รหัสโครงการ SUT7-703-65-12-03

รายงานการวิจัย

ผลของการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ต

(Effects of prebiotic addition on Physicochemical properties of Ice cream yogurt)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-703-65-12-03

รายงานการวิจัย

ผลของการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ต

(Effects of prebiotic addition on Physicochemical properties of Ice cream yogurt)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ
อาจารย์พรพิมล มูลแก้ว
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2565
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มิถุนายน 2566

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยเรื่อง ผลของการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ต สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณหน่วยงานที่สนับสนุนการวิจัย โดยการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2565 ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิราพร จุลยุเสน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ที่กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะ ช่วยเหลือตลอดการทำวิจัย ขอขอบคุณอาคารเกษตรภิวัฒน์ (F14) และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (F11) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือและสถานที่ในการทำงานวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกๆฝ่ายของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่านที่เสียสละเวลา และได้ให้ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกให้แก่ผู้วิจัยด้วยดีมาตลอด และงานวิจัยนี้คงไม่สำเร็จหากขาดผู้ช่วยวิจัยเหล่านี้ คือ นายพีรวัฒน์ แตงโสภา นางสาวนลินทิพย์ ยลถวิล และนางสาววรนุช ภูมิโคกรักษ์ จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

พรพิมล มูลแก้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

พรีไบโอติกมีคุณสมบัติเป็นใยอาหาร ที่ร่างกายไม่สามารถย่อยและดูดซึมได้ที่ลำไส้เล็กแต่จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียโพรไบโอติกในลำไส้ใหญ่ จึงมีประโยชน์ต่อระบบทางเดินอาหาร การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมพรีไบโอติกต่อคุณสมบัติทางด้านเคมีกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ต ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่าง ความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ องค์ประกอบทางเคมี ค่าความหนืด ค่าสี ร้อยละการขึ้นฟู เนื้อสัมผัส และอัตราการละลาย พรีไบโอติกที่ใช้ศึกษา ได้แก่ ผงอินนูลิน (Inulin) ผงกล้วยดิบ (Banana powder) และผงแก่นตะวัน (Jerusalem artichoke powder) ซึ่งถูกเติมลงในส่วนผสมทำไอศกรีมร้อยละ 4 อัตราส่วนผสมทำไอศกรีมต่อโยเกิร์ตคือ 40: 60 %w/w ผลการศึกษาพบว่าชนิดของพรีไบโอติกมีผลต่อคุณภาพในด้านต่าง ๆ ของไอศกรีมโยเกิร์ต สำหรับค่าความหนืด ร้อยละการขึ้นฟู อัตราการละลาย และความแน่นเนื้อของไอศกรีมโยเกิร์ตจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยไอศกรีมสูตรที่เติมผงแก่นตะวันจะให้ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม และค่าความแข็งของไอศกรีมน้อยกว่าทุกสูตร ไอศกรีมมีร้อยละการขึ้นฟูสูง และมีอัตราการละลายเร็วที่สุด แตกต่างจากสูตรที่เติมอินนูลินจะให้ค่าความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมมากที่สุด มีร้อยละการขึ้นฟูของไอศกรีมน้อย และไอศกรีมมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณไขมัน ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และกรดแลคติกมากกว่าสูตรอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนไอศกรีมสูตรที่เติมผงกล้วยดิบจะมีความแข็งมากกว่าทุกสูตร และให้อัตราการละลายที่ช้าที่สุด นอกจากนี้พรีไบโอติกทุกชนิดให้ค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มากกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม (ไม่เติมพรีไบโอติก) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไอศกรีมทุกสูตรมีค่า pH ความชื้น และปริมาณน้ำอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นการเติมผงอินนูลินมีแนวโน้มช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านองค์ประกอบทางเคมี และด้านความหนืดของไอศกรีม การวิจัยศึกษาเพิ่มเติมจะเน้นไปที่การทดสอบการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม

คำสำคัญ: แก่นตะวัน ผงกล้วยดิบ พรีไบโอติก อินนูลิน ไอศกรีมโยเกิร์ต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

Prebiotics are fibers aren't digestible and absorbed by small intestine in your body but prebiotics are fermented and digest by beneficial bacteria found in colon, therefore can encourage the growth of beneficial bacteria and helpful to the digestive system. The purpose of this research was to study the effects of prebiotic addition on physicochemical properties of ice cream yogurt, namely pH, moisture content, water activity (a_w), chemical composition, proximate, viscosity, colour, %overrun, texture and melting rate. The prebiotics used in this study were inulin, Banana powder, and Jerusalem artichoke powder by adding 4% each ice cream mixture. However, the ratio of ice cream mixture to yogurt mix was 40:60%w/w. The results showed that used of different prebiotics affecting significant ($p \leq 0.05$) in the viscosity consistency, %overrun, melting rate, and hardness of ice cream yogurt. The ice cream containing the Jerusalem artichoke powder showed the lowest viscosity consistency and hardness. and enhanced the %overrun and melting rate compared to the others. On the other hand, Inulin had a completely different effect on the viscosity consistency and ice creams with lower overrun, and showed that highest approximately (Fat, total sugar and lactic acid) when compared with the other sample. ($p \leq 0.05$). Addition of the banana powder caused highest hardness value and decreased the melting time of ice cream. Moreover, the colour results showed that addition the prebiotic also affected increase their light (L*) and yellow (b*) over significant differences ($p \leq 0.05$) the control sample (no addition the prebiotic). All ice creams had no significant differences ($P > 0.05$) in pH, moisture content and a_w. Thus, the addition of inulin powder tends to improve the quality of chemical composition and viscosity of ice cream. Future study is needed to evaluate the sensory properties of ice cream.

Keyword: Banana powder, Ice cream yogurt, Inulin, Jerusalem artichoke powder, Prebiotic

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
ไอศกรีม	2
พรีไบโอติก	9
สารอินนูลิน	10
ผงกล้วยดิบ	12
แก่นตะวัน	13
โยเกิร์ต	15
ความหนืด	19
การแช่แข็งของอาหาร	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
การผลิตไอศกรีมโยเกิร์ต	22
การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี	25
การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ	26
การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส	27
การวิเคราะห์ทางสถิติ	28
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
ผลการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีของไอศกรีมโยเกิร์ต	29
ผลการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ต	30
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการวิจัย	37
ข้อเสนอแนะ	37
บรรณานุกรม	38
ประวัติผู้วิจัย	42

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 2.1 ปริมาณอินนูลินที่พบในอาหารบางชนิด 11
ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของโยเกิร์ต 22
ตารางที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของส่วนผสมไอศกรีมในแต่ละสูตร 23
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม 29
ตารางที่ 4.2 ค่า viscosity consistency (k) และค่า flow behaviour index (n) ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม 30
ตารางที่ 4.3 ค่าร้อยละการขึ้นฟู (%Overrun) ของไอศกรีมทั้ง 4 สูตร 33
ตารางที่ 4.4 ค่าสี (Colour) ของไอศกรีมที่เติมพรีไบโอติกทั้ง 4 สูตร 34
ตารางที่ 4.5 ค่าความแข็ง (Hardness) และค่าการเกาะติด (adhesiveness) ของไอศกรีมที่เติมพรีไบโอติกทั้ง 4 สูตร 35

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไอศกรีมแสดงส่วนผสมต่าง ๆ ได้แก่ เกล็ดน้ำแข็ง อากาศ ก้อนไขมัน น้ำตาล (ซูโครส) และสารแต่งกลิ่น (เช่น วานิลลิน) 3
รูปที่ 2.2 อิมัลซิไฟเออร์และโปรตีนนมที่ถูกดูดซับที่ผิวเม็ดไขมัน และการตกผลึกของไขมันระหว่างกระบวนการบม..... 5
รูปที่ 2.3 แผนผังกระบวนการผลิตไอศกรีม 8
รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของสารอินนูลิน 11
รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการผลิตโยเกิร์ตชนิดคงตัวและโยเกิร์ตชนิดกวน 18
รูปที่ 2.6 กราฟการไหล (a) และความหนืดของของไหล (b) แบบนิวโตเนียน 19
รูปที่ 2.7 กราฟการไหล (a) และความหนืดของของไหล (b) แบบนอนนิวโตเนียน..... 20
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอาหารผ่านช่วงวิกฤต..... 20
รูปที่ 2.9 กราฟการแช่เยือกแข็ง 21
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมโยเกิร์ต 22
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมแก่นตะวันแห้ง 23
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทำไอศกรีมโยเกิร์ต 24
รูปที่ 3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของไอศกรีมโยเกิร์ต 25
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) 26
รูปที่ 3.6 การวิเคราะห์อัตราการขึ้นฟูของไอศกรีม (%Overrun) 26
รูปที่ 3.7 เครื่องวัดสี (Colorimeter) 27
รูปที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) 28
รูปที่ 4.1 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือน (shear rate) และแรงเค้นเฉือน (shear stress) ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตร..... 31
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือน (Shear rate) กับความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ของส่วนผสม พร้อมทำไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตร..... 31
รูปที่ 4.3 ผงพรีไบโอติก 33
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าน้ำหนักการละลายของไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตรเทียบกับเวลา 36
รูปที่ 4.5 อัตราการละลายของไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตร 36

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักน้ำนมด้วยแบคทีเรีย สเตรปโทค็อกคัส เทอร์โมฟิลัส (*Streptococcus thermophiles*) และแล็กโทบาซิลลัส เดลบรึคคิไอ ซับสปีชีส์ บัลแกริคัส (*Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*) (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2556) ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้จัดเป็นโพรไบโอติก (probiotics) ซึ่งสามารถย่อยพรีไบโอติก (prebiotics) ได้ ร่างกายปกติของมนุษย์ไม่สามารถย่อยและดูดซึมพรีไบโอติกในระบบทางเดินอาหารได้ พรีไบโอติกจะทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานและส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติก สารที่จัดอยู่ในกลุ่มของพรีไบโอติกมีหลายชนิดส่วนใหญ่พบในผักและผลไม้ เช่น สตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (resistant starch) พบในกล้วยดิบ โอลิโกแซกคาไรด์ (oligosaccharides) และอินนูลิน (inulin) พบในแก่นตะวันและกระเทียม และผงบุก (konjac) พบในหัวบุก เป็นต้น สารเหล่านี้ถูกนำมาผสมในผลิตภัณฑ์อาหารหลายรูปแบบ เช่น เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ อาหารเช้าธัญพืช เยลลี่ น้ำนม และโยเกิร์ต เป็นต้น (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2550; Tanjor et al., 2012) การหมักนี้ทำให้โยเกิร์ตมีรสชาติเปรี้ยว มีส่วนช่วยในระบบย่อยอาหาร รักษาอาการท้องผูกจึงช่วยในระบบขับถ่าย ป้องกันการเกิดความดันโลหิตสูง และการควบคุมน้ำหนัก

อินนูลิน (inulin) คือ คาร์โบไฮเดรตที่จัดเป็นเส้นใยอาหาร โดยร่างกายไม่สามารถย่อยได้ในระบบทางเดินอาหารและไม่ให้พลังงาน อินนูลินสามารถถูกย่อยได้ด้วยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่ อินนูลินจึงถูกจัดเป็นพรีไบโอติก ส่วนใหญ่อินนูลินถูกนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมัน (fat replacer) เนื่องจากอินนูลินมีผลช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสให้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่ลดไขมันหรือมีไขมันต่ำ เช่น ในผลิตภัณฑ์จำพวกไอศกรีม เนยแข็ง และโยเกิร์ต เป็นต้น (Junyusen et al., 2017)

แก่นตะวัน (Jerusalem Artichoke) เป็นพืชหัวสมุนไพรที่มีปริมาณอินนูลินสูงกว่าพืชชนิดอื่นๆ เป็นสารพรีไบโอติกและใยอาหาร ที่ไม่สามารถถูกย่อยและดูดซึมในระบบทางเดินอาหารตอนบน สามารถผ่านลงไปยังบริเวณลำไส้ใหญ่ได้ จึงเป็นอาหารของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ซึ่งช่วยป้องกันการติดเชื้อในลำไส้ ลดระดับคลอเรสเตอรอลและความดันโลหิต ปัจจุบันได้มีการนำแก่นตะวันมาแปรรูปเป็น แป้งแก่นตะวัน แป้งอินนูลิน น้ำเชื่อมฟรักโทส เพื่อประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมหรือสารเติมแต่งของอาหารและผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ เช่น ผลิตภัณฑ์แปรรูปเนื้อ (ไส้กรอก) เครื่องดื่มน้ำผักผลไม้พร้อมดื่ม เครื่องดื่มชาและกาแฟ ผลิตภัณฑ์นม ไอศกรีม โยเกิร์ต เป็นต้น (นพพร, 2558)

แป้งกล้วยดิบ (Banana) มีสมบัติเป็นแป้งที่ต้านทานการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ประเภทที่ 2 (Resistance Starch 2; RS2) โดย RS2 คือ เม็ดแป้งดิบที่ทนต่อการที่ทนต่อการทำงานของเอนไซม์ (raw or ungelatinized starch) เป็นแป้งที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำให้สุก ซึ่งมักพบในแป้งที่มีอะไมโลสสูง เม็ดแป้งมันฝรั่งดิบ เม็ดแป้งกล้วยดิบ เป็นต้น (Sajilata et al., 2006) งานวิจัยของ Englyst et al. (1992) และ Goñi et al. (1996) พบว่าแป้งกล้วยมีปริมาณ RS เท่ากับ 51.3% ถึง 53.1% ซึ่งคุณสมบัติของ RS จะเทียบเท่าเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ซึ่งมีประโยชน์ต่อระบบขับถ่ายและระบบหมุนเวียนเลือด และช่วยยับยั้งการสะสมของไขมัน (Higgins et al., 2004)

มอลทิทอล (maltitol) เป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ (sugar alcohol) ที่มีความหวานประมาณ 90% ของน้ำตาลทราย โดยมอลทิทอลให้พลังงาน 2.1 กิโลแคลอรีต่อกรัม (Zumbé et al., 2001) มอลทิทอลจัดเป็นสารที่มีดัชนีน้ำตาลในเลือดต่ำ (GI) เหมาะกับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก เนื่องจากมอลทิทอลถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็กได้ช้าทำให้การดูดซึมเข้าสู่ร่างกายช้า นอกจากนี้สามารถลดการเกิดฟันผุได้ มอลทิทอล

ปลอดภัยต่อผู้บริโภค และได้รับการยอมรับในการบริโภคโดยไม่กำหนดปริมาณการบริโภคต่อวัน (Zumbé et al., 2001; Rapaille et al., 2016; Grembecka, 2015)

ไอศกรีมเป็นของหวานที่นิยมอย่างมากในทุก ๆ ที่ สามารถรับประทานได้ทั้งเด็กและผู้ใหญ่ ไอศกรีมยังมีประโยชน์มากมาย เช่น ให้คุณค่าทางโภชนาการสูง และช่วยสร้างความสุขในเวลาทาน เป็นต้น ไอศกรีมที่มีนมเป็นส่วนผสมหลักจะมีแคลเซียมสูง การแปรรูปโยเกิร์ตซึ่งมีลักษณะกึ่งแข็ง (semi-solid) จากการเกิดเจลของโปรตีนในน้ำนมระหว่างการหมักให้เป็นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตแช่แข็งหรือไอศกรีมโยเกิร์ต ซึ่งจัดเป็นอาหารที่กำลังเป็นที่นิยมอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากรสชาติทั้งหวานอมเปรี้ยว เหมาะกับการบริโภคกับบุคคลทั่วไป และมีอายุการเก็บรักษานานมากขึ้น ดังนั้นจึงเป็นที่มาของโครงงานนี้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมอินนูลิน ผงแก่นตะวัน และผงกล้วยดิบ ซึ่งจัดเป็นสารพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 ศึกษาผลของการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ต

3. ขอบเขตของการวิจัย

3.1 พรีไบโอติกที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้แก่ ผงแก่นตะวัน (Jerusalem Artichoke powder) อินนูลิน (Inulin) และผงกล้วยดิบ (Banana powder)

3.2 ใช้นมสดพาสเจอร์ไรซ์ชนิดไขมันเต็ม (pasteurized whole milk) ในการทำโยเกิร์ตชนิดคงตัว ผสมสตอว์เบอร์รีผง

3.3 ใช้มอลทิอลเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลทราย

3.4 ใช้แซนแทนกัม (xanthan gum) และผงบุก (konjac) เป็นสารให้ความคงตัว (stabilizer)

3.5 งานวิจัยถูกดำเนินการในระดับห้องปฏิบัติการ (laboratory scale) เท่านั้น

4. ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

4.1 ด้านวิชาการ ทำให้ทราบองค์ความรู้ด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร โดยผลการวิจัยได้นำไปนำเสนอในการประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 9 (FENETT'2023 Conference) ซึ่งจัดโดยภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วันที่ 4 เมษายน 2566 นอกจากนี้นักศึกษาทั้งในระดับปริญญาตรี และระดับบัณฑิตศึกษาของสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรที่เข้ามาช่วยในโครงการวิจัยนี้จะได้รับความรู้ในการวิจัยซึ่งเป็นโอกาสอันดีในการสร้างนักวิจัยรุ่นใหม่ต่อไป

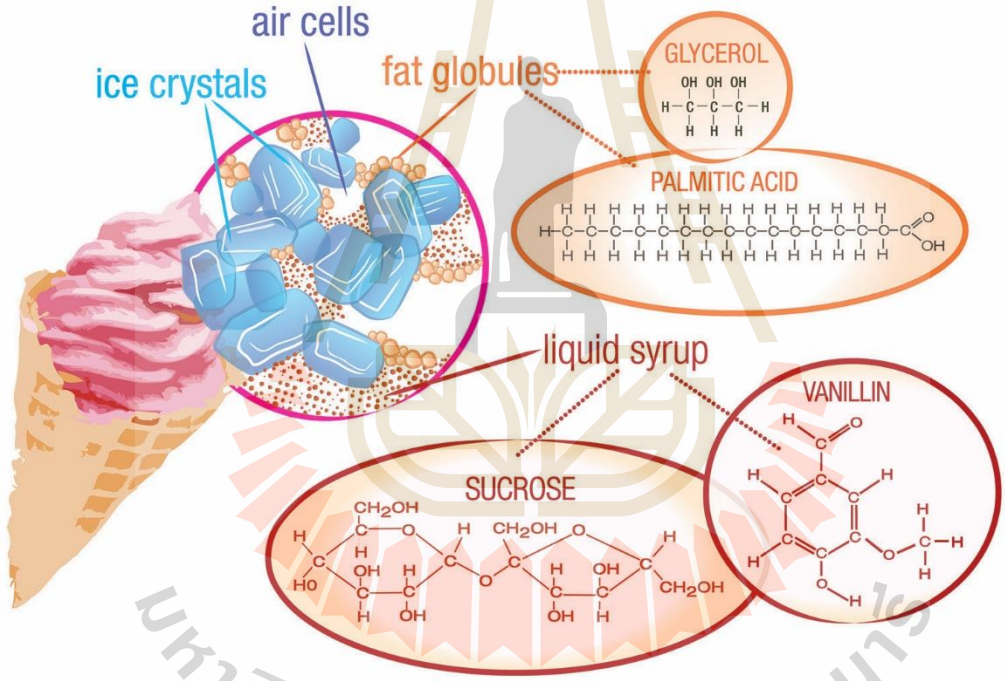
4.2 งานวิจัยนี้ช่วยเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ของโยเกิร์ต และไอศกรีม นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ (functional food) ซึ่งเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่ชอบบริโภคไอศกรีมและยังได้รับประโยชน์จากพรีไบโอติกอีกด้วย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับไอศกรีมโยเกิร์ตที่เสริมพรีไบโอติก ประกอบด้วย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับไอศกรีม กระบวนการผลิตไอศกรีม โยเกิร์ต พรีไบโอติกและคุณประโยชน์ ชนิดพรีไบโอติกที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ อินนูลิน กล้วยดิบ หัวแก่นตะวัน คุณสมบัติทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกระบวนการผลิตไอศกรีม ความหนืด การแช่เยือกแข็ง มีดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ไอศกรีม (ice cream)

ไอศกรีมเป็นของหวานแช่แข็งที่มีการอัดอากาศเข้าไปในโครงสร้าง ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตไอศกรีม ได้แก่ ไขมัน ส่วนของของแข็งในนมที่ไม่ใช่ไขมัน (MSNF) สารให้ความหวาน สารเพิ่มความคงตัว อีมัลซิไฟเออร์ และสารปรุงแต่งกลิ่นรสและสี (Flavors and colors) โดยไอศกรีมจะต้องมีส่วนประกอบของไขมันและของแข็งในนมที่ไม่ใช่ไขมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ (Marshall et al., 2003) รูปที่ 2.1 แสดงส่วนผสมต่าง ๆ ที่พบในไอศกรีม



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไอศกรีมแสดงส่วนผสมต่าง ๆ ได้แก่ เกล็ดน้ำแข็ง อากาศ ก้อนไขมัน น้ำตาล (ซูโครส) และสารแต่งกลิ่น (เช่น วานิลลิน) (Rohrig, 2014)

1.1 ชนิดของไอศกรีม

ชนิดของไอศกรีมตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2552 ได้แบ่งไอศกรีมเป็น 5 ชนิดดังนี้

1.1.1 ไอศกรีมนม หมายถึงไอศกรีมที่ทำจากน้ำนม หรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนม (dairy product)

1.1.2 ไอศกรีมดัดแปลง หมายถึง ไอศกรีมที่ผลิตโดยใช้ไขมันชนิดอื่น เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าวกะทิ แทนมัน เนย (milk fat) บางส่วน หรือทั้งหมด

1.1.3 ไอศกรีมผสมหมายถึงไอศกรีมนมหรือไอศกรีมดัดแปลงที่มีการเติม น้ำผลไม้ผลไม้ ถั่ว ช็อกโกแลต เป็นต้น

1.1.4 ไอศกรีมหวานเย็นหมายถึง ไอศกรีมที่ไม่มีส่วนผสมของนม ภาษาอังกฤษเรียกว่า water ice ทำจากน้ำ น้ำตาล น้ำผลไม้ ผลไม้ สีผสมอาหาร กลิ่น

1.1.5 ไอศกรีมผง หรือไอศกรีมเหลว หรือไอศกรีมกึ่งสำเร็จรูป หมายถึงส่วนผสมของไอศกรีมที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยอาจอยู่ในรูปผง ซึ่งต้องนำมาเติมน้ำ ตามสัดส่วนที่กำหนด แล้วผสมปั่นให้เข้ากัน แล้วแช่เยือกแข็ง (freezing) ก่อนนำมาบริโภค

1.2 กระบวนการผลิตไอศกรีม

กระบวนการผลิต เริ่มตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบผสม (ice cream mix) โดยผสมส่วนประกอบต่าง ๆ คือ นม สารให้ความหวาน ครีม สารให้ความคงตัว (stabilizer) และสารให้ความหวาน ส่วนผสมถูกนำไปให้ความร้อนด้วยวิธีพาสเจอร์ไรเซชั่น (pasteurization) แล้วถูกทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องโฮโมจีไนซ์เซอร์ ส่วนผสมถูกนำไปบ่ม เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัส แล้วหลังจากนั้นจึงถูกนำไปปั่น เพื่อให้ไอศกรีมมีเนื้อขึ้นฟู แล้วทำให้แข็ง (hardening) รายละเอียดกระบวนการผลิตไอศกรีมมีดังต่อไปนี้ (รูปที่ 2.3)

1.2.1 การผสม (Mixing)

การผสมจะเริ่มจากการเติมส่วนผสมที่เป็นของเหลว (liquid ingredients) ลงในหม้อให้ความร้อนก่อน ได้แก่ นม ครีม น้ำ เป็นต้น แล้วจึงเติมส่วนผสมที่เป็นของแห้ง (dry ingredients) เช่น น้ำตาล สารให้ความหวาน สารให้ความคงตัว ซึ่งสารเหล่านี้อาจจะจับตัวกันเป็นก้อนในระหว่างการผสม สามารถแก้ได้โดยการค่อย ๆ เติมส่วนผสมลงไปในอุณหภูมิที่เหมาะกับกับการละลายของส่วนผสมแห้ง ในหม้อผสมมีใบกวนติดอยู่เพื่อช่วยให้การผสมมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.2.2 วิธีพาสเจอร์ไรเซชั่น (pasteurization)

กระบวนการพาสเจอร์ไรเซชั่นในไอศกรีมมีวัตถุประสงค์เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรค เช่น แซลโมเนลลา (*Salmonella* spp.) สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) แบซิลลัส ซีเรียส (*Bacillus cereus*) ลิสทิเรีย โมโนไซโตจิเนส (*Listeria monocytogenes*) หากร่างกายได้รับเชื้อเหล่านี้เข้าไปทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน โรคอุจจาระร่วง หรือรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิตได้ เพื่อควบคุมคุณภาพของไอศกรีมให้มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค จึงต้องควบคุมโรงงานให้มีสุขลักษณะการผลิตที่ดี ถูกสุขลักษณะตามมาตรฐานประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 354) พ.ศ.2556 เรื่องไอศกรีม และฉบับที่ 364 เรื่องมาตรฐานอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค โดยใช้ระบบแปรรูปอาหารด้วยความร้อนที่ใช้อุณหภูมิสูง เวลาสั้น (High Temperature Short Time; HTST) อุณหภูมิที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรส์ 80°C เป็นเวลาอย่างน้อย 25 s (Marshall and Arbuckle, 1996) เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของไอศกรีม เช่น คุณค่าโภชนาการ สี กลิ่น รส

1.2.3 การโฮโมจิไนซ์ (Homogenization)

การโฮโมจิไนซ์เป็นกระบวนการที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไอศกรีมให้ดีขึ้น ทำให้ไขมันแตกตัวเป็นอนุภาคที่เล็กลงขนาด 1 - 2 ไมครอน ไขมันมีการกระจายตัวที่ดี ทำให้ไอศกรีมมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ปรับปรุงการขึ้นฟูหรือเติมอากาศเข้าไปในไอศกรีม ไอศกรีมมีเนื้อนุ่มฟู ลดการแยกชั้นของไขมันในเนื้อไอศกรีม

1.2.4 การบ่ม (Aging)

หลังจากผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์มาแล้ว ไอศกรีมจะถูกนำไปบ่มที่ 4°C เป็นเวลา 4 – 24 h จะใช้เวลาไม่มากไปกว่านี้เนื่องจากป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่เหลือรอดจากการพาสเจอร์ไรเซชั่น โดยเฉพาะเชื้อที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (Psychrophilic bacteria) การบ่มมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ไอศกรีมมีเนื้อนุ่ม ป้องกันการแยกชั้นของไอศกรีม การตีปั่นไอศกรีมง่ายขึ้น ในระหว่างการบ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมดังนี้

1.ส่วนผสมที่เป็นของแห้งจะดูดซับน้ำอย่างสมบูรณ์ (Complete hydration of dairy ingredients) เนื่องจากในขั้นตอนการผสมจะมีส่วนผสมที่เป็นของแห้ง เช่น น้ำตาล นมผง สารให้ความคงตัว

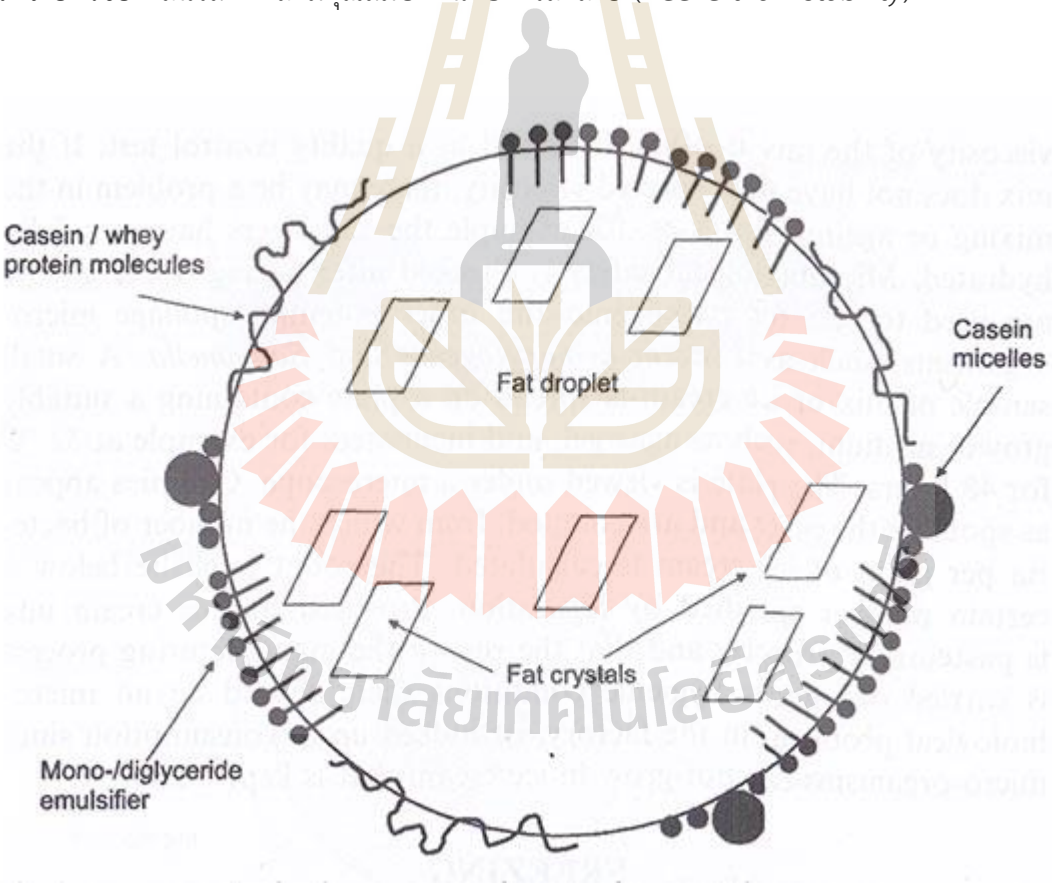
จะยังละลายน้ำไม่สมบูรณ์ ซึ่งต้องใช้เวลาอีกระยะหนึ่งเพื่อให้จับกับน้ำได้อย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีความหนืดสูงขึ้น ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่ดี มีความต้านทานต่อการหลอมละลาย (melting resistance) และมีความเสียรภาพในระหว่างการเก็บรักษาไอศกรีม (storage stability)

2.การตกผลึกของไขมัน (Crystallization of fat) การตกผลึกของไขมันจะเริ่มจากไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะเกิดเป็นผลึกที่ผิวของเม็ดไขมันก่อน และจะอยู่ชิดกับเม็ดไขมัน และจะค่อย ๆ ตกผลึกเพิ่มมากขึ้นจนเป็นชั้นหลาย ๆ ชั้น ส่งผลให้เม็ดไขมันจะทำให้ไอศกรีมมีคุณภาพและความคงตัวในการเก็บรักษานานมากขึ้น

3. โปรตีนจะคายน้ำจากผิวหน้าของเม็ดไขมัน (Protein desorption from the globule surface) เมื่อระยะเวลาผ่านไปจะเกิดการหลุดตัวของโปรตีนออกจากผิวของเม็ดไขมัน อิมัลซิไฟเออรในสวนผสมพรอมทำไอศกรีมจะถูกดูดซับที่ผิวของเม็ดไขมันโดยเขาไปแทนที่โปรตีนนม ทำใหอิมัลชันเสียความคงตัว

1.2.5 การตีปั่น (whip)

การตีปั่นไอศกรีมโดยใช้เครื่องปั่นไอศกรีม จะเป็นการตีปั่นไอศกรีมในระหว่างแช่แข็งหรือในขณะที่ทำการลดอุณหภูมิของไอศกรีมลง เพื่อให้อากาศแทรกตัวเข้าไปในเนื้อไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมีปริมาตรเพิ่มขึ้นหรือเรียกว่า ร้อยละการขึ้นฟู (%overrun) สามารถคำนวณได้ทั้งในหน่วยปริมาตรและน้ำหนักดังสมการที่ 2.1 และ 2.2 การกระจายตัวของอากาศในเนื้อไอศกรีมส่งผลต่อค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีม มีการกระจายตัวของกลิ่นรสที่ดีและมีคุณสมบัติทนต่อการละลาย (freeze-thaw stability)



รูปที่ 2.2 อิมัลซิไฟเออร์และโปรตีนนมที่ถูกดูดซับที่ผิวเม็ดไขมัน และการตกผลึกของไขมันระหว่างกระบวนการบ่ม (Clarke, 2004)

หน่วยปริมาตร

$$\%\text{overrun} = \frac{\text{ปริมาตรของไอศกรีม - ปริมาตรของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม}}{\text{ปริมาตรของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม}} \times 100 \qquad 2.1$$

หมายเหตุ: ไอศกรีมและส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ใช้ในการคำนวณจะต้องมีน้ำหนักเท่ากัน

หน่วยน้ำหนัก

$$\%\text{overrun} = \frac{\text{น้ำหนักของส่วนผสมพร้อมไอศกรีม - น้ำหนักของไอศกรีม}}{\text{ปริมาตรของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม}} \times 100 \qquad 2.1$$

หมายเหตุ: ไอศกรีมและส่วนผสมพร้อมทำอศกรีมที่ใช้ในการคำนวณจะต้องมีปริมาตรเท่ากัน

ขั้นตอนการปั่นไอศกรีมทำให้เม็ดไขมันบางส่วนแตกออกและไขมันเหลวถูกปลดปล่อยออกมาเป็นไขมันอิสระ (free fat) ไขมันจะทำหน้าที่ยึดจับเม็ดไขมันให้มาเกาะกันเป็นก้อนและจะกระจายตัวอยู่ระหว่างฟองอากาศ ช่วยกักเก็บอากาศและเพิ่มเสถียรภาพของฟองอากาศ

1.2.6 การบ่มแข็ง (hardening)

หลังจากปั่นไอศกรีมแล้ว ไอศกรีมจะถูกนำไปบรรจุใส่ในบรรจุภัณฑ์ แล้วเคลื่อนที่ผ่านอุโมงค์ที่มีอุณหภูมิ -40°C เพื่อให้อุณหภูมิของแกนกลางของผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิต่ำกว่า -18°C ในขั้นตอนนี้จะต้องรีบทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิที่ต่ำอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ซึ่งจะส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ถ้าใช้เวลาสั้นจะทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็ก ช่องว่างของอากาศมีขนาดเล็กลง และจะทำให้เนื้อไอศกรีมเนียน (Marshall and Arbuckle, 1996)

1.3 ข้อบกพร่องของไอศกรีม

ข้อบกพร่องไอศกรีมมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่น ส่วนผสมที่ใช้ทำไอศกรีม ลักษณะการตีปั่น การบ่ม หรือทำให้ไอศกรีมมีลักษณะแข็งอย่างรวดเร็ว หากปัจจัยเหล่านี้ไม่มีความเหมาะสมจะทำให้ได้ไอศกรีมที่มีความบกพร่องในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1.3.1 ร้อยละการขึ้นฟูต่ำ (low overrun)

ไอศกรีมที่มีค่าร้อยละการขึ้นฟูที่ต่ำเกินไป จะทำให้เนื้อไอศกรีมมีลักษณะเปียกแฉะ (soggy) ซึ่งมีหลายสาเหตุ เช่น มีปริมาณของแข็งมากเกินไป หรือการใช้สารให้ความคงตัวที่มากเกินไป การทำงานของเครื่องมือ เป็นต้น

1.3.2 ลักษณะคล้ายทราย (sandy)

เนื้อไอศกรีมที่มีลักษณะคล้ายคล้ายทราย เมื่อรับประทานจะทำให้รู้สึกสากลิ้น สาเหตุเกิดจากการตกผลึกของน้ำตาลแลคโตสในนม จนมีปริมาณของแข็งไม่รวมมันเนยที่สูงเกิน 11% (ปิยวรรณ, 2555) มักเกิดในขณะที่มีการขนส่งเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทำให้เกิดการละลายของไอศกรีมและเกิดการแข็งตัวอีกครั้ง สามารถป้องกันโดยการลดขนาดของเซลล์อากาศให้เล็กลง ลดปริมาณน้ำตาลน้ำตาลแลคโตสในส่วนผสม การ รักษาอุณหภูมิการเก็บรักษาให้คงที่และลดระยะเวลาในการเก็บรักษา

1.3.3 การยุบตัวหรือหดตัว (shrinkage)

การยุบตัวหรือหดตัวของไอศกรีม เกิดจากการที่ฟองอากาศของไอศกรีมแตกออก สาเหตุเนื่องมาจากในระหว่างการปั่นไอศกรีมตีอากาศเข้าไปในไอศกรีมมากเกินไป (high overrun) เนื้อไอศกรีมจะมีลักษณะโครงสร้างที่เบา (fluffy) โครงสร้างของไอศกรีมไม่สามารถรับน้ำหนักไว้ได้เนื่องจากมีปริมาณของแข็งที่ต่ำเกินไป หรืออาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการเก็บรักษา จึงทำให้ไอศกรีมเกิดการยุบตัวลง

1.3.4 เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่

ไอศกรีมเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่มีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่น จุดเยือกแข็งของส่วนผสมต่ำ อุณหภูมิการเก็บรักษาไอศกรีมที่ไม่คงที่ เนื่องจากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ไอศกรีมหลอมละลาย น้ำจะไปเกาะ

กับผลึกน้ำแข็งที่มีอยู่เดิม แต่เมื่ออุณหภูมิลดลงอีกทำให้ไอศกรีมกลับไปแข็งตัว จึงทำให้ผลึกน้ำแข็งที่มีอยู่มีขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นอีก เช่น อุณหภูมิของไอศกรีมขณะที่ออกจากเครื่องปั่นสูง ไอศกรีมเกิดการแข็งตัวช้า (slow hardening)

1.3.5 การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส

การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส มีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่น หากไอศกรีมมีกลิ่นนมสุก (Cooked flavor) มีสาเหตุมาจากการที่ไอศกรีมผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูง และใช้เวลานานเกินไป หากเก็บรักษาไอศกรีมไว้เป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน เนื่องจากในส่วนผสมของไอศกรีมมีไขมันเป็นส่วนผสม เช่น นม ครีม หรือเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของสารให้กลิ่นรสระหว่างการเก็บรักษา หรือทำให้เกิดกลิ่นอับขึ้น

1.4 คุณภาพและมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 354 พ.ศ.2556 เรื่อง ไอศกรีม กำหนดให้ไอศกรีมต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

1.4.1 ไอศกรีมนม ต้องมีมันเนยเป็นส่วนผสมไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และมีธาตุน้ำนมไม่รวมมันเนยไม่น้อยกว่าร้อยละ 7.5 ของน้ำหนัก

1.4.2 ไอศกรีมดัดแปลง ต้องมีไขมันทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก

1.4.3 ไอศกรีมผสม ต้องมีมาตรฐานเช่นเดียวกับไอศกรีมนม หรือไอศกรีมดัดแปลง ทั้งนี้โดยไม่นับรวมน้ำหนักของผลไม้หรือวัตถุที่เป็นอาหารอื่นผสมอยู่

1.4.4 ไอศกรีมหวานเย็น ไอศกรีมนม ไอศกรีมดัดแปลง หรือไอศกรีมผสม ต้อง

1.4.4.1 ไม่มีกลิ่นหืน

1.4.4.2 ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลหรือใช้ร่วมกับน้ำตาล นอกจากการใช้น้ำตาลได้โดยให้ใช้วัตถุให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ตามมาตรฐานอาหาร เอฟ เอ โอ/ดับบลิว เอช โอ, โคเด็กซ์ (Joint FAO/WHO Codex) ที่ว่าด้วยเรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร และฉบับที่ได้แก้ไขเพิ่มเติม

ในกรณีที่ไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้ตามวรรคหนึ่ง ให้สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ประกาศกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการอาหาร

1.4.4.3 ไม่มีวัตถุกันเสีย

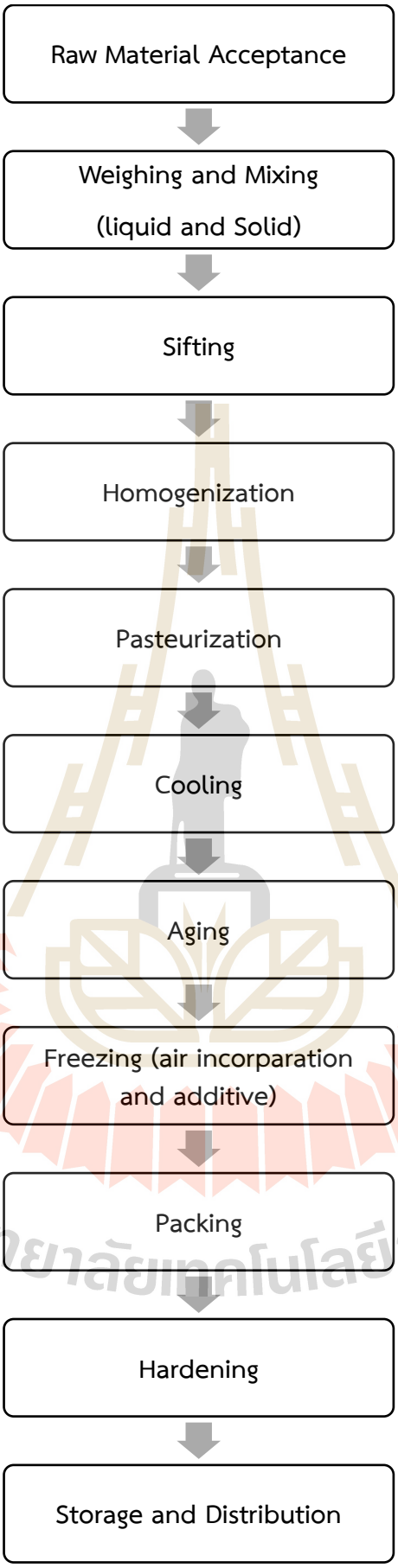
1.4.4.4 มีบักเตรีได้ไม่เกิน 600,000 ในอาหาร 1 กรัม

1.4.4.5 ตรวจไม่พบบักเตรีชนิด อี.โคไล (Escherichia coli) ในอาหาร 0.01 กรัม

1.4.4.6 จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง มาตรฐานอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

1.3.4.7 ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

1.4.5 ไอศกรีมชนิดเหลวต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามไอศกรีมนม ไอศกรีมดัดแปลง หรือ-ไอศกรีมผสม แล้วแต่กรณี และต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตาม 1.3.4 ด้วย



รูปที่ 2.3 แผนผังกระบวนการผลิตไอศกรีม ดัดแปลงจาก Lu et al. (2014)

1.5 คุณภาพและมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมชนิดแห้ง หรือผง

ไอศกรีมชนิดแห้ง หรือผง ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

1.5.1 ไม่มีกลิ่นหืน

1.5.2 มีกลิ่นตามลักษณะเฉพาะของไอศกรีมชนิดนั้น

1.5.3 มีลักษณะไม่เกาะเป็นก้อน ผิดไปจากลักษณะที่ทำขึ้น

1.5.4 ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลหรือใช้ร่วมกับน้ำตาล นอกจากการใช้น้ำตาลได้ โดยให้ใช้วัตถุให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ตามมาตรฐานอาหาร เอฟ เอ โอ/ดับบลิว เอช โอ, โคเด็กซ์ (Joint FAO/WHO Codex) ที่ว่าด้วยเรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร และฉบับที่ได้แก้ไขเพิ่มเติม

ในกรณีที่ไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้ตามวรรคหนึ่ง ให้สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ประกาศกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการอาหาร

1.5.5 ไม่มีวัตถุกันเสีย

1.5.6 มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก

1.5.7 มีบักเตรีได้ไม่เกิน 100,000 ในอาหาร 1 กรัม

1.5.8 จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องมาตรฐานอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

1.5.9 ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

2. พรีไบโอติก (Prebiotics)

2.1 ความหมายของพรีไบโอติก

พรีไบโอติก (prebiotic) หมายถึง ใยอาหารที่รับประทานเข้าไปแล้วไม่ถูกย่อยและดูดซึมโดยกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก สามารถผ่านลงไปยังลำไส้ใหญ่ เพื่อไปเลี้ยงหรือส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ (probiotics) เช่น แลคโตบาซิลลัส (Lactobacillus) บิฟิโดแบคทีเรียม (Bifidobacterium) แต่ทำให้แบคทีเรียชนิดที่มีผลเสียต่อสุขภาพลดจำนวนลง (Gibson and Roberfroid, 1995)

2.2 ประโยชน์ของพรีไบโอติกต่อสุขภาพของผู้บริโภค

ได้รวบรวมประโยชน์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประโยชน์พรีไบโอติก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 บรรเทาอาการท้องผูก

พรีไบโอติกจัดเป็นเส้นใยอาหารประเภทหนึ่ง ที่ถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียโพรไบโอติกในลำไส้ใหญ่จนได้แก๊สต่าง ๆ เช่น CO_2, CH_4, NH_3, H_2 และ H_2S แก๊สต่าง ๆ เหล่านี้จะทำหน้าที่ช่วยลดอาการการเคลื่อนตัวของกากอาหารภายในลำไสใหญ่ช้ากว่าปกติ (slow colonic transit time) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอาการท้องผูก หากอุจจาระค้างอยู่ในลำไส้นานทำให้น้ำถูกดูดซึมออกไปจากก้อนอุจจาระ ส่งผลให้อุจจาระแข็งถ่ายลำบากหรือเจ็บขณะขับถ่าย พรีไบโอติกยังช่วยเพิ่มปริมาณน้ำในลำไส้ โดยผลิตกรดเช่น acetate, propionate, butyrate และ lactate ส่งผลช่วยเพิ่มการบีบตัวของลำไส้ และช่วยให้อุจจาระอ่อนนุ่มทำให้ขับถ่ายง่ายขึ้น (Kaneko et al., 1993; Kohmoto et al., 1998)

2.2.2 ลดค่า pH ของลำไส้และผลิตกรดไขมันสายสั้น (Short Chain Fatty Acids; SCFA)

เมื่อพรีไบโอติกถูกย่อยด้วยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ จะได้กรดไขมันสายสั้น เช่น acetate, propionate, butyrate ซึ่งจะทำให้ pH ลดลง สามารถช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogenic bacteria) แต่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โพรไบโอติกบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนต้น เช่น *Bifidobacterium* spp. และ *Lactobacillus* spp. (Gibson and Roberfroid, 2008; Gibson and Rastall, 2006)

2.2.3 ลดภาวะความเสี่ยงต่อโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่

Butyrate เป็นผลิตภัณฑ์กรดไขมันสายสั้นที่ได้จากจากกระบวนการหมักพรีไบโอติกของจุลินทรีย์ชนิดดีในลำไส้ใหญ่ มีคุณสมบัติ 3 ข้อ ที่มีฤทธิ์ในการต้านมะเร็งในลำไส้ใหญ่คือ สามารถช่วยเพิ่มการตายตามธรรมชาติของเซลล์ได้ (apoptosis) ช่วยกระตุ้นให้เซลล์หยุดการเจริญ และช่วยหยุดการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ . (Gibson and Rastall, 2006)

2.2.4 ช่วยในการดูดซึมแคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+})

จากกระบวนการหมักพรีไบโอติกในลำไส้ ส่งผลให้ค่า pH ในทางเดินอาหารลดลง ส่งผลให้ไอออนบวก (cation ion) เพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ในลำไส้ใหญ่สูงขึ้น ทำให้ร่างกายสามารถดูดซับแร่ธาตุได้ดีขึ้น เป็นแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับร่างกายโดยเฉพาะกระดูกและฟัน ช่วยป้องกันโรคกระดูกพรุนได้ (Scholz-Ahrens et al., 2001)

2.2.5 ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลชนิดไม่ดี (Low density lipoprotein; LDL) ในเลือด

จากรายงานการวิจัยของ Roberfroid. (2000) และ Kikuchi et al. (2004) กล่าวว่าการใช้สารสกัดจากชิโครี (chicory) และอินนูลิน (inulin) ซึ่งชิโครีเป็นแหล่งของอินนูลินที่มีคุณสมบัติเป็นเส้นใยอาหารจัดอยู่ในกลุ่มพรีไบโอติก ทดลองสารดังกล่าวกับหนูทดลองเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าหนูกลุ่มที่ได้รับสารสกัดจากชิโครี และหนูที่ได้รับอินนูลินมีปริมาณไขมันในเลือดชนิดดี (HDL) เพิ่มขึ้นและมีปริมาณไขมันในเลือดชนิดชนิดเลว (LDL) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

2.2.6 กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน

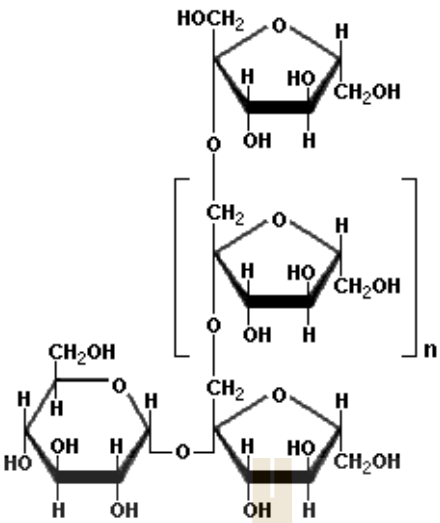
พรีไบโอติกช่วยกระตุ้นการทำงานจุลินทรีย์ชนิดดีในลำไส้ชนิดดี เช่น Lactic acid bacteria ที่สามารถผลิตแบคทีริโอซิน (Bacteriocin) ขึ้นมาช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคได้ และสภาะการหมักพรีไบโอติกในลำไส้ใหญ่จะทำให้ pH ลดลง ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคได้

3. สารอินนูลิน (Inulin)

สารอินนูลินคือคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) จัดเป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ประเภทที่ละลายได้ในน้ำ (soluble fiber) ซึ่งร่างกายไม่สามารถย่อยได้ในระบบทางเดินอาหารและไม่ให้พลังงาน แต่ถูกย่อยได้ด้วยแบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ มีสมบัติเป็นพรีไบโอติก (prebiotic) ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพ พบในผักและผลไม้หลายชนิด และยังพบในหอมหัวใหญ่ กระเทียม แก่นตะวัน หัวชิคอรี (chicory)

โครงสร้างโมเลกุลของอินนูลิน

โมเลกุลของอินนูลินเป็นเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ (heteropolysaccharide) กล่าวคือ มีโมเลกุลของน้ำตาลมากกว่า 1 ชนิดมาเชื่อมต่อกัน โดยเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลฟรักโทส (fructose) 10-60 โมเลกุล จึงอาจเรียกว่า ฟรักแทน (fructans) แต่มีโมเลกุลที่ปลายสุดด้านหนึ่งเป็นน้ำตาลกลูโคส (glucose)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของสารอินนูลิน
(ที่มา: http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohydrates1.html)

โครงสร้างโมเลกุลของอินนูลินเหมือนกับโอลิโกฟรักโทส (oligofructose) ซึ่งเป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) แต่อินนูลินเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายยาวกว่า จึงไม่มีรสหวาน และละลายได้เพียงเล็กน้อย ขณะที่โอลิโกฟรักโทส (oligofructose) มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่า ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวน้อยกว่า 10 โมเลกุล ทำให้มีรสหวานเล็กน้อย (relative sweetness) ประมาณ 30-50% เมื่อเทียบกับน้ำตาลซูโครส (sucrose) และละลายในน้ำได้ดี

แหล่งที่พบอินนูลินในอาหาร

อินนูลินเป็นเส้นใยอาหารที่พืชเก็บสะสมไว้ เป็นอาหารพบในพืช ผักและผลไม้หลายชนิด เหมือนการสะสมสตาร์ช (starch) พบได้ในหัวกระเทียม หอมหัวใหญ่หน่อไม้ฝรั่ง (asparagus) กล้วย ดอกอาร์ติโชค (artichoke) แก่นตะวัน และหัวชิคอรี (chicory) เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ปริมาณอินนูลินที่พบในอาหารบางชนิด (Saeed et al.,2015)

แหล่งที่พบ	อินนูลิน (%)
กระเทียม (Garlic)	15-20
หน่อไม้ฝรั่ง (Asparagus)	10-15
Salisfy	15-20
แก่นตะวัน (Jerusalem artichoke)	15-20
หัวรักเร่ (Dahlia tubers)	15-20
หัวชิคอรี (Chicory)	15-20

ประโยชน์ของอินนูลินต่อสุขภาพ

1.มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก (prebiotic) คือเป็นอาหารของแบคทีเรียในกลุ่มโปรไบโอติก (probiotic) ซึ่งอยู่ในลำไส้ใหญ่ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ได้แก่ bifidobacteria

2. อินนูลินเป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ที่ไม่ให้แคลอรี มีผลช่วยลดการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่ในเลือด และลดระดับคอเรสเตอรอล (cholesterol) เพิ่มปริมาณ HDL และลดระดับปริมาณ LDL จึงมีการนำมาใช้กับอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน และเป็นอาหารลดความอ้วน

งานวิจัยของจิราภัทร โอทองและคณะ ปี 2563 ได้พัฒนาไอศกรีมนมที่เสริมอกไก่ร้อยละ 10 ทั้งนี้ต้องการลดปริมาณคาร์โบไฮเดรตลง โดยจะใช้อินนูลินทดแทนน้ำตาล 3 ระดับ คือ ร้อยละ 25 50 และ 75 แล้วนำมาศึกษาลักษณะทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี ค่าพลังงานไอศกรีม ความชอบทางด้านประสาทสัมผัส จากการรายงานผลการทดลองกล่าวว่า สูตรไอศกรีมนมเสริมอกไก่ทดแทนอินนูลินที่ร้อยละ 50 ให้คุณสมบัติทางกายภาพและความชอบทางด้านประสาทสัมผัสดีที่สุด (อยู่ในความชอบระดับปานกลาง) ไอศกรีมทุกสูตรที่ใช้อินนูลินทดแทนน้ำตาลทราย มีค่าความหนืด ร้อยละการขึ้นฟู อัตราการละลาย และค่าเนื้อสัมผัสน้อยกว่าสูตรควบคุม (ไม่เติมอินนูลิน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อพิจารณาไอศกรีมที่เติมอินนูลินทั้ง 3 ระดับพบว่า เมื่อมีปริมาณอินนูลินเพิ่มขึ้นส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม ร้อยละการขึ้นฟู ค่าเนื้อสัมผัส และค่าความสว่าง (L*) ของไอศกรีมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และความเป็นสีแดง (a*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนอัตราการละลายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Junyusen et al. (2017) รายงานว่าได้พัฒนาไอศกรีม โดยใช้อินนูลินเพื่อทดแทนปริมาณไขมัน มีปริมาณอินนูลิน 3 ระดับคือ 0%, 2% และ 4% ในไอศกรีมที่มีไขมัน 6% เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมคือไอศกรีมไขมัน 10% ไม่เติมอินนูลิน จากการทดลองพบว่าไอศกรีมที่เติมอินนูลินทั้ง 3 ระดับ มีค่าความหนืดปรากฏที่อัตราเฉือน 50 s^{-1} น้อยกว่าสูตรควบคุม ค่าความแข็งของไอศกรีมสูตรที่มีไขมัน 6% โดยไม่เติมอินนูลิน (0%) มีค่าความแข็งมากที่สุด ไอศกรีมสูตรที่เติมอินนูลิน 2% และ 4% มีค่าความแข็งมากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ปริมาณไขมันมีผลต่ออัตราการละลาย โดยไอศกรีมสูตรที่มีไขมัน 6% โดยไม่เติมอินนูลินมีอัตราการละลายมากกว่าสูตรอื่น ๆ ส่วนไอศกรีมสูตรที่เติมอินนูลิน 2% ให้ค่าอัตราการละลายไม่แตกต่างจากไอศกรีมสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้ยังพบว่าไอศกรีมที่เติมอินนูลิน 2% และ 4% จะมีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature; T_g) เพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวมากขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่แข็ง

งานวิจัยของ Kowittaya et al. (2006) ได้ศึกษาการใช้อินนูลินเพื่อปรับปรุงคุณภาพของไอศกรีมวานิลลาเพื่อทดแทนไขมัน โดยมีไอศกรีมสูตรควบคุมคือ มีไขมันร้อยละ 9 เทียบกับไอศกรีมที่ลดไขมันเหลือร้อยละ 3 และเติมอินนูลิน 4 ระดับที่ร้อยละ 0, 3, 6 และ 9 จากผลการทดลองพบว่าไอศกรีมสูตรลดไขมันที่เติมอินนูลินสายสั้น ร้อยละ 6 ให้ค่าความแน่นเนื้อและมีการขึ้นฟูไม่แตกต่างกับไอศกรีมสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$) แต่ให้ความหนืดและมีการละลายที่เร็วกว่าสูตรควบคุม ส่วนไอศกรีมที่มีการใช้อินนูลินสายยาวร้อยละ 6 จะให้การขึ้นฟูต่ำเนื้อแน่นมากและมีอัตราการละลายช้ากว่าไอศกรีมสูตรควบคุม ส่วนการใช้อินนูลินสายยาวร่วมกับสายสั้นในอัตราส่วนร้อยละ 3 : 3 จะให้ค่าความเหนียวหนืดในปาก ความแน่นเนื้อ การรับกลิ่นรสในปาก และการละลายของไอศกรีมในปากดีกว่าการใช้อินนูลินสายสั้น หรือสายยาวเพียงอย่างเดียว และมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับสูตรควบคุม

4. ผงกล้วยดิบ (Banana Powder)

ผงกล้วยดิบ เกิดจากการแปรรูปกล้วยเป็นแป้งกล้วยที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าแป้งหลายชนิดเช่นแป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น เนื่องจากกล้วยเป็นแหล่งที่อุดมไปสารอาหารมีการศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของกล้วยพบว่ากล้วยหนึ่งผลสามารถให้พลังงานประมาณ 100 แคลอรี่ มีน้ำตาลธรรมชาติอยู่ 3 ชนิด คือซูโครส ฟรักโทส และกลูโครสรวมไปถึงเส้นใยและกากอาหาร กล้วยอุดมด้วยวิตามินบี 6 ที่ช่วยกระตุ้นระบบภูมิต้านทานแร่ธาตุอย่างแมกนีเซียมและโพแทสเซียมที่ช่วยป้องกันโรคความดัน โปรตีนที่อยู่ในกล้วยมีกรดอะมิโนอาร์จินินและฮีสติดินซึ่งมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของทารก นอกจากนี้การสุกของกล้วยแต่ละระยะยังให้สรรพคุณทางยาแตกต่างกันกล้วยดิบแก้โรคกระเพาะ กล้วยห่ามช่วยแก้ท้องเสีย ชดเชยโพแทสเซียมให้แก่ร่างกาย กล้วยสุกแก้ท้องผูกมีเพกตินมากเพิ่มกากใยแก่ลำไส้ และกล้วยงอมต้าน

มะเร็งสร้างภูมิต้านทานสร้างเซลล์เม็ดเลือดขาวนอกจากการบริโภคผลสดแล้วการแปรรูปกล้วยให้เป็นแป้งกล้วยสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารนานาชนิด

สตาร์ชที่ทนต่อการย่อย คือ แป้งที่ไม่สามารถถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์ (resistant starch ; RS) เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีบทบาทต่อการดูแลสุขภาพ ดังนั้น RS จึงมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับเส้นใยมีประโยชน์ต่อระบบขับถ่ายและระบบหมุนเวียนเลือดโดย RS จะไม่ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ในลำไส้เล็กแต่จะผ่านมาถึงลำไส้ใหญ่และถูกหมักโดยจุลินทรีย์ได้เป็นกรดไขมันสายสั้น ๆ ซึ่งมีผลช่วยให้สุขลักษณะของปลายลำไส้ใหญ่ดีขึ้นยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ก่อโรคเพิ่มปริมาณของของเหลวและปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่างภายในลำไส้ใหญ่ให้ต่ำลงและมีบทบาทในการป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้

งานวิจัยของ Yangilar ปี 2015 รายงานว่าได้ใช้ผงกล้วยดิบเติมลงในไอศกรีม ปริมาณ 1% และ 2% แล้ววิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไอศกรีม จากการรายงานพบว่าไอศกรีมที่เติมผงกล้วยดิบมีค่าความเป็นกรด (acidity) ค่า pH เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับไอศกรีมสูตรควบคุม (ไม่เติมผงกล้วยดิบ) ไอศกรีมสูตรเติมผงกล้วยดิบทั้ง 2 สูตรมีค่าความสว่างและร้อยละการขึ้นฟูของไอศกรีมลดลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ส่วนคุณสมบัติทางด้านกายภาพ ค่าความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมที่เติมผงกล้วยดิบมากกว่าสูตรควบคุม อัตราการละลายของไอศกรีมสูตรผงกล้วยดิบ 1% เพิ่มขึ้น ส่วนไอศกรีมสูตรเติมผงกล้วยดิบ 2% มีค่าอัตราการละลายไม่มีความแตกต่างจากสูตรควบคุม นอกจากนี้การเติมผงกล้วยดิบยังช่วยเพิ่มแร่ธาตุต่าง ๆ ในไอศกรีมอีกด้วย เช่น Fe Mn Zn Ni S Mg K P

5. แก่นตะวัน (Jerusalem artichoke)

แก่นตะวัน (Jerusalem artichoke , Sunchoke, Sunroot, Earth apple) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Helianthus tuberosus* L. วงศ์ Asteraceae เป็นพืชในตระกูลทานตะวัน เป็นพืชที่สามารถปรับตัวได้ดีในสภาวะอากาศเขตร้อน จึงมีการนำเข้ามาปลูกในประเทศไทย แก่นตะวันจะมีดอกสีเหลืองคล้ายดอกบัวตองแต่มีขนาดเล็กกว่า หัวแก่นตะวันมีเปลือกสีน้ำตาล มีเนื้อสีขาว เป็นแหล่งสะสมของอินนูลินถึงร้อยละ 70-80 ของปริมาณคาร์โบไฮเดรต หรือร้อยละ 14-19 ของน้ำหนักหัวสด และยังมีฟรักโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Fructo-Oligosaccharides หรือ FOS) อินนูลินเป็นน้ำตาลเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลฟรักโทสต่อกันเป็นห่วงโซ่ 2-60 โมเลกุล ส่วน FOS ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลฟรุกโตสต่อกัน 2-4 โมเลกุล อินนูลินมีประโยชน์ต่อระบบทางเดินอาหาร การแปรรูปแก่นตะวันเชิงอุตสาหกรรม ได้แก่ แป้งแก่นตะวัน แป้งอินนูลินและน้ำเชื่อมฟรักโทส/อินูโลโอลิโกแซ็กคาร์ไรด์ เพื่อทดแทนและลดปริมาณการนำเข้าแก่นตะวันจากต่างประเทศได้

5.1 สรรพคุณและประโยชน์ของแก่นตะวัน

แก่นตะวันสามารถรับประทานหัวสดโดยใช้เป็นเครื่องเคียงสำหรับอาหาร หรือรับประทานเป็นสมุนไพรเพื่อป้องกัน รักษาโรคเบาหวานและอื่น ๆ ได้ เหมาะกับผู้ที่มีปัญหาสุขภาพอยู่แล้วและผู้ที่ห่วงใยสุขภาพด้วย (สุกัญญา จัตตุพรพงษ์, 2557)

5.1.1 ลดน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยเบาหวาน/ป้องกันโรคเบาหวาน

หัวแก่นตะวันมีส่วนประกอบหลักเป็นอินนูลิน อินนูลินจะดูดซับน้ำและน้ำตาลจนมีลักษณะเป็นเจล ทำให้ร่างกายดูดซึมน้ำตาลได้น้อยลง นอกจากนี้อินนูลินจะไม่ถูกย่อยในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กแต่จะถูกหมักด้วยแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในลำไส้ใหญ่ ดังนั้นการรับประทานหัวแก่นตะวันเข้าไปจึงไม่ไปเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด ส่งผลให้ร่างกายได้รับน้ำตาลน้อยลงประกอบกับเมื่อรับประทานแก่นตะวันจะรู้สึกอิ่มจากคุณสมบัติการเป็นใยอาหาร

5.1.2 ลดน้ำหนัก

อินนูลินจะมีคุณสมบัติเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำ จะทำหน้าที่ดูดซับน้ำตาลและไขมันในอาหารที่รับประทานเข้าไป ดังนั้นจะทำให้ร่างกายได้รับพลังงานจากน้ำตาลและไขมันได้น้อยลง จึงทำให้ร่างกายต้องดึงไขมันที่ถูกสะสมไว้ในร่างกายมาใช้ นอกจากนี้ใยอาหารที่อยู่ในกระเพาะเมื่อดูดซับน้ำเข้าไปจะมีลักษณะเป็นเจล ทำให้ร่างกายรู้สึกอิ่มและจะรับประทานอาหารได้น้อยลง

5.1.3 ลดความเสี่ยงเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ และเสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้ร่างกาย

อินนูลิน และ FOS จะถูกหมักในลำไส้ใหญ่ด้วยแบคทีเรีย ดังนั้นจะช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตและการทำงานของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น แลคโตบาซิลลัส (Lactobacillus) ไบฟิโดแบคทีเรีย (Bifidobacteria) เมื่อจุลินทรีย์เหล่านี้เพิ่มจำนวนขึ้นจะทำให้ในบริเวณลำไส้ใหญ่มีสภาวะที่เป็นกรด ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคที่มีสภาวะไม่ทนกรดลดจำนวนลง เช่น Clostridium , E.coli ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถสร้างสารพิษที่ก่อโรคมะเร็งได้ เช่น Nitrosoamines , Indole เมื่อจุลินทรีย์เหล่านี้ลดลง จึงช่วยลดการสะสมของเสีย หรือสารพิษก่อมะเร็งในลำไส้ใหญ่จึงลดลงด้วย หากร่างกายมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ชนิดดีเพียงพอจะมีส่วนช่วยการดูดซึมสารอาหาร สังเคราะห์วิตามินที่จำเป็นต่อร่างกาย และยังช่วยปรับภูมิคุ้มกันในร่างกายให้สมดุลได้อีกด้วย จึงสามารถช่วยป้องกันอาการภูมิแพ้ การแพ้อาหารในเด็กได้

5.1.4 ป้องกันไขมันในเลือดสูง และลดความเสี่ยงความดันโลหิตสูง โรคหัวใจและหลอดเลือด

อินนูลินจากหัวแก่นตะวันที่ถูกหมักในลำไส้ใหญ่จากแบคทีเรีย จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นกรดไขมันสายสั้น (Short-chain fatty acid) เช่น โปรไพโอนิกแอซิด (Propionic acid) กรดไขมันสายสั้นจะทำหน้าที่ช่วยยับยั้งการสร้างคอเลสเตอรอลโดยการทำงานของตับ ทำให้คลอเรสเตอรอลในเลือดต่ำลง ดังนั้นจะสามารถช่วยลดความเสี่ยงจากภาวะหัวใจขาดเลือดได้ ซึ่งมีสาเหตุมาจากหลอดเลือดที่ไปเลี้ยงหัวใจตีบตันจากคลอเรสเตอรอลในเลือดสูง การเพิ่มขึ้นของของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดดีในลำไส้อย่างไบฟิโดแบคทีเรีย (Bifidobacteria) จะช่วยเพิ่มความสามารถในการผลิตวิตามิน B1, B2, B6 , B12 , nicotinic acid และ folic acid ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิตามิน B6 , B12 และ folic acid ซึ่งมีความสำคัญในการทำให้ระดับโฮโมซิสเตอีน (homocysteine) ลดลง ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงภาวะหัวใจขาดเลือดด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าในหัวแก่นตะวัน 100 กรัม จะมีโพแทสเซียม (Potassium) สูงถึง 429 มิลลิกรัม คิดเป็นร้อยละ 9 ของความต้องการของร่างกายคนในแต่ละวัน โพแทสเซียมจะช่วยยับยั้งการทำงานของเกลือโซเดียม ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความดันโลหิตสูง

5.1.5 ลดอาการท้องผูก

อินนูลินมีคุณสมบัติของใยอาหารที่ดูดซับน้ำอย่างมาก จะเก็บกวาดของเสียขณะที่ผ่านทางเดินอาหารให้สะอาดทำให้อุจจาระมีกากใยมากขึ้นและชุ่มน้ำ ซึ่งจะเพิ่มน้ำหนักของอุจจาระ ทำให้การขับถ่ายอุจจาระง่ายและมากขึ้น การทานอินูลินต่อเนื่องกันจึงมีส่วนช่วยลดอาการท้องผูก ลำไส้แปรปรวน และป้องกันโรคริดสีดวงทวารได้

งานวิจัยของ Bulan et al. (2565) ได้ศึกษาผลของการเสริมแก่นตะวันพิวเร่ที่ระดับร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ต่อลักษณะทางกายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมนม พบว่าการเพิ่มปริมาณแก่นตะวันพิวเร่มากขึ้นส่งผลให้ไอศกรีมมีค่าความแข็ง (hardness) ค่าความหนืด และค่าอัตราการละลายสูงขึ้น แต่มีค่าอัตราการขึ้นฟูลดลง เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม เมื่อเพิ่มพิวเร่แก่นตะวันในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) และสีเหลือง (b*) เพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าสีแดง (a*) จะลดลง เมื่อนำไอศกรีมเสริมแก่นตะวันพิวเร่มาทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส คุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่ส่งผลต่อคุณลักษณะด้านสี ($p>0.05$) และปริมาณการเสริมแก่นตะวันพิวเร่ที่ระดับ ร้อยละ 20 ได้รับการยอมรับมากที่สุดและไม่มีความแตกต่างกับสูตรควบคุม

Aichayawanich and Wongsa, (2020) ได้ศึกษาการทำไอศกรีมจากข้าวไรซ์เบอรรี่ โดยใช้หัวแก่นตะวันแก่นที่ถูกต้มและทำให้เนื้อเนียนมาใช้ทดแทนวิปปิ้งครีมและน้ำตาลทรายที่ปริมาณร้อยละ 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักทั้งหมด พบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณแก่นตะวัน ส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม เช่น ค่าความหนืด ร้อยละการขึ้นฟู อัตราการละลาย ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (ไม่เติมสารสกัดแก่นตะวัน) การเพิ่มขึ้นของแก่นตะวันทำให้ไอศกรีมมีค่าสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) เพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าความสว่าง (L*) จะลดลง ไอสกรีมถูกนำมาทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส คุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่าคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงสุดที่ระดับร้อยละ 20 ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม นอกจากนี้ไอศกรีมที่เติมสารสกัดแก่นตะวันมีปริมาณไขมัน พลังงาน (Calorie) ที่ลดลงและมีเส้นใยเพิ่มขึ้น (fiber)

งานวิจัยสุภณิดา พัฒธร และพิมพรรณ เทียนพูล ปี 2559 ได้ศึกษาการเสริมแก่นตะวันผงทางการค้าที่ผสมลงในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS พบว่าแก่นตะวันร้อยละ 14 สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก (Lactic Acid Bacteria, LAB) ได้ร้อยละ 121.08 ดังนั้นจึงสนใจศึกษาเพิ่มเติม โดยศึกษาปัจจัยร่วมเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของ LAB โดยปัจจัยที่ 1 คือ ปริมาณแก่นตะวันผง (แปรปริมาณเป็น 4 ระดับคือร้อยละ 0, 7, 14 และ 21 โดยน้ำหนักของซอร์เบทมิกซ์) ปัจจัยที่ 2 คือ กระบวนการผลิตซอร์เบทโปรไบโอติก (แปรปัจจัยเป็น 3 กระบวนการคือ การบ่ม การปั่น และการแช่แข็ง) จากผลการศึกษาพบว่า ทั้งสองปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณ LAB โดยซอร์เบทมิกซ์ที่เสริมแก่นตะวันผงร้อยละ 21 ภายหลังการบ่มมีปริมาณ LAB สูงที่สุด ($p\leq0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณ LAB ในซอร์เบทโปรไบโอติกทุกสูตรภายหลังกระบวนการปั่นและการแช่แข็งไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และยังได้ศึกษาผลของปริมาณแก่นตะวันและระยะเวลาการเก็บรักษาซอร์เบทโพรไบโอติกต่อปริมาณ LAB ด้วย โดยใช้ปริมาณผงแก่นตะวัน 4 ระดับเช่นเดิม ส่วนระยะเวลาการเก็บรักษาที่ -40°C ระยะเวลาการเก็บรักษาเป็น 4 ระดับคือ 1, 7, 14 และ 21วัน ผลการศึกษาพบว่า ทั้งสองปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมต่อกัน ($p>0.05$) แต่ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า LAB มีปริมาณคงเหลือเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณแก่นตะวันผงที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ($p\leq0.05$) และจากผลการทดสอบประสาทสัมผัสของซอร์เบทโพรไบโอติก พบว่าซอร์เบทโปรไบโอติกที่เติมแก่นตะวันผงร้อยละ 21 ได้คะแนนความชอบด้านความเรียบเนียน การละลาย สี ความหวาน และความชอบรวมต่ำกว่าสูตรที่ไม่เติมแก่นตะวันผง และสูตรที่เติมแก่นตะวันผงร้อยละ 7 และ 14 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ยกเว้นด้านกลิ่นที่คะแนนไม่แตกต่างจากสูตรที่ไม่เติมแก่นตะวันผง ($p>0.05$) แต่อย่างไรก็ ตามการเสริมแก่นตะวันผงร้อยละ 14 ในซอร์เบทโพรไบโอติกมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากได้รับคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสและปริมาณ LAB สูง

6. โยเกิร์ต (Yogurt)

โยเกิร์ต เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักนมจากจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ผลิตกรดแลคติก (lactic acid bacteria) ได้แก่ สเตรปโตค็อกคัส เทอร์โมฟิลัส (*Streptococcus thermophilus*) แล็กโตบาซิลลัส เดลบรูคิอิซับสปีชีร์ บัลการิคัส (*Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus*) เชื้อแบคทีเรียเหล่านี้จะใช้น้ำตาลแลคโตส (lactose) ในน้ำนม เป็นแหล่งพลังงาน แล้วเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ เช่น กรดแลคติก (lactic acid) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (pH ลดลง) ทำให้โปรตีนเสียสภาพ (denature) และจับตัวตกตะกอนมีลักษณะเป็นลิ่มค่อนข้างนุ่ม (Soft curd) มีสีขาวนวล นอกจากนี้ยังมีสารประกอบที่ระเหยได้ (Valatile compound) หรือสารประกอบอะโรมาติก (aromatic compound) ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะทำให้โยเกิร์ตมีมีกลิ่นหอมอ่อนๆ มีรสเปรี้ยว ที่มีลักษณะเฉพาะตัว และยังมีจุลินทรีย์อยู่ในปริมาณมาก จัดอยู่ในกลุ่มนมเปรี้ยว (fermented milk)

6.1 ชนิดของโยเกิร์ต

ชนิดของโยเกิร์ตสามารจำแนกได้หลายประเภท เช่นจำแนกตามกระบวนการผลิต จำแนกตามปริมาณไขมัน (ปิยวรรณ, 2555) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.1.1 ชนิดของโยเกิร์ตจำแนกชนิดตามวิธีการผลิต

1.โยเกิร์ตชนิดคงตัว (set yogurt) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยนำน้ำนมมาผ่านกระบวนการปรับมาตรฐาน ให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อ แล้วเติมเชื้อโยเกิร์ตลงไป จากนั้นนำไปบรรจุในถ้วยหรือภาชนะบรรจุเพื่อรอจัดจำหน่าย นำไปบ่มในอุณหภูมิที่เหมาะสม จากนั้นนมจะเกิดการตกตะกอนจับกันเป็นก้อนในภาชนะนั้น แล้วนำแช่เย็นเพื่อเก็บรักษาโดยไม่มีการกวน

2.โยเกิร์ตชนิดกวน (Stirred yogurt) คือ ผลิตภัณฑ์ที่มีการหมักนมในถังใหญ่ก่อนเพื่อให้เกิดการตกตะกอนหรือเกิดเป็นลิ่มค่อนข้างนุ่ม จากนั้นนำไปกวนจนกระทั่งตะกอนหรือลิ่มโยเกิร์ตแตกตัวจนละเอียดและมีเนื้อเนียน และคนผสมให้เข้ากันก่อนที่จะเทในภาชนะขนาดเล็กเพื่อรอการจำหน่ายซึ่งจะได้โยเกิร์ตค่อนข้างเหลว

6.1.2 ชนิดของโยเกิร์ตจำแนกชนิดตามปริมาณไขมัน

1.โยเกิร์ตปราศจากไขมัน (non-fat yogurt) เป็นโยเกิร์ตที่มีไขมันต่ำมาก โดยมีไขมันร้อยละ 0.2 - 0.5

2.โยเกิร์ตไขมันต่ำ (low-fat yogurt) เป็นโยเกิร์ตที่มีไขมันร้อยละ 0.5 - 2.0

3.โยเกิร์ต (full-fat yogurt) เป็นโยเกิร์ตที่มีไขมันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 2.0 – 3.5

4.โยเกิร์ตไขมันสูง (high- fat yogurt) เป็นโยเกิร์ตที่ไม่กำหนดปริมาณไขมันต่ำสุดของโยเกิร์ต หรืออาจมีการผลิตในบางประเทศ

6.2 กระบวนการผลิตโยเกิร์ต

ขั้นตอนการผลิตโยเกิร์ตทั้งแบบโยเกิร์ตชนิดคงตัวและชนิดกวน จะมีขั้นตอนพื้นฐานการผลิตที่เหมือนกันคือ การปรับมาตรฐานน้ำนม กระบวนการการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (homogenization) การฆ่าเชื้อด้วยวิธีพาสเจอร์ไรเซชั่น (pasteurization) การเติมเชื้อโยเกิร์ต (inoculation) การหมัก (fermentation) การบรรจุและการเก็บรักษา แต่ขั้นตอนการผลิตโยเกิร์ตชนิดกวนหลังจากการบ่มแล้วจะต้องมีขั้นตอนการกวน (stirring) เพิ่มมาด้วย เพื่อให้โยเกิร์ตเป็นเนื้อเดียวกันและมีความเนียนก่อนจะบรรจุลงภาชนะบรรจุแล้วเก็บรักษา ขั้นตอนการผลิตต่าง ๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.2.1 การปรับมาตรฐานน้ำนม

การปรับมาตรฐานน้ำนมเพื่อให้มีปริมาณโปรตีนและไขมันเป็นไปตามมาตรฐานโยเกิร์ตสามารถทำได้โดยการเพิ่มปริมาณของแข็งในนม เช่น น้ำตาล สารให้ความคงตัว (stabilizer) เช่น เจลาติน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ดี ลดการเกิดการแยกชั้นของหางนม (syneresis) การเติมนมผง โดยมักจะเติมนมผง 3% (น้ำหนักต่อปริมาตร) เพื่อให้โยเกิร์ตจับเนื้อกันดีและมีความคงตัวไม่เกิดการแยกชั้น ในการผลิตจะละลายนมผงในถังด้วยระบบสุญญากาศเพื่อลดการไหม้ที่ผิวสัมผัสความร้อนและมีการกวนเพื่อไม่ให้จับตัวกันเป็นก้อน หรือการทำให้นมมีของแข็งเพิ่มขึ้นสามารถระเหยนมให้มีปริมาตรลดลง 10-20%

6.2.2 การไล่อากาศ

การใช้นมผงเป็นวัตุดิบ เกิดฟองอากาศเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะมีผลเสียต่อผลิตภัณฑ์หมัก เนื่องจากแบคทีเรียในกลุ่มที่ผลิตกรดแลคติก (lactic acid bacteria) ที่ใช้ในการหมักโยเกิร์ตเป็นกลุ่มที่ต้องการอากาศปริมาณน้อย ๆ (microaerophilic) การไล่อากาศออกจึงเป็นการปรับสภาพแวดล้อมให้

เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้เกิดการหมักที่ดีขึ้น นอกจากนี้การไล่อากาศจะสามารถช่วยเพิ่มความคงตัว ความหนืดและเพิ่มอายุในการเก็บรักษาของโยเกิร์ตได้อีกด้วย

6.2.3 การทำให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenization)

หลังจากส่วนผสมของโยเกิร์ตถูกการปรับให้ได้ตามมาตรฐานแล้ว จะถูกนำมาทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อป้องกันการแยกชั้นของครีมในระหว่างการหมัก เพราะไขมันจะถูกตีด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ด้วยความเร็วสูงที่ความดัน 1,500 – 2,500 psi อุณหภูมิ 50 – 70°C จะทำให้ไขมันถูกตีให้แตกตัวและกระจายเป็นเม็ดเล็ก ๆ ในส่วนผสม

6.2.4 การพาสเจอร์ไรซ์และการทำให้เย็น

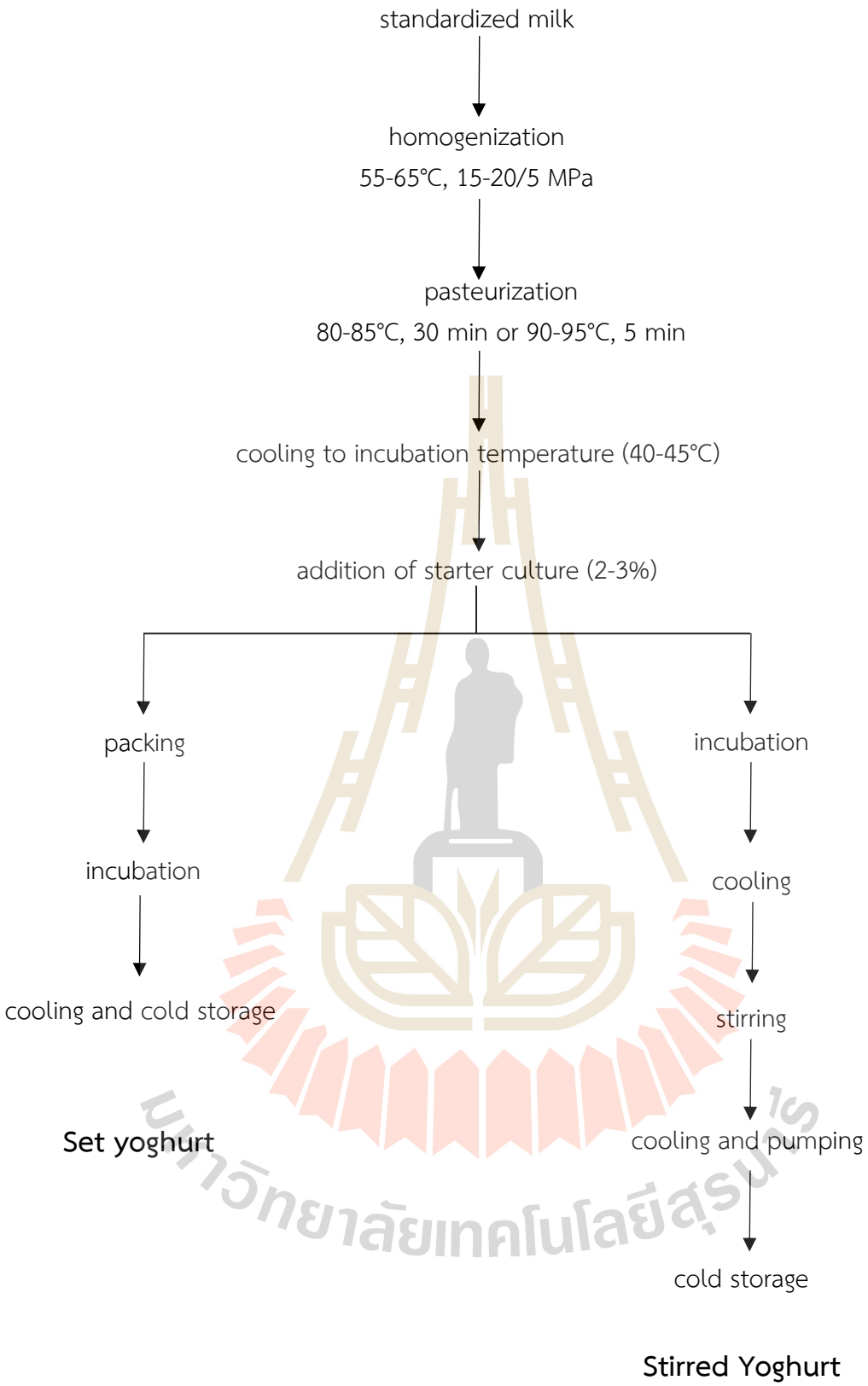
ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการสำหรับทำลายเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogenic Microorganism) และเชื้ออื่น ๆ ที่ไม่ต้องการ การพาสเจอร์ไรซ์แบบต่อเนื่องจะใช้อุณหภูมิที่ 90 – 95°C เป็นเวลา 5 min ด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน การพาสเจอร์ไรซ์แบบไม่ต่อเนื่องจะใช้อุณหภูมิสูงกว่า 66°C เช่น 80°C เป็นเวลา 30 min การพาสเจอร์ไรซ์ยังทำให้โปรตีนในน้ำนมเสียสภาพ (denature) ได้แก่ อัลบูมิน (albumin) และโกลบูมิน (globulin) ทำให้เกิดการรวมตัวกันกับโมเลกุลเคซีน (casein) เป็นร่างแหสามมิติ (network) .ในขั้นตอนการหมักดีขึ้น หลังจากนั้นทำการลดอุณหภูมิเหลือ 40 – 44°C

6.2.5 การเติมเชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักโยเกิร์ต

การหมักโยเกิร์ตจะใช้จุลินทรีย์บริสุทธิ์ (Starter culture) มักนิยมใช้เชื้อผสมระหว่าง *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus themophilus* แล้วทำการหมักที่อุณหภูมิ 40 - 45°C จนกว่าจะได้ค่า pH และรสชาติตามที่ต้องการ ทั้งนี้เวลาในการหมักจะขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อ สายพันธุ์เชื้อและปริมาณ โยเกิร์ตชนิดคงตัวจะทำการหมักในภาชนะบรรจุโดยตรง เมื่อได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายตามที่ต้องการจะถูกนำมาเก็บรักษาในห้องเย็น ส่วนโยเกิร์ตชนิดกวนจะหมักในถังหมักขนาดใหญ่ โดยยังไม่มีการกวนในขั้นตอนนี้ เมื่อกระบวนการหมักเสร็จสิ้นแล้ว จะทำให้เย็นโดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Plate Heat Exchanger) จนโยเกิร์ตเหลืออุณหภูมิ 10°C เพื่อยับยั้งการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ และควบคุมความเป็นกรดสุดท้ายในโยเกิร์ต

โยเกิร์ตชนิดกวนเมื่อถูกหมักจนได้ลิ่มแล้ว (curd) จะถูกนำมาตีให้ตะกอนหรือลิ่มแตกกระจายออก แล้วทำให้เนื้อโยเกิร์ตมีความเนียน โดยนำเข้าเครื่อง texturiser มีลักษณะเป็นตะแกรงละเอียด เพื่อให้ได้โยเกิร์ตที่มีความข้นหนืดและเนียน รวมทั้งป้องกันการแยกตัวของเวย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการผลิตโยเกิร์ตชนิดคงตัวและโยเกิร์ตชนิดกวน (Lee and Lucey, 2010)

7. ความหนืด (Viscosity)

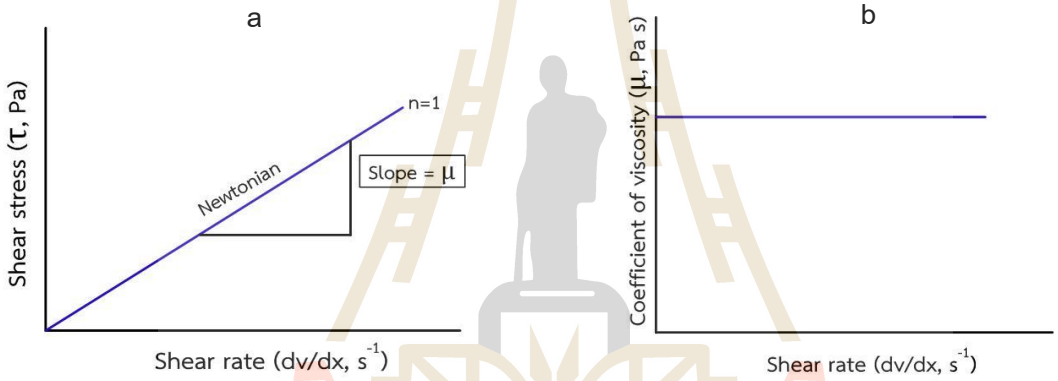
ความหนืด (viscosity) เป็นสมบัติทางวิทยากระแส (Rheological properties) ของของเหลว ที่บ่งบอกถึงความต้านทานการไหล วัตถุประสงค์ของการศึกษาความหนืดของอาหารก็เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบกรรมวิธีการผลิต กำหนดชนิด และขนาดของเครื่องจักร รวมทั้งอุปกรณ์แปรรูปอาหาร โดยความหนืดของของไหล หมายถึง แรงต้านทานการไหลภายใน เมื่อถูกแรงมากระทำ แรงต้านเกิดขึ้นเนื่องจากการยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุลภายในของเหลวนั้น

7.1 ประเภทของของไหล

การแบ่งประเภทลักษณะพฤติกรรมการไหลสามารถจำแนกลักษณะการไหลออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

7.1.1 ของไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian fluid)

ของไหลแบบนิวโตเนียนเป็นของไหลในอุดมคติที่มีพฤติกรรมการไหลตามกฎของความหนืดของนิวตัน (Newton's law of viscosity) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress กับ shear rate (รูปที่ 2.6) เป็นเส้นตรง เส้นกราฟเริ่มต้นที่จุดกำเนิด (0,0) ความหนืดของของไหลประเภทนี้จะคงที่ ตัวอย่างเช่น น้ำ น้ำมันพืช น้ำส้มสายชู น้ำเกลือ น้ำเชื่อม นมขาดมันเนย น้ำผลไม้ชนิดใส เช่น น้ำแอปเปิ้ล เป็นต้น



รูปที่ 2.6 กราฟการไหล (a) และความหนืดของของไหล (b) แบบนิวโตเนียน
(ที่มา: https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0914/newtonian-fluid-ของไหลแบบนิวโตเนียน)

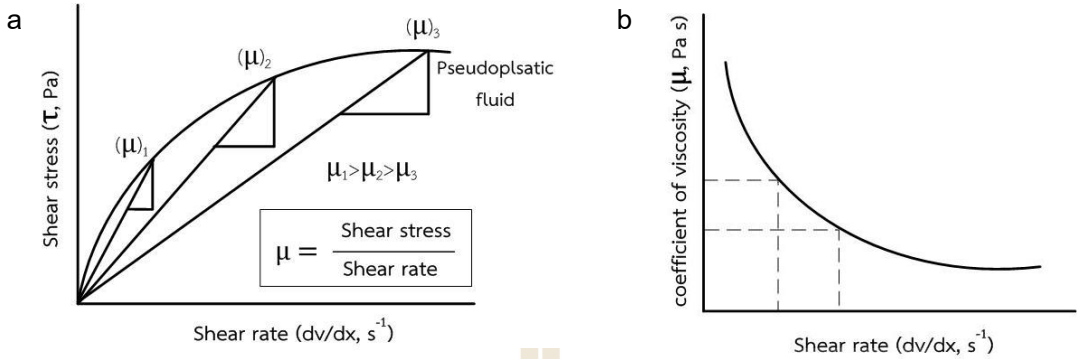
7.1.2 ของไหลแบบนอนนิวโตเนียน (Non-Newtonian fluid)

อาหารส่วนใหญ่มักไม่เป็นไปตามกฎความหนืดของนิวตัน เมื่อสร้างกราฟระหว่าง shear stress กับ shear rate จึงไม่เป็นกราฟเส้นตรง หรือไม่ผ่านจุดกำเนิด หรือทั้งสองอย่าง (รูปที่ 2.7) พฤติกรรมของไหลของอาหารเหล่านี้เรียกว่า ของไหลแบบนอนนิวโตเนียน ส่วนใหญ่พบในอาหารทั่วๆไป เช่น ซอสมะเขือเทศ มัสตาร์ด และมายองเนส เป็นต้น การที่เกิดลักษณะการไหลประเภทนี้เป็นเพราะภายในของไหลมีขนาดอนุภาคและรูปร่างต่างกัน ซึ่งทำให้การไหลเกิดลักษณะไม่ราบรื่น ตัวอย่างของไหลแบบนอนนิวโตเนียน ได้แก่

7.1.2.1 ของไหลซูโดพลาสติก (Pseudoplastic fluids) ลักษณะของการไหลประเภทนี้ คือ ค่าความหนืดมีค่าลดลงเมื่อแรงเค้นเฉือนเพิ่มขึ้น ซึ่งของไหลแบบนอนนิวโตเนียนโดยมากมักจะเป็นของไหลในลักษณะนี้ การไหลประเภทนี้ยังมีชื่อเรียกอีกว่า Shear-thinning ตัวอย่างของของไหลประเภทนี้ได้แก่ นม มายองเนส มัสตาร์ด และซุปผัก เป็นต้น

7.1.2.2 ของไหลไดลาแทนต์ (Dilatant fluids) ลักษณะของการไหลประเภทนี้ คือ ค่าความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้น ของไหลไดลาแทนต์จะพบได้ในของไหลหรืออาหาร

ลักษณะที่มีตะกอนของแข็งนอนก้น เช่น น้ำแป้งข้าวโพด ลักษณะการไหลประเภทนี้ยังมีชื่อเรียกอื่นว่า Shear-thickening



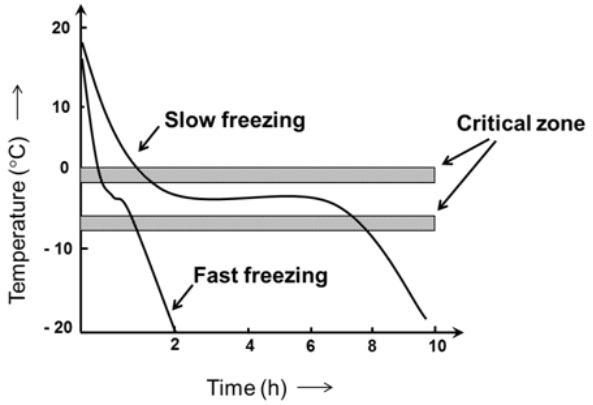
รูปที่ 2.7 กราฟการไหล (a) และความหนืดของของไหล (b) แบบนอนนิวโตเนียน (พิมพ์เพ็ญ, 2557) (ที่มา: https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0456/pseudoplastic-fluid-ของไหลแบบซูโดพลาสติก)

8. การแช่แข็งของอาหาร

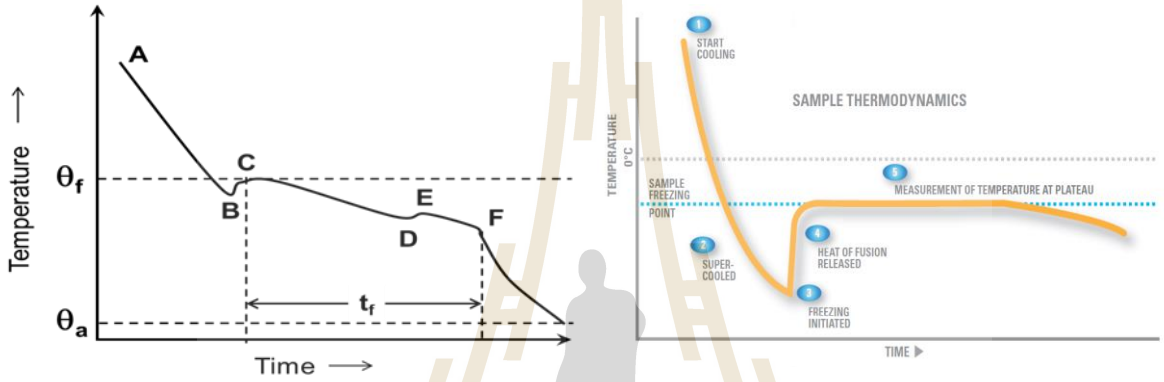
จุดเยือกแข็ง (Freezing point, FP) คือ อุณหภูมิที่ของเหลวเริ่มเปลี่ยนเป็นของแข็ง ณ อุณหภูมิจุดเยือกแข็งจะเกิดภาวะสมดุลระหว่างของเหลวกับของแข็ง อย่างไรก็ตามก่อนที่จะเกิดผลึกน้ำแข็งนั้นจะต้องมีนิวเคลียส (Nucleus) ของโมเลกุลน้ำก่อน หรือเรียกว่า การเกิดผลึกนิวคลียส (Nucleation) ก่อนการเกิดผลึกน้ำแข็ง โดยการเกิดผลึกนิวเคลียส (Nucleation) คือ ปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของน้ำมารวมตัวกันอย่างมีระเบียบเกิดเป็นชิ้นส่วนเล็ก ๆ คงรูปอยู่ได้ เพื่อรอการขยายขนาดต่อไป เรียกว่า การขยายขนาดผลึก (Ice crystal growth) ซึ่งเป็นการเพิ่มขนาดผลึก โดยโมเลกุลน้ำจะเข้าเกาะกับ nucleus (nuclei) ที่เกิดขึ้น

การแช่เยือกแข็ง (Freezing) คือ กระบวนการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำลงกว่าจุดเยือกแข็ง โดยส่วนน้ำจะเปลี่ยนสภาพไปเป็นผลึกน้ำแข็ง โดยการแช่เยือกแข็งเป็นวิธีการถนอมอาหารโดยการลดอุณหภูมิและลดค่า water activity (aw) การแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็ว (Fast freezing) ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก ๆ เนื่องจากอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากระบบสูง ทำให้เกิด nucleus เล็ก ๆ จำนวนมาก อย่างไรก็ตามขนาดของผลึกน้ำแข็งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและวิธีการแช่เยือกแข็ง (รูปที่ 2.8) ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนส่วนใหญ่ในช่วงการแช่เยือกแข็งจะเป็นตัวกำหนดการขยายขนาดของผลึกน้ำแข็ง การแช่เยือกแข็งแบบช้า (Slow freezing) ผลึกน้ำแข็งจะเกิดขึ้นภายนอกเซลล์ เมื่อผลึกน้ำแข็งใหญ่ขึ้นทำให้เซลล์เกิดการหดตัวในสภาพแช่แข็ง ส่วนการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วจะทำให้ผลึกของน้ำแข็งมีขนาดสม่ำเสมอ ขนาดเล็กจำนวนมากมีผลทำให้เซลล์ในอาหารที่ผ่านการแช่แข็งแบบรวดเร็วนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับเซลล์ในอาหารที่ไม่ได้แช่แข็ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอาหารผ่านช่วงวิกฤต



รูปที่ 2.9 กราฟการแช่เยือกแข็ง

กระบวนการแช่เยือกแข็ง (Process of freezing) ของอาหารสามารถอธิบายได้จากรูปที่ 2.9 ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 6 ช่วงดังนี้คือ

1. (AB) หรือช่วงที่ 1 อุณหภูมิของตัวอย่างอาหารลดลงเรื่อย ๆ จนต่ำกว่า 0°C
2. (B) หรือช่วงที่ 2 อุณหภูมิลดลงจนถึงจุดหนึ่ง ซึ่งลักษณะการเย็นตัวลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง แต่สารนั้นยังไม่แข็งตัว เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเย็นตัวยิ่งยวด (super cooling) อุณหภูมิเย็นยิ่งยวดจะปรากฏให้เห็นชัดเจนในการแช่เยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์แต่ แต่ในภาพการแช่เยือกแข็งอาหารอุณหภูมิเย็นยิ่งยวดจะเห็นไม่ชัด
3. (B) หรือช่วงที่ 3 ณ อุณหภูมิจุดนี้เริ่มเกิด nucleation (การเกิดนิวเคลียส) และการโตขึ้นของผลึกน้ำแข็ง
4. (BC) หรือช่วงที่ 3 – 4 อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดเยือกแข็ง (จุด C) เนื่องจากมีการปล่อยความร้อนแฝงที่เกิดจากกระบวนการตกผลึก (heat of crystallization)
5. (CD) หรือช่วงที่ 5 อุณหภูมิของตัวอย่างจะคงที่ มีความสมดุลระหว่างน้ำกับผลึกน้ำแข็ง ณ จุดนี้ เรียกว่า จุดเยือกแข็ง (เกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งทั้งหมด) (DE)
6. น้ำแข็งจะคายความร้อนจำเพาะทำให้อุณหภูมิของระบบลดลงอย่างรวดเร็ว (F)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทกล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอนการทำโยเกิร์ต ส่วนผสมและวิธีการทำไอศกรีมโยเกิร์ต วิธีการเตรียมตัวอย่างผงพรีไบโอติกที่นำมาใช้ในการวิจัย การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analysis) ของไอศกรีมโยเกิร์ต รวมถึงอุปกรณ์และเครื่องมือซึ่งประกอบด้วยชื่อเครื่องมือ รุ่น และเงื่อนไขของการใช้งาน (conditions of equipment) โดยได้อธิบายดังต่อไปนี้

1. การผลิตไอศกรีมโยเกิร์ต

1.1 การผลิตโยเกิร์ตชนิดคงตัว

โยเกิร์ตชนิดคงตัวมีส่วนผสมหลักของโยเกิร์ตคือ นมสดพาสเจอร์ไรซ์ไขมันเต็ม (whole milk) มอลติทอล (maltitol) ผงสตรอว์เบอร์รี (strawberry powder) และเชื้อโยเกิร์ต (yogurt culture) (แสดงในตารางที่ 3.1) ส่วนผสมทั้งหมด (ยกเว้นเชื้อโยเกิร์ต) ถูกนำมาผสมกันและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85°C นาน 10 min จากนั้นรีบนำส่วนผสมมาทำให้เย็นก่อนเติมเชื้อโยเกิร์ต ทำส่วนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสมด้วยความเร็วสูง (homogenizer) (IKA, T25 digital ULTRA-TURRAX®, German) ที่ 15,000 rpm เป็นเวลา 5 min และเทส่วนผสมลงในภาชนะ และบ่มที่อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 24 h จนกระทั่ง pH 4.19-4.22 จากนั้นโยเกิร์ตถูกนำมาแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อชะลอการหมักและรอการทำไอศกรีมในขั้นตอนต่อไป ขั้นตอนการทำโยเกิร์ตชนิดคงตัวแสดงดังรูปที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของโยเกิร์ต

ส่วนผสม	นมพาสเจอร์ไรส์ไขมันเต็ม	มอลติทอล	ผงสตรอว์เบอร์รี	เชื้อโยเกิร์ต
ปริมาณ (%)	79.4	20.0	0.5	0.1

(A) (B) (C) (D)

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมโยเกิร์ต : (A) ต้มส่วนผสมที่ทำโยเกิร์ต (B) ส่วนผสมถูกทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (C) โยเกิร์ตหลังการบ่มมีลักษะเป็นเคิร์ด (D) นำโยเกิร์ตหลังบ่มไปวัด pH

1.2 ขั้นตอนการเตรียมผงกล้วยและผงแก่นตะวัน

นำผลกล้วยดิบ (ที่ความสุกระดับ 1) ที่ถูกตัดมาจากบริเวณภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และหัวแก่นตะวันสดที่ซื้อมาจากอำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น (deionized water) แล้วถูกนำมาปอกเปลือกออก หลังจากนั้นนำเนื้อมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วถูกนำไปแช่แข็ง

เป็นเวลา 24 h แล้วนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dry) 48 h จนกระทั่งมีความชื้นประมาณ 5% (มาตรฐานเปียก) (ขั้นตอนการเตรียมการเตรียมแก่นตะวันแห้งแสดงดังรูปที่ 3.2) และนำไปบดลดขนาดด้วยเครื่องบดละเอียดแบบหัวค้อน (hammer mill) (Perten, LABMILL 3100, USA) ให้เป็นผงที่มีขนาดเล็กกว่า 180 µm จากนั้นนำผงกล้วยดิบและผงแก่นตะวันไปบรรจุในถุงพลาสติกสุญญากาศและเก็บรักษาในตู้ดูดความชื้น (Desiccator) เพื่อรอนำไปทำเป็นส่วนผสมไอศกรีมโยเกิร์ตต่อไป

(A) (B) (C) (D)

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมแก่นตะวันแห้ง : (A) หัวแก่นตะวันสด (B) หัวแก่นตะวันหลังปอกเปลือกและนำมาแช่น้ำ (C) หัวแก่นตะวันสดถูกหั่นเป็นแผ่นบาง (D) หัวแก่นตะวันถูกนำมาทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

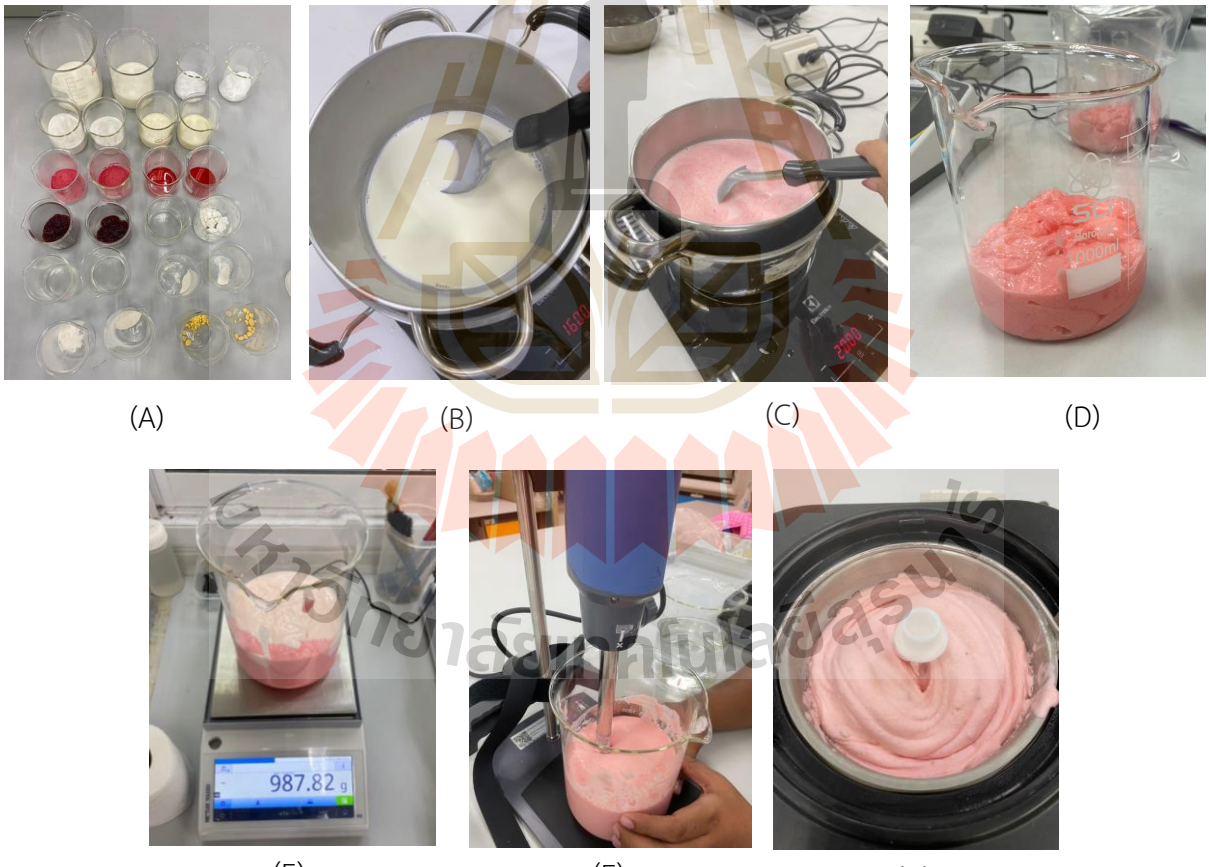
ตารางที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของส่วนผสมไอศกรีมในแต่ละสูตร

Ingredients (%)	Control	Inulin	Banana powder	Jerusalem Artichoke powder
นมพาสเจอร์ไรส์ไขมันเต็ม	42	42	42	42
Whipping cream	16.0	16.0	16.0	16.0
ครีมเทียม	15.0	15.0	15.0	15.0
มอลติทอล	8.5	8.5	8.5	8.5
แยม	8.0	8.0	8.0	8.0
พรีไบโอติก	0.0	4.0	4.0	4.0
น้ำมันมะพร้าว	2.0	2.0	2.0	2.0
ไซรัปสตอว์เบอร์รี	2.0	2.0	2.0	2.0
ผงสตอว์เบอร์รี	1.5	1.5	1.5	1.5
Emulsifier (ผงไข่แดง)	0.5	0.5	0.5	0.5
Stabilizer (แซนแทนกัม)	0.4	0.4	0.4	0.4
ผงบุก	0.1	0.1	0.1	0.1
น้ำสะอาด	4.0	0.0	0.0	0.0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3 การเตรียมส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมและการผลิตไอศกรีมโยเกิร์ต (ice cream yogurt)

ในงานวิจัยนี้จะผลิตไอศกรีม 4 สูตร ได้แก่ สูตรที่ไม่เติมพรีไบโอติกหรือสูตรควบคุม (control) โดยสูตรควบคุมได้จากการทดลองเบื้องต้น สูตรที่เติมพรีไบโอติกมี 3 สูตร คือ สูตรเติมผงอินนูลิน (Inulin) โดยจะใช้ผงอินนูลินทางการค้า สูตรเติมผงกล้วยดิบ (Banana powder) และสูตรเติมผงแก่นตะวัน (Jerusalem artichoke powder) ปริมาณ 4% อ้างอิงสูตรจาก Junyusen et al. (2017) การผลิตไอศกรีมสามารถทำได้โดยชั่งน้ำหนักส่วนผสมที่เป็นของแห้ง ได้แก่ ครีมเทียม มอลติทอล ผงสตอว์เบอร์รี ผงไข่แดง แซนแทนกัม ผงบุกและพรีไบโอติก อัตราส่วนแสดงในตารางที่ 3.2 คนส่วนผสมให้เข้ากัน แล้วนำนมพาสเจอร์ไรส์ไขมันเต็มและ Whipping cream มาให้ความร้อนแล้วจึงเติมส่วนผสมที่เป็นของแห้งลงไป คนให้ส่วนผสมเข้ากัน ทำการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 10 นาที แล้วลดอุณหภูมิลงให้เหลือเท่าอุณหภูมิห้อง แล้วผสมกับโยเกิร์ตชนิดคงตัวจากหัวข้อ 1.1 (โยเกิร์ต 60% ส่วนผสมไอศกรีม 40%) เติมน้ำมันมะพร้าว และกลิ่นสตอว์เบอร์รี 0.2% ลงในส่วนผสมทั้งหมด จากนั้นทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผสมด้วยความเร็วสูง (homogenizer) (IKA, T25 digital ULTRA-TURRAX®, German) ที่ 15,000 rpm เป็นเวลา 5 min หลังจากนั้นเติมแยมและไซรัป แล้วนำไปบ่ม (aging) ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 h ก่อนนำไปปั่นไอศกรีมโยเกิร์ตด้วยเครื่องทำไอศกรีม UNOLD รุ่น 48825 บรรจุในภาชนะพร้อมปิดฝา และเก็บรักษาไอศกรีมที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อรอการวิเคราะห์ผลของการเติมพรีไบโอติกต่อคุณภาพของไอศกรีมโยเกิร์ตต่อไป ขั้นตอนการทำไอศกรีมโยเกิร์ตแสดงดังรูป 3.3



(A) (B) (C) (D)

(E) (F) (G)

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทำไอศกรีมโยเกิร์ต: (A) ส่วนผสมทำไอศกรีม (B) อุ่นนมพาสเจอร์ไรส์ให้ร้อน (C) ใส่ส่วนผสมที่เป็นของแห้งและฆ่าเชื้อ (D) ลดอุณหภูมิของไอศกรีมลงหลังการฆ่าเชื้อ (E) ผสมโยเกิร์ตและไอศกรีมในอัตราส่วน 60:40 (F) ทำส่วนผสมไอศกรีมโยเกิร์ตให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง (G) ปั่นไอศกรีมโยเกิร์ตด้วยเครื่องทำไอศกรีม

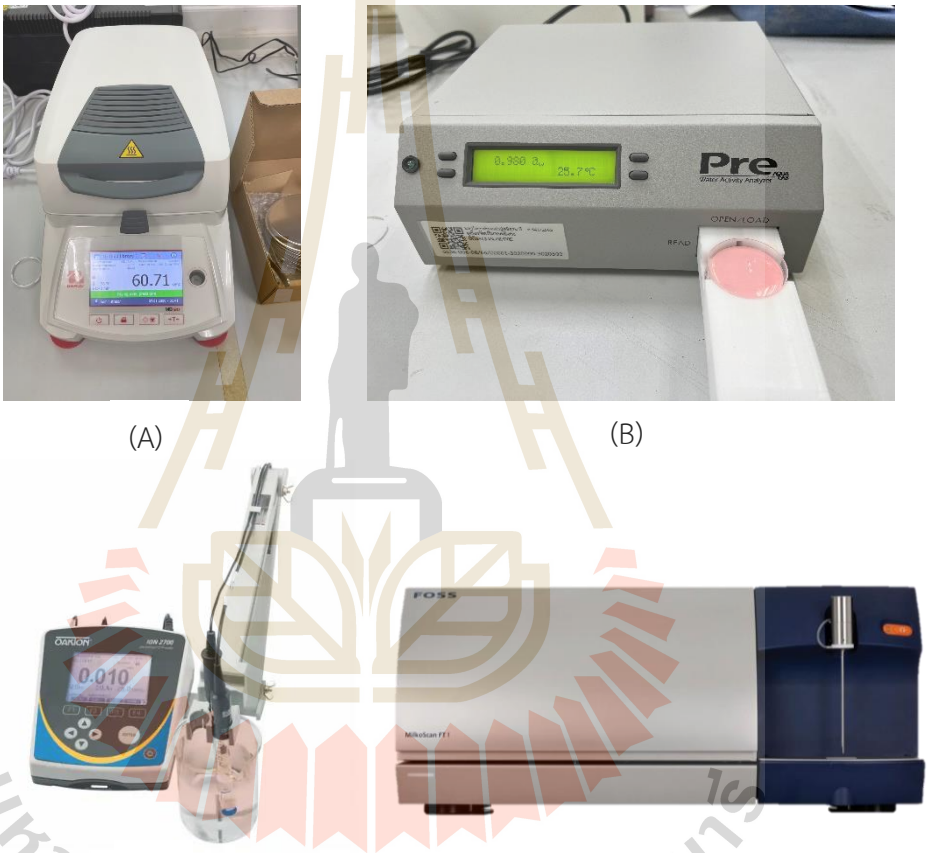
2. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี (Chemical property)

2.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมทั้ง 4 สูตรที่ผ่านการบ่ม 4°C เป็นเวลา 24 h (Ice cream mixes) ถูกนำมาชั่ง 3 กรัม ใส่ถาดอะลูมิเนียมแล้วนำไปวิเคราะห์ความชื้น (%wb) ด้วยเครื่องวัดความชื้น (Moisture analyzer, OHAUS, MB-120, OHAUS Instruments Co., Ltd., Shanghai, China) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ (รูปที่ 3.4A)

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, aw)

ใส่ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโยเกิร์ตลงในถ้วยใส่ตัวอย่างปริมาณที่กำหนด แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity meter, AquaLab Pre, METER Group, Inc, WA, USA) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ (รูปที่ 3.4B)



(A) (B)

(C) (D)

รูปที่ 3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของไอศกรีมโยเกิร์ต: (A) เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (Moisture analyzer) (B) เครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity meter) (C) pH meter (D) เครื่องตรวจสอบคุณภาพน้ำนม (MilkoScan)

2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณไขมัน ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และกรดแลคติก ด้วยเครื่องตรวจสอบคุณภาพน้ำนม (MilkoScan TM FT2, FOSS, Denmark) แสดงดังรูปที่ 3.4D นอกจากนี้ถูกนำมาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่างด้วยเครื่อง pH meter (PC 2700 Benchtop meter, Oakton, USA) รูปที่ 3.4C โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ (Physical property)

3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางวิทยากระแสของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Rheological properties of the ice cream mixes)

การวิเคราะห์สมบัติทางวิทยากระแสของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมทั้ง 4 สูตร ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brookfield DV2T Viscometer, Brookfield Engineering Laboratories Inc., Massachusetts, USA) ทำได้โดยการนำส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Ice cream mixes) ที่ผ่านการบ่ม 4ºC เป็นเวลา 24 h ใส่ลงใน cylindrical sample chamber (13R) ที่อุณหภูมิ 4ºC และใช้ spindle เบอร์ 21 (SSA21) ที่ความเร็วรอบ 0.2–85 rpm ทำการวัดค่าความหนืดปรากฏ และรูปแบบพฤติกรรมการไหล (flow behavior curve) (ดัดแปลงวิธีการจาก Mellado, 1998) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ (แสดงดังรูปที่ 3.5)

รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความหนืด (Viscometer)

3.2 การวิเคราะห์อัตราการขึ้นฟูของไอศกรีม (%Overrun)

นำส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Ice cream mixes) มาบรรจุลงในถ้วยพลาสติกจนเต็มแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นนำส่วนผสมของไอศกรีมไปปั่นด้วยเครื่องปั่นไอศกรีม แล้วตักไอศกรีมใส่ในถ้วยพลาสติกใบเดิมจนเต็ม แล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง นำไปคำนวณ Overrun (%) ในสมการที่ 3.1 โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ (ดัดแปลงวิธีการจาก Arbuckle 1986) (แสดงดังรูปที่ 3.6)

$$\text{Overrun (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม} - \text{น้ำหนักของไอศกรีมหลังปั่น}}{\text{น้ำหนักของไอศกรีมหลังปั่น}} \times 100 \qquad (3.1)$$

รูปที่ 3.6 การวิเคราะห์อัตราการขึ้นฟูของไอศกรีม (%Overrun)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.3 การวิเคราะห์อัตราการละลายของไอศกรีม (melting rate)

การวิเคราะห์อัตราการละลายของไอศกรีม นำตัวอย่างไอศกรีมที่บรรจุเต็มแม่พิมพ์ และมีน้ำหนักที่แน่นอน 35 ± 5 g ไปเก็บไว้ที่ตู้ -20°C เป็นเวลา 24 h ก่อนนำมาทดสอบอัตราการละลาย โดยนำไอศกรีมที่แกะออกจากแม่พิมพ์ วางบนตะแกรงลวดขนาด 15 x 15 cm และเส้นผ่านศูนย์กลางรูตะแกรงเท่ากับ 0.5 cm ซึ่งวางอยู่บนบีกเกอร์ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนในห้องอุณหภูมิ 25±1°C จับเวลาทุก ๆ 5 min นำบีกเกอร์ไปชั่งน้ำหนัก ซึ่งจะได้น้ำหนักของไอศกรีมที่ละลาย โดยหาอัตราการละลายเป็นเวลา 60 min แล้วนำผลที่ได้เขียนกราฟระหว่างน้ำหนักของไอศกรีมที่ละลายต่อระยะเวลา แล้วหาอัตราการละลาย (g/min) หรือความชันในช่วงกราฟที่เป็นเส้นตรง (ดัดแปลงจาก จันทร์เพ็ญ, 2561) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ

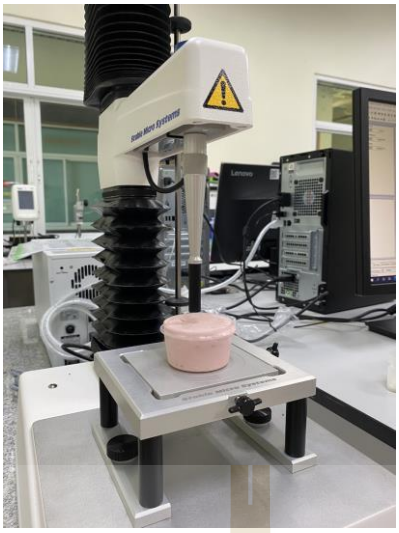
3.4 การวิเคราะห์ค่าสี (colour)

นำไอศกรีมทั้ง 4 สูตรมาวิเคราะห์ค่าสีของด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter, HunterLab, Ultrascan VIS, Hunter Associates Laboratory, Inc., VA, USA) ในระบบ L* a* b* โดยค่า L* หมายถึงค่าความสว่าง (Lightness) ค่า a* หมายถึงค่าความเป็นสีแดง (Redness) และค่า b* หมายถึงค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ (แสดงดังรูปที่ 3.7)

รูปที่ 3.7 เครื่องวัดสี (Colorimeter)

4. การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analysis)

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TA.XTPlus, texture technologies corp. and stable micro systems, ltd., MA, USA) ตัวเครื่องต่อกับหัววัดชนิดอลูมิเนียม Cylinder probe P/10 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ Pre-test, Test, and Post-test speed เท่ากับ 1, 2, และ 10 mm/s ตามลำดับ ค่า strain เท่ากับ 25% โดยนำไอศกรีมออกมาจาก -20°C ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 15 นาที ก่อนการวิเคราะห์ โดยวิเคราะห์ค่าความแข็ง (hardness) และค่าการยึดติด (adhesiveness) ด้วย Texture Exponent Software (version 7.0.6.0, Texture Technologies Corp. and Stable Micro Systems, Ltd., Hamilton, MA) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 9 ซ้ำ (ดัดแปลงวิธีการจาก Akalin et al., 2008) (แสดงดังรูปที่ 3.8)



รูปที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer)

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Analysis)

การศึกษาผลของการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีและลักษณะเนื้อสัมผัสได้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely randomized design (CRD) โดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Turkey's honestly significant different (HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) โดยใช้โปรแกรม Minitab® 17 (Minitab Inc., USA)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ในบทนี้จะนำเสนอผลการศึกษาการเติมพรีไบโอติกในไอศกรีมโยเกิร์ต โดยจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนคือ ผลการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีของไอศกรีมโยเกิร์ต และผลการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ต โดยได้อธิบายดังต่อไปนี้

1. ผลการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางเคมีของไอศกรีมโยเกิร์ต

ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตรได้แก่ สูตรควบคุมหรือสูตรที่ไม่เติมพรีไบโอติก (control) สูตรเติมอินนูลิน (Inulin) สูตรเติมผงกล้วยดิบ (Banana powder) และสูตรเติมผงแก่นตะวัน (Jerusalem artichoke powder) ผ่านการบ่ม 4°C เป็นเวลา 24 h ตัวอย่างถูกนำมาวิเคราะห์ค่าความชื้น (Moisture content, %wb) และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า ค่าความชื้นของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมอยู่ในช่วง 57.14 – 60.09%wb และปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.987 – 0.993 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เนื่องจากไอศกรีมมีส่วนผสมหลักคือโยเกิร์ต นมพาสเจอร์ไรส์ไขมันเต็ม วิปปิ้งครีม (Whipping cream) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของไอศกรีมอยู่ในช่วง 5.24 – 5.41 การเติมโยเกิร์ตส่งผลให้ไอศกรีมมีรสเปรี้ยวเพิ่มขึ้น ผงกล้วยดิบและผงแก่นตะวันทำให้ค่า pH ลดลงมากกว่าการเติมอินนูลินและสูตรควบคุม (ไม่เติมพรีไบโอติก)

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม

Chemical composition	Control	Inulin	Banana Powder	Jerusalem artichoke Powder
a_w ^{ns}	0.990 ± 0.000	0.990 ± 0.007	0.993 ± 0.003	0.987 ± 0.003
pH	5.38^{b} ± 0.02	5.41^{b} ± 0.04	5.24^{a} ± 0.01	5.27^{a} ± 0.02
Moisture (%wb)^{ns}	60.09 ± 2.87	57.44 ± 0.19	59.20 ± 0.41	59.13 ± 0.13
Fat (%)	3.95^{a} ± 0.11	4.95^{b} ± 0.08	3.77^{a} ± 0.36	4.15^{a} ± 0.10
Total Solids (%)	36.38^{b} ± 0.35	37.35^{b} ± 0.38	35.98^{b} ± 0.55	30.50^{a} ± 0.80
Total sugar (%)	14.23^{c} ± 0.05	15.35^{d} ± 0.02	13.77^{b} ± 0.10	12.42^{a} ± 0.06
Lactic acid (%)	0.10^{b} ± 0.03	0.26^{c} ± 0.04	00.00^{a} ± 0.0	0.15^{b} ± 0.05

หมายเหตุ: ^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

$^{a-d}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\leq0.05$)

เมื่อพิจารณาผลองค์ประกอบทางเคมีของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโยเกิร์ตแสดงในตารางที่ 4.1 ประกอบด้วยปริมาณไขมัน (Fat) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) และปริมาณกรดแลคติก (Lactic acid) พบว่าส่วนผสมของไอศกรีมโยเกิร์ตสูตรที่เติมอินนูลินจะให้ค่าไขมัน ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และกรดแลคติกมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเท่ากับ 4.95%, 15.35% และ 0.26% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากอินนูลินที่เติมเข้าไปจะช่วยส่งเสริมการทำงานของจุลินทรีย์ที่อยู่ในโยเกิร์ต เกิดกระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลแลคโตสในนมไปเป็นกรดแลคติกด้วยแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตกรดแลคติก (lactic acid bacteria) และอินนูลินจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์จนเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดไขมันสายสั้น (Short chain fatty

acid; SCFA) ส่งผลให้ค่าไขมันเพิ่มขึ้นกว่าทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (Roberfroid, 1993) ไอศกรีมโยเกิร์ตสูตรที่เติมผงแก่นตะวันมีปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยกว่าสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการศึกษาการเติมพรีไบโอติกต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids) ในไอศกรีมพบว่า ส่วนผสมไอศกรีมสูตรที่เติมอินนูลิน ผงกล้วยดิบ และสูตรควบคุม (ไอศกรีมไม่เติมพรีไบโอติก) มีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 35.98 - 38.35% ซึ่งมากกว่าไอศกรีมสูตรที่เติมผงแก่นตะวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ที่ 30.50% ดังนั้นการลดลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดอาจสัมพันธ์กับการลดลงของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยจะเห็นว่าสูตรที่เติมผงแก่นตะวันมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 12.42% ซึ่งน้อยกว่าไอศกรีมทั้ง 3 สูตรที่มีปริมาณน้ำตาลเท่ากับ 13.77 – 15.35% โดยทั่วไปแล้วปริมาณของแข็งทั้งหมดในไอศกรีมจะอยู่ในช่วง 36-43% (วรรณา และ วิบูลศักดิ์, 2531) หากไอศกรีมมีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำเกินไป จะทำให้เนื้อไอศกรีมขาดความแน่น (firmness) ละลายเร็ว ทนแรงกดได้น้อย โครงสร้างของไอศกรีมจะมีลักษณะเปราะหรือร่วน (crumby body) ส่วนไอศกรีมที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงเกินไป จะส่งผลให้เนื้อของไอศกรีมมีความแน่นหนัก (heavy body) ละลายได้ช้า อัตราการขึ้นฟูของไอศกรีมต่ำ (%Overrun) (ปิ่นนรี, 2551)

2. ผลการเติมพรีไบโอติกต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมโยเกิร์ต

2.1 การวิเคราะห์สมบัติทางวิทยากระแสของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Rheological properties of the ice cream mixes)

เมื่อพิจารณาสมบัติทางวิทยากระแสแบบให้แรงเฉือนของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตรที่ผ่านการบ่ม 4°C เป็นเวลา 24 h โดยการวิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมการไหล ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 โดยรูปที่ 4.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือน (shear rate, γ) และแรงเค้นเฉือน (shear stress, τ) สามารถอธิบายได้จากรูปแบบสมการแบบ Power law model โดยพิจารณาค่าความน่าเชื่อถือ least square (R^2) ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.99 สมการ Power law แสดงดังสมการที่ 4.1 ผลลัพธ์ที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2

$$\tau = k\gamma^n \tag{4.1}$$

โดย τ คือ ความเค้นเฉือน (shear stress) มีหน่วยเป็น Pa

γ คือ อัตราเฉือน (shear rate) มีหน่วยเป็น 1/s

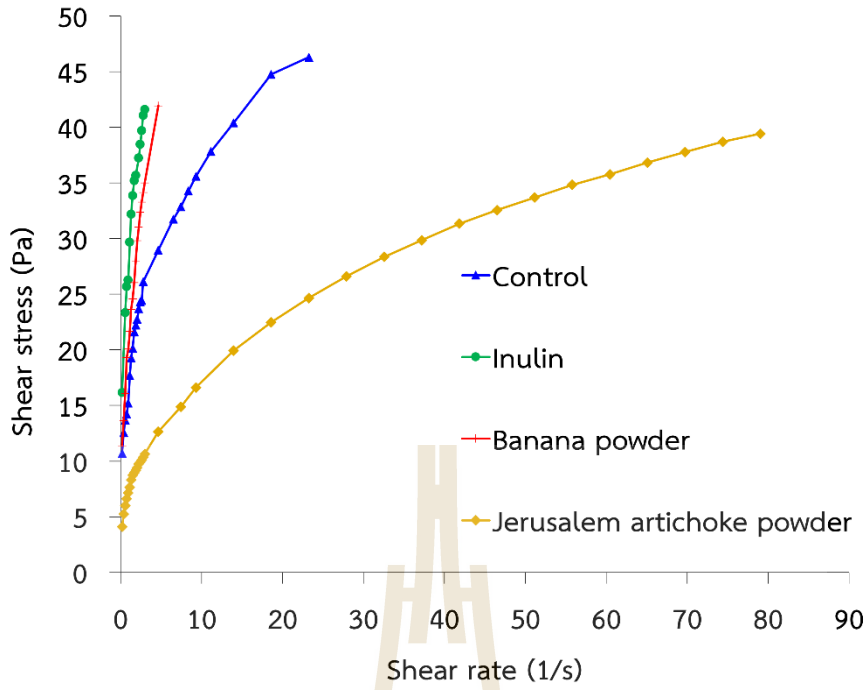
k คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (consistency coefficient) มีหน่วยเป็น Pa .s

n คือ ค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (Flow behavior index) ไม่มีหน่วย

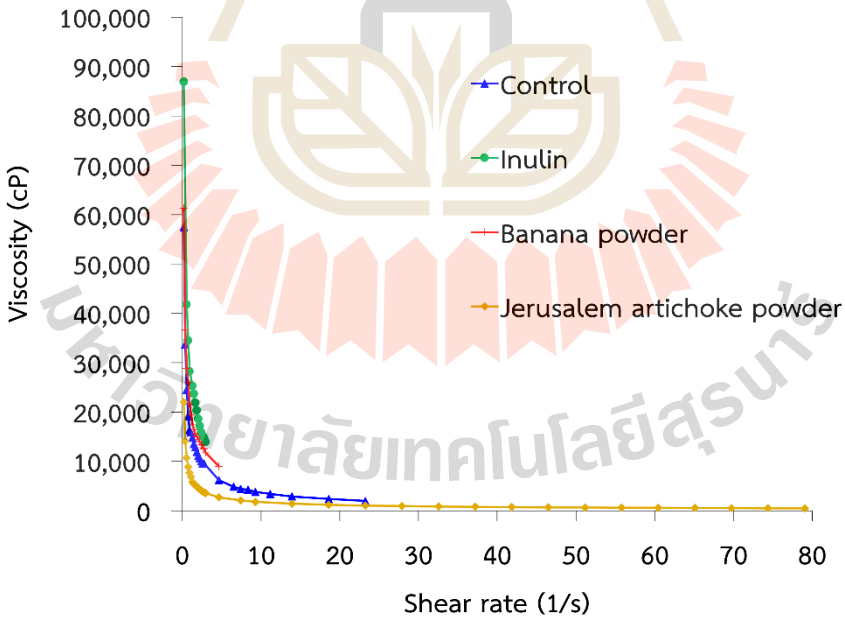
ตารางที่ 4.2 ค่า viscosity consistency (k) และค่า flow behaviour index (n) ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม

Ice cream mixtures	ค่า k	ค่า n	ค่า R^2
Control	$17.439^{b} \pm 0.268$	$0.323^{a} \pm 0.005$	0.9920
Inulin	$28.615^{d} \pm 0.282$	$0.347^{ab} \pm 0.025$	0.9916
Banana powder	$21.520^{c} \pm 0.038$	$0.429^{c} \pm 0.015$	0.9935
Jerusalem artichoke powder	$7.318^{a} \pm 0.058$	$0.384^{b} \pm 0.001$	0.9992

หมายเหตุ: $^{a-d}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน ที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.1 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือน (shear rate) และแรงเค้นเฉือน (shear stress) ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตร ได้แก่ สูตรควบคุม (control) สูตรเติมพรีไบโอติก ได้แก่สูตรเติมผงอินนูลิน (Inulin) สูตรเติมผงกล้วยดิบ (Banana powder) สูตรเติมผงแก่นตะวัน (Jerusalem artichoke powder)



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือน (Shear rate) กับความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ของส่วนผสม พร้อมทำไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตร ได้แก่ สูตรควบคุม (control) สูตรเติมพรีไบโอติก ได้แก่ สูตรเติมผงอินนูลิน (Inulin) สูตรเติมผงกล้วยดิบ (Banana powder) สูตรเติมผงแก่นตะวัน (Jerusalem artichoke powder)

รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือน กับความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตร พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนให้มากขึ้น มีผลทำให้ความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมลดลงและค่าความหนืดจะเริ่มคงที่ เมื่อเพิ่มอัตราเฉือนให้สูงขึ้นไปอีก ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมทั้ง 4 สูตรแสดงพฤติกรรมเป็นของไหลประเภทนอนนิวโตเนียน (Non-Newtonian) แบบ Shear thinning ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (flow behaviour index, n) จากตารางที่ 4.2 ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมทั้ง 4 สูตร อยู่ในช่วง 0.323 – 0.429 มีค่าต่ำกว่า 1 หมายความว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีพฤติกรรมการไหลแบบ Shear thinning

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (k) ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมทั้ง 4 สูตร ในตารางที่ 4.2 พบว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูตรควบคุมและส่วนพร้อมไอศกรีมสูตรเติมพรีไบโอติกให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูตรที่เติมผงแก่นตะวันมีค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดน้อยที่สุดเท่ากับ 7.318 Pa .s ทั้งนี้เนื่องจากผงแก่นตะวันมีคุณสมบัติที่เป็นใยอาหาร มีองค์ประกอบต่างๆที่ไม่ละลายน้ำ เช่น ไขมัน ดังนั้นผงแก่นตะวันจึงอาจไปขัดขวางการกระจายตัว และการดูดซึมน้ำของส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตไอศกรีม จึงส่งผลให้ส่วนผสมของพร้อมทำไอศกรีมมีค่าความหนืดลดลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (ไอศกรีมไม่เติมพรีไบโอติก) สอดคล้องกับงานวิจัยของ กฤติยาและคณะ (2020) พบว่าเมื่อเติมแก่นตะวันในโจ๊กข้าวไรซ์เบอรี่กึ่งสำเร็จรูปที่ 2.5%, 5.0% และ 7.5% ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนืดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่เติมผงแก่นตะวัน ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมสูตรที่เติมอินนูลินมีค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดมากที่สุดเท่ากับ 28.615 Pa.s เนื่องจากอินนูลินกับโปรตีนนมสามารถสามารถสร้างปฏิสัมพันธ์ (interaction) เกิดพันธะไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) (Glibowski, 2009) ทำให้ส่วนผสมของไอศกรีมมีความหนืด และปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น (Debon et al., 2010) ส่วนผสมไอศกรีมสูตรที่เติมผงกล้วยดิบมีค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดเท่ากับ 21.520 Pa.s มากกว่าส่วนผสมสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการเปลี่ยนเป็นเจลของแป้งในผงกล้วยดิบเมื่อได้รับความร้อน และจับกับโปรตีนทำให้เกิดเป็นโครงข่ายที่มีความแข็งแรง (Abdalla and Ahmed, 2019) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Yangılar ปี 2015 ที่เติมผงกล้วยดิบลงในไอศกรีม ส่งผลให้ความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงกล้วยจาก 1% เป็น 2% ตามลำดับ และความหนืดมากกว่าส่วนผสมไอศกรีมที่ไม่เติมผงกล้วย (Yangılar, 2015) ความหนืดที่แตกต่างกันของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมยังส่งผลต่อร้อยละการขึ้นฟู (%Overrun) ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture) อัตราการละลายของไอศกรีมด้วย (melting rate)

2.2 การวิเคราะห์ร้อยละการขึ้นฟูของไอศกรีม (%Overrun)

การขึ้นฟูคือ ปริมาณอากาศที่ถูกอัดเข้าในส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม หลังจากนั้นไอศกรีมจะถูกนำไปแช่แข็ง ผลการวัดค่าร้อยละการขึ้นฟูของไอศกรีมทั้ง 4 สูตร แสดงในตารางที่ 4.3 จากผลการทดลองพบว่าค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมอยู่ในช่วง 22.95 – 26.79% โดยไอศกรีมสูตรที่เติมอินนูลินให้ค่าการขึ้นฟูน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรไอศกรีมอีก 3 สูตร ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการขึ้นฟูจะมีความสัมพันธ์กับความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม ถ้ามีค่าความหนืดสูงจะส่งผลให้ไอศกรีมการขึ้นฟูลดลง เนื่องจะไปขัดขวางการทำงานของใบพัดจึงทำให้ตีอากาศเข้าไปในโครงสร้างไอศกรีมได้น้อยลง (Phuenpipob, 2013) ซึ่งสอดคล้องกับผลในตารางที่ 4.2 ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของอินนูลินมีค่ามากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากอินนูลินมีใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ สามารถจับกับโมเลกุลของน้ำและเกิดโครงสร้างคล้ายเจล จึงส่งผลให้ค่าความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาผ่านการตีจึงได้ค่าอัตราการขึ้นฟูต่ำ (Kowittaya et al., 2006) สูตรไอศกรีมที่เติมผงกล้วยดิบและไอศกรีมสูตรควบคุม (ไอศกรีมไม่เติมพรีไบโอติก) มีการขึ้นฟูที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนไอศกรีมสูตรที่เติมผงแก่นตะวันมีค่าการขึ้นฟูมากกว่าสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากส่วนผสมก่อนปั่นไอศกรีมมีค่าสัมประสิทธิ์

ความหนืด (ตารางที่ 4.2) น้อยกว่าสูตรอื่นๆ ทำให้แรงต้านการตีปั่นส่วนผสมของไอศกรีมน้อยลง ส่งผลให้ตีอากาศเข้าไปในเนื้อไอศกรีมได้มากขึ้น ไอศกรีมจึงมีค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมมากที่สุดนั่นเอง ทั้งนี้ผลการทดลองที่ได้แตกต่างจากงานวิจัยของวิชมณี และคณะ 2559 ที่ได้นำสาหร่ายผักกาดทะเลผงมาใช้เป็นส่วนประกอบไอศกรีมไขมันต่ำ 0-2.0% พบว่าความหนืดและร้อยละการขึ้นฟูของไอศกรีมมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยไอศกรีมที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง 2.0% มีความหนืดและมีการขึ้นฟูมากที่สุด เท่ากับ 7274.45 cP และ 39.17% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีความหนืดต่ำเกินไป เมื่อนำมาตีปั่นอากาศเข้าไป จะทำไอศกรีมจับอากาศไว้ได้น้อย ส่งผลให้ค่าการขึ้นฟูต่ำ เมื่อไอศกรีมมีความหนืดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เนื้อไอศกรีมสามารถจับอากาศไว้ได้ดีขึ้น และมีความสม่ำเสมอของเซลล์อากาศ (อุษา, 2541) อากาศในเนื้อไอศกรีมยังส่งผลต่อรูปร่างโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ และให้เนื้อสัมผัสที่เบา นอกจากนี้ต่อคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ เช่น การหลอมละลายและความแข็งของไอศกรีม (Sofjan and Hartel., 2004; Cruz et al., 2009; Dagdemir. 2011) ในแง่อุตสาหกรรมในการผลิตไอศกรีม หากค่าร้อยละการขึ้นฟูสูง จะทำให้ได้กำไรสูง ดังนั้นร้อยละการขึ้นฟูจึงมีความสำคัญมากในการผลิตไอศกรีม (สมจิต, 2525)

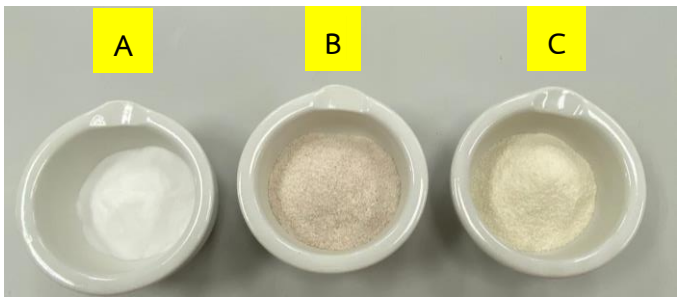
ตารางที่ 4.3 ค่าร้อยละการขึ้นฟู (%Overrun) ของไอศกรีมทั้ง 4 สูตร

Ice cream mixtures	Overrun(%)
Control	$24.55^{ab} \pm 2.66$
Inulin	$22.95^{a} \pm 0.83$
Banana powder	$26.79^{ab} \pm 1.60$
Jerusalem artichoke powder	$25.80^{b} \pm 1.31$

หมายเหตุ: $^{a-b}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวเดียวกัน ที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

2.3 ค่าสี (Colour)

ผลของการเติมพรีไบโอติกต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของไอศกรีมโยเกิร์ตแสดงดังตารางที่ 4.4 โดยค่า L* แทนค่าความสว่าง ค่า a* มีค่าเป็นบวก (+) แสดงค่าความเป็นสีแดง และค่า b* มีค่าเป็นบวก (+) แสดงค่าความเป็นสีเหลือง สูตรควบคุม(ไอศกรีมไม่เติมพรีไบโอติก) มีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองเท่ากับ 46.84 และ 5.42 ตามลำดับ ไอศกรีมสูตรเติมพรีไบโอติกมีค่าใกล้เคียงกันทั้งค่าความสว่างและค่าสีเหลืองเท่ากับ 69.73 – 75.94 และ 7.76 – 8.22 ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นว่าไอศกรีมโยเกิร์ตที่เติมพรีไบโอติกทั้ง 3 สูตร จะมีค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ผลดังกล่าวเป็นไปตามสีของพรีไบโอติกที่เติมลงไปนั่นเอง ซึ่งจะมีสีขาวค่อนไปทางสีเหลืองเล็กน้อย จึงส่งผลให้ค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้น ผงพรีไบโอติกที่เติมเข้าไปในไอศกรีมแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผงพรีไบโอติก: (A) ผงอินนูลิน (Inulin); (B) ผงกล้วยดิบ (Banana powder); (C) ผงแก่นตะวัน (Jerusalem artichoke powder)

เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดงของไอศกรีมพบว่า ไอศกรีมสูตรเติมอินนูลินทำให้ไอศกรีมมีค่าความเป็นสีแดง (a*) มากกว่าสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับงานวิจัยของพนิตตา และคณะปี 2562 รายงานว่าการเตรียมตัวอย่างน้ำสลัดครีม โดยใช้สารอินนูลินเพื่อเป็นสารทดแทนไขมัน ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ คือร้อยละ 10,12.5,15,17.5 และ 20 เมื่อเปรียบเทียบน้ำสลัดสูตรควบคุม กับน้ำสลัดที่เติมอินนูลิน พบว่าอินนูลินมีผลต่อค่าความสว่าง เมื่อเพิ่มอินนูลินจนถึง 15% จะมีค่าความสว่างมากขึ้นและค่าความสว่างจะลดลงตามลำดับเมื่อเพิ่มอินนูลินไปจนถึง 20% ส่วนค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และค่าความเป็นสีแดง (a*) มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อความเข้มข้นของอินนูลินเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.4 ค่าสี (Colour) ของไอศกรีมที่เติมพรีไบโอติกทั้ง 4 สูตร

	Control	Inulin	Banana powder	Jerusalem artichoke powder
Colour				
L*	$46.84^{a} \pm 2.43$	$71.94^{bc} \pm 1.62$	$69.73^{b} \pm 0.98$	$75.94^{c} \pm 2.56$
a*	$15.54^{a} \pm 1.01$	$19.91^{b} \pm 1.04$	$16.56^{a} \pm 0.80$	$15.44^{a} \pm 0.27$
b*	$5.42^{a} \pm 0.41$	$7.77^{b} \pm 0.06$	$8.22^{b} \pm 0.44$	$7.76^{b} \pm 0.26$

หมายเหตุ: $^{a-c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวเดียวกัน ที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

2.4 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analysis)

ไอศกรีมโยเกิร์ตที่แช่แข็งถูกนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำมาวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยวิเคราะห์ค่าความแข็ง (hardness) และค่าการยึดติด (adhesiveness) โดยค่าความแข็งคือการวัดแรงต้านทานของไอศกรีมเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำจนทำให้ไอศกรีมเสียรูป ส่วนค่าการยึดติดบ่งบอกถึงการเกาะตัวกันเองของเนื้อไอศกรีม หรือเชื่อมแน่นภายในของโครงสร้างเนื้อไอศกรีม จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 พบว่าการเติมพรีไบโอติกส่งผลต่อค่าความแข็ง และค่าการเกาะติดของไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตร การเติมผงกล้วยดิบจะทำให้ไอศกรีมมีค่าความแข็งมากที่สุดเท่ากับ 223.35 g และการเติมผงแก่นตะวันจะได้ค่าความแข็งน้อยที่สุดเท่ากับ 75.60 g ทั้งนี้เป็นผลมาจาการเติมแป้งกล้วยจะทำให้ความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแป้งกล้วยเป็นสารพอลิแซ็กคาร์ไรด์มีคุณสมบัติการเจลลาติไนซ์ (gelatinization) และโมเลกุลของแป้งจะจัดเรียงตัวใหม่เกิดเป็นเจลที่มีโครงสร้างที่แข็งแรง (Hormdok and Noomhorm, 2007) และจะมีความหนืดสูงที่อุณหภูมิต่ำจึงทำให้ได้ไอศกรีมที่มีค่าความแข็งมากที่สุด ส่วนไอศกรีมสูตรที่เติมผงแก่นตะวันจะมีความแข็งน้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) เนื่องจากส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของส่วนผสมไอศกรีมน้อย เมื่อปั่นไอศกรีมจะทำให้อากาศเข้าไปในเนื้อไอศกรีมได้ดี ทำให้มีค่าร้อยละการขึ้นฟูสูง ส่งผลให้ไอศกรีมมีความแข็งน้อย ซึ่งความแข็งของไอศกรีมมีความเกี่ยวข้องกับอัตราการขึ้นฟู (Arbuckle, 1986; Marshall and Arbuckle, 1996) จึงส่งผลให้เนื้อไอศกรีมยึดเกาะกันได้น้อยซึ่งจะมีค่าการยึดเกาะกันอยู่ที่ -21.65 g sec ไอศกรีมสูตรที่เติมอินนูลินและผงกล้วยดิบให้ค่าการยึดติดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) งานวิจัยของจุฑารัตน์ และคณะ (2549) รายงานว่าการลดไขมันในไอศกรีมวานิลามีผลทำให้คุณภาพของไอศกรีมด้อยลง จึงใช้อินนูลินเพื่อเป็นสารทดแทนไขมัน โดยลดไขมันจาก 9% เหลือ 3% เติมอินนูลินร้อยละ 3 ถึง 9 พบว่าการเพิ่มอินนูลินสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติด้านกายภาพทำให้ไอศกรีม ทำให้ค่าความหนืดเพิ่มมากขึ้น เมื่อนำมาผ่านการตีปั่นอากาศเข้าไปในส่วนผสมไอศกรีม ทำให้ได้ร้อยละการขึ้นฟูที่ต่ำลง ได้ไอศกรีมที่มีเนื้อแข็ง และทนต่อการการกดอัดที่ทำให้เสียรูปร่างได้มากขึ้น เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Ji-u ปี 2019 ได้ศึกษาผลการใช้น้ำตาลโตนดต่อคุณภาพของไอศกรีมน้ำนมข้าวกล้องหอมนิลงอก โดย

ทดแทนปริมาณน้ำตาลซูโครสด้วยปริมาณน้ำตาลโตนดที่ 4 ระดับ คือ 100:0 (สูตรควบคุม), 40:60, 20:80 และ 0:100 ตามลำดับ โดยที่สูตรควบคุมมีค่าความแน่นเนื้อมากสุด และสูตร 4 (0:100) มีค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุด ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าการขึ้นฟูของไอศกรีม โดยสูตรควบคุมและสูตรที่ 4 มีค่าร้อยละการขึ้นฟูเท่ากับ 24.34 และ 32.91 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามงานวิจัยของ Bulan และคณะปี 2022 ได้ศึกษาผลของการเสริมแก่นตะวันพิวเร่ที่ระดับร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ในไอศกรีมนม การเสริมแก่นตะวันพิวเร่ส่งผลให้ความแน่นแข็ง (Hardness) ของไอศกรีมเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อเพิ่มปริมาณแก่นตะวันพิวเร่ โดยมีค่าอยู่ที่ 287.65, 420.22, 720.56 และ 953.61 กรัม ตามลำดับ เกิดจากปริมาณอากาศภายในไอศกรีมมีปริมาณน้อย ส่งผลให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อแน่น ซึ่งความแน่นแข็งของไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นอาจมีความสัมพันธ์กับความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมและการขึ้นฟูของไอศกรีม

ตารางที่ 4.5 ค่าความแข็ง (Hardness) และค่าการเกาะติด (adhesiveness) ของไอศกรีมที่เติมพรีไบโอติกทั้ง 4 สูตร

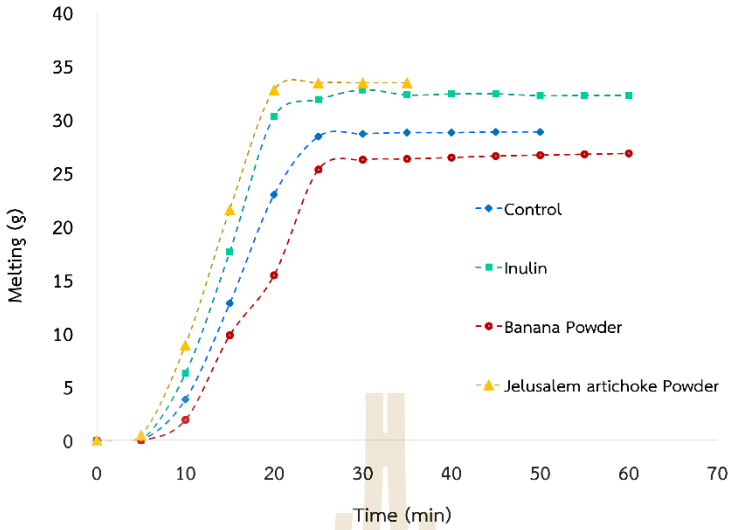
Ice cream mixtures	Hardness (g)	Adhesiveness (g sec)
Control	$153.75^{b} \pm 36.56$	$-37.99^{b} \pm 15.26$
Inulin	$182.63^{bc} \pm 50.14$	$-63.57^{a} \pm 9.71$
Banana powder	$223.35^{c} \pm 25.93$	$-51.75^{a} \pm 6.89$
Jerusalem artichoke powder	$75.60^{a} \pm 8.96$	$-21.65^{c} \pm 3.14$

หมายเหตุ: $^{a-c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวเดียวกัน ที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

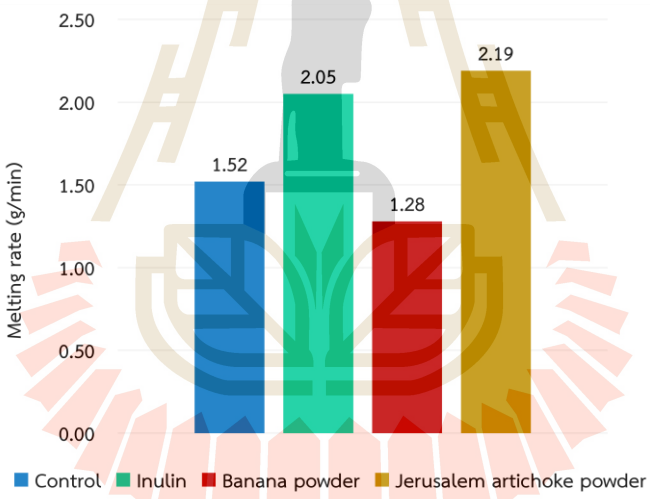
2.5 การวิเคราะห์อัตราการละลายของไอศกรีม (Melting rate)

การศึกษาอัตราการละลายของไอศกรีมที่ผ่านการแช่แข็งที่ -21°C เป็นเวลาอย่างน้อย 24 h ไอศกรีมถูกนำมาวางบนตะแกรงที่อุณหภูมิ 25±1°C บันทึกน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายทุกๆ 5 min โดยหาอัตราการละลายเป็นเวลา 60 min น้ำหนักไอศกรีมที่ละลายเมื่อเวลาผ่านไปแสดงในกราฟดังรูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและน้ำหนักไอศกรีมที่ละลาย จากรูปจะเห็นว่าไอศกรีมจะเริ่มละลายหลังจากผ่านไป 5 min และลายอย่างรวดเร็วจนถึงเวลา 20 min เนื่องจากในช่วงแรกไอศกรีมยังมีอุณหภูมิต่ำ ไอศกรีมจึงยังไม่เกิดการละลาย เมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากสภาพแวดล้อมไปยังไอศกรีม ทำให้อุณหภูมิของไอศกรีมสูงขึ้น ไอศกรีมจึงเกิดการละลายมากขึ้น (Muse and Hartel, 2004) การหาอัตราการละลายของไอศกรีม (g/min) ทำได้โดยการหาความชันของกราฟที่เป็นเส้นตรงในช่วงเวลา 5 – 20 min โดยอัตราการละลายที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.5

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าไอศกรีมสูตรเติมผงแก่นตะวันมีอัตราการละลายมากที่สุดเท่ากับ 2.19 g/min รองลงมาคือไอศกรีมสูตรเติมผงอินนูลิน สูตรควบคุม (ไม่เติมพรีไบโอติก) และสูตรเติมผงกล้วยดิบ ตามลำดับ โดยมีอัตราการละลายดังนี้ 2.05, 1.52 และ 1.28 ตามลำดับ ผลลัพธ์ที่ได้จะสอดคล้องกับค่าความแข็ง (hardness) ของไอศกรีม สูตรที่เติมผงกล้วยดิบจะมีค่าความแข็งมากที่สุด เนื่องจากผงกล้วยดิบเป็นสารให้ความคงตัวสามารถ เกิดเป็นโครงสร้างเจลที่มีความแข็งแรงและลดการเคลื่อนที่ของน้ำ จึงทำให้ไอศกรีมมีอัตราการละลายที่ช้าลง (Akesowan, 2009) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Yangılar ปี 2015 ที่เติมผงกล้วยดิบ 1-2% ลงในไอศกรีม ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอัตราการละลายน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับไอศกรีมสูตรควบคุม งานวิจัยของจันทร์เพ็ญ (2561) ที่ใส่สารคงตัวในการพัฒนาสูตรไอศกรีม พบว่าสูตรที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.3 ทำให้ส่วนผสมไอศกรีมมีความหนืดสูงสุด และส่งผลให้ได้ค่าการขึ้นฟูต่ำและให้ค่าอัตราการละลายช้าที่สุด เนื้อสัมผัสของไอศกรีมนุ่ม ยืดหยุ่น และการยึดเกาะตัวของเนื้อไอศกรีมได้ดี



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าน้ำหนักการละลายของไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตรเทียบกับเวลา ได้แก่ สูตรควบคุม (control) สูตรเติมพรีไบโอติก ได้แก่ สูตรเติมผงอินนูลิน (Inulin) สูตรเติมผงกล้วยดิบ (Banana powder) สูตรเติมผงแก่นตะวัน (Jerusalem artichoke powder)



รูปที่ 4.5 อัตราการละลายของไอศกรีมโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตร ได้แก่ สูตรควบคุม (control) สูตรเติมพรีไบโอติก ได้แก่ สูตรเติมผงอินนูลิน (Inulin) สูตรเติมผงกล้วยดิบ (Banana powder) สูตรเติมผงแก่นตะวัน (Jerusalem artichoke powder)

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการเติมสารพรีไบโอติกในไอศกรีมโยเกิร์ต โดยใช้ผงอินนูลินทางการค้า ผงแก่นตะวัน และผงกล้วยดิบ เทียบกับสูตรควบคุม (ไม่เติมพรีไบโอติก) ส่วนผสมไอศกรีมถูกเติมพรีไบโอติก 4% อัตราส่วนส่วนผสมไอศกรีมถูกนำมาผสมกับโยเกิร์ตในอัตราส่วนเท่ากับ 40: 60 %w/w (ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม) หลังจากนั้นนำไปบ่ม 4ºC เป็นเวลา 24 h หลังจากนั้นถูกนำมาปั่นเพื่อให้ไอศกรีมขึ้นฟูด้วยเครื่องปั่นไอศกรีมเป็นเวลา 30 min ไอศกรีมถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ จากการศึกษาพบว่าพรีไบโอติกที่เติมลงไปจะให้ค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผงอินนูลินจะทำให้ส่วนผสมก่อนปั่นไอศกรีมมีความหนืดมากกว่าสูตรอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 28.615 Pa.s ผงแก่นตะวันจะให้ค่าความหนืดน้อยกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่สารพรีไบโอติกให้ค่าร้อยละการขึ้นฟูไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนไอศกรีมสูตรเติมผงกล้วยดิบให้ค่าความแน่นเนื้อมากกว่าทุกสูตรเท่ากับ 223.35 g และไอศกรีมสูตรเติมผงแก่นตะวันมีค่าความแน่นเนื้อต่ำที่สุดเท่ากับ 75.60 g ในขณะที่อัตราการละลายของไอศกรีมสูตรที่เติมผงกล้วยดิบมีอัตราการละลายน้อยที่สุดเท่ากับ 1.28 g/min นอกจากนี้พรีไบโอติกทุกชนิดให้ค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มากกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับผลการวิจัยค่าการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีค่า a_w, pH, moisture content มีค่าใกล้เคียงกัน ไอศกรีมสูตรที่เติมผงอินนูลินมีค่าองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณไขมัน ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และกรดแลคติกมากกว่าสูตรอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นผงอินนูลินจึงมีแนวโน้มที่สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของไอศกรีมในด้านคุณสมบัติทางเคมี และด้านกายภาพคือช่วยเพิ่มความหนืดของไอศกรีม

2. ข้อเสนอแนะ

2.1 การวิจัยเพิ่มเติมควรมุ่งเน้นไปที่การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ได้แก่ คุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม เพื่อเลือกไอศกรีมสูตรที่ผู้บริโภคพึงพอใจมากที่สุด

2.2 การศึกษาเพิ่มเติมถึงระยะเวลาในการเก็บรักษาไอศกรีม โดยเลือกใช้สูตรไอศกรีมที่ผู้บริโภคพึงพอใจสูงสุด

2.3 ศึกษาเพิ่มเติมคุณสมบัติพรีไบโอติกจากวัตถุดิบทางการเกษตรอื่นๆ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าสินค้าทางการเกษตรและปรับปรุงคุณสมบัติของไอศกรีม

บรรณานุกรม

กฤติยา เขื่อนเพชร, จันทกานต์ แสงเสริฐเศรษฐ์, เมธาพร ธรรมรัตน์ และ ศุทธวีร์ คล้ายแดง. (2020). การพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมโปรตีนและใยอาหาร. Thai Journal of Science and Technology. 9. 5. 711-728.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2550). เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จันทร์เพ็ญ มะลิพันธ์. (2561). การใช้สารให้ความคงตัวในการพัฒนาไอศกรีมเนื้อนิ่มจากน้ำนมข้าวกล้อง. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการ: การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติครั้งที่ 2 พ.ศ.2561. หน้า 349-360

จิราภัทร โอทอง, ลัดดาวัลย์ กลิ่นมาลัย และ อมรรัตน์ เจริญชัย. (2563). การใช้อินนูลินทดแทนน้ำตาลทรายในไอศกรีมนมเสริมอกไก่. Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST). 19. 1. 39-50.

จุฑารัตน์ โกวิทยา, มาศอุบล ทองงาม และ สมจิต สุรพัฒน์. (2549). การปรับปรุงคุณภาพของไอศกรีมวานิลาลดไขมันโดยใช้อินนูลิน. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 : สาขาอุตสาหกรรมเกษตร สาขาเศรษฐศาสตร์ สาขาบริหารธุรกิจ. หน้า 438-445. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย: กรุงเทพมหานคร.

นพพร สกุลยืนยงสุข. 2558. การพัฒนาโยเกิร์ตไขมันต่ำเสริมแป้งแก่นตะวัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

ปิ่นนรี ชินวรรธวงศ์. 2551. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตน้ำนมถั่วเหลือง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา. (2555). เอกสารประกอบการสอนรายวิชาเทคโนโลยีนมและผลิตภัณฑ์. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. พิษณุโลก

พนิตตา ภาคภูมิ, ปาริสุทธิ์ เฉลิมชัยวัฒน์ และ ศรชัย สินสุวรรณ. (2561). การใช้อินนูลินเพื่อเป็นสารทดแทนไขมันในน้ำสลัด. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 56: สาขาพืช, สาขาสัตว์, สาขาสัตวแพทยศาสตร์ สาขาประมง สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์. หน้า 873-880.

พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 354 (พ.ศ. 2556) เรื่องไอศกรีม. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่130 ตอนพิเศษ 87 ง (วันที่26 มิถุนายน 2557)

พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 364 (พ.ศ. 2556) เรื่องมาตรฐานอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่130 ตอนพิเศษ 148 ง (วันที่31 ตุลาคม 2556)

วรรณา ตั้งเจริญชัย และ วิบูลย์ศักดิ์ กาวิละ. (2531). นมและผลิตภัณฑ์นม. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเอสพริ้นติ้ง เฮาส์: กรุงเทพมหานคร.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, สุวรรณา วรสิงห์ และ พรนภา น้อยพันธ์. (2559). การเพิ่มมูลค่าสาหร่ายผักกาดทะเลโดยใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ (รายงานผลการวิจัย). มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี.

สมจิต ฤกษ์หร่าย. (2525). ไอศกรีม ไอศกรีม. ข่าวสารเกษตรศาสตร์. ปีที่ 27. ฉบับที่ 1 (ก.พ.-มี.ค. 2525). หน้า 45-61.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2556). เรื่องนมเปรี้ยว, ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 353 พ.ศ. 2556. กระทรวงสาธารณสุข: กรุงเทพมหานคร.

สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. (2557). แก่นตะวันพืชมหัศจรรย์เพื่อสุขภาพ. ข่าวสารเกษตรศาสตร์, 60. 1. 45-55.

สุภณิดา พัฒธร และ พิมพรรณ เทียนพูล. (2016). ผลของแก่นตะวันต่อแบคทีเรียแลคติกในซอร์เบทโปรไบโอติก. วารสารวิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 11. 2. 59-72.

อุษา นาคจิรังกูร. 2541. ผลของสารคงตัวต่อไอศกรีมเซอร์เบทมิกซ์รสผลไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.

Abdalla, A. K., and Ahmed, Z. F. R. (2019). Physicochemical and sensory properties of yoghurt supplemented with green banana flour. Egyptian Journal of Dairy Science. 47. 1. 1-9.

Aichayawanich, S.; and Wongsa, J. Characterization of Riceberry Rice Ice Cream Enriched with Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus*) Extract. Curr. Appl. Sci. Technol. 2022. 22. 1–10.

Akalin, A.S., Karagozlu, C., and Unal, G. (2008). Rheological properties of reduced- fat and low-fat ice cream containing whey protein isolate and inulin. Eur. Food Res. Technol. 227. 889-895.

Akesowan, A. (2009). Influence of soy protein isolate on physical and sensory properties of ice cream. Thai Journal of Agricultural Science. 42. 1. 1-6.

Arbuckle, W. S. (1986). Ice Cream. 4th ed. Van Nostrand Reinhold. New York.

Bulan, D., Paekul, N., Phuksuksakul, A., and Kumchoo, S. (2022). Effect of Jerusalem artichoke (*helianthus tuberosus*.) pure addition on physical characteristics and sensory acceptance of milk ice cream. Journal of Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology). 14. 27. 61-69.

Clarke, C. (2004). Ice cream ingredients. In the science of ice cream. pp. 38e57.

Cruz, A. G., Antunes, A. E., Sousa, A. L. O., Faria, J. A., and Saad, S. M. (2009). Ice-cream as a probiotic food carrier. Food Research International. 42. 9. 1233-1239.

Dagdemir, E. (2011). Effect of vegetable marrow (*Cucurbita pepo* L.) on ice cream quality and nutritive value. Asian Journal of Chemistry. 23. 10. 4684-4688.

Debon, J., Prudêncio, E. S., and Petrus, J. C. C. (2010). Rheological and physico-chemical characterization of prebiotic microfiltered fermented milk. Journal of Food Engineering. 99. 2. 128-135.

Englyst, H. N., Kingman, S. M., and Cummings, J. H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. European journal of clinical nutrition. 46. S33-50.

Flores Mellado, A. A. 1998. Ice crystallization and recrystallization in frozen model solutions and ice cream as affected by polysaccharide gums. Doctoral dissertation. University of Guelph.

Gibson, G. R. and Roberfroid, M. B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microflora introducing the concept of probiotics. Journal of Nutrition. 125. 1401-1412.

Gibson, G. R., & Roberfroid, M. (2008). Handbook of prebiotics: CRC Press. Taylor and Francis Group. 7-451.

Gibson, GR. and Rastall, RA. (2006). Prebiotics: Development and Application.1st ed. London: John Wiley and Sons, Ltd.

Glibowski, P. (2009). Rheological properties and structure of inulin–whey protein gels. International Dairy Journal. 19. 8. 443-449.

Goñi I, García-Díaz L, Mañas E, Saura-Calixto F (1996) Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. Food Chem. 56. 445-449.

Grembecka, M. (2015). Sugar alcohols—their role in the modern world of sweeteners: a review. European Food Research and Technology. 241. 1-14.

Higgins, J.A., D.R. Higbee, W.T. Donahoo, I.L. Brown, M.L. Bell and D.H. Bessesen. (2004). Resistant starch consumption promotes lipid oxidation. Nutr. Metab. 1. 8.

Hormdok, R., and Noomhorm, A. (2007). Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. LWT-Food science and Technology. 40. 10. 1723-1731.

Ji-u, P., Rotarwut, B., and Pongpool, C. (2019). Effect of palm sugar on qualities of black jasmine GABA rice milk ice cream. Kaen Kaset= Khon Kaen Agriculture Journal. 47. Suppl. 1. 685-690.

Junyusen, T., Petnom, G., and Chienwiboonsook, B. (2017). The effects of inulin on the physicochemical characteristics of feduced-fat ice cream. Suranaree Journal of Science & Technology. 24. 1.

Kaneko, T., Kohmoto, T., Kikuchi, H., Shiota, M., Iino, H., and Mitsuoka, T. (1994). Effects of isomaltooligosaccharides with different degrees of polymerization on human fecal bifidobacteria. Bioscience, biotechnology, and biochemistry, 58. 12. 2288-2290.

Kikuchi, H., Nagura, T., Inoue, M., Kishida, T., Sakurai, H., Yokota, A., Asano, K., Tomita, F., Sayama, K. and Senba, Y. (2004). Physical, chemical and physiological properties of difructose anhydride III produced from inulin by enzymatic reaction. J. Appl. Glycosci. 51. 291–296.

Kohmoto, T., Fukui, F., Takaku, H., Machida, Y., Arai, M., and Mitsuoka, T. (1988). Effect of isomalto-oligosaccharides on human fecal flora. Bifidobacteria and Microflora. 7. 2. 61-69.

Kowittaya, C., Thongngam, M., and Surapat, S. (2006). Quality improvement of reduced fat vanilla ice cream by inulin. In Proceedings of 44th Kasetsart University Annual Conference : Agro-Industry, Economics and Business Administration. pp. 438-445.

Lee, W. J., and Lucey, J. A. (2010). Formation and physical properties of yogurt. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 23. 9. 1127-1136.

Lu, J., Pua, X. H., Liu, C. T., Chang, C. L., & Cheng, K. C. (2014). The implementation of HACCP management system in a chocolate ice cream plant. Journal of food and drug analysis. 22. 3. 391-398.

Marshall, R.T. and W.S. Arbuckle. (1996). Ice Cream. 5th ed. Chapman & Hall. New York. 349 p.

Marshall, R.T., Goff, H.D. and Hartel, R.W. (2003) Ice Cream. 6th Edition. (New York: Plenum Publisher)

Muse, M.R.; and Hartel, R.W. (2004). Ice cream structural element that affect melting rate and hardness. Journal of Dairy Science. 87. 1-10.

Phuenpipob, C. (2013). Developing stability of coconut milk ice-cream by banana flour. RMUTP Research Journal. Special. Issue. 19-25.

Rapaille. A, Goosens. J, and Heume. M. (2016) Sugar alcohols. Encyclopedia of Food and Health. 211–216.

Roberfroid, M. (1993). Dietary fiber, inulin, and oligofructose: a review comparing their physiological effects. Critical Reviews in Food Science & Nutrition. 33. 2. 103-148.

Roberfroid, M. B. (2000). Prebiotics and probiotics: are they functional foods?. The American journal of clinical nutrition. 71. 6. 1682S-1687S.

Rohrig, B. (2014). Ice, Cream... and Chemistry. ChemMatters. 6-7.

Saeed, M., Yasmin, I., Pasha, I., Randhawa, M. A., Khan, M. I., Shabbir, M. A., and Khan, W. A. (2015). Potential application of inulin in food industry: A review. Pak. J. Food Sci. 25. 3. 110-116.

Sajilata, M.G., Singhal, R.S., and Kulkarni, P.R. 2006 Resistant starch – A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 5. 1-17

Scholz-Ahrens, K. E., Schaafsma, G., van den Heuvel, E. G., and Schrezenmeir, J. (2001). Effects of prebiotics on mineral metabolism. The American journal of clinical nutrition. 73. 2. 459s-464s.

Sofjan, R. P., and Hartel, R. W. (2004). Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. International dairy journal. 14. 3. 255-262.

Tanjor, S., Judprasong, K., Chaito, C., and Jogloy, S. (2012). Inulin and fructooligosacharides in different varieties of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). Asia-Pacific Journal of Science and Technology. 17. 1. 25-34.

Yangılar, F. (2015). Effects of green banana flour on the physical, chemical and sensory properties of ice cream. Food Technology and Biotechnology. 53. 3. 315.

Zumbé, A., Lee, A., and Storey, D. (2001). Polyols in confectionery: the route to sugar-free, reduced sugar and reduced calorie confectionery. British Journal of Nutrition. 85. S1. S31-S45.

ประวัตินักวิจัย

Name : Pornpimol Moolkaew
Position : Lecturer
Address : School of Agricultural Engineering,
Institute of Engineering, Suranaree University of Technology
Email: pornpimol.m@sut.ac.th

Education:

M.Eng. (Mechanical and Process System Engineering) July 2019
Suranaree University of Technology,
Thesis: "Extraction of beta glucan from *Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Sing using microwave extraction"
Advisor: Assistant Professor Dr. Tiraporn Junyusen

B.Eng. (Agricultural and Food Engineering) June 2016
Suranaree University of Technology
First-class honors

Work Experience:

Lecturer School of Agricultural Engineering, 2020 – Present
Suranaree University of Technology (SUT), Nakhonratchasima, Thailand

Journal Publications

Moolkaew, P., Junyusen, T., Natthaporn Chatchavanthatri, N., Phan, M.V., and Sornsomboonsuk, S. Microwave-assisted extraction of *Pleurotus sajor-caju* Polysaccharides and Characterization of Bioactive compound. Suranaree Journal of Science & Technology. 26(4).

Chatchavanthatri, N., Junyusen, T., **Moolkaew, P.**, Arjharn, W., and Junyusen, P. (2020). Effect of soaking and sprouting treatment on germination rate of paddy. In E3S Web of Conferences (Vol. 187, p. 04016). EDP Sciences.Lastname, F.M., Lastname, F.M., and Lastname, F.M., "Article Title," Journal Name, vol. 1, no. 3, 2008, pp. 503-509.

Conference Papers

Moolkaew, P., Yolthawin, N., Pumkokrak, W., Taengsopha, P., and Junyusen, T. (2023). Effects of prebiotic addition on Physicochemical properties of Ice cream yogurt. The 9th National Food Engineering Conference (FENETT' 2023), Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand, 4 April 2023. Page 1-14.

Taengsopha, P., Kotanan, P., Sudyord, R., Promsopa, P., Junyusen, P., **Moolkaew., P.,** and Junyusen, P. (2023). Comparative Effect of Prebiotic Addition on Physicochemical, Textural, and Sensory Properties of Greek Yogurt. The 9th National Food Engineering

Conference (FENETT' 2023), Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand, 4 April 2023. Page 40-53.

Mongkolsawat, W., Choowong, P., and **Moolkaew, P**. Development of Crispy Snacks from Corn Mixed with Chaya spinach. The 14th TSAE in International Conference and 22nd TSAE in National Conference, The Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand, May 12-13, 2021. Page 173-184.

Moolkaew, P., Kitnimit, P., Sudjai, T., Sakha, P., and Junyusen, T. Study of glutamic acid content and antioxidant activity of Chaya leaves (*Cnidoscolus chayamansa* McVaugh). The 6th National Food Engineering Conference (FENETT' 2020), Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Thailand, 6 March 2020. Page 53-58.

Junyusen, T., Chatchavanthatri, N., **Moolkaew, P**., Sornsomboonsuk, S., and Junyusen, P. Effects of Maltodextrin Content on Physicochemical Properties of Spray Dried Instant Rose Apple Tea Powder. The 5th National Food Engineering Conference (FENETT' 2019), Suranaree University of Technology, Thailand, 28-29 March 2019. Page 45-52.

Moolkaew, P., Junyusen, T., Chatchavanthatri, N., Pamkhuntod, N., Sornsomboonsuk, S., and Junyusen, P. (2018). Effects of autoclave and microwave-assisted extractions of Pleurotus *sajor-caju* (Fr.) sing on polysaccharides yields and microstructural characteristics. The 19th TSAE National Conference and the 11th TSAE International conference, Kasetsart University, Thailand, 26-27 April 2018. Page 117-122.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี