บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

อาหารปลาหมายถึงอาหารที่เมื่อนำมาเลี้ยงปลาแล้วจะทำให้ปลามีการเจริญเติบโตแข็งแรง มีความต้านทานต่อโรค และสามารถสืบพันธุ์ได้ตามปกติ (5) ปัจจุบันการเลี้ยงปลานิยมเลี้ยงด้วยการให้อาหารแก่ปลาโดยตรง ซึ่งมักจะเป็นอาหารสำเร็จรูปที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นปลาป่น เพราะมีโปรตีนค่อนข้างสูงประมาณร้อยละ 50 - 60 (2, 4) แต่ปัจจุบันปลาป่นมีราคาค่อนข้างแพงและหาซื้อได้ยากขึ้น ประกอบกับความต้องการปลาป่นเพื่อใช้ในการทำอาหารสัตว์ภายในประเทศมีมากขึ้น โดยเฉพาะอุตสาหกรรมเลี้ยงไก่ และสุกรใช้ปลาป่นมากที่สุด (2, 25) ดังนั้นจึงมีการหาแหล่งโปรตีนแห่งอื่นทั้งจากพืชตระกูลถั่วและสิ่งมีชีวิตเซลเดียวมาใช้ทดแทน เช่นพวกยีสต์ ซึ่งอาจได้จากการหมักโดยตรงหรือเป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเบียร์ เนื่องจากยีสต์มีการเจริญเติบโตเร็ว มีคุณค่าทางอาหารครบเช่นเดียวกับในปลาป่น คือมีทั้งโปรตีนประมาณร้อยละ 36 - 42 (2) นอกจากนั้นยีสต์ยังให้วิตามินต่างๆ โดยเฉพาะวิตามินบี (ดังตารางที่ 2-1, 2-2 และ 2-3) ชลลดา (2) ได้ทดลองนำยีสต์จากโรงงานเบียร์มาใช้แทนปลาป่นในอาหารปลาแบบเม็ดเปียกในปริมาณต่าง ๆ กัน และทดลองเลี้ยงลูกปลากะพงขาวที่มีความยาว 4.6 เซนติเมตร พบว่าปริมาณยีสต์ที่เหมาะสมที่ใช้แทนปลาป่นคือร้อยละ 25 เพราะให้ผลของค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อปลาและอัตราการเปลี่ยนโปรตีนเป็นเนื้อปลาดีที่สุด และสามารถเก็บอาหารปลาแบบเม็ดเปียกนี้ไว้ได้ประมาณ 20 วัน เมื่อเติมสารกันเสียโปตัสเซียมซอร์เบตในปริมาณที่ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 0.3 (ต่อน้ำหนักเปียก) นอกจากนี้ในแง่คุณลักษณะทางกายภาพของอาหารปลาก็เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ควรพิจารณาเช่นกัน (29) แม้ว่าอาหารจะดีมีคุณค่าทางอาหารสูง แต่ถ้าอาหารนั้นไม่เหมาะสมกับอุปนิสัยการกินของปลาแต่ละชนิด ปลาบางชนิดชอบกินอาหารเฉพาะที่ลอยที่ผิวน้ำ เช่น ปลานวลจันทร์ทะเล บางชนิดกินได้ทั้งจากผิวน้ำและกลางน้ำ เช่น ปลานิล บางชนิดสามารถกินได้ทุกระดับตั้งแต่ผิวน้ำจนถึงก้นบ่อ เช่น ปลาดุก หรือบางชนิดชอบกินอาหารที่ตกลงถึงพื้นก้นบ่อแล้ว เช่น ปลาไน ก็จะทำให้ปลากิน

อาหารได้ไม่สะดวก อาจจะเป็นด้วยเหตุที่จมเร็วเกินไป หรือเม็ดแตกสลายก่อนปลาจะจับกิน ทำให้เกิดการสูญเสียในส่วนที่ปลาไม่ได้กิน ทำให้ปลาเจริญเติบโตไม่ดีเท่าที่ควร เกิดความสิ้นเปลืองมากและต้องเปลี่ยนน้ำที่ใช้เลี้ยงบ่อย ๆ (3, 10) ดังนั้นจะเป็นการประหยัดถ้าผลิตอาหารปลาที่เหมาะสมกับอุปนิสัยการกินของปลา อาหารควรมีความคงทนอยู่ในน้ำได้นานพอควร มีอัตราการจมที่เหมาะสมกับปลาประเภทนั้น ๆ จากการตรวจสอบวารสารปริทัศน์ของอาหารปลา พบว่ายังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องการจมและการลอยของอาหารปลามาก่อน ฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นจุดเริ่มต้นของการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพโดยเฉพาะความคงทนและการจมการลอยของอาหารปลา และเพื่อให้งานนี้สมบูรณ์จึงได้นำเอาทฤษฎีและส่วนที่เกี่ยวข้องมากล่าวไว้

ตารางที่ 2-1 คุณค่าทางอาหารของ brewer's yeast (2)

องค์ประกอบหลัก (ร้อยละต่อน้ำหนักเปียก)	Inactive dried brewer's yeast
ความชื้น	5.1 - 5.4
โปรตีน (N × 6.25)	36.7 - 41.7
DNA	0.20 - 0.31
RNA	3.6 - 4.1
เถ้า	7.3 - 8.1
ฟอสฟอรัส	1.6 - 2.0
คาร์โบไฮเดรท	38.0 - 49.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-2 ปริมาณวิตามินในยีสต์แห้ง (ปริมาณเป็นไมโครกรัมต่อกรัม) (2)

ชนิดของวิตามิน	S. cereviseae (brewer's yeast)	S. uvarum (brewer's yeast)	C. utilis
Thiamine	50 - 360	150*	130*
Riboflavin	36 - 42	45	45
Niacin	320 - 1000	400	400
Pyridoxine	25 - 100	40	30
Folic acid	15 - 80	5	21
Pantothenate	100	100	40
Biotin	0.5 - 1.8	1	0.8
P-amino-benzoic acid	9 - 102	5	11
Choline	-	3800	2860
Inositol	2700 - 5000	3900	4500

หมายเหตุ * อาจจะเสริมด้วยไธอามีน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-3 องค์ประกอบของกรดอะมิโนในโปรตีนยีสต์บางชนิด (ปริมาณมีหน่วยเป็นกรัมต่อโปรตีน 100 กรัม) (2)

ชนิดของกรดอะมิโน	C. utilis	C. lypolytica	S. uvarum
Arginine	7.4	5.0	4.7
Histidine	2.1	2.1	1.5
Isoleucine	6.0	5.3	5.7
Leucine	8.9	7.8	6.3
Lysine	9.8	7.8	7.3
Methionine	1.5	1.6	1.2
Phenylalanine	4.4	4.8	4.4
Threonine	6.4	5.4	4.8
Tryptophane	1.2	1.3	1.1
Valine	7.4	5.8	5.2
Cystine	1.8	0.9	0.9

2.1 ประเภทของอาหารปลา

อาหารที่ใช้เลี้ยงปลาโดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ อาหารสดและอาหารสำเร็จรูป

2.1.1 อาหารสด คือ การนำอาหารที่เหลือจากครัวเรือนมาต้มรวมกับผักหรือพันธุ์ไม้ชนิดต่าง ๆ หรือการใช้ปลาเป็ดร่วมกับข้าวต้ม และรำ เป็นต้น (3, 4)

2.1.2 อาหารสำเร็จรูป คือ อาหารที่นำส่วนผสมต่าง ๆ มาคลุกเคล้ากันแล้วนำมาผ่านการทำเป็นรูปแบบต่าง ๆ โดยการนำส่วนผสมของอาหารที่มีลักษณะเป็นผงแห้งละเอียดมาผสมรวมกันแล้วเข้าเครื่องอัด อาหารสำเร็จรูปแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ แบบแห้ง และแบบเปียก (10)

<u>แบบแห้ง</u> เป็นแบบอาหารที่ใช้เลี้ยงปลาที่สะดวกมากวิธีหนึ่ง อาหารแบบนี้สามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นเวลานาน และสะดวกต่อการขนส่งไปยังที่ไกล ๆ เพราะมีปริมาณความชื้นต่ำ (a_w ประมาณ 0.6 - 0.75) (8, 15, 23) ซึ่งสามารถแบ่งอาหารสำเร็จรูปแบบแห้งตามรูปร่างได้ดังนี้

ก. แบบผง ใช้สำหรับปลาที่กินอาหารบริเวณผิวน้ำ เพราะเบาและลอยน้ำได้นานกว่าจะจม

ข. แบบเม็ดจม ทำได้โดยนำส่วนผสมของอาหารที่เป็นผงแห้งละเอียดมาผสมให้เข้ากัน เติมน้ำแล้วผ่านเข้าเครื่องอัดเม็ดซึ่งจะได้อาหารที่มีลักษณะเป็นแท่งยาวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวที่ต้องการ เมื่อออกจากเครื่องอัดเม็ดอาหารจะยังเปียกอยู่ต้องนำอาหารไปผ่านความร้อนเพื่อทำให้แห้งขึ้น

อาหารแบบเม็ดแห้งมีข้อดีคือ สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน แต่มีข้อเสียคือ แม้จะนำมา rehydrate ลักษณะเนื้ออาหารก็ยังไม่เหมือนอาหารธรรมชาติ (10)

ค. แบบเม็ดลอย อาหารแบบนี้ใช้ส่วนผสมของอาหารเช่นเดียวกับแบบเม็ดจม แต่กรรมวิธีการผลิตจะซับซ้อนกว่า คือต้องมีการอัดอากาศเข้าไปในอาหารก่อนการอัดเม็ด อาหารแบบนี้สามารถลอยอยู่ในน้ำได้นานหลายชั่วโมง (4)

<u>แบบเปียก</u> คล้ายกับอาหารเม็ดจมแบบแห้ง แต่ต่างกันที่เมื่ออาหารผ่านเครื่องอัดเม็ดแล้ว นำมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงปลาได้ทันที เนื่องจากอาหารแบบเปียกมีปริมาณความชื้นสูง (a_w ประมาณ 0.80 ขึ้นไป) (4, 23) ทำให้เกิดการเน่าเสียได้ง่ายจากจุลินทรีย์ โดยเฉพาะเชื้อรา (8, 15) จึงต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำหรือใช้ทันที แต่ข้อดีที่อาหารแบบเปียกมีเนื้อนิ่มซึ่งเป็นลักษณะที่ใกล้เคียงกับอาหารตามธรรมชาติของปลา ทำให้ปลากินได้ดี (15, 23) มีคุณค่าทางอาหารครบถ้วน ทำให้อาหารสำเร็จรูปแบบเม็ดมีข้อได้เปรียบกว่าอาหารสดและอาหารแบบผงหลายประการ (10, 11, 25) กล่าวคือ ทำให้ปลากินอาหารได้ง่ายกว่าเมื่อกินในลักษณะที่เป็นผง มีการบริโภคเพิ่มขึ้นทำให้ปลาได้รับสารอาหารครบถ้วน นอกจากนี้อาหารสำเร็จรูปแบบเม็ดจะมีการสูญเสียน้อย ซึ่งลดปัญหาน้ำเสียในบ่อปลาได้ ทำให้การสูญเสียพวกวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน

น้อยลง มีการปนเปื้อนเนื่องจาก samonella ลดลง และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารไปเป็นเนื้อปลาต่ำ (conversion ratio)ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย โดยการลดต้นทุนการผลิต

2.2 อิทธิพลและส่วนประกอบของอาหารปลา

ส่วนประกอบหลักของอาหารปลาโดยทั่วไป (5) ได้แก่

2.2.1 โปรตีน ช่วยในการเจริญเติบโตซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ สร้างฮอร์โมนและเอนไซม์ที่ใช้ในร่างกาย และใช้ในการหายใจ สร้างองค์ประกอบในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์และขยายพันธุ์ แหล่งโปรตีนที่มีการนำมาใช้ ได้แก่ ปลาป่น เนื้อป่น ถั่วป่น (soybean meal) linseed meal ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวบาร์เลย์ และยีสต์ (27) ซึ่งความต้องการโปรตีนของปลาจะแตกต่างกันไปตามชนิดของปลานั้น ๆ คือ ปลาประเภทกินเนื้อมีความต้องการโปรตีนสูง (ร้อยละ 35) มากกว่าปลาที่อยู่ในประเภทที่กินเนื้อและพืช (ต้องการโปรตีนร้อยละ 25 - 32) หรือปลาที่กินพืชอย่างเดียว (ต้องการโปรตีนร้อยละ 18 - 25) และปลาที่อยู่ในวัยอ่อนต้องการโปรตีนสูงกว่าปลาที่เจริญเต็มวัยแล้ว

2.2.2 คาร์โบไฮเดรท เป็นสารอาหารที่ให้พลังงาน และเป็นพลังงานที่อาจถูกใช้อย่างทันทีทันใด หรืออาจเป็นพลังงานสำรองโดยจะแปรรูปไปเป็นไขมัน ให้โครงสร้างทางร่างกายและยังทำหน้าที่เป็นสารยึดเหนี่ยว (binder) ด้วย แหล่งของคาร์โบไฮเดรทที่สำคัญคือ แป้งจากพืช (27) ซึ่งเป็นองค์ประกอบในการทำอาหารเม็ด โดยแป้งจะทำให้อาหารมีความคงทนในน้ำดีขึ้น เพราะเมื่อมีปริมาณความชื้นที่พอเหมาะและนำไปผ่านความร้อน แป้งจะเกิดการเจลาติไนส์ (gelatinize) และทำหน้าที่เป็นตัวยึดเหนี่ยวสารอาหาร (6, 7)

2.2.3 ไขมัน เป็นสารอาหารที่ให้พลังงานและความร้อน เป็นส่วนประกอบของผนังเซล เป็นฉนวนกันความหนาวจากภายนอก ช่วยละลายและดูดซึมวิตามินบางชนิดที่ละลายได้ในไขมัน นอกจากนี้ยังให้กรดไขมันที่จำเป็นแก่ร่างกาย แหล่งของไขมันที่ใช้กันส่วนใหญ่มาจากไขมันสัตว์ (animal fat) เช่น น้ำมันปลา tallow lard grease (27) และจากสารอาหารอื่น ๆ ที่ใช้ เช่น ปลาป่น ถั่วเหลือง

ไขมันในส่วนประกอบจะทำให้อาหารมีความนุ่ม ซึ่งใกล้เคียงกับลักษณะอาหารตามธรรมชาติของปลาที่กินเนื้อสัตว์เป็นอาหาร ถ้าอาหารผสมมีไขมันมากเกินไปไขมันจะไปเคลือบที่ผิวของเม็ดแป้งในอาหารและป้องกันการเกิดเจลาติไนส์ของแป้งในระหว่างผ่านกระบวนการให้ความร้อนและการอัด ทำให้อาหารมีความนุ่มและแตกร่วนได้ง่าย นอกจากนี้ไขมันยังช่วยอุ้มน้ำไว้ในอาหารและช่วยให้อาหารผสมมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (fluid consistency) จึงทำให้การใช้ไขมันในสูตรอาหารมีข้อจำกัด คือในช่วงร้อยละ 6 - 11 (27,29)

2.2.4 <u>เส้นใย</u> เส้นใยในส่วนประกอบจะทำหน้าที่เป็นตัวเสริมให้เกิดความแข็งในเม็ดอาหารและช่วยในการขับถ่าย แหล่งของเส้นใยที่นิยมนำมาใช้ในอาหารสัตว์ ได้แก่ รำละเอียด นอกจากนี้ขนาดของเส้นใยจะมีผลต่อแรงยึดเหนี่ยวของอาหาร ถ้าเส้นใยมีขนาดเล็กจะทำให้ส่วนผสมของอาหารเกาะกันแน่นขึ้น เนื่องจากมีพื้นที่ผิวของการยึดเหนี่ยวเพิ่มขึ้นจึงทำให้การใช้เส้นใยในสูตรอาหารมีข้อจำกัด ซึ่งจากการทดลองของ Stivers (29) พบว่าปริมาณเส้นใยที่ใช้ได้น้อยที่สุดคือร้อยละ 8

