**รายงานการวิจัย เรื่อง**

# ผลของเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์จากเศษเหลือทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์

# Effect of pectic oligosaccharides from agro-waste as prebiotic in animal feed

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรพรรณ แสนภูมิ**
**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทราพร ภุมรินทร์**
**ดร. สุภาวดี ฉิมทอง**
**คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร**

Assist Prof. Dr. Pornpan Saenphoom
Assist. Prof. Dr. Pattaraporn Poommarin
Dr. Suphavadee Chimtong
Faculty of Animal Sciences and Agricultural Technology

**ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน**
**มหาวิทยาลัยศิลปากร ประจำปี พ.ศ. 2559**
**ภายใต้การกำกับและดูแลของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร**

**ปีที่เสร็จ พ.ศ. 2561**

**รายงานการวิจัย เรื่อง**

# ผลของเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์จากเศษเหลือทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์

# Effect of pectic oligosaccharides from agro-waste as prebiotic in animal feed


**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรพรรณ แสนภูมิ**
**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทราพร ภุมรินทร์**
**ดร. สุภาวดี ฉิมทอง**
**คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร**

Assist Prof. Dr. Pornpan Saenphoom
Assist. Prof. Dr. Pattaraporn Poommarin
Dr. Suphavadee Chimtong
Faculty of Animal Sciences and Agricultural Technology



**ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน**
**มหาวิทยาลัยศิลปากร ประจำปี พ.ศ. 2559**
**ภายใต้การกำกับและดูแลของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร**

**ปีที่เสร็จ พ.ศ. 2561**

# กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนอุดหนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน (วช) ประจำปี 2559 ในครั้งนี้ และขอขอบคุณคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการรวมทั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร ที่ช่วยให้คำแนะนำช่วยเหลือในการทำปฏิบัติการอาหารสัตว์ และช่วยอำนวยความสะดวกในการเบิกอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ขอบขอบคุณนางสาวสุดารัตน์ อาจคิดการ ที่ให้การช่วยเหลือในช่วงดำเนินการทดลอง

ผศ. ดร. พรพรรณ แสนภูมิ
ผศ. ดร. ภัทราพร ภุมรินทร์
ดร. สุภาวดี ฉิมทอง

**ชื่อโครงการวิจัย** ผลของเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์จากเศษเหลือทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์

**ชื่อผู้วิจัย** ผศ. ดร. พรพรรณ แสนภูมิ
ผศ. ดร. ภัทราพร ภุมรินทร์
ดร. สุภาวดี ฉิมทอง
คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร

**แหล่งทุนอุดหนุนการวิจัย** เงินงบประมาณแผ่นดิน พ.ศ. 2559 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร
**ปีที่ดำเนินการเสร็จ** พ.ศ. 2561

## บทคัดย่อ

จากการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับปรุงเปลือกผลไม้ ได้แก่ เปลือกส้มโอ, เปลือกมะนาว และเปลือกมะม่วงโดยใช้เอนไซม์ Hemicell® เพื่อให้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้ การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการปรับปรุงเปลือกผลไม้ด้วยเอนไซม์ แบ่งออกเป็น 6 กลุ่มการทดลองละ 3 ซ้ำ (เปลือกส้มโอ, เปลือกมะนาว และเปลือกมะม่วง ที่ระดับเอนไซม์ 0 และ 1% (w/w)) โดยศึกษาองค์ประกอบทางเคมี, วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และโอลิโกแซคคาไรด์ พบว่า เปลือกมะนาวที่ทำการย่อยด้วยเอนไซม์จะมีปริมาณเถ้า, โปรตีนหยาบ และไขมันรวมสูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ ($P<0.01$) โดยมีค่า 4.98, 6.40 และ 8.87% ตามลำดับ แต่มีปริมาณเซลลูโลสต่ำกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ ($P<0.01$) โดยมีค่า 9.92% เปลือกมะม่วงทั้งย่อยและไม่ได้ย่อยด้วยเอนไซม์มีค่าพลังงานรวมสูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่น ($P<0.01$) โดยมีค่า 4,100.54 และ 4,069.14 kcal/kg ตามลำดับ นอกจากนี้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของแต่ละกลุ่มการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) พบว่า เปลือกมะม่วงที่ทำการย่อยด้วยเอนไซม์มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ ($P<0.05$) โดยมีค่า 42.04, 28.86, 177.06, 77.28, 37.09 และ 265.91 mg/g ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์โอลิโกแซคคาไรด์ด้วยเทคนิค Thin layer chromatography พบว่ามีโอลิโกแซคคาไรด์เกิดขึ้นในทุกกลุ่มการทดลอง

การทดลองที่ 2 ศึกษาคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกส์ (ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 mg/ml) พบว่า ผลผลิตน้ำตาลจากการย่อยเปลือกผลไม้แต่ละกลุ่มการทดลอง สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของโปรไบโอติกส์ (*Lactobacillus plantarum*) แต่ผลผลิตจากเปลือกมะนาวสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อที่ก่อโรค (*Escherichai coli*) ได้ทุกระดับความเข้มข้น ดังนั้นจากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าผลผลิตน้ำตาลของเปลือกมะนาวที่ย่อยด้วยเอนไซม์มีความสามารถในการเป็นพรีไบโอติกส์เนื่องจากส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ก่อโรคได้

**คำสำคัญ :** เปลือกส้มโอ เปลือกมะนาว เปลิอกมะม่วง เอนไซม์ พรีไบโอติกส์

**Research Title** Effect of pectic oligosaccharides from agro-waste as prebiotic in animal feed
**Researches** Assist. Prof. Dr. Pornpan Saenphoom
Assist. Prof. Dr. Pattaraporn Poommarin
Dr. Suphavadee Chimtong
Faculty of Animal Sciences and Agricultural Technology
**Research Grants** Silpakorn university research fund (2016)
**Research Year** 2018

## Abstract

The objective of this study was to improve fruit peels (pomelo peel, lime peel and mango peel) with enzyme (Hemicell®) as prebiotics in animal feed. The treatment was designed in CRD and consisted of two experiments. First experiment consisted of 6 treatments following 3 types of fruit peels (pomelo peel, lime peel and mango peel) and 2 levels of enzyme (0 and 1% (w/w)). Each treatment consisted of 3 replications. All treatment samples were measured chemical compositions, reducing sugar content and oligosaccharides analysis. The results were shown that chemical compositions were significantly different among treatments ($P<0.01$). Enzyme treated lime peel had higher ash, crude protein and ether extract content but lower cellulose than other treatments ($P<0.01$). There were 4.98, 6.40, 8.87% and 9.92%, respectively. Enzyme treated and untreated mango peel were higher gross energy than other treatments ($P<0.01$). There were 4,100.54 and 4,069.14 kcal/kg, respectively. In addition, reducing sugar content were significantly different among treatments ($P<0.05$). Enzyme treated mango peel was higher reducing sugar content than other treatments ($P<0.05$). There were 42.04, 28.86, 177.06, 77.28, 37.09 and 265.91 mg/g, respectively. Oligosaccharides analysis by Thin layer chromatography method found that all treatments releasing oligosaccharides.

Second experiment was to examine prebiotic properties (concentration of sugar 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 mg/ml), the results were found that sugar product from all treatments could increase growth of *Lactobacillus plantarum* but enzyme treated lime peel could decrease growth of *Escherichai coli* (at all concentrations). In conclusion, it was suggested that lime peel treated enzyme can be used as prebiotics due to it can increase probiotics and decrease growth of pathogenic bacteria.

**Keywords :** Pomelo peel, Lime peel, Mango peel, Enzyme, Prebiotics

# สารบัญเรื่อง


| | หน้า |
|---|---|
| กิตติกรรมประกาศ | ก |
| บทคัดย่อไทย | ข |
| บทคัดย่ออังกฤษ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | จ |
| สารบัญภาพ | ฉ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| บทที่ 2 ตรวจเอกสาร | 3 |
| อุตสาหกรรมผลไม้ในประเทศไทย | 2 |
| ส้มโอ (Pomelo) | 4 |
| มะนาว (Lime) | 7 |
| มะม่วง (Mango) | 11 |
| พอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (Non-starch polysaccharides, NSPs) | 13 |
| พรีไบโอติกส์ (Prebiotics) | 14 |
| เอนไซม์ (Enzymes) | 16 |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 18 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง | 23 |
| วิธีการทดลอง | 23 |
| การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ | 25 |
| ขอบเขตการวิจัย | 25 |
| ระยะเวลาทำการทดลอง | 25 |
| สถานที่ดำเนินการวิจัย ทดลอง และเก็บข้อมูล | 25 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ | 26 |
| องค์ประกอบทางเคมี | 26 |
| ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ | 27 |
| การวิเคราะห์โอลิโกแซคคาไรด์ | 29 |
| คุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกส์ | 30 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | 35 |
| เอกสารอ้างอิง | 36 |
| ภาคผนวก | 41 |
| ประวัติผู้วิจัย | 48 |

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | พื้นที่เพาะปลูกและปริมาณการผลิตผลไม้ของประเทศไทย โดยรายชนิดของผลไม้ ระหว่าง พ.ศ. 2556 ถึง 2558 | 3 |
| 2 | องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกส้มโอ | 7 |
| 3 | องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกมะนาว | 11 |
| 4 | องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกมะม่วง | 13 |
| 5 | ค่าเฉลี่ยของปริมาณแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในช่วงระยะเวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงด้วยผลิตภัณฑ์เพคตินและเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์จากเปลือกมะนาวและหัวชูการ์บีทเทียบกับกลุ่มควบคุม | 22 |
| 6 | องค์ประกอบทางเคมีของแต่ละกลุ่มการทดลอง | 26 |
| 7 | ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (mg/g) ของแต่ละกลุ่มการทดลอง | 27 |

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลไม้วงศ์ส้ม (Rutaceae)..... | 4 |
| 2 | ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของส้มโอ..... | 5 |
| 3 | โครงสร้างของผลเกรปฟรุต..... | 5 |
| 4 | ส้มโอพันธุ์ต่างๆ..... | 6 |
| 5 | กระบวนการสกัดน้ำมันหอมระเหยและการแปรรูปเปลือกมะนาว..... | 8 |
| 6 | ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะนาว..... | 9 |
| 7 | โครงสร้างผลมะนาว..... | 9 |
| 8 | มะนาวพันธุ์ต่างๆ..... | 10 |
| 9 | ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะม่วง..... | 12 |
| 10 | โครงสร้างผลมะม่วง..... | 12 |
| 11 | กลไกการทำงานของพรีไบโอติกส์ ..... | 16 |
| 12 | รูปแบบการย่อย Galactoglucomannan โดยเอนไซม์ β -Mannanase และ α – Galactosidase ..... | 18 |
| 13 | กราฟการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเสริมด้วยกลูโคสเทียบกับน้ำกากกาแฟ..... | 18 |
| 14 | ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยสารละลายเอนไซม์สกัดหยาบจาก *P. oxalicum* KUB-SN2-1..... | 20 |
| 15 | กราฟแสดงปริมาณเพคติน (%) ของเปลือกผลไม้ชนิดต่างๆ ที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกและน้ำกลั่น..... | 21 |
| 16 | ขั้นตอนวิธีดำเนินการทดลอง..... | 24 |
| 17 | กราฟปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยเปลือกผลไม้ชนิดต่างๆ ด้วยเอนไซม์..... | 28 |
| 18 | ผลการวิเคราะห์โอลิโกแซคคาไรด์ที่เกิดขึ้นโดยวิธี Thin layer chromatography ..... | 29 |
| 19 | กราฟแสดงการเจริญเติบโตของเชื้อ *L. plantarum* เปรียบเทียบระหว่างการเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่เติมและเติมผลผลิตน้ำตาลจากการย่อยเปลือกผลไม้ที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ.. | 31 |
| 20 | กราฟแสดงความแตกต่างของการเจริญเติบโตของเชื้อ *L. plantarum* ที่ stationary phase ณ เวลาที่เลี้ยง 18 ชั่วโมง..... | 32 |
| 21 | กราฟแสดงการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* เปรียบเทียบระหว่างการเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่เติมและเติมผลผลิตน้ำตาลจากการย่อยเปลือกผลไม้ที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ..... | 33 |
| 22 | กราฟความแตกต่างของการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* ที่ stationary phase ณ เวลาที่เลี้ยง 15 ชั่วโมง..... | 34 |

# บทที่ 1
# บทนำ

ปัจจุบันมีเศษเหลือทิ้งจากแหล่งต่างๆ อาทิเช่น เศษเหลือทิ้งจากครัวเรือน แหล่งค้าขาย หรืออุตสาหกรรมต่างๆ จะถูกทิ้งโดยไม่คำนึงถึงประโยชน์ที่จะสามารถนำไปใช้ต่อได้ โดยเฉพาะเศษเหลือทิ้งตามธรรมชาติที่ไม่ได้ถูกนำมาใช้ทำประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น เปลือกของผัก และผลไม้หลากหลายชนิด (ธานุวัฒน์ และคณะ, 2556) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าในเปลือกผลไม้เป็นแหล่งอาหารที่ดีในการรักษาสมดุลของจุลชีพที่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่ 2 ชนิด ได้แก่ จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์หรือโปรไบโอติกส์ (Probiotics) และจุลินทรีย์ที่ก่อโรค (Pathogen microorganism) โดยอาหารที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โปรไบติกส์เรียกว่า พรีไบโอติกส์ (Prebiotics) เป็นสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ไม่สามารถถูกย่อยและดูดซึมในทางเดินอาหาร แต่จะมีผลในการส่งเสริมสุขภาพของสัตว์ที่กินเข้าไป โดยเลือกที่จะกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ กลุ่ม *Bifidobacterium* และ *Lactobacillus* และยับยั้งแบคทีเรียที่ก่อโรคพวก *Escherichia coli* เป็นต้น (รุสมัน, 2557)

เพคติกโอลิโกแซคคาไรด์ (Pectic oligosaccharides, POS) จัดเป็นหนึ่งในกลุ่มของพรีไบโอติกส์ที่สำคัญที่ได้จากผนังเซลล์พืช หรือมาจากกลุ่มสารเพคติน (Pectin) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์เชิงซ้อนในพืช สารกลุ่มเพคตินเป็นสารเคลือบเส้นใยเซลลูโลสที่สำคัญ อาจจะเชื่อมต่อกับพันธะโคเวเลนต์กับพอลิเมอร์อื่น ๆ สารกลุ่มเพคตินจัดจำแนกได้เป็นสารโปรโตเพคตินและกรดเพคติก (รุสมัน, 2557)

เพคตินประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) (ประมาณ 65% โดยน้ำหนัก) เป็นสายหลัก และมีสายแขนงอาจเป็นองค์ประกอบน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์ ใน POS จะพบ กลูโคส (Glucose), อะราบิโนส (Arabinose) และ กาแล็กโทส (Galactose) เป็นส่วนใหญ่ เพคติกโอลิโกแซคคาไรด์จัดเป็นพรีไบโอติกส์ที่มีความสามารถในการส่งเสริมสุขภาพของมนุษย์ (Manderson *et al*., 2005) แหล่งที่พบเพคตินที่ดี คือ ผิวของพืชตระกูลส้ม, กากมะนาว, กากแอปเปิล และหัวของซูการ์บีท (Gullon *et al.,* 2013) สำหรับในประเทศไทยนั้นแหล่งของเพคตินพวกนี้อาจได้มาจากเศษเหลือทางการเกษตร จำพวกเปลือกของผักและผลไม้ชนิดต่าง ๆ เปลือกของผักและผลไม้เหล่านี้จะมีเพคตินสะสมอยู่ในปริมาณมาก เช่น เปลือกส้มโอ, เปลือกมะนาว และเปลือกมะม่วง เป็นต้น สำหรับผลไม้ที่ปลูกในประเทศไทยเกือบทั้งหมดเป็นผลไม้เขตร้อน โดยชนิดของผลไม้ที่มีการเพาะปลูกมาก ได้แก่ มะม่วง จากข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ระหว่างเดือน มกราคม ถึง ธันวาคม 2558 ประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตมะม่วงประมาณ 3.1 ล้านตัน นอกจากนั้นมีปริมาณผลผลิตส้มโอประมาณ 232,965 ตัน และปริมาณผลผลิตมะนาวประมาณ 144,000 ตัน (ธานุวัฒน์ และคณะ, 2556) สำหรับเปลือกส้มโอ (Pomelo peel) เป็นเศษเหลือทางการเกษตรชนิดหนึ่งจากส้มโอ ส้มโอเป็นไม้เศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีรสชาติดีและเป็นที่นิยมบริโภคของคนทั่วไป เปลือกผลสีขาวประกอบด้วยเซลลูโลสประมาณ 16.51%, เฮมิเซลลูโลสประมาณ 6.86%, ลิกนินประมาณ 3.16%, น้ำตาลที่ละลายได้ประมาณ 12.62% และเพคตินประมาณ 35.42-50.02% (Huang *et al.,* 2014; สัมพันธ์, 2556) ส่วนเปลือกมะนาว (Lime peel) ซึ่งเป็นเศษเหลือในกระบวนการผลิตน้ำมะนาวในเชิงพาณิชย์ มะนาวเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศไทยที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเพคติน เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีปริมาณเพคตินประมาณ 32% นอกจากนี้พบน้ำตาลทั้งหมดประมาณ 37.59%,เซลลูโลสประมาณ 12.72%, เฮมิเซลลูโลสประมาณ 5.30% และลิกนินประมาณ 1.73% (Gullon *et al.,* 2013; Ververis *et al*., 2007) สำหรับเปลือกมะม่วง (Mango peel) ถือเป็นผลพลอยได้

จากอุตสาหกรรมการแปรรูปหรือบริโภคผลไม้ เปลือกมีสัดส่วน 7-24% ของน้ำหนักผลทั้งหมด มีส่วนของแหล่งอาหารที่อุดมไปด้วยเยื่อใยทั้งหมด (Total dietary fiber, TDF) มีค่าอยู่ระหว่าง 40.6-72.5 %, เซลลูโลสประมาณ 38.35%, เฮมิเซลลูโลสประมาณ 13.90% และลิกนินประมาณ 27.90% และเพคตินประมาณ 9-13% (Yingkamhaeng *et al*., 2014; Jahurul *et al*., 2015; ธานุวัฒน์ และคณะ, 2556)

ดังนั้นจุดประสงค์ในการทำวิจัยในครั้งนี้เพื่อที่จะศึกษาการวิธีการสกัดเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์จากเปลือกผลไม้ที่เป็นเศษเหลือทางการเกษตร ได้แก่ เปลือกส้มโอ, เปลือกมะนาว และเปลือกมะม่วงด้วยเอนไซม์เพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์ เนื่องจากเป็นการนำเศษเหลือทางการเกษตรนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และช่วยลดต้นทุนในการผลิตสัตว์ ซึ่งเปลือกผลไม้เหล่านี้สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น นอกจากนี้ยังสามารถเป็นอาหารเสริมชีวภาพ และช่วยรักษาสมดุลของจุลชีพที่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่ของตัวสัตว์

# บทที่ 2
# ตรวจเอกสาร

## 1. อุตสาหกรรมผลไม้ในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตผลไม้เขตร้อน (Tropical fruits) และกึ่งเขตร้อนมากกว่า 70 ชนิด มีจำนวน 30 ชนิดที่ผลิตเพื่อการค้า อาทิเช่น มะม่วง, ทุเรียน, กล้วยหอม, และพืชตระกูลส้ม เป็นต้น ประเทศไทยมีความได้เปรียบทั้งพื้นที่ตั้งและสภาพภูมิอากาศที่มีความเหมาะสมในการผลิตผลไม้ ส่วนฤดูกาลให้ผลผลิตผลไม้แต่ละชนิดยังแตกต่างกันไปในแต่ละสภาพพื้นที่ของแต่ละภาค เป็นข้อดีประการหนึ่งส่งผลให้ไทยมีผลไม้หลากหลายชนิดหมุนเวียนออกสู่ตลาดตลอดทั้งปี เป็นที่ยอมรับในหมู่ผู้บริโภคทั้งในและนอกอาเซียน ในปี พ.ศ. 2558 สามารถส่งออกผลไม้และผลิตภัณฑ์จากผลไม้ (Fruits and fruit products) จำหน่ายในตลาดต่างประเทศเป็นมูลค่า 106,184 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) ดังแสดงในตารางที่ 1

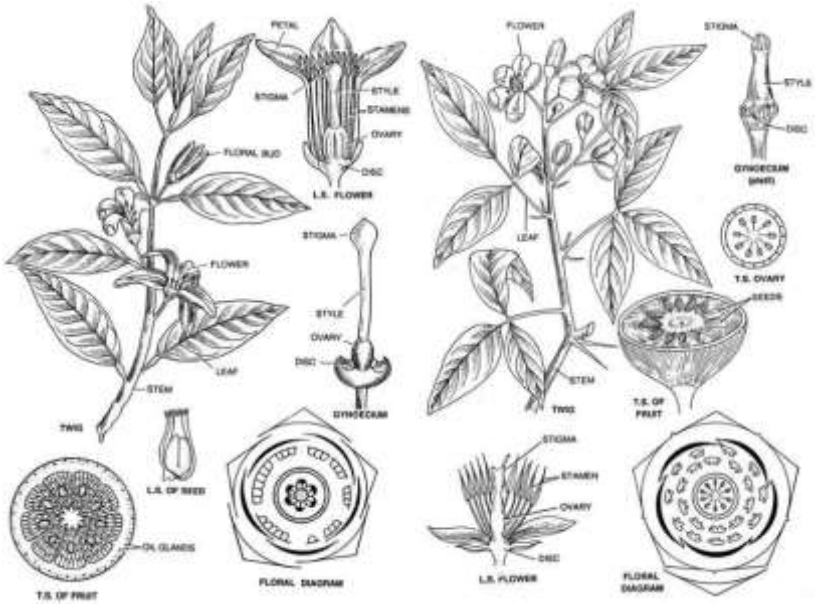
**ตารางที่ 1** พื้นที่เพาะปลูกและปริมาณการผลิตผลไม้ของประเทศไทย โดยรายชนิดของผลไม้ ระหว่าง พ.ศ.2556 ถึง 2558

| รายการ | ปีเพาะปลูก (พ.ศ.) | | |
|---|---|---|---|
| | 2556 | 2557 | 2558 |
| <u>มะม่วง</u> | | | |
| พื้นที่เพาะปลูก (ไร่) | 2,087,680 | 2,131,590 | 2,132,995 |
| ปริมาณการผลิต (ตัน) | 3,141,950 | 3,308,230 | 3,131,237 |
| <u>ส้มโอ</u> | | | |
| พื้นที่เพาะปลูก (ไร่) | 170,400 | 167,000 | 167,000 |
| ปริมาณการผลิต (ตัน) | 247,080 | 242,150 | 232,965 |
| <u>ส้มเขียวหวาน</u> | | | |
| พื้นที่เพาะปลูก (ไร่) | 86,258 | 81,709 | 80,244 |
| ปริมาณการผลิต (ตัน) | 155,772 | 137,726 | 100,145 |
| <u>มะนาว</u> | | | |
| พื้นที่เพาะปลูก (ไร่) | 94,000 | 100,000 | 102,000 |
| ปริมาณการผลิต (ตัน) | 129,000 | 141,000 | 144,000 |
| <u>กล้วยหอม</u> | | | |
| พื้นที่เพาะปลูก (ไร่) | 32,796 | 33,040 | 34,018 |
| ปริมาณการผลิต (ตัน) | 132,266 | 116,499 | 113,926 |
| <u>ทุเรียน</u> | | | |
| พื้นที่เพาะปลูก (ไร่) | 577,000 | 571,000 | 573,000 |
| ปริมาณการผลิต (ตัน) | 569,000 | 632,000 | 602,000 |

**ที่มา :** สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2558)

ผลไม้ในวงศ์ส้ม (Rutaceae) ส่วนใหญ่อยู่ในสกุล Citrus เรียกว่า พืชตระกูลส้ม (Citrus fruits) ถิ่นกำเนิดของพืชตระกูลส้ม อยู่ในเขตเอเชียตะวันออกและเอเชียใต้ บางชนิด ปลูกมามากกว่า 3,000 ปี ส่วนใหญ่แล้วปลูกเพื่อจุดประสงค์อื่นมากกว่านำมารับประทาน พืชในวงศ์นี้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของภูมิภาคเขตร้อนซึ่งเป็นแหล่งของพืชผลในสกุล Citrus เช่น ส้ม (*C. sinensis*), มะนาว *(C. aurantifolia)*, ส้มโอ *(C. maxima*) และเกรปฟรุต (*C. x paradisi*) รวมทั้งพืชผลในสกุลอื่นๆ เช่น ละมุดขาว (*Casimiroa edulis*) และหลายชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำหอม เช่น *Boronia megastigma* จากออสเตรเลียตะวันตก ลักษณะของพืช ไม้ต้นขนาดเล็ก หรือไม้พุ่ม มีหนามในเหนียวสีเขียวเข้มมีน้ำมันมาก (Pellucid dots) ใบ Unifoliate compound leaves คล้ายในเดี่ยวเพราะมีรอยต่อตรงก้านใบ ดอกสีขาวหรือสีม่วงอ่อนมีกลิ่นหอม ผล เรียกว่า Hesperidium เปลือกหนามีต่อมน้ำมันมาก เนื้อมีน้ำมากเพราะมีถุงเก็บกักของเหลว (Juice sacs) (ภาพที่ 1)

การเพาะปลูกพืชตระกูลส้มเป็นพืชในเขตร้อนแต่ปลูกได้ทั่วโลกและเขตอบอุ่น ส่วนใหญ่พืชตระกูลส้มที่ปลูกเป็นการค้าปลูกมากแถบ Subtropical citrus fruits ออกผลตลอดปี การเก็บผลผลิตจะเก็บเมื่อผลสุก ยกเว้นมะนาวและมะนาวเทศ (Lime & Lemon) เก็บเมื่อตอนเป็นผลสีเขียว แหล่งผลิตพืชตระกูลส้มที่ใหญ่ที่สุดได้แก่ที่สหรัฐอเมริกา (แคลิฟอร์เนีย, ฟลอริดา), เมดิเตอร์เรเนียน, สเปน, โปรตุเกส, ออสเตรเลีย, จีน และญี่ปุ่น (นิรนาม, ม.ป.ป) ตัวอย่างของผลผลิต ได้แก่ รับประทานเป็นผมไม้สด (Edible fruits), บรรจุกระป๋อง (Canned product) เช่น Grapefruit, ทำเครื่องดื่ม (Juice) ที่อาจจะผสมหรือไม่ผสมแอลกอฮอล์, เปลือกของพืชตระกูลส้มนำไปสกัดน้ำมัน และทำเป็นอาหารสัตว์




(ก) (ข)

**ภาพที่ 1** ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลไม้วงศ์ส้ม (Rutaceae) : (ก) = *Citrus aurantium*, (ข) = *Aegle marmelos* Corr.

**ที่มา :** นิรนาม (2017)

**2. ส้มโอ (Pomelo)**

ในปี พ.ศ. 2558 ที่ผ่านมาประเทศไทยมีเนื้อที่ให้ผลผลิตส้มโอประมาณ 167,000 ไร่ ได้ปริมาณผลผลิตรวมประมาณ 232,965 ตัน และส่งออกให้กับประเทศคู่ค้าที่สำคัญ ได้แก่ จีน, ฮ่องกง และแคนาดา ปริมาณประมาณ 12,180 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 271.63 ล้านบาท ส้มโอมีเปลือกหนาทำให้สะดวกในการขนส่งและมีอายุการเก็บนานกว่าผลไม้ชนิดอื่น เป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย โดยบริโภคเฉพาะเนื้อ ส่วนเปลือกนำมาใช้เล็กน้อย เช่น แปรรูปเปลือกส้มโอแช่อิ่ม เปลือกส้มโอกวน แต่ไม่เป็นที่นิยมมากนัก ในปัจจุบันมีบริษัทหรือพ่อค้านิยมแกะเฉพาะเนื้อเพื่อจำหน่ายเป็นผลไม้พร้อมบริโภค จึงทำให้มีเปลือกส้มโอเหลือทิ้งจำนวนมาก จากข้อมูลของบริษัท กำแพงแสน คอมเมอร์เชียล จำกัด ซึ่งมีการส่งออกส้มโอพร้อมบริโภคตลอดทั้งปี โดยมีการส่งออกประมาณ 1.2 ตันต่อสัปดาห์ มีส่วนเปลือกเหลือทิ้งประมาณ 0.3 ตันต่อสัปดาห์ ซึ่งเปลือกส้มโอส่วนใหญ่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ และมีบางส่วนนำไปใช้สกัดน้ำมันหอมระเหย (วันเพ็ญ, 2551; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558)

2.1 <u>ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของส้มโอ</u>

ส้มโอมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus maxima (Burm.)* Merr. ในวงศ์ Rutaceae เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กถึงขนาดกลาง สูง 5-15 ม. กิ่งก้านสาขาที่แตก จะห้อยเป็นทรงพุ่ม ดอกเกิดบริเวณซอกใบ ลักษณะเป็นช่อ จัดเป็นชนิดดอกเดี่ยว แต่ละช่อมีดอกจำนวน 10-20 ดอก ดอกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-7 ซม. ผลส้มโอรูปร่างกลมหรือเป็นผลแบบสาลี่ มีขนาดปานกลางถึงใหญ่ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10-30 ซม. ผลที่ยังอ่อนมีสีเขียว เมื่อแก่จะเป็นสีเขียวอมเหลือง และเป็นสีเหลืองในที่สุด เปลือกผลอ่อนนุ่ม มีความหนา 1.5-2.0 ซม. สีเปลือกด้านในเป็นสีขาวหรือชมพูตามลักษณะประจำพันธุ์ เนื้อมีสีเหลืองอ่อนอมเขียวหรือชมพู แต่ละกลีบมีขนาดใหญ่ ดังแสดงในภาพที่ 2 และ 3 (ศูนย์วิจัยพืชยืนต้นและไม้ผลเมืองร้อน, ม.ป.ป.) โดยมีแหล่งที่ผลิตที่สำคัญได้แก่ นครปฐม, ตราด ชุมพร และสงขลา เป็นต้น พันธุ์ส้มโอที่นิยมปลูก คือ พันธุ์ขาวพวง, ขาวทองดี และขาวน้ำผึ้ง (กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป.)

(ก) (ข) (ค)

**ภาพที่ 2** ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของส้มโอ (ก) = ต้น, (ข) = ดอก, (ค) = ผล
**ที่มา :** ศูนย์วิจัยพืชยืนต้นและไม้ผลเมืองร้อน (ม.ป.ป.)

**ภาพที่ 3** โครงสร้างของผลเกรปฟรุต (*C. x paradisi*)
**ที่มา :** นิรนาม (2014)

สามารถแบ่งได้หลายสายพันธุ์ ได้แก่ (กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป.)

1) ส้มโอพันธุ์ขาวพวง ผลมีขนาดปานกลาง ทรงผลกลม สูงเล็กน้อย มีจุกและมีจีบที่จุกที่ก้นผลเว้าเข้าเล็กน้อย ผิวเรียบ ผลสีเขียวอมเหลือง ต่อมน้ำมันที่ผิวเปลือกค่อนข้างใหญ่และห่าง เปลือกหนาปานกลาง ผลหนึ่งมีเนื้อกลีบประมาณ 12-14 กลีบ แยกออกจากกันง่าย เนื้อหรือกุ้งสีขาวอมเหลือง ค่อนข้างแข็ง อัดกันไม่แน่น มีน้ำมากแต่ไม่แฉะ รสหวานอมเปรี้ยว มีเมล็ดน้อย นิยมนำไปใช้ในเทศกาลไหว้เจ้าของทุกปี

2) ส้มโอพันธุ์ขาวทองดีหรือทองดี ผลมีขนาดปานกลาง ทรงผลกลมแป้น ไม่มีจุก ขั้วผลมีจีบเล็กน้อย ก้นผลเรียบหรืออาจเว้าเล็กน้อย ผิวเรียบสีเขียวเข้ม ต่อมน้ำมันละเอียดอยู่ชิดกัน เปลือกบาง ด้านในของเปลือกมีสีอมชมพูอ่อน เนื้อสีชมพูเบียดกันแน่น เนื้อนิ่ม ฉ่ำน้ำ รสหวานอมเปรี้ยวและเมล็ดเล็ก พันธุ์นี้นิยมใช้บริโภคทั่วไป และส่งออกไปต่างประเทศ

3) ส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ผลขนาดค่อนข้างใหญ่ ผลกลมสูงไม่มีจุก ต่อมน้ำมันที่ผิวเปลือกมีขนาดใหญ่และห่าง ผิวเปลือกสีเขียวเข้ม เปลือกค่อนข้างหนา ผลหนึ่งมีเนื้อกลีบ 11-12 กลีบ แยกกันง่าย กุ้งมีสีขาวอมเหลือง ขนาดกุ้งค่อนข้างใหญ่ เบียดกันแน่น มีน้ำมากแต่ไม่แฉะ รสหวานอมเปรี้ยว แกะเนื้อออกได้ง่าย เมล็ดมีขนาดใหญ่แต่จำนวนน้อย พันธุ์นี้เป็นพันธุ์ที่ใช้บริโภคทั่วไป ดังแสดงในภาพที่ 4

(ก) (ข) (ค)

**ภาพที่ 4** ส้มโอพันธุ์ต่างๆ
(ก) = ส้มโอพันธุ์ขาวพวง, (ข) = ส้มโอพันธุ์ขาวทองดีหรือทองดี, (ค) = ส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง
**ที่มา :** กรมส่งเสริมการเกษตร (ม.ป.ป.)

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของส้มโอและเปลือกส้มโอ

ส้มโอจัดอยู่ในกลุ่มให้สารอาหารจำพวกวิตามินซีในปริมาณสูง ในส้มโออุดมไปด้วยสารอาหารที่มีความจำเป็นต่อร่างกายมากมายหลักก็มี คาร์โบไฮเดรต, วิตามิน ซี, บี3, บี6, แคลเซียม และธาตุเหล็ก เป็นต้น ส้มโอสามารถรักษาสารอาหารได้มากเนื่องจาก ผลของส้มโอมีเปลือกที่หนา นอกจากเนื้อส้มโอแล้ว เปลือกส้มโอก็สามารถนำมารับประทานได้ (นิรนาม, 2556) โดยผิวเปลือกนอกสุดของผลส้มโอ ประกอบด้วย Limonene, myrcene และมีน้ำมันหอมระเหย 0.3-0.9% (นฤมล, 2551) เปลือกผลสีขาวมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ เยื่อใยอาหาร 16.05-21.87 %, ปริมาณเยื่อใย 17.91-24.40 %, ความชื้น 0.13-76.95 %, ค่า pH 4.52-5.36 (วันเพ็ญ, 2551), เถ้า 4.14 %, เซลลูโลส 16.51 %, เฮมิเซลลูโลส 6.86%, ลิกนิน 3.16%, น้ำตาลที่ละลายได้ทั้งหมด 12.62% และเพคติน 35.42 % (Huang *et al.,* 2014) (ตารางที่ 2)

**ตารางที่ 2** องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกส้มโอ

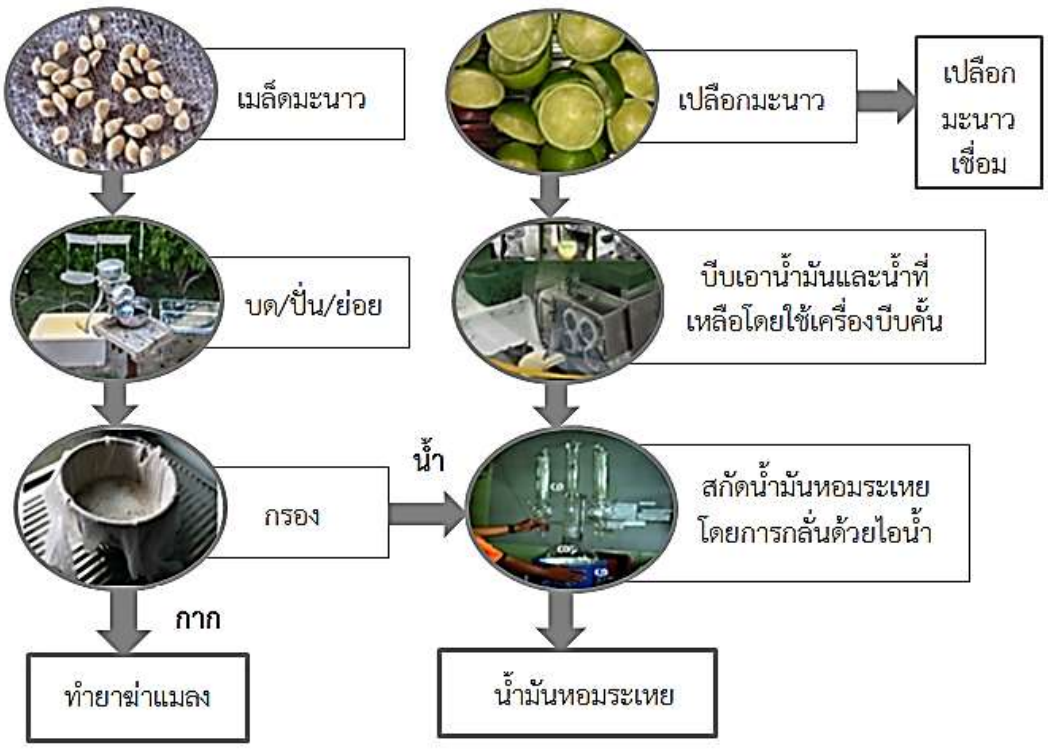
| องค์ประกอบทางเคมี | ปริมาณ (%) |
|---|---|
| น้ำมันหอมระเหย | 0.3-0.9 |
| เถ้า | 4.14 |
| ความชื้น | 0.13-76.95 |
| เยื่อใยอาหาร | 16.05-21.87 |
| เยื่อใย | 17.91-24.40 |
| เซลลูโลส | 16.51 |
| เฮมิเซลลูโลส | 6.86 |
| ลิกนิน | 3.16 |
| น้ำตาลที่ละลายได้ | 12.62 |
| เพคติน | 35.42 |

**ที่มา :** ดัดแปลงจาก วันเพ็ญ (2551); Huang *et al.* (2014)

**3. มะนาว (Lime)**

มะนาวเป็นไม้ผลตระกูลส้มประเภทหนึ่งที่ปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย โดยแหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ จังหวัดเพชรบุรี, สุราษฎร์ธานี, นครสวรรค์, กาญจนบุรี, สมุทรสาคร, นครปฐม และเชียงใหม่ มะนาวเป็นพืชที่มีประโยชน์และคุณค่ามาก เนื่องจากสามารถใช้ปรุงเป็นอาหารและเครื่องดื่ม อีกทั้งยังมีสรรพคุณทางยา เพราะมีวิตามินซีสูงสามารถใช้เป็นยาสมุนไพรและนิยมนำไปใช้เป็นเครื่องสำอาง ทำให้ภาคอุตสาหกรรมที่มีการใช้มะนาวเป็นวัตถุดิบมีความต้องการมะนาวสูงขึ้นทุกปี โดยในปี พ.ศ. 2558 จังหวัดเพชรบุรีมีปริมาณผลผลิตมะนาวประมาณ 69,882 ตันจากปริมาณผลผลิตจากผลผลิตทั่วประเทศประมาณ 143,935 ตัน คิดเป็นมูลค่าผลผลิตประมาณ 8,122 ล้านบาท เศรษฐกิจที่มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นจึงทำให้มะนาวมีบทบาทสำคัญทางการค้ามากยิ่งขึ้น ที่มีความต้องการของตลาดสูงตลอดทั้งปี โดยเฉพาะช่วงฤดูแล้งประมาณเดือนมีนาคมถึงเมษายนของทุกปี การกระตุ้นให้เกิดการผลิตน้ำมะนาวในเชิงพาณิชย์เพื่อนำสู่ท้องตลาดเป็นอีกหนทางหนึ่งที่จะช่วยป้องกันและแก้ไขปัญหาการขาดแคลนมะนาว

ก่อให้เกิดกากและเปลือกมะนาวซึ่งเป็นของเสียโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร (พีระศักดิ์, ม.ป.ป.; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558)



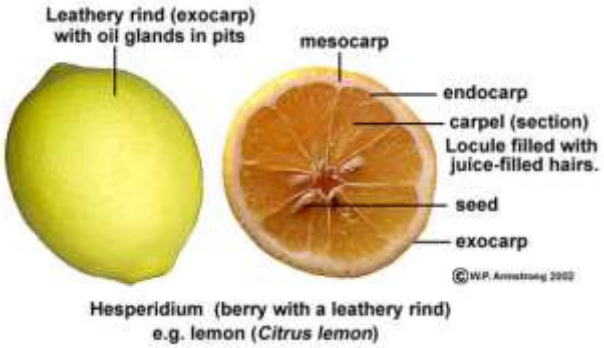

**ภาพที่ 5** กระบวนการสกัดน้ำมันหอมระเหยและการแปรรูปเปลือกมะนาว
**ที่มา :** ดัดแปลงจากสุชาดา และคณะ (2545)

3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะนาว

มะนาวมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Cltrus aurantifolia* Swingle. อยู่ในวงศ์ Rutaceae เช่นเดียวกับพืชสกุลส้มต่าง ๆ เป็นพืชพื้นเมืองของอินเดียมีถิ่นกำเนิดในหมู่เกาะอินเดียตะวันออกทางภาคเหนือของประเทศอินเดีย โดยเริ่มมีการกระจายพันธุ์เข้าสู่ทวีปเอเชียและต่อไปยังส่วนต่าง ๆ ของโลกในแถบภูมิภาคเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน มะนาวเป็นไม้พุ่มสูง 2-4 เมตร เปลือกลำต้นมีสีเทาปนน้ำตาล กิ่งอ่อนมีสีเขียวอ่อนเมื่อแก่สีเข้ม บนลำต้นและกิ่งก้านจะมีหนามแข็งแหลม ส่วนใหญ่เกิดที่ซอกใบ ผลสดรูปกลมและรูปยาวรีหรือรูปไข่ มีขนาดกว้าง ยาวประมาณ 3-12 เซนติเมตร ผิวเปลือกมีลักษณะขรุขระ และมีต่อมน้ำมันที่ผิว เมล็ด มีขนาดเล็กคล้ายรูปไข่ ด้านปลายหัวจะแหลม ภายในเมล็ดมีเนื้อเยื่อสีขาว (วิทย์, 2536) ดังแสดงในภาพที่ 6 และ 7

(ก) (ข) (ค)

**ภาพที่ 6** ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะนาว (ก) = ต้น, (ข) = ดอก, (ค) = ผล
**ที่มา :** วิทย์ (2536)




**ภาพที่ 7** โครงสร้างผลมะนาว
**ที่มา :** Jennifer Hu (2015)

พันธุ์มะนาวมีความสำคัญทางเศรษฐกิจเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและนิยมปลูกเป็นการค้ากันมากในปัจจุบัน มีอยู่หลายสายพันธุ์ ได้แก่ (พีระศักดิ์, ม.ป.ป.)

1) มะนาวหนัง ผลอ่อนมีลักษณะกลมยาวหัวท้ายแหลม เมื่อโตเต็มที่ผลจะมีลักษณะกลมค่อนข้างยาวมีกลมมนบ้างเล็กน้อย ด้านหัวมีจุกเล็ก ๆ มีเปลือกค่อนข้างหนา จึงทำให้เก็บรักษาผลไว้ได้นาน

2) มะนาวไข่ ขนาดและลักษณะคล้ายมะนาวหนังเกือบทุกอย่าง ผลอ่อนมีลักษณะกลมยาวหัวท้ายแหลม เมื่อโตเต็มที่ผลจะมีลักษณะกลมมนเป็นส่วนมากเปลือกบางและผลโตกว่ามะนาวหนัง

3) มะนาวแป้น มีขนาดกลางและเปลือกบาง สามารถให้ผลผลิตได้ตลอดทั้งปี มีหลายพันธุ์ เช่น แป้นรำไพ แป้นพวง แป้นพิจิตร เป็นต้น

4) มะนาวพวง มีลักษณะรูปทรงกลมรี เปลือกหนา ติดผลเป็นช่อมากกว่า 10 ผล และให้ผลผลิตตลอดทั้งปี

5) มะนาวตาฮิติ นำมาจากหมู่เกาะตาฮิติ ประเทศญี่ปุ่น ปัจจุบันมีการปลูกแพร่หลายในเขตพื้นที่ภาคเหนือ ลักษณะเด่นของมะนาวพันธุ์นี้คือ ผลมีขนาดใหญ่ ไม่มีเมล็ด และเปลือกค่อนข้างหนา ทำให้ทนทานต่อการขนส่งทางไกลได้ดี ไม่มีกลิ่นหอมและเมล็ด ส่วนใหญ่จะใช้ประโยชน์แทนในช่วงที่ไม่มีมะนาวอื่นเท่านั้น ให้ผลดกตลอดทั้งปี ปัจจุบันนิยมส่งออก ดังแสดงในภาพที่ 8

(ก) (ข)

(ค) (ง) (จ)

**ภาพที่ 8** มะนาวพันธุ์ต่างๆ

(ก) = มะนาวหนัง, (ข) = มะนาวไข่, (ค) = มะนาวแป้นรำไพ, (ง) = มะนาวพวง, (จ) = มะนาวตาฮิติ

**ที่มา :** พีระศักดิ์, ม.ป.ป.

3.2 <u>องค์ประกอบทางเคมีของมะนาวและเปลือกมะนาว</u>

มะนาวจัดเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศไทยที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเพคติน เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีปริมาณเพคตินประมาณ 32% (Gullon *et al*., 2013) จากการศึกษาของ ธานุวัฒน์และคณะ (2556) พบเพคตินจากเปลือกมะนาวเพคตินประมาณ 16.36% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการศึกษา Gómez *et al*. (2013a) พบปริมาณเพคตินประมาณ 28.60% นอกจากนี้องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกมะนาวมีความชื้นประมาณ 7%, น้ำตาลทั้งหมดประมาณ 37.59%, โปรตีนรวมประมาณ 3.89%, เยื่อใยประมาณ 25.78% และไขมันประมาณ 3.46% (Ruiz *et al*., 2012) (ตารางที่ 3)

**ตารางที่ 3** องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกมะนาว

| องค์ประกอบทางเคมี | ปริมาณ (%) |
|---|---|
| ความชื้น | 7.00 |
| น้ำตาล | 37.59 |
| โปรตีน | 3.89 |
| เยื่อใย | 25.78 |
| ไขมัน | 3.46 |
| เซลลูโลส | 12.72 |
| เฮมิเซลลูโลส | 5.30 |
| ลิกนิน | 1.73 |
| เพคติน | 32.00 |

**ที่มา :** ดัดแปลงจาก Ververis *et al*. (2007); Ruiz *et al*. (2012)

**4. มะม่วง (Mango)**

มะม่วงจัดเป็นพืชที่ปลูกเพื่อรับประทานผล และผลที่ได้นั้นสามารถรับประทานได้ทั้งดิบและสุก มะม่วงสามารถปลูกและผลิดอกออกผลได้ดีในพื้นที่ทุกจังหวัด และทุกภาคของประเทศ แต่จะให้ผลแตกต่างกันไปตามสภาพของท้องที่ ในปี พ.ศ. 2558 ประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตมะม่วงรวมประมาณ 3,131,237 ตัน แบ่งเป็นการบริโภคภายในประเทศประมาณ 3,060,162 ตันและมีการส่งออกรวม 71,075 ตัน มะม่วงหลายพันธุ์ยังเป็นผลไม้ที่ตลาดต่างประเทศต้องการอีกด้วย (พัฒนา และ วัฒนา, ม.ป.ป.; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) มะม่วงเป็นที่นิยมบริโภคในลักษณะผลดิบเป็นหลัก รองลงมาคือการนำไปแปรรูป เช่น น้ำผลไม้กระป๋อง, มะม่วงดอง, มะม่วงแช่อิ่ม และมะม่วงกวน เป็นต้น ซึ่งการแปรรูปดังกล่าวก่อเกิดของเสียจากวัสดุการเกษตรที่ทำให้เกิดปัญหาในการกำจัด ได้แก่ เปลือกและเมล็ดมะม่วง โดยเปลือกมะม่วงคิดเป็นปริมาณประมาณ 15-20 % ของน้ำหนักผล (วิภาวีและ กุลนาถ, ม.ป.ป.)

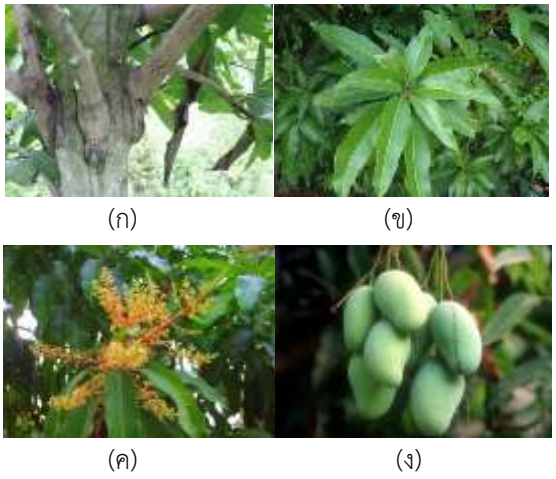
4.1 <u>ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะม่วง</u>

มะม่วง มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Mangifera indica* Linn. เป็นไม้ผลที่เจริญทั่วไปในทั่วทวีปเอเชีย โดยมีต้นกำเนิดมาจากประเทศอินเดีย มะม่วงเป็นพรรณไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ แตกกิ่งก้านสาขาออกไปรอบต้นมากมายจนดูหนาทึบ เปลือกของลำต้นจะมีสีน้ำตาลอมดำ พื้นผิวเปลือกขรุขระ เป็นร่องไปตามแนวยาวของลำต้น ลักษณะของใบเป็นรูปหอก มีสีเขียวเข้ม เป็นไม้ใบเดี่ยวจะออกเรียงกันเป็นคู่ ๆ ไปตาม ก้านใบ ขอบใบเรียบไม่มีหยัก ปลายใบแหลม ส่วนโคนใบมน เนื้อใบค่อนข้างจะหนา ดอกออกเป็นช่อ ช่อหนึ่งมีประมาณ 15-20 ดอก ลักษณะของดอกเป็นสีเหลืองอ่อน หรือสีนวล ๆ เป็นดอกที่มีขนาดเล็ก เมื่อดอกโรยก็จะติดผล มีลักษณะต่างกันแล้วแต่ละพรรณเช่น บางทีมีเป็นรูปมนรี ยาวรี หรือเป็นรูปกลมป้อม ผลอ่อนมีเป็นสีเขียว เมื่อแก่หรือสุกเต็มที่จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองสด ภายในผลมีเมล็ด ผลหนึ่งมีเมล็ดเดียว ดังแสดงในภาพที่ 9 และ 10 มะม่วงมีมากมายหลายสิบพันธุ์ อาจแบ่งเป็นพวกได้ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ ได้แก่ (พัฒนา และ วัฒนา, ม.ป.ป.)

1) พันธุ์มะม่วงสำหรับรับประทานผลดิบ เช่น พิมเสนมัน แรด เขียวเสวย มันหนองแซง ฟ้าลั่น เป็นต้น

2) พันธุ์มะม่วงสำหรับรับประทานผลสุก เช่น อกร่อง น้ำดอกไม้ หนังกลางวัน เป็นต้น

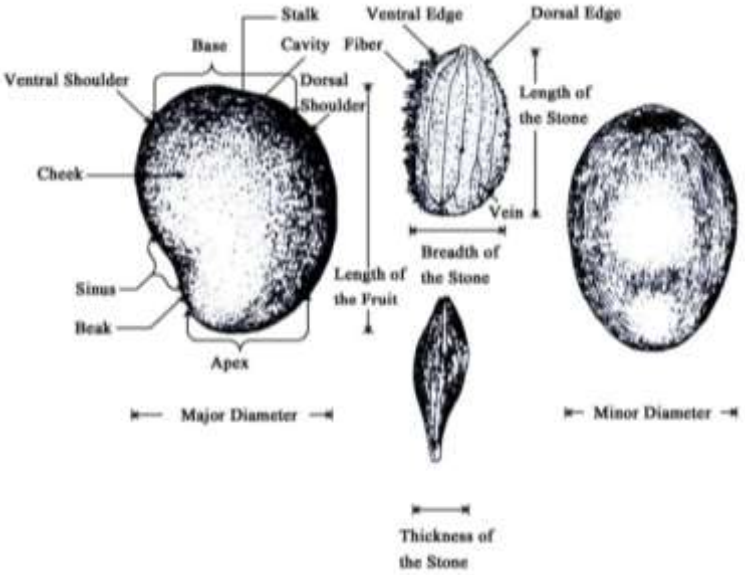
3) พันธุ์มะม่วงที่ปลูกเพื่อการอุตสาหกรรมแปรรูปผลไม้แบ่งเป็นมะม่วงสำหรับดอง เช่น มะม่วงแก้ว เป็นต้น และมะม่วงสำหรับบรรจุกระป๋อง เช่น มะม่วงสามปี เป็นต้น



(ก) (ข)

(ค) (ง)

**ภาพที่ 9** ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะม่วง : (ก) = ลำต้น, (ข) = ใบ, (ค) = ดอก, (ง) = ผลมะม่วง
**ที่มา :** พัฒนา และ วัฒนา (ม.ป.ป.)




**ภาพที่ 10** โครงสร้างผลมะม่วง
**ที่มา :** UPOV (1987)

4.2 องค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงและเปลือกมะม่วง

มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีไขมันอิ่มตัว คอเลสเตอรอล และโซเดียมต่ำ และยังเป็นแหล่งอาหารที่อุดมด้วยไฟเบอร์ วิตามินบี 6 วิตามินเอ และวิตามินซี รวมทั้งโพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี นอกจากนี้ก็ยังมีเควอซิทิน (Quercetin) เบต้าแคโรทีน (Beta Carotine) กรดโฟลิก และ แอสตรากาลิน (Astragalin) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีทรงพลัง ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดโรคหัวใจ ริ้วรอยก่อนวัย โรคมะเร็ง หรือภาวะเสื่อมของอวัยวะต่าง ๆ ที่เกิดจากสารอนุมูลอิสระ (USDA Nutrient Database, 2016) เปลือกมะม่วงเป็นที่สนใจในด้านวิทยาศาสตร์เนื่องจากมีส่วนประกอบของ โพลีฟีนอล, คาโรทีนอยด์, เอนไซม์, วิตามินอี และวิตามินซีซึ่งมีคุณสมบัติเด่นเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และมีส่วนของแหล่งอาหารที่อุดมไปด้วยเยื่อใยอาหารทั้งหมด (Total Dietary Fiber, TDF) มีค่าอยู่ระหว่าง 40.6-72.5% (Yingkamhaeng and Sukyai, 2014), เซลลูโลส 38.35%, เฮมิเซลลูโลส 13.90% ,ลิกนิน 27.90% (Jahurul *et al*., 2015), ความชื้นประมาณ 59.90%, เถ้าประมาณ 1.87%, โปรตีนประมาณ 4.27% และไขมันประมาณ 3.21% (Zenab and Ayman, 2015) จากรายงานของ ธานุวัฒน์ และคณะ (2556) พบปริมาณเพคตินจากเปลือกมะม่วงประมาณ 9-13% ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Gragasin *et al.* (2014) ที่พบปริมาณเพคตินประมาณ 21.65%

**ตารางที่ 4** องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกมะม่วง

| องค์ประกอบทางเคมี | ปริมาณ (%) |
|---|---|
| ความชื้น | 59.90 |
| เถ้า | 1.87 |
| ไขมัน | 3.21 |
| โปรตีน | 4.27 |
| เยื่อใยรวม | 40.6 -72.5 |
| เซลลูโลส | 38.35 |
| เฮมิเซลลูโลส | 13.90 |
| ลิกนิน | 27.90 |
| เพคติน | 21.65 |

**ที่มา :** ดัดแปลงจาก Gragasin *et al.* (2014); Yingkamhaeng and Sukyai (2014); Jahurul *et al*. (2015); Zenab and Ayman (2015)

**5. พอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (Non-starch polysaccharides, NSPs)**

พอลิแซคคาไรด์ หรือคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน (Complex carbohydrate) ที่มีการจับกันของน้ำตาลด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบอื่นๆ ที่นอกเหนือไปจากพันธะที่พบในแป้ง **α**(1□4) และ **α**(1□6) เช่น พันธะแบบ β (1□4), β (1□6), β (1□3) ฯลฯ เป็นส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์พืช ประกอบไปด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน รวมทั้ง กัม และมิวซิเลจ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ไม่ละลายในน้ำ (Insoluble NSP: iNSP)

กับกลุ่มที่ละลายในน้ำ (Soluble NSP: sNSP) พบได้ทั่วไปในวัตถุดิบพืชอาหารสัตว์ เป็นส่วนที่เรียกว่า เยื่อใยในอาหาร (Dietary fiber) โดยในพืชต่างชนิดกันก็จะมีชนิดและปริมาณของ NSP ที่แตกต่างกันออกไป NSP ส่วนใหญ่ที่พบในข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าว เป็น NSP ในกลุ่มของ iNSP ในขณะที่ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ ข้าวไรย์ และถั่วต่างๆ จะเป็น NSP ในกลุ่มของ sNSP เป็นหลัก NSP ชนิดที่พบในปริมาณมากที่สุด 3 อันดับ คือ เพนโตซาน (Pentosan) เบต้า-กลูแคน (β -glucan) และเซลลูโลส โดยจะพบมากในรำ (Bran) แกลบ (Husk) และกากของเมล็ดธัญพืช (Seed meal) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันต่างๆ (Choct, 1997)

**6.น้ำตาลรีดิวซ์และนอนรีดิวซ์ (Reducing and nonreducing sugars)**

โมโนแซคคาไรด์และน้ำตาลไดแซคคาไรด์ส่วนใหญ่จะมีหมู่คาร์บอนิลซึ่งจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย คาร์โบไฮเดรทเหล่านี้จัดเป็นกลุ่มที่เรียกว่าน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugars) ซึ่งอาจตรวจสอบปริมาณ ได้โดยอาศัยคุณสมบัติของมันที่สามารถรีดิวซ์โลหะอิออน เช่น Cu2+ หรือ Ag+ ได้ผลิตภัณฑ์ ที่ไม่ละลายน้ำ ตัวอย่างของน้ำตาลรีดิวซ์เช่น กลูโคส มอลโตส เซลโลไบโอสและแลคโตส ส่วน คาร์โบไฮเดรทที่ไม่สามารถถูกออกซิไดซ์ได้เนื่องจาก อะโนเมอริกคาร์บอนทั้งคู่ถูกจับยึดไว้โดยพันธะ ไกลโคซิดิก เช่น น้ำตาลซูโครส จัดว่าเป็น Nonreducing sugars

คุณสมบัติในการรีดิวซ์โลหะอิออนนั้นนอกจากจะใช้เพื่อตรวจสอบปริมาณแล้ว ยังสามารถ ใช้ในการบอกตำแหน่ง ทิศทางของหน่วยย่อยในคาร์โบไฮเดรทโพลิเมอร์ได้ ในโพลิแซคคาไรด์ที่เป็น สายตรง (linear chain) ในหนึ่งโมเลกุลจะมีปลาย reducing end 1 หน่วย (เป็นโมโนแซคคาไรด์ที่มี อะโนเมอริกคาร์บอนที่อิสระ) และปลายที่เป็น nonreducing end 1 หน่วย ส่วนโพลีแซคคาไรด์ที่มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้าน (branched) ในหนึ่งโมเลกุลจะมีปลายที่เป็น nonreducing end มากมายตาม จำนวนกิ่งก้านที่มี แต่จะมีปลาย reducing end เพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น

**7. พรีไบโอติกส์ (Prebiotics)**

พรีไบโอติกส์ คือ องค์ประกอบของอาหารที่ไม่ถูกย่อยซึ่งมีประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในระบบทางเดินอาหาร โดยจะไปกระตุ้นการเจริญเติบโตหรือกิจกรรมของแบคทีเรียที่มีประโยชน์อย่างจำเพาะและช่วยปรับปรุงสุขภาพของเจ้าบ้าน (Host) สารอาหารที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกส์ที่ดีนั้นจะต้องไม่ถูกย่อยหรือดูดซึมในระบบทางเดินอาหารส่วนต้น สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ก่อโรค เช่น *Clostridium* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างสารพิษได้และส่งเสริมการเจริญเติบโตที่ดีในลำไส้ กลุ่ม *Bifidobacterium* และ *Lactobacillus* สารที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกส์มักเป็นคาร์โบไฮเดรตสายสั้นหรือโอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharides) ที่ประกอบด้วย น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ไม่กี่โมเลกุลเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycoside bond) จัดเป็นหนึ่งในกลุ่มของพรีไบโอติกส์ที่สำคัญ สามารถสังเคราะห์ทั้งจากจุลินทรีย์และจากพืช เช่น แมนโนโอลิโกแซคคาไรด์ (Manno oligosaccharide, MOS) ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Fructo oligosaccharide, FOS) และเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์ (Pectic oligosaccharide, POS) เป็นต้น (Gibson and Roberfroid, 1995 อ้างโดย รุสมัน, 2557)

7.1 <u>เพคติกโอลิโกแซคคาไรด์ (Pectic oligosaccharide, POS)</u>

โอลิโกแซคคาไรด์จากผนังเซลล์พืชหรือเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์ ได้มาจากสารกลุ่ม เพคติน ซึ่งสารกลุ่มเพคตินเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากพืช เช่น เปลือกผลไม้ตระกูลส้มและกากแอปเปิ้ลทำหน้าเป็นสารที่

ก่อให้เกิดเจล (Gelling agent) และสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหร สารประกอบเพคตินเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบโครงสร้างของเซลล์และเป็นสารที่สำคัญในบริเวณชั้นมิดเดิลลาเมลลา (Middle lamella) ที่ยึดเหนี่ยวเซลล์เข้าด้วยกัน โดยจับกับ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและไกลโคโปรตีนของผนังเซลล์พืช โครงสร้างโมเลกุลของเพคตินประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) (ประมาณ 65% โดยน้ำหนัก) เป็นสายหลัก และมีสายแขนงอาจเป็นน้ำตาลอะราบิโนส (L-arabinose) และน้ำตาลกาแล็กโทส (D-galactose) บางส่วนของหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ที่โมเลกุลของกรดกาแล็กทูโรนิกถูกเอสเทอริไฟต์ด้วยหมู่เมทธิล ($-CH_3$) เป็นเมทธิลเอสเทอร์ ($-COOCH_3$) โมเลกุลของเพคตินจึงประกอบด้วยทั้งหมู่ของคาร์บอกซิลที่อยู่ในรูปของ หมู่คาร์บอกซิลและเมทธิลเอสเทอร์อิสระ เพคตินที่ผลิตในทางการค้าจึงสามารถแบ่งตามระดับของเมทธิลเอสเทอริฟิเคชันได้ 2 ชนิด ได้แก่ (ปรีดา, 2555; รุสมัน, 2557)

1) เพคตินที่มีเมทอกซิลสูง (Hight methoxy (HM) pectic) คือกลุ่มเพคตินที่มีระดับของเมทิลเลชัน (DM, degree of methylation) สูงกว่า 50%

2) เพคตินที่มีเมทอกซิลต่ำ (Low methoxy (LM) pectic) คือกลุ่มเพคตินที่มีระดับของเมทิลเลชัน (DM, degree of methylation) ต่ำกว่า 50%

7.2 <u>คุณสมบัติของพรีไบโอติกส์</u>

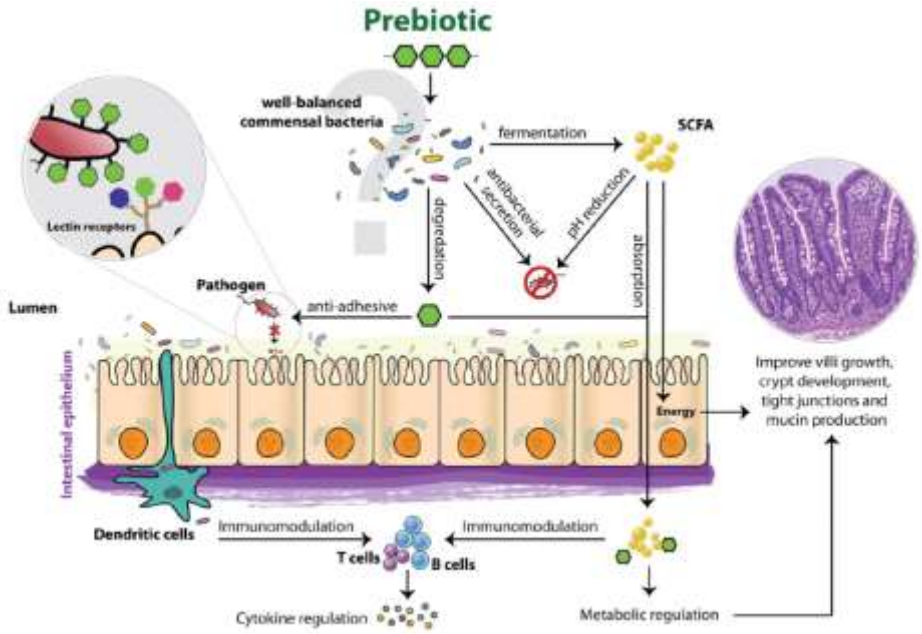
คุณสมบัติของพรีไบโอติกส์จะเกี่ยวข้องกันกับจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ซึ่งเมื่อมีการเพิ่มของแบคทีเรียกลุ่มนี้แล้ว ทั้งแบคทีเรียเองและสารที่เกิดจากกระบวนการในการใช้พรีไบโอติกส์เป็นแหล่งของคาร์บอนก็จะมีบทบาทต่อตัวผู้บริโภคหรือตัวสัตว์ โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้ (สุญาณี, 2549)

1) ระบบทางเดินอาหาร ที่ลำไส้ใหญ่ พรีไบโอติกส์จะเป็นอาหารให้กับแบคทีเรีย เมื่อแบคทีเรียนำไปใช้ก็จะให้พลังงานและสารบางชนิด เช่น กรดแลคติกและกรดไขมันชนิดสายสั้น (Short-chain fatty acid) ซึ่งเป็นผลผลิตจาก กระบวกการหมัก ซึ่งการหมักนี้จะทำให้มีการกระตุ้นการเจริญของกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ และสภาวะความเป็นกรดที่เกิดขึ้นจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียบางชนิดในลำไส้ได้ เช่น *Salmonella* spp. และ *E. coli* เป็นต้น จึงมีผลช่วยป้องกันอาการท้องเสียโดยเฉพาะจากการติดเชื้อได้

2) การดูดซึมแร่ธาตุบางชนิด จากการหมักพรีไบโอติกส์โดยแบคทีเรียในลำไส้ได้กรดไขมันชนิดสายสั้น ความเป็นกรดก็จะช่วยในการดูดซึมแร่ธาตุบางชนิดได้ เช่น แคลเซียม, เหล็ก, แมกนีเซียม และสังกะสี นอกจากนี้อาจด้วยกลไกที่ทำให้มีการดึงน้ำเข้ามาช่วยในการละลายเกลือแร่ธาตุต่างๆ ส่งผลช่วยลดความเสี่ยงต่อกระดูกพรุนได้

3) การเผาผลาญไขมัน การที่จุลินทรีย์ที่ดีต่อสุขภาพเพิ่มจำนวนมากขึ้น ก็จะช่วยย่อยสลายคอเลสเตอรอล และยับยั้งการดูดซึมผ่านผนังลำไส้ หรืออาจเนื่องจากผลจากกระบวนการหมักที่ได้กรดไขมันชนิดสายสั้นบางชนิด โดยเฉพาะ กรดโพรพิโอนิค (Propionic acid) ซึ่งจะสามารถไปยับยั้งการสังเคราะห์ไขมันรวมทั้งกรดคอเลสเตอรอลดังนั้นพรีไบโอติกส์อาจช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดแข็งตัวซึ่งมีสาเหตุมาจากไขมัน

4) ระบบภูมิคุ้มกันของระบบทางเดินอาหาร พบว่าพรีไบโอติกส์สามารถช่วยกระตุ้นการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน โดยมีผลต่อเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับภูมิต้านทานในลำไส้ เพิ่มความแข็งแรงของเซลล์เยื่อบุผิวของลำไส้ซึ่งสามารถป้องกันการติดเชื้อ รวมถึงมีผลต่อจำนวนและการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (ภาพที่ 11)




**ภาพที่ 11** กลไกการทำงานของพรีไบโอติกส์
**ที่มา :** Pourabedin and Zhao (2015)

**8. เอนไซม์ (Enzymes)**

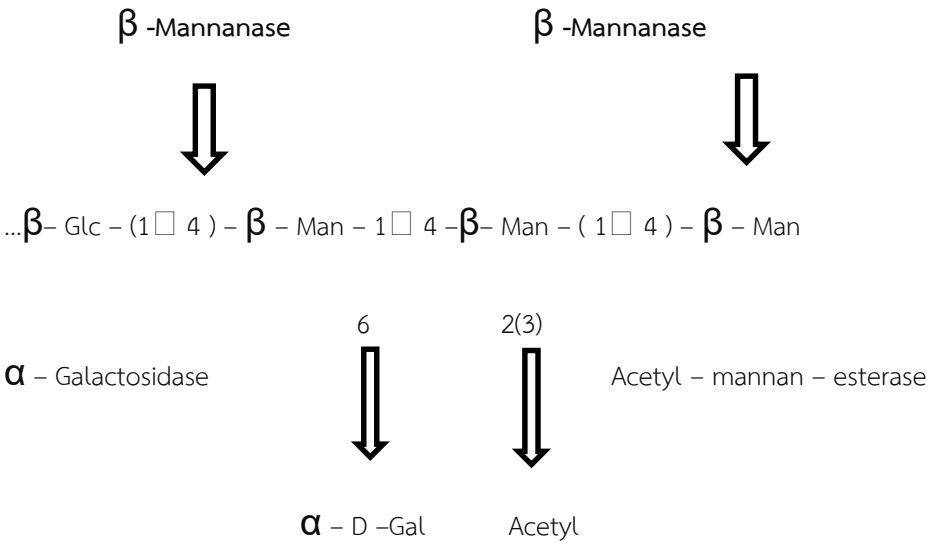
เอนไซม์พบทั้งในพืช, สัตว์ และจุลินทรีย์ โดยเอนไซม์จากพืชและสัตว์มีความเสถียรต่ำกว่าจุลินทรีย์ และมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป เอนไซม์ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์พบทั้งที่สร้างอยู่ในเซลล์ (Intracellular enzyme) และขับออกมานอกเซลล์ (Extracellular enzyme) ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อ การผลิตเอนไซม์จากจุลินทรีย์มีข้อดีกว่าเอนไซม์จากพืชและสัตว์ เนื่องจากจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้รวดเร็วและเลี้ยงง่ายกว่าสัตว์ ไม่ต้องใช้พื้นที่มาก และไม่ขึ้นอยู่กับฤดูกาล ซึ่งเอนไซม์จากจุลินทรีย์แต่ละชนิดก็มีคุณสมบัติที่จำเพาะแตกต่างกัน เช่น สภาวะที่เหมาะสมในการทำงาน ความคงทนต่อสภาวะต่างๆ ความจำเพาะต่อสับสเตรท (วัตถุดิบที่ต้องการย่อย) ฯลฯ การที่จุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์ที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดความหลากหลายในการใช้ประโยชน์ให้เหมาะสมกับอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มากมาย การเสริมเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายสารต้านโภชนะ (Antinutritional factor) ดังกล่าวลงในอาหารสัตว์ เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพ ช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะจากอาหารสัตว์ให้สูงขึ้น ยังผลให้สมรรถนะการผลิตของสัตว์ดีขึ้นในทุกๆ ด้าน สามารถเพิ่มอัตราส่วนของวัตถุดิบคุณภาพต่ำราคาถูกในอาหารผสมและเปิดโอกาสให้มีการนำวัตถุดิบใหม่ๆ มาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้มากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นผลผลิตจากธรรมชาติโดยตรง เศษเหลือทางการเกษตร หรือผลิตผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้มีโอกาสลดต้นทุนค่าอาหารได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังลดปริมาณสารอาหารตกค้างในมูล ซึ่งเป็นผลดีต่อสภาพแวดล้อม ลดปัญหามลภาวะในเรื่องกลิ่นและการทำลายดิน (วรรณพร, ม.ป.ป.)

8.1 เอนไซม์เพคติเนส (Pectinase)

เอนไซม์เพคติเนสหรือเอนไซม์เพคติก (Pecticnase enzymes) เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่สามารถในการตัดย่อยสารประกอบเพคติน ,กรดเพคติก หรือสารประกอบ Oligo-D-galacturonate พบได้ทั้งในพืชชั้นสูงและในจุลินทรีย์ ซึ่งได้แก่ แบคทีเรีย, ยีสต์ และรา เอนไซม์เพคติเนสแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทตามปฏิกิริยาการย่อยสับเตรท คือ เพคตินเอสเทอเรส (Pectinasterase) ตามปฏิกิริยาเอนไซม์จะเร่งปฏิกิริยาการแยกหมู่เมธิลจากเพคติน ที่มีการเติมหมู่เมธิลที่หมู่คาร์บอกซิล ทั้งนี้ ไม่ย่อยสลายพันธะไกลโคซิล และยังคงจัดอยู่ในกลุ่มย่อยของไฮโดรเลสที่ย่อยสลายพันธะเอสเทอร์เหมือน เช่น ลิปิด ปฏิกิริยาของ Pectinesterase มีความจำเพาะต่อพันธะเอสเทอร์ที่อยู่สลับที่หมู่คาร์บอกซิลของ Anhydrogalacturonic unit ผลผลิตจากปฏิกิริยาได้กรดเพคติก กรดเพคตินิค และเมธานอล เอนไซม์ประเภท Depolymerizing enzymes แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ Hydrolyzing Glycosidic linkages เป็นเอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคซิลในสารประเภทเพคตินหรือกรดเพคติค ได้แก่ Polymethylgalacturonase (PMG) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยเพคตินเป็นสับสเตรท และ Polygalacturonase (PG) เป็น เอนไซม์ที่ย่อยกรดเพคติกหรือกรดกาแลคทูโรนิคเป็นสับสเตรท cleaving เป็นเอนไซม์ที่แยกพันธะไกลโคซิลในเพคติน หรือกรดเพคติคโดยการกำจัดไฮโดรเจนแบบทรานส์ (Trans elimination) จากคาร์บอนที่ตำแหน่งที่ 4 และ 5 โดยไม่ใช้น้ำ แล้วได้สารพอลิเมอร์สายสั้นที่สายหนึ่งมีปลายรีดิวซ์และอีกสายพอลิเมอร์มีพันธะคู่ ได้แก่ Polymethylgalacturonate lyases (PMGL) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยเพคตินเป็นสับสเตรท และ Polygalacturonate lyases (PGL) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยกรดเพคติกหรือกรดกาแล็กทูโรนิกเป็นสับสเตรท (Kashyap *et al.*, 2001)

8.2 เอนไซม์แมนนาเนส (Mannanase)

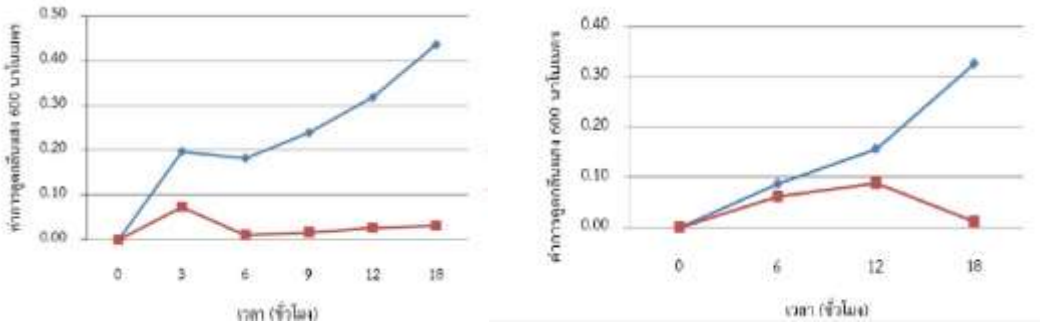
เอนไซม์แมนนาเนสผลิตได้จากจุลินทรีย์หลากหลายชนิด ทั้งจากแบคทีเรีย, ราชนิด Atinomycetes, พืชและสัตว์ เอนไซม์จากจุลินทรีย์เป็นตัวสำคัญและเกิดปฏิกิริยาในสภาพที่หลากหลายได้ ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ, ด้านเภสัชกรรม, ด้านอาหารมนุษย์, ด้านอาหารสัตว์, ด้านน้ำมันและอุตสาหกรรมอื่นๆ นอกจากไซลาเนส (Xylanases) แล้วแมนนาเนสเป็นเอนไซม์ที่สำคัญรองลงมาเพื่อในการทำลายองค์ประกอบของเยื่อใย เฮมิเซลลูโลสและพันธะ β-D-1,4 Mannopyranoside ในสายของเบต้าแมนแนน (β-1,4 Mannans) และนำไปประยุกต์ให้กับอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งความเข้าใจและการนำไปใช้ของเอนไซม์ย่อยแมนแนนและข้อมูลเกี่ยวกับเอนไซม์นี้มีอย่างกว้างขวางตามความสนใจที่เพิ่มขึ้น ซึ่งก่อนหน้าได้มีนักวิจัยเพียงแค่บางท่านเท่านั้นที่สนใจศึกษาโครงสร้างของแมนแนนและจุลินทรีย์ที่มีเอนไซม์แมนนาเนส (ภาพที่ 12) (Chauhan *et al.*, 2012)




**ภาพที่ 12** รูปแบบการย่อย Galactoglucomannan โดยเอนไซม์ β -Mannanase และ α – Galactosidase
**ที่มา** : Chauhan *et al*. (2012)

**9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

พรพรรณ และคณะ (2557) ทำการศึกษาการปรับปรุงกากกาแฟด้วยเอนไซม์ Pentozyme® เพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์ พบว่า กากกาแฟที่ย่อยและไม่ย่อยด้วยเอนไซม์มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่า 119.33, 131.78, 153.55 และ 164.02 µg/ml ตามลำดับและเมื่อนำมาทดสอบพรีไบโอติกส์พบว่า ผลผลิตน้ำตาลของกากกาแฟที่ย่อยด้วยเอนไซม์ไม่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของโปรไบโอติกส์ (*L. acidophilus)* แต่สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคได้ (*E. coli*) (ภาพที่ 13)

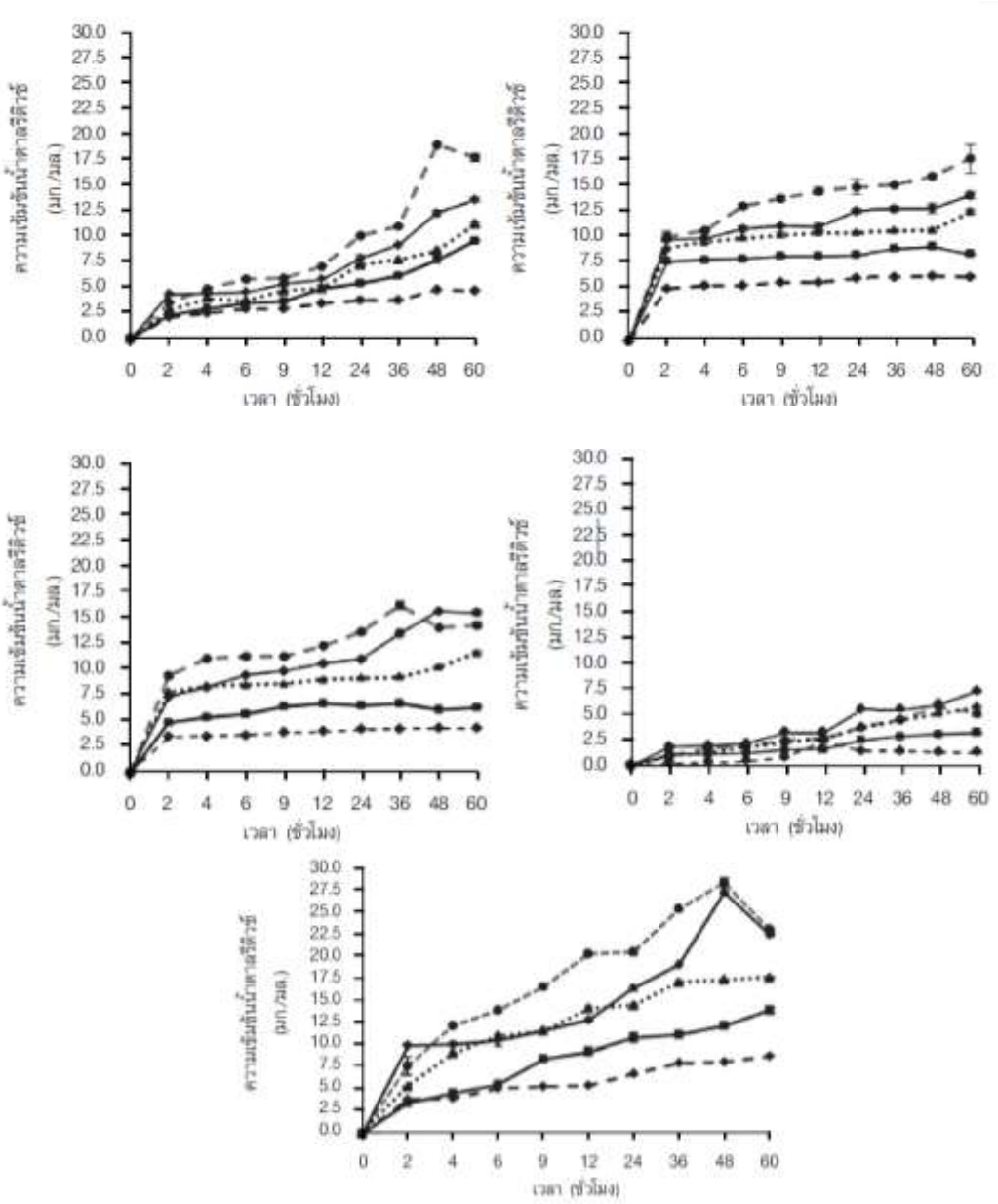



(ก) *E. coli* (ข) *L. acidophilus*

**ภาพที่ 13** กราฟการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเสริมด้วย ( ` กลูโคสเทียบกับ ( ) น้ำกากกาแฟ
**ที่มา :** พรพรรณ และคณะ (2557)

ซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ Chimtong *et al.* (2016) ได้ทำการศึกษาการผลิตน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ จากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ เปลือกตาล, เปลือกแอปเปิ้ล, กากชา, กากกาแฟ, กากเบียร์, กากเนื้อมะพร้าว และฟางข้าว โดยเอนไซม์ (Pentozyme®) ที่ย่อยสลายพอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (NPS) พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยกากชาให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 772 μg/ml และน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์สูงสุด และเมื่อนำกากชามาทดสอบคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกส์สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของ *L. acidophilus* แต่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *E. coli* และไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ Saenphoom *et al*. (2016) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มมูลค่าใบเผือก (Taro Leaves)โดยใช้การปรับปรุงด้วยเอนไซม์ (Hemicell®) เพื่อเป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์ พบว่าเซลลูโลสจากใบเผือกที่ย่อยและไม่ย่อยด้วยเอนไซม์แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.01$) โดยมีค่า 14.55 และ 15.18% ตามลำดับ และใบเผือกที่ย่อยและไม่ย่อยด้วยเอนไซม์มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.01$) โดยมีค่า 29.76 และ 6.23 mg/g ตามลำดับ โอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของ *L. plantarum* แต่ไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *E. Coli*

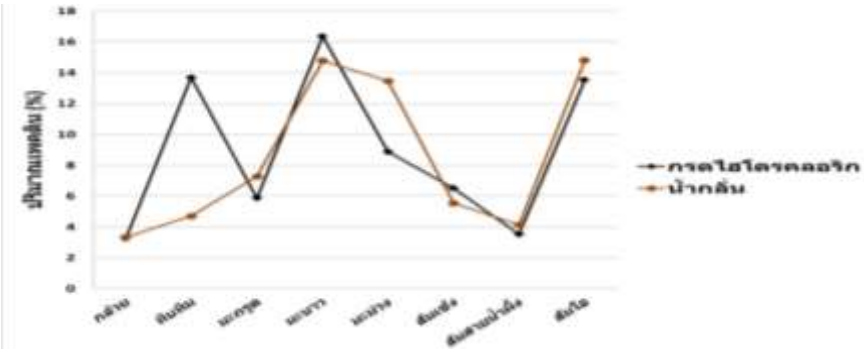
พิชามญชุ์ และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือ กากกาแฟ กากชานอ้อย กากถั่วเหลือง กากเนื้อมะพร้าว และเปลือกมันฝรั่ง ต่อการผลิตโอลิโกแซ็กคาไรด์ด้วยสารละลายเอนไซม์สกัดหยาบชนิดขับออกนอกเซลล์จาก *Penicillium oxalicum* KUB-SN2-1 ประกอบด้วย เซลลูเลส ไซลาเนส และแมนนาเนส พบว่าปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตรของกากเนื้อมะพร้าว กากกาแฟ เปลือกมันฝรั่ง และกากชานอ้อยให้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุดโดยมีค่า 28.34 (48 ชั่วโมง), 19.04 (48 ชั่วโมง), 17.75 (60 ชั่วโมง) และ 16.23 (36 ชั่วโมง) มก/มล. ตามลำดับ (ภาพที่ 14) จากนั้นวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยกากถั่วเหลือง คือแมนโนส กากชานอ้อย และเปลือกมันฝรั่งคือกลูโคสในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยกากเนื้อมะพร้าวและกากกาแฟ คือน้ำตาลที่ยังไม่ทราบชนิดแน่ชัด สอดคล้องกับการศึกษา Mandalari *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาการย่อยเปลือกมะกรูด (Bergamot peel) ด้วยเอนไซม์เพื่อให้ได้ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) และเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์ โดยใช้เอนไซม์ Pectinase และ Cellulase พบว่า สามารถผลิต POS โมเลกุลต่ำและคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ส่วนใหญ่เป็นโอลิโกแซคคาไรด์มากกว่าโพลิแซคคาไรด์ อาจประยุกต์ใช้เปลือกพืชตระกูลส้มอื่นๆ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำผลไม้ได้อีกด้วย




**ภาพที่ 14** ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยสารละลายเอนไซม์สกัดหยาบจาก *P. oxalicum* KUB-SN2-1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส, (ก) เปลือกมันฝรั่ง (ข) กากกาแฟ (ค) กากอ้อย (ง) กากถั่วเหลือง (จ) กากมะพร้าว ( - -◆- - ) 2% ( ——■—— ) 4% ( ····▲···· ) 6% ( ——◆—— ) 8% และ ( - - ● - - ) 10%

**ที่มา :** พิชามญชุ์ และคณะ (2556)

ธานุวัฒน์ และคณะ (2556) ทำการศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกผัก และผลไม้ ได้แก่ เปลือกกล้วย, เปลือกทับทิม, เปลือกมะกรูด, เปลือกมะนาว, เปลือกมะม่วง, เปลือกส้มเช้ง, เปลือกส้มสายน้ำผึ้ง และเปลือกส้มโอ พบว่า พบว่า เพคตินจากเปลือกมะนาวมีปริมาณเพคตินสูงที่สุดประมาณ 16.36% และ เพคตินจากเปลือกกล้วยมีปริมาณเพคตินต่ำที่สุดประมาณ 3.27% ส่วนเปลือกมะม่วงได้ปริมาณเพคตินประมาณ 9-13% และสีของเพคตินที่มีความใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้ามากสุดคือ เพคตินที่สกัดจากเปลือกส้มโอได้ปริมาณเพคตินประมาณ 14-15% (ภาพที่ 15)



**ภาพที่ 15** กราฟแสดงปริมาณเพคติน (%) ของเปลือกผลไม้ชนิดต่างๆ ที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก (—◆— ) และน้ำกลั่น ( —●— )

**ที่มา :** ธานุวัฒน์ และคณะ (2556)

ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ชวนิฏฐ์ และคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาการผลิตเพคตินจากเปลือกและกากผลส้มเหลือทิ้ง พบว่า เพคตินที่สกัดได้มีผลผลิต 18.48% ปริมาณความชื้นประมาณ 7.79% ปริมาณเถ้าประมาณ 5.42% ปริมาณกรดกาแล็กทูโรนิกประมาณ 66.25% และปริมาณเมทอกซิลประมาณ 4.12% ซึ่งผลผลิตเพคตินที่ได้มีความใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้า สอดคล้องกับการศึกษาของ ชินานาฏ และ สมัชญ์ (2556) ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากผักและผลไม้ที่ คือ แอปเปิ้ล, ส้มโอ, มะนาว, และกล้วย พบว่าเมื่อเปรียบเทียบลักษณะของเพคตินที่ได้จากเปลือกส้มโอ มีลักษณะทางกายรูปที่ดี สีขาว และมีผลผลิตเพคตินค่อนข้างสูงประมาณ 12.34% เปลือกมะนาวลักษณะเพคตินที่ได้มีสีขาว-เหลืองอ่อน มีผลผลิตประมาณ 8.73% และเปลือกกล้วยมีปริมาณผลผลิตเพคตินน้อยที่สุดประมาณ 4.81%

Gómez *et al*. (2016b) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกส์ของเพคตินและเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์ ที่ได้จากเปลือกมะนาวและหัวซูการ์บีท โดยใช้การย่อยด้วยเอนไซม์ pectin lyase จาก *Aspergillus niger* และ endopolygalacturonase จาก *Kluyveromyces fragilis* พบว่า โอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากเปลือกมะนาวมีปริมาณเมทอกซิลสูงกว่าในหัวซูการ์บีท และศึกษาความเป็นพรีไบโอติกส์โดยปริมาณเชื้อ *Bifidobacteria* และ *Lactobacilli* เพิ่มขึ้นจาก 19% เป็น 29%, 34% และ 32% เมื่อเลี้ยงด้วย โอลิโกแซคคาไรด์จากเปลือกมะนาว, หัวซูการ์บีท และฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (FOS) ตามลำดับ สรุปได้ว่าเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์มีคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกส์ดีกว่าเพคติน และใกล้เคียงกับ FOS ดังแสดงในตารางที่ 5

**ตารางที่ 5** ค่าเฉลี่ยของปริมาณแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในช่วงระยะเวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงด้วยผลิตภัณฑ์เพคตินและเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์จากเปลือกมะนาวและหัวซูการ์บีทเทียบกับกลุ่มควบคุม

| เชื้อ | เวลา (ชั่วโมง) | กลุ่มการทดลอง | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Control | LPOS | SBPOS | LPW Pectin | SBP Pectin | FOS |
| *Bifidobacterium* | 0 | 7.33 | 7.33 | 7.33 | 7.33 | 7.33 | 7.33 |
| | 5 | 8.09$^{b}$ | 8.66$^{b}$ | 8.67$^{b}$ | 8.45$^{b}$ | 8.40$^{b}$ | 8.45$^{b}$ |
| | 10 | 7.98$^{b}$ | 8.84$^{b}$ | 8.94$^{b}$ | 8.91$^{c}$ | 8.62$^{c}$ | 8.76$^{b}$ |
| | 24 | 8.10$^{b}$ | 8.93$^{b}$ | 8.92$^{b}$ | 9.05$^{c}$ | 8.60$^{c}$ | 8.83$^{c}$ |
| *Lactobacillus* | 0 | 7.09 | 7.09 | 7.09 | 7.09 | 7.09 | 7.09 |
| | 5 | 7.73$^{b}$ | 8.55$^{b}$ | 8.50$^{b}$ | 8.34$^{b}$ | 8.26$^{b}$ | 8.42$^{b}$ |
| | 10 | 7.78$^{b}$ | 8.74$^{b}$ | 8.72$^{b}$ | 8.80$^{c}$ | 8.44$^{b}$ | 8.69$^{bc}$ |
| | 24 | 7.95$^{b}$ | 8.92$^{b}$ | 8.59$^{b}$ | 8.88$^{c}$ | 8.46$^{b}$ | 8.97$^{c}$ |

**หมายเหตุ :** $^{a, b}$ จำนวนในแถวเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์มีหน่วยเป็น $\log_{10}$ cell/ml

LPOS = เพคติกโอลิโกแซคคาไรด์จากเปลือกมะนาว, SBPOS = เพคติกโอลิโกแซคคาไรด์จากหัวซูการ์บีท,

LPW Pectin = เพคตินจากเปลือกมะนาว, SBP Pectin = เพคตินจากหัวซูการ์บีท, FOS = ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์.

**ที่มา :** ดัดแปลงจาก Gómez *et al*. (2016b)

Di *et al.* (2017) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกส์ของเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากเปลือกส้ม และเพคตินเปลือกพืชตระกูลส้ม (Citrus fruit) โดยตรวจสอบจากเชื้อที่พบในอุจจาระของมนุษย์ พบว่า POS สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ และยับยั้งการเชื้อแบคทีเรียที่ก่อเชื้อโรคในมนุษย์ นั้นคือ *E. coli* O157:H7 รวมทั้งยังสามารถลดสารพิษที่เกิดจากเชื้อได้อีกด้วย สอดคล้องกับการศึกษาของ Manderson *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกส์ของโอลิโกแซคคาไรด์จากวัสดุเหลือทิ้งในโรงงานแปรรูปน้ำส้ม โดยทดลองเลี้ยงเชื้อที่พบในอุจจาระมนุษย์ในหลอดทดลอง พบว่า เปลือกส้มสามารถให้ปริมาณเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์ 16% ของผลผลิต และสามารถเพิ่มปริมาณของเชื้อแบคทีเรียที่มีประโยชน์ กลุ่ม *Eubacterium rectale* ประมาณ 8.27-8.56 $Log_{10}$ cells $ml^{-1}$ และ *Lactobacilli* ประมาณ 6.84-7.18 $Log_{10}$ cells $ml^{-1}$ สรุปได้ว่าเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์มีความเป็นพรีไบโอติกส์ที่จะช่วยส่งเสริมสุขภาพที่ดีให้กับมนุษย์

# บทที่ 2
# วิธีดำเนินการทดลอง

**1. วิธีการทดลอง**

การศึกษาในครั้งนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

**การทดลองที่ 1 ศึกษาคุณลักษณะและปริมาณของโอลิโกแซคาไรด์จากเปลือกผลไม้**

1. การเตรียมวัตถุดิบ

ทำการเก็บตัวอย่างเปลือกผลไม้ชนิดต่างๆ อย่างละประมาณ 4 กิโลกรัม ซึ่งเป็นเศษเหลือจากร้านค้าผลไม้ในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ เปลือกส้มโอ, เปลือกมะนาว และเปลือกมะม่วง หั่นให้มีขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ℃ ใช้เวลา 24 ชั่วโมง นำไปบดด้วยเครื่องบดวัตถุดิบ CULATTI แล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 1 x 1 มิลลิเมตร เก็บใส่ถุงแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 ℃ หรือโถดูดความชื้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป (ภาคผนวก ก และ ข)

2. แผนการทดลอง

นำเปลือกผลไม้ ได้แก่ เปลือกส้มโอ, เปลือกมะนาว และเปลือกมะม่วงมาย่อยด้วยเอนไซม์ทางการค้า เฮมิเซลล์® (Hemicell®, endo-1,4 β-Mannanase) โดยทำการละลายเอนไซม์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate buffer) ที่ค่า pH เท่ากับ 7 แล้วจึงผสมกับเปลือกผลไม้ในอัตราส่วน 1 %(w/w) แบ่งเป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1, 2 และ 3 คือ เปลือกผลไม้ที่ไม่ย่อยด้วยเอนไซม์ (กลุ่มควบคุม) และกลุ่มที่ 4, 5 และ 6 คือ เปลือกผลไม้ที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Hemicell ® กลุ่มการทดลองละ 3 ซ้ำ ดังนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 คือ เปลือกส้มโอที่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์

กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ เปลือกมะนาวที่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์

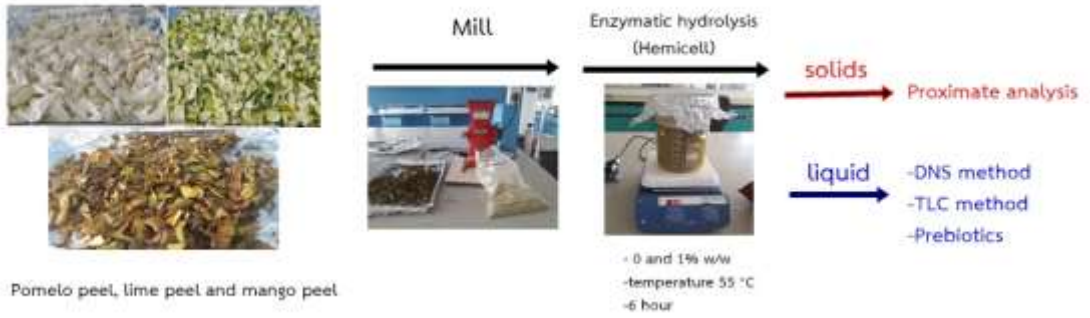
กลุ่มการทดลองที่ 3 คือ เปลือกมะม่วงที่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์

กลุ่มการทดลองที่ 4 คือ เปลือกส้มโอที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Hemicell ®

กลุ่มการทดลองที่ 5 คือ เปลือกมะนาวที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Hemicell ®

กลุ่มการทดลองที่ 6 คือ เปลือกมะม่วงที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Hemicell ®

ทำการย่อยเปลือกผลไม้ชนิดต่างๆ ในเครื่องกวนสารชนิดให้ความร้อน (Hotplate stirrer) ที่อุณหภูมิ 55 ℃ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกสารส่วนใสและส่วนแข็งวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป (ภาคผนวก ข) ดังแสดงในภาพที่ 16




**ภาพที่ 16** ขั้นตอนวิธีดำเนินการทดลอง

3. สิ่งที่ศึกษา

1) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี Proximate analysis โดยนำตัวอย่างของแข็งทำการวิเคราะห์วัตถุแห้ง (Dry matter), เถ้า (Ash), ไขมันรวม (Ether extract), โปรตีนหยาบ (Crude protein) และพลังงานรวม (Gross energy) (AOAC, 1990), ทำการวิเคราะห์หาค่า Neutral detergent fiber (NDF), Acid detergent fiber (ADF), Acid detergent lignin (ADL), วิเคราะห์เซลลูโลส (Cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) โดยวิธี Detergent (Goering and Van Soest, 1970)

2) วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) โดยวิธี Dinitrosalicy Acid Assay (Miller, 1959) ดูดสารตัวอย่างประมาณ 0.5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง เติมสารละลาย DNS ประมาณ 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วดูดใส่หลอดไมโครเซนติฟิวก์พลาสติกแบบมีฝาปิดปริมาตร 1 มิลลิลิตร ปิดฝาต้มในน้ำเดือด 10 นาที (นับเวลาเมื่อเดือด) เมื่อครบ 10 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในอุณหภูมิห้อง นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร และนำค่าที่ได้เทียบหาค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กับกราฟกลูโคสมาตรฐาน (ภาพภาคผนวกที่ 9) พร้อมทั้งเตรียม Blank โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง (ภาคผนวก ข)

การทำกราฟกลูโคสมาตรฐาน

เจือจางสารละลายกลูโคสมาตรฐานความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของกลูโคสในระดับต่างๆ (0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ดูดสารละลายกลูโคสประมาณ 0.5 มิลลิลิตร และเติมสาร DNS ประมาณ 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดกลูโคสมาตรฐานทุกหลอด และต้มในน้ำเดือด 10 นาที จะเกิดสีน้ำตาลตามระดับปริมาณกลูโคสในแต่ละหลอด ทิ้งไว้ให้เย็นในอุณหภูมิห้อง วัดคาดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟมาตรฐาน

3) การวิเคราะห์โอลิโกแซคคาไรด์ โดยวิธี Thin layer chromatography (TLC) โดยนำผลผลิตที่ได้จากการย่อยเปลือกผลไม้ด้วยเอนไซม์มาวิเคราะห์หาชนิดของน้ำตาลที่ได้โดยเทคนิค Thin layer chromatography โดยนำสารละลายตัวอย่างมาหยด ลงบน Silica gel 60, F254 plate (Merck & Co., Inc. art. No.1.05554 ขนาด 20 x 20 ซม.) จากนั้นนำไปจุ่มลงในภาชนะที่มี Mobile phase ซึ่งประกอบด้วย 2-Propanol : Ammonium hydroxide : Distilled water (7 : 1 : 2) เมื่อ Mobile phase เคลื่อนที่เกือบสุดแผ่นนำแผ่น Silica gel ออกมาผึ่งให้แห้ง จากนั้นพ่นด้วย Reagent ซึ่งประกอบด้วย 10%(v/v) Sulfuric acid ใน Ethanol ลงบนแผ่นจนทั่วจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C จนเห็นตัวอย่างชัดเจนแล้วเปรียบเทียบกับเพคติน (ธนวรรณ และคณะ, 2551; Cabrera and Cutsem, 2005) (ภาคผนวก ก)

**การทดลองที่ 2 ศึกษาความเป็นพรีไบโอติกส์ของเปลือกผลไม้ที่ย่อยด้วยเอนไซม์**

1. แผนการทดลอง

โดยการนำไปเลี้ยงในเชื้อจุลินทรีย์ตัวอย่าง (*L. plantarum* และ *E. coli*) แบ่งเป็น 2 การทดสอบ คือ การทดสอบความสามารถในการส่งเสริมการเจริญของโปรไบโอติกส์ และการทดสอบการเป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อโรค (สุคนธ์ และคณะ, 2555) ในอาหารเลี้ยงเชื้อพื้นฐาน (สภาวะปกติ) เปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตในอาหารที่มีผลผลิตน้ำตาลที่ได้จากการย่อยเปลือกผลไม้ด้วยเอนไซม์ ได้แก่ เปลือกส้มโอ, เปลือกมะนาว และเปลือกมะม่วง แบ่งเป็นกลุ่มการทดลอง 4 กลุ่มการทดลอง กลุ่มการทดลองละ 3 ซ้ำ ตามระดับความเข้มข้นของน้ำตาลที่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยในแต่ละกลุ่มการทดลองจะประกอบด้วยเชื้อ *L. plantarum* และ *E. coli*

กลุ่มการทดลองที่ 1 คือ กลุ่มของอาหารเลี้ยงเชื้อพื้นฐาน (กลุ่มควบคุม)

กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ ผลผลิตน้ำตาลของเปลือกส้มโอที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Hemicell ®

กลุ่มการทดลองที่ 3 คือ ผลผลิตน้ำตาลของเปลือกมะนาวที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Hemicell ®

กลุ่มการทดลองที่ 4 คือ ผลผลิตน้ำตาลของเปลือกมะม่วงที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Hemicell ®

ทำการเขี่ยเชื้อแบคทีเรียจาก Stock culture ที่เก็บไว้ในกลีเซอรอล (Glycerol) มาถ่ายลงในอาหาร Nutrient Broth (NB) ที่มีผลผลิตน้ำตาลที่ได้จากการย่อยเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอน บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา18-24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการวัดการเจริญเติบโตของโปรไบโอติกส์ ได้แก่ *L. plantarum* โดยจดบันทึกค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ในช่วงเวลา 0, 6, 12, 18, 25 และ 48 ชั่วโมง และทดสอบการเป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อโรค ได้แก่ *E. coli* โดยวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ในช่วงเวลา 0, 3, 6, 9, 12, 15 และ 18 ชั่วโมง เพื่อนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้มาประเมินการเจริญเติบเติบโตของจุลินทรีย์ตามช่วงเวลาต่างๆ เปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตในอาหารเลี้ยงเชื้อพื้นฐาน (NB) โดยทำการสร้างกราฟการเจริญเติบโตของ *L. plantarum* และ *E. coli* (ภาคผนวก ข)

**2. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1998)

**3. ขอบเขตการวิจัย**

ศึกษาการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี, การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์, การวิเคราะห์น้ำตาลโอลิแซ็คคาไรด์ที่เกิดขึ้น และการปรับปรุงเปลือกผลไม้ด้วยเอนไซม์เพื่อศึกษาความเป็นพรีไบโอติกส์

**4. ระยะเวลาทำการทดลอง**

ระยะเวลาในการทำงานวิจัยตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2559 – 31 ธันวาคม 2560 ระยะเวลาดำเนินงานทดลอง 15 เดือน

**5. สถานที่ดำเนินการวิจัย ทดลอง และเก็บข้อมูล**

ห้องปฏิบัติการคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี

# บทที่ 3
# ผลการวิจัยและวิจารณ์

**การทดลองที่ 1 ศึกษาคุณลักษณะและปริมาณของโอลิโกแซคาไรด์จากเปลือกผลไม้**

**1. องค์ประกอบทางเคมี**

จากการศึกษา พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของแต่ละกลุ่มการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) โดยกลุ่มการทดลองที่ 5 มีปริมาณเถ้า, โปรตีนหยาบ และไขมันรวมสูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ (P<0.01) โดยมีค่า 4.98, 6.40 และ 8.87% ตามลำดับ แต่มีปริมาณเซลลูโลสต่ำกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ (P<0.01) โดยมีค่า 9.92% ในขณะที่กลุ่มการทดลองที่ 3 และ 6 มีค่าพลังงานรวมสูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ (P<0.01) โดยมีค่า 4,069.14 และ 4,100.54 kcal/kg ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าการย่อยเปลือกผลไม้ (เปลือกส้มโอ, เปลือกมะนาว และเปลือกมะม่วง) ด้วยเอนไซม์มีปริมาณเถ้าโดยมีค่า 4.31, 4.98 และ 3.29% ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากลุ่มเปลือกผลไม้ที่ไม่ได้ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ (P<0.01) การย่อยเปลือกส้มโอและเปลือกมะนาวด้วยเอนไซม์มีปริมาณไขมันรวม (8.10 และ 8.87%) และโปรตีนหยาบ (4.69 และ 6.40%) สูงกว่าเปลือกส้มโอและเปลือกมะนาวที่ไม่ได้ย่อยด้วยเอนไซม์ (P<0.01) (ตารางที่ 6)

**ตารางที่ 6** องค์ประกอบทางเคมีของแต่ละกลุ่มการทดลอง

| องค์ประกอบทางเคมี (%) | กลุ่มการทดลอง | | | | | | SEM | T1,T2,T3 VS T4,T5,T6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | | |
| ความชื้น | 5.01$^{b}$ | 4.21$^{c}$ | 2.89$^{d}$ | 5.71$^{a}$ | 4.31$^{c}$ | 2.96$^{d}$ | 0.02 | <0.0001 |
| วัตถุแห้ง | 94.99$^{c}$ | 95.79$^{b}$ | 97.11$^{a}$ | 94.29$^{d}$ | 95.69$^{b}$ | 97.04$^{a}$ | 0.02 | <0.0001 |
| .....เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง..... | | | | | | | | |
| เถ้า | 3.56$^{d}$ | 4.85$^{b}$ | 2.75$^{f}$ | 4.31$^{c}$ | 4.98$^{a}$ | 3.29$^{e}$ | 0.01 | <0.0001 |
| โปรตีนหยาบ | 3.83$^{e}$ | 5.93$^{b}$ | 5.26$^{c}$ | 4.69$^{d}$ | 6.40$^{a}$ | 5.45$^{c}$ | 0.03 | <0.0001 |
| ไขมันรวม | 6.67$^{b}$ | 6.65$^{b}$ | 8.71$^{a}$ | 8.10$^{a}$ | 8.87$^{a}$ | 8.59$^{a}$ | 1.87 | 0.0059 |
| NDF | 67.74$^{a}$ | 37.54$^{f}$ | 40.40$^{e}$ | 60.18$^{b}$ | 44.70$^{c}$ | 42.27$^{d}$ | 0.13 | 0.7912 |
| ADF | 39.30$^{a}$ | 25.14$^{c}$ | 25.98$^{c}$ | 37.70$^{a}$ | 26.83$^{b}$ | 26.44$^{c}$ | 0.55 | 1.0000 |
| ADL | 29.61$^{a}$ | 3.62$^{f}$ | 8.31$^{d}$ | 27.07$^{b}$ | 16.05$^{c}$ | 6.17$^{e}$ | 0.07 | <0.0001 |
| เฮมิเซลลูโลส | 29.06$^{a}$ | 12.85$^{f}$ | 14.63$^{e}$ | 21.98$^{b}$ | 18.75$^{c}$ | 16.87$^{d}$ | 0.03 | 0.3836 |
| เซลลูโลส | 9.76$^{c}$ | 21.52$^{a}$ | 17.67$^{b}$ | 10.63$^{c}$ | 10.78$^{c}$ | 20.27$^{a}$ | 0.16 | 0.6884 |
| พลังงานรวม (kcal/kg) | 3,680.72$^{b}$ | 3,626.10$^{b}$ | 4,069.14$^{a}$ | 3,729.20$^{b}$ | 3,518.01$^{b}$ | 4,100.54$^{a}$ | 33.05 | 0.4846 |

**หมายเหตุ :** $^{a,b,c,d,e,f}$ ค่าเฉลี่ยในแนวเดี่ยวกันมีอักษรกำกับแตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01), T1 = เปลือกส้มโอที่ไม่ได้ทำการย่อยด้วยเอนไซม์, T2 = เปลือกมะนาวที่ไม่ได้ทำการย่อยด้วยเอนไซม์, T3 = เปลือกมะม่วงที่ไม่ได้ทำการย่อยด้วยเอนไซม์, T4 = เปลือกส้มโอที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Hemicell ® ที่ระดับ 1% (w/w), T5 = เปลือกมะนาวที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Hemicell ® ที่ระดับ 1% (w/w), T6 = เปลือกมะม่วงที่ย่อยด้วยเอนไซม์

Hemicell ® ที่ระดับ 1% (w/w), NDF = Neutral Detergent Fiber, ADF = Acid Detergent Fiber, ADL = Acid Detergent Lignin, SEM = Standard error means

เมื่อนำเปลือกผลไม้สด ได้แก่ เปลือกส้มโอ, เปลือกมะนาว และเปลือกมะม่วงมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 75.08, 78.05 และ 76.49% ตามลำดับ จากนั้นนำเปลือกผลไม้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 ℃ นาน 24 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณความชื้นลดลง โดยมีค่า 5.01, 4.21 และ 2.89% ตามลำดับ นอกจากนี้ การย่อยเปลือกผลไม้ด้วยเอนไซม์จะมีปริมาณเถ้า, โปรตีนหยาบ และไขมันรวมสูงกว่ากลุ่มเปลือกผลไม้ที่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนหยาบและเถ้าที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นเพราะเอนไซม์ Hemicell® ที่ใช้เป็นเอนไซม์หยาบ (Crude enzyme) ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีเป็นโปรตีน สอดคล้องกับ พรพรรณ และคณะ (2557) ได้ทำการศึกษาการย่อยกากกาแฟด้วยเอนไซม์ Pentozyme® พบว่ากากกาแฟที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในอัตราส่วน 4:4 จะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่ากลุ่มของกากกาแฟที่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ อย่างไรก็ตาม ปริมาณเยื่อใย NDF และ ADL ในกลุ่มเปลือกส้มโอที่ทำการย่อยด้วยเอนไซม์มีค่าต่ำกว่ากลุ่มเปลือกส้มโอที่ไม่ได้ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ สอดคล้องกับ Saenphoom *et al*. (2016) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มมูลค่าใบเผือกโดยใช้การปรับปรุงด้วยเอนไซม์ Hemicell® พบว่าเอนไซม์สามารถลดปริมาณของเยื่อใย NDF และ ADL ในใบเผือกได้ และเซลลูโลสจากใบเผือกที่ไม่ย่อยด้วยเอนไซม์เทียบกับใบเผือกย่อยด้วยเอนไซม์มีค่าลดลงจาก 15.18% เป็น 14.55% และสอดคล้องกับ Hendrianie *et al.* (2015) ได้ทำการศึกษาการใช้สารละลายเอนไซม์สกัดหยาบจาก *Aspergillus niger* และ *Trichoderma reesei* ในการย่อยเปลือกกล้วยที่อัตราส่วน 1: 0, 0: 1, 1: 1 และ 1: 2 พบว่าที่อัตราส่วน 1:2 สามารถย่อยสลายลิกนิกและเซลลูโลสได้มากขึ้น โดยมีค่า 12.86% และ 12.97% ตามลำดับเนื่องจากอัตราส่วนเชื้อรา *Trichoderma reseei* มากขึ้นทำให้จุลินทรีย์ทั้งสองชนิดทำงานร่วมกันเพื่อลดปริมาณลิกนินและเซลลูโลสลงได้ประมาณ 11.37% และ 16.04%

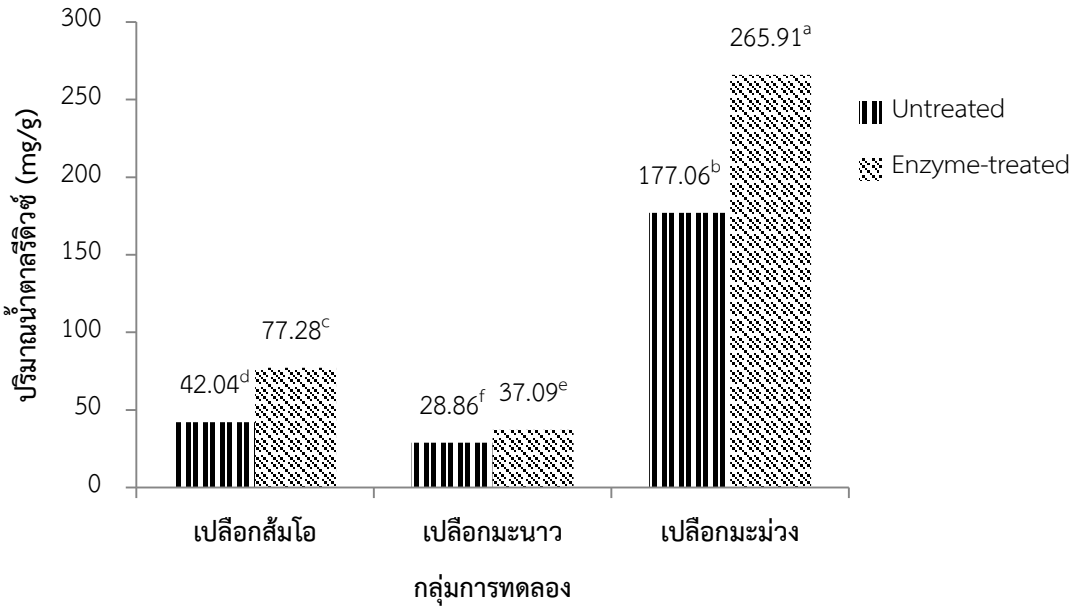
**2. ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์**

จากการศึกษาในครั้งนี้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของแต่ละกลุ่มการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) พบว่า กลุ่มการทดลองที่ 6 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่นๆ ($P<0.05$) โดยมีค่า 42.04, 28.86, 177.06, 77.28, 37.09 และ 265.91 mg/g ตามลำดับ (ตารางที่ 7) และเปลือกผลไม้ที่ทำการย่อยด้วยเอนไซม์มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่าเปลือกผลไม้ที่ไม่ได้ย่อยด้วยเอนไซม์ ($P<0.05$) โดยเปลือกส้มโอ, เปลือกมะนาว และเปลือกมะม่วงที่ทำการย่อยด้วยเอนไซม์มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นประมาณ 83.82, 28.52 และ 50.18% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับเปลือกผลไม้ที่ไม่ได้ทำการย่อยด้วยเอนไซม์ ดังแสดงในภาพที่ 17

**ตารางที่ 7** ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (mg/g) ของแต่ละกลุ่มการทดลอง

| ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (mg/g) | กลุ่มการทดลอง | | | | | | SEM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | |
| | $42.04^{d}$ | $28.86^{f}$ | $177.06^{b}$ | $77.28^{c}$ | $37.09^{e}$ | $265.91^{a}$ | 0.38 |

**หมายเหตุ :** $^{a,b,c,d,e,f}$ ค่าเฉลี่ยในแนวเดี่ยวกันมีอักษรกำกับแตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$), T1 = เปลือกส้มโอที่ไม่ได้ทำการย่อยด้วยเอนไซม์, T2 = เปลือกมะนาวที่ไม่ได้ทำการย่อยด้วยเอนไซม์, T3 = เปลือกมะม่วงที่ไม่ได้ทำการย่อยด้วยเอนไซม์, T4 = เปลือกส้มโอที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Hemicell ® ที่ระดับ 1% (w/w), T5 = เปลือกมะนาวที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Hemicell ® ที่ระดับ 1% (w/w), T6 = เปลือกมะม่วงที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Hemicell ® ที่ระดับ 1% (w/w) , SEM = Standard error means




**ภาพที่ 17** กราฟปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยเปลือกผลไม้ชนิดต่างๆ (เปลือกส้มโอ, เปลือกมะนาว และเปลือกมะม่วง) ด้วยเอนไซม์

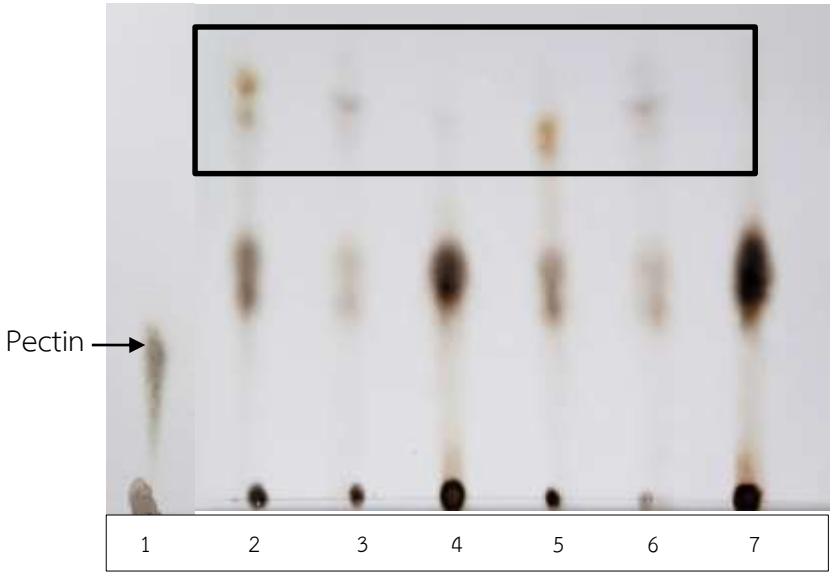
**หมายเหตุ** Untreated = เปลือกผลไม้ที่ไม่ได้ทำการย่อยด้วยเอนไซม์, Enzyme-treated = เปลือกผลไม้ที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Hemicell® ที่ระดับ 1% (w/w)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเปลือกผลไม้ ได้แก่ เปลือกส้มโอ, เปลือกมะนาว และเปลือกมะม่วงที่ไม่ได้ถูกย่อยด้วยเอนไซม์มีค่าน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มต้น 42.04 , 28.86 และ 177.06 mg/g ตามลำดับ ซึ่งน้ำตาลในวัตถุดิบเริ่มต้นอาจเกิดจากการลดขนาดลงของวัตถุดิบด้วยกระบวนการปั่นละเอียด ทำให้โพลีแซคคาไรด์ เช่น เซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส และอื่นๆ มีขนาดเล็กลง และเพคตินสามารถละลายได้ในน้ำและความร้อน อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ตรวจพบในกลุ่มของเปลือกส้มโอ, เปลือกมะนาว และเปลือกมะม่วงที่ทำการย่อยด้วยเอนไซม์ มีปริมาณน้ำตาล 77.28, 37.09 และ 265.91 mg/g ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่ากลุ่มของเปลือกผลไม้ที่ไม่ได้ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ โดยเปลือกมะม่วงมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่ากลุ่มเปลือกผลไม้ชนิดอื่นๆ ($P<0.05$) อาจเกิดจากเปลือกมะม่วงมีปริมาณเยื่อใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber; SDF) ประมาณ 19.45 % (Arumugam and Manikandan, 2011) ซึ่งสูงกว่าพืชตระกูลส้ม ได้แก่ ส้มโอและมะนาวมีค่า SDF ประมาณ 6.43 และ 9.20% ตามลำดับ (Figuerola *et al.,* 2005) นอกจากนี้เอนไซม์เฮมิเซลล์® (Hemicell®) ที่ใช้เป็นเอนไซม์รวมที่ประกอบไปด้วย endo-1,4 β-Mannanase เป็นหลักที่มีประสิทธิภาพในการย่อยผนังเซลล์พืช สอดคล้องกับกับการศึกษาของ Saenphoom *et al*. (2016) พบว่าการปรับปรุงใบเผือกด้วยเอนไซม์ (Hemicell®) ที่ระดับ 1% (w/v) นาน 6 ชั่วโมงมีระดับของน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 29.78 mg/g สูงกว่ากลุ่มของใบเผือกที่ไม่ได้ถูกย่อย (6.23 mg/g) สอดคล้องกับการศึกษา Bahramian *et al.* (2011) ได้ทำการศึกษาการปรับสภาพผลอินทผาลัม (Kabkab date fruit) เพื่อผลิตน้ำตาลด้วยเอนไซม์เพคติเนสและเซลลูเลส พบว่า การปรับสภาพของผลอินทผาลัมโดยใช้เอนไซม์ทั้งสองชนิดทำให้ปริมาณน้ำตาลที่สกัดได้เพิ่มขึ้นประมาณ 18% โดยปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นประมาณ 14.42% เมื่อปรับสภาพด้วยเอนไซม์ เพคติเนส, เซลลูเลส และเอนไซม์ทั้งสองชนิดรวมกันมีค่าปริมาณน้ำตาลประมาณ 17.08, 17.01 และ 21.08% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Olanbiwoninu and Odunfa (2012) ได้

ทำการศึกษาการปรับสภาพกากมันสำปะหลังที่ถูกไฮโดรไลท์ด้วยเอนไซม์จาก *Pseudomonas fluorescens* และ *Aspergillus terreus* เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้ 88 และ 98% ตามลำดับ และสอดคล้องกับการศึกษา Arumugam and Manikandan (2011) ทำการศึกษาการหมักเศษเหลือ ได้แก่ เปลือกกล้วยและมะม่วงเพื่อผลิตเอทานอลด้วยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis และ Aspergilus niger* พบว่าเมื่อหมักเปลือกกล้วยร่วมกับมะม่วงด้วยเอนไซม์สามารถผลิตน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดประมาณ 33.90% และหมักเปลือกกล้วยด้วยเอนไซม์ผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ประมาณ 36.67% และเปลือกมะม่วงผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ประมาณ 31.29% สอดคล้องกับ Hendrianie *et al.* (2015) ได้ทำการศึกษาการใช้สารละลายเอนไซม์สกัดหยาบจาก *Aspergillus niger* และ *Trichoderma reesei* ในการย่อยเปลือกกล้วยที่อัตราส่วน 1:0, 0:1, 1:1 และ 1:2 พบว่าที่อัตราส่วน 1:2 อุณหภูมิ 50 ˚C pH 5 เวลา 64 ชั่วโมงให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสสูงสุดประมาณ 0.52% และเมื่อย่อยด้วยสารละลายเอนไซม์จาก *Saccharomyces cerevisiae* นาน 0 และ 3 วันสามารถให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสประมาณ 0.52% และ 1.63% ตามลำดับ

**3. การวิเคราะห์โอลิโกแซคคาไรด์**

การศึกษาในครั้งนี้ พบว่ามีผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ จึงนำมาวิเคราะห์โอลิโกแซคคาไรด์ที่เกิดขึ้น โดยวิธี Thin layer chromatography (TLC) ทำการเปรียบเทียบกับเพคติน พบว่าน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ที่เกิดขึ้นของผลผลิตน้ำตาลของเปลือกผลไม้ที่ไม่ได้ย่อยด้วยเอนไซม์ กับ กลุ่มที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Hemicell® ที่ระดับ 1% (w/w) ไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่ามีโอลิโกแซคคาไรด์เป็นองค์ประกอบ ดังแสดงในภาพที่ 18




**ภาพที่ 18** ผลการวิเคราะห์โอลิโกแซคคาไรด์ที่เกิดขึ้นโดยวิธี Thin layer chromatography

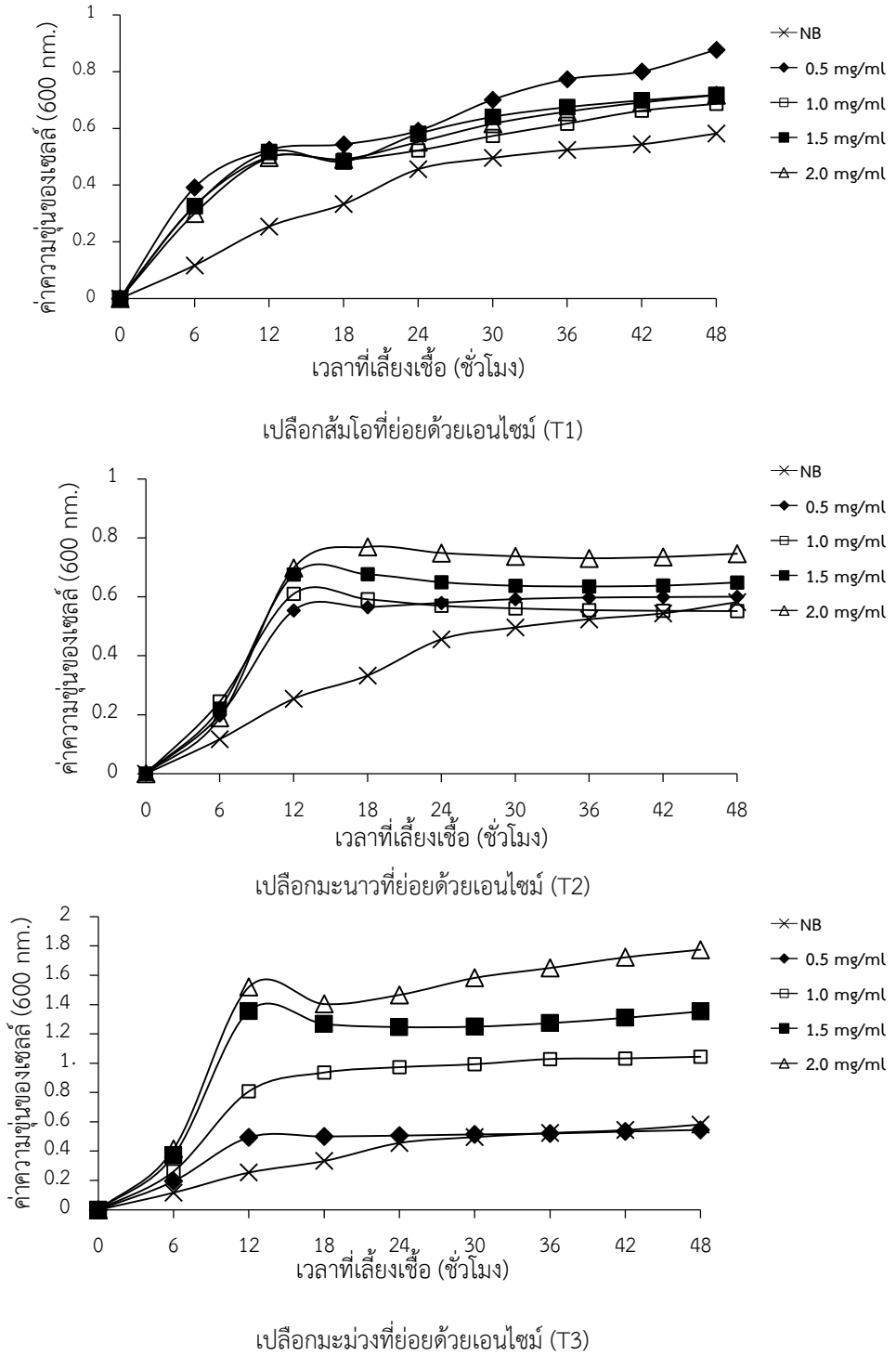
**หมายเหตุ :** แถวที่ 1 = เพคติน (Pectin), แถวที่ 2 = เปลือกส้มโอที่ไม่ได้ย่อยด้วยเอนไซม์ (กลุ่มการทดลองที่ 1), แถวที่ 3 = เปลือกมะนาวที่ไม่ได้ย่อยด้วยเอนไซม์ (กลุ่มการทดลองที่ 2), แถวที่ 4 = เปลือกมะม่วงที่ไม่ได้ย่อยด้วยเอนไซม์ (กลุ่มการทดลองที่ 3), แถวที่ 5 = เปลือกส้มโอที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Hemicell ® (กลุ่มการ

ทดลองที่ 4), แถวที่ 6 = เปลือกมะนาวที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Hemicell ® (กลุ่มการทดลองที่ 5), แถวที่ 7 = เปลือกมะม่วงที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Hemicell ® (กลุ่มการทดลองที่ 6)

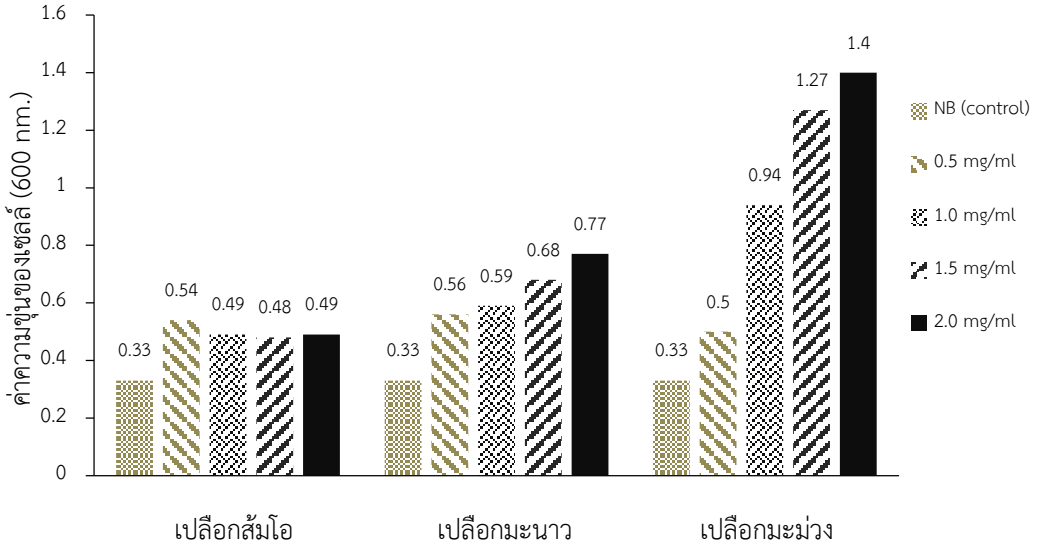
จากการทดลองจะเห็นว่า แถวที่ 1 คือ เพคตินซึ่งเป็นสารมาตรฐานในการบ่งชี้ว่าผลผลิตที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์มีโอลิโกแซคคาไรด์เป็นองค์ประกอบ เนื่องจากผลผลิตที่ได้จากเปลือกผลไม้ทุกชนิดทั้งที่ไม่ได้ถูกย่อยและที่ได้จากการย่อยเคลื่อนที่สูงกว่าตำแหน่งของเพคติน แสดงว่าผลผลิตที่ได้มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าเพคติน ซึ่งอาจจะมีกรดกาแล็กทูโรนิกและเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์เป็นองค์ประกอบ สอดคล้องกับการศึกษา พรพรรณ และสุภาวดี (2557) ได้ทำการศึกษาการย่อยกากชาด้วยเอนไซม์ Pentozyme® พบว่าโอลิโกแซคคาไรด์ของกลุ่มกากชาที่ไม่ได้ย่อยด้วยเอนไซม์และกลุ่มควบคุม) กับกลุ่มที่ย่อยด้วยเอนไซม์ที่ระดับต่างๆไม่มีความแตกต่างกัน เอนไซม์สามารถย่อยกากชาให้ได้ผลิตภัณฑ์หลักคือ กลูโคสและโอลิโกแซคคาไรด์ ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าน้ำตาล Cellobiose และการศึกษา พิชามญชุ์ และคณะ (2556) ศึกษาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 5 ชนิด คือ กากกาแฟ กากชานอ้อย กากถั่วเหลือง กากเนื้อมะพร้าว และเปลือกมันฝรั่ง พบว่าได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ตามชนิดของน้ำตาลที่เป็นส่วนประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร สอดคล้องกับการศึกษาของ Velázquez-Martínez *et al*. (2014) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกส์ของสารสกัดฟรุคแทน (Fructans) จากใบป่านศรนารายณ์ (*Agave angustifolia*) เมื่อตรวจสอบสารสกัดด้วยเทคนิค TLC พบว่าการเคลื่อนที่ของสารสกัดอยู่ในแนวเดียวกับซูโครส (Sucrose) และ FOS แต่เคลื่อนที่ตำแหน่งต่ำกว่าฟรัคโทส (Fructose) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจมีโอลิโกแซคคาไรด์เป็นองค์ประกอบ สอดคล้องกับการศึกษาของ Reiffová and Nemcová (2006) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค TLC เพื่อตรวจสอบผลิตภัณฑ์พรีไบโอติกส์ทางการค้า Raftilose (FOS) ในลำไส้เล็กของสัตว์กระเพาะเดี่ยว พบว่า Raftilose มีซูโครสและฟรัคโทสเป็นองค์ประกอบเพราะเคลื่อนอยู่ในระดับเดียวกับตัวอย่างซูโครสและฟรัคโทสแต่เคลื่อนที่ต่ำกว่าระดับของน้ำตาลกลูโคส

**การทดลองที่ 2 ศึกษาความเป็นพรีไบโอติกส์ของเปลือกผลไม้ที่ย่อยด้วยเอนไซม์**

จากการตรวจสอบผลผลิตน้ำตาลที่ได้จากการย่อยเปลือกผลไม้ (เปลือกส้มโอ, เปลือกมะนาว และเปลือกมะม่วง) ด้วยเอนไซม์ ที่ผ่านการตรวจสอบโดยวิธี TLC พบว่า สามารถให้ผลผลิตน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ จากนั้นนำมาตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกส์โดยการทดสอบความสามารถในการส่งเสริมการเจริญของโปรไบโอติกส์ (*L. plantarum)* และการทดสอบการเป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อโรค (*E. coli*) โดยผลผลิตที่ได้จากการย่อยเปลือกผลไม้ชนิดต่างๆ มาเลี้ยงในจุลินทรีย์ทั้งสองชนิด เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเติมผลผลิตน้ำตาล พบว่าเมื่อเลี้ยงเชื้อ *L. plantarum* ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผสมผลผลิตที่ได้จากการย่อยเปลือกผลไม้ (เปลือกส้มโอ, เปลือกมะนาว และเปลือกมะม่วง) ด้วยเอนไซม์ทุกกลุ่ม ในระดับความเข้มข้นต่างๆ มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สูงกว่ากลุ่มควบคุม โดยการเจริญเติบโตของเชื้อ *L. plantarum* ในชั่วโมงเลี้ยงเชื้อ 18 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้น 2.0 mg/ml สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นประมาณ 48.49, 133.33 และ 324.24% ตามลำดับ (ภาพที่ 19 และ 20)



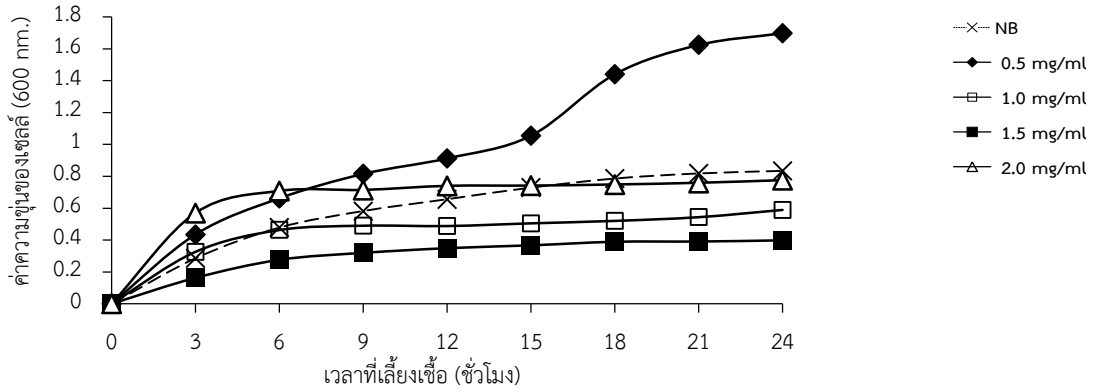

**ภาพที่ 19** กราฟแสดงการเจริญเติบโตของเชื้อ *L. plantarum* เปรียบเทียบระหว่างการเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่เติมและเติมผลผลิตน้ำตาลจากการย่อยเปลือกผลไม้ที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ



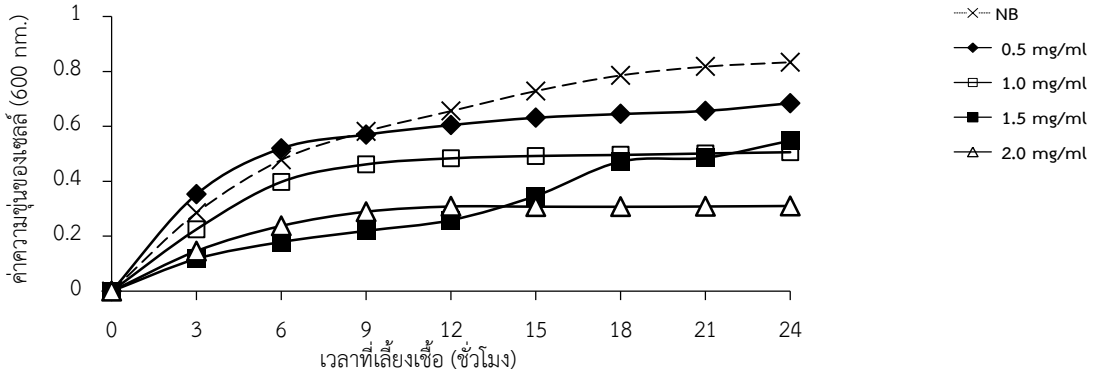

**ภาพที่ 20** กราฟแสดงความแตกต่างของการเจริญเติบโตของเชื้อ *L. plantarum* ที่ stationary phase ณ เวลาที่เลี้ยง 18 ชั่วโมง

จะเห็นได้ว่า ผลผลิตจากการย่อยเปลือกผลไม้ทั้ง 3 ชนิดที่ทุกระดับความเข้มข้น (0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 mg/ml) สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อ *L. plantarum* ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ได้สอดคล้องกับ Gómez *et al*. (2016b) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกส์ของเพคตินและเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์ ที่ได้จากเปลือกมะนาวและหัวซูการ์บีท โดยใช้การย่อยด้วยเอนไซม์ Pectin lyase จาก *Aspergillus niger* และ Endopolygalacturonase จาก *Kluyveromyces fragilis* พบว่า เมื่อเลี้ยงเชื้อโปรไบโอติกส์ด้วยโอลิโกแซคคาไรด์จากเปลือกมะนาว, หัวซูการ์บีท และฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (FOS) สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อ *Bifidobacteria* และ *Lactobacilli* เพิ่มขึ้นจาก 19% เป็น 29%, 34% และ 32% ตามลำดับ และสอดคล้องกับการศึกษาของ Saenphoom *et al*. (2016) พบว่าใบเผือกที่ย่อยด้วยเอนไซม์ Pentozyme® สามารถส่งการเจริญเติบโตของ *L. plantarum* ได้ในทุกระดับความเข้มข้น (400, 800, 1,200 และ 1,600 μg/ml)

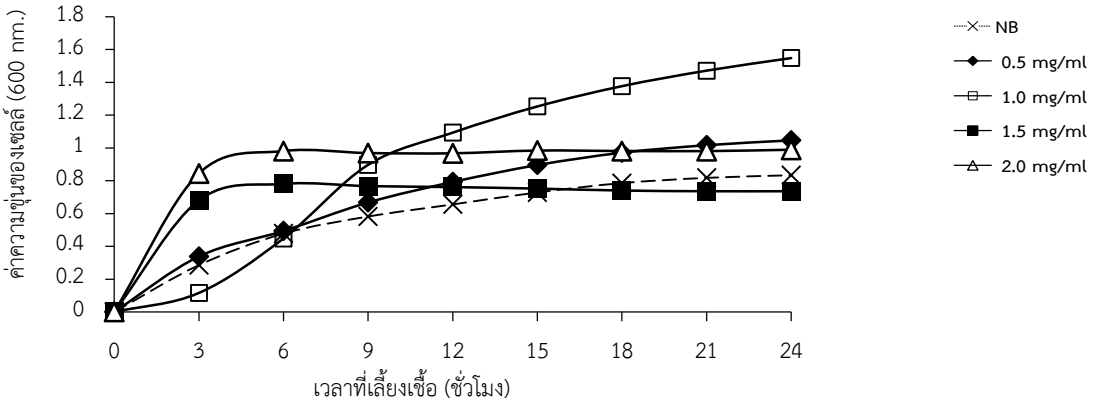
นอกจากนี้ ผลของการสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคพบว่า เมื่อเลี้ยงเชื้อ *E. coli* ในผลผลิตที่ได้จากการย่อยเปลือกผลไม้ ได้แก่ เปลือกส้มโอและเปลือกมะม่วงด้วยเอนไซม์มีการเจริญเติบโตสูงกว่ากลุ่มควบคุม ยกเว้น ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมผลผลิตจากการย่อยเปลือกมะนาวด้วยเอนไซม์ ทุกระดับความเข้มข้น (0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 mg/ml) มีแนวโน้มการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* ต่ำกว่ากลุ่มควบคุม โดยมีค่าลดลงประมาณ 13.70, 32.88, 52.05 และ 57.53% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 21 และ 22




เปลือกส้มโอที่ย่อยด้วยเอนไซม์ (T1)

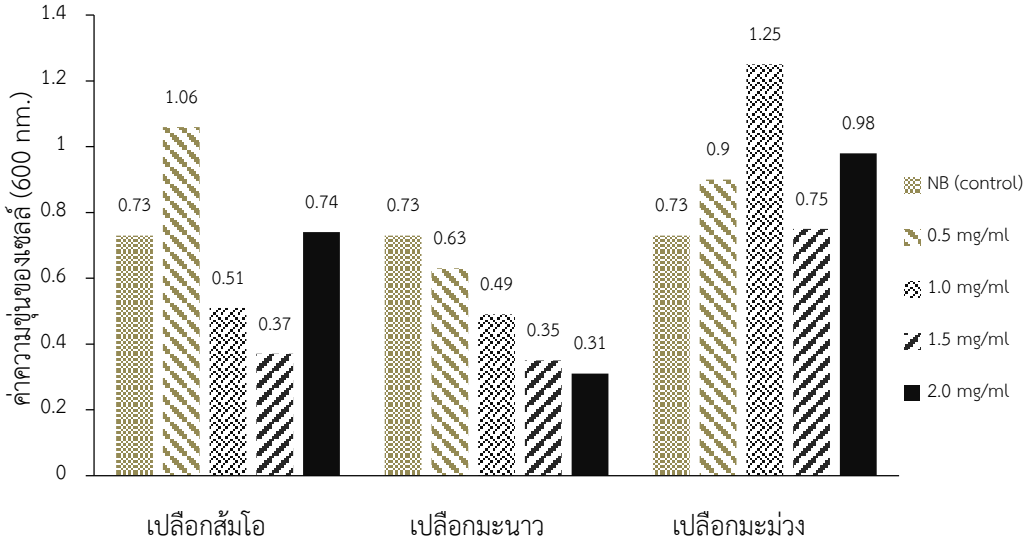



เปลือกมะนาวที่ย่อยด้วยเอนไซม์ (T2)




เปลือกมะม่วงที่ย่อยด้วยเอนไซม์ (T3)

**ภาพที่ 21** กราฟแสดงการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* เปรียบเทียบระหว่างการเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่เติมและเติมผลผลิตน้ำตาลจากการย่อยเปลือกผลไม้ที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ




**ภาพที่ 22** กราฟความแตกต่างของการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* ที่ stationary phase ณ เวลาที่เลี้ยง 15 ชั่วโมง

ดังนั้นผลผลิตที่ได้จากการย่อยเปลือกผลไม้ ได้แก่ เปลือกส้มโอ, เปลือกมะนาว และเปลือกมะม่วง ด้วยเอนไซม์ที่ระดับต่างๆ เมื่อนำมาเลี้ยงจุลินทรีย์เทียบกับกลุ่มอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่มีการเติมผลผลิตน้ำตาล (กลุ่มควบคุม) พบว่าสามารถส่งเสริมการเจริญของเชื้อ *L.plantarum* และ *E. coli* ยกเว้น ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมผลผลิตจากการย่อยเปลือกมะนาวด้วยเอนไซม์สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* ได้ประมาณ 50% เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากความเป็นกรดสูง (ค่าpH ต่ำ) ของเปลือกมะนาวส่งผลให้ POS มีคุณสมบัติต้านเชื้อจุลินทรีย์ (Antibacteria) ได้ดีกว่าเปลือกมะม่วงและเปลือกส้มโอ สอดคล้องกับการศึกษาของ Li *et al.* (2013) รายงานว่า POS จากเปลือกมะนาวสามารถยังยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* ทั้งในช่วง prolong, stationary และ Lag phase ที่ pH 5-6 เช่นเดียวกันกับ Takenaka *et al.* (1994) พบว่า POS จากมะนาวจะมีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโตของ *E. coli* ได้ดีที่ pH 5.5 นอกจากนี้ Di *et al.* (2017) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกส์ของเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากเปลือกส้ม และเพคตินเปลือกพืชตระกูลส้มโดยตรวจสอบจากเชื้อที่พบในอุจจาระของมนุษย์ พบว่า POS สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ และ POS ที่ระดับความเข้มข้น 5 mg/ml สามารถลดการยึดเกาะเชื้อแบคทีเรียที่ก่อเชื้อโรคในมนุษย์ นั้นคือ *E. coli* O157:H7 ได้ 91.3% และสอดคล้องกับ Saenphoom *et al*. (2016) ได้ทำการศึกษาผลิตภัณฑ์น้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากการย่อยใบเผือกด้วยเอนไซม์ Pentozyme® สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของ *L. plantarum* แต่ไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *E. coli* สอดคล้องกับ Manderson *et al.* (2005) ได้ศึกษาคุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติกส์ของ POS จากวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตน้ำส้ม โดยควบคุมสภาวะเหมือนจำลองลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย หมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมงพบว่า POS สามารถส่งเสริมการเจริญของปริมาณเชื้อ *Bifidobacteria* และ *Eubacterium rectale* แต่มีค่าดัชนีพรีไบโอติกส์ (Prebiotics index) ต่ำกว่าฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ทางการค้าและยังสามารถผลิตกรดบิวทาริกซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์

# บทที่ 4
# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

**การทดลองที่ 1 ศึกษาคุณลักษณะและปริมาณของโอลิโกแซคาไรด์จากเปลือกผลไม้**

1. จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกผลไม้ซึ่งเป็นเศษเหลือทางการเกษตรมาย่อยด้วยเอนไซม์ Hemicell® ที่ระดับ 1% (w/w) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกผลไม้ที่ย่อยด้วยเอนไซม์มีปริมาณเถ้า, โปรตีน และไขมันสูงกว่ากลุ่มเปลือกผลไม้ได้ย่อยด้วยเอนไซม์

2. เมื่อทดสอบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่า เปลือกผลไม้ที่ย่อยและไม่ได้ย่อยด้วยเอนไซม์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.05$) โดยเฉพาะเปลือกมะม่วงมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่าเปลือกส้มโอและเปลือกมะนาว

3. การวิเคราะห์โอลิโกแซคคาไรด์พบว่ามีน้ำตาลเพคติกโอลิโกแซคคาไรด์เกิดขึ้นในทุกกลุ่มการทดลอง

**การทดลองที่ 2 ศึกษาความเป็นพรีไบโอติกส์ของเปลือกผลไม้ที่ย่อยด้วยเอนไซม์**

1. ผลผลิตจากการย่อยเปลือกผลไม้ทั้ง 3 ชนิดที่ทุกระดับความเข้มข้น (0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 mg/ml) สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อ *L. plantarum*

2. ผลผลิตจากการย่อยเปลือกมะนาวด้วยเอนไซม์ที่ระดับความเข้มข้น 2.0 mg/ml มีความสามารถในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อ *L. plantarum* สูงกว่ากลุ่มควบคุมประมาณ 133.33% และยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* ได้ประมาณ 57.53%

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ผลผลิตจากการย่อยเปลือกผลไม้ทั้ง 3 ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเอนไซม์มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติสก์เนื่องจากมีความสามารถในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อ *L. plantarum* ยิ่งไปกว่านั้นผลผลิตจากเปลือกมะนาวที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเอนไซม์ยังมีคุณสมบัติเป็นสารต้านจุลินทรีย์ (Anibacteria) เนื่องจาก ยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli*

# เอกสารอ้างอิง


กรมส่งเสริมการเกษตร. **การปลูกส้มโอ.** ม.ป.ป. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 22 น.

ชวนิฏฐ์ สิทธิดิลกรัตน์, พิลาณี ไวถนอมสัตย์, จิราพร เชื้อกูล และ ปริศนา สิริอาชา. 2548. การผลิตเพคตินจากเปลือกและกากผลส้มเหลือทิ้ง. น. 469-480. *ใน* **การประชุมทางวิชาการ ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43,** 1-4 ก.พ. 2548. กรุงเทพฯ.

ชินานาฏ วิทยาประภากร และ สมัชญ์ ทวีเกษมสมบัติ. 2556. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการ สกัดเพคตินจากวัสดุทางการเกษตร. **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ.** 185-189.

ธนวรรณ ศรีนาง, จักรกฤษณ์ เตชะอภัยคุณ, คิน เลย์ คู และ กนก รัตนะกนกชัย. 2551. ผลิตภัณฑ์ จากการหมัก *Bacillus* sp. Strain TW-1 ในอาหารที่มีเปลือกข้าวโพดเป็นแหล่งคาร์บอน ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.** 31(2) : 291-304.

ธานุวัฒน์ ลาภตันศุภผล, ปฏิมา ทองขวัญ และ ศิริลักษณ์ สรงพรมทิพย์. 2556. การสกัดเพคตินจาก เปลือกผัก และผลไม้. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.** 2 : 433-436.

นฤมล มานิพพาน. 2551. **ส้มโอผลไม้เศรษฐกิจที่มากด้วยคุณค่า**. สำนักพิมพ์ประสานมิตรจำกัด, กรุงเทพฯ. 79 น.

นิรนาม. 2556**. ส้มโอสรรพคุณและประโยชน์ที่ไม่ควรมองข้าม.** แหล่งที่มา : http://www.nanahealth.com/%E0%B8%AA%E0%B9%89%E0%B8%A1%E0%B9%82%E0%B8%AD%E0%B8%AA%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%9E%E0%B8%84%E0%B8 %B8**.** 15 กรกฎาคม 2560.

นิรนาม. 2014. แหล่งที่มา : http://blog.travelmarx.com/2014/02/binomen-art-citrus.html. 5 สิงหาคม 2560.

นิรนาม. 2017. **Rutales; Family: Rutaceae Botany.** แหล่งที่มา : http://www.biologydiscussion.com/plants/flowering-plants/rutales-family-rutaceae-botany/19589. 21 สิงหาคม 2560.

นิรนาม. ม.ป.ป. แหล่งที่มา : e-book.ram.edu/e-book/b/BO216(H)/BO216-H5(H).pdf. 19 กันยายน 2556

ปรีดา ภูมี. 2555. **บทปฏิบัติการอาหารและการให้อาหารสัตว์น้ำ.** คณะวิยาศาสตร์และ เทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง.

พรพรรณ แสนภูมิ, มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี และ สุภาวดี ฉิมทอง. 2557. **การปรับปรุงกากกาแฟ ด้วยเอนไซม์เพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร, เพชรบุรี.

พรพรรณ แสนภูมิ และ สุภาวดี ฉิมทอง. 2557. การปรับปรุงกากชาด้วยเอนไซม์เพื่อใช้เป็นพรีไบโอติก. **แก่นเกษตร.** 42(1) : 368-374.

พัฒนา นรมาศ และ วัฒนา สวรรยาธิปัติ. ม.ป.ป. **การปลูกมะม่วง.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำนักส่งเสริม และฝึกอบรม (จัดทำเอกสารอิเล็กทรอนิกส์), กรุงเทพฯ. 24 น.

พิชามญชุ์ แดงพราม, สุดาทิพย์ จันทร และ สุนีย์ นิธิสินประเสริฐ. 2556. อิทธิพลของชนิดและ ปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่อการผลิตโอลิโกแซ็กคาไรด์ด้วยสารละลายเอนไซม์ สกัดหยาบจาก *Penicillium oxalicum* KUB-SN2-1.**วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.** 36 (1) : 73-84.

พีระศักดิ์ ฉายประสาท. ม.ป.ป. **การปลูกมะนาว**. ภารกิจโครงการและประสานงานวิจัย, สำนักงาน คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ. 15 น.

รุสมัน ดะแซสาเมาะ. 2557.**การสกัดและการทำบริสุทธิ์โอลิโกแซคคาไรด์จากเนื้อแก้วมังกร และการประเมินคุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติก**. วิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา.สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

วรรณพร ทะพิงค์แก. ม.ป.ป. **การเสริมเอนไซม์ในอาหารสัตว์**. ภาควิชาสัตว์ศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. แหล่งที่มา : http://www.asah.co.th/download/file/1418ac06.pdf. 15 กรกฎาคม 2560.

วันเพ็ญ แสงทองพินิจ**.** 2551. การผลิตและคุณสมบัติของใยอาหารจากเปลือกส้มโอเพื่อนำมาใช้ใน ผลิตภัณฑ์อาหาร. **The 1st NPRU Academic Conference.** หน้า 1-12.

วิทย์ เที่ยงบูรณธรรม. 2536. **พจนานุกรมสมุนไพรไทย.** กรุงเทพ ฯ : พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์สุริย บรรณ.

วิภาวี เชิดวรพงศ์ และ กุลนาถ ทองขาว. ม.ป.ป. **ผลของอุณหภูมิที่ใช้การอบแห้งและการสกัดเปลือกมะม่วงเขียวต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย.** ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ศูนย์วิจัยพืชยืนต้นและไม้ผลเมืองร้อน กลุ่มงานศูนย์วิจัย ฝ่ายวิจัยและบริการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ม.ป.ป. **ส้มโอ (Pomelo).** แหล่งที่มา : http://natres.psu.ac.th/Researchcenter/tropicalfruit/fruit/pomelo.htm. 15 กรกฎาคม 2560.

สัมพันธ์ สร้อยกล่อม, สุทธินี ศิริโชติ, ววรญา แหลมเพชร และ โสภา กลิ่นจันทร์. 2556. การ ดูดซับโลหะหนักด้วยสารสกัดจากเปลือกส้มโอ. 304 น. *ใน* **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51**, 5-7 ก.พ. 2556. กำแพงแสน, นครปฐม.

สำนักเศรษฐกิจการเกษตร เอกสารเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. **สารสนเทศ เศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้าปี 2558.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 109 หน้า.

สุคนธ์ ตันติไพบูลย์วุฒิ, เทียนชัย น่วมเศรษฐี, และเพชรลดา เดชายืนยง. 2555. ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย ของสาร สกัดจากเปลือกผลไม้บางชนิด. **วารสารวิจัย มข.** 17(6) : 880-894.

สุชาดา ไชยสวัสดิ์,จิระพันธุ์ เนื่องจากนิล, วีระชัย แก่นทรัพย์, วลัยพร ศรีชุมพวง และ วราภรณ์ เมธาวิริยะศิลป์. 2545. **การผลิตน้ำมะนาวเข้มข้นและมะนาวผงในเชิงพาณิชย์**. สถาบันพัฒนาและฝึกอบรม โรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. https://www.kmutt.ac.th/rippc/best39.htm, 20 กรกฎาคม 2560.

สุญาณี พงษ์ธนานิกร. 2549. **พรีไบโอติกส์และโพรไบโอติกส์ : อาหารสุขภาพ.** ภาควิชาอาหารเคมี คณะเภสัชศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 6 หน้า

AOAC. 1990. **Official Methods of Analysis**. 15th ed. Association of Official Analytica Chemists, Arlington, VA.

Arumugam, R., and M. Manikandan. 2011. Fermentation of pretreated hydrolyzates of banana and mango fruit wastes for ethanol production. **Asian J. Exp. Biol. Sci.** 2(2) : 246-256.

Bahramian, S., M. Azin, M. Chamani and A. Gerami. 2011. Optimization of enzymatic extraction of sugars from Kabkab date fruit. **Middle-East J. Sci. Res**. 7: 211-216.

Cabrera, J.C. and P.V. Cutsem. 2005. Preparation of chitooligosaccharides with degree of polymerization higher than 6 by acid or enzymatic degradation of chitosan. **Biochemical Engineering Journal**. 25 : 165–172

Chauhan P. S., N. Puri., P. Sharma and N. Gupta. 2012. Mannanases: microbial sources, production, properties and potential biotechnological applications. **apply Microbiol Biotechnol**. 93 : 1817–1830.

Chimtong, S., P. Saenphoom, N. Karageat and S. Somtua. 2016. Oligosaccharide Production from Agricultural Residues by Non-starch Polysaccharide Degrading Enzymes and Their Prebiotic Properties. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**. 11 : 131-136.

Choct, M. 1997. Enzymes in Animal Nutrition: The unseen benefits. **In "Enzymes in Animal Nutrition". Edited** by R.R. Marquardt. IDRC Books, Ontario, Canada. pp. 48-51**.**

Di, R., M. S. Vakkalanka, C. Onumpai, H. K. Chau, A. White, R. A. Rastall, K. Yam and A. T. Hotchkiss. 2017. Pectic oligosaccharide structure-function relationships: prebiotics, inhibitors of Escherichia coli O157: H7 adhesion and reduction of Shiga toxin cytotoxicity in HT29 cells. **Food Chemistry**. 227 : 245-254.

Figuerola, F., M. L. Hurtado, A. M Estévez, I. Chiffelle and F. Asenjo. 2005. Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. **Food Chemistry**. 91(3) : 395-401.

Gibson, G.R. and M.D Roberfroid. Dietary modulation of the human colonic microbiota – Introducing the concept of prebiotics. **The Journal of nutrition.** 125 : 1401-1412.

Goering and Van Soest. 1970. Determination of Neutral Detergent Fiber, Hemicellulose, Cellulose, and Lignin in Breads. **Bureau of Nutritional Science.** Canada. 56(5): 437-441.

Gómez, B., B. Gullón, R. Yáñez, J. C. Parajó and J. L. Alonso. 2013a. Pectic oligosacharides from lemon peel wastes : Production, purification and chemical characterization**. Journal of agricultural and food chemistry**. 61(42) : 10043-10053.

Gómez, B., B. Gullón, R., Yáñez, H. Schols and J. L. Alonso. 2016b. Prebiotic potential of pectins and pectic oligosaccharides derived from lemon peel wastes and sugar beet pulp: A comparative evaluation. **Journal of Functional Foods.** 20 : 108-121.

Gragasin, M. C. B., A. R. Ligisan, R. C. Torres and R. Estrella. 2014. Utilization of Mango Peels as Source of Pectin. **Philippine Center for Postharvest Development and Mechanizaton**. 4( 1 ) : 2243-8483.

Gullón, B., B. Gómez, M. Martínez-Sabajanes, R. Yáñez, J. C. Parajó and J. L. Alonso. 2013. Pectic oligosaccharides: Manufacture and functional properties. **Trends in food science & technology.** 30(2) :153-161.

Hendrianie, N., S. R. Juliastuti, M. I. Iwani and Eka A. 2015. Lignocellulosic processing with acid pretreatment and enzymatic hydrolysis for improving the acquisition of sugar fermentation. **Modern Applied Science**. 9(7) : 1913-1852.

Huang, R., M. Cao, H. Guo, W. Qi, R. Su and Z. He. 2014. Enhanced ethanol production from pomelo peel waste by integrated hydrothermal treatment multienzyme formulation and fed-batch operation. **Journal of agricultural and food chemistry**, 62(20) : 4643-4651.

Jahurul, M. H. A., I. S. M. Zaidul, K. Ghafoor, F. Y. Al-Juhaimi, K. L. Nyam, N. A. N. Norulaini, F. Sahena and A. K. Mohd Omar. 2015. Mango (*Mangifera indica* L.) by-products and their valuable components: A review. **Food chemistry.** 183 : 173-180.

Jennifer Hu. 2015. **Are the visible cell-like things in citrus fruits actual cells with a cell nucleus.** Available Source: https://www.quora.com/Are-the-visible-cell-like-things-in-citrus-fruits-actual-cells-with-a-cell-nucleus. August 11 2017.

Kashyap, D.R., P.K. Vohra, S. Chopra and R. Tewari. 2001. Applications of pectinases in the commercial sector : a review. **Bioresource Technology.** 77 : 215-227.

Li S., T. Li, R. Zhu, N. Wang, Y. Song., S. Wang and M. Guo. 2013. Antibacterial action of pectic oligosaccharides. International Journal of Food Properties.16(3): 706-712.

Mandalari, G., R. N. Bennett, A. R. Kirby, R. B. Lo Curto, G. Bisignano, K. W. Waldron and C. B. Faulds, 2006. Enzymatic hydrolysis of flavonoids and pectic oligosaccharides from bergamot (*Citrus bergamia Risso*) peel. **Journal of agricultural and food chemistry.** 54(21) : 8307-8313.

Manderson, K., M. Pinart, K. M. Tuohy, W. E. Grace, A. T. Hotchkiss, W. Widmer, M. P. Yadhav, G. R. Gibson and R. A. Rastall 2005. *In vitro* determination of prebiotic properties of oligosaccharides derived from an orange juice manufacturing by-product stream. **Applied and Environmental Microbiology.** 71 (12) : 8383- 8389.

Miller, G.L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**. 31: 426-428.

Olanbiwoninu A.A. and Odunfa S. A. 2012. Enhancing the production of reducing sugars from cassava peels by pretreatment methods. **International Journal of Science and Technology**. 2(9) : 2224-3577.

Pourabedin, M. and X. Zhao. 2015. Prebiotics and gut microbiota in chickens. **FEMS microbiology letters**. 362(15) : 1-8.

Reiffová, K. and R. Nemcová. 2006. Thin-layer chromatography analysis of fructooligosaccharides in biological samples. **Journal of chromatography A.** 1110(1) : 214-221.

Ruiz, H. A., R. M. Rodríguez-Jasso, R. Rodríguez, J. C. Contreras-Esquivel and C. N. Aguilar. 2012. Pectinase production from lemon peel pomace as support and carbon source in solid-state fermentation column-tray bioreactor. **Biochemical Engineering Journal.** 65 : 90-95.

Saenphoom, P., S. Chimtong, S. Phiphatkitphaisan and S. Somsri. 2016. Improvement of Taro Leaves Using Pre-treated Enzyme as Prebiotics in Animal Feed. **Agriculture and Agricultural Science Procedia.** 11 : 65-70.

SAS. 1998. **User's Guide: Statistics**, Version 9.2 Edition, SAS Inst, Cary, N.C.

Takenaka, T., O. Muto, K. Yatsunami and T. Echigo. 1994. Antibactrial activity of pectin hydrolyzates. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi. 41(11): 785-789.

UPOV. 1987. **Guidelines for the Conduct of Tests for Distinctness Homogeneity and Stability of Mango (*Mangifera indica* L.).** Geneva.

USDA Nutrient Database. 2016. **Productos maya, green mangoes.** Available Source: https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/29661?fgcd=&manu=&lfacet=&format=&co. July 15 2017.

Velázquez-Martínez, J. R., R. M. González-Cervantes, M. A. Hernández-Gallegos, R. C. Mendiola, A. R. J. Aparicio and M. L. A. Ocampo. 2014. Prebiotic potential of *Agave angustifolia* Haw fructans with different degrees of polymerization. **Molecules**. 19(8) : 12660-12675.

Ververis, C., K. Georghiou, D. Danielidis, D. G. Hatzinikolaou, P. Santas, R. Santas and V. Corleti. 2007. Cellulose, hemicelluloses, lignin and ash content of some organic materials and their suitability for use as paper pulp supplements. **Bioresource Technology.** 98(2) : 296-301.

Yingkamhaeng, N. and P. Sukyai. 2014. The potential of mango peel utilization for cellulose extraction by hydrothermal pretreatment. ***In* Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology and International Conference**. 1 : 101- 109.

Zenab M. M. and F. K. Ayman. 2015. Comparative study between the effects of mango and orange peels preparations on the total dietary fiber. **IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology.** 9(11) : 129

# ภาคผนวก ก

ภาพการเตรียมการทดลอง

**ภาพภาคผนวกที่ 1** การเตรียมวัตถุดิบตัวอย่างเปลือกผลไม้ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ เปลือกส้มโอ, เปลือกมะนาว และเปลือกมะม่วง อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ℃ ใช้เวลา 24 ชั่วโมง นำไปบดด้วยเครื่องบดวัตถุดิบแล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 1 x 1 มิลลิเมตร

**ภาพภาคผนวกที่ 2** การปรับปรุงเปลือกผลไม้ด้วยเอนไซม์ Hemicell® : นำวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด ผสมกับเอนไซม์อัตราส่วน 1 %(w/w) ทำการย่อยด้วย Hotplate stirrer ที่อุณหภูมิ 55 ℃ นาน 6 ชั่วโมง กรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำเปลือกผลไม้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 ℃ นาน 24 ชั่วโมง

**ภาพภาคผนวกที่ 3** การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ : นำสารละลายตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยง ดูดส่วนใสและเติมสาร DNS ต้มในน้ำเดือด 10 นาที ทิ้งให้เย็นในอุณหภูมิห้อง และวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 nm.

**ภาพภาคผนวกที่ 4** การวิเคราะห์โอลิโกแซคคาไรด์ โดยวิธี TLC : นำแผ่น TLC มาจุดสารตัวอย่าง แล้วเป่าให้แห้ง นำไปจุ่มลงในถัง Mobile phase สเปรย์ reagent และอบที่ 100 ℃ จนเห็นสีของตัวอย่างชัดเจน

**ภาพภาคผนวกที่ 5** การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยวิธี Proximate analysis : การวิเคราะห์ความชื้น, เถ้า และโปรตีนหยาบ

**ภาพภาคผนวกที่ 6** การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยวิธี Proximate analysis : การวิเคราะห์ไขมันรวมและพลังงานรวม

**ภาพภาคผนวกที่ 7** การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยวิธี Proximate analysis : การวิเคราะห์เยื่อใย NDF, ADF และ ADL

**ภาพภาคผนวกที่ 8** การทดสอบความเป็นพรีไบโอติกส์ของผลผลิตที่ได้จากการย่อยเปลือกผลไม้ชนิดต่างๆ ด้วยเอนไซม์ Hemicell®

## ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

1. <u>การเตรียมสาร</u>

1.1 การเตรียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์

สารละลาย A คือ dibasic sodium phosphate 0.05 โมลาร์ (7.80 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร)

สารละลาย B คือ monobasic sodium phosphate 0.05 โมลาร์ (8.90 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร)

เตรียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ โดยใช้ 30.50 มิลลิลิตรของสารละลาย A ผสมกับ 19.50 มิลลิลิตรของ สารละลาย B ปรับ pH ให้ได้ 7 แล้วเจือจางให้เป็น 100 มิลลิลิตร จะได้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์มีความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ที่ pH 7

1.2 การเตรียมและปรับสภาพตัวอย่าง

1.2.1 หั่นเปลือกผลไม้ขนาดชิ้นละประมาณ 1 เซนติเมตร โดย

- เปลือกส้มโอ หั่นเอาเปลือกส่วนสีเขียวออกและเอาเฉพาะเปลือกในสีขาว
- เปลือกมะนาว เมื่อหั่นเป็นชิ้นเล็กๆแล้ว ทำการล้างด้วยน้ำเปล่า 3-4 ครั้ง
- เปลือกมะม่วง หั่นส่วนเสียทิ้ง

1.2.2 นำไปอบด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 12-24 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่

1.2.3 นำเปลือกผลไม้ที่อบแล้วไปปั่นให้เป็นผงละเอียดเครื่องบดวัตถุดิบ CULATTI และกรองด้วยตะแกรงร่อน สำหรับนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการศึกษาข้อ 1.3

1.3 การเตรียมการย่อยด้วยเอนไซม์

1.3.1 ชั่งตัวอย่างเปลือกผลไม้ 150.00 กรัม

1.3.2 เตรียมเอนไซม์ Hemicell® 1.50 กรัม ละลายใน ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7 1,500 มิลลิลิตร (กลุ่มเปลือกผลไม้ที่ไม่ทำการย่อย ทำเช่นเดียวกับข้อ 13.1-1.3.2 โดยไม่เติมเอนไซม์)

1.3.3 เติมสารละลายเอนไซม์ แล้วทำการย่อยที่อุณหภูมิ 55 °C ด้วยเครื่องกวนสารชนิดให้ความร้อน (Hot plate stirrer) นาน 6 ชั่วโมง

1.3.4 เมื่อครบเวลาทำการกรองแยกกากและของเหลวด้วยผ้าขาวบาง

1.3.5 นำกากหรือเปลือกผลไม้ที่ผ่านการย่อย นำไปอบด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.3.6 เก็บเหลวใส่หลอด centrifuge แล้วปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที

2. การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) โดยวิธี Dinitrosalicy Acid Assay (Miller, 1959)

1. การเตรียม DNS reagent

ละลาย 3,5-Dinitrosalicylic acid 1 กรัม ในสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 2 N 20 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตรและ Potassium sodium tartrate 30 กรัม คนให้ละลาย เทสารละลายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2. การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคส

2.1 ชั่งกลูโคส 0.1 กรัมและละลายน้ำ จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรในขวดเชิงปริมาตร ใช้เป็นสารละลายมาตรฐานกลูโคส ที่มีปริมาณกลูโคส 1,000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

2.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูโคสใสในหลอดทดลอง หลอดละ 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.30 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นโดยให้ปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 10 มิลลิลิตร

2.3 ปิเปตสารละลาย DNS 0.5 มิลลิลิตร และสารละลายกลูโคสในแต่ละระดับ 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (Vortex mixer)

2.4 นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที

2.5 หลังจากครบกำหนดเวลา ทำให้เย็นลงโดยทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง

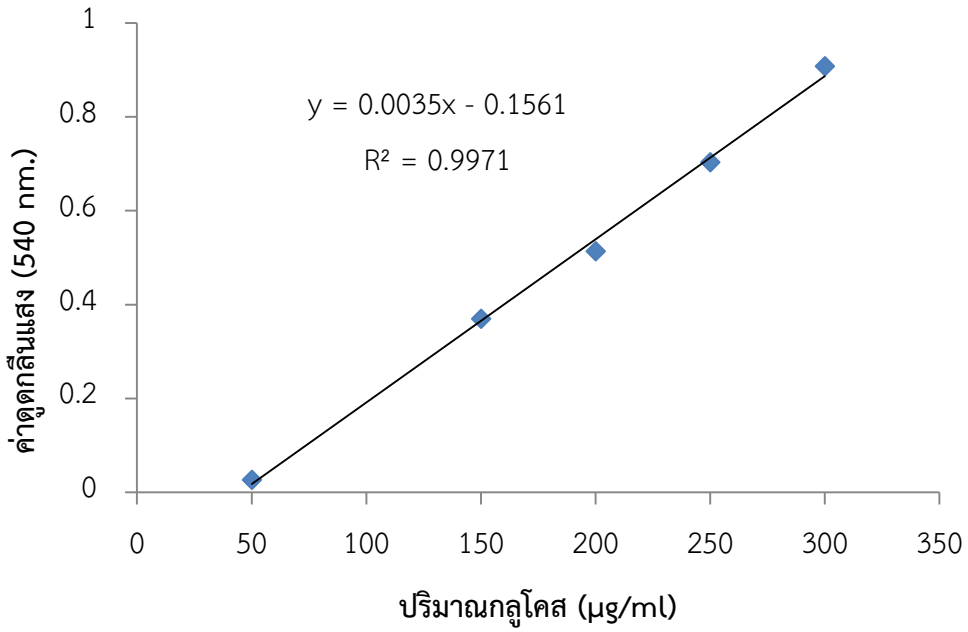
2.6 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 nm.

2.7 สำหรับ blank ให้ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายกลูโคสในข้อ 2.2 ในปริมาณที่เท่ากัน

2.8 บันทึกผลการทดลอง และนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างคาดูดกลืนแสงและปริมาณกลูโคสในหน่วย ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

**ตารางภาคผนวกที่ 1** ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสในระดับต่างๆกับค่าดูดกลืนแสงที่ 540 nm. ที่ได้จากการวิเคราะห์กลูโคส

| หลอดที่ | ปริมาณกลูโคส (µg/ml) | ค่าดูดกลืนแสงที่ 540 nm. |
|---|---|---|
| 1 | 0 | 0.000 |
| 2 | 50 | 0.027 |
| 3 | 100 | 0.338 |
| 4 | 150 | 0.369 |
| 5 | 200 | 0.513 |
| 6 | 250 | 0.593 |
| 7 | 300 | 0.907 |




**ภาพภาคผนวกที่ 9** กราฟมาตรฐานระหว่างค่าปริมาณกลูโคสกับค่าดูดกลืนแสงที่ 540 nm.

3. <u>การศึกษาความเป็นพรีไบโอติกส์ของเปลือกผลไม้ที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์</u>

3.1 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient broth (NB) ซึ่งประกอบด้วย

Beef extract 3 กรัม/ลิตร

Peptone5 กรัม/ลิตร

น้ำกลั่น 1 ลิตร

**วิธีการ**

ชั่งสารตามสูตรอาหารให้ได้ปริมาณที่ต้องการ นำสารข้างต้นมาละลายน้ำ และปรับให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร นำไปเข้าหม้อนึ่งแรงดันสูง (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °C ความดัน 1.5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที สำหรับอาหารเลี้ยงเชื้อ *L. plantarum* ให้ทำการเติม 0.05% Cystein (เตรียมอาหารเหลวเลี้ยงเชื้อที่ความเข้มข้น 1 และ 10 เท่า)

3.2 การเตรียมเชื้อสำหรับการทดสอบความเป็นพรีไบโอติกส์

3.2.1 จุลินทรีย์ที่ศึกษา

- แบคทีเรียแกรมบวก ได้แก่ *L. plantarum*
- แบคทีเรียแกรมลบ ได้แก่ *E. coli*

**วิธีการ**

เขี่ยเชื้อแบคทีเรียจาก Stock culture ที่เก็บไว้ในกลีเซอรอล (Glycerol) มาถ่ายลงอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient broth (ที่ปราศจากเชื้อ) บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง หรือเชื้อมีการเจริญเติบโตเต็มที่ แล้วนำมา Dilution เพื่อปรับความขุ่นของเชื้อให้ได้เท่ากับ 0.5 (วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตรให้มีค่าเท่ากับ 0.5) เพื่อเป็นค่าความเข้มข้นของเชื้อเริ่มต้นในการทดลองข้อ 3.4

3.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่างเพื่อใช้เป็นแหล่งของคาร์บอน

3.3.1 นำสารละลายตัวอย่างส่วนใสที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในแต่ละกลุ่มมา Autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C ความดัน 1.5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที หรือการใช้การกรอง (Filtration) เพื่อทำให้ปราศจากเชื้อ

3.3.2 เตรียมหลอดทดลองจำนวน 3 หลอด พร้อมทั้งระบุหมายเลขกำกับ ทำการเจือจางสารละลายตัวอย่าง ให้ได้ความเข้มข้นของน้ำตาลเท่ากับ 4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 20-30 มิลลิลิตรต่อกลุ่มการทดลอง

3.3.3 นำสารละลายตัวอย่างเพื่อใช้เป็นแหล่งของคาร์บอนในขั้นตอนที่ 3.4

3.4 การทดสอบคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกส์

3.4.1 เตรียมหลอดทดลองขนาด 1 มิลลิลิตร และผสมสารตามตาราง

| Treatment | ความเข้มข้นของPOS (mg/ml) | ปริมาตรเชื้อ (µl) | 10xNB (µl) | Carbon source (µl) | $H_2O$ (µl) |
|---|---|---|---|---|---|
| กลุ่มควบคุม (Control) | 0 | 10 | 100 | - | 890 |
| กลุ่มตัวอย่างเปลือกผลไม้ (Sample) | 0.5 | 10 | 100 | 125 | 765 |
| | 1.0 | 10 | 100 | 250 | 640 |
| | 1.5 | 10 | 100 | 375 | 515 |
| | 2.0 | 10 | 100 | 500 | 390 |

3.4.2 ทำการปิเปตต์ลง ไมโครเวลเพลท ปริมาตรหลุมละ 200 ไมโครลิตร จำนวนกลุ่มการทดลองละ 3 ซ้ำ

3.4.3 นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร โดยเชื้อแบคทีเรีย *L. plantarum* ทำการวัดที่ 0, 6, 12, 18, 25 และ 48 ชั่วโมง เชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ทำการวัดที่ 0, 3, 6, 9, 12, 15 และ 18 ชั่วโมง

3.4.4 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของเชื้อโดยใช้สารละลายหลอดที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม (อาหารสูตรพื้นฐาน) เทียบกับตัวอย่างเปลือกผลไม้ที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ (Carbon source)

# ประวัติผู้วิจัย

**ตอนที่ 1 ประวัติหัวหน้าโครงการ**

1. ชื่อ - สกุล (~~นาย,นาง~~,นางสาว) (ภาษาไทย) พรพรรณ แสนภูมิ
   (ภาษาอังกฤษ) Pornpan Saenphoom
2. ตำแหน่งทางวิชาการปัจจุบัน: ผู้ช่วยศาสตราจารย์
3. สถานที่ทำงาน
   ภาควิชา สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร คณะ สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร
   โทรศัพท์: 032-594043-50 โทรสาร: 032-594037-8 e-mail address: Saenphoompp@hotmail.com
4. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ
   วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์และโภชนศาสตร์สัตว์

**ตอนที่ 2 ผลงานวิจัย**

1. <u>ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ</u>

**Saenphoom, P.,** S. Chimtong, A. Chaokaur, S. Bureenok, T. Phonmun, T. Chanprecha and Y. Seesawhea. 2017. Characteristics of fermented extracts from grass and fruit peel to use as silage additives. The 7thInternational Confernece on Fermentation Technology for Value Added Agricultural Products. 25-27 July 2017, Khon Kaen. 168-172.

**Saenphoom, P.,** S. Chimtong, A. Chaokaur, D. Kutdaeng, T. Chanprecha and Y. Seesawhea. 2016. Nutritive value of fermented sugar palm peel with pineapple peel. Silpakorn University Science and Technology. 10(1): 32-27.

**Saenphoom, P**., S. Chimtong. S. Phiphatkitphisan and S. Somsri 2016. Improvement of taro leaves using pre-treating enzyme as prebiotics in animal feed. Agriculture and Agricultural Science Procedia. 11: 65-70.

**Saenphoom, P.,** S. Chimtong, K. Lertchunhakiat and M. Nopparatmaitree. 2016. Effect of egg shell levels in layer diet on productive performance, egg quality and plasma calcium concentration. The 17th Asian-Australasian Association of Animal Production Societies Animal Science Congress. Fukuoka Japan. 412-419.

Chimtong, S., **P. Saenphoom**, N. Karageat and S. Somtua. 2016. Oligosaccharide Production from Agricultural Residues by Non Starch Polysaccharide Degrading Enzymes and Their Prebiotic Properties. Agriculture and Agricultural Science Procedia. 11: 131-136.

Lertchunhakiat. K, **P. Saenphoom**, M. Nopparatmaitree and S. Chimtong. 2016. Effect of egg shell as a calcium source of breeder cock diet on semen quality. Agriculture and Agricultural Science Procedia. 11: 137-142.

Seesawhea, Y., **P. Saenphoom**, S. Bureenok, A. Chaokaur, S. Chimtong and A. Tiantong. 2016. Effect of fermented juice from fruit peels to use as an additive for improved quality of roughage. The 17th Asian-Australasian Association of Animal Production Societies Animal Science Congress. Fukuoka Japan. 690-692.

**Saenphoom, P.** and S. Chimtong. 2014. Effect of enzyme treated copra meal on nutritive, reducing sugars and oligosaccharides as prebiotics. The Standard International Journal (The SIJ). 18-21.

**Saenphoom, P.** and S. Chimtong. 2014. Improvement of copra meal using pretreating enzyme as prebiotics in animal feed. *International Symposium on fundamental and Applied Sciences (ISFAS),* 28-30 March 2014, Tokyo, Japan.

**Saenphoom, P**., S. Chimtong, A. Chaokaur, D. Kutdaeng, T. Chanprecha and Y. Seesawhea. 2013. Nutritive value of fermented sugar palm peel with pineapple peel. *The 5th International Conference on Fermentation Technology for Value Added Agricultural Products (Fervaap 2013), 21-23 August, Khon Kaen, Thailand, pp 148.*

**Saenphoom, P**., J.B. Liang, Y.W. Ho, T.C. Loh and M. Rosfarizan. 2013. Effect of enzyme treated palm kernel expeller on Metabolizable energy, growth performance, villus height and digesta viscosity in Broiler Chickens. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 26(4). 537-544.

**Saenphoom, P.,** J. B. Liang, Y.W. Ho, T.C. Loh and M. Rosfarizan. 2012. Effect of enzyme treated palm kernel expeller on metabolizable energy, growth performance, villus height and digesta viscosity in broiler chicken. *Asain-Aust. J. Anim. Sci.* 26: 537-544.

**Saenphoom, P.,** J. B. Liang, Y.W. Ho, T.C. Loh and M. Rosfarizan. 2011. Effect of enzyme treatment on chemical composition and production of reducing sugars in palm (*Elaeis guineenis*) kernel expeller. *Afr. J. Biotechnol.* 10(68): 15372-15377.

Paengkoum, S., M. Wanapat, **P. Saenphoom** and J. B. Liang. 2009. Use of pineapple peel and rice straw as roughage sources on digestibility of dairy cows. *30th Annual conference Malaysian Society of Animal Production (MSAP 2009)*, 2-5 June 2009, Kota Kinabalu, Malaysia, pp 90-92.

**Saenphoom, P.,** J. B. Liang, Y.W. Ho, T.C. Loh and M. Rosfarizan. 2009. Effect of water content on nutritive value of palm kernel cake pretreated with commercial enzyme. *2nd Int. Conf. on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries (SAADC 2009)*, 8-11 Sept 2009, Kuala Lumpur, Malaysia, pp 291-292.

**Saenphoom, P.,** J. B. Liang, Y.W. Ho, T.C. Loh and M. Rosfarizan. 2010. Effect of enzyme treatment on nutritive value of palm kernel expeller. *4th International Conference on Animal Nutrition (4th ICAN 2010)*, 21-23 September 2010, Johor Bahru, Johor, Malaysia, pp 303.

**Saenphoom, P.,** J. B. Liang, Y.W. Ho, T.C. Loh and M. Rosfarizan. 2011. Effect of enzyme treated palm kernel expeller on true metabolizable energy in broiler chicken. *3nd Int. Conf. on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries (SAADC 2011)*, 26-29 July 2011, Nakhon Ratchasima, Thailand, pp 264.

2. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติ

**พรพรรณ แสนภูมิ,** สุภาวดี ฉิมทอง และยุพา สีสาวแห. 2561. การปรับปรุงแกลบกุ้งด้วยวิธีทางเคมีเพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์. แก่นเกษตร. 46 ฉบับพิเศษ (1): 644-649.

ยุพา สีสาวแห, **พรพรรณ แสนภูมิ,** อนันท์ เชาว์เครือ, สุภาวดี ฉิมทอง, เสมอใจ บุรีนอก และศักดา ประจักษ์บุญเจษฎา. 2560. การปรับปรุงเปลือกข้าวโพดหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคจากน้ำหมักเปลือกผลไม้ต่อการย่อยได้โภชนะและสมรรถนะการเจริญเติบโต. Veridian E-journal, Science and Technology Silpakorn University. 4 (5): 144-156.

**พรพรรณ แสนภูมิ**, สุภาวดี ฉิมทอง, วสุนันท์ นิ่มอนงค์, กนิษฐา ผิวขม, ศิรินันท์ สุขเจริญ และชาลินี ติ้มขลิบ. 2560. การย่อยได้และผลผลิตแก๊สในหลอดทดลองของเปลือกตาลหมักร่วมกับฟางข้าว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 48 ฉบับพิเศษ (2): 682-692.

**พรพรรณ แสนภูมิ**, สุภาวดี ฉิมทอง, อนันท์ เชาว์เครือ, เสมอใจ บุรีนอก และมนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี. 2560. ผลของการใช้แบคทีเรียผลิตกรดแลคติคจากน้ำพืชหมักเป็นสารเสริม ในการหมักเปลือกตาลอ่อนร่วมกับฟางข้าวต่อสมรรถนะการเจริญ เติบโตและการย่อยได้โภชนะในแพะ แก่นเกษตร. 45 ฉบับพิเศษ (1): 616-623.

ชาลินี ติ้มขลิบ และ**พรพรรณ แสนภูมิ**. 2560. ผลของอาหารผสมเสร็จหมัก (FTMR) จากเศษเหลือสับปะรดต่อการย่อยได้และผลผลิตแก๊สในหลอดทดลอง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 48 ฉบับพิเศษ (2): 562-570.

ชาลินี ติ้มขลิบ, **พรพรรณ แสนภูมิ**, อนันท์ เชาว์เครือ และ เสมอใจ บุรีนอก. 2560. การย่อยได้และผลผลิตแก๊สในหลอดทดลองของเศษเหลือสับปะรดหมักเพื่อใช้เป็นอาหารหยาบ. แก่นเกษตร. 45 ฉบับพิเศษ (1): 26-32.

**พรพรรณ แสนภูมิ**, สุภาวดี ฉิมทอง, อนันท์ เชาว์เครือ, มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี และชาลินี ติ้มขลิบ. 2559. ผลของระดับการใช้เปลือกตาลหมักร่วมกับเปลือกสับปะรดทดแทนกระถินเพื่อเป็นแหล่งอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้งต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต และการย่อยได้ของโภชนะในแพะลูกผสม. แก่นเกษตร. 44 ฉบับพิเศษ (1): 13-18.

ทิพาพร ชาญปรีชา, **พรพรรณ แสนภูมิ**, จันทร์จิรา สิทธิยะ และสุภาวดี ฉิมทอง. 2559. ผลของชนิดหญ้าต่อคุณน้ำหมัก. แก่นเกษตร. 44 ฉบับพิเศษ (1): 19-24.

**พรพรรณ แสนภูมิ**, สุภาวดี ฉิมทอง, ขนิษฐา ยอดแก้ว, ปวีณา สิงหนาท และชาลินี ติ้มขลิบ. 2559. การปรับปรุงกากเบียร์เพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์. แก่นเกษตร. 44 ฉบับพิเศษ (2): 662-670.

ทิพาพร ปรีชา, **พรพรรณ แสนภูมิ**, อนันท์ เชาว์เครือ, เสมอใจ บุรีนอก และสุภาวดี ฉิมทอง. 2559. การปรับปรุงเปลือกตาลหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคจากน้ำพืชหมักต่อองค์ประกอบทางเคมี, การย่อยได้ในหลอดทดลอง และผลผลิตแก๊ส. แก่นเกษตร. 44 ฉบับพิเศษ (2): 491-498.

ยุพา สีสาวแห, **พรพรรณ แสนภูมิ**, เสมอใจ บุรีนอก, อนันท์ เชาว์เครือ และสุภาวดี ฉิมทอง. 2559. การปรับปรุงเปลือกข้าวโพดหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคจากน้ำหมักเปลือกผลไม้ต่อองค์ประกอบทางเคมี, การย่อยได้ในหลอดทดลอง และผลผลิตแก๊ส. แก่นเกษตร. 44 ฉบับพิเศษ (2): 467-474.

**พรพรรณ แสนภูมิ**, สุภาวดี ฉิมทอง, ธิดารัตน์ ภิญญูพันธุ์, นฤมล กรวิทยโยธิน และสิวาลัย ภักดีพิน. 2558. การปรับปรุงเปลือกมะนาวด้วยเอนไซม์เพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์. วารสารสัตวศาสตร์แห่งประเทศไทย. ปีที่ 2 ฉบับพิเศษ 1: 339-343.

**พรพรรณ แสนภูมิ**, สุภาวดี ฉิมทอง, ณฐกร กลั่นบุศย์, ประเสริฐพงษ์ มงคล และศักดิธัช อารีรอบ. การปรับปรุงเยื่อหุ้มเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเอนไซม์เพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์. 2558. แก่นเกษตร. 43 ฉบับพิเศษ (1): 505-511.

**พรพรรณ แสนภูมิ** และสุภาวดี ฉิมทอง. การปรับปรุงกากชาด้วยเอนไซม์เพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์. 2557. แก่นเกษตร. 42 ฉบับพิเศษ (1): 368-374.

**พรพรรณ แสนภูมิ**, มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี และสุภาวดี ฉิมทอง. 2557. การปรับปรุงกากกาแฟด้วยเอนไซม์เพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์. วารสารสัตวศาสตร์แห่งประเทศไทย. ปีที่ 1 ฉบับพิเศษ 1: 129-132.

อังคณา ดอกเชื้อเอม, พรพรหม ซีค๊อต, **พรพรรณ แสนภูมิ** และสุภาวดี ฉิมทอง. 2557. การศึกษาสารสกัดเพคตินจากเปลือกกล้วยเพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์. เอกสารประชุมวิชาการ โครงการนำเสนอผลงานทางวิชาการระดับปริญญาบัณฑิต ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร ครั้งที่ 1, 3-4 มีนาคม 2557, คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี. หน้า 89-93

**พรพรรณ แสนภูมิ**, ศิวพร แพงคำ, ภัทราพร ภุมรินทร์ และอนันท์ เชาว์เครือ. 2555. ผลของระดับเมล็ดทานตะวันต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการย่อยได้ของสุกรขุน. วารสารเกษตรนเรศวร. ปีที่ 14 ฉบับที่ 2: 133-140.

**พรพรรณ แสนภูมิ**, ศิวพร แพงคำ, ภัทราพร ภุมรินทร์ และอนันท์ เชาว์เครือ. 2555. ผลของระดับเมล็ดทานตะวันต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการย่อยได้ของสุกรขุน. รายงานการสัมมนาวิชาการเกษตร ประจำปี 2555 คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ครั้งที่ 10. หน้า 52

สุทธิพงศ์ อุริยะพงศ์สรรค์, เวชสิทธ์ โทบุราณ, **พรพรรณ แสนภูมิ** และประสาน ตังควัฒนา. 2546. ผลการเสริมวิตามินอีต่อคุณภาพของเนื้อสะโพก (Biceps Femoris) ของโคลูกผสม บราห์มัน x พื้นเมืองไทย. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 6(1) (มกราคม-มิถุนายน): 23-38

สุทธิพงศ์ อุริยะพงศ์สรรค์, เวชสิทธ์ โทบุราณ, **พรพรรณ แสนภูมิ** และประสาน ตังควัฒนา. 2547. ผลของการเสริมวิตามินอีต่อคุณภาพซากของโคลูกผสมบราห์มัน x พื้นเมืองไทย วารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม (submitted).

สุทธิพงศ์ อุริยะพงศ์สรรค์, เวชสิทธ์ โทบุราณ, **พรพรรณ แสนภูมิ** และประสาน ตังควัฒนา. 2547. ผลของการเสริมวิตามินอีต่อคุณภาพของเนื้อสันนอก (longissimus dorsi) ของโคลูกผสมบราห์มัน x พื้นเมืองไทย. วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (Accepted).

**พรพรรณ แสนภูมิ,** สุทธิพงศ์ อุริยะพงศ์สรรค์, ฉลอง วชิราภากร และ เทอดศักดิ์ คำเหม็ง 2546. ผลของการใช้อาหารข้นร่วมกับอาหารหยาบ. รายงานการสัมมนาวิชาการเกษตร ประจำปี 2546 คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**พรพรรณ แสนภูมิ,** สุทธิพงศ์ อุริยะพงศ์สรรค์, ฉลอง วชิราภากร และ เทอดศักดิ์ คำเหม็ง 2546. ผลของการใช้อาหารข้นร่วมกับฟางแห้งและฟางหมักต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ลักษณะซาก และการยอมรับของผู้บริโภคเนื้อแพะและแกะ. รายงานการสัมมนาวิชาการเกษตร ประจำปี 2546 คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โรงพิมพ์ คลังนานาวิทยา ขอนแก่น

สุทธิพงศ์ อุริยะพงศ์สรรค์, **พรพรรณ แสนภูมิ**, เวชสิทธิ์ โทบุราณ, ถนอม ทาทอง และประสาร ตังควัฒนา 2547. ผลของการเสริมไวตามินอี ต่อคุณภาพของเนื้อสันนอกของโคลูกผสมบราห์มันxพื้นเมือง. รายงานการประชุมสัมมนาวิชาการเกษตรแห่งชาติประจำปี 2547 สาขาสัตวศาสตร์สัตวบาล หน้า 120-127 หจก. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา จ. ขอนแก่น.

**พรพรรณ แสนภูมิ**, นิตยา แก้วทรายขาว และ สุทธิพงศ์ อุริยะพงศ์สรรค์ 2544. บทบาทของ GMOs ต่อคุณภาพของเนื้อ. สัตว์เศรษฐกิจ ปีที่ 18 ฉบับที่ 413 มีนาคม 2544.

**ตอนที่ 1 ประวัติผู้ร่วมวิจัย**

1. ชื่อ - สกุล (นาย/นาง/นางสาว) (ภาษาไทย) นางสาว ภัทราพร ภุมรินทร์
(ภาษาอังกฤษ) Miss PATTARAPORN POOMMARIN
2. วัน เดือน ปีเกิด 21 ตุลาคม 2519
3. หมายเลขประจำตัวประชาชน 3200200347392
4. ตำแหน่งทางวิชาการปัจจุบัน ☐ข้าราชการ ☑พนักงาน

| | |
|---|---|
| ☐อาจารย์ | ☐ชำนาญการ |
| ☑ผู้ช่วยศาสตราจารย์ | ☐เชี่ยวชาญ |
| ☐รองศาสตราจารย์ | ☐เชี่ยวชาญพิเศษ |
| ☐ศาสตราจารย์ | ☐อื่นๆ (โปรดระบุ)..... |

เงินเดือน 40,460 บาท

เวลาที่ใช้วิจัย 15 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

5. สถานที่ทำงาน

ภาควิชา สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร คณะ สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร

โทรศัพท์: 032-594043-50 โทรสาร: 032-594037-8 e-mail address: Saenphoompp@hotmail.com

6. ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปี 2541

ปริญญาโท วท.ม. (สัตวศาสตร์) มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปี 2545

ปริญญาเอก Ph.D. (Animal Science) University of the Philippines Los Banos, ปี 2557.

**- ระดับปริญญาเอก**

ชื่อเรื่อง The effects of partial replacement of corn (Zea may.L) with dried cashew nut (Anacardium occidentale L.) testa energy utilization, nutrient digestibility and carcass characteristic of finshing pigs

ปีที่ดำเนินการ 2557

8. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

สาขาเกษตรศาสตร์ (อาหารสัตว์ และ การผลิตสุกร)

**ตอนที่ 2 ผลงานวิจัย**

1.ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

**Poommarin, P.,** K. Lauoroongroj, T. Soodying, M. Naktung, T. Chawaut and J. Srionlert. 2007. The use of tumeric (*Curcumin longa* Linn.) as antioxidant in high density reared broilers (effects on heterophil, lymphocyte, H/L ratio and MDA). In. Proc. First international conference on sustainable animal agriculture in developing countries. September 27-29, 2007, Kunmimg, China. P.272-274.

P. Saenphoom, S. Paengkoum and P. Poommarin. 2007. Effect of Leucaena leucocephala and purple guinea grass (*Panicum maximum* TD 58) on digestibility, milk yield and milk

compositions of dairy goat**.** In. Proc. First international conference on sustainable animal agriculture in developing countries. September 27-29, 2007, Kunmimg, China. P.207 – 209.

Poommarin, P. and S. Seubsai. 2009. Analysis of Chemical and Bromelain Activity in Pineapple Peel Juice (Pattavia) and Protein Dispersibility Index in Soybean meal. In. Proc. Second international conference on sustainable animal agriculture in developing countries. November 8-11, 2009, Kuala Lumper, Malaysia. P.283.

**ตอนที่ 1 ประวัติของผู้ร่วมวิจัย**

1. ชื่อ - สกุล (~~นาย,นาง~~,นางสาว) (ภาษาไทย) สุภาวดี ฉิมทอง
   (ภาษาอังกฤษ) Suphavadee Chimtong
2. ตำแหน่งทางวิชาการปัจจุบัน: นักวิทยาศาสตร์
3. สถานที่ทำงาน
   ภาควิชา สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร คณะ สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร
   โทรศัพท์: 032-594043-50 โทรสาร: 032-594037-8 e-mail address: suphavadeec@yahoo.com
4. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ
   ชีวเคมี (โปรตีนและเปปไทด์)

**ตอนที่ 2 ผลงานวิจัย**

1. <u>ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ</u>


Saenphoom, P., **S. Chimtong,** A. Chaokaur, S. Bureenok, T. Phonmun, T. Chanprecha and Y. Seesawhea. 2017. Characteristics of fermented extracts from grass and fruit peel to use as silage additives. The 7thInternational Confernece on Fermentation Technology for Value Added Agricultural Products. 25-27 July 2017, Khon Kaen. 168-172.

Saenphoom, P., **S. Chimtong.** S. Phiphatkitphisan and S. Somsri 2016. Improvement of taro leaves using pre-treating enzyme as prebiotics in animal feed. Agriculture and Agricultural Science Procedia. 11: 65-70.

Saenphoom, P., **S. Chimtong,** K. Lertchunhakiat and M. Nopparatmaitree. 2016. Effect of egg shell levels in layer diet on productive performance, egg quality and plasma calcium concentration. The 17th Asian-Australasian Association of Animal Production Societies Animal Science Congress. Fukuoka Japan. 412-419.

**Chimtong, S.,** P. Saenphoom, N. Karageat and S. Somtua. 2016. Oligosaccharide Production from Agricultural Residues by Non Starch Polysaccharide Degrading Enzymes and Their Prebiotic Properties. Agriculture and Agricultural Science Procedia. 11: 131-136.

Lertchunhakiat. K, P. Saenphoom, M. Nopparatmaitree and **S. Chimtong**. 2016. Effect of egg shell as a calcium source of breeder cock diet on semen quality. Agriculture and Agricultural Science Procedia. 11: 137-142.

Seesawhea, Y., P. Saenphoom, S. Bureenok, A. Chaokaur, **S. Chimtong** and A. Tiantong. 2016. Effect of fermented juice from fruit peels to use as an additive for improved quality of roughage. The 17th Asian-Australasian Association of Animal Production Societies Animal Science Congress. Fukuoka Japan. 690-692.

Saenphoom, P. and **S. Chimtong**. 2014. Effect of enzyme treated copra meal on nutritive, reducing sugars and oligosaccharides as prebiotics. The Standard International Journal (The SIJ). 18-21.

Saenphoom, P. and S. **Chimtong.** 2014. Improvement of copra meal using pretreating enzyme as prebiotics in animal feed. *International Symposium on fundamental and Applied Sciences (ISFAS),* 28-30 March 2014, Tokyo, Japan.

Saenphoom, P., **S. Chimtong,** A. Chaokaur, D. Kutdaeng, T. Chanprecha and Y. Seesawhea. 2013. Nutritive value of fermented sugar palm peel with pineapple peel. *The 5th International Conference on Fermentation Technology for Value Added Agricultural Products (Fervaap 2013), 21-23 August, Khon Kaen, Thailand, pp 148.*

R. Kwok, J. R. Zhang, **S. Chimtong**, T. Pewnim, S. S. Tobe. 2005. " The biosynthesis of MF and FA by mandibular ogans in Penaeus monodon : second messengers and possible regulation by allatostatins" Invertebrate Neuropeptide Conference, January 9–13, 2005, Chiang Mai, Thailand

Saowaluck Wongthianlai, **Suphavadee Chimthong**, Kanokwan Srirattana, and Jesdawan Wichitwechkarn, 2007, " Identification, cloning, and expression of mpd gene coding for methyl parathion hydrolase from Burkholderia cepacia". The 33rd Congress on Science and Technology of Thailand October 18 – 20, 2007, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, Thailand

Nguyen vu Minh Hanh, **Suphavadee Chimtong**, Khin Lay Kyu, and Khanok Ratanakhanokchai. "Screening and Isolation of Anaerobic Thermophilic Bacteria for Production of Sugars from Agricultural Wastes". Research work in 2006- 2007 UNESCO Postgraduate Inter- University Course in Biotechnology, supported by the Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology and the Japanese National Commission for UNESCO.

Arkom Tesnum, **Suphavadee Chimtong**, Nitnipa Soontorngum, Khin Lay Kyu, Chakrit Tachaapaikoon and Khanok Ratanakhanokchai, 2009, " Study on amylases from thermophilic bacterium Thermoanaerobacterium sp. strain NOI-1 and sugar production from raw starch and cassava plup" , The proceeding of 47th Kasetsart University Annual Conference, 17-20 March 2009, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, p. 36-44

**Chimtong S.**, N. Soontorngun, C. Tachaapaikoon, P. Pason, K. L. Kyu and K. Ratanakhanokchai. 2009. " Sugar Production from agricultural residues by xylanolytic- cellulolytic enzyme from Thermoanaerobacterium sp. strain NOI-19". Agricultural Sci. J. 40 : 1 (Suppl.) : 373-376.

**Suphavadee Chimtong**, Chakrit Tachaapaikoon[2], Khin Lay Kyu[1], Akihiko Kosugi[3], Yutaka Mori[3] and Khanok Ratanakhanokchai[1], 2009, "Endo-cellulase-free xylanolytic enzymes from thermophilic anaerobic bacterium, Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum strain NOI- 1" The 21st Annual Meeting and International Conference of Thai Society for Biotechnology, 24-25 September 2009, Queen Sirikit National Convention Center Bangkok, Thailand, p. 25.

2. <u>ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติ</u>

พรพรรณ แสนภูมิ, **สุภาวดี ฉิมทอง** และยุพา สีสาวแห. 2561. การปรับปรุงแกลบกุ้งด้วยวิธีทางเคมีเพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์. แก่นเกษตร. 46 ฉบับพิเศษ (1): 644-649.

ยุพา สีสาวแห, พรพรรณ แสนภูมิ, อนันท์ เชาว์เครือ, **สุภาวดี ฉิมทอง,** เสมอใจ บุรีนอก และศักดา ประจักษ์บุญเจษฎา. 2560. การปรับปรุงเปลือกข้าวโพดหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคจากน้ำหมักเปลือกผลไม้ต่อการย่อยได้โภชนะและสมรรถนะการเจริญเติบโต. Veridian E-journal, Science and Technology Silpakorn University. 4 (5): 144-156.

พรพรรณ แสนภูมิ, **สุภาวดี ฉิมทอง** และยุพา สีสาวแห. 2561. การปรับปรุงแกลบกุ้งด้วยวิธีทางเคมีเพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์. แก่นเกษตร. 46 ฉบับพิเศษ (1): 644-649.

ยุพา สีสาวแห, พรพรรณ แสนภูมิ, อนันท์ เชาว์เครือ, **สุภาวดี ฉิมทอง,** เสมอใจ บุรีนอก และศักดา ประจักษ์บุญเจษฎา. 2560. การปรับปรุงเปลือกข้าวโพดหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคจากน้ำหมักเปลือกผลไม้ต่อการย่อยได้โภชนะและสมรรถนะการเจริญเติบโต. Veridian E-journal, Science and Technology Silpakorn University. 4 (5): 144-156.

พรพรรณ แสนภูมิ, **สุภาวดี ฉิมทอง,** วสุนันท์ นิ่มอนงค์, กนิษฐา ผิวขม, ศิรินันท์ สุขเจริญ และชาลินี ติ้มขลิบ. 2560. การย่อยได้และผลผลิตแก๊สในหลอดทดลองของเปลือกตาลหมักร่วมกับฟางข้าว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 48 ฉบับพิเศษ (2): 682-692.

พรพรรณ แสนภูมิ, **สุภาวดี ฉิมทอง**, อนันท์ เชาว์เครือ, เสมอใจ บุรีนอก และมนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี. 2560. ผลของการใช้แบคทีเรียผลิตกรดแลคติคจากน้ำพืชหมักเป็นสารเสริม ในการหมักเปลือกตาลอ่อนร่วมกับฟางข้าวต่อสมรรถนะการเจริญ เติบโตและการย่อยได้โภชนะในแพะ แก่นเกษตร. 45 ฉบับพิเศษ (1): 616-623.

พรพรรณ แสนภูมิ, **สุภาวดี ฉิมทอง**, อนันท์ เชาว์เครือ, มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี และชาลินี ติ้มขลิบ. 2559. ผลของระดับการใช้เปลือกตาลหมักร่วมกับเปลือกสับปะรดทดแทนกระถินเพื่อเป็นแหล่งอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้งต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต และการย่อยได้ของโภชนะในแพะลูกผสม. แก่นเกษตร. 44 ฉบับพิเศษ (1): 13-18.

ทิพาพร ชาญปรีชา, พรพรรณ แสนภูมิ, จันทร์จิรา สิทธิยะ และ**สุภาวดี ฉิมทอง.** 2559. ผลของชนิดหญ้าต่อคุณน้ำหมัก. แก่นเกษตร. 44 ฉบับพิเศษ (1): 19-24.

พรพรรณ แสนภูมิ, **สุภาวดี ฉิมทอง,** ขนิษฐา ยอดแก้ว, ปวีณา สิงหนาท และชาลินี ติ้มขลิบ. 2559. การปรับปรุงกากเบียร์เพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์. แก่นเกษตร. 44 ฉบับพิเศษ (2): 662-670.

ทิพาพร ปรีชา, พรพรรณ แสนภูมิ, อนันท์ เชาว์เครือ, เสมอใจ บุรีนอก และ**สุภาวดี ฉิมทอง.** 2559. การปรับปรุงเปลือกตาลหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคจากน้ำพืชหมักต่อองค์ประกอบทางเคมี, การย่อยได้ในหลอดทดลอง และผลผลิตแก๊ส. แก่นเกษตร. 44 ฉบับพิเศษ (2): 491-498.

ยุพา สีสาวแห, พรพรรณ แสนภูมิ, เสมอใจ บุรีนอก, อนันท์ เชาว์เครือ และ**สุภาวดี ฉิมทอง.** 2559. การปรับปรุงเปลือกข้าวโพดหมักโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติคจากน้ำหมักเปลือกผลไม้ต่อองค์ประกอบทางเคมี, การย่อยได้ในหลอดทดลอง และผลผลิตแก๊ส. แก่นเกษตร. 44 ฉบับพิเศษ (2): 467-474.

พรพรรณ แสนภูมิ, **สุภาวดี ฉิมทอง,** ธิดารัตน์ ภิญญูพันธุ์, นฤมล กรวิทยโยธิน และสิวาลัย ภักดีพิน. 2558. การปรับปรุงเปลือกมะนาวด้วยเอนไซม์เพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์. วารสารสัตวศาสตร์แห่งประเทศไทย. ปีที่ 2 ฉบับพิเศษ 1: 339-343.

พรพรรณ แสนภูมิ, **สุภาวดี ฉิมทอง,** ณฐกร กลั่นบุศย์, ประเสริฐพงษ์ มงคล และศักดิธัช อารีรอบ. การปรับปรุงเยื่อหุ้มเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยเอนไซม์เพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์. 2558. แก่นเกษตร. 43 ฉบับพิเศษ (1): 505-511.

พรพรรณ แสนภูมิ และ**สุภาวดี ฉิมทอง.** การปรับปรุงกากชาด้วยเอนไซม์เพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์. 2557. แก่นเกษตร. 42 ฉบับพิเศษ (1): 368-374.

พรพรรณ แสนภูมิ, มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี และ**สุภาวดี ฉิมทอง.** 2557. การปรับปรุงกากกาแฟด้วยเอนไซม์เพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์. วารสารสัตวศาสตร์แห่งประเทศไทย. ปีที่ 1 ฉบับพิเศษ 1: 129-132.

อังคณา ดอกเชื้อเอม, พรพรหม ซีค๊อต, พรพรรณ แสนภูมิ และ**สุภาวดี ฉิมทอง.** 2557. การศึกษาสารสกัดเพคตินจากเปลือกกล้วยเพื่อใช้เป็นพรีไบโอติกส์ในอาหารสัตว์. เอกสารประชุมวิชาการ โครงการนำเสนอผลงานทางวิชาการระดับปริญญาบัณฑิต ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร ครั้งที่ 1, 3-4 มีนาคม 2557, คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี. หน้า 89-93

พิรวิทย์ เชื้อวงษ์บุญ, กรภพ คล้ายวงษ์, จุฬานีย์ น่วมจิตย์ และ **สุภาวดี ฉิมทอง** “การตัดสินเพศของโคด้วยเทคนิค Multiplex PCR” การประชุมวิชาการสัตวศาสตร์ครั้งที่ 4 วันที่ 31 มกราคม 2551 ณ ห้องกวีจุติกุล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สมพิศ สอนโยธา, จักรกฤษณ์ เตชะอภัยคุณ, **สุภาวดี ฉิมทอง,** คิน เลย์ คู และ กนก รัตนะกนกชัย “การผลิตสารมูลค่าสูงจากแกนสับปะรด” การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยพืชเขตร้อนและกึ่งร้อน ครั้งที่ 5 วันที่ 21-22 กรกฎาคม 2554 ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.