บทที่ 5
การสร้างสูตรอาหารสัตว์น้ำ

การสร้างสูตรอาหารสัตว์น้ำ เป็นการแปรหรือเปลี่ยนข้อมูลความต้องการสารอาหารของสัตว์น้ำให้เป็นชนิดและปริมาณของวัตถุดิบอาหาร เพื่อให้สัตว์น้ำได้อาหารที่มีสารอาหารครบถ้วนตามความต้องการของสัตว์น้ำแต่ละชนิด และในแต่ละช่วงชีวิตหรือช่วงการให้ผลผลิต ดังนั้นนอกจากจะต้องมีคุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสมกับสัตว์น้ำ มีความน่ากิน และมีการย่อยได้สูงแล้ว สูตรอาหารที่ดีควรมีต้นทุนต่ำด้วย ซึ่งการที่จะกำหนดได้ว่าจะใช้วัตถุดิบชนิดใดอย่างละเท่าใด จำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบแต่ละชนิด ข้อจำกัดในการใช้ ราคาของวัตถุดิบ และความต้องการสารอาหารของสัตว์น้ำ เพื่อนำไปประกอบการพิจารณาเลือกใช้วัตถุดิบแต่ละชนิดได้อย่างเหมาะสม

ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างสูตรอาหารสัตว์น้ำ

สูตรอาหารและการผลิตอาหารสัตว์น้ำได้พัฒนาขึ้นอย่างมากตั้งแต่เริ่มต้นเมื่อหลายร้อยปีก่อน ซึ่งในตอนต้นศตวรรษที่ 20 ผลผลิตสัตว์น้ำส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับการผลิตอาหารตามธรรมชาติ โดยการใส่ปุ๋ยในบ่อเลี้ยง และการให้อาหารเสริม ซึ่งในระยะแรกนั้นมีการศึกษาถึงอาหารที่สัตว์น้ำกินตามธรรมชาติ จากนั้นจึงใช้ความรู้นี้เป็นแนวทางเพื่อให้ได้ข้อมูลทางโภชนาการที่เหมาะสมของอาหารเสริม (Hardy and Barrows, 2002) ซึ่งมีความพยายามอย่างต่อเนื่องในการพัฒนาอาหารสัตว์น้ำ เพื่อให้ได้อาหารประสิทธิภาพสูงสุด และมีราคาถูกที่สุด สำหรับสัตว์น้ำแต่ละชนิดในทุกช่วงชีวิต (Millamena et al., 2002) ซึ่งการพัฒนาอาหารสัตว์น้ำเริ่มต้นขึ้นเมื่อแหล่งอาหารตามธรรมชาติในระบบการเพาะเลี้ยงมีจำนวนไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องเสริมด้วยอาหารสัตว์น้ำที่จัดเตรียมขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งการให้อาหารเสริมจึงไม่เพียงพออีกต่อไป ดังนั้นอาหารสมบูรณ์ซึ่งมีสารอาหารที่จำเป็นทั้งหมดในปริมาณที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต การเลี้ยงรอด และการสืบพันธุ์ที่ดีจึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งในการประกอบสูตรอาหารนั้นจำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลต่างๆ ดังต่อไปนี้ประกอบ

1. จุดมุ่งหมายและกลยุทธ์การผลิตอาหารสัตว์น้ำ

การผลิตอาหารประกอบไปด้วยสองส่วนระหว่างสูตรอาหารในอุดมคติซึ่งหมายถึงสูตรอาหารที่มีสารอาหารครบถ้วนตามความต้องการของสัตว์น้ำ และการนำไปปฏิบัติจริง (Hardy and Barrows, 2002) ทั้งนี้ไม่ใช่เรื่องยากที่จะกำหนดสูตรอาหารที่มีสารอาหารตามความต้องการของสัตว์น้ำทั้งหมด อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเรื่องการปฏิบัติแล้วจะมีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ราคาและปริมาณของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสม การกินได้หรือการยอมรับอาหารของสัตว์น้ำ ความสามารถในการอัดเม็ดของอาหาร การเก็บรักษาและการจัดการอื่นๆ และข้อจำกดด้านโภชนาการหรือสารพิษที่มีในวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำบางชนิด

ทั้งนี้เป้าหมายสูงสุดการผลิตอาหารสัตว์น้ำ คือ การผลิตอาหารที่ทำให้สัตว์น้ำมีประสิทธิภาพการผลิตสูงสุด และมีต้นทุนการผลิตสัตว์น้ำที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นอาหารสัตว์น้ำจึงมีหลายสูตรตามวัตถุประสงค์ของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น การผลิตอาหารสำหรับสัตว์น้ำที่ผลิตเพื่อใช้เป็นอาหารของมนุษย์ อาหารสำหรับสัตว์น้ำสวยงาม และอาหารสำหรับพ่อแม่พันธุ์และลูกพันธุ์สัตว์น้ำ เป็นต้น โดยอาหารแต่ละสูตรมีความเหมาะสมกับสัตว์น้ำแต่ละชนิดและแต่ละระยะเป็นการเฉพาะ โดยคำนึงถึงเป้าหมายสูงสุดการผลิตอาหารสัตว์น้ำ ตัวอย่างเช่น อาจให้อาหารสำเร็จรูปที่มีสารอาหารครบถ้วนและการเติมสารเสริมบางอย่างในช่วงเดือนสุดท้ายก่อนการเก็บเกี่ยว เพื่อผลิตสัตว์น้ำที่มีคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสที่เฉพาะเจาะจง เช่น การสร้างเม็ดสีของเนื้อในปลาแซลมอน รสสัมผัสหรือรสชาติของเนื้อปลา และเพื่อการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง เป็นต้น

2. ความต้องการด้านโภชนาการของสัตว์น้ำ

ระดับความต้องการสารอาหารที่สัตว์น้ำใช้ประโยชน์ได้ ควรเพียงพอต่อสัตว์น้ำในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิต ซึ่งประกอบด้วยความต้องการโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน แร่ธาตุ และวิตามิน โดยสามารถเทียบจากตารางมาตรฐานการให้อาหารของหน่วยงาน และนักวิชาการทั้งของประเทศไทย เช่น นักวิชาการกรมประมง หรือสภาวิจัยแห่งชาติสหรัฐเอมริกา (National Research Council; NRC.) ซึ่งจะมีรายละเอียดเกี่ยวกับความต้องการพลังงาน โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และวิตามิน รวมทั้งการศึกษาข้อมูลความต้องการสารอาหารของสัตว์น้ำระยะต่างๆ ทางออนไลน์ เช่น www.feedipeida.org (Masagounder et al., 2016) (ดูบทที่ 2)

3. วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ

วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำเป็นผลพลอยได้จากการขบวนการแปรรูปอาหาร โดยส่วนใหญ่มาจากการสกัดอาหารที่มีคุณค่าสูงสำหรับมนุษย์ออกจากวัตถุดิบ จากนั้นวัสดุที่เหลือจะถูกแปรรูปเพื่อเป็นวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบของอาหารสัตว์น้ำ และนำไปจำหน่ายเป็นสินค้าเชิงพาณิชย์ โดยปกติแล้ววัตถุดิบเหล่านี้ส่วนใหญ่มีจำหน่ายตลอดทั้งปี โดยราคาจะขึ้นอยู่กับอุปสงค์และอุปทาน วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำมีแหล่งที่มาอย่างหลากหลาย การเลือกวัตถุดิบเพื่อใช้เป็นส่วนผสมอาหารสัตว์ในสูตรอาหารสัตว์น้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณสารอาหาร การย่อยได้และการดูดซึมสารอาหาร สารยับยั้งน้ำย่อยและสารพิษที่มีในวัตถุดิบ ปริมาณและความสำเสมอของปริมาณ และราคา เป็นต้น

3.1 แหล่งที่มาและกระบวนการผลิตวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ การประยุกต์ใช้โภชนาการของสัตว์น้ำในทางปฏิบัติ คือ การผลิตอาหารที่สนับสนุนการเจริญเติบโต สุขภาพ และสวัสดิภาพของสัตว์น้ำในฟาร์ม (NRC., 2011) ซึ่งการดำเนินการเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์นี้ทำได้โดยการเลือกวัตถุดิบที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมอาหารสัตว์น้ำที่เหมาะสม ดังนั้นต้องตัดสินใจว่าควรใช้วัตถุดิบชนิดใดมาประกอบเป็นสูตรอาหารอย่างไรเพื่อให้ตรงตามข้อกำหนดทางโภชนาการของสัตว์น้ำที่เลี้ยงภายในฟาร์ม รวมทั้งการแปรรูปวัตถุดิบต่างๆ ให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมทางกายภาพสำหรับการใช้งานจริง ซึ่งแหล่งที่มาและกระบวนการผลิตวัตถุดิบอาหารสัตวนั้นมีผลโดยตรงต่อคุณภาพและราคาของวัตถุดิบนั้นๆ (Glencross, 2016) ตัวอย่างเช่น ปลาป่น ที่ผลิตมาจากปลาต่างชนิดกันจะมีปริมาณสารอาหารที่แตกต่างกันด้วย (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) หรือถั่วเหลืองที่ปลูกในประเทศต่างๆ หรือ

พื้นที่ต่างๆ รวมทั้งวิธีการปลูกและการหมุนเวียนของการปลูกสลับกับพืชอื่นๆ ซึ่งความแตกต่างเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อปริมาณโปรตีน และความเข้มข้นกรดอะมิโน (Bellaloui et al., 2010) นอกจากถั่วเหลืองแล้วธัญพืชอื่นๆ ก็มีลักษณะที่เหมือนกัน คือ ปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีหรือปริมาณของโภชนะที่มีในผลผลิตเหล่านั้น ก็จะแตกต่างกันออกไปตาม พันธุ์ ฤดูปลูก การจัดการ คุณภาพของดินและสิ่งแวดล้อม ก็ส่งผลต่อองค์ประกอบเช่นกัน นอกนี้วิธีการผลิตหรือการแปรรูปที่แตกต่างกัน ก็ส่งผลให้มีความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำชนิดต่างๆ ด้วยเช่นกัน (Glencross, 2016) ดังนั้นนอกเหนือไปจากการรวบรวมข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีแล้ว การได้รับข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับแหล่งกำเนิด และกระบวนการแปรรูป จึงช่วยให้สามารถเลือกใช้วัตถุดิบชนิดต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม

3.2 คุณค่าทางอาหาร วัตถุดิบอาหารสัตว์นั้นจำแนกออกเป็นกลุ่มตามปริมาณโปรตีนเพื่อให้ง่ายต่อการจดจำ โดยกลุ่มพลังงานจะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุแห้ง ขณะที่วัตถุดิบที่จัดอยู่ในกลุ่มโปรตีน จะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุแห้ง (NRC., 2011) นอกจากนั้นยังมีวัตถุดิบที่เป็นกลุ่มของน้ำมันและไขมันด้วย (ตารางที่ 5.1) ทั้งนี้วัตถุดิบชนิดต่างๆ มีองค์ประกอบทางเคมีหรือคุณค่าทางอาหารที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน (ตารางที่ 5.2) ดังนั้นการเลือกใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำจึงขึ้นอยู่กับปริมาณของสารอาหารที่จำเป็นเป็นหลัก ซึ่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีปริมาณโปรตีนสูงและมีกรดอะมิโนที่ดีมักมีราคาแพง (Millamena et al., 2002) นอกจากนั้นความสามารถในการดูดซึมของสารอาหารที่มีอยู่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ นั้น ยังแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์น้ำ (ตารางที่ 5.3) ดังนั้นจึงส่งผลต่อสัดส่วนของวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำที่ใช้ในสูตรอาหาร ดังนั้นแม้ว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำอาจมีสารอาหารในปริมาณที่เท่ากัน เช่น โปรตีน แต่ควรเลือกวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีค่าโปรตีนย่อยได้ที่ดีกว่าเพื่อเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหาร

ตารางที่ 5.1 วัตถุดิบที่นิยมใช้เป็นองค์ประกอบในอาหารสัตว์น้ำกลุ่มต่างๆ

กลุ่มโปรตีน	กลุ่มน้ำมันและไขมัน	กลุ่มคาร์โบไฮเดรต
เลือดป่น	ไขวัว	ปลายข้าว
กากถั่วเหลือง	น้ำมันตับปลา	หัวมันสำปะหลังบด
ปลาป่น	น้ำมันปลา	ข้าวโพดบด
เนื้อป่นและเนื้อกระดูกป่น	น้ำมันมะพร้าว	รำละเอียด
ขนไก่ป่น	น้ำมันเมล็ดฝ้าย	
แกลบกุ้งหรือกากกุ้งป่น	น้ำมันรำข้าว	
หมึกป่น	น้ำมันดอกทานตะวัน	
กากถั่วลิสง	น้ำมันปาล์ม	
ใบกระถินป่น	น้ำมันถั่วเหลือง	

ที่มา : Millamena et al. (2002)

ตารางที่ 5.2 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำบางชนิด

หน่วย : เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง

วัตถุดิบ	วัตถุแห้ง	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	แร่ธาตุ
เลือดป่น	93	88.6	1.4	1.0	5.8
กากเบียร์	92	23.1	6.4	13.7	3.7
กากมะพร้าว	93	22.0	6.0	12.0	7.0
ข้าวโพดบด	88	8.5	3.6	2.3	1.3
ปลาป่น (แอนโชวี)	92	65.4	7.6	1.0	14.3
กุ้งเคยป่น	92	58.8	9.2	6.4	13.6
เนื้อและกระดูกป่น (โค)	94	50.9	9.72.4	29.2	94
เนื้อและกระดูกป่น (สุกร)	97	59.0	11.0	—	20.0
เนื้อป่น	93	55.6	5.6	2.3	27.0
กากน้ำตาลแห้ง	94	9.6	0.8	6.2	12.5
กากถั่วลิสง	92	49.0	1.3	9.9	5.9
ขนไก่ปน (ไฮโดรไลต์)	93	83.3	5.4	1.2	2.9
รำละเอียด	90	13.6	14.5	4.2	8.3
กากทานตะวัน	90	32.3	2.3	21.0	7.0
แกลบกุ้งหรือกากกุ้งป่น	88	39.5	3.2	12.8	27.2
กากถั่วเหลือง	89	44.0	1.5	7.3	6.3
แป้งข้าวสาลี	88	11.7	1.2	1.3	0.4
หางนมผง (แลคโทสต่ำ)	93	16.7	0.7	0.2	9.8
ใบมันสำปะหลังบด	94.1	22.1	9.3	49.2	7.

ที่มา : NRC. (2011)

ตารางที่ 5.3 ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีนในวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำบางชนิด

หน่วย : เปอร์เซ็นต์

ชนิดสัตว์น้ำ	วัตถุดิบ	สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีน
กุ้งกุลาดำ	ปลาป่น	61
	กากถั่วเหลือง	93
	หมึกป่น	96
	กุ้งป่น	95
	หัวกุ้งป่น	89
	เนื้อและกระดูกป่น	74

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

หน่วย : เปอร์เซ็นต์

ชนิดสัตว์น้ำ	วัตถุดิบ	สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีน
ปลาไน	ปลาป่น	95
	กากถั่วเหลือง	81-96
ปลากะพงแดง	ปลาป่น	61-87
ปลากดหลวง	กากถั่วเหลือง	72-84

ที่มา : Millamena et al. (2002)

3.3 ราคาต่อโปรตีน นอกเหนือจากคุณค่าทางอาหาร และข้อจำกัดต่างๆ แล้ว ควรเลือกวัตถุดิบเพื่อใช้ในสูตรอาหารตามมูลค่าซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักจะคิดราคาต่อโภชนะโปรตีนเป็นหลัก ตัวอย่างเช่น หากมีปลาป่นจากหลายแหล่ง และเหมาะสมสำหรับใช้ในสูตรหนึ่งๆ และปลาป่นมีปริมาณโปรตีนและมีความสามารถในการย่อยได้เท่ากัน การตัดสินใจว่าจะเลือกชนิดใดนั้นง่ายมาก คือ เลือกตัวที่ถูกที่สุด อย่างไรก็ตามหากมีโปรตีนแตกต่างกัน หรือราคาที่แตกต่างกัน จำเป็นต้องมีการคำนวณเพื่อพิจารณาว่าค่าใดคุ้มค่าที่สุด ตัวอย่างเช่น ต้องการเลือกระหว่างปลาป่นจากปลาเนื้อขาวที่มีปริมาณโปรตีน 60 เปอร์เซ็นต์ (600 กรัมต่อกิโลกรัม) และราคา 60 บาทต่อกิโลกรัม กับปลาป่นจากปลาแอนโชวีที่มีปริมาณโปรตีน 69 เปอร์เซ็นต์ (690 กรัมต่อกิโลกรัม) และราคา 65 บาทต่อกิโลกรัม ในการเปรียบเทียบปลาป่นทั้งสองชนิด จะคำนวณต้นทุนต่อโปรตีนหนึ่งกรัมได้ดังนี้ (Hardy and Barrows, 2002)

$$\text{ปลาป่นจากปลาเนื้อขาว} \quad \frac{\text{ให้โปรตีน 600 กรัมต่อกิโลกรัม}}{\text{ราคา 60 บาท ต่อกิโลกรัม}} = 10 \text{ กรัมต่อบาท}$$

$$\text{ปลาป่นจากปลาแอนโชวี} \quad \frac{\text{ให้โปรตีน 690 กรัมต่อกิโลกรัม}}{\text{ราคา 65 บาท ต่อกิโลกรัม}} = 10.62 \text{ กรัมต่อบาท}$$

จากตัวอย่างนี้ แสดงให้เห็นว่าปลาป่นจากปลาแอนโชวีแม้ว่าจะมีราคาต่อกิโลกรัมแพงกว่า แต่เมื่อคิดราคาต่อกรัมของโปรตีน จะมีราคาต่ำกว่าปลาป่นจากปลาเนื้อขาว ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ปลาป่นจากปลาแอนโชวี เนื่องจากมีราคาต่อโปรตีนต่ำกว่า ซึ่งวิธีการคำนวณราคาต่อหน่วยของโปรตีนนี้สามารถนำไปใช้กับการเปรียบเทียบราคาต่อหน่วยพลังงาน และอื่นๆ ได้

เช่น รำหยาบ กับ รำละเอียด ปริมาณ 1 กิโลกรัม ให้พลังงานที่ย่อยได้เท่ากับ 1,100 กับ 1,700 กิโลแคลอรี ตามลำดับ หากรำหยาบราคากิโลกรัมละ 8 บาท และรำละเอียดราคากิโลกรัมละ 10 บาท กรณีจ่ายเงิน 1 บาท จะได้พลังงานจากรำหยาบ และรำละเอียดเท่าใด

รำหยาบ $\frac{\text{ให้พลังงานย่อยได้ 1,100 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม}}{\text{ราคา 8 บาท ต่อกิโลกรัม}}$ = 137.5 กิโลแคลอรีต่อบาท

รำหยาบ $\frac{\text{ให้พลังงานย่อยได้ 1,700 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม}}{\text{ราคา 10 บาท ต่อกิโลกรัม}}$ = 170.0 กิโลแคลอรีต่อบาท

จากการคำนวณเปรียบเทียบหากจ่ายเงินหนึ่งบาทเท่ากันจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าจะได้พลังงานที่ย่อยได้จากรำละเอียดมากกว่าจากรำหยาบ ดังนั้นจึงควรใช้รำละเอียดในสูตรอาหาร

3.4 ความสม่ำเสมอและคุณสมบัติพิเศษ นอกจากปริมาณของโภชนะและอัตราการย่อยได้แล้ว ในการเลือกใช้วัตถุดิบที่จะเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์น้ำยังต้องคำนึงถึงการขนส่ง การจัดหา และการจัดเก็บ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ววัตถุดิบที่จะใช้เป็นส่วนผสมอาหารสัตว์น้ำต้องมีอย่างสม่ำเสมอ จัดการได้ง่าย ไม่เกิดความเสียหายหรือเปลี่ยนแปลงมากนักในขั้นตอนของการผลิต และมีราคาถูก นอกจากนั้นอาจมีลักษณะพิเศษหรือมีสารอื่นที่เป็นองค์ประกอบ เช่น มีรงควัตถุที่ให้สีซึ่งจะเป็นผลดีต่อผลผลิตและผลิตภัณฑ์จากสัตว์น้ำ ซึ่งลักษณะเหล่านี้เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้กากถั่วเหลือง ข้าวโพด และผลพลอยได้ที่มีสีถูกใช้เป็นวัตถุดิบหลักสำหรับอาหารสัตว์น้ำ นอกจากนี้ควรเลือกใช้วัตถุดิบที่มีกลิ่นที่ดึงดูดให้สัตว์น้ำเข้ามากิน เช่น ปลาป่น หรือเนื้อป่น เป็นต้น ส่วนวัตถุดิบอื่นๆ เช่น กากถั่วลิสง และกากเมล็ดฝ้าย เป็นต้น ที่แม้ว่าจะมีราคาถูกกว่าและสามารถนำมาใช้ในอาหารสัตว์น้ำได้ แต่ก็มีข้อจำกัดเนื่องจากไม่สามารถหาได้อย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้แม้ว่าจะมีวัตถุดิบอาหารสัตว์จำนวนมากที่สามารถใช้ในอาหารสัตว์น้ำได้ แต่หากมีการใช้วัตถุดิบหลายชนิดเกินไป จะต้องมีการสร้างสถานที่สำหรับการจัดเก็บมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นในฟาร์มส่วนใหญ่ จึงเลือกใช้วัตถุดิบหลักที่เป็นองค์ประกอบในอาหารเพียง 6 – 7 ชนิด เท่านั้น (Li, 1998)

3.5 คุณภาพการผลิต เมื่อต้องกำหนดสูตรอาหาร ควรที่จะพิจารณากระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำประกอบด้วย เนื่องจากมีความสัมพันธ์กันระหว่างสูตรอาหารกับกระบวนการการผลิต ตัวอย่างเช่น ในการอัดเม็ดอาหารัตว์น้ำ โดยทั่วไปกำหนดให้อย่างน้อย 25 เปอร์เซ็นต์ ของสูตรอาหารควรประกอบด้วยวัตถุดิบจากธัญพืชหรือผลพลอยได้จากการสีของเมล็ดธัญพืช เพื่อให้แป้งเจลาติไนเซชันเหมาะสมสำหรับการขยายตัวซึ่งจำเป็นในการช่วยให้อาหารเม็ดลอยน้ำได้ โดยข้าวสาลีสามารถใช้ได้ถึง 25 – 30 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารปลาดุก ยกเว้นในสภาพที่ใช้ความชื้นในการผลิตสูง เมล็ดข้าวสาลีควรลดลงเหลือ 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มปริมาณข้าวโพดขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้อาหารเหนียวเกินไป ส่วนวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีไขมันสูง เช่น รำละเอียด โดยทั่วไปจำกัดอยู่ที่ 5 – 10 เปอร์เซ็นต์ แต่ในอาหารสัตว์น้ำบางชนิดอาจใช้ได้มากกว่านี้ แต่หากใช้มากเกินไป เช่น มากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้การอัดเม็ดอาหารได้ยากขึ้น เนื่องจากมีปริมาณไขมันที่มากเกินไป ส่วนวัตถุดิบที่มีเส้นใยสูงต้องจำกัดให้อยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากปริมาณเยื่อใยสูงจะส่งผลเสียต่อคุณภาพการอัดเม็ดอาหารได้เช่นกัน

3.6 ข้อจำกัดและประมาณที่เหมาะสม ในการสร้างสูตรอาหารสัตว์น้ำที่ดีนั้นควรคำนึงถึงปริมาณวัสดุอาหารที่ใช้ได้สูงสุดประกอบการตัดสินใจ ทั้งนี้เนื่องจากการใส่วัสดุอาหารเหล่านั้นมากเกินไปอาจทำให้คุณค่าอาหารสัตว์น้ำนั้นมีคุณภาพลดลงได้ (ตารางที่ 5.4)

ตารางที่ 5.4 ค่าเฉลี่ย และค่าสูงสุด (ค่าในวงเล็บ) ของวัตถุดิบที่แนะนำในสูตรอาหารสัตว์น้ำ

วัตถุดิบ	ปลากินเนื้อ	ปลากินทั้งพืชและสัตว์	กุ้งทะเล	กุ้งน้ำจืด
ปลาป่น	ไม่จำกัด	ไม่จำกัด	ไม่จำกัด	ไม่จำกัด
ปลาสด	ไม่จำกัด	ไม่จำกัด	ไม่จำกัด	ไม่จำกัด
เลือดป่น	7.5 (10)	3 (10)	6 (10)	6 (10)
ขนไก่ป่น	5 (15)	5 (20)	0 (15)	0 (20)
เนื้อและกระดูกป่น	10 (20)	10 (25)	7(15)	9 (20)
กุ้งป่น	10 (25)	7 (25)	23 (ไม่จำกัด)	20 (ไม่จำกัด)
เศษไก่ป่น	5 (15)	7 (20)	0 (15)	0 (20)
หมึกป่น	0 (ไม่จำกัด)	0 (ไม่จำกัด)	25 (ไม่จำกัด)	11(ไม่จำกัด)
กากถั่วเหลือง	42 (35)	35 (40)	0 (20)	0 (30)
กากถั่วลิสง	10 (15)	20 (25)	7 (15)	13 (25)
กากเมล็ดฝ้าย	10 (15)	15 (20)	0 (10)	0 (15)
กากมะพร้าวอัดน้ำมัน	0 (15)	15 (35)	7 (15)	21 (25)
ใบกระถินป่น	3 (5)	4 (10)	0 (5)	4 (10)
รำละเอียด	10 (15)	15 (35)	12 (35)	26 (35)
ข้าวโพด	8 (20)	26 (35)	10 (15)	30 (35)
ข้าวสาลี	10 (20)	15 (35)	10 (20)	18 (35)
ข้าวฟ่าง	0 (20)	18 (35)	0 (15)	0 (35)
มันสำปะหลัง	0 (15)	0 (35)	8 (15)	10 (25)

ที่มา : วิมล (2537) อ้างโดย ธนาภรณ์ (2557)

ลักษณะสำคัญบางประการของอาหารสัตว์น้ำแต่ละระยะ

การกำหนดสูตรอาหารคือความสมดุลระหว่างระดับสารอาหารหรือแหล่งที่มาและราคาของวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ เป้าหมายทั่วไป คือ การผลิตสัตว์น้ำที่มีประสิทธิภาพสูงสุดด้วยต้นทุนที่ต่ำที่สุด ซึ่งหากไม่มีการกำหนดสูตรอาหารอย่างเหมาะสมแล้ว ในบางครั้งอาหารอาจมีระดับสารอาหารให้สูงกว่าความต้องการโดยประมาณของสัตว์น้ำและใช้ส่วนผสมที่มีคุณภาพสูงซึ่งอาจมีราคาแพง ดังนั้นการกำหนดสูตรอาหารจึงควรให้สอดคล้องกับระยะการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ เช่น ในการให้อาหารสัตว์น้ำ

วัยอ่อนที่เริ่มสัมผัสกับอาหารครั้งแรก อาหารที่ให้ควรมีสารอาหารและ/หรือสารเพิ่มรสชาติ เช่น ตับป่น มากกว่าในอาหารสัตว์น้ำระยะหลังจากนั้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วปลาไม่ชอบรสชาติของอาหารที่มีส่วนผสมของยา แต่หากมีความจำเป็นต้องใช้ยาในสูตรอาหาร การเพิ่มส่วนผสมที่มีรสชาติดีในอาหาร จะช่วยรักษาระดับการกินอาหารให้อยู่ในระดับที่ต้องการ ทั้งนี้การกำหนดสูตรอาหารสัตว์น้ำนั้น สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา คือ การกำหนดวัตถุประสงค์ของอาหาร เช่น การรองรับการเติบโตสูงสุด อัตราการกินได้ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร หรือประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ เมื่อกำหนดวัตถุประสงค์ของอาหารแล้ว จึงกำหนดประเภทของอาหารเพื่อให้เหมาะสมกับสัตว์น้ำแต่ละระยะ และสุดท้ายเป็นการกำหนดเทคนิคการผลิตที่เหมาะสม กับสัตว์น้ำแต่ละระยะ (Hardy and Barrow, 2002) เนื่องจากสัตว์น้ำมีความหลากหลายของชนิด ดังนั้นอาหารสัตว์น้ำจึงมีลักษณะเฉพาะมากกว่าสัตว์ชนิดอื่นๆ (Nelson, 2006) ดังนั้นจึงควรมีความเข้าใจลักษณะสำคัญบางประการของอาหารสัตว์น้ำแต่ละระยะ

1. อาหารสำหรับลูกสัตว์น้ำวัยอ่อนระยะแรก (First feed for larvae)

มีคำศัพท์หลายคำถูกใช้เพื่ออธิบายอาหารระยะแรกที่ให้กับลูกสัตว์น้ำ คือคำว่า อาหารสำหรับสัตว์น้ำระยะแรก (Starter feeds) และอาหารสำหรับสัตว์น้ำวัยอ่อน (larval feeds) บางครั้งอาจใช้แทนกันได้ แต่มีความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างคำสองคำนี้ โดยอาหารสัตว์น้ำระยะแรกมีขนาดของเม็ดอาหารใหญ่กว่าอาหารสัตว์น้ำวัยอ่อน โดยทั่วไปอาหารสัตว์น้ำระยะแรกจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 0.4 มิลลิเมตร เมื่อเทียบกับอาหารสัตว์น้ำวัยอ่อนมีขนาดเล็กกว่า 0.4 มิลลิเมตร (Hardy and Barrow, 2002) ซึ่งลูกสัตว์น้ำส่วนใหญ่ต้องการอาหารเม็ดขนาด 0.1 มิลลิเมตร (Moren et al., 2011) ทั้งนี้โดยทั่วไปการให้อาหารสัตว์น้ำระยะนี้จะเป็นการผสมผสานกันระหว่างอาหารมีชีวิต กับอาหารที่ผลิตขึ้น (Conceiçao et al., 2010) อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อจำกัดบางประการของอาหารมีชีวิต เช่น ความยุ่งยากในการเพาะเลี้ยง มีราคาแพง รวมทั้งความแตกต่างของโภชนาการ (Pousão-Ferreira et al., 2003) ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะพัฒนาอาหารของสัตว์น้ำวัยอ่อนขึ้น เพื่อให้ลูกสัตว์น้ำระยะแรกภายหลังถุงไข่แดงเริ่มยุบ และระบบย่อยอาหารยังไม่พัฒนาเต็มที่ (Hardy and Barrow, 2002) ซึ่งอาหารที่ผลิตขึ้นมีข้อได้เปรียบอาหารมีชีวิตหลายประการที่สำคัญที่สุดคือ สามารถปรับสูตรและอื่นๆ ให้เหมาะกับชนิดของสัตว์น้ำ ความต้องการทางโภชนาการ มีองค์ประกอบทางเคมีที่สม่ำเสมอ จัดเก็บได้ง่าย และสะดวกต่อการนำไปใช้ (Pousão-Ferreira et al., 2003) ดังนั้นการใช้อาหารที่ผลิตขึ้นจึงช่วยให้การอนุบาลลูกสัตว์น้ำมีอัตราการเลี้ยงรอด และการเจริญเติบโตอย่างเหมาะสม ซึ่งโดยทั่วไปจะเริ่มให้เมื่อลูกสัตว์น้ำเกือบจะใช้ไข่แดงจากถุงไข่แดงหมดแล้ว ซึ่งในระยะนี้แทบจะไม่มีสารอาหารสำรองเลย ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องได้รับอาหารจากภายนอกร่างกายอย่างรวดเร็ว ในลูกปลาอาจให้เมื่อมีอายุประมาณ 3 – 5 วัน ภายหลังจากฟักออกจากไข่ ทั้งนี้การปรับตัวของสัตว์น้ำวัยอ่อนต่ออาหารประกอบด้วยสององค์ประกอบ คือ พฤติกรรมการกินอาหาร และสรีรวิทยาของระบบย่อยอาหาร (Kamler, 1992) การให้อาหารลูกสัตว์น้ำวัยอ่อนอย่างเหมาะสมจึงมีส่วนสำคัญต่อการพัฒนาของระบบย่อยอาหารให้สมบูรณ์ (Claramunt and Wahl 2000) ซึ่งลักษณะของอาหารสำหรับสัตว์น้ำวัยอ่อนที่ดีควรทำให้ลูกสัตว์น้ำมองเห็นได้ง่าย มีกลิ่นที่ดึงดูด มีรสชาติที่ดี และมีขนาดเหมาะสมกับขนาดของปาก (Yúfera, 2011) รวมทั้งมีการย่อยได้สูงเพื่อรองรับระบบย่อยอาหารที่กำลังพัฒนาและยังทำงานได้ไม่

เต็มที่ มีความคงตัวในน้ำสูงซึ่งทำให้สัตว์น้ำสามารถใช้เวลาในการกินนานขึ้น และเพื่อรักษาคุณภาพน้ำ (Hardy and Barrow, 2002) แม้ว่าอาหารสัตว์น้ำระยะแรก และอาหารสัตว์น้ำวัยอ่อน จะมีการใช้งานที่แตกต่างกันบ้าง แต่ก็มีลักษณะหลายอย่างที่เหมือนกัน

สูตรอาหารและวิธีการผลิตอาหารสัตว์น้ำ มีความเกี่ยวข้องกับคุณลักษณะที่สำคัญของอาหาร ได้แก่ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และกลิ่นของอาหาร ส่วนขั้นตอนการผลิตส่งผลต่อขนาด รูปร่าง พื้นผิว ความแข็ง และการลอยน้ำ ของเม็ดอาหาร ซึ่งคุณภาพของอาหารจึงเป็นผลมาจากการส่วนผสมของวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมในสูตรอาหาร และวิธีการผลิต ดังนั้นแม้ว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำจะมีคุณภาพดีเพียงใด แต่หากวิธีการผลิตไม่เหมาะสมจึงส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของอาหารไม่ดี จนทำให้สัตว์น้ำวัยอ่อนไม่กินหรือมีอัตราการกินต่ำ ดังนั้นจึงทำให้ความคุ้มค่าหรือคุณค่าของอาหารก็ลดลง

2. อาหารสำหรับสัตว์น้ำระยะอนุบาล (Fry feeds)

ในระยะนี้ลูกปลาผ่านขั้นตอนการพัฒนาหลายขั้นตอนลูกปลาจะมีความสามารถในการกินอาหารด้วยตัวเอง และอาหารมีความหลากหลายมากขึ้น รวมทั้งจะเปลี่ยนอาหารจากอาหารลูกปลาวัยอ่อนและอาหารลูกปลาระยะแรก เป็นอาหารระยะอนุบาล โดยลูกปลามีน้ำหนักประมาณ 0.50 – 0.75 กรัม (Hardy and Barrow, 2002) วัตถุประสงค์ของการเลี้ยงลูกปลาระยะนี้มุ่งหวังให้มีการเติบโตสูงสุด โดยมีต้นทุนค่าอาหารต่ำสุด ซึ่งส่วนใหญ่อาหารลูกปลาระยะนี้จะกำหนดสูตรให้มีโปรตีนค่อนข้างสูง เช่น ในอาหารลูกปลานิล ควรมีโปรตีน 36.19 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น (Sumi et a;., 2011) นอกจากนั้นลักษณะทางกายภาพของอาหารยังมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเจริญเติบโต ซึ่งอาหารแบบเม็ดจะให้ผลดีกว่าอาหารแบบเกล็ด (Hardy and Barrow, 2002) นอกจากนั้นอัตราการเจริญเติบโตของปลายังมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับขนาดของอาหารเม็ด (Wanzenböck 1995) โดยลูกปลาที่มีน้ำหนักตัว 1.1 และ 5.1 กรัม ควรให้อาหารที่มีขนาดของเม็ดอาหาร 0.9–1.6 และ 1.3–2.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ (Kozowski et al., 2021)

3. อาหารสำหรับระยะปลานิ้ว (Fingerling feeds)

แนวทางปฏิบัติโดยทั่วไปในสูตรอาหารปลาคือการลดปริมาณโปรตีนในอาหารเมื่อปลาโตขึ้น เมื่อลูกปลาอยู่ในช่วงน้ำหนัก 10 ถึง 100 กรัม จะเปลี่ยนไปใช้อาหารลูกปลาระยะปลานิ้ว โดยมีคุณภาพลดลงทั้งโปรตีนและพลังงาน มีขนาดเม็ดอาหารกึ่งชื้น 1.2 – 2.4 มิลลิเมตร และเมื่อปลาโตขึ้นจนถึงช่วงปลายของระยะนี้ จะให้อาหารเม็ดขนาด 2.4 - 3.0 มิลลิเมตร (Hardy and Barrow, 2002)

เนื่องจากระยะนี้ลูกปลาจะโตเร็วมาก ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องแน่ใจว่าอาหารมีสารอาหารเพียงพอกับความต้องการเพื่อให้การเจริญเติบโตเป็นไปอย่างปกติ โดยอาจให้มีโปรตีนและวิตามินสูงกว่าความต้องการเล็กน้อย เช่น ในปลานิล ควรมีโปรตีน 33 เปอร์เซ็นต์ และมีพลังงานย่อยได้ 3,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมอาหาร (Sayed, 2018) ส่วนปลาไนอาหารระยะปลานิ้วควรมีโปรตีน 38 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งระดับโปรตีนที่สูงหรือต่ำกว่านี้ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ (Ali and Rawa, 2022) ส่วนในปลาดุกซึ่งเป็นปลากินเนื้อ พบว่า มีความต้องการโปรตีนสูงกว่า แต่พลังงานย่อยได้ต่ำกว่าปลากินพืช คือ มีโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานย่อยได้ 2,600 กิโลแคลอรี (Aliu and Olomu, 2020)

4. อาหารสำหรับสัตว์น้ำระยะเจริญเติบโต (Grower feeds)

ระยะเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ หากเป็นปลาเริ่มตั้งแต่ระยะปลานิ้ว แต่หากเป็นกุ้งจะเป็นระยะตั้งแต่กุ้งวัยรุ่น ไปถึงขนาดส่งตลาด ซึ่งสูตรอาหารสัตว์น้ำในระยะนี้ควรคำนึงถึงการเติบโตอย่างมีประสิทธิภาพและมีต้นทุนต่ำ สูตรอาหารสัตว์น้ำระยะนี้มีโปรตีนลดลงแต่มีพลังงานสูงขึ้น (Hardy and Barrow, 2002) เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการ ทั้งนี้ในอาหารที่มีพลังงานต่ำเกินไป สัตว์น้ำจะใช้โปรตีนในอาหารเพื่อสังเคราะห์เป็นพลังงานสำหรับร่างกาย ดังนั้นโปรตีนจึงไม่เพียงพอสำหรบการสะสมในร่างกายเพื่อการเจริญเติบโต เนื่องจากอาหารสัตว์น้ำส่วนใหญ่ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นอาหารที่ใช้ในระยะนี้ (Hardy and Barrow, 2002) ซึ่งในระยนี้นอกจากจะใช้อาหารสำเร็จรูปที่ผลิตขึ้นโดยโรงงานอาหารสัตว์น้ำแล้ว ยังสามารถผลิตได้เอง เนื่องจากไม่มีความยุ่งยากมากนัก อย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงต้นทุนค่าอาหาร และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก เป็นสำคัญ เมื่อเกษตรกร ต้องการผสมอาหารสัตว์น้ำใช้เองภายในฟาร์ม ซึ่งหากมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวสูง (หมายถึงปริมาณอาหารที่ใช้จำนวนมากต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัม) จะทำให้ต้นทุนการเลี้ยงสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น

5. อาหารสำหรับพ่อแม่พันธุ์ (Broodstock feeds)

อาหารพ่อแม่พันธุ์มีความสำคัญไม่เพียงแต่การส่งเสริมระบบสืบพันธุ์ของพ่อแม่พันธุ์เท่านั้น แต่หมายถึงการได้ลูกปลาจำนวนมาก และมีความแข็งแรงจนทำให้มีอัตราการรอดตายสูงและมีการเจริญเติบโตเร็ว (Pillay and Kutty, 2005) ซึ่งการพัฒนาต่างๆ เช่น การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ การวางไข่ การฟักไข่ และการพัฒนาตัวอ่อน ขึ้นอยู่กับโภชนาการที่พ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำได้รับ (NRC., 2011) ดังนั้นอาหารพ่อแม่พันธุ์จึงควรมีสารอาหารครบถ้วนตามความต้องการ (De Silva and Anderson, 1995) ซึ่งพ่อแม่พันธุ์ที่ได้รับอาหารไม่สมดุล หรืออยู่ในสภาวะขาดอาหารจะส่งผลเสียต่อการสืบพันธุ์อย่างรุนแรง โดยลดอัตราการปฏิสนธิของไข่และอสุจิ เนื่องจากทำให้กระบวนการสร้างโปรตีนของเซลล์ไข่ลดลง รวมทั้งการสุกของเซลล์ไข่ และจำนวนไข่ลดลง (Izquierdo et al., 2001) โดยเฉพาะการขาดกรดไขมันที่จำเป็น (Torsabo et al., 2022) ทั้งนี้ความต้องการสารอาหารของพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำอาจแตกต่างกันไปตามระยะของการเจริญพันธุ์ โดยสามารถพิจารณาจากขนาดพ่อแม่พันธุ์ ทั้งก่อนการวางไข่ ระหว่างการวางไข่ และหลังการวางไข่ (Pillay and Kutty, 2005) ดังนั้นการกำหนดสูตรอาหารพ่อแม่พันธุ์ที่เฉพาะเจาะจงสำหรับแต่ละช่วงเวลาจึงเป็นสิ่งที่เหมาะสมที่สุด เพื่อตอบสนองความต้องการทางโภชนาการทั้งหมดของสัตว์น้ำแต่ละชนิด ตั้งแต่ระยะกำลังเจริญเติบโตจนถึงเมื่อเป็นพ่อแม่พันธุ์ และระยะสืบพันธุ์ อย่างไรก็ตามการกำหนดสูตรอาหารสำหรับพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำนั้นมีความยุ่งยากอย่างยิ่ง เนื่องจากมีความหลากหลายของชนิด ซึ่งสัตว์น้ำแต่ละชนิดมีช่วงเวลาหรือฤดูของการวางไข่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้เมื่อเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์สัตว์น้ำจะมีการเจริญเติบโตของร่างกายจะช้าลง และการเจริญเติบโตของอวัยวะสืบพันธุ์เร็วขึ้นจนกว่าจะวางไข่ นอกจากนั้นในปลาหลายชนิดยังหยุดกินอาหารในระหว่างการวางไข่และฟักไข่ และการกินอาหารจะเริ่มขึ้นอีกครั้งภายหลังจากวางไข่แล้ว (Hardy and Barrow, 2002) การวิจัยเกี่ยวกับความต้องการทางโภชนาการของพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำนั้นใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายสูง (Luquet and Watanabe, 1986) โดยสูตรอาหารของพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำประกอบด้วย

สารอาหารในระดับที่สูงขึ้น เพื่อช่วยให้แม่พันธุ์สัตว์น้ำนำไปเป็นสารอาหารสำหรับการสร้างไข่ ทั้งนี้พบว่า ความดกของไข่มีสัมพันธ์กับขนาดของปลา (Hardy and Barrow, 2002) ในปลาหลายชนิด เช่น ปลาดุกด้าน เป็นต้น ประสิทธิภาพทางการสืบพันธุ์จะลดลงเมื่อมีขนาดของร่างกายใหญ่ขึ้น (Ferosekhan et al., 2021) ดังนั้นในอาหารพ่อแม่พันธุ์อาจต้องคำนึงถึงระดับพลังงานให้เหมาะสมเพื่อไม่ให้มีการสะสมไขมันมากเกินไปจะกระทบต่อความดกของไข่

วิธีการสร้างสูตรอาหารสัตว์น้ำ

เนื้อหาการสร้างสูตรอาหารสัตว์น้ำที่จะกล่าวในบทนี้ คือ การสร้างสูตรอาหารสัตว์น้ำเบื้องต้น โดยเป็นการคำนวณหาจำนวนวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ ซึ่งส่วนใหญ่จะคำนวณหาปริมาณโปรตีนเท่านั้น เนื่องจากเป็นโภชนะที่สำคัญและมีราคาแพง นอกจากนั้นหากในสูตรอาหารมีปริมาณโปรตีนตามต้องการแล้ว โภชนะอื่นๆ มักจะมีระดับตามต้องการ ซึ่งในการคำนวณสูตรอาหารสัตว์น้ำนั้นจะกำหนดปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ทั้งหมดในสูตรอาหารเท่ากับ 100 กิโลกรัม เพื่อให้สามารถเทียบสัดส่วนของวัตถุดิบชนิดต่างๆ ในรูปของเปอร์เซ็นต์ได้ง่าย ส่วนจำนวนของชนิดวัตถุดิบนั้นไม่จำเป็นต้องมีหลายชนิด ควรเลือกใช้ตามระยะและชนิดของสัตว์น้ำ คุณภาพ ราคา และความยากง่ายในการจัดหา เป็นต้น ซึ่งการคำนวณสูตรอาหารสัตว์น้ำเบื้องต้นสามารถทำได้ 4 วิธี ได้แก่ วิธีลองผิดลองถูก (Trial and error) วิธีสี่เหลี่ยมของเพียร์สัน (Peason’s square method) วิธีสมการทางพีชคณิต (Algebraic equation) และวิธีการใช้คอมพิวเตอร์ (Computer use method) ซึ่งมีรายละเอียดของวิธีการคำนวณดังนี้

1. การคำนวณสูตรอาหารสัตว์น้ำด้วยวิธีลองผิดลองถูก

การคำนวณสูตรอาหารสัตว์น้ำด้วยวิธีลองผิดลองถูกเหมาะสมกับการเลือกใช้วัตถุดิบหลายชนิด ขั้นตอนการคำนวณเริ่มต้นด้วยการกำหนดปริมาณวัตถุดิบอาหารแต่ละอย่างโดยการคาดคะเน จากนั้นคำนวณสารอาหารที่ได้แต่ละชนิด แล้วรวมสารอาหารที่ได้จากวัตถุดิบแต่ละชนิด ถ้าปริมาณสารอาหารที่ได้ ไม่ตรงตามต้องการ ก็ปรับเปลี่ยนปริมาณวัตถุดิบอาหารใหม่โดยการปรับลดและเพิ่มจำนวนวัตถุดิบในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งการคำนวณทำได้ตามตัวอย่าง ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณสูตรอาหารปลานิลขนาดมากกว่า 150 กรัม จนถึงส่งตลาด ซึ่งต้องการโปรตีน ในอาหาร 26 เปอร์เซ็นต์ (NRC., 2011) จำนวน 100 กิโลกรัม โดยใช้วัตถุดิบดังต่อไปนี้

1. ปลาป่น (ปลาแอนโชวี)	มีโปรตีน	70 เปอร์เซ็นต์
2. ข้าวโพดบด	มีโปรตีน	9 เปอร์เซ็นต์
3. รำละเอียด	มีโปรตีน	12 เปอร์เซ็นต์
4. กากถั่วเหลือง	มีโปรตีน	44 เปอร์เซ็นต์
5. ปลายข้าว	มีโปรตีน	8 เปอร์เซ็นต์
6. หัวมันสำปะหลังบด	มีโปรตีน	2 เปอร์เซ็นต์
7. พรีมิกซ์		

ขั้นตอนการคำนวณ

1) กำหนดปริมาณวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำลงในสูตรอาหาร

โดยหลักการแล้วควรกำหนดปริมาณวัตถุดิบที่มีข้อจำกัดในการใช้ก่อน เช่น พรีมิกซ์ ควรใช้ 1-3 เปอร์เซ็นต์ หรือใช้ตามคำแนะนำของผู้ผลิต (ในกรณีพรีมิกซ์สำเร็จรูป) ส่วนรำละเอียดควรใช้ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีปริมาณไขมันสูง อาจทำให้เกิดกลิ่นหืน และอัดเม็ดได้ยาก เป็นต้น

2) คำนวณปริมาณโปรตีน

จากวัตถุดิบแต่ละชนิดในสูตรอาหาร จากนั้นรวมปริมาณโปรตีนทั้งหมดจากวัตถุดิบทุกชนิดเข้าด้วยกัน หากโปรตีนรวมที่ได้สูงกว่าที่ต้องการให้ปรับลดปริมาณวัตถุดิบในกลุ่มมีโปรตีน และเพิ่มปริมาณวัตถุดิบในกลุ่มพลังงาน แต่ถ้าโปรตีนขาด ให้เพิ่มวัตถุดิบกลุ่มโปรตีน และลดวัตถุดิบอาหารกลุ่มพลังงาน จนได้ระดับโปรตีนตามความต้องการ

วัตถุดิบ	โปรตีน (%)	จำนวน (กก.)	การคำนวณ	ได้โปรตีน (%)
ปลาป่น (ปลาแอนโชวี)	70	15	0.70 x 15	10.5
ข้าวโพดบด	9	27	0.09 x 27	2.43
รำละเอียด	12	14	0.12 x 14	1.68
กากถั่วเหลือง	44	15	0.44 x15	6.6
ปลายข้าว	8	12	0.08 x 12	0.96
หัวมันสำปะหลังบด	2	15	0.02 x 15	0.3
พรีมิกซ์	0	2	-	0
รวม		100		22.47

3) การปรับเพิ่มหรือลดโปรตีน

จากตัวอย่างการคำนวณปริมาณโปรตีนรวมในขั้นตอนที่ 2 รวมโปรตีนได้ 22.47 เปอร์เซ็นต์ แต่ต้องการโปรตีน 26 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าโปรตีนขาด 26.00 - 22.47 = 3.53 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงต้องเพิ่มวัตถุดิบประเภทโปรตีน และลดวัตถุดิบประเภทพลังงาน ในที่นี้จะเพิ่มปลาป่น และลดรำละเอียด ซึ่งมีวิธีการปรับ ดังนี้

หากเพิ่มปลาป่น 1 กิโลกรัม โปรตีนในสูตรอาหารจะเพิ่มขึ้น 0.70 เปอร์เซ็นต์

หากลดรำละเอียด 1 กิโลกรัม โปรตีนในสูตรอาหารจะลดลง 0.12 เปอร์เซ็นต์

และหากเพิ่มปลาป่น และลดรำละเอียด อย่างละ 1 กิโลกรัม โปรตีนในสูตรอาหารจะเพิ่มขึ้น 0.70 – 0.12 = 0.58 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นถ้าต้องการให้โปรตีนเพิ่มขึ้น 3.53 เปอร์เซ็นต์ จะต้องแทนกันอย่างละ 3.53/0.58 = 6.09 กิโลกรัม

จากผลการคำนวณ จำนวนปลาป่นจะเพิ่มขึ้นเป็น 15 + 6.09 = 21.09 กิโลกรัม และรำละเอียดลดลงเป็น 14 – 6.09 = 7.91 กิโลกรัม

4) ตรวจสอบความถูกต้อง

วัตถุดิบ	โปรตีน (%)	จำนวน (กก.)	การคำนวณ	ได้โปรตีน (%)
ปลาป่น (ปลาแอนโชวี)	70	21.09	0.70 x 21.09	14.76
ข้าวโพดบด	9	27	0.09 x 27	2.43
รำละเอียด	12	7.91	0.12 x 7.91	0.95
กากถั่วเหลือง	44	15	0.44 x15	6.60
ปลายข้าว	8	12	0.08 x 12	0.96
หัวมันสำปะหลังบด	2	15	0.02 x 15	0.30
พรีมิกซ์	0	2	-	0.00
รวม		100		26.00

2. การคำนวณสูตรอาหารสัตว์น้ำด้วยวิธีสี่เหลี่ยมของเพียร์สัน

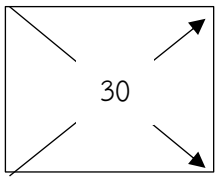
การคำนวณสูตรอาหารสัตว์น้ำด้วยวิธีสี่เหลี่ยมของเพียร์สัน เริ่มจากการแบ่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มโปรตีนสูง และกลุ่มโปรตีนต่ำ แต่หากมีพรีมิกซ์ หรือวัตถุดิบอื่นที่ไม่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบจะมีขั้นตอนการคำนวณที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นหากมีการใช้วัตถุดิบอาหารแต่ละกลุ่มมากกว่า 1 ชนิด จะต้องหาค่าเฉลี่ยของโปรตีนก่อนในแต่ละกลุ่มก่อน แล้วจึงคำนวณตามขั้นตอน ดังนั้นการคำนวณสูตรอาหารสัตว์น้ำด้วยวิธีสี่เหลี่ยมของเพียร์สัน จึงเหมาะสำหรับการใช้วัตถุดิบจำนวนน้อยชนิด หรือ 2 ชนิด ซึ่งจะทำให้การคำนวณใช้ระยะเวลาไม่มากนัก โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

2.1 กรณีที่ใช้วัตถุดิบ 2 ชนิด และไม่มีการใช้พรีมิกซ์ในสูตรอาหาร ดำเนินตามตัวอย่างที่ 2 นี้

ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณสูตรอาหารปลานิลระยะเจริญเติบโตจนถึงขนาดส่งตลาด ซึ่งต้องการโปรตีน ในอาหาร 30 เปอร์เซ็นต์ (Millamena et al., 2002) จำนวน 100 กิโลกรัม โดยใช้วัตถุดิบ คือ ปลาป่น (ปลาแอนโชวี)โปรตีน 70 เปอร์เซ็นต์ กับปลายข้าว ที่มีโปรตีน 8 เปอร์เซ็นต์

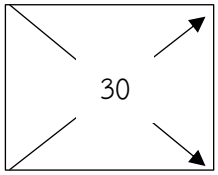
ขั้นตอนการคำนวณ

1) วาดรูปสี่เหลี่ยมโดยมีเส้นทแยงมุมระหว่างมุมตรงข้าม เขียนเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนที่ต้องการ (30) ที่กึ่งกลางของสี่เหลี่ยมที่เส้นตัดกัน



2) เขียนวัตถุดิบที่จะใช้และเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่มุมซ้ายด้านบนและด้านล่างของตาราง

ปลาป่น (ปลาแอนโชวี) 70



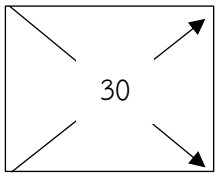
ปลายข้าว 8

3) ลบจำนวนที่น้อยกว่าออกจากจำนวนที่มากกว่าตามเส้นทแยงมุม และเขียนค่าที่ได้ด้านขวาตรงเส้นทแยงมุมของตารางสี่เหลี่ยมจะทำให้ทราบสัดส่วนของวัตถุดิบที่ต้องการในสูตรอาหารที่โปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ จำนวนอาหาร 62 กิโลกรัม โดยเป็นปลาป่น (ปลาแอนโชวี) 22 กิโลกรัม และปลายข้าว 40 กิโลกรัม

70 – 30 = 40

30 – 8 = 22

ปลาป่น (ปลาแอนโชวี) 70



ปลายข้าว 8

22 ส่วนของปลาป่น (ปลาแอนโชวี)

\+

40 ส่วนของปลายข้าว

62 อาหารทั้งหมด

4) การปรับสัดส่วนของวัตถุดิบให้เป็นจำนวน 100 กิโลกรัม เมื่อทราบจำนวนอาหารทั้งหมดและจำนวนวัตถุดิบแต่ละชนิดแล้วให้ปรับสัดส่วนของวัตถุดิบในอาหารเป็น 100 กิโลกรัม โดยการเทียบบัญญัติไตรยางค์ ดังนี้

จำนวนอาหารรวม 62 กิโลกรัม มีปลาป่น (ปลาแอนโชวี) 22 กิโลกรัม

จำนวนอาหารรวม 100 กิโลกรัม มีปลาป่น (ปลาแอนโชวี) $\frac{100 \times 22}{62}$ = 35.48 กิโลกรัม

ดังนั้นจึงเป็นปลายข้าว 100 – 35.48 = 64.52 กิโลกรัม

5) ตรวจสอบความถูกต้อง

วัตถุดิบ	โปรตีน (%)	จำนวน (กก.)	การคำนวณ	ได้โปรตีน (%)
ปลาป่น (ปลาแอนโชวี)	70	35.48	0.70 x 35.48	24.84
ปลายข้าว	8	64.52	0.08 x 64.52	5.16
รวม		100.00		30.00

2.2 กรณีที่ใช้วัตถุดิบมากกว่า 2 ชนิด และมีการใช้พรีมิกซ์ในสูตรอาหาร จะมีขั้นตอนคล้ายกับการคำนวณที่ใช้วัตถุดิบ 2 ชนิด แต่ต้องมีการกำหนดสัดส่วน และหาค่าโปรตีนของแต่ละกลุ่ม รวมทั้งการปรับเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ต้องการก่อน จากนั้นจึงนำค่าโปรตีนที่ได้จากการปรับนี้ไปเขียนไว้ตรงกลางรูปสี่เหลี่ยม ดังตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่างที่ 3 การคำนวณสูตรอาหารปลานิลระยะเจริญเติบโตจนถึงส่งตลาด ซึ่งต้องการโปรตีนในอาหาร 30 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 100 กิโลกรัม โดยใช้วัตถุดิบดังต่อไปนี้

1. ปลาป่น (ปลาแอนโชวี)	มีโปรตีน	70	เปอร์เซ็นต์
2. กากถั่วเหลือง	มีโปรตีน	44	เปอร์เซ็นต์
3. ใบกระถินป่น	มีโปรตีน	20	เปอร์เซ็นต์
4. รำละเอียด	มีโปรตีน	12	เปอร์เซ็นต์
5. ปลายข้าว	มีโปรตีน	8	เปอร์เซ็นต์
6. หัวมันสำปะหลังบด	มีโปรตีน	2	เปอร์เซ็นต์
7. พรีมิกซ์	มีโปรตีน	0	เปอร์เซ็นต์
8. สารเหนียว	มีโปรตีน	0	เปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนการคำนวณ

1) แบ่งกลุ่มของวัตถุดิบ กำหนดสัดส่วน และหาค่าโปรตีนของแต่ละกลุ่ม

จากวัตถุดิบที่กำหนดให้สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1.1) กลุ่มโปรตีน (มีโปรตีนตั้งแต่ 20 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป) ได้แก่ ปลาป่น (ปลาแอนโชวี) กากถั่วเหลือง และใบกระถินป่น ซึ่งกำหนดสัดส่วนของวัตถุดิบ เป็น 2 ต่อ 2 ต่อ 1 และหาค่าโปรตีนรวมได้ดังนี้

$$\frac{(2 \times 70) + (2 \times 44) + (1 \times 20)}{5} = 49.60 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

1.2) กลุ่มพลังงาน (มีโปรตีนน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์) ได้แก่ รำละเอียด ปลายข้าว และหัวมันสำปะหลังบด ซึ่งกำหนดสัดส่วนของวัตถุดิบเป็น 1 ต่อ 2 ต่อ 2 และหาค่าโปรตีนรวมได้ดังนี้

$$\frac{(1 \times 12) + (2 \times 8) + (2 \times 2)}{5} = 6.40 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

1.3) วัตถุดิบคงที่ ได้แก่ พรีมิกซ์ และสารเหนียว กำหนดปริมาณอย่างละ 1 กิโลกรัม

2) การปรับเปอร์เซ็นต์โปนตีน เนื่องจากมีการใช้พรีมิกซ์และสารเหนียวในสูตรอาหาร จำนวน 1 กิโลกรัม รวมเป็น 2 กิโลกรัม ดังนั้นจึงเหลืออาหารที่ต้องนำมาคำนวณเท่ากับ 100 - 2 = 98 กิโลกรัม และมีโปรตีนที่ต้องคำนวณ เท่ากับ 100 x 30 / 98 = 30.61 เปอร์เซ็นต์

3) นำค่าโปรตีนของแต่ละกลุ่มมาเขียนที่มุมบนและมุมล่างด้านซ้ายมือ ส่วนโปรตีนที่ได้จากการปรับ ตามข้อ 2) ให้นำมาเขียนตรงกลาง ของสี่เหลี่ยมของเพียร์สัน

โปรตีนรวมของกลุ่มโปรตีน 49.60 — 24.21 ส่วนของกลุ่มโปรตีน

30.61

\+

โปรตีนรวมของกลุ่มพลังงาน 6.40 — 18.99 ส่วนของกลุ่มพลังงาน

43.20 อาหารทั้งหมด

4) การปรับสัดส่วนของวัตถุดิบแต่ละกลุ่มให้เป็นจำนวน 98 กิโลกรัม (หักจำนวนพรีมิกซ์ และสารเหนียว 2 กิโลกรัม) โดยการเทียบบัญญัติไตรยางค์ ดังนี้

จำนวนอาหารรวม 43.20 กิโลกรัม มีกลุ่มโปรตีน 24.21 กิโลกรัม

จำนวนอาหารรวม 98 กิโลกรัม มีกลุ่มโปรตีน $\frac{98 \times 24.21}{43.20}$ = 54.92 กิโลกรัม

ดังนั้นจึงมีกลุ่มพลังงาน 98 – 54.92 = 43.08 กิโลกรัม

5) การเทียบหาวัตถุดิบแต่ละชนิด

5.1 วัตถุดิบกลุ่มโปรตีน

5.1.1 อาหาร 5 กิโลกรัม มีปลาป่น (ปลาแอนโชวี) 2 กิโลกรัม

อาหาร 54.92 กิโลกรัม มีปลาป่น (ปลาแอนโชวี) $\frac{54.92 \times 2}{5}$ = 21.97 กิโลกรัม

5.1.2 อาหาร 5 กิโลกรัม มีกากถั่วเหลือง 2 กิโลกรัม

อาหาร 54.92 กิโลกรัม มีกากถั่วเหลือง $\frac{54.92 \times 2}{5}$ = 21.97 กิโลกรัม

5.1.3. ใบกระถิน 54.92 - (21.97 + 21.97) = 10.98 กิโลกรัม

5.2 วัตถุดิบกลุ่มพลังงาน

5.2.1 อาหาร 5 กิโลกรัม มีรำละเอียด 1 กิโลกรัม

อาหาร 43.08 กิโลกรัม มีรำละเอียด $\frac{43.08 \times 1}{5}$ = 8.62 กิโลกรัม

5.2.2 อาหาร 5 กิโลกรัม มีปลายข้าว 2 กิโลกรัม

อาหาร 43.08 กิโลกรัม มีรำละเอียด $\frac{43.08 \times 2}{5}$ = 17.23 กิโลกรัม

5.2.3 หัวมันสำปะหลังบด 43.08 - (8.62 + 17.23) = 17.23 กิโลกรัม

6) ตรวจสอบความถูกต้อง

วัตถุดิบ	โปรตีน (%)	จำนวน (กก.)	การคำนวณ	ได้โปรตีน (%)
ปลาป่น (ปลาแอนโชวี)	70	21.97	0.70 x 21.97	15.38
กากถั่วเหลือง	44	21.97	0.44 x 21.97	9.67
ใบกระถินป่น	20	10.98	0.20 x 10.98	2.20
รำละเอียด	12	8.62	0.12 x 8.62	1.03
ปลายข้าว	8	17.23	0.08 x 17.23	1.38
หัวมันสำปะหลังบด	2	17.23	0.02 x 17.23	0.34
พรีมิกซ์	0	1	0.00 x 1	0
สารเหนียว	0	1	0.00 x 1	0
รวม		100.00		30.00

3. การคำนวณสูตรอาหารสัตว์น้ำด้วยวิธีสมการพีชคณิต

การคำนวณสูตรอาหารสัตว์น้ำด้วยวิธีสมการพีชคณิตเป็นการหาปริมาณของวัตถุดิบอาหารที่จะใช้เป็นส่วนผสมของอาหารจากสมการพีชคณิต ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังนี้

3.1 กรณีใช้วัตถุดิบ 2 ชนิด วิธีการคำนวณดังตัวอย่างที่ 4

ตัวอย่างที่ 4 การคำนวณสูตรอาหารปลานิลระยะเจริญเติบโตจนถึงขนาดส่งตลาด ซึ่งต้องการโปรตีน ในอาหาร 30 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 100 กิโลกรัม โดยใช้วัตถุดิบ 2 ชนิด ได้แก่ ปลาป่น (ปลาแอนโชวี) โปรตีน 70 เปอร์เซ็นต์ กับปลายข้าว ที่มีโปรตีน 8 เปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนการคำนวณ

กำหนดให้ X = จำนวนปลาป่น (ปลาแอนโชวี) ที่ต้องใช้ในอาหารผสม 100 กิโลกรัม

กำหนดให้ Y = จำนวนของปลายข้าวที่ต้องใช้ในอาหารผสม 100 กิโลกรัม

ดังนั้น $X + Y = 100$ .....(1)

เปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ต้องการในสูตรอาหาร = 30

เปอร์เซ็นต์โปรตีนในปลาป่น (ปลาแอนโชวี) = 70

เปอร์เซ็นต์โปรตีนในปลายข้าว = 8

ดังนั้น

$$\frac{70X}{100} + \frac{8Y}{100} = 30$$

หรือ $0.70X + 0.08Y = 30$ .....(2)

(1) x 0.70

$0.70X + 0.70Y = 70$ ..... (3)

(3) - (2)

$(0.70 - 0.70)X + (0.70 - 0.08)Y = 70 - 30$

จะได้ $0.62Y = 40$

ดังนั้น

$$Y = \frac{40}{0.62}$$

$$= 64.52$$

แทนค่า Y ใน (1)

$X + 64.52 = 100$

ดังนั้น $X = 100 - 64.52$

$= 35.48$

ดังนั้น สูตรอาหารปลานิลระยะเจริญเติบโตจนถึงขนาดส่งตลาด ซึ่งต้องการโปรตีน ในอาหาร 30 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 100 กิโลกรัม จะมีปลาป่น (ปลาแอนโชวี) 35.48 กิโลกรัม กับปลายข้าว 64.52 กิโลกรัม ซึ่งมีค่าเท่ากันกับวิธีรูปสี่เหลี่ยมของเพียร์สัน ตามตัวอย่างที่ 2

3.2 กรณีที่ใช้วัตถุดิบมากกว่า 2 ชนิด สามารถคำนวณได้ตามตัวอย่างที่ 5 ดังนี้

ตัวอย่างที่ 5 การคำนวณสูตรอาหารปลานิลระยะเจริญเติบโตจนถึงส่งตลาด ซึ่งต้องการโปรตีน ในอาหาร 30 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 100 กิโลกรัม โดยใช้วัตถุดิบดังต่อไปนี้

1. ปลาป่น (ปลาแอนโชวี)	มีโปรตีน	70	เปอร์เซ็นต์
2. กากถั่วเหลือง	มีโปรตีน	44	เปอร์เซ็นต์
3. ใบกระถินป่น	มีโปรตีน	20	เปอร์เซ็นต์
4. รำละเอียด	มีโปรตีน	12	เปอร์เซ็นต์
5. ปลายข้าว	มีโปรตีน	8	เปอร์เซ็นต์
6. หัวมันสำปะหลังบด	มีโปรตีน	2	เปอร์เซ็นต์
7. พรีมิกซ์	มีโปรตีน	0	เปอร์เซ็นต์
8. สารเหนียว	มีโปรตีน	0	เปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนการคำนวณ

ขั้นตอนเริ่มต้นก่อนจะตั้งสมการจะคล้ายกันกับวิธีการคำนวณวิธีสี่เหลี่ยมของเพียร์สัน ตัวอย่างที่ 3 ดังนี้

1) แบ่งประเภทของวัตถุดิบ กำหนดสัดส่วน และหาค่าโปรตีนของแต่ละกลุ่ม

จากวัตถุดิบที่กำหนดให้สามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1.1) กลุ่มโปรตีน ประกอบด้วย ปลาป่น (ปลาแอนโชวี) กากถั่วเหลือง และใบกระถินป่น ซึ่งกำหนดสัดส่วนของวัตถุดิบ เป็น 2 ต่อ 2 ต่อ 1 และหาค่าโปรตีนรวมได้ดังนี้

$$\frac{(2 \times 70) + (2 \times 44) + (1 \times 20)}{5} = 49.60 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

1.2) กลุ่มพลังงาน ประกอบด้วย รำละเอียด ปลายข้าว และหัวมันสำปะหลังบด ซึ่ง กำหนดสัดส่วนของวัตถุดิบ เป็น 1 ต่อ 2 ต่อ 2 และหาค่าโปรตีนรวมได้ดังนี้

$$\frac{(1 \times 12) + (2 \times 8) + (2 \times 2)}{5} = 6.40 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

1.3) วัตถุดิบคงที่ ได้แก่ พรีมิกซ์ และสารเหนียว ปริมาณการใช้อย่างละ 1 กิโลกรัม

2) การปรับเปอร์เซ็นต์โปนตีน เนื่องจากมีการใช้พรีมิกซ์ในสูตรอาหาร จำนวน 1 กิโลกรัม และสารเหนียวจำนวน 1 กิโลกรัม ดังนั้นจึงเหลืออาหารที่ต้องนำมาคำนวณเพียง 100 - 2 = 98 กิโลกรัม และมีโปรตีนที่ต้องคำนวณ เท่ากับ 100 x 30 / 98 = 30.61 เปอร์เซ็นต์

3) การสร้างสมการและการแก้สมการ

กำหนดให้ X = จำนวนวัตถุดิบกลุ่มโปรตีนในสูตรอาหาร 98 กิโลกรัม

Y = จำนวนวัตถุดิบกลุ่มพลังงานในสูตรอาหาร 98 กิโลกรัม

ดังนั้น $X+Y = 98$ .....(1)

เปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ต้องการในอาหารผสม = 30.61

ดังนั้น

$$\frac{49.60X}{98} + \frac{6.40Y}{98} = 30.61$$

หรือ $0.51X + 0.06Y = 30.61$ .....(2)

(1) x 0.51

$0.51X + 0.51Y = 49.98$..... (3)

(3) - (2)

$(0.51 - 0.51)X + (0.51 - 0.06)Y = 49.98 - 30.61$

จะได้ $0.45Y = 19.37$

ดังนั้น

$$Y = \frac{19.37}{0.45}$$

$$= 43.04$$

แทนค่า Y ใน (1)

$X + 43.04 = 98$

ดังนั้น $X = 98 - 43.04$

$= 54.96$

5) การเทียบหาวัตถุดิบแต่ละชนิด

5.1 วัตถุดิบกลุ่มโปรตีน

5.1.1 อาหาร 5 กิโลกรัม มีปลาป่น (ปลาแอนโชวี) 2 กิโลกรัม

อาหาร 54.96 กิโลกรัม มีปลาป่น (ปลาแอนโชวี) $\frac{54.96 \times 2}{5} = 21.98$ กิโลกรัม

5.1.2 อาหาร 5 กิโลกรัม มีกากถั่วเหลือง 2 กิโลกรัม

อาหาร 54.96 กิโลกรัม มีกากถั่วเหลือง $\frac{54.96 \times 2}{5} = 21.98$ กิโลกรัม

5.1.3. ใบกระถิน $54.96 - (21.98 + 21.98) = 11.00$ กิโลกรัม

5.2 วัตถุดิบกลุ่มพลังงาน

5.2.1 อาหาร 5 กิโลกรัม มีรำละเอียด 1 กิโลกรัม

อาหาร 43.04 กิโลกรัม มีรำละเอียด $\frac{43.04 \times 1}{5} = 8.61$ กิโลกรัม

5.2.2 อาหาร 5 กิโลกรัม มีปลายข้าว 2 กิโลกรัม

อาหาร 43.04 กิโลกรัม มีรำละเอียด $\frac{43.04 \times 2}{5} = 17.22$ กิโลกรัม

5.2.3 หัวมันสำปะหลังบด $43.04 - (8.61 + 17.22) = 17.21$ กิโลกรัม

6) ตรวจสอบความถูกต้อง

วัตถุดิบ	โปรตีน (%)	จำนวน (กก.)	การคำนวณ	ได้โปรตีน (%)
ปลาป่นปลาป่น (ปลาแอนโชวี)	70	21.98	0.70 x 21.98	15.39
กากถั่วเหลือง	44	21.98	0.44 x 21.98	9.67
ใบกระถินป่น	20	11.00	0.20 x 11.00	2.20
รำละเอียด	12	8.61	0.12 x 8.61	1.03
ปลายข้าว	8	17.22	0.08 x 17.22	1.38
หัวมันสำปะหลังบด	2	17.21	0.02 x 17.21	0.34
พรีมิกซ์	0	1.00	0.00 x 1.00	0.00
สารเหนียว	0	1.00	0.00 x 1.00	0.00
รวม		100.00		30.01

4. การคำนวณสูตรอาหารสัตว์น้ำโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์

การคำนวณสูตรอาหารสัตว์น้ำด้วยวิธีลองผิดลองถูก วิธีสี่เหลี่ยมของเพียร์สัน และวิธีสมการทางพีชคณิต จะเสียเวลามากและอาจผิดพลาดได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้วัตถุดิบหลายชนิดในสูตรอาหาร ตลอดจนราคาและคุณภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำมีเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอขึ้นอยู่กับฤดูกาล และความต้องการ ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการนำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณสูตรอาหารสัตว์น้ำกันอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เพื่อให้ได้สูตรอาหารสัตว์น้ำที่มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนตามความต้องการของสัตว์น้ำ และเป็นสูตรอาหารที่มีราคาถูกที่สุด รวมทั้งทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็วขึ้น

ปัจจุบันนักวิชาการด้านอาหารสัตว์น้ำ ได้มีการสร้างโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับสร้างสูตรอาหารสัตว์น้ำ เช่น โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิธีลิเนียร์ โปรแกรมมิ่ง (Linear programming) และโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อการคำนวณสูตรอาหารสัตว์น้ำ เป็นต้น ดังนั้นการสร้างสูตรอาหารสัตว์น้ำจึงเกิดความสะดวก รวดเร็ว และแม่นยำมากขึ้น โดยสามารถคำนวณสารอาหารต่างๆ ได้พร้อมกันตามที่ต้องการ เลือกใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำได้อย่างหลากหลาย รวมทั้งเลือกราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำแต่ละชนิดได้ แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดสำหรับฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำขนาดเล็กและขนาดกลาง เนื่องจากผู้ใช้จะต้องมีความรู้ทางด้านคอมพิวเตอร์พอสมควร อีกทั้งเครื่องเครื่องคอมพิวเตอร์และโปรแกรมการคำนณสูตรอาหารสำเร็จรูปมักจะมีราคาแพง จึงไม่คุ้มกับการผลิตอาหารสัตว์น้ำในฟาร์มขนาดเล็กและขนาดกลาง อย่างไรก็ตามเราสามารถประกอบสูตรอาหารสัตว์น้ำได้อย่างไม่ยุ่งนากมากนัก โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปพื้นฐานที่มีความคุ้นเคยในการช่วยคำนวณ เช่น โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล (MS Excel) โดยสามารถทำได้ดังนี้

4.1 เลือกวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ ที่ต้องการใช้ในสูตรอาหารใส่งลงไปในโปรแกรม ได้แก่ แหล่งของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน แร่ธาตุ เป็นต้น

4.2 เติมคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำแต่ละชนิดที่ต้องการใช้ในสูตรอาหาร เช่น ระดับของพลังงาน ปริมาณโปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุ เป็นต้น

4.3 ใส่ปริมาณวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำแต่ละชนิด ที่ต้องการใช้ในสูตรอาหารให้ครบทุกชนิด โดยปริมาณสุทธิจะต้องได้ 100 กิโลกรัม

4.4 ตรวจสอบปริมาณของสารอาหารที่คำนวณได้ครั้งแรก เป็นไปตามที่กำหนดไว้หรือไม่ หากไม่ได้ก็ปรับจนกว่าจะได้ตามที่ต้องการ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะต้องใช้ความชำนาญ และความเข้าใจของผู้คำนณเป็นอย่างมาก เพื่อให้การปรับลดจำนวนของวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว

4.5 ตรวจสอบราคา สูตรอาหารที่คำนวณควรมีราคาต่ำที่สุด ดังนั้นหากสูตรอาหารที่คำนวณได้มีราคาสูงเกินไป ควรปรับให้มีราคาถูกลง ซึ่งโดยทั่วไปมักจะลดจำนวนวัตถุดิบที่มีราคาแพงลง แล้วทดแทนด้วยวัตถุดิบที่มีราคาถูกในสัดส่วนที่เท่ากัน อย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงความน่ากินและคุณค่าทางโภชนาการของสูตรอาหารด้วย

ตัวอย่างสูตรอาหารสัตว์น้ำ

ในประเทศไทย กรมประมง เป็นหน่วยงานหลักที่มีการทดลองวิจัยและคิดค้นสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ นอกจากนี้ยังได้รวบรวมสูตรอาหารจากนักวิชาการต่างประเทศที่มีการศึกษาไว้ โดยเฉพาะในสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เช่น ปลานิล ปลาตะเพียน ปลาดุก และกุ้ง เป็นต้น ทั้งระยะลูกสัตว์น้ำวัยอ่อน ระยะเจริญเติบโตจนถึงส่งตลาด และอาหารพ่อแม่พันธุ์ (ตารางที่ 5.5 – 5.23) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ โดยการนำความรู้จากเรื่องการคำนวณสูตรอาหารที่ได้แสดงตัวอย่างวิธีการคำนวณไว้ก่อนหน้านี้

ตารางที่ 5.5 สูตรอาหารลูกปลาไน ลูกปลาตะเพียน และลูกปลานิล

วัตถุดิบ	ปริมาณ (กิโลกรัม)
ปลาป่นอัดน้ำมัน	30
รำละเอียด	45
กากถั่วป่น	24
วิตามิน + แร่ธาตุ	1
รวม	100

หมายเหตุ : ก่อนผสมอาหารผง ร่อนวัสดุอาหารที่เตรียมไว้ด้วยตะแกรงเบอร์ 16 หรือ 16 ช่องตารางนิ้ว แล้วนำเข้าเครื่องผสมอาหาร 18-20 นาที ให้ลูกปลากินในรูปอาหารผง

ที่มา : ธนาภรณ์ (2557)

ตารางที่ 5.6 สูตรอาหารลูกปลาดุกด้าน ลูกปลาดุกอุย และลูกปลาช่อน

วัตถุดิบ	ปริมาณ (กิโลกรัม)
ปลาป่นอัดน้ำมัน	56
รำละเอียด	12
กากถั่วลิสงป่น	12
แป้งเหนียว	14
น้ำมันปลา	4
วิตามิน + แร่ธาตุ	1.6
สารเหนียว	0.4
รวม	100

หมายเหตุ : ผสมอาหารทั้งหมดทั้งหมดในเครื่องผสมอาหารนานประมาณ 18-20 นาที การใช้โดยผสมน้ำเย็น 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแล้วปั้นเป็นก้อนให้ลูกปลากิน

ที่มา : ธนาภรณ์ (2557)

