บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีววิทยาบางประการของปลานิล

ปลานิลมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oreochromis niloticus* (Linn.) มีชื่อเรียกทั่วไปว่า Nile Tilapia จัดอยู่ในวงศ์ Cichlidae เป็นปลาน้ำจืดที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอาฟริกา พบทั่วไปตามแหล่งน้ำจืดของประเทศซูดาน, กาลิลี, จอร์แดน, อูกานดา, อิสราเอล และอเมริกาเหนือ (มานพและคณะ, 2536) รายงานว่าปลานิลได้ถูกนำเข้าสู่ประเทศไทยเป็นครั้งแรก เมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2508 โดยสมเด็จพระจักรพรรดิ์อากิฮิโตแห่งประเทศญี่ปุ่น ถวายแด่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช จำนวน 50 ตัว ปลานิล มีนิสัยชอบอยู่รวมกันเป็นฝูง ยกเว้นเวลาสืบพันธุ์ มีความอดทนและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี จากการศึกษาพบว่าปลานิลทนต่อความเค็มได้ถึง20 ส่วนในพัน ทนต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ได้ดีในช่วง 6.5-8.3 และสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ถึง 40 องศาเซลเซียส และเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แต่ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส พบว่าปลานิลปรับตัวและเจริญเติบโตได้ไม่ดีนัก ทั้งนี้เป็นเพราะถิ่นกำเนิดเดิมของปลาชนิดนี้ อยู่ในเขตร้อน (พายัพ, 2541) ปลานิลจัดจำแนกตามหลักอนุกรมวิธาน Nelson, 1994; Banks et al., 2003) ได้ดังนี้

Phylum Chordata

Subphylum Vertebrata (Craniata)

Superclass Osteichthyes

Class Actinopterygii

Subclass Neoterygii

Superorder Acanthopterygii

Order Perciformes

Suborder Labroidei

Family Cichlidae

Genus Oreochromis

Species niloticus (Linnaeus)

2.2 สัณฐานวิทยาของปลานิล

รูปร่างลักษณะของปลานิลคล้ายกับปลาหมอเทศแต่ลักษณะพิเศษของปลานิลมีดังนี้คือ ริมฝีปากบนและล่างเสมอกัน ที่บริเวณแก้มมีเกล็ด 4 แถว ตามลำตัวมีลายพาดขวางจำนวน 9-10 แถบ นอกจากนี้ลักษณะทั่วไปมีดังนี้ ครีบหลังมีเพียง 1 ครีบ ประกอบด้วยก้านครีบแข็งและก้านครีบอ่อนเป็นจำนวนมาก ครีบก้นประกอบด้วยก้านครีบแข็งและอ่อนเช่นกันมีเกล็ดตามแนวเส้นข้างตัว 33 เกล็ด ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาล ตรงกลางเกล็ดมีสีเข้ม ที่กระดูกแก้มมีมีจุดสีเข้มอยู่จุดหนึ่ง บริเวณส่วนอ่อนของครีบหลัง ครีบก้น และครีบหางนั้นจะมีจุดสีขาวและสีดำตัดขวาง คล้ายลายข้าวตอกอยู่โดยทั่วไป (มานพ และคณะ, 2536) เมื่อปลามีอายุได้ประมาณ 3 เดือนเศษ จะเริ่มมีลักษณะแตกต่างทางเพศ กล่าวคือปลาเพศผู้จะมีลำตัวเรียวยาว สีค่อนข้างเข้ม ลายบนลำตัวชัดเจนกว่า ปลาเพศเมีย บริเวณใต้คางและท้องจะมีสีแดงเข้มปรากฏให้เห็น ส่วนปลาเพศเมียจะมีลำตัวค่อนข้างป้อม สีซีดกว่า และมีสีเหลืองอ่อนบริเวณ ใต้คางและท้อง ลักษณะเพศ ตามปกติแล้วรูปร่างลักษณะภายนอกของปลานิลตัวผู้และตัวเมียจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก แต่จะสังเกตได้โดยการดูอวัยวะเพศที่บริเวณใกล้กับช่องทวาร ตัวผู้จะมีอวัยวะเพศลักษณะเรียวยื่นออกมา ส่วนตัวเมียจะมีลักษณะเป็นรูค่อนข้างใหญ่และกลม ขนาดของปลาที่ดูลักษณะเพศได้ชัดเจนนั้น ต้องมีขนาดยาวตั้งแต่ 10 เซนติเมตรขึ้นไป (Trewavas, 1983; Fishelson and Yaron, 1983; Keenleyside, 1991; อุทัยรัตน์, 2529; มานพ และคณะ, 2536; ศักดิ์ชัย, 2536; สุภาพร, 2538)

2.3 นิสัยการกินอาหารของปลานิล

ปลานิลเป็นปลาที่กินอาหารได้ทุกชนิด จัดเป็นปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์เป็นอาหาร (Omivorous) (Philippart and Ruwet, 1982) ดังนั้นปลาชนิดนี้จึงเป็นปลาที่ให้ผลผลิตสูง โดยเฉพาะพวกอาหารธรรมชาติที่มีอยู่ในบ่อ เช่น ไรน้ำ ตะไคร่น้ำ ตัวอ่อนของแมลงและสัตว์เล็กๆ ที่อยู่ในบ่อ ปลานิลเป็นปลาที่กินอาหารระหว่างกลางวัน และในเวลากลางคืนจะหยุดกินอาหาร ปลาจะกินอาหารได้ดี เมื่อมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสูงซึ่งจะเป็นช่วงเวลากลางวัน ดังนั้นส่วนใหญ่จึงควรให้อาหารในช่วงเวลาดังกล่าว ความถี่ในการให้อาหาร ปลานิลเป็นปลาที่ไม่มีกระเพาะอาหารจริงจึงสามารถกินอาหารได้ทีละน้อยและมีการย่อยอาหารที่ค่อนข้างช้า ปลานิลมีทางเดินอาหารยาวประมาณ 5-7 เท่าของลำตัว (Moriarty, 1973) มีประโยชน์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยและดูดซึมอาหาร ปลานิลสามารถย่อยโปรตีนจากสาหร่ายและแพลงก์ตอนในบ่อได้สูงถึง 68 เปอร์เซ็นต์ และ 65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (มานพ และคณะ, 2536) ถ้าต้องการให้ปลาโตเร็วควรให้อาหารสมทบ เช่น รำ ปลายข้าว กากถั่วเหลือง กากถั่วลิสง กากมะพร้าว แหนเป็ดและปลาป่น เป็นต้น เพื่อให้ปลาสามารถใช้ประโยชน์จากอาหารอย่างมีประสิทธิภาพจึงควรให้อาหารแต่น้อย

แต่ให้บ่อย ๆ โดยความถี่ที่เหมาะสมคือ ปริมาณ 4-5 ครั้งต่อวัน(มานพ และคณะ, 2536) จะช่วยเร่งการเจริญเติบโตและทำให้ผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์สูงสุด อัตราการให้อาหาร ปริมาณอาหารที่ให้ปลากินจะขึ้นอยู่กับขนาดของปลาและอุณหภูมิของน้ำ หากอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นจะทำให้อัตราการกินอาหารของปลาสูงขึ้นตามไปด้วย อุณหภูมิน้ำที่เหมาะสมประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส ควรให้อาหาร 20 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักของปลา สำหรับปลาขนาดเล็ก ในปลารุ่นอัตราการให้อาหารจะลดลงเหลือประมาณ 6-8 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับปลาขนาดใหญ่ อัตราการให้อาหารจะเหลือเพียงประมาณ 3-4 เปอร์เซ็นต์ (ยุพินท์, 2541)

2.4 การฟักไข่ และการอนุบาลลูกปลาหลังจากฟักเป็นตัว

ไข่ปลานิลจะฟักเป็นตัวภายใน 3 – 4 วัน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ ลูกปลาที่ฟักออกใหม่ในระยะแรก ควรอนุบาลในถาด ซึ่งมีขนาดกว้าง 25 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร และลึก 8 เซนติเมตร ข้างถาดเจาะรูสองแถวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 – 0.9 มิลลิเมตร เพื่อให้น้ำไหลผ่านและมีตะแกรงมุ้งเขียวกันเพื่อไม่ให้ลูกปลาไหลผ่านถาด ดังกล่าวจะเก็บกักน้ำในถาดให้มีความลึก 3 เซนติเมตร ปริมาตรน้ำในถาดประมาณ 2.5 ลิตร ลูกปลาที่ฟักออกใหม่ๆ จะรวมกันไว้ในถาด จะปล่อยลูกปลาในถาดซึ่งมีความหนาแน่น 5,000 – 12,000 ตัว อัตราการรอดของลูกปลาเฉลี่ยประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการไหลของน้ำ 3 – 4 ลิตร/นาที ระดับดังกล่าวนับว่ามีประสิทธิภาพดี และสามารถผลิตลูกปลาได้จำนวนมาก โดยใช้เนื้อที่น้อย สิ่งสำคัญก็คือ คุณสมบัติของน้ำที่ใช้และอัตราการไหลของน้ำที่ลงไปในถาดพร้อมกับให้อาหารลูกปลาประมาณ 4 – 8 ครั้ง/วัน (มานพ และคณะ, 2536; จารึก, 2547)

2.5 การอนุบาลลูกปลานิล

การอนุบาลลูกปลานิลขนาดต่ำกว่า 1 กรัม เพื่อให้ได้ขนาด 10 – 20 กรัม เพื่อนำไปเลี้ยงในบ่อเป็นสิ่งสำคัญยิ่งในการเลี้ยงปลาเชิงธุรกิจ ลูกปลานิลมักมีพฤติกรรมกินกันเอง ถ้าลูกปลามีขนาดต่างกันหรืออยู่ในสภาพขาดแคลนอาหาร การอนุบาลลูกปลาให้มีอัตรารอดตายสูง จำเป็นต้องมีการคัดขนาดลูกปลาให้เท่ากันก่อนการอนุบาล อีกทางหนึ่งคือการจัดการเพาะพันธุ์ให้ได้ลูกปลาขนาดเดียวกัน เมื่อถุงไข่แดงยุบตัวหมด ลูกปลาจะเริ่มว่ายน้ำและเริ่มกินอาหาร ดังนั้นอาหารที่ให้ควรมีขนาดเล็กและมีคุณค่าทางอาหารสูง การให้อาหาร 5 ครั้ง/วัน ลูกปลานิลมีอัตรารอดตายสูงกว่าการให้ 3 ครั้ง/วัน อาหารที่มีโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ ใช้อนุบาลลูกปลานิลให้เจริญเติบโตและมีอัตรารอดตายสูง และลูกปลานิลวัยอ่อนจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุด เมื่อให้อาหารโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ การผลิตลูกปลาในบ่อใหญ่ที่สำคัญคือ ลูกปลาจะเจริญเติบโตมีขนาดตัวแตกต่างกัน และตัวที่มีขนาด

