

ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย

Fish mixed with Algae Tofu

คำนำ

ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย รัฐบาลได้มีการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก ถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นทุกปี และเนื่องจากประชากรในประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้แหล่งโปรตีน จากเนื้อสัตว์มีไม่เพียงพอต่อความต้องการของประชากร ถั่วเหลืองจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถ ใช้เป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญเพราะถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีโปรตีนสูง และมีราคาถูก เนื่องจากใช้เวลา ในการผลิตเร็วมากเมื่อเทียบกับเนื้อสัตว์ การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองจึงเป็นแนวทางที่ น่าสนใจ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตีนสูง และมีราคาถูก

เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองชนิดหนึ่งที่มีปริมาณโปรตีนสูง ไม่มีคอเลสเตอรอล และ มีไขมันต่ำ อีกทั้งยังมีราคาถูก สะดวกในการรับประทาน และสามารถเก็บรักษาได้ ถือได้ว่าเต้าหู้ นั้น เป็นอาหารของคนเอเชียที่นิยมบริโภคกันโดยทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นกลุ่มคนผู้มีรายได้น้อยหรือมาก ทั้งนี้เพราะเต้าหู้ให้รสชาติดี และสามารถทำเป็นอาหารได้หลายรูปแบบ ปัจจุบันได้มีอุตสาหกรรม การทำเต้าหู้เพิ่มขึ้นอย่างมากมาย และมีหลายลักษณะ เช่น เต้าหู้แข็ง เต้าหู้อ่อน เต้าหู้เหลือง เต้าหู้ หลอด เป็นต้น

เต้าหู้ เป็นอาหารที่ราคาถูก อุดมไปด้วยโปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุในปริมาณสูง โดยเฉพาะแคลเซียม แมกนีเซียม ดังนั้นการนำเนื้อปลามาใช้ในการผลิตเต้าหู้ปลาสาหร่าย จึงเป็นการ เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และเพิ่มมูลค่าให้แก่เต้าหู้ให้เพิ่มมากขึ้นอีกด้านหนึ่ง ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ เต้าหู้ชนิดใหม่ อีกทั้งเป็นการเพิ่มทางเลือกในการรับประทานเต้าหู้ได้มากยิ่งขึ้นอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาตำรับมาตรฐานที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้ปลาสำหรับ
2. ศึกษาปริมาณเนื้อปลา, สำหรับ และเครื่องปรุงรสที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้ปลาสำหรับ
3. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค
4. ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี ของเต้าหู้ปลาสำหรับ
5. ศึกษาอายุการเก็บของเต้าหู้ปลาสำหรับ
6. ศึกษาต้นทุนการผลิตเต้าหู้ปลาสำหรับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเพิ่มโปรตีนของเนื้อสัตว์ในผลิตภัณฑ์โปรตีนที่ได้จากพืช
2. เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มชนิดและผลิตภัณฑ์เต้าหู้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการมากขึ้น
3. เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าต่อวัตถุดิบทางการประมง ได้แก่ เนื้อปลาทรายแดง, ปลาตาโต และปลาอินทรีขนาดเล็ก (เกรดต่ำ) ซึ่งเป็นผลิตผลทางการประมงที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก และมีราคาถูก

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ศึกษาเฉพาะการนำเอาเนื้อปลาที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก และมีราคาถูก มาใช้ในการทำเต้าหู้ปลาสำหรับเท่านั้น

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ทำการศึกษาเฉพาะวัยรุ่นและวัยผู้ใหญ่ที่มีอายุระหว่าง 15-26 ปี และอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร

นิยามศัพท์

เต้าหู้ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนมถั่วเหลือง โดยใช้ ตัวตกตะกอนโปรตีนให้แยกชั้น ใสในพิมพ์ไม้สี่เหลี่ยมเพื่อกดน้ำออก มีลักษณะนุ่มเล็กน้อย สีขาวนวล ผิวหน้าเรียบเนียน เป็นเนื้อเดียวกัน

ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับขาย หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนํ้านมถั่วเหลือง โดยใช้ ตัวตกตะกอนโปรตีนให้แยกชั้น ใสในพิมพ์ไม้สี่เหลี่ยมเพื่อกดน้ำออก เพิ่มส่วนผสมคือ เนื้อปลาสำหรับขาย และปรุงรสชาติแล้ว

การตรวจเอกสาร

เต้าหู้

เต้าหู้เป็นอาหารที่ชาวเอเชียรู้จักกันมานานับศตวรรษ ได้มีรายงานว่าเต้าหู้ถูกคิดค้นขึ้นในประเทศจีนตั้งแต่ 160 ปีก่อนคริสตกาล จากนั้นก็เริ่มเป็นที่รู้จักกันแพร่หลายในประเทศจีน แล้วเผยแพร่ไปยังประเทศเพื่อนบ้านใกล้เคียงโดยทางพุทธศาสนา และวัฒนธรรมจีน

เต้าหู้ที่วางขายในท้องตลาดในประเทศญี่ปุ่นสามารถแบ่งได้เป็น เต้าหู้โมเมน (Momen tofu) เต้าหู้อ่อน (Soft tofu) เต้าหู้หลอด (Packed tofu) เต้าหู้อะบุระเกะหรือเต้าหู้หลอด (Aburage tofu) และเต้าหู้โคริหรือเต้าหู้แห้ง (Kori Tofu) สำหรับเต้าหู้อะบุระเกะและเต้าหู้โคริจะเป็นการนำเต้าหู้สดไปแปรรูปโดยเต้าหู้อะบุระเกะจะเป็นการนำเต้าหู้สดไปทอดในน้ำมัน ส่วนเต้าหู้โคริจะเป็นการนำเต้าหู้สดไปแช่แข็งและทำแห้ง โดยสามารถอธิบายกระบวนการผลิตและคุณสมบัติของเต้าหู้ชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 1

เต้าหู้เป็นอาหารจากถั่วเหลืองที่ชาวตะวันตกรู้จักกันมากที่สุดในปัจจุบัน สำหรับคนเอเชียจะใช้ถั่วเหลืองทำอาหารมากมายหลายชนิด และเต้าหู้ก็ยังเป็นรูปแบบหลักของการกินอาหารจากถั่วเหลืองโดยเฉพาะในกลุ่มมังสวิรัตและเจ

1. คุณค่าอาหารของเต้าหู้

ประเสริฐ (2527) ได้กล่าวว่าบางครั้งคนจีนมักเรียกเต้าหู้ว่า “เนื้อไร้กระดูก” เพราะเต้าหู้มีโปรตีนสูง คุณภาพดี และย่อยง่าย เมื่อเทียบน้ำหนักกรัมต่อกรัม เต้าหู้มีส่วนปริมาณโปรตีน (11%) ใกล้เคียงกับไข่ (13%) ในแง่คุณภาพโปรตีน เมื่อดูจากปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นและความง่ายในการย่อย แม้โปรตีนจากเต้าหู้จะมีคุณภาพไม่ดีเท่าไข่ นมวัว และปลา แต่ก็ยังมีปริมาณอยู่ในระดับใกล้เคียงกับเนื้อไก่และเนื้อวัว ดังนั้น การที่ว่าโปรตีนจากพืชมีคุณภาพเทียบโปรตีนจากสัตว์ไม่ได้นั้นจึงไม่เป็นการถูกต้องทั้งหมด โดยเต้าหู้ก้อนขนาด 227 กรัม มีโปรตีนที่ร่างกายใช้ได้ 11.5 กรัม คิดเป็น 27% ของปริมาณที่ผู้ใหญ่ต้องการต่อวัน (43 กรัม) เทียบกับเนื้อสเต็ก 92 กรัม เนื้อบดแฮมเบอร์เกอร์ 135 กรัม นมสด 1 2/3 แก้ว ไข่ไก่ 2 ฟอง หรือชีสแข็ง 57 กรัม แต่เทียบราคาแล้วเต้าหู้

จะมีราคาถูกกว่าเนื้อมาก อย่างไรก็ตาม ไข่แดงซึ่งทำมาจากถั่วเหลือง ยังมีกรดอะมิโนจำเป็น methionine ในปริมาณจำกัด (limiting amino acid) การรับประทานไข่แดงประกอบกับข้าวตามอย่างวิถีของชาวเอเชียยังจะช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนที่ร่างกายใช้ได้ให้สูงกว่าการรับประทานเพียงอย่างหนึ่งอย่างใด เพราะข้าวมีกรดอะมิโนที่จำเป็นที่ไข่แดงไม่มี เมื่อรับประทานประกอบกันจึงได้ประโยชน์มากขึ้น

โปรตีนในไข่แดงและอาหารอื่นๆ จากถั่วเหลือง มีได้มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของร่างกายเท่านั้น การวิจัยในระยะหลังพบว่าโปรตีนจากถั่วเหลืองยังมีผลต่อระดับคอเลสเตอรอลในเลือดโดยช่วยลดคอเลสเตอรอลร้าย (LDL cholesterol) และเพิ่มคอเลสเตอรอลดี (HDL cholesterol) ช่วยป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจ โดยเฉพาะในหมู่ผู้มีปัญหาคอเลสเตอรอลสูง

ไม่เพียงแต่เป็นแหล่งโปรตีนชั้นดีเท่านั้น ถั่วเหลืองยังมีวิตามินและแร่ธาตุหลายชนิดมากเป็นพิเศษ อาทิ แคลเซียม เหล็ก สังกะสี และวิตามินบีต่างๆ เทียบกันแล้วผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเมล็ดถั่วเหลืองเต็มรูป เช่น มิโสะ เทมเป้ จะมีวิตามิน แคลเซียมและไฟเบอร์ใกล้เคียงกับเมล็ดถั่วเหลืองต้มสุก แต่ผลิตภัณฑ์ที่แปรรูป เช่น ไข่แดง สารอาหารจะเปลี่ยนไปบ้าง ไข่แดงมีวิตามินบี 6 ไรโบฟลาวิน และโฟลาซินน้อยลง เพราะวิตามินบีละลายน้ำได้ จึงสูญเสียไปกับน้ำและความร้อน อย่างไรก็ตาม แคลเซียมและเหล็กในไข่แดงกลับมีมากกว่าในเมล็ดถั่วเหลืองต้มสุก หากใช้สารตกตะกอนแคลเซียมซัลเฟตมาทำไข่แดง ปริมาณแคลเซียมจะสูงขึ้นอีกหลายเท่าตัว

ไข่แดงเป็นอาหารที่เต็มไปด้วยแคลเซียม มีแคลเซียมมากกว่าอาหารพืชผักผลไม้อื่นๆ หญิงวัยหมดประจำเดือนที่มีปัญหากระดูกพรุนจึงควรรับประทานไข่แดงให้มากๆ โดยเฉพาะไข่แดงอ่อนที่ใช้สารตกตะกอนแคลเซียมซัลเฟต และไข่แดงมีไฟเบอร์น้อย จึงย่อยง่าย

นอกเหนือจากวิตามินและแร่ธาตุแล้ว ถั่วเหลืองยังมีสารบางตัวที่มีประโยชน์ในการป้องกันโรคมะเร็ง ผลการวิจัยยืนยันอย่างสอดคล้องกันว่า สารไฟโตเคมีคัล (Phytochemical) ที่มีมากในถั่วเหลือง ได้แก่ Isoflavones ช่วยต้านมะเร็งเต้านม มะเร็งลำไส้ใหญ่ และมะเร็งกระเพาะอาหาร คนจีน คนญี่ปุ่น และคนเกาหลี ซึ่งรับประทานอาหารจากถั่วเหลืองเป็นประจำ จึงมีอัตราการเป็นมะเร็งเหล่านี้ต่ำกว่าชาวตะวันตก นอกจากนั้น Isoflavones ยังทำหน้าที่เป็นเอสโตรเจนของพืช ช่วยปรับสมดุลของฮอร์โมนในหญิงวัยหมดประจำเดือนได้ ในไข่แดงธรรมดา ½ ถ้วย มี Isoflavones 40 มิลลิกรัม เทียบเท่ากับน้ำนมถั่วเหลือง 1 ถ้วย หรือมิโสะ ½ ถ้วย

ตารางที่ 1 กระบวนการผลิตและคุณสมบัติของเต้าหู้ที่มีขายตามท้องตลาดในประเทศไทย

	เต้าหู้สด				เต้าหู้ที่ผ่านกระบวนการแปรรูป	
	เต้าหู้โมเมน (Momen)	เต้าหู้อ่อน (Soft)	เต้าหู้คินู (Kinu)	เต้าหู้ห่อด (Packed)	เต้าหู้อะบุระเกะ (Aburage)	เต้าหู้ไคริ (Kori)
อัตราส่วนน้ำต่อถั่วที่ใช้ ในการเตรียมน้ำนมถั่ว เหลือง	10 : 1	7 : 1	5 : 1	5 : 1	10 : 1	15 : 1
ชนิดของตัวตกตะกอน	CaSO ₄	CaSO ₄	CaSO ₄ และ/หรือGDL	CaSO ₄ และ/หรือGDL, CaCl ₂	CaSO ₄	CaCl ₂
กระบวนการผลิต	ต้มน้ำนมถั่วเหลืองและ ตกตะกอนโปรตีนใน น้ำนมถั่วเหลืองโดยมี การกำจัดเวย์ออก ทั้งหมด	ต้มน้ำนมถั่วเหลือง และตกตะกอน โปรตีนในน้ำนม ถั่วเหลืองโดยมีการ กำจัดเวย์ออก	ต้มน้ำนมถั่วเหลืองและ ตกตะกอนโปรตีนใน น้ำนมถั่วเหลืองโดยไม่มี การกำจัดเวย์ออก	ต้มน้ำนมถั่วเหลืองแล้วบรรจุลงใน ถุงพลาสติกทันทีหลังจากเคี่ยว ตกตะกอน จากนั้นนำน้ำนมถั่ว เหลืองไปให้ความร้อนอีกครั้งหนึ่ง โปรตีนในน้ำนมถั่วเหลืองจะถูก ตกตะกอนโดยไม่มีการกำจัดเวย์ทิ้ง	ให้ความร้อนแก่น้ำนมถั่วเหลืองอย่าง ช้า ๆ และตกตะกอนโดยมีการ กำจัดเวย์ออกทั้งหมด จากนั้นจะนำ เต้าหู้สดที่ได้ไปทอดในน้ำมันได้เป็น เต้าหู้ทอด	ต้มน้ำนมถั่วเหลืองและตกตะกอน โดยมี การกวนตลอดเวลา และกำจัดเวย์ออก ทั้งหมด จากนั้นจะนำไปแช่แข็งที่ -20°C เป็นเวลาข้ามคืน แล้วเก็บที่ 0-5°C เป็น เวลา 2-3 สัปดาห์ก่อนที่จะนำมาละลาย น้ำแข็งและทำแห้ง
องค์ประกอบทางเคมี						
ความชื้น (%)	86.8	88.9	89.4	90.0	44.0	8.1
ปริมาณโปรตีน (%)	6.8	5.7	5.0	4.5	18.6	50.2
ปริมาณไขมัน (%)	5.0	3.8	3.3	3.2	33.1	33.4
ปริมาณเถ้า (%)	0.6	0.6	0.6	0.6	1.4	2.8
ปริมาณ Ca (mg %)	120.0	90.0	90.0	35.0	300.0	590.0
ลักษณะเนื้อสัมผัส	แข็ง และหยาบ	ค่อนข้างแข็ง (นุ่ม กว่าเต้าหู้โมเมน แต่ แข็งกว่าเต้าหู้คินู)	นุ่มและเนียน	นุ่ม เนียน และอ่อนนุ่มมาก	เต้าหู้สดจะมีความแข็งมากกว่าเต้าหู้ โมเมนและเมื่อนำไปทอดแล้วจะมี ลักษณะเหนียว (chewy)	เต้าหู้สดจะมีลักษณะแข็งกว่าเต้าหู้สด ของเต้าหู้อะบุระเกะ และเมื่อทำแห้ง แล้วจะมีลักษณะเหมือนฟองน้ำ (spongy) มีความยืดหยุ่น (elastic) และ เหนียว (chewy)

ที่มา : ควงพร (2540)

ดังนั้น เต้าหู้จึงเป็นอาหารโปรตีนที่สำคัญของนักมังสวิรัติ นอกจากนั้นการวิจัยที่พบสรรพคุณของถั่วเหลืองอย่างสอดคล้องกันมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะที่ช่วยป้องกันโรคเสื่อมสภาพ เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ และมะเร็ง ตลอดจนปรับสมดุลของฮอร์โมนในหญิงวัยทอง ยิ่งเต้าหู้ได้รับความนิยมมากขึ้นในฐานะอาหารสุขภาพ ปัจจุบันเต้าหู้มีขายในซูเปอร์มาร์เก็ตทั่วไป ไม่จำกัดเฉพาะร้านขายอาหารเอเชียเท่านั้น ในด้านการครัว จุดขายของเต้าหู้ในทัศนะของชาวต่างชาติอยู่ที่ความยืดหยุ่น ในการใช้เต้าหู้ไปประกอบอาหารได้หลากหลายเนื้อสัมผัส ตั้งแต่มายองเนสจนถึงแฮมเบอร์เกอร์เต้าหู้ ปัจจุบันในประเทศแถบตะวันตกมีตำราอาหารเต้าหู้วางจำหน่ายหลายเล่ม สะท้อนให้เห็นว่าครัวต่างชาติประยุกต์ใช้เต้าหู้ในการทำอาหารอย่างกว้างขวาง นอกเหนือจากอาหารเต้าหู้แบบฉบับครัวญี่ปุ่นและครัวจีน

คนจีนส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญในการใช้เต้าหู้มาทำเป็นอาหาร จึงมีเต้าหู้ชนิดต่างๆ เกิดขึ้นหลากหลาย ทั้งเต้าหู้แข็งมาก เต้าหู้แข็งธรรมดา เต้าหู้อ่อน (เต้าหู้แกงหรือเต้าหู้กระดาน) เต้าหู้อ่อนมากหรือ Tofu nao ซึ่งแปลว่าเต้าหู้สมอง หมายถึง นุ่มเหมือนสมอง เต้าหู้ยว หรือเต้าหู้ดอกไม้ว ซึ่งอ่อนนุ่มที่สุดเพราะไม่ได้ไล่น้ำออกจากร้านนมถั่วเหลืองที่ตกตะกอนเลย นอกจากนี้ยังมีเต้าหู้เหลืองที่เอาเต้าหู้อ่อนหรือแข็งมาต้มให้สุกในน้ำผสมขมิ้น ทำให้มีสีเหลืองหอมรับประทานเต้าหู้ดำ ซึ่งเอาเต้าหู้ขาวแข็งมาต้มกับน้ำซีอิ้วผสมเครื่องพะโล้ และเต้าหู้พวง ฯลฯ ทั้งหมดนี้ล้วนมาจากฝีมือของร้านทำเต้าหู้ ซึ่งมักเป็นกิจการครอบครัวขนาดเล็กที่ทำเต้าหู้สด ๆ ออกจำหน่ายทุกวัน (ประเสริฐ, 2527)

เต้าหู้ที่วางขายในท้องตลาดบ้านเรามีหลายลักษณะ เช่น เต้าหู้แข็ง เต้าหู้อ่อน เต้าหู้เหลือง เต้าหู้หลอด และเต้าหู้ทอด เป็นต้น สำหรับส่วนประกอบของเต้าหู้บางชนิดที่มีการบริโภคกันมากในประเทศไทย มีส่วนประกอบโดยประมาณแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบโดยประมาณของเต้าหู้ชนิดต่าง ๆ ที่มีการบริโภคในประเทศไทย

ชนิดของเต้าหู้	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณโปรตีน (%)
1. เต้าหู้ขาว	74.83	5.21	11.36
2. เต้าหู้เหลือง	68.42	6.46	11.86
3. เต้าหู้หลอด	86.67	0.15	6.26
4. เต้าหู้แข็ง	10.40	26.40	58.80

ที่มา : คัดแปลงมาจากประเสริฐ(2527)

2. วัตถุดิบในการผลิตเต้าหู้

ในการผลิตเต้าหู้ลักษณะต่างๆ จะมีวัตถุดิบหลักๆ คือ ถั่วเหลือง และสารตกตะกอน

2.1 ถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นแหล่งอาหารโปรตีนจากพืชที่สำคัญอันดับหนึ่งของโลก เมล็ดใช้สกัดน้ำมัน เพื่อเอากากไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์เมื่อเทียบกับแหล่งโปรตีนชนิดอื่น กากถั่วเหลืองถูกนำมาใช้มากที่สุด ประมาณ 60% ของน้ำมันบริโภคจากพืชที่ซื้อขายในตลาดโลกจะมาจากน้ำมันถั่วเหลืองประมาณ 1 ใน 3

ในปัจจุบัน ทั่วโลกผลิตถั่วเหลืองได้ประมาณ 110 ล้านเมตริกตัน การผลิตถั่วเหลืองในปี ค.ศ. 2002 คาดว่าจะถึง 190 ล้านเมตริกตัน สหรัฐอเมริกาผลิตได้ประมาณครึ่งของที่ผลิตได้ทั้งโลก รองลงมาคือ บราซิลและจีน

ประเทศไทยผลิตถั่วเหลืองได้ประมาณปีละ 4-6 แสนตัน ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศทั้งในรูปของกากเพื่ออุตสาหกรรมอาหารสัตว์และน้ำมัน ซึ่งนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ

เมล็ดถั่วเหลืองมีโปรตีนประมาณ 40% น้ำมันประมาณ 20% คาร์โบไฮเดรต 35% มีปริมาณแคลเซียมสูงกว่าถั่วชนิดอื่นประมาณ 3 เท่า

ก. พันธุ์ถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองแต่ละพันธุ์จะมีสีเปลือก (seed coat) สีจุมุกของถั่วเหลือง (hilum) ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมันแตกต่างกัน ถั่วเหลืองของไทยจะมีสีเปลือกเป็นสีเหลืองอ่อน จุมุกของถั่วเหลืองมีสีน้ำตาลเข้มถึงสีดำ ความชื้น 10.0% โปรตีน 34.0% ไขมัน 17.7% ถั่วเหลืองจากสหรัฐอเมริกาพันธุ์ต่าง ๆ มีเปลือกสีน้ำตาล (tan) ไขมันเงา จุมุกของถั่วเหลืองมีสีเหลือง สีดำหรือสีเนื้อ ความชื้นอยู่ระหว่าง 7.71-8.10% โปรตีน 40.8-45.1% ไขมัน 17.9-18.9% ในขณะที่ถั่วเหลืองจากญี่ปุ่นพันธุ์ต่างๆ สีของเปลือกมีน้ำตาลอมเขียว จุมุกของถั่วเหลืองมีสีน้ำตาลเข้ม สีเหลือง ความชื้นอยู่

ระหว่าง 7.86 - 8.23% โปรตีน 40.8 - 45.2% ไขมัน 17.3 - 19.4% นอกจากนี้ยังพบว่า แหล่งปลูกมีผลต่อความแตกต่างของสารองค์ประกอบในถั่วเหลืองมากพอๆ กับพันธุ์

พันธุ์ของถั่วเหลืองมีผลต่อคุณภาพของเต้าหู้ ถั่วเหลืองพันธุ์ที่มีจังก์ลีค่าจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีคล้ำไม่น่ารับประทาน ในการทำเต้าหู้ขั้นแรกต้องเตรียมน้ำนมถั่วเหลือง ผลงานวิจัยพบว่า ปริมาณโปรตีนและไขมันในน้ำนมถั่วเหลืองมีผลโดยตรงต่อปริมาณโปรตีนและไขมันในน้ำนมถั่วเหลือง ถั่วเหลืองที่มีปริมาณโปรตีนสูง เมื่อทำน้ำนมถั่วเหลืองจะได้ น้ำนมถั่วเหลืองที่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าน้ำนมถั่วเหลืองที่ทำจากถั่วเหลืองพันธุ์ที่มีโปรตีนต่ำกว่า เมื่อนำน้ำนมถั่วเหลืองที่มีโปรตีนสูงมาทำเต้าหู้ ก็จะได้เต้าหู้ที่มีโปรตีนสูงกว่า

กล่าวได้ว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะให้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ที่มีโปรตีนสูงกว่าถั่วเหลืองที่มีโปรตีนต่ำ ดังนั้นถั่วเหลืองพันธุ์ที่มีจังก์ลีค่าให้อ่อนๆ ไม่แข็งและโปรตีนสูง จึงถูกเลือกมาทำเต้าหู้

ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์ที่คัดเลือกได้จากการผสมข้ามพันธุ์ ระหว่างพันธุ์ Williams กับพันธุ์ สจ. 4 เป็นพันธุ์รับรองในปี 2530 เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสม่ำเสมอทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน ปรับตัวได้ดีทุกแหล่งปลูกของประเทศ พันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ทนทานต่อโรคราสนิม ด้านทานปานกลางต่อโรคใบจุดและโรคราน้ำค้าง แต่มีคุณภาพเมล็ดพันธุ์ต่ำ มีปัญหาต่อการปลูกมาก คือ ต้องใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดี และในการปลูกความชื้นของดินจะต้องอยู่ในสภาพที่เหมาะสม ไม่แห้งหรือจะจนเกินไป จึงเป็นปัญหาต่อการผลิตเมล็ดพันธุ์เป็นอย่างมาก โดยทั่วไป จะได้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ประมาณ 50% ของผลผลิตเมล็ด ถือได้ว่าถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีอายุปานกลาง(อภิพรหม, 2546) โดยมีปริมาณโปรตีน 43.8% และไขมัน 20.0% (ดวงพร, 2540)

เนื่องจากส่วนของใบเลี้ยงมีมากถึง 90% ของทั้งเมล็ด ดังนั้นองค์ประกอบที่เป็น โปรตีน ไขมันและอื่นๆ ก็ใกล้เคียงกับองค์ประกอบของทั้งเมล็ด แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อมด้วย

เมล็ดถั่วเหลืองที่ยังไม่แก่ (ประมาณ 80% ของอายุแก่) ซึ่งมีสีเหลืองอ่อนจะมีปริมาณโปรตีน 11-16% และน้ำมัน 8-11% ของน้ำหนักสด นับว่ามีคุณค่าทางโภชนาการสูง นอกจากนี้

โปรตีนแล้ว ยังมีวิตามินเอและซีสูง มี trypsin inhibitor สารประกอบ phytate และน้ำตาลพวก oligosaccharide (โดยเฉพาะ raffinose และ stachyose) ต่ำ

ในเมล็ดถั่วเหลืองมีโปรตีนพวก globulins อยู่มาก ประมาณ 90% ของโปรตีนทั้งหมด ในเมล็ดหรือคิดเป็นประมาณ 36% ของน้ำหนักเมล็ดแห้ง เมื่อเมล็ดถูกทำให้สุกประมาณ 83 - 90% โปรตีนจะถูกย่อยสลายใช้เป็นประโยชน์ได้ อย่างไรก็ตามกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น methionine, cysteine และ threonine ในเมล็ดถั่วเหลืองอยู่ในระดับต่ำกว่ามาตรฐานของ FAO แต่มี glutamine, asparagine และ arginine อยู่มาก โดยสามารถแยกส่วนได้ด้วยการปั่นตะกอน (sedimentation)

ข. องค์ประกอบโดยประมาณของเมล็ดถั่วเหลือง

ตารางที่ 3 องค์ประกอบ โดยประมาณของเมล็ดถั่วเหลือง

องค์ประกอบของเมล็ดถั่วเหลือง	%
เมล็ดถั่วเหลืองทั่วไป	
โปรตีน	40
ไขมัน	20
เถ้า	5
เมล็ดถั่วเหลืองที่มีความชื้น	
โปรตีน	35
ไขมัน	17
คาร์โบไฮเดรต	31
เถ้า	4.4
เมล็ดถั่วเหลืองทั้งเมล็ด	
เปลือกเมล็ด	8
ไฮโปคอติล	2
ใบเลี้ยง	90

ที่มา : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาอาหาร (2546)

โปรตีนที่ย่อยได้ (digestible) หมายถึง ส่วนที่ร่างกายดูดซับนำไปใช้ประโยชน์หลังการย่อยสลาย ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากถั่วเหลืองมีโปรตีนที่เป็นประโยชน์แตกต่างกัน เช่น ฟองเต้าหู้ (soybean film) มีโปรตีนที่สามารถย่อยได้ถึง 100% ขณะที่เมล็ดถั่วเหลืองคั่วมี 92% และเมล็ดถั่วเหลืองมีเพียง 78% กรดอะมิโนที่มีน้อยในถั่วเหลือง คือ methionine, cysteine และ threonine แต่มีไลซีนสูง ในแง่ของการใช้เป็นอาหาร มีผลการทดลองรายงานว่าถ้าบริโภคโปรตีนถั่วเหลือง 25, 50 และ 75 กรัมต่อวัน จะลด serum cholesterol ลงได้ 8.9, 17.4 และ 26.6 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

เมล็ดถั่วเหลืองมีคาร์โบไฮเดรตจำพวก di- และ oligosaccharides พวกที่เป็น soluble carborhydrate มีผลต่อการย่อยในกระเพาะมนุษย์ทำให้มีอาการท้องอืด เนื่องจากในกระเพาะไม่มีน้ำย่อย การทำให้สุกไม่สามารถลดปัญหานี้ได้ อย่างไรก็ตาม กระบวนการงอกและการหมักทำให้ถั่วเหลืองย่อยได้ในกระเพาะถั่วงอกหรือการผ่านการหมัก เช่น เต้าหู้หรือโปรตีนถั่วเหลืองแผ่น จึงมีคุณภาพดีในแง่โภชนาการ ส่วนคาร์โบไฮเดรตประเภทไม่ละลายน้ำ เช่น cellulose, hemicellulose, pectin และแป้งอื่น ๆ ส่วนใหญ่มีอยู่ในเปลือกเมล็ด (seed coat ประมาณ 8% ของเมล็ด) ในปริมาณ 20, 50 และ 30% ตามลำดับ ซึ่งถือว่าเป็นประโยชน์ในแง่ที่เป็นเยื่อใยอาหาร (dietary fiber) เปลือกเมล็ดแห้งมีคาร์โบไฮเดรตประมาณ 86% โปรตีน 1% แร่ธาตุต่างๆ 4% และไขมัน 1%

น้ำมันซึ่งมีอยู่ประมาณ 20% ของน้ำหนักเมล็ดแห้ง ประกอบด้วยกรดไขมันที่สำคัญ

คือ

palmitic	(16 : 0)	ประมาณ	10%
stearic	(18 : 0)	ประมาณ	5%
oleic	(18 : 1)	ประมาณ	23%
linoleic	(18 : 2)	ประมาณ	52%
linolenic	(18 : 3)	ประมาณ	8%

ส่วนที่เป็นเถ้า (ash) ในเมล็ดถั่วเหลือง (5%) มีปริมาณแร่ธาตุที่สำคัญประเภท sulfate, phosphate และ carbonate ธาตุที่มีมากที่สุด คือ โปแตสเซียม รองลงมา คือ ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม กำมะถัน แคลเซียมคลอไรด์และโซเดียม วิตามินจะมีทั้ง 2 กลุ่ม เช่น ไธอามีน ไบโอฟลาวิน ในอาซีน วิตามินเอและอี แม้วิตามินจะสูญเสียไประหว่างการทำเต้าหู้ 30-47% แต่ก็ยังถือว่าเป็นแหล่งวิตามินอี (tocopherol) มากกว่าทั้งเมล็ด (เมื่อคิดจากน้ำหนักแห้ง) ในน้ำมันถั่วเหลืองยังคงวิตามินอีไว้ทั้งหมด แต่ถ้าทำให้บริสุทธิ์จะสูญเสียไปบ้าง (อารีย์, 2544)

นอกจากเป็นแหล่งของโปรตีน ไขมัน ถั่วเหลืองยังเป็นแหล่งที่ดีของใยอาหาร (21.7 กรัมต่อ 100 กรัม) แม้ว่าจะไม่จัดใยอาหารให้เป็นสารอาหาร แต่ใยอาหารก็มีคุณสมบัติช่วยลดการเกิดโรคต่าง ๆ ได้มากมาย เช่น โรคโคเลสเตอรอลในเลือดสูง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคมะเร็งบางชนิด การบริโภคใยอาหารให้พอเพียงนั้น นักโภชนาการแนะนำให้ได้รับใยอาหารประมาณ 25-30 กรัมต่อวัน โดยการบริโภคผักผลไม้ให้มากขึ้น และที่ขาดไม่ได้คือ อาหารประเภทถั่วต่างๆ

ตารางที่ 4 ตัวยับยั้งทริปซิน, กรดไฟติก, ซาโพนินและไอโซฟลาโวนของถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง

Product	Trypsin inhibitor activity (mg/g)	Phytic acids (g/100 g dry matter)	Saponins (g/100 g dry matter)	Isoflavones (µg/g)
Whole soybean	16.70-27.20	1.39-2.30	0.09-0.32	2,661
				(roasted)
Cotyledons	-	1.58	0.21-0.27	-
Hulls	-	0.12	0	-
Hypocotyl-radicle	-	0.88	1.67-1.98	-
Soy flour	28.00-32.00	1.51-1.81	0.53 (FFSF)	2,014
Soy concentrates	5.40-7.30	(FFSF)	0	73
Soy isolates	1.20-30.00	1.25-2.17	0.81	621-987
Tofu	0.60	1.61-2.00	0.30-0.33	531
Soy milk	-	1.96-2.88	0.26-0.31	-
Textured vegetable protein (TVP)	-	0.95-1.63	-	2,295

หมายเหตุ FFSF หมายถึง full fat soy flour

ที่มา : เพลินใจ (2546)

ในถั่วเหลืองมี phytochemicals หลายตัวที่ดีต่อสุขภาพ เช่น isoflavones มีฤทธิ์เป็น phytoestrogens อ่อนๆ คือมีฤทธิ์น้อยกว่า estrogen ประมาณ 100-1,000 เท่าตัว ส่วนที่สามารถเห็นได้ชัดเจน คือ genistein และ daidzein เป็นสารต้านออกซิเดชั่น ป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ

ปรับปรุงสุขภาพของกระดูก นอกจากนี้ trypsin inhibitors, phytic acids และ saponin ในปัจจุบันได้รับความสนใจ เนื่องจากพบว่ามีคุณสมบัติเป็นสารต้านมะเร็งก็พบในถั่วเหลืองเช่นเดียวกัน สถาบันมะเร็งแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา ระบุว่าถั่วเหลืองเป็นหนึ่งในกลุ่มพืชอาหาร และพืชสมุนไพรที่มีฤทธิ์ต้านมะเร็งสูง (เพลินใจ, 2546)

ค. คุณภาพและมาตรฐานของเมล็ดถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองที่มีการซื้อขายในท้องตลาดบ้านเรา ส่วนใหญ่จะแบ่งคุณภาพออกเป็น 2 เกรดตามขนาดของเมล็ดโดยไม่คำนึงถึงพันธุ์ คือ ถั่วเหลืองชั้นหนึ่งและถั่วเหลืองชั้นสอง โดยทั่วไปแล้วถั่วเหลืองชั้นหนึ่ง จะเป็นถั่วเหลืองที่มีคุณภาพดี มีเมล็ดขนาดใหญ่ โดยปกติจะมีอยู่ในปริมาณน้อย จึงมักใช้สำหรับบริโภคเป็นอาหาร และนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น เต้าหู้ เต้าเจี้ยว และชีอิ้ว เป็นต้น ส่วนถั่วเหลืองชั้นสอง เป็นถั่วเหลืองที่มีคุณภาพรองลงมา มีเมล็ดขนาดเล็กกว่า และเป็นถั่วเหลืองส่วนใหญ่ที่เกษตรกรผลิตได้ คือ มีประมาณร้อยละ 80 ของผลผลิตทั้งหมด ถั่วเหลืองชั้นสองนี้จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันพืช และอุตสาหกรรมอาหารสัตว์เป็นส่วนใหญ่(ประเสริฐ, 2527)

ข้อกำหนดคุณภาพถั่วเหลืองในการซื้อขายนั้น ถั่วเหลืองชั้นหนึ่งจะอาศัยจากประสบการณ์ และความต้องการใช้ของอุตสาหกรรมนั้นๆ โดยยังไม่มีข้อกำหนดที่เป็นมาตรฐานซื้อขาย สำหรับถั่วเหลืองชั้นสองได้มีกำหนดมาตรฐานของเมล็ดถั่วเหลือง โดยกระทรวงพาณิชย์ ดังนี้

- ความชื้นไม่เกิน 13%
- ค่าของสิ่งเจือปนไม่เกิน 3%
- ค่าของกรดไม่เกิน 5%
- ปริมาณไขมันไม่ต่ำกว่า 17%

อย่างไรก็ตาม การเลือกเมล็ดถั่วเหลืองเพื่อการใช้เป็นอาหารนั้น ประเสริฐ (2527) ได้นำเสนอหลักเกณฑ์ให้พิจารณาดังนี้

1) ค่าของความชื้น เมล็ดถั่วเหลืองควรมีลักษณะแห้ง หลักการสังเกตนั้นอาจทำได้โดยเวลาใช้ปากกัดเมล็ดเพื่อทำให้แตกออกเป็น 2 ซีกนั้น ทำได้โดยง่าย หรือใช้มือกำเมล็ดถั่วเหลืองไว้สักครู่จะไม่รู้สึกร้อนขึ้น ถั่วที่เหมาะสมในการใช้งานควรมีความชื้นไม่เกิน 12% จะเป็นเมล็ดถั่วเหลืองที่แห้งพอเหมาะ

2) ลักษณะโดยทั่วไปของเมล็ด ควรเมล็ดมีลักษณะเมล็ดเต่งตึง ผิวไม่เหี่ยวย่น ขนาดเมล็ดใหญ่ มีเมล็ดอ่อน (สีเขียว) เมล็ดลีบเสีย หรือมีเชื้อราเกาะกันเป็นก้อนอยู่น้อยหรือไม่มีเลย เป็นถั่วเหลืองที่มีเปลือกบาง สีเปลือกเหลือง จมูกอาจเป็นสีน้ำตาลหรือสีขาว ปราศจากแมลงเจาะ และเนื้อถั่วมีสีเหลืองอ่อน เพราะเนื้อถั่วสีเหลืองเข้มจะเป็นถั่วที่เก็บไว้เป็นเวลานาน

3) ปราศจากสารพิษตกค้าง

4) อายุการเก็บ ควรเป็นถั่วเหลืองที่มีอายุการเก็บไม่เกิน 1 ปี ถ้าเก็บนานเกินไปจะทำให้คุณภาพของสารอาหารในเมล็ดถั่วเหลืองเสื่อมสภาพลงโดยเฉพาะคุณสมบัติการละลายตัวของโปรตีน หรืออย่างใดอย่างหนึ่งแล้วแต่ความเหมาะสมของการใช้

5) คุณภาพทางเคมีของเมล็ดถั่วเหลือง ถั่วเหลืองที่จะนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารควรเป็นถั่วเหลืองที่มีองค์ประกอบทางเคมีด้านสารอาหารต่างๆ สูง เช่น มีโปรตีนสูง ไขมันสูง หรืออย่างใดอย่างหนึ่งแล้วแต่ความเหมาะสมของการใช้

6) สิ่งเจือปนอื่น ๆ เช่น หิน ดิน ทราย ลำต้นถั่ว ฝัก และใบถั่ว รวมทั้งเศษโลหะ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้จะก่อให้เกิดการสูญเสียของเครื่องจักรได้อย่างมาก แนวทางหลีกเลี่ยงสิ่งเจือปนนั้นอาจทำได้โดยการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้าไปช่วยในการเก็บเกี่ยว เช่น การใช้รถนวด เครื่องอบเมล็ดให้แห้ง เป็นต้น หรือก่อนการนำเมล็ดถั่วเหลืองมาใช้ก็ต้องผ่านขั้นตอนในการทำความสะดวกถั่วก่อน เช่น เข้าเครื่องคัดขนาด เครื่องร่อน เครื่องแยกหิน ดิน ทราย ฝุ่น เป็นต้น

7) ข้อพิจารณาอื่น ๆ เช่น ถั่วเหลืองนั้นควรเป็นถั่วที่มีความแก่เต็มที่ของเมล็ด ทั้งนี้เพราะถั่วที่ไม่แก่จัดย่อมมีความชื้นสูง ถั่วตากแดดไม่แห้งพอเมล็ดจะลีบเสียได้ง่าย อาจทำให้ผิวเหี่ยวขณะตากแห้ง หรือเก็บ ทำให้อายุการเก็บไม่นาน องค์ประกอบทางเคมีด้านโปรตีนมีค่าต่ำ ขณะที่คาร์โบไฮเดรตมีค่าสูง และไขมันเปลี่ยนสภาพได้ง่าย เป็นต้น (สมชาย, 2533)

2.2 ตัวตกตะกอน

ตัวตกตะกอนที่ใช้ทำเต้าหู้ มีหลายชนิด เช่น แคลเซียมซัลเฟต (calcium sulfate) แคลเซียมอะซิเตต (calcium acetate) แคลเซียมกลูโคเนต (calcium gluconate) แมกนีเซียมซัลเฟต

(magnesium sulfate) หรือ เรียกว่าดีเกลือ แมกนีเซียมคลอไรด์ (magnesium chloride) และ glucono delta lactone หรือที่เรียกกันย่อ ๆ ว่า GDL เป็นต้น

ตัวตกตะกอนแต่ละชนิดจะทำให้เต้าหู้มีลักษณะแตกต่างกัน การศึกษาการทำเต้าหู้ด้วยสารตกตะกอน 4 ชนิด คือ แคลเซียมซัลเฟต ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) แคลเซียมคลอไรด์ ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) แมกนีเซียมซัลเฟต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) และแมกนีเซียมคลอไรด์ ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) พบว่าแคลเซียมซัลเฟต ทำให้ได้เต้าหู้ที่มีน้ำหนักมากที่สุด ปริมาณไนโตรเจนสูง เนื้อสัมผัสเนียนอยู่ตัว ไม่แข็ง แต่แคลเซียมคลอไรด์ และแมกนีเซียมคลอไรด์ทำให้ได้เนื้อเต้าหู้แข็ง เพราะง่ายกว่า ผลงานวิจัยยังพบว่า SO_4 มีคุณสมบัติอุ้มน้ำได้ดี จึงส่งผลให้เต้าหู้นุ่ม อยู่ตัว ไม่แข็ง อย่างไรก็ตาม แคลเซียมซัลเฟตมีข้อด้อย คือ ไม่ละลายน้ำและจะนอนกัน ทำให้เต้าหู้มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ มีผู้ทดลองใช้แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งละลายน้ำได้ง่าย ผสมเข้ากับน้ำนมถั่วเหลืองได้เป็นเนื้อเดียวกัน ได้เต้าหู้ที่มีการยอมรับจากผู้ชิมใกล้เคียงกับการใช้แคลเซียมซัลเฟต และใช้ตัวตกตะกอนในปริมาณน้อยกว่าแคลเซียมซัลเฟต

การทำเต้าหู้อ่อน นิยมใช้แคลเซียมซัลเฟต จะได้เต้าหู้ที่มีลักษณะเนื้อนุ่ม เนียน ยืดหยุ่น ในขณะที่การทำเต้าหู้แข็ง จะใช้สารตกตะกอนสองตัวผสมกัน คือ แคลเซียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟต โดยที่แมกนีเซียมซัลเฟตเป็นสารสีขาว รสฝืด ละลายน้ำได้ดี หากใช้สารแมกนีเซียมซัลเฟตตัวเดียวในการทำเต้าหู้ ปฏิกริยาตกตะกอนโปรตีนจะเกิดขึ้นเร็วมาก ตะกอนจับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่เมื่อดกกลงพิมพ์ทำเป็นเต้าหู้ จะได้เต้าหู้ที่มีเนื้อแน่น เหนียวเหมือนยาง ดังนั้นหากจะให้ได้เต้าหู้ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม ยืดหยุ่น ควรจะใช้สารตกตะกอนของแคลเซียมซัลเฟตผสมกับแมกนีเซียมซัลเฟต จะเกิดตะกอนอย่างช้า ๆ ลักษณะตะกอนเป็นก้อนกลมเล็กๆ เกาะกัน

เต้าหู้หลอด เป็นเต้าหู้ที่มีเนื้อเนียนมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเต้าหู้ชนิดอื่น ๆ ตัวตกตะกอนที่ใช้คือ กลูโคโนเดลต้าแลคโตน (glucono delta lactone) มีลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียด ละลายน้ำได้ดี สารตกตะกอนชนิดนี้ เมื่อได้รับความร้อนจะให้กรดกลูโคนิก (gluconic acid) ทำให้ความเป็นกรด-ด่างของน้ำนมถั่วเหลืองเปลี่ยนไปเป็นกรด ส่งผลให้โปรตีนตกตะกอน

ตัวตกตะกอนที่ใช้ในการผลิตเต้าหู้แบ่งเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.2.1 ตัวตกตะกอนประเภทคลอไรด์ หรือตามภาษาญี่ปุ่นเรียกว่า นิการิ (Chloride-type or Nigari-type coagulants)

2.2.2 ตัวตกตะกอนประเภทซัลเฟต (Sulfate-type coagulants)

2.2.3 กลูโคโนเดลตาแลคโตน (Glucono delta-lactone or GDL)

2.2.4 ตัวตกตะกอนประเภทกรด เอนไซม์ และตัวตกตะกอนผสม (Acid coagulants, Enzymes and Coagulant mixtures)

ตัวตกตะกอนประเภทคลอไรด์

ตัวตกตะกอนประเภทคลอไรด์นี้เหมาะสำหรับใช้ผลิตเต้าหู้แข็ง ทำให้ได้เต้าหู้ที่มีเนื้อแข็ง มีรสหอมหวาน เหมาะสำหรับใช้ทำเต้าหู้ทอด เพราะเต้าหู้ที่ได้จะมีการพองตัวดี ตัวตกตะกอนประเภทคลอไรด์จะประกอบไปด้วย

1. นิการิตามธรรมชาติ หรือดีเกลือ ได้จากการระเหยน้ำทะเลด้วยแสงแดด จากนั้นนำไปสกัดเอาแคลเซียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต และโซเดียมคลอไรด์ออก นิการิตะจะประกอบด้วยแร่ธาตุหลายชนิดรวมกัน ที่มีอยู่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ แมกนีเซียมคลอไรด์
2. แมกนีเซียมคลอไรด์ ได้จากการนำนิการิตามาทำให้บริสุทธิ์โดยกระบวนการ ion-exchange มีลักษณะเป็นผง หรือเป็นเกล็ดสีขาว ละลายน้ำได้ดี เมื่อละลายน้ำจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 7
3. แคลเซียมคลอไรด์ เป็นผลพลอยได้จากการผลิต Soda ash เป็นตัวตกตะกอนที่ทำให้เกิดการตกตะกอนเร็วที่สุด ทำให้ได้เต้าหู้ที่มีสีขาวกว่า และอ่อนนุ่มกว่าการใช้นิการิตัวตกตะกอนประเภทซัลเฟต

ตัวตกตะกอนประเภทซัลเฟต จะประกอบไปด้วย

1. แคลเซียมซัลเฟต หรือยิปซัม เป็นตัวตกตะกอนที่ทำให้ได้ผลผลิตสูง ในสมัยก่อนจะได้จากแร่ยิปซัมตามธรรมชาติมาทำให้เป็นผง ใช้เป็นตัวตกตะกอน แต่ปัจจุบันแคลเซียมซัลเฟตจะเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตโซดา มีข้อจำกัดในการใช้ คือ แคลเซียมซัลเฟตจะละลายน้ำได้ไม่ดี เวลาใช้จะต้องทำให้เป็นสารแขวนลอยในน้ำ แล้วต้องผสมลงในน้ำนมถั่วเหลืองภายใน 30 วินาที ถ้าทิ้งไว้นานเกินไปประสิทธิภาพของสารจะลดลงอย่างรวดเร็ว แคลเซียมซัลเฟตสามารถใช้ทำได้ทั้งเต้าหู้แข็ง และเต้าหู้อ่อน ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ใช้ โดยใช้ในปริมาณ 2.2% โดยน้ำหนักของ

ถั่วเหลืองแห้ง เพื่อผลิตเต้าหู้แข็ง และใช้ในปริมาณ 1% โดยน้ำหนักของเมล็ดถั่วเหลืองแห้ง เพื่อผลิตเต้าหู้อ่อน

2. แมกนีเซียมซัลเฟต มีลักษณะเป็นผลึกสีขาวหรือไม่มีสี มีรสขม ตัวแมกนีเซียมซัลเฟตจะมีคุณสมบัติเป็นยาถ่าย แต่เมื่อผลิตเป็นเต้าหู้แล้ว เต้าหู้ที่ได้จะไม่มีคุณสมบัติเป็นยาถ่าย เต้าหู้ที่ได้จะมีลักษณะเป็นเต้าหู้แข็ง ที่ไม่เหมาะสำหรับทำเต้าหู้ทอด เพราะทอดแล้วไม่พอง เต้าหู้ทอดที่ได้จะมีเนื้อทึบ แน่น และแข็ง ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับประกอบอาหารอื่นๆ เช่น ผัดกับถั่วงอก เป็นต้น (สมชาย, 2533)

กลูโคโนแลคตาแลคโตน

เป็นตัวตกตะกอนที่นิยมใช้ในการผลิตเต้าหู้หลอด GDL ถูกค้นพบในปี 1898 โดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อ Boutroux ขณะที่กำลังทำงานวิจัยเกี่ยวกับการหมักของนม GDL ลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น เติร์มได้จากกระบวนการหมักแป้งข้าวโพด มีสูตรอย่างง่าย คือ $C_6H_{10}O_6$ ละลายน้ำได้ดี ในสารละลาย GDL 1% ที่อุณหภูมิ 25°C จะมี pH 3.5 หลังจากนั้น pH จะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเริ่มมีการปลดปล่อยกรดกลูโคนิกออกมา ทั้งไว้ประมาณ 17 นาที จะมี pH เท่ากับ 3 แล้ว pH จะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ โดยมี pH ประมาณ 2.7 เมื่อทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง

ในการผลิตเต้าหู้หลอดจะผสม GDL กับน้ำเล็กน้อย แล้วเติมลงในน้ำนมถั่วเหลืองขณะเย็น จากนั้นจึงบรรจุนมถั่วเหลืองลงในถุงพลาสติก ปิดผนึก แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $85-90^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลาประมาณ 30-50 นาที เมื่อได้รับความร้อน GDL จะทำให้กรดกลูโคนิก ซึ่งทำให้โปรตีนในถั่วเหลืองตกตะกอนลงมา และจับกันเป็นก้อนตลอดทั้งถุง วิธีการนี้จะไม่ต้องแยกเอา whey ออก ทำให้เต้าหู้ที่ได้ไม่ต้องสัมผัสกับอากาศ เครื่องมือ หรือมือของผู้ผลิต จึงช่วยป้องกันไม่ให้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียปนเปื้อนลงมา เต้าหู้ที่ได้ จะมีเนื้อเนียน อ่อนนุ่ม มีสีดี มีรสเปรี้ยวเล็กน้อย และสะอาดถูกสุขลักษณะ

ตัวตกตะกอนประเภทกรด เอนไซม์ และตัวตกตะกอนผสม

1. ตัวตกตะกอนประเภทกรด ได้แก่ กรดแลคติก กรดอะซิติก กรดอื่น ๆ ที่เป็น food grade เช่น กรดฟอสฟอริก กรดซิตริก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริก เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีน้ำส้ม

สาข ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโน 4% และน้ำผลไม้ตระกูลส้มชนิดต่าง ๆ เพราะน้ำผลไม้พวกนี้จะมีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ตัวตกตะกอนประเภทกรดนี้สามารถตกตะกอนโปรตีนในน้ำนมถั่วเหลืองได้โดยการลด pH ของน้ำนมถั่วเหลืองลงมาที่ pH 4.5 ซึ่งเป็น isoelectric point สำหรับโปรตีนโกลบูลิน ทำให้ประจุสุทธิบนโปรตีนเป็นศูนย์ แรงผลักระหว่างไฟฟ้าของอนุภาคโปรตีนที่แขวนลอยอยู่มีค่าต่ำสุด ทำให้โปรตีนตกตะกอนลงมา

2. เอนไซม์ เอนไซม์ที่มีรายงานว่าสามารถตกตะกอนโปรตีนในน้ำนมถั่วเหลืองเพื่อผลิตเต้าหู้ได้ คือ เอนไซม์ปาเปน ซึ่งเป็น proteolytic enzyme ในยางของมะละกอดิบ โดยใส่เอนไซม์ลงในน้ำนมถั่วเหลืองที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงนำไปให้ความร้อนซึ่งโปรตีนก็จะตกตะกอนลงมา แต่ต้องให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงกว่า 70°C เพราะเอนไซม์จะถูกทำลายได้

3. ตัวตกตะกอนผสม ในปัจจุบันจะนิยมใช้ตัวตกตะกอนผสมกันมาก เพราะใช้ง่าย ตรวจวัดได้ง่าย และเป็นการรวบรวมเอาข้อดีของตัวตกตะกอนที่รวมกันมาไว้ด้วยกัน เช่น ตัวตกตะกอนผสมระหว่างแคลเซียมซัลเฟต 55% กับ GDL 45% ใช้ทำเต้าหู้อ่อน ตัวตกตะกอนผสมของแคลเซียมซัลเฟต กับแมกนีเซียมคลอไรด์ โดยอาจจะผสมบัฟเฟอร์ด้วย เพื่อชะลอความเร็วของปฏิกิริยาของแมกนีเซียมคลอไรด์ ทำให้เต้าหู้มีลักษณะเนื้อสัมผัสดีขึ้น เป็นต้น

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเต้าหู้

1. การควบแน่นของเมล็ดถั่วเหลือง

ในการทำเต้าหู้จำเป็นต้องแช่ถั่วเหลืองในน้ำ เพื่อให้โครงสร้างของเซลล์นุ่ม ลดพลังงานในการปั่นให้ละเอียด เพิ่มอัตราการสกัดสารอาหารให้เร็วขึ้น อัตราการควบแน่นขึ้นกับอุณหภูมิของน้ำที่แช่ถั่วเหลือง ที่อุณหภูมิสูงถั่วเหลืองจะควบแน่นได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ถั่วเหลืองที่แช่น้ำที่อุณหภูมิ 80°C 2 ชม. สามารถดูดซึมน้ำได้เท่ากับถั่วที่แช่น้ำที่ 30°C (อุณหภูมิห้อง) ในเวลา 6-8 ชม. ถั่วเหลือง 1 กรัม ดูดซึมน้ำได้สูงสุดถึง 1.2 กรัม ถั่วเหลืองแต่ละพันธุ์อาจมีความสามารถในการดูดซึมน้ำแตกต่างกันขึ้นกับพันธุ์ ความชื้นสูง/ต่ำของเมล็ดและอุณหภูมิสูง/ต่ำของน้ำที่แช่ ถั่วที่เมล็ดเล็กแข็ง อายุการเก็บนาน การควบแน่นจะลดน้อยลง

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงการแช่ถั่ว โดยเฉพาะในช่วงที่มีอากาศร้อน หากแช่นานเกินไปจะทำให้เกิดสถานะของการหมัก ความเป็นกรด-ด่าง เปลี่ยนแปลง ได้น้ำมันถั่วเหลืองที่มีอายุการเก็บสั้น เกิดการตกตะกอนของโปรตีน

2. การปั่นถั่วเหลือง

วิธีดั้งเดิมของจีน นิยมแช่ถั่วเหลืองในน้ำเย็นและปั่นถั่วเหลืองด้วยน้ำเย็นให้ละเอียดจะได้ได้น้ำมันถั่วเหลืองที่มีกลิ่นถั่วเป็นที่ชื่นชอบของคนบางกลุ่ม แต่สำหรับคนที่ไม่ชอบกลิ่นถั่ว การทำผลิตภัณฑ์จากน้ำมันถั่วเหลือง จำเป็นต้องกำจัดหรือลดกลิ่นถั่วให้น้อยลง พบว่า การแช่และปั่นถั่วเหลืองด้วยความร้อนอุณหภูมิ 80°C ช่วยกำจัดกลิ่นถั่วในน้ำมัน กลิ่นถั่วเกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ lipoxidase กับไขมันในถั่ว ปฏิกิริยานี้เกิดได้ดีเมื่อมีความชื้น หรือน้ำผสมกับเนื้อถั่วขณะปั่น การปั่นถั่วเหลืองในน้ำร้อนความร้อนจะยับยั้งปฏิกิริยาของการเกิดกลิ่นถั่ว (เพลินใจ, 2545)

ปริมาณน้ำที่เดิมมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิต ถั่วเดิมน้ำขณะบดมากเกินไปกากของวัตถุดิบที่ได้จะมีลักษณะหยาบทำให้สกัดโปรตีนได้น้อย น้ำมันผสมที่ได้จะเจือจางจึงทำให้ได้ผลผลิตต่ำ นอกจากนี้ยังมีเวย์ (whey) ที่ต้องกำจัดทิ้งมากด้วย (สมชาย, 2525)

3. การต้มน้ำมันถั่วเหลือง

ในขั้นตอนการเตรียมน้ำมันถั่วเหลือง หลังจากปั่นถั่วเหลืองกับน้ำให้ละเอียดแล้ว กรองกากถั่วเหลืองออกแล้วจึงต้มน้ำมันถั่วเหลืองจนเดือด ต้มต่ออีกประมาณ 15 นาที ความร้อนจะทำลายจุลินทรีย์ ลดกลิ่นถั่ว และทำให้โปรตีนเปลี่ยนแปลง (denaturation) อยู่ในภาวะพร้อมที่จะเป็นตะกอนหากใส่สารตกตะกอนลงไป นอกจากนี้ยังเป็นการปรับปรุงคุณค่าโภชนาการให้ดีขึ้น พบว่าโปรตีนจะถูกย่อยหากต้มน้ำมันถั่วเหลืองให้เดือดที่อุณหภูมิ 98°C นาน 15 นาที การต้มด้วยความร้อนที่เหมาะสมจะทำลาย trypsin inhibitor แต่การใช้ความร้อนที่มากเกินไป อาจจะมีผลเสียต่อคุณค่าทางโภชนาการได้เช่นกัน คือ กรดอะมิโนซิสทีน (cystine) และเมไทโอนีน (methionine) จะถูกทำลาย 30% เมื่อต้มเดือดนาน 30 นาที

นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การต้มถั่วเหลืองปั่นละเอียดให้เดือดนานเกิน 20 นาที จะทำให้ของแข็งในของเหลว (total solid) และปริมาตรของตัวหุ้ลดลง และมีผลต่อเนื้อสัมผัสของตัวหุ้

ดังนั้นจึงแนะนำว่าควรจะต้องต้มถั่วเหลืองปั่นละเอียดให้เดือด 10-15 นาที เพื่อให้ไขมันถั่วเหลืองคงคุณค่าทางโภชนาการไว้สูงสุด

4. ความเข้มข้นของสารตกตะกอน

ปริมาณความเข้มข้นของสารตกตะกอน มีผลต่อคุณภาพของเต้าหู้เป็นอย่างมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารตกตะกอน หากใช้ในปริมาณที่เหมาะสมจะตกตะกอน โปรตีนได้หมด จะเกิดน้ำใส สีเหลืองอ่อน (whey) แยกตัวออกจากตะกอน ถ้าใช้น้อยเกินไป น้ำที่แยกตัวออกมาจะขุ่น เต้าหู้จะมีปริมาณมาก เนื่องจากอมน้ำได้มาก ได้เต้าหู้คุณภาพไม่ดี ในทางตรงข้ามถ้าใช้สารตกตะกอนมากเกินไป ปฏิบัติการเกิดตะกอนเกิดขึ้นเร็ว ปริมาตรของเต้าหู้จะลดลงมีลักษณะแข็ง และมีรสฝาดขมของสารตกตะกอน

ปริมาณตัวตกตะกอนที่นิยมใช้ในการทำเต้าหู้อ่อน คือ แคลเซียมซัลเฟต ประมาณ 2.7% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง การทำเต้าหู้แข็งใช้สารตกตะกอนแคลเซียมซัลเฟตผสมกับแมกนีเซียม (อัตราส่วน 4:1) ปริมาณที่ใช้ประมาณ 2.5% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง และเต้าหู้หลอด ใช้กลูโคโนแลคเตดแลคโตนประมาณ 1.1% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง

5. ผลของอุณหภูมิไขมันถั่วเหลืองในการตกตะกอน

อุณหภูมิของไขมันถั่วเหลืองระหว่างการเคี้ยวตัวตกตะกอนมีผลต่อปริมาตร (yield) และเนื้อสัมผัสของตะกอน จากการทดลองหลังจากต้มน้ำนมถั่วเหลืองให้เดือดนานประมาณ 10-15 นาที อุณหภูมิของไขมันถั่วเหลืองจะสูงขึ้นประมาณ 98.6°C ต้องทำให้อุณหภูมิของไขมันถั่วเหลืองลดลงเหลือ $70-75^{\circ}\text{C}$ จึงเคี้ยวสารละลายของตัวตกตะกอน (อาจจะเป็นแคลเซียมซัลเฟตในการทำเต้าหู้อ่อน หรือแคลเซียมซัลเฟตผสมแมกนีเซียมซัลเฟตในการทำเต้าหู้แข็ง) ระหว่างการเกิดตะกอนจะต้องควบคุมอุณหภูมิของไขมันถั่วเหลืองให้อยู่ในช่วง $70-75^{\circ}\text{C}$ จนกว่าการเกิดตะกอนจะเสร็จสิ้น (น้ำใสสีเหลืองอ่อนแยกออกมา)

การทำเต้าหู้แข็งหากเสริมสารตกตะกอนลงในไขมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิสูงกว่า 80°C ตะกอนจะเกิดขึ้นเร็ว มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ ไม่เกาะกัน เมื่อตัดส่วนของตะกอนมาใส่พิมพ์จะได้เต้าหู้เนื้อแน่น หยิบ ได้ปริมาตรต่ำ แต่ถ้าเติมสารตกตะกอนลงในไขมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิต่ำ

ประมาณ 70-75°C จะเกิดตะกอนอย่างช้าๆ ตะกอนมีลักษณะเป็นก้อนเล็กๆ เบาๆ เกาะกัน เมื่อตักใส่พิมพ์ทำเต้าหู้จะได้เต้าหู้ที่มีเนื้อเนียน ยืดหยุ่น

การทำเต้าหู้อ่อน จะใช้สารแขวนลอยแคลเซียมซัลเฟต ตกตะกอนโปรตีนในน้ำนม ถั่วเหลือง ตะกอนมีลักษณะเป็นปุยเบาๆ ขนาดเล็ก คล้ายๆ ลิมไข่ (ตุ๋น) ลอยตัวกระจายโดยไม่จับกัน เป็นก้อน

6. ผลของการผสม (mixing) ในการตกตะกอน

การทำเต้าหู้แต่ละชนิด ใช้เทคนิคการผสมที่แตกต่างกัน หากเป็นเต้าหู้อ่อนหรือเต้าหู้แข็ง จะเทสารแขวนลอยของตัวตกตะกอนลงในน้ำนมถั่วเหลืองที่มีอุณหภูมิประมาณ 70-75°C แล้วใช้ไม้พายนั้นค่อยๆ คน ตะกอนจะเกิดอย่างช้าๆ การคนแรงๆ และนานจะทำให้ตะกอนแตกกระจาย มีช่องอากาศเกิดขึ้นมาก น้ำหนักและความชื้นของตะกอนลดลง เมื่อตักตะกอนใส่พิมพ์ ผูกผ้า และกดทับน้ำออก เต้าหู้จะมีเนื้อแข็ง ปริมาตรลดลง

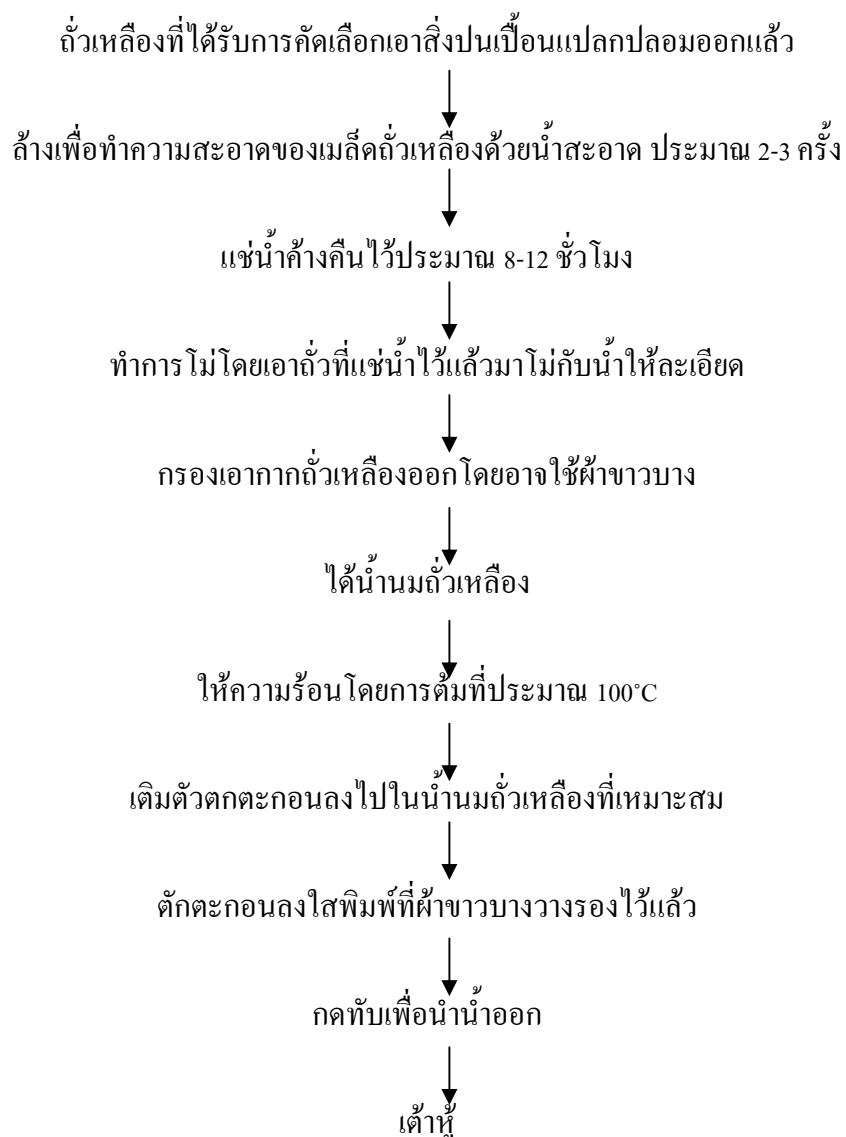
หากเป็นการทำเต้าหู้ยว เทคนิคในการผสมสารแขวนลอยของตัวตกตะกอนกับน้ำนมถั่วเหลือง จะไม่ใช้การคนให้เข้ากัน แต่จะเทน้ำนมถั่วเหลืองลงในสารแขวนลอยของตัวตกตะกอนให้เร็วและแรงเพียงครั้งเดียว โดยอาศัยแรงกระแทกของน้ำนมถั่วเหลืองก่อให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างสารแขวนลอยกับน้ำนมถั่วเหลือง ทำให้ปฏิกิริยาการตกตะกอนโปรตีนเกิดอย่างสมบูรณ์ หรือหากเป็นการทำเต้าหู้หลอดที่ใช้ GDL เป็นตัวตกตะกอนก็ใช้วิธีการผสมละลาย GDL ลงในน้ำนมถั่วเหลืองที่ปล่อยให้เย็นหลังจากต้มเดือด แล้วจึงบรรจุใส่ถุงพลาสติกสำเร็จรูปสำหรับเต้าหู้หลอดโดยเฉพาะ

7. การกดทับน้ำ

การทำเต้าหู้นอกจากจะคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีสิ่งหนึ่งคือ การกดทับน้ำออกจากตะกอน หลังจากตักตะกอนใส่พิมพ์ ผูกผ้าแล้ว จำเป็นต้องกดทับน้ำที่ยังคงเหลืออยู่ในปริมาณมากออก ให้มีความชื้นเหลืออยู่ในปริมาณพอเหมาะ การกดทับน้ำเป็นการทำให้ตะกอนโปรตีนเกาะตัวจับกันเป็นก้อนตามต้องการ น้ำหนักที่กดทับ และเวลาที่ใช้ต้องเหมาะสมขึ้นกับชนิดของเต้าหู้ นั่นคือหากเป็นเต้าหู้อ่อนทับด้วยน้ำหนักน้อย ๆ ก่อน 2-4 กรัม/ตารางเซนติเมตร ประมาณ

5 นาที จากนั้นเพิ่มน้ำหนักเป็น 15 กรัม / ตารางเซนติเมตร นาน 10-15 นาที แต่หากเป็นเต้าหู้แข็งใช้น้ำหนัก 20-100 กรัม/ตารางเซนติเมตร 20-30 นาที (เพลินใจ, 2545)

ขั้นตอนในการเกิดเจลโปรตีนของเต้าหู้

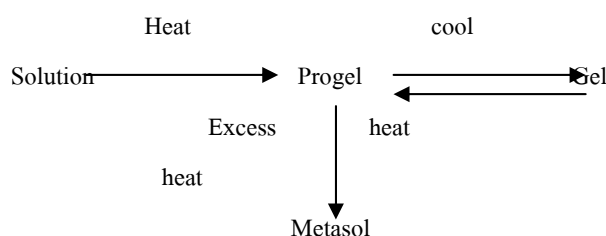


ภาพที่ 1 ขั้นตอนในการเกิดเจลโปรตีนของเต้าหู้

ที่มา : วันชัย (2525)

กลไกในการเกิดเจลโปรตีน

โปรตีนในถั่วเหลืองจะสามารถเกิดเป็นเจลได้ ถ้าความหนืดของสารละลายโปรตีนเพิ่มขึ้นอย่างเพียงพอ การเกิดเจลโดยการให้ความร้อนกับสารละลายโปรตีนจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกจะเป็นการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนด้วยความร้อน ในขั้นตอนนี้โปรตีนจะสูญเสียโครงสร้างทุติยภูมิและโครงสร้างตติยภูมิ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะไม่สามารถผันกลับได้ ส่วนขั้นตอนที่สองจะเป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดเจลอย่างแท้จริง ซึ่งจะเกิดโดยการจับกันเป็นโครงสร้างสามมิติ และจะจับน้ำเข้ามาอยู่ในโครงสร้างสามมิตินี้ ขั้นตอนนี้จะสามารถผันกลับได้



ภาพที่ 2 การเกิดเจลโปรตีนโดยความร้อนของโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง

ที่มา : ดวงพร (2540)

จากภาพที่ 2 เมื่อให้ความร้อนอย่างเพียงพอแก่สารแขวนลอยโปรตีนจนทำให้เกิดการเสียสภาพธรรมชาติ Solution จะเปลี่ยนเป็น Progel ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบไม่สามารถผันกลับได้ ต่อมาเมื่อทำให้สารแขวนลอยโปรตีนเย็นตัวลง Progel จะเปลี่ยนเป็นเจล ถ้าให้ความร้อนแก่ Gel ก็จะสามารถเปลี่ยนกลับมาเป็น Progel อีกได้ แต่ถ้า Solution หรือ Progel ได้รับความร้อนที่สูงเกินไป ที่อุณหภูมิ 125°C จะไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็น Gel ได้ถึงแม้จะทำให้สารแขวนลอยโปรตีนเย็นลงแล้วก็ตาม และจะทำให้เกิด Metasol ภายใต้ภาวะการให้ความร้อนที่สูงเกินไปโครงสร้างของโปรตีนจะถูกเปลี่ยนแปลงไป และจะไม่สามารถเกิดเจลได้อีก การเกิดเจลโดยความร้อนนี้จะต้องใช้โปรตีนสกัดเข้มข้นอย่างน้อย 8% จึงจะเกิดเจลได้อีก การเกิดเจลโดยความร้อนนี้จะต้องขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโปรตีน ถ้าความเข้มข้นของโปรตีนสูงขึ้นเจลก็จะมีความแข็งแรงมากขึ้น

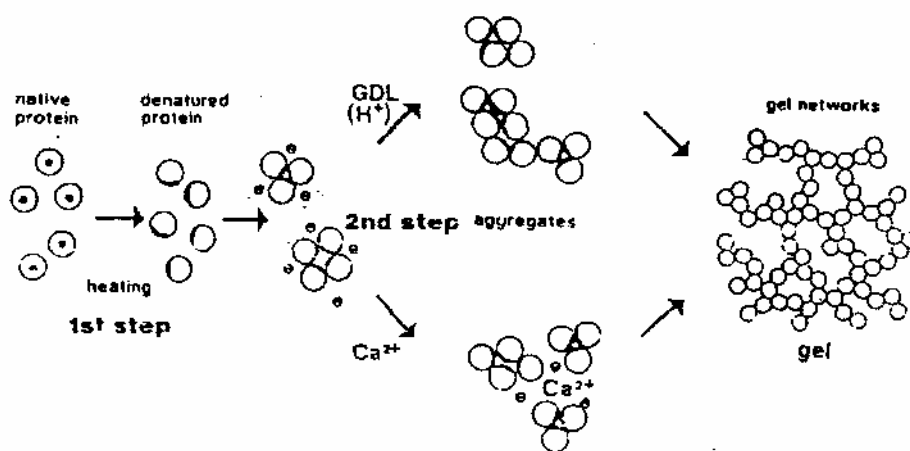
การเกิดเจลโปรตีนของถั่วเหลืองในอีกรูปแบบหนึ่งคือ การทำเต้าหู้ โดยขึ้นอยู่กับตัวตกตะกอน คือ

การตกตะกอนด้วยแคลเซียมคลอไรด์ และตกตะกอนโดยอาศัยหลักของ isoelectric point ของโปรตีนด้วยการปรับ pH ของสารละลายโปรตีนจนมี pH เท่ากับ 4.5 ซึ่งเป็น isoelectric pH (pI) ของโปรตีนแล้วเหลือด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจางไว้ว่า เจลโปรตีนที่ตกตะกอนโดยใช้แคลเซียมคลอไรด์เกิดจากการ cross-link ระหว่างโมเลกุลโปรตีนโดยแคลเซียมไอออน โดยแคลเซียมไอออนจะจับกับประจุลบของโปรตีนด้วยพันธะไอออนิก และกรดฟอสฟอริก จะทำตัวเป็นเหมือนสะพานเชื่อมในการเกิดเจลโปรตีน ส่วนเจลโปรตีนที่ตกตะกอนโดยอาศัยหลักของ isoelectric point ของโปรตีนเกิดจาก ที่ pI ประจุสุทธิของโปรตีนโกลบูลินจะมีค่าเท่ากับศูนย์ แรงผลักกันทางไฟฟ้าของอนุภาคโปรตีนที่แขวนลอยอยู่มีค่าต่ำสุด ทำให้โปรตีนตกตะกอนลงมา และโปรตีนจะจับกันด้วย Van der Waals interaction

การเกิดเจลโปรตีนจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนเนื่องจากความร้อน และการตกตะกอนของโปรตีนและการจับกันของโปรตีนที่ตกตะกอนด้วยปฏิกิริยา hydrophobic

ขั้นตอนที่หนึ่ง เมื่อโปรตีนได้รับความร้อนจากการต้มนมแล้วเหลือ โปรตีนจะเสียสภาพธรรมชาติไป ส่วนที่เป็น hydrophobic ของโปรตีน ซึ่งในสภาพธรรมชาติจะอยู่ด้านในของโครงสร้างของโปรตีนโกลบูลินก็จะเปลี่ยนมาอยู่ด้านนอก และเมื่อโปรตีนเสียสภาพธรรมชาติก็จะมีประจุเป็นลบ

ขั้นตอนที่สองโปรตีนที่เสียสภาพธรรมชาติ และมีประจุลบจะจับกับประจุบวกของตัวตกตะกอน ทำให้โปรตีนมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า และเข้ามาจับกันด้วย hydrophobic interaction เกิดเป็นโครงสร้างดาข่ายขึ้นมา (ดวงพร, 2540) ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กลไกการเกิดเจลโปรตีนในน้ำนมถั่วเหลืองเมื่อเติมตัวตกตะกอนลงไป สารตกตะกอนที่ใช้คือ แคลเซียมซัลเฟต และกลูโคโนแลคตาแลคโตน
วงกลม หมายถึง โมเลกุลของโปรตีน และส่วนที่เป็นสีดำ คือ บริเวณที่เป็น hydrophobic
ที่มา : คางพร (2540)

ปลา

ปลาเป็นอาหารที่จัดอยู่ในอาหารหลักหมู่ที่ 1 ซึ่งได้แก่ เนื้อสัตว์ อาทิ เนื้อสัตว์ต่าง ๆ หมู ปลา กุ้ง ไก่ ไข่ นม และถั่วเมล็ดแห้งต่าง ๆ อาหารที่อยู่ในหมู่เดียวกันนี้จะให้สารอาหารเหมือนกัน คือ โปรตีน โปรตีนเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของเด็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งตั้งแต่มารดาตั้งครรภ์ หากได้รับประทานอาหารไม่เพียงพอ ขาดโปรตีน จะมีผลต่อทารกในครรภ์ ดังนั้น การรับประทานปลาจะเป็นทางเลือกอันหนึ่งที่จะช่วยป้องกันการขาดโปรตีนในวัยเด็ก (สมชาย, 2533)

1. คุณค่าทางโภชนาการของปลา

ปลาทั้งตัวมีปริมาณเนื้อปลาที่ใช้บริโภคได้ประมาณ 20-40% ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิด อายุ และฤดู เป็นต้น ปลาที่ตัดหัว หาง ครีบ และเกล็ดออกแล้ว โดยเฉลี่ยมีเนื้ออยู่ประมาณ 73% กระดูก 21% และหนัง 6% (กระยาทิพย์, 2541)

ปลาในประเทศไทยมีมากกว่า 1,600 ชนิด เป็นปลาน้ำจืดไม่น้อยกว่า 560 ชนิด เป็นปลาทะเลพื้นชนิด และเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์น้ำอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 5

1.1 ไขมัน ปลามีไขมันพวกกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบสำคัญ กรดไขมันไม่อิ่มตัวนี้สามารถช่วยลดโคเรสเตอรอลในเลือดได้ สำหรับปลาในบ้านเรามีไขมันปานกลาง คือ ประมาณ 5-15%

ตารางที่ 5 คุณค่าทางโภชนาการของกุ้ง ปู ปลา และหอย (%)

ชนิดของสัตว์น้ำ	โปรตีน	NPN	ไขมัน	เกลือแร่	ไกลโคเจน	น้ำ
ปลา	11-25	2.3	0.1-2.0	0.8-2	0-0.3	66-84
กุ้ง ปู	17-18	5.6	0.1-2.1	2.1	2.1	70-78
หอย	8.5-13	NR	0.1-3	1.6	0.1-3	81

NPN : สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (Non Protein Nitrogen)

NR : ไม่มีรายงาน

ที่มา : หน่วยสำรวจแหล่งประมง กรมประมง (2527)

1.2 โปรตีนของปลาประกอบด้วยกรดอะมิโนต่าง ๆ มากมาย ช่วยสร้างความเจริญเติบโตแก่ร่างกาย และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ มีกรดอะมิโนพวกหนึ่งมีความสำคัญมาก เรียกว่า “กรดอะมิโนที่จำเป็น” มีด้วยกัน 8 ชนิด ในปลาครบทั้ง 8 ชนิด

1.3 คาร์โบไฮเดรต ในปลา มีเพียง 0.3% เท่านั้น นับว่าต่ำมาก

1.4 แร่ธาตุ แคลเซียมในปลา มีมาก แคลเซียมช่วงสร้างกระดูกจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับเด็กที่กำลังเจริญเติบโต และหญิงตั้งครรภ์หรือให้นมบุตร (ธิดารัตน์, 2544)

ปัจจุบันน้ำมันปลาจัดเป็นอาหารเสริมที่นิยมบริโภคจำนวนมาก เนื่องจากในน้ำมันปลามีกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายมนุษย์ และสัตว์ ให้ประโยชน์หลายอย่างต่อสุขภาพของร่างกาย โดยใช้น้ำมันปลามีกรดไขมันอิ่มตัว 25% ส่วนที่เหลืออีก 75% เป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (polyunsatu

rated fatty acid, PUFA) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกลุ่มกรดไขมันโอเมก้า-3 ชนิดที่สำคัญได้แก่ EPA (eicosapentaenoic acid) และ DHA (docosahexaenoic acid) กรดไขมันโอเมก้า-3 มีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยไปเสริมสร้างโครงสร้างของสมองและระบบประสาท เสริมสร้างเส้นประสาทตา จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อทารกภายในครรภ์ในระยะแรก

นอกจากนี้โอเมก้า-3 ช่วยลดอาการอักเสบในร่างกาย จึงใช้รักษาโรคไขข้ออักเสบ ลดการจับตัวของก้อนเลือดในหลอดเลือด จึงช่วยป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจตีบตัน ป้องกันไขมันอุดตันในเส้นเลือด และช่วยในการรักษาโรคหัวใจ บรรเทาอาการปวดไมเกรน ป้องกันการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง นอกจากนี้ยังช่วยในการรักษาโรคผิวหนังชนิดเรื้อรัง ป้องกันอาการต่าง ๆ จากภูมิแพ้ แต่มีข้อควรระวังในการใช้น้ำมันปลา ถ้าใช้ร่วมกันกับยาแอสไพรินหรือยาป้องกันการจับตัวของก้อนเลือดอาจมีผลทำให้เลือดไม่แข็งตัว เลือดหยุดยากกว่าปกติ จึงไม่ควรใช้ในผู้ที่เป็โรคเลือดหยุดยาก และผู้ที่เป็โรคเบาหวาน เนื่องจากน้ำมันปลานั้นมีส่วนทำให้น้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยเบาหวานสูงขึ้น และยังลดระดับอินซูลินในเลือดผู้ป่วยเบาหวานอีกด้วย ส่วนในคนปกติแนะนำให้รับประทานน้ำมันปลาประมาณวันละ 1 กรัม สำหรับรายที่มีปัญหาเกี่ยวกับหลอดเลือดอุดตัน ควรรับประทาน EPA และ DHA อย่างน้อยวันละ 3 กรัม หรือมากกว่านี้ นอกจากนี้ยังมีการนำเอากระดูกปลา หัวปลา และครีปลาทำเป็นปลาป่นสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากเศษเหลือดังกล่าวมีสารประกอบไนโตรเจน แคลเซียม และฟอสเฟตเป็นจำนวนมาก และได้มีการทดลองนำแคลเซียมจากเศษเหลือส่วนที่เป็นกระดูกปลา รวมทั้งน้ำมันปลาที่ผลิตจากเศษเหลือปลาทูนำมาผสมในไส้กรอกปลา ซึ่งผู้ทดสอบในการยอมรับผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ในอนาคตเชื่อว่าจะมีการนำเอาเศษเหลือเหล่านี้ไปใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง (มัทนา, 2545)

2. การรักษาคุณภาพของปลา

ปลาที่สดจะมีคุณภาพดีไม่มีกลิ่นคาว และกลิ่นเหม็น การบริโภคปลาที่จับขึ้นมาจากแหล่งน้ำใหญ่ ๆ ให้คุณภาพความสดดีที่สุด แต่เนื่องจากการจับในปริมาณมาก และผู้ซื้ออยู่ในท้องถิ่นที่ไกลออกไปจึงจำเป็นต้องมีวิธีการรักษาความสดของปลาให้คงอยู่ได้นานที่สุด ปัจจัยที่สำคัญในการรักษาความสดของปลา คือ

2.1 อุณหภูมิภายในตัวของปลา ควรลดอุณหภูมิภายในเนื้อเยื่อปลาให้ต่ำ เนื่องจาก

อุณหภูมิค่าปฏิกิริยาของเอนไซม์ และปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ จะเกิดขึ้นได้ช้า การเจริญของจุลินทรีย์มีอัตราลดลงจึงช่วยรักษาคุณภาพของปลาให้คงความสดอยู่ได้นาน ในทางปฏิบัติเรือหาปลาจะเตรียมน้ำแข็งใส่เรือไปให้เพียงพอกับปริมาณปลาที่คาดว่าจะจับได้ เรือบางประเภทจะมีห้องทำความเย็นเพื่อเก็บปลา การขนส่งหรือการรักษาจำเป็นต้องเลือกวิธีการที่ช่วยรักษาอุณหภูมิในตัวปลาให้ต่ำอยู่เสมอ (สมชาย, 2533) การเก็บรักษาปลาสดควรทำโดยการแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 40°F ที่นิยมมากคือ 30-32°F ควรจะห่อด้วยวัสดุที่กันความชื้นอย่างดี เพื่อไม่ให้มีกลิ่นปะปนกับอาหารอื่น ๆ ในตู้เย็น ส่วนปลาแช่แข็งนั้น ควรจะมีการห่อและเก็บไว้ที่ 0°F หรือต่ำกว่า และไม่ให้ละลายก่อนที่จะนำมาใช้ (ไพบูลย์ และคณะ, 2520)

2.2 การรักษาความสะอาด จุลินทรีย์เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ปลาเน่าเสีย การระวังรักษาความสะอาดเครื่องมือเครื่องใช้รวมทั้งน้ำใช้ที่เกี่ยวข้องสัมผัสกับปลาจะช่วยลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่จะเข้ามาสู่ปลา การล้างปลาด้วยน้ำสะอาดช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ผิวได้จากการดึงเหงือก และใส่ฟุ้งแยกออกจากตัวปลาจะช่วยกำจัดแหล่งของจุลินทรีย์ออกไป

2.3 แรงกระแทกหรือแรงกดบนตัวปลา ปลาที่กองทับถมกันมาก ๆ พวกที่อยู่ด้านล่างจะได้รับการชอกช้ำ เกิดลักษณะเนื้อเยื่อฉีกขาด ท้องแตก ลำตัวขรุขระ เป็นต้น ซึ่งบริเวณเหล่านี้ทำให้เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์เข้าสู่เนื้อเยื่อ ทำให้ปลาเสื่อมเสียเร็วขึ้น และจะลุกลามต่อไปถึงสัตว์ตัวอื่นที่เก็บอยู่ในกองเดียวกันด้วย ดังนั้น ในการปฏิบัติต่อปลาควรให้ความระมัดระวังเป็นพิเศษเพื่อหลีกเลี่ยงการชอกช้ำ ฉีกขาดของเนื้อเยื่อ

2.4 วิธีการรักษาปลาสด การรักษาปลาให้สดนานที่สุดนั้น มีวิธีเตรียมเมื่อนำปลามาแล้ว ต้องควักไส้ฟุ้งปลาออกให้หมดแล้วรีบล้างทำความสะอาดโดยเร็ว อย่าทำความสะอาดปลาบนพื้นหรือเชิงที่สกปรก ถ้าจะให้ดีควรมีก่อนน้ำแข็งหรือตู้แช่ เพื่อรักษาความสดของปลา โดยเฉพาะปลาจะสุญเสียรสชาติและความสดหากเก็บไว้ในตู้แช่แข็งเกินกว่า 3 เดือน (สมชาย, 2533)

3. การตรวจสอบคุณภาพ

ทำได้หลายแบบ คือ

3.1 ใช้ประสาทสัมผัส วิธีนี้ทำได้ง่าย รวดเร็ว แต่จะให้ผลแม่นยำถ้าผู้ตรวจสอบผ่านการฝึกฝนจนชำนาญ โดยทั่วไปจะเป็นการใช้สายตาสำรวจลักษณะปรากฏของสัตว์น้ำ เช่น ปลาสด ควรมีตาใน กลมมน สีภาพสมบูรณ์ ไม่มีการฉีกขาดของเนื้อเยื่อ เป็นต้น

