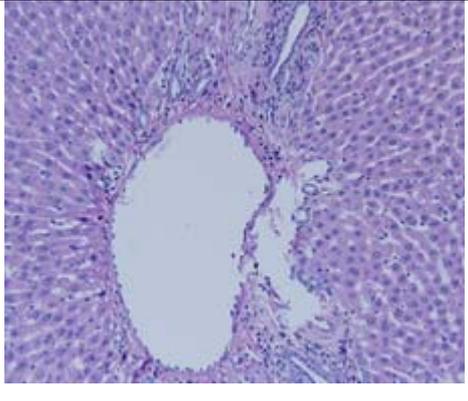
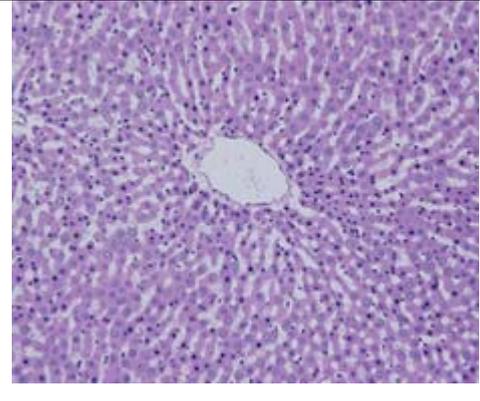
จากการตรวจพยาธิสภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อตรวจเนื้อเยื่อของอวัยวะภายในต่าง ๆ (ได้แก่สมอง ตา กระดูกสันหลัง หัวใจ ปอด ต่อมไทมัส ม้าม ตับ ตับอ่อน ไต ต่อมหมวกไต กระเพาะอาหาร ลำไส้ มดลูกรังไข่ อัณฑะ เอพิไดมิส กล้ามเนื้อและเส้นประสาท) ของหนูขาวทุกกลุ่ม เพื่อตรวจลักษณะโครงสร้างของอวัยวะ (organ architectures), ลักษณะเซลล์ (cell morphology), การทำลายหรือการตายของเนื้อเยื่อ (tissue destructions/necrosis), การสะสมของไขมัน (fat infiltration), ภาวะมีเลือดออก (hemorrhage) หรือการเกิดพยาธิสภาพอื่น (pathologic conditions) ที่อาจพบได้หากสารทดสอบก่อให้เกิดความเป็นพิษแก่สัตว์ทดลอง ซึ่งผลการตรวจโดยพยาธิแพทย์ ไม่พบความผิดปกติใด ๆ ของเนื้อเยื่อของทุกอวัยวะ และสภาพของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของหนูในกลุ่มทดสอบที่ได้รับ FOS (ในขนาด 500, 1500 และ 3000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน) และกลุ่มทดสอบติดตามที่ได้รับ FOS (ในขนาด 3000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน) ไม่มีความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มควบคุมติดตาม (น้ำกลั่น)

ตารางที่ 4.2.8 และ 4.2.9 แสดงตัวอย่างผลการตรวจทางพยาธิวิทยาของอวัยวะภายในต่าง ๆ ของหนูขาวเพศผู้และเพศเมีย ตามลำดับ โดยแสดงเฉพาะผลของกลุ่มควบคุม (ได้รับน้ำกลั่น) และกลุ่มทดสอบ (ได้รับ FOS ในขนาดสูง 3000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน)

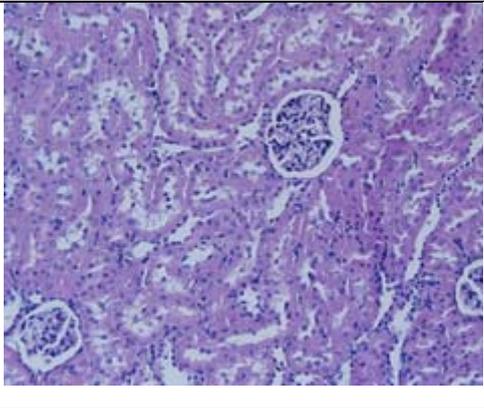
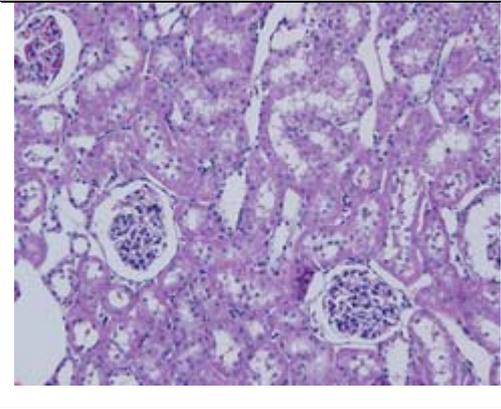
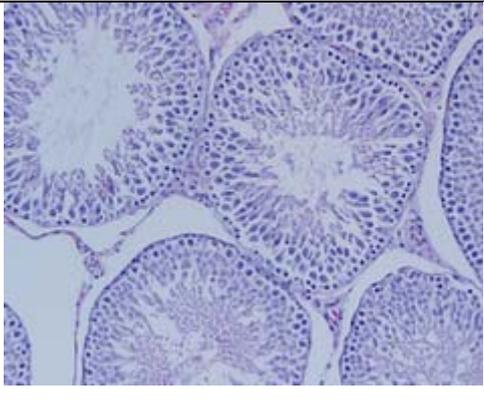
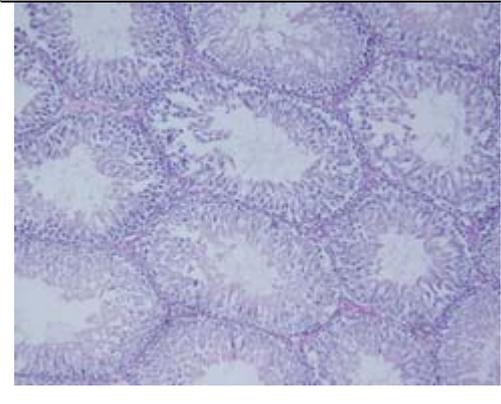
ตารางที่ 4.2.8: ผลการตรวจทางพยาธิวิทยาของอวัยวะภายในของหนูขาวเพศผู้

| อวัยวะ (organ) | กลุ่มควบคุม (น้ำกลั่น) | กลุ่มทดสอบ (FOS 3000) |
|-----------------------|---|--|
| หัวใจ (heart) |  |  |
| ต่อมไทมัส (thymus) |  |  |
| ม้าม (spleen) |  |  |

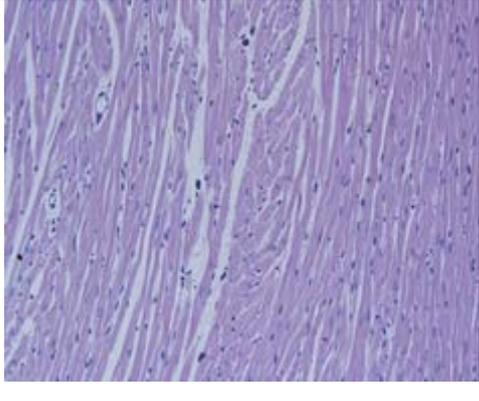
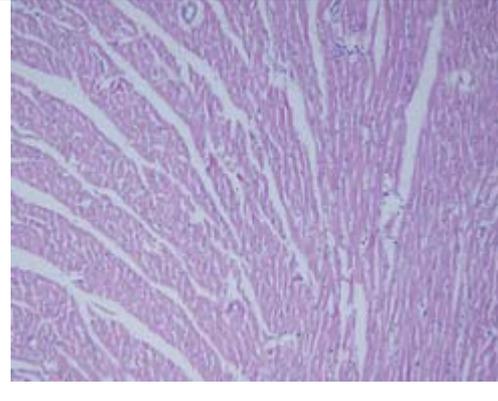
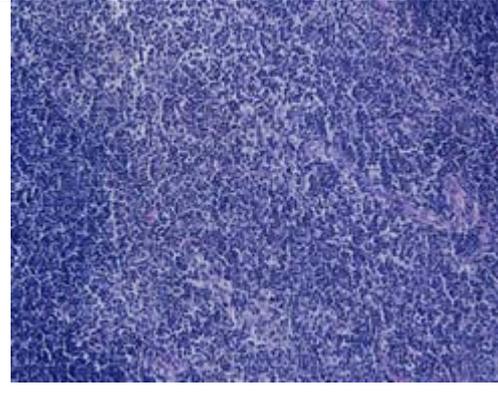
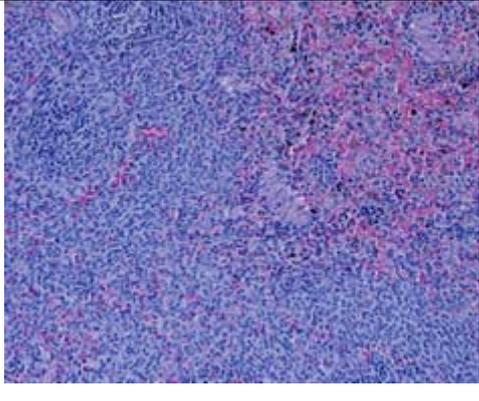
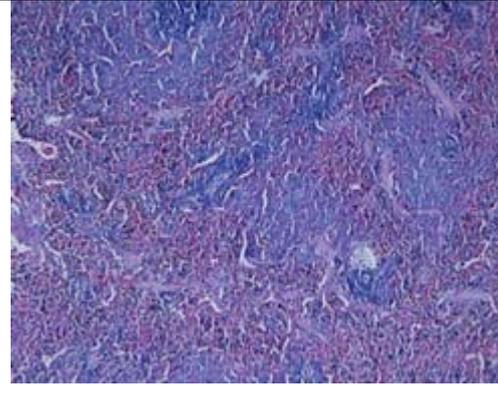
ตารางที่ 4.2.8 (ต่อ): ผลการตรวจทางพยาธิวิทยาของอวัยวะภายในของหนูขาวเพศผู้

| อวัยวะ (organ) | กลุ่มควบคุม (น้ำกลั่น) | กลุ่มทดสอบ (FOS 3000) |
|-------------------------------|---|--|
| กระเพาะ อาหาร (stomach) |  |  |
| ตับอ่อน (pancrease) |  |  |
| ตับ (liver) |  |  |

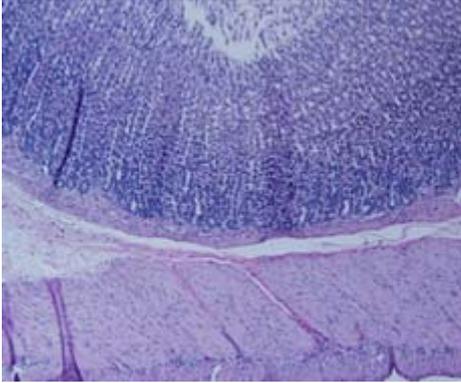
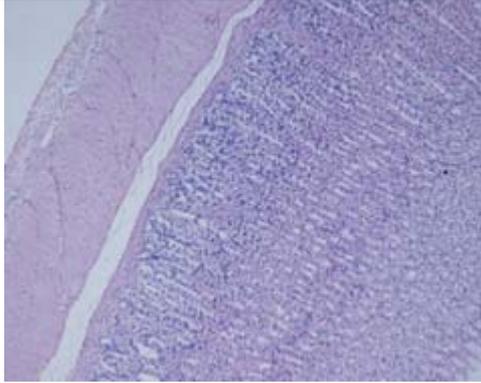
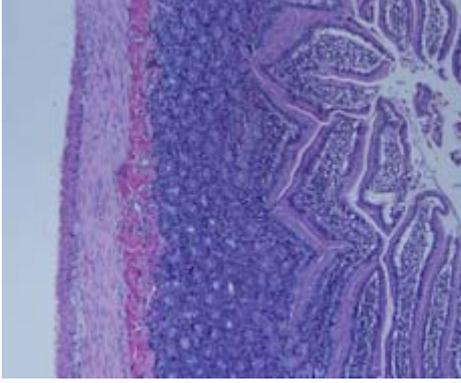
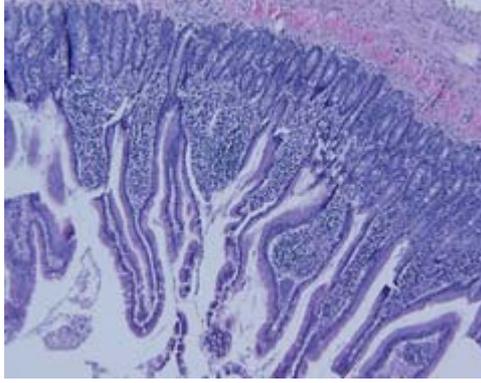
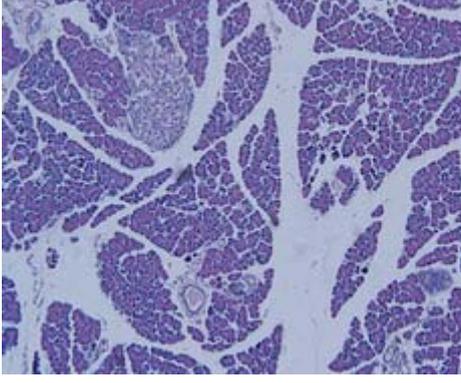
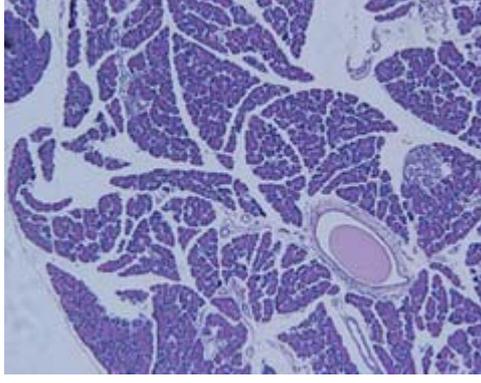
ตารางที่ 4.2.8 (ต่อ): ผลการตรวจทางพยาธิวิทยาของอวัยวะภายในของหนูขาวเพศผู้

| อวัยวะ (organ) | กลุ่มควบคุม (น้ำกลั่น) | กลุ่มทดสอบ (FOS 3000) |
|-------------------|--|---|
| ไต (kidney) |  |  |
| อัณฑะ (testis) |  |  |

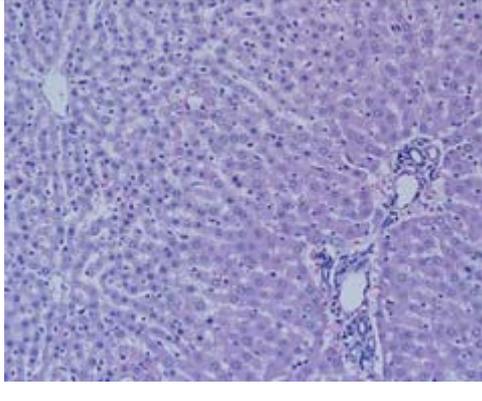
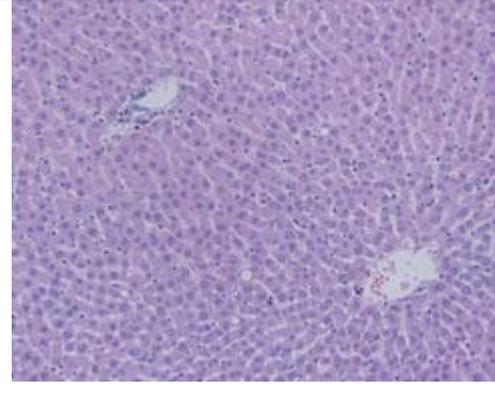
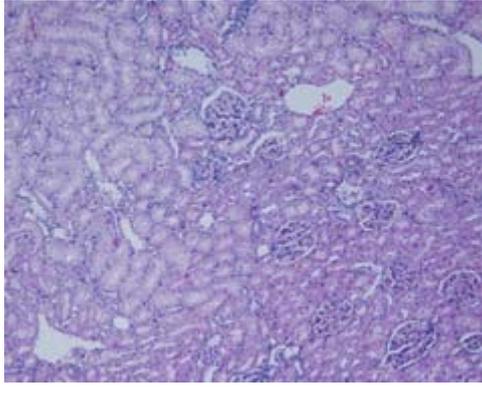
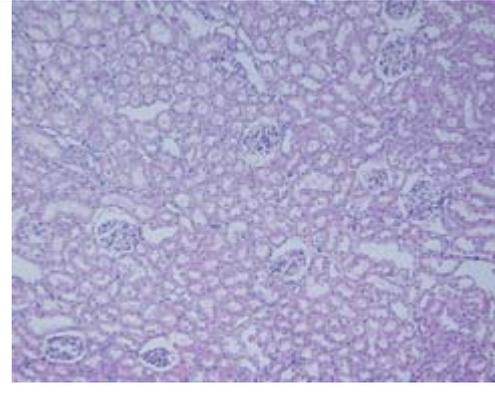
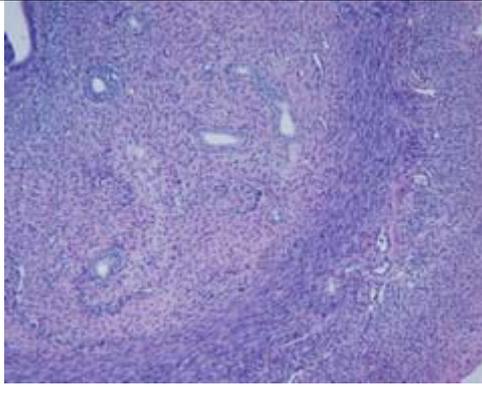
ตารางที่ 4.2.9: ผลการตรวจทางพยาธิวิทยาของอวัยวะภายในของหนูขาวเพศเมีย

| อวัยวะ (organ) | กลุ่มควบคุม (น้ำกลั่น) | กลุ่มทดสอบ (FOS 3000) |
|-----------------------|---|--|
| หัวใจ (heart) |  |  |
| ต่อมไทมัส (thymus) |  |  |
| ม้าม (spleen) |  |  |

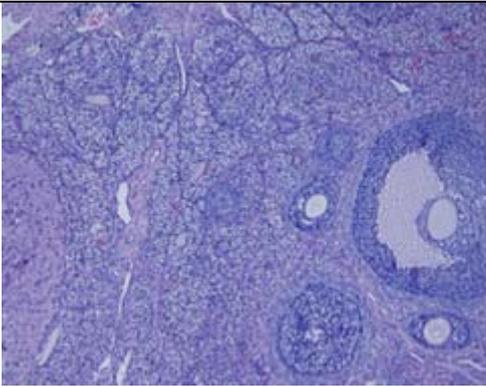
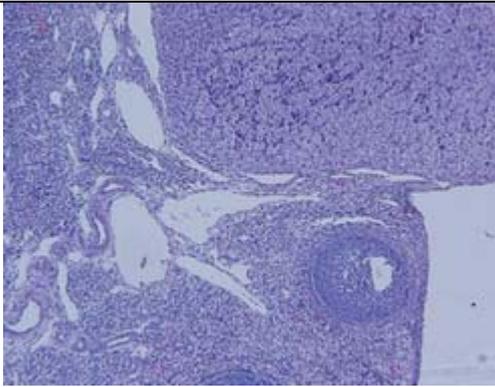
ตารางที่ 4.2.9 (ต่อ): ผลการตรวจทางพยาธิวิทยาของอวัยวะภายในของหนูขาวเพศเมีย

| อวัยวะ (organ) | กลุ่มควบคุม (น้ำกลั่น) | กลุ่มทดสอบ (FOS 3000) |
|-------------------------------|---|--|
| กระเพาะ อาหาร (stomach) |  |  |
| ลำไส้ (intestine) |  |  |
| ตับอ่อน (pancreas) |  |  |

ตารางที่ 4.2.9 (ต่อ): ผลการตรวจทางพยาธิวิทยาของอวัยวะภายในของหนูชาวเพศเมีย

| อวัยวะ (organ) | กลุ่มควบคุม (น้ำกลั่น) | กลุ่มทดสอบ (FOS 3000) |
|-------------------|---|--|
| ตับ (liver) |  |  |
| ไต (kidney) |  |  |
| มดลูก (uterus) |  |  |

ตารางที่ 4.2.9 (ต่อ): ผลการตรวจทางพยาธิวิทยาของอวัยวะภายในของหนูชาวเพศเมีย

| อวัยวะ (organ) | กลุ่มควบคุม (น้ำกลั่น) | กลุ่มทดสอบ (FOS 3000) |
|-------------------|---|--|
| รังไข่ (ovary) |  |  |

จากผลการทดลองในการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันในหนูชาวเพศเมีย แสดงให้เห็นว่า การป้อน FOS ในขนาดสูงถึง 5000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ให้แก่หนูชาว ไม่ก่อให้เกิดการตายหรือความผิดปกติใด ๆ หนูทุกกลุ่มมีพฤติกรรมทั่วไป การกินอาหาร และการเจริญเติบโตอยู่ในเกณฑ์ปกติ และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งได้รับน้ำกลั่น ซึ่งผลดังกล่าว แสดงว่า FOS มีความปลอดภัยสูง ไม่ก่อพิษเฉียบพลัน แม้จะให้ในขนาดสูง

จากผลการทดลองในการศึกษาความเป็นพิษกึ่งเรื้อรังในหนูชาวทั้งเพศผู้ และเพศเมีย โดยการป้อน FOS (ในขนาด 500, 1500 และ 3000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน) ทุกวัน นาน 90 วัน พบว่า FOS ไม่ก่อให้เกิดการตายหรืออาการผิดปกติใด ๆ หนูทุกกลุ่มมีอัตราการเจริญเติบโตเป็นไปตามเกณฑ์ โดยในหนูเพศเมียไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งได้รับน้ำกลั่น ในขณะที่หนูเพศผู้จะมีน้ำหนักมากกว่ากลุ่มควบคุมเล็กน้อย และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการศึกษาและทำการตรวจอวัยวะภายในต่าง ๆ พบว่า สี ลักษณะทั่วไปของอวัยวะเหล่านั้น ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม เมื่อตัดอวัยวะภายในไปชั่งน้ำหนักแล้ว พบว่า น้ำหนักของบางอวัยวะ เช่น ปอด และตับของหนูเพศผู้กลุ่มที่ได้รับ FOS จะมีค่าที่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ซึ่งแม้จะเป็นความแตกต่างที่นัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีความสำคัญในทางคลินิก ประกอบกับข้อมูลด้านพยาธิวิทยาของเนื้อเยื่อ

ของอวัยวะภายในต่าง ๆ ของหนูทุกกลุ่ม ที่ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ไม่พบรอยโรค หรือความผิดปกติใด ๆ ของเซลล์หรือเนื้อเยื่อของอวัยวะภายในของหนูทั้งเพศผู้และเพศเมียที่ได้รับ FOS

นอกจากนี้ ในการศึกษาความเป็นพิษกึ่งเรื้อรัง ได้มีการเก็บเลือดเพื่อตรวจค่าทางโลหิตวิทยา (hematology) และค่าเคมีในเลือด (blood chemistry) ซึ่งการตรวจค่าทางโลหิตวิทยา จะเป็นการประเมินผลของสารทดสอบต่อการทำงานของระบบเลือด (อันประกอบด้วยเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด) (Williams *et al.*, 1990; Feldman *et al.*, 2000) ส่วนค่าเคมีในเลือด จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงสุขภาพร่างกายและการทำงานของอวัยวะภายใน โดยเฉพาะอย่างยิ่งตับ ตับอ่อน และไต (Caisey and King, 1980) เมื่อพิจารณาจากผลการตรวจค่าโลหิตวิทยา และค่าเคมีในเลือดของหนูขาวกลุ่มต่าง ๆ ทั้งเพศผู้และเพศเมีย พบว่า หนูกลุ่มทดสอบที่ได้รับ FOS ในขนาดต่าง ๆ และกลุ่มติดตามผลที่ได้รับ FOS จะมีค่าตัวแปรในเลือดบางค่าที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เช่น ค่า hemoglobin, hematocrit, RBC, MCV, MCH, MCHC, monocyte, eosinophil, platelet, BUN, creatinine, AST, ALT, ALP และ direct bilirubin อย่างไรก็ตาม ค่าโลหิตวิทยาและค่าเคมีในเลือดทุกค่าของหนูทุกกลุ่มอยู่ในระดับปกติ (Angkhasirisap *et al.*, 2002; Inala *et al.*, 2002; Wongcome *et al.*, 2007) ความแตกต่างทางสถิติที่ปรากฏ จึงเป็นเพียงความแปรปรวนของค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่อาจพบได้ในการตรวจเลือดเท่านั้น

จากผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์ FOS ไม่ก่อให้เกิดพิษเฉียบพลันเมื่อให้ในขนาดสูงแก่หนูขาว นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ FOS ซึ่งป้อนให้แก่หนูขาวทุกวันอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานถึง 90 วันไม่ก่อให้เกิดการตายหรือความเป็นพิษต่อระบบการทำงานและอวัยวะภายในร่างกายของสัตว์ทดลอง

โครงการย่อยที่ 3: การวิเคราะห์ผลตอบแทนจากการลงทุนและศึกษาศักยภาพเชิงพาณิชย์ของ FOS จากน้ำเชื่อมลำไย

4.3 การศึกษาลักษณะทั่วไปของการผลิต FOS

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ภายใต้โครงการการสร้างสายการผลิตเพื่อสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากส่วนต่าง ๆ ของลำไยและสายการผลิต FOS จากน้ำเชื่อมลำไย มีวัตถุประสงค์ 4 ประการด้วยกัน คือ

- 1) เพื่อศึกษากระบวนการผลิต FOS จากน้ำเชื่อมลำไย
- 2) เพื่อศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนของ FOS จากน้ำเชื่อมลำไย
- 3) เพื่อวิเคราะห์ความไหวตัวของโครงการ (Sensitivities Analysis) ของการผลิต FOS จากน้ำเชื่อมลำไย และ

