# การเจริญเติบโตของหัวเชื้อโยเกิร์ตในน้ำนมข้าวที่เตรียมจากข้าวก่ำพันธุ์ก่ำลืมผัว

# Growth of Yogurt Cultures in Rice Milk Prepared from Purple Rice var. Luem Pua

สมกมล สมบัติใหม่[1] Tri Indrarini Wirjantoro[2] อภิรักษ์ เพียรมงคล[3]
[1] สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
[2,3]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
155 หมู่ 2 ต.แม่เหียะ อ.เมือง เชียงใหม่ 50100 โทร. 053-948283
E-mail address : maikiki_234@hotmail.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของหัวเชื้อโยเกิร์ตที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์ในรูปผงซึ่งประกอบด้วยเชื้อ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ในน้ำนมข้าวที่เตรียมจากข้าวก่ำพันธุ์ลืมผัวที่มีการเติมนมผงพร่องมันเนยที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 1, 2 และ 3 (w/v) โดยใช้ปริมาณเชื้อเริ่มต้น ร้อยละ 0.1 (w/v) การวิเคราะห์น้ำนมข้าวก่ำที่เตรียมโดยการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์พบว่า มีค่าพีเอช 5.84±0.01 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 43.1616±0.0412 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรของตัวอย่าง น้ำตาลส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลกลูโคส มีปริมาณ 10.65±0.02 กรัม/100 กรัมของน้ำหนักแห้ง ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดแลคติคร้อยละ 0.0034±0.0008 ปริมาณแอนโธไซยานินในรูปของ cyanidin-3-glucoside 41.539±0.010 มิลลิกรัม/100 กรัมของน้ำหนักแห้ง และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 46.5868±0.0936 มิลลิกรัม/100 กรัมของน้ำหนักแห้ง การศึกษาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หัวเชื้อโยเกิร์ตในน้ำนมข้าวก่ำที่เตรียม พบว่าการเติมนมผงพร่องมันเนยร้อยละ 3 (w/v) ในน้ำนมข้าวก่ำมีผลทำให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หัวเชื้อโยเกิร์ตดีที่สุด โดยเมื่อหมักน้ำนมข้าวก่ำที่อุณหภูมิ 40±1 องศาเซลเซียส นาน 20 ชั่วโมงจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์คล้ายโยเกิร์ตที่มีพีเอช เท่ากับ 4.04±0.01 มีปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดแลคติคร้อยละ 0.025±0.000 และมีปริมาณหัวเชื้อโยเกิร์ต *L.bulgaricus* และ *S.thermophilus* เท่ากับ log 8.89 และ log 8.85 cfu/ml. ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** น้ำนมข้าว, ข้าวก่ำ, โยเกิร์ต

## Abstracts

This study aimed to study growth of commercial yogurt culture which contained *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* in purple rice (var. Luem Pua) milk with different levels of skim milk adding (0, 1, 2 and 3% w/v). The freeze dried culture was aseptically inoculated to the rice milk at the concentration of 0.1% (w/v). The properties of the rice milk were as followed: pH 5.84±0.01, reducing sugar content 43.1616±0.0412 mg/ml sample, glucose content 10.65±0.02 g/100g, total acidity as lactic acid 0.0034±0.0008% anthocyanin in form of cyanidin-3-glucoside 41.539±0.010 mg/100g dried matter (DM) and total phenolic content 46.5868±0.0936 mg/100g DM. Fermentation experimental results of the rice milk with yogurt culture at 40±1°C for 20 h indicated that skim milk affected the growth of yogurt culture. Addition of 3% (w/v) skim milk in the rice milk provided the yogurt-like product (pH 4.04±0.01 and total acidity as lactic acid 0.025±0.000%) with maximum growth of *L.bulgaricus* and *S.thermophilus* of log 8.89 and log 8.85 cfu/ml., respectively.

**Keywords:** Rice milk, Purple rice, Yogurt

## 1. บทนำ

ข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทยและประชากรในแถบเอเชียมาช้านาน ในปัจจุบันข้าวยังได้รับความนิยมบริโภคไปทั่วโลก และประเทศไทยก็เป็นหนึ่งในประเทศผู้ผลิตและส่งออกข้าวที่สำคัญ การพัฒนาและแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารจากข้าวนอกจากจะได้รับการยอมรับจากผู้ผลิตเนื่องจากความคุ้นเคยในวัตถุดิบอาหารแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ข้าวของไทยเราอีกด้วย

ข้าวก่ำพันธุ์ลืมผัวเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีสารต้านอนุมูลอิสระโดยรวมซึ่งช่วยลดการเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง ในปริมาณสูงถึง 833.77 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม มีแกมม่า โอไรซานอลที่ช่วยลดโคเรสเตอรอลและไตรกลีเซอร์ไรด์ ปริมาณ 508.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีกรดไขมันที่ช่วยบำรุงสมอง ป้องกันภาวะเสื่อมของสมองและช่วยเรื่องความจำ คือ โอเมกา-3 อยู่ 33.94 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม มีโอเมกา-6 ที่บรรเทาอาการขาดภาวะเอสโตรเจนของวัยทองและช่วยให้ผิวพรรณเปล่งปลั่งสูงถึง 1,160.08 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม มีโอเมกา-9 ซึ่งช่วยลดโคเรสเตอรอลในเส้นเลือด ทำให้เส้นเลือดไม่อุดตัน สูงถึง 1,146.41

มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม นอกจากนั้นยังมีปริมาณแอนโทไซยานิน 45.56 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม มีธาตุเหล็กสูงมากถึง 84.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคลเซียม 165.75 มิลลิกรัมต่อกรัม สังกะสี 23.60 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัม และแมงกานีส 35.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม [1]

โยเกิร์ต (yogurt) เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จากการหมักนม โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างกรดแลคติคที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่ได้รับความนิยมทั่วโลก โยเกิร์ตถูกพิจารณาว่าเป็นอาหารสุขภาพ (healthy food) เนื่องจากมีปริมาณของโปรตีนและแคลเซียมสูง [2]

มีการศึกษาเพื่อเพิ่มคุณค่าและมูลค่าให้แก่โยเกิร์ตโดยการเติมแร่ธาตุอาหารที่สำคัญลงในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต [3] รวมทั้งพัฒนารูปแบบของโยเกิร์ตในลักษณะของไอศกรีมโยเกิร์ต (yogurt ice cream หรือ frozen yogurt) เพื่อเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และเพิ่มทางเลือกให้แก่ผู้บริโภค แต่อย่างไรก็ตามยังไม่พบรายงานการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตโยเกิร์ตที่ใช้ข้าวเป็นวัตถุดิบหลักในการหมัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองทางภาคเหนือของประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาถึงสมบัติของน้ำนมข้าวก่ำที่เตรียมจากข้าวก่ำสายพันธุ์ลืมผัว และศึกษาถึงผลของปริมาณนมผงพร่องมันเนยที่มีต่อการเจริญของหัวเชื้อโยเกิร์ตในน้ำนมข้าวก่ำ เพื่อนำไปพัฒนารูปแบบเป็นผลิตภัณฑ์คล้ายโยเกิร์ตที่มีข้าวก่ำเป็นส่วนประกอบหลักต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมบัติของน้ำนมข้าวก่ำที่เตรียมได้จากข้าวก่ำพันธุ์ลืมผัว
2. เพื่อศึกษาผลของปริมาณนมผงพร่องมันเนยที่มีต่อการเจริญของหัวเชื้อโยเกิร์ตในน้ำนมข้าวก่ำ

## 3. วิธีดำเนินงาน

1. การศึกษาสมบัติของน้ำนมข้าวก่ำ

1.1 การเตรียมน้ำนมข้าวก่ำ

น้ำนมข้าวที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะเตรียมจากข้าวเหนียวก่ำพันธุ์ลืมผัว โดยการเตรียมจะอ้างอิงจากวิธีที่รายงานไว้โดย Wonkhalaung and Boonyaratanakornki [4],[5] โดยนำข้าวก่ำ (หน่วยวิจัยข้าวก่ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่) มาล้างให้สะอาดแล้วแช่ในน้ำ โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 นาน 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปให้ความร้อนจนกระทั่งมีอุณหภูมิประมาณ 90-95 องศาเซลเซียส แล้วเติมเอนไซม์ Termamyl (Alpha-amylase) (Novo Nordisk Co., Bagsvaerd, Denmark) ลงไปร้อยละ 0.2 คงอุณหภูมิของส่วนผสมไว้นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นทำ saccharification โดยใช้ AMG (amyloglucosidase) (Novo Nordisk Co., Bagsvaerd, Denmark) ร้อยละ 0.2 ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส พีเอชเท่ากับ 5.0 นานประมาณ 24 ชั่วโมง นำส่วนผสมมากรองผ่านตะแกรงไนลอนขนาด 350-mesh เพื่อแยกส่วนของอนุภาคของแข็งขนาดใหญ่ จากนั้นนำส่วนของน้ำนมข้าวที่ได้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เพื่อยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์