3.2 วิธีทางเคมี เป็นการวิเคราะห์สารประกอบบางอย่างซึ่งบ่งชี้ถึงความสด หรือการเน่าเสียของปลา เช่น ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นเบสซึ่งระเหยง่าย (สมชาย, 2533) โดยเนื้อปลาน่าเสียได้ง่าย เนื่องจากเวลาถูกฆ่าปลาจะตื่นจนกว่าจะตาย ไกลโคเจน (glycogen) ที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อจะถูกใช้ไปจนหมด คือไม่มีกรดแลคติก (lactic acid) เกิดขึ้น เนื้อปลามี pH ระหว่าง 6.4-7.0 ซึ่งเหมาะแก่การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (bacteria) นอกจากนี้เนื้อปลายังมีสารประกอบไนโตรเจน ได้แก่ trimethylamine oxide ประกอบอยู่ประมาณ 0.2-2.0% เมื่อปลาดตายแบคทีเรียจะเปลี่ยน trimethylamine oxide ให้เป็น trimethylamine ซึ่งมีกลิ่นของปลาน่า (ไพบูลย์ และคณะ, 2520) ซึ่งนิยมใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของปลา ส่วนปริมาณสาร indole นิยมใช้ในการตรวจสอบกุ้ง เป็นต้น

3.3 วิธีทางชีววิทยา การวัดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ผิวหรือเนื้อปลา ถ้าปรากฏว่ามีปริมาณมากบ่งบอกถึงการเน่าเสียได้ การตรวจสอบทางจุลชีววิทยาที่สำคัญ คือ การตรวจหาจุลินทรีย์ซึ่งเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้บริโภค เช่น การตรวจหาแบคทีเรีย พวก Salmonella

3.4 วิธีทางกายภาพ เป็นการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อปลา ซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงความสดหรือคุณภาพของปลานั้นๆ ได้ วิธีนี้ไม่นิยมนัก

3.5 วิธีทางเคมี-กายภาพ เช่น การวัด pH ของเนื้อปลาหรือการหาปริมาณ buffering capacity ของเนื้อปลา เป็นต้น วิธีนี้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์จึงยังไม่มีที่ใช้กันกว้างขวางนัก

4. ชนิดของโปรตีนของกล้ามเนื้อปลา

โปรตีนจากเนื้อปลาสามารถจำแนกได้หลายกลุ่มตามคุณสมบัติการละลายได้ ดังนี้

4.1 โปรตีนที่ละลายน้ำได้ในน้ำ (sarcoplasmic protein) หรือที่เรียกว่า myogen มีอยู่ประมาณ 10-20% ของโปรตีนทั้งหมด ซึ่งโปรตีนชนิดนี้ทำหน้าที่เป็นสารที่ช่วยในการรวมตัวกับไขมันได้ดีเท่ากับหรือดีกว่ามันโอไฟบริลลาโปรตีน แต่อิมัลชัน (emulsion) ที่ได้จะมีความคงตัวน้อยกว่า ได้แก่ เอนไซม์ชนิดต่าง ๆ และสารให้สีในเนื้อ เป็นต้น

ตารางที่ 6 คุณค่าโภชนาการของปลาชนิดต่าง ๆ จำนวน 100 กรัม

เนื้อปลาจำนวน 100 กรัม	พลังงาน (แคลอรี)	ไขมัน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	โปรตีน (กรัม)	แคลเซียม (กรัม)	ฟอสฟอรัส (กรัม)	เหล็ก (กรัม)
ปลากะพงขาว ¹	80	0.4	0	17.8	0.046	0.15	0.0003
ปลากะพงแดง ¹	68	0.2	0	15.6	0.037	0.134	0.0006
ปลากลาย ¹	84	1.6	0	17.5	0.045	0.172	0.0012
ปลาช่อน ¹	116	3.8	0	20.5	0.031	0.218	0.0058
ปลาคูค้าน ¹	85	0.6	0	18.7	0.046	0.166	0.0003
ปลาทูสด ¹	140	6.7	0	20.0	0.17	0.06	0.0119
ปลาทะเล (มันน้อย) ¹	73	0.5	0	17.0	0.02	0	0.0007
ปลาทะเล (มันมาก) ¹	166	10.0	0	19.0	0.02	0	0.0015
ปลาน้ำจืด ¹	95	2.5	มีเล็กน้อย	18.0	0.05	0	0.001
ปลาสด ¹	76	0.8	0	17.2	0.07	0.177	0.0023
ปลาหมอไทย ¹	76	0.2	0	17.4	0.13	0.156	0.0006
ปลาหมอเทศ ¹	112	4.1	0	17.5	0.077	0.189	0.0001
ปลาทรายแดง ²	88	1.0	0	18.4	0.039	0.210	0.0003
ปลาอินทรี ²	103	2.7	0	18.5	0.020	0.224	0.0013
ปลาดำโต ³	117	3.5	0	21.3	-	-	-

ที่มา : ¹สมชาย (2533)

² กองโภชนาการ กรมอนามัย (2530)

³ กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2535)

4.2 โปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในเกลือเจือจาง ซึ่งมีค่า ionic strength ประมาณ 0.15 เช่น โปรตีนในเลือด และน้ำย่อยบางชนิด เรียกพวกนี้ว่า globulin-x จากการวิเคราะห์ในปลาพบว่า มี 8-22% ของโปรตีนทั้งหมด

4.3 โปรตีนที่ละลายได้ในเกลือที่มีค่า ionic strength สูงกว่า 0.5 ได้แก่ โปรตีนกล้ามเนื้อ (myofibrillar protein) เช่น actin, myosin และ actomyosin เป็นต้น พวกนี้มีประมาณ 67-75% ของโปรตีนทั้งหมด ซึ่งโปรตีนชนิดนี้จะทำหน้าที่ในการเกิดเจล, การรวมกับน้ำ และเป็นตัวเชื่อมโยงโมเลกุลของไขมัน เป็นต้น

4.4 พวกที่ไม่ละลายน้ำหรือสารละลายของเกลือแต่ละละลายในกรด และด่างเข้มข้น เรียกว่า stromal protein พวกนี้ ได้แก่ โปรตีนในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เช่น collagen, elastin recticulum พบอยู่ประมาณ 3-10% ของโปรตีนทั้งหมด (สุพรรณพันธุ์, 2539)

สาหร่าย

สาหร่าย คนทั่วไปจะหมายถึง พืชที่อยู่ในน้ำ ซึ่งรวมทั้งพืชดอกพวกพืชใบเลี้ยงเดี่ยว พืชใบเลี้ยงคู่ และพืชไร้ดอกกลุ่มที่เรียกว่า algae สาหร่ายเป็นพืชที่มีลักษณะและขนาดแตกต่างกันมาก มีทั้งที่เป็นเซลล์เดี่ยวขนาดเล็กจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น จนถึงพวกที่มีขนาดใหญ่มีความยาวถึง 100 ฟุต ถิ่นอาศัยก็แตกต่างกันไป สามารถพบได้ทั้งในที่แห้งแล้ง ที่ชื้นแฉะ ในน้ำจืด น้ำกร่อย น้ำเค็ม หรือแม้กระทั่งน้ำที่เค็มจัดอย่างใน Dead Sea ในบรรดาสาหร่ายทั้งหมด อาจกล่าวได้ว่าสาหร่ายทะเล (seaweed) เป็นพวกที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจมากที่สุด ประโยชน์ที่ได้รับจากสาหร่าย ได้แก่ ใช้เป็นอาหารคน ใช้เป็นยา เป็นปุ๋ย เป็นอาหารสัตว์ และใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตสารประกอบพวก phycocolloids ซึ่งมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน และใช้กันมากในอุตสาหกรรมหลายประเภท ความต้องการสารประกอบ phycocolloids และสาหร่ายที่ใช้เป็นอาหารมีเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามการขยายตัวของอุตสาหกรรม และการเพิ่มจำนวนของประชากร จนทำให้มีการเพาะเลี้ยงกันในหลายประเทศ (ณัฏฐารัตน์ และเขวาลักษณ์, 2529)

สาหร่ายเป็นพืชที่อยู่ในพวก thallophytes ที่โครงสร้างของพืชเหล่านี้ไม่ได้เปลี่ยนแปลงเป็นลำต้น ราก และใบที่แท้จริง ดังนั้น เราจึงเรียกส่วนทั้งหมดของสาหร่ายว่า thallus ส่วนใหญ่นั้นจะมีคลอโรพลาสต์ แต่ก็มีสาหร่ายบางชนิดที่ไม่มีคลอโรพลาสต์ ด้วยเหตุนี้สาหร่ายที่มีคลอโรพลาสต์จึง

ดำรงชีวิตเป็นแบบ autotrophic ส่วนพวกที่ไม่มีคลอโรพลาสต์ก็จะดำรงชีวิตเป็นแบบ heterotrophic ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพและสิ่งแวดล้อมที่มันอาศัยอยู่

1. แหล่งของสาหร่าย

สาหร่ายที่อยู่ในน้ำจืด (fresh water algae) และสาหร่ายที่อยู่ในน้ำทะเลหรือน้ำเค็ม (marine algae) อาจจะมีชีวิตความเป็นอยู่แบบ epiphyte ก็ได้ บางชนิดก็มีชีวิตเป็น endophyte คือ อยู่ภายในหรือระหว่างเซลล์ของ host เช่น anabaena ที่อยู่ในช่องว่างของใบของแห่นางแมว หรือในเซลล์ของพืชพวก cycad เป็นต้น ที่เป็น parasite ก็มี เช่น cephalosporium ที่อยู่ในใบของต้นชา ทำให้ต้นชาเป็นโรค บางชนิดก็เป็น epizoid คือ อยู่บนตัวสัตว์ หรือเป็น endozoic อยู่ภายในตัวสัตว์ เช่น chlorella หลายชนิดที่ขึ้นอยู่บนฟองน้ำ และ hydra characium ขึ้นอยู่บนหนวดของตัวอ่อนของยุง (mosquito larvae) chlorella บางชนิดอยู่ใต้เกล็ดปลา basillaria ขึ้นอยู่บนกระดองเต่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิดเจริญเติบโตอยู่ในทางเดินอาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สาหร่ายบางชนิดอยู่ตามบริเวณน้ำที่ไหลอยู่เสมอ เช่น น้ำตก พวกสาหร่ายบางชนิดก็มีชีวิตอยู่ร่วมกับรา ก่อให้เกิดเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่าไลเคน (อักษร, 2529)

สาหร่ายทะเลเป็นพืชที่คนเรารู้จักนำเอามารับประทานเป็นอาหารมาช้านานถึงสองพันกว่าปี ญี่ปุ่นเป็นชนชาติที่รู้จักคุณค่าของสาหร่ายทะเล และสันตติภณที่นำเอาสาหร่ายมาปรุงอาหารได้เก่งที่สุดในโลก จนกล่าวได้ว่า สองพันกว่าปีที่ผ่านมานี้ สาหร่ายทะเลมีส่วนเกี่ยวข้องกับสุขภาพ และวัฒนธรรมการบริโภคของชาวญี่ปุ่นมาตลอดทุกยุคทุกสมัย

เรามักจะเข้าใจว่า สาหร่ายทะเลนั้นเจริญงอกงามได้ในทะเลทุกแห่งของโลก แต่ความจริงแล้ว ในทะเลอันเขตอบอุ่นนั้นจะไม่พบสาหร่ายทะเลเจริญแพร่พันธุ์อยู่เลย แม้แต่พืชทะเลอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายสาหร่ายทะเลก็ไม่พบเช่นเดียวกัน ดังนั้นแหล่งที่จะสามารถเก็บสาหร่ายทะเลได้ในโลกนี้จึงมีเพียงบางเขตเท่านั้นเอง

คนเราเพิ่งจะสามารถเพาะขยายพันธุ์สาหร่ายทะเลได้สำเร็จเมื่อปี ค.ศ. 1940 นับเวลาจากที่คนเรารู้จักนำเอามันมาใช้เป็นอาหารถึงสองพันกว่าปีแล้ว นอกจากนี้ ปริมาณที่เพาะพันธุ์ได้ก็ยังไม่ค่อย และคุณภาพก็ยังสู้สาหร่ายทะเลที่เจริญงอกงามตามธรรมชาติไม่ได้

ญี่ปุ่นสามารถผลิตสาหร่ายทะเลได้มากถึงปีละ 30,000 ตัน (95%) หรือเกือบทั้งหมดของ มันได้มาจากชายฝั่งทะเลรอบเกาะฮอกไกโด ซึ่งเกือบเป็นแหล่งสาหร่ายทะเลที่สำคัญที่สุดของญี่ปุ่น ชาวญี่ปุ่นนิยมรับประทานสาหร่ายทะเล เพราะมีรสชาติแปลกพิเศษ ชวนรับประทานแตกต่างไป จากพืชชนิดอื่น ๆ รสชาติพิเศษนี้เกิดจาก สารกลูตามิก (glutamic acid) ที่มีอยู่ในสาหร่ายทะเล

นอกจากนี้สาหร่ายทะเลยังมีสรรพคุณเป็นยารักษาโรค ทั้งยังช่วยทำให้มีสุขภาพพลานามัย ที่สมบูรณ์อีกด้วย

2. ส่วนประกอบของสาหร่ายทะเล

ในสาหร่ายทะเลมีส่วนประกอบสำคัญ คือ คาร์โบไฮเดรต กรดอัลจินิก (alginic acid) และ แมนนิทอล (mannitol) ส่วนโปรตีน ไขมัน นั้นแทบจะไม่มีเลย แต่เมื่อสาหร่ายทะเลถูกเผาผลาญใน ร่างกาย จะถูกเปลี่ยนแปลงให้กลายเป็นพลังงานความร้อนที่น้อยมากจนไม่สามารถวัดคำนวณออก มาได้ จนกล่าวได้ว่า สาหร่ายเป็นอาหารที่ปราศจากแคลอรีนั่นเอง

แม้ว่าในสาหร่ายทะเลจะไม่มีสารอาหารที่สร้างพลังงานให้แก่อวัยวะ แต่มันกลับอุดม ไปด้วยสารเกลือแร่ชนิดต่าง ๆ มากมาย แม่น้ำแต่ละสายที่ไหลผ่านแผ่นดิน ภูเขา ที่ราบมารวมกันที่ ทะเล หรือมหาสมุทรนั้น ได้พัดพาเอาเกลือแร่ต่าง ๆ มารวมกันอยู่ในน้ำทะเล ทำให้น้ำทะเลมีสาร เกลือแร่มากถึง 45 ชนิด และสารเกลือแร่เหล่านี้มีอยู่ในสาหร่ายทะเลทั้งสิ้น ที่มีมากเป็นพิเศษ ได้แก่ เหล็ก แคลเซียม และ ไอโอดีน

กล่าวถึงความเป็นกรด-ด่างแล้ว สาหร่ายทะเลเป็นอาหารที่มีความเป็นด่างมากที่สุด ในบรรดาอาหารทั้งหลาย คนที่มีนิสัยชอบรับประทานอาหารประเภทที่มีความเป็นกรดมาก เช่น อาหารรสเปรี้ยว ของดอง การรับประทานสาหร่ายทะเลจะช่วยปรับภาวะกรด - ด่างของอาหารให้ สมดุลได้

40% ถึง 60% ของเนื้อสาหร่ายนั้นจะเป็นสารพวกเส้นใย (fiber) ที่ร่างกายของเราไม่ สามารถย่อยเป็นอาหารได้ พวกกากเส้นใยเหล่านี้จะช่วยกระตุ้นให้ลำไส้มีการเคลื่อนไหวบีบตัวได้ ดี ช่วยทำให้ถ่ายอุจจาระได้เป็นปกติ นอกจากนี้ ในสาหร่ายทะเลรวมทั้งพืชทะเลชนิดอื่น ๆ ยังมีสาร ชนิดหนึ่งเรียกว่า Fucoidon เป็นสารที่มีฤทธิ์ต่อต้านโรคมะเร็งได้ด้วย

3. การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายทะเล

ประโยชน์ที่ได้จากสาหร่ายส่วนใหญ่ สามารถจำแนกได้ดังนี้

3.1 อาหารและผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหาร

คนเราโดยเฉพาะอย่างยิ่งคนที่อยู่ตามชายฝั่งทะเลรู้จักนำสาหร่ายมาใช้เป็นอาหารกันมานานนับพันปีแล้ว มีรายงานว่าคนจีนใช้สาหร่ายสกุล *Laminaria* และ *Gracilaria* เป็นอาหารกันมาหลายพันปีแล้ว และมีรายงานของนักมนุษยวิทยา กล่าวว่า พวกอเมริกันอินเดียน รู้จักใช้สาหร่ายสีแดงสกุล *Porphyra* ที่เรารู้จักกันในชื่อ จีไฉ่ มาประกอบอาหารนับเป็นพันปีมาแล้ว โดยใช้เป็นเครื่องชูรส และทำให้ได้เกลือแร่ตามที่ร่างกายต้องการ คนญี่ปุ่นในสมัยโบราณก็รู้จักใช้สาหร่ายสกุลนี้เป็นอาหารเสริม ต่อมาจึงแพร่หลายไปยังประเทศจีน ซึ่งเป็นชาติแรกที่ทำการศึกษาสาหร่ายสกุลนี้ ต่อมาญี่ปุ่นจึงทำการเพาะเลี้ยงบ้าง และได้ทำการค้นคว้าปรับปรุงวิธีการเพาะเลี้ยงตลอดจนคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมจนกลายเป็นประเทศที่ผลิต *Porphyra* spp. มากที่สุดจนถึงทุกวันนี้

พวกโพลินีเซียน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหมู่เกาะฮาวายก็นิยมใช้สาหร่ายเป็นอาหารมีสาหร่ายที่นำมาประกอบอาหารมากกว่า 75 ชนิด ทางยุโรปมีการบริโภคสาหร่ายน้อยกว่าในหมู่เกาะฮาวายและเอเชีย แต่ในบางประเทศที่มีชายฝั่งทะเล เช่น Scotland, Ireland และ Iceland ก็รู้จักรับประทานสาหร่ายสีแดง *Rhodomenia palmata* กันมากกว่า 1,200 ปีแล้ว แต่สาหร่ายที่รู้จักกันแพร่หลายที่สุดในยุโรปตะวันตก คือ irish moss หรือ carrageen (*Chondrus crispus*)

ปัจจุบันประเทศที่นิยมบริโภคสาหร่าย ได้แก่ จีน ญี่ปุ่น เกาหลี ฟิลิปปินส์ และฮาวาย ญี่ปุ่นเป็นประเทศที่บริโภคสาหร่ายมากที่สุด คือ อาหารญี่ปุ่นเกือบทั้งหมดจะมีสาหร่ายเป็นส่วนประกอบไม่มากนัก ซึ่งก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้มีการพัฒนาและขยายการเพาะเลี้ยงอย่างรวดเร็ว มีชาวญี่ปุ่นประมาณห้าแสนคน ทำอาชีพเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายทะเลสกุล *Porphyra*

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารพบว่า ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของสาหร่าย คือ น้ำ มีปริมาณโปรตีนและไขมันค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับพืชผักชนิดอื่น ส่วนคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ก็อยู่ในรูปที่น้ำย่อยของคนย่อยไม่ได้ จึงเป็นอาหารที่ให้พลังงานน้อย แต่ส่วนที่เป็นประโยชน์และ

หาไม่ได้จากพืชอื่น ๆ คือ แร่ธาตุที่อยู่ในสภาพที่เป็นสารอินทรีย์เคมี ร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้ได้ และยังมียาวิตามิน (ณัฐวรรธน์และเยาวลักษณ์, 2529) อาทิ เช่น วิตามินเอ วิตามินบี (B_2 และ B_{12}) วิตามินซีและวิตามินดี นอกจากนี้ยังมี niacin, pantothenic acid, folic acid, iodene (กาญจนาภรณ์, 2527) และ trace elements ปริมาณมากด้วย สาหร่ายทะเลที่ใช้เป็นอาหารคนมีหลายชนิดด้วยกัน แต่สาหร่ายทะเลที่จัดได้ว่าเป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวางขนาดมีการซื้อขายระหว่างประเทศ ได้แก่ สาหร่ายสกุล *Porphyra*, *Laminaria*, *Undaria*, *Chaetomorpha* และ *Hijikia* เป็นต้น คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายที่ใช้เป็นอาหารคน แตกต่างกันไปตามชนิดของสาหร่าย ส่วนของสาหร่าย อายุของสาหร่าย และฤดูกาลด้วย (ณัฐวรรธน์และเยาวลักษณ์, 2529)

ในสาหร่ายทะเลมีธาตุไอโอดีนอยู่เป็นจำนวนมาก ในแต่ละวัน ร่างกายของคนเราต้องการไอโอดีนประมาณ 0.1-0.3 มิลลิกรัม การรับประทานสาหร่ายทะเล 0.1 กรัม หรือเท่ากับแผ่นสาหร่ายทะเลขนาดกว้าง 2 ซม. ยาว 2 ซม. ก็จะสามารถได้รับไอโอดีนในจำนวนที่พอเพียงดังกล่าวแล้ว และการรับประทานสาหร่ายทะเลมาก ๆ ก็ยังไม่เคยปรากฏว่าจะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายเลย

พืชทะเลนั้นเป็นอาหารที่มีปริมาณแคลเซียมสูง กล่าวถึงสาหร่ายทะเลแล้วพบว่าสาหร่ายทะเล 100 กรัม จะมีแคลเซียมมากถึง 710 มิลลิกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าอาหารประเภทอื่น ๆ โดยทั่วไปแล้ว คนเราต้องการแคลเซียมวันละ 600 มิลลิกรัม เท่ากับการดื่มนมสดวันละ 600 CC. และถ้าเทียบกับแผ่นสาหร่ายทะเลมีแคลเซียมในปริมาณที่สูงกว่านมสดมากทีเดียว

การรับประทานสาหร่ายทะเลเป็นประจำ จึงเป็นการเสริมแคลเซียมให้แก่ร่างกายได้โดยตรง ทำให้กระดูกและฟันแข็งแรงขึ้น นอกจากนี้แล้ว การเคี้ยวกินสาหร่ายทะเล ยังช่วยบริหารฟันและขากรรไกรอีกด้วย เพราะว่าสาหร่ายทะเลมีความเหนียวพอสมควรที่ต้องออกแรงเคี้ยว การได้ออกกำลังเช่นนี้จะทำให้ขากรรไกรล่างได้มีการเคลื่อนไหว การเจริญเติบโตของฟันก็จะมีส่วนซึ่งจะทำให้การงอก เรียงตัวของฟันเป็นระเบียบ เนื้อฟันก็แข็งแรงขึ้น

ในสาหร่ายทะเลนั้น ส่วนประกอบเกินกว่าครึ่งหนึ่งของมันจะเป็นสารเส้นใย (fiber) เมื่อรับประทานเข้าไป สารพวกนี้จะไม่สามารถถูกย่อยได้ เดิมทีเข้าใจกันว่า สารเส้นใยพวกนี้ไม่มีคุณค่าทางโภชนาการเลย จึงมักถือว่าเป็นสารที่ไม่มีความจำเป็นสำหรับร่างกาย ต่อมานักโภชนาการวิจัยพบว่า ถึงแม้ว่าร่างกายจะไม่สามารถย่อยสารเส้นใยเหล่านี้เอาไว้ใช้ประโยชน์เป็นพลังงานได้

แต่ว่าสารเส้นใยมีประโยชน์ต่อร่างกายมากที่สุดก็คือ ตัวสารเส้นใยเองเป็นกากอาหารที่ช่วยเพิ่มปริมาณสิ่งของภายในลำไส้ มันช่วยกระตุ้นผนังลำไส้ให้มีการบีบตัวเคลื่อนไหว ป้องกันการเกิดอาการท้องผูกได้เป็นอย่างดี (ชุมพล, มปป.)

ในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง ใช้ agar บรรจุในกระป๋องเพื่อกันไม่ให้เนื้อปลาที่สุกแล้วแตกยุ่ย ป้องกันการเปลี่ยนสีของเนื้อปลา

ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มหลายชนิดก็ใช้ agar เช่น thickening agent ในการทำซุ๊ป ซอส ใช้เป็น stabilizer ในไอศกรีม และเนยแข็ง ครีมชีส คัสตาร์ด และมายองเนส หรือใช้แทน pectin ในการผลิตเยลลี่และแยม ใช้เป็น clarifying agent ในการผลิตเบียร์ ไวน์ และกาแฟ (ณัฏฐารัตน์และเขาวลัษณ์, 2529)

3.2 ใช้ทางการแพทย์

ในสมัยโบราณสาหร่ายหลายชนิดถูกนำมาใช้เป็นยา เช่น *Fucus*, *Laminaria* และ *Sargassum* ใช้รักษาโรคคอพอก สารสกัดจาก *Ascophyllem* ใช้ในการรักษา sprains และ rheumatism สาหร่ายสกุล *Jania rubens*, *Corallina officinalis*, *Alsidium helminthochorton*, *Sargassum vulgare*, *Rhodymenia palmata*, *Hypnea musciformis*, *Chondria* sp. และ *Ulva* sp. ใช้เป็นยาล้างพยาธิ สารประกอบ Chondriol ซึ่งได้จาก *Chondria armata* ใช้ควบคุม Herpes virus ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติและสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ ในสาหร่ายทะเลกันมาก ได้พบคุณสมบัติหลายอย่างที่มีประโยชน์ทางการแพทย์ เช่น พบว่าสาหร่ายทะเลหลายชนิดมีสารประกอบซึ่งเป็นสารปฏิชีวนะ หรือเป็นสารซึ่งยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย เช่น *Chonaria littoralis*, *Falkenbergia hillebrandii*, *Murrayella pericladus*, *Wrangelia* spp., *Laurencia obtusa*, *Dictyopteris justii*, *Sargassum thunbergii*, *Chrystmenia wrightii*, *Ulva pertusa*, *Undaria* sp. และ *Amania* sp. มี antibiotic activity ส่วน *Dictyota dichotom*, *Gelidiella acerosa*, *Gracilaria corticate*, *Enteromorpha* spp. และ *Padina gymnospora* มี antibacterial activity

สาหร่ายทะเลหลายชนิดมีสารประกอบ sterols เช่น ergosterol, chondriosterol, periferasterol ฯลฯ ซึ่งมี hypocholesterolemic activity ทำให้มีผลในการลดความดันโลหิตในคนที่ เป็น atherosclerosis และจากการทดลองพบว่าทำให้ระดับ cholesterol ในกระต่ายและหนูทดลองได้

สารสกัดด้วยน้ำจาก phytocolloid บางชนิด เช่น agar, carrageenan และ iridophycan มีคุณสมบัติ เป็นสารที่ยับยั้งการแข็งตัวของเลือด(anti-coagulating blood compound) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารสกัด จากสาหร่ายสีแดง *Delesseria sanguinea* ให้ผลดีเท่ากับ heparin หรือดีกว่าเสียอีกและ phycocelluloid ชนิดหนึ่ง คือ Algasol T 331 ใช้ในการรักษา oncologic patients, chronic bronchitis และ emphysema

ทางด้านเภสัชกรรม ใช้ agar เป็นยาระบาย ใช้เป็น emulsifier และ stabilizer ในยาและ เครื่องสำอางหลายประเภท (ณัฐวรรัตน์และเขวาลักษณ์, 2529)

วารสารการแพทย์ของสหรัฐอเมริกาฉบับหนึ่งรายงานว่ “การเกิดโรคมะเร็งเต้านมใน หญิงญี่ปุ่นที่รับประทานสาหร่ายทะเลเป็นอาหารนั้น มีอัตราต่ำกว่าหญิงอเมริกัน” จากการค้นคว้า ในหลายปีพบว่า ปริมาณ 1 ใน 4 ของส่วนประกอบในสาหร่ายทะเลนั้นเป็น กรดอัลจินิก (alginic acid) สารนี้เป็นสารเส้นใยชนิดหนึ่ง สามารถจะกำจัดสารกัมมันตรังสีได้ โดยเฉพาะสตรอนเทียม (Strontium-Sr) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง ในทุกวันนี้อาหารที่เรารับประทานเข้าไป มักจะมี สิ่งเจือปนต่าง ๆ มากมาย เช่น สิ่งปรุกรส สีย้อมอาหาร ฯลฯ กรดอัลจินิกที่มีอยู่ในสาหร่ายทะเลจะ ช่วยกระตุ้นให้ลำไส้มีการบีบตัวเคลื่อนไหวเพิ่มมากขึ้น ทำให้สารก่อโรคมะเร็งทั้งหลายไม่สามารถ ที่จะเกาะติดกับผนังลำไส้แล้วถูกขจัดออกไปพร้อมกับอุจจาระ (ชุมพล, มปป.)

นอกจากใช้ประโยชน์ในทางยาโดยตรงแล้ว สาหร่ายบางชนิดยังใช้เป็นอาหารเสริม สุขภาพ เช่น *Spirulina* (สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน) โดยนำมาอัดเม็ด (tablet) เหมือนยา รงควัตถุสี ฟ้าที่สกัดได้จาก spirulina ยังนำมาใช้เป็นสีผสมอาหารได้อีกด้วย (กาญจนาภรณ์, 2521)

3.3 ใช้เป็นปุ๋ย

การใช้สาหร่ายทะเลเป็นปุ๋ยจะทำให้พืชได้รับแร่ธาตุสำคัญ คือ ไนโตรเจน และ โพแทสเซียม ปริมาณมากพอสมควร มีผู้คำนวณว่าการใส่สาหร่าย 30,000 กิโลกรัม จะมีผลเท่ากับ ใส่ไนโตรเจน 49 กิโลกรัม แต่ที่มีความสำคัญมากกว่านั้นคือ trace element และ สารเร่งการเจริญ เติบโต (growth substance)

แต่ปริมาณแร่ธาตุก็เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล ปริมาณเ้าในส่วน frond ของ *Laminaria digitata* ที่เปลี่ยนไปในรอบปี สาหร่ายทะเลที่ใช้เป็นปุ๋ยกันมากได้แก่ สาหร่ายสีน้ำตาล

สกุล *Ascophyllum*, *Fucus*, *Macrocystis*, *Laminaria*, *Ecklonia*, *Durvillaea*, *Carpophyllum*, *Himanthalis*, *Lessonia*, *Cystophora* และ *Sargassum* ส่วนสาหร่ายสีแดง ได้แก่ *Pachymenia*, *Hypnea*, *Gracilaria*, *Lithothamnion* และ *Phymatolithon* ในบางแหล่งที่ใช้สาหร่ายสีเขียวสกุล *Ulva* และ *Enteromorpha* ด้วย สาหร่ายเหล่านี้จะถูกนำมาใช้ในสภาพสดหรือแห้งก็ได้ และมักใช้วิธีฝังกลบลงดินก่อนที่จะปลูกพืช และอาจใส่อีกชั้นหนึ่งเมื่อพืชออกเป็นกล้าแล้ว บริเวณที่ใช้สาหร่ายทะเลเป็นปุ๋ยมากที่สุด ได้แก่ ทางตะวันตกเฉียงใต้ของฝรั่งเศส นอกจากนั้นประเทศที่ใช้สาหร่ายเป็นปุ๋ยมากก็มี Ireland, Scotland, England, U.S.A. และ New Zealand โดยส่วนมากจะใช้กับข้าวบาร์เลย์, artichoke, broccoli, มันฝรั่ง, ถั่วลิสง, มันเทศ, มะพร้าว, กาแฟ แต่การฝังกลบในดินจะต้องทำก่อนปลูกพืชนานพอสมควร เพราะสาหร่ายอาจต้องใช้เวลา 3, 4 เดือน ถึง 1 ปี ในการสลายตัว

นอกจากจะนำสาหร่ายทั้งต้นมาใช้ดังกล่าวแล้ว ปัจจุบันยังมีการสกัดจากสาหร่ายทะเลมาใช้เป็นปุ๋ยน้ำอีกด้วย ซึ่งเป็นที่นิยมกันมาก เนื่องจากให้ผลเร็วสามารถดูดซึมเข้าทางใบได้ และสะดวกกับการขนส่ง ประเทศที่ผลิตปุ๋ยน้ำมาก ได้แก่ U.K., U.S.A. และ New Zealand มีการส่งออกไปขายยังประเทศที่พัฒนาแล้วและประเทศที่กำลังพัฒนา ใช้ได้ผลมากกับพืชสวนครัว พืชเรือนกระจก ส่วนผลไม้ พืชพวก citrus และองุ่น หรือแม้กระทั่งกล้วยไม้

ผลดีที่ได้จากการใช้ปุ๋ยสาหร่าย คือ ทำให้ดินไม่มีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น และโครงสร้างของดินมีรูพรุนมากขึ้น ผลผลิตเพิ่มขึ้น มีระยะออกผลนาน การติดผลดีขึ้น มีความต้านทานโรคบางโรค เช่น scab, leaf curl, blight และทำให้ปริมาณโปรตีนในพืชเพิ่มขึ้นซึ่งมีประโยชน์มากสำหรับทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ นอกจากนั้นยังทำให้เมล็ดงอกดีขึ้น และทนต่อความหนาวเย็นขึ้นด้วย ในบางประเทศ เช่น Ireland ถึงกับมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อใช้เพียงพอกที่จะนำมาใช้เป็นปุ๋ยเท่านั้น (ณัฐวรรณ์และเยาวลักษณ์, 2529) โดยสาหร่ายพวกนี้มีคุณสมบัติที่ดีประการหนึ่งคือ สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ ทำให้ดินชุ่มชื้นอยู่เสมอ (กาญจนภรณ์, 2527)

3.4 ใช้เป็นอาหารสัตว์

เนื่องจากสาหร่ายทะเลมีแร่ธาตุ และวิตามินปริมาณมากตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้น คนที่อยู่ตามชายฝั่งทะเลของหลายประเทศจึงนิยมนำสาหร่ายทะเลมาใช้เลี้ยงสัตว์ มีทั้งให้เป็นสาหร่ายสด และป่นในอาหารผสม ใน Iceland มีการใช้สาหร่ายทะเล เช่น *Alaria* sp. สด เป็นอาหารแกะ วัว และม้า และมีการเก็บสะสมสาหร่ายไว้ใช้ในฤดูหนาวด้วย ใน Finland ใช้ *Laminaria* และ

Alaria เป็นอาหารวัว ตามชายฝั่งทะเลบางแห่งของ Norway ใช้สาหร่ายทะเลเป็นอาหารเลี้ยงแกะกัน อย่างสม่ำเสมอมานานหลายชั่วอายุคน ทำให้แกะเหล่านี้สามารถย่อยสาหร่ายทะเลได้ดีกว่าแกะที่อยู่ใน พื้นที่ตอนในของประเทศ ซึ่งไม่เคยถูกเลี้ยงด้วยสาหร่าย ใน Scotland วัวและแกะจะถูกปล่อยให้เดิน หาสาหร่ายกินเองตามชายฝั่งทะเล มีแกะพื้นเมืองพันธุ์หนึ่งที่ถูกลี้ยงแบบปล่อยให้หาสาหร่ายทะเล กินเองเท่านั้น (ณัฐวรรธน์และเขาวลัษณ์, 2529) ทั้งนี้ เนื่องจากสัตว์พวกนี้มีน้ำย่อยพิเศษ สามารถย่อยผนังเซลล์ของสาหร่ายซึ่งเป็นพวกเซลล์ลูโลสได้ (กาญจนภานัน, 2527) บางคนก็คิดว่าทำให้เนื้อแกะมีกลิ่นเหม็นคาว แต่พบว่าแกะเหล่านี้เป็นโรคน้อยมาก และมีขนที่มีคุณภาพดีมาก ใน Cuba มีการทดลองใช้ *Ulva* sp. ผสมในอาหารเลี้ยงไก่ พบว่าใช้สาหร่าย 10% จะให้ผลดีที่สุด ส่วน New Zealand มีการนำเข้า *ascophyllum* จาก Norway เพื่อใช้ผสมในอาหารสัตว์ ส่องกงใช้ *Scargassum* แห้งเลี้ยงหมู การใช้สาหร่ายจะให้ผลดีเมื่อใช้อย่างสม่ำเสมอ ไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่าย จะให้ไข่ที่มีไข่แดงสีสวย เปลือกไข่หนา ส่วนสัตว์ที่ให้นมก็จะมีปริมาณไขมันนม (butterfat) เพิ่มขึ้น แกะที่ได้รับสาหร่ายเป็นอาหารเสริมก็จะมี winter wool มากขึ้น เนื่องจากมีวิตามินมากชนิด และมีแร่ธาตุปริมาณมากเมื่อเทียบกับหญ้า

สาหร่ายที่ใช้เป็นอาหารสัตว์กันมากได้แก่ สาหร่ายสีน้ำตาล สกุล *Ascophyllum*, *Laminaria*, *Macrocystis*, *Alaria*, *Fucus* และ *Pelvetia* ส่วนสาหร่ายสีแดง ได้แก่ *Chondrus* และ *Palmaria* ในธรรมชาติพบว่า กวาง กระต่าย สุนัขจิ้งจอกอาร์คติก และหมีขั้วโลก กินสาหร่ายทะเล ด้วย นอกจากจะใช้สาหร่ายทะเลขนาดใหญ่เป็นอาหารสัตว์แล้ว ปัจจุบันยังใช้ประโยชน์จากสาหร่ายขนาดเล็ก ๆ พวกที่เป็นเซลล์เดียวในการเพาะเลี้ยงตัวอ่อนของสัตว์น้ำ เช่น กุ้ง และหอย ชนิดต่าง ๆ อีกด้วย โดยอาจใช้สาหร่ายเป็นอาหารตัวอ่อนสัตว์น้ำโดยตรง หรือใช้สาหร่ายเป็นอาหารของแพลงตอนสัตว์ซึ่งใช้เป็นอาหารของลูกน้ำวัยอ่อนอีกต่อหนึ่งก็ได้ สาหร่ายที่ใช้กันมากในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ สาหร่ายสกุล *Chlorella*, *Chaetoceros*, *Chlamydomonas* และ *Scendesmus* เป็นต้น (ณัฐวรรธน์และเขาวลัษณ์, 2529) ในบางประเทศถึงกับตั้งโรงงานทำอาหารสัตว์จากสาหร่ายทะเล บางแห่งรวมกับปลาป่น เปลือกหอยป่น หรือยีสต์ สำหรับเลี้ยงเป็ด ไก่ และหมูได้อีกด้วย (กาญจนภานัน, 2527)

3.5 ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมชนิดอื่น ๆ

สารประกอบ phytocolloids หรือ algal gum ส่วนใหญ่จะใช้เป็น emulsifier, stabilizer และ thickening agent ในอุตสาหกรรมอาหาร ยา เครื่องสำอาง เส้นใย สีและหมึกพิมพ์ อุตสาหกรรม

กระดาษ ฯลฯ phycocolloids มีหลายชนิด เช่น alginates, agar, carrageenan, laminarin, fucoidin, mannans, xylans ฯลฯ ที่ใช้กันมาก ได้แก่ alginates, agar และ carrageenan

Alginates หมายถึงเกลือของ alginic acid (polymer ของ D-mannuronic acid และ L-guluronic acid) แยกเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ soluble alginates and non-soluble alginates. alginic acid เป็นสารประกอบที่พบที่ผนังเซลล์และช่องระหว่างเซลล์ของสาหร่ายสีน้ำตาล เมื่อสกัดออกมาจะอยู่ในรูปของ sodium alginate หรือ potassium alginate สาหร่ายที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต alginates มักเป็นสาหร่ายขนาดใหญ่ หรือสาหร่ายที่มีปริมาณมาก ๆ เช่น *Macrocystis*, *Laminaria*, *Cystoseira*, *Ascophyllum* และ *Fucus* เป็นต้น ปริมาณ alginate จะต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่ง ชนิดและส่วนของ thallus ที่นำมาสกัด ในทางการค้าอาจใช้คำว่า algin ซึ่งหมายความรวมทั้ง alginic acid และ soluble alginates ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น emulsifying, stabilizing และ thickening agent จึงเป็นสารประกอบที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง

Agar (วุ้น) เป็นสารประกอบประเภท complex polysaccharide ประกอบด้วย D-galactose, L-galactose และ derivatives ของ L-galactose เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ของสาหร่ายสีแดงบางสกุล สกัดได้จากสาหร่ายสีแดงที่มีชื่อเรียกรวม ๆ กันว่า agarophytes หรือ agarophytes สาหร่ายเหล่านี้มีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวาง เจริญอยู่ได้ตั้งแต่เขตหนาว เขตอบอุ่น และเขตร้อน ทำให้หลาย ๆ ประเทศสามารถผลิต agar เป็นอุตสาหกรรมได้ agar จึงเป็น sea weed gum ที่ตลาดต้องการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ในบรรดา algal gum ทั้งหมด อาจกล่าวได้ว่า agar เป็นพวกที่ใช้กันมากที่สุด และเนื่องจากมีคุณสมบัติบางอย่าง เช่น แข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 40°C และจะไม่เหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 80°C ทำให้มีความสำคัญในงานหรืออุตสาหกรรมบางประเภท เช่น การทำอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ อุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง อุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง ฯลฯ ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ ทำให้วุ้นมีราคาแพงกว่า phycocolloids ชนิดอื่น ๆ ประเทศที่พอจะมีวัตถุดิบก็จะมีโรงงานผลิตวุ้น ในกรณีที่วัตถุดิบไม่เพียงพอก็อาจจะต้องนำเข้าจากประเทศอื่น หรือทำการเพาะเลี้ยงเพื่อให้ได้สาหร่ายตามที่ต้องการ

ใช้ในงานเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ โดยใช้ agar ในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อแบบแข็ง (solid culture media) เนื่องจากคุณสมบัติที่เป็นของเหลว แม้แต่ที่อุณหภูมิประมาณ 40°C และเมื่อแข็งตัวแล้วจะไม่เหลวอีกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 80°C เป็นประโยชน์สำหรับการเลี้ยงเชื้อที่ต้องการให้เจริญ

กระจายอยู่ในเนื้ออาหาร โดยสามารถใส่เชื้อลงไปในอาหารที่ยังเหลวอยู่ได้ โดยไม่เป็นอันตรายต่อเชื้อจุลินทรีย์นั้น และเมื่อเลี้ยงเชื้อไปแล้วก็จะไม่เหลว เนื่องจากถูกย่อย เพราะมีแบคทีเรียและรา เพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถย่อย agar ได้ ในปี 1966 สหรัฐอเมริกาประเทศเดียว ใช้ agar ในงานด้านจุลชีววิทยา ถึง 300,000 ปอนด์ ซึ่งเป็นปริมาณมากที่สุดในงาน หรืออุตสาหกรรมทั้งหมดที่ใช้ agar ในอุตสาหกรรมอื่นที่ไม่เกี่ยวกับอาหาร ยา หรือเครื่องสำอาง ก็ใช้ agar กันมาก เช่น ในอุตสาหกรรมการถ่ายภาพ ใช้ทำฟิล์มและเพลท ในการทำลวดทั้งสแตนที่ใช้ในการทำหลอดไฟ หรือใช้เพื่อผสมผงกราฟไฟท์เป็นตัวหล่อลื่น ในอุตสาหกรรมไม้อัดใช้ทำทากาว หรือใช้ทำแบบสำหรับหล่อแกนขาเทียม ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตลินเเลียม หนังสือพิมพ์หรือไหมเทียม ใช้ทำฉนวนกันเสียงและความร้อน และใช้เป็นส่วนผสมในสีพลาสติก ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและเส้นใย

นอกจากตัว agar เองแล้ว สารประกอบจาก agar เช่น agarose ก็ใช้กันมากขึ้นในปัจจุบัน เช่น ใช้ alkyl agarose ในการแยกกรดอะมิโน โดยวิธี hydrophobic chromatography เพราะกรดอะมิโนจะจับกับโมเลกุลของ agarose

Carrageenan หรือ Carrageen เป็นสารประกอบ sulfated galactan polymer เป็น phytocolloid ซึ่งสกัดได้จากสาหร่ายสีแดงหลายชนิด เช่น *Chondrus crispus* (irish moss), *Gigartina* spp., *Eucheuma* spp. ฯลฯ ในอุตสาหกรรมที่ใช้เป็น emulsifier, stabilizer และ thickener ในอาหาร ยา และเครื่องสำอางคล้ายกับ algal gum 2 ชนิดที่กล่าวถึงไปแล้ว แต่ต้องใช้ความเข้มข้นมากกว่าวุ้นจึงจะแข็งตัวได้ แบ่งเป็นชนิดย่อยได้ 6 ชนิด คือ mu-, kappa-, nu-, iota-, lambda- และ theta-carrageenan ชนิดของ carrageenan ขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่ายและช่วงชีวิตที่เป็นตัวที่สร้างสปอร์ (sporophyte) และตัวที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ (gametophyte)

