ISSN 0125-3395 E-Journal

SONGKLANAKARIN

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY Vol.29 No.1 Jan.-Feb. 2007

Agricultural and Biological Sciences

A comparative chromosome analysis of Thai wild boar (*Sus crofa jubatus*) and relationship to domestic pig (*S. s. domestica*) by conventional staining, G-banding and high- resolution technique
Alongkoad Tanomtong, Praween Supanuam, Pornnarong Siripinyasing and Roungvit Bunjonrat 1

Effect of *Trichoderma harzianum* biomass and *Bradyrhizobium* sp. strain NC 92 to control leaf blight disease of bambara groundnut (*Vigna subterranea*) caused by *Rhizoctonia solani* in the field
Paranee Sawangsri, Ashara Pengnoo, Jira Suwanprasert and Mana Kanjanamaneesathian 15

Impacts of intensive shrimp cultivation on bacteria in the nitrogen cycle and physicochemical properties of sediments - Yuwadee Sudthikara, Duangporn Kantachote and Banjong Wittayaweerasak 25

Effect of levels of urea and cassava chip on feed intake, rumen fermentation, blood metabolites and microbial population in growing goats
Pin Chanjula, Wanwisa Ngampongsai and Metha Wanapat 37

Effects of varieties and timing of subsequent cutting on yield, chemical composition and ruminal degradability of cassava Hay in Southern Thailand
Pin Chanjula and Somunek Sornnok 49

Chromosome numbers of some Angiosperm plants in Thailand
Ladda Eksomtramage, Saijai Jornead, Supamas Decharun , Ampawan Jansone and Supaporn Tanpho 61

Species diversity of benthic diatoms and its relation to environmental variables in Ton Ngachang Waterfall, Songkhla province
Vipawee Dummee, Pimpan Tansakul and Yuwadee Peerapornpisal 73

Bacterial Selection from shrimp Ponds for Degradation of organic Matters
Kewalee Chanpan, Sorwit Powtongsook and Worapot Suntornsuk. 89

Evaluation of self - prepared test kit for outdoor dissolved oxygen determination
Chokchai Luangthuvapranit and Naiyana Srichai 101

Attachment of *Campylobacter jejuni* on biofilms from two chicken houses in Thailand
Nathanon Trachoo, Sasinee Kunyaboon and Monchai Daungjinda 109

Effect of some soil amendments on soil properties and plant growth in Southern Thailand acid upland soil - Saranya Dam-ampai, Chairat Nilnond and Jumen Onthong 117

Soil management and conservation in the Prince of Songkla University, Surat Thani Campus, Surat Thani Province - Suchart Choengthong 133

Chemistry and Pharmaceutical Sciences

HIV-1 protease inhibitory substances from *Cassia garrettiana* - Supinya Tewtrakul, Sanan Subhadhirasakul, Pranee Rattanasuwan and Jindaporn Puripattanvong 145

Rotenoids from the flowers of *Millettia brandisiana*
Orasa Pancharoen , Soros Petveroj and Souwalak Phongpaichit 151

Engineering and Industrial Research

A trim-loss minimization in a produce-handling vehicle production plant - Apichai Ritvirool 157

A low - power low - error single - ended virtually - grounded-drain class AB switched - current memory cell
Wimol San-Um, Banlue Srisuchinwong and Sawasd Tantaratana 165

The application of statistical techniques to reduce ethylene glycol in waste water produced by esterification reaction in polyester manufacturing process
Komson Akesrisakul and Adsada Jiraprayuklert 181

Effects of ratio of milk fat to soy bean oil and whipping time on qualities of milk ice cream
Sukrit Thaiudom 191

The effect of long-term creep and prestressing on moment redistribution of balanced cantilever cast-in-place segmental bridge - Amorn Pimanmas 205

Effects of curing techniques and silane treatment on mechanical and morphological properties of fly ash/epoxy composites
Thanawan Chaowasakoo and Narongrit Sombatsompop 217

Physical Sciences and Mathemaics

On bi- Γ- ideals in Γ- semigroups - Ronnason Chinram and Chutiporn Jirojkul 231

นิพนธ์ต้นฉบับ

Effects of ratio of milk fat to soy bean oil and whipping time on qualities of milk ice cream

Sukrit Thaiudom[1]

Abstract

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

Qualities of ice cream are based on air cells, ice crystals and fat particles, which are the important parts to build up a good structure of ice cream. Ice cream whipping time also affects the ice cream qualities. This study focused on effects of ratio of milk fat to soy bean oil, whipping time, and their interaction on ice cream mix viscosity, overrun, air cell size, fat destabilization, hardness, melting rate, and shape retention of ice cream. Ice creams with ratio of milk fat to soy bean oil at 100:0, 50:50, 0:100 and whipping time at 15 and 20 min were produced and determined for their qualities. The results showed that ratio of milk fat to soybean oil affected all qualities of ice cream, while duration of whipping time influenced the overrun and air cell size. The interaction of ratio of milk fat to soy bean oil and whipping time affected only overrun. Ice cream mix with ratio of milk fat to soy bean oil 100:0 showed the highest apparent viscosity and hardness and the biggest air cell size. Whipping time of ice cream for 20 min showed a bigger size of air cells than the whipping time for 15 min ($p < 0.05$). These results can be applied to the manufacture of modified ice cream.

Key words : ice cream quality, whipping time, soy bean oil

School of Food Technology, Institute of Agricultural Technology, Suranaree University of Technology, Muang, Nakhon Ratchasima 30000 Thailand.

[1]Ph.D.(Food Science) สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
Corresponding e-mail : tsukrit@sut.ac.th
รับต้นฉบับ 10 เมษายน 2549 รับลงพิมพ์ 24 สิงหาคม 2549

บทคัดย่อ

ศุกฤตย์ ไทยอุดม

ผลของสัดส่วนไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลืองและเวลาในการตีปั่นไอศกรีมต่อคุณภาพของไอศกรีมนม

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2550 29(1) : 191-204

คุณภาพของไอศกรีมขึ้นอยู่กับเซลล์อากาศ ผลึกน้ำแข็งและอนุภาคไขมัน ซึ่งถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญทางโครงสร้างของไอศกรีม เช่นเดียวกับระยะเวลาในการตีปั่นไอศกรีมซึ่งพบว่าส่งผลต่อคุณภาพของไอศกรีมเช่นกัน การวิจัยนี้ศึกษาถึงผลของสัดส่วนระหว่างไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง ผลของเวลาในการตีปั่นไอศกรีม และปฏิสัมพันธ์ของสัดส่วนระหว่างไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลืองและเวลาในการตีปั่นไอศกรีมต่อคุณภาพของไอศกรีมนมได้แก่ ความหนืดปรากฏของส่วนผสมไอศกรีม ค่าการขึ้นฟู ขนาดของเซลล์อากาศ การรวมตัวกันของอนุภาคไขมัน ความแข็งของไอศกรีม อัตราการละลาย และการรักษารูปทรงของไอศกรีม โดยใช้สัดส่วนของไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลืองที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 100:0, 50:50 และ 0:100 ตามลำดับ และใช้เวลาในการตีปั่นไอศกรีมที่แตกต่างกัน 2 ช่วงเวลา ได้แก่ 15 และ 20 นาที ผลที่ได้พบว่าสัดส่วนของไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลืองมีผลต่อคุณภาพของไอศกรีมทั้งหมด ในขณะที่ระยะเวลาในการตีปั่นมีผลโดยตรงต่อค่าการขึ้นฟู และขนาดเซลล์อากาศในไอศกรีม ส่วนผลของปฏิสัมพันธ์ของสัดส่วนของไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลืองและระยะเวลาในการตีปั่นจะมีผลต่อค่าการขึ้นฟูเท่านั้น ทั้งนี้ไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100:0 ให้ค่าความหนืดปรากฏ ขนาดของเซลล์อากาศ และความแข็งของไอศกรีมมากที่สุด ส่วนระยะเวลาในการตีปั่นที่ 20 นาทีให้ขนาดของเซลล์อากาศที่ใหญ่กว่าระยะเวลาในการตีปั่นที่ 15 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้ผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตไอศกรีมดัดแปลงต่อไปได้