1.2 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำนมข้าวก่ำ

- สมบัติด้านเคมี-กายภาพ (physico-chemical properties)
    1) น้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) วิเคราะห์โดยวิธี spectophotometry [6]
    2) องค์ประกอบของน้ำตาล (Sugar composition) วิเคราะห์โดย HPLC โดยได้ทำการวิเคราะห์ชนิดของน้ำตาล ได้แก่ น้ำตาลฟรุกโตส กลูโคส ซูโครส มอลโตส และแลคโตส
    3) ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดแลคติค โดยวิธีของ Frazier *et al*. [7]
    4) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound) วิเคราะห์โดยวิธี Folin-Ciocalteu assay [8]
    5) ปริมาณแอนโธไซยานิน วิเคราะห์โดยวิธี pH Differential [9]
- กิจกรรมต้านออกซิเดชั่น (antioxidant efficiency)

วิเคราะห์จาก DPPH (2, 2-diphenyl-1-picryhydrazyl) radical scavenging activity [10]

2. การศึกษาผลของปริมาณนมผงพร่องมันเนยที่มีต่อการเจริญของเชื้อโยเกิร์ตในน้ำนมข้าวก่ำ

2.1 การเติมหัวเชื้อโยเกิร์ตและนมผงพร่องมันเนย

ทำการเตรียมน้ำนมข้าวก่ำตามสภาวะ 1.1 และเติมหัวเชื้อโยเกิร์ตที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์ในรูปผง (freeze dry) (Chr Hansen, Denmark) ซึ่งประกอบด้วยเชื้อ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ที่สภาวะปลอดเชื้อ โดยเติมหัวเชื้อโยเกิร์ตร้อยละ 0.1 (w/v) และเติมนมผงพร่องมันเนย (skim milk powder) (ห้างหุ้นส่วนจำกัดเชียงใหม่เบเกอร์มาร์ท) โดยทำการแปรผันปริมาณนมผงพร่องมันเนยที่ต่างกัน 4 ระดับ คือร้อยละ 0, 1, 2 และ 3 (w/v) จากนั้นนำไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 40$\pm$1 องศาเซลเซียส จนกระทั่งพีเอชของส่วนผสมลดลงถึงประมาณ 4.6

2.2 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำนมข้าวก่ำระหว่างการหมัก

ติดตามการเปลี่ยนแปลงค่า reducing sugar, titratable acidity และค่าพีเอชในชั่วโมงที่ 0, 2, 4, 6, 8, 12, 16 และ 20 โดยใช้วิธีตาม 1.2

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design โดยทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลองด้วยวิธีทางสถิติ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความ

แตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95

2.3 การวิเคราะห์การเจริญของหัวเชื้อโยเกิร์ต

ตรวจนับการเปลี่ยนแปลงจำนวนของจำนวนจุลินทรีย์หัวเชื้อโยเกิร์ต ในชั่วโมงที่ 0, 2, 4, 6, 8, 12, 16 และ 20 โดยใช้วิธีเพลทเคาน์ (Viable plate count) แบบ pour plate โดยเชื้อ *Streptococcus thermophilus* ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ M17 agar (Merck, Germany) ที่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.8 โดยใช้ 1M HCl (Merck, Germany) บ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 37±1 องศาเซสเซียส ในภาวะมีอากาศเป็นเวลา 48 ชั่วโมง และเชื้อ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ MRS agar (Merck, Germany) ที่ปรับค่าความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 5.4 โดยใช้ 5% glacial acetic acid (Merck, Germany) บ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 37±1 องศาเซสเซียส ในภาวะไร้อากาศเป็นเวลา 72 ชั่วโมง [11]

## 4. ผลการศึกษา/การทดลอง

1. การศึกษาสมบัติของน้ำนมข้าวก่ำ

ตาราง 1 สมบัติของน้ำนมข้าวก่ำ

| สมบัติด้านเคมี-กายภาพ | |
|---|---|
| น้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) | 43.1616±0.0412 |
| องค์ประกอบของน้ำตาล (กรัม/100 กรัม) | 10.65±0.02 |
| ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดแลคติก | 0.034±0.008 |
| ปริมาณแอนโธไซยานิน (มิลลิกรัม/100 กรัม) | 41.539±0.010 |
| ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัม/100 กรัม) | 46.5868±0.0936 |
| กิจกรรมต้านออกซิเดชั่น (%DPPH ที่เหลืออยู่) | 85.23±1.74 |

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

น้ำนมข้าวก่ำที่เตรียมจากข้าวเหนียวก่ำพันธุ์ลืมผัวมีสมบัติทางเคมีและกายภาพ ดังตาราง 1 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1.1 น้ำตาลรีดิวซ์

น้ำนมข้าวก่ำที่ได้มีปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ 43.1616±0.0412 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรของตัวอย่าง ซึ่งปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้นี้เกิดจากการทำงานที่ดีร่วมกันของเอนไซม์ alpha-amylase และเอนไซม์ amyloglucosidase ในระหว่างกระบวนการ saccharification ซึ่งเอนไซม์ทั้งสองจะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตและน้ำตาลซูโครสในข้าวก่ำให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งค่าของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้นี้จะมีผลต่อการเจริญและการเหลือรอดของหัวเชื้อโยเกิร์ตต่อไป

1.2 องค์ประกอบของน้ำตาล

จากตาราง 1 แสดงให้เห็นว่าน้ำนมข้าวมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (จากการวิเคราะห์ด้วย HPLC) 10.65±0.02 กรัม/100 กรัมของน้ำหนักแห้ง ซึ่งน้ำตาลส่วนใหญ่ที่ตรวจพบคือน้ำตาลกลูโคส ที่ได้จากการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตและน้ำตาลซูโครสในข้าวจากกระบวนการ saccharification

1.3 ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดแลคติก

น้ำนมข้าวที่ได้มีค่าพีเอช 5.84±0.01 และวัดปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดแลคติกได้เท่ากับร้อยละ 0.0034±0.0008 ซึ่งจากค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่าน้ำนมข้าวก่ำพันธุ์ลืมผัวมีปริมาณกรดค่อนข้างต่ำ

1.4 ปริมาณแอนโธไซยานิน

น้ำนมข้าวมีปริมาณแอนโธไซยานินในรูปของ cyanidin-3-glucoside ในปริมาณ 41.539±0.010 มิลลิกรัม/100 กรัมของน้ำหนักแห้ง จากการศึกษาของ Jerzy *et al.* [12] พบว่ามีปริมาณของ cyanidin-3-glucoside ในข้าวเหนียวดำเป็นปริมาณ 97.9 มิลลิกรัม/100 กรัมของน้ำหนักแห้ง ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้จะแสดงให้เห็นว่าน้ำนมข้าวที่เตรียมจากข้าวก่ำพันธุ์ลืมผัวนี้มีปริมาณของแอนโธไซยานินค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจมีผลเนื่องมาจากแอนโธไซยานินเป็นรงควัตถุที่สามารถละลายได้ในน้ำ อาจเกิดการสูญเสียแอนโธไซยานินในระหว่างกระบวนการต่างๆ นอกจากนี้แอนโธไซยานินยังอาจถูกทำลายด้วยความร้อนและเอนไซม์จากกระบวนการ saccharification อีกด้วย วริพัสย์และคณะ [13] พบว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการสลายตัวของแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นด้วย

1.5 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

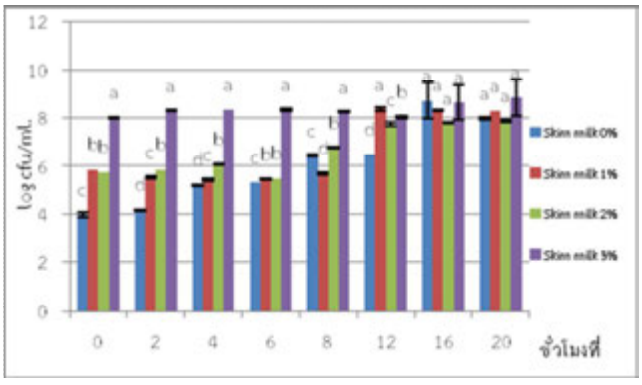
น้ำนมข้าวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 46.5868±0.0936 มิลลิกรัม/100 กรัมของน้ำหนักแห้ง ซึ่งสารที่เป็นองค์ประกอบหลักของสารประกอบฟีนอลที่พบในข้าวคือแอนโธไซยานิน [8, 14-15] จากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันระหว่างค่าของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโธไซยานินที่ตรวจพบ ซึ่งน้ำนมข้าวที่เตรียมจากข้าวก่ำพันธุ์ลืมผัวนี้มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกค่อนข้างต่ำแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการต่อต้านอนุมูลอิสระของน้ำนมข้าวที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำไปด้วย

1.6 กิจกรรมต้านออกซิเดชั่น

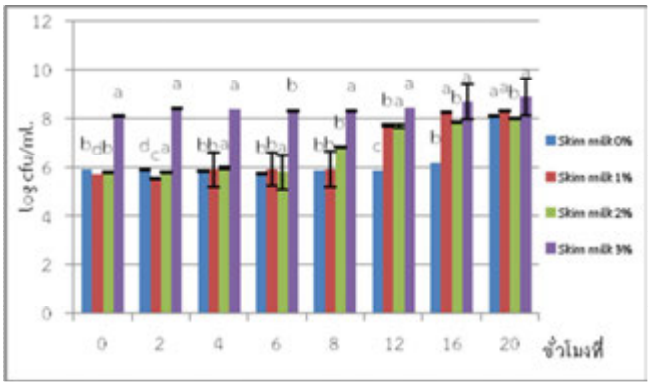
การวิเคราะห์หากิจกรรมต้านออกซิเดชั่น โดยใช้วิธี DPPH radical scavenging activity พบว่าน้ำนมข้าวมี %DPPH ที่เหลืออยู่เท่ากับ 85.23±1.74% ซึ่งจากการศึกษาของ Sompong *et al.* [16] พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านออกซิเดชั่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.0001$, $r = -0.82$) ซึ่งจากค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่าน้ำนมข้าวที่ได้มีความสามารถในการต้านออกซิเดชั่นที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลข้างต้นที่ได้กล่าวไว้

2. การศึกษาผลของปริมาณนมผงพร่องมันเนยที่มีต่อการเจริญของเชื้อโยเกิร์ตในน้ำนมข้าวก่ำ

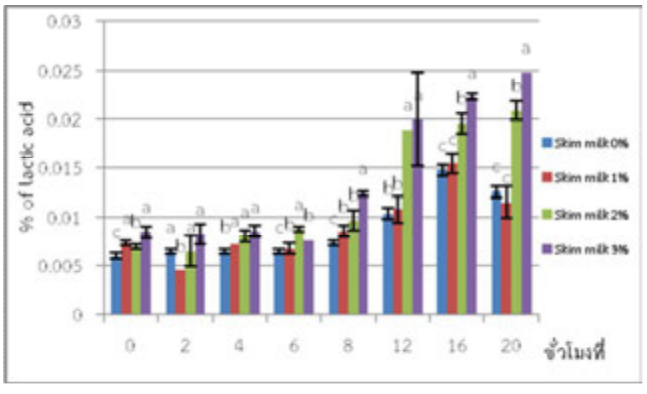
การเปลี่ยนแปลงจำนวนของหัวเชื้อโยเกิร์ตได้แก่เชื้อ *Streptococcus thermophilus* และเชื้อ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ค่า Titratable acidity และค่าพีเอชในน้ำนมข้าวกล่ำ ในชั่วโมงที่ 0, 2, 4, 6, 8, 12, 16 และ 20 ได้ผลการทดลองตามภาพที่ 1



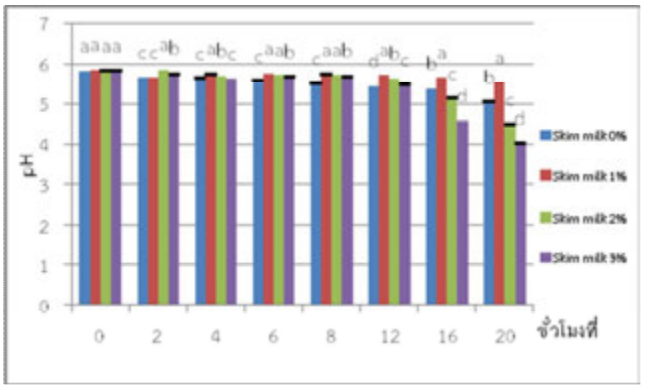

(a)




(b)




(c)




(d)

ภาพที่ 1 (a) การเปลี่ยนแปลงจำนวนของเชื้อ *S.thermophilus,*
(b) เปลี่ยนแปลงจำนวนของเชื้อ *L.bulgaricus,*
(c) การเปลี่ยนแปลง Tritratable acidity และ
(d) การเปลี่ยนแปลง pH
หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันที่กำกับกราฟในแต่ละคอลัมน์ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของแต่ละทรีทเมนต์ในระหว่างเวลาต่างๆ

จากผลการทดลองที่ได้เมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของจำนวนหัวเชื้อโยเกิร์ตทั้งสองเชื้อ ได้แก่เชื้อ *Streptococcus thermophilus* และเชื้อ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* พบว่าหัวเชื้อโยเกิร์ตมีปริมาณการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการบ่ม และมีปริมาณของเชื้อมากที่สุดในเมื่อใช้เวลาในการบ่มเท่ากับ 20 ชั่วโมง โดยสามารถวัดปริมาณการเจริญของเชื้อที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณเชื้อเริ่มต้นโดยปริมาณของเชื้อ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* มีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก log 6.24 เป็น log 8.89 และเชื้อ *Streptococcus thermophilus* มีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก log 7.72 เป็น log 8.85 และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของหัวเชื้อโยเกิร์ตในแต่ละทรีทเมนต์ พบว่าทรีทเมนต์ที่เติมนมผงพร่องมันเนยลงไปร้อยละ 3 เป็นทรีทเมนต์ที่มีปริมาณการเจริญเติบโตของหัวเชื้อโยเกิร์ตมากที่สุด โดยมีปริมาณแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในเกือบทุกชั่วโมงที่มีการตรวจ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่า Tritratable acidity ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความเป็นกรดของโยเกิร์ต พบว่าทรีทเมนต์ที่เติมนมผงพร่องมันเนยลงไปร้อยละ 3 มีค่าความเป็นกรดที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยค่าความเป็นกรดที่ได้มีค่าความเป็นกรดสูงกว่าทรีทเมนต์ที่ไม่มีการเติมนมผงพร่องมันเนยเลยถึง 2 เท่า และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งค่าความเป็นกรดที่เพิ่มสูงขึ้นนี้จะแสดงให้เห็นถึงการเจริญเติบโตที่ดีของหัวเชื้อโยเกิร์ต ซึ่งเชื้อได้มีการนำน้ำตาลมาใช้และเปลี่ยนให้เป็นกรดแลคติคโดยอาศัยกระบวนการหมักแบบแลคติค [17] และการเปลี่ยนแปลง pH ที่ได้ก็มีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า Tritratable acidity ซึ่งเป็นสิ่งยืนยันว่าทรีทเมนต์ที่เติมนมผงพร่องมันเนยลงไปร้อยละ 3

เป็นทรีทเมนต์ที่สามารถทำให้เกิดการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดของหัวเชื้อโยเกิร์ต นอกจากนั้นเมื่อบ่มน้ำนมข้าวเป็นเวลา 20 ชั่วโมงแล้ว ทรีทเมนต์ดังกล่าวเป็นทรีทเมนต์ที่แสดงให้เห็นถึงการลดลงของค่า pH ได้อย่างชัดเจน แสดงถึงการเจริญเติบโตที่ดีของหัวเชื้อโยเกิร์ตได้อีกทางหนึ่ง

## 5. สรุปและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์น้ำนมข้าวก่ำที่เตรียมโดยการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์พบว่า มีค่าพีเอช 5.84±0.01 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 43.1616±0.0412 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรของตัวอย่าง น้ำตาลส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลกลูโคส มีปริมาณ 10.65±0.02 กรัม/100 กรัมของน้ำหนักแห้ง ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดแลคติคร้อยละ 0.0034±0.0008 ปริมาณแอนโธไซยานินในรูปของ cyanidin-3-glucoside 41.539±0.010 มิลลิกรัม/100 กรัมของน้ำหนักแห้ง และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 46.5868±0.0936 มิลลิกรัม/100 กรัมของน้ำหนักแห้ง การศึกษาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หัวเชื้อโยเกิร์ตในน้ำนมข้าวก่ำที่เตรียม พบว่าการเติมนมผงพร่องมันเนยร้อยละ 3 (w/v) ในน้ำนมข้าวก่ำมีผลทำให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หัวเชื้อโยเกิร์ตดีที่สุด โดยเมื่อหมักน้ำนมข้าวก่ำที่อุณหภูมิ 40±1 องศาเซลเซียส นาน 20 ชั่วโมงจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์คล้ายโยเกิร์ตที่มีพีเอชเท่ากับ 4.04±0.01 มีปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดแลคติคร้อยละ 0.02±0.000 และมีปริมาณหัวเชื้อโยเกิร์ต *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* เท่ากับ log 8.89 และ log 8.85 cfu/ml. ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากปริมาณเชื้อเริ่มต้นเท่ากับ log 6.24 และ log 7.72 ตามลำดับ

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนจากบริษัทเต็ดตราแพ้ค (ประเทศไทย) จำกัด และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

## 7. การอ้างอิง

[1] อภิชาติ เนินพลับ, อัจฉราพร ณ ลำปาง เนินพลับ, พจน์ วัจนะภูมิ, พงศา สุขเสริม. 2553. ข้าวเหนียวพันธุ์ “ลืมผัว” พันธุกรรมข้าว อนุรักษ์เพื่อคุณค่าทางโภชนาการ. *ประชุมวิชาการข้าวและธัญพืช เมืองหนาว ประจำปี 2553*. สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2555, จาก http://www.brrd.in.th.

[2] Sahan, N., Yasar, K. and Hayaloglu, A.A. 2008. Physical, chemical and flavor quality of non-fat yogurt as affected by a β-glucan hydrocolloidal composite during storage. *Food Hydrocolloids*, 22: 1291–1297.

[3] Achanta, K., Aryana, K.J. and Boeneke. 2007. Fat free plain set yogurts fortified with various minerals. LWT-Food Science and Technology, 40(3): 424-429.

[4] Wongkhalaung Chakamas and Boonyaratanakornkit Malai. 2000. Development of a Yogurt-type Product from Saccharified Rice. Kasetsart *Journal. (Nat. Sci.)*, 34: 107-116.

[5] Wongkhalaung, C., Boonyaratanakornkit, M., Chimanage, P. and Thammarate, P. 1992. Process Development of Rice-based Product through Lactic Acid Fermentation. A Thai-ASEAN Project Report submitted to National Research Council of Thailand, 47.

[6] James, C.S. 1995. *Analytical chemical of foods*. Champman and Hall, Glasgow, U.K., 124-152.

[7] Frazier, W.C., Marth, E.H. and Diebel, R.H. 1968. *Laboratory Manual for Food Microbiology*. 4th edition. Burgess Publishing Company, Minneapolis, Minn., USA. 122 p.

[8] Iqbal, S., Bhanger, M.I. and Anwar, F. 2005. Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan. *Food Chemistry*, 93(2): 265–272.

[9] Wrolstad, R.E., T.E. Acree, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemakre, D.Smith and P. Sporns. 2005. *Handbook of Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons, Inc.

[10] Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. and Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. Lebensmittel-Wissenschaft and -Technologie, 28(1): 25–30.

[11] International Dairy Federation. (1997). Daury starter cultures of lactic acid bacteria (LAB) standard of identity. *IDF Standard, 149A,* 1-8.

[12] Jerzy Zawistowski, Aneta Kopec and David D. Kitts. 2009. Effects of a bleck rice extract *(Oryza sativa L. indica)* on cholecterol levels and plasma lipid parameters in Wistar Kyoto rats. *Journal of Functional food I*, 50-56.

[13] วริพัสย์ อารีกุล, กชรัตน์ วงศ์ณรัตน์ และสิริพรรณ กิตตวรพัฒน์. 2552. ความคงตัวของแอนโทไซยานินและความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระในน้ำบลูเบอร์รี่และบลูเบอร์รี่เข้มข้น. เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการมหาวิยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47. 17-20 มีนาคม 2552. หน้า 499-506.

[14] Yawadio R., Tanimori S. and Morita N. 2007. Identification of phenolic compounds isolated from pigmented rices and their aldose reductase inhibitory activities. *Food Chemistry*, 101(4): 1616–1625.

[15] Zhang M.W., Guo B.J., Zhang R.F., Chi J.W., Wei Z.C., Xu Z.H., Zhang Y. and Tang X.J. 2006. Separation, purification and identification of antioxidant compositions in black rice. Agricultural Science in China, 5(6): 431-440.

[16] Sompong R., Siebenhandl-Ehn S., Linsberger-Martin G. and Berghofer E. 2011. Physicochemical and antioxidant properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. *Food Chemistry*, 124: 132-140.

[17] ดุษณี ธนะบริพัฒน์, 2538. จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ; 270 หน้า.