2.2.5 <u>วิตามิน</u> เป็นสารอาหารที่ต้องการในปริมาณเล็กน้อยเพื่อทำให้กระบวนการย่อยสลายและสร้างสรรค์ภายในตัวปลาเป็นไปอย่างสมบูรณ์ เช่น ช่วยในการย่อยและการใช้อาหารประเภทคาร์โบไฮเดรทเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การเจริญเติบโต ระบบประสาทและกล้ามเนื้อของปลาเป็นไปอย่างปกติ แหล่งของวิตามินที่จำเป็นในปลาส่วนใหญ่มีอยู่ในยีสต์ที่ใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร (27) ซึ่งปริมาณของวิตามินที่ใช้ในอาหารปลาตามสูตรอาหารของกรมประมงน้ำจืด คือร้อยละ 1.6 (5)

2.2.6 <u>แร่ธาตุ</u> เป็นกลุ่มสารอาหารที่จะควบคุมกิจกรรมในร่างกาย ใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อต่าง ๆ ซึ่งเป็นโครงสร้างของร่างกาย ทำให้การดูดซึมสารอาหารไปใช้ประโยชน์ของเซลดีขึ้น แหล่งของแร่ธาตุส่วนใหญ่มีอยู่ในส่วนประกอบของอาหารปลาที่ใช้กัน ซึ่งอาจมีไม่ครบตามความต้องการของปลา จึงอาจมีการเติมแร่ธาตุบางตัวที่ขาดหายไปได้ ปัจจุบันนิยมใช้ในรูปของ วิตามิน-แร่ธาตุผสม ซึ่งสะดวกและทำให้อาหารผสมมีคุณค่าทางอาหารครบถ้วนขึ้น

2.2.7 สารยึดเหนี่ยว สารยึดเหนี่ยวในส่วนประกอบของอาหารอาจเป็นสารที่ให้คุณค่าทางอาหารน้อยมากหรือไม่มีเลย ส่วนใหญ่แล้วจะไปเพิ่มความแข็งแรงให้กับเม็ดอาหาร ทำให้อาหารมีความคงทนดีขึ้น (6, 29) ปริมาณสารยึดเหนี่ยวที่ใช้จะขึ้นกับความเหมาะสมเพื่อที่จะรักษาคุณลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางอาหารให้คงเดิมเมื่อปลากินอาหารเม็ดนั้น

จากที่กล่าวมาแล้วพบว่าส่วนประกอบที่เป็นปัจจัยสำคัญในการศึกษานี้ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรท ไขมัน เส้นใย และสารยึดเหนี่ยว ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อคุณลักษณะทางกายภาพโดยเฉพาะความคงทนในน้ำและการจมการลอยของอาหารเม็ด

2.3 อิทธิพลอื่น ๆ

นอกจากอิทธิพลของส่วนประกอบของอาหารปลาแล้ว ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งจะทำให้อาหารมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้น (29) ได้แก่

2.3.1 ความชื้น มีผลต่ออาหารแบบเม็ด กล่าวคือถ้าปริมาณความชื้นมากเกินไปจะได้อาหารเม็ดที่มีรูปแบบไม่เป็นไปตามที่ต้องการและต้องใช้เวลานานในการที่จะทำให้อาหารแห้ง แต่ถ้าปริมาณความชื้นน้อยไปจะทำให้อาหารแตกร่วนได้ง่าย ปริมาณความชื้นที่ใช้จะแตกต่างกันไปแล้วแต่ประเภทของอาหาร แต่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่จะทำให้อาหารเม็ดมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีจะอยู่ในช่วงร้อยละ 15 - 18 (29) ทั้งนี้ขึ้นกับประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้ด้วย

2.3.2 ความหนาแน่น ความหนาแน่นของสารอาหารจะเกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อ (texture) ของอาหารเม็ด กล่าวคือเมื่ออาหารผสมเปลี่ยนจากสภาพที่บดละเอียดกลายเป็นเม็ดจะทำให้อาหารเม็ดที่ได้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น (11) ซึ่งมีผลต่อคุณลักษณะของอาหารปลาในแง่การจมการลอยของอาหารเม็ด

2.3.3 ความคงทนของอาหารในน้ำ เป็นคุณลักษณะทางกายภาพที่สำคัญในการเปรียบเทียบอาหารเม็ดชนิดต่าง ๆ (20) ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่

2.3.3.1 อุณหภูมิของน้ำ จะมีผลต่ออัตราการแตกสลายของอาหารเม็ด พบว่าที่อุณหภูมิต่ำ (18 องศาเซนติเกรด) จะมีอัตราการแตกสลายของอาหารเม็ดน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง (30 องศาเซนติเกรด) เพราะที่อุณหภูมิต่ำสารอาหารจะเกาะกันและอยู่ใกล้กันมากขึ้น ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยว (Van der Waals) ระหว่างอนุภาคภายในเม็ดอาหารมากขึ้น แต่ที่อุณหภูมิสูงอนุภาคภายในเม็ดอาหารจะอยู่ห่างกัน โดยเฉพาะฟองอากาศในอาหารจะขยายตัวได้เร็วกว่าทำให้น้ำแทรกซึมเข้าสู่เม็ดอาหารได้ดีกว่า

2.3.3.2 การไหลเวียนของน้ำ โดยทั่วไปน้ำในบ่อปลาจะไม่อยู่นิ่งเพราะจะมีการให้อากาศตลอดเวลา ในขณะที่ให้อากาศเพื่อเพิ่มอากาศในบ่อทำให้เกิดกระแสน้ำไหลหมุนเวียน ยิ่งในบ่อปลามีกระแสน้ำไหลหมุนเวียนมากอาหารเม็ดจะมีความคงทนน้อยลง เนื่องจากขณะที่น้ำไหลผ่านอาหารก็จะเอาอนุภาคของอาหารบริเวณผิวไปด้วย ยิ่งถ้าน้ำมีการไหลเวียนมากขึ้นอนุภาคอาหารที่บริเวณผิวก็ถูกน้ำพาไปได้ง่ายขึ้น

2.3.3.3 ขนาดตะแกรง ในการหาความคงทนของอาหารจะวางอาหารบนตะแกรงที่มีรูขนาดต่าง ๆ กัน ถ้าขนาดรูตะแกรงใหญ่ปริมาณอาหารที่เหลือบนตะแกรงจะน้อย ดังนั้นในการหาความคงทนในน้ำจึงต้องเลือกใช้ขนาดตะแกรงให้เหมาะกับขนาดของอาหารที่จะทดสอบ โดยเลือกตะแกรงที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่เม็ดอาหารจะไม่หลุดลอดออกไปได้ เพื่อให้เหมือนกับสภาพที่ลอยอยู่ในน้ำจริง ๆ

2.3.4 ความคงทนต่อการจับต้อง เป็นคุณลักษณะทางกายภาพที่สำคัญอย่างหนึ่ง อาหารเม็ดที่มีคุณภาพดีควรมีการแตกร่วนได้น้อยในระหว่างการใช้ (11) ซึ่งความคงทนของอาหารสามารถแสดงได้ในรูปความแข็ง หรือร้อยละของอาหารส่วนที่ละเอียด

2.3.5 อุณหภูมิ การใช้อุณหภูมิที่พอเหมาะในการเกิดเจลาติไนส์ของแป้ง จะทำให้สารอาหารยึดเกาะกันและอาหารมีความคงทนดีขึ้น ซึ่งอุณหภูมิและความดันที่พอเหมาะจะทำให้เกิดฟองอากาศในอาหาร ทำให้อาหารเบาและมีความคงทนดีขึ้น (29)

2.4 การใช้สารเซอร์แฟคแตนท์ในอาหารปลา

ปัจจุบันได้มีการนำสารปรุงแต่ง (food additive) มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารกันมาก แม้ว่าจะให้คุณค่าทางอาหารน้อยหรือไม่มีเลยก็ตาม ซึ่งสารเซอร์แฟคแตนท์ก็เป็นสารปรุงแต่งชนิดหนึ่งที่ได้มีการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่าง ๆ เช่น ขนมปัง เค็ก ลูกกวาด มาการีน ไอสครีม และอาหารสัตว์ ฯลฯ (17, 32) สารปรุงแต่งที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารจะมีคุณสมบัติ คือ ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส หน้าที่สำคัญของสารปรุงแต่งเหล่านี้ คือ ทำให้อาหารมีเสถียรภาพขึ้น เช่น ในน้ำสลัดเข้มข้น (salad dressing), ในมาการีน เป็นตัวปรับสภาพในอาหาร (conditioner) เช่น ขนมปัง ป้องกันการตกผลึก (crystalization inhibitor)เช่นในเยลลี่ (starch jellies) เป็นตัวควบคุมลักษณะเนื้อสัมผัส (texture controller)เช่นในเค็ก, ขนมปัง ป้องกันการเยิ้มไหล (antisticker) เช่น ในขนมลูกกวาด (candy) และหมากฝรั่ง (chewing gum) ป้องกันการดูดน้ำ (hydrater)เช่น ในนมผง ป้องกันการจับเป็นก้อน (crystal modificator) เช่นในลูกกวาด (confectionery coating) (24)

จากการค้นคว้าพบว่ายังไม่มีการใช้สารเซอร์แฟคแตนท์ในการควบคุมคุณสมบัติของการจมการลอยของอาหารโดยตรง ส่วนมากใช้เพื่อจุดประสงค์อื่น ซึ่งการใช้สารเซอร์แฟคแตนท์ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของอาหารก็เพื่อทำให้ผิวหน้าของสารอาหารมีผิวสัมผัสที่มีลักษณะไม่ชอบน้ำ (non-polar) หรือมีผิวสัมผัสที่เมื่อถูกกับอากาศแล้วจะเกิดการเกาะตัวของฟองอากาศบนผิวหน้านั้น ทำให้อัตราการจมของอาหารได้ช้าเร็วตามต้องการ ดังนั้นการใช้สารเซอรแฟคแตนท์ในอาหารสัตว์ เช่น อาหารปลา จึงเป็นไปได้ถ้ามีการเลือกชนิดสารเซอร์แฟคแตนท์ที่เหมาะสม

2.4.1 ทฤษฎีสารเซอร์แฟคแตนท์ เซอร์แฟคแตนท์ (surfactant หรือ surface active agent) อาจแบ่งตามลักษณะการใช้งาน ซึ่งมีชื่อเรียกต่าง ๆ กันไป เช่น detergents, wetting agents, emulsifying agents, dispersing agents

สารเซอร์แฟคแตนท์เป็นสารอินทรีย์ที่โมเลกุลประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของไฮโดรคาร์บอนที่จะดึงดูดกับไขมัน (aliphatic hydrocarbon) หรือส่วนประกอบที่มีลักษณะไม่ละลายน้ำ (water-insoluble) ซึ่งเป็นพวกนอนโพล่าร์ (non-polar) ขณะที่อีกด้านหนึ่งของโมเลกุลจะมีการดึงดูดกับน้ำหรือสารละลายที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ ซึ่งเป็นพวกโพล่าร์ (polar) โมเลกุลที่มีธรรมชาติแบบนี้สามารถที่จะช่วยทำให้เกิดการรวมตัวระหว่างสารสองชนิดซึ่งธรรมชาติไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ขึ้นกับว่าสารเซอร์แฟคแตนท์มีความเป็นประจุมากน้อยแค่ไหนเพื่อที่จะทำให้สารสองชนิดสามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันหรือรักษาสภาพของสารแต่ละชนิดให้คงเดิม โดยทั่วไปแล้วขนาดและความยาวของโมเลกุลมีความสำคัญมากในการเกิดความสมดุลย์ระหว่างพวกโพล่าร์และนอนโพล่าร์ ถ้าโมเลกุลมีความยาวเกินไปจะทำให้เกิดความไม่สมดุลย์และทำให้มีการดึงดูดกับพวกนอนโพล่าร์มากเกินไป ทำให้การละลายน้ำจำกัด แต่ถ้าโมเลกุลสั้นไปจะเป็นสารเซอร์แฟคแตนท์ที่มีคุณสมบัติที่ไม่ดี ความยาวที่เหมาะสมของสารเซอร์แฟคแตนท์ที่จะทำให้สารสองชนิดเกิดการรวมตัวกันได้ดี ที่พบทั่วไปในธรรมชาติควรมีคาร์บอนระหว่าง 10 - 18 อะตอม (12, 24, 28 , 30, 31)

ในการทำหน้าที่ให้สารสองชนิดรวมเป็นเนื้อเดียวกันของสารเซอร์แฟคแตนท์จะเป็นไปตามหลักการของ Harkins et al และ Langmuir (12) กล่าวคือ ที่บริเวณผิว (boundaries) ของสารสองชนิด จะมีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารเซอร์แฟคแตนท์ซึ่งมีทั้งพวกโพล่าร์และนอนโพล่าร์ และเกิดเป็นรอยต่อ (interface) ระหว่างผิวของสารทั้งสอง ถ้าสารชนิดนั้นเป็นน้ำมัน ส่วนหางของสารเซอร์แฟคแตนท์ที่เป็นพวกนอนโพล่าร์ก็จะมีการเคลื่อนที่หันเข้าหาสู่โมเลกุลน้ำมัน ส่วนพวกที่ชอบน้ำหรือส่วนหัวของสารเซอร์แฟคแตนท์จะหันเข้าสู่น้ำซึ่งเป็นโพล่าร์ โดยทั่วไปแล้วสารจะมี 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ในทางอาหารจึงแบ่งระบบตามสถานะได้เป็น 3 ระบบคือ ก๊าซในของเหลว, และของเหลวในของเหลว และของแข็งในของเหลว สำหรับงานวิจัยนี้อาหารประกอบด้วย 3 สถานะพร้อม ๆ กัน คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ดังนั้นการทำหน้าที่ของสารเซอร์แฟคแตนท์เพื่อที่จะให้เกิดการรวมตัวกันจึงต้องพิจารณาจากมุมสัมผัส (contact angle) หรือมุมระหว่างของเหลว คือ น้ำกับผิวของของแข็ง คืออาหาร ดังรูป

(1) มุมสัมผัสมีค่าน้อย

(2) มุมสัมผัสมีค่ามาก

ซึ่งมุมสัมผัสจะมีค่าตั้งแต่ศูนย์ คือของแข็งเปียกหมด จนถึง 180 องศา คือไม่มีการเปียกเลย หรือไม่มีการรวมตัวระหว่างของแข็งและของเหลว ดังนั้นการเติมสารเซอร์แฟคแตนท์ก็เพื่อทำให้มุมสัมผัสมีค่ามากหรือน้อยต่างกัน เพื่อควบคุมให้อาหารมีการเปียกน้อยหรือไม่เปียกเลย โดยที่อากาศจะเป็นตัวไล่น้ำออก

2.4.2 อิทธิพลของสารเซอร์แฟคแตนท์ต่อการจมการลอยของอาหารปลา โดยทั่วไปแล้วการที่อาหารจะจมได้เร็วหรือช้าขึ้นกับความหนาแน่น ถ้าอาหารมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำอาหารจะจมได้เร็ว นอกจากนี้สารอาหารที่เป็นส่วนประกอบเป็นประเภทที่ชอบน้ำ (โพลาร์) อยู่แล้ว เพราะส่วนใหญ่เป็นพวกโปรตีนและคาร์โบไฮเดรท เมื่ออยู่ในน้ำจึงทำให้อาหารนั้นเปียกได้ (wetting) เพราะเกิดการแผ่กระจาย (spreading) ของน้ำล้อมรอบอาหารเพราะเป็นพวกโพลาร์เหมือนกัน ทำให้น้ำซึมเข้าสู่อาหารได้ (12) ดังนั้นการที่อาหารจะจมได้เร็วหรือช้านอกจากจะขึ้นกับความหนาแน่นแล้ว ยังขึ้นกับอาหารนั้นว่าถูกหุ้มหรือถูกทำให้เปียกได้เร็วมากน้อยต่างกันอย่างไรด้วย การใช้สารเซอร์แฟคแตนท์เติมลงในอาหารก็เพราะสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นทั้งโพลาร์และนอนโพลาร์ ซึ่งจะไปแทรกระหว่างผิวของสารอาหารหรือหุ้มที่ผิวของสารอาหารนั้นไว้ ทำให้การซึมของน้ำเข้าสู่อาหารช้าลงได้ และสารเซอร์แฟคแตนท์ยังช่วยเกี่ยวกับการจมการลอยของอาหารด้วยเพราะขณะที่ฟองอากาศลอยขึ้นมาจะมีฟองอากาศบางส่วนที่เกาะติดกับเม็ดอาหารที่มีการเติมสารเซอร์แฟคแตนท์นี้ เนื่องจากเกิดแรงดึงดูดระหว่างผิวของอาหารที่มีสารเซอร์แฟคแตนท์กับฟองอากาศ ซึ่งเป็นแรงดึงดูดของโมเลกุลชนิดเดียวกัน คือนอนโพลาร์ ก็จะ

ทำให้ฟองอากาศเกาะติดกับอาหารได้นานขึ้น และช่วยพยุงอาหารให้จมช้าลงได้ถ้าฟองอากาศนั้นมีแรงพยุงมากกว่าการตกของอาหาร นอกจากนี้ส่วนของอาหารที่แตกร่วนออกจากเม็ดอาหารถ้าจับกับฟองอากาศก็จะถูกพยุงให้ลอยขึ้นมาอีก ทำให้กำจัดเศษอาหารในบ่อปลาได้อีกด้วย

2.4.3 <u>ประเภทของสารเซอร์แฟคแตนท์</u> สามารถแบ่งสารเซอร์แฟคแตนท์ได้ 4 ประเภท คือ (31)

2.4.3.1 anionic surfactant

2.4.3.2 cationic surfactant

2.4.3.3 nonionic surfactant

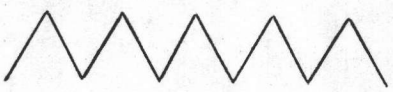
2.4.3.4 amphoteric surfactant

2.4.3.1 anionic surfactant เป็นสารเซอร์แฟคแตนท์ที่ด้านหนึ่งของโมเลกุลเป็นนอนโพล่าร์ และอีกด้านหนึ่งของโมเลกุลเป็นโพล่าร์ที่มีประจุลบ เช่น

X^- $\quad X^- = COO^-, \ OSO_3^- \ SO_3^-$

potassium laurate, $CH_3(CH_2)_{10}COO^-K^+$; sodium dodecyl (lauryl) sulphate, $CH_3(CH_2)_{11}SO_4^-Na^+$

2.4.3.2 cationic surfactant เป็นสารเซอร์แฟคแตนท์ที่ด้านหนึ่งของโมเลกุลเป็นพวกนอนโพล่าร์ และอีกด้านหนึ่งของโมเลกุลเป็นโพล่าร์ที่มีประจุบวก เช่น

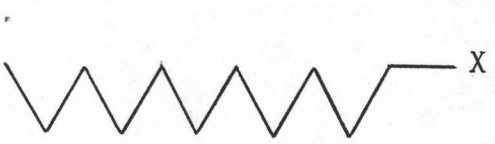


X^+ $\quad X^+ = \overset{\oplus}{N}$

hexadecyl (cetyl) trimethylaminonium bromide, $CH_3(CH_2)_{15}N^+(CH_3)_3Br^-$, cetyl pyridinium chloride, $C_{21}H_{38}N^+Cl^-$

008747

2.4.3.3 nonionic surfactant เป็นสารเซอร์แฟคแตนท์ที่ด้านหนึ่งของโมเลกุลเป็นพวกนอนโพล่าร์ และอีกด้านหนึ่งของโมเลกุลเป็นโพล่าร์ที่ไม่มีประจุ เช่น



$X = -[OCH_2CH_2]_n-OH$ หรือ

$-[OCH_2-CH(CH_3)]_n-OH$

$n = 6 - 30$

$= -COOCH_2-HOCH-HOCH_2$, $CONHCH_2CH_2OH$

poly-oxytyl, p-tert-octylphenyl ether, $C_8H_{17}C_6H_4O(CH_2CH_2O)_{10}H$

2.4.3.4 amphoteric surfactant เป็นสารเซอร์แฟคแตนท์ที่ด้านหนึ่งของโมเลกุลเป็นพวกนอนโพล่าร์ และอีกด้านหนึ่งของโมเลกุลเป็นโพล่าร์ที่มีทั้งประจุบวกและลบ

$X = -N^{\oplus}-CH_2-COO^-$

$-N^{\oplus}-(CH_2)_3-SO_3^-$

$-N^{\oplus}-O^-$

สารเซอร์แฟคแตนท์ที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร (14, 24, 29) ได้แก่

-mono - , and diglycerides

-propylene glycol ester

-sorbitan esters (span 60)

-polyoxyethylene sorbitan ester (tween)

-glycerol ester (atmul 84)

-lactated ester (atmul 300)

-polyglycerol esters (atmul 500)

-lecithin and derivatives

เนื่องจากสารเซอร์แฟคแตนท์มีทั้งที่มีคุณสมบัติเป็นทั้งพวกที่ชอบน้ำหรือโพล่าร์ และพวกที่ไม่ชอบน้ำหรือนอนโพล่าร์ และความต้องการสารเซอร์แฟคแตนท์ที่จะใช้ในอาหารปลาก็เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะทางกายภาพโดยเฉพาะความคงทนและอัตราการจมของอาหารในน้ำ ซึ่งสารที่จะเลือกใช้ต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันการแทรกซึมของน้ำเข้าสู่อาหาร ควรเป็นสารที่หาซื้อได้ง่ายมีราคาเหมาะสม เป็นสารที่ไม่ทำให้คุณสมบัติทางเคมีของอาหารเปลี่ยนแปลง และไม่ทำให้อายุการเก็บของอาหารสั้นลง ควรเป็นสารที่มีประสิทธิภาพดีเมื่อใช้ในปริมาณน้อย ๆ ซึ่งสารเซอร์แฟคแตนท์ที่พิจารณาเลือกใช้ในงานวิจัยนี้มี 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มโมโนกลีเซอร์ไรด์ (monoglyceride) กลุ่มทวีน (tween) และกลุ่มสแปน (span) ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

<u>โมโนกลีเซอร์ไรด์</u> -อาจเรียกว่า glycerol monostearate (GMS ; glyceryl monostearate ; monostearin)

-มีชื่อการค้าว่า "Atmul 84"

-สูตรโครงสร้างเป็น

$(C_{17}H_{35})\ COOCH_2CHOHCH_2OH$

-มีลักษณะเป็นของแข็งคล้ายขี้ผึ้ง มีสีขาวบริสุทธิ์ หรือสีครีม

-จุดหลอมเหลว 58 - 59 องศาเซลเซียส (โดยวิธี capillary tube)

-ความถ่วงจำเพาะ 0.97

-ปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) น้อยกว่าร้อยละ 5

-มีค่าไอโอดีน (iodine value) 3-4

-กระจาย (disperse) ได้ในน้ำร้อน

-ละลายได้ในอัลกอฮอล์ที่ร้อน, ไขมัน และสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน

-เผาไหม้ได้ (combustible)

-ไม่เป็นพิษ (nontoxic)

-สามารถกินได้ (edible)

-ใช้เป็นสาร thickening และ emulsifying agent ในมาการีน และผลิตภัณฑ์อาหาร, ป้องกันการดูดซึมน้ำ (hygroscopic) ของแป้ง ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

-มีคุณสมบัติเป็น w/o emulsion มีค่า HLB = 3.8

-มีคุณสมบัติเป็นกลาง (nonionic)

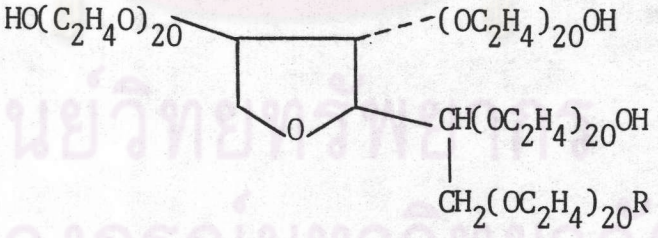
-ตามข้อบังคับของ FAO ไม่มีขีดจำกัดสูงสุดของการใช้ (13, 21, 35)

<u>ทวีน</u>

-ชื่อทางเคมีคือ polysorbate หรือ polyoxyethylene fatty acid ester

-มีชื่อการค้าว่า "tween"

-มีสูตรโครงสร้างเป็น



R = $C_{17}H_{23}COO^-$ = laurate = tween 20

= $C_{17}H_{35}COO^-$ = stearate = tween 60

= $C_{17}H_{33}COO^-$ = oleate = tween 80

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

-ได้จากการ esterification ของ sorbitol กับ 1, 3 โมเลกุล ของกรดไขมัน เช่น stearic, lauric, oleic, palmitic acid ภายใต้สภาพที่มีการเอาโมเลกุลน้ำออกจาก sorbitol ในที่สุด จะได้ sorbitan

-มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด มีสีเหลืองอ่อน ถึง สีชา

-ความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.1 ที่ 25 องศาเซลเซียส

-ละลายได้ในน้ำ อัลกอฮอล์ สารละลายไฮโดรคาร์บอน

-ไม่เป็นพิษ

-ใช้เป็นสาร emulsifying agent หรือสาร surfactant ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

-มีคุณสมบัติเป็นกลาง (nonionic)

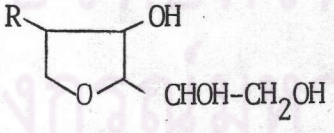
-มีค่า HLB ของ tween 20, 60, 80 เป็น 16.7, 9.6, 10 ตามลำดับ

-ตามข้อบังคับของ FDA ให้ใช้ได้ไม่เกินร้อยละ 2.5 (13, 21)

<u>สแปน</u>

-อาจเรียกว่า sorbitan esters

-สูตรโครงสร้างเป็น



R = $C_{17}H_{23}COO^-$ = laurate = span 20

= $C_{15}H_{31}COO^-$ = palmitate = span 40

= $C_{17}H_{35}COO^-$ = stearate = span 60

= $C_{17}H_{33}COO^-$ = oleate = span 80

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

-span 20, span 80 มีลักษณะเป็นของเหลวสีชา (amber) ; span 40 , span 60 มีลักษณะเป็นของแข็งคล้ายขี้ผึ้ง (waxy-solid) มีสีครีม มีกลิ่นอ่อน ๆ

-ความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.0 ที่ 25 องศาเซลเซียส

-จุดหลอมเหลวของของแข็งประมาณ 54 องศาเซลเซียส

-มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในสารละลายอินทรีย์

-เผาไหม้ได้

-มีคุณสมบัติเป็นกลาง (nonionic)

-ใช้เป็นสาร emulsifier และ stabilizer ในอาหาร, เครื่องสำอางและยา

-มีคุณสมบัติเป็น w/o emulsion ค่า HLB ของ span 20, 40, 60, 80 มีค่า 8.6, 6.7, 4.7 และ 4.3 ตามลำดับ

-ตามข้อบังคับของ FAO ให้ใช้ได้ไม่เกินร้อยละ 2.5 (12, 20)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย