



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ผลิตภัณฑ์ประมง)

ปริญญา

ผลิตภัณฑ์ประมง

ผลิตภัณฑ์ประมง

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของสีจากธรรมชาติต่อคุณภาพของลูกชิ้นปลา

Effect of Natural Colorants on Fish Ball Quality

نامผู้วิจัย นายพฤกษ์ ประเสริฐกุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ณนช รักสกุลไทย, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของสีจากธรรมชาติต่อคุณภาพของลูกชิ้นปลา

Effect of Natural Colorants on Fish Ball Quality

โดย

นายพฤกษ์ ประเสริฐกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ผลิตภัณฑ์ประมง)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พฤกษ์ ประเสริฐกุล 2554: ผลของสัจจากธรรมชาติต่อคุณภาพของลูกชิ้นปลา ปริญญาวิทยาศาสตร์
มหบัณฑิต (ผลิตภัณฑ์ประมง) สาขาผลิตภัณฑ์ประมง ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร, Ph.D. 99 หน้า

ศึกษาสภาวะการสกัก และชนิดของสีสกักจากธรรมชาติที่มีสมบัติเหมาะสมต่อคุณภาพของเจลซูริมิ
เกรด SA โดยศึกษาจากวัตถุดิบให้สี 4 กลุ่ม คือ กลุ่มสีเขียว (กะน้ำ ใบเตย สาหร่ายผักกาดแห้ง และใบบัวบก)
กลุ่มสีเหลืองหรือส้ม (ขมิ้นชัน พริกทอง ดอกคำฝอยแห้ง และแครอท) กลุ่มสีแดง (หัวบีท กระเจี๊ยบแห้ง และ
ข้าวแดง) และกลุ่มสีน้ำเงิน (ดอกอัญชัน และกะหล่ำปลีม่วง) ด้วยการคัดเลือกจากวิธีการสกัก 3 วิธี ได้แก่
การสกักด้วยน้ำเย็น (CE) สำหรับตัวอย่างสด, การสกักด้วยเอทานอลร้อยละ 95 (EE) สำหรับข้าวแดง และ
การสกักด้วยน้ำร้อน (BE) สำหรับตัวอย่างแห้ง เมื่อผสมสีกับซูริมิ พบว่า สีสกักที่ไม่เกิดการเคลื่อนที่ออกไปกับ
น้ำ (bleeding) และคงลักษณะของสีไว้ได้หลังให้ความร้อน ได้แก่ น้ำสีกะน้ำ พริกทอง และแครอทที่สกักด้วยวิธี
CE และสารสีสกักข้าวแดงที่สกักด้วยวิธี EE เมื่อนำสีสกักทั้ง 4 ชนิดไปอบแห้งแบบถาด พบว่า การอบแห้งที่
60 °ซ ทำให้ผงสีหลังละลายคงเอกลักษณ์ของสี และมีสมบัติการละลายมากกว่าผงสีอบแห้งที่ 80 °ซ

เมื่อศึกษาปริมาณผงสีที่เหมาะสม โดยผสมผงสีกะน้ำ พริกทอง และแครอท (ร้อยละ 0.5, 1 และ
2 (w/w)) และข้าวแดง (ร้อยละ 0.3, 0.5 และ 0.7 (w/w)) ในซูริมิ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของผงสี มีผลให้ค่าความ
สว่าง (L*) ของเจลโปรตีนปลาตกลง และมีการเพิ่มขึ้นของสีเขียว (-a*) และสีเหลือง (b*) ในเจลผสมสีกะน้ำ
เพิ่มค่า b* ในเจลผสมสีพริกทอง รวมทั้งเพิ่มค่าสีแดง (a*) และ b* ในเจลผสมสีแครอท และข้าวแดง
ความแข็งแรงเจลมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณผงสี โดยเจลผสมสีกะน้ำ และ
แครอทที่ร้อยละ 2 มีความแข็งแรงเจลต่ำที่สุด ค่า pH เจลผสมสีมีค่าในช่วง 6.72-6.99 และความสามารถใน
การอุ้มน้ำของเจลมีค่าร้อยละ 99.56-99.84 ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ปริมาณผงสีที่
เหมาะสมในการผสมกับซูริมิ คือ ผงสีกะน้ำ พริกทอง และแครอทร้อยละ 1 และข้าวแดงร้อยละ 0.3 ของน้ำหนัก
ซูริมิ ซึ่งได้รับคะแนนความชอบรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง เมื่อสำรวจการยอมรับจากผู้บริโภค 162 คน
ต่อลูกชิ้นปลาคูผสมสีทั้ง 4 ชนิด ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมของตัวอย่างผสมสีกะน้ำ และพริกทอง
สูงกว่าตัวอย่างอื่น ($p>0.05$) และเมื่อเรียงลำดับความชอบ (ranking test) พบว่า ลูกชิ้นผสมสีกะน้ำ พริกทอง และ
ข้าวแดง มีลำดับความชอบไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่มากกว่าลูกชิ้นสีแครอท ($p<0.05$) ทั้งนี้ลูกชิ้นสีกะน้ำ และ
พริกทองได้รับการยอมรับในระดับมากที่สุดร้อยละ 80 และ 85 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพลูกชิ้นปลาคู
ผสมสีกะน้ำ และพริกทอง ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน พบว่า ลูกชิ้นทั้ง 2 สีที่เก็บในน้ำแข็ง และ
ไม่สัมผัสแสง คงเอกลักษณ์ของสี และมีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และ
ความชอบรวมสูงกว่า และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าลูกชิ้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และ
สัมผัสแสง ($p<0.05$)

Pruk Prasertkul 2011: Effect of Natural Colorants on Fish Ball Quality. Master of Science
(Fishery Products), Major Field: Fishery Products, Department of Fishery Products.
Thesis Advisor: Assistant Professor Jiraporn Runglerdkriangkrai, Ph.D. 99 pages.

The colorant extraction conditions and the kinds of natural colorants which are suitable for SA grade surimi gel were studied. The four groups of natural colorant namely: green (Chinese kale, pandanus leaf, dried sea lettuce and tiger herbal), yellow or orange (turmeric, pumpkin, dried safflower and carrot), red (beet root, dried roselle and angkak) and blue (butterfly pea flower and purple cabbage) were extracted using the cold water extraction (CE), extracting with 95 % ethanol (EE) for angkak and boiled water extraction (BE) for dried samples. When colorants were mixed with surimi, it was found that the colorants, which were not bleeding and maintained their color after heating, were Chinese kale (CE), pumpkin (CE) and carrot (CE) and angkak pigments extracted by EE. Tray drying at 60 °C of all colorants showed better fixed color identity and solubility than those dried at 80 °C.

To study the appropriated amount of colorant powders, surimi was mixed with each colorant powders prepared from Chinese kale, pumpkin and carrot at 0.5, 1 and 2% (w/w) and angkak at 0.3, 0.5 and 0.7% (w/w). Increasing amount of all colorants decreased lightness (L^*) of treated gel while the greenness ($-a^*$) and the yellowness (b^*) of gel with Chinese kale powder; the b^* of gel with pumpkin powder and both redness (a^*) and b^* of gel with carrot and angkak increased. Gel strengths of all samples with colorants were lower than that of the control. Increasing the amount of the colorants apparently lowered the gel strength especially that with 2% Chinese kale and carrot powder. The pHs of all treated-gel were in the range of 6.72-6.99. Water holding capacities of gels were 99.56-99.84%. From the sensory evaluation, using 1 % extracted colorant powder from Chinese kale, pumpkin and carrot and 0.3 % angkak in surimi gel were the most appropriate with the overall preference at the level of moderate liking. The acceptance survey from 162 consumers on fish ball prepared from catfish (*Clarias gariepinus*) mixed with each colorants, showed the higher overall liking score of fish ball with Chinese kale and pumpkin than the others ($p>0.05$). The ranking test showed that the preference in fish ball with Chinese kale, pumpkin and angkak colorant were not different ($p>0.05$), and were higher than the fish balls with carrot colorant ($p<0.05$). The fish balls with Chinese kale and pumpkin were highly accepted at 80 and 85%, respectively. Changing in fish balls quality with Chinese kale and pumpkin colorant during storage for 12 days showed that both samples kept in ice without light exposure had more unique color and hedonic scores of odor, texture, flavour and overall liking and had less total bacterial counts than the samples kept at 4 °C with light exposure ($p<0.05$).

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร ประธานกรรมการที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ รศ.ดร.นงนุช รักสกุลไทย กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษา
ในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และ
ขอบพระคุณ ผศ. ดร. ปัทมา ระตะนະอาพร ประธานในการสอบ และ ดร. พรรณทิพย์
สุวรรณสาครกุล ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมงทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน
และมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบคุณ
คุณดวงเดือน วาริระนิช เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการผลิตภัณฑ์ประมง และเจ้าหน้าที่ภาควิชา
ผลิตภัณฑ์ประมงทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณ โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ
สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้
อบรม และให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

พฤกษ์ ประเสริฐกุล
พฤษภาคม 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	18
อุปกรณ์	18
วิธีการ	20
ผลและวิจารณ์	30
สรุปและข้อเสนอแนะ	58
สรุป	58
ข้อเสนอแนะ	60
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	61
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก แบบสอบถามที่ใช้ในงานวิจัย	67
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ	77
ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา	80
ภาคผนวก ง ตารางวิเคราะห์ทางสถิติ	82
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	99

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปรียบเทียบส่วนประกอบของโปรตีนจากปลา และเนื้อสัตว์	3
2	สูตรการผลิตซูริมิเพส (surimi paste) เจลซูริมิ ลูกชิ้นซูริมิ และลูกชิ้นปลาผสมสีสกัด	23
3	สมบัติ และการคัดเลือกน้ำสี หรือสารสีสกัดจากธรรมชาติที่เหมาะสมในการผสมกับซูริมิ	31
4	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) ของเจลซูริมิผสมสีสกัดจากธรรมชาติ	35
5	ระดับความเหมาะสมของคุณลักษณะสีของเจลซูริมิผสมสีสกัดจากธรรมชาติ	36
6	ระดับความเหมาะสมของคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลซูริมิผสมสีสกัดจากธรรมชาติ	37
7	ค่าการละลาย และค่าสี L^* , a^* และ b^* ของสีที่สภาวะการอบแห้งต่าง ๆ	38
8	ค่าสีของเจลโปรตีนจากซูริมิที่ผสมสีสกัดจากธรรมชาติที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ	40
9	คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของเจลโปรตีนจากซูริมิที่ผสมสีสกัดจากธรรมชาติที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ	41
10	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) ของลูกชิ้นจากซูริมิผสมสีสกัดจากธรรมชาติที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ	44
11	ระดับความเหมาะสมของคุณลักษณะด้านสี และเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นจากซูริมิผสมสีสกัดจากธรรมชาติที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ	47
12	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) และคะแนนการเรียงลำดับความชอบ (ranking) ของลูกชิ้นปลาคูผสมสีสกัดจากธรรมชาติ	49

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการประเมินทางประสาทสัมผัส ด้าน ความชอบของผู้บริโภคสุริมผสมน้ำสี หรือสารสีสกัดจากธรรมชาติ	83
ง2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการละลายของผงสีสกัดจากธรรมชาติ ที่อุณหภูมิการอบแห้งต่าง ๆ	84
ง3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีหลังการละลายของผงสีสกัดจาก ธรรมชาติที่อุณหภูมิการอบแห้งต่าง ๆ	84
ง4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีของเจลโปรตีนจากสุริมผสมสีสกัดจาก ธรรมชาติที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ	85
ง5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแข็งแรงเจล (gel strength) ของเจล โปรตีนจากสุริมผสมสีสกัดจากธรรมชาติที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ และ ตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผสมสี	87
ง6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า pH ของเจลโปรตีนจากสุริมผสมสีสกัด จากธรรมชาติที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ และตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผสมสี	88
ง7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการอุ้มน้ำ (% water holding capacity; WHC) ของโครงข่าย ของเจลโปรตีนจากสุริมผสมสีสกัดจาก ธรรมชาติที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ และตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผสมสี	89
ง8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความชื้นของเจลโปรตีนจากสุริมผสมสี สกัดจากธรรมชาติที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ และตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผสมสี	90
ง9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการประเมินทางประสาทสัมผัส ด้าน ความชอบของผู้บริโภคขึ้นปลาสุริมผสมสีสกัดจากธรรมชาติ จาก consumer survey	91
ง10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการทดสอบการเรียงลำดับความชอบด้าน ความชอบรวมของผู้บริโภคขึ้นปลาสุริมผสมสีสกัดจากธรรมชาติ จาก consumer survey	92

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ง11	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีของลูกขึ้นปลาดุกผสมสีสกัดจาก ธรรมชาติไม่สัมผัส และสัมผัสแสงระหว่างการเก็บรักษา 12 วัน	93
ง12	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการประเมินทางประสาทสัมผัส ด้าน ความชอบของลูกขึ้นปลาดุกผสมสีสกัดจากธรรมชาติไม่สัมผัสแสง และ สัมผัสแสงระหว่างการเก็บรักษา 12 วัน	95
ง13	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของลูกขึ้นปลาดุก ผสมสีสกัดจากธรรมชาติไม่สัมผัสแสง และสัมผัสแสงระหว่างการเก็บรักษา 12 วัน	98

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของโซลของซูริมิในระยะต่าง ๆ ขณะให้ความร้อน	4
2 โครงสร้างของ α และ β แคลโรทิน	9
3 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์	10
4 โครงสร้างทั่วไปของแอนโทไซยานิน	11
5 โครงสร้างสารสีจาก <i>Monascus</i>	12
6 ชุดทดสอบ filter paper test เพื่อทดสอบ bleeding	24
7 ค่าสีของลูกชิ้นปลาตุ๋นผสมสีคือน้ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	51
8 ค่าสีของลูกชิ้นปลาตุ๋นผสมสีฟักทองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	52
9 คะแนนความชอบของลูกชิ้นปลาตุ๋นผสมสีคือน้ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	54
10 คะแนนความชอบของลูกชิ้นปลาตุ๋นผสมสีฟักทองระหว่างการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	55
11 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของลูกชิ้นปลาตุ๋นผสมสีคือน้ำระหว่างการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	57
12 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของลูกชิ้นปลาตุ๋นผสมสีฟักทองระหว่างการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส	57

ผลของสีจากธรรมชาติต่อคุณภาพของลูกชิ้นปลา

Effect of Natural Colorants on Fish Ball Quality

คำนำ

ผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่นจากปลา (fish gelly products) เช่น ลูกชิ้นปลา ปูเทียม คือผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะยืดหยุ่น ซึ่งเกิดจากการที่เกลือโปสเตอร์ไลต์โปรตีนไมโอซิน และแอคตินออกมา เมื่อนำไปให้ความร้อนจะเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลโปรตีนเป็นผลให้เกิดเจลของโปรตีนที่เหนียว และยืดหยุ่น ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของเจล ได้แก่ ชนิดของปลา ความสด ปริมาณความชื้น เอนไซม์ อุณหภูมิ และ pH เป็นต้น

สีเป็นคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของอาหาร อีกทั้งเป็นพื้นฐานในการตัดสินใจยอมรับผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่นจากปลามักมีสีขาว ยกเว้นที่มีการแต่งสี หรือผสมชิ้นส่วนของส่วนผสมที่มีสีลงไป เช่น แครอท สาหร่าย ฟริก และเห็ดหอม ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลวดลายของสีนั้น ๆ หรือใช้เครื่องเทศเติมลงไปทำให้มีสี เช่น แกงเขียวหวาน และแกงเผ็ด เป็นต้น แต่ยังไม่พบการใช้สีจากธรรมชาติ เช่น ใบเตย พักทอง แครอท และขมิ้นชัน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีของสารธรรมชาติเสมอทั่วทั้งลูกชิ้น ดังนั้นการทำให้ผลิตภัณฑ์จากโปรตีนปลามีสีจากการเติมสีธรรมชาติอาจทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบใหม่รวมทั้งมีความปลอดภัยในการบริโภค

สีธรรมชาติที่มาจากพืชเกิดจากสารสี (pigment) ชนิดต่าง ๆ เช่น คลอโรฟิลล์ให้สีเขียว แคโรทีนอยด์ให้สีเหลืองหรือสีส้ม แอนโทไซยานิน บิตานินให้สีแดง แอนโทไซยานินให้สีน้ำเงิน เมื่อนำสีไปผสมกับอาหารโปรตีน ในบางกรณีสีอาจมีสมบัติเปลี่ยนไป ซึ่งสามารถเกิดได้ทั้งระหว่างกระบวนการให้ความร้อน และการเก็บรักษาด้วยความเย็น นอกจากนั้นสีจากธรรมชาติบางชนิดอาจมีสีเปลี่ยนแปลงไปตาม pH โดยเฉพาะสารสีที่มีความเป็นกรดสูง เมื่อนำมาให้สีกับโปรตีนปลาอาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่นจากเนื้อปลา (Lauro, 2000) ดังนั้นจึงควรศึกษาผลของสีสกัดจากธรรมชาติต่อคุณภาพของเจลปลาผสมสี โดยใช้ลูกชิ้นปลาเป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่นจากปลา อีกทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวในระหว่างการเก็บรักษา และทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ อันจะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการผลิตเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสภาวะการเตรียมสี และชนิดของสีสกัดจากธรรมชาติที่มีสมบัติเหมาะสมกับคุณภาพของเจลซูริมิ
2. ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสีสกัดจากธรรมชาติที่มีต่อคุณภาพของเจลโปรตีนซูริมิ
3. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อลูกชิ้นปลาผสมสีสกัดจากธรรมชาติ
4. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของลูกชิ้นปลาผสมสีสกัดจากธรรมชาติในระหว่างการเก็บรักษา

การตรวจเอกสาร

1. ผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่นจากปลา

ผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่นจากปลา เช่น ลูกชิ้นปลา ชีววา ไส้กรอกปลา คามาโบโกะ เต้าหู้ปลา ปูเทียมหรือปูอัด กุ้งเทียม มีลักษณะเนื้อยืดหยุ่น โดยความยืดหยุ่นนี้เป็นผลเนื่องมาจากการเกิดเจลของโปรตีนปลา (protein gelation)

1.1 กลไกการเกิดเจล

กลไกการเกิดเจลของโปรตีนเป็นกลไกทางเคมีที่เกิดจากการเชื่อมของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (myofibrillar protein) ด้วยพันธะต่าง ๆ และอาจมีเอนไซม์บางชนิด เช่น เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเป็นตัวเร่งการเชื่อมประสานของโปรตีนเกิดเป็นโครงข่ายของโปรตีนที่แข็งแรง โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์เป็นโปรตีนที่พบมากในเนื้อปลา (ตารางที่ 1) และมีสมบัติที่ละลายได้ในสารละลายเกลือเจือจาง (ร้อยละ 1-8) แต่ส่วนใหญ่จะไม่ละลายในน้ำ โดยเกลือที่เติมเข้าไปเพื่อทำให้โปรตีนละลายได้ดีขึ้น และช่วยในการกระจายตัวของโปรตีน (Lanier, 2000)

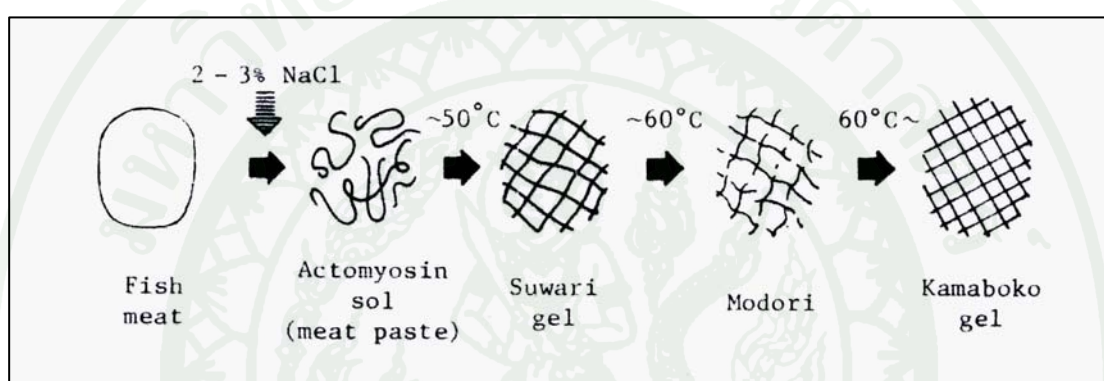
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบส่วนประกอบของโปรตีนจากปลา และเนื้อสัตว์

แหล่งของโปรตีน	ปริมาณโปรตีนแต่ละชนิด (ร้อยละของโปรตีนทั้งหมด)		
	Sarcoplasmic	Myofibrillar	Stroma
Cod	21	76	3
Carp	23-25	70-72	5
Flatfish	18-24	73-79	3
Beef	16-28	39-68	16-28

ที่มา: Lanier (2000)

แบบจำลองลำดับขั้นตอนของการเกิดเจลแสดงในภาพที่ 1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1.1 การสกัดโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ การเกิดเจลของโปรตีนกล้ามเนื้อ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในสภาวะที่มีเกลือร้อยละ 2-3 โดยเกลือมีผลไปละลายโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ ไมโอซินที่ละลายสามารถรวมตัวกับแอคตินเกิดเป็นแอคโตไมโอซินโซล ซึ่งไมโอซิน และแอคโตไมโอซินมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจลของซูริมิ (สุทธวัฒน์, 2549)



ภาพที่ 1 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของโซลของซูริมิในระยะต่าง ๆ ภายใต้อุณหภูมิ

ที่มา: Suzuki (1981)

1.1.2 การจับเรียงตัวของโปรตีน (aggregation) มีความสำคัญต่อการเกิดโครงสร้าง 3 มิติ โดยอาศัยการจับเรียงตัวของโมเลกุลที่เหมาะสม การเกิดเจลแตกต่างจากขั้นตอนการจับตัวตกตะกอน (coagulation) โดยการเกิดเจลเป็นกระบวนการที่มีการจัดเรียงตัวของโครงข่ายโมเลกุลอย่างมีระเบียบ ส่วนการจับตัวตกตะกอนเป็นการจับเรียงตัวของโมเลกุลแบบสุ่ม และไม่เป็นระเบียบ (สุทธวัฒน์, 2549) การจับเรียงตัวของโปรตีนสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ

1) ซูวารี (Suwari) หรือการเรียงตัว (gel setting) แอคโตไมโอซินในเนื้อปลาจับตัวกับน้ำ และเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนเกิดเป็นโครงร่างตาข่าย (net work) อย่างหลวม ๆ มีการกักน้ำอยู่ภายในร่างแห เมื่อได้รับความร้อนโมเลกุลของโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลง มีการจับตัวกันระหว่างกรดอะมิโนที่ยื่นออกมาทางด้านข้างของโมเลกุลโปรตีนข้างเคียง โดยในช่วงนี้เป็นการจับกันของพันธะไฮโดรเจน และพันธะไฮโดรโฟบิก

(hydrophobic bond) เจลที่ได้มีลักษณะใส และค่อนข้างยืดหยุ่น (Niwa *et al.*, 1982) ขั้นตอนซูวาริมี 2 ระดับ ตามระดับอุณหภูมิดังนี้

1.1) การจัดเรียงตัวที่อุณหภูมิต่ำ (low temperature setting หรือ Tei-on suwari) คือ การให้ความร้อนโชลที่อุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง ทำให้เกิดเป็นเจลที่มีลักษณะใส และยืดหยุ่น เนื่องจากการสร้างพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลโปรตีนกับโมเลกุลน้ำภายในโครงร่างตาข่ายเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น

1.2) การจัดเรียงตัวที่อุณหภูมิสูง (high temperature setting หรือ Ko-on suwari) คือ การให้ความร้อนโชลที่อุณหภูมิ 30-50 องศาเซลเซียส นาน 30-90 นาที ทำให้เกิดเป็นเจลที่มีลักษณะค่อนข้างขุ่น มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น มีรายงานว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการจัดเรียงตัวก่อนนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง เช่น การเรียงตัวที่ 28-30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมงหรือที่ 40-45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20-30 นาที จะให้เจลที่มีความแข็งแรงมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการจัดเรียงตัว (Lee, 1984; MFRD, 1987a)

2) โมโดริ (Modori) หรือการแตกตัว (disintegration) เกิดจากการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส ซึ่งในช่วงนี้ไมโอซินเฮฟวี่เชน (myosin heavy chain, MHC) ถูกย่อยสลายทำให้เกิดการแตกสลายของโครงสร้างเจลบางส่วน ส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลลดลง ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงช่วงอุณหภูมินี้โดยการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่า 70 องศาเซลเซียสอย่างรวดเร็ว กล่าวกันว่าการเกิดโมโดริเป็นผลมาจากเอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอส (alkaline protease enzyme) ซึ่งทำงานได้ดีที่อุณหภูมิของเนื้อปลาเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส และ pH ที่เหมาะสมคือ 7.5-8.0 (Autio *et al.*, 1989) ซึ่งปริมาณการแตกตัวนี้ขึ้นกับชนิดของปลา

3) อาชิ (Ashi) หรือการตรึง (elasticity fixation) เป็นการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส ทำให้เส้นใยโปรตีนเริ่มจับกันมากขึ้น เป็นการรวมกลุ่มแบบการสุ่ม (random network aggregation) พันธะที่เกิดขึ้นในช่วงนี้จะเป็นพันธะไฮโดรโฟบิก และพันธะไดซัลไฟด์เป็นส่วนใหญ่ทำให้โครงร่างตาข่ายมีความคงตัวมากขึ้น เจลมีลักษณะที่บดเสถียรมากขึ้น (Montejano *et al.*, 1984)

1.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสมบัติการเกิดเจลของโปรตีนสัตว์น้ำ

คุณภาพของเจลโปรตีนสัตว์น้ำแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1.2.1 การเสื่อมสภาพของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ก่อนการผลิตให้เป็นผลิตภัณฑ์ ทำให้ความสามารถในการละลายของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ในสารละลายเกลือลดลง โดยโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์เป็นโปรตีนหลักในการเกิดเจลที่แข็งแรง เมื่อละลายได้น้อยจึงทำให้ความแข็งแรงลดลง (Suzuki, 1981)

1.2.2 ชนิด และถิ่นอาศัยของปลามีอิทธิพลต่อความคงตัวของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์เมื่อได้รับความร้อน เช่น ปลาทูน่าครีบน้ำเงินมีความคงตัวของโปรตีนมากกว่าปลาแมกเคอเรล ชาร์ดีน และออสการ์พอลแลค (Suzuki, 1981)

1.2.3 กิจกรรมของเอนไซม์ย่อยโปรตีนที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดเจล โดยโปรตีนจะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ย่อยโปรตีนทำให้เกิดการแตกสลายของโครงสร้างเจลบางส่วน ทำให้โปรตีน MHC ลดลง และพบการเกิดขึ้นของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จึงส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลลดลง (Takeda and Seki, 1996)

1.2.4 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์กับซาร์โคพลาสมิก (sarcoplasmic protein) และ/หรือ สโตรมาโปรตีน (stroma protein) โดยโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์มีบทบาทสำคัญต่อการกำหนดคุณลักษณะ และคุณภาพของเจลโปรตีน ดังนั้นถ้าเนื้อปลามีสัดส่วนความเข้มข้นโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์สูงกว่าโปรตีนชนิดอื่น จะทำให้เจลโปรตีนมีคุณภาพสูง เช่น ชูริมิจากปลา Chum salmon (*Oncorhynchus keta*) เป็นชูริมิที่เกิดเจลคุณภาพต่ำเป็นเพราะมีปริมาณโปรตีนไมโอซินเฮฟวีเชนเพียงร้อยละ 30 เมื่อเปรียบเทียบกับชูริมิของปลาพอลแลคที่เกิดเจลคุณภาพสูง ซึ่งมีโปรตีนไมโอซินเฮฟวีเชนสูงถึงร้อยละ 40 (Wan *et al.*, 1995)

1.2.5 ค่า pH โดย pH ที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลคือ 6.5-7.0 ถ้า pH อยู่ในช่วง Isoelectric zone (pH 5-6) จะทำให้ความสามารถในการละลายของโปรตีนมีค่าต่ำสุด เป็นผลให้เจลมีความแข็งแรงต่ำที่สุด รวมทั้งเมื่อ pH เป็นกรดสูงจะทำให้โปรตีนเสียสภาพ เนื่องจากพันธะ

ไคซัลไฟด์ซึ่งเป็นพันธะที่ทำให้โครงสร้างตาข่ายมีความคงตัวถูกทำลาย เป็นผลให้ความแข็งแรงของเจลลดลง (Ni *et al.*, 2001)

1.2.6 อุณหภูมิมีผลต่อการจัดเรียงตัวโครงสร้างโปรตีนในระหว่างการเกิดเจล เช่น การจัดเรียงตัวที่อุณหภูมิต่ำ 5-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง และการจัดเรียงตัวที่อุณหภูมิสูง 40-45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20-30 นาที จะให้เจลที่มีความแข็งแรงมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการจัดเรียงตัว (สุทรวัฒน์, 2549) ส่วนการให้ความร้อนกับเจลซูริมิที่อุณหภูมิสูง 75, 85 หรือ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15, 15 และ 5 นาที ตามลำดับ มีผลต่อความขาว และเนื้อสัมผัสแตกต่างกัน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการให้ความร้อนสูงเป็นเวลานานมีผลให้ความยืดหยุ่น และความขาวของผลิตภัณฑ์ลดลง (Shie and Park, 1999)

1.3 ซูริมิ

ซูริมิ คือ เนื้อปลาสดที่ผ่านกระบวนการแยกกระดูกหรือก้าง และหนังออก เรียกว่าเนื้อปลาบด จากนั้นผ่านการล้างด้วยน้ำ และน้ำเกลือเพื่อขจัดไขมัน เลือด โปรตีนที่ละลายน้ำได้ เม็ดสี และเอนไซม์ เหลือแต่โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ ซึ่งเป็นโปรตีนหลักในการเกิดเจล แล้วเติมสารที่ช่วยป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน เช่น น้ำตาล หรือ โซรบีทอล นอกจากนี้ อาจมีการเติมสารประกอบฟอสเฟตก่อนนำไปแช่แข็งแบบเร็วยิ่งยวด (quick frozen) ในแม่แบบ ซูริมิเป็นวัตถุดิบพื้นฐานในการผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ลูกชิ้นปลา ชิกว้า ไส้กรอกปลา คามาโบโกะ เต้าหู้ปลา ปูเทียมหรือปูอัด กุ้งเทียม เป็นต้น ซึ่งคุณภาพของซูริมิขึ้นอยู่กับชนิด และ ความสดของปลาที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบ การจัดระดับคุณภาพส่วนใหญ่จะใช้ปริมาณความชื้น ความเหนียว และสีของซูริมิเป็นตัวกำหนด เช่น การกำหนดคุณภาพซูริมิในประเทศไทย ซูริมิเกรด SA, AA, A และ B มีค่าความแข็งแรงเจล (gel strength) เป็นมากกว่า 700, 450-700, 350-450 และ น้อยกว่า 350 ตามลำดับ นอกจากนี้ตัวผลิตภัณฑ์ที่จะนำซูริมิไปใช้ผลิตภัณฑ์เป็นตัวกำหนดว่าควรจะใช้ซูริมิระดับคุณภาพใด เช่นเนื้อปูอัด คามาโบโกะจะใช้ซูริมิระดับคุณภาพดีที่สุดมาผลิต เพราะ ผลิตภัณฑ์จะมีความเหนียว และมีสีขาว ส่วนเบอร์เกอร์ปลา ไส้กรอกปลาจะใช้ ซูริมิระดับคุณภาพรองลงมาผลิต (สถาบันวิจัย และพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, 2541)

2. สีผสมอาหาร

สีเป็นสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของอาหาร และเครื่องดื่ม อีกทั้งเป็นพื้นฐานในการ

ตัดสินใจยอมรับผลิตภัณฑ์ ซึ่งผู้ผลิตอาหารใช้สีผสมลงไปในการปรุงแต่งอาหารนั้นให้เลดูสวยงาม หรือกลบเกลื่อนสีที่เสื่อมสภาพให้คล้ายสีของอาหารตามธรรมชาติรวมทั้งการแต่งสีเพื่อช่วยให้ดูคล้ายอาหารที่มีคุณภาพสูง สีธรรมชาติ ได้แก่ สีที่ได้จากการสกัดจากวัตถุดิบธรรมชาติที่ต้องผ่านการพิจารณาในเรื่องส่วนประกอบ กรรมวิธีการผลิต ความบริสุทธิ์ และอื่น ๆ จนแน่ใจว่าปลอดภัยต่อการบริโภค สีธรรมชาติหาได้ทั่วไปในรูปวัตถุดิบสดหรือแห้ง และให้คุณประโยชน์จากสีของวัตถุดิบที่นำมาใช้ แต่มีข้อเสียคือ ราคาสูงกว่าสีสังเคราะห์ ต้องทำการสกัดสีก่อนใช้ เก็บรักษาได้ไม่นาน ให้สีไม่สดไม่สม่ำเสมอ (เนือทอง และ สายสนม, 2523)

2.1 สีที่ใช้ในอาหาร

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 21 (พ.ศ.2522) ได้กำหนดให้สีผสมอาหารเป็นอาหารควบคุมเฉพาะ และแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

2.1.1 สีอินทรีย์ที่ได้จากการสังเคราะห์ ดังต่อไปนี้

สีแดง คือ ปองโซ 4 อาร์ (Ponceau 4 R), คาร์โมอีซีน (Carmoisine), เออริโรซิน (Erythrosine) สีเหลือง คือ ตาร์ตราซีน (Tartrazine), ซันเซตเยลโลว์ เอ็ฟซีเอ็ฟ (Sunset yellow FCF), ไรโบฟลาวิน (Riboflavin) สีเขียว คือ ฟาสต์ กรีน เอ็ฟซีเอ็ฟ (Fast green FCF) สีน้ำเงิน คือ อินดิโกติน (Indigotine), บริลเลียนท์บลู เอ็ฟซีเอ็ฟ (Brilliant blue FCF)

2.1.2 สีอนินทรีย์ ได้แก่ ผงถ่านที่ได้จากการเผาฟิช (กาบมะพร้าว) และไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide)

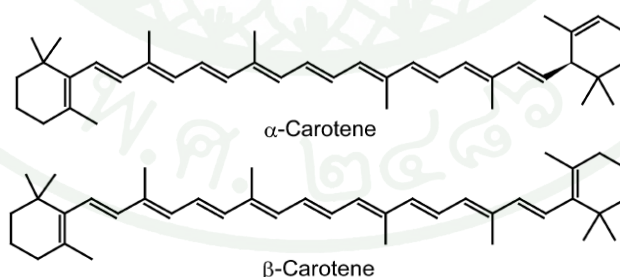
2.1.3 สีจากธรรมชาติ หาได้อย่างกว้างขวางในธรรมชาติตั้งแต่สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว และในอาณาจักรฟังไจ พืช และสัตว์ โดยสีผสมอาหารจากธรรมชาติส่วนใหญ่มาจาก division *Magnoliophyta* (พืชดอก) ของอาณาจักรพืช อย่างไรก็ตามสีสกัดจากธรรมชาติจากแหล่งอื่น ๆ เช่น เปลือกของแมลง (cochineal และแมลงครั้ง) ในกลุ่มของฟังไจ (*Blakeslea trispora* and *Monascus* spp.) และ cyanobacteria (*Arthrospira* spp.) ถูกใช้เป็นแหล่งให้สีกับอาหารในปัจจุบัน (Mortensen, 2006)

2.1.4 ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีสีตามข้อ 2.1.1, 2.1.2 และ 2.1.3 ผสมอยู่ และใช้สำหรับแต่งสีอาหารได้

ส่วนสีอื่น ๆ ที่ไม่ได้อยู่ในรายการดังกล่าวข้างต้นถือว่าเป็นสีที่ไม่ปลอดภัย หรือยังไม่ได้รับการยืนยันว่าปลอดภัย ข้อควรระวังอย่างยิ่ง คือ สีที่ใช้ใส่ในอาหารต้องไม่ใช่สีย้อมผ้า หรือย้อมวัสดุเพราะสีเหล่านั้นบางอย่างเป็นพิษร้ายแรง เนื่องจากโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว โครเมียม พรอท แคดเมียม และสารหนู สีบางชนิดทำให้ก่อมะเร็ง และมักจะเป็นสีที่ร่างกายขับออกไม่ได้ การสะสมสีเหล่านั้นทีละน้อยในเนื้อเยื่อจะทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพในภายหลัง

สารสี (pigments) จากธรรมชาติชนิดต่าง ๆ ได้แก่

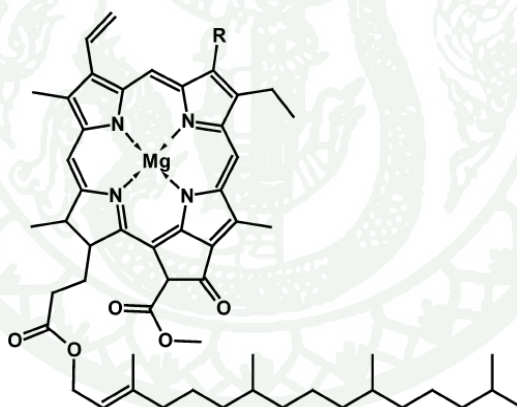
แคโรทีนอยด์ (carotenoids) พบมากในผักผลไม้ที่มีสีแดง ส้ม เหลือง และเขียว โดยชื่อแคโรทีนอยด์มีพื้นฐานชื่อมาจากแครอท (*Daucus carota*) มีสูตรทางเคมี $C_{40}H_{56}$ (ภาพที่ 2) โดยสารสีนี้มีสีเหลืองส้มถึงแดง ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ และกระจายตัวได้ในน้ำ (Mortensen, 2006) สีของแคโรทีนอยด์จะผันแปรไปตามจำนวนพันธะคู่ (conjugated double bond) ในโมเลกุลถ้ามีจำนวนพันธะคู่มากจะทำให้มีสีแดงเข้มขึ้น พันธะคู่อาจอยู่ในรูป *cis* หรือ *trans* ก็ได้ แต่ถ้าโครงสร้างอยู่ในรูป *all-trans* จะมีสีเข้ม ถ้ามีพันธะคู่อยู่ในรูป *cis* เพิ่มมากขึ้นสีจะจางลง ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนจาก *trans* เป็น *cis* คือแสง ความร้อน และกรด แคโรทีนอยด์จะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายโดยออกซิเจนในอากาศ แต่มีความคงตัวต่อความร้อน (นิธิยา, 2545)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของ α และ β แคโรทีน

ที่มา: Mortensen (2006)

คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) เป็นสารประกอบที่พบได้ในส่วนที่มีสีเขียวของพืช โดยพบมากที่ใบ นอกจากนี้ยังพบได้ที่ลำต้น ดอก ผล และรากที่มีสีเขียว และยังพบได้ในสาหร่ายทุกชนิด และในแบคทีเรียบางชนิด คลอโรฟิลล์เป็นสารที่ละลายได้ดีในอะซิโตน และแอลกอฮอล์ โครงสร้างแบ่งได้เป็นสองส่วน คือ ส่วนหัว และส่วนหาง โดยที่ส่วนหัวของคลอโรฟิลล์มีลักษณะเป็นวงแหวนไพโรล (pyrrole ring) ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ 4 วง และมีธาตุแมกนีเซียมอยู่ตรงกลาง โดยสร้างพันธะกับไนโตรเจน ส่วนหางมีลักษณะเป็นองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 20 อะตอม (ภาพที่ 3) คลอโรฟิลล์เสียสภาพได้ง่ายเมื่อมีการใช้ความร้อนระหว่างกระบวนการสกัด และในสภาวะที่เป็นกรดทำให้สีเขียวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล หรือเหลืองอมเขียวของฟีโอไฟติน (pheophytin) (Mortensen, 2006) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยา pheophytinization คือ แมกนีเซียมไอออนถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนอะตอม จึงเป็นการสูญเสียแร่ธาตุแมกนีเซียมออกจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์เป็นผลให้คลอโรฟิลล์เสียสภาพ และเมื่อคลอโรฟิลล์ถูกแสง และออกซิเจน สีจะจางลง และทำให้คืนกลับไม่ได้ ไม่ว่าจะอยู่ในใบพืช หรือสารละลาย (นิธิยา, 2545)

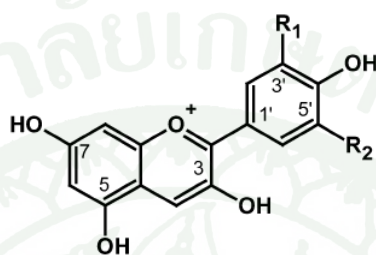


ภาพที่ 3 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์: chlorophyll a ($R=CH_3$) และ chlorophyll b ($R=CHO$)

ที่มา: Mortensen (2006)

แอนโทไซยานิน (anthocyanins) พบในดอกไม้ และผลไม้ทั่วไปที่มีสีน้ำเงิน ม่วง แดง และส้ม แอนโทไซยานินละลายน้ำได้ดี จึงนิยมสกัดด้วยน้ำ แหล่งของแอนโทไซยานินที่สำคัญคือ กาก หรือเปลือกองุ่น กะหล่ำม่วง และแครอทม่วง โดยแอนโทไซยานินมีโครงสร้างทั่วไป 6 รูปแบบ (ภาพที่ 4) (Mortensen, 2006) โดยสารสีนี้ไวต่อการเปลี่ยนแปลงสีมาก เมื่อ pH เปลี่ยนแปลง โดย pH

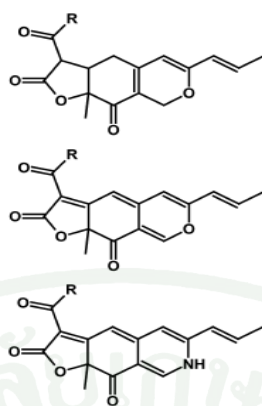
มีผลต่ออัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินทำให้สีเปลี่ยนแปลงไป เช่น ไซยานิน (สีแดง) ของเชอร์รี่ และแครนเบอร์รี่จะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน เมื่อ pH เปลี่ยนจาก 3 เป็น 11 และสารสีนี้ถูกทำลายได้ง่ายในกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น การใช้อุณหภูมิสูง ความเข้มข้นของน้ำตาลสูง กรดอะมิโน กรดแอสคอร์บิก และสภาวะที่มีออกซิเจน จะมีผลเร่งอัตราเร็วของการสลายตัวของแอนโทไซยานินให้เกิดเร็วขึ้น (นิธิยา, 2545)



ภาพที่ 4 โครงสร้างทั่วไปของแอนโทไซยานิน: pelargonidin ($R_1, R_2=H$), cyanidin ($R_1=OH, R_2=H$), delphinidin ($R_1, R_2=OH$), peonidin ($R_1=OCH_3, R_2=H$), petunidin ($R_1=OCH_3, R_2=OH$) และ malvidin ($R_1, R_2=OC H_3$)

ที่มา: Mortensen (2006)

Monascus หรือเชื้อราที่ใช้หมักกับข้าว นิยมนำไปใช้เป็นสีผสมอาหาร แต่งกลิ่น และถนอมอาหาร เมื่อสกัดสารสีออกมาจะได้สารสีอย่างน้อย 6 ชนิด คือ สีเหลือง ได้แก่ monascin และ ankaflavin สีส้ม ได้แก่ monascorubrin และ rubropunctatin และสีแดง ได้แก่ monascorubramine และ rubropunctamine (ภาพที่ 5) โดยระดับของสารสีเหลือง ส้ม และแดงควบคุมได้ด้วยปัจจัยต่อไป่นี้คือ pH สายพันธุ์ที่จำเพาะ และแหล่งไนโตรเจน มีรายงานว่าเมื่อเติมกรดอะมิโนต่างชนิดกันเข้าไปในระหว่างกระบวนการหมัก ทำให้สีที่สกัดได้มีโทนสีที่แตกต่างกัน (Jung *et al.*, 2003) ซึ่งสารสีนี้สามารถละลายได้ดีใน ethanol แต่ละลายได้ไม่ดีในน้ำ และมีเสถียรภาพต่อแสง และความชื้น (Mortensen, 2006)



ภาพที่ 5 โครงสร้างสารสีจาก *Monascus* บน: Monascin (R=pentyl) และ ankaflavin (R=heptyl)

กลาง: Rubropunctatin (R = pentyl) และ monascorubin (R=heptyl)

ล่าง: Rubropunctamine (R=pentyl) และ monascorubramine (R=heptyl)

ที่มา: Mortensen (2006)

2.2 สีผสมอาหารจากธรรมชาติที่มีการใช้ในซูริมิ

การแต่งสีซูริมิทำให้มีรูปแบบของสีที่ดูซูริมิเพิ่มมากขึ้น ในทางอุตสาหกรรมมีการใช้สีจากธรรมชาติเพียงไม่กี่สี ซึ่งเป็นสีที่ได้ตามฤดูกาลจากผลผลิตทางการเกษตร และทางชีววิทยา อย่างไรก็ตามผู้บริโภคเชื่อว่าสีธรรมชาติจากผัก และผลไม้จะช่วยให้สุขภาพแข็งแรง ซึ่งในอดีตได้มีการรับรองจากทางสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ประเทศสหรัฐอเมริกา ให้ใช้สีจากธรรมชาติ 6 สีได้แก่ คาร์มิน ปาปริคา แอนนัทโท ทูร์เมอริก สารสกัดจากเปลือกองุ่น และน้ำสีสกัดจากหัวบีท (Lauro, 2000) และในปัจจุบันได้อนุญาตให้ใช้เพิ่มเติม คือ เบตา-แคโรทีนจากผัก EEC No. 160a (ii) คลอโรฟิลล์ EEC No. 140 และไลโคพีนจาก *Blakeslea trispora* EEC No. 160d (iii) ส่วนการใช้สีอื่น ๆ ไม่ได้มีการระบุการใช้จากกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป และสหรัฐอเมริกา ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มของน้ำสีที่สกัดจากผัก และผลไม้ สีแต่ละชนิดจัดจำแนกได้โดยหมายเลข European Economics Community (EEC) และหมายเลข color index (CI) โดยสีธรรมชาติที่มีใช้ในผลิตภัณฑ์ซูริมิได้แก่ (Codex Alimentarius Commission, 2010)

2.2.1 คาร์มิน (Carmine) EEC No. 120, CI No. 75470, CI Natural Red 4 คาร์มินมีลักษณะเป็นผงสีม่วงแดงสดใส เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ สกัดจากแมลงเพศเมียขนาดเล็กชนิดหนึ่ง คือ

Coccus cacti ที่พบได้ในประเทศเปรู โบลิเวีย ชิลี หมู่เกาะคะเนรี และเม็กซิโก ซึ่งในตัวแมลงจะมีสีแดงของกรดคาร์มินิก (carminic acid) อยู่ประมาณร้อยละ 10-20 ของน้ำหนักแห้ง

กรดคาร์มินิกสกัดด้วยน้ำร้อนที่มีแอลกอฮอล์ผสมอยู่เล็กน้อย จากนั้นทำให้กรดคาร์มินิกเกิดเป็นองค์ประกอบเชิงซ้อนกับเกลือของอลูมิเนียม หรือแคลเซียมแล้วตกตะกอนแยกออกมา จากนั้นนำไปทำแห้งด้วยวิธี spray drying ได้ผงสีแดงซึ่งคงตัวต่อแสง ความร้อน ปฏิกริยาออกซิเดชัน และเวลาการเก็บรักษา คาร์มินไม่ละลายในสารละลายที่มีความเป็นกลางถึงกรด แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่มีความเป็นด่าง (ammonium หรือ potassium hydroxide) ทำให้ได้สารละลายสีม่วงแดง จึงควรระวังปริมาณในการใช้ที่จะมีผลต่อ pH ของโปรตีน ในประเทศญี่ปุ่น และประเทศทางแถบตะวันออกมีการใช้สีโมนาสคัส หรือที่เรียกว่า อังคัก หรือข้าวแดงจินทแทน คาร์มิน โดยสารสีนี้ผลิตได้จากกระบวนการหมักของเชื้อรากับข้าว อย่างไรก็ตามสีของโมนาสคัส (*Monascus*) ไม่ได้รับรองให้ใช้เป็นสีผสมอาหารในประเทศสหรัฐอเมริกา และกลุ่มประเทศในยุโรป

2.2.2 ปาปริกา (Paprika) EEC No. E 160c ปาปริกาสกัดได้จากพริกด้วยสารทำละลายที่เหมาะสม (hexane, acetone และ alcohol) และเมื่อกำจัดตัวทำละลายออกด้วยการกลั่นในสภาวะสูญญากาศจะได้ของเหลวที่ข้นเหนียวสีน้ำตาลแดงเข้ม เรียกว่า oleoresin ซึ่งประกอบด้วย xanthophylls, capsanthin และ capsorubin ซึ่งให้สีแดง และสารในกลุ่ม carotenes ซึ่งให้สีเหลือง โดยในปาปริกามีสารสีแดงสูงถึงร้อยละ 40-59 ของโอเลโอรีซิน

ปาปริกาโอเลโอรีซิน (paprika oleoresin) สามารถละลายได้ในน้ำมัน ไม่ละลายในน้ำ แต่สามารถทำให้กระจายตัวในน้ำได้โดยการเติมอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifiers) เช่น โพลีซอร์เบต (polysorbate) ปาปริกามีความคงตัวต่ำเมื่อได้รับแสง และเกิดการสูญเสียเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เมื่อผสมสีปาปริกากับซูริมิแล้วทำให้ได้สีเหลืองส้มถึงแดงส้มขึ้นกับสีของวัตถุดิบ ปริมาณที่ใช้ และค่า pH ของซูริมิ

2.2.3 แอนนัทโท (Annatto) EEC No. 160b, CI No.75120, CI Natural Orange 4
แอนนัทโทให้สีเหลืองทองจนถึงสีส้ม หรือส้มอ่อนขึ้นกับความเข้มข้นที่ใช้ โดยสกัดจากเปลือกหุ้มเมล็ดของต้นไม้ขนาดเล็กในป่าเขตร้อนคือ *Bixa orellana* พบในทวีปแอฟริกา เอเชียตะวันออก และประเทศอินเดีย

สารสีแอนโทโทมี 2 รูปแบบ คือ bixin (รูปแบบที่ละลายในน้ำมัน) และ norbixin (รูปแบบที่ละลายน้ำ) ในการสกัดรูปแบบ bixin ใช้ตัวทำละลายชนิดที่สามารถรับประทานได้ชนิดเดียว หรือหลายชนิดร่วมกัน เช่น ethanol, chlorinated hydrocarbon หรือน้ำมันพืช สีที่สกัดได้ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ซึ่งเมื่อค่า pH ลดลงทำให้สีเปลี่ยนจากเหลืองส้มไปเป็นสีแดง เมื่อผสม bixin กับซูริมิแล้วสีจะมีความคงตัวเมื่อเก็บในที่มืด สภาวะแห้งแข็ง และไม่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนค่า pH ทนต่ออุณหภูมิพาสเจอร์ไรเซชัน (pasteurization) และทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน

2.2.4 ทูร์เมอร์ริก (Turmeric) EEC No. E 100, CI No.75300, CI Natural Yellow 3 โดยทูร์เมอร์ริกให้สีเหลืองอมส้มสกัดได้จากเหง้าของรากต้นขมิ้น (*Curcuma longa*) โดยสารหลักที่ให้สีคือ curcumin อาจสกัดสารโดยต้มในน้ำที่มีความเป็นด่าง ทำแห้งให้เป็นผง หรือสกัดด้วยตัวทำละลายเช่น ethanol และทำการกำจัดตัวทำละลายออกด้วยการกลั่นในสภาวะสุญญากาศ

ทูร์เมอร์ริกให้สีเหลืองในรูปผงไม่ละลายในน้ำแต่สามารถทำให้ละลายได้โดยการเติมอิมัลซิไฟเออร์ชนิดที่สามารถรับประทานได้ ได้แก่ propylene glycol หรือ polysorbate สีเหลืองของทูร์เมอร์ริกไม่คงตัวเมื่อได้รับแสง แต่คงทนต่อการให้ความร้อน และปฏิกิริยาออกซิเดชัน ค่า pH มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนสีน้อย เมื่อนำไปให้สีกับซูริมิทำให้ซูริมามีสีเหลืองสว่าง หรือเหลืองเข้ม ขึ้นกับปริมาณที่ใช้

2.2.5 เกรฟ คอเลอร์ (Grape Color) EEC No. 163 เป็นการสกัดสีจากเปลือกองุ่นทำให้ได้สารสี anthocyanins สามารถละลายในน้ำได้ ซึ่งเจดสีขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของค่า pH โดยเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 1-13 สีเปลี่ยนแปลงจากแดง น้ำเงินแดง ม่วง น้ำเงินเข้ม หรือเทาเขียวจนถึงเหลือง นอกจากนั้นสียังไวต่อความร้อน และเวลาในการให้ความร้อน ซึ่งถ้าสภาวะไม่เหมาะสมสีอาจสลายเป็นสีน้ำตาลได้

2.2.6 น้ำสีสกัดจากหัวบีท (Beet Juice Extract) EEC No. 162 สารสีแดงที่สกัดได้คือ betanin ซึ่งมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 75-90 ของสีที่สกัดได้ กระบวนการสกัดสีจากหัวบีทโดยการลวก ตัด บั่นผสมด้วยน้ำ นำไปเหวี่ยงแยกตะกอน หรือกรอง และทำให้เข้มข้นในสภาวะสุญญากาศ ให้ได้ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 40-65 ทำให้เป็นผงด้วยวิธี spray drying ร่วมกับสารมอลโตเดกซ์ทริน

น้ำสีสกัดจากหัวบีทสามารถละลายในน้ำได้ เจลสีที่สกัดได้ขึ้นกับค่า pH ของระบบ โดยที่ pH 4-7 จะเป็นสีแดงออกน้ำเงินสว่าง เมื่อค่า pH สูงกว่า 7 จะเป็นสีน้ำเงินม่วง สีจากหัวบีทมีความไวต่อกระบวนการให้ความร้อน แต่ในกระบวนการผลิตซูริมิเจลสีสามารถคงอยู่ได้เมื่อผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ 30 นาที

2.2.7 คาราเมล (Caramel) EEC No. 150 มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้มข้นหนืด และละลายน้ำได้ อาจอยู่ในรูปผงสีน้ำตาลเข้ม โดยการควบคุมการให้ความร้อนกับคาร์โบไฮเดรต (เป็นการทำให้น้ำตาลไหม้) สีคาราเมลมีความคงตัวมากเมื่อใช้ในผลิตภัณฑ์จากซูริมิ การเปลี่ยนแปลงของค่า pH มีผลต่อการเปลี่ยนสีน้อยมากรวมทั้งความร้อน แสง และปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่มีอิทธิพลกับการเปลี่ยนสีคาราเมล

2.2.8 สารอนินทรีย์เพื่อเพิ่มความขาว โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide) E171, CI No. 77891, CI Pigment White 6 และ แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) EE170, CI No. 77220, CI Pigment White 18

2.3 หลักทั่วไปในการเลือกใช้สีในผลิตภัณฑ์จากซูริมิ (Lauro, 2000)

การเลือกใช้สีผสมในผลิตภัณฑ์อาหารจากซูริมิสีที่เลือกใช้ควรพิจารณาจากคุณสมบัติ ดังนี้

2.3.1 ควรมีเจดสีที่คงที่ สม่ำเสมอตามที่ผู้บริโภคร้องต้องการ

2.3.2 ไม่ควรมีส่วนทำให้เกิดกลิ่นรสน่ารังเกียจ

2.3.3 ควรเข้ากันได้ดีกับโปรตีนของเนื้อปลา และไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดเจล หรือลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้

2.3.4 ควรมีความคงตัวเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อน

2.3.5 ไม่ควรเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับผลกระทบจากแสงระหว่างการเก็บรักษา

การกระจายสินค้า และการวางจำหน่าย

2.3.6 เมื่อผสมสีกับซูริมิไม่ควรเกิดการเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีสีไปยังส่วนที่ไม่มีสี ซึ่งสามารถเกิดได้ทั้งระหว่างกระบวนการให้ความร้อน และการเก็บรักษาด้วยความเย็น (Lauro, 2000)

2.3.7 ควรปลอดภัย และสอดคล้องกับข้อกำหนดของกฎหมาย

3. การประยุกต์ใช้สีสกัดจากธรรมชาติในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ และปลา

Poowakanjana and Park (2009) รายงานว่า เมื่อใช้คาร์มินให้สีกับผลิตภัณฑ์จากซูริมิก็คือ ปูอัด พบว่า สีแดงสูญเสียเสถียรภาพ โดยเปลี่ยนไปเป็นสีขาวหลังจากบรรจุภายใต้สภาพสุญญากาศ เพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการพาสเจอไรเซชัน และ/หรือ อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่วนความชื้นของซูริมิมิผลต่อการสูญเสียเสถียรภาพของสารสีเช่นกัน และการสูญเสียเสถียรภาพของสารสีจะลดลงเมื่อค่า pH ของสารละลายสีที่ใช้นั้นลดลง แต่ระดับการสูญเสียเสถียรภาพของสารสีนั้นสามารถควบคุมให้ดีขึ้นได้ โดยการใช้สารประกอบแคลเซียมได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ และแคลเซียมอะซิเตท เติมนลงในสารละลายสีก่อนนำมาผสมกับซูริมิ ทั้งนี้อาจเกิดจากการมีโครงสร้างพันธะกับโปรตีนผ่านพันธะไอออนิกของแคลเซียมไอออน

Pan *et al.* (2005) รายงานว่า สารสีคาร์มินช่วยป้องกันการเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ในซูริมิที่เติมด้วยไขมัน linoleic acid methyl ester หรือ eicosapentaenoic acid ethyl ester ได้ดีกว่า สารสีแดงสังเคราะห์ชนิดอื่น ๆ ได้แก่ phloxine B, erythrosine B และ rose bengal เมื่อถูกกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสง

ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Gonzalez *et al.* (2010) ที่ได้รายงานว่ สารสีคาร์มินมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) และ 2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid (ABTS) ที่ดีเช่นเดียวกับสารต้านอนุมูลอิสระชนิดอื่น ๆ เช่น quercetin, ascorbic acid และ trolox เป็นต้น

อังกัก หรือข้าวแดงที่ได้จากกระบวนการหมักเชื้อรา มีสารสีคาร์มินเป็นองค์ประกอบเช่นกัน พบว่า สารสกัด methanolic จากผลิตภัณฑ์ที่หมักกับเชื้อรา *Monascus* 3 ชนิด คือ ถั่วเหลือง

(Lee *et al.*, 2009) ลูกเคียว (Tseng *et al.*, 2006) และข้าว (Yang *et al.*, 2006) มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี คือ มีสมบัติ antioxidant properties, reducing power, scavenging และ chelating abilities รวมทั้งปริมาณสารประกอบ phenol สูงกว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวที่ไม่ได้หมักกับเชื้อรา *Monascus*

Liu *et al.* (2010) ได้ศึกษาผลของการเติมข้าวแดงต่อคุณภาพของกุนเชียง (chinese sausage) ที่มีปริมาณไนไตรท์ต่ำพบว่า การเติมข้าวแดงที่เตรียมมาจากเชื้อรา *M. purpureus* ไม่มีผลกระทบต่อสมบัติทางเคมี และค่า water activity ของกุนเชียง โดยที่ตัวอย่างที่เติมข้าวแดงร้อยละ 0.5-1.5 มีสีแดงเข้มกว่า มีค่า thiobarbituric acid (TBARS) สูงกว่า และมีจำนวนจุลินทรีย์สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติมข้าวแดง

Østerlie and Lerfall (2005) ศึกษาผลของไลโคปีนจากผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่เติมในเนื้อมันที่มีต่อคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา พบว่า เนื้อมันที่เติม lycopene บริสุทธิ์แต่ไม่มีไนไตรท์สีแดง และสีมีเสถียรภาพในระหว่างการเก็บรักษามากกว่าเนื้อมันที่ผสม และไม่ผสมผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ รวมทั้งมีความหืนน้อยที่สุดตลอด 8 วันแรกทำการเก็บรักษา ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี นอกจากนั้นการใช้ผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่มีความเป็นกรดสูง เป็นผลให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

1.1 วัตถุดิบใช้ในการสกัดสี

- 1.1.1 กลุ่มสีเขียว ได้แก่ ค่ะน้ำ ใบเตย สำหรับยักกาดแห้ง และใบบัวบก
- 1.1.2 กลุ่มสีเหลืองหรือส้ม ได้แก่ ขมิ้นชัน ฟักทอง ดอกคำฝอยแห้ง และแครอท
- 1.1.3 กลุ่มสีแดง ได้แก่ หัวบีท กระเจี๊ยบแห้ง และข้าวแดงหรืออังกัก
- 1.1.4 กลุ่มสีน้ำเงิน ได้แก่ ดอกอัญชัน และกะหล่ำปลีม่วง

1.2 วัตถุดิบในการผลิตลูกชิ้น

- 1.2.1 ชูริมิเกรด SA ผลิตจากปลาทรายแดง (บริษัทแปซิฟิคมารีนฟู้ดโปรดักส์ จำกัด, สมุทรสาคร)
- 1.2.2 เนื้อปลาคุกบักอูย (*Clarias gariepinus*) สด
- 1.2.3 เกลือป่น ทรายปรุงทิพย์
- 1.2.4 แป้งมันสำปะหลัง ทรายบัวแดง
- 1.2.5 พริกไทยขาว ทรายมีือ

2. สารเคมีที่ใช้ในการสกัดสี

- 2.1 เอทานอล (ethanol) ร้อยละ 95 grade A (food grade)

3. อุปกรณ์ในการสกัดสี

- 3.1 อุปกรณ์เครื่องครัวอื่น ๆ ที่จำเป็น เช่น เขียง มีด ถ้วยพลาสติก พายพลาสติก ซ้อนพลาสติก หม้อพร้อมฝา
- 3.2 เครื่องปั่นผสม (blender) ทราย Moulinex optiblend 2000
- 3.3 เครื่องกวนสารให้ความร้อน (hotplate stirrer)
- 3.4 ทุ่งกรองที่ผลิตจากทุ่งแพลงก์ตอนเน็ต (plankton net) ขนาด 75 ไมครอน

- 3.5 กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร
- 3.6 บีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร
- 3.7 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง Sartorius 1219 MP
- 3.8 เครื่องระเหย (rotary evaporator) Buchi R-124
- 3.9 ตู้อบแห้งชนิดลมร้อน (hot air oven)
- 3.10 เครื่องบดละเอียดตรา Kenwood
- 3.11 ขวดโหลแก้ว
- 3.12 แท่งแก้ว
- 3.13 ถาดอลูมิเนียม
- 3.14 แท่งแม่เหล็ก (magnetic bar)

4. อุปกรณ์ในการทดลอง และวิเคราะห์คุณภาพ

- 4.1 เครื่องวัดสี (Chroma meter) MINOLTA Spectrophotometer CM-3500d, Japan
- 4.2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyser) Stable Micro System TA-HD, England
- 4.3 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (hot air oven) Memmert UNB 400, Germany
- 4.4 เครื่องวัด pH (pH meter) Metrohm รุ่น 744, Switzerland
- 4.5 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง AND รุ่น GR-200, Japan
- 4.6 petri dish
- 4.7 กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4
- 4.8 ถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน
- 4.9 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
- 4.10 ตู้เย็นประตูกระจกใสเก็บตัวอย่างควบคุมอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
- 4.11 ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์จุลินทรีย์ เช่น เครื่องแก้ว หลอดแก้ว อาหารเลี้ยงเชื้อ
- 4.12 ชุดอุปกรณ์ประเมินทางประสาทสัมผัส เช่น ถาดชิม แก้วน้ำ ช้อน ส้อม
- 4.13 อุปกรณ์เครื่องแก้วที่จำเป็นอื่น ๆ

5. อุปกรณ์ในการผลิตลูกชิ้น

- 5.1 เครื่องบดตับ (chopper)

5.2 เทอร์โมมิเตอร์

5.3 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง Sartorius 1219 MP

5.4 แท่งทรงกระบอกสเตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร

5.5 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

5.6 อุปกรณ์เครื่องครัวอื่น ๆ ที่จำเป็น เช่น ถ้วยสเตนเลส ช้อนสเตนเลส มีด เขียง

พายพลาสติก

6. อาหารเลี้ยงเชื้อในการตรวจสอบจุลินทรีย์

6.1 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ได้แก่ plate count agar (PCA)

7. อุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผล

7.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

7.2 เครื่องคำนวณ

วิธีการ

นิยามศัพท์

วัตถุดิบ หมายถึง พืชหรือผักต่าง ๆ ที่นำมาสกัดน้ำสี หรือสารสีสกัดจากธรรมชาติ

น้ำสี หมายถึง น้ำสีที่สกัดได้จากการนำวัตถุดิบมาปั่นผสมกับน้ำ หรือต้มกับน้ำแล้วผ่าน

การกรอง

สารสีสกัด หมายถึง น้ำสีที่สกัดสารสีจากวัตถุดิบด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นผ่านการกรอง

และนำไประเหยแอลกอฮอล์ออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ

วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้สกัดสีในกลุ่มสีเขียว ได้แก่ คะน้าสด (*Brassica alboglabra*) ใบบัวบกสด

(*Centella asiatica*) และ ใบเตยสด (*Pandanus tectorius*) คัดเลือกเฉพาะที่มีสีเขียวเข้ม และสาหร่าย

ผักกาดแห้ง (*Ulva rigida*) ที่มีสีเขียวสด กลุ่มสีเหลือง หรือส้ม ได้แก่ ขมิ้นชันสด (*Curcuma longa*) ฟักทองสด (*Cucurbita sp.*) สีเหลืองเข้ม ดอกคำฝอยแห้ง (*Carthamus tinctorius*) สีเหลืองส้ม และแครอทสด (*Daucus carota*) สีส้มสด กลุ่มสีแดง ได้แก่ หัวบีทสด (*Beta vulgaris*) ข้าวแดง หรือ อังคัก (*Monascus sp.*) สีแดงเข้ม และกระเจี๊ยบแห้ง (*Hibiscus sabdariffa*) สีแดง กลุ่มสีม่วง ได้แก่ ดอกอัญชันสด (*Clitoria ternatea*) และกะหล่ำปลีม่วงสด (*Brassica oleracea*) สีม่วงเข้ม ซึ่งวัตถุดิบทั้งหมดได้มาจากตลาดสดอมรพันธ์ กรุงเทพฯ ๑ ยกเว้น ข้าวแดงได้จากร้านค้าย่านเยาวราช กรุงเทพฯ ๑ และสาหร่ายผักกาดแห้งจากจังหวัดตราด ควบคุมคุณภาพโดยซื้อวัตถุดิบชุดเดียวกันมาสกัดสี และใช้ตลอดการศึกษา

วัตถุดิบในการผลิตลูกชิ้น คือ ชูริมิผลิตจากปลาทรายแดงเกรด SA (บริษัทแปซิฟิคมารีน ฟู้ดโปรดักส์ จำกัด, สมุทรสาคร) แบ่งเป็นก้อนขนาด 300 กรัม บรรจุใส่ถุงโพลีเอทิลีนแล้วใส่กล่องโฟมเก็บรักษาที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาการทดลอง 4 เดือน ก่อนนำมาใช้ทำการละลาย (thawing) โดยนำชูริมิวางในห้องควบคุมอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาด 2x2 เซนติเมตร ก่อนนำไปใช้ในการทดลอง และเนื้อปลาสดขนาด 4 ตัวต่อกิโลกรัม นำเนื้อมาแช่แยกกระดูก และหนังออก หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาด 2x2 เซนติเมตร จากนั้นล้างด้วยน้ำเกลือเย็นร้อยละ 0.3 หนึ่งครั้ง ด้วยอัตราส่วนเนื้อปลา: น้ำเกลือ เท่ากับ 1:2 ทำให้สะอาดและนำไปใช้ในการผลิตลูกชิ้นทันที

1 การสกัด การคัดเลือก และการอบแห้งน้ำสี หรือสารสีสกัดที่เหมาะสมในการผลิตลูกชิ้นปลาผสมสีสกัดจากธรรมชาติ

1.1 ศึกษาวิธีการสกัด และคัดเลือกน้ำสี หรือสารสีสกัดจากธรรมชาติที่เหมาะสม

1.1.1 วิธีการสกัดสี นำวัตถุดิบมาสกัดสี เพื่อคัดเลือกวิธีการสกัดสีที่เหมาะสมกับตัวอย่างชนิดนั้น ๆ เพียง 1 วิธี จาก 3 วิธี โดยพิจารณาเรียงตามวิธีการสกัดข้อ 1.1.1.1 และ 1.1.1.2 ส่วนวิธีการสกัดข้อ 1.1.1.3 เป็นการสกัดสีด้วยวิธีการต้มกับน้ำซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมในการสกัดสีจากวัตถุดิบแห้ง ได้แก่ ดอกคำฝอยแห้ง และดอกกระเจี๊ยบแห้ง วิธีการสกัดมีดังนี้

1.1.1.1 การสกัดสีด้วยวิธีปั่นผสมกับน้ำ นำวัตถุดิบ ยกเว้นดอกคำฝอย และกระเจี๊ยบแห้ง มาหั่นเป็นชิ้นขนาดเล็กประมาณ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อสะดวกในการปั่นผสมกับ

น้ำ จากนั้นนำมาลวกในน้ำเดือด (blanching) 30 วินาที และนำไปแช่น้ำเย็นผสมน้ำแข็งทันที จากนั้นนำไปปั่นผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:1 ด้วยเครื่องปั่นผสม ปั่นวัตถุดิบจนละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน กรองด้วยตาข่ายกรองแพลงก์ตอนให้มีตะกอนเหลือน้อยที่สุด หรือไม่พบตะกอน เก็บตัวอย่างสารสกัดที่ได้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

1.1.1.2 การสกัดด้วยแอลกอฮอล์ เตรียมสารละลายเอทานอลโดยผสมเอทานอลร้อยละ 95 กับน้ำ ในอัตราส่วน 1:1 นำวัตถุดิบที่จะสกัดสีมาบดละเอียดผสมกับสารละลายเอทานอลที่เตรียมไว้ในอัตราส่วน 1:1 นำไปแช่ด้วยเครื่อง Hitachi shaker L100 ที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยดัดแปลงจากวิธีของ Patil *et al.* (2008) จากนั้นกรองด้วยตาข่ายกรองแพลงก์ตอน โดยให้มีตะกอนเหลือน้อยที่สุด หรือไม่พบตะกอน นำสารสกัดดังกล่าวไประเหยเอทานอลออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ โดยควบคุมอุณหภูมิอ่างน้ำที่ 40 องศาเซลเซียส และความดันอากาศที่ 175 มิลลิบาร์ เก็บตัวอย่างสารสกัดที่ได้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

1.1.1.3 การสกัดด้วยวิธีการต้มกับน้ำ นำดอกคำฝอยแห้ง และดอกกระเจี๊ยบแห้งมาต้มในน้ำที่เดือดแล้ว (น้ำ : วัตถุดิบ ด้วยอัตราส่วน 10:1) เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นกรองด้วยตาข่ายกรองแพลงก์ตอน โดยให้มีตะกอนเหลือน้อยที่สุด หรือไม่พบตะกอน เก็บตัวอย่างน้ำสีที่สกัดได้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

1.1.2 การตรวจสอบสมบัติของน้ำสี หรือสารสีสกัด และการคัดเลือกวัตถุดิบที่ให้สีที่เหมาะสม โดยนำน้ำสี หรือสารสีสกัดมาตรวจสอบสมบัติต่าง ๆ จากนั้นพิจารณาสมบัติ และคัดเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมมาใช้ในการทดลองในข้อต่อไป สมบัติที่ตรวจสอบได้แก่

1.1.2.1 ค่า pH วัด pH ด้วยเครื่อง pH meter รุ่น Metrohm 744 ทำการวัด 2 ซ้ำ

1.1.2.2 bleeding เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนที่ของสารสีออกจากซูริมิเพส (surimi paste) ผสมสีสกัดจากธรรมชาติ ซึ่ง bleeding เป็นลักษณะที่ไม่ต้องการให้เกิดกับผลิตภัณฑ์ที่มีสี โดยสามารถเกิดได้ทั้งระหว่างกระบวนการให้ความร้อน และเก็บรักษาด้วยความเย็น ทำการศึกษาโดยผลิตซูริมิเพสผสมสีสกัดตามสูตรในตารางที่ 2 โดยนำซูริมิบดผสมกับเกลือร้อยละ 3 ของน้ำหนักซูริมิ ปรับปริมาณความชื้นด้วยน้ำสี หรือสารสีสกัดเป็นร้อยละ 77-80 บดผสมรวมด้วย

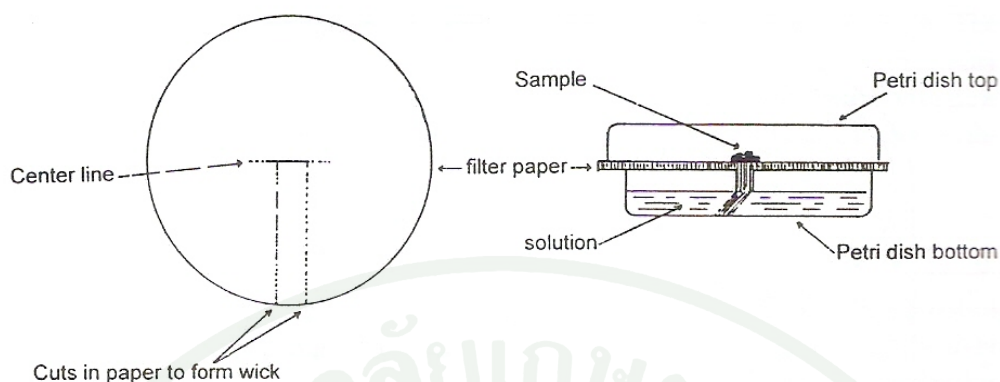
เครื่องบดผสม (chopper) เป็นเวลา 4 นาที จากนั้นนำส่วนผสมมาตรวจสอบลักษณะการ bleeding โดยแบ่งเป็นสองขั้นตอนการทดสอบ ถ้าตัวอย่างที่ไม่เกิดการ bleeding ในขั้นที่ 1 จะต้องทดสอบในขั้นที่ 2 ต่อไป ส่วนตัวอย่างที่เกิดการ bleeding ในขั้นที่ 1 ไม่ต้องทดสอบขั้นที่ 2 (Lauro, 2000)

ตารางที่ 2 สูตรการผลิตซูริมเพส เจลซูริม ลูกชิ้นซูริม และลูกชิ้นปลาผสมสีสกัดจากธรรมชาติ

ส่วนผสม	ซูริมเพส (กรัม)	เจลซูริม (กรัม)	ลูกชิ้นซูริม (กรัม)	ลูกชิ้นปลา (กรัม)
ซูริม	100	100	100	-
เนื้อปลา	-	-	-	100
เกลือ	3	3	3	3
แป้งมันสำปะหลัง	-	-	5	5
พริกไทย	-	-	0.5	0.5

การทดสอบขั้นที่ 1 เตรียมชุดทดสอบ filter paper test ดังแสดงในภาพที่ 6 โดยนำกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า petri dish มาขีดเส้นแบ่งครึ่งกระดาษกรอง จากนั้นขีดเส้นตรงสองเส้นขนานกันให้ห่างกัน 0.5-1.0 เซนติเมตร จากขอบกระดาษกรองไปยังเส้นแบ่งครึ่งกระดาษกรอง และตัดตามรอยขีดเส้นตรงจนถึงเส้นแบ่งครึ่งกระดาษ วางกระดาษกรองที่ตัดแล้วบน petri dish ที่หงายขึ้นโดยภายในบรรจุน้ำเย็น พับแถบกระดาษกรองส่วนที่ตัดจุ่มลงในน้ำเย็น จากนั้นวางตัวอย่างบนจุดกึ่งกลางของกระดาษกรอง ปิดฝา petri dish ด้านบนตัวอย่างทิ้งไว้ 2-3 ชั่วโมง สังเกตการเคลื่อนที่ของสีบนกระดาษกรอง

การทดสอบขั้นที่ 2 นำตัวอย่างที่ไม่เกิดการ bleeding ในขั้นที่ 1 มาบรรจุในถุงพลาสติก รีดตัวอย่างให้แบนติดกับผิวถุงพลาสติก ไล่อากาศออกให้มากที่สุด จากนั้นนำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาเก็บที่อุณหภูมิไม่เกิน 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 ชั่วโมง สังเกตการเปลี่ยนแปลงของซูริมผสมสีหลังระยะเวลาการเก็บดังกล่าว



ภาพที่ 6 ชุดทดสอบ filter paper test เพื่อทดสอบ bleeding

ที่มา: Lauro (2000)

1.1.2.3 เติบยรภาพของสีสกัดจากธรรมชาติในเจลซูริมิภายหลังการต้ม เตรียม ส่วนผสมเจลซูริมิผสมสีที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 1.1.2.2 มาปั่นให้เป็นรูปทรงกลมขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว นำไปต้มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ตามด้วย 90 องศา-เซลเซียส 20 นาที จากนั้นทำให้เย็นในน้ำเย็นผสมน้ำแข็งทันที สังเกตเสถียรภาพของสีสกัด โดย สังเกตจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะด้านสีของเจลซูริมิผสมสี เช่น ความสม่ำเสมอของสีที่ผิว และ การคงอยู่ของสีหลังผ่านการต้ม

คัดเลือกสารให้สีที่เหมาะสม (จากการศึกษาคัดเลือกมา 4 สี) โดยพิจารณาจากสมบัติ ดังกล่าว มาผลิตเป็นเจลซูริมิผสมสีสกัดเพื่อนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสในข้อต่อไป

1.1.3 การประเมินทางประสาทสัมผัสของเจลซูริมิผสมสีสกัดจากธรรมชาติ เตรียมเจล ซูริมิ โดยใช้สูตรในตารางที่ 2 โดยนำซูริมิบดผสมกับเกลือร้อยละ 3 ของน้ำหนักซูริมิ ปรับปริมาณ ความชื้นด้วยสีสกัดที่คัดเลือกได้จากข้อ 1.1.2.3 เป็นร้อยละ 77-80 ก่อนนำไปประเมินความชอบทาง ประสาทสัมผัส (ภาคผนวก ก1)

ประเมินความชอบของเจลซูริมิผสมน้ำสี หรือสารสีสกัด โดยผู้ทดสอบทั่วไป 50 คน ในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส (โดยการเคี้ยว) และความชอบรวม ด้วยวิธี Hedonic scale ใช้ระดับคะแนน 1-9 โดยคะแนน 1 เป็นคะแนนที่ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คือ

ชอบมากที่สุด นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA แบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) และทดสอบระดับความเหมาะสมในคุณลักษณะด้านสี และเนื้อสัมผัสด้วยวิธี just about right แบ่งเป็น 5 ระดับ การวิเคราะห์ผลให้คำนวณเป็นร้อยละความถี่ของผู้ทดสอบ คัดเลือกสารให้สีที่เหมาะสมไปศึกษาต่อไป

1.2 ศึกษาอุณหภูมิการทำแห้งสารให้สีที่เหมาะสม

นำน้ำสี หรือสารสีสกัดที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 1.1 มาทำเป็นผงโดยศึกษาสภาวะการทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด เปรียบเทียบอุณหภูมิในการอบแห้ง 2 อุณหภูมิ คือ 60 และ 80 องศาเซลเซียส สอบจนให้สีสกัดจากสารธรรมชาติมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ตรวจสอบคุณภาพของสีหลังการอบแห้งดังนี้

1.2.1 การละลาย (solubility) คัดแปลงจากวิธีของ Al-kahtani and Hasson (1990)

ชั่งน้ำหนักผงสีที่ผ่านการอบแห้ง 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ 100 มิลลิลิตร กวนสารละลายด้วยเครื่องกวนสารระดับ 5 เป็นเวลา 90 วินาที แบ่งสารละลายจำนวน 10 มิลลิลิตร มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 ซึ่งทราบน้ำหนักคงที่แล้ว ชั่งน้ำหนักตะกอนที่เหลืออยู่หลังจากหักน้ำหนักกระดาษกรองออกแล้วเป็นกรัม จากนั้นคูณด้วย factor 10 (dilution factor) แล้วลบออกจากรับน้ำหนักผงสี 10 กรัม จะได้ค่าการละลายของผงสี 10 กรัม จากนั้นคำนวณเป็นร้อยละการละลายของผงสี

1.2.2 นำสารละลายผงสีจากข้อ 1.2.1 ที่ผ่านการกรอง มาวัดค่าสี L^* , a^* และ b^* ของน้ำสี หรือสารสีสกัดหลังทำแห้งด้วยเครื่องวัดค่าสี Minolta CM-3500d โดยค่า L^* คือ ค่าความสว่าง มีค่าระหว่าง 0-100 หรือสีดำถึงสีขาว, a^* แสดงค่า (+) สีแดง หรือ (-) สีเขียว และ b^* แสดงค่า (+) สีเหลือง หรือ (-) สีนํ้าเงิน

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA แบบ Completely randomized design (CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT คัดเลือกสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมใช้เตรียมผงสีเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป

2 ศึกษาผลของสีกัดจากธรรมชาติที่มีต่อคุณภาพเจลโปรตีนปลา

2.1 ผลิตเจลโปรตีน และลูกชิ้นจากชูริมิผสมสีสกัดตามสูตรในตารางที่ 2 ปรับความชื้นเป็นร้อยละ 80 โดยใช้ น้ำเย็นที่ผสมผงสีที่ผ่านการเตรียมจากข้อ 1.2 โดยแปรระดับความเข้มข้นของสีต่าง ๆ เป็น 3 ระดับ คือ ผงสีคะน้า ฟักทอง และแครอทร้อยละ 0.5, 1 และ 2 ของน้ำหนักชูริมิ และ ผงสีข้าวแดงร้อยละ 0.3, 0.5 และ 0.7 ของน้ำหนักชูริมิ โดยมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

- 1) ละลายชูริมิแช่เยือกแข็ง โดยนำมาเก็บไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 2) หั่นชูริมิให้เป็นชิ้นเล็กขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 3) วัดปริมาณความชื้นของชูริมิ ด้วยเครื่อง Infrared Moisture Determination อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวอย่างชูริมิ 5.0 กรัม คำนวณปริมาณน้ำเย็นที่ใช้เติมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นร้อยละ 80
- 4) สับผสมชูริมิกับส่วนผสม (ตารางที่ 2) ในกรณีเตรียมเจลโปรตีน ผสมชูริมิกับเกล็ด โดยค่อย ๆ เติมเกล็ดในระหว่างที่สับผสม กรณีเตรียมลูกชิ้นหลังจากสับผสมชูริมิกับเกล็ดแล้ว เติมส่วนผสมอื่น ๆ ลงไป ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นเวลา 2 นาที 30 วินาที จากนั้นเติมน้ำเย็นที่ผสมผงสีความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว สับผสมต่อไปอีกเป็นเวลา 1 นาที 30 วินาที
- 5) ขึ้นรูปเจลโปรตีนผสมสีสกัดในแท่งทรงกระบอกสเตนเลส เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร กดให้แน่นไม่ให้เกิดฟองอากาศ แล้วห่อด้วยแผ่นฟิล์ม เพื่อนำไปประเมินคุณภาพทางกายภาพ ส่วนลูกชิ้นปั้นเป็นรูปทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว เพื่อนำไปประเมินผลทางประสาทสัมผัส
- 6) แช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที
- 7) ต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

8) ทำให้เย็นโดยแช่ในน้ำเย็นผสมน้ำแข็งนาน 5 นาที

9) สะเด็ดน้ำ บรรจุถุงพลาสติก และเก็บที่ห้องเย็นควบคุมอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 1 คืน ก่อนนำไปประเมินคุณภาพ และประเมินผลทางประสาทสัมผัส

2.2 การประเมินคุณภาพเจลโปรตีนปลา

2.2.1 วัดค่าสี L^* , a^* และ b^* (ภาคผนวก ข1) ด้วยเครื่องวัดสี Minolta CM-3500d วัดสีเนื้อเจลด้านใน ทำการวัด 4 ซ้ำ

2.2.2 วัดความแข็งแรงเจล (gel strength) โดยนำเจลออกจากแท่งสแตนเลสวางไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง ก่อนนำมาวัดความแข็งแรงเจลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Stable Micro System TA-HD) (ภาคผนวก ข2) ทำการวัด 5 ซ้ำ

2.2.3 วัดความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) คัดแปลงจากวิธีของ Motohiro (1981) (ภาคผนวก ข3) ทำการวัด 3 ซ้ำ

2.2.4 วัดการพับ (folding test) (ภาคผนวก ข4)

2.2.5 วัดค่า pH (MFRD, 1987b) ด้วยเครื่อง pH meter รุ่น Metrohm 744 โดยชั่งตัวอย่างเจลสับละเอียด 5 กรัม เติมน้ำกลั่นที่ต้มไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 45 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากันต่อเนื่องเป็นเวลา 5 นาที ก่อนวัดค่า pH ทำการวัด 2 ซ้ำ

วางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี DMRT

2.3 การประเมินผลทางประสาทสัมผัส

ประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Hedonic scale ใช้ระดับคะแนน 1-9 ทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์กับผู้ทดสอบทั่วไป 30 คน ในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม โดยคะแนน 1 เป็นคะแนนที่ไม่ชอบมากที่สุด และ 9

คือชอบมากที่สุด วางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

3 การสำรวจพฤติกรรม และความต้องการในการบริโภคผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาผสมสีสกัดจากธรรมชาติ

ผลิตลูกชิ้นปลาจากเนื้อปลาคูผสมสีสกัดจากธรรมชาติ โดยคัดเลือกสีความเข้มข้นที่ผู้ทดสอบชอบมากที่สุดจากข้อ 2.3 มาสีละหนึ่งความเข้มข้น ผลิตลูกชิ้นตามวิธีการในข้อ 2.1 แล้วสำรวจพฤติกรรม และความต้องการในการบริโภคกับผู้บริโภคทั่วไป 200 คน (ภาคผนวก ก2) โดยสอบถามถึงระดับความชอบด้วยวิธี Hedonic scale ใช้ระดับคะแนน 1-9 วางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT สอบถามถึงการยอมรับ และเรียงลำดับความชอบผลิตภัณฑ์ด้วยวิธี ranking test โดย 1 คือชอบมากที่สุด และ 4 คือชอบน้อยที่สุด นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Friedman's test (เพ็ญขวัญ, 2536)

4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาผสมสีสกัดจากธรรมชาติในระหว่างการเก็บรักษา

ผลิตลูกชิ้นปลาจากเนื้อปลาคูผสมสีที่ผ่านการคัดเลือกจากส่วนที่ 3 มา 2 สี ทดสอบเปรียบเทียบสภาวะการเก็บรักษา 2 สภาวะคือ วางลูกชิ้นปลาให้สัมผัส และไม่สัมผัสแสงโดยมีรายละเอียดดังนี้

1) สภาวะควบคุม (ไม่สัมผัสแสง) บรรจุลูกชิ้นใส่ถุงโพลีเอทิลีนแล้วเก็บรักษาในกล่องโฟมที่บรรจุน้ำแข็งอัตราส่วนน้ำหนักตัวอย่างต่อน้ำแข็งเท่ากับ 1:1 แล้วนำไปเก็บไว้ในห้องเย็นควบคุมอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2) สภาวะสัมผัสแสง บรรจุลูกชิ้นปลาใส่ถุงโพลีเอทิลีนแล้วนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่ตั้งไว้ในอาคาร โดยวางที่ชั้นใกล้ฝาตู้เย็นที่ติดกระจก และมีแสงธรรมชาติส่องถึง (ประมาณ 12 ชั่วโมง/วัน) และมีแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ประมาณ 4 ชั่วโมง/วัน

สุ่มตัวอย่างจากทั้ง 2 สภาวะมาทดสอบความชอบ วัดค่าสี L^* , a^* และ b^* ที่ผิวนอก และตรวจสอบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) (ภาคผนวก ค1) ทุก ๆ 3 วันของการเก็บรักษา โดยเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน วางแผนการทดลองแบบ 2×5 Factorial design ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี และคุณภาพทางจุลชีววิทยา ขณะที่การประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส เริ่มจากวันที่ 6 ของการเก็บรักษา วางแผนการทดลองแบบ 2×3 Factorial design วิเคราะห์ปัจจัยของสภาวะการเก็บรักษา และระยะเวลาการเก็บรักษา วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี DMRT ทำการทดลอง 2 ซ้ำ



ผลและวิจารณ์

1. การสกัด การคัดเลือก และการอบแห้งน้ำสี หรือสารสีสกัดที่เหมาะสมในการผลิตลูกชิ้นปลาผสมสีสกัดจากธรรมชาติ

1.1 วิธีการสกัดสี

จากการทดลองสกัดสีจากวัตถุดิบจำนวน 13 ชนิด โดยมีทั้งชนิดกลุ่มสีเขียว (คะน้า, ใบเตย, สาหร่ายผักกาดแห้ง และใบบัวบก) สีเหลือง หรือส้ม (ขมิ้นชัน, ฟักทอง, ดอกคำฝอยแห้ง และแครอท) สีแดง (หัวบีท, กระเจี๊ยบแห้ง และข้าวแดงหรืออังกัก) และสีน้ำเงิน (ดอกอัญชัน และกะหล่ำปลีม่วง) ซึ่งผลการทดสอบในแต่ละขั้นตอนแสดงในตารางที่ 3 พบว่า มีวัตถุดิบ 10 ชนิด มีความเหมาะสมในการสกัดสารสีด้วยวิธีปั่นผสมกับน้ำ โดยนำวัตถุดิบมาผ่านการลวก (blanching) ซึ่งวิธีการนี้ช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และลดจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ติดมากับวัตถุดิบ (Ramesh *et al.*, 2002) รวมทั้งช่วยลดการสูญเสียของสารสีในระหว่างกระบวนการผลิต (Shivhare *et al.*, 2009) จากนั้นปั่นผสมวัตถุดิบกับน้ำแล้วนำไปกรองจะได้น้ำสีของวัตถุดิบที่มีสีเข้ม ซึ่งวัตถุดิบดังกล่าวในกลุ่มสีเขียวได้แก่ คะน้า ใบเตย สาหร่ายผักกาดแห้ง และใบบัวบก กลุ่มสีเหลือง หรือส้มได้แก่ ขมิ้นชัน ฟักทอง และแครอท กลุ่มสีแดงได้แก่ หัวบีท และกลุ่มสีน้ำเงินได้แก่ ดอกอัญชัน และกะหล่ำปลีม่วง ขณะที่ข้าวแดงเมื่อนำไปปั่นกับน้ำ พบว่าละลายน้ำได้ไม่ดีส่งผลให้น้ำสีมีสีแดงอิฐอ่อน ๆ โปร่งแสง เมื่อนำข้าวแดงไปสกัดสีด้วยแอลกอฮอล์ (เอทานอลร้อยละ 95 : น้ำในอัตราส่วน 1:1) พบว่าได้สารสีสกัดที่มีลักษณะสีแดงเข้ม ซึ่งสารสีนี้สามารถละลายได้ดีในเอทานอลแต่ละลายได้ไม่ดีในน้ำ (Mortensen, 2006) ส่วนดอกคำฝอยแห้ง และดอกกระเจี๊ยบแห้ง ต้องทำการสกัดสารสีด้วยการต้มกับน้ำจึงจะได้สีของวัตถุดิบ

ตารางที่ 3 สมบัติ และการคัดเลือกลูกน้ำสี หรือสารสีสกัดจากธรรมชาติที่เหมาะสมในการผสมกับซูรีมิ

วัตถุดิบ	การลวก (Blanching)	วิธีการสกัดน้ำสีหรือสารสีสกัด			ความเป็น กรด-ด่าง ของน้ำสี	Bleeding		เสถียรภาพ ของสีในลูก ซูรีมิหลังต้ม	สรุปความ เหมาะสม	หมายเหตุ
		ปั่นผสม กับน้ำ	สกัดสีด้วย แอลกอฮอล์	ต้มกับน้ำ		ชั้น ที่ 1	ชั้น ที่ 2			
คะน้า	/	/	×	×	6.35 ± 0.01	-	-	+	+	
ใบเตย	/	/	×	×	6.26 ± 0.00	-	-	-	-	สีเขียวอ่อนมาก
สาหร่ายผักกาด	/	/	×	×	7.10 ± 0.02	-	-	-	-	ไม่คงลักษณะสีของน้ำสี
ใบบวบ	/	/	×	×	6.59 ± 0.03	-	-	-	-	สีเขียวอ่อนมาก
ขมิ้นชัน	/	/	×	×	2.00 - 2.50	-	-	+	-	สีเข้มแต่มีกลิ่นขมรุนแรง
ฟักทอง	/	/	×	×	6.65 ± 0.04	-	-	+	+	
ดอกคำฝอย	×	×	×	/	5.26 ± 0.04	+	×	×	-	ไม่คงลักษณะสีของน้ำสี
แครอท	/	/	×	×	6.64 ± 0.03	-	-	+	+	
หัวบีท	/	/	×	×	6.33 ± 0.02	+	×	×	-	ไม่คงลักษณะสีของน้ำสี
กระเจี๊ยบ	×	×	×	/	2.58 ± 0.01	-	-	×	-	ไม่คงลักษณะสีของน้ำสี
ข้าวแดง	×	/	/	×	4.57 ± 0.01	-	-	+	+	สกัดด้วยแอลกอฮอล์สีมี เอกลักษณ์สีแดงเข้มที่สุด

ตารางที่ 3 (ต่อ)

วัตถุดิบ	การลวก (Blanching)	วิธีการสักระน้ำหรือสารสีสกัด			ความเป็น กรด-ด่าง ของน้ำสี	Bleeding		เสถียรภาพ ของสีในลูก ซูริมิหลังต้ม	สรุปความ เหมาะสม	หมายเหตุ
		ปั่นผสม กับน้ำ	สกัดสีด้วย แอลกอฮอล์	ต้มกับน้ำ		ชั้น ที่ 1	ชั้น ที่ 2			
อัญชัน	/	/	×	×	5.45 ± 0.01	-	+	×	-	ไม่คงลักษณะสีของน้ำสี
กะหล่ำปลีม่วง	/	/	×	×	6.43 ± 0.02	+	×	×	-	ไม่คงลักษณะสีของน้ำสี

สัญลักษณ์ / หมายถึง ได้ทำการปฏิบัติ และ × หมายถึง ไม่ได้ปฏิบัติตามวิธีการนั้น ๆ
 สัญลักษณ์ + หมายถึง เกิดผลตามหัวข้อนั้น ๆ และ - หมายถึง ไม่เกิดผลตามหัวข้อนั้น

1.2 การตรวจสอบคุณภาพของน้ำสีหรือสารสีสกัด

เมื่อนำน้ำสี และสารสีสกัดที่ผ่านการสกัดที่เหมาะสมแล้วทั้ง 13 ชนิดมาตรวจสอบคุณภาพได้ผลแสดงในตารางที่ 3 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.2.1 ค่า pH ของน้ำสี หรือสารสีสกัดของตัวอย่างทั้ง 13 ชนิด มีค่าอยู่ระหว่าง 2.00-7.11 โดยตัวอย่างที่มีความเป็นกรดสูง (pH 2.0-4.5) ได้แก่ น้ำสีขมิ้นชัน กระเจี๊ยบแห้ง และสารสีสกัดข้าวแดง ส่วนน้ำสีของตัวอย่างที่เหลือมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.23-7.11 ซึ่งตัวอย่างที่มีความเป็นกรดสูงดังกล่าวให้สีที่แสดงเอกลักษณ์ของสีมาก แต่เมื่อนำไปผสมกับโปรตีนปลาความเป็นกรดอาจมีผลต่อการลดลงของค่าความแข็งแรงเจล หรือด้วยความเป็นบัฟเฟอร์ของโปรตีน (buffering property) อาจทำให้ค่า pH สุทธิของเจลโปรตีนปลาไม่ต่ำมาก ขึ้นกับปริมาณสารสีที่ใส่เข้าไป โดยที่ค่า pH 6-8 มีผลต่อค่าความแข็งแรงของเจลอ้อยมาก (Shimizu, 1975) ดังนั้นจึงยังคงนำสารสีทั้ง 13 ชนิดไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป

1.2.2 การทดสอบ bleeding ของน้ำสี หรือสารสีสกัดตัวอย่างชั้นที่ 1 เป็นขั้นตอนการทดสอบความเหมาะสมของสารสีเพื่อนำไปใช้เป็นสีผสมในซูริมิ โดยเมื่อผสมกับซูริมิแล้วยังคงได้สีของตัวอย่างคงเดิม หรือเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ผลการทดสอบพบว่า เมื่อนำน้ำสีกระเจี๊ยบแห้งไปผสมกับซูริมิปรากฏว่าซูริมิเพสที่ได้เปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเทาไม่เป็นสีแดงตามต้องการ ส่วนซูริมิเพสที่ผสมน้ำสีหัวบีท ดอกคำฝอยแห้ง และกะหล่ำปลีม่วงเท่านั้นที่มีลักษณะการ bleeding โดยสังเกตจากบริเวณกระดากกรอง จะพบสีแพร่กระจายออกจากซูริมิเพสมายังกระดากกรอง (ตารางที่ 3) แสดงว่าน้ำสีดังกล่าวไม่สามารถคงอยู่กับโครงสร้างของโปรตีนได้ เมื่อยังไม่ผ่านความร้อน ซึ่งเป็นเพราะสารสีของหัวบีท ดอกคำฝอยแห้ง และกะหล่ำปลีม่วงมีสมบัติการละลายน้ำ ส่วนน้ำสีที่เหลือไม่พบการ bleeding ในชั้นที่ 1

การทดสอบ bleeding ของน้ำสี หรือสารสีสกัดตัวอย่างชั้นที่ 2 เป็นการทดสอบต่อจากชั้นที่ 1 โดยเลือกเฉพาะซูริมิเพสผสมน้ำสี หรือสารสีสกัดที่ไม่เกิดการ bleeding ในชั้นที่ 1 มาบรรจุในถุงพลาสติก รีดตัวอย่างให้แบนติดกับผิวถุงพลาสติก นำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 ชั่วโมง จากนั้นสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีซูริมิระหว่างการเก็บรักษา พบว่าซูริมิผสมน้ำสีอัญชันมีการเปลี่ยนแปลงที่ขอบด้านนอกของแผ่นซูริมิ โดยมีสีน้ำเงินชัดเจนลงเป็นสีขาว และมีน้ำสีน้ำเงินติด

อยู่ที่สูง แสดงว่าน้ำสีอัญชันมีลักษณะการ bleeding โดยสาเหตุที่เกิดการ bleeding เป็นเพราะการใช้ความร้อนสูงทำให้สารสีแอนโทไซยานินถูกทำลายได้ง่าย (นิธิยา, 2545)

จากผลการทดสอบ bleeding ของชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 พบว่าชูริมิผสมน้ำสีดอกคำฝอย หัวบีท อัญชัน และกะหล่ำปลีม่วงเกิด bleeding (ตารางที่ 3) และชูริมิผสมน้ำสี หรือ สารสีสกัดที่ไม่เกิด bleeding มีทั้งหมด 8 ตัวอย่าง ได้แก่ น้ำสีคะน้า ใบเตย สาหร่ายผักกาด ใบบัวบก ขมิ้นชัน พักทอง แครอท และสารสีสกัดข้าวแดง

1.2.3 การทดสอบเสถียรภาพของสีสกัดจากธรรมชาติในเจลชูริมิ เมื่อให้ความร้อน เช่นเดียวกับการผลิตลูกชิ้นคือ ต้มเจลชูริมิผสมสีที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ตามด้วย 90 องศาเซลเซียส 20 นาที และทำให้เย็น สีที่มีเสถียรภาพในการคงอยู่กับโปรตีนควรทำให้ผลิตภัณฑ์ยังคงสีเดิมของสี หรืออาจเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 3 พบว่า เจลชูริมิที่ผสมกับน้ำสีใบเตย สาหร่ายผักกาด และใบบัวบก เมื่อสังเกตด้วยสายตา มีสีซีดจางลงมากหลังจากให้ความร้อน แสดงว่าความร้อนทำให้สารสีเขียวของตัวอย่างดังกล่าวไม่สามารถคงลักษณะสีเดิมของน้ำสีไว้ได้ ดังนั้นน้ำสีใบเตย สาหร่ายผักกาด และใบบัวบกไม่สามารถคงอยู่กับโปรตีนได้หลังการต้ม นอกจากนั้นการใช้ความร้อนสูงเป็นเวลานานจะทำให้คลอโรฟิลล์สลายตัวได้เร็วขึ้นจึงทำให้สีซีดจางลง (นิธิยา, 2545) ขณะที่เจลชูริมิผสมสี 5 ชนิด ได้แก่ น้ำสีคะน้า ขมิ้นชัน พักทอง แครอท และสารสีสกัดข้าวแดงยังคงแสดงลักษณะสีเดิมไว้ได้ แสดงว่าเมื่อได้รับความร้อนน้ำสี หรือสารสีสกัด ดังกล่าวมีเสถียรภาพของสีในการคงอยู่กับโปรตีน เมื่อพิจารณาสมบัติการละลายน้ำของสารสีแล้ว พบว่าสารสีคลอโรฟิลล์ในคะน้า แครอทในพักทอง และแครอท และสารสีของ *Monacus* ในข้าวแดงเป็นสารสีที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นเสถียรภาพของสีในการคงอยู่กับโปรตีนขึ้นอยู่กับความไม่ละลายน้ำของสารสี ซึ่งสอดคล้องกับ Poowakanjana and Park (2009) ซึ่งรายงานว่าลักษณะ bleeding ของสารสีคาร์มินในปูเทียมเกิดจากกรดคาร์มินิกซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในสารสีคาร์มินมีสมบัติละลายน้ำได้ จึงทำให้สีในปูเทียมเกิด bleeding ในระหว่างกระบวนการผลิต

ดังนั้นจึงได้คัดเลือกน้ำสี หรือสารสีสกัด 4 ชนิดที่มีความเหมาะสมในการทำชูรินั้นมีสี ได้แก่ น้ำสีคะน้า น้ำสีพักทอง น้ำสีแครอท และสารสีสกัดข้าวแดง ส่วนน้ำสีขมิ้นชัน ไม่ได้คัดเลือก เพราะมีกลิ่นของขมิ้นชันแรงมาก จึงอาจส่งผลต่อคุณลักษณะด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์

1.3 การประเมินทางประสาทสัมผัสของน้ำสี หรือสารสีสกัดที่ใช้ผสมในซูริมิ

นำน้ำสี หรือสารสีสกัดที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 1.2 มาผสมกับซูริมิ และเกลือ ขึ้นรูปเป็นลูกทรงกลม นำไปประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ด้วยวิธี Hedonic scale ใช้ระดับคะแนน 1-9 และทดสอบคุณลักษณะด้านสี และเนื้อสัมผัส ด้วยวิธี just about right

ผลการทดสอบ (ตารางที่ 4) พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบสูงในทุกคุณลักษณะของเจลซูริมิผสมน้ำสีฟักทอง และแครอท โดยคะแนนความชอบรวมของตัวอย่างผสมน้ำสีฟักทอง แครอท และสารสีสกัดข้าวแดงสูงกว่า ($p < 0.05$) ที่ผสมน้ำสีคะน้า ขณะที่คุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และเนื้อสัมผัสของตัวอย่างที่ผสมสีข้าวแดงไม่แตกต่างจากที่ผสมน้ำสีคะน้า ($p > 0.05$) โดยมีคะแนนอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ยกเว้นคะแนนในด้านกลิ่นของทุกตัวอย่างอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงเฉย ๆ โดยผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าตัวอย่างมีกลิ่นปลาแรงมาก ทั้งนี้เป็นเพราะว่าสูตรการผลิตเจลซูริมิไม่ได้มีการผสมเครื่องเทศลงไป จึงทำให้ผู้ทดสอบรับรู้กลิ่นปลาได้ ดังนั้นในการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อลูกชิ้นปลาผสมสีสกัดจากธรรมชาติ ควรใส่เครื่องเทศลงไปเพื่อช่วยกลบกลิ่นปลา

ตารางที่ 4 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) ของเจลซูริมิผสมสีสกัดจากธรรมชาติ

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบของเจลซูริมิผสมสีเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	น้ำสีคะน้า	น้ำสีฟักทอง	น้ำสีแครอท	สารสีสกัดข้าวแดง
ลักษณะปรากฏ	6.54 ± 1.28^b	7.22 ± 1.28^a	7.10 ± 1.28^a	6.82 ± 1.29^{ab}
สี	6.58 ± 1.43^b	7.26 ± 1.35^a	7.22 ± 1.36^a	6.74 ± 1.41^b
กลิ่น	4.38 ± 1.83^b	5.04 ± 1.82^a	4.98 ± 1.82^a	4.68 ± 1.63^{ab}
เนื้อสัมผัส	6.54 ± 1.42^b	7.00 ± 1.41^a	7.08 ± 1.32^a	6.48 ± 1.53^b
ความชอบรวม	5.94 ± 1.20^b	6.84 ± 1.18^a	6.82 ± 1.24^a	6.48 ± 1.20^a

^{a,b} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จากการสอบถามความเข้มข้นลักษณะด้านสีโดยวิธี just about right ของผู้ทดสอบ 50 คน ผู้ทดสอบร้อยละ 64 ให้ความเห็นว่า (ตารางที่ 5) เจลชูริมีผสมน้ำสีคะน้ำ ฟักทอง และข้าวแดง มีสีเข้มกำลังดี และร้อยละ 70 เห็นว่าตัวอย่างที่ผสมน้ำสีแครอทมีสีเข้มกำลังดี ขณะที่ผู้ทดสอบร้อยละ 24-26 ให้ความเห็นว่า เจลชูริมีผสมสีฟักทอง แครอท และข้าวแดงเข้มเกินไป ดังนั้นในขั้นตอนต่อไปจึงศึกษาสัดส่วนสีผสมที่เหมาะสม

ส่วนผลต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 6) พบว่า ผู้ทดสอบเห็นว่าเจลชูริมีผสมสีมีลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียวกำลังดีคือ ร้อยละ 54 ในเจลชูริมีผสมน้ำสีคะน้ำ และฟักทอง ร้อยละ 60 เมื่อผสมกับน้ำสีแครอท และร้อยละ 66 เมื่อผสมสีสกัดจากข้าวแดง ขณะที่ผู้ทดสอบอีกร้อยละ 30 ให้ความเห็นว่าเจลชูริมีที่ผสมน้ำสีคะน้ำและเกินไปเล็กน้อย ซึ่งอาจส่งผลให้คะแนนความชอบของตัวอย่างดังกล่าวต่ำไปด้วย และร้อยละ 26-42 ให้ความเห็นว่าตัวอย่างผสมสีที่เหลือทั้ง 3 เหนียวเกินไป

ตารางที่ 5 ระดับความเหมาะสมของคุณลักษณะสีของเจลชูริมีผสมสีสกัดจากธรรมชาติ

เจลชูริมี ผสมสีสกัด	ระดับความเหมาะสมของสี (ร้อยละของผู้ทดสอบ)*				
	อ่อนเกินไป	อ่อนเกินไป	เข้มกำลังดี	เข้มเกินไป	เข้มเกินไป
	มาก	เล็กน้อย		เล็กน้อย	มาก
คะน้ำ	0	18	64	16	2
ฟักทอง	0	10	64	22	4
แครอท	0	4	70	22	4
ข้าวแดง	0	12	64	24	0

* จากการประเมินของผู้ทดสอบ 50 คน

ตารางที่ 6 ระดับความเหมาะสมของคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลซูริมผสมสีสกัดจากธรรมชาติ

เจลซูริมผสมสีสกัด	ระดับความเหมาะสมของเนื้อสัมผัส (ร้อยละของผู้ทดสอบ)*				
	ละเอียดเกินไป		เหนียวกำลังดี	เหนียวเกินไป	
	มาก	เล็กน้อย		เล็กน้อย	มาก
คะน้า	0	30	54	14	2
ฟักทอง	0	4	54	38	4
แครอท	2	12	60	26	0
ข้าวแดง	0	6	66	24	4

* จากการประเมินของผู้ทดสอบ 50 คน

1.4. การศึกษาผลของอุณหภูมิการทำแห้งสารให้สีที่มีผลต่อคุณภาพ

เมื่อนำน้ำสี หรือสารสีสกัดทั้ง 4 ชนิด มาผ่านกระบวนการอบแห้งที่ 60 และ 80 องศาเซลเซียส และตรวจสอบคุณภาพหลังการอบแห้ง (ตารางที่ 7) จากการศึกษาพบว่า สภาวะทั้งสองไม่มีผลต่อร้อยละการละลาย ($p>0.05$) ของผงสีคะน้า และข้าวแดง แต่ผงสีฟักทอง และแครอท ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีร้อยละการละลาย 98.50 และ 98.00 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าที่ผ่านการอบที่ 80 องศาเซลเซียส ที่มีร้อยละการละลาย 91.00 และ 87.50 ตามลำดับ ($p<0.05$) แสดงว่าที่สภาวะการอบ 60 องศาเซลเซียส ทำให้ผงสีที่ได้มีความสามารถในการละลายที่ดี นอกจากนั้นพบว่าผงสีฟักทอง และแครอทละลายได้ดีกว่าคะน้า และข้าวแดง

ตารางที่ 7 ค่าการละลาย และค่าสี L^* , a^* และ b^* ของสีที่สภาวะการอบแห้งต่าง ๆ

น้ำสี	อุณหภูมิ การอบ ($^{\circ}\text{C}$)	ร้อยละ การละลาย	ค่าสีของน้ำสีหลังการละลาย		
			L^*	a^*	b^*
คะน้ำ	60	93.00 ± 1.41^a	0.44 ± 0.01^a	-0.04 ± 0.00^a	0.61 ± 0.03^a
	80	87.50 ± 2.12^a	0.25 ± 0.01^b	-0.07 ± 0.01^b	0.24 ± 0.01^b
ฟักทอง	60	98.50 ± 0.71^a	26.36 ± 0.29^b	21.40 ± 0.13^a	45.99 ± 0.05^b
	80	91.00 ± 1.41^b	52.15 ± 0.04^a	14.94 ± 0.04^b	86.39 ± 0.06^a
แครอท	60	98.00 ± 1.41^a	20.04 ± 0.05^b	36.75 ± 0.08^a	34.53 ± 0.04^b
	80	87.50 ± 2.12^b	31.50 ± 0.07^a	34.72 ± 0.07^b	53.75 ± 0.09^a
ข้าวแดง	60	90.00 ± 0.00^a	0.48 ± 0.02^a	2.73 ± 0.04^a	0.68 ± 0.02^a
	80	90.50 ± 0.71^a	0.12 ± 0.02^b	0.18 ± 0.02^b	0.05 ± 0.01^b

^{a,b} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งของสีชนิดเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาในเรื่องสี อุณหภูมิการอบที่ 80 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำสีคะน้ำที่ได้จากการละลายผงสี และผ่านการกรองมีค่าความสว่าง (L^*) และสีเหลือง (b^*) ลดลง เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ($p < 0.05$) จึงมองเห็นน้ำสีคะน้ำมีสีเขียวล้ำอมน้ำตาล ซึ่งปกติแล้วสารสีเขียว หรือคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) จะเสียดสภาพได้ง่ายระหว่างกระบวนการสกัด โดยเฉพาะเมื่อมีการใช้ความร้อน ทำให้สีเขียวของคลอโรฟิลล์เปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาลเหลืองของฟีโอไฟติน (pheophytin) (Mortensen, 2006) น้ำสีฟักทอง และแครอทหลังละลายผงสีที่อบแห้งอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีสีอ่อนกว่าน้ำสีที่ได้จากการอบที่ 60 องศาเซลเซียส เมื่อสังเกตด้วยสายตา ซึ่งเป็นเพราะผงสีที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีร้อยละการละลายน้ำที่ต่ำ เมื่อนำไปกรองจะพบตะกอนผงสีที่ไม่ละลายติดอยู่ที่กระดาษกรองจำนวนมาก ทำให้น้ำสีที่ผ่านการกรองมีสีที่อ่อนกว่าผงสีที่อบอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับค่า L^* ที่เพิ่มขึ้น และค่าสีแดง (a^*) ลดลง น้ำสีข้าวแดงหลังละลายผงสีที่อบแห้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส คงเอกลักษณ์ความเป็นสีแดงมากกว่าน้ำสีที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับค่า a^* ที่มากกว่า ($p < 0.05$)

ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งน้ำสี หรือสารสีสกัดคือ 60 องศาเซลเซียส เพราะที่อุณหภูมินี้ผงสีมีความสามารถในการละลายที่ดี ทำให้น้ำสีที่ละลายแล้วมีความเข้มข้นเอกลักษณ์ของสีนั้น ๆ ไว้ได้

2. ศึกษาผลของสีสกัดจากธรรมชาติที่มีต่อคุณภาพเจลโปรตีนปลา

นำผงสีเขียวจากคะน้า ผงสีเหลืองหรือส้มจากฟักทอง และแครอท และผงสีแดงจากข้าวแดง มาละลายน้ำแล้วผสมกับซูริมิเพื่อผลิตเป็นเจลโปรตีนปลา โดยแปรระดับความเข้มข้นเป็น 3 ระดับ คือ ผงสีคะน้า ฟักทอง และแครอท ร้อยละ 0.5, 1 และ 2 ของน้ำหนักซูริมิ และผงสีข้าวแดง ร้อยละ 0.3, 0.5 และ 0.7 ของน้ำหนักซูริมิ ซึ่งความเข้มข้นดังกล่าวได้จากการทดสอบเบื้องต้น โดยเปรียบเทียบความเข้มของสีที่ศึกษาให้สอดคล้องกับระดับความเหมาะสมของคุณลักษณะสีของเจลซูริมิผสมสีสกัดจากผลข้อ 1.3 ซึ่งผลการตรวจสอบคุณภาพ มีดังนี้

ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของเจลโปรตีนผสมสี (ตารางที่ 8) พบว่าความสว่าง (L^*) ของตัวอย่างเจลที่ผสมสีคะน้า แครอท และข้าวแดง มีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสีผสมเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.5 ไปเป็นร้อยละ 2 ($p < 0.05$) ขณะที่เจลโปรตีนผสมสีฟักทองร้อยละ 1 และ 2 มีสีที่คล้ำกว่าร้อยละ 0.5 ($p < 0.05$) โดยสังเกตจากค่า L^* ที่มีค่าต่ำกว่า เจลโปรตีนผสมสีคะน้า มีค่าโทนสีเขียว ($-a^*$) และสีเหลือง (b^*) สูงสุดเมื่อผสมผงสีร้อยละ 2 ($p < 0.05$) ในทางตรงกันข้ามเจลโปรตีนผสมสีฟักทอง ร้อยละ 2 มีโทนสีเขียวต่ำ แต่มีสีเหลืองสูงกว่าที่ความเข้มข้นอื่น ($p < 0.05$) ขณะที่เจลโปรตีนผสมสีแครอท และข้าวแดงมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสีผสมเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$)

ตารางที่ 8 ค่าสีของเจลโปรตีนจากซูริมิที่ผสมสีสกัดจากธรรมชาติที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ

เจลโปรตีนผสมสี	L*	a*	b*
กะน้ำ 0.5%	59.57 ± 0.34 ^a	-5.16 ± 0.10 ^a	17.48 ± 0.14 ^c
กะน้ำ 1%	55.59 ± 0.50 ^b	-5.03 ± 0.05 ^a	21.32 ± 0.19 ^b
กะน้ำ 2%	51.89 ± 0.33 ^c	-5.51 ± 0.18 ^b	24.84 ± 0.33 ^a
ฟักทอง 0.5%	69.43 ± 0.39 ^a	-2.40 ± 0.03 ^c	16.26 ± 0.34 ^c
ฟักทอง 1%	67.00 ± 1.35 ^b	-1.64 ± 0.07 ^b	24.56 ± 0.24 ^b
ฟักทอง 2%	67.54 ± 0.39 ^b	-0.57 ± 0.12 ^a	31.49 ± 0.47 ^a
แครอท 0.5%	63.87 ± 0.32 ^a	4.24 ± 0.16 ^c	11.65 ± 0.31 ^c
แครอท 1%	61.96 ± 0.56 ^b	7.76 ± 0.54 ^b	16.40 ± 0.84 ^b
แครอท 2%	61.22 ± 0.20 ^c	9.06 ± 0.08 ^a	18.28 ± 0.14 ^a
ข้าวแดง 0.3%	56.16 ± 0.33 ^a	15.07 ± 0.42 ^c	9.11 ± 0.32 ^c
ข้าวแดง 0.5%	53.07 ± 0.67 ^b	18.01 ± 0.45 ^b	10.28 ± 0.21 ^b
ข้าวแดง 0.7%	50.88 ± 0.46 ^c	21.05 ± 0.09 ^a	11.52 ± 0.11 ^a

^{a,b,c} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวตั้งของกลุ่มสีเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาสมบัติทางเนื้อสัมผัสของเจลโปรตีน (ตารางที่ 9) พบว่า ค่าความแข็งแรงเจลโปรตีนจากซูริมิผสมสีสกัดจากธรรมชาติทั้ง 4 ชนิด มีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม (837.00 กรัม.ชม.) และมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของสารให้สีเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในตัวอย่างเจลที่ผสมกับสีกะน้ำ ร้อยละ 2 (396.50 กรัม.ชม.) และแครอทร้อยละ 2 (434.61 กรัม.ชม.) ที่มีค่าความแข็งแรงเจลเป็นร้อยละ 47.37 และ 51.92 ของตัวอย่างควบคุม ตามลำดับ ซึ่งการลดลงดังกล่าวอาจเนื่องจากสารประกอบอื่น ๆ ที่ติดมากับวัตถุดิบทางการเกษตร ซึ่งการผลิตเชิงการค้าควรจะมีการควบคุมคุณภาพ อย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงเจลของตัวอย่างที่ผสมสีกะน้ำ และแครอทร้อยละ 0.5 แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) เจลโปรตีนผสมสีกะน้ำ ฟักทอง และแครอทร้อยละ 0.5, 1 และ 2 ของน้ำหนักรูมิ มีค่าความแข็งแรงเจลแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยเจลที่ผสมสีสกัดเข้มข้นต่ำลงจะมีค่าสูงกว่า

ตารางที่ 9 คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของเจลโปรตีนจากซูริมิที่ผสมสีสกัดจากธรรมชาติที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ

เจลโปรตีนผสมสี	ความแข็งแรงเจล (กรัม.ซม.)	ความสามารถอุ้มน้ำ (%)	pH	ทดสอบการพับ	ความชื้น (%) ^{ns}
ควบคุม (น้ำเย็น)	837.00 ± 54.15 ^a	99.63 ± 0.01 ^d	6.53 ± 0.01 ^d	AA	78.55 ± 0.14
กะน้ำ 0.5 %	783.49 ± 64.55 ^a	99.84 ± 0.00 ^a	6.87 ± 0.01 ^a	AA	78.65 ± 0.02
กะน้ำ 1 %	602.12 ± 68.30 ^b	99.79 ± 0.01 ^b	6.82 ± 0.01 ^b	AA	78.77 ± 0.02
กะน้ำ 2 %	396.50 ± 19.89 ^c	99.77 ± 0.02 ^c	6.72 ± 0.00 ^c	AA	78.67 ± 0.01
ควบคุม	837.00 ± 54.15 ^a	99.63 ± 0.01 ^b	6.53 ± 0.01 ^c	AA	78.55 ± 0.14
ฟักทอง 0.5 %	734.02 ± 11.70 ^b	99.65 ± 0.03 ^a	6.99 ± 0.01 ^a	AA	78.57 ± 0.01
ฟักทอง 1 %	606.26 ± 19.69 ^c	99.56 ± 0.01 ^d	6.99 ± 0.01 ^a	AA	78.67 ± 0.01
ฟักทอง 2 %	521.47 ± 16.72 ^d	99.58 ± 0.03 ^c	6.94 ± 0.01 ^b	AA	78.73 ± 0.05
ควบคุม	837.00 ± 54.15 ^a	99.63 ± 0.01 ^d	6.53 ± 0.01 ^b	AA	78.55 ± 0.14
แครอท 0.5 %	782.66 ± 50.63 ^a	99.78 ± 0.01 ^a	6.97 ± 0.01 ^a	AA	78.42 ± 0.08
แครอท 1 %	522.97 ± 27.18 ^b	99.76 ± 0.02 ^b	6.98 ± 0.00 ^a	AA	78.70 ± 0.07
แครอท 2 %	434.61 ± 17.35 ^c	99.67 ± 0.01 ^c	6.96 ± 0.01 ^a	AA	77.61 ± 0.09
ควบคุม	837.00 ± 54.15 ^a	99.63 ± 0.01 ^d	6.53 ± 0.01 ^b	AA	78.55 ± 0.14
ข้าวแดง 0.3 %	624.71 ± 50.88 ^b	99.84 ± 0.01 ^a	6.91 ± 0.01 ^a	AA	78.66 ± 0.01
ข้าวแดง 0.5 %	598.58 ± 21.47 ^b	99.79 ± 0.01 ^b	6.90 ± 0.01 ^a	AA	78.57 ± 0.01
ข้าวแดง 0.7 %	584.16 ± 30.93 ^b	99.76 ± 0.00 ^c	6.89 ± 0.01 ^a	AA	78.53 ± 0.01

^{a,b,c,d} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันในแนวนอนของกลุ่มสีเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

สีข้าวแดงมีเอกลักษณ์ของสีแดงที่เข้มมาก และสีข้าวแดงมีค่า pH ที่เป็นกรด (pH 4.57) ซึ่งอาจทำให้โปรตีนเสียสภาพเมื่อนำมาผสมกับซูริมิ จึงเลือกใช้ปริมาณของสารสีในการผสมเพียงร้อยละ 0.3, 0.5 และ 0.7 ของน้ำหนักซูริมิ ซึ่งพบว่าที่ปริมาณดังกล่าวค่าความแข็งแรงเจล

ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่มีค่าลดลงจากตัวอย่างควบคุม โดยมีค่าความแข็งแรงเจลเป็นร้อยละ 74.64, 71.51 และ 69.79 ของตัวอย่างควบคุม ตามลำดับ

การทดสอบการพับ (ตารางที่ 9) พบว่า ทุกตัวอย่างเจลมีคะแนน AA คือ เมื่อพับแล้วชิ้นเจลไม่แตกเมื่อพับสี่ส่วน

ความสามารถในการอุ้มน้ำของโครงข่ายเจลโปรตีนจากชูริมิผสมสีทั้ง 4 ชนิด และตัวอย่างควบคุมมีค่าสูงถึงร้อยละ 99.56-99.84 (ตารางที่ 9) แสดงถึงเจลชูริมิดังกล่าวมีความสามารถในการอุ้มน้ำในโครงข่ายเจลที่ดี ส่งผลให้เจลโปรตีนมีความนุ่มไม่หยาบกระด้าง แม้ว่าบางตัวอย่างแสดงค่าความแข็งแรงเจลต่ำ เช่น ในเจลผสมสีคะน้า และแครอทร้อยละ 2 ดังนั้นความสามารถในการอุ้มน้ำจึงขึ้นอยู่กับความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ในโครงร่างตาข่ายระหว่างการเกิดเจลชวารี (สุทธวัฒน์, 2549)

ค่า pH ของเจลโปรตีน เป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตเจลโปรตีนที่แข็งแรง ซึ่งช่วง pH ที่เหมาะสมในการเตรียมเจลเพื่อเกิดเจลที่แข็งแรงคือ 6.5-7.0 (Shimizu, 1975) ค่า pH ของสีสกัดจากธรรมชาติทั้ง 4 ชนิดก่อนนำมาผสมกับชูริมิเพื่อผลิตเจลโปรตีนนั้นอยู่ในช่วง 4.57-6.69 และเมื่อนำไปผสมในชูริมิค่า pH ของเจลมีค่าอยู่ในช่วง 6.72-6.99 (ตารางที่ 9) ซึ่งเป็นช่วงที่มีผลต่อเจลอ้อยมาก โดยเฉพาะสารสีสกัดข้าวแดงมีค่า pH ที่เป็นกรด (pH 4.57) แต่เมื่อผสมในชูริมิค่า pH ของเจลอยู่ในช่วง 6.89-6.91 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโปรตีนมี buffering properties

เมื่อนำชูริมิมาผลิตเป็นลูกชิ้น โดยเติมแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 5 และพริกไทยร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักชูริมิ แล้วนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส คุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นจากชูริมิ โดยผลการประเมินความชอบด้วยวิธี 9-point hedonic scale (ตารางที่ 10) ของลูกชิ้นผสมสีคะน้าร้อยละ 1 ของน้ำหนักชูริมิ ได้รับคะแนนความชอบทางด้านความชอบรวม สี และเนื้อสัมผัสในระดับชอบปานกลาง ซึ่งสูงกว่าที่ร้อยละ 0.5 และ 2 ($p<0.05$) ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับ การสอบถามความเข้ม (ตารางที่ 11) ด้านสีพบว่า สีร้อยละ 1 มีความเข้มกำลังดีร้อยละ 60 ของผู้ทดสอบทั้งหมด ซึ่งสูงกว่าที่สีร้อยละ 0.5 และ 2 ที่มีความเข้มกำลังดีร้อยละ 20 และ 20 ตามลำดับ โดยที่สีร้อยละ 0.5 มีความเข้มอ่อนเกินไปเล็กน้อยร้อยละ 60 และที่สีร้อยละ 2 มีความเข้มเกินไปเล็กน้อย และเข้มเกินไปมากรวมร้อยละ 80 ส่วนความเข้มด้านเนื้อสัมผัสลูกชิ้นผสมสีคะน้าร้อยละ 1 มีความเหนียวกำลังดีร้อยละ 70 ของผู้ทดสอบทั้งหมด ซึ่งสูงกว่าที่สีร้อยละ 0.5 และ 2 ที่มีความเหนียว

กำลังดีร้อยละ 40 ความชอบด้านลักษณะปรากฏที่สีร้อยละ 0.5 และ 1 ได้รับคะแนนความชอบปานกลางซึ่งสูงกว่าที่สีร้อยละ 2 ($p < 0.05$) ส่วนคะแนนความชอบลักษณะด้านกลิ่น และรสชาติที่ความเข้มข้นของสีทั้งสามไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และได้คะแนนในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

ลูกชิ้นผสมสีฟ้าทองร้อยละ 0.5 และ 1 ของน้ำนักซูริมิ ได้รับคะแนนความชอบ ด้านความชอบรวม ลักษณะปรากฏ และสี ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง (ตารางที่ 10) ซึ่งสูงกว่าที่สีร้อยละ 2 ($p < 0.05$) โดยที่สีร้อยละ 1 มีความเข้มสีกำลังดีร้อยละ 53.3 ของผู้ทดสอบทั้งหมด ซึ่งสูงกว่าที่สีร้อยละ 0.5 เล็กน้อยที่มีความเข้มสีกำลังดีร้อยละ 46.67 และที่สีร้อยละ 2 มีความเข้มเกินไปมากร้อยละ 63.3 ส่วนความชอบคุณลักษณะด้านกลิ่น เนื้อสัมผัส และรสชาติของลูกชิ้นทุกตัวอย่างได้รับคะแนนไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง แต่ความเข้มด้านเนื้อสัมผัสที่สีร้อยละ 2 มีความเหนียวกำลังดีร้อยละ 60 ของผู้ทดสอบทั้งหมด สูงกว่าที่สีร้อยละ 1 ที่มีความเหนียวกำลังดีร้อยละ 50 และที่สีร้อยละ 0.5 ที่มีความเหนียวเกินไปเล็กน้อยร้อยละ 50

ลูกชิ้นผสมสีแครทร้อยละ 1 และ 2 ของน้ำนักซูริมิ ได้รับคะแนนความชอบด้านความชอบรวม ลักษณะปรากฏ และสี (ตารางที่ 10) ในระดับชอบปานกลาง ซึ่งสูงกว่าที่สีร้อยละ 0.5 ($p < 0.05$) โดยที่สีร้อยละ 1 มีความเข้มสีกำลังดีร้อยละ 63.3 ของผู้ทดสอบทั้งหมด ซึ่งสูงกว่าที่สีร้อยละ 0.5 และ 2 ที่มีความเข้มสีกำลังดีร้อยละ 6.7 และ 26.7 ตามลำดับ โดยที่สีร้อยละ 0.5 มีความเข้มอ่อนเกินไปเล็กน้อยร้อยละ 53.3 และที่สีร้อยละ 2 มีความเข้มเกินไปเล็กน้อยร้อยละ 60 ส่วนความชอบคุณลักษณะด้านกลิ่น เนื้อสัมผัส และรสชาติของสีทั้ง 3 ระดับ ได้รับคะแนนไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง อย่างไรก็ตามผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าที่สีร้อยละ 2 มีความเหนียวกำลังดีร้อยละ 56.7 ซึ่งสูงกว่าที่สีร้อยละ 1 ที่มีความเข้มสีดีเพียงร้อยละ 46.7 และที่สีร้อยละ 0.5 มีความเหนียวเกินไปเล็กน้อยร้อยละ 46.7

ตารางที่ 10 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) ของลูกชิ้นจาก
ซูริมิผสมสีสกัดจากธรรมชาติที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ

ลูกชิ้นซูริมิผสมสี	คุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
		ปริมาณผงสี (ร้อยละของน้ำหนักซูริมิ)		
		0.5	1	2
คะน้ำ	ลักษณะปรากฏ	6.50 ± 1.1^a	6.93 ± 1.0^a	5.50 ± 1.5^b
	สี	5.50 ± 1.2^b	6.90 ± 0.9^a	5.27 ± 1.3^b
	กลิ่น ^{ns}	5.40 ± 1.1	5.67 ± 1.6	5.63 ± 1.6
	เนื้อสัมผัส	6.10 ± 1.2^b	7.00 ± 0.8^a	6.10 ± 1.0^b
	รสชาติ ^{ns}	6.73 ± 1.0	6.73 ± 1.1	6.67 ± 1.0
	ความชอบรวม	6.17 ± 0.91^b	6.73 ± 0.8^a	6.23 ± 1.0^b
ฟักทอง	ลักษณะปรากฏ	6.67 ± 1.5^a	6.77 ± 1.0^a	5.47 ± 1.2^b
	สี	6.50 ± 1.6^a	6.90 ± 1.1^a	4.90 ± 1.2^b
	กลิ่น ^{ns}	6.20 ± 1.2	6.07 ± 1.4	6.17 ± 1.4
	เนื้อสัมผัส ^{ns}	6.13 ± 1.3	6.70 ± 1.0	6.53 ± 1.0
	รสชาติ ^{ns}	6.40 ± 0.9	6.53 ± 1.1	6.13 ± 0.9
	ความชอบรวม	6.43 ± 1.3^a	6.77 ± 0.8^a	5.73 ± 0.8^b
แครอท	ลักษณะปรากฏ	6.30 ± 1.3^b	7.00 ± 1.1^a	7.23 ± 1.3^a
	สี	5.67 ± 1.5^b	6.83 ± 1.2^a	6.50 ± 1.5^a
	กลิ่น ^{ns}	6.13 ± 1.1	6.63 ± 1.0	6.17 ± 1.0
	เนื้อสัมผัส ^{ns}	5.80 ± 1.2	6.43 ± 1.2	6.27 ± 1.1
	รสชาติ ^{ns}	6.27 ± 1.4	6.37 ± 1.2	6.63 ± 1.0
	ความชอบรวม	6.23 ± 1.2^b	7.03 ± 1.0^a	6.77 ± 0.9^a

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ลูกชิ้นซูริมิผสมสี	คุณลักษณะ	คะแนนเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
		ปริมาณผงสี (ร้อยละของน้ำหนักซูริมิ)		
		0.3	0.5	0.7
ข้าวแดง	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	6.33 $\pm$ 1.5	6.37 $\pm$ 1.0	5.77 $\pm$ 1.0
	สี	6.10 $\pm$ 1.5 ^a	6.40 $\pm$ 0.9 ^a	5.07 $\pm$ 1.1 ^b
	กลิ่น ^{ns}	6.67 $\pm$ 1.0	6.17 $\pm$ 1.2	6.17 $\pm$ 1.0
	เนื้อสัมผัส ^{ns}	5.87 $\pm$ 1.4	6.50 $\pm$ 1.1	6.00 $\pm$ 1.2
	รสชาติ	6.60 $\pm$ 1.0 ^a	4.50 $\pm$ 1.1 ^b	4.27 $\pm$ 1.2 ^b
	ความชอบรวม	6.73 $\pm$ 0.9 ^a	5.80 $\pm$ 0.7 ^b	4.43 $\pm$ 0.9 ^c

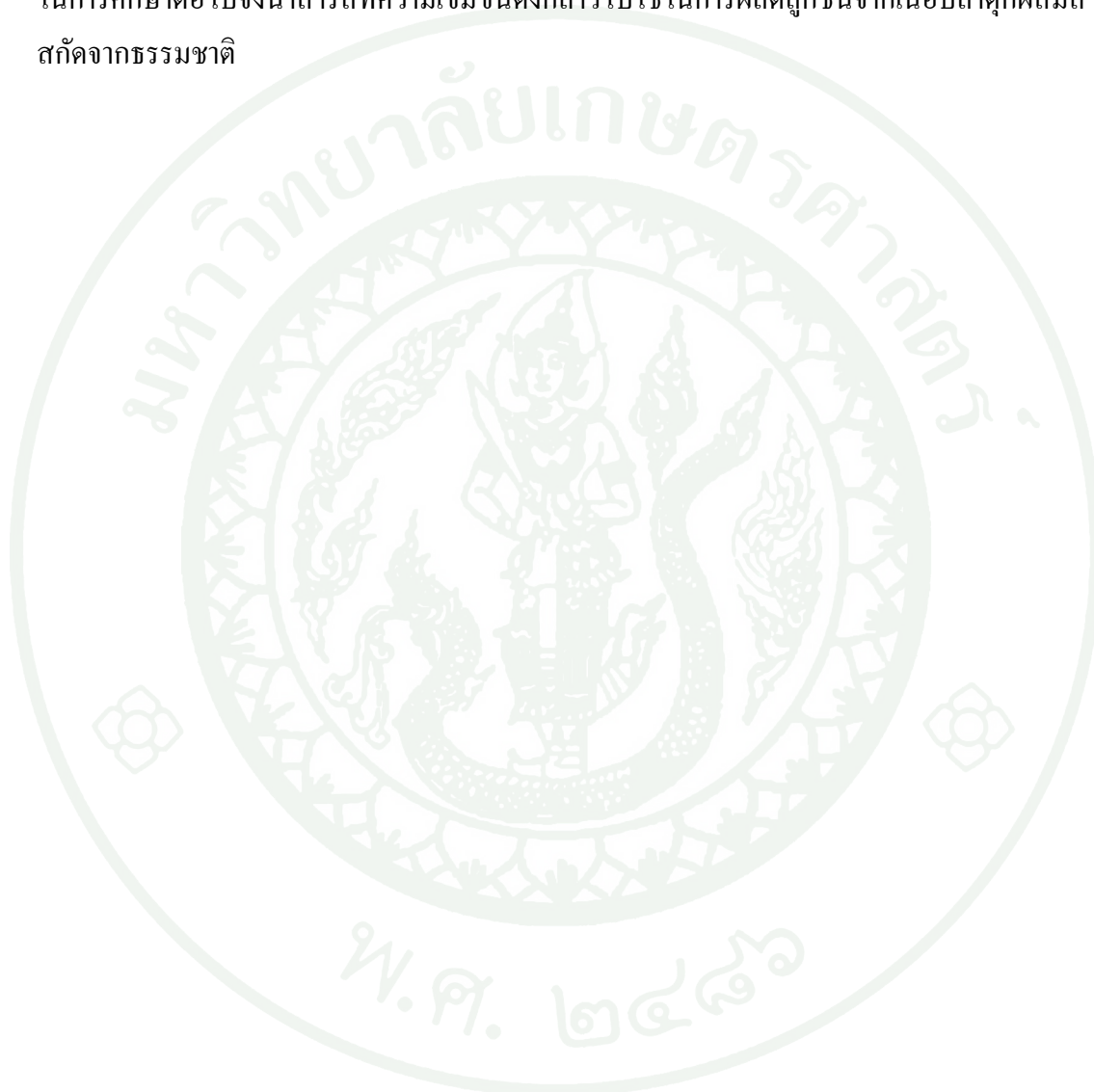
^{a, b, c} ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ลูกชิ้นผสมสีข้าวแดงร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักซูริมิ ได้รับคะแนนความชอบรวม และรสชาติในระดับขอบปานกลาง (ตารางที่ 10) ซึ่งสูงกว่าที่สีร้อยละ 0.5 และ 0.7 ($p < 0.05$) ทั้งนี้ผู้ทดสอบบางคนกล่าวว่า ลูกชิ้นดังกล่าวมีรสขมมากเมื่อเคี้ยวไปนาน ๆ จึงทำให้คะแนนด้านรสชาติที่ความเข้มข้นของสีสูงมีค่าต่ำ ส่วนคะแนนความชอบด้านสีที่สีร้อยละ 0.3 และ 0.5 ได้คะแนนในระดับขอบเล็กน้อย ซึ่งสูงกว่าที่สีร้อยละ 0.7 ($p < 0.05$) โดยที่สีร้อยละ 0.3 มีความเข้มกำลังดี (ตารางที่ 11) ร้อยละ 53.3 ของผู้ทดสอบทั้งหมด ซึ่งสูงกว่าที่สีร้อยละ 0.5 และ 0.7 ที่มีความเข้มกำลังดีร้อยละ 33.3 และ 10 ตามลำดับ ขณะที่สีร้อยละ 0.5 ที่มีความเข้มเกินไปเล็กน้อยร้อยละ 53.3 และที่สีร้อยละ 0.7 ที่มีความเข้มเกินไปมากร้อยละ 66.7 ส่วนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น และเนื้อสัมผัสได้รับคะแนนไม่แตกต่างกันในระดับขอบเล็กน้อยถึงปานกลาง ($p > 0.05$) ผลการสอบถามความเข้มด้านเนื้อสัมผัสพบว่า ที่สีร้อยละ 0.7 มีความเหนียวกำลังดีร้อยละ 56.7 ซึ่งสูงกว่าที่สีร้อยละ 0.5 ที่มีความเข้มกำลังดีร้อยละ 43.3 และที่สีร้อยละ 0.3 มีความเหนียวเกินไปเล็กน้อยร้อยละ 40

ดังนั้นความเข้มข้นของแต่ละสารสีที่เหมาะสม เพื่อนำไปให้สีกับผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่น คือ ผงสีคน้ำ พักทอง และแครอทร้อยละ 1 และข้าวแดงร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักซูริมิ เนื่องจาก

เจลลี่จะน้ำได้รับคะแนนด้านความชอบรวม สี และเนื้อสัมผัสที่สูง เจลลี่ฟักทองมีค่าความเข้มข้น
กำลังดีของสีที่สูงกว่า เจลลี่แครอทได้รับคะแนนด้านความชอบรวม ลักษณะปรากฏ และสีสูงกว่า
ที่ร้อยละ 0.5 ขณะที่ร้อยละ 2 มีสีเข้มเกินไป เจลลี่ข้าวแดงได้รับคะแนนความชอบรวม และ
รสชาติสูงสุด โดยค่าความแข็งแรงเจลที่ความเข้มข้นดังกล่าว มีค่าอยู่ในช่วง 522-602 กรัม.ซม.
ในการศึกษาต่อไปจึงนำสารสีที่ความเข้มข้นดังกล่าวไปใช้ในการผลิตลูกชิ้นจากเนื้อปลาคุณผสมสี
สกัดจากธรรมชาติ



ตารางที่ 11 ระดับความเหมาะสมของคุณลักษณะด้านสี และเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นจากซูริมิผสมสีสกัดจากธรรมชาติที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ

คุณลักษณะ	ลักษณะความเข้ม	ระดับความเหมาะสม (ร้อยละของผู้ทดสอบ)*											
		ลูกชิ้นผสมสีคะน้า			ลูกชิ้นผสมสีฟักทอง			ลูกชิ้นผสมสีแครอท			ลูกชิ้นผสมสีข้าวแดง		
		(ร้อยละของน้ำหนักซูริมิ)			(ร้อยละของน้ำหนักซูริมิ)			(ร้อยละของน้ำหนักซูริมิ)			(ร้อยละของน้ำหนักซูริมิ)		
		0.5	1.0	2.0	0.5	1	2	0.5	1	2	0.3	0.5	0.7
สี	เข้มเกินไปมาก	0.0	0.0	46.7	0.0	6.7	63.3	0.0	0.0	13.3	0.0	0.0	66.7
	เข้มเกินไปเล็กน้อย	0.0	30.0	33.3	6.7	40.0	30.0	0.0	6.7	60.0	0.0	53.3	23.3
	กำลังดี	20.0	60.0	20.0	46.7	53.3	6.7	6.7	63.3	26.7	53.3	33.3	10.0
	อ่อนเกินไปเล็กน้อย	60.0	10.0	0.0	30.0	0.0	0.0	53.3	30.0	0.0	20.0	13.3	0.0
	อ่อนเกินไปมาก	20.0	0.0	0.0	16.7	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	26.7	0.0	0.0
เนื้อสัมผัส	เหนียวเกินไปมาก	10.0	10.0	0.0	23.3	6.7	6.7	26.7	13.3	20.0	26.7	16.7	20.0
	เหนียวเกินไปเล็กน้อย	40.0	10.0	30.0	50.0	43.3	26.7	46.7	40.0	23.3	40.0	40.0	23.3
	กำลังดี	40.0	70.0	40.0	26.7	50.0	60.0	26.7	46.7	56.7	33.3	43.3	56.7
	ละเกินไปเล็กน้อย	10.0	10.0	30.0	0.0	0.0	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	ละเกินไปมาก	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

*จากการประเมินของผู้ทดสอบ 30 คน

3. การสำรวจพฤติกรรมและความต้องการในการบริโภคผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาผสมสีสกัดจากธรรมชาติ

เนื่องจากซูริมมีสีขาวเมื่อนำมาผลิตเป็นลูกชิ้นผสมสีสกัดจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีสว่างสดใส ซึ่งผู้บริโภคอาจให้การยอมรับ แต่ถ้าผลิตลูกชิ้นจากเนื้อปลาที่มีสีคล้ำผสมสีสกัดแล้ว อาจทำให้สีของลูกชิ้น และการยอมรับของผู้บริโภคเปลี่ยนไป จึงได้เลือกใช้เนื้อปลาคูเป็นวัตถุดิบในการผลิตลูกชิ้นปลาผสมสี นอกจากนี้เนื้อปลาคูยังมีปริมาณเนื้อต่อตัว (% yield) ที่สูง และเป็นปลาที่เลี้ยงเพื่อบริโภคอย่างกว้างขวางอีกด้วย เมื่อนำลูกชิ้นจากเนื้อปลาคูผสมผงสีคือน้ำ พักทอง และแครอท ร้อยละ 1 และข้าวแดงร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักปลา ไปสำรวจพฤติกรรม และความต้องการในการบริโภค โดยใช้แบบสอบถามกับผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 200 คน พบว่า ผู้ทดสอบเป็นนักเรียน นิสิต นักศึกษา ร้อยละ 90 กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี (ร้อยละ 70) เป็นเพศหญิง (ร้อยละ 62) อยู่ในกลุ่มอายุ 21-30 ปี (ร้อยละ 90) มีรายได้ต่ำกว่า 5,000 บาท (ร้อยละ 48) ผู้บริโภคร้อยละ 82 เคยรับประทานลูกชิ้นปลา หรือผลิตภัณฑ์จากซูริมที่มีสีมาก่อน ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลา ปู กุ้ง หมึก สาหร่าย และลูกชิ้นรูปการ์ตูน ปู เทียม และเจ้าผู้ปลา ส่วนใหญ่จะรับประทานมากกว่า 1 ครั้งต่อเดือน (ร้อยละ 59) ส่วนทัศนคติของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารที่เดิม **สีสังเคราะห์ผสมอาหาร** พบว่า ผู้ทดสอบไม่เห็นด้วยร้อยละ 68 เพราะคิดว่าสารสีสังเคราะห์ไม่ปลอดภัย อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ส่วนผู้ทดสอบที่เห็นด้วยนั้นให้เหตุผลว่า การใช้สีสังเคราะห์ผสมอาหารนั้นให้สีที่สวยงาม สดใสกับผลิตภัณฑ์ ถ้าหากใช้ในปริมาณที่เหมาะสมถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนด ส่วนอาหารที่เดิม **สีสกัดจากธรรมชาติผสมอาหาร** พบว่าผู้ทดสอบเห็นด้วย ร้อยละ 81 เพราะเชื่อว่าสารสกัดที่ได้จากธรรมชาติมีความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้บริโภค ส่วนที่ไม่เห็นด้วยเป็นเพราะสีสกัดจากธรรมชาติมีสีที่ไม่คงตัว และอาจเป็นอันตรายกับผู้บริโภคได้เช่นกัน

ผลการประเมินความชอบด้วยวิธี 9-point hedonic scale ของลูกชิ้นปลาคูผสมสีทั้ง 4 ชนิด (ตารางที่ 12) พบว่าในกลุ่มผู้ทดสอบที่มีทัศนคติยอมรับ และเห็นด้วยกับผลิตภัณฑ์อาหารที่เดิม **สีสกัดจากธรรมชาติผสมอาหาร** (ร้อยละ 81) ให้คะแนนความชอบด้านความชอบรวม และรสชาติ ลูกชิ้นปลาคูผสมสีคือน้ำ และพักทอง ในระดับชอบปานกลางสูงกว่า ($p>0.05$) ลูกชิ้นสีแครอท และข้าวแดง ซึ่งเป็นเพราะผู้ทดสอบเห็นว่าลูกชิ้นสีแครอทมีกลิ่นรสหวานเล็กน้อย และสีข้าวแดง มีรสขม ส่วนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และสีลูกชิ้นปลาคูผสมสีคือน้ำ พักทอง และแครอท ได้รับคะแนนชอบปานกลาง ($p>0.05$) สูงกว่าลูกชิ้นสีข้าวแดงที่ได้รับคะแนนชอบเล็กน้อย ($p<0.05$) เพราะผู้ทดสอบเห็นว่าสีแดงในลูกชิ้นไม่สม่ำเสมอ ความชอบด้านกลิ่นลูกชิ้นสีพักทอง

ได้คะแนนสูงที่สุดในระดับชอบปานกลาง ส่วนลูกชิ้นสีแครอท และข้าวแดงได้รับคะแนนต่ำที่สุดในระดับชอบเล็กน้อย ($p < 0.05$) เป็นเพราะผู้ทดสอบเห็นว่าลูกชิ้นดังกล่าวมีกลิ่นความมากกว่า และความชอบด้านเนื้อสัมผัสผู้ทดสอบให้คะแนนลูกชิ้นสีกะนํ้า และฟักทองสูงที่สุด ($p > 0.05$) ในระดับชอบปานกลาง ส่วนลูกชิ้นสีแครอทได้คะแนนต่ำสุด ($p < 0.05$) ในระดับชอบเล็กน้อย เนื่องจากผู้ทดสอบเห็นว่าลูกชิ้นสีแครอทมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ละเกินไปไม่เหนียว

ตารางที่ 12 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) และคะแนนการเรียงลำดับความชอบ (ranking) ของลูกชิ้นปลาอุกผสมสีสกัดจากธรรมชาติ

วิธีทดสอบ	คุณลักษณะของลูกชิ้นผสมสี	คะแนนเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
		สีกะนํ้า 1%	สีฟักทอง 1%	สีแครอท 1%	สีข้าวแดง 0.3%
ความชอบ (Hedonic)	ลักษณะปรากฏ	6.65 $\pm$ 1.87 ^a	6.72 $\pm$ 1.30 ^a	6.89 $\pm$ 1.27 ^a	6.17 $\pm$ 1.58 ^b
	สี	6.73 $\pm$ 1.62 ^a	6.67 $\pm$ 1.28 ^a	6.65 $\pm$ 1.34 ^a	6.27 $\pm$ 1.71 ^b
	กลิ่น	6.47 $\pm$ 1.53 ^b	6.68 $\pm$ 1.27 ^a	6.30 $\pm$ 1.33 ^{bc}	6.21 $\pm$ 1.36 ^c
	เนื้อสัมผัส	6.95 $\pm$ 1.20 ^a	6.90 $\pm$ 1.25 ^a	5.54 $\pm$ 1.48 ^b	6.84 $\pm$ 1.44 ^a
	รสชาติ	6.72 $\pm$ 1.46 ^a	6.63 $\pm$ 1.37 ^a	6.11 $\pm$ 1.19 ^c	6.36 $\pm$ 1.64 ^b
	ความชอบรวม	6.94 $\pm$ 1.24 ^a	6.84 $\pm$ 1.09 ^{ab}	6.31 $\pm$ 1.21 ^c	6.62 $\pm$ 1.47 ^b
เรียงลำดับ	ความชอบรวม	2.18 $\pm$ 1.09 ^b	2.40 $\pm$ 0.88 ^b	2.95 $\pm$ 1.14 ^a	2.47 $\pm$ 1.22 ^b
การยอมรับ (%)		80	85	62	76

^{a, b, c} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงว่า ตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการเรียงลำดับด้านความชอบรวมของลูกชิ้นปลาอุกผสมสีสกัดจากธรรมชาติทั้ง 4 ชนิด (ตารางที่ 12) พบว่า ผู้ทดสอบชอบลูกชิ้นปลาอุกผสมสีกะนํ้า ฟักทอง และข้าวแดง ($p > 0.05$) มากกว่าลูกชิ้นปลาอุกผสมสีแครอท ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลของความชอบรวมที่ได้คะแนนต่ำที่สุด และลูกชิ้นสีแครอทได้รับการยอมรับต่ำที่สุดเพียงร้อยละ 62 เป็นเพราะผู้บริโภคเห็นว่า มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ละ และรสชาติที่มีกลิ่นรสคาวกว่าลูกชิ้นสีอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับระดับ

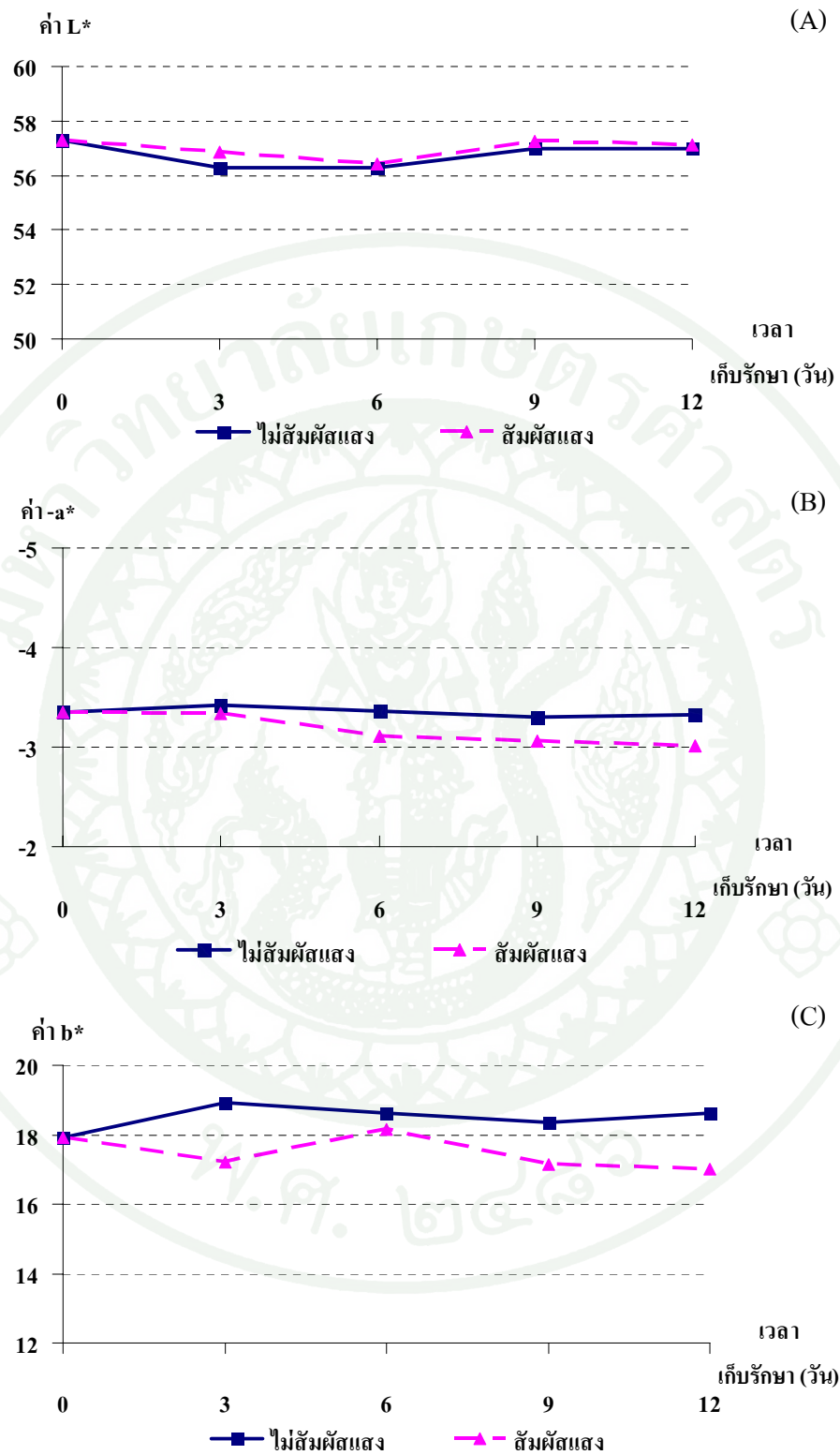
คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และรสชาติที่ต่ำในระดับชอบเล็กน้อย เมื่อพิจารณาถึงคะแนนความชอบรวม และการตัดสินใจยอมรับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงได้คัดเลือกลูกชิ้นผสมสีคะน้า และฟักทองร้อยละ 1 ของน้ำหนักเนื้อปลาไปศึกษาในส่วนต่อไป

4. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาผสมสีสกัดจากธรรมชาติในระหว่างการเก็บรักษา

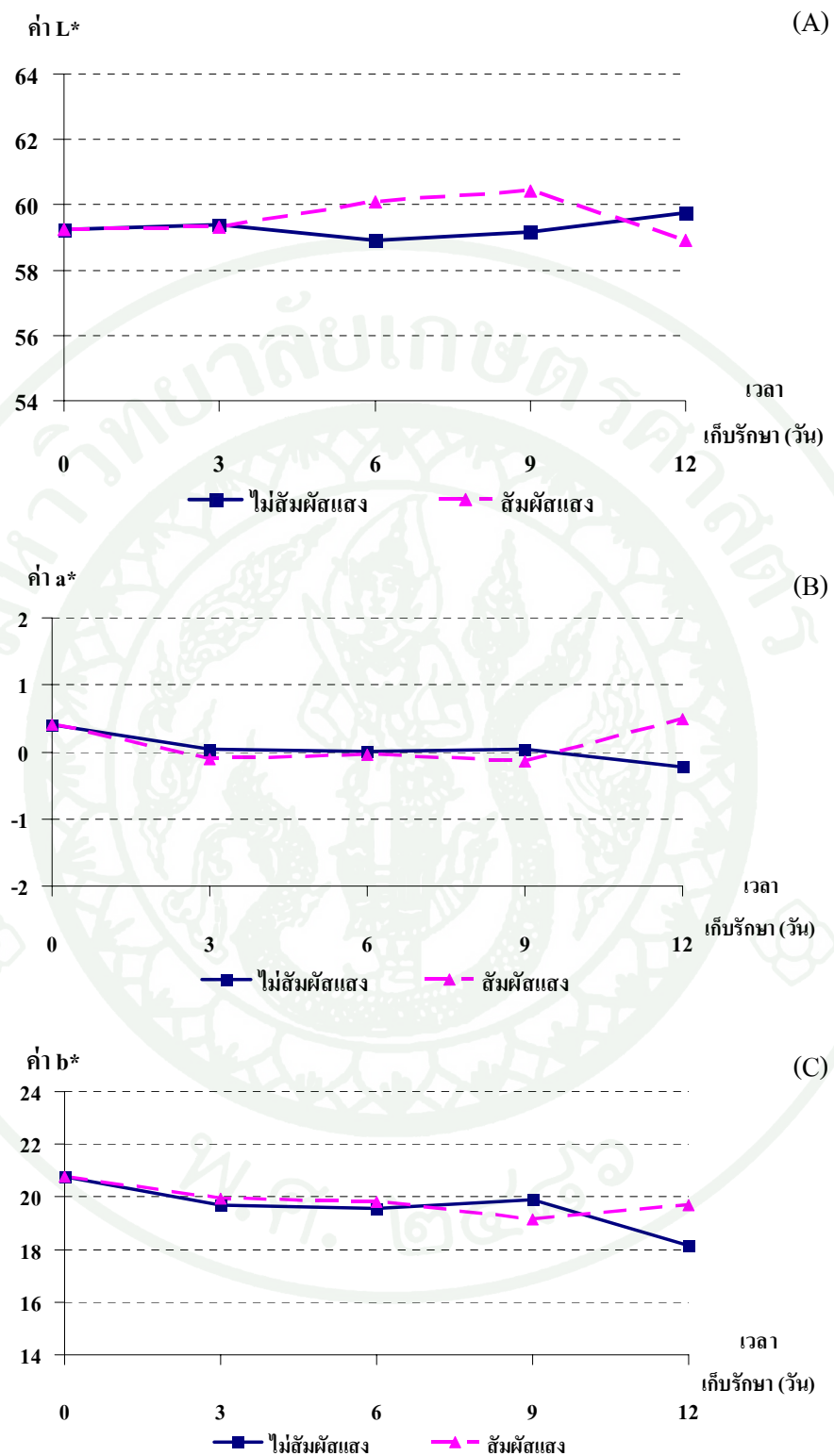
เมื่อผลิตลูกชิ้นปลาคูผสมสีคะน้า และฟักทองร้อยละ 1 ของน้ำหนักเนื้อปลา มาทดสอบเปรียบเทียบสภาวะการเก็บรักษา 2 สภาวะ คือ วางลูกชิ้นปลาให้สัมผัสแสง และเก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และวางลูกชิ้นปลาในน้ำแข็งไม่สัมผัสแสง และเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสมสำหรับลูกชิ้นปลา (สภาวะควบคุม) สุ่มตัวอย่างลูกชิ้นมาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในด้านสี จำนวนจุลินทรีย์ ทุก ๆ 3 วันของการเก็บรักษา และประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส โดยเริ่มจากวันที่ 6 ของการเก็บรักษา เป็นเวลา 12 วัน แสดงผลดังนี้

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สภาวะการเก็บรักษา และระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีปฏิภาคสัมพันธ์ต่อค่า L^* , a^* และ b^* ของลูกชิ้นปลาคูผสมสีคะน้า ($p>0.05$) (ภาพที่ 7) เมื่อพิจารณาถึงผลของสภาวะการเก็บรักษา พบว่าเมื่อเก็บรักษานานขึ้นถึงวันที่ 12 ลูกชิ้นปลาสีคะน้าที่สัมผัสแสงมีค่าโทนสีเขียว ($-a^*$) และ b^* น้อยกว่าลูกชิ้นที่ไม่สัมผัสแสง ($p<0.05$) จึงมองเห็นลูกชิ้นมีสีเขียวชืด ดังนั้นแสงจึงมีผลต่อการลดลงในเอกลักษณ์ของสีเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน ซึ่งการซีดลงของสีลูกชิ้นปลาที่สังเกตเห็นเป็นเพราะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยแสง (Skibsted, 1992) โดยแสงทำปฏิกิริยากับออกซิเจนบริเวณผิวหนังนอกของผลิตภัณฑ์ จึงทำให้เกิดการสูญเสียเอกลักษณ์ของสี (Andersen *et al.*, 1988)

สภาวะการเก็บรักษา และระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสี L^* , a^* และ b^* ของลูกชิ้นปลาคูผสมสีฟักทอง ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 8) แต่มีแนวโน้มของโทนสีเหลืองลดลงจากการสังเกตด้วยสายตา



ภาพที่ 7 ค่าสีของลูกชิ้นปลาอุกผสมสีคะน้าระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส;
ค่า L^* (A), ค่า a^* (B) และ ค่า b^* (C)



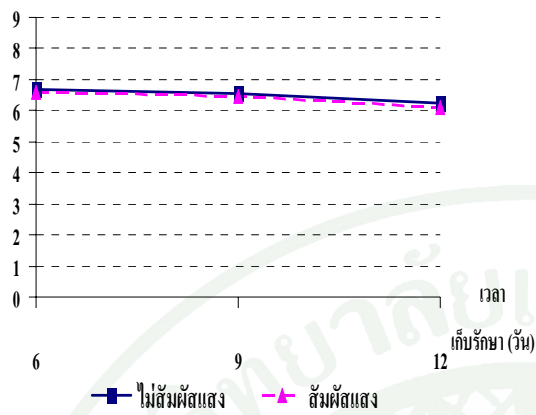
ภาพที่ 8 ค่าสีของลูกชิ้นปลาตุ๋นผสมสีฟักทองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส;
ค่า L^* (A), ค่า a^* (B) และ ค่า b^* (C)

ภาพที่ 9 และภาพที่ 10 แสดงผลการทดสอบความชอบของลูกชิ้นปลาผสมสีคะน้ำ และฟักทองระหว่างการเก็บรักษา ตามลำดับ พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และสีของลูกชิ้นปลาผสมสีคะน้ำ (ภาพที่ 9A, 9B) และมีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏของลูกชิ้นปลาผสมสีฟักทอง ($p < 0.05$) โดยมีคะแนนเฉลี่ยความชอบลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น แต่สภาวะการเก็บรักษาทั้งสัมผัส/ไม่สัมผัสแสง ไม่มีผลต่อคะแนนเฉลี่ยความชอบด้านดังกล่าว ($p > 0.05$) ส่วนคุณภาพด้านสีของลูกชิ้นปลาสีฟักทอง พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษา และสภาวะการเก็บรักษาไม่มีผลต่อคะแนนความชอบ ($p < 0.05$)

สภาวะการเก็บรักษา และระยะเวลาการเก็บรักษามีปฏิภาคนัยสัมพันธ์ต่อคะแนนเฉลี่ยความชอบคุณลักษณะด้านกลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบรวม ($p < 0.05$) ของลูกชิ้นปลาผสมสีคะน้ำ (ภาพที่ 9) และฟักทอง (ภาพที่ 10) โดยที่คะแนนเฉลี่ยความชอบคุณลักษณะดังกล่าวในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาลูกชิ้นสีคะน้ำ และฟักทองไม่สัมผัสแสง (ควบคุม) อยู่ที่ระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง ซึ่งสูงกว่าลูกชิ้นปลาสัมผัสแสงที่มีคะแนนเฉลี่ยความชอบในระดับไม่ชอบมากที่สุดถึงไม่ชอบปานกลาง ($p < 0.05$) สาเหตุที่คะแนนความชอบต่ำ เป็นเพราะผู้ทดสอบพบว่าลูกชิ้นปลามีกลิ่นเหม็นหืน หรือกลิ่นผิดปกติ ทำให้ไม่กล้าทดสอบผลิตภัณฑ์ จึงให้คะแนนความชอบในระดับต่ำกว่า 4 คะแนน คือ ไม่ชอบผลิตภัณฑ์เล็กน้อยถึงไม่ชอบมากที่สุด เมื่อพิจารณาอิทธิพลของระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่าลูกชิ้นปลาสีคะน้ำ และฟักทองชุดควบคุมมีแนวโน้มคะแนนความชอบด้านกลิ่น เนื้อสัมผัส และรสชาติลดลง และต่ำที่สุดในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาในระดับชอบเล็กน้อย ($p < 0.05$) แต่ด้านความชอบรวมได้รับคะแนนแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ($p > 0.05$) และลูกชิ้นปลาทั้ง 2 สีที่สัมผัสแสงมีคะแนนความชอบด้านกลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบรวมลดลงจากระดับชอบปานกลางในวันที่ 6 เป็นไม่ชอบมากที่สุดในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ($p < 0.05$)

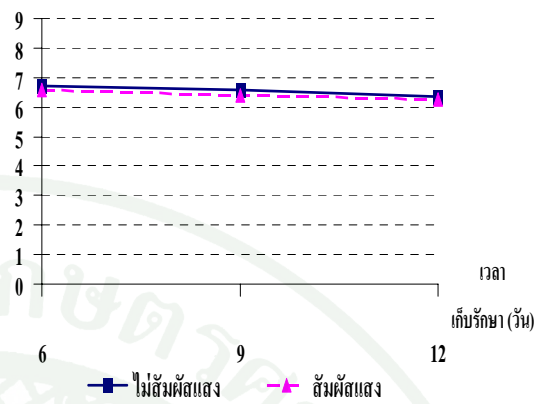
คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ

(A)



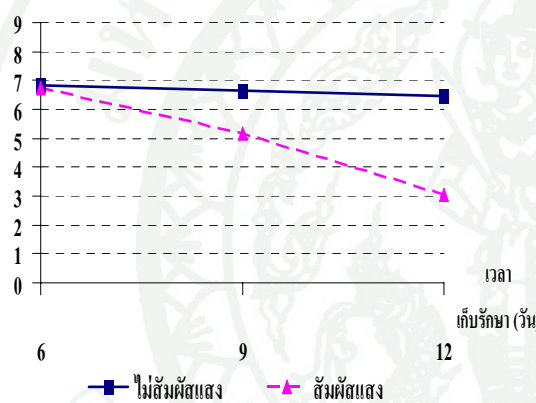
คะแนนความชอบด้านสี

(B)



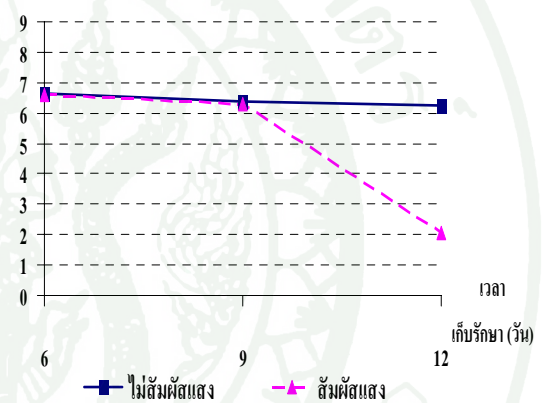
คะแนนความชอบด้านกลิ่น

(C)



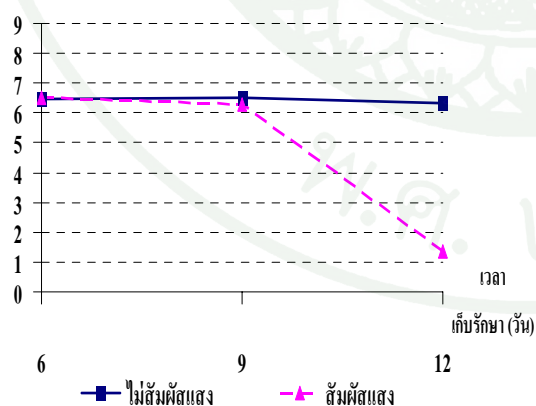
คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส

(D)



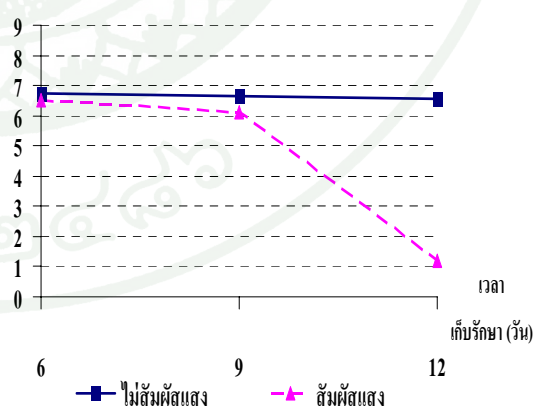
คะแนนความชอบด้านรสชาติ

(E)

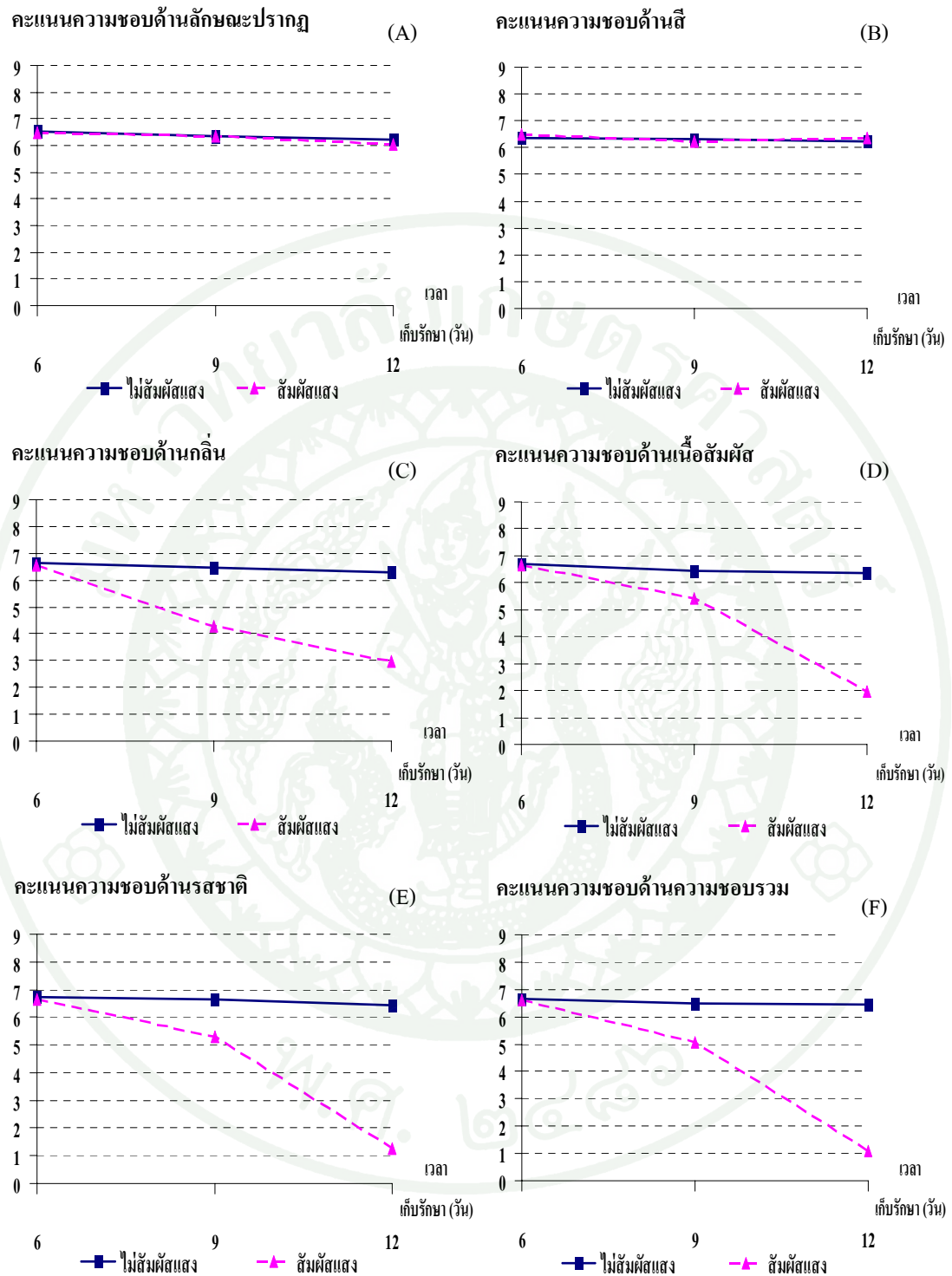


คะแนนความชอบด้านความชอบรวม

(F)



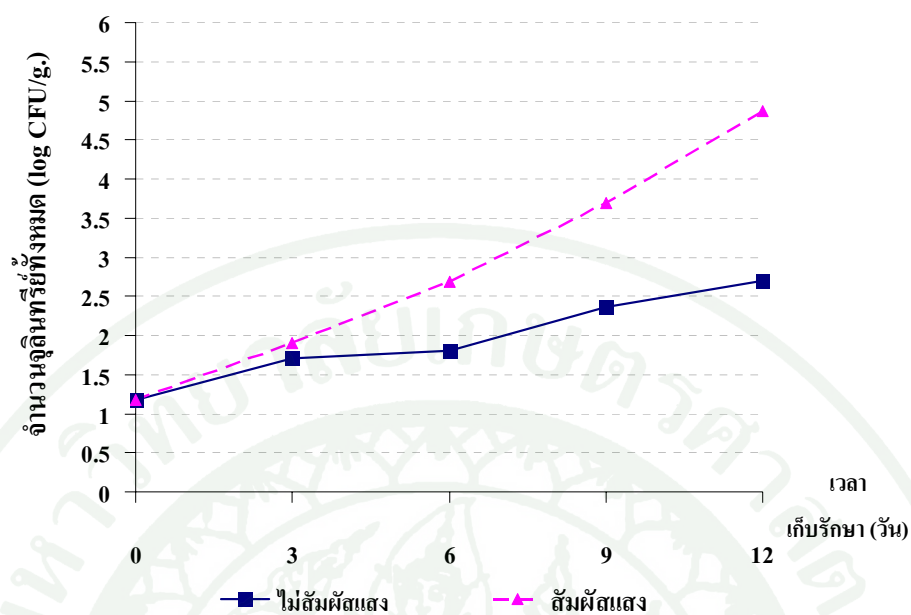
ภาพที่ 9 คะแนนความชอบของลูกชิ้นปลาคุณภาพสมสีคนำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส; ด้านลักษณะปรากฏ (A), สี (B), กลิ่น (C), เนื้อสัมผัส (D), รสชาติ (E) และความชอบรวม (F)



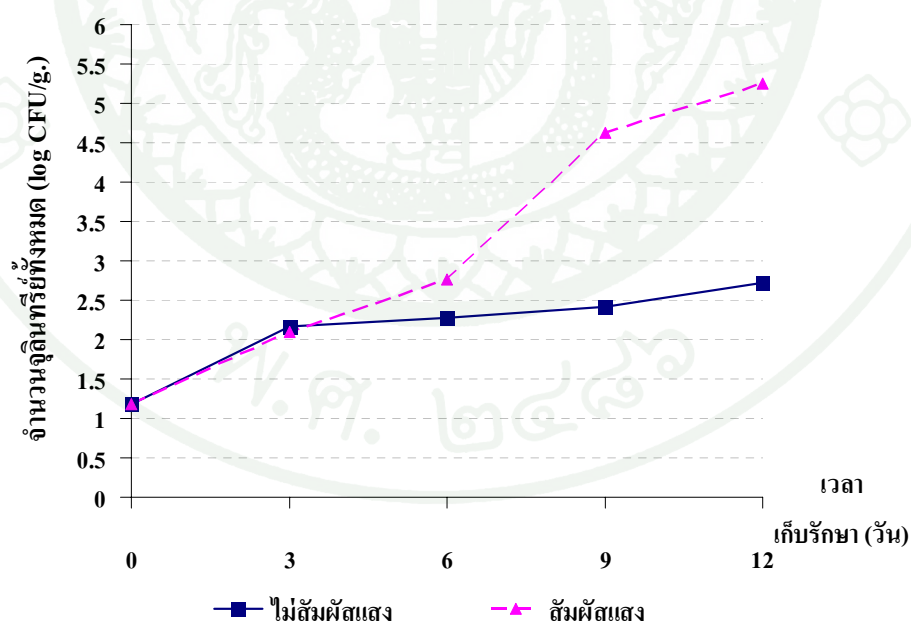
ภาพที่ 10 คะแนนความชอบของลูกชิ้นปลาคูผสมสีฟักทองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส; ด้านลักษณะปรากฏ (A), สี (B), กลิ่น (C), เนื้อสัมผัส (D), รสชาติ (E) และความชอบรวม (F)

จากการตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยาของลูกชิ้นปลาคุณภาพผสมสีคะน้ำ (ภาพที่ 11) และ ฟักทอง (ภาพที่ 12) พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษา และสถานะการเก็บรักษามีปฏิภาคสัมพันธ์ต่อ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์ เมื่อเก็บรักษานานขึ้น ($p < 0.05$) และลูกชิ้นปลาที่สัมผัสแสงมีอัตราการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ตั้งแต่วันที่ 6 มากกว่า ลูกชิ้นปลาควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา 12 วัน ($p < 0.05$) โดยลูกชิ้นชุดควบคุมทั้ง 2 สีมีจำนวน จุลินทรีย์เล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาอยู่ในช่วง 1.70-2.72 log CFU/g ซึ่งเป็นจำนวนที่ ไม่เกินเกณฑ์กำหนด เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนลูกชิ้นปลา มพช. 328/2547 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) ที่กำหนดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไว้ ต้องไม่ เกิน 1×10^4 CFU/g หรือน้อยกว่า 4 log CFU/g ส่วนลูกชิ้นปลาทั้ง 2 สีที่สัมผัสแสง พบปริมาณ จุลินทรีย์เล็กน้อยในวันแรกถึงวันที่ 6 (1.18-2.76 log CFU/g) หลังจากนั้นพบมากขึ้น โดยลูกชิ้นสี คะน้ำตรวจพบ 3.69 log CFU/g ในวันที่ 9 และ 4.87 log CFU/g ในวันที่ 12 ซึ่งเป็นจำนวนที่ไม่ สามารถยอมรับได้ ส่วนลูกชิ้นสีฟักทองตรวจพบจำนวนเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานวันที่ 9 และ 12 ของการเก็บรักษา (4.63-5.25 log CFU/g)

จากการที่ลูกชิ้นชุดควบคุมมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์เพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจาก อุณหภูมิในการเก็บรักษาในน้ำแข็งสม่ำเสมอ และอุณหภูมิต่ำใกล้เคียง 0 องศาเซลเซียส ขณะที่การ เพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์ในลูกชิ้นที่สัมผัสแสงมากกว่าลูกชิ้นชุดควบคุมตลอดการเก็บรักษานั้น เป็นเพราะว่าแสงทำให้อุณหภูมิของตู้เย็นบริเวณใกล้ประตูกระจกที่รับแสงไม่คงที่ และสูงขึ้น (สูงกว่า 4 องศาเซลเซียส) จึงทำให้จุลินทรีย์ในลูกชิ้นที่สัมผัสแสงเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว ซึ่ง สอดคล้องกับรายงานของ Borch *et al.* (1996) โดยพบว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เนื้อบดที่อุณหภูมิ คงที่ 4 องศาเซลเซียส มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และจุลินทรีย์กลุ่ม psychrotrophic bacteria ต่ำกว่า ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาอุณหภูมิต่ำแต่ไม่คงที่ (3-7 องศาเซลเซียส) ตลอดการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ ดังนั้นลูกชิ้นปลาคุณภาพผสมสีสกัดจากธรรมชาติเก็บรักษาที่สถานะสัมผัสแสงมีอายุการเก็บรักษาไม่ เกิน 9 วัน ส่วนลูกชิ้นปลาที่สถานะไม่สัมผัสแสงมีอายุการเก็บรักษามากกว่า 12 วัน



ภาพที่ 11 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของลูกขึ้นปลาดุกผสมสีค่อน้ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตั้งที่ 4 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 12 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของลูกขึ้นปลาดุกผสมสีฟักทองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตั้งที่ 4 องศาเซลเซียส

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. วัตถุประสงค์จากธรรมชาติทั้งหมด 13 ชนิด ในกลุ่มสีเขียว เหลืองหรือส้ม แดง และน้ำเงิน พบว่าวัตถุประสงค์ส่วนใหญ่เหมาะสมสกัดสีด้วยการปั่นผสมกับน้ำ ยกเว้นข้าวแดงในกลุ่มสีแดง สกัดสารสีด้วยแอลกอฮอล์ ส่วนดอกคำฝอยแห้งในกลุ่มสีเหลืองหรือส้ม และดอกกระเจียวแห้งในกลุ่มสีแดงสกัดด้วยการต้มกับน้ำ

2. น้ำสี หรือสารสีสกัดทั้งหมด มีค่า pH อยู่ระหว่าง 2.00-7.11 เมื่อผสมน้ำสี หรือสารสีสกัดกับซูริมิ พบว่า ซูริมิผสมน้ำสีดอกคำฝอย หัวบีท อัญชัน และกะหล่ำปลีม่วงเกิดการ bleeding ส่วนที่ไม่เกิด bleeding ได้แก่ ซูริมิผสมน้ำสีคะน้า ใบเตย สาหร่ายผักกาด ใบบัวบก ขมิ้นชัน พักทอง แครอท และสารสีสกัดข้าวแดง แต่เจลซูริมิผสมน้ำสีใบเตย สาหร่ายผักกาด และใบบัวบก ไม่มีเสถียรภาพหลังการต้ม เมื่อนำน้ำสีคะน้า พักทอง แครอท และข้าวแดงไปอบแห้งแบบถาด การอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ทำให้ผงสีหลังละลายคงเอกลักษณ์ของสี และมีร้อยละการละลายมากกว่าผงสีอบแห้งที่ 80 องศาเซลเซียส

3. การผสมผงสีคะน้า พักทอง และแครอท (ร้อยละ 0.5, 1 และ 2) และข้าวแดง (ร้อยละ 0.3, 0.5 และ 0.7) ในเจลซูริมิ ทำให้ค่า L^* และความแข็งแรงเจลลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นสีจากข้าวแดงทั้ง 3 ระดับมีค่าความแข็งแรงเจลไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เนื่องจากใช้ในปริมาณน้อย จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่าปริมาณของสารให้สีที่เหมาะสม คือ ผงสีคะน้า พักทอง และแครอทที่ร้อยละ 1 และสีข้าวแดงที่ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักซูริมิ โดยมีความชอบรวมในระดับชอบปานกลาง

4. การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค 162 คน ผู้บริโภคให้ความชอบรวมลูกชิ้นปลาผสมสีสกัดทั้ง 4 สี ในระดับชอบปานกลาง ($p>0.05$) โดยให้การยอมรับลูกชิ้นปลาผสมสีพักทอง คะน้า ข้าวแดง และแครอท ร้อยละ 85, 80, 76 และ 62 ตามลำดับ

5. สถานะการเก็บรักษาลูกชิ้นปลาผสมสีคะน้า และพักทองแบบไม่สัมผัสแสงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส คงเอกลักษณ์ของสีได้ดีกว่าลูกชิ้นที่สัมผัสแสง เมื่อสังเกตด้วยสายตา และได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบรวมสูงกว่าลูกชิ้นที่สัมผัสแสง

($p < 0.05$) และมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าลูกชิ้นที่สัมผัสแสง ($p < 0.05$) เมื่อเก็บรักษานานขึ้นเป็นเวลา 12 วัน



ข้อเสนอแนะ

1. การเก็บรักษาผงสีควรเก็บในภาชนะปิดสนิทที่บรรจุสารดูดความชื้น (silica gel) ทันทีหลังนำออกจากตู้อบลมร้อน เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และป้องกันไม่ให้ผงสีดูดความชื้นกลับ
2. ในการผลิตเชิงการค้า ควรศึกษาเทคนิคการอบแห้งผงสีที่มีประสิทธิภาพสูง เช่นวิธี spray drying และศึกษาสารเสริมที่เหมาะสมในการผสมกับสารสี เพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ให้ดีขึ้น เช่นการติดสี การละลายของสี เป็นต้น
3. การศึกษาผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงของสีลูกชิ้นปลา ควรใช้ผลิตภัณฑ์จากเนื้อปลาที่มีสีขาวเป็นวัตถุดิบในการผลิตลูกชิ้นปลา เพราะอาจช่วยให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของสีได้ชัดเจนขึ้น
4. ในการศึกษาผลของแสงต่อคุณภาพของลูกชิ้นปลาผสมสีสกัดจากธรรมชาติควรควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาให้คงที่ เพราะจะช่วยให้เห็นผลของสภาวะการเก็บรักษาแบบสัมผัส และไม่สัมผัสแสงได้ชัดเจนยิ่งขึ้น
5. ควรศึกษาเปรียบเทียบผลของ pH ของสีที่มีต่อคุณภาพของเจลโปรตีนปลา

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

เนื่อทอง วานานุวัช และ สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2523. วัตถุเจือปนในอาหาร. คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิธิยา รัตนานพนธ์. 2545. เคมีอาหาร. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. 2536. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. 2541. การตรวจสอบคุณภาพซูริมิ. กรมประมง,
กรุงเทพฯ.

สุทธวัฒน์ เบญจกุล. 2549. ซูริมิ: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเนื้อปลาสด. พิมพ์ครั้งที่ 1.
สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2522. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข. ฉบับที่ 21. การ
กำหนดสีผสมอาหารเป็นอาหารควบคุมเฉพาะ และกำหนดคุณภาพ หรือ มาตรฐานการใช้
การผสม และฉลาก. กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มพข. 328/2547.
ลูกชิ้นปลา. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

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

Andersen, H.J., G. Bertelsen, L. Bøgh-Sørensen, C.K. Shek and L.H. Skibsted. 1988. Effect of
light and packaging conditions on the colour stability of sliced ham. **Meat Sci.** 22: 92-
283.

- Autio, K., M. Keeisvaara and K. Polvinen. 1989. Heat-induced gelation of minced rainbow trout (*Salmo gairdneri*): effect of pH, sodium chloride and setting. **J. Food Sci.** 55: 711-716.
- Borch, E., M. Kant-Muemans and Y. Blixt. 1996. Bacterial spoilage of meat and cured meat products. **Int. J. Food Microbiol.** 33: 103-120.
- Codex Alimentarius Commission. 2010. **Food Additives**. Available Source: <http://www.codexalimentarius.net/gsfaonline/additives/results.html?techFunction=9&searchBy=tf>, April 8, 2011.
- Gonzalez, E.A., E.M. Garcia and M.A. Nazareno. 2010. Free radical scavenging capacity and antioxidant activity of cochineal (*Dactylopius coccus* C.) extracts. **Food Chem.** 119: 358-362.
- Jung, H., C. Kim, K. Kim and C.S. Shin. 2003. Color characteristics of Monascus pigments derived by fermentation with various amino acids. **J. Agric. Food Chem.** 51: 1302-1306.
- Lanier, T.C. 2000. Surimi Gelation Chemistry, pp. 237-265. In J. W. Park Jr., eds. **Surimi and Surimi Seafood**. New York, Marcel Dekker, Inc.
- Lauro, G.J. 2000. Natural colorants for surimi seafood, pp. 425-427. In J. W. Park Jr., eds. **Surimi and Surimi Seafood**. New York, Marcel Dekker, Inc.
- Lee, C.M. 1984. Surimi process technology. **Food Technol.** 44: 1615-1618.
- Lee, Y.L., J.H. Yang and J.L. Mau. 2009. Antioxidant properties of ethanolic and methanolic extracts from *monascus*-fermented soybeans. **J. Food Biochem.** 33: 707-727.

Liu, D.C., S.W. Wu and F.J. Tan. 2010. Effects of addition of angka rice on the qualities of low - nitrite Chinese sausages. **Food Chem.** 118: 245-250.

MFRD (Marine Fisheries Research Department). 1987a. **Handbook on Processing of Frozen Surimi and Fish Jelly Products in Southeast Asia.** SEAFDEC, Singapore.

_____. 1987b. **Laboratory Manual on Analytical Methods and Procedures for Fish and Fish Products.** SEAFDEC, Singapore.

Montejano, J.G., D.D. Hamann and T.C. Lanier. 1984. Thermally induced gelation of selected comminuted muscle system rheological changes during processing, final strength and microstructure. **J. Food Sci.** 49: 1496-1500.

Mortensen, A. 2006. Carotenoids and other pigments as natural colorants. **Pure Appl. Chem.** 78: 1477-1491.

Motohiro, T. 1981. General aspect of processing marine food, *In* T. Motohiro, H. Kadota, K. Hashimoto, M. Kayama and T. Tokunaga Jr., eds. **Science of Processing Marine Food Products vol. II.** Kanagawa International Fisheries Training Center, Japan International Cooperation Agency, Japan.

Ni, S., H. Nozawa and N. Seki. 2001. Effect of pH on the gelation of walleye pollack surimi and carp actomyosin pastes. **Fisheries Sci.** 67: 920-927.

Niwa, E., Y. Matsubara and I. Hamada. 1982. Hydrogen and other polar bonding in fish flesh gel and setting gel. **Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.** 48: 667-670.

Østerlie, M. and J. Lerfall. 2005. Lycopene from tomato products added minced meat: Effect on storage quality and colour. **Food Res. Int.** 38: 925-929.

- Pan, X.Q., H. Ushio and T. Ohshima. 2005. Effects of food colorants on photooxidation of lipids added to Alaska Pollack *Theragra chalcogramma* surimi. **Fisheries Sci.** 71: 397-404.
- Patil, G., M.C. Madhusudhan, B. Ravindra Babu and K.S.M.S. Raghavarao. 2008. Extraction, dealcoholization and concentration of anthocyanin from red radish. **Chem. Eng. Process.** 48: 364-369.
- Poowakanjana, S. and J.W. Park. 2009. Controlling the bleeding of carmine colorant in crabstick. **J. Food Sci.** 74: 707-712.
- Ramesh, M.N., W. Wolf, D. Tevini and A. Bogner. 2002. Microwave blanching of vegetables. **J. Food Sci.** 67: 390-398.
- Shie, J. S. and J. W. Park. 1999. Physical characteristics of surimi seafood as affected by thermal processing conditions. **J. Food Sci.** 64: 287-290.
- Shimizu, Y. 1975. Technology of kamaboko. **Sci. of Cookery.** 8: 184.
- Shivhare, U.S., M. Gupta, S. Basu and G.S.V. Raghavan. 2009. Optimization of blanching process for carrots. **J. Food Process Eng.** 32: 587-605.
- Skibsted, L.H. 1992. Cured meat products and their oxidative stability, pp. 266-86. *In* D.A. Ledward, D.E. Johnson and M. Knight Jr., eds. **The Chemistry of Muscle-based Foods.** Royal Society of Chemistry, London.
- Suzuki, T. 1981. **Fish and Krill Protein Processing Technology.** Applied Science Publ, London.

Takeda, H. and N. Seki. 1996. Enzyme-catalyzed cross-linking and degradation of myosin heavy chain in walleye pollack surimi paste during setting. **Fisheries Sci.** 62: 462-467.

Tseng, Y.H., J.H. Yang, H.L. Chang, Y.L. Lee and J.L. Mau. 2006. Antioxidant properties of methanolic extracts from monaschal adlay. **Food Chem.** 97: 375-381.

Wan, J., I. Kimura and M. Satake. 1995. Causes of inferior gel-forming ability of salmon surimi paste. **Fisheries Sci.** 61: 711-715.

Yang, J.H., Y.H. Tseng, Y.L. Lee and J.L. Mau. 2006. Antioxidant properties of methanolic extracts from monaschal rice. **LWT.** 39: 740-747.





แบบสอบถามที่ใช้ในงานวิจัย

ภาคผนวก ก1 แบบสอบถามพฤติกรรม และความต้องการในการบริโภคผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นจากซูริมิ
ผสมสีสกัดจากธรรมชาติ

แบบสอบถาม

เรียน	ผู้ตอบแบบสอบถาม
เรื่อง	การสำรวจพฤติกรรม และความต้องการในการบริโภคผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นจากซูริมิ ผสมสีสกัดจากธรรมชาติ
คำชี้แจง	แบบสอบถามชุดนี้เป็นงานสำรวจพฤติกรรม ทศนคติ และความต้องการของ ผู้บริโภคในการบริโภคผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นจากซูริมิผสมสีสกัดจากธรรมชาติเพื่อ ประกอบการทำวิทยานิพนธ์ของนายพฤษภ์ ประเสริฐกุล นิสิตปริญญาโท ภาควิชา ผลิตภัณฑ์ประมง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ข้อมูลที่ท่านกรุณา ตอบมาจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อแนวทางในการดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ และจะไม่มีผลใด ๆ ต่อผู้ตอบทั้งสิ้น
คำอธิบาย	ลูกชิ้นมีสี คือ ลูกชิ้นที่มีการผสมสีแต่งอาหารซึ่งอาจได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี หรือได้จากสีสกัดจากธรรมชาติ (ไม่ใช่สีจากเนื้อสัตว์ที่นำมาผสมรวมกับเนื้อปลา)

ขอขอบพระคุณในความร่วมมือ
ผู้ทำวิจัย

คำแนะนำ กรุณาทำเครื่องหมาย / ลงใน () หน้าคำตอบที่ท่านเห็นว่าเหมาะสม และตรงกับความคิด
ของท่านมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ
☐ ชาย ☐ หญิง
2. อายุ
☐ ต่ำกว่า 10 ปี ☐ 11-20 ปี ☐ 21-30 ปี ☐ 31-40 ปี ☐ 41-50 ปี
☐ 51-60 ปี ☐ 60 ปีขึ้นไป
3. ระดับการศึกษา
☐ ประถมศึกษา ☐ มัธยมศึกษา ☐ ปริญญาตรี
☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก ☐ อื่นๆ ()
4. อาชีพ
☐ นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา ☐ รับราชการ ☐ พนักงานบริษัท
☐ รัฐวิสาหกิจ ☐ อื่นๆ ()
5. รายได้ต่อเดือน
☐ ต่ำกว่า 5,000 บาท ☐ 5,000-10,000 บาท ☐ 10,000-20,000 บาท
☐ 20,000-30,000 บาท ☐ มากกว่า 30,000 บาท

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเชิงพฤติกรรมของผู้ตอบแบบสอบถาม

6. ท่านเคยรับประทานลูกชิ้นปลาหรือผลิตภัณฑ์จากซูริมีที่มีสีมาก่อนหรือไม่
☐ เคย ได้แก่ผลิตภัณฑ์ใดบ้าง _____
☐ ไม่เคย
7. ความถี่โดยเฉลี่ย
☐ น้อยกว่า 1 ครั้งต่อเดือน ☐ มากกว่า 1 ครั้งต่อเดือน
8. ท่านมีความรู้สึกอย่างไรต่อผลิตภัณฑ์อาหารที่เติมสีสังเคราะห์ผสมอาหาร
☐ ชอบ เพราะ _____
☐ ไม่ชอบ เพราะ _____

9. ท่านมีความรู้สึกอย่างไรต่อผลิตภัณฑ์อาหารที่เดิมสีกัดจากธรรมชาติผสมอาหาร

() ชอบ เพราะ _____

() ไม่ชอบ เพราะ _____

ส่วนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์

แบบทดสอบความรู้สึกลักษณะสีของลูกชิ้นจากซูริมิผสมสีกัดจากธรรมชาติ

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

คำชี้แจง พิจารณาลักษณะสีของลูกชิ้นทีละตัวอย่าง แล้วตอบคำถามโดยการทำเครื่องหมาย / ในช่องที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

คุณลักษณะด้านสี	ลูกชิ้นจากซูริมิผสมสีกัดจากธรรมชาติ							
	รหัสตัวอย่าง							
เข้มเกินไปมาก								
เข้มเกินไปเล็กน้อย								
กำลังดี								
อ่อนเกินไปเล็กน้อย								
อ่อนเกินไปมาก								

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

.....

แบบทดสอบความรู้สึกลักษณะนิสัยของลูกชิ้นจากซูริมิผสมสีสกัดจากธรรมชาติ

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

คำชี้แจง พิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นทีละตัวอย่าง แล้วตอบคำถามโดยการทำเครื่องหมาย / ในช่องที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

คุณลักษณะ ด้านเนื้อสัมผัส	ลูกชิ้นผสมสีสกัดจากธรรมชาติ							
	รหัสตัวอย่าง							
เหนียวเกินไปมาก								
เหนียวเกินไปเล็กน้อย								
กำลังดี								
และเกินไปเล็กน้อย								
และเกินไปมาก								

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

.....

ใบรายงานผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสแบบ Hedonic – 9 Scale Test

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นจากซูริมิผสมสีสกัดจากธรรมชาติ

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

คำชี้แจง

- ล้างบ้วนปากด้วยน้ำเปล่าที่จัดไว้ ก่อนการทดสอบตัวอย่างทุกครั้ง
- อย่ากลืนน้ำเปล่า ส่วนตัวอย่างอาจกลืนได้หลังการประเมิน
- ให้ทดสอบตัวอย่างทีละตัวอย่างที่จัดเตรียมไว้ โดยประเมินระดับความชอบในแต่ละคุณลักษณะ
- ใส่คะแนนให้สอดคล้องกับระดับความชอบที่ประเมินได้ โดยใช้ระดับคะแนน 9 แต้ม

9 = ชอบมากที่สุด	8 = ชอบมาก	7 = ชอบปานกลาง
6 = ชอบเล็กน้อย	5 = เฉยๆ	4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
3 = ไม่ชอบปานกลาง	2 = ไม่ชอบมาก	1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ ที่ประเมิน	รหัสตัวอย่าง							
ลักษณะปรากฏ								
สี								
กลิ่น								
เนื้อสัมผัส								
รสชาติ								
ความชอบรวม								

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

.....

**ภาคผนวก ก2 แบบสอบถามพฤติกรรมและความต้องการในการบริโภคผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาผสม
สีสกัดจากธรรมชาติ**

แบบสอบถาม

เขียน	ผู้ตอบแบบสอบถาม
เรื่อง	การสำรวจพฤติกรรม และความต้องการในการบริโภคผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาผสม สีสกัดจากธรรมชาติ
คำชี้แจง	แบบสอบถามชุดนี้เป็นงานสำรวจพฤติกรรม ทักษะ และความต้องการของ ผู้บริโภคในการบริโภคผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นปลาผสมสีสกัดจากธรรมชาติเพื่อ ประกอบการทำวิทยานิพนธ์ของนายพฤษ์ ประเสริฐกุล นิสิตปริญญาโท ภาควิชา ผลิตภัณฑ์ประมง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ข้อมูลที่ท่านกรุณา ตอบมาจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อแนวทางในการดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ และจะไม่มีผลใด ๆ ต่อผู้ตอบทั้งสิ้น
คำอธิบาย	ลูกชิ้นมีสี คือ ลูกชิ้นที่มีการผสมสีแต่งอาหารซึ่งอาจได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี หรือได้จากสีสกัดจากธรรมชาติ (ไม่ใช่สีจากเนื้อสัตว์ที่นำมาผสมรวมกับเนื้อปลา)

ขอขอบพระคุณในความร่วมมือ
ผู้ทำวิจัย

คำแนะนำ กรุณาทำเครื่องหมาย / ลงใน () หน้าคำตอบที่ท่านเห็นว่าเหมาะสม และตรงกับความคิด
ของท่านมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ
() ชาย () หญิง
2. อายุ
() ต่ำกว่า 10 ปี () 11-20 ปี () 21-30 ปี () 31-40 ปี () 41-50 ปี
() 51-60 ปี () 60 ปีขึ้นไป
3. ระดับการศึกษา
() ประถมศึกษา () มัธยมศึกษา () ปริญญาตรี
() ปริญญาโท () ปริญญาเอก () อื่นๆ _____
4. อาชีพ
() นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา () รับราชการ () พนักงานบริษัท
() รัฐวิสาหกิจ () อื่นๆ _____
5. รายได้ต่อเดือน
() ต่ำกว่า 5,000 บาท () 5,000-10,000 บาท () 10,000-20,000 บาท
() 20,000-30,000 บาท () มากกว่า 30,000 บาท

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเชิงพฤติกรรมของผู้ตอบแบบสอบถาม

6. ท่านเคยรับประทานลูกชิ้นปลาหรือผลิตภัณฑ์จากซูริมีที่มีสีมาก่อนหรือไม่
() เคย ได้แก่วัสดุภัณฑ์ใดบ้าง _____
() ไม่เคย
7. ความถี่โดยเฉลี่ย
() น้อยกว่า 1 ครั้งต่อเดือน () มากกว่า 1 ครั้งต่อเดือน
8. ท่านมีความรู้สึกอย่างไรต่อผลิตภัณฑ์อาหารที่เดิม **สีสังเคราะห์ผสมอาหาร**
() เห็นด้วย เพราะ _____
() ไม่เห็นด้วย เพราะ _____

9. ท่านมีความรู้สึกอย่างไรต่อผลิตภัณฑ์อาหารที่เดิม **สีสกัดจากธรรมชาติผสมอาหาร**

() เห็นด้วย เพราะ _____

() ไม่เห็นด้วย เพราะ _____

ส่วนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์

10. แบบสอบถามด้านประสาทสัมผัสแบบ Hedonic-9 Scale Test

- คำชี้แจง**
- ล้างปากด้วยน้ำเปล่าที่จัดไว้ ก่อนการทดสอบตัวอย่างทุกครั้ง
 - อย่ากลืนน้ำเปล่า ส่วนตัวอย่างอาจกลืนได้หลังการประเมิน
 - ให้ทดสอบตัวอย่างทีละตัวอย่างที่จัดเตรียมไว้ ใส่คะแนนให้สอดคล้องกับระดับ

ความชอบที่ประเมินได้ โดยใช้ระดับคะแนน 9 แต้ม

9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง 6 = ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

โดยประเมินระดับความชอบทุกตัวอย่างในแต่ละคุณลักษณะเป็นลำดับไป

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง			
	A	B	C	D
ลักษณะปรากฏ				
สี				
กลิ่น				
เนื้อสัมผัส				
รสชาติ				
ความชอบรวม				
ยอมรับ (/) หรือไม่ยอมรับ (X)				

11. แบบทดสอบการเรียงลำดับความชอบโดยวิธี Ranking test

คำชี้แจง กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวา แล้วเรียงลำดับความชอบในคุณลักษณะความชอบรวมของตัวอย่าง เป็นลำดับไปจากชอบมากที่สุดไปหาชอบน้อยที่สุด

1 = ชอบมากที่สุด

4 = ชอบน้อยที่สุด

ลำดับความชอบของตัวอย่าง			
A	B	C	D



ภาคผนวก ข1 การวัดสี

ตัดแท่งเจลให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร แล้วนำไปวัดค่า L^* a^* b^* Color system โดยเครื่อง Chroma meter ซึ่ง L^* คือ ค่าความสว่างมีค่าระหว่าง 0-100 หรือ สีดำถึงสีขาว a^* แสดงค่า (+) สีแดง หรือ (-) สีเขียว และ b^* แสดงค่า (+) สีเหลือง หรือ (-) สีน้ำเงิน

ภาคผนวก ข2 การวัดค่าความแข็งแรงเจล (ดัดแปลงจาก MFRD, 1987b)

ตัดชิ้นเจลที่บรรจุในแท่งสแตนเลส ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาตาม กำหนดแล้ว ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร สูง 25 มิลลิเมตร นำแท่งเจลออกจากแท่ง สแตนเลสวางบนเครื่องวัดเนื้อสัมผัส Stable Micro System TA-HD ซึ่งประกอบด้วยหัวกดทะลุทรง กลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ให้หัวกดทะลุผ่านตัวอย่างด้วยความเร็วคงที่ 1.1 มิลลิเมตรต่อวินาที วัดค่าของแรงที่ใช้ในการกด (หน่วยเป็นกรัม) และระยะทางที่เข็มกดก่อนทะลุ (หน่วยเป็น ซม.) รายงานค่าความแข็งแรงของเจล (หน่วยเป็น กรัม.ซม.)

ภาคผนวก ข3 การวัดความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity, WHC) (ดัดแปลง จาก Motohiro, 1981)

ตัดแท่งเจลเป็นรูป $10 \times 10 \times 10$ ลูกบาศก์มิลลิเมตร วางตัวอย่างระหว่างกระดาษกรอง 2 แผ่น บีบด้วยแรงคงที่ 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร นาน 2 นาที ชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อน และหลังการ บีบ นำค่าน้ำหนักก่อนบีบลบด้วยน้ำหนักหลังบีบ จะได้ค่าน้ำหนักน้ำที่ซึมอยู่บนกระดาษกรองแล้วนำไปคำนวณค่า water holding capacity ตามสูตรต่อไปนี้

$$WHC (\%) = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} \times \text{ปริมาณความชื้น}) - \text{น้ำหนักน้ำที่ซึมในกระดาษกรอง}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} \times \text{ปริมาณความชื้น}} \times 100$$

ภาคผนวก ข4 ทดสอบโดยการพับ (MFRD, 1987b)

นำเจลที่บรรจุในแท่งสแตนเลส เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ และเวลาที่กำหนด ออกจากแท่งสแตนเลส ตัดให้มีความหนา 5 มิลลิเมตร ทำการทดสอบพับโดยใช้แผ่นตัวอย่าง 6 แผ่น นำมาพับเป็น 2 ส่วน ถ้าไม่มีรอยแตกให้พับต่อเป็น 4 ส่วน แล้วให้คะแนนระดับชั้นคุณภาพตามเกณฑ์ ดังนี้

ลักษณะตัวอย่างเมื่อพับ	ระดับคุณภาพ
ไม่มีรอยแตกเมื่อพับเป็น 4 ส่วน	AA
มีรอยแตกหรือฉีกขาดเล็กน้อยเมื่อพับเป็น 4 ส่วน	A
มีรอยแตกหรือฉีกขาดเล็กน้อยเมื่อพับเป็น 2 ส่วน	B
มีรอยแตกแต่ไม่แยกออกจากกันเมื่อพับเป็น 2 ส่วน	C
มีรอยแตกและแยกออกจากกันเมื่อพับเป็น 2 ส่วน	D



ภาคผนวก ค
วิธีวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา

ภาคผนวก ก1 วิธีตรวจสอบแบคทีเรียทั้งหมด

1.1 การเตรียมตัวอย่าง ทำโดยชั่งตัวอย่าง 25 กรัม โดยวิธีปราศจากเชื้อ (aseptic technique) แล้วเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์เจือจางร้อยละ 0.85 ที่นิ่งฆ่าเชื้อแล้วลงไป 225 มิลลิลิตร บั่นตัวอย่างให้เข้ากันด้วยเครื่องบั่นตัวอย่าง (Stomacher) จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีระดับความเจือจาง 1:10 จากนั้นทำการเจือจางลงครั้งละ 10 เท่า จนได้ระดับความเจือจางที่เหมาะสม

1.2 ใช้วิธี Pour plate technique โดยการเปิดตัวอย่างที่ระดับความเจือจางต่าง ๆ กัน ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อที่อบฆ่าเชื้อแล้วค่อย ๆ รินอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar ลงไป ให้มีปริมาตรประมาณ 18-20 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เขย่าให้อาหารเลี้ยงเชื้อผสมกันทำซ้ำระดับความเจือจางละ 2 ซ้ำ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35-37 °C นาน 24-48 ชั่วโมง

1.3 คัดเลือกจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 25-250 โคโลนี นับจำนวนด้วยเครื่องนับโคโลนี (colony counter)

1.4 หาค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีที่นับได้แต่ละระดับความเจือจาง คูณด้วยค่า dilution factor คำนวณเป็นโคโลนีต่อกรัมตัวอย่าง (CFU/g)



ตารางวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการประเมินทางประสาทสัมผัส ด้าน
ความชอบของลูกเจดชูริมิผสมน้ำสี หรือสารสีสกัดจากธรรมชาติ

คุณลักษณะ	SOV	Df	SS	MS	F
ลักษณะปรากฏ	ลูกเจดผสมสี	3	13.84	4.61	4.70*
	ผู้ทดสอบ	49	178.720	3.65	3.72*
	Error	147	178.720	0.98	
สี	ลูกเจดผสมสี	3	17.50	5.83	5.29*
	ผู้ทดสอบ	49	216	4.41	4.00*
	Error	147	162	1.10	
กลิ่น	ลูกเจดผสมสี	3	13.86	4.62	4.22*
	ผู้ทดสอบ	49	458.42	9.36	8.54*
	Error	147	161.14	1.10	
เนื้อสัมผัส	ลูกเจดผสมสี	3	14.30	4.77	4.99*
	ผู้ทดสอบ	49	240.13	4.90	5.13*
	Error	147	140.46	0.96	
ความชอบรวม	ลูกเจดผสมสี	3	26.52	8.84	8.44*
	ผู้ทดสอบ	49	131.42	2.68	2.56*
	Error	147	153.98	1.05	

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนร้อยละการละลายของผงสีสกัดจากธรรมชาติที่อุณหภูมิของการอบแห้งต่าง ๆ

ผงสี	ร้อยละการละลาย	Df	Sig.	t
กะน้ำ	(60/80 °ซ)	2	0.09	-3.05 ^{ns}
ฟักทอง	(60/80 °ซ)	2	0.02	-6.71*
แครอท	(60/80 °ซ)	2	0.03	-5.82*
ข้าวแดง	(60/80 °ซ)	2	0.42	1.00 ^{ns}

^{ns} มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีหลังการละลายของผงสีสกัดจากธรรมชาติที่อุณหภูมิของการอบแห้งต่าง ๆ

น้ำสีหลังละลาย	ค่าสี	Df	Sig.	t
กะน้ำ	L* (60/80 °ซ)	6	0.00	20.81*
	a* (60/80 °ซ)	6	0.02	3.27*
	b* (60/80 °ซ)	6	0.00	11.81*
ฟักทอง	L* (60/80 °ซ)	6	0.00	-87.21*
	a* (60/80 °ซ)	6	0.00	47.86*
	b* (60/80 °ซ)	6	0.00	-497.65*
แครอท	L* (60/80 °ซ)	6	0.00	-138.69*
	a* (60/80 °ซ)	6	0.00	18.16*
	b* (60/80 °ซ)	6	0.00	-202.60*
ข้าวแดง	L* (60/80 °ซ)	6	0.00	15.62*
	a* (60/80 °ซ)	6	0.00	64.09*
	b* (60/80 °ซ)	6	0.00	25.17*

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางผนวกที่ ๔ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีของเจลโปรตีนจากจุลินทรีย์ผสมสีสกัดจากธรรมชาติที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ

เจลจุลินทรีย์ผสมสี	ค่าสี	SOV	Df	SS	MS	F
กะน้ำ	L*	ระดับความเข้มข้น	2	118.18	59.09	378.27*
		Error	9	1.41	0.16	
	a*	ระดับความเข้มข้น	2	0.50	0.25	16.86*
		Error	9	0.13	0.02	
	b*	ระดับความเข้มข้น	2	108.33	54.17	994.18*
		Error	9	0.49	0.05	
ผักทอง	L*	ระดับความเข้มข้น	2	12.99	6.49	9.17*
		Error	9	6.37	0.71	
	a*	ระดับความเข้มข้น	2	6.75	3.37	539.33*
		Error	9	0.06	0.01	
	b*	ระดับความเข้มข้น	2	465.02	232.51	1790.41*
		Error	9	1.17	0.13	
แครอท	L*	ระดับความเข้มข้น	2	14.96	7.48	49.91*
		Error	9	1.35	0.15	
	a*	ระดับความเข้มข้น	2	49.90	24.95	235.79*
		Error	9	0.95	0.11	
	b*	ระดับความเข้มข้น	2	93.595	46.80	169.46*
		Error	9	2.49	0.28	

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

เจตฐริมิพสมลี	ค่าสี	SOV	Df	SS	MS	F
ข้าวแดง	L*	ระดับความเข้มข้น	2	56.19	28.09	109.781*
		Error	9	2.30	0.26	
	a*	ระดับความเข้มข้น	2	71.41	35.70	275.64*
		Error	9	1.17	0.13	
	b*	ระดับความเข้มข้น	2	11.62	5.81	113.16*
		Error	9	0.46	0.05	

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแข็งแรงเจล (gel strength) ของเจล
โปรตีนจากซูริมิผสมสีกัดจากธรรมชาติที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ และ
ตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผสมสี

ค่าความแข็งแรงเจล ของเจลซูริมิผสมสี	SOV	Df	SS	MS	F
คะน้ำ	ระดับความเข้มข้น	3	409127.00	136375.66	43.76*
	Error	8	24930.62	3116.33	
ฟักทอง	ระดับความเข้มข้น	3	202927.50	67642.48	50.33*
	Error	8	10751.88	1343.99	
แครอท	ระดับความเข้มข้น	3	447490.20	149163.41	98.23*
	Error	8	12148.51	1518.56	
ข้าวแดง	ระดับความเข้มข้น	3	142285.0	47428.34	26.05*
	Error	8	14563.09	1820.39	

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า pH ของเจลโปรตีนจากซูริมิผสมสีสกัด
จากธรรมชาติที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ และตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผสมสี

ค่า pH ของ เจลซูริมิผสมสี	SOV	Df	SS	MS	F
กะน้ำ	ระดับความเข้มข้น	3	0.19	0.06	149.28*
	Error	4	0.00	0.00	
ฟักทอง	ระดับความเข้มข้น	3	0.03	0.01	44.51*
	Error	4	0.00	0.00	
แครอท	ระดับความเข้มข้น	3	0.75	0.25	112.40*
	Error	4	0.01	0.00	
ข้าวแดง	ระดับความเข้มข้น	3	1.77	0.59	1427.83*
	Error	4	0.00	0.00	

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการอุ้มน้ำ (% water holding capacity; WHC) ของโครงข่าย ของเจลโปรตีนจากซูริมิผสมสีสกัดจากธรรมชาติ ที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ และตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผสมสี

ค่า WHC ของ เจลซูริมิผสมสี	SOV	Df	SS	MS	F
กะน้ำ	ระดับความเข้มข้น	3	0.05	0.02	128.14*
	Error	8	0.00	0.00	
ฟักทอง	ระดับความเข้มข้น	3	0.02	0.01	11.44*
	Error	8	0.00	0.00	
แครอท	ระดับความเข้มข้น	3	0.03	0.01	66.20*
	Error	8	0.0	0.00	
ข้าวแดง	ระดับความเข้มข้น	3	0.05	0.02	169.85*
	Error	8	0.00	0.00	

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความชื้นของเจลโปรตีนจากซูริมิผสมสี
สกัดจากธรรมชาติที่ความเข้มข้นสีต่าง ๆ และตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผสมสี

ค่าความชื้นของ เจลซูริมิผสมสี	SOV	Df	SS	MS	F
กะน้ำ	ระดับความเข้มข้น	3	0.55	0.18	2.81 ^{ns}
	Error	4	0.26	0.07	
ฟักทอง	ระดับความเข้มข้น	3	0.57	0.19	1.79 ^{ns}
	Error	4	0.43	0.11	
แครอท	ระดับความเข้มข้น	3	0.27	0.09	1.77 ^{ns}
	Error	4	0.20	0.05	
ข้าวแดง	ระดับความเข้มข้น	3	0.05	0.02	0.43 ^{ns}
	Error	4	0.14	0.04	

^{ns} มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๑๑ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการประเมินทางประสาทสัมผัส ด้านความชอบ
ของลูกชิ้นปลาตุ๋นผสมสีสกัดจากสารธรรมชาติ จาก consumer survey

คุณลักษณะ	SOV	Df	SS	MS	F
ลักษณะปรากฏ	ลูกชิ้นปลาตุ๋นผสมสี	3	45.70	15.23	13.60*
	ผู้ทดสอบ	161	943.94	5.86	5.24*
	Error	483	540.80	1.12	
สี	ลูกชิ้นปลาตุ๋นผสมสี	3	21.09	7.03	5.72*
	ผู้ทดสอบ	161	846.83	5.26	4.28*
	Error	483	593.91	1.23	
กลิ่น	ลูกชิ้นปลาตุ๋นผสมสี	3	20.86	6.96	10.53*
	ผู้ทดสอบ	161	889.16	5.52	8.36*
	Error	483	319.14	0.66	
เนื้อสัมผัส	ลูกชิ้นปลาตุ๋นผสมสี	3	223.72	74.57	69.03*
	ผู้ทดสอบ	161	638.27	3.96	3.67*
	Error	483	521.78	1.08	
รสชาติ	ลูกชิ้นปลาตุ๋นผสมสี	3	36.66	12.22	10.11*
	ผู้ทดสอบ	161	716.11	4.45	3.68*
	Error	483	583.84	1.21	
ความชอบรวม	ลูกชิ้นปลาตุ๋นผสมสี	3	37.90	12.63	11.81*
	ผู้ทดสอบ	161	499.44	3.10	2.90*
	Error	483	516.61	1.07	

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการเรียงลำดับความชอบรวมของ
ลูกชิ้นปลาคุณภาพสมสี่ศักดิ์จากสาธารณชน จาก consumer survey

ผู้ทดสอบ	Df	ΣRank^2	χ^2
162	3	253158	37.90*

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีลูกชิ้นปลาผสมสีสกัดจากธรรมชาติ
ไม่สัมผัส และสัมผัสแสงระหว่างการเก็บรักษา 12 วัน

ลูกชิ้นปลา	ค่าสี	SOV	Df	SS	MS	F
สีคะน้ำ	L*	Treatment	9	5.858	0.65	0.77 ^{ns}
		สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	0.47	0.47	0.56 ^{ns}
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	4	5.04	1.26	1.49 ^{ns}
		A*B	4	0.35	0.09	0.10 ^{ns}
		Error	30	25.37	0.85	
	a*	Treatment	9	0.74	0.08	2.11 ^{ns}
		สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	0.31	0.31	7.84*
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	4	0.30	0.08	1.93 ^{ns}
		A*B	4	0.13	0.03	0.85 ^{ns}
		Error	30	1.17	0.04	
	b*	Treatment	9	16.57	1.84	1.90 ^{ns}
		สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	10.04	10.04	10.35*
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	4	2.14	0.53	0.55 ^{ns}
		A*B	4	4.39	1.10	1.13 ^{ns}
		Error	30	29.10	0.97	
สีฟักทอง	L*	Treatment	9	9.14	1.02	0.35 ^{ns}
		สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	0.98	0.98	0.34 ^{ns}
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	4	1.53	0.38	0.13 ^{ns}
		A*B	4	6.63	1.66	0.57 ^{ns}
		Error	30	87.36	2.91	

ตารางผนวกที่ 11 (ต่อ)

ลูกชิ้นปลา	ค่าสี	SOV	Df	SS	MS	F
สีฟ้าทอง (ต่อ)	a*	Treatment	9	2.34	0.26	1.03 ^{ns}
		สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	0.04	0.04	0.17 ^{ns}
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	4	1.19	0.30	1.19 ^{ns}
		A*B	4	1.10	0.28	1.09 ^{ns}
		Error	30	7.55	0.25	
	b*	Treatment	9	19.88	2.21	0.39 ^{ns}
		สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	0.67	0.67	0.12 ^{ns}
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	4	13.91	3.38	0.61 ^{ns}
		A*B	4	5.30	1.33	0.23 ^{ns}
		Error	30	171.84	5.73	

^{ns} มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการประเมินทางประสาทสัมผัส ด้าน
ความชอบของลูกชิ้นปลาคุณภาพดีสกัดจากธรรมชาติไม่สัมผัสแสง และ
สัมผัสแสงระหว่างการเก็บรักษา 12 วัน

ลูกชิ้นปลา	คุณลักษณะ	SOV	Df	SS	MS	F
สี	สีกระน้ำ	ผู้ทดสอบ	19	12.43	0.65	5.17*
		สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	0.41	0.41	3.23 ^{ns}
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	2	4.72	2.36	18.63*
		A*B	2	0.02	0.01	0.07 ^{ns}
		Error	95	12.03	0.13	
	สี	ผู้ทดสอบ	19	14.97	0.79	4.70*
		สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	0.53	0.53	3.18 ^{ns}
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	2	2.47	1.23	7.35*
		A*B	2	0.07	0.03	0.20 ^{ns}
		Error	95	15.93	0.17	
กลิ่น	กลิ่น	ผู้ทดสอบ	19	16.30	0.86	2.47*
		สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	83.33	83.33	239.90*
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	2	84.47	42.23	121.58*
		A*B	2	54.87	27.43	78.98*
		Error	95	33.00	0.35	
	เนื้อสัมผัส	ผู้ทดสอบ	19	14.63	0.77	2.77*
		สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	63.08	63.08	226.70*
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	2	147.22	73.61	264.63*
		A*B	2	113.45	56.73	203.93*
		Error	95	26.43	0.28	

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ)

ลูกชิ้นปลา	คุณลักษณะ	SOV	Df	SS	MS	F
ลิ้นควาย (ต่อ)	รสชาติ	ผู้ทดสอบ	19	15.83	0.83	4.82*
		สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	88.41	88.41	511.34*
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	2	178.65	89.33	516.64*
		A*B	2	162.02	81.01	468.54*
		Error	95	16.43	0.17	
	ความชอบรวม	ผู้ทดสอบ	19	20.96	1.10	5.16*
		สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	126.08	126.08	590.25*
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	2	185.00	92.50	433.06*
		A*B	2	163.80	81.90	383.43*
		Error	95	20.29	0.21	
ลิ้นฟักทอง	ลักษณะปรากฏ	ผู้ทดสอบ	19	15.67	0.83	8.23*
		สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	0.13	0.13	1.33 ^{ns}
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	2	3.22	1.61	16.03*
		A*B	2	0.12	0.06	0.58 ^{ns}
		Error	95	9.53	0.10	
	สี	ผู้ทดสอบ	19	14.67	0.77	6.59*
		สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	0.13	0.13	1.14 ^{ns}
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	2	0.52	0.26	2.20 ^{ns}
		A*B	2	0.22	0.11	0.92 ^{ns}
		Error	95	11.13	0.12	

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ)

ลูกชิ้นปลา	คุณลักษณะ	SOV	Df	SS	MS	F
สีฟ้าทอง (ต่อ)	กลิ่น	ผู้ทดสอบ	19	13.20	0.70	1.71*
		สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	104.53	104.53	257.27*
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	2	79.52	39.76	97.85*
		A*B	2	54.02	27.01	66.47*
		Error	95	38.60	0.41	
	เนื้อสัมผัส	ผู้ทดสอบ	19	11.17	0.59	1.44 ^{ns}
		สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	100.83	100.83	246.67*
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	2	134.52	67.26	164.54*
		A*B	2	103.82	51.91	126.99*
		Error	95	38.83	0.41	
	รสชาติ	ผู้ทดสอบ	19	27.49	1.45	3.41*
		สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	147.41	147.41	347.85*
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	2	175.52	87.76	207.09*
		A*B	2	141.32	70.66	166.74*
		Error	95	40.26	0.42	
	ความชอบรวม	ผู้ทดสอบ	19	10.76	0.57	1.97*
		สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	156.41	156.41	544.44*
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	2	171.27	85.63	298.08*
		A*B	2	150.87	75.43	262.57*
		Error	95	27.29	0.29	

^{ns} มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางผนวกที่ 13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของลูกชิ้นปลาตุก
ผสมสีสกัดจากธรรมชาติไม่สัมผัสแสง และสัมผัสแสงระหว่างการเก็บรักษา
12 วัน

จำนวนจุลินทรีย์ ของลูกชิ้นปลา	SOV	Df	SS	MS	F
สีคะน้ำ	Treatment	9	36.03	4.00	3673.24*
	สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	6.21	6.21	5697.94*
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	4	25.25	6.31	5791.75*
	A*B	4	4.57	1.14	1048.56*
	Error	20	0.02	0.00	
สีฟักทอง	Treatment	9	35.66	3.96	39620.17*
	สภาวะการเก็บรักษา (A)	1	8.02	8.02	80186.70*
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (B)	4	18.31	4.58	45783.00*
	A*B	4	9.33	2.33	23315.70*
	Error	20	0.00	0.00	

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายพฤษ์ ประเสริฐกุล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	2 มีนาคม 2530
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ประมง) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2552) ทุนโครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (NRU)