

การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตโยเกิร์ต น้ำข้าวผสมน้ำกระเจี๊ยบชนิดผงโดยใช้ เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย Feasibility Study of Powdered Yoghurt Consisted of Rice Water and Roselle Juice by Spray-Dry Process

สุภเวท มานิช¹, พัชรีย์ พัฒนากุล², มณฑล สุรพันธ์พิชิต¹ และ มาริสา จารุสาธิต¹
Supavej Maniyom¹, Patcharee Pattanagul², Montalee Surapanpichit¹ and Marisa Charusathit¹

Abstract

The suitable formula of powdered yoghurt containing rice water and rosella juice was sugar : plain yoghurt : rosella juice (1 : 2.5 : 5) and optimum condition of spray dryer were 100 °C drying temperature and 5 bar atomizer pressure. The physical properties of final product were 0.74 g/ml bulk density, 0.252 a_w. The Hunter color system L, a, b were 88.91, 3.29 and 4.95, respectively. The chemical properties were 38.60% reducing sugar, 1.29% acid content, 2.47% moisture content, 0.20% fat content, 6.90% protein content and 1.55% ash content. Lactic acid bacteria were analyzed in powdered yoghurt product were lower 10 CFU/g.

บทคัดย่อ

สูตรที่เหมาะสมของโยเกิร์ตน้ำข้าวผสมน้ำกระเจี๊ยบชนิดผง คือ น้ำตาล : แผลนโยเกิร์ต : น้ำกระเจี๊ยบ (1 : 2.5 : 5) และสภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่เหมาะสมได้แก่ อุณหภูมิในการทำแห้งเท่ากับ 100 °ซ. และความดันของอะตอมไมเซอร์เท่ากับ 5 บาร์ การตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายพบว่า ค่า bulk density เท่ากับ 0.74 ค่า a_w เท่ากับ 0.252 สำหรับค่าสีในระบบ Hunter L, a, b เท่ากับ 88.91, 3.29 และ 4.95 ตามลำดับ คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 38.60% ปริมาณกรดเท่ากับ 1.29% ปริมาณความชื้นเท่ากับ 2.47% ปริมาณไขมันเท่ากับ 0.20% ปริมาณโปรตีนเท่ากับ 6.90% และปริมาณเถ้าเท่ากับ 1.55% การตรวจปริมาณแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกในโยเกิร์ตผง พบว่า มีปริมาณน้อยกว่า 10 CFU ต่อกรัม

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50100

² ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50100

บทนำ

นมเป็นวัตถุดิบที่สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น เนย เนยแข็ง โยเกิร์ต และครีมชนิดต่าง ๆ สำหรับโยเกิร์ตที่ผลิตขึ้นจากนมที่นับเป็นโยเกิร์ตที่มีคุณภาพสูง เนื่องจากสารอาหารในนมเหมาะสมกับการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดผลิตโยเกิร์ตได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามการใช้วัตถุดิบอื่น ๆ มาทดแทนนมก็นับเป็นผลิตภัณฑ์เชิงความรู้แบบใหม่ ที่นอกจากจะช่วยลดต้นทุนแล้วอาจจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการหรือเพิ่มคุณสมบัติทางอาหารให้มีความหลากหลายมากขึ้นอีกด้วย

ข้าว คือ พืชอาหารหลักของประเทศไทยที่มีการเพาะปลูกกันมากในหลายบริเวณโดยเฉพาะพื้นที่ในเขตทุ่งกุลาร้องไห้ ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการส่งออกมาก และสร้างรายได้ให้แก่ประเทศปีละประมาณ 60,000-70,000 ล้านบาท (<http://www.nedoac.doac.go.th>) ในแต่ละปีประเทศไทยส่งออกข้าวปีละกว่า 7 ล้านตันข้าวสาร อย่างไรก็ตามในบางปีผลผลิตข้าวของเกษตรกรก็มีน้อยหรือมีมากเกินไปไม่สอดคล้องกับความต้องการของตลาดหากมีมากก็จะพบกับปัญหาข้าวล้นตลาด บางครั้งข้าวที่เก็บไว้นานเกินไปอาจมีคุณภาพไม่ดีมากพอที่จะใช้ในการบริโภคหรือส่งออกก็เป็นได้ นอกจากนี้ข้าวหักปลายหรือข้าวบางสายพันธุ์ก็ไม่ได้ได้รับความนิยมในการบริโภค ดังนั้นการนำน้ำข้าวที่ได้จากการหุงต้มข้าวมาแปรรูปเป็นโยเกิร์ตอาจเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคและยังช่วยเกษตรกรให้มีรายได้เพิ่มมากขึ้น

กระเจียบเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ง่ายในทุกภาคของประเทศไทย สีแดงของกระเจียบนั้นจัดเป็นสารจำพวก anthocyanin ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจึงสามารถนำมาใช้เติมแต่งสีแดงให้กับอาหารบาง

ชนิดได้ อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของกระเจียบ คือ มีรสเปรี้ยว ดังนั้นอาหารที่ได้จากการแปรรูปกระเจียบจึงมีไม่มากนัก เช่น แยมกระเจียบ เยลลี่กระเจียบ มาร์มาเลด และไวน์กระเจียบ กระเจียบมีประโยชน์ต่อร่างกายในด้านคุณค่าทางยา ได้แก่ ช่วยขับปัสสาวะ ลดความดันโลหิต เป็นยาระบายอ่อนๆ และช่วยแก้กระหายน้ำได้ (ซูเกียรติ, 2524)

โยเกิร์ต คือ ผลิตภัณฑ์หมักจากนม ซึ่งเกิดจากการเติมแบคทีเรียแลคติก สายพันธุ์กลุ่มแลคโตบาซิลัส และสเตรปโตคอคคัส ลงไปในนมและทิ้งไว้ให้เกิดการหมักทำให้เกิดรสเปรี้ยว โยเกิร์ตมีประโยชน์มากมายต่อร่างกาย เช่น ช่วยรักษาอาการท้องเสีย ช่วยยาระดับภูมิคุ้มกันโรค ลดความเสี่ยงจากการเกิดมะเร็งบริเวณเยื่อกระดูก ลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือด ช่วยบำรุงผิวพรรณ อีกทั้งยังเหมาะสำหรับผู้ที่ไม่สามารถย่อยแลคโตสจากการบริโภค นำนมธรรมชาติได้ เนื่องจากแบคทีเรียแลคติกจะผลิตเอนไซม์เพื่อย่อยน้ำตาลแลคโตสในนมให้กลายเป็นกรดแลคติกได้ (จารุวรรณ, 2543)

การแปรรูปโยเกิร์ตให้เป็นผงจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นจากประมาณ 10 วัน ที่อุณหภูมิ 5 ° ซ. (<http://www.thaidairy.org/yoghurt.htm>) ให้เก็บได้นานหลายเดือนที่อุณหภูมิปกติ (สิริวรรณและพิสิฐ, 2546) ซึ่งการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) เป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสม เนื่องด้วยวิธีดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนวัตถุดิบจากสถานะของเหลวให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นอนุภาคหรือผงที่แห้ง โดยใช้หลักการการทำให้ของเหลวแตกเป็นละอองหรือหยดเล็ก ๆ (Droplets) ภายในหอทำแห้ง (Drying chamber) ที่มีอากาศร้อนไหลผ่าน ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นเร็วมากเนื่องจากของเหลวมีสภาพเป็นหยดเล็ก ๆ ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศร้อนได้มาก การระเหยจะเกิดขึ้นได้

อย่างรวดเร็ว การทำแห้งด้วยวิธีนี้จะได้ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการทำแห้งของเหลวแตกตัวเป็นหยดเล็กๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับความดันของหัวฉีด (Atomizer pressure) ที่ทำหน้าที่ฉีดของเหลวให้แตกตัวเป็นหยดเล็กๆ ซึ่งอาจสูงตั้งแต่ 400 ถึง 10,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว (psi) ขนาดของละอองของเหลวขึ้นอยู่กับความดันและขนาดของรูหัวฉีดเป็นสำคัญ นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการทำแห้งด้วยวิธีพ่นฝอยยังขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทความร้อนของการสัมผัสระหว่างหยดเล็กๆ กับอากาศร้อนอีกด้วย (พรศักดิ์ และสมยศ, 2533)

ดังนั้นการแปรรูปผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำข้าวผสมน้ำกระเจียบให้เป็นผงด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยจะช่วยลดต้นทุนค่าวัตถุดิบลงได้ โดยการใช้ข้าวเป็นวัตถุดิบทดแทนน้ำมัน และยังช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาและทางยาด้วยการเติมน้ำกระเจียบ นอกจากนี้ยังยืดอายุการเก็บรักษาให้นานยิ่งขึ้นและพกพาได้สะดวกมากขึ้นด้วย โดยการศึกษาครั้งนี้จะมุ่งเน้นการพัฒนาสูตรของน้ำตาลกับแพลนโยเกิร์ตและกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีพ่นฝอยที่มีผลต่อโยเกิร์ตผง เพื่อให้ทราบถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาการทำแห้งโยเกิร์ตชนิดใหม่ด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย

วิธีการศึกษา

1. การเตรียมวัตถุดิบ

1.1 การเตรียมแพลนโยเกิร์ตจากน้ำข้าว

ขั้นตอนแรกให้ผสมข้าวกับน้ำในอัตราส่วน 1:10 จากนั้นต้มที่อุณหภูมิ 80-90 °ซ. นาน 40 นาที และกรองด้วยผ้าขาวบาง จะได้ข้าวต้มที่ไม่มีสิ่งเจือปน หลังจากนั้นชั่งน้ำข้าวให้ได้น้ำหนัก 850 กรัม เติมนมผง 100 กรัมและน้ำตาลทราย 56 กรัม ผสมให้เป็นเนื้อ

เดียวกันแล้วนำไปต้มฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 72-75 °ซ. นาน 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นก่อนที่จะเติมเชื้อโยเกิร์ต (ยี่ห้อดัชชี แบบ plain yoghurt, บริษัท ดัชมิลล์ จำกัด, นครปฐม, ประเทศไทย) จำนวน 150 กรัม แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 42±1 °ซ. นาน 6 ชั่วโมง

1.2 การเตรียมน้ำกระเจียบ

นำดอกกระเจียบแห้งมาผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:10 แล้วต้มที่อุณหภูมิ 80-90 °ซ. นาน 30 นาที กรองเอาดอกกระเจียบออกจะได้น้ำกระเจียบที่มีสีม่วงแดง ใช้เติมลงในแพลนโยเกิร์ตเพื่อเตรียมโยเกิร์ตพร้อมดื่ม

2. กระบวนการผลิตโยเกิร์ตชนิดผง

นำแพลนโยเกิร์ตน้ำข้าวที่เตรียมได้จากข้อ 1.1 มาปั่นนาน 10 วินาที แล้วเติมน้ำกระเจียบที่เตรียมได้จากข้อ 1.2 ลงไป เติมน้ำตาล (โดยสัดส่วนของแพลนโยเกิร์ต น้ำกระเจียบ และน้ำตาลเป็นไปตามสูตรการทดลอง) แล้วจึงเติม Maltodextrin ปริมาณ 10% ลงไป ปั่นอีกครั้งนาน 20 วินาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผสมระหว่างแพลนโยเกิร์ตน้ำข้าวกับน้ำกระเจียบเรียกว่า “โยเกิร์ตพร้อมดื่ม (Drinking yoghurt)”

จากนั้นนำโยเกิร์ตพร้อมดื่มที่ได้ใส่ในกรวยแยก (Separation funnel) ขนาด 1 ลิตร เปิดเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ปรับตั้งอุณหภูมิและความดันของอะตอมไมเซอร์ตามสูตรการทดลอง ทำการหยดโยเกิร์ตพร้อมดื่มอย่างต่อเนื่อง จากนั้นปล่อยให้เครื่องทำงานจนกระทั่งโยเกิร์ตพร้อมดื่มถูกบ้อนเข้าไปจนหมด เปิดถึงด้านล่างโดยมีภาชนะมารองรับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงที่ได้

3. การวางแผนการทดลอง

3.1 การศึกษาปริมาณน้ำตาลในช่วง 5-20% (โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำกระเจียบ) และโยเกิร์ตในช่วง

50-85% (โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำกระเจี๊ยบ) ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผง วางแผนการทดลองแบบ factorial experiment in central composite design (Table 1) โดยกำหนดอุณหภูมิและความดันของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเท่ากับ 115 °ซ. และ 4 bar ตามลำดับ

3.2 การศึกษาอุณหภูมิในช่วง 100-130 °ซ. และความดันในช่วง 3-5 bar ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผง วางแผนการทดลองแบบ factorial experiment in central composite design (Table 2) สูตรของน้ำตาลและโยเกิร์ตจะได้รับการเลือกในการทดลองที่ 3.1

3.3 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

4. การวิเคราะห์ผล

4.1 วิเคราะห์ทางด้านกายภาพ ได้แก่ Bulk density ค่าความหนืด (Cannon LV 2000) ค่าสีระบบ Hunter Lab (Minolta Model CR300, Minolta Camera Co. Ltd., Japan), a_w (Aqualab Model Series 3 USA)

4.2 วิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส ได้แก่ 9 point hedonic scale

Table 1 Formulation of sugar and yoghurt for powdered yoghurt containing rice water and roselle juice

Treatment	Sugar (g/100 g green tea juice)	Yoghurt (g/100 g green tea juice)
1	20	85
2	20	50
3	5	85
4	5	50
5	12.5	67.5
6	12.5	67.5

Table 2 Formulation of temperature and pressure for powdered yoghurt containing rice water and roselle juice

Treatment	Temperature (°C)	Pressure (bar)
1	130	5
2	130	3
3	100	5
4	100	3
5	115	4
6	115	4

Temperature means temperature in chamber. Pressure means atomizer pressure.

4.3 วิเคราะห์ทางด้านเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เถ้า กรดทั้งหมด และน้ำตาลรีดิวซ์ (AOAC, 2000)

4.4 วิเคราะห์ทางด้านจุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรียกลุ่มแลคติกแอซิด (AOAC, 2000)

4.5 วิเคราะห์ทางสถิติ ได้แก่ Excel 97 version 8.0 และ SPSS version 10.0.7

ผลการทดลอง

จากการศึกษาการเติมน้ำตาลและโยเกิร์ตในช่วง 5-20% และ 50-80% ของน้ำหนักน้ำกระเจียบตามลำดับ พบว่า การเติมน้ำตาลในปริมาณเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความหนืดลดลง ในขณะที่การเติม

แพลนโยเกิร์ตเพิ่มขึ้นทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นนอกจากนี้การเติมน้ำตาลและโยเกิร์ตเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง (L value) และค่าสีเหลือง (b value) เพิ่มมากขึ้น แต่กลับส่งผลให้ค่าสีแดง (a value) ลดลง สำหรับค่า bulk density พบว่า การเติมน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าดังกล่าวลดลง (Table 4)

สำหรับคุณสมบัติด้านเคมีนั้นพบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำตาลทำให้ค่า pH, a_w และน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มสูงขึ้น แต่ทำให้ค่าความชื้นและความเป็นกรดลดลง ส่วนการเติมแพลนโยเกิร์ตในปริมาณเพิ่มมากขึ้นพบว่าช่วยเพิ่มค่า pH และปริมาณกรดให้สูงขึ้น เนื่องจากในโยเกิร์ตมีกรด แลคติกที่ได้จากการย่อยน้ำตาลแลคโตสโดยจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังส่ง

Table 3 Physical properties of yoghurt varied by sugar and plain yoghurt

Sugar (%)	Plain Yoghurt (%)	Viscosity* (cP)	Bulk density (g/ml)	Color		
				L value	a value	b value
20	85	27.69	0.79	84.07	1.38	8.44
20	50	8.18	0.73	80.07	4.42	6.40
5	85	21.08	0.80	84.84	1.64	8.85
5	50	13.21	0.77	78.09	4.47	6.29
12.5	67.5	22.21	0.77	83.35	2.16	7.45
12.5	67.5	21.03	0.80	84.46	1.86	6.38

* Recovered dried yoghurt equal 18° brix total soluble solid

Table 4 Relative equation of physical properties with sugar and plain yoghurt

Relative equation	R ²
Viscosity = 15.392-(0.050*Sugar)+(0.008*Plain yoghurt)-(0.001*Sugar*Plain yoghurt)	0.906
L = 76.501+(0.171*Sugar)+(0.016*Plain yoghurt)-(0.00039*Sugar*Plain yoghurt)	0.823
a = 4.755-(0.00034*Sugar)-(0.00591*Plain yoghurt)	0.870
b = 5.475+(0.01476*Sugar)+(0.00585*Plain yoghurt)	0.840
Bulk density = 0.783-(0.0031*Sugar)	0.814

ผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย เนื่องในโยเกิร์ตมีน้ำตาลหลายชนิดที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ (Table 6)

สำหรับค่าการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำตาลให้สูงขึ้นทำให้กลิ่นกระเจี๊ยบ ความเปรี้ยว ความหวาน สี และการยอมรับโดยรวมมีคะแนนความชอบเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่การเพิ่มปริมาณแพลนโยเกิร์ตทำให้ค่าคะแนนความชอบของลักษณะดังกล่าวลดลง ยกเว้นคะแนนความชอบในด้านสีที่มีค่าเพิ่มขึ้น (Table 8)

จากสมการใน Table 8 ทำให้สามารถคาดเดาค่าคะแนนความชอบของแต่ละลักษณะ (attribute) ที่มีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลและแพลนโยเกิร์ตได้ที่มีความแม่นยำมากกว่า 70% ดังนั้นเมื่อนำปริมาณน้ำตาล และโยเกิร์ตในช่วงที่ทำการศึกษาไปแทนค่าสมการใน Table 8 จะทำให้ได้ค่าคะแนนความชอบ Table 9 ซึ่งพบว่าปริมาณของน้ำตาลและโยเกิร์ตที่ทำให้ค่าคะแนนความชอบเข้าใกล้คะแนนความชอบสูงสุด (9 point) เท่ากับ 20% และ 50% ตามลำดับ

Table 5 Chemical properties of yoghurt varied by sugar and plain yoghurt

Sugar (%)	Plain Yoghurt (%)	a_w	pH*	Acid* (%w/w)	Reducing sugar (%w/w)	Moisture content (%w/w)
20	85	0.343	3.70	1.81	42.79	3.94
20	50	0.346	3.61	1.60	45.12	2.48
5	85	0.260	3.69	2.04	51.31	1.48
5	50	0.324	3.59	1.79	45.32	3.00
12.5	67.5	0.326	3.69	1.90	44.78	2.99
12.5	67.5	0.336	3.69	1.93	45.37	2.48

* Recovered dried yoghurt equal 18° brix total soluble solid

Table 6 Relative equation of chemical properties with sugar and plain yoghurt

Relative equation	R^2
Moisture content = $3.715 - (0.077 * \text{Sugar}) - (0.0054 * \text{Plain yoghurt}) + (0.00043 * \text{Sugar} * \text{plain yoghurt})$	0.960
pH = $3.575 + (0.0015 * \text{Sugar}) + (0.00022 * \text{Plain yoghurt})$	0.794
a_w = $0.338 + (0.0006 * \text{Sugar}) - (0.00018 * \text{Plain yoghurt})$	0.945
Reducing sugar = $42.95 + (0.126 * \text{Sugar}) + (0.023 * \text{Plain yoghurt}) - (0.001 * \text{Sugar} * \text{Plain yoghurt})$	0.978
Acid = $1.836 - (0.012 * \text{Sugar}) + (0.000546 * \text{Plain yoghurt})$	0.863

Table 7 Sensory properties of yoghurt varied by sugar and plain yoghurt

Sugar (%)	Plain Yoghurt (%)	Roselle flavor	Yoghurt flavor	Sourness	Sweetness	Color	Viscosity	Overall Acceptability
20	85	4.80	5.33	3.73	3.47	6.00	4.93	4.33
20	50	6.00	4.87	5.40	5.60	5.40	5.20	5.67
5	85	4.13	4.87	3.53	3.53	5.80	5.27	4.53
5	50	5.73	5.13	4.60	4.33	5.00	5.07	5.27
12.5	67.5	4.47	5.60	4.80	4.00	5.80	5.40	5.33
12.5	67.5	4.80	5.07	4.33	4.13	5.93	5.47	5.53

Sensory test used recovered dried yoghurt equal 18° brix total soluble solid

Table 8 Relative equation of sensory properties with sugar and plain yoghurt

Relative equation	R ²
Roselle flavor = $5.834 + (0.0123 * \text{Sugar}) - (0.0037 * \text{Plain yoghurt})$	0.838
Sourness = $4.603 + (0.0619 * \text{Sugar}) - (0.00186 * \text{Plain yoghurt})$	0.920
Sweetness = $3.927 + (0.104 * \text{Sugar}) - (0.000764 * \text{Plain yoghurt}) + (0.00019 * \text{Sugar} * \text{Plain yoghurt})$	0.962
Color = $4.786 + (0.029 * \text{Sugar}) + (0.0019 * \text{Plain yoghurt})$	0.807
Overall acceptability = $5.412 + (0.0352 * \text{Sugar}) - (0.00116 * \text{Plain yoghurt})$	0.783

Table 9 Hedonic score trial of sugar and plain yoghurt following sensory equation

Attribute	Sugar (%)	Plain yoghurt (%)	Hedonic score trial
Roselle flavor	20	50	5.82
Sourness	20	50	5.48
Sweetness	20	50	5.55
Color	20	85	6.10
Overall acceptability	20	50	5.83

หลังจากที่ได้ปริมาณน้ำตาล และโยเกิร์ตที่เหมาะสม จึงนำมาศึกษาสภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (20-SD Solid Distributor Pamalyne Co. Ltd., Thailand) ซึ่งจากการทดลองใช้ความร้อนในช่วง 100-130 °ซ และความดันในช่วง 3-4 bar พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งให้สูงขึ้น

ทำให้ค่าสีแดงและเหลือง (a, b value) มีค่าลดลง รวมทั้งค่า bulk density ด้วย ในขณะที่การเพิ่มความดันจะทำให้ค่าคุณสมบัติทางกายภาพทั้ง 3 มีค่าลดลง อย่างไรก็ตามอุณหภูมิและความดันมีอันตรกิริยาต่อกันซึ่งส่งผลทำให้ค่าสีแดง สีเหลือง และ bulk density เพิ่มมากขึ้น (Table 11)

Table 10 Physical properties of yoghurt varied by temperature and pressure

Temperature (° C)	Pressure (Bar)	Viscosity* (cP)	Bulk density (g/ml)	Color		
				L value	a value	b value
130	5	7.19	0.86	83.32	4.91	6.61
130	3	7.15	0.82	81.56	5.11	7.59
100	5	6.99	0.74	88.91	3.29	4.95
100	3	7.32	0.82	81.97	5.22	7.00
115	4	7.46	0.84	80.03	5.19	6.89
115	4	7.07	0.79	87.22	3.77	5.57

* Recovered dried yoghurt equal 18 ° brix total soluble solid

Pressure means atomizer pressure

Table 11 Relative equation of physical properties with temperature and pressure

Relative equation	R ²
$a = 17.081 - (0.090 * \text{Temp}) - (3.848 * \text{Pressure}) + (0.029 * \text{Temp} * \text{Pressure})$	0.702
$b = 13.356 - (0.034 * \text{Temp}) - (2.808 * \text{Pressure}) + (0.018 * \text{Temp} * \text{Pressure})$	0.794
$\text{Bulk density} = 1.542 - (0.006 * \text{Temp}) - (0.240 * \text{Pressure}) + (0.002 * \text{Temp} * \text{Pressure})$	0.856

L, a, b mean color system by Hunter Lab

สำหรับคุณสมบัติด้านเคมีพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ค่าความชื้น pH และความเป็นกรดลดลง ส่วนการเพิ่มความดันทำให้ค่าความชื้นและค่า pH ลดลง แต่ทำให้ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (Table 13)

อุณหภูมิและความดันในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นส่งผลต่อค่าทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นโยเกิร์ต และความหวาน โดยพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งให้สูงขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าคะแนนความชอบในด้านสี และกลิ่นโยเกิร์ตเพิ่มมากขึ้น แต่ทำให้ค่าความหวานลดน้อยลง ส่วนการเพิ่มความดันก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับการเพิ่มอุณหภูมิ

เมื่อนำสมการทำนายค่าคะแนนความชอบ Table 14 มาแทนค่าอุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม และทำให้ได้ค่าคะแนนความชอบของทั้ง 3 ลักษณะ

สูงสุด พบว่า อุณหภูมิที่ 100 ° ซ. และความดันที่ 5 bar เป็นสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งโยเกิร์ต น้ำข้าวผสมน้ำกระเจี๊ยบชนิดผงด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (Table 15)

สรุปและวิจารณ์

สูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้แก่ น้ำตาล : แพลนโยเกิร์ต : น้ำกระเจี๊ยบ เท่ากับ 1 : 2.5 : 5 และสภาวะการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย คือ อุณหภูมิ 100 ° ซ. ความดันของอะตอมไมเซอร์เท่ากับ 5 bar เมื่อนำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพ พบว่า ค่าสี L, a, b มีค่าดังนี้ 88.91, 3.29 และ 4.95 ตามลำดับ ค่า bulk density เท่ากับ 0.74 g/ml ค่า aw เท่ากับ 0.252 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

Table 12 Chemical properties of yoghurt varied by temperature and pressure

Temperature (° C)	Pressure (Bar)	a _w	pH*	Acid* (%w/w)	Reducing sugar (%w/w)	Moisture content (%w/w)
130	5	0.271	3.65	1.24	38.51	2.00
130	3	0.251	3.61	1.24	39.02	1.98
100	5	0.252	3.65	1.29	38.60	2.47
100	3	0.283	3.63	1.27	38.82	2.50
115	4	0.287	3.64	1.29	38.94	1.99
115	4	0.225	3.63	1.27	38.60	1.99

* Recovered dried yoghurt equal 18° brix total soluble solid

Table 13 Relative equation of chemical properties with temperature and pressure

Relative equation	R ²
Moisture content = $4.446 - (0.020 * \text{Temp}) - (0.098 * \text{Pressure}) + (0.001 * \text{Temp} * \text{Pressure})$	0.750
pH = $3.767 - (0.00167 * \text{Temp}) - (0.023 * \text{Pressure}) + (0.00033 * \text{Temp} * \text{Pressure})$	0.957
Acid = $1.280 - (0.00029 * \text{Temp}) + (0.038 * \text{Pressure}) - (0.00029 * \text{Temp} * \text{Pressure})$	0.723

L, a, b mean color system by Hunter Lab

Table 13 Sensory properties of yoghurt varied by temperature and pressure

Temperature (° C)	Pressure (Bar)	Roselle flavor	Yoghurt flavor	Sourness	Sweetness	Color	Viscosity	Overall Acceptability
130	5	5.20	4.93	5.73	5.67	5.07	5.20	5.93
130	3	5.33	5.00	5.40	5.33	5.20	5.47	5.80
100	5	5.40	5.73	5.40	5.80	6.13	5.40	6.13
100	3	5.20	5.20	5.93	5.80	5.33	4.93	5.87
115	4	5.60	4.80	5.27	5.60	5.67	4.73	5.47
115	4	5.60	5.13	6.33	5.87	5.73	5.47	6.13

Sensory test used recovered dried yoghurt equal 18° brix total soluble solid

Table 14 Relative equation of sensory properties with temperature and pressure

Relative equation	R ²
Color = $0.0025 + (0.0422 * \text{Temp}) + (1.95 * \text{Pressure}) - (0.0155 * \text{Temp} * \text{Pressure})$	0.875
Yoghurt flavor = $1.988 + (0.0233 * \text{Temp}) + (1.265 * \text{Pressure}) - (0.01 * \text{Temp} * \text{Pressure})$	0.740
Sweetness = $9.095 - (0.033 * \text{Temp}) - (0.566 * \text{Pressure}) + (0.005667 * \text{Temp} * \text{Pressure})$	0.762

L, a, b mean color system by Hunter Lab

Table 15 Hedonic score trial of temperature and pressure following sensory equation

Attribute	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Hedonic score trial
Color	100	5	6.22
Yoghurt flavor	100	5	5.65
Sweetness	100	5	5.83

เท่ากับ 38.60% (w/w) ปริมาณกรดเท่ากับ 1.29% (w/w) ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน และ เกลือเท่ากับ 2.47%, 0.20%, 6.90% และ 1.55% ตามลำดับ

การทำแห้งโยเกิร์ตผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้น อาจทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารไปบ้างเนื่องจากอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ได้สัมผัสกับความร้อนโดยตรง และความร่อนยังส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มแลคติกแอซิดแบคทีเรียต่ำกว่า 10 CFU/กรัม อีกด้วย ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะผลิตโยเกิร์ตน้ำขาวผสมน้ำกระเจียบแบบผงด้วยวิธีนี้ แต่ต้องคำนึงถึงการสูญเสียจุลินทรีย์ในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนซึ่งอาจต้องมีการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นให้สูงขึ้นเพื่อชดเชยการสูญเสียดังกล่าว อย่างไรก็ตามการทำแห้งด้วยวิธีนี้จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของโยเกิร์ตได้นานมากกว่าการเก็บโยเกิร์ตแบบสดและยังช่วยให้สามารถขนส่งได้สะดวกมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- จรรวรณ์ ศิริพรรณพร. 2543. โยเกิร์ตอาหารเพื่อสุขภาพ. วารสารอาหาร. 30 (4): 292-297.
- ชูเกียรติ แซ่เจีย. 2524. ปัญหาพิเศษ เรื่องกระเจียบผงที่บรรจุในถุงชา. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 67 หน้า.
- พรศักดิ์ มนัสศิริเพ็ญ และ สมยศ จรรยาวิลาส. 2533. การทำแห้งแบบพ่นฝอย. วารสารอาหาร สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 20 (4): 246-252.
- สิริวรรณ ชัยธรรมรักษ์ และ พิสิฐ ไพบุลย์เกียรติ. 2546. ผลกระทบของการทำแห้งที่มีต่อคุณลักษณะโยเกิร์ตนมข้าวโพดชนิดผง. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 100 หน้า.
- A.O.A.C. 2000. In Association of Official Analytical Chemists, 17th ed. AOAC Inc. Arlington, Virginia, USA.
- <http://www.thaidairy.org/yoghurt.htm>, 23 August 2004.
- <http://nedoac.doac.go.th>, 18 December 2004.