รายงานการวิจัย

การผลิตชีวมวลและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสีแอสต้าแซนทีนของ *Phaffia rhodozyma* TISTR 5730 โดยใช้ เครื่อง Supercritical Fluid Extraction ในน้ำทิ้งโรงงานผลิตขนมจีน เพื่อการประยุกต์ใช้ในอาหารสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์เวชสำอาง

Biomass production and optimal conditions for extracting pigments astaxanthin of *Phaffia rhodozyma* TISTR 5730 by Supercritical Fluid Extraction in wastewater to produce noodles. for applications in the aquaculture food and cosmetics

ชุตินุช สุจริต Chutinut Sujarit

ไวกูณฐ์ ฤทธิรุฒม์ Waigoon Rittirut

ดวงพร อมรเลิศพิศาล Doungporn Amornlerdpison

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2560

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ที่ให้ทุสนับสนุนการทำวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2560 เพื่อทำวิจัยในครั้งนี้ งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยความอนุเคราะห์จากหลายฝ่าย และท้ายสุดขอบพระคุณคณาจารย์และนักวิชาการเอกอุตสาหกรรมอาหารและผลิตภัณฑ์ประมง ที่ได้ให้ข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ในการจัดทำรูปเล่มนี้ ทางคณะผู้วิจัยขอบพระคุณคณาจารย์ทุก ๆ ท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและผู้เขียนตำรา เอกสาร ทุกท่านที่ข้าพเจ้านำมาเป็นเอกสารอ้างอิงประกอบการเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์ อนึ่งในการจัดทำเป็นเอกสารหากมีส่วนหนึ่งส่วนใดที่ผิดพลาดก็ขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ชุตินุช สุจริต
สิงหาคม 2561

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	
บทคัดย่อ (ไทย)	(1)
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	(2)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(4)
บทที่ 1 บททนำ	1
วัตถุประสงค์	12
บทที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัย	12
บทที่ 3 ผลการวิจัย และวิจารณ์ผล	15
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	24
บรรณานุกรม	25

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 องค์ประกอบของอาหารและทดลองที่เสริมแอสตาแซนทีนในระดับต่าง ๆ กัน 13

2 องค์ประกอบทางเคมีอย่างหยาบของอาหารทดลอง 14

3 การเจริญเติบโต และ อัตราการรอดตายของปลาสวาย เมื่อได้รับอาหารผสมสารแอสต้าแซนทีน สวายที่เลี้ยงด้วยอาหาร 3 สูตร มีระยะเวลาในการเลี้ยง 3 เดือน 16

4.ผลการเสริมสารแอสต้าแซนทีนในอาหารเลี้ยงปลา เมื่อเลี้ยงครบ 120 วัน 17

5 ผลการทดสอบทางประสารทสัมผัสของปลาสวายแล่ เสริมสารสีแอสตาแซนทีน ในอาหารที่ระดับต่าง ๆ กัน 18

6 ผลการวิเคราะห์ค่า TBA ความหืนของผลิตภัณฑ์ปลาสวายยืดอายุโดยใช้สารสี *P. rhodozyma* TISTR 5730 ที่อุณหภูมิตู้เย็น ซึ่งทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 60 วัน 19

7 ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์ครีมผสมแอสต้าแซนทีน ด้วยวิธี heating-cooling 6 รอบ 22

8 ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์ครีมผสมแอสต้าแซนทีนที่อุณหภูมิต่าง ๆ นาน 90 วัน 23

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1. การทำผลิตเส้นขนมจีน 3
2. แสดงโครงสร้างของ (ก) เบตาแคโรทีน (ข) แอสต้าแซนทีน 7
3. อาหารปลาสวายที่เสริมสารสีแอสตาแซนทีนที่ระดับต่าง ๆ 14
4, ปลาสวายเมื่อครบ 120 วัน เมื่อได้รับอาหารที่เสริมสารสีแอสต้าแซนทีนที่ระดับต่าง ๆ 16
5. ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวหน้าต้นแบบผสมแอสต้าแซนทีนในรูปแบบครีมและเจล 21
6. การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ก่อน (A) และหลัง (B) ผ่าน heating-cooling cycle 6 รอบ 22
7, ผลการทดสอบความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์ครีมผสมแอสต้าแซนทีน 23

บทที่ 1

บทนำ

การบริโภคขนมจีนเป็นที่นิยมกันเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้มีการเปิดโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นขนมจีนเพิ่มมากขึ้น ย่อมก่อให้เกิดปริมาณน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีนมากขึ้นเช่นกัน ปริมาณน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีนมีปริมาณสารอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อตัวกระทำทางชีวภาพได้เป็นอย่างดี จากการศึกษาการนำน้ำทิ้งไปเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อต่าง ๆ เช่น ชุตินุช สุจริต (2542) ได้ศึกษานำน้ำนึ่งปลาทูน่าที่แยกโปรตีนและไขมันที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:1 เติมกากน้ำตาลร้อยละ 5 พีเอชเริ่มต้น 5.5 เลี้ยงยีสต์*Candida tropicalis* TISTR 5146 ได้ปริมาณเซลล์ยีสต์ 111.51 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 58.20 ไขมันร้อยละ 0.36 เถ้าร้อยละ 9.59 ความชื้นร้อยละ 1.26 ได้นำมาเลี้ยงปลากดเหลืองโดยใช้ทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารร้อยละ 25 และ 50 พบว่า ปลากดเหลืองมีน้ำหนักเฉลี่ย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดตาย ไม่แตกต่างกับเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารสูตรชุดควบคุมที่ใช้โปรตีนจากปลาป่น เมื่อทดแทนปลาป่นด้วยยีสต์ร้อยละ 25 พบว่าปลากดเหลืองมีค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ดีกว่าชุดควบคุมและสูตรอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยยีสต์ร้อยละ 50 เป็นต้น ในการนี้ผู้วิจัยจึ่งมีแนวคิดในการที่ลดปริมาณสารอินทรีย์และเป็นการผลิตชีวมวลของตัวกระทำทางชีวภาพเช่นกัน ซึ่งตัวกระทำทางชีวภาพนั้นยีสต์ *Phaffia rhodozym* TISTR 5730 ตั้งสมมติฐานว่าเชื้อยีสต์สามารถที่จะนำเอาสารอินทรีย์ดังกล่าวในน้ำทิ้งโรงงานผลิตขนมจีนไปก่อให้เกิดชีวมวลและผลิตสารแอสต้าแซนทีน จากงานวิจัย Chutinut, *et al*., (2012) นำยีสต์ *Phaffia rhodozym* TISTR 5730 เลี้ยงในแป้งสาคูที่ผ่านการย่อยสลายด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส พบว่า ชีวมวลได้ปริมาณ 8.77 กรัมต่อลิตรผลิตสารแอสต้าแซนทีนได้ 726 μg/g น้ำหนักแห้ง ซึ่งผลิตได้สูงกว่าอาหาร YM broth เป็นที่น่าสนใจหากสามารถที่ลดปริมาณสารอินทรีย์และผลิตสารสีแอสต้าแซนทีนได้ดี เนื่องจากสารแอสต้าแซนทีนในปัจจุบัน ส่วนใหญ่ได้มาจากการสังเคราะห์ทางเคมีทั้งหมด ซึ่งมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง เป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตอาหารสัตว์และการนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมอื่น ๆ นอกจากนี้อาจจะมีในธรรมชาติ ในรูปของ คาร์โรทีนอยด์ และการสังเคราะห์สารแอสต้าแซนทีนยังคงมีแหล่งจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตแอสต้าแซนทีนได้ เช่น *Phaffia rhodozym* โดยมีการวิจัยจำนวนมากตั้งแต่ปี ค.ศ. 1988 เป็นต้นมา การผลิตแอสต้าแซนทีนก็ยังไม่สามารถผลิตในเชิงอุตสาหกรรมได้เนื่องจากผลผลิตต่ำ (low productivity) อาจเนื่องมาจากความเข้าใจกลไกปัจจัยต่าง ๆ ในขบวนการสร้างแอสต้าแซนทีนยังไม่เพียงพอที่จะใช้ในการควบคุมการผลิต เพื่อให้ได้ผลเลิศ ในการผลิตสารแอสต้าแซนทีน ดังนั้นจึงได้มีนักวิจัยจำนวนมากได้พยายามศึกษาหาวิธีการจะเพิ่มผลผลิตให้สามารถนำไปขยายขนาดสู่ระดับอุตสาหกรรมได้ เช่น ศึกษาลดต้นทุนการผลิตแอสต้าแซนทีนโดยใช้วัตถุดิบราคาถูก เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีน ซึ่งมีค่าบีโอดี อยู่ในช่วง 3,410 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ซีโอดี อยู่ในช่วง 4,940 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสภาวะที่ผลิตเป็นปกติ หากในช่วงเทศกาลจะเพิ่มกำลังการผลิตเป็น 2 เท่า ซึ่งจะมีการก่อเกิดน้ำเสียเพิ่มปริมาณเป็น 2 เท่าเช่นเดียวกัน โดยที่โรงงานส่วนใหญ่จะมีการบำบัดน้ำเสียเพียงการกักพักน้ำไว้ให้ตกตะกอนแล้วปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนจนเกิดการร้องเรียนจากประชาชนที่อยู่ใกล้เคียงโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในบางพื้นที่ จากปัญหาน้ำเสียจากโรงงานขนมจีนที่ก่อให้เกิดกลิ่นรบกวน เป็นปัญหาด้านการสุขาภิบาลและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเพื่อให้โรงงานผลิตเส้นขนมจีนสามารถดำเนินกิจการและอยู่ร่วมกับชุมชนได้ จึงจำเป็นต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตและกระบวนการบำบัดน้ำเสีย เพื่อป้องกันผลกระทบจาก

ของเสียที่เกิดขึ้น และหากสามารถนำน้ำทิ้งโรงงานผลิตขนมจีน ใช้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อในการผลิตสารสีแอสต้าแซนทีนเป็นการลดปริมาณสารอินทรีย์ เป็นลดต้นทุนในการผลิตสารสีแอสต้าแซนทีนได้อีกทางหนึ่งด้วย ด้วยเหตุดังกล่าวนี้ จึงมีแนวคิดในการนำมาเป็นสารที่ใช้ในการผลิตสารสีแอสต้าแซนทีนเพื่อหาสภาวะที่เหมาสม มาดัดแปลงเพื่อพัฒนาให้มีความใกล้เคียงกับสูตรอาหารสังเคราะห์มากที่สุด กับการสร้างแอสต้าแซนทีน ซึ่งก็น่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการพัฒนาการผลิตและเพิ่มศักยภาพของการผลิตแอสต้าแซนทีนในระดับอุตสาหกรรมในอนาคตดังนั้นเพื่อให้สามารถผลิตในระดับอุตสาหกรรมโดยคุ้มทุนจึงควรศึกษาหาสภาวะที่ให้ผลเลิศและลดต้นทุนในการผลิตแอสต้าแซนทีน โดยนำวัสดุเหลือจากอุตสาหกรรมเกษตรในท้องถิ่นมาใช้ก่อประโยชน์สูงสุด

1. ขนมจีน

ขนมจีน เป็นอาหารที่คนไทยรู้จักกันมานานและมีการนิยมบริโภคขนมจีนเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ปัจจุบันการผลิตขนมจีนมีรูปแบบการผลิตอยู่ในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือนขนาดย่อม และขนาดใหญ่ เพื่อตอบสนองต่อปริมาณความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งจากกระบวนการผลิตที่มีการใช้ข้าวสารเป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตขนมจีนและการใช้น้ำในกระบวนการผลิตขนมจีนปริมาณมากส่งผลให้มีการก่อเกิดน้ำเสียปริมาณมาก ตามมาประกอบกับกระบวนการผลิตที่มีการใช้ข้าวสารเป็นวัตถุดิบส่งผลให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ในรูปของค่าบีโอดีและซีโอดีสูง ส่วนคุณลักษณะน้ำเสียจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนแห่งหนึ่งในจังหวัดตรัง จากกระบวนการผลิตที่ก่อให้เกิดน้ำเสีย และการปนเปื้อนสารอินทรีย์ปริมาณมากในน้ำเสียที่เกิดขึ้นส่งผลให้หากมีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะก่อให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำนั้นและกลิ่นเหม็นรุนแรง เป็นปัญหามลพิษทางน้ำส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาทางน้ำและประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชนที่อยู่บริเวณใกล้เคียง ซึ่งได้มีแนวคิดในการนำน้ำทิ้งขนมจีนมาผลิตเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์และได้เซลล์ยีสต์เพื่อนำไปใช้ในอาหารสัตว์ นับว่าเป็นแนวทางหนึ่งในการเลือกใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี

จากการตรวจสอบกระบวนการผลิตขนมจีนของโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดตรัง พบว่ามีกำลังการผลิตในช่วงวันปรกติเท่ากับ 1,200 กก./วัน จะก่อเกิดน้ำเสีย 22 – 25 ม.^{3}/วัน (18 – 20 ลิตร/กก. ผลผลิตเส้นขนมจีน) และในช่วงเทศกาลจะเพิ่มกำลังการผลิตเป็น 2 เท่า ซึ่งจะมีการก่อเกิดน้ำเสียเพิ่มปริมาณเป็น 2 เท่าเช่นเดียวกัน โดยที่โรงงานส่วนใหญ่จะมีการบำบัดน้ำเสียเพียงการกักพักน้ำไว้ให้ตกตะกอนแล้วปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนจนเกิดการร้องเรียนจากประชาชนที่อยู่ใกล้เคียงโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในบางพื้นที่ จากปัญหาน้ำเสียจากโรงงานขนมจีนที่ก่อให้เกิดกลิ่นรบกวน เป็นปัญหาด้านการสุขาภิบาลและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากคุณภาพน้ำเสียมีค่าความสกปรกสูง ดังนั้นเพื่อให้โรงงานผลิตเส้นขนมจีนสามารถดำเนินกิจการและอยู่ร่วมกับชุมชนได้ จึงจำเป็นต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตและกระบวนการบำบัดน้ำเสีย เพื่อป้องกันผลกระทบจากของเสียที่เกิดขึ้น

อย่างไรก็ตามเนื่องจากอุตสาหกรรมการผลิตเส้นขนมจีนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มธุรกิจขนาดย่อม ดังนั้นงบประมาณสำหรับการจัดการน้ำเสียทั้งในส่วนของการก่อสร้าง การควบคุมดูแลระบบและการกำจัดของเสียอื่น ๆ จึงมีส่วนสำคัญต่อการตัดสินในเลือกรูปแบบการจัดการน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทนี้ งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาวิธีการจัดการน้ำเสียที่ก่อเกิดจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนโดยพิจารณาถึงศักยภาพในการกำจัดหรือบำบัดสิ่งสกปรก ความสามารถในการควบคุมดูแล และพิจารณาถึงผลพลอยได้จากกระบวนการกำจัดของเสีย

ข้าวสาร
▼
แช่ข้าวสารทิ้งไว้ 1 คืน
▼
นำข้าวสารมาบดย่อยให้เป็นแป้ง
▼
หมักข้าวที่บดละเอียดแล้วใสเข่งรองผ้าขาว
ทิ้งไว้ 1 คืน
▼
ก่อนทำการต้มแป้งที่หมักแล้วนำมานวด
ให้เข้ากันอีกครั้ง
▼
ต้มน้ำให้เดือดในกระทะ★
▼
นำแป้งหมักที่นวดแล้วมาอัดใส่ลงในกระป๋องอัดแป้ง หลังจากนั้น
แป้งจะออกมาเป็นเส้นตามขนาดของเส้นขนมจีน
▼
ลงในกระทะที่ต้มน้ำเดือดจะได้เป็นเส้นขนมจีน
ลอยในน้ำต้มที่เดือด
▼
ตักเส้นขนมจีนที่ได้ไปใส่ในตะกร้าการจัดตามขนาดของตะกร้า
แบบใหญ่ แบบเล็ก หรือจะจับจีบ ตามความต้องการ

ภาพที่ 1 การทำผลิตเส้นขนมจีน
(ที่มา : สัมภาณ์เจ้าของกิจการขนมจีน, 2561)

หมายเหตุ

★ : น้ำต้มเส้นขนมจีนเมื่อเย็นแล้วจะเป็นน้ำเสีย ได้นำมาทำการทดลอง เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อในการทดลองนี้

2.เชื้อยีสต์

การลดปริมาณสารอินทรีย์ โดยการใช้ตัวกระทำทางชีวภาพ ถือได้ว่าเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและหากสามารถที่ผลิตสารสีได้ ถือว่าเป็นการใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า เพราะนอกจากจะเป็นสารให้สีแล้ว เป็นสารที่มีประโยชน์ค่อนข้างสูงมาก สารแอสต้าแซนทีน เป็นรงควัตถุในกลุ่มแซนโธฟิลล์ที่ให้สีชมพูถึงสีแดงพบมากในสัตว์ทะเล รายงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันชี้ให้เห็นถึงคุณประโยชน์ที่สำคัญในด้านต่าง ๆ เช่น การมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงมาก สามารถป้องกันการเกิดการออกซิเดชั่น ของไขมันและการทำลายของเซลล์เมมเบรนและเนื้อเยื่ออันเนื่องมาจากกออกซิเจน (Simpson *et al*., 1981 ; Torrissen , 1989) รงค-วัตถุชนิดนี้โดยส่วนใหญ่ไม่สามารถผลิตจากธรรมชาติได้เนื่องจาก ต้นทุนในการผลิตสูง ถึงแม้สามารถผลิตในเชิงอุตสาหกรรมได้แต่ผลผลิตที่ได้ยังคงต่ำ (low productivity) อาจเนื่องมาจากความเข้าใจกลไกปัจจัยต่าง ๆ ในขบวนการสร้างแอสต้าแซนทีนยังไม่เพียงพอพอที่จะใช้ในการควบคุมการผลิต ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลเลิศในการผลิตชีวมวลและการสกัดสารสีแอสต้าแซนทีนของเชื้อ *Phaffia rhodozyma* TISTR 5730 ซึ่งเป็นสารสกัดจากธรรมชาติ และการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ นอกเหลือไปจากคุณสมบัติการเป็นสารให้สีเพียงอย่างเดียว เช่น อาหารสัตว์น้ำ อาหารคน และ ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เป็นต้น และในการผลิตสารสีแอสตาแซนทีนจากเชื้อยีสต์ ถือได้ว่าเป็นการผลิตแบบอินทรีย์ เพื่อการนำไปประยุกต์แบบการใช้สารสีอินทรีย์ไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่และสามารถช่วยส่งเสริมอาชีพให้กับคนในท้องถิ่นได้อีกด้วย

งานวิจัยเกี่ยวกับการนำตัวกระทำชีวภาพเพื่อลดปริมาณของเสีย

Noonai (1981) ได้ทำการทดลองเลี้ยง *C. tropicalis* ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษที่บางปะอิน พบว่า สามารถเจริญได้เซลล์สูงสุด ร้อยละ30

Welsh และ Zall (1984) ได้ทดลองเลี้ยงยีสต์ (*Candida utillis*) ในน้ำเกลือที่ได้จากการดองปลาในเรือ เพื่อบำบัดน้ำส่วนนี้ ก่อนที่จะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ พบว่ายีสต์ทำให้ค่าบีโอดี ของน้ำทิ้งลดลงร้อยละ 84 ภายในเวลา 3 วัน และได้เซลล์ยีสต์ ซึ่งมีโปรตีนร้อยละ 60 เป็นผลพลอยได้

อโณทัย คมเศวต (2519) ได้ศึกษาการเจริญของ (*Candida utillis*) ในน้ำมะพร้าวเพื่อผลิตยีสต์เป็นอาหารสัตว์ พบว่าได้น้ำหนักแห้ง 12 กรัมต่อลิตร มีโปรตีนในเซลล์ ร้อยละ 49 ของน้ำหนักแห้ง

ปราโมทย์ ศิริโรจน์ (2521) ได้ทดลองคัดเลือกยีสต์ในน้ำต้มถั่ว ซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารถั่วเหลือง พบว่า ยีสต์ (*Candida utillis*) NRRL-Y 900 ให้โปรตีนในเซลล์สูงสุด ร้อยละ 45.3

ชุตินุช สุจริต (2542) ได้ศึกษานำน้ำนึ่งปลาทูน่าที่แยกโปรตีนและไขมันที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:1 เติมกากน้ำตาลร้อยละ 5 พีเอชเริ่มต้น 5.5 เลี้ยงยีสต์*Candida tropicalis* TISTR 5146 ได้ปริมาณเซลล์ยีสต์ 111.51 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 58.20 ไขมันร้อยละ 0.36 เถ้าร้อยละ 9.59 ความชื้นร้อยละ 1.26 ได้นำมาเลี้ยงปลากดเหลือโดยใช้ทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารร้อยละ 25 และ 50 พบว่า ปลากดเหลืองมีน้ำหนักเฉลี่ย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดตาย ไม่แตกต่างกับเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารสูงชุดควบคุมที่ใช้โปรตีนจากปลาป่น เมื่อทดแทนปลาป่นด้วยยีสต์ร้อยละ 25 พบว่าปลากดเหลืองมีค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ดีกว่าชุดควบคุมและสูตรอาหารที่ทดแทนปลาป่นด้วยยีสต์ร้อยละ 50

3. สารสีแอสต้าแซนทีน

แอสต้าแซนทีนเป็นรงค์วัตถุพื้นฐานที่พบได้ในเนื้อสัตว์จำพวก salmonid ได้แก่ ปลาเซลมอน และปลาเทราท์ และสัตว์จำพวก crustaceans เช่นกุ้ง กั้ง และปูต่างๆ ซึ่งตามธรรมชาติแล้วสัตว์เหล่านี้จะได้รับรงควัตถุนี้จากอาหารที่มีอยู่อย่างจำกัด ทำให้สีของเนื้อสัตว์มีสีสันจืดจาง ไม่สวย และขายได้ในราคาต่ำ ดังนั้นผู้เลี้ยงจึงนิยมใช้แอสต้าแซนทีน เติมลงในอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์เพื่อที่จะทำให้สัตว์น้ำดังกล่าวมีสีสันสวยงามและขายได้ในราคาสูง (Johnson *et al*., 1980 ; Sigurgisladottir *et al.,* (1994) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลาเซลมอนโดยใช้แอสต้าแซนทีนและโทโคเฟอรอล เพื่อเปรียบเทียบลักษณะและรสชาติของเนื้อปลา พบว่าสีส้มแดงของเนื้อปลาที่ได้จากการเติมแอสต้าแซนทีนนั้นให้ลักษณะและรสชาติของเนื้อดี แต่โทโคเฟอรอลนั้นจะไม่มีผลต่อลักษณะและรสชาติของเนื้อ

แอสต้าแซนทีนมีสมบัติเป็น *strong antioxidant* ที่สูงกว่าแคโรทีนอยด์อื่น ๆ *(*Terao, 1989*)* จึงมีส่วนช่วยกำจัดอนุมูลอิสระได้ดีทำให้สามารถป้องกันการเกิดโรคมะเร็งและเนื้องอกได้ในหนู (Palozza and krinsky, 1992) เนื่องจากการเกิดโรคมะเร็งและเนื้องอกนั้นมีอนุมูลอิสระเป็นจุดเริ่มต้นและส่งเสริมการเกิดเซลล์มะเร็ง

แอสตาแซนธิน (Astaxanthin) เป็นสารในกลุ่มแซนโทรฟิลล์ ตระกูลแคโรทีนอยด์ที่มีสีชมพูถึงแดง จากการศึกษาทางวิทยาศาสตร์พบว่าแอสตาแซนธินมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชั่นของออกซิเจนโมเลกุลเดี่ยวหรือค่าแสดงการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าโคเอนไซม์ คิวเทน 800 เท่า สูงกว่าคาทีชินซึ่งเป็นสารสกัดจากชาเขียว 560 เท่าและมีค่าสูงกว่าวิตามินซี 6,000 เท่า (Nishida et al., 2007) จากการศึกษาเพิ่มเติมของ Shimidzu และคณะ พบว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าวิตามินอี 550 เท่า และสูงกว่าเบต้าแคโรทีน 40 เท่า

ความปลอดภัยในการใช้กับเครื่องสำอางและอาหารเสริมสารแอสต้าแซนทีน ปลอดภัยสำหรับการใช้เป็นเครื่องสำอาง จากจำนวนผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 45 คน (ทั้งหญิงและชาย) ที่รับการทดสอบ Standard Japaanese Patch พร้อมรายงานผลในเวลา 24-48 ชั่วโมงหลังการทดสอบ ผิวชั้นนอกนั้นเกิดอาการเนื่องจากพลาสเตอร์กาวเท่านั้น ไม่มีอาการที่เกิดจากแอสต้าแซนทีนแต่อย่างใด (Takaichi et al., 2003)

ปัจจุบันมีบริษัทที่ผลิตแอสต้าแซนทีนขึ้นรายเดียวคือ บริษัท F. Hoffmann-La Roche & Co. Ltd. ที่ผลิตเฉพาะ ออลทรานส์ แอสต้าแซนทีน *(*all- trans astaxanhtin*)* ซึ่งได้รับการอนุมัติจากหน่วยงานอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาให้ใช้เป็นอาหารเสริมในการเลี้ยงปลาแซลมอน แต่เมื่อพิจารณาถึงแนวโน้มการบริโภคในปัจจุบันพบว่า ผู้คนส่วนใหญ่เริ่มมีความระมัดระวังในการบริโภคอาหารที่มีการสังเคราะห์เจือปน (food additive) ดังนั้นการใช้แอสต้าแซนทีนที่ได้จากธรรมชาติน่าจะปลอดภัยและได้รับความไว้วางใจจากผู้บริโภคมากว่า นอกจากนั้นแอสต้าแซนทีนได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีนั้นมีขั้นตอนที่ค่อนข้างยากและซับซ้อน จึงทำให้มีราคาแพงมากโดยแอสต้าแซนทีนมีความเข้มข้น 5-10 เปอร์เซ็นต์ มีราคาสูงถึง *2,500* เหรียญสหรัฐต่อกิโลกรัม และเมื่อนำไปผสมกับอาหารเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สัตว์จะดูดซึมได้ไม่ดีเท่ากับแคโรทีนอยด์ที่ได้จากธรรมชาติ (Gil-Hwan *et al*., 1989 *และ* Johnson and Schroeder, 1995) ยีสต์ที่สามารถผลิตสารสีแอสต้าแซนทีนได้ กล่าวคือ *Phaffia rhodozyma* เป็นสายพันธุ์เดียวของยีสต์ที่สามารถสร้างแอสต้าแซนทีนได้ โดย ได้ทดลองเลี้ยง *Phaffia rhodozyma* ใน *standard medium* พบว่าการเจริญจะหยุดเมื่อกลูโคสในอาหารไม่มีแล้ว แต่การสร้างแอสต้าแซนทีนจะยังคงสร้างต่อไป และพีเอช 4.5 นั้นจะเหมาะสมต่อ

การเจริญและการสร้างแอสต้าแซนทีนของยีสต์ ส่วนแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมสำหรับการสร้างแอสต้าแซนทีน คือ cellulobiose โดยที่ cellulobiose จะใช้ได้เฉพาะในสภาวะที่มีอากาศเท่านั้นซึ่งต่างกับแหล่งคาร์บอนอื่น ๆ สำหรับแหล่งไนโตรเจนมีผลต่อการเจริญและการสร้างแคโรทีนอยด์ค่อนข้างจำกัดมาก มีการศึกษาโดยนำ *Phaffia rhodozyma* เลี้ยงในน้ำมะพร้าว กากน้ำตาล การไฮโดรไลซิสจากลูกพีช น้ำองุ่น น้ำแป้งสาคู เป็นต้น (*Dominguz and Torres,* 2004*;* Chutinut et al., 2012) สามารถผลิตชีวมวลและสารสีแอสต้าแซนทีนได้เป็นอย่างดี ในปัจจุบันได้มีการนำสารสีแอสต้าแซนทีนไปใช้ในประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น

จะมีหน้าที่สำคัญเกี่ยวกับการสร้างภูมิคุ้มกัน โดยเฉพาะในลูกปลาขนาดเล็ก (*Ellis,* 1988).

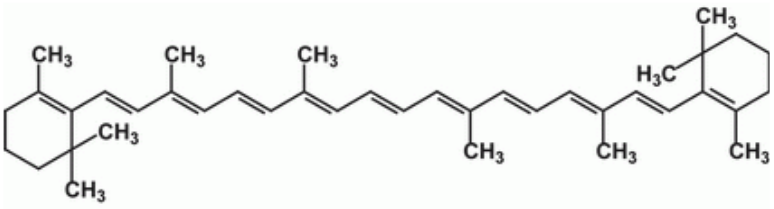
งานวิจัยของ *Naguib* , *2000* และ *Baker* และคณะ *2004* พบว่า สารแอสต้าแซนทีนมีคุณสมบัติในการเป็นแอนติออกซิแดนท์ มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า เบตาแคโรทีน ลูทีน ซีแซนธิน และ แคนธาแซนธิน ประมาณ *10* เท่า และมีประสิทธิภาพสูงกว่า วิตามินอีกประมาณ *500* เท่า

ได้มีผลการวิจัยของ *Jyanouchi* และ คณะ , *2000* พบว่า แอสต้าแซนทีนมีส่วนช่วยป้องกันการเกิดมะเร็งในลำไส้ใหญ่ ระบบทางเดินอาหาร หรือ อาจช่วยยับยั้งการเกิดเนื้องอกและกระตุ้นภูมิคุ้มกันในหนูได้

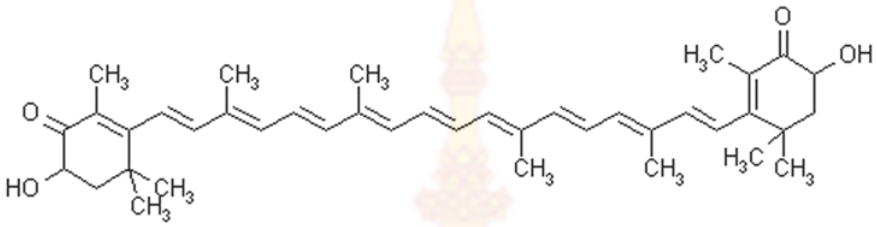
Yamashita (2006) .ได้ทำการวิจัยทางคลินิกโดยศึกษาแบบ Single Blind Randomized Control ในอาสาสมัครหญิงที่อายุประมาณ 47 ปี จำนวน 49 คน โดยให้รับประทานแอสตาแซนธิน 2 มิลลิกรัม วันละ 2 ครั้งเป็นเวลา 6 สัปดาห์ เทียบกับกลุ่มควบคุม ผลการศึกษาพบว่าตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 จนถึงสัปดาห์ที่ 6 ของการทดลอง อาสาสมัครรู้สึกว่าสุขภาพผิวดีขึ้น คือ ความแห้งและหยาบกระด้างของผิวลดลง ผิวมีความชุ่มชื้นเพิ่มขึ้น ความยืดหยุ่นมากขึ้น ริ้วรอยลดลง

3.1 โครงสร้างทางเคมีแอสต้าแซนทีน

แอสต้าแซนทีน 3,3'-dihydroxy-β-β'-carotene -4-4'-dione) จัดอยู่ในกลุ่มของแซนโธฟิลล์ หรืออาจเรียกว่า คีโตแคโรทีนอยด์ (Ketocarotenoid) เนื่องจากมีโครงสร้างอยู่ในลักษณะที่อยู่ในรูปของเบตา-แคโรทีน (รูปที่ 1 ก) ที่ถูกเติมออกซิเจน โดยโครงสร้างหลักประกอบไปด้วยแกนไฮโดรคาร์บอนระหว่างคาร์บอนอะตอมจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะคู่ ที่เรียกว่า polyene โดยปลายทั้งสองข้างเป็นวงแหวนแบบปิด (Ionone rings) ของไฮโดรคาร์บอน ตรงปลายวงแหวนจะมีหมู่ของไฮดรอกซิลและออกซิเจน (รูปที่ 1 ข) ลักษณะโครงสร้างแบบ polyene มีส่วนสาคัญที่ช่วยในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ลักษณะการดูดกลืนคลื่นแสงตลอดจนมีคุณสมบัติ lipophilic ส่วนวงแหวนค่อนข้างมีขั้ว ซึ่งความมีขั้วจะลดลง เมื่อแอสตาแซนธินถูก เอสเทอริไฟด์ แอสตาแซนธินสามารถพบโดยอยู่อย่างอิสระ หรือทาปฏิกิริยาทางเคมีร่วมกับโปรตีน ที่เรียกว่า Carotenoproteins หรือทาปฏิกิริยากับ lipoproteins ที่เรียกว่า Carotenolipoproteins ทาให้มีสีเขียวหรือน้าเงิน แทนที่จะมีสีแดงหรือส้มดาซึ่งปรากฏอยู่ในกุ้งลอบสเตอร์ แคโรทีนอยด์มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยการดูดซับพลังงานกระตุ้นจาก Singlet oxygen ทาให้เกิดการเสื่อมสลายของโมเลกุลแคโรทีนอยด์แทนที่จะไปทาลายโมเลกุลหรือเนื้อเยื่ออื่นๆ นอกจากนี้ยังป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยาลูกโซ่ที่เกิดจากการสลายของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายพันธะที่สามารถเร่งการเสื่อมสลายของไขมันในเมมเบรนต่อไปได้



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างของ (ก) เบตาแคโรทีน (ข) แอสตาแซนธิน
ที่มา : Johnson and An, (1991)

3.2 แหล่งของแอสต้าแซนทีน

1) สังเคราะห์ขึ้นโดยวิธีทางเคมี

ปัจจุบันมีบริษัทที่ผลิตแอสต้าแซนทีนขึ้นรายเดียวคือ บริษัท F. Hoffmann-La Roche & Co. Ltd. ที่ผลิตเฉพาะ ออลทรานส์ แอสต้าแซนทีน (all- trans astaxanhtin) ซึ่งได้รับการอนุมัติจากหน่วยงานอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาให้ใช้เป็นอาหารเสริมในการเลี้ยงปลาแซลมอน แต่เมื่อพิจารณาถึงแนวโน้มการบริโภคในปัจจุบันพบว่า ผู้คนส่วนใหญ่เริ่มมีความระมัดระวังในการบริโภคอาหารที่มีการสังเคราะห์เจือปน (food additive) ดังนั้นการใช้แอสต้าแซนทีนที่ได้จากธรรมชาติน่าจะปลอดภัยและได้รับความไว้วางใจจากผู้บริโภคมากว่า นอกจากนั้นแอสต้าแซนทีนได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีนั้นมีขั้นตอนที่ยุ่งยากและซับซ้อน จึงทำให้มีราคาแพงมากโดยแอสต้าแซนทีนมีความเข้มข้น 5-10 เปอร์เซ็นต์ มีราคาสูงถึง 2,500 เหรียญสหรัฐต่อกิโลกรัม และเมื่อนำไปผสมกับอาหารเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สัตว์จะดูดซึมได้ไม่ดีเท่ากับแคโรทีนอยด์ที่ได้จากธรรมชาติ (Gil-Hwan et al., 1989 และ Johnson และSchroeder, 1995)

2) สังเคราะห์ขึ้นในธรรมชาติ

แอสต้าแซนทีนในธรรมชาติมักจะอยู่ในรูป carotenoid protein complex ซึ่งมีสีต่าง ๆ มากมายจากเหลืองถึงแดง น้ำเงิน เขียว น้ำตาล เป็นต้น แอสต้าแซนทีนที่อยู่ในรูป carotenolipo(glyco)protein จะแทรกอยู่ในส่วนของไขมัน เช่น ไข่ของ crustacean แต่ในแอสต้าแซนทีนที่อยู่ในรูป carotenoprotein จะต่ออยู่กับโปรตีนโดยไม่ใช้พันธะ โควาเลนต์ แอสต้าแซนทินที่อยู่ในรูป carotenoprotein ที่รู้จักดีที่สุดคือ รงค์วัตถุสีน้ำเงินของ crustacyania (Zagalsky and Jones, 1982) รงควัตถุสีเหลือจากกุ้งมังกร (lobster) (Zagalsky, 1982) แอสต้าแซนทีนอาจอยู่ในรูปที่ถูก esterified เช่น ละลายในไขมันใน hepatopan creas ของ crustacean หรือเมื่อถูก esterified ในรูป diol อิสระ ซึ่งพบใน

เนื้อแซลมอน (Aandrewes and Starr, 1976) แอสต้าแซนทีนเป็นรงควัตถุที่พบมากในยีสต์ *Phaffia rhodozyma* ซึ่งจะอยู่ในรูปของ 3R, 3'R (Johnson and Lewis, 1979)

3) แหล่งจุลินทรีย์

3.1) ยีสต์และรา

Phaffia rhodozyma เป็นสายพันธุ์เดียวของยีสต์ที่สามารถสร้างแอสต้าแซนทีนได้ โดย Johnson and Lewis (1979) ได้ทดลองเลี้ยง *Phaffia rhodozyma* ใน standard medium พบว่าการเจริญจะหยุดเมื่อกลูโคสหมด แต่การสร้างแอสต้าแซนทินจะยังคงสร้างต่อไป และพีเอช 4.5 นั้นจะเหมาะสมต่อการเจริญและการสร้างแอสต้าแซนทีนของยีสต์ ส่วนแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมสำหรับการสร้างแอสต้าแซนทินคือ cellulobiose โดยที่ cellulobiose จะใช้ได้เฉพาะในสภาวะที่มีอากาศเท่านั้นซึ่งต่างกับแหล่งคาร์บอนอื่น ๆ สำหรับแหล่งไนโตรเจนมีผลต่อการเจริญและการสร้างแคโรทีนอยด์ค่อนข้างจำกัดมาก

3.2) แบคทีเรีย

Mycobacterium lactiola เป็นแบคทีเรียชนิดแรกที่มีรายงานว่าสามารถสร้างแอสต้าแซนทินในอาหารที่มีสารไฮโดรคาร์บอนได้ จะไม่สร้างในอาหารnutrient agar (Hass and Bushnell, 1944) *Brevibacterium* sp. เป็นแบคทีเรียสามารถสร้างแอสต้าแซนทินได้เช่นกัน *Halobacterium salinarium* เป็นแบคทีเรียที่สามารถสร้างรงควัตถุชนิด ketocarotenoid (Calo et al., 1995)

3.3) สาหร่าย

สาหร่ายที่สามารถสร้างแอสต้าแซนทีนได้มีหลายชนิดแต่ละชนิดต้องมีสภาวะที่เหมาะสมจึงจะสร้างได้ดีแตกต่างกัน เช่น *Haematococcus* sp (Droop, 1955) *Chlorella fusa*, *Chloreela zofingiensis* (Borowitzka, 1989) เป็นต้น

4) หน้าที่หลักของแอสต้าแซนทีน

4.1) ทำหน้าที่ในการเกิดสี (pigmentation)

จากการศึกษาของ Storebakken และคณะ (1986) ศึกษาการใช้แคร์โรทีนอยด์เพื่อเพิ่มคุณภาพสีของเนื้อปลา Atlantic salmon โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ astaxanthin, astaxanthin diplmitate และ canthaxanthin ที่ระดับ 0,30,60 และ 90 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ทดลองผสมในอาหารให้ปลากินเป็นเวลา 56 สัปดาห์ พบว่า astaxanthin ทำให้เนื้อปลามีสีแดงมากที่สุด รองลงมาคือ canthaxanthin และ astaxanthin dipalmitate ตามลำดับ ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้โดยขบวนการสังเคราะห์ (biosynthesis) ของ carotenoid โดย carotenoid ที่มีอยู่ในธรรมชาติจะมีอยู่หลายแบบ ซึ่งเมื่อสัตว์น้ำพวกปลาและกุ้งกินเข้าไปจะผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างต่างๆ ให้อยู่ในรูป end product คือ astaxanthin แล้วดูดซึมเข้ากล้ามเนื้อ (D' abramo และคณะ , 1983) เพราะฉะนั้น การให้ carotenoid ในรูป astaxanthin จะสามารถดูดซึมได้เร็วกว่า canthaxanthin และคุณสมบัติในการรวมตัวกับ lipoprotein ที่ดีกว่าของ astaxanthin ทำให้มีการตกค้างในกล้ามเนื้อมากกว่าด้วย ดังนั้นการใช้ astaxanthin จึงให้ผลดีกว่าการใช้ canthaxanthin

4.2) หน้าที่ทางสรีวิทยา (Physiological Function)

Astaxanhtin มีผลทางสรีระวิทยาของสัตว์น้ำหลายประการ ได้แก่ ช่วยป้องกันเซลล์ที่อาจถูกทำลายจากสารพิษต่าง ๆ ที่เกิดจากขบวนการบางอย่างในร่างกายสัตว์เอง ทำให้เซลล์มีสภาพที่ดี และเป็นแหล่งของออกซิเจนที่สำคัญในเซลล์ นอกจากนี้ยังเป็นสาร Analogous ของวิตามินละลายในไขมันอีกด้วยการป้องกันภายในเซลล์ โดยธรรมชาติแล้ว astaxanthin มีความสามารถในการจับและการทำลายสารพิษต่าง ๆ ซึ่งขบวนการดังกล่าวเป็นการป้องกันและรักษาสภาพของเซลล์ให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม การเจริญเติบโตและพัฒนาอย่างรวดเร็วของเซลล์นั้น ทำให้เกิดการผลิตสารพิษต่าง ๆ รวมทั้งการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารต่าง ๆ ที่ได้จากขบวนการทางเคมีในร่างกาย ตัวอย่างเช่น free radicals lipid peroxides และสารพวก oxidative ต่าง ๆ นั้น ถ้าไม่ถูกจับและทำลายโดย astaxanthin แล้วสารเหล่านี้จะเป็นอันตรายต่อเซลล์ (Miki, 1991) เป็นแหล่งเก็บออกซิเจนในเซลล์ในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำมาก ๆ เช่น ในไข่ซึ่งมีการเจริญเติบโต และมีการแบ่งตัวอย่างรวดเร็วของเซลล์ พบว่า astaxanthin สามารถช่วยทำให้เซลล์และเนื้อเยื่อ มีการเจริญเติบโตและพัฒนาได้เป็นปกติ และเหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ในปากแม่ปลาในดิน มักมีเม็ดสีมากกว่าไข่ที่พัฒนาในสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจนสูง สุขภาพและภูมิคุ้มกันโรคปลาเป็นสัตว์มีกระดูกสันหลังชนิดแรกที่มีระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งคล้ายคลึงกับสัตว์เลือดอุ่นทั่วไป ระบบภูมิคุ้มกันของปลาประกอบด้วยเซลล์หลายชนิด เช่น Plasma cell, Macrophage Lymphocyte, Basophill, Eosinophil และอวัยวะในระบบน้ำเหลือง (Lymphoid organ) ได้แก่ ไตส่วนหน้า ประกอบด้วย Haempopietic tissue ที่มี Lymphocyte, Macrophage และ Plasma cell ซึ่งมีหน้าที่สำคัญในการสร้าง antibody ม้าม ประกอบด้วยหลอดเลือดขนาดเล็ก (ellipsoid) ที่มี macrophage และ reticular fiber จำนวนมาก ม้ามทีหน้าที่สำคัญในการทำลายเม็ดเลือดแดงและเก็บสะสมเหล็กเพื่อนำกลับมาสร้างเม็ดเลือดและต่อมไทมัส พบบริเวณผนังด้านบนส่วนปลายของคอหอย บริเวณช่องกระพุ้งแก้มใกล้โคนครีบ หู ซึ่งประกอบด้วย lymphocyte ที่กำลังพัฒนาจำนวนมาก จะมีหน้าที่สำคัญเกี่ยวกับการสร้างภูมิคุ้มกัน โดยเฉพาะในลูกปลาขนาดเล็ก (Ellis, 1988).

4.สารกันหืน (antioxidant)

องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration :FDA) กำหนดให้สารกันหืนเป็นสารที่ใช้รักษาคุณภาพอาหารโดยชะลอการเสื่อมเสียทีเกิดจากการหืนหรือการเปลี่ยนสีเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Buck, 1990)

หน้าที่ของสารกันหืน

1.ลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น คือการทำงานได้ 2 แบบ (ศุภวรรณ , 2538) ดังนี้ คือ กลุ่มนี้จะทำหน้าที่ทั้งลดปริมาณเปอร์ออกไซด์ โดยเปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์ สารกันหืนสลายตัวของเปอร์ออกไซด์ไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่อนุมูลจึงมีความคงตัว

2.หยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ สารกันหืนกลุ่มนี้ได้แก่ สารประกอบฟีนอลหรือวงแหวนเอมีน ซึ่งสามารถจับกับอนุมูลเปอร์ออกซี โดยที่สารประกอบฟีนอลจะให้ฟีนอลิกไฮโดรจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว

อนุมูลฟีนอลซิลอยู่ในสภาพเรโซแนนซ์ที่คงตัวไม่สามารถทำปฏิกิริยากับกรดไขมันและออกซิเจน ดังนั้นปฏิกิริยาลูกโซ่จะไม่เกิดขึ้นอีกต่อไป

4.1 สมบัติของสารกันหืน

สารกันหืนแต่ละชนิดมีสมบัติและประสิทธิภาพในการป้องกันการหืนแตกต่างกันไป ซึ่งจะเลือกใช้ชนิดใดนั้นควรต้องคำนึงถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

1. ใช้ได้ผลดีในการกันหืนด้วยปริมาณต่ำ
2. ไม่เป็นพิษต่อผู้บริโภค
3. ใช้ได้สะดวก ละลายได้ดี
4. ต้องไม่ก่อให้เกิดลักษณะอันไม่พึงปรารถนาในผลิตภัณฑ์นั้น
5. ต้องมีคุณสมบัติที่เรียกว่า แคริทรู (carry through) ที่ดีหมายถึง มีความคงทนต่อความ
6. ร้อนที่อุณหภูมิสูง เช่น อุณหภูมิของเตาอบ น้ำมันที่ใช้ทอดผลิตภัณฑ์ และควรมีความคงทนในช่วงการเก็บรักษาด้วย

4.2 ประเภทของสารกันหืน

สารกันหืนมีอยู่มากมายหลายชนิด สามารถจำแนกตามแหล่งกำเนิดได้ 2 ประเภท คือ

4.2.1 สารกันหืนสังเคราะห์คือ สารที่เกิดขึ้นโดยวิธีทางเคมี ใช้วัตถุดิบประเภทผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม และคุณสมบัติยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น บีเอชเอ (Butylated hydroxyl anisole; BHA) โพรฟิลเกลเลต (Propyl gallate; PG) และ กรดนอร์ไดไฮโดรกวอเรติก (Nordihydroguaretic acid, NDGA) เป็นต้น สารเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบฟีนอลิก มีคุณสมบัติสารกันหืนได้ดีพอสมควร และไม่ทำให้เกิดสีในอาหารหรือไขมันที่เติมลงไป

4.2.2 สารกันหืนธรรมชาติ คือ สารประกอบที่ได้ขากพืชหรือเนื้อเยื่อของสัตว์ต่าง ๆ และมีคุณสมบัติยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดวัน สารกันหืนธรรมชาติมีอยู่หลายชนิดได้จากแหล่งต่าง ๆ ได้แก่ เครื่องเทศ กานพลู อบเชย ดอกจันทร์ มีประสิทธิภาพเป็นกันกันหืนที่ดี นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติเป็นสารเสิรมฤทธิ์ที่ดีเมื่อใช้ร่วมกับบีเอชเอ แต่ในสภาวะที่มีแสง เครื่องเทศสีเขียวหลายชนิดแสดงการเป็นสารเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน

แคโรทีนอยด์ เป็นรงควัตถุที่พบมากในแครอท สีของแคโรทีนอยด์จะผันแปรไปตามจำนวนของพันธะคู่ชนิดคอนจูเกในโมเลกุล แคโรทีนอยด์ที่อยู่ในรูปออลทรานส์เป็น ซีส คือ แสง ความร้อน กรด แคโรทีนอยด์สลายตัวได้ง่ายเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน แคโรทีนนอยด์สามารถถูกออกซิไดส์ได้ง่าย และมีคุณสมบัติเป็นสารกันหืนที่มีความดันที่มีออกซิเจนสูง ๆ เบต้า-แคโรทีน จะมีคุณสมบัติเป็นสารก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่ที่มีความดันที่มีออกซิเจตต่ำ จะยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (นิธิยา. 2539) แคโรทีนอยด์จะช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเซลล์ หน้าที่ของการเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ ของแคโรทีนอยด์จะช่วยในการยับยั้งการเกิดโรคมะเร็ง ต้อกระจก และช่วยชะลอความแก่ (Femmema, 1996)

5. การประยุกต์ใช้ในอาหารสัตว์น้ำ

สารแอสต้าแซนทีน

การผสมแอสต้าแซนทินในอาหารเพื่อเร่งสีของสัตว์น้ำ สัตว์น้ำไม่สามารถสังเคราะห์ carotenoid ได้ด้วยตัวเอง จึงต้องรับ carotnoid ในรูปของอาหาร เมื่อผ่านขบวนการย่อยแล้ว carotenoid จะถูกดูดซึมผ่านผนังทางเดินอาหารร่วมกับไขมันอื่น ๆ ในรูปที่แตกต่างกันไป ขึ้นกับสภาพภายในทางเดินอาหารของสัตว์น้ำแต่ละชนิด carotenoid เหล่านี้จะสะสมอยู่ภายในร่างกายเป็นผลให้เกิดสีขึ้นในส่วนต่างๆ ในกุ้งและปูก็มีแคโรทีนนอยด์ซึ่งรวมอยู่กับโปรตีนทำให้ได้เป็นสีน้ำเงิน หรือ เทาอมน้ำเงิน เกิดจากสารแอสต้าแซนทีน ซึ่งเป็นแคโรทีนอยด์ที่มีสีแดง เมื่อรวมกับโปรตีนจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน พบได้ในเปลือกกุ้ง ปู และลอบสเตอร์ สำหรับปลาแซลมอน สีแดงของเนื้อปลาเกิดเนื่องจากแคโรทีนอยด์หลายชนิด เช่น แอสต้าแซนทีน (astaxanthin) ,แคนธาแซนธิน (canthaxanthin), ลูเทอิน(lutein) , ทูนาแซนธิน (tunasanthin) และทาราแซนธิน (tararxanthin), (Simpson et al., 1981 ; Torrissen , 1989)

สีของปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ มีความสำคัญต่อผู้บริโภคไม่แพ้ขนาดและรูปร่างของสัตว์น้ำ ดังนั้นนักเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงพยายามผลิตอาหารที่มีส่วนผสมของแคโรทีนอยด์เพื่อเร่งสีของสัตว์น้ำให้เข้มขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถจำหน่ายได้ในราคาสูงขึ้น การจะเลือกใช้แคโรทีนอยด์ชนิดใดต้องพิจารณาถึงชนิดของสัตว์น้ำด้วย ทั้งนี้เพราะสัตว์น้ำต่างชนิดกันจะมีความสามารถในการเปลี่ยนและสะสมแคโรทีนอยด์ได้ต่างกัน

มะลิ และคณะ (2537) ทดลองศึกษาผลการเสริม canthaxanthin และ แอสต้าแซนทิน ระดับต่าง ๆ ในอาหารต่อสีของกุ้งกุลาดำ ทดลอง 6 สูตร ระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า การเสริมรงค์วัตถุทั้ง 2 ชนิด ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร เมื่อเสริมแอสต้าแซนทีน 50 มิลลิกรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม เลี้ยงกุ้ง 4 สัปดาห์ ก็เพียงพอที่จะช่วยให้กุ้งมีสีตามที่ตลาดต้องการ

บานชื่น (2532) ทดลองเลี้ยงปลาดุกอุยด้วยอาหารที่ผสมสาหร่ายเกลียวทองสด (Spirulina sp.) ที่ระดับต่าง ๆ เมื่อใช้สาหร่ายเกลียวทองสดผสมในอาหารปริมาณ ตั้งแต่ 5 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ความเข้มของสีเนื้อปลาจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสาหร่ายเกลียวทอง

วุฒิพร (2527) ทดลองผสมรงค์วัตถุจากแหล่งต่าง ๆ กับอาหาร ได้แก่ สาหร่ายสไปรูไลนา , กุ้งป่น , carophyll red,หอยแมลงภู่ กลีบดอกดาวเรืองแห้งพันธุ์ , กลีบดอกดาวเรืองแห้งพันธุ์ไซเวอร์เรียน และฟักทอง พบว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายสไปรูไลนา 15 เปอร์เซ็นต์ มีความเข้มข้นของสีมากกว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองอื่น ๆ

6.การประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอาง

แอสตาแซนธิน (Astaxanthin) เป็นสารในกลุ่มแซนโทรฟิลล์ ตระกูลแคโรทีนอยด์ที่มีสีชมพูถึงแดงจากการศึกษาทางวิทยาศาสตร์พบว่าแอสตาแซนธินมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชั่นของออกซิเจนโมเลกุลเดี่ยวหรือค่าแสดงการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าโคเอนไซม์ คิวเทน 800 เท่า สูงกว่าคาทีชินซึ่งเป็นสารสกัดจากชาเขียว 560 เท่าและมีค่าสูงกว่าวิตามินซี 6,000 เท่า (Nishida et al., 2007) จากการศึกษาเพิ่มเติมของ Shimidzu และคณะ พบว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าวิตามินอี 550 เท่า และสูงกว่าเบต้าแคโรทีน 40 เท่า

ความปลอดภัยในการใช้กับเครื่องสำอางและอาหารเสริมสารแอสต้าแซนทีน ปลอดภัยสำหรับการใช้เป็นเครื่องสำอาง จากจำนวนผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 45 คน (ทั้งหญิงและชาย) ที่รับการทดสอบ Standard Japaanese Patch พร้อมรายงานผลในเวลา 24-48 ชั่วโมงหลังการทดสอบ ผิวชั้นนอกนั้นเกิด

อาการเนื่องจากพลาสเตอร์กาวเท่านั้น ไม่มีอาการที่เกิดจากแอสต้าแซนทีนแต่อย่างใด (Takaichi et al., 2003)

วันวิสา และ สุรพงษ์ (2556) ได้ทำการทดลองเสริมสารแอสต้าแซนทีนเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นและลดเลือนริ้วรอยในครีม ครีมแอสต้าแซนทีนมีประสิทธิภาพมากกว่าครีมเบนมาตรฐานในการเพิ่มความชุมชื้นและลดเลือนจุดด่างดำของผิวรอบดวงตาได้ในสัปดาห์ที่ 2 และครีมแอสต้าแซนทีนมีประสิทธิภาพมากกว่าครีมเบสมาตรฐาน ในการเพิ่มความชุมชื้นและลดรอยแดงของผิวรอบดวงตาได้ในสัปดาห์ที่ 4 แต่ ครีมแอสตาแซนทีนไม่สามารถลดเลือนริ้วรอยของผิวรอบดวงตาได้ทั้งในสัปดาห์ที่ 2 และ 4 เช่นเดียวกับครีมเบสมาตรฐาน

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1. ศึกษาการเสริมสารสีแอสต้าแซนทีนในการเลี้ยงปลาสวายเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่ากับเนื้อปลาสวาย

2.2 ศึกษาการเสริมสารสีแอสต้าแซนทีนในครีมบำรุงผิวหน้า

ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาการผลิตชีวมวลของเชื้อ *Phaffia rhodozyma* TISTR 5730 ในน้ำทิ้งโรงงานผลิตขนมจีน ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสีแอสต้าแซนทีน โดยใช้ Supercritical Fluid Extraction จากการเลี้ยงในน้ำทิ้งโรงงานผลิตขนมจีน และการประยุกต์ใช้สารสีแอสต้าแซนทีนในผลิตภัณฑ์อาหาร ผลิตภัณฑ์เวชสำอาง เป็นต้น

บทที่ 2

วิธีการดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 ศึกษาการนำไปใช้ประโยชน์

1.1 ในด้านอาหารสัตว์น้ำ

จากการทดลองจะได้ยีสต์แห้งที่ได้จากการทดลอง นำไปเลี้ยงในถังหมักขนาด 5 ลิตร เพื่อจะได้เซลล์ยีสต์ดังกล่าวแล้ว จึ่งนำไปใช้ประโยชน์เป็นแหล่งอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ โดยเลี้ยงปลาสวาย ซึ่งมีสูตรที่ทำการทดลองด้วยกัน 3 สูตร สูตรละ 3 ซ้ำ ดังนี้ (ภาพที่ 3)

สูตรที่ 1 สูตรควบคุม

สูตรที่ 2 นำสารสีแอสต้าแซนทีนเสริมในอาหารเลี้ยงปลาสวายร้อยละ 20 มิลลิกรัมต่อลิตรต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

สูตรที่ 3 นำสารสีแอสต้าแซนทีนเสริมในอาหารเลี้ยงปลาสวายร้อยละ 40 มิลลิกรัมต่อลิตรต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

สูตรที่ 4 เป็นสูตรที่มีการนำสารสีแอสต้าแซนทีนเสริมในอาหารเลี้ยงปลาสวายร้อยละ 80 มิลลิกรัมต่อลิตรต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

การเตรียมอาหารโดยใช้วัตถุดิบที่ไม่มีสารแอสต้าแซนทีนนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารทดลองและผสมวัตถุดิบอาหารตามสูตรต่าง ๆ ให้เข้ากัน นำไปอัดเม็ดและทำให้แห้งด้วยเครื่องทำให้แห้งใช้ความเย็น เพื่อรักษาคุณค่าทางโภชนาการ

ปลาสวายที่ใช้ในการศึกษาเป็นลูกปลาที่ได้จากการเพาะพันธุ์จากฟาร์มเอกชน มีอายุประมาณ 2 เดือน นำมาเลี้ยงเพื่อปรับสภาพให้คุ้นเคยดับการทดลอง ในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 1 ตัน ในอาหารเม็ดสูตรควบคุม วันละ 2 มื้อ และเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ การปล่อยในตู้กระจกใช้ปลาสวายจำนวน 30 ตัว หลังจากนั้นทำการเลี้ยงปลาสวายเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยทำการให้อาการทุกวันและทำการคัดเลือกชุดการทดลองโดยการวิเคราะห์ตรวจค่าความหืน TBA ค่าสี และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ในทุก ๆ เดือน (AOAC, 2000) เมื่อทำการเลี้ยงครบตามระยะเวลาทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ซึ่งปัจจัยคุณภาพที่ทำการทดสอบประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค สำหรับปลาสวายแล่ ได้แก่ สี กลิ่น ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะความชอบโดยรวม โดยใช้การประเมินความชอบผลิตภัณฑ์แบบ 9-Point Hedonic Scale โดยผู้ทดสอบชิมทั่วไปที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน นำผลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด(Completely Randomized Design) และ เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยวิธีของ Duncan's multiple rang test (DMRT)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของอาหารและทดลองที่เสริมแอสต้าแซนทีนในระดับต่าง ๆ กัน

วัตถุดิบ (กรัม)	สูตรอาหาร (กรัม)			
	สูตรควบคุม	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
ปลาป่น	67	67	67	67
หวีดกลูเท่น	3	3	3	3
แป้งสาลี	15	15	15	15
กัวกัม	0.5	0.5	0.5	0.5
น้ำมันปลา	7	7	7	7
วิตามินบีรวม	1	1	1	1
เกลือแร่รวม	2	2	2	2
วิตามินซี	0.5	0.5	0.5	0.5
แอสต้าแซนทีน	0	0.2	0.4	0.8
เซลลูโลส	4	3.8	3.6	3.2

ที่มา : ดังแปลงจาก นงลักษณ์ และคณะ (2554)

หมายเหตุ

วิตามินบีรวม ประกอบด้วยวิตามิน (ปริมาณกรัมต่อกิโลกรัมวิตามินรวม)

เกลือแร่รวม ประกอบด้วย เกลือแร่ในอัตราส่วนที่รวม

แอสต้าแซนทีนที่ได้จากการสกัดจากเชื้อ *Phaffia rhodozyma* TISTR 5370 โดยวิธีของ Jian-Ping *et al*., 1997; Dominguez and Torres , 2004

ภาพที่ 3 อาหารปลาสวายที่เสริมสารสีแอสตาแทนทีน ที่ระดับต่าง ๆ

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีอย่างหยาบของอาหารทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีอย่างหยาบ	สูตรอาหาร			
(% ของน้ำหนักแห้ง)	สูตรควบคุม	สูตรที่ 1	สูตรที่2	สูตรที่ 3
โปรตีน	45.81	45.27	45.35	45.37
ไขมัน	14.66	15.03	15.11	15.20
คาร์โบไฮเดรต	15.55	15.98	15.70	15.49
เยื่อใย	0.53	0.55	0.49	0.50
เถ้า	16.23	17.11	17.03	17.59
ความชื้น	18.03	17.19	17.88	18.03
ปริมาณแอสต้าแซนทีน (มก./กก.)	--	10	18	25

1.2 ในด้านผลิตภัณฑ์เวชสำอาง

การพัฒนาครีมบำรุงผิวหน้าผสมแอสต้าแซนทีน

1.2.1. เตรียมตำรับผลิตภัณฑ์บำรุงผิวหน้าโดยเตรียมในรูปแบบครีมทั้งหมด 4 สูตร โดยเตรียมสารทั้งในส่วนของ Oil phase และ Water phase ตามตำรับโดยใช้เป็นสูตรมาตรฐานหรือสูตรที่ 1 และเติมสารแอสต้าแซนทีนลงไปร้อยละ 0.2, 0.4 และ 0.8 ในสูตรที่ 2-4 ตามลำดับ ทำการผสมส่วนประกอบใน Oil phase ให้เข้ากันโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และผสมส่วนประกอบใน Water phase ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เมื่อส่วนผสมของทั้ง 2 phase ละลายเข้ากันดีแล้ว เทส่วนผสม Water phase ลงใน ส่วนผสม Oil phase คนตลอดเวลาให้เนื้อครีมกระจายเข้ากันประมาณ 10 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นและบรรจุใส่ภาชนะ

1.2.2 ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพจากสี กลิ่น และความคงตัวของผลิตภัณฑ์

1.2.3. ทดสอบความพึงพอใจและการยอมรับหลังการใช้ผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค โดยการจัดทำแบบสอบถามเพื่อสำรวจความพึงพอใจและการยอมรับผลิตภัณฑ์ในอาสาสมัครจำนวน 50 คน ด้วยแบบสอบถามประกอบด้วย ข้อมูลส่วนตัว ความคิดเห็น ความตั้งใจซื้อ ความพึงพอใจ และการยอมรับต่อ

ผลิตภัณฑ์ เพื่อประเมินศักยภาพทางการตลาดและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ตรงต่อความต้องการของผู้บริโภค โดยอาสาสมัครทุกคนจะต้องใช้เป็นประจำอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 4 สัปดาห์

บทที่ 3

ผลการวิจัย และ วิจารณ์ผล

1.ผลการทดลองนำสารสีแอสต้าแซนทีนมาเลี้ยงปลาสวาย

โดยการนำสารสีแอสต้าแซนทีนมาจากการเลี้ยงยีสต์ในน้ำทิ้งโรงงานขนมจีนที่มีการปรับสูตรเพื่อการเพาะเลี้ยงยีสต์ *Phaffia rhodozyma* TISTRS 5370 ในน้ำทิ้งโรงงานขนมจีน โดยนำเลี้ยงยีสต์ *P. rhodozyma* TISTR 5370 เลี้ยงในน้ำมะพร้าว ที่เจือจางด้วยน้ำทิ้งโรงงานขนมจีนอัตราส่วน 1:3 นำมาผสมกับ น้ำตาลโตนด ร้อยละ 5 กลูโคส 10 กรัมต่อลิตร , ยีสต์สกัด 3 กรัมต่อลิตร , K_2HPO_4 0.1 กรัมต่อลิตร, NaCl 0.01 กรัมต่อลิตร, $MgSO_4$ 0.01 กรัมต่อลิตร และ $CaCl_2$ 0.01 กรัมต่อลิตร กรด critic acid ร้อยละ 1 มีพีเอชเริ่มต้นที่ 5.5 บนเครื่องเขย่าความเร็ว 200 รอบต่อนาที มีความเข้มข้นแสงที่ 500 ลักซ์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง มีน้ำหนักเซลล์แห้ง เท่ากับ 10.30 กรัมต่อลิตร และปริมาณสารแอสต้าแซนทีน เท่ากับ 930 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์ (chutinut, *et al*., 2012) กรดอะมิโนที่จำเป็นแก่ร่างกาย (essential amino acid : EAA) ครบทุกชนิด เช่น ไลซีน เมทไธโอนีน และ วาลีน เป็นต้น (Chutinut *et al*., 2017)

2.ผลการนำยีสต์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการเลี้ยงปลาสวาย

2.1. การเจริญเติบโตของปลาสวาย

การเจริญเติบโตของปลาสวายที่ได้รับอาหาiเสริมสารสีแอสต้าแซนทีนที่ระดับต่าง ๆ พบว่าปลาสวายมีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย เท่ากับ 18.23 $\pm$ 0.3, 17.98$\pm$0.24, 18.85$\pm$0.19 และ 18.35$\pm$0.12 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) พบว่า ปลาสวายที่เสริมด้วยสารแอสต้าแซนทีนที่ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีการเจริญเติบโตดีที่สุด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนอัตราการรอดตายปลาสวาย เมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมสารสีแอสต้าแซนทีนที่ระดับต่าง ๆ พบว่า 98$\pm$0.11, 98$\pm$1.13, 98$\pm$1.21 และ 98$\pm$1.35 ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

2.2 คุณภาพของน้ำในการเลี้ยงปลาสวายในตู้

คุณภาพน้ำตลอดการทดลองมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 28-30 องศาเซลเซียส ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำอยู่ในช่วง 6-6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรดเป็นด่าง 7.5 แอมโมเนีย-ไนไตรเจน เป็น 0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 3 การเจริญเติบโต และ อัตราการรอดตายของปลาสวาย เมื่อได้รับอาหารผสมสารแอสต้าแซนทีน สวายที่เลี้ยงด้วยอาหาร 3 สูตร มีระยะเวลาในการเลี้ยง 3 เดือน

สูตรอาหาร	น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม/ตัว)	น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย (กรัม/ตัว)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (กรัม/ตัว)	อัตราการรอดตาย
ชุดควบคุม	4.99±0.04^{b}	18.23±0.3^{a}	11.03±0.20^{b}	98±1.10^{a}
สูตรที่ 1	4.92±0.38^{b}	17.98±0.24^{b}	11.13±0.11^{b}	98±1.11^{a}
สูตรที่ 2	5.04±0.1^{a}	18.85±0.19^{d}	11.51±0.03^{a}	98±1.21^{a}
สูตรที่ 3	5.01±0.1^{a}	18.35±0.12^{c}	11.11±0.04^{b}	98±1.35^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ชุดควบคุม สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 3

ภาพที่ 4 ปลาสวายเมื่อครบ 120 วัน เมื่อได้รับอาหารที่เสริมสารสีแอสตาแซนทีนที่ระดับต่าง ๆ

2.3. ผลการเสริมสารแอสต้าแซนทีนในอาหารเลี้ยงปลาสวาย

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบสารแอสต้าแซนทีนในเนื้อปลาสวาย จากการทดลองเมื่อมีการให้อาหารเสริมสารสีแอสต้าแซนทีนทั้งสามระดับ ที่ 20 40 และ 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า มีผลออกมาน้อยมาก เมื่อวิเคราะห์สารสีในเนื้อปลาสวาย (ตารางที่ 2) เนื่องจากปริมาณสารแอสต้าแซนทีนที่เสริมในอาหารมีปริมาณค่อนข้างน้อย เมื่อทำการตรวจวิเคราะห์ได้ค่าที่น้อยและอาหารปลาที่ให้อาจถูกเปลี่ยนไปในกล้ามเนื้อไขมัน เป็นส่วนประกอบของการเจริญเติบโต มีการนำมาทำการศึกษาต่อในการทดสอบชิมต่อไป (นงลักษณ์และคณะ, 2554)

ตารางที่ 4 ผลการเสริมสารแอสต้าแซนทีนในอาหารเลี้ยงปลา เมื่อเลี้ยงครบ 120 วัน

สูตรอาหารที่ (.(มิลลิกรัมต่อกรัม)	ปริมาณสารแอสต้าแซนทีน (µg/g)
ชุดควบคุม	ไม่มี
เสริมสารสีแอสต้าแซนทีน 20	5.0 ± 0.10^{c}
เสริมสารสีแอสต้าแซนทีน 40	11.0 ± 0.30^{b}
เสริมสารสีแอสต้าแซนทีน 80	13.0 ± 0.20^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแต่ละแถวแสดงค่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัย สำคัญ ($P\leq0.05$)

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าอาหารที่เสริมสารสีแอสต้าแซนทีนในอาหารปลาสวาย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสูตรควบคุมไม่มีปริมาณสารสีแอสต้าแซนทีน ส่วนสูตรที่ 3 ซึ่งเสริมสารสีแอสต้าแซนทีน 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นั้น เมื่อทำการวิเคราะห์สารสีแอสต้าแซนทีนในเนื้อปลาสวายพบปริมาณสารสีแอสต้าแซนทีนในปริมาณที่สูงเมื่อเทียบกับทุกสูตรการทดลอง (ตารางที่ 4)

2.3.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านประสาทสัมผัส

โดยการนำปลาสวายที่เลี้ยงในอาหารทีเสริมสารสีแอสต้าแซนทีน นำมาทำเป็นเนื้อปลาแล่ โดยนำมาศึกษาดูลักษณะต่าง ๆ ทดสอบด้านประสาทสัมผัส (ตารางที่ 5) ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของปริมาณแอสต้าแซนทีน 20 40 และ 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นเวลา 3 เดือน นำเนื้อปลาสวายที่เลี้ยงนำมาทำปลาแล่ ทดสอบชิม โดยมีแล่ขนาดชิ้นปลา 3 x 3 ซม. โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น เป็นเวลา 60 วัน นำสอบด้านประสาทสัมผัส ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะปรากฏ และความชอบรวม ผลปรากฏมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) พบว่าความชอบรวมที่เป็นที่ยอมรับคือการใช้สารสีแอสนค้าแซนทีนเสริมในอาหารร้อยละ 0.4 จึงได้นำมาทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบทางประสารทสัมผัสของปลาสวายแล่ เสริมสารสีแอสตาแซนทีนในอาหารที่ระดับต่าง ๆ กัน

ระยะเวลา	สารสีแอนตาแซนทีน	คะแนนปัจจัย				
Day		สี	กลิ่น	รสชาติ	ลักษณะปรากฏ	ความชอบรวม
15	0%	7.23±0.10 ^{a}	7.03 ±0.31 ^{b}	7.63 ±0.18 ^{ab}	7.16 ±0.50 ^{a}	7.06±0.60 ^{a}
	0.2%	7.63±0.16 ^{ab}	7.55 ±0.25^{ab}	7.11±0.14 ^{b}	7.46 ±0.15 ^{a}	7.33±0.67 ^{ab}
	0.4%	7.45 ±0.20 ^{ab}	7.21 ±0.17 ^{ab}	7.28±0.17 ^{ab}	7.28±0.19 ^{ab}	7.43±0.48 ^{ab}
	0.8%	7.36±0.15^{ab}	7.31±0.11^{ab}	7.26±0.15^{ab}	7.19±0.10^{ab}	7.26±0.44^{ab}
30	0%	7.10±0.11 ^{a}	7.31 ±0.31 ^{a}	7.06±0.11 ^{a}	7.17 ±0.31 ^{a}	7.26±0.50 ^{a}
	0.2%	7.13±0.26 ^{ab}	7.49±0.15 ^{ab}	7.29±0.24 ^{ab}	7.34 ±0.11 ^{ab}	7.33±0.67 ^{ab}
	0.4%	7.66±0.22 ^{c}	7.69±0.29 ^{c}	7.49±0.17 ^{c}	7.53 ±0.49 ^{c}	7.79±0.44 ^{c}
	0.8%	7.33±0.25 ^{b}	7.43±0.23 ^{a}	7.26 ±0.8 ^{ab}	7.39 ±0.30 ^{ab}	7.56±0.50 ^{c}
45	0%	7.63±0.15^{a}	7.45 ±0.10^{ab}	7.36±0.95 ^{ab}	7.35±0.25 ^{ab}	7.29±0.45 ^{ab}
	0.4%	7.61 ±0.10^{c}	7.48±0.49^{c}	7.53±0.15^{c}	7.55±0.35 ^{ab}	7.78±0.15 ^{ab}
	0.8%	7.38±0.15 ^{ab}	7.49±0.16 ^{ab}	7.35±0.19^{ab}	7.24±0.29^{ab}	7.39±0.69^{ab}
60	0%	7.17. ±0.21^{a}	7.45 ±0.39^{a}	7.40±0.35^{a}	7.21±0.45 ^{a}	7.33±0.20^{a}
	0.2%	7.21±0.12 ^{ab}	7.39±0.41^{ab}	7.19±0.09^{ab}	7.41±0.25 ^{a}	7.33±0.20^{a}
	0.4%	7.68 ±0.30^{c}	7.58±0.17^{c}	7.53±0.45^{c}	7.54±0.35 ^{c}	7.79±0.15 ^{c}
	0.8%	7.44±0.35 ^{cd}	7.39±0.79^{bc}	7.47±0.79^{ab}	7.33±0.17^{ab}	7.49±0.19^{c}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแต่ละแถวแสดงค่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัย สำคัญ (P≤0.05)

2.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่า TBA ความหืนของผลิตภัณฑ์

ปลาสวายยืดอายุโดยใช้สารสีแอสต้าแซนทีน ที่ระดับ 0.4% ที่อุณหภูมิตู้เย็น ซึ่งทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 60 วันพบว่า ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ปลาสวายยืดอายุโดยใช้สารแอสต้าแซนทีนจากสารสี *P. rhodozyma* TISTR 5730 ที่อุณหภูมิตู้เย็น ตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ค่า TBA ความหืนของผลิตภัณฑ์ปลาสวายยืดอายุโดยใช้สารสี *P. rhodozyma* TISTR 5730 ที่อุณหภูมิตู้เย็น ซึ่งทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 60 วัน

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)	ค่า TBA	
	ชุดควบคุม	0.40%
0	0.02 ± 0.16 [a]	0.02 ± 0.06 [a]
15	0.03 ± 0.12 [a]	0.02 ± 0.12 [a]
30	0.04 ± 0.19 [a]	0.03 ± 0.16 [b]
45	0.05 ± 0.15 [b]	0.04 ± 0.17 [b]
60	0.07 ± 0.16 [bc]	0.05 ± 0.10 [b]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแต่ละแถวแสดงค่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัย สำคัญ ($P \leq 0.05$)

การศึกษาการปลาสวายใช้เสริมสารสีในอาหาร พบว่า ปลาสวายระยะเลาในการเก็บรักษาวันที่ 0, 15, 30, 45 และ 60 ตามลำดับ (ตารางที่ 6) มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) พบว่า ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ปลาสวายที่เสริมสารแอสต้าแซนทีนจากสารสี *P. rhodozyma* TISTR 5730 ที่อุณหภูมิตู้เย็น มีค่าเท่ากับ 0.02 , 0.02 , 0.03, 0.04 และ 0.05 มิลลิกรัม มาลอนอัลดีไฮด์ / กิโลกรัม ตามลำดับ ในผลิตภัณฑ์เนื้อนิยมใช้ค่า TBA เป็นตัชนีในการวัดการเสื่อมคุณภาพของไขมันในอาหาร สำหรับค่า TBA ของปลาสดจะเริ่มเกิดการหืน เมื่อค่า TBA มากกว่า 1.0 มิลลิกรัม มาลอนอัลดีไฮด์ / กิโลกรัม (Sweet, 1973, Chen et al., 1984) ทั้งนี้เนื่องมาจากการเก็บรักษาในตู้เย็นมีปริมาณออกซิเจนน้อยเพราะว่าสารสาร สี *P. rhodozyma* TISTR 5730 มีความสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันอันเป็นสาเหตุให้อาหารมีกลิ่น สี และ รสชาติที่เปลี่ยนไป สารสังเคราะห์เหล่านี้มี ประสิทธิภาพและความคงตัวสูงกว่าสารสกัดจากธรรมชาติ สีมีผลต่อการยับยั้งความหืนของปลาสวาย

2.3.3.ผลคุณภาพทางด้านเคมีและทางจุลชีววิทยาของปลาสวาย

ผลการวิเคราะห์ค่าจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ปลาสวายยืดอายุโดยใช้สารสี *P. rhodozyma* TISTR 5730 ที่อุณหภูมิตู้เย็น ซึ่งทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 60 วัน การเก็บรักษาปลาสวายยืดอายุโดยใช้สารสี *P.rhodozyma* TISTR 5730 ที่อุณหภูมิตู้เย็น ผลการทดลอง พบว่าการเก็บรักษาปลาสวายที่ระยะเวลา 60 วัน มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด <30 x10 CFU/g ซึ่งจะมีผลมาจากจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นเนื่องจากการเก็บรักษาปลาที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเจริญและกิจกรรมของจุลินทรีย์ได้และสามารถยับยั้งการเจริญเติบ เนื่องจากการเก็บรักษาปลาที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเจริญและกิจกรรมของจุลินทรีย์ได้ และผลของแอสต้าแซนทีนที่ช่วยป้องกันเซลล์ที่อาจถูกทำลายจากพิษต่าง ๆ ที่เกิดจากกระบวนการบางอย่างในร่างกายสัตว์น้ำเอง ทำให้เซลล์มีสภาพที่ดี แอสต้าแซนทีนมีความสามารถจับและทำลายสารพิษต่าง ๆ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นการป้องกันและรักษาสภาพของเซลล์ให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมและสามารถควบคุมความหืนของเนื้อปลาสวาย

3 ด้านผลิตภัณฑ์เวชสำอาง

3.1การพัฒนาครีมบำรุงผิวหน้าผสมแอสต้าแซนทีน การทดลองพบว่า

1) เตรียมตำรับผลิตภัณฑ์บำรุงผิวหน้าโดยเตรียมในรูปแบบครีมทั้งหมด 4 สูตร โดยเตรียมสารทั้งในส่วนของ Oil phase และ Water phase ตามตำรับโดยใช้เป็นสูตรมาตรฐานหรือสูตรที่ 1 และเติมสารแอสต้าแซนทีนลงไปร้อยละ 0.2, 0.4 และ 0.8 ในสูตรที่ 2-4 ตามลำดับ ทำการผสมส่วนประกอบใน Oil phase ให้เข้ากันโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และผสมส่วนประกอบใน Water phase ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เมื่อส่วนผสมของทั้ง 2 phase ละลายเข้ากันดีแล้ว เทส่วนผสม Water phase ลงใน ส่วนผสม Oil phase คนตลอดเวลาให้เนื้อครีมกระจายเข้ากันประมาณ 10 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นและบรรจุใส่ภาชนะ

2) ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพจากสี กลิ่น และความคงตัวของผลิตภัณฑ์

3) ทดสอบความพึงพอใจและการยอมรับหลังการใช้ผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค โดยการจัดทำแบบสอบถามเพื่อสำรวจความพึงพอใจและการยอมรับผลิตภัณฑ์ในอาสาสมัครจำนวน 50 คน ด้วยแบบสอบถามประกอบด้วย ข้อมูลส่วนตัว ความคิดเห็น ความตั้งใจซื้อ ความพึงพอใจ และการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อประเมินศักยภาพทางการตลาดและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ตรงต่อความต้องการของผู้บริโภค โดยอาสาสมัครทุกคนจะต้องใช้เป็นประจำอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 4 สัปดาห์

3.2 ผลการพัฒนาครีมบำรุงผิวหน้าผสมแอสต้าแซนทีน

1) เตรียมตำรับผลิตภัณฑ์บำรุงผิวหน้าโดยเตรียมในรูปแบบครีมทั้งหมด 4 สูตร โดยเตรียมสารทั้งในส่วนของ Oil phase และ Water phase ตามตำรับโดยใช้เป็นสูตรมาตรฐานหรือสูตรที่ 1 และเติมสารแอสต้าแซนทีนลงไป ทำการผสมส่วนประกอบใน Oil phase ให้เข้ากันโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 °C และผสมส่วนประกอบใน Water phase ที่อุณหภูมิ 70°C เมื่อส่วนผสมของทั้ง 2 phase ละลายเข้ากันดีแล้ว เทส่วนผสม Water phase ลงใน ส่วนผสม Oil phase คนตลอดเวลาให้เนื้อครีมกระจายเข้ากันประมาณ 10 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นและบรรจุใส่ภาชนะ

2) ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ (stability test) โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพจากสี กลิ่น และความคงตัวของผลิตภัณฑ์

3) ทดสอบความพึงพอใจและการยอมรับหลังการใช้ผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค โดยการจัดทำแบบสอบถามเพื่อสำรวจความพึงพอใจและการยอมรับผลิตภัณฑ์ในอาสาสมัครจำนวน 50 คน ด้วยแบบสอบถามประกอบด้วย ข้อมูลส่วนตัว ความคิดเห็น ความตั้งใจซื้อ ความพึงพอใจ และการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อประเมินศักยภาพทางการตลาดและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ตรงต่อความต้องการของผู้บริโภค

3.3 ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์

1) พัฒนาสูตรครีมและเจลผสมแอสต้าแซนทีนร้อยละ 0.2, 0.4 และ 0.6 กรัม โดยอ้างอิงปริมาณที่ใช้ในผลิตภัณฑ์จากการทบทวนวรรณกรรมจากวารสารวิชาการและผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ภาพที่ 5 แสดงลักษณะครีมและเจลผสมแอสต้าแซนทีน โดยผลจากการทดสอบความพึงพอใจเบื้องต้นพบว่า สูตรครีมและเจลที่ผสมแอสต้าแซนทีนในปริมาณ 0.4 และ 0.6 กรัม มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์มากกว่าสูตรที่ผสม 0.2 กรัม และสูตรครีมได้รับการตอบรับจากอาสาสมัครมากกว่าสูตรเจล ดังนั้นจึงคัดเลือกสูตรครีมผสมแอสต้าแซนทีนร้อยละ 0.2 กรัม ไปทดสอบในอาสาสมัครต่อไป

ภาพที่ 5 ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวหน้าต้นแบบผสมแอสต้าแซนทีนในรูปแบบครีมและเจล

3) ผลการทดสอบ stability test และลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ครีม ด้วยวิธีเร่งแบบร้อนสลับเย็น จำนวน 6 รอบ (heating-cooling) และการวางผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25-30 °C) ในตู้เย็น 4°C และที่ 45°C แสดงผลในตารางที่ 6-7 และภาพที่ 5 ซึ่งไม่พบการแยกชั้นของเนื้อครีม กลิ่นและสีไม่มีการเปลี่ยนแปลง อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์ครีมผสมแอสต้าแซนทีน ด้วยวิธี heating-cooling 6 รอบ

Storage cycle	pH	Color	Texture	Feel on skin	Viscosity* (Pa.s)	Viscosity score
1	5.50	White	smooth, creamy	soft	5.1	+++
2	5.50	White	smooth, creamy	soft	ND	+++
3	5.51	White	smooth, creamy	soft	ND	+++
4	5.51	White	smooth, creamy	soft	ND	+++
5	5.50	White	smooth, creamy	soft	ND	+++
6	5.50	White	smooth, creamy	soft	5.3	+++

*วัด Viscosity ด้วยเครื่อง Viscometer ยี่ห้อ Brookfield รุ่น DV-1 ด้วย R5 probe ND = non detected

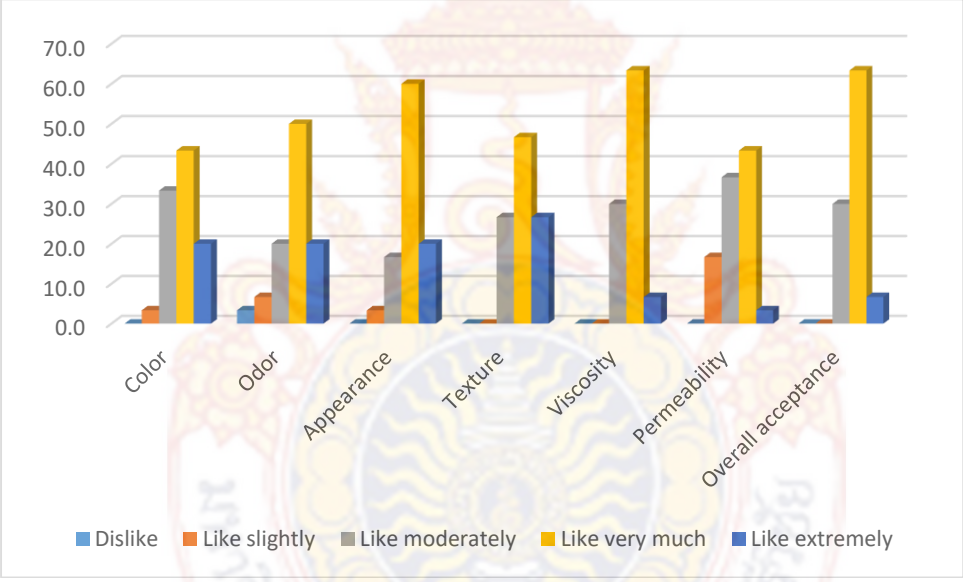
A B

ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ก่อน (A) และหลัง (B) ผ่าน heating-cooling cycle 6 รอบ

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์ครีมผสมแอสต้าแซนทีนที่อุณหภูมิที่ 4 และ 45 °C นาน 90 วัน

Condition	pH	Color	Texture	Feel on skin	Viscosity score
Room temp.	5.50	White	smooth, creamy	soft	+++
4 °C	5.50	White	smooth, creamy	soft	+++
45 °C	5.50	White	smooth, creamy	soft	+++

4) การทดสอบความพึงพอใจและการยอมรับหลังการใช้ผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค โดยใช้แบบสอบถามเพื่อสำรวจความพึงพอใจและการยอมรับผลิตภัณฑ์ในอาสาสมัครจำนวน 50 คน เป็นเพศชาย 17 คน เพศหญิง 34 คน อายุ 19-60 ปี เพื่อประเมินศักยภาพทางการตลาดและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ตรงต่อความต้องการของผู้บริโภค ผลการทดสอบสรุปในภาพที่ 3 พบว่า อาสาสมัครมีความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์โดยรวมในระดับดี ส่วนกลิ่นควรมีการปรับปรุง และหลังใช้ไม่พบอาการแพ้ในอาสาสมัครทุกคน



ภาพที่ 7 ผลการทดสอบความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์ครีมผสมแอสต้าแซนทีน

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ

1.การเลี้ยงปลาสวายด้วยการเสริมสารสีแสต้าแซนทีนในระดับ 20 40 และ 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในระยะเวลาเลี้ยงในตู้กระจก 120 วัน พบว่า ปลาสวายเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อเลี้ยงด้วยการเสริมสารสีแอสตาแซนทีนที่ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเทียบเทียบทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อัตราการรอดตาย ร้อยละ 98 เมื่อนำปลาสวายวิเคราะห์ปริมาณสารสีแอสต้าแซนทีนที่พบในเนื้อปลาสวาย เท่ากับ 0.2 % (w/v) เมื่อนำเนื้อปลาสวายมาทำการแล่ วิเคราะห์ TVB ปสาสวายสดที่แช่เย็นเป็นระยะเวลา 60 วัน มีค่าเท่ากับ 0.5 0 mg.malonaldehyde/kg

2. การนำสารสีแอสต้าแซนทีนพัฒนาสูตรครีมและเจลผสมด้วยร้อยละ 0 0.2, 0.4 และ 0.6 กรัม ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวหน้าโดยเตรียมในรูปแบบครีมทั้งหมด 4 สูตร โดยเตรียมสารทั้งในส่วนของ Oil phase และ Water phase ตามตำรับ พบว่าเมื่อมีการทดสอบความพึงพอใจเบื้องต้นพบว่า สูตรครีมและเจลที่ผสมแอสต้าแซนทีนในปริมาณ 0.4 และ 0.6 กรัม มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์มากกว่าสูตรที่ผสม 0.2 กรัม และสูตรครีมได้รับการตอบรับจากอาสาสมัครมากกว่าสูตรเจล อาสาสมัครมีความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์โดยรวมในระดับดี ส่วนกลิ่นควรมีการปรับปรุง และหลังใช้ไม่พบอาการแพ้ในอาสาสมัครทุกคน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำสารสีไปเสริมในปลาที่มีสีสวยพื้นบ้าน เช่น ปลากัด หรือ ปลาคาร์พ ที่สีไม่สวย หรือมีตำหนิ เพื่อที่จะพัฒนาสีมากขึ้น
2. ควรคิดต้นทุนในการผลิตเพื่อหาจุดคุ้มทุนในการผลิตในระดับอุตสาหกรรมของการผลิตเครื่องสำอาง

บรรณานุกรม

ชุตินุช สุจริต. 2542. การเลี้ยงยีสต์ในน้ำนึ่งปลาทูน่าหลังการแยกโปรตีนและไขมัน. ในรายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 16. ณ โรงแรมโซฟิเทล ราชาออคิด จังหวัดขอนแก่น.

ชุตินุช สุจริต อุไรวรรณ วัฒนากุล วัฒนาวัฒนากุล และ สมรักษ์ รอดเจริญ. 2557. การลดปริมาณสารอินทรีย์โดยใช้ตัวกระทำทางชีวภาพในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเพื่อผลิตโปรตีนเซลล์เดียว วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร (ฉบับพิเศษ) เมษายน. : 151-157.

นงลักษณ์ สำราญราษฎร์ เพ็ญศรี เมืองเยาว์ สุพิศ ทองรอด รุ่งทิวา แพงมี และ สกล สาธร. 2554. ผลของการเสริมแอสตาแซนทีนและเบต้าแคโรทีนในอาหารต่อการเจริญเติบโต การเพิ่มสี และระบบภูมิคุ้มกันในปลากะพงแดง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 7/2554. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 21 น.

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

สกุลคุณ มากคุณ. 2546. การสกัดและผลของแอสตาแซนทีนจากเปลือกกุ้งต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีและค่า TBA ของปลาทับทิม (Oreochromis sp.) แช่เย็น. วิทยานิพนธ์สาขาผลิตภัณฑ์ประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บานชื่น ชลสวัสดิ์. 2532. การใช้สาหร่ายเกลียวทองสดเป็นส่วนประกอบของอาหารผสมสำหรับเลี้ยงปลาตะเพียนขาวและปลาดุกอุย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปราโมทย์ ศิริโรจน์. 2521. การคัดเลือกสายพันธุ์และการเลี้ยงยีสต์ที่มีโปรตีนสูงในน้ำทิ้งจากขบวนการแปรรูปในน้ำทิ้งจากขบวนการแปรรูปอาหารถั่วเหลือง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มะลิ บุณยรัตผลิน, จารุรัตน์ วรรณโกวัฒน์, ชูศักดิ์ บริสุทธิ์ และ สุจินต์ บุญช่วย. 2537. ผลของแอสต้าแซนทีนที่ระดับต่าง ๆ ต่อสีของกุ้งกุลาดำ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 18. สถาบันวิจัยเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง , สงขลา. 11 น.

วุฒิพร พรหมขุนทอง . 2527. ผลของรงค์วัตถุคาโรทินยอด์ที่ได้จากแหล่งต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนสีของปลาแฟนซีคาร์พ, *Cyprinus carpio* Linn. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท . มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วันวิสา เจริญวัฒน์ และ สุรพงษ์ ลูกหนุมารเจ้า. 2556. การศึกษาประสิทธิผลของครีมแอสตาแซนทีนเมื่อเปรียบเทียบกับครีมเบสมาตรฐานเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นและลดเลือนริ้วรอย www.mfu.ac.th/school/anti-aging/File_PDF/research56/Proceeding56_17.pdf.

ศุภวรรณ ถาวรชินสมบัติ. 2538. ประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนของโอลิโอเรซินจากพริก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อโณทัย คมเศวต.2519. การศึกษาการเจริญของยีสต์อาหารสัตว์โดยใช้น้ำมะพร้าวเป็นวัตถุดิบ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

AOAC. 2000. Official Methnods of Analysis. 14 th ed., Association of Official Analysis Chemists, Washington, D.C. 1018 p.

Andrewes, A. G. and M. P. Starr. 1976. (3R,3'R)-astaxanthin from the yeast *Phaffia rhodozyma* Phytochemistry. 15: 1009-1011.

Baker, R. and C. Gunther. 2004. The role of carotenoids in consumer choice and the likely benefits from their inclusion into products for human consumption. Trends in Food Science & technology. 15: 464-480.

Buck, D. F. 1990. Antioxidants, pp. 73-98. In R. J Price, ed Ingredient Technology. IFT short Course, California.

Borowitzka, M.A. 1989. Fats, oils and hydrocarbons, pp 27-58. *In* Borowitzka, M.A. and L.J. Borowitzka, eds. Micro-algal Biotechnology. Cambridge university Press. Cambridge.

Britton, G. (1976). General carotenoid methods. Journal of the Chemical Society, Chemical Communications. 3, 49.

Calo. P., T. de Miguel, C Sieiro. J.B. Velazquenz and T.G. Villa. 1995. Ketocarotenoids in halobacteria : 3-hydroxy-echinenoune and trans-astaxanthin. J of App. Bac. 79 : 282-285.

Chutinut Sujarit, Chairat Siripatana and Waigoon Rittirut**.** 2012. PRODUCTION OF ASTAXANTHINFROM FLOUR BY *Phaffia rhodozyma* TISTR 5730**.** The 1 st Mae Fah Luang University International Conference 2012, "Future Challenges Towards ASEAN Integration" Mae Luang University , Chiang Rai, Thailand, 29 November- 1 December, 2012, pp .1-8.

Chutinut Sujarit, Waigoon Rittirut ,Doungporn Amornlerdpison and Chaidsrat Siripatana. 2017. Astaxanthin production from sewage of traditional Thai rice vermicelli. Journal of Physics: Conf. Series. 820 : 1-10.

D' Abramo, L.R., N.A. Baum, C.E. Bordner and D.E. Conklin. 1983. Carotenoid as a source of pigmentation in juvenile lobsters fed a purified diet. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40: 699-704.

Droop, M.R. 1955. Carotenoigesesis in *Haematococcus pluvialis*. Nature. 195:42.

Dominquz – Bocanegra, A.R.and Torres.-Munoz, J.A. 2004. Astaxanthin hyper production by *Phaffia rhodozyma* (now *Xanthophyllomyces dendrorhous*) with raw coconut milk as sole source of energy. Applied Microbiology and Biotechnology. 66, 249-252.

Doungporn Amornledpion. 2008. Potential of brown marine algae, patina minor Yamaha, as nutraceutical and cosmeceutical doctor of philosophy in biotechnology. The graduate school Chiang Mai University.

Ellis, A.E. 1988. Ontogeny of the immune system in teleost fish, pp. 20-31. In A.E. Eillis (ed.). Fish Vaccination. Academic Press, London.

Fang. T. J., and Cheng, Y., S. 1993. Improvement of astaxanthin production by *Phaffia rhodoayma* through mutation and Optimization of culture conditions. Journal of Fermentation and Bioengineering. 75 : 466-469.

Fennema. O. R. 1996. Food Chemistry. Maccel Dekker, New York.

Flores-Cotera, J .B., Martin, R. and Sachez.S. (2001). Citrate, a possible precursor of astaxanthin in *Phaffia rhodozyma*: influence o f varying levels of ammonium, phosphate and citrate in a chemically defined medium . Applied Microbial Biotechnology. 55: 541-347.

Gill-Hwan, A., D.B. Schuman and E.A. Johnson, 1989. Isolation of *Phaffia rhodozyma* mutants with increased astaxanthin content. Applied and Environmental Microbiology. 55: 116-124.

Hass, H. F. and L. D. Bushnell. 1944. The production of carotenoid pigments from mineral oil by bacteria. J. Bacteriol. 48: 219:231.

Jian-Ping Y., Xiian, D. I. And Feng, C. 1997. Separation and analysis of carotenoids and chlorophylls in *Hamatococcus lacustris* by high-performance liquid chromatography photodiode array detection. Journal of Agricultral and food Chemistry. 45, 1952-1956.

Johnson, E.A. and M.J. Lewis. 1979. Astaxanthin formation by the yeast *Phaffia rhodozyma*. J. Gen. Microbiol. 115: 173-183.

Johnson, E. and W. A. Schroeder. 1995. Microbial Carotenoids, pp. 119-178. In A. Fiechter, ed. Advance in Biochemical Enginerring Biotechnology, Vol. 53. Springer-Verlag, Berom Heidclberg.

Johnson, E.A., T.G. Villa and M.J. Lewis. 1980. *Phaffia rhodozyma* as an astaxanthin source in salmonid diets. Aquaculture. 20: 123-134.

Jyonocuchi, H., Sun, S., lijima, K., and Gross, M.D. 2000. Antitmor activity of astaxanthin and its mode of action. Nutrtion and Cancer., 36: 59-65.

Marz, U. 2008. The global market for carotenoids. Retrieved March 8, 2009, from http:// www.bccresearch.com/report/FODO25B. html.

Miki, W. 1991. Biological functions and activities of animal carotenoids. Pure& Appl. Chem. 63(1) : 141-146.

Naguib. Y.M.A. 2000. Anntioxidant activites of astaxanthin and related carotenoids .J. Agric Food Chem., 48: 1150-1154.

Nishida .Y., Yamashita.E., and Miki.W. 2007. Quenching activities of common hydrophillic and lipophillic antioxidants against single oxygen using chemiluminescence detection system. Carotenoid Science. 11: 16-20.

Noonai.A. 1981. Single cell Protein Production from spent sulfiteliquor. M.S. Thesis. Mahidol University.

Palozza, P. and N. I. Krinsky. 1992. Antioxadant effects of carotenoids in vivo and in vitro : an

overview. Methods Enzymol. 213 : 403-420.

Sigurgisladottir, S., C.C. Parrish., D.P. Lall and P.G. Ackman. 1994. Effects of feeding natural tocopherol and astaxantin on Atlantic Salmon (salmo-solar) fillet quality. Food-Research-Internation. 27: 23-32.

Simpson, K. l., T. K atayama and C.O. Chichester. 1981. Carotenoids in Fish Feeds, pp. 463-530. In J. C. Bauernfeind, ed Carotenoids as Colorants and Vitamin A Preecursors. Academic Press, Inc., New York.

Storebakken, T.,P Foss, I. Foss, I. Huse, A. Wandsvik and T. Berglea. 1986. Carotenoids in diets for salmonids. lll. Utilization of canthaxanthin from dry and wet and diets

Sujrit.C, . 2009. Optimization and Modeling of Astaxanthin Production by *Phaffia rhodozymat* TISTR 5730. Thesis Program in Biotechnology ,Walailak University

Sweet, C. W. 1973. A Research Noted: Activity of antioxidants in fresh fish. J. Food Sci. 38 : 1260-1261.

Terao. J. 1989. Antioxidant activity of β-caotene-related carotenoids in solution. Lipid. 24: 659-661.

Takaichi. S, Matsui, K., Nakamura. M., Muramatsu.M., Hanada. S. 2003. Fatty acid of astaxanthin esters in krill determined by mild mass spectrometry. Comparative Biochemistry ans Physiology Part B. 136 : 317-322.

Torrissen. O.J. 1989. Pigmentation of salmonids : Interactions of astaxanthin and canthaxanthin on pigment deposition in rainbow trout. Aquaculture. 79:363-374.

Welsh, F. W and Zall, R. R. 1984. Single cell protein from waste fishery refrigeration brines. Process Biochem. 19: 122-123.

Yamashita E. 2006. The effects of a dietary supplement containing Astaxanthin on skin condition. Carotenoid Science, 2006; 10:91-95.

Zagalsky, P.F. 1982. A study of the yellow astaxanthin-protein of lobster xarapace. Comp. Biochem. Physiol. 71B : 243.

Zagalsky, P.F. and R. Jones. 1982. Quaternary structures of the astaxanthin proteins of *Velella velella* and of α-cruatacyania of lobster carapace, as revealed in electron microscopy. Comp. Biochem. Physiol. 71B: 237.

Zheng,Y.G., Hu, Z. C., Wang, Z. and Shen, Y.C. 2006. Large-scale production of astaxanthin by Xanthophyllomyces dendrerhous. Food and Byproducts. Processing. 84(C2), 164-166.