รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การแปรรูปน้ำแก่นตะวันโดยการหมักแอลกอฮอล์และการหมักกรดแลคติก
Processing of Jerusalem artichoke juice with Alcoholic and Lactic acid Fermentation

โดย

รศ.ดร. ปิ่นมณี ขวัญเมือง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การแปรรูปน้ำแก่นตะวันโดยการหมักแอลกอฮอล์และการหมักกรดแลคติก

Processing of Jerusalem artichoke juice with Alcoholic and Lactic acid Fermentation

โดย

รศ.ดร. ปิ่นมณี ขวัญเมือง

b 12791092

i

หมู่

เลขทะเบียน 143107

วันเดือนปี 22 มิ.ย. 2559

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการวิจัย การแปรรูปน้ำแก่นตะวันโดยการหมักแอลกอฮอล์และการหมักกรดแลคติก

ผู้ดำเนินการวิจัย รศ.ดร. ปิ่นมณี ขวัญเมือง

หน่วยงาน สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีงบประมาณ 2557

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการหมักน้ำแก่นตะวันโดยการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์และการหมักกรดแลคติกและเลือกปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ผู้บริโภคยอมรับ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และจำนวนเซลล์ที่การหมัก 48 ชั่วโมง ศึกษาองค์ประกอบทางโภชนาการ และศึกษาอายุการเก็บรักษาน้ำแก่นตะวันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วิธีการที่ใช้ในการวิจัย คือ การเลือกสูตรน้ำหมักแก่นตะวันที่ผู้บริโภคยอมรับโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์ค่าพีเอชโดยใช้เครื่องวัดพีเอช วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยใช้ Hand refractometer วิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์โดยใช้ Ebulliometer วิเคราะห์กรดแลคติกโดยการไทเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติกโดยตรวจนับโดยการนับเซลล์ที่มีชีวิตบนอาหารแข็ง MRS และเซลล์ยีสต์ตรวจนับโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ ผลการศึกษาพบว่า การแปรรูปน้ำแก่นตะวันโดยการหมักให้เกิดกรดแลคติก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ใช้ในการหมัก และผู้บริโภคยอมรับ คือ 15 องศาบริกซ์ การหมักที่อายุ 48 ชั่วโมง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 14.60 องศาบริกซ์ เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เท่ากับ 0.755 ค่าพีเอช เท่ากับ 3.16 และจำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติก เท่ากับ 4.23×10^8 โคโลนี/มล. การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 12.70 องศาบริกซ์ เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เท่ากับ 0.900 ค่าพีเอช เท่ากับ 3.06 และจำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติก เท่ากับ 2.50×10^8 โคโลนี/มล. การแปรรูปน้ำแก่นตะวันโดยการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์และกรดแลคติก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ใช้ในการหมัก และผู้บริโภคยอมรับ คือ 20 องศาบริกซ์ การหมักที่อายุ 48 ชั่วโมง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 17.90 องศาบริกซ์ เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เท่ากับ 0.755 ค่าพีเอช เท่ากับ 3.12 ปริมาณแอลกอฮอล์ เท่ากับ 1.20 เปอร์เซ็นต์ จำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติก เท่ากับ 5.10×10^8 โคโลนี/มล. และจำนวนเซลล์ยีสต์ เท่ากับ 3.80×10^8 เซลล์/มล. การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 11.00 องศาบริกซ์ เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เท่ากับ 0.900 ค่าพีเอช เท่ากับ 3.04 ปริมาณแอลกอฮอล์ เท่ากับ 2.40 เปอร์เซ็นต์ จำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติก เท่ากับ 1.90×10^7 โคโลนี/มล. จำนวนเซลล์ยีสต์ เท่ากับ 8.30×10^{10} เซลล์/มล. คุณค่าทางโภชนการของน้ำหมักแก่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะวันให้พลังงาน มีปริมาณคาร์โบไฮเดรท ปริมาณโปรตีน และมีองค์ประกอบของเกลือแร่ ได้แก่ โปแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม และธาตุเหล็ก มีแบคทีเรียโพรไบโอติก จากคุณค่าทางโภชนาการจะเห็นได้ว่าน้ำหมักแก่นตะวันทั้ง 2 สูตร เหมาะสำหรับใช้เป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title Processing of Jerusalem artichoke juice with Alcoholic and Lactic acid Fermentation

Researcher Associate Prof. Pinmanee Kwanmuang

Department Department of Agricultural Education
Faculty of Industrial Education
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Year 2014

ABSTRACT

The purposes of this research were to ferment of jerusalem artichoke juice with alcoholic and lactic acid fermentation and select total soluble solid approved by panelists, to study the change of pH value, percent of lactic acid, percent of alcohol, total soluble solids and cell numbers during fermentation times at 48 hours, to study the nutritional value, and to study storage times at temperature of 4 $^{\circ}$C. The methodologies were used in this research as follow : fermenting and selecting the total soluble solids of the fermented jerusalem artichoke juice with sensory evaluation by panelists, measuring pH values by pH meter, analyzing total soluble solids by hand refractometer, analyzing percent of alcohol by ebulliometer, analyzing percent of lactic acid by titration with a solution of NaOH 0.1 N., counting viable cell of lactic acid bacteria on MRS agar and cell count of yeast by light microscope. The results found that, lactic acid fermentation of jerusalem artichoke juice, consumers accepted the fermented jerusalem artichoke juice had total soluble solids of 15 $^{\circ}$Bx. The fermentation times at 48 hours, total soluble solids was 14.60 $^{\circ}$Bx, lactic acid was 0.755 %, pH value was 3.16, and cell count of lactic acid bacteria was 4.23×10^{8} colony/ml. During the 30 days storage, total soluble solids was 12.70 $^{\circ}$Bx, lactic acid was 0.900 %, pH value was 3.06, and cell count of lactic acid bacteria was 2.50×10^{8} colony/ml. Alcoholic and lactic acid fermentation of jerusalem artichoke juice, consumers accepted the fermented jerusalem artichoke juice had total soluble solids of 20 $^{\circ}$Bx. The fermentation times at 48 hours, total soluble solids was 17.90 $^{\circ}$Bx, lactic acid was 0.755 %, pH value was 3.12, alcohol was 1.20 %, cell count of lactic acid bacteria was 5.10×10^{8} colony/ml. and cell count of yeast was 3.80×10^{8} cell/ml. During the 30 days storage, total soluble

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

solids was 11.00 ^{o}Bx, lactic acid was 0.900 %, pH value was 3.04, alcohol was 2.40 %, cell count of lactic acid bacteria was 1.90 x 10^{7} colony/ml. and cell count of yeast was 8.30 x 10^{8} cell/ml. The nutritional value of both fermented jerusalem artichoke juice were energy resource, carbohydrate, protein and minerals, such as potassium, magnesium, calcium, iron and probiotic bacteria. Taking all evidences, the fermented jerusalem artichoke juice was nutritional suitable for using as a functional drinks.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การแปรรูปน้ำแก่นตะวันโดยการหมักแอลกอฮอล์และการหมักกรดแลคติก เป็นงานวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนจากแหล่งทุนเงินรายได้คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ 2557 โดยใช้ห้องปฏิบัติการของภาควิชาครุศาสตร์เกษตร เป็นสถานที่ทำการวิจัย

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกันคือ บุคลากรในภาควิชาครุศาสตร์เกษตร นักศึกษาสาขาวิชาครุศาสตร์เกษตรทั้งระดับปริญญาโทและระดับปริญญาตรี ที่มีส่วนช่วยในเรื่องของการทำการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูล และการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี ตลอดจนขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้

ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญภาพ	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความรู้เกี่ยวกับแก่นตะวัน	4
2.1.1 สาระสำคัญที่พบในแก่นตะวัน	5
2.1.2 การประยุกต์ใช้อินูลินในอุตสาหกรรมอาหาร	12
2.1.3 การใช้ประโยชน์จากแก่นตะวันในอุตสาหกรรมต่างๆ	12
2.2 การแปรรูปอาหารโดยกระบวนการหมัก	13
2.2.1 กระบวนการหมักแอลกอฮอล (alcoholic fermentation)	14
2.2.2 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการหมักแอลกอฮอล์	15
2.2.3 การหมักกรดแลคติก (Lactic acid fermentation)	16
2.2.4 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการหมักกรดแลคติก	17
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	26
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	26
3.1.1 เครื่องมือ	26
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว	26
3.1.3 วัตถุดิบ	27
3.1.4 สารเคมี	27
3.1.5 เชื้อจุลินทรีย์	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

3.2 วิธีการ..... 27
3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบและส่วนผสม..... 27
3.2.2 การเตรียมสตาร์ทเตอร์และการหมักให้เกิดกรดแลคติก..... 28
3.2.3 การเตรียมสตาร์ทเตอร์และการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกผสมยีสต์..... 29
3.2.4 การศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคต่อน้ำหมักแก่นตะวันทั้ง 2 สูตร 29
3.2.5 การศึกษาการเก็บรักษาน้ำหมักแก่นตะวัน..... 30
3.2.6 การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของน้ำหมักแก่นตะวัน..... 30
3.3 สถานที่ดำเนินการวิจัย..... 30
3.4 ระยะเวลาทำการวิจัย..... 30

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์..... 31
4.1 การศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการแปรรูปน้ำแก่นตะวันให้เกิดกรดแลคติก..... 31
4.1.1 การศึกษาค่าความหวานที่ใช้ในการหมักน้ำแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติก..... 31
4.1.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติก..... 33
4.1.3 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก 34
4.1.4 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาน้ำหมักแก่นตะวันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส..... 35
4.2 การศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการแปรรูปน้ำแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์..... 36
4.2.1 การศึกษาค่าความหวานที่ใช้ในการหมักน้ำแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์..... 36
4.2.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์..... 38
4.2.3 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักน้ำแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์..... 39
4.2.4 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาน้ำหมักแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส..... 40
4.3 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำหมักแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์..... 42
4.4 การศึกษาการเปรียบเทียบการยอมรับน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีตส์..... 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 45
5.1 สรุปผลการศึกษา 45
5.2 ข้อเสนอแนะ 46
เอกสารอ้างอิง 47
ภาคผนวก 50
ประวัติผู้วิจัย 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 อิทธิพลของการบริโภคซูโครส อินูลิน และโอลิโกแซคคาไรด์ 15 กรัม/วัน ต่อสัดส่วนของจุลินทรีย์ในลำไส้มนุษย์ 9

2.2 ปริมาณอินูลินและโอลิโกฟรุกโทสในพืชบางชนิด 10

2.3 ปริมาณอินูลินและฟรุกโทโอลิโกแซคาไรด์ในพืชบางชนิดของไทย 10

2.4 แบคทีเรียกรดแลคติก การหมัก และผลิตภัณฑ์ 19

2.5 ตัวอย่างของจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์บางชนิด 20

3.1 ส่วนผสมสำหรับผลิตน้ำหมักแก่นตะวัน 28

4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก และจำนวนเซลล์ในการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกที่อายุการหมัก 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง 32

4.2 ลักษณะปรากฏของน้ำแก่นตะวันที่หมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก 48 ชั่วโมง 32

4.3 ค่าเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติก 33

4.4 การเปลี่ยแปลงค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และจำนวนเซลล์ที่อายุการหมัก 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง 34

4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก และจำนวนเซลล์ระหว่างการเก็บรักษาน้ำหมักแก่นตะวันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อายุการเก็บรักษา 0 5 10 15 20 15 และ 30 วัน 35

4.6 ลักษณะปรากฏของน้ำหมักแก่นตะวันที่หมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ 48 ชั่วโมง 36

4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ และจำนวนเซลล์ในการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสตที่อายุการหมัก 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง 37

4.8 ค่าเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ 38

4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ และจำนวนเซลล์ในการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสตที่อายุการหมัก 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง 39

4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก และจำนวนเซลล์ในการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ที่อายุการเก็บรักษา 0 5 10 15 20 15 และ 30 วัน 41

4.11 องค์ประกอบทางโภชนาการของน้ำหมักแก่นตะวัน 3 สูตร 43

4.12 ผลการเปรียบเทียบค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำหมักแก่นตะวันทั้ง 2 สูตร 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะของหัวแก่นตะวันสด	4
2.2 กระบวนการหมักแอลกอฮอล์	15
2.3 เซล์ *Saccharomyces cerevisiae* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์	16
2.4 ลักษณะรูปร่างเซลล์ของแลคโทบาซิลลัส เพนโตซัส	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แก่นตะวัน (Jerusalem artichoke) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Helianthus tuberosus* เป็นพืชตระกูลเดียวกับทานตะวัน ดอกมีสีเหลืองคล้ายกับดอกบัวตองแต่มีขนาดเล็กกว่า หัวมีรูปร่างอวบและมีลักษณะคล้ายขิง เปลือกมีสีน้ำตาลอ่อนและเนื้อข้างในมีสีขาว เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดอยู่แถบทวีปอเมริกาเหนือแต่สามารถปลูก เจริญเติบโตและปรับตัวได้ดีในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย แก่นตะวันเป็นพืชที่มีคุณสมบัติหลายประการ เช่น มีรสชาติหวานน้อยลักษณะคล้ายกับสารให้ความหวานที่ใช้ในปัจจุบันแต่มีความปลอดภัยสูงเพราะสกัดจากธรรมชาติ ผู้ป่วยโรคเบาหวานสามารถรับประทานได้โดยที่ไม่เพิ่มปริมาณน้ำตาลในเลือด และมีกากใยอาหารสูงทำให้เป็นประโยชน์ต่อระบบขับถ่าย จึงคาดว่าในอนาคตแก่นตะวันจะสามารถเป็นพืชเศรษฐกิจได้ ปัจจุบันแก่นตะวันได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย เช่น นำมาใช้เพื่อการบริโภคโดยนำส่วนหัวมาใช้เป็นอาหารประเภทผัก หัวสดมีรสชาติคล้ายแห้ว สามารถนำมาประกอบอาหารคาวและอาหารหวานได้หลายชนิด หัวแก่นตะวันเป็นแหล่งสะสมของสารอินูลิน (inulin) ซึ่งเป็นสารผสมของโอลิโกแซ็กคาไรด์และพอลิแซ็กคาไรด์ จัดเป็นฟรุกแทนชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วยน้ำตาลฟรุกโทสต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะบีตา 2, 1 ของฟรุกโทส ปลายสุดท้ายของโซ่ยาวด้านหนึ่งเป็นโมเลกุลของกลูโคสหนึ่งหน่วยที่ต่อเชื่อมกับโมเลกุลของฟรุกโทสในลักษณะเป็นการเชื่อมภายในโมเลกุลของซูโครส จากรายงานการวิจัยพบว่าการบริโภคแก่นตะวันจะไม่ถูกย่อยในกระเพาะ ดังนั้นแก่นตะวันจึงเป็นใยอาหารที่ให้พลังงานต่ำ ช่วยลดความอ้วน ไม่เพิ่มปริมาณน้ำตาลในเลือด จึงไม่เป็นปัญหากับผู้บริโภคที่เป็นโรคเบาหวาน มีคุณสมบัติในการช่วยลดคลอเลสเทอรอล ไตรกลีเซอไรด์ และไขมันตัวร้าย หรือ LDL ในร่างกาย จึงลดความเสี่ยงจากการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด นอกจากนี้ยังช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น Bifidobacteria และ Lactobacilli และสามารถลดจำนวนของแบคทีเรียก่อโรค เช่น Coliforms และ *E. coli* เป็นต้น ซึ่งเป็นที่ยอมรับว่าแก่นตะวันจัดเป็นสารพรีไบติก (Prebiotics) จึงได้มีการนำแก่นตะวันมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตน้ำตาลอินนูโลโอลิโกแซ็กคาไรด์และน้ำตาลฟรุกโทส โดยการใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายอินนูลินซึ่งน้ำตาลฟรุกโทสจัดเป็นสารให้ความหวานที่มีบทบาทในอุตสาหกรรม ในขณะที่น้ำตาลอินนูโลโอลิโกแซ็กคาไรด์นั้น มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก (ดารารัตน์ มงคลการ และสาโรจน์ ศิริศันสนียกุล, 2554 : 18) แก่นตะวันสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น แป้งแก่นตะวัน แป้งอินนูลิน และน้ำเชื่อมฟรุกโทส/อินนูโลโอลิโกแซ็กคาไรด์ เป็นต้น สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่แปรรูปจากแก่นตะวันในปัจจุบันยังไม่มีผู้คิดค้นหรือพัฒนาสูตรเครื่องดื่มจากพืชชนิดนี้มากนัก

จากความสำคัญและประโยชน์ของแก่นตะวันที่กล่าวมา ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำหัวแก่นตะวันมาแปรรูปเป็นน้ำแก่นตะวัน จากนั้นนำน้ำแก่นตะวันมาแปรรูปโดยใช้กระบวนการหมักประเภทการหมักให้เกิดกรดแลคติก และการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์ เพื่อใช้เป็นเครื่องดื่มน้ำหมักแก่นตะวันเพื่อสุขภาพ ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแปรรูปน้ำแก่นตะวันให้เกิดความหลากหลายของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ ตลอดจนเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคในการบริโภคเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพซึ่งมีทั้งคุณสมบัติที่เป็นพรีไบโอติกส์และโพรไบโอติกส์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางการหมักน้ำแก่นตะวันโดยการหมักให้เกิดกรดแลคติก
2. เพื่อศึกษาแนวทางการหมักน้ำแก่นตะวันโดยใช้เชื้อผสมของแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์
3. เพื่อศึกษาการยอมรับน้ำหมักแก่นตะวันโดยกลุ่มผู้บริโภคที่ไม่ผ่านการฝึกฝน
4. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำแก่นตะวันที่ผ่านการหมัก
5. เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาน้ำหมักแก่นตะวันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซียลเซียส

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักน้ำแก่นตะวันโดยการหมักให้เกิดกรดแลคติก ดำเนินการศึกษาโดยเตรียมน้ำแก่นตะวันตามสูตร และปรับให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 10 15 และ 20 องศาบริกซ์ นำไปพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ปล่อยให้เย็น จากนั้นนำน้ำแก่นตะวันมาเติมกล้าเชื้อที่เตรียมโดยใช้เชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกสายพันธุ์ *Lactobacillus pentosus* ปล่อยให้เกิดการหมักที่อุณหภูมิห้อง เก็บตัวอย่างวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช องศาบริกซ์ เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก และจำนวนเซลล์ ที่อายุการหมัก 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง

2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการหมักน้ำแก่นตะวันโดยการหมักให้เกิดกรดแลคติกและการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์ ดำเนินการศึกษาโดยเตรียมน้ำแก่นตะวันตามสูตร และปรับให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด 10 15 และ 20 องศาบริกซ์ นำไปพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ปล่อยให้เย็น และนำน้ำแก่นตะวันมาเติมด้วยกล้าเชื้อที่เตรียมโดยใช้เชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกสายพันธุ์ *Lactobacillus pentosus* และยีสต์สายพันธุ์ *Saccharomyces ceresiae* ปล่อยให้เกิดการหมักที่อุณหภูมิห้อง เก็บตัวอย่างวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช องศาบริกซ์ เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ และจำนวนเซลล์ที่อายุการหมัก 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง

3. ศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์น้ำแก่นตะวันที่ผ่านการหมักทั้ง 2 ประเภท โดยกลุ่มผู้บริโภคที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ใช้แบบประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม เลือกน้ำแก่นตะวันสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดไปศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และการเก็บรักษาในตู้เย็น ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

4. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ดำเนินการศึกษาโดยเตรียมน้ำแก่นตะวันจากสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด นำมาผ่านกระบวนการหมักและนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เปรียบเทียบกับน้ำแก่นตะวันที่ไม่ผ่านการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ศึกษาอายุการเก็บรักษาน้ำหมักแก่นตะวัน นำน้ำหมักแก่นตะวันที่หมักเป็นเวลา 48 ชั่วโมง มาเก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาทุก 5 วัน เป็นเวลา 30 วัน

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

14.1 ขั้นตอนการวิจัย ประกอบด้วย ขั้นตอนการคัดเลือกสูตรน้ำแก่นตะวันที่เหมาะสมต่อการหมักแอลกอฮอล์และกรดแลคติก ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักที่อายุการหมักต่างๆ ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคโดยกลุ่มผู้บริโภคที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ตลอดจนศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมัก

14.2 **การวิเคราะห์** ในขั้นตอนการวิจัยมีการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ คือ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ จำนวนเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก จำนวนเซลล์ยีสต์ โดยวิเคราะห์ที่อายุการหมักต่างๆ ส่วนการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส มีการวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรท วิตามิน เกลือแร่ เป็นต้น

16.3 **วิธีการวิเคราะห์** ในระหว่างการทดลองวิเคราะห์ค่าพีเอชโดยใช้เครื่องวัดพีเอช วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์กรดโดยการไตเตรท วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดโดยใช้ Hand Refractometer วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์โดยใช้ Ebulliometer วิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์โดยการนับเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกที่มีชีวิตบนอาหารแข็ง ส่วนเซลล์ยีสต์ใช้การนับภายใต้กล้องจุลทรรศน์ การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสวิเคราะห์โดยการหาค่าเฉลี่ยตามแบบทดสอบ และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเป็นไปตามมาตรฐานการวิเคราะห์เคมีทางอาหาร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลแนวทางการแปรรูปน้ำแก่นตะวันโดยการหมักให้เกิดกรดแลคติกและการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์ และสามารถนำไปผลิตภัณฑ์โดยใช้วัตถุดิบชนิดอื่นได้ ตลอดจนได้ผลิตภัณฑ์น้ำแก่นตะวันโปรไบโอติกส์ ซึ่งเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพนอกเหนือจากผลิตภัณฑ์นมหมักและนมเปรี้ยว

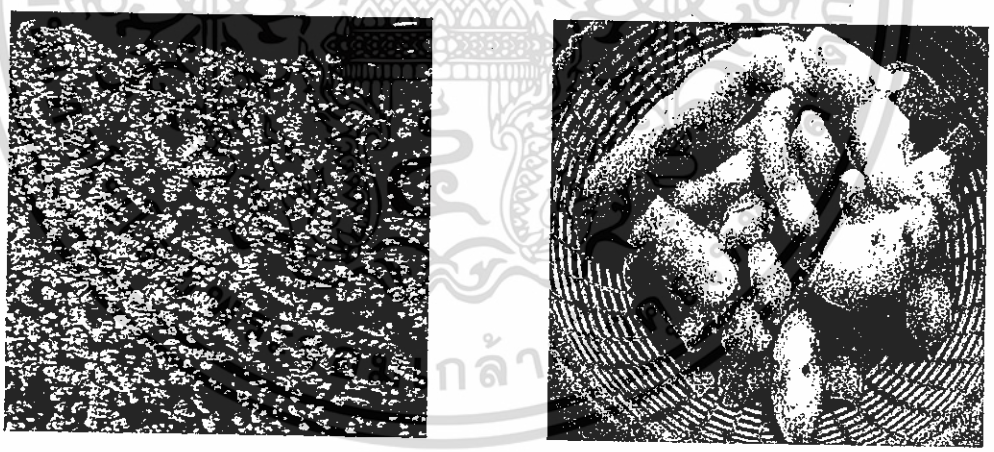
2. ข้อมูลการวิจัยสามารถนำมาใช้เพื่อการบูรณาการกับการเรียนการสอน ตลอดจนการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนในรูปแบบของการบริการวิชาการสู่ชุมชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแก่นตะวัน

แก่นตะวัน (Jerusalem artichoke) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Helianthus tuberosus* เป็นพืชตระกูลเดียวกับทานตะวัน ดอกมีสีเหลืองคล้ายกับดอกบัวตองแต่มีขนาดเล็กกว่า หัวมีรูปร่างอวบมีลักษณะคล้ายขิง เปลือกมีสีน้ำตาลอ่อน และเนื้อในมีสีขาว เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดอยู่แถบทวีปอเมริกาเหนือแต่สามารถปลูก เจริญเติบโตและปรับตัวได้ดีในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย (ดารารัตน์ มงคลการ และสาโรจน์ ศิริศันสนียกุล, 2554 : 18) จากการศึกษาของสนั่น จอกลอย และจิรยุทธ ดาเระสา (2549 : 139) พบว่า แก่นตะวันสามารถปรับตัวและปลูกให้ผลผลิตได้ดีในประเทศไทยโดยให้ผลผลิตเฉลี่ย 3-6 ตันต่อไร่ของหัวสด ซึ่งอาจแตกต่างกันบ้างตามฤดูปลูกและสถานที่ และเป็นพืชอายุสั้น (4-5 เดือน) ล่าสุดได้มีการศึกษาปรับปรุงพันธุ์แก่นตะวัน เพื่อให้เหมาะสมต่อการเพาะปลูกในเมืองไทย โดยเฉพาะ 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์แก่นตะวัน 1 และพันธุ์แก่นตะวัน 2 ซึ่งให้ผลผลิตสูงไร่ละ 2–3 ตัน ซึ่งทั้ง 2 พันธุ์เหมาะสำหรับการบริโภคหัวสดและใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปเป็นแป้งผง เนื่องจากมีหัวใหญ่และมีแขนงน้อย รสชาติหวานน้อย โดยเฉพาะพันธุ์แก่นตะวัน 2 จะมีกลิ่นหอม รสชาติหวานกรอบเหมาะใช้บริโภคหัวสด จึงอาจกล่าวได้ว่าแก่นตะวันเป็นพืชที่มีศักยภาพเชิงพาณิชย์ที่สามารถส่งเสริมให้เป็นพืชเศรษฐกิจตัวใหม่ เพื่อช่วยสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรในอนาคต



ภาพที่ 2.1 ลักษณะหัวแก่นตะวันสด

ปัจจุบันได้มีการนำแก่นตะวันมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์หลายประเภท เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากหัวแก่นตะวันเป็นแหล่งสะสมของอินูลินซึ่งเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพสูง รวมถึงการนำแก่นตะวันมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับหมักเป็นเอทานอลโดยใช้จุลินทรีย์ เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันที่มีราคาแพงขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากจะใช้เป็นอาหารคนหรือผลิตพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดแทนแล้ว แก่นตะวันยังสามารถนำมาทำแป้ง หรือใช้สารสกัดจากแก่นตะวันมาเสริมในอาหารสัตว์ เช่น อาหารไก่ สุกร หรือสุนัข เพื่อช่วยลดปริมาณแอมโมเนียในระบบทางเดินอาหารและในสิ่งขับถ่าย ทำให้ลดปริมาณสารที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นในสิ่งขับถ่าย จึงช่วยลดกลิ่นปฏิกูลมูลสัตว์ในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์รวมทั้งยังช่วยสร้างภูมิคุ้มกันให้แก่สัตว์เลี้ยงด้วย (นิมิต วรสูตร และสนั่น จอกลอย, 2549 : 4)

การปลูกและการดูแลรักษาต้นแก่นตะวัน โดยประภาส ช่างเหล็ก (2554 : 34–40) ได้อธิบายว่า ต้นแก่นตะวันสามารถปลูกได้เกือบทั้งปี จากการศึกษาทดลองที่สถานีวิจัยเพชรบูรณ์พบว่าแก่นตะวันจะมีปัญหาในเรื่องต้นไม่โตและต้นไม่ตั้งตรง คือต้นจะเลื้อยไปกับพื้น ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งอาจเป็นเพราะสภาพอากาศที่เย็นในเวลากลางคืนและร้อนในเวลากลางวัน ส่วนใหญ่ต่างประเทศอุณหภูมิทั้งกลางวันและกลางคืนใกล้เคียงกัน จึงไม่มีปัญหาเกี่ยวกับต้นแก่นตะวันเลื้อย จากที่ทราบมาในประเทศญี่ปุ่นสามารถปลูกแก่นตะวันได้ปีละครั้งเท่านั้น

การเก็บเกี่ยวแก่นตะวันเริ่มทำได้เมื่อดอกแก่นตะวันเริ่มโรย ซึ่งพบว่าแก่นตะวันมีอายุการปลูกประมาณ 120–140 วัน การเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงฤดูฝนต้นจะไม่แห้งเหมือนในช่วงฤดูหนาวหรือฤดูแล้งที่ต้นจะเริ่มแห้งประมาณ 40–50 เปอร์เซ็นต์ การเก็บเกี่ยวทำโดยตัดต้นกองข้างแปลงแล้วใช้จอบขุดหรืออาจถอนด้วยมือ จะได้ผลผลิตหัวแก่นตะวันสดประมาณ 3 – 5 ตันต่อไร่ (โดยทั่วไปจากผลการทดสอบการปลูกในพื้นที่ราบ ได้แก่ พันธุ์แก่นตะวันเบอร์ 1 และพันธุ์แก่นตะวันเบอร์ 2) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับฤดูปลูก แหล่งปลูกและการปฏิบัติดูแลรักษา จากการปลูกที่แปลงสถานีวิจัยเพชรบูรณ์ที่มีความสูงเฉลี่ยจากระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 800–1,200 เมตร ดินที่ปลูกเป็นดินร่วนเหนียวและมีการจัดการแปลงปลูกที่ดี ทำให้ได้ผลผลิตของทางสถานีฯ เฉลี่ยประมาณ 5–10 ตันต่อไร่ (มีทั้งหมด 3 แปลงทดลอง) จากการศึกษาอุณหภูมิที่เย็นในพื้นที่สูงมีผลต่อพันธุ์และผลผลิตของแต่ละสายพันธุ์ที่แตกต่างกันมาก เมื่อเทียบกับสายพันธุ์ที่แนะนำชำให้ปลูกในพื้นที่ราบ ได้แก่ พันธุ์แก่นตะวันเบอร์ 1 และเบอร์ 2 ส่วนการเก็บรักษาหัวแก่นตะวันสดเป็นปัญหาใหญ่ที่เกษตรกรรายย่อยไม่สามารถปลูกในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ เพราะหลังจากขุดหัวแก่นตะวันจากแปลงทิ้งไว้ไม่นานหัวจะเหี่ยว จึงจำเป็นต้องรีบเอาหัวที่ขุดเก็บเข้าห้องเย็นภายใน 24 ชั่วโมง จากนั้นเอาดินออกจากหัว บรรจุใส่ถุงปุ๋ย เขียนป้ายพันธุ์ให้ชัดเจน นำมาเก็บในห้องเย็นก่อนที่จะทำความสะอาดให้ดีอีกครั้ง หากปลูกหรือขุดจำนวนไม่มาก อาจจะล้างโดยใช้เครื่องยนต์เบนซินขนาด 5.2 แรงม้า ติดตั้งปั๊มน้ำฉีดที่หัวเพื่อทำความสะอาดแล้วนำไปผึ่งให้น้ำที่หัวแห้ง แล้วคัดแยกขนาดหัวที่เล็กไว้ทำพันธุ์ ส่วนหัวที่มีขนาดใหญ่หรือหัวขนาดพิเศษคัดแยก ตัดแต่งหัวหรือส่วนที่เน่าออกเพื่อบรรจุส่งจำหน่ายหรือนำเข้าเก็บในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เพื่อรอส่งจำหน่าย การเก็บหัวแก่นตะวันที่อุณหภูมินี้สามารถเก็บหัวสดไว้ได้ประมาณ 6–8 เดือน

2.1.1 สารสำคัญที่พบในแก่นตะวัน

หัวแก่นตะวันเป็นที่สะสมของโพลีแซคคาไรด์ (ฟรุคแทน) ในปริมาณสูง โดยพบว่ามีปริมาณฟรุคแทน 68-83 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 15-16 เปอร์เซ็นต์ เส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble fiber) 13 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง เป็นอินูลินประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ องค์ประกอบของแก่นตะวันมีคาร์โบไฮเดรตประเภทฟรุคแทน มีสารเส้นใยสูงประกอบด้วยอินูลินและฟรุคโตโอลิโกแซคคาร์ไรด์ (FOS) (อัตถ์ อัจฉริยมนตรี, 2555 : 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อินูลิน (inulin) เป็นสารจำพวกคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน มีโครงสร้างประกอบด้วยบีต้า–ดี ฟรุคแทน คือฟรุคโตซิล (fructosyl) ยึดต่อกับฟรุคโตส (fructose) ที่ตำแหน่ง β-2, 1 เป็นน้ำตาลฟรุคโตสและกลูโคส สัดส่วน 80 : 20 เชื่อมกันด้วยพันธะที่เอนไซม์ในมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ (β-2,1) อินูลินมีดีกรีโพลิเมอร์ไรเซชั่น (degree of polymerization : DP) ตั้งแต่ 10–60 เป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ซึ่งเมื่อรับประทานเข้าไปแล้วจะละลายน้ำและถูกดูดซึมได้ในรูปเดิมโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง อินูลินพบได้ในพืชหลายชนิดโดยมักสะสมอยู่ในหัวหรือรากที่ใช้สะสมอาหาร เช่น เห็ด หัวหอม ต้นกระเทียม หัวชิโกรี่ และหัวแก่นตะวัน เป็นต้น ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหารพบว่าแหล่งสำคัญของอินูลินได้มาจากหัวแก่นตะวัน และหัวชิโกรี่

2. ฟรุคโตโอลิโกแซคคาร์ไรด์ (FOS) เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทโอลิโกแซคคาร์ไรด์ที่มีดีกรีโพลิเมอร์ไรเซชั่นน้อยกว่า 10 เป็นโมเลกุลที่เกิดจากการย่อยของอินูลินด้วยเอนไซม์อินูเลส อย่างไรก็ตามในทางอุตสาหกรรมจะได้ปฏิกิริยาทรานส์ฟรุคโตซิเลชัน (transfructosylation) ของน้ำตาลซูโครส ฟรุคโตโอลิโกแซคาร์ไรด์พบได้ในพืชหลายชนิดเช่น หัวหอม กระเทียม ข้าวสาลี มะเขือเทศ แอปเปิ้ล และหัวแก่นตะวัน เป็นต้น

ประโยชน์ของอินูลินและฟรุคโทโอลิโกแซคคาร์ไรด์

ครรชิต จุดประสงค์ และคณะ (2553, 2–10) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของอินูลินและฟรุคโทโอลิโกแซคคาร์ไรด์ไว้ดังนี้

1. ความเป็นใยอาหาร

อินูลินและฟรุกโทโอลิโกแซคคาไรด์มีคุณสมบัติคล้ายใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (soluble dietary fiber) ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะบีต้า 2-1 ซึ่งร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ จึงทำให้สารเหล่านี้ไม่ถูกย่อยเป็นน้ำตาลสายสั้นๆ ทำให้มีประโยชน์หลายประการดังนี้

1.1 การช่วยควบคุมน้ำหนัก จากการที่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยอินูลิน และฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์เป็นน้ำตาลสายสั้นๆ ได้ ทำให้ไม่ให้พลังงาน แต่จะได้พลังงานเพียงเล็กน้อยจากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ในลำไส้มนุษย์เกิดเป็นกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid; SCFA) และกรดชนิดต่างๆ เช่น กรดอะซิติก (acetic acid) กรดบิวทิริก (butyric acid) และกรดโพรพิโอนิก (propionic acid) ให้พลังงานต่ำเพียง 1.5 กิโลแคลอรี่ต่ออินูลินหรือโอลิโกฟรุกโทส 1 กรัม นอกจากนี้การบริโภคอาหารที่เป็นแหล่งใยอาหารอินูลินปริมาณ 8-20 กรัม ร่วมกับมื้ออาหารพบว่าช่วยให้รู้สึกอิ่มและควบคุมพลังงานที่ได้รับจากอาหารสู่ร่างกายได้ แต่บางรายงานพบว่าปริมาณ 16 กรัมต่อวันของการบริโภค FOS จึงสามารถช่วยทำให้รู้สึกอิ่ม ทำให้ควบคุมพลังงานที่ได้รับต่อวันจากอาหารได้ดี

1.2 ช่วยบรรเทาอาการท้องผูก จากคุณสมบัติในการเป็นใยอาหาร การบริโภคที่ปริมาณ 15 ถึง 40 กรัม นาน 2 สัปดาห์ พบว่าช่วยเพิ่มความถี่ของการขับถ่ายและเพิ่มมวลอุจจาระได้ถึง 1.5 - 2 กรัมต่ออินูลิน 1 กรัม โดยเฉพาะอินูลินที่มีขนาด DP > 25 จึงนับว่าอินูลินมีประโยชน์มากในเรื่องของการขับถ่ายโดยเฉพาะเกิดประโยชน์กับผู้สูงอายุที่มีปัญหาของการขับถ่าย

1.3 ค่าดัชนีน้ำตาลต่ำและการชะลอการดูดซึมน้ำตาล มีรายงานการศึกษาพบว่าค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic Index, GI) มีความสัมพันธ์กับโรคหลายชนิด เช่น โรคเบาหวานชนิดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรคหัวใจและหลอดเลือด เป็นต้น ค่าดัชนีน้ำตาลจึงเป็นค่าหนึ่งที่กำหนดในการเลือกอาหารบริโภคเพื่อป้องกันความเสี่ยงต่อการเกิดโรคดังกล่าว โดยเฉพาะการป้องกันโรคแทรกซ้อนจากเบาหวานชนิดที่ 2 และโรคอ้วน ผลจากที่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยอินูลินโอลิโกฟรุกโทสและฟรุกโทโอลิโกแซคคาไรด์ได้ จึงทำให้ไม่ถูกย่อยเป็นน้ำตาลสายสั้นๆ และไม่มีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด ค่า GI จึงเกือบเป็นศูนย์ จากรายงานแสดงผลการศึกษาของการบริโภคฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ปริมาณ 8 กรัม นาน 2 สัปดาห์ ช่วยลดระดับน้ำตาลหลังอดอาหาร (fasting blood glucose) ในผู้ป่วยเบาหวานได้ แต่บางรายงานไม่พบว่ามีผลต่อผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 แต่สำหรับผู้มีสุขภาพดี การควบคุมระดับน้ำตาลหลังอดอาหารได้นั้นเกิดจากกรดที่ได้จากกระบวนการหมักในลำไส้ โดยเฉพาะกรดโพรพิโอนิกสามารถช่วยยับยั้งกระบวนการสร้างน้ำตาลจากตับ (hepatic gluconeogenesis) อย่างไรก็ตาม การเลือกบริโภคอาหารที่ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยย่อมช่วยลดโรคแทรกซ้อนที่อาจเกิดขึ้นได้

1.4 การช่วยเพิ่มการดูดซึมธาตุแคลเซียมในลำไส้ เป็นที่ทราบกันดีว่าธาตุแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของกระดูกและฟัน ปัจจุบันอัตราการเกิดโรคกระดูกพรุนมีเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะในหญิงวัยหลังหมดประจำเดือน นอกเหนือจากการบริโภคอาหารที่มีแคลเซียมให้เพียงพอต่อร่างกายแล้ว ยังมีการศึกษามากมายที่เกี่ยวข้องกับสารอาหารที่ช่วยในเรื่องการดูดซึมแคลเซียมให้ร่างกายได้รับมากขึ้น อินูลินและฟรุกโทโอลิโกแซคคาไรด์เป็นใยอาหารที่สามารถเกิดกระบวนการหมักได้ด้วยจุลินทรีย์ในลำไส้มนุษย์เกิดเป็นกรดไขมันสายสั้นและกรดชนิดต่างๆ ทำให้เกิดสภาวะที่เป็นกรดในลำไส้ ลดค่าความเป็นกรด-ด่างหรือค่าพีเอช ช่วยเพิ่มการละลายและดูดซึมแร่ธาตุได้ดียิ่งขึ้น มีการศึกษาอินูลินและโอลิโกฟรุกโทสปริมาณตั้งแต่ 15-40 กรัม ทั้งในกลุ่มวัยเจริญเติบโตหรือวัยรุ่นและในหญิงวัยหมดประจำเดือน

1.5 การรักษาสมดุลระดับไขมันไตรกลีเซอไรด์และคอเลสเตอรอลในเลือด การควบคุมระดับไขมันในเลือดมีความสัมพันธ์ต่อการลดปัจจัยการเกิดโรคเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด จากรายงานการบริโภคอินูลินหรือฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ 8-20 กรัม นาน 4 สัปดาห์ ช่วยควบคุมระดับไขมันและคอเลสเตอรอลในเลือดได้อย่างมีนัยสำคัญด้วยกลไกการควบคุมจากการเกิดอะซิเตตและโพรพิโอเนตที่สร้างขึ้นจากกระบวนการหมักอินูลิน โอลิโกฟรุกโทส และฟรุกโทโอลิโกแซคคาไรด์ในลำไส้

1.6 ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ จากการที่อินูลิน โอลิโกฟรุกโตสและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์เป็นใยอาหารที่อุ้มน้ำได้ดี ช่วยเพิ่มปริมาณของกากอาหาร กระตุ้นการบีบตัวของลำไส้ ทำให้ขับถ่ายสะดวกขึ้น สามารถช่วยดูดซับและดึงสารพิษออกจากร่างกาย ช่วยลดการหมักหมมของกากอาหารในลำไส้ ทำให้ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งลำไส้ได้ดี ผลจากกระบวนการหมักในลำไส้เกิดเป็นกรดชนิดต่างๆ ได้แก่ กรดบิวทิริกและกรดโพรพิโอนิก ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งได้ รวมทั้งการใช้ประโยชน์ร่วมกัน (synbiotic) ของใยอาหารอินูลิน SYN1 และจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ได้แก่ *Lactobacillus rhamnosus* GG (LGG) และ *Bifidobacterium lactis* Bb12 (BB12) เพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของเซลล์มะเร็งในผู้ป่วยมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความเป็นพรีไบโอติก

อินูลิน โอลิโกฟรุกโตส และฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์มีคุณสมบัติมากกว่าใยอาหารทั่วไป คือ มีคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกที่สามารถเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในลำไส้ของมนุษย์ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ได้แก่ บิฟิโดแบคทีเรีย (bifidobactiria) และยังลดจุลินทรีย์ที่ก่อโรค (pathogenic organism) เพิ่มภูมิคุ้มกันให้กับร่างกายได้อีกด้วยปริมาณที่ใช้ในการศึกษาในทารกเริ่มตั้งแต่ 1.25 กรัม ถึง 4 กรัมต่อวัน สำหรับผู้ใหญ่เริ่มที่ 5 กรัมต่อวัน ระยะเวลานาน 2 เดือนขึ้นไป การศึกษาทั้งอินูลินและโอลิโกฟรุกโตสที่ปริมาณ 15 กรัม ต่างช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของบิฟิโดแบคทีเรีย โดยเฉพาะโอลิโกฟรุกโตสที่ช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ก่อโรคหลายชนิด เช่น Bacteroid, Fusobacteria และ Clostridia

บทบาทและความแตกต่างระหว่างอินูลินกับฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ต่อสุขภาพ ประโยชน์ของอินูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ต่อสุขภาพโดยทั่วไปได้กล่าวมาแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตามยังมีความแตกต่างระหว่างอินูลินกับฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีต่อสุขภาพ คือความยาวของสายน้ำตาลฟรุกโตสของอินูลิน โอลิโกฟรุกโตส หรือฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ พบว่าไม่มีผลต่อการกระบวนการหมักแต่มีผลต่อการแตกตัว โอลิโกฟรุกโตสหรือฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์สามารถแตกตัวได้ง่ายกว่าจึงถูกใช้ในกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้มนุษย์ได้ดีกว่าอินูลิน ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์นอกจากสามารถช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์เหมือนอินูลินแล้ว การศึกษาบางเรื่องยังพบว่าสามารถช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ก่อโรคในร่างกายได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามบางการศึกษาพบว่าอินูลิน (DP 3-60) มีคุณสมบัติของความเป็นพรีไบโอติกเด่นชัดกว่า ส่วนการศึกษาทางคลินิกถึงประโยชน์ต่อสุขภาพจากการบริโภคอาหารที่เป็นแหล่งของใยอาหารอินูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์สูงเป็นประจำ ปริมาณที่ใช้ศึกษาพบที่ตั้งแต่ 5 กรัมขึ้นไป ทั้งอินูลิน โอลิโกฟรุกโตส หรือฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ หรือการใช้ร่วมกันของทั้งสายสั้นและสายยาวอินูลินซึ่งขึ้นกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการ เช่น ประโยชน์ด้านบรรเทาอาการท้องผูกหรือช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดนิยมใช้สายยาวอินูลิน ส่วนประโยชน์ด้านพรีไบโอติก นิยมใช้โอลิโกฟรุกโตสหรือฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ ในขณะที่ประโยชน์ด้านช่วยดูดซึมแคลเซียม นิยมใช้ร่วมกันของสายสั้นและสายยาวอินูลิน (mixshort and long chain inulin) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม อินูลินมีความยาวอยู่ในช่วง DP 2–60 ดังนั้นจึงให้ประโยชน์หลายด้านพร้อมกัน ปัจจุบันพบว่าในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารอินูลินนั้นมีปริมาณอินูลินอยู่ที่ 5 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค เช่น ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารอินูลินชนิดผง ได้กล่าวอ้างถึงสรรพคุณว่ามีส่วนช่วยลดอาการท้องผูกช่วยลดการดูดซึมของน้ำตาลและไขมันในเลือด ลดความเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดแข็งตัว เพิ่มการดูดซึมแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น แคลเซียม ส่งผลต่อการป้องกันโรคกระดูกพรุน และประโยชน์ทางด้านพรีไบโอติกเพื่อเพิ่มภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย ในผลิตภัณฑ์อาหารควบคุมน้ำหนัก เช่นกาแฟยี่ห้อต่างๆ พบว่า มีปริมาณอินูลิน 2.5 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค ส่วนในผลิตภัณฑ์นมชนิดต่างๆ และผลิตภัณฑ์นมผงดัดแปลงสาหรับทารกและสูตรต่อเนื่องถึง 3 ปี พบทั้งอินูลิน โอลิโกฟรุกโตส หรือฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ปริมาณอยู่ในช่วง 1 ถึง 3 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค โดยกล่าวอ้างว่าช่วยเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์สุขภาพในลำไส้ เสริมภูมิคุ้มกัน ช่วยปรับสมดุลให้กับลำไส้และช่วยให้ขับถ่ายเป็นปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ในลำไส้

ต้องสามารถช่วยเปลี่ยนแปลงจำนวนสัดส่วนของกลุ่มจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ (colonic microflora) โดยช่วยสนับสนุนชนิดที่เป็นประโยชน์ เช่น เพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์บางประเภท ขณะเดียวกันยังช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นอันตราย นอกจากนี้อินูลินยังช่วยในการดูดซึมแร่ธาตุและสังเคราะห์วิตามินบี อิทธิพลของการบริโภคซูโครส อินูลิน และโอลิโนฟรุกโทส 15 กรัม/วัน ที่มีต่อสัดส่วนชนิดของจุลินทรีย์ในลำไส้ของมนุษย์ ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 2.1 อิทธิพลของการบริโภคซูโครส อินูลิน และโอลิโกแซคคาร์ไรด์ 15 กรัม/วัน ต่อสัดส่วนของจุลินทรีย์ในลำไส้มนุษย์

ชนิดของจุลิทรีย์	สารอาหาร		
	ซูโครส	โอลิโกฟรุกโทส	อินูลิน
Bacteroids	72	16	26
Bifidobacteria	17	82	71
Clostridia	2	1	0.3
Fusobacteria	9	1	3

ที่มา : Kathy and Niness (1999 : 51)

4. แหล่งของใยอาหารอินูลิน และฟรุกโตโอลิโกแซคคาร์ไรด์ในธรรมชาติ

โดยทั่วไปใยอาหารอินูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาร์ไรด์ สามารถพบได้ในอาหารธรรมชาติ ปริมาณอินูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในพืชและผักหัวชนิดต่างๆ ที่เป็นแหล่งสะสมของแป้ง เช่น พืชหัวชนิดต่างๆ ผัก ผลไม้และเครื่องเทศ ตามตารางที่ 2 ได้แก่ หัวชิโครี (chicory) เยรูซาเล็ม อาร์ติโชค (Jerusalem artichoke) หัวหอม กระเทียม กล้วย ข้าวบาร์เลย์ และแป้งสาลี เป็นต้น สำหรับแหล่งที่พบในพืชของไทยทำการศึกษาโดย ครรชิต จุดประสงค์ และคณะ พบปริมาณอินูลินและและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์สูงในกระเทียมโทนหัวใหญ่ กระเทียมจีน กระเทียมไทยและแก่นตะวัน (19-24 กรัม ต่อ 100 กรัมตัวอย่างสด) และพบอาหารที่มีปริมาณอินูลินปานกลาง คือ หอมแดงและหอมแขก (3-10 กรัมต่อตัวอย่างสด 100 กรัม) ส่วนฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (DP 3-5) พบปริมาณสูงในแก่นตะวันหอมแดง และหอมแขกเช่นกัน (3-5 กรัมต่อตัวอย่างสด 100 กรัม)

5. ปริมาณอินูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่แนะนำในการบริโภค

อินูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ยังไม่ได้ถูกกำหนดปริมาณที่แนะนำให้คนบริโภคต่อวัน และยังไม่มีการศึกษาปริมาณการบริโภคโดยทั่วไปของคนไทย แต่มีรายงานการศึกษาปริมาณอินูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้รับจากอาหารที่บริโภคของคนอเมริกัน พบปริมาณการบริโภคอาหารที่เป็นแหล่งของใยอาหารอินูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์เฉลี่ยอยู่ที่ 1-4 กรัมต่อวัน ในขณะที่คนยุโรปบริโภคเฉลี่ยมากถึง 11 กรัมต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ปริมาณอินูลินและโอลิโกฟรุกโทสในพืชบางชนิด

ชนิดพืช	อินูลิน (กรัมต่อ 100 กรัม)	โอลิโกฟรุกโตส (กรัมต่อ 100 กรัม)
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 : 52)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณอินูลินและฟรุกโทโอลิโกแซคคาไรด์ในพืชบางชนิดของไทย

ชนิดพืช	ความชื้น	ปริมาณอินูลิน (กรัมต่ออาหารสด 100 กรัม)	ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์
กระเทียม	65.8 ±0.7	22.4±2.9	0.9±0.04
กระทียมจีน	69.1±1.4	24.3±1.9	1.7±0.96
กระเทียมโทนหัวใหญ่	61.4±0.7	29.2±5.6	1.61.42±
แก่นตะวัน	73.4±0.3	19.4±1.0	5.2±0.04
หอมแขก	86.2±0.5	3.6±1.0	3.1±0.54
หอมแดง	83.7±0.9	8.9±0.8	5.0±0.50

ที่มา : สนั่น จอกลอย และคณะ (2554 : 7)

6. ผลข้างเคียงจากการบริโภคอินูลินและฟรุกโทโอลิโกแซคคาไรด์

อินูลินและฟรุกโทโอลิโกแซคคาไรด์เป็นสารประกอบเชิงซ้อนในกลุ่มสารประเภทคาร์โบไฮเดรต และที่ให้พลังงานต่ำกว่าอาหารในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตทั่วไป อันเนื่องจากคุณสมบัติความเป็นใยอาหาร จากการศึกษาทางคลินิกซึ่งปริมาณที่ใช้ศึกษาอยู่ในช่วงไม่เกิน 40 กรัมต่อวัน พบอาการต่างๆ ที่สามารถย่อยได้ในร่างกาย กรณีที่ได้รับในปริมาณที่มากเกินไปอาจทำให้ถ่ายมากกว่าปกติหรือเกิดท้องเสียได้ มีรายงานการศึกษาที่เกี่ยวข้องโดยตรงของผลที่เกิดขึ้นกับร่างกายที่ได้รับปริมาณของอินูลินและฟรุกโทโอลิโกแซคคาไรด์ในกลุ่มอาสาสมัครที่มีสุขภาพดี ปริมาณการบริโภคที่ 30-40 กรัมต่อวัน ส่วนฟรุกโทโอลิโกแซคคาไรด์พบว่า มีอาการเกี่ยวข้องกับระบบทางเดินอาหารน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้แก่ อาการไม่สบายท้อง จุกเสียด แน่นท้อง ท้องอืด ท้องเฟ้อ ท้องเสีย คลื่นไส้ เป็นต้น อาการที่พบอาจเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นใยอาหาร จึงเกิดท้องอืดหรืออาการไม่สบายท้อง ในขณะที่บางการศึกษาพบว่ามีแนวโน้มที่จะเกิดอาการท้องอืดที่ปริมาณ 15 กรัม สำหรับอาการท้องเสียพบปริมาณการบริโภคที่ 50 กรัมต่อวัน สำหรับการศึกษาอื่นๆ ของอินูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ มีสรุปรายงานผลการศึกษาและอาการที่เกิดขึ้นทางระบบทางเดินอาหาร ในช่วงก่อนปี ค.ศ. 1999 บางการศึกษาพบเพียงอาการมีลมหรือเกิดแก๊สในกระเพาะเล็กน้อย (mild/slight flatulence) เริ่มต้นที่ประมาณ 15 กรัม ของฟรุกโทโอลิโกแซคคาไรด์หรืออินูลิน และมีอาการถ่ายเหลวมากกว่า 3 ครั้งต่อวัน ที่ประมาณ 30 กรัม ของฟรุกโทโอลิโกแซคคาไรด์ ทั้งนี้อาจขึ้นกับการตอบสนองของแต่ละบุคคล สำหรับในเด็กเล็กช่วงอายุ 10 ถึง 13 ปี ที่มีสุขภาพดีสามารถบริโภคได้ถึง 9 กรัม โดยไม่พบอาการไม่สบายท้อง ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารอินูลินหรือฟรุกโทโอลิโกแซคคาไรด์โดยทั่วไปจะเติมอยู่ที่ปริมาณไม่เกิน 10 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับบทสรุปของความปลอดภัยและข้อแนะนำของ Coussement ที่ได้แนะนำการบริโภคและฟรุกโทโอลิโกแซคคาไรด์หรืออินูลินโดยไม่มีผลข้างเคียง

7. การใช้ในทางอุตสาหกรรมอาหาร

อินูลินสามารถใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารโดยไม่ทำให้เนื้อสัมผัสอาหารต่างไปจากเดิมและมีลักษณะของอาหารที่ยอมรับได้ นอกจากช่วยลดพลังงานในผลิตภัณฑ์แล้วยังเพิ่มใยอาหารด้วย ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการเติมอินูลินทดแทน ได้แก่ ขนมปัง นม โยเกิร์ตพร้อมดื่มและเบเกอรี ในขณะที่โอลิโกฟรุกโตสถูกนำมาใช้เป็นสารทดแทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหารทำให้อาหารมีความหวานลดลงโดยให้ความหวานประมาณร้อยละ 30 ของน้ำตาลทราย แต่ให้ค่าดัชนีน้ำตาลที่ต่ำมาก ด้านโภชนาการ ศูนย์ธรรมชาติบำบัดบัลวี มีการสนับสนุนการบริโภคด้วยการนำหัวแก่นตะวัน ซึ่งพบว่าเป็นแหล่งใยอาหารอินูลินสูง ความชื้นสูง มีน้ำตาลธรรมชาติและพลังงานต่ำเป็นส่วนประกอบหนึ่งในตำรับอาหาร ได้แก่ ซุปแก่นตะวัน เมนูสลัดแก่นตะวัน และยาแก่นตะวัน ซึ่งเป็นเมนูอาหารที่ช่วยควบคุมน้ำหนัก จากลักษณะของแก่นตะวันที่มีหัวคล้ายขิงและข่า มีกลิ่นหอม รสชาติหวาน กรอบ คล้ายมันแกวสามารถบริโภคได้ทั้งสดๆ ช่วยให้ผู้บริโภครู้สึกอิ่มได้เร็วขึ้นและลดปริมาณอาหารที่บริโภคได้ จากการศึกษาของครรชิตและคณะ พบปริมาณอินูลินสูงในแก่นตะวัน ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ต่อแก่นตะวันสด 100 กรัม อยู่ในช่วง 14-20 กรัม ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (DP 3-5) อยู่ในช่วง 3-6 กรัม ดังนั้น ถ้านำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการบริโภคจริง ซึ่งเป็นปริมาณการบริโภคต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (serving size) อยู่ที่อาหาร 70 กรัมต่อคนที่บริโภคต่อวัน โดยเทียบจากปริมาณการบริโภคมันแกว ดังนั้น จะได้รับปริมาณอินูลินประมาณ 13.6 กรัม และฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ประมาณ 3.6 กรัม ซึ่งพบว่าเป็นปริมาณที่สูงและมีผลดีต่อสุขภาพดังที่กล่าวมาตอนต้น ดังนั้น แก่นตะวันจึงจัดเป็นพืชอาหารที่ส่งเสริมสุขภาพได้มาก โดยไม่จำเป็นต้องหาจากผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ราคาแพงตามท้องตลาด

8. การสนับสนุนทางภาคการเกษตร

ภาควิชาพืชไร่คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้ดำเนินการคัดเลือกสายพันธุ์ (genotype) และปลูกเพื่อการศึกษาวิจัยโดยสายพันธุ์ที่มีต้นกำเนิดสายพันธุ์มาจากประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคนาดาจำนวน 6 สายพันธุ์ คือ CN52867, JA 37, JA 38, JA 67, JA 68 และ JA102 ส่วนสายพันธุ์ที่มีต้นกำเนิดสายพันธุ์มาจากประเทศเยอรมันจำนวน 9 สายพันธุ์ คือ HEL 53,HEL 61, HEL 62, HEL 65, HEL 66, HEL 68, HEL 69, HEL 231 และ HEL 335 และอีก 1 สายพันธุ์ที่ไม่ทราบแหล่งกำเนิด คือ KKU AC 001 จากการวิเคราะห์ปริมาณอินูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในสายพันธุ์ต่างๆ ของแก่นตะวันพบว่ามีปริมาณที่สูงไม่แตกต่างกัน คือมี อินูลิน 14-20 กรัม และฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ 3-6 กรัมต่ออาหารสด 100 กรัม อย่างไรก็ตามแก่นตะวันเป็นที่รู้จักกันเฉพาะในกลุ่มผู้ที่ดูแลสุขภาพเท่านั้น ยังขาดการสนับสนุนในการบริโภคอีกทั้งการเพาะปลูกยังพบว่ามีในบางพื้นที่เท่านั้นคือพบได้เฉพาะในบางจังหวัดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น หนองคาย ขอนแก่น อุดรธานี มหาสารคาม สกลนคร นครราชสีมา นครพนม และร้อยเอ็ด ส่วนภาคกลาง ได้แก่ ลพบุรี และสระบุรี

2.1.2 การประยุกต์ใช้อินูลินในอุตสาหกรรมอาหาร

Phillips (2000 : 59) อธิบายว่า อินูลินใช้เป็นส่วนผสมอาหารที่มีการพัฒนาขึ้นมาใหม่ โดยอินูลินถูกใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารด้วยเหตุผล หลัก 2 ประการ คือ

1. สารแทนน้ำตาลและไขมัน น้ำตาลและไขมันเป็นส่วนผสมหลักที่สำคัญในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น นม ชีส เนยแข็ง ไอศกรีม โยเกริต์ และขนมปัง เป็นต้น เนื่องจากว่าอินูลินเมื่อรวมกับน้ำสามารถสร้างเนื้อสัมผัส และความรู้สึกในปากเหมือนอาหารที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบหลัก โดยทั่วไปไขมัน 1 กรัม สามารถทดแทนโดยใช้อินูลิน 0.25 กรัม ในผลิตภัณฑ์ประเภทแยมทาขนมปัง (spreads) พบว่า สามารถใช้อินูลินแทนไขมันได้ตั้งแต่ 2- 24 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นกับปริมาณไขมันที่ต้องการให้มีปริมาณลดลง และอินูลินยังถูกใช้แทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตและลูกกวาด ดังนั้นอินูลินจึงช่วยลดการใช้ไขมันหรือน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้

2. คุณสมบัติด้านอื่นๆ ในอาหาร คุณสมบัติด้านอื่นๆ ของอินูลิน ได้แก่ อินูลินมีความสามารถในการจับกับน้ำประมาณ 2 ต่อ 1 ให้รสชาติและสีที่เป็นกลาง ทำให้อินูลินสามารถการปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้มีลักษณะเฉพาะ เช่น สามารถปรับปรุงสมบัติการเคลื่อนที่ของอาหารและช่วยปรับปรุงความรู้สึกในปากและเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้น สามารถเกิดอิมัลชันในระบบของอินูลิน-น้ำ-น้ำมัน และระบบอินูลิน-น้ำ-กัม เมื่อเรารับประทานอินูลิน อินูลินจะผ่านระบบการย่อยพื้นฐานของร่างกายเราโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งถึงลำไส้ใหญ่ซึ่งเป็นแหล่งที่กลุ่มจุลินทรีย์ที่อยู่ในนั้นจะทำการหมักอินูลินเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสันดาปและผลิตภัณฑ์สุดท้าย ทำให้อินูลินมีคุณสมบัติเป็นใยอาหารและเป็นพรีไบโอติก จึงถูกใช้เป็นส่วนผสมในอาหารในผลิตภัณฑ์หลายชนิด จากคุณสมบัติที่มีอิทธิพลที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ผลิตภัณฑ์ที่เติมพรีไบโอติกจึงเริ่มได้รับการยอมรับมากขึ้นและขยายตัวอย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นยังมีการใช้อินูลินในผลิตภัณฑ์อื่นๆ อีกมากมาย เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมและผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพซึ่งสามารถหาซื้อได้ตามร้านขายอาหารเพื่อสุขภาพทั่วไป

2.1.3 การใช้ประโยชน์จากแก่นตะวันในอุตสาหกรรมต่างๆ

สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล (2554 : 2) ได้กล่าวถึงการแปรรูปแก่นตะวันเป็นอาหารไว้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แป้งแก่นตะวัน เตรียมได้โดยล้างหัวแก่นตะวันให้สะอาด ปอกเปลือก และหั่นเนื้อแก่นตะวันเป็นชิ้นบาง นำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน จากนั้นบดเนื้อแก่นตะวันแห้งให้ละเอียด จะได้ผลิตภัณฑ์แป้งแก่นตะวัน ที่เป็นทั้งใยอาหารและสารพรีไบโอติก สามารถใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ขนมอบและขนมขบเคี้ยวได้

2. แป้งอินูลิน เตรียมได้จากหัวแก่นตะวันสดและแป้งแก่นตะวันโดยการสกัดด้วยน้ำร้อน ทำให้สารละลายเข้มข้นและตกตะกอนด้วยเอทานอล จากนั้นนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยจะได้ผลิตภัณฑ์แป้งอินูลิน ซึ่งเป็นสารพรีไบโอติก สามารถใช้เป็นสารเติมแต่งอาหารในผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์เนื้อ น้ำผักและผลไม้พร้อมดื่ม เครื่องดื่มธัญพืช ชาและกาแฟ อาหารทารกและเด็กอ่อน หรือใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเสริมสุขภาพ เป็นต้น

3. น้ำเชื่อมฟรุกโทสและ/หรืออินูโลโอลิโกแซคคาร์ไรด์ ผลิตได้จากหัวแก่นตะวันสดและแป้งแก่นตะวัน โดยการสกัด/ละลายด้วยน้ำร้อน ทำให้สารละลายเข้มข้น ก่อนการเติมเอนไซม์อินนูลิเนสและอินเวอร์เทสจากจุลินทรีย์ บ่มภายใต้สภาวะที่เหมาะสม สารอินูลินจากแก่นตะวันจะถูกย่อยสลายได้เป็นน้ำตาลฟรุกโทสและ/หรืออินูโลโอลิโกแซคคาร์ไรด์ เมื่อกำจัดสีทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้นแล้ว จะได้ผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมฟรุกโทสและ/หรืออินูโลโอลิโกแซ็กคาร์ไรด์ ที่สามารถใช้เป็นสารให้ความหวานที่มีองค์ประกอบของสารพรีไบโอติก ซึ่งใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องดื่มสุขภาพ (น้ำผักและผลไม้ เครื่องดื่มธัญพืช) ชาและกาแฟลดไขมัน ผลิตภัณฑ์นม (นมเปรี้ยวและโยเกิร์ต) อาหารเด็กอ่อน และผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป (แหนมและไส้กรอก) เป็นต้น

2.2 การแปรรูปอาหารโดยกระบวนการหมัก

การหมัก (Fermentation) เป็นกรรมวิธีในการถนอมและแปรรูปอาหารวิธีหนึ่งที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ การหมักมี 2 ระบบ คือ ระบบที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน สำหรับขั้นตอนการหมักนั้นประกอบด้วยการเตรียมวัตถุดิบ การหมักและการเก็บอาหารหมักดอง กระบวนการผลิตอาหารหมักดองขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการหมักอาหารชนิดนั้นๆ ดังนั้นจึงสามารถแบ่งลักษณะของกระบวนการผลิตอาหารหมักดองได้เป็นกระบวนการผลิตอาหารหมักดองจากจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างกรดแลคติก กลุ่มที่สร้างกรดแอซิติก กลุ่มที่สร้างแอลกอฮอล์ และจุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆ อาหารหมักดองแต่ละชนิดส่วนใหญ่จะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับความสามารถในการควบคุมสภาพการหมักอาหารนั้นด้วย อาหารหมักดองจะมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคได้ถ้าสามารถควบคุมความสะอาดของวัตถุดิบ และมีการใช้กล้าเชื้อบริสุทธิ์ในการหมัก นอกจากนั้นในการทำอาหารหมักดองจำเป็นที่จะต้องควบคุมของเสียที่เกิดขึ้น รวมทั้งแนวทางในการบำบัดเพื่อไม่ให้ของเสียเหล่านั้นกระทบกระเทือนต่อสิ่งแวดล้อม (วิเชียร ลีลาวัชรมาศ และวรวุฒิ ครูส่ง, 2545)

อาหารหมักที่ได้จากพืชและสัตว์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ยอมรับของผู้บริโภค และเป็นส่วนสำคัญของอาหารในหลายภูมิภาคของโลก โดยทำให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพ เพราะในอาหารหมักส่วนหนึ่งมีจุลินทรีย์ที่เป็นโพรไบโอติกส์ โดยโพรไบโอติกส์จัดเป็นส่วนประกอบของจุลินทรีย์ที่มีชีวิตในอาหารหมัก หรืออาหารที่มีจุลินทรีย์เป็นองค์ประกอบ หรือเป็นอาหารเสริม ซึ่งมีประโยชน์ต่อมนุษย์หรือเจ้าบ้าน (host) มีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความสมดุลย์ของจุลินทรีย์ในลำไส้ โพรไบโอติกส์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียกลุ่มแลคโตบาซิลลัส และบิฟิโดแบคทีเรีย ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่พบได้ในลำไส้ใหญ่ของคนปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตลาดได้แก่ *Lactobacillus, Streptococcus, Enterococci* หรือ Bifidabacterium ในประเทศแถบยุโรปโพรไบโอติกส์พบได้ในผลิตภัณฑ์นมหมัก (Kalantzopoulos, 1997)

2.2.1 กระบวนการหมักแอลกอฮอล์ (Alcoholic fermentation)

เป็นการสลายกลูโคสโดยไม่ใช้ออกซิเจน ผลิตผลจากการหมักได้เป็นเอธานอลหรือเอทิลแอลกอฮอล์ กระบวนการหมักเริ่มต้นด้วยวิถีไกลโคไลซิสเช่นเดียวกับการสลายอาหารแบบใช้ออกซิเจนกล่าวคือ กลูโคส 1 โมเลกุลสลายได้กรดไพลูวิก 2 โมเลกุล แล้วปล่อย ATP 2 โมเลกุล และไฮโดรเจน 4 อะตอม NAD จะมารับไฮโดรเจนเป็น $NADH^+H^+$ และจะถ่ายทอดอะตอมของไฮโดรเจนให้กับแอซิตัลดีไฮด์ ซึ่งมีคาร์บอน 2 อะตอม จึงไม่สามารถนำเอาพลังงานอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในอะตอมของไฮโดรเจนมาสร้าง ATP ได้อีก ดังนั้นการสลายกลูโคส 1 โมเลกุล จึงได้ ATP เพียง 2 โมเลกุลเท่านั้น เอธานอลที่ได้จากการสลายกลูโคสถ้ามีปริมาณมากจะเป็นอันตรายต่อเซลล์ ร่างกายจะมีกระบวนการเปลี่ยนเอธานอลให้เป็นสารอื่นที่ไม่เป็นอันตรายแก่เซลล์ และขับออกจากร่างกายโดยระบบขับถ่าย ในกลุ่มของจุลินทรีย์เมื่อนำยีสต์มาเลี้ยงในน้ำตาลจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอธานอล ถึงแม้เอธานอลจะเป็นพิษต่อยีสต์ก็ตาม การหมักนั้นจะไม่ให้อากาศเข้าสู่ภาชนะที่ใช้หมักและให้อาหารยีสต์อย่างเพียงพอจะเกิดสมการดังนี้

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + \text{พลังงาน}$$

แต่ถ้าอากาศเข้าสู่ภาชนะที่ใช้หมักจะทำให้ยีสต์หายใจแบบใช้ออกซิเจน เกิดสมการดังนี้

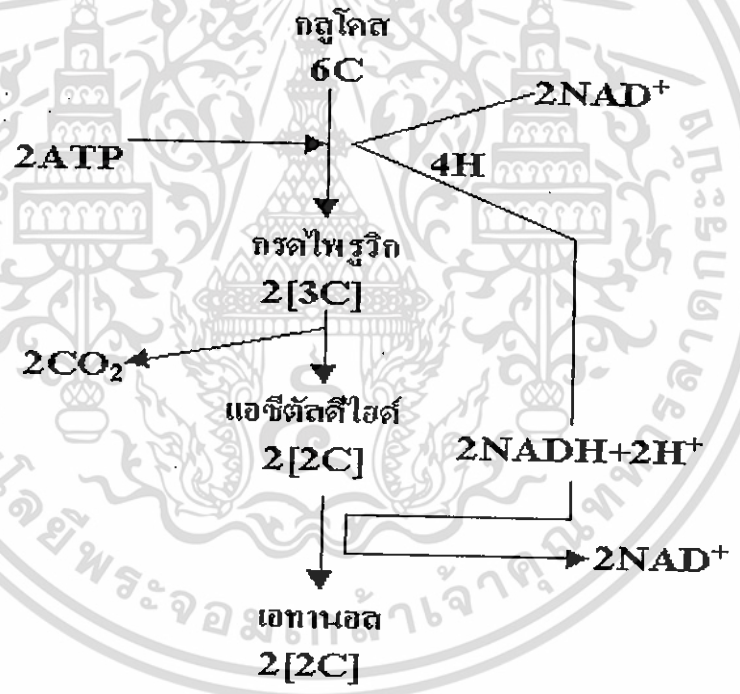
$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + H_2O + \text{พลังงาน}$$

เอธานอลที่ได้จะมีพลังงานศักย์สะสมอยู่เพราะสามารถติดไฟได้ จึงกล่าวได้ว่าเป็นการสลายของอาหารที่ไม่สมบูรณ์ ส่วนสมการที่ใช้ออกซิเจนไม่เหลือพลังงานอยู่ในส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์ ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการหมักแบบนี้ที่สำคัญคือ เบียร์ สุรา ไวน์ต่างๆ ในปัจจุบันมีผู้นำความรู้นี้ไปผลิตแอลกอฮอล์จากวัสดุเหลือใช้ เช่น การผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล นอกจากลดปัญหามลภาวะของกากน้ำตาลแล้ว แอลกอฮอล์ยังเป็นสารที่มีพลังงานแฝงอยู่มาก สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ในการทำขนมปัง เมื่อใส่ยีสต์ลงไปในส่วนผสมที่ทำขนมปัง ขนมปังจะฟูเพราะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในขนมปัง และเมื่อสูดดมจะได้กลิ่นแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการหมักแอลกอฮอล์

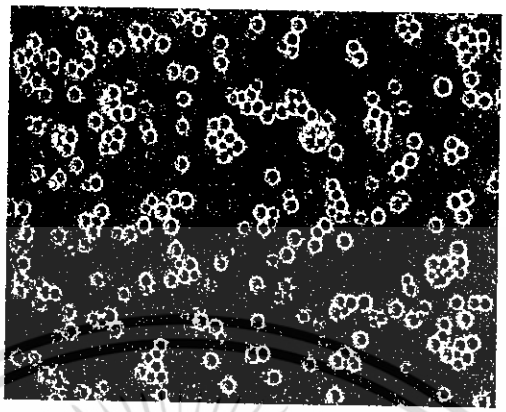
Saccharomyces cerevisiae เป็นยีสต์ชนิดหนึ่งที่มีรูปร่างกลม รูปไข่ หรือรูปยาว อาจมีการสร้างไมซีเลียมเทียม การสืบพันธุ์จะเป็นแบบแตกหน่อชนิดที่เกิดได้ที่ขั้วของเซลล์ และโดยการสร้างแอสโคสปอร์ ซึ่งเป็นการเกิดขึ้นภายหลังจากคอนจูเกชั่นหรืออาจพัฒนาจากเซดิพลอยซึ่งอยู่ในระยะเวเจตเททีฟ ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมขนมปัง อุตสาหกรรมไวน์ กลีเซอรอล และอินเวอเทส มีทั้งทอปยีสต์ที่เป็นเฟอเมนเตอร์ที่แอคทีฟมากและเจริญได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เกิดการรวมกลุ่มของเซลล์และปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาอย่างรวดเร็ว ทำให้เซลล์ลอยขึ้นไปอยู่บนผิวหน้าของอาหาร จึงเรียกว่าทอปยีสต์ (สุมาลี เหลืองสกุล, 2535)



ภาพที่ 2.2 กระบวนการหมักแอลกอฮอล์

ที่มา : www.thaigoodview.com/library/studentshow/st2545/5-5/no21/alcoholic_fermentation.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 เซลล์ *Saccharomyces cerevisiae* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์
ที่มา : http://fig.cox.miami.edu/~cmallery/255/255hist/yeast.jpg

2.2.3 การหมักกรดแลคติก (Lactic acid fermentation)

แบคทีเรียกรดแลคติกสร้างพลังงานจากการหมักคาร์โบไฮเดรตเกิดเป็นกรดแลคติก โดยมีวิถีการสังเคราะห์กรดแลคติก 2 วิธีทาง คือ วิถีทางที่ได้กรดแลคติกเพียงอย่างเดียว เรียกว่า โฮโมเฟอร์เมนเททีฟ (homofermentative) และวิถีทางที่ได้กรดแลคติกร่วมกับสารอื่นในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน เรียกว่าเฮทเทอโรเฟอร์เมนเททีฟ (heterofermentative)

โฮโมเฟอร์เมนเททีฟ (homofermentative) เป็นกระบวนการหมักที่ได้กรดแลคติกเป็นผลผลิตเพียงอย่างเดียวโดยผ่านวิถีไกลโคไลซีส เริ่มต้นจากกลูโคสที่มีคาร์บอน 6 อะตอม (C-6) ถูกเติมฟอสฟอรัสและเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างขึ้นก่อนที่เอนไซม์อัลโดเลส (aldolase) จะเข้าทำปฏิกิริยา เป็นผลให้โมเลกุลแตกออกเป็นกลีเซอรอลดีไฮด์ -3-ฟอสเฟต (ซึ่งมีคาร์บอน 3 อะตอม) 2 โมเลกุล จากนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นไพรูเวท และเกิดพลังงานในรูปของ ATP ขึ้น 2 โมเลกุล จากการหมักกลูโคส 1 โมเลกุล ในขั้นสุดท้ายเป็นการรีดิวซ์ไพรูเวทให้เป็นแลคเตท ซึ่งในขั้นตอนนี้ต้องใช้ NADH และได้ NAD^+ กลับคืนมา

เฮทเทอโรเฟอร์เมนเททีฟ (heterofermentative) เป็นกระบวนการหมักที่ได้กรดแลคติก เอธานอล หรืออะซิเตทและคาร์บอนไดออกไซด์จากการการหมักกลูโคส เนื่องจากแบคทีเรียขาดเอนไซม์อัลโดเลสจึงเปลี่ยนรูปจากกลูโคสที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ไปเป็นเพนโทส (ไรโบส) ซึ่งมีคาร์บอน 5 อะตอม โดยการจัดโครงสร้างภายในโมเลกุลที่มีการออกซิเดชันและดีคาร์บอกซิเลชันร่วมด้วย น้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอมนี้จะถูกทำให้แตกออกเป็นกลีเซอรอลดีไฮด์ฟอสเฟต (ซึ่งเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่มีคาร์บอน 3 อะตอม) และอะเซททิลฟอสเฟต โดยเอนไซม์ฟอสโฟคีโตเลส (phosphoketolase) กลีเซอรอลดีไฮด์ฟอสเฟสจะเปลี่ยนไปเป็นแลคเตทเช่นเดียวกับการเกิดไกลโคไลซีสในการหมักแบบโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ (แต่เนื่องจากการหมักแบบเฮทเทอโรเฟอร์เมนเททีฟมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลีเซอรอลดีไฮด์ฟอสเฟตเพียง 1 โมเลกุล จึงเกิด ATP เพียง 1 โมเลกุล) ส่วนอนาคตของแอซิทิลฟอสเฟตนั้น ขึ้นอยู่กับว่าจะมีสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเลคตรอนอยู่ด้วยหรือไม่ ในสภาวะที่ขาดอิเลคตรอนอะเซทติลฟอสเฟตจะทำหน้าที่นี้เสียเอง ทำให้ถูกรีดิวซ์เป็นเอทธานอล และได้ NAD^+ ขึ้นมาใหม่ 2 โมเลกุล จากเอนไซม์ NADH แต่ในสภาวะที่มีออกซิเจน NAD^+ สามารถสร้างขึ้นใหม่จากเอนไซม์ NADH oxidase และ peroxidase ปล่อยให้อะเซทติลฟอสเฟตมีมากพอสำหรับการเปลี่ยนไปเป็นอะซิเตท จึงเท่ากับเป็นการเติมฟอสเฟตให้กับสับสเตรทอีกทางหนึ่ง เป็นผลให้ได้ ATP เพิ่มขึ้นมาอีก 1 โมเลกุล เป็น 2 โมเลกุลจากกลูโคส 1 โมเลกุล เช่นเดียวกับการหมักแบบโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ ในกรณีที่มีการเพิ่มขึ้นของ ATP สะท้อนให้เห็นได้จากอัตราการเจริญเติบเติบของแบคทีเรียที่เป็นไปอย่างรวดเร็ว ผลเช่นเดียวกันนี้สามารถเกิดขึ้นกับตัวรับอิเลคตรอนตัวอื่นๆ ด้วย เช่น ฟรุกโทส ซึ่งจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นแมนนิทอล การระบุว่าเกิดการหมักแบบเฮทเทอโรเฟอร์เมนเททีฟหรือไม่นั้นอาศัยการชี้บ่งด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น

2.2.4 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการหมักกรดแลคติก

แบคทีเรียกรดแลคติก (Lactic Acid Bacteria : LAB) เป็นแบคทีเรียแกรมบวก ไม่เคลื่อนที่ ไม่สร้างเอนไซม์แคตาเลส ไม่สร้างสปอร์ ส่วนลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่ามีทั้งรูปร่างกลมและรูปร่างแท่ง ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียกลุ่มนี้ได้จากการใช้น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลแลคโตสเป็นแหล่งคาร์บอนได้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นกรดแลคติก ตัวอย่างของแบคทีเรียกรดแลคติคที่พบ ได้แก่ *Lactobacillus, Pediococcus, Streptococcus* และ *Leuconostoc* แบคทีเรียกรดแลคติกได้ถูกจำแนกไว้ทั้งหมด 12 สกุลด้วยกัน ได้แก่ *Aerococcus, Carnobacterium, Enterococcus, Lactobacillus, Lactococcus, Leuconostoc, Oenococcus, Pediococcus, Streptococcus, Tetragenococcus, Vagococcus* และ *Weissella* แบคทีเรียกรดแลคติกตามธรรมชาติพบได้ในอาหารหมักหลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียกรดแลคติกที่ปนเปื้อนมาจากผลิตผลทางการเกษตร และเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร ปัจจุบันได้มีการพัฒนาถึงการใช้ประโยชน์ของแบคทีเรียกลุ่มนี้เพื่อใช้เป็นกล้าเชื้อในกระบวนการผลิตอาหารหมักหลายชนิด เช่น ไส้กรอกหมัก ผลิตภัณฑ์นมหมัก จากเทคนิคการผลิตกล้าเชื้อจุลินทรีย์มีผลทำให้เกิดการพัฒนากระบวนการหมักและผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ โดยการเพาะเลี้ยงกล้าเชื้อให้มีลักษณะที่ดี ตัวอย่างของอาหารหมักหลายชนิดที่หมักด้วยกล้าเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เนื้อ ผลิตภัณฑ์จากปลา ผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์จากพืชหัว ผลิตภัณฑ์จากผักและผลไม้ ผลิตภัณฑ์จากถั่ว ผลิตภัณฑ์จากธัญพืช และผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม เป็นต้น (ปิ่นมณี ขวัญเมือง, 2547)

แบคทีเรียกรดแลกติก หรือแลกติกแอซิดแบคทีเรีย เป็นแบคทีเรียที่พบมากในอาหารประเภท อาหารหมัก เช่น แหนม ผักดอง ผลไม้ดอง ไส้กรอกเปรี้ยว ผลิตภัณฑ์นม เช่น เนยแข็ง นมเปรี้ยว หรือโยเกิร์ต และยังพบได้ในร่างกายคนและสัตว์ เช่น ระบบทางเดินหายใจ และระบบทางเดินอาหาร อวัยวะสืบพันธุ์ ในระดับอุตสาหกรรมมีการใช้แบคทีเรียแลกติกเป็นหัวเชื้อตั้งต้นเพื่อเติมลงไปในอาหาร มีผลต่อกลิ่น รส และเนื้อสัมผัสของอาหาร การที่แบคทีเรียแลคติกมีความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค และจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียได้เนื่องจากกรดแลคติกที่แบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

143107

ผลิตขึ้นทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค หรือจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมาในอาหาร นอกจากนี้ยังสร้างสารระเหยที่มีกลิ่นเฉพาะตัวเช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไดอะซิติล (diacetyl) มีผลต่อคุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์อาหาร และในบรรดาสารสำคัญที่แบคทีเรียแลคติกสร้างขึ้น มีสารที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง คือ แบคทีริโอซิน (bacteriocin) ซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์อื่นได้อย่างจำเพาะ ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีความพยายามที่ใช้แบคทีริโอซินจากแบคทีเรียแลคติกมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร แบคทีริโอซินที่ได้ถูกนำมาใช้ในทางอุตสาหกรรมอาหาร และเป็นที่ยอมรับแล้วว่าบริโภคปลอดภัย ได้แก่ ไนซิน (nisin) ที่สร้างมาจาก แลคโตบาซิลัส แลคติส (*Lactococcus lactis*) ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเนื้อ ผักบรรจุกระป๋อง เนย นม และโยเกิร์ต ปัจจุบันผู้คนให้ความสนใจเกี่ยวกับจุลินทรีย์สุขภาพกันอย่างมาก ผลิตภัณฑ์บางอย่างได้มีการใช้จุลินทรีย์สุขภาพในการผลิต เช่น นมเปรี้ยว เนยแข็ง ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้เป็นการผลิตมาจากแบคทีเรียแลคติก ต่อมาได้มีการนำเอาแบคทีเรียแลคติกหลายชนิดรวมกันเพื่อเสริมประสิทธิภาพการทำงานให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจัดได้ว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็น โพรไบโอติกส์ชนิดหนึ่งซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมากให้ผู้บริโภค

Lactobacillus pentosus

เป็นแบคทีเรียกรดแลคติกรูปร่างแท่ง เซลล์มีลักษณะเป็นแท่งตรง ปลายมน มีขนาดความกว้าง 1.0 - 1.2 ยาว 2.0 - 5.0 ไมครอน พบอยู่เป็นเซลล์เดียว เป็นคู่ หรือโซ่สายสั้นๆ เจริญได้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะผลิตกลีเซอรอลในการหมัก เป็นแบคทีเรียที่ได้จากข้าวโพดหมัก มะกอกหมักและมูลสัตว์ (Wood and Holzapfel, 1995 : 43 - 44) แบคทีเรียสายพันธุ์นี้ เป็นสายพันธุ์ที่สามารถผลิตแบคเทอริโอซินได้ สามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส ค่าพีเอชเป็นกลาง และสภาวะที่ไม่มีโซเดียมคลอไรด์ อย่างไรก็ตามสภาวะที่กระตุ้นให้เกิดแบคเทอริโอซินเจริญได้ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส และสภาวะที่ทนโซเดียมคลอไรด์ได้ปานกลาง (http://www.Cababstractsplus.org/google/abstract.aps?AcNo=20053107655).

ภาพที่ 2.4 ลักษณะรูปร่างเซลล์ของแลคโตลาซิลลัส เพนโตซัส
ที่มา : http://kucon.lib.ku.ac.th/Fulltext/KC4506011.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แบคทีเรียกรดแลคติก การหมัก และผลิตภัณฑ์

สกุล	ชนิดของการหมัก	ผลิตภัณฑ์หลัก	โครงร่าง
Stappococcus	Homofermentative	lactate	L(+)
Pediococcus	Homofermentative	lactate	DL ,L(+)
Lactobacillus	Homofermentative	lactate	
Thermobacterium	Homofermentative	lactate	D(-), L(+), DL
Streptobacterium	Homofermentative	Lactate	D(-), L(+), DL
	Heterofermentative[1]	Lactate : acetate (1:1)	D(-), L(+), DL
Betabacterium	Heterofermentative	lactate : acetate : CO_2 (1:1:1)	DL
Leuconostoc	Heterofermentative	Lactate : acetate : CO_2 (1:1:1)	D (-)
Bifidobacterium	heterofermentative	lactate: acetate (2:3)	L (+)

ที่มา : Kandler (1983)

โพรไบโอติกส์ (Probiotics)

โพรไบโอติกส์ หมายถึงกลุ่มของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ซึ่งพบได้ในบริเวณลำไส้ที่เรียกว่า gastrointestinal (GI) tract และยังรวมถึงจุลินทรีย์ที่เตรียมขึ้นเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอาหารในรูปที่มีชีวิต อาหารประเภทโพรไบโอติกส์โดยทั่วไปมีส่วนผสมของจุลินทรีย์หนึ่งชนิดหรืออาจมากกว่าหนึ่งชนิดก็ได้ ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มนี้ต้องได้รับการศึกษาและตรวจสอบอย่างแน่ชัดแล้วว่าไม่มีผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค จุลินทรีย์ที่เป็นโพรไบโอติกส์ส่วนใหญ่ได้แก่ แบคทีเรียหลายสายพันธุ์ เช่น แลคโทบาซิลลัส (*Lactobacillus*) เมื่อมนุษย์บริโภคเข้าไปแล้วจะเป็นตัวช่วยควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ที่ร่างกายไม่ต้องการให้อยู่ในปริมาณที่ไม่ก่อให้เกิดโรค หรืออาจก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ แก่ร่างกายได้ เชื้อจุลินทรีย์โปรไบโอติกส์ส่วนใหญ่ได้รับจากการบริโภคอาหารที่มีส่วนประกอบ ของโปรไบโอติกส์ เช่น ผลิตภัณฑ์นมหมักชนิดต่างๆ แหนมสด แบคทีเรียที่เป็นโปรไบโอติกส์มีคุณสมบัติปกป้องร่างกายไม่ให้ได้รับอันตรายจากเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค และยังสามารถผลิตเอนไซม์มาย่อยสารอาหารบางประเภทที่ระบบการย่อยอาหารในร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ให้เป็นสารที่มีประโยชน์และร่างกายดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ (ปิ่นมณี ขวัญเมือง, 2548)

ลักษณะของโพรไบโอติกส์ที่ดีคือ ควรอยู่ได้เป็นเวลานานในสภาพแวดล้อมที่เก็บรักษา สามารถมีชีวิตอยู่รอดได้ที่กระเพาะอาหารที่มีค่าพีเอชต่ำ สามารถเพิ่มจำนวนได้ที่อิพิทีเลียม (epithelium) ณ บริเวณลำไส้ของเจ้าบ้าน ไม่เป็นพิษ และต้องมีอิทธิพลต่อการส่งเสริมการเจริญหรือทนต่อการติดเชื้อ (Kalantzopoulos, 1997) โปรไบโอติกส์ที่ใช้เพื่อการบริโภคของมนุษย์ส่วนใหญ่แล้วประกอบด้วยจุลินทรีย์ในกลุ่มแบคทีเรียกรดแลคติก และ *Bifidobacterium* และอีกกลุ่มหนึ่งที่ใช้ คือยีสต์ *Scaaharomyces boulardii* ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นโพรไบโอติกส์ได้ดี ทั้งแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์เป็นกลุ่มของจุลินทรีย์ที่นำมาใช้กับอาหารหมักเป็นเวลานาน ขณะที่การใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bifidobacterium เพื่อเป็นอาหารของมนุษย์นั้นเริ่มมาเมื่อเมื่อไม่นานนี้ ชนิดของโพรไบโอติกส์ที่ใช้ในปัจจุบัน แสดงในตารางที่ 5 (Chadwick et al., 2003)

คำว่า โพรไบโอติกส์ (probiotics) คือ เซลล์ของจุลินทรีย์ที่มีชีวิต และมีประโยชน์อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค ทำให้เกิดสมดุลย์ของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของคน หรือสัตว์ ทำให้เกิดความต้านทานของจุลินทรีย์ก่อโรคในลำไส้ ประโยชน์ของโพรไบโอติกที่มีต่อร่างกายมนุษย์มีด้วยกันหลายประการ ได้แก่ กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ทำให้ร่างกายไม่เจ็บป่วยง่าย ช่วยยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็ง และกำจัดสารก่อมะเร็งบางชนิดสามารถสร้างเอนไซม์ที่ย่อยน้ำตาลแลคโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลในน้ำนมให้ได้เป็นน้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลกาแลคโตส ทำให้ดูดซึมเข้าลำไส้เล็กได้ ลดอาการท้องอืด ท้องร่วงจากการดื่มนม และยังช่วยในการดูดซึมแคลเซียม ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคโดยไปปรับความเป็นกรด-ด่าง ทำให้ไม่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ก่อโรค ลดระดับการสังเคราะห์โคเลสเตอรอลและระดับน้ำตาลในเลือด ทำให้ระบบขับถ่ายปกติ เพิ่มปริมาณกากอุจจาระ ทำให้ไม่มีการสะสมของๆ เสีย ลดการเสี่ยงที่เกิดโรคมะเร็งลำไส้ได้ การที่จะจัดว่าจุลินทรีย์ใดเป็นจุลินทรีย์โปรไบโอติกส์ หรือไม่นั้นต้องพิจารณาว่า จุลินทรีย์นั้นเป็นสายพันธุ์ที่เป็นประโยชน์ไม่ก่อให้เกิดพิษ หรือสร้างสารพิษ สามารถทนอยู่ในกระเพาะอาหารของคนและสัตว์ได้ มีความสามารถที่เกาะกับผนังลำไส้ได้ดีกว่าจุลินทรีย์อื่นๆ แบคทีเรียแลคติกที่มักใช้เป็นหัวเชื้อตั้งต้นสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ แลคโตบาซิลัส (*Lactobacillus*) สเตรปโตคอคคัส (*Streptococcus*) บิฟิโดแบคทีเรียม (*Bifidobacterium*) หรือเป็นแบคทีเรียดังกล่าวผสมรวมกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป (mixed culture)

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างของจุลินทรีย์ที่เป็นโพรไบโอติกส์บางชนิด

ชนิดของโพรไบโอติกส์	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์
Lactobacillus casei Shirota	Yakult
Lb. acidophilus (several strains)	LA7, Vifit, Leisure Live, ect.
Lb. rhamnosus GG	Gefilus, Campina Vifit Vitael, Vivi Vivo, Emmifit, vaalia ect.
Lb. Casei	Actimel
Lb. Plantarum	Pro-viva
Lb. johnsonii	LC1
Bifidobacteriun (several strains)	Vifit, Bio Pot, Biola, Symbalance ect.

ที่มา : Chadwick et al. (2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chadwick et al. (2003) ได้กล่าวถึงรายละเอียดบางส่วนเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่จัดเป็นผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกส์และข้อกำหนดสำหรับโปรไบโอติกส์ไว้ดังนี้

ผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกส์ส่วนใหญ่ที่จำหน่ายในปัจจุบันเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทนมหมัก แม้ว่าส่วนใหญ่ได้นำมาผสมกันเพื่อเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ เช่น อาหารที่เป็นของเหลว เช่น น้ำผลไม้ ดังนั้นอาหารประเภทนี้จึงมีข้อดี หรือมีประโยชน์มากกว่าอาหารสุขภาพอื่นๆ ที่ไม่มีความแตกต่างกันในลักษณะปรากฏ หรือรสชาติต่างไปจากผลิตภัณฑ์เดิมซึ่งเป็นที่ยอมรับในการบริโภคทั่วไป นอกจากนั้นโพรไบโอติกส์ที่จำหน่ายอาจพบในรูปของแคปซูลหรือผง แต่อาจได้รับการพิจารณาว่าเป็นทั้งเวชภัณฑ์หรืออาหารเสริม แต่ไม่ใช่อาหารเพื่อสุขภาพ สายพันธุ์ของโพรไบโอติกส์ที่พบในท้องตลาดต่างมีต้นกำเนิดและประวัติที่หลากหลาย และมาตรฐานสำหรับใช้เป็นเหตุผลว่าเป็นโพรไบติกส์ยังไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตามข้อกำหนดที่ใช้สำหรับโพรไบโอติกส์ควรประกอบด้วย เป็นสายพันธุ์ที่มีต้นกำเนิดจากมนุษย์ หรือบางกรณีที่จุลินทรีย์ชนิดนั้นถูกนำมาใช้ในอาหารหมักมาเป็นเวลานานก็ไม่จำเป็นต้องขึ้นกับเหตุผลนี้ สามารถมีชีวิตอยู่รอดได้ในระบบทางเดินอาหารและยึดเกาะกับอิพิเทเลี่ยม หรือมูโคซา (mucosa) ของลำไส้ได้ดี มีการพิสูจน์แล้วว่ามีความปลอดภัยต่อการใช้ประโยชน์ มีหลักฐานที่พบว่าเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ และคุณสมบัติทางด้านเทคโนโลยีและประสาทสัมผัสควรเข้ากันได้ดีกับอาหารที่ใช้ โดยที่ความปลอดภัยและประโยชน์ต่อสุขภาพ และความเหมาะสมกับการใช้ในอาหารเป็นไปตามสิ่งแวดล้อม

ประโยชน์ของโพรไบโอติกส์

โปรไบโอติกส์ เป็นจุลินทรีย์ที่ไม่มีอันตรายต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิต หรือบางครั้งใช้คำว่า friendly microorganisms ช่วยในการปรับสมดุลย์ของจุลินทรีย์ในลำไส้ การบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีโพรไบโอติกส์ทำให้ร่างกายจะได้รับประโยชน์หลายประการ เช่น ช่วยในเรื่องระบบการย่อยอาหารและสร้างภูมิคุ้มกัน ช่วยบรรเทาอาการท้องเสีย ประโยชน์ของโพรไบโอติกส์ที่สำคัญพอกล่าวได้ 3 ประการ คือ

1. มีผลต่อระบบการย่อยอาหาร แบคทีเรียกรดแลคติกที่พบในผลิตภัณฑ์นมจะช่วยให้ผู้ที่มีเอนไซม์แลคเทสไม่ปกติหรือผู้ที่แพ้นมสามารถบริโภคนมได้ง่ายขึ้น เพราะแบคทีเรียกรดแลคติกจะสร้างเอนไซม์มาช่วยย่อยน้ำตาลแลคโทสในนมให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวกลูโคสกับกาแลคโทส ซึ่งร่างกายสามารถดูดซึมน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งสองชนิดไปใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนั้นแบคทีเรียกรดแลคติกยังสังเคราะห์วิตามินที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น วิตามินบี 1 บี 2 บี 6 บี 12 ไนอะซิน กรดโฟลิก กรดแพนโททีนิก และยังสังเคราะห์เอนไซม์มาช่วยย่อยสลายโปรตีนให้เป็นประโยชน์ต่อร่างกายได้มากขึ้น

2. ช่วยเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย โดยแบคทีเรียกรดแลคติกบางสายพันธุ์ผลิตสารยับยั้งแบคทีเรียที่เรียกกันว่าแบคเทอริโอซินมาช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคได้ นอกจากนั้นการสร้างกรดของแบคทีเรียในบริเวณลำไส้ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ลดต่ำลง ส่งผลให้เกิดสภาวะไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค แบคทีเรียกรดแลคติกมีคุณสมบัติยับยั้งพิษที่จุลินทรีย์อื่นสร้างขึ้นและยับยั้งปฏิกิริยาของสารก่อมะเร็งได้ แบคทีเรียบางสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธุ์ผลิตสารที่มีลักษณะเป็นเมือกในลำไส้ซึ่งจะช่วยให้จับกับสารพิษบางอย่างและขับถ่ายออกจากร่างกายได้ ซึ่งประโยชน์ของโพรไบโอติกส์ส่วนนี้จะช่วยให้ผู้ที่บริโภคอาหารที่มีโพรไบโอติกส์มีโอกาสเกิดโรคต่างๆ ได้น้อยลง

3. ช่วยลดความอ่อนแอของร่างกายจากการติดเชื้อโรคต่างๆ โดยมีรายงานว่าเมแทบอลิซึมของโพรไบโอติกส์มีผลต่อการควบคุมการติดเชื้อในลำไส้ ยับยั้งการเกิดมะเร็ง ช่วยลดปริมาณคอเลสเทอรอลในเลือดและเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Baston และ Constantin (2012) ได้ศึกษาถึงการคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกที่สามารถหมักอินูลินไฮโดรไลเซทได้ ผลการศึกษาพบว่า เชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกประเภทโฮโมเฟอร์เมนเททีฟที่แยกได้และนำมาทดสอบการผลิตกรดแลคติกโดยใช้น้ำชิคอรีและน้ำแก่นตะวันเป็นสับสเตรท โดยใช้ค่าพีเอช ผลผลิตของกรดแลคติกมาเป็นเกณฑ์การคัดเลือกการผลิตกรดแลคติก สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้สามารถผลิตกรดแลคติกได้สูงสุดหลังจากการหมัก 24 ชั่วโมง จากสายพันธุ์ที่นำมาทดสอบทั้งหมดพบว่า สายพันธุ์ Lb1 และ Lb2 มีผลผลิตของกรดแลคติกและความสามารถในการผลิตสูงสุด จากการศึกษาในสายพันธุ์เชื้อทั้งหมดหลังการหมัก 48 ชั่วโมง พบว่า Lb2 ผลิตกรดแลคติกได้สูงสุด 0.97 เปอร์เซ็นต์ ค่าพีเอชเท่ากับ 3.45± 0.01 ซึ่งมีความสามารถในการผลิตกรดแลคติกได้ดีกว่าสายพันธุ์อื่น โดยค่าสูงสุดจากการหมักน้ำที่ได้จากการไฮโดรไลซีสแก่นตะวัน และน้ำที่ได้จากการย่อยหัวชิโครี หลังจากการหมัก 24 ชั่วโมง เท่ากับ 0.13 กรัม/ลิตร และ 0.11 กรัม/ลิตร ตามลำดับ

Buruleanu และคณะ (2009) ได้ศึกษาถึงความอยู่รอดของแบคทีเรียโพรไบโอติกระหว่างการหมักกรดแลคติกจากน้ำผัก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการหมักกรดแลคติกโดยใช้แบคทีเรียโพรไบโอติกสปีชีส์ที่ไม่ได้มีความจำเพาะต่อจุลินทรีย์ที่พบในผักซึ่งเป็นความสำเร็จและเป็นแนวทางใหม่ที่จะนำมาพัฒนาและถนอมให้มีความอยู่รอดในน้ำผัก ผลการศึกษาพบว่า น้ำแครอทและน้ำบีทรูทเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพ และเป็นทางเลือกหนึ่งของวัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่มประเภทโพรไบโอติกโดยเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก (*Lactobacillus acidophilus* LA-5) และ *Bifidobacterium* BB-12 เชื้อทั้งสองสายพันธุ์สามารถเจริญได้ดีในน้ำผลไม้โดยไม่ต้องมีการเติมสารอาหารใดๆ ความเข้มข้นของจำนวนเชื้อเริ่มต้นที่แตกต่างกันในการทดสอบมีผลต่อจำนวนเซลล์เริ่มต้นของกล้าเชื้อ ต่อความสามารถในการหมักน้ำผัก การเจริญของเชื้อและการสร้างกรดแลคติก สายพันธุ์เชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกที่ทดสอบสามารถที่จะใช้น้ำผลไม้ในการสังเคราะห์เซลล์และการผลิตกรดแลคติก เชื้อที่ใช้สามารถผลิตกรดในปริมาณที่สูงขึ้นและให้ค่าพีเอชในการหมักมีค่าลดลงจาก 6.4 เป็น 4.4 ภายหลังการหมัก 48 ชั่วโมง เชื้อในน้ำผักที่ผ่านการหมักมีความอยู่รอดลดลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

Hondo และคณะ (2005) ได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาการหมักน้ำส้มสายชูจากน้ำแก่นตะวันที่มีอินูลินเป็นองค์ประกอบ โดยทำการหมักกรดน้ำส้มสายชูด้วยเชื้อในกลุ่มที่ผลิตกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอซิติก ได้แก่ เชื้อ *Acetobacter pasteurianus* IFO 14814 นำน้ำแก่นตะวันที่ทั้งทรีทเมนต์ที่หมักให้เป็นแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์มาหมักโดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ Kyokai Yeast No.1 9 (OC-2) ในการหมักให้เกิดกรดแอซิติกทำเพาะเลี้ยงที่ผิวหน้าและสภาพเขย่า การหมักให้เกิดกรดแอซิติกดำเนินการหมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 5.0 ใช้เอทานอลเริ่มต้นเท่ากับ 3.5 5.0 และ 5.5 เปอร์เซ็นต์ และใช้หัวเชื้อกรดแอซิติก 10 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ระหว่างการหมักมีการวิเคราะห์ค่าพีเอช เอทานอล กรดแอซิติก น้ำตาล และน้ำส้มสายชู ในการเพาะเลี้ยงที่ผิวหน้า ทรีทเมนต์ที่มีการหมักแอลกอฮอล์มีการหมักกรดแอซิติกอย่าง smoothly ส่วนทรีทเมนต์ที่ไม่ได้หมักแอลกอฮอล์เกิดการหมักกรดแอซิติกช้ามาก การเพาะเลี้ยงในสภาพเขย่าทรีทเมนต์ที่ไม่ผ่านการหมักให้เป็นแอลกอฮอล์มีการหมักเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ องค์ประกอบของสารอินูลินในในทรีทเมนต์ที่มีการหมักแอลกอฮอล์หลังการเพาะเลี้ยงที่ผิวหน้าเป็นเวลา 22 วัน เท่ากับ 4.8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนทรีทเมนต์ที่ไม่มีแอลกอฮอล์ สภาพการเพาะเลี้ยงแบบเขย่าเท่ากับ 7.4 เปอร์เซ็นต์ ในการหมักให้เกิดกรดแอซิติก อินูลินส่วนใหญ่ยังอยู่ในสภาพสมบูรณ์ไม่ได้มีการเสื่อมสภาพ การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยใช้ตัวอย่างที่ได้จากกิจกรรมการหมักที่เกิดขึ้นอย่างราบรื่น (smoothly) พบว่า กลิ่นจากการหมักให้เกิดกรดแอซิติกไม่เป็นที่ต้องการและควรทำให้ไม่มีกลิ่น ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะของการศึกษาว่า แก่นตะวันสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบเพื่อพัฒนาการหมักน้ำส้มสายชูได้

Mousavi และคณะ (2011) ได้ศึกษาถึงการหมักน้ำทับทิมโดยใช้โพรไบโอติกจากแบคทีเรียกรดแลคติก ซึ่งได้ศึกษาถึงการผลิตน้ำทับทิมโปรไบโอติกโดยใช้แบคทีเรียโพรไบโอติกจากแบคทีเรียกรดแลคติก 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Lb. plantarum, Lb. delbruekii, Lb. acidophilus* และ *Lb. paracasei* ทำการหมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ภายใต้การให้อากาศเพียงเล็กน้อย ในระหว่างการหมักมีการตรวจนับจำนวนเซลล์จุลินทรีย์ วิเคราะห์ค่าพีเอช ค่าความเป็นกรดโดยการไตเตรท วิเคราะห์น้ำตาลและกรดอินทรีย์ และตรวจนับจำนวนในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าในระหว่างการหมักแบคทีเรียกรดแลคติกสายพันธุ์ *Lb. plantarum* และ *Lb. delbruekii* มีค่าพีเอชลดลงมาและมีการใช้น้ำตาลในการหมักสูงกว่าเชื้อสายพันธุ์อื่น ตลอดจนมีการเจริญของเซลล์ และการผลิตกรดซิตริกได้ดีกว่าสายพันธุ์อื่น ในระหว่างการเก็บรักษาช่วง 2 สัปดาห์แรกเซลล์ยังคงมีความอยู่รอดสูง แต่จะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจาก 4 สัปดาห์ จากการศึกษาพบว่าน้ำทับทิมเป็นสับสเตรทที่เหมาะสมในการนำมาหมักเพื่อเป็นเครื่องดื่มโพรไบโอติก

Pakvirun และคณะ (2007) ได้ศึกษาการหมักเอทานอลจากแก่นตะวันด้วย *Saccharomyces cerevisiae* แบบแบช โดยใช้แก่นตะวันที่ปลูกในประเทศไทยเป็นสับสเตรท การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำที่สกัดจากหัวแก่นตะวันพบว่ามีองค์ประกอบของน้ำตาลทั้งหมด 256.3 กรัม/ลิตร และ อินูลิน 74 เปอร์เซ็นต์ น้ำแก่นตะวันยังมีองค์ประกอบของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญ และการผลิตเอทานอลโดยจุลินทรีย์สายพันธุ์ที่ผลิตเอทานอล ธาตุอาหารสูงสุดที่พบได้แก่ ไนโตรเจน มี 2,431.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร การหมักเอทานอลแบบแบชด้วย *Saccharomyces cerevisiae* พบว่า ความเข้มข้นของเอทานอลสูงสุด ผลิตของเอทานอล และความสามารถในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตเอทานอล เท่ากับ 88.1 กรัม/ลิตร 0.45 กรัม/กรัม และ 1.84 กรัม/ลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ ภายใต้ภาวะการผลิตเริ่มต้นของน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับ 250 กรัม/ลิตร ค่าพีเอชระหว่าง 5.0-5.5 จำนวนเซลล์ยีสต์เริ่มต้นเท่ากับ 10^8 เซลล์/มิลลิลิตร ซึ่งประสิทธิภาพของการเปลี่ยนน้ำแก่นตะวันในการหมักตามหลักทฤษฎีเท่ากับ 88 เปอร์เซ็นต์

Sukon Tantipaibulvut และคณะ (2008) ได้ศึกษาถึงการหมักน้ำกระเจี๊ยบโดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติก โดยศึกษาถึงความเหมาะสมของน้ำกระเจี๊ยบที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Lactobacillus plantarum* และ *Lb. casei* น้ำกระเจี๊ยบถูกนำมาหมักเป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิในการหมักเท่ากับ 30 และ 37 องศาเซลเซียส ระหว่างการหมักวิเคราะห์ค่าพีเอช ความเป็นกรด องค์ประกอบของน้ำตาลและนับจำนวนเซลล์ที่มีชีวิต ผลการศึกษาพบว่า แบคทีเรียกรดแลคติกทั้งสองสายพันธุ์ สามารถที่จะใช้น้ำกระเจี๊ยบในการสังเคราะห์กรดแลคติกและการเจริญของเซลล์ได้อย่างรวดเร็ว โดยมีการเจริญดีที่สุดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในช่วง 24 ชั่วโมงแรกของการหมัก พร้อมกับการเพิ่มจำนวนเซลล์สูงกว่า 1.5 log cfu/ml. อย่างไรก็ตามจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตที่อายุการหมัก 72 ชั่วโมง ในการหมักที่สองอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกัน (น้อยกว่า 0.6 log cfu/ml.) เชื้อทั้งสองสายพันธุ์ผลิตกรดแลคติกได้ในปริมาณใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามปริมาณกรดที่ไตเตรทได้สูงเป็นสองเท่า ณ การหมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (0.5 และ 0.2-0.3 เปอร์เซ็นต์) การเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส *Lb. plantarum* ที่การหมัก ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อยู่รอดได้ดีกว่าการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (1.8×10^6 และ 2.9×10^4 cfu/ml.) การเติมซูโครสเริ่มต้นในการหมักเป็นการเพิ่มปริมาณกรดที่ไตเตรทได้อย่างน้อย 2 เท่า อย่างไรก็ตามเชื้อทั้งสองสายพันธุ์ที่ใช้ในการหมักไม่สามารถอยู่รอดได้ดีที่ค่าพีเอชต่ำและค่าความเป็นกรดสูงในน้ำกระเจี๊ยบหมักที่มีการเติมน้ำตาล ซึ่งจำนวนเซลล์ลดลงเหลือ 4×10^4 cfu/ml. หลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์

Zalán และคณะ (2010) ได้ศึกษาถึงศักยภาพของแก่นตะวันซึ่งมีองค์ประกอบของสารในกลุ่มคาร์โบไฮเดรทที่เป็นพรีไบโอติกส์ ได้แก่ อินูลิน ซึ่งเป็นสับสเตรทที่เหมาะกับการเจริญของจุลินทรีย์ในลำไส้ โดยหัวแก่นตะวันได้มีการบริโภคในรูปแบบของการต้ม ดอง นอกเหนือจากการหมักโดยแบคทีเรียกรดแลคติกจัดเป็นจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักอาหารชนิดต่างๆ เจริญได้ดีในวัตถุดิบและมีการผลิตเมแทบอไลท์ที่ถูกกระตุ้นโดยสับสเตรทที่ใช้หมัก โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญและการผลิตเมแทบอไลท์ที่มีผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสและกิจกรรมการต้านจุลินทรีย์ของเชื้อแลคโทบาซิลลัสสายพันธุ์ต่างๆ โดยใช้น้ำแก่นตะวันเป็นสับสเตรท จากผลการศึกษาพบว่า เมแทบอไลท์ที่ผลิตจากแลคโทบาซิลลันที่คัดเลือกจำนวน 10 สายพันธุ์ที่ศึกษาต่อการเจริญในน้ำแก่นตะวันทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ โดยเชื้อดังกล่าวสามารถหมักและผลิตเมแทบไลท์ได้หลายชนิดในความเข้มข้นต่างกัน สารเมแทบอไลท์ที่ผลิตได้จากกล้าเชื้อที่ศึกษามีความสำคัญต่อรสชาติ ลักษณะปรากฏที่เป็นเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ การศึกษายังพบว่าเมแทบอไลท์ที่ผลิตในสภาวะดังกล่าวมีความแตกต่างกันตามสปีชีส์และสายพันธุ์ ซึ่งเชื้อทุกสายพันธุ์ที่ใช้ศึกษาเจริญได้ดีในสารอาหาร มีจำนวนเซลล์อยู่ในช่วง 10^9 cfu/ml. ปริมาณกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดแลคติก อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่าง 110-337 มิลลิโมล/ลิตร กรดแอซิติก อยู่ระหว่าง 0-108 มิลลิโมล/ลิตร และกรดซัคซินิค อยู่ระหว่าง 0-79 มิลลิโมล/ลิตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อยู่ระหว่าง 0.25-1.77 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนแมนนิทอล อยู่ระหว่าง 0.06-3.24 กรัม/ลิตร จะเห็นได้ว่าเชื้อแลคโทบาซิลลัสสามารถที่จะใช้เป็นกล้าในการหมักแก่นตะวันได้ โดยอาจจะใช้เชื้อในรูปของเชื้อเดี่ยว หรือผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่นเพื่อเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 เครื่องมือ

1. หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave)
2. เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด (Hand refractometer)
3. ตู้บ่มเชื้อ (incubator) ยี่ห้อ memmert รุ่น w – 8540
4. เครื่องวัดพีเอช (pH – meter)
5. ตู้เย็น (refrigerator) ยี่ห้อ Superchill รุ่น UN 617 D
6. เครื่องชั่งละเอียดจุดทศนิยม 2 ตำแหน่ง
7. เครื่องชั่งละเอียดจุดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
8. เครื่องวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในเครื่องดื่ม (Ebulliometer)

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1. มีด
2. ถาด
3. เขียง
4. ไฟแช็ค
5. ถ้วยชิม
6. ช้อนชิม
7. กะละมัง
8. เครื่องปั่น
9. กระชอน
10. ผ้าขาวบาง
11. ถุงพลาสติก
12. เตาให้ความร้อน
13. หม้อสแตนเลส
14. กระดาษทิชชู
15. กระดาษสติกเกอร์
16. กระดาษอะลูเนียมฟลอยด์
17. ตะเกียงแอลกอฮอล์
18. แลคใส่หลอดทดลอง
19. หลอดทดลอง
20. บิวเรต (Burette)
21. ปิเปต (pipette)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22. ขวดรูปชมพู่ (flask)
23. บีกเกอร์ (Beaker)
24. ขวดดูแรน (duran) ขนาด 250 มล. และ 500 มล.
25. กระบอกตวง (cylinder) ขนาด 50 มล. และ 25 มล.
26. เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)

3.1.3 วัตถุดิบ

1. แก่นตะวัน
2. บีทรูท
3. แครอท
4. สับปะรด
5. น้ำตาล

3.1.4 สารเคมี

1. อาหารเลี้ยงเชื้อ สูตร MRS และสูตร PDA
2. น้ำกลั่น
3. ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein)
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล

3.1.5 เชื้อจุลินทรีย์

1. *Lactobacillus pentosus*
2. ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae*

3.2 วิธีการ

3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบและส่วนผสม

การเตรียมน้ำแก่นตะวัน

เตรียมน้ำแก่นตะวันโดยนำหัวแก่นตะวันสดมาปอกเปลือก ล้างน้ำสะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปนึ่งให้สุก จากนั้นนำไปปั่นกับน้ำโดยใช้อัตราส่วนของหัวแก่นตะวัน : น้ำ เท่ากับ 1 : 2 (กิโลกรัม/ลิตร) จากนั้นนำมากรองด้วยผ้าขาวบาง ได้เป็นน้ำแก่นตะวัน สำหรับใช้ทดลองขั้นต่อไป

การเตรียมน้ำแครอท น้ำบีทรูท และน้ำสับปะรด

การเตรียมน้ำแต่ละชนิด ดำเนินการดังต่อไปนี้

เตรียมน้ำแครอท ดำเนินการโดยการนำแครอทมาล้างจนสะอาด ปอกเปลือก วางไว้ให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก แล้วหั่นเป็นแว่นๆ นำไปนึ่งจนสุก และนำไปปั่นโดยใช้อัตราส่วนแครอท : น้ำ เท่ากับ 1 : 1 ปั่นจนละเอียด จากนั้นนำมากรองด้วยผ้าขาวบางได้เป็นน้ำแครอท สำหรับใช้ทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตรียมน้ำบีทรูท ดำเนินการโดยนำบีทรูทมาปอกเปลือก ล้างน้ำจนสะอาด แล้วหั่นเป็นชิ้นขนาดเท่าๆ กัน นำมาชั่งน้ำหนัก และนำไปปั่นโดยใช้อัตราส่วน บีทรูท : น้ำ เท่ากับ 1 : 2 ปั่นจนละเอียด นำมากรองโดยใช้ผ้าขาวบาง ได้เป็นน้ำบีทรูท สำหรับใช้ทดลองต่อไป

เตรียมน้ำสับปะรด ดำเนินการโดยนำสับปะรดมาปอกเปลือก ล้างน้ำจนสะอาด แล้วหั่นเป็น ชิ้นขนาดเท่าๆ กัน นำมาชั่งน้ำหนัก และนำไปปั่นโดยใช้อัตราส่วน สับปะรด : น้ำ เท่ากับ 1 : 1ปั่นจนละเอียด นำมากรองโดยใช้ผ้าขาวบาง ได้เป็นน้ำสับปะรด สำหรับใช้ทดลองต่อไป

การเตรียมส่วนผสม ดำเนินการโดยนำน้ำแก่นตะวัน น้ำแครอท น้ำบีทรูท และน้ำสับปะรดมาผสมตามสูตรในตารางที่ 6 สำหรับใช้ศึกษาการหมักต่อไป

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมสำหรับผลิตน้ำหมักแก่นตะวัน

น้ำผักและน้ำผลไม้	เปอร์เซ็นต์
น้ำแก่นตะวัน	40
น้ำบีทรูท	20
น้ำสับปะรด	20
น้ำแครอท	10
น้ำกลั่น	10

หมายเหตุ ส่วนผสมนี้ใช้สำหรับผลิตน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติก และน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกผสมยีสต์ ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด เท่ากับ 10 15 และ 20 องศาบริกซ์ จากนั้นนำไปพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

3.2.2 การเตรียมสตาร์ทเตอร์และการหมักให้เกิดกรดแลคติก

การเตรียมสตาร์ทเตอร์สำหรับการหมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก

เตรียมสตาร์ทเตอร์สำหรับการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก ดำเนินการโดยใช้ลูปเขี่ยเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกมาสตรีคบนอาหารแข็ง MRS ในจานเลี้ยงเชื้อ นำไปบ่มในตู้บ่มเชื้ออุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง จากนั้นใช้ลูปเขี่ยโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียมาละลายในน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้วปริมาตร 9 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกล้าเชื้อ แล้วเทลงในน้ำแก่นตะวันที่เตรียมไว้ตามตารางที่ 6 (ใช้ความหวาน 10 องศาบริกซ์) แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จะได้สตาร์ทเตอร์สำหรับการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก

การหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก

ในขั้นตอนการหมัก ดำเนินการศึกษาโดย เตรียมน้ำแก่นตะวันตามตารางที่ 6 จำนวน 3 ชุด ชุดละ 500 มิลลิลิตร ปรับความหวานให้ได้ 3 ระดับคือ 10 15 และ 20 องศาบริกซ์ นำไปใส่ขวดดูแรน และนำไปพลาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำให้เย็น นำมาเติมสตาร์ทเตอร์สำหรับการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกที่เตรียมไว้ ปริมาณ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิลิตร (10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ผสมให้เข้ากัน นำไปบ่มที่อุณภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง

การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมัก ที่อายุการหมัก 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง วิเคราะห์ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด (องศาบริกซ์) เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก และจำนวนเซลล์

3.2.3 การเตรียมสตาร์ทเตอร์และการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกผสมยีสต์

การเตรียมสตาร์ทเตอร์ในการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์

การเตรียมสตาร์ทเตอร์ ดำเนินการโดยใช้ลูปเขี่ยเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกมาสตรีคบนอาหารแข็ง MRS ในจานเลี้ยงเชื้อ และใช้ลูปเขี่ยเชื้อยีสต์มาสตรีคบนอาหารแข็ง PDA ในจานเลี้ยงเชื้อ แล้วนำเชื้อจุลินทรีย์ทั้งสองตัวไปบ่มในตู้บ่มเชื้ออุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นใช้ลูปเขี่ยโคโลนีของแบคทีเรียกรดแลกติกและยีสต์ผสมกันหนึ่งลูปเต็ม มาทำการละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 9 มิลลิลิตร ที่ฆ่าเชื้อแล้วจะได้สารละลายกล้าเชื้อ แล้วเทลงในน้ำแก่นตะวันที่เตรียมไว้ดังสูตรตามตารางที่ 6 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง จะได้สตาร์ทเตอร์สำหรับการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกผสมยีสต์

การหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกผสมยีสต์

การหมักดำเนินการโดยเตรียมน้ำแก่นตะวันตามตารางที่ 6 3 ชุด ชุดละ 300 มิลลิลิตร ปรับความหวานให้ได้ 10 15 20 องศาบริกซ์ นำส่วนผสมใส่ขวดดูแรนและพลาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ทำให้เย็น จากนั้นเติมสตาร์ทเตอร์สำหรับการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกผสมยีสต์ ที่เตรียมไว้ ใช้สตาร์ทเตอร์ 10 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ผสมให้เข้ากัน นำไปบ่มที่อุณภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง

การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมัก ที่อายุการหมัก 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง วิเคราะห์ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์และจำนวนเซลล์

3.2.4 การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำหมักแก่นตะวันทั้ง 2 สูตร

นำผลิตภัณฑ์น้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติก และน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกผสมยีสต์ มาทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะความขุ่นใส ด้านสี ด้านกลิ่นรส ด้านรสชาติ และด้านความชอบโดยรวม จากกลุ่มของตัวอย่างผู้บริโภคที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน โดยใช้แบบทดสอบชิมให้คะแนนความชอบแบบ 7 – point hedonic scale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เลือกสูตรน้ำหมักแก่นตะวันที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคสำหรับศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.2.5 การศึกษาการเก็บรักษาน้ำหมักแก่นตะวัน

1. ทำการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก ตามข้อ 3.2.2 จากนั้นนำมาทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน ทำการเก็บตัวอย่างทุก 3 วัน ตรวจวัดค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) และจำนวนเชื้อจุลินทรีย์

2. ทำการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกผสมยีสต์ ตามข้อ 3.2.3 จากนั้นนำมาทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน ทำการเก็บตัวอย่างทุก 3 วัน ทำการตรวจวัดค่าพีเอช ปริมาณกรดแลคติก ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) และจำนวนเชื้อจุลินทรีย์

3.2.6 การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของน้ำหมักแก่นตะวัน

เตรียมน้ำหมักแก่นตะวัน 2 ชุด คือ จากการหมักให้เกิดกรดแลคติก การหมักให้เกิดกรดแลคติกและแอลกอฮอล์ วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ พลังงานทั้งหมด คาร์โบไฮเดรท เถ้า โปรตีน เกลือแร่ โดยเปรียบกับน้ำแก่นตะวันที่ไม่ได้ผ่านการหมัก

3.3 สถานที่ดำเนินการวิจัย

ห้องปฏิบัติการ ค. 140 ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

3.4 ระยะเวลาทำการวิจัย

เดือนตุลาคม 2556-เดือนกันยายน 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

การศึกษาการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยเชื้อผสมของแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ เป็นการศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการแปรรูปแก่นตะวันโดยการหมักด้วยเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก และเป็นการหมักด้วยเชื้อผสมของแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ วิธีการศึกษาเริ่มต้นด้วยการเตรียมน้ำแก่นตะวันจากหัวแก่นตะวันนึ่งสุก (กิตติศักดิ์ รุ่งเรืองมงคล และคณะ, 2555) นำมาหมักและศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและจุลินทรีย์ในระหว่างการหมักน้ำแก่นตะวันทั้ง 2 ประเภท ศึกษาการทดสอบยอมรับน้ำหมักแก่นตะวันของกลุ่มผู้บริโภคที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำหมักแก่นตะวันทั้ง 2 ประเภทที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ โดยผลการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการแปรรูปน้ำแก่นตะวันโดยการหมักให้เกิดกรดแลคติก

การศึกษาการแปรรูปน้ำแก่นตะวันโดยการหมักให้เกิดกรดแลคติก ดำเนินการศึกษาสูตรที่ใช้ในการหมักน้ำแก่นตะวันที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งสูตรที่ใช้เริ่มต้นในการศึกษามีส่วนผสมของ น้ำแก่นตะวัน : น้ำแครอท : น้ำบีทรูท : น้ำสับปะรด : น้ำกลั่น ในอัตราส่วน 40 : 10 : 20 : 20 : 10 (โดยปริมาตร)

4.1.1 การศึกษาค่าความหวานที่ใช้ในการหมักน้ำแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติก

การศึกษาค่าความหวานที่ใช้ในการหมักน้ำแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติก ดำเนินการโดยเตรียมส่วนผสมตามสูตร ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 3 ระดับ คือ 10 15 20 องศาบริกซ์ นำไปพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นทำให้เย็นนำมาเติมกล้าเชื้อที่เตรียมไว้ ใช้กล้าเชื้อ 10 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ผสมให้เข้ากัน นำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็น 48 ชั่วโมง ระหว่างการหมักเก็บตัวอย่างวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก และจำนวนจุลินทรีย์ ผลการเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักแสดงในตารางที่ 4.1

จากตารางที่ 4.1 การหมักน้ำแก่นตะวันทั้ง 3 สูตร ด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก พบว่าที่อายุการหมักเริ่มต้น 0 ชั่วโมง ค่าองศาบริกซ์เท่ากับ 10 15 และ 20 ค่าพีเอชเท่ากับ 4.38 4.36 และ 4.36 ในสูตรที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 10 15 และ 20 องศาบริกซ์ เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเท่ากับ 0.184 ซึ่งเท่ากันทั้ง 3 สูตร ส่วนจำนวนเซลล์เริ่มต้นในการหมักเท่ากับ 10^6 โคโลนี/มล. เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นเป็น 24 ชั่วโมง ค่าองศาบริกซ์เท่ากับ 9.00 14.00 และ 18.00 ค่าพีเอชเท่ากับ 3.49 3.49 และ 3.47 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติเท่ากับ 0.636 0.727 และ 0.727 ส่วนจำนวนเซลล์มีค่าเท่ากับ 3.28×10^7 1.88×10^8 และ 7.03×10^7 โคโลนี/มล. ในสูตรที่มีค่าความหวานเริ่มต้นเท่ากับ 10 15 และ 20 องศาบริกซ์ ตามลำดับ

สุดท้ายที่อายุการหมัก 48 ชั่วโมง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 9.00 12.00 และ 18.00 องศาบิกซ์ ค่าพีเอชเท่ากับ 3.07 3.01 และ 3.07 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.091 1.091 และ 1.091 ส่วนจำนวนเซลล์มีค่าเท่ากับ 2.43×10^8 2.40×10^9 และ 1.83×10^9 โคโลนี/มล. ในสูตรที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 10 15 และ 20 องศาบริกซ์ ตามลำดับ โดยลักษณะปรากฏของน้ำหมักแก่นตะวันแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก และจำนวนเซลล์ในการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก ที่อายุการหมัก 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง

อายุการหมัก (ชั่วโมง)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	พีเอช	กรดแลคติก (%)	จำนวนเซลล์ โคโลนี/มล.	หมายเหตุ
0	10	4.38	0.184	4.62×10^6	10 องศาบริกซ์
12	10	3.72	0.364	7.40×10^6	
24	9.0	3.49	0.636	3.28×10^7	
36	9.0	3.39	0.818	4.99×10^7	
48	9.0	3.07	1.091	2.43×10^8	
0	15	4.36	0.184	4.88×10^6	15 องศาบริกซ์
12	14.0	3.70	0.364	8.01×10^6	
24	14.0	3.49	0.727	1.88×10^8	
36	12.0	3.34	0.727	2.73×10^8	
48	12.0	3.01	1.091	2.40×10^9	
0	20.0	4.36	0.184	4.72×10^6	20 องศาบริกซ์
12	18.0	3.36	0.364	2.31×10^7	
24	18.0	3.47	0.727	7.03×10^7	
36	18.0	3.37	0.727	3.29×10^8	
48	18.0	3.07	1.091	1.83×10^9	

ตารางที่ 4.2 ลักษณะปรากฏของน้ำแก่นตะวันที่หมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกที่ 48 ชั่วโมง

ความหวาน 10 องศาบริกซ์	ความหวาน 15 องศาบริกซ์	ความหวาน 20 องศาบริกซ์
มีความขุ่นเล็กน้อย มีตะกอนอยู่ในน้ำ มีสีม่วง มีกลิ่นของแก่นตะวันรวมกับบรีทรูทค่อนข้างเด่นชัด และมีรสชาติเปรี้ยวอย่างชัดเจน	มีความขุ่นเล็กน้อย มีตะกอนอยู่ในน้ำมีสีม่วงใส มีกลิ่นของแก่นตะวันรวมกับบรีทรูทค่อนข้างชัดเจน มีรสชาติเปรี้ยวผสมกับความหวานที่เหมาะสม ทำให้ไม่เปรี้ยวและหวานจนเกินไป	มีความขุ่นเล็กน้อย มีตะกอนอยู่ในน้ำ สีที่ปรากฏเป็นสีม่วงใส มีกลิ่นของแก่นตะวันรวมกับบรีทรูทค่อนข้างชัดเจน มีรสชาติหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ข้อมูลการหมักแล้วจึงเตรียมตัวอย่างน้ำหมักแก่นตะวันทั้ง 3 สูตร และนำมาทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยกลุ่มผู้บริโภคที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.3

4.1.2 การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติก

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติก

ทรีทเมนต์	ค่าเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	ความขุ่น-ใส	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
1. TTS 10 องศาบริกซ์	7.03[a]	7.40[a]	5.63[b]	4.77[b]	5.80[b]
2. TTS 15 องศาบริกซ์	6.43[a]	6.08[a]	6.47[a]	6.93[a]	6.73[a]
3. TTS 20 องศาบริกซ์	6.73[a]	7.00[a]	6.57[a]	7.37[a]	7.30[a]

หมายเหตุ

1. TTS (Total soluble solid) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด
2. ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงค่าวิเคราะห์ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 4.3 การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติก โดยใช้ตัวแทนกลุ่มผู้บริโภคที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน พบว่าค่าเฉลี่ยของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความขุ่นใส และด้านสีทั้ง 3 ทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยด้านสีเท่ากับ 7.03 6.43 และ 6.73 ค่าเฉลี่ยด้านสีเท่ากับ 7.40 6.08 และ 7.00 ในทรีตเมนต์ที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยด้านกลิ่นรสในทรีทเมนต์ที่ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างจากทรีทเมนต์ที่ 1 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.63 6.47 และ 6.57 ในทรีทเมนต์ที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยด้านรสชาติในทรีทเมนต์ที่ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างจากทรีทเมนต์ที่ 1 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.77 6.93 และ 7.37 ในทรีทเมนต์ที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยความชอบโดยรวมในทรีทเมนต์ที่ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างจากทรีทเมนต์ที่ 1 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.80 6.73 และ 7.30 ในทรีทเมนต์ที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส รสชาติและความชอบโดยรวม จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยในทรีทเมนต์ที่ 1 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าทรีทเมนต์ที่ 2 และ 3 เนื่องจากว่า ทรีทเมนต์ที่ 1 มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้นในการหมัก 10 องศาบริกซ์ มีรสชาติเปรี้ยวกว่า ส่วนที่เมนต์ที่ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาถึงความหวานที่เกี่ยวข้องกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ในสูตรที่ใช้น้ำตาลเริ่มต้น 15 องศาบริกซ์ มีการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำตาลเป็นส่วนผสมน้อยกว่า มีต้นทุนการผลิตถูกว่า และส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคเพราะมีปริมาณน้ำตาลน้อยกว่า ดังนั้นจึงเลือกสูตรการผลิตน้ำแก่นตะวันที่ปรับให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 15 องศาบริกซ์ ไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและจุลินทรีย์ในระหว่างการหมักน้ำแก่นตะวัน ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำหมักแก่นตะวันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ต่อไป

4.1.3 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และจำนวนเซลล์ ในระหว่างการหมักน้ำแก่นตะวัน โดยนำสูตรของน้ำหมักแก่นตะวันที่เตรียมและปรับให้มีความหวานเท่ากับ 15 องศาบริกซ์มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมัก ใช้สตาร์ทเตอร์ 5 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และจำนวนเซลล์ ที่อายุการหมัก 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง

อายุการหมัก (ชั่วโมง)	พีเอช	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบิกซ์)	กรดแลคติก (%)	จำนวนเซลล์ (โคโลนี/มล.)
0	4.18	15.00	0.100	$3.6. \times 10^{6}$
12	4.06	15.00	0184	$6.0. \times 10^{7}$
24	3.78	14.90	0.368	3.20×10^{7}
36	3.47	14.80	0.519	7.97×10^{7}
48	3.16	14.60	0.755	4.23×10^{8}

จากตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และจำนวนเซลล์ ที่อายุการหมัก 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง พบว่า ค่าพีเอชที่อายุการหมักเริ่มต้น 0 ชั่วโมง เท่ากับ 4.18 เมื่ออายุการหมักเพิ่มขึ้นค่าพีเอชจะลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 4.06 3.78 3.47 และ 3.16 ที่อายุการหมัก 12 24 36 และ 48 ชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งการลดลงของค่าพีเอชสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์กรดแลคติก โดยที่เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเริ่มต้นเท่ากับ 0.100 และเพิ่มขึ้นเป็น 0.184 0.368 0.519 และ 0.755 ที่อายุการหมัก 12 24 36 และ 48 ชั่วโมงตามลำดับ ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดหรือองศาบริกซ์ พบว่ามีค่าเท่ากับ 15 14.90 14.80 และ 14.60 ที่อายุการหมัก 12 24 36 และ 48 ชั่วโมงตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชเมื่อสิ้นสุดการหมักเท่ากับ 3.47 ซึ่งค่าพีเอชที่ต่ำกว่า 4.30 นั้นสามารถช่วยควบคุมการเจริญของเชื้อก่อโรคได้ (ไชยวัฒน์ ไชยสุตม 2553)

การเปลี่ยนแปลงจำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติก (โคโลนี/มิลลิลิตร) ระหว่างการหมัก พบว่าจำนวนเซลล์เริ่มต้นของการหมักที่อายุ 0 ชั่วโมง มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 3.60×10^{6} เมื่ออายุการหมักเพิ่มขึ้นจำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติกเพิ่มขึ้น โดยมีจำนวนเซลล์เท่ากับ 6.00×10^{6}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.20×10^7 7.97×10^7 4.23×10^8 โคโลนี/มล. ที่อายุการหมัก 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการหมักเกิดจากกิจกรรมของเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกใช้น้ำตาลในส่วนผสมในการเจริญเติบโต การสร้างกรด ดังนั้นจึงมีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงเล็กน้อย เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเพิ่มขึ้น และค่าพีเอชลดลง เป็นไปตามหลักการหมักกรดแลคติก โดยผลดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Yoon และคณะ (2004) ที่ศึกษาการใช้หัวบีทรูทแดงมาผลิตเป็นเครื่องดื่มโพรไบโอติกส์ โดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติก 4 สายพันธุ์ คือ *L. acidophilus* LA39, *L. Plantarum* C3, *L. casei* A4 และ *L. delbureckii* D7 ผลการศึกษาพบว่า ทั้งสายพันธุ์ *L. acidophilus* LA39, *L. Plantarum* C3 สามารถผลิตกรดแลคติกได้ดีกว่าสายพันธุ์อื่น ค่าพีเอชของน้ำหมักลดลงจาก 6.30 เป็น 4.50 ที่อายุการหมัก 48 ชั่วโมง ดังนั้นจึงนำตัวอย่างน้ำหมักแก่นตะวันที่หมักในชุดเดียวกันไปศึกษาอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ต่อไป โดยผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.5

4.1.4 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาน้ำหมักแก่นตะวันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก และจำนวนเซลล์ระหว่างการเก็บรักษาน้ำหมักแก่นตะวันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อายุการเก็บรักษา 0 5 10 15 20 25 และ 30 วัน

อายุการหมัก (ชั่วโมง)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	พีเอช	กรดแลคติก (%)	จำนวนเซลล์ โคโลนี/มล.	หมายเหตุ
0	15.00	4.18	0.100	3.60×10^6	ช่วงระยะเวลาการหมักก่อน
12	15.00	4.06	0.184	6.00×10^7	
24	14.90	3.78	0.368	3.20×10^7	
36	14.80	3.47	0.519	7.97×10^7	
48	14.60	3.16	0.755	4.23×10^8	
อายุการเก็บรักษา (วัน)	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าพีเอช กรดแลคติก และจำนวนเซลล์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส				
0	14.60	3.16	0.755	4.23×10^8	ช่วงการเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
5	13.00	3.10	0.800	8.60×10^8	
10	12.80	3.09	0.800	8.80×10^8	
15	12.80	3.08	0.800	7.30×10^8	
20	12.70	3.08	0.900	3.20×10^8	
25	12.70	3.07	0.900	2.60×10^8	
30	12.70	3.06	0.900	2.50×10^8	

จากตารางที่ 4.5 เมื่อหมักน้ำแก่นตะวันเป็นเวลา 48 ชั่วโมงแล้ว จากนั้นนำน้ำแก่นตะวันมาแบ่งในขวดดูแรนขนาด 100 มิลลิลิตร ที่ผ่านการต้มฆ่าเชื้อเรียบร้อยแล้ว ปริมาตรขวดละ 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิลิตร นำไปเก็บรักษาในตู้เย็น อุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทุก 5 วัน โดยมีค่าเริ่มต้นของการเก็บรักษาที่อายุ 0 วัน ดังนี้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 14.60 องศาบริกซ์ ค่าพีเอชเท่ากับ 3.16 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเท่ากับ 0.755 และจำนวนเซล์เท่ากับ 4.23×10^8 โคโลนี/มล.

จากการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าเท่ากับ 13.00 12.80 12.70 ที่อายุการเก็บรักษา 5 15 และ 30 วัน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขอึงเปอร์เซ็นต์กรดแลคติกและการลดลงของค่าพีเอช โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเพิ่มขึ้นเป็น 0.800 0.800 และ 0.900 ที่อายุการเก็บรักษา 5 15 และ 30 วัน ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำหมักแก่นตะวันมีความเปรี้ยวเพิ่มขึ้น ส่วนค่าพีเอชลดลงเป็น 3.10 3.08 และ 3.06 ที่อายุการเก็บรักษา 5 16 และ 30 วัน ตามลำดับ ส่วนการเปลี่ยนแปลงจำนวนเซลล์มีค่าอยู่ที่ 10^8 โคโลนี/มล. ตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งจะเห็นได้ว่าจำนวนเซลล์ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นไปตามเกณฑ์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เป็นโพรไบโอติกส์ คือ 10^6 โคโลนี/มิลลิลิตร (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2551 และกระทรวงสาธารณสุข, 2555) และแบคทีเรียกรดแลคติกที่ใช้เป็นกล้าเชื้อมีคุณสมบัติทนต่อสภาวความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ได้ดี

4.2 การศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการแปรรูปน้ำแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์

4.2.1 การศึกษาค่าความหวานที่ใช้ในการหมักน้ำแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์

การศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการหมักน้ำแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ ดำเนินการศึกษาโดยเตรียมน้ำแก่นตะวันโดยใช้สูตรเดียวกัน ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 10 15 20 องศาบริกซ์ นำส่วนที่เตรียมแล้วใส่ขวดดูแรน นำไปพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ปล่อยให้เย็น จากนั้นเติมกล้าเชื้อที่เตรียมไว้จำนวน 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ผสมให้เข้ากัน นำไปบ่มนาน เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ทุก 12 ชั่วโมง 48 ชั่วโมง ลักษณะของน้ำแก่นตะวันที่ผ่านการหมักแสดงในตารางที่ 4.6 และข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ลักษณะปรากฏของน้ำแก่นตะวันที่หมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ 48 ชั่วโมง

ความหวาน 10 องศาบริกซ์	ความหวาน 15 องศาบริกซ์	ความหวาน 20 องศาบริกซ์
มีความขุ่นเล็กน้อย มีตะกอนอยู่ในน้ำ มีสีม่วงคล้ำ มีกลิ่นของแก่นตะวันรวมกับบรีทรูทชัดเจน มีกลิ่นของแอลกอฮอล์เล็กน้อย มีรสชาติเปรี้ยวอย่างชัดเจน และมีความซ่าเล็กน้อย	มีความขุ่นเล็กน้อย มีตะกอนอยู่ในน้ำมีสีม่วงใส มีกลิ่นของแก่นตะวันรวมกับบรีทรูทค่อนข้างชัดเจน มีกลิ่นของแอลกอฮอล์เล็กน้อย มีรสชาติของความเปรี้ยวผสมกับความหวานที่เหมาะสม มีความซ่าเล็กน้อย	มีความขุ่นเล็กน้อย มีตะกอนอยู่ในน้ำมีสีม่วงใส มีกลิ่นของแก่นตะวันรวมกับบรีทรูทค่อนข้างชัดเจนมีกลิ่นของแอลกอฮอล์มากกว่า มีรสชาติหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย รวมทั้งมีความซ่าเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ และจำนวนเซลล์ในการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ที่อายุการหมัก 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง

อายุการหมัก (ชั่วโมง)	TTS (^{0}Brix)	พีเอช	กรดแลคติก (%)	แอลกอฮอล์ (%)	จำนวนเซลล์แบคทีเรีย (โคโลนี/มล.)	จำนวนเซลล์ยีสต์ (เซลล์/มล.)	หมายเหตุ
0	10.0	4.34	0.182	0.00	3.4×10^7	2.5×10^7	TTS
12	10.0	3.36	0.364	0.00	2.5×10^8	2.7×10^7	เริ่มต้น
24	9.0	3.21	0.545	0.10	9.3×10^8	2.3×10^7	10
36	9.0	3.15	0.727	0.20	3.6×10^9	3.8×10^7	องศาบริกซ์
48	9.0	3.01	0.909	1.20	8.5×10^9	9.7×10^7	
0	15.0	4.34	0.182	0.00	3.2×10^7	3.0×10^7	TTS
12	15.0	3.32	0.364	0.00	4.7×10^8	2.7×10^7	เริ่มต้น
24	15.0	3.20	0.545	0.10	8.2×10^8	2.9×10^7	15
36	14.0	3.14	0.727	0.20	2.9×10^9	4.5×10^7	องศาบริกซ์
48	14.0	3.02	0.909	1.30	9.4×10^9	1.1×10^8	
0	20.0	4.34	0.100	0.00	2.9×10^7	2.9×10^7	TTS
12	18.0	3.33	0.364	0.00	5.7×10^8	3.8×10^7	เริ่มต้น
24	18.0	3.21	0.545	0.20	9.3×10^8	4.9×10^7	20
36	17.0	3.13	0.727	0.20	3.7×10^9	6.1×10^7	องศาบริกซ์
48	17.0	3.02	0.909	1.50	9.0×10^9	1.2×10^8	

จากตารางที่ 4.7 การหมักน้ำแก่นตะวันทั้ง 3 สูตร ด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ พบว่าที่อายุการหมักเริ่มต้น 0 ชั่วโมง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 10 15 และ 20 องศาบริกซ์ ค่าพีเอชเท่ากับ 4.34 4.34 และ 4.34 ในสูตรที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับเริ่มต้นเท่ากับ 10 15 และ 20 องศาบริกซ์ เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเท่ากับ 0.182 0.182 แล 0.100 จำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติกเริ่มต้นเท่ากับ 10^7 และจำนวนเซลล์ยีสต์ เท่ากับ 10^7 เซลล์/มล. เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นเป็น 12 ชั่วโมง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 10.00 15.00 และ 18.00 องศาบริกซ์ ค่าพีเอชเท่ากับ 3.36 3.32 และ 3.33 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติเท่ากับ 0.364 0.364 และ 0.364 ในสูตรที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 10 15 และ 20 องศาบริกซ์ ตามลำดับ จำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติกเพิ่มขึ้นเป็น 10^8 ส่วนจำนวนเซลล์ยีสต์ยังคงที่เท่ากับ 10^7 โคโลนี/มล. ยังไม่มีการสร้างแอลกอฮอล์

อายุการหมัก 24 ชั่วโมง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 09.00 15.00 และ 18.00 องศาบริกซ์ ค่าพีเอชเท่ากับ 3.21 3.20 และ 3.21 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติเท่ากับ 0.545 0.545 และ 0.545 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์เท่ากับ 0.10 0.10 และ 0.20 จำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยเท่ากับ 9.30×10^8, 8.20×10^8 และ 9.30×10^8 โคโลนี/มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนจำนวนเซลล์ยีสต์เท่ากับ 2.30×10^7, 2.90×10^7 และ 4.90×10^7 เซลล์/มล. ในสูตรที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 10 15 และ 20 องศาบริกซ์ ตามลำดับ

อายุการหมัก 36 ชั่วโมง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 09.00 14.00 และ 17.00 องศาบริกซ์ ค่าพีเอชเท่ากับ 3.15 3.14 และ 3.13 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติเท่ากับ 0.727 0.727 และ 0.727 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์เท่ากับ 0.20 0.20 และ 0.20 จำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติกเพิ่มเป็น 3.60×10^9, 2.90×10^9 โคโลนี/มล. และ 3.70×10^9 ส่วนจำนวนเซลล์ยีสต์เท่ากับ 3.80×10^7, 4.50×10^7 และ 6.10×10^7 เซลล์/มล. ในสูตรที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 10 15 และ 20 องศาบริกซ์ ตามลำดับ

สุดท้ายที่อายุการหมัก อายุการหมัก 48 ชั่วโมง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 09.00 14.00 และ 17.00 องศาบริกซ์ ค่าพีเอชเท่ากับ 3.01 3.02 และ 3.02 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติเท่ากับ 0.909 0.909 และ 0.909 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์เท่ากับ 1.20 1.30 และ 1.50 จำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยเท่ากับ 8.50×10^9, 9.40×10^9 และ 9.00×10^8 โคโลนี/มล. ส่วนจำนวนเซลล์ยีสต์เท่ากับ 9.70×10^7, 1.10×10^8 และ 1.20×10^8 เซลล์/มล. ในสูตรที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 10 15 และ 20 องศาบริกซ์ ตามลำดับ

จากการเปลี่ยนแปลงในการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยเชื้อผสมของแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ จะเห็นได้ว่าเชื้อจุลินทรีย์ทั้งสองประเภทเจริญเติบโตได้ดีในน้ำแก่นตะวันทั้ง 3 สูตร มีการสร้างผลิตภัณฑ์จากการหมักทั้งกรดแลคติกและแอลกอฮอล์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรสชาติเปรี้ยวและมีความซ่าเนื่องจากการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ของยีสต์จากการหมักแอลกอฮอล์ มีรสชาติต่างกันไปตามปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้น จากนั้นจึงเตรียมตัวอย่างน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ทั้ง 3 สูตร นำไปทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยกลุ่มผู้บริโภคที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.8

4.2.2 การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์

ทรีทเมนต์	ค่าเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	ความขุ่น-ใส	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
1. TTS 10 องศาบริกซ์	7.03[a]	7.50[a]	5.90[b]	5.13[c]	5.77[b]
2. TTS 15 องศาบริกซ์	6.37[a]	6.67[a]	5.90[b]	6.27[b]	6.33[b]
3. TTS 20 องศาบริกซ์	6.87[a]	6.87[a]	6.67[a]	7.53[a]	7.40[a]

หมายเหตุ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงค่าวิเคราะห์ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสตามตารางที่ 4.8 พบว่า ค่าเฉลี่ยของการทดสอบด้านความขุ่น-ใส และสี ทั้ง 3 ทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยด้านความขุ่น-ในเท่ากับ 7.03 6.37 6.87 ค่าเฉลี่ยด้านสีเท่ากับ 7.50 6.67 และ 6.87 ในสูตรที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้หมดเท่ากับ 10 15 และ 20 องศาบริกซ์ ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสทรีทเมนต์ที่ 3 มีความแตกต่างจากทรีทเมนต์ที่ 1 และ 2 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.90 5.90 6.67 ในสูตรที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 10 15 และ 20 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยด้านรสชาติทั้ง 3 ทรีทเมนต์มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติ โดยทรีทเมนต์ที่ 3 ค่าความหวาน มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 7.53 ส่วนค่าเฉลี่ยด้านความชอบโดยรวม พบว่าทรีทเมนต์ที่ 3 มีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากทรีทเมนต์ที่ 1 และ 2 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.40

จากการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสน้ำหมักแก่นตะวันที่หมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ จะเห็นได้ว่ากลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคมีความชอบน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ในทรีตเมนต์ที่ 3 ซึ่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 20 องศาบริกซ์มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยของการทดสอบในทุกลักษณะ คือด้านความขุ่นใส สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.87 6.87 6.67 7.53 และ 7.40 ดังนั้นจึงเลือกสูตรน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด20 องศาบริกซ์ ไปทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและจุลินทรีย์ในระหว่างการหมัก และศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ต่อไป

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักน้ำแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์

ตารางที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ และจำนวนเซลล์ในการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ที่อายุการหมัก 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง

อายุการหมัก (ชั่วโมง)	TSS (°Brix)	พีเอช	กรดแลคติก (%)	แอลกอฮอล์ (%)	จำนวนเซลล์แบคทีเรีย (โคโลนี/มล.)	จำนวนเซลล์ยีสต์ (เซลล์/มล.)
0	20.0	4.17	0.100	0.00	4.20×10^{6}	2.30×10^{7}
12	19.60	4.00	0.184	0.40	6.80×10^{6}	3.20×10^{8}
24	19.30	3.70	0.455	0.60	3.60×10^{7}	3.90×10^{9}
36	18.30	3.34	0.549	0.90	7.50×10^{7}	3.90×10^{10}
48	17.90	3.12	0.755	1.20	5.10×10^{8}	3.80×10^{10}

จากตารางที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่อายุการหมัก 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง บริกซ์ พบว่า อายุการหมักเริ่มต้น 0 ชั่วโมง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 20.0 องศาบริกซ์ เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีอายุการหมักเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 19.60 19.30 18.30 และ 17.90 ที่อายุการหมัก 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ

ค่าพีเอชเริ่มต้นที่อายุการหมัก 0 ชั่วโมง เท่ากับ 4.17 และเมื่ออายุการหมักเพิ่มขึ้น ค่าพีเอชจลดลง ลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 4.00 3.70 3.34 และ 3.12 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกที่อายุการหมักเริ่มต้น 0 ชั่วโมง เท่ากับ 0.100 เมื่อมีอายุการหมักเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 0.184 0.455 0.549 และ 0.755 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ที่อายุการหมัก 0 ชั่วโมงเท่ากับ 0.00 เมื่ออายุการหมักเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์มีค่าเท่ากับ 0.40 0.60 0.90 และ 1.20 ที่อายุการหมัก 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงจำนวนเซลล์ ที่อายุการหมัก 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง ผลการตรวจนับการเปลี่ยนแปลงของจำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติกระหว่างการหมักพบว่า จำนวนเซลล์เริ่มต้นที่อายุการหมัก 0 ชั่วโมง เท่ากับ 4.20×10^{6} โคโลนี/มล. เมื่ออายุการหมักเพื่อขึ้นจำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติกเท่ากับ 6.80×10^{6}, 3.60×10^{7}, 7.50×10^{7} และ 5.10×10^{8} โคโลนี/มล. ที่อายุการหมัก 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนจำนวนเซลล์ยีสต์พบว่า เริ่มต้นการหมัก 0 ชั่วโมง จำนวนเซลล์ยีสต์เท่ากับ 2.30×10^{7} เซลล์/มล. เมื่ออายุการหมักเพิ่มขึ้นจำนวนเซลล์เท่ากับ 3.20×10^{8}, 3.90×10^{9}, 3.90×10^{10} และ 3.80×10^{10} เซลล์/มล. ที่อายุการหมัก 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ

จากการการเปลี่ยนในระหว่างการหมักน้ำแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์พบว่า เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ จำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติก และจำนวนเซลล์ยีสต์จะเพิ่มขึ้นตามอายุการหมักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าพีเอชที่ลดลงตลอดอายุการหมัก ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการหมัก เมื่อสิ้นสุดการหมักน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้น 20 องศาบริกซ์ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 17.90 องศาบริกซ์ เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเท่ากับ 0.755 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์เท่ากับ 1.20 ค่าพีเอชเท่ากับ 3.12 จำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติก 5.10×10^{8} โคโลนี/มล. และจำนวนเซลล์ยีสต์เท่ากับ และ 3.80×10^{12} เซลล์/มล. จากนั้นแบ่งตัวอย่างในชุดเดียวกันใส่ขวดดูแรนขนาด 100 มิลลิลิตร ที่ผ่านการต้มฆ่าเชื้อแล้ว ปริมาตรขวดละ 80 มิลลิลิตร เพื่อนำไปศึกษาอายุการเก็บรักษาโดยเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างทุก 5 วัน เป็นเวลา 30 วัน ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาแสดงในตารางที่ 4.10

4.2.4 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาน้ำหมักแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.10 ค่าเริ่มต้นของการเก็บรักษาน้ำหมักแก่นตะวันที่หมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติและยีสต์ที่อายุ 0 วัน คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 17.90 องศาบริกซ์ ค่าพีเอชเท่ากับ 3.12 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเท่ากับ 0.755 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์เท่ากับ 1.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนเซล์แบคทีเรียกรดแลคติก เท่ากับ 5.10×10^{8} โคโลนี/มล. ส่วนจำนวนเซลล์ยีสต์เท่ากับ 3.80×10^{10} เซลล์/มล.

ตารางที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ และจำนวนเซลล์ในการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ที่อายุการเก็บรักษา 0 5 10 15 20 25 และ 30 วัน

อายุการหมัก (ชั่วโมง)	TSS (° Brix)	พีเอช	กรดแลคติก (%)	แอลกอฮอล์ (%)	จำนวนเซลล์แบคทีเรีย (โคโลนี/มล.)	จำนวนเซลล์ยีสต์ (โคโลนี/มล.)
0	20.0	4.17	0.100	0.00	4.20×10^{6}	2.30×10^{7}
12	19.60	4.00	0.184	0.40	6.80×10^{6}	3.20×10^{8}
24	19.30	3.70	0.455	0.60	3.60×10^{7}	3.90×10^{9}
36	18.30	3.34	0.549	0.90	7.50×10^{7}	3.90×10^{10}
48	17.90	3.12	0.755	1.20	5.10×10^{8}	3.80×10^{10}
อายุการเก็บรักษา (วัน)	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าพีเอช กรดแลคติกและจำนวนเซลล์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส					
0	17.90	3.12	0.755	1.20	5.10×10^{8}	3.80×10^{10}
5	12.00	3.09	0.800	1.50	9.90×10^{8}	5.80×10^{10}
10	12.00	3.08	0.800	1.60	8.50×10^{8}	5.00×10^{10}
15	11.90	3.08	0.800	1.60	7.90×10^{8}	5.30×10^{10}
20	11.90	3.05	0.800	1.80	5.70×10^{8}	6.00×10^{10}
25	11.40	3.04	0.900	2.10	4.80×10^{8}	7.50×10^{10}
30	11.00	3.04	0.900	2.40	1.90×10^{7}	8.30×10^{10}

อายุการเก็บรักษา 5 วัน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับค่า 12.00 องศาบริกซ์ ค่าพีเอชเท่ากับ 3.09 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเท่ากับ 0.800 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์เท่ากับ 1.50 จำนวนเซล์แบคทีเรียกรดแลคติกเท่ากับ 9.90×10^{8} โคโลนี/มล. จำนวนเซลล์ยีสต์เท่ากับ 5.80×10^{10} เซลล์/มล. อายุการเก็บรักษา 10 วัน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 12.00 องศาบริกซ์ ค่าพีเอชเท่ากับ 3.08 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเท่ากับ 0.800 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์เท่ากับ 1.60 จำนวนเซล์แบคทีเรียกรดแลคติกเท่ากับ 8.50×10^{8} โคโลนี/มล. ส่วนจำนวนเซลล์ยีสต์เท่ากับ 5.0×10^{10} เซลล์/มล.

อายุการเก็บรักษา 15 วัน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับค่า 11.90 องศาบริกซ์ ค่าพีเอชเท่ากับ 3.08 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเท่ากับ 0.800 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์เท่ากับ 1.60 จำนวนเซล์แบคทีเรียกรดแลคติกเท่ากับ 7.90×10^{8} โคโลนี/มล. จำนวนเซลล์ยีสต์เท่ากับ 5.30×10^{10} เซลล์/มล. อายุการเก็บรักษา 20 วัน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 11.90 องศาบริกซ์ ค่าพีเอชเท่ากับ 3.05 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเท่ากับ 0.800 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 1.80 จำนวนเซล์แบคทีเรียกรดแลคติกเท่ากับ 5.70 x 10^8 โคโลนี/มล. ส่วนจำนวนเซลล์ยีสต์เท่ากับ 6.00 x 10^{10} เซลล์/มล.

ที่อายุการเก็บรักษา 25 วัน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับค่า 11.40 องศาบริกซ์ ค่าพีเอชเท่ากับ 3.04 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเท่ากับ 0.900 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์เท่ากับ 2.10 จำนวนเซล์แบคทีเรียกรดแลคติกเท่ากับ 4.80 x 10^8 โคโลนี/มล. จำนวนเซลล์ยีสต์เท่ากับ 7.50 x 10^{10} เซลล์/มล. และสุดท้ายอายุการเก็บรักษา 20 วัน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 11.00 องศาบริกซ์ ค่าพีเอชเท่ากับ 3.04 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเท่ากับ 0.900 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์เท่ากับ 2.40 จำนวนเซล์แบคทีเรียกรดแลคติกเท่ากับ 1.90 x 10^7 โคโลนี/มล. ส่วนจำนวนเซลล์ยีสต์เท่ากับ 8.30 x 10^{10} เซลล์/มล.

จากการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงองศาบริกซ์ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าเท่ากับ 12.00 11.90 11.00 ที่อายุการเก็บรักษา 5 15 และ 30 วัน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มของเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ ที่เพิ่มขึ้นเป็น 1.50 1.60 และ 2.40 ที่อายุการเก็บรักษา ที่อายุการเก็บรักษา 5 15 และ 30 วัน ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนค่าพีเอชลดลงเป็น 3.09 3.08 และ 3.04 ที่อายุการเก็บรักษา 5 15 และ 30 วัน ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงจำนวนเซลล์ของแบคทีเรียกรดแลคติกมีค่าอยู่ที่ 10^8 โคโลนี/มล. และลดลงเป็น 10^7 โคโลนี/มล. ที่อายุการเก็บรักษา 30 วัน จำนวนเซลล์ยีสต์อยู่ที่ 10^{10} เซลล์/มล. ตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งจะเห็นได้ว่าจำนวนเซลล์ของเชื้อทั้งสองชนิดที่ใช้เป็นกล้าเชื้อในการผลิตสามารถเจริญและมีชีวิตอยู่ได้ในผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา โดยที่จำนวนเชื้อในระหว่างการเก็บรักษาเป็นไปตามเกณฑ์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เป็นโพรไบโอติกส์ คือ 10^6 โคโลนี/มิลลิลิตร

4.3 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำหมักแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์น้ำหมักแก่นตะวัน ดำเนินการโดยเตรียมน้ำหมักแก่นตะวันทั้งสองชนิด เปรียบเทียบกับน้ำหมักแก่นตะวันที่ไม่ผ่านการหมัก รวมเป็นน้ำแก่นตะวันที่ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี 3 สูตร คือ 1) น้ำแก่นตะวัน 1 (น้ำแก่นตะวันพาสเจอร์ไรซ์ ค่าองศาบริกซ์ 15) 2) น้ำหมักแก่นตะวันที่หมักด้วยเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก และ 3) น้ำหมักแก่นตะวันที่หมักด้วยเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ โดยข้อมูลการศึกษาองค์ประกอบทางมีโดยการทดสอบทางอาหาร ทางเกลือแร่ และจุลินทรียของน้ำแก่นตะวันทั้ง 3 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 4.11

จากตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์น้ำแก่นตะวันทั้ง 3 สูตร โดยการทดสอบทางอาหารพบว่า พลังงาน (กิโลแคลอรี/100 มิลลิลตร) เท่ากับ 63.10 77.80 และ 70.90 เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรท (รวมไฟเบอร์) เท่ากับ 15.40 19.10 และ 17.90 เปอร์เซ็นต์ไฟเบอร์ทั้งหมดเท่ากับ 0.06 0.12 และ 0.08 เปอร์เซ็นต์โปรตีน เท่ากับ 0.37 0.35 และ 0.33 ในน้ำแก่นตะวันสูตร 1 2 แล 3 ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเท่ากับ 0.636 และ 0.755 ในน้ำแก่นตะวันสูตรที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์เอทานอลเท่ากับ 1.20 ในตัวอย่างที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 องค์ประกอบทางโภชนาการน้ำหมักแก่นตะวันทั้ง 3 สูตร

การทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์	น้ำแก่นตะวัน 1	น้ำแก่นตะวัน 2	น้ำแก่นตะวัน 3	วิธีการวิเคราะห์
การทดสอบทางอาหาร				
แคลอรี (กิโลแครอรี/100 กรัม)	63.10	77.80	70.90	Method of analysis for Nutrition Labeling (1993)
คาร์โบไฮเดรท (รวมไฟเบอร์) (กรัม/100 กรัม)	15.40	19.10	17.40	Method of analysis for Nutrition Labeling (1993)
Dietary fiber (Total)	0.06	0.12	0.08	
โปรตีน (กรัม/100 กรัม)	0.37	0.35	0.33	AOCA (2010), 981.10
ไขมัน (กรัม/100 กรัม)	0.00	0.00	0.00	AOCA (2000)
ฟรุกโทส (กรัม/100 กรัม)	ND	ND	3.57	JAOAC (1992)
Total Soluble Solid (องศาบริกซ์)	15.00	14.60	17.90	Hand Refractometer
กรดแลคติก (เปอร์เซ็นต์)	-	0.636	0.755	ไตเตรท
เอทานอล (เปอร์เซ็นต์)	-	-	1.20	Ebuliometer
ความชื้น (กรัม/100 กรัม)	84.00	80.30	82.10	AOCA (2000)
ค่าพีเอช	4.20	3.16	3.12	pH meter
การทดสอบเกลือแร่ (มิลลิกรัม/100 กรัม)				
เถ้า (กรัม/100 กรัม)	0.20	0.21	0.19	AOAC (2012), 900.02
โปแทสเซียม	94.5	86.4	73.3	AOCA (2010), 984.27
แมกนีเซียม	3.92	3.63	3.49	
แคลเซียม	3.97	3.42	2.73	
เหล็ก	0.07	0.07	0.04	
การทดสอบจุลินทรีย์ (โคโลนี/มิลลิลิตร)				
แบคทีเรียกรดแลคติก	ND	5.1×10^8	5.2×10^8	Plate count method
ยีสต์	ND	-	4.1×10^{10}	

หมายเหตุ

น้ำแก่นตะวัน 1 หมายถึง น้ำแก่นตะวันพาสเจอไรซ์ ไม่ผ่านการหมัก

น้ำแก่นตะวัน 2 หมายถึง น้ำแก่นตะวันที่หมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก

น้ำแก่นตะวัน 3 หมายถึง น้ำแก่นตะวันที่หมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติและยีสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบเกลือแร่ของน้ำแก่นตะวัน พบว่าเปอร์เซ็นต์เถ้าเท่ากับ 0.20 0.21 และ 0.19 เปอร์เซ็นต์โปแทสเซียมเท่ากับ 94.50 86.40 73.30 เปอร์เซ็นต์แมกนีเซียมเท่ากับ 3.92 3.63 และ 3.49 เปอร์เซ็นต์แคลเซียมเท่ากับ 3.97 3.42 และ 2.73 ส่วนเปอร์เซ็นต์ธาตุเหล็กเท่ากับ 0.07 0.07 และ 0.04 ในน้ำแก่นตะวันสูตรที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

ผลการทดสอบจุลินทรีย์พบว่าจุลินทรีย์แบคทีเรียกรดแลคติกมีจำนวนเท่ากับ 5.10×10^8 และ 5.20×10^8 โคโลนี/มล. ในน้ำแก่นตะวันสูตร 2 และ 3 ส่วนเซลล์ยีสต์เท่ากับ 4.10×10^{12} โคโลนี/มล. ในน้ำแก่นตะวันสูตรที่ 3

จากคุณค่าทางโภชนาการของน้ำแก่นตะวันพบว่า น้ำแก่นตะวันที่หมักให้เกิดกรดแลคติกและหมักให้เกิดกรดแลคติกและแอลกอฮอล์ในสูตรที่ 2 และ 3 เมื่อเทียบกับน้ำแก่นตะวันพาสเจอไรซ์ (สูตรที่ 1) มีคุณค่าทางโภชนการได้แก่ เป็นแหล่งพลังงาน มีปริมาณคาร์โบไฮเดรท มีปริมาณโปรตีน และมีองค์ประกอบของเกลือแร่ ได้แก่ โปแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม และเหล็ก และยังมีองค์ประกอบของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักอยู่ด้วย ดังนั้นจึงเป็นทางเลือกหนึ่งของการใช้เป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

ตารางที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าพีเอช เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำหมักน้ำแก่นตะวันทั้งสองสูตร

น้ำหมักแก่นตะวัน	พีเอช	กรดแลคติก (%)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	แอลกอฮอล์ (%)
สูตร 1	3.16	0.636	14.60	0
สูตร 2	3.12	0.755	17.90	1.20

หมายเหตุ

สูตร 1 หมายถึง น้ำแก่นตะวันที่หมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก

สูตร 2 หมายถึง น้ำแก่นตะวันที่หมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติและยีสต์

4.4 การศึกษาการเปรียบเทียบการยอมรับน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์

การศึกษาการเปรียบเทียบการยอมรับน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกยีสต์ โดยศึกษา 2 สูตร สูตรที่ 1 คือ น้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติก และสูตรที่ 2 คือ น้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ ศึกษาโดยใช้แบบสอบถามวิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างคู่ (paired comparison test) โดยกลุ่มผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน เพื่อศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตร

จากผลการทดสอบการยอมรับโดยกลุ่มผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน มีผู้ทดสอบที่ชอบสูตรที่ 1 เท่ากับ 19 คน และชอบสูตรที่ 2 จำนวน 11 คน สรุปได้ว่า กลุ่มผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ทั้งสองตัวอย่างไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาการแปรรูปแก่นตะวันโดยการหมักแอลกอฮอล์และการหมักกรดแลคติก ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. การแปรรูปแก่นตะวันโดยการหมักให้เกิดกรดแลคติก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ใช้ในการหมัก และผู้บริโภคยอมรับ คือ 15 องศาบริกซ์ การหมักที่อายุ 48 ชั่วโมง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 14.60 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เท่ากับ 0.755 ค่าพีเอช เท่ากับ 3.16 และจำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติก เท่ากับ 4.23×10^8 โคโลนี/มล. การเก็บรักษาน้ำหมักแก่นตะวันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 12.70 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เท่ากับ 0.900 ค่าพีเอช เท่ากับ 3.06 และจำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติก เท่ากับ 2.50×10^8 โคโลนี/มล.

2. การแปรรูปแก่นตะวันโดยการหมักให้เกิดแอลกอฮอล์และกรดแลคติก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ใช้ในการหมัก และผู้บริโภคยอมรับ คือ 20 องศาบริกซ์ การหมักที่อายุ 48 ชั่วโมง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 17.90 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เท่ากับ 0.755 ค่าพีเอช เท่ากับ 3.12 ปริมาณแอลกอฮอล์ เท่ากับ 1.20 เปอร์เซ็นต์ จำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติก เท่ากับ 5.10×10^8 โคโลนี/มล. จำนวนเซลล์ยีสต์ เท่ากับ 3.80×10^8 เซลล์/มล. การเก็บรักษาน้ำหมักแก่นตะวันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 11.00 เปอร์เซ็นต์กรดแลคติก เท่ากับ 0.900 ค่าพีเอช เท่ากับ 3.04 ปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ 2.40 เปอร์เซ็นต์ จำนวนเซลล์แบคทีเรียกรดแลคติก เท่ากับ 1.90×10^7 โคโลนี/มล. จำนวนเซลล์ยีสต์ เท่ากับ 8.30×10^{10} เซลล์/มล.

3. คุณค่าทางโภชนการของน้ำหมักแก่นตะวัน พบว่า พลังงานจากน้ำหมักแก่นตะวัน 100 มิลลิลิตร เท่ากับ 63.10 77.80 และ 70.90 เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรท (รวมไฟเบอร์) เท่ากับ 15.40 19.10 และ 17.90 เปอร์เซ็นต์ไฟเบอร์ทั้งหมดเท่ากับ 0.06 0.12 และ 0.08 เปอร์เซ็นต์โปรตีนเท่ากับ 0.37 0.35 และ 0.33 ในน้ำแก่นตะวันสูตร 1 2 แล 3 ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์กรดแลคติกเท่ากับ 0.636 และ 0.755 ในน้ำแก่นตะวันสูตรที่ 2 และ 3 ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์เอทานอลน้ำหมักแก่นตะวันสูตร 2 เท่ากับ 1.20

ปริมาณเกลือแร่ของน้ำแก่นตะวัน พบว่าเปอร์เซ็นต์เถ้าเท่ากับ 0.20 0.21 และ 0.19 เปอร์เซ็นต์โปแทสเซียมเท่ากับ 94.50 86.40 73.30 เปอร์เซ็นต์แมกนีเซียมเท่ากับ 3.92 3.63 และ 3.49 เปอร์เซ็นต์แคลเซียมเท่ากับ 3.97 3.42 และ 2.73 ส่วนเปอร์เซ็นต์ธาตุเหล็กเท่ากับ 0.07 0.07 และ 0.04 ในน้ำแก่นตะวันสูตรที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

ผลการทดสอบจุลินทรีย์พบว่าจุลินทรีย์แบคทีเรียกรดแลคติกมีจำนวนเท่ากับ 5.10×10^8 และ 5.20×10^8 โคโลนี/มล. ในน้ำแก่นตะวันสูตร 2 และ 3 ส่วนเซลล์ยีสต์เท่ากับ 4.10×10^{12} โคโลนี/มล. ในน้ำแก่นตะวันสูตรที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณค่าทางโภชนาการของน้ำหมักแก่นตะวันที่หมักให้เกิดกรดแลคติก การหมักให้เกิดกรดแลคติกและแอลกอฮอล์ในสูตรที่ 2 และ 3 มีคุณค่าทางโภชนการได้แก่ เป็นแหล่งพลังงาน มีปริมาณคาร์โบไฮเดรท มีปริมาณโปรตีน และมีองค์ประกอบของเกลือแร่ ได้แก่ โปแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม และเหล็ก และยังมีองค์ประกอบของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักอยู่ด้วย ดังนั้นจึงเป็นทางเลือกหนึ่งของการใช้เป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำการทดลอง

การเตรียมสตาร์ทเตอร์ในการหมักน้ำแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ สามารถเติมแบคทีเรียกรดแลคติกในช่วงแรกของการหมัก ประมาณ 24 ชั่วโมง และเติมยีสต์ในช่วงหลังของการหมักหลังจาก 24 ชั่วโมง จะช่วยไม่ให้เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์สูงเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. 2555. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 346 เรื่อง การใช้จุลินทรีย์โพรไบโอติกในอาหาร (ฉบับที่ 2) แหล่งที่มา : http://www.bpa.in.th/login/filedata/probiotic%202.PDF

กระบวนการหมักแอลกอฮอล์. แหล่งที่มา : http://www.thaigoodview.com/library/ studentshow/st2545/5-/no21/alcoholic_fermentation.htm, 2 พฤศจิกายน 2550.

ครรชิต จุดประสงค์ และคณะ. 2553. "อินนูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์เพื่อสุขภาพ". วารสารโภชนาการ. ปีที่ 45. ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม - ธันวาคม) : 2 – 10.

ไชยวัฒน์ ไชยสุต. 2553. น้ำหมักชีววภาพ. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ

ดารารัตน์ มงคลการ และสาโรจน์ ศิริศันสนียกุล. 2554. "แก่นตะวันพืชหัวเพื่อสุขภาพ". วารสารสรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ. ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 (มีนาคม – มิถุนายน) : 18

นิมิต วรสูตร และสนั่น จอกลอย. 2549. " อินนูลิน : สาระสำคัญสำหรับสุขภาพในแก่นตะวัน". วารสารแก่นเกษตร. ปีที่ 34. ฉบับที่ 2 (เมษายน – มิถุนายน) : 4.

ประภาส ช่างเหล็ก. 2554. การปลูกเพื่อใช้ประโยชน์จากพืชแก่นตะวัน (Jerusalem Artichoke). โครงการวิจัยของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2553. น. 34 – 40

ปิ่นมณี ขวัญเมือง. 2547. แบคทีเรียกรดแลคติกในผลิตภัณฑ์อาหารหมักดอง. วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม. 1 (3) : 62-69.

_____. 2548. ฟังชันนัลฟูดส์ : อาหารเพื่อสุขภาพ. วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม. 4 (2) : 43-50.

สนั่น จอกลอย และจิรายุธ ดาเระสา. 2549. "ศักยภาพการให้ผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรของแก่นตะวันพันธุ์ต่างๆ ในสภาพการเพาะปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย". วารสารแก่นเกษตร. ปีที่ 34. ฉบับที่ 2 (เมษายน – มิถุนายน) : 139

สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล. 2554 "กรรมวิธีการผลิตแป้งแก่นตะวัน (เยรูซาเล็มอาร์ทิโช้ค)". วารสารสรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ. ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 (มีนาคม – มิถุนายน) : 33

วิเชียร ลีลาวัชรมาศ และ วรวุฒิ ครูส่ง. 2545. การถนอมและแปรรูปอาหารด้วยการหมักดอง. หน่วยที่ 10. เอกสารประกอบการสอน ชุดวิชา การถนอมและการแปรรูปอาหาร, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. น. 61-89.

สุมาลี เหลืองสกุล. 2535. จุลชีววิทยาทางอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒประสานมิตร. 315 น.

อัตถ์ อัจฉริยมนตรี. 2555. ศักยภาพการให้ผลผลิตและลักษณะการเจริญเติบโตของแก่นตะวัน (*Helianthus tuberosus*) ในสภาพเกษตรอินทรีย์. โครงการวิจัยของสาขาวิชาสาขาวิชาเทคโนโลยีและพัฒนาการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2554. 34 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Baston O. and Conatantin Oana Emilia. 2012. Selected of Lactic Acid Bacteria able to Fermentet Inulin Hydrolysates. The Annals of the University Dunarea Jos of Galati Fascicle VI-Food Technology. 36 (2) : 31-40.

Buruleanu L., Nicolescu C.L., Avram D., Bratu M.G. and Manea I. 2009. Survival of probiotic bacteria during lactic acid fermentation of vegetable juices. **Journal of Agroalimentary Processes and Technologies.** 15 (1) : 132-139.

Chadwick, R., S. Henson, B. Moseley, G. Koenen, M.Liakopoulos, C. Midden, A. palou, G. Rechkemmer, D. Schrode, and A. von Wrigh. 2003. Functional Foods. New York, Srpinger, p.161-175.

Hondo M., Hashido T. and Okumura Y. 2005. Utilization for food of Jerusalem Artichoke [*Helianthus tuberosus*] tuber : Preparation of vinegar from jerusalem artichoke juice. **Bulletin of Hokkaido Food Processing Research Center.** 6 : 37-41.

Kandler, O. 1983. Carbohydrate metabolism in lactic acid bacteria. Antonie van Leewenhoek. 49 : 209-224.

Kathy and Niness. 1999. The bifidogenic effect of inulin and oligofructose and its Consequences for gut health. **Eur J. Clin Nutr.** 63 (11) : 51.

Lactobacillus pentosus. แหล่งที่มา http://kucon.lib.ku.ac.th/Fulltext/KC4506011.pdf, 4 มีนาคม 2551

Mousavi Z. E., Mousavi S.M., Razavi S.H., Emam-Djomeh Z. and Kiani H. 2011. Fermentation of pomegranate juice by probiotic lactic acid bacteria. **World J Microbiol.** 27 : 123-128.

Pakvirun Thuesombat, Pornthap Thanonkeo, Lakkana Laopaiboon, Patthna Laopaiboon, Sirinda Yunchalard, Pakawadee Kaewkannetra and Sudarat Thanonkeo. 2007. The Batch Ethanol Fermentation of Jerusalem artichoke Using Saccharomyces cerevisiae. **KMITL Sci. Tech.** J. 7 (2) : 93-96.

Phillips, G. and P. Williams. 2000. **Handbook of hydrocolloids.** Boca Raton : CRC Press, p. 42

Sukon Tantipaibulvut, Charaswan Soontornsophan and Supreeya Luangviphusanich. 2008. Fermentation of roselle juice by lactic acid bacteria. **As.J. Food Ag-Ind.** 1 (04) : 213-222

Van Loo J. 1995. On the present of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western Diet. **Crit Rev Food Sci Nutr.** 35 (6) : 52.

Wood, B.J.B. and Holzapfel. 1995. **The Genera Of Lactic Acid Bacteria.** New York : St . Edmundstury Press.

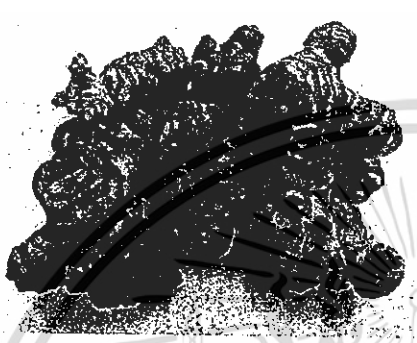
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

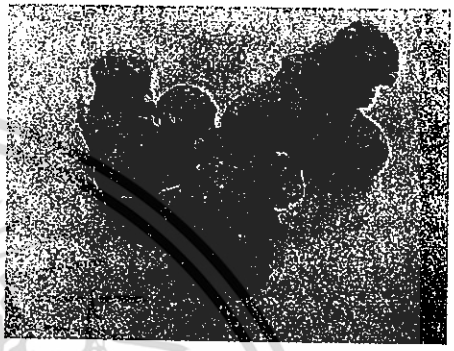
Zalán Zsolt., Hudáček Jaroslav, Tóth-Markus Marianna, Husová Eva, Solochová Katerina, Hegyi Ference, Plockoná Milada, Chumchalová Jana and Halász Anna. 2011. Sensorically and antimicrobially active metabolite production of Lactobacillus strain on Jerusalem artichoke juice. J. Sci Agric. 90 : 672-679.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

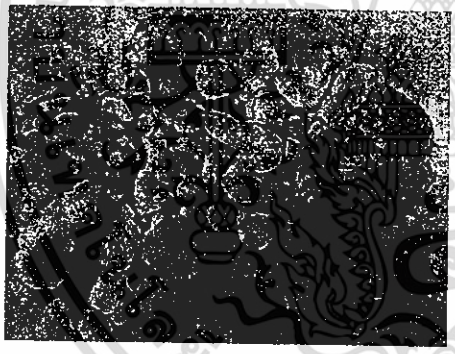
ภาคผนวก

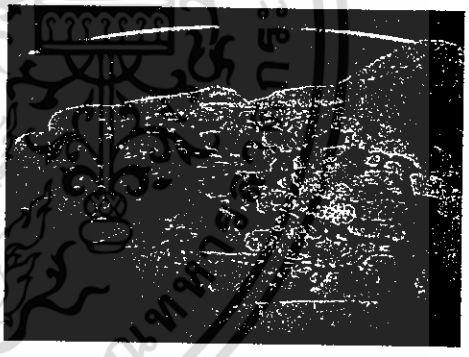
การเตรียมน้ำแก่นตะวัน





นำหัวแก่นตะวันสดมาล้างให้สะอาด จากนั้นใช้มีดขูดเปลือกนอกสีน้ำตาลด้านนอกออกให้หมด





นำหัวแก่นตะวันสดที่ล้างสะอาดแล้วมาหั่นเป็นแว่นและนำไปนึ่งให้สุก ปล่อยให้เย็น

นำมาปั่นโดยใช้อัตราส่วนหัวแก่นตะวันต่อน้ำเท่ากับ 1 : 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมส่วนผสมในการหมักน้ำแก่นตะวัน

น้ำแก่นตะวัน น้ำสับปะรด น้ำบีทรูท น้ำแครอท

สูตรสำหรับผลิตน้ำหมักแก่นตะวัน

น้ำผักและน้ำผลไม้	เปอร์เซ็นต์
น้ำแก่นตะวัน	40
น้ำบีทรูท	20
น้ำสับปะรด	20
น้ำแครอท	10
น้ำกลั่น	10

หมายเหตุ ส่วนผสมนี้ใช้สำหรับผลิตน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติก และน้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกผสมยีสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การน้ำหมักแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก

น้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติก ที่อายุการหมัก 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง

หมายเลข 1 น้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกที่อายุการหมัก 0 ชั่วโมง
หมายเลข 2 น้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกที่อายุการหมัก 12 ชั่วโมง
หมายเลข 3 น้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกที่อายุการหมัก 24 ชั่วโมง
หมายเลข 4 น้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกที่อายุการหมัก 36 ชั่วโมง
หมายเลข 5 น้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกที่อายุการหมัก 48 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การน้ำหมักแก่นตะวันด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์

น้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ ที่อายุการหมัก 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง

หมายเลข 1 น้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีตส์ที่อายุการหมัก 0 ชั่วโมง

หมายเลข 2 น้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีตส์ที่อายุการหมัก 12 ชั่วโมง

หมายเลข 3 น้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีตส์ที่อายุการหมัก 24 ชั่วโมง

หมายเลข 4 น้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีตส์ที่อายุการหมัก 36 ชั่วโมง

หมายเลข 5 น้ำหมักแก่นตะวันจากแบคทีเรียกรดแลคติกและยีตส์ที่อายุการหมัก 48 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ ดร. ปิ่นมณี ขวัญเมือง
ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2528	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช. เกษตรกรรมทั่วไป) วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตเกษตรปทุมธานี
พ.ศ. 2531	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (เทคโนโลยีการผลิตพืช) คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2532	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตพืช) คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2538	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤษศาสตร์) คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2546	วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ) คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการรับราชการ

พ.ศ. 2540-2547	อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2547-2551	ได้รับการแต่งตั้งดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร) ประจำภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2551-ปัจจุบัน	ได้รับการแต่งตั้งดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร) ประจำภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้