



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

พัฒนาผลิตภัณฑ์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำ

Development of Natural Colorant from Black Glutinous Rice

นามผู้วิจัย นางสาวดวงกมล สิมจันทร์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิจิตา จันทราพรชัย, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์วิชัย หฤทัยธนาสันต์, M.Sc.)

กรรมการ

(อาจารย์สุมนรัตน์ ชื่นพุฒิ, พบ.ม.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉรหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำ

Development of Natural Colorant from Black Glutinous Rice

โดย

นางสาวดวงกมล สิมจันทร์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2550

ดวงกมล ส้มจันทร์ 2550: การพัฒนาสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำ ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
(พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนา
ผลิตภัณฑ์ ปรธานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิรัช จันทราพรชัย, Ph.D. 118 หน้า

การสำรวจพฤติกรรมในการบริโภคอาหารที่มีสีผสมอาหารเป็นส่วนประกอบ พบว่า สีของผลิตภัณฑ์อาหารมีอิทธิพลในการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค และควรมีการใช้สีธรรมชาติเพื่อทดแทนการใช้สีสังเคราะห์ เนื่องจากมีความปลอดภัย การสำรวจพฤติกรรมในการใช้สีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารของผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก และผู้ใช้สีประเภทโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า ข้อดีของการใช้สีธรรมชาติ คือ ความปลอดภัยในการบริโภค การสำรวจพฤติกรรมในการใช้สีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารของผู้ผลิต ผู้นำเข้า และผู้จำหน่ายสีผสมอาหาร พบว่า มีความเป็นไปได้ในการใช้สีธรรมชาติเพื่อทดแทนการใช้สีสังเคราะห์ และส่วนใหญ่ให้ความสนใจที่จะซื้อ หากมีการผลิตสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำ ข้าวเหนียวดำพันธุ์เก่าคอยสะเก็ด มีค่าความสว่าง ค่าความเข้มของสี และค่ามุมของสี เท่ากับ 22.03, 5.51 และ 24.00 องศา ตามลำดับ อุณหภูมิ เวลา และการแช่เย เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงสีจากข้าวเหนียวดำ คือ อัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำ 1 : 3 (น้ำหนัก : ปริมาตร) และใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบแช่เย ที่อุณหภูมิ 62 – 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 67 - 75 นาที ทำเข้มข้นโดยการระเหยด้วยน้ำเดือดโดยใช้หม้อเทพลอนอังในหม้อสแตนเลสควบคุมอุณหภูมิที่ระดับ 87 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 80 นาที ทำแห้งสีเข้มข้นด้วยวิธีการทำแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ผงสีที่ได้ มีค่าคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ดังนี้ ค่าความสว่าง ความเข้มของสี และค่ามุมของสี เท่ากับ 34.99, 16.37 และ 42.87 องศา ตามลำดับ ค่า a_w เท่ากับ 0.30 ค่าความชื้นร้อยละ 6.75 ค่าการละลายเท่ากับ 165.40 วินาที ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด 3.40 มิลลิกรัมต่อกรัมผงสี จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 27 โคโลนีต่อกรัม และจำนวนยีสต์และรา น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ศึกษาความคงตัวของผงสีจากข้าวเหนียวดำ พบว่า สีจากข้าวเหนียวดำที่ความเป็นกรด – ด่างสูง หรือต่ำกว่าความเป็นกรด – ด่าง 7.0 และอุณหภูมิในการแปรรูปที่สูงขึ้น มีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง และมีผลทำให้ค่าสีเปลี่ยนแปลงไป การทดสอบการยอมรับผงสีจากข้าวเหนียวดำกับผู้ใช้ พบว่า ผู้ใช้พอใจในคุณภาพ และรูปแบบของผงสีจากข้าวเหนียวดำ และมีความเป็นไปได้ในการใช้ผงสีจากข้าวเหนียวดำเพื่อทดแทนการใช้สีสังเคราะห์ เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่เดิมสีจากข้าวเหนียวดำมาทดสอบการยอมรับกับผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภค ร้อยละ 98.50 ยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ และมีความสนใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำเมื่อออกจำหน่าย คิดเป็นร้อยละ 83.0

Duangkamol Luemchan 2007: Development of Natural Colorant from Black Glutinous Rice. Master of Science (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Assistant Professor Withida Chantrapornchai, Ph.D. 118 pages.

A survey of consumer behavior on colored foods revealed that color of foods had an influence on consumer's buying decision and consumers supported the use of natural colorants to substitute synthetic colors due to its safety. From the survey of natural colorant usage behavior of small enterprises and industrial users found that benefit of natural colorant usage was its harmlessness. The survey of natural colorant usage behavior of colorant manufacturers, colorant importers and colorant distributors showed that there is possibility in substitution of synthetic colorants by natural colorants. They also showed their interest in buying natural colorant from black glutinous rice (BGR), if it is produced. Color values L^*C^*h of BGR (Kum Doi Saket) were 22.03, 5.51 and 24.00 ° respectively. Time, temp and shaking are factors affecting colorant extraction from BGR. Optimum extraction conditions were BGR : water ratio of 1 : 3 (w : v), shaken in water bath at 62 - 65 °C for 67 – 75 minutes, concentrated the extracted solution by evaporating in teflon pot, which water - bathed in stainless pot at 87 ± 2 °C for 80 minutes. Concentrated colorant was dried using tray dryer at 50 °C for 9 hours. The physical, chemical and microbiological properties were: the color values $L^* C^* h$ of 34.99 16.37 42.87 ° respectively, a_w of 0.30, 6.75 % moisture content, solubility was 165.40 seconds, total anthocyanin were 3.40 mg/g colorant powder, total microbial count 27 CFU/g, yeast and mold was less than 10 CFU/g. Stability study of colorant powder from BGR found that increasing or decreasing pH from 7.0, and higher processing temperature tended to decrease total anthocyanin content and change the color values. Acceptability test of BGR colorant powder indicated that user satisfied in quality and form of colorant powder and suggested that there is possibility in substitution of synthetic colorants by BGR colorants. Consumer 98.5 % accepted the ice-cream, which was added BGR colorant and 83.0 % were interested in buying them, if they are available in the market.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิษุฒา จันทราพรชัย ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนการวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษา แนะนำในระหว่างดำเนินการวิจัย และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์วิชัย หุททัยธนาสันต์ กรรมการวิชาเอก อาจารย์สุมนรัตน์ ชื่นพุฒิ กรรมการวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุดสาย ศรีวานิช ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย และคณาจารย์ ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ทุกท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์วิชัย หุททัยธนาสันต์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ในการผลิตผงสีจากข้าวเหนียวดำ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายประกันคุณภาพ และวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ โรงงานเซอร์รี่ไอศกรีม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตอบแบบสอบถาม ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่พัฒนาผลิตภัณฑ์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการวิจัย ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ในการทำงาน

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ชาย และน้องสาว รวมทั้งผู้มีพระคุณที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ สำหรับความรัก ความห่วงใย และความเข้าใจ ที่ทุกท่านมีให้แก่ข้าพเจ้าเสมอมา สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และวางรากฐานการศึกษาแก่ข้าพเจ้า หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอน้อมรับไว้เพียงผู้เดียว

ดวงกมล ลิ้มจันทร์

เมษายน 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	33
อุปกรณ์	33
วิธีการ	36
ผลและวิจารณ์	49
สรุปและข้อเสนอแนะ	84
สรุป	84
ข้อเสนอแนะ	87
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	88
ภาคผนวก	94
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพ	95
ภาคผนวก ข แบบสอบถาม	100
ภาคผนวก ค การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง การคำนวณค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก และการกำหนดระดับความสำคัญ	115
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	118

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ส่วนประกอบคุณค่าทางอาหารของข้าวเหนียวดำ	7
2	แอนโทไซยานินที่พบในธรรมชาติ	10
3	แอนโทไซยานินในผักและผลไม้บางชนิด	11
4	การเปลี่ยนแปลงค่าความยาวคลื่นสูงสุดและระดับสีของแอนโทไซยานินที่ ความเป็นกรด – ต่างช่วงต่าง ๆ	13
5	การใช้มอลโทเดกซ์ทรินในอาหารประเภทต่าง ๆ	30
6	ค่าการละลายของมอลโทเดกซ์ทรินในน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	31
7	ปัจจัย และระดับที่ใช้ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ	39
8	แผนผังการทดลองแบบแฟกทอเรียล แอนด์ เบอร์แมน สำหรับการคัดเลือกปัจจัย ที่มีผลต่อการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ	39
9	สิ่งทดลองที่ใช้ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ	41
10	ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคทั่วไป	50
11	ความคิดเห็น และพฤติกรรมในการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสีผสมอาหาร เป็นส่วนประกอบของผู้บริโภคทั่วไป	52
12	ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ใช้สีผสมอาหารประเภทผู้ผลิตอาหาร ขนาดเล็ก และผู้ใช้สีประเภทโรงงานอุตสาหกรรม	53
13	ความคิดเห็น และพฤติกรรมในการใช้สีในผลิตภัณฑ์อาหารของผู้ใช้สีผสม อาหารประเภทผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก และผู้ใช้สีประเภทโรงงาน อุตสาหกรรม	55
14	สีที่ผู้ใช้สีผสมอาหารประเภทผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก และผู้ใช้สีประเภท โรงงานอุตสาหกรรมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร	56
15	ปัจจัยสำคัญที่ผู้ตอบแบบสอบถามใช้ในการตัดสินใจซื้อสีผสมอาหาร	56
16	ข้อมูลเกี่ยวกับความสนใจที่จะซื้อ และรูปแบบของสีธรรมชาติจากข้าวเหนียว ดำของผู้ใช้สีผสมอาหารประเภทผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก และผู้ใช้สีประเภท โรงงานอุตสาหกรรม	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายสืผสมอาหาร	58
18	ความคิดเห็น และพฤติกรรมเกี่ยวกับสืผสมอาหารของผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายสืผสมอาหาร	60
19	สืผสมอาหารที่ผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่าย ผลิต นำเข้า หรือจำหน่ายมากที่สุด	61
20	ค่าคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของข้าวเหนียวดำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด	62
21	ค่าระดับนัยสำคัญของอัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำ อุณหภูมิ เวลา และการเขย่าต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด	63
22	ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) ที่อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดต่าง ๆ	64
23	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ) ที่อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการสกัดต่าง ๆ	65
24	สมการลำดับที่สองของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดของสีจากข้าวเหนียวดำ	66
25	ค่าสี $L^*a^*b^*C^*h$ ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดของสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำที่เวลาในการทำเข้มข้นต่าง ๆ	69
26	ค่าสี $L^*a^*b^*C^*h$ ค่า a_w ค่าการละลาย ความชื้น และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของผงสีที่ผ่านการทำให้แห้งโดยวิธีการทำแห้งแบบถาดที่สภาวะต่าง ๆ	72
27	ค่าสี $L^*a^*b^*C^*h$ ค่า a_w ค่าการละลาย ความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของผงสีที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยวิธีการทำแห้งต่าง ๆ	74
28	ค่าคุณภาพของผงสีจากข้าวเหนียวดำที่ผ่านการทำให้แห้งแบบถาดในระดับนําร่อง	76
29	ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ค่าสี $L^* C^* h \Delta E^*$ ของสารละลายสีจากข้าวเหนียวดำที่อุณหภูมิในการแปรรูปและความเป็นกรด – ด่างต่าง ๆ	79
30	ลักษณะทางประชากรศาสตร์จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค	82
31	ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบ และระดับความชอบของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ	83

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
32	การยอมรับ และการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำของผู้บริโภค	83
ตารางผนวกที่		
ก1	การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรด – ต่างต่าง ๆ	99

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ข้าวเหนียวดำ	6
2 โครงสร้างของฟลาเวียม (Flavylium cation หรือ 2 - Phenylbenzopyrylium)	8
3 สารประกอบแอนโทไซยานิดิน	9
4 การเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่สกัดจากผิวองุ่น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด – ด่าง	12
5 โครงสร้างมอลโทเดกซ์ทริน	29
6 กระบวนการคัดเลือก และทำความสะอาดข้าวเหนียวดำ	38
7 กระบวนการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ	40
8 กราฟคอนทัวร์ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อ (ก) ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมข้าวเหนียวดำ); (ข) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	67
9 กราฟคอนทัวร์ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมข้าวเหนียวดำ) และ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	67
10 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) และปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ) ที่เวลาในการทำเข้มข้นต่าง ๆ	69
11 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยออกแบบ โดย นายบุญชัย หฤทัยธนาสันต์ ที่สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	71
12 ความชื้น และค่า a_w ของสีจากข้าวเหนียวดำที่เวลาต่าง ๆ ณ อุณหภูมิในการทำแห้ง (ก) 50 องศาเซลเซียส; (ข) 60 องศาเซลเซียส; (ค) 70 องศาเซลเซียส	73
13 ผงสีจากข้าวเหนียวดำจากการทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง	75
14 กราฟการทำแห้งข้าวเหนียวดำที่ผ่านการสกัดสี	77
15 ข้าวเหนียวดำ (ก) ก่อนสกัดสี; (ข) หลังสกัดสี	77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
16 การศึกษาความคงตัวของผงสีจากข้าวเหนียวดำที่ความเป็นกรด – ค่า และ อุณหภูมิในการแปรรูปที่ (ก) ไม่ผ่านการให้ความร้อน (ข) พาสเจอร์ไรซ์ (ค) สเตอริไลซ์	78
17 ไอศกรีมข้าวเหนียวดำผลิตจากโรงงานเชอร์รี่ไอศกรีม	81
 ภาพผนวกที่	
ก1 ค่าสีในระบบ CIE L*C*h	96

การพัฒนาสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำ

Development of Natural Colorant from Black Glutinous Rice

คำนำ

สีของอาหารเป็นคุณลักษณะแรกที่ผู้บริโภคได้รับทางประสาทสัมผัส และใช้เป็นเครื่องบ่งชี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Bridle and Timberlake, 1997) ก่อนการรับรู้ถึงคุณลักษณะอื่น ๆ เช่น กลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัสของอาหาร แต่กรรมวิธีการผลิตอาหาร และการเก็บรักษาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี ดังนั้นในอุตสาหกรรมอาหารจึงมีความจำเป็นต้องใช้สีผสมอาหารเพื่อทดแทนสีที่สูญเสีย หรือเปลี่ยนแปลงไประหว่างการผลิตให้มีสีน่ารับประทาน เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และทำให้อาหารนั้นมีสีที่สม่ำเสมอ และมีความเป็นเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้สีส่วนใหญ่ที่นำมาใช้มักเป็นสีสังเคราะห์ เนื่องจากมีให้เลือกหลายสี สะดวกในการใช้ และมีความคงตัว ทำให้ประเทศไทยต้องนำเข้าสีสังเคราะห์จากต่างประเทศจำนวนมาก ในปี 2549 ช่วงเดือนมกราคม ถึงพฤศจิกายน การนำเข้าสีผสมอาหารมีมูลค่าถึง 30,295.54 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2549) และมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปีจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมอาหาร อย่างไรก็ตามการตรวจพบการใช้สีสังเคราะห์ผิดประเภท เช่น การใช้สีย้อมผ้าแต่งสีอาหาร หรือใช้สีถูกประเภทแต่ใช้ในปริมาณที่มากเกินไปเกินกำหนด ซึ่งทั้ง 2 กรณี จะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้ กระทรวงสาธารณสุขจึงประกาศให้สีผสมอาหารเป็นอาหารควบคุมเฉพาะ (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2522) จากอันตรายของสีสังเคราะห์ดังที่กล่าวมา ร่วมกับปัจจุบันผู้บริโภคหันมาให้ความสำคัญกับสุขภาพกันมากขึ้น สีธรรมชาติซึ่งมีความปลอดภัยมากกว่า เนื่องจากเป็นสีที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช หรือสัตว์บางชนิด และไม่อันตรายต่อผู้บริโภค จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนการใช้สีสังเคราะห์ (Francis, 1989) อย่างไรก็ตามการนำสีธรรมชาติมาใช้ผสมอาหารมีความยุ่งยาก ไม่สะดวก จึงควรมีการนำสีธรรมชาติมาทำให้อยู่ในรูปแบบที่สะดวกในการใช้ และเกิดประโยชน์ต่อส่วนรวมด้านความปลอดภัยในการบริโภคอาหารที่ต้องแต่งสี

สีจากข้าวเหนียวดำ เป็นสีธรรมชาติชนิดหนึ่งที่มีการใช้กันมาตั้งแต่โบราณอย่างปลอดภัย ข้าวเหนียวดำมีสารแอนโทไซยานินซึ่งมีความเข้มข้นสูงมากพอที่จะสกัดมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ จึงมีความน่าสนใจที่จะนำมาใช้ทดแทนสีสังเคราะห์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน การศึกษาการผลิตสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำเพื่อใช้เป็นสีผสมอาหารจึงน่าจะเป็นประโยชน์ในการเป็น

แนวทางเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมให้มีการใช้วัตถุดิบที่สามารถผลิตได้ในประเทศ และช่วยลดปริมาณการนำเข้าสินค้าสำเร็จจากต่างประเทศ ซึ่งนับว่าเป็นประโยชน์ทางเศรษฐกิจเป็นอย่างยิ่ง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสำรวจข้อมูลทางการตลาด ความคิดเห็น พฤติกรรม และความต้องการใช้สีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหาร
2. เพื่อศึกษาคุณภาพของข้าวเหนียวดำ
3. เพื่อศึกษาการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ
4. เพื่อศึกษาเวลาในการทำเข้มข้นสีจากข้าวเหนียวดำ
5. เพื่อศึกษากรรมวิธีการทำแห้งสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำที่เหมาะสม
6. เพื่อศึกษาความคงตัวของผงสีจากข้าวเหนียวดำ
7. เพื่อทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ผงสีจากข้าวเหนียวดำ

การตรวจเอกสาร

1. สีผสมอาหาร

ศิวาพร (2535) กล่าวว่า สีเป็นปัจจัยแรกที่ดึงดูดให้ผู้บริโภคตัดสินใจเลือก และยอมรับอาหารนั้น ๆ เพราะสีเป็นสิ่งที่กระทบประสาทสัมผัสของผู้บริโภค และเป็นคุณลักษณะที่แสดงให้ผู้บริโภคทราบว่าอาหารนั้นมีคุณภาพอย่างไร เช่น แก่หรืออ่อน เกาหรือใหม่ เป็นต้น ในการแปรรูปอาหารมักพบปัญหาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของสีเสมอ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงมีการนำสีผสมอาหารมาใช้ เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

1.1 วัตถุประสงค์ของการใช้สีผสมอาหาร

1.1.1 เพื่อช่วยแต่งสีของผลิตภัณฑ์อาหารให้คล้ายธรรมชาติ เนื่องจากอาจมีการสูญเสียไประหว่างการแปรรูป

1.1.2 เพื่อช่วยแต่งสีของผลิตภัณฑ์อาหารให้มีความสม่ำเสมอ

1.1.3 เพื่อช่วยให้ผู้บริโภคสามารถจำแนกกลิ่นรสของอาหารได้

1.1.4 เพื่อช่วยให้ผู้บริโภคสามารถประเมินคุณภาพของอาหารชนิดนั้น ๆ ได้

1.2 ประเภทของสีผสมอาหาร

Henry (1996) ได้แบ่งประเภทของสีอินทรีย์ (Organic food colors) ที่มีการใช้ในอาหารทั่ว ๆ ไป เป็น 3 ประเภท

1.2.1 สีธรรมชาติ เป็นสีที่เป็นสารอินทรีย์ที่ได้มาจากแหล่งวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น พืช หรือสัตว์ที่บริโภคได้ เช่น เคอร์คูมิน (Curcumin) ซึ่งได้จากขมิ้น ไบซิน (Bixin) ซึ่งได้จากเมล็ดคำแสด และแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ซึ่งได้จากผัก ผลไม้ที่มีสีแดง

1.2.2 สีสังเคราะห์ เป็นสีที่ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่มีการผลิตขึ้นโดยกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี สีสังเคราะห์ แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ ดายส์ (Dyes) และเลคส์ (Lakes) โดยที่ดายส์เป็นสีสังเคราะห์ที่ละลายน้ำได้ดี แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ส่วนใหญ่ จึงเหมาะที่จะใช้กับอาหารที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ ส่วนเลคส์เป็นสีสังเคราะห์ที่ละลายได้ในน้ำมัน จึงเหมาะกับการใช้กับอาหารประเภทน้ำมันและไขมัน สีสังเคราะห์ที่มีการใช้ในอาหาร เช่น แอโซรูบิน (Azorubin) เอริโทโรซิน (Erythrosine) ซันเซตเยลโลว์ (Sunset yellow) คาร์โมอิซิน (Carmoisine) และทาร์ทราซีน (Tartrazine) เป็นต้น

1.2.3 สีอินทรีย์ เป็นสีธรรมชาติที่ไม่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต และเป็นสีอีกชนิดหนึ่งที่มีการใช้กันมาก เช่น ทิทาเนียมไดออกไซด์ และผงถ่าน เป็นต้น

2. ข้าวเหนียวดำ

ข้าวเหนียวดำ (*Oryza sativa* L.) มีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Black glutinous rice เป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Gramineae (นิคิรี และ พยอม, 2534) หรือเรียกตามภาษาพื้นเมืองของทางภาคเหนือว่า ข้าวก่ำ ซึ่งเป็นการเรียกตามลักษณะสีของเมล็ดที่มีสีม่วงดำ หรือแดงก่ำ แสดงดังภาพที่ 1 นิยมปลูกมากในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พันธุ์ข้าวเหนียวดำมีลักษณะเป็นข้าวพันธุ์ไวแสง และเป็นข้าวเหนียวปลูกได้เฉพาะฤดูนาปี นอกจากนี้ข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมืองจะมีความสามารถในการทนแล้งและการฟื้นตัวจากแล้งได้ดี ด้านทานต่อเพลี้ยจักจั่นสีเขียว ลักษณะเฉพาะที่แตกต่างไปจากข้าวทั่วไปที่เห็นอย่างชัดเจน คือการปรากฏของสีม่วงบนส่วนต่าง ๆ ของต้น เช่น กาบใบ แผ่นใบ กลีบดอก เปลือกเมล็ด และเยื่อหุ้มเมล็ด เป็นต้น ปริมาณของสีจะเข้มแตกต่างกันไป เป็นลักษณะเฉพาะประจำพันธุ์ซึ่งตามภูมิปัญญาท้องถิ่น ข้าวเหนียวดำไร่ จะมีลักษณะสีม่วงเฉพาะส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดเท่านั้น ในขณะที่ข้าวเหนียวดำนา จะมีลักษณะสีม่วงปรากฏอยู่ในส่วนอื่นๆ ด้วย นอกจากนี้อาจแบ่งลักษณะประจำพันธุ์ตามสีเยื่อหุ้มเมล็ด โดยเฉพาะข้าวเหนียวดำนาเรียกตามท้องถิ่น คือ ข้าวก่ำล้วน (เมล็ดข้าวมีสีม่วงทั้งเมล็ด) กับ ข้าวก่ำผ่า (เมล็ดมีสีม่วงเพียงบางส่วน) ส่วนประกอบคุณค่าทางอาหารของข้าวเหนียวดำ แสดงดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 ข้าวเหนียวดำ

ที่มา: Anonymous (2007)

รงควัตถุที่ทำให้เกิดสีในพืช แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้ คือ คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) มีสีเขียว แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) มีสีเหลืองจนถึงแดง และฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) โดยมีรงควัตถุที่สำคัญ คือ แอนโทไซยานิน มีตั้งแต่สีแดงจนถึงสีม่วง หรือสีน้ำเงิน พบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วสีที่ปรากฏขึ้นบนส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวเหนียวดำเกิดจากรงควัตถุแอนโทไซยานินและรงควัตถุที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ข้าวเหนียวดำมีสารประกอบที่ให้สี คือ แอนโทไซยานิน โดยมีไซยานิดิน (Cyanidin) เป็นองค์ประกอบและเรียกข้าวชนิดนี้ว่า “Purple rice” รงควัตถุกลุ่มนี้จะให้สีบนต้นข้าวแตกต่างกันไป ตั้งแต่สีชมพูจนถึงสีม่วงดำ และมีการกระจายรงควัตถุไปตามส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวแตกต่างกันตามสายพันธุ์ ส่วนใหญ่จะพบรงควัตถุ และให้สีในทุกส่วนของต้นข้าวที่เป็นลำต้นและใบ และเกือบทุกส่วนของช่อดอก ยกเว้นในส่วนของเอมบริโอ หรือ เอนโดสเปิร์มที่ไม่พบการกระจายของรงควัตถุแอนโทไซยานิน จะอยู่ในแคววโอลที่อยู่ชั้นของ เอพิเอดอร์มอลเซลล์ของใบ ดอก และผลของพืช และโครงสร้างของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไป เมื่อค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ในแคววโอลเปลี่ยนไป ถ้าความเป็นกรด - ด่างน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 จะให้สีส้มแดง ถ้าความเป็นกรด - ด่างมากกว่า 6 จะไม่มีสี ถ้าความเป็นกรด - ด่างน้อยกว่า 6 จะให้สีน้ำเงินถึงม่วง แอนโทไซยานินสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น แอลกอฮอล์ และสามารถละลายได้ในน้ำ (วิไลลักษณ์, 2541)

โดยทั่วไปแล้ว ลักษณะของการแสดงออกของสีในพืชจะเป็นการแสดงออกที่คงที่มากกว่า ลักษณะพื้นฐานอื่น ๆ ที่เป็นลักษณะคุณภาพ (Qualitative characters) ถึงอย่างไรก็ตามยังคงมี

เงื่อนไขของสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการปรากฏของสี เช่น ระยะของการเจริญเติบโต อุณหภูมิ หรือแสงอาทิตย์ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่อการสังเคราะห์ และการสลายตัวของแอนโทไซยานิน ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินและความเข้มของสีที่ปรากฏเปลี่ยนไป

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบคุณค่าทางอาหารของข้าวเหนียวดำ

ส่วนประกอบ	ปริมาณ
พลังงาน	364.00 กิโลแคลอรี
ความชื้น	11.80 กรัม
โปรตีน	8.20 กรัม
ไขมัน	3.00 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	76.10 กรัม
เส้นใย	4.90 กรัม
เถ้า	0.90 กรัม
แคลเซียม	26.00 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	65.00 มิลลิกรัม
เหล็ก	2.30 มิลลิกรัม
เบต้าแคโรทีน	16.00 มิลลิกรัม
วิตามินเอ	3.00 มิลลิกรัม
ไทอามิน	0.55 มิลลิกรัม
ไรโบฟลาวิน	0.29 มิลลิกรัม
ไนอาซิน	0.60 มิลลิกรัม

ที่มา: กรมอนามัย (2521)

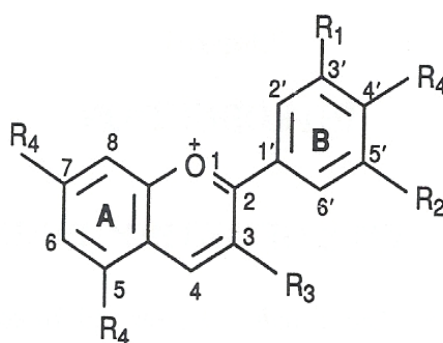
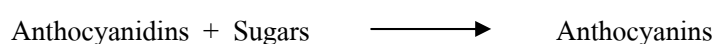
ข้าวเหนียวดำพันธุ์เก่าดอยสะเก็ด

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ เป็นข้าวเหนียวดำ ประเภทพืชล้มลุกวงศ์หญ้า เป็นข้าวเหนียวตอบสนองต่อช่วงไวแสง ระบบรากฝอย ลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น มีการแตกกอเฉลี่ย 9 กอต่อต้น มีความสูงเฉลี่ย 141 เซนติเมตร สีของลำต้นเป็นสีม่วง มีปล้องสีม่วง ส่วนเขียวใบก็เป็นสีม่วง

เช่นกัน รูปร่างของใบเป็นแบบใบแคบ มีสีม่วงทั้งกาบใบและตัวใบ มีเส้นกลางใบเป็นสีม่วง ลักษณะช่อดอกเป็นแบบรวง (Panicle) ดอกเดี่ยวสมบูรณ์เพศ กลีบดอกรอง (Sepal) มีสีม่วง กลีบดอก (Petal) ก็มีสีม่วง มีเกสรตัวผู้สี่เหลี่ยม เกสรตัวเมียสีม่วง ลักษณะของเมล็ดมีเปลือกสีม่วง เชื้อหุ้มเมล็ด (Pericarp) สีม่วง เมล็ดเรียวยาว ขนาดเมล็ดกว้าง 0.33 เซนติเมตร ยาว 0.97 เซนติเมตร ส่วนจำนวนเมล็ดต่อรวงเฉลี่ย 120 เมล็ด มีโครโมโซม $2n = 24$ เป็นแบบ Symmetrical karyotype ลักษณะการบานดอกมีการตอบสนองต่อช่วงแสงสั้น อายุการออกดอก 86 วัน มีระยะเวลาการบานดอกจากดอกแรกถึงการบานร้อยละ 90 นาน 15 วัน อายุการเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 111 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 360 กรัมต่อตารางเมตร มีแป้งเฉลี่ยร้อยละ 4.96 มีปริมาณโปรตีนสูง มีการพองตัวและการละลายน้ำของแป้งข้าวสูง (สำนักงานคุ้มครองพันธุ์พืช, 2548)

3. แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่มีสีในช่วงสีแดงถึงสีน้ำเงิน พบในผัก ผลไม้ และดอกไม้หลายชนิด เช่น ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบแดง ผลองุ่น และผลสตอเบอรี่ เป็นต้น แอนโทไซยานินเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ มีโครงสร้างหลักเป็น $C_6C_3C_6$ ซึ่งเป็นอนุพันธ์โพลีไฮดรอกซีของสารฟลาเวียม หรือ 2-Phenylbenzopyrylium ดังภาพที่ 2 โมเลกุลประกอบด้วยแอนโทไซยานิดิน หรือเรียกว่า อะไกลโคโคน (Aglycone) จับกับน้ำตาลด้วยพันธะเบต้า-ไกลโคซิดิก (β -glycosidic) (Markakis, 1982)

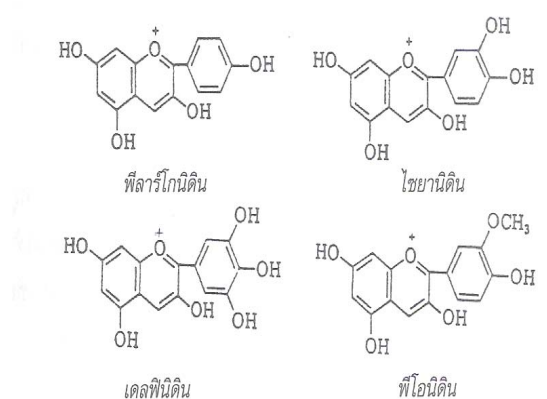


ภาพที่ 2 โครงสร้างของฟลาเวียม (Flavylium cation หรือ 2-Phenylbenzopyrylium)

ที่มา: Mazza and Miniati (1993)

ในธรรมชาติจะพบแอนโทไซยานิดินมากกว่า 15 ชนิด เรียกชื่อแตกต่างกันขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล และหมู่เมทอกซิล (Methoxyl, $-\text{OCH}_3$) ดังตารางที่ 2

สารประกอบแอนโทไซยานิดินที่พบมาก และอยู่ในรูปของออกโซเนียมไอออน (Oxonium ion) คือ ที่ออกซิเจนอะตอมมีประจุบวก ได้แก่ ไซยานิดิน ฟิลาโรโกนิน เดลฟินิดิน และพีโอนิน ซึ่งมีสูตรโครงสร้าง ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 สารประกอบแอนโทไซยานิดิน

ที่มา: นิธิยา (2545)

ตารางที่ 2 แอนโทไซยานิดินที่พบในธรรมชาติ

ชื่อ	การแทนที่ในตำแหน่งของโครงสร้างฟลาโวนิเดียม							สี
	3	5	6	7	3'	4'	5'	
เอพิจินนิน	H	OH	H	OH	H	OH	H	ส้ม
ออรานทีนิน	OH	OH	OH	OH	H	OH	H	ส้ม
คาเพนซินนิน	OH	OMe	H	OH	OMe	OH	OMe	น้ำเงินถึงแดง
ไซยานิดิน	OH	OH	H	OH	OH	OH	H	ส้มถึงแดง
เคลฟิโนนิน	OH	OH	H	OH	OH	OH	OH	น้ำเงินถึงแดง
ยูโรฟิโนนิน	OH	OMe	H	OH	OMe	OH	OH	น้ำเงินถึงแดง
เฮอซูทินนิน	OH	OH	H	OMe	OMe	OH	OMe	น้ำเงินถึงแดง
6 - ไฮดรอกซีไซยานิดิน	OH	OH	OH	OH	OH	H	-	แดง
ลูทีโอลินนิน	H	OH	H	OH	OH	OH	H	ส้ม
มัลวิน	OH	OH	H	OH	OMe	OMe	OMe	น้ำเงินถึงแดง
5 - เมทิลไซยานิดิน	OH	OMe	H	OH	OH	H	-	ส้มถึงแดง
ฟิลาโรโกนิน	OH	OH	H	OH	H	OH	H	ส้ม
ฟิโอนิน	OH	OH	H	OH	OMe	OH	H	ส้มถึงแดง
ฟิทุนิน	OH	OH	H	OH	OMe	OH	OH	น้ำเงินถึงแดง
พัลเชลลิดิน	OH	OMe	H	OH	OH	OH	OH	น้ำเงินถึงแดง
โรซินนิน	OH	OH	H	OMe	OMe	OH	H	แดง
ไทรซิทีนิน	H	OH	H	OH	OH	OH	OH	แดง

หมายเหตุ H หมายถึง หมู่ไฮโดรเจน

OH หมายถึง หมู่ไฮดรอกซิล

OMe หมายถึง หมู่เมทอกซิล

ที่มา: ดัดแปลงจาก Mazza and Miniati (1993)

แอนโทไซยานิดินในผัก ผลไม้ ต่าง ๆ จะมีอัตราส่วนและปริมาณที่แตกต่างกันไป เนื่องจากแอนโทไซยานิดินมักจะอยู่ในรูปอิสระในเซลล์ของพืช จึงส่งผลต่อความคงตัวของสีเมื่อเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ แอนโทไซยานิดินในผักและผลไม้บางชนิด แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แอนโทไซยานินในผัก และผลไม้บางชนิด

ชนิดของผักและผลไม้	แอนโทไซยานิน
แครนเบอร์รี่	ฟิโอนิดิน
แอปเปิ้ล	ไซยานิดิน
แบลคเคอร์แรนต์	ไซยานิดิน และเคลฟีนิดิน
บลูเบอร์รี่	ไซยานิดิน เคลฟีนิดิน มอลวิดิน ฟิทุนิดิน และฟิโอนิดิน
กะหล่ำปลีแดง	ไซยานิดิน
เชอร์รี่	ไซยานิดิน และฟิโอนิดิน
ส้ม	ไซยานิดิน และเคลฟีนิดิน
ท้อ	ไซยานิดิน
พลัม	ไซยานิดิน และฟิโอนิดิน
เรดิช	ฟิลาโรโกนิน
ราสป์เบอร์รี่	ไซยานิดิน
สตรอเบอร์รี่	ฟิลาโรโกนิน และไซยานิดิน เล็กน้อย
องุ่น	มัลวิดิน เคลฟีนิดิน ไซยานิดิน ฟิโอนิดิน ฟิทุนิดิน และฟิลาโรโกนิน
มะเขือม่วง	เคลฟีนิดิน

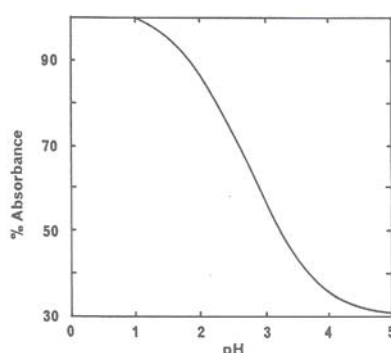
ที่มา: ดัดแปลงจาก Deman (1990)

3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินเป็นสารที่มีความไวต่อปฏิกิริยามาก เนื่องจากผลของการขาดอิเล็คตรอนของโมเลกุลแอนโทไซยานินจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสี โดยในการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากสภาวะต่าง ๆ ในกระบวนการแปรรูป และในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารนั้น ๆ Henry (1996) ได้กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน ดังต่อไปนี้

3.1.1 ค่าความเป็นกรด – ด่าง

แอนโทไซยานินมีคุณสมบัติของการบอกค่าความเป็นกรด - ด่างได้ โดยในสารละลาย ระดับสีของแอนโทไซยานินมีการเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความเป็นกรด - ด่างของสภาวะแวดล้อม คือ แอนโทไซยานินมีการเปลี่ยนแปลงจากสีแดงที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง 1.0 เป็นสีน้ำเงินถึงแดงที่ค่าความเป็นกรด - ด่างประมาณ 4.0 สีม่วงที่ค่าความเป็นกรด - ด่างประมาณ 6.0 สีน้ำเงินที่ค่าความเป็นกรด - ด่างประมาณ 8.0 เป็นสีเขียว และสีเหลืองที่ค่าความเป็นกรด - ด่างประมาณ 12.0 และ 13.0 ตามลำดับ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการใช้แอนโทไซยานินให้ได้ระดับสีที่ดีจึงควรใช้แอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดเท่านั้น โดยควรใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีค่าความเป็น กรด - ด่างไม่เกิน 4.0 นอกจากการเปลี่ยนแปลงของระดับสีตามค่าความเป็นกรด - ด่างแล้ว ค่าความเข้มของสี (Color intensity) ก็แปรผันตามค่าความเป็นกรด - ด่างด้วย กล่าวคือมีความเข้มมากที่สุดที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง 1.0 และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อค่าความเป็นกรด - ด่างสูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากกราฟค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเป็นกรด - ด่างที่แสดงในภาพที่ 4 ส่วนค่าความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงสูงสุด (Absorbion maximum) ก็แปรผันตามค่าความเป็นกรด - ด่างด้วย กล่าวคือค่าความยาวคลื่นสูงสุดจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด - ด่าง ดังตารางที่ 4



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่สกัดจากผิวองุ่นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด – ด่าง

ที่มา: Henry (1996)

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่าความยาวคลื่นสูงสุดและระดับสีของแอนโทไซยานินที่ความเป็นกรด - ต่างช่วงต่าง ๆ

ความเป็นกรด - ต่าง	ความยาวคลื่นสูงสุด (นาโนเมตร)	ระดับสี
4.0	520	แดง
4.0 – 6.0	525 – 550	ม่วงแดง - ม่วงน้ำเงิน
6.5	570 – 575	น้ำเงิน
9.0	590 - 600	น้ำเงิน

ที่มา: คัดแปลงจาก Counsell (1981)

3.1.2 ประจุบวก

ผลจากประจุบวกบางชนิด โดยเฉพาะได และไตรวาเลนท์เมทัลไอออน จากเหล็ก เหล็กกล้า และทองแดง เมื่อทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานิน ทำให้เกิดสีน้ำเงิน (Bluing) และเกิดการตกตะกอนของสีได้ ดังนั้นค่าความยาวคลื่นสูงสุดของการดูดกลืนแสงจึงเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงไม่ให้แอนโทไซยานินเกิดการสัมผัสกับเหล็ก เหล็กกล้า และทองแดง

3.1.3 ความร้อน และแสงสว่าง

แอนโทไซยานินมีคุณสมบัติในความคงตัวต่อความร้อนได้ดี โดยมีความคงตัวเพียงพอสำหรับกระบวนการผลิตที่ต้องใช้ความร้อนสูงบางชนิด เช่น แยม การต้มน้ำตาล และการผลิตผลไม้กระป๋อง ทำให้เกิดการแทนที่หมู่เอซิล (AcyI) เข้าไปในโมเลกุล ส่งผลให้มีคุณสมบัติในการทนความร้อน และแสงได้ดีเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากสีจากดอกกะหล่ำแดงที่แอนโทไซยานินถูกแทนที่ด้วยหมู่เอซิล ซึ่งทำให้มีคุณสมบัติในการคงทนต่อความร้อน และแสงที่ดีมาก

3.1.4 ออกซิเจน

แอนโทไซยานินมีแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณออกซิเจนอยู่ด้วย อัตราของการเกิดออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด - ค่าของสารละลายหรือผลิตภัณฑ์อาหาร อุณหภูมิ และความเข้มข้นของแอนโทไซยานิน โดยทั่วไปแล้วในการใช้แอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์อาหารมักจะ ไม่พบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

3.1.5 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เมื่อทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานินจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีสีเกิดขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาที่สามารถย้อนกลับได้ โดยผลจากการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ที่มีแอนโทไซยานิน และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีผลทำให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ถูกแยกออกมาเหลือเป็นแอนโทไซยานินที่มีสีเจือจางลงในผลิตภัณฑ์ ดังจะเห็นได้จากกระบวนการให้ความร้อนกับผลไม้ที่มีซัลไฟด์อยู่ ในการผลิตผลิตภัณฑ์ผลไม้เชื่อมหรือดอง ดังนั้นจึงไม่ควรใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่มีแอนโทไซยานิน แต่ควรใช้สารที่มีส่วนประกอบของเบนโซเอต และซอร์เบตแทนซึ่งจะมีความเหมาะสมมากกว่า

3.1.6 โปรตีน

แอนโทไซยานินที่สกัดได้จากองุ่นสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีน เช่น เจลาติน (Gelatin) เกิดเป็นตะกอนหรือทำให้เกิดความขุ่น แต่ปฏิกิริยานี้โดยมากมักเกิดจากสารประกอบชนิดอื่นที่ไม่ใช่เม็ดสี ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก มากกว่าเกิดจากตัวของแอนโทไซยานินเอง ทั้งนี้เนื่องจากแอนโทไซยานินที่มีความบริสุทธิ์เท่านั้นที่จะทำปฏิกิริยากับเจลาตินได้

3.1.7 เอนไซม์

เอนไซม์ที่มีผลทำให้แอนโทไซยานินสลายตัวที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด คือ กลูโคซิเดสจะย่อยสลายแอนโทไซยานินได้แอนโทไซยานิดิน กับ กลูโคไซด์ และฟีนอลเอส เมื่อมีน้ำตาลที่มีกลุ่มฟีนอลจะเกิดปฏิกิริยาทำให้สีของแอนโทไซยานินหายไป

3.2 การวิเคราะห์แอนโทไซยานิน

การวิเคราะห์แอนโทไซยานินสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

3.2.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาชนิดแอนโทไซยานินดิน และชนิดของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของแอนโทไซยานิน

3.2.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด โดยแบ่งตามลักษณะตัวอย่างได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

ก. ตัวอย่างที่มีสารประกอบซึ่งดูดกลืนแสงในช่วงเดียวกับแอนโทไซยานินปนอยู่เล็กน้อยหรือไม่มีเลย

ค่าการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 500 – 535 นาโนเมตร โดยปกติ แอนโทไซยานินที่เพิ่งสกัดจากผัก ผลไม้จะมีสารประกอบซึ่งดูดกลืนแสงช่วงเดียวกับแอนโทไซยานินอยู่เล็กน้อย ดังนั้นปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่ได้ คำนวณจากค่าการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินและสารประกอบอื่น ซึ่งดูดกลืนแสงในช่วงเดียวกับแอนโทไซยานิน

Fuleki and Francis (1968a) ศึกษาการสกัดแอนโทไซยานินจากผลแครนเบอร์รี่ โดยการใช้เอทานอลกับไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.5 นอร์มอล ในอัตราส่วน 85 : 15 โดยปริมาตรเป็นตัวทำละลายในการสกัด ขั้นตอนในการสกัด คือ เดิมตัวทำละลายลงในตัวอย่างหนัก (SW) กรัม นำมาปั่นด้วยความเร็วสูงสุดนาน 20 วินาที เทตัวอย่างลงในขวดรูปชมพู่ ล้างภาชนะที่ใช้ปั่นด้วยตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด ปิดภาชนะด้วยพาราฟิล์ม เก็บไว้ในที่มีदनาน 30 นาที จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบาง และล้างกากที่ได้ด้วยตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด นำสารละลายที่สกัดได้มากรองอีกครั้งด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 โดยอาศัยหลักการกรองแบบสุญญากาศ วัดปริมาตรสารละลายที่กรองได้ทั้งหมด (TEV) จากนั้นเปิดสารละลายที่กรองได้ (SV) ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร (DV) จากนั้นปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด เพื่อให้ค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 0.3 – 0.8 เก็บไว้ในที่มีदनาน 2 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดสมดุลของฟอร์มต่าง ๆ ของแอนโทไซยานิน จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาว

คลื่น 535 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer คำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดจากสูตรที่ 1

$$T_{Acy} = OD \times DV \times \frac{100}{SV} \times \frac{TEV}{SW} \times \frac{1}{\left(\frac{E_{1cm}^{1\%}}{10} \right)} \quad (1)$$

โดยที่

T_{Acy} คือ ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมแอนโทไซยานินต่อวัตถุดิบ 100 กรัม)

OD คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากสารละลายสกัดที่เจือจางแล้ว

DV คือ ปริมาตรของสารละลายสกัดที่เจือจางแล้ว (มิลลิลิตร)

SV คือ ปริมาตรของสารละลายสกัดที่เตรียมสำหรับเจือจาง (มิลลิลิตร)

TEV คือ ปริมาตรทั้งหมดของสารละลายที่สกัดได้ (มิลลิลิตร)

SW คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้สกัด (กรัม)

$E_{1cm}^{1\%}$ คือ ค่า Extinction coefficient ซึ่งได้จากค่าเฉลี่ยโดยน้ำหนักโมเลกุลของแอนโทไซยานินทุกตัวที่มีอยู่ในพืชตัวอย่างนั้น ๆ

ในกรณีที่ไม่มีทราบค่า $E_{1cm}^{1\%}$ ของแอนโทไซยานินในตัวอย่าง Fuleki and Francis (1968a) แนะนำให้ใช้ค่า $E_{1cm}^{1\%}$ ของผลแครนเบอร์รี่แทน ในการคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ซึ่งสามารถตัดความผิดพลาดจากการคำนวณทิ้งได้ เมื่อใช้คำนวณเปรียบเทียบปริมาณแอนโทไซยานินที่สกัดได้

นอกจากนี้อาจใช้ค่า $E_{1cm}^{1\%}$ ของแอนโทไซยานินของตัวใดตัวหนึ่งที่มีในตัวอย่างในการคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดได้

Du and Francis (1973) คำนวณปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของกลีบดอกกระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa* L.) โดยใช้ค่า $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ ของเคลฟีนิดิน-3- กลูโคไซด์ ซึ่งเป็นแอนโทไซยานินตัวหนึ่งในกลีบดอกกระเจี๊ยบแดง ซึ่งมีค่า $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ เท่ากับ 559

Tulyathan *et al.* (1993) คำนวณปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของดอกอัญชัน โดยใช้ค่า $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ ของเคลฟีนิดิน-3- กลูโคไซด์ ซึ่งเป็นแอนโทไซยานินตัวหนึ่งในดอกอัญชัน ซึ่งมีค่า $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ เท่ากับ 559

Garzon and Wrolstad (2002) คำนวณปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของสตอเบอร์รี่ โดยใช้ค่า $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ ของฟิลาโรโกนิน-3- กลูโคไซด์ ซึ่งเป็นแอนโทไซยานินตัวหนึ่งในสตอเบอร์รี่ ซึ่งมีค่า $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ เท่ากับ 433.2

ในการคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในรูปของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ ซึ่งเป็นแอนโทไซยานินตัวหนึ่งในข้าวเหนียวดำ งานวิจัยนี้อ้างอิงค่าโมลาร์แอบซอร์บติวิตี (E) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26,900 และน้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 449.2 (Wrolstad *et al.*, 2005)

ข. ตัวอย่างที่มีสารประกอบซึ่งดูดกลืนแสงในช่วงเดียวกับแอนโทไซยานินปนอยู่

บางครั้งการคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดด้วยวิธี ก. พบว่าเกิดความผิดพลาด เนื่องจากเมื่อเก็บสารละลายสกัด หรือตัวอย่างเป็นระยะเวลานาน จะเกิดการสลายตัวของแอนโทไซยานินเป็น Degradation product ซึ่งสารเหล่านี้จะมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นใกล้เคียงกับแอนโทไซยานิน ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินที่คำนวณได้ผิดพลาด จากการที่โครงสร้างของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงเมื่อความเป็นกรด - ด่างของสารละลายเปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินได้จากค่าความแตกต่างของการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ระดับความเป็นกรด - ด่างต่างกัน ได้ ทั้งนี้เพราะค่าการดูดกลืนแสงเนื่องจากการมีสารประกอบอื่นนอกเหนือจากแอนโทไซยานิน ซึ่งดูดกลืนแสงในช่วงเดียวกับแอนโทไซยานินถูกหักล้างไป วิธีการนี้เรียกว่า pH differential method

การเลือกระดับความเป็นกรด – ด่างต้องพิจารณาถึงค่าความเป็นกรด - ด่างสองค่าที่เลือกนั้น ควรให้ค่าการดูดกลืนแสงที่มีผลต่างห่างกันมากที่สุด หลักเกี่ยวกับการเลือกความเป็นกรด - ด่างบริเวณที่มีความชันสูง ซึ่งจะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเปลี่ยนแปลงได้มากเมื่อความเป็นกรด - ด่างเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด - ด่าง รอบ ๆ ค่าความเป็นกรด - ด่างที่เลือกไม่ควรทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเปลี่ยนแปลงมากนัก และแอนโทไซยานินควรมีเสถียรรูปที่ความเป็นกรด – ด่างที่เลือกใช้

Fuleki and Francis (1968b) หาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในน้ำแครนเบอร์รี่ โดยใช้หลักการ pH differential method โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างในบัฟเฟอร์ของ KCl – HCl ที่ pH 1.0 และของ CH₃COONa – HCl ที่ pH 4.5 ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร โดยที่ ความเป็นกรด - ด่าง 1.0 แอนโทไซยานินอยู่ในรูปฟลาเวียม แคตไอออน ซึ่งให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด และที่ความเป็นกรด - ด่าง 4.5 แอนโทไซยานินจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของคาร์โบนอลเบส ซึ่งให้ค่าการดูดกลืนแสงต่ำสุด ที่ความยาวคลื่นเดียวกัน ดังนั้นสามารถคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินจากค่าความแตกต่างของการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเดียวกันระหว่างสารละลายที่ระดับความเป็นกรด - ด่างต่างกัน ได้ ด้วยวิธีการนี้ค่าการดูดกลืนแสงเนื่องจากการมีสารประกอบอื่นนอกเหนือจากแอนโทไซยานิน ซึ่งดูดกลืนแสงในช่วงเดียวกับแอนโทไซยานินถูกหักล้างไป

ดังนั้น ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากสูตรที่ 2

$$T_{Acy} = \frac{\Delta OD}{Avg E_{1cm}^{1\%}} \times 0.1 \quad (2)$$

$$\text{โดยที่ } \Delta OD = T_{OD}(pH1.0) - T_{OD}(pH4.5)$$

$$T_{OD} = OD \times DV \times VF$$

DV คือ ปริมาตรสารละลายสกัดที่เจือจางไว้สำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสง (มิลลิลิตร)

VF คือ ปริมาตรสารละลายสกัดเริ่มต้น/ปริมาตรสารละลายสกัดตัวอย่าง

Bronnum-Hansen and Flink (1986) ศึกษาการสกัดแอนโทไซยานินจากผลเอลเดอเบอร์รี่ โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ ในเอทานอลโดยใช้อัตราส่วนของตัวอย่างต่อตัวทำละลายที่อัตราส่วน 1 : 2.5, 1 : 5, 1 : 10, 1 : 20 และ 1 : 40 จากนั้นคำนวณร้อยละของปริมาณแอนโทไซยานินรวม และปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้เป็นมิลลิลิตรต่อการสกัดผลเอลเดอเบอร์รี่ 100 กรัม พบว่าเมื่ออัตราส่วนของตัวอย่างต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้น ร้อยละของปริมาณแอนโทไซยานินที่สกัดได้ก็เพิ่มขึ้นด้วย โดยที่อัตราส่วนของตัวอย่างต่อตัวทำละลายที่อัตราส่วน 1 : 10 และ 1 : 20 มีร้อยละของปริมาณแอนโทไซยานินที่สกัดได้เท่ากับ 100 และ 99 ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดเอลเดอเบอร์รี่ 100 กรัม ที่อัตราส่วน 1 : 20 ใช้ปริมาตรตัวทำละลาย 400 มิลลิลิตร แต่ที่อัตราส่วน 1 : 10 ใช้ปริมาตรตัวทำละลาย 200 มิลลิลิตร ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนของตัวอย่างต่อตัวทำละลายที่อัตราส่วน 1 : 10 เนื่องจากให้ปริมาณแอนโทไซยานินสูง และใช้ปริมาตรตัวทำละลายต่ำกว่า

Metivier *et al.* (1980) ศึกษาชนิดของตัวทำละลาย และชนิดของกรดในการสกัดแอนโทไซยานินจากกากองุ่นที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตไวน์ โดยตัวทำละลายที่ใช้ได้แก่ เอทานอล เมทานอล และน้ำ กรดที่ใช้ได้แก่ ไฮโดรคลอริก ซิตริก ทาทาริก ฟอร์มิก อะซิติก และโพรพิโอนิก พบว่า เมทานอลเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการสกัดสูงกว่า เอทานอล และน้ำ ร้อยละ 20 และร้อยละ 73 ตามลำดับ และกรดไฮโดรคลอริกมีประสิทธิภาพในการสกัดสูงที่สุดที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 ในเมทานอล ส่วนกรดอินทรีย์ที่ใช้พบว่า กรดซิตริกร้อยละ 5 ในเมทานอล และกรดอะซิติกร้อยละ 30 ในน้ำมีประสิทธิภาพสูงที่สุด ทั้งนี้ชนิดของตัวทำละลายขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบโดยวัตถุดิบต่างชนิดกัน ตัวทำละลายที่ใช้มีประสิทธิภาพในการสกัดต่างกัน การเลือกชนิดของตัวทำละลายในการสกัด จึงควรคำนึงถึงความปลอดภัยของตัวทำละลาย ค่าใช้จ่าย และการกักกรอง เป็นต้น

Bronnum-Hansen and Flink (1986) พบว่า ความเป็นกรด - ด่างของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินที่สกัดได้ โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกในเอทานอลในช่วงความเป็นกรด - ด่าง 1 – 3 สกัดแอนโทไซยานินจากผลเอลเดอเบอร์รี่ พบว่า สารละลายกรดไฮโดรคลอริกในเอทานอลที่ความเป็นกรด - ด่าง 1.5 มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงที่สุด เมื่อ ความเป็นกรด - ด่างเพิ่มขึ้น ปริมาณแอนโทไซยานินที่ได้จะลดลง ความเป็นกรด - ด่างที่เหมาะสมในการสกัดขึ้นกับวัตถุดิบ และแอนโทไซยานินในตัวอย่าง

Mok and Hettiarachchy (1991) ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดแอนโทไซยานินจากเปลือกเมล็ดทานตะวันต่อความเสถียรของสี โดยสกัดที่อุณหภูมิ 65, 80 และ 95 องศาเซลเซียส และวัดค่าคงที่ของปฏิกิริยา (k) ของการสลายตัวของแอนโทไซยานิน ตัวทำละลายที่ใช้ คือ น้ำที่มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 0, 500, 1,000 และ 2,000 ส่วนต่อล้านส่วน ค่าความเป็นกรด - ด่าง 1.0, 3.0 และ 5.0 จากการศึกษาพบว่าค่าคงที่ของปฏิกิริยาลดลงเมื่อความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่ม แต่อย่างไรก็ตามค่าคงที่ของปฏิกิริยาก็ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้ความเข้มข้น 500, 1,000 และ 2,000 ส่วนต่อล้านส่วน การสกัดที่ความเป็นกรด - ด่าง 1.0 และ 5.0 ค่าคงที่ของปฏิกิริยาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ที่ความเป็นกรด - ด่าง 3.0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อุณหภูมิมีผลต่อการสลายตัวโดยค่าคงที่ของปฏิกิริยาต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 3 อุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส มีค่าคงที่ของปฏิกิริยาค่ำที่สุดเท่ากับ 0.0294 ต่อชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส มีค่าคงที่ของปฏิกิริยาสูงที่สุดเท่ากับ 0.4622 ต่อชั่วโมง แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นด้วย จึงสรุปได้ว่าการสกัดแอนโทไซยานินไม่ควรทำที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากจะทำให้แอนโทไซยานินเกิดการสลายตัวได้

Tulyathan *et al.* (1993) ศึกษาการสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน ที่อัตราส่วนดอกอัญชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย (น้ำหนักต่อปริมาตร) 1 : 120, 2 : 120, 3 : 120, 4 : 120 และ 5 : 120 ร่วมกับการเขย่า และไม่เขย่าในระหว่างการสกัด พบว่าอัตราส่วนดอกอัญชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย และการเขย่ามีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานิน โดยพบว่าที่อัตราส่วนดอกอัญชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย 3 : 120 ร่วมกับการเขย่าในระหว่างการสกัดให้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด

Gao and Mazza (1996) ศึกษาการสกัดแอนโทไซยานินจากเปลือกเมล็ดทานตะวันสีม่วง โดยใช้ตัวทำละลายในการสกัด 3 ชนิด คือ เอทานอล : กรดอะซิติก : น้ำ เท่ากับ (50 : 1 : 49) กรดอะซิติกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ และน้ำที่มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1,000 ส่วนต่อล้านส่วน เมื่อเปรียบเทียบตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด พบว่าน้ำที่มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 1,000 ส่วนต่อล้านส่วน ให้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด จากนั้นศึกษาเวลา และขนาดของเปลือกที่ใช้ในการสกัด พบว่าเวลาที่ให้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด คือ 10 นาที หลังจากนั้นปริมาณแอนโทไซยานินที่สกัดได้จะเข้าสู่สมดุลเป็นเส้นตรง และเปลือกที่ร้อนด้วยตะแกรงขนาด 40 เมส ได้อนุภาคขนาด 0.42 มิลลิเมตร ให้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าเปลือกที่ร้อนด้วยตะแกรงขนาด 20 เมส ซึ่งได้อนุภาคขนาด 0.84 มิลลิเมตร ซึ่งใหญ่กว่า แสดงให้เห็นว่าขนาดของอนุภาคมีผลต่อ

ปริมาณแอนโทไซยานิน คือ ขนาดของอนุภาคที่มีขนาดเล็กให้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าอนุภาคขนาดใหญ่

4. การสกัด

การสกัด (Extraction) เป็นการแยกสารที่ละลายได้ (Solute) ออกจากวัตถุดิบ โดยใช้สารทำละลาย (Solvent) การสกัดเป็นการแยกโดยอาศัยสัมพัทธ์สมดุล (Contact equilibrium separation process) คือให้สารทำละลายสัมผัสกับวัตถุดิบ และเกิดการถ่ายเทมวลของสารที่ละลายได้จากวัตถุดิบมาที่สารทำละลาย จนกระทั่งเกิดสมดุลการสกัดจึงสิ้นสุดลง แต่ในทางปฏิบัติอาจแยกสารทำละลายออกจากวัตถุดิบก่อนถึงจุดสมดุล การสกัดมีทั้งแบบ Solid - liquid extraction คือการสกัดที่วัตถุดิบที่เป็นของแข็งและสารทำละลายเป็นของเหลว และแบบ Liquid - liquid extraction คือการสกัดที่วัตถุดิบและสารทำละลายเป็นของเหลวที่มีคุณสมบัติไม่ผสมกัน (Immiscible liquids) (สมบัติ, 2527)

4.1 หลักการโดยทั่วไปของการสกัด

4.1.1 การแพร่ (Diffusion)

การแพร่เป็นการเคลื่อนย้ายโมเลกุลต่าง ๆ ของสารประกอบชนิดหนึ่งผ่านส่วนที่ต่อเนื่อง (Continuum) ในเฟสหนึ่งหรือผ่านผิว (Interface) ระหว่างเฟส ในการสกัดของแข็ง - ของเหลว ตัวทำละลายจะต้องแพร่เข้าไปในของแข็งเพื่อละลายตัวถูกละลายออกมา และตัวถูกละลายก็ต้องแพร่ออกจากของแข็งที่อิ่มตัวด้วยตัวทำละลายไปยังเฟสของตัวทำละลาย อัตราการแพร่หาได้จากระยะเวลาที่ต้องการให้สมดุลเกิดขึ้นระหว่างเฟสทั้งสอง ซึ่งเวลาที่ต้องการสำหรับกระบวนการแพร่เพื่อให้ถึงสมดุลเป็นสัดส่วนกลับกับกำลังสองของระยะทางการแพร่ ดังนั้นในการสกัดด้วยตัวทำละลาย ยิ่งอนุภาคมีขนาดเล็ก ระยะเวลา (Residence time) ที่ของแข็งต้องอยู่ในชั้นของการสกัดยิ่งสั้น อย่างไรก็ตาม แม้ว่าขนาดของอนุภาคของของแข็งจะมีผลต่ออัตราการสกัด คือ ยิ่งอนุภาคมีขนาดเล็ก พื้นที่ผิวสัมผัส (Interfacial area) ระหว่างของแข็งและของเหลวยิ่งมาก ทำให้อัตราการถ่ายเทองค์ประกอบที่ละลายได้เพิ่มมากขึ้นก็ตาม แต่ในกรณีที่สารเป็นอนุภาคละเอียดมาก อาจก่อให้เกิดความต้านทาน หรือยับยั้งการหมุนเวียนของตัวทำละลายที่จะผ่านชั้นของของแข็ง ทำให้พื้นที่ผิวของการสัมผัสที่มากขึ้นก็ไม่ได้ช่วยในเรื่องอัตราการถ่ายเทมวล

4.1.2 ความสามารถในการละลาย (Solubility)

ความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงสุดที่เป็นไปได้ในสารสกัดสุดท้ายที่ออกจากระบบการสกัด คือความเข้มข้นอิ่มตัว ดังนั้น อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อของแข็ง ต้องสูงพอที่เมื่อตัวทำละลายบริสุทธิ์สัมผัสของแข็งที่ส่งเข้าสู่เครื่องสกัดในตอนต้น สารละลายที่ได้หลังสมดุล ต้องมีความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นอิ่มตัวของตัวถูกละลาย ของเหลวที่ใช้เป็นตัวทำละลาย ควรจะมีความหนืดต่ำเพื่อให้เกิดการหมุนเวียนได้ดี โดยทั่วไปมักจะใช้ตัวทำละลายค่อนข้างบริสุทธิ์ในช่วงแรก แต่ขณะที่กระบวนการสกัดดำเนินต่อไป ความเข้มข้นของตัวถูกละลายจะเพิ่มขึ้น และอัตราการสกัดจะลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นลดลง และสารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น ในหลายกรณีอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการสกัด เนื่องจากความสามารถในการละลายของสารที่ต้องการสกัดจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งทำให้อัตราการสกัดสูงขึ้น นอกจากนั้นสัมประสิทธิ์ของการแพร่จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนดีขึ้นด้วย

4.1.3 สมดุล

เมื่ออัตราส่วนของตัวทำละลายต่อของแข็งมากพอที่จะทำให้ระดับของตัวถูกละลายที่ต้องการละลายออกมา สมดุลที่เกิดขึ้นจะเป็นสภาวะที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายในเฟสของของแข็งและเฟสของตัวทำละลายเท่ากัน ดังนั้นความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่อยู่ในของแข็งจะเท่ากับในเฟสของของเหลวหรือตัวทำละลาย แต่เมื่อปริมาณของตัวทำละลายไม่เพียงพอต่อการละลายตัวถูกละลายทั้งหมดที่มีอยู่ สมดุลจะพิจารณาว่าเป็นสภาวะที่ความเข้มข้นของตัวถูกละลายไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกต่อไปในทั้งสองเฟส ไม่ว่าจะมีการสัมผัสที่นานขึ้นก็ตาม อย่างไรก็ตามเพื่อให้สมดุลเกิดขึ้นจำเป็นต้องให้เฟสของของแข็งและตัวทำละลายได้สัมผัสกันเป็นเวลานานพอ (รุ่งนภา, 2544)

5. การทำเข้มข้น

การทำเข้มข้นมีหลายวิธี เช่น การระเหย (Evaporation) การทำให้เข้มข้นด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง (Freeze concentration) และการใช้กระบวนการเยื่อแผ่นสังเคราะห์เพื่อทำให้เข้มข้น (Membrane process for concentration) สำหรับ 2 วิธีหลังแม้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพดี แต่จะมีค่าใช้จ่ายหรือ

ต้นทุนการผลิตสูง ซึ่งการจะนำวิธีใดมาใช้ต้องเลือกตามความเหมาะสม กรรมวิธีการระเหยอาศัยวิธีการดังต่อไปนี้ คือ

5.1 การใช้ความร้อน โดยเกี่ยวของเหลวในหม้อที่ตั้งบนเตาไฟ หรือตั้งไฟในหม้อน้ำเดือด หรือหม้อเกี่ยวข้องกับไอน้ำ ความร้อนที่ของเหลวได้รับจะทำให้ไอน้ำระเหยออกไป ของเหลวจะงวดตลอดเวลา จนมีความเข้มข้นตามต้องการ เช่น การเกี่ยวสารละลายน้ำตาลให้งวด หรือเข้มข้นขึ้น วิธีการนี้อาหารจะได้รับอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ และถูกกับอากาศ ทำให้อาหารมีสีคล้ำ กลิ่นรสสูญเสียมาก และองค์ประกอบทางเคมีของอาหารบางอย่างเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เช่น การสูญเสียของวิตามิน เป็นต้น

5.2 การใช้ความร้อนภายใต้การลดความดัน หรือสุญญากาศ วิธีนี้ต้องกระทำในหม้อเกี่ยวลดความดัน ทำให้อุณหภูมิเดือดที่อุณหภูมิต่ำ และการดูดอากาศออก ทำให้อุณหภูมิระเหยออกไปด้วย เช่น การเกี่ยวน้ำผลไม้ให้เข้มข้น วิธีการนี้มีข้อดี ทำให้อาหารที่ได้มีคุณภาพสูงกว่าที่เกี่ยวภายใต้บรรยากาศ (สมบัติ, 2535)

การทำเข้มข้น เครื่องมือที่นำมาใช้มักจะเป็นเครื่องระเหยภายใต้สุญญากาศแบบใช้ไอน้ำ (Steam jacket) มีลักษณะเป็นหม้อต้ม สามารถควบคุมความดันภายในได้ และมีเครื่องกวนภายในหม้อสำหรับกวนสารละลายขณะร้อน ภายในหม้อปรับให้มีความดันต่ำ ซึ่งจะทำให้ไอน้ำระเหยออกมาที่อุณหภูมิต่ำ ไอน้ำที่ระเหยออกมาจะผ่านเข้าเครื่องควบแน่น และจะควบแน่นออกมาที่ท่ออีกด้านหนึ่ง การระเหยแบบนี้จะทำให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์สูญเสียน้อย โดยมีการระเหยอย่างรวดเร็ว เนื่องจากภายในเป็นระบบสุญญากาศ จึงสามารถใช้อุณหภูมิต่ำในการทำเข้มข้น (สมบัติ, 2535) ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบระเหยน้ำ มี 4 ส่วน คือ ถังหรือหม้อระเหย แหล่งกำเนิดความร้อน เครื่องควบแน่น และเครื่องสุญญากาศ เครื่องระเหยมีหลากหลายชนิด การเลือกใช้จำเป็นต้องพิจารณาระหว่างค่าใช้จ่ายในการผลิต กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ชนิดของเครื่องระเหยภายใต้สุญญากาศที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ คือ เครื่องระเหยภายใต้สุญญากาศแบบหมุน (Rotary vacuum evaporator)

ถังหรือหม้อระเหย (Evaporation vessel) เป็นส่วนที่ใส่อาหารเหลวที่ต้องการทำให้เข้มข้น และเป็นส่วนที่เกิดการระเหยน้ำ บางครั้งเรียก Boiling chamber แบบที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมมีลักษณะเป็นถัง 2 ชั้น เรียก Double jacket evaporation pan ระหว่างชั้นที่เป็นช่องว่างจะเป็นส่วนที่

ไอน้ำเข้าไปหล่อเลี้ยงให้ความร้อนแก่ระบบระเหยน้ำ มีระบบการควบตรงกลางถึงเพื่อช่วยกระจายความร้อนให้มีอัตราการระเหยเร็วขึ้น

สำหรับแหล่งกำเนิดความร้อน (Heat source) ระดับอุตสาหกรรมอาจจะใช้ไอน้ำเป็นแหล่งให้ความร้อน แต่เครื่องระเหยขนาดเล็กจะใช้เตาขดลวดไฟฟ้าหรือแหล่งให้ความร้อนจากภายนอก และต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิของระบบได้ โดยอาจจะมีตัวตัดอุณหภูมิ (Thermostat)

เครื่องควบแน่น (Condensor) ทำหน้าที่ควบแน่นไอน้ำที่ระเหยออกมาจากอาหารเหลวจะมีลักษณะเป็นท่อยาว ๆ มีท่อที่ขดวนอยู่ภายในช่องว่างโดยจะมีน้ำเย็นหล่อเลี้ยง เมื่อไอน้ำที่ระเหยขึ้นมาสัมผัสกับความเย็นก็จะรวมตัวเป็นหยดน้ำอีกครั้ง แล้วไหลออกมาอีกทาง

เครื่องสูบลูญากาศ (Vacuum pump) ที่ต่อเข้ากับเครื่องควบแน่น จะทำหน้าที่ลดความดันภายในถึงระเหยเพื่อให้เกิดสุญญากาศภายใน และทำหน้าที่ช่วยกำจัดไอหรือก๊าซอื่น ๆ ที่ไม่กลั่นตัว

5.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการระเหยภายใต้สุญญากาศ

การระเหยภายใต้สุญญากาศจะเป็นการลดความดันภายในระบบลง ทำให้เกิดการระเหยที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำ คือ 100 องศาเซลเซียส (Kyzlink, 1990) ปัจจัยที่มีผลต่อการระเหยภายใต้สุญญากาศมีดังนี้

5.2.1 ความเร็วในการหมุนเพื่อให้ตัวอย่างสัมผัสผิวร้อนที่ผนังหม้อระเหย

5.2.2 ความร้อนที่ให้กับพื้นผิว และการดึงน้ำที่เกิดการควบแน่นออกอย่างต่อเนื่อง

5.2.3 ค่าความดันต่ำ ระบบจะเป็นสุญญากาศสูง ทำให้เกิดการระเหยที่อุณหภูมิต่ำ

5.2.4 สารเริ่มต้นที่มีค่าความหนืดสูง จะมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนจะทำให้อัตราการระเหยต่ำ

5.2.5 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของไอน้ำและน้ำเดือด

6. การอบแห้งอาหารในอุตสาหกรรม

6.1 การอบแห้งโดยเครื่องอบแห้งบรรยากาศแบบกะ เครื่องอบแห้งแบบกะนี้ ใช้เมื่อมีอาหารหลายชนิดต่าง ๆ กัน และใช้เมื่ออบแห้งแต่ละครั้งไม่ค่อยมาก หรืออบแห้งตามฤดูกาล เช่น ตู้อบแห้งแบบเตาเผา (Kiln) ซึ่งยังใช้กันมากในการอบแห้งผลไม้ เครื่องอบแห้งแบบตู้ หรือถาด (Carbinet or tray) เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของเครื่องอบแห้งบรรยากาศแบบกะ เครื่องนี้จะใช้เมื่อการอบแห้งอาหารจำนวนเล็กน้อย หรือเป็นขั้นการทดลอง เครื่องอบแห้งแบบตู้ หรือถาด ประกอบด้วยตู้ที่บุด้วยฉนวน ถาดสำหรับวางชิ้นอาหาร และเครื่องมือที่จะทำอากาศร้อนไหลเวียน ลักษณะการอบแห้งของเครื่องนี้ และของแบบเตาเผา พบว่าถ้าความร้อนถ่ายเทจากลมร้อนทั้งหมด การอบแห้งในคานนี้จะเป็นคาบอัตราแห้งคงที่ ความชื้นของอากาศก็จะเข้าใกล้เส้นกระเปาะเปียก อย่างไรก็ตาม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ จึงได้มีการติดตั้งตัวให้ความร้อนภายในตู้ อีกตัวหนึ่ง ทำให้อากาศสามารถดูดซับปริมาณน้ำได้มากขึ้นต่อหนึ่งหน่วยของอากาศ แต่ในขณะที่เดียวกันอุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารก็จะสูงกว่าอุณหภูมิของกระเปาะแห้ง เมื่อเป็นเช่นนี้อาจจะต้องมีการติดตั้งตัวควบคุมอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ถ้าหากว่าอุณหภูมิสูงเกินไป

6.2 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบต่อเนื่อง ในกระบวนการทำอาหารอบแห้ง มักใช้เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ หรือแบบสายพานในลักษณะต่อเนื่อง การกระจายของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งนี้ แตกต่างกันไปตามแบบของการให้ความร้อน และการไหล การจัดให้มีการไหลของลมร้อนแบบไหนั้นขึ้นกับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ เช่น ถ้าเป็นการไหลแบบสวนกัน วิธีนี้จะให้อุณหภูมิสูงสุดที่จุดที่ปริมาณความชื้นต่ำสุด ดังนั้นจะทำให้การต้านทานต่อการอบแห้งเพิ่มขึ้น การจัดให้มีการไหลของลมแบบนี้จะป็นอันตรายต่อผลิตภัณฑ์ เพราะจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะไหม้ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาที่ไม่ใช่จากเอนไซม์ สำหรับการไหลแบบทิศทางเดียวกัน อุณหภูมิเริ่มต้นของลมสูง ดังนั้น การอบแห้งในระยะเริ่มต้นจะเร็วซึ่งเป็นที่ต้องการ แต่อาจทำลายลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้ (ไพบูลย์, 2532)

6.3 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งบรรยากาศชนิดการนำความร้อน เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ความร้อนจะถ่ายเทจากลูกกลิ้งไปยังอาหาร ลูกกลิ้งส่วนใหญ่จะทำด้วยเหล็กปลอดสนิม ภายในมีลักษณะกลวง และทำให้ร้อนด้วยไอน้ำ อาหารที่จะทำแห้งจะต้องอยู่ในรูปกึ่งเหลว (Slurry) และป้อนอาหารที่บริเวณผิวนอกของลูกกลิ้ง ซึ่งวิธีป้อนอาหารจะมีลักษณะต่าง ๆ กัน ลูกกลิ้งอาจจะเป็นลูกกลิ้งเดี่ยว หรือคู่ก็ได้ ถ้าเป็นลูกกลิ้งคู่ ความหนาของแผ่นฟิล์มอาหารที่อยู่บนลูกกลิ้งจะ

ขึ้นกับช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองซึ่งสามารถปรับได้ แต่ถ้าการป้อนอาหารบนผิวลูกกลิ้งโดยการผ่านลูกกลิ้งในอาหาร ความหนาของแผ่นฟิล์มก็จะขึ้นกับคุณสมบัติทางกายภาพของอาหาร และความเร็วของลูกกลิ้ง พารามิเตอร์ทางกายภาพที่สำคัญของของเหลวที่แรงตึงผิว และมุมสัมผัส ดังนั้นความหนาของแผ่นฟิล์มสามารถลดลงได้โดยการลดค่าแรงตึงผิว ซึ่งทำได้โดยการเติมสารลดแรงตึงผิว ซึ่งจะทำให้มุมสัมผัสของของเหลวกับโลหะมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ แต่ถ้ามีไขมัน หรือน้ำมันอยู่บนโลหะ จะมีผลต่อความสม่ำเสมอ และความหนาของของเหลวบนผิวโลหะ ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการอบแห้ง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อัตราการอบแห้งนั้นขึ้นกับการส่งผ่านความร้อน จากภายในลูกกลิ้งไปยังผลิตภัณฑ์ อัตราการอบแห้งจะเร็วขึ้นถ้าแผ่นฟิล์มอาหารบนลูกกลิ้งมีลักษณะบาง และสม่ำเสมอ

การใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งกับอาหารในปัจจุบัน ยังจำกัดอยู่กับผลิตภัณฑ์อาหารไม่กี่ชนิด เช่น มันฝรั่ง ผลิตภัณฑ์ธัญพืชสำเร็จรูป ข้อได้เปรียบของเครื่องอบแห้งแบบนี้ ได้แก่ ต้นทุนต่ำ และสามารถทำแบบต่อเนื่องที่อัตราการผลิตสูง ๆ ได้

6.4 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) การอบแห้งแบบพ่นฝอย เป็นวิธีสำคัญสำหรับการอบแห้งอาหารประเภทของเหลว เช่น ผลิตภัณฑ์นม กาแฟ และไข่ เป็นต้น

การอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ ของเหลว หรือ ของเหลวเข้มข้นจะถูกอัดฉีดเข้าในห้องซึ่งจะมีลมร้อนพ่นเข้ามา ทำให้ละอองฝอยของอาหารสัมผัสกับลมร้อน และทำให้เกิดการระเหยน้ำในละอองฝอยขึ้น อนุภาคที่แห้งจะลอยกระจายในกระแสลม แล้วลอยเข้าสู่เครื่องแยกไซโคลอน อาหารผงนี้จะถูกบรรจุหีบห่อในภาชนะ หรืออาจจะถูกส่งต่อไปเพื่อผ่านกระบวนการอื่น ๆ ก่อนก็ได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแต่ละขั้นตอนมีความยุ่งยากซับซ้อนมาก ดังนั้นคุณสมบัติของอาหารที่จะป้อนเข้าไปจะต้องควบคุมให้ถูกต้อง เช่น ความหนืด ความตึงผิว และองค์ประกอบทางเคมี นอกจากคุณสมบัติของอาหารแล้ว ตัวหัวอัดฉีด (Atomizer) ลักษณะการไหล การส่งผ่านความร้อน มวล และการแยกอาหารแห้งออกจากกระแสลม ปัจจัยเหล่านี้มีความซับซ้อนและยากที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงได้ (ไพบูลย์, 2532)

การทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นวิธีการทำแห้งที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง ทำให้น้ำระเหยออกจากอาหารได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลาในการทำแห้งสั้นมาก จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะสม่ำเสมอ คือ มีขนาดรูปร่าง และปริมาณความชื้นเหลืออยู่น้อยในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ใน

ทุก ๆ อนุภาคของผลิตภัณฑ์ (สมบัติ, 2529) Kareem and Brennan (1975) ได้กล่าวว่า การผลิตผลิตภัณฑ์ในรูปผงนี้ เป็นการทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีความเข้มข้น มีความสะดวกในการใช้งาน สามารถเก็บรักษาได้โดยไม่ต้องใช้ความเย็น นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ในรูปผงแห้งยังเป็นการทำให้สะดวกในการขนส่ง โดยผลิตภัณฑ์ในรูปผงแห้งสามารถเก็บรักษานานถ้าเก็บในภาชนะบรรจุที่เหมาะสม

Pointing *et al.* (1973) กล่าวว่า กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ประกอบด้วย หลักการทำงานดังนี้ คือ วัตถุดิบในรูปของเหลวจะถูกพ่น หรือทำให้มีอนุภาคเล็ก ๆ เข้าไปในกระแสน้ำร้อน หรืออากาศที่มีปริมาณความชื้นต่ำ จากนั้นอนุภาคเล็ก ๆ จะตกลงมาด้านล่างด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ผ่านกระแสน้ำร้อนลงมา และแห้งสนิทเมื่อตกลงมาถึงด้านล่างพอดี ก่อนจะถูกแยกเก็บในรูปของผงละเอียด

สำหรับการทำแห้งน้ำผลไม้ที่มีแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบ พบว่าการทำแห้งแบบแช่แข็ง (Freeze drying) จะทำให้ได้แอนโทไซยานินที่มีความคงตัวสูง และมีคุณภาพที่ดี แต่วิธีนี้ต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูงมาก ดังนั้นการทำแห้งแบบพ่นฝอย จึงน่าจะมีความเหมาะสม และประหยัดมากกว่าในกรณีที่ต้องการผงแอนโทไซยานินเพื่อใช้เป็นสีผสมอาหารในปริมาณมาก นอกจากนี้กระบวนการในการทำแห้งแบบพ่นฝอยยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังสามารถป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสได้ โดยในระหว่างการทำแห้งจะมีการเติมสารเจือปนบางชนิดลงไปเพื่อป้องกันการลดลงของกลิ่นรสที่จะระเหยออกไปในระหว่างการทำแห้งได้ (Main *et al.*, 1978)

Main *et al.* (1978) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยสารละลายแอนโทไซยานินซึ่งสกัดจากวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ เปลือกองุ่น เปลือกผลแครนเบอร์รี่ที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานน้ำผลไม้ และกลีบดอกกระเจี๊ยบแดง โดยนำวัตถุดิบทั้ง 3 มาสกัดแอนโทไซยานิน โดยสกัดแอนโทไซยานินในเปลือกองุ่น และเปลือกผลแครนเบอร์รี่ด้วยสารละลายกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 0.01 ในเอทานอล และสกัดแอนโทไซยานินจากกลีบดอกกระเจี๊ยบแดงด้วยน้ำร้อน จากนั้นนำสารละลายที่สกัดได้มาทำให้เข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ผสมเดกซ์ทริน ซึ่งมีค่าสมมูลเดกโตส (Dextrose equivalent หรือ DE) เท่ากับ 10 – 13 ลงในสารละลายสกัดที่ผ่านการทำให้เข้มข้นแล้ว จากนั้นนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอย ทดลองหาอุณหภูมิลมออกของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่เหมาะสม โดยศึกษาอุณหภูมิลมออกที่ 90, 100, 110 และ 120 องศาเซลเซียส วัดปริมาณแอนโทไซยานินผง ความหนาแน่นแอนโทไซยานินผง ค่าดัชนีการเสื่อมเสีย (Degradation index

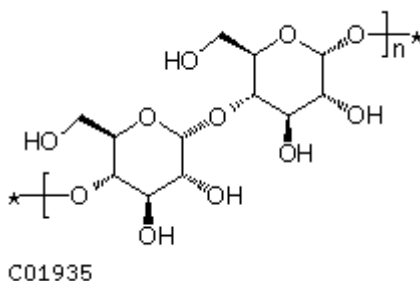
หรือ DI) ของแอนโทไซยานินที่ผ่านการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย และวัดร้อยละความชื้นของแอนโทไซยานินที่ผ่านการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยกับหางนมผง ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิลมออกที่ 90 องศาเซลเซียส ให้ผลการทดลองที่ดีกว่าที่ 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากให้ค่า DI ต่ำกว่า นั่นคือ การสลายตัวของแอนโทไซยานินที่ 90 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าที่ 100 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่ออุณหภูมิลมออกสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส จะทำให้แอนโทไซยานินที่ได้มีสีม่วงน้ำเงิน เนื่องจากแอนโทไซยานินเกิดการสลายตัว เมื่อเปรียบเทียบค่า DI ของสีจากวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด พบว่าแอนโทไซยานินจากองุ่นมีค่า DI ต่ำที่สุด คือ 1.12 และแอนโทไซยานินจากกลีบดอกกระเจี๊ยบแดงมีค่า DI สูงที่สุดคือ 1.26 และเมื่อตรวจสอบผลิตภัณฑ์สุดท้ายพบว่าแอนโทไซยานินจากองุ่น แครนเบอร์รี่ และ กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงมีค่าเท่ากับ 4.92, 1.97 และ 0.56 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ

Cai and Corke (2000) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยสารสีเบต้าไซยานินจาก *Amaranthus* โดยนำวัตถุดิบที่ผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส มาทำให้คืนรูป จากนั้นนำมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ เติมน้ำปริมาตร 2 เท่าของน้ำหนักวัตถุดิบ และทำการสกัดโดยใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที ทำให้เย็นอย่างรวดเร็วโดยแช่ในอ่างน้ำแข็ง จากนั้นนำมากรอง และทำให้เข้มข้น โดยให้มีปริมาณของแข็งร้อยละ 6 ผสมมอลโทเดกซ์ทรินซึ่งมีค่า DE เท่ากับ 10, 15, 20 และ 25 เติมกรดแอสคอร์บิกเพื่อปรับให้ความเป็นกรด - ด่าง อยู่ในช่วง 5.6 – 6.0 จากนั้นนำไปทำให้แห้งแบบพ่นฝอย โดยศึกษาสภาวะในการทำแห้งแบบพ่นฝอยอุณหภูมิลมเข้า ที่ 150, 165, 180, 195 และ 210 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมออกที่ 87, 92, 96, 105 และ 115 องศาเซลเซียส อัตราความเร็วในการป้อนวัตถุดิบที่ 390, 425, 460, 495 และ 530 (กรัมต่อชั่วโมง) ที่อัตราการไหลของอากาศ 56 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และแรงดันอากาศ 1.4 – 1.5 บาร์ ผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมเข้า และอุณหภูมิลมออก มีผลทำให้อัตราการทำแห้ง และอัตราการผลิตเบต้าไซยานินสูงขึ้นแต่ที่อุณหภูมิ ลมเข้าต่อลมออกสูงกว่า 180 ต่อ 96 องศาเซลเซียส มีผลทำให้เกิดการสูญเสียเบต้าไซยานินเพิ่มขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิลมเข้าต่อลมออกที่เหมาะสม คือ 165 – 180 ต่อ 92 – 96 องศาเซลเซียส มอลโทเดกซ์ทริน 25 DE และ 10 DE ให้สารสีคงเหลือ (Pigment retention) สูงที่สุด

7. มอลโทเดกซ์ทริน

มอลโทเดกซ์ทรินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 900 – 9000 มีสูตรโมเลกุล คือ $(C_6H_{12}O_6) \cdot H_2O$ ดังภาพที่ 5 จัดเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกับกลูโคสไซรัป ประกอบด้วยหน่วยของ D-glucose หลาย ๆ หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -(1 $\rightarrow$ 6) และมีค่าสมมูลเดกโตส ต่ำกว่า 20 เติร์มได้จาก

การย่อยโมเลกุลของสตาร์ช การไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริก หรือโดยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส เพื่อให้เกิดสารละลายกลูโคสพอลิเมอร์ (Glucose polymer solution) ที่มีสายยาว สารละลายนี้จะถูกรองและทำให้แห้งหรือทำให้เข้มข้นมากขึ้นเพื่อให้ได้มอลโทเดกซ์ทริน สตาร์ช ที่นำมาใช้ ได้แก่ สตาร์ชจากข้าวโพด ข้าวเจ้า มันสำปะหลัง มันฝรั่ง เป็นต้น โดยทั่วไปที่นิยมผลิต จะมีค่า DE อยู่ในช่วง 5 – 19 มอลโทเดกซ์ทรินอาจอยู่ในรูปสารละลายเข้มข้นหรือรูปผงสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสหวานหรือหวานเล็กน้อย จัดเป็นสารที่ไม่มีอันตรายต่อร่างกาย (รุ่งนภา, 2539) มีความชื้นประมาณร้อยละ 3 – 5 ความหนาแน่น (Bulk density) อยู่ในช่วง 0.31 – 0.61 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร



ภาพที่ 5 โครงสร้างมอลโทเดกซ์ทริน

ที่มา: Kanehisa Laboratories (1995)

สามารถใช้มอลโทเดกซ์ทรินได้ในปริมาณที่เหมาะสมกับชนิดของอาหาร และหน้าที่ของมอลโทเดกซ์ทรินในอาหารชนิดนั้น ๆ มอลโทเดกซ์ทรินสามารถละลายได้ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง สารละลายที่ได้อาจจะใสหรือขุ่น ขึ้นกับชนิดของมอลโทเดกซ์ทรินที่นำมาใช้งาน สารละลายที่ได้มีคุณสมบัติทางด้านความเป็นเนื้อ (Body) และมีความหนืดที่สม่ำเสมอ เนื้อสัมผัสเรียบเนียน มีความสามารถดูดความชื้นจากอากาศได้ดี (Low hygroscopicity) โดยเฉพาะมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำ ๆ มีจุดเยือกแข็งคงที่ และสามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลได้เป็นอย่างดี ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดสีน้ำตาลน้อยลงมาก มีคุณสมบัติการเกิดแผ่นฟิล์ม ซึ่งจะช่วยป้องกันการผ่านเข้าออกของออกซิเจนได้ (Oxygen barrier properties) จึงนิยมนำมาทำการห่อหุ้ม (Encapsulation) สารให้กลิ่นรส เพราะสามารถช่วยป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ การใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากมอลโทเดกซ์ทรินมีสมบัติที่ดีหลายประการ สามารถละลายได้ในอาหารที่เป็นของเหลวจึงมีการนำมาใช้ในอาหารประเภทต่าง ๆ เช่น ซุป นม น้ำผลไม้ เป็นต้น หรืออาจเติมในลักษณะที่เป็นผงโดยตรง หรือนำมาละลายน้ำก่อน นิยมใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณ (Bulking

agent) ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส รักษาความชุ่มชื้น และยืดอายุการเก็บรักษาในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เป็นสารตัวกลางพากลิ่นรส (Flavor carrier) ที่ดี เป็นสารเชื่อม (Binder) (รุ่งนภา, 2539) ตัวอย่างการใช้มอลโทเดกซ์ทรินในอาหารประเภทต่าง ๆ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การใช้มอลโทเดกซ์ทรินในอาหารประเภทต่าง ๆ

ผลิตภัณฑ์	DE	เหตุผลในการเลือกใช้
เครื่องดื่มผง	1, 5, 10 และ 15	ไม่จับตัวเป็นก้อน กระจายตัวและละลายน้ำได้ดี ให้เนื้อสัมผัส ช่วยให้กลิ่นรสคงอยู่
อาหารเด็กอ่อน	15	กระจายตัวและละลายในน้ำได้ดี ร่างกายย่อยง่ายและรวดเร็ว
ซูปและซอส	5, 10 และ 15	ให้เนื้อสัมผัส ไม่จับตัวเป็นก้อน กระจายตัวในไขมัน
สารตัวกลางพากลิ่นรส	1, 5, 10 และ 15	ช่วยเพิ่มปริมาณ เป็นสารห่อหุ้ม
สารช่วยทำแห้งแบบพ่นฝอย	10	กระจายตัวและละลายน้ำได้ดี กระจายตัวในไขมัน
ผลไม้และน้ำเชื่อม	10	ดูดความชื้นจากอากาศได้ดี มีคุณสมบัติเทไหลได้ (Free flowing) ไม่มีกลิ่นรส

ที่มา: รุ่งนภา (2539)

7.1 ชนิดและคุณสมบัติของมอลโทเดกซ์ทริน

มอลโทเดกซ์ทรินมีการแบ่งชนิดตามค่า DE โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นผงร่วน มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 32 – 36 ปอนด์ต่อตารางฟุต ค่าความเป็นกรด - ด่างอยู่ในช่วง 4.0 – 5.0 มีค่าการละลายที่แปรผันกับค่า DE และชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำจะมีค่าการละลายได้น้อย แต่ในการใช้มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE สูงขึ้น แม้ว่าจะมีค่าการละลายเพิ่มขึ้น แต่บางครั้งอาจทำให้เกิดความขุ่นได้ ค่าการละลายของมอลโทเดกซ์ทรินในช่วง DE ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าการละลายของมอลโทเดกซ์ทรินในน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ค่าสมมูลเดกซ์โทรส (DE)	ค่าการละลายโดยประมาณ (ร้อยละ)
9 - 12	40
13 -17	60
17 -20	70

ที่มา: ดัดแปลงจาก Junk and Pancoast (1980)

7.2 คุณสมบัติของมอลโทเดกซ์ทรินที่นำมาพิจารณาในการใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์อาหาร อธิบายโดย Risch and Reineccius (1988) มีดังนี้

7.2.1 ทำให้มีกลิ่นเกิดความคงตัวสำหรับการทำสารห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหย

7.2.2 มีคุณสมบัติเป็นฟิล์มในกรณีเป็นสารห่อหุ้มกลิ่นรส โดยคุณสมบัติเหล่านี้จะทำให้หน้าที่ในการปกป้องกลิ่นรสได้

7.2.3 มอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารที่ไม่ดูดความชื้น ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงแห้ง

7.2.4 การเติมมอลโทเดกซ์ทรินจะทำให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ทำให้สัดส่วนของน้ำในผลิตภัณฑ์ลดลง การเปลี่ยนแปลงทางเคมีช้าลง

7.2.5 การปลดปล่อยกลิ่นรส มอลโทเดกซ์ทรินสามารถละลายในน้ำเย็น ไม่หวาน ไม่มีกลิ่น ได้สารละลายใส เมื่อใช้เป็นสารห่อหุ้มกลิ่นรส จะสามารถปลดปล่อยกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ได้ดี

7.2.6 ราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย มอลโทเดกซ์ทรินมีราคาต่ำกว่าสารที่ใช้เป็นส่วนประกอบหลาย ๆ ตัว และยังสามารถใช้ร่วมกับสารอื่น ๆ ได้

8. การทดสอบผู้บริโภคร

การทดสอบผู้บริโภครเป็นการประเมินผลของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ตัวแทนกลุ่มผู้บริโภครเป้าหมาย ซึ่งจำนวนผู้บริโภครที่จะประเมินผลผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นจะมีจำนวนมากขึ้นกว่าผู้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ (ศิริลักษณ์, 2533) โดยผู้ทดสอบที่คัดเลือกมาจะต้องมาจากกลุ่มผู้บริโภครเป้าหมาย การเลือกผู้บริโภครที่ต้องการทดสอบต้องพิจารณาถึงลักษณะทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มเพื่อให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ เช่น อายุ เพศ รายได้ ที่อยู่อาศัย เป็นต้น กลุ่มผู้ทดสอบที่ใช้ต้องเป็นตัวแทนที่ดีของผู้บริโภครเป้าหมาย และของผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องมากที่สุด คือควรมีลักษณะตรงตามลักษณะที่กำหนดไว้ว่าเป็นผู้บริโภครเป้าหมายของเรา

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุดิบ

- 1.2 ข้าวเหนียวดำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด จากศูนย์วิจัยข้าวเชียงใหม่
- 1.3 น้ำประปาที่ผ่านการกรอง
- 1.4 มอลโทเดกซ์ทริน DE 10 (บริษัทเบอร์ลียุกเกอร์ สเปเชียลตี้ส์, ประเทศไทย)
- 1.5 แป้งมันสำปะหลัง ตราปลามังกร โรงงานแป้งมัน ไทยทำ

2. สารเคมี

- 2.1 สารเคมีในการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ
- 2.2 กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 (37 % Hydrochloric acid) (บริษัท Merck, ประเทศเยอรมัน)
- 2.3 โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride) (บริษัท Ajax finechem, ประเทศนิวซีแลนด์)
- 2.4 โซเดียมอะซิเตตไฮเดรต (Sodium acetate hydrate) (บริษัท Ajax finechem, ประเทศนิวซีแลนด์)
- 2.5 กรดบอริก (Boric acid) (บริษัท Fisher scientific, ประเทศอังกฤษ)
- 2.6 กรดซิตริก (Citric acid) (บริษัท Ajax finechem, ประเทศนิวซีแลนด์)
- 2.7 ไตรโซเดียมออร์โทฟอสเฟตไฮเดรต (Tri – sodium orthophosphate hydrated) (บริษัท Fisher scientific, ประเทศอังกฤษ)

3. เครื่องมือและอุปกรณ์ในการผลิต

- 3.1 ชุดเครื่องแก้ว
- 3.2 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (บริษัท Ohaus, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.3 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง Satorius รุ่น BS224S (บริษัท ไฮแอนติฟิค โพรโมชัน จำกัด, ประเทศเยอรมัน)
- 3.4 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Memmert รุ่น Schutzart DIN 40050 – IP 20 (บริษัท ไฮแอนติฟิค โพรโมชัน จำกัด, ประเทศเยอรมัน)
- 3.5 อ่างควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า ยี่ห้อ Memmert รุ่น Schutzart DIN 40050 – IP 20 (บริษัท ไฮแอนติฟิค โพรโมชัน จำกัด, ประเทศเยอรมัน)
- 3.6 กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4
- 3.7 เครื่องกรองภายใต้สุญญากาศ Aspirator A-3S (บริษัท Tokyo rikakikai, ประเทศญี่ปุ่น)
- 3.8 หม้อเสตนเลส ตราหัวม้าลาย
- 3.9 หม้อเทฟลอน ตราทีฟาล
- 3.10 เทอร์โมมิเตอร์ 100 องศาเซลเซียส
- 3.11 เครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray dryer) (หจก. บี ดับบลิว เอส เทรคดิง จำกัด, กรุงเทพฯ)
- 3.12 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dryer)
- 3.13 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) ออกแบบโดย นายบุญชัย หฤทัยธนาสันต์
- 3.14 เครื่องบดละเอียดแบบ Ultra centrifugal mill (บริษัท ไฮแอนติฟิค โพรโมชัน จำกัด, ประเทศเยอรมัน)
- 3.15 เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน (บริษัท ไฮแอนติฟิค โพรโมชัน จำกัด, ประเทศเยอรมัน)
- 3.16 เครื่องปั่นผสม Food processor national รุ่น MK-5080N ความจุ 800 มล. (บริษัท เอส. บี. เนชั่นเนล, ประเทศญี่ปุ่น)
- 3.17 ถาดสเตนเลสขนาด 18.5 x 27 ตารางเซนติเมตร ลึก 1.5 เซนติเมตร
- 3.18 แผ่นพลาสติก PP ตรานกแก้ว โรงงานศรีสกุลพลาสติก
- 3.19 ซองอลูมิเนียมฟอยล์ (PET12/AL33/ALU7/PE20/LLDPE30) (บริษัท สุทามาจิ, ประเทศไทย จำกัด)

4. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- 4.1 เวอร์เนียคาลิเปอร์ (บริษัท Mitutoyo, ประเทศญี่ปุ่น)
- 4.2 เครื่องวัดค่าสีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) รุ่น CM – 3500d (บริษัท Minolta , ประเทศญี่ปุ่น)
- 4.3 เครื่องวัดค่าแอกติวิตี (Water activity : a_w) Thermoconstanter (บริษัท Novasina, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)
- 4.4 เครื่องเขย่า Vortex mixer CLT 107 CT Laboratory
- 4.5 เครื่องกวนสาร (Magnetic stirrer)

5. เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมี

- 5.1 เครื่องวัดปริมาณการดูดกลืนแสง UV – VIS recording spectrophotometer รุ่น UV – 160A (บริษัท Shimadzu, ประเทศญี่ปุ่น)
- 5.2 คิวเวทระยะทางที่แสงผ่าน 1 เซนติเมตร
- 5.3 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Cyberscan รุ่น 510 (บริษัท ยู แอนด์ วี โฮลดิ้ง, ประเทศไทย)
- 5.4 เครื่องมือในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ
- 5.5 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert (บริษัท ไชแอนติฟิค โปรโมชัน จำกัด, ประเทศเยอรมัน)

6. เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางจุลินทรีย์

- 6.1 อุปกรณ์เครื่องแก้วในการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์
- 6.2 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อความดันสูง (Autoclave – steam sterilizer) ยี่ห้อ Tuttnauer รุ่น 3850M (Laborgerateborse GmbH, ประเทศเยอรมัน)
- 6.3 เครื่องบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Kottermann รุ่น D – 3162 ประเทศเยอรมัน
- 6.4 เครื่องบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Binder รุ่น BD 115
- 6.5 เครื่องฆ่าเชื้อด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Binder รุ่น FD 115

- 6.6 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อความดันสูง รุ่น 3850 M
- 6.7 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Memmert รุ่น D-91126
- 6.8 เครื่องชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อ 2 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BA 210
- 6.9 เครื่องกวนสาร (บริษัท Fisher scientific, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 6.10 เครื่องตีปั่นอาหาร Stomacher lab-blender 400 รุ่น BA 7021 ประเทศอังกฤษ
- 6.11 อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar ยี่ห้อ Merck ประเทศเยอรมัน
- 6.12 อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato dextrose agar ยี่ห้อ Merck ประเทศเยอรมัน

7. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูล

- 7.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- 7.2 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Thailand) Co., Ltd. version 12.0

วิธีการ

1. การสำรวจข้อมูลทางการตลาด ความคิดเห็น พฤติกรรม และความต้องการใช้สีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหาร

เก็บข้อมูลด้วยวิธีการสำรวจ โดยใช้แบบสอบถาม (ภาคผนวก ข) คัดเลือกกลุ่มเป้าหมายที่เกี่ยวข้อง โดยสุ่มตัวอย่างแบบสุ่มง่าย (Simple random sampling) ในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล มีกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 250 คน ซึ่งคำนวณได้จาก $n = \frac{Z^2 pq}{E^2}$ โดยแบ่งกลุ่มเป้าหมายดังนี้

1.1 ผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 150 คน แบ่งตามเพศ และช่วงอายุ โดยเพศ แบ่งเป็น เพศหญิง และเพศชาย อายุ แบ่งเป็น 5 ช่วง คือ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 ปี, 21 – 30 ปี, 31 – 40 ปี, 41 – 50 ปี และมากกว่า 50 ปี ให้แต่ละกลุ่มมีจำนวนเท่ากัน

1.2 ผู้ใช้สีผสมอาหารประเภทผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก จำนวน 50 คน และผู้ใช้สีผสมอาหารประเภทโรงงานอุตสาหกรรม จำนวน 32 คน

1.3 ผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายสัผสมอาหาร จำนวน 18 คน

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ด้วยวิธีการแจกแจงความถี่ และอัตราส่วนร้อยละ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

2. การศึกษาคุณภาพของข้าวเหนียวดำ

ศึกษาคุณภาพของข้าวเหนียวดำพันธุ์เก่าดอยสะเก็ด จากศูนย์วิจัยข้าวเชียงใหม่ บรรจุนในถุงพลาสติก เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง และนำข้าวเหนียวดำมาวัดค่าคุณภาพ โดยสุ่มตัวอย่างข้าวเหนียวดำพันธุ์เก่าดอยสะเก็ดจากศูนย์วิจัยข้าวเชียงใหม่ จำนวน 2 ครั้ง โดยครั้งแรกสุ่มตัวอย่างข้าวเหนียวดำจำนวน 1 กิโลกรัม จากข้าวเหนียวดำทั้งหมด 20 กิโลกรัม และครั้งที่สองสุ่มตัวอย่างข้าวเหนียวดำที่ได้จากการสุ่มครั้งแรกจำนวน 100 กรัม โดยทำการสุ่มตัวอย่าง 2 ซ้ำ ตรวจสอบคุณภาพของข้าวเหนียวดำ โดยคัดเลือกเมล็ดที่ลีบ และเมล็ดที่มีสีซีด นับจำนวนเมล็ดที่ลีบ และสีซีด รายงานผลเป็นร้อยละ และนำข้าวเหนียวดำที่ผ่านการคัดเลือก มาวัดค่าคุณภาพทางกายภาพ และเคมี ดังนี้

2.1 ค่าคุณภาพทางกายภาพ

2.1.1 ค่าสี L^*C^*h (ภาพผนวกที่ ก1) ด้วยเครื่องวัดค่าสีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) โดยวัดการสะท้อน (Reflectance) ใช้แหล่งกำเนิดแสง (Illuminant) D_{65} มุมของผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน (Standard observer) 10 องศา ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง

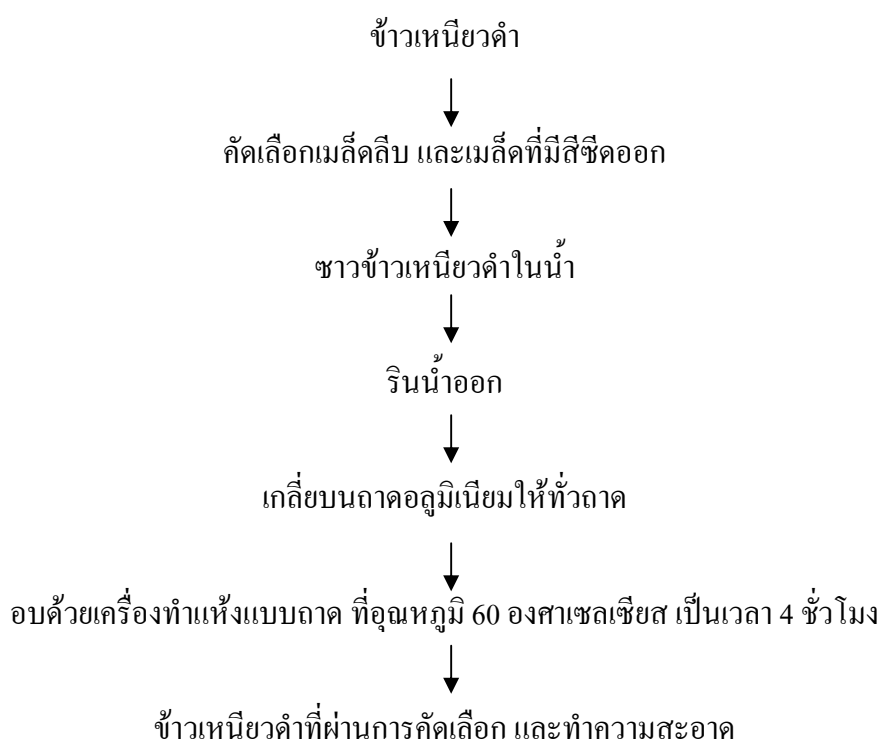
2.1.2 ความกว้าง และความยาวของเมล็ดข้าวเหนียวดำ โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง

2.2 ค่าคุณภาพทางเคมี

นำข้าวเหนียวดำพันธุ์เก่าดอยสะเก็ดมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate analysis) ได้แก่ ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

3. การศึกษาการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ

นำข้าวเหนียวดำพันธุ์ท่าคอยสะเก็ดที่ผ่านการคัดเลือก มาล้างทำความสะอาด โดยชาวข้าวเหนียวดำในน้ำ จากนั้นรินน้ำออก นำไปเกลี่ยบนถาดอลูมิเนียมให้ทั่วถาด อบด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง บรรจุในถุงพลาสติก เก็บที่อุณหภูมิห้อง (ภาพที่ 6) เพื่อนำมาทำการศึกษาต่อไป



ภาพที่ 6 กระบวนการคัดเลือก และทำความสะอาดข้าวเหนียวดำ

3.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ

ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ โดยใช้การจัดการทดลองแบบแฟล็กเกจ แอนด์ เบอร์แมน (Plackett and burman design) เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ โดยปัจจัยที่นำมาพิจารณามี 4 ปัจจัย คือ อัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำ อุณหภูมิ เวลา และการเขย่า ซึ่งในแต่ละปัจจัยจะศึกษา 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ และระดับสูง (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ปัจจัย และระดับที่ใช้ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ

ปัจจัย	ระดับต่ำ	ระดับสูง
A : อัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำ	1 : 3	1 : 6
B : อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	30	60
C : เวลา (นาท)	30	60
D : การเขย่า	ไม่เขย่า	เขย่า

ในการวางแผนการทดลองคัดเลือกปัจจัย 4 ปัจจัย ให้เลือกแบบแผนมาตรฐาน (N) ที่มากกว่าจำนวนปัจจัยที่ต้องการศึกษา เพื่อสร้างปัจจัยสมมติ ดังนั้นต้องเลือก $N = 8$ ซึ่งจะได้จำนวนสิ่งทดลองทั้งหมด 8 สิ่งทดลอง (ตารางที่ 8) สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ โดยที่เครื่องหมาย (-) หมายถึง ปัจจัยในระดับต่ำ และเครื่องหมาย (+) หมายถึง ปัจจัยในระดับสูง

ตารางที่ 8 แผนผังการทดลองแบบแฟกทอเรียล แอนด์ เบอร์แมน สำหรับการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ

สิ่งทดลอง	ปัจจัยที่ต้องการคัดเลือก					ปัจจัยสมมติ		
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	+	+	+	-	+	-	-	+
2	+	+	-	+	-	-	+	+
3	+	-	+	-	-	+	+	+
4	-	+	-	-	+	+	+	-
5	+	-	-	+	+	+	-	+
6	-	-	+	+	+	-	+	-
7	-	+	+	+	-	+	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ A = อัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำ

B = อุณหภูมิ

C = เวลา

D = การเขย่า

E – H = ปัจจัยสมมติ

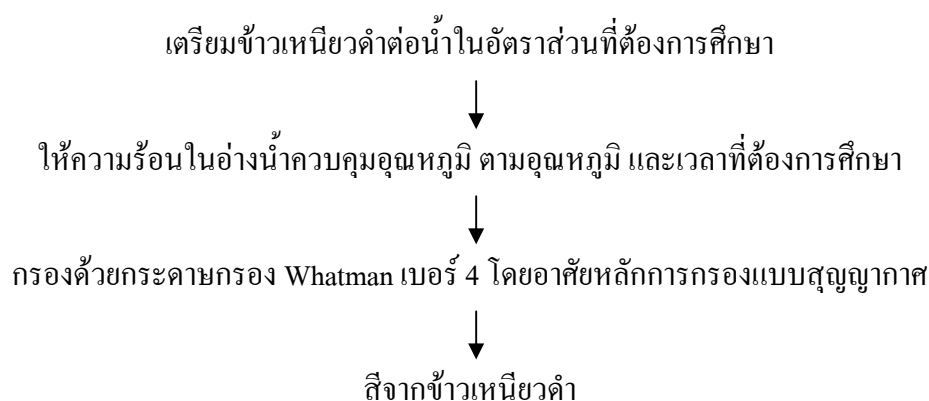
ที่มา: อนุวัตร (2549)

สกัดสีจากข้าวเหนียวดำ โดยเตรียมข้าวเหนียวดำต่อน้ำ ในอัตราส่วนที่ต้องการศึกษา สกัดสีจากข้าวเหนียวดำที่อุณหภูมิ เวลา และการเขย่า ดังตารางที่ 8 เมื่อครบเวลาที่ต้องการศึกษา นำสีที่สกัดได้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 โดยอาศัยหลักการกรองแบบสุญญากาศ (ภาพที่ 7) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ในแต่ละซ้ำ วัดค่า 2 ครั้ง สีที่สกัดได้จากข้าวเหนียวดำนำมาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ ดังนี้

3.1.1 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในรูปของไซยานิดิน -3- กลูโคไซด์ (Wrolstad *et al.*, 2005)

3.1.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (AOAC, 2000)

วิเคราะห์ความแปรปรวน และคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ เพื่อนำไปศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำต่อไป



ภาพที่ 7 กระบวนการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ

3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ

จากปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำจากข้อ 3.1 นำมาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ โดยใช้การจัดการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3 x 4 และแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดโดยสมบูรณ์ (Completely randomized design) โดยศึกษาอุณหภูมิ 3

ระดับ คือ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส และเวลา 4 ระดับ คือ 45, 60, 75 และ 90 นาที รวม 12 สิ่งทดลอง (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 สิ่งทดลองที่ใช้ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ

สิ่งทดลอง	ปัจจัย	
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
1	55	45
2	55	60
3	55	75
4	55	90
5	60	45
6	60	60
7	60	75
8	60	90
9	65	45
10	65	60
11	65	75
12	65	90

เตรียมข้าวเหนียวดำต่อน้ำที่อัตราส่วน 1 : 3 และใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า ศึกษาตามสภาวะดังกล่าวข้างต้น (ภาพที่ 7) ทำการทดลอง 2 ชั่วโมง นำสีที่สกัดได้จากข้าวเหนียวดำมาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ ดังนี้

3.2.1 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เช่นเดียวกับข้อ 3.1.1

3.2.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (AOAC, 2000)

วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีด้นเคน และนำค่าที่มีความแตกต่างกันทางสถิติมาวิเคราะห์โดยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology) โดยใช้สมการลำดับที่ 2 (อนุวัตร, 2549)

พิจารณาสมการที่มีระดับความเชื่อมั่นมากกว่าร้อยละ 95 นำมาสร้างกราฟคอนทัวร์ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมด เพื่อคัดเลือกสถานะที่ให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงที่สุด เพื่อทำการศึกษาต่อไป

4. การศึกษาเวลาในการทำเข้มข้นสีจากข้าวเหนียวดำ

ศึกษาเวลาในการทำเข้มข้นสีที่สกัดได้จากข้าวเหนียวดำ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดโดยสมบูรณ์ ศึกษาเวลาในการทำเข้มข้น 4 ระดับ คือ 30, 60, 90 และ 120 นาที สกัดสีจากข้าวเหนียวดำที่สถานะที่เหมาะสมจากข้อ 3.2 คือ อัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำเท่ากับ 1 : 3 อุณหภูมิ 62 – 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 67 - 75 นาที ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า โดยนำสีที่สกัดได้ใส่ในหม้อเทพลอนที่ตั้งบนหม้อสเตนเลสที่ต้มน้ำเดือดควบคุมอุณหภูมิที่ระดับ 87 ± 2 องศาเซลเซียส ตามเวลาที่ต้องการศึกษา นำสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำที่ได้มาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ ดังนี้

4.1 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เช่นเดียวกับข้อ 3.1.1

4.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (AOAC, 2000)

4.3 ค่าสี L^*C^*h ด้วยเครื่องวัดค่าสีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ โดยวัดการส่องผ่าน (Transmittance) ใช้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} มุมของผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน 10 องศา คิวเวทที่ระยะทางที่แสงผ่าน 1 เซนติเมตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง

วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีด้นเคน เพื่อคัดเลือกเวลาในการทำเข้มข้นสีจากข้าวเหนียวดำที่ให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงที่สุด

5. การศึกษากรรมวิธีการทำแห้งสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำที่เหมาะสม

ศึกษาวิธีการทำแห้ง 3 วิธี คือ การทำแห้งแบบพ่นฝอย การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง และ การทำแห้งแบบถาด โดยใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นสิ่งที่ทดลองควบคุม นำสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำ มาวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (AOAC, 2000) เดิมมอลโทเดกซ์ทรินค่า DE 10 เพื่อเพิ่มปริมาณของแข็งให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 15 สำหรับการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย และการทำแห้งแบบถาด ส่วนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง เตรียมโดยเติมแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 10 เพื่อเพิ่มความหนืดของสีเข้มข้นที่จะทำแห้งให้อยู่ในรูปกึ่งเหลว

5.1 ศึกษาการทำแห้งสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำโดยใช้การทำแห้งแบบพ่นฝอย

ควบคุมอุณหภูมิของสารละลายสีก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความดันของลมที่หัวเหวี่ยง 2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือคิดเป็นความเร็วของหัวเหวี่ยง 25,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิลมร้อนก่อนเข้าทำแห้ง 135 – 145 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมร้อนหลังการทำแห้ง 90 – 100 องศาเซลเซียส โดยใช้หัวฉีดความดัน (กิตติมา, 2549) นำผงสีที่ได้จากการทำแห้งสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำ มาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ ดังนี้

5.1.1 ค่าสี L^*C^*h ด้วยเครื่องวัดค่าสีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ โดยวัดการสะท้อน ใช้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} มุมของผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน 10 องศา ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง

5.1.2 ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี

5.1.3 ค่าความชื้น (AOAC, 2000)

5.1.4 ค่าการละลาย ดัดแปลงจากวิธีของ Al-kahtani and Hassan (1990) โดยชั่งน้ำหนักผงสีจำนวน 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร กวนสารละลายโดยใช้เครื่องกวนสาร ความเร็วในการกวนที่ตำแหน่งที่ 5 บันทึกเวลาที่ใช้ในการละลายผงสีอย่างสมบูรณ์

5.1.5 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เช่นเดียวกับข้อ 3.1.1

5.2 ศึกษาการทำแห้งสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำโดยใช้การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

ควบคุมอุณหภูมิของลูกกลิ้งให้มีอุณหภูมิ 130 – 140 องศาเซลเซียส และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร ป้อนสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำที่บริเวณผิวนอกของลูกกลิ้ง และนำสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำที่ผ่านการทำแห้งมาบดด้วยเครื่องบดละเอียดแบบเหวี่ยง (Centrifugal mill) จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมส จะได้ผงสีจากข้าวเหนียวดำ จากนั้นนำผงสีที่ได้จากการทำแห้งมาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ ดังนี้

5.2.1 ค่าสี L^*C^*h เช่นเดียวกับข้อ 5.1.1

5.2.2 ค่า a_w เช่นเดียวกับข้อ 5.1.2

5.2.3 ค่าความชื้น (AOAC, 2000)

5.2.4 ค่าการละลาย เช่นเดียวกับข้อ 5.1.4

5.2.5 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เช่นเดียวกับข้อ 3.1.1

5.3 ศึกษาการทำแห้งสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำโดยใช้การทำแห้งแบบถาด

ศึกษาอุณหภูมิในการทำแห้งแบบถาด 3 อุณหภูมิ คือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยวัดค่าความชื้น และค่า a_w ของสีจากข้าวเหนียวดำทุก 1 ชั่วโมง จากกราฟการทำแห้ง (Drying curve) เลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งสีจากข้าวเหนียวดำที่มีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 และค่า a_w ไม่เกิน 0.4 (Fellows, 2000) นำสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำที่ได้จากการทำแห้ง มาบดด้วยเครื่องบดละเอียด แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมส จะได้ผงสีจากข้าวเหนียวดำ นำมาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ ดังนี้

5.3.1 ค่าสี L^*C^*h เช่นเดียวกับข้อ 5.1.1

5.3.2 ค่า a_w เช่นเดียวกับข้อ 5.1.2

5.3.3 ค่าความชื้น (AOAC, 2000)

5.3.4 ค่าการละลาย เช่นเดียวกับข้อ 5.1.4

5.3.5 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เช่นเดียวกับข้อ 3.1.1

วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan เพื่อคัดเลือกวิธีการทำแห้งที่ให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงที่สุด และมีความเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์

6. การศึกษาการผลิตผงสีจากข้าวเหนียวดำโดยใช้การทำแห้งแบบถาดในระดับนําร่อง

นำผงสีจากข้าวเหนียวดำที่ผ่านการทำแห้งแบบถาดที่สภาวะที่เหมาะสมในระดับนําร่อง (Pilot plant scale) มาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ ดังนี้

6.1 ค่าคุณภาพทางกายภาพ

6.1.1 ค่าสี L^*C^*h เช่นเดียวกับข้อ 5.1.1

6.1.2 ค่า a_w เช่นเดียวกับข้อ 5.1.2

6.1.3 ค่าการละลาย เช่นเดียวกับข้อ 5.1.4

6.2 ค่าคุณภาพทางเคมี

6.2.1 ค่าความชื้น (AOAC, 2000)

6.2.2 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เช่นเดียวกับข้อ 3.1.1

6.3 ค่าคุณภาพทางจุลินทรีย์ (AOAC, 2000)

6.3.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

6.3.2 จำนวนยีสต์และรา

7. การศึกษาการทำแห้งข้าวเหนียวดำที่ผ่านการสกัดสี

นำข้าวเหนียวดำที่ผ่านการสกัดสีมาทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยวัดค่าความชื้น และค่า a_w ของข้าวเหนียวดำทุก 1 ชั่วโมง จากกราฟการทำแห้ง เลือกเวลาในการทำแห้งข้าวเหนียวดำที่มีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 (อรอนงค์, 2547) นำข้าวเหนียวดำที่ผ่านการทำแห้งมาวัดค่าสี L^*C^*h ด้วยเครื่องวัดค่าสีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยวัดการสะท้อน ใช้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} มุมของผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน 10 องศา ทำการวัดค่าสี 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ซ้ำ

8. การศึกษาความคงตัวของผงสีจากข้าวเหนียวดำ

ศึกษาความคงตัวของผงสีจากข้าวเหนียวดำต่อค่าความเป็นกรด – ด่าง และอุณหภูมิในการแปรรูป โดยใช้การจัดการทดลองแบบแฟกทอเรียล 5×3 และแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดโดยสมบูรณ์ ศึกษา 2 ปัจจัย คือ

ความเป็นกรด – ด่าง 5 ระดับ ได้แก่ 3.0, 5.0, 7.0, 9.0 และ 11.0

อุณหภูมิในการแปรรูป 3 ระดับ คือ

- ไม่ผ่านการให้ความร้อน

- พาสเจอร์ไรซ์ แบบ Low temperature long time (LTLT) ที่อุณหภูมิประมาณ 63 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

- สเตอริไลซ์ สำหรับอาหารที่เป็นกรด (Acid foods) ซึ่งมีความเป็นกรดต่างอยู่ระหว่าง 3.7 – 4.5 และอาหารที่เป็นกรดสูง (High acid foods) ซึ่งมีความเป็นกรด – ด่างต่ำกว่า 3.7 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ สำหรับ

อาหารที่เป็นกรดต่ำ (Low acid foods) ซึ่งมีความเป็นกรด – ค่าสูงกว่า 4.5 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ด้วยหม้อนิ่งฆ่าเชื้อความดันสูง

เตรียมสารละลายสีจากข้าวเหนียวดำ โดยนำผงสี 1 กรัม ละลายในสารละลายบัฟเฟอร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ดังภาคผนวก ก ที่ความเป็นกรด - ค่า และอุณหภูมิในการแปรรูปตามที่กล่าวไว้ข้างต้น เปรียบเทียบกับสิ่งทดลองควบคุม คือ ความเป็นกรด – ค่าของผงสีที่ละลายน้ำ (ความเป็นกรด – ค่า 7.0) และไม่ผ่านการให้ความร้อน ทำการทดลอง 2 ซ้ำ นำสารละลายสีที่ได้มาวิเคราะห์ค่าคุณภาพดังนี้

8.1 ค่าสี L^*C^*h และค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) ด้วยเครื่องวัดค่าสีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยวัดการส่องผ่าน ใช้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} มุมของผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน 10 องศา ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง

8.2 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เช่นเดียวกับข้อ 3.1.1

วิเคราะห์ความแปรปรวน และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีคันทน เพื่อศึกษาความคงตัวของผงสีจากข้าวเหนียวดำ

9. การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ผงสีจากข้าวเหนียวดำ

ศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ผงสีจากข้าวเหนียวดำกับผู้ใช้สีผสมอาหารในระดับอุตสาหกรรม และผู้บริโภค โดยศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ผงสีจากข้าวเหนียวดำกับผู้ใช้สีผสมอาหารในระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ โรงงานเซอร์รี่ไอศกรีม เพื่อใช้ผลิตไอศกรีมข้าวเหนียวดำ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำมาทดสอบการยอมรับกับผู้บริโภค จำนวน 200 คน ดังนี้

9.1 ศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ผงสีจากข้าวเหนียวดำกับผู้ใช้สีผสมอาหารในระดับอุตสาหกรรม

นำผงสีจากข้าวเหนียวดำ มาทดสอบการยอมรับของผู้ใช้สีผสมอาหารในระดับอุตสาหกรรมต่อผลิตภัณฑ์ผงสีจากข้าวเหนียวดำ โดยใช้แบบสอบถาม (ภาคผนวก ข) ซึ่งผู้ให้มี

ตำแหน่งเป็นหัวหน้าส่วนประกันคุณภาพ และวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ของโรงงานเชอร์รี่ไอศกรีม ผลิตไอศกรีมข้าวเหนียวดำ โดยใช้ผงสีจากข้าวเหนียวดำ และข้าวเหนียวดำที่ผ่านสกัดสีแล้ว โดย สอบถามถึงการยอมรับสีของผงสีจากข้าวเหนียวดำ และผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ ความพึงพอใจในคุณภาพ และความสะดวกในการใช้ผงสีจากข้าวเหนียวดำ รวมถึงความเป็นไปได้ในการใช้ผงสีจากข้าวเหนียวดำเพื่อทดแทนการใช้สีสังเคราะห์ และความสนใจที่จะซื้อผงสีจากข้าวเหนียวดำ เมื่อทราบถึงประโยชน์ของแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารสีที่พบในข้าวเหนียวดำ

9.2 ศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำกับผู้บริโภค

นำผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำที่ผลิตโดยโรงงานเชอร์รี่ไอศกรีม มาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำที่ใช้ผงสีจากข้าวเหนียวดำกับผู้บริโภค จำนวน 200 คน โดยใช้แบบสอบถาม (ภาคผนวก ข) แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) ข้อมูลด้านประชากรศาสตร์ และ 2) ข้อมูลด้านความชอบ และการยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ โดยให้คะแนนความชอบ ด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 Point-hedonic scale) ในคุณลักษณะด้านสี ความเหมาะสมของสีกับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ และความชอบโดยรวม โดยคะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ด้วยวิธีการแจกแจงความถี่ และอัตราส่วนร้อยละ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

10. สถานที่ทำการวิจัย

ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

11. ระยะเวลาในการทำวิจัย

ระยะเวลาเริ่มต้น ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2549 และสิ้นสุดเดือนมีนาคม 2550

ผลและวิจารณ์

1. การสำรวจข้อมูลทางการตลาด ความคิดเห็น พฤติกรรม และความต้องการใช้สิทธิธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหาร

จากการเก็บข้อมูลด้วยวิธีการสำรวจ โดยใช้แบบสอบถาม (ภาคผนวก ข) คัดเลือกกลุ่มเป้าหมายที่เกี่ยวข้อง โดยสุ่มตัวอย่างแบบสุ่มง่าย (Simple random sampling) ในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล โดยมีกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 250 คน แบบสอบถาม แบ่งออกเป็น 3 ชุด ชุดที่ 1 สำหรับผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 150 คน ชุดที่ 2 สำหรับผู้ใช้สิทธิผสมอาหารประเภทผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก และผู้ใช้สิทธิประเภทโรงงานอุตสาหกรรม จำนวน 50 และ 32 คน ตามลำดับ และชุดที่ 3 สำหรับผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายสิทธิผสมอาหาร จำนวน 18 คน

1.1 การสำรวจข้อมูลทางการตลาด ความคิดเห็น พฤติกรรม และความต้องการใช้สิทธิธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารของผู้บริโภคทั่วไป

1.1.1 ลักษณะทางประชากรศาสตร์

จากการสำรวจข้อมูลทางการตลาด ความคิดเห็น พฤติกรรม และความต้องการใช้สิทธิธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารกับผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 150 คน โดยแบ่งตามเพศ และช่วงอายุ ดังนี้ เพศหญิง และเพศชาย อายุ แบ่งเป็น 5 ช่วง คือ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 ปี, 21 – 30 ปี, 31 – 40 ปี, 41 – 50 ปี และมากกว่า 50 ปี ผลการสำรวจ (ตารางที่ 10) พบว่า ระดับการศึกษาสูงสุดที่ได้รับของผู้บริโภคส่วนใหญ่อยู่ในระดับปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 39.3 รองลงมาคือ มัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช. ร้อยละ 22.0 มัธยมศึกษาตอนต้นร้อยละ 20.0 อาชีพของผู้บริโภคส่วนใหญ่ คือ นักเรียน นิสิต นักศึกษา คิดเป็นร้อยละ 33.3 รองลงมาคือ ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ ร้อยละ 21.3 พนักงานบริษัทเอกชน ร้อยละ 19.3 และแม่บ้าน ร้อยละ 14.0 รายได้ต่อเดือนของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่อยู่ในช่วงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 43.3 รองลงมาคือ 10,001 – 20,000 บาท ร้อยละ 30.0 และ 20,001 – 30,000 บาท ร้อยละ 16.7

ตารางที่ 10 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคทั่วไป

ลักษณะทางประชากรศาสตร์		ความถี่ (คน)	ร้อยละ
การศึกษาสูงสุด	ปริญญาตรี	59	39.3
	มัธยมศึกษาตอนปลาย / ปวช.	33	22.0
	มัธยมศึกษาตอนต้น	30	20.0
	ปริญญาโท	16	10.7
	ปวส. / อนุปริญญา	8	5.3
	สูงกว่าปริญญาโท	2	1.3
	น้อยกว่าหรือเทียบเท่าประถมศึกษา	2	1.3
อาชีพ	นักเรียน / นิสิต / นักศึกษา	50	33.3
	ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ	32	21.3
	พนักงานบริษัทเอกชน	29	19.3
	แม่บ้าน	21	14.0
	ค้าขาย / ธุรกิจส่วนตัว	12	8.0
	ลูกจ้าง	6	4.0
รายได้ต่อเดือน	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท	65	43.3
	10,001 – 20,000 บาท	45	30.0
	20,001 – 30,000 บาท	25	16.7
	30,001 – 40,000 บาท	11	7.3
	สูงกว่า 50,000 บาท	3	2.0
	40,001 – 50,000 บาท	1	0.7

1.1.2 ความคิดเห็น และพฤติกรรมในการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสีผสมอาหารเป็นส่วนประกอบของผู้บริโภคทั่วไป

จากการสำรวจความคิดเห็น พฤติกรรม และความต้องการใช้สีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารของผู้บริโภคทั่วไป ผลการสำรวจ (ตารางที่ 11) พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ ร้อยละ 96.7 คิดว่าสีมีความสำคัญในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหาร โดยมีความสำคัญระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 50.0 และมีความสำคัญระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 33.3 ผู้บริโภคส่วนใหญ่ ร้อยละ 70.7 เลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสีผสมอาหารเป็นส่วนประกอบ เพราะผลิตภัณฑ์อาหารมีสีตามธรรมชาติ รองลงมา เพราะอาหารที่มีสีมีความน่ารับประทาน ร้อยละ 66.0 อาหารมีสีที่เป็นไป

ตามเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 60.0 ดึงดูดความสนใจ ร้อยละ 40.7 และมีความสวยงาม ร้อยละ 33.3 ผู้บริโภครับประทานอาหารที่มีสีผสมอาหารเป็นส่วนประกอบ 1 – 2 ครั้งต่อสัปดาห์มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 32.0 รองลงมา คือ มากกว่า 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ร้อยละ 26.0 ประเภทผลิตภัณฑ์อาหารที่ผู้บริโภครับประทานบ่อยที่สุด คือ เครื่องดื่ม เช่น น้ำผลไม้ น้ำหวานเข้มข้น คิดเป็นร้อยละ 44.0 รองลงมา คือ ขนมไทย เช่น สาลี่ ขนมชั้น ลูกชุบ คิดเป็นร้อยละ 19.3 ผู้บริโภคส่วนใหญ่ ร้อยละ 74.0 ทราบประเภทของสีที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยผู้บริโภคที่ทราบ คิดว่าสีที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่เป็นสีสังเคราะห์ คิดเป็นร้อยละ 37.3 และสีธรรมชาติ คิดเป็นร้อยละ 36.7 ผู้บริโภคยอมรับการใช้สีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหาร คิดเป็นร้อยละ 98.0 ผู้บริโภคที่ไม่ยอมรับ ให้เหตุผลว่าสีธรรมชาติขาดความหลากหลายของสี ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความสนใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้สีธรรมชาติ คิดเป็นร้อยละ 95.3 และไม่แน่ใจร้อยละ 4.7 โดยให้เหตุผลว่าต้องดูความเหมาะสมของสีกับผลิตภัณฑ์อาหารในการตัดสินใจซื้อ

1.2 การสำรวจข้อมูลทางการตลาด ความคิดเห็น พฤติกรรม และความต้องการใช้สีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารของผู้ใช้สีผสมอาหารประเภทผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก และผู้ใช้สีประเภทโรงงานอุตสาหกรรม

1.2.1 ลักษณะทางประชากรศาสตร์

จากการสำรวจข้อมูลทางการตลาด ความคิดเห็น พฤติกรรม และความต้องการใช้สีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารของผู้ใช้สีผสมอาหารประเภทผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก และผู้ใช้สีประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ผลการสำรวจ (ตารางที่ 12) พบว่าผู้ใช้ที่สำรวจเป็นเพศหญิง และเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 84.1 และ 15.9 ตามลำดับ โดยผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีอายุอยู่ในช่วง 21 – 30 ปี คิดเป็นร้อยละ 42.7 รองลงมาคือ อายุ 31 - 40 ปี คิดเป็นร้อยละ 40.2 การศึกษาสูงสุดที่ได้รับของผู้ใช้สีอยู่ในระดับปริญญาตรีมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 73.2 รองลงมา คือ ปริญญาโท คิดเป็นร้อยละ 22.0 ผู้ใช้สีส่วนใหญ่มีรายได้ต่อเดือน 10,001 – 20,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 37.8 รองลงมา คือ สูงกว่า 50,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 22.0 ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นผู้ใช้สีผสมอาหารประเภทผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก คิดเป็นร้อยละ 61.0 และผู้ใช้สีประเภทโรงงานอุตสาหกรรม คิดเป็นร้อยละ 39.0

ตารางที่ 11 ความคิดเห็น และพฤติกรรมในการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนผสมอาหารเป็นส่วนประกอบของผู้บริโภคทั่วไป

ความคิดเห็นและพฤติกรรม		ความถี่ (คน)	ร้อยละ
ความสำคัญของสิทธิในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหาร	มี	145	96.7
	ไม่มี	5	3.3
ระดับความสำคัญของสิทธิในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหาร	มาก	75	50.0
	ปานกลาง	50	33.3
	มากที่สุด	10	6.7
	น้อย	9	6.0
	น้อยที่สุด	1	0.7
เหตุผลในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนผสมอาหารเป็นส่วนประกอบ	มีสีทันตามธรรมชาติ	106	70.7
	น่ารับประทาน	99	66.0
	มีสีที่เป็นไปตามเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์	90	60.0
	ดึงดูดความสนใจ	61	40.7
	ความสวยงาม	50	33.3
	ความแปลกใหม่	21	14.0
	อื่น ๆ	2	1.3
ความถี่ในการรับประทาน	1 – 2 ครั้งต่อสัปดาห์	48	32.0
อาหารที่มีส่วนผสมอาหารเป็นส่วนประกอบ	มากกว่า 2 ครั้งต่อสัปดาห์	39	26.0
	ทุกวัน	29	19.3
	1 – 2 ครั้งต่อเดือน	24	16.0
	น้อยกว่า 1 ครั้งต่อเดือน	10	6.7
ประเภทผลิตภัณฑ์อาหารที่รับประทานบ่อยที่สุด	เครื่องดื่ม	66	44.0
	ขนมไทย	29	19.3
	ผลิตภัณฑ์ขนม	22	14.7
	ขนมหวาน	17	11.3
	ขนมอบ	16	10.7
การรับรู้ประเภทของสีที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร	ทราบ	111	74.0
	ไม่ทราบ	39	26.0
ประเภทของสีที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร	สีสังเคราะห์	56	37.3
	สีธรรมชาติ	55	36.7
การยอมรับการใช้สีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหาร	ยอมรับ	147	98.0
	ไม่ยอมรับ	3	2.0
การซื้อผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้สีธรรมชาติ	ซื้อ	143	95.3
	ไม่แน่ใจ	7	4.7

ตารางที่ 12 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ใช้สืผสมอาหารประเภทผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก และ
ผู้ใช้สืประเภทโรงงานอุตสาหกรรม

ลักษณะทางประชากรศาสตร์		ความถี่ (คน)	ร้อยละ
เพศ	หญิง	69	84.1
	ชาย	13	15.9
อายุ	21 – 30 ปี	35	42.7
	31 - 40 ปี	33	40.2
	41 - 50 ปี	12	14.6
	มากกว่า 50 ปี	2	2.4
การศึกษาสูงสุด	ปริญญาตรี	60	73.1
	ปริญญาโท	18	22.0
	ปวส. / อนุปริญญา	4	4.9
รายได้ต่อเดือน	20,001 – 30,000 บาท	30	36.6
	30,001 – 40,000 บาท	25	30.5
	40,001 – 50,000 บาท	12	14.6
	10,001 – 20,000 บาท	7	8.5
	สูงกว่า 50,000 บาท	5	6.1
	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท	3	3.7
ประเภทของผู้ใช้สืผสมอาหาร	ผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก	50	61.0
	โรงงานอุตสาหกรรม	32	39.0

1.2.2 ความคิดเห็น และพฤติกรรมในการใช้สืในผลิตภัณฑ์อาหาร

จากการสำรวจความคิดเห็น และพฤติกรรมในการใช้สืในผลิตภัณฑ์อาหารของผู้ใช้สืผสมอาหารประเภทผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก และผู้ใช้สืประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ผลการสำรวจ (ตารางที่ 13) พบว่าประเภทของสืผสมอาหารที่ใช้เป็นสืสังเคราะห์มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 89.0 รองลงมา คือ สืธรรมชาติ และสือนินทรีย์ คิดเป็นร้อยละ 57.3 และ 18.3 ตามลำดับ ผู้ใช้มีความเห็นว่าการใช้สืสังเคราะห์มีข้อดีด้านความสะดวกในการใช้มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 82.9 รองลงมา คือ ความคงตัว ร้อยละ 80.5 มีสืให้เลือกหลากหลายร้อยละ 73.2 ราคาถูกร้อยละ 47.6 หาซื้อง่าย ร้อยละ 45.1 และอื่นๆ ได้แก่ สามารถกำหนดปริมาณการใช้ได้แน่นอน คำนวณต้นทุนได้ง่าย และเก็บรักษาได้นาน คิดเป็นร้อยละ 8.5 ผู้ใช้ร้อยละ 86.6 คิดว่าสืสังเคราะห์มีข้อเสีย ผู้ใช้มี

ความเห็นว่าการใช้สีธรรมชาติมีข้อดีด้านความปลอดภัย คิดเป็นร้อยละ 96.3 รองลงมา คือ ได้รับความเชื่อถือจากลูกค้าร้อยละ 64.6 มีสีทันตามธรรมชาติร้อยละ 35.4 สามารถใช้ได้ปริมาณที่มากขึ้นร้อยละ 32.9 เสริมคุณค่าทางโภชนาการร้อยละ 30.5 และมีกลิ่นรสของวัตถุดิบที่ใช้เป็นสีธรรมชาติ คิดเป็นร้อยละ 8.5 ผู้ใช้มีความเห็นว่าการใช้สีธรรมชาติมีข้อเสียด้านความคงตัวมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 74.4 รองลงมา คือ สีที่ได้ไม่เหมือนกันทุกครั้ง ร้อยละ 69.5 มีความยุ่งยากในการเตรียม ร้อยละ 46.3 และราคาแพง คิดเป็นร้อยละ 23.2 สถานที่ที่ผู้ใช้ซื้อสีผสมอาหารมากที่สุด คือ บริษัทนำเข้าสีผสมอาหาร และบริษัทจำหน่ายสีผสมอาหาร คิดเป็นร้อยละ 40.2 ผู้ใช้ร้อยละ 73.2 ซื้อสีผสมอาหารน้อยกว่า 1 ครั้งต่อเดือน รูปแบบของสีผสมอาหารที่นิยมใช้มากที่สุด คือ ผงละเอียด คิดเป็นร้อยละ 84.1 รองลงมา คือ รูปแบบของเหลว และของเหลวข้น คิดเป็นร้อยละ 40.2 และ 20.7 ตามลำดับ ผู้ใช้ ร้อยละ 84.1 มีความเห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการใช้สีธรรมชาติเพื่อทดแทนสีสังเคราะห์ ส่วนผู้ที่คิดว่าเป็นไปไม่ได้ให้เหตุผลว่า การใช้สีธรรมชาติมีความยุ่งยากในการเตรียม ต้องใช้ในปริมาณมาก ขาดความหลากหลายของสี และมีความคงตัวน้อย

สีที่ผู้ใช้ใช้มากที่สุด 3 ลำดับแรก (ตารางที่ 14) คือ สีแดง สีเหลือง และสีเขียว ซึ่งเป็นสีในกลุ่มแม่สี โดยสามารถนำมาผสมกันเพื่อให้ได้สีอื่นๆ เช่น สีแดงผสมกับสีเหลือง ได้สีส้ม เป็นต้น

ปัจจัยที่ผู้ตอบแบบสอบถามใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อสีผสมอาหาร (ตารางที่ 15) ที่มีความสำคัญระดับมากที่สุด คือ ความปลอดภัย ปัจจัยที่มีความสำคัญในระดับมาก คือ ความสะดวกในการใช้ ความเชื่อถือจากลูกค้า ผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้ ความหลากหลายของสี และราคา ส่วนปัจจัยที่มีความสำคัญในระดับปานกลาง คือ สถานที่จัดจำหน่าย และครายี่ห้อ

ผู้ใช้สีผสมอาหารประเภทผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก และผู้ใช้สีประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ร้อยละ 39.0 มีความสนใจจะซื้อสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำ หากมีการผลิตในรูปแบบที่สะดวกในการใช้ ร้อยละ 53.7 ไม่แน่ใจที่จะซื้อ และผู้ใช้ส่วนใหญ่คิดว่ารูปแบบของสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำควรอยู่ในรูปแบบผงละเอียด คิดเป็นร้อยละ 72.0 รองลงมา คือ ของเหลวข้น และของเหลว คิดเป็นร้อยละ 19.5 และ 8.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 13 ความคิดเห็น และพฤติกรรมในการใช้สีในผลิตภัณฑ์อาหารของผู้ใช้สีผสมอาหาร
ประเภทผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก และผู้ใช้สีประเภทโรงงานอุตสาหกรรม

ความคิดเห็นและพฤติกรรม		ความถี่ (คน)	ร้อยละ
ประเภทสีผสมอาหารที่ใช้	สีสังเคราะห์	73	89.0
	สีธรรมชาติ	47	57.3
	สีอินทรีย์	15	18.3
ข้อดีของการใช้สีสังเคราะห์	ความสะดวกในการใช้	68	82.9
	มีความคงตัว	66	80.5
	มีสีให้เลือกหลากหลาย	60	73.2
	ราคาถูก	39	47.6
	หาซื้อง่าย	37	45.1
	สามารถกำหนดปริมาณการใช้ได้แน่นอน ฯลฯ	7	8.5
ข้อเสียของการใช้สีสังเคราะห์	มี	71	86.6
	ไม่มี	11	13.4
ข้อดีของการใช้สีธรรมชาติ	ความปลอดภัย	79	96.3
	ได้รับความเชื่อถือจากลูกค้า	53	64.6
	มีสีสันตามธรรมชาติ	29	35.4
	สามารถใช้ในปริมาณที่มากขึ้น	27	32.9
	เสริมคุณค่าทางโภชนาการ	25	30.5
	มีกลิ่นรสของวัตถุดิบที่ใช้เป็นสีธรรมชาติ	7	8.5
ข้อเสียของการใช้สีธรรมชาติ	ความคงตัว	61	74.4
	สีที่ได้ไม่เหมือนกันทุกครั้ง	57	69.5
	ความยุ่งยากในการเตรียม	38	46.3
	ราคาแพง	19	23.2
สถานที่ที่ซื้อสีผสมอาหาร	บริษัทนำเข้าสีผสมอาหาร	33	40.2
	บริษัทจำหน่ายสีผสมอาหาร	33	40.2
	ดิสเคาน์สโตร์	7	8.5
	ร้านค้าปลีก	5	6.2
	ซูเปอร์มาร์เก็ต	4	4.9
ความถี่ในการซื้อสีผสมอาหาร	น้อยกว่า 1 ครั้ง ต่อเดือน	60	73.2
	1 - 2 ครั้ง ต่อเดือน	22	26.8
รูปแบบของสีผสมอาหารที่ใช้	ผงละเอียด	69	84.1
	ของเหลว	33	40.2
	ของเหลวข้น	17	20.7
ความเป็นไปได้ในการทดแทนสีสังเคราะห์	เป็นไปได้	69	84.1
	เป็นไปได้	13	15.9

ตารางที่ 14 สีที่ผู้ใช้สืผสมอาหารประเภทผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก และผู้ใช้สีประเภทโรงงาน
อุตสาหกรรมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

สี	ความถี่ในแต่ละระดับ			ผลรวมของการ เรียงลำดับ	ลำดับ ความสำคัญ*
	1	2	3		
สีแดง	55	10	4	189	1
สีเหลือง	11	22	26	103	2
สีเขียว	7	13	18	65	3
สีชมพู	3	10	6	35	4
สีน้ำเงิน	1	7	14	31	5
สีม่วง	0	8	3	19	6
สีน้ำตาล	4	4	4	24	7
สีดำ	1	8	7	26	8

หมายเหตุ * ลำดับที่ 1 หมายถึง มีการใช้มากที่สุด ให้ 3 คะแนน และลำดับที่ 3 หมายถึง มีการใช้
น้อยที่สุด ให้ 1 คะแนน เรียงลำดับตามคะแนนรวมมากที่สุดเป็นลำดับที่ 1

ตารางที่ 15 ปัจจัยสำคัญที่ผู้ตอบแบบสอบถามใช้ในการตัดสินใจซื้อสืผสมอาหาร

ปัจจัย	ค่าเฉลี่ย	ระดับความสำคัญ
ความปลอดภัย	4.28	มากที่สุด
ความสะดวกในการใช้	4.20	มาก
ความเชื่อถือจากลูกค้า	4.15	มาก
ผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้	4.11	มาก
ความหลากหลายของสี	3.89	มาก
ราคา	3.62	มาก
สถานที่จัดจำหน่าย	3.29	ปานกลาง
ตราหือ	3.26	ปานกลาง

ตารางที่ 16 ข้อมูลเกี่ยวกับความสนใจที่จะซื้อ และรูปแบบของสิทธิธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำของ
ผู้ใช้สิทธิผสมอาหารประเภทผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก และผู้ใช้สิทธิประเภทโรงงาน
อุตสาหกรรม

ข้อมูล		ความถี่ (คน)	ร้อยละ
ความสนใจที่จะซื้อถ้ามีการ	สนใจ	32	39.0
ผลิตสิทธิธรรมชาติจากข้าว	ไม่แน่ใจ	44	53.7
เหนียวดำที่มีรูปแบบสะดวก	ไม่สนใจ	6	7.3
ในการใช้			
รูปแบบของสิทธิธรรมชาติจาก	ผงดะเอียด	59	72.0
ข้าวเหนียวดำที่สะดวกในการ	ของเหลว	7	8.5
ใช้	ของเหลวข้น	16	19.5

1.3 การสำรวจข้อมูลทางการตลาด ความคิดเห็น พฤติกรรม และความต้องการใช้สิทธิ ธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารของผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายสิทธิผสมอาหาร

1.3.1 ลักษณะทางประชากรศาสตร์

จากการสำรวจข้อมูลทางการตลาด ความคิดเห็น พฤติกรรม และความต้องการใช้สิทธิธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารของผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายสิทธิผสมอาหาร (ตารางที่ 17) โดยสอบถามบุคคลในองค์กรของ บริษัทผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายสิทธิผสมอาหาร ซึ่งเป็นเพศหญิงและเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 66.7 และ 33.3 ตามลำดับ ผู้ตอบแบบสอบถามมีอายุอยู่ในช่วง 21 – 30 ปี และมากกว่า 50 ปี มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 33.3 และ 33.3 ตามลำดับ รองลงมา คือ อายุ 31 – 40 ปี และ 41 – 50 ปี คิดเป็นร้อยละ 22.2 และ 11.1 ตามลำดับ การศึกษาสูงสุดอยู่ในระดับปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 55.6 ระดับปริญญาโท คิดเป็นร้อยละ 44.4 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีรายได้ต่อเดือนสูงกว่า 50,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 55.6 รองลงมา คือ 30,001 – 40,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 22.2 และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท ร้อยละ 11.1 ผู้ตอบแบบสอบถามในบริษัทผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายสิทธิผสมอาหาร ร้อยละ 44.4 ดำรงตำแหน่งผู้จัดการฝ่ายผลิตภัณฑ์ รองลงมา คือ ผู้จัดการฝ่ายการตลาด ร้อยละ 27.8 ผู้จัดการฝ่ายขาย ร้อยละ 16.7 และกรรมการผู้จัดการ ร้อยละ 11.0

ตารางที่ 17 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายสัผสมอาหาร

ลักษณะทางประชากรศาสตร์		ความถี่ (คน)	ร้อยละ
เพศ	หญิง	12	66.7
	ชาย	6	33.3
อายุ	มากกว่า 50 ปี	6	33.3
	21 – 30 ปี	6	33.3
	31 - 40 ปี	4	22.2
	41 - 50 ปี	2	11.1
การศึกษาสูงสุด	ปริญญาตรี	10	55.6
	ปริญญาโท	8	44.4
รายได้ต่อเดือน	สูงกว่า 50,000 บาท	10	55.6
	30,001 – 40,000 บาท	4	22.2
	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท	2	11.1
	20,001 – 30,000 บาท	2	11.1
ตำแหน่งของผู้ตอบ	ผู้จัดการฝ่ายผลิตภัณฑ์	8	44.4
แบบสอบถามใน	ผู้จัดการฝ่ายการตลาด	5	27.8
บริษัทผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือ	ผู้จัดการฝ่ายขาย	3	16.7
ผู้จำหน่ายสัผสมอาหาร	กรรมการผู้จัดการ	2	11.1

1.3.2 ความคิดเห็น และพฤติกรรมเกี่ยวกับสัผสมอาหาร

จากการสำรวจความคิดเห็น และพฤติกรรมเกี่ยวกับสัผสมอาหารของผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายสัผสมอาหาร (ตารางที่ 18) พบว่า ประเภทสัผสมอาหารที่ผลิต นำเข้า หรือจำหน่ายเป็นสัสังเคราะห์มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 88.9 รองลงมา คือ สัธรรมชาติ และสัอินทรีย์ คิดเป็นร้อยละ 33.3 และ 22.2 ตามลำดับ รูปแบบของสัผสมอาหารที่ผลิต นำเข้า หรือจำหน่ายอยู่ในรูปแบบผงละเอียดมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 100.0 รองลงมา คือ อยู่ในรูปของเหลว และของเหลวข้น คิดเป็นร้อยละ 55.6 และ 11.1 ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลเบื้องต้นทำให้ทราบว่าผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายสัผสมอาหารทุกราย ผลิต นำเข้า หรือจำหน่ายสัผสมอาหารในรูปแบบผงละเอียด โดยสามารถจำแนกได้ว่า ผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายสัผสมอาหาร ผลิต นำเข้า หรือจำหน่ายสัผสมอาหารในรูปแบบผงละเอียดเพียงรูปแบบเดียว 8 ราย รูปแบบผงละเอียดและของเหลว 8 ราย และผลิต นำเข้า หรือจำหน่ายสัผสมอาหารทั้ง 3 รูปแบบ 2 ราย รูปแบบของสัผสมอาหารที่ลูกค้านิยม

มากที่สุด คือ ผงละเอียด คิดเป็นร้อยละ 88.9 และของเหลว คิดเป็นร้อยละ 11.1 ช่องทางที่ใช้ในการจัดจำหน่ายสัพพสามอาหารมากที่สุด คือ ซูเปอร์มาร์เก็ต เช่น ท็อปส์ คิดเป็นร้อยละ 66.7 รองลงมา คือ คนกลาง ร้อยละ 33.3 ตัวแทนจัดจำหน่าย ร้อยละ 22.2 พนักงานขาย ร้อยละ 22.2 และร้านค้าปลีก ร้อยละ 11.1 มีลูกค้าเป็นกลุ่มธุรกิจประเภทผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก ประเภทเบเกอรี่มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 22.2 รองลงมา คือ ขนมหวาน ขนมไทย เครื่องดื่ม และอื่น ๆ ได้แก่ ไอศกรีม คิดเป็นร้อยละ 11.1, 11.1, 11.1 และ 11.1 ตามลำดับ และมีลูกค้าเป็นกลุ่มธุรกิจประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ และผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 55.6 และ 55.6 ตามลำดับ รองลงมา คือ ผลิตภัณฑ์นม และอื่น ๆ ได้แก่ ลูกกวาด คิดเป็นร้อยละ 33.3 และ 22.2 ตามลำดับ ผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายสัพพสามอาหาร ร้อยละ 77.8 มีความเห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการใช้สัพพสามอาหารเพื่อทดแทนสีสังเคราะห์ ส่วนผู้ที่คิดว่าเป็นไปไม่ได้ให้เหตุผลว่า สีธรรมชาติมีข้อจำกัดด้านความคงตัว ราคา และเจดสี ผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายสัพพสามอาหารส่วนใหญ่มีความสนใจที่จะซื้อสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำ คิดเป็นร้อยละ 66.7 และไม่แน่ใจ ร้อยละ 33.3 โดยให้เหตุผลว่า ต้องการเห็นผลิตภัณฑ์จริงก่อน เพื่อใช้ในการตัดสินใจซื้อ และคิดว่ารูปแบบของสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำควรมีรูปแบบผงละเอียดมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 88.9 และของเหลว คิดเป็นร้อยละ 11.1

สีที่ผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่าย ผลิต นำเข้า หรือจำหน่ายมากที่สุด (ตารางที่ 19) 3 ลำดับแรก คือ สีเหลือง สีแดง และสีเขียว ซึ่งเป็นสีในกลุ่มแม่สี โดยสามารถนำมาผสมกันเพื่อให้ได้สีอื่นๆ เช่น สีแดงผสมกับสีเหลือง ได้สีส้ม เป็นต้น

ตารางที่ 18 ความคิดเห็น และพฤติกรรมเกี่ยวกับสีผสมอาหารของผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายสีผสมอาหาร

ความคิดเห็น และพฤติกรรม		ความถี่ (คน)	ร้อยละ
ประเภทสีผสมอาหารที่ผลิตนำเข้า หรือจำหน่าย	สีสังเคราะห์	16	88.9
	สีธรรมชาติ	6	33.3
	สีอนินทรีย์	4	22.2
รูปแบบของสีผสมอาหารที่ผลิตหรือนำเข้า หรือจำหน่าย	ผงละเอียด	18	100.0
	ของเหลว	10	55.6
	ของเหลวข้น	2	11.1
รูปแบบของสีที่ลูกค้านิยมมากที่สุด	ผงละเอียด	16	88.9
	ของเหลว	2	11.1
ช่องทางในการจัดจำหน่ายสีผสมอาหาร	ซูเปอร์มาร์เก็ต	12	66.7
	คนกลาง	6	33.3
	ตัวแทนจัดจำหน่าย	4	22.2
	พนักงานขาย	4	22.2
	ร้านค้าปลีก	2	11.1
ประเภทธุรกิจที่เป็นลูกค้า	ผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก		
	- เบเกอรี่	4	22.2
	- ขนมหวาน	2	11.1
	- ขนมไทย	2	11.1
	- เครื่องดื่ม	2	11.1
	- ไอศกรีม	2	11.1
	โรงงานอุตสาหกรรม		
	- ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่	10	55.6
	- ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม	10	55.6
	- ผลิตภัณฑ์นม	6	33.3
	- ลูกกวาด	4	22.2
ความเป็นไปได้ในการทดแทนสีสังเคราะห์	เป็นไปได้	14	77.8
	เป็นไปได้	4	22.2
ความสนใจที่จะซื้อสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำ	สนใจ	12	66.7
	ไม่แน่ใจ	6	33.3
รูปแบบของสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำที่สะดวกในการใช้	ผงละเอียด	16	88.9
	ของเหลว	2	11.1

ตารางที่ 19 สีของสีผสมอาหารที่ผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่าย ผลิต นำเข้า หรือจำหน่ายมากที่สุด

สี	ความถี่ในแต่ละระดับ			ผลรวมของการ เรียงลำดับ	ลำดับ ความสำคัญ*
	1	2	3		
สีเหลือง	10	4	0	38	1
สีแดง	6	6	2	32	2
สีเขียว	2	0	8	14	3
สีชมพู	0	2	2	6	4
สีน้ำเงิน	0	0	2	2	7
สีม่วง	0	2	0	4	6
สีน้ำตาล	0	0	4	4	6
สีดำ	0	4	0	8	5

หมายเหตุ * ลำดับที่ 1 หมายถึง มีการใช้มากที่สุด ให้ 3 คะแนน และลำดับที่ 3 หมายถึง มีการใช้น้อยที่สุด ให้ 1 คะแนน เรียงลำดับตามคะแนนรวมมากที่สุดเป็นลำดับที่ 1

2. การศึกษาคุณภาพวัตถุดิบ

ศึกษาคุณภาพของข้าวเหนียวดำพันธุ์กำดอยสะเก็ด จากศูนย์วิจัยข้าวเชียงใหม่ บรรจุนในถุงพลาสติก เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง สุ่มตัวอย่างข้าวเหนียวดำพันธุ์กำดอยสะเก็ดจากศูนย์วิจัยข้าวเชียงใหม่ จำนวน 2 ครั้ง โดยครั้งแรกสุ่มตัวอย่างข้าวเหนียวดำจำนวน 1 กิโลกรัม จากข้าวเหนียวดำทั้งหมด 20 กิโลกรัม และครั้งที่สองสุ่มตัวอย่างข้าวเหนียวดำที่ได้จากการสุ่มครั้งแรกจำนวน 100 กรัม โดยทำการสุ่มตัวอย่าง 2 ซ้ำ ตรวจสอบคุณภาพของข้าวเหนียวดำ โดยคัดเลือกเมล็ดที่ลีบ และเมล็ดที่มีสีซีด นับจำนวนเมล็ดที่ลีบ และสีซีด รายงานผลเป็นร้อยละ และนำข้าวเหนียวดำที่ผ่านการคัดเลือก มาวัดค่าคุณภาพทางกายภาพ และเคมี ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ค่าคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของข้าวเหนียวดำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด

ค่าคุณภาพ	ปริมาณ
ทางกายภาพ	
เมล็ดดี (ร้อยละ)	88.67
เมล็ดลีบ (ร้อยละ)	9.69
เมล็ดสีซีด (ร้อยละ)	1.64
ความกว้าง (เซนติเมตร)	0.30 ± 0.03
ความยาว (เซนติเมตร)	0.63 ± 0.04
a_w	0.565
ค่าสี L^*	22.03 ± 1.97
a^*	5.00 ± 0.63
b^*	2.27 ± 0.73
C^*	5.51 ± 0.81
h (องศา)	24.00 ± 1.45
ทางเคมี	
ความชื้น (ร้อยละ)	12.84
ไขมัน (ร้อยละ)	0.63
โปรตีน (ร้อยละ)	10.20
เส้นใยหยาบ (ร้อยละ)	6.23
เถ้า (ร้อยละ)	1.51
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) จากการคำนวณ	68.59

จากการวัดค่าคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของข้าวเหนียวดำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด พบว่ามี ส่วนที่เป็นข้าวเมล็ดดีร้อยละ 88.67 ข้าวเมล็ดลีบร้อยละ 9.69 เมล็ดสีซีดร้อยละ 1.64 ความกว้าง และความยาวของเมล็ดเฉลี่ย เท่ากับ 0.30 และ 0.63 เซนติเมตร ตามลำดับ ข้าวเหนียวดำมีสีม่วงดำ โดยมี ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเข้มของสี (C^*) และค่ามุมของสี (h) เท่ากับ 22.03, 5.51 และ 24.00 องศา ตามลำดับ ปริมาณความชื้นร้อยละ 12.84 ไขมันร้อยละ 0.63 โปรตีนร้อยละ 10.20 เส้นใยหยาบ ร้อยละ 6.23 เถ้าร้อยละ 1.51 และคาร์โบไฮเดรต (จากการคำนวณ) ร้อยละ 68.59

3. การศึกษาการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ

3.1 คัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ โดยใช้การจัดการทดลองแบบแฟกทอเรียล แอนด์ เบอร์แมน เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของแข็ง และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด โดยปัจจัยที่นำมาพิจารณามี 4 ปัจจัย คือ อัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำ อุณหภูมิ เวลา และการเขย่า ซึ่งในแต่ละปัจจัยจะศึกษา 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ และระดับสูง พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด ($p \leq 0.05$) คือ อุณหภูมิ เวลา และการเขย่า ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่สกัดได้ ($p \leq 0.05$) คือ อุณหภูมิ และการเขย่า อัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำไม่มีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่สกัดได้ และปริมาณของแข็งทั้งหมด ($p > 0.05$) (ตารางที่ 21)

ตารางที่ 21 ค่าระดับนัยสำคัญ (p-value) ของอัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำ อุณหภูมิ เวลา และการเขย่าต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด

ปัจจัย	ค่าระดับนัยสำคัญ	
	ปริมาณของแข็งทั้งหมด	ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด
อัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำ	0.510	0.772
อุณหภูมิ	0.000*	0.000*
เวลา	0.001*	0.786
การเขย่า	0.001*	0.007*

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ดังนั้นปัจจัยที่จะใช้ศึกษาต่อไปคือ อุณหภูมิ และเวลาในการสกัด โดยใช้อัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำ 1 : 3 เพื่อลดการใช้พลังงานในขั้นตอนการทำเข้มข้นสี และใช้การเขย่าด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าเนื่องจากให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่สกัดได้ และปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงกว่าการไม่เขย่า เนื่องจากการเขย่าช่วยให้ข้าวเหนียวดำสัมผัสกับน้ำได้มากขึ้น สอดคล้องกับ Tulyathan *et al.* (1993) ศึกษาการสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันด้วยการเขย่า

และไม่เขย่า พบว่าการเขย่ามีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินที่สกัดได้ โดยการเขย่าในขณะที่สกัดให้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าการไม่เขย่า

3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ

จากปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำจากข้อ 3.1 นำมาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ โดยใช้การจัดการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3 x 4 และแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดโดยสมบูรณ์ ศึกษาอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส และเวลา 4 ระดับ คือ 45, 60, 75 และ 90 นาที รวม 12 สิ่งทดลอง โดยเตรียมข้าวเหนียวดำต่อน้ำที่อัตราส่วน 1 : 3 และใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า ศึกษาตามสภาวะดังกล่าวข้างต้น ดังภาพที่ 7 นำค่าที่มีความแตกต่างกันทางสถิติมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการพหุคูณตอบสนอง โดยใช้สมการลำดับที่ 2 พิจารณาสมการที่มีระดับความเชื่อมั่นมากกว่าร้อยละ 95 นำมาสร้างกราฟคอนทัวร์ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมด เพื่อคัดเลือกสภาวะที่ให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงที่สุด

ตารางที่ 22 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) ที่อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการสกัดต่าง ๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)				ค่าเฉลี่ย
	45	60	75	90	
55	300.33	266.76	248.32	215.56	257.74c
60	305.52	276.08	255.22	225.23	265.51b
65	302.99	282.34	259.93	240.94	271.55a
ค่าเฉลี่ย	302.95A	275.06B	254.49C	227.24D	

หมายเหตุ ตัวอักษร a – c ในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร A – D ในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษาอุณหภูมิ และเวลาในการสกัดต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (ตารางที่ 22) พบว่า อุณหภูมิ และเวลาในการสกัดมีอิทธิพลต่อ ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นมีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดนานขึ้นมีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลของ อัจฉริยา (2530) ซึ่งศึกษาอุณหภูมิ และเวลาในการสกัดสีจากลูกพุดโดยใช้น้ำในการสกัด พบว่าการสกัดที่อุณหภูมิสูงให้ปริมาณสีมากกว่าการสกัดที่อุณหภูมิต่ำ และปริมาณสีจะเพิ่มขึ้นในช่วง 10 นาทีแรก จากนั้นปริมาณสีจะลดลง

จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และเวลาในการสกัดต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด (ตารางที่ 23) พบว่าอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการสกัดมีอิทธิพลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และเวลาในการสกัดสูงขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ลัดดา (2548) ซึ่งกล่าวว่า อุณหภูมิมีผลต่อทั้งปริมาณการละลาย และความเร็วในการละลาย การละลายของแข็งในของเหลวมักเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ตารางที่ 23 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ) ที่อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการสกัดต่าง ๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)				ค่าเฉลี่ย
	45	60	75	90	
55	0.55	0.68	0.77	0.88	0.72c
60	0.65	0.77	0.94	1.02	0.85b
65	0.75	0.91	1.09	1.23	1.00a
ค่าเฉลี่ย	0.65D	0.79C	0.93B	1.04A	

หมายเหตุ ตัวอักษร a – c ในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร A – D ในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำข้อมูลค่าคุณภาพที่มีความแตกต่างกันทางสถิติมาวิเคราะห์โดยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง โดยใช้สมการลำดับที่ 2 คือ $y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1^2 + \beta_4 x_1 x_2 + \beta_5 x_2^2$ ได้สมการดังตารางที่ 24 จากนั้นนำสมการที่มีระดับความเชื่อมั่นมากกว่าร้อยละ 95 มาสร้างกราฟคอนทัวร์ ซึ่งสมการของปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณของแข็งทั้งหมด มีระดับความเชื่อมั่นมากกว่าร้อยละ 95 และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.907 และ 0.988 ตามลำดับ หมายถึง สัดส่วนที่ตัวแปรต้น (อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัด) สามารถอธิบายตัวแปรตาม (ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมด) ได้ร้อยละ 90.7 และ 98.8 ตามลำดับ กราฟคอนทัวร์ (ภาพที่ 8)

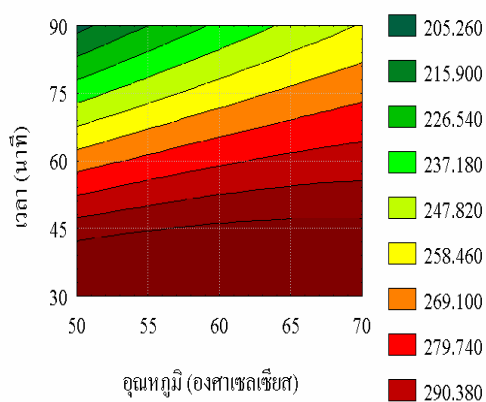
ตารางที่ 24 สมการลำดับที่สองของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดของสีจากข้าวเหนียวดำ

สมการ	R^2	Model significance
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด = $345.8080 + 2.6480 x_1 - 4.3150 x_2 - 0.0346 x_1^2 + 0.0428 x_1 x_2 + 0.0007 x_2^2$	0.907	0.000
ปริมาณของแข็งทั้งหมด = $1.83000 - 0.05760 x_1 - 0.01100 x_2 + 0.00050 x_1^2 + 0.0004 x_1 x_2 - 0.00002 x_2^2$	0.988	0.000

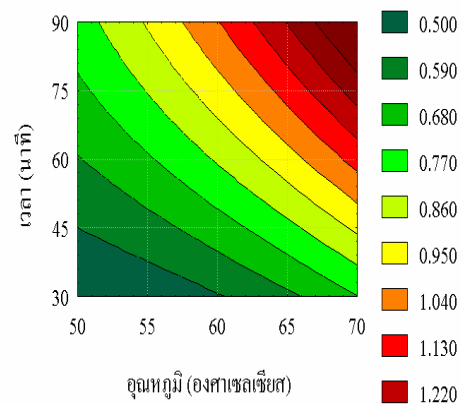
หมายเหตุ x_1 หมายถึง อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

x_2 หมายถึง เวลา (นาที)

เมื่อนำกราฟคอนทัวร์ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ออุณหภูมิ และเวลา (ภาพที่ 8 ก และ ข) มาซ้อนทับกัน (ภาพที่ 9) พบว่าสภาวะในการสกัดที่ให้ค่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงที่สุด คือ อุณหภูมิในช่วง 62 – 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 67 – 75 นาที

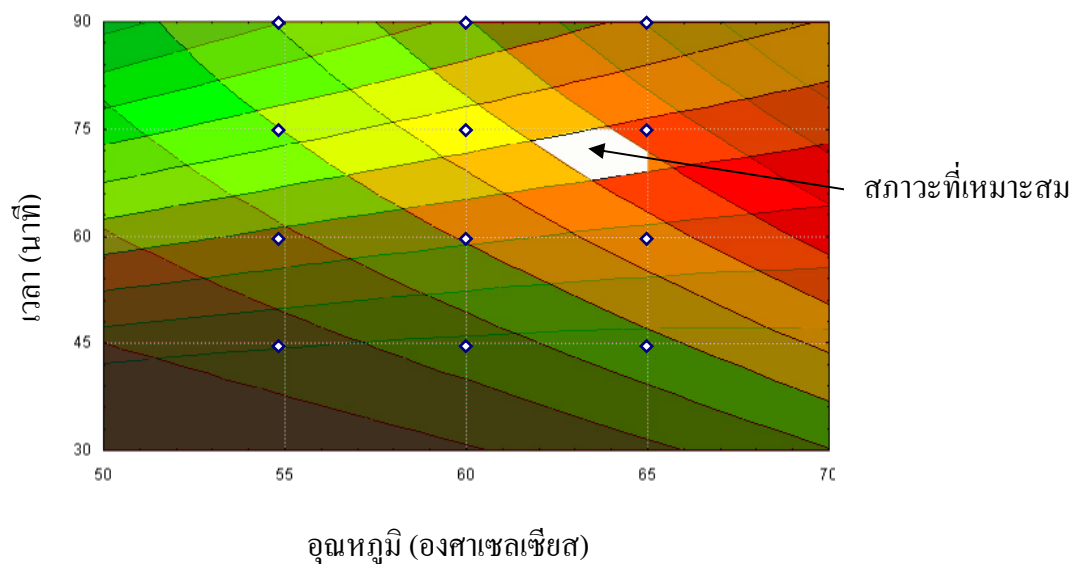


(ก)



(ข)

ภาพที่ 8 กราฟคอนทัวร์ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อ (ก) ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมข้าวเหนียวดำ); (ข) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)



ภาพที่ 9 กราฟคอนทัวร์ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดที่มีผลต่อ ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมข้าวเหนียวดำ) และปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)

4. การศึกษาเวลาในการทำเข้มข้นสีจากข้าวเหนียวดำ

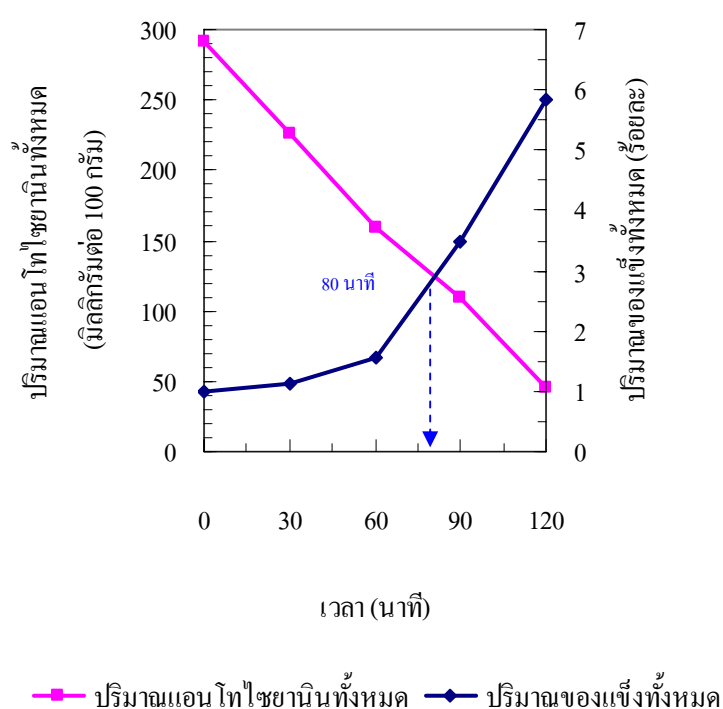
การศึกษาเวลาในการทำเข้มข้นสีจากข้าวเหนียวดำ โดยสกัดสีจากข้าวเหนียวดำที่สภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3.2 คือ อัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำ 1 : 3 อุณหภูมิ 62 – 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 67 - 75 นาที ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า โดยนำสีที่สกัดได้ใส่ในหม้อเทพลอนที่ตั้งบนหม้อสแตนเลสที่ต้มน้ำเดือดควบคุมอุณหภูมิที่ระดับ 87 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที วัดค่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ปริมาณของแข็งทั้งหมด และค่าสี L^*C^*h

จากการศึกษาผลของเวลาในการทำเข้มข้นต่อค่าสี ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมด (ตารางที่ 25) พบว่า เวลาในการทำเข้มข้นมีผลต่อค่าสี ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มเวลาในการทำเข้มข้น มีผลทำให้ค่าสี และปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการทำเข้มข้น มีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดลดลง เนื่องจากเวลาในการทำเข้มข้นนานขึ้น ทำให้การสลายตัวของแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น Mok and Hettiarachchy (1991) กล่าวว่า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับผลการวิจัยของ บุศรารัตน์ (2545) ซึ่งศึกษาอุณหภูมิ และเวลาในการทำเข้มข้นสารละลายสกัดแอนโทไซยานิน พบว่าการทำเข้มข้นที่อุณหภูมิสูงทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินมีแนวโน้มลดลง และเวลาในการทำเข้มข้นสูงขึ้นทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินมีแนวโน้มลดลง แต่ปริมาณของแข็งทั้งหมดมีแนวโน้มสูงขึ้น ในการศึกษาที่ต้องการคัดเลือกเวลาในการทำเข้มข้นสีจากข้าวเหนียวดำที่ให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงที่สุด เมื่อนำข้อมูลมาสร้างกราฟ (ภาพที่ 10) จึงเลือกจุดตัดกราฟ คือ ที่เวลา 80 นาที ซึ่งเป็นจุดที่ได้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมดสูง ดังนั้นเวลาที่เลือกใช้ในการทำเข้มข้นสีจากข้าวเหนียวดำ คือ 80 นาที

ตารางที่ 25 ค่าสี $L^*a^*b^*C^*h$ ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และปริมาณของแข็งทั้งหมด ของสี
เข้มข้นจากข้าวเหนียวดำที่เวลาในการทำเข้มข้นต่าง ๆ

เวลา (นาที่)	ค่าสี					ปริมาณแอนโทไซยานิน ทั้งหมด	ปริมาณของแข็ง ทั้งหมด
	L^*	a^*	b^*	C^*	h (องศา)	(มิลลิกรัม/100กรัม)	(ร้อยละ)
0	7.14e	34.87e	12.14e	36.93e	19.18e	291.63a	0.98d
30	9.33d	37.46d	15.93d	40.71d	23.04d	225.85b	1.14d
60	10.95c	38.69c	18.72c	42.99c	25.82c	159.09c	1.56c
90	14.20b	40.86b	24.31b	47.54b	30.75b	109.93d	3.48b
120	16.24a	41.84a	27.83a	50.25a	33.63a	46.09e	5.85a

หมายเหตุ ตัวอักษร a - e ในแนวนั่ง หมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 10 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) และปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ) ที่เวลาในการทำเข้มข้นต่าง ๆ

5. การศึกษากรรมวิธีการทำแห้งสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำที่เหมาะสม

ศึกษาวิธีการทำแห้ง 3 วิธี คือ การทำแห้งแบบพ่นฝอย การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง และการทำแห้งแบบถาด โดยใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นสิ่งที่ทดลองควบคุม นำสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำ มาวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (AOAC, 2000) เดิมมอลโทเดกซ์ทรินค่า DE 10 เพื่อเพิ่มปริมาณของแข็งให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 15 สำหรับการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย และการทำแห้งแบบถาด ส่วนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง เตรียมโดยเติมแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 10 เพื่อเพิ่มความหนืดของสีเข้มข้นที่จะทำแห้งให้อยู่ในรูปกึ่งเหลว

5.1 ศึกษาการทำแห้งสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เพิ่มอุณหภูมิให้กับสีที่สกัดได้จากข้าวเหนียวดำ โดยควบคุมอุณหภูมิของสารละลายสีก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และควบคุมสถานะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (ภาพที่ 11) ดังนี้ ความดันของลมที่หัวเหวี่ยง 2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือคิดเป็นความเร็วของหัวเหวี่ยง 25,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิลมร้อนก่อนเข้าทำแห้ง 135 – 145 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมร้อนหลังการทำแห้ง 90 – 100 องศาเซลเซียส (Chen and Tang, 1998) โดยใช้หัวฉีดความดัน มีอัตราเร็วของลมร้อนเท่ากับ 48.5 เมตรต่อวินาที อัตราการป้อนสี 5 มิลลิลิตรต่อนาที ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อน เป็นการเคลื่อนที่แบบผสม (Mixed flow or complex vertical downward) โดยลมร้อนถูกพ่นเข้าด้านข้าง ก่อนไปด้านบน ทำให้ลมร้อนเกิดการหมุนเวียนกับละอองของเหลวภายในห้องทำแห้ง (กิตติมา, 2549) พงสีที่ได้มีสีม่วงแดง และมีค่าคุณภาพ (ตารางที่ 27) ดังนี้ ค่าสี L^*C^*h เท่ากับ 56.55, 21.33 และ 45.80 องศา ค่า a_w เท่ากับ 0.171 ค่าการละลาย เท่ากับ 230 วินาที ค่าความชื้นร้อยละ 1.08 และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เท่ากับ 5.29 มิลลิกรัมต่อกรัมผงสี

5.2 ศึกษาการทำแห้งสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำโดยวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

ควบคุมอุณหภูมิของลูกกลิ้งให้มีอุณหภูมิ 130 – 140 องศาเซลเซียส และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร ป้อนสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำที่บริเวณผิวนอกของลูกกลิ้ง และนำสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำที่ผ่านการทำให้แห้งมาบดด้วยเครื่องบดละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช จะได้ผงสีจากข้าวเหนียวดำซึ่งมีค่าคุณภาพ ดังนี้ (ตารางที่ 27) ค่าสี L^*C^*h เท่ากับ

34.15, 12.96 และ 23.23 องศา ค่า a_w เท่ากับ 0.212 ค่าการละลายไม่สามารถวัดได้ เนื่องจากผงสีจากข้าวเหนียวดำมีส่วนที่ไม่ละลายน้ำ และจับตัวเป็นก้อน ค่าความชื้นร้อยละ 1.30 และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เท่ากับ 35.07 มิลลิกรัมต่อกรัมผงสี



ภาพที่ 11 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยออกแบบโดย นายบุญชัย หฤทัยธนาสันต์ ที่สถาบันคั่นคว่ำ และพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.3 ศึกษาการทำแห้งสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำโดยวิธีการทำแห้งแบบถาด

ศึกษาอุณหภูมิในการทำแห้งแบบถาด 3 อุณหภูมิ คือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยวัดค่าความชื้น และค่า a_w ของสีจากข้าวเหนียวดำทุก 1 ชั่วโมง นำมาสร้างกราฟการทำแห้ง เลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งสีจากข้าวเหนียวดำ ที่มีค่าความชื้นไม่เกิน ร้อยละ 8 และค่า a_w ไม่เกิน 0.4 (Fellows, 2000) นำมาบดด้วยเครื่องบดละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 ไมครอน ได้ผงสีจากข้าวเหนียวดำ วิเคราะห์ค่าคุณภาพ (ตารางที่ 26)

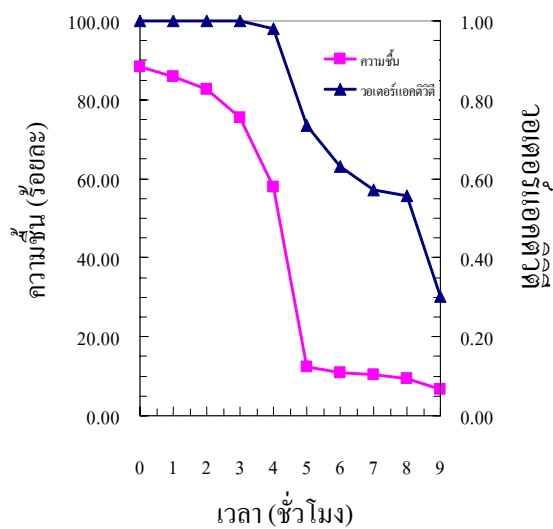
จากการวัดค่าคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของผงสีจากข้าวเหนียวดำ จากวิธีการทำแห้งแบบถาด พบว่า สภาวะในการทำแห้งแบบถาด มีผลต่อค่าความเข้มของสี (C^*) ค่า a_w ค่าการละลาย ค่าความชื้น และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด โดยการทำแห้งแบบถาดที่ให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

รองลงมา คือ การทำแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง แต่เมื่อพิจารณาคุณภาพด้านอื่น ๆ เช่น ค่าการละลาย พบว่า ผงสีจากข้าวเหนียวดำที่ใช้วิธีการทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ใช้เวลาในการทำให้ผงสีจากข้าวเหนียวดำละลายในน้ำน้อยที่สุด เท่ากับ 165.40 วินาที จึงเลือกสภาวะในการทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง มาทำการผลิตผงสีจากข้าวเหนียวดำ

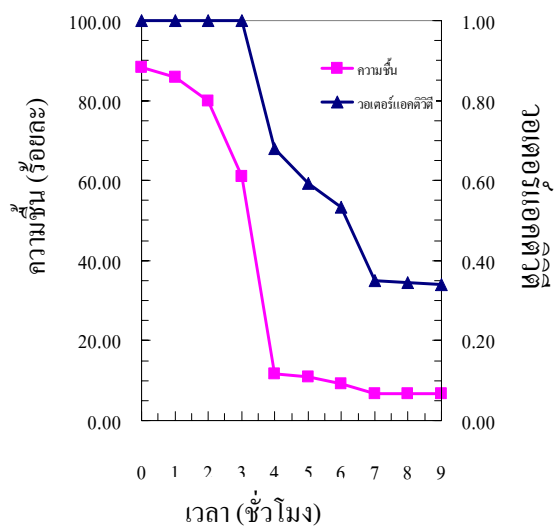
ตารางที่ 26 ค่าสี $L^*a^*b^*C^*h$ ค่า a_w ค่าการละลาย ความชื้น และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของผงสีที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีการทำแห้งแบบถาดที่สภาวะต่าง ๆ

สภาวะในการทำแห้ง	ค่าสี					ค่า a_w	ค่าการละลาย (วินาที)	ความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกรัมผงสี)
	L^*	a^*	b^*	C^*	h (องศา)				
50°ซ 9 ชม.	34.99a	12.00b	11.14ab	16.37ab	42.87a	0.30c	165.40c	6.75b	3.40a
60°ซ 7 ชม.	34.71a	12.77a	11.82a	17.40a	42.77a	0.35b	269.53b	6.65b	2.82b
70°ซ 5 ชม.	35.31a	11.17c	10.41b	15.27b	42.95a	0.39a	291.20a	7.84a	3.24a

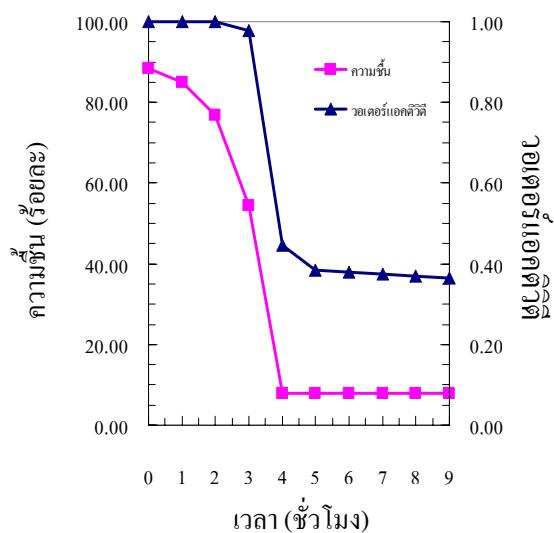
หมายเหตุ ตัวอักษร a - c ในแนวดัง หมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq 0.05$)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 12 ความชื้น และค่า a_w ของสีกากข้าวเหนียวดำที่เวลาต่าง ๆ ณ อุณหภูมิในการทำแห้ง (ก) 50 องศาเซลเซียส; (ข) 60 องศาเซลเซียส; (ค) 70 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 27 ค่าสี $L^*a^*b^*C^*h$ ค่า a_w ค่าการละลาย ความชื้น ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของผงสี ที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งต่าง ๆ

วิธีการทำแห้ง	ค่าสี					ค่าการละลาย	ความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกรัม)
	L^*	a^*	b^*	C^*	h (องศา)			
แบบพ่นฝอย	56.55a	14.87a	15.29a	21.33a	45.80a	0.17c	230.00a	1.08c
แบบลูกกลิ้ง	34.15c	11.91b	5.11c	12.96c	23.23c	0.21b	NA	1.30b
แบบถาด*	34.99b	12.00b	11.14b	16.37b	42.87b	0.30a	165.40b	6.75a

หมายเหตุ ตัวอักษร a - c ในแนวนั่ง หมายถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

NA หมายถึง ไม่สามารถวัดค่าได้ เนื่องจากมีส่วนที่ไม่ละลายน้ำ

* แบบถาดที่ 50°ซ 9 ชม.

วัดค่าคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของผงสีจากข้าวเหนียวดำ จากวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย แบบลูกกลิ้ง และแบบถาด พบว่า วิธีการทำแห้งมีผลต่อค่าสี L^*C^*h ค่า a_w ค่าการละลาย ค่าความชื้น และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เมื่อพิจารณาผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด พบว่าการทำแห้งแบบลูกกลิ้งให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงที่สุด รองลงมา คือ การทำแห้งแบบพ่นฝอย และการทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง แต่เมื่อพิจารณาค่าคุณภาพด้านอื่น ๆ เช่น ค่าการละลาย พบว่า ผงสีจากข้าวเหนียวดำที่ใช้วิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีส่วนที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งคุณสมบัติของผงสีต้องมีการละลายที่ดี และการทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ให้ค่าการละลายดีที่สุด เท่ากับ 165.40 วินาที เนื่องจากใช้เวลาในการทำให้ผงสีจากข้าวเหนียวดำละลายในน้ำน้อยที่สุด ดังนั้นจึงเลือกการทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง มาทำการผลิตผงสีจากข้าวเหนียวดำในระดับนำร่องต่อไป

6. การศึกษาการผลิตผงสีจากข้าวเหนียวดำโดยใช้การทำแห้งแบบถาดในระดับนำร่อง

ศึกษาการผลิตผงสีจากข้าวเหนียวดำในระดับนำร่อง โดยผลิตผงสีจากข้าวเหนียวดำ 200 กรัม ใช้ข้าวเหนียวดำ 5.34 กิโลกรัม ได้ปริมาณผลผลิตคิดเป็นร้อยละ 3.74 นำผงสีจากข้าวเหนียวดำจากการทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง (ภาพที่ 13) มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ (ตารางที่ 28) พบว่า ผงสีจากข้าวเหนียวดำมีสีน้ำตาลแดง ค่า L^*C^*h เท่ากับ 34.99, 16.37 และ 42.87 องศา ค่า a_w เท่ากับ 0.30 ค่าการละลาย เท่ากับ 165.40 วินาที ค่าความชื้นร้อยละ 6.75 และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เท่ากับ 3.40 มิลลิกรัมต่อกรัม ผงสี จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 27 โคโลนีต่อกรัม และจำนวนยีสต์และรา น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม จะเห็นได้ว่าปริมาณแอนโทไซยานินมีปริมาณลดลง เนื่องจากความร้อนจากการทำแห้งแบบถาด



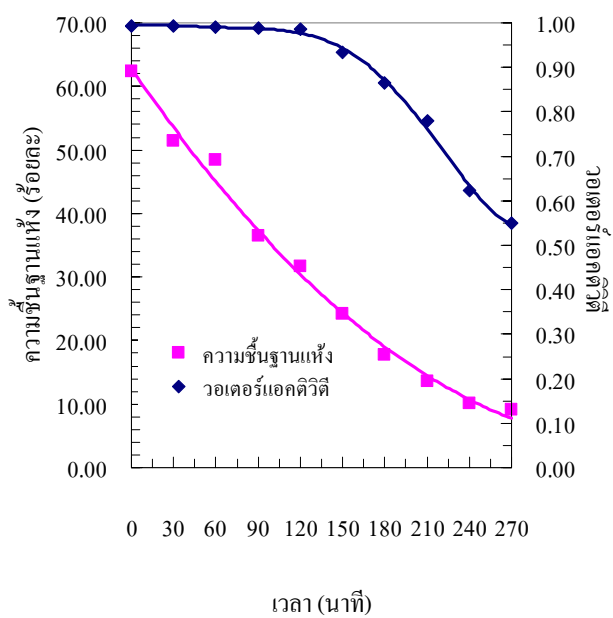
ภาพที่ 13 ผงสีจากข้าวเหนียวดำจากการทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง

ตารางที่ 28 ค่าคุณภาพของผงสีจากข้าวเหนียวดำที่ผ่านการทำแห้งแบบถาดในระดับนำร่อง

ค่าคุณภาพ	ปริมาณ
ทางกายภาพ	
ค่าสี L^*	34.99
a^*	12.00
b^*	11.14
C^*	16.37
h (องศา)	42.87
ค่า a_w	0.30
ค่าการละลาย (วินาที)	165.40
ทางเคมี	
ค่าความชื้น (ร้อยละ)	6.75
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกรัมผงสี)	3.40
ทางจุลินทรีย์	
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม)	27
จำนวนยีสต์และรา (โคโลนีต่อกรัม)	น้อยกว่า 10

7. การศึกษาการทำแห้งข้าวเหนียวดำที่ผ่านการสกัดสี

ศึกษาการทำแห้งข้าวเหนียวดำที่ผ่านการสกัดสี โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยวัดความชื้น (ร้อยละ) และค่า a_w ของข้าวเหนียวดำทุก 1 ชั่วโมง จากกราฟการทำแห้ง (ภาพที่ 14) พบว่า เวลาในการทำแห้งข้าวเหนียวดำที่ผ่านการสกัดสี ที่มีค่าความชื้นไม่เกิน ร้อยละ 12 คือ 4 ชั่วโมง เนื่องจากที่ความชื้นระดับนี้จะทำให้สามารถเก็บรักษาข้าวได้นานขึ้น (อรอนงค์, 2547) เมื่อวิเคราะห์ความชื้น พบว่า ข้าวเหนียวดำที่ผ่านการทำแห้ง มีความชื้นร้อยละ 10.16 และค่า a_w เท่ากับ 0.62 ยังคงมีสีม่วงดำ แต่มีสีจางลง (ภาพที่ 15) ค่าสี L^*C^*h เท่ากับ 24.75, 4.81 และ 16.90 องศา เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสีของข้าวเหนียวดำก่อนการสกัด ซึ่งมีค่าสี L^*C^*h เท่ากับ 22.03, 5.51 และ 24.00 องศา โดยจะเห็นได้ว่าข้าวเหนียวดำที่ผ่านการสกัดสีมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น และความเข้มของสีลดลง



ภาพที่ 14 กราฟการทำแห้งข้าวเหนียวดำหลังที่ผ่านการสกัดสี



(ก)



(ข)

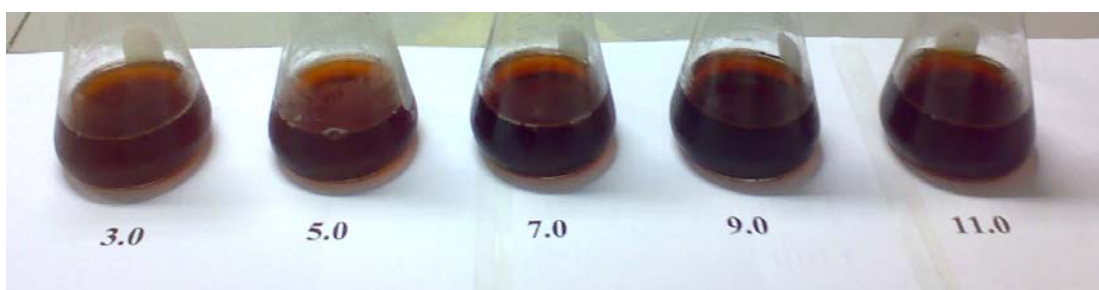
ภาพที่ 15 ข้าวเหนียวดำ (ก) ก่อนสกัดสี; (ข) หลังสกัดสี

8. การศึกษาความคงตัวของผงสีจากข้าวเหนียวดำ

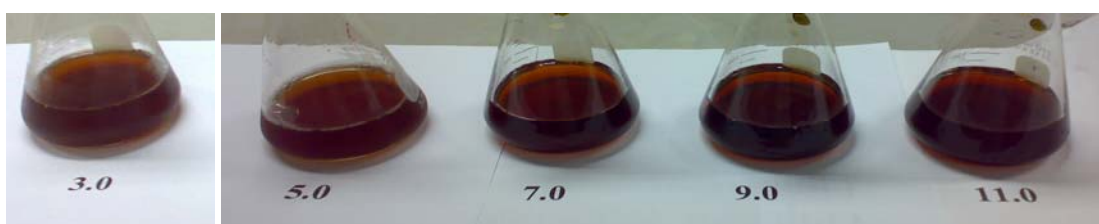
จากการศึกษาความคงตัวของผงสีจากข้าวเหนียวดำ โดยนำผงสีจากข้าวเหนียวดำมาปรับให้มีความเป็นกรด – ด่าง 5 ระดับ คือ 3.0, 5.0, 7.0, 9.0 และ 11.0 และอุณหภูมิในการแปรรูป 3 ระดับ คือ ไม่ผ่านการให้ความร้อน ให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ และสเตอริไลซ์ (ภาพที่ 16) วิเคราะห์ค่าคุณภาพ (ตารางที่ 29) พิจารณาความคงตัวจากการสลายตัวของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และค่าความแตกต่างของสีทั้งหมดโดยเปรียบเทียบกับสารละลายสีจากข้าวเหนียวดำที่ความเป็นกรด – ด่าง 7.0 และไม่ผ่านการให้ความร้อนซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุม



ตัวอย่างควบคุม
(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 16 การศึกษาความคงตัวของผงสีจากข้าวเหนียวดำที่ความเป็นกรด – ด่าง และอุณหภูมิในการแปรรูปที่ (ก) ไม่ผ่านการให้ความร้อน (ข) พาสเจอร์ไรซ์ (ค) สเตอริไลซ์

ตารางที่ 29 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ค่าสี L^* C^* h ΔE^* ของสารละลายสีจากข้าวเหนียวดำ ที่อุณหภูมิในการแปรรูปและความเป็นกรด – ต่างต่าง ๆ

ค่าคุณภาพ	อุณหภูมิในการแปรรูป	ความเป็นกรด - ต่าง					ค่าเฉลี่ย
		3.0	5.0	7.0	9.0	11.0	
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกรัม)							
	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	17.16	15.83	15.41	14.66	12.91	15.20a
	พาสเจอร์ไรซ์*	16.41	15.91	14.83	12.50	10.33	14.00b
	สเตอริไลซ์**	14.50	12.66	10.58	10.33	9.75	11.56c
	ค่าเฉลี่ย	16.03A	14.80B	13.61C	12.50D	11.00E	
ค่าความสว่าง (L*)							
	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	55.73	58.12	54.24	49.42	46.47	52.80c
	พาสเจอร์ไรซ์*	55.81	59.82	55.61	52.29	50.87	54.88b
	สเตอริไลซ์**	56.19	62.37	57.89	51.88	49.97	55.66a
	ค่าเฉลี่ย	55.91B	60.10A	55.91B	51.20C	49.10D	
ค่าความเข้มของสี (C*)							
	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	49.83	51.31	52.87	55.07	63.95	54.61c
	พาสเจอร์ไรซ์*	49.09	51.82	55.03	62.30	72.34	58.12b
	สเตอริไลซ์**	45.19	52.16	59.73	69.33	79.46	61.18a
	ค่าเฉลี่ย	48.04E	51.77D	55.88C	62.23B	71.92A	
ค่ามุมของสี (h°)							
	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	59.42	58.50	52.00	53.84	57.48	56.25c
	พาสเจอร์ไรซ์*	58.48	58.80	52.88	55.62	59.13	56.98b
	สเตอริไลซ์**	58.69	61.27	55.69	56.27	59.88	58.36a
	ค่าเฉลี่ย	58.86B	59.53A	53.52D	55.24C	58.83B	
ค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE*)							
	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	7.45	7.24	0.00	5.57	14.63	6.98c
	พาสเจอร์ไรซ์*	7.06	8.41	2.69	10.29	21.20	9.93b
	สเตอริไลซ์**	9.76	11.78	8.57	17.23	28.37	15.14a
	ค่าเฉลี่ย	8.09D	9.14C	3.75E	11.03B	21.40A	

หมายเหตุ ตัวอักษร a – c ในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษร A – E ในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* พาสเจอร์ไรซ์ ที่อุณหภูมิ 63 °C, 30 นาที

** สเตอริไลซ์ ที่อุณหภูมิ 100 °C, 10 นาที สำหรับอาหารที่มี pH ต่ำกว่า 3.7 และที่อุณหภูมิ 121 °C, 15 นาที สำหรับอาหารที่มี pH สูงกว่า 4.5

ความเป็นกรด – ด่าง และอุณหภูมิในการแปรรูปมีอิทธิพลต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด คือ เมื่อความเป็นกรด – ด่างเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง ส่วนอุณหภูมิในการแปรรูปที่สูงขึ้น มีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดลดลง เนื่องจากความร้อนในการแปรรูปทำให้การสลายตัวของแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาผลของความเป็นกรด – ด่าง และอุณหภูมิในการแปรรูปต่อค่าสี โดยพิจารณาค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE^*) พบว่า ความเป็นกรด – ด่าง และอุณหภูมิในการแปรรูปมีอิทธิพลต่อ ΔE^* โดยเมื่ออุณหภูมิในการแปรรูปสูงขึ้น มีผลทำให้ ΔE^* สูงขึ้น ซึ่งหมายถึง ค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น เมื่อความเป็นกรด หรือด่างสูงขึ้น (pH ลดลง หรือเพิ่มขึ้นจาก 7.0) มีผลทำให้ ΔE^* สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า ผงสีจากข้าวเหนียวดำควรใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเป็นกรด – ด่างในช่วง 3.0 – 7.0 แปรรูปแบบไม่ผ่านการให้ความร้อน หรือให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรซ์ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายสีจากข้าวเหนียวดำที่ความเป็นกรด – ด่าง 7.0 และไม่ผ่านการให้ความร้อน

9. การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ผงสีจากข้าวเหนียวดำ

นำผงสีที่สกัดได้จากข้าวเหนียวดำ มาทดสอบการยอมรับ กับกลุ่มเป้าหมาย 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ผู้ใช้สีผสมอาหารในระดับอุตสาหกรรม และกลุ่มที่ 2 ผู้บริโภค โดยกลุ่มที่ 1 ทำการทดสอบผลิตภัณฑ์ผงสีจากข้าวเหนียวดำ โดยให้ทดลองใช้ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ และนำผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำที่ได้ มาทดสอบการยอมรับกับผู้บริโภคกลุ่มที่ 2 จำนวน 200 คน สอบถามการยอมรับด้านสีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ ที่ได้จากการเติมผงสี ให้ผลดังนี้

9.1 การทดสอบการยอมรับของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ผงสีจากข้าวเหนียวดำ

ทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ผงสีจากข้าวเหนียวดำ โดยใช้แบบสอบถาม (ภาคผนวก ข) กับผู้ใช้สีผสมอาหารในระดับอุตสาหกรรม ตำแหน่ง หัวหน้าส่วนประกันคุณภาพ และวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ โรงงานเชอร์รี่ไอศกรีม เพื่อทดสอบการยอมรับคุณภาพของผงสีจากข้าวเหนียวดำ เมื่อทดลองใช้ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ พบว่า ผู้ใช้ยอมรับคุณภาพด้านสีของผงสี และเมื่อทดลองใช้ผงสี ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ ผู้ใช้มีความพอใจในคุณภาพของผงสีในระดับมาก การใช้ผงสี มีความสะดวกในระดับมาก และยอมรับคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์

ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ (ภาพที่ 17) โดยผงสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำไม่ทำให้คุณภาพของ ไอศกรีมเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ ผู้ทดสอบมีความเห็นว่า มีความเป็นไปได้ในการใช้ผงสีธรรมชาติ จากข้าวเหนียวดำเพื่อทดแทนการใช้สีสังเคราะห์ และหากมีการผลิตผงสีจากข้าวเหนียวดำ เพื่อ จำหน่าย ผู้ใช้มีความสนใจที่จะซื้อ เนื่องจากสีจากข้าวเหนียวดำนอกจากจะช่วยแต่งสีให้ผลิตภัณฑ์ ผู้บริโภคยังได้รับประโยชน์จากสารต้านอนุมูลอิสระ (แอนโทไซยานิน) ซึ่งเป็นสารสีที่พบในข้าว เหนียวดำ



ภาพที่ 17 ไอศกรีมข้าวเหนียวดำผลิตจากโรงงานเชอร์รี่ไอศกรีม

9.2 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ

9.2.1 ลักษณะทางประชากรศาสตร์

จากการสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 200 คน โดยใช้แบบสอบถาม (ภาคผนวก ข) ผลการสำรวจ (ตารางที่ 30) พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 56.5 เพศชาย คิดเป็นร้อยละ 43.5 และ ส่วนใหญ่มีอายุอยู่ในช่วง 21 – 30 ปี คิดเป็นร้อยละ 52.0 รองลงมา มีอายุน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 ปี คิดเป็นร้อยละ 36.0 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มี การศึกษาสูงสุดในระดับปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 46.5 รองลงมา คือ มัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช. คิดเป็นร้อยละ 26.0 ผู้ตอบแบบสอบถาม ร้อยละ 83.5 มีอาชีพเป็นนักเรียน/นิสิต/นักศึกษา ส่วนใหญ่

มีรายได้ต่อเดือนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 79.5 รองลงมา มีรายได้ 10,001 – 20,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 16.5

ตารางที่ 30 ลักษณะทางประชากรศาสตร์จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

ลักษณะทางประชากรศาสตร์		ความถี่ (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
เพศ	หญิง	113	56.5
	ชาย	87	43.5
อายุ	21 – 30 ปี	104	52.0
	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 ปี	72	36.0
	31 - 40 ปี	13	6.5
	41 - 50 ปี	11	5.5
การศึกษาสูงสุด	ปริญญาตรี	93	46.5
	มัธยมศึกษาตอนปลาย / ปวช.	52	26.0
	ปริญญาโท	24	12.0
	มัธยมศึกษาตอนต้น	23	11.5
	น้อยกว่าหรือเทียบเท่าประถมศึกษา	4	2.0
	สูงกว่าปริญญาโท	3	1.5
	ปวส. / อนุปริญญา	1	0.5
อาชีพ	นักเรียน / นิสิต / นักศึกษา	167	83.5
	ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ	18	9.0
	พนักงานบริษัทเอกชน	5	2.5
	ลูกจ้าง	5	2.5
	แม่บ้าน	3	1.5
	ค้าขาย / ธุรกิจส่วนตัว	2	1.0
รายได้ต่อเดือน	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท	159	79.5
	10,001 – 20,000 บาท	33	16.5
	20,001 – 30,000 บาท	4	2.0
	40,001 – 50,000 บาท	2	1.0
	30,001 – 40,000 บาท	1	0.5
	สูงกว่า 50,000 บาท	1	0.5

9.2.2 ข้อมูลเชิงพฤติกรรม และทัศนคติของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากการทดสอบผู้บริโภคร่วมผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (ตารางที่ 31) พบว่า ค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยในคุณลักษณะด้านสี อยู่ในระดับชอบปานกลาง (6.82) ความเหมาะสมของสีกับผลิตภัณฑ์ อยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.06) และความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบมาก (7.30) ผู้ตอบแบบสอบถาม ร้อยละ 98.50 ยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ และร้อยละ 83.0 มีความสนใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ ถ้ามีการผลิตเพื่อจำหน่าย ส่วนผู้บริโภคที่ไม่ยอมรับ ไม่แน่ใจ และไม่ซื้อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ มีความเห็นว่าสีของผลิตภัณฑ์ควรมีสีเข้มมากขึ้น (ตารางที่ 32)

ตารางที่ 31 ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบ และระดับความชอบของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ

คุณลักษณะ	ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบ	ระดับความชอบ
สี	6.82 (1.25)	ชอบปานกลาง
ความเหมาะสมของสีกับผลิตภัณฑ์	7.06 (1.20)	ชอบปานกลาง
ความชอบโดยรวม	7.30 (1.18)	ชอบมาก

หมายเหตุ คะแนนความชอบ 9 ระดับ โดย 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 9 = ชอบมากที่สุด

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

ตารางที่ 32 การยอมรับ และการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำของผู้บริโภค

การยอมรับ และการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค		ความถี่ (คน)	ร้อยละ
การยอมรับ	ยอมรับ	197	98.5
	ไม่ยอมรับ	3	1.5
การตัดสินใจซื้อ	ซื้อ	166	83.0
	ไม่แน่ใจ	31	15.5
	ไม่ซื้อ	3	1.5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การพัฒนาสิทธิธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำ มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้ คือ สำรวจข้อมูลทางการตลาด ความคิดเห็น พฤติกรรม และความต้องการใช้สิทธิธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารกับกลุ่มเป้าหมาย 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) ผู้บริโภคทั่วไป 2) ผู้ใช้สิทธิผสมอาหารประเภทผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก และผู้ใช้สิทธิประเภทโรงงานอุตสาหกรรม 3) ผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายสิทธิผสมอาหาร ศึกษาคุณภาพของข้าวเหนียวดำพันธุ์เก่าคอยสะเก็ด ศึกษาการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ ศึกษาเวลาในการทำเข้มข้นสีจากข้าวเหนียวดำ ศึกษากรรมวิธีการทำแห้งสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำที่เหมาะสม ศึกษาความคงตัวของผงสีจากข้าวเหนียวดำ และทดสอบการยอมรับของผู้ใช้ และผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ผงสีจากข้าวเหนียวดำ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. จากการสำรวจข้อมูลทางการตลาด ความคิดเห็น พฤติกรรม และความต้องการใช้สิทธิธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารกับกลุ่มเป้าหมาย 3 กลุ่ม

1.1 ผู้บริโภคทั่วไปส่วนใหญ่คิดว่ามีความสำคัญในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหาร และสีของผลิตภัณฑ์อาหารมีส่วนช่วยในการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้บริโภคอยู่ในระดับมาก เหตุผลในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสีผสมอาหารเป็นส่วนประกอบของผู้บริโภคส่วนใหญ่คือผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสีสันตามธรรมชาติ และผู้บริโภคส่วนใหญ่ยอมรับการใช้สิทธิธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหาร

1.2 ผู้ใช้สิทธิผสมอาหารใช้สิทธิผสมอาหารประเภทสีสังเคราะห์มากที่สุด รองลงมา คือ สิทธิธรรมชาติ และสีอินทรีย์ ผู้ใช้คิดว่าการใช้สิทธิธรรมชาติมีข้อดีในด้านความปลอดภัยมากที่สุด และมีความเห็นว่ามีเป็นไปได้ในการใช้สิทธิธรรมชาติเพื่อทดแทนการใช้สีสังเคราะห์ ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผู้ใช้ตัดสินใจซื้อสิทธิผสมอาหารเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร คือ ความปลอดภัย, ความสะดวกในการใช้, ผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้ และความเชื่อถือจากลูกค้า

1.3 ประเภทสิทธิผสมอาหารที่ผลิต นำเข้า หรือจำหน่ายเป็นสีสังเคราะห์มากที่สุด รองลงมา คือ สิทธิธรรมชาติ และสีอินทรีย์ รูปแบบของสิทธิผสมอาหารที่ผลิต นำเข้า หรือจำหน่ายส่วน

ใหญ่อยู่ในรูปแบบผงละเอียด ของเหลว และของเหลวข้น สีที่ผลิต หรือนำเข้า หรือจำหน่าย 3 ลำดับแรก คือ สีเหลือง สีแดง และสีเขียว ผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายมีความสนใจที่จะซื้อสิทธิธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำ โดยรูปแบบของสิทธิธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำควรอยู่ในรูปแบบผงละเอียด

2. จากการศึกษาคุณภาพของข้าวเหนียวดำพันธุ์เก่าดอยสะเก็ด พบว่าข้าวเหนียวดำพันธุ์เก่าดอยสะเก็ดมีส่วนที่เป็นข้าวเมล็ดดีร้อยละ 88.67 ข้าวเมล็ดลีบร้อยละ 9.69 เมล็ดสีซีดร้อยละ 1.64 ขนาดความกว้าง และความยาวเฉลี่ยของเมล็ดเท่ากับ 0.30 และ 0.63 เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเข้มของสี (C^*) และค่ามุมของสี (h) เท่ากับ 22.03, 5.51 และ 24.00 องศา ตามลำดับ ปริมาณความชื้นร้อยละ 12.84 ไขมันร้อยละ 0.63 โปรตีนร้อยละ 10.20 เส้นใยหยาบร้อยละ 6.23 เถ้าร้อยละ 1.51 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 68.59

3. จากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ โดยเริ่มจากการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ พบว่า อุณหภูมิ เวลา และสถานะในการสกัดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ สถานะที่เหมาะสมในการผลิตผงสีจากข้าวเหนียวดำ คือ อัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำ 1 : 3 และใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า ที่อุณหภูมิ 62 – 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 67 - 75 นาที ทำเข้มข้นโดยการระเหยด้วยน้ำเดือดโดยใช้หม้อเทพลอนอังในหม้อสแตนเลสควบคุมอุณหภูมิที่ระดับ 87 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 80 นาที ทำแห้งสีเข้มข้นด้วยวิธีการทำแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง

4. ผงสีจากข้าวเหนียวดำ มีค่าความสว่าง ความเข้มของสี และค่ามุมของสี เท่ากับ 34.99, 16.37 และ 42.87 องศา ตามลำดับ ค่า a_w เท่ากับ 0.30 ค่าความชื้นร้อยละ 6.75 ค่าการละลายเท่ากับ 165.40 วินาที ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด 3.40 มิลลิกรัมต่อกรัมผงสี จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 27 โคโลนีต่อกรัม และจำนวนยีสต์และราต่ำกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม

5. การทำแห้งข้าวเหนียวดำที่ผ่านการสกัดสี โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทำให้ข้าวเหนียวดำที่ผ่านการสกัดสีมีค่าความชื้นร้อยละ 10.16 และค่า a_w เท่ากับ 0.62 ค่าสี L^*C^*h เท่ากับ 24.75, 4.81 และ 16.90 องศา ตามลำดับ

6. การศึกษาความคงตัวของผงสีโดยนำมาปรับให้มีความเป็นกรด – ด่าง และอุณหภูมิในการแปรรูปต่าง ๆ พบว่าสีจากข้าวเหนียวดำที่ความเป็นกรด – ด่างสูง หรือต่ำกว่า 7.0 และอุณหภูมิ

ในการแปรรูปที่สูงขึ้น มีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง และมีผลทำให้ค่าสีเปลี่ยนแปลงไป

7. การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ผงสีจากข้าวเหนียวดำ โดยใช้แบบสอบถามกับผู้บริโภค 100 คน ผู้บริโภคได้ชิมผงสีและทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ จำนวน 200 คน พบว่า

7.1 ผู้ใช้ระดับอุตสาหกรรม มีความพอใจในคุณภาพ และรูปแบบของผงสีจากข้าวเหนียวดำในระดับมาก ผู้ใช้ยอมรับในคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ และผงสีไม่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเปลี่ยนแปลง และเห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการใช้ผงสีจากข้าวเหนียวดำเพื่อทดแทนการใช้สีสังเคราะห์ และมีความสนใจที่จะซื้อผงสีจากข้าวเหนียวดำหากมีการผลิตเพื่อจำหน่าย

7.2 ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ มีคะแนนความชอบเฉลี่ยในคุณลักษณะด้านสี ในระดับชอบปานกลาง สีที่ได้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ในระดับปานกลาง และมีคะแนนความชอบโดยรวมในระดับชอบมาก ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ และมีความสนใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำหากมีจำหน่าย

ข้อเสนอแนะ

1. การทำแห้งสีเข้มข้นจากข้าวเหนียวดำด้วยวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ซึ่งเตรียมโดยการเติมแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 10 เพื่อเพิ่มความหนืดของสีเข้มข้นที่จะทำแห้งให้อยู่ในรูปกึ่งเหลว ผงสีที่ได้มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย และการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง แต่ผงสีจากข้าวเหนียวดำที่ผ่านการทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีส่วนที่ไม่ละลายน้ำ และจับตัวเป็นก้อน จึงควรศึกษาสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสตัวอื่น ๆ ที่สามารถเพิ่มความหนืดของสีเข้มข้นให้อยู่ในรูปกึ่งเหลวได้ และทำให้ผงสีจากข้าวเหนียวดำละลายน้ำได้

2. ข้าวเหนียวดำที่ผ่านการสกัดสี หลังนำมาทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่า ข้าวเหนียวดำยังคงมีสีม่วงดำ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกับข้าวเหนียวดำที่ไม่ผ่านการสกัดสี ทดลองนำข้าวเหนียวดำที่ผ่านการสกัดสีมาทำข้าวเหนียวมูน พบว่า ข้าวเหนียวดำที่ได้จะมีลักษณะร่วน ไม่เกาะติดกัน ดังนั้น อาจนำข้าวเหนียวดำที่ผ่านการสกัดสีไปผลิตผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น ข้าวพอง เป็นต้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมศุลกากร. 2549. สถิติการนำเข้า. แหล่งที่มา:

<http://www.customs.go.th/Statistic/StatisticResult.jsp>, 26 ธันวาคม 2549.

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2521. ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย.

โรงพิมพ์องค์การทหารผ่านศึก, กรุงเทพฯ.

กิติมา เหมวงษา. 2549. การพัฒนาการผลิตผงสีจากแคโรตและการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม

อาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชานินทร์ ศิลปะจารุ. 2541. คู่มือการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS. สถาบัน

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ.

นิจศิริ เรืองรังษี และ พยอม ดันติวัฒน์. 2534. พีชสมุนไพร. สำนักพิมพ์โอเดียน สโตร์,

กรุงเทพฯ.

นิธิยา รัตนานนท์. 2545. เคมีอาหาร. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

บุศรารัตน์ สายเชื้อ. 2545. แอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง *Hibiscus sabdariffa* L. เพื่อใช้เป็นสี

ผสมอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไพบุลย์ ธรรมรัตน์वास. 2532. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

รุ่งนภา ประดิษฐพงษ์. 2539. การผลิตมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวโดยเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส

เพื่อใช้รักษากลิ่นหอมของข้าวสาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2544. วิศวกรรมอาหาร : หน่วยปฏิบัติการในอุตสาหกรรม. สำนักพิมพ์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- ลัดดา มีสุข. 2548. **เคมีทั่วไป เล่ม 1 ฉบับรวบรัด**. พิมพ์ครั้งที่ 4. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วิไลลักษณ์ พละกลาง. 2541. **ลักษณะประจำพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทย**. ม.ป.ท.
- ศิริลักษณ์ สันธวาลัย. 2533. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางโภชนาการ**. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ศิวพร ศิวเวช. 2535. **วัตถุดิบในผลิตภัณฑ์อาหาร**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2527. **การพัฒนาระบบวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร**. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2529. **กรรมวิธีการอบแห้ง**. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2535. **เทคโนโลยีการระเหยน้ำ**. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานคุ้มครองพันธุ์พืช. 2548. **พันธุ์พืชขึ้นทะเบียน**. แหล่งที่มา <http://www.doa.go.th/pup/tabian.html>, 20 พฤษภาคม 2548.
- สำนักงานคณะกรรมการอาหาร และยา. 2522. **ประกาศกระทรวงสาธารณสุข**. ฉบับที่ 21. **การกำหนดสีผสมอาหารเป็นอาหารควบคุมเฉพาะ และกำหนดคุณภาพ หรือ มาตรฐานการใช้การผสม และฉลาก**. กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.
- อนุวัตร แจ่มชัด. 2549. **สถิติสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการประยุกต์**. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อัญริยา จารยะพันธุ์. 2530. การสกัดสีจากลูกพุดเพื่อใช้เป็นสีผสมอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญา
โท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Al-Kahtani, H.A. and B.H. Hassan. 1990. Spray drying of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)
extract. **Journal of Food Science**. 55 (4): 1073 – 1076.

Anonymous. 2007. **Black Sticky Rice**. Available Source: <http://www.all-creatures.org/recipes/i-rice-blacksticky.html>, March 15, 2007.

Anonymous. n.d. **The CIE L*C*h Color Space or Color Model**. Available Source:
http://www.colourphil.co.uk/lab_lch_colour_space.html, March 15, 2007.

AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of AOAC International**. 17th ed. The Association
of Official Analytical Chemists, Virginia.

Bridle, P. and C.F. Timberlake. 1997. Anthocyanin as natural food colours. **Food Chemistry** 58
(1 - 2): 103 – 109.

Bronnum-Hansen, K. and J.M. Flink. 1986. Anthocyanin colorants from *Elderberry* (*Sambucus
nigra* L.) IV. Further studies on production of liquid extracts, concentrates and freeze
dried powders. **Journal of Food Technology**. 21: 605 – 614.

Cai, Y.Z. and H. Corke. 2000. Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin
pigments. **Journal of Food Science**. 65 (6): 1248 – 1252.

Chen, B.H. and Y.C. Tang. 1998. Processing and stability of carotenoid powder from carrot
pulp waste. **Journal Agricultural Food Chemistry**. 46: 2312 – 2318.

- Counsell, J.N. 1981. **Natural Colours for Food and Other Uses**. Applied Science Publishers Ltd., London.
- Deman, J.M. 1990. **Principles of Food Chemistry**. 2nd ed. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 203 - 241
- Du, C.T. and F.J. Francis. 1973. Anthocyanins of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). **Journal of Food Science**. 38: 810 – 812.
- Fellows, P. 2000. **Food Processing Technology: Principles and Practice**. 2nd ed. Woodhead Publishing Limited, Cambridge. 575p.
- Francis, F.J. 1989. Food colorants: anthocyanins. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 28: 273 – 314.
- Fuleki, T. and F.J. Francis 1968a. Quantitative methods for anthocyanins, 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. **Journal of Food Science**. 33: 72 – 77 .
- Fuleki, T. and F.J. Francis 1968b. Quantitative methods for anthocyanins, 2. Determination of total anthocyanin and degradation index for cranberry juice. **Journal of Food Science**. 33: 78 – 83 .
- Gao, L. and G. Mazza. 1996. Extraction of anthocyanin pigments from Purple sunflower hulls. **Journal of Food Science**. 61: 600 – 603.
- Garzon, G.A. and R.E. Wrolstad. 2002. Comparison of the stability of pelargonidin – based anthocyanins in strawberry juice and concentrate. **Journal of Food Science**. 67: 1288 – 1299.

- Henry, B.S. 1996. Natural Food Colours, pp. 40 – 79. In G.A.F. Hendry and J.D. Houghton, eds. **Natural Food Colorants**. Blackie Academic & Professional, Glasgow.
- Junk, W.R. and H.M. Pancoast. 1973. **Handbook of Sugars, for Processors, Chemists and Technologists**. AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. 327 p.
- Kanehisa Laboratories. 1995. Compound: C01935. **Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes**. Available Source: <http://www.genome.ad.jp/kegg/kegg2.html>, July 2, 2006
- Kyzlink, V. 1990. **Principles of Food Preservation**. Elsevier Science Publi. Co. Inc., New York.
- Main, J.H., F.M. Clydesdale and F.J. Francis. 1978. Spray drying anthocyanin concentrates for use as food colourants. **Journal of Food Science**. 43: 1693 – 1694, 1697.
- Markakis, P. 1982. Stability of anthocyanins in food, pp. 163 – 178. In P. Markakis, ed. **Anthocyanins as Food Colors**. Academic Press, New York.
- Mazza, G. and E. Miniati. 1993. **Anthocyanins in Fruits, Vegetables, and Grains**. CRC Press, Boca Raton
- Metivier, R.P., F.J. Francis and F.M. Clydesdale. 1980. Solvent extraction of anthocyanins from wine pomace. **Journal of Food Science**. 45: 1099 – 1100.
- Mok, C. and N.S. Hettiarachchy. 1991. Heat stability of sunflower – hull anthocyanin pigment. **Journal of Food Science**. 56: 535 – 555.
- Pointing, J.D., W.L. Stanley and M.J. Copley. 1973. Fruit and vegetable juices, pp. 508 – 562. In W.B. Van Arsdel and M.J. Copley eds. **Food Dehydration**, Vol. 2. Products and Technology. AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut.

Risch, S.J. and G.A. Reineccius. 1988. **Flavor Encapsulation**. American Chemical Society, Washington, D.C. 194 p.

Tulyathan, V., D. Kiattisak and T. Chaiyute. 1993. Anthocyanin extractive from blue pea flowers (*Clitoria ternatea L.*). **Thai Journal of Agriculture and Science**. 26: 171 – 183

Wrolstad, R.E., T.E. Acree, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D. Smith and P. Sporns. 2005. **Handbook of Analytical Chemistry**. John Wiley & Sons, Inc

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1. การวัดค่าสี

ระบบสี CIE L* C* h ถูกพัฒนาขึ้นจากการแปลงค่าสีในระบบ ระบบสี CIE L* a* b* ให้เป็นค่าความเข้มของสี (Chroma, C*) และค่ามุมของสี (Hue angle, h) ซึ่งเป็นค่าที่รับรู้โดยทั่วไป สมการสำหรับคำนวณค่า C* และ h คือ

$$\text{ค่าความเข้มของสี} \quad C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

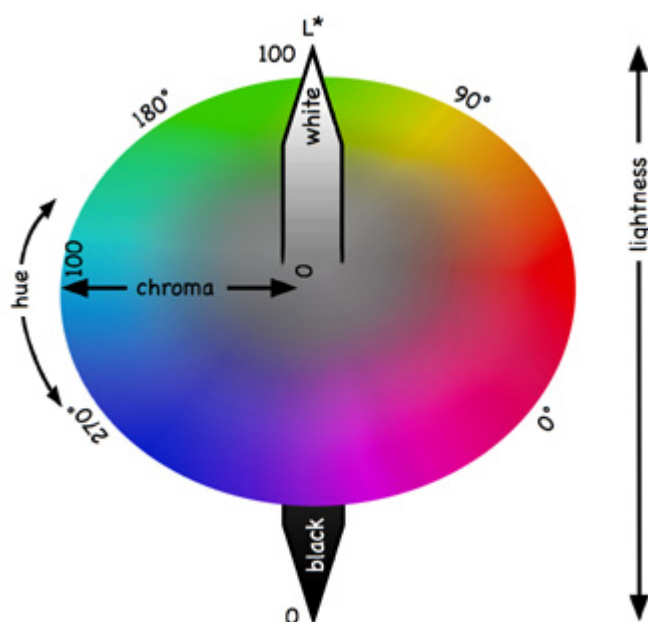
$$\text{ค่ามุมของสี (องศา)} \quad h = \arctan \frac{b^*}{a^*}$$

โดยที่ a เป็น + , b เป็น + ; $\theta = 0 - 90^\circ$

a เป็น - , b เป็น + ; $\theta = 90 - 180^\circ$

a เป็น - , b เป็น - ; $\theta = 180 - 270^\circ$

a เป็น + , b เป็น - ; $\theta = 270 - 360^\circ$



ภาพผนวกที่ ก1 ค่าสีในระบบ CIE L*C*h

ที่มา: Anonymous (n.d.)

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content) (AOAC, 2000)

1.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2 – 5 กรัม ใส่ลงในจานอลูมิเนียม (Moisture can) ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน

1.2 นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส นานประมาณ 5 ชั่วโมง โดยเปิดฝาอลูมิเนียมไว้เล็กน้อย จากนั้นปิดฝาอลูมิเนียม แล้วนำมาใส่ในเตลิกเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนักให้แน่นอน ทำการอบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนักจนกว่าจะได้น้ำหนักแตกต่างกันไม่เกิน 2 มิลลิกรัม

$$\text{ร้อยละปริมาณของแข็งทั้งหมด} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

2. การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์สำหรับการวัดค่าการดูดกลืนแสง

2.1 สารละลายบัฟเฟอร์ความเป็นกรด – ด่าง 1.0

ชั่งโพแทสเซียมคลอไรด์ 1.86 กรัม และน้ำกลั่น 980 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และปรับให้มีค่าความเป็นกรด - ด่าง 1.0 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ปรับให้มีปริมาตร 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2.1 สารละลายบัฟเฟอร์ความเป็นกรด – ด่าง 4.5

ชั่งโซเดียมอะซิเตตไฮเดรต 54.43 g และน้ำกลั่น 960 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และปรับให้มีค่าความเป็นกรด - ด่าง 4.5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ปรับให้มีปริมาตร 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

สารละลายบัฟเฟอร์มีความคงตัวที่อุณหภูมิห้องนาน 1 – 2 เดือน แต่ควรมีการตรวจสอบและปรับค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนใช้ทุกครั้ง

3. การคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในรูปของไซยานิดิน -3- กลูโคไซด์

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\epsilon \times l}$$

$$\text{โดยที่ } A = (A_{510\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH } 1.0} - (A_{510\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH } 4.5}$$

$$MW = \text{น้ำหนักโมเลกุลของไซยานิดิน -3- กลูโคไซด์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26,900}$$

$$\epsilon = \text{โมลาร์แอบซอร์บติวิตีของไซยานิดิน -3- กลูโคไซด์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 449.2}$$

$$DF = \text{Dilution factor ของสารละลายตัวอย่างเช่น สารละลายตัวอย่าง 10 ml นำมาเจือจางเป็น 100 มิลลิลิตร ดังนั้น ค่า DF มีค่าเท่ากับ 10}$$

4. การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์สำหรับการศึกษาความคงตัวของผงสีจากข้าวเหนียวดำ

4.1 เตรียมสารละลายผสมระหว่างสารละลายกรดบอริก 0.20 โมลาร์ กับสารละลายกรดซิตริก 0.05 โมลาร์ โดยละลายกรดบอริก 12.37 กรัม และกรดซิตริก 10.51 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับให้มีปริมาตร 1 ลิตร

4.2 เตรียมสารละลายโซเดียมฟอสเฟต 0.10 โมลาร์ โดยละลายโซเดียมฟอสเฟต 38.01 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับให้มีปริมาตร 1 ลิตร (ตารางผนวกที่ ก1)

ตารางผนวกที่ ก1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรด – ต่างต่าง ๆ

ความเป็นกรด - ต่าง	สารละลายผสมระหว่างกรดบอริก กับ	สารละลายโซเดียมฟอสเฟต
	สารละลายกรดซิตริก (มิลลิลิตร)	(มิลลิลิตร)
3.0	880	120
5.0	670	330
7.0	495	505
9.0	345	655
11.0	220	780

ภาคผนวก ข

แบบสอบถาม

แบบสอบถาม

เรื่อง การสำรวจข้อมูลทางการตลาด ความคิดเห็น พฤติกรรม และความต้องการใช้สิทธิธรรมชาติ
ในผลิตภัณฑ์อาหาร (ผู้บริโภคทั่วไป)

คำชี้แจง แบบสอบถามชุดนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ของ

นางสาวดวงกมล ลิ้มจันทร์ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่านในการตอบแบบสอบถามทุกข้อเพื่อ
ความสมบูรณ์ของข้อมูล โดยข้อมูลที่ท่านตอบจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับใช้ทำงานวิจัยต่อไป
คำแนะนำ กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน () หน้าคำตอบที่ท่านเห็นว่าเหมาะสมและตรงตาม
ความคิดเห็นของท่าน

ส่วนที่ 1 ข้อมูลด้านความคิดเห็น และพฤติกรรมในการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสีผสมอาหาร
เป็นส่วนประกอบ

1. ในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหาร ท่านคิดว่าสีของผลิตภัณฑ์อาหารมีความสำคัญต่อท่านในการ
ตัดสินใจเลือกซื้อหรือไม่
() มี () ไม่มี (กรุณาข้ามไปตอบ ข้อที่ 4)
2. ท่านคิดว่าสีของผลิตภัณฑ์อาหารมีส่วนช่วยในการเลือกซื้อในระดับใด
() มากที่สุด () มาก () ปานกลาง () น้อย () น้อยที่สุด
3. เหตุผลในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสีผสมอาหารเป็นส่วนประกอบ (ตอบได้มากกว่า 1
ข้อ)
() ความสวยงาม () ดึงดูดความสนใจ
() มีสีทันตามธรรมชาติ () ความแปลกใหม่
() มีสีที่เป็นไปตามเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ () นำรับประทาน
() อื่น ๆ โปรดระบุ
4. ท่านรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสีเป็นส่วนประกอบบ่อยเพียงใด
() น้อยกว่า 1 ครั้ง ต่อเดือน () 1-2 ครั้ง ต่อเดือน
() 1-2 ครั้ง ต่อสัปดาห์ () มากกว่า 2 ครั้งต่อสัปดาห์
() ทุกวัน

5. ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสีประเภทใดที่ท่านรับประทานบ่อยที่สุด
 - () เครื่องดื่ม เช่น น้ำผลไม้ น้ำหวานเข้มข้น () ขนมหวาน เช่น เยลลี่ คุกกี้ น้ำผลไม้
 - () ขนมไทย เช่น สาลี่ ขนมชั้น ลูกชุบ () ขนมอบ เช่น เค้ก ขนมปัง
 - () ผลิตภัณฑ์นม เช่น ไอศกรีม นมเปรี้ยว () อื่นๆ กรุณาระบุ.....
6. ท่านทราบหรือไม่ว่าสีที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่เป็นสีประเภทใด
 - () ทราบ () ไม่ทราบ (กรุณาข้ามไปตอบข้อ 8)
7. ท่านคิดว่าสีที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่เป็นสีประเภทใด
 - () สีสังเคราะห์ เป็นสีที่ผลิตขึ้นโดยกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี เช่น ปองโซ 4 อาร์, บริลเลียนท์ บลู เอ็ฟซีเอ็ฟ, คาร์ตราซีน
 - () สีธรรมชาติ เป็นสีที่เป็นสารอินทรีย์ที่ได้มาจากแหล่งวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น สีเขียวจากใบเตย, สีม่วงจากดอกอัญชัน
 - () สีอินทรีย์ เป็นสีธรรมชาติที่ไม่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต เช่น สีดำของผงถ่าน
8. ท่านคิดว่า ถ้ามีการใช้สีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารแล้วทำให้ราคาของผลิตภัณฑ์อาหารเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่มีความปลอดภัยสูงท่านยอมรับได้หรือไม่
 - () ยอมรับ
 - () ไม่ยอมรับ เพราะ
9. ท่านจะซื้อผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้สีธรรมชาติหรือไม่
 - () ซื้อ
 - () ไม่แน่ใจ เพราะ
 - () ไม่ซื้อ เพราะ

ส่วนที่ 2 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม

10. เพศ

☐ หญิง

☐ ชาย

11. อายุ

☐ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 ปี

☐ 21 – 30 ปี

☐ 31 - 40 ปี

☐ 41 - 50 ปี

☐ มากกว่า 50 ปี

12. ระดับการศึกษาสูงสุด

☐ น้อยกว่าหรือเทียบเท่าประถมศึกษา

☐ มัธยมศึกษาตอนต้น

☐ มัธยมศึกษาตอนปลาย / ปวช.

☐ ปวส. / อนุปริญญา

☐ ปริญญาตรี

☐ ปริญญาโท

☐ สูงกว่าปริญญาโท

13. อาชีพ

☐ นักเรียน / นิสิต / นักศึกษา

☐ ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ

☐ พนักงานบริษัทเอกชน

☐ แม่บ้าน

☐ ค้าขาย / ธุรกิจส่วนตัว

☐ อื่นๆ กรุณาระบุ.....

14. รายได้ต่อเดือน

☐ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท

☐ 10,001 – 20,000 บาท

☐ 20,001 – 30,000 บาท

☐ 30,001 – 40,000 บาท

☐ 40,001 – 50,000 บาท

☐ สูงกว่า 50,000 บาท

แบบสอบถาม

เรื่อง การสำรวจข้อมูลทางการตลาด ความคิดเห็น พฤติกรรม และความต้องการใช้สีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหาร (ผู้ใช้สีประเภทผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก และผู้ใช้สีประเภทโรงงานอุตสาหกรรม)

คำชี้แจง แบบสอบถามชุดนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ของนางสาวดวงกมล ลีมจันทร์ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่านในการตอบแบบสอบถามทุกข้อเพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูล โดยข้อมูลที่ท่านตอบจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับใช้ทำงานวิจัยต่อไป

คำแนะนำ กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน () หน้าคำตอบที่ท่านเห็นว่าเหมาะสมและตรงตามความคิดเห็นของท่าน

ส่วนที่ 1 ข้อมูลด้านความคิดเห็น และพฤติกรรมในการใช้สีในผลิตภัณฑ์อาหาร

1. สีที่ท่านใช้ เป็นสีประเภทใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ กรุณาระบุให้ชัดเจน)
 - () สีสังเคราะห์ เป็นสีที่ผลิตขึ้นโดยกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี เช่น ปองโซ 4 อาร์, บิลเลียนท์ บลู เอ็ฟซีเอ็ฟ, คาร์ตราซิน กรุณาระบุ.....
 - () สีธรรมชาติ เป็นสีที่เป็นสารอินทรีย์ที่ได้มาจากแหล่งวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น สีเขียวจากใบเตย, สีม่วงจากดอกอัญชัน กรุณาระบุ.....
 - () สีอินทรีย์ เป็นสีธรรมชาติที่ไม่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต เช่น สีดำของผงถ่าน, ไตเตเนียมไดออกไซด์ กรุณาระบุ.....
2. ท่านคิดว่าการใช้สีสังเคราะห์ มีข้อดีอย่างไรบ้าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
 - () ความสะดวกในการใช้
 - () ราคากำหนด
 - () หาซื้อง่าย
 - () มีความคงตัว
 - () มีสีให้เลือกหลากหลาย
 - () ราคาถูก
 - () อื่น ๆ กรุณาระบุ

3. ท่านคิดว่าการใช้สีสังเคราะห์ มีข้อเสียหรือไม่
 () ไม่มี () มี กรุณาระบุ
4. ท่านคิดว่าการใช้สีธรรมชาติ มีข้อดีอย่างไรบ้าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
 () ความปลอดภัย () มีสีสดตามธรรมชาติ
 () สามารถใช้ในปริมาณที่มากขึ้น () ได้รับความเชื่อถือจากลูกค้า
 () เสริมคุณค่าทางโภชนาการ () อื่น ๆ กรุณาระบุ
5. ท่านคิดว่าสีธรรมชาติ มีข้อเสียอย่างไรบ้าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
 () ความยุ่งยากในการเตรียม () ความคงตัว
 () สีที่ได้ไม่เหมือนกันทุกครั้ง () อื่น ๆ กรุณาระบุ
6. สถานที่ที่ท่านซื้อสีผสมอาหารมากที่สุด
 () ตลาดสด () ร้านค้าปลีก
 () ดิสเคาน์สโตร์ เช่น โลตัส, บิ๊กซี () ร้านค้าส่ง เช่น Makro
 () ซูเปอร์มาร์เก็ต เช่น ท็อปส์ () บริษัทนำเข้าสีผสมอาหาร
 () บริษัทจำหน่ายสีผสมอาหาร () อื่น ๆ กรุณาระบุ
7. ความถี่ในการซื้อสีผสมอาหาร
 () น้อยกว่า 1 ครั้ง ต่อเดือน () 1-2 ครั้ง ต่อเดือน
 () 1-2 ครั้ง ต่อสัปดาห์
8. กรุณาเรียงลำดับสีที่ท่านใช้ (โดย 1 คือ ใช้มากที่สุด 2 และ 3 รองลงมา ตามลำดับ)
 () สีแดง () สีเหลือง
 () สีเขียว () สีชมพู
 () สีนํ้าเงิน () สีม่วง
 () สีนํ้าตาล () อื่น ๆ กรุณาระบุ
9. สีที่ท่านซื้ออยู่ในรูปแบบใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
 () ผงละเอียด (Powder) () ของเหลว (Liquid)
 () ของเหลวข้น (Paste) () อื่น ๆ กรุณาระบุ
10. ท่านคิดว่าการใช้สีธรรมชาติเพื่อทดแทนการใช้สีสังเคราะห์มีความเป็นไปได้หรือไม่
 () เป็นไปได้
 () เป็นไปไม่ได้ เพราะ

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์

11. ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ท่านตัดสินใจซื้อส่วนผสมอาหารเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร (โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ตรงช่องที่ท่านต้องการ)

ปัจจัย	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1. ความปลอดภัย					
2. ความสะดวกในการใช้					
3. ความหลากหลายของสี					
4. ราคา					
5. ตรายี่ห้อ					
6. สถานที่จัดจำหน่าย					
7. ผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้					
8. ความเชื่อถือจากลูกค้า					

12. ท่านคิดว่า ถ้ามีการผลิตสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำที่มีรูปแบบที่สะดวกในการใช้ท่านมีความสนใจที่จะซื้อหรือไม่

() สนใจ

() ไม่สนใจ เพราะ

() ไม่สนใจ เพราะ

13. ท่านคิดว่าสีธรรมชาติที่ผลิตขึ้นจากข้าวเหนียวดำควรอยู่ในรูปแบบใดมากที่สุด

() ผงละเอียด (Powder)

() ของเหลว (Liquid)

() ของเหลวข้น (Paste)

() อื่น ๆ กรุณาระบุ

ส่วนที่ 3 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม

14. เพศ

() หญิง

() ชาย

15. อายุ

() น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 ปี

() 21 – 30 ปี

() 31 - 40 ปี

() 41 - 50 ปี

() มากกว่า 50 ปี

16. ระดับการศึกษาสูงสุด

() น้อยกว่าหรือเทียบเท่าประถมศึกษา

() มัธยมศึกษาตอนต้น

() มัธยมศึกษาตอนปลาย / ปวช.

() ปวส. / อนุปริญญา

() ปริญญาตรี

() ปริญญาโท

() สูงกว่าปริญญาโท

17. รายได้ต่อเดือน

() น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท

() 10,001 – 20,000 บาท

() 20,001 – 30,000 บาท

() 30,001 – 40,000 บาท

() 40,001 – 50,000 บาท

() สูงกว่า 50,000 บาท

18. ท่านเป็นผู้ใช้สีในผลิตภัณฑ์อาหาร ในฐานะที่ท่านเป็น

() ผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก (กฎระเบียบผลิตภัณฑ์ที่ใช้).....

.....

() โรงงานอุตสาหกรรม (กฎระเบียบผลิตภัณฑ์ที่ใช้).....

.....

แบบสอบถาม

เรื่อง การสำรวจข้อมูลทางการตลาด ความคิดเห็น พฤติกรรม และความต้องการใช้สีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหาร (ผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายสีผสมอาหาร)

คำชี้แจง แบบสอบถามชุดนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ของนางสาวดวงกมล ลีมจันทร์ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จึงขอความร่วมมือจากท่านในการตอบแบบสอบถามทุกข้อเพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูล โดยข้อมูลที่ท่านตอบจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับใช้ทำงานวิจัยต่อไป

คำแนะนำ กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน () หน้าคำตอบที่ท่านเห็นว่าเหมาะสมและตรงตามความคิดเห็นของท่าน

ส่วนที่ 1 ข้อมูลด้านความคิดเห็นเกี่ยวกับสีผสมอาหารสำหรับผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายสีผสมอาหาร

1. สีที่ท่านผลิต นำเข้า หรือจำหน่ายเป็นสีประเภทใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ กรุณาระบุให้ชัดเจน)
 - () สีสังเคราะห์ เป็นสีที่ผลิตขึ้นโดยกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี เช่น ปองโซ 4 อาร์, บิลเลียนท์ บลู เอ็ฟซีเอ็ฟ, คาร์ตราซิน กรุณาระบุ
 - () สีธรรมชาติ เป็นสีที่เป็นสารอินทรีย์ที่ได้มาจากแหล่งวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น สีเขียวจากใบเตย, สีม่วงจากดอกอัญชัน กรุณาระบุ
 - () สีอนินทรีย์ เป็นสีธรรมชาติที่ไม่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต เช่น สีดำของผงถ่าน, ไตเตเนียมไดออกไซด์ กรุณาระบุ

2. สีที่ท่านผลิต นำเข้า หรือจำหน่ายอยู่ในรูปแบบใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
 - () ผงละเอียด (Powder)
 - () ของเหลว (Liquid)
 - () ของเหลวข้น (Paste)
 - () อื่น ๆ กรุณาระบุ
3. กรุณาเรียงลำดับสีที่ท่านผลิต นำเข้า หรือจำหน่าย (โดย 1 คือ มากที่สุด 2 และ 3 รองลงมาตามลำดับ)
 - () สีแดง
 - () สีเขียว
 - () สีนํ้าเงิน
 - () สีนํ้าตาล
 - () สีเหลือง
 - () สีชมพู
 - () สีม่วง
 - () อื่น ๆ กรุณาระบุ
4. สีรูปแบบใดที่ลูกค้านิยมมากที่สุด
 - () ผงละเอียด (Powder)
 - () ของเหลวข้น (Paste)
 - () ของเหลว (Liquid)
 - () อื่น ๆ กรุณาระบุ
5. ท่านใช้ช่องทางการจัดจำหน่ายใดในการจัดจำหน่ายสีผสมอาหาร
 - () ตัวแทนจัดจำหน่าย
 - () ร้านค้าปลีก
 - () ร้านค้าส่ง เช่น Makro
 - () พนักงานขาย
 - () คนกลาง
 - () ดิสเคาน์สโตร์ เช่น โลตัส, บิ๊กซี
 - () ซูเปอร์มาร์เก็ต เช่น ท็อปส์
 - () อื่น ๆ กรุณาระบุ
6. ลูกค้าของท่านทำธุรกิจประเภทใด
 - () โรงงานอุตสาหกรรม
 - () ผลิตภัณฑ์นม
 - () ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม
 - () ผู้ผลิตอาหารขนาดเล็ก
 - () ขนมหวาน
 - () ขนมไทย
 - () อื่น ๆ กรุณาระบุ
 - () ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่
 - () อื่น ๆ กรุณาระบุ
7. ท่านคิดว่าการใช้สีธรรมชาติเพื่อทดแทนการใช้สีสังเคราะห์มีความเป็นไปได้หรือไม่
 - () เป็นไปได้
 - () เป็นไปไม่ได้ เพราะ

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์

8. ท่านคิดว่า ถ้ามีการผลิตสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำที่มีรูปแบบที่สะดวกในการใช้ ท่านมีความสนใจที่จะซื้อหรือไม่
- () สนใจ
- () ไม่สนใจ เพราะ
- () ไม่สนใจ เพราะ
9. ท่านคิดว่าสีธรรมชาติที่ผลิตขึ้นจากข้าวเหนียวดำควรอยู่ในรูปแบบใดมากที่สุด
- () ผงละเอียด (Powder) () ของเหลว (Liquid)
- () ของเหลวข้น (Paste) () อื่น ๆ กรุณาระบุ

ส่วนที่ 3 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม

10. เพศ

- () หญิง () ชาย

11. อายุ

- () น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 ปี () 21 – 30 ปี
- () 31 - 40 ปี () 41 - 50 ปี
- () มากกว่า 50 ปี

12. ระดับการศึกษาสูงสุด

- () น้อยกว่าหรือเทียบเท่าประถมศึกษา () มัธยมศึกษาตอนต้น
- () มัธยมศึกษาตอนปลาย / ปวช. () ปวส. / อนุปริญญา
- () ปริญญาตรี () ปริญญาโท
- () สูงกว่าปริญญาโท

13. รายได้ต่อเดือน

- () น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท () 10,001 – 20,000 บาท
- () 20,001 – 30,000 บาท () 30,001 – 40,000 บาท
- () 40,001 – 50,000 บาท () สูงกว่า 50,000 บาท

14. ท่านดำรงตำแหน่งใดในบริษัทผู้ผลิต ผู้นำเข้า หรือผู้จำหน่ายผลิตภัณฑ์อาหารกรูณาระบุ

.....

แบบสอบถาม

เรียน ผู้ตอบแบบสอบถาม

เรื่อง การทดสอบการยอมรับของผู้ใช้สีผสมอาหารต่อผลิตภัณฑ์ผงสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำ

คำชี้แจง แบบสอบถามชุดนี้เป็นการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ผงสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ของ นางสาวดวงกมล ลิ้มจันทร์ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่านในการตอบแบบสอบถามทุกข้อเพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูล โดยข้อมูลที่ท่านตอบจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับใช้ทำงานวิจัยต่อไป

คำอธิบาย ผงสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ และนำไปผ่านกระบวนการทำแห้ง มีลักษณะเป็นผงสีม่วงแดง เพื่อความสะดวกในการใช้งาน โดยสามารถเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารดูน่ารับประทาน และมีความหลากหลายปลอดภัยต่อผู้บริโภค และได้รับประโยชน์จากสารต้านอนุมูลอิสระ (แอนโทไซยานิน) ซึ่งเป็นสารสีที่พบในข้าวเหนียวดำ อีกทั้งยังเป็นการลดการนำเข้าสีสังเคราะห์จากต่างประเทศ และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้อีกทางหนึ่ง

คำแนะนำ กรุณาทดลองใช้ผงสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำในผลิตภัณฑ์อาหาร และตอบแบบสอบถามดังต่อไปนี้

1. ท่านยอมรับสีของผงสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำหรือไม่
() ยอมรับ () ไม่ยอมรับ เพราะ
2. หลังจากทดลองใช้ผงสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำในผลิตภัณฑ์อาหารแล้ว ท่านมีความพอใจในคุณภาพระดับใด
() มากที่สุด () มาก () ปานกลาง () น้อย () น้อยที่สุด
3. การใช้ผงสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำในผลิตภัณฑ์อาหารมีความสะดวกในระดับใด
() มากที่สุด () มาก () ปานกลาง () น้อย () น้อยที่สุด
4. ท่านยอมรับสีของผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้ผงสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำหรือไม่
() ยอมรับ () ไม่ยอมรับ เพราะ

5. ผงสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำมีผลทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น กลิ่นรสเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่
 - () ไม่เปลี่ยนแปลง
 - () เปลี่ยนแปลง อย่างไร
6. ท่านคิดว่าการใช้ผงสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำเพื่อทดแทนการใช้สีสังเคราะห์มีความเป็นไปได้หรือไม่
 - () เป็นไปได้
 - () เป็นไปไม่ได้ เพราะ
7. หากมีการผลิตผงสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำที่นอกจากจะช่วยแต่งสีให้ผลิตภัณฑ์อาหารดูน่ารับประทาน แล้วยังได้รับประโยชน์จากสารต้านอนุมูลอิสระ (แอนโทไซยานิน) ซึ่งเป็นสารสีที่พบในข้าวเหนียวดำ ท่านคิดว่าจะซื้อหรือไม่
 - () ซื้อ
 - () ไม่แน่ใจ เพราะ
 - () ไม่ซื้อ เพราะ
8. ข้อเสนอแนะ/สิ่งที่ควรปรับปรุง

.....

.....

.....
9. ผู้ทดสอบการใช้ผงสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำในผลิตภัณฑ์อาหาร
 - 9.1 ชื่อผู้ทดสอบ
 - 9.2 ตำแหน่ง
 - 9.3 ชื่อสถานประกอบการ.....
 - 9.4 ชื่อผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบ

2. ท่านยอมรับ “ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ” นี้หรือไม่

() ยอมรับ

() ไม่ยอมรับ เพราะ.....

3. ถ้ามี “ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำ” จำหน่ายท่านจะซื้อหรือไม่

() ซื้อ

() ไม่แน่ใจ เพราะ

() ไม่ซื้อ เพราะ

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

ส่วนที่ 2 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม

4. เพศ

() หญิง

() ชาย

5. อายุ

() น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 ปี

() 21 – 30 ปี

() 31 - 40 ปี

() 41 - 50 ปี

() มากกว่า 50 ปี

6. ระดับการศึกษาสูงสุด

() น้อยกว่าหรือเทียบเท่าประถมศึกษา

() มัธยมศึกษาตอนต้น

() มัธยมศึกษาตอนปลาย / ปวช.

() ปวส. / อนุปริญญา

() ปริญญาตรี

() ปริญญาโท

() สูงกว่าปริญญาโท

7. อาชีพ

() นักเรียน / นิสิต / นักศึกษา

() ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ

() พนักงานบริษัทเอกชน

() แม่บ้าน

() ค้าขาย / ธุรกิจส่วนตัว

() อื่นๆ กรุณาระบุ.....

8. รายได้ต่อเดือน

() น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท

() 10,001 – 20,000 บาท

() 20,001 – 30,000 บาท

() 30,001 – 40,000 บาท

() 40,001 – 50,000 บาท

() สูงกว่า 50,000 บาท

ภาคผนวก ค

การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง การคำนวณค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก
และการกำหนดระดับความสำคัญ

การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง

สูตรการคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่าง ในกรณีไม่ทราบจำนวนประชากร (ธานินทร์, 2541)

$$n = \frac{Z^2 pq}{E^2}$$

โดยที่ n = ขนาดกลุ่มตัวอย่าง (คน)

p = สัดส่วนประชากรที่รับประทานไอศกรีมข้าวเหนียวดำ เท่ากับ 0.85

$q = 1 - p$ เท่ากับ 0.15

Z = ความเชื่อมั่นที่ระดับร้อยละ 95 มีค่าเท่ากับ 1.96

E = ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ มีค่าเท่ากับ 0.05

$$n = \frac{(1.96)(0.85)(0.15)}{(0.05)^2}$$

$$n = 195.92$$

ดังนั้น ทดสอบผู้บริโภค จำนวน 200 คน

การคำนวณค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก และการกำหนดระดับความสำคัญ

1. การคำนวณค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก

$$\text{ค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก} = \frac{\text{ผลรวมของ (น้ำหนักความสำคัญ x ความถี่)}}{\text{ผลรวมของความถี่}}$$

2. การกำหนดระดับความสำคัญ

$$\begin{aligned} \text{ช่วงระดับคะแนนเฉลี่ย} &= \frac{(\text{คะแนนสูงสุด} - \text{คะแนนต่ำสุด})}{\text{จำนวนชั้น}} \\ &= \frac{(5-1)}{5} \\ &= 0.8 \end{aligned}$$

คะแนนเฉลี่ยช่วง	1.00 – 1.80	หมายถึงมีความสำคัญน้อยที่สุด
	1.81 – 2.60	หมายถึงมีความสำคัญน้อย
	2.61 – 3.40	หมายถึงมีความสำคัญปานกลาง
	3.41 – 4.20	หมายถึงมีความสำคัญมาก
	4.21 – 5.00	หมายถึงมีความสำคัญมากที่สุด

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวดวงกมล ลิ้มจันทร์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 26 มกราคม 2523
สถานที่เกิด	ราชบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (พัฒนาผลิตภัณฑ์) เกียรตินิยมอันดับสอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2547)
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2548) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาจาก บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2549)