The Journal of Applied Science **Vol. 20 No. 1: 137-153 [2021]**
วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ doi: 10.14416/j.appsci.2021.01.010
ISSN 1513-7805 (Printed in Thailand) ISSN 2586-9663 (Online)

Research Article

ผลของวิธีการเตรียมถั่วเหลืองต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและประสาทสัมผัสของน้ำนมถั่วเหลือง และผลของอุณหภูมิอบแห้งและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินต่อคุณภาพของนมถั่วเหลืองผงด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย

Effect of soybean preparation methods on physicochemical and sensory properties of soy milk and effect of drying temperatures and maltodextrin concentrations on quality of spray-dried soy milk powder

สุธิดา อัครชนียากร[1*] ศิริกุล นิธิธนาธร [1] และสิริกร ลิขิตวนิชกุล [1]

Suthida Akkarachaneeyakorn[1*], Sirikul Nititanatorn[1] and Sirikorn Likhitwanichakul[1]

[1]ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

[1]Department of Agro-Industrial, Food, and Environmental Technology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangsue, Bangkok 10800, Thailand

***E-mail**: suthida.a@sci.kmutnb.ac.th

Received: 19/10/2020; Revised: 26/02/2021; Accepted: 17/03/2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการเตรียมถั่วเหลือง (วิธีที่ 1 ใช้น้ำและความร้อน และวิธีที่ 2 ใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตและความร้อน) ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และประสาทสัมผัสของน้ำนมถั่วเหลือง ผลการทดลองพบว่าน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมด้วยวิธีที่ 1 มีปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และคะแนนการยอมรับจากผู้ทดสอบในด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากกว่าวิธีที่ 2 ปริมาณความชื้น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และเถ้าของน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมโดยวิธีที่ 1 เท่ากับ ร้อยละ 90.71 3.83 3.41 1.73 0.32 (โดยน้ำหนักเปียก) ตามลำดับ หลังจากนั้นนำน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมโดยวิธีที่ 1 ไปผลิตเป็นนมถั่วเหลืองผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (150 160 และ 170 องศาเซลเซียส) และ

ความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตริน (ร้อยละ 9 12 และ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของนมถั่วเหลืองผง ผลการทดลองพบว่าการทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 160 และ 170 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินเท่ากับร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีที่สุด โดยมีดัชนีการละลาย (1 มิลลิลิตร) และค่าความคงตัว (ร้อยละ 31) สูงที่สุด ดังนั้นสภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตนมถั่วเหลืองผงด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย ที่ทำให้ค่าดัชนีการละลาย และความคงตัวของนมถั่วเหลืองผงมีค่าสูงที่สุด และใช้พลังงานน้อยที่สุด คือ การใช้มอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 160 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ: การทำแห้งแบบพ่นฝอย การเตรียมถั่วเหลือง นมถั่วเหลืองผง มอลโตเด็กซ์ตริน อุณหภูมิลมร้อน

Abstract

The research aimed to study effect of soybean preparation methods (method 1 using water and heat, and method 2 using sodium bicarbonate and heat) on physicochemical and sensory properties of soy milk. It was found that soymilk prepared by method 1 contained higher content of protein, carbohydrate, and panelists' acceptance scores in terms of odor, taste, texture, and overall liking than method 2. The moisture, protein, carbohydrate fat and ash contents of soy milk which prepared from method 1 were 90.71, 3.83, 3.41, 1.73, 0.32% (wet basis), respectively. Thereafter, the soy milk prepared from the method 1 was used for producing soy milk powder using a spray dryer. The effects of inlet hot air temperature (150, 160, and 170 °C) and maltodextrin concentration (9, 12, and 15% (w/v) on physicochemical properties of soy milk powder were studied. The results showed that drying with the inlet hot air temperatures of 160 and 170 °C with maltodextrin concentration of 15% (w/v) gave the good quality of product with the highest solubility index (1 ml) and stability value (31%). Therefore, the best condition for production of spray-dried soybean powder which gave the highest solubility index and stability value while the lowest energy consumption was using maltodextrin 15% (w/v) and inlet hot air temperature at 160 °C.

Keywords: spray drying, soy bean preparation, soy milk powder, maltodextrin, hot air temperature

บทนำ

น้ำนมถั่วเหลือง คือ เครื่องดื่มที่ได้จากการนำถั่วเหลืองมาล้างให้สะอาด แช่น้ำ บดกับน้ำแล้วกรอง อาจมีการปรุงแต่งกลิ่นรส และเติมส่วนผสมอื่น เช่น น้ำตาล น้ำลูกเดือย ชาเขียว แล้วนำไปฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรซ์ก่อนหรือหลังบรรจุ และเก็บรักษาโดยการแช่เย็น (Thai Industrial Standards Institute, 2015) น้ำนมถั่วเหลืองมีโปรตีนเทียบเท่าน้ำนมวัว มีกรดแอมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย ไม่มีคลอเรสเตอรอล มีสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น ไอโซฟลาโวน ซาโปนิน โอลิโกแซ็กคาไรด์ เส้นใยอาหาร (Ikya et al., 2013; Ma et al., 2015; Zanhi & Jideani, 2012) น้ำนมถั่วเหลืองมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องมาจากเอนไซม์ลิพอกซีจีเนส ซึ่งส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค เอนไซม์ลิพอกซีจีเนส (EC 1.13.11.12) คือ เอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เช่น กรดลิโนเลอิก ลิโนเลนิก และอะแรคิโดนิก ทำให้เกิดสารประกอบแอลดีไฮด์ และคีโตน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ในน้ำนมถั่วเหลือง (Alhendi, 2016; Yan-Chun et al., 2011) วิธียับยั้งการทำงานของเอนไซม์ลิพอกซีจีเนสได้แก่ การให้ความร้อนเพื่อทำให้เอนไซม์เสียสภาพ และ/หรือใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ซึ่งมีลักษณะเป็นผลึกสีขาวที่ละลายน้ำได้ดี เป็นสารละลายมีฤทธิ์เป็นด่าง ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส ทำให้ประจุในบริเวณเร่งและบริเวณจับของเอนไซม์ รวมทั้งประจุของตัวเข้าทำปฏิกิริยาไม่เหมาะสมที่จะทำปฏิกิริยากัน โดยสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้เอนไซม์ลิพอกซีจีเนสทำงานได้ดีที่สุด คือ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6-7 และอุณหภูมิเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส (Alhendi, 2016; Ikya et al., 2013; Nelson et al.,1976; Yan-Chun et al., 2011) เพื่อเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่น้ำนมถั่วเหลือง จึงนำน้ำนมถั่วเหลืองมาทำแห้งแบบพ่นฝอย ข้อดีของการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ มีอัตราเร็วของการทำแห้งสูง ใช้เวลาอบแห้งสั้น เนื่องจากมีการทำให้ของเหลวถูกพ่นฝอยเป็นละอองขนาดเล็กก่อนอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีขนาดสม่ำเสมอ มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นพอลิเมอร์ของแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วย D-glucose หลายหน่วยมาต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1-4 สามารถละลายน้ำได้ที่อุณหภูมิห้อง สารละลายที่ได้มีสมบัติทางด้านความเป็นเนื้อ (body) ช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งให้กับวัตถุดิบก่อนที่จะนำมาเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และช่วยลดการดูดความชื้นกลับในผลิตภัณฑ์ผงซึ่งมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง เช่น น้ำผลไม้ผง ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงไหลได้สะดวก ทำหน้าที่เป็นสารช่วยกักเก็บสารต่าง ๆ ที่ถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน (Furia, 1980) ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิต สมบัติทางเคมีกายภาพ และประสาทสัมผัสของน้ำผลไม้และน้ำนมถั่วเหลืองผงด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า-ขาออก ชนิดและความเข้มข้นของสารห่อหุ้ม อัตราการไหลเข้าของตัวอย่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของตัวอย่าง อัตราเร็วของลมร้อนในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Chegini & Ghobadian, 2007; Ishiwu et al., 2014; Nguyen et al., 2017; Phisut, 2012; Tran & Nguyen, 2018) Tran & Nguyen (2018) พบว่าการทำแห้งสารสกัดใบตะไคร้แบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 110 องศาเซลเซียส และการใช้มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้ม สามารถรักษาสารต้านอนุมูลอิสระในผงจากสารสกัดใบตะไคร้ที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยได้ดีที่สุด Ishiwu et al. (2014) และ Nguyen et al. (2017) พบว่าใน

การทำแห้งน้ำนมถั่วเหลืองแบบพ่นฝอย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าทำให้นมถั่วเหลืองผงมีปริมาณความชื้นลดลง แต่มีค่าการละลายลดลง จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ายังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาผลของวิธีการเตรียมถั่วเหลืองต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและประสาทสัมผัสของน้ำนมถั่วเหลือง และผลของอุณหภูมิอบแห้งและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินต่อคุณภาพของนมถั่วเหลืองผงด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการเตรียมถั่วหลือง (ด้วยน้ำและความร้อน และโซเดียมไบคาร์บอเนตและความร้อน) ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และประสาทสัมผัสของน้ำนมถั่วเหลือง โดยพิจารณาวิธีการเตรียมที่ดีที่สุดที่ทำให้น้ำนมถั่วเหลืองมีคุณค่าทางสารอาหาร และผู้บริโภคยอมรับมากที่สุด หลังจากนั้นนำน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีที่ดีที่สุดไปทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของนมถั่วเหลืองผงที่ได้ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยพิจารณาจากสภาวะที่ทำให้นมถั่วเหลืองผงมีดัชนีการละลายและค่าความคงตัวมากที่สุด และใช้พลังงานน้อยที่สุด ตรวจสอบสมบัติทางเคมีกายภาพของนมถั่วเหลืองผงที่ผลิตได้จากสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ปริมาณความชื้น และสี เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีกายภาพของนมถั่วเหลืองผงคืนรูปที่ผลิตได้จากสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โปรตีน ไขมัน เถ้า และค่าสี

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. วัตถุดิบ

ถั่วเหลืองผ่าซีก (*Glycine max* L. Merrill) (ไร่ทิพย์, บริษัท ไทยซีเรียลส์เวิลด์ จำกัด, ประเทศไทย); มอลโตเด็กซ์ตริน (DE12, บริษัท ฟูดส์ อีควิปเม้นท์, ประเทศไทย); น้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า (ตลาดท่าน้ำนนท์ อ. เมือง จ. นนทบุรี)

2. การศึกษาผลของวิธีการเตรียมถั่วเหลืองต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของน้ำนมถั่วเหลือง

2.1 การผลิตน้ำนมถั่วเหลือง

ผลิตน้ำนมถั่วเหลืองจากวิธีการเตรียมถั่วเหลืองที่แตกต่างกัน 2 วิธี ได้แก่

ก) วิธีที่ 1 การใช้น้ำและความร้อน

วิธีการเตรียมถั่วเหลืองด้วยน้ำและความร้อน ดัดแปลงจาก Alhendi (2016) และ Nelson et al. (1976) ล้างถั่วเหลืองกะเทาะเปลือก 1 กิโลกรัมด้วยน้ำเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก แช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ปริมาตร 10 ลิตร (อัตราส่วนเมล็ดถั่วเหลืองต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 10) เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อทำให้เปลือกถั่วเหลืองอ่อนตัว ลวกถั่วเหลืองด้วยน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ลิพอกซีจีเนส ทำให้เย็นโดยจุ่มลงในน้ำผสมน้ำแข็ง และทำให้สะเด็ดน้ำ

ข) วิธีที่ 2 การใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตและความร้อน

วิธีการเตรียมถั่วเหลืองด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตและความร้อน ดัดแปลงจาก Alhendi

(2016) Nelson et al. (1976) และ Odu et al. (2012) แช่ถั่วเหลืองกะเทาะเปลือกที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว 1 กิโลกรัม ในน้ำอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ปริมาตร 10 ลิตร (อัตราส่วนเมล็ดถั่วเหลืองต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 10) เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง ลวกด้วยน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วแช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ลิพอกซีจีเนส ทำให้เย็นโดยจุ่มลงในน้ำผสมน้ำแข็ง และทำให้สะเด็ดน้ำ

นำถั่วเหลืองที่ได้จากการเตรียมทั้ง 2 วิธี ไปบดกับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 10 (ถั่วเหลือง 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 10 ลิตร) (Alhendi, 2016) กรองแยกกากออกจากน้ำนมถั่วเหลือง ต้มให้เดือด (อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส) และให้ความร้อนต่อ นาน 15 นาที พร้อมทั้งคนตลอดเวลา ทำให้เย็นจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ซึ่งการให้ความร้อนแบบพาสเจอร์ไรซ์ในขั้นตอนนี้ มีจุดประสงค์เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค นอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งการทำงานของทริปซิน อินฮิบิเตอร์ (trypsin inhibitor) ซึ่งเป็นสารยับยั้งการย่อยสลายและการดูดซึมของโปรตีน ลดกรดไฟติก (phytic acid) ซึ่งเป็นสารต้านโภชนะ ที่ยับยั้งการดูดซึมแร่ธาตุ เช่น สังกะสี เหล็ก แมกนีเซียม และแคลเซียม (Lima et al., 2014; Pardeshi et al., 2014)

2.2 การตรวจวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ และประสาทสัมผัสของน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้

ก) ตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

ตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ โดยวัดค่าสีของน้ำนมถั่วเหลือง ด้วยเครื่องวัดสี (Color Quest 45/0 Reston, Virginia) วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ด้วยรีแฟรกโตมิเตอร์ (N-50E, N.O.W., Tokyo, Japan)

ข) การตรวจวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

ตรวจวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำนมถั่วเหลือง โดยวัดปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า ตามวิธีวิเคราะห์ AOAC 991.20 989.05 และ 945.46 (AOAC, 2012) และหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids) โดยชั่งน้ำนมถั่วเหลือง 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียมซึ่งผ่านการอบแห้งและชั่งน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไประเหยที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น จนอุณหภูมิคงที่เท่ากับอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณน้ำ และปริมาณคาร์โบไฮเดรต ดังสมการที่ 1-3 ตามลำดับ

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (\%)} = (\text{ปริมาณของแข็งที่เหลือ}/\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{ปริมาณน้ำ (\% wb)} = 100 - \text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด} \quad (2)$$

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (\% wb)} = 100 - \text{ปริมาณน้ำ} - \text{ปริมาณโปรตีน} - \text{ปริมาณไขมัน} - \text{ปริมาณเถ้า} \quad (3)$$

ค) การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทดสอบน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จากการเตรียมถั่วเหลืองทั้ง 2 วิธี ทางด้านประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน ที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ซึ่งเป็นนักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โดยเสิร์ฟตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง ประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ (Acceptance test) โดยใช้ 9-point hedonic scale ในด้านกลิ่น สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดย 1 คะแนน หมายถึงไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึงชอบมากที่สุด

3. การศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของนมถั่วเหลืองผง

ทำแห้งน้ำนมถั่วเหลืองด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Mini Spray Dryer models B-191, BÜCHI, Switzerland) โดยแปรผันอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า เท่ากับ 150 160 และ 170 องศาเซลเซียส และแปรผันปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน เท่ากับ ร้อยละ 9 12 และ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (สภาวะที่แปรผันได้จากการทำการทดลองเบื้องต้น) หาสภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตนมถั่วเหลืองผงแบบพ่นฝอย โดยพิจารณาจากสภาวะที่ทำให้นมถั่วเหลืองผงมีค่าความคงตัวและดัชนีการละลายมากที่สุด และใช้พลังงานน้อยที่สุด

3.1 การตรวจวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของนมถั่วเหลืองผงคืนรูป

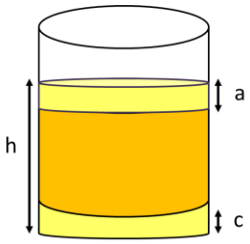
ตรวจวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของนมถั่วเหลืองผงคืนรูป ได้แก่

ก) ค่าดัชนีการละลาย (solubility index)

วิธีการวัดค่าดัชนีการละลายน้ำ ดัดแปลงมาจาก U.S. dairy export council (2005) โดยชั่งตัวอย่างนมถั่วเหลืองผง 10 กรัม เติมน้ำกลั่นอุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (GEA Niro Soavi SpA, Italy) ความเร็วรอบเท่ากับ 150 รอบต่อนาที ใช้เวลากวน 90 วินาที ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที อ่านปริมาตรของตะกอนในหน่วยมิลลิลิตร โดยค่าดัชนีการละลาย คือ ปริมาตรของตะกอนที่อ่านได้

ข) ค่าความคงตัว (stability value)

ตรวจวิเคราะห์ค่าความคงตัว โดยคืนรูปนมถั่วเหลืองผง และวัดค่าความคงตัว ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Nelson (1976) ชั่งนมถั่วเหลืองผง 20 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นอุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ทำให้ตัวอย่างเป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Niro Soavi SpA, Italy) โดยตั้งใบกวนให้มีความสูงประมาณ 1/3 ของความสูงของตัวอย่าง กวนด้วยความเร็วรอบเท่ากับ 150 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 10 นาที ตั้งตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง นาน 1 ชั่วโมง วัดความสูงของส่วนที่แยกชั้น (a+c) หารด้วยความสูงของตัวอย่างทั้งหมด (h) ดังรูปที่ 1 และหาค่าความคงตัวได้จากสมการที่ (4)



รูปที่ 1 การวิเคราะห์ค่าความคงตัวของนมถั่วเหลืองผงคืนรูปในบีกเกอร์

$$\text{ค่าความคงตัว} = (a+c)/h * 100 \quad (4)$$

ค) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และค่าสีของนมถั่วเหลืองผงคืนรูป

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และค่าสีของนมถั่วเหลืองผงคืนรูป วิธีการเตรียมนมถั่วเหลืองผงคืนรูป โดยชั่งนมถั่วเหลืองผง 20 กรัม เติมน้ำกลั่นอุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร แล้วคนนมถั่วเหลืองผงกับน้ำให้เป็นเนื้อเดียวกัน วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้โดยใช้รีแฟรกโตมิเตอร์ (N-50E, N.O.W., Tokyo, Japan) และวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี (Color Quest 45/0 Reston, Virginia)

ง) ปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าของนมถั่วเหลืองผงคืนรูป วัดตามวิธีของ AOAC 991.20 989.05 และ 945.46 ตามลำดับ (AOAC, 2012)

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

4.1 การศึกษาผลของวิธีการเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของน้ำนมถั่วเหลือง วางแผนการทดลองแบบ Complete randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS version 20 โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์โดยใช้วิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของนมถั่วเหลืองผงที่อบแห้งแบบพ่นฝอย วางแผนการทดลองแบบ 3×3 แฟกทอเรียล ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS version 20 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ด้วย Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.3 การเปรียบเทียบและตรวจสอบสมบัติทางเคมีกายภาพของนมถั่วเหลืองผงคืนรูปที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โปรตีน ไขมัน เถ้า และค่าสี ด้วยวิธี t-test ที่ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS version 20

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ผลของวิธีเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและประสาทสัมผัสของน้ำนมถั่วเหลือง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการเตรียมถั่วเหลือง 2 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 ใช้น้ำและความร้อน ทำการทดลองโดยการนำถั่วเหลืองแช่น้ำ ทำให้สะเด็ดน้ำ ลวกด้วยน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ลิพอกซีจีเนส ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในน้ำนมถั่วเหลือง โดยความร้อนทำให้เอนไซม์เสียสภาพ วิธีที่ 2 ใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตและความร้อน ทำการทดลองโดยนำถั่วเหลืองแช่น้ำ ลวกด้วยน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และแช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ที่มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เป็นการใช้ความร้อนและโซเดียมไบคาร์บอเนต เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ลิพอกซีจีเนส โดยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตมีฤทธิ์เป็นด่าง จึงไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส โดยส่งผลทำให้ประจุในบริเวณเร่งและบริเวณจับของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสเปลี่ยนไป จนไม่เหมาะสมที่จะทำปฏิกิริยากับซับสเตรต เอนไซม์ลิพอกซีจีเนสจะทำงานได้ดีที่สุดในสภาวะที่มีความเป็นกรด-ด่างเหมาะสม เท่ากับ 6-7 และอุณหภูมิเหมาะสมเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส (Alhendi, 2016; Lima et al., 2014; Pardeshi et al., 2014)

1.1 ผลของวิธีเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำนมถั่วเหลือง

จากตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำนมถั่วเหลืองหลังพาสเจอร์ไรซ์ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที จากการเตรียมทั้ง 2 วิธี พบว่า ปริมาณความชื้น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และเถ้าที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Tang (2013) Ikya et al. (2013) และ Odu et al. (2012) โดย Tang (2013) ได้ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำนมถั่วเหลืองจากถั่วเหลือง 5 สายพันธุ์ ได้แก่ KB10-23#1681 KB10-5#1137 KB10-25#1235 KB09-5(2) #15 และ 534545 โดยแช่เมล็ดถั่วเหลืองในน้ำที่มีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 18 ชั่วโมง ทำให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำถั่วเหลืองที่ได้ไปบดกับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 9 ในเครื่องผลิตนมถั่วเหลือง กรองแยกกาก ต้มน้ำนมถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที พบว่าในน้ำนมถั่วเหลืองจากถั่วเหลือง 5 สายพันธุ์ มีปริมาณโปรตีนและไขมันเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 3.55-3.96 2.09-2.14 โดยน้ำหนักเปียก ตามลำดับ และมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเฉลี่ยระหว่างร้อยละ 4.54-4.92 Ikya et al. (2013) หาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมถั่วเหลืองที่พาสเจอร์ไรซ์ โดยแช่ถั่วเหลืองในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 10 นาน 10 นาที และบดถั่วเหลืองกับน้ำ และพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ได้แก่ 80 90 100 และ 110 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 89.19-93.29 โปรตีนเฉลี่ย ร้อยละ 2.66-3.50 คาร์โบไฮเดรตเฉลี่ย ร้อยละ 1.76-3.99 ไขมันเฉลี่ย ร้อยละ 1.81-2.36 และเถ้าเฉลี่ย ร้อยละ 0.22-0.58 และงานวิจัยของ Odu et al. (2012) หาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมโดยการแช่ถั่วเหลืองในน้ำนาน 12 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำนมถั่วเหลืองที่ผ่านการเตรียมด้วยน้ำและความร้อนและโซเดียมไบคาร์บอเนตและความร้อน

สมบัติทางเคมีกายภาพ	วิธีการเตรียม	
	น้ำและความร้อน	โซเดียมไบคาร์บอเนตและความร้อน
ความชื้น (% โดยน้ำหนักเปียก)	90.71±0.44[a]	94.30±0.40[b]
โปรตีน (% โดยน้ำหนักเปียก)	3.83±0.09[b]	2.61±0.19[a]
คาร์โบไฮเดรต (% โดยน้ำหนักเปียก)	3.41±0.22[b]	0.81±0.14[a]
ไขมัน (% โดยน้ำหนักเปียก)	1.73±0.03[a]	2.11±0.05[b]
เถ้า[ns] (% โดยน้ำหนักเปียก)	0.32±0.10	0.17±0.02
ของแข็งทั้งหมด (%)	9.29±0.44[b]	4.70±0.40[a]
ของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (%)	8.33±0.58[b]	3.00±0.87[a]
ค่าสี		
L*	76.14±0.56[a]	79.41±0.24[b]
a*	-1.21±0.11[b]	-2.69±0.11[a]
b*	13.51±0.06[b]	5.26±0.09[a]
C*	13.56±0.06[b]	5.91±0.04[a]
h*	84.88±0.45[a]	62.91±0.38[b]

หมายเหตุ: [a,b,c,…] หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

[ns] หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$)

และลวกในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.25 นาน 30 นาที บดถั่วเหลืองกับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 โดยน้ำหนัก พาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 71 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้มีปริมาณความชื้น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และเถ้า ร้อยละ 93.29 2.69 1.99 1.81 และ 0.22 โดยน้ำหนักเปียก ตามลำดับ ดังนั้นปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมถั่วเหลืองหลังพาสเจอร์ไรซ์ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของถั่วเหลือง สภาพภูมิอากาศ และลักษณะภูมิประเทศที่เพาะปลูก วิธีการเตรียมถั่วเหลืองที่แตกต่างกัน อัตราส่วนของถั่วเหลืองที่บดกับน้ำ อุณหภูมิ และเวลาที่ฆ่าเชื้อน้ำนมถั่วเหลือง ตามประกาศมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเรื่องน้ำนมถั่วเหลือง ฉบับที่ 529 พ.ศ. 2558 กำหนดให้น้ำนมถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีน และไขมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 2

และ 1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (Thai Industrial Standards Institute, 2015) จากตารางที่ 1 พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 และ 2 มีปริมาณของโปรตีนเท่ากับ ร้อยละ 3.83 และ 2.61 โดยน้ำหนักเปียก ซึ่งมีค่าตามมาตรฐานกำหนด ส่วนปริมาณไขมันในน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.73 และ 2.11 โดยน้ำหนักเปียก ตามลำดับ ซึ่งมีค่าตามเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง น้ำนมถั่วเหลือง ฉบับที่ 529 พ.ศ. 2558 กำหนด (Thai Industrial Standards Institute, 2015) และเมื่อพิจารณาปริมาณเถ้า พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมโดยวิธีที่ 1 และ 2 วิธีมีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.32 และ 0.17 โดยน้ำหนักเปียก ตามลำดับ โดยปริมาณโปรตีนในน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จากการเตรียมวิธีที่ 2 มีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าการเตรียมวิธีที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) เนื่องจากการเตรียมวิธีที่ 2 ได้แช่ถั่วเหลืองในน้ำที่มีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง เพื่อทำให้เปลือกถั่วเหลืองนิ่ม และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ลิพอกซีจีเนสด้วยความร้อนและด่าง โดยลวกถั่วเหลืองด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที และแช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ส่วนการเตรียมถั่วเหลืองวิธีที่ 1 ได้ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ลิพอกซีจีเนสด้วยความร้อนเพียงอย่างเดียว โดยลวกถั่วเหลืองด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ดังนั้นโปรตีนในถั่วเหลืองที่เตรียมด้วยวิธีที่ 2 เกิดการเสียสภาพมากกว่าวิธีที่ 1 เพราะสัมผัสทั้งความร้อนและด่าง และทำให้สายโมเลกุลของโปรตีนที่ยาวกลายเป็นสายที่สั้นลง ส่งผลทำให้สูญเสียโปรตีนในขั้นตอนการลวกด้วยน้ำร้อน และแช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตมากกว่าวิธีที่ 1 (Lime et al., 2014)

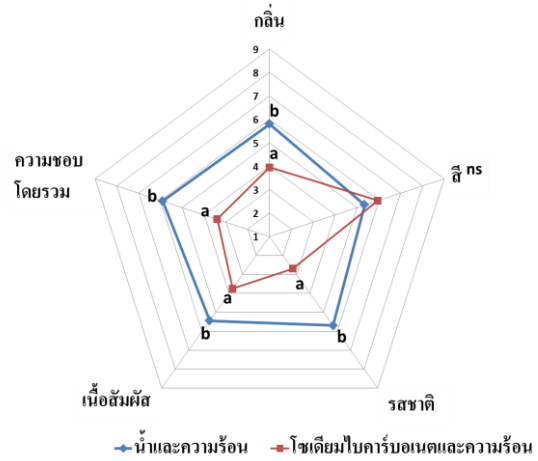
จากผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (ตารางที่ 1) พบว่าการเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองด้วยวิธีที่ 1 มีปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ เท่ากับ ร้อยละ 9.29 และ 8.33 ซึ่งมีค่ามากกว่าการเตรียมด้วยวิธีที่ 2 มีปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ เท่ากับร้อยละ 4.70 และ 3.00 เนื่องมาจากการเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตและความร้อน มีขั้นตอนการลวกถั่วเหลืองด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที และแช่ต่อในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตและความร้อน ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ที่มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ความร้อนและความเป็นด่างจะทำให้เส้นใยอาหาร และโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำ กลายเป็นมอนอแซ็กคาไรด์ ไดแซ็กคาไรด์ และพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้ ละลายออกมากับน้ำที่ลวกและแช่ ส่งผลให้เมื่อบดถั่วเหลืองกับน้ำ ทำให้น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จากการเตรียมด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตและความร้อนมีปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อยกว่าการเตรียมด้วยน้ำและความร้อน

จากตารางที่ 1 น้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมด้วยวิธีที่ 1 และ 2 มีค่า h* เท่ากับ 84.88° และ 62.91° ตามลำดับ ซึ่งมีเฉดสีใกล้แกนสีเหลือง ซึ่งสอดคล้องกับการสังเกตด้วยตาเปล่า ที่พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมทั้ง 2 วิธี มีสีขาวอมเหลือง เนื่องจากในน้ำนมถั่วเหลืองมีไอโซฟลาโวนซึ่งเป็นสารพฤกษเคมีที่มีสี ไอโซฟลาโวนที่พบในถั่วเหลือง คือ เดดซีน (daidzein) และจีนิสทีน (genistein) (Bursac et al., 2017) น้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมด้วย

โซเดียมไบคาร์บอเนตและความร้อน (การเตรียมวิธีที่ 2) มีสีขาวอมเหลืองน้อยกว่า และสว่างกว่าการเตรียมถั่วเหลืองด้วยน้ำ (การเตรียมวิธีที่ 1) เนื่องจากโซเดียมไบคาร์บอเนตมีสมบัติในการฟอกสี ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของน้ำถั่วเหลืองที่เตรียมด้วยวิธีที่ 2 ที่มีค่าความสว่าง (L*) มากกว่า แต่มีค่าความเป็นสีเหลือง (b*) น้อยกว่าการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 ค่าสี L* a* และ b* ของน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Tang (2013) ที่วัดค่าสีของน้ำนมถั่วเหลืองจากถั่วเหลือง 5 สายพันธุ์ ได้แก่ KB10-23#1681 KB10-5#1137 KB10-25#1235 KB09-5(2) #15 และ 534545 พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้มีค่า L* อยู่ระหว่าง 86.90-96.76 a* มีค่าอยู่ระหว่าง -3.34-3.23 และ b* มีค่าอยู่ระหว่าง 17.58-18.18

1.2 ผลการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสของน้ำนมถั่วเหลือง

ทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จากการเตรียมทั้ง 2 วิธี ด้วย Acceptance test โดยใช้ 9-point Hedonic Scale จำนวนผู้ทดสอบ 30 คน ที่ไม่ผ่านการฝึกฝน แสดงดังรูปที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบด้านสีของน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมทั้ง 2 วิธี ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนคะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเฉลี่ยของน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมด้วยวิธีที่ 1 มีค่ามากกว่าการเตรียมด้วยวิธีที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) และจากการประเมินความชอบโดยรวมจะพบว่าคะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ยของการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 6.00 (ชอบเล็กน้อย) และ 3.40 (ไม่ชอบปานกลาง) ตามลำดับ แสดงว่าผู้บริโภคยอมรับน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมด้วยน้ำและความร้อน (วิธีที่ 1) ในด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากกว่าการเตรียมถั่วเหลืองด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตและความร้อน (วิธีที่ 2) เนื่องจากน้ำนมถั่วเหลืองที่เตรียมด้วยวิธีที่ 2 มีรสขมเฝื่อนเล็กน้อยของโซเดียมไบคาร์บอเนต

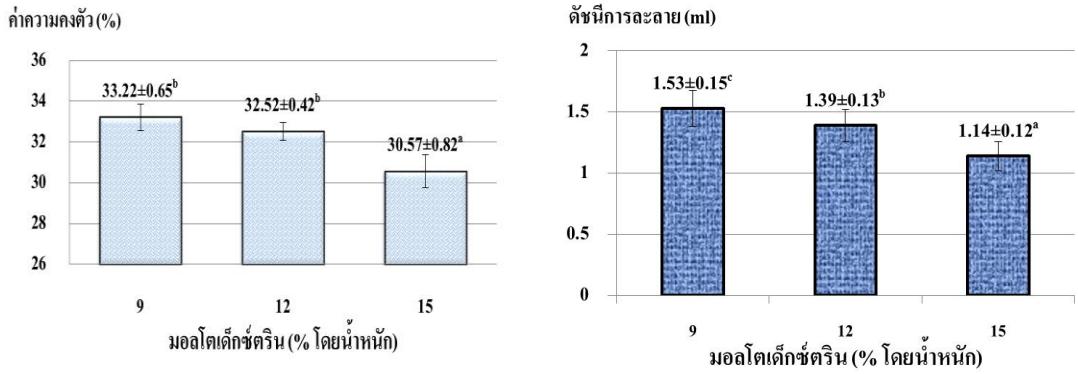


รูปที่ 2 ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จากการเตรียมด้วยน้ำและความร้อนและโซเดียมไบคาร์บอเนตและความร้อน

2. ผลการศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของนมถั่วเหลืองผงที่อบแห้งแบบพ่นฝอย

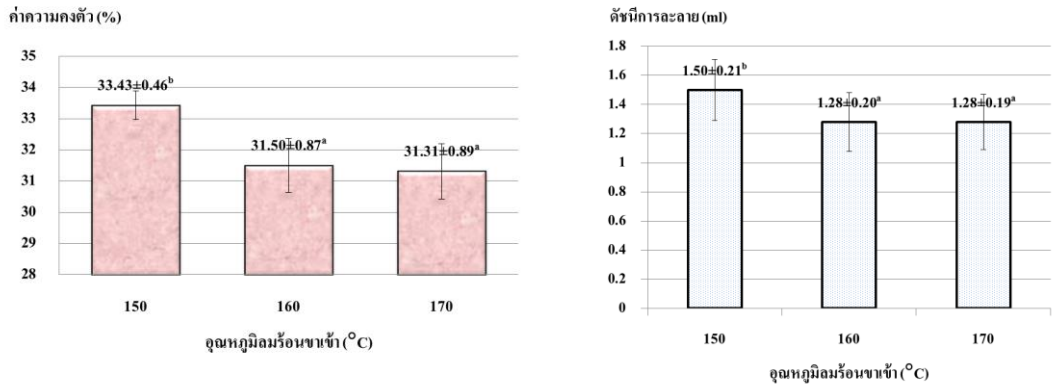
จากผลการทดลองพบว่านมถั่วเหลืองผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยทุกสภาวะ มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 2.40-3.10 (โดยน้ำหนักเปียก) และพบว่าปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่แตกต่างกันจะไม่ส่งผลต่อปริมาณความชื้นของนมถั่วเหลืองผงอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ปริมาณความชื้นของนมถั่วเหลืองผงที่ได้จากงานวิจัยนี้น้อยกว่างานวิจัยของ Ishiwu et al. (2014) ซึ่งผลิตน้ำนมถั่วเหลืองด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งมีการไหลแบบทางเดียวกัน (co-current flow) ที่อุณหภูมิขาเข้าเท่ากับ 204 และ 260 องศาเซลเซียส พบว่านมถั่วเหลืองผงมีปริมาณความชื้น เท่ากับร้อยละ 4.20 และ 3.12 (โดยน้ำหนักเปียก) ตามลำดับ ปริมาณความชื้นที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า อัตราการป้อน ปริมาณของสารที่ช่วยในการอบแห้ง สมบัติทางเคมีกายภาพและองค์ประกอบของอาหาร (Ishiwu et al., 2014; Pardeshi et al., 2014)

ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลต่อดัชนีการละลาย และค่าความคงตัวของน้ำนมถั่วเหลืองคืนรูปอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ค่าดัชนีการละลายพิจารณาจากปริมาณตะกอนที่หลงเหลืออยู่ โดยถ้ามีปริมาณตะกอนที่เหลืออยู่น้อย แสดงว่าค่าดัชนีการละลายน้ำมาก ส่วนค่าความคงตัวพิจารณาจากดัชนีการแยกชั้นโดยถ้าดัชนีการแยกชั้นน้อยแสดงว่ามีค่าความคงตัวมาก จากรูปที่ 3 พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มมากขึ้นทำให้ดัชนีการละลายและความคงตัวมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีค่าดัชนีการละลายและค่าความคงตัวมากที่สุด เท่ากับ 1.14 มิลลิลิตร และร้อยละ 30.57 ตามลำดับ รองลงมา คือ ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ ร้อยละ 12 และ 9 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เนื่องมาจากมอลโตเด็กซ์ตรินมีสมบัติป้องกันการเกาะกันเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นผงไม่ติดกันส่งผลให้เกิดการกระจายตัว และละลายในน้ำได้ดี (Ishiwu et al., 2014) จากรูปที่ 4 พบว่าน้ำนมถั่วเหลืองผงที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส และ 170 องศาเซลเซียส มีค่าดัชนีการละลายและค่าความคงตัวไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และมีค่าดัชนีการละลาย และค่าความคงตัวเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 1.28 มิลลิลิตร และร้อยละ 31.41 ตามลำดับ น้ำนมถั่วเหลืองผงที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มีค่าดัชนีการละลาย และค่าความคงตัวเฉลี่ยต่ำที่สุด เนื่องมาจากอาหารผงที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยมีลักษณะเป็นทรงกลม และมีพื้นผิวเปียก (wet surface) อยู่โดยรอบ ถ้ามีพื้นผิวเปียกอยู่มาก จะทำให้อนุภาคผงแต่ละอนุภาคเกิดแรงดึงดูดกันเอง เป็นผลให้เกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน (Ishiwu et al., 2014; Pardeshi et al., 2014) การใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 160 และ 170 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอุณหภูมิที่สูงกว่า จึงทำให้มีบริเวณพื้นผิวเปียกโดยรอบของนมถั่วเหลืองผงน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 150 องศาเซลเซียส ดังนั้นนมถั่วเหลืองผงที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส และ 170 องศาเซลเซียสได้จึงเกิดการรวมตัวเป็นก้อนน้อยกว่า ซึ่งส่งผลให้เกิดการละลายน้ำได้ดีกว่าทำให้ค่าดัชนีการละลาย และความคงตัวมีสูงกว่านมถั่วเหลืองผงที่ทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 150 องศาเซลเซียส



ก ข

รูปที่ 3 กราฟแท่งแสดงค่าความคงตัว (ก) และดัชนีการละลาย (ข) ของนมถั่วเหลืองผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่าต่าง ๆ



ก ข

รูปที่ 4 กราฟแท่งแสดงค่าความคงตัว (ก) และดัชนีการละลาย (ข) ของนมถั่วเหลืองผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนที่มีค่าต่าง ๆ

3. ผลการตรวจสอบสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าและนมถั่วเหลืองผงคืนรูป

สภาวะการทำแห้งนมถั่วเหลืองผงที่ทำให้ค่าดัชนีการละลายน้ำ และค่าความคงตัวของนมถั่วเหลืองผงคืนรูปสูงที่สุด คือ การเติมมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 15 และทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 160 และ 170 องศาเซลเซียส นมถั่วเหลืองผงที่ได้มีสีขาวอมเหลือง เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นจาก 160 เป็น 170 องศาเซลเซียส ไม่ส่งผลต่อค่าสี L^* a^* b^* c^* และ h^* ของนมถั่วเหลืองผงอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ค่า L^* a^* b^* c^* และ h^* ของนมถั่วเหลืองผงที่ถูกทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส เท่ากับ 91.44 0.40 10.39

11.22 และ 87.99° ตามลำดับ ส่วนผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองผงที่ถูกทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียส มีค่า L^* a^* b^* c^* และ h^* เท่ากับ 91.30 0.41 11.57 11.58 และ 87.93° ตามลำดับ

ผลจากการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำนมถั่วเหลืองและนมถั่วเหลืองผงคืนรูป ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และค่าสี (L^* a^* b^* c^* และ h^*) ของน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า และนมถั่วเหลืองผงคืนรูปที่มีมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 15 และทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 และ 170 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าของน้ำนมถั่วเหลืองคืนรูปทั้ง 2 สภาวะการทำแห้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) สอดคล้องกับ Ishiwu et al. (2014) ทำแห้งน้ำนมถั่วเหลืองโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่มีผลต่อสมบัติทางเคมีของน้ำนมนมถั่วเหลืองผงคืน แปรผันอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 204 และ 260 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิลมร้อนไม่มีผลต่อปริมาณไขมัน เถ้า และค่าความเป็นกรด-ด่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) จากตารางที่ 2 ปริมาณโปรตีนในน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้ามีค่ามากกว่าในน้ำนมถั่วเหลืองผงคืนรูปทั้งสองสภาวะอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) เนื่องมาจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีการใช้ความร้อนที่สูง ทำให้โปรตีนเสียสภาพเมื่อนำถั่วเหลืองผงไปคืนรูปจึงมีปริมาณโปรตีนลดลง และพบว่าปริมาณเถ้าของนมถั่วเหลืองผงคืนรูปมีค่าน้อยกว่าน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) เนื่องจากก่อนการอบแห้งแบบพ่นฝอย มีการกรองน้ำนมถั่วเหลืองด้วยผ้าขาวบาง 3 ชั้น เพื่อป้องกันการอุดตันในหัวฉีด (atomizer) ของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย น้ำนมถั่วเหลืองผงคืนรูปมีค่า L^* b^* และ c^* ต่ำกว่าน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า โดยค่า h^* ของน้ำนมถั่วเหลืองผงคืนรูปที่ทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 160 170 องศาเซลเซียส และทางการค้ามีค่าเท่ากับ 120.90° 112.59° และ 95.37° ตามลำดับ น้ำนมถั่วเหลืองผงคืนรูปมีเฉดสีเข้าใกล้แกนสีเหลืองมากกว่าน้ำนมถั่วเหลืองผงทางการค้า ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ สภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตนมถั่วเหลืองผงแบบพ่นฝอยที่ทำให้มีปริมาณโปรตีน ค่าดัชนีการละลายน้ำ และค่าความคงตัวที่มีค่าสูงที่สุด และใช้พลังงานน้อยที่สุด คือ การใช้มอลโตเด็กซ์ตรินเท่ากับร้อยละ 15 และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 160 องศาเซลเซียส นมถั่วเหลืองผงคืนรูปที่ผลิตจากสภาวะที่ดีที่สุดมีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า เท่ากับร้อยละ 2.18 1.92 และ 0.12 โดยน้ำหนักเปียก ตามลำดับ และมีปริมาณของแข็งละลายน้ำได้เท่ากับร้อยละ 8.33 Pardeshi et al. (2014) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งน้ำนมถั่วเหลืองด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรผันอัตราป้อนเท่ากับ 230-480 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และแปรผันอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 160-200 องศาเซลเซียส พบว่าสภาวะที่ทำให้ผู้บริโภคยอมรับโดยรวมมากที่สุด คือ นมถั่วเหลืองผงที่ผลิตได้จากสภาวะการผลิตที่มีอัตราป้อนเท่ากับ 350-375 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า เท่ากับ 178-182 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำนมถั่วเหลืองและนมถั่วเหลืองผงคืนรูปที่มีมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 15 และถูกทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 และ 170 องศาเซลเซียส

องค์ประกอบทางเคมีและค่าสี	นมถั่วเหลืองทางการค้า	นมถั่วเหลืองผงคืนรูปที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C	นมถั่วเหลืองผงคืนรูปที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้[ns] (%)	8.33±0.58	8.33±0.17	8.17±0.29
โปรตีน (% โดยน้ำหนักเปียก)	2.88± 0.11[b]	2.18±0.06[a]	2.09±0.16[a]
ไขมัน[ns] (% โดยน้ำหนักเปียก)	2.04±0.01	1.92±0.11	1.94±0.05
เถ้า (% โดยน้ำหนักเปียก)	0.28±0.01[b]	0.12±0.02[a]	0.11±0.01[a]
ค่าสี			
L^*	79.93±0.03[b]	68.65±0.72[a]	68.01±0.51[a]
a^*	-1.21±0.00[b]	-3.03±0.07[a]	-2.88±0.45[a]
b^*	12.91±0.33[b]	5.12±0.72[a]	4.87±0.65[a]
c^*	12.97±0.33[b]	5.96±0.59[a]	5.77±0.46[a]
h^*	95.37±0.11[a]	120.90±0.06[b]	112.59±0.78[b]

หมายเหตุ: [a,b,c,...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

[ns] หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$)

สรุปผลการทดลอง

การเตรียมถั่วเหลืองด้วยน้ำและความร้อน ทำให้น้ำนมถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งที่ละลายน้ำ และคะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคในด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากกว่าการเตรียมถั่วเหลืองด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตและความร้อน โดยทำให้น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้ปริมาณความชื้น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และเถ้า เท่ากับ ร้อยละ 90.71 3.83 3.41 1.73 0.32 (โดยน้ำหนักเปียก) ตามลำดับ โดยน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จากการเตรียมถั่วเหลืองด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตและความร้อนมีสีขาวอมเหลืองน้อยกว่า และสว่างกว่าการเตรียมถั่วเหลืองด้วยน้ำและความร้อน สภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตนมถั่วเหลืองผงด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ทำให้นมถั่วเหลืองผงคืนรูปมีปริมาณโปรตีนมากที่สุด (ร้อยละ1.18 โดยน้ำหนักเปียก) ดัชนีการละลาย และค่าความคงตัวสูงที่สุด (1 มิลลิลิตร และร้อยละ 31) และใช้พลังงานน้อยที่สุด คือ การใช้มอลโตเด็กซ์ตรินเท่ากับร้อยละ 15 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 160 องศาเซลเซียส

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ประจำปี 2560 เลขที่สัญญารับทุน 6044103 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณแหล่งทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Alhendi, A.S. (2016). *Inactivation of lipoxygenase in soymilk and soybean by plulsed light*, Doctoral dissertation, Department of Food Science and Human Nutrition. Florida University. USA. https://ufdc.ufl.edu/UFE0050266/00001

AOAC. (2012). *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL* (19th ed.). Gaithersburg, Maryland: AOAC International.

Bursac, M., Krstonosic, M.A., Miladinovic, J., Malencic, D., Gvozdenovic, L., & Cvejic, J.H. (2017). Isoflavone composition, toal phenolic content and antioxidant capacity of soybeans with colored seed coat. *Natural Product Communications*, 12(4), 527-532.

Chegini, G.R., & Ghobadian, B. 2007. Spray dryer parameters for fruit juice drying. *World Journal of Agricultural Sciences*, 3(2), 230-236. SSN 1817-3047

Furia, T.E. (1980). *Handbook of food additives* (2nd ed.). Cleveland: CRC Press.

Ikya, J.K., Gernah, D.I., Ojobo, H.E., & Oni, O.K. (2013). Effect of cooking temperature on some quality characteristics of soy milk. *Advance Journal of Food Science and Technology,* 5(5), 543-546. doi: 10.19026/ajfst.5.3123

Ishiwu, C.N., Obiegbuna, J.E., & Iwouno, J.O. (2014). Effect of inlet-air temperature on physico-chemical and sensory properties of spray-dried soy milk. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrient and Development*, 14(6), 9439-9453. ISSN: 1684-5374

Lima, F.S., Kurozawa, L.E., & Ida, E.I. (2014). The effects of soybean soaking on grain properties and isoflavones loss. *LWT-Food Science and Technology*, 59, 1274-1282. doi: 10.1016/j.lwt.2014.04.032

Ma, L., Han, F., Yan, S., Wang, L., & Sun, J. (2015). Evaluation of the chemical quality traits of soybean Seeds, as related to sensory attributes of soymilk. *Food Chemistry*, 173, 694-701. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.10.096

Nelson, A.I., Steinberg, M.I., & Wei, L.S. (1976). Illinois process for preparation of soymilk. *Journal of Food Science*, 41(1), 57-61. doi: 10.1111/j.1365-2621.1976.tb01100.x

Nguyen, D.Q., Nguyen, T.H., Mounir, S., & Allaf, K. (2017). Effect of feed concentration and inlet air temperature on the properties of soymilk powder obtained by spray drying. *Drying Technology*, 36(3), 10-14. doi: 10.1080/07373937.2017.1357040

Odu, N.N., Egbo, N.N., & Okonko, I.O. (2012). Assessment of the effect of different preservatives on the shelf-life of soymilk stored at different temperatures. *Researcher*, 4(6), 62-69. ISSN: 1553-9865

Pardeshi, I.L., Murumkar, R.P., & Tayade, P.T. (2014). Optimization of process for spray drying of soy milk and sprouted soybean milk, *Journal of Grain Processing and Storage*, 1(1), 13-20. ISSN: 2349-9214

Tang, J. (2013). *Physicochemical and sensory properties of soymilk from five soybean lines*. Master's Thesis, Department of Food Science, Faculty of the Graduate School, University of Missouri-Columbia. USA. https://doi.org/10.32469/10355/43027

Thai Industrial Standards Institute. (2015). *Thai community products standard: soy bean milk (TCPS. 529/2015)*. Bangkok, Thailand: Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry. (in Thai) https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.11.005

Tran, T.T.A., & Nguyen, H.V.H. (2018). Effects of spray-drying temperatures and carriers on physical and antioxidant properties of lemongrass leaf extract powder. *Beverage*, 4(4), 84. doi: 10.3390/beverages4040084

U.S. dairy export council. (2005). *Reference manual for U.S. milk powders*. Arlington, Virginia: U.S. Dairy Export Council.

Yan-Chun, L., Huan-Lu, S., Xin, L., Liang, W. & Shun-Tang, G. (2011). Influence of blanching and grinding process with hot water on beany and non-beany flavor in soymilk. *Journal of Food Science*, 76(1), S20-5. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01947.x

Zanhi, N.K., & Jideani, I.A. (2012). Physico-chemical and sensory qualities of soy and milk solids fortified low fat yoghurt. *African Journal of Agricultural Research*, 7(38), 5336-5343. doi: 10.5897/AJAR11.449