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์นมแช่แข็ง มีรสหวาน กลิ่นหอม และให้พลังงานสูง ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์จากนม น้ำตาล น้ำ และสารปรุงแต่งกลิ่นรส อาจมีการเติมไข่ผลิตภัณฑ์จากไข่ สารให้ความคงตัว (stabilizer) และอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) แม้ว่าไอศกรีมให้คุณค่าทางอาหารที่สมบูรณ์ แต่ในการทำไอศกรีมโดยทั่วไปจะใช้ไขมันนม (milk fat) ซึ่งประกอบด้วยไขมันอิ่มตัวสูงถึง 66% อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อร่างกายถ้าบริโภคในปริมาณมากเนื่องจากร่างกายย่อยสลายไขมันชนิดนี้ได้ยากและอาจทำให้เกิดการสะสมในร่างกาย ซึ่งส่งผลให้มีปริมาณคอเลสเทอรอลและ low density lipoprotein-cholesterol (LDL-C) ในร่างกายเพิ่มขึ้นในปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจในเรื่องของสุขภาพมากขึ้น จากการศึกษาของ Bruhn และคณะ (1992) พบว่า 90% ของผู้หญิง และ 75% ของผู้ชายให้ความสำคัญต่อการบริโภคอาหารที่ดีต่อสุขภาพ โดยมีรสชาติและคุณค่าทางโภชนาการเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ สำหรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมนั้น ผู้ผลิตหลายรายได้ปรับปรุงให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคที่ห่วงใยสุขภาพมากขึ้นโดยการใช้สารทดแทนไขมัน (fat replacer) และการใช้ไขมันจากแหล่งอื่นที่มีไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบแทนไขมันนม โดยทั้งนี้ เชื่อว่า ไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจะช่วยลดคอเลสเทอรอล ลด LDL-C และเพิ่ม high density lipoprotein-cholesterol (HDL-C) ส่งผลให้เกิดการป้องกันภาวะไขมันอุดตันในเส้นเลือด (ประกิจ, 2521) นอกจากนี้ไขมันดังกล่าวยังช่วยลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเช่น ไขมันจากพืช มักมีราคาถูกกว่าไขมันนมที่ใช้ในการผลิตไอศกรีม โดยไอศกรีมดังกล่าวจะถูกจัดอยู่ในประเภทของไอศกรีมดัดแปลง อย่างไรก็ตามการใช้ไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเช่น ไขมันจากพืชนั้นอาจมีผลต่อคุณภาพในด้านสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมได้ ปัจจัยที่แสดงถึงสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมที่สำคัญคือ ขนาดของเซลล์อากาศ (air cell size) การกระจายตัวของเซลล์

อากาศ (air cell distribution) ผลึกน้ำแข็ง การรวมตัวกันของอนุภาคไขมัน (fat destabilization) และอัตราการละลายของไอศกรีม (melting rate) ทั้งนี้ Hanselmann และ Windhab (1998) พบว่าการขึ้นฟูของไอศกรีม (overrun) อัตราการละลาย และขนาดฟองอากาศในไอศกรีมมีผลกระทบต่อความเสถียรของโฟม (foam stability) ในขณะที่ Keeney (1958) พบว่า การละลายของไอศกรีมมีผลมาจากองค์ประกอบ สารเติมแต่ง และขนาดของอนุภาคไขมัน อย่างไรก็ตามไขมันมีบทบาทสำคัญในการทำให้โครงสร้างของไอศกรีมเสถียร และมีความสัมพันธ์กับการต้านทานการละลายของไอศกรีม (Granger *et al.*, 2005)

ผลของชนิดของไขมันต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมในด้านการต้านทานการละลายของไอศกรีมพบในการศึกษาของ Granger และคณะ (2005) โดยไอศกรีมที่ใช้ไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นส่วนประกอบ มีระยะเวลาในการละลายนานกว่าไอศกรีมที่ใช้ไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบ ส่วน Granger และคณะ (2003) พบว่า ไอศกรีมที่ใช้ไขมันชนิดอิ่มตัวมีขนาดของอนุภาคไขมันใหญ่กว่าไอศกรีมที่ใช้ไขมันชนิดไม่อิ่มตัว แสดงว่า การรวมตัวกันของอนุภาคไขมันในไอศกรีมที่มีการใช้ไขมันชนิดอิ่มตัวมีมากกว่าไอศกรีมที่ใช้ไขมันชนิดไม่อิ่มตัว นอกจากชนิดของไขมันที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมแล้วระยะเวลาในการตีปั่นไอศกรีมน่าจะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมด้วย Goff (1997) พบว่า เมื่อระยะเวลาในการตีปั่นไอศกรีมนานขึ้น จะมีผลทำให้การรวมตัวบางส่วน (partial coalescence) ของอนุภาคไขมันมากขึ้นส่งผลให้ความคงตัวของเซลล์อากาศในไอศกรีมมีมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างการใช้ไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวและระยะเวลาในการตีปั่นไอศกรีมต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมยังมีไม่มากนักและยังคงต้องการการค้นคว้าเพิ่มขึ้น ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาน่าจะเป็นประโยชน์ทางวิชาการในแง่เป็นข้อมูลเชิงลึกของผลปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยทั้งสองและข้อมูลที่ได้น่าจะเป็นแนวทางที่ภาคอุตสาหกรรมสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ งานวิจัยนี้จึงเน้นการศึกษาผลของการแทนที่ไขมันนมด้วยน้ำมันถั่วเหลืองเพื่อผลิตไอศกรีมชนิดดัดแปลงในสัดส่วนต่างๆ กันที่ระยะเวลาการตีปั่นที่แตกต่างกัน 2 ช่วงเวลาต่อสมบัติทั่วไปของไอศกรีมซึ่งได้แก่ ความหนืดปรากฏของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (apparent viscosity of ice cream mix) ขนาดของเซลล์อากาศ ค่าการขึ้นฟู (overrun) การรวมตัวกันของอนุภาคไขมันในรูปของค่าดัชนีการรวมตัวกันของอนุภาคไขมัน (fat destabilization index) อัตราการละลายในรูปของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมวล (% mass loss) ความแข็งของไอศกรีมนม (hardness) และการเสียรูปทรงของไอศกรีม

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. วัสดุ

ไขมันนมที่ใช้ในการทดลองมีส่วนของปริมาณไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวเท่ากับ 66 และ 34% ตามลำดับจากบริษัท วิคกี้ คอนโซลิเดท จำกัด (ประเทศไทย) น้ำมันถั่วเหลืองมีส่วนของปริมาณไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวเท่ากับ 15 และ 85% ตามลำดับ จากบริษัท น้ำมันพืชไทย จำกัด (ประเทศไทย) นมผงชนิดไขมันเต็มซื้อจากบริษัท ดูเม็กซ์ จำกัด (ประเทศไทย) นมสดจากฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา กลูโคส ไซรัป (DE 42) จากบริษัท คอร์นโปรดักส์ อะมาดัส จำกัด (ประเทศไทย) น้ำตาลซูโครสจากบริษัท รวมเกษตรกรอุตสาหกรรม จำกัด (ประเทศไทย) อิมัลซิไฟเออร์ Tween 80 จากบริษัท อดินพ จำกัด (ประเทศไทย) กัว กัม (guar gum) จาก BSC Specialties (ประเทศไทย) และ แคปปา-คาราจีแนน (K-carrageenan) จาก SKW Biosyokms (ประเทศฝรั่งเศส)

การวิเคราะห์ของแข็งทั้งหมดของส่วนผสมในการทำไอศกรีม ใช้เครื่องมือวิเคราะห์หาค่าความชื้น (Precisa-HA 300, Precisa Gravimetric AG, Switzerland) และการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของนมสดใช้เครื่องมือหาองค์ประกอบในน้ำนม (Milko scan S50, Foss Electric, Denmark) ซึ่งจะได้ค่าของไขมัน โปรตีน แลกโตส และธาตุน้ำนมที่ไม่รวมไขมันนม (nonfat solids) ดังแสดงใน (Table1 และ 2) นำผลที่ได้ไปใช้ในการคำนวณสูตรไอศกรีม (Table 3) ซึ่งจะทำให้ได้ไอศกรีมที่มีปริมาณไขมัน 18% ปริมาณธาตุน้ำนมที่ไม่รวมไขมันนม 7% ปริมาณสารให้ความหวาน 16% สารเพิ่มความคงตัวและสารอิมัลซิไฟเออร์ 0.26% ทั้งนี้ส่วนผสมไอศกรีมจากสูตรนี้จะมีส่วนของของแข็งทั้งหมด 42-45%

Table 1. Moisture content of soy bean oil, sucrose, and glucose syrup.

Ingredient	Moisture content (%)
Soy bean oil	1.56
Sucrose	0.01
Glucose syrup (DE 42)	16.00

Table 2. Chemical compositions of reconstituted skim milk powder and fresh milk.

Ingredient	Chemical compositions (%)			
	Fat	Protein	Lactose	Nonfat solids
Reconstituted skim milk powder	2.53	2.17	3.97	7.08
Freshmilk	3.63	2.79	4.43	8.14

Table 3. Formulations of premium ice cream with different fat source.

Ingredient compositions (%)	Formulations of ice cream containing milk fat: soy bean oil		
	100:0	50:50	0:100
Fresh milk	59.83	59.83	59.83
Milk powder	3.43	3.43	3.43
Anhydrous milk fat	15.15	7.57	0.00
Soy bean oil	0.00	7.62	15.25
Guar gum	0.175	0.175	0.175
κ-carrageenan	0.025	0.025	0.025
Tween 80	0.06	0.06	0.06
Sucrose	11.39	11.39	11.39
Glucose syrup	9.52	9.52	9.52
Water	0.42	0.38	0.35

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมและการผลิตไอศกรีม

นำส่วนผสมที่เป็นของเหลวได้แก่ นมสดและน้ำ มาให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิ 48°C จากนั้นเติมส่วนประกอบที่เป็นของแห้ง ได้แก่ นมผง น้ำตาลซูโครส กัว กัม และ แคป-ปา-คาราจีแนนลงในส่วนผสมที่เป็นของเหลว ตามด้วยไขมันนม และ/หรือ น้ำมันถั่วเหลืองตามแต่ละสูตร (Table 3) จากนั้นเติมกลูโคส ไซรัป ทำการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 69°C เป็นเวลา 30 นาที จึงเติม Tween 80 แล้วทำการลดขนาดเม็ดไขมันด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (homogenizer) (15 MR-8TA, APV Gaulin, USA) กำหนดความดันที่ 2 สภาวะ โดยสภาวะแรกใช้ความดันเท่ากับ 2500 Psi และสภาวะที่สองใช้ความดันเท่ากับ 500 Psi จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปลดอุณหภูมิลงให้เหลือ 4°C ภายในระยะเวลา 10 นาทีและบ่มที่ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงในตู้เย็น (PTV19T, Rivacold, Italy) หลังจากการบ่มนำส่วนผสมมาตีปั่นด้วยเครื่องปั่นไอศกรีมแบบ Tank freezer (M103 , Taylor company, USA) โดยศึกษาระยะเวลาในการตีปั่นไอศกรีม 2 ระดับได้แก่ 15 และ 20 นาที และทำให้ไอศกรีมแข็งตัว (hardening) ที่อุณหภูมิ -40°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมงในตู้แช่แข็ง (MDF-136, Sanyo Co.Ltd., USA) จึงนำไปเก็บไว้ที่ air - blast freezer (NP34T, Rivacold, Italy) ที่อุณหภูมิ -20°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อใช้ในการทดสอบคุณภาพของไอศกรีมตลอดการทดลองทั้งนี้การผลิตไอศกรีมทำ 2 ซ้ำ

2.2 การทดสอบคุณภาพของไอศกรีม

1) การหาค่าความหนืดปรากฏของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม

การหาค่าความหนืดปรากฏสามารถทำได้โดยใช้เครื่องวัดความหนืด Brookfield rheometer (RVDV-III Ultra, Brookfield Engineering Laboratories. Inc., USA) ที่ความเร็วรอบ 245 rpm ซึ่งจะให้ค่าอัตราเฉือน (shear rate) ที่ 50 1/วินาทีที่เหมาะสำหรับการวัดค่าความหนืดของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม (Goff *et al.*, 1995) โดยใช้ส่วนผสมของไอศกรีมหลังจากบ่มที่ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาตร 11 มล. ทำการวัดค่าความหนืดปรากฏของตัวอย่างไอศกรีมที่ผลิตแต่ละครั้งที่อุณหภูมิ 25±1°C

2) การหาค่าการขึ้นฟูของไอศกรีม

การหาค่าการขึ้นฟู สามารถหาได้โดยทำการชั่งน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของไอศกรีม และน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมในภาชนะที่สามารถควบคุมให้มีปริมาตรคงที่ที่ 150 มล. ตามวิธีของ Wildmoser และคณะ (2004) ซึ่งสามารถคำนวณค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมได้ดังสมการ

$$\text{ค่าการขึ้นฟู (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม - น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของไอศกรีม x 100}}{\text{น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของไอศกรีม}}$$

3) การวัดขนาดของเซลล์อากาศในไอศกรีม

การวัดขนาดเซลล์อากาศในไอศกรีมดัดแปลงจากวิธีของ Chang และ Hartel (2002a) ทำได้โดยตัดตัวอย่างไอศกรีมขนาด 2x2 มม. วางบนแผ่นสไลด์ แล้วหยดกลีเซอรอลที่แช่เย็นลงบนตัวอย่างเพื่อช่วยไม่ให้ไอศกรีมละลายเร็วจนเกินไป จากนั้นปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ ตรวจวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์อากาศประมาณ 150 เซลล์ โดยการเทียบกับช่องสเกลมตราฐานบนแผ่นกระจกสไลด์เทียบขนาด นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของขนาดเซลล์อากาศ การวัดขนาดเซลล์อากาศสำหรับแต่ละตัวอย่างกระทำในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ± 1°C โดยใช้กล้องจุลทรรศน์เลนส์ประกอบแบบ 2 ตา (CHS ,Olympus Optical Co., Ltd, Japan) กำลังขยาย 10 เท่าและถ่ายภาพโดยใช้กล้องดิจิตอล (FinePix E500, Fuji Photo Film Co., Ltd , Japan)

4) การวิเคราะห์ค่าดัชนีการรวมตัวกันของอนุภาคไขมันของไอศกรีม

การวิเคราะห์ค่าดัชนีการรวมตัวกันของอนุภาคไขมันทำได้โดยการหาค่าความขุ่น (turbidity) ตามวิธีของ Goff และ Jorden (1989) นำตัวอย่างส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมและไอศกรีมที่ละลายมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วนไอศกรีมต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 0.5 : 250 แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectronic 21, Milton Roy company, USA) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (A_{540}) โดยมีน้ำกลั่นเป็นตัวปรับค่าศูนย์ ค่าดัชนีการรวมตัวกันของอนุภาคไขมันคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ค่าดัชนีการรวมตัวกันของอนุภาคไขมัน (\%)} = \frac{[(A_{540}(\text{ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม}) - A_{540}(\text{ของไอศกรีมที่ละลาย})] \times 100}{A_{540}(\text{ของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีม})}$$

5) การวิเคราะห์ความแข็งของไอศกรีม

การวิเคราะห์ความแข็งของไอศกรีมดัดแปลงวิธีจาก Sofjan และ Hartel (2004) โดยนำตัวอย่างไอศกรีมหลังจากการแช่แข็งที่ -35°C เป็นเวลา 8 วัน ก่อนนำมาเก็บไว้ที่ -14°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วตัดให้มีขนาด 4x4x4ซม. นำมาวัดค่าความแข็งโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzerรุ่น TAXT2 , Stable Microsy- stems, England) ติดหัววัดแบบกรวย 60° กำหนดขนาดความเร็วของหัววัดที่ Pre-test speed 2.0 มม./วินาที test speed 1.0 มม./วินาที และ post-test speed 1.0 มม./วินาที ทำการวิเคราะห์แรงเจาะสูงสุดเมื่อหัววัดแทงลงไปในตัวอย่างลึก 10 มม.

6) การหาอัตราการละลายของไอศกรีม

การวัดอัตราการละลาย (Meltdown test) ของไอศกรีม ดัดแปลงจากวิธีของ Sofjan และ Hartel (2004) โดยนำตัวอย่างไอศกรีม 30 กรัม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. วางบน ตะแกรงลวดอะลูมิเนียมขนาดรูตะแกรงเท่ากับ 2x1.5 มม. ซึ่งวางอยู่บนบีกเกอร์ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 + 1°C เริ่มจับเวลาเมื่อหยดแรกของไอศกรีมที่ละลายสัมผัสกับบีกเกอร์ ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, AL 104, Switzerland) ทุก 10 นาที เป็นเวลา 90 นาที คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมวลจากสมการ

$$\text{การสูญเสียมวล (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ละลาย x 100}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

2.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ 3x2 factorial in complete randomized design ในแต่ละสิ่งทดลองทำการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยทรีตเมนต์แบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS for Windows version 12 (SPSS version 12 , USA)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ค่าการขึ้นฟูของไอศกรีม

จากการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Table 4) พบว่าสัดส่วนของไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง ระยะเวลาในการตีปั่นไอศกรีม และปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยทั้งสองมีผลต่อค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมนมโดยไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100:0 จะให้ค่าการขึ้นฟูแตกต่างจากไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 50:50 ที่ใช้ระยะเวลาในการตีปั่นทั้ง 2 ช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (Table 5) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100:0 ซึ่งถือว่ามีส่วนประกอบของไขมันที่มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นส่วนประกอบสูงถึง 66% นั้นส่งผลให้ส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ได้มีความหนืดปรากฏสูงกว่าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 50 : 50 (Table 6) ที่มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเพียงครึ่งหนึ่งของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100:0 เนื่องจากกรดไขมันอิ่มตัวสามารถเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวไปเป็นของแข็งในรูปของผลึกไขมัน (fat crystal) ได้ดีกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวเมื่ออุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมลดลงเช่น ในกรณีของกระบวนการตีปั่นและการแช่แข็ง (whipping and freezing)

Table 4. Mean square of different parameters under different ratio of milk fat to soy bean oil and whipping times

S.O.V.	df[a]	Overrun	Air cell size	Fat destabilization	Hardness
Ratio of milk fat and soy bean oil (A)	2(2)	24.57**	201129.68**	5058.59**	45189525.10**
Whipping Time (B)	1(1)	16.03*	29106.30**	58.65^{ns}	918555.47^{ns}
AB	2(2)	12.43*	5223.12^{ns}	29.34^{ns}	173752.58^{ns}
Error	6(1494)	1.78	1855.17	38.80	511187.37

[a] Number in parentheses are the degree of freedom for air cell size
* significant at 5% level of probability
* *significant at 1% level of probability

Table 5. Overrun of ice cream as affected by interaction between ratio of milk fat to soy bean oil and whipping time

Ice cream prepared with milk fat : soy bean oil	Whipping time (min)	Overrun* (%)
100 : 0	15	27.07 ±1.0^{a}
100 : 0	20	26.51 ±2.5^{a}
50 : 50	15	31.69 ±2.8^{b}
50 : 50	20	31.69 ±0.0^{b}
0 : 100	15	31.76 ±1.0^{b}
0 : 100	20	25.39 ±0.3^{a}

* mean ± standard deviations with different letters are significantly different ($p<0.05$).

Table 6. Average values of different parameters as affected by ratio of milk fat to soy bean oil.

Ice cream mix prepared with milk fat : soy bean oil	Apparent viscosity* (cP)	Diameter of air cell* (μm)	Fat destabilization index*	Hardness* (g)
100 : 0	189.80 ± 0.20 [a]	103.80 ± 15.90 [a]	82.23 ± 9.37 [a]	9950.54 ± 49.20 [a]
50:50	176.02 ± 5.05 [b]	82.10 ± 10.05 [b]	71.56 ± 3.14 [a]	5428.77 ± 35.95 [b]
0 :100	148.98 ± 2.88 [c]	63.74 ±14.80 [c]	16.00 ± 4.36 [b]	3381.83 ± 60.51[c]

*** mean ± standard deviations with different letters in the same column are significantly different (p<0.05).**

ในขั้นตอนการทำไอศกรีม ทำให้ค่าความหนืดปรากฏมีค่าสูงขึ้น (Granger *et al.* 2003) การตีอากาศเข้าไปในโครงสร้างไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100:0 จึงเป็นไปได้ยากกว่าไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลืองเท่ากับ 50:50 ค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100:0 จึงมีค่าน้อยกว่าไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 50:50 Marshall และ Arbuckle (1996) และ Clarke (2004) อธิบายว่าถ้าความหนืดปรากฏของไอศกรีมลดลงจะส่งผลให้อัตราการตีปั่นส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีค่าสูงขึ้น ทำให้ค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมสูงขึ้นด้วยทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแรงต้านการตีปั่นของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีค่าน้อยลงการตีอากาศเข้าไปในโครงสร้างไอศกรีมจึงเป็นไปได้ง่ายขึ้น

เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการตีปั่นทั้ง 2 ช่วงเวลาต่อค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100:0 และไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 50 : 50 พบว่าระยะเวลาในการตีปั่นที่ 15 และ 20 นาทีไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ของค่าการขึ้นฟูในไอศกรีมแต่ละสูตร (Table 5) แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการตีปั่นที่แตกต่างกัน 5 นาทีไม่ได้ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของค่าการขึ้นฟูในไอศกรีมทั้ง 2 สูตร แต่ผลที่ได้ตรงกันข้ามกับไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0:100 ที่พบว่าระยะเวลาการตีปั่นที่ 20 นาทีจะให้ค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมน้อยกว่าระยะเวลาในการตีปั่นที่ 15 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก การตีปั่นที่ใช้ระยะ 20 นาทีในไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0:100 นั้นเป็นช่วงระยะเวลาที่อาจทำให้เซลล์อากาศในไอศกรีม ดังกล่าวแตกตัวหรือยุบตัว (Muller-Fisher and Windhab, 2005) ส่งผลให้ค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมดังกล่าวลดลง การแตกตัวหรือยุบตัวของฟองอากาศในระหว่างการตีปั่นและการให้ความเย็นนั้นอาจมีผลมาจากการแตกตัวของโครงสร้างที่เป็นร่างแหของไขมัน (fat network) ที่หุ้มเซลล์อากาศไม่แข็งแรงพอที่จะพยุงเซลล์อากาศไว้ได้เมื่อระยะเวลาการตีปั่นไอศกรีมนานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0:100 นั้นมีส่วนประกอบของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ การเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งในขณะตีปั่นพร้อมการแช่แข็งจึงเป็นไปได้น้อย ทำให้ความแข็งแรงของโครงร่างตาข่ายที่เกิดจากการรวมตัวกันบางส่วนของไขมันในไอศกรีมดังกล่าวจึงถูกทำลายได้ง่ายกว่าไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 50:50 เมื่อระยะเวลาการตีปั่นมากขึ้น ผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Chang และ Hartel (2002b) และ Clarke (2004) ที่อธิบายว่า ระยะเวลาการตีปั่นไอศกรีมนานเกินไปจะทำให้ค่าการขึ้นฟูลดลงหรือเกิดการแตกตัวของฟองอากาศมากขึ้น อย่างไรก็ตามค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0:100 และไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 50:50 ที่ระยะเวลาการตีปั่น 15 นาที ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) (Table5) ถึงแม้ว่าสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวในไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 50 : 50 จะมีปริมาณมากกว่าในไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0:100 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่ระยะเวลาดังกล่าวโครงร่างตาข่ายของไขมันในไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมัน-ถั่วเหลือง 0:100 นั้นยังไม่ถูกทำลายทำให้เซลล์อากาศมีความเสถียรในขณะทำการวัดค่าการขึ้นฟู ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Chang และ Hartel (2002b) ที่พบว่าเมื่อระยะเวลาในการตีปั่นไอศกรีมเกิน 15 นาทีค่าเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูของไอศกรีมจะลดลงเนื่องจากการแตกตัวหรือยุบตัวของฟองอากาศ

2. ขนาดของเซลล์อากาศ

จากการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนใน Table 4 พบว่าสัดส่วนไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง และระยะเวลาในการตีปั่นไอศกรีมมีผลต่อขนาดของเซลล์อากาศ แต่ปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยทั้งสองนั้นไม่มีผลต่อขนาดเซลล์อากาศ โดยไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0 : 100 ให้เซลล์อากาศที่มีขนาดเล็กที่สุด รองลงมาคือ ไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลืองในอัตราส่วน 50 : 50 และไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 ตามลำดับ (Table 6) ทั้งนี้เนื่องมาจากส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0 : 100 มีค่าความหนืดปรากฏต่ำ (Table 6) แรงต้านพลังงานในการตีปั่นฟองอากาศเข้าส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมมีน้อย การตีเซลล์อากาศเพื่อให้มีขนาดเล็กจึงเป็นไปได้ง่าย ส่วนไอศกรีมที่มีส่วนประกอบของไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 จะให้ขนาดเซลล์อากาศใหญ่ที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมในตัวอย่างดังกล่าวมีค่าความหนืดปรากฏสูงส่งผลให้เซลล์อากาศเกิดการแทรกตัวและก่อตัวเป็นเซลล์อากาศขนาดเล็กในระหว่างการตีปั่นได้ยากกว่าไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0 :100 อย่างไรก็ตามขนาดของเซลล์อากาศของไอศกรีมที่มีไขมันนมและน้ำมันถั่วเหลือง 50:50 เป็นส่วนประกอบจะให้ค่าอยู่ระหว่างขนาดของเซลล์อากาศของไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 และขนาดของเซลล์อากาศของไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0 : 100 เช่นเดียวกันกับค่าความหนืดปรากฏของไอศกรีมทั้ง 3 สูตร (Table 6) แสดงให้เห็นว่าความหนืดปรากฏน่าจะมีผลโดยตรงต่อขนาดของเซลล์อากาศของไอศกรีม

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาในการตีปั่นไอศกรีมต่อขนาดของเซลล์อากาศ (Table 7 และ Figure 1) พบว่าระยะเวลาการตีปั่นที่ 20 นาที จะให้ขนาดเซลล์อากาศมีขนาดใหญ่กว่าเวลาในการตีปั่นที่ 15 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเซลล์อากาศขนาดเล็กในไอศกรีมที่มีการเคลื่อนที่แบบไร้ทิศทาง (Brownian motion) เกิดการรวมตัวกัน (coalescence) เป็นเซลล์อากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (Ronteltap and Prins 1989; Wilson, 1989) เมื่อระยะเวลาในการตีปั่นเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการทดลองระยะเวลาในการตีปั่นที่ 20 นาทีน่าจะทำให้เซลล์อากาศมีการเคลื่อนที่แบบไร้ทิศทางมากขึ้นส่งผลให้เซลล์อากาศขนาดเล็กรวมตัวกันและเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์อากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวมักพบระหว่างกระบวนการทำให้ไอศกรีมแข็งตัว (Sofjan and Hartel, 2004) อย่างไรก็ตามผลของการแตกตัวของโครงร่างตาข่ายของไขมันที่หุ้มบริเวณผิวเซลล์อากาศที่เกิดจากการตีปั่นหรือจากความไม่แข็งแรงของโครงร่างตาข่ายในกรณีไอศกรีมที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง เช่น น้ำมันถั่วเหลือง

Table 7. Overrun of ice cream as affected by whipping time

Whipping time (min)	Diameter of air cell* (μm)
15	78.85 ± 12.60 [a]
20	87.56 ± 10.42 [b]

* mean ± standard deviations with different letters are significantly different ($p<0.05$).

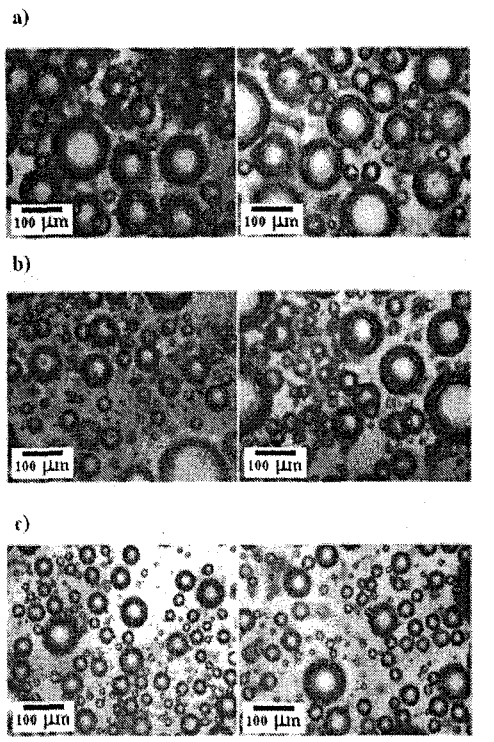

Figure 1. Size and distribution of air cells of ice cream with milk fat : soy bean oil; a)100 : 0, b) 50 : 50,c) 0 : 100 at 15 min (left) and 20 min (right) whipping time.

[Color figure can be viewed in the electronic version]

เป็นส่วนประกอบนั้นก็อาจทำให้เซลล์อากาศขนาดเล็กรวมตัวกันกลายเป็นเซลล์อากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้เช่นเดียวกัน ส่วน Chang และ Hartel (2002b) รายงานว่าขนาดเซลล์อากาศในไอศกรีมที่มีไขมันนมเป็นองค์ประกอบ 14% มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการตีปั่นและการแช่แข็งไอศกรีมเพิ่มขึ้นจากระยะเวลาที่ 0 ถึง 22 นาที แต่เมื่อหยุดการตีปั่นและการแช่แข็งที่เวลา 14 นาทีของกระบวนการดังกล่าวข้างต้นและทำการตรวจขนาดเซลล์อากาศจนถึงนาทีที่ 22 พบว่าเซลล์อากาศที่ได้จะมีขนาดใหญ่ขึ้น แสดงให้เห็นว่าถึงแม้การหยุดกระบวนการตีปั่นและแช่แข็ง เซลล์อากาศในไอศกรีมยังคงมีการเคลื่อนตัวแบบอิสระและพร้อมที่จะเคลื่อนตัวเข้าหากันรวมตัวกันเป็นเซลล์ขนาดใหญ่ขึ้นได้

3. การรวมตัวของอนุภาคไขมัน

การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Table 4) แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของการใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลืองมีผลต่อการรวมตัวกันของอนุภาคไขมันในขณะที่ระยะเวลาในการตีปั่นไม่มีผลต่อค่าดัชนีการรวมตัวกันของไขมัน โดยค่าดัชนีการรวมตัวกันของอนุภาคไขมันของไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 และ 50 : 50 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่แตกต่างจากค่าดัชนีการรวมตัวกันของอนุภาคไขมันของไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0 : 100 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (Table 6) แสดงว่าชนิดของไขมันที่ใช้ในการผลิตไอศกรีมมีผลต่อการรวมตัวกันของอนุภาคไขมัน นั่นคือการใช้ไขมันนมซึ่งเป็นไขมันชนิดอิ่มตัวจะทำให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคไขมันดีขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไขมันนมมีจุดแข็งตัว (solidification point) สูงกว่าน้ำมันถั่วเหลือง โดยไขมันนมมีจุดแข็งตัวอยู่ในช่วง 19-24.5°C และน้ำมันถั่วเหลืองมีจุดแข็งตัวอยู่ในช่วง -16 ถึง -10°C (O'Brien, 2004) การที่ไขมันชนิดอิ่มตัวมีจุดแข็งตัวสูงกว่าไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ทำให้เกิดเป็นผลึกไขมันได้ง่ายและเร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้เกิดการสร้างโครงร่างตาข่ายจากการรวมตัวกันบางส่วนของอนุภาคไขมันซึ่งมีความแข็งแรงและมีความคงตัวสูง ทำให้อนุภาคของไขมันขนาดเล็กเกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการทดลองของ Granger และคณะ (2003) ที่พบว่า ไอศกรีมที่ใช้ไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นส่วนประกอบจะมีขนาดของอนุภาคไขมันใหญ่กว่าไอศกรีมที่ใช้ไขมันชนิดไม่อิ่มตัว แสดงว่าไอศกรีมที่ใช้ไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นส่วนประกอบมีการรวมตัวกันบางส่วนของอนุภาคไขมันได้ดีและมากกว่าไอศกรีมที่ใช้ไขมันชนิดไม่อิ่มตัว อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองที่พบว่าค่าดัชนีการรวมตัวกันของไขมันในไอศกรีมที่มีสัดส่วนของไขมันนมต่อถั่วเหลือง 100 : 0 และ 50 : 50 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตินั้น ($p>0.05$) อาจเนื่องมาจากน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมลงไปแทนไขมันนมครึ่งหนึ่งในไอศกรีมสูตรไขมันนมต่อถั่วเหลือง 50 : 50 ไม่ได้รบกวนการเกิดการรวมตัวกันบางส่วนของอนุภาคไขมันนมแต่อย่างใด ในทางตรงกันข้ามการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งของไขมันนมเพื่อให้เกิดการรวมตัวกันบางส่วนของอนุภาคไขมันนมในภาวะของการบ่มไอศกรีมที่อุณหภูมิต่ำนั้นยังสามารถเหนี่ยวนำให้อนุภาคของไขมันที่มีลักษณะเป็นของเหลวหรือมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงเช่นน้ำมันถั่วเหลืองเกิดผลึกและพร้อมที่จะรวมตัวกันบางส่วนได้ (McClements *et al.*, 1990) ทำให้ค่าดัชนีการรวมตัวกันของอนุภาคไขมันในไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อถั่วเหลือง 100 : 0 และ 50 : 50 ไม่แตกต่างกัน

4. ค่าความแข็งของไอศกรีมนม

ค่าความแข็ง (hardness) ของไอศกรีมนมสามารถวัดได้โดยการวัดแรงต้านทานของไอศกรีมเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำทำให้ไอศกรีมเสียรูปทรง ความแข็งของไอศกรีมเป็นผลมาจากหลายปัจจัยได้แก่ ค่าการขึ้นฟูปริมาณของแข็งทั้งหมด จุดหลอมเหลวของไอศกรีม ชนิดของสารเพิ่มความคงตัว และ การรวมตัวกันของอนุภาคไขมัน (Marshall *et al.*, 2003; Muse and Hartel , 2004)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Table 4) แสดงให้เห็นว่าชนิดและสัดส่วนของไขมันมีผลต่อค่าความแข็งของไอศกรีม โดยไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 มีค่าความแข็งมากกว่าไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลืองในสัดส่วน 50:50 และไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0 :100 ตามลำดับ ($p<0.05$) (Table 6) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปรากฏการณ์การเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งของไขมันนมที่รวดเร็วและเด่นชัดกว่าน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิต่ำในภาวะที่ศึกษา ซึ่งเป็น

ผลจากการที่ไขมันนมมีจุดแข็งตัวสูงกว่าน้ำมันถั่วเหลือง จึงเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งได้ง่ายกว่าน้ำมันถั่วเหลือง (O'Brien , 2004) ทำให้ไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0 : 100 ให้ค่าความแข็งน้อยสุดและไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 ให้ค่าความแข็งสูงสุด ($p<0.05$) ในขณะที่ไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 50 : 50 มีค่าความแข็งอยู่ระหว่างไอศกรีมทั้ง 2 สูตร นอกจากนี้ Guinard และคณะ (1997) ได้รายงานว่าไอศกรีมที่ประกอบด้วยปริมาณไขมันจำนวนมากและ/หรือไขมันที่มีสถานะเป็นของแข็งสูง (fat solid contents) จะทนต่อแรงกระทำได้มากกว่าไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันจำนวนน้อยและ/หรือมีสถานะเป็นของแข็งต่ำ ซึ่งแสดงว่าไอศกรีมที่มีปริมาณของไขมันในสถานะเป็นของแข็งมากกว่าจะทนต่อแรงกระทำได้มากส่งผลให้มีค่าความแข็งมากกว่าไอศกรีมที่มีปริมาณของไขมันในสภานะที่เป็นของแข็งน้อยกว่า

นอกจากผลของสถานะของแข็งของไขมันดังกล่าวข้างต้นแล้วการรวมตัวกันบางส่วนของอนุภาคไขมันยังส่งผลต่อค่าความแข็งของไอศกรีมด้วย โดยพบว่าถ้าการรวมตัวกันบางส่วนของอนุภาคไขมันมากจะทำให้ค่าดัชนีการรวมตัวของอนุภาคไขมันสูง ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมมีค่าความแข็งมากกว่าไอศกรีมที่มีค่าดัชนีการรวมตัวของอนุภาคไขมันต่ำ (Muse and Hartel, 2004) ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองพบว่าดัชนีการรวมตัวของอนุภาคไขมันของไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 มีค่ามากกว่าดัชนีการรวมตัวของอนุภาคไขมันของไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0 : 100 (Table 6) โดยการรวมตัวกันของอนุภาคไขมันนมในไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 จะให้โครงร่างตาข่ายของเม็ดไขมันที่แข็งแรงจำนวนมากหุ้มรอบเซลล์อากาศในไอศกรีม ซึ่งเป็นผลของการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งได้ง่ายและเร็วกว่าของไขมันนมเทียบกับน้ำมันถั่วเหลือง เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำโครงร่างตาข่ายดังกล่าวจึงมีแรงต้านทานได้มากกว่าไอศกรีมที่มีโครงร่างตาข่ายของไขมันที่ไม่แข็งแรงหรือมีจำนวนน้อยกว่า (Tharp *et al.*, 1998) จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ค่าความแข็งของไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 มีค่ามากกว่าไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0 : 100 แต่อย่างไรก็ตามการรวมตัวบางส่วนของไขมันในไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 50 : 50 ไม่สามารถต้านแรงกระทำในการเจาะของหัววัดได้ แสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงของโครงร่างตาข่ายที่เกิดจากการรวมตัวกันบางส่วนของไขมันในไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 50 : 50 มีค่าน้อยกว่าในไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 แม้ว่าค่าดัชนีการรวมตัวของไขมันในไอศกรีมทั้งสองไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) ทำให้ค่าความแข็งของไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 50 : 50 มีค่าน้อยกว่าไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

Muse และ Hartel (2004) รายงานว่าค่าความแข็งของไอศกรีมยังขึ้นกับค่าการขึ้นฟู และค่าความหนืดปรากฏในส่วนของส่วนผสมพร้อมทำไอศกรีมและของเหลวที่ไม่แข็งตัวของไอศกรีม (matrix phase) ด้วย โดยจากการทดลองพบว่าไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 มีไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นส่วนประกอบเป็นส่วนใหญ่จึงมีความหนืดปรากฏสูงกว่าไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 50 : 50 และ 0 : 100 (Table 6) ทำให้การเติมอากาศเข้าไปในเนื้อของไอศกรีมดังกล่าวขณะตีปั่นเป็นไปได้ยาก ทำให้จำนวนเซลล์อากาศในไอศกรีมมีปริมาณน้อยกว่าไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 50 : 50 และ 0 : 100 ในปริมาตรที่เท่ากัน (Figure 1) ส่งผลให้ค่าการขึ้นฟูต่ำ เนื้อสัมผัสของไอศกรีมที่ได้จึงแน่นและมีค่าความแข็งสูง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Wilbey และคณะ (1998) ที่พบว่าค่าการขึ้นฟูมีผลต่อค่าความแข็งของไอศกรีม โดยถ้าการขึ้นฟูมีค่ามากจะทำให้ค่าความแข็งของไอศกรีมที่ได้มีค่าน้อย อย่างไรก็ตาม Muse และ รายงานว่าปริมาณและขนาดของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในไอศกรีมมีผลต่อค่าความแข็งเช่นกัน

5. การละลายและการรักษารูปทรงของไอศกรีมนมขณะละลาย

การรวมตัวกันของอนุภาคไขมันมีผลต่ออัตราการละลายของไอศกรีม โดยถ้าการรวมตัวกันของอนุภาคไขมันมีค่ามากจะทำให้ส่วนของของเหลวที่ไม่แข็งตัวในไอศกรีมเคลื่อนที่หรือไหลออกจากโครงสร้างได้ช้าซึ่งจะนำไปสู่การละลายที่ช้าลง (Hartel *et al.*, 2004) โดยในการ

ทดลองนี้ทำการวัดค่าการละลายของไอศกรีมอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมวล

จาก Figure 2 พบว่า ไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 และไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลืองในอัตราส่วน 50:50 มีอัตราการละลายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลา 90 นาที แต่ไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0 : 100 ให้ค่าอัตราการละลายในรูปของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมวลสูงสุด โดยไอศกรีมดังกล่าวจะละลายหมดภายใน 30 นาที ผลที่ได้เช่นนี้เนื่องมาจากการใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0 : 100 ซึ่งมีน้ำมันถั่วเหลืองที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบเป็นส่วนใหญ่นั้นมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าไขมันนมที่มีกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่า (O'Brien, 2004) ทำให้การคงสภาพของแข็งของอนุภาคไขมันที่อุณหภูมิในการศึกษา (25 ± 1°C) เป็นไปได้ยากกว่าไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 และ 50 : 50 การที่น้ำมันถั่วเหลืองสูญเสียสภาพการเป็นของแข็งได้ง่ายกว่าไขมันนมที่อุณหภูมิศึกษานี้เป็นผลให้โครงร่าง ตาข่ายที่เกิดจากการรวมตัวบางส่วนของอนุภาคไขมันที่หุ้มผิวของเซลล์อากาศมีความแข็งแรงลดลงและถูกทำลายได้ง่ายขึ้น เซลล์อากาศที่อยู่ภายใต้โครงร่างตาข่ายจึงเกิดการแตกตัวหรือยุบตัวได้เร็วกว่าเซลล์อากาศในไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 และ 50 : 50 เมื่อเซลล์อากาศแตกตัวสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันการถ่ายเทความเย็นออกจากไอศกรีมของเซลล์อากาศจึงลดลง (Bolliger *et al.*, 2000; Marshall *et al.*, 2003; Hartel *et al.*, 2004; Muse and Hartel, 2004) การละลายของไอศกรีมดังกล่าวจึงเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 และ 50 : 50 นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Granger และคณะ (2005) ที่พบว่า ไอศกรีมที่ใช้ไขมันชนิดอิ่มตัวจะใช้ระยะเวลาในการละลายนานกว่าไอศกรีมที่ใช้ไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

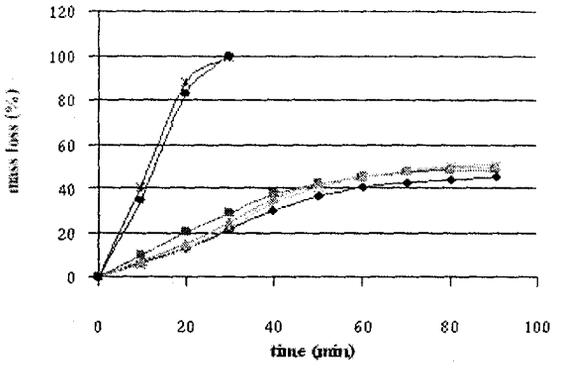

Figure 2. The relationship of mass loss (%) and duration time of melting of ice cream with milk fat : soy an oil (100 : 0) at 15 (—♦—) and 20(—■—)min whipping time, milk fat :soy bean oil 50 : 50 at 15 (—▲—) and 20 (—×—) min whipping time, milk fat : soy bean oil 0 :100 at 1 (—✱—) and 20 (—●—)min whipping time.

[Color figure can be viewed in the electronic version]

ส่วนผลของการรวมตัวกันบางส่วนของอนุภาคไขมันต่อการละลายของไอศกรีม พบว่าถ้าดัชนีการรวมตัวกันของอนุภาคไขมันซึ่งแสดงถึงการรวมตัวกันบางส่วนของอนุภาคไขมันในไอศกรีมมีค่าสูง ไอศกรีมนั้นจะสามารถรักษารูปทรงไว้ได้ดีกว่าไอศกรีมที่มีค่าดัชนีการรวมตัวของไขมันต่ำ (Tharp *et al.* 1998; Bolliger *et al.* 2000) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลอง (Table 6) ที่พบว่า ค่าดัชนีการรวมตัวกันของอนุภาคไขมันในไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 และ 50 : 50 ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) และมีค่ามากกว่าค่าดัชนีการรวมตัวกันของอนุภาคไขมันของไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0 : 100 ($p<0.05$) ทำให้ไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 และ 50 : 50 คงรูปทรงในระหว่างการละลายไม่แตกต่างกันและมีการคงรูปทรงที่ดีกว่าไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0 : 100 (Figure 3) โดยเมื่อพิจารณาจาก Table 6 และ Figure 3a ถึง 3d พบว่าไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 100 : 0 และ 50 : 50 มีค่าดัชนีการรวมตัวของอนุภาคไขมันประมาณ 68-92% และยังคงเห็นลักษณะรูปทรงของไอศกรีมตลอดระยะเวลา 90 นาที แต่ไอศกรีมที่มีไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลือง 0 : 100 มีค่าดัชนีการรวมตัวของอนุภาคไขมันประมาณ 12-20% และไม่สามารถรักษารูปทรงไว้ได้ (Figure 3e และ 3f) ทั้งนี้ Muse และ Hartel (2004) รายงานว่าไอศกรีมที่มีค่าดัชนีการรวมตัวของอนุภาคไขมันน้อยกว่า 30 % จะละลายอย่างรวดเร็วและไม่สามารถรักษารูปทรงของไอศกรีมไว้ได้

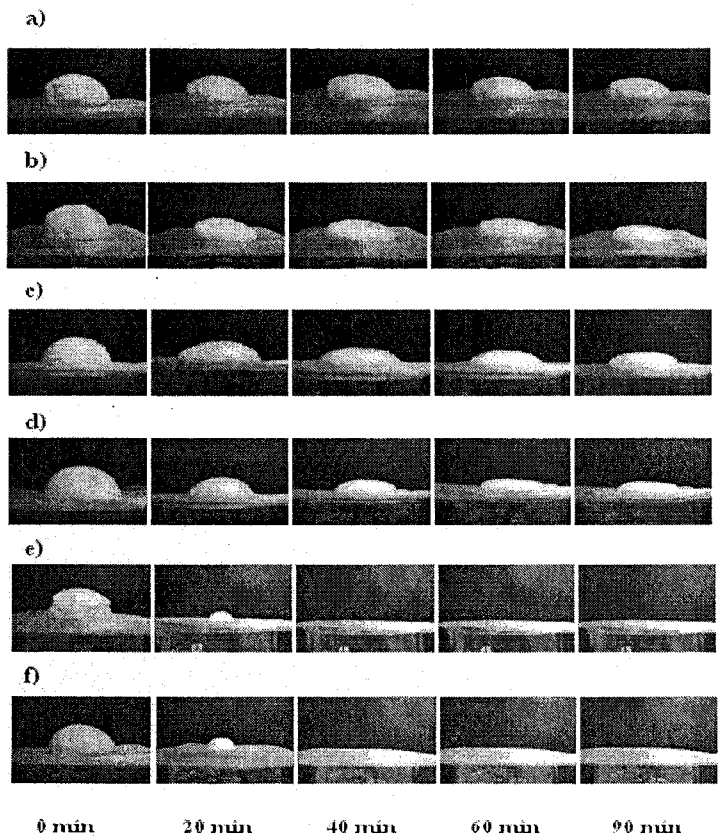

Figure 3. Shape changing of ice cream with different ratio of milk fat to soy bean oil and whipping time after observation for 90 min; a) milk fat : soy bean oil 100 : 0 at 15 min whipping time, b) milk fat : soy bean oil 100 : 0 at 20 min whipping time, c) milk fat : soy bean oil 50 : 50 at 15 min whipping time, d) milk fat : soy bean oil 50 : 50 at 20 min whipping time, e) milk fat : soy bean oil 0 : 100 at 15 min whipping time and f) milk fat : soy bean oil 0 : 100 at 20 min whipping time.

ดีเทียบเท่ากับไอศกรีมที่มีค่าดัชนีการรวมตัวของอนุภาคไขมันมากกว่า 50 %

ส่วนระยะเวลาในการตีปั่นไอศกรีมในแต่ละสูตรไม่มีผลต่ออัตราการละลาย เนื่องจากค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมวลและการเสียรูปทรงของไอศกรีมที่ใช้ไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลืองในแต่ละสูตรไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) (Figure 2 และ 3) อย่างไรก็ตาม Koxholt และคณะ (2001) และMuse และ Hartel (2004) พบว่านอกจากดัชนีการรวมตัวกันของอนุภาคไขมันและความความหนืดปรากฏจะมีผลต่อการละลายของไอศกรีมแล้ว ขนาดของผลึกน้ำแข็งที่พบในไอศกรีมก็มีผลต่อการละลายเช่นกัน

สรุป

สัดส่วนของไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลืองมีผลต่อคุณภาพของไอศกรีม ได้แก่ ค่าการขึ้นฟู ขนาดของเซลล์อากาศ ค่าดัชนีการรวมตัวกันของอนุภาคไขมัน ค่าความแข็ง อัตราการละลาย และการรักษารูปทรงของไอศกรีม ในขณะที่ระยะเวลาในการตีปั่นมีผลโดยตรงต่อค่าการขึ้นฟูและขนาดเซลล์อากาศในไอศกรีม ส่วนผลของปฏิสัมพันธ์

ของสัดส่วนของไขมันนมต่อน้ำมันถั่วเหลืองและระยะเวลาในการตีปั่นจะมีผลต่อค่าการขึ้นฟูเท่านั้น คุณภาพต่างๆ เหล่านี้ของไอศกรีมอาจมีผลเกี่ยวเนื่องกับการเกิดและการกระจายตัวของผลึกน้ำแข็งซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเช่นเดียวกับการศึกษาผลทางประสาทสัมผัสต่อไป อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้นี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาเชิงลึกถึงผลของสัดส่วนของไขมันนมและน้ำมันถั่วเหลืองต่อคุณภาพของไอศกรีม และอาจใช้เป็นแนวทางในการผลิตไอศกรีมดัดแปลงของอุตสาหกรรมการผลิตไอศกรีมต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคุณพัชรินทร์ นาคบุตร และคุณธิดาวัลย์ โพธิ์จิตร ที่ช่วยเหลือในการเตรียมตัวอย่างการวิเคราะห์ และขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวิเคราะห์ และสารเคมี ทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

ประกิจ รอดประเสริฐ. 2521. อันตรายที่เกิดจากไขมันในเลือดสูง.Available:http://www.thailabon line.com/lab-cholesterol2.htm [20/06/2548].

Bolliger, S., Kornbrust, B. and Goff, H. D. 2000.In fluence of emulsifiers on ice cream produced by conventional freezing and lowtemperature extrusion processing. Int. Dairy J., 10 : 497-504.

Bruhn, C. M., Cotter, A., Diaz-Knauf, K., Sutherlin, J., West, E., Wightman, N., Williamson, E., and Yaffee,M.1992.Consumer attitudes and market potential for foods using fat substitutes. Food Technol., 46 : 81-86.

Chang, Y. H. and Hartel, R.W. 2002a. Measurements of air cell distribution in dairy foams. Int. Dairy J., 12 : 463-472.

Chang, Y. H. and Hartel, R.W. 2002b. Development of air cells in a batch ice cream freezer. J. Food Eng., 55: 71-79.

Clarke, C. 2004. The science of ice cream. The Royal Society of Chemistry. Cambridge, UK.

Goff, H. D. 1997. Colloidal aspects of ice cream-a review. Int. Dairy J., 7 : 363-373.

Goff, H. D., Freslon, B., Sahagian, M. E., Hauber, T. D., Stone, A. P., and Stanley, D. W. 1995. Structural development in ice cream ñ Dynamic rheological measurements.J.of Texture Studies., 26 : 517-536.

Goff, H. D. and Jordan, W. K. 1989. Action of emulsifiers in promoting fat destabilization during the manufacture of ice cream.J. Dairy Sci.,72:18-29.

Granger, C., Barey, P., Combe, N., Veschamber, P. and Cansell, M. 2003. Influence of the fat characteristics on the physicochemical behavior of oil-in-water emulsions based on milk proteins- glycerol esters mixtures. Colloids and Surfaces B., 32 : 353-363.

Granger, C., Leger, A., Barey, P., Langendorff, V. and Cansell, M. 2005. Influence of formulation on the structural networks in ice cream. Int. Dairy J., 15 : 255-262.

Guinard, J-X., Zoumas_Morse, C., Mori, L., Uatoni, B., Panyam, D., and Kilara, A. 1997. Sugar and fat effects on sensory properties of ice cream. J. Food Sci., 62 : 1087-1094.

Hanselmann, W. and Windhab, E. 1998. Flow characteristics and modelling of foam generation in a continuous roter/stator mixer. J. Food Eng., 38 : 393-405.

Hartel, R. W., Muse, M. R., and Sofjan, R. P. 2004. Effects of structural attributes on hardness and melting rate of ice cream. Proc. 2nd IDF Ice Cream Symposium. Thessoliniki, Greece. May 14-16, 2003 : pp. 14-139.

Keeney. 1958. The fat stability problem in ice cream. Ice cream Rev. 1958 : 8, 20, 28, 42-45. quoted in Koxholt, M.M.R., Eisenmann, B., and Hinrichs, J. 2001. Effect of the fat globule sizes on the meltdown of ice cream. J. Dairy Sci., 84 : 31-37.

Koxholt, M. M. R., Eisenmann, B., and Hinrichs, J. 2001. Effect of the fat globule sizes on the meltdown of ice cream. J. Dairy Sci., 84 : 31-37.

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

Marshall, R. T., Goff, H. D., and Hartel, R. W. 2003. Ice cream (6th ed.). KluwerAcademic/Plenum Publishers, New York.

McClements, D. J., Dickinson, E., and Povey M. J. W. 1999. Crystallization in hydrocarbon-in-water emulsions containing a mixture of solid and liquid droplets. Chem. Phys. Lett., 172 : 449-452.

Muller-Fisher, N. and Windhab, E. J. 2005. Influence of process parameters on microstructure of food foam whipped in a rotor-stator device within a wide static pressure range. Colloids and Surface A. 263 : 353-362.

Muse, M. R. and Hartel, R. W. 2004. Ice cream structural elements affect melting rate and hardness. J. Dairy Sci., 87 : 1-10.

O'Brien, R. D. 2004. Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications (2nd ed.).United States of America.

Ronteltap, A. D. and Prins, A.1989.Contribution of drainage, coalescence, and disproportionation to the stability of aerated foodstuffs and the consequences for the bubble size distribution as measured by a newly developed optical glass-fiber technique. In Bee, R. D., Richmond, P., and Mingins, J. (Eds.). Food Colloids. Coloworth, United Kingdom.

Sofjan R. P. and Hartel, R. W. 2004. Effect of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. Int. Dairy J., 14 : 255-262.

Tharp, B. W., Forrest, B., Swan, C., Dunning, L. and Hilmoe, M. 1998. Basic factors affecting ice-cream meltdown. Proc. International Symposium. Athens, Greece, Sep. 18-19, 1997 : pp. 54-64.

Wilbey, R. A., Cooke, T. and Dimos, G. 1998. Effects of solute concentration, overrun and storage on the hardness of ice cream. Proc. International Symposium. Athens, Greece, Sep. 18-19, 1997 :186-187.

Wildmoser, H. Scheiwiller, J. and Windhab, E. J. 2004. Impact of disperse microstructure on rheology and quality aspects of ice cream. Lebnsm.-Wiss.u.-Technol., 37 : 881-891.

Willson, A. J. 1989. Foam : Physics, Chemistry, and Structure, Springer, New York.