# บทที่ 4
# ประเภทของอาหารสัตว์น้ำ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นการผลิตที่สำคัญของระบบอาหารโลก เมื่อจำนวนประชากรเพิ่มขึ้น ความต้องการอาหารก็เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการบริโภคสัตว์น้ำเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสัตว์น้ำที่ใช้บริโภคได้มาจากสองแหล่ง คือ การจับตามธรรมชาติ และการเพาะเลี้ยง จากความผันผวนของปริมาณสัตว์น้ำที่จับได้จากธรรมชาติ สัตว์น้ำที่ได้จากการเพาะเลี้ยงจึงมีส่วนสำคัญต่อความมั่นคงทางอาหารสำหรับมนุษย์ ซึ่งในการเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์มีเป้าหมายในการเลี้ยงเพื่อให้ได้ผลกำไรสูงสุด ซึ่งการที่จะดำเนินการให้สามารถบรรลุเป้าหมายได้ มีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง โดยปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมาก คือ การจัดการด้านอาหาร ทั้งนี้อาหารที่ใช้สำหรับเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมี 2 ประเภท คือ อาหารธรรมชาติและอาหารที่จัดเตรียมขึ้น ซึ่งมีรูปแบบการผลิตและการนำไปใช้เลี้ยงสัตว์น้ำที่แตกต่างกัน รวมทั้งสอดคล้องกับระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น ในระบบการเพาะเลี้ยงในระบบพัฒนามาก หรือการเพาะเลี้ยงในกระชัง ซึ่งอาหารธรรมชาติมีบทบาทน้อยมาก ดังนั้นอาหารส่วนใหญ่ได้จากมนุษย์เป็นผู้จัดเตรียมขึ้น ในขณะที่การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบการเลี้ยงแบบธรรมชาติ ที่สัตว์น้ำพึ่งพาอาหารจากธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่

## อาหารธรรมชาติ

อาหารธรรมชาติ (Natural feed) หมายถึง อาหารที่เกิดขึ้นเองตามแหล่งน้ำทางธรรมชาติ อาจเป็นทั้งอาหารมีชีวิตและอาหารไม่มีชีวิต ซึ่งมีตั้งแต่มีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่าจนถึงมีขนาดใหญ่ (เวียง, 2542) ในธรรมชาติสัตว์ส่วนใหญ่ดำรงชีพด้วยอาหารธรรมชาติซึ่งประกอบด้วยพืชและสัตว์ที่ได้รับจากสิ่งแวดล้อม (Pillay and Kutty, 2005) ส่วนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอาหารธรรมชาติมีความสำคัญในระบบการเลี้ยงแบบธรรมชาติ และการเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา (Semi-intensive aquaculture systems) ซึ่งใช้อาหารเสริมเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลยซึ่งสัตว์น้ำต้องพึ่งพาอาหารธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นความหนาแน่นของสัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยงจะต้องสอดคล้องกับปริมาณอาหารธรรมชาติที่มีอยู่ เนื่องจากเลี้ยงสัตวน้ำหนาแน่นเกินไป ปริมาณอาหารตามธรรมชาติจะไม่เพียงพอต่ออัตราการเติบโต ดังนั้นผลผลิตอาจต่ำได้ (Hepher, 1988) ดังนั้นปริมาณอาหารธรรมชาติจึงมีสำคัญต่อสัตว์น้ำโดยรวม ซึ่งการเลี้ยงสัตว์น้ำบางชนิดสามารถใช้อาหารธรรมชาติเป็นแหล่งอาหารหลัก ดังนั้นจึงทำให้ลดการพึ่งพาอาหารจากภายนอกได้ โดยไม่กระทบกับการเจริญเติบโตและผลผลิต (D'Abramo, 2019) ซึ่งอาหารธรรมชาติยังมีข้อได้เปรียบเหนือกว่าอาหารสัตว์ที่ผลิตในอุตสาหกรรม เช่น มีอัตราการย่อยได้สูงโดยเฉพาะโปรตีน (Podder et al., 2020) นอกจากนั้นยังเป็นตัวเชื่อมโยงที่สำคัญในห่วงโซ่อาหาร และการหมุนเวียนของพลังงานในระบบนิเวศภายในบ่อเลี้ยง (Grebenjuk and Tomilina, 2014) ซึ่งปลาที่นิยมเลี้ยงโดยใช้อาหารธรรมชาติส่วนใหญ่จะเป็นปลาน้ำจืดที่กินพืช หรือปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ ที่มีราคาไม่สูงนัก เช่น ปลาไน ปลานิล ปลาตะเพียนขาว และปลาสลิด เป็นต้น

ส่วนการเลี้ยงปลากินเนื้อ เช่น ปลาดุก และปลาช่อน ไม่นิยมใช้อาหารธรรมชาติในการเลี้ยง (นฤมล, 2557) ทั้งนี้การสร้างอาหารตาธรรมชาติควรเริ่มตั้งแต่การเตรียมบ่อ โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และ/หรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์ในอัตราที่เหมาะสม นอกจากนั้นตลอดระยะเวลาการเลี้ยงควรควบคุมคุณภาพของน้ำ รวมไปถึงการใช้เครื่องตีน้ำเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำให้เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของอาหารตามธรรมชาติภายในบ่อเลี้ยง โดยเฉพาะการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช ซึ่งนอกจากจะเป็นผู้ผลิตอาหารขั้นต้นภายในบ่อเลี้ยงแล้ว ยังทำหน้าที่ปลดปล่อยออกซิเจนที่ละลายในน้ำ การใช้ไนโตรเจนจากอาหารที่สัตว์น้ำขับออกมา ช่วยพลางแสงให้กับพืชหน้าดิน รวมทั้งการควบคุมความขุ่นของน้ำ (Green, 2015)

อาหารตามธรรมชาติแบ่งได้เป็น 6 กลุ่มใหญ่ๆ (เวียง, 2542) ดังนี้

1.1 แบคทีเรียและโปรโตซัว แบคทีเรียเป็นสัตว์ชั้นต่ำที่พบอาศัยอยู่ตามพื้นก้นบ่อ และเป็นอาหารของสัตว์น้ำที่ไม่มีกระดูกสันหลังที่มีพฤติกรรมหากินตามพื้นบ่อ โดยเฉพาะกุ้ง ปู และหอย นอกจากจุลินทรีย์จะเป็นอาหารของสัตว์น้ำโดยตรงแล้ว ยังมีการใช้จุลินทรีย์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้ประโยชน์จากแอมโมเนียที่เป็นรูปแบบต่างๆ ของไนโตรเจนที่ตกค้างภายในบ่อ ดังนั้นจึงมีส่วนช่วยในการลดปริมาณของแอมโมเนียให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ (Martínez-Cordova et al., 2015) นอกจากนั้นจุลินทรีย์ในลำไส้ของปลายังช่วยการเพิ่มการย่อยได้ของอาหาร ส่งผลให้ใช้อาหารได้ดีขึ้นและผลิตของเสียน้อยลง (Hura et al., 2018) รวมทั้งเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันและการตอบสนองของภูมิคุ้มกันโรคด้วย (Hasan and Banerjee, 2020) นอกจากนี้แบคทีเรียและโปรโตซัวภายในบ่อยังเป็นอาหารของแพลงก์ตอนสัตว์ (Veeramani et al., 2019) ซึ่งแพลงก์ตอนสัตว์เหล่านี้จะเป็นอาหารของสัตว์น้ำอีกต่อหนึ่ง

1.2 แพลงก์ตอน เป็นสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นสัตว์หรือพืช ซึ่งล่องลอยและถูกพัดพาไปกับกระแสน้ำ คลื่น และลม (Santhanam et al., 2019) ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กมากจนมองไม่เห็น จนถึงมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ไม่มีรยางค์หรืออวัยวะช่วยในการเคลื่อนที่ แต่ก็มีบางกลุ่มที่เคลื่อนที่อย่างช้าๆ (ลัดดา, 2544) แพลงก์ตอนมีบทบาทสำคัญและอาจสำคัญที่สุดในการเพิ่มผลผลิตสัตว์น้ำจากการเพาะเลี้ยง (Perumal and Sampathkumar, 2002) เนื่องจากมีความสำคัญต่อห่วงโซ่อาหารสัตว์น้ำ มีความหลากหลายชนิด และพบได้ทั้งน้ำเค็ม น้ำจืด และน้ำกร่อย (Santhanam et al., 2019) เนื่องจากแพลงก์ตอนมีขนาดเล็กมาก จึงนิยมใช้เป็นอาหารสำหรับอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน โดยเฉพาะโรติเฟอร์และอาร์ทีเมีย ที่นิยมนำมาเพาะเลี้ยงในเชิงพานิชย์ ส่วนไรน้ำ แม้จะเป็นอาหารธรรมชาติสำหรับสัตว์น้ำ แต่การเพาะเลี้ยงไรน้ำยังไม่ใช่อุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์ (Øie et al., 2011) ส่วนแพลงก์ตอนพืช เช่น คลอเรลลา สไปรูไลนา และคีโตเซอรอส เป็นต้น ก็ถือว่าเป็นอาหารตามธรรมชาติที่มีการเพาะเลี้ยงและนำมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำเช่นกัน ซึ่งการใช้แพลงก์ตอนสัตว์สำหรับเป็นอาหารมีชีวิตสามารถทำได้ทั้งในรูปที่มีชีวิตซึ่งมีข้อดี คือ ลูกสัตว์น้ำชอบกินมากกว่าในรูปแบบแห้ง แต่มีคุณค่าทางอาหารต่ำกว่า เนื่องจากมีโครงกระดูกภายนอกบาง และมีปริมาณน้ำสูง อย่างไรก็ตามการใช้ในรูปแบบแห้งแม้จะมีคุณค่าทางอาหารสูงแต่สัตว์น้ำไม่ชอบกิน (Keshavanath, 2014) ส่วนแพลงก์ตอนพืช นอกจากจะเป็นอาหารตามธรรมชาติของสัตว์น้ำโดยตรงแล้ว ยังใช้เป็นแหล่งอาหารทางอ้อมในการผลิตแพลงก์ตอนสัตว์ รวมทั้งมีการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น การแช่แข็ง รูปแบบ และแคปซูล เป็นต้น

1.3 ตัวอ่อนของแมลงที่อาศัยอยู่กลางน้ำ แมลงน้ำส่วนใหญ่พบในแหล่งน้ำจืดและมีหลายชนิด มีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศน้ำจืด รวมถึงทำหน้าที่เป็นอาหารโปรตีนตามธรรมชาติสำหรับสัตว์น้ำ เนื่องจากวงจรชีวิตสั้นและความสามารถในการผลิตไข่จำนวนมาก นอกจากนี้แล้วยังมีส่วนเชื่อมโยงที่สำคัญในการหมุนเวียนของพลังงานจากจุลินทรีย์ต่อประชากรสัตว์น้ำและสัตว์อื่นๆ ในระบบนิเวศทางน้ำและบนบก (Hershey et al., 2010) นอกจากตัวเต็มวัยแล้วตัวอ่อนของแมลงน้ำชนิดต่างๆ เช่น ตัวอ่อนของยุง (ลูกน้ำ) ตัวอ่อนของแมลงชีปะขาว เป็นต้น ซึ่งมักจะเกาะอยู่กลางน้ำตามส่วนต่างๆ ของพืชน้ำ โดยเฉพาะบริเวณด้านบนของใบ และสิ่งยึดเกาะอื่นๆ เช่น ก้อนหินและตอไม้ เป็นต้น ก็เป็นแหล่งอาหารที่มีความสำคัญอย่างมากของปลา โดยเฉพาะปลาที่มีปากตรงแคบและปากแบบปากดูด (นฤมล, 2557)

1.4 สัตว์หน้าดิน เป็นสัตว์ที่พบอาศัยอยู่ตามพื้นบ่อ โดยจะฝังตัวอยู่ในโคลนหรืออยู่ตามพื้นวัสดุที่ทับถมที่บริเวณบ่อ ได้แก่ หนอนแดง ไส้เดือนดิน และตัวอ่อนของหอยชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นอาหารของปลาที่ชอบหากินตามพื้นบ่อ ส่วนใหญ่เป็นปลาที่มีปากแคบและปากต่ำ เช่น ปลาไน และปลาเฉาดำ เป็นต้น (นฤมล, 2557) สัตว์หน้าดินเหล่านี้มีคุณค่าทางอาหารสูง จึงเป็นแหล่งอาหารที่ดีของปลาน้ำจืด นอกจากนั้นยังมีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของน้ำ (Bozanic et al., 2019)

1.5 พืชน้ำ พืชน้ำจัดเป็นอาหารที่สำคัญของสัตว์น้ำ มักพบได้ทั้งในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำและแหล่งน้ำธรรมชาติจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ 1) พืชลอยน้ำ ได้แก่ แหน แหนแดง ไข่น้ำ (ผำ) จอกและผักตบชวา 2) พืชใต้น้ำ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ พวกใต้น้ำที่มีรากฝังดิน ได้แก่ แว่นแก้ว และสันตวา เป็นต้น cและ 3) พืชที่เจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำที่ไม่มีราก ได้แก่ สาหร่ายต่างๆ และพืชที่มีรากใต้ดิน แต่ส่วนใบ ดอก และบางส่วนของลำต้นโผล่พ้นน้ำ เช่น หญ้าชนิดต่างๆ ซึ่งพืชน้ำเหล่านี้เป็นอาหารของปลาที่มีฟันในลำคอเป็นแบบกัดบด เช่น ปลาเฉา และปลาตะเพียนขาว เป็นต้น (นฤมล, 2557) นอกจากการเป็นอาหารของปลา และเป็นที่เกาะของตัวอ่อนแมลงแล้ว พืชน้ำยังสามารถดูดซึมไนเตรทภายในบ่อซึ่งช่วยรักษาคุณภาพของน้ำด้วย (Roslan et al., 2021)

1.6 กลุ่มกุ้ง ปู หอย และปลา สัตว์ในกลุ่มนี้จัดเป็นสัตว์ที่มีขนาดใหญ่กว่าอาหารมีชีวิตตามธรรมชาติกลุ่มอื่นๆ สามารถกินพืช สัตว์ หรือกินทั้งพืชและสัตว์ขนาดเล็ก ที่พบในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอาหาร จึงเหมาะสำหรับเป็นอาหารของปลา ขณะเดียวกันสัตว์ในกลุ่มกุ้ง ปู หอยและปลา รวมถึงสัตว์ที่มีขนาดเล็ก อาจเป็นอาหารของสัตว์ที่มีขนาดใหญ่กว่าและมีนิสัยชอบกินสัตว์เป็นอาหาร

ปริมาณอาหารธรรมชาติในบ่อสัตว์น้ำสามารถประมาณได้ 3 วิธี คือ 1) การประมาณค่าแหล่งอาหารธรรมชาติในบ่อ 2) การประมาณปริมาณอาหารปลากิน และ 3) การประมาณอาหารที่ได้รับทางอ้อมผ่านการวิเคราะห์ความสมดุลของพลังงานชีวภาพ โดยคำนึงถึงน้ำหนักปลา อัตราการเจริญเติบโต และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการบำรุงรักษา (Hepher, 1988) ซึ่งสิ่งมีชีวิตทั้งหมดทั้งพืชและสัตว์ภายในบ่อที่สามารถเป็นอาหารของสัตว์น้ำเหล่านี้ต่างมีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ซึ่งความสัมพันธ์เหล่านี้ได้รับการอธิบายในวิธีต่างๆ เช่น ห่วงโซ่อาหาร (Food chains) พีระมิดอาหาร (Food pyramid) (ผู้ผลิตหลักมีขนาดใหญ่กว่าจะอยู่ด้ายล่างและบนเป็นผู้บริโภค) หรือมีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนของสายใยอาหาร (Food web) ซึ่งความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์เหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องเข้าใจเมื่อต้องการผลิตอาหารตามธรรมชาติ

## อาหารที่จัดเตรียมขึ้น

อาหารที่จัดเตรียมขึ้น หมายถึง อาหารที่ให้แก่สัตว์น้ำที่เลี้ยงนอกเหนือไปจากอาหารธรรมชาติที่สัตว์น้ำสามารถหากินได้และเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ โดยอาหารที่จัดเตรียมขึ้นและมีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนเรียกว่า อาหารสมบูรณ์ (Complete feed) เช่น อาหารสำเร็จรูปชนิดต่างๆ ซึ่งหมาะสำหรับระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบระบบพัฒนามาก หรือการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในกระชังที่สัตว์น้ำถูกกักขังในพื้นที่จำกัดซึ่งไม่มีอาหารธรรมชาติ หรือมีปริมาณน้อยและไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต ส่วนอาหารที่จัดเตรียมขึ้นและมีคุณค่าทางโภชนาการไม่ครบถ้วนเรียกว่า อาหารสมทบ (Supplement feed) หมายถึง อาหารที่ให้สัตว์น้ำเพิ่มเติมจากอาหารธรรมชาติ เช่น เศษพืช หรือสัตว์ที่ไม่ได้เป็นอาหารของมนุษย์จึงไม่จำเป็นต้องมีสารอาหารครบถ้วนเหมือนอาหารสมบูรณ์

อาหารที่จัดเตรียมขึ้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ อาหารเดี่ยว และอาหารผสม (เวียง, 2543) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. อาหารเดี่ยว

อาหารเดี่ยวเป็นอาหารสัตว์น้ำชนิดเดียวโดยไม่ได้นำวัตถุดิบอาหารสัตว์หลายชนิดมาผสมเข้าด้วยกัน แบ่งตามลักษณะทางกายภาพได้เป็น 2 ประเภท คือ อาหารสด และอาหารแห้ง

1.1 อาหารสด เป็นพืชและสัตว์ที่มีชีวิตและตายแล้วแต่ยังอยู่ในสภาพสด อาจเป็นวัชพืชและส่วนของใบพืชชั้นสูง เศษพืชผักต่างๆ สัตว์และชิ้นส่วนของสัตว์ โดยจัดเตรียมไว้สำหรับเลี้ยงสัตว์น้ำแบบมื้อต่อมื้อ หรือวันต่อวัน ส่วนใหญ่ไม่มีการเก็บสำรอง เนื่องจากเน่าเสียได้ง่าย เช่น ปลาเป็ด (Trash fish; ปลาขนาดเล็กชนิดต่างๆ ที่จับได้จากประมงทะเลซึ่งมีคุณค่าทางเศรษฐกิจต่ำและไม่ได้ใช้เป็นอาหารสำหรับมนุษย์) (ภาพที่ 4.1) ผลพลอยได้จากโรงงานแปรรูปเนื้อสัตว์ และผลพลอยได้ทางการเกษตรอื่นๆ เป็นต้น โดยทั่วไปปลาเป็ด และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปไก่เป็นอาหารสดที่นิยมนำมาเลี้ยงสัตว์น้ำมากที่สุด เนื่องจากหาได้ง่ายและมีราคาไม่แพงนัก ทั้งนี้อาหารสดนอกจากช่วยกระตุ้นการกินอาหารของสัตว์น้ำแล้ว ยังทำให้สัตว์น้ำมีสีสันสดใสและมีสีเข้มขึ้น แต่อาจไม่ได้ส่งผลต่อรสชาติของเนื้อและเนื้อสัมผัส เมื่อเปรียบเทียบกับการให้อาหารผสม (Hien et al., 2016)

**ภาพที่ 4.1** การใช้ปลาเป็ดเป็นอาหารปลา
**ที่มา** : Hasan (2012)

ในปลากะพงนอกจากจะไม่มีผลเสียต่อการเจริญเติบโตแล้ว การให้ปลาเป็ดเป็นอาหารยังทำให้ปริมาณกรดอะมิโนในเนื้อสูงกว่าการให้อาหารผสม (Xu et al., 2022) แต่มีข้อเสีย คือ มีคุณภาพไม่แน่นอน มีกลิ่นเหม็น และไม่สามารถรักษาคุณภาพให้คงที่ได้นานแม้ว่าจะเก็บในสภาพแช่แข็ง นอกจากนั้นยังอาจทำให้น้ำเน่าเสียง่ายโดยเฉพาะเมื่อให้อาหารสดมากเกินไปหรือให้อาหารสดไม่ถูกวิธี อย่างไรก็ตามในการประเมินผลกระทบต่อคุณภาพน้ำจากการเลี้ยงปลากระชังในทะเลที่ใช้ปลาเป็ดเป็นอาหารนั้นก็ไม่พบผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูป (Hasan, 2012) หรือในการเลี้ยงปลาเก๋าและปลากะพงขาวในกระชังด้วยปลาเป็ดก็ไม่ได้ทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำโดยรอบกระชังแต่อย่างไร (Bunlipatanon et al., 2014)

2. อาหารผสม

อาหารผสมเป็นอาหารที่ใช้ผสมวัตถุดิบอาหาร 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สัตว์น้ำได้รับสารอาหารครบถ้วนตามความต้องการ ซึ่งการผสมอาหารสัตว์น้ำควรกำหนดสูตรตามข้อกำหนดของสารอาหารที่มีในวัตถุดิบชนิดต่างๆ ที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสม ซึ่งการใช้อาหารผสมนั้นอาจใช้เป็นอาหารครบถ้วนเพื่อตอบสนองความต้องการทางโภชนาการทั้งหมดของสัตว์น้ำ หรือเป็นอาหารเสริมเพื่อเพิ่มองค์ประกอบทางโภชนาการที่สำคัญ โดยอาหารผสมสามารถแบ่งตามลักษณะทางกายภาพของอาหารได้เป็น 2 ประเภท คือ อาหารผสมสด และอาหารผสมแห้ง

2.1 อาหารผสมสด เป็นอาหารสัตว์น้ำที่ได้จากการผสมระหว่างอาหารสด กับวัตถุดิบที่มีลักษณะที่แห้ง โดยไม่ผ่านกรรมวิธีลดความชื้น ดังนั้นอาหารผสมสดจึงมีลักษณะเป็นอาหารจมน้ำเปียก (ความชื้นมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งอาหารผสมสดมีข้อดี คือ มีโภชนะสูงกว่าการใช้อาหารเดี่ยว เนื่องจากมีการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ เช่น รำละเอียด ปลายข้าว และกากถั่วเหลือง เป็นส่วนผสม (วีรพงศ์, 2536) รวมทั้งอาจผสมวิตามินหรือสารอื่นๆ ลงไปด้วยเพื่อประโยชน์อย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ข้อเสียที่สำคัญ คือ อาหารผสมสดมีความชื้นสูงซึ่งจะเพิ่มค่าขนส่ง และมีกลิ่นเหม็น เนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันสูง และยังคงมีการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด รวมทั้งทำให้สารอินทรีย์ในน้ำสูงขึ้น (Jayathilakan et al., 2012) โดยวัตถุดิบหลักที่นิยมนำมาใช้ผลิตอาหารผสมสด ได้แก่ ปลาเป็ด และของเหลือจากโรงงานแปรรูปเนื้อสัตว์ ดังนั้นการผลิตอาหารผสมสดควรมีแหล่งของวัตถุดิบหลักเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบหลักอย่างต่อเนื่อง เมื่ออาหารผลิตแล้วแต่ละวันจำเป็นต้องใช้ให้หมด เนื่องจากไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน จึงต้องผลิตแบบมื้อต่อมื้อ ดังนั้นการผลิตอาหารผสมสดจึงไม่เป็นที่นิยม แต่ยังมีการนำมาใช้สำหรับเลี้ยงปลาบางชนิดโดยเฉพาะปลากินเนื้อ (วีรพงศ์, 2536)

2.2 อาหารผสมแห้ง เป็นอาหารที่ได้จากการผสมของวัตถุดิบอาหารแห้งหรือมีความชื้นต่ำมากหลายชนิดเข้าด้วยกัน แล้วนำมาผ่านกระบวนการจัดทำให้อยู่ในรูปแบบที่สะดวกต่อการนำไปใช้ประโยชน์ และสามารถเก็บไว้ได้นาน โดยมีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ บางครั้งเรียกว่า อาหารสำเร็จรูป ส่วนการนำไปใช้เลี้ยงสัตว์น้ำอาจใช้ในสภาพเปียกหรือสภาพแห้งก็ได้ กรณีใช้ในสภาพแห้งสามารถแบ่งตามลักษณะทางกายภาพได้หลายชนิด คือ แบบผง (Meals) แบบเกล็ด (Crumble) แบบแผ่น (Flake) และแบบเม็ด (Pellet) (Hardy and Barrows. 2002) ซึ่งอาหารเม็ดยังสามารถแบ่งตามลักษณะการลอยน้ำเป็น 2 ชนิด คือ อาหารเม็ดลอยน้ำ และจมน้ำ โดยสามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

2.2.1 อาหารผง เป็นอาหารที่เหมาะสำหรับการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนหรือสัตว์น้ำที่มีปากขนาดเล็ก เช่น ลูกปลาวัยอ่อน เป็นต้น ทั้งนี้อาหารผงได้จากการนำวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำชนิดต่างๆ ที่มีลักษณะแห้งและเป็นผงละเอียดมาผสมให้เข้ากัน โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดอาหาร ระหว่าง 0.1 - 0.3 มิลลิเมตร (Harpaz et al., 2006) หากนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์น้ำในระยะอนุบาลไม่ต้องผ่านกระบวนการอัดเม็ด แต่จะโรยหรือผสมกับน้ำแล้วปั้นเป็นก้อนให้สัตว์น้ำวัยอ่อนกิน (ภาพที่ 4.2) โดยอาหารผงจะกระจายตัวลอยบนผิวน้ำ และจมน้ำในเวลาประมาณ 5 นาที เท่านั้น หรือหากมีการกระเพื่อมของน้ำจากการเข้ากินอาหารของลูกปลาจะละลายเร็วกว่านั้น (Harpaz et al., 2006) ดังนั้นจึงอาจทำให้สัตว์น้ำใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่ และทำให้เกิดน้ำเสียง่าย (Langdon and Barrows, 2011) อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบกับอาหารแผ่นจะพบว่า การใช้อาหารผงทำให้สัตว์น้ำมีอัตราการเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายสูงกว่า นี้เนื่องจากลูกปลาสามารถเข้ากินอาหารได้ดีกว่า (Harpaz et al., 2006) ตัวอย่างอาหารผงที่นิยมใช้สำหรับอนุบาลลูกสัตว์น้ำ ได้แก่ อาหารผง ลูกน้ำผง คลอเรลลา และสาหร่ายสไปรูลินาผง เป็นต้น ซึ่งการใช้อาหารผงในการอนุบาลลูกสัตว์น้ำนั้นมีข้อได้เปรียบอาหารมีชีวิต คือ สามารถเก็บไว้ได้นาน สะดวกต่อการใช้ และมีต้นทุนที่ถูกกว่าอาหารธรรมชาติมีชีวิต (Person Le Ruyet et al., 1993)

**ภาพที่ 4.2** การให้อาหารผงในการอนุบาลลูกปลานิล
**ที่มา** : นันทพร (2558)

2.2.2 อาหารเกล็ด อาหารเกล็ดเป็นอาหารที่นิยมใช้ในการเลี้ยงปลาสวยงามมากกว่าปลาที่เลี้ยงเพื่อบริโภค ซึ่งในการเลี้ยงกุ้ง พบว่า กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารขนาดใหญ่ (เม็ด 3.0 มิลลิเมตร) เมื่อเทียบกับกุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารแบบเกล็ดขนาดเล็ก (0.7 และ 1.2 มิลลิเมตร) เมื่อกุ้งได้รับอาหารเม็ดขนาดใหญ่ขึ้น กุ้งบางตัวขัดขวางตัวอื่นและผูกขาดอาหาร ส่งผลให้กุ้งตัวอื่นที่มีขนาดเล็กกว่าไม่สามารถเข้ากินได้ ทำให้กุ้งขนาดเล็กเจริญเติบโตช้า และมีอัตราการตายเพิ่มขึ้น (Obaldo and Masuda, 2006)

2.2.3 อาหารแผ่น เป็นอาหารที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางอบแห้ง มีการผลิตโดยนำวัตถุดิบมาทำเป็นเยื่อบางๆ พ่นด้วยส่วนผสมที่เป็นของเหลว เมื่อของเหลวผสมกับอาหารที่เป็นเยื่อบางจะขยายตัวและนำมาแปรรูปเป็นแผ่น ประมาณ 0.5 - 1.59 ตารางเซนติเมตร (Harpaz et al., 2006) จากนั้นนำไปอบให้แห้งจึงทำให้เนื้อสัมผัสนุ่มกว่าอาหารเม็ดสำเร็จรูป ทั้งนี้อาหารแผ่นใช้ได้ทั้งในการเลี้ยงปลาสวยงามหรือปลาทั่วไป เหมาะสำหรับเป็นอาหารของปลาที่มีปากขนาดเล็ก โดยอาหารประเภทนี้อาจมีการเพิ่มคุณค่าอาหารหรือเสริมสารอื่นที่จำเป็นต่อปลา เช่น สารเร่งสีในอาหารปลาสวยงาม

ดังนั้นจึงทำให้อาหารชนิดนี้มีราคาแพง ส่วนระยะเวลาการลอยน้ำนั้น พบว่า อาหารแผ่นจะลอยอยู่ผิวน้ำได้ค่อนข้างนานโดยไม่แยกตัว (420 นาที) อย่างไรก็ตามเนื่องจากอาหารแผ่นมีขนาดใหญ่กว่าปากของลูกปลามาก ดังนั้นจึงทำให้สัตว์น้ำใช้เวลาในการกินนานกว่าอาหารผง 2 – 3 เท่า ทำให้สารอาหารโดยเฉพาะวิตามินที่ละลายในน้ำสลายออกไป ซึ่งเป็นการลดคุณค่าของอาหาร (Harpaz et al., 2006) ดังนั้นอาหารแผ่นจึงอาจเหมาะกับสัตว์น้ำที่มีขนาดใหญ่ หรือมีปากขนาดใหญ่ ซึ่งจะใช้เวลาการกินอาหารสั้นลงก่อนที่สารอาหารจะละลายน้ำ

2.2.4 อาหารเม็ด เป็นอาหารที่ผลิตให้มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนตามความต้องการของสัตว์น้ำแต่ละชนิด และแต่ละขนาด การผลิตอาหารเม็ดสำเร็จรูปในระดับอุตสาหกรรมนั้นทำได้โดยคัดเลือกวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพดีแล้วนำมาผ่านกระบวนการผลิตและบรรจุ ซึ่งมีการผลิตออกมามีหลายชนิดตามการนำไปใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ นอกจากนี้อาจผสมยาหรือสารเสริมเพื่อวัตถุประสงค์บางอย่างในอาหารก่อนจะอัดเป็นเม็ดด้วยก็ได้ ซึ่งปัจจุบันการเลี้ยงสัตว์น้ำในแบบพัฒนา และกึ่งพัฒนา นิยมใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่ผลิตจากโรงงานอาหารสัตว์ขนาดใหญ่ เนื่องจากสะดวกในการนำไปใช้ (ภาพที่ 4.3) สามารถเก็บไว้ได้นาน การสูญเสียสารอาหารโดยการละลายน้ำต่ำ ช่วยให้สัตว์น้ำกินได้มากขึ้น อัตราการย่อยได้ดีขึ้นจากการใช้ความร้อนระหว่างการอัดเม็ดจนทำให้แป้งสุก รวมทั้งความร้อนยังทำลายเชื้อโรคที่อาจติดมากับวัตถุดิบ เป็นต้น (Millamena et al., 2002)

**ภาพที่ 4.3** ความสะดวกในการใช้อาหารเม็ดเลี้ยงปลาในบ่อดิน
**ที่มา** : นันทพร (2558)

อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำในปัจจุบันแบ่งออกตามลักษณะการจมน้ำเป็น 2 ประเภท คือ อาหารเม็ดจมน้ำ และอาหารเม็ดลอยน้ำ (Fashina et al., 2019) ซึ่งการผลิตอาหารเม็ดจมน้ำไม่ยุ่งยากมากนัก และมีราคาถูกกว่าอาหารเม็ดแบบลอยน้ำ ดังนั้นจึงสามารถผลิตขึ้นใช้เองภายในฟาร์มได้ การเลือกว่าจะใช้อาหารเม็ดแบบจมน้ำหรือแบบลอยน้ำ ควรพิจารณาตามนิสัยการกินอาหารของสัตว์น้ำเป็นสำคัญ ตัวอย่างเช่น ปลานิล ปลาดุก และปลากดหลวง เป็นต้น ที่มีพฤติกรรมการกินอาหารอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงต้องการความคงตัวและความสามารถในการลอยตัวของเม็ดอาหารในน้ำไม่กี่นาทีเท่านั้น ต่างจากกุ้งที่ต้องการเวลาในการกินอาหารนาน จึงต้องการความคงตัวของอาหารในน้ำนานขึ้น

1) อาหารเม็ดจมน้ำ (Sinking pelleted feeds) อาหารชนิดนี้มีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นอาหารที่ผลิตจากการใช้วัตถุดิบอาหารต่างๆ ผสมหรือบดให้เข้ากัน อาจเติมน้ำเล็กน้อยเพื่อให้อาหารวัตถุดิบจับกันดีขึ้น จากนั้นนำมาผ่านเครื่องอัดเม็ด ซึ่งอาหารจะถูกอัดออกมามีลักษณะเป็นเส้นและมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวตามที่ต้องการ อาหารที่ออกจากเครื่องใหม่ๆ

จะมีความชื้นจึงต้องนำไปผึ่งลมหรือตากแดด หรือผ่านระบบลมร้อน เพื่อลดความชื้นลงอยู่ในระดับเหมาะสมซึ่งจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาอาหารไว้ได้นาน การผลิตอาหารเม็ดจมน้ำไม่ต้องบดวัตถุดิบอาหารให้ละเอียด แต่ควรคำนึงถึงการคงตัวของอาหารในน้ำได้นาน เนื่องจากอาหารเม็ดจมจะแตกตัวในน้ำได้ง่าย จึงส่งผลต่อคุณภาพน้ำและผลผลิตของสัตว์น้ำลดลง จากการได้รับอาหารไม่เพียงพอ และคุณภาพน้ำไม่เหมาะสม (Sriherwanto et al., 2021) ดังนั้นการยืดระยะเวลาของการสลายหรือการแตกของเม็ดอาหารจึงมีความสำคัญไม่น้อยกว่าความครบถ้วนของโภชนะ (Lim and Cuzon, 1994) ซึ่งการความคงตัวของเม็ดอาหารในน้ำนั้นสามารถปรับปรุงได้โดยใช้สารสารยึดในอาหาร (Binders) ซึ่งมีทั้งผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ สารสังเคราะห์ที่หลากหลายชนิด เช่น โปรตีนเคซีน กลุ่มพืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ (รำละเอียด ข้าว และมันสำปะหลัง เป็นต้น) (Lim and Cuzon, 1994)

2) อาหารเม็ดลอยน้ำ (Floating pelleted feeds) มีกรรมวิธีการผลิตหลายขั้นตอน คือ ก่อนนำอาหารไปอัดเม็ดต้องทำให้ส่วนผสมของอาหารละเอียดและผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 120 – 175 องศาเซลเซียส นานประมาณ 30 วินาที จนวัตถุดิบอาหารประเภทแป้งขยายตัว จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการอัดเป็นเม็ดด้วยแรงเครื่องแรงดันสูงจะได้อาหารที่มีลักษณะเบาและพองตัว ผิวนอกปกคลุมด้วยแป้งสุกจึงทำให้มีคุณสมบัติการลอยน้ำได้ดี และคงตัวในน้ำได้นาน สัตว์น้ำจึงสามารถกินได้นานขึ้น นอกจากนี้อาหารเม็ดลอยน้ำและผู้เลี้ยงสามารถสังเกตปริมาณการกินอาหารของสัตว์น้ำได้ จึงนิยมใช้อาหารเม็ดลอยน้ำเลี้ยงปลาสวยงาม ปลากินพืช ปลาดุก หรือปลาที่ชอบกินอาหารที่ผิวน้ำ เพราะปลาเข้าถึงอาหารได้อย่างรวดเร็วและไม่ใช้พลังงานมากในการว่ายไปยังเม็ดอาหารที่จมลงใต้น้ำ (Ballarin and Lo, 2010) รวมทั้งลดความเสียหายของอาหารจากการที่ปลากินไม่หมด และผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ จากการที่อาหารจมน้ำ (Felix and Oscar, 2018) อย่างไรก็ตามอาหารเม็ดลอยน้ำก็มีข้อเสียที่สำคัญ คือ การผลิตขึ้นใช้เองภายในฟาร์มนั้นทำได้ยากมากเนื่องจากต้องมีอุปกรณ์เฉพาะ นอกจากนั้นอาหารเม็ดลอยน้ำยังมีราคาสูงกว่าอาหารเม็ดจมน้ำ

## วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ

วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ หมายความว่า วัตถุดิบหรือสารใดๆ ก็ตาม ไม่ว่าจะได้จากธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์ ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการในแง่ของการให้สารอาหาร หรืออาจก่อให้เกิดประโยชน์อย่างใดอย่างหนึ่งแก่สัตว์น้ำเมื่อกินเข้าไป ดังนั้นจึงมีความหมายครอบคลุมไปถึงวัตถุทุกประเภททั้งชนิดที่ให้สารอาหารและไม่ให้สารอาหารซึ่งผสมอยู่ในอาหารสัตว์น้ำ ดังนั้นยาปฏิชีวนะ สารกันหืน หรือสารเหนียวซึ่งใช้ยึดเกาะอาหารที่เติมลงไปจึงจัดว่าเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ แต่ไม่จัดว่าเป็นอาหารสัตว์น้ำ

วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำได้มาจากหลายแหล่ง ส่วนใหญ่เป็นผลผลิตที่ได้มาจากการเกษตรและมีแหล่งที่มาจากสัตว์และพืช ซึ่งไม่ถูกใช้เพื่อการบริโภคของมนุษย์ (Millamena et a., 2002) ซึ่งส่วนใหญ่ได้จากโรงงานแปรรูปอาหาร ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์น้ำที่สามารถให้สารอาหารประกอบไปด้วย วัตถุดิบกลุ่มโปรตีน กลุ่มคาร์โบไฮเดรต กลุ่มไขมันและน้ำมัน และกลุ่มที่ให้วิตามินและแร่ธาตุ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำกลุ่มโปรตีน

อาหารเสริมโปรตีนคือส่วนประกอบอาหารสัตว์ที่มีปริมาณโปรตีนตั้งแต่ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจจำแนกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกประกอบด้วยส่วนผสมที่มีปริมาณโปรตีน 20–30 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่สองประกอบด้วยส่วนผสมที่มีปริมาณโปรตีน 30–50 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่สามมีส่วนประกอบของโปรตีนมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (Hardy and Barrows, 2002) โดยแหล่งอาหารสัตว์ประเภทโปรตีนได้จากพืชและสัตว์ ซึ่งโปรตีนจากสัตว์จะมีคุณภาพสูงกว่าโปรตีนจากพืช เนื่องจากมีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบและมีในปริมาณสูง โดยเฉพาะกรดอะมิโนไลซีน แต่มีเมไทโอนีนและซีสทีนในระดับต่ำ นอกจากนั้นส่วนใหญ่ยังมีราคาแพงกว่าโปรตีนจากพืช ซึ่งนอกจากการมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่ำแล้ว พืชส่วนใหญ่ยังมีสารยับยั้งน้ำย่อยจึงทำให้มีความสามารถย่อยได้ต่ำด้วย (Francis et al., 2001) โดยวัตถุดิบกลุ่มโปรตีนที่นิยมนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์น้ำ ได้แก่

1.1 ปลาป่น (Fish meal) ผลพลอยได้จากปลาถูกนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์มาหลายศตวรรษแล้ว ในช่วงปี ค.ศ. 800 ปลาเฮอเร่ริงถูกใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ในประเทศนอร์เวย์ (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) ในอดีตประเทศอังกฤษและญี่ปุ่น ใช้ปลาป่นและน้ำหมักจากปลาที่เป็นปุ๋ยและและเป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง (Murayama et al., 1962) ปลาป่นผลิตมาจากปลาที่มีขนาดเล็กที่ไม่ใช้เพื่อการบริโภคของมนุษย์ ซึ่งการผลิตอาหารสัตว์น้ำในเชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่มีส่วนผสมของปลาป่น (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) ซึ่งในอดีตนั้นปลาป่นมีราคาต่ำเนื่องจากมีความต้องการใช้น้อยมาก แต่เมื่อมีการเลี้ยงสัตว์เพิ่มมากขึ้นจึงทำให้มีความต้องการใช้มากขึ้น ดังนั้นปลาป่นในปัจจุบันจึงมีราคสูงขึ้น (Olsen and Hasan, 2012) ปลาป่นเป็นวัตถุดิบที่สำคัญมากสำหรับสัตว์น้ำ เพราะปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่คุณภาพดี ย่อยง่ายและมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นอย่างครบถ้วนและมีในปริมาณสูง นอกจากนั้นยังมีสารอาหารที่จำเป็นอื่นๆ ได้แก่ กรดไขมันจำเป็น เป็นแหล่งที่ดีของวิตามินบางชนิด เช่น ไรโบฟลาวิน ไนอาซิน วิตามินเอ และวิตามินดี รวมทั้งยังมีแร่ธาตุ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก สังกะสี ซีลีเนียม และไอโอดีน ในปริมาณสูง นอกจากนี้ในปลาป่นยังมีสารกระตุ้นการเจริญเติบโต (Unidentified growth factors; UGF) ทำให้อาหารมีกลิ่นหอม ปลาป่นที่ผลิตในประเทศไทยได้จากปลานานาชนิดที่ชาวประมงเรียกว่า ปลาเป็ด รวมทั้งหอย ปู กุ้งและกั้ง ซึ่งปลาป่นมีโปรตีน (Crude protein) 65 – 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคุณภาพของปลาป่นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของปลา (ตารางที่ 4.1) การเก็บรักษา และขั้นตอนการผลิต เป็นต้น (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000)

**ตารางที่ 4.1** คุณค่าทางอาหารของปลาป่นที่ผลิตมาจากปลาบางชนิด

| ชนิดปลา | วัตถุแห้ง | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า |
|---|---|---|---|---|
| ปลาแอนโชวี (Anchovy) | 92.0 | 70.7 | 5.3 | 16.9 |
| ปลาคอด (Cod) | 89.7 | 68.6 | 3.8 | 26.0 |
| ปลาไข่ (Capelin) | 91.1 | 72.6 | 9.3 | 10.6 |
| ปลาเฮอร์ริง (Herring) | 90.0 | 74.4 | 9.0 | 15.0 |
| ปลาแมคเคอเรล (Mackerel) | 92.0 | 66.4 | 10.3 | 21.1 |
| ปลาซาร์ดีน (Sardine) | 93.0 | 65.2 | 5.0 | 19.8 |

**ที่มา** : Hertrampf and Piedad-Pascual (2000)

1.2 เนื้อป่นและเนื้อและกระดูกป่น (Meat meal and meat and bone meal) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการแปรรูปเนื้อสัตว์จากโรงฆ่าสัตว์ และจากสัตว์ที่ตายหรือคัดทิ้งออกจากฟาร์มที่ไม่ได้ใช้เป็นอาหารของมนุษย์ (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) ส่วนที่นำมาแปรรูปเป็นอาหารสัตว์ ได้แก่ เนื้อ ไม่รวมขน กีบ เขา หนัง และระบบย่อยอาหาร (Hardy and Barrows, 2002) ดังนั้นในกระบวนการผลิตจึงต้องมีการควบคุมโรคระบาดอย่างเข้มข้น ซึ่งความแตกต่างระหว่างเนื้อป่นกับเนื้อและกระดูกป่น คือ เนื้อป่นนั้นจะได้จากโรงงานแปรรูปเนื้อสัตว์ซึ่งจะแยกเนื้อและกระดูกออกจากกันก่อนนำไปผลิต ส่วนเนื้อและกระดูกป่นนั้นจะได้จากซากสัตว์ที่ตายหรือสัตว์ที่ถูกคัดทิ้งออกจากฟาร์มทั้งตัว (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) ดังนั้นเนื้อป่น และเนื้อและกระดูกป่น จึงมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน (ตารางที่ 4.2) รวมทั้งความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนก็แตกต่างกันด้วย (ตารางที่ 4.3) ซึ่งส่วนใหญ่แล้วในอาหารสัตว์น้ำจะใช้เพื่อทดแทนปริมาณปลาป่นในสูตรอาหาร

**ตารางที่ 4.2** องค์ประกอบทางเคมีบางอย่างของเนื้อป่น และเนื้อและกระดูกป่น

| รายการ | เนื้อป่น (เปอร์เซ็นต์) | เนื้อและกระดูกป่น (เปอร์เซ็นต์) |
|---|---|---|
| วัตถุแห้ง | 94.1 | 93.3 |
| โปรตีน | 56.9 | 50.4 |
| ไขมัน | 5.6 | 9.8 |
| เถ้า | 21.6 | 31.3 |
| คาร์โบไฮเดรต | 17.7 | 2.5 |
| แคลเซียม | 6.9 | 11.3 |
| ฟอสฟอรัส | 3.55 | 5.48 |

**ที่มา** : Hertrampf and Piedad-Pascual (2000)

**ตารางที่ 4.3** ความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนของเนื้อป่นและเนื้อและกระดูกป่นในสัตว์น้ำบางชนิด

| ชนิดของสัตว์น้ำ | ความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีน (เปอร์เซ็นต์) |
|---|---|
| ปลาเรนโบว์เทราต์ | 85.0 |
| ปลาแซลมอน | 71.2 |
| ปลากดหลวง | 75.0 |
| กุ้งกุลาดำ | 73.6 |

**ที่มา** : Hertrampf and Piedad-Pascual (2000)

ส่วนใหญ่แล้วเนื้อป่น และเนื้อและกระดูกป่นในอาหารสัตว์น้ำจะใช้เพื่อทดแทนปริมาณปลาป่นในสูตรอาหารเนื่องจากมีราคาที่ต่ำกว่า เช่น ในอาหารปลาทรายแดง สามารถใช้เนื้อและกระดูกป่นเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนโปรตีนจากปลาป่นได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ไม่กระทบการเจริญเติบโต (Moutinho et al., 2017) หรือในอาหารอนุบาลลูกปลานิล การใช้เนื้อและกระดูกป่นทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในระดับเดียวกัน ก็ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตแต่อย่างไร (Hasan et al., 2012) ส่วนในอาหารกุ้งขาวแวนาไม พบว่า สามารถทดแทนได้ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ (Tan et al., 2005)

1.3 เลือดป่น (Blood meal) เลือดป่นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโรงฆ่าสัตว์ และสามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกคุณภาพสูงและราคาถูกในสูตรอาหารปลา (Ogello et al., 2014) ส่วนใหญ่ผลิตโดยการทำให้แห้งโดยการพ่นฝอย (Spray-drying) ในเลือดป่นมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ย 92.5 เปอร์เซ็นต์ แต่ปริมาณกรดอะมิโนไม่อยู่ในสภาพที่สมดุล โดยมีกรดอะมิโนลิวซีนค่อนข้างสูงในขณะที่เมไธโอนีนและไอโซลิวซีนค่อนข้างต่ำ (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) ดังนั้นเมื่อต้องใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์น้ำจึงควรเสริมด้วยกรดอะมิโนสังเคราะห์เพื่อให้มีความสมดุลของกรอะมิโนในสูตรอาหาร เช่น ใช้ร่วมกับปลาป่นในสัดส่วนไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ (Kirimi et al., 2017) ซึ่งในปลานิลแดง (Red Tilapia: *Oreochromis* spp.) สามารถใช้เลือดป่นในการทดแทนปลาป่นที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต และสามารถลดต้นทุนการผลิตได้สูงสุดถึง 5 เปอร์เซ็นต์ (ธัชพล และคณะ, 2565) แต่มีบางรายงานที่สามารถใช้ได้ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ (Otubusin, 1987) หรืออาจสูงถึง 75 เปอร์เซ็นต์ (Davies et al., 1989)

1.4 ขนไก่ป่น (Feather meal) ขนไก่ป่นเป็นวัตถุดิบอาหารที่ได้จากโรงงานชำแหละสัตว์ปีกโดยผ่านกระบวนการไฮโดรไลซ์ภายใต้แรงดันสูงร่วมกับการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ มีโปรตีน 80 – 85 เปอร์เซ็นต์ (Hardy and Barrows, 2002) แต่มีกรดอะมิโนที่จำเป็น ได้แก่ ฮิสทิดีน ไลซีน เมไทโอนีน และทริปโตเฟน ในระดับต่ำ เนื่องจากขนไก่ป่นสดมีเคราตินสูง ดังนั้นน้ำย่อยทริปซินในระบบย่อยอาหารของสัตว์น้ำ จึงมีความสามารถในการย่อยได้น้อยกว่า 5.0 เปอร์เซ็นต์ (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) แต่หากผ่านกระบวนการผลิตที่ถูกต้องจะสามารถย่อยได้ถึง 52.4 – 70.5 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 1981) มีการใช้ขนไก่ป่นเป็นแหล่งโปรตีนเพื่อทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในอาหารปลาและกุ้ง

หลายชนิด เช่น ปลาแซลมอน (Coho Salmon; *Oncorhynchus kisutch*) สามารถทดแทนได้ 35 – 75 เปอร์เซ็นต์ (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) ในอาหารปลานิลสามารถทดแทนได้ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ (Yong et al., 2018) แต่บางรายงาน พบว่า สามารถทดแทนได้ถึง 25 - 50 เปอร์เซ็นต์ โดยระดับที่เหมาะสม คือ 30 เปอร์เซ็นต์ (Arunlertaree and Moolthongnoi, 2008) และในอาหารกุ้งขาวแวนนาไม แนะนำให้ใช้ขนไก่ป่นทดแทนปลาป่นในระดับ 33 เปอร์เซ็นต์ (Zongjia et al., 2002)

1.5 ผลพลอยได้จากน้ำนม (Milk By-products) ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมนมหลายชนิดมีการนำมาใช้ในสูตรอาหารปลา ได้แก่ หางนมผง (Dried whey) เคซีน และนมผงพร่องมันเนย (Skim milk) (Hardy and Barrows, 2002) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตเนยแข็ง (Cheese) และเนยเหลว (Butter) หางนมผงมีโปรตีนประมาณ 13 – 17 เปอร์เซ็นต์ ส่วนนมพร่องมันเนยซึ่งมีโปรตีน 34 เปอร์เซ็นต์ บางครั้งใช้ในอาหารอนุบาลลูกสัตว์น้ำ เนื่องจากมีการย่อยได้สูง และความสมดุลของกรดอะมิโนที่จำเป็น แต่มีราคาแพงกว่าหางนมผง และเคซีน ซึ่งเป็นโปรตีนที่ได้จากนมนั้นไม่มีวิตามินเป็นส่วนประกอบและมีโปรตีนสูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงใช้เฉพาะกรณีเสริมโปรตีนในสูตรอาหารเท่านั้น ซึ่งหางนมผงสามารถแทนที่ปลาป่นในอาหารปลานิลได้ถึง 27.7 เปอร์เซ็นต์ โดยทำให้สุขภาพของลำไส้ดีขึ้น น้ำหนักรวมของปลาที่รอดชีวิต และระบบภูมิคุ้มกันของปลาสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้ในปริมาณสูงกว่านี้ส่งผลเสียต่อเนื้อเยื่อของลำไส้และตับ (Amer et al., 2019) การแทนที่โปรตีนทั้งหมดจากปลาป่นด้วยเคซีนในอาหารที่เลี้ยงปลาเรนโบว์เทราต์ทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำลดลง ดังนั้นในอาหารปลาและอาหารกุ้งจึงควรมีเคซีนในสูตรอาหาร 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000)

1.6 แกลบกุ้งหรือกากกุ้งป่น (Shrimp meal) แกลบกุ้งเป็นส่วนของเปลือกกุ้งหรือหัวกุ้งที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตกุ้งกระป๋องหรือกุ้งแช่แข็ง (ภาพที่ 4.4) โดยในปี 2565 ทั่วโลกมีผลผลิตกุ้งจากการเพาะเลี้ยงรวม 6.83 ล้านตัน เฉพาะประเทศไทยมีผลผลิต 393,000 ตัน (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) โดยให้ผลผลิตเนื้อ 37.47 – 55.94 เปอร์เซ็นต์ และของเหลือ (หัว เปลือก และหาง) 44.06 – 62.53 เปอร์เซ็นต์ (Liu et al., 2021) ดังนั้นสมมติว่ามีกุ้งที่เข้าสู่โรงงานแปรรูป 50 เปอร์เซ็นต์ และมีของเหลือจากการผลิต 50 เปอร์เซ็นต์ จะมีกุ้งประมาณ 3.42 ล้านตัน ที่เข้าสู่โรงงานแปรรูป และจะมีของเหลือที่เป็นส่วนหัวและเปลือกกุ้งประมาณ 1.71 ล้านตัน ดังนั้นผลพลอยได้จากการแปรรูปกุ้งเหล่านี้จึงถือเป็นวัตถุดิบโปรตีนจากสัตว์ที่สำคัญที่มีการนำมาใช้ในอาหารสัตว์น้ำ

โดยของเหลือจากการแปรรูปกุ้งจะถูกนำไปทำให้แห้งโดยตรง เช่น การตากแดดหรืออบในเตาอบ จากนั้นจะถูกบดให้ละเอียดเพื่อเป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์น้ำต่อไป ซึ่งภายหลังการบดให้ละเอียดแล้วอาจเรียกว่า แกลบกุ้ง ทั้งนี้คุณค่าทางอาหารของแกลบกุ้งผันแปรไปตามชนิด ส่วนที่นำมาผลิต และขบวนการผลิต โดยส่วนหัวมีโปรตีน ไขมัน และเถ้า ประมาณ 43.2 5.6 และ 33.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000)

นอกจากคุณค่างทางอาหารที่สูงแล้วแกลบกุ้งยังมีกลิ่นหอมซึ่งช่วยกระตุ้นให้สัตว์น้ำกินอาหารได้มากขึ้นด้วย รวมทั้งมีสารให้สีซึ่งช่วยทำให้สีของเนื้อปลาดีขึ้น และไคตินยังช่วยส่งเสริมการสร้างเปลือกของกุ้งด้วย ดังนั้นจึงนิยมใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์น้ำ เช่น ในสูตรอาหารปลาเทราต์ที่ใช้แกลบกุ้งเป็นส่วนผสมระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ ช่วยให้เนื้อและหนังของปลามีสีแดงขึ้น (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) ในอาหารปลานิลที่ใช้แกลบกุ้งทดแทนปลาป่นในอัตรา 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด (Elshaer et al., 2022) ในอาหารกุ้งกุลาดำ พบว่า การใช้หัวกุ้งป่นผสมกับปลาป่นในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 หรือ 2 ต่อ 1 จะให้ประสิทธิภาพการผลิตดีกว่าการใช้หัวกุ้งป่นทดแทนทั้งหมด (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000)

**ภาพที่ 4.4** หัวและเปลือกกุ้งที่เหลือจากโรงงานแปรรูป
**ที่มา** : Liu et al. (2021)

1.7 กากถั่วเหลือง (Soybean meal) เป็นแหล่งโปรตีนจากพืชและวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีปริมาณมากที่สุดในโลก ซึ่งผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองแปรรูปหลายชนิดถูกนำมาใช้ในภาคอาหารสัตว์น้ำ (Glencross, 2016) ได้แก่ กากถั่วเหลืองอัดน้ำมัน กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันชนิดไม่กะเทาะเปลือก และกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันชนิดกะเทาะเปลือก ซึ่งกากถั่วเหลืองที่กะเทาะเปลือกมีโปรตีน 48 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่กากถั่วเหลืองสกัดไขมันมีโปรตีน 44 เปอร์เซ็นต์ (Hardy and Barrows, 2002) และกากถั่วเหลืองไขมันเต็ม (Full-fat soybean meal) มีโปรตีน 36 เปอร์เซ็นต์ (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) รวมทั้งมีกรดอะมิโนที่สมดุลและมีราคากูกกว่าปลาป่น (Gatlin et al., 2007) ดังนั้นจึงนิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ อย่างไรก็ตามการใช้กากถั่วเหลืองเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์น้ำมีข้อควรพิจารณาหลายประการ โดยเฉพาะการยังมีอยู่ของกรดไฟติก ซึ่งไม่ได้ถูกทำลายด้วยความร้อน เหมือนกับสารยับยั้งน้ำย่อยทริปซิน ซึ่งกรดไฟติกสามารถลดการดูดซึมแร่ธาตุสังกะสีและลดการย่อยได้ของโปรตีน (Hardy and Barrows, 2002) นอกจากนั้นกากถั่วเหลืองยังมีแร่ธาตุที่จำเป็นต่ำกว่าปลาป่น รวมทั้งหากใช้ในปริมาณสูงอาจลดความสามารถในการอัดเม็ดของอาหารด้วย (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) ทั้งนี้การใช้กากถั่วเหลืองทดแทนปลาป่นในระดับต่างๆ ในอาหารปลาเทราต์ระยะอนุบาล ส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลงตามระดับที่ทดแทน แต่ในปลาเรนโบว์เทราต์ที่มีอายุมากขึ้นไม่พบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญ (Alexis et al., 1985) ส่วนในอาหารปลานิล เมื่อใช้กากถั่วแหลืองทดแทนปลาป่นในระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตแต่อย่างใด (Sharda et al., 2017) และในอาหารกุ้งขาวแวนนาไม สามารถใช้กากถั่วเหลืองทดแทนปลาป่นได้ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต (Soares et al., 2015)

1.8 กากถั่วลิสง (Peanut meal) ถั่วลิสงเป็นพืชน้ำมันที่มีมากเป็นอันดับสี่ของโลก (Yildirim et al., 2014) โดยมีผลผลิตทั่วโลกประมาณ 45.6 ล้านตัน (da Silva et al., 2014) เมื่อถั่วลิสงถูกสกัดน้ำมันออกจะมีผลพลอยได้ คือ กากถั่วลิสง ซึ่งสามารถใช้ในอาหารสัตว์ (Batal et al., 2005) รวมทั้งในอาหารสัตว์น้ำ (Liu et al., 2012) เนื่องจากมีโปรตีนสูง 31.09 – 50.72 เปอร์เซ็นต์ และลิปิด 3.27 – 4.78 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีน 90.9 เปอร์เซ็นต์ (da Silva et al., 2014) มีรสชาติดี และราคาต่ำกว่ากากถั่วเหลือง (Jiang et al., 2020) อย่างไรก็ตามแม้กากถั่วลิสงจะมีโปรตีนค่อนข้าสูง แต่มีกรดอะมิโนในสภาพที่ไม่สมดุล โดยเฉพาะอาร์จินีน และไลซีน ที่มีในระดับต่ำ (Batal et al., 2005) การใช้กากถั่วลิสงในอาหารสัตว์น้ำส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์เพื่อทดแทนปลาป่นและกากถั่วเหลือง เช่น ในอาหารปลาเรนโบว์เทราต์สามารถใช้กากถั่วลิสงทดแทนปลาป่นได้มากถึง 10 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลเสียต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต (Acar and Türker, 2018) ส่วนในอาหารปลานิลการใช้กากถั่วลิสงทดแทนกากถั่วเหลืองได้ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ทำให้ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการให้อาหารลดลง (da Silva et al., 2014) นอกจากนั้นยังพบว่า การทดแทนปลาป่นด้วยกากถั่วลิสงในอาหารปลากระรัง 50 เปอร์เซ็นต์ นอกจากจะไม่กระทบกับประสิทธิภาพการเจริญเติบโตแล้ว ยังทำให้มีระดับภูมิต้านทานโรคเพิ่มขึ้น (Ye et al., 2020) ขณะที่ระดับที่เหมาะสมในสูตรอาหารปลาไน คือ 25 เปอร์เซ็นต์ (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) ในอาหารกุ้งขาวการใช้กากถั่วลิสงสามารถทดแทนปลาป่นได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ซึ่งในอาหารลูกกุ้งขาวแวนนาไม สามารถใช้ในสูตรอาหารได้ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ และสามารถใช้แทนโปรตีนจากปลาป่นได้ 20 เปอร์เซ็นต์ (Lim, 1997) แต่ในอาหารที่มีปลาป่น 30 เปอร์เซ็นต์ การทดแทนปลาป่นมากกว่า 10 ด้วยกากถั่วลิสง (3.8 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร) ทำให้อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้โปรตีนตกต่ำลง (Yang et al., 2011) ดังนั้นจึงควรใช้กากถั่วลิสงแทนปลาป่นบางส่วนเท่านั้น คือ 20 – 30 เปอร์เซ็นต์ หรือไม่เกิน 16.5 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร (Yue et al., 2012) แต่บางรายงานแนะนำระดับสูงสุดไม่เกิน 14 เปอร์เซ็นต์ ในอาหาร (Liu et al., 2012)

1.9 ใบกระถินป่น (Leucaena leaf meal) กระถิน (*Leucaena leucocephala*) เป็นพืชตระกูลถั่วเขตร้อนโดยมีถิ่นกำเนิดในอเมริกากลาง ชาวสเปนนำมาจากประเทศเม็กซิโกไปปลูกยังฟิลิปปินส์ จากที่นั่นแพร่กระจายไปทั่วเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งประเทศไทย การแปรรูปใบกระถินเป็นอาหารสัตว์มีวัตถุประสงค์สองประการ คือ เพื่อขจัดความชื้นออกจากใบสดและเพื่อกำจัดสารมิโมซีน (Mimosine) เช่น การแช่ในน้ำ ตากแดด และอบความร้อน จากนั้นจึงนำไปบด องค์ประกอบทางเคมีของใบกระถินป่นแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับพันธุ์ พื้นที่ อายุขณะเก็บเกี่ยวใบ และจำนวนกิ่ง โดยมีโปรตีนหยาบ 24 – 29 เปอร์เซ็นต์ (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) มีกรดอะมิโนค่อนข้างสูง นอกจากนั้นยังมีสารเบตา-แคโรทีน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของวิตามิน เอ (Pratiwy et a;., 2020) รวมทั้งมีสารแซนโธฟิลล์ ซึ่งเป็นรงควัตถุที่เป็นสารเร่งสีทำให้สัตว์น้ำมีสีสดใส โดยมีการนำไปใช้ในอาหารสัตว์น้ำเพื่อเป็นแหล่งของโปรตีน เช่น การใช้ใบกระถินป่นทดแทนปลาป่นในอาหารปลาดุกอัตรา 20 เปอร์เซ็นต์ (Amisah et al., 2009) ส่วนในอาหารพ่อแม่พันธุ์ปลานิลระดับที่ส่งเสริมประสิทธิภาพทางการสืบพันธุ์ได้ดี คือไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ (Santiago et al., 1988)

2. วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำกลุ่มคาร์โบไฮเดรต

วัตถุดิบอาหารสัตว์กลุ่มคาร์โบไฮเดรตเป็นวัตถุดิบที่ให้พลังงานเป็นหลักซึ่งมีโปรตีนต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และมีเยื่อใยต่ำกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ นอกจากจะเป็นแหล่งของพลังงานแล้วคาร์โบไฮเดรตยังทำหน้าที่เป็นสารเหนียวหรือตัวประสานให้อาหารสามารถผสมเข้ากันได้ดีและคงตัวอยู่ในน้ำได้นาน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัตถุดิบที่ได้จากธัญพืช ที่นิยมใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารสัตว์น้ำ เช่น ปลายข้าว ข้าวโพด และ มันสำปะหลัง เป็นต้น

2.1 ปลายข้าว (Broken rice) เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวซึ่งมี 2 ขนาด คือ ขนาดเล็กที่เรียกว่าปลายเล็ก และขนาดใหญ่ เรียกว่าปลายข้าวท่อน ปลายข้าวมีปริมาณแป้งสูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ (Casas et al., 2015) มีโปรตีน ประมาณ 8.1 เปอร์เซ็นต์ และมีโคลีนค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นอาหารที่มีรสชาติดี ให้พลังงานสูง และมีเยื่อใยต่ำ จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์น้ำ ดังนั้นในฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ผสมอาหารใช้เองจึงนิยมใช้ปลายข้าวในสูตรอาหารเสมอ (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) โดยส่วนใหญ่ใช้แทนข้าวโพด ข้าวสาลี และแป้งมันสำปะหลัง ในการผลิตอาหารเม็ดลอยน้ำหรือจมช้าคุณภาพสูง (de Cruz et al., 2015) ซึ่งปลายข้าวที่สุกสามารถใช้เป็นสารยึดเกาะในอาหารได้เช่นกัน (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) ซึ่งในอาหารสัตว์น้ำ เช่น ปลาดุก ปลาช่อน และปลากินพืชชนิดต่างๆ มีการใช้ปลายข้าวเป็นแหล่งพลังงานในอาหารสูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร แต่ไม่นิยมใช้ในอาหารกุ้ง (Somsueb, 1993)

2.2 รำละเอียด (Rice bran) เป็นวัตถุดิบอาหารที่เกิดจากผลพลอยได้จากการสีข้าว เช่นเดียวกับปลายข้าว แต่รำละเอียดมีปริมาณน้ำมันค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีอายุการเก็บรักษาสั้นมาก (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) โดยรำละเอียดมีโปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย เท่ากับ 13.30 1.0 11.4 2.0 และ 72.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Momoh et al., 2016) นอกจากนั้นยังประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวค่อนข้างสูง ซึ่งในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ การใช้รำละเอียดเป็นอาหารปลาเป็นสิ่งที่พบได้ทั่วไป (Jhingran and Pullin, 1985) โดยเฉพาะในอาหารปลากินพืช ซึ่งปลาไนมีความสามารถในการย่อยรำละเอียดได้ดีกว่าปลาเฉา นอกจากนั้นยังพบว่า ปลากดขาว (*Mystus nemurus*) สามารถใช้โปรตีนจากรำละเอียดได้ดีกว่าปลากดหลวง (Khan, 1994) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างวัตถุดิบจากพืชด้วยกัน ได้แก่ ข้าวโพดบด รำข้าว และรำข้าวสาลี ที่ประกอบในสูตรอาหารปลานิล พบว่า รำข้าวให้ประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าและให้ผลกำไรน้อยกว่ารำข้าวสาลีและข้าวโพดบด (Liti et al., 2006) ส่วนในอาหารกุ้งนั้นรำละเอียดมักไม่ค่อยถูกนำมาใช้เนื่องจากความสามารถในการอัดเม็ดไม่ดี และมีปริมาณใยอาหารค่อนข้างสูง (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000)

2.3 ข้าวโพดบด (Maize meal; Ground maize) ข้าวโพด (*Zea mays*) เป็นธัญพืชที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกากลาง ปัจจุบันมีการปลูกทั่วโลก ปี 2565/66 ผลผลิตมีปริมาณ 1,168.39 ล้านตัน โดยประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ของโลก ส่วนในประเทศไทย มีผลผลิต 4.95 ล้านตัน (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) ข้าวโพดบดมีโปรตีนค่อนข้างต่ำ (8 – 9 เปอร์เซ็นต์) รวมทั้งมีกรดอะมิโนเมไทโอนีน ไลซีน และทริปโตเฟนในระดับต่ำด้วย แต่มีวิตามิน เอ สูงมาก (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) แม้ว่าข้าวโพดบดจะถูกนำมาใช้ในการผลิตปศุสัตว์ทั่วโลก แต่การใช้ในอาหาร

สัตว์น้ำยังมีจำกัด เนื่องจากมีความต้องการโปรตีนมากกว่าสัตว์บก ข้าวโพดบดเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตหลักที่ใช้ในอาหารสัตว์น้ำ โดยทั่วไปจะใช้เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในอาหารปลา โดยเฉพาะในการผลิตอาหารเม็ดลอยน้ำ แต่ข้าวโพดบดหากมีความชื้นสูงมักมีเชื้อรา (*Aspergillus flavus*) ซึ่งสร้างสารพิษอะฟลาทอกซิน (Aflatoxin) ที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ดังนั้นการใช้ข้าวโพดบดเป็นส่วนผสมในสูตรอาหารสัตว์น้ำจึงควรเลือกใช้ข้าวโพดบดที่ไม่มีการปนเปื้อนของเชื้อรา โดยการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตในข้าวโพดบดนั้นแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสัตว์น้ำ เช่น ในปลาไนมีอัตราการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตจากข้าวโพด 84.3 เปอร์เซ็นต์ ปลาเฉา 87.9 เปอร์เซ็นต์ และกุ้งกุลาดำ 93.1 เปอร์เซ็นต์ (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) ซึ่งการให้อาหารลูกปลาเรนโบว์เทราต์ที่มีส่วนผสมของข้าวโพดบดช่วยเพิ่มอัตราการการย่อยได้ แต่การเจริญเติบโตลดลง (Ufodike and Matty, 1989) ทั้งนี้ปลาจะใช้แป้งจากข้าวโพดได้ดีขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพที่สุก (Tacon, 1993) นอกจากนั้นยังพบว่าการใช้แป้งข้าวโพดที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสำหรับกุ้งกุลาดำ ยังช่วยให้มีอัตราการรอดชีวิตสูงกว่าการใช้แป้งสาคูหรือมันสำปะหลัง (Piedad-Pascual et al., 1983)

2.4 หัวมันสำปะหลังบด (Cassava root meal) มันสำปะหลัง (Cassava; *Manihot esculanta*) เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของโลก ในปี 2563 มีผลผลิตทั่วโลก 302.66 ล้านตัน โดยแหล่งผลิตส่วนใหญ่อยู่ในทวีปแอฟริกา (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) ในอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ มันสำปะหลังเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตและแป้ง ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่มีราคาถูก และมีจำนวนมากตลอดทั้งปี จึงนิยมใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อให้พลังงานทดแทนวัตถุดิบพลังงานชนิดอื่น เช่น ปลายข้าวและข้าวโพดซึ่งมีราคาแพง และอาจขาดแคลนในบางช่วง นอกจากนั้นยังได้รับการทดสอบเป็นส่วนผสมอาหารปลาหลายชนิด (Ubalua and Ezeronye, 2008) อาหารสัตว์น้ำนิยมใช้มันสำปะหลังในรูปแป้งมันสำปะหลัง (Mahanama et al., 2021) ซึ่งแป้งมันสำปะหลังมีโปรตีน 1 – 3 เปอร์เซ็นต์ มีกรดอะมิโนต่ำ แต่เป็นวัตถุดิบอาหารที่ให้พลังงานสูงโดยประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 80 – 90 เปอร์เซ็นต์ (Bayata, 2019) รวมทั้งมีความสามารถในการย่อยได้ค่อนข้างสูง (Pezzato et al., 2004) นอกจากคุณค่างทางอาหารแล้วแป้งมันสำปะหลังยังทำหน้าที่เป็นสารยึดเกาะอาหารสัตว์น้ำที่ดีเยี่ยม (ความเสถียรของน้ำ 57.7 เปอร์เซ็นต์) ใกล้เคียงกับแป้งข้าวโพด ซึ่งเมื่อใช้ในสูตรอาหารที่มีโปรตีน 25 เปอร์เซ็นต์ ในระดับ 12 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้อาหารสามารถคงรูปอยู่ได้แม้จะอยู่ในน้ำผ่านไป 50 นาที (Lukuyu et al., 2014)

การใช้หัวมันสำปะหลังบดทดแทนข้าวโพดบด 50 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารปลานิลวัยอ่อนไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต (El-Baki et al., 1999) รวมทั้งยังสามารถใช้แป้งมันสำปะหลังในอาหารลูกปลานิลได้ถึง 24 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งยังสามารถใช้ทดแทนข้าวโพดบดทั้งหมดโดยไม่ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตปลาลดลง (Boscolo et al., 2002) แต่ก็พบว่า อาหารที่มีส่วนผสมของมันสำปะหลังมีรสชาติด้อยกว่าอาหารที่มีส่วนผสมของกากเมล็ดทานตะวัน ข้าวโพดบด และผลพลอยได้จากสัตว์ แต่มีรสชาติดีกว่าข้าวสาลี กากถั่วเหลือง และกากเมล็ดฝ้าย (Pereira-da-Silva et al., 2000)

ในอาหารปลาดุกแอฟริกา การใช้มันสำปะหลังบดเพื่อแทนข้าวโพดบดได้ถึง 66 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ไม่กระทบต่อประสิทธิภาพการผลิต (Abu et al., 2010)

ในปลาเฉา สามารถใช้มันสำปะหลังบดได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ และสามารถทดแทนที่ข้าวโพดบดได้ทั้งหมด โดยไม่มีผลเสียต่อการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และการอัตราการเลี้ยงรอด (Lacerda et al. 2005)

ในกุ้งขาวแวนนาไมที่ใช้มันสำปะหลังบดทดแทนแป้งข้าวสาลีในอาหารอัดเม็ดไม่มีผลเสียต่อการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังช่วยพัฒนาภูมิคุ้มกันโรคด้วย (Songluk et al., 2010) ส่วนในอาหารกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) ที่แทนที่ข้าวโพดบดด้วยหัวมันสำปะหลังบดทั้งหมด (51 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร) ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตแต่อย่างใด (Gomes et al. 1996)

3. วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำกลุ่มไขมันและน้ำมัน

ไขมันหรือน้ำมันเป็นแหล่งที่ให้พลังงานสูง และยังเป็นแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็นสำหรับร่างกายสัตว์น้ำ เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานต่ำและเยื่อใยสูงทำให้สัตว์น้ำได้รับพลังงานไม่เพียงพอ จึงควรใช้ไขมันจากภายนอกเสริมเข้าไปในอาหารซึ่งน้ำมันเหล่านี้มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้สัตว์น้ำได้รับพลังงานเพียงพอกับความต้องการ อีกทั้งยังทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายวิตามินที่ละลายในไขมัน และมีกลิ่นช่วยกระตุ้นให้สัตว์น้ำกินอาหารได้ดีขึ้น ซึ่งระดับของไขมันทั้งหมดในอาหารระดับ 30 – 40 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลเสียต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และคุณภาพผลิตภัณฑ์ของปลา (Bureau et al., 2002) โดยน้ำมันและไขมันที่ใช้ผสมในอาหารสัตว์น้ำแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ น้ำมันจากพืช และน้ำมันจากสัตว์

3.1 ไขมันและน้ำมันจากพืช (Plant oil) น้ำมันพืชเป็นแหล่งกักเก็บสารอาหารในเมล็ดและเนื้อของผล ซึ่งมีปริมาณมากในพืชหลายชนิด เช่น ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ทานตะวัน และพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วเหลือง และถั่วลิสง เป็นต้น น้ำมันพืชถูกนำไปใช้ประโยชน์สำหรับมนุษย์ในด้านต่างๆ เช่น ใช้ในอาหาร ยา เครื่องสำอาง ผงซักฟอก สี สารลดแรงตึงผิว การแปรรูปยาง และอุตสาหกรรมอื่นๆ อีกมากมาย ทั้งนี้ปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันพืชเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ดิน ภูมิอากาศ ชนิดของพืช ปุ๋ย และฤดูกาล เป็นต้น โดยไขมันที่จากพืชนี้ประกอบไปด้วย กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว และชนิดอิ่มตัว โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะดูซับเอาออกซิเจนจากภายนอกเข้าไปซึ่งทำเกิดการเหม็นหืนได้ง่าย ซึ่งการใช้ไขมันที่เหม็นหืนสามารถทำลายสารอาหารบางอย่างโดยเฉพาะวิตามินที่ละลายในไขมัน ซึ่งค่าพลังงานรวมของน้ำมันพืชจะใกล้เคียงกันและอยู่ระหว่าง 9,249 ถึง 9,297 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) ทั้งนี้ปลาน้ำจืดและน้ำเค็มต้องการไขมันในปริมาณที่แตกต่างกัน

การใช้ไขมันและน้ำมันพืชในสูตรอาหารสัตว์น้ำนั้นมีวัตวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งของพลังงานเท่านั้น แต่ในการเลี้ยงสัตว์น้ำบางชนิดที่เป็นสัตว์น้ำอุ่น เช่น ปลานิล ปริมาณของกรดไขมันในอาหารนั้นสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตได้เมื่อต้องเลี้ยงในสภาพน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ รวมทั้งความสามารถในการอยู่รอดจากสภาพอากาศเย็นจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีระดับไขมันในอาหารเพิ่มขึ้น (Abdel-Ghany et al., 2021) นอกจากนั้นยังพบว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ผสมน้ำมันพืชแต่ละชนิดมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน แต่มีการเจริญเติบโตต่ำกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ผสมน้ำมันปลา (Corrêa et al., 2017) ดังนั้นการใช้ไขมันจากพืชในสูตรอาหารส่วนใหญ่จึงควรใช้ร่วมกับไขมันจากปลา ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ในสัดส่วนที่เท่ากัน

(5.0 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์) เนื่องจากไขมันจากปลามีราคาค่อนข้างแพง (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) แต่อาจสามารถใช้ในระดับที่สูงกว่านั้นได้ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของปลา เช่น การใช้น้ำมันปาล์มแทนน้ำมันปลาในระดับ 70 เปอร์เซ็นต์ ในปลาตะเพียนลูกผสมไม่กระทบกับประสิทธิภาพการผลิต (Weerasingha et al., 2022) รวมทั้งยังพบว่าในลูกปลาดุกแอฟริกันที่ได้รับอาหารที่มีน้ำมันปาล์มผสมในอาหารนั้นมีการเติบโตสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่ใช้น้ำมันตับปลาเป็นแหล่งไขมัน (Legendre et al., 1995) ทั้งนี้ในน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันปาล์มิติก และโอเลอิก ในปริมาณสูง แต่จะมีกรดไขมันลิโนเลอิกในปริมาณค่อนข้างต่ำ (Ayisi et al., 2017)

3.2 น้ำมันจากสัตว์น้ำ น้ำมันที่ได้จากสัตว์ทะเล เช่น น้ำมันปลา (Fish oil) น้ำมันตับปลา (Fish liver oils) และน้ำมันจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่อยู่ในทะเล (Marine mammal oils) เช่น น้ำมันจากวาฬ เป็นต้น (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) ให้ประโยชน์กับสัตว์น้ำทั้งเป็นแหล่งพลังงาน กรดไขมันที่จำเป็นชนิดไม่อิ่มตัว วิตามินที่ละลายในไขมัน และเป็นสารแต่งกลิ่นที่ดีซึ่งช่วยกระตุ้นการกินอาหาร รวมทั้งเพิ่มภูมิคุ้มกันโรค (Yidirim-Aksoy et al., 2009) ซึ่งน้ำมันปลาส่วนใหญ่นำมาใช้ในอาหารพ่อแม่พันธุ์ และสัตว์น้ำวัยอ่อน แต่ไม่นิยมนำมาใช้ในอาหารสัตว์น้ำระยะเจริญเติบโต โดยแต่ละปีมีผลผลิตประมาณ 1.17 ล้านตัน ประมาณ 73 เปอร์เซ็นต์ นำมาใช้ในอาหารสัตว์น้ำ (FAO, 2022) ส่วนประกอบของน้ำมันปลาแตกต่างกันออกไปตามฤดูกาลที่จับได้ พื้นที่จับปลา ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ และการแปรรูป (Fair et al., 1993) ปริมาณพลังงานรวมของน้ำมันตับปลามีประมาณ 9,395 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมอาหาร (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) ซึ่งความสามารถในการย่อยได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของปลา ขบวนการผลิต รวมทั้งอุณหภูมิของน้ำที่เลี้ยงปลา ในปลามีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเมื่อให้อาหารที่เสริมด้วยน้ำมันปลา แต่ไม่แตกต่างกันระหว่างน้ำมันปลา และน้ำมันตับปลา (Hunt et al., 2018) โดยการเสริมน้ำมันปลาระดับ 3 – 9 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารปลานิลนั้นเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโต องค์ประกอบของร่างกาย และคุณสมบัติทางโลหิตวิทยา (El –Kasheif et al., 2011)

3.3 ไขและน้ำมันจากสัตว์บก ส่วนใหญ่เป็นไขมันที่อิ่มตัวจึงนิยมใช้เป็นแหล่งพลังงานเท่านั้น นอกจากนั้นไขและน้ำมันจากสัตว์ยังมีราคาที่ถูกกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันปลาดังนั้นจึงทำให้มีต้นทุนค่าอาหารที่ถูกกว่า ไขมันได้มาจากเนื้อเยื่อไขมันของสัตว์ ได้แก่ ไข (Tallow) ได้จากโคและแกะ ในขณะที่น้ำมันได้จากสุกร (Lard) และไก่ (chicken fat) (Bureau et al., 2002) ซึ่งไขสัตว์จะมีสภาพเป็นของแข็งเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส มีสีขาว ขาวอมเทา จนถึงสีเหลือง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์และอาหารที่กินเข้าไป ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว 48.2 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันไม่อิ่มตัว 46.6 เปอร์เซ็นต์ ในสัตว์อายุน้อยการย่อยได้ของไขสัตว์ต่ำมาก เนื่องจากไขสัตว์ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวในระดับสูง และการหลั่งกรดน้ำดีของตับยังไม่เพียงพอ ส่วนในสัตว์น้ำระยะเจริญเติบโตความสามารถในการย่อยได้ของปลาจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) ทั้งนี้การนำไขสัตว์มาใช้ในอาหารสัตว์น้ำส่วนใหญ่เป็นไปเพื่อทดแทนน้ำมันปลา ซึ่งไขวัวสามารถแทนที่น้ำมันปลาได้ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ (ประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำมันปลาทั้งหมด) โดยไม่ลดการเจริญเติบโต (Zhang et al., 2023) ซึ่งการใช้น้ำมันจากสุกรทดแทนน้ำมันปลาทั้งหมดในอาหารไม่ส่งผล

กระทบต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร รสชาติ รวมทั้งปริมาณของกรดไขมันในเนื้อปลาเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่ใช้น้ำมันปลาในสูตรอาหาร (Zhou et al., 2016) นอกจากนั้นยัง พบว่าการใช้ไขสัตว์ น้ำมันสุกร และน้ำมันไก่ ทดแทนน้ำมันปลา ในอาหารปลาเรนโบว์เทราต์ ไม่พบความแตกต่างของการเปลี่ยนอาหาร หรืออัตราการเจริญเติบโต (Greene and Selivonchick, 1990)

4. วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำกลุ่มวิตามินและแร่ธาตุ

วิตามินและแร่ธาตุที่ประกอบอยู่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่รวมตัวกับสารอื่นจึงทำให้สัตว์น้ำใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่หรืออาจมีปริมาณต่ำกว่าความต้องการของสัตว์น้ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใส่วิตามินและแร่ธาตุเสริมเข้าไปในอาหาร เช่น ไดแคลเซียมฟอสเฟต กระดูกป่น และสารผสมล่วงหน้าหรือพรีมิกซ์ (Premix) หมายถึง วิตามินและแร่ธาตุที่จำหน่ายในรูปของวิตามินรวม และแร่ธาตุรวม ซึ่งพรีมิกซ์จะถูกทำลายด้วยแสง อากาศ และความชื้นได้ง่าย ดังนั้นจึงควรเก็บไว้ในที่มืดและมีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้วิตามินจะถูกทำลายได้ง่ายเมื่ออยู่รวมกับแร่ธาตุ ดังนั้นจึงไม่ควรนำวิตามินและแร่ธาตุมาผสมกันแล้วเก็บไว้ แต่ควรเก็บวิตามิน และแร่ธาตุ แยกจากกัน หากต้องการใช้จึงนำวิตามินและแร่ธาตุรวมผสมกันในขณะอัดเม็ดอาหาร ส่วนไดแคลเซียมฟอสเฟต และกระดูกป่นเป็นแหล่งแคลเซียมและฟอสฟอรัสที่ดี โดยที่ไดแคลเซียมฟอสเฟต ประกอบด้วยแคลเซียมและฟอสฟอรัสประมาณ 24 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่กระดูกป่นมีแคลเซียมและฟอสฟอรัส 24 และ 12 เปอร์เซ็นต์ (พันทิพา, 2539)

## วัตถุดิบเสริมคุณภาพของอาหาร

การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้สารอาหารเป็นสิ่งจำเป็นในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสัตว์น้ำและผลกำไรของฟาร์ม ซึ่งการย่อยได้และเมทาบอลิซึมของสารอาหารเป็นสองเป้าหมายหลักในการเพิ่มการใช้สารอาหารของสัตว์น้ำ ซึ่งเอนไซม์ย่อยอาหารถูกสังเคราะห์และหลั่งโดยระบบทางเดินอาหารจุลินทรีย์ในลำไส้ ตับ และตับอ่อน เพื่อย่อยอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตาม น้ำย่อยในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กอาจไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอภายใต้สภาวะบางอย่าง เช่น ความเครียด จากความร้อนและความเย็น โรค และอื่นๆ) ในทำนองเดียวกัน สารอาหารที่มีอยู่ตามปกติในอาหารสัตว์อาจไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตสูงสุดของสัตว์น้ำ ดังนั้นจึงมีการเสริมสารอื่นๆ ในอาหารเพื่อเพิ่มผลผลิต

วัตถุดิบที่ช่วยเสริมคุณภาพของอาหาร (Feed additive) หมายถึง สารที่เติมลงไปในอาหารเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ทั้งเพื่อเพิ่มโภชนะบางอย่างที่อาจไม่เพียงพอกับความต้องการของสัตว์ และสารที่ไม่ให้โภชนะหรือสารอาหาร (ทองเลียน, 2551) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารที่ใส่เข้าไปเพื่อเพิ่มคุณภาพอาหารสัตว์น้ำ เช่น สารเหนียวหรือสารที่ใช้ยึดเกาะอาหาร สารต้านอนุมูลอิสระ สารกันหืน สารแต่งรสแต่งกลิ่น และเอนไซม์ เป็นต้น ที่ใส่เข้าไปเพื่อปรับปรุงความสามารถในการย่อยได้ของสารอาหารบางชนิด หรือเพื่อกำจัดสารต่อต้านสารอาหารบางชนิด (Encarnaçao, 2016) รวมทั้งใช้เพื่อประโยชน์ในการช่วยให้อาหารยึดเกาะกันได้ดีขึ้นในการผลิตอาหารอัดเม็ด เป็นต้น

1. สารเหนียวหรือสารยึดเกาะอาหาร

สารเหนียวเป็นสารที่ทำให้อาหารผงสามารถอัดเป็นเม็ด และคงตัวในน้ำได้นาน ดังนั้นสารเหนียวจึงมีบทบาทสำคัญในการผลิตอาหารสัตว์น้ำทั้งชนิดเม็ดจม และชนิดเม็ดลอยน้ำ แม้ว่าอาหารอัดเม็ดสำหรับสัตว์บกสามารถผลิตได้โดยไม่ต้องใช้สารช่วยจับตัวเป็นเม็ด แต่การผลิตอาหารเม็ดสำหรับสัตว์น้ำส่วนใหญ่ก็นิยมใช้สารเหนียวช่วยในการผลิตอาหารอัดเม็ด (ตารางที่ 4.4) เนื่องจากช่วยป้องกันการแตกของเม็ดและการสึกกร่อนระหว่างการจัดการ การขนส่ง และเพื่อลดการใช้พลังงานเฉพาะในระหว่างกระบวนการผลิต (Tumuluru et al., 2016) รวมทั้งเพิ่มความคงตัวในน้ำ ดังนั้นการใช้สารเหนียวในการอัดเม็ดอาหารจึงส่งผลต่อคุณภาพของอาหารปลา ทั้งนี้อาหารที่มีความคงตัวในน้ำไม่ดีอาจทำให้อาหารสลายหรือแตกตัวในน้ำอย่างรวดเร็ว จนทำให้สัตว์น้ำกินไม่ทัน ซึ่งนอกจากจะทำให้สูญเสียทางเศรษฐกิจแล้ว ยังก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำ รวมทั้งเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (Effiong et al., 2009) ซึ่งสารเหนียวบางชนิดจะต้องใช้ความร้อนและแรงดันในการทำหน้าที่เป็นตัวยึดเกาะวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ ในขณะที่บางชนิดต้องการเพียงความชื้นเท่านั้น ซึ่งสารเหนียวอาจจำแนกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ สารเหนียวที่ไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งจะใช้ในสูตรอาหาร 2 – 5 เปอร์เซ็นต์ และสารเหนียวที่มีคุณค่าทางโภชนาการอาจมีสัดส่วนได้มากถึง 20 – 30 เปอร์เซ็นต์ (Wu, 2018)

**ตารางที่ 4.4** สารเหนียวที่ใช้ในอาหารสัตว์น้ำ

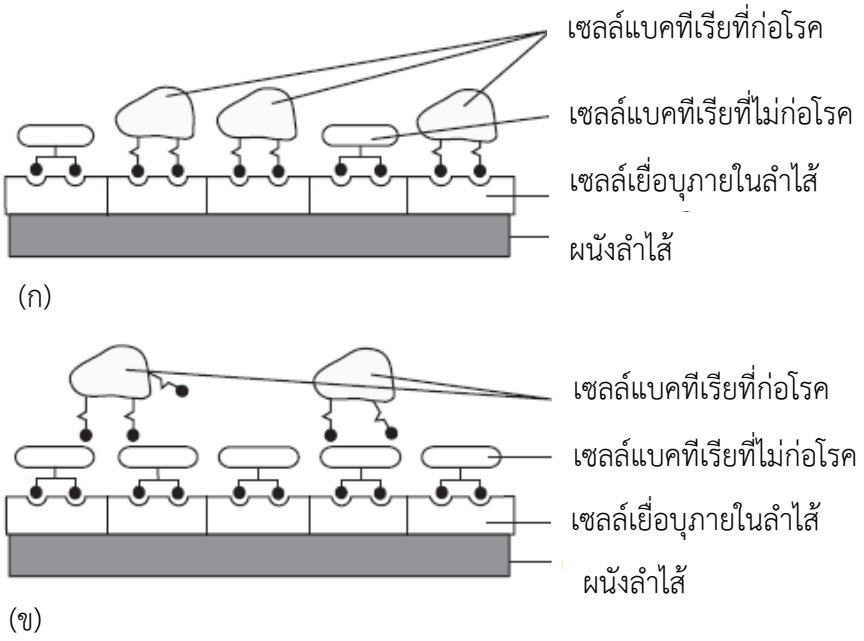
| สารเหนียว | ปริมาณที่ใช้ (%) | การให้โภชนะ | ราคา | ประสิทธิภาพ |
|---|---|---|---|---|
| กัวกัม | 1-3 | ไม่ให้ | แพง | ดี |
| คาร์บอกซี เมทิล เลลูโลส | 2-6 | ไม่ให้ | แพง | พอใช้ |
| เฮมิเซลลูโลส | 2-3 | ไม่ให้ | ปานกลาง | ไม่ดี |
| เบนโทไนต์ | 2-3 | ไม่ให้ | ถูก | ไม่ดี |
| แอลจีเนท | 2-3 | ไม่ให้ | แพง | ดี |
| อาร์กา (ผงวุ้น) | 2-3 | ไม่ให้ | แพง | ดี |
| คาร์ราจีแนน | 0.5-1 | ไม่ให้ | แพง | ดี |
| คอลลาเจน | 0.5-3 | ให้ | ปานกลาง | ดี |
| แป้งสุก (Cooked starch) | > 20 | ให้ | ถูก | พอใช้ |
| โปรตีนข้าวสาลี (Wheat gluten) | 3-5 | ให้ | ปานกลาง | ดี |

**ที่มา** : Li (1998)

สารเหนียวที่ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์น้ำหลายชนิดมีราคาแพง เช่น กัวกัม คาราจีแนน และบัฟฟิน เป็นต้น ส่วนอัลฟา สตาชท์ แม้จะมีราคาถูกแต่มีคุณสมบัติละลายน้ำเร็วจึงเหมาะที่จะใช้ผสมในอาหารปลาที่กินอาหารรวดเร็วเท่านั้น จึงอาจไม่เหมาะกับอาหารของสัตว์น้ำที่กินอาหารแบบจมน้ำและใช้เวลาในการกินอาหารนาน ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะใช้วัตถุดิบอื่นๆ เช่น ข้าวโพด ปลายข้าว และมันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารเจลาติไนเซชัน และไม่ตกผลึก (Chevanan et al., 2007) เพื่อทำหน้าที่เป็นสารยึดเกาะและเพิ่มความคงทนของเม็ดอาหาร ซึ่งปริมาณแป้งในสูตรอาหารเม็ดจมน้ำอยู่ระหว่าง 18 – 22 เปอร์เซ็นต์ และอาหารเม็ดลอยน้ำ ระหว่าง 5 – 11 เปอร์เซ็นต์ (Riaz, 1997) ทั้งนี้การใช้แป้งจากธัญพืชเป็นสารยึดเกาะอาหารสัตว์น้ำมีข้อดี คือ นอกจากจะทำหน้าที่เป็นสารยึดเกาะอาหารแล้ว ยังให้คุณค่าทางโภชนาการ และลดต้นทุนอาหารสัตว์น้ำด้วย เนื่องจากมีราคาค่อนข้างถูก โดยเฉพาะแป้งจากถั่วต่างๆ และแป้งข้าวสาลี (Karima et al., 2024) แต่การอัดเม็ดอาหารต้องทำภายใต้ความร้อน และความชื้นที่เหมาะสม

2. พรีไบโอติก (Prebiotics)

พรีไบโอติกเป็นสารที่มีความจำเพาะต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ และลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ให้โทษ ซึ่งมักเป็นคาร์โบไฮเดรตสายยาว หรือเยื่อใยที่ไม่สามารถย่อยได้ นอกจากนี้พรีไบโอติกยังถูกกำหนดให้เป็นสารที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดในกระเพาะอาหารและลำไส้ สามารถหมักย่อยได้ด้วยจุลินทรีย์ในลำไส้ และส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในลำไส้ เพื่อปรับปรุงสุขภาพของร่างกาย (Davani-Davari et al., 2019) การใช้พรีไบโอติกเป็นสารเสริมในอาหารสัตว์น้ำเป็นวิธีหนึ่งในการลดการใช้ยาปฏิชีวนะในการจัดการสุขภาพของสัตว์น้ำ (Song et al., 2014) สารพรีไบโอติกนอกจากช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตแล้ว (Ramos et al., 2017) ยังเพิ่มการตอบสนองของภูมิคุ้มกันของร่างกาย (Selim and Reda, 2015) จึงเป็นการเพิ่มความต้านทานโรค (Li et al., 2017) และบรรเทาความเครียดของสัตว์น้ำ (Hoseinifar et al., 2014) ซึ่งกลไกการทำงานของพรีไบโอติค คือจะไปกระตุ้นการเจริญและการทำงานของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ โดยพรีไบโอติกจะถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอนที่จำเพาะต่อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ แต่จะไม่สามารถถูกใช้โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อโทษได้ นอกจากนี้การที่พรีไบโอติกจับกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ให้โทษมีผลทำให้จุลินทรีย์เหล่านี้ไม่สามารถยึดเกาะกับเยื่อบุผนังลำไส้ และจะถูกขับออกไปพร้อมกับมูลในการขับถ่าย จึงทำให้จำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นโทษลดลง (ภาพที่ 4.5) สารพรีไบโอติกที่ถูกนำมาใช้โดยการผสมลงไปในอาหารของสัตว์น้ำมีหลายชนิด เช่น เบตา-กลูแคน อะราบิโนซีแลน และโอลิโกแซคคาไรด์ เป็นต้น ซึ่งโอลิโกแซ็กคาไรด์เป็นพรีไบโอติก ที่ใช้ทั่วไปในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อส่งเสริมภูมิคุ้มกันโรค และการเจริญเติบโต ตัวอย่างเช่น การเสริมโอลิโกแซคคาไรด์ในสูตรอาหารอนุบาลลูกปลานิลระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ลูกปลานิลมีการเจริญเติบโตสูงกว่าการไม่เสริมอย่างมีนัยสำคัญ (Wu et al., 2021)




**ภาพที่ 4.5** แสดงการทำงานของสารพรีไบโอติก (ก) เซลล์แบคทีเรียที่ก่อโรคเกาะกับเซลล์เยื่อบุภายในลำไส้ (ข) สารพรีไบโอติกที่มีเป้าหมายเฉพาะเซลล์แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคหลุดออกจากเซลล์เยื่อบุภายในลำไส้ และจะถูกขับออกนอกร่างกายพร้อมกับมูล

**ที่มา** : McDonald et al. (2012)

3. โปรไบโอติก (Probiotics)

โปรไบโอติกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีชีวิตชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดโรค เมื่อสัตว์น้ำได้รับโปรไบโอติกสามารถปรับปรุงอัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร ตลอดจนทำให้สัตว์มีสุขภาพที่ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อสัตว์ได้รับโปรไบโอติคเข้าไปจะเป็นการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ภายในทางเดินอาหาร ทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่ทำให้เกิดโรคเกาะที่ผนังลำไส้ยากขึ้น ดังนั้นจึงส่งเสริมการเจริญเติบโต รวมทั้งเพิ่มการตอบสนองของภูมิคุ้มกันโดยการกระตุ้นภูมิคุ้มกันโรค ซึ่งช่วยลดการใช้ยาปฏิชีวนะในการรักษาโรค (Xia et al., 2020) ปัจจุบันการประยุกต์ใช้แบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ในรูปของโปรไบโอติกได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Perez-Sanchez et al., 2014) ซึ่งจุลินทรีย์โปรไบโอติกหลักที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ แบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติก (Liu et al., 2017) และแบคทีเรียบาซิลลัส (*Bacillus* spp.) (Chai et al., 2016) เช่น การเสริมแบคทีเรียบาซิลลัส ในอาหารปลานิลมีส่วนสำคัญที่กระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันโรคของร่างกาย เพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต รวมทั้งอัตราการรอดชีวิต โดยไม่ส่งผลเสียต่อการอัตราการกินได้ ดังนั้นจึงช่วยให้มีต้นทุน และมีรายได้สุทธิของการเลี้ยงเพิ่มขึ้น (Nilton and Daniele, 2015)

นอกจากแบคทีเรียกลุ่มบาซิลลัส ยีสต์ก็เป็นโปรไบโอติกที่สามารถกระตุ้นการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันในปลาได้โดยการสร้างสารที่มีส่วนสำคัญในการกระตุ้นภูมิคุ้มกัน เช่น เบตา-กลูแคน แมนโนโปรตีน ไคติน และกรดนิวคลีอิก (Ortuno et al., 2002) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อให้อาหารลูกปลาด้วยยีสต์ ซึ่งอาจมีผลบางอย่างต่อการพัฒนาระบบย่อยอาหารของลูกปลาในระยะแรก ส่วนในปลาที่มีอายุมากยีสต์ในอาหารอาจกระตุ้นการเผาผลาญอาหาร และการเจริญเติบโต (Gatesoupe, 2007) นอกจากนั้นสารต่างๆ ที่สร้างจากยีสต์ยังมีส่วนสำคัญในการเพิ่มการเจริญเติบโตของเซลล์เยื่อบุภายในลำไส้เพื่อหลั่งน้ำย่อยในปริมาณเพิ่มขึ้นของลูกปลา อย่างไรก็ตามโปรไบโอติกก็มีความคงตัวต่ำในสภาวะอุณหภูมิและความดันที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำ ดังนั้นการนำโปรไบโอติกมาใช้ในอาหารสัตว์น้ำจึงต้องพิจารณาถึงประเด็นดังกล่าวประกอบด้วย

4. สารกันหืนและสารกันเชื้อรา

การหืนเป็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว หรือโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในลิปิดกับออกซิเจน ทำให้อาหารมีกลิ่นหืน เมื่อสัตว์น้ำกินอาหารที่มีกลิ่นหืนเข้าไปจะเหนี่ยวนำให้ไขมันที่เป็นองค์ประกอบในร่างกายสัตว์เกิดปฏิกิริยาต่อเป็นลูกโซ่ (Free radical chain reaction) ทำให้เป็นอันตรายต่อร่างกาย โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดการหืน ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ แสงสว่าง และแร่ธาตุต่างๆ สารกันหืนคือสารที่ป้องกันหรือลดการเกิดการหืนในอาหารที่มีการใช้กรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบ โดยสารกันหืนจะเป็นตัวให้ไฮโดรเจนกับอนุมูลอิสระเพื่อป้องกันการเกิดการหืน แต่การหืนจะไม่เกิดกับไขมันที่อยู่ในวัตถุดิบที่คงสภาพทั้งเมล็ด เช่น เมล็ดถั่วเหลือง และเมล็ดข้าวโพด เป็นต้น เนื่องจากจะมีสารป้องกันการหืนตามธรรมชาติ แต่เมื่อผ่านกระบวนการบด หรือสกัดน้ำมันจะทำให้เกิดการหืนได้ง่าย ทั้งนี้สารกันหืนมีทั้งที่พบในธรรมชาติ และสารสังเคราะห์ โดยสารกันหืนที่พบในธรรมชาติได้แก่ วิตามินอี และซีลีเนียม ส่วนสารกันหืนสังเคราะห์ ได้แก่ บีเอชที (Butylated hydroxytoluene; BHT) และบีเอชเอ (Butylated hydroxyanisol; BHA) ควรใช้ 0.02 - 0.05 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสารป้องกันเชื้อราที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำ ได้แก่ กรดโพรพิโนอิก (Propinoic acid) ควรใช้ 0.1 - 0.3 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามการผลิตอาหารใช้เองในฟาร์ม หากเป็นการผลิตอาหารเพื่อใช้ให้หมดในระยะเวลาสั้น ไม่จำเป็นต้องใช้เพราะจะเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตให้สูงขึ้นโดยไม่จำเป็น

5. น้ำย่อย

การใช้น้ำย่อยหรือเอนไซม์ในอาหารมีวัตถุประสงค์ต่างๆ ได้แก่ การเติบโตที่เพิ่มขึ้น การใช้สารอาหารที่ดีขึ้น และการลดมลภาวะที่เกิดกับสภาพแวดล้อมหรือภายในบ่อเลี้ยง (Wu, 2018) ทั้งนี้หากอาหารสัตว์น้ำมีเฉพาะส่วนผสมที่สัตว์น้ำกินในสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ การเสริมเอนไซม์ก็ไม่จำเป็น แต่เมื่ออาหารธรรมชาติมีราคาแพงและไม่สามารถนำมาใช้ได้จริงสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในฟาร์ม ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารจึงทำให้สัตว์น้ำใช้ประโยชน์จากอาหารได้มากขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการใช้เอนไซม์ในอาหารนิยมใช้ในกรณีที่สัตว์น้ำมีข้อจำกัดในการผลิตเอนไซม์บางชนิด เช่น ในระยะอนุบาลที่ระบบทางเดินอาหารยังพัฒนาไม่เต็มที่ หรือการเสริมเอนไซม์บางชนิดที่ร่างกายไม่สามารถผลิตได้ ซึ่งโดยปกติแล้วลูกสัตว์น้ำจะกินแพลงก์ตอนสัตว์หลายชนิด และเชื่อกันว่าเอนไซม์ภายในตัวของแพลงก์ตอนสัตว์เหล่านี้จะช่วยให้การย่อยอาหารของสัตว์น้ำดีขึ้น แต่เมื่อใช้อาหาร

ในการอนุบาลลูกสัตว์น้ำ ตัวอย่างเช่น การอนุบาลลูกกุ้งกุลาดำญี่ปุ่น การเติมน้ำย่อยทริปซินจากระบบย่อยอาหารของโคที่ห่อหุ้มด้วยไมโครแคปซูล มีผลทำให้ลูกกุ้งเหล่านี้มีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (Barrows, 2000) นอกจากนั้นยังพบว่าการทำงานของน้ำย่อยโปรติเอสที่ใช้ย่อยโปรตีน และน้ำย่อยอะไมเลสซึ่งเป็นน้ำย่อยคาร์โบไฮเดรตของลูกกุ้งเพิ่มขึ้นด้วย (Maugle et al., 1983) นอกจากลูกสัตว์น้ำระยะอนุบาลแล้ว น้ำย่อยยังมีประโยชน์ในสัตว์น้ำระยะเจริญเติบโต และระยะโตเต็มวัยที่มีระบบย่อยอาหารทำงานเต็มที่แล้ว การเติมน้ำย่อยไฟเตสจะช่วยให้ปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากไฟเตตในพืชได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้น้ำย่อยไฟเตสมีข้อควรระวัง คือ น้ำย่อยไฟเตสไวต่อความร้อน ดังนั้นหากเติมลงในอาหารสัตว์น้ำก่อนการอัดเม็ดจะถูกทำลายด้วยความร้อน ดังนั้นควรเติมลงในอาหารปลาหลังการอัดเม็ดด้วยการโรยหน้าจะให้ผลดีกว่า (Li and Robinson, 1997)

6. ฮอร์โมน

ส่วนผสมของอาหารสัตว์น้ำบางชนิดประกอบด้วยสารที่ทำหน้าที่คล้ายฮอร์โมนตามธรรมชาติ เช่น สเตียรอยด์ (Anabolic steroids) หรือไฟโตเอสโตรเจน (Phytoestrogens) ที่ทำงานคล้ายกับฮอร์โมนเอสโตรเจน หรือปลาป่นที่ผลิตจากปลาที่โตเต็มจะมีปริมาณฮอร์โมนเทสโทสเตอโรนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งกระตุ้นการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อ (Sower et al., 1983) ซึ่งการเพิ่มอัณฑะของปลาตัวผู้ลงในอาหารสามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของปลาแซลมอนระยะอนุบาลได้ (Borghetti et al., 1988) ส่วนผลกระทบของไฟโตเอสโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของปลายังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่ก็พบว่าปริมาณไฟโตเอสโตรเจนในกากถั่วเหลืองมีผลทำให้ฮอร์โมนเอสโตรเจนของลูกปลานิลในระหว่างการแปลงเพศเพื่อให้เป็นเพศผู้เพิ่มขึ้น จนทำให้อัตราการเปลี่ยนเพศของลูกปลานิลไปเป็นเพศผู้ลดลง (El-Sayed et al., 2012) ทั้งนี้ฮอร์โมนถูกใช้เพื่อควบคุมอัตราการเจริญเติบโตของปลา พัฒนาการทางเพศ และการควบคุมออสโมเรกูเลชัน เป็นต้น ซึ่งการแปลงแพศด้วยการใช้ฮอร์โมนเติมลงในอาหารปลาในปัจจุบันเพื่อให้ลูกปลาเปลี่ยนเป็นเพศใดเพศหนึ่งเพื่อให้มีอัตราการเจริญเติบโตเร็วขึ้น เช่น ในปลานิล มีการใช้ฮอร์โมน (17$\alpha$-methyltestosterone) เพื่อเปลี่ยนเพศให้เป็นเพศผู้ทั้งหมด เนื่องจากมีอัตราการเจริญเติบโตเร็วกว่าเพศเมีย โดยใช้ฮอร์โมนขนาด 30–60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ให้กินเป็นเวลาประมาณ 25 – 30 วัน เป็นต้น (Green et al., 1997) อย่างไรก็ตามไม่ควรใช้อาหารที่มีส่วนผสมของสเตียรอยด์ ฮอร์โมน เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตเป็นเวลานาน เนื่องจากอาจทำให้เกิดผลข้างเคียงที่เป็นอันตราย เช่น การพัฒนาของอวัยวะสืบพันธุ์ในระยะเริ่มต้น ความผิดปกติของโครงกระดูก ความไวต่อการติดเชื้อที่สูงขึ้น และการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพในตับ ไต และระบบทางเดินอาหาร (Gannam and Lovell, 1991)

## สรุป

การเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์มีเป้าหมายในการเลี้ยงเพื่อให้ได้ผลกำไรสูงสุด ซึ่งการที่จะดำเนินการให้สามารถบรรลุเป้าหมายได้มีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง โดยปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมาก คือ การจัดการด้านอาหาร ทั้งนี้อาหารที่ใช้สำหรับเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมี 2 ประเภท คือ อาหารธรรมชาติ และอาหารที่จัดเตรียมขึ้น ซึ่งมีรูปแบบการผลิตและการนำไปใช้เลี้ยงสัตว์น้ำที่แตกต่างกัน โดยสอดคล้องกับระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ

อาหารที่จัดเตรียมขึ้น หมายถึง อาหารที่ให้แก่สัตว์น้ำที่เลี้ยงนอกเหนือไปจากอาหารธรรมชาติที่สัตว์น้ำสามารถหากินได้และเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ โดยอาหารที่จัดเตรียมขึ้นและมีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนเรียกว่า อาหารสมบูรณ์ เช่น อาหารสำเร็จรูปชนิดต่างๆ ซึ่งหมาะสำหรับระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่น หรือการเลี้ยงสัตว์น้ำในกระชังหรือในที่กักขังที่ไม่มีอาหารธรรมชาติหรือมีปริมาณจำกัดซึ่งไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต ส่วนอาหารที่จัดเตรียมขึ้นและมีคุณค่าทางโภชนาการไม่ครบถ้วนเรียกว่า อาหารสมทบ หมายถึง อาหารที่ให้สัตว์น้ำเพิ่มเติมจากอาหารธรรมชาติ เช่น เศษพืช หรือสัตว์ที่ไม่ได้เป็นอาหารของมนุษย์จึงไม่จำเป็นต้องมีสารอาหารครบถ้วนเหมือนอาหารสมบูรณ์

วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ หมายความว่า วัตถุดิบหรือสารใดๆ ก็ตาม ไม่ว่าจะได้จากธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์ ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการในแง่ของการให้สารอาหาร หรืออาจก่อให้เกิดประโยชน์อย่างใดอย่างหนึ่งแก่สัตว์น้ำเมื่อกินเข้าไป จึงมีความหมายครอบคลุมไปถึงวัตถุทุกประเภททั้งชนิดที่ให้สารอาหารและไม่ให้สารอาหารที่ผสมอยู่ในอาหารสัตว์น้ำ ดังนั้น ยาปฏิชีวนะหรือสารกันหืน ที่เติมลงในอาหารน้ำ จึงจัดว่าเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำแต่ไม่จัดว่าเป็นอาหารสัตว์น้ำ ซึ่งวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำได้มาจากหลายแหล่ง ส่วนใหญ่เป็นผลผลิตที่ได้มาจากการเกษตรและและการแปรรูปอาหารที่ไม่ถูกใช้เพื่อการบริโภคของมนุษย์ ซึ่งมีแหล่งที่มาจากสัตว์และพืช โดยวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมในอาหาสัตว์น้ำที่สามารถให้สารอาหารประกอบไปด้วย วัตถุดิบกลุ่มโปรตีน กลุ่มคาร์โบไฮเดรต กลุ่มไขมันและน้ำมันและกลุ่มที่ให้วิตามินและแร่ธาตุ

วัตถุดิบที่ช่วยเสริมคุณภาพของอาหาร หมายถึง สารที่เติมลงไปในอาหารเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ทั้งเพื่อเพิ่มโภชนะบางอย่างที่อาจไม่เพียงพอกับความต้องการของสัตว์น้ำ และสารที่ไม่ให้โภชนะหรือสารอาหาร ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารที่ใส่เข้าไปเพื่อเพิ่มคุณภาพอาหารสัตว์น้ำ เช่น สารเหนียว สารต้านอนุมูลอิสระ สารกันหืน สารแต่งรสแต่งกลิ่น และเอนไซม์ เป็นต้น ที่ใส่เข้าไปเพื่อปรับปรุงความสามารถในการย่อยได้ของสารอาหารบางชนิด หรือเพื่อกำจัดสารต่อต้านสารอาหารบางชนิด เป็นต้น

## แบบฝึกหัดท้ายบท

จงพิจารณาตอบคำถามดังต่อไปนี้

1. อาหารธรรมชาติ หมายความว่าอย่างไร และจำแนกเป็นกี่ประเภท ประกอบด้วยอะไรบ้าง
2. อาหารเดี่ยวกับอาหารผสมต่างกันอย่างไร
3. อาหารผสมแห้งมีกี่ชนิดประกอบด้วยอะไรบ้าง
4. วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำแบ่งเป็นกี่กลุ่ม ประกอบไปด้วยอะไรบ้าง พร้อมยกตัวอย่างวัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารสัตว์น้ำ
5. สารเสริมในอาหาร หมายความว่าอย่างไร และประกอบไปด้วยอะไรบ้าง
6. สารเสริมประเภทโปรไบโอติก และพรีไบโอติก เหมือนหรือต่างกันอย่างไร อธิบาย
7. การใช้สารเสริมในอาหารสัตว์น้ำ มีความสำคัญอย่างไร อธิบายถึงวิธีการนำไปใช้ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำ

# เอกสารอ้างอิง


ทองเลียน บัวจูม. 2551. โภชนศาสตร์สัตว์เบื้องต้น. ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ คณะผลิตกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่.

ธัชพล การะเกตุ มินตรา ศีลอุดม และ บัณฑิต ยวงสร้อย. 2565. การใช้เลือดป่นทดแทนปลาป่นบางส่วนในอาหารต่อการเจริญเติบโตระยะอนุบาลปลานิลแดง (*Oreochromis* spp.). ว. วิทยาศาสตร์บูรพา. 27 (2): 801-814.

นฤมล อัศวเกศมณี. 2557. โภชนศาสตร์และการให้อาหารปลา. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ

นันทพร ธาตุชัย. 2558. อาหารและโภชนาการสัตว์น้ำ, เอกสารประกอบการสอน. แผนกวิชาประมง, วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีบุรีรัมย์. บุรีรัมย์.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. 2539. การผลิตอาหารสัตว์, ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2544. คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2536. อาหารปลา. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

เวียง เชื้อโพธิ์หัก. 2542. โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์น้ำ. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2565. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2566. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุเทพฯ.

Abdel-Ghany, H. M., M. E-S. Salem, A. A. Ezzat, M. A. Essa, A. M. Helal, R. F. Ismail, and A-F. M. El-Sayed. 2021. Effects of different levels of dietary lipids on growth performance, liver histology and cold tolerance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). J. Therm. Biol. 96: 102833

Abu, O. M. G., L. O. Sanni, E. S. Erondu and O. A. Akinrotimi. 2010. Chemical composition and cyanide levels of hybrid catfish fed whole cassava root meal in replacement of maize. J. Food Technol. 8 (2): 52-57

Acar, U. and A. Türker. 2018. The Effects of Using Peanut Meal in Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss) Diets on the Growth Performance and Some Blood Parameters. AquaSt. 18 (2): 79-87

Alexis, M.N., P. E. Papaparaskeva, and V. Eheochari. 1985. Formulation of practical diets for rainbow trout (*Salmo gairdneri*) made by partial or complete substitution of fish meal by poultry by-products and certain plant by-products. Aquaculture. 50 (1-2): 61-73.

Amer S. A., A. Osman, N. A. Al-Gabri, S. A. M. Elsayed et al. 2019. The Effect of dietary replacement of fish meal with whey Protein concentrate on the growth performance, fish health, and immune status of Nile Tilapia fingerlings, *Oreochromis niloticus*. Animals. 9 (12): 1003.

Amisah, S., M. Oteng and J. Ofori, 2009. Growth performance of the African catfish, *Clarias gariepinus*, fed varying inclusion levels of *Leucaena leucocephala* leaf meal. J. Appl. Sci. Environ. Manag. 13 (1): 21-26.

Arunlertaree, C. and C. Moolthongnoi. 2008. The use of fermented feather meal replacement fish meal in the diet of *Oreochromis niloticus*. Environ. Nat. Resour. J. 6 (1): 13-24.

Ayisi, C. L., J. Zhao and E. J. Rupia. 2017. Growth performance, feed utilization, body and fatty acid composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing elevated levels of palm oil. Aquac. Fish. 2 (2): 67-77.

Ballarin, A. M. and H. Lo. 2010. Evaluation of yam starch (*Discorea rotundata*) as aquaticfeed binder. Pak J Nutr. 9 (7): 668–671.

Barrows, F. T. 2000. Feed Additives. pp. 335-339. In: Stickney, R. R. (ed). Encyclopedia of aquaculture. John Wiley & Sons. NY.

Batal, A., N. Dale and M. Café. 2005. Nutrient composition of peanut meal. J. Appl. Poult. Res. 14 (2):254-257.

Bayata, A. 2019. Review on Nutritional Value of Cassava for Use as a Staple J. Anal. Chem. 7 (4): 83-91.

Borghetti, J. R., R. N. Iwamoto, R. W. Hardy and S. Sower. 1989. The effects of naturally occurring androgens in practical diets fed to normal-sired and jack-sired progeny of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Aquaculture. 77 (1): 51-60

Boscolo, W. R., C. Hayashi and F. Meurer. 2002. Cassava by-product meal (*Manihot esculenta*) on feeding of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fingerlings. Rev. Bras. Zootec. 31 (2): 546-551

Bozanic, M., Z. Markovic, M. Zivic, B. Dojcinovic, A. Peric, M. Stankovic, I. Zivic. 2019. Mouthpart deformities of Chironomus plumosus larvae caused by increased concentrations of copper in sediment from carp fish pond. Turkish J. Fish. Aquat. Sci., 19: 251-259.

Bunlipatanon, P., N. Songseechan, H. Kongkeo. N. W. Abery and S. S De Silva. 2014. Comparative efficacy of trash fish versus compounded commercial feeds in cage aquaculture of Asian seabass (*Lates calcarifer*) (Bloch) and tiger grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*) (Forsskal). Aquac. Res. 45 (3): 373-388.

Bureau, D. P., J. Gibson and A. El-Mowafi. 2002. Review: Use of animal fats in aquaculture feeds. Pp. 487-504. In: Cruz-Suárez, L. E., D. Ricque-Marie, M. Tapia-Salazar, M. G. Gaxiola-Cortés and N. Simoes (eds.). Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 3 al 6 de Septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México

Casas, G. A., J. A. S. Almeida and H. H. Stein. 2015. Amino acid digestibility in rice co-products fed to growing pigs. Anim. Feed Sci. Technol. 207: 150-158.

Chai, P. C., X. L. Song, G. F. Chen, H. Xu and J. Huang. 2016. Dietary supplementation of probiotic *Bacillus* PC465 isolated from the gut of *Fenneropenaeus chinensis* improves the health status and resistance of *Litopenaeus vannamei* against white spot syndrome virus. Fish Shellfish Immunol. 54: 602-611.

Chevanan, N., K. Muthukumarappan. K. A. Rosentrater and J. L. Julson. 2007. Effect of die dimensions on extrusion processing parameters and properties of DDGS-based aquaculture feeds Cereal Chem. 84 (4): 389-398.

Corrêa, C. F., R.O. Nobrega, B. Mattioni, J. M. Block and D.M. Fracalossi. 2017. Dietary lipid sources affect the performance of Nile tilapia at optimal and cold, suboptimal temperatures. Aquacul. Nutr. 23 (5): 1016-1026

D'Abramo, L. 2019. Nutrition and Feeds. pp. 157-183. In: John S. Lucas, J. S., P. C. Southgate and C. S. Tucker (eds). Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants. 3rd ed. Wiley & Sons. Hoboken, NJ

da Silva, R. L., F. M. Damasceno, M. K. H. R. Rocha, M. M. P. Sartor, M. M. Barros and L. E. Pezzato. 2014.

Davani-Davari, D., M. Negahdaripour, I. Karimzadeh, M. Seifan, M. Mohkam, S. J. Masoumi, A. Berenjian and Y. Ghasemi. 2019. Prebiotics: Definition, Types, Sources, Mechanisms, and Clinical Applications. Foods. 8 (3): 92

Davies, S. J., J. Williamson, M. Robinson and R. I. Bateson. 1989. Practical inclusion levels of common and by-products on complete diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus*). In proc. 3rd Intl. Symp. On feeding and Nutri. In Fish, Tisa, Japan. 325 - 332.

de Cruz, C. R., M. S. Kamarudin, C. R. Saad and E. Remezani-Fard. 2015. Effects of extruder die temperature on the physical properties of extruded fish pellets containing taro and broken rice starch. Anim. Feed Sci. Technol. 199: 137-145.

Effiong, B. N., A. Sanni and O. A. Sogbesan. 2009. Comparative studies on the binding potential and water stability of Duckweed meal, Corn starch and Cassava starch. N. Y. sci. j. 2 (4): 50-57

El-Baki, S. M. A., S. I. Ghoneim, H. M. El-Husseiny, K. M. El-Gendy and M. Marghany. 1999. Cassava as a new animal feed in Egypt. 9. Cassava root meal in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) diets. Egyptian J. Nutr. Feeds, 2 (Special issue): 753-763.

El –Kasheif, M. A., A. S. Saad and S. A. Ibrahim. 2011. Effects of varying levels of fish oil on growth performance, body composition and haematological characteristics of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L). Egypt J. Aquat. Biol. Fish. 15 (1): 125 - 141

El-Sayed, A-F. M., E-S. H. Abdel-Aziz and H. M. Abdel-Ghani. 2012. Effects of phytoestrogens on sex reversal of Nile tilapia (Oreochromis niloticus) larvae fed diets treated with 17**α**-Methyltestosterone. Aquaculture. 360–361: 58-63

Elshaer. F. M., A. M. Azab and M. A. M. El-Tabakh. 2022. Effect of replacing fish meal in fish diet with shrimp by-product meal on growth performance, feed utilization, length-weight relationship and condition factors of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). Int. J. Morphol. 40 (1): 261-269.

Encarnaçao, P. 2016. Functional feed additives in aquaculture feeds. pp. 217-231. In: Nates, S. F. (ed). Aquafeed Formulation. Academic Press. Waltham, MA

Fair, P. H., W. P. Williams and T. I. J. Smith. 1993. Effect of dietary menhaden oil on growth and muscle fatty acid composition of hybrid striped bass, *Morone chrysops x M. saxatilis.* Aquaculture. 116 (2–3): 171-189.

FAO. 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, Italy.

Fashina, A. B., O. A. Oyewole, K. A. Iyalabani, O. O. Oniya and J. A. Olaniran. 2019. Effects of Fish Feed Carbohydrate Sources on the Floatation and Water Stability of Fish Feed Pellets. Glob. j. biol. agric. health sci. 9 (18): 29-32.

Felix, E. and E. V. Oscar. 2018. Floating and Stability Effect on Fish Feed Pellets Using Different Concentration of Baobab Leaf Meal (*Adansonia digitata*). Asian J. Fish. Aquat. Res. 1 (4): 1-6

Francis, G., H. P. S. Makkar and K. Becker. 2001. Anti-nutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effect in fish. Aquaculture. 199: 197–227.

Gannam, A. and R. T. Lovell. 1991. Effects of feeding 17α-methyltestosterone, 11-ketotestosterone, 17β-estradiol, and 3,5,3′-triiodothyronine to channel catfish, *Ictalurus punctatus.* Aquaculture. 92: 377-388

Gatesoupe, F. J. 2007. Live yeasts in the gut: Natural occurrence, dietary introduction, and their effects on fish health and development. Aquaculture. 267 (1–4): 20-30.

Gatlin, D. M., F. T. Barrows, P. Brown, K. Dabrowski, T. G. Gaylord, R. W. Hardy, E. Herman, G. Hu, Å. Krogdahl, R. Nelson, K. Overturf, M. Rust, W. Sealey, D. Skonberg, E. J. Souza, D. Stone, R. Wilson and E. Wurtele. 2007. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. Aquac. Res. 38 (6): 551-579.

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.

Gomes, S. Z. and E. de. S. Correia. 1996. Effect of substituting maize with cassava meal on voluntary intake of DM by Malaysian prawns (*Macrobrachium rosenbergii* De Man, 1879). Rev. Bras. Zootec. 25 (4): 595-604

Grebenjuk, L. P. and I. Tomilina. 2014. Morphological deformations of hard chitinized mouthpart structures in larvae of the genus Chironomus (Diptera, Chironomidae) as the index of organic pollution in freshwater ecosystems. Inland Water Biol. 7: 273-285.

Green, B. W., K. L. Verrica and M. S. Fitzpatrick. 1997. Fry and fingerling production. pp. 215–243. In: Egna, H.S. and C. E. Boyd (eds). Dynamics of Pond Aquaculture. CRC Press, Boca Raton, FL.

Greene, D. H. S. and D. P. Selivonchick. 1990. Effects of dietary vegetable, animal and marine lipids on muscle lipid and hematology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture. 89 (2): 165-182.

Hardy, R. W. and F. T. Barrows. 2002. Diet Formulation and Manufacturing. pp. 505-600. In: Halver J. E. and R.W. Hardy. Fish Nutrition. 3rd eds. Academic Press. San Diego, CA.

Harpaz, S., T. Slosman and R. Segev. 2006. Effect of feeding guppy fish fry (*Poecilia reticulata*) diets in the form of powder versus flakes. Aquac. Res. 36: 996-1000

Hasan, M. R. 2012. Transition from low-value fish to compound feeds in marine cage farming in Asia. FAO Fisheries and Aquaculture Department. Rome, Italy

Hasan, K. N. and G. Banerjee. 2020. Recent studies on probiotics as beneficial mediator in aquaculture: a review. J. Basic Appl. Zool., 81 (1): 1-16.

Hasan, M. T., S. M. I. Khali, M. A. Kasham, S. Hashem and S. K. Mazumder. 2012. Substitution of fish meal by meat and bone meal for the preparation of tilapia fly feed. Int. J. Ani. Fish. Sci. 5 (5): 464-469.

Hoseinifar, S. H., N. Soleimani and E. Ringø. 2014. Effects of dietary fructooligosaccharide supplementation on the growth performance, haematoimmunological parameters, gut microbiota and stress resistance of common carp (*Cyprinus carpio*) fry. Br. J. Nutr. 112 (8): 1296–1302

Hepher, B. 1988. Nutrition of pond fishes. Cambridge University Press, Cambridge, NY.

Hershey, A. E., G. A. Lamberti, D. T. Chaloner and R. M. Northington. 2010. Aquatic Insect Ecology. pp. 659-694. In: Thorp, J. H. and A. P. Covich (eds). Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. 3rd ed. Elsevier. Burlington, MA

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

Hien, T. T. T., N. H. D. Trung, B. M. Tâm, V. M. Q. Chau, N. H. Huy, C. M. Lee and D. A. Bengtson. 2016. Replacement of freshwater small-size fish by formulated feed in snakehead (*Channa striata*) aquaculture: experimental and commercial-scale pond trials, With economic analysis. Aquac Rep. 4: 42–47.

Hunt, A. O., F. O. Yılmaz and Z. Erçen. 2018. Comparing the effects of feeding a fish oil or a Cod liver oil based diet on growth, feed utilization and muscle fatty acid composition Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Med FAR. 1(3): 130-142

Hura, M. U. D., T. Zafar, K. Borana, J. R. Prasad and J. Iqbal. 2018. Effect of commercial probiotic Bacillus megaterium on water quality in composite culture of major carps. Int. J. Curr. Agric. Sci, 8 (1): 268-273.

Jayathilakan, K., K. Sultana, K. Radhakrishna and A. S. Bawa. 2012. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review. J. Food Sci. Technol. 49 (3): 278–293.

Jhingran, V. G. and R. S. V. Pullin. 1985. A Hatchery Manual of the Common, Chinese and Indian major carps. Asian Development Bank and International Center for Living Aquatic Resources Managements. Metro Manila, Philippines

Jiang, X., H. Ding, Q. Liu, Y. Wei, Y. Zhang, Y. Wang, Y. Lu, A. Ma, Z. Li and Y. Hu. 2020. The effects of peanut meal extracts fermented by Bacillus natto on the growth performance, learning and memory skills and gut microbiota modulation in mice. Br. J. Nutr. 123 (4): 383-393.

Karima, A., B. Nailaa. S. Khwajab, S. I. Hussainb and M. Ghafar. 2024. Evaluation of different Starch Binders on physical quality of fish feed pellets. Braz. J. Biol. 84: 256242

Keshavanath, P. 2014. Role of natural food in sustaining aquaculture. Egypt. J. Aquat. Biol. Fish. 2 (1): 6-13.

Khan, M. S. 1994. Apparent digestibility coefficients for common feed ingredients in formulated diets for tropical catfish, *Mystus nemurus* (Curvier and Valenciennes). Aquacult. Fish. Manage., 25: 167-174.

Kirimi, J. G., L. M. Musalia and J. M. Munguti. 2017. Effect of replacing fish meal with blood meal on chemical composition of supplement for Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*). East Afr. agric. for. j. 82 (1): 1-9.

Lacerda, C. H. F., C. Hayashi, C. M. Soares, W. R. Boscolo and L. C. B. Kavata. 2005. Replacement of corn *Zea mays* L. by cassava Manihot esculenta crants meal in grass-carp *Ctenopharyngodon idella* fingerlings diets. Acta Sci. 27 (2): 241–245.

Langdon, C. and R. Barrows. 2011. Microparticulate diets: technology. In: Holt, G. J. (ed). Larval Fish Nutrition. John Wiley & Sons, Inc. Ames, IA.

Legendre, M., N. Kerdchuen, G. Corraze and P. Bergot. 1995. Larval rearing of an African catfish, *Heterobranchus longifilus* (Teleostei, Clariidae): Effect of dietary lipids on growth, survival and fatty acid composition of fry. Aquat. Living Resour. 8 (4): 355–363.

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

Li, M. H. and E. H. Robinson. 1997. Microbial phytase can replace inorganic phosphorus supplements in Channel Catfish *Ictalurus punctatus* Diets. J. World Aquacult. 28 (4): 402–406.

Lim, C. 1997. Replacement of marine animal protein with peanut meal in diets for juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*. J. Appl. Aquac., 7 (3): 67-78

Lim, C. and G. Cuzon. 1994. Water Stability of Shrimp Pellet: A Review. j. afs. **7**: 115-127.

Liu, W. S., W. W. Wang, C. Ran, S. X. He, Y. L. Yang and Z. G. Zhou. 2017. Effects of dietary scFOS and lactobacilli on survival, growth, and disease resistance of hybrid tilapia. Aquaculture. 470: 50-55.

Liu, X., J. Ye, K. Wang, J. Kong, W. Yang and L. Zhou. 2012. Partial replacement of fish meal with peanut meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Aquac. Res. 43 (5): 745-755.

Liu, Z., Q. Liu, D. Zhang, S. Wei, Q. Sun, Q. Xia, W. Shi, H. Ji and S. Liu. 2021. Comparison of the proximate composition and nutritional profile of byproducts and edible parts of five species of shrimp. Foods 10: 2603.
*Litopenaeus vannamei*. Aquac. Res., 43 (5):745-755.

Liti, D. M., R. M. Mugo, J. M. Munguti and H. Waidbacher. 2006. Growth and economic performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fed on three brans (maize, wheat and rice) in fertilized ponds. Aquacult. Nutr. 12 (3): 239-245

Lukuyu, B., I. Okike, A. Duncan, M. Beveridge and M. Blümmel. 2014. Use of cassava in livestock and aquaculture feeding programs. International Livestock Research Institute. Nairobi, Kenya

McDonald, P., R. A. Edwards J. F. D. Greenhalgh C. A. Morgan L.A. Sinclair and R. G. Wilkinson. 2012. Animal Nutrition. 7$^{th}$ ed. Prentice Hall. UK.

Mahanama, D., K. Radampola and E. Heenkenda. 2021. Effect of cassava starch sources on growth and feed utilization of Nile Tilapia fingerlings (*Oreochromis niloticus*) reared under two dietary protein levels. Aquaculture Studies. 21 (4): 169-179.

Martínez-Cordova, L. R., M. Emerenciano, A. Miranda-Baeza and M. MartínezPorchas. 2015. Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: an updated review. Rev. Aquac. 7 (2): 131–148.

Maugle, P. D., O. Deshimaru, T. Katayama, T. Nagatani, and K.L. Simpson, 1983. Effect of microencapsulated amylase and bovine trypsin dietary supplements on growth and metabolism of shrimp. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 49 (9): 1421–1427

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

Momoh, A. T., M. Y. Abubakar and J. K. Ipinjolu. 2016. Effect of ingredients substitution on binding, water stability and floatation of farm-made fish feed. Int. j. fish. aquat. stud. 4 (3): 92-97.

Moutinho, S., S. Martínez-Llorens, A. Tomás-Vidal, M. Jover-Cerdá, A. Oliva-Teles and H. Peres. 2017. Meat and bone meal as partial replacement for fish meal in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles: Growth, feed efficiency, amino acid utilization, and economic efficiency. Aquaculture. 468 (Part 1): 271-277.

Nilton, G. M., and M. A. Daniele. 2015. Quantification of intestinal bacteria, operating cost and performance of fingerlings Nile tilapia subjected to probiotics. Lat. Am. J. Aquat. Res. 43 (2): 367-373.

NRC. 1981. Nutrient Requirements of Cold-Water Fishes. National Academy Press. Washington, DC.

Obaldo, L. G. and R, Masuda. 2006. Effect of Diet Size on Feeding Behavior and Growth of Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei.* J. Appl. Aquac. 18 (1): 101-110.

Ogello, E. O., J. M. Munguti, Y. Sakakura and A. Hagiwara. 2014. Complete Replacement of Fish Meal in the Diet of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) Grow-out with Alternative Protein Sources. A review. International J. Adv. Res. 2 (8): 962-978.

Øie, G., K. I. Reitan, J. O. Evjemo, J. Støttrup and Y. Olsen. 2011. Live feeds. pp. 307-334. In: Holt, G. J. (ed). Larval Fish Nutrition. Wiley-Blackwell. Ames, IA.

Otubusin, S. O. 1987. Effects of different levels of blood meal in pelleted feeds on tilapia, *Oreochromis niloticus*, production in floating bamboo net-cages. Aquaculture. 65 (3–4): 263-266.

Ortuno, J., A. Cuesta, A. Rodriguez, M. A. Esteban and J. Meseguer. 2002. Oral administration of yeast, Saccharomyces cerevisiae, enhances the cellular innate immune response of gilt-head seabream (*Sparus aurata* L.). Vet. Immunol. Immunopathol. 85 (1-2): 41-50.

Pereira-da-Silva, E. M. and L. E. Pezzato. 2000. Response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to the attraction and palatability of the used ingredients in the feeding of fishes. Rev. Bras. Zootec. 29 (5): 1273-1280.

Perumal, P., and P. Sampathkumar. 2002. Manual on identification of zooplankton, All India coordinated project on survey and inventorization of coastal and marine biodiversity (east coast), C.A.S in Marine Biology, Annamalai University, India.

Person Le Ruyet, J.P., J. C. Alexander, L. Thebaud and C. Mugnier. 1993. Marine fish larvae feeding: formulated diets or live prey. J World Aquac Soc. 24 (2): 211-224

Pezzato, L. E., E. C. de Miranda, M. M. Barros, W. M. Furuya and L. G. Q. Pinto. 2004. Apparent digestibility of dry matter and crude protein and digestible energy of some alternative ingredients by Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. Acta Sci. 26 (3): 329-337

Pillay, T. V. R. and M. N. Kutty. 2005. Aquaculture Principles and Practices. 2nd ed. Blackwell Publishing. Ames, Iowa

Piedad-Pascual, F., R. M. Coloso, C. T. Tamse. 1983. Survival and some histological changes in *Penaeus monodon* Fabricius juveniles fed various carbohydrates. Aquaculture. 31 (2-4): 169-180.

Perez-Sanchez, T., I. Ruiz-Zarzuela, I. de Blas and J. L. Balcazar. 2014. Probiotics in aquaculture: a current assessment. Rev Aquac. 6 (3): 133-146.

Podder, R., S. Nath, B. K. Modak. 2020. An approach to measure the biomass of bloodworms (Diptera: Chironomidae) in different nutrients. Proc. Zool. Soc. 73: 95-99.

Pratiwy, F. M., T. K. Iskandar and Y. Dhahiyat. 2020. Replacement of soybean meal with leucaena leaf meal fermented by proteolytic bacteria in diets of Nile tilapia *(Oreochromis niloticus).* Int. j. fish. aquat. stud. 8 (1): 160-163.

Ramos, M. A., S. Batista, M. A. Pires, A. P. Silva, L. F. Pereira, M. J. Saavedra, R.O.A. Ozório and P. Rema. 2017. Dietary probiotic supplementation improves growth and the intestinal morphology of *Nile tilapia.* Animal. 11 (8): 1259-1269.

Riaz, M.N. 1997. Using extrusion to make floating and sinking fish feed: controlling the water stability of feed. Feed Management. 48 (1): 21-24.

Roslan, M. N., A. M., A. Estim, B. A. Venmathi Maran and S. Mustafa. 2021. Effects of Aquatic Plants on Nutrient Concentration in Water and Growth Performance of Fantail Goldfish in an Aquaculture System. Sustainability. 13: 11236

Santhanam, P. Pachiappan and A. Begum. 2019. A Method of Collection, Preservation and Identification of Marine Zooplankton. pp. 1-44. In: Santhanam, P., A. Begum and P. Pachiappan (eds). Basic and Applied Zooplankton Biology. Springer Nature. Gateway East, Singapore.

Santiago, C. B., M. B. Aldaba, M. A. Laron and O. S. Reyes. 1988. Reproductive performance and growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodstock fed diets containing Leucaena leucocephala leaf meal. Aquaculture. 70 (1-2): 53-61.

Selim, K. M. and R. M. Reda. 2015. Beta-glucans and mannan oligosaccharides enhance growth and immunity in *Nile Tilapia*. N. Am. J. Aquac. 77 (1): 22-30

Sharda, O. P. Sharma and V. P Saini. 2017. Replacement of fishmeal with soybean meal in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet. J. Entomol. Zool. 5 (4): 845-849

Sriherwanto, C., H. Rahmanisa, E. Yunita, I. Sujai and A. Nadaviana. 2021. Altering Physical Characteristics of Sinking Fish-Feed through Sub-Optimal Fermentation Using Tempeh Mould without Mechanical Extrusion. J. Phys. Conf. Ser. 1751: 012047

Soares, M., D. M. Fracalossi, L. E. L. de Freitas, M. S. Rodrigues, J. C. Redig, J. L. P Mouriño, W. Q. Seiffert and F. N. Vieira. 2015. Replacement of fish meal by protein soybean concentrate in practical diets for Pacific white shrimp. R. Bras. Zootec., 44 (10): 343-349

Somsueb, P. 1993. Aquafeeds and feeding strategies in Thailand. pp. 365-385. In: New, M. B., A. G. J. Tacon and I. Csavas (eds.). Farm-made Aquafeeds. FAO. Rome, Italy.

Song, S. K., B. R. Beck, D. Kim, J. Park, J. Kim, H. D. Kim and E. Ringø. 2014. Prebiotics as immunostimulants in aquaculture: A review. Fish Shellfish Immunol. 40 (1): 40-48

Songluk, K., U. Kanto, S. Juttupornpong and O. Jintasathaporn. 2010. Effect of cassava meal on growth performance and immunological system in white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). J. Agric. Res. Ext. 27 (3): 39-46.

Sower, S. A., C. B. Schreck and M. Evenson. 1983. Effects of steroids and steroid antagonists on growth, gonadal development, and RNA DNA ratios in juvenile steelhead trout. Aquaculture. 32 (3–4): 243-254

Tan, B., K. Mai, S. Zheng, Q. Zhou, L. Liu and Y. Yu. 2005. Replacement of fish meal by meat and bone meal in practical diets for the white shrimp *Litopenaeus vannamai* (Boone). Aquac. Res. 36 (5): 349-444.

Tacon, A. G. J. 1993. Feed ingredients for warmwater fish, fishmeal and other processed feedstuffs. FAO, Rome, Italy.

Tumuluru, J. S., C. C. Conner and A. N. Hoover. 2016. Method to produce durable pellets at lower Energy consumption using high moisture corn stover and a corn starch binder in a flat die pellet mill. J. Vis. Exp. 112: 54092.

Ubalua, A. O. and O. U. Ezeronye. 2008. Growth responses and nutritional evaluation of cassava peel based diet on tilapia (*Oreochromis niloticus*) fish fingerlings. J. Food Technol. 6 (5): 207-213.

Ufodike, E. B. C. and A. J. Matty. 1989. Effect of potato and maize meal on protein and Carbohydrate digestibility by rainbow trout. Prog. Fish. Cult. 51 (2): 113-114.

Veeramani, T., P. Santhanam, N. Manickam and C. Rajthilak. 2019. Introduction to Artemia Culture. pp. 209-224. In: Santhanam, P., A. Begum and P. Pachiappan (eds). Basic and Applied Zooplankton Biology. Springer Nature. Gateway East, Singapore.

Weerasingha, R., M. S. Kamarudin, M. M. A. Karim and M. F. S. Ismail. 2022. Replacing fish oil with crude palm oil in the diet of larval hybrid lemon fin barb (*Barbonymus gonionotus × Hypsibarbus wetmorei*). Aquac. Rep. 24: 101121

Wu, G. 2018. Principles of animal nutrition. Taylor & Francis. NY.

Wu, H. X., W. J. Li, C. J. Shan, Z. Y. Zhang, H. B. Lv, F. Qiao, Z. Y. Du and M. L. Zhang. 2021. Oligosaccharides improve the flesh quality and nutrition value of *Nile tilapia* fed with high carbohydrate diet. Food Chem.: Mol. Sci. 3: 100040

Xu, X., H. Yang, Z. Xu, X. Li and X. Leng. 2022. he comparison of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) fed trash fish and formula feeds: Growth, flesh quality and metabolomics. Front. Nutr. 9: 966248

Yang, Q. H., B. P. Tan, X. H. Dong, S. Y. Chi and H. Y. Liu. 2011. Replacement of fish meal with peanut meal in diets for white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone). Chinese J. Anim. Nutr., 23 (10): 1733-1744.

Ye, G., X. Donga, Q. Yanga, S. Chia, H. Liua, H. Zhangb, B. Tana and S. Zhanga. 2020. Dietary replacement of fish meal with peanut meal in juvenile hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus ×Epinephelus lanceolatus*): Growth performance, immune response and intestinal microbiota. Aquac. Rep. 17 (7): 100327

Yildirim-Aksoy, M., C. Lim, R. Helby and P. H. Klesius. 2009. Increasing fish oil levels in commercial diets influences hematological and immunological responses of Channel Catfish, *Ictalurus punctatus.* J. World Aquac. Soc. 40 (1): 76-86.

Yildirim, O., Ü. Acar, A. Turker and M. C. Sunar. 2014. Effects of Replacing Fish Meal with Peanut Meal (*Arachis hypogaea*) on Growth, Feed Utilization and Body Composition of Mozambique Tilapia Fries (*Oreochromis mossambicus*). Pak. J. Zool. 46 (2): 497-502.

Yong, S. T., M. Mardhati, I. J. Farahiyah, S. Noraini and H.K. Wong. 2018. Replacement of fishmeal in feather meal-based diet and its effects on tilapia growth performance and on water quality parameters. J. Trop. Agric. and Fd. Sc. 46 (1): 47 – 55.

Yue, Y. R., Y. J. Liu, L. X. Tian, L. Gan, H. J. Yang and G. Y. Liang. 2012. Effects of replacing fish meal with soybean meal and peanut meal on growth, feed utilization and haemolymph indexes for juvenile white shrimp *Litopenaeus vannamei,* Boone. Aquac. Res. 43 (11): 1687-1696.

Zhou, L., D. Han, X. Zhu, Y. Yang, J. Jin and S. Xie. 2016. Effects of total replacement of fish oil by pork lard or rapeseed oil and recovery by a fish oil finishing diet on growth, health and fish quality of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). Aquac. Res. 47 (9): 2961-2975

Zhang, F., L. Li, P. Li, X. Meng, X. Cui, Q. Ma, Y. Wei, M. Liang and H. Xu. 2023. Fish oil replacement by beef tallow in juvenile turbot diets: Effects on growth performance, body composition and volatile flavor compounds in the muscle. Aquaculture. 564: 739070

Zongjia J. Cheng, Z. J., K. C. Behnke and W. G. Dominy. 2002. Effect of feather meal on growth and body composition of the Juvenile Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei.* J. Appl. Aquac. 12 (1): 57-69.

Xia., Y., M. Wang, F. Gao, M. Lu and G. Chen. 2020. Effects of dietary probiotic supplementation on the growth, gut health and disease resistance of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Anim Nutr. 6 (1): 69-79.