ใหญ่ในครอกเดียวกันจะเริ่มมีนิสัยการกินกันเอง ทำให้ผลิตลูกปลาได้น้อยและต้องล้างบ่ออยู่สม่ำเสมอ การกินกันเองของลูกปลาจะเป็นปัญหาสำคัญ เมื่อเริ่มให้อาหารและจะผกผันเมื่อให้อาหารลูกปลามากขึ้น การกินกันเองจะน้อยลง สาเหตุจากการกินกันเองจะทำให้อัตราการตายสูง 10 – 35 เปอร์เซ็นต์ (มานพ และคณะ, 2536) ของลูกปลาทั้งหมด การอนุบาลลูกปลานิลภายหลังที่รวบรวมจากบ่อเพาะพันธุ์สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1. อนุบาลในบ่อดิน บ่อดินควรมีขนาดประมาณ 200 ตารางเมตร (10 x 20 x 1 เมตร) เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อสะดวกในการเก็บเกี่ยวผลผลิต บ่ออนุบาลควรมีหลายบ่อเพื่อจะได้ปล่อยลูกปลาที่มีขนาดเดียวกัน การเตรียมบ่อควรเตรียมล่วงหน้าประมาณ 1 สัปดาห์ บ่อขนาดดังกล่าวสามารถปล่อยลูกปลาขนาด 1 – 2 เซนติเมตร ลงอนุบาลในอัตรา 250 ตัว/ตารางเมตร สังเกตความอุดมสมบูรณ์ของอาหารธรรมชาติจากสีของน้ำ ซึ่งควรจะเป็นสีเขียวอ่อน หากอาหารธรรมชาติไม่พอเพียงควรเติมปุ๋ย และให้อาหารสมทบ เช่น รำละเอียดหรือกากถั่วผสมปลาป่นฯลฯ วันละ 2 – 3 ครั้ง ระยะเวลาอนุบาล 5 – 6 สัปดาห์ จะได้ลูกปลาขนาด 3 – 5 เซนติเมตร (อำพล และอารีย์, 2532; ยุพินท์, 2541)

2. อนุบาลในบ่อซีเมนต์ บ่อจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือกลมก็ได้ ความลึกประมาณ 1 เมตร พื้นที่ผิวน้ำตั้งแต่ 10 ตารางเมตร ขึ้นไป หรือจะใช้บ่อซีเมนต์เพาะพันธุ์เดิม แล้วตีอวนจับพ่อแม่ออกก็ได้ อัตราปล่อยลูกปลาวัยอ่อนลงอนุบาล 300 ตัว/ตารางเมตร ใช้เครื่องเพิ่มอากาศและเปลี่ยนถ่ายน้ำประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ทุกสัปดาห์ ให้อาหารสมทบวันละ 3 ครั้ง ระยะเวลา 4 – 6 สัปดาห์ จะได้ลูกปลาขนาด 3 – 5 เซนติเมตร (อำพล และอารีย์, 2532; ยุพินท์, 2541) ในประเทศไต้หวันอนุบาลในบ่อซีเมนต์ ขนาด 30 – 50 ตารางเมตร ลึก 60 – 70 เซนติเมตร อนุบาลในอัตรา 1,000 ตัว/ตารางเมตร ให้อากาศและเปลี่ยนถ่ายน้ำประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ทุกวัน ให้อาหารผสมวันละ 5 ครั้ง ระยะเวลาประมาณ 30 วัน จะได้ลูกปลาขนาด 1.0 กรัม

3. อนุบาลในกระชัง ลักษณะของกระชังที่นิยมใช้ อนุบาลลูกปลานิล มักทำด้วยตาข่ายไนล่อนหรือที่ชาวบ้านเรียกว่ามุ้งเขียว ขนาดของกระชังนั้นแล้วแต่พื้นที่ของบ่อที่จะผูกแขวนกระชัง ซึ่งน้ำต้องมีคุณสมบัติดีสามารถเปลี่ยนถ่ายน้ำได้เป็นประจำนอกจากนี้ยังต้องมีเครื่องช่วยเพิ่มอากาศแก่ลูกปลา โดยปกติทั่วไปนิยมใช้กระชัง ขนาด 3 x 3 x 2 เมตร ซึ่งสามารถอนุบาลลูกปลานิลได้ 3,000 – 5,000 ตัว (300 – 500 ตัว/ตารางเมตร) ให้อาหารผสมละเอียดโปรตีนสูง 30 – 40 เปอร์เซ็นต์ โดยให้กินอย่างน้อยวันละ 3 – 4 ครั้ง ใช้ระยะเวลาในการอนุบาล 4 – 5 สัปดาห์ จะได้ลูกปลาที่มีขนาด 3 – 5 เซนติเมตร สามารถนำไปปล่อยในบ่อเลี้ยงได้ต่อไป (อำพลและอารีย์, 2532)

ในประเทศฟิลิปปินส์ จะอนุบาลในอัตรา 500 – 1,000 ตัว/ตรม. ให้อาหารผสมปลาป่น 40 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับรำข้าว 60 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 – 2 สัปดาห์ แล้วนำมาอนุบาลต่อในบ่อดิน 100

ตารางเมตร ในอัตรา 200 – 400 ตัว/ตารางเมตร ให้อาหารผสมเป็นเวลา 1–2 สัปดาห์ จะได้ขนาด 3 – 4 เซนติเมตร (Guerrero, 1985)

ในกรณีการอนุบาลลูกปลานิลในกระชังที่ขึงในบ่อดิน เพื่อให้ฮอร์โมนแปลงเพศ โดยใช้ระดับน้ำลึกประมาณ 50 – 60 เซนติเมตร ปล่อยในอัตรา 5,000 – 7,000 ตัว/ตารางเมตร ให้อาหารผสมฮอร์โมน 3 – 4 อาทิตย์ (มานพ และคณะ, 2536)

ในปัจจุบันการอนุบาลลูกปลานิลมักนิยมใช้กระชังกันเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากมีข้อดี คือ สามารถควบคุมและดูแลรักษาง่ายกว่าวิธีอื่นๆ กระชังสามารถผูกแขวนที่ใดก็ได้ และสามารถทำการเคลื่อนย้ายได้ อีกทั้งพบว่าลูกปลานิลสามารถอนุบาลในอัตราหนาแน่นได้ดีในกระชัง เนื่องจากลูกปลานิลมีการรวมกลุ่ม (schooling) และมีการแย่งชิงกันกินอาหาร หากการอนุบาลไม่จำกัดปริมาณอาหาร หรือพยายามให้บ่อยครั้ง และให้กินจนเพียงพอต่อความต้องการของลูกปลาแล้ว จะสามารถย่นระยะเวลาในการอนุบาล นอกจากนี้ลูกปลาที่อนุบาลอย่างหนาแน่นในกระชังจะมีขนาดเท่า ๆ กันคือ มีความแตกต่างของขนาดน้อยกว่าลูกปลาที่อนุบาลในอัตราที่ต่ำ (ยุพินท์, 2541)

2.6 คุณสมบัติของน้ำในการเลี้ยงปลานิล

2.6.1 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

น้ำที่เหมาะต่อการเลี้ยงปลาไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงของ pH เกินกว่า 2 หน่วยในรอบวัน ในช่วงพีเอช 4 – 6 และ 9 – 11 ปลาจะเจริญเติบโตช้าและอ่อนแอ โดยทั่วไปปลานิลสามารถอาศัยในระดับน้ำที่มีพีเอชตั้งแต่ 7.2 – 8.3 หรือในช่วงเช้า pH 7 และช่วงบ่าย pH 10 ก็สามารถอาศัยอยู่ได้ (เกรียงศักดิ์, 2539) การพิจารณาถึงผลของพีเอชต่อปลานั้น นอกจากผลโดยตรงแล้วจะต้องพิจารณาถึงผลทางอ้อมควบคู่ไปด้วย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำจะไปมีผลต่อความเป็นพิษของสารพิษชนิดอื่นๆ ด้วย เช่น แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Alabaster and Lioyd, 1982; ศักดิ์ชัย,2536)

2.6.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen)

ปริมาณออกซิเจนในน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 5 มิลลิกรัม/ลิตร จนถึงจุดอิ่มตัว ถ้าปริมาณออกซิเจนต่ำอยู่เป็นระยะเวลานานจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตไม่ดี และส่วนมากถ้าต่ำกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร สัตว์น้ำจะตายภายในไม่กี่ชั่วโมง ปลานิลสามารถทนต่อสภาพน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำได้ดีตั้งแต่ 0–0.4 ppm หรือโดยเฉพาะ ถ้าต่ำกว่า 0.8 ppm ปลาจะลอยหัวเมื่อปลานิลอยู่ในสภาพดังกล่าวก็จะขึ้นมาใช้ออกซิเจนจากผิวน้ำและอากาศ ทำให้เกิดอาการเครียดและลดการเจริญเติบโต ดังนั้นบริเวณผิวน้ำปริมาณออกซิเจนไม่ควรต่ำกว่า 0.3 ppm (ศักดิ์ชัย, 2536; Popma and Michael, 1999)

2.6.3 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของน้ำจะมีผลต่อขบวนการต่าง ๆ ภายในร่างกายของปลาเป็นอย่างมาก เช่น การย่อยอาหาร การเคลื่อนไหว การกินอาหาร การหายใจ การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังมีผลต่อปฏิกิริยาย่อยสลายอินทรีย์สารของแบคทีเรียในน้ำ ซึ่งทั้งหมดนี้จะมีผลโดยตรงทำให้ผลผลิตของปลาสูงขึ้น โดยปกติปลาในเขตร้อนจะอาศัยอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิระหว่าง 25 – 32 องศาเซลเซียส แต่ปลาไม่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ ดังนั้นจึงไม่ควรนำปลาจากที่หนึ่งไปปล่อยในน้ำที่อุณหภูมิสูงกว่าโดยปกติการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำต้องกระทำอย่างช้า ๆ และไม่ควรเกิน 3 องศาเซลเซียส ในเวลาสั้นๆ (ศักดิ์ชัย, 2536; นวลมณี, 2548)

ปลานิลทนต่ออุณหภูมิได้ในช่วงกว้าง ตั้งแต่ 21.1 – 42.0 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิน้ำต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 42 องศาเซลเซียส ปลาจะอยู่ได้ไม่นาน และทำให้ปลาตายได้ ปลานิลจะไม่กินอาหารและไม่เจริญเติบโตเมื่ออุณหภูมิน้ำต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส และจะไม่วางไข่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมในการวางไข่อยู่ระหว่าง 26 – 29 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 19 – 28 องศาเซลเซียส (นวลมณี, 2548)

2.6.4 ความเค็ม (Salinity)

ปลานิลแต่ละชนิดจะมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของความเค็มต่างกัน ปลานิลลูกผสม (*Oreochromis niloticus* X *Oreochromis aureus*) สามารถอยู่ได้ในระดับความเค็ม 6 ppt แต่หากระดับความเค็มเปลี่ยนไปเป็น 16 ppt ก็จะมีอัตรารอดต่ำ(Popma and Michael, 1999)

ระดับความเค็ม 10 ppt อัตราการเจริญเติบโตของปลานิลจะดีกว่าระดับความเค็ม 1 ppt เนื่องจากระดับความเค็มเหมาะสมทำให้มีการกินอาหารได้เพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อกลับต่ำลง เมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้น ฉะนั้นในการเลี้ยงปลานิลในระดับความเค็มที่แตกต่างกัน จำเป็นต้องศึกษาปัจจัยอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ, ช่วงแสง, อัตราการปล่อย ฯลฯ (Payne and Collinson , 1983)

2.6.5 สารประกอบไนโตรเจน (Nitrogen Compound)

2.6.5.1 แอมโมเนีย เกิดจากการขับถ่ายของเสียจากปลาที่เลี้ยงและจากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยแบคทีเรีย แอมโมเนียเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ แอมโมเนียที่พบในน้ำอยู่ในรูปของแอมโมเนียมอิออน ($NH4^+$) แอมโมเนียที่อยู่ในรูปของ NH_3 จะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากกว่า NH_4^+ แอมโมเนียทั้งสองรูปนี้จะเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ ขึ้นอยู่กับพีเอช (pH) ของน้ำ ถ้า pH ของน้ำสูงขึ้น อัตราส่วนของแอมโมเนียในรูป NH_3 จะสูงขึ้น ทำให้แอมโมเนียมีพิษมาก แต่ถ้า pH ต่ำลงแอมโมเนียในรูป NH_3 จะลดลงทำให้ความเป็นพิษต่ำลง (ประเทือง, 2534)

เมื่อน้ำมี NH_3 สูงขึ้น ซึ่งแอมโมเนียสามารถซึมผ่านผนังของเหงือกได้อย่างรวดเร็ว จะทำให้ฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ของเลือดไม่สามารถรวมตัวกับออกซิเจนได้ พิษของแอมโมเนียจะรุนแรงยิ่งขึ้นถ้าอยู่ในสภาวะออกซิเจนต่ำ อุณหภูมิสูง ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) สูง และความเค็มของน้ำสูงขึ้นระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่จะไม่เป็นอันตรายต่อปลาไม่ควรเกิน 0.02 ppm (วัชรินทร์ และไพบูลย์, 2545)

2.6.5.2 ไนไตรท์ แอมโมเนียที่อยู่ในน้ำจะเปลี่ยนเป็นไนไตรท์และไนเตรต โดยขบวนการ ออกซิเดชั่นของแบคทีเรีย การเกิดไนโตรท์อาจเกิดจากการย่อยสลายของแพลงตอนพืช ในกรณีนี้แอมโมเนียจะไม่ถูกนำไปใช้จึงเกิดเป็นไนไตรท์และไนเตรต ในระยะแรกของการตากบ่อเมื่อใส่ปูนขาวจะเกิดแอมโมเนียและออกซิเดชั่นมาเป็นไนไตรท์และไนเตรตจำนวนมาก ไนไตรท์เป็นพิษต่อปลาเนื่องจากการที่ไนไตรท์ไปออกซิไดซ์เหล็ก ซึ่งเป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบินในเลือดปลา ทำให้กลายเป็นเมทธีโมโกลบิน ซึ่งไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้ ทำให้เกิดการตายเนื่องจากขาดออกซิเจน การลดความเป็นพิษของแอมโมเนียและไนไตรท์ในบ่อเลี้ยงปลาโดยใช้เกลือแกง 600 – 800 กก./ไร่ หรือจะใช้ทีละน้อยประมาณ 200 – 250 กิโลกรัม/ไร่ ทุกๆ 1 – 2 อาทิตย์ (เกรียงศักดิ์, 2539)

2.6.6 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogensulfide)

โดยทั่ว ๆ ไปมักเรียกว่าก๊าซไข่เน่า เกิดจากการหมักหมมและการเน่าสลายของอินทรีย์สารก้นบ่อในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ระดับความเข้มข้นของก๊าซไข่เน่า (H_2S) ไม่ควรเกิน 0.002 ppm. การลดความเป็นพิษใช้เกลือแกง 300 – 400 กิโลกรัม/ไร่ หรือปูนขาว 30 กรัม/น้ำ 1 ตัน หว่านให้ทั่วบ่อเลี้ยงปลา (ศักดิ์ชัย, 2536)

2.6.7 คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide)

ส่วนใหญ่คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำเกิดจากการเน่าสลายของสารอินทรีย์ และการหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และได้จากการแพร่อากาศเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สัตว์น้ำสามารถทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นสูง ๆ ได้ ถ้าปริมาณออกซิเจนในน้ำสูงพอ แต่ในสภาวะที่มีออกซิเจนในน้ำน้อย คาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ โดยจะไปยับยั้งการรับออกซิเจนของเลือด โดยปกติคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง แต่ถ้าอัตราการสังเคราะห์แสงน้อยกว่าอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ก็จะเกิดการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ ปกติปลาจะหลีกเลี่ยงไม่อยู่ในน้ำที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินกว่า 5 ppm. (ศักดิ์ชัย, 2539; เพ็ญพรรณ, 2544; นวลมณี, 2548)

2.6.8 แพลงตอนพืช (Phytoplankton)

ปริมาณแพลงตอน มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของน้ำอย่างมาก โดยเฉพาะแพลงตอนพืชจะดึงแอมโมเนียจากน้ำไปใช้ ทำให้ปริมาณแอมโมเนียในน้ำลดลง เมื่อสังเคราะห์แสงแพลงตอนพืชจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปจากน้ำ และปล่อยก๊าซออกซิเจนให้แก่น้ำ แต่ถ้ามีแพลงตอนมากเกินไป อัตราการสังเคราะห์แสงและการหายใจที่สูง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในช่วงกว้าง ซึ่งจะทำให้เป็นอันตรายต่อปลาได้ และเมื่อแพลงตอนพืชที่มีเป็นจำนวนมากตายลงจะเน่าสลาย ทำให้เกิดปัญหาการขาดออกซิเจนและปล่อยแอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ซึ่งจะเป็นอันตรายกับปลาในบ่อ การควบคุมความหนาแน่นของแพลงตอนพืชให้เหมาะสม โดยการควบคุมค่าความขุ่นใสที่วัดด้วย Secchi disc ให้อยู่ระหว่าง 30 – 60 เซนติเมตร (ศักดิ์ชัย, 2536)

2.7 ความต้องการระดับโปรตีน

ปลานิลต้องการโปรตีนจากสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างเนื้อ โดยมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ ถึง 60 เปอร์เซ็นต์(น้ำหนักแห้ง) ความต้องการโปรตีนของปลาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ที่สำคัญได้แก่ ขนาดหรืออายุของปลา คุณภาพของโปรตีนในอาหาร และระดับพลังงานในอาหาร (เวียง, 2542) ลูกปลานิลขนาดเล็กต้องการโปรตีนสูง ปลานิลซึ่งมีขนาดระหว่าง 1–10 กรัม ต้องการโปรตีนในอาหารระหว่าง 34 – 36 เปอร์เซ็นต์ เพื่อการเจริญเติบโตสูงสุด (Webster and Chhorn, 2002) ขนาดระหว่าง 3.2–3.7 กรัม ต้องการโปรตีนระหว่าง 28 – 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปลามีขนาดน้ำหนักกว่า 100 กรัมความต้องการโปรตีนในอาหาร จะลดลงเหลือ 20 – 25 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะปลานิลที่ขุนไว้เพื่อรอการจับ การให้อาหารที่มีโปรตีนเพียง 20 เปอร์เซ็นต์ จัดว่าเพียงพอต่อความต้องการของปลา (Al Hafedh, 1999)

คุณภาพของโปรตีนซึ่งโดยการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นที่ปลาต้องการกับปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นที่มีจริงในอาหารจะเป็นตัวกำหนดความต้องการโปรตีนในอาหารปลานิลได้อีกทางหนึ่ง ปลานิลต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็น ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับปลาน้ำจืดชนิดอื่นๆ ปริมาณโปรตีนที่ให้กรดอะมิโนที่จำเป็นเพียงพอต่อความต้องการของปลานิล จะเป็นระดับโปรตีนที่เหมาะสมสำหรับปลานิล หากปลานิลได้รับกรดอะมิโนที่จำเป็นตัวหนึ่งใดต่ำกว่าความต้องการ การเจริญเติบโตจะช้าลงอย่างเห็นได้ชัดเจน เพราะโปรตีนในอาหารจะไม่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ เพื่อการเจริญเติบโตอย่างเต็มที่ตัวอย่างเช่น อาหารปลานิลที่มีโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ แต่มีกรดอะมิโนไลซีนเพียง 2.56 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนในขณะที่ปลานิลต้องการกรดอะมิโนไลซีนถึง 5.12 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีน (De Silva and Anderson,1995; Pond, 1995) ดังนั้นไลซีนใน

อาหารจึงมีน้อยกว่าความต้องการของปลาถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้โปรตีนในอาหารถูกนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโตเพียงครึ่งเดียว อีกครึ่งหนึ่งจะถูกเผาผลาญเป็นพลังงาน ปลานิลขนาด 1 กรัม ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีโปรตีนเพียง 26 เปอร์เซ็นต์ แต่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วนตามความต้องการของปลา และมีพลังงานสูง การเจริญเติบโตและมีอัตราแลกเนื้อดีเท่ากับอาหารที่มีโปรตีน 33 เปอร์เซ็นต์ (วีระพงศ์, 2536)

พลังงานในอาหารมีผลต่อความต้องการโปรตีนของปลานิลอาหารปลานิลที่ดี ควรมีพลังงานระหว่าง 3,000–3,500 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม พลังงานดังกล่าวเป็นผลรวมของพลังงานโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต อาหารที่มีพลังงานไม่เพียงพอทำให้ปลาเจริญเติบโตช้า ในอาหารที่มีพลังงานเพียงพอแต่ว่ามีพลังงานจากไขมันและคาร์โบไฮเดรตไม่สูงพอ ปลาก็จะใช้พลังงานบางส่วนจากโปรตีน ทำให้โปรตีนในอาหารนั้นสูงเกินกว่าที่จำเป็น ปลานิลขนาด 1 – 25 กรัม ต้องการโปรตีนในอาหารเพียง 27 เปอร์เซ็นต์ ถ้าอาหารนั้นมีพลังงานเท่ากับ 3,300 กิโลแคลอรี่ /กิโลกรัม (Shepherd and Bromage, 1989)

ประเสริฐ และคณะ (2525) กล่าวว่า ปลามีความสามารถในการใช้โปรตีนได้อย่างจำกัด ปริมาณโปรตีนที่มีมากเกินความจำเป็น จะถูกเก็บไว้ในรูปคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ซึ่งปลาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ถ้าอาหารมีพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตไม่เพียงพอกับความต้องการของสัตว์น้ำ แม้จะมีโปรตีนในปริมาณที่สูงเกินความต้องการก็ไม่ส่งผลให้สัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตได้ดีเท่าที่ควร ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนถูกเปลี่ยนสภาพให้เป็นพลังงานเสริมพวกคาร์โบไฮเดรตและไขมัน

Wee and Shu (1989) ทดลองเลี้ยงปลานิลแดง โดยใช้อาหารที่มีระดับโปรตีน35 เปอร์เซ็นต์ และใส่แป้งมันสำปะหลัง ในสูตรอาหาร 4 ระดับ คือ 20, 25, 30 และ 35 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับชุดควบคุมการทดลองที่ไม่ใส่แป้งมันสำปะหลัง ทำการทดลอง 98 วัน พบว่าการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหารจะดีขึ้นเมื่อระดับพลังงาน (คาร์โบไฮเดรต) ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปลานิลแดงมีการสะสมไขมันเพิ่มขึ้น และพบว่าอาหารที่โปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์ และระดับคาร์โบไฮเดรต (แป้งมันสำปะหลัง) 30 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปลานิลแดงมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด

จากการศึกษาของ Santiago *et al.*(1982) ซึ่งอ้างโดยวีระพงศ์(2536) พบว่าแหล่งโปรตีนของอาหารปลาถือว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา กล่าวคือ ปลาจะเจริญเติบโตดีต้องได้รับโปรตีนที่มีคุณภาพดีหรือมีกรดอะมิโนครบถ้วนทั้งคุณภาพและปริมาณ นอกจากนี้ยังพบว่าความต้องการโปรตีนของปลานิลอยู่ที่ระดับ 35 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้แหล่งโปรตีนจากเคซีน ซึ่งสอดคล้องกับ Mc Googan (2000) กล่าวว่า อาหารโปรตีนสูงจะส่งผลทำให้สัตว์น้ำหลายชนิดมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงขึ้น และพบว่าอาหารที่มีพลังงานสูง จะทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารและการเจริญเติบโตดีขึ้นซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักจะมีการเพิ่มสารอาหารพวกไขมันเข้าไปในสูตร

อาหาร เนื่องจากไขมันมีพลังงานสูง สัตว์น้ำสามารถนำไปใช้ได้ดี ซึ่งได้มีการทดลองในปลาหลายชนิด ที่แสดงให้เห็นถึงอัตราการเจริญเติบโตที่สูงขึ้น เมื่อมีการเพิ่มระดับโปรตีนและระดับไขมันควบคู่กัน และเสริมไปในอาหาร เช่น ในสูตรอาหารลูกปลากะพงขาว, ลูกปลานิลแดง

De Silva *et al* (1991) กล่าวว่าโปรตีนที่ปลากินเข้าไปจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน ซึ่งจะทำให้ได้กรดอะมิโนอิสระ (amino acid) ที่พร้อมจะถูกดูดซึมผ่านทางท่อทางเดินอาหารไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย เพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วปลาและสัตว์น้ำจะมีความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย (essential amino acid; EAA) ซึ่งร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นมาได้ หรือสังเคราะห์ได้ในปริมาณที่น้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย จำเป็นต้องได้รับจากสารอาหารที่กินเข้าไปเท่านั้น ซึ่งหากได้รับไม่ครบทั้งคุณภาพและปริมาณ จะส่งผลทำให้การเจริญเติบโตช้าลง เบื่ออาหาร และการใช้โปรตีนมีประสิทธิภาพลดลง โดยจากการศึกษาพบว่าปลาและสัตว์น้ำมีความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย 10 ชนิดได้แก่ Arginine, Histidine, Isoleucine, Leucine, Lysine, Methionine, Phenylalanine, Threonine, Tryptophan และ Valine (De Silva and Anderson., 1995; Pond *et al*, 1995))

2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการโปรตีนของปลา

2.8.1 ขนาดปลา (size)

โดยทั่วไปความต้องการโปรตีนของปลามีค่าลดลงเมื่อปลามีขนาด หรืออายุมากขึ้น เพราะปลาที่มีขนาดใหญ่จะมีอัตราการเจริญเติบโตช้าลง เนื่องจากการสังเคราะห์โปรตีนในร่างกายจะต่ำกว่าปลาขนาดเล็ก จึงทำให้ปลาขนาดใหญ่มีความต้องการโปรตีนน้อยลง (ประเสริฐ และคณะ, 2525) ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความต้องการเปอร์เซ็นต์โปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตของปลาชนิดต่าง ๆ

ชนิดปลา	วัยอ่อน	ขนาดเล็ก	ขนาดโต
ปลาเรนโบว์เทร้า	45 – 55	28 – 50	35 – 40
ปลาไหล	50 – 56	45 – 50	-
ปลาไน	43 – 47	37 – 42	28 – 32
ปลานิล	35 – 40	28 – 35	20 – 30
ปลาเชลเนลแคทฟิช	36 – 40	25 – 36	26 – 34

ที่มา : เวียง (2542)

2.8.2 อุณหภูมิ (temperature)

ความต้องการปริมาณโปรตีนของปลามีมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิน้ำสูงขึ้น เช่น ปลาแซลมอน ที่เลี้ยงในอุณหภูมิ 8 และ 15 องศาเซลเซียส มีความต้องการโปรตีนเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ และ 55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Duston *et al*, 2004) แต่ก็พบว่าปลาบางชนิดเมื่อ อุณภูมิของน้ำสูงขึ้น ก็ยังมีความต้องการปริมาณโปรตีนในอัตราที่เท่าเดิม สาเหตุที่ทำให้อุณภูมิของน้ำมีผลต่อความต้องการโปรตีนของปลาเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูง จะทำให้ปลามีเมตตาบอลิซึมสูงขึ้นด้วย

2.8.3 คุณภาพโปรตีน (quality of protein)

แหล่งของโปรตีนที่ใช้เป็นอาหารทดสอบในสูตรอาหาร วัตถุดิบแต่ละชนิด ย่อมมีองค์ประกอบของสารอาหารที่แตกต่างกัน ทั้งปริมาณ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน แร่ธาตุ วิตามิน กรดอะมีโนต่างๆ ทำให้วัตถุดิบมีคุณภาพที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะปริมาณกรดอะมีโน ที่มีในวัตถุดิบอาหาร นับว่ามีความสำคัญมากต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ เพราะถึงแม้ว่าปลาได้รับอาหารที่มีปริมาณโปรตีนที่เท่ากัน แต่หากมีกรดอะมีโนที่แตกต่างกัน หรือไม่พอเพียงในสูตรอาหาร ก็ย่อมทำให้การเจริญเติบโตของปลาแตกต่างกัน ดังนั้นปลาจะเจริญเติบโตได้ดีต้องได้รับโปรตีนที่มีคุณภาพดี และมีกรดอะมีโนครบถ้วนทั้งคุณภาพและปริมาณ (Shepherd and Bromage, 1989; Ogunji *et al*, 2002)

2.8.4 ระดับพลังงานในอาหาร (non protein energy)

ในการประเมินคุณภาพอาหารของสัตว์น้ำผู้เลี้ยงมักใช้ค่าการเจริญเติบโต (growth) อัตราการแลกเนื้อ (feed conversion ratio) และอัตราการรอดตาย (survival rate) เป็นมาตรฐานในการพิจารณา ทั้งนี้เพื่อจุดมุ่งหมายล้วนแต่ต้องการให้ผลผลิตของสัตว์น้ำออกมามากที่สุด โดยใช้อาหารที่ใช้เลี้ยงน้อยที่สุด ค่าการเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการรอดตาย จะมีประโยชน์ต่อผู้เลี้ยงสัตว์น้ำมากในการใช้เป็นข้อมูลเพื่อวางแผนจัดการเรื่องอาหารสัตว์น้ำ ผลของอาหารที่ทำให้สัตว์น้ำมีน้ำหนักเพิ่มไม่จำเป็นเสมอไปว่าสัตว์น้ำนั้นมีค่าโปรตีนสูง ทั้งนี้เพราะไขมันอาจมีส่วนทำให้น้ำหนักเพิ่ม จากการศึกษาของมหาวิทยาลัย Auburn (อ้างโดย วิมล, 2536) ในปลา Channel Catfish ที่เลี้ยงด้วยอาหาร 5 สูตร ที่มีระดับโปรตีนเท่ากันคือ 27 เปอร์เซ็นต์ แต่มีระดับพลังงานต่างกัน 2.2-4.6 กิโลแคลอรี่/กรัม พบว่าอาหารที่มีระดับพลังงานสูงทำให้ปลามีน้ำหนักเพิ่มมากกว่าอาหารที่มีระดับพลังงานต่ำ

2.8.5 อัตราการให้อาหาร (feeding rate)

เนื่องจากการประเมินความต้องการโปรตีนของปลา สามารถทราบได้จากอัตราการเจริญเติบโตเมื่อปลาได้รับอาหารในปริมาณพอดีกับความต้องการ ดังนั้นถ้าปลาได้อาหารน้อย

เกินไปหรือต่ำกว่าความต้องการจะทำให้ปลาหิวและปลาจะนำโปรตีนมาใช้เป็นพลังงานมากกว่านำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต จึงมีผลทำให้การประเมินความต้องการโปรตีนมีค่าผิดไปจากความจริง การศึกษาความต้องการโปรตีนของสัตว์บกทำได้ง่ายกว่าสัตว์น้ำ เพราะสามารทราบปริมาณอาหารที่เหลือหรือปริมาณที่กินเข้าไป แต่ทว่าปลาอยู่ในน้ำมีความยุ่งยากในการให้อาหาร ซึ่งนอกจากปลาแต่ละชนิดจะมีพฤติกรรมการกินอาหารที่แตกต่างกันแล้ว ยังพบว่าถ้าให้อาหารน้อยไปก็จะโตช้า แต่ถ้าให้มากไปก็จะละลายน้ำ และไม่ทราบปริมาณอาหารแท้จริงที่กินเข้าไป นักโภชนาการอาหารปลาส่วนมากจะให้อาหารทดสอบแก่ปลา โดยมีวิธีการให้อาหารแตกต่างกันไป เช่น ให้อาหารปริมาณคงที่ (fixed feeding rate) หรือให้ปริมาณที่ปลากินอิ่ม (satiation) การให้อาหารปริมาณคงที่มีความสะดวกรวดเร็ว แต่อาจมีผลต่อความต้องการโปรตีนของปลาได้ ถ้าให้อาหารน้อยเกินไป Ogino (1980) รายงานว่า ปลาไน และปลาเรนโบว์เทร้า มีความต้องการโปรตีนลดลงจาก 60 – 65 เปอร์เซ็นต์ เป็น 30 – 32 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออัตราการให้อาหารเพิ่มขึ้นจาก 2 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัว/วันเป็น 4 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัว/วัน สาเหตุดังกล่าวเกิดจากความสัมพันธ์ของปริมาณโปรตีนที่ปลาได้รับ (protein intake) และความต้องการโปรตีนของปลากล่าวคือ ในสภาวะที่ได้อาหารปริมาณคงที่ ปลาที่ได้รับอาหารปริมาณน้อย (2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว/วัน) จะได้รับปริมาณโปรตีนพอดีกับความต้องการก็ต่อเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีปริมาณโปรตีนสูงเท่านั้น ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารปริมาณมาก (4 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว/วัน) สามารถได้รับปริมาณโปรตีนเพียงพอความต้องการจากอาหารที่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า แนวทางแก้ปัญหาดังกล่าว จึงควรเพิ่มจำนวนครั้งในการให้อาหารให้มากขึ้นหรือบ่อยครั้งขึ้น เพื่อให้ปลาได้ปริมาณโปรตีนมากขึ้นในสภาวะที่ความจุของกระเพาะอาหารมีจำกัด ซึ่งจะทำให้ความต้องการโปรตีนของปลามีค่าลดลงและตรงกับสภาพที่เป็นจริง สำหรับการให้อาหารในปริมาณที่ปลากินอิ่ม มีข้อเสียที่ใช้ระยะเวลาในการให้อาหารนาน เนื่องจากต้องให้อาหารช้าๆ และจะหยุดให้อาหารเมื่อปลาหยุดกินอาหาร แต่วิธีนี้ก็ทำให้ปลาได้รับปริมาณอาหารพอดีความต้องการ ซึ่งนับว่าเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมในการศึกษาความต้องการโปรตีนของปลา

2.9 ความต้องการไขมัน

สูตรอาหารโดยทั่วไปส่วนใหญ่มีไขมันอยู่ระหว่าง 5-15 เปอร์เซ็นต์ (วีระพงศ์, 2536) ถ้าปลานิลได้รับอาหารที่มีไขมันสูงเป็นเวลานาน จะทำให้ปลาเกิดความเครียด และง่ายต่อการเป็นโรคหรือตายเพราะโรคตับ กรดไขมันจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและเป็นโครงสร้างของเซลล์ ปลานิลต้องการ กรดไขมันจำพวก linoleic ซึ่งมีมากในน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด กรดไขมันlinoleic

ในปริมาณ 0.5 – 1.0 เปอร์เซ็นต์ จัดว่าเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโต และป้องกันโรคขาดสารอาหารของปลานิล (ประเสริฐ และคณะ, 2525)

ปริมาณไขมันในอาหาร

ปริมาณไขมันในอาหารปลาต้องสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตหรือพลังงานในอาหาร การย่อยได้ของไขมัน และอุณหภูมิของน้ำ

อาหารแห้งของปลาเทร้ามีไขมันประมาณ 6 – 14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจัดว่าค่อนข้างต่ำสำหรับปลาเทร้าและอาหารเปียกมีไขมันอยู่ 16 – 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ระดับไขมันที่เหมาะสมคือ 15 – 25 เปอร์เซ็นต์ แต่ควรใส่สารกันหืนและไวตามินอี ด้วย เพราะไขมันที่เหม็นหืนจะเป็นโทษต่อปลา ปลาแคทฟิช ระดับความต้องการไขมันคือ 8 – 12 เปอร์เซ็นต์ ปลาคาร์พ ถ้าเลี้ยงในเมืองร้อนในอาหารปลาควรใส่ไขมัน 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส ปริมาณไขมันในอาหารก็ต้องลดน้อยลง อาหารปลาไหลสามารถใส่ไขมันได้ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ อาหารปลาหางเหลืองที่ขายตามท้องตลาดมีไขมันเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น (วีรพงศ์, 2536)

2.10 ความต้องการคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตในรูปแป้งเป็นสารอาหารในพลังงานที่พบได้มากที่สุด ในธรรมชาติปลาใช้ประโยชน์จากแป้งได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ ปริมาณเอนไซม์ที่ใช้แป้งที่ปลาสร้างขึ้น ปลากินเนื้อย่อยแป้งได้น้อยกว่าปลากินพืช เนื่องจากปลากินพืชมีเอนไซม์อะไมเลสมากกว่านั้นเอง

เวียง (2542) รายงานว่าเอนไซม์อะไมเลสถูกสร้างขึ้นตลอดระยะความยาวของทางเดินอาหารของปลานิล ในขณะที่ปลากินเนื้อเอนไซม์ดังกล่าวสร้างขึ้นในตับอ่อนเท่านั้น ปลานิลสามารถใช้ประโยชน์จากคาร์โบไฮเดรตได้ดี การเลี้ยงปลานิลด้วยการให้วัตถุดิบอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง เช่น รำข้าว สมทบในบ่อที่ใส่ปุ๋ยจะช่วยเพิ่มผลผลิตของปลาได้สูงขึ้นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ อาหารปลานิลมีแป้งในปริมาณสูงได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ (Shepherd and Bromage, 1989) โดยไม่กระทบต่อการเจริญเติบโต

มานพ และคณะ (2536) กล่าวว่า ปลายข้าวและมันสำปะหลังเป็นแหล่งให้พลังงานที่ดีสำหรับปลานิลและสามารถมีในอาหารผสมได้สูงถึง 30 – 60 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับขนาดปลาที่เลี้ยง แป้งในอาหารปลานิลขนาดเล็กไม่ควรมีมากเกิน 35 เปอร์เซ็นต์ เพราะจะทำให้การเจริญเติบโตและอัตราแลกเนื้อลดลง นอกจากนี้คาร์โบไฮเดรตยังมีประโยชน์ในการช่วยสำรองโปรตีนในอาหาร กล่าวคือแป้งในอาหารจะถูกใช้เป็นพลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ และส่วนสำรองโปรตีนไม่ถูกใช้เป็นพลังงาน แต่ใช้เพื่อการเจริญเติบโตเท่านั้น ดังนั้นอาหารที่มีแป้งอยู่ในปริมาณเพียงพอ

แต่มีปริมาณโปรตีนต่ำ (แต่มีคุณภาพดี) อาจให้ผลการเจริญเติบโตและอัตราแลกเนื้อดีเท่า ๆ กับอาหารที่มีปริมาณโปรตีนสูงแต่มีแป้งอยู่น้อย

2.11 ความต้องการวิตามิน

การศึกษาเกี่ยวกับความต้องการวิตามินของปลานิลมีค่อนข้างจำกัดเนื่องจากในการเลี้ยงในบ่อดินโดยทั่วไป ปลาได้รับวิตามินจากอาหารในธรรมชาติ เกือบครบถ้วนทุกชนิด อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเลี้ยงปลานิลหนาแน่นมากขึ้น วิตามินในธรรมชาติอาจไม่เพียงพอจึงควรเสริมวิตามินบางชนิดในอาหารที่เลี้ยง เพื่อให้ปลาเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว วิตามินทุกตัวจำเป็นต่อปลานิลแต่จำเป็นต้องมีในอาหารหรือไม่ขึ้นอยู่ว่าปลาสังเคราะห์ขึ้นเองได้หรือไม่ เวียง (2542) กล่าวว่าสำหรับปลานิล วิตามินบี12 และโคลีนไม่จำเป็นต้องมีในอาหารเพราะปลานิลสามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ในปริมาณเพียงพอต่อความต้องการ การศึกษาพบว่าปลานิลต้องการวิตามินดีในอาหาร ในปริมาณ 375 หน่วย/กิโลกรัม (มานพ และคณะ, 2536) ปลาที่ขาดวิตามินดีจะเจริญเติบโตช้าอัตราแลกเนื้อสูง วิตามินในกลุ่มวิตามินบีที่ได้ศึกษาในปลานิลมีเพียงวิตามินบี – 2 (ไรโบเฟลวิน) และวิตามินบี – 6 (ไพริด๊อกซิน) เท่านั้น (มานพ และคณะ, 2536) ปลานิลต้องการวิตามิน บี – 2 ประมาณ 5 – 6 มิลลิกรัม / อาหาร 1 กิโลกรัม วิตามินบี– 6 จำเป็นต่อการใช้ประโยชน์ของโปรตีน ปลานิลต้องการวิตามินบี – 6 ในอาหารในอัตรา 10 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม ปลานิลไม่สามารถสังเคราะห์วิตามินซีเองได้ จึงจำเป็นต้องเสริมในอาหาร วิตามินซีในระดับ 50 มิลลิกรัม /กิโลกรัม (มานพ และคณะ, 2536; ศักดิ์ชัย, 2536) ปลานิลสามารถใช้ประโยชน์จากวิตามินซีในรูปแบบต่างๆ ได้เท่าเทียมกันไม่ว่าจะอยู่ในรูปวิตามินซีอิสระ วิตามินซีในรูปเกลือโซเดียม วิตามินซีเคลือบและวิตามินซีซัลเฟต วิตามินซีจำเป็นต่อการสังเคราะห์โปรตีนคอลลาเจน ซึ่งเป็นโครงสร้างสำคัญของกระดูก เหงือก เส้นเลือด ผิวหนัง และครีบ อาการขาดวิตามินซีที่เห็นได้ชัดได้แก่ ลำตัวคดงอ ตกเลือดตามครีบ และผิวหนังมีสีคล้ำขึ้น วิตามินซียังมีประโยชน์ต่อแม่พันธุ์ปลานิล โดยช่วยทำให้ไข่ดก อัตราฟักสูง และลูกปลาแข็งแรง วิตามินที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นปริมาณที่ปลาต้องการจริงๆ ไม่ได้เผื่อไว้สำหรับการสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นได้ การผสมของวิตามินที่ดีควรมีในอาหารผสมสำเร็จรูปในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของปลานิลและเผื่อไว้สำหรับการสูญเสียระหว่างการผลิตเก็บรักษาหรือละลาย (มานพ และคณะ, 2536)

2.12 น้ำนมดิบ (Milk)

เป็นวัตถุดิบที่ได้มีการนำมาใช้ในการผสมในสูตรอาหารปลาในรูปของหางนม ซึ่งเป็นนมที่มีคุณภาพดี ประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน แลคโตส เกลือแร่ และวิตามินต่าง ๆ (สาวิตรี, 2536) น้ำนมเป็นอาหารที่สมบูรณ์ที่สร้างขึ้นในธรรมชาติจึงมีคุณค่าทางโภชนาการสูง นมมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว บางครั้งอาจจะมีสีเหลืองนวล มีรสหวานเล็กน้อย ส่วนประกอบของน้ำนมขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ สัตว์ อาหาร ฤดูกาล สภาวะแวดล้อม อายุของสัตว์ ระยะการให้นม และสภาวะของเต้านมด้วย

ส่วนประกอบทางเคมีของนม

นมมีส่วนประกอบทางเคมีค่อนข้างซับซ้อน ส่วนประทางเคมีหลักของนมได้แก่ โปรตีน ไขมัน น้ำตาลแล็กโทส วิตามิน แร่ธาตุ และน้ำ ส่วนประกอบทั้งหมดนอกจากน้ำเรียกว่าของแข็งในน้ำนม (total solid) ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 13 น้ำประมาณร้อยละ 87 ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของน้ำนมมีค่าโดยปริมาณ ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของน้ำนม มีรายละเอียดดังนี้

2.12.1 น้ำ น้ำเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ของน้ำนมมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 87 ของส่วนประกอบทั้งหมด และน้ำเป็นตัวละลายสารอาหารหลายชนิดในน้ำนม

2.12.2 ไขมัน ไขมันในนมเรียกว่ามันเนย (milk fat หรือ butter fat) มีปริมาณร้อยละ 3.2 ของส่วนประกอบทั้งหมด อยู่ในน้ำนมในสภาพแขวนลอย มันเนยยังเป็นแหล่งของพลังงานคือ 1 กรัมของไขมันจะให้พลังงาน 9 กิโลแคลอรี่ และเป็นตัวนำวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน (วชิรา, 2544) มันเนยประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ มีอยู่ในไขมันประมาณร้อยละ 97 – 98 นอกจากนั้นประกอบด้วยฟอสโฟลิพิด สเตอรอล แคโรทีนอยด์ วิตามินที่ละลายในไขมัน (วิตามินเอ, ดี, อี, เค) และกรดไขมันอิสระ กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) ที่พบมากเช่น กรดพาล์มิติก กรดสเตียริก และกรดไมริสติก ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบส่วนใหญ่ ได้แก่ กรดโอลีอิก และกรดลิโนลีอิก ส่วนฟอสโพลิพิด และสเตอรอลที่พบมากในน้ำนม ได้แก่ เลซิทิน (lecithin) และคอเลสเตอรอล (Cholesterol)

2.12.3 โปรตีน โปรตีนในน้ำนมมีปริมาณร้อยละ 3.4 ของส่วนประกอบทั้งหมด ประด้วยกรดอะมิโนหลายชนิดมารวมกัน เนื่องจากกรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบนั้นเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นจำนวนมาก และมีปริมาณมากเกือบเพียงพอต่อความต้องการของร่างกายของมนุษย์ (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณเป็นร้อยละของกรดอะมิโนจำเป็นที่เป็นส่วนประกอบของโปรตีนในน้ำนม

ชนิดของกรดอะมิโน	เคซีน
อะลานีน (Alanine)	3.0
วาลีน (Valine)	7.2
ลิวซีน (Leucine)	9.2
ไอโซลิซีน (Iso-leucine)	6.1
เฟนนิลอะลานีน (Phenylalanine)	5.0
เมไทโอนีน (Methionine)	2.8
ทริปโทเฟน (Tryptophan)	1.7
ฮีลทิดีน (Histidine)	3.1
ไลซีน (Lysine)	8.2
ทรีโอนีน (Threonine)	4.9

ที่มา : อรวินท์ (2546)

กรดอะมิโนที่มีอยู่ในน้ำนมไม่ได้แยกอยู่แบบอิสระแต่จะรวมกันอยู่หลายๆ ตัว โปรตีนในน้ำนม ได้แก่ เคซีน (casein) และโปรตีนเวย์ (whey protein) เคซีนเป็นโปรตีนที่มีปริมาณมากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 85 ของโปรตีนทั้งหมดในน้ำนมเป็นโปรตีนที่ดี ลักษณะของเคซีนเป็นเม็ดสีขาวเหลือง ในสภาพบริสุทธิ์จะมีสีขาว ไม่มีกลิ่นและรส เป็นตัวช่วยทำให้น้ำนมมีสีขาวอยู่ในสภาพแขวนลอยในน้ำนม (สุภสร และคณะ, 2521, อรวินท์, 2546; FAO, 1990)

ส่วนโปรตีนเวย์ ประกอบด้วยแลคโทกลอบูลิน (lactoglobulin) ร้อยละ 50 และแลคทาลบูมิน (lactalbumin) ร้อยละ 12 โปรตีนเวย์เป็นโปรตีนส่วนน้อย คือประมาณร้อยละ 15 ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด และจะแยกออกจากเคซีนในการตกตะกอน น้ำใสที่แยกออกมาเรียกว่าเวย์ (whey)

จากการศึกษาพบว่า whey ประกอบไปด้วยกรดอะมิโน ได้แก่ Aspartic acid, Threonine, Glutamic acid, Glycine, Alanine, Valine, Cysteine, Methionine, Isoleucine, Leucine, Tyrosine, Phenylalanine, Histidine, Lysine และ Arginine (วชิรา, 2544; Rutherfurd and Moughan, 1998)

2.12.4 น้ำตาลแลคโตส น้ำตาลแล็กโทสเป็นน้ำตาลที่มีอยู่เฉพาะในน้ำนม เต้านมจะสังเคราะห์น้ำตาลนี้ขึ้นเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) เมื่อสลายตัวจะได้น้ำตาลกลูโคสกับกา

แลคโตส น้ำตาลแลคโตสมีสูตรโมเลกุล $C_{12}H_{22}O_{11}$ เช่นเดียวกับน้ำตาลอ้อยหรือซูโครส (sucrose) แต่มีสูตรโครงสร้างแตกต่างกันทำให้มีความหวานและความสามารถในการละลายไม่เท่ากัน

น้ำตาลแลคโตสอยู่ในสภาพสารละลายในน้ำนม มีปริมาณประมาณร้อยละ 4.9 มีความหวานน้อยกว่าน้ำตาลอ้อย 6 เท่า ทำให้น้ำนมมีรสไม่หวานมาก

น้ำตาลแลคโตสมีบทบาทสำคัญในการแปรรูปน้ำนมเป็นผลิตภัณฑ์นม เช่น นมเปรี้ยว และเนยแข็ง แบคทีเรียสามารถสลายน้ำตาลแลคโตสให้กรดแลคติก

กรดแลคติกจะทำให้น้ำนมมีรสเปรี้ยว เพิ่มความเป็นกรดในน้ำนมมากขึ้น จนถึงจุดที่ทำให้เคซีนตกตะกอนจับตัวกันจนเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นของแข็ง ต่อจากนั้นจึงนำไปดำเนินการตามขั้นตอนการผลิตเนยแข็งและนมเปรี้ยวต่อไป

น้ำตาลแลคโตสเป็นตัวที่ทำให้น้ำนมมีรสหวานและให้พลังงานแต่ในบางประเทศโดยเฉพาะประเทศในเอเชียประชาชนที่ไม่คุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์นมจะขาดน้ำย่อยแลคเทส (lactase) ที่จะย่อยน้ำตาลแล็กโทส จึงทำให้เกิดปัญหาที่บางคนไม่สามารถดื่มนมได้ เนื่องจากขาดน้ำย่อยแลคเทส ผู้ที่ไม่เคยดื่มน้ำนม จึงควรเริ่มจากการดื่มทีละน้อยๆอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้มีการสร้างเอนไซม์แลคเทส ที่จะย่อยน้ำนมขึ้น (สมจิต, 2546; อรวินท์, 2546)

2.12.5 วิตามิน น้ำนมเป็นแหล่งของวิตามินหลายชนิดที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย การบริโภคน้ำนมเป็นประจำจะได้รับวิตามินต่างๆด้วยเสมอ ทั้งวิตามินที่ละลายในน้ำและละลายในไขมันชนิดและปริมาณของวิตามินที่มีอยู่ในน้ำนม (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3 แสดง ชนิดและปริมาณของวิตามินในน้ำนม

ชนิดของวิตามิน	ปริมาณที่มีในน้ำนม
วิตามินที่ละลายน้ำ	
วิตามินบีหนึ่ง หรือไทอะมีน	37 ไมโครกรัม / 100 มิลลิลิตร
ไรโบฟลาวิน	150 ไมโครกรัม / 100 มิลลิลิตร
กรดแพนโททีนิค	400 ไมโครกรัม / 100 มิลลิลิตร
ไนอะซิน	80 ไมโครกรัม / 100 มิลลิลิตร
ไพริดอกซีน	37 ไมโครกรัม / 100 มิลลิลิตร
ไบโอติน	1.6 ไมโครกรัม / 100 มิลลิลิตร
วิตามินบีสิบสอง	0.3 ไมโครกรัม / 100 มิลลิลิตร
กรดโฟลิก	0.1 ไมโครกรัม / 100 มิลลิลิตร
วิตามินซี	2.0 ไมโครกรัม / 100 มิลลิลิตร
วิตามินที่ละลายในไขมัน	
วิตามินเอ	20 หน่วยสากล / กรัมของไขมัน
แคโรทีน	7-16 ไมโครกรัม / กรัมของไขมัน
วิตามินดี	1 หน่วยสากล / กรัมของไขมัน
วิตามินอี	28 ไมโครกรัม / กรัมของไขมัน

ที่มา : อรวินท์ (2546)

2.12.6 เกลือแร่ ในน้ำนมมีแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม คลอไรด์ ฟอสฟอรัส โซเดียม ซัลเฟอร์ แมกนีเซียม เป็นจำนวนมาก และมีเหล็ก ทองแดง สังกะสี อะลูมิเนียม และโคบอลต์เป็นส่วนน้อย เมื่อนำนมมาระเหยน้ำให้หมดแล้วนำมาเผาจะได้เถ้าสีขาว ประมาณ ร้อยละ 0.7 ซึ่งเถ้าที่ได้นี้ก็คือ เกลือแร่ที่มีอยู่ในน้ำนมนั่นเอง

2.12.7 สารอื่น ๆ ในน้ำนม นอกจากองค์ประกอบดังกล่าวแล้วน้ำนมยังมีเอนไซม์ที่สามารถทำให้เกิดกลิ่นหืน เช่น ฟอสฟาเทส (phosphatase) ไลเปส (lipase) รวมทั้งสารอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก (citric) กรดอะมิโนครีเอทีน (creatine) ครีเอทินีน (creatinine) และแก๊สต่างๆ ที่ติดมาขณะรีดนมหรือเกิดจากปฏิกิริยาในเต้านม

คุณค่าทางโภชนาการของน้ำนม

จากส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนมที่ได้กล่าวแล้วจะเห็นว่า น้ำนมเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าอาหารแหล่งอื่นเพราะประกอบด้วยสารอาหารที่ร่างกายต้องการครบถ้วน ได้แก่ โปรตีน ไขมัน น้ำตาลแล็กโทส วิตามินเอ บี 2 แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และสารอื่น ๆ ในปริมาณสูง นอกจากประกอบด้วยสารอาหารต่างๆมากมายแล้วน้ำนมยังมีสมบัติพิเศษที่ต่างจากอาหารอื่นๆ คือ โปรตีนที่อยู่ในน้ำนมเป็นโปรตีนสมบูรณ์ ประกอบด้วย กรดอะมิโนที่จำเป็นทั้ง 10 ชนิด คือ อะลานีน วาลีน ลิวซีน ไอโซลิวซีน เฟนิลอะลานีน เมไทโอนีน ทริปโทเฟน ไลซีน ฮีลทิดีน และทรีโอนีน ครบถ้วน (ตาราง 2.2) และในปริมาณที่สูงเพียงพอกับความต้องการของร่างกาย มีปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสสูงในอัตราส่วนที่สมดุลย์กัน(สมจิต, 2546; อรวินท์, 2546)

2.13 นมหมักกรด (acid fermented milk)

การหมักของนมทำให้เกิดจุลินทรีย์ในกลุ่มของแลคติคแบคทีเรีย ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างเป็นแท่งหรือกลม ไม่สร้างสปอร์ และไม่เคลื่อนที่ มีคุณสมบัติในการหมักคาร์โบไฮเดรต ให้เป็นกรดแลคติก แบคทีเรียในกลุ่มนี้ ได้แก่ *Streptococcus, Lactococcus, Pediococcus, Bacillus, Leuconostoc, Lactobacillus, Tetragenococcus* เป็นจุลินทรีย์ ที่มีคุณสมบัติเป็นโปรไบโอติก เมื่อบริโภคไปแล้วจะให้ผลดีในแง่ของการเจริญเติบโต ในการปรับสมดุลของลำไส้ ลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ก่อโรค ช่วยเพิ่มในการดูดซึมแคลเซียม ปัจจุบันมีการใช้ผสมใส่ในอาหารสัตว์ สำหรับลูกโค ไก่ สุกร และสัตว์น้ำ (ไพบูลย์ และสมพร, 2544; อาทิตย์ และหทัยรัตน์, 2544; ปรียา และสุดสาย, 2546; Ostlie *et al.*, 2003) ในทำนองเดียวกัน พงษ์ศักดิ์ และคณะ (2546) ได้รายงานว่ากลุ่มแลคติกแอสิดแบคทีเรีย (lactic acid bacteria :LAB)เป็นตัวผลิตแบคเทอริโอซิน (bacteriocins) ซึ่งเป็นสารจำพวกโปรตีน มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อื่นได้อย่างจำเพาะโดยไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยการฆ่าจุลินทรีย์ (bacteriocidal) หรือโดยการหยุดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (bacteriostatic) เช่น *Lactobacillus plantarum* kw30 (Kelly และคณะ 1996 ซึ่งอ้างโดยพงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2546) และ *acidocin* J 1229 ซึ่งผลิตโดย *Lactobacillus acidophilus* JCM 1229 (Tahara and Kanatani, 1996 ซึ่งอ้างโดย พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2546) ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้พบในอาหารหมัก, ผักสด, เครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์นม เป็นต้น โรคเต้านมอักเสบ (mastitis) จะทำให้เชื้อแลคติก เจริญได้ไม่ดี เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ความเข้มข้นของน้ำตาลแลคโตส และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายลดลงค่าความเป็น กรด-ด่าง

(pH) สูงกว่านมทั่วไป แต่การให้ความร้อนแก่นมทำให้แลคติกแบคทีเรีย เจริญได้ดีเหมือนเดิม (วราวุฒิ และรุ่งนภา, 2532)

2.13.1 คุณสมบัติของแลคติคแบคทีเรีย

แลคติคแบคทีเรีย เป็นแบคทีเรียแกรมบวก (gram-positive) ที่ไม่สร้างสปอร์ (non-spore fprming) มีรูปร่างลักษณะเป็นรูปกลมหรือรูปท่อน และมีทั้งที่เป็นท่อนสั้นหรือท่อนยาว สามารถเจริญเติบโตได้ในที่ที่มีออกซิเจนเพียงเล็กน้อย (microaerobicphile) หรือไม่มีออกซิเจนเลย (strictly anaerobic) ไม่สร้างเอนไซม์คะตะเลส (catalase) ไม่มีระบบไซโตโครม ไม่เคลื่อนที่ ได้พลังงานจากการหมักน้ำตาลให้เป็นกรดแลคติค (วรรณดี และคณะ, 2542; ปาริชาติ และพงศ์ศักดิ์, 2545; ปรียาและสุดสาย, 2546)

2.13.2 การจำแนกประเภทของแลคติคแบคทีเรีย

แลคติคแบคทีเรียสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม ตามวิธีการของ Wistreich (1997) ซึ่งอ้างถึงโดย วรรณดี และคณะ(2542) โดยอาศัย metabolic pathways และผลผลิตที่ได้จากกระบวนการหมัก กล่าวคือ

1. Homofermentative lactic bacteria เป็นแลคติคแบคทีเรียที่สามารถหมักน้ำตาลผ่าน Embden – Meyerhof – Parnas pathway ซึ่งให้ผลผลิตกรดแลคติคเพียงอย่างเดียว (Wistreich, 1997 ซึ่งอ้างโดย วรรณดี และคณะ, 2542) ในปริมาณสูงถึง 85-95% (ปาริชาติ และคณะ, 2543) พบในสกุล *Lactococcus, Lactobacillus* และ *Pediococcus* เป็นต้น

2. Heterofermentative lactic bacteria เป็นแลคติกแบคทีเรียที่สามารถหมักน้ำตาลผ่าน pentose phosphoketalase pathway ให้ผลผลิตเป็นกรดแลคติคสูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือจะเป็นกรด อะซิติค/เอทธานอล และคาร์บอนไดออกไซด์ (Wistreich, 1997 ซึ่งอ้างถึงโดย วรรณดี และคณะ, 2542; ปาริชาติ และคณะ, 2543) พบในสกุล Leuconostoc และ Lactobacillus เป็นต้น

2.14 บทบาทของแลคติคแบคทีเรียในขบวนการหมัก

แลคติคแบคทีเรียเป็นแบคทีเรีย ที่มีบทบาทสำคัญในขบวนการหมัก กล่าวคือ แลคติคแบคทีเรียมักจะนิยมให้เป็นหัวเชื้อ (starter culture) เติมลงในอาหารเพื่อให้ได้อาหารหมักตามที่ต้องการ (Leroy and De Vuyat, 2004; Hansen, 2002; Liu, 2003) แลคติคแบคทีเรียสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค (pathogenic bacteria) และแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (spoilage bacteria) ได้ (Iton *et al.*, 1995) กรดแลคติคมีคุณสมบัติเป็น food preservative ในอาหาร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ทำให้อาหารเน่าเสีย หรือทำให้เกิดโรค

อาหารเป็นพิษ ทำให้อาหารเก็บได้นานขึ้น (Adam and Modd, 1995; ปาริชาติ และพงศ์ศักดิ์, 2545; ยุภารัตน์ และคณะ, 2541)

ชนิดของแลคติคแบคทีเรียในนมหมัก

แลคติคแบคทีเรียที่สำคัญ มีอยู่หลายสกุลได้แก่ *Streptococcus, Enterococcus, Lactobacillus, Leuconostoc, Lactococcus, Pediococcus, Carnobacterium, Aerococcus, Vagococcus* และ *Tetragencoccus* เป็นต้น (วรรณดี และคณะ, 2542) โดยทั่วไปแล้วแบคทีเรียจัดเป็นจุลินทรีย์พวกแรกที่เจริญในน้ำนม ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มที่สำคัญได้ 4 กลุ่ม คือ กลุ่มผลิตกรด (acid producers), กลุ่มผลิตแก๊ส (gas producers), กลุ่มย่อยสลายโปรตีน (proteolytic) และกลุ่มผลิตด่าง (alkali producers) (ดาริวรรณ, 2542) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มที่ผลิตกรดโดยการสลายน้ำตาลแลคโตสซึ่งมีอยู่จำนวนมากในน้ำนม ให้เป็นกรดแลคติค ซึ่งจัดว่าเป็นแลคติคแบคทีเรีย และชนิดที่สำคัญที่พบในนมหมัก ได้แก่ *Lactobacillus casei, Lactobacillus acidocilus, Lactobacillus johnsonii, Bifidobacterium lactis, Bifidobacterium bifidum, Bifidobacterium breve*

2.15 ประโยชน์ของแลคติคแบคทีเรียในนมหมัก

จากการศึกษาพบว่าแลคติคแบคทีเรียเป็นแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ สำหรับสัตว์ทั่วไป สัตว์น้ำ รวมถึงมนุษย์ด้วย ซึ่งแลคติคแบคทีเรียที่สำคัญ มีอยู่หลายสกุลได้แก่ *Streptococcus, Enterococcus, Lactobacillus, Leuconostoc, Lactococcus, Pediococcus, Carnobacterium, Aerococcus, Vagococcus* และ *Tetragencoccus* เป็นต้น (วรรณดี และคณะ, 2542) ซึ่งประโยชน์ของแลคติคแบคทีเรียสามารถจำแนกออกเป็นได้หลาย ๆ ด้าน ดังนี้ คือ

2.15.1 ประโยชน์ในด้านการถนอมอาหาร (Food preservative)

โดยทั่วไปแล้วแลคติคแบคทีเรียจะถูกเติมลงไปในขบวนการหมักต่างๆเพื่อให้ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนน้ำตาลในอาหาร ไปเป็นกรดแลคติค เพื่อให้ได้อาหารหมักตามที่ต้องการ ได้แก่ ผลไม้ดอง ผักดอง น้ำนมเปรี้ยว โยเกิร์ต แหนม ไส้กรอกเปรี้ยว และปลาหมักเปรี้ยวชนิดต่างๆ (ครรชิต และคณะ, 2544; วรรณดี และคณะ, 2542) ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค (pathogenic bacteria) และแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (spoilage bacteria) ทำให้สามารถอาหารเก็บได้นานขึ้น (Adam and Moss, 1995; ปาริชาติ และพงศ์ศักดิ์, 2545; ยุภารัตน์ และคณะ, 2541; Iton *et al.*, 1995)

จากการศึกษาการใช้ *Lactbacillus* จำนวน 5 สายพันธุ์ ซึ่งได้แก่ *Lactobacillus casei* จำนวน 2 สายพันธุ์ *Lactobacillus acidocilus* จำนวน 2 สายพันธุ์ และ *Lactobacillus* sub sp.

Bulgaricus จำนวน 1 สายพันธุ์ ที่แยกได้จากนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม 5 ยี่ห้อ พบว่าสามารถส่งผลต่อการยับยั้งแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus, Escherichia coli* และ *Salmonella tuphimurium* ได้สูงถึง 61.1-75.3 เปอร์เซ็นต์, 40.5-62.1เปอร์เซ็นต์ และ 47.9-53.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (วิลาวัณย์และคณะ, 2539) ในทำนองเดียวกันกับการหมักหางนมด้วย แลคติคแบคทีเรียชนิด *Streptococcus lactis, Streptococcus cremoris, Streptococcus termophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* ซึ่งพบว่าสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ แบคทีเรีย *Listeria monocytogenes* ซึ่งก่อให้เกิดโรคในอาหารได้ (กฤษณ์, 2538) และ จากการศึกษาของ ภวัต (2544) พบว่า *Lactobacillus acidophilus* และ *Lactobacillus casei* เป็นหัวเชื้อในการผลิตนมหมักคล้ายโยเกิร์ต พบว่าสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้นาน 2 สัปดาห์ นอกจากนี้ยังได้รับการยอมรับที่ดีจากผู้บริโภคด้วย

2.15.2 ประโยชน์ในด้านโปรไบโอติค (probiotics)

โปรไบโอติค เป็นจุลินทรีย์ที่ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค โดยการสร้างสารต่อต้านจุลชีพ แย่งอาหารกับจุลินทรีย์อื่น แย่งพื้นที่จับกับผนังทางเดินอาหารเปลี่ยนแปลงเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร เพิ่มประสิทธิภาพของเอนไซม์ที่มีประโยชน์ เช่น β-galactosidase ที่ช่วยบรรเทาภาวะที่ไม่สามารถย่อยน้ำตาลแลกโตสในระบบทางเดินอาหารได้ ลดประสิทธิภาพของเอนไซม์บางชนิด เช่น β-galactosidase, nitroreduclase และ azoreductase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับขบวนการเกิดมะเร็ง โดยปล่อยสารก่อมะเร็งในทางเดินอาหาร กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันเพิ่มระดับแอนติบอดี (วิเชียร, 2542; Ringo and Gatesoupe, 1998)

ลักษณะที่ดีของโปรไบโอติก

1. เป็นสายพันธุ์ที่ให้ประโยชน์ ทำให้สัตว์มีการเจริญเติบโตมากขึ้นและมีความต้านทานโรคดี
2. ไม่ทำให้เกิดโรคและไม่เป็นพิษ
3. เป็นเซลล์ที่มีชีวิตและมีจำนวนมากพอที่จะเดินทางไปจนถึงทางเดินอาหารส่วนท้ายได้
4. ทนต่อสภาพกรดในกระเพาะอาหารและน้ำดีในลำไส้แต่สามารถย่อยสลายในลำไส้ได้ดี
5. ไม่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม
6. สามารถขยายการผลิตสู่ระดับการค้าได้
7. มีความคงตัวและเก็บไว้ได้นาน
8. สามารถอยู่รอดในลำไส้คนและสัตว์ได้
9. ไม่ตกค้างในซากสัตว์ (ขจีนาฏ และคณะ, 2541; Phianphak *et al.*, 1999; Gomez-Gil *et al.*, 2000 ; สนธิ และลิลา, 2541)

ปัจจัยที่สำคัญในการคัดเลือกจุลินทรีย์เพื่อใช้เป็นโปรไบโอติก

1. จุลินทรีย์โปรไบโอติก จะต้องไม่ถูกทำลายด้วยกลไกการป้องกันตัวเองของมนุษย์หรือสัตว์

2. จุลินทรีย์นั้นจะต้องทนน้ำย่อย เช่น อะไมเลส (ย่อยแป้งเป็นน้ำตาล) ไลโซไซม์ เปปซิน (ย่อยโปรตีนเป็นกรดอะมิโน) ไลเปส (ย่อยน้ำมันเป็นกรดไขมันอิสระ) กรดในกระเพาะ ความเข้มข้นของน้ำดีในตับ และเมือกในลำไส้เล็ก

3. จุลินทรีย์นั้นจะต้องสามารถยึดเกาะผนังทางเดินอาหารภายในร่างกายมนุษย์และสัตว์ได้เป็นเวลานานพอที่จะคอยทำหน้าที่ปกป้องสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ให้แข็งแรงและปลอดโรค จุลินทรีย์โพรไบโอติกสามารถสร้างสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุโรคต่อมนุษย์และสัตว์ซึ่งเรียกว่า แบคเทอริโอซิน (bacteriocin) แบคทีเรียกรดแลกติค สามารถสร้างสารดังกล่าวได้ (Lara-Flores *et al*., 2003; Ostlie *et al*., 2003; ปรียาและสุดสาย, 2546)

โดยทั่วไปแล้วแลคติคแบคทีเรีย พบว่าเป็น normal flora ในช่องปาก ลำคอ ลำไส้ ช่องคลอด ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม นอกจากนี้ยังพบว่ามีการใช้โปรไบโอติค (Probiotic) สำหรับมนุษย์และสัตว์อื่น ๆ รวมถึงสัตว์น้ำด้วย จุลินทรีย์โปรไบโอติคช่วยย่อยน้ำตาลในนมทำให้การดูดซึมแคลเซียมดีขึ้น (ธารารัตน์, 2542) การใช้นมที่มีน้ำตาลแลคโตสสูงเพื่อให้เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับลูกสุกร ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อการท้องเสียของลูกสุกร ซึ่งนับได้ว่าเป็นข้อดีของการใช้นมหมักกรด (วชิรา, 2544)

2.15.3 ประโยชน์ในด้านการเจริญเติบโต (growth)

การใช้นมหมักสำหรับเสริมในอาหารของสัตว์ได้มีรายงานไว้ในสัตว์บางชนิด โดย รุ่งอรุณ (2546) การศึกษาในเป็ดกากีแคมพ์เบลล์ โดยใช้นมหมักกรด อะซิติก (98 เปอร์เซ็นต์) ในอัตราส่วนน้ำนมดิบ 1 ลิตร/กรดอะซิติก 2 ซีซี ที่ระดับ 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เสริมลงไปในอาหารของเป็ดจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของเป็ดดังกล่าวโดยพบว่าการผสมนมหมักกรดจะส่งผลทำให้โภชนะในอาหารเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพการย่อยอาหาร และการใช้อาหารของเป็ดดีขึ้น เพียงพอกับความต้องการของเป็ดอายุ 4 – 9 สัปดาห์ โดยเฉพาะโปรตีน และไขมันซึ่งต้นทุนอาหารในแต่ละสูตร จะอยู่ที่ 9.70, 7.13 และ 5.76 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ จากการศึกษาของไพบูลย์ และสมพร (2544)ในสัตว์บก โดยศึกษาการใช้ประโยชน์จากน้ำนมดิบที่ผลิตได้จากแม่โคที่มีปัญหาเกี่ยวกับโรคเต้านมอักเสบและน้ำนมที่ไม่ผ่านการทดสอบแอลกอฮอล์ ซึ่งไม่สามารถจำหน่ายได้ แล้วนำมาผ่านขบวนการหมักโดยใช้กรดอะซิติก แล้วนำไปเลี้ยงลูกโคในระยะที่ผ่านการกินนมน้ำเหลือง (อายุ 7 วัน) ไปแล้วจนถึงระยะหย่านม ซึ่งพบว่าจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของลูกโคเฉลี่ยวันละ 700 กรัม โดยไม่ก่อให้เกิดอาการท้องเสีย

2.15.4 ประโยชน์ด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (aquaculture)

จากการศึกษาของ วนิดา (2545) การใช้นมหมักกรดเป็นเวลา 4 วันที่ระดับความเข้มข้นของนม 5 มิลลิลิตร / น้ำ 1 ลิตร ในการเพาะเลี้ยงไรแดงซึ่งเป็นอาหารมีชีวิตที่มีความสำคัญสำหรับลูกปลาวัยอ่อน จะส่งผลให้ผลผลิตของไรแดงสูงขึ้น โดยพบว่าการเลี้ยงไรแดงด้วยนมหมักกรดสามารถเลี้ยงในห้องหรือในที่ร่มได้ โดยที่ไม่ต้องหมักอาหารสำหรับทำน้ำเขียวก่อนการเลี้ยง ซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนในการเลี้ยงไรแดงลงได้ การเพาะฟักลูกกุ้งมักจะประสบปัญหาของการติดเชื้อแบคทีเรียอยู่เสมอซึ่งส่งผลกระทบต่อผลผลิตของลูกกุ้งและสร้างความเสียหายต่อธุรกิจดังกล่าวมาก เนื่องจากยาที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการรักษาเชื้อดังกล่าว ซึ่งได้แก่ Chloramphenicol เป็นต้น ได้ถูกห้ามใช้แล้ว ในปัจจุบันดังนั้นจึงได้มีความพยายามในการนำเอาโปรไบโอติกมาใช้อย่างแพร่หลาย การใช้แบคทีเรีย *Lactobacillus* sp. 2ชนิด คือ *Staphylococcus* sp. และ *Bacillus subtilis* เป็นโปรไบโอติกในการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) โดยการเติมเชื้อดังกล่าวลงในน้ำที่ใช้อนุบาลลูกกุ้ง พบว่าสามารถต่อต้านการติดเชื้อ *Vibrio* spp. ซึ่งที่ทำให้เกิดโรคจุดขาว (white spot disease) ในลูกกุ้ง และเชื้อ *Escherichia coli* ได้ (Jiravanichpaisal *et al.*, 1997) และจากการศึกษาใช้แบคทีเรียที่แยกได้จากบ่อเลี้ยงสัตว์จำพวก crustacean แล้วนำไปเติมลงในน้ำที่ใช้เลี้ยงลูกปู (*Portunus trituverculatus*) ในระยะ larvae พบว่าสามารถทำให้การเจริญเติบโตของปูดังกล่าวเพิ่มขึ้น ระงับการเจริญของเชื้อโรคอื่นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คือ *Vibrio* spp และส่งผลให้ผลผลิตและอัตรารอดตายของลูกปูสูงขึ้นด้วย (Nogami and Maeda, 1992) นอกจากนี้จากการศึกษากุ้งก้ามกรามโดยใช้จุลินทรีย์ที่แยกได้จากระบบทางเดินอาหาร จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ *Bacillus megaterium,Bacillus.subtilