รหัสโครงการ SUT3-305-54-24-16

รายงานการวิจัย

สมบัติวิทยากระแสและการประยุกต์ใช้เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อบาซิลัส สับทิลิสในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพ

(Rheological properties and the applications of exopolysaccharides of fermented soybean by *B.subtilis* starter culture in functional food product)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT3-305-54-24-16

รายงานการวิจัย

สมบัติวิทยากระแสและการประยุกต์ใช้เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อบาซิลัส สับทิลิสในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพ

(Rheological properties and the applications of exopolysaccharides of fermented soybean by *B.subtilis* starter culture in functional food product)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยะวรรณ กาสลัก
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิวัฒ ไทยอุดม

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กรกฎาคม 2558

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ผู้มอบทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 ที่ทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งขอบคุณหน่วยงานอาคารศูนย์เครื่องมือ 1 และอาคารศูนย์เครื่องมือ 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการวิจัยทดลอง ตลอดจนศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งเป็นแหล่งให้ข้อมูลประกอบงานวิจัยและเอกสารอ้างอิงต่างๆ เพื่อจัดทำรายงานการวิจัยเล่มนี้ให้ลุล่วงสำเร็จไปได้ด้วยดี

ผศ.ดร.ปิยะวรรณ กาสลัก

กรกฎาคม 2558

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)

สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์เป็นสารที่ผลิตขึ้นจากกระบวนการหมักถั่วเหลือง สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว ทั้งยังมีประโยชน์ต่อการเสริมสร้างสุขภาพร่างกาย มีคุณสมบัติต้านมะเร็ง ต้านอนุมูลอิสระ และเป็นสารพรีไบโอติกส์ การประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจำเป็นต้องควบคุมคุณภาพของสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ โดยการเติมกล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ในการหมักถั่วเหลือง เพื่อควบคุมกระบวนการหมักให้ได้สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ และช่วยให้ผู้บริโภคยอมรับในด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์มากยิ่งขึ้น กล้าเชื้อที่ใช้มี 3 รูปแบบ ได้แก่ กล้าเชื้อสด กล้าเชื้อผงด้วยมอลโตเด็กซ์ตริน และกล้าเชื้อผงด้วยแป้งถั่วเหลือง ซึ่งต้องทำการศึกษาคุณสมบัติวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่ได้จากกล้าเชื้อทั้ง 3 รูปแบบนี้ เพื่อทราบคุณสมบัติและความเหมาะสมของการนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพ ผลการวิเคราะห์พบว่าสารเอ็กโซ-โพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อสด กล้าเชื้อผงด้วยแป้งถั่วเหลือง และด้วยมอลโตเดกซ์ตริน มีค่า G′ สูงกว่าค่า G″ ในทุกๆความถี่ แสดงถึงคุณสมบัติความเป็นของแข็งยืดหยุ่นอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งถือว่าเป็นลักษณะที่มีความหนืดและเป็นเจลแบบอ่อน ความหนืดที่เกิดขึ้นจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัว และเป็น เนื้อเดียวกันมากขึ้น จึงไม่เกิดการตกตะกอนเมื่อตั้งทิ้งไว้ ดังนั้นการใช้สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่ได้จาก กล้าเชื้อจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวอย่างสม่ำเสมอและมีความเสถียรตลอดอายุการเก็บรักษา นอกจากนี้ค่าความหนืดเชิงซ้อน (complex viscosity) แสดงให้เห็นว่าสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อทั้ง 3 รูปแบบ แสดงรูปแบบพฤติกรรมการไหลประเภท Non-newtonian Fluids แบบ shear thinning (pseudoplastic) ซึ่งคุณสมบัติด้านพฤติกรรมการไหล สมบัติทางไดนามิกส์ที่กล่าวมามีความคล้ายคลึงกับคุณสมบัติวิทยากระแสของสารเพิ่มความคงตัวที่ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ถือเป็นคุณภาพที่ดีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม ซึ่งในการทดลองหาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์จะได้สูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคสูงสุด 1 สูตรคือสูตรที่ 4 ที่มีส่วนผสม ได้แก่ สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ฟรุกโตสไซรัป เพกติน เกลือ และกรดซิตริก ซึ่งผู้บริโภคยอมรับทั้งในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความรู้สึกหลังการกลืน และความชอบโดยรวมในช่วงคะแนนระหว่าง 6.0-8.0 คะแนน ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 4 ถือเป็นสูตรต้นแบบ และนำไปผลิตด้วยสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ทั้ง 3 รูปแบบดังกล่าวข้างต้น เพื่อวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ พบว่าเครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อสด (BF) มีปริมาณโปรตีนสูงสุดเมื่อเทียบกับการหมักด้วยกล้าเชื้อผงจากมอลโตเดกซ์ตริน (BM) และแป้งถั่วเหลือง (BS) ส่วนปริมาณ ใยอาหารพบว่า BM มีปริมาณสูงที่สุด และปริมาณเถ้าพบว่า BS มีปริมาณเถ้าสูงที่สุด จะเห็นว่าปริมาณสารอาหารที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากเครื่องดื่มที่ผลิตด้วยกล้าเชื้อทั้ง 3 รูปแบบมีปริมาณที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของกล้าเชื้อที่ใช้ในการผลิตถั่วหมักที่อยู่ในรูปแบบกล้าเชื้อสด และกล้าเชื้อผง เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติวิทยากระแสและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์

Abstract

The utilization of exopolysaccharides (EPS) produced from fermented soybean was widely applied as food ingredient in food industry, such as thickeners, stabilizers, strengthen human health, anti-cancer, antioxidant and prebiotics. The quality of EPS production in functional beverages fermentation was controlled to prefer acceptable smell for the consumers by inoculating *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 as starter culture during fermentation. Three forms of starter culture: fresh culture, culture powder with maltodextrin and with soybean flour, were conducted to monitor the rheological properties of EPS and its suitability for functional beverage application. It was found that EPS production from those cultures provided storage modulus (G') higher than loss modulus (G'') at every frequency which represents a regular elastic properties considering soft gel-like and viscous characters. These properties are avoidable sedimentation during storage. In addition, the complex viscosity indicated that EPS produced from three form cultures have flow behavior of Non-newtonian Fluids in shear thinning type. These flow behavior and dynamic properties are the same properties as the stabilizer used in beverage industry. Therefore, EPS from these three form cultures might be used instead of stabilizer. Drawn from the experiments, the formula 4 ingredient listed are exopolysaccharide, fructose syrup, pectin, salt and citric acid, of which the panelists accepted the color, smell, taste, after taste and overall acceptance of scores between 6.0-8.0 points, was selected to be prototype. Formula 4 The analysis of nutritional content of prototype formula fermented by three forms cultures were performed. The results shows EPS produced from fresh culture (BF) contains the highest protein among those of culture powder with maltodextrin (BM) and with soybean flour (BS). In contrast, dietary fiber and ash was the highest from which BM and BS respectively. Overall result relevant to rheological properties of EPS, revealed the type of starter culture matrix is possibly the factors influence the quality of functional fermented soybean beverage.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
ข้อตกลงเบื้องต้น	2
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	
แหล่งที่มาของข้อมูล	3
วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล	5
วิธีวิเคราะห์ข้อมูล	5
บทที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
อภิปรายผล	7
บทที่ 4 บทสรุป	
สรุปผลการวิจัย	22
ข้อเสนอแนะ	23
บรรณานุกรม	24
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	29
ภาคผนวก ข	31
ภาคผนวก ค	33
ประวัติผู้วิจัย	36

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 สมบัติวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ที่ความถี่ความถี่ 1 เฮิร์ท	12
ตารางที่ 2 แสดงส่วนผสมในสูตรเบื้องต้นของเครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์	13
ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของสูตรเครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์เบื้องต้น เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 25 และ 37 °C	14
ตารางที่ 4 แสดงส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์	15
ตารางที่ 5 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อสด *Bacillus subtilis* SB-MYP 1	16
ตารางที่ 6 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อผง *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ด้วยมอลโตเดกซ์ตริน	16
ตารางที่ 7 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อผง *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ด้วยแป้งถั่วเหลือง	17
ตารางที่ 8 ปริมาณสารอาหารหลักในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์	18
ตารางที่ 9 ปริมาณสารอาหารหลักในหนึ่งหน่วยบริโภคของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์	20

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	การหาค่าความเครียดที่ไม่ทำให้โครงสร้างของตัวอย่างเสียสภาพ (strain sweep) ของสารเอ็กโซ โพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อสด *Bacillus subtilis* SB-MYP 1	8
ภาพที่ 2	ค่า elastic modulus (G′) และค่า viscous modulus (G″) ของสารเอ็กโซโพลี-แซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ที่ความถี่ต่างๆ	9
ภาพที่ 3	ค่า (tan δ) ของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ที่ความถี่ต่างๆ	10
ภาพที่ 4	ค่า complex viscosity (η^*) ของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ที่ความถี่ต่างๆ	11

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ถั่วเหลืองเป็นพืชที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารมากมาย อาทิ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก ไนอะซิน วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 12 เป็นต้น (กองโภชนาการกรมอนามัย : 2535) ถือเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่สำคัญ ใช้ทดแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ได้เป็นอย่างดี เหมาะกับผู้บริโภคที่นิยมรับประทานอาหารประเภทมังสวิรัติหรือผู้ที่ไม่นิยมรับประทานเนื้อสัตว์ รวมถึงผู้บริโภคทั่วไป นอกจากนี้ถั่วเหลืองยังมีสารพฤกษเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น isoflavones, phytic acids, saponins และ oligosaccharides สารที่มีประโยชน์เหล่านี้จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นได้ด้วยกระบวนการหมัก (Karr-Lilienthal และคณะ, 2005) กระบวนการหมักถั่วเหลืองเกิดจากการทำหน้าที่ของจุลินทรีย์ที่จะไปย่อยแหล่งอาหาร ได้เป็นสารสำคัญในระหว่างกระบวนการหมัก เกิดเป็นกลิ่นรสที่เฉพาะในแต่ละผลิตภัณฑ์ และได้สารอาหารที่มีคุณค่าเพิ่มมากขึ้น ผลผลิตของการหมักนอกจากจะได้ถั่วหมักที่มีสารอาหารเพิ่มมากขึ้นแล้ว ยังได้สารโพลิแซคคาไรด์จำพวกเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ (exopolysaccharides) เกิดจากการ ย่อยคาร์โบไฮเดรตในถั่วเหลือง และหลั่งสารดังกล่าวออกมาจากเชื้อจุลินทรีย์โดยตรง สารดังกล่าวมีลักษณะ ข้นหนืดทำให้ผลิตภัณฑ์ถั่วหมักมีความเหนียวหนืด ในอุตสาหกรรมอาหารจะใช้สารโพลิแซคคาไรด์ เป็นสารเพิ่มความหนืด (thickeners) สารเพิ่มความคงตัว (stabilizers) สารช่วยให้เกิดเจล (gelling agents)(Donot et al., 2012) นอกจากนี้ในปัจจุบันยังมีความสนใจในด้านคุณสมบัติทางชีวภาพของสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ อาทิ คุณสมบัติต้านมะเร็ง (antitumor) ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) หรือคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกส์ (Liu et al., 2010)

จากคุณสมบัติและคุณประโยชน์ของสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ดังกล่าวข้างต้น จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพ แต่อย่างไรก็ตามการนำสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่ได้จากการหมักถั่วเหลืองหมักมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารยังคงมีข้อจำกัด เนื่องจากคุณภาพของสารดังกล่าวมีความไม่สม่ำเสมอ เช่น ความหนืดที่ผลิตได้มีความผันแปรสูง สี และกลิ่นรส ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งแนวทางหนึ่งในการควบคุมคุณภาพของสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมัก สามารถทำได้โดยการเติมกล้าเชื้อในการหมักถั่วเหลือง เพื่อควบคุมกระบวนการหมักให้ได้สารอาหารที่เป็นประโยชน์ตามต้องการ ไม่ว่าจะเป็นวิตามินบี 12 แคลเซียม (Ca) ฟอสฟอรัส (P) ธาตุเหล็ก (Fe) และสารอาหารอื่นๆ ซึ่งการเติมกล้าเชื้อจะให้คุณค่าทางโภชนาการมากกว่าการหมักแบบธรรมชาติ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยจากเชื้อก่อโรคในอาหารจากสารถนอมอาหารชีวภาพ (biopresevative agent หรือ crude bacteriocin) ทั้งยังช่วยลดกลิ่นของถั่วเหลืองหมักได้อีกด้วย ซึ่งกล้าเชื้อที่ใช้ในที่นี้คือ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 เมื่อเติมกล้าเชื้อในการหมักถั่วเหลืองก็จะทำให้ได้สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอมากขึ้น และช่วยให้ผู้บริโภคมีการยอมรับในด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์มากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ในการนำสารเอ็กโซโพลิ-แซคคาไรด์ไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพนั้น จำเป็นต้องทำการศึกษาสมบัติทางวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ โดยศึกษาพฤติกรรมการไหล และสมบัติทางไดนามิกส์ ว่ามีสมบัติวิทยา-กระแสใกล้เคียงกับสารเพิ่มความคงตัวที่มีการใช้ในเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพหรือไม่ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอ มีความคงตัว ไม่ตกตะกอนเมื่อตั้งทิ้งไว้ ถือเป็นคุณภาพที่ดีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีลักษณะการแขวนลอย

ของสาร ซึ่งการใช้สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้แทนสารเพิ่มความคงตัวในเครื่องดื่มเสริมสุขภาพ เพื่อที่จะไม่ต้องเติมสารเจือปนอื่นใดลงไปในผลิตภัณฑ์ อันส่งผลให้เกิดการยอมรับในผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคต่อไป ซึ่งผลจากงานวิจัยนี้จะก่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ที่เป็นประโยชน์ ต่อผู้บริโภคและผู้สนใจ สามารถพัฒนาและนำไปสู่กระบวนการผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไปได้

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากถั่วเหลืองหมัก
2. เพื่อประยุกต์ใช้สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ
3. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการและได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค

ขอบเขตของโครงการวิจัย

คัดแยกสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ออกจากถั่วเหลืองหมัก โดยถั่วเหลืองหมักที่ใช้มาจากการหมักด้วยกล้าเชื้อ 3 ชนิด ได้แก่ กล้าเชื้อสดของ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 กล้าเชื้อผงที่มีมอลโตเด็กซ์ตรินเป็น สารปกป้อง (cryoprotectant) และกล้าเชื้อผงที่มีแป้งถั่วเหลืองเป็นสารปกป้อง นำสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่แยกได้มาวิเคราะห์สมบัติวิทยากระแสด้วยเครื่อง rheometer และประยุกต์ใช้สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากถั่วเหลืองหมักในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม โดยศึกษาสูตรของเครื่องดื่มที่เหมาะสม ทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคด้วยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ Hedonic scale scoring test เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีคุณค่าทางโภชนาการจากสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ซึ่งเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ข้อตกลงเบื้องต้น

กล้าเชื้อผงที่มีมอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารปกป้อง และกล้าเชื้อผงที่มีแป้งถั่วเหลืองเป็นสารปกป้อง นำมาจากโครงการเทคโนโลยีการผลิตหัวเชื้อ *Bacillus subtilis* เพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์ถั่วหมัก ในชุดโครงการเดียวกันนี้ ซึ่งผ่านการทดสอบแล้วว่าเป็นกล้าเชื้อที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในกระบวนการหมักถั่วเหลือง ถือเป็นการต่อยอดเพื่อใช้กล้าเชื้อที่ได้พัฒนาวิธีการเก็บรักษา มาเพิ่มคุณค่าและควบคุมคุณภาพในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

เพื่อใช้ประโยชน์จากสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ ซึ่งเป็นสารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ได้จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อ *B. subtilis* SB-MYP 1 ทำให้สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่ได้มีคุณภาพที่สม่ำเสมอและมีคุณสมบัติทางกระแสวิทยาที่เหมาะแก่การนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัว และสามารถนำผลงานวิจัยที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการถ่ายทอดอบรมให้ความรู้ต่อผู้บริโภค และชุมชนท้องถิ่นให้ตระหนักถึงความสำคัญและประโยชน์ที่ได้จากการบริโภคถั่วหมักหรือสารอาหารที่คัดแยกได้จากถั่วหมัก เพื่อเสริมสร้างสุขภาพร่างกาย ทั้งยังมีคุณภาพที่ดีและมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

<u>หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์</u>

กลุ่มผู้ผลิตและจำหน่ายอาหารเพื่อสุขภาพ ผู้บริโภคที่สนใจเรื่องการดูแลสุขภาพและหน่วยงานของรัฐและเอกชน ที่เกี่ยวข้อง เช่น องค์การบริหารส่วนท้องถิ่น

บทที่ 2
วิธีการดำเนินงานวิจัย

แหล่งที่มาของข้อมูล

พืชตระกูลถั่วเป็นพืชที่นิยมบริโภคกันมากในปัจจุบัน โดยประเภทของถั่วที่นำมาบริโภคมีหลายประเภทด้วยกัน เช่น ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วขาว ถั่วแดง เป็นต้น เป็นทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภคที่รับประทานอาหารเจ หรืออาหารประเภทมังสวิรัติ เพื่อให้ได้รับสารอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย โดยเฉพาะโปรตีนและสารอาหารอื่นๆที่จำเป็นต่อ ร่างกาย เนื่องจากพืชตระกูลถั่วเป็นแหล่งของโปรตีนจากพืชที่สำคัญ ทั้งยังมีสารอาหารมากมาย อาทิ วิตามิน แร่ธาตุ ใยอาหาร เป็นต้น ซึ่งจะช่วยเสริมสร้างสุขภาพร่างกายให้แข็งแรง การบริโภคอาหารจากพืชตระกูลถั่วนั้นจะช่วยลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคที่เกิดจากการบริโภคเนื้อสัตว์ได้ เนื่องจากถั่วเป็นแหล่งอาหารที่มีโปรตีนสูง สามารถรับประทานเพื่อให้ได้รับโปรตีนจากอาหารไปใช้ได้อย่างเพียงพอ (Duranti, 2006) พืชตระกูลถั่วที่นิยมนำมาบริโภคและแปรรูปเพื่อบริโภคคือ ถั่วเหลือง เนื่องจากถั่วเหลืองอุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารมากมาย อาทิ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก ไนอะซิน วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 12 เป็นต้น (กองโภชนาการกรมอนามัย : 2535) ถั่วเหลืองสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของกระดูก ป้องกันการขาดแคลเซียมในกระดูก และบำรุงระบบประสาทในสมอง นอกจากนี้ถั่วเหลืองยังมีสารพฤกษเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นสารแอนติออกซิ-แดนต์ เช่น isoflavones, phytic acids, saponins และ oligosaccharides สารที่มีประโยชน์เหล่านี้จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นได้ด้วยกระบวนการหมัก (Karr-Lilienthalและคณะ, 2005) กระบวนการหมักจะทำให้คุณค่าทางอาหารเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการทำหน้าที่ของจุลินทรีย์ที่จะไปย่อยแหล่งอาหาร แล้วได้เป็นสารสำคัญในระหว่างกระบวนการหมัก เกิดเป็นกลิ่นรสที่เฉพาะในแต่ละผลิตภัณฑ์และได้สารอาหารที่มีคุณค่าเพิ่มมากขึ้น ทั้งยังไม่ก่อให้เกิดสารยับยั้งสารอาหาร (antinutritional factors) ที่จะไปยับยั้งการย่อย การดูดซึม และการนำสารอาหารต่าง ๆ ไปใช้ ถั่วเหลืองหมักจะไม่มีการสูญเสีย antioxidant activity เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก ซึ่งปริมาณ isoflavones จะพบมากที่สุดในถั่วเหลือง สามารถแสดงฤทธิ์ทางชีวภาพหลายอย่าง ได้แก่ ต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันกระดูกพรุนและต้านมะเร็ง (Chaiyasut และคณะ, 2010) นอกจากนี้กระบวนการหมักถั่วเหลืองยังทำให้ได้สารอาหารที่มีประโยชน์ซึ่งเป็นคุณลักษณะสำคัญของถั่วเหลืองหมักอีกประเภทหนึ่ง นั่นคือ สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ (exopolysaccharides) เกิดจากการย่อยคาร์โบไฮเดรตในถั่วเหลือง และหลั่งสารดังกล่าวออกมาจากเชื้อจุลินทรีย์โดยตรง สารดังกล่าวมีลักษณะข้นหนืดทำให้ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมักมีความเหนียวหนืด ทั้งยังมีคุณสมบัติทางชีวภาพ อาทิ คุณสมบัติต้านมะเร็ง (antitumor) ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) หรือคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกส์ (Liu et al., 2010)

ในประเทศไทยได้มีการนำถั่วเหลืองหมักมาบริโภคโดยเฉพาะทางภาคเหนือตอนบน เรียกว่า ถั่วเน่า แต่ยังไม่เป็นที่นิยมในประเทศมากนัก เนื่องจากเกิดปัญหาในการยอมรับทั้งในด้านกลิ่น สี และรสชาติ ทั้งนี้การหมักแบบพื้นบ้านเป็นกระบวนการหมักที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ตามธรรมชาติที่มีอยู่ในวัตถุดิบ และไม่มีการควบคุมสภาวะการหมักเท่าที่ควร ทำให้ถั่วเหลืองหมักที่ได้มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ (Visessanguan, 2005) จึงมีการพัฒนาวิธีการหมักถั่วเหลืองโดยใช้กล้าเชื้อจุลินทรีย์สายพันธุ์ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 จากงานวิจัยของ ปิยะวรรณ และรัชฎาพร (2554) ซึ่งมีคุณสมบัติในการช่วยลดกลิ่นที่ไม่

พึงประสงค์ของถั่วเหลืองหมัก และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองหมัก ได้แก่ วิตามินบี 12 แคลเซียม ฟอสฟอรัส และธาตุเหล็ก กล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 มีบทบาทสำคัญในการทำผลิตภัณฑ์ถั่วหมัก โดยเป็นจุลินทรีย์ที่จัดอยู่ในกลุ่มแกรมบวก รูปแท่งตรง มี flagella แบบ peritrichous เจริญได้ดีที่ pH 5.5-8.5 ในสภาวะที่มีอากาศ (aerobes) หรือมีอากาศเล็กน้อย (facultative anaerobes) สร้าง catalase มี endospore ที่ทำให้มีคุณสมบัติในการทนต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่ดีได้ ไม่ทำให้เกิดโรค สร้าง Hydrolytic enzyme ที่ย่อยสลาย polysaccharide, nucleic acid และ lipid โดยใช้สารดังกล่าวเป็นแหล่งคาร์บอนและตัวให้อิเล็กตรอน มีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน บทบาทสำคัญของเชื้อตัวนี้ในการหมัก คือ การปล่อยเอนไซม์โปรติเอสและอะไมเลสออกมาย่อยโปรตีน ซึ่งจะช่วยปรับปรุงองค์ประกอบที่ย่อยได้ยากให้อยู่ในรูปที่ย่อยได้ง่ายและเป็นประโยชน์มากขึ้น (Feng et al., 2007) นอกจากนี้ *Bacillus subtilis* ยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Aspergillus* spp. และสารพิษที่สร้างขึ้นได้อีกด้วย (Petchkongkaew et al., 2008)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีการนำกล้าเชื้อจุลินทรีย์สายพันธุ์ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 นี้มาใช้ในกระบวนการหมักถั่วเหลืองเพื่อผลิตถั่วเหลืองหมัก ให้ได้ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมักที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีกลิ่นที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และมีการผลิตสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่มีคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่ได้นี้จึงจะสามารถนำไปใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่มีคุณภาพตามต้องการได้ ทั้งนี้กล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะมีการใช้ใน 3 รูปแบบ ได้แก่ กล้าเชื้อสดของ *B. subtilis* SB-MYP 1 กล้าเชื้อผงที่มีมอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารปกป้อง (cryoprotectant) และกล้าเชื้อผงที่มีแป้งถั่วเหลืองเป็นสารปกป้อง กล้าเชื้อในรูปแบบผงที่มีสารปกป้องเซลล์เป็นมอลโตเด็กซ์ตรินและแป้งถั่วเหลืองนั้นเป็นผลที่ได้จากโครงการเทคโนโลยีการผลิตหัวเชื้อ *Bacillus subtilis* เพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์ถั่วหมัก ในชุดโครงการเดียวกันนี้ ซึ่งผ่านการทดสอบแล้วว่าเป็นกล้าเชื้อที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในกระบวนการหมักถั่วเหลือง ถือเป็นการต่อยอดเพื่อใช้กล้าเชื้อที่ได้พัฒนาวิธีการเก็บรักษา มาเพิ่มคุณค่าและควบคุมคุณภาพในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซ- โพลิแซคคาไรด์ สำหรับการใช้สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ ในอุตสาหกรรมอาหารจะใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด (thickeners) สารเพิ่มความคงตัว (stabilizers) สารช่วยให้เกิดเจล (gelling agents) (Donot et al., 2012) อย่างไรก็ตามการนำสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารยังคงมีข้อจำกัด เนื่องจากคุณภาพของสารดังกล่าวมีความไม่สม่ำเสมอ เช่น ความหนืดที่ผลิตได้มีความผันแปรสูง สี และกลิ่นรส ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่ก็ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาการนำสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร โดย Nakamura และคณะ (2003, 2006) ได้ทดลองนำสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์มาใช้แทนสารเพิ่มความคงตัวในเครื่องดื่มประเภทนมเปรี้ยว ผลที่ได้พบว่าสารดังกล่าวสามารถใช้ทดแทนสารเพิ่มความคงตัวในเครื่องดื่มดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตาม Nakamura และคณะ (2003, 2006) ยังไม่ได้ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค และไม่มีการทดสอบสมบัติทางวิทยากระแสในส่วนของสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่ผลิตได้ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเปรียบเสมือนการต่อยอดการวิจัยที่มีอยู่ก่อนหน้านี้ในส่วนของการศึกษาสมบัติวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากถั่วเหลืองหมัก และการประยุกต์ใช้สารเอ็กโซโพลิ- แซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากถั่วเหลืองหมักในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพ เป็นการประยุกต์ใช้สารเอ็กโซโพลิ-

แซคคาไรด์แทนสารเพิ่มความคงตัวในเครื่องดื่ม เพื่อที่จะไม่ต้องเติมสารเจือปนอื่นใดลงไปในผลิตภัณฑ์ อันจะส่งผลให้เกิดการยอมรับในผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคต่อไป

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ตอนที่ 1 การเตรียมและคัดแยกสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์

1. กระบวนการหมักถั่วเหลืองด้วยกล้าเชื้อ *B. subtilis* SB-MYP 1

สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ ได้จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อ 3 รูปแบบ ได้แก่ กล้าเชื้อสดของ *B. subtilis* SB-MYP 1 กล้าเชื้อผงที่มีมอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารปกป้อง (cryoprotectant) และกล้าเชื้อผงที่มีแป้งถั่วเหลืองเป็นสารปกป้อง โดยกล้าเชื้อทั้ง 3 รูปแบบจะอยู่ในรูปสารละลายแขวนลอยของเซลล์ สำหรับกล้าเชื้อสดของ *B. subtilis* SB-MYP 1 ในรูปของสารแขวนลอยในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.85% (w/v) จะมีจำนวนเซลล์เริ่มต้นเป็น 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร เติมลงไป 1 มิลลิลิตรต่อถั่วเหลืองที่ผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความร้อนภายใต้ความดัน (autoclave) 500 กรัม ส่วนกล้าเชื้อผงที่มีมอลโตเด็กซ์ตรินและแป้งถั่วเหลืองเป็นสารปกป้อง มีจำนวนเซลล์เริ่มต้น 10^8 เซลล์ต่อกรัม นำมาผสมกับถั่วเหลืองที่ผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความร้อนภายใต้ความดัน (autoclave) ในอัตราส่วน 1 กรัมต่อถั่วเหลือง 500 กรัม จากนั้นนำถั่วเหลืองที่เติมกล้าเชื้อแล้วไปหมักที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 2-3 วัน จะได้ถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อ *B. subtilis* SB-MYP 1 ที่มีสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ตามต้องการ

2. การคัดแยกสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมัก

นำถั่วเหลืองหมักที่ได้จากข้อ 1. มาแยกเอาสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่เคลือบอยู่บนผิวนอกของถั่วเหลืองออกจากเมล็ดถั่วเหลือง โดยใช้ตะแกรงกรองถั่วเหลืองหมักที่ผสมกับน้ำกลั่น ในอัตราส่วนถั่วหมัก: น้ำ เท่ากับ 1: 1 กลับไปมาจนกว่าสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่ติดอยู่บนถั่วหมักจะหมด หรือให้เหลือปริมาณน้อยที่สุด แล้วกรองด้วยผ้าขาวบางอีกครั้ง จะได้สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ในรูปของสารละลายกับน้ำกลั่นเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ในตอนที่ 2 และใช้ในการปรับปรุงหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพในตอนที่ 3 ต่อไป

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์คุณสมบัติวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์

1. การเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์

นำถั่วเหลืองที่ผ่านการหมักด้วยกล้าเชื้อทั้ง 3 รูปแบบ มาแยกสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ตามวิธีการในตอนที่ 1 ข้อ 2 เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติวิทยากระแส

2. วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ตรวจสอบความเรียบร้อยของอุปกรณ์ทุกชนิดของเครื่องให้อยู่ในสภาพที่พร้อมวิเคราะห์ ประกอบหัววัดแบบ cone and plate เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรเข้ากับตัวเครื่องรีโอมิเตอร์ และทำการทดสอบประเภท Dynamic tests ที่จะวัดค่าพารามิเตอร์ของคุณสมบัติวิสโคอิลาสติก (Viscoelastic parameters) ได้แก่ ค่าโมดูลัสสะสม (G') ค่าโมดูลัสสูญเสีย (G") ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยเริ่มจากขั้นตอน strain sweep เพื่อหา Linear Viscoelastic Region (LVR) ของตัวอย่างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ โดยกำหนด %strain จาก 0.1-10% และ frequency 1 เฮิซ์ท ทำการ calibrate เครื่องรีโอมิเตอร์โดยทำ zero gap จากนั้นทำ oscillatory mapping เมื่อได้กราฟของตัวอย่างแล้วจะได้ค่า LVR คัดเลือกค่า strain ที่ให้กราฟ

เป็นเส้นตรงที่สุด นำไปวิเคราะห์โดยวิธี frequency sweep step โดยกำหนด % strain เท่ากับ 0.07% และ frequency เท่ากับ 0.01-100 เฮิซ์ท จากนั้นเริ่มการวิเคราะห์ตัวอย่างจะได้ค่า elastic modulus (G′) ค่า viscous modulus (G″) loss tangent (tan δ) และค่าcomplex viscosity (n*) เพื่อนำไปแปรผลด้านสมบัติวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ (รายละเอียดตามภาคผนวก)

ตอนที่ 3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์

ออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยใช้สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อ 3 รูปแบบ ได้แก่ กล้าเชื้อสดของ *B. subtilis* SB-MYP 1 กล้าเชื้อผงที่มีมอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารปกป้อง (cryoprotectant) และกล้าเชื้อผงที่มีแป้งถั่วเหลืองเป็นสารปกป้อง เป็นส่วนผสมหลักในการผลิต และเพิ่มเติมส่วนผสมอื่น ได้แก่ ฟรุกโตสไซรัป เกลือ เพกติน และ กรดซิตริก (แสดงดังตารางที่ 4) ทำการทดลองแบบ screening เพื่อคัดเลือกสูตรของผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุดและมีความเหมาะสมเบื้องต้น จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยผู้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ (laboratory panel)จำนวน 6 คน จากนั้นจึงทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค ด้วยวิธีการใช้สเกลแบบ 9-point hedonic scaling มีระดับการให้คะแนน 9 ระดับ กับผู้ทดสอบชิมที่เป็นกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย (consumer-type panel) จำนวน 30 คน

ตอนที่ 4 การวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพ

วิเคราะห์หาองค์ประกอบโดยประมาณ (Proximate analysis) ในผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน ใยอาหารหยาบ ความชื้น และเถ้า รายละเอียดการวิเคราะห์ตามภาคผนวก

1. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธีเคลดาห์ล (Kjeldahl Method) (AOAC 928.08)
2. การวิเคราะห์ปริมาณไขมันด้วย Soxhlet method (AOAC, 963.15)
3. วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารหยาบ (Crude fiber) ด้วยวิธีตาม AOAC 978.10
4. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นด้วยวิธีการอบแห้งโดยใช้ตู้อบ (AOAC 925.10)
5. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าและทรายด้วยวิธี Dry ashing (AOAC 900.02 A)

การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และนำข้อมูลทั้งหมดของการวิจัยมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนโดย ANOVA และวิเคราะห์ค่าความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s MultipleRangeTest (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS version 16 (SPSS Inc., Illinois, USA)

บทที่ 3

ผลการวิจัย

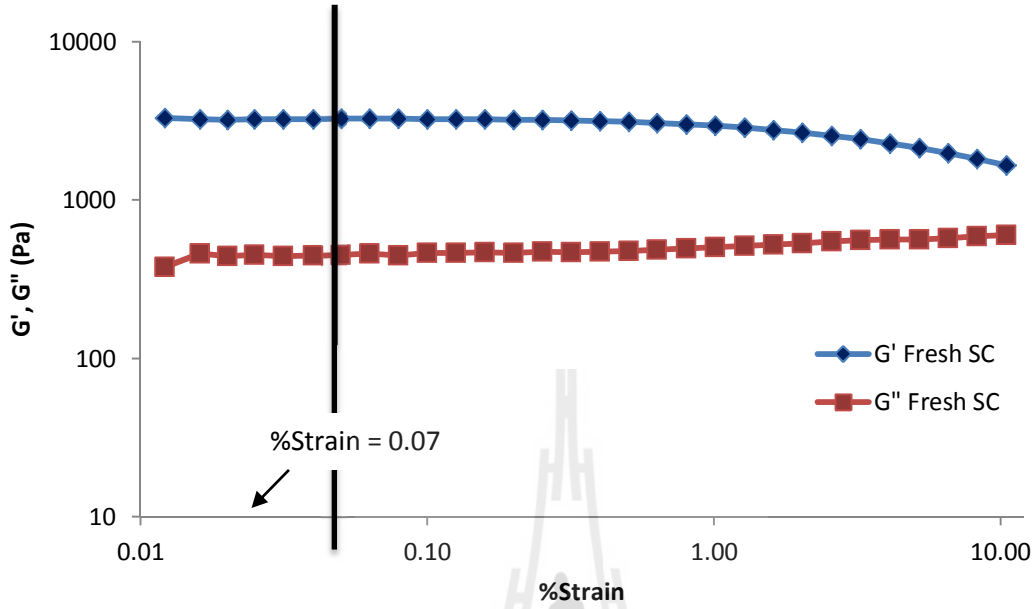
1. สมบัติวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ (exopolysaccharide) จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1

การนำสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพ จำเป็นต้องทำการศึกษาสมบัติทางวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ โดยศึกษาพฤติกรรมการไหล และสมบัติทางไดนามิกส์ เพื่อให้ทราบความเหมาะสมในการนำไปใช้ในเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ และทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอ มีความคงตัว ไม่ตกตะกอนเมื่อตั้งทิ้งไว้ ถือเป็นคุณภาพที่ดีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม ซึ่งการศึกษาสมบัติวิทยากระแสจะมีขั้นตอนการหา strain sweep เพื่อทดสอบหาค่าความเครียดที่เหมาะสมดังข้อ 1.1 ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์สมบัติวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ต่อไป

1.1 หาค่าความเครียดที่ไม่ทำให้โครงสร้างของตัวอย่างเสียสภาพ (strain sweep)

นำตัวอย่างมาทดสอบหาค่าความเครียดที่เหมาะสม โดยจากการทดลองได้นำสารเอ็กโซโพลี-แซคคาไรด์ (exopolysaccharide) จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อสด *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ซึ่งเป็นตัวอย่างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่ใช้เป็นตัวควบคุมในงานวิจัยนี้มาทำการหาค่าความเค้นที่เหมาะสม ดังภาพที่ 1 แสดงถึงช่วง LVR (linear viscoelastic region) ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่มีการเสื่อมเสียสภาพโครงสร้างของตัวอย่างเมื่อมีแรงกระทำต่อตัวอย่าง โดยเมื่อทำการทดสอบแบบสั่น พบว่าช่วงของกราฟที่เป็นเส้นตรงมี ค่า ร้อยละของความเครียดที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.01-0.13 แล้วเลือกค่าความเครียดที่เป็นค่ากลางของช่วงที่ได้ คือเท่ากับร้อยละ 0.07 นำไปใช้ในการทดสอบต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

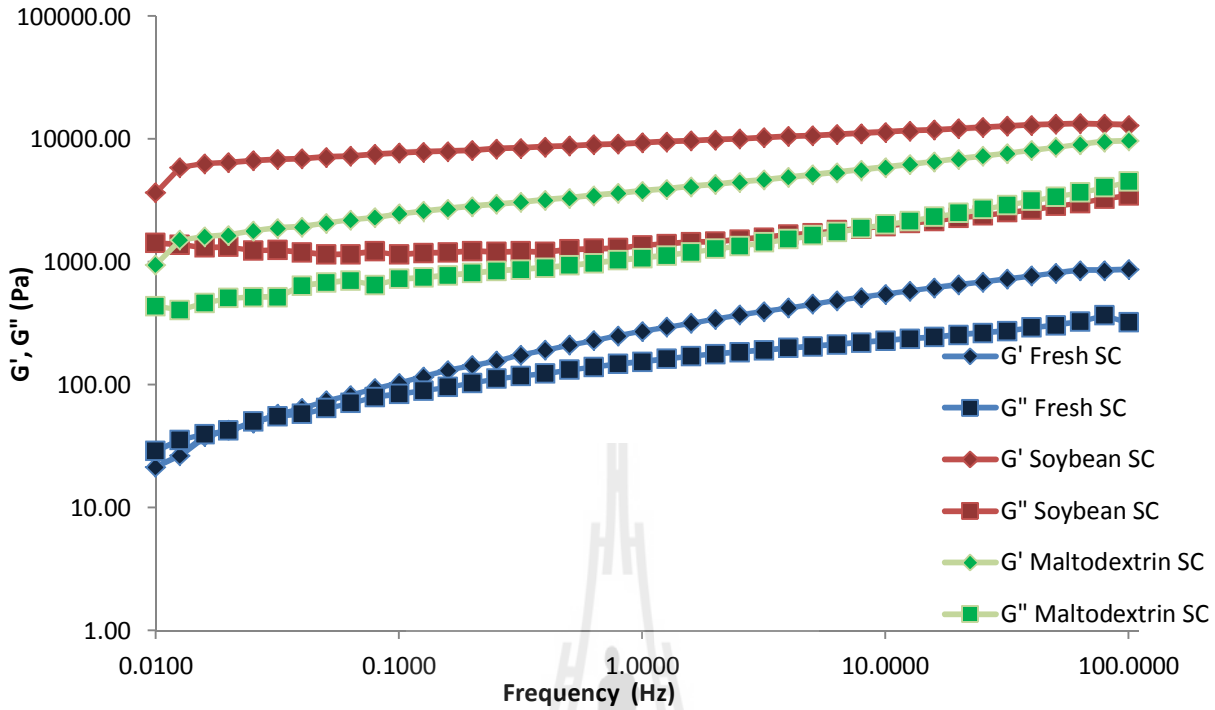


ภาพที่ 1 : การหาค่าความเครียดที่ไม่ทำให้โครงสร้างของตัวอย่างเสียสภาพ (strain sweep) ของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อสด *Bacillus subtilis* SB-MYP 1

หมายเหตุ : Fresh SC คือ สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อสด *Bacillus subtilis* SB-MYP 1

1.2 วิเคราะห์สมบัติวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์

สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ (exopolysaccharide) จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 เป็นสารชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพได้ แต่จำเป็นจะต้องควบคุมคุณภาพทั้งในด้านคุณสมบัติความหนืด สี หรือกลิ่นรส เพื่อให้เกิดการยอมรับจากผู้บริโภค โดยวิธีการควบคุมกระบวนการได้มาของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์คือ การใช้กล้าเชื้อบริสุทธิ์ที่แยกได้จากผลิตภัณฑ์ถั่วหมัก และการศึกษาถึงสมบัติวิทยากระแสของสาร ซึ่งสมบัติวิทยากระแส (rheological properties) ของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ทำได้โดยเลือกค่าของสมบัติวิทยากระแส โดยกำหนดค่า strain เท่ากับร้อยละ 0.07 ที่ความถี่ต่างๆ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ แสดงดังภาพที่ 2 3 4 และตารางที่ 1

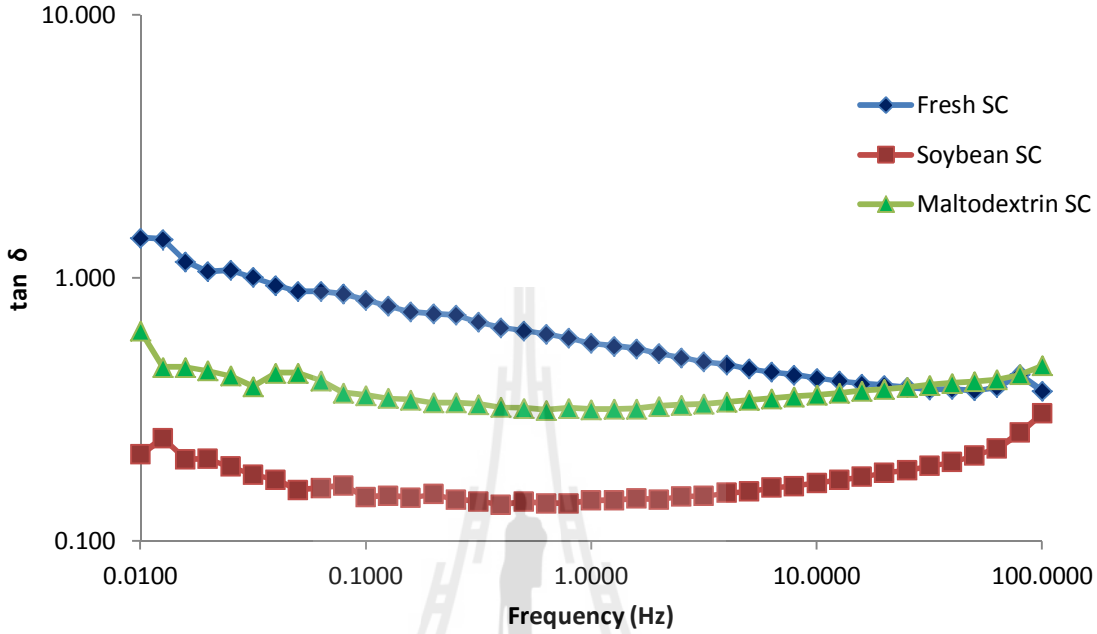


ภาพที่ 2 : ค่า elastic modulus (G′) และค่า viscous modulus (G″) ของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ที่ความถี่ต่างๆ

หมายเหตุ : Fresh SC, Soybean SC และ Maltodextrin SC คือ สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อสด, กล้าเชื้อผงที่ห่อหุ้มเซลล์ด้วยแป้งถั่วเหลือง และกล้าเชื้อผงที่ห่อหุ้มเซลล์ด้วยมอลโต-เดกซ์ตริน ตามลำดับ

จากภาพที่ 2 แสดงค่า elastic modulus (G′) ที่สูงกว่าค่า viscous modulus (G″) โดยตัวอย่างสารสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อสด *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ที่ความถี่ต่ำมีค่า G′ เริ่มต้นต่ำกว่าค่า G″ จากนั้นเมื่อเพิ่มความถี่ขึ้นเล็กน้อยทำให้ตัวอย่างมีค่า G′ สูงกว่าค่า G″ และมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ แปรผันตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างสารสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อสด *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 เริ่มต้นมีคุณสมบัติเป็นของเหลวหนืด (viscous) เมื่อเวลาผ่านไป ณ จุดตัดของเส้นกราฟ G′ และ G″ เป็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสารไปเป็นเจล (gel-point) หลังจากนั้นสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์มีค่า G′ สูงกว่าค่า G″ และเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่เปลี่ยนไป แสดงถึงคุณสมบัติความเป็นของแข็งยืดหยุ่น (elastic) อย่างสม่ำเสมอไปจนถึงความถี่สูงสุดที่ 100 เฮิร์ท สำหรับสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อผง *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ที่ห่อหุ้มเซลล์ด้วยแป้งถั่วเหลือง และสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อผง *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ที่ห่อหุ้มเซลล์ด้วยมอลโตเดกซ์ตริน จากภาพที่ 1 พบว่ามีค่า G′ สูงกว่าค่า G″ ในทุกๆความถี่ แสดงถึงคุณสมบัติความเป็นของแข็งยืดหยุ่น (elastic) อย่างสม่ำเสมอไปจนถึงความถี่สูงสุดที่ 100 เฮิร์ท นอกจากนั้นค่า G′ ของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ทั้ง 3 ตัวอย่าง ยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงถึงความเสถียรในการเป็นของแข็งยืดหยุ่นของสารสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อทั้ง 3 ชนิด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bayarr และคณะ (2009) ที่ทำการศึกษาคุณสมบัติวิสโคอีลาสติกของ carboxymethyl cellulose เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับค่า G′ ค่า G″ พบว่าค่า G′ สูงกว่าค่า G″ ในทุกๆความถี่ และมี

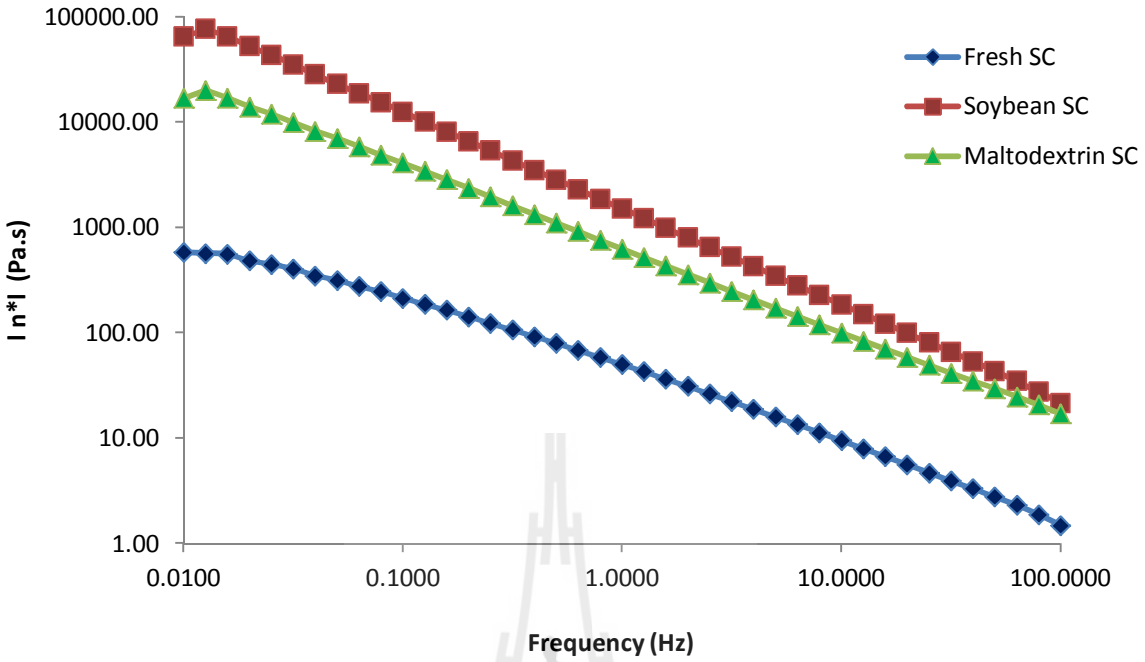
แนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น แสดงถึงคุณสมบัติความเป็นของแข็งยืดหยุ่น (elastic) อย่างสม่ำเสมอเช่นเดียวกันกับสมบัติวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์



ภาพที่ 3 : ค่า (tan **δ**) ของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ที่ความถี่ต่างๆ

หมายเหตุ : Fresh SC, Soybean SC และ Maltodextrin SC คือ สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อสด, กล้าเชื้อผงที่ห่อหุ้มเซลล์ด้วยแป้งถั่วเหลือง และกล้าเชื้อผงที่ห่อหุ้มเซลล์ด้วยมอลโต-เดกซ์ตริน ตามลำดับ

ค่า loss tangent (tan **δ**) เป็นค่าที่แสดงสัดส่วนของการแสดงสถานะการเป็นวัสดุไหลหนืดต่อสถานะยืดหยุ่น หรือค่า viscous modulus (G˝) ต่อค่า elastic modulus (G΄) ซึ่งค่า loss tangent จะแปรผันตามความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป จากภาพที่ 3 แสดงถึงค่า loss tangent ของตัวอย่างสารเอ็กโซโพลี-แซคคาไรด์จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อทั้ง 3 ชนิด พบว่าตัวอย่างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อสด *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 มีค่า loss tangent สูงที่สุด และลดลงเรื่อยๆเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น โดยค่า loss tangent ที่ได้มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าวัสดุมีลักษณะการไหลหนืดมากกว่าการยืดหยุ่น (Rosenthal, 1999) ส่วนตัวอย่างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อผง *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ด้วยแป้งถั่วเหลืองและมอลโตเดกซ์ตรินมีค่า loss tangent ต่ำกว่าและน้อยกว่า 1 แสดงว่าตัวอย่างทั้ง 2 มีลักษณะการไหลหนืดน้อยกว่าตัวอย่างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อสด ซึ่งผลของค่า loss tangent ที่ได้นี้สอดคล้องกับค่า G΄ จากภาพที่ 2 โดยเมื่อตัวอย่างสารเอ็กโซโพ-ลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อสด มีค่า loss tangent สูงที่สุด ค่า G΄ จะต่ำที่สุดตามความสัมพันธ์ของ loss tangent กับค่า G΄



ภาพที่ 4 : ค่า complex viscosity (η*) ของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ที่ความถี่ต่างๆ

หมายเหตุ : Fresh SC, Soybean SC และ Maltodextrin SC คือ สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อสด, กล้าเชื้อผงที่ห่อหุ้มเซลล์ด้วยแป้งถั่วเหลือง และกล้าเชื้อผงที่ห่อหุ้มเซลล์ด้วยมอลโต-เดกซ์ตริน ตามลำดับ

สมบัติวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ยังสามารถอธิบายได้ถึงลักษณะการไหลของสาร โดยใช้ค่าความหนืดเชิงซ้อนหรือ complex viscosity (η*) จากภาพที่ 4 พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดเชิงซ้อนของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อสด *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 และสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อผง *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ด้วย แป้งถั่วเหลืองและมอลโตเดกซ์ตริน ทั้ง 3 ตัวอย่างมีการลดลงอย่างรวดเร็วตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น แสดงรูปแบบพฤติกรรมการไหลประเภท Non-newtonian liquid แบบ shear thinning (pseudoplastic)

จากสมบัติวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลิแซกคาไรด์ในด้านของความเป็น elastic modulus (G′) viscous modulus (G″) loss tangent (tan δ) และ complex viscosity (η*) ที่กล่าวมาแสดงถึงคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพ ซึ่งสารเพิ่มความคงตัวเป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) ใช้เพื่อให้อาหารมีความคงตัว โดยจะช่วยป้องกันการแยกชั้นของของเหลว ป้องกันการสูญเสียกลิ่นรส (flavor) หรือคุณค่าทางโภชนาการ สารเพิ่มความคงตัวที่ใช้กันโดยทั่วไปในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มได้แก่ xanthan gum sodium alginate calcium alginate alginic acid เป็นต้น โดยเมื่อพิจารณาสมบัติวิทยากระแสของ xanthan gum จากงานวิจัยของ Taherian และคณะ (2007) จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับ G′ และ G″ พบว่าค่า G′ และ G″ ของ xanthan gum เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อความถี่เพิ่มสูงขึ้น และค่า G′ สูงกว่าค่า G″ ตั้งแต่เริ่มต้นที่ความถี่ 1 rad/s ไปจนถึง 100 rad/s โดยมีค่า G′ และค่า G″ อยู่ระหว่าง 0.01-10,000 Pa ตามลำดับ แสดงถึงสมบัติวิทยากระแสของ xanthan gum ที่แสดงความเป็นของแข็ง

ยืดหยุ่น (elastic) มากกว่าเป็นของเหลวหนืด (viscous) และยังมีพฤติกรรมการไหลแบบ shear-thinning ซึ่งส่งผลให้ของเหลวที่เติม xanthan gum มีความเสถียรมากยิ่งขึ้น (Taherian และคณะ, 2008) จากสมบัติวิทยากระแสของ xanthan gum จะเห็นว่ามีคุณสมบัติที่สอดคล้องกับสมบัติวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่มีค่า G′ และค่า G″ อยู่ระหว่าง 1.0-10,000 Pa ตามลำดับ ผลการศึกษาเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ชี้ให้เห็นว่าสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์สามารถนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อช่วยเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์ได้ ทั้งยังเป็นสารที่มีคุณประโยชน์ต่อร่างกาย เหมาะแก่การนำไปผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพ

ตารางที่ 1 : สมบัติวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ที่ความถี่ความถี่ 1 เฮิร์ท

ชนิดตัวอย่าง	G' (Pa.)	G" (Pa.)	tan δ	η* (Pa.s)
สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากกล้าเชื้อสด	274.10[a]	154.25[a]	0.57[b]	50.06[a]
สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากกล้าเชื้อผงด้วยแป้งถั่วเหลือง	9366.00[a]	1365.85[a]	0.14[a]	1506.50[a]
สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากกล้าเชื้อผงด้วยมอลโตเดกซ์ตริน	3781.50[a]	1073.25[a]	0.32[a]	626.95[a]
P-value	0.128	0.180	0.018	0.129

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ปรากฏในตารางได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS
ถ้าค่า P-value <0.05 แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันทางสถิติ

จากตารางที่ 1 แสดงค่า elastic modulus (G′) ค่า viscous modulus (G″) loss tangent (tan δ) และ complex viscosity (η*) ของตัวอย่างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 พบว่าตัวอย่างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อผงด้วยแป้งถั่วเหลืองมีค่า G′ สูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่า tan δ ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงถึงลักษณะความเป็นของแข็งยืดหยุ่นที่มากกว่าตัวอย่างอื่น และยังมีค่า complex viscosity (η*) ที่สูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์มีพฤติกรรมเป็นของแข็งยืดหยุ่นมากกว่าเป็นของเหลวหนืดซึ่งการที่มีค่า elastic modulus (G′) สูง ในขณะที่ค่า loss tangent (tan δ) มีค่าต่ำ แสดงถึงการมีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มความคงตัวที่ดี ดังนั้นการที่สารเอ็กโซโพลี-แซคคาไรด์มีคุณสมบัติวิทยากระแสคล้ายคลึงกับสารเพิ่มความคงตัวที่ใช้ในอุตสาหกรรม แสดงให้เห็นว่าสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพได้โดยที่ไม่ต้องมีการเติมสารเพิ่มความคงตัวลงไป ก็ยังคงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดี แต่การนำสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ไปใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์นั้นจำเป็นต้องมีการทดสอบหาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2. การทดสอบหาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ (exopolysaccharide)

2.1 ทดสอบสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์

การนำสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่ได้จากการหมักถั่วเหลืองมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารยังคงมีจำกัด เนื่องจากคุณภาพของสารดังกล่าวมีความไม่สม่ำเสมอ เช่น ความหนืดที่ผลิตได้มีความผันแปรสูง สี และกลิ่นรสไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยจากการทดสอบสมบัติวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลี-แซคคาไรด์ในตอนที่ 1 ทำให้ทราบคุณสมบัติวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์เบื้องต้น ว่ามีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มความคงตัวที่ดี ทั้งยังมีประโยชน์ต่อสุขภาพทั้งคุณสมบัติต้านมะเร็ง ต้านอนุมูลอิสระ หรือคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกส์ เหมาะสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ แต่การนำสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ไปใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจำเป็นต้องมีการพัฒนาปรับปรุงสูตรที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังตารางที่ 2 แสดงส่วนผสมของสูตรเครื่องดื่มในเบื้องต้น และคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสูตรเบื้องต้นดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 : แสดงส่วนผสมในสูตรเบื้องต้นของเครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์

สูตรที่	สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ (%w/w)	น้ำเปล่า (%w/w)	น้ำตาลซูโครส (%w/w)
สูตรควบคุม	50	50	-
1	30	50	20
2	20	50	30
3	10	80	10

หมายเหตุ: ถั่วหมักที่นำมาใช้เป็นถั่วหมักที่ไม่ผ่านการบดหรือลดขนาด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3 : การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของสูตรเครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์เบื้องต้น เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 25 และ 37 ˚C

สูตรที่	อุณหภูมิการเก็บรักษา (˚C)		
	4 ˚C	25 ˚C	37 ˚C
สูตรควบคุม	มีกลิ่นฉุนของถั่วหมักแรง มีสีขาวขุ่น มีตะกอนด้านล้างจำนวนมาก	มีกลิ่นเหม็นเน่า ไม่ยอมรับ	มีกลิ่นเหม็นเน่า ไม่ยอมรับ
1	มีตะกอนเล็กน้อยด้านล่างขวด กลิ่นยังคงเป็นกลิ่นถั่วหมักเป็นหลัก	เป็นตะกอนขนาดเล็กๆ ด้านล่างขวด ไม่มีฟองอากาศ เริ่มมีกลิ่นเน่า	เป็นตะกอนละเอียดด้านล่าง มีฟองอากาศเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าด้านบน มีกลิ่นไข่เน่า
2	ไม่มีตะกอน มีกลิ่นหอมอ่อนของถั่วเน่า	เป็นตะกอนละเอียด ไม่มีฟอง และมีตะกอนเล็กน้อย เริ่มมีกลิ่นเน่าเกิดขึ้น	มีตะกอนเล็กน้อย และมีกลิ่นเน่าเกิดขึ้นเล็กน้อย
3	ไม่มีตะกอน มีกลิ่นหอมถั่วหมักอ่อน สีเหลืองอมน้ำตาลเล็กน้อย	ไม่มีตะกอน ไม่มีฟองอากาศ มีกลิ่นเหม็นเน่า เล็กน้อย	มีตะกอนเล็กน้อย มีฟองอากาศ มีกลิ่นเหม็นเน่า เล็กน้อย

จากการทดลองหาสูตรเบื้องต้นของเครื่องดื่มจากถั่วหมักในตารางที่ 2 และ 3 ได้มีการทดลองนำผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 สูตรไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ 4 25 และ 37 ˚C เป็นระยะเวลา 3 วัน เพื่อทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทั้งทางด้านสี กลิ่น รสชาติ และคุณสมบัติกายภาพด้านอื่นๆโดยรวม พบว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ได้ยังไม่เหมาะสม โดยจากตารางที่ 3 ทำให้ทราบว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ควรเก็บรักษาในที่เย็น อุณหภูมิ 4 ˚C เนื่องจากที่ 4 ˚C ไม่ทำให้คุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปมากนัก ยังคงคุณภาพเดิมไว้ได้อย่างดี แตกต่างจากการเก็บรักษาที่ 25 และ 37 ˚C ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณลักษณะที่ไม่เหมาะสมคือ มีตะกอน ฟองอากาศ และมีกลิ่นเน่าเกิดขึ้น ซึ่งคุณลักษณะที่ดีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มคือ ไม่มีตะกอน ฟองอากาศ และมีกลิ่นที่ดีตามลักษณะของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท จึงถือว่าการเก็บรักษาที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากสารเอ็กโซ-โพลีแซคคาไรด์ควรเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ˚C อย่างไรก็ตามสูตรเบื้องต้นของเครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซค-คาไรด์นี้ยังคงมีกลิ่นของถั่วหมักที่ค่อนข้างแรงอยู่ อาจไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงพัฒนาสูตรการผลิต โดยใช้ ฟรุกโตส ไซรัป เพกติน เกลือ และกรดซิตริก เป็นส่วนประกอบเพิ่มเติม ดังแสดงในตารางที่ 4 แล้วจึงทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4 : แสดงส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์

สูตร	สารเอ็กโซโพลิแซคคาไร (%w/w)	ฟรุกโตสไซรัป (%w/w)	เพกติน (%w/w)	เกลือ (%w/w)	กรดซิตริก (%w/w)	รวมทั้งหมด (%)
1	100	-	-	-	-	-
2	80	18.45	1.0	0.5	0.05	100
3	60	38.45	1.0	0.5	0.05	100
4	90	10.00	-	0.5	-	100

จากตารางที่ 4 มีส่วนผสมเพิ่มเติม ได้แก่ ฟรุกโตสไซรัป เพกติน เกลือ และกรดซิตริก สำหรับฟรุกโตสไซรัป เกลือ และกรดซิตริก เป็นส่วนผสมที่เติมเข้าไปเพื่อช่วยปรับปรุงในเรื่องของรสชาติและคุณลักษณะโดยรวมของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น ส่วนเพกติน เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ (natural polymer) ที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม โดยใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด สารก่อเจล และสารเพิ่มความคงตัวของระบบคอลลอยด์ในเครื่องดื่มน้ำผลไม้ ในที่นี้ใช้เพกตินเป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการเป็นเส้นใยอาหารของเพกติน เนื่องจากเพกตินจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทไฟเบอร์หรือเส้นใยอาหารที่ไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในระบบการย่อยของร่างกายมนุษย์ จึงช่วยให้การขับถ่ายสะดวก ช่วยจับไขมันจากอาหาร ลดการดูดซึมน้ำตาล และมีประโยชน์ด้านอื่นๆต่อร่างกาย เหมาะแก่การนำมาเป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ นอกจากนี้ยังช่วยในเรื่องความคงตัวของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพิ่มเติมจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ถือเป็นการช่วยเพิ่มคุณลักษณะที่ดีของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 สูตรดังตารางที่ 4 นั้นเป็นสูตรที่ได้รับการคัดเลือกจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ (laboratory panel) จำนวน 6 คน เป็นการทดลองแบบ screening เพื่อคัดเลือกสูตรของผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุดและมีความเหมาะสมเบื้องต้น จนได้ผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 สูตรดังกล่าว ก่อนที่จะนำไปศึกษาในขั้นต่อไป คือการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสแบบสเกล (9-point hedonic scaling) กับผู้ทดสอบชิมที่เป็นกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย (consumer-type panel) จำนวน 30 คน ในข้อ 2.2 เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางด้านความชอบหรือการยอมรับเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ในแต่ละสูตร ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีการยอมรับสูงสุดไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ และเป็นการคัดเลือกหาสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคสูงสุด เพื่อเป็นสูตรต้นแบบในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลี-แซคคาไรด์

2.2 ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสแบบสเกล (9-point hedonic scaling) ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์

นำผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 สูตร ดังตารางที่ 4 มาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale กับผู้ทดสอบชิมที่เป็นกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย (consumer-type panel) จำนวน 30 คน แล้วนำผลการประเมินที่ได้มาแปลผลทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางด้านความชอบหรือการยอมรับเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ในแต่ละสูตร เพื่อคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับสูงสุดไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 5 : ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อสด *Bacillus subtilis* SB-MYP 1

คุณลักษณะ	สูตรที่				P-value
	1	2	3	4	
สี	6.93±1.67[a]	6.80±1.08[a]	7.27±0.96[ab]	8.00±1.07[b]	0.044
กลิ่น	6.73±2.02[b]	4.93±1.03[a]	4.87±1.64[a]	7.40±1.40[b]	0.000
รสชาติ	3.27±1.39[a]	4.80±1.47[b]	4.60±2.03[b]	7.40±1.59[c]	0.000
ความรู้สึกหลังการกลืน	3.40±1.84[a]	4.33±1.63[a]	4.20±2.11[a]	7.13±1.46[b]	0.000
ความชอบโดยรวม	4.13±1.77[a]	4.53±1.64[a]	4.33±2.09[a]	7.53±1.46[b]	0.000

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ปรากฏในตารางได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS
ถ้าค่า P-value <0.05 แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 6 : ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อผง *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ด้วยมอลโตเดกซ์ตริน

คุณลักษณะ	สูตรที่				P-value
	1	2	3	4	
สี	6.40±1.35[a]	6.73±1.10[ab]	7.67±0.82[c]	7.47±1.13[bc]	0.008
กลิ่น	6.87±1.85[b]	4.80±1.78[a]	5.27±1.53[a]	7.13±1.46[b]	0.000
รสชาติ	3.67±1.88[a]	4.20±2.18[a]	4.33±2.32[a]	7.13±1.41[b]	0.000
ความรู้สึกหลังการกลืน	3.47±1.51[a]	4.20±2.18[a]	4.60±2.32[a]	7.00±1.51[b]	0.000
ความชอบโดยรวม	3.93±1.67[a]	4.40±2.06[a]	4.33±2.06[a]	7.40±1.50[b]	0.000

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ปรากฏในตารางได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS
ถ้าค่า P-value <0.05 แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 7 : ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อผง *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ด้วยแป้งถั่วเหลือง

คุณลักษณะ	สูตรที่				P-value
	1	2	3	4	
สี	5.93±1.53^{a}	6.87±0.92^{b}	7.40±0.83^{b}	7.53±1.30^{b}	0.002
กลิ่น	5.80±1.74^{ab}	5.07±2.02^{a}	5.33±1.63^{a}	6.87±1.81^{b}	0.043
รสชาติ	4.40±2.29^{a}	4.40±1.99^{a}	4.27±1.87^{a}	7.07±2.15^{b}	0.001
ความรู้สึกหลังการกลืน	4.20±2.11^{a}	4.20±2.01^{a}	4.13±2.03^{a}	6.60±2.26^{b}	0.004
ความชอบโดยรวม	4.33±2.13^{a}	4.60±2.06^{a}	4.67±2.02^{a}	7.13±2.23^{b}	0.002

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ปรากฏในตารางได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS
ถ้าค่า P-value <0.05 แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันทางสถิติ

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ จากตารางที่ 5 6 และ 7 พบว่าผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้การยอมรับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อทั้ง 3 รูปแบบในสูตรที่ 4 มากที่สุด ทั้งในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความรู้สึกหลังการกลืน และความชอบโดยรวม อย่างมีความแตกต่างจากตัวอย่างสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value ≤0.05) โดยการยอมรับในด้านสีของผลิตภัณฑ์ พบว่าสูตรที่ 4 มีการยอมรับในระดับ 7-8 คะแนนซึ่งมีระดับคะแนนสูงกว่าสูตรอื่นๆที่อยู่ในระดับ 5-7 คะแนน ในด้านกลิ่นผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์สูตรที่ 4 สูงสุดเช่นกัน โดยมีระดับคะแนนเท่ากับ 6-7 คะแนน มากกว่าสูตรที่ 1 2 และ 3 ที่ได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 4-6 คะแนน ส่วนในด้านรสชาติสูตรที่ 4 ได้รับการยอมรับในระดับ 7 คะแนน ในขณะที่สูตรอื่นมีคะแนนอยู่ในช่วง 3-4 คะแนนเท่านั้น สำหรับการทดสอบความรู้สึกหลังการกลืนพบว่าผลิตภัณฑ์สูตรที่ 4 ได้รับคะแนนการยอมรับในช่วง 6-7 คะแนน ส่วนสูตรอื่นได้รับคะแนนในช่วง 3-4 คะแนน และเมื่อทดสอบความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์พบว่า ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 4 มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดอยู่ในช่วง 7.0-7.5 คะแนน ในขณะที่สูตรที่ 1 2 และ 3 มีความชอบโดยรวมในช่วง 3-4.5 คะแนนเท่านั้น แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์สูตรที่ 4 ได้รับการอมรับจากผู้บริโภคในระดับคะแนนที่ที่สูงที่สุดแตกต่างจากสูตรอื่นๆ ดังนั้นการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในสูตรที่ 4 จึงถือเป็นสูตรที่มีความเหมาะสมที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค จึงได้คัดเลือกผลิตภัณฑ์สูตรที่ 4 เป็นสูตรต้นแบบในการผลิตโดยแบ่งเป็นสูตรที่ใช้สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์จากกล้าเชื้อ 3 รูปแบบด้วยกัน ได้แก่ กล้าเชื้อสดของ *B. subtilis* SB-MYP 1 กล้าเชื้อผงที่มีมอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารปกป้อง และกล้าเชื้อผงที่มีแป้งถั่วเหลืองเป็นสารปกป้อง แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์นี้ไปวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนาการต่อไป

3. คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์

จากการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ทำให้ได้สูตรของผลิตภัณฑ์ที่มีการยอมรับสูงที่สุด คือสูตรที่ 4 โดยแบ่งเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลี-แซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ใน 3 รูปแบบ ซึ่งแสดงปริมาณสารอาหารหลักที่มีในผลิตภัณฑ์ได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 : ปริมาณสารอาหารหลักในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์

สูตรของผลิตภัณฑ์	ความชื้น (%)	เถ้า (%)	ไขมัน (%)	โปรตีน (%)	ใยอาหารหยาบ (%)
สูตรควบคุมจากกล้าเชื้อสด	99.52±0.03^{c}	0.07±0.02^{a}	0.00±0.00^{a}	0.76±0.65^{a}	28.11±0.21
สูตรควบคุมจากกล้าเชื้อผงด้วยมอลโตเดกซ์ตริน	99.60±0.09^{c}	0.06±0.01^{a}	0.02±0.01^{a}	2.01±0.36^{b}	26.18±0.23^{c}
สูตรควบคุมจากกล้าเชื้อผงด้วยแป้งถั่วเหลือง	99.60±0.02^{c}	0.06±0.00^{a}	0.51±0.23^{b}	4.18±0.14^{d}	25.84±0.30^{c}
BF	82.70±0.54^{a}	0.24±0.01^{b}	0.00±0.00^{a}	5.88±0.34^{e}	6.46±0.03^{a}
BM	86.10±0.09^{b}	0.27±0.02^{c}	3.68±0.25^{c}	2.35±0.91^{bc}	9.65±0.11^{b}
BS	81.80±3.29^{a}	0.29±0.00^{c}	0.00±0.00^{a}	3.54±0.23^{cd}	6.49±0.03^{a}
P-value	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000

หมายเหตุ : - สูตรควบคุม คือ สูตรของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ไม่มีการเติมสารปรุงแต่งอื่น

- จำนวนหนึ่งหน่วยบริโภคเท่ากับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ 200 มิลลิลิตร
- BF, BM และ BS หมายถึง เครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อสด, กล้าเชื้อผงที่ห่อหุ้มเซลล์ด้วยแป้งถั่วเหลือง และกล้าเชื้อผงที่ห่อหุ้มเซลล์ด้วยมอลโตเดกซ์ตริน ตามลำดับ
- ค่าเฉลี่ยที่ปรากฏในตารางได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS ถ้าค่า P-value <0.05 แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันทางสถิติ

การวิเคราะห์หาปริมาณสารอาหารหลักในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อ 3 รูปแบบ (ตารางที่ 8) แสดงผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลี-แซคคาไรด์จากกล้าเชื้อทั้ง 3 รูปแบบที่มีปริมาณสารอาหารแตกต่างกันไป โดยเมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแต่ละรูปแบบโดยไม่เทียบกับสูตรควบคุมพบว่า BF มีปริมาณโปรตีนสูงสุดเมื่อเทียบกับเครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อผงจากมอลโตเดกซ์ตรินและแป้งถั่วเหลือง คือมีปริมาณโปรตีนคิดเป็นร้อยละ 5.88 2.35 และ 3.54 ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value ≤0.05) เนื่องจาก BF คือเครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อสด ซึ่งเป็นกล้าเชื้อที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการแปรรูปไปเก็บรักษาในรูปผงแห้ง ทำให้มีประสิทธิภาพในการหมักถั่วเหลือง และปล่อยเอนไซม์โปรติเอสออกมาย่อยโปรตีน ช่วยปรับปรุงองค์ประกอบที่ย่อยยากให้อยู่ในรูปที่ย่อยได้ง่าย นั่นคือได้กรดอะมิโนในปริมาณสูง และการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ใช้คือ วิธีเคลดาห์ล (Kjeldahl Method) เป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนในอาหารในรูปของไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่าง ซึ่งกรดอะมิโนมีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบและจะมีการปลดปล่อยไนโตรเจนออกมา และถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียแล้วตรวจวิเคราะห์ คำนวณหาปริมาณ

โปรตีนที่มีในตัวอย่าง ดังนั้นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อสดจึงมีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าเครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อผงทั้งสองชนิด ส่วนปริมาณใยอาหารพบว่า BM มีปริมาณใยอาหารสูงที่สุดแต่ก็มีปริมาณไขมันสูงที่สุดเช่นกัน คือมีใยอาหารเท่ากับร้อยละ 9.65 และมีไขมันร้อยละ 3.68 ในขณะที่ BF และ BS ไม่มีไขมัน คือมีปริมาณไขมันเท่ากับ 0.00 เนื่องจากBM คือเครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อผง (มอลโตเดกซ์ตริน) ซึ่งมอลโตเดกซ์ตรินเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยโมเลกุลของสตาร์ช (starch) หรือ resistance starch บางส่วนให้เป็นสายสั้นๆ ของน้ำตาลกลูโคส โดย resistance starch ถูกจัดให้เป็นใยอาหารชนิดละลายน้ำ (soluble fiber) ที่จะไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์แต่จะถูกหมักได้เกือบหมดในลำไส้ใหญ่ นอกจากนี้ใยอาหารยังเป็นคาร์โบไฮเดรตหรือมาจากคาร์โบไฮเดรตเช่นเดียวกับมอลโตเดกซ์ตริน ทำให้สามารถตรวจวิเคราะห์แล้วพบปริมาณใยอาหารสูงที่สุดในตัวอย่างเครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อผง (มอลโตเดกซ์ตริน) สำหรับปริมาณเถ้า พบว่า BS มีปริมาณเถ้าสูงที่สุดคือมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.29 รองลงมาคือ BM มีปริมาณเถ้าเท่ากับ 0.27 ถือว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่แตกต่างจาก BF ที่มีปริมาณเถ้าน้อยที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 0.24 และแตกต่างจาก BM และ BS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณเถ้า คือสารอนินทรีย์ที่เหลืออยู่หลังจากการกำจัดสารอินทรีย์ออกไปโดยการ เผาไหม้ อาจกล่าวได้ว่าปริมาณเถ้าคือแร่ธาตุในอาหารเป็นส่วนใหญ่ ซึ่ง BS คือเครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อผง (แป้งถั่วเหลือง) ปริมาณแร่ธาตุที่สูงกว่า BF และ BM นั้นอาจมาจากทั้งแร่ธาตุของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ใช้ในการผลิตเครื่องดื่ม และมาจากแป้งถั่วเหลืองที่ใช้ในการเป็นสารปกป้องของกล้าเชื้อผงอีกด้วย ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากกล้าเชื้อทั้ง 3 รูปแบบกับสูตรควบคุมแต่ละสูตร พบว่าปริมาณใยอาหารของสูตรควบคุมทั้ง 3 สูตรสูงกว่าปริมาณใยอาหารของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยสูตรควบคุมทั้ง 3 รูปแบบมีค่าใยอาหารเท่ากับร้อยละ 28.11 26.18 และ 25.84 ตามลำดับ ในขณะที่สูตรของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มทั้ง 3 รูปแบบมีปริมาณใยอาหารเท่ากับร้อยละ 6.46 9.65 และ 6.49 ตามลำดับ ส่วนปริมาณโปรตีนพบว่า BF และ BM มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสูตรควบคุม แต่ BS มีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าสูตรควบคุม และมีปริมาณไขมันน้อยกว่าสูตรควบคุมด้วย และสำหรับปริมาณเถ้า พบว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มทั้ง 3 สูตร ได้แก่ BF BM และ BS มีปริมาณเถ้าสูงกว่าสูตรควบคุม โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งปริมาณเถ้าของ BF BM และ BS มีค่าเท่ากับ 0.24 0.27 และ 0.29 ตามลำดับ ในขณะที่สูตรควบคุมทั้ง 3 รูปแบบมีปริมาณเถ้าเท่ากับ 0.07 0.06 และ 0.06 ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณสารอาหารที่วิเคราะห์ได้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มทั้ง 3 รูปแบบกับสูตรควบคุมอาจมีความแตกต่างกันได้ เนื่องจากการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์มีสูตรการผลิตที่แตกต่างจากสูตรควบคุม คือมีการเติมส่วนผสมอื่นนอกจากสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์จากถั่วหมัก เช่น เพกติน ฟรุกโตสไซรัป เป็นต้น เป็นผลให้สารอาหารที่วิเคราะห์ได้แตกต่างกันออกไป แต่เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากกล้าเชื้อทั้ง 3 รูปแบบแล้วจะเห็นว่ามีสารอาหารที่มีคุณประโยชน์อยู่ ทั้งโปรตีน ใยอาหาร และเถ้า ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จึงถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการเหมาะการบริโภคเพื่อเสริมสุขภาพได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 9 : ปริมาณสารอาหารหลักในหนึ่งหน่วยบริโภคของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซ-โพลีแซคคาไรด์

สูตรของผลิตภัณฑ์	ความชื้น (%)	เถ้า (%)	ไขมัน (%)	โปรตีน (%)	ใยอาหารหยาบ (%)
สูตรควบคุมจากกล้าเชื้อสด	3980.8±0.03^{c}	1.4±0.02^{a}	0.0±0.00^{a}	30.4±0.65^{a}	5,622.0±0.21
สูตรควบคุมจากกล้าเชื้อผงด้วยมอลโตเดกตริน	3984.0±0.09^{c}	1.2±0.01^{a}	1.3±0.01^{a}	80.4±0.36^{b}	5,236.0±0.23^{c}
สูตรควบคุมจากกล้าเชื้อผงด้วยแป้งถั่วเหลือง	3984.0±0.02^{c}	1.2±0.00^{a}	34.0±0.23^{b}	167.2±0.14^{d}	5,168.0±0.30^{c}
BF	3308.0±0.54^{a}	4.8±0.01^{b}	0.0±0.00^{a}	235.2±0.34^{e}	1,292.0±0.03^{a}
BM	3444.0±0.09^{b}	5.4±0.02^{c}	245.3±0.25^{c}	94.0±0.91^{bc}	1,930.0±0.11^{b}
BS	3272.0±3.29^{a}	5.8±0.00^{c}	0.0±0.00^{a}	141.6±0.23^{cd}	1,298.0±0.03^{a}
P-value	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000

หมายเหตุ : - สูตรควบคุม คือ สูตรของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ไม่มีการเติมสารปรุงแต่งอื่น

- จำนวนหนึ่งหน่วยบริโภคเท่ากับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ 200 มิลลิลิตร
- BF, BM และ BS หมายถึง เครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อสด, กล้าเชื้อผงที่ห่อหุ้มเซลล์ด้วยแป้งถั่วเหลือง และกล้าเชื้อผงที่ห่อหุ้มเซลล์ด้วยมอลโตเดกซ์ตริน ตามลำดับ
- ค่าเฉลี่ยที่ปรากฏในตารางได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS

ถ้าค่า P-value <0.05 แสดงว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันทางสถิติ

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารหลักในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซค-คาไรด์ที่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด นั่นคือผลิตภัณฑ์ในสูตรที่ 4 ทำการกำหนดปริมาณที่แนะนำให้บริโภคเพื่อให้ได้รับสารอาหารที่เพียงพอสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพหรือหนึ่งหน่วยบริโภค ในปริมาณ 200 มิลลิลิตร ซึ่งปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคเป็นปริมาณที่ใช้ระบุในฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นปริมาณอาหารที่คนไทยปกติทั่วไปรับประทานได้หมดใน 1 ครั้ง และผู้ผลิตแนะนำให้ผู้บริโภครับประทานผลิตภัณฑ์นั้นๆ ในแต่ละครั้ง โดยปริมาณอาหารหนึ่งหน่วยบริโภคนี้กำหนดจากปริมาณ “หนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง” ซึ่งเป็นค่าปริมาณอาหารโดยน้ำหนักหรือปริมาตรของการรับประทานแต่ละครั้งที่ประมวลได้จากการสำรวจพฤติกรรมการบริโภคและข้อมูลจากผู้ผลิตเป็นเกณฑ์ ทั้งนี้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ได้กำหนดปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคของผลิตภัณฑ์จากหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงของผลิตภัณฑ์กลุ่มเครื่องดื่ม (พร้อมดื่ม) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข คือมีหนึ่งหน่วยบริโภคเท่ากับ 200 มิลลิลิตร ดังนั้นในตารางที่ 9 จะแสดงปริมาณสารอาหารหลักที่ผู้บริโภคจะได้รับเมื่อบริโภคเครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ในปริมาณ 200 มิลลิลิตร จะเห็นว่าเมื่อบริโภคผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคจะทำให้

ได้รับสารอาหารต่างๆ มากมาย ซึ่งผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแต่ละรูปแบบก็ทำให้ได้รับสารอาหารในปริมาณที่แตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามการบริโภคผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ตามปริมาณที่แนะนำให้บริโภคหรือปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคจะทำให้ผู้บริโภคได้รับสารอาหารตามที่ร่างกายต้องการได้ ทั้งยังช่วยส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภคให้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่นำสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่ได้จากการหมักถั่วเหลืองด้วยกล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 เก็บรักษาใน 3 รูปแบบ ทั้งในรูปแบบกล้าเชื้อสด กล้าเชื้อผงด้วยมอลโตเด็กซ์ตริน และกล้าเชื้อผงด้วยแป้งถั่วเหลือง กล้าเชื้อทั้ง 3 รูปแบบจะทำให้ได้สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่มีคุณลักษณะแตกต่างกันไป ซึ่งการศึกษาสมบัติวิทยากระแสของ สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์จะทำให้ทราบพฤติกรรมการไหล และสมบัติทางไดนามิกส์ ว่าสารเอ็กโซโพลิแซคคา-ไรด์มีสมบัติวิทยากระแสที่เหมาะสม และมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสารเพิ่มความคงตัวที่ใช้ในเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพเพียงใด เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอ มีความคงตัว ไม่ตกตะกอนเมื่อตั้งทิ้งไว้ ถือเป็นคุณภาพที่ดีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีลักษณะการแขวนลอยของสาร ซึ่งทำการทดสอบสมบัติวิทยา-กระแสของสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ พบว่าตัวอย่างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อสด *B. subtilis* SB-MYP 1 ที่ความถี่ต่ำมีค่า G′ เริ่มต้นต่ำกว่าค่า G″ แต่เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นตัวอย่างมีค่า G′ สูงกว่าค่า G″ และมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ แปรผันตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างสารเอ็กโซโพลีแซค-คาไรด์จากถั่วหมักด้วยกล้าเชื้อสด *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 เริ่มต้นมีคุณสมบัติเป็นของเหลวหนืด (viscous) และต่อมาจึงแสดงคุณสมบัติความเป็นของแข็งยืดหยุ่น (elastic) อย่างสม่ำเสมอไปจนถึงความถี่สูงสุดที่ 100 เฮิร์ท โดยบนเส้นกราฟมีจุดตัดของ G′ และ G″ ซึ่งเป็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสารไปเป็นเจล (gel-point) พฤติกรรมการไหลเช่นนี้ถือว่าจัดอยู่ในกลุ่มของสารที่มีโครงสร้างเป็นเจลแบบอ่อน (weak gel structure) สำหรับสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อผงด้วยแป้งถั่วเหลือง และสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อผงด้วยมอลโตเดกซ์ตริน พบว่ามีค่า G′ สูงกว่าค่า G″ ในทุกๆความถี่อย่างสม่ำเสมอไปจนถึงความถี่สูงสุดที่ 100 เฮิร์ท แสดงถึงคุณสมบัติความเป็นของแข็งยืดหยุ่น (elastic) ซึ่งถือว่ามีความหนืดและมีความเป็นเจลแบบอ่อน ความหนืดที่เกิดขึ้นจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวและเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น จึงไม่เกิดการตกตะกอนเมื่อตั้งทิ้งไว้ นอกจากนั้นค่า G′ ของสารเอ็ก-โซโพลีแซคคาไรด์ทั้ง 3 ตัวอย่าง ยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงถึงความเสถียรในการเป็นของแข็งยืดหยุ่นของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อทั้ง 3 ชนิด ดังนั้นการใช้สารเอ็กโซโพลิ-แซคคาไรด์ที่ได้จากกล้าเชื้อสดจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวอย่างสม่ำเสมอและมีความเสถียรตลอดอายุการเก็บรักษา ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ค่า G′ และ G″ ที่ได้สอดคล้องกับค่า loss tangent (tan **δ**) ที่แสดงสัดส่วนของค่า viscous modulus (G″) ต่อค่า elastic modulus (G′) ซึ่งตัวอย่างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จาก ถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อสดมีค่า loss tangent สูงที่สุด และลดลงเรื่อยๆ เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น โดยค่า loss tangent ที่ได้มีค่ามากกว่า 1 ในช่วงเริ่มต้นแสดงว่าวัสดุมีลักษณะการไหลหนืดมากกว่าการยืดหยุ่น แต่เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นพบว่าตัวอย่างมีค่า loss tangent ลดลงน้อยกว่า 1 แสดงว่าวัสดุมีลักษณะยืดหยุ่นมากกว่าการไหลหนืด ส่วนตัวอย่างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อผงด้วยแป้งถั่วเหลืองและมอลโตเดกซ์ตรินมีค่า loss tangent ต่ำกว่าและน้อยกว่า 1 แสดงว่าตัวอย่างทั้ง 2 มีลักษณะเป็นของแข็งยืดหยุ่นมากกว่า

ตัวอย่างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อสด โดยค่า loss tangent ที่ได้นี้สอดคล้องกับค่า G′ โดยเมื่อตัวอย่างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อสดมีค่า loss tangent สูงที่สุด ค่า G′ จะต่ำที่สุดตามความสัมพันธ์ของ loss tangent กับค่า G′ นอกจากนี้ค่าความหนืดเชิงซ้อนหรือ complex viscosity (η^*) ที่อธิบายถึงลักษณะการไหลของสาร แสดงให้เห็นว่าสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองที่หมักด้วยกล้าเชื้อทั้ง 3 รูปแบบ แสดงรูปแบบพฤติกรรมการไหลประเภท Non-newtonian Fluids แบบ shear thinning (pseudoplastic) ที่มีลักษณะเป็นของไหลที่มีค่าความหนืดลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการเฉือน หรือยิ่งกวนเร็วยิ่งไหลง่าย แต่จะไม่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ของไหลได้รับความเค้นเฉือน

ดังนั้นจากสมบัติวิทยากระแสของสารเอ็กโซโพลิแซกคาไรด์ในด้านของความเป็น elastic modulus (G′) viscous modulus (G″) loss tangent (tan δ) และ complex viscosity (η^*) ที่กล่าวมาแสดงถึงคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพได้เป็นอย่างดี ซึ่งการนำสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ไปประยุกต์ใช้ในการผลิตเครื่องดื่มเสริมสุขภาพ จะผ่านขั้นตอนการทดลองหาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ แล้วทำการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 สูตร ซึ่งผลิตภัณฑ์สูตรที่ 4 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคสูงที่สุด โดยผู้ประเมินให้การยอมรับในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความรู้สึกหลังการกลืน และความชอบโดยรวมในช่วงคะแนนระหว่าง 6.0-8.0 คะแนน นอกจากนี้เมื่อนำผลิตภัณฑ์สูตรที่ 4 ที่ผลิตด้วยสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* SB-MYP 1 ใน 3 รูปแบบ ได้แก่ สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อ-สด สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อผง (มอลโตเดกซ์ตริน) และสารเอ็กโซโพลีแซคคา-ไรด์จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อผง (แป้งถั่วเหลือง) ไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์พบว่าเครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อสด (BF) มีปริมาณโปรตีนสูงสุดเมื่อเทียบกับเครื่องดื่มจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อผงจากมอลโตเดกซ์ตริน (BM) และแป้งถั่วเหลือง (BS) ส่วนปริมาณใยอาหารพบว่า BM มีปริมาณใยอาหารสูงที่สุด และปริมาณเถ้าพบว่า BS มีปริมาณเถ้าสูงที่สุด ทั้งนี้จะเห็นว่าปริมาณสารอาหารที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากเครื่องดื่มที่ผลิตด้วยกล้าเชื้อทั้ง 3 รูปแบบมีปริมาณสารอาหารที่แตกต่างกันไป อาจขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกล้าเชื้อที่ใช้ในการผลิตถั่วหมักที่เป็นรูปแบบกล้าเชื้อสด และกล้าเชื้อผง ทำให้การผลิตสารอาหารต่างๆ รวมถึงสารเอ็กโซโพลิแซคคา-ไรด์ที่ได้มีคุณลักษณะแตกต่างกันไปทั้งในด้านคุณสมบัติวิทยากระแสและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยทำให้ทราบว่ากล้าเชื้อทั้ง 3 รูปแบบ เมื่อนำไปผลิตเครื่องดื่มจะมีคุณค่าทางอาหารแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามยังได้สูตรที่เป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภค ซึ่งเป็นสูตรต้นแบบในการควบคุมกิจกรรมต่างๆ ของกล้าเชื้อให้ได้คุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพตามมาตรฐานขึ้น

บรรณานุกรม

กองโภชนาการ กรมอนามัย. (2535). ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. องค์การทหารผ่านศึก.

บุญทิวา นิลจันทร์. การศึกษาสมบัติเคมีฟิสิกส์ของฟลาวและสตาร์ชข้าวจากข้าวพันธุ์ต่างๆในประเทศไทย. สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2548.

ปิยะวรรณ กาสลัก และ รัชฎาพร อุ่นศิวิไลย์. การลดกลิ่นไม่พึงประสงค์และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ถั่วหมัก โดยการใช้ *Bacillus subtilis* เป็นกล้าเชื้อในการหมัก. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี-สุรนารี, 2554.

พิพัฒน์กมล ชนะสิทธิ์. การพัฒนาน้ำหมี่กรอบสำเร็จรูป. สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ (บัณฑิตศึกษา) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2553.

หทัยทิพย์ ร้องคำ. ผลของสารทดแทนไขมันแบบผสม และสารให้ความหวานต่อคุณภาพของไอศกรีมวนิลาลดไขมันและลดพลังงาน. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552.

Akihiro Nakamura, Hitoshi Furuta, Masayoshi Kato, Hirokazu Maeda, Yasunori Nagamatsu. (2003). Effect of soybean soluble polysaccharides on the stability of milk protein under acidic conditions. Food Hydrocolloids. 17: 333–343.

Akihiro Nakamura, Ryuji Yoshida, Hirokazu Maeda, Milena Corredig. (2006). The stabilizing behaviour of soybean soluble polysaccharide and pectin in acidified milk beverages. International Dairy Journal. 16: 361–369.

Ali R. Taherian, Patrick Fustier and Hosahalli S. Ramaswamy. (2007). Effects of added weighting agent and xanthan gum on stability and rheological propoties of beverage cloud emulsions formulated using modified starch. Journal of Food Process Engineering.30: 204–224.

Ali R. Taherian, Patrick Fustier, Michel Britten, Hosahalli S. Ramaswamy. (2008). Rheology and Stability of Beverage Emulsions in the Presence and Absence of Weighting Agents: A Review. Food Biophysics. 3:279–286.

AOAC Official Methods of Analysis. (1995). Official Methods of Analysis of AOAC International. (16th ed.). Virginia: AOAC International.

AOAC Official Methods of Analysis. (2005). Official Methods of Analysis of AOAC International. (18th ed.) (Revision 2, 2007). Maryland: AOAC International.

Bayarri S., Gonza´lez-Toma´s L., Costell E. (2009). Viscoelastic properties of aqueous and milk systems with carboxymethyl cellulose. Food Hydrocolloids. 23: 441–450.

Chaiyavat Chaiyasut, Thapana Kumar, Pramote Tipduangta and Wandee Rungseevijitprapa.

(2010). Isoflavone content and antioxidant activity of Thai fermented soybean and its capsule formulation. African Journal of Biotechnology. Vol. 9(26), pp. 4120-4126.

Donot, F., Fontana, A., Baccou, J.C. and Schorr-Galindo, S. (2012). Microbial exopolysaccharides: Main examples of synthesis, excretion, genetics and extraction. Carbohydrate Polymers. 87: 951–962.

Esra Ibanoglu. (2002). Rheological behaviour of whey protein stabilized emulsions in the presence of gum Arabic. Journal of Food Engineering. 52: 273–277.

Feng, J., Liu, X., Xu, Z.R., Lu, Y.P., and Liu, Y.Y. (2007). Effect of fermented soybean meal on intestinal morphology and digestive enzyme activities in weaned piglets. Dig Dis Sci. 52:1845-1850.

Filomena Freitas, Vitor D. Alves and Maria A.M. Reis. (2011). Advances in bacterial exopolysaccharides: from production to biotechnological applications. Trends in Biotechnology. Vol. 29, No. 8.

Hathaichanok Nopcharoonsri. The effects of interaction between modified starches and kappa-carrageenan on ice recrystallization in milk ice cream. the Degree of Master of Science in Food Technology Suranaree University of Technology, 2011.

Huachun Zhai, Delmar Salomon and Eric Milliron. (2006). Using Rheological Properties to Evaluate Storage Stability and Setting Behaviors of Emulsified asphalts. Idaho Asphalt Supply, Inc.

Janpen Tangjitjaroenkun, Vichein Kitprechavanit, Surang Sutirawut, Pratumporn Chimanake, Wanna Praprirong, Worawut Krusong and Busaba Yongsmith. (2003). Enrichment of vitamin B12in Thua-nao by mixed cultures. Proceedings of 41th Kasetsart University Annual Conference: Science, Natural Resources and Environmental Economics.

Karr-Lilienthal, L.K., Kadzere, C.T., Grieshop, C.M. , Fahey Jr., G.C. (2005). Chemical and nutritional properties of soybean carbohydrates as related to nonruminants: A review. Livestock Production Science. 97: 1 – 12.

Lima, L. F. O., Habu, S., Gern, J. C., Nascimento, B. M. , Jose-Luis Parada, Noseda, M. D., Gonçalves, A. G., Nisha, V. R., Ashok Pandey, Vanete Thomaz Soccol and Carlos R. Soccol. (2008). Production and Characterization of the Exopolysaccharides Produced by *Agaricus brasiliensis* in Submerged Fermentation. Appl Biochem Biotechnol. 151:283–294.

Liu, C., Lu, J., Lu, L., Liu, Y., Wang, F., & Xiao, M. (2010). Isolation, structural characterization and immunological activity of an exopolysaccharide produced by *Bacillus licheniformis* 8-37-0-1. Bioresource Technology, 101(14), 5528–5533.

Marcello Duranti. (2006). Grain legume proteins and nutraceutical properties. Fitoterapia. 77: 67–82.

Miroslav Stredansky, Elena Conti, Luciano Navarini and Claudia Bertocchi. (1999). Production of bacterial exopolysaccharides by solid substrate fermentation. Process Biochemistry 34: 11 – 16.

Mohammad, M., Talukdar, Ingevinckier, Paula Moldenaers and Renaat Kinget. (1996). Rheological Characterization of Xanthan Gum and Hydroxypropylmethyl Cellulose with Respect to Controlled-Release Drug Delivery. Journal of Pharmaceutical Sciences. 537. Vol. 85, No. 5.

Naofumi Morita, Sachio Matsumoto and Masanosuke Takagi. (1981). Rheological properties of aqueous solutions of *Bacillus subtilis* FT-3 polysaccharide. Bull. Univ. Osaka Pref., Ser. B, Vol. 34.

Nathaniel A Lyngwi and SR Joshi. (2014). Economically important Bacillus and related genera: a mini review. Biology of useful plants and microbes, Narosa Publishing House, New Delhi, India.

Panuwan Chantawannakul, Anchalee Oncharoen, Khanungkan Klanbut, Ekachai Chukeatirote and Saisamorn Lumyong. (2002). Characterization of proteases of *Bacillus subtilis* strain 38 isolated from traditionally fermented soybean in Northern Thailand. ScienceAsia. 28: 241-245.

Petchkongkaew, A., Taillandier, P., Gasaluck, P., and Lebrihi1, A. (2008). Isolation of *Bacillus* spp. from Thai fermented soybean (Thua-nao): screening for aflatoxin B1 and ochratoxinA detoxification. Journal of Applied Microbiology. 104: 1495-1502.

Philippe Duboc and Beat Mollet. (2001). Applications of exopolysaccharides in the dairy Industry. International Dairy Journal. 11: 759–768.

Pornprapha Chunthanom, Kanika Somboon, Sudarath Sakulkoo and Oranut Sihamala. (2013). Effect of extraction method on quality of pectin from Ma Noy (*Cissampelos pareira*) leave in Phupan valley. Khon Kaen AGR. J. 41 SUPPL. 1.

Supawadee Chawanthayatham, Manop Suphantharika. (2009). Effect of Chitosan Additions on Physical and Rheological Properties of Native and Modified Tapioca Starch. National Graduate Research Conference.

Takahiro Funami, Yapeng Fang, Sakie Noda, Sayaka Ishihara, Makoto Nakauma, Kurt I. Draget, Katsuyoshi Nishinari, Glyn O. Phillips. (2009). Rheological properties of sodium alginate in an aqueous system during gelation in relation to supermolecular structures and Ca^{2+} binding. Food Hydrocolloids. 23: 1746–1755.

Vítor D. Alves, Filomena Freitas, Nuno Costa, Mónica Carvalheira, Rui Oliveira, Maria P. Gonçalves, Maria A.M. Reis. (2010). Effect of temperature on the dynamic and steady-shear rheology of a new microbial extracellular polysaccharide produced from glycerol byproduct. Carbohydrate Polymers. 79: 981–98.

Wloka, M., Rehage, H., Flemming, H.-C. and Wingender, J. (2004). Rheological properties of viscoelastic biofilm extracellular polymeric substances and comparison to the behavior of calcium alginate gels. Colloid Polym Sci. 282: 1067–1076.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณสมบัติวิทยากระแส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การเตรียมเครื่องก่อนการวิเคราะห์

1. เช็คดูความเรียบร้อยของอุปกรณ์ทุกชนิดของเครื่องให้อยู่ในสภาพที่พร้อมวิเคราะห์
2. เสียบปลั๊กของปั๊มลม รอจนกระทั่งความดันขึ้นถึง 30 psi
3. เสียบปลั๊ก stabilizer เปิด switch ด้านหลังเครื่อง กดปุ่ม ON ด้านหน้าเครื่อง
4. เปิดที่ครอบหัววัดแบริ่งของเครื่องรีโอมิเตอร์ ออกเปิด switch ด้านหลังเครื่อง
5. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์
6. ประกอบหัววัดเข้ากับตัวเครื่องรีโอมิเตอร์ โดยจะต้องประกอบด้วยความระมัดระวังและถูกต้อง คือ ใส่หัววัดด้านล่างแล้วหมุนปุ่มอลูมิเนียมทางด้านบนเท่านั้น ห้ามให้หัววัดอยู่ด้านล่างโดยเด็ดขาด
7. เสียบปลั๊กของอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ตรวจดูว่าระดับน้ำมีเพียงพอหรือไม่ถ้าระดับน้ำไม่เพียงพอให้เติม 70 เปอร์เซ็นต์ของเอทานอลให้ถึงระดับ เปิด switch ตั้งอุณหภูมิเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส(อุณหภูมิห้อง) รอจนกระทั่งได้อุณหภูมิที่ต้องการ

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. สร้าง Method ในการวิเคราะห์
2. เลือกวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งวิธีที่เลือกจะปรากฏที่หน้า Procedure ในขั้นตอนนี้จะเลือก Oscilation ซึ่งจะประกอบด้วยขั้นตอนในการวิเคราะห์หลายขั้นตอน โดยเริ่มจาก Condition step ทำการตั้งอุณหภูมิขณะวิเคราะห์เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง)
3. จากนั้นเป็น strain sweep step เพื่อหา Linear Viscoelastic Region (LVR) ของตัวอย่างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์โดยกำหนด %strain จาก 0.01-10 ปาสคาล เมื่อตั้งProcedure ทั้งหมดแล้วทำการบันทึก
4. ทำการ calibrate เครื่องรีโอมิเตอร์ โดยทำ Zero Gap จากนั้นทำ Rotational Mapping
5. กลับไปยังหน้า Main menu
6. เลือกที่ปุ่ม Experiment run Information เติมข้อมูลของตัวอย่าง
7. กดปุ่ม OK เริ่มการวิเคราะห์ตัวอย่าง
8. เมื่อได้กราฟของตัวอย่างที่แข็งและอ่อนที่สุดแล้วจะได้ค่า LVR คัดเลือกค่า Strain ที่ให้กราฟเป็นเส้นตรงที่สุด
9. นำไป วิเคราะห์โดยวิธี frequency sweep step โดยกำหนด %strain เท่ากับ 0.7 ปาสคาล frequency 0.01-100 เฮิซ์ท เมื่อตั้ง Procedure ทั้งหมดแล้วทำการบันทึก
10. ทำการ calibrate เครื่องรีโอมิเตอร์ โดยทำ Zero Gap จากนั้นทำ Rotational Mapping
11. กลับไปยังหน้า Main menu
12. เลือกที่ปุ่ม Experiment run Information เติมข้อมูลของตัวอย่าง
13. กดปุ่ม OK เริ่มการวิเคราะห์ตัวอย่าง
14. จะได้ค่า elastic modulus (G′) ค่าviscous modulus (G″) loss tangent (tan δ) และค่าcomplex viscosity (n*)

หมายเหตุ : วัดสิ่งทดลองละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ตัวอย่าง

ภาคผนวก ข

แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

แบบประเมินผลทางประสาทสัมผัส

Preference and Acceptance Test (Hedonic Scaling Test)

ชื่อผู้ทดสอบชิม.....วันที่.....

ชื่อผลิตภัณฑ์.....ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์.....ชุดที่.....1.....

คำชี้แจง: กรุณาทดสอบตัวอย่างต่อไปนี้ แล้วให้ระดับความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ใช้สเกลที่เหมาะสมเพื่อแสดงให้เห็นว่าท่านได้อธิบายความรู้สึกชอบในระดับใด โดยกำหนดให้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด	4 = ไม่ชอบเล็กน้อย	7 = ชอบปานกลาง
2 = ไม่ชอบมาก	5 = เฉยๆ	8 = ชอบมาก
3 = ไม่ชอบปานกลาง	6 = ชอบเล็กน้อย	9 = ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	**รหัสตัวอย่าง**			
	952	739	598	379
1. สี				
2. กลิ่น				
3. รสชาติ				
4. ความรู้สึกหลังการกลืน				
5. ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ (Proximate analysis)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน ด้วยวิธีเคลดาห์ล (AOAC Method 928.08)

<u>การย่อยตัวอย่าง</u>

ชั่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ 0.5 – 1.0 กรัม บนกระดาษกรองและห่อใส่ใน kjeldahl flask เติมสารสำเร็จรูป 5 กรัม จากนั้นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4) 20 มิลลิลิตร ลงใน kjeldahl flask นำไปย่อยใน kjeldahl digestion apparatus ที่อุณหภูมิ 400 °C โดยประมาณ ย่อยจนกระทั่งได้สารละลายใส ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำบริสุทธิ์ 75 มิลลิลิตร ลงในหลอดแก้วที่ย่อย จะได้สารละลายใส

<u>การกลั่นตัวอย่าง</u>

กลั่นตัวอย่างที่ได้จากการย่อยด้วยเครื่อง kjeldahl เติมสารละลายกรดบอริก 50 มิลลิลิตร ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร หยด mixed indicator 4-5 หยด นำไปวางรองบน distillate จากเครื่องกลั่นโดยให้ปลายหลอดแก้วจุ่มอยู่ในสารละลายกรดบอริกแล้วนำ kjeldahl flask ที่มีสารละลายตัวอย่าง มาเติมสารละลายโซดาไฟ (1:1) จำนวน 50 มิลลิลิตร ทำการกลั่น (ประมาณ 1 ชั่วโมง) จนได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร แล้วนำไปไทเทรต

<u>การไทเทรต</u>

ไทเทรตของเหลวที่กลั่นได้ด้วยกรดเกลือมาตรฐาน โดยสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากเขียวเป็นม่วง (purple) คือ จุด end point โดยที่การไทเทรต blank ทำในวิธีการเดียวกัน จากนั่นคำนวณหาปริมาณโปรตีน

1. การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน โดย Soxhlet method (AOAC Method 963.15)

บดตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ 30 กรัม โดยใช้โถบดยา นำ Cellulose extraction thimble ออกจากตู้ดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน นำตัวอย่างที่บดแล้ว 2- 3 กรัม ใส่ลงใน thimble จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งและปิดจุกด้วย glass wool และชั่งน้ำหนักอีกครั้ง นำ thimble ใส่ในเครื่อง Soxhlet extractor เติม petroleum ether 350 มิลลิลิตร ลงใน fask โดยใส่ glass boiling beads ลงไป 2-3 ลูก ทำการสกัดประมาณ 6 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำ thimble ออกมาวางในบีกเกอร์ แล้วนำไปใส่ในตู้ดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่ได้

2. การวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารหยาบ (AOAC Method 978.10)

นำกระดาษกรองอบในตู้อบอุณหภูมิ 105°C นาน 1 ชั่วโมง แล้วนำใส่ในตู้ดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักก่อนใช้ ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างที่ผ่านการสกัดเอาไขมันออกแล้ว 1± 0.001 กรัม ใส่บีกเกอร์ทรงสูงขนาด 600 มิลลิลิตร เติม 1.25% กรดซัลฟูริกที่ร้อน 150 มิลลิลิตร (ทำให้ร้อนโดยการอุ่นบน hot plate เพื่อรอการย่อย) ทำการย่อยเป็นเวลา 30 นาที (ตั้งบนไฟอ่อน) กรองตัวอย่างที่ได้ขณะร้อนผ่านกระดาษกรองที่ชั่งน้ำหนักแล้ว เพื่อล้างกรดซัลฟูริกออก จากนั้นล้างตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นที่ทำให้ร้อนจำนวน 3 ครั้ง หรือมากกว่าเพื่อล้างกรดออกให้หมด นำกากที่ได้ใส่ลงในบีกเกอร์ใบเดิม แล้วเติม 1.25% ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไป 150 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการย่อยตัวอย่างนาน 30 นาที จากนั้นกรองตัวอย่างที่ย่อยได้ขณะร้อนผ่านกระดาษกรองแผ่นเดิม ล้างด้วยน้ำกลั่นที่ทำให้ร้อนจำนวน 3 ครั้ง หรือมากกว่าเพื่อล้างกรดออกให้หมด ล้างตัวอย่างด้วยเอทานอล 95% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำตัวอย่างที่ย่อยได้พร้อมกระดาษกรองใส่ลงใน crucible อบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C นาน 3 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ นำออกจากตู้อบ แล้วปล่อยให้เย็นในตู้ดูดความชื้นและชั่ง

น้ำหนัก เผาตัวอย่างที่ผ่านการชั่งน้ำหนักในเครื่องเผาที่อุณหภูมิ 500 °C นาน 10 ชั่วโมง นำออกจากตู้และปล่อยให้เย็นในตู้ดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณใยอาหารหยาบ

3. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ด้วยการอบแห้งโดยใช้ตู้อบ (AOAC Method 925.10)

อบ Aluminum moisture can ในตู้อบอุณหภูมิ 100 – 130 °C นาน 20 – 30 นาที นำไปทำให้เย็นด้วยตู้ดูดความชื้น จากนั้นนำ Aluminum moisture can ไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ชั่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ 5 กรัม ใส่ลงใน Aluminum moisture can นำไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 100 – 105 °C นานประมาณ 2 – 3 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำออกมาจากตู้อบและปล่อยให้เย็นในตู้ดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบซ้ำหลายๆครั้ง จนได้น้ำหนักที่คงที่ ชั่งน้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่ คำนวณหาน้ำหนักของน้ำที่หายไป และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

4. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (AOAC Method 900.02 A)

อบ crucible ที่จะใช้ในการวิเคราะห์เถ้าในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 °C นาน 3 ชั่วโมงแล้วทิ้งไว้ 30 – 45 นาที เพื่อให้อุณหภูมิในเตาเผาลดลงก่อน นำออกจากเตาเผาแล้วใส่ในตู้ดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักของ crucible เปล่าและจดบันทึก จากนั้นชั่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเสริมสุขภาพจากสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ 5 – 10 กรัม นำเข้าเตาเผาอุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 12 - 18 ชั่วโมง และรอจนอุณหภูมิลดลงน้อยกว่า 250 °C จากนั้นปิดเตาเผา นำ crucible ออกจากเตาเผาและรีบปิดฝาทันที นำไปใส่ไว้ในตู้ดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องนำมาชั่งและคำนวณปริมาณเถ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

นางปิยะวรรณ กาสลัก

นางปิยะวรรณ กาสลัก เกิดเมื่อวันที่ 12 เดือนมีนาคม พ.ศ.2502 ณ จังหวัดนครราชสีมา ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ สังกัดสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วท.บ. (ชีววิทยา)จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2523 จบการศึกษาระดับปริญญาโท (Biotechnology and Biochemistry) จาก Mie University ประเทศญี่ปุ่น เมื่อปี พ.ศ. 2536 และจบการศึกษาระดับปริญญาเอก (Applied Sciences and Biotechnology) จาก Mie University ประเทศญี่ปุ่น เมื่อปี พ.ศ. 2539

นางปิยะวรรณ กาสลัก ได้มีผลงานทางวิชาการดังต่อไปนี้

Gasaluck, P., Lumprai, S. and Chaiwat, K. 2012. Microbial and heavy metal contamination monitoring of ready-to eat food in Nakhon Ratchasima province. International Journal of Food, Nutrition and Public Health Vol.5No. 1/2/3

Thitikorn, M. and Gasaluck, P. 2011. Effect of freeze drying and maltodextrin on Poly glutamic acid production ability of *Bacillus subtilis* starter powder. In Proceeding International Food Conference "Life Improvement through Food Technology" Surabaya, October 28th-29th pp. 80-85

Natthida, C. and Gasaluck, P. 2011. Bacteriocin production and its crude characterization of lactic acid bacteria isolates from pickled Garcinia schomburgkiana pierre.Asian Journal of Food and Agro-Industry. 4(01), 54-64

Natthida, C. and Gasaluck, P. 2010. Bacteriocin production and its crude characterization of Lactic acid bacteria isolates from pickled Garcinia schomburgkiana Pierre. In Proceeding of 12th Food Innovation Asia Conference on Indigenous Food Research and Development to Global Market). BITEC, Bangkok, Thailand. June 17-18, pp. 640-649

Natthida, C. and Gasaluck, P. 2010. Morphological changes of *Bacillus cereus* TISTR 687 cells induced by crude bacteriocin producing *Lactococcus lactis* ssp. lactis 1. In Proceeding of 22nd Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology (TSB): International Conference on Biotechnology for Healthy Living. Prince of Songkla University, Trang Campos, Thailand. October 20-22.

Petchkongkaew, A., Taillandier,P., Gasaluck, P., and Lebrihi, A. 2008. Isolation of *Bacillus* spp. from Thai Fermented Soybean (Thua-nao): Screening for Aflatoxin B1 and Ochratoxin A detoxification. Journal of Applied Microbiology Vol.104 (No.5) 1495- 1502 (8)

Oonmetta-aree, J., Suzuki, T., Gasaluck, P., and Eumkeb, G. 2006. Antimicrobial Properties and Action of Galangal (Alpinia galanga Linn.) on *Staphylococcus aureus*. LWT Food Science and Technology (39) 1214-1220

Thongbai, B., Gasaluck, P., and Waites, W. M. 2006. Morphological changes of temperature- and pH-stressed Salmonella following exposure to cetylpyridinium chloride and nisin. LWT - Food Science and Technology. (39) 1180-1188

Thongbai, B., Waites, W. M. and Gasaluck, P. 2005. The susceptibility of Bioluminescent *Salmonella typhimurium* Contaminating Chicken Carcases to Cetylpyridinium Cholide and Nisin. Kasetsart Journal: Natural Science October-December 2005. Vol. 39 No. 4 (622-632)

Gasaluck, P. 1999. The Development of the Curricula of Food Technology of Suranaree University of Technology (SUT). In Proceedings of the International Workshop on University Education, Research and in Asia-Pacific Region, Mie University Press, April 6 and 7

Gasaluck, P., Yokoyama, K., Kimura, T. and Sugahara, I. 1996. The occurrence *of Bacillus cereus* in Local Thai Traditional Foods. J. Antibact. Antifung. Agents Vol 24. No. 5 (349-356)

Gasaluck, P., Yokoyama, K., Kimura, T. and Sugahara, I. 1996. Some Chemical and Microbiological Properties of Thai Fish Sauce and Paste. J. Antibact. Antifung. Agents Vol 24. No. 6, (385-390)

Chinzei, Y., Gasaluck, P., et al. 1995. "A Study of Three Endemic Diseases in Rural Areas of Northeast Thailand." International Scientific Research Program (Grant No. 04041057), Mie University, School of Medicine.

Gasaluck, P. 1994. "Thai Fermented Fish Sauce." In Proceedings of the International Seafood Research Meeting of Mie University, Mie Academic Press, September 30.

Hibasami, H., Midorikawa, Y., Gasaluck, P., Tsukada, T., Shirakawa, S., Yoshimura, H., Imai, M., Nakashima, K. 1992. Growth Inhibition of Canida By 15- Deoxyspergualin, an Immunosuppressive Agent Used In Experiment Organ Transplantation. Letters in Applied Microbiology. Vol 14 (81-83)

Hibasami, H., Midorigawa, Y., Gasaluck, P., Yoshimura, H., Masuji, A., Takaji, S., Nakasahima, K., Imai M. 1991. Bactericidal Effect of 15-Deoxyspergualin, on *Staphylococcus aureus*. J. Chemotherapy Vol. 37 (202-205)

Midorigawa, Y., Hibasami, H., Gasaluck, P., Yoshimura, H., Masuji, A., Nakashima, K. and Imai, M. 1991. Evaluation of the Antimicrobial Activity of Methyglyoxal Bis (Guanylhydrazone) Analogdes, The Inhibitors for Polyamine Biosynthetic pathway. J. Applied. Bacteriol Vol 70 (291-293)

Gasaluck, P., Midorigawa, Y., Imai, M. and Yoshimura, H. 1990. Enteropathogenic *E.coli* (ETEC) Isolation in Northeast Thailand and Their Resistance to Antibiotics. Mie Medical Journal Vol 40 (3):379-384.

Thongrajai, P., Chanarat, P., Kulapongs, P., Chanarat, N., Gasaluck, P. and Kaewpila, S. 1988. Epidermiological Assessment of Anti-HIV I Anti-bodies in Thailand, Sounteast Asian J.Trop.Med.Pub.Hith Vol 19. No. 4 Dec.

Thongrajai, P., Chanarat, P., Kulapongs, P., Chanarat, N. and Gasaluck, P. 1988. Seroepidemiology of Anti-HIV I Antibodies. In Thailand, Srinagarind Hospital
Medicine Vol 3. No. 4, Oct-Dec.

Thongrajai, P., Gasaluck, P. et al. 1986. Detection of Anti-Rota Virus Secretory IgA by ELISA. The Second Annual Meeting on Faculty of Medicine Khon Kaen University.

Thongrajai, P., Gasaluck, P. et al., 1986. Diarrhoea in Children in Rural Thailand. 1986. A Full research report to the USAID Department of Microbiogy Faculty of Medicine Khon Kaen University.

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

นางปิยะวรรณ กาสลัก หัวหน้าโครงการวิจัย การศึกษาอายุการเก็บของขนมถั่วอบเทียน 2552

นางปิยะวรรณ กาสลัก หัวหน้าโครงการวิจัย การใช้ไนซินในการยับยั้งการงอกของสปอร์ *Clostridium* spp. ที่คัดแยกมาจากชิ้นปลาที่บรรจุในสภาวะการปรับเปลี่ยนบรรยากาศ

นางปิยะวรรณ กาสลัก ผู้ร่วมโครงการวิจัยการวิจัย สถานการณ์ความปลอดภัยด้านผักและผลไม้กรณีตลาดนัด-รถเร่ (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง) 2548

นางปิยะวรรณ กาสลัก ผู้ร่วมโครงการวิจัย โครงการศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในโรงฆ่าสุกร การขนส่งจากโรงฆ่าไปยัง จุดจำหน่าย และแหล่งจำหน่ายเนื้อสุกร ในเขตจังหวัดนครราชสีมาและอุบลราชธานี 2552

นางปิยะวรรณ กาสลัก หัวหน้าโครงการวิจัย โครงการ “การยืดอายุการเก็บรักษาขนมถั่วกวนอบเทียน” 2553

นางปิยะวรรณ กาสลัก หัวหน้าโครงการวิจัย โครงการ “การพัฒนากุนเชียงไขมันต่ำ” 2553

นางปิยะวรรณ กาสลัก หัวหน้าโครงการวิจัย โครงการเรื่อง “การศึกษาผลการเติม แคลเซียมเบนโทไนต์ในอาหารสัตว์ต่อการดูดซับสารพิษจากเชื้อรา” 2553

นางปิยะวรรณ กาสลัก หัวหน้าโครงการวิจัย : โครงการเรื่อง “สารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากการหมักผลเชอร์รี่เปรี้ยว (*Prunus cerasus* L.)” 2553

นางปิยะวรรณ กาสลัก หัวหน้าโครงการวิจัย : โครงการเรื่อง “การเฝ้าระวังการปนเปื้อนจุลินทรีย์และโลหะหนักในอาหารสำเร็จรูป เพื่อจำหน่ายในเขตจังหวัดนครราชสีมา” 2553

นางปิยะวรรณ กาสลัก หัวหน้าโครงการวิจัย : โครงการเรื่อง “การลดกลิ่นไม่พึงประสงค์และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ถั่วหมัก โดยการใช้ *Bacillus subtilis* เป็นกล้าเชื้อในการหมัก” 2553

นางปิยะวรรณ กาสลัก หัวหน้าโครงการ: การจัดทำระบบ GMP สำหรับน้ำปรุงรสผัดหมี่ 2555

ที่อยู่ สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
จังหวัด นครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ 0-4422 - 4270 โทรสาร 0-4422 – 4387
Email address: piyawan@sut.ac.th

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

นายศิวัฒ ไทยอุดม

นายศิวัฒ ไทยอุดม เกิดเมื่อ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วท.บ. (พัฒนาผลิตภัณฑ์) จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2535 จบการศึกษาระดับปริญญาโท วท.ม. (เทคโนโลยีอาหาร) จาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2538 และจบการศึกษาระดับปริญญาเอก Ph.D. (Food Science) จาก University of Guelph ประเทศแคนาดา เมื่อปี พ.ศ. 2545

นายศิวัฒ ไทยอุดม ได้มีผลงานางวิชาการดังต่อไปนี้

Numphon Thaiwong and Siwatt Thaiudom. Production of Recombinant β Galactosidase in Lactobacillus plantarum, using a pSIP-Based Food-Grade Expression System. (2014). International Symposium on "Physics and Mechanics of New Materials and Underwater Applications" (PHENMA 2014). March 27-29, 2014, Khon Kaen, Thailand.

Pachamon Pichayajittipong and Siwatt Thaiudom (201**4**) Optimum Condition of Beta-Cyanin Colorant Production from Red Dragon Fruit (*Hylocercus polyrhizus*)Peelsusing Response Surface Methodology**.** Proceeding in The 2nd International Conference on "Food and Applied Bioscience. 6-7 February 2014. Chiang Mai. Thailand.

Sirinat Natisri, Kanjana Mahattanatawee and Siwatt Thaiudom (2014). Flavor improvement of soy ice cream by addition of lemongrass or pandan leaf extracts. Proceeding in The 2nd International Conference on "Food and Applied Bioscience. 6-7 February 2014. Chiang Mai. Thailand.

T. Pojit and S. Thaiudom (2014) The influence of interaction between milk protein types and emulsifiers on fat stabilisation, air cells, melting rate, and overrun of milk ice-cream. The 2nd Symposium on microstructure of dairy products. 3-4 March 2014. Melbourne, Australia. Poster presentation and abstract proceeding.

Pachamon Pichayajittipong and Siwatt Thaiudom (2013) Optimization Condition of Natural β-Cyanin Colorant Production from Red Dragon Fruit (Hylocercus polyrhizus) Peels. The 15th Food Innovation Asia Conference 2013. 13-14 June 2013. Bitec Bangna, Bangkok. Thailand.

S. Thaiudom and T. Pojit (2013) The effects of emulsifiers and milk proteins on

stability, microstructure, and interfacial protein adsorption on fat of ice cream mix. Abstract. The 2013 UFT Annual Meeting & Food Expo 13-16 July 2013. McComick Place South, Chicago, Illinois, USA.

S. Thaiudom, K. Khantarat, H. Nopcharoonsri (2012). Influences of milk protein/modified starch interaction and pasteurization conditions on O/W emulsion characteristics. The 11th International Hydrocolloids Conference. 14-18 May 2012. Whistler Center for Carbohydrate Research, Purdue University, Indiana, USA.

S. Thaiudom (2012) The effects of milk/ modified starch interaction on rheological properties and stability of O/W emulsion. Abstract. The 11th International Hydrocolloids Conference. 14-18 May 2012. Whistler Center for Carbohydrate Research, Purdue University, Indiana, USA.

K. Khantarat and S. Thaiudom (2011) Stability and Rheological Properties of Fat-Reduced Mayonnaises Containing Modified Starches as Fat Replacer. Thai Journal of Agricultural Science 44(5): 304-311.

S. Thaiudom (2011) Stability and rheological properties of fat-reduced mayonnaises by using sodium octenyl succinate starch as fat replacer. Peocedia Food Science. 1:315-321.

S. Thaiudom (2011) Stability and rheological properties of fat-reduced mayonnaises by using sodium octenyl succinate starch as fat replacer. 11th International Congress on Engineering and Food: Food Process Engineering in a Changing World (iCEF11), 22-26 May 2011. Athens, Greece.

Siwatt Thaiudom (2010). Comparisons of physical and rheological properties of milk ice cream containing hydroxypropylated starch and kappa-carrageenan as stabilizer.1st International Congress on Food Technology, 3-6 November 2010, Antalya, Turkey.

S. Thaiudom (2009) The affective tests of pasteurized milk containing sunflower oil as substitute and fortified vitamin D_3 and calcium. 8th Pangborn Sensory Science Symposium 26-30 July 2009, Stazione Leopolda, Florence, Italy.

Siwatt Thaiudom, Khoon Singchan, and Thanomduang Saeli. (2008). Comparison of Commercial stabilizers with modified tapioca starches on foam stability and overrun of ice cream. As. J. Food Ag-Ind. 2008, 1(01), 51-61

Tidawan Pojit and Siwatt Thaiudom. (2008). Influences of milk proteins and emulsifiers on the stability and quality of ice cream. Oral Presentation in the 34th Scientific and Technological Meeting of Thailand.Queen Sirikit Conventional Hall. Bangkok. 31 October-2 November 2008.

Thaiudom, S. (2007). Effect of modified tapioca as ice cream stabilizer and non butter fat on the overrun and air cell stability of ice cream model system.Report, Reported to National Center for Genetic Engineering and Biotechnology National Science & Technology Development Agency.

Nantika Thungmanee, Kanok-Orn Intarapichet and Sukrit Thaiudom. (2007). Effects of spraydrying parameters of whole egg on water activity, color and oxidation, illustrated by using response surface design. Proceeding of The Food Innovation Asia 2007. BITECBangkok Thailand .

Suwayd Ningsanond, Piyawan Gasalak, Khowgamond Donkhaow, Narin Sithithoon and Siwatt Thaiudom. (2007). A study of food safety in fruits and vegetables : Fee market and Vender Cart. KNIT Thailand grant research report (in Thai).

Thaiudom, S. (2007). Effects of ratio of milk fat to soy bean oil and whipping time on qualities of milk ice cream. Songklanakarin J. Sci. Technol. 29(1) : 191-204.

S. Thaiudom and H.D. Goff, (2003), Effect of **κ**-carrageenanon milk protein polysaccharide mixtures, International Dairy Journal 13 pp. 763–771.

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

นายศิวัฒ ไทยอุดม หัวหน้าโครงการ การผลิตและการศึกษาสมบัติทางชีวภาพของสีผสมอาหารแอนโธไซยานินธรรมชาติจากเปลือกแก้วมังกร แหล่งทุน วช (มทส.) ประจำปีงบประมาณ 2554

นายศิวัฒ ไทยอุดม หัวหน้าโครงการ การพัฒนาผลิตภัณฑ์เฉาก๊วยผงกึ่งสำเร็จรูปด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นกระจาย แหล่งทุน วช (มทส.) 2552

นายศิวัฒ ไทยอุดม หัวหน้าโครงการ การแยกเฟสของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรและโปรตีนนม แหล่งทุนสกว. ร่วมกับ สกอ. ประจำปีงบประมาณ 2551

นายศิวัฒ ไทยอุดม หัวหน้าโครงการ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างระดับจุลภาคและคุณภาพของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโดยสารช่วยในการรวมตัวของน้ำและน้ำมันและโปรตีนแหล่งทุน วช. (มทส.) 2551

นายศิวัฒ ไทยอุดม หัวหน้าโครงการ การผลิตและการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในนมพาสเจอไรซ์สำหรับผู้สูงอายุ แหล่งทุน วช ประจำปีงบประมาณ 2550

นายศิวัฒ ไทยอุดม หัวหน้าโครงการ การวิเคราะห์ปริมาณเมลาโทนินในผลิตภัณฑ์น้ำนมพลาสเจอไรซ์ แหล่งทุนร่วมโครงการ ITAP สวทช. 2550

นายศิวัฒ ไทยอุดม หัวหน้าโครงการ ผลของแป้งดัดแปรและไขมันพืชต่อความคงตัวและการขึ้นฟอง ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม แหล่งทุน Biotec สวทช. 2550

นายศิวัฒ ไทยอุดม หัวหน้าโครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมจากโปรตีนและไขมันพืช แหล่งทุน วช. (มทส.). 2550

นายศิวัฒ ไทยอุดม หัวหน้าโครงการการปรับปรุงกลิ่นรสของไอศกรีมที่มีโปรตีนและน้ำมันจากถั่วเหลืองด้วยสมุนไพร แหล่งทุน วช (มทส.) 2550

นายศิวัฒ ไทยอุดม หัวหน้าโครงการ การพัฒนากระบวนการผลิตและบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์เห็ดหอมแปรรูปใน ระดับชุมชนในจังหวัดนครราชสีมา แหล่งทุน สกอ. 2550

นายศิวัฒ ไทยอุดม หัวหน้าโครงการ การวิเคราะห์คุณลักษณะของอาหารสัตว์โดยวิธีทางประสาทสัมผัส โครงการรวมวิจัยกับบริษัทเอฟเฟ็ม ฟูดส์ ประเทศไทย จำกัด 2548

นายศิวัฒ ไทยอุดม หัวหน้าโครงการ สมบัติกระแสวิทยาของไหลและโครงสร้างระดับจุลภาคของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมกะทิสด แหล่งทุน วช. (มทส.). 2547

ที่อยู่ สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
จังหวัด นครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ 0-4422 - 4145 โทรสาร 0-4422 – 4217
Email address: thaiudom@sut.ac.th