ตารางที่ 5.7 สูตรอาหารปลานิลแต่ละระยะ

วัตถุดิบ	พ่อแม่พันธุ์	ลูกปลาวัยอ่อน-ปลานิ้ว	เจริญเติบโต
	โปรตีน 44 %	โปรตีน 38.1 %	โปรตีน 28.1 %
ปลาป่น	36.20	30.17	18.25
ข้าวโพดบด	20.40	–	–
กากถั่วเหลือง	17.70	25.95	25.00
กากมะพร้าว	11.80	11.48	10.00
ใบกระถินป่น	–	8.10	–
แป้งมันสำปะหลัง	–	–	36.42
รำข้าว	7.50	14.97	6.00
แป้ง	3.20	3.00	–
น้ำมันตับปลา	0.50	10	–
น้ำมันพืช	0.50	10	–
พรีมิกซ์	2.20	43.3	4.33
รวม	100	100	100

ที่มา : Santiago et al., (1985); Santiago et al. (1986); Santiago et al. (1987)

ตารางที่ 5.8 สูตรอาหารปลานิลจำแนกตามชนิดของบ่อเลี้ยง

วัตถุดิบ	จำนวนวัตถุดิบในสูตรอาหาร (เปอร์เซ็นต์)		
	บ่อดิน	บ่อคอนกรีต (Raceways)	
	โปรตีน 26 %	โปรตีน 32 %	โปรตีน 36
กากถั่วเหลือง	38.3	48.5	50.8
เมล็ดข้าวสาลี	4.0	20.0	18.0
ปลาป่น	4.0	6.0	12.0
ข้าวโพดบด	50.8	22.6	16.5
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	1.0	1.0	0.8
น้ำมันพืช (พ่นลงเม็ดอาหาร)	1.5	1.5	1.5
วิตามิน	0.2	0.2	0.2
แร่ธาตุ	0.2	0.2	0.2
รวม	100	100	100

ที่มา : Hardy and Barrows (2002)

ตารางที่ 5.9 สูตรอาหารปลาปลาทับทิม

วัตถุดิบ	ลูกปลา 1-2 เดือน	ปลา 2 ถึง 3.5 เดือน	ปลา 3 ถึง 4.5 เดือน
	โปรตีน 35 %	โปรตีน 32 %	โปรตีน 28 %
ปลาป่น (58 - 60 %)	35	30	24
กากถั่วเหลือง	30	30	30
ปลายข้าว	25	30	37
สารเหนียว	5	5	5
น้ำมันพืช	4	4	3
วิตามินกับแร่ธาตุรวม	1	1	1
วิตามินซี	0.1	0.1	0.1
รวม	100	100	100

หมายเหตุ : ปลายข้าวควรต้มให้สุกเพื่อช่วยให้สัตว์น้ำสามารถย่อยได้ง่ายและโตเร็ว

ที่มา : อมรรัตน์ และคณะ (2549)

ตารางที่ 5.10 สูตรอาหารกลุ่มปลากินพืช (ปลาแรด ปลาสลิด ปลาตะเพียน ปลาสวาย)

วัตถุดิบ	ลูกปลาอายุ 1-2 เดือน	ปลาเล็กอายุ 1-2 เดือน
	โปรตีน 24 %	โปรตีน 20 %
ปลาป่น	10	8
กากถั่วเหลือง	30	18
รำละเอียด (หรือกากมะพร้าวคั้นกะทิสด)	23 (40)	25 (48)
ปลายข้าว	27	39
สารเหนียว (อัลฟ่าสตาชท์)	5	5
พรีมิกซ์	0.5-1	0.5-1
น้ำมันพืช หรือน้ำมันสัตว์	3	3
ไดแคลเซียมฟอสเฟต หรือกระดูกป่น	1	1
รวม	100	100

ที่มา : อมรรัตน์ และคณะ (2549)

ตารางที่ 5.11 สูตรอาหารปลาตะเพียน

วัตถุดิบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ปลาป่นอัดน้ำมัน	12
กากถั่วลิสงป่น	23
รำละเอียด	40
แป้งหรือข้าว	20
ใบกระถินป่น	4
วิตามิน + แร่ธาตุ	1
รวม	100

ที่มา : ธนาภรณ์ (2557)

ตารางที่ 5.12 สูตรอาหารสำหรับปลาดุกจำแนกตามระยะการเจริญเติบโต

วัตถุดิบ	อายุของปลา/ปริมาณ			
	2 สัปดาห์ - 1เดือน	1-2.5 เดือน	2.5-3.5 เดือน	ก่อนจับ 1 เดือน
	โปรตีน 40 %	โปรตีน 35 %	โปรตีน 28 %	โปรตีน 25 %
ปลาป่น (58-60 % โปรตีน)	50	38	25	13
กากถั่วเหลือง	20	28	33	33
ปลายข้าว (บดละเอียด)	10	24	34	47
สารเหนียว (อัลฟ่าสตาชท์)	12	6	5	5
ยีสต์	2	-	-	-
วิตามินกับแร่ธาตุรวม	0.5-1	0.5-1	0.5-1	0.5-1
น้ำมันหมู/พืช/ปลา	5	3	2	1
รวม	100	100	100	100

ที่มา : อมรรัตน์ และคณะ (2549)

ตารางที่ 5.13 สูตรอาหารปลากะพง และกะรัง

วัตถุดิบ	ปริมาณ
ปลาเป็ดบด	46
ปลาป่น	26
กากถั่วเหลือง	10
เนื้อและกระดูกป่น	4
รำข้าวสาลีติดแป้ง	4
น้ำมันปลา	3
สารเหนียว	4
เนื้อหอยป่น	2
วิตามิน + แร่ธาตุ	1
รวม	100

ที่มา : ธนาภรณ์ (2557)

ตารางที่ 5.14 สูตรอาหารปลาดุก ปลาช่อน และปลาบู่

วัตถุดิบ	ปริมาณ
ปลาเป็ดบด	60
แป้งบด	19
รำละเอียด	20
วิตามิน + แร่ธาตุ	1
รวม	100

หมายเหตุ : ผสมส่วนผสมทั้งหมดโดยการใช้เครื่องโม่ปลาแล้วเก็บใส่ไหหรือโอ่งปิดฝาให้แน่น

ที่มา : ธนาภรณ์ (2557)

ตารางที่ 5.15 สูตรอาหารกุ้งก้ามกราม

วัตถุดิบ	ปริมาณ	
	กุ้งก้ามกรามเล็ก	กุ้งก้ามกรามโต ถึงส่งตลาด
ปลาป่น	10	10
เปลือกกุ้งป่น	25	25
กากถั่วลิสง	5	5
กากถั่วเหลือง	5	5
รำละเอียด	26	25.8
รำถั่วเขียว	26	-
น้ำมันปลา	3	3
ปลายข้าว	-	0.4
สารเหนียว	-	25.8
รวม	100	100

ที่มา : ธนาภรณ์ (2557)

ตารางที่ 5.16 สูตรอาหารกุ้งทะเล

วัตถุดิบ	ปริมาณ
ปลาป่น	27
กากถั่วเหลือง	15
รำละเอียด	10
กากถั่วลิสง	5
ใบกระถินป่น	5
กากเมล็ดงา	5
แป้งมันสำปะหลัง	8
เนื้อและกระดูกป่น	10
กากมะพร้าวอัด	10
ข้าวโพดป่น	4
วิตามิน + แร่ธาตุ	1
รวม	100

ที่มา : ธนาภรณ์ (2557)

ตารางที่ 5.17 สูตรอาหารแม่ปลาสวาย แม่ปลาปลาไน และแม่ปลายี่สกเทศ

วัตถุดิบ	ปริมาณ
ปลาป่นอัดน้ำมัน	16
กากถั่วลิสงป่น	24
กากถั่วเหลืองป่น	14
รำละเอียด	30
ปลายข้าวบดหรือมันเส้นบด	15
วิตามิน + แร่ธาตุ	1
รวม	100

ที่มา : ธนาภรณ์ (2557)

ตารางที่ 5.18 สูตรอาหารสำหรับพ่อแม่พันธุ์ปลากินเนื้อ

วัตถุดิบ	โปรตีน 50 %	โปรตีน 45 %
ปลาป่น (58-60 % โปรตีน)	54	45
เนื้อหมึกป่น	5	5
กากถั่วเหลือง	15	16
แป้งสาลี	13	-
ปลายข้าว	-	19
ยีสต์	2	2
สารเหนียว	5	5
น้ำมันถั่วเหลือง	1	1
น้ำมันตับหมึกหรือปลาทะเล	2	2
เลซิติน*	1	1
วิตามินและแร่ธาตุรวม**	0.3	0.3
วิตามินซี (97%)	0.2	0.2
วิตามินอี (50%)	0.3	0.3
สาหร่ายสไปรูไลนา	1	1
รำสกัดน้ำมัน	0.2	2.2
รวม	100	100

หมายเหตุ : * เลซิตินอยู่ในรูปของเหลวข้น ดังนั้นก่อนผสมอาหารจะต้องนำมาละลายในน้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันปลาทะเลเพื่อให้กระจายตัวดี

** ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุรวมใช้ตามที่ระบุข้างถุงหากซื้อแบบที่ขายทางการค้า

ที่มา : ธนาภรณ์ (2557)

ตารางที่ 5.19 สูตรอาหารสำหรับพ่อแม่ปลากินทั้งพืชและสัตว์ (กินสัตว์มากกว่าพืช)

วัตถุดิบ	โปรตีน 40%	โปรตีน 35%
ปลาป่น (58-60 % โปรตีน)	45	37
หมึกป่น	5	5
กากถั่วเหลือง	16	16
ปลายข้าว	15	21
ยีสต์ขนมปัง (*Saccharomyces serivease*)	5	5
สารเหนียว	5	5

ตารางที่ 5.19 (ต่อ)

วัตถุดิบ	โปรตีน 40%	โปรตีน 35%
น้ำมันถั่วเหลือง	1	1
น้ำมันตับหมึกหรือปลาทะเล	1	1
เลซิติน*	1	1
วิตามินและแร่ธาตรวม**	0.3	0.3
วิตามินซี (97%)	0.2	0.2
วิตามินอี (50%)	0.3	0.3
สาหร่ายสไปรูไลนา	1	1
รำสกัดน้ำมัน	4.2	6.2
รวม	100	100

หมายเหตุ : * เลซิตินอยู่ในรูปของเหลวข้น ดังนั้นก่อนผสมอาหารจะต้องนำมาละลายในน้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันปลาทะเลเพื่อให้กระจายตัวดี

** ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุรวมใช้ตามที่ระบุข้างถุงหากซื้อแบบที่ขายทางการค้า

ที่มา : ธนาภรณ์ (2557)

ตารางที่ 5.20 สูตรอาหารสำหรับพ่อแม่ปลากินทั้งพืชและสัตว์ (กินพืชมากกว่าสัตว์)

วัตถุดิบ	โปรตีน 40 %	โปรตีน 35 %
ปลาป่น (58-60% โปรตีน)	32	21
หมึกป่น	5	5
กากถั่วเหลือง	16	22
ปลายข้าว	26	33
ยีสต์	2	2
สารเหนียว	5	5
น้ำมันถั่วเหลือง	1	1
น้ำมันตับหมึกหรือปลาทะเล	1	1
เลซิติน*	1	1
วิตามินและแร่ธาตรวม**	0.3	0.3
วิตามินซี (97%)	0.2	0.2
วิตามินอี (50%)	0.3	0.3

ตารางที่ 5.20 (ต่อ)

วัตถุดิบ (%)	โปรตีน 40 %	โปรตีน 35 %
สาหร่ายสไปรูไลนา	1	1
รำสกัดน้ำมัน	9.2	7.2
รวม	100	100

หมายเหตุ : * เลซิตินอยู่ในรูปของเหลวข้น ดังนั้นก่อนผสมอาหารจะต้องนำมาละลายในน้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันปลาทะเลเพื่อให้กระจายตัวดี

** ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุรวมใช้ตามที่ระบุข้างถุงหากซื้อแบบที่ขายทางการค้า

ที่มา : ธนาภรณ์ (2557)

ตารางที่ 5.21 สูตรอาหารสำหรับพ่อแม่ปลากินเนื้อ

วัตถุดิบ (%)	โปรตีน 50 %	โปรตีน 45 %
ปลาป่น (58-60% โปรตีน)	46	53
หมึกป่น	10	10
หัวกุ้งปุ่น	5	5
กากถั่วเหลือง	16	14
แป้งสาลี	10	-
ปลายข้าวบดละเอียด	-	10
หวีดกลูเตน	5	-
วุ้น	-	2
น้ำมันถั่วเหลือง	1	1
เลซิติน*	1	1
น้ำมันตับหมึกหรือปลาทะเล	2	2
วิตามินและแร่ธาตุรวม**	0.3	0.3
วิตามินซี (97%)	0.2	0.2
วิตามินอี (50%)	0.3	0.3
สาหร่ายสไปรูไลนา	1	1
รำสกัดน้ำมัน	0.2	2.2
รวม	100	100

* เลซิตินอยู่ในรูปของเหลวข้น ดังนั้นก่อนผสมอาหารจะต้องนำมาละลายในน้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันปลาทะเลเพื่อให้กระจายตัวดี

** ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุรวมใช้ตามที่ระบุข้างถุงหากซื้อแบบที่ขายทางการค้า

ที่มา : ธนาภรณ์ (2557)

ตารางที่ 5.22 สูตรอาหารสำหรับพ่อแม่กุ้งก้ามกราม

วัตถุดิบ	โปรตีน 40 %	โปรตีน 35 %
ปลาป่น (58-60 % โปรตีน)	37	37
หมึกป่น	5	5
หัวกุ้งป่น	5	5
กากถั่วเหลือง	16	16
ยีสต์	5	5
ปลายข้าว	-	20
แป้งสาลี	15	-
หวีดกลูเตน (wheat gluten)	5	-
สารเหนียว	-	6
น้ำมันถั่วเหลือง	1	1
น้ำมันตับหมึกหรือปลาทะเล	2	2
เลซิติน*	1	1
วิตามินและแร่ธาตุรวม**	0.3	0.3
วิตามินซี (97%)	0.2	0.2
วิตามินอี (50%)	0.3	0.3
สาหร่ายสไปรูไลนา	1	1
รำสกัดน้ำมัน	6.2	0.2
รวม	100	100

หมายเหตุ : * เลซิตินอยู่ในรูปของเหลวข้น ดังนั้นก่อนผสมอาหารจะต้องนำมาละลายในน้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันปลาทะเลเพื่อให้กระจายตัวดี

** ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุรวมใช้ตามที่ระบุข้างถุงหากซื้อแบบที่ขายทางการค้า

ที่มา : ธนาภรณ์ (2557)

ตารางที่ 5.23 สูตรอาหารกบระยะต่างๆ

วัตถุดิบ	ลูกกบหางเริ่มหด ถึง 1-1.5 เดือน	ลูกกบ อายุ 1.5 - 3.5 เดือน)	ก่อนจับขาย 2 สัปดาห์
	โปรตีน 40 %	โปรตีน 34 %	โปรตีน 30 %
ปลาป่น (60 % โปรตีน)	43	33	27
กากถั่วเหลือง (นึ่ง/ต้มสุก)	27	30	35
รำละเอียด	-	4	6
ปลายข้าว (นึ่ง/ต้มสุก)	20	24	24
สารเหนียว	5	5	5
น้ำมันหมู/พืช/ปลา	4	3	2
วิตามินซี	0.1	0.1	0.1
วิตามินและแร่ธาตุรวม	1	1	1
รวม	100	100	100

หมายเหตุ : ถ้าใช้ปลาป่นที่มีโปรตีนต่ำกว่า 55% จะทำให้กบโตช้า ส่วนปลายข้าวและกากถั่วเหลือง ควรนึ่งหรือต้มให้สุกเนื่องจากกบเป็นสัตว์กินเนื้อที่มีน้ำย่อยสำหรับย่อยแป้งน้อย

ที่มา : อมรรัตน์ และคณะ (2549)

สรุป

สูตรอาหารและการผลิตอาหารสัตว์น้ำได้พัฒนาขึ้นอย่างมากตั้งแต่เริ่มต้นเมื่อหลายร้อยปีก่อน ซึ่งในตอนต้นศตวรรษที่ 20 ผลผลิตสัตว์น้ำส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับการผลิตอาหารตามธรรมชาติ โดยการใส่ปุ๋ยในบ่อเลี้ยง และการให้อาหารเสริม ซึ่งในระยะแรกนั้นมีการศึกษาถึงอาหารที่สัตว์น้ำกินตามธรรมชาติ จากนั้นเมื่อแหล่งอาหารตามธรรมชาติในระบบการเพาะเลี้ยงมีจำนวนไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องเสริมด้วยอาหารสัตว์น้ำที่จัดเตรียมขึ้น เพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และการสืบพันธุ์ที่ดี ดังนั้นในการประกอบสูตรอาหารสัตว์น้ำจำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลต่างๆ จุดมุ่งหมาย กลยุทธ์การผลิตอาหารสัตว์น้ำ ความต้องการด้านโภชนาการของสัตว์น้ำ และวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ ประกอบด้วย

การกำหนดสูตรอาหารสัตว์น้ำควรให้สอดคล้องกับระยะของสัตว์น้ำ เพื่อรองรับการเจริญเติบโต อัตราการกินได้ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร หรือประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ จากนั้นจึงกำหนดประเภทของอาหารเพื่อให้เหมาะสมกับสัตว์น้ำแต่ละระยะ และสุดท้ายเป็นการกำหนดเทคนิคการผลิตที่เหมาะสมกับสัตว์น้ำแต่ละระยะ ทั้งนี้เนื่องจากสัตว์น้ำมีความหลากหลายของชนิด ดังนั้นอาหารสัตว์น้ำจึงมีลักษณะเฉพาะทั้งปริมาณของสารอาหาร และลักษณะทางกายภาพอื่นๆ มากกว่าสัตว์บก

การสร้างสูตรอาหารสัตว์น้ำเป็นการคำนวณหาจำนวนวัตถุดิบที่จำนำมาใช้ประกอบเป็นอาหารสัตว์น้ำ โดยส่วนใหญ่จะคำนวณปริมาณโปรตีนก่อน จากนั้นจึงคำนวณหาระดับของสารอาหารอื่นๆ โดยปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ทั้งหมดในสูตรอาหารจะเท่ากับ 100 กิโลกรัม เพื่อให้สามารถเทียบสัดส่วนของวัตถุดิบต่างๆ ในรูปของเปอร์เซ็นต์ได้ ซึ่งการคำนวณอาหารสัตว์น้ำเบื้องต้นสามารถทำได้ 4 วิธี คือ วิธีลองผิดลองถูก วิธีสี่เหลี่ยมของเพียร์สัน วิธีสมการทางพีชคณิต และการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์

ในประเทศไทย กรมประมงเป็นหน่วยงานหลักที่มีการทดลองวิจัยและคิดค้นสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ นอกจากนี้ยังมีสูตรอาหารจากนักวิชาการต่างประเทศที่มีการศึกษาไว้ โดยเฉพาะในสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เช่น ปลานิล ปลาตะเพียน ปลาดุก และกุ้ง เป็นต้น ทั้งระยะวัยอ่อน ระยะเจริญเติบโตจนถึงส่งตลาด และอาหารพ่อแม่พันธุ์ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำให้ประสบผลสำเร็จได้

แบบฝึกหัดท้ายบท

จงพิจารณาตอบคำถามดังต่อไปนี้

1. การใช้ข้อมูลต่างๆ ในการกำหนดสูตรอาหารสัตว์น้ำ ควรพิจารณาจากอะไรบ้าง
2. การเลือกใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำเพื่อใช้ในการประกอบสูตรอาหารควรพิจารณาอะไรบ้าง
3. จงอธิบายถึงลักษณะสำคัญบางประการของอาหารสัตว์น้ำแต่ละระยะมาพอเข้าใจ
4. จงสร้างสูตรอาหารปลานิลระยะการเจริญเติบโตจนถึงส่งตลาด โดยใช้วัตถุดิบไม่น้อยกว่า 4 ชนิด (เลือกใช้วิธีการคำนวณ วัตถุดิบ และข้อมูลอื่นๆ จากเอกสารประกอบการสอนนี้)
5. จงสืบค้นสูตรอาหารสัตว์น้ำ ได้แก่ ปลานิล ปลาดุก ปลากะพงขาว และกุ้งก้ามกราม จากแหล่งข้อมูลออนไลน์ ในประเทศ 1 สูตร และต่างประเทศ 1 สูตร พร้อมทั้งบอกแหล่งที่มีของสูตรอาหารนั้นๆ

เอกสารอ้างอิง

ธนาภรณ์ จิตตปาลพงศ์. 2557.การสร้างสูตรอาหารสัตว์น้ำและสูตรอาหารสัตว์น้ำเศรษฐกิจ. กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อมรรัตน์ เสริมวัฒนากุล พิศมัย สมสืบ นุชนรี ทองศรี, และสาวิตรี วงศ์สุวรรณ. 2549. อาหารและการผลิตอาหารสัตว์น้ำ. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ

Ali, B. and Y. K. Rawa. 2022. Evaluation of optimum dietary protein requirement for maximum growth of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings. Aquac. Res. 53 (17): 5915-5924.

Aliu, B. S. and J.M. Olomu. 2020. Optimum dietary crude protein and digestible energy requirements for fingerlings of hybrid Clariid catfish *Clarias gariepinus* X *Heterobranchus bidorsalis* in the tropics. Int. j. res. Rev. 7 (7): 376-383.

Bellaloui, N., H. A. Bruns, A. M. Gillen, H. K. Abbas, R. M. Zablotowicz, A. Mengistu and R. L. Paris. 2010. Soybean seed protein, oil, fatty acids, and mineral composition as influenced by soybean-corn rotation. Agric. Sci. 1 (3): 102-109.

Claramunt, R. M. and D. H. Wahl. 2000. The effects of abiotic and biotic factors in determining larval fish growth rates: a comparison across species and reservoirs. Trans. Am. Fish. 129 (3): 835 – 851.

Conceiçao, L. E. C., C. Aragao, N. Richard, S. Engrola, P. Gavaia, S. Mira, and J. Dias. 2010. Novel methodologies in marine fish larval nutrition. Fish Physiol. Biochem. 36 (1): 1–16.

De Silva, S. S. and T. A. Anderson. 1995. Fish Nutrition in Aquaculture. Chapman & Hall. London.

Ferosekhan, S., A. K. Giri, S. K. Sahoo, K. Radhakrishnan, B. R. Pillai, S. S. Giri and S. K. Swain. 2021. Maternal size on reproductive performance, egg and larval quality in the endangered Asian catfish, *Clarias magur*. Aquac. Res. 52 (11): 5168-5179

Glencross, B. 2016. Understanding the nutritional and biological constraints of ingredients to optimize their application in aquaculture feeds. pp. 33-69. In: Nates, S. F. (ed). Aquafeed Formulation. Academic Press. Waltham, MA.

Hardy, R. W. and F. T. Barrows. 2002. Diet Formulation and Manufacture. pp. 506-596. In: Halver, J. E. and R. W. Hardy (eds). Fish Nutrition. 3rd ed. Academic Press. San Diego, CA.

Hertrampf, J. W. and F. Piedad-Pascual. 2000. Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds. Kluwer Academic Publishers. Amsterdam, The Netherlands.

Izquierdo, M. S., H. Fernández-Palacios and A. G. J. Tacon. 2001. Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. Aquaculture. 197 (1–4): 25–42.

Kamler, E. 1992. Early Life History of Fish. Annergetic Approach. Fish and Fisheries Series 4 . Chapman & Hall. London.

Kozowski, K., I. Piotrowska and B. Szczepkowska. 2021. Effect of feed pellet size and tank water level on growth performance in juvenile pikeperch, *Sander lucioperca* (L.), reared in a recirculating system. Fish. Aquat. Life. 29 (2): 88 - 99

Li, M. H. 1998. Feed Formulation and Processing. pp. 135-149. In: Lovell, T. (ed). Nutrition and Feeding of Fish. 2nd ed. Springer Science+Business Media. NY.

Luquet, P. and T. Watanabe. 1986. Interaction nutrition-reproduction in fish. Fish Physiol. Biochem. 2: 121–129.

Masagounder, K., S. Ramos, I. Reimann and G. Channarayapatna. 2016. Optimizing nutritional quality of aquafeeds. pp. 239-263. In: Nates, S. F. (ed). Aquafeed Formulation. Academic Press. Waltham, MA.

Millamena, O.M., R.M. Coloso, and F.P. Pascual. 2002. Nutrition in Tropical Aquaculture: Essentials of fish nutrition, feeds, and feeding of tropical aquatic species. Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center. Tigbauan, Iloilo, Philippines

Moren, M., R. Waagbø and K. Hamre. 2011. Micronutrients. pp. 117 – 149. In: Holt, G. J (ed). Larval Fish Nutrition. John Wiley & Sons. Ames, IA

Nelson, J. S. 2006. Fishes of the World. 4th ed. John Wiley & Sons. Hoboken, NJ.

NRC. 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academy of Sciences. Washington, DC.

Pousão-Ferreira, P., P. Santos, A. P. Carvalho, S. Morais and L. Narciso. 2003. Effect of an experimental microparticulate diet on the growth, survival and fatty acid profile of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) larvae. Aquac. Int. 11 (5): 491–504.

Pillay, T. V. R. and M. N. Kutty. 2005. Principles and Practice. 2nd ed. Blackwell. Ames, IA.

Santiago, C. B., M. B. Aldaba and O. S. Reyes. 1987. Influence of feeding rate and diet form on the growth and survival of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. Aquaculture. 64: 277–282.

Santiago, C. B., M. B. Aldaba, O. S. Reyes and M. A. Laron. 1986. An evaluation of formulated diets for Nile tilapia fingerlings. Fish. Res. J. Philipp. 11: 5-12.

Santiago, C. B., M. B. Aldaba, E. F. Abuan and M. A. Laron. 1985. Effects of artificial diets on fry production and growth of Oreochromis niloticus breeders. Aquaculture. 47: 193–203.

Sayed, A-B. N. 2018. Optimum Crude Protein Requirement of the Fingerlings Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). Biol. 2 (1): 1-8.

Sumi, K. R., M. Das and I. Siddika. 2011. Effect of different protein levels of fry feed on the production of quality tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. J. Bangladesh Agril. Univ. 9 (2): 365–374.

Torsabo, D., S. D. Ishak, N. M. Noordin, I. C. C. Koh, M. Y. Abduh and B. T. Iber, M-K. Kuah and A. B. Abol-Munafi. 2022. Enhancing reproductive performance of freshwater finfish species through dietary lipids. Aquac Nutr. 28: 7138012

Wanzenböck, J. 1995. Changing handling times during feeding and consequences for prey size selection of 0+ zooplanktivorous fish. Oecologia. 104 (3): 372-378

Yúfera, M. 2011. Feeding behavior in larval fish. Pp. 285-236. In: Holt, G. J. (ed). Larval Fish Nutrition. John Wiley & Sons. Ames, IA