

คุณสมบัติพรีไบโอติกเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์หมูยอเสริมฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ สกัดจากหัวหอมแขกและรากชิโครี่

Primary Prebiotic Properties of Thai White Pork Sausage (Moo-yor) Supplemented
with Fructooligosaccharide Extracted from Onion (*Allium cepa* L.) and Chicory Root

สุทธิพร นันตี¹ ไพโรจน์ วงศ์พุทธิสิน^{1*} นีอร โชมศรี² สมคิด ดีจริง¹ และ ปิยะนุช เนียมทรัพย์¹
Suttiporn Nanti¹, Pairote Wongputtisiri^{1*}, Ni-orn Chomsri², Somkid Deejing¹ and Piyanuch Niamsup¹

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

¹Program in Biotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

²สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง จ. ลำปาง 52000

²Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang, Lampang 52000, Thailand

*Corresponding author: Email: pairotewong@gmail.com

(Received: 6 July 2016; Accepted: 29 December 2016)

Abstract: Fructooligosaccharide sugar (FOS) is a prebiotic substance that possesses the excellent property of probiotic growth stimulation and also has been popular and widely accepted. This research aimed to investigate the production of prebiotic Thai white pork sausage (Moo-yor) with the supplementation of FOS and test for the primary prebiotic properties of products. The FOS powder (Frutafit® IQ) prepared from chicory root (*Cichorium intybus* L.) and FOS extracted from onion (*Allium cepa* L.) were used as ingredient in prebiotic Thai white pork sausage (Moo-yor) production. It was found that the degree of polymerization (DP) of sugar from both sources were 12.55 and 6.95, respectively. The amount of FOS, i.e. kestose and nystose, in these samples slightly changed ($P>0.05$) after heat treatment at 80 °C for 30 min. FOS was formulated in four prebiotic white pork sausage (Moo-yor) formula; i.e. Thai white pork sausage (Moo-yor) mixed with 5 and 10% (w/w) of chicory FOS and white pork sausage (Moo-yor) mixed with 5 and 10% (w/w) of onion (*Allium cepa* L.) FOS. Moreover, standard formula of Moo-yor was also studied. The results showed that the growth of every tested probiotic strains could be stimulated by all white pork sausage (Moo-yor)(s), but *Escherichia coli* and *Salmonella enterica* subspecies *enterica* serovar Typhimurium growths were also stimulated ($P<0.05$). Nevertheless, when the growth promotion study of human gastrointestinal tract mixed cultures by fecal slurry test was conducted, it was found that the growth of total lactic acid bacteria was promoted by all prebiotic Thai white pork sausage (Moo-yor)(s), subsequently; the growth of *Salmonella-Shigella* group were suppressed. It might be concluded that prebiotic Thai white pork sausage (Moo-yor) supplemented by FOS sugar from these two plant sources had a potential to be further developed as a functional food product for consumers.

Keywords: Prebiotic, Thai white pork sausage, functional food, fructooligosaccharide, onion, chicory

บทคัดย่อ: น้ำตาลกลุ่มฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (fructooligosaccharide; FOS) เป็นสารพรีไบโอติก (prebiotic) ที่มีคุณสมบัติกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียโปรไบโอติกได้ดี อีกทั้งได้รับความนิยมและถูกยอมรับอย่างกว้างขวางขวางตั้งนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองผลิตผลิตภัณฑ์หมุยพรีไบโอติกที่มีส่วนผสมของน้ำตาล FOS และทดสอบคุณสมบัติพรีไบโอติกเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ ผงน้ำตาล FOS (Frutafit® IQ) ที่เตรียมจากรากชิโครี (*Cichorium intybus* L.) และน้ำตาล FOS ที่สกัดจากหัวหอมแขก (*Allium cepa* L.) ได้นำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตหมุยพรีไบโอติกครั้งนี้ โดยพบว่าโมเลกุลของน้ำตาลทั้งสองแหล่งมีค่า Degree of polymerization (DP) เท่ากับ 12.55 และ 6.95 ตามลำดับ ปริมาณ FOS ได้แก่ น้ำตาลคิสโตสและนีสโตสในตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ($P>0.05$) เมื่อได้รับความร้อนที่ระดับ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที น้ำตาล FOS ได้นำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตหมุยทั้งสิ้น 4 สูตร ได้แก่ สูตรผสมน้ำตาล FOS จากรากชิโครีปริมาณ 5 และ 10% (w/w) และสูตรผสมน้ำตาล FOS จากหัวหอมแขกปริมาณ 5 และ 10% (w/w) นอกจากนี้ยังมีหมุยสูตรมาตรฐานที่นำมาศึกษาาร่วมด้วย ผลการทดลองพบว่าหมุยทุกสูตรสามารถกระตุ้นการเจริญของเชื้อโปรไบโอติกทุกสายพันธุ์ที่นำมาศึกษาครั้งนี้ได้เป็นอย่างดีแต่การเจริญของ *Escherichia coli* และ *Salmonella enterica* subspecies *enterica* serovar Typhimurium ก็ถูกกระตุ้นด้วยเช่นกัน ($P<0.05$) แต่เมื่อทดสอบการกระตุ้นการเจริญของประชากรจุลินทรีย์ผสมจากทางเดินอาหารคนด้วยเทคนิค fecal slurry test ก็พบว่าหมุยพรีไบโอติกทุกสูตรสามารถส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียกรดแลกติกโดยรวมได้ดี ส่งผลให้ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียกลุ่ม *Salmonella-Shigella* ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหมุยพรีไบโอติกที่เสริมด้วยน้ำตาล FOS จากพืชทั้งสองแหล่งนี้ มีศักยภาพที่จะพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชันเพื่อผู้บริโภคต่อไปได้

คำสำคัญ: พรีไบโอติก หมุย อาหารฟังก์ชัน ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ หัวหอม ชิโครี

คำนำ

วิถีการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม ทำให้มีภาวะเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะกลุ่มโรค NCDs (non-communicable diseases) หรือกลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง ผู้บริโภคส่วนใหญ่จึงหันมานิยมรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารฟังก์ชัน (functional foods) หรือที่อาจเรียกว่าอาหารเชิงหน้าที่ ซึ่งอาหารที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นอาหารฟังก์ชันได้ ต้องเป็นอาหารที่มนุษย์บริโภคเข้าไปแล้วให้ประโยชน์หรือคุณสมบัติอื่น ๆ ต่อสุขภาพนอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการพื้นฐาน และเป็นการช่วยลดอัตราเสี่ยงในการเกิดโรคด้วย (Sander, 1998) และอาหารฟังก์ชันที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากคือ กลุ่มสารพรีไบโอติก (prebiotics) ซึ่งถูกนำเสนอขึ้นครั้งแรกโดย Gibson and Roberfroid (1995) โดยให้นิยามว่าพรีไบโอติก คือ “ส่วนประกอบของอาหารที่ไม่สามารถถูกย่อยในทางเดิน

อาหาร แต่ก่อให้เกิดประโยชน์แก่เจ้าบ้าน (host) โดยการกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์บางกลุ่มในลำไส้อย่างเฉพาะเจาะจงแล้วยังช่วยส่งเสริมสุขภาพได้” และต่อมา Gibson *et al.* (2004) ก็ได้มีการปรับปรุงนิยามของคำว่าพรีไบโอติกเสียใหม่เป็น “สารอาหารที่สามารถถูกหมักได้อย่างเฉพาะเจาะจงที่ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่จำเพาะต่อทั้งจำนวนและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร อันเป็นผลให้เจ้าบ้านมีสุขภาพที่ดีได้” ดังนั้นสารพรีไบโอติกที่ดีต้องไม่ถูกย่อยหรือดูดซึมในทางเดินอาหารของเจ้าบ้านแล้วไหลผ่านไปยังลำไส้เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางกลุ่มที่ก่อประโยชน์แก่ร่างกายได้และนอกจากนี้สารพรีไบโอติกยังต้องมีความคงตัวต่อสภาวะที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารอีกด้วย (Roberfroid, 2007; Wang, 2009)

น้ำตาลฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (fructooligosaccharide; FOS) เป็นน้ำตาลกลุ่มฟรุกแทน (fructan) สายสั้น ที่มีแคลอรีต่ำ (Aachary and Prapulla, 2009) สามารถผลิตได้ทั้งจากการสกัดจากแหล่งพืชชนิดที่มีการสะสมน้ำตาล FOS เช่น หัวหอม กระเทียม อาร์ติโชค

และชิโครี เป็นต้น และการสังเคราะห์โดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ (Yun, 1996) น้ำตาล FOS ได้รับการยอมรับว่าเป็นสารพรีไบโอติกที่มีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากสามารถกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์บางชนิดในลำไส้ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรีย bifidobacteria และ lactobacilli (มนัสนันท์ และคณะ, 2558; Wang and Gibson, 1993; Gibson *et al.*, 1995; Li *et al.*, 2015; Mueller *et al.*, 2016) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าน้ำตาล FOS ช่วยลดระดับน้ำตาลกลูโคสไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol) และคอเลสเตอรอลทั้งหมด (total cholesterol) ในเลือดได้ด้วย (Kaur and Gupta, 2002; Bharti *et al.*, 2013)

ปัจจุบันในหลายประเทศได้มีผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดที่ใช้น้ำตาล FOS เป็นส่วนประกอบเพื่อเสริมสร้างประโยชน์ในเชิงสุขภาพให้กับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ รวมทั้งสร้างจุดเด่นและมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ด้วย ยกตัวอย่างเช่น น้ำผลไม้ (Renuka *et al.*, 2009) ช็อกโกแลต (Valencia *et al.*, 2016; Konar *et al.*, 2016) ขนมอบ (Morris and Morris, 2012; Ishwarya and Prabhasankar, 2013) และไส้กรอก (Cáceres *et al.*, 2004) เป็นต้น แต่เมื่อพิจารณาจากปริมาณของผลิตภัณฑ์อาหารของไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารพื้นบ้าน ก็พบว่ามีการวิจัยและพัฒนาเพิ่มมูลค่าให้เป็นอาหารฟังก์ชันกันน้อยมาก ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ หมयोที่ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากเนื้อสัตว์และได้รับความนิยมบริโภคอย่างแพร่หลายได้ถูกคัดเลือกนำมาใช้เป็นตัวอย่งการศึกษา โดยได้มีการเสริมน้ำตาล FOS จากพืชสองชนิดลงไป ได้แก่ หอมแขก (*Allium cepa* L.) และรากชิโครี (*Cichorium intybus* L.) จากนั้นทำการศึกษาคูสมบัติเชิงหน้าที่ในการเป็นสารพรีไบโอติกของผลิตภัณฑ์หมयोที่เสริมน้ำตาล FOS นี้

ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยในครั้งนี้ จึงได้เน้นการผลิตและศึกษาคูสมบัติพรีไบโอติกเบื้องต้นในระดับ *in vitro* ของผลิตภัณฑ์หมयोที่เสริมน้ำตาล FOS จากรากชิโครีและหอมแขก ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าผลจากการศึกษานี้ จะเป็นแนวทางที่มีประโยชน์อย่างมาก สำหรับการศึกษาเพื่อพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพจากอาหารพื้นบ้านของประเทศไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองและการเตรียมหัวเชื้อ

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ได้แก่ แบคทีเรียพรีไบโอติกสามสายพันธุ์ (*Lactobacillus acidophilus* TISTR1338, *Lactobacillus lactis* TISTR1464 และ *Lactobacillus plantarum* TISTR541) แบคทีเรียก่อโรคหนึ่งสายพันธุ์ (*Salmonella enterica* subspecies *enterica* serovar Typhimurium TISTR292) และแบคทีเรียเจ้าบ้านหนึ่งสายพันธุ์ (*Escherichia coli* TISTR887) โดยแบคทีเรียพรีไบโอติกนั้นถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส บนอาหารแข็งสูตร de Man, Rogosa and Sharpe (MRS) agar (Himedia®) ส่วน S. Typhimurium และ E. coli เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร nutrient agar (NA)

ในขั้นตอนการเตรียมหัวเชื้อนั้น ทำได้โดยถ่ายเชื้อที่เจริญบนอาหารแข็งไปยังอาหารเหลวแต่ละสูตรที่ปลอดเชื้อปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่บรรจุในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปั่นแบบตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การเตรียมน้ำตาลฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์

น้ำตาล FOS ที่ใช้ในการศึกษานี้ได้มาจากสองแหล่ง ได้แก่ หัวหอมแขก และรากชิโครี โดย FOS จากรากชิโครีนั่น เป็นน้ำตาลทางการค้าชื่อ Frutafit® IQ ในขณะที่ FOS จากหัวหอมแขกนั้นได้จากการสกัดด้วยน้ำกลั่น และมีวิธีการดังนี้ นำหัวหอมแขกจำนวน 1 กิโลกรัม มาหั่นให้เป็นชิ้นขนาดเล็ก จากนั้นนำไปสกัดน้ำตาลด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ (HEALTHY SLOW JUICER รุ่น JT-2010) กรองสองครั้งด้วยผ้าขาวบางและกระดาษกรอง Whatman® เบอร์ 1 นำสารละลายน้ำตาลที่ได้มาทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ (BUCHI® รุ่น R-205) และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ส่วนผง FOS จากรากชิโครีนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง

การวิเคราะห์น้ำตาลฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในตัวอย่าง

ตัวอย่าง FOS ทั้งสองถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar) และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ด้วยวิธี phenol-sulfuric acid และ DNS method ตามลำดับ (Wongputtisint *et al.*, 2014) จากนั้นคำนวณจำนวนหน่วยเฉลี่ยของน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ในรูปของค่า Degree of Polymerization (DP) ด้วยสูตรดังนี้

$$DP = \frac{\text{Total sugar (mg/ml)}}{\text{Reducing sugar (mg/ml)}}$$

นอกจากนี้ ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณน้ำตาล FOS แต่ละชนิดโดยเทคนิค thin layer chromatography (TLC) และ high performance liquid chromatography (HPLC) โดยใช้น้ำตาลมาตรฐานจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส (Sigma-Aldrich®) ฟรุกโตส (Merck) ซูโครส (Sigma-Aldrich®) คีโตส (GF₂) (Sigma-Aldrich®) และนิสโตส (GF₃) (Sigma-Aldrich®) ความบริสุทธิ์ระดับ HPLC grade การวิเคราะห์น้ำตาลด้วยเทคนิค TLC นั้นใช้สารละลายบิวทานอล: เอทานอล: น้ำ ในอัตราส่วน 5 : 3 : 2 เป็น mobile phase และแผ่นอลูมิเนียมที่เคลือบด้วยซิลิกาเจล (Merck รุ่น 60 F254) เป็น stationary phase จากนั้นทำให้แถบน้ำตาลปรากฏขึ้นด้วยการจุ่มในสารละลายกรดซัลฟริกความเข้มข้น 5% (v/v) ที่เตรียมในเมทานอล และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสจนกระทั่งปรากฏแถบน้ำตาล ในขณะที่การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC นั้น ทำการปั่นเหวี่ยงตัวอย่างน้ำตาลที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที แล้วกรองผ่าน nylon membrane (Whatman®, maidstone, England) ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ 5 µm Aminex HPX-87H (HPLC organic acid analysis column) 300x7.8 mm ใช้กรดซัลฟริกความเข้มข้น 5 mM ที่เตรียมในน้ำปราศจากไอออนเป็น mobile phase ด้วยอัตราการไหล 0.75 มิลลิลิตรต่อนาที โดยควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ที่ 40 องศาเซลเซียส อุปกรณ์ตรวจวัด (detector) ที่ใช้คือ refractive index detector (RID-10A)

การศึกษาผลของความร้อนที่มีต่อน้ำตาลฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์

นำตัวอย่างน้ำตาล FOS ทั้งสองแหล่งมาผ่านความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 10, 20 และ 30 นาที แล้ววิเคราะห์ชนิดและองค์ประกอบของน้ำตาลในตัวอย่างด้วยวิธี TLC และปริมาณน้ำตาล FOS แต่ละชนิดด้วยเครื่อง HPLC

การผลิตหมอยอเสริมน้ำตาลฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์

ทำการผลิตหมอยอจำนวน 5 สูตร ได้แก่ สูตรมาตรฐาน สูตรเติม FOS จากหอมแขก 5% (w/w) และ 10% (w/w) และ FOS จากซีโครี 5% (w/w) และ 10% (w/w) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1 ปั่นส่วนผสมให้ละเอียดและเข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสมอาหาร (Philips blender 600 W, 2 L, HR2118) บรรจุในถุงพลาสติก polypropylene หนึ่งให้สูงที่อุณหภูมิ 80-85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอศึกษาในขั้นตอนต่อไป

การทดสอบคุณสมบัติฟิโอบีโอดีทิกของหมอยอเสริมฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์

นำตัวอย่างหมอยอในแต่ละสูตรมาบดด้วยเครื่องบด (Philips blender 600 W, 2 L, HR2118) เป็นเวลาประมาณ 2 นาที ก่อนนำไปทดสอบคุณสมบัติการกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์ในลำไส้ การทดลองแรกได้ทำการทดสอบเพาะเลี้ยงแบบเชื้อเดี่ยว (single culture test) ด้วยวิธีการที่อ้างอิงจาก Wongputtisint *et al.* (2015) และ Wongputtisint and Khanongnuch (2015) โดยการเพาะเลี้ยงแยกแบคทีเรีย *L. acidophilus* TISTR1338, *L. lactis* TISTR1464, *L. plantarum* TISTR541, *S. Typhimurium* TISTR292 และ *E. coli* TISTR887 ลงในอาหารเหลวสูตร basal medium (กรัม/ลิตร: MgSO₄ 0.2 กรัม KH₂PO₄ 1.0 กรัม K₂HPO₄ 1.0 กรัม CaCl₂ 0.02 กรัม และ FeCl₂ 0.05 กรัม และปรับค่า pH เป็น 7.0) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่มีการเสริมหมอยอลงไปในปริมาณ 5 กรัม จากนั้นถ่ายหัวเชื้อแต่ละชนิดปริมาณ 10⁷-10⁸ CFU ลงไปในอาหารแต่ละสูตร เพาะเลี้ยงโดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ

Table 1. Ingredients of five different Thai white pork sausage (Moo-yor) formulas produced in this study

Ingredients	Composition (g) in formula				
	Standard	5% chicory	10% chicory	5% onion	10% onion
Pork	1000	1000	1000	1000	1000
Salt	12	12	12	12	12
Lard	400	400	400	400	400
Crushed ice	400	400	400	-	-
Pepper	15	15	15	15	15
Granulated sugar	20	20	20	20	20
Garlic	30	30	30	30	30
Phosphate	6	6	6	6	6
Wheat flour	40	40	40	40	40
Frutafit® IQ	-	102	214	-	-
Onion extract (freeze and crushed)	-	-	-	400*	400**

* total sugar content was equal to 96 gram

** total sugar content was equal to 192 gram

37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างอาหารเลี้ยงเชื้อในชั่วโมงที่ 0 และ 24 เพื่อบันทึกจำนวนเชื้อแบคทีเรียด้วยเทคนิค total plate count ทำการนับจำนวนแบคทีเรีย *Lactobacillus*, *E. coli* และ *S. Typhimurium* บนอาหารแข็งสูตร MRS สูตร EMB (eosin methylene blue agar) และสูตร SS (*Salmonella-Shigella*) agar ตามลำดับ

ส่วนการทดลองที่สอง ได้ทำการทดสอบการกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียในลำไส้ด้วยเทคนิค fecal slurry test (Wang and Gibson, 1993) โดยผสมอุจจาระของทารกที่มีสุขภาพแข็งแรงปริมาณ 3.5 กรัม ลงในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 M pH 7.0 ปริมาตร 200 มิลลิลิตรจากนั้นเติมตัวอย่างหมุยอในแต่ละสูตรในปริมาณ 10 กรัม บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และเก็บตัวอย่างที่เวลา 0 และ 12 ชั่วโมง เพื่อบันทึกจำนวนเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกโดยรวม *E. coli* และกลุ่ม *Salmonella-Shigella* โดยแบคทีเรียแลกติกได้ทำการนับบนอาหาร MRS agar ส่วนแบคทีเรีย *E. Coli* และแบคทีเรียกลุ่ม *Salmonella-Shigella* จะทำการนับบนอาหาร EMB agar และ SS agar ตามลำดับ

การประมวลผลทางสถิติ

ทำการทดลองสามซ้ำ จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's new multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ STATISTIX®

ผลการทดลอง

ปริมาณน้ำตาลในตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์ในผงชิโครีทางการค้าและหัวหอมแขกแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งจะเห็นว่าผงน้ำตาล FOS ทางการค้าจากชิโครีที่นำมาศึกษาครั้งนี้มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบเพียงประมาณ 41% (w/w) ส่วนหัวหอมแขกมีน้ำตาลที่ละลายได้ (soluble sugar) เป็นองค์ประกอบประมาณ 2.9% (w/w fresh bulb) อย่างไรก็ตามน้ำตาลจากทั้งสองแหล่งนี้มีขนาดโมเลกุลเฉลี่ยที่แสดงโดยค่า DP เท่ากับ 12.55 และ 6.95 ตามลำดับ ซึ่งอาจจัดได้ว่าเป็นน้ำตาลกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์

องค์ประกอบน้ำตาลและผลของความร้อนที่มีต่อองค์ประกอบน้ำตาลในตัวอย่าง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำตาลในตัวอย่างทั้งสองชนิดด้วยเทคนิค TLC ผลการทดลองพบว่า น้ำตาลแต่ละแหล่งประกอบไปด้วยน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส ซูโครส คีโตส นีสโตส และน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ อีกหลายชนิดที่ยังไม่สามารถระบุชนิดได้ ซึ่งมีขนาดโมเลกุลแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังคาดว่าน่าจะมีโพลีแซคคาไรด์เป็นองค์ประกอบในตัวอย่างผงชีโครีด้วย เนื่องจากปรากฏแถบน้ำตาลที่จุดเริ่มต้น ดังแสดงในภาพที่ 1a และ b (lane 2) จากภาพที่ 1 นี้ ยังแสดงให้เห็นอีกว่า การให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่าง ๆ กันซึ่งเป็นสภาวะที่ใช้ในการผลิตหมูยอนั้น แทบจะไม่ส่งผลต่อน้ำตาลฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (ภาพที่ 1a และ b (lane 3-5)) ทั้งนี้ได้มีการยืนยันผลการวิจัยโดยการวิเคราะห์

น้ำตาลด้วยเครื่อง HPLC ผลการทดลองได้แสดงดังตารางที่ 3 ผลการทดลองพบว่าภายหลังการให้ความร้อนแก่น้ำตาลที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ปริมาณน้ำตาลบางชนิดได้มีการเปลี่ยนแปลงแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

การทดสอบคุณสมบัติพรีไบโอติกของหมูยอเสริมฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์

หลังจากเพาะเลี้ยงแบคทีเรียแต่ละชนิดลงในอาหารเลี้ยงเชื้อสูตร basal medium ที่มีการผสมหมูยอบดแต่ละสูตรแล้วเปรียบเทียบกับจำนวนเชื้อที่มีชีวิตระหว่างช่วงเวลาที่ 0 และ 24 ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 2 โดยพบว่าหมูยอทุกสูตรสามารถกระตุ้นการเจริญของทุกเชื้อได้ดี โดยเฉพาะ *L. acidophilus*, *L. plantarum* และ *L. lactis* ซึ่งจัดเป็นแบคทีเรียโปรไบโอติกเมื่อเปรียบเทียบกับ

Table 2. Total sugar, reducing sugar and degree of polymerization (DP) of *Cichorium intybus* L. and *Allium cepa* L. sugar extract

Samples	Content $\pm$ SD		
	Total sugar	Reducing sugar	DP
Chicory (<i>Cichorium intybus</i> L.)	0.41 $\pm$ 0.03 *	0.03 $\pm$ 0.01 *	12.55
Onion (<i>Allium cepa</i> L.)	29.59 $\pm$ 1.00 **	4.26 $\pm$ 0.24 **	6.95

* g/g powder

** g/kg fresh bulb

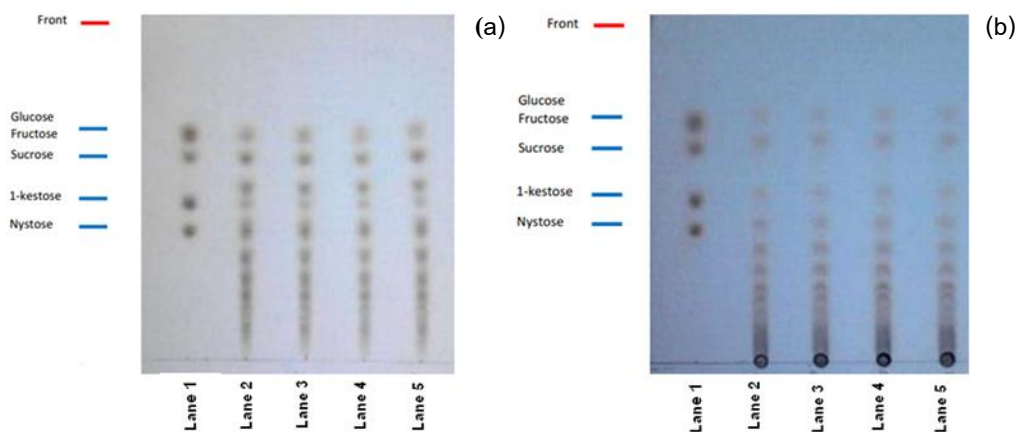


Figure 1. TLC analysis of soluble sugars containing in *Allium cepa* L. (a) and *Cichorium intybus* L. (b)
 Note: Lane 1 = standard sugars, Lane 2 = fresh samples, Lane 3 = heated for 10 min, Lane 4 = heated for 20 min and Lane 5 = heated for 30 min
 G = glucose, F = fructose, S = sucrose, K = 1-kestose and N = nystose

Table 3. Comparison of FOS content of *Allium cepa* L. and *Cichorium intybus* L. after heat treatment at 80 °C for 30 min

Sample	Treatment	Content ± SD				
		Fructose	Glucose	Sucrose	1-kestose	Nystose
Chicory *	no heat	19.80 ± 0.14	3.00 ± 0.02	31.6 ± 0.10	8.00 ± 0.08	114.4 ± 1.51
	30 min heated	21.20 ± 0.00	3.80 ± 0.00	32.4 ± 0.13	1.80 ± 0.71	117.0 ± 2.36
Onion **	no heat	10.44 ± 0.15	11.20 ± 0.13	17.58 ± 1.76	19.31 ± 0.00	117.0 ± 0.83
	30 min heated	10.31 ± 0.45	11.12 ± 0.13	20.44 ± 0.30	20.70 ± 0.00	124.0 ± 1.70

* The contents were presented as mg/g powder

** The contents were presented as g/kg fresh bulb

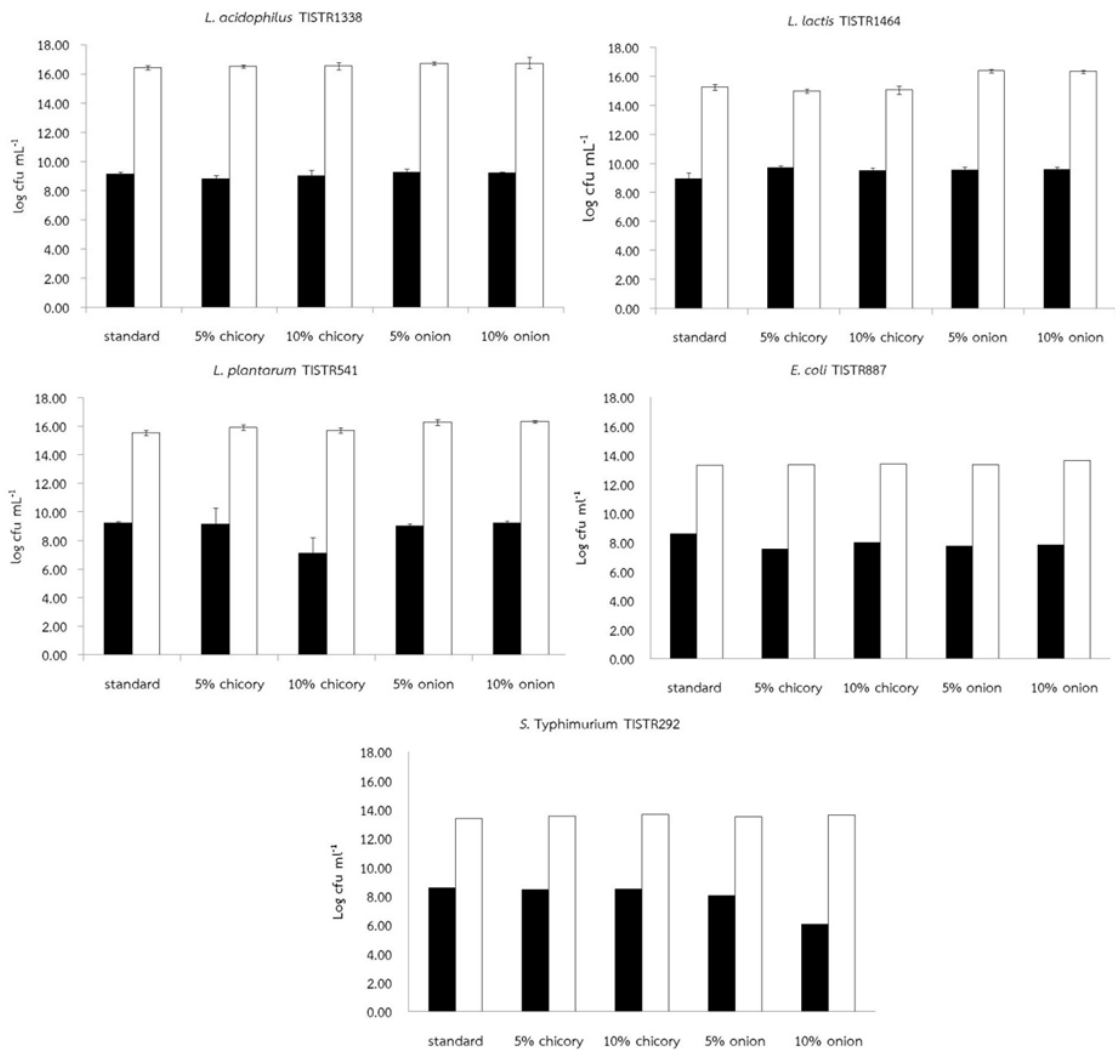


Figure 2. Growth of individual tested bacteria in basal medium supplemented with different Thai white pork sausage (Moo-yor) (s), viable cell count at 0 h (■) and 24 h (□)

กับเชื้อ *E. coli* และ *S. Typhimurium* ที่มีอัตราการเจริญที่ต่ำกว่าปริมาณน้ำตาลจากพืชแต่ละแหล่งที่เพิ่มขึ้นในสูตรหมयो ก็พบว่าไม่แตกต่างในการกระตุ้นการเจริญของเชื้อ

นอกจากนี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารจำนวนสามกลุ่ม ได้แก่ แบคทีเรียกรดแลคติก เชื้อ *E. coli* และกลุ่ม *Salmonella-Shigella* ในระดับ *in vitro* เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีการเสริมหมयोแต่ละสูตรลงไป ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งพบว่าหมयोทุกสูตรรวมทั้งสูตรไม่เสริมน้ำตาล

จากแหล่งพืชสามารถกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียกรดแลคติกและ *E. coli* ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในขณะที่เชื้อกลุ่ม *Salmonella-Shigella* นั้นเพิ่มจำนวนขึ้นเล็กน้อยในชุดทดลองที่เสริมหมयोสูตรไม่มีน้ำตาลจากแหล่งพืช และผลการทดลองที่น่าสนใจเป็นอย่างมากคือ ไม่พบการเจริญที่เพิ่มขึ้นของเชื้อกลุ่ม *Salmonella-Shigella* ในชุดทดลองที่เสริมหมयोสูตรที่มีน้ำตาลจากแหล่งพืชทุกสูตร

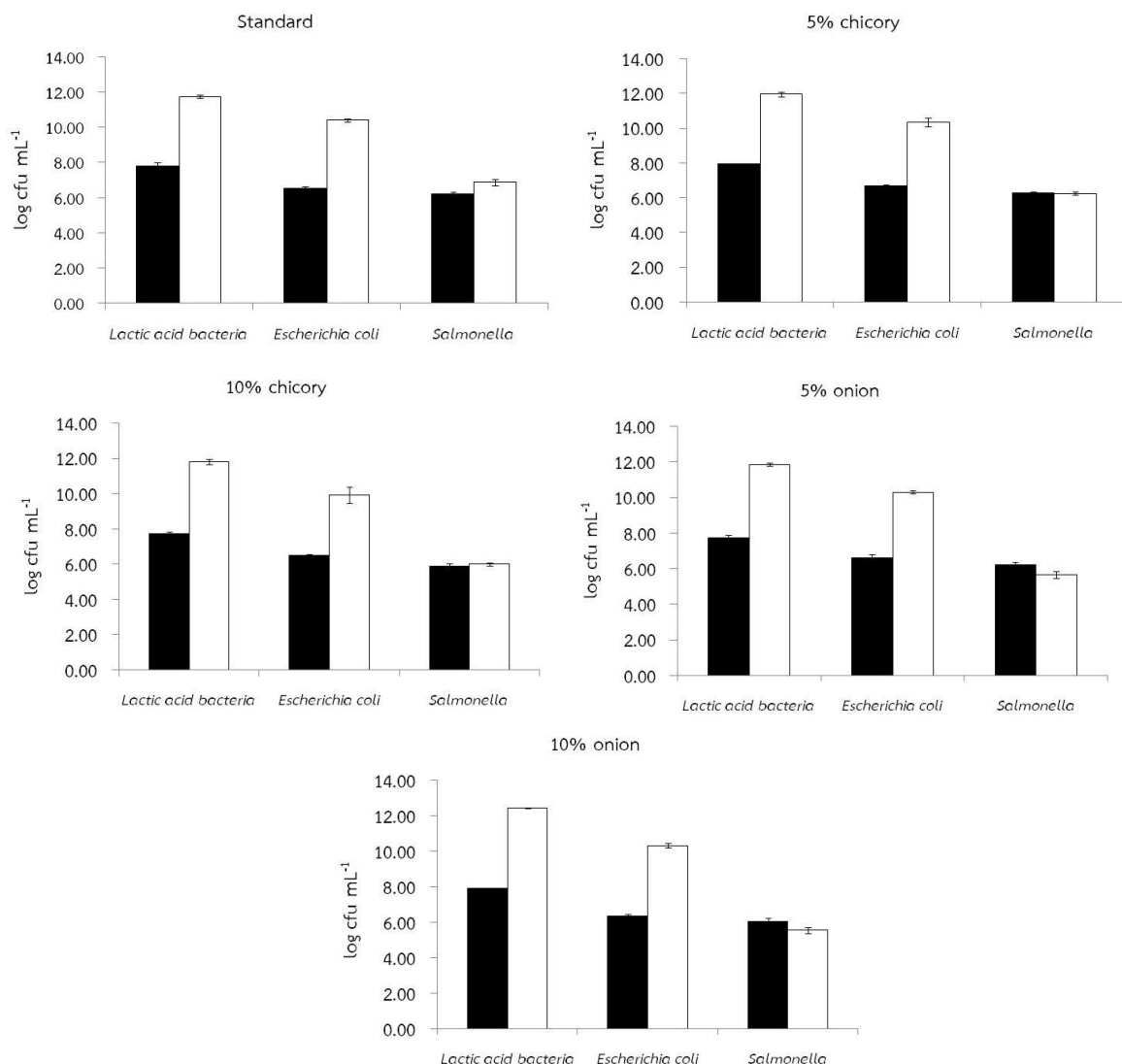


Figure 3. Growth of total lactic acid bacteria (LAB), *E. coli* and *Salmonella-Shigella* group in human gastrointestinal tract mixed cultures by fecal slurry test, viable cell count at 0 h (■) and 12 h (□)

วิจารณ์

หมุยอเป็นผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้านของภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือของไทย ได้รับความนิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวาง ดังนั้นการพัฒนาหมุยอให้เป็นอาหารที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ (functional property) จึงเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการยกระดับคุณภาพของอาหารพื้นบ้านไทย น้ำตาล FOS ที่นำมาเสริมในหมุยอครั้งนี้ มาจากรากชิโครีและหัวหอมแขกซึ่งจัดว่าเป็นพืชที่มีการสะสมน้ำตาล FOS ในปริมาณมาก โดยน้ำตาล FOS ที่ผลิตวางขายในท้องตลาด ส่วนใหญ่ก็ผลิตได้มารากรากชิโครีแทบทั้งสิ้น Yun *et al.* (2000) รายงานว่ารากชิโครีมีน้ำตาลกลุ่มฟรุกแทนสะสมอยู่ในรูปของอินนูลินสูงถึง 68% และโอลิโกแซคคาไรด์ 28.5% ส่วน Roberfroid *et al.* (1997) ได้รายงานว่าน้ำตาลที่สกัดจากรากชิโครีมีขนาดโมเลกุลที่อยู่ในรูปของค่า DP ในช่วงประมาณ 2 ถึงมากกว่า 60 ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยครั้งนี้ที่พบว่าผง Frutafit® IQ มีค่า DP เฉลี่ยประมาณ 12.55 อย่างไรก็ตามฟรุกแทนที่สกัดได้จากชิโครีนี้ต้องผ่านกระบวนการย่อยด้วยเอนไซม์ endoinulinase (EC 3.2.1.7) ให้มี DP อยู่ในช่วง 2-10 ก่อนนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (Roberfroid, 2000) ในส่วนหัวหอมนั้น นับได้ว่าเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่เป็นแหล่งของน้ำตาล FOS เช่นกัน (Galdón *et al.*, 2009) ถึงแม้ไม่ได้มีการสกัดน้ำตาล FOS เพื่อการค้าดังเช่นรากชิโครีก็ตาม ซึ่ง Jaime *et al.* (2001) ได้ศึกษาปริมาณฟรุกแทนและ FOS ในหัวหอม 5 สายพันธุ์ (*Allium cepa* L. cv. Sturon, Hysam, Durco, Grano de Oro และ Caribo) พบว่าปริมาณน้ำตาล FOS รวม ($GF_2 + GF_3 + GF_4$) อยู่ในช่วงระหว่าง 23-140 กรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตาม ทีมผู้วิจัยยังพบว่าหัวหอมที่ถูกเก็บไว้เป็นเวลานานจะมีปริมาณของ FOS ที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งอาจมีปริมาณที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นขึ้นกับสายพันธุ์ ดังนั้นการเตรียมน้ำตาล FOS จากหัวหอมแขกเพื่อใช้ผลิตหมุยอนั้นอาจต้องคำนึงถึงสถานะและอายุการเก็บรักษาหัวหอมด้วย น้ำตาลจากหอมแขกที่สกัดได้ครั้งนี้มีค่า DP เท่ากับ 6.95 ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Wongputtisarn (2003) ที่รายงานว่าน้ำตาลสกัดจากหอมแขกมีค่า DP เฉลี่ยประมาณ 9 และน้ำตาลที่สกัดได้นี้

สามารถกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียโอบิโอดิกได้เป็นอย่างดี รวมถึงสามารถส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียกรดแลกติกในทางเดินอาหารของหนูทดลองสายพันธุ์ Wistar rat ได้เช่นกัน ความยาวและลักษณะของสายโซ่โพลีเมอร์น้ำตาลก็มีผลต่อการกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียโอบิโอดิก โดยน้ำตาล FOS สายสั้นสามารถกระตุ้นการเจริญได้ดีกว่าอินนูลินและน้ำตาล FOS ที่มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้าน (Gibson and Wang, 1994; Biedrzycka and Bielecka, 2004)

คุณสมบัติของสารฟิโอบิตกที่ดีและเหมาะต่อการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ควรต้องมีความคงตัวต่อกระบวนการผลิตและแปรรูปด้วย (Wang, 2009) ซึ่งกระบวนการผลิตหมุยอนั้นต้องมีการนึ่งด้วยความร้อนเป็นเวลาประมาณ 30 นาที แต่จากผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าความร้อนที่สภาวะของการผลิตหมุยอนั้นมีผลต่อปริมาณน้ำตาล FOS ในตัวอย่างทั้งสองเพียงเล็กน้อย ($P>0.05$) ยกเว้นน้ำตาลคีสโตสในน้ำตาลจากหอมแขกซึ่งลดลงค่อนข้างมาก ทั้งนี้ ความร้อนที่สูงและค่า pH ที่ต่ำส่งผลกระตุ้นให้พันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวแต่ละหน่วยเกิดการสลาย (Courtin *et al.*, 2009) โดย Antosova *et al.* (1999) ได้ระบุว่าความร้อนของคอลัมน์ในการวิเคราะห์น้ำตาลด้วยเครื่อง HPLC ก็สามารถส่งผลให้น้ำตาลสลายตัวได้เช่นกัน แม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิของคอลัมน์จะทำให้ความหนืดของ mobile phase ลดลง สัมประสิทธิ์การแพร่เพิ่มขึ้นและการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยก (resolution) ของน้ำตาลดีขึ้น จึงได้แนะนำให้ใช้อุณหภูมิในช่วง 40-60 องศาเซลเซียสในการวิเคราะห์น้ำตาล FOS อย่างไรก็ตาม แม้การสลายของพันธะไกลโคซิดิกของน้ำตาล FOS จะทำให้ปริมาณน้ำตาลบางชนิด (GF_{2-4}) ลดลง แต่การสลายตัวของน้ำตาลฟรุกแทนที่โมเลกุลใหญ่กว่า ก็อาจทำให้ได้ผลผลิตเป็นน้ำตาล FOS สายสั้นด้วย (Jaime *et al.*, 2001) ดังนั้นกระบวนการแปรรูปอาหารที่มีความร้อนมาเกี่ยวข้อง จำเป็นต้องให้ความสำคัญในการคงอยู่ของสารสำคัญในวัตถุดิบด้วย

โดยปกติแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. Typhimurium* ไม่สามารถใช้ประโยชน์น้ำตาลกลุ่ม FOS เพื่อการ

เจริญเติบโตได้ (Naughton *et al.*, 2001) แต่จากการทดสอบคุณสมบัติฟรีไบโอติกของหมุยอในรูปแบบ single culture test ในระดับ *in vitro* กลับพบว่าทุกสูตรล้วนกระตุ้นการเจริญของทั้งโปรไบโอติก *E. coli* และ *S. Typhimurium* ได้ ทั้งนี้คาดว่า การเจริญของ *E. coli* และ *S. Typhimurium* น่าจะมาจากการใช้น้ำตาลซูโครสที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในสูตรหมุยอทุกสูตรมากกว่า รวมถึงการใช้ประโยชน์จากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (กลูโคสและฟรุคโตส) ที่พบปนอยู่ในตัวอย่างน้ำตาล FOS ที่เตรียมขึ้น ซึ่งเชื้อทั้งสองนี้มีถิ่นที่่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอนไซม์ในกระบวนการเมแทบอลิซึมน้ำตาลเหล่านี้ (Cohen and Roth, 1953; Ferenci and Kornberg 1973; Schmid *et al.*, 1982; Geerse *et al.*, 1989) ในทำนองเดียวกัน การเจริญของโปรไบโอติกทั้งสามสายพันธุ์ในชุดทดลองที่เติมหมุยอสูตรมาตรฐานก็น่าจะเกิดจากน้ำตาลซูโครส แต่อย่างไรก็ตามชุดทดลองที่เติมหมุยอเสริมน้ำตาล FOS ทุกสูตรสามารถกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียโปรไบโอติกได้ในอัตราที่สูงกว่าหมุยอสูตรมาตรฐาน ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากน้ำตาล FOS ที่เสริมลงไป

ประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารของมนุษย์มีความหลากหลายเป็นอย่างมาก ทั้งในแง่ของสายพันธุ์และสัดส่วน ดังนั้นในการศึกษาผลของหมุยอฟรีไบโอติกที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารจึงศึกษาโดยใช้เทคนิค fecal slurry test ซึ่งครั้งนี้ได้นำอุจจาระทารกมาใช้เป็นแหล่งของหัวเชื้อจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารมนุษย์ ผลการทดลองเป็นที่น่าสนใจมากคือพบการเจริญเพิ่มขึ้นของแบคทีเรียกรดแลคติกโดยรวมในทุกชุดการทดลองแต่ไม่พบการเจริญเพิ่มขึ้นของแบคทีเรียกลุ่ม *Salmonella-Shigella* ในชุดทดลองที่เติมหมุยอฟรีไบโอติกโดยเฉพาะอย่างยิ่งชุดทดลองที่เติมหมุยอเสริมน้ำตาล FOS จากหัวหอมแขกทั้งสองสูตรโดย Wang and Gibson (1993) ก็ได้รายงานเช่นกันว่าน้ำตาล FOS และอินนูลินที่เสริมใน fecal slurry สามารถเพิ่มจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม bifidobacteria และ lactobacilli ได้ ในขณะที่จำนวนประชากร *Clostridium* sp. และ *E. coli* ไม่เปลี่ยนแปลง กลไกในการยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรคโดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียกลุ่ม *Salmonella-Shigella* สามารถเกิดได้จากปัจจัยร่วมหลายข้อทั้งจาก

กรดอินทรีย์กลุ่ม short chain fatty acid (SCFAs) ได้แก่ acetic acid, propionic acid และ butyric acid และสารกลุ่ม bacteriocins เช่น lactacin B, lactacin F, acidocin CH5 nisin และ lactocin S ที่แบคทีเรียกรดแลคติกผลิตขึ้น (อัจจรา, 2559; Barefoot and Klaenhammer, 1983; Wang and Gibson, 1993; Parada *et al.*, 2007) อย่างไรก็ตาม มีรายงานบางฉบับที่ระบุถึงสารพิษเคมีกลุ่ม thiosulfates เช่น allicin ที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็น *E. coli* O157, *Staphylococcus aureus* และรวมถึง *Salmonella* sp. ด้วย (Kyung, 2012; Abdel-Salam *et al.*, 2014) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการยับยั้งการเจริญของกลุ่มเชื้อก่อโรคที่ทดสอบครั้งนี้ แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาเบื้องต้นด้วยการเพาะเลี้ยง *S. Typhimurium* และ *E. coli* ในอาหารเหลว basal medium ที่เสริมด้วยสารสกัดจากหัวหอมแขกลงไปก็ไม่พบการลดลงของแบคทีเรียทั้งสองชนิด (ผลการทดลองไม่ได้เผยแพร่) ดังนั้นมีความเป็นไปได้ว่า การลดลงของประชากรกลุ่ม *Salmonella-Shigella* ครั้งนี้ น่าจะมาจากปัจจัยอื่นดังที่กล่าวไว้

ในการผลิตหมุยอฟรีไบโอติกเพื่อการบริโภคนั้นปริมาณน้ำตาล FOS ที่เสริมลงไปในการอาหารต้องมีปริมาณที่เพียงพอต่อการกระตุ้นให้เกิดผลดีต่อสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ หรือที่เรียกกันว่า prebiotic effect หรือ bifidogenic effect โดยจากการศึกษาของ Bouhnik *et al.* (1998) พบว่าการให้อาสาสมัครบริโภคน้ำตาล FOS ปริมาณ 10-20 กรัมต่อวันแล้ว จะช่วยให้ประชากร bifidobacteria ในทางเดินอาหารเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างชัดเจน แต่ถ้าให้ในปริมาณเพียง 5 กรัมต่อวันแล้ว มีเพียง 75% ของอาสาสมัครที่มีการเพิ่มขึ้นของประชากร bifidobacteria ดังนั้นหากบริโภคหมุยอฟรีไบโอติกจากงานวิจัยนี้ในปริมาณ 100 กรัม ก็จะได้รับน้ำตาล FOS สูงสุดไม่เกิน 10 กรัม ซึ่งก็ใกล้เคียงกับระดับที่ทีมวิจัยรายงาน อย่างไรก็ตาม ในแต่ละวันผู้บริโภคก็อาจได้รับน้ำตาล FOS จากอาหารปกติที่รับประทานในแต่ละวันอยู่แล้ว เช่นผักและผลไม้ต่าง ๆ ก็จะช่วยเสริมให้ได้รับน้ำตาล FOS ในปริมาณที่เพียงพอที่จะก่อให้เกิด bifidogenic effect ได้ โดยข้อมูลจาก Roberfroid (2000) ได้รายงานว่าการบริโภคชาวอเมริกันและยุโรปจะได้รับน้ำตาล FOS

จากอาหารทั่วไปในชีวิตประจำวันในปริมาณ 1-4 กรัมต่อวัน และ 3-11 กรัมต่อวัน ตามลำดับ แต่ข้อมูลลักษณะดังกล่าวนี้ยังไม่มีรายงานในกลุ่มผู้บริโภคคนไทย อย่างไรก็ตาม สิ่งที่เห็นได้ชัดเจนเกี่ยวกับการบริโภคหมยอพรีไบโอติกคือ เป็นการยากที่จะรับประทานหมยอพรีไบโอติกทุกวันเพื่อหวังผล bifidogenic effect แก่ร่างกาย แต่ประโยชน์อย่างหนึ่งที่น่าจะได้จากงานวิจัยขึ้นนี้คือการเพิ่มมูลค่าและคุณค่าทางโภชนาการให้กับสินค้าผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้านของไทย และเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภคในยุคปัจจุบันได้

สรุป

ผลจากการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าน้ำตาล FOS จากทั้งรากชิโครีและหัวหอมแขกสามารถใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์หมยอพรีไบโอติกได้ โดยน้ำตาลดังกล่าวได้รับผลกระทบจากความร้อนในกระบวนการผลิตหมยอเพียงเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์หมยอพรีไบโอติกที่ผลิตขึ้นทุกสูตรในครั้งนี้นี้พบว่ามีความสามารถในการกระตุ้นการเจริญของเชื้อโปรไบโอติกทุกสายพันธุ์ที่นำมาทดสอบได้ดี แต่การเจริญของ *E. coli* และ *S. Typhimurium* ก็ถูกกระตุ้นด้วยเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบในกลุ่มประชากรจุลินทรีย์ผสมจากทางเดินอาหารคน ก็พบว่าหมยอพรีไบโอติกส่งเสริมให้แบคทีเรียกรดแลกติกเจริญมากขึ้น ส่งผลให้สามารถช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียกลุ่ม *Salmonella-Shigella* ได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์หมยอพรีไบโอติกที่เสริมน้ำตาล FOS จากรากชิโครีและหัวหอมแขกมีศักยภาพเป็นอย่างมากในการพัฒนาให้อาหารฟังก์ชันสำหรับผู้บริโภคต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และสถานที่ในการปฏิบัติงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี วรางคณา กิจพิพิธ ขวลิขิต ผึ้งปฐมภรณ์ ศราวุธ ม่วงเผือก เอกกมล กมลลาภวรกุล นาฎยา แบ่งลาม และ เสาวภา เขียนงาม. 2558. ผลของการเสริมซินไบโอติกส์ ต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อ และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ. วารสารเกษตร 31(3): 349-366.
- อัจฉรา นิยมเดชา. 2559. การใช้กรดอินทรีย์ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มก่อโรค (ซัลโมเนลล่า) ในทางเดินอาหารของสัตว์ปีก. วารสารเกษตร 32(1): 139-149.
- Aachary, A.A. and S.G. Prapulla. 2009. Value addition to spent osmotic sugar solution (SOS) by enzymatic conversion to fructooligosaccharides (FOS), a low calorie prebiotic. Innovative Food Science and Emerging Technologies 10: 284-288.
- Abdel-Salam, A.F., M.E. Shahenda and B.A. Jehan. 2014. Antimicrobial and antioxidant activities of red onion, garlic and leek in sausage. African Journal of Microbiology Research 8: 2574-2582.
- Antosava, M., M. Polakovic and V. Bales. 1999. Separation of fructooligosaccharides on cation-exchange HPLC column in silver form with refractometric detection. Biotechnology Techniques 13: 889-892.
- Barefoot, S.F. and T.R. Klaenhammer. 1983. Detection and activity of lactacin B, a bacteriocin produced by *Lactobacillus acidophilus*. Applied and Environmental Microbiology 45: 1808-1815.
- Bharti, S.K., S. Krishnan, A. Kumar, K.K. Rajak, K. Murari, B.K. Bharti and A.K. Gupta. 2013. Antidiabetic activity and molecular docking of fructooligosaccharides produced by *Aureobasidium pullulans* in poloxamer-407-

- p>induced T2DM rats. Food Chemistry 136: 813-821.
- Biedrzycka, E. and M. Bielecka. 2004. Prebiotic effectiveness of fructans of different degree of polymerization. Trends in Food Science and Technology 15: 170-175.
- Bouhnik, Y., K. Vahedi, L. Achour, A. Attar, J. Salfati, P. Pochart, P. Marteau, B. Flourié, F. Borner and J.C. Rambaud. 1999. Short-chain Fructo-oligosaccharide administration dose dependently increases fecal bifidobacteria in healthy humans. Journal of Nutrition 129: 113-116.
- Caceres, E., M.L. Garcia, J. Toro and M.D. Selgas. 2004. The effect of fructooligosaccharides on the sensory characteristics of cooked sausages. Meat Science 68: 87-96.
- Cohen, S.S. and L. Roth. 1953. The phosphogluconate pathway of carbohydratemetabolism in the multiplication of bacterial viruses. Journal of Bacteriology 65: 490-495.
- Courtin, C.M., K. Swennen, P. Verjans and J.A. Delcour. 2009. Heat and pH stability of prebiotic arabinoxyloligosaccharide, xylooligosaccharides and fructooligosaccharides. Food Chemistry 112: 831-837.
- Ferenci, T. and H.L. Kornberg. 1973. The utilization of fructose by *Escherichia coli*. Journal of Biochemistry 132: 341-347.
- Galdon, B.R., C.T. Rodeiguez, E.M.R. Rodeiguez and C.D. Romero. 2009. Fructans and major compounds in onion cultivars (*Allium cepa*). Journal of Food Composition and Analysis 22: 25-32.
- Geerse, R.H., F. Izzo and P.W. Postma. 1989. The PEP: fructose phosphotransferase system in *Salmonella typhimurium*: FPr combines enzyme III^{Fru} and pseudo-HPr activities. Molecular Genetics and Genomics 216: 517-525.
- Gibson, G.R. and M.B. Roberfroid. 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. The Journal of Nutrition 125: 1401-1412.
- Gibson, G.R. and X. Wang. 1994. Bifidogenic properties of different types of fructo-oligosaccharides. Food Microbiology 11(6): 491-498.
- Gibson, G.R., E.R. Beatty, X. Wang and J.H. Cummings. 1995. Selective stimulation of Bifidobacteria in the human colon by oligofructose and inulin. Gastroenterology 108: 975-982.
- Gibson, G.R., H.M. Probert, J.V. Loo, R.A. Rastall and M.B. Roberfroid. 2004. Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. Nutrition Research Reviews 17: 259-275.
- Ishwarya, S.P. and P. Prabhasankar. 2013. Fructooligosaccharide-retention during baking and its influence on biscuit quality. Food Bioscience 4: 68-80.
- Jaime, L., M.A. Martín-Cabrejas, E. Mollá, F.J. López-Andréu and R.M. Esteban. 2001. Effect of storage on fructan and fructooligosaccharide of onion (*Allium cepa* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry 49: 982-988.
- Kaur, N. and A. Gupta. 2002. Applications of inulin oligosaccharide in health and nutrition. Journal of Biosciences 27: 703-714.

- Konar, N., O.S. Toker, S. Oba and O. Sagdic. 2016. Improving functionality of chocolate: A review on probiotic, prebiotic, and/or synbiotic characteristics. *Trends in Food Science & Technology* 49: 35-44.
- Kyung, K.H. 2012. Antimicrobial properties of allium species. *Current Opinion in Biotechnology* 23: 142-147.
- Li, W., K. Wang, Y. Sun, H. Ye, B. Hu and X. Zeng. 2015. Influences of structures of galactooligosaccharides and fructooligosaccharides on the fermentation *in vitro* by human intestinal microbiota. *Journal of Functional Foods* 13: 158-168.
- Morris, C. and G.A. Morris. 2012. The effect of inulin and fructo-oligosaccharide supplementation on the textural, rheological and sensory properties of bread and their role in weight management: A review. *Food Chemistry* 133: 237-248.
- Mueller, M., J. Reiner, L. Fleischhacker, H. Viernstein, R. Loppert and W. Praznik. 2016. Growth of selected probiotic strains with fructans from different sources relating to degree of polymerization and structure. *Journal of Functional Foods* 24: 264-275.
- Naughton, P.J., J.J. Mikkelsen and B.B. Jensen. 2001. Effects of nondigestible oligosaccharides on *Salmonella enterica* serovar Typhimurium and nonpathogenic *Escherichia coli* in the pig small intestine *in vitro*. *Applied and Environmental Microbiology* 67(8): 3391-3395.
- Parada, J.L., C.R. Caron, A.B.P. Medeiros and C.R. Soccol. 2007. Bacteriocins from lactic acid bacteria: purification, properties and use as biopreservatives. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 50: 521-542.
- Renuka, B., S.G. Kulkarni, P. Vijayanand and S.G. Prapulla. 2009. Fructooligosaccharide fortification of selected fruit juice beverages: Effect on the quality characteristics. *LWT - Food Science and Technology* 42:1031-1033.
- Roberfroid, M. 2007. Prebiotics: the concept revisited. *The Journal of Nutrition* 137: 830S-837S.
- Roberfroid, M.B. 2000. Concepts and strategy of functional food science: the European perspective. *American Journal of Clinical Nutrition* 71: 1660s-1664s.
- Roberfroid, M.B., J.A.E. Van Loo and G.R. Gibson. 1997. The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *The Journal of Nutrition* 128: 11-19.
- Sanders, M.E. 1998. Overview of functional food: emphasis on probiotic bacteria. *International Dairy Journal* 8: 341-347.
- Schmid, K., M. Schupfner and R. Schmitt. 1982. Plasmid-mediated uptake and metabolism of sucrose by *Escherichia coli* K-12. *Journal of Bacteriology* 151: 68-76.
- Valencia, M.S., S.M. Salgado, S.A.C. Andrade, V.M., Padilha, A.V.S. Livera and T.L.M. Stamford. 2016. Development of creamy milk chocolate dessert added with fructo-oligosaccharide and *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* LBC 81. *LWT- Food Science and Technology* 69: 104-109.
- Wang, X. and G.R. Gibson. 1993. Effect of the *in vitro* fermentation of oligofructose and inulin by bacteria growing in the human large intestine. *Journal of Applied Bacteriology* 75: 373-380.
- Wang, Y. 2009. Prebiotic: Present and future in food science and technology. *Food Research International* 42: 8-12.

- Wongputtisin, P. 2003. Selection of oligosaccharides from some local plant utilizing as prebiotic. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai.
- Wongputtisin, P. and C. Khanongnuch. 2015. Prebiotic properties of crude oligosaccharide prepared from enzymatic hydrolysis of basil seed gum. Food Science and Biotechnology 24: 1767-1773.
- Wongputtisin, P., C. Khanongnuch, W. Kongbuntad, P. Niamsup, S. Lumyong, and P.K. Sarkar. 2014. Use of *Bacillus subtilis* isolates from Tua-nao towards nutritional improvement of soya bean hull for monogastric feed application. Letters in Applied Microbiology 59: 328-333.
- Wongputtisin, P., R. Ramaraj, Y. Unpaprom, R. Kawaree and N. Pongtrakul. 2015. Raffinose family oligosaccharides in seed of *Glycine max* cv. Chiang Mai 60 and potential source of prebiotic substances. International Journal of Food Science and Technology 5: 1750-1756.
- Yun, J.W. 1996. Fructooligosaccharides occurrence, preparation and application. Enzyme and Microbial Technology 19: 107-117.
- Yun, J.W., J.P. Park, C.H. Song, C.Y. Lee, J.H. Kim and S.K. Song. 2000. Continuous production of inulo-oligosaccharides from chicory juice by immobilized endoinulinase. Bioprocess Engineering 22: 189-194.
-