การศึกษาวิธีการสกัดและผลของอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวต่อปริมาณอินนูลินในกระเทียม

จารุพิชญา โฮมลคร

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
มีนาคม 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยพะเยา

การศึกษาวิธีการสกัดและผลของอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวต่อปริมาณอินนูลินในกระเทียม

จารุพิชญา โฮมลคร

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
มีนาคม 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยพะเยา

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาวิธีการสกัดและผลของอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว

ต่อปริมาณอินนูลินในกระเทียม

ของ จารุพิชญา โฮมลคร

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

.....ประธาน

(ดร.สุกัญญา จีนเหนาะ)

.....กรรมการ .....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร ภัสสร) (ดร.คุณากร ขัติศรี)

.....กรรมการ .....กรรมการ

(ดร.พนิตนาฎ อู่พุฒินันท์) (ดร.รวิสรา รื่นไวย์)

อนุมัติ

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญฤทธิ์ สินค้างาม)

คณบดีคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ

มีนาคม 2563

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร ภัสสร ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และดร.คุณากร ขัติศรี ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างยิ่งที่คอยให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง ตลอดจนให้ความรู้ในด้านต่าง ๆ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้

ขอขอบพระคุณ ดร.สุกัญญา จีนเหนาะ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์, ดร.รวิสรา รื่นไวย์ และดร.พนิตนาฏ อู่พุฒินันท์ คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาชี้แนะแนวทาง และคำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพน์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ และนักวิทยาศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ และทรัพยากรธรรมชาติ ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือ และเทคนิคการวิเคราะห์ต่าง ๆ

ขอขอบคุณ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ ที่อำนวยความสะดวกทั้งสถานที่ และเครื่องมือในการปฏิบัติงาน จนงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยพะเยาที่ให้ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ และทุนอุดหนุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2560 (สัญญาเลขที่ RD60027) ที่สนับสนุนทุนวิจัย

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่อบรมสั่งสอน เลี้ยงดู สนับสนุน ส่งเสริมด้านการศึกษา คอยให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดมา

จารุพิชญา โฮมลคร

เรื่อง: การศึกษาวิธีการสกัดและผลของอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวต่อปริมาณอินนูลินในกระเทียม
ผู้วิจัย: จารุพิชญา โฮมลคร, วิทยานิพนธ์: วท.ม. (เทคโนโลยีชีวภาพ), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2563
ประธานที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร ภัสสร, **กรรมการที่ปรึกษา**: ดร.คุณากร ขัติศรี, ดร.รวิสรา รื่นไวย์ และดร.พนิตนาฏ อู่พุฒินันท์
คำสำคัญ: อินนูลิน, การสกัด, กากกระเทียม

บทคัดย่อ

กระเทียม (*Alium sativum* Linn) เป็นพืชหัวที่พบว่ามีปริมาณอินนูลินสูง ปัจจุบันอินนูลินได้นิยมนำมาใช้ในอุสาหกรรมอาหาร เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก ดังนั้น การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการสกัดอินนูลินที่เหมาะสมจากกากกระเทียมที่ผ่านการสกัดน้ำมันกระเทียม โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในอัตราส่วนผสมระหว่างผงกากกระเทียมต่อน้ำ 3 ระดับ คือ 1:4, 1:6 และ 1:8 พบว่า อัตราส่วนไม่มีผลต่อปริมาณอินนูลินที่สกัดได้ ($p < 0.05$) จากนั้นศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิการสกัด 3 ระดับ คือ อุณหภูมิห้อง (30–35 องศาเซลเซียส), อุณหภูมิสูง 60 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส พบว่า การสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณอินนูลินสูงที่สุด ($p < 0.05$) ที่ 70.99% และ 69.27% ตามลำดับ ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษากระเทียมหลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินนูลินในกระเทียม โดยวิเคราะห์อายุการเก็บรักษากระเทียม 7 ช่วง คือ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน พบว่า อายุการเก็บรักษากระเทียมหลังการเก็บเกี่ยว ช่วงวันที่ 0 และ 15 วัน มีปริมาณอินนูลินสูง ($p < 0.05$) ที่ 78.50% และ 73.71% ตามลำดับ จากผลการทดสอบการเป็นพรีไบโอติกของผงอินนูลินที่สกัดจากกากกระเทียม พบว่า สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 และ *Lactobacillus plantarum* TISTR 1465 ได้ดีกว่าชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Escherichia coli* DMST 4212 ได้

Title: STUDY OF EXTRACTION METHOD AND EFFECT OF POSTHARVEST LIFE ON INULIN CONTENT IN GARLIC (*ALIUM SATIVUM* LINN)

Author: Jaruphitchaya Homlakhorn, Thesis: M.S. (Biotechnology), University of Phayao, 2020

Advisor: Assistant Professor Dr.Supaporn Passorn, **Co-advisor**: Dr.Kunakorn Katsri, Dr.Rawisara Ruenwai and Dr.Panitnart Auputinan

Keywords: Inulin, Extraction, Garlic residues

ABSTRACT

Garlic (*Alium sativum* linn) is a bulb plant containing high inulin. Currently, inulin is popularly used in the food industry because of prebiotic properties. Therefore, the aim of this research was to optimize the method for inulin extraction from waste residue of garlic oil industry by using water as a solvent at water to dried garlic residue ratio about 3 levels as 1: 4, 1: 6 and 1: 8. The result showed that amount of inulin had no significant difference in all ratios ($p < 0.05$). Further study, the effect of temperature on the extraction of inulin was observed at room temperature (30–35 °C) and high temperature at 60 °C and 80 °C. The highest amount of soluble dietary fiber at 80 °C and 60 °C were found 70.99% and 69.27% ($p < 0.05$), respectively. The effect of shelf life on changes of inulin in garlic bulbs were determined in 7 periods at 0, 15, 30, 45, 60, 75 and 90 days. It was found that garlic bulbs after harvest at 0 and 15 days had high amount of inulin content ($p < 0.05$) about 78.50% and 73.71% respectively. Moreover, the prebiotic testing of inulin extracted from dried garlic residue higher promoted growth of *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 and *Lactobacillus plantarum* TISTR 1465 better than the control. but could not inhibit the growth of *Escherichia coli* DMST 4212.

สารบัญ

บทที่ **หน้า**

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

สมมติฐานการวิจัย 2

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 3

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย 3

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

กระเทียม (*Allium sativum* Linn) 4

การสกัดน้ำมันกระเทียม 8

เส้นใยอาหาร (Dietary fiber) 8

กระบวนการผลิตเส้นใยอาหารผง 15

อินนูลิน (Inulin) 17

กระบวนการสังเคราะห์อินนูลินจากพืช 19

พรีไบโอติก (Prebiotic) 23

การวิเคราะห์น้ำตาล 25

โปรไบโอติก (Probiotic) 28

กรดแลกติก (Actic acid) 31

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 36

3 วิธีดำเนินการวิจัย 40

แนวทางดำเนินการวิจัย 40

การเก็บรวบรวมข้อมูล 41

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 49

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 50
เตรียมตัวอย่างในการสกัดอินนูลินจากกระเทียม 50
ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดอินนูลินจากกากกระเทียม 51
ศึกษาปริมาณอินนูลินในกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยว 54
ศึกษาคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติก 56

5 บทสรุป 64
สรุปผลการวิจัย 64
อภิปรายผลการวิจัย 64
ข้อเสนอแนะ 68

บรรณานุกรม 70

ภาคผนวก 80
ภาคผนวก ก สูตรอาหารที่ใช้ในการทดลองและการคำนวณอัตราการเจริญของเชื้อ 81
ภาคผนวก ข การเตรียมสารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ 83
ภาคผนวก ค การเก็บรักษากระเทียมหลังการเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลาต่าง ๆ..... 85
ภาคผนวก ง ค่าความหนืดของผงอินนูลินที่สกัดได้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30..... 89

ประวัติผู้วิจัย 91

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะกระเทียมพันธุ์เบา กระเทียมพันธุ์กลาง และกระเทียมพันธุ์หนัก 7

2 แสดงปริมาณอินนูลินและโอลิโกฟรุกโตสในพืชบางชนิด 18

3 แสดงปริมาณอินนูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในพืชบางชนิดของไทย 19

4 แสดงชนิดของจุลินทรีย์ที่จัดเป็นโปรไบโอติก 29

5 แสดงปริมาณผงอินนูลินที่สกัดได้โดยใช้อัตราส่วนระหว่างผงกากกระเทียมต่อน้ำ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 51

6 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณและคุณสมบัติของผงอินนูลินที่สกัดได้โดยใช้อัตราส่วนผงกากกระเทียมต่อน้ำในอัตราส่วนต่าง ๆ 52

7 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณและคุณสมบัติของผงอินนูลินที่สกัดได้โดยใช้อุณหภูมิต่าง ๆ ในอัตราส่วนตัวทำละลายระหว่างผงกากกระเทียมต่อน้ำที่ 1:4..... 53

8 แสดงปริมาณความชื้นต้นกระเทียมสดต่ออายุกระเทียมหลังการเก็บเกี่ยวที่ 0 ถึง 90 วัน 55

9 แสดงปริมาณความชื้นเนื้อกระเทียมสดต่ออายุกระเทียมหลังการเก็บเกี่ยวที่ 0 ถึง 90 วัน 55

10 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณอินนูลิน น้ำตาลทั้งหมด และน้ำตาลรีดิวซ์จากอายุการเก็บรักษากระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวที่ 0 ถึง 90 วัน 56

11 แสดงอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารชนิดต่าง ๆ 57

สารบัญภาพ

ภาพ **หน้า**

1 แสดงกระเทียม (*Allium sativum* Linn)..... 5
2 แสดง Soluble dietary fiber..... 9
3 แสดง Insoluble dietary fiber..... 11
4 แสดงขั้นตอนการผลิตเส้นใยอาหารผง..... 16
5 แสดงโครงสร้างอินนูลิน..... 18
6 แสดงแบบจำลองสำหรับการสังเคราะห์ทางฟรุกแตน..... 20
7 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของกรดแลกติก..... 31
8 แสดง *Lactobacillus acidophilus*..... 33
9 แสดง *Lactobacillus plantarum*..... 34
10 แสดง *Escherichia coli*..... 36
11 แสดงขั้นตอนการทดลอง..... 42
12 แสดงขั้นตอนการสกัดอินนูลินจากกระเทียม..... 43
13 แสดงวิธีศึกษาคุณสมบัติในการเป็นพรีไบโอติกของจุลินทรีย์ในการทดลอง..... 49
14 แสดงกากกระเทียมที่ได้จากโรงงานสกัดน้ำมันกระเทียม (ก) ผงกากกระเทียม หลังจากอบแห้งและบด (ข)..... 50
15 แสดงกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวแบ่งแขวนไว้ที่อากาศถ่ายเทสะดวก (ก) ผงกระเทียมสดหลังจากอบแห้งและบด (ข)..... 50
16 แสดงลักษณะของผงอินนูลินที่สกัดได้..... 51
17 แสดงกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 0 (ก) กระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 15 (ข)..... 54
18 แสดงรูปแบบการเจริญเติบโตในอาหารเลี้ยงเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365..... 58
19 แสดงรูปแบบการเจริญเติบโตในอาหารเลี้ยงเชื้อ *L. plantarum* TISTR 1465..... 58
20 แสดงรูปแบบการเจริญเติบโตในอาหารเลี้ยงเชื้อ *E. coli* DMST 4212..... 59
21 แสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365..... 59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ **หน้า**

22 แสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ *L. plantarum* TISTR 1465 60
23 แสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ *E. coli* DMST 4212..... 60
24 แสดงค่า pH ในอาหารเลี้ยงเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365..... 61
25 แสดงค่า pH ในอาหารเลี้ยงเชื้อ *L. plantarum* TISTR 1465..... 62
26 แสดงค่า pH ในอาหารเลี้ยงเชื้อ *E. coli* DMST 4212 62
27 แสดงปริมาณการผลิตกรดแลคติกของเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365..... 63
28 แสดงปริมาณการผลิตกรดแลคติกของเชื้อ *L. plantarum* TISTR 1465 63
29 แสดงกราฟมาตรฐานของกลูโคสที่ใช้วิเคราะห์น้ำตาลทั้งหมด 84
30 แสดงกราฟมาตรฐานของกลูโคสที่ใช้วิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์ 84
31 แสดงกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 0 85
32 แสดงกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 15..... 85
33 แสดงกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 30..... 86
34 แสดงกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 45..... 86
35 แสดงกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 60..... 87
36 แสดงกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 75..... 87
37 แสดงกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 90..... 88
38 แสดงค่าความหนืดของผงอินนูลิที่สกัดได้ ซ้ำ 1 มีค่าเท่ากับ 99.2 cP 89
39 แสดงค่าความหนืดของผงอินนูลิที่สกัดได้ ซ้ำ 2 มีค่าเท่ากับ 98.0 cP 89
40 แสดงค่าความหนืดของผงอินนูลิที่สกัดได้ ซ้ำ 3 มีค่าเท่ากับ 97.8 cP..... 90

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อินนูลิน (Inulin) เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทโพลีแซคคาร์ไรด์ประกอบไปด้วยน้ำตาลฟรุกโตสหลาย ๆ โมเลกุล เชื่อมต่อกันเป็นสายยาวที่ตำแหน่งบีตา 2, 1 แต่จะไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหาร (Roberfroid, 1993) ทำให้มีคุณสมบัติคล้ายเส้นใยอาหารชนิดละลายน้ำได้ โดยมีส่วนช่วยในการบรรเทาอาการท้องผูก (Kleessen, et al., 1997) มีผลช่วยเพิ่มการดูดซึมธาตุแคลเซียมในลำไส้ (Abrams, et al., 2005) ช่วยควบคุมไขมันไตรกลีเซอไรด์และคอเลสเตอรอลในเลือด (Roberfroid and Delzenne, 1998) สามารถช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ (Pool-Zobel, 2005) นอกจากนั้น อินนูลินยังมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก (prebiotic) คือ สามารถเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในลำไส้ของมนุษย์ โดยช่วยให้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายสามารถเจริญเติบโตได้ดี ได้แก่ บิฟิโดแบคทีเรีย (*Bifidobacteria*) และแลกโทบาซิลัส (*Lactobacillus*) (Spiller, 2001) อีกทั้งยังช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อโรค (pathogen microorganisms) ได้แก่ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* (อรุณี ฝาระมี, 2557) ปัจจุบันในอุตสาหกรรมอาหาร ได้มีการนำอินนูลินเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหารหลาย ๆ ชนิด เนื่องจากสามารถใช้เป็นสารที่ทดแทนน้ำตาล (sugar replacer) ไม่ทำให้น้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้น เช่น ผลิตภัณฑ์ช็อกโกแล็ตลูกกวาด ใช้เป็นสารที่ทดแทนไขมัน (fat replacer) (วิจิตรา แดงปรก, 2553) เช่น ไส้กรอก สลัดครีม ซุป ไอศกรีม โยเกิร์ต และใช้เพิ่มปริมาณใยอาหาร (Leenheer, 1996) เช่น การเติมในผลิตภัณฑ์นมผงดัดแปลงสำหรับทารก เครื่องดื่ม ขนมอบ โดยอินนูลินสามารถพบได้ในธรรมชาติ ซึ่งมีรายงานว่า พบพืชในประเทศไทยที่มีปริมาณอินนูลินสูง ได้แก่ กระเทียมโทนหัวใหญ่ กระเทียมจีน กระเทียมไทย และแก่นตะวัน มีประมาณอินนูลิน เท่ากับ 29.16±5.62, 24.29±1.94, 22.44±2.86 และ 19.36±1.04 กรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ และพบพืชตัวอย่างที่มีปริมาณอินนูลินปานกลาง คือ หอมแดง และหอมแขก มีปริมาณเท่ากับ 8.86±0.75 และ 3.56±0.95 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (Judprasong, et al., 2011)

กระเทียม เป็นพืชเครื่องเทศและสมุนไพรที่ใช้เป็นส่วนประกอบในการปรุงอาหารไทย มีคุณค่าทางอาหารและคุณค่าทางยาสูง มีสารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา เช่น สารอัลลิซิน (Allicin) ที่สามารถยับยั้งและฆ่าเชื้อแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบ (Bachrach, et al., 2011)

สารอะโจอีน (ajoene) ช่วยป้องกันตับอักเสบ (ศิรินทร์ฟาร์มาซี, 2554) และเส้นใยอาหารกลุ่มอินนูลินในปริมาณสูง การปลูกกระเทียมพบมากในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย แม่ฮ่องสอน พะเยา น่าน แพร่ ลำปาง อุตรดิตถ์ ศรีสะเกษ และบุรีรัมย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2542) ในช่วงที่เกิดปัญหากระเทียมล้นตลาดทำให้ราคากระเทียมตกต่ำ กระเทียมหัวขนาดกลาง ซื้อขายราคากิโลกรัมละ 35 บาท และกระเทียมหัวใหญ่ราคา 40–45 บาท (ทุกทิศทั่วไทย, 2562, สื่อออนไลน์) ส่งผลให้กลุ่มเกษตรกรประสบปัญหาขาดทุน จึงมีแนวทางการเพิ่มมูลค่าของกระเทียม โดยนำไปสกัดน้ำมันกระเทียม ตัวอย่างเช่น กลุ่มผู้ผลิตน้ำมันกระเทียม ตราดอกคำใต้ (กลุ่มวิสาหกิจชุมชมปุ๋ยหมักชีวภาพสันโค้ง) ซึ่งการผลิตน้ำมันกระเทียมในเขตพื้นที่ดังกล่าวนี้ ทำให้มีของเหลือทิ้งเป็นกากกระเทียมหลังผ่านการสกัดน้ำมัน จากประโยชน์ของกระเทียม และประเด็นปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาวิธีการสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำที่เหมาะสมจากกากกระเทียมที่ผ่านการสกัดน้ำมันกระเทียม และศึกษาอายุการเก็บรักษากระเทียมหลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินนูลินในกระเทียม ตรวจสอบคุณสมบัติพรีไบโอติกของผงเส้นใยอาหารละลายน้ำที่สกัดได้ โดยนำข้อมูลที่ได้เสนอเป็นทางเลือกสำหรับกลุ่มเกษตรกร ผู้ปลูกกระเทียมสามารถนำกากกระเทียมส่วนที่เหลือใช้จากการสกัดน้ำมันกระเทียม มาสกัดเส้นใยอาหารละลายน้ำ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับกระเทียมต่อไป

สมมติฐานของการวิจัย

1. สภาวะที่ใช้ในการสกัดส่งผลให้ปริมาณอินนูลินที่ได้แตกต่างกัน

2. ปริมาณอินนูลินลดลงในกระเทียมสดภายหลังการเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลานานกว่า 30 วัน

3. อินนูลินที่สกัดได้จากผงกากกระเทียมสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อ *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 และ *Lactobacillus plantarum* TISTR 1465 และสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรค *Escherichia coli* DMST 4212

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดอินนูลินจากผงกากกระเทียมที่ผ่านการสกัดน้ำมันและกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยว

2. เพื่อศึกษาปริมาณอินนูลินในกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลาต่าง ๆ

3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกของอินนูลินที่สกัดได้จากผงกากกระเทียม

ขอบเขตของการวิจัย

1. สกัดอินนูลินด้วยน้ำ โดยควบคุมอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ อุณหภูมิห้อง (อยู่ในช่วง 30–35 องศาเซลเซียส), 60 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้อัตราส่วนของผงกากกระเทียมต่อน้ำในอัตราส่วน 3 ระดับ คือ 1:4, 1:6 และ 1:8

2. ศึกษาผลของการเก็บกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลา 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน

3. ศึกษาคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกของอินนูลินที่สกัดได้

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1. ทำให้ทราบปัจจัยที่เหมาะสมในการสกัดสารอินนูลินจากกระเทียม และนำสารอินนูลินที่สกัดได้ไปใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม

2. เป็นทางเลือกสำหรับกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกกระเทียมเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับกากกระเทียมที่เหลือจากการสกัดน้ำมัน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยครั้งนี้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดอินนูลินจากกากกระเทียมที่ผ่านการสกัดน้ำมันและกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลาต่าง ๆ โดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดควบคู่กับการวิเคราะห์คุณสมบัติของผงกระเทียมที่สกัดได้ และความสามารถในการเป็นพรีไบโอติก โดยผู้วิจัยได้รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัย โดยมีเนื้อหาอันประกอบไปด้วยสาระสำคัญ ดังนี้

กระเทียม (*Allium sativum* Linn)

กระเทียม มีถิ่นกำเนิดมาจากบริเวณทวีปเอเชียกลาง หรือทวีปยุโรปตอนใต้ (ภัทรา เกรียงเกษร, 2552) จัดอยู่ในกลุ่มพืชล้มลุก (Annual Plant) ในตระกูล Amaryllidaceae เช่นเดียวกับหอมหัวใหญ่ หอมแดง กุ่ยฉ่าย และกระเทียมใบ มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Allium sativum* Linn. และมีชื่อเรียกอื่น อาทิ ชื่อภาษาอังกฤษ คือ Garlic ชื่อไทย เช่น กระเทียมไทย (ทั่วไป), หอมเทียม (ภาคเหนือ), กระเทียมขาว (อุดรธานี), กะเที้ยม (อีสาน), หัวเทียม (ภาคใต้) เป็นต้น (นิจศิริ เรืองรังสี, 2534)

การจัดจำแนก (Classification)

จัดอยู่ใน Kingdom Plantae

Division Spematophyta

Class Angiospermae

Order Liliiflorae

Family Liliaceae

Genus *Allium*

Species *Allium sativum*

ภาพ 1 แสดงกระเทียม (*Allium sativum* Linn)

ที่มา: กินอย่างเข้าใจ, 2559, สื่อออนไลน์

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กระเทียม เป็นเครื่องเทศและสมุนไพรที่มีสรรพคุณนานาชนิดที่คนไทยรู้จักกันดีมาอย่างยาวนาน และเป็นพืชที่เกษตรกรไทยส่วนใหญ่นิยมปลูกโดยทั่วไป พบมากในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทั้งนี้ สามารถจำแนกลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกระเทียมได้ดังนี้ (รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ, 2540)

1. ราก มีลักษณะแผ่ขยายออกจากส่วนฐานที่อยู่ด้านล่างของหัวกระเทียม เรียกว่า Adventitious root โดยระบบรากจะแผ่กว้างประมาณ 25 เซนติเมตร และลึกลงไปใต้ดินบริเวณโดยรอบของหัวกระเทียม ประมาณ 40 เซนติเมตร

2. หัว อยู่บริเวณใต้ดิน แต่ละหัวประกอบด้วยกลีบจำนวนหลายกลีบเรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ ประมาณ 4–13 กลีบต่อหัว แตกต่างกันไปตามแต่ละสายพันธุ์ แต่บางสายพันธุ์หัวมีเพียงกลีบเดียว เรียกว่า กระเทียมโทน

3. ลำต้น แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ลำต้นใต้ดิน มีลักษณะลำต้นเป็นทรงกระบอกประกอบด้วย แผ่นหุ้มสีขาว ฐานลำต้นแตกรากฝอยเป็นกระจุกหยั่งลึกลงไปในดิน มีความสูงตั้งแต่ใต้ดินจนถึงเหนือดิน ประมาณ 30–60 เซนติเมตร และลำต้นเหนือดิน มีลักษณะลำต้นเป็นทรงกลม สีขาว เป็นส่วนที่ยาวต่อเนื่องจากลำต้นใต้ดิน มีความสูงที่โผล่เหนือดิน ประมาณ 5–6 เซนติเมตร ทั้งนี้ ลักษณะของลำต้นจะแตกต่างกันไปตามแต่ละสายพันธุ์ โดยจะมีกาบใบห่อหุ้มทับซ้อนกันจนมิด จึงทำให้ไม่สามารถมองเห็นลำต้นของกระเทียมได้

4. ใบ มีลักษณะเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว รูปร่างแบน ยาว สีเขียวเข้ม และมีกลิ่นฉุนเหมือนหัวกระเทียม ลักษณะของใบจะแตกต่างกันไปตามแต่ละสายพันธุ์ เช่น กระเทียมพันธุ์เบา

หรือพันธุ์ขาวเมือง ใบมีลักษณะแหลม กระเทียมพันธุ์กลาง ใบมีลักษณะเล็กและยาว และกระเทียมพันธุ์หนัก ใบมีลักษณะกว้างและยาว กระเทียมต้นหนึ่งประกอบด้วยใบประมาณ 14–16 ใบ

5. ดอก มีลักษณะเป็นช่อกลม คล้ายหัวกระเทียม สีขาวอมม่วงหรือสีขาวอมชมพู เรียงเป็นวงล้อมรอบเกสรเพศเมีย กลีบดอกมีรูปร่างยาวแหลม ประมาณ 6 มิลลิเมตร คล้ายทรงสามเหลี่ยม ปลายกลีบดอกจะโค้งมน อับเรณูและก้านเกสรเพศเมียยื่นขึ้นมาสูงกว่าส่วนอื่น ๆ และอับเรณูหันออกไปทางด้านนอกของดอก มีรังไข่ 3 ช่อง โดยดอกของกระเทียมนี้จะอยู่บริเวณปลายสุดของก้านดอกที่แทงขึ้นมาจากส่วนกลางของลำต้น

6. ผล มีลักษณะเป็นแคปซูล สีเขียว มีขนาดประมาณ 2.5–6.3 เซนติเมตร เรียกว่า Siliqua ภายในประกอบด้วยเมล็ดเป็นจำนวนมากเรียงกันเป็นแถว เมื่อแกะแคปซูลจะแตกออกและปลดปล่อยเมล็ดกระเทียมให้กระจายออกไปรอบ ๆ ต้นกระเทียม ได้ไกลประมาณ 1 เมตร

7. เมล็ด มีลักษณะเมล็ดเป็นสีดำ ขนาดเล็ก เจริญอยู่ภายใน siliqua ซึ่งสามารถนำไปขยายพันธุ์ได้เหมือนกับกลีบกระเทียม (Block, 2010)

ชนิดพันธุ์ของกระเทียม

กระเทียมที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ โดยเกณฑ์ในการจำแนกชนิดพันธุ์ของกระเทียมนั้น สามารถแยกตามน้ำหนักหัวและอายุการเก็บเกี่ยว โดยจะพิจารณาเมื่อกระเทียมมีอายุแก่จัด พร้อมทำการเก็บเกี่ยว สามารถแบ่งออกเป็น 3 พันธุ์ ดังนี้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2528)

1. กระเทียมพันธุ์เบา หรือกระเทียมพันธุ์ศรีสะเกษ เป็นกระเทียมพันธุ์พื้นเมือง มีขนาดหัวเล็กถึงปานกลาง สีของหัวกระเทียมจะแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อม ตั้งแต่สีขาวอมชมพู สีขาวอมม่วง หรือสีขาวอมเหลือง มีจำนวนกลีบต่อหัว ประมาณ 11–13 กลีบ แต่ละกลีบมีขนาดเท่ากัน เนื้อข้างในมีสีขาว ลักษณะแข็งและแน่น รสและกลิ่นฉุนจัด ลำต้นสูง มีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 75–90 วัน ได้ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ ประมาณ 800–1,500 กิโลกรัม

2. กระเทียมพันธุ์กลาง เป็นกระเทียมที่นิยมปลูกมากที่สุด มีขนาดหัวใหญ่กว่ากระเทียมพันธุ์เบา กลีบชั้นนอกจะมีขนาดใกล้เคียงกับกลีบของกระเทียมพันธุ์เบา กลีบแต่ละชั้นจะมีขนาดไม่เท่ากันเรียงซ้อนกันเรื่อย ๆ โดยกลีบชั้นนอกจะใหญ่กว่ากลีบชั้นในตามลำดับ สีของเปลือกหุ้มหัวมีสีม่วงปนแดง หรือสีชมพูอ่อน รสและกลิ่นฉุนปานกลาง มีลักษณะของลำต้นเตี้ยกว่ากระเทียมพันธุ์เบา มีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 90–120 วัน ได้ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ประมาณ 2,000 กิโลกรัม

3. กระเทียมพันธุ์หนัก หรือกระเทียมพันธุ์อื่น พบในประเทศไทยไม่มากนัก ส่วนใหญ่เป็นกระเทียมจากต่างประเทศ หัวและกลีบมีขนาดใหญ่มาก แต่จำนวนกลีบต่อหัวมีน้อย

เปลือกนอกที่หุ้มหัวมีสีขาวหรือสีขาวปนม่วง รสและกลิ่นไม่ค่อยฉุน ลักษณะของลำต้นอ้วนและใหญ่กว่ากระเทียมพันธุ์เบาและกระเทียมพันธุ์กลาง มีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 150 วัน ได้ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ ประมาณ 4,063 กิโลกรัม โดยการเปรียบเทียบลักษณะกระเทียมพันธุ์ต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะกระเทียมพันธุ์เบา กระเทียมพันธุ์กลาง และกระเทียมพันธุ์หนัก

ลักษณะประจำพันธุ์	พันธุ์เบา ศรีสะเกษ	พันธุ์กลาง บางช้างและเชียงใหม่	พันธุ์หนัก จีน
อายุเก็บเกี่ยว	75 วัน	100–120 วัน	150 วัน
สถานที่ปลูก	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคกลางและภาคเหนือ	ภาคเหนือตอนบนและเกษตรที่สูง
ขนาดของลำต้น	สูงผอม	ใหญ่อวบเตี้ย	อวบอ้วนกว่าพันธุ์อื่น
ลักษณะลำต้นเมื่อแก่จัด	แอนราบไปกับพื้น	ไม่ล้มเอน ลำต้นแห้งเหี่ยว	ไม่ล้มเอน
การบริโภคลำต้น	ไม่ใช้บริโภค	ใช้บริโภคได้	ใช้บริโภคได้
การเรียงของใบ	ใบอยู่ตรงกันข้ามแยกไป 2 ข้าง มองคล้ายรูปพัดที่กางออก	เวียนเป็นวงกลมรอบลำต้น	ช่องระหว่างใบสั้น มองดูคล้ายโคนใบทั้งหมดเรียงซ้อนกัน
สีของใบ	เขียวอ่อน	เขียว	เขียวเข้ม
ลักษณะของกลีบ	ปลายกลีบมีเส้นยาวเหนือกลีบ เรียกว่าหางกลีบ	กลีบงอ โค้งของกลีบเป็นเหลี่ยม	กลีบอ้วน กลม ไม่มีเหลี่ยมคมตามสันกลีบ
การเรียงของกลีบ	เรียงซ้อนกันประมาณ 2–3 ชั้น	เรียงซ้อนกันเป็นชั้นประมาณ 2–3 ชั้น	เรียงซ้อนกันเพียง 1 ชั้น
ขนาดของกลีบ	กลีบแต่ละชั้นมีขนาดใกล้เคียงกัน	กลีบชั้นนอกโตกว่ากลีบชั้นใน	กลีบขนาดใหญ่
ผลผลิตสดเฉลี่ย (กก./ไร่)	800–1,500	2,000–3,500	4,000

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร, 2528

การสกัดน้ำมันกระเทียม

น้ำมันกระเทียม (Garlic oil) เป็นน้ำมันหอมระเหย (Essential oil) ที่ได้จากการสกัดจากหัวกระเทียม โดยใช้วิธีการกลั่นแบบลำดับส่วน (Fractional distillation) แยกสารผสมออกจากกันให้อยู่ในรูปขององค์ประกอบย่อยแต่ละตัว (Fractions) เป็นการนำไอของแต่ละส่วนไปผ่านกระบวนการควบแน่น แล้วนำกลับมากลั่นและควบแน่นซ้ำไปเรื่อย ๆ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการในการสกัดน้ำมันกระเทียม จะได้สารที่ชื่อว่า อัลลิซิน (Allicin) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารประกอบซัลไฟด์ (Sulfied) มีสูตรโมเลกุล คือ $C_6H_{10}OS_2$ สารชนิดนี้เกิดจากการสลายตัวของกรดอะมิโน–อัลลิอิน เนื่องจากมีการ หั่น ตัด บด หรือทุบให้ช้ำ ซึ่งเป็นเหตุทำให้เซลล์ของกระเทียมแตกและทำปฏิกิริยากับเอนไซม์อัลลิเนส จึงเปลี่ยนเป็นน้ำมันหอมระเหย อัลลิซินมีลักษณะเป็นน้ำมันเหลืองใส และมีกลิ่นฉุนของกระเทียม

กรรมวิธีในการสกัดน้ำมันกระเทียม ประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้

1. นำกระเทียมมาหั่น ตัด บด ให้ละเอียด

2. นำกระเทียมที่บดละเอียดมาใส่ลงในเครื่องกลั่น โดยส่วนล่างสุดของเครื่องกลั่นจะเป็นส่วนของน้ำ เหนือจากส่วนของน้ำจะมีตะแกรงซึ่งเป็นส่วนที่นำกระเทียมบดไปวาง และส่วนด้านบนสุดของเครื่องกลั่นจะเป็นเครื่องหล่อเย็น

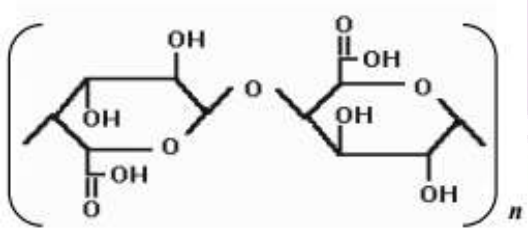
3. ทำการให้ความร้อนต่อเครื่องกลั่น เมื่อให้ความร้อนแล้วไอความร้อนจากน้ำในส่วนล่างสุด จะเคลื่อนที่ผ่านกระเทียมบดที่อยู่เหนือส่วนน้ำ จากนั้นไปกระทบกับเครื่องหล่อเย็น และสุดท้ายของกระบวนการจะได้เป็นน้ำมันกระเทียมออกมา

น้ำมันกระเทียม มีคุณสมบัติช่วยลดไขมันและคอเลสเตอรอลในเลือด จึงช่วยป้องกันโรคสำคัญได้หลายโรค เช่น เบาหวาน หัวใจ ความดันโลหิต หลอดเลือดอุดตัน ข้ออักเสบ ทั้งยังมีฤทธิ์ในการต่อต้านอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็งได้

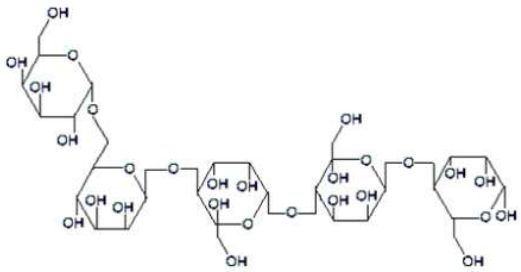
เส้นใยอาหาร (Dietary fiber)

เส้นใยอาหาร (Dietary fiber) หรือไฟเบอร์ (Fiber) เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ไม่ใช่แป้ง พบบริเวณผนังเซลล์ของพืช ผัก และผลไม้ เป็นสารที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์หรือน้ำย่อยในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ แต่จะเคลื่อนตัวไปเกิดการหมักและถูกย่อยได้เล็กน้อย โดยแบคทีเรียภายในบริเวณลำไส้ใหญ่ ทำให้ไม่มีการดูดซึมกลับเข้าสู่ร่างกาย จึงมีประโยชน์ต่อสุขภาพในด้านการขับถ่าย ลดคลอเลสเตอรอล และลดปริมาณกลูโคสในเลือด เมื่อพิจารณาจากสมบัติของเส้นใยอาหาร จึงสามารถแบ่งชนิดของเส้นใยอาหารตามความสามารถในการละลายน้ำได้ เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ (รสิตา โอสถานนท์, 2557)

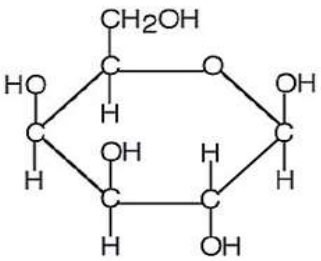
1. เส้นใยอาหารประเภทละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber: SDF) เป็นเส้นใยอาหารชนิดที่มีคุณสมบัติละลายในน้ำได้ดี สามารถดูดซับสารที่ละลายในน้ำไว้กับตัว โดยเมื่อสัมผัสกับน้ำจะละลายแล้วเกิดเป็นสารที่มีความหนืด ลักษณะคล้ายเมือกหรือเจล และถูกส่งต่อไปเพื่อเคลือบบริเวณผนังกระเพาะอาหารและลำไส้ ให้มีความหนาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการรบกวนกระบวนการดูดซึมสารอาหารต่าง ๆ ในบริเวณนั้น โดยเฉพาะการชะลอกระบวนการดูดซึมสารอาหารประเภท แป้ง น้ำตาล และไขมัน เข้าสู่ร่างกาย จึงมีผลต่อการลดระดับน้ำตาล ลดระดับคลอเลสเตอรอลในกระแสเลือด ชะลอการเกิดโรคเบาหวานและโรคไขมันในเลือดสูง (รสิตา โอสถานนท์, 2557) เส้นใยอาหารเหล่านี้มีหลายชนิด ได้แก่ เพกทิน, บีตา-กลูแคน และกัมแล-มิวซิเลจ ดังแสดงในภาพ 2



(ก) Pectin



(ข) β-glucan



(ค) Gum

ภาพ 2 แสดง Soluble dietary fiber

ที่มา: หยาดฝน ทนงการกิจ, 2556

1.1 เพกทิน (Pectin) เป็นสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ลักษณะโครงสร้างเป็นสายพอลิเมอร์ของกรดกาแล็กทูโรนิกที่ต่อกันแบบแอลฟา 1, 4 โดยมีน้ำตาลแล็กโทส, กลูโคส, แรมโนส

และอะราบิโนส รวมกันอยู่ในโครงสร้างหลัก มีคุณสมบัติดูดซับน้ำได้ดี และสามารถจับกับกรดน้ำดีได้ แหล่งสารอาหารพบได้ในผลไม้ตระกูลส้ม ฝรั่ง และแอปเปิ้ล เป็นต้น

1.2 เบตา–กลูแคน (β–glucan) เป็นสารอาหารที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสต่อแบบผสมกันเป็นสาย เช่น เบตา 1, 3 และเบตา 1, 4 มีคุณสมบัติดูดความชื้นได้ดี ทำให้มีความหนืด เบตา–กลูแคน พบได้ใน ข้าวโอ๊ต ข้าวไรย์ และข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น

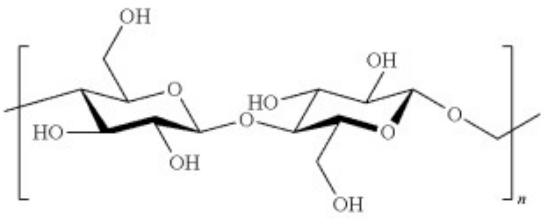
1.3 กัมและมิวซิเลจ (Gum & Mucilages) เป็นสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตแบบโพลิแซคคาไรด์ ประกอบด้วย กาแล็กทูโรนิกจับกับน้ำตาลแมนโนส อะราบิโนส หรือไซโลส สามารถพบแหล่งอาหารชนิดนี้ได้ในข้าวโอ๊ต ข้าวบาเลย์ และถั่วเมล็ดแห้ง เป็นต้น

2. เส้นใยอาหารประเภทที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber: IDF) จัดอยู่ในจำพวกคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน ที่มีลักษณะเหนียว ย่อยสลายได้ยาก มีความสามารถในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้น้อย แต่มีความสามารถในการดูดซับน้ำแล้วอุ้มน้ำได้ดี ทำให้เกิดการพองตัวได้ถึง 20 เท่าของน้ำหนัก มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ ร่างกายไม่สามารถย่อยและดูดซึมเส้นใยอาหารเหล่านี้ได้ จึงลำเลียงจากกระเพาะอาหารไปสู่ลำไส้ใหญ่อย่างรวดเร็ว ดังนั้นเมื่อบริโภคเส้นใยชนิดนี้เข้าไปแล้วจึงทำให้ช่วยเพิ่มปริมาตรของกากอาหาร ส่งผลให้กระบวนการขับถ่ายสะดวกมากขึ้น มีมวลอุจจาระเพิ่มขึ้น เนื้ออุจจาระนิ่ม ช่วยป้องกันอาการท้องผูก และช่วยป้องกันการเกิดโรคนิ่วในไต (อังคณา คงคชวรรณ, 2558) เส้นใยอาหารเหล่านี้มีหลายชนิด ได้แก่ เซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ดังแสดงในภาพ 3

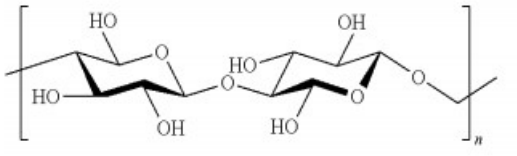
2.1 เซลลูโลส (Cellulose) จัดอยู่ในสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ลักษณะแบบโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (Homopolysaccharide) เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช อยู่ในรูปของ 1,4–β–D–กลูแคน เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช เช่น ผักที่มีสีเขียว ผลไม้ และเมล็ดธัญพืช

2.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) จัดอยู่ในสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ลักษณะแบบเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ (Heteropolysaccharide) ประกอบด้วย กลุ่มของน้ำตาลหลายชนิดเชื่อมโยงกัน เช่น น้ำตาลแมนโนส (Mannose), น้ำตาลไซโลส (Xylose), น้ำตาลกาแลคโตส (Galactose) และน้ำตาลกลูโคส (Glucose) เป็นส่วนประกอบสำคัญในโครงสร้างพืช มีคุณสมบัติดูดซับน้ำได้ดี จึงมีบทบาทในกระบวนการขับถ่าย ช่วยลดปัญหาท้องผูก

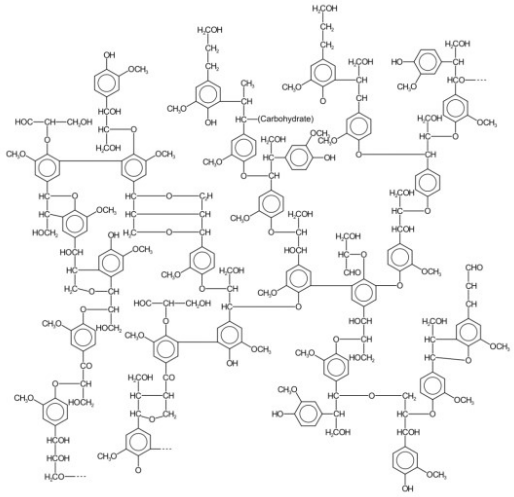
2.3 ลิกนิน (Lignin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ประกอบด้วย Phenyl propane ทำให้พืชมีโครงสร้างที่แข็งแรงทนทาน เนื่องจากลิกนินจะทำหน้าที่เสมือนตัวเชื่อมระหว่างเซลลูโลสและเพิ่มความแข็งแกร่งให้แก่ผนังเซลล์ของพืช และมีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ รวมทั้งกรดและด่าง จึงทำให้ไม่สามารถย่อยและดูดซึมได้ในร่างกายมนุษย์ พบมากในพืชที่ค่อนข้างแก่จัดหรือในผลไม้สุก โดยเฉพาะในผลไม้ที่บริโภคได้ทั้งเมล็ด เช่น สตรอเบอร์รี่ เป็นต้น



(ก) cellulose



(ข) Hemicellulose



(ค) Lignin

ภาพ 3 แสดง Insoluble dietary fiber

ที่มา: หยาดฝน ทนงการกิจ, 2556

วิธีการสกัดเส้นใยอาหาร

การสกัด (Extraction) เป็นกระบวนการที่นำมาใช้ในการแยกสารที่ต้องการออกจากสารที่ไม่ต้องการ โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของตัวทำละลายและการให้ความร้อนที่เหมาะสม ทั้งนี้ การสกัดสามารถกระทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. การสกัดด้วยน้ำสะอาด ซึ่งเป็นกระบวนการที่ง่ายที่สุดในการแยกเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ออกจากส่วนประกอบอื่น ๆ โดยเริ่มจากการลดขนาดของวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กลง แต่ไม่บดละเอียดจนเกินไป เนื่องจากการบดละเอียดจะทำให้ใยอาหารบางส่วนมีการสูญเสียระหว่างการสกัด (เกรียงศักดิ์ ภูษิต, 2549) โดยงานวิจัยที่ใช้วิธีการสกัดด้วยน้ำมี ดังนี้

ขนิษฐา หวังดี (2554) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณอินนูลินที่สกัดได้จากหัวแก่นตะวัน พบว่า อุณหภูมิการทำแห้ง 3 ระดับ คือ 45 องศาเซลเซียส, 55 องศาเซลเซียส และ 65 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณอินนูลินที่สกัดได้แตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยอุณหภูมิการทำแห้งที่ 45 องศาเซลเซียส มีปริมาณอินลินมากที่สุด และได้ศึกษาปัจจัยในการสกัด 3 ปัจจัย ๆ ละ 3 ระดับ คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด (45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส) ระยะเวลาในการสกัด (40, 80 และ 120 นาที) และอัตราส่วนระหว่างผงแก่นตะวันและน้ำ คือ 1:7, 1:10 และ 1:13 พบว่า สภาวะที่ให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด คือ การสกัดที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วนระหว่างผงแก่นตะวันต่อน้ำ 1:7 เป็นเวลา 80 นาที คิดเป็น 40.47%, 42.60% และ 42.94% ตามลำดับ

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และคณะ (2561) ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดด้วยน้ำต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม ได้แก่ สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 และ 2 ชั่วโมง พบว่า การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เป็นวิธีการสกัดที่เหมาะสมที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

อังคณา คงคชวรรณ (2557) ศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกและแกนสับปะรด โดยหาความสัมพันธ์ของการลดขนาดแกนและเปลือกสับปะรด (2.5, 5.0, 7.5, 10.0 และ 12.5 มิลลิเมตร) และปัจจัยร่วมในการสกัด คือ อุณหภูมิ (60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส) เวลา (5, 62.5, 120 และ 177.5 นาที) อัตราส่วนของน้ำต่อกาก (1:1 ถึง 2:1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก) และพีเอช (3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5) ที่ส่งผลต่อปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของแกนและเปลือกสับปะรด โดยทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ผลการศึกษา พบว่า ขนาดแกนและเปลือกสับปะรดมีผลต่อการสกัด เมื่อขนาดของชิ้นเปลือกและแกนสูงขึ้น อีกทั้งเวลาและอุณหภูมิในการสกัดที่มากขึ้นยังส่งผลต่อการสกัดเส้นใยจากแกนสับปะรด

ชุติมา วันเพ็ญ และคณะ (2556) ศึกษาผลของการพรีทรีตเม้นต์ด้วยคลื่นอัลตร้าซาวด์พลังงานสูง (750 วัตต์) ที่ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ซ ต่อประสิทธิภาพการสกัดสารอินนูลินจากหัวแก่นตะวัน โดยศึกษาค่าแอมพลิจูด (ร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100) เวลา (1, 5 และ 10 นาที) และอุณหภูมิ (25 และ 80 องศาเซลเซียส) จากนั้นจึงสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้สัดส่วนผงหัวแก่นตะวันต่อน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 50 โดยน้ำหนัก ผลการทดลอง พบว่า ร้อยละการสกัดอินนูลินด้วยน้ำร้อนเพียงอย่างเดียวมีค่า 49.8 (โดยน้ำหนักแห้ง) และการพรีทรีตเม้นต์ด้วยอัลตราซาวด์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดอินนูลินได้ โดยการพรีทรีตเม้นต์ที่ค่าแอมพลิจูด และเวลาที่สูงขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มค่าประสิทธิภาพการสกัด

และการพรีทรีตเม้นต์ที่อุณภูมิ 80 องศาเซลเซียส ช่วยเพิ่มร้อยละการสกัดได้มากกว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

2. การสกัดด้วยเอทานอล นิยมใช้กับผลผลิตทางการเกษตรที่มีน้ำมันหรือสารหอมระเหยเป็นส่วนประกอบ เช่น เปลือกผลไม้ โดยการใช้เอทานอลมีข้อดี คือ สามารถช่วยสกัดสีดั้งเดิมออกจากอาหาร โดยงานวิจัยที่ใช้วิธีการสกัดด้วยเอทานอล มีดังนี้

เอกภพ สินงาม (2555) ศึกษาคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในสารสกัดจากแก่นตะวัน และเพื่อให้ได้ปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในปริมาณสูง ได้ทำการเปรียบเทียบการสกัดโดยใช้น้ำที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) และ 90 องศาเซลเซียส และการสกัดด้วยเอทานอล 80% ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ผลการศึกษา พบว่า รูปแบบของสารที่พบในสารสกัดมีความคล้ายคลึงกันในทั้งสามสภาวะของการสกัด แต่ปริมาณที่พบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยการสกัดด้วยน้ำในทั้งสองระดับอุณหภูมิให้สัดส่วนของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ สูงกว่าการสกัดด้วยเอทานอล 80% ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จึงเลือกการสกัดฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์จากหัวแก่นตะวันที่อุณภูมิห้องเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป และจากการทดสอบคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในสารสกัด โดยนำสารสกัดดังกล่าวมาทดแทนแหล่งคาร์บอนในอาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย พบว่า สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของ *Bifidobacteria* sp. และ *Lactobacillus casei* TISTR 1340 ได้ดีกว่าการใช้ความเข้มข้นสารสกัดที่ระดับ 0.5–1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) อย่างมีนัยสำคัญ

ปาลิดา ตั้งอนุรัตน์ (2560) ศึกษาสภาวะของการสกัดสารพรีไบโอติกจากเหง้าและเมล็ดของบัวหลวงที่แตกต่างกัน และคุณสมบัติเบื้องต้นของพรีไบโอติก โดยศึกษาชนิดตัวทำละลาย (น้ำกลั่นและเอทานอลเข้มข้น 95%) และอัตราส่วนของตัวทำละลาย (1:8 และ 1:15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) พบว่า ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารพรีไบโอติกจากเหง้าและเมล็ดของบัวหลวง คือ น้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:8 แล้วนำมาศึกษาอุณหภูมิ (30, 50 และ 60 องศาเซลเซียส) และเวลา (60, 120 และ 180 นาที) ที่มีผลต่อการสกัดสารพรีไบโอติก และนำไปวิเคราะห์ร้อยละผลผลิตของสารสกัดน้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลนอนรีดิวซ์ พบว่า อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และเวลาในการสกัด 180 นาที เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารพรีไบโอติกจากเหง้าบัว มีร้อยละผลผลิต เท่ากับ 10.73 และมีปริมาณน้ำตาลนอน-รีดิวซ์มากที่สุด (511.12 มิลลิกรัมต่อกรัม) นอกจากนี้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลาในการสกัด 180 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารพรีไบโอติกจากเมล็ดบัว พบว่า มีร้อยละผลผลิต

เท่ากับ 12.83 และมีปริมาณน้ำตาลนอนรีดิวซ์ 610.17 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมากกว่าสารสกัดจากรากบัว

สุพจน์ นวลละออง (2552) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารพรีไบโอติกจากพืชเกษตรด้วยเครื่องสกัดแบบแบชท์ (batch extraction) พืชที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ เปลือกลูกตาล ส่วนที่หุ้มเนื้อและเมล็ดขนุน ผลการทดลอง พบว่า องค์ประกอบน้ำตาลของเปลือกลูกตาลที่เป็นพรีไบโอติกมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในขณะที่พบในเมล็ดขนุนมากกว่า ดังนั้นจึงมุ่งเน้นไปที่การใช้เมล็ดขนุน โดยเมล็ดขนุนถูกนำมาสกัดที่สภาวะต่าง ๆ ด้วยชุดทดลองขนาดเล็กเพื่อศึกษาผลของชนิดตัวทำละลาย (น้ำกลั่น, เอทานอล 50% และเอทานอล 95%) ขนาดของเมล็ดขนุน (1.0–2.0, 2.0–2.8 และ 2.8–5.6 mm) และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลาย (1:2, 1:4, 1:6 และ 1:8) พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ ตัวทำละลายเอทานอล 50% ขนาดเมล็ดขนุน 1.0–2.0 mm และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดขนุนกับตัวทำละลาย 1:8 จากนั้นทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ (30 และ 60 องศาเซลเซียส) และเวลาในการสกัด (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 360 และ 480 นาที) และนำสารที่ได้จากการสกัดหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลที่ไม่ถูกรีดิวซ์ พบว่า ที่อุณหภูมิในการสกัด 60 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณสารที่สกัดได้มากกว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เพียงเล็กน้อย ในขณะที่ค่าน้ำตาลที่ไม่ถูกรีดิวซ์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่ามากกว่า ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคือ ตัวทำละลายเอทานอล 50% ขนาดเมล็ดขนุน 1.0–2.0 มิลลิเมตร อุณหภูมิในการสกัด 30 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการสกัด 90 นาที

3. การสกัดด้วยเอนไซม์ เป็นวิธีการย่อยเส้นใยอาหารด้วยเอนไซม์ ส่วนใหญ่นิยมใช้เอนไซม์อะไมเลสและโปรตีเอส เหมาะสำหรับการย่อยสลายแป้งและโปรตีนออกจากองค์ประกอบของเส้นใยอาหาร นอกจากนี้ยังมีการใช้เอนไซม์ชนิดอื่น ๆ เพื่อย่อยสลายสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหรือองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการ เช่น การใช้เอนไซม์ไลเปสในการย่อยสลายไขมันในเส้นใยอาหาร และการใช้เอนไซม์ไซลาเนสในการย่อยสลายไซแลน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่พบในโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส ข้อดีของวิธีการสกัดด้วยเอนไซม์ คือ ไม่ใช้อุณหภูมิและความดันสูง จึงช่วยประหยัดพลังงาน ลดขั้นตอนการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ และไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยงานวิจัยที่ใช้วิธีการสกัดด้วยเอนไซม์มี ดังนี้

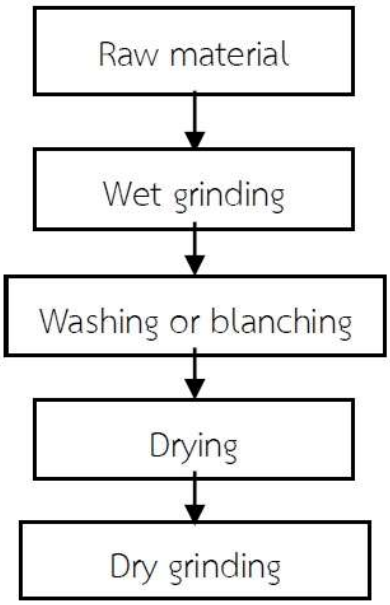
ฐิตา ฟูเผ่า และคณะ (2557) ศึกษาผลของวิธีการสกัดต่อคุณสมบัติของสารสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม โดยใช้วิธีการสกัดด้วยน้ำร้อนหรือเอนไซม์ร่วมกับวิธีการสกัดด้วยด่าง หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม ผลการศึกษาพบว่า วิธีการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม คือ การสกัดเบื้องต้น

ด้วยน้ำร้อนร่วมกับวิธีการสกัดด้วยด่าง โดยใช้อุณหภูมิพรีไฮโดรไลซิส ที่ 70 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร: w/v) ได้ปริมาณเซลลูโลสของสารสกัดกากเมล็ดมะรุม อยู่ที่ 96.54% และเซลลูโลสที่ได้มีความสามารถในการพองตัว 8.79 กรัม สารสกัดเซลลูโลสที่ได้มีความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันที่ดีกว่าสารสกัดเซลลูโลส จากวิธีการสกัดด้วยเอนไซม์ สารสกัดเซลลูโลสที่ได้มีปริมาณเส้นใยสูงถึง 70.74% และเส้นใยที่มีความยาวประมาณ 30–60 ไมโครเมตร

รุสมัน ดะแซสาเมาะ (2557) ศึกษาการสกัดโอลิโกแซคคาไรด์จากเนื้อแก้วมังกรพันธุ์สีขาว ด้วยน้ำและเอนไซม์เพคติเนส ผลการศึกษา พบว่า ของแข็งที่ละลายน้ำ และปริมาณน้ำตาลในสารสกัดลดลง เมื่ออัตราส่วนของเนื้อแก้วมังกรต่อน้ำเพิ่มขึ้น สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโอลิโกแซคคาไรด์ด้วยน้ำ คือ อัตราส่วนของเนื้อแก้วมังกรต่อน้ำ เท่ากับ 1 ต่อ 2 และอุณหภูมิการสกัด 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ได้ปริมาณผลผลิตโอลิโกแซคคาไรด์สูงสุด เท่ากับ 43.98% (น้ำหนักแห้ง) และน้ำหนักโมเลกุลของโอลิโกแซคคาไรด์ ที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำ เท่ากับ 790 ดาลตัล ส่วนการสกัดด้วยเอนไซม์เพคติเนส พบว่า สภาวะที่เหมาะในการสกัดด้วยเพคติเนส คือ อัตราส่วนเนื้อแก้วมังกรต่อน้ำ เท่ากับ 1 ต่อ 2 และความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนส เท่ากับ 124 ยูนิตต่อกรัมของแข็งสารสกัด อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 45 นาที ให้ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ เท่ากับ 41.92% (น้ำหนักแห้ง) และน้ำหนักโมเลกุลของโอลิโกแซค–คาไรด์ ที่ได้จากการสกัดเอนไซม์เพคติเนส อยู่ในช่วง 1609 ดาลตัล ดังนั้น การสกัดโอลิโกแซค–คาไรด์ ด้วยน้ำและเอนไซม์เพคติเนส ให้ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่การสกัดโดยใช้เอนไซม์เพคติเนส สามารถลดระยะเวลาในการสกัดลงได้ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และพบว่า โอลิโกแซคคาไรด์จากเนื้อแก้วมังกร สามารถส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่ม *Bifidobacteria* และ *Lactobacilli* และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่ม Bacteroides และ Clostridium ได้

กระบวนการผลิตเส้นใยอาหารผง

ขั้นตอนในการผลิตเส้นใยอาหารผงมีหลายขั้นตอน โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังแสดงในภาพ 4 (หยาดฝน ทนงการกิจ, 2556)



ภาพ 4 แสดงขั้นตอนการผลิตเส้นใยอาหารผง

ที่มา: หยาดฝน ทนงการกิจ, 2556

1. การบดเปียก (Wet milling) เป็นขั้นตอนในการแรกที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นกระบวนการในการลดขนาดของวัตถุดิบให้มีขนาดที่เหมาะสม ไม่ใหญ่หรือเล็กจนเกินไป เพราะหากมีขนาดใหญ่เกินไป จะทำให้ไม่สะดวกต่อการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการได้ เช่น น้ำตาลอิสระ และทำให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น และหากขนาดของวัตถุดิบไม่ถูกย่อยให้มีขนาดที่เหมาะสมหรือเล็กเกินไป จะทำให้วัตถุดิบดูดซับน้ำไว้มาก ส่งผลให้ต้องทำให้แห้งนานขึ้น และทำให้ได้ปริมาณของผลผลิตต่ำ นอกจากนี้ยังทำให้สูญเสียองค์ประกอบสำคัญ เช่น เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้หรือวิตามินที่ละลายน้ำได้ เป็นต้น (Larrauri, 1999 อ้างอิงใน หยาดฝน ทนงการกิจ, 2556)

2. การล้างหรือการลวก (Washing) เป็นขั้นตอนการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการออกไปจากวัตถุดิบ เช่น น้ำตาล ไขมัน สารสี หรือเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เพื่อปรับปรุงคุณภาพสุดท้ายของเส้นใยอาหารผง และช่วยกำจัดจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค โดยใช้วิธีการล้างด้วยน้ำร้อนสำหรับการกำจัดน้ำตาลออกจากวัตถุดิบ และนิยมใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายจำพวกอีเทอร์ แอลกอฮอล์ และการกลั่นด้วยไอน้ำ สำหรับการกำจัดไขมัน (Larrauri, et al., 1996; Raghavendra, et al., 2006 อ้างอิงใน หยาดฝน ทนงการกิจ, 2556)

3. การทำแห้ง (Drying) เป็นขั้นตอนในการกำจัดน้ำบางส่วนออก สามารถทำได้หลายวิธีการ เช่น การสะเด็ดน้ำ การบีบ หรือกระบวนการอื่น ๆ เช่น การจุ่มในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ การอบแห้ง เพื่อลดปริมาณน้ำและความชื้นของวัตถุดิบหลังจากการล้าง หรือการลวกช่วยยืดอายุการเก็บรักษาโดยที่ไม่ต้องเติมสารเคมีหรือสารวัตถุกันเสีย อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนค่าบรรจุภัณฑ์และค่าใช้จ่ายในการขนส่งด้วย โดยในการทำแห้งนั้น ถ้าอุณหภูมิสูงจะทำให้คุณภาพของเส้นใยอาหารถูกทำลายได้ และทำให้ความสามารถในการละลายเปลี่ยนแปลงไปด้วย (Larrauri, 1999 อ้างอิงใน หยาดฝน ทนงการกิจ, 2556)

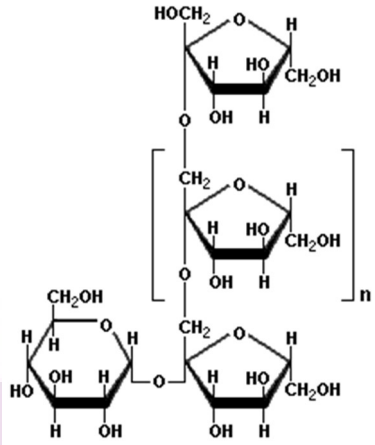
4. การบดแห้ง (Dry milling) เป็นขั้นตอนที่มีจุดประสงค์สำคัญในการลดขนาดของเส้นใยอาหารหลังจากการทำแห้งให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร การบดแห้งอาจส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารผง ส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารเปลี่ยนแปลงไป โดยขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารผงในทางการค้าโดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 0.15–0.43 มิลลิเมตร (Larrauri, 1999 อ้างอิงใน หยาดฝน ทนงการกิจ, 2556)

อินนูลิน (Inulin)

อินนูลิน เป็นสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ที่มีโมเลกุลของน้ำตาล มากกว่า 1 ชนิด เชื่อมต่อกันเป็นลักษณะคล้ายโซ่สายสั้น ๆ จำนวน 2–60 โมเลกุล (DP 2–60) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β (2 1) ประกอบด้วย ฟรุกโตส 80% และกลูโคส 20% (Niness, 1999) ดังแสดงในภาพ 5 เรียกว่า โมเลกุลแบบเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ (Heteropoly saccharide) จัดอยู่ในกลุ่มของเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) ประเภทละลายน้ำได้ (Soluble fiber) แต่ร่างกายไม่สามารถย่อยและดูดซึมได้ทั้งในบริเวณกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก แต่สามารถเคลื่อนที่ไปยังบริเวณลำไส้ใหญ่และถูกย่อยโดยแบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ได้อย่างสมบูรณ์

อินนูลิน เป็นเส้นใยอาหารที่พืชได้เก็บสะสมไว้ จึงสามารถพบอินนูลินได้ในอาหารธรรมชาติทั่วไป โดยเฉพาะในพืชหัวชนิดต่าง ๆ พบว่า มีปริมาณอินนูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์สะสมอยู่ เช่น หัวชิโครี (chicory), เยรูซาเล็ม อาร์ติโชค (Jerusalem artichoke), หัวหอม กระเทียม กล้วย ข้าวบาร์เลย์ และแป้งสาลี เป็นต้น (Van Loo, et al., 1995) ดังแสดงในตาราง 2 สำหรับประเทศไทย อาหารที่ถูกพบว่ามีปริมาณอินนูลินและและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์สูง เช่น กระเทียมโทนหัวใหญ่ กระเทียมจีน กระเทียมไทย และแก่นตะวัน (19–24 กรัมต่อตัวอย่างสด 100 กรัม) และพบอาหารที่มีปริมาณอินนูลินปานกลาง คือ หอมแดงและหอมแขก (3–10 กรัมต่อตัวอย่างสด 100 กรัม) ส่วนฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (DP 3–5) พบปริมาณสูงในแก่นตะวัน

หอมแดง และหอมแขก เช่นกัน (3–5 กรัมต่อตัวอย่างสด 100 กรัม) (ศิริพร ตันจอ และคณะ, 2553) ดังแสดงในตาราง 3



ภาพ 5 แสดงโครงสร้างอินนูลิน

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2553

ตาราง 2 แสดงปริมาณอินนูลินและโอลิโกฟรุกโตสในพืชบางชนิด

ชนิดของพืช	อินนูลิน (เปอร์เซ็นต์)	โอลิโกฟรุกโตส (เปอร์เซ็นต์)
Onion	1.1–7.5	1.1–7.5
Jerusalem artichoke	16.0–20.0	12.0–15.0
Chicory	35.7–47.6	19.6–26.2
Leek	3.0–10.0	2.4–8.0
Garlic	9.0–16.0	3.6–6.4
Asparagus	2.0–3.0	2.0–3.0
Banana	0.3–0.7	0.3–0.7
Wheat	1.0–4.0	1.0–4.0
Rye, baked	0.5–0.9	0.5–0.9
Barley	0.5–1.0	0.5–1.0
Dandelion	12.0–15.0	9.6–12.0

ที่มา: Van Loo, et al., 1995

ตาราง 3 แสดงปริมาณอินนูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในพืชบางชนิดของไทย

ชนิดของพืช	ความชื้น[1]	ปริมาณอินนูลิน[1] (เปอร์เซ็นต์)	FOS[1,2]
กระเทียม	65.80 ± 0.70	22.40 ± 2.90	0.90 ± 0.04
กระเทียมจีน	69.10 ± 1.40	24.30 ± 1.90	1.70 ± 0.96
กระเทียมโทนหัวใหญ่	61.40 ± 0.70	29.20 ± 5.60	1.60 ± 1.42
แก่นตะวัน	73.40 ± 0.30	19.40 ± 1.00	5.20 ± 0.04
หอมแขก	86.20 ± 0.50	3.60 ± 1.00	3.10 ± 0.54
หอมแดง	83.70 ± 0.90	8.90 ± 0.80	5.00 ± 0.50

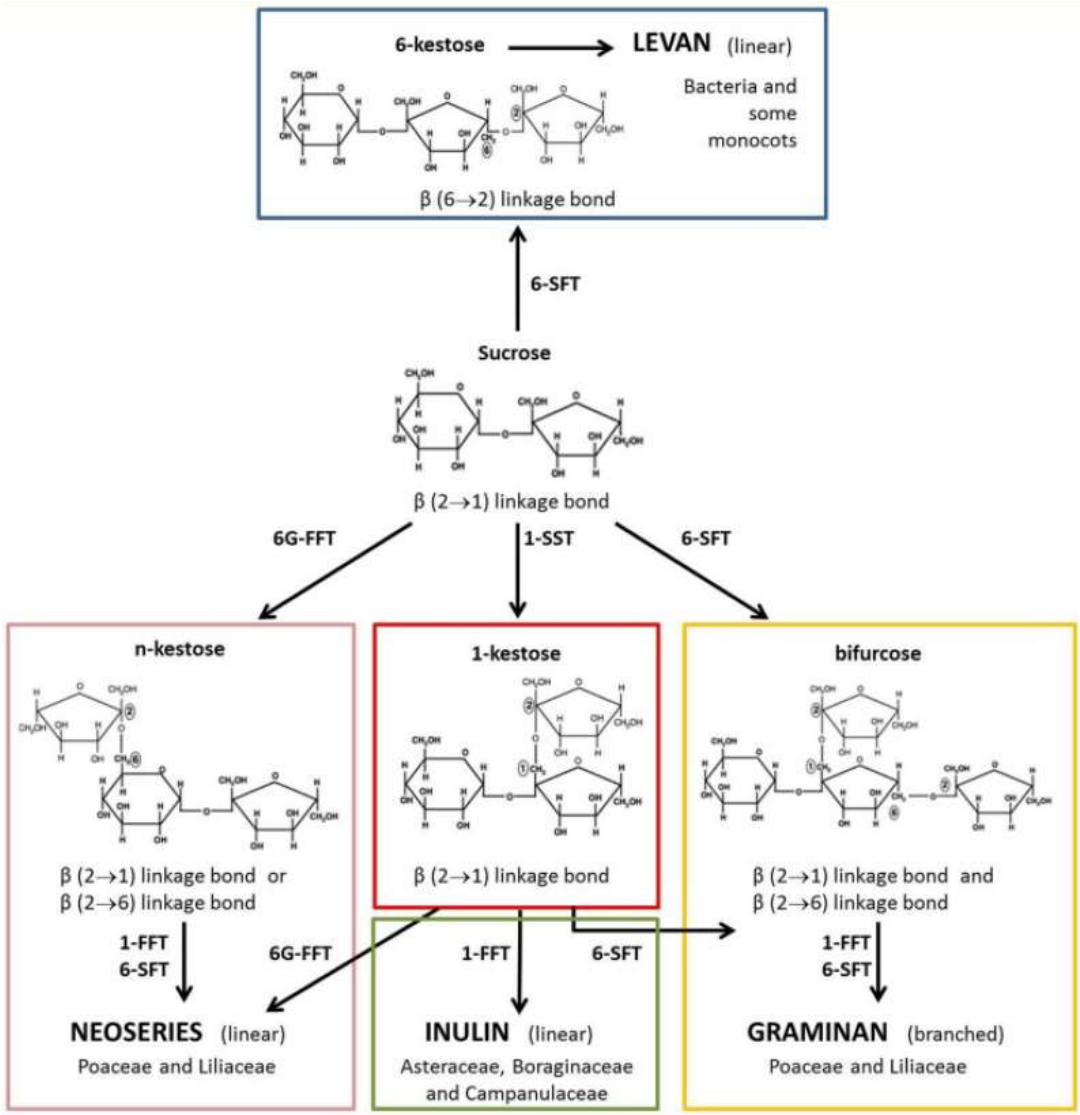
หมายเหตุ: [1] แสดงปริมาณเฉลี่ย (mean+SD) ที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่าง 3 ตลาดเป็นตัวแทนแต่ละตลาดมาจากร้านย่อย 3 ร้าน

[2] FOS คือ ผลรวมของ GF2 = 1–kestose (1–ketotriose), GF3 = nystose (1, 1–ketotetraose) และ GF4 = 1F–β–fructofuranosylnystose (1, 1, 1–ketopentaose)

ที่มา: ศิริพร ตันจอ และคณะ, 2553

กระบวนการสังเคราะห์อินนูลินจากพืช

อินนูลิน เป็นหน่วยย่อยของฟรุกแตนได้มาจากกระบวนการฟรุกโตซิลทรานสเฟอเรส (fructosyltransferase) โดยฟรุกแตนจะถูกจำแนกออกเป็นสี่ประเภทที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหน่วยโครงสร้างและชนิดของสายพอลิเมอร์ ซึ่งหน่วยโครงสร้างสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ 1–SST (ซูโครส:ซูโครส 1–ฟรุกโตซิลทรานสเฟอเรส); 1–FFT (ฟรุกแตน:ฟรุกแตน 1–ฟรุกโตซิลทรานสเฟอเรส); 6–SFT (ซูโครส: ฟรุกแตน 6–ฟรุกโตซิลทรานสเฟอเรส) และ 6G–FFT (ฟรุกแตน:ฟรุกแตน 6G–ฟรุกโตซิลทรานสเฟอเรส) ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย คือ อินนูลิน, ลีแวน (levan), กรามิแนนท์ (graminan) และนีโอซีไรต์ (neoseries) (Ritsema and Smeekens, 2003) ดังแสดงในภาพ 6



ภาพ 6 แสดงแบบจำลองสำหรับการสังเคราะห์ทางฟรุกแตน

ที่มา: Sara, et al., 2015

ประโยชน์ของอินนูลิน

อินนูลิน เป็นใยอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพและมีบทบาทต่อร่างกายของมนุษย์หลายประการ ดังนี้ (ศิริพร ตันจอ และคณะ, 2553)

1. ช่วยควบคุมน้ำหนัก เนื่องจากร่างกายของมนุษย์ไม่สามารถย่อยอินนูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรค์ ให้กลายเป็นน้ำตาลสายสั้น ๆ ได้เอง ทำให้ได้พลังงานเพียงเล็กน้อยจากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ในลำไส้มนุษย์ ส่งผลให้เกิดเป็นกรดไขมันสายสั้น (Short chain

fatty acid; SCFA) และกรดชนิดต่าง ๆ เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid) กรดบิวทิริก (Butyric acid) และกรดโพรพิโอนิก (Propionic acid) โดยให้พลังงานเพียง 1.5 กิโลแคลอรีต่ออินนูลินหรือโอลิโกฟรุกโตส 1 กรัม นอกจากนี้การบริโภคอาหารที่เป็นแหล่งใยอาหารอินนูลินปริมาณ 8–20 กรัมต่อวันร่วมกับมื้ออาหารนั้น จะช่วยให้รู้สึกอิ่มและควบคุมพลังงานที่ได้รับจากอาหารสู่ร่างกายได้ แต่บางรายงาน พบว่า หากบริโภคอาหารประเภท FOS ในปริมาณ 16 กรัมต่อวัน จะช่วยทำให้รู้สึกอิ่ม ทำให้สามารถควบคุมพลังงานที่ได้รับต่อวันจากอาหารได้ดี (Gibson, et al., 1995; Roberfroid, 1999; Welch, et al., 2008; Cani, et al., 2006 อ้างอิงใน ศิริพร ตันจอ และคณะ, 2553)

2. ช่วยบรรเทาอาการท้องผูก อินนูลินมีคุณสมบัติความเป็นใยอาหาร หากมีการบริโภคในปริมาณ 15–40 กรัมต่อวัน เป็นระยะเวลาประมาณ 2 สัปดาห์ จะช่วยเพิ่มความถี่ของการขับถ่ายและเพิ่มมวลอุจจาระได้ถึง 1.5–2 กรัมต่ออินนูลิน 1 กรัม โดยเฉพาะอินนูลินที่มีขนาดดัชนีการสังเคราะห์โพลิเมอร์ > 25 (Kleessen, et al., 1997; Hond, et al., 2000 อ้างอิงใน ศิริพร ตันจอ และคณะ, 2553) จึงนับว่า อินนูลินมีประโยชน์มากในเรื่องของการขับถ่าย โดยเฉพาะในผู้สูงอายุที่มีปัญหาเรื่องการขับถ่าย

3. ช่วยให้ค่าดัชนีน้ำตาลลดต่ำลง และชะลอการดูดซึมน้ำตาล ค่าดัชนีน้ำตาลนั้นใช้เป็นค่าหนึ่งที่กำหนดในการเลือกอาหารบริโภคเพื่อป้องกันความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ โดยเฉพาะในการป้องกันโรคแทรกซ้อนจากโรคเบาหวานชนิดที่ 2 และโรคอ้วน หากร่างกายไม่สามารถย่อยอินนูลิน โอลิโกฟรุกโตส และฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ได้ ส่งผลให้ไม่สามารถถูกย่อยเป็นน้ำตาลสายสั้น ๆ ได้ และไม่มีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด ค่า GI จึงเกือบเป็นศูนย์ นอกจากนี้ หากบริโภคฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ปริมาณ 8 กรัม เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ จะช่วยลดระดับน้ำตาลหลังอดอาหาร (Fasting blood glucose) ในผู้ป่วยเบาหวานได้ แต่ในบุคคลที่มีสุขภาพดี การควบคุมระดับน้ำตาลหลังอดอาหารได้นั้น เกิดจากกรดที่ได้จากกระบวนการหมักในลำไส้ โดยเฉพาะกรดโพรพิโอนิกสามารถช่วยยับยั้งกระบวนการสร้างน้ำตาลจากตับได้ (Hepatic gluconeogenesis) (Luo, et al., 2000 อ้างอิงใน ศิริพร ตันจอ และคณะ, 2553)

4. ช่วยเพิ่มการดูดซึมแคลเซียมในลำไส้ อินนูลิน และฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์เป็นใยอาหารชนิดที่สามารถเกิดกระบวนการหมักได้ด้วยจุลินทรีย์ในลำไส้ของมนุษย์ เกิดเป็นกรดไขมันสายสั้นและกรดชนิดอื่น ๆ ส่งผลให้เกิดสภาวะที่เป็นกรดในลำไส้ จึงสามารถช่วยลดค่าความเป็นกรด–ด่าง และช่วยเพิ่มการละลายและดูดซึมแคลเซียมได้ดียิ่งขึ้น มีการศึกษาอินนูลินและโอลิโกฟรุกโตส ปริมาณตั้งแต่ 15–40 กรัม ทั้งในกลุ่มวัยเจริญเติบโตหรือวัยรุ่นและในหญิงวัยหมดประจำเดือน โดยจากรายงานการศึกษาของ Griffin, Davila and Abrams

(2002 อ้างอิงใน ศิริพร ตันจอ และคณะ, 2553) แสดงผลของการใช้โอลิโกฟรุกโตสอย่างเดียวและการใช้ร่วมกันของอินนูลินและโอลิโกฟรุกโตส เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ปริมาณ 4 กรัม นาน 3 สัปดาห์ พบว่า ผลการดูดซึมแคลเซียมแตกต่างจากกลุ่มควบคุมสูงถึงร้อยละ 20 โดยเฉพาะกลุ่มที่ได้รับอินนูลินและโอลิโกฟรุกโตสร่วมกัน ในการศึกษาระยะหลังด้านการเพิ่มการดูดซึมธาตุแคลเซียม พบว่า มีการนำมาใช้ประโยชน์ร่วมกันทั้งสายสั้นและสายยาว (SYN1 หรือ oligofructose-enriched inulin) เพิ่มมากขึ้น ปริมาณที่ใช้เริ่มต้น 5 กรัม นาน 6 สัปดาห์ เพิ่มการดูดซึมธาตุแคลเซียมอย่างน้อยร้อยละ 3 สูงสุดถึงร้อยละ 58 ที่ 40 กรัม (Abrams, et al., 2007; Coudray, et al., 1997 อ้างอิงใน ศิริพร ตันจอ และคณะ, 2553)

5. ช่วยรักษาสมดุลระดับไขมันไตรกลีเซอไรด์และคอเลสเตอรอลในเลือด การบริโภคอินนูลินหรือฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรค์ 8-20 กรัม เป็นระยะเวลานาน 4 สัปดาห์ จะช่วยควบคุมระดับไขมันและคอเลสเตอรอลในเลือดได้ เนื่องจากมีกลไกที่ควบคุมการเกิดอะซิเตต (acetate) และโพรพิโอเนต (propionate) ที่สร้างขึ้นจากกระบวนการหมักอินนูลิน โอลิโกฟรุกโตส และฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรค์ในลำไส้ เมื่อสามารถควบคุมระดับไขมันและคอเลสเตอรอลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติได้ ก็จะส่งผลให้ช่วยลดปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ และการบริโภคอินนูลินในปริมาณ 10 กรัม จะทำให้กระบวนการสร้างไขมันจากตับ (Lipogenesis) ลดลง ส่งผลให้สามารถควบคุมระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือดได้ (Roberfroid, 1998; Letexier, 2003 อ้างอิงใน ศิริพร ตันจอ และคณะ, 2553)

6. ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ อินนูลิน โอลิโกฟรุกโตส และฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรค์ เป็นใยอาหารประเภทที่สามารถอุ้มน้ำได้ดี จึงช่วยเพิ่มปริมาตรของกากอาหาร กระตุ้นการบีบตัวของลำไส้ ส่งผลให้ระบบขับถ่ายทำงานได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังช่วยในการดูดซับและดึงสารพิษออกจากร่างกาย ลดการสะสมของกากอาหารในลำไส้ ทำให้ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งลำไส้ได้ดี โดยผลจากกระบวนการหมักในลำไส้ ทำให้เกิดเป็นกรดชนิดต่าง ๆ ได้แก่ กรดบิวทิริกและกรดโพรพิโอนิก ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งได้ (Pool-Zobel, 2005 อ้างอิงใน ศิริพร ตันจอ และคณะ, 2553) รวมทั้งการใช้ประโยชน์ร่วมกัน (synbiotic) ของใยอาหาร อินนูลิน SYN1 และจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ได้แก่ *Lactobacillus rhamnosus* GG (LGG) และ Bifidobacterium lactis Bb12 (BB12) จะเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของเซลล์มะเร็งในผู้ป่วยมากขึ้น

พรีไบโอติก (Prebiotic)

พรีไบโอติก เป็นสารประกอบจำพวกโอลิโกแซกคาไรด์ (Oligosaccharide) จัดเป็นสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งร่างกายของมนุษย์ที่ไม่สามารถย่อยและดูดซึมได้ในระบบทางเดินอาหาร ทั้งในบริเวณกระเพาะอาหารหรือลำไส้เล็ก แต่จะเคลื่อนที่ไปยังบริเวณลำไส้ใหญ่และถูกย่อยได้อย่างสมบูรณ์ พรีไบโอติกส์มีผลต่อการส่งเสริมและช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ประจำถิ่น (Microflora) และจุลินทรีย์กลุ่มโปรไบโอติก (Probiotic) ที่อาศัยอยู่ที่บริเวณลำไส้ใหญ่ (Gibson and Roberfroid, 1995) เมื่อพรีไบโอติกและโปรไบโอติกทำงานร่วมกัน เรียกว่า ซินไบโอติก (synbiotics) จะได้สารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย และร่างกายสามารถนำกลับไปใช้ประโยชน์ได้หลายชนิด ทั้งช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (Beneficial bacteria) เช่น บิฟิโดแบคทีเรีย (*Bifidobacteria*) และแลคโตบาซิลัส (*Lactobacillus*) (Gibson and Roberfroid, 1995) ให้มากขึ้น และช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย เพื่อต่อสู้กับเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายและยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค (Pathogenic bacteria) เช่น เอสเชอริเชียโคไล (*Escherichia coli*), ซาลโมเนลลา (*Salmonella*) และคลอสตริเดียม (*Clostridium*) (เฉลิมขวัญ คำดำ และมัลลิกา ชมนาวัง, 2548) ทั้งนี้ พรีไบโอติกพบได้ในสารอาหาร แบ่งออกเป็น 2 จำพวก คือ พรีไบโอติกที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้เอนไซม์ย่อยโพลีแซกคาไรด์ เช่น แป้ง (ธารารัตน์ ศุภศิริ, 2542) และอีกหนึ่งจำพวก คือ พรีไบโอติกที่พบในธรรมชาติ เช่น ผักและผลไม้ โดยจะพบในรูปแบบของสารประกอบพวกโอลิโกแซคคาไรด์ เช่น อินนูลิน (Inulin) ฟรุกโตโอลิโกแซกคาไรด์ (Fructooligosaccharide; FOS) ไซโลโอลิโกแซกคาไรด์ (Xylooligosaccharide; XOS) และกาแลคโตโอลิโกแซกคาไรด์ (Galacto oligosaccharide; GOS) เป็นต้น โดยพบในอาหาร เช่น หัวแก่นตะวัน กระเทียม หอม กล้วย หน่อไม้ฝรั่ง เป็นต้น (Van Loo, et al, 1995)

ประเภทของพรีไบโอติก

พรีไบโอติก เป็นสารอาหารที่พบได้ในอาหารหลายชนิด โดยสามารถจำแนกประเภทของสารพรีไบโอติกได้ ดังนี้ (เฉลิมขวัญ คำดำ และมัลลิกา ชมนาวัง, 2548)

1. น้ำตาลแอลกอฮอล์ (Alcohol sugar) เป็นสารให้ความหวาน (Sweetener) ชนิดหนึ่ง แต่ให้ความหวานเพียงเล็กน้อย ซึ่งมีความหวานประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำตาลทราย (Sucrose) และมีการดูดซับบริเวณลำไส้เล็กได้ช้าเมื่อเทียบกับน้ำตาลทั่วไป จึงทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ โครงสร้างของน้ำตาลแอลกอฮอล์นั้นประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตที่มีดัชนีการสังเคราะห์โพลิเมอร์ (degree of polymerization, DP) เพียง 1–2 ตัว ยกตัวอย่าง เช่น มอลทิทอล (maltitol), ซอร์บิทอล (sorbitol), ไอโซมอลต์ (isomalt) และไซลิทอล (xylitol) เป็นต้น

2. แป้งทนย่อยต่อเอนไซม์ (Resistant starch) เป็นแป้งที่ไม่สามารถถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์และไม่สามารถถูกดูดซึมได้ในบริเวณกระเพาะอาหารหรือลำไส้เล็กของร่างกายมนุษย์ ซึ่งสามารถแบ่งได้ 4 ประเภท คือ

2.1 แป้งที่มีลักษณะทางกายภาพขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ (Physically inaccessible starch; RS1) มีลักษณะของเม็ดแป้งที่ถูกห่อหุ้มอยู่ภายในร่างแหของโปรตีนหรือถูกตรึงอยู่ภายในเซลล์หุ้มเมล็ดพืชที่แข็งแรง ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาหรือย่อยแป้งได้ เช่น แป้งที่อยู่ในเมล็ดธัญพืชตระกูลถั่ว แต่ถ้าผนังเซลล์ถูกทำลายโดยกระบวนการย่อยเชิงกล เช่น การบดเคี้ยว จะทำให้เอนไซม์สามารถเข้าไปย่อยแป้งได้

2.2 แป้งดิบที่ทนต่อการทำงานของเอนไซม์ (Raw starch granules; RS2) มีลักษณะของเม็ดแป้ง ที่แสดงคุณสมบัติการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ (Birefiringence) จึงมองเห็นเม็ดแป้งเป็นรูปกากบาท (maltese cross) ซึ่งเกิดจากโครงสร้างที่เป็นระเบียบของเม็ดแป้งที่มีการเรียงตัวของโครงสร้างผลึก (Crystalline) ส่งผลให้เม็ดแป้งถูกย่อยด้วยกรดหรือเอนไซม์ได้น้อยกว่าบริเวณอสัณฐาน จึงมีความต้านทานต่อการถูกย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา–อะมิเลส ตัวอย่างแป้งประเภทนี้ ได้แก่ แป้งข้าวโพด เม็ดแป้งจากเมล็ดถั่ว แป้งมันฝรั่งดิบ และกล้วยดิบ

2.3 แป้งคืนตัว (Retrograded starch; RS3) จากกระบวนการคืนตัวของแป้งที่เกิดหลังจากการที่แป้งผ่านการให้ความร้อนจนเกิดการเจลาติไนซ์ (Gelatinization) ความร้อนนั้นมีผลทำให้พันธะไฮโดรเจนในเม็ดแป้งถูกทำลาย ความเป็นผลึกและโครงสร้างที่เป็นระเบียบของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินเกิดการเสียโครงร่าง มีเอนไซม์เข้าไปย่อยแป้งได้มากขึ้น ทำให้เม็ดแป้งสูญเสียคุณสมบัติของการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ ส่งผลให้ลักษณะรูปกากบาทในเม็ดแป้งเลือนรางหายไป จากนั้นเมื่อปล่อยให้แป้งเย็น จะทำให้อะมิโลสเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ได้เป็นผลึกแป้งที่มีความแข็งแรงและทนทานต่อการย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารกว่าเดิม เช่น แป้งในมันฝรั่งต้ม ขนมปัง พาสตา และคอร์นเฟลก (cornflakes) เป็นต้น

2.4 แป้งที่มีการดัดแปลงโครงสร้างโมเลกุลของเม็ดแป้งโดยใช้สารเคมี (Chemically modified starch) เป็นแป้งที่มีการดัดแปลงโครงสร้างโมเลกุลของเม็ดแป้งโดยการใช้สารเคมีเพื่อให้แป้งมีความทนต่อการถูกย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหาร เช่น สตาร์ชแอซีเตท (starch acetate)

3. โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช (Non–starch polysaccharides) จัดอยู่ในกลุ่มของคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ซึ่งสัตว์กระเพาะเดี่ยวย่อยไม่ได้ เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชที่มีโครงสร้างแบบร่างแห เป็นสารที่ได้จากพืช เช่น กัวกัม (guar gum), เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose), เพคติน (pectin) และไซแลน (xylan)

4. อินนูลิน จัดอยู่ในกลุ่มของคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่มีโครงสร้างประกอบด้วย ฟรุกโตส (fructose) 80% และกลูโคส (glucose) 20% ความยาวตั้งแต่ 2–60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β(2–1) จึงจัดเป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ประเภทละลายน้ำได้ (dietary soluble fiber)

5. น้ำตาลและโอลิโกแซคคาไรด์ (Sugar and oligosaccharides) จัดอยู่ในกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตสายสั้น (short–chain polysaccharide) ที่มีโครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลความยาวประมาณ 2–20 หน่วย มาเชื่อมต่อกัน เช่น ฟรุกโตโอลิโกแซกคาไรด์, กาแลคโตโอลิโกแซกคาไรด์, ไซโลโอลิโกแซกคาไรด์, ไอโซมอลโตโอลิโกแซกคาไรด์ (isomalto–oligosaccharide), กลูโคโอลิโกแซกคาไรด์ (glucooligosaccharides), แลคโตส (lactose), แลคตูโลส (lactulose), แลคโตซูโครส (lactosucrose), แรฟฟิโนส (raffinose), สแตคีโอส (stachyose) และพาลาทิโนส (palatinose) เป็นต้น

6. มิวซิน (Mucin glycoproteins) เป็นไกลโคโปรตีนที่หลั่งออกมาจากเซลล์เยื่อเมือก (Mucous cell) ที่อยู่บริเวณเยื่อบุกระเพาะอาหารและผิวลำไส้ และเป็นสารตั้งต้นหลักสำหรับการหมักในลำไส้

7. มิวโคพอลิแซคคาไรด์ (Related mucopolysaccharides) เป็นกลุ่มของพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำตาลแอมิโนอยู่ในโมเลกุล และสามารถดูดซับน้ำได้ดี ตัวอย่างเช่น เฮพาริน (heparin), คอนดรอยตินซัลเฟต (chondroitin sulphate), สารที่อยู่ในตับอ่อน (pancreatic) และสารคัดหลั่ง (secretions) เป็นต้น

8. โปรตีนและเปปไทด์ (Protein and peptides) เป็นสายพอลิเมอร์ของกรดอะมิโนที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์ ซึ่งสามารถสร้างขึ้นโดยการหลั่งของตับอ่อนหรือสร้างโดยแบคทีเรีย (bacteria)

การวิเคราะห์น้ำตาล

1. การวิเคราะห์น้ำตาลเชิงปริมาณโดยใช้สารเคมี (sugar quantitative analysis by chemical of monosaccharides and oligosaccharides with reagents)

1.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดด้วยวิธีฟีนอล–ซัลฟูริกแอซิด (phenol–sulfuric acid) (Dubois, et al., 1956) เป็นกระบวนการวิเคราะห์ที่รวดเร็วในการหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่จำเพาะเจาะจง สามารถตรวจวัดปริมาณน้ำตาลได้ในช่วง 1–100 ไมโครกรัมกลูโคส ดำเนินการวิเคราะห์ได้ทั้งน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลอื่นในธรรมชาติที่อาจอยู่ในรูปของโมโนไดไตรโอลิโกและพอลิแซกคาไรด์ โดยน้ำตาลเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับฟีนอลและกรด

ซัลฟิวริกเข้มข้นที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบที่มีสีและสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ช่วงความยาวคลื่น 480–490 นาโนเมตร สำหรับกลไกการเกิดปฏิกิริยาในกรณีน้ำตาลโอลิโกแซกคาไรด์และพอลิแซกคาไรด์ พันธะอีเธอร์ระหว่างโมเลกุลถูกตัดออกจากกันด้วยกรดพร้อมทั้งเกิดปฏิกิริยาการขจัดน้ำออกและมีการแทนที่ด้วยอนุพันธ์ของเฟอร์ฟูรอล (furfural derivatives) ซึ่งจะเกิดการรวมตัวกับฟีนอลกลายไปเป็นสารประกอบไตรเอริลมีเทนที่มีสีส้ม (triarylmethane dyes)

1.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

1.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธีการใช้สารละลายกรดไดไนโตรซาลิไซลิก (DNS) (Miller, 1959) สามารถใช้ตรวจหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่มีปริมาณอยู่ในช่วงระหว่าง 5–500 ไมโครกรัมของน้ำตาลกลูโคส โดยวิธีการต้มน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายด่างที่มีกรดไดไนโตรซาลิไซลิก (3, 5–dinitrosalicylic acid) อยู่ด้วย ปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้สารละลายมีสีเข้มขึ้น และสามารถดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 500–550 นาโนเมตร ซึ่งเชื่อว่าสีของผลิตภัณฑ์นั้นเกิดจากกระบวนการรีดักชัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของกรดไดไนโตรซาลิไซลิก (3, 5–dinitrosalicylic acid) ไปเป็นกรดไนโตรซาลิไซลิก (3–amino–5–nitrosalicylic acid) ซึ่งปฏิกิริยานี้จะดำเนินไปสิ้นสุดเมื่อน้ำตาลรีดิวซ์จนหมด

1.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี Somogyi–Nelson (Nelson, 1944) ใช้วัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เช่น กลูโคส และไซแลน โดยทำปฏิกิริยากับสารคอปเปอร์อาศัยหลักการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของคอปเปอร์ (II) ($Cu2^{+}$) กับน้ำตาลรีดิวซ์ กลายเป็นคอปเปอร์ (Cu^{+}) ซึ่งคอปเปอร์จะรีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อนอาร์ซีโนโมลิบเดต (arsenomolybdate) ซึ่งเตรียมจากปฏิกิริยาของแอมโมเนียมโมลิเดต (ammonium molybdate) กับโซเดียมอาร์ซีเนต (sodium arsenate) ในกรดซัลฟูริก โดยการรีดิวซ์สารตัวนี้จะได้เป็นสารสีน้ำเงินที่คงตัว สามารถนำไปวิเคราะห์โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทร–โฟโตมิเตอร์

1.3 การวิเคราะห์น้ำตาลโมโนแซกคาไรด์ และโอลิโกแซกคาไรด์ เชิงปริมาณและคุณภาพด้วยวิธีโครมาโทกราฟี (quantitative and qualitative analysis of mono saccharides and oligosaccharides with chromatography)

1.3.1 วิธี Thin Layer Chromatography (TLC) หรือเรียกว่า เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบแผ่นบาง เป็นวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบสารที่สะดวก รวดเร็ว และราคาไม่แพง นิยมใช้ในการตรวจการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมี ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสาร ระหว่างกระบวนการแยกสารในขั้นตอนต่าง ๆ ใช้ในการยืนยันชนิดของสาร และสามารถตรวจหาจำนวนองค์ประกอบ

ในของผสม หลักการของ TLC นั้น คล้ายคลึงกับคอลัมน์โครมาโทกราฟี แต่มีความแตกต่างกัน ในกรณีของ TLC วัฏภาคนิ่งจะถูกเคลือบติดไว้ที่แผ่นกระจก แผ่นอลูมิเนียม หรือแผ่นพลาสติก บาง ๆ สารจะถูกแต้มไว้ที่ใกล้ ๆ ปลายด้านหนึ่งของแผ่นโดยใช้หลอดแคปิลลารี จากนั้น จึงนำแผ่นดังกล่าวไปวางลงในภาชนะที่ใส่วัฏภาคเคลื่อนที่ไว้อย่างตื้น ๆ เมื่อวัฏภาคเคลื่อนที่ ถูกดูดซึมขึ้นไปตามตัวดูดซับด้วย capillary action ก็จะพาสารตัวอย่างขึ้นไปด้วย จึงเกิดการแยก ของสารเกิดขึ้นด้วยหลักการเดียวกับคอลัมน์โครมาโทกราฟี เช่น หากใช้ซิลิกาเป็นวัฏภาคนิ่ง และใช้สารที่มีขั้วต่ำเป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ สารที่มีขั้วน้อยจะละลายได้ดีในวัฏภาคเคลื่อนที่ แต่ถูกดูดซับด้วยวัฏภาคนิ่งได้น้อย จึงเคลื่อนที่ไปได้ดีด้วยระยะที่มากกว่าสารที่มีขั้วสูงซึ่งละลาย ในวัฏภาคเคลื่อนที่ได้น้อย แต่ดูดซับบนวัฏภาคนิ่งได้ดี เนื่องจากใช้สารปริมาณน้อยมากในการแยก เทคนิค TLC จึงเหมาะสมเป็นเครื่องมือวิเคราะห์มากกว่าที่จะเป็นเครื่องมือในการแยกสาร เพื่อเก็บแต่ละองค์ประกอบ ดังในกรณีของคอลัมน์โครมาโทกราฟี ประโยชน์ของ TLC นอกเหนือจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังรวมถึงการใช้ในการทดลองหาระบบตัวทำละลาย ที่เหมาะสมก่อนการทำคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยการใช้วัฏภาคนิ่งชนิดเดียวกับที่จะบรรจุ ลงคอลัมน์ ในการทำ TLC รวมถึงการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของสารที่ออกมาจากคอลัมน์ โครมาโทกราฟี ด้วยตัวดูดซับที่นิยมใช้ในเทคนิค TLC ได้แก่ อะลูมินา และซิลิกาเจล โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว นิยมใช้ตัวดูดซับเป็นอะลูมินากับสารกลุ่มที่ไม่มีขั้วหรือมีขั้วน้อย ๆ เช่น ไฮโดรคาร์บอน, อัลคิลเฮไลด์ และอีเทอร์ และนิยมใช้ซิลิกาเจลกับสารที่ค่อนข้างมีขั้ว เช่น แอลกอฮอล์, กรดอินทรีย์ และเอมีน เป็นต้น

1.3.2 วิธี High performance liquid chromatography (HPLC) เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับ แยกสารประกอบที่ผสมอยู่ในสารตัวอย่าง โดยกระบวนการแยกสารประกอบ ที่สนใจ จะเกิดขึ้นระหว่างวัฏภาค 2 วัฏภาค คือ วัฏภาคนิ่ง (column) กับวัฏภาคเคลื่อนที่ (mobile phase) ซึ่งสารจะถูกแยกออกมาในเวลาที่ต่างกัน โดยสารผสมที่อยู่ในตัวอย่างสามารถถูกแยก ออกจากกันได้นั้น ขึ้นอยู่กับความสามารถในการเข้ากันได้ดีของสารนั้นกับวัฏภาคเคลื่อนที่หรือวัฏ ภาคนิ่ง สารประกอบชนิดที่สามารถเข้ากันได้ดีกับวัฏภาคเคลื่อนที่ จะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ได้เร็ว กว่า และจะถูกแยกออกมาก่อน ส่วนสารที่เข้ากันได้ไม่ดีกับวัฏภาคเคลื่อนที่หรือเข้ากันได้ดีกับวัฏ ภาคนิ่งจะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ได้ช้ากว่า ซึ่งจะถูกแยกออกมาภายหลัง โดยสารที่ถูกแยก ออกมาได้ก่อนนี้ จะถูกตรวจวัดสัญญาณด้วยตัวตรวจวัดสัญญาณที่บันทึกได้จากตัวตรวจวัด เรียกว่า โครมาโทแกรม ซึ่งวิธีนี้สามารถใช้วิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน ถือได้ว่าเป็นวิธีการที่มีความรวดเร็ว ถูกต้อง และแม่นยำสูง สามารถใช้กับตัวอย่างที่มีความเข้มข้นสูงได้ จากหลักการของเครื่อง HPLC ที่ดำเนินการภายใต้

ความดันสูง และใช้กับตัวอย่างที่เป็นของเหลว จึงทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สารชีวโมเลกุลต่าง ๆ เช่น โปรตีน น้ำตาล และไขมัน โดยประยุกต์ใช้ได้กับหลายเทคนิค เช่น ion exchange chromatography เป็นต้น (Gerber, et al., 2004 อ้างอิงใน ชยาภรณ์ วงศ์ศิริเดชชัย, 2560)

1.3.3 วิธี High Performance Anion Exchange Chromatography (HPAEC) เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สารได้หลากหลายกลุ่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารจำพวกโอลิโกแซกคาไรด์ คาร์โบไฮเดรต และพอลิแซกคาไรด์ เช่น น้ำตาลแอลกอฮอล์ (alditols) และน้ำตาลอะมิโน (amino sugar) เป็นต้น โดยอาศัยความแตกต่างของโครงสร้าง เช่น ขนาด องค์ประกอบ anomericity และไอโซเมอร์พันธะ (linkage isomer) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ โดยวัฏภาคเคลื่อนที่จะเป็น gradient elution กับวัฏภาคนิ่งชนิดแลกเปลี่ยนประจุลบ (anion exchange stationary phases) ที่มีประสิทธิภาพสูง (high resolution) ในการแยกสารผสมน้ำตาล ดำเนินการวิเคราะห์ที่พีเอชสูง โดยตัวตรวจวัดสัญญาณ (detector) ที่นิยมใช้คือ pulsed electrochemical detector (PED) และ pulsed amperometric detector (PAD) เนื่องจากเป็นตัวตรวจวัดสัญญาณที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์มีศักยภาพของขั้วไฟฟ้าในการวิเคราะห์กับช่วงเวลาที่จำเพาะเจาะจง มีผลต่อสภาวะออกซิไดซิงและรีดิวซิงต่อพื้นผิวของขั้วไฟฟ้าที่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของสาร (Rothenhofer, et al., 2015 อ้างอิงใน ชยาภรณ์ วงศ์ศิริเดชชัย, 2560)

1.3.4 วิธี Gas Chromatography (GC) วิธีนี้เป็นวิธีที่ต้องการเปลี่ยนน้ำตาลให้อยู่ในรูปอนุพันธ์ของสารที่ระเหยได้ก่อน สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ เช่นเดียวกับ HPLC ส่วนตัวตรวจวัดสัญญาณที่นิยมใช้ คือ flame ionization detector (FID) เป็นเทคนิคการแยกสารพวกที่มีขั้วต่ำ ซึ่งอยู่ในสภาวะที่เป็นแก๊สหรือไอ โดยใช้แก๊สตัวพา (carrier gas) เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ และของเหลวที่ระเหยเป็นไอยาก (nonvolatile liquid) หรือของแข็ง (solid) เป็นวัฏภาคนิ่ง เทคนิค GC ใช้หลักการแยกและการดูดซับในการแยกสารออกจากกัน มีความไวสูง และให้ผลในการแยกสารที่ดี ถ้าวัฏภาคนิ่งเป็นของแข็ง เรียกเทคนิคนี้ว่า gas solid chromatography (GSC) ถ้าวัฏภาคนิ่งเป็นของเหลวที่เคลือบบาง ๆ บนผิวของ inert granular solid support เทคนิค นี้เรียกว่า gas liquid chromatography (GLC)

โปรไบโอติก (Probiotic)

โปรไบโอติก เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สารเสริมชีวนะ เป็นกลุ่มของจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ซึ่งเมื่อร่างกายได้รับจุลินทรีย์ชนิดนี้ในปริมาณที่เหมาะสม จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกายทั้งของมนุษย์และสัตว์ โดยโปรไบโอติกจะส่งผลให้มีการปรับสมดุลของจุลินทรีย์ท้องถิ่นในลำไส้

ช่วยลดปริมาณเชื้อก่อโรคและเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยอาหาร และยังมีคุณสมบัติทนต่อสภาวะความเป็นกรดในกระเพาะอาหารได้ดี จึงสามารถผ่านเข้าไปยังส่วนของลำไส้ใหญ่ได้ และสามารถทนต่อเกลือน้ำดีในลำไส้ได้ และนอกจากนี้โปรไบโอติกยังมีหน้าที่ยึดเกาะบนผนังลำไส้ใหญ่ เพื่อช่วยต่อต้านการเคลื่อนที่ของลำไส้ที่มีการบีบตัวให้อาหารเคลื่อนที่ในลักษณะที่เป็นลักษณะคล้ายลูกคลื่น เมื่อมนุษย์บริโภคจุลินทรีย์โปรไบโอติกเข้าไปในร่างกายแล้ว โปรไบโอติกจะเป็นตัวช่วยในการปรับสมดุลจุลินทรีย์ในร่างกาย และป้องกันการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร อันเป็นสาเหตุสำคัญของอาการท้องเสีย และช่วยควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ที่ร่างกายไม่ต้องการให้อยู่ในปริมาณที่ไม่ก่อให้เกิดโรคแก่ร่างกายได้ ทั้งนี้ มนุษย์จะได้รับโปรไบโอติกผ่านทางการรับประทานอาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยว โยเกิร์ต และแหนม เป็นต้น (สุพจน์ นวลละออง, 2552) โปรไบโอติก เป็นจุลินทรีย์ที่มีหลากหลายชนิด ยกตัวอย่างดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 แสดงชนิดของจุลินทรีย์ที่จัดเป็นโปรไบโอติก

ชนิดจุลินทรีย์	ผลิตกรดแลกติกจากพืช
Lactobacillus acidophilus	พบในผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมัก
Lactobacillus casei	พบในผลิตภัณฑ์ยาคูลท์
Lactobacillus delbrueckii	พบในผลิตภัณฑ์*นมหมัก*
Lactobacillus plantarum	พบในผลิตภัณฑ์ปลาหมัก
Lactobacillus lactis	พบในผลิตภัณฑ์*หมักแป้งสาลี*
Lactobacillus fermentum	พบในผลิตภัณฑ์*ผักดองเปรี้ยว*
Bifidobacterium actis	พบในผลิตภัณฑ์กิมจิ

ที่มา: ปิ่นมณี ขวัญเมือง, 2548

ประโยชน์ของโปรไบโอติก

โปรไบโอติก เป็นจุลินทรีย์มีชีวิตชนิดดีที่มีประโยชน์ต่อร่างกายของมนุษย์หลายประการ โดยมีคุณประโยชน์ที่สำคัญ ดังนี้

1. ช่วยส่งเสริมระบบการย่อยอาหารและการดูดซึมสารอาหาร โดยโปรไบโอติกจะผลิตเอนไซม์ที่ช่วยย่อยอาหาร เช่น เอนไซม์ไลเปส (Lipase) ที่ทำหน้าที่ย่อยไขมันให้เป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล เอนไซม์โปรติเอส (Proteases) ที่ทำหน้าที่ช่วยในการย่อยโปรตีนให้มีขนาดเล็กลง เป็นต้น เมื่อไขมันและโปรตีนมีขนาดที่เล็กลงจึงทำให้ร่างกายมีประสิทธิภาพในการดูดซึมได้ดียิ่งขึ้น

2. ช่วยให้ผู้ที่มีเอนไซม์แลคเทส (lactase) ไม่ปกติ หรือผู้ที่แพ้นมสามารถบริโภคนมได้ ทำให้ไม่เกิดอาการท้องอืดหลังการบริโภคนม

3. ช่วยสังเคราะห์วิตามินที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น วิตามินบี 1, บี 2, บี 6, บี 12, ไนอะซิน, กรดโฟลิก และกรดแพนโททีนิก

4. ช่วยสังเคราะห์เอนไซม์มาช่วยย่อยสลายโปรตีนให้เป็นประโยชน์ต่อร่างกายได้มากขึ้น

5. ช่วยเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย โดยโปรไบโอติกที่ยึดเกาะอยู่กับเนื้อเยื่อของผนังลำไส้จะเข้าไปกระตุ้นต่อมน้ำเหลืองที่อยู่ในชั้นใต้ผิวของผนังลำไส้ (Gut-Associated Lymphocyte Tissue, GALT) จากนั้นต่อมน้ำเหลืองจะผลิตสารภูมิคุ้มกันให้กับร่างกายในระดับที่มีความเหมาะสม ส่งผลให้ในกรณีที่มีเชื้อก่อโรคเข้ามาในร่างกาย ระบบภูมิคุ้มกันจะกระตุ้นให้เม็ดเลือดขาวเข้าไปจับตัวกับเชื้อโรคได้ดียิ่งขึ้น ทำให้สามารถทำลายเชื้อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. ช่วยทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ลดต่ำลง ส่งผลให้เกิดสภาวะไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

7. ช่วยยับยั้งพิษที่ของจุลินทรีย์ก่อโรค ทั้งที่อยู่ในร่างกาย และที่ร่างกายรับเข้ามาจากภายนอก โดยโปรไบโอติกจะเข้าไปแย่งอาหารของจุลินทรีย์ก่อโรคจนหมด ทำให้จุลินทรีย์ก่อโรคขาดสารอาหาร หยุดการเจริญเติบโต และตายลงในที่สุด จุลินทรีย์ก่อโรคก่อโรคจึงมีปริมาณลดลง และไม่สามารถก่อให้เกิดโทษต่อร่างกายได้อีกต่อไป

8. ช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด โปรไบโอติกชนิด *Lactobacillus acidophilus* ที่อยู่ในกลุ่มของบิฟิโดแบคทีเรียม (*Bifidobacterium*) จะเข้าไปช่วยย่อยคอเลสเตอรอลและยับยั้งการดูดซึมคอเลสเตอรอลที่อยู่ในลำไส้ และทำการขับเอาคอเลสเตอรอลออกมากับอุจจาระ จึงช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้

9. ช่วยป้องกันฟันผุ มีงานวิจัยพบว่า การใช้เชื้อจุลินทรีย์ *Lactobacillus rhamnosus* GG สามารถช่วยลดอาการฟันผุได้

10. ช่วยการป้องกันโรคทอนซิลและการติดเชื้อในลำคอ

11. ลดความเสี่ยงในการเป็นโรคมะเร็ง โปรไบโอติกเป็นจุลินทรีย์ชนิดดีที่ช่วยป้องกันการอักเสบหรือติดเชื้อของเซลล์ภายในร่างกาย เมื่อเซลล์ไม่ได้รับการทำร้ายจากเชื้อโรค เซลล์ย่อมมีความแข็งแรง โดยเฉพาะดีเอ็นเอของเซลล์จะคงอยู่เหมือนเดิมไม่เกิดการกลายพันธุ์เป็นเซลล์มะเร็ง และเมื่อไม่มีการสะสมของเสียในลำไส้จึงไม่มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้น ทำให้ผนังลำไส้ไม่เกิดการอักเสบ ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดมะเร็งลำไส้ ดังนั้นการที่ร่างกายได้รับโปรไบโอติก ย่อมลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งได้ โดยเฉพาะโรคมะเร็งในระบบทางเดินอาหาร

กรดแลกติก (Actic acid)

กรดแลกติก เป็นกรดอินทรีย์ที่พบได้ในธรรมชาติ โดยพบในมนุษย์ สัตว์ พืช และจุลินทรีย์ในนมเปรี้ยว พบโดยนักเคมีชาวสวีเดนในปี ค. ศ. 1780 (Litchfield, 1996) กรดแลกติกมีชื่อทางเคมีคือ 2–hydroxypropanoic acid หรือ 2–hydroxypropionic acid ที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (–OH) มีสูตรโมเลกุลเป็น $CH_3CH(OH)COOH$ และมีสูตรโครงสร้างทางเคมี 2 แบบ (optically isomers) ดังนี้

L (+)–lactic acid D (–)–lactic acid

ภาพ 7 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของกรดแลกติก

ที่มา: Ratledge and Kristiansen, 2001

กรดแลกติกจากการผลิตจากแบคทีเรีย

เกณฑ์การจัดกลุ่มแบคทีเรียกรดแลกติก สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ โดยพิจารณาจากความสามารถในการหมักน้ำตาลของแบคทีเรีย (Axelsson, 1998 อ้างอิงในฐิติมา นุธิรงค์, 2554) ดังนี้

1. กระบวนการโฮโมเฟอร์เมนเทชัน (Homo fermentation)

แบคทีเรียกรดแลกติกสามารถเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสไปเป็นกรดแลกติกได้ 70–90 เปอร์เซ็นต์ ด้วยวิถีไกลโคไลซิส (Glycolysis) ซึ่งน้ำตาลกลูโคสจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของไพรูเวต และมีเอนไซม์แลกเทตดีไฮโดรจีเนสเปลี่ยนไพรูเวตไปเป็นแลกเทต โดยในการหมักจะได้กรดแลกติกเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายเพียงชนิดเดียว ซึ่งเรียกแบคทีเรียชนิดนี้ว่า แบคทีเรียโฮโมแลกติก (Homolactic bacteria) ได้แก่ *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Lactococcus*, *Vagococcus* และ *Tetragenococcus*

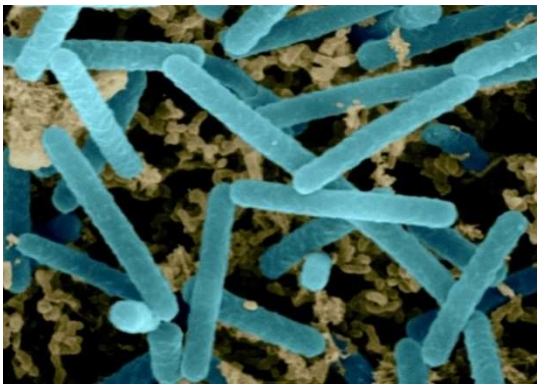
2. กระบวนการเฮเทโรเฟอร์เมนเทชัน (hetero fermentation)

แบคทีเรียกรดแลกติกสามารถเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นกรดแลกติก ได้น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นจะได้เป็นเอทานอล กรดแอซีติก และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเปลี่ยนโดยวิถีฟอสโฟคีโตเลส (phosphaketolase) จากการใช้น้ำตาลผ่านวิถี 6–phosphogluconate หรือ phosphoketolase จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายหลายชนิด เช่น เอธานอล อะซิเตท คาร์บอนไดออกไซด์ และกรดแลกติก ซึ่งเรียกแบคทีเรียชนิดนี้ว่า แบคทีเรียเฮเทโรแลกติก (Heterolactic bacteria) ได้แก่ *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Weissela* และบางกลุ่มของ *Lactobacillus*

แบคทีเรีย *Lactobacillus acidophilus*

จัดอยู่ใน Kingdom Procaryotae
Division The bacteria
Family Lactobacillaceae
Genus *Lactobacillus*
Species *Lactobacillus acidophilus*

Lactobacillus acidophilus เป็นแบคทีเรียแกรมบวก (Gram positive bacteria) มีลักษณะเป็นรูปท่อนเดี่ยว หรือต่อกันเป็นสายสั้น ๆ อาจอยู่เดี่ยว ๆ เรียงตัวเป็นคู่ ๆ ไม่สร้างสปอร์ ดังแสดงในภาพ 7 เจริญได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (Facultative anaerobe) ไม่เคลื่อนที่ อาศัยอยู่บริเวณลำไส้ของมนุษย์ เรียกว่า โปรไบโอติก เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีค่า pH ที่เหมาะสมในการเจริญ คือ 5.5–6.0 เป็นแบคทีเรียที่จัดอยู่ในกลุ่ม Lactic acid bacteria ทำหน้าที่ผลิตกรดแลคติก (Lactic acid fermentation) ทั้งชนิด dextrorotatory และ levorotatory (D, L lactic acid) เป็นแบคทีเรียที่มีประโยชน์และช่วยป้องกันการเกิดโรคในมนุษย์ (ฉวีวรรณ สีสม, 2546)



ภาพ 8 แสดง *Lactobacillus acidophilus*

ที่มา: Sethi, et al., 2009

คุณลักษณะของแบคทีเรีย *Lactobacillus acidophilus*

1. เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ต้องการอากาศในการเจริญเติบโต โดยจะผลิตกรดแลคติกจำนวนมาก ในกระบวนการหมักคาร์โบไฮเดรต

2. เป็นแบคทีเรียที่ช่วยรักษาความสมดุลของแบคทีเรียที่ทำให้สุขภาพดีในบริเวณลำไส้เล็ก เนื่องจากบริเวณลำไส้เล็กมีจำนวนแบคทีเรียที่มีประโยชน์น้อย ส่วนมากจะเป็นแบคทีเรียที่ก่อโรค ทำให้สุขภาพไม่ดี

3. เป็นแบคทีเรียที่มีความจำเป็นในการสังเคราะห์และดูดซึมวิตามินในบริเวณลำไส้เล็ก

4. เป็นแบคทีเรียที่ช่วยลดระดับคอลเลสเตอรอลในเลือด

5. เป็นแบคทีเรียที่ช่วยควบคุมและขจัดพิษในวัตถุที่เสี่ยงลงในอาหาร

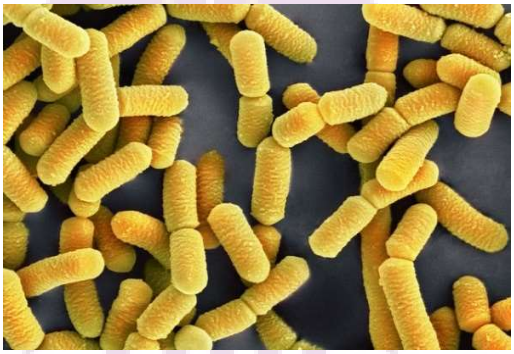
6. เป็นแบคทีเรียที่ทำงานร่วมกับเอนไซม์แลคเตส (Lactase) ในกระบวนการย่อยอาหาร

7. เป็นแบคทีเรียที่ช่วยควบคุมระดับ pH ของลำไส้ โดยผลิตกรดแลคติก

แบคทีเรีย *Lactobacillus plantarum*

จัดอยู่ใน Kingdom Bacteria
Phylum Firmicutes
Class Bacilli
Order Lactobacillales
Family Lactobacillaceae
Genus *Lactobacillus*
Species *Lactobacillus Plantarum*

Lactobacillus plantarum เป็นแบคทีเรียแกรมบวก (Gram positive bacteria) มีลักษณะรูปร่างเป็นท่อนเดี่ยว หรือสายสั้น ๆ ยาวติดต่อกัน ไม่สร้างสปอร์ ดังแสดงในภาพ 8 เจริญได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (Facultative anaerobe) ไม่เคลื่อนที่ สามารถทนต่อออกซิเจน เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส แต่ไม่สามารถเจริญได้ถึงอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มักพบแบคทีเรียชนิดนี้ได้ในผลิตภัณฑ์อาหารหมักหลายชนิด เช่น กะหล่ำปลีดอง ผักดอง กิมจิ ไส้กรอก ชีส และเนยแข็ง เป็นต้น รวมทั้งพืชที่ไม่มีออกซิเจน และในน้ำลายของมนุษย์ ทำหน้าที่ในการผลิตกรดแลคติกจากการหมักแบบโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ (Obligate homofermenter) และแบบเฮทเทอโรเฟอร์เมนเททีฟ (Obligate heterofermenters) เรียกว่า Facultative heterofermenter



ภาพ 9 แสดง *Lactobacillus plantarum*

ที่มา: Chia sẻ, 2015

แบคทีเรีย *Escherichia coli*

จัดอยู่ใน Kingdom Eubacteria

Phylum Proteobacteria

Class Gammaproteobacteria

Order Enterobacteriales

Family Enterobacteriaceae

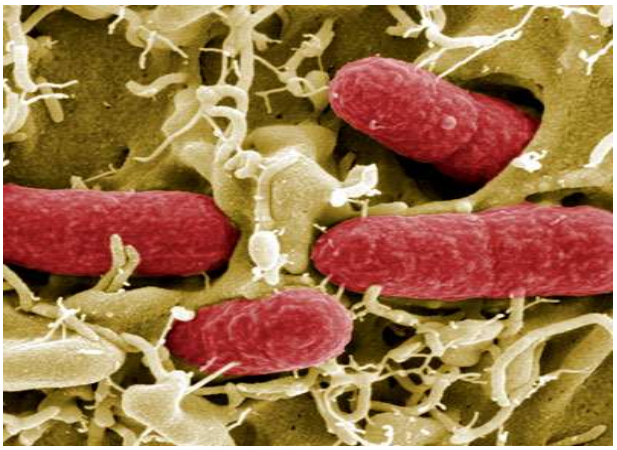
Genus *Escherichia*

Species *Escherichia coli*

Escherichia coli หรือ *E. coli* เป็นเชื้อแบคทีเรียประจำถิ่น (Normal flora) ที่พบมากที่สุดในลำไส้ของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่น จัดเป็นแบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์ม (coliform bacteria) หรือแบคทีเรียที่สามารถหมักย่อยน้ำตาลแล็กโทสแล้วได้กรดและก๊าซ ภายในเวลา 48 ชั่วโมง จึงถูกนำมาใช้เป็นดัชนีสุขาภิบาล (sanitation index) ซึ่ง *E. coli* เป็นแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของท้องเสียมากที่สุด โดยมนุษย์อาจได้รับเชื้อเข้าสู่ร่างกายผ่านทางการสัมผัสกับสิ่งของที่ปนเปื้อนเชื้อโรค การสัมผัสสัตว์ที่ติดเชื้อหรือมูลสัตว์ที่มีเชื้อปะปนอยู่ รวมไปถึงการรับประทานอาหารหรือน้ำ ที่ปนเปื้อนเชื้อโรคมาด้วย ผู้ที่ได้รับเชื้อจะมีอาการปวดท้อง ท้องเสีย ถ่ายอุจจาระเหลวหรือเป็นน้ำ มีไข้ แต่อาการมักไม่รุนแรง และอาการจะค่อย ๆ ดีขึ้น จากนั้นจะหายเป็นปกติได้เอง เนื่องจากได้รับเชื้อ *E. coli* เข้าไปทีละน้อยจากการปนเปื้อนมากับอาหาร น้ำ หรือมือของผู้ประกอบอาหาร จึงทำให้ร่างกายสามารถสร้างภูมิคุ้มกันเพื่อต่อต้านได้ แต่ในบางรายที่ได้รับเชื้อในปริมาณมาก อาจทำให้มีอาการปวดบิด ถ่ายเป็นมูกเลือด ซึ่งโรคติดเชื้อชนิดนี้มีโอกาสเกิดขึ้นได้กับบุคคลทุกเพศ ทุกวัย โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กและผู้สูงอายุ ผู้ที่มีระบบภูมิคุ้มกันอ่อนแอ

ลักษณะของ แบคทีเรีย *Escherichia coli*

Escherichia coli เป็นแบคทีเรียแกรมลบ (Gram negative bacteria) มีลักษณะเป็นรูปแท่ง (Rod shape) ขนาด 1–2 ไมโครเมตร ไม่สร้างสปอร์ ดังแสดงในภาพ 8 สามารถเจริญได้ทั้งในสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจน (Facultative anaerobic bacteria) อาจเคลื่อนที่ได้หรือไม่เคลื่อนที่ โดยใช้ Perithichous Flagella สามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ 10–40 องศาเซลเซียส ในเวลา 18 ชั่วโมง ซึ่งเป็นอุณหภูมิภายในร่างกายของสัตว์เลือดอุ่น ค่า pH 7–7.5 ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity) 0.96 บางสายพันธุ์ที่แยกได้จากนอกลำไส้สร้างแคปซูลได้ ให้โคโลนีเรียบ ไม่มีสี ความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 2–3 มิลลิเมตร แต่ถ้าเลี้ยงในอาหารที่แสดงความแตกต่าง (disserential media) เช่น mac conkey agar โคโลนีมีสีแดงชมพู ขนาดใหญ่ เนื่องจากเฟอร์เมนต์แล็กโทส หรือเลี้ยงในอาหาร eosin methylene blue agar (EMB) และ endo agar โคโลนีมีสีมันวาวคล้ายโลหะ มีบางสายพันธุ์ที่เฟอร์เมนต์แล็กโทสได้ช้า ถ้าเลี้ยงบนอาหารผสมเลือด บางสายพันธุ์เกิดการย่อยสลายเม็ดเลือดแดงแบบบีตาฮีโมไลซิส บางสายพันธุ์สามารถทนความร้อน 60 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที หรือ 55 องศาเซลเซียส 60 นาที



ภาพ 10 แสดง *Escherichia coli*

ที่มา: พิสนธิ์ จงตระกูล, 2554

ปัจจัยที่ทำให้เกิดโรค

Escherichia coli เป็นเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคได้ เนื่องจากมีไวรูเลนซ์แฟกเตอร์ (virulence factors) หลายชนิด ซึ่งโอกาสในการก่อโรคนั้นจะต้องมีปัจจัยอย่างใดอย่างหนึ่ง นั่นคือ

1. ความสามารถของเชื้อ *Escherichia coli* ที่จะเกาะติดกับเซลล์บางชนิดของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

2. ความสามารถของเชื้อ *Escherichia coli* ที่จะบุกรุกและเข้าไปเจริญในเซลล์ของเยื่อบุผิวลำไส้

3. ความสามารถของเชื้อ *Escherichia coli* ในการสร้างเอนเทอโรทอกซิน (Enterotoxin) ที่ทำให้ร่างกายสูญเสียน้ำ และของเหลว จึงเกิดอาการท้องร่วง การสร้างไซโททอกซิน (Cytotoxin) ที่ไปขัดขวางการสังเคราะห์โปรตีน จึงทำให้เกิดการตกเลือดที่ลำไส้ (Hemorrhagic colitis)

4. การมีแคปซูลที่ป้องกันไม่ให้ถูกเม็ดเลือดขาวจับกิน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในประเทศ

ศิริพร ตันจอ และคณะ (2555) ศึกษาอินนูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในแก่นตะวันจำนวน 16 สายพันธุ์ ประมาณ 1 กิโลกรัม แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งทำการวิเคราะห์แบบปอกเปลือก และอีกส่วนหนึ่งแบบไม่ปอกเปลือก ทำการวิเคราะห์อินนูลินและฟรุกโตโอลิโกแซค

คาไรค์ จากนั้นนำมาวิเคราะห์โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณอินนูลินในแก่นตะวัน ทั้งแบบปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก อยู่ในช่วง 14.0–20.4 กรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม สายพันธุ์ที่พบอินนูลินปริมาณสูง คือ สายพันธุ์ JA 38 และ CN 52867 (79.2–84.9 และ 70.5–77.6 กรัมต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม ตามลำดับ) ส่วนปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรค์ อยู่ในช่วง 3.0–6.6 กรัม ต่อน้ำหนักสด 100 กรัม ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 19–40 ของอินนูลินทั้งหมด สายพันธุ์ที่พบปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรค์สูง คือ สายพันธุ์ HEL 69 และ JA 38 (20.8–23.3 และ 20.9–22.7 กรัมต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) สำหรับปริมาณน้ำตาลทั้งหมด พบว่า มีปริมาณน้อยกว่า 3.5 กรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม เมื่อพิจารณาถึงปริมาณอินนูลิน GF–3, GF–4 และ FOS พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

อรุณี ฝาระมี (2557) ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดอินนูลินจากกระเทียมโทนมาใช้ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *S. aureus* และ *E. coli* ที่สภาวะต่าง ๆ ด้วยวิธี paper disk diffusion (โซนใสของการยับยั้ง) ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ (MIC) โดยวิธี broth dilution และทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ โดยวิธี standard plate count ผลการศึกษา พบว่า สารอินนูลินที่สกัดได้จากกระเทียมโทน ตรวจสอบปริมาณด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟี พบว่า มีปริมาณ 75.18% สารสกัดอินนูลินที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อได้เพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E. coli* และ *S. aureus* คิดเป็น 97.33 % และ 88.83 % ตามลำดับ

สิงหนาท พวงจันทน์แดง และรุ่งกานต์ บุญนาถกร (2551) ศึกษาอายุการเก็บรักษาสารสกัดกระเทียมเข้มข้นที่เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิห้อง โดยการวิเคราะห์หาปริมาณสาระสำคัญอัลลิซิน โดยวิธีการแยกของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) ผลการศึกษา พบว่า อัลลิซินเป็นสารที่ไม่เสถียรและสลายตัว เมื่อเวลาผ่านไป 15 วัน มีปริมาณอัลลิซินเหลืออยู่ร้อยละ 51.88 ของปริมาณอัลลิซินเริ่มต้นในสารสกัดกระเทียมเข้มข้น และไม่พบปริมาณอัลลิซินเมื่อเก็บไว้นาน 30 วัน ปฏิกิริยาการเสื่อมสลายอัลลิซินเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์โดยมีค่า k = 0.90467 และมีค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์ (R2 = 0.99976)

ชยาภรณ์ วงศ์ศิริเดชชัย (2560) ศึกษาชนิดของน้ำตาลโอลิโกแซกคาไรด์ที่พบในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยกากกาแฟด้วยแมนนาเนสจาก *Bacillus* sp. GA2 ด้วยเทคนิค thin layer chromatography และhigh performance anion exchange chromatography with pulsed amperometric detection และทดสอบสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติกของผลิตภัณฑ์โอลิโกแซกคาไรด์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียผลิตกรดแลคติก การยับยั้งเชื้อก่อโรค

การต้านทานการย่อยภายใต้สภาวะเลียนแบบทางเดินอาหาร และความสามารถในการยึดเกาะของโปรไบโอติกภายในระบบทางเดินอาหาร ผลการศึกษา พบว่า น้ำตาลโอลิโกแซกคาไรด์ที่พบในผลิตภัณฑ์จากการย่อยกากกาแฟ ประกอบด้วย แมนโนส, แมนโนไบโอส, แมนโนไตรโอส และแมนโนเพนตะโอส ส่วนสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติก พบว่า ผลิตภัณฑ์โอลิโกแซกคาไรด์ที่ได้จากการย่อยกากกาแฟ ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียผลิตกรดแลคติก ได้แก่ *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* และ *Lactobacillus plantarum* ได้เทียบเท่ากับพรีไบโอติกทางการค้า (ฟรุกโตโอลิโกแซกคาไรด์) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแบคทีเรียที่เลี้ยงในอาหารชุดควบคุม ($p < 0.05$) ในขณะที่ความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรคของแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกของผลิตภัณฑ์โอลิโกแซกคาไรด์ พบว่า *Bacillus cereus* และ *Salmonella paratyphi* ถูกยับยั้งได้โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยง *L. casei* และ *L. plantarum* ด้วยผลิตภัณฑ์โอลิโกแซกคาไรด์ ส่วนเชื้อก่อโรค *E. coli* ถูกยับยั้งได้โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยง *L. plantarum* ด้วยผลิตภัณฑ์โอลิโกแซกคาไรด์ นอกจากนี้ยังพบว่า ผลิตภัณฑ์โอลิโกแซกคาไรด์ช่วยส่งเสริมสมบัติการต้านทานการย่อยภายใต้สภาวะเลียนแบบทางเดินอาหารของแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกได้ โดยในทุกสภาวะ *L. acidophilus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร De Man Rogosa and Sharpe (MRS) ที่เติมผลิตภัณฑ์โอลิโกแซกคาไรด์สามารถต้านทานการย่อยภายใต้สภาวะเลียนแบบทางเดินอาหารได้มากที่สุด และในการทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของโปรไบโอติกในระบบทางเดินอาหาร พบว่า *L. plantarum, L. acidophilus* และ *L. casei* ที่เลี้ยงใน อาหาร MRS ที่เติมโอลิโกแซกคาไรด์ที่ทดสอบมีเปอร์เซ็นต์ hydrophobicity เท่ากับ 8.057, 5.825 และ 5.432ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกที่เลี้ยงในอาหารชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

งานวิจัยในต่างประเทศ

Samanta, et al. (2014) ได้ตรวจสอบคุณภาพและปริมาณอินนูลินที่สกัดได้จากอาหารที่อุดมไปด้วยเส้นใยอาหารของอินเดีย ได้แก่ กระเทียม, ข้าวสาลี, ข้าวโอ๊ต และ dalia โดยใช้กระบวนการทางเคมีในระดับห้องปฏิบัติการและการดำเนินงานของหน่วย ซึ่งตรวจสอบคุณภาพโดยวิธี FTIR และ TLC และตรวจสอบปริมาณโดยวิธี HPLC และ TLC และการวัดค่าการดูดกลืนแสงซึ่งพบความเข้มข้นของอินนูลิน (น้ำหนักแห้ง) ในกระเทียม, ข้าวสาลี, ข้าวโอ๊ต และ dalia เป็น 16.60%, 13.07%, 8.94% และ 14.95% ตามลำดับ

Cabezas, et al. (2002) ได้ศึกษาปริมาณอินนูลิน ซูโครส และกลูโคสหลังการเก็บเกี่ยวในหัวของแก่นตะวัน และหัวชิโครี่ ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน (–18, 4, และ 18 องศาเซลเซียส) ซึ่งพบว่า อินนูลินลดลงในระหว่างการเก็บรักษา โดยอินนูลินที่ลดลงในหัวชิโครี่นั้นมีความสัมพันธ์

กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณกลูโคสและฟรุกโตส ส่วนในหัวแก่นตะวันนั้นปริมาณฟรุกโตสที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 800–1200 เพิ่มขึ้น หลังจากที่ซูโครสมีปริมาณสูงสุดในหัวที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

Glibowski and Bukowska (2011) ได้ศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลทำให้อินนูลินละลายน้ำ โดยนำสารละลายอินนูลิน 5% pH 1–12 ไปให้ความร้อนที่ 20, 40, 60, 80 และ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5–60 นาที จากนั้นนำมาวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์ตามวิธีของ Miller's (1959) ด้วยกรด 3, 5–dinitrosalicylic ซึ่งผลที่ได้ พบว่า สารอินนูลินที่ pH ≤ 4 ลดลงเมื่อเวลาและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดอินนูลินจากกากกระเทียมที่ผ่านการสกัดน้ำมันกระเทียม และศึกษาอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวกระเทียมสดต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินนูลิน ร่วมกับการศึกษาคุณสมบัติพรีไบโอติกของผงกากกระเทียมที่สกัดได้ โดยมีแนวทางดำเนินการวิจัย ดังนี้

แนวทางดำเนินการวิจัย

1. พืชที่ใช้ในการทดลอง

1.1 กระเทียมพันธุ์กลางหรือพันธุ์บางช้างและเชียงใหม่ (*Allium Sativum* Linn)

1.2 กากกระเทียมที่ผ่านการสกัดน้ำมันกระเทียม

2. เชื้อที่ใช้ในการทดลอง

2.1 *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365

2.2 *Lactobacillus plantarum* TISTR 1465

2.3 *Escherichia coli* DMST 4212

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

3.2 เครื่องระเหยสูญญากาศ (Rotary Evaporator)

3.3 เครื่องแช่แข็งแบบระเหิด (Freez dryer)

3.4 เครื่องแก้วและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์

3.5 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)

3.6 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

3.7 ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture can)

3.8 ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Porcelain crucible)

3.9 เครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer (รุ่น LVDV–II+Pro, USA)

3.10 โถดูดความชื้น (Desiccator)

3.11 เตาเผา (Muffle furnace)

3.12 เครื่องปั่น

3.13 ผ้าขาวบาง

4. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

4.1 สารละลายฟีนอล (Phenol)

4.2 สารละลายรีซอร์ซินอล (Resorcinol)

4.3 สารลายไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Disodium Hydrogen Phosphate; Na_2HPO_4)

4.4 สารละลายไทโอยูเรีย (Thiourea)

4.5 สารละลายดีเอ็นเอส (3,5–dinitrosalicylic acid; DNS)

4.6 สารละลายบัฟเฟอร์ (McIlvaine diluent buffer)

4.7 สารละลายโพแทสเซียมโซเดียมทาร์เทรต (Rochelle's salt)

4.8 สารละลายไดแลนบัฟเฟอร์ (Diluent Buffer)

4.9 สารละลายด่าง (NaOH)

4.10 สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate)

4.11 สารละลายโซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรต ($NaKC_4H_4O_6$)

4.12 กรดไฮโดรคลอริก (HCl)

4.13 กรดน้ำส้ม (Glacial acetic acid)

4.14 กรดกำมะถัน (Sulphuric acid)

4.15 กรดซิตริก (Citric acid)

4.16 น้ำตาลฟรุกโตส (Fructose)

4.17 น้ำตาลกลูโคส Glucose)

5. อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการทดลอง

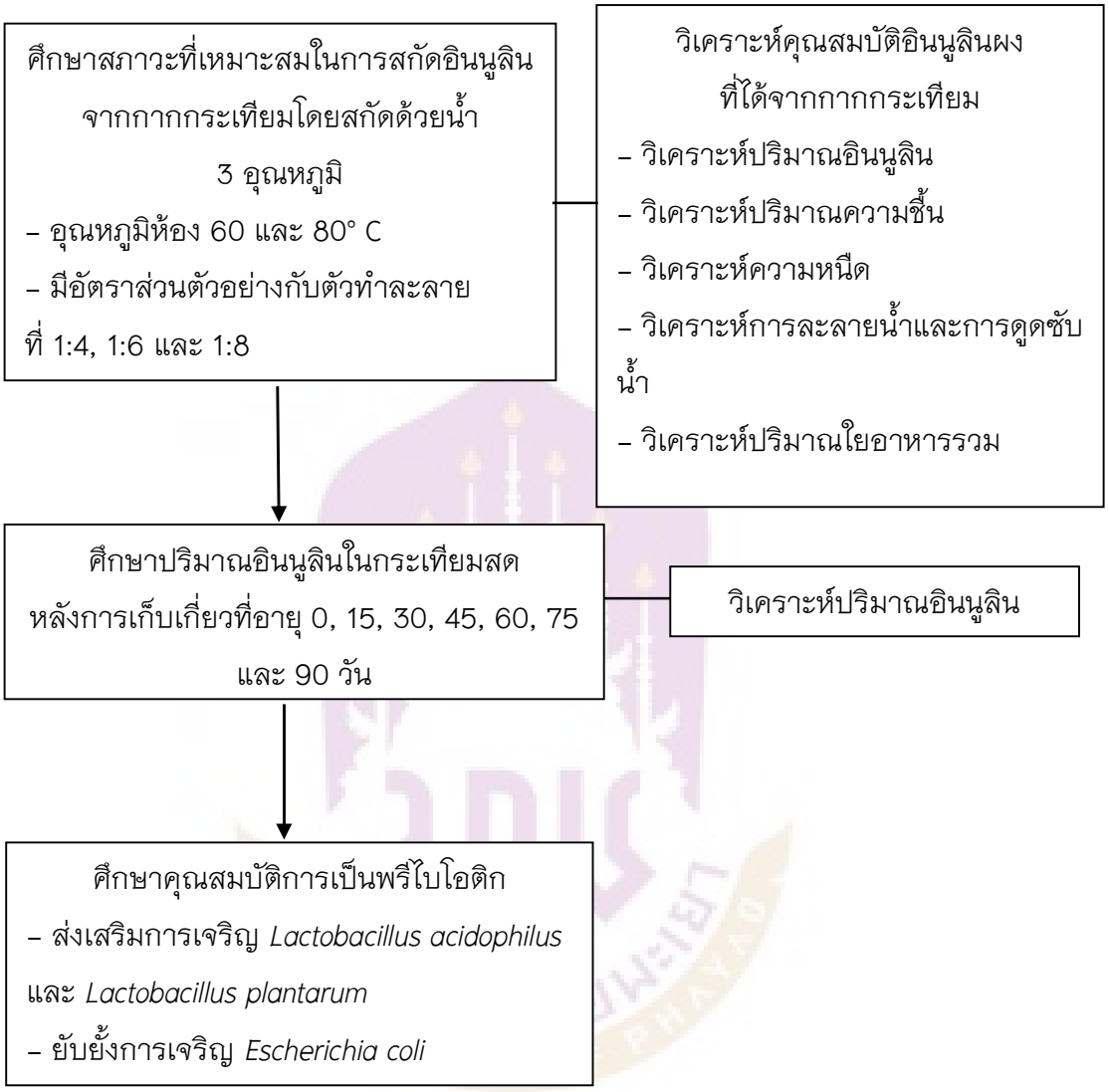
5.1 อาหารเลี้ยงเชื้อ MRS (De Man Rogosa and Sharpe)

5.2 อาหารเลี้ยงเชื้อ LB (Luria–Bertani broth)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

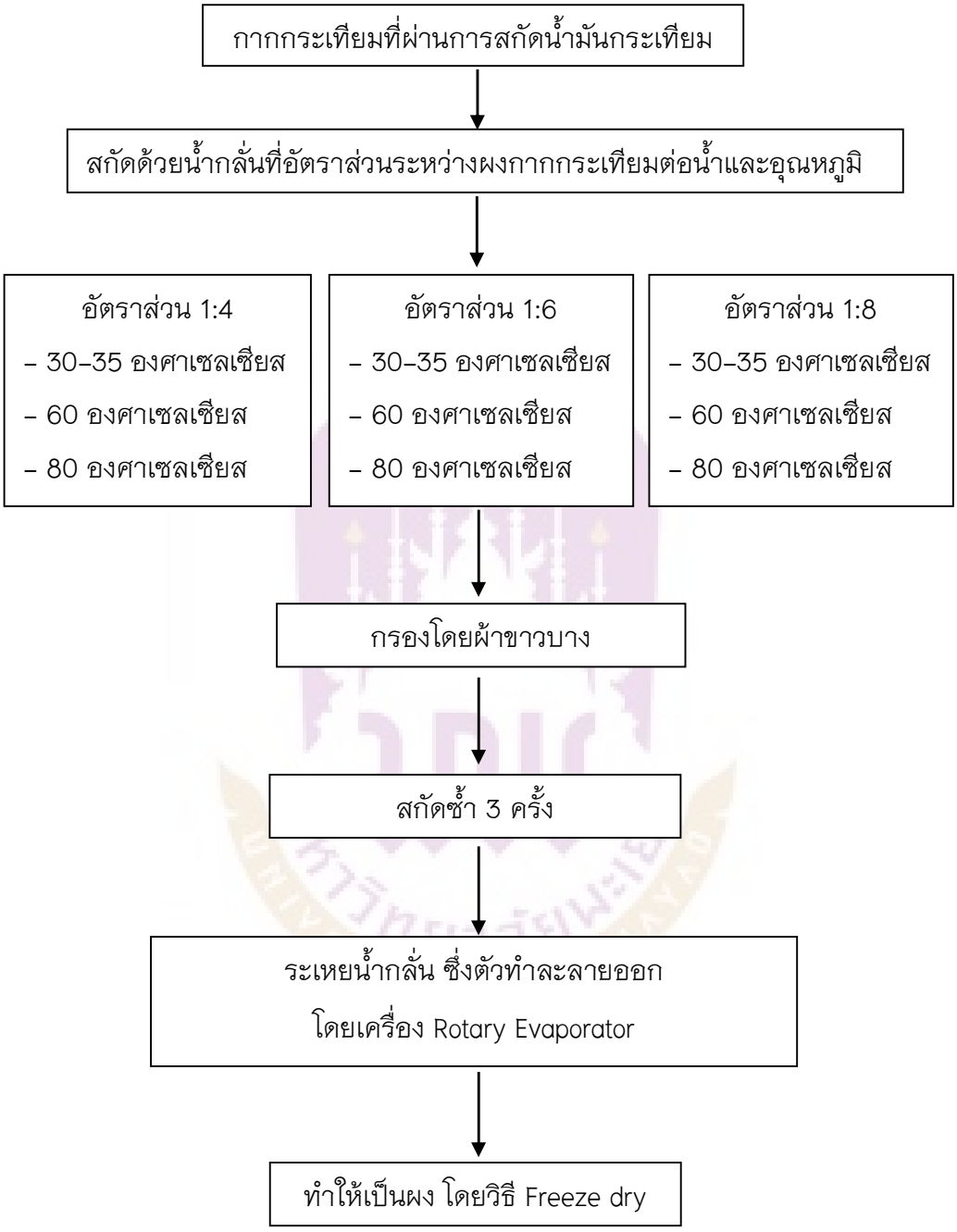
วิธีดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 3 การทดลอง โดยมีขั้นตอนการทดลองและขั้นตอนการสกัดอินนูลินจากกระเทียม ดังแสดงในภาพ 11 และ ภาพ 12

ขั้นตอนการทดลอง



ภาพ 11 แสดงขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการสกัดอินนูลินจากกระเทียม



ภาพ 12 แสดงขั้นตอนการสกัดอินนูลินจากกระเทียม

วิธีการศึกษา

1. เตรียมตัวอย่างในการสกัดอินนูลินจากกระเทียม

1.1 นำกากกระเทียมผ่านการสกัดน้ำมันกระเทียมด้วยการกลั่นไอน้ำ โดยมาจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนปุ๋ยหมักชีวภาพสันโค้ง ในเขตพื้นที่ 176 หมู่ 1 ตำบลสันโค้ง อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดเป็นผงกากกระเทียมเพื่อใช้ในการสกัดอินนูลินต่อไป

1.2 นำกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยว 7 ช่วงเวลา คือ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน โดยกระเทียมสดมีอายุการปลูก 90 วัน ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 ถึง มีนาคม พ.ศ. 2561 และเก็บเกี่ยวในวันที่ 8 มีนาคม พ.ศ. 2561 โดยเพาะปลูกในเขตพื้นที่หมู่บ้านซ่อน ตำบลแม่นาเรือ อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา มาแบ่งเป็นกลุ่ม ๆ ละ 5 กิโลกรัม แขวนไว้ในที่อากาศถ่ายเทสะดวก นำกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวแต่ละช่วงเวลา มาล้าง แกะเปลือก ปั่นละเอียด และนึ่ง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และบดเป็นผงเพื่อใช้ในการสกัด

2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดอินนูลินจากกากกระเทียม (ดัดแปลงจาก Laura, 2001)

นำผงกากกระเทียมที่ได้จากข้อ 1.1 ชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 100 กรัม สกัดด้วยน้ำ โดยควบคุมอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ อุณหภูมิห้อง อยู่ในช่วง 30–35 องศาเซลเซียส, 60 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ร่วมกับการใช้อัตราส่วนของผงกากกระเทียมต่อน้ำในอัตราส่วน 3 ระดับ คือ 1:4, 1:6 และ 1:8 กรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นนำส่วนของเหลว ไปกรองเอากากกระเทียมออกด้วยผ้าขาวบาง นำกากที่เหลือไปทำการสกัดซ้ำรวม 3 ครั้ง และนำส่วนของเหลวที่ได้ทั้งหมดรวมกันไประเหยเอาตัวทำละลายออกเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย โดยใช้เครื่องระเหยสุญญากาศ (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเหลือของเหลวอยู่ประมาณร้อยละ 20 จึงนำไปทำกระเทียมผงโดยการทำแห้งแบบแช่แข็งระเหิด (freez dryer) และบดให้เป็นผงเพื่อใช้ทำการวิเคราะห์ ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Dubois, et al., 1956)

2.1.1 ชั่งผงกระเทียม 100 มิลลิกรัม จากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2.5 นอร์มอล จำนวน 5 มิลลิลิตร ลงไปและนำไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2.1.2 ทำให้สารละลายที่ได้มีค่า pH เป็นกลาง (neutralize) โดยเติมสารโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร

2.1.3 เตรียมสารละลายตัวอย่างโดยปิเปต 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง และปรับปริมาตรรวมด้วยน้ำกลั่นให้เท่ากับ 1 มิลลิลิตร

2.1.4 เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคสความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองแยกกัน และปรับให้ปริมาตรรวมด้วยน้ำกลั่นให้เท่ากับ 1 มิลลิลิตร

2.1.5 เตรียม blank โดยใช้น้ำกลั่น จำนวน 1 มิลลิลิตร

2.1.6 เติมสารละลายฟีนอล ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1 มิลลิลิตร ลงไปในหลอดสารละลายตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐาน

2.1.7 เติมกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 5 มิลลิลิตร ลงไปในหลอดสารละลายตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐาน

2.1.8 ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที

2.1.9 นำหลอดทดลองทั้งหมดไปใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 25–30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

2.1.10 อ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร

2.1.11 คำนวณหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

สูตรคำนวณหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

Absorbance corresponds to 0.1 ml of test = x mg of glucose

100 ml of sample solution contains = x/0.1*100 mg of glucose

=% of total carbohydrate pre sent

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Miller, 1959)

2.2.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคสความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองแยกกัน และปรับให้ปริมาตรรวมเท่ากับ 200 ไมโครลิตร

2.2.2 เติมสารละลายดีเอ็นเอส จำนวน 0.5 มิลลิลิตร ลงไปในหลอดทดลองทั้งหมด และผสมให้เข้ากัน

2.2.3 นำหลอดทดลองทั้งหมดไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

2.2.4 เติมสารละลายโซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรต ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

2.2.5 อ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

2.2.6 คำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

สูตรคำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

$$\text{Glucose concentration in aliquots} = \frac{\text{concentration of aliquot in “µg” x 1000 x dilution factor µg/ml}}{\text{volume of aliquot in “µg”}}$$

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณอินนูลิน

ปริมาณอินนูลินคำนวณจากผลต่างของปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Lingyun, et al., 2007) โดยคำนวณได้จาก

Non–reducing sugar = total sugar – reducing sugar

และคำนวณร้อยละการสกัดอินนูลินจาก

$$\text{ร้อยละการสกัดอินนูลิน} = \frac{\text{ปริมาณอินนูลินที่สกัดได้} \times 100}{\text{น้ำหนักแห้งของกระเทียม}}$$

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC, 2000

2.4.1 อบภาชนะอะลูมิเนียมให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

2.4.2 ชั่งน้ำหนักภาชนะอะลูมิเนียมพร้อมฝา บันทึกน้ำหนักกระป๋อง

2.4.3 ใส่ตัวอย่าง 3 กรัม ในภาชนะอะลูมิเนียม บันทึกน้ำหนักตัวอย่าง ทำการทดลองซ้ำ รวม 3 ครั้ง

2.4.4 นำตัวอย่างเข้าอบในตู้อบลมร้อน โดยใช้อุณหภูมิ 105±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16–18 ชั่วโมง

2.4.5 นำตัวอย่างออกมาใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น

2.4.6 ชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักหลังอบ

2.4.7 คำนวณหาปริมาณความชื้น

สูตรคำนวณหาปริมาณความชื้น

$$\text{ปริมาณความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่าง} + \text{น้ำหนักกระป๋อง} - \text{น้ำหนักหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักหลังอบ} - \text{น้ำหนักกระป๋อง}}$$

2.5 การวิเคราะห์การละลายน้ำและการดูดซับน้ำ ตามวิธีของ Cheng และคณะ (Cheng, et al., 2017)

2.5.1 อบหลอดเซนติฟิวและภาชนะอะลูมิเนียมให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 103 เซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

2.5.2 ชั่งน้ำหนักหลอดเซนติฟิวและภาชนะอะลูมิเนียมพร้อมฝา บันทึกน้ำหนักหลอดและกระป๋อง

2.5.3 ชั่งตัวอย่าง 3 กรัม ลงในหลอดเซนติฟิว

2.5.4 เติมน้ำกลั่นปริมาตร 30 มิลลิลิตร

2.5.5 นำไปใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

2.5.6 นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นค่อย ๆ รินของเหลวออกจากหลอดเซนติฟิวลงในภาชนะอะลูมิเนียมที่อบเตรียมไว้

2.5.7 นำของเหลวที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105±2 องศาเซลเซียส จนกระทั่งไม่มีของเหลวระเหยออกไป หรือมีน้ำหนักคงที่

2.5.8 นำตัวอย่างออกมาใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น

2.5.9 ชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักหลังอบ

2.5.10 คำนวณหาปริมาณการละลายน้ำและการดูดซับน้ำ

สูตรคำนวณหาปริมาณการละลายน้ำและการดูดซับน้ำ

$$\text{ความสามารถในการละลายน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักของเหลวหลังอบแห้ง} - \text{น้ำหนักกระป๋อง}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

$$\text{ความสามารถในการดูดซับน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักของตะกอน} - \text{น้ำหนักหลอด}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

2.6 การวิเคราะห์ความหนืด

วิเคราะห์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20, 30 โดยใช้เครื่องวัดค่าความหนืด Brookfield viscometer (รุ่น LVDV–II+Pro, USA)

2.7 การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารรวม

วิเคราะห์โดยวิธี Proximate analysis อ้างอิงใน AOAC (1995) จากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพอาหารสัตว์ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

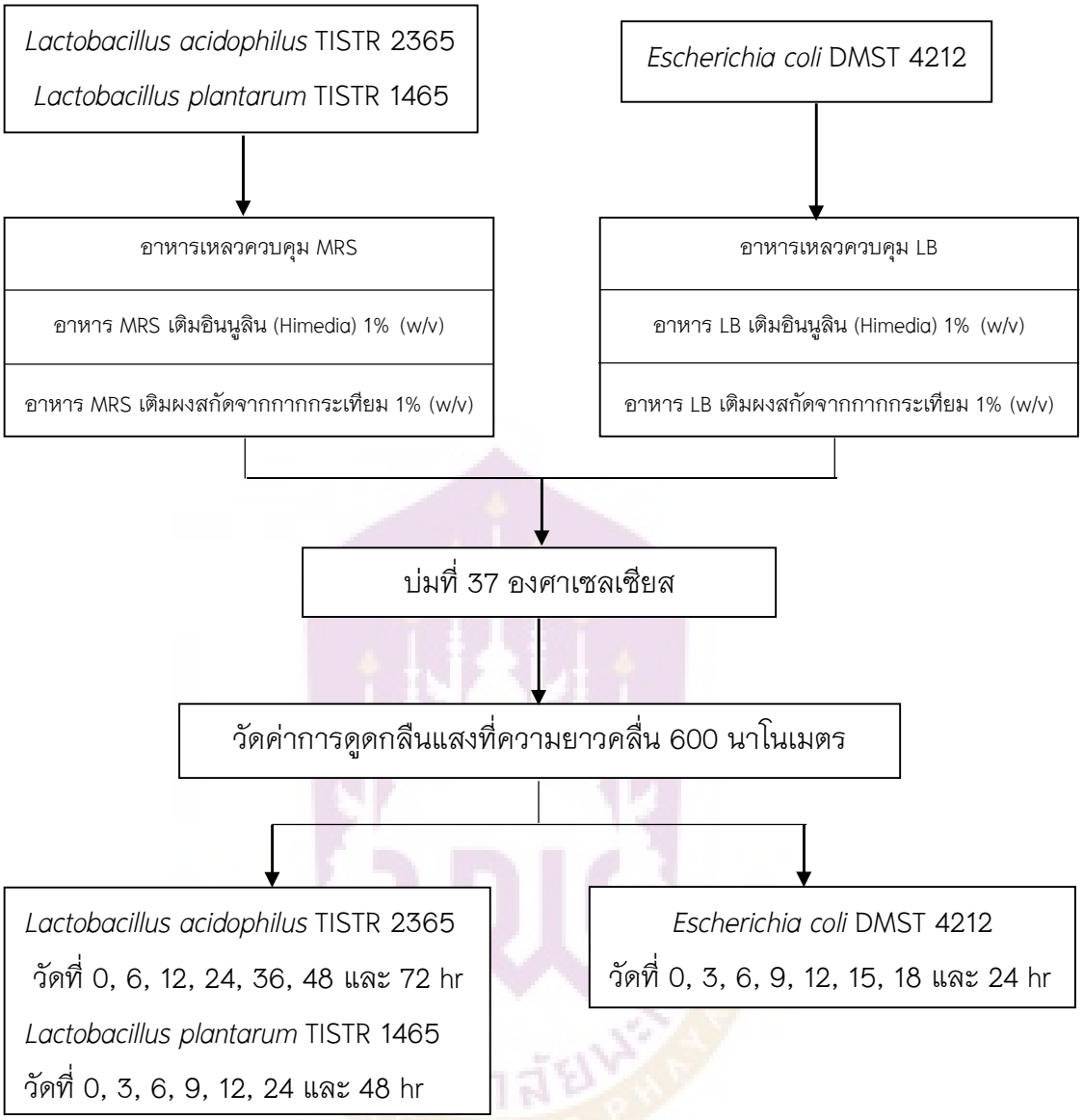
3. ศึกษาปริมาณอินนูลินในกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยว

วิเคราะห์หาปริมาณอินนูลินกับตัวอย่างกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยว 7 ช่วงเวลา คือ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน โดยชั่งน้ำหนักประมาณ 100 กรัม สกัดด้วยน้ำในอัตราส่วนระหว่างผงกระเทียมสดต่อน้ำที่มาจากสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองสกัดกับตัวอย่างผงกากกระเทียมครั้งก่อนหน้า ทำการสกัดซ้ำรวม 3 ครั้ง และนำส่วนของเหลวที่ได้ทั้งหมด

รวมกันไประเหยเอาตัวทำละลายออก ด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปทำกระเทียมผงโดยการทำแห้งแบบแช่แข็งระเหิด และบดให้เป็นผงเพื่อใช้ทำการวิเคราะห์ปริมาณอินนูลิน โดยคำนวณจากปริมาณ Non-reducing sugar

4. ศึกษาคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติก

ทดสอบความเป็นพรีไบโอติกกับเชื้อ *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 และ *Lactobacillus plantarum* TISTR 1465 โดยเลี้ยงในอาหาร 3 ชนิด คือ อาหารเหลวควบคุม MRS (De Man Rogosa and Sharpe), อาหารควบคุมเติมอินนูลิน (Himedia) 1% (w/v) และอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% (w/v) และทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* DMST 4212 โดยเลี้ยงในอาหารเหลวควบคุม LB (Luria-Bertani), อาหารควบคุมเติมอินนูลิน (Himedia) 1% (w/v) และอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% (w/v) จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส วัดอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร โดยใช้เชื้อที่ความขุ่นเริ่มต้น เท่ากับ 10^7 cfu/ml (ฉวีวรรณ สีสม, 2546) สำหรับเชื้อ *L. acidophilus* วัดค่าการดูดกลืนแสงในเวลา 0, 6, 12, 24, 36, 48 และ 72 ชั่วโมง *L. plantarum* วัดในเวลา 0, 3, 6, 9, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง และ *E. coli* วัดในเวลา 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 และ 24 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพ 13 จากนั้นวิเคราะห์อัตราการเจริญจำเพาะ (μ) โดยวิธี Oliveira (Oliveira, et al., 2011) วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก โดยวิธี Titration (AOAC, 2000) และวัดค่า pH โดยใช้พีเอชมิเตอร์



ภาพ 13 แสดงวิธีศึกษาคุณสมบัติในการเป็นพรีไบโอติกของจุลินทรีย์ในการทดลอง

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลจากการทดลองมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) โดยใช้แผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มการทดลอง โดยวิธี DUNCAN' s new multiple range test (DMRT)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

เตรียมตัวอย่างในการสกัดอินนูลินจากกระเทียม

เก็บตัวอย่างกากกระเทียมที่ผ่านการสกัดน้ำมันกระเทียม หลังอบแห้งและบดได้เป็นผงกากกระเทียม ดังภาพ 14 (ข) ส่วนกระเทียมสดหลังเก็บเกี่ยวอายุ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน หลังแกะเปลือก ปั่น นึ่ง อบแห้ง และบด ได้เป็นผงกระเทียมสด ดังภาพ 15 (ข)

(ก)

(ข)

ภาพ 14 แสดงกากกระเทียมที่ได้จากโรงงานสกัดน้ำมันกระเทียม (ก) ผงกากกระเทียมหลังจากอบแห้งและบด (ข)

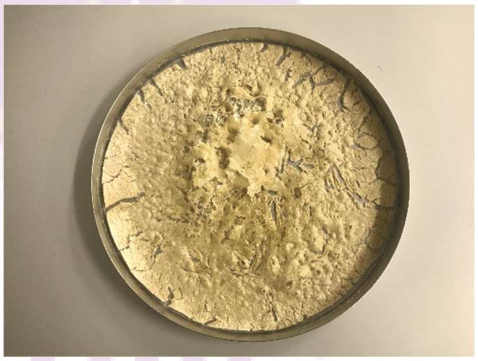
(ก)

(ข)

ภาพ 15 แสดงกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวแบ่งแขวนไว้ที่อากาศถ่ายเทสะดวก (ก) ผงกระเทียมสดหลังจากอบแห้งและบด (ข)

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดอินนูลินจากกากกระเทียม

กากกระเทียมที่ผ่านการสกัดน้ำมัน หลังอบแห้งและบดเป็นผงกากกระเทียม เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดอินนูลินโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ควบคุมอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ อุณหภูมิห้อง (อยู่ในช่วง 30–35 องศาเซลเซียส 60 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 10 นาที) ร่วมกับการใช้อัตราส่วนของผงกากกระเทียมต่อน้ำ 3 ระดับ คือ 1:4, 1:6 และ 1:8 สกัดซ้ำรวม 3 ครั้ง พบว่า ผงอินนูลินที่สกัดได้มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองน้ำตาล ดังแสดงในภาพ 16 และพบว่า การสกัดโดยใช้อัตราส่วน 1:8 ที่อุณหภูมิห้อง 60 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณผงอินนูลินที่สกัดได้ 79.04%, 76.17% และ 75.73% ตามลำดับ สูงกว่าการสกัดด้วยอัตราส่วน 1:4 และ 1:6 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตาราง 5



ภาพ 16 แสดงลักษณะของผงอินนูลินที่สกัดได้

ตาราง 5 แสดงปริมาณผงอินนูลินที่สกัดได้โดยใช้อัตราส่วนระหว่างผงกากกระเทียมต่อน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อัตราส่วน (ผงกากกระเทียม: น้ำ)	ปริมาณผงอินนูลินที่สกัดได้ (%)		
	30–35 °C	60 °C	80 °C
1:4	70.07±2.75^{bc}	65.75±4.34^{c}	72.32±1.05^{b}
1:6	72.65±1.72^{b}	68.95±1.62^{bc}	72.98±.76^{b}
1:8	79.04±.34^{a}	76.17±1.94^{ab}	75.73±1.45^{ab}

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)
ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การตรวจสอบคุณสมบัติของผงอินนูลินที่สกัดได้จากผงกากกระเทียม ดังนี้ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ อินนูลิน ความชื้น ใยอาหารรวม การละลายน้ำ และการดูดซับน้ำ โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติที่ได้จากการสกัดด้วยอัตราส่วนระหว่างผงกากกระเทียมและน้ำที่ต่างกันทั้งหมด 3 ระดับ คือ 1:4, 1:6 และ 1:8 ร่วมกับอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ อุณหภูมิห้อง 60 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณอินนูลิน ปริมาณความชื้น การละลายน้ำ และการดูดซับน้ำในการสกัดกากกระเทียม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ อัตราส่วน 1:4 และ 1:6 ให้ปริมาณสูงใกล้เคียงกัน คือ 1.55% และ 1.52% ตามลำดับ การสกัดด้วยอัตราส่วน 1:8 มีปริมาณต่ำสุดทางสถิติ คือ 1.44% ($p < 0.05$) และพบว่า ปริมาณใยอาหารรวมที่ได้จากการสกัดด้วยอัตราส่วน 1:8 มีปริมาณสูงกว่า 1:6 และ 1:4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เท่ากับ 1.00%, 0.73% และ 0.69% ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 6 ในการศึกษาครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะปริมาณอินนูลินในผงที่สกัดได้โดยใช้อัตราส่วนตัวทำลายต่างกัน พบว่า ปริมาณตัวทำละลายที่เพิ่มขึ้นในช่วงอัตราส่วนดังกล่าวไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอินนูลิน ดังนั้น การสกัดที่อัตราส่วน 1:4 จึงเป็นสภาวะเหมาะสมต่อการศึกษาปริมาณอินนูลินในกระเทียม เนื่องจากลดการใช้พลังงานในขั้นตอนการระเหยน้ำออก เพื่อทำให้ผงอินนูลินที่สกัดได้เข้มข้นขึ้น และลดระยะเวลาการทำผลิตภัณฑ์ในรูปผงแห้ง

ตาราง 6 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณและคุณสมบัติของผงอินนูลินที่สกัดได้โดยใช้อัตราส่วนผงกากกระเทียมต่อน้ำในอัตราส่วนต่าง ๆ

คุณสมบัติของผงอินนูลินที่สกัดได้	อัตราส่วน (ผงกากกระเทียม: น้ำ)		
	1:4	1:6	1:8
ใยอาหารรวม (%)	0.69±.16^{b}	0.73±.11^{b}	1.00±.12^{a}
อินนูลิน^{ns} (%)	67.70±8.77	66.08±4.85	68.22±7.64
น้ำตาลทั้งหมด^{ns} (%)	69.25±8.80	67.60±4.82	69.67±7.66
น้ำตาลรีดิวซ์ (%)	1.55±.03^{a}	1.52±.07^{a}	1.44±.08^{b}
ความชื้น^{ns} (%)	8.81±.24	8.28±.31	8.84±1.52
การละลายน้ำ^{ns} (%)	72.59±8.03	71.71±7.41	70.59±5.66
การดูดซับน้ำ (g/g)	0.82±.15^{b}	0.92±.17^{ab}	1.03.12^{a}

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b ในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)
ตัวอักษร ns ในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)
ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากการเลือกอัตราส่วนตัวทำละลายระหว่างผงกากกระเทียมต่อน้ำที่เหมาะสมในการสกัดอินนูลินจากการทดลองก่อนหน้า คือ 1:4 นำมาศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดอินนูลิน ทั้งหมด 3 ระดับ คือ อุณหภูมิห้อง 60 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นนำผงอินนูลินที่สกัดได้ ไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่า ผงสกัดที่ได้จากอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงใกล้เคียงกัน คือ 70.82% และ 72.47% ตามลำดับ และผงสกัดที่ได้จากอุณหภูมิห้องมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำที่สุดทางสถิติ ($p < 0.05$) คือ 63.22% ปริมาณการสกัดอินนูลินจากผงกากกระเทียม พบว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส มีปริมาณอินนูลิสูงใกล้เคียงกัน คือ 70.99% และ 69.27% ตามลำดับ ส่วนการสกัดที่อุณหภูมิห้องได้ปริมาณอินนูลินน้อยกว่า คือ 61.75% คุณสมบัติการละลายน้ำจากผงอินนูลินที่สกัดด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ให้ผลการวิเคราะห์สูงสุดทางสถิติ ($p < 0.05$) และคุณสมบัติการดูดซับน้ำจากผงอินนูลินที่สกัดด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ให้ผลการวิเคราะห์สูงสุดทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนปริมาณใยอาหารรวมที่ได้จากการสกัด ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตาราง 7

ในการศึกษาครั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะปริมาณอินนูลินในผงที่สกัดได้ โดยใช้อุณหภูมิต่างกัน พบว่า อุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อปริมาณอินนูลินที่สกัดได้ โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณอินนูลินเพิ่มขึ้นด้วย การศึกษาครั้งนี้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส ให้ผลผลิตสูงใกล้เคียงกัน เมื่อเทียบกับการใช้ความร้อนสูงในการสกัด อาจทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน ดังนั้น การสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จึงเป็นสภาวะเหมาะสมต่อการศึกษาปริมาณอินนูลินในกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวต่อไป

ตาราง 7 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณและคุณสมบัติของผงอินนูลินที่สกัดได้โดยใช้อุณหภูมิต่าง ๆ ในอัตราส่วนตัวทำละลายระหว่างผงกากกระเทียมต่อน้ำที่ 1:4

คุณสมบัติของผงอินนูลินที่สกัดได้	อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด (องศาเซลเซียส)		
	30–35	60	80
ใยอาหารรวม (%)	0.86±.18^{a}	0.82±.19^{a}	0.74±.20^{a}
อินนูลิน (%)	61.75±5.75^{b}	69.27±6.07^{a}	70.99±6.12^{a}
น้ำตาลทั้งหมด (%)	63.22±5.72^{b}	70.82±6.05^{a}	72.47±6.15^{a}
น้ำตาลรีดิวซ์ (%)	1.48±.04^{b}	1.50±.04^{a}	1.49±.11^{ab}
ความชื้น (%)	8.68±.30^{ab}	8.15±.75^{b}	9.10±1.24^{a}
การละลายน้ำ (%)	68.82±4.88^{b}	68.56±7.03^{b}	77.51±4.13^{a}
การดูดซับน้ำ (g/g)	0.86±.06^{b}	0.91±.01^{b}	1.10±.08^{a}

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b ในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศึกษาปริมาณอินนูลินในกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยว

เก็บเกี่ยวกระเทียมสดอายุการปลูก 90 วัน แบ่งเป็นกลุ่ม ๆ ละ 5 กิโลกรัม แขวนไว้ในที่อากาศถ่ายเทสะดวก จากนั้นเก็บตัวอย่าง 7 ช่วงเวลา คือ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน โดยนำมาแกะเปลือก อบแห้งและบดเป็นผง เพื่อนำไปสกัดหาปริมาณอินนูลินต่อไป ผลจากการเก็บรักษากระเทียมในช่วงเวลาต่าง ๆ พบว่า เมื่อแขวนกระเทียมสดทิ้งไว้ช่วงระหว่างวันที่ 0 ถึง 15 น้ำหนักของกระเทียมสดลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากปริมาณความชื้นลดลงจากปริมาณความชื้นของกระเทียมสด วันที่ 0 ถึงร้อยละ 68.8 ดังแสดงในภาพ 17 หลังจากนั้นในช่วงวันที่ 16 ถึง 90 น้ำหนักของกระเทียมลดลงเพียงเล็กน้อย และเริ่มคงที่ โดยหลังการเก็บเกี่ยวกระเทียมในวันที่ 90 ปริมาณความชื้นลดลงหลังจากการเก็บเกี่ยววันที่ 15 เพียงร้อยละ 5.6 ดังแสดงในตาราง 8 ทั้งนี้ เนื่องจากช่วงระยะแรกหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณความชื้นของลำต้นและเปลือกของหัวกระเทียมยังคงสด ขณะที่ปริมาณความชื้นในส่วนของเนื้อกระเทียมสดหลังจากอบแห้ง พบปริมาณความชื้นในวันที่ 0 เท่ากับ ร้อยละ 72.64 และพบว่า ปริมาณความชื้นจากวันที่ 0 ถึง 90 วันหลังการเก็บเกี่ยวมีปริมาณความชื้นลดลง ร้อยละ 5.14 ดังแสดงในตาราง 9

(ก) (ข)

ภาพ 17 แสดงกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 0 (ก)
กระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 15 (ข)

ตาราง 8 แสดงปริมาณความชื้นต้นกระเทียมสดต่ออายุกระเทียมหลังการเก็บเกี่ยว ที่ 0 ถึง 90 วัน

อายุกระเทียมหลังเก็บเกี่ยว (วัน)	ปริมาณความชื้น (%)
0	100
15	31.2
30	29.8
45	26.8
60	26.6
75	26.2
90	25.6

ตาราง 9 แสดงปริมาณความชื้นเนื้อกระเทียมสดต่ออายุกระเทียมหลังการเก็บเกี่ยว ที่ 0 ถึง 90 วัน

อายุกระเทียมหลังเก็บเกี่ยว (วัน)	ปริมาณความชื้น (%)
0	72.64
15	70.27
30	69.74
45	66.19
60	67.14
75	67.24
90	67.50

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดอินนูลินจากกากกระเทียม พบว่า การสกัดในอัตราส่วน 1:4 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดอินนูลินจากกากกระเทียม ในการทดลองนี้จึงเลือกสภาวะดังกล่าวมาวิเคราะห์ปริมาณอินนูลินจากกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยว 7 ช่วงเวลา พบว่า ช่วงวันที่เก็บรักษากระเทียมหลังการเก็บเกี่ยว 0 และ 15 วัน มีปริมาณอินนูลินสูงใกล้เคียงกัน คือ 78.50% และ 73.71% ตามลำดับ หลังจากวันที่ 15 ปริมาณอินนูลินลดลงเรื่อย ๆ ช่วงวันที่ 30 และ 45 วัน มีปริมาณอินนูลิน เท่ากับ 59.32% และ 37.93% ตามลำดับ ขณะที่ช่วงวันที่ 60, 75 และ 90 วัน มีปริมาณอินนูลินต่ำใกล้เคียงกัน คือ 31.78%, 28.28% และ 29.10% ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 10

ตาราง 10 แสดงการวิเคราะห์ปริมาณอินนูลิน น้ำตาลทั้งหมด และน้ำตาลรีดิวซ์ จากอายุการเก็บรักษากระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวที่ 0 ถึง 90 วัน

การวิเคราะห์ (เปอร์เซ็นต์)	อายุการเก็บรักษากระเทียมหลังการเก็บเกี่ยว (วัน)						
	0	15	30	45	60	75	90
อินนูลิน	78.50 ±2.26^{a}	73.71 ±5.98^{a}	59.32 ±3.21^{b}	37.93 ±3.21^{c}	31.78 ±3.08^{d}	28.28 ±1.44^{d}	29.10 ±1.90^{d}
น้ำตาลทั้งหมด	81.07 ±2.27^{a}	75.37 ±6.01^{a}	62.23 ±3.24^{b}	40.67 ±3.24^{c}	34.97 ±3.10^{cd}	31.00 ±1.49^{d}	32.24 ±1.87^{d}
น้ำตาลรีดิวซ์	2.57 ±.03^{d}	1.66 ±.04^{e}	2.91 ±.03^{b}	2.74 ±.04^{c}	3.19 ±.02^{a}	2.73 ±.08^{c}	3.14 ±.09^{a}

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a,b} ในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)
ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศึกษาคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติก

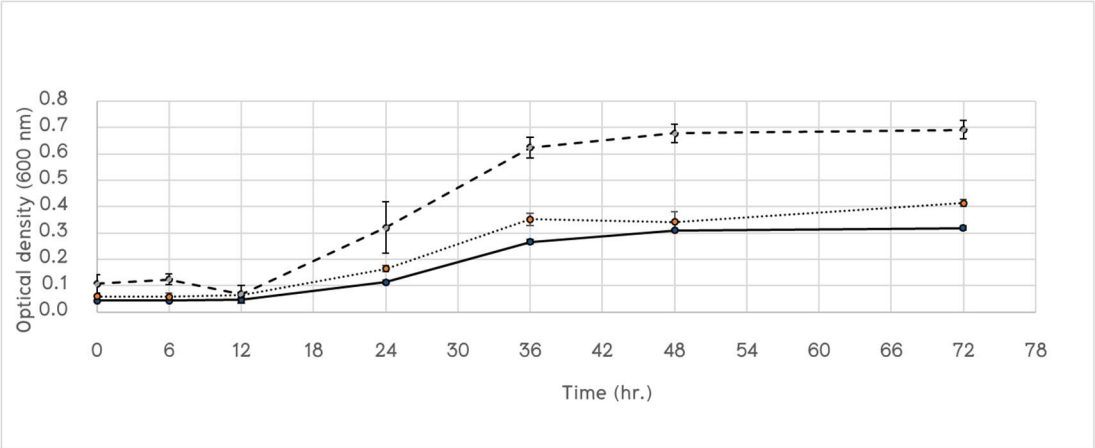
ทดสอบคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกของเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 โดยเลี้ยงในอาหาร 3 ชนิด คือ อาหารเหลวควบคุม MRS, อาหารควบคุมเติมอินนูลิน (Himedia) 1% (w/v) และอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% (w/v) ที่อุณหภูมิการบ่ม 37 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 0, 6, 12, 24, 36, 48 และ 72 ชั่วโมง พบว่า การเจริญในอาหารทั้ง 3 ชนิด ช่วงแรก คือ 0 ถึง 12 ชั่วโมง อัตราการเจริญเติบโตของเชื้อ *L. acidophilus* มีค่าต่ำ และเมื่อเข้าสู่ชั่วโมงที่ 12 ถึง 36 เชื้อมีการเจริญเพิ่มมากขึ้น และในชั่วโมงที่ 36 ถึง 72 เชื้อมีการเจริญคงที่ แสดงให้เห็นว่า ในช่วงแรกเป็นระยะที่เชื้อมีการเพิ่มจำนวนอย่างช้า ๆ อาจเพราะเชื้ออยู่ในระยะพักตัว (Lag Phase) จากนั้นจึงเข้าสู่ระยะเพิ่มจำนวน (Log phase) และระยะคงที่ (Stationary Phase) ในอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% (w/v) มีอัตราการเจริญเติบโตช่วงเพิ่มจำนวน เท่ากับ 0.129 h^{-1} ซึ่งสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณจุลินทรีย์ที่เลี้ยงในอาหารเหลวควบคุม MRS และ อาหารควบคุมเติมอินนูลิน (Himedia) 1% (w/v) เท่ากับ 0.073 และ 0.077 h^{-1} ตามลำดับ ดังตาราง 11 และภาพ 18 สำหรับการเจริญของเชื้อ *L. plantarum* TISTR 1465 เลี้ยงในอาหาร 3 ชนิด เช่นเดียวกับเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 0, 3, 6, 9, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของเชื้อ *L. plantarum* ในอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% (w/v) มีอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อ เท่ากับ 0.339 h^{-1} ซึ่งสูงกว่าการเลี้ยงในอาหารเหลวควบคุม MRS และอาหารควบคุม

เติมอินนูลิน 1% (w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังตาราง 11 และภาพ 19 ขณะที่ความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรคของเชื้อ *Escherichia coli* DMST 4212 เลี้ยงในอาหาร 3 ชนิด คือ อาหารเหลวควบคุม LB (Luria–Bertani), อาหารควบคุมเติมอินนูลิน (Himedia) 1% (w/v) และอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% (w/v) ที่อุณหภูมิการบ่ม 37 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 และ 24 ชั่วโมง พบว่า เชื้อที่เลี้ยงในอาหารเหลวควบคุม LB อาหารควบคุมเติมอินนูลิน 1% (w/v) และอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% มีอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อ เท่ากับ 0.25, 0.26 และ 0.14 h^{-1} ตามลำดับ ซึ่งอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% สามารถลดการเจริญของ *E. coli* ได้ แต่เป็นการเจริญที่ลดลงเพียงเล็กน้อยและไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังตาราง 11 และภาพ 20 และพบว่าเชื้อ *L. acidophilus* ในชั่วโมงที่ 72 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% (w/v) ลดลงจากชั่วโมงที่ 0 ร้อยละ 40.25 ดังภาพ 21 เชื้อ *L. plantarum* ในอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% (w/v) พบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงกว่าการเลี้ยงในอาหารเหลวควบคุม MRS และอาหารควบคุมเติมอินนูลิน 1% (w/v) ดังภาพ 22 นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเชื้อ *E. coli* ในอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% ลดลงกว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในอาหารควบคุมเติมอินนูลิน 1% (w/v) แต่สูงกว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในอาหารเหลวควบคุม LB ดังภาพ 23

ตาราง 11 แสดงอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารชนิดต่าง ๆ

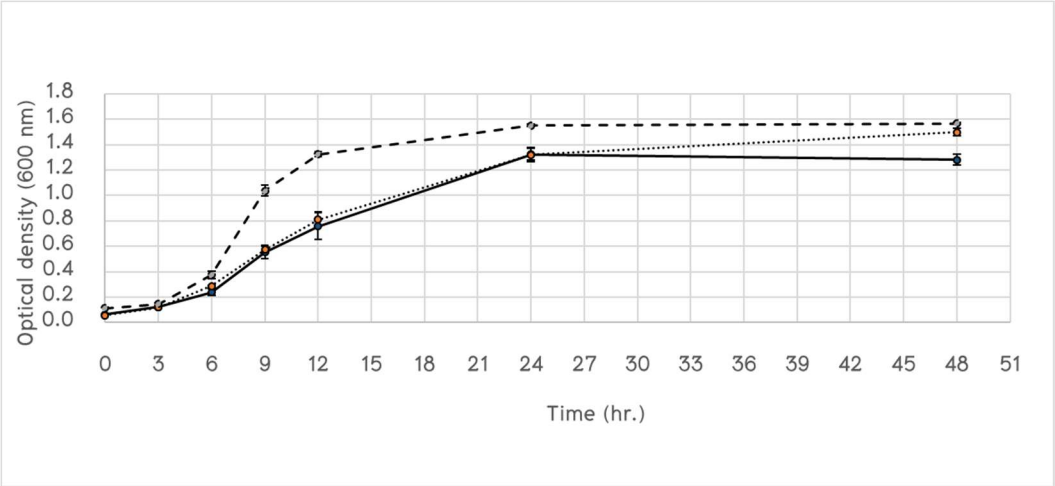
Microrganism	Specific growth rate(h^{-1})		
	Medium	Medium + 1%Inulin	Medium + 1%garlic Inulin
L. acidophillus	0.073492	0.077461	0.129241
L. plantarum	0.232213	0.281566	0.33900
E. coli	0.247672	0.257330	0.136214

หมายเหตุ: Medium คือ อาหาร MRS สำหรับการเลี้ยงเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 และ *L. plantarum* TISTR 1465 และ อาหาร LB สำหรับ *E. coli* DMST 4212



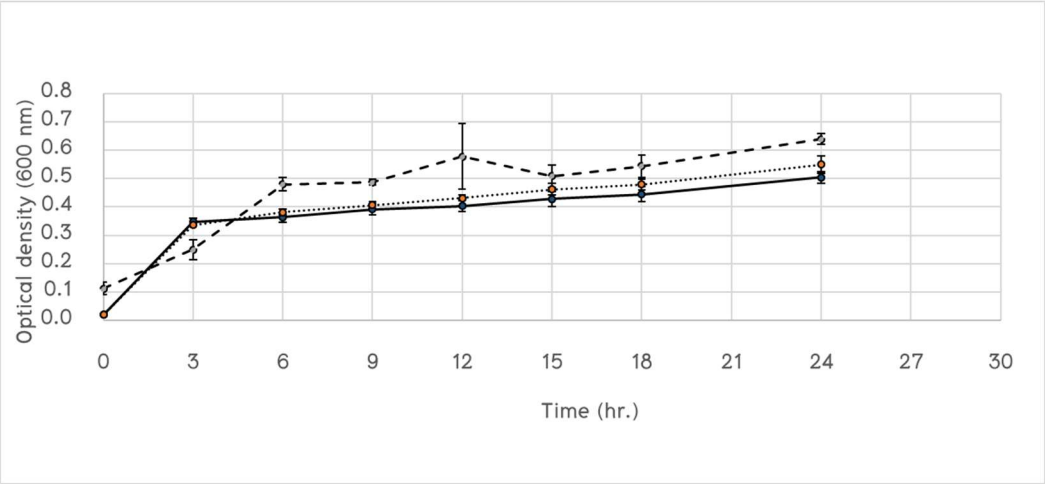
ภาพ 18 แสดงรูปแบบการเจริญเติบโตในอาหารเลี้ยงเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365

หมายเหตุ: —●— อาหารเหลวควบคุม MRS, ···●··· อาหารควบคุมเติมอินนูลิน (Himedia) 1% และ - -●- - อาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1%



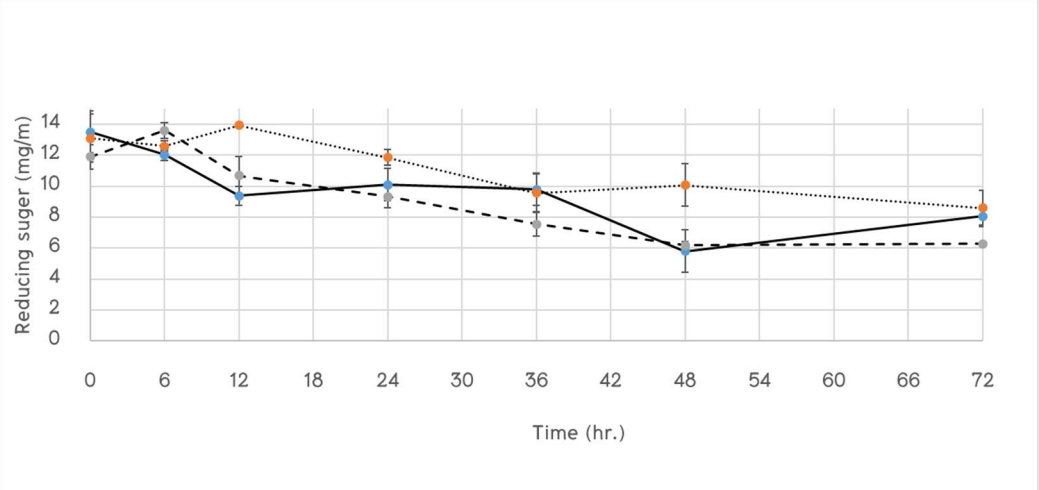
ภาพ 19 แสดงรูปแบบการเจริญเติบโตในอาหารเลี้ยงเชื้อ *L. plantarum* TISTR 1465

หมายเหตุ: —●— อาหารเหลวควบคุม MRS, ···●··· อาหารควบคุมเติมอินนูลิน (Himedia) 1% และ - -●- - อาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1%



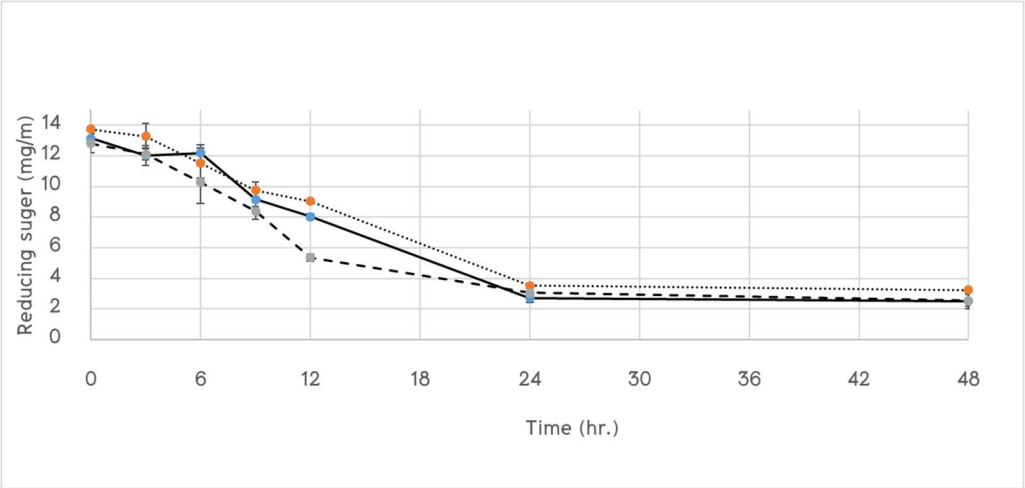
ภาพ 20 แสดงรูปแบบการเจริญเติบโตในอาหารเลี้ยงเชื้อ *E. coli* DMST 4212

หมายเหตุ: —●— อาหารเหลวควบคุม LB, ···●··· อาหารควบคุมเติมอินนูลิน (Himedia) 1% และ - -●- - อาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1%



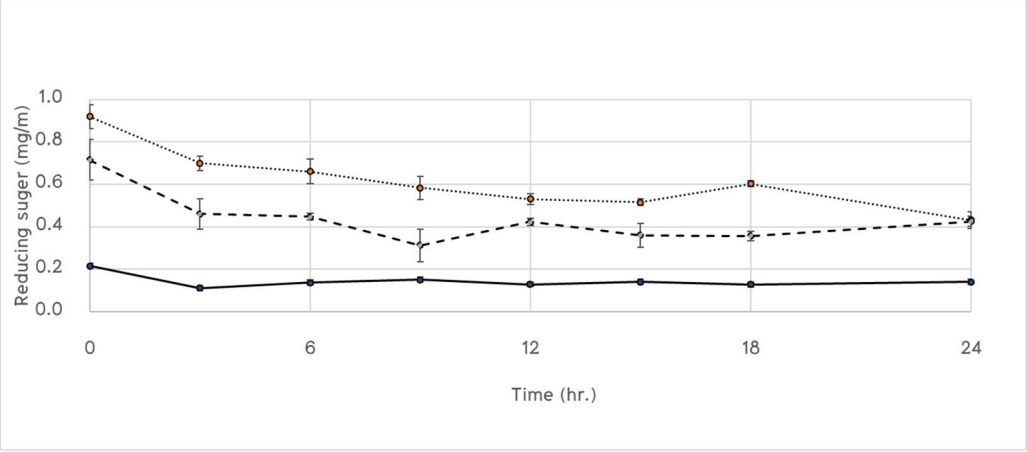
ภาพ 21 แสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365

หมายเหตุ: —●— อาหารเหลวควบคุม MRS, ···●··· อาหารควบคุมเติมอินนูลิน (Himedia) 1% และ - -●- - อาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1%



ภาพ 22 แสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ *L. plantarum* TISTR 1465

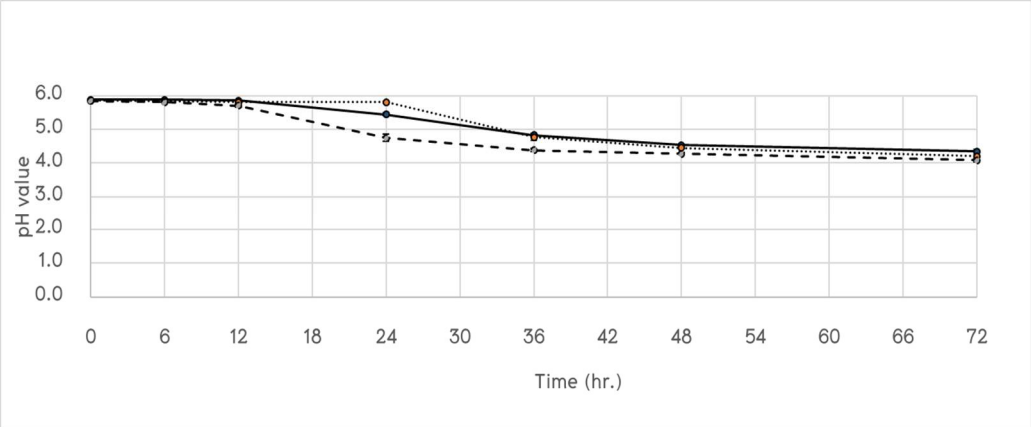
หมายเหตุ: —●— อาหารเหลวควบคุม MRS, ···○··· อาหารควบคุมเติมอินนูลิน (Himedia) 1% และ - ◦ - อาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1%



ภาพ 23 แสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ *E. coli* DMST 4212

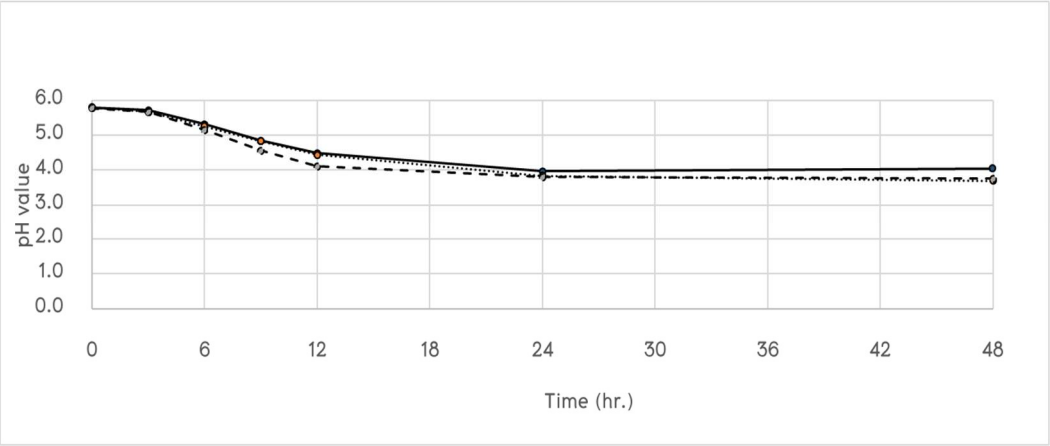
หมายเหตุ: —●— อาหารเหลวควบคุม LB, ···○··· อาหารควบคุมเติมอินนูลิน (Himedia) 1% และ - ◦ - อาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1%

นอกจากนี้ยังพบว่าค่า pH ของเชื้อ *L. acidophilus* ในอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% (w/v) ลดลงกว่าค่า pH ในอาหารเหลวควบคุม MRS และ อาหารควบคุมเติมอินนูลิน 1% (w/v) โดยชั่วโมงที่ 0 ถึง 72 ค่า pH อยู่ในช่วง 5.80–3.97 ดังภาพ 24 ขณะที่ปริมาณการผลิตกรดแลคติกของเชื้อ *L. acidophilus* ในอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% (w/v) เพิ่มสูงขึ้นกว่าปริมาณการผลิตกรดแลคติกในอาหารเหลวควบคุม MRS และอาหารควบคุมเติมอินนูลิน 1% (w/v) จากชั่วโมงที่ 0 มีปริมาณการผลิตกรดแลคติก ร้อยละ 0.052 จนถึงชั่วโมงที่ 72 ปริมาณการผลิตกรดแลคติก เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.069 โดยค่าความเป็นกรดจะลดลงตามระยะเวลาของการบ่มที่นานขึ้น ดังภาพ 27 สำหรับค่า pH ของเชื้อ *L. plantarum* ในอาหารเหลวควบคุม MRS, อาหารควบคุมเติมอินนูลิน 1% (w/v) และอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% (w/v) ในชั่วโมงที่ 0 ถึง 48 มีค่า pH ลดลง ดังภาพ 25 ขณะที่ปริมาณการผลิตกรดแลคติกของเชื้อในชั่วโมงที่ 0 ถึง 48 มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ดังภาพ 28 และยังพบว่า ค่า pH ในอาหารเลี้ยงเชื้อ *E.coli* ทั้ง 3 ชนิด มีค่า pH เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยค่า pH ในชั่วโมงที่ 0 ของอาหารเหลวควบคุม LB, อาหารควบคุมเติมอินนูลิน 1% (w/v) และอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% (w/v) คือ pH 6.83, 6.87 และ 6.527 ตามลำดับ ค่า pH ในชั่วโมงที่ 24 ของอาหารเหลวควบคุม LB, อาหารควบคุมเติมอินนูลิน 1% (w/v) และอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% (w/v) คือ pH 7.58, 7.50 และ 7.42 ตามลำดับ ดังภาพ 26



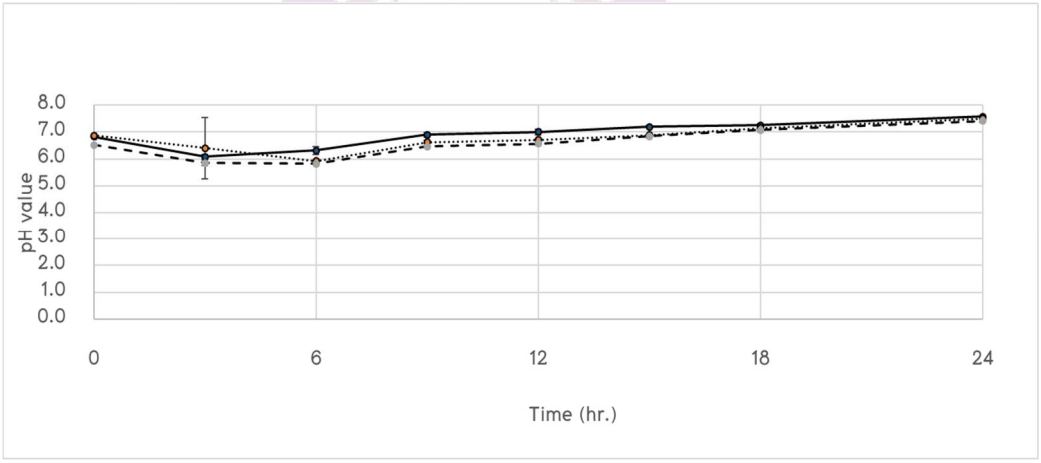
ภาพ 24 แสดงค่า pH ในอาหารเลี้ยงเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365

หมายเหตุ: —●— อาหารเหลวควบคุม MRS, ···●··· อาหารควบคุมเติมอินนูลิน (Himedia) 1% และ - ● - อาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1%



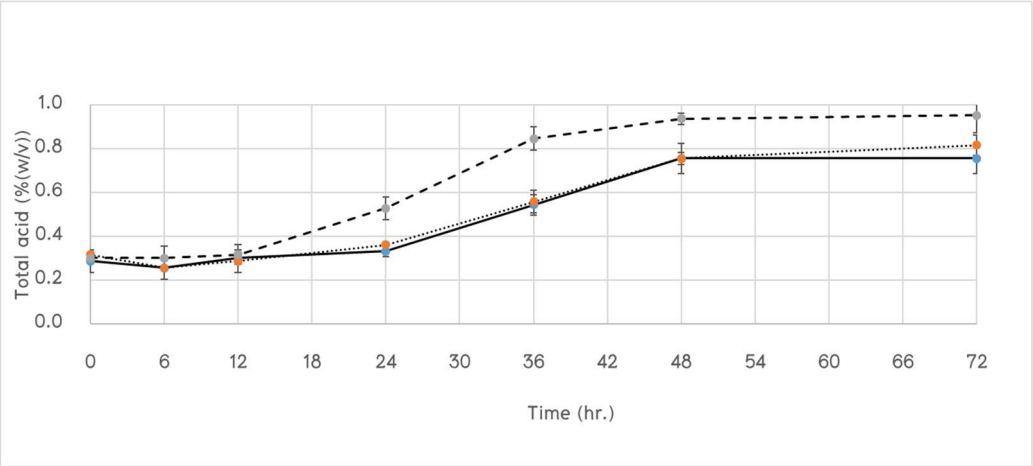
ภาพ 25 แสดงค่า pH ในอาหารเลี้ยงเชื้อ *L. plantarum* TISTR 1465

หมายเหตุ: —●— อาหารเหลวควบคุม MRS, ···●··· อาหารควบคุมเติมอินนูลิน (Himedia) 1% และ - ◆ - อาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1%



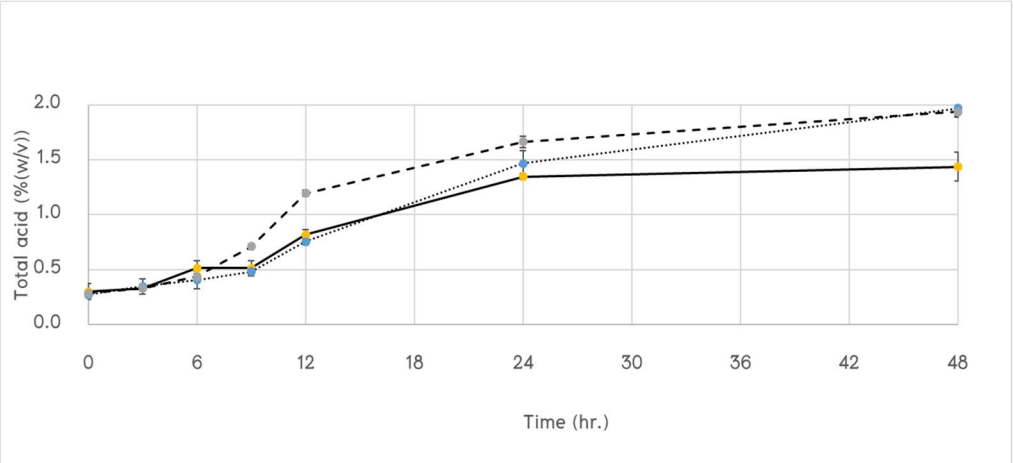
ภาพ 26 แสดงค่า pH ในอาหารเลี้ยงเชื้อ *E. coli* DMST 4212

หมายเหตุ: —●— อาหารเหลวควบคุม LB, ···●··· อาหารควบคุมเติมอินนูลิน (Himedia) 1% และ - ◆ - อาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1%



ภาพ 27 แสดงปริมาณการผลิตกรดแลคติกของเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365

หมายเหตุ: —●— อาหารเหลวควบคุม MRS, ···●··· อาหารควบคุมเติมอินนูลิน (Himedia) 1% และ - ●- อาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1%



ภาพ 28 แสดงปริมาณการผลิตกรดแลคติกของเชื้อ *L. plantarum* TISTR 1465

หมายเหตุ: —●— อาหารเหลวควบคุม MRS, ···●··· อาหารควบคุมเติมอินนูลิน (Himedia) 1% และ - ●- อาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1%

บทที่ 5

บทสรุป

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดอินนูลินจากกระเทียม เพื่อเป็นทางเลือกให้เกษตรกรใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับกระเทียม โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดอินนูลินจากกากกระเทียมที่ผ่านการสกัดน้ำมัน และศึกษาปริมาณอินนูลินในกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลาต่าง ๆ ร่วมกับศึกษาคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกของอินนูลินที่สกัดได้จากกระเทียม ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

สรุปผลการวิจัย

1. การสกัดกากกระเทียมผงโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ในอัตราส่วน 1:8 ที่อุณหภูมิห้อง 60 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 นาที สกัดซ้ำรวม 3 ครั้ง ให้ปริมาณผลผลิตผงอินนูลินสกัดที่ได้ (%yield) สูงที่สุด คือ 79.04%, 76.17% และ 75.73% ตามลำดับ

2. จากการตรวจสอบคุณสมบัติของผงอินนูลินสกัดจากกากกระเทียม โดยเทียบจากการวิเคราะห์ปริมาณอินนูลินที่มีอยู่ในผงหลังจากการสกัด พบว่า การสกัดด้วยอัตราส่วนระหว่างผงกากกระเทียมและน้ำที่ 1:4 และใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที ในการสกัดครั้งนี้ เป็นสภาวะเหมาะสมต่อสกัดอินนูลินมากที่สุด

3. ในการสกัดอินนูลินจากกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยววันที่ 0 และ 15 วัน ให้ปริมาณการสกัดอินนูลินสูงที่สุด คือ 78.50% และ 73.71% ตามลำดับ

4. อินนูลินที่ได้จากการสกัดกากกระเทียม สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อ *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 และ *Lactobacillus plantarum* TISTR 1465 แต่ไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Escherichia coli* DMST 4212

อภิปรายผลการวิจัย

1. เมื่อทำการสกัดอินนูลินจากกากกระเทียมที่ผ่านการสกัดน้ำมัน โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ในอัตราส่วนผงกากกระเทียมต่อน้ำ 3 ระดับ และควบคุมอุณหภูมิ 3 ระดับ พบว่าผงอินนูลินที่สกัดได้มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองน้ำตาล ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ สิขรินทร์ ก้อนในเมือง (2545) ศึกษาการผลิตเส้นใยอาหารจากหัวกระเทียม (*Allium Sativum* Linn) พบว่าผงเส้นใยอาหารจากกระเทียมที่สกัดได้มีลักษณะผงเป็นสีเหลืองน้ำตาล นอกจากนี้ยังพบว่า

ในการสกัดอินนูลินที่อัตราส่วน 1:8 อุณหภูมิห้อง 60 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณผงอินนูลินที่สกัดได้ (%yield) สูงในช่วง 75 ถึง 79% ซึ่งสูงกว่าอัตราส่วน 1:4 และ 1:6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากผลการทดลองจะเห็นว่า การสกัดโดยใช้ตัวทำละลายสูง ทำให้สกัดได้ผงอินนูลินในปริมาณมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากอินนูลิน เป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ทำให้มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ โดยสามารถรวมตัวกับน้ำได้ดี จึงมีโอกาสถูกชะไปพร้อมกับน้ำที่ใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัดได้ง่าย (Hengsawad, 2002) นอกจากนี้ การใช้ตัวทำละลายน้อยในการสกัดอาจทำให้ตัวทำละลายถูกผงกากกระเทียมดูดซับจนเหลือตัวทำละลายอยู่น้อย (Kim, Kim and Hwang, 2003) ส่งผลให้ตัวทำละลายชะอินนูลินออกได้ในปริมาณน้อย

2. ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสกัดอินนูลิน พบว่า ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณอินนูลินที่ใช้อัตราส่วนระหว่างผงกากกระเทียมและน้ำในการสกัดทั้ง 3 ระดับ ให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ขนิษฐา หวังดี (2554) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการสกัดอินนูลินจากหัวแก่นตะวัน โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ในอัตราส่วนระหว่างตัวอย่างและตัวทำละลาย 3 ระดับ คือ 1:7, 1:10 และ 1:13 พบว่า อัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดแก่นตะวัน ไม่มีผลทำให้ปริมาณอินนูลินเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างจากรายงานของ สุพจน์ นวลละออ (2552) ศึกษาการสกัดสารพรีไบโอติกจากเปลือกลูกตาล โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกลูกตาล คือ 1:2, 1:4, 1:6 และ 1:8 พบว่าเมื่ออัตราส่วนระหว่างเปลือกลูกตาลกับตัวทำละลายเพิ่มขึ้น พบปริมาณน้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลที่ไม่ถูกรีดิวซ์เพิ่มมากขึ้น ดังนั้น การสกัดอินนูลินด้วยอัตราส่วนระหว่างผงกากกระเทียมและน้ำที่ 1:4 จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเลือกไปศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดต่อไป

3. ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดอินนูลิน พบว่า ผงสกัดที่ได้จากอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงใกล้เคียงกัน คือ 70.82% และ 72.47% ตามลำดับ และผงสกัดที่ได้จากอุณหภูมิห้องมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำที่สุดทางสถิติ ($p < 0.05$) คือ 63.22% ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถละลายน้ำตาลได้ดีกว่าอุณหภูมิต่ำ (Treybal, 1980) ทำให้พบปริมาณของน้ำตาลที่สกัดได้สูง ขณะที่การใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงจนเกินไปอาจส่งผลให้เกิด ไฮโดรไลซิสของโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งจะไปลดปริมาณผลผลิตที่สกัดได้ (Cai, Gu and Tang, 2008) และปริมาณการสกัดอินนูลินจากผงกากกระเทียม พบว่า การสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส มีปริมาณอินนูลินสูงใกล้เคียงกัน คือ 70.99% และ 69.27% ตามลำดับ ส่วนการสกัดที่อุณหภูมิห้องได้ปริมาณอินนูลินน้อยกว่า คือ 61.75% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อรุณี ฝาระมี (2557) ที่ได้สกัดอินนูลินจากกระเทียมโทน โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส พบว่า กระเทียมโทนมีปริมาณอินนูลิน เท่ากับ 75.18% และรายงานของ Samanta, et al. (2014) ได้สกัดปริมาณอินนูลินจากพืชในประเทศอินเดีย โดยใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในการสกัด พบว่า อินนูลินที่สกัดได้จากกระเทียมมีปริมาณสูงถึง 99.46% และรายงานของ ขนิษฐา หวังดี (2554) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการสกัดอินนูลินจากหัวแก่นตะวัน โดยการใช้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส, 55 องศาเซลเซียส และ 65 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในการสกัดแก่นตะวัน ทำให้ปริมาณอินนูลินเพิ่มขึ้น และรายงานของ ปาลิดา ตั้งอนุรัตน์ (2560) ศึกษาการสกัดพรีไบโอติกจากเหง้าและเมล็ดของบัวหลวง โดยใช้อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส, 50 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารพรีไบโอติกจากเมล็ดบัว นอกจากนี้ยังพบว่า การละลายน้ำของผงอินนูลินที่สกัดได้ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส สามารถละลายน้ำได้สูงสุดทางสถิติ ($p < 0.05$) คือ 77.51 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับการดูดซับน้ำของผงอินนูลินที่สกัดได้ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส สามารถดูดซับน้ำได้สูงสุดทางสถิติ ($p < 0.05$) คือ 1.10 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ สมบัติในการดูดซับน้ำจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการละลายน้ำ เช่น เส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำจะมีสมบัติในการดูดซับน้ำต่ำ จึงไม่สามารถละลายน้ำได้ ส่วนเส้นใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูง จึงละลายน้ำได้ง่าย (ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์, 2545 อ้างอิงใน หยาดฝน ทะนงการกิจ, 2556) ดังนั้น การสกัดอินนูลินที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดอินนูลินจากผงกากกระเทียมในครั้งนี้

4. ผลการศึกษาปริมาณอินนูลินในกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยว 7 ช่วงเวลา พบว่า เมื่อแขวนกระเทียมสดทิ้งไว้ ช่วงระหว่างวันที่ 0 ถึง 15 ค่าความชื้นของกระเทียมสดลดลงอย่างรวดเร็ว ถึงร้อยละ 68.8 ของน้ำหนักสด ซึ่งรายงานของ Kunchit, et al. (2011) กล่าวว่ากระเทียมมีปริมาณความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 65.4 ของน้ำหนักสด และช่วงหลังจากวันที่ 15 ถึง 90 ค่าความชื้นของกระเทียมลดลงเล็กน้อย เพียงร้อยละ 5.6 ของน้ำหนักสด และจากการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดอินนูลินจากกากกระเทียม คือ อัตราส่วน 1:4 ที่อุณหภูมิ 60 องศา–เซลเซียส ระยะเวลา 10 นาที มาทำการสกัดอินนูลินในกระเทียมสดหลังงการเก็บเกี่ยว พบว่าหลังเก็บเกี่ยวกระเทียมสดทิ้งไว้ ที่ระยะเวลา 0 และ 15 วัน มีปริมาณอินนูลินสูงใกล้เคียงกัน คือ 78.50% และ 73.71% ตามลำดับ ดังนั้น กรณีต้องการสกัดอินนูลินในรูปของกระเทียมสด อาจเลือกสกัดกระเทียมหลังจากเก็บเกี่ยวมาในช่วงวันที่ 0 และ 15 วัน เนื่องจากพบว่ามีปริมาณอินนูลินสูงในช่วงระยะเวลาดังกล่าว

5. ผลศึกษาการเป็นพรีไบโอติกของเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 โดยเลี้ยงในอาหาร 3 ชนิด ในระยะเวลา 72 ชั่วโมง พบว่า เชื้อ *L. acidophilus* ที่เลี้ยงในอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% (w/v) มีอัตราการเจริญในช่วงเพิ่มจำนวนเท่ากับ 0.129 h^{-1} ซึ่งสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณจุลินทรีย์ที่เลี้ยงในอาหารควบคุมเติมอินนูลิน (Himedia) 1% (w/v) และอาหารเหลวควบคุม MRS และเชื้อ *L. plantarum* TISTR1465 เลี้ยงในอาหาร 3 ชนิด ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง พบว่า เชื้อ *L. plantarum* ที่เลี้ยงในอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% (w/v) มีอัตราการเจริญในช่วงเพิ่มจำนวนเท่ากับ 0.339 h^{-1} ซึ่งสูงกว่า *L. plantarum* ที่เลี้ยงในอาหารควบคุมเติมอินนูลิน (Himedia) 1% (w/v) และอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% (w/v) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงกากกระเทียมที่สกัดได้มีปริมาณน้ำตาลสูงที่จุลินทรีย์สามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับกระบวนการเมตาบอลิซึม เพื่อผลิตพลังงานสำหรับการเจริญ (Dangsungnoen, Moongngarm and Deeseenthum, 2012) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ชยาภรณ์ วงศ์ศิริเดชชัย (2560) ศึกษาสมบัติการเป็นพรีไบโอติกของโอลิโกแซกคาไรด์ที่ผลิตจากกากกาแฟด้วยแมนนาเนสจาก *Bacillus* sp. GA2 พบว่า ผลิตภัณฑ์โอลิโกแซกคาไรด์ที่ได้จากการย่อยกากกาแฟช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียผลิตกรดแลคติก (lactic acid bacteria; LAB) ได้แก่ *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* และ *Lactobacillus plantarum* ได้เทียบเท่ากับพรีไบโอติกทางการค้า (ฟรุกโตโอลิโกแซกคาไรด์) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแบคทีเรียที่เลี้ยงในอาหารชุดควบคุม ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า เชื้อ *L. acidophilus* และ *L. plantarum* ที่เลี้ยงในอาหารทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณการใช้น้ำตาลลดลง ค่า pH จากสูงเปลี่ยนเป็นค่าที่ต่ำลง และมีปริมาณกรดแลกติกที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการบ่มที่นานขึ้น ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเชื้อใช้น้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อกระบวนการเจริญเติบโต และให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดแลคติกออกมา จึงส่งผลให้อาหารที่ใช้ในการเลี้ยงมีปริมาณน้ำตาลลดลง ค่า pH ลดลง แต่ปริมาณกรดแลกติกเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ผุสดี ตังวัชรินทร์, สุชาติ สุขสถิตย์ และกานต์ สุขสุแพทย์ (2559) ศึกษาผลของใยอาหารและรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยดิบต่อการเจริญและการผลิตกรดไขมันสายสั้นของเชื้อ *Lactobacillus plantarum* พบว่า ใยอาหารและรีซิสแทนต์สตาร์ชที่สกัดได้ส่งเสริมการเจริญของเชื้อ *L. plantarum* นอกจากนี้ยังทำให้เชื้อสามารถผลิตกรดแลกติกเพิ่มมากขึ้น ($p < 0.05$) ในการศึกษาคุณสมบัติในการเป็นพรีไบโอติกของผงกากกระเทียมที่สกัดได้ในครั้งนี้สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อ *Lactobacillus acidophilus* และ *Lactobacillus plantarum* ได้

6. ผลการศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในลำไส้ โดยเลี้ยงเชื้อ *Escherichia coli* DMST 4212 เลี้ยงในอาหาร 3 ชนิด ที่อุณหภูมิการบ่ม 37 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง

พบว่า เชื้อ *E. coli* อาหารเหลวควบคุม LB (Luria–Bertani), อาหารควบคุมเติมอินนูลิน 1% (w/v) และอาหารเติมผงสกัดจากกากกระเทียม 1% (w/v) มีอัตราการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ไพโรจน์ วงศ์พุทธิสิน และนารินทร์ หล้าสม (2561) ศึกษาคุณสมบัติพรีไบโอติกเบื้องต้นของน้ำตาลสกัดจากเมล็ดถั่วเขียวด้วยสารละลายเอทานอล พบว่า น้ำตาลสกัดจากถั่วเขียวไม่สามารถกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรีย *Salmonella enterica serovar Typhimurium* TISTR292 และ *Escherichia coli* ได้ ซึ่งแตกต่างจากรายงานของอรุณี ฝาระมี (2557) ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดอินนูลินจากกระเทียมโทน (*Allium ampeloprasum* var. *ampeloprasum*) ในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคอาหารเป็นพิษจาก *Escherichia coli* พบว่า สารสกัดที่ได้จากอินนูลินที่ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อได้เพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้น 100 mg/ml ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* ได้ถึง 97.33% และพบว่า pH 7 เป็นสภาวะที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ คิดเป็น 83.33% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของผงสกัด 1% (w/v) ที่เติมลงในอาหารเลี้ยงเชื้อไม่สูงพอ ทำให้ไม่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ ในการศึกษาครั้งนี้ผงกากกระเทียมที่สกัดได้ไม่กระตุ้นการเจริญของเชื้อ และไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* ได้

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมสำหรับการสกัดอินนูลินจากกากกระเทียมครั้งนี้ นอกจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการสกัด ชนิดของตัวทำละลายเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่อาจมีผลต่อการสกัดเส้นใยอาหาร (เอกภพ สินงาม, 2555) จากรายงานของ Wichienchote, Jatupornpipat and Rastall (2010) ศึกษาการสกัดปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ของแก้วมังกร พบว่า การใช้เอทานอลความเข้มข้น 80% และ 20% ในการสกัดให้ปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ของแก้วมังกรสูง กว่าการใช้น้ำ อย่างไรก็ตามชนิดของตัวทำละลายมีผลต่อองค์ประกอบของเส้นใยอาหารที่ถูกสกัดออก ดังนั้น การเปลี่ยนตัวทำละลายจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถนำมาศึกษาต่อไปในการสกัดหาปริมาณอินนูลินจากกากกระเทียม และการเติมผงอินนูลินที่สกัดจากกากกระเทียมในความเข้มข้นที่สูงขึ้นอาจเพิ่มประสิทธิภาพในการยั้บยั้งเชื้อ *E. coli* ได้ นอกจากนี้การเพาะเลี้ยงเชื้อก่อโรคร่วมกับเชื้อพรีไบโอติกในอาหารที่ใช้ในการทดสอบสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคได้ (Gullon, et al., 2014) จากรายงานของ Murry, et al. (2004) ที่พบว่า *L. plantarum* และ *L. salivarius* สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *S. typhimurium* และ *E. coli* ได้ ดังนั้น การเติมผงสกัดจากกากกระเทียมในความเข้มข้นที่หลากหลาย

และการเลี้ยงเชื้อก่อโรคร่วมกับเชื้อพรีไบโอติก เพื่อยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรค จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ควรนำมาศึกษาต่อไป

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. (2542). **การจำแนกลักษณะความแตกต่างของกระเทียมที่ลักลอบนำเข้าและที่ผลิตในประเทศไทย**.กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2528). **การปลูกกระเทียม** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สามเจริญพานิช.

กินอย่างเข้าใจ. (2559). **กระเทียม (Garlic).** สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2562, จาก https://www.ginnginn.com/garlic/

เกรียงศักดิ์ ภูษิต. (2549). **สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตใยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเปลือกมะม่วง.** กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ขนิษฐา หวังดี. (2554). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการสกัดอินนูลินจากหัวแก่นตะวัน Optimization of Inulin extraction from Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.). **การเกษตรราชภัฏ,** 10(1), 50–62.

ฉวีวรรณ สีสม. (2546). **การสกัดสารปรีไบโอติกส์จากกระเทียมเพื่อกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรีย *Lactobacillus acidophilus*.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

เฉลิมขวัญ คำดำ และมัลลิกา ชมนาวัง. (2548). คุณรู้จักพรีไบโอติกส์แล้วหรือยัง?. **วารสารอาหาร,** 35, 96–102.

ชยาภรณ์ วงศ์ศิริเดชชัย. (2560). **สมบัติการเป็นพรีไบโอติกของโอลิโกแซกคาไรด์ที่ผลิตจากกากกาแฟด้วยแมนนาเนสจาก Bacillus sp. GA2(1).** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.

ชุติมา วันเพ็ญ, บุษราภรณ์ งามปัญญา, สุวัฒนา พฤกษะศรี, พิมพ์ชนก จตุรพิรีย์ และปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ. (2556). ผลของการพรีทรีตเม้นต์ด้วยอัลตร้าซาวด์ต่อการสกัดอินนูลินจากหัวแก่นตะวัน. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ,** 36(2), 249–258.

ฐิตา ฟูเผ่า, อัจฉรา พรหมแสง, พัชรา อ้นโต และวีระ พุ่มเกิด. (2557). **ผลของวิธีการสกัดต่อคุณสมบัติของสารสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม.** วารสาร มสด, 7(2), 43–55.

ฐิติมา นุธิรงค์. (2554). **ภาวะที่เหมาะสมของการผลิตกรดแลกติกในเฟด-แบตช์โดยการเพาะเชื้อแบบผสมของแลกติกแอซิดแบคทีเรีย**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. (2545). ใยอาหารเพื่อสุขภาพ. **วารสารอาหาร,** 32(3), 157-159.

ธารารัตน์ ศุภศิริ. (2542). Probiotic แบคทีเรียเพื่อสุขภาพ. **วารสารวิทยาศาสตร์,** 53(4-6), 357-360.

ทุกทิศทั่วไทย. (4 พฤษภาคม 2562). ผู้ปลูกกระเทียมภาคเหนือ ขอผู้ว่าฯแม่ฮ่องสอนช่วยเหลือหลังเจอปัญหาราคาตก. **ข่าวสด.** สืบค้นเมื่อ 4 พฤษภาคม 2562, จาก https://www.khaosod.co.th/around-thailand/news_2483137

นิจศิริ เรืองรังสี. (2534). **เครื่องเทศ** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปิ่นมณี ขวัญเมือง. (2548). ฟังชันนัลฟูดส์: อาหารเพื่อสุขภาพ (Functional Food: Food for Health). **วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม,** 4(2), 44-50.

ปาลิดา ตั้งอนุรัตน์. (2560). **การสกัดพรีไบโอติกจากเหง้าและเมล็ดของบัวหลวง.** ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ผุสดี ตังวัชรินทร์, สุชาติ สุขสถิตย์ และกานต์ สุขสุแพทย์. (2559). ผลของใยอาหารและรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยดิบต่อการเจริญและการผลิตกรดไขมันสายสั้นของเชื้อ *Lactobacillus plantarum*. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**, 34(1), 36-47

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (ม.ป.ป.). **Inulin/อินูลิน**. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2560, จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2068/inulin-

พิสนธิ์ จงตระกูล. (2554). ***E. coli* อีโคไล เชื้อมรณะ.** สืบค้นเมื่อ 2 มกราคม 2562, จาก http://www.thaidrugwatch.org/news_detail.php?n_no=359.

ภัทรา เกรียงเกษร. (2552). **ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการบริโภคกระเทียมไทยในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่.** วิทยานิพนธ์ กศ.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

รสิตา โอสถานนท์. (2557). **การผลิตเส้นใยอาหารผงจากลอนตาลแก่ (*Borassus flabellifer*).** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ. (2540). **พืชเครื่องเทศสมุนไพร.** กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

รุสมัน ดะแซสาเมาะ. (2557). **การสกัดและการทำบริสุทธิ์โอลิโกแซกคาไรด์จากเนื้อแก้วมังกรและการประเมินคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติก.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

วิจิตรา แดงปรก. (2553). การใช้อินนูลินเป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไขมันต่ำ. **วารสารอาหาร**, 40(1), 37–40.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, สันทัด วิเชียรโชติ, วัชรี บุญถนอม และสุรางค์ ทองสุวรรณ์. (2561). ผลของสภาวะการสกัดต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี,** 20(3), 110–123.

ศักดิ์ บวร. (2534). **กระเทียมสมุนไพรมหัศจรรย์.** กรุงเทพฯ: เจริญวิทย์.

ศิรินทร์ฟาร์มาซี. (2554). **กระเทียม.** สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2555, จาก sirinpharmacy.exteen. com/20110324/entry-1.

ศิริพร ตันจอ, ครรชิต จุดประสงค์, ชนัญฑิตา ไชยโต และสนั่น จอกลอย. (2555). อินนูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในแก่นตะวันสายพันธุ์ต่าง ๆ. **วารสารวิจัย มข.**, 17(11), 25–34.

ศิริพร ตันจอ, ครรชิต จุดประสงค์ และประภาศรี ภูวเสถียร. (2553). อินนูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์เพื่อสุขภาพ. **วารสารโภชนาการ**, 45(2), 7–20.

สิขรินทร์ ก้อนในเมือง. (2545). **การผลิตเส้นใยอาหารจากหัวกระเทียม (*Allium Sativum* Linn).** วิทยานิพนธ์ วท.ม., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุเทพฯ.

สุญาณี พงษ์ธนานิกร. (2549). **พรีไบโอติกและโพรไบโอติก.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาอาหารเคมี คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุพจน์ นวลละออง. (2552). **การสกัดสารพรีไบโอติกส์จากพืชเกษตร.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

สิงหนาท พวงจันทน์แดง และรุ่งกานต์ บุญนาถกร. (2551). ผลของการเก็บรักษาต่อคุณภาพของสารสกัดกระเทียม. **วารสารวิจัย มข.**, 13(2), 208–213.

หยาดฝน ทนงการกิจ. (2556). การใช้ประโยชน์จากเศษผักผลไม้เหลือทิ้งเพื่อผลิตเป็นใยอาหารผง. **วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม,** 9(1), 31–38.

อังคณา คงคชวรรณ. (2557). การสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกและแกนสับปะรด. ใน **Graduate Research Conference 2014** (หน้า 891–895). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อังคณา คงคชวรรณ. (2558). **การพัฒนากระบวนการผลิตเส้นใยอาหารผงแบบกะจากกากสับปะรดสาหรับเป็นวัตถุส่วนประกอบอาหารและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เสริมเส้นใยอาหารต้นแบบ.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

อรุณี ฝาระมี. (2557). **ประสิทธิภาพของสารสกัดอินนูลินจากกระเทียมโทน (*Allium ampeloprasum* var. *ampeloprasum*) ในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคอาหารเป็นพิษ *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli*.** วิทยานิพนธ์ ส.ม., มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

เอกภพ สินงาม. (2555). **การศึกษาคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากแก่นตะวัน**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ

Abrams, S. A., Griffin, I. J., Hawthorne, K. M., Liang, L., Gunn, S. K., Darlington, G., et, al. (2005). A combination of prebiotic short–and long–chain inulin–type fructans enhances calcium absorption and bone mineralization in young adolescents. **The American Journal of Clinical Nutrition,** 82(2), 471–476.

Abrams, S. A., Hawthorne, K. M., Aliu, O., Hicks, P. D., Chen, Z. and Griffin, I. J. (2007) An inulin–type fructan enhances calcium absorption primarily via an effect on colonic absorption in humans. **The Journal of Nutrition**, 137(10), 2208–2212.

AOAC. (1990). **Official Method of Analysis Vol 2** (15th ed.). Washington D.C.: Association of Official Analytical Chemist.

AOAC. (1995). **Official Method of Analysis of AOAC International** (16th ed.). Washington D.C.: AOAC International.

AOAC. (2000). **Official Methods of Analysis of AOAC International** (17th ed.). Maryland: AOAC International.

Axelsson, L. (1998). Lactic acid bacteria: classification and physiology. In Salminen, S. and Von Wright, A. (Eds). **Lactic Acid Bacteria: Microbiology and Functional Aspects** (2nd edin, pp. 1–72). New York: Marcel Dekker.

Bachrach, G., Jamil, A., Naor, R., Tal, G., Ludmer, Z. and Steinberg, D. (2011). Garlic allicin as a potential agent for controlling oral pathogens. **Journal of Medicinal Food**, 14(11), 1338–1343.

Block, E. (2010). **Garlic and other alliums: the lore and the science.** New York: Royal Society of Chemistry.

Bloem, E., Haneklaus, S. and Schnug, E. (2011). Storage life of field–grown garlic bulbs (*allium sativum* l.) as influenced by nitrogen and sulfur fertilization. **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** 59, 4442–4447.

Cabezas, M. J., Rabert, C., Bravo, S. and Shene, C. (2002). Inulin and Sugar Contents in Helianthus tuberosus and Cichorium intybus Tubers: Effect of Postharvest Storage Temperature. **Journal of food science,** 67, 8.

Cai, W., Gu, X. and Tang, J. (2008). Extraction, purification and characterization of the polysaccharides from Opuntia milpa alta. **Carbohydrate Polymers,** 71, 403–410.

Cani, P. D., Joly, E., Horsmans, Y. and Delzenne, N. M. (2006). Oligofructose promotes satiety in healthy human: a pilot study. **European Journal of Clinical Nutrition,** 60(5), 567–72.

Chaito, C. and Judprasong, K. (2014). Fructo–oligosaccharides in food and commercial food products in Thailand. **KKU Research Journal,** 19(3), 430–440.

Cheng, L., Zhang, X., Hong, Y., Li, C. and Gu, Z. (2017). Characterisationof physicochemical and functional properties of soluble dietary fiber from potato pulp obtained by enzyme–assisted extraction. **International Journal of Biological Macromolecules,** (101), 1004–1011.

Chia sẻ. (November 16, 2015). **Deltalmmune**. Retrieved June 4, 2018, from http://imc.net.vn/ingredients–en/deltaimmune/?lang=en.

Coudray, C., Bellanger, J., Castiglia– Delavaud, C., Rémésy, C., Vermorel, M. and Rayssignuier, Y. (1997). Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. **European Journal of Clinical Nutrition,** 51(6), 375–80.

Dangsungnoen. P., Moongngarm, A. and Deeseenthum, S. (2012). Comparison of resistant starch content and survival of Lactobacillus spp. On four different sources of resistant starch. In **International Conference on Life Science and Engineering (IPCBEE 2012)** (pp. 79–83). Singapore: IACSIT Press.

De Leenheer, L. (1996). Production and use of Inulin: Industrial Reality with a Promising Future, in Van Bekkum, H., Röper, H. and Voragen, A. G. C. (Eds.). **Carbohydrates as Organic Raw Materials III, VCH.** New York, 67–92.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. and Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry,** 28, 350–356.

Gene, A. S. (2001). **CRC handbook of dietary fiber in human nutrition** (3rd ed.). Florida: Boca Raton.

Gerber, F., Krummen, M., Potgeter, H., Roth, A., Siffrin, C. and Spoendlin, C. (2004). Practical aspects of fast reversed–phase high–performance liquid chromatography using 3 μm particle packed columns and monolithic columns in pharmaceutical development and production working under current good manufacturing practice. **Journal of Chromatography A**, 1036(2), 127–133.

Gibson, G. R. and Roberfroid, M. B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. **Journal of Nutrition**, 125, 1401–1412.

Glibowski, P. and Bukowska, A. (2011). The effect of ph, temperature stability and heating time on inulin chemical. **Acta Sci Pol.**, 102, 189–196.

Griffin, I. J., Davila, P. M. and Abrams, S. A. (2002) Nondigestible oligosaccharides and calcium absorption in girls with adequate calcium intakes. **British Journal of Nutrition,** 87(2), 187– 91.

Gullon, P., Gullón, B., Cardelle–Cobas, A., Alonso, J. L., Pintado, M. and Gomes, A. M. (2014). Effects of hemicellulose–derived saccharides on behavior of lactobacilli under simulated gastrointestinal conditions. **Food Research International,** 64, 880–888.

Hengsawad, D. (2002). Dietary fiber for health. **Food Journal,** 32, 157–159. (in Thai)

Hond, E. D., Geypens, B. and Ghoos, Y. (2000) Effect of high performance chicory inulin on constipation. **Nutrition Research,** 20, 731–736.

Judprasong, K., Tanjor, S., Puwastien, P. and Sungpuag, P. (2011). Investigation of Thai plants for potential sources of inulin–type fructans. **Journal of Food Composition and Analysis,** 24, 642–649.

Kim, S., Kim, W. and Hwang, K. (2003). Optimization of the Extraction and Purification of Oligosaccharides from Defatted Soybean Meal. **International Journal of Food Science and Technology,** 38, 337–342.

Kleessen, B., Svkura, B., Zunft, H–J. and Blaut, M. (1997). Effects of inulin and lactose on fecal microflora, microbial activity, and bowel habit in elderly constipated persons. **The American Journal of Clinical Nutrition,** 65, 1397–1402.

Larrauri, J. A., Rupérez, P., Borroto, B. and Saura–Calixto, F. (1996). Mango peels as a new tropical fiber: preparation and characterization. Lebensmittel–Wissenschaft und–Technologie. 29: 729–733.

Larrauri, J.A. (1999). New approaches in the preparation of high dietary fiber powders from fruit by–products. **Trends in Food Science and Technology**. 10, 3–8.

Letexier, D., Diraison, F. and Beylot, M. (2003) Addition of inulin to a moderately high–carbohydrate diet reduces hepatic lipogenesis and plasma triacylglycerol concentrations in humans. **The American Journal of Clinical Nutrition,** 77(3), 559–564.

Lingyun, W., Jianhua, W., Xiaodong, Z., Da, T., Yalin, Y., Chenggang, C., et, al. (2007). Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers. **Journal of Food Engineering,** 79, 1087–1093.

Luo, J., Yperselle, M. V., Rizkalla, S. W., Rossi, F., Francis, R., Bornet, J., et, al. (2000). Chronic consumption of short–chain fructooligosaccharides does not affect basal hepatic glucose production or insulin resistance in Type 2 Diabetics. **Journal of Nutrition**, 130(6), 1572–1577.

Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry,** 31, 426–428.

Murry, A. C., Hinton Jr., A. and Morrison, H. (2004). Inhibition of growth of *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, and *Clostridia perfringens* on chicken feed media by *Lactobacillus salivarius* and *Lactobacillus plantarum*. International **Journal of Poultry Science**, 3, 603–607.

Nelson, N. (1944). A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, 153, 375–380.

Niness, K. R. (1999). Inulin and Oligofructose: What Are They. **Journal of Nutrition,** 129, 1402S–1406S.

Oliveira, R. P. D. S., Perego, P., Oliveira, M. N. D. and Converti, A. (2011). Effect of inulin as a prebiotic to improve growth and counts of a probiotic cocktail in fermented skim milk. **LWT – Food Science and Technology,** 44(2), 520–523.

Pool–Zobel, B. L. (2005). Inulin–type fructans and reduction in colon cancer risk: review of experimental and human data. **British Journal of Nutrition,** 93(1), 73–90.

Raghavendra, S. N., Ramchandra, S. R., Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Kumar, S. and Tharanathan, R. N. (2006). Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. **Journal of Food Engineering,** 72, 281–286.

Ratledge, C. and Kristiansen, B. (2001). **Basic Biotechnology vol 3** (2nded.). Cambridge: Cambridge University.

Ritsema, T., Smeekens, S. (2003). Fructans: beneficial for plants and humans. **Curr. Opin. Plant Biol,** 6, 223–230.

Roberfroid, M. B. (1993). Dietary fiber, inulin and oligo–fructose: a review comparing their physio–logical effects. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 33(2), 103–148

Roberfroid, M. B., Delzenne, N. M. (1998). Dietary fructans. **Annual Review of Nutrition,** 18(1), 117–143.

Roberfroid, M. B. (1999) Caloric value of inulin andoligofructose. **Journal of Nutrition,** 129(7), 1436–7.

Rothenhofer, M., Grundmann, M., Bernhardt, G., Matysik, F. M. and Buschauer, A. (2015). High performance anion exchange chromatography with pulsed amperometric detection (HPAEC–PAD) for the sensitive determination of hyaluronan oligosaccharides. **Journal of Chromatography B,** 988, 106–115.

Samanta, S., Banerjee, D., Chowdhury, R. and Bhattacharya, P. (2014). Studies on prebiotic food additive (Inulin) in INDIAN dietary fibre sources garlic (*Allium sativum*), wheat (*Triticum* spp.), oat (*Avena sativa*) and dalia (Bulgur). **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences,** 6(9), 278–282.

Sara, C., Vittoria, L., Rudy, V., Annalisa, P., Cristina, C., Liesbeth, V., et, al. (2015). Fructan biosynthesis and degradation as part of plant metabolism controlling sugar fluxes during durum wheat kernel maturation. **Frontiers in PLANT SCIENCE,** 6, 89.

Sethi, S., Singh, G. and Sharma, M. (2009). **Lactobacilli as probiotics against genital infections.** Retrieved June 4, 2018, from https://candidahub.com/acidopilus/Acidophilus–for–Yeast–Infection

Sharp. R., O'Donnell, Gilbert, H. G. and Hazlewood, G. P. (1992). Growth and survival of genetically manipulated Lactobacillus plantarum silage. **Applied and Environmental Microbiology,** 58, 2517–2522.

Treybal, R. E. (1980). **Mass–transfer operation** (3rd ed.). New York: McGraw–Hill Book Company.

Van Loo, J., Coussement, P., DeLeenheer, L., Hoebregs, H. and Smits, G. (1995). On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the Western diet. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 35, 525–552.

Welch, R. W., Kelly, M. T., Gallagher, A. M. and Wallace, J. M. (2008). Livingstonet MBE. The effects of inulin–type fructans on satiety and energy intake: human studies. **Agro Food Industry Hi–tech,** 5(5), 4–6.

Wichienchote, S., Jatupornpipat, M. and Rastall, R. A. (2010). Oligosaccharides of pitaya (dragon fruit) flesh and their prebiotic properties. **Food Chemistry** 120, 850–857.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก สูตรอาหารที่ใช้ในการทดลองและการคำนวณอัตราการเจริญของเชื้อ

สูตรอาหารและวิธีการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. De Man Rogosa and Sharpe (MRS broth)

1.1 Dextrose	20.0 กรัม
1.2 Meat peptone	10.0 กรัม
1.3 Beef extract	10.0 กรัม
1.4 Yeast extract	5.0 กรัม
1.5 Sodium acetate	5.0 กรัม
1.6 K_2HPO_4	2.0 กรัม
1.7 Ammonium citrate	2.0 กรัม
1.8 Tween 80	1.0 กรัม
1.9 Magnesium sulfate	0.1 กรัม
1.10 Manganese sulfate	0.05 กรัม
1.11 น้ำกลั่น	1000 มิลลิลิตร

ปรับพีเอชให้เป็น 6.5–6.8 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มอล จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

2. Luria–Bertani broth (LB)

2.1 Tryptone	10 กรัม
2.2 Yeast extract	5 กรัม
2.3 NaCl	10 กรัม
2.4 น้ำกลั่น	1000 มิลลิลิตร

ปรับพีเอชให้เป็น 7.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มอล จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

การคำนวณอัตราการเจริญของเชื้อ

1. วิเคราะห์อัตราการเจริญจำเพาะ μ (h^{-1}) (Oliveira et al., 2011)

วิเคราะห์จากการเจริญในช่วง log phase ดังสมการ

$$\mu\ (h^{-1}) = \ln(x_2 / x_1) / (t_2 - t_1)$$

โดย X_1 = ความหนาแน่นของเซลล์เริ่มต้นในการทดลอง (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)

X_2 = ความหนาแน่นของเซลล์ที่ระยะเวลา t (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)

t_1 = ระยะเวลาศึกษาเริ่มต้น (วัน)

t_2 = ระยะเวลาศึกษาที่เวลา t (วัน)

2. วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก (AOAC, 1990)

2.1 นำตัวอย่างเชื้อทำการปั่นเหวี่ยงเอาเซลล์จุลินทรีย์ จากนั้นดูดส่วนใสที่ได้มา 2 มิลลิลิตร

2.2 เจือจางส่วนใสด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

2.3 หยดฟีนอลทาลีน 2 หยด และไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล

2.4 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์กรดแลคติก ดังสมการ

$$\%\text{กรดแลคติก} = \frac{\text{น้ำหนักโมเลกุลของกรดแลคติก} \times \text{ปริมาตร NaOH} \times \text{ความเข้มข้นของ NaOH} \times 100}{1{,}000 \times \text{ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้}}$$

หมายเหตุ: น้ำหนักโมเลกุลของกรดแลคติก ($C_3H_6O_3$) = 90.8

ภาคผนวก ข การเตรียมสารเคมีที่ใช้วิเคราะห์

การเตรียมสารเคมีที่ใช้วิเคราะห์

1. การเตรียมสารละลาย (3,5–dinitrosalicylic acid; DNS)

1.1 สารละลายดีเอ็นเอส 1.0% เตรียมโดยชั่ง 3,5–dinitrosalicylic acid; DNS; $C_7H_4N_2O_7$ ปริมาณ 10 กรัม ลงในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายด่างทีละน้อย (NaOH) 16 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร คนให้ละลายเข้ากันจนหมด

1.2 นำไปอุ่นในอ่างน้ำร้อนจนกระทั่งได้สารละลายใส จากนั้นเติมโซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรต ($NaKC_4H_4O_6$) ลงไปทีละน้อยจนครบ 300 กรัม

1.3 จากนั้นปรับปริมาตรสุดท้ายให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร เก็บรักษาไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิห้อง

หมายเหตุ: อาจจะเติมโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) อีก 0.05% ก่อนนำสารละลายดีเอ็นเอสไปใช้

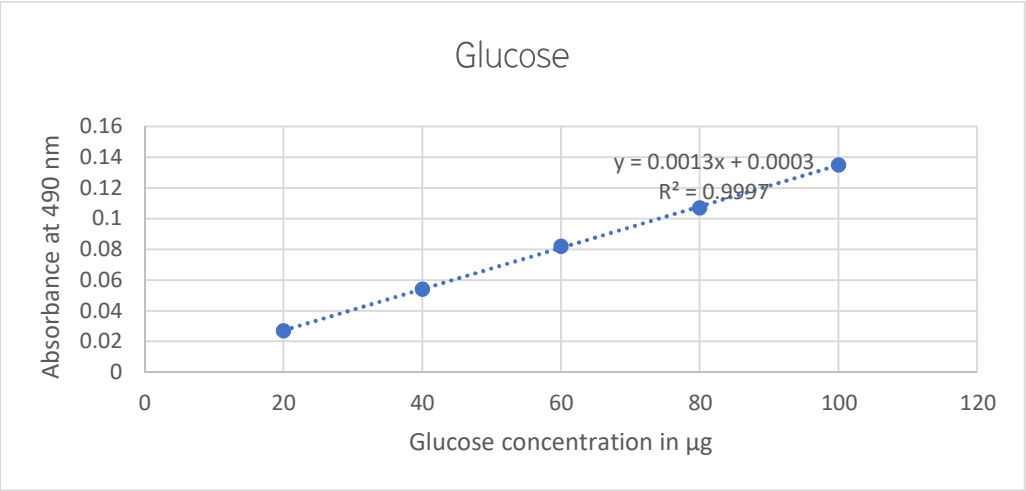
2. การเตรียมสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์มาตรฐาน (ใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นสารมาตรฐาน)

เตรียมสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ความเข้มข้น 1.0 กรัมต่อลิตร โดยชั่งกลูโคสมา 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 มิลลิลิตร

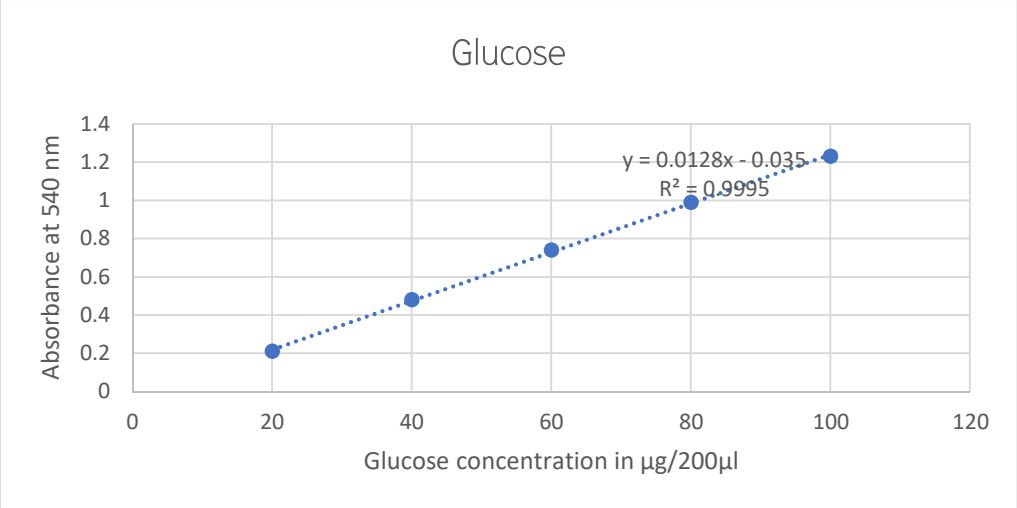
3. การเตรียมสารละลาย McIlvaine diluent buffer

3.1 สารละลายบัฟเฟอร์ McIlvaine ความเข้มข้น 1 โมลาร์ พีเอช 5 เตรียมโดยผสมสารละลายกรดซิตริก 0.5 โมลาร์ และสารละลายไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 1 โมลาร์ ปรับค่าพีเอชตามอัตราส่วนปริมาตรสารละลาย

3.2 เมื่อได้สารละลายบัฟเฟอร์ McIlvaine ความเข้มข้น 1 โมลาร์ เจือจางด้วยน้ำกลั่นได้สารละลาย McIlvaine ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ พีเอช 5



ภาพ 29 แสดงกราฟมาตรฐานของกลูโคสที่ใช้วิเคราะห์น้ำตาลทั้งหมด



ภาพ 30 แสดงกราฟมาตรฐานของกลูโคสที่ใช้วิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์

ภาคผนวก ค การเก็บรักษากระเทียมหลังการเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ภาพ 31 แสดงกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 0

ภาพ 32 แสดงกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 15

ภาพ 33 แสดงกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 30

ภาพ 34 แสดงกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 45

ภาพ 35 แสดงกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 60

ภาพ 36 แสดงกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 75

ภาพ 37 แสดงกระเทียมสดหลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 90

ภาคผนวก ง ค่าความหนืดของผงอินนูลินที่สกัดได้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30

ภาพ 38 แสดงค่าความหนืดของผงอินนูลิที่สกัดได้ ซ้ำ 1 มีค่าเท่ากับ 99.2 cP

ภาพ 39 แสดงค่าความหนืดของผงอินนูลิที่สกัดได้ ซ้ำ 2 มีค่าเท่ากับ 98.0 cP

ภาพ 40 แสดงค่าความหนืดของผงอินนูลิที่สกัดได้ ซ้ำ 3 มีค่าเท่ากับ 97.8 cP

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล จารุพิชญา โฮมลคร

วัน เดือน ปีเกิด 15 ตุลาคม 2535

ที่อยู่ปัจจุบัน 100 หมู่ 11 ตำบลศรีดอนมูล อำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงราย

ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน –

ประสบการณ์การทำงาน –

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2558 วท.บ. (จุลชีววิทยา), มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา

ผลงานตีพิมพ์

ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

จารุพิชญา โฮมลคร (ผู้บรรยาย). (23–24 มกราคม 2536). การสกัดใยอาหารละลายน้ำจากกากกระเทียมเหลือทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันกระเทียม. ใน **การประชุมวิชาการพะเยาวิจัยครั้งที่ 9 PHAYAO RESEARCH CONFERENCE 9**. (หน้า 1977–1987). พะเยา: มหาวิทยาลัยพะเยา.

ผลงานตีพิมพ์อื่น ๆ –