วิธีการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองเพื่อหาปริมาณโยเกิร์ตและน้ำตาลที่เหมาะสมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มผสมชาเขียว

Use of response surface methodology to optimize yoghurt and sugar of drinking yoghurt containing green tea

พัชรีย์ พัฒนากูล[1*], สุภเวท มานิยม[2], นพพล เล็กสวัสดิ์[2], วรางคณา เตมียะ[3], และ จิตรา กลิ่นหอม[4]

Patcharee Pattanagul[1*], Supavej Maniyom[2], Noppol Leksawasdi[2], Warangkana Temeeya[3], and Jittra Kinhom[4]

บทคัดย่อ: โยเกิร์ตและน้ำตาลจัดเป็นส่วนประกอบหลักของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มผสมชาเขียว วิธีวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองถูกใช้ในการหาปริมาณที่เหมาะสมของส่วนประกอบดังกล่าว การเติมโยเกิร์ตและน้ำตาลส่งผลกระทบต่อคุณภาพ ทั้งด้านกายภาพเคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส โดยปริมาณที่เหมาะสมของโยเกิร์ตและน้ำตาลในผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Design-Expert คือ 20% และ 20% ซึ่งปริมาณดังกล่าวจะทำให้ได้คุณภาพของโยเกิร์ตที่ดีดังนี้ ค่าความสว่าง (46.83) ปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์นำไปใช้ (0.88) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (19.1°Brix) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (4.51) ปริมาณโปรตีน (0.44%) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (0.43%) น้ำตาลซูโครส (16.27%) น้ำตาลทั้งหมด (16.69%) ปริมาณกรดแลคติก (1549 ppm) ความชื้น (80.43%) และเถ้า (0.08%) (**คำสำคัญ:** ชาเขียว, นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม, พื้นผิวการตอบสนอง)

ABSTRACT: Yoghurt and sugar were main ingredients of ready-to-drink yoghurt mixed with green tea. The response surface methodology was employed to determine the optimized quantity of these constituents. The addition of yoghurt and sugar influenced product quality in all aspects of physical, chemical, microbiological, and sensory. The appropriate quantity of yoghurt and sugar in ready-to-drink yoghurt mixed with green tea was computed by Design-Expert program and resulted in 20% for both components. The subsequent experiment with this formula yielded a good quality yoghurt with the following properties; L value (46.83), a_w (0.88), total soluble solid (19.1°Brix), pH (4.51), protein content (0.44%), reducing sugar content (0.43%), sucrose content (16.27%), total sugar content (16.69%), lactic acid content (1549 ppm), moisture content (80.43%), and ash content (0.08%). (**Keywords:** green tea, drinking yoghurt, response surface)

[1] Laboratory Center for Food and Agricultural Products Company Limited, Chachoengsao 24130

[2] ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50100
Food Engineering Department, Faculty of Agricultural Inducstry, Chiang Mai Unversity, Chiang Mai.

[3] ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50100
Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Inducstry, Chiang Mai Unversity, Chiang Mai.

[4] ภาควิชาเทคโนโลยีพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50100
Department of Product development technology, Faculty of Agricultural Inducstry, Chiang Mai Unversity, Chiang Mai.

* Corresponding author: mrsupavej@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคเริ่มให้ความสำคัญต่อสุขภาพและมีแนวโน้มในการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพชนิดหนึ่ง โดยจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักเชื้อแบคทีเรียที่สามารถสร้างกรดแลคติคจากน้ำตาลแลคโตสในน้ำนม ได้ลักษณะที่ได้จึงเป็นมวลเนื้อเดียวกันและเป็นของแข็งกึ่งเหลว (coagulum) ประกอบด้วยสารอาหารและเกลือแร่หลายชนิด รวมทั้งมีเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์และใช้ในการหมักร่วมอยู่ด้วย ได้แก่ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophillus* (www.thaidairy.org/yoghurt.htm) รูปแบบของโยเกิร์ตแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่ (1) โยเกิร์ตชนิดเซ็ต (plain yoghurt หรือ set yoghurt) คือ โยเกิร์ตที่ผลิตโดยนำน้ำนมที่ผ่านกระบวนการปรับมาตรฐานการโฮโมจิไนซ์ การให้ความร้อนและเพาะเชื้อเริ่มต้นเป็นที่เรียบร้อยแล้วมาบรรจุลงในภาชนะย่อยที่จะใช้จำหน่ายหรือบริโภค แล้วนำไปหมักให้นมตกตะกอนในภาชนะนั้น หลังจากนั้นจึงทำการแช่เย็นเพื่อเก็บรักษาโดยไม่มีการกวน (2) โยเกิร์ตชนิดกวน (stirred yoghurt) คือ โยเกิร์ตที่หมักให้นมตกตะกอนในถังหมักใหญ่เรียบร้อยแล้วจึงนำโยเกิร์ตมาบรรจุลงในภาชนะที่ใช้จำหน่ายหรือบริโภค (3) โยเกิร์ตผลไม้ชนิดสวิสสไตล์ (Swiss style fruit yoghurt) โยเกิร์ตชนิดนี้ เมื่อหมักนมจนเป็นโยเกิร์ตในถังหมัก จะผสมผลไม้ลงไปในถังหมักแล้วกวนให้เข้ากัน จากนั้นจึงนำโยเกิร์ตที่ผสมผลไม้กวนมาบรรจุภาชนะที่ใช้จำหน่าย (4) นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม (drinking yoghurt or yoghurt drink) เป็นผลิตภัณฑ์ที่นำเอาโยเกิร์ตที่หมักในถังหมักมาเจือจางด้วยน้ำเชื่อม น้ำผัก และ/หรือ น้ำผลไม้แล้วปรุงแต่งโดยเติมสารเจือปนอาหาร เช่น สี กลิ่นผลไม้ และสารเสริมความคงตัว เป็นต้น จึงมีลักษณะเหลวสามารถดื่มได้ (ลูกจันทร์, 2524)

นมเปรี้ยวพร้อมดื่มเป็นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีลักษณะเหลวและง่ายต่อการบริโภค รวมถึงสามารถปรับแต่งกลิ่นรสให้เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภคได้ ซึ่งในปัจจุบันผลิตภัณฑ์น้ำชาเขียวพร้อมดื่มได้ออกวางจำหน่ายในท้องตลาดและได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ดังนั้นการแปรรูปผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวพร้อมดื่มโดยมีส่วนผสมของน้ำชาเขียวเป็นส่วนประกอบ จะทำให้ได้รับประโยชน์จากทั้งจุลินทรีย์ที่อยู่ในโยเกิร์ตและสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในชาเขียว นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มทางเลือกในการบริโภคผลิตภัณฑ์ในกลุ่มดังกล่าวได้มากขึ้น

จากการศึกษาของสุภเวท และคณะ (2549) พบว่า ลูกเดือยสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตโยเกิร์ตได้ โดยใช้อัตราส่วนลูกเดือยต่อน้ำสะอาดเท่ากับ 1:10 แล้วนำมาผสมกับน้ำชาเขียวก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การใช้ลูกเดือยในการผลิตนั้นจะมีคุณสมบัติช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการแพ้ (allergic reaction) ยับยั้งการเพิ่มจำนวนของเซลล์มะเร็งตับ และช่วยลดการเกิดมะเร็งลำไส้ได้อีกด้วย (Duke, 1983; Chang et al., 2003; Shih et al., 2004) นอกจากนี้น้ำชาเขียวที่ใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตพร้อมดื่มชนิดผงนั้น มีสารต้านอนุมูลอิสระช่วยป้องกันโรคมะเร็ง ลดระดับไขมันและน้ำตาลในเลือด ช่วยลดน้ำหนัก รักษาสุขภาพในช่องปาก ยับยั้งโรคไขข้ออักเสบ ยับยั้งภาวะอาหารเป็นพิษ (www.gpo.or.th/rdi/htmls/greentea.html)

ดังนั้นการศึกษาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวพร้อมดื่มจึงเป็นการศึกษาขั้นพื้นฐานเพื่อปรับปรุงและพัฒนาสูตรการผลิตให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค รวมถึงสามารถอธิบายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าทางคุณภาพในด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ที่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณส่วนประกอบต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้หาปริมาณที่เหมาะสมของน้ำตาลและโยเกิร์ตในผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวพร้อมดื่มผสมชาเขียว และแสดงในรูปของสมการความสัมพันธ์ของค่าทางคุณภาพต่างๆ กับปริมาณของน้ำตาลและโยเกิร์ตที่ถูกใช้เป็นส่วนประกอบ

วิธีการศึกษา

1. การเตรียมโยเกิร์ต

นำลูกเดือย (ตราไร่ทิพย์, บริษัท ไร่ธัญญะ จำกัด, นนทบุรี, ประเทศไทย) มาบดละเอียดจำนวน 3.5% ผสมลงในน้ำสะอาด ต้มที่อุณหภูมิ 70°ซ นาน 30 นาที หลังจากนั้นนำไปกรองด้วยผ้ากรอง 2 ชั้น เพื่อแยกเอาน้ำลูกเดือยออกจากกาก นำน้ำลูกเดือยที่ได้มาผสมกับนมผงจำนวน 10% เติมเจลาตินลงไป 2% แล้วต้มอีกครั้งที่อุณหภูมิ 85°ซ นาน 30 นาที ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งส่วนผสมที่ได้เย็นลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง เติมเชื้อผสม *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* (บริษัทเอเชียปิค ประเทศไทยจำกัด มหาชน, กรุงเทพ, ประเทศไทย) ลงไป 0.1% บ่มที่อุณหภูมิ 30°ซ นาน 6 ชั่วโมง

2. การเตรียมน้ำชาเขียว

นำสารสกัดชาเขียว (Matcha Green Tea, Ujinotsu-yuseicha Co., Ltd., Kyoto, Japan) จำนวน 2% ผสมลงในน้ำสะอาด เติมน้ำตาลทราย (บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด, สุพรรณบุรี) จำนวนตามสูตรการทดลอง (**Table 1**) และเติมสาร carboxyl methyl cellulose (บริษัท โอ วี เคมิเคิล จำกัด, เชียงใหม่, ประเทศไทย) จำนวน 0.1% หลังจากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 85°ซ นาน 15 นาที แล้วจึงตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3. การผลิตนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม

ปั่นโยเกิร์ตด้วยเครื่องปั่น (Cucina HR1799/6, Philips, Philips Electronic NV Co., LTD., Netherlands) ผสมส่วนของโยเกิร์ตปั่นกับน้ำชาเขียวตามสัดส่วนใน **Table 1** หลังจากนั้นนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°ซ

4. การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผล

การศึกษาปริมาณโยเกิร์ตในช่วง 20-80% และน้ำตาล 2-20% ที่มีผลต่อคุณภาพของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม ได้วางแผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experimental design in central composite design (**Table 1**) ทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ ได้แก่ ค่าสีในระบบ Hunter Lab (Minolta Camera Co., Ltd., Osaka, Japan) ค่าความหนืด (Brookfield, U.S.A.) ค่า a_w (Aqualab Model Series 3, U.S.A.) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Hand refractometer) และค่า pH (Precisa 900, Switzerland) การวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี ได้แก่ โปรตีน น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลซูโครส ไขมัน ความชื้น เถ้า และน้ำตาลทั้งหมด (AOAC, 2000) การวิเคราะห์ด้านจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณแบคทีเรียผลิตกรดแลคติก ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 1995) การวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส ได้แก่ สี กลิ่นโยเกิร์ต กลิ่นชาเขียว รสเปรี้ยว รสหวาน ความหนืด การแยกชั้น และการยอมรับโดยรวม ผลที่ตรวจวัดได้เป็นตัวเลขจะถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Microsoft

Table 1 Formulation of yoghurt and sugar for drinking yoghurt containing green tea.

Treatment	Yoghurt (%)	Sugar (%)
1	50 (0)	11 (0)
2	80 (+)	20 (+)
3	50 (0)	11 (0)
4	50 (0)	11 (0)
5	20 (-)	2 (-)
6	20 (-)	20 (+)
7	80 (+)	2 (-)

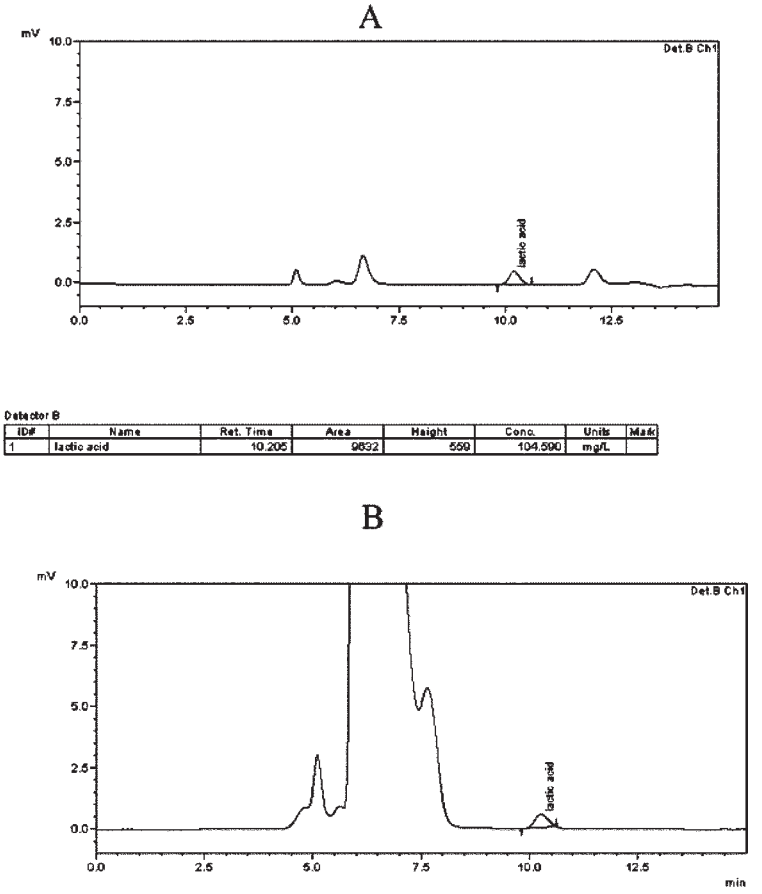
All treatments contain 2% green tea extract and 0.1% carboxyl methyl cellulose.

Office Excel 2003 (Washington, U.S.A.) version 8.0, Design-Expert version 6.0.2 (Stat-Ease Inc., Minneopolis) และ Statistica ver.5.0 (Statsoft Inc., Tulsa)

5. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณกรดแลคติกด้วยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

นำตัวอย่างจำนวน 1 มล. ใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 2 มล. แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 13,000 รอบต่อนาที (MIKRO 22R, Hettich Zentrifugen, Germany) เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 4°ซ จำนวน 2 ครั้ง หลังจากนั้นนำส่วนของของเหลวด้านบนที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงมากรองผ่านเมมเบรนชนิดไนลอนขนาด 0.2 ไมโครเมตร แล้วจึงนำไปฉีดในเครื่อง HPLC (SCL-10Avp, Zhimadzu, Japan)

สภาวะของเครื่อง HPLC มีดังนี้ ปริมาณตัวอย่างที่ใช้เท่ากับ 20 ไมโครลิตร ฉีดผ่านคอลัมน์ Aminex 300X7.8 mm HPX-87H ion exclusion column ซึ่งควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์อยู่ที่ 38°ซ ด้วย column oven (CTO-10ASvp, Zhimadzu, Japan) โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ของกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.005 โมลาร์ (Merck, Germany) เป็นสารตัวพา และใช้ระบบ isocratic ที่ระดับอัตราการไหลเท่ากับ 0.75 มล./นาที เมื่อสารที่ต้องการตรวจวิเคราะห์ไหลผ่านเครื่องตรวจวัด (FID detector, Zhimadzu, Japan) จะปรากฏพีคออกมาที่ช่วงเวลาประมาณ 10.2-10.3 นาที ดังแสดงใน Figure 1



Detector B

ID#	Name	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Units	Mark
1	lactic acid	10.205	9832	559	104.590	mg/L	

Figure 1 Chromatograms of 100 ppm lactic acid standard (A) and drinking yoghurt sample (B).

ผลการศึกษา

จากการศึกษาระดับการเติมโยเกิร์ตปริมาณ 20-80% และน้ำตาลปริมาณ 2-20% พบว่า โยเกิร์ตและน้ำตาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพด้าน ค่าความสว่าง (L value), a_w, ปริมาณของแข็งทั้งหมด และค่า pH (**Figure 2-5**) ส่วนคุณลักษณะด้านเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลซูโครส ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณกรดแลคติก ค่าความชื้น และปริมาณเถ้า (**Figure 6-12**) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงปริมาณโยเกิร์ตและน้ำตาลยังส่งผลต่อคุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัส ได้แก่ กลิ่นชาเขียว ความหนืด และการแยกชั้น (**Figure 13-15**)

จาก **Figure 2** พบว่า ค่าความสว่างจะเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มปริมาณโยเกิร์ต ทั้งนี้เนื่องจากโยเกิร์ตมีสีขาวจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวพร้อมดื่มมีสีขาวหรือมีความสว่างเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณน้ำตาลจะส่งผลให้ค่าความสว่างลดลง เนื่องจากเมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น ปฏิกิริยา Browning reaction สามารถเกิดได้มากขึ้นในกระบวนการให้ความร้อนกับน้ำชาเขียวที่ถูกผสมกับน้ำตาล (สายสนมและสิรี, 2539) ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้ได้สารสีน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความสว่างลดน้อยลง **Figure 2**

ปริมาณน้ำอิสระที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ (a_w) มีความผันแปรขึ้นลงไม่มากนักตามปริมาณโยเกิร์ตและน้ำตาลที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ โดยค่าจะอยู่ในช่วง 0.87-0.89 (**Figure 3**) ค่าดังกล่าวสามารถทำให้จุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรีย ยีสต์ และราเจริญขึ้นได้ (สุมาลี, 2539) อย่างไรก็ตาม หากสามารถปรับเปลี่ยนค่า a_w ให้มีค่าต่ำกว่า 0.60 ก็จะสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งสามชนิดดังที่กล่าวข้างต้นได้ ดังนั้นอาจมีการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม

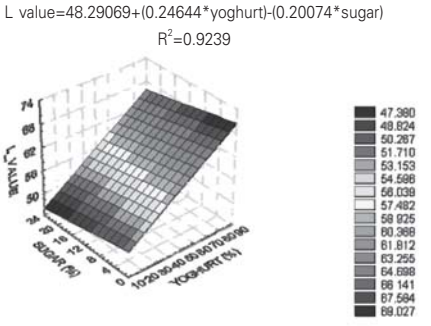


Figure 2 Effects of yoghurt and sugar on L value of drinking yoghurt containing green tea

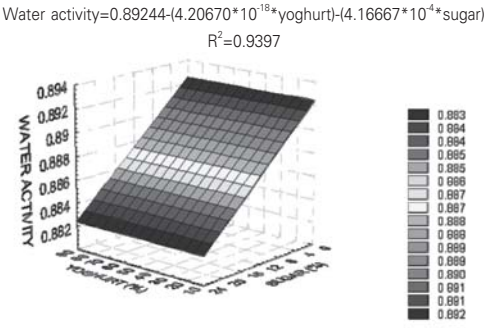


Figure 3 Effects of yoghurt and sugar on water activity of drinking yoghurt containing green tea.

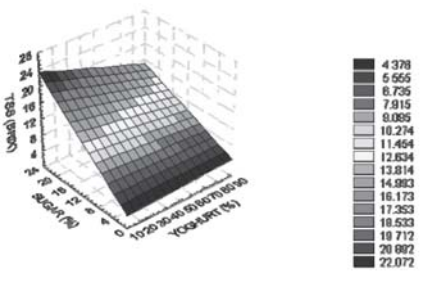


Figure 4 Effects of yoghurt and sugar on total soluble solid of drinking yoghurt containing green tea.

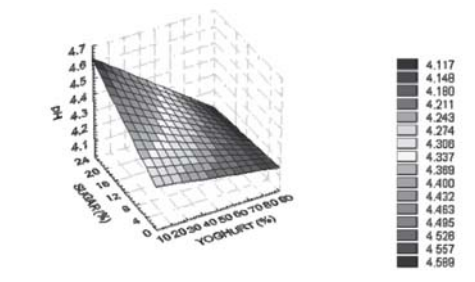


Figure 5 Effects of yoghurt and sugar on pH of drinking yoghurt containing green tea.

เพื่อบ่งบอกวันหมดอายุหรือทำการแปรรูปนมเปรี้ยวพร้อมดื่มให้เป็นผงด้วยวิธีแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dry) ซึ่งจะสามารถช่วยยืดอายุในการเก็บรักษาได้นานขึ้น โดยลดโอกาสการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดอาหารเน่าเสียได้

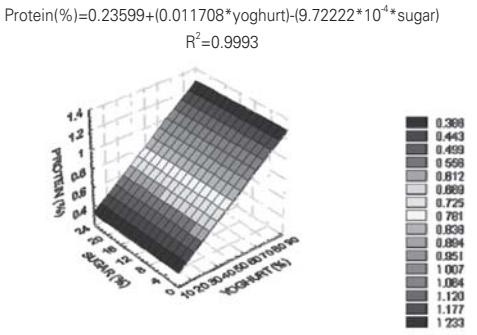


Figure 6 Effects of yoghurt and sugar on protein of drinking yoghurt containing green tea

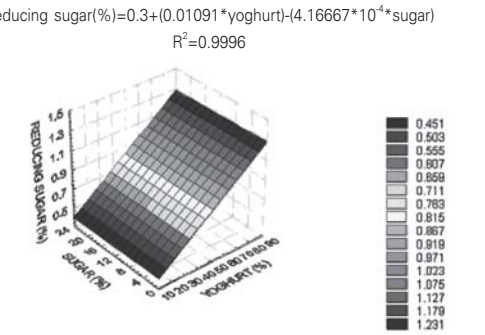


Figure 7 Effects of yoghurt and sugar on reducing sugar of drinking yoghurt containing green tea.

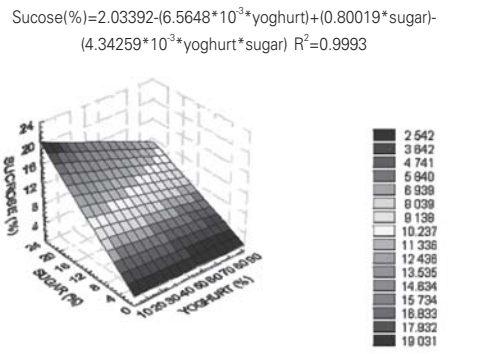


Figure 8 Effects of yoghurt and sugar on sucrose sugar of drinking yoghurt containing green tea.

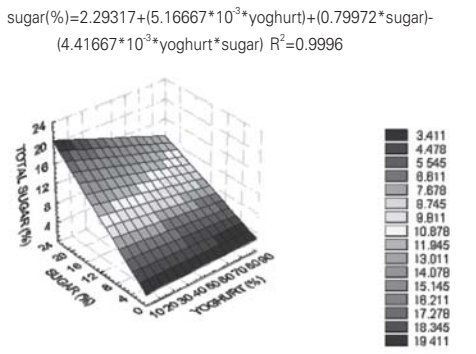


Figure 9 Effects of yoghurt and sugar on total sugar of drinking yoghurt containing green tea.

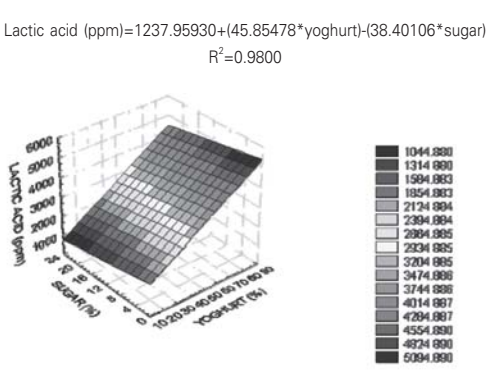


Figure 10 Effects of yoghurt and sugar on lactic acid content of drinking yoghurt containing green tea.

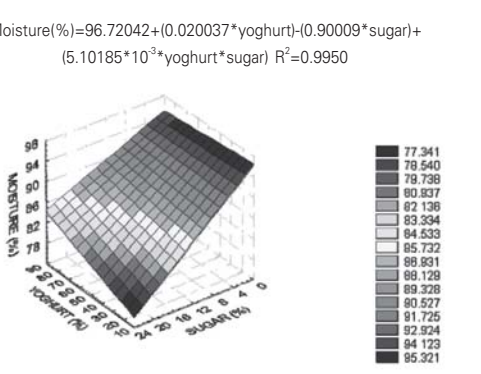


Figure 11 Effects of yoghurt and sugar on moisture content of drinking yoghurt containing green tea.

Ash(%)=0.053452+(3.08333*10^{-3}*yoghurt)-(1.66667*10^{-3}*sugar)
R^2=0.9604

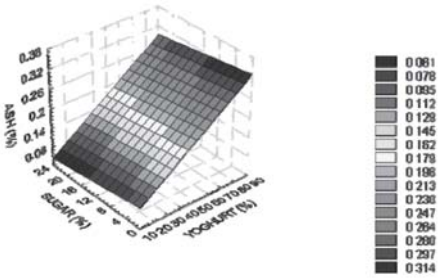


Figure 12 Effects of yoghurt and sugar on ash content of drinking yoghurt containing green tea.

Green tea order (score)=5.60683-(0.015833*yoghurt)+(0.022778*sugar)
R^2=0.8293

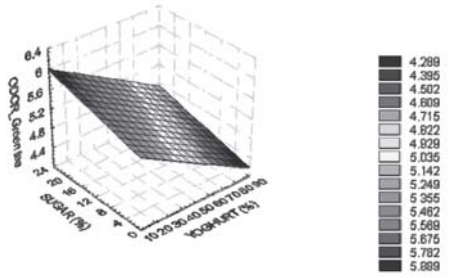


Figure 13 Effects of yoghurt and sugar on hedonic score of green tea odor attribute of drinking yoghurt containing

Viscous (score)=4.22619+(4.5*10^{-3}*yoghurt)+(0.058333*sugar)
R^2=0.8165

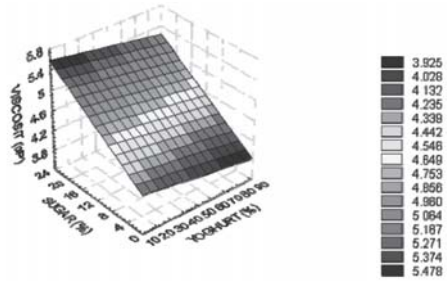


Figure 14 Effects of yoghurt and sugar on hedonic score of viscous attribute of drinking yoghurt containing green tea.

Separation (scroe)=6.14667-(0.039667*yoghurt)+(3.33333*10^{-3}*sugar)
R^2=0.8186

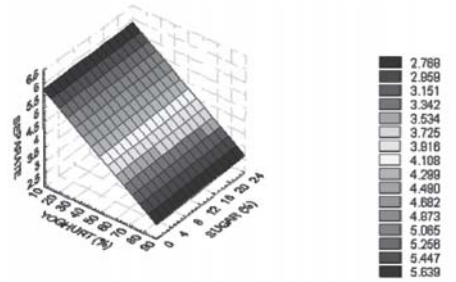


Figure 15 Effects of yoghurt and sugar on hedonic score of separation attribute of drinking yoghurt containing green tea.

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มผสมน้ำชาเขียว มีความผันแปรตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณโยเกิร์ตหรือการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาล โดยเมื่อปริมาณน้ำตาลอยู่ในระดับต่ำประมาณ 2% การเพิ่มปริมาณโยเกิร์ตจะไม่ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นแต่อย่างใด ในขณะที่เมื่อปริมาณน้ำตาลอยู่ในระดับสูงประมาณ 20% จะพบว่าการเพิ่มปริมาณโยเกิร์ตส่งผลให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดต่ำลงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณน้ำตาลในสูตรการผลิตจะทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลจัดเป็นของแข็งที่ละลายได้จำพวกหนึ่ง ดังนั้นการตรวจวัดปริมาณน้ำตาลโดยใช้เครื่อง hand refractometer จึงสามารถใช้ตรวจวัดปริมาณอย่างคร่าวๆ ของน้ำตาลได้ เมื่อสังเกตจาก **Figure 4** จะเห็นได้ว่ามีการแปรผันในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน นั่นคือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือมีความใกล้เคียงกับปริมาณของน้ำตาลที่เติมลงในสูตรการผลิต

การเพิ่มปริมาณโยเกิร์ตมีผลทำให้ค่า pH ลดต่ำลง เนื่องจากส่วนประกอบของโยเกิร์ตมีกรดแลคติกซึ่งประจุ H+ ไว้และบ่งบอกถึงความเป็นกรดได้ในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณโยเกิร์ตจึงมีผลให้ปริมาณ H^+ เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่า pH ต่ำลงดังสูตรต่อไปนี้ pH = -log H^+ (นิธิยา,2539)

ปริมาณโปรตีนที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวพร้อมดื่มอยู่ในช่วง 0.3-1.3% โดยปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นแปรผันตามการเพิ่มของปริมาณโยเกิร์ต

ในสูตรการผลิต ทั้งนี้เนื่องจากโยเกิร์ตประกอบด้วยนมผงและน้ำลูกเดือยเป็นส่วนประกอบหลัก ดังนั้นนมผงในโยเกิร์ตซึ่งเป็นแหล่งที่อุดมด้วยโปรตีนจึงส่งผลให้ปริมาณโปรตีนทั้งหมดที่วัดได้ในผลิตภัณฑ์สูงขึ้นตามไปด้วย

น้ำตาลรีดิวซ์มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นแปรผันตามการเพิ่มปริมาณโยเกิร์ต เนื่องจากโยเกิร์ตมีส่วนผสมจากนมผงและน้ำลูกเดือย ในส่วนของนมผงประกอบด้วยโปรตีนเคซีนและน้ำตาลแลคโตส ซึ่งในกระบวนการผลิตโยเกิร์ตสภาพความเป็นกรดจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากจุลินทรีย์ชนิดผลิตกรดแลคติคมีการเจริญและใช้น้ำตาลแลคโตสเป็นวัตถุดิบเริ่มต้น นอกจากจะได้กรดแลคติกเป็นผลผลิตแล้ว กรดแลคติกที่ได้ยังสามารถไฮโดรไลซ์น้ำตาลแลคโตสในนมผงและแป้งบางชนิดที่อยู่ในลูกเดือยให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคส ได้ (สายสนมและสิรี, 2539) ดังนั้นจึงทำให้การเพิ่มปริมาณโยเกิร์ตในสูตรการผลิต ส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่วิเคราะห์ได้สูงขึ้นตามไปด้วย (**Figure 7**)

Figure 8 and Figure 9 แสดงปริมาณน้ำตาลซูโครสและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จากผลิตภัณฑ์ตามลำดับ กราฟทั้ง 2 รูปมีความใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ทั้งหมดส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลซูโครสที่เติมลงไปในสูตรการผลิต แสดงว่าการเพิ่มปริมาณซูโครสทำให้ปริมาณน้ำตาลซูโครสที่วิเคราะห์ได้และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นเป็นสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน

ปริมาณกรดแลคติคที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 1,500-5,000 ppm ซึ่งปริมาณดังกล่าวจะเพิ่มสูงขึ้น แปรผันโดยตรงตามปริมาณโยเกิร์ตที่เติมลงในสูตรการผลิต เนื่องจากโยเกิร์ตมีปริมาณกรดแลคติคที่ผลิตจากจุลินทรีย์กลุ่ม *Lactobacillus* และ *Streptococcus* ส่งผลให้ปริมาณกรดแลคติคที่วิเคราะห์ได้ในผลิตภัณฑ์สุดท้ายเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณน้ำตาลจะทำให้ปริมาณกรดแลคติคลดลงเล็กน้อย (**Figure 10**)

Figure 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่แปรผันตามปริมาณน้ำตาลและโยเกิร์ต พบว่า ความชื้นที่วิเคราะห์ได้จากผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 80-95% การเติมโยเกิร์ตในระดับต่ำประมาณ 20% จะทำให้ความชื้นเพิ่มสูงขึ้นตามการแปรผันปริมาณน้ำตาลที่มากขึ้น ในขณะที่การเติมโยเกิร์ตในระดับสูงประมาณ 80% ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน เพียงแต่ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เติมโยเกิร์ตในระดับสูงจะมีความชื้นสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมโยเกิร์ตในระดับต่ำ ดังนั้นจากสมการใน (**Figure 11**) จะทำให้สามารถทำนายค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายตามที่ต้องการได้

ปริมาณเถ้าแปรผันตามปริมาณโยเกิร์ตที่เติมลงไปในสูตรการผลิต โดยเมื่อเพิ่มปริมาณโยเกิร์ตให้สูงขึ้น ปริมาณเถ้าที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากผลิตภัณฑ์ก็สูงขึ้นตามไปด้วย (**Figure 12**) ทั้งนี้เนื่องจากโยเกิร์ตมีส่วนประกอบของสารอนินทรีย์ ได้แก่ ฟอสฟอรัส 2,516 ppm โพแทสเซียม 1,521 ppmโซเดียม 181 ppm เหล็ก 47.4 ppm สังกะสี 29.5 ppm แมงกานีส 20.3 ppm แคลเซียม 18.1 ppm และทองแดง 4.81 ppm (www.thai.net/biotik/health.html) ทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณโยเกิร์ตสูงขึ้น ส่งผลต่อปริมาณแร่ธาตุโดยรวมที่ตรวจวิเคราะห์ได้ในผลิตภัณฑ์ ส่วนน้ำตาลจัดเป็นสารคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง ซึ่งไม่มีผลต่อปริมาณเถ้าโดยรวมที่ตรวจวิเคราะห์ได้

Figure 13 แสดงค่าคะแนนความชอบในด้านกลิ่นชาเขียวที่แปรผันไปตามปริมาณน้ำตาลและโยเกิร์ตที่เติมลงไปในสูตรการผลิต พบว่า คะแนนความชอบจะสูงที่สุดเมื่อเติมโยเกิร์ตในปริมาณต่ำประมาณ 20% และน้ำตาลประมาณ 20% ในขณะที่คะแนนความชอบต่ำที่สุดเมื่อเติมโยเกิร์ตในปริมาณสูงร่วมกับเติมน้ำตาลในปริมาณต่ำ สมการแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงใน **Figure 13**

คะแนนความชอบด้านความหนืดของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตพร้อมดื่ม มีความผันแปรตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของน้ำตาล เมื่อผู้บริโภคทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ในทุกสูตรการผลิตจนกระทั่งได้สูตรโยเกิร์ตพร้อมดื่มที่มีความข้นหนืดเป็นไปตามที่ต้องการ ค่าคะแนนความชอบสามารถทำนายได้จากสมการดัง **Figure 14**

Table 2 Optimal fomular from sensory test.

Solutions Number	Yoghurt	Sugar	Odor_green tea	Viscous	Separate	Desirability	Remark
1	20.00	20.00	5.74567	5.30274	5.41999	0.954	Selected

ซึ่งการเพิ่มปริมาณน้ำตาลในระดับ 20% จะทำให้ความชอบของผู้บริโภคสูงขึ้นมากที่สุด

ค่าคะแนนความชอบด้านการแยกชั้นของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มแสดงใน **Figure 15** พบว่า การลดปริมาณโยเกิร์ตจะทำให้ค่าคะแนนความชอบสูงขึ้น โดยคะแนนจะสูงที่สุดที่ระดับการเติมโยเกิร์ตประมาณ 20% สำหรับปริมาณน้ำตาลนั้นไม่ส่งผลต่อค่าคะแนนความชอบด้านการแยกชั้นแต่อย่างใด สมการแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงใน **Figure 15** และจากข้อมูลการทดสอบชิมโดยใช้ผู้บริโภคจำนวน 50 คน สามารถนำคะแนนความชอบในแต่ละลักษณะมาประมวลหาระดับที่เหมาะสมของปริมาณการเติมโยเกิร์ตและน้ำตาลจากโปรแกรม Design Expert ได้ดังใน **Table 2**

สรุป

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่ากลิ่นชาเขียว ความหนืด และการแยกชั้น เป็นคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัสที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณโยเกิร์ตและน้ำตาลที่เติมลงไปในสูตรการผลิต

ดังนั้นระดับที่เหมาะสมในการเติมโยเกิร์ตและน้ำตาลลงในนมเปรี้ยวพร้อมดื่มผสมชาเขียวเท่ากับ 20% และ 20% ตามลำดับ เนื่องจากการเติมที่ระดับดังกล่าวจะทำให้ค่าคะแนนความชอบในด้านกลิ่นชาเขียว ความหนืด และการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆ สำหรับคุณภาพด้านอื่นๆ ที่ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณโยเกิร์ตและน้ำตาลที่เติมลงไป

เอกสารอ้างอิง

เครือข่ายนมไทย, 2547, โยเกิร์ต, http://www.thaidairy.org/yoghurt.htm. ค้นเมื่อ 10 ส.ค. 2547.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2539. เคมีอาหาร. เชียงใหม่: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ประภัสสร สุรวัฒนาวรรณ, 2547, ชาเขียว, http://www.gpo.or.th/rdi/htmls/greentea.html. ค้นเมื่อ 8 ส.ค. 2547.

ลูกจันทร์ ภัครัชพันธุ์. 2524. อุตสาหกรรมอาหารหมักดอง. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สายสนม ประดิษฐดวง, และ สิริ ชัยเสรี. 2539. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร : ลูกกวาดและช็อคโกแลต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุภเวท มานิยม, พัชรีย์ พัฒนากูล, ณัฐวรรณ ทิพย์เจริญพร, และศันษนีย์ สมหมาย. 2549. การพัฒนาโยเกิร์ตน้ำลูกเดือยผสมชาเขียว ชนิดผงโดยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ปีที่ 34 (1): 324-332.

สุมาลี เหลืองสกุล. 2539. จุลชีววิทยาทางอาหาร. ภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร, กรุงเทพฯ.

Chang, H., Y. Huang, and W. Hung. 2003. Antiproliferative and Chemopreventive Effect of Adlay seed on Lung Cancer in Vitro and in Vivo. *J. Agric. Food Chem.* 51(12): 3656-3660.

Duke, J. 1983. Handbook of Energy Crops. Available: http://www.hort.purdue.edu /newcrop/duke-energy/coix-lacryma-jobi.html. Accessed Aug. 22, 2004.

Shih, C., Dhiang, W., and Kuo, M. 2004. Effects of adlay on azoxy methane-induced colon carcinogenesis in rats. Food and Chemical Toxicology. 42(8): 1339-1347.