นอกจาก phytocolloids 3 ชนิดที่กล่าวมาแล้ว ยังมี colloids อีกหลายชนิดที่ได้จากสาหร่าย เช่น furcellaran, xylan, eucheuman, hyphean, phyllophoran ฯลฯ แต่มีการใช้น้อยและไม่แพร่หลายเท่ากับ 3 ชนิดที่กล่าวมาแล้ว

นอกจากนั้นยังมีการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายประเภทอื่น ๆ ในแง่ต่าง ๆ อีกมาก เช่น สาหร่ายสกุล *Fucus* ใช้ทำสีแดง สาหร่าย *Chorda* ใช้ทำเชือก *Nereocystis* ใช้ทำเชือกสำหรับตกปลา ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาของญี่ปุ่นใช้ *Gloeopeltis* ในการตกแต่ง และใช้ algin เป็น binder และ plasticizer ในการผลิตกระดาษ ถ้าเติม agar ผสมแลกเกอร์ จะทำให้กระดาษมีความแข็ง หรือ

ผสม agar ในเยื่อกระดาษ หรือเคลือบเพื่อให้ผิวเป็นมัน และกันน้ำได้ diatomite หรือที่รู้จักกันในชื่อ การค้าว่า kteselguhr ใช้สำหรับทำฉนวนกันความร้อน ใช้ในการกรองไวน์ และน้ำมัน และใช้ในการแยกสาร โดยวิธี colum chromatography ฯลฯ (ณัฐวรรธน์ และเขาวลัทธิ, 2529)

สาหร่ายทะเลจำพวกสาหร่ายใบ (Porphyra)

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้เฉพาะสาหร่ายสีแดงในสกุล *Porphyra* เท่านั้นในการผสมลงในเต้าหู้ปลาสาหร่าย โดยสาหร่ายสีแดงในสกุล *Porphyra* หรือที่รู้จักกันในนามของ สาหร่ายใบ หรือ จีไฉ่ นั้น เท่าที่พบขึ้นอยู่ในจังหวัดภาคใต้ของประเทศไทยมี 3 ชนิด ได้แก่ *Porphyra vietnamensis* พบที่จังหวัดสงขลา ปัตตานี และนราธิวาส, *Porphyra crispata* พบที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์และพังงา และ *Porphyra* sp. พบที่จังหวัดปัตตานี ชนิดแรกเป็นชนิดที่ชาวบ้านนิยมเก็บมาประกอบอาหาร ทั้งในสภาพสด และทำเป็นแผ่นตากแห้ง (กาญจนาภรณ์, 2521)

สาหร่ายสีแดงเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อมนุษย์มาก ผลผลิตหรือประโยชน์ของสาหร่ายสีแดง คือ วุ้น ซึ่งนำมาใช้เป็นอาหาร เช่น Prophyra หรือ จีไฉ่ มาใส่ในแกงจืด ประกอบเป็นอาหารรับประทานได้ และเป็นส่วนประกอบทางการแพทย์ และอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น เครื่องดื่ม ยา เครื่องสำอาง เครื่องหนัง เคมี เกษตร ฯลฯ สาหร่ายสีแดงเป็นสกุลหนึ่ง ซึ่งเป็นทรัพยากรทางเศรษฐกิจมีการส่งออกในรูปของสาหร่ายแห้งตั้งแต่ปี 2519 ถึง 2528 ประมาณ 771,771 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 155,660 บาท (ณัฐวรรธน์ และเขาวลัทธิ, 2529)

วงจรชีวิตมี 2 ระยะ ระยะที่หนึ่งเป็น gametophyte phase ขึ้นเกาะบนก้อนหินหรือโขดหินที่น้ำท่วมถึงหรือสาครกระเซ็นถึง มีลักษณะเป็นแผ่นแบนบาง ลื่นมือ ความกว้าง 0.3-0.6 ซม. ยาว 3-27 ซม. ส่วนโค้งกว้างและเรียวเล็กทางปลาย ขอบยื่นเป็นรอยจีบ เมื่อแก่เต็มที่จะมีสีม่วงเข้มเกือบดำ ระยะที่เป็นต้นนี้เป็นระยะที่เก็บมารับประทาน อีกระยะหนึ่งมีขนาดเล็กมากเป็นเส้นสาย เรียก conchocelis phase ซึ่งอาจขึ้นซ่อนไขอยู่ในเปลือกหอย (shell-living conchocelis) หรือขึ้นรวมกันเป็นกลุ่มก้อน (free-living conchocelis) ระยะนี้เป็นระยะพักจนกว่าสภาวะแวดล้อมเหมาะสมจึงจะสร้าง conchospore และงอกเป็น gametophyte plant ใหม่

1. แหล่งน้ำ ฤดูกาล และลักษณะทางนิเวศวิทยาของสาหร่ายสาวยไ้

1.1 แหล่งน้ำ

แหล่งน้ำที่พบสาวยไ้ขึ้นอยู่ คือ สาวยไ้มีที่จังหวัดภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดสงขลา ปัตตานี นราธิวาส ประจวบคีรีขันธ์ และพังงา เฉพาะที่จังหวัดสงขลาเท่านั้นที่มีการเก็บมาขายกันอย่างมากเมื่อถึงฤดูกาล ส่วนในจังหวัดอื่นๆ พบขึ้นอยู่ไม่มากนัก และชาวบ้านเก็บมาสำหรับรับประทานภายในครอบครัวเท่านั้น

แหล่งที่สาวยไ้ขึ้นอยู่ในธรรมชาติมักเป็นโขดหินริมทะเลที่น้ำท่วมถึงหรือสาคร กระทั่ง บริเวณที่ได้รับคลื่นหรือมีคลื่นสาครแรง จะมีสาวยไ้ขึ้นอยู่หนาแน่นและต้นยาวกว่า บริเวณที่ไม่ได้รับคลื่น นอกจากนี้สีจะเข้ม เป็นมัน ส่วนสาวยไ้ที่ขึ้นอยู่บริเวณที่ไม่ได้รับคลื่นแต่ได้รับแดดจัด ต้นจะมีขนาดเล็กและสีจืดจาง

1.2 ฤดูกาล

สาวยไ้จะพบขึ้นอยู่เฉพาะในช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น มิได้มีขึ้นอยู่ตลอดทั้งปี ระยะที่สาวยไ้เริ่มงอกเป็นต้น ประมาณเดือนตุลาคมหรือพฤศจิกายน ซึ่งเป็นฤดูมรสุม ระยะนี้อุณหภูมิและความเค็มของน้ำทะเลจะลดต่ำลง สำหรับอุณหภูมิของอากาศนั้นจะเริ่มลดลงในเดือนกันยายนหรือตุลาคม และจะต่ำสุดในเดือนพฤศจิกายนหรือธันวาคม สำหรับความเค็มของน้ำทะเลนั้นขึ้นอยู่ กับปริมาณน้ำฝน ซึ่งจะตกชุกระหว่างเดือนตุลาคม-ธันวาคม ค่าความเค็มของน้ำทะเลซึ่งปกติจะอยู่ระหว่าง 32-22 ppt จะลดลงเหลือเพียง 18.66-26.16 ppt

การที่สาวยไ้เจริญงอกงามในช่วงที่มีมรสุมและฝนตกชุกนี้ ความแรงของคลื่นและลมจะช่วยป้องกันมิให้สาวยไ้ถูกรบกวนจากชาวบ้าน จึงสามารถเจริญงอกงามได้ดีจนกระทั่งถึงเดือนธันวาคม สาวยไ้จะโตเต็มที่ และเป็นระยะเวลาที่คลื่นลมลดความแรงลงบ้าง ชาวบ้านจึงเริ่มออกเก็บสาวยไ้ที่ขึ้นอยู่ตามก้อนหิน และโขดหิน

ระยะเวลาที่สาวยไ้เจริญงอกงามให้เก็บเกี่ยวได้อยู่ในช่วงระหว่างเดือนธันวาคมไปจนถึงเดือนมกราคม หรือบางปีอาจล่าไปจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ บริเวณที่สาวยไ้ขึ้นอยู่มักจะมีสาหร่ายสีเขียวสกุล *Enteromorpha* ขึ้นปนอยู่ด้วย และในบางแห่ง เช่นที่เกาะหนูจะมีสาหร่ายสีแดงสกุล *Bangia* ขึ้นปะปนอยู่

1.3 วิธีการเก็บ

เนื่องจากบริเวณที่สาຍใบขึ้นอยู่มักจะเป็น โขดหิน หรือหน้าผาซึ่งมีคลื่นลมแรง การเก็บจึงต้องใช้เชือกมวนิลาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว ผูกปลายข้างหนึ่งกับแก่งหินส่วนอีกปลายผูกไว้รอบเอว แล้วจึงโหนตัวไต่ลงสู่บริเวณที่มีสาຍใบขึ้นอยู่ โดยใช้มือหนึ่งยึดเชือก อีกมือหนึ่งดึงที่เก็บสาหร่าย ซึ่งนับว่าเสี่ยงอันตรายมาก หากพลาดพลั้งอาจโดนคลื่นสาดกระแทกกับก้อนหินได้ และเนื่องจากสาຍใบมีลักษณะบอบบางและลื่นมือ การเก็บจึงต้องใช้นิ้วตะปุนขาวที่ใส่กระบอกไม้ไผ่เหน็บไว้ที่เอว เพื่อช่วยให้ฝัดมือและจับดึงที่งอนไต่ง่ายขึ้น เมื่อเก็บได้แต่ละครั้งจะรวมใส่ถึงผ้าที่มีเชือกคล้องห้อยคอ หรือใส่ชายพก โดยเฉลี่ยแล้ววันหนึ่งๆ จะเก็บสาຍใบสดได้คนละ 500-1,000 กรัม หากเป็นระยะที่มีสาຍใบมากอาจได้ถึง 1-2 กิโลกรัม

หลังจากเก็บรวบรวมได้แล้ว จะบีบน้ำออก แล้วนำไปขายแก่ร้านค้า ซึ่งรับซื้อในราคา กิโลกรัมละ 35-60 บาท สุดแต่คุณภาพ หากสาຍใบสีเข้ม เป็นมัน จะได้ราคาสูง ถ้าสีซีดจาง ราคาจะต่ำ สำหรับผู้ที่เก็บได้น้อยก็จะนำไปกองขายที่ตลาดสดในราคากองละ 1 บาท ปริมาณสาຍใบที่เก็บได้ในแต่ละปีจะไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม บางปีได้เพียง 200 กิโลกรัม สำหรับในปัจจุบันนี้มีร้านค้ารับซื้อสาຍใบสดจากชาวบ้านหลายร้านด้วยกัน สถิติปริมาณสาຍใบที่เก็บได้จึงรวบรวมได้ไม่ค่อยแน่นอนนัก

การทำแห้ง ร้านค้าที่รับซื้อสาຍใบสดจะนำไปล้างน้ำจืดหลาย ๆ ครั้ง ให้หมดทราย และสิ่งสกปรกต่าง ๆ แล้วจึงตัดเป็นท่อน ๆ หลังจากนั้นจึงนำสาຍใบที่ปนกับน้ำทะเลบนตะแกรงไม้ไผ่ ซึ่งมีกรอบโลหะวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 ซม. วางอยู่ เมื่อเทสาຍใบลงในกรอบนี้แล้วน้ำจะไหลผ่านตะแกรงออกไป เกลี่ยสาຍใบให้บางเสมอกัน แล้วนำไปตากแห้ง เมื่อแห้งดีแล้วจะลอกออกได้เป็นแผ่นบาง ๆ ซ้อนกันไว้ หลังจากนั้นจึงนำมามัดรวมกันมัดละ 10 แผ่น ใส่ในถุงพลาสติก โดยมีพ่อค้าจากกรุงเทพฯ ไปรับซื้อ กล่าวกันว่าสาຍใบสีเข้มเป็นมันจะมีรสชาติดีและหวาน ขายได้ราคาดี หากสีซีดออกเหลืองหรือเขียวจะไม่อร่อย ราคาจะถูกกว่า

สาหร่ายในสกุล *Porphyra* นี้ มีชื่อเรียกกันเป็นภาษาอังกฤษว่า “laver” ภาษาญี่ปุ่นเรียก “nori” ภาษาจีนเรียก “จี๋ฉู่” ส่วนภาษาไทยนั้นชาวพื้นเมืองเรียก “สาຍใบ”

Porphyra ที่พบในน่านน้ำของประเทศต่าง ๆ แถบมหาสมุทรแปซิฟิกนั้นมีมากกว่า 60 ชนิดด้วยกัน แต่ละชนิดมีรูปร่าง ลักษณะ และสีแตกต่างกัน *Porphyra* ที่พบในอเมริกาเหนือทางชายฝั่งด้านมหาสมุทรแปซิฟิกนั้นมีถึง 26 ชนิด ส่วนที่พบในประเทศญี่ปุ่นและน่านน้ำใกล้เคียง พบถึง 31 ชนิด สำหรับประเทศที่ใกล้เคียงกับประเทศไทย เช่น ประเทศเวียดนามนั้น รายงานว่ามีอยู่ 3 ชนิด และในประเทศฟิลิปปินส์ รวบรวมไว้ได้ 4 ชนิดด้วยกัน

สำหรับ *Porphyra* ที่สำรวจพบจากจังหวัดต่าง ๆ ในประเทศไทยนั้นมี 3 ชนิด แต่สามารถวิเคราะห์ได้เพียง 2 ชนิดเท่านั้น อีกชนิดหนึ่งยังต้องการตัวอย่างและข้อมูลเพิ่มเติมอีก ชนิดที่วิเคราะห์แล้ว ได้แก่

1. *Porphyra vietnamensis*
2. *Porphyra crispata*

ลักษณะของ *Porphyra* แต่ละชนิดมีดังนี้

Porphyra vietnamensis

ต้นเป็นแผ่นแบนบาง มีความหนาเพียง 24.0-28.4 μ ซึ่งเป็นความหนาเพียงเซลล์เดียว (monostromatic thallus) ความกว้างของต้น 0.3-3.6 ซม. ยาว 3-27 ซม. ส่วนโคงกว้างมีรากเล็กๆ (holdfast) สำหรับยึดติดกับก้อนหินอย่างเหนียวแน่น ส่วนปลายเรียวเล็ก ขอบยื่นเป็นรอยจีบ บริเวณขอบเมื่อนำมาดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ จะเห็นมีส่วนยื่นเป็นดิ่งแหลมเล็กๆ อยู่ทั่วไป ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะอย่างหนึ่งของสาหร่ายชนิดนี้ ลักษณะของแต่ละเซลล์มี chromatophore สีชมพู 1 อัน เป็นรูปดาว ขนาดใหญ่เต็มเซลล์ ส่วนเซลล์ที่อยู่บริเวณโคนใกล้กับรากจะมีลักษณะแตกต่างไปจากเซลล์ตอนบน โดยมีส่วนล่างของแต่ละเซลล์ยื่นยาวออกเป็นเส้นแล้วจึงรวมกันเป็นราก สาหร่ายชนิดนี้สามารถแตกแขนงได้จากส่วนโคนของต้น

ต้นที่อ่อนจะมีสีค่อนข้างเขียว หากแก่เต็มที่จะมีสีม่วงเข้มเกือบดำ จับดูจะรู้สึกลื่นมือ เมื่อถึงระยะสืบพันธุ์จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์บริเวณขอบของต้น โดยมีเพศผู้และเพศเมียอยู่บนต้นเดียวกัน

ชาวพื้นเมืองเรียก สาย หรือ สายใบ โดยสายใบชนิดนี้ พบครั้งแรกที่เมือง Vung-Tau ประเทศเวียดนาม เมื่อปี 1961 สำหรับในประเทศไทยนั้น พบสายใบที่จังหวัดสงขลา เมื่อเดือน กุมภาพันธ์ 2503 แต่ไม่ได้วิเคราะห์ว่าเป็นชนิดใด

Porphyra crispata

สายใบชนิดนี้ต้นมีขนาดเล็ก และแผ่กว้างออกตั้งแต่โคนถึงปลาย จึงทำให้ความกว้างและความยาวเกือบเท่ากันหรือบางครั้งกว้างมากกว่ายาว ที่พบมีขนาดความกว้าง 2-3 ซม. ความยาว 2-4 ซม. ต้นประกอบด้วยความหนาเพียงเซลล์เดียว (monostromatic thallus) ที่ขอบจะมีส่วนยื่นเป็นติ่งแหลมเล็กๆ เช่นเดียวกับชนิดแรก เซลล์บริเวณ โคนต้นจะมีส่วนยื่นยาวเป็นเส้นแล้วจึงมารวมกันเป็นรากเช่นกัน

สายใบชนิดนี้พบขึ้นบนก้อนหิน เศษไม้ หรือบนสาหร่ายทะเลชนิดอื่น ในระดับที่น้ำทะเลท่วมถึง หรือขึ้นเกาะตามก้อนหินเหนือระดับน้ำทะเล แต่มีน้ำทะเลสาดกระเซ็นถึง ปริมาณที่พบขึ้นอยู่กับมีไม่มากนัก

การสืบพันธุ์ โดยการสร้างเซลล์เพศผู้และเพศเมียบนต้นเดียวกัน (monoecious) บริเวณขอบๆ ของต้น บริเวณที่สร้างเซลล์เพศผู้จะมีสีซีดจาง ส่วนเพศเมียจะมีสีเข้ม

Porphyra sp.

สายใบชนิดนี้ต้นมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ความกว้าง 2.5-4.5 ซม. ความยาว 13-30 ซม. ขอบใบมีติ่งแหลมเล็ก ๆ แต่ไม่ตลอดต้น ความหนาของต้นเพียงเซลล์เดียว (monostromatic) สีม่วงเข้ม เนื่องจากไม่พบต้นแก่ที่มีเซลล์สืบพันธุ์ จึงยังไม่อาจวิเคราะห์ชนิดใด

สายใบชนิดนี้พบที่จังหวัดปัตตานี โดยขึ้นปนอยู่กับ *Porphyra vietnamensis*

2. คุณค่าทางอาหาร

Porphyra จัดว่าเป็นสาหร่ายที่มีคุณค่าทางอาหารสูงพวกหนึ่ง นอกจากจะมีโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตแล้ว ยังมีวิตามินหลายชนิดเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย สำหรับปริมาณขององค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้จะมีมากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย

องค์ประกอบของ *Porphyra tenera* ไล้ดังนี้

ความชื้น	71.1%
โปรตีน	28.0%
เถ้า	10.3%
ไขมัน	0.8%
คาร์โบไฮเดรต	40.0%

สำหรับปริมาณ amino acid ที่พบใน *Porphyra tenera* มีดังนี้

Crude protein	35.210%
Tyrosine	0.662%
Tryptophane	0.772%
Threonine	0.464%
Serine	6.568%

โปรตีนจาก *Porphyra tenera* นั้นเป็นโปรตีนที่ย่อยง่าย เมื่อเทียบกับโปรตีนจากเนื้อสัตว์บางชนิด

องค์ประกอบของ *Porphyra* จากประเทศญี่ปุ่นมีค่าดังนี้

ความชื้น	11.4%
โปรตีน	35.6%
ไขมัน	0.7%
คาร์โบไฮเดรต	44.3%
เถ้า	8.0%

นอกจากนี้ยังมีปริมาณของวิตามินชนิดต่าง ๆ ได้แก่

Provitamion A	44,500	IU
Vitamain B ₁	0.25	mg
Vitamin B ₂	1.24	mg
Niacin	10.00	mg
Vitamin C	20.00	mg

การวิเคราะห์หาคุณค่าทางอาหารของ *Porphyra yezoensis* โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งไว้ ดังนี้

Nitrogen	2.35	กรัม%
Crud protein	33.45	กรัม%
Sulphur	2.23	กรัม%
Potassium	3.30	กรัม%
Magnesium	2.04	กรัม%
Calcium	350.00	มิลลิกรัม%
Phosphorus	510.00	มิลลิกรัม%
Iron	74.00	มิลลิกรัม%
Manganese	4.00	มิลลิกรัม%
Selenium	0.134	มิลลิกรัม%

สำหรับสายใบของไทย องค์ประกอบของ *Porphyra vietnamensis* จากจังหวัดสงขลา พบว่าประกอบด้วย

ความชื้น	12.20%
โปรตีน	6.31 %
ไขมัน	2.16%
เถ้า	34.87%
คาร์โบไฮเดรต	44.56%

(กาญจนภานัน, 2521)

ไข่ขาวผง

ไข่ขาว มีน้ำอยู่ถึง 86% ไข่ขาวมีลักษณะเป็นเจลซึ่งเป็นคุณลักษณะของโปรตีนมิวซินในไข่ขาว โปรตีนอีกชนิดหนึ่งที่มีอยู่ในไข่ขาว ได้แก่ ovalbumin จะตกตะกอนรวมตัวกัน และจะเกี่ยวข้องกับการคงตัวแข็ง (coagulate) เมื่อถูกความร้อนและการตีแรง ๆ และเร็ว ๆ (จิตรนาและอรอนงค์, 2541)

ไข่ขาว ประกอบด้วยส่วนย่อยๆ ดังนี้ คือ

1. ไข่ขาวข้น (chalaziferous) เป็นส่วนของไข่ขาวข้นซึ่งอยู่ในสุด ติดอยู่รอบไข่แดง
2. ขั้วยึดไข่แดง (chalazae) เป็นสายของไข่ขาวข้นที่ยื่นออกมาจากส่วนไข่ขาวข้นมีลักษณะบิดเป็นเกลียวขึ้นไปทางด้านป้านและด้านแหลมของไข่ช่วยยึดไม่ให้ไข่แดงเคลื่อนที่ไปมาจากตำแหน่งเดิมเมื่อเก็บไข่ไว้นานขึ้น ส่วนนี้จะเกิดการอ่อนตัวลงทำให้ไข่แดงเคลื่อนที่ได้มากขึ้น
3. ไข่ขาวเหลวชั้นใน เป็นส่วนของไข่ขาวที่ค่อนข้างใส อยู่ในชั้นรอบนอก
4. ไข่ขาวชั้นชั้นนอก เป็นส่วนของไข่ขาวข้นมีปริมาณมากกว่าไข่ขาวชั้นอื่นๆ
5. ไข่ขาวใสชั้นนอก มีลักษณะใส เหลว อยู่เป็นชั้นบางๆ ติดเยื่อเปลือกไข่ ปริมาณน้ำในชั้นต่าง ๆ ของไข่จะไม่เท่ากัน โดยด้านนอกจะมีน้ำมากกว่าด้านใน

ชนิดของโปรตีนในไข่ขาว

โปรตีนเป็นส่วนประกอบซึ่งมีอยู่ในไข่ขาวในปริมาณมากเป็นที่สองรองจากน้ำ โปรตีนในไข่ขาวมีหลายชนิดดังแสดงในตารางที่ 9 โปรตีนแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันดังนี้ คือ

1. โอวัลบูมิน (ovalbumin) เป็นสารประกอบของฟอสฟอรัส คาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ใน 1 โมเลกุล จะมีกลุ่มของ S-S และ S-H ประกอบอยู่ 2 และ 4 กลุ่มตามลำดับ โปรตีนชนิดนี้ทนความร้อนได้ดี แต่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้ง่าย เมื่อทำการเขย่าสารละลายของโปรตีน โปรตีนชนิดนี้มีอยู่มากในไข่ขาว
2. คอนแอลบูมิน (conalbumin) เป็นสารประกอบระหว่างโปรตีนกับคาร์โบไฮเดรตที่เรียกว่า ไกลโคโปรตีน แยกจากโปรตีนตัวอื่นได้ง่ายด้วยวิธีตกตะกอนกับแอมโมเนียมซัลเฟต โปรตีนนี้ไม่ทนร้อนเท่าโอวัลบูมิน แต่ถ้าได้จับกับไอออนของโลหะพวก Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Cu^{2+} และ Zn^{2+} จะให้สีต่างกันตามชนิดของโลหะที่มันจับอยู่และจะทำให้โปรตีนทนต่อความร้อนและการย่อยสลายของเอนไซม์ได้ดีขึ้น

ตารางที่ 7 แสดงส่วนประกอบของโปรตีนในไข่ขาว

ชนิดของโปรตีน	สัดส่วนของโปรตีนในไข่ขาว (%)	จุดไอโซอิเล็กทริกของโปรตีน	น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีน	คุณสมบัติเฉพาะ
Ovalbumin	54	4.6	45,000	เป็นฟอสโฟไกลโคโปรตีนซึ่งใน 1 โมเลกุลมี 4(S-H) และ (S-S)
Conalbumin	13	6.6	80,000	ชอบจับกับไอออนของโลหะ เช่น Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+}
Ovomucoid	11	3.9-4.3	28,000	ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน
Lysozyme	3.5	10.7	14,600	ย่อยแบคทีเรียบางชนิดได้
Ovimucin	1.5	NR	NR	ยับยั้งการทำงานของไวรัสที่ทำให้เกิดการแข็งตัวของเม็ดเลือด ทำให้การขึ้นฟูของไข่ขาวคงทน
Flavoprotein	0.8	4.1	35,000	จับตัวกับไรโบฟลาวิน
Ovoinhibitor	0.1	5.2	44,000	ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โปรตีเอส
Avidin	0.05	9.5	53,000	ชอบจับกับไบโอติน เป็นสารที่ให้ฟอง
Ovoglobulins				
G2	NR	5.0	30,000-45,000	
G3	NR	5.8	NR	

NR = ไม่มีรายงานที่แน่นอน

ที่มา : จิตธนาและคณะ (2546)

3. โอโวมิวคอยด์ (ovomucoid) เป็นสารประกอบพวกไกลโคโปรตีนที่ทนต่อความร้อนได้ดี และสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน 1 โมเลกุลของโปรตีนนี้จะสามารถยับยั้งการทำงานของ 1 โมเลกุลของเอนไซม์ทริปซินได้ถึง 50% ของปฏิกิริยาทั้งหมดของเอนไซม์ แต่โปรตีนตัวนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายที่ pH 9.0 อุณหภูมิ 80°C ซึ่งจะมีผลทำให้โปรตีนนั้นหมดความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินและจะถูกย่อยได้ดีขึ้น โดยเอนไซม์ไคโม

ทริปซิน ด้วยคุณสมบัติของโปรตีนนี้จึงไม่สมควรบริโภคไข่ดิบ เนื่องจากจะทำให้การย่อยสลายโปรตีนของเอนไซม์ทริปซินเกิดได้น้อยลง

4. ไลโซไซม์ (lysozyme) เป็นเอนไซม์ในไข่ขาวที่สามารถย่อยสลายผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ปฏิกริยาของเอนไซม์เปลี่ยนได้โดยความร้อน ทั้งนี้ขึ้นกับ pH และอุณหภูมิที่ใช้ ตัวอย่างเช่น ที่ 63°C 10 นาที โปรตีนตัวนี้จะสูญเสียปฏิกริยาไปได้มากขึ้นถ้า pH สูงกว่า 7.0

5. โอโวมิวซิน (ovomucin) เป็นไกลโคโปรตีนซึ่งจะให้ลักษณะคล้ายวุ้นในไข่ขาวชั้น พบอยู่ในไข่ขาวชั้นมากกว่าไข่ขาวใสถึง 4 เท่า มีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของไวรัสบางชนิด และโปรตีนนี้จะเกิดการรวมตัวกับไลโซไซม์เกิดเป็นสารประกอบซึ่งไม่ละลายน้ำ ซึ่งพบว่าในช่วง pH 7-8 การเพิ่มขึ้นของ pH ในไข่ขาวระหว่างการเก็บรักษาทำให้ไลโซไซม์แยกตัวจากโอโวมิวซิน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ไข่ขาวชั้นเปลี่ยนเป็นไข่ขาวเหลว คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของโปรตีนนี้คือ เป็นสารที่ช่วยให้เกิดฟองที่คงทน

6. ฟลาโวโปรตีน (flavoprotein) สารประกอบไรโบฟลาวิน (riboflavin) ในไข่ขาวทั้งหมดจะจับตัวกับโปรตีนเกิดเป็นฟลาโวโปรตีน ซึ่งทำหน้าที่ของโปรตีน คือ เป็นตัวขนส่งไรโบฟลาวินจากน้ำเลือดมาสู่ไข่ขาวนั่นเอง

7. โอโวอินฮิบิเตอร์ (ovo-inhibitor) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โปรตีโอไลติก (proteolytic enzyme) ดังนั้นโปรตีนตัวนี้จึงช่วยป้องกันการคุกคามของเชื้อโรคที่เข้ามาสู่ไข่ขาว

8. อะวิดิน (avidin) เป็นโปรตีนซึ่งขัดขวางการทำงานของสารไบโอติน (biotin) ซึ่งเป็นโคเอนไซม์ (coenzyme) ที่สำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต พบว่าอะวิดิน (Avidin) 1 โมเลกุล สามารถจับไบโอตินได้ 3 โมเลกุล

9. โอโวลูบูลิน (ovoglobulin) ประกอบด้วยโปรตีนชนิด G₂ และ G₃ เป็นโปรตีนที่ให้คุณสมบัติในการเกิดฟองแก่ไข่ขาว

โปรตีนทั้งหมดในไข่ขาวสามารถแยกเป็นส่วน ๆ ได้โดยอาศัยหลักของอิเล็กโตรโฟรีซิส (electrophoresis) (จิตรนาและคณะ, 2546)

ไข่ขาวผงใช้เป็นตัวประสานกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการการเกิดเจลแทนการใช้ไข่ขาวสด ระหว่างที่มีการให้ความร้อน ไข่ขาวผงจะจับกันเป็นก้อนในขณะที่ตีด้วยตะกร้อมือ (ไข่ขาวสดจะทำให้ผลิตภัณฑ์ เมื่อจับตัวกันเป็นก้อนจะมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน) การเกิดเจลโดยใช้ไข่ขาวผงนี้จะให้เจลที่มีลักษณะดีมาก ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ตึงเกินไป สามารถโค้งงอ และตกแต่งได้

ส่วนใหญ่ไข่ขาวผงจะใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อสัตว์ (ไส้กรอก, แฮมเบอร์เกอร์, แฮม), เล็กปลา, ปูอัด, ซูริมิ และมันบด สามารถใช้เป็นตัวประสานที่ดีและจำเป็นมากในการเก็บรักษา ไข่ขาวผงสามารถทำให้การรวมตัวของน้ำกับน้ำมันรวมตัวและอยู่ตัวได้

การวิเคราะห์หาคุณค่าทางอาหารของไข่ขาวผง พบว่า ประกอบด้วย

ความชื้น	8.0%
ไขมัน	0.2%
โปรตีน	80.0%
น้ำตาลรีดิวส์	0.1%
เถ้า	6.0%
pH	7.0-8.0

(บริษัท โบโลโว จำกัด, 2548)

แป้งมันฝรั่ง

มันฝรั่ง (potato) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Solanum tuberosum* อยู่ในตระกูล *Solanaceae* ปลูกมากในแถบอเมริกาและยุโรปเหนือ องค์ประกอบในหัวฝรั่งจะขึ้นกับพันธุ์ พื้นที่เพาะปลูก ลักษณะการปลูก อายุของหัวมัน และการเก็บรักษา การผลิตแป้งมันฝรั่งมีความใกล้เคียงกับการผลิตแป้งจากมันสำปะหลังมาก เพราะการวิวัฒนาการของเทคโนโลยีมันสำปะหลังได้รับการถ่ายทอดมาจากเทคโนโลยีการผลิตแป้งมันฝรั่ง

องค์ประกอบในหัวมันฝรั่งแสดงได้ ดังนี้

ความชื้น	75.80%
แป้ง	19.90%
น้ำตาล	0.40%
โปรตีน	2.08%
ไขมัน	0.20%
เยื่อใย	1.10%
เถ้า	0.92%

(กล้านรงค์และเกื้อกุล, 2543)

มันฝรั่งเป็นพืชหัวที่เก็บรักษาในรูปสดได้เพียงระยะสั้น ประมาณ 2-3 เดือน แม้จะเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C ก็ยังจะมีการงอก ถ้ายังเก็บในที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะยิ่งงอกเร็วขึ้น และอาจมีการเน่าเสียอีกด้วย จึงจำเป็นต้องทำการแปรรูปเพื่อช่วยให้เก็บรักษาได้นานขึ้น ซึ่งการแปรรูปมันฝรั่งทำได้หลายรูปแบบ ได้แก่

- นำมาหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ แล้วตากแห้งที่บ้านเรานิยมที่เรียกว่า มันกัลยา
- บรรจุกระป๋อง
- แช่เยือกแข็งในรูปของมันทอดที่หั่นเป็นแท่งสี่เหลี่ยมยาว (french fries)
- มันฝรั่งทอด (potato chip)
- แป้งมันฝรั่ง (potato starch)

ปริมาณการผลิตแป้งมันฝรั่งเมื่อ พ.ศ. 2506 ได้มีการผลิตประมาณ 16-22% ของปริมาณการผลิตแป้งทั่วโลก ซึ่งส่วนที่เหลือจะเป็นแป้งที่ผลิตจากเมล็ดธัญพืช สำหรับตัวเลขของปริมาณผลิตแป้งมันฝรั่งในปี 2528 MPO ได้สรุปว่ามีประมาณสองล้านตันจากจำนวนทั้งหมดที่ทำการผลิต 17 ล้านตัน แหล่งที่ทำการผลิตมากได้แก่ประเทศแถบยุโรป ได้แก่ เนเธอร์แลนด์ โสเวียตรัสเซีย โปแลนด์ เยอรมันนี แป้งมันฝรั่งจัดว่ามีความสำคัญลำดับสูงสุดในกลุ่มประเทศยุโรป สำหรับการผลิตแป้งมันฝรั่งระดับหมู่บ้านซึ่งเป็นอุตสาหกรรมขนาดย่อม ใช้กรรมวิธีและเครื่องมือง่ายๆ มีรายงานว่าทำการผลิตในประเทศเปรู สำหรับประเทศไทยเรายังไม่มีการผลิต แต่มีการสั่งซื้อเข้ามาใช้ประโยชน์ (สมพงษ์, 2530)

สตาร์ชและสตาร์ชดัดแปรมันฝรั่ง

วิธีการสกัดสตาร์ชจากหัวมันฝรั่งทำได้ง่ายเช่นเดียวกับมันสำปะหลัง สตาร์ชที่ได้นำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ 60% อุตสาหกรรมผ้า 30% อุตสาหกรรมอาหาร สารให้ความเหนียวเป็นกาวและอื่นๆ อีก 10% ในส่วนการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารนั้น เป็นอาหารประเภทเบเกอรี่ ชุป น้ำเกรวี่ (สำหรับราดบนเนื้อ) พุดดิ้ง ทำนองเดียวกับสตาร์ชมันสำปะหลัง

สตาร์ชมันฝรั่งดัดแปร ใช้วิธีการเช่นเดียวกับสตาร์ชดัดแปรจากธัญชาติและพืชหัวอื่น ๆ โดยมีจุดประสงค์ในการปรับคุณสมบัติเดิมของสตาร์ชให้เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ได้แตกต่างจากเดิม เช่น สตาร์ชมันฝรั่งดัดแปรแบบพรีเจลาติไนซ์ ใช้ในการทำพุดดิ้งสำเร็จรูป เมื่อต้องการบริโภคก็เติมน้ำนึ่งลงไปจะได้พุดดิ้งที่หนืดขึ้น บริโภคได้เลย นอกจากนี้ยังใช้สตาร์ชมันฝรั่งดัดแปร โดยใช้วิธีการทำนองเดียวกัน เช่น เดกซ์ทริน ออกซิไดส์สตาร์ช พันธะข้ามสตาร์ช อีเทอร์สตาร์ชและแอซิเทดสตาร์ช เป็นต้น (จิตรนาและคณะ, 2546)

ลักษณะและสมบัติของแป้งมันฝรั่ง

แป้งมันฝรั่งตามธรรมชาติจะเกิดขึ้นและกระจายอยู่ในเซลล์ของหัวมันฝรั่งในปริมาณที่แตกต่างกันไป ตั้งแต่ 11-25% ขึ้นอยู่กับพันธุ์ การดูแลบำรุงรักษา ซึ่งสามารถจะเลือกได้จากค่าความถ่วงจำเพาะของหัวมันฝรั่งเมื่อทำการเก็บเกี่ยว หัวมันฝรั่งที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงจะมีปริมาณแป้งสูงด้วย แป้งมันฝรั่งที่ผลิตในทางการค้าเมื่อมองด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นผงละเอียดสีขาว มีความชื้นประมาณ 12-15% มีชื่อเรียกทางการค้าอีกชื่อหนึ่งว่า farina มีรูปร่างเป็นรูปไข่และมีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับเม็ดแป้งชนิดอื่น ๆ เมื่อนำมาส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์จะเห็นเป็นเม็ดเล็ก ๆ ซึ่งเรียกว่า starch granule

เม็ดแป้งดังกล่าวประกอบขึ้นด้วยสารประกอบอินทรีย์ที่เรียกว่า อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกติน (amylopectin) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 โดยประมาณ ซึ่งสัดส่วนของสารประกอบดังกล่าว จะมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติของแป้งและนำไปใช้ประโยชน์เป็นอย่างมาก แป้งมันฝรั่งจะไม่ละลายในน้ำเย็น แต่จะดูดซับน้ำไว้ได้บ้าง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น แป้งมันฝรั่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว (สมพงษ์, 2530) เนื่องจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอ นอกจากนี้หมู่ฟอสเฟตภายในแป้งมันฝรั่งยังทำให้เกิดการพองตัวสูงขึ้น เนื่องจากสามารถก่อให้เกิดแรงผลักดันทางไฟฟ้าได้ การ

พองตัวในแป้งจากส่วนหัวจะเกิดเพียงชั้นเดียว และเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ รูปแบบนี้จะเป็นลักษณะของแป้งที่เป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolyte) (กล้านรงค์และเกื้อกูล, 2543) และมีความหนืดสูงกว่าแป้งชนิดอื่น ๆ จึงเหมาะที่จะเลือกใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความหนืดสูง และมีลักษณะเป็นเส้นยาวยืดและค่อนข้างเหนียว แต่จะไม่ทนต่อแรงที่ทำการคนน้ำแป้งเพราะเมื่อจำเป็นต้องคนเพื่อการผสม ความหนืดจะลดไป และไม่คงทนต่อการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เพราะจะมีการแยกน้ำออกมา ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า syneresis ซึ่งจะเกิดกับแป้งที่มีอะไมโลสสูง แต่ถ้าเป็นแป้งที่มีอะไมโลสเพกตินสูงจะเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวต่ำกว่า (สมพงษ์, 2530)

คุณสมบัติของแป้งมันฝรั่ง

ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน)	37.9-50
ปริมาณอะไมโลส (%)	22.2
DP อะไมโลส	2,000-5,000
Pasting temperature (°C)	61
Peak viscosity (BU)	2,500
Final viscosity (BU)	630
Trough viscosity (BU)	340
Onset temperature (T_0 , °C)	<57.4
Peak temperature (T_p , °C)	67

ปัจจุบันได้มีการนำแป้งมันฝรั่งมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมกระดาส สิ่งทอ อาหาร กาว นอกจากนี้ยังนำใช้เป็นส่วนประกอบในการทำผงฟู เป็นวัตถุคิบในการหมัก ใช้ในการผลิตยาเม็ด สบู่ ผลิตในโตรสตาร์ช ใช้เป็นส่วนประกอบในยาฆ่าแมลง ใช้เป็นสารทำน้ำใสในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ เป็นต้น (กล้านรงค์และเกื้อกูล, 2543)

กระบวนการแปรรูปมันฝรั่งเป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้นนี้ มีผลทำให้เกิดของเหลือจากกระบวนการที่เป็นของแข็ง เช่น เศษชิ้นมันฝรั่งที่ไม่ได้ขนาดและรูปร่างตามต้องการ น้ำทิ้งจากขั้นตอนการล้างทำความสะอาดหรือการบดด้วยน้ำ ซึ่งควรจะนำของเหลือที่เป็นของแข็งมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตสตาร์ช หรือนำไปทำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบอื่น ๆ ส่วนน้ำทิ้งก็จำเป็นต้องผ่านการบำบัดให้เป็นน้ำใช้เพื่อนำกลับมาใช้ในกระบวนการได้อีก หรือปล่อยสู่สภาพ

แวดล้อมได้โดยไม่เป็นอันตราย ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ผลิตหรือเจ้าของโรงงานต้องคำนึงถึง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการแปรรูป และรับผิดชอบต่อสังคมบริเวณรอบโรงงานเสมอ เช่นเดียวกับ โรงงานแปรรูปอื่น ๆ (จิตรนาและคณะ, 2546)

การทอด

การทอดอาหาร เป็นการให้ความร้อนแก่อาหารเพื่อให้อาหารสุก โดยนำอาหารใส่ในน้ำมันที่ร้อน อุณหภูมิของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำในอาหารมีการระเหยออกจากชิ้นอาหาร ผิวหน้าของอาหารที่ทอดจะแห้งเกิดเปลือกนอกขึ้นมาห่อหุ้มภายในไว้ อุณหภูมิภายในอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงประมาณ 100°C น้ำจะระเหยออกจากอาหารจนได้ผลิตภัณฑ์ที่กรอบ อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ชิ้นอาหารขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประการ คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำมันและอาหาร และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวหน้า (surface heat transfer coefficient) ลักษณะของพื้นที่ผิวของอาหารที่ได้จากการทอด ด้านนอกมีโครงสร้างเป็นรูพรุน ซึ่งเป็นช่องว่างที่มีขนาดแตกต่างกัน ขณะทอด น้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกจากช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ ก่อนเป็นอันดับแรก ทำให้น้ำมันเข้าไปแทนที่น้ำและไอน้ำที่เคลื่อนที่ออกไป ความชื้นที่เคลื่อนที่ออกจากผิวหน้าของอาหารนั้นจะเคลื่อนที่ผ่านไปยังผิวของน้ำมัน

ความร้อนจากการทอดมีผลต่ออาหาร คือ ค่า a_w ในอาหารจะลดลง และมีการทำลายเชื้อจุลินทรีย์และเอนไซม์ในอาหารด้วย อายุการเก็บของอาหารขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำมันของผลิตภัณฑ์ขณะการเก็บรักษา อาหารที่ยังมีปริมาณน้ำเหลืออยู่ภายในชิ้นอาหารมาก เช่น ปลาทอด ไก่ทอด หรือ ไค้หน้ท จะมีอายุการเก็บรักษาสั้น การทอดอาหารจนกรอบทั้งชิ้น เช่น มันฝรั่งทอด มีความชื้นเหลืออยู่น้อยมาก สามารถเก็บรักษาได้นานถึง 12 เดือนที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งระยะเวลาการเก็บรักษาขึ้นอยู่กับภาชนะบรรจุ และภาชนะที่ใช้ในการเก็บรักษาด้วย การทอดที่อุณหภูมิสูงจะทอดอาหารได้ปริมาณมาก และใช้ระยะเวลาทอดน้อย แต่อุณหภูมิสูงจะเร่งให้น้ำมันที่ทอดเสื่อมคุณภาพเร็ว เช่น เกิดกรดไขมันอิสระ มีความหนืดเพิ่มขึ้น น้ำมันมีกลิ่น และสีเปลี่ยนไป ทำให้ต้องเปลี่ยนน้ำมันบ่อย และเป็นการสิ้นเปลือง นอกจากนี้ น้ำมันที่ถูกไฮโดรไลซ์ได้กลีเซอรอล ซึ่งจะยังสลายตัวเป็นอะโครลีน (acrolein) ที่อุณหภูมิสูง เกิดกลุ่มควันสีน้ำตาลเงินที่บริเวณเหนือผิวหน้าน้ำมันขณะทอด เป็นสารพิษที่อันตรายเกิดมลภาวะของอากาศได้

1. วิธีในการบวนการทอด

โดยทั่ว ๆ ไปที่นิยมใช้ มี 2 วิธี คือ

1.1 การทอดแบบสัมผัส (Contact frying)

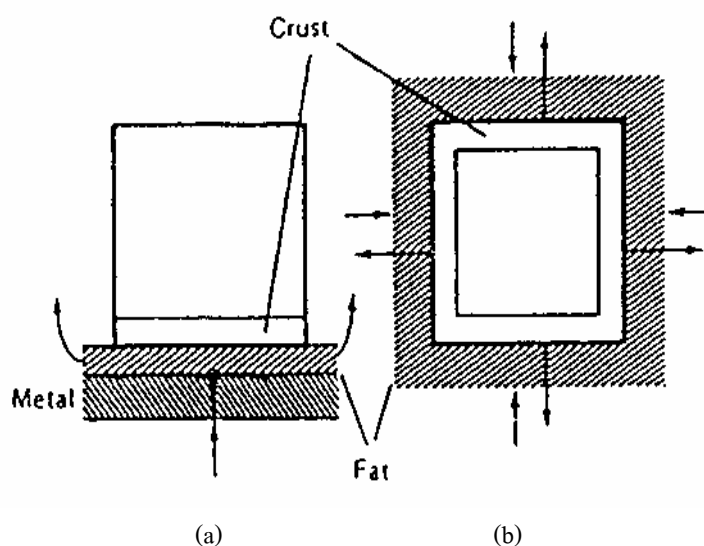
วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมีค่าสูง ๆ เช่น เบคอนสไลด์ ไข่ เบียร์เกอร์ และอาหารอื่น ๆ การส่งผ่านความร้อนโดยการนำความร้อน (heat conduction) จากผิวหน้ากระทะที่ร้อนผ่านไปยังชั้นของน้ำมัน ดังภาพที่ 5 (a) ความหนาของชั้นน้ำมันที่สัมผัสกับอาหาร จะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงผิวหน้าของอาหาร ทำให้สีผิวอาหารเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาล ขณะเดียวกันจะเกิดฟองจากไอน้ำที่ขึ้นมาจากผิวหน้าอาหาร การทอดแบบนี้จะมีสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อนที่ผิว (surface heat transfer coefficients) สูงมาก อยู่ในช่วง $200\text{--}450\text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$

1.2 การทอดแบบจุ่มในน้ำมัน หรือการทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep-fat frying)

การทอดอาหารแบบนี้ ใช้น้ำมันมากในการทอด เกิดการถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำมันที่ร้อนไปยังอาหาร โดยผิวหน้าทุกด้านของอาหารได้รับความร้อนเท่ากัน (วารุณี, 2546) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีสวยและลักษณะปรากฏเหมือนกัน (นุช, 2545) ดังภาพที่ 5 (b) เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและลักษณะปรากฏของอาหารอย่างสม่ำเสมอ เหมาะสำหรับอาหารที่มีรูปร่างต่าง ๆ ใช้ได้กับอาหารทุกชนิด แต่ถ้าอาหารมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่จะดูดซับน้ำมันไว้ได้มากขึ้น การนำความร้อนของการทอดวิธีนี้จะเกิดขึ้นทั้งแบบพาความร้อน (heat convection) และเกิดการนำความร้อน (heat conduction) ภายในชิ้นอาหาร ในช่วงแรกของการทอด ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน มีค่าประมาณ $200\text{--}300\text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ แต่เมื่อทอดไปนานขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงได้ถึงประมาณ $800\text{--}1,000\text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ และเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำมันเข้าสู่อาหารอย่างรวดเร็ว เนื่องจากไอน้ำได้ระเหยออกจากอาหาร (วารุณี, 2546)

เวลาที่ใช้ในกระบวนการทอดอาหารนั้นขึ้นอยู่กับ

1. ชนิดของอาหาร
2. อุณหภูมิของน้ำมัน
3. วิธีที่ใช้ในการทอด (Shallow หรือ Deep-fat frying)
4. ความหนาของอาหาร
5. ความต้องการในการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของอาหาร



ภาพที่ 4 ชนิดของกระบวนการทอด (a) contact frying (b) deep-fat frying

ที่มา : วิไล (2545)

อุณหภูมิที่ใช้ในการทอดอาหารนั้น ต้องคำนึงถึงความประหยัดและลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ที่อุณหภูมิสูงจะใช้ระยะเวลาในการทอดน้อยลง และได้อัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการทอดที่อุณหภูมิสูงนั้นทำให้เกิดการเสื่อมเสียของน้ำมันไปเป็นกรดไขมันอิสระและเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านความหนืด กลิ่นรสและสีของน้ำมันที่ใช้ในการทอด การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้ทำให้ต้องเปลี่ยนน้ำมันที่ใช้ในการทอดบ่อยครั้ง ซึ่งมีผลต่อต้นทุนของน้ำมันในการทอด (นุช, 2545)

2. น้ำมันและไขมันที่ใช้ในการทอด

น้ำมันที่ใช้ทอดเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนให้แก่อาหารจะเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ด้วยการแทนที่น้ำที่ระเหยไปเป็นไอ และกลายเป็นองค์ประกอบหนึ่งในผลิตภัณฑ์ คุณภาพน้ำมันจึงมีความสำคัญต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้จากระบวนการทอด คุณภาพน้ำมันมีผลต่อการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์ด้วย ขณะที่การทอดที่อุณหภูมิสูง ไขมันจะสลายตัวเป็นสารที่ให้กลิ่นรสและถูกดูดซับไว้ จึงช่วยส่งเสริมกลิ่นรสแก่ผลิตภัณฑ์ และการสูญเสียน้ำไประหว่างการทอด ทำให้มีเนื้อสัมผัสที่แห้งกรอบ การเลือกไขมันหรือน้ำมันที่ใช้ในการทอดแบบน้ำมันท่วมนั้น ควรใช้น้ำมันที่มีลักษณะดังนี้

1. ไม่ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ (off-flavors) ในอาหาร
2. มีอายุในการทอดนาน และมีจุดเป็นควันสูง
3. สามารถทำให้อาหารมีความอร่อย มีสีเหลืองทอง ไม่มีลักษณะเป็นน้ำมันออกมาที่ผิวอาหารระหว่างการเก็บ
4. สามารถทำให้อาหารมีรสชาติและเนื้อสัมผัสที่ดี
5. ด้านทานการเกิดความหนืด และการเกิดความหืนของน้ำมัน มีคุณภาพสม่ำเสมอ

อย่างไรก็ตามไม่มีน้ำมันที่มีคุณลักษณะครบถ้วน ดังนั้น ในการเลือกใช้ไขมันหรือน้ำมันจึงควรคำนึงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการ ในการทอดอาหารโดยเฉพาะการทอดในกระทะก้นลึกที่ต้องใช้น้ำมันมาก ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ทำให้กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมัน เช่น สารที่มีขั้ว (polar component) ทำให้เกิดพอลิเมอร์ซึ่งมีผลทำให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้น เกิดสาร cyclic monomer ของกรดไขมัน เกิดฟองและน้ำมันที่ใช้ทอดมีสีเข้ม ดังนั้นจึงเลือกน้ำมันที่เหมาะสมในการทอด คือ มีจุดที่เป็นควันสูง เพราะการทอดที่อุณหภูมิสูง จะต้องทอดก่อนที่น้ำมันจะสลายเป็นควันและให้สารพิษ และยังช่วยลดการอมน้ำมัน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงคุณค่าทางโภชนาการด้วย น้ำมันปาล์มมีความคงทนต่อการเกิดออกซิเดชันดี มีปริมาณกรดโอเลอิกสูง และไม่ค่อยเกิดฟองเวลาทอด

น้ำมันปาล์ม (palm oil) เป็นน้ำมันที่มีกรดปาล์มติก (palmitic acid, C_{16}) ที่เป็นกรดไขมันอิ่มตัวอยู่สูง แต่ก็มีไขมันไม่อิ่มตัวในสัดส่วนที่สูงเช่นกัน ซึ่งส่วนใหญ่มาจากกรดโอเลอิก (oleic acid) เป็นหลัก ประมาณ 3 ใน 4 ของกลีเซอไรด์ เป็นของผสมระหว่างไตรกลีเซอไรด์ ชนิดอิ่มตัว และชนิดไม่อิ่มตัว 50% ขององค์ประกอบกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นประเภท unsaturated no trans acids มีสีที่ดี (favorable light) เมื่อเทียบกับน้ำมันชนิดอื่น ๆ มีคุณสมบัติในการทอดที่ดี คือ มีปริมาณค่าไอโอดีนต่ำ มี linolenic acid และ tocopherol (380-890 ppm) ซึ่งเป็นสารกันหืนธรรมชาติ มีปริมาณฟอสโฟไลปิดและสเตอรอลต่ำ ละลายได้ที่อุณหภูมิซึ่งมีพิสัยระหว่าง 25-50°C เป็นน้ำมันที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม เนื่องจากไม่มีกลิ่นที่อุณหภูมิห้อง (no pleasant room odor) มีความคงทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูง

3. ผลของการทอดที่มีต่ออาหาร

ผลของการทอดต่ออาหารขึ้นอยู่กับชนิดและคุณสมบัติของน้ำมันที่ใช้ คุณภาพอาหาร ความร้อน และเวลาที่ใช้ในการทอด ซึ่งมีผลต่อน้ำมันทอดและอาหาร ดังนี้

3.1 ผลกระทบของความร้อนต่อน้ำมัน

น้ำมันที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานขณะทอด น้ำและออกซิเจนจะเกิดการเคลื่อนที่ออกจากอาหาร ทำให้เกิดการออกซิเดชันของน้ำมัน เกิดสารประกอบที่ระเหยได้ เช่น สารคาร์บอนิล กรดไฮดรอกซี กรดคีโตน และกรดอีพอกซี ทำให้อาหารมีกลิ่นรสผิดปกติ กลิ่นเหม็นหืน และน้ำมันมีสีคล้ำ เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของโมเลกุลน้ำมัน ออกซิเจนสลายตัวเป็นสารประกอบที่มีวงแหวน (cyclic compounds) และพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะทำให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้น สารประกอบที่เกิดจากการสลายตัวของน้ำมันอาจเป็นพิษต่อร่างกาย และทำให้น้ำมันมีคุณค่าทางโภชนาการลดลง เกิดการออกซิเดชันของวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน ทั้งวิตามินเอ แครโรทีนอยด์และวิตามินอี วิตามินยังถูกทำลายได้ด้วยความร้อน และปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่วนกรดไขมันจำเป็น เช่น กรดไลโนเลอิก ก็จะสูญเสียพันธะคู่เช่นเดียวกัน อัตราส่วนของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวจะเปลี่ยนไป

คุณภาพของน้ำมันและไขมันที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ เมื่อได้รับความร้อนในขณะทอด แบ่งได้ 6 ชั้น ดังนี้

ขั้นที่ 1 New fat การทอดอาหารในไขมันที่อยู่ในขั้นนี้ ยังขาดความเป็นสาร surface active materials จะขัดขวางการระเหยของไอน้ำ การดูดซับของไขมันเข้าสู่ภายในอาหาร และการถ่ายเทความร้อน

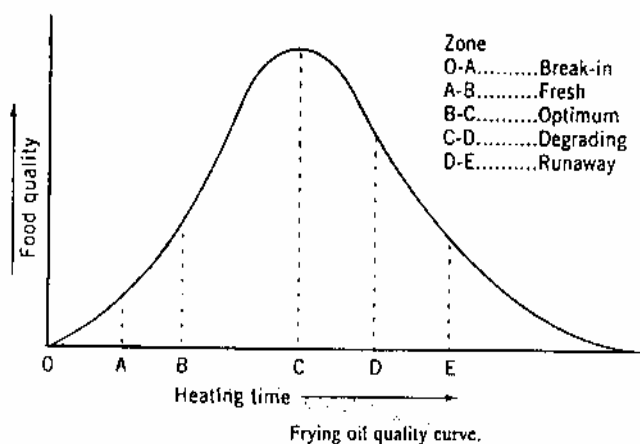
ขั้นที่ 2 Break-in ไขมันในขั้นนี้สามารถทำงานได้ดีที่สุด แต่ยังให้การดูดซับไขมันเข้าสู่อาหารไม่ดีพอ

ขั้นที่ 3 Fresh ไขมันนี้มีคุณภาพดี เป็นไขมันที่เหมาะสมสำหรับการทอดโดนัทเค้ก

ขั้นที่ 4 Optimum เป็นไขมันที่ใช้กันโดยส่วนใหญ่ในร้านอาหาร สำหรับการทอดผัก เฟรนช์ฟราย เนื้อสัตว์ และอื่น ๆ

ขั้นที่ 5 Degrading เป็นไขมันที่เลยจุดยอดของการทอดที่ดี มักจะให้สีแก่ไปเล็กน้อยนอกอาหาร และเกิดการดูดซับไขมันในอาหาร ไขมันนี้ควรทิ้งไม่นำมาใช้ในการทอดอาหารอีก

ขั้นที่ 6 Runaway เป็นไขมันที่มีคุณภาพต่ำไม่ควรนำมาทอดอาหาร ควรมีการกำจัดทิ้งอย่างถูกต้องเหมาะสม



ภาพที่ 5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอด

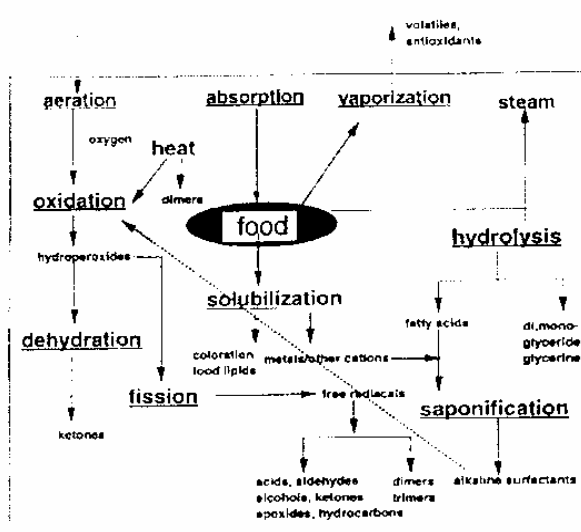
ที่มา : วารุณี (2546)

3.2 ผลของความร้อนต่ออาหารที่ทอด

การทอดทำให้อาหารมีสี กลิ่น รสชาติ และความกรอบ มีปริมาณน้ำลดลง ยืดอายุการเก็บอาหารได้นานขึ้น แต่จะสูญเสียสารอาหารระหว่างการเก็บรักษาด้วย โดยเฉพาะวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน เช่น วิตามินอีที่ถูกดูดซับจะถูกออกซิไดส์ระหว่างการเก็บรักษา ส่วนการสูญเสียโปรตีนจะเกิดขึ้นเมื่อผิวนอกกรอบ เกิดปฏิกิริยา maillard browning ระหว่างกลุ่มกรดอะมิโนของโปรตีนและเปปไทด์ กับน้ำตาลรีดิวซ์ซิง (กลูโคสหรือฟรุคโตส) เกิดสารประกอบโมเลกุลใหญ่ที่ให้น้ำตาลในผลิตภัณฑ์ ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นในกระบวนการทอดได้อีกประกอบกับน้ำตาลที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 150°C ปริมาณไขมันในอาหารเพิ่มมากขึ้น จากการดูดซับน้ำมันที่ใช้ทอดไว้ในอาหาร ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตที่เป็นพอลิเมอร์ หากน้ำมันร้อนจัดจะเกิดการแข็งตัวของผิวนอก (crust formation) อย่างรวดเร็วปิดผิวนอกของอาหาร ลดการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นภายในชั้นอาหาร (วารุณี, 2546)

3.3 การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างอาหารจากกระบวนการทอด

ในกระบวนการทอดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ของอาหาร คือ จะมีการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลระหว่างอาหารและน้ำมัน โดยน้ำในอาหารจะระเหยกลายเป็นไอน้ำ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 6 ปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการทอด

ที่มา : นุช (2545)

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหาร คือ โครงสร้างของอาหารมีการเปลี่ยนแปลงในส่วน
ของไฮโดรพลาสซึมและโปรตีน โดยเกิดการแยกตัวออกจากกันของเซลล์อย่างรวดเร็วในการเปลี่ยน
แปลงโครงสร้างนี้จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของผลิตภัณฑ์ด้วย การซึมผ่านของ
น้ำมันมีความสำคัญอย่างมากต่อการพัฒนาโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ในผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้าง
แข็ง และกรอบ น้ำมันจะเคลือบที่บริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ก่อนเคลื่อนเข้าไปในผลิตภัณฑ์เมื่อ
ความร้อนภายในเพิ่มขึ้น ความชื้นในอาหารระเหยกลายเป็นไอน้ำและเคลื่อนตัวออกจากผลิตภัณฑ์
ออกมาทางรูที่เปิดผ่านไปยังน้ำมัน กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นประมาณ 20 วินาทีแรกของการทอด
แบ่งเกิดการเจลาติไนซ์ภายในแต่จะไม่เกิดที่ผิวหน้าของอาหาร โครงสร้างภายในผลิตภัณฑ์จะเกิด
เป็น smooth และ plastic ของโปรตีนและไขมันรวมตัวกันในลักษณะพลาสติกเพื่อเกิดเป็น
continuous phase (นุช, 2545)

3.3 ผลของการดูดซับน้ำมันในอาหาร

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันในอาหารขึ้นอยู่กับ

3.3.1 คุณภาพและองค์ประกอบของน้ำมัน การดูดซับไขมันและการเสื่อมเสียของ
น้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาของการทอดเพิ่มขึ้น สาร surface active agents ที่เกิดจากการออกซิเดชันจะ
ลดแรงตึงผิวของสารที่ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งสารเหล่านี้เกิดขึ้นในน้ำมันที่แตกตัว
มากกว่าในน้ำมันใหม่ มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนที่ผิวหน้าของน้ำมัน

3.3.2 อุณหภูมิและเวลาของการทอด โดยทั่วไป พบว่า อุณหภูมิของการทอดที่
สูงขึ้นจะลดการร่อนน้ำมัน แต่การเพิ่มอุณหภูมิของการทอดไม่ใช่เป็นข้อดีเสมอไป

3.3.3 ปริมาณความชื้น การดูดซับน้ำมันเกิดขึ้นในขณะที่ความชื้นถูกกำจัดออกไป
จากอาหารระหว่างการทอด ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่สูงมีผลให้การร่อนน้ำมันมีมากขึ้น

3.3.4 องค์ประกอบและลักษณะผิวหน้าของอาหาร ปริมาณไขมันเริ่มต้นที่สูงใน
อาหารบางชนิด ทำให้การดูดซับไขมันเพิ่มขึ้น ยกเว้นกรณีของผลิตภัณฑ์เนื้อหรือปลา

3.3.5 การให้ความร้อนก่อนการทอด (prefrying treatment) การลวกหรือลดระดับความชื้นของอาหารก่อนการทอด, การอบแห้ง, การล้างผลิตภัณฑ์ในน้ำมันที่มีอีมีลซิไฟเออร์, การแช่แข็งก่อนการทอดเฟรนช์ฟรายส์ จะช่วยลดการดูดซับน้ำมันได้ แต่การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งกลับเป็นการเพิ่มการอมน้ำมัน

3.4 ปฏิกริยาการเหม็นหืนในอาหารระหว่างการเก็บรักษา

การเหม็นหืนนี้มักเกิดเนื่องมาจากสาเหตุ 3 ประการ คือ

3.4.1 Hydrolytic rancidity

เกิดจากโมเลกุลของน้ำมันหรือไขมันถูกไฮโดรไลซ์แตกตัวออก ปฏิกริยานี้ต้องมีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง หรือเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิหรือความกดดันสูง หรืออยู่ในสารละลายตัวกลางที่เป็นน้ำ ที่เป็นกรดหรือด่าง และอาจมีเอนไซม์ lipolytic enzyme ซึ่งมีอยู่แล้วในอาหารตามธรรมชาติ การหืนในลักษณะนี้เกิดการแตกตัวของพันธะเอสเทอร์ในน้ำมันนั้น แตกตัวเป็นพวกโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ กลีเซอรอล เกิดกรดไขมันอิสระในปริมาณที่สูงขึ้นกว่าปกติ จึงทำให้มีกลิ่นคล้ายสบู่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์

การเกิด hydrolytic rancidity จะไม่มีผลต่อคุณค่าทางอาหารของน้ำมันและไขมันเท่าใดนัก แต่มีผลทำให้กลิ่นของน้ำมันหรือไขมันเปลี่ยนแปลงผิดปกติไป เนื่องจากกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น การเกิด hydrolysis ในไขมันและน้ำมันวัดออกมาเป็นค่าที่เรียกว่า ค่าของกรด คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระในน้ำมัน 1 กรัม ถ้าไขมันหรือน้ำมันมีค่าของกรดสูง แสดงว่ามีกรดไขมันอิสระในไขมันหรือน้ำมันนั้นอยู่มาก ค่าของกรดเป็นค่าที่ใช้ประกอบการพิจารณาคุณภาพของไขมันว่ามีคุณภาพดีหรือไม่

3.4.2 Oxidative rancidity

เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวกับออกซิเจน เป็นขบวนการทำลายคุณภาพและคุณค่าทางอาหารของไขมันและน้ำมันอย่างมาก การเกิด oxidative rancidity เกิดขึ้นเนื่องจากออกซิเจนเข้าไปแทนที่ตำแหน่งที่มีพันธะคู่ของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเกิดเป็น

สารประกอบในรูปของสารประกอบที่มีหัวพวกแอลดีไฮด์, คีโตน, เปอร์ออกไซด์ และกรดที่ระเหยออกมาแล้วทำให้ไขมันหรือน้ำมันนั้นมึกลิ่นไม่ดี เกิดการหืน ปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้สามารถเกิดขึ้นได้เองโดยไม่ต้องมีสารอื่นเกี่ยวข้อง เรียกปฏิกิริยานี้ว่า autooxidation เป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นตลอดเวลาเหมือนปฏิกิริยาลูกโซ่ มีผลให้เกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์และอนุมูลอิสระเพิ่มจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งเป็นสารที่ไม่เสถียรจะสลายตัวให้สารที่มีจำนวนคาร์บอนน้อยลง เป็นสารประกอบแอลดีไฮด์ คีโตน และกรด สารพวกนี้จะระเหยและทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนในอาหาร

อิทธิพลที่มีผลต่อการเกิด oxidation rancidity ได้แก่ อุณหภูมิ แสง ทองแดง สังกะสี โลหะทรานซิชัน พวกตะกั่ว เป็นต้น การเพิ่มพื้นที่ผิวของไขมันหรือน้ำมันที่สัมผัสกับอากาศ และจำนวนพันธะคู่ของกรดไขมัน เมื่อไขมันหรือน้ำมันเกิดการหืนจะมีคุณภาพไม่เหมาะสมในการนำมาใช้บริโภค การวัดความหืนของไขมันและน้ำมัน จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการตรวจสอบทำได้หลายวิธี เช่น วัดค่าเปอร์ออกไซด์ (PV), active oxygen method (Aom), และ thiobarbituric acid number (TBA)

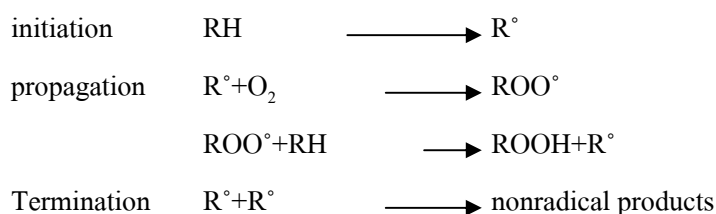
3.4.3 Ketonic rancidity

เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารทำให้เกิดปฏิกิริยา β -oxidation ของไขมันหรือน้ำมันจะได้สารประกอบคีโตน การหืนแบบนี้มักเกิดในน้ำมันมะพร้าวที่ขึ้นรา มีความชื้นและสารอาหารพวกไนโตรเจนเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อการเจริญของราด้วย เมื่อเกิดปฏิกิริยาจะได้สารประกอบ methyl-amyl ketone นอกจากนี้ยังพบว่าผลิตภัณฑ์นม การหืนแบบนี้พบน้อยมากในอาหารที่ผ่านการแปรรูป บรรจุในภาชนะบรรจุที่ดีและถูกสุกลักษณะ การป้องกันอาจทำได้โดยการกำจัดเชื้อราหรือกำจัดสิ่งที่จะช่วยส่งเสริมการเจริญของเชื้อรา เช่น อากาศ ความชื้น สารประกอบไนโตรเจน เป็นต้น (วารุณี, 2546)

3.4.4 Oxidative rancidity

บางครั้งเรียกว่า autooxidation เป็นการหืนที่เกิดจากไขมันสัมผัสกับออกซิเจนโดยตรงหรืออาจจะเกิดจากปฏิกิริยา photochemical reaction หรือโดยสารบางอย่างที่เติมลงในน้ำมัน ไขมันที่จะเกิดการหืนแบบนี้ได้อย่างรวดเร็วมักเป็นพวกที่มีพันธะคู่ในกรดไขมัน (unsaturated fatty acid) ซึ่งปฏิกิริยาแบบนี้เป็นแบบปฏิกิริยาลูกโซ่ ซึ่งจะอธิบายได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นเริ่มต้นซึ่งได้อนุมูลอิสระ ($R^\cdot$) เกิดขึ้นแล้วอนุมูลอิสระนี้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็น

อนุมูลเพอร์ออกซี (peroxy radical, $\text{ROO}^\bullet$) แล้วจะทำปฏิกิริยาต่อตรงพันธะคู่ของกรดไขมันอีกเกิดเป็นไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, ROOH) คือเกิด peroxide bridge ตรงพันธะคู่ ดังสมการคือ



ภาพที่ 7 การเกิดปฏิกิริยา Oxidative rancidity

ที่มา : นุช (2545)

ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาในขั้นที่ได้ $\text{ROO}^\bullet$ และ ROOH นี้ จะเป็นขั้นที่เรียกว่า propagation โดยทั่วไปไฮโดรเพอร์ออกไซด์จะไม่มีกลิ่นรสเลย แต่จะไม่คงตัว มักสลายให้สารประกอบแอลดีไฮด์ คีโตนพอลิเมอร์ ลิพิดเพอร์ออกไซด์และอนุมูลอิสระ สารเหล่านี้จะกลับเข้าไปก่อให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้อีกด้วยซึ่งเป็นการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนสุดท้าย (นุช, 2545)

4. การเสื่อมเสียของอาหารทอด

อาหารทอดจะเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาการหืน เนื่องจากออกซิเจน (oxidative rancidity) และการหืนเนื่องจากน้ำ (hydrolytic rancidity) มีสาเหตุมาจากออกซิเจนและอุณหภูมิ

ปฏิกิริยาการหืนเนื่องจากการแยกสลายด้วยน้ำ สามารถควบคุมได้โดยควบคุมวิธีการผลิตและสภาวะการเก็บ ความชื้นและเอนไซม์ทำให้เกิดการสลายของไขมัน (lipolysis) คือ ไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ ณ อุณหภูมิ 37.7°C จะเป็นตัวเร่งการเกิดกระบวนการนี้ เอนไซม์ไลเปสจะทำให้ไขมันแปรสภาพไปแต่สามารถยับยั้งหรือทำให้คงตัว (stabilization) ได้ด้วยการใช้ความร้อน และระวังอย่าให้น้ำปนกับน้ำมัน อีกประการหนึ่งต้องควบคุมความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปให้ต่ำและเก็บรักษา ณ อุณหภูมิต่ำด้วย ปฏิกิริยาการหืนเนื่องจากออกซิเจนเป็นปฏิกิริยาสำคัญที่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์อาหารทอดเกิดกลิ่นหืนมากที่สุด เกิดจากกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้สารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์ ซึ่งมีกลไกการ

เกิดปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน คือ 1. ปฏิกิริยาเริ่มต้น (initiation reaction) เป็นการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical) โดยที่อะตอมไฮโดรเจนที่เกาะกับอะตอมของคาร์บอนที่อยู่ถัดจากอะตอมของคาร์บอนที่มีพันธะคู่หลุดออกไปเนื่องจากได้รับความร้อนหรือแสงสว่าง 2. ปฏิกิริยาการต่อตัว (propagation reaction) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดสารเปอร์ออกไซด์ชนิดกัมมันต์ (activated peroxide) 3. ปฏิกิริยาจบ (termination reaction) สารเปอร์ออกไซด์ชนิดกัมมันต์ที่เกิดขึ้นจะรวมกับไฮโดรเจนจากกรดไขมันอิ่มตัว เกิดเป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์และอนุมูลอิสระเรื่อย ๆ เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ ทำให้ได้สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์จำนวนมากมาย ซึ่งเป็สารที่ไม่อยู่ตัวจะสลายให้สารประกอบที่มีจำนวนคาร์บอนน้อยๆ เป็นสารประเภทกรด อัลดีไฮด์ และคีโตนที่ระเหยง่ายทำให้เกิดกลิ่นหืนในอาหาร

ปัจจัยที่มีผลต่อการหืนเนื่องจากออกซิเจน คือ

1. ชนิดของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีอยู่ในน้ำมัน ถ้าเป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูง คือ มีพันธะคู่หลายแห่งจะเกิดการเหม็นหืนได้เร็วกว่าน้ำมันที่มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวน้อย
2. ออกซิเจนในอากาศ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีออกซิเจนเท่านั้น การซึมผ่านของออกซิเจน (diffusion) มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังจะเห็นได้ว่าไขมันที่เป็นของแข็ง การเกิดปฏิกิริยาจะเกิดช้ากว่าน้ำมันที่เป็นของเหลว เนื่องจากน้ำมันที่เป็นของเหลวออกซิเจนจะซึมผ่านได้เร็วกว่า และอาหารที่มีพื้นที่หน้าตัดมากกว่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันก็เกิดได้เร็วกว่าเช่นกัน
3. ความร้อนและแสงสว่าง ช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วมาก โดยเฉพาะแสงที่มีความยาวคลื่นสั้น คือ แสงอุลตราไวโอเลต จะเร่งการเกิดปฏิกิริยาขึ้นต้น การป้องกันที่ดีที่สุด คือ เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท กันแสงผ่านได้และเก็บไว้ในที่เย็น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับของความไม่อิ่มตัวของน้ำมันด้วย นั่นคืออาหารที่มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูง ความร้อนและแสงก็จะยังมีอิทธิพลมากกว่าอาหารที่มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวต่ำ
4. โลหะ โดยเฉพาะทองแดงและเหล็กถึงแม้จะมีปริมาณน้อย คือ 0.1-1.0 ppm. ก็สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ดังนั้น ภาชนะบรรจุควรเป็นเหล็กปลอดสนิม หรืออลูมิเนียม การใช้ metal binder หรือที่เรียกว่า sequestering agent จะไปจับกับโลหะเพื่อลดอัตราการเร่งปฏิกิริยา สาร

ที่นิยมใช้มักเป็นกรด ได้แก่ กรดซิตริก กรดฟอสฟอริก กรดทาร์ทาริก กรดคลอโรินิก และเอริลีน-ไดอะมีน-เตตระ-อะซีติก (EDTA) โดยเฉพาะกรดอะซีติกที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร นอกจากนี้สารเหล่านี้ยังใช้เป็นสารกันหืนได้อีก นอกเหนือจากบิวทิลเลตเตด ไฮดรอกซีอะนิโซล (BHA) บิวทิลเลตเตด ไฮดรอกซีโทลูอิน (BHT) และโพรพิลแกลเลท (PG) โดยสารกันหืนเหล่านี้จะไปรวมกับอนุมูลอิสระหรือรวมกับสารเปอร์ออกไซด์กัมมันต์โมเลกุลของสารกันหืนจะถูกออกซิไดซ์แทนกรดไขมัน การใช้สารกันหืนมากกว่า 1 สารร่วมกัน จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีกว่า สารกันหืนที่เลือกใช้จะต้องไม่เป็นพิษใช้ในปริมาณที่น้อย และไม่ก่อให้เกิดสีและกลิ่นรส (สุรางค์, 2534)

การป้องกันการเกิดปฏิกิริยานี้ มักจะใช้ความร้อนทำลายอนุมูลไขมันให้หมดไป หรืออาจเกิดจากการ oxidative rancidity ปฏิกิริยานี้เกิดจากการที่กรดไขมันอิ่มตัวรับออกซิเจนเข้าไป เกิดเป็นสารเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะสลายตัวต่อไปเป็นสารที่ระเหยง่าย มีกลิ่นหืน และมักจะทำให้วิตามินที่ละลายได้ในไขมันถูกทำลายด้วย การป้องกันได้โดยไม่ให้อาหารนั้นๆ ถูกออกซิเจน โดยดึงอากาศออกหรือเติมก๊าซเฉื่อยเข้าแทนที่ และเก็บในที่อุณหภูมิต่ำ หรือเติมสารกันหืนลงไป เพื่อชะลอการหืนของอาหาร (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาอาหาร, 2546)

ค่าเปอร์ออกไซด์

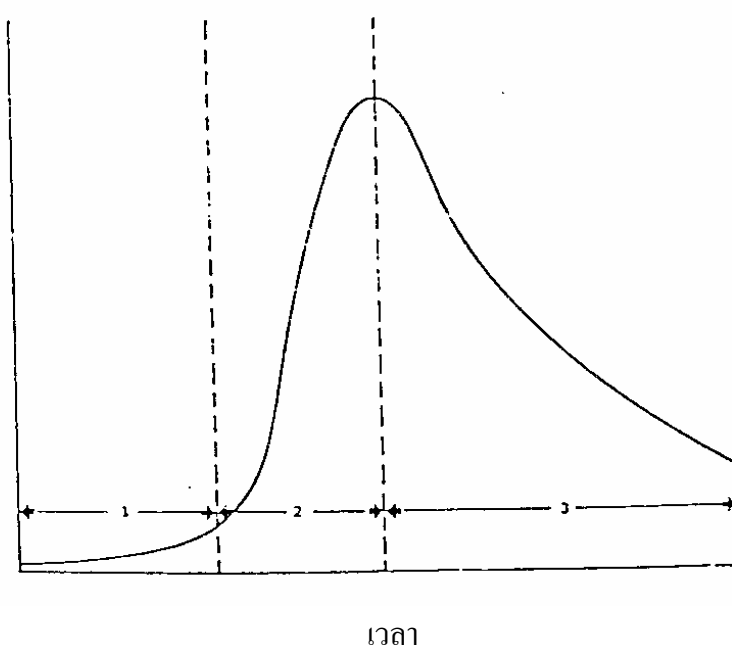
ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณสารประกอบเปอร์ออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมัน ซึ่งในช่วงการเก็บระยะแรก ๆ ค่าเปอร์ออกไซด์จะมีค่าน้อยและจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป อัตราการเพิ่มจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระยะเวลา ชนิดของน้ำมันและอุณหภูมิ ถึงแม้ว่าสารประกอบเปอร์ออกไซด์ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นหืนโดยตรง แต่จะเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณการเสื่อมเสียของน้ำมันที่เกิดขึ้น ได้กล่าวถึงวงจรของการเปลี่ยนแปลงในช่วงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน 3 ระยะ ดังภาพที่ 8

ระยะแรก (induction period) ค่าเปอร์ออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในระดับที่ยังยอมรับได้ ไม่แตกต่างจากสภาวะเริ่มต้นมากนัก

ระยะที่สอง (oxidation period) เป็นระยะที่ค่าเปอร์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และทำให้ผลิตภัณฑ์เริ่มมีกลิ่นหืนอย่างสังเกตเห็นได้ชัดเจน

ระยะที่สาม (terminal period) ในระยะที่สองนั้นไม่เพียงแต่ค่าเปอร์ออกไซด์เท่านั้นที่เพิ่มขึ้น แต่ยังทำให้ปริมาณของอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านั้นจะทำปฏิกิริยากันเอง ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันดำเนินไปอย่างช้าลง มีผลทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ลดลงเช่นกัน (สุรางค์, 2534)

ค่าเปอร์ออกไซด์



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ในช่วงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
ที่มา : สุรางค์, 2534

วอเตอร์แอคทีวิตี

การเสื่อมเสียในอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าปฏิกิริยาจากเอนไซม์หรือปฏิกิริยาเคมีซึ่งเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในระหว่างการเก็บรักษา แต่ในทุกกรณีน้ำจะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ควบคุมอัตราการเสื่อมเสีย

ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี (a_w) ของอาหารเป็นปริมาณน้ำซึ่งจุลินทรีย์ เอนไซม์หรือปฏิกิริยาทางเคมีนำไปใช้ได้หรือหมายถึงน้ำอิสระนั่นเอง

ผลของวอเตอร์แอคทีวิตีต่ออาหาร

ถ้าอาหารมีค่า a_w สูง อาหารมีแนวโน้มที่จะเสื่อมเสียโดยแบคทีเรียเนื่องจากแบคทีเรียสามารถเจริญได้ดีกว่ายีสต์และรา ถ้าควบคุมให้อาหารมีค่า a_w ลดต่ำลง เชื้อราหรือยีสต์จะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรีย ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w ต่ำเนื่องจากการเติมน้ำตาล เช่น แยม เยลลี่ จะเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากยีสต์กลุ่มชอบความดันออสโมติกสูง (osmophilic yeasts) ส่วนอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือสูงจะเสื่อมเสียเนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มทนความเข้มข้นของเกลือสูง (halotolerant) หรือกลุ่มที่ชอบความเข้มข้นของเกลือสูง (halophile)

การลดค่า a_w หรือน้ำอิสระเพื่อไม่ให้จุลินทรีย์สามารถนำน้ำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้มีหลายวิธี เช่น

1. การกำจัดน้ำในหน่วยปฏิบัติการต่างๆ เช่น การทำแห้ง การระเหย และการอบแห้งแบบระเหิด

2. การทำให้น้ำในอาหารตกผลึกกลายเป็นน้ำแข็ง ค่า a_w ของน้ำและน้ำแข็งจะยิ่งต่ำลงถ้าอุณหภูมิลดต่ำกว่า 0°C ค่า a_w ของน้ำบริสุทธิ์จะเท่ากับ 1.00 ที่ 0°C 0.953 ที่ -5°C 0.907 ที่ -10°C 0.823 ที่ -20°C ตามลำดับ และจะลดลงไปเรื่อย ๆ ในอาหาร ถ้ามีน้ำแข็งเกิดขึ้นมากความเข้มข้นของตัวถูกละลายในน้ำส่วนที่เหลือก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้นเป็นผลทำให้ค่า a_w ยิ่งลดต่ำลงไปอีก

3. การตรึงน้ำในอาหาร เช่น การใช้สารคอลลอยด์ที่ชอบรวมกับน้ำ (gel) ทำให้จุลินทรีย์หรือปฏิกิริยาทางเคมีต่าง ๆ ไม่สามารถนำน้ำไปใช้ได้ ดังนั้นการใส่ส่วนในอาหารเพียง 3 หรือ 4% จะสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ การตรึงน้ำด้วยวิธีอื่น ๆ ได้แก่ การใช้ฮิออนหรือตัวถูกละลายเป็นตัวดึงน้ำในสารละลายไม่ให้เป็นอิสระ การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย เช่น เกลือ หรือน้ำตาล มีผลทำให้อาหารนั้นแห้งลง นอกจากจะดึงน้ำจากสารละลายแล้ว น้ำที่อยู่ในเซลล์ก็จะถูกดึงออกมาด้วยวิธีออสโมติกเนื่องจากความเข้มข้นของตัวถูกละลายข้างนอกสูงกว่าภายในเซลล์

ปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ a_w อุณหภูมิ pH ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์หรือสารเคมีล้วนมีผลสำคัญในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร การลด a_w จะมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์มากยิ่งขึ้นในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์

รีย ดังนั้นจึงมีการใช้วิธีซึ่งไม่รุนแรงนักหลาย ๆ วิธีร่วมกันเพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และทำให้สามารถเก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น โดยรักษาคุณค่าทางโภชนาการหรือคุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสได้มากที่สุด อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะปรับหรือควบคุมค่า a_w ให้ต่ำลงแล้วก็ตาม อาหารก็ยังมีโอกาสเสื่อมเสียได้อีกเนื่องจากยังมีกิจกรรมของเอนไซม์เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในอาหาร (วิลโล, 2545)

การบรรจุผลิตภัณฑ์ภายใต้สุญญากาศ

การบรรจุผลิตภัณฑ์ภายใต้สุญญากาศ (vacuum Packaging) หมายถึง การบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้สุญญากาศโดยการดึงเอาอากาศภายในภาชนะและหรือภายในผลิตภัณฑ์ออกไป และไม่มีอากาศใด ๆ เข้าไปแทนที่ ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันภายในและภายนอกภาชนะ สังเกตได้จากการหดตัวของภาชนะบรรจุชนิดอ่อนตัว (flexible Form) หรือการยุบตัวของภาชนะประเภทกึ่งคงรูป (semi-rigid form) โดยทั่วไปความดันภายในภาชนะจะมีค่าประมาณ 0.5-8 mmHg ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์และระบบการบรรจุ (ศราภา, 2539)

การบรรจุแบบสุญญากาศนี้ เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารทะเลที่เก็บในตู้เย็น ซึ่งกระบวนการผลิตจะถูกควบคุมคุณภาพและสุขอนามัยที่เข้มงวด เทคนิคในการบรรจุจะได้ผลดีกับผลิตภัณฑ์อาหารทะเลที่ไม่มีกระดูกหรือครีป อากาศจะถูกดูดออกหลังจากการบรรจุ จากนั้นก็จะถูกปิดผนึกด้วยความร้อน วัสดุจึงต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของแก๊ส ซึ่งจะชะลอการเสื่อมของผลิตภัณฑ์และยืดอายุการเก็บรักษา วิธีนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันและทำให้ลักษณะปรากฏของอาหารดีขึ้น บรรจุภัณฑ์สุญญากาศสามารถทำมาจากพลาสติกที่ผ่านการขึ้นรูป ฟิล์มกึ่งแข็งที่ผ่านความร้อนและขึ้นรูปมีช่องอยู่ด้านในเพื่อใช้บรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร โดยฟิล์มที่ผ่านความร้อน อาจจะขึ้นรูปตามลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารนั้น วิธีอื่น ๆ คือ การคลุมผลิตภัณฑ์ด้วยฟิล์มยืดหยุ่นหรือใส่ถุงแล้วปิดผนึกด้วยความร้อนภายใต้สภาวะสุญญากาศ และผ่านเข้าไปในอุโมงค์ที่ทำให้ฟิล์มหดตัว ความสำเร็จของวิธีนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์และวิธีการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ การบรรจุแบบสุญญากาศสามารถประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารทะเลที่ผ่านการทำให้สุกแล้วแช่เย็น ซึ่งจะช่วยเพิ่มการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (มยุรา, 2546)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุในการผลิต

1.1 วัตถุดิบในการผลิต

1.1.1 ถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60 จากไร่สุวรรณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัด กรุงเทพมหานคร

1.1.2 เนื้อปลาทรายแดง, ปลาตาโต และปลาอินทรี จากตลาดคลองเตย จังหวัด กรุงเทพมหานคร

1.1.3 สาหร่ายสาวยใบ (Porphyra) หรือจี๋โน้ จากตลาดเขาวราช จังหวัด กรุงเทพมหานคร

1.1.4 น้ำมันถั่วเหลือง ตรารุ่งน

1.1.5 เกลือ ตรารุ่งทิพย์

1.1.6 พริกไทย ตรามือ

1.1.7 น้ำตาลทราย ตราวังขนาย

1.1.8 แป้งมันฝรั่ง จากบริษัท อาเคเดีย ฟู้ดส์ จำกัด

1.1.9 ไข่ขาวผง จากบริษัท เบลโลโว (ไทยแลนด์) จำกัด

1.2 สารเคมี

1.2.1 แมกนีเซียมซัลเฟต

1.3 อุปกรณ์ในการผลิต

1.3.1 เครื่องผลิตน้ำมันถั่วเหลือง

1.3.2 เครื่องเหวี่ยงแยกกาก

1.3.3 เครื่องผสมอาหาร

- 1.3.4 เครื่องชั่งสปริง
- 1.3.5 เครื่องชั่งดิจิทัล ตรา Precisa 240 A
- 1.3.6 หม้อทอดไฟฟ้า ตรา FRITEL รุ่น 3050
- 1.3.7 เครื่องปิดผนึกสุญญากาศ (Vacuum seal) ตรา Multivac
- 1.3.8 หม้อ
- 1.3.9 พิมพ์ไม้สี่เหลี่ยมขนาด 7.5×7.5 เซนติเมตร
- 1.3.10 เตาแก๊ส
- 1.3.11 ผ้าขาวบาง
- 1.3.12 พายไม้
- 1.3.13 เทอร์โมมิเตอร์ ตรา SANGI
- 1.3.14 ถังสุญญากาศ
- 1.3.15 ถังพลาสติก
- 1.3.16 ถ้วยน้ำจิ้มพร้อมฝาพลาสติก

2. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพ

2.1 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- 2.1.1 เครื่องวัดค่า a_w ด้วยเครื่อง Hygro Lab รุ่น Rotranic
- 2.1.2 เครื่องวัดค่าสี ด้วยเครื่อง Hunter Lab รุ่น Color Flex
- 2.1.3 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture Analyser รุ่น TA.XT. Plus

2.2 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

- 2.2.1. Hot air oven รุ่น WTB binder
- 2.2.2 ถ้วยอบความชื้น
- 2.2.3 โถดูดความชื้น
- 2.2.4 เครื่องย่อยโปรตีน ตรา Gerhardt รุ่น Kjeldatherm
- 2.2.5 เครื่องกลั่นโปรตีน ตรา Gerhardt รุ่น Vapodest 20
- 2.2.6 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน ตรา Velp scientifica รุ่น Model Ser 148

- 2.2.7 เครื่องวิเคราะห์เชื้อไข ตรรก Velp scientifica รุ่น Fiwe
- 2.2.8 เตาเผา furnace ตรรก Lenton รุ่น EF 11/8
- 2.2.9 เครื่อง rotary evaporator ตรรก Edmund Euhler (TUBINOEN) รุ่น RV2
- 2.2.10 เครื่องทำความเย็น (coolant) ตรรก Tempest C – 18L

2.3. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

- 2.3.1 ตู้ไอน้ำ (autoclave) ตรรก Velp scientifica รุ่น Smart Clave
- 2.3.2 ตู้บ่มเชื้อ ตรรก Memmert
- 2.3.3 จานเพาะเชื้อ
- 2.3.4 ตะเกียงแอลกอฮอล์
- 2.3.5 แผ่นเพาะเลี้ยงเชื้อ Petrifilm Aerobic Count Plate และ Petrifilm Yeast and Mold ตรรก 3M
- 2.3.6 อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ เช่น หลอดทดลอง ปิเปต เป็นต้น
- 2.3.7 เครื่องเขย่าหลอดทดลอง ตรรก Varter genie 2

2.4 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

- 2.4.1 แบบทดสอบ

2.5 อุปกรณ์ในการเก็บรักษา

- 2.5.1 ตู้เย็น
- 2.5.2 ตู้แช่แข็ง

2.6 อุปกรณ์ในการประมวลผลข้อมูล

- 2.6.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล SPSS
- 2.6.2 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

วิธีการ

1. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบ Symmetric Factorial Experiment เป็นงานวิจัยที่ศึกษาถึงปริมาณเนื้อปลา, สาหร่าย และเครื่องปรุงรสที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้ปลาสาหร่าย และให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2. การเตรียมวัตถุดิบ

2.1 ถั่วเหลือง นำถั่วเหลือง พันธุ์เขียวใหม่ 60 จากไร่สุวรรณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร มาทำการคัดเลือกรวดและเมล็ดที่มีสีดำออก จากนั้นนำมาล้างให้สะอาด แช่น้ำที่อุณหภูมิห้องนาน 6-8 ชั่วโมง

2.2 เนื้อปลา จากตลาดคลองเตย จังหวัดกรุงเทพมหานคร นำมาล้างให้สะอาด โดยล้างด้วยน้ำเกลือ 2 ครั้ง ครั้งแรกใช้น้ำเกลือที่มีความเข้มข้น 20% ครั้งที่สองล้างด้วยน้ำเกลือที่มีความเข้มข้น 0.3% โดยใช้อัตราส่วนของเนื้อปลาต่อน้ำเกลือ 1 : 4 การล้างน้ำต้องควบคุมอุณหภูมิของน้ำประมาณ 5-10°C (สุพรรณพันธุ์, 2539)

2.3 สาหร่ายทะเล นำสาหร่ายทะเล Porphyra จากตลาดเขาวราช จังหวัดกรุงเทพมหานคร มาทำการแช่น้ำให้นุ่ม และล้างให้สะอาด

3. ศึกษาดำรับมาตรฐานในการผลิตเต้าหู้ปลาสาหร่าย

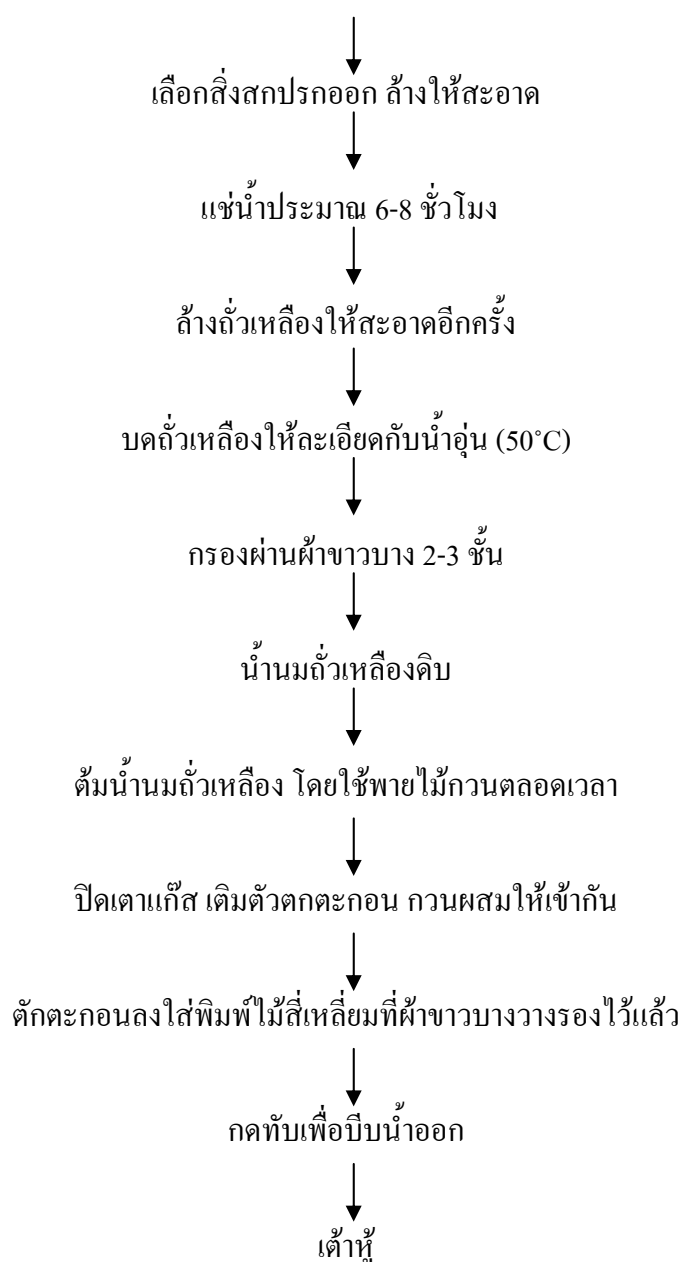
3.1 เลือกดำรับมาตรฐานและกรรมวิธีการผลิต

เลือกดำรับมาตรฐานและกรรมวิธีการผลิตเต้าหู้จำนวน 3 ดำรับ ดังแสดงในภาคผนวก ก มาทำการผลิตเป็นเต้าหู้ 3 ดำรับ จากนั้นทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Hedonic Scaling 9 ระดับ (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) ใช้แบบทดสอบดังแสดงในภาคผนวก ง 1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทดลอง 2 ซ้ำ ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน เพื่อหาความชอบของคุณลักษณะ ได้แก่

ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's Multiple Rang Test เพื่อเลือกตำรับมาตรฐานในการผลิตเต้าหู้ที่เหมาะสม

3.2 กรรมวิธีการผลิตเต้าหู้

ถั่วเหลือง



ภาพที่ 6 การทำเต้าหู้

ที่มา : ดัดแปลงจากวันชัย (2525)

4. ศึกษาชนิดและปริมาณเนื้อปลา, สาหร่าย และเครื่องปรุงรสที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา สาหร่าย

4.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณเนื้อปลาคือสาหร่ายที่เหมาะสม โดยใช้ปลา 3 ชนิด คือ ปลาทรายแดง, ปลาดาทู และ ปลาอินทรี แปรปริมาณของเนื้อปลาแต่ละชนิดเป็น 5, 15, 25 และ 35% ของน้ำหนักถ้วยเหลืองแห้ง และใช้ปริมาณสาหร่ายเป็น 5, 10 และ 15% ของน้ำหนักถ้วยเหลืองแห้ง ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย 12 คำรับ ดังนี้ 5:5, 5:10, 5:15, 15:5, 15:10, 15:15, 25:5, 25:10, 25:15, 35:5, 35:10 และ 35:15 โดยจะใช้ส่วนผสมและกรรมวิธีตามข้อ 2 และ 3 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การแสดงชนิดและอัตราส่วนของเนื้อปลา 3 ชนิด คือ ปลาทรายแดง, ปลาดาทู และปลาอินทรีต่อปริมาณสาหร่ายที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย

คำรับที่	ปลา		สาหร่าย (%)
	ชนิด	ปริมาณ (%)	
1	ปลาทรายแดง	5	5
2		5	10
3		5	15
4		15	5
5		15	10
6		15	15
7		25	5
8		25	10
9		25	15
10		35	5
11		35	10
12		35	15
13	ปลาอินทรี	5	5
14		5	10
15		5	15

ตารางที่ 8 (ต่อ) การแสดงชนิดและอัตราส่วนของเนื้อปลา 3 ชนิด คือ ปลาทูแดง, ปลาทูโต และ ปลาทูอินทรีย์ต่อปริมาณสาหร่ายที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ

ลำดับที่	ปลา		สาหร่าย (%)
	ชนิด	ปริมาณ (%)	
16	ปลาทูโต	15	5
17		15	10
18		15	15
19		25	5
20		25	10
21		25	15
22		35	5
23		35	10
24		35	15
25	ปลาทูอินทรีย์	5	5
26		5	10
27		5	15
28		15	5
29		15	10
30		15	15
31		25	5
32		25	10
33		25	15
34		35	5
35		35	10
36		35	15

จากนั้นทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Hedonic Scaling 9 ระดับ (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) ใช้แบบทดสอบดังกล่าวจนวก ง 2 วางแผนการทดลองแบบ Symmetric Factorial Experiment ขนาด 4x3 สุ่มแบบในบล็อกไม่สมบูรณ์ (Balanced Incomplete

Block Design, BIB) ทดลอง 2 ซ้ำ ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน เพื่อหาความชอบของคุณลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test เพื่อเลือกปริมาณเนื้อปลาและสาหร่ายที่เหมาะสม

4.2 ศึกษาเวลาในการทอดที่เหมาะสม โดยใช้อุณหภูมิในการทอดเป็นอุณหภูมิต่ำที่สุดของหม้อทอดไฟฟ้า คือ 150°C แปรเวลาในการทอดเป็น 1, 1.30 และ 2 นาที จากนั้นทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Hedonic Scaling 9 ระดับ (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) ใช้แบบทดสอบดังกล่าวจนกว่าจะ 1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทดลอง 2 ซ้ำ ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน เพื่อหาความชอบของคุณลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test เพื่อเลือกเวลาในการทอดที่เหมาะสม

4.2.1 ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ

4.2.1.1 วัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab รุ่น Color Flex ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) ค่า a^* ค่า b^*

4.2.1.2 วัดเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture Analyser รุ่น TA.XT. Plus ได้แก่ การเกาะตัวของเจล (Gel strength)

4.2.1.3 วัดค่า a_w หลังทอด

4.3 ศึกษาปริมาณเครื่องปรุงรสที่เหมาะสม

4.3.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณแป้งมันฝรั่งและเกลือที่เหมาะสม โดยใช้ปริมาณของแป้งมันฝรั่งเป็น 1, 3 และ 5% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง และใช้ปริมาณเกลือเป็น 1, 1.5 และ 2% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย 9 คำรับ ดังนี้ 1:1, 1:1.5, 1:2, 3:1, 3:1.5, 3:2, 5:1, 5:1.5 และ 5:2 ตามลำดับ จากนั้นทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Hedonic Scaling 9 ระดับ (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) ใช้แบบ

ทดสอบดังภาคผนวก ง 3 วางแผนการทดลองแบบ Symmetric Factorial Experiment ขนาด 3x3 สุ่มแบบในบล็อกไม่สมบูรณ์ (Balanced Incomplete Block Design, BIB) ทดลอง 2 ซ้ำ ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน เพื่อหาความชอบของคุณลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test เพื่อเลือกปริมาณแป้งมันฝรั่งและเกลือที่เหมาะสม

4.3.2 ศึกษาปริมาณพริกไทยที่เหมาะสม โดยใช้ปริมาณของพริกไทยเป็น 0.5, 1 และ 1.5% ของน้ำหนักหัวเหลืองแห้ง ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ 3 คำรับ จากนั้นทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Hedonic Scaling 9 ระดับ (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) ใช้แบบทดสอบดังภาคผนวก ง 4 วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทดลอง 2 ซ้ำ ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน เพื่อหาความชอบของคุณลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ด้านความเค็มและความขม เนื้อสัมผัส เมื่อเคี้ยวและเมื่อกลิ้ง (ความระคายคอ) และความชอบรวม วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test เพื่อเลือกปริมาณพริกไทยที่เหมาะสม

4.3.3 ศึกษาปริมาณน้ำตาลทรายที่เหมาะสม โดยใช้ปริมาณของน้ำตาลทรายเป็น 1, 5 และ 10% ของน้ำหนักหัวเหลืองแห้ง ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ 3 คำรับ จากนั้นทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Hedonic Scaling 9 ระดับ (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) ใช้แบบทดสอบดังภาคผนวก ง 5 วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทดลอง 2 ซ้ำ ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน เพื่อหาความชอบของคุณลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ด้านความหวาน เนื้อสัมผัส เมื่อเคี้ยว และความชอบรวม วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test เพื่อเลือกปริมาณน้ำตาลที่เหมาะสม

4.3.4 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณไข่ขาวผงต่อแมกนีเซียมซัลเฟตที่เหมาะสม โดยใช้ปริมาณของไข่ขาวผงเป็น 0.5, 1 และ 1.5% ของน้ำหนักหัวเหลืองแห้ง และใช้ปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตเป็น 0, 0.5 และ 1% ของน้ำหนักหัวเหลืองแห้ง ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เต้าหู้

ปลาสาหร่าย 9 ตำรับ ดังนี้ 0.5:0, 0.5:0.5, 0.5:1, 1:0, 1:0.5, 1:1, 1.5:0, 1.5:0.5 และ 1.5:1 ตามลำดับ
 ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การแสดงอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณไข่ขาวผงต่อแมกนีเซียมซัลเฟตที่ใช้ในการ
 ผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย

ตำรับที่	ปริมาณไข่ขาวผงต่อแมกนีเซียมซัลเฟต	
	ไข่ขาวผง	แมกนีเซียมซัลเฟต
1	0.5	0
2	0.5	0.5
3	0.5	1
4	1	0
5	1	0.5
6	1	1
7	1.5	0
8	1.5	0.5
9	1.5	1

จากนั้นทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Hedonic Scaling 9 ระดับ (1 = ไม่ชอบ
 มากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) ใช้แบบทดสอบดังกล่าวจนวก 6 วางแผนการทดลองแบบ
 Symmetric Factorial Experiment ขนาด 3x3 กลุ่มแบบในบล็อกไม่สมบูรณ์ (Balanced Incomplete
 Block Design, BIB) ทดลอง 2 ซ้ำ ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน เพื่อหาความชอบของคุณลักษณะ
 ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม วิเคราะห์ความแปรปรวนโดย
 ใช้ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's Multiple
 Range Test เพื่อเลือกปริมาณไข่ขาวผงและแมกนีเซียมซัลเฟตที่เหมาะสม

4.4 ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ

4.4.1 วัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab รุ่น Color Flex ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) ค่า a^*
 ค่า b^*

4.4.2 วัดเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture Analyser รุ่น TA.XT. Plus ได้แก่ การเกาะตัวของเจล (gel strength)

4.5 ตรวจสอบคุณภาพทางเคมี

4.5.1 ปริมาณคุณค่าทางโภชนาการต่าง ๆ โดยประมาณ (Proximate Analysis)

- ปริมาณโปรตีน
- ปริมาณไขมัน
- ปริมาณคาร์โบไฮเดรต
- ปริมาณเยื่อใยทั้งหมด
- ปริมาณเถ้า
- ปริมาณความชื้น

4.5.2 ปริมาณแคลเซียม

5. ศึกษาน้ำจิ้มที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับวัย

การศึกษาน้ำจิ้มที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับวัย โดยเลือกตำรับมาตรฐานและกรรมวิธีการผลิตน้ำจิ้มจำนวน 3 ตำรับ ดังแสดงในภาคผนวก ก มาทำการผลิตเป็นน้ำจิ้ม 3 ตำรับ จากนั้นทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Hedonic Scaling 9 ระดับ (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) ใช้แบบทดสอบดังแสดงในภาคผนวก ง 7 วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทดลอง 2 ซ้ำ ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน เพื่อหาความชอบของคุณลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's Multiple Rang Test เพื่อเลือกตำรับมาตรฐานในการผลิตน้ำจิ้มที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับวัย

6. ศึกษาการยอมรับของกลุ่มผู้บริโภค

การศึกษการยอมรับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับวัย ทำการทดสอบกับผู้บริโภค คือกลุ่มวัยรุ่นและผู้ใหญ่ที่มีอายุระหว่าง 15-26 ปีจำนวน 100 คน ที่เคยรับประทานเต้าหู้ปลามาก่อน ใช้วิธีการสุ่ม

แบบบังเอิญ (Accidental Sampling) โดยทดสอบชิมผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับน้ำจิ้มที่เสนอให้และตอบแบบสอบถามเพื่อประเมินความชอบของผลิตภัณฑ์ ใช้แบบทดสอบดังแสดงในภาคผนวก ง รวบรวมแบบสอบถามทั้งหมด ตรวจสอบความถูกต้อง ทำการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล SPSS

7. ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับน้ำจิ้มทั้งชนิดไม่ทอดและทอด บรรจุในถุงสุญญากาศ โดยเก็บในสภาวะการเก็บที่แตกต่างกัน 2 สภาวะ คือ เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น (4°C) และอุณหภูมิแช่แข็ง (-5°C) นำผลิตภัณฑ์ที่เก็บมาตรวจคุณภาพ โดยในช่วง 9 วันแรกนั้นตรวจทุกวัน จากนั้นตรวจทุก ๆ 3 วัน เป็นระยะเวลา 30 วัน เปรียบเทียบการใช้อุณหภูมิในการเก็บรักษา โดยทดสอบคุณภาพทางเคมี จุลินทรีย์และทางประสาทสัมผัส ใช้แบบทดสอบดังภาคผนวก ง (อายุการเก็บ QDA และแบบทดสอบการยอมรับโดยวิธี Hedonic Scaling 9 ระดับ (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด)) เพื่อหาการยอมรับของทางด้านคุณลักษณะ ได้แก่ สี กลิ่น หิน รสชาติ และเนื้อสัมผัส

7.1 คุณภาพทางเคมี

7.1.1 ค่าความชื้นเหิน (ค่าเปอร์ออกไซด์)

7.2 คุณภาพทางจุลินทรีย์

7.2.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

7.2.2 จำนวนยีสต์ และรา

7.3 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี กลิ่น หิน รสชาติ และเนื้อสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 12 คน ใช้สเกลยาว 10 เซนติเมตร โดยเลือกคุณภาพที่เป็นจุดวิกฤต คือ ผู้บริโภคไม่ยอมรับ และจำนวนจุลินทรีย์เกินกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์

อุตสาหกรรมเต้าหู้หลอด และเต้าเจี้ยวเป็นเกณฑ์ในการทำอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเต้าหู้ปลา

8. การคำนวณต้นทุนของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ

การคำนวณต้นทุนของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ โดยใช้ข้อมูลของกระทรวงอุตสาหกรรม รวบรวมโดยศูนย์วิจัยกสิกรไทย (สัมพันธ, 2547) ซึ่งแบ่งสัดส่วนต้นทุน ดังนี้ คือ จากต้นทุนทั้งหมด 100 ส่วน คิดเป็นค่าวัตถุดิบ 68.6% ค่าแรงงาน 5.6% ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 12.1% ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร 4.5% และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ 9.2% ในการคำนวณต้นทุนทั้งหมดของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ

9. สถานที่ทำการวิจัย

1. ห้องปฏิบัติการของภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. ห้องปฏิบัติการของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. บริษัท ฟอเรสต์ ฟาร์ม จำกัด เขตสะพานใหม่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร

10. ระยะเวลาทำการวิจัย

เริ่มตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน 2547 สิ้นสุดเดือน ตุลาคม 2548

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ศึกษาตำรับมาตรฐานในการผลิตเต้าหู้ปลาสำหรับ

จากการคัดเลือกตำรับมาตรฐานในการผลิตเต้าหู้ เพื่อศึกษาส่วนผสมและกรรมวิธีการผลิตเต้าหู้ โดยนำเต้าหู้ 3 ตำรับที่ได้จากการคัดเลือกดังแสดงในภาคผนวก ก แล้วนำตัวอย่างมาทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนเฉลี่ยของเต้าหู้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ตำรับมาตรฐานทั้ง 3 ตำรับ

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ตำรับที่		
	1	2	3
ลักษณะปรากฏ	6.57±1.50 ^a	5.97±1.73 ^b	7.07±1.23 ^a
สี	6.93±1.41 ^a	6.03±1.74 ^b	6.93±0.98 ^a
กลิ่น	6.60±1.35 ^a	6.03±1.80 ^b	6.65±1.33 ^a
รสชาติ	5.30±2.02 ^b	6.55±1.72 ^a	6.08±1.74 ^a
เนื้อสัมผัส ^{ns}	6.25±1.89	5.75±1.95	6.27±1.68
ความชอบรวม	6.37±1.82 ^b	6.47±1.68 ^{ab}	6.95±1.12 ^a

หมายเหตุ 1. ns หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในตารางที่ 10 พบว่าการคัดเลือกตำรับมาตรฐานทุกตำรับ ทำให้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมที่ได้แตกต่างกันอย่างมีความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่น พบว่าตำรับที่ 2 ผู้ทดสอบให้คะแนนอยู่ในช่วงเฉย ๆ ถึงชอบเล็กน้อย ส่วนตำรับที่ 1 และตำรับที่ 3 ผู้ทดสอบให้คะแนนไม่แตกต่างกัน โดยระดับคะแนนอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบ

ปานกลาง ส่วนความชอบด้านรสชาติ ผู้ทดสอบให้คะแนนครั้งที่ 1 อยู่ในช่วงเฉย ๆ ส่วนครั้งที่ 2 และ 3 ผู้ทดสอบให้คะแนนอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ในด้านเนื้อสัมผัสผู้ทดสอบให้คะแนนไม่แตกต่างกัน คืออยู่ในช่วงเฉย ๆ ด้านความชอบร่วนนั้น ผู้ทดสอบให้คะแนนครั้งที่ 2 ไม่แตกต่างจากครั้งที่ 1 และ 3 ส่วนครั้งที่ 1 ผู้ทดสอบให้คะแนนชอบมากที่สุด และครั้งที่ 3 ผู้ทดสอบให้คะแนนรองลงมาโดยระดับคะแนนทั้งหมดอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบร่วนนั้น จะเห็นได้ว่าได้รับมาตรฐานครั้งที่ 3 เป็นครั้งที่เหมาะสมในการทำเต้าหู้ เพราะเต้าหู้ที่ได้จะมีลักษณะปรากฏที่ดี สีสวย กลิ่นหอม รสชาติดี และมีเนื้อสัมผัสที่ผู้ทดสอบยอมรับ

2. ศึกษาชนิดและปริมาณเนื้อมีปลา และสาหร่ายที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย

2.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณเนื้อมีปลาทรายแดงต่อสาหร่ายที่เหมาะสม

จากการทดลองในการทำเต้าหู้ในข้อ 1 เลือกการใช้มาตรฐานครั้งที่ 3 ปริมาณเนื้อมีปลาทรายแดงเป็น 5, 15, 25 และ 35% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง และใช้ปริมาณสาหร่ายเป็น 5, 10 และ 15% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย 12 ครั้ง ดังอัตราส่วนในข้อ 4.1 และแสดงในตารางที่ 8 แล้วนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาทดสอบทางประสาทสัมผัสได้ผลดังตารางที่ 11

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า อัตราส่วนของปริมาณเนื้อมีปลาทรายแดงต่อสาหร่ายทุกปริมาณทำให้คะแนนของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสทั้งหมดมีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายครั้งที่ 8 มีคะแนนเฉลี่ยทางด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบร่วนมากที่สุด อยู่ในช่วงเฉย ๆ ถึงชอบปานกลาง ส่วนทางด้านกลิ่นและรสชาติ มีระดับคะแนนเฉลี่ยรองลงมา และอยู่ในช่วงเฉย ๆ จากการทดลองถ้าใช้ปริมาณเนื้อมีปลาทรายแดงและสาหร่ายที่มากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายที่ได้มีลักษณะและ ไม่ค่อยจับตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีความยืดหยุ่น และหากใช้ปริมาณเนื้อมีปลาทรายแดงและสาหร่ายน้อยเกินไปจะทำให้สีไม่สวย มีกลิ่นหอมของสาหร่ายน้อยเกินไป ส่งผลให้ผู้ทดสอบให้การยอมรับน้อย ดังแสดงในตารางที่ 11

จากการทดสอบด้านประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้อัตราส่วนของปริมาณเนื้อปลาทรายแดงต่อสาหร่าย คือ 25 : 10 มากที่สุดอยู่ในระดับเฉยๆ ถึงชอบปานกลาง ดังนั้นจึงเลือกตำรับที่ 8 ในการคัดเลือกชนิดและปริมาณเนื้อปลาต่อสาหร่ายต่อไป

ตารางที่ 11 การวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเมื่อใช้อัตราส่วนของปริมาณเนื้อปลาทรายแดงต่อสาหร่ายในแต่ละตำรับ

ตำรับ ที่	ลักษณะทางประสาทสัมผัส					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
1	5.19±1.70 ^c	5.41±1.58 ^{abcd}	4.67±1.72 ^{bc}	4.33±1.71 ^{cd}	4.74±1.94 ^{bcd}	4.66±1.79 ^{cd}
2	5.14±1.67 ^c	5.12±1.52 ^{cd}	4.48±1.45 ^{bc}	4.07±1.68 ^d	4.40±1.91 ^{cd}	4.91±1.73 ^{bcd}
3	4.24±1.90 ^d	4.31±1.65 ^c	4.79±1.73 ^{abc}	4.24±1.82 ^{cd}	4.07±1.99 ^d	4.60±1.83 ^d
4	5.43±1.90 ^{bc}	5.69±1.59 ^{cd}	5.00±1.64 ^{abc}	4.76±1.65 ^{bcd}	5.16±1.48 ^{ab}	5.38±1.45 ^{ab}
5	5.48±1.71 ^d	5.09±1.70 ^{cd}	4.88±1.84 ^{abc}	4.66±1.62 ^{bcd}	5.02±1.56 ^{abc}	5.26±1.49 ^{abc}
6	4.43±1.70 ^d	4.38±1.66 ^c	4.33±1.66 ^c	4.48±1.90 ^{bcd}	4.19±1.77 ^d	4.57±1.83 ^d
7	5.75±1.64 ^{abc}	5.78±1.74 ^{ab}	5.47±1.69 ^a	4.65±1.87 ^{bcd}	5.18±1.89 ^{ab}	5.65±1.77 ^a
8	6.30±1.76 ^a	6.03±1.51 ^a	5.10±1.56 ^{ab}	5.10±1.86 ^{ab}	5.55±1.54 ^a	5.67±1.29 ^a
9	5.30±1.90 ^c	4.90±1.64 ^{dc}	4.87±1.84 ^{abc}	4.90±1.73 ^{abc}	4.68±1.69 ^{bcd}	5.30±1.59 ^{ab}
10	6.28±1.54 ^a	5.92±1.65 ^a	4.95±1.48 ^{abc}	5.48±1.91 ^a	5.37±1.86 ^{ab}	5.58±1.92 ^{ab}
11	6.05±1.69 ^{ab}	5.85±1.57 ^{ab}	5.00±1.65 ^{abc}	5.15±1.92 ^{ab}	5.27±2.08 ^{ab}	5.77±1.67 ^a
12	5.18±1.44 ^c	5.25±1.42 ^{bcd}	4.77±1.46 ^{bc}	4.93±1.70 ^{abc}	5.07±1.62 ^{abc}	5.37±1.40 ^{ab}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณเนื้อปลาตาโตต่อสาหร่ายที่เหมาะสม

จากการทดลองในการทำเต้าหู้ในข้อ 1 เลือกใช้ตำรับมาตรฐานตำรับที่ 3 แปรปริมาณเนื้อปลาตาโตเป็น 5, 15, 25 และ 35% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง และใช้ปริมาณสาหร่ายเป็น 5, 10 และ 15% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย 12 ตำรับ ดังอัตราส่วน

ในข้อ 4.1 และแสดงในตารางที่ 8 แล้วนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาทดสอบทางประสาทสัมผัสได้ผลดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 การวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเมื่อใช้อัตราส่วนของปริมาณเนื้อปลาตาโตต่อสำหรับในแต่ละคำรับ

คำรับ	ลักษณะทางประสาทสัมผัส					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส ^{ns}	ความชอบรวม
13	6.15±1.42 ^a	5.97±1.50 ^a	5.70±1.34 ^a	5.05±1.37 ^{ab}	5.35±1.69	5.77±1.19 ^a
14	5.87±1.34 ^{ab}	5.62±1.40 ^{abc}	5.05±1.77 ^{abc}	4.92±1.73 ^{ab}	5.57±1.77	5.52±1.71 ^{abc}
15	5.67±1.29 ^{abc}	5.75±1.48 ^{abc}	5.45±1.57 ^{ab}	5.10±1.54 ^{ab}	5.23±1.43	5.57±1.15 ^{abc}
16	5.97±1.51 ^{ab}	5.95±1.34 ^a	5.40±1.33 ^{ab}	5.23±1.46 ^a	5.55±1.72	5.70±1.36 ^{ab}
17	5.98±1.66 ^{ab}	6.00±1.37 ^a	5.38±1.93 ^{ab}	4.85±1.91 ^{ab}	5.37±1.75	5.50±1.71 ^{abc}
18	5.40±1.61 ^{bcd}	5.33±1.39 ^{bcd}	4.68±1.75 ^c	4.82±1.44 ^{ab}	5.18±1.43	5.12±1.39 ^{bc}
19	5.38±1.57 ^{bcd}	5.77±1.39 ^{abc}	5.20±1.83 ^{abc}	4.52±1.95 ^d	5.15±1.81	5.03±1.84 ^c
20	5.37±1.57 ^{bcd}	5.32±1.43 ^{bcd}	5.35±1.64 ^{ab}	5.02±1.69 ^{ab}	5.17±1.50	5.28±1.50 ^{abc}
21	5.75±1.29 ^{abc}	5.88±1.16 ^{ab}	5.50±1.62 ^{ab}	5.18±1.76 ^{ab}	5.10±1.44	5.48±1.33 ^{abc}
22	5.17±1.77 ^{cd}	5.28±1.58 ^{cd}	4.82±1.92 ^{bc}	4.82±1.70 ^{ab}	5.22±1.58	5.20±1.50 ^{abc}
23	5.85±1.27 ^{ab}	5.77±1.36 ^{abc}	5.70±1.55 ^a	5.35±1.63 ^a	5.10±1.55	5.47±1.46 ^{abc}
24	5.05±1.62 ^d	5.02±1.54 ^d	5.40±1.61 ^{ab}	5.37±1.75 ^a	5.20±1.41	5.48±1.54 ^{abc}

หมายเหตุ 1. ns หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า อัตราส่วนของปริมาณเนื้อปลาตาโตต่อสำหรับที่แตกต่างกันในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับนั้น ไม่ทำให้คะแนนเฉลี่ยทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับคำรับที่ 1 มีคะแนนเฉลี่ยทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และความชอบรวมมากที่สุดคืออยู่ในช่วงเลขฯ ถึงชอบเล็กน้อย ส่วนคะแนนเฉลี่ยทางด้านรสชาติมีคะแนนรองลงมา และอยู่ในช่วงเลขฯ ดังแสดงในตารางที่ 12 จากการทดลองถ้าใช้ปริมาณเนื้อปลาตาโตมากเกินไป จะทำให้

ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับที่ได้มีสีคล้ำลง เพราะเนื้อปลาตาโตมีคุณลักษณะออกสีน้ำตาลเล็กน้อย คล้ายเนื้อปลาทู และมิกลินแรง

จากการทดสอบด้านประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้อัตราส่วนของ ปริมาณเนื้อปลาตาโตต่อสาหร่ายคือ 5:5 มากที่สุด อยู่ในระดับเฉยๆ ถึงชอบปานกลาง ดังนั้นจึง เลือกตำรับที่ 1 ในการคัดเลือกชนิดและปริมาณเนื้อปลาต่อสาหร่ายต่อไป

2.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณเนื้อปลาอินทรีต่อสาหร่ายที่เหมาะสม

จากการทดลองในการทำเต้าหู้ในข้อ 1 เลือกใช้ตำรับมาตรฐานตำรับที่ 3 แปรปริมาณ เนื้อปลาอินทรีเป็น 5, 15, 25 และ 35% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง และใช้ปริมาณสาหร่ายเป็น 5, 10 และ 15% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ 12 ตำรับ ดัง อัตราส่วนในข้อ 4.1 และแสดงในตารางที่ 8 แล้วนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาทดสอบทางประสาท สัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 13

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า อัตราส่วนของปริมาณเนื้อปลาอินทรีต่อ สาหร่ายทุกตำรับ ทำให้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และ ความชอบรวม ที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยผลิตภัณฑ์ เต้าหู้ปลาตำรับที่ 4 มีคะแนนเฉลี่ยทางด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบ รวมมากที่สุด อยู่ในช่วงเฉยๆ ถึงชอบปานกลาง ส่วนทางด้านสี ได้ระดับคะแนนเฉลี่ยรองลงมา และอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 13 โดยจากการทดลองหากใช้ปริมาณเนื้อปลา อินทรีและสาหร่ายที่มากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับที่ได้มีสีคล้ำลง เพราะลักษณะ เนื้อของปลาอินทรีจะคล้ายกับเนื้อปลาตาโต คือ เมื่อสุกจะมีสีเข้มลงออกมีสีน้ำตาลเล็กน้อย แต่ เนื้อปลาอินทรีจะมีกลิ่นน้อยกว่า

จากการทดสอบด้านประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้อัตราส่วนของ ปริมาณเนื้อปลาอินทรีต่อสาหร่าย คือ 15:5 มากที่สุดอยู่ในระดับเฉยๆ ถึงชอบปานกลาง ดังนั้นจึง เลือกตำรับที่ 4 ในการคัดเลือกชนิดและปริมาณเนื้อปลาต่อสาหร่ายต่อไป

ตารางที่ 13 การวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเมื่อใช้อัตราส่วนของปริมาณเนื้อปลาอินทรีต่อ สาหร่ายในแต่ละคำรับ

คำรับ	ลักษณะทางประสาทสัมผัส					
ที่	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
25	6.47±1.40 ^a	6.38±1.50 ^a	6.02±1.46 ^a	5.75±1.59 ^a	5.53±1.57 ^{ab}	6.15±1.27 ^{ab}
26	6.15±1.41 ^{abc}	5.68±1.64 ^{bcd}	5.81±1.54 ^{abcd}	5.68±1.88 ^a	5.41±1.58 ^{abc}	5.98±1.62 ^{abc}
27	5.35±1.91 ^{cd}	5.37±1.99 ^{cd}	5.62±1.53 ^{abcd}	5.40±1.57 ^a	5.07±1.57 ^{bc}	5.38±1.53 ^{def}
28	6.17±1.56 ^{abc}	6.02±1.32 ^{ab}	5.65±1.41 ^{abcd}	5.73±1.49 ^a	5.80±1.41 ^a	6.32±1.21 ^a
29	5.85±1.51 ^{abcd}	5.52±1.38 ^{bcd}	5.37±1.58 ^{bcd}	5.33±1.69 ^{ab}	5.58±1.68 ^{ab}	5.80±1.53 ^{abcde}
30	5.82±1.79 ^{bcd}	5.27±1.82 ^d	5.35±1.65 ^{bcd}	5.20±1.87 ^{ab}	5.25±1.71 ^{abc}	5.63±1.58 ^{bcddef}
31	6.28±1.34 ^{ab}	6.08±1.18 ^{ab}	5.88±1.20 ^{abc}	5.38±2.09 ^a	5.38±1.53 ^{abc}	5.95±1.51 ^{abcd}
32	6.07±1.63 ^{abc}	5.88±1.88 ^{abc}	5.95±1.67 ^{ab}	5.57±1.94 ^a	5.57±1.74 ^{ab}	5.92±1.73 ^{abcde}
33	6.18±1.45 ^{ab}	6.03±1.44 ^{ab}	5.60±1.40 ^{abcd}	5.28±1.50 ^{ab}	5.58±1.39 ^{ab}	5.95±1.43 ^{abcd}
34	5.75±1.53 ^{bcd}	5.57±1.55 ^{bcd}	5.20±1.85 ^d	5.22±1.53 ^{ab}	5.20±1.72 ^{abc}	5.47±1.69 ^{cdef}
35	5.55±1.79 ^{cde}	5.82±1.33 ^{abcd}	5.30±1.70 ^{cd}	4.68±2.03 ^b	5.05±2.28 ^{bc}	5.15±2.13 ^f
36	5.18±1.86 ^c	5.22±1.82 ^d	5.50±2.02 ^{abcd}	5.08±1.98 ^{ab}	4.88±1.81 ^c	5.35±1.94 ^{ef}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.4 คัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมของชนิดและปริมาณเนื้อปลาต่อสาหร่ายที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ

จากการคัดเลือกรับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับจากการใช้ปลา 3 ชนิด คือ ปลาทรายแดง ปลาตาโต และปลาอินทรี โดยอัตราส่วนของปริมาณเนื้อปลาทรายแดงต่อสาหร่าย คือ 25:10 ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง ส่วนอัตราส่วนของปริมาณเนื้อปลาตาโตต่อสาหร่าย คือ 5:5 ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง และอัตราส่วนของปริมาณเนื้อปลาอินทรีต่อสาหร่าย คือ 15:5 ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ 3 คำรับ แล้วนำตัวอย่างมาทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 การวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส เมื่อใช้อัตราส่วนของชนิดและปริมาณเนื้อปลาต่อสาหร่ายในแต่ละคำรับ

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	อัตราส่วนของชนิดและปริมาณเนื้อปลาต่อสาหร่าย		
	ปลาทรายแดง (25:10)	ปลาตาโต (5:5)	ปลาอินทรี (15:5)
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	5.33±1.21	5.68±0.98	5.42±1.26
สี ^{ns}	5.30±1.18	5.47±1.22	5.62±1.29
กลิ่น	5.22±1.58 ^{ab}	4.80±1.42 ^b	5.62±1.50 ^a
รสชาติ ^{ns}	5.37±1.88	5.22±1.24	5.68±1.48
เนื้อสัมผัส	5.10±1.77 ^b	5.08±1.64 ^c	6.03±1.17 ^a
ความชอบรวม	5.05±2.36 ^b	4.60±2.16 ^c	5.80±1.35 ^a

หมายเหตุ 1. ns หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
2. ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสในตารางที่ 12 พบว่าอัตราส่วนของชนิดและปริมาณเนื้อปลาต่อสาหร่ายที่แตกต่างกันในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับนั้น ไม่นำให้คะแนนเฉลี่ยทางด้านลักษณะปรากฏ สี และรสชาติ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ความชอบทางด้านกลิ่น พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนเฉลี่ยของการใช้เนื้อปลาอินทรีมากที่สุด อยู่ในช่วงเฉย ๆ ส่วนการใช้ปลาทรายแดงนั้น ผู้ทดสอบให้คะแนนรองลงมา อยู่ในช่วงเฉย ๆ เช่นกัน ส่วนการใช้ปลาตาโต ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบน้อยที่สุด อยู่ในช่วงไม่ชอบเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากในจำนวนปลาทั้ง 3 ชนิดนี้ ปลาตาโตมีกลิ่นแรงที่สุด ด้านเนื้อสัมผัสและความชอบรวมนั้น ผู้ทดสอบให้คะแนนแบบเดียวกัน คือ ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับที่ใช้ปลาอินทรีได้รับคะแนนเฉลี่ยมากที่สุด โดยระดับคะแนนอยู่ในช่วงเฉย ๆ ถึงชอบเล็กน้อย เนื่องจากเนื้อปลาอินทรีให้ลักษณะเนื้อที่ละเอียด เนียนมากกว่าเนื้อปลาทรายแดง ส่วนผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับที่ใช้ปลาทรายแดงจะได้คะแนนรองลงมา โดยระดับคะแนนอยู่ในช่วงเฉย ๆ และผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับที่ใช้ปลาตาโตจะได้คะแนนไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉย ๆ จากการทดลองใช้ชนิดและปริมาณเนื้อปลาต่อ

สาหร่ายที่แตกต่างกัน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายที่เหมาะสมตรงต่อความต้องการและทำให้ผู้ทดสอบพึงพอใจได้ดังนี้

จากผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม จะเห็นว่าผู้ทดสอบยอมรับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายที่ผลิตจากปลาอินทรีมากที่สุด การใช้อัตราส่วนเนื้อปลาอินทรีต่อสาหร่าย คือ 15:5 จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายต่อไป ทั้งนี้เต้าหู้ปลาสาหร่ายที่ได้มีลักษณะปรากฏที่ดี สีสวย กลิ่นหอม รสชาติ และเนื้อสัมผัสดี อีกทั้งยังเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

3. ศึกษาระยะเวลาในการทอดที่เหมาะสม

จากการทดลองในการทำผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายในข้อ 2 เลือกใช้ตำรับที่ผลิตด้วยปลาอินทรีต่อสาหร่ายในอัตราส่วน 15:5 ของน้ำมันก๊วยเหลียงแห้งใช้อุณหภูมิในการทอดเป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดของหม้อทอดไฟฟ้า คือ 150°C และแปรระยะเวลาในการทอดเป็น 1, 1.30 และ 2 นาที แล้วนำตัวอย่างมาทดสอบทางด้านกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 15 และทางด้านประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 16

3.1 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย

ตารางที่ 15 การวิเคราะห์ทางคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย โดยใช้อุณหภูมิในการทอดที่อุณหภูมิต่ำที่สุดของหม้อทอดไฟฟ้า คือ 150°C แปรระยะเวลาในการทอดเป็น 1, 1.30 และ 2 นาที

ปัจจัยทางกายภาพ	ระยะเวลาในการทอด		
	1 นาที	1.30 นาที	2 นาที
ค่าสี			
ค่าความสว่าง (L^*)	54.21	48.80	43.64
ค่า a^*	4.03	5.90	6.44
ค่า b^*	17.30	18.29	17.13
ค่าเนื้อสัมผัส Gel strength(N)	1.799	1.882	3.726

จากการศึกษาระยะเวลาในการทอดดังแสดงในตารางที่ 15 แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายที่ทอดด้วยระยะเวลา 1 นาที ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายจะมีสีเหลืองค่อนข้างขาว และลักษณะที่ได้จะอ่อนนุ่ม ส่วนผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายที่ทอดด้วยระยะเวลา 1.30 นาที จะมีสีเหลือง ลักษณะที่ได้บริเวณขอบของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายจะเริ่มแข็ง และผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายที่ทอดด้วยระยะเวลา 2 นาที จะมีสีเหลืองเข้มออกน้ำตาลเล็กน้อย ลักษณะของและบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายที่ได้จะแข็ง และมีการพองตัวเล็กน้อย การใช้อุณหภูมิสูงทอดอาหารจะทำให้สารในส่วนผสมแข็งตัวหรือผิวนอกของอาหารแข็ง (วิไล, 2545)

3.2 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ระยะเวลาในการทอดที่แตกต่างกันนั้น ไม่ทำให้คะแนนเฉลี่ยทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยผู้วิจัยเลือกระยะเวลาในการทอดที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย คือ 1 นาที และอยู่ในช่วงเฉยๆ ถึงขอบเล็กน้อย เป็นระยะเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากช่วยลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตได้มากขึ้น อีกทั้งผลิตภัณฑ์ยังมีลักษณะปรากฏที่ดี สีสวยงามสม่ำเสมอทั้งหมด ทั้งนี้เพราะการทอดแบบ Deep-fat frying จะสามารถถ่ายเทความร้อนได้เท่าๆ กันทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีสวย และลักษณะปรากฏเหมือนกัน (นุช, 2545) ดังแสดงในตารางที่ 16 เพื่อลดต้นทุนทางด้านเวลาการผลิตจึงเลือกการทอดเป็นเวลา 1 นาที

ตารางที่ 16 การวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนเฉลี่ยของระยะเวลาในการทอดผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ระยะเวลาในการทอด		
	1 นาที	1.30 นาที	2 นาที
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	6.47±1.33	6.47±1.73	6.80±1.24
สี ^{ns}	6.60±1.03	6.57±1.83	6.53±1.59
กลิ่น ^{ns}	6.23±1.56	6.20±1.91	6.43±1.63
รสชาติ ^{ns}	5.87±1.43	5.87±1.71	5.90±1.53
เนื้อสัมผัส ^{ns}	6.43±1.50	6.00±1.64	6.00±1.64
ความชอบรวม ^{ns}	6.23±1.35	6.43±1.97	6.43±1.25

หมายเหตุ ns หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4. ศึกษาปริมาณเครื่องปรุงรสที่เหมาะสม

4.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณแป้งมันฝรั่งต่อเกลือที่เหมาะสม

จากการทดลองทำเต้าหู้ปลาสำหรับขาย โดยศึกษาการใช้แป้งมันฝรั่ง แปรรูปเป็น 1, 3 และ 5% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง และแปรรูปเกลือเป็น 1, 1.5 และ 2% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง ผลิตเป็นเต้าหู้ปลาสำหรับขาย 9 คำรับ ดังอัตราส่วนในข้อ 4.3.1 แล้วนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาทดสอบทางประสาทสัมผัสได้ผลดังตารางที่ 17 และ 18

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 60 คน พบว่าการใช้อัตราส่วนของปริมาณแป้งมันฝรั่งต่อเกลือทุกปริมาณทำให้คะแนนของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสทางด้านรสชาติ – เค็มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทางด้านลักษณะปรากฏและความชอบรวม ผู้ทดสอบให้คะแนนแบบเดียวกัน คือให้คะแนนความชอบคำรับที่ใช้อัตราส่วนของแป้งมันฝรั่งต่อเกลือ 3:15 มากที่สุด คือ อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ส่วนคำรับที่ใช้อัตราส่วนแป้งมันฝรั่งต่อเกลือ 3:2 ได้คะแนนรองลงมา อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยเช่นกัน ส่วนคำรับที่ใช้อัตราส่วนแป้งมันฝรั่งต่อเกลือ 3:1 ได้คะแนนอยู่ในช่วงเฉยๆ ทางด้านเนื้อสัมผัสในการเคี้ยว ผู้ทดสอบให้คะแนนคำรับที่อัตราส่วนแป้งมันฝรั่งต่อเกลือ 3:2 มากที่สุด อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย และคำรับที่อัตราส่วนแป้งมันฝรั่งต่อเกลือ 3:1 ผู้ทดสอบให้คะแนนน้อยที่สุด อยู่ในช่วงเฉยๆ ส่วนคำรับที่อัตราส่วนแป้งมันฝรั่งต่อเกลือ 3:1.5 นั้นมีคะแนนเหมือนทั้งคำรับที่อัตราส่วนแป้งมันฝรั่งต่อเกลือ 3:1 และ 3:2 อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย แป้งมันฝรั่งมักใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่ต้องการการเกิดเจลลาตินซ์ เพื่อให้มีความข้นหนืดมากขึ้น และสามารถทำให้ได้เนื้อสัมผัสที่ดีอีกด้วย (จิตรนาและคณะ, 2546) ในด้านความขม ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับขายในคำรับที่อัตราส่วนแป้งมันฝรั่งต่อเกลือ 3:1 และ 3:1.5 ผู้ทดสอบชิมส่วนใหญ่ 50 และ 70% ตามลำดับ มีความเห็นว่าไม่มีรสชาติขม ส่วนผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับขายในคำรับที่อัตราส่วนแป้งมันฝรั่งต่อเกลือ 3:2 ผู้ทดสอบส่วนใหญ่ 47% ให้คะแนนว่ามีรสชาติขมเล็กน้อย ทางด้านการระคายคอ คำรับที่อัตราส่วนแป้งมันฝรั่งต่อเกลือ 3:1, 3:1.5 และ 3:2 ผู้ทดสอบส่วนใหญ่ 49, 57 และ 47% ตามลำดับ มีความเห็นว่ายังคงมีความระคายคอในขณะกลืนเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเคี้ยวเกลือในส่วนผสมมีผลต่อรสชาติขมของแมกนีเซียมซัลเฟต และมีความระคายคอเกิดขึ้นในขณะกลืนได้ โดยถ้าใช้แมกนีเซียมซัลเฟตมาก จะทำให้เต้าหู้ที่ได้นั้นมีรสขม (ดาราวรรณ, 2547) ดังแสดงในตารางที่ 17 และ 18

ตารางที่ 17 การวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนเฉลี่ยของเด้าหู้ปลาสาหร่าย จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสเมื่อใช้อัตราส่วนของปริมาณแป้งมันฝรั่งต่อเกลือในแต่ละตำรับ

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	แป้งมันฝรั่งต่อเกลือ		
	1:1	1:1.5	1:2
ลักษณะปรากฏ	5.58±1.34 ^b	6.27±1.40 ^a	6.58±1.57 ^a
รสชาติ – เค็ม ^{ns}	5.82±1.58	6.03±1.57	5.93±1.93
เนื้อสัมผัส- เคี้ยว	5.82±1.69 ^b	6.25±1.66 ^{ab}	6.53±1.65 ^a
ความชอบรวม	5.23±1.42 ^b	6.62±1.48 ^a	6.58±1.63 ^a

หมายเหตุ 1. ns หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการทดลองการใช้อัตราส่วนของแป้งมันฝรั่งต่อเกลือในปริมาณ 3:1, 3:1.5, และ 3:2 ผลลัพธ์ที่ได้หลังทอด จะมีลักษณะฟู ไม่อยู่ตัว กระจายออกทั่วหม้อทอดไฟฟ้า กรอบเหมือนแป้งชุบทอด ส่วนการใช้อัตราส่วนของแป้งมันฝรั่งต่อเกลือในปริมาณ 5:1, 5:1.5 และ 5:2 ผลลัพธ์เด้าหู้ปลาสาหร่ายที่ได้มีลักษณะคล้ายอัตราส่วนที่แล้ว แต่จะเหลวและไม่อยู่ตัวมากกว่า จึงทำให้ไม่มีการทดลองออกมาให้ผู้ทดสอบชิม

จากการทดสอบด้านประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ – เค็ม เนื้อสัมผัสเมื่อเคี้ยว และความชอบรวม รวมถึงความขม และความระคายเคืองในขณะกลืน จะเห็นได้จากคะแนนเฉลี่ยของตำรับที่ 2 คือการใช้อัตราส่วนของปริมาณแป้งมันฝรั่งต่อเกลือเป็น 1:1.5 ของน้ำหนักหัวเหลืองแห้ง มีมากที่สุด และอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกตำรับที่ 2 ในการทำผลิตภัณฑ์เด้าหู้ปลาสาหร่ายต่อไป

ตารางที่ 18 ตารางการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความขมและความระคายเมื่อใช้อัตราส่วนของปริมาณแป้งมันฝรั่งต่อเกลือในแต่ละตำรับ

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	แป้งมันฝรั่งต่อเกลือ					
	1:1		1:1.5		1:2	
	จำนวน (คน)	%	จำนวน (คน)	%	จำนวน (คน)	%
ความขม						
- ไม่ขม	30	50	42	70	27	45
- ขมเล็กน้อย	22	37	16	27	28	47
- ขมมาก	8	13	2	3	5	8
ความระคาย						
- ไม่ระคาย	23	38	22	49	27	45
- ระคายเล็กน้อย	29	49	34	38	28	47
- ระคายมาก	8	13	4	13	5	8

4.2 ศึกษาปริมาณพริกไทยที่เหมาะสม

จากการทดลองทำผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับราย มีการเพิ่มรสชาติมากขึ้น โดยการเติมพริกไทย แปรรูปเป็น 0.5, 1 และ 1.5% ของน้ำหนักตัวเกลือแห้ง ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับราย 3 ตำรับ แล้วนำตัวอย่างมาทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 19 และ 20

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า การใช้ปริมาณพริกไทยในทุกปริมาณ ไม่ทำให้คุณลักษณะทางด้านกลิ่น รสชาติ – เผ็ด เนื้อสัมผัสในขณะเคี้ยว และความชอบรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนทางด้านลักษณะปรากฏ และด้านสี ของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับรายตำรับที่ใช้ปริมาณพริกไทย 0.5% ผู้ทดสอบให้คะแนนเฉลี่ยมากที่สุด อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ส่วนตำรับที่ใช้ปริมาณพริกไทย 1 และ 1.5% ผู้ทดสอบให้คะแนนรองลงมา อยู่ในช่วงเฉย ๆ ในด้านความขมของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับรายในตำรับที่ใช้ปริมาณพริกไทย 0.5, 1 และ 1.5% ผู้ทดสอบชิมส่วนใหญ่ 60, 73 และ 67% ตามลำดับ มีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับรายไม่มีรสขม ส่วนทางด้านการระคายคอก็เช่นกัน ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับรายในตำรับที่ใช้

ปริมาณพริกไทย 0.5, 1 และ 1.5% ผู้ทดสอบชิมส่วนใหญ่ 52, 65 และ 53% ตามลำดับ มีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับรับประทานไม่มีความระคายเคืองในขณะกลืน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากรสชาติ และกลิ่นของพริกไทยช่วยลดความขม และความระคายเคืองในขณะกลืนได้จากการทดลองการใช้ปริมาณพริกไทยในปริมาณไม่มากเกินไป จะยังคงคุณภาพของลักษณะปรากฏ และสีของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับรับประทานให้ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง แต่หากถ้าเพิ่มปริมาณมากเกินไป จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับรับประทานมีสีคล้ำลง และผู้ทดสอบไม่พึงพอใจได้ ดังแสดงในตารางที่ 19 และ 20

จากการทดสอบด้านประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ – เผ็ด เนื้อสัมผัสในขณะเคี้ยว และความชอบรวม รวมถึงความขม และความระคายเคืองในขณะกลืน จะเห็นได้จากคะแนนเฉลี่ยของค่ารับที่ 1 คือ การใช้พริกไทยในปริมาณ 0.5% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้งมีมากที่สุด และอยู่ในระดับเฉย ๆ ถึงชอบเล็กน้อย ดังนั้น ปริมาณพริกไทยในค่ารับที่ 1 จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับต่อไป

ตารางที่ 19 การวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส เมื่อใช้ปริมาณพริกไทย 0.5, 1 และ 1.5% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ใช้ปริมาณพริกไทย (%)		
	0.5	1	1.5
ลักษณะปรากฏ	6.32±1.37 ^a	5.55±1.77 ^b	5.57±1.36 ^b
สี	6.25±1.27 ^a	5.68±1.62 ^b	5.70±1.42 ^b
กลิ่น ^{ns}	5.70±1.59	5.83±1.64	5.90±1.51
รสชาติ - เผ็ด ^{ns}	5.28±1.74	5.58±1.84	5.07±1.90
เนื้อสัมผัส - เคี้ยว ^{ns}	6.07±1.70	6.02±1.72	5.63±1.89
ความชอบรวม ^{ns}	6.48±1.46	6.12±1.74	5.95±1.67

หมายเหตุ 1. ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 20 ตารางการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความขมและความระคายเมื่อใช้ปริมาณ
พริกไทยในแต่ละตำรับ

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ใช้ปริมาณพริกไทย (%)					
	0.5		1		1.5	
	จำนวน (คน)	%	จำนวน (คน)	%	จำนวน (คน)	%
ความขม						
- ไม่ขม	36	60	43	73	40	67
- ขมเล็กน้อย	21	35	14	23	16	27
- ขมมาก	3	5	3	5	4	6
ความระคาย						
- ไม่ระคาย	31	52	39	65	32	53
- ระคายเล็กน้อย	26	43	20	33	27	45
- ระคายมาก	3	5	1	2	1	2

4.3 ศึกษาปริมาณน้ำตาลทรายที่เหมาะสม

จากการทดลองในการทำเต้าหู้ปลาสำหรับ เลือกรับใช้ปริมาณพริกไทย 0.5% ของ น้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง แปรรูปปริมาณน้ำตาลทรายเป็น 1, 5 และ 10% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง ผลิต เป็นเต้าหู้ปลาสำหรับ 3 ตำรับ แล้วนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับมาทดสอบทางประสาท สัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 21

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า การใช้ปริมาณน้ำตาลทรายในทุกปริมาณ ไม่ทำให้คะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ – หวาน เนื้อสัมผัสในขณะเคี้ยว และความชอบรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยผู้วิจัยเลือกการเติม น้ำตาลทรายในตำรับที่ใช้ปริมาณน้ำตาลทราย 1% อันเนื่องมาจากมีคะแนนเฉลี่ยทางด้านความชอบ รวมมากที่สุด อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนในการผลิตลงได้ และเป็นที่ยอมรับ ของผู้ทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 การวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลทราย 1, 5 และ 10% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ปริมาณน้ำตาลทราย (%)		
	1	5	10
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	5.82±1.24	5.85±1.25	5.83±1.23
สี ^{ns}	6.12±1.16	6.07±1.02	6.07±1.13
กลิ่น ^{ns}	5.93±1.37	5.87±1.50	5.98±1.53
รสชาติ – หวาน ^{ns}	5.77±1.55	5.77±1.63	5.85±1.53
เนื้อสัมผัส – เคี้ยว ^{ns}	6.02±1.51	5.75±1.79	5.80±1.73
ความชอบรวม ^{ns}	6.05±1.33	5.80±1.53	5.85±1.58

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.4 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณไข่ขาวผงต่อแมกนีเซียมซัลเฟตที่เหมาะสม

จากการทดลองในการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ เลือกการใช้อัตราส่วนของปริมาณแป้งมันฝรั่งต่อเกลือ คือ 1:1.5 ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง และศึกษาการใช้ไข่ขาวผง แปรปริมาณเป็น 0.5, 1 และ 1.5% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง และใช้ปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตเป็น 0, 0.5 และ 1% ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง ผลิตเป็นเต้าหู้ปลาสำหรับ 9 คำรับ ดังอัตราส่วนในข้อ 4.3.2 แล้วนำตัวอย่างมาทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 22

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าการใช้อัตราส่วนของปริมาณไข่ขาวผงต่อแมกนีเซียมซัลเฟต ทำให้คะแนนของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนทางด้านสีและกลิ่น ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบไม่ต่างกัน คือ คะแนนเฉลี่ยในคำรับที่ 9 มีมากที่สุด อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ส่วนคำรับที่ 2 ถึง 8 ได้คะแนนเฉลี่ยรองลงมา อยู่ในช่วงเฉยๆ และคำรับที่ 1 ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบน้อยที่สุดอยู่ในช่วงเฉยๆ โดยจากการทดลองการเพิ่มอัตราส่วนของไข่ขาวผงสามารถลดปริมาณแมกนีเซียมซัลเฟตลง ทำให้มีรสขมน้อยลง และยัง

สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายมีความยืดหยุ่นมากขึ้นอีกด้วย จึงทำให้ผู้ทดสอบพึงพอใจได้ ทั้งนี้การเกิดเจลโดยใช้ไข่ขาวพวงนี้จะให้เจลที่มีลักษณะดีมาก ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ตั้งเกินไป สามารถโค้งงอ และตกแต่งได้ (บริษัท โบโลโว จำกัด, 2548) ดังแสดงในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 การวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส เมื่อใช้อัตราส่วนไข่ขาวพวงต่อแมกนีเซียมซัลเฟตในแต่ละคำรับ

คำรับ ที่	ลักษณะทางประสาทสัมผัส					
	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	สี	กลิ่น	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส ^{ns}	ความชอบรวม ^{ns}
1	6.17±1.48	5.85±1.51 ^b	5.83±1.80 ^b	6.12±1.64	6.10±1.68	6.57±1.35
2	6.15±1.43	6.15±1.51 ^{ab}	5.93±1.88 ^{ab}	6.10±1.67	6.13±1.51	6.68±1.30
3	6.48±1.15	6.10±1.33 ^{ab}	6.20±1.36 ^{ab}	6.30±1.51	6.07±1.11	6.82±0.98
4	6.60±1.25	6.15±1.61 ^{ab}	6.20±1.57 ^{ab}	6.20±1.56	5.87±1.71	6.77±1.31
5	6.12±1.20	6.00±1.27 ^{ab}	6.12±1.51 ^{ab}	6.20±1.67	6.08±1.52	6.40±1.16
6	6.22±1.24	6.13±1.09 ^{ab}	6.12±1.39 ^{ab}	6.25±1.50	6.13±1.44	6.38±1.39
7	6.27±1.53	6.17±1.50 ^{ab}	6.17±1.65 ^{ab}	6.45±1.44	6.22±1.53	6.57±1.11
8	6.25±1.49	6.35±1.48 ^{ab}	6.08±1.82 ^{ab}	6.12±1.79	6.00±1.72	6.53±1.33
9	6.42±1.61	6.47±1.22 ^a	6.55±1.58 ^a	6.55±1.37	6.27±1.24	6.63±1.48

หมายเหตุ 1. ns หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
2. ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการทดสอบด้านประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม จะเห็นได้ จากคะแนนเฉลี่ยของคำรับที่ 9 คือการใช้อัตราส่วนของปริมาณไข่ขาวพวงต่อแมกนีเซียมซัลเฟตเป็น 1.5:1 ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง มีมากที่สุด และอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกคำรับที่ 9 ในการทำผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายต่อไป

5. ศึกษา น้ำจิ้มที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับยำ

จากการทดลองทำผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับยำจนได้ส่วนผสมที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตแล้ว ผู้วิจัยได้ศึกษาเพิ่มรสชาติในขณะรับประทานและส่งเสริมการตลาดได้ทางหนึ่ง คือ การรับประทานผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับยำร่วมกับน้ำจิ้ม โดยคัดเลือกตำรับมาตรฐาน 3 ตำรับ ดังแสดงในภาคผนวก ก หน้า 140 แล้วนำตัวอย่างมาทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 23

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในตารางที่ 23 พบว่า การคัดเลือกตำรับมาตรฐานทุกตำรับ ไม่ทำให้คะแนนความชอบในด้านกลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบรวมที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ พบว่า ตำรับที่ 1 มีคะแนนเฉลี่ยมากที่สุด อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ส่วนตำรับที่ 2 คะแนนน้อยที่สุด อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย และตำรับที่ 3 จะมีลักษณะคะแนนเหมือนทั้งตำรับที่ 1 และ 2 อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยเช่นกัน ทางด้านความชอบสี ตำรับที่ 1 ยังคงมีคะแนนเฉลี่ยมากที่สุด และอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ตำรับที่ 3 ได้คะแนนเฉลี่ยรองลงมา ยังคงอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ส่วนตำรับที่ 2 ได้คะแนนน้อยที่สุด แต่ยังคงอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีปริมาณของเนื้อลูกบ๊วยคอง และนำพริกชี้หนูไปคั่วก่อนนำไปบดทำให้มีสีเข้ม ไม่เป็นที่พึงพอใจแก่ผู้ทดสอบได้ ทางด้านรสชาติ ตำรับที่ 1 ยังคงมีคะแนนเฉลี่ยมากที่สุด อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ส่วนตำรับที่ 3 ได้คะแนนน้อยที่สุด แต่ยังคงอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีปริมาณของน้ำส้มสายชูที่มาก ทำให้มีรสเปรี้ยวเกินไป ส่วนตำรับที่ 2 มีคะแนนเฉลี่ยไม่แตกต่างจากตำรับที่ 1 และ 3 และยังคงอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยเช่นกัน จากการทดลองถ้าใส่น้ำส้มสายชูมากเกินไป จะทำให้น้ำจิ้มที่ได้มีรสเปรี้ยวมาก อีกทั้งยังมีส่วนผสมของเนื้อและน้ำบ๊วยเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำจิ้มที่ได้มีสีเข้มมากขึ้น และมีลักษณะเหลวเกินไป ทำให้ไม่เป็นที่พึงพอใจแก่ผู้ทดสอบ

จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสในด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม จะเห็นได้ว่า ตำรับที่ 1 เป็นตำรับที่เหมาะสมในการนำมาทำน้ำจิ้ม ประกอบกับการรับประทานผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับยำ เพราะน้ำจิ้มที่ได้มีลักษณะปรากฏที่ดี สีสวย ไม่มีกลิ่นของน้ำส้มสายชูมากเกินไป ทำให้แสบจมูก มีรสเปรี้ยวอมหวาน และมีลักษณะข้นเล็กน้อย ไม่เหลวเกินไป ทำให้น้ำจิ้มเกาะผิวของเต้าหู้ปลาสำหรับยำได้ดี และเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

ตารางที่ 23 การวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนเฉลี่ยของน้ำจิ้ม 3 คำรับ สำหรับรับประทานร่วมกับ
ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับวัยที่พัฒนาแล้ว

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	คำรับที่		
	1	2	3
ลักษณะปรากฏ	6.78±1.24 ^a	6.17±1.32 ^b	6.37±1.17 ^{ab}
สี	6.87±1.03 ^a	6.05±1.32 ^c	6.48±1.17 ^b
กลิ่น ^{ns}	6.03±1.35	6.37±1.28	6.23±1.19
รสชาติ	6.80±1.23 ^a	6.58±1.22 ^{ab}	6.18±1.30 ^b
เนื้อสัมผัส ^{ns}	6.65±1.21	6.33±1.29	6.30±1.13
ความชอบรวม ^{ns}	6.77±1.03	6.82±0.99	6.28±0.96

หมายเหตุ 1. ns หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

6. ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี ทางจุลินทรีย์ และการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับวัย

คำรับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับวัยที่พัฒนาแล้ว และน้ำจิ้มที่ใช้รับประทานร่วมกับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับวัยได้คำรับสำเร็จ ดังนี้

1. คำรับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับวัย

ส่วนผสม	ถั่วเหลือง	500	กรัม
	ปลาอินทรี	75	กรัม
	สาหร่าย	25	กรัม
	ไข่ขาวผง	7.5	กรัม
	แป้งมันฝรั่ง	5	กรัม
	เกลือ	7.5	กรัม
	น้ำตาลทราย	5	กรัม

พริกไทย	2.5	กรัม
แมกนีเซียมซัลเฟต	5	กรัม
น้ำสะอาด	2,500	กรัม

2. ตำรับน้ำจิ้มที่รับประทานร่วมกับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ

ส่วนผสม	น้ำส้มสายชู	125	กรัม
	น้ำตาลทราย	200	กรัม
	ถั่วลิสง	30	กรัม
	เกลือ	1	ช.ช.
	พริกขี้หนู	2	กรัม

จากการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับที่พัฒนาแล้ว ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 25

6.1 คุณภาพทางกายภาพ

การศึกษาคุณภาพทางกายภาพ พบว่าผลิตภัณฑ์เต้าหู้ต่างๆ ไปจะมีสีค่อนข้างขาว เนื้อสัมผัสนุ่ม แต่ยังคงมีความยืดหยุ่นเล็กน้อย ส่วนผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับแบบไม่ทอดจะมีสีเหลืองค่อนข้างขาว เนื้อสัมผัสนุ่มมาก มีความยืดหยุ่นเล็กน้อย และผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับแบบทอดจะมีสีเหลืองอ่อน เนื้อสัมผัสนุ่ม, ยืดหยุ่นและตึงบริเวณผิวเล็กน้อย การทอดทำให้อาหารมีสีกลืน รสชาติ และความกรอบ มีปริมาณน้ำลดลง ยืดอายุการเก็บอาหารได้นานขึ้น แต่จะสูญเสียสารอาหารระหว่างการเก็บรักษาด้วย โดยเฉพาะวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน เช่น วิตามินอีที่ถูกดูดซับจะถูกออกซิไดส์ระหว่างการเก็บรักษา ส่วนการสูญเสียโปรตีนจะเกิดขึ้นเมื่อผิวนอกกรอบ เกิดปฏิกิริยา Maillard browning ระหว่างกลุ่มกรดอะมิโนของโปรตีนและเปปไทด์ กับน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่ง (กลูโคสหรือฟรุคโตส) เกิดสารประกอบโมเลกุลใหญ่ที่ให้น้ำตาลในผลิตภัณฑ์ ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นในกระบวนการทอดได้อุณหภูมิประกอบสีน้ำตาลที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 150°C ปริมาณไขมันในอาหารเพิ่มมากขึ้น จากการดูดซับน้ำมันที่ใช้ทอดไว้ในอาหาร ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตที่เป็นพอลิเมอร์ หากน้ำมันร้อนจัดจะเกิดการแข็งตัวของผิวนอก (Crust formation) อย่างรวดเร็วปิดผิวนอกของอาหาร ลดการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นภายในชิ้นอาหาร (วารุณี, 2546)

ตารางที่ 24 คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ของเต้าหู้ปลาสำหรับที่พัฒนาแล้ว

ปัจจัยคุณภาพของผลิตภัณฑ์	เต้าหู้ธรรมดา	เต้าหู้ปลาใน ท้องตลาด	ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา สำหรับ	
			ไม่ทอด	ทอด
คุณภาพทางกายภาพ				
ค่าสี				
ความสว่าง(L*)		85.45 ⁽¹⁾	71.73 ⁽¹⁾	60.54 ⁽¹⁾
ค่า a*		0.61 ⁽¹⁾	2.44 ⁽¹⁾	6.28 ⁽¹⁾
ค่า b*		16.90 ⁽¹⁾	14.61 ⁽¹⁾	27.8 ⁽¹⁾
ค่าเนื้อสัมผัส Gel strength (N)		4.932 ⁽¹⁾	3.912 ⁽¹⁾	6.30 ⁽¹⁾
ค่า a _w		1.000 ⁽¹⁾	1.000 ⁽¹⁾	1.000 ⁽¹⁾
คุณภาพทางเคมี (%)				
ความชื้น	70.9 ⁽³⁾	76.32 ⁽¹⁾	75.37 ⁽¹⁾	60.00 ⁽¹⁾
คาร์โบไฮเดรต	6.0 ⁽³⁾	6.68 ⁽¹⁾	6.06 ⁽¹⁾	15.46 ⁽¹⁾
โปรตีน	12.5 ⁽³⁾	13.08 ⁽¹⁾	13.55 ⁽¹⁾	17.98 ⁽¹⁾
ไขมัน	8.1 ⁽³⁾	0.15 ⁽¹⁾	1.42 ⁽¹⁾	2.24 ⁽¹⁾
เถ้า	- ⁽³⁾	1.69 ⁽¹⁾	1.61 ⁽¹⁾	2.53 ⁽¹⁾
เยื่อใย	- ⁽³⁾	2.08 ⁽¹⁾	1.99 ⁽¹⁾	1.79 ⁽¹⁾
แคลเซียม	1.88 ⁽³⁾	0.97 ⁽¹⁾	1.56 ⁽¹⁾	1.38 ⁽¹⁾
คุณภาพทางจุลินทรีย์				
จุลินทรีย์ทั้งหมด(CFU/g)		<10 ⁽²⁾	<10 ⁽¹⁾	<10 ⁽¹⁾
ยีสต์และรา(CFU/g)		<10 ⁽²⁾	<10 ⁽¹⁾	<10 ⁽¹⁾
E.coli		ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

ที่มา : ⁽¹⁾ ได้มาจากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางโภชนาการ และทางจุลินทรีย์

⁽²⁾ ได้มาจากฉลากทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับทางการค้า

⁽³⁾ ได้มาจากตารางคุณค่าทางโภชนาการ กรมอนามัย (2530)

6.2 คุณภาพทางเคมี

จากการศึกษาคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับรายชนิดไม่ทอด พบว่า ความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เกลือ และเยื่อใย เท่ากับ 75.37, 6.06, 15.46, 1.42, 1.61 และ 1.99% ตามลำดับ และแคลเซียม 1.56% ส่วนผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับรายชนิดทอด พบว่า ความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เกลือ และเยื่อใย เท่ากับ 60.00, 15.46, 17.98, 2.24, 2.53 และ 1.79% ตามลำดับ และแคลเซียม 1.38% พบว่า ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับทั้ง 2 แบบ เมื่อเทียบกับผลการวิเคราะห์เต้าหู้ทั่วไป มีความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เกลือ และเยื่อใย เท่ากับ 76.32, 6.68, 13.08, 0.15, 1.69 และ 2.08% ตามลำดับ และแคลเซียม 0.97% พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับทั้งชนิดไม่ทอดและทอด มีปริมาณความชื้น และเยื่อใย น้อยลง เพราะมีการเพิ่มปริมาณของไข่ขาวผง แป้งมันฝรั่ง และเครื่องปรุงรสลงในส่วนผสม ส่งผลให้ ปริมาณของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน, ไขมัน และเกลือเพิ่มมากขึ้นด้วย

จากการสำรวจผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พบว่า ส่วนผสมของ ผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ในงานวิจัย โดยผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาในท้องตลาดนั้นมี ส่วนผสมหลัก คือ ไข่เนื้อปลา 50% ปรุงรสด้วยแป้งมันฝรั่ง 5.70% น้ำมันพืช 3% เกลือ 2% น้ำตาล 1.30% ไข่ขาวผง 1% และน้ำ 22% จากนั้นจึงเพิ่มส่วนผสมน้ำมันถั่วเหลือง 15% (บริษัท อุตสาหกรรมทิวัง จำกัด, มปป.) ซึ่งผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับในงานวิจัยจะใช้ส่วนผสมหลัก คือ น้ำมันถั่วเหลือง 73.5% จากนั้นจึงเพิ่มปริมาณเนื้อปลาและสาหร่าย 15 และ 5% ตามลำดับ และ ปรุงรสชาติด้วยเครื่องปรุงรส ทำให้ปริมาณโปรตีนที่ได้รับมีความแตกต่างกัน คือ เต้าหู้ปลาใน ท้องตลาด มีปริมาณโปรตีน 13.08% ส่วนผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับมีปริมาณ 17.98% ดังแสดง ในตารางที่ 25 ทำให้เมื่อรับประทานผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดจะมีความแตกต่างกัน คือ ผลิตภัณฑ์ที่มี จำหน่ายในท้องตลาดจะมีลักษณะเนื้อสัมผัส มีความยืดหยุ่น และเนียนมาก รสชาติหวาน และมี กลิ่นปลาเหมือนรับประทานลูกชิ้นปลา ส่วนผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับในงานวิจัยจะมีลักษณะ เนื้อสัมผัสไม่ยืดหยุ่น เนียนและมีกลิ่นปลาเท่ากับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่มีจำหน่ายในท้องตลาด แต่ จะมีกลิ่นของสาหร่ายและรสชาติจะกลมกล่อม โดยมีรสหวานเล็กน้อย และออกรสมันกว่าเต้าหู้ ปลาที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ทำให้ผู้บริโภคที่ไม่นิยมรับประทานผลิตภัณฑ์ที่มีรสหวาน สามารถ หารับประทานเต้าหู้ปลาสำหรับแทนการรับประทานเต้าหู้ปลาได้

6.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

จากการศึกษาคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ พบว่า จำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์และรา น้อยกว่า 5×10^4 CFU/g ซึ่งข้อกำหนดสุขลักษณะของมอก.เต้าหู้หลอดระบุว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่อาจมีในเต้าหู้หลอดต้องไม่เกิน 5×10^4 CFU/g และมอก.เต้าเจี้ยวระบุว่า จำนวนยีสต์และราต้องไม่เกิน 1×10^2 CFU/g ดังนั้นผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายนี้จึงมีความปลอดภัยในการบริโภค ซึ่งครุณี (2534) กล่าวว่า การใช้ความร้อนในระหว่างการเตรียมและการปรุงอาหารจะช่วยในการทำลายจุลินทรีย์ และทำลายการทำงานของเอนไซม์ที่พบในอาหารด้วย เป็นผลให้เก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น และการต้มในน้ำเดือดเพียงระยะเวลาสั้น (Blanching) ช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ได้ อาหารเมื่อนำไปแช่แข็ง จุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตอยู่จะถูกยับยั้งการทำงาน และยังคงอยู่ในสภาพเดิม ถ้าอาหารแช่เย็นแข็งนั้นถูกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -15 ถึง -10°C ดังนั้นในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายมีการใช้ความร้อนสูง จึงทำให้มีการทำลายจำนวนจุลินทรีย์ได้บางส่วน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายมีอายุการเก็บได้นานขึ้นด้วย

7. การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายที่ผ่านการพัฒนาแล้ว โดยทำการทดสอบแบบบังเอิญกับผู้บริโภคเป้าหมาย คือ ผู้บริโภคที่มีอายุระหว่าง 15-26 ปี สถานที่เก็บข้อมูล คือภายในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 100 คน ซึ่งผู้บริโภคเป้าหมายแต่ละคนจะได้รับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างคนละ 1 ชิ้น บรรจุในถุงพลาสติกแบบกดปิดหรือถุงซิปล็อก พร้อมแบบสอบถาม 1 ชุด เพื่อใช้เก็บข้อมูลผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย

7.1 ข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภคในการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์

จากการทดสอบผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่าผู้บริโภคเป้าหมายส่วนใหญ่ 58% เป็นเพศหญิง มีอายุระหว่าง 21-23 ปี คิดเป็น 45% ระดับการศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรีเป็นส่วนใหญ่ คิดเป็น 50% อาชีพส่วนใหญ่เป็นนักศึกษา/นิสิต คิดเป็น 58% มีรายได้ส่วนมากอยู่ในช่วง 5,001-8,000 บาท คิดเป็น 53% ดังแสดงในตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ลักษณะประชากรศาสตร์ของผู้บริโภค

		n = 100
ลักษณะทางประชากรศาสตร์		จำนวนผู้บริโภค (%)
เพศ		
ชาย		42
หญิง		58
อายุ		
15-17 ปี		13
18-20 ปี		16
21-23 ปี		45
24-26 ปี		26
ระดับการศึกษา		
มัธยมศึกษาตอนปลาย		13
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)		8
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)		17
ปริญญาตรี		50
สูงกว่าปริญญาตรี		12
อาชีพ		
นักเรียน		13
นักศึกษา/นิสิต		58
ข้าราชการ		12
พนักงานรัฐวิสาหกิจ		15
สาวโรงงาน, แม่บ้าน		2
รายได้ต่อเดือน		
น้อยกว่า 5,000 บาท		28
5,001-8,000 บาท		53
8,001-10,000 บาท		10
สูงกว่า 10,000 บาท		9

7.2 ข้อมูลพฤติกรรมและทัศนคติต่อการบริโภคผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ

จากการทดสอบผู้บริโภคเป้าหมายจำนวน 100 คน พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่รับประทานผลิตภัณฑ์เต้าหู้ 1-2 ครั้ง/สัปดาห์ คิดเป็น 47% และเคยรับประทานผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา 58% ส่วนใหญ่เลือกซื้อผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาจากร้านสะดวกซื้อ คิดเป็น 30% โดยมักเลือกรับประทานผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาในโอกาสที่เมื่อมีความรู้สึกลอยลางอยากรับประทาน คิดเป็น 45% และทราบข่าวสารเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาชนิดใหม่ ๆ จากสถานที่ซื้อสินค้าโดยตรง คิดเป็น 49% อีกทั้งสาเหตุที่เลือกรับประทานผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา เนื่องจากอยากทดลองชิมรสชาติ คิดว่ามีคุณค่าทางโภชนาการ อีกทั้งยังมีความแปลกใหม่ของผลิตภัณฑ์ และมีรูปร่างน่ารับประทาน โดยคิดเป็น 44, 27, 24 และ 13% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 26

ตารางที่ 26 พฤติกรรมและทัศนคติการบริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา

n = 100	
ข้อมูลด้านพฤติกรรมและทัศนคติ	จำนวนผู้บริโภค(%)
ความบ่อยครั้งในการรับประทานเต้าหู้	
ทุกวัน	7
3-4 ครั้ง/สัปดาห์	14
1-2 ครั้ง/สัปดาห์	47
น้อยกว่า 1 ครั้ง/สัปดาห์	32
การรับประทานเต้าหู้ปลา	
เคยรับประทาน	60
ไม่เคยรับประทาน	40
สถานที่เลือกซื้อผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา	
ซูเปอร์มาร์เก็ต	13
แผงลอย/หาบเร่	1
ร้านสะดวกซื้อ	30
ในร้านอาหาร	6
ตลาดสด	10

ตารางที่ 26 (ต่อ) พฤติกรรมและทัศนคติการบริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา

n = 100	
ข้อมูลด้านพฤติกรรมและทัศนคติ	จำนวนผู้บริโภค(%)
โอกาสที่เลือกรับประทานผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)	
รับประทานอาหารในร้านอาหาร	10
รับประทานร่วมกับอาหารต่าง ๆ เช่น สุกี้ เป็นต้น	17
เมื่อรู้สึกอยากรับประทาน	45
รับประทานร่วมกับลูกชิ้นทอดต่าง ๆ	23
รับประทานเป็นของว่าง	17
แหล่งข่าวเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาชนิดใหม่ ๆ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)	
โทรทัศน์ในรายการ - เกี่ยวกับอาหาร	29
- โฆษณาการผลิตภัตตาคารยี่ห้อต่าง ๆ	10
สถานที่ซื้อสินค้า	49
งานแสดงสินค้า	6
หนังสือพิมพ์	-
นิตยสาร	6
อินเทอร์เน็ต	6
โปสเตอร์	4
มีผู้แนะนำ	21
เหตุผลที่เลือกรับประทานผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)	
อยากทดลองชิมรสชาติ	44
คิดว่ามีคุณค่าทางโภชนาการ	27
ความแปลกใหม่ของผลิตภัณฑ์	24
มีรูปร่างน่ารับประทาน	13

7.3 ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย

จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคหลังการทดสอบเต้าหู้ปลาสาหร่าย พบว่าในด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่น ผู้บริโภคให้ความชอบอยู่ในระดับชอบ

เล็กน้อย ส่วนด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบร่วนนั้น ผู้บริโภคให้ความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง ดังแสดงในตารางที่ 28 ทั้งนี้ ผู้บริโภคบางส่วนมีข้อคิดเห็นว่า ผลิตภัณฑ์เป็นที่น่าสนใจมาก เค้าหุ้ปลาสาหร่ายมีรูปร่างดี น่ารัก และสามารถดึงดูดความสนใจได้มาก รวมถึงมีข้อเสนอว่า น้ำจิ้มควรมีรสเผ็ดอีกเล็กน้อย ส่วนการยอมรับของผู้บริโภคภายหลังจากการทดสอบเค้าหุ้ปลาสาหร่าย พบว่ามีการยอมรับอยู่ในระดับยอมรับมากคิดเป็น 47% และถ้ามีผลิตภัณฑ์เค้าหุ้ปลาสาหร่ายวางขายมีผู้บริโภคถึง 88% จะซื้อผลิตภัณฑ์ โดยเห็นว่าเค้าหุ้ปลาสาหร่ายขนาด 200 กรัม บรรจุถุงสุญญากาศ วางจำหน่ายในราคา 25 บาท เป็นราคาที่เหมาะสมในการจำหน่ายผลิตภัณฑ์เค้าหุ้ปลาสาหร่าย ดังแสดงในตารางที่ 27 และ 28

ตารางที่ 27 การวิเคราะห์ทางสถิติของคะแนนเฉลี่ยของเค้าหุ้ปลาสาหร่ายจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคภายหลังจากการทดสอบผลิตภัณฑ์เค้าหุ้ปลาสาหร่าย

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ค่าเฉลี่ย
ลักษณะปรากฏ	6.160±0.98
สี	6.370±0.87
กลิ่น	6.470±0.85
รสชาติ	7.230±0.85
เนื้อสัมผัส	7.280±0.81
ความชอบรวม	7.600±0.85

ตารางที่ 28 การยอมรับผลิตภัณฑ์เค้าหุ้ปลาสาหร่ายภายหลังจากการทดสอบเค้าหุ้ปลาสาหร่าย

n = 100	
ข้อมูลด้านการทดสอบผลิตภัณฑ์	จำนวน (%)
การยอมรับผลิตภัณฑ์	
ยอมรับ – มาก	47
- ปานกลาง	40
- น้อย	13
ความเป็นไปได้ในการซื้อผลิตภัณฑ์	
ซื้อ	88

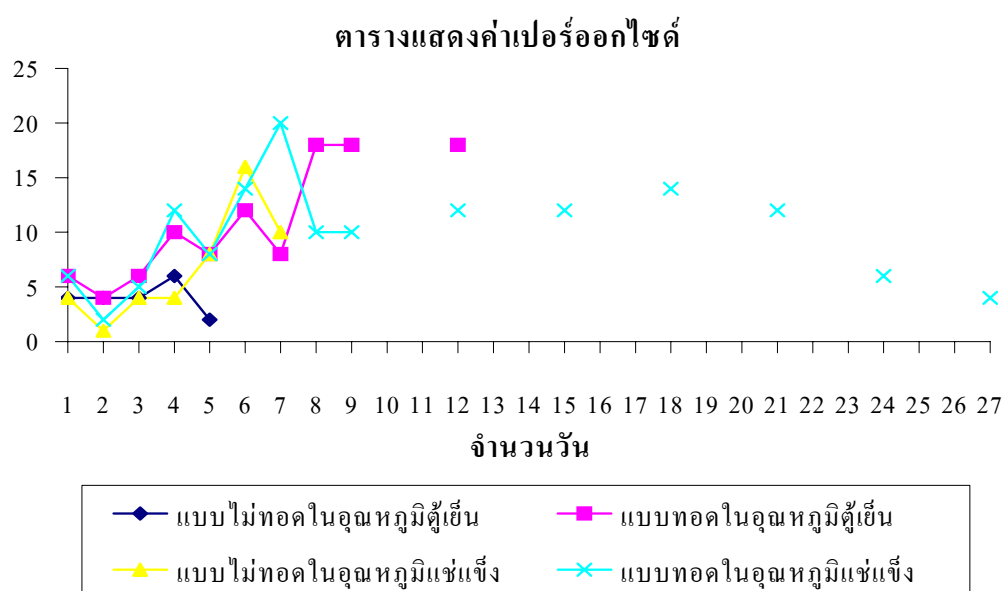
ตารางที่ 28 (ต่อ) การยอมรับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับร่างกายหลังจากการทดสอบเต้าหู้ปลาสำหรับ

n = 100

ข้อมูลด้านการทดสอบผลิตภัณฑ์	จำนวน (%)
อาจจะซื้อ (ไม่แน่ใจ)	6
ไม่ซื้อ – ราคาแพง	5
- ลักษณะของบรรจุภัณฑ์	-
ขนาดและปริมาณของผลิตภัณฑ์	1

8. การศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับร่างกาย

การศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับร่างกายทั้งชนิดไม่ทอดและทอด บรรจุในถุงสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น (4°C) และอุณหภูมิแช่แข็ง (-5°C) ทำการทดสอบคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าเปอร์ออกไซด์ คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์และรา และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ คุณภาพทางด้านสี กลิ่น หิน รสชาติ เนื้อสัมผัสและการยอมรับ โดยในช่วง 9 วันแรกนั้นตรวจทุกวัน จากนั้นตรวจทุกๆ 3 วัน เป็นระยะเวลา 30 วัน



ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ของผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาในการศึกษาอายุการเก็บ

8.1 คุณภาพทางเคมี

จากการทดลองวัดปริมาณค่าเปอร์ออกไซด์ของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับแช่เยือกแช่แข็ง 30 วัน พบว่า ผลิตภัณฑ์ทั้งชนิดไม่ทอดและทอดที่เก็บรักษาในอุณหภูมิตู้เย็น (4°C) และอุณหภูมิแช่แข็ง (-5°C) มีค่าความหืนเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว โดยผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับแช่เยือกแช่แข็งในอุณหภูมิตู้เย็น (4°C), ชนิดทอดที่เก็บในอุณหภูมิตู้เย็น (4°C), ชนิดไม่ทอดที่เก็บในอุณหภูมิแช่แข็ง (-5°C), และชนิดทอดที่เก็บในอุณหภูมิแช่แข็ง (-5°C) มีค่าเปอร์ออกไซด์อยู่ในช่วง 4-6, 4-18, 1-16 และ 2-20 mEq/kg ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 10

เนื่องจากค่าเปอร์ออกไซด์เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณสารประกอบเปอร์ออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมัน ซึ่งในช่วงการเก็บระยะแรก ๆ ค่าเปอร์ออกไซด์จะมีค่าน้อยและจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป อัตราการเพิ่มจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระยะเวลา ชนิดของน้ำมันและอุณหภูมิ ถึงแม้ว่าสารประกอบเปอร์ออกไซด์ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นหืนโดยตรง แต่จะเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณการเสื่อมเสียของน้ำมันที่เกิดขึ้น โดยค่าเปอร์ออกไซด์มีวงจรของการเปลี่ยนแปลงในช่วงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน 3 ระยะ คือ ระยะแรก ค่าเปอร์ออกไซด์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในระดับที่ยังยอมรับได้ ไม่แตกต่างจากสภาวะเริ่มต้นมากนัก ระยะที่สอง เป็นระยะที่ค่าเปอร์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และทำให้ผลิตภัณฑ์เริ่มมีกลิ่นหืนอย่างสังเกตเห็นได้ชัดจน ระยะที่สาม ในระยะที่สองนั้นไม่เพียงแต่ ค่าเปอร์ออกไซด์เท่านั้นที่เพิ่มขึ้น แต่ยังทำให้ปริมาณของอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นด้วยซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านั้นจะทำปฏิกิริยากันเองทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันดำเนินไปอย่างช้าลง มีผลทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ลดลงเช่นกัน (สุรางค์, 2534) อีกทั้งผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับแช่เยือกแช่แข็งทั้ง 4 ชนิด เก็บรักษาภายใต้สุญญากาศ ทำให้สามารถมีอายุการเก็บได้นานกว่าการเก็บรักษาในสภาพปกติ เนื่องจากการเก็บรักษาอาหารในสภาพปรับบรรยากาศ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้เพิ่มขึ้น (ศราภา, 2539)

8.2 คุณภาพทางจุลินทรีย์

จากการศึกษาทางจุลินทรีย์เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับแช่เยือกแช่แข็ง 30 วัน พบว่า ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับแช่เยือกแช่แข็งชนิดไม่ทอดและทอดที่เก็บในอุณหภูมิตู้เย็น (4°C) และในอุณหภูมิแช่แข็ง (-5°C) มีจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์และรา น้อยกว่า 10 CFU/g ดังแสดงในภาคผนวก ข ซึ่งเป็นจำนวนที่ไม่เกินตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของเต้าหู้หลอดและเต้าเจี้ยว (มอก. 1004-2533 และมอก. 891-2532) กำหนดไว้ คือ เต้าหู้หลอดจะต้องมีจำนวนจุลินทรีย์

ทั้งหมดไม่เกิน 5×10^4 CFU/g และในเต้าเจี้ยว จะต้องมียีสต์และราไม่เกิน 1×10^2 CFU/g ดังนั้นจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์และราของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับราย จึงไม่เกินตามที่ มอก. เต้าหู้หลอดและเต้าเจี้ยวกำหนด เนื่องจากการเก็บรักษาในสภาวะภายใต้ สุญญากาศมีคุณสมบัติช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ ทั้งนี้เพราะการบรรจุผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้ สุญญากาศ โดยการดึงเอาอากาศภายในภาชนะหรือภายในผลิตภัณฑ์ออกไป และไม่มีการพ่นก๊าซ ใด ๆ เข้าไปแทนที่ ซึ่งทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันภายในและภายนอกภาชนะ อีกทั้ง ยังมีการใช้ภาชนะบรรจุที่มีการซึมผ่านของก๊าซต่ำ เพื่อรักษาองค์ประกอบของบรรยากาศนั้นตลอด การเก็บรักษา ดังนั้น การเก็บรักษาอาหารในสภาพปรับบรรยากาศสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ เพิ่มขึ้น (ศรภา, 2539) อีกทั้งคุณสมบัติของถุงสุญญากาศยังมีความแข็งแรง ทนทานต่อความร้อน สูง มีการจัดเรียงโมเลกุลให้เป็นระเบียบ สามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและก๊าซ ออกซิเจนได้อีกด้วย (พรพล, 2542)

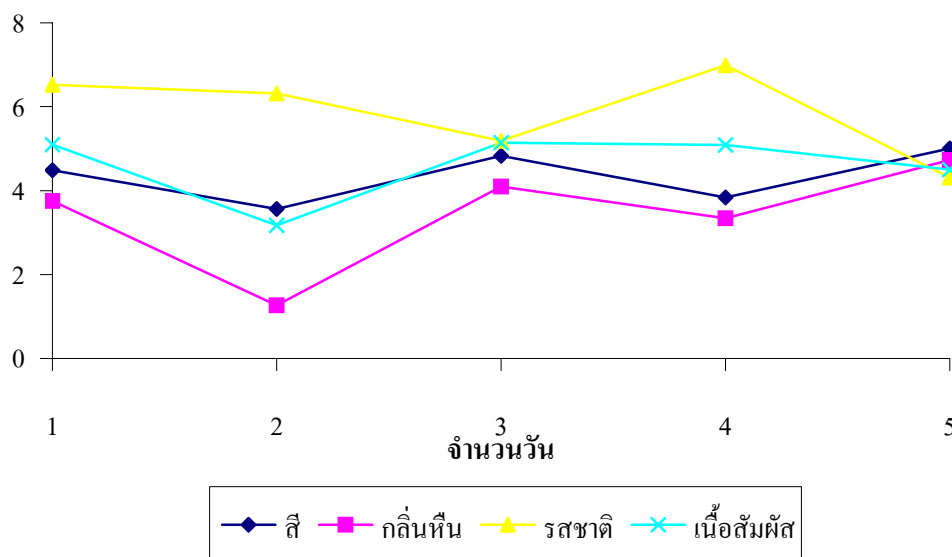
8.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการศึกษาทางประสาทสัมผัสเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับรายทำการศึกษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่น หิน รสชาติ และเนื้อสัมผัส โดยใช้ผู้ ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 12 คน ทดสอบชิมแบบ QDA ดังแสดงในภาคผนวก ข ซึ่งผลการ เปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับรายที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 30 วัน ได้ผลดังต่อไปนี้

8.3.1 คุณภาพทางประสาทสัมผัสเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับรายชนิด ไม่ทอดที่เก็บในอุณหภูมิตู้เย็น

จากการศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับรายชนิดไม่ทอดที่เก็บใน อุณหภูมิตู้เย็น (4°C) พบว่า คุณภาพทางด้านสี และเนื้อสัมผัส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีสีอ่อนและ นิ่มเล็กน้อย ส่วนทางด้านรสชาติมีแนวโน้มลดลง แต่อยู่ในช่วงยอมรับได้ โดยผู้ทดสอบไม่ชอบ เล็กน้อยถึงชอบเล็กน้อย และทางด้านกลิ่นหืนมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย อยู่ในช่วงมีกลิ่นหืนน้อย ที่สุดถึงมีกลิ่นหืนเล็กน้อย ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับรายยังอยู่ในสภาวะเริ่มต้น ของการหืน ทำให้ผลิตภัณฑ์ยังไม่ค่อยมีกลิ่นหืนมากนัก โดยระยะแรกค่าเปอร์ออกไซด์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในระดับที่ยังยอมรับได้ ไม่แตกต่างจากสภาวะเริ่มต้นมากนัก (สุรางค์, 2534) ดังภาพที่ 11

อายุการเก็บชนิดไม่ทอดที่เก็บในอุณหภูมิตู้เย็น

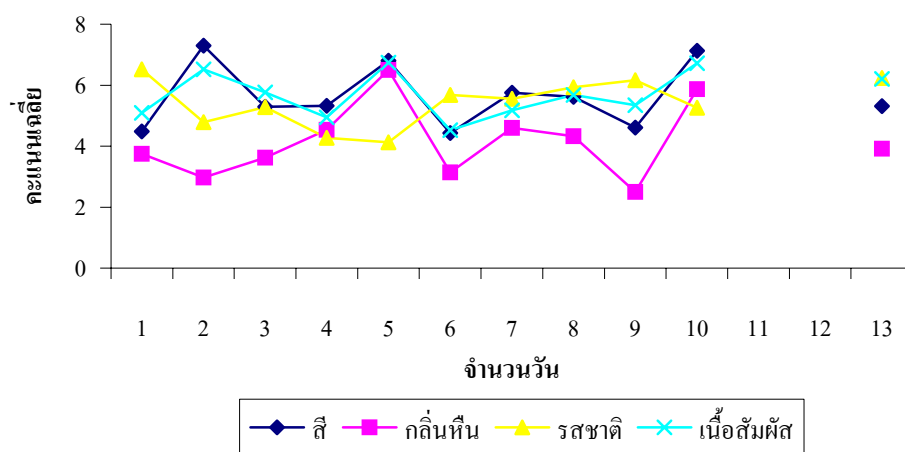


ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับชนิดไม่ทอด ที่เก็บในอุณหภูมิตู้เย็น (4 °C) ตลอดระยะเวลาในการศึกษาอายุการเก็บ

8.3.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับชนิดทอดที่เก็บในอุณหภูมิตู้เย็น (4 °C)

จากการศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับชนิดทอดที่เก็บในอุณหภูมิตู้เย็น (4 °C) พบว่า คุณภาพทางด้านรสชาติ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยสามารถยอมรับได้ อยู่ในช่วงไม่ชอบเล็กน้อยถึงชอบเล็กน้อย ส่วนทางด้านสี กลิ่นหืน และเนื้อสัมผัส มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน คือ ลดลง โดยมีสีอ่อนถึงเข้มเล็กน้อย มีกลิ่นหืนเล็กน้อยถึงปานกลาง และเนื้อสัมผัสนุ่มเล็กน้อยถึงแข็งเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในทุกๆ ด้านของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ผลิตภัณฑ์ในทุกๆ ด้านนั้นยังคงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

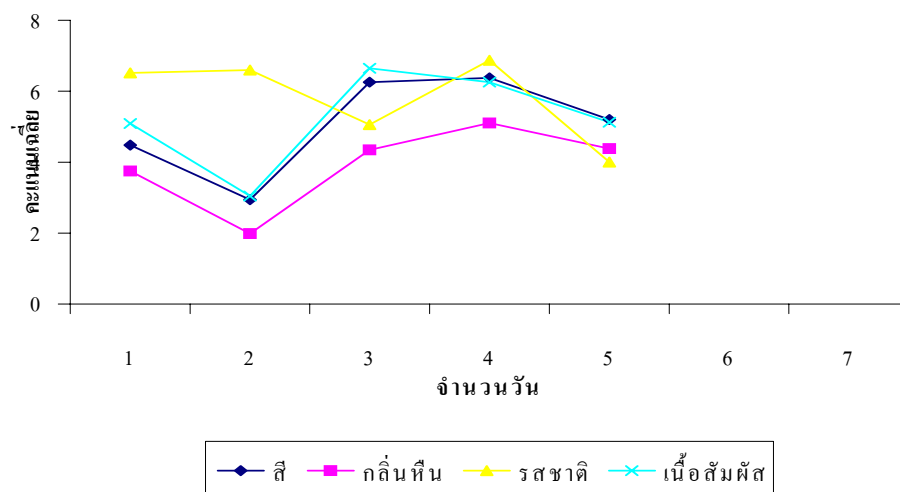
อายุการเก็บชนิดทอดที่เก็บในอุณหภูมิตู้เย็น



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับชนิดทอดที่เก็บในอุณหภูมิตู้เย็น (4 °C) ตลอดระยะเวลาในการศึกษาอายุการเก็บ

8.3.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัสเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับชนิดไม่ทอดที่เก็บในอุณหภูมิแช่แข็ง (-5 °C)

อายุการเก็บแบบไม่ทอดที่เก็บในอุณหภูมิแช่แข็ง

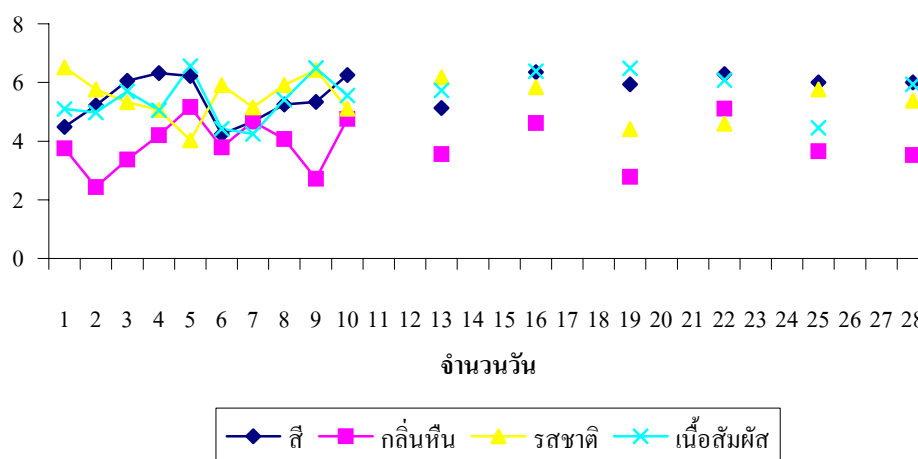


ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ชนิดไม่ทอดที่เก็บในอุณหภูมิแช่แข็ง (-5 °C) ตลอดระยะเวลาในการศึกษาอายุการเก็บ

จากการศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายชนิดไม่ทอดที่เก็บในอุณหภูมิแช่แข็ง (-5°C) พบว่า คุณภาพทางด้านสี กลิ่น หิน และรสชาติ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีสีอ่อนถึงเข้มปานกลาง มีกลิ่นหืนเล็กน้อย และมีรสชาติอยู่ในช่วงยอมรับได้ โดยผู้ทดสอบไม่ชอบเล็กน้อยถึงชอบเล็กน้อย ส่วนทางด้านเนื้อสัมผัสมีลักษณะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยมีแนวโน้มลดลง อยู่ในช่วงนุ่มเล็กน้อยถึงแข็งเล็กน้อย ทั้งนี้ ผลิตภัณฑ์มีลักษณะนุ่มมากขึ้น เมื่อมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น เพราะปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์มีมาก ดังการตรวจคุณภาพทางกายภาพ ผลิตภัณฑ์มีค่า a_w 1.000 ดังแสดงในตารางที่ 6 จึงถือได้ว่าอยู่ในสภาวะที่มีความชื้นสูง อีกทั้งแป้งมันฝรั่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว และมีความหนืดสูงกว่าแป้งชนิดอื่นๆ จึงเหมาะที่จะเลือกใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความหนืดสูงและมีลักษณะเป็นเส้นยาวยืดและค่อนข้างเหนียว แต่จะไม่ทนต่อแรงที่ทำการคนน้ำแป้งเพราะเมื่อจำเป็นต้องคนเพื่อการผสม ความหนืดจะลดไป และไม่คงทนต่อการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เพราะจะมีการแยกน้ำออกมา (สมพงษ์, 2530)

8.3.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายชนิดทอดในที่เก็บอุณหภูมิแช่แข็ง (-5°C)

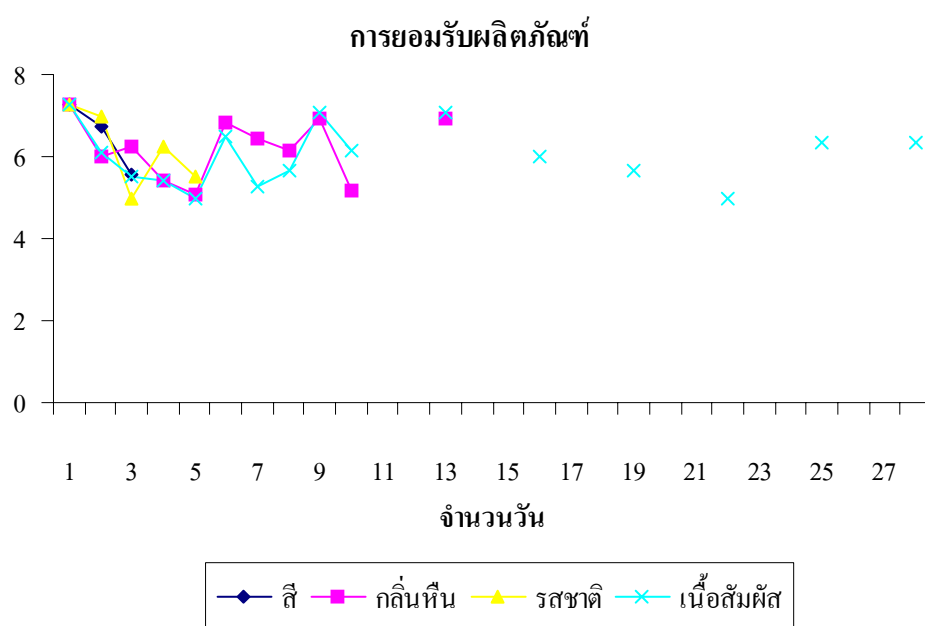
อายุการเก็บชนิดทอดที่เก็บในอุณหภูมิแช่แข็ง



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ชนิดทอดที่เก็บในอุณหภูมิแช่แข็ง (-5°C) ตลอดระยะเวลาในการศึกษาอายุการเก็บ

จากการศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับชนิดทอดที่เก็บในอุณหภูมิแช่แข็ง (-5°C) พบว่าคุณภาพทางด้านสี รสชาติ และเนื้อสัมผัส มีแนวโน้มลดลง เมื่อมีอายุการเก็บนานขึ้น โดยมีสีอ่อนเล็กน้อยถึงเข้มเล็กน้อย รสชาติอยู่ในช่วงยอมรับได้ โดยผู้ทดสอบไม่ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง และทางด้านเนื้อสัมผัสจะอยู่ในช่วงนุ่มเล็กน้อยถึงแข็งเล็กน้อย ส่วนทางด้านกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์กลับมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าเพิ่มขึ้นสูงที่สุด อยู่ในช่วงมีกลิ่นหืนเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์อยู่ในช่วงระยะที่ 2 โดยเป็นระยะที่ค่าเปอร์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และทำให้ผลิตภัณฑ์เริ่มมีกลิ่นหืนอย่างสังเกตเห็นได้ชัดเจน (สุรางค์, 2534)

8.4 การยอมรับผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงการยอมรับของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับทอดตลอดระยะเวลาในการศึกษาอายุการเก็บ

การเปลี่ยนแปลงด้านการยอมรับของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับทอดตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา 30 วัน พบว่า ผลิตภัณฑ์ทั้งชนิดไม่ทอดที่เก็บในอุณหภูมิตู้เย็น (4°C), ชนิดทอดที่เก็บในอุณหภูมิตู้เย็น (4°C), ชนิดไม่ทอดที่เก็บในอุณหภูมิแช่แข็ง (-5°C) และชนิดทอดที่เก็บในอุณหภูมิแช่แข็ง (-5°C) มีคะแนนคุณภาพของการยอมรับอยู่ในช่วง 5.583-7.250, 5.083-7.250, 5.000-7.000 และ

4.167-7.073 ตามลำดับ ดังแสดงในภาคผนวก ข และจากภาพแสดงว่าการยอมรับผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากในทุก ๆ ด้านของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งการยอมรับของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายยังคงอยู่ในช่วงยอมรับได้ โดยคะแนนการยอมรับของผลิตภัณฑ์ยังคงอยู่ในช่วงเฉย ๆ ถึงยอมรับปานกลาง

ดังนั้นจากการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย พบว่า ผลิตภัณฑ์ชนิดไม่ทอดที่เก็บในอุณหภูมิตู้เย็น (4°C) สามารถเก็บรักษาได้นาน 4 วัน ผลิตภัณฑ์ชนิดทอดที่เก็บในอุณหภูมิตู้เย็น (4°C) เก็บรักษาได้นาน 12 วัน ส่วนผลิตภัณฑ์ชนิดไม่ทอดที่เก็บในอุณหภูมิแช่แข็ง (-5°C) เก็บรักษาได้นาน 6 วัน และผลิตภัณฑ์ชนิดทอดที่เก็บในอุณหภูมิแช่แข็ง (-5°C) เก็บรักษาได้นาน 27 วัน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ยังคงได้รับการยอมรับ อีกทั้งจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ทั้งหมดและจำนวนยีสต์และรา มีไม่เกินที่ มอก. เต้าหู้หลอดและมอก.เต้าหู้ยี้กำหนดไว้

9.ต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย

ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 จากไร่สุวรรณ 1 ก.ก. ราคา 10 บาท

ปลาอินทรี จากตลาดคลองเตย ปลาอินทรี 1 ก.ก. ราคา 80 บาท แต่เมื่อนำมาชูดเอาเฉพาะเนื้อแล้วจะเหลือปริมาณเนื้อน้อยลง ประมาณ 428.5 กรัม จึงต้องเพิ่มปริมาณเนื้อปลามากขึ้น ดังนั้นเนื้อปลา 1 ก.ก. ราคา 114.28 บาท

สาหร่ายแห้ง จากตลาดเยาวราช 100 กรัม ราคา 60 บาท สาหร่ายแห้ง 100 กรัม ได้สาหร่ายแห้งประมาณ 5 แผ่น (แผ่นแห้ง 1 แผ่นหนัก 20 กรัม) ดังนั้น สาหร่ายแห้ง 1 แผ่น ราคา 12 บาท เมื่อนำมาแช่น้ำและปั่น 1 แผ่นจะได้สาหร่ายเปียกหนัก 250 กรัม ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย 1 คำรับ ใช้สาหร่าย 25 กรัม จะมีราคา 1.2 บาท ดังนั้น สาหร่ายเปียก 1 ก.ก. ราคา 48 บาท

แป้งมันฝรั่ง 1 ก.ก. ราคา 34 บาท

ไข่ขาวผง 1 ก.ก. ราคา 150 บาท

ตารางที่ 29 น้ำหนักส่วนผสมหนึ่งหน่วยบริโภคของเต้าหู้ปลาสาหร่าย

ส่วนผสม	น้ำหนัก/สูตร		น้ำหนักหนึ่งหน่วยบริโภค	
	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ
ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60	500	15.96	86.80	15.96
ปลาอินทรี	75	2.40	13.02	2.40
สาหร่าย	25	0.80	4.34	0.80
แป้งมันฝรั่ง	5	0.16	0.86	0.16
เกลือ	7.5	0.24	1.30	0.24
พริกไทย	2.5	0.08	0.43	0.08
น้ำ	2,500	79.80	434.02	79.81
แมกนีเซียมซัลเฟต	5	0.16	0.86	0.16
ไข่ขาวผง	7.5	0.24	1.30	0.24
น้ำตาลทราย	5	0.16	0.86	0.16
รวม	3132.5	100	543.79	100

หมายเหตุ - น้ำหนักของเต้าหู้ปลาสาหร่าย คำนวณจากน้ำหนักส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายเบื้องต้น หาคำด้วยจำนวนหน่วยบริโภคของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่ายรับประทานดังกล่าว (3.84 หน่วยบริโภค) แล้วคำนวณเป็นร้อยละ
- 1 หน่วยบริโภค 50 กรัม (5 ช้อน)

ตารางที่ 30 ต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสาหร่าย

ส่วนผสมในการผลิต	ต้นทุน (บาท/ก.ก.)	วัตถุดิบหนึ่งหน่วยบริโภค (กรัม)	ต้นทุนหนึ่งหน่วย บริโภค (บาท)
วัตถุดิบหลัก			
ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60	10	86.80	0.86
ปลาอินทรี	114.28	13.02	1.48
สาหร่าย	12	4.34	0.05

ตารางที่ 30 (ต่อ) ต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับราย

ส่วนผสมในการผลิต	ต้นทุน (บาท/ก.ก.)	วัตถุดิบหนึ่งหน่วยบริโภค (กรัม)	ต้นทุนหนึ่งหน่วย บริโภค (บาท)
เครื่องปรุงแต่งกลิ่นรส			
ไข่ขาวผง	150	1.30	0.19
แป้งมันฝรั่ง	34	0.86	0.02
น้ำมันพืช	34	14.96	0.50
เกลือ	10	1.30	0.01
พริกไทย	45	0.43	0.01
น้ำตาลทราย	13	0.86	0.01
รวม			3.17

การคำนวณการดูดซับน้ำมันในการทอดผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับราย 1,500 กรัม

ปริมาณน้ำมันที่ใช้ทอดในแต่ละครั้ง 2,000 กรัม

น้ำมันที่เหลือหลังการทอด 1,340 กรัม

ดังนั้น น้ำมันที่ถูกใช้ไป 660 กรัม

$$\begin{aligned}\text{ต้นทุนของน้ำมันที่ใช้ทอดผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับราย 1,500 กรัม} &= 660 (34) / 1,500 \\ &= 14.96 \text{ บาท}\end{aligned}$$

$$\text{ค่าวัตถุดิบ} = 3.17$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าแรงงาน} &= (\text{ต้นทุนวัตถุดิบ} \times 0.056) / 0.686 \\ &= (3.17 \times 0.056) / 0.686 \\ &= 0.258 \text{ บาท}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน} &= (\text{ต้นทุนวัตถุดิบ} \times 0.121) / 0.686 \\ &= (3.17 \times 0.121) / 0.686 \\ &= 0.559 \text{ บาท}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร} &= (\text{ต้นทุนวัตถุดิบ} \times 0.045) / 0.686 \\
 &= (3.17 \times 0.045) / 0.686 \\
 &= 0.207 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ} &= (\text{ต้นทุนวัตถุดิบ} \times 0.092) / 0.686 \\
 &= (3.17 \times 0.092) / 0.686 \\
 &= 0.425 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ต้นทุนผลิตภัณฑ์} &= \text{ค่าแรงงาน} + \text{ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน} + \text{ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร} + \text{ค่า} \\
 &\text{ใช้จ่ายอื่น ๆ} \\
 &= 3.17 + 0.258 + 0.559 + 0.207 + 0.425 \\
 &= 4.619 \text{ บาท} \approx 5 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับขาย ในหนึ่งหน่วยบริโภคมีราคา 4.619 บาท หรือประมาณ 5 บาท (50 กรัม หรือ 5 ชิ้น)

สรุปผลการทดลอง

การผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ แบ่งตามขั้นตอนการศึกษาได้ ดังนี้ การศึกษาดำรับมาตรฐานที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้ปลาสำหรับ, การศึกษาปริมาณเนื้อปลา, สำหรับ และเครื่องปรุงรสที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้ปลาสำหรับ, การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค, การศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี, การทำนายอายุการเก็บรักษา และศึกษาด้านทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับซึ่งสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการคัดเลือกดำรับมาตรฐานในการผลิตเต้าหู้ เพื่อการวิจัยนี้ได้ดำรับเต้าหู้ 3 ดำรับ โดยคำนึงถึงส่วนผสมและกรรมวิธีการผลิตเต้าหู้ที่มีความแตกต่างกันและเป็นการดำรับที่ได้รับการยอมรับ พบว่า เต้าหู้ทั้ง 3 ดำรับ มีคะแนนใกล้เคียงกัน แต่ดำรับที่ 3 คือดำรับของदारारररर ได้รับคะแนนทุกด้านมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกดำรับที่ 3 คือดำรับของदाराररररเป็นดำรับมาตรฐานในการผลิตเต้าหู้ปลาสำหรับต่อไป

2. จากการศึกษาชนิดและปริมาณเนื้อปลา และสำหรับที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเนื้อปลา 3 ชนิด คือ ปลาทรายแดง, ปลาทู และปลาอินทรีต่อปริมาณสำหรับที่เหมาะสม พบว่า เนื้อปลาอินทรีเป็นเนื้อปลาที่ผู้ทดสอบให้คะแนนทุกด้านและให้การยอมรับมากที่สุด โดยใช้อัตราส่วนของเนื้อปลาอินทรีต่อสำหรับ คือ 15:5 ของน้ำหนักถ้วยเหลืองแห้ง จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับต่อไป

3. จากการศึกษาระยะเวลาในการทอดที่เหมาะสม โดยใช้อุณหภูมิในการทอดเป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดของหม้อทอดไฟฟ้า คือ 150°C ใช้เวลาในการทอดเป็น 1, 1.30 และ 2 นาที พบว่า ระยะเวลาในการทอดที่แตกต่างกันนั้น ไม่ทำให้คะแนนเฉลี่ยทุกด้านมีความแตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงเลือกระยะเวลาในการทอด คือ 1 นาที เป็นระยะเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากช่วยลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตได้มากขึ้น

4. ศึกษาปริมาณเครื่องปรุงรสที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนของแป้งมันฝรั่งต่อเกลือ, พริกไทย และน้ำตาลทราย โดยอัตราส่วนที่ได้ คือ 1:1.5, 0.5 และ 1% ของน้ำหนักถ้วยเหลืองแห้ง ตามลำดับ พบว่า เต้าหู้ปลาสำหรับที่ได้มีลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสในขณะเคี้ยว ความชอบ

รวม รวมถึงความขมและความระคายเคืองในขณะกลืน ได้รับคะแนนมากที่สุด และเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

อัตราส่วนของไข่ขาวผงต่อแมกนีเซียมซัลเฟตที่เหมาะสม คือ 1.5:1 ของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนและการยอมรับมากที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกอัตราส่วนและปริมาณเพื่อใช้ในการผลิตเต้าหู้ปลาสำหรับต่อไป

5. ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมได้ตำรับน้ำจิ้ม 3 ตำรับ โดยคำนึงถึงส่วนผสมที่มีความแตกต่างกัน และเป็นตำรับที่ได้รับการยอมรับ พบว่า น้ำจิ้มทั้ง 3 ตำรับมีคะแนนใกล้เคียงกัน แต่ตำรับที่ 1 คือ ตำรับของศรีสมรและคณะ ได้รับคะแนนทุกด้านมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกตำรับที่ 1 คือ ตำรับของศรีสมรและคณะ เป็นตำรับที่เหมาะสมในการนำมาทำน้ำจิ้มประกอบการรับประทานร่วมกับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ

6. ศึกษาคุณภาพของกายภาพ ทางเคมี ทางจุลินทรีย์และการยอมรับของผู้บริโภค โดยด้านคุณภาพทางกายภาพ พบว่า ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับแบบไม่ทอดอาจจะมีสีเหลืองค่อนข้างขาว เนื้อสัมผัสนุ่มมาก มีความยืดหยุ่นเล็กน้อย และผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับแบบทอดจะมีสีเหลืองอ่อน เนื้อสัมผัสนุ่มเล็กน้อย มีความยืดหยุ่นและตึงเล็กน้อย

คุณภาพทางเคมี และทางจุลินทรีย์ ของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับโดยแบบไม่ทอด จะมีความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้าและเยื่อใย 75.37%, 6.06%, 15.46%, 1.42%, 1.61% และ 1.99% ตามลำดับ มีแคลเซียม 1.56 มิลลิกรัม และผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับแบบทอดจะมีความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้าและเยื่อใย 60.00%, 15.46%, 17.98%, 2.24%, 2.53% และ 1.79% ตามลำดับและแคลเซียม 1.38 มิลลิกรัม ตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราต่ำกว่า 10 โคโลนี/g

7. ตรวจสอบการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 100 คน โดยทำการทดสอบแบบ CLT (Central Location Test) พบว่า ผู้บริโภคเป้าหมายส่วนใหญ่ 58% เป็นเพศหญิงมีอายุระหว่าง 21-23 ปีมากที่สุด คิดเป็น 45% ระดับการศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรีเป็นส่วนใหญ่ คิดเป็น 50% อาชีพส่วนใหญ่เป็นนักศึกษา/นิสิต คิดเป็น 58% มีรายได้ส่วนมากอยู่ในช่วง 5,001-8,000 บาท คิดเป็น 53% ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้การยอมรับต่อผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับในระดับชอบเล็กน้อยถึง

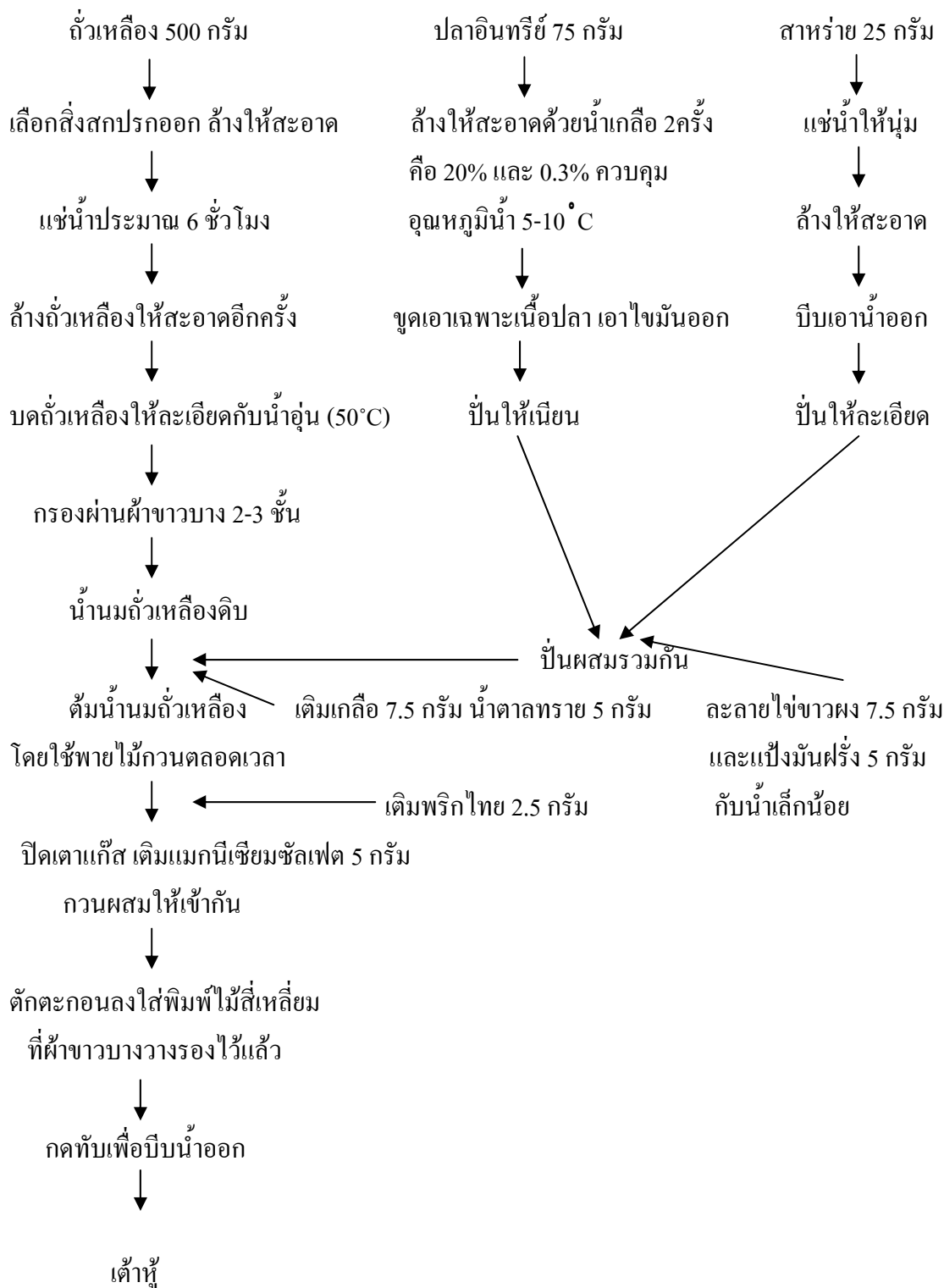
ปานกลาง ส่วนการยอมรับของผู้บริโภคภายหลังการทดสอบเต้าหู้ปลาสำหรับพบว่า มีการยอมรับอยู่ในระดับยอมรับมาก คิดเป็น 47% และถ้ามีผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับวางขายมีผู้บริโภคถึง 88% จะซื้อผลิตภัณฑ์โดยเห็นว่าเต้าหู้ปลาสำหรับขนาด 200 กรัม บรรจุในถุงสุญญากาศวางจำหน่ายในราคา 25 บาท เป็นราคาที่เหมาะสมในการจำหน่ายผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ

8. การศึกษาและทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับทั้งแบบไม่ทอดและทอด บรรจุในถุงสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น (4°C) และ อุณหภูมิแช่แข็ง (-5°C) ทำการทดสอบคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าเปอร์ออกไซด์ โดยผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับแบบไม่ทอดในอุณหภูมิตู้เย็น, แบบไม่ทอดในอุณหภูมิแช่แข็งและแบบทอดในอุณหภูมิแช่แข็ง มีค่าเปอร์ออกไซด์อยู่ในช่วง 4-6, 4-18, 1-16 และ 2-20 mEq/kg ตามลำดับ

ดังนั้นอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ พบว่า ผลิตภัณฑ์แบบไม่ทอดในอุณหภูมิตู้เย็นสามารถเก็บรักษาได้นาน 4 วัน ผลิตภัณฑ์แบบทอดในอุณหภูมิตู้เย็นเก็บรักษาได้นาน 12 วัน ส่วนผลิตภัณฑ์แบบไม่ทอดในอุณหภูมิแช่แข็งเก็บรักษาได้นาน 6 วัน และผลิตภัณฑ์แบบทอดในอุณหภูมิแช่แข็งเก็บรักษาได้นาน 27 วัน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ยังคงได้รับการยอมรับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ทั้งหมด และจำนวนยีสต์และราไม่เกินที่ มอก. เต้าหู้หลอดและเต้าเจี้ยวกำหนดไว้

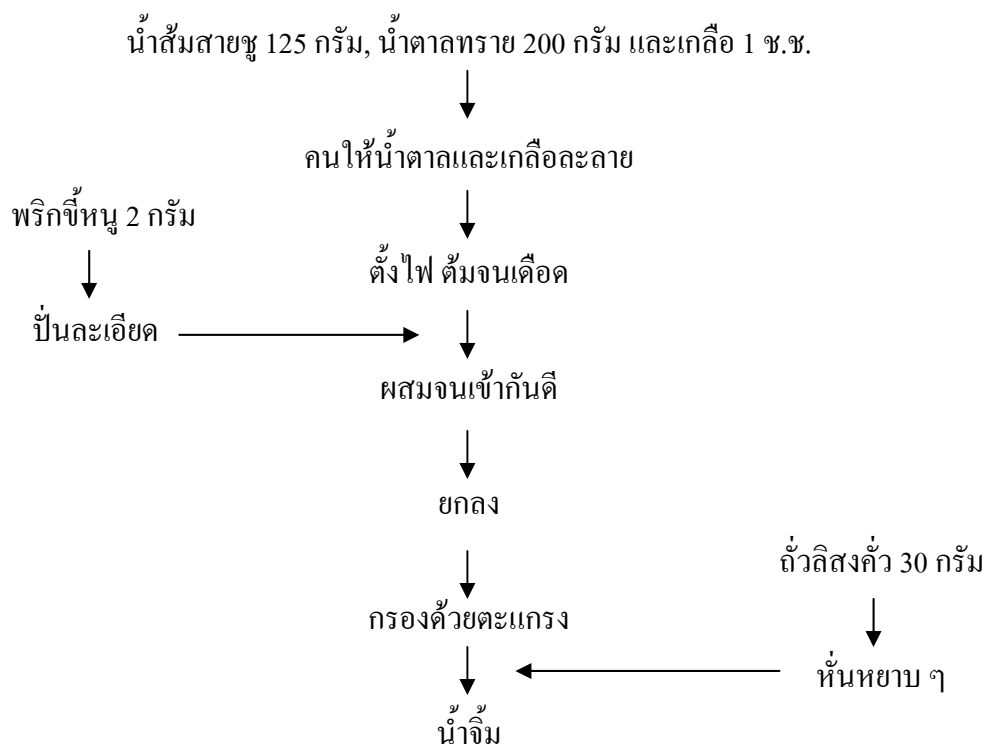
9. ต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับในหนึ่งหน่วยบริโภคมีราคา 4.619 บาท หรือประมาณ 5 บาท (50 กรัมหรือ 5 ชิ้น)

10. กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ



ภาพที่ 16 กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ

11. กรรมวิธีการผลิตน้ำจิ้มที่เหมาะสมในการรับประทานกับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ



ภาพที่ 17 กรรมวิธีการผลิตน้ำจิ้ม

ข้อเสนอแนะ

1. ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับ ควรใช้วัตถุดิบที่สด ใหม่ โดยเฉพาะเนื้อปลา เนื่องจากจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่น และรสชาติดี
2. ในกระบวนการผลิตควรบดเนื้อปลาและสาหร่ายให้ละเอียด เพื่อให้เนื้อของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกับและมีลักษณะปรากฏที่ดี
3. ในการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาสำหรับในระดับอุตสาหกรรมนั้น ควรมีการสร้างพิมพ์ที่มีรูปร่างตามที่ต้องการ เพื่อลดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์จากการตัดส่วนเกินทิ้ง
4. ในการทำความสะอาดพิมพ์ไม่ต้องใช้ความดูแลเป็นอย่างมาก เนื่องจากกระบวนการผลิตนั้นต้องสัมผัสกับน้ำอยู่ตลอดเวลา หากในการเก็บรักษาไม่ทำความสะอาด และทำให้แห้งก่อนเก็บเป็นอย่างดีแล้วจะทำให้เกิดรา และปนเปื้อนกับผลิตภัณฑ์ได้
5. ควรศึกษาการใช้วัตถุดิบอื่นเพิ่มขึ้น เพื่อนำมาผสมในผลิตภัณฑ์เต้าหู้จะเป็นการสร้าง ความหลากหลาย อีกทั้งยังเป็นการสร้างทางเลือกใหม่ ๆ ให้กับผู้บริโภคได้มากขึ้น และสามารถส่งเสริมให้ผู้บริโภคหันมาบริโภคผลิตภัณฑ์เต้าหู้มากขึ้นอีกด้วย