4) เพื่อศึกษาถึงตลาด ความต้องการ และแนวทางการพัฒนา FOS จากน้ำเชื่อมลำไย โดยทำการออกแบบสอบถาม เพื่อให้ทราบถึงการตอบรับของผู้บริโภค FOS จากน้ำเชื่อมลำไย จากกลุ่มตัวอย่างของผู้บริโภคในภาคเหนือตอนบนจำนวน 500 ราย

4.3.1 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตน้ำเชื่อมลำไยภายใต้โครงการการสร้างสายการผลิตเพื่อสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากส่วนต่าง ๆ ของลำไยและสายการผลิต FOS จากน้ำเชื่อมลำไย

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการในการผลิต ตั้งแต่การจัดการจัดหาปัจจัยการผลิต (inputs) ซึ่งได้แก่ ที่ดิน โรงเรือนและอุปกรณ์ แหล่งเงินทุน และแรงงาน จนเข้าสู่กระบวนการผลิต (process) ได้แก่ การจัดการลำไย รวมไปถึงการหาความรู้จากแหล่งวิชาการ ตลอดจนได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ (outputs) ได้แก่ ปริมาณน้ำตาลประเภทฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ในผลิตภัณฑ์ FOS จากน้ำเชื่อมลำไย โดยการคิดราคาผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของ FOS ที่ผลิตได้จากน้ำเชื่อมลำไย โดยแบ่งสายการผลิตออกเป็น 2 กรณี คือ สายการผลิตน้ำเชื่อมลำไย และสายการผลิต FOS ผงจากน้ำเชื่อมลำไย

4.3.1.1 กรณีการผลิตน้ำเชื่อมลำไย

1) ข้อมูลเบื้องต้น

| รายละเอียด | ขนาด | หน่วย |
|-------------------------------|------------|------------------|
| ระบบผลิตน้ำเชื่อมลำไย | 7,200.00 | กิโลกรัม/วัน |
| ปริมาณน้ำประปาที่ใช้ในการผลิต | 150.00 | ลูกบาศก์เมตร/วัน |
| ผลิตน้ำเชื่อมลำไย | | กิโลกรัม/วัน |
| ปริมาณกากลำไยเพื่อขายทำปุ๋ย | | กิโลกรัม/วัน |
| ปริมาณลำไยที่ป้อนเข้าระบบ | 7,200.00 | กิโลกรัม/วัน |
| ปริมาณน้ำเชื่อมลำไยที่ผลิตได้ | 675,000.00 | มิลลิลิตร/วัน |

2) เงินลงทุน

| ประเภทของเงินลงทุน | จำนวนเงิน (บาท) |
|--------------------------------|-----------------|
| ค่าก่อสร้างระบบ | 10,000,000.00 |
| ค่าอุปกรณ์ | 4,506,000.00 |
| ค่าที่ปรึกษา สํารวจ ออกแบบ ฯลฯ | |
| ค่าบริหารจัดการวัตถุดิบ | |
| ค่าวัสดุ | |
| ค่าใช้สอย | |
| ค่าตอบแทนและค่าจ้าง | |
| ค่าบริหารโครงการ | |

3) รายรับ

| รายการ | รายรับต่อวัน (บาท) | รายรับต่อปี (บาท) |
|-------------------------------|--------------------|-------------------|
| ขายน้ำเชื่อมลำไย ¹ | 472,500.00 | 21,262,500.00 |
| ขายกากลำไยเป็นปุ๋ยชีวภาพ | 0 | 0 |

หมายเหตุ: 1. ราคาขายน้ำเชื่อมลำไย เท่ากับ 700 บาท/ลิตร

4) รายจ่าย

| รายการ | ค่าใช้จ่ายต่อหน่วย | |
|------------------------------|--------------------|--------------|
| ค่าลำไยคละเกรด | 10.00 | บาท/กิโลกรัม |
| ค่าแช่แข็งลำไย | 0.75 | บาท/กิโลกรัม |
| ค่าสารเคมี | 310,000.00 | บาท/ปี |
| ค่าแรงงานทั่วไป (20คน) | 300.00 | บาท/คน |
| ค่าแรงงานคุมสายการผลิต (5คน) | 500.00 | บาท/คน |
| ค่าไฟฟ้า ¹ | 507.00 | บาท/วัน |
| ค่าน้ำประปา ² | 1,500.00 | บาท/วัน |

หมายเหตุ: 1. ค่าไฟฟ้า คิดจากอัตรา 4.27 บาท/หน่วย

2. ค่าน้ำประปา คิดจากอัตรา 10 บาท/ลูกบาศก์เมตร

5) ข้อมูลอื่น ๆ

| รายละเอียด | ปริมาณ | หน่วย |
|----------------------------------|--------|---------|
| อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ (Loan rate) | 12.00% | / ปี |
| อัตราเงินเฟ้อ (Inflation) | 3.90% | / ปี |
| อัตราเพิ่มมูลค่าพลังงานไฟฟ้า | 5.00% | / ปี |
| อัตรการเพิ่มค่าแรงงาน | 3.10% | / ปี |
| จำนวนเงินที่ขอกู้ | - | บาท/ ปี |
| ระยะเวลาที่ขอกู้ | 7.00 | ปี |
| จำนวนวันทำงานของระบบ | 45 | / ปี |
| จำนวนชั่วโมงทำงานของระบบ | 15 | / วัน |

4.3.1.2 กรณีการผลิต FOS จากน้ำเชื่อมลำไยเป็นผง

1) ข้อมูลเบื้องต้น

| รายละเอียด | ขนาด | หน่วย |
|---------------------------------------|------------|------------------|
| ระบบผลิตน้ำเชื่อมลำไย | 7,200.00 | กิโลกรัม/วัน |
| ปริมาณน้ำประปาที่ใช้ในการผลิต | 150.00 | ลูกบาศก์เมตร/วัน |
| ผลิตน้ำเชื่อมลำไย | | กิโลกรัม/วัน |
| ปริมาณกากลำไยเพื่อขายทำปุ๋ย | | กิโลกรัม/วัน |
| ปริมาณลำไยที่ป้อนเข้าระบบ | 7,200.00 | กิโลกรัม/วัน |
| ปริมาณ FOS จากน้ำเชื่อมลำไยที่ผลิตได้ | 100,000.00 | กรัม/วัน |

2) เงินลงทุน

| ประเภทของเงินลงทุน | จำนวนเงิน (บาท) |
|--------------------------------|-----------------|
| ค่าก่อสร้างระบบ | 10,000,000.00 |
| ค่าอุปกรณ์ | 4,506,000.00 |
| ค่าถังเปลี่ยนน้ำเชื่อมเป็น FOS | 300,000 |
| ค่าที่ปรึกษา สํารวจ ออกแบบ ฯลฯ | |
| ค่าบริหารจัดการวัตถุดิบ | |
| ค่าวัสดุ | |
| ค่าใช้สอย | |
| ค่าตอบแทนและค่าจ้าง | |
| ค่าบริหารโครงการ | |

3) รายรับ

| รายการ | รายรับต่อวัน (บาท) | รายรับต่อปี (บาท) |
|---|--------------------|-------------------|
| ขาย FOS ผงจากน้ำเชื่อมลำไย ¹ | 700,000.00 | 31,500,000.00 |
| ขายกากลำไยเป็นปุ๋ยชีวภาพ | 0 | 0 |

หมายเหตุ: 1. ราคา FOS เท่ากับ 7 บาท/กรัม

4) รายจ่าย

| รายการ | ค่าใช้จ่ายต่อหน่วย |
|------------------------------|--------------------|
| ค่าลำไยคละเกรด | 10.00 บาท/กิโลกรัม |
| ค่าแซ่แข็งลำไย | 0.75 บาท/กิโลกรัม |
| ค่าสารเคมี | 310,000.00 บาท/ปี |
| ค่าแรงงานทั่วไป (20คน) | 300.00 บาท/คน |
| ค่าแรงงานคุมสายการผลิต (5คน) | 500.00 บาท/คน |
| ค่าไฟฟ้า ¹ | 507.00 บาท/วัน |
| ค่าน้ำประปา ² | 1,500.00 บาท/วัน |

หมายเหตุ: 1. ค่าไฟฟ้า คิดจากอัตรา 4.27 บาท/หน่วย

2. ค่าน้ำประปา คิดจากอัตรา 10 บาท/ลูกบาศก์เมตร

5) ข้อมูลอื่น ๆ

| รายละเอียด | ปริมาณ | หน่วย |
|----------------------------------|--------|---------|
| อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ (Loan rate) | 12.00% | / ปี |
| อัตราเงินเฟ้อ (Inflation) | 3.90% | / ปี |
| อัตราเพิ่มมูลค่าพลังงานไฟฟ้า | 5.00% | / ปี |
| อัตรากារเพิ่มค่าแรงงาน | 3.10% | / ปี |
| จำนวนเงินที่ขอกู้ | - | บาท/ ปี |
| ระยะเวลาที่ขอกู้ | 7.00 | ปี |
| จำนวนวันทำงานของระบบ | 45 | / ปี |
| จำนวนชั่วโมงทำงานของระบบ | 15 | / วัน |

4.3.2 การวิเคราะห์ผลตอบแทนจากการลงทุนและศึกษาศักยภาพเชิงพาณิชย์ของ การผลิต FOS

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของ FOS จากน้ำเชื่อมลำไย ซึ่งวิเคราะห์โดยอาศัยการวิเคราะห์ต้นทุน ผลตอบแทน (Cost Benefit Analysis) ซึ่งประกอบไปด้วย

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)
- อัตราส่วนระหว่างผลได้ต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio, B/C Ratio)
- อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return, IRR) และ
- การวิเคราะห์ความไวต่อเหตุเปลี่ยนแปลง (Sensitivity Analysis)

4.3.2.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับหรือผลตอบแทน กับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายหรือต้นทุน โดยคิดอัตราคิดลดตามอัตราผลตอบแทนที่หน่วยธุรกิจต้องการหรือค่าของทุน (อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ในตลาด) ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C}{(1+r)^t} \dots\dots\dots(1)$$

โดยกำหนดให้ B_t = มูลค่าผลตอบแทนของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ t

C_t = มูลค่าต้นทุนของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ t

i = อัตราคิดลด (discount rate)

t = ปีของโครงการ คือ ปีที่ $0,1,2,\dots,n$

n = อายุโครงการ

โดยที่ ถ้า $NPV > 0$ แสดงว่า มูลค่าผลตอบแทนมีมากกว่ามูลค่าต้นทุน
ดังนั้น ควรตัดสินใจลงทุน

ถ้า $NPV < 0$ แสดงว่า มูลค่าผลตอบแทนมีน้อยกว่ามูลค่าต้นทุน
ดังนั้น ไม่ควรตัดสินใจลงทุน

ถ้า $NPV = 0$ แสดงว่า การลงทุนหรือไม่ลงทุนในโครงการไม่เกิด
ผลประโยชน์หรือผลเสียใด ๆ

4.3.2.2 อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return, IRR)

อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ คือ อัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิ หรือผลตอบแทนโครงการเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายหรือต้นทุนของโครงการ ซึ่งเป็นอัตราที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดได้สุทธิจากการลงทุนมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยมีสูตรดังนี้

$$\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} \quad \dots\dots\dots(2)$$

โดยกำหนดให้ B_t = มูลค่าตอบแทนของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ t

C_t = มูลค่าต้นทุนของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ t

i = อัตราคิดลด (discount rate)

r = อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

t = ปีของโครงการ คือปีที่ $0, 1, 2, \dots, n$

n = อายุโครงการ

โดยที่ ถ้า $r > i$ แสดงว่า มูลค่าตอบแทนภายในมีมากกว่าอัตราคิดลด
ดังนั้น ควรตัดสินใจลงทุน

ถ้า $r < i$ แสดงว่า มูลค่าตอบแทนภายในมีน้อยกว่าอัตราคิดลด
ดังนั้น ไม่ควรตัดสินใจลงทุน

ถ้า $r = i$ แสดงว่า การทำหรือไม่ทำโครงการย่อมไม่เกิดประโยชน์
หรือเสียประโยชน์แต่อย่างใด

4.3.2.3 อัตราส่วนระหว่างผลได้ต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio, B/C Ratio)

อัตราส่วนระหว่างผลได้ต่อต้นทุน คือ อัตราเปรียบเทียบระหว่างผลตอบแทนซึ่งสามารถคำนวณออกมาได้ในรูปของมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนเทียบกับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนที่จ่ายไปในการดำเนินโครงการ ซึ่งมีวิธีคำนวณดังสูตร

$$\frac{B}{C} = \frac{B_o + \frac{B_1}{(1+r)} + \frac{B_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{B_n}{(1+r)^n}}{C_o + \frac{C_1}{(1+r)} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{C_n}{(1+r)^n}} \dots\dots\dots(3)$$

โดยกำหนดให้ B_t = มูลค่าตอบแทนของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ t

C_t = มูลค่าต้นทุนของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ t

i = อัตราคิดลด (discount rate)

t = ปีของโครงการ คือปีที่ $0,1,2,\dots,n$

n = อายุโครงการ

โดยที่ ถ้า $B/C > 1$ แสดงว่า มูลค่าผลตอบแทนมีมากกว่ามูลค่าต้นทุน

ดังนั้น ควรตัดสินใจลงทุน

ถ้า $B/C < 1$ แสดงว่า มูลค่าผลตอบแทนมีน้อยกว่ามูลค่าต้นทุน

ดังนั้น ไม่ควรตัดสินใจลงทุน

ถ้า $B/C = 1$ แสดงว่า การลงทุนหรือไม่ลงทุนในโครงการล้วนไม่เกิด

ประโยชน์หรือเสียประโยชน์แต่อย่างใด

4.3.2.4 การวิเคราะห์ความไวต่อเหตุเปลี่ยนแปลง (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความไวต่อเหตุเปลี่ยนแปลงของโครงการ เป็นการวิเคราะห์เพื่อศึกษาความสามารถในการดำเนินการต่อไปได้หรือไม่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดการผันแปรของปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการลงทุน โดยประโยชน์ที่ได้รับจากการวิเคราะห์ความไวต่อเหตุเปลี่ยนแปลง ช่วยให้ผู้ประกอบการทราบว่าหากตัวแปรไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ จะมีผลทำให้ผลตอบแทนสุทธิของโครงการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ซึ่งจะช่วยให้การประเมินและติดตามผลการดำเนินการของโครงการมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

$$\text{ต้นทุน} = \text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน} + \text{ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{ผลตอบแทน} = \text{ราคา} \times \text{ปริมาณ} \dots\dots\dots(5)$$

โดยผลการศึกษา (แสดงดังตารางที่ 4.3.1 และ 4.3.2) พบว่า

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เพื่อคำนวณผลรวมประโยชน์ของโครงการ

- ผลิตน้ำเชื่อมลำไย ได้ NPV เท่ากับ 95,954,661 บาท
- ผลิต FOS ผงจากน้ำเชื่อม ได้ NPV เท่ากับ 82,951,016 บาท

อัตราผลตอบแทนทางการเงิน (FIRR)

- ผลิตน้ำเชื่อมลำไย ได้ FIRR เท่ากับร้อยละ 106.42
- ผลิต FOS ผงจากน้ำเชื่อม ได้ FIRR เท่ากับร้อยละ 126.79

4.3.3 การวิเคราะห์ความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ

การวิเคราะห์ความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์เป็นการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการในการผลิต ตั้งแต่การจัดหาปัจจัยการผลิต (inputs) ซึ่งได้แก่ ที่ดิน โรงเรือนและอุปกรณ์ แหล่งเงินทุน และแรงงาน จนเข้าสู่กระบวนการผลิต (process) ได้แก่ การจัดหาลำไย รวมไปถึงการหาความรู้จากแหล่งวิชาการ ตลอดจนได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ (outputs) ได้แก่ ปริมาณน้ำตาลประเภทฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ในผลิตภัณฑ์ FOS จากน้ำเชื่อมลำไย โดยการคิดราคา

ผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของ FOS ที่ผลิตได้จากน้ำเชื่อมลำไย เมื่อเทียบกับราคาขายตามท้องตลาดทั่วไป

การศึกษาเกี่ยวกับต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการผลิต ซึ่งสามารถแยกศึกษาเป็น 2 ประเภท คือ ต้นทุนเริ่มแรก ซึ่งเป็นค่าใช้จ่าย ประกอบด้วย ค่าที่ดิน, ค่าโรงเรือน, ค่าวัสดุอุปกรณ์, ค่าที่ปรึกษาสำรวจออกแบบ ส่วนต้นทุนในการดำเนินการ เป็นค่าใช้จ่าย ซึ่งได้จัดเป็นหมวดต่าง ๆ ได้แก่ ค่าลำไยคละเกรด ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำประปา ค่าแรงงาน ค่าเช่าเชิงลำไย ค่าสารเคมีในการวิเคราะห์คุณภาพ ค่าเอนไซม์ ค่าบำรุงรักษาระบบผลิตร้อยละ 5 ของเงินลงทุน และค่าดอกเบี้ยเงินกู้ร้อยละ 12

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของ FOS จากน้ำเชื่อมลำไย ซึ่งวิเคราะห์โดย มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน และความไวต่อเหตุเปลี่ยนแปลงธุรกิจ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของโครงการผลิตน้ำเชื่อมลำไย ได้ NPV เท่ากับ 99,265,710 บาท และโครงการผลิต FOS ผงจากน้ำเชื่อม ได้ NPV เท่ากับ 86,262,066 บาท
2. ระยะเวลาคืนทุน (PBP) ของโครงการผลิตน้ำเชื่อมลำไย ได้ PBP เท่ากับ 0.00 ปี และโครงการผลิต FOS ผงจากน้ำเชื่อม PBP ได้ PBP เท่ากับ 0.00 ปี ซึ่งหมายถึงทั้งสองโครงการคุ้มทุนตั้งแต่ปีแรกของการดำเนินโครงการ
3. อัตราผลตอบแทนทางการเงิน (FIRR) โครงการผลิตน้ำเชื่อมลำไย ได้ FIRR เท่ากับร้อยละ 106.42 และโครงการผลิต FOS ผงจากน้ำเชื่อม ได้ FIRR เท่ากับร้อยละ 126.79

ตารางที่ 4.3.1: การคำนวณความคุ้มทุนของโครงการการผลิตน้ำเชื่อมลำไย

| ปีที่ | 0 | 1 | 2 | 3 |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| เงินลงทุน (บาท) | | | | |
| ค่าก่อสร้างระบบ | 8,800,000 | | | |
| ค่าอุปกรณ์ | 3,965,280 | | | |
| ค่าที่ปรึกษา | 1,000,000 | | | |
| ค่าบริหารจัดการ | 500,000 | | | |
| ค่าวัสดุ | 300,000 | | | |
| ค่าใช้สอย | 100,000 | | | |
| ค่าจ้าง | 500,000 | | | |
| ค่าบริหารโครงการ | 300,000 | | | |
| รวมเงินลงทุนสุทธิ | 15,465,280 | | | |
| รายรับ (บาท/ปี) | | | | |
| น้ำเชื่อมลำไย | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| รวมรายรับทั้งหมด | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| ค่าใช้จ่าย (บาท/ปี) | | | | |
| ค่าลำไยคละเกรด | | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 |
| ค่าสารเคมี | | 310,000 | 310,000 | 310,000 |
| ค่าไฟฟ้า | | 22,815 | 22,815 | 22,815 |
| ค่าน้ำประปา | | 67,500 | 67,500 | 67,500 |
| ค่าแรงงานดูแลระบบ | | 382,500 | 382,500 | 382,500 |
| ค่าเช่าเชิงลำไย | | 8,100 | 8,100 | 8,100 |
| ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ | | 773,264 | 773,264 | 773,264 |
| รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด | | 4,804,179 | 4,804,179 | 4,804,179 |
| กระแสเงินสดสุทธิ | -15,465,280 | 16,458,321 | 16,458,321 | 16,458,321 |
| กระแสเงินสดสะสม | -15,465,280 | 993,041 | 17,451,362 | 33,909,683 |

ตารางที่ 4.3.1 (ต่อ): การคำนวณความคุ้มทุนของโครงการการผลิตน้ำเชื่อมลำไย

| ปีที่ | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| เงินลงทุน (บาท) | | | | |
| ค่าก่อสร้างระบบ | 8,800,000 | | | |
| ค่าอุปกรณ์ | 3,965,280 | | | |
| ค่าที่ปรึกษา | 1,000,000 | | | |
| ค่าบริหารจัดการ | 500,000 | | | |
| ค่าวัสดุ | 300,000 | | | |
| ค่าใช้สอย | 100,000 | | | |
| ค่าจ้าง | 500,000 | | | |
| ค่าบริหารโครงการ | 300,000 | | | |
| รวมเงินลงทุนสุทธิ | 15,465,280 | | | |
| รายรับ (บาท/ปี) | | | | |
| น้ำเชื่อมลำไย | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| รวมรายรับทั้งหมด | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| ค่าใช้จ่าย (บาท/ปี) | | | | |
| ค่าลำไยคละเกรด | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 |
| ค่าสารเคมี | 310,000 | 310,000 | 310,000 | 310,000 |
| ค่าไฟฟ้า | 22,815 | 22,815 | 22,815 | 22,815 |
| ค่าน้ำประปา | 67,500 | 67,500 | 67,500 | 67,500 |
| ค่าแรงงานดูแลระบบ | 382,500 | 382,500 | 382,500 | 382,500 |
| ค่าเช่าเชิงลำไย | 8,100 | 8,100 | 8,100 | 8,100 |
| ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ | 773,264 | 773,264 | 773,264 | 773,264 |
| รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด | 4,804,179 | 4,804,179 | 4,804,179 | 4,804,179 |
| กระแสเงินสดสุทธิ | 16,458,321 | 16,458,321 | 16,458,321 | 16,458,321 |
| กระแสเงินสดสะสม | 50,368,004 | 66,826,325 | 83,284,646 | 99,742,967 |

ตารางที่ 4.3.1 (ต่อ): การคำนวณความคุ้มค่าของโครงการการผลิตน้ำเชื่อมลำไย

| ปีที่ | 8 | 9 | 10 | 11 |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| เงินลงทุน (บาท) | | | | |
| ค่าก่อสร้างระบบ | 8,800,000 | | | |
| ค่าอุปกรณ์ | 3,965,280 | | | |
| ค่าที่ปรึกษา | 1,000,000 | | | |
| ค่าบริหารจัดการ | 500,000 | | | |
| ค่าวัสดุ | 300,000 | | | |
| ค่าใช้สอย | 100,000 | | | |
| ค่าจ้าง | 500,000 | | | |
| ค่าบริหารโครงการ | 300,000 | | | |
| รวมเงินลงทุนสุทธิ | 15,465,280 | | | |
| รายรับ (บาท/ปี) | | | | |
| น้ำเชื่อมลำไย | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| รวมรายรับทั้งหมด | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| ค่าใช้จ่าย (บาท/ปี) | | | | |
| ค่าลำไยคละเกรด | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 |
| ค่าสารเคมี | 310,000 | 310,000 | 310,000 | 310,000 |
| ค่าไฟฟ้า | 22,815 | 22,815 | 22,815 | 22,815 |
| ค่าน้ำประปา | 67,500 | 67,500 | 67,500 | 67,500 |
| ค่าแรงงานดูแลระบบ | 382,500 | 382,500 | 382,500 | 382,500 |
| ค่าเช่าเชิงลำไย | 8,100 | 8,100 | 8,100 | 8,100 |
| ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ | 773,264 | 773,264 | 773,264 | 773,264 |
| รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด | 4,804,179 | 4,804,179 | 4,804,179 | 4,804,179 |
| กระแสเงินสดสุทธิ | 16,458,321 | 16,458,321 | 16,458,321 | 16,458,321 |
| กระแสเงินสดสะสม | 116,201,288 | 132,659,609 | 149,117,930 | 165,576,251 |

ตารางที่ 4.3.1 (ต่อ): การคำนวณความคุ้มทุนของโครงการการผลิตน้ำเชื่อมลำไย

| ปีที่ | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| เงินลงทุน (บาท) | | | | |
| ค่าก่อสร้างระบบ | 8,800,000 | | | |
| ค่าอุปกรณ์ | 3,965,280 | | | |
| ค่าที่ปรึกษา | 1,000,000 | | | |
| ค่าบริหารจัดการ | 500,000 | | | |
| ค่าวัสดุ | 300,000 | | | |
| ค่าใช้สอย | 100,000 | | | |
| ค่าจ้าง | 500,000 | | | |
| ค่าบริหารโครงการ | 300,000 | | | |
| รวมเงินลงทุนสุทธิ | 15,465,280 | | | |
| รายรับ (บาท/ปี) | | | | |
| น้ำเชื่อมลำไย | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| รวมรายรับทั้งหมด | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| ค่าใช้จ่าย (บาท/ปี) | | | | |
| ค่าลำไยคละเกรด | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 |
| ค่าสารเคมี | 310,000 | 310,000 | 310,000 | 310,000 |
| ค่าไฟฟ้า | 22,815 | 22,815 | 22,815 | 22,815 |
| ค่าน้ำประปา | 67,500 | 67,500 | 67,500 | 67,500 |
| ค่าแรงงานดูแลระบบ | 382,500 | 382,500 | 382,500 | 382,500 |
| ค่าเช่าเชิงลำไย | 8,100 | 8,100 | 8,100 | 8,100 |
| ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ | 773,264 | 773,264 | 773,264 | 773,264 |
| รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด | 4,804,179 | 4,804,179 | 4,804,179 | 4,804,179 |
| กระแสเงินสดสุทธิ | 16,458,321 | 16,458,321 | 16,458,321 | 16,458,321 |
| กระแสเงินสดสะสม | 182,034,572 | 198,492,893 | 214,951,214 | 231,409,535 |

ตารางที่ 4.3.1 (ต่อ): การคำนวณความคุ้มทุนของโครงการการผลิตน้ำเชื่อมลำไย

| ปีที่ | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| เงินลงทุน (บาท) | | | | | |
| ค่าก่อสร้างระบบ | 8,800,000 | | | | |
| ค่าอุปกรณ์ | 3,965,280 | | | | |
| ค่าที่ปรึกษา | 1,000,000 | | | | |
| ค่าบริหารจัดการ | 500,000 | | | | |
| ค่าวัสดุ | 300,000 | | | | |
| ค่าใช้สอย | 100,000 | | | | |
| ค่าจ้าง | 500,000 | | | | |
| ค่าบริหารโครงการ | 300,000 | | | | |
| รวมเงินลงทุนสุทธิ | 15,465,280 | | | | |
| รายรับ (บาท/ปี) | | | | | |
| น้ำเชื่อมลำไย | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| รวมรายรับทั้งหมด | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| ค่าใช้จ่าย (บาท/ปี) | | | | | |
| ค่าลำไยคละเกรด | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 |
| ค่าสารเคมี | 310,000 | 310,000 | 310,000 | 310,000 | 310,000 |
| ค่าไฟฟ้า | 22,815 | 22,815 | 22,815 | 22,815 | 22,815 |
| ค่าน้ำประปา | 67,500 | 67,500 | 67,500 | 67,500 | 67,500 |
| ค่าแรงงานดูแลระบบ | 382,500 | 382,500 | 382,500 | 382,500 | 382,500 |
| ค่าเช่าเชิงลำไย | 8,100 | 8,100 | 8,100 | 8,100 | 8,100 |
| ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ | 773,264 | 773,264 | 773,264 | 773,264 | 773,264 |
| รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด | 4,804,179 | 4,804,179 | 4,804,179 | 4,804,179 | 4,804,179 |
| กระแสเงินสดสุทธิ | 16,458,321 | 16,458,321 | 16,458,321 | 16,458,321 | 16,458,321 |
| กระแสเงินสดสะสม | 247,867,856 | 264,326,177 | 280,784,498 | 297,242,819 | 313,701,140 |

ตารางที่ 4.3.2: การคำนวณความคุ้มทุนของโครงการการผลิต FOS จากน้ำเชื่อมลำไยเป็นผง

| ปีที่ | 0 | 1 | 2 | 3 |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| เงินลงทุน (บาท) | | | | |
| ค่าก่อสร้างระบบ | 8,800,000 | | | |
| ค่าอุปกรณ์ | 4,493,280 | | | |
| ค่าที่ปรึกษา | 1,000,000 | | | |
| ค่าบริหารจัดการ | 500,000 | | | |
| ค่าวัสดุ | 300,000 | | | |
| ค่าใช้สอย | 100,000 | | | |
| ค่าจ้าง | 500,000 | | | |
| ค่าบริหารโครงการ | 300,000 | | | |
| รวมเงินลงทุนสุทธิ | 15,993,280 | | | |
| รายรับ (บาท/ปี) | | | | |
| FOS ผง | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| รวมรายรับทั้งหมด | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| ค่าใช้จ่าย (บาท/ปี) | | | | |
| ค่าลำไยคละเกรด | | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 |
| ค่าสารเคมี | | 985,000 | 13,950,000 | 13,950,000 |
| ค่าไฟฟ้า | | 22,815 | 22,815 | 22,815 |
| ค่าน้ำประปา | | 67,500 | 67,500 | 67,500 |
| ค่าแรงงานดูแลระบบ | | 382,500 | 382,500 | 382,500 |
| ค่าเช่าเชิงลำไย | | 8,100 | 8,100 | 8,100 |
| ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ | | 799,664 | 799,664 | 799,664 |
| รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด | | 5,505,579 | 18,470,579 | 18,470,579 |
| กระแสเงินสดสุทธิ | -15,993,280 | 25,994,421 | 13,029,421 | 13,029,421 |
| กระแสเงินสดสะสม | -15,993,280 | 10,001,141 | 23,030,562 | 36,059,983 |

ตารางที่ 4.3.2 (ต่อ): การคำนวณความคุ้มทุนของโครงการการผลิต FOS จากน้ำเชื่อมลำไยเป็นผง

| ปีที่ | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| เงินลงทุน (บาท) | | | | |
| ค่าก่อสร้างระบบ | 8,800,000 | | | |
| ค่าอุปกรณ์ | 4,493,280 | | | |
| ค่าที่ปรึกษา | 1,000,000 | | | |
| ค่าบริหารจัดการ | 500,000 | | | |
| ค่าวัสดุ | 300,000 | | | |
| ค่าใช้สอย | 100,000 | | | |
| ค่าจ้าง | 500,000 | | | |
| ค่าบริหารโครงการ | 300,000 | | | |
| รวมเงินลงทุนสุทธิ | 15,993,280 | | | |
| รายรับ (บาท/ปี) | | | | |
| FOS ผง | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| รวมรายรับทั้งหมด | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| ค่าใช้จ่าย (บาท/ปี) | | | | |
| ค่าลำไยคละเกรด | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 |
| ค่าสารเคมี | 13,950,000 | 13,950,000 | 13,950,000 | 13,950,000 |
| ค่าไฟฟ้า | 22,815 | 22,815 | 22,815 | 22,815 |
| ค่าน้ำประปา | 67,500 | 67,500 | 67,500 | 67,500 |
| ค่าแรงงานดูแลระบบ | 382,500 | 382,500 | 382,500 | 382,500 |
| ค่าเช่าเชิงลำไย | 8,100 | 8,100 | 8,100 | 8,100 |
| ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ | 799,664 | 799,664 | 799,664 | 799,664 |
| รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด | 18,470,579 | 18,470,579 | 18,470,579 | 18,470,579 |
| กระแสเงินสดสุทธิ | 13,029,421 | 13,029,421 | 13,029,421 | 13,029,421 |
| กระแสเงินสดสะสม | 49,089,404 | 62,118,825 | 75,148,246 | 88,177,667 |

ตารางที่ 4.3.2 (ต่อ): การคำนวณความคุ้มทุนของโครงการการผลิต FOS จากน้ำเชื่อมลำไยเป็นผง

| ปีที่ | 8 | 9 | 10 | 11 |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| เงินลงทุน (บาท) | | | | |
| ค่าก่อสร้างระบบ | 8,800,000 | | | |
| ค่าอุปกรณ์ | 4,493,280 | | | |
| ค่าที่ปรึกษา | 1,000,000 | | | |
| ค่าบริหารจัดการ | 500,000 | | | |
| ค่าวัสดุ | 300,000 | | | |
| ค่าใช้สอย | 100,000 | | | |
| ค่าจ้าง | 500,000 | | | |
| ค่าบริหารโครงการ | 300,000 | | | |
| รวมเงินลงทุนสุทธิ | 15,993,280 | | | |
| รายรับ (บาท/ปี) | | | | |
| FOS ผง | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| รวมรายรับทั้งหมด | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| ค่าใช้จ่าย (บาท/ปี) | | | | |
| ค่าลำไยคละเกรด | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 |
| ค่าสารเคมี | 13,950,000 | 13,950,000 | 13,950,000 | 13,950,000 |
| ค่าไฟฟ้า | 22,815 | 22,815 | 22,815 | 22,815 |
| ค่าน้ำประปา | 67,500 | 67,500 | 67,500 | 67,500 |
| ค่าแรงงานดูแลระบบ | 382,500 | 382,500 | 382,500 | 382,500 |
| ค่าเช่าเชิงลำไย | 8,100 | 8,100 | 8,100 | 8,100 |
| ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ | 799,664 | 799,664 | 799,664 | 799,664 |
| รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด | 18,470,579 | 18,470,579 | 18,470,579 | 18,470,579 |
| กระแสเงินสดสุทธิ | 13,029,421 | 13,029,421 | 13,029,421 | 13,029,421 |
| กระแสเงินสดสะสม | 101,207,088 | 114,236,509 | 127,265,930 | 140,295,351 |

ตารางที่ 4.3.2 (ต่อ): การคำนวณความคุ้มทุนของโครงการการผลิต FOS จากน้ำเชื่อมลำไยเป็นผง

| ปีที่ | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| เงินลงทุน (บาท) | | | | |
| ค่าก่อสร้างระบบ | 8,800,000 | | | |
| ค่าอุปกรณ์ | 4,493,280 | | | |
| ค่าที่ปรึกษา | 1,000,000 | | | |
| ค่าบริหารจัดการ | 500,000 | | | |
| ค่าวัสดุ | 300,000 | | | |
| ค่าใช้สอย | 100,000 | | | |
| ค่าจ้าง | 500,000 | | | |
| ค่าบริหารโครงการ | 300,000 | | | |
| รวมเงินลงทุนสุทธิ | 15,993,280 | | | |
| รายรับ (บาท/ปี) | | | | |
| FOS ผง | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| รวมรายรับทั้งหมด | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| ค่าใช้จ่าย (บาท/ปี) | | | | |
| ค่าลำไยคละเกรด | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 |
| ค่าสารเคมี | 13,950,000 | 13,950,000 | 13,950,000 | 13,950,000 |
| ค่าไฟฟ้า | 22,815 | 22,815 | 22,815 | 22,815 |
| ค่าน้ำประปา | 67,500 | 67,500 | 67,500 | 67,500 |
| ค่าแรงงานดูแลระบบ | 382,500 | 382,500 | 382,500 | 382,500 |
| ค่าเช่าเชิงลำไย | 8,100 | 8,100 | 8,100 | 8,100 |
| ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ | 799,664 | 799,664 | 799,664 | 799,664 |
| รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด | 18,470,579 | 18,470,579 | 18,470,579 | 18,470,579 |
| กระแสเงินสดสุทธิ | 13,029,421 | 13,029,421 | 13,029,421 | 13,029,421 |
| กระแสเงินสดสะสม | 153,324,772 | 166,354,193 | 179,383,614 | 192,413,035 |

ตารางที่ 4.3.2 (ต่อ): การคำนวณความคุ้มทุนของโครงการการผลิต FOS จากน้ำเชื่อมลำไยเป็นผง

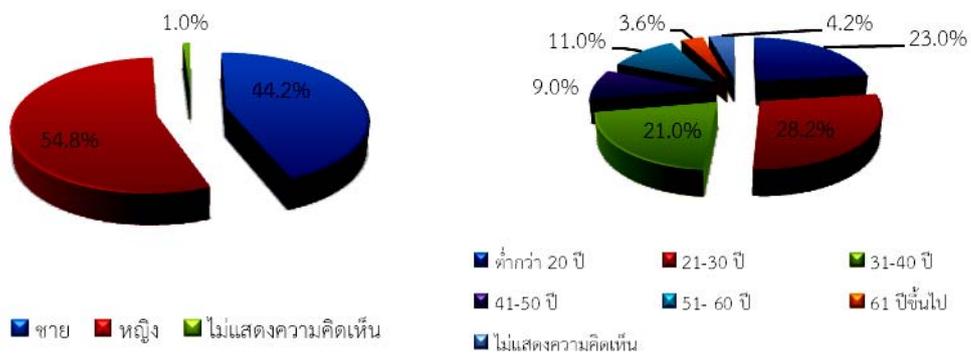
| ปีที่ | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| เงินลงทุน (บาท) | | | | | |
| ค่าก่อสร้างระบบ | 8,800,000 | | | | |
| ค่าอุปกรณ์ | 4,493,280 | | | | |
| ค่าที่ปรึกษา | 1,000,000 | | | | |
| ค่าบริหารจัดการ | 500,000 | | | | |
| ค่าวัสดุ | 300,000 | | | | |
| ค่าใช้สอย | 100,000 | | | | |
| ค่าจ้าง | 500,000 | | | | |
| ค่าบริหารโครงการ | 300,000 | | | | |
| รวมเงินลงทุนสุทธิ | 15,993,280 | | | | |
| รายรับ (บาท/ปี) | | | | | |
| FOS ผง | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| รวมรายรับทั้งหมด | | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 | 21,262,500 |
| ค่าใช้จ่าย (บาท/ปี) | | | | | |
| ค่าลำไยคละเกรด | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 | 3,240,000 |
| ค่าสารเคมี | 13,950,000 | 13,950,000 | 13,950,000 | 13,950,000 | 13,950,000 |
| ค่าไฟฟ้า | 22,815 | 22,815 | 22,815 | 22,815 | 22,815 |
| ค่าน้ำประปา | 67,500 | 67,500 | 67,500 | 67,500 | 67,500 |
| ค่าแรงงานดูแลระบบ | 382,500 | 382,500 | 382,500 | 382,500 | 382,500 |
| ค่าเช่าเชิงลำไย | 8,100 | 8,100 | 8,100 | 8,100 | 8,100 |
| ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ | 799,664 | 799,664 | 799,664 | 799,664 | 799,664 |
| รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด | 18,470,579 | 18,470,579 | 18,470,579 | 18,470,579 | 18,470,579 |
| กระแสเงินสดสุทธิ | 13,029,421 | 13,029,421 | 13,029,421 | 13,029,421 | 13,029,421 |
| กระแสเงินสดสะสม | 205,442,456 | 218,471,877 | 231,501,298 | 244,530,719 | 257,560,140 |

4.3.4 การศึกษาพฤติกรรมของผู้บริโภค FOS จากน้ำเชื่อมลำไย

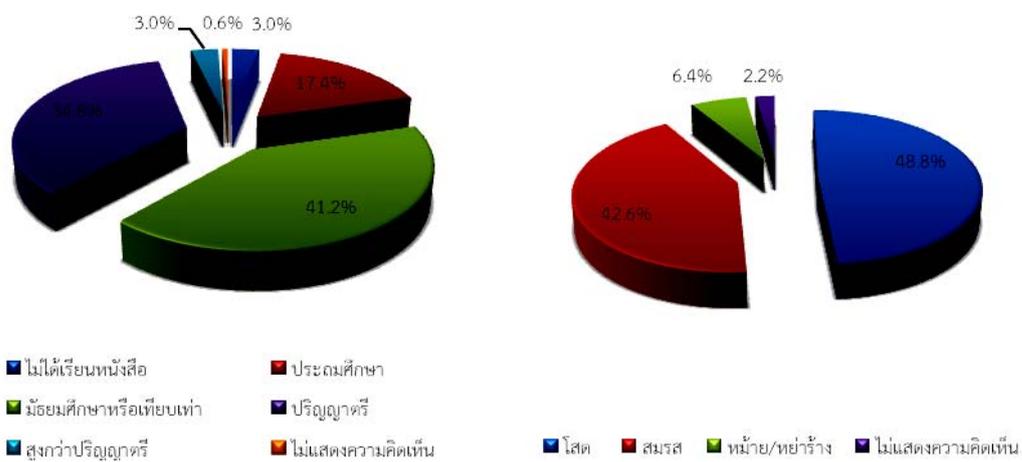
การศึกษาขั้นตอนนี้ได้ทำการออกแบบสอบถามกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้ทราบการตอบรับของผู้บริโภคกับผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจากสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพลำไย โดยมีกลุ่มตัวอย่าง (Sample) ผู้บริโภคในภาคเหนือตอนบน จำนวน 500 ราย คณะวิจัยได้นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ ไปให้ผู้ตอบแบบสอบถามได้ทดลองชิมผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ซึ่งมี 2 ชนิด ใกล้เคียง ชนิดที่ 1 คือ FOS และชนิดที่ 2 คือ น้ำเชื่อมลำไย จากนั้นคณะวิจัยจึงได้สำรวจความคิดเห็นโดยใช้แบบสอบถามแบบมีโครงสร้าง ซึ่งในการสำรวจความคิดเห็นในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้แบบสอบถามจำนวน 500 ชุด สำรวจความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามใน 5 จังหวัด คือ จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย จังหวัดลำปาง จังหวัดลำพูน และจังหวัดพะเยา ซึ่งแบบสอบถามแบบมีโครงสร้างแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับการบริโภคน้ำตาล ส่วนที่ 3 ความคิดเห็นเกี่ยวกับน้ำเชื่อมลำไย และส่วนที่ 4 ความคิดเห็นเกี่ยวกับน้ำเชื่อมลำไยตัวอย่าง ซึ่งผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

4.3.4.1 ข้อมูลทั่วไป

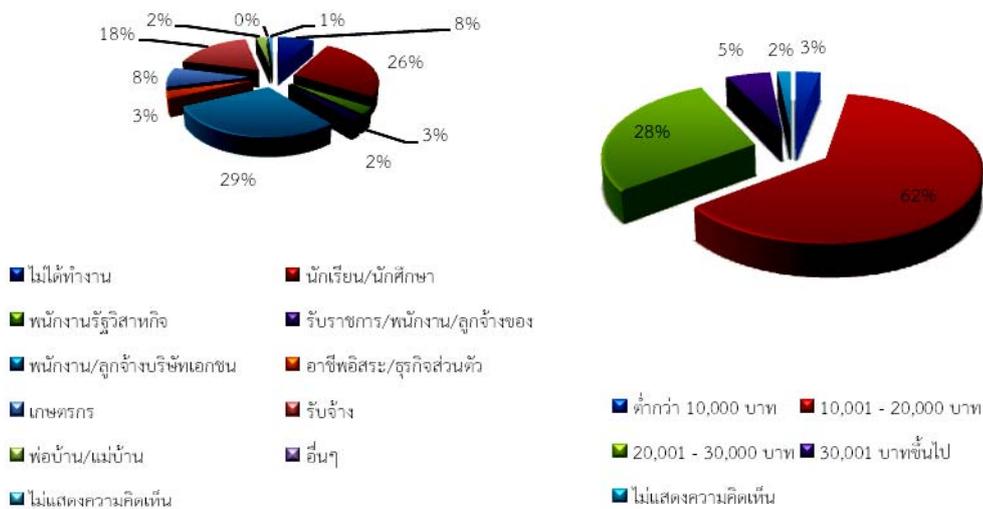
ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 54.8 รองลงมาเป็นเพศชาย ร้อยละ 44.2 มีอายุระหว่าง 21-30 ปี รองลงมาคืออายุต่ำกว่า 20 ปี ร้อยละ 23.0 ระดับการศึกษาสูงสุดคือระดับมัธยมศึกษา ร้อยละ 41.2 รองลงมาคือระดับปริญญาตรี ร้อยละ 34.8 โดยส่วนใหญ่เป็นโสด ร้อยละ 48.8 รองลงมา คือ สมรส ร้อยละ 42.6 อาชีพหลัก คือ พนักงาน/ลูกจ้างบริษัทเอกชน ร้อยละ 29.0 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน 10,001 -20,000 บาท และส่วนใหญ่ตนเองหรือคนในครอบครัวไม่มีโรคประจำตัวที่ต้องควบคุมอาหาร ร้อยละ 78.2 (รูปที่ 4.3.1-4.3.4)



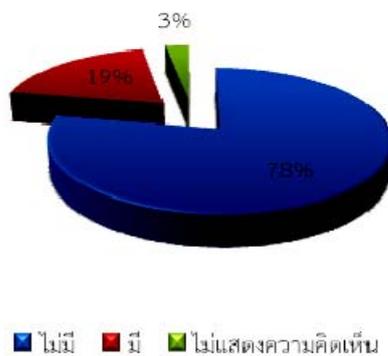
รูปที่ 4.3.1: ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามด้านเพศและอายุ



รูปที่ 4.3.2: ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามด้านการศึกษาและสถานภาพ



รูปที่ 4.3.3: ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามด้านอาชีพและรายได้



รูปที่ 4.3.4: ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามด้านโรคประจำตัวที่ต้องควบคุมอาหาร

4.3.4.2 ข้อมูลด้านพฤติกรรมผู้บริโภคน้ำตาล

1) ชนิดน้ำตาลที่บริโภคเป็นประจำ

น้ำตาลที่ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่บริโภคเป็นประจำ คือ น้ำตาลทรายขาว ร้อยละ 76.6 รองลงมา คือ น้ำตาลทรายแดง ร้อยละ 64.4 (รูปที่ 4.3.5)

2) ความถี่ในการซื้อน้ำตาล

ความถี่ในการซื้อน้ำตาลของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ คือ ซื้อน้ำตาล 1 เดือนต่อครั้ง ร้อยละ 28.8 รองลงมา คือ ซื้อมากกว่า 1 เดือนต่อครั้ง ร้อยละ 27.8 (รูปที่ 4.3.6)

3) แหล่งในการซื้อน้ำตาล

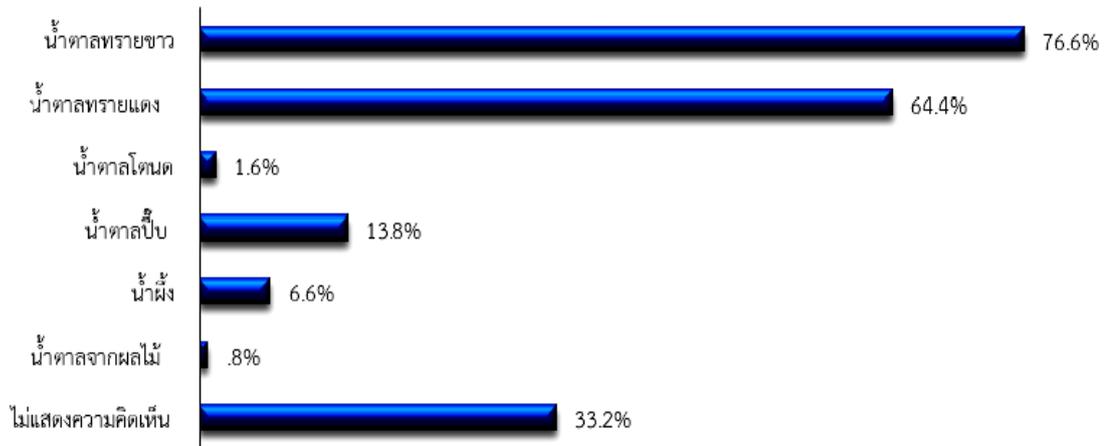
ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ซื้อน้ำตาลใหญ่ซื้อน้ำตาลจากตลาดสดทั่วไป ร้อยละ 49.0 รองลงมาซื้อจากร้านขายของชำ/ร้านค้าปลีกทั่วไป ร้อยละ 45.2 (รูปที่ 4.3.7)

4) วัตถุประสงค์การซื้อน้ำตาล

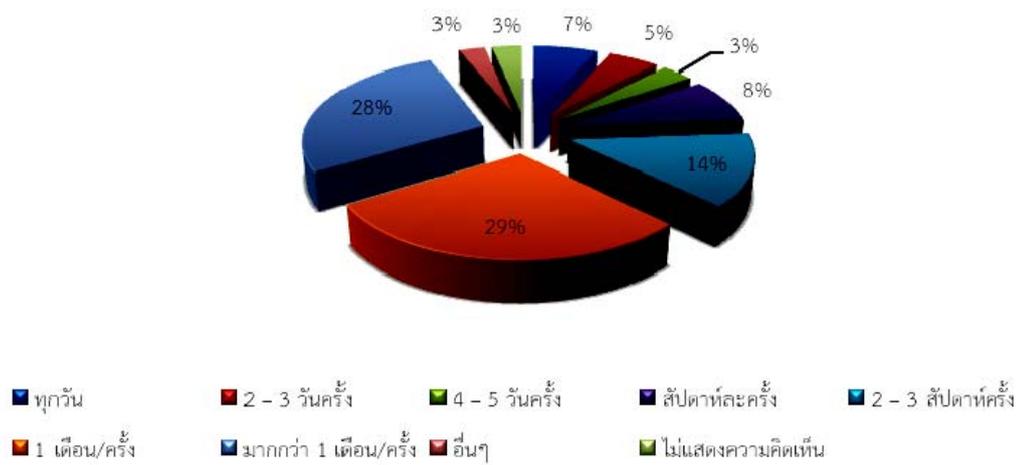
ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ซื้อน้ำตาลเพื่อปรุงอาหารในครัวเรือน ร้อยละ 85.6 รองลงมา คือ ทำเครื่องดื่มในครัวเรือน ร้อยละ 21.0 (รูปที่ 4.3.8)

5) สื่อที่มีอิทธิพลในการเลือกซื้อน้ำตาล

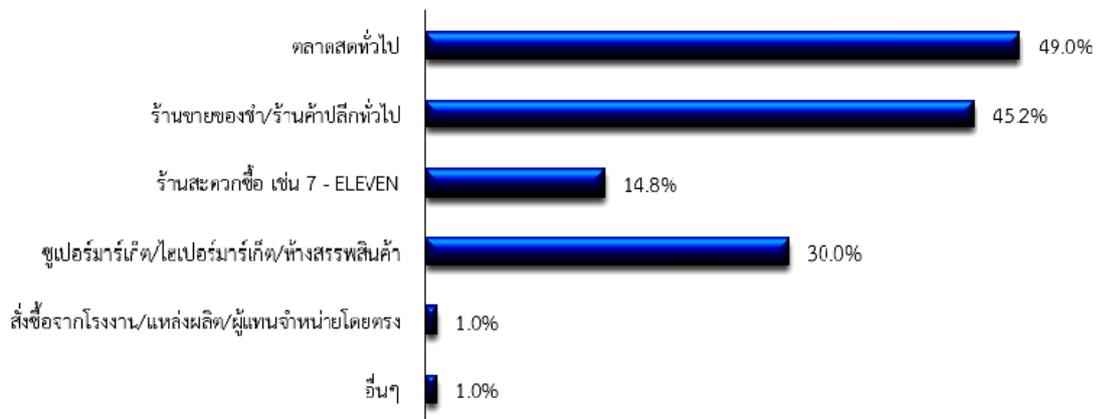
ส่วนใหญ่สื่อที่มีอิทธิพลต่อการซื้อน้ำตาล คือ โทรทัศน์ ร้อยละ 85.6 คนอื่นแนะนำ ร้อยละ 21.0 (รูปที่ 4.3.9)



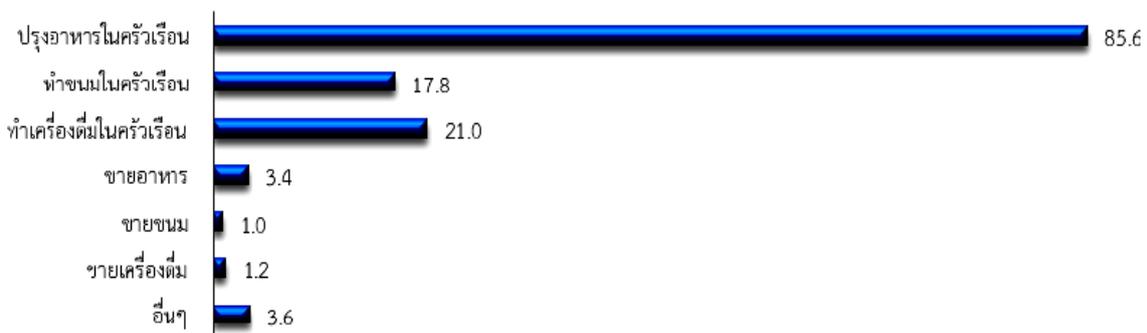
รูปที่ 4.3.5: ร้อยละของชนิดน้ำตาลที่บริโภคเป็นประจำ



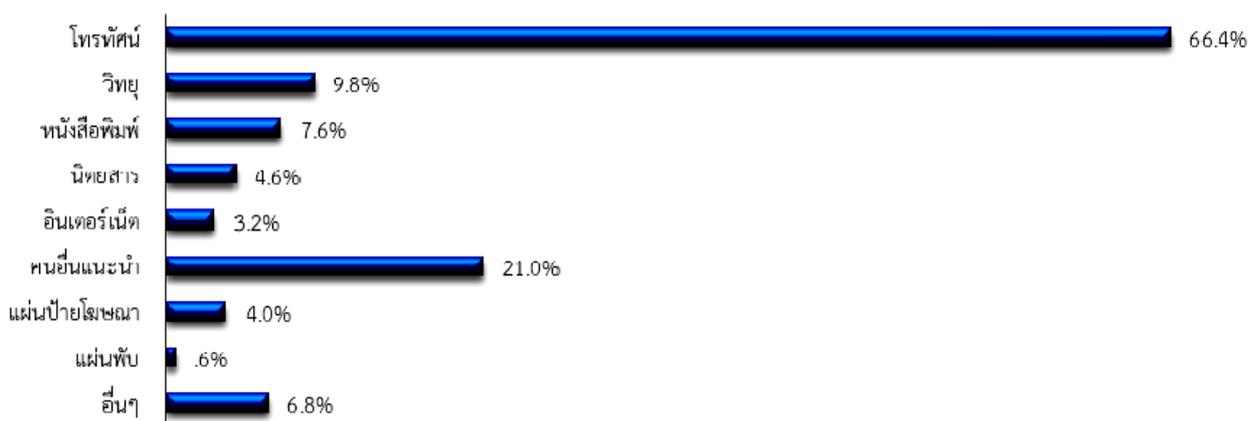
รูปที่ 4.3.6: ร้อยละของความถี่ในการดื่มน้ำตาล



รูปที่ 4.3.7: ร้อยละของแหล่งในการซื้อน้ำดื่ม



รูปที่ 4.3.8: ร้อยละของวัตถุประสงค์การซื้อน้ำดื่ม

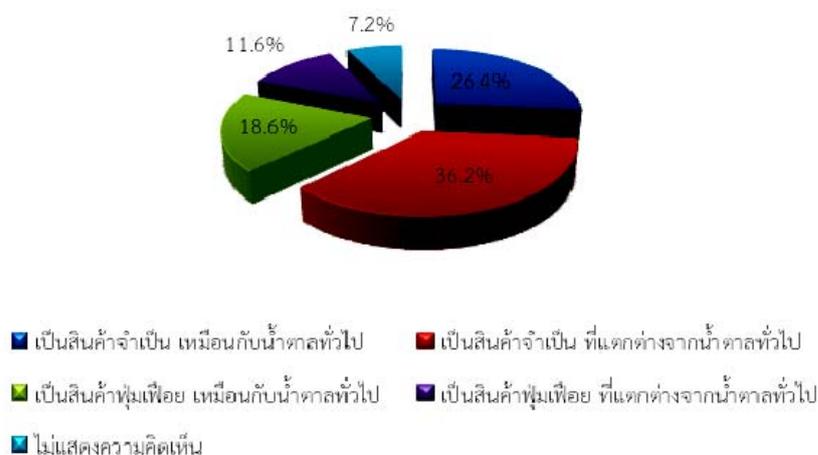


รูปที่ 4.3.9: ร้อยละของสื่อที่มีอิทธิพลในการเลือกซื้อน้ำดื่ม

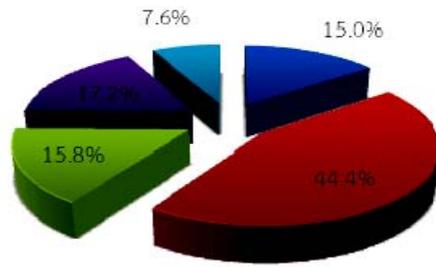
4.3.4.3 ข้อมูลด้านความคิดเห็นเกี่ยวกับน้ำเชื่อมลำไย

1) ความคิดเห็นด้านประเภทของน้ำเชื่อมลำไย หากมีคุณสมบัติโดยทั่วไปเหมือนน้ำตาลทรายทั่วไป และราคาใกล้เคียงกัน ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ คิดว่าน้ำเชื่อมลำไยเป็นสินค้าจำเป็นที่แตกต่างจากน้ำตาลทั่วไป ร้อยละ 36.2 รองลงมา คือ เป็นสินค้าจำเป็นเหมือนน้ำตาลทั่วไป ร้อยละ 26.4 (รูปที่ 4.3.10)

2) ความคิดเห็นด้านประเภทของน้ำเชื่อมลำไย หากมีคุณสมบัติโดยทั่วไปแตกต่างจากน้ำตาลทรายทั่วไป และราคาใกล้เคียงกัน ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ คิดว่าน้ำเชื่อมลำไยเป็นสินค้าจำเป็นที่แตกต่างจากน้ำตาลทั่วไป ร้อยละ 44.4 รองลงมา คือ เป็นสินค้าฟุ่มเฟือย ที่แตกต่างจากน้ำตาลทั่วไป ร้อยละ 17.4 (รูปที่ 4.3.11)



รูปที่ 4.3.10: ความคิดเห็นด้านประเภทของน้ำเชื่อมลำไย หากมีคุณสมบัติโดยทั่วไปเหมือนน้ำตาลทรายทั่วไป และราคาใกล้เคียงกัน



- เป็นสินค้าจำเป็น เหมือนกับน้ำตาลทั่วไป
- เป็นสินค้าจำเป็น ที่แตกต่างจากน้ำตาลทั่วไป
- เป็นสินค้าฟุ่มเฟือย เหมือนกับน้ำตาลทั่วไป
- เป็นสินค้าฟุ่มเฟือย ที่แตกต่างจากน้ำตาลทั่วไป
- ไม่แสดงความคิดเห็น

รูปที่ 4.3.11: ความคิดเห็นด้านประเภทของน้ำเชื่อมลำไย หากมีคุณสมบัติโดยทั่วไปแตกต่าง น้ำตาลทรายทั่วไป และราคาใกล้เคียงกัน

4.3.4.4 ความคิดเห็นด้านผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมลำไย

1) ความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ เกี่ยวกับ FOS ความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ ของผู้ตอบแบบสอบถามหลังได้ชิมผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง FOS (รูปที่ 4.3.12) สรุปได้ดังนี้

- ความพึงพอใจในด้านสี ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจปานกลาง ร้อยละ 46.2
- ความพึงพอใจในด้านกลิ่น ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจปานกลาง ร้อยละ 55
- ความพึงพอใจในด้านรสชาติ/ความหวาน ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจปานกลาง ร้อยละ 49.2
- ความพึงพอใจในด้านเนื้อสัมผัส ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจปานกลาง ร้อยละ 54.4
- ความพึงพอใจในด้านความสะอาด ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจปานกลาง ร้อยละ 45.2
- ความพึงพอใจในด้านความชอบโดยรวม ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจปานกลาง ร้อยละ 60.4

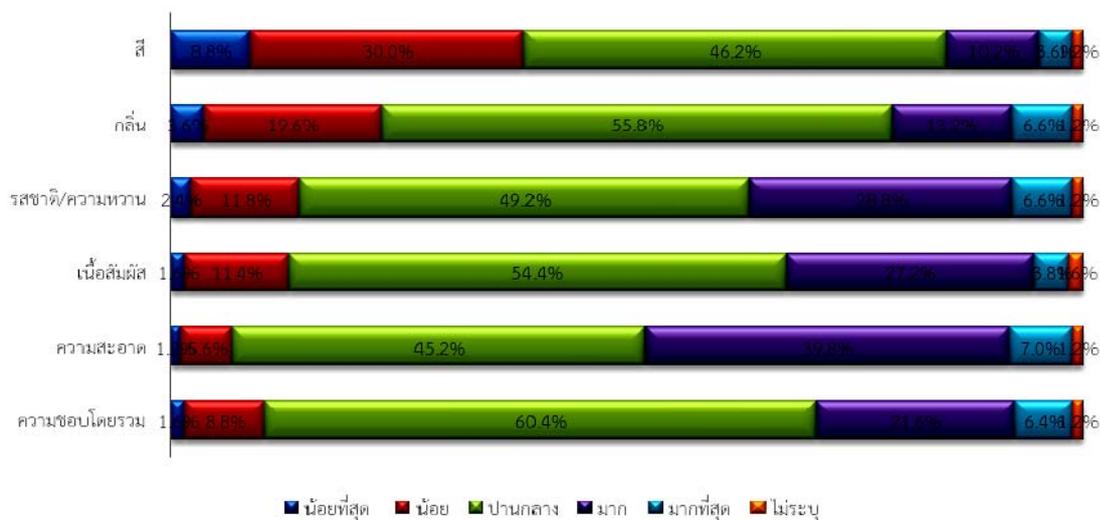
2) ความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ เกี่ยวกับน้ำเชื่อมลำไย ความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ ของผู้ตอบแบบสอบถามหลังได้ชิมผลิตภัณฑ์ตัวอย่างน้ำเชื่อมลำไย (รูปที่ 4.3.13) สรุปได้ดังนี้

- ความพึงพอใจในด้านสี ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจปานกลาง ร้อยละ 43.2
 - ความพึงพอใจในด้านกลิ่น ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจปานกลาง ร้อยละ 44.6
 - ความพึงพอใจในด้านรสชาติ/ความหวาน ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจมาก ร้อยละ 38.0
 - ความพึงพอใจในด้านเนื้อสัมผัส ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจปานกลาง ร้อยละ 49.0
 - ความพึงพอใจในด้านความสะอาด ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจปานกลาง ร้อยละ 43.4
 - ความพึงพอใจในด้านความชอบโดยรวม ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจปานกลาง ร้อยละ 43.2
- 3) ความคิดเห็นด้านการซื้อหาก FOS ออกวางจำหน่าย จากการเก็บข้อมูล หาก FOS ออกวางจำหน่าย พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ ไม่ซื้อ ร้อยละ 42.0 รองลงมา ซื้อ ร้อยละ 32.2 (รูปที่ 4.3.14)
- 4) ความคิดเห็นด้านการซื้อหากน้ำเชื่อมลำไยออกวางจำหน่าย จากการเก็บข้อมูลหากน้ำเชื่อมลำไยออกวางจำหน่าย พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ ซื้อ ร้อยละ 38.6 รองลงมา ไม่ซื้อ ร้อยละ 31.0 (รูปที่ 4.3.15)
- 5) ความคิดเห็นด้านการนำ FOS ไปใช้ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ คิดว่า FOS นำไปใช้ในการทำขนม ร้อยละ 42.2 รองลงมา คือ ทำเครื่องดื่ม ร้อยละ 28.4 (รูปที่ 4.3.16)
- 6) ความคิดเห็นด้านการนำน้ำเชื่อมลำไยไปใช้ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่คิดว่าน้ำเชื่อมลำไยใช้ในการทำเครื่องดื่ม ร้อยละ 40.6 รองลงมา คือ ทำขนม ร้อยละ 36.8 (รูปที่ 4.3.17)
- 7) จุดเด่นของ FOS ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ คิดว่า จุดเด่นของ FOS คือ มีกลิ่นหอมของลำไย ร้อยละ 37.8 รองลงมา คือ รสชาติเข้มข้น ร้อยละ 23.4 (รูปที่ 4.3.18)

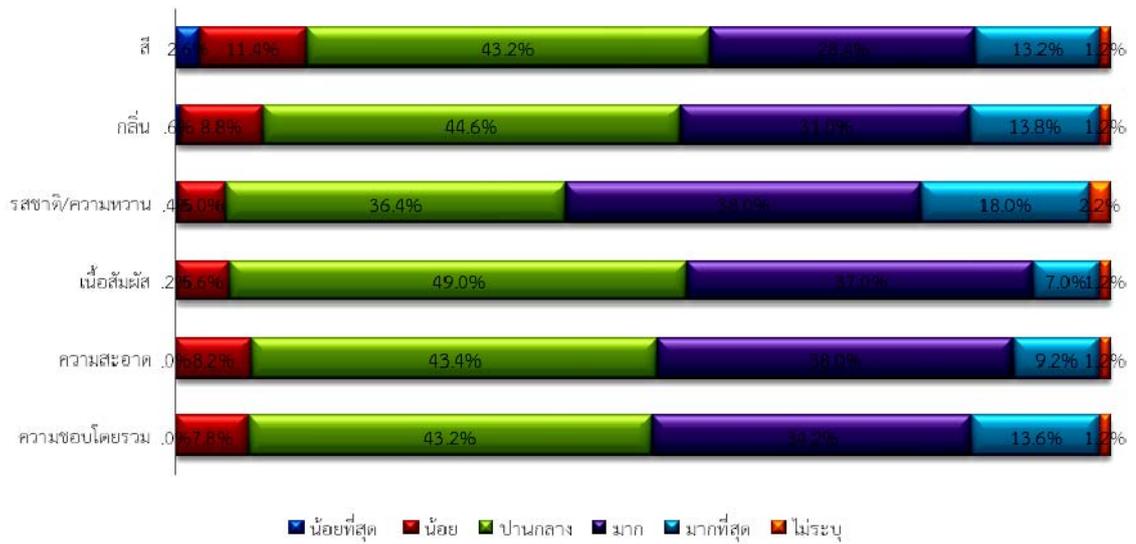
8) จุดเด่นของน้ำเชื่อมลำไย ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ คิดว่า จุดเด่นของน้ำเชื่อมลำไย คือ มีกลิ่นหอมของลำไย ร้อยละ 43.4 รองลงมา คือ สีสวยเป็นธรรมชาติ ร้อยละ 25.8 (รูปที่ 4.3.19)

9) จุดด้อยของ FOS ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ คิดว่า จุดด้อยของ FOS คือ สีไม่สวย ร้อยละ 49.4 รองลงมา คือ กลิ่นไม่หอม ร้อยละ 23.4 (รูปที่ 4.3.20)

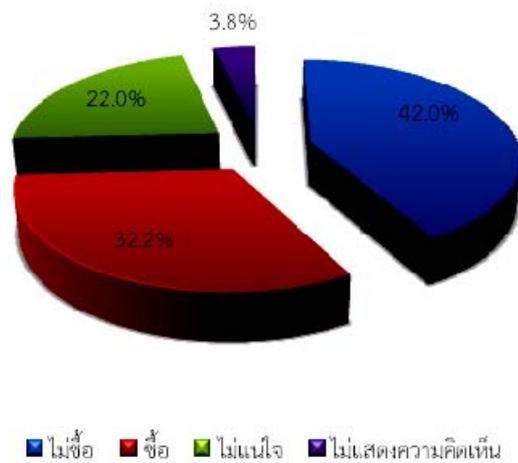
10) จุดด้อยของน้ำเชื่อมลำไย ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ คิดว่า จุดด้อยของน้ำเชื่อม คือ รสชาติหวานเกินไป ร้อยละ 30.4 รองลงมา คือ นำไปประยุกต์ใช้ยาก ร้อยละ 21.4 (รูปที่ 4.3.21)



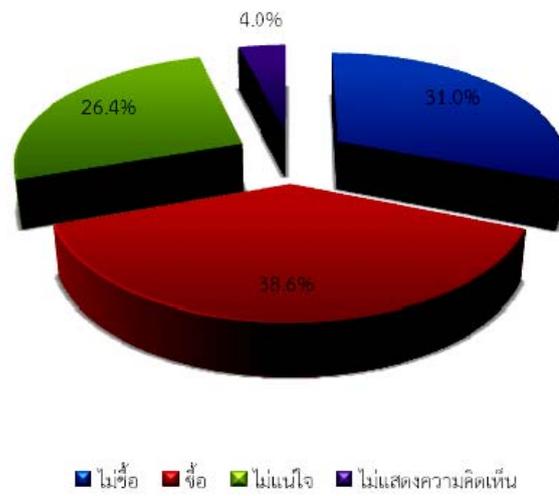
รูปที่ 4.3.12: ความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ เกี่ยวกับ FOS



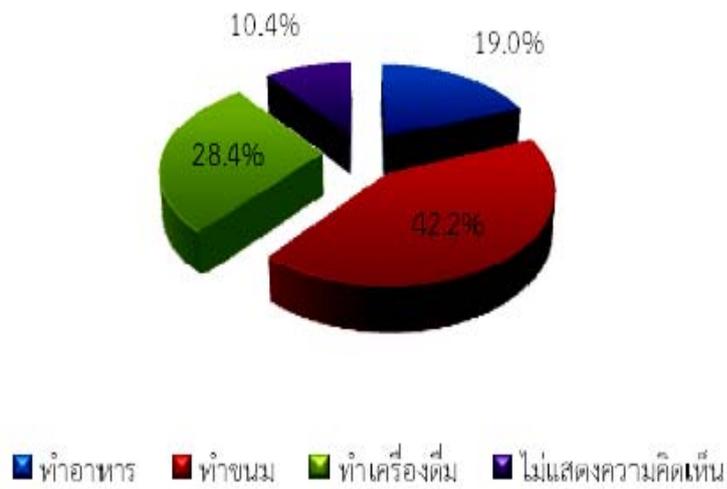
รูปที่ 4.3.13: ความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ เกี่ยวกับน้ำเชื่อมลำไย



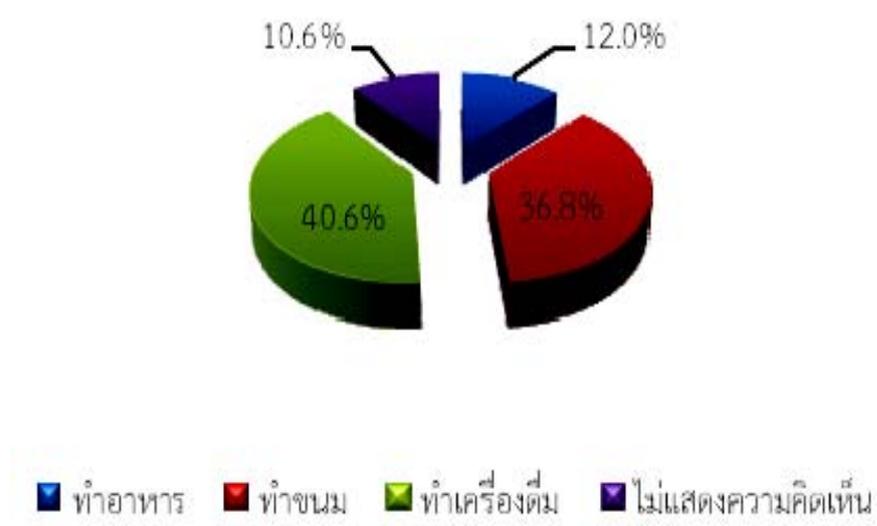
รูปที่ 4.3.14: ความคิดเห็นด้านการซื้อหาก FOS ออกวางจำหน่าย



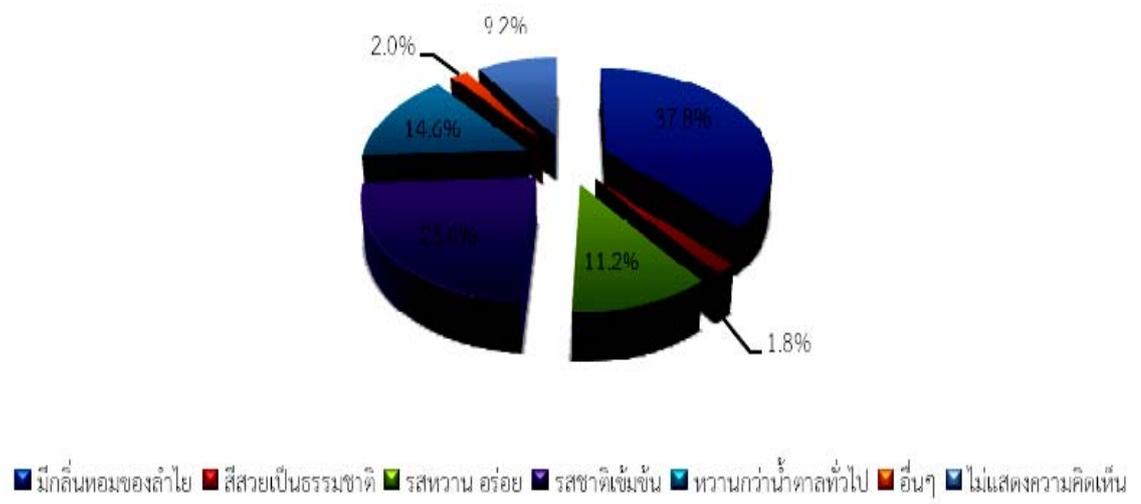
รูปที่ 4.3.15: ความคิดเห็นด้านการซื้อหากน้ำเชื่อมลำไย



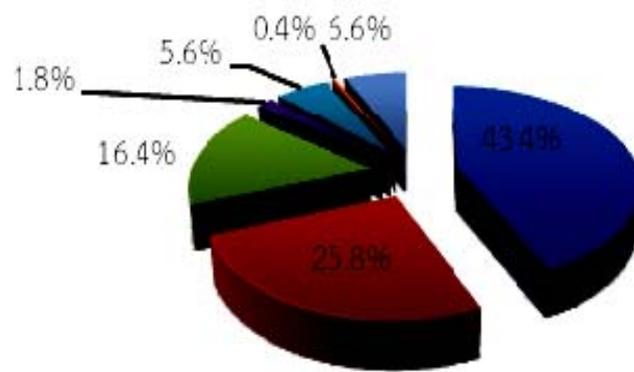
รูปที่ 4.3.16: ความคิดเห็นด้านการนำ FOS ไปใช้



รูปที่ 4.3.17: ความคิดเห็นด้านการนำน้ำเชื่อมลำไยไปใช้

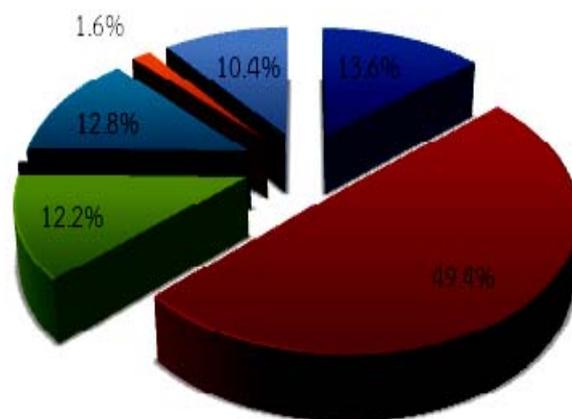


รูปที่ 4.3.18: ความคิดเห็นด้านจุดเด่นของ FOS



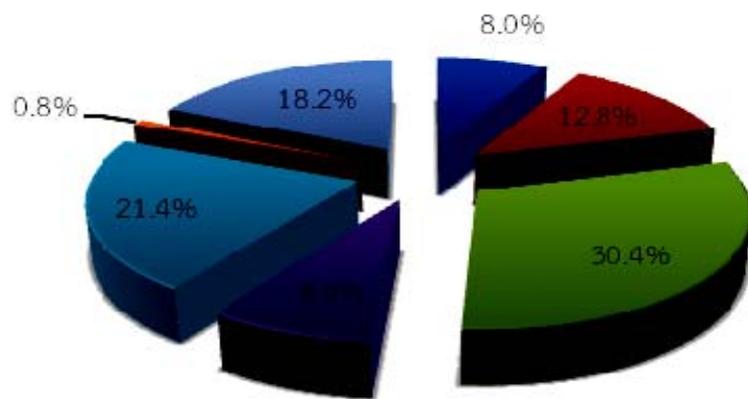
- มีกลิ่นหอมของลำไย ■ สีสวยเป็นธรรมชาติ ■ รสหวาน อร่อย ■ รสชาติเข้มข้น
- หวานกว่าน้ำตาลทั่วไป ■ อื่นๆ ■ ไม่แสดงความคิดเห็น

รูปที่ 4.3.19: ความคิดเห็นด้านจุดเด่นของน้ำเชื่อมลำไย



- กลิ่นไม่หอม ■ สีไม่สวย ■ หวานเกินไป ■ เหนียวเกินไป ■ ประยุกตใ้ช้ยาก ■ อื่นๆ เช่น ขมเกินไป ■ ไม่แสดงความคิดเห็น

รูปที่ 4.3.20: ความคิดเห็นด้านจุดด้อยของ FOS



- กลิ่นไม่หอม
- สีไม่สวย
- หวานเกินไป
- เหนียวเกินไป
- ประยุกต์ใช้ยาก
- อื่นๆ เช่น ขมเกินไป
- ไม่แสดงความคิดเห็น

รูปที่ 4.3.21: ความคิดเห็นด้านจุดด้อยของน้ำเชื่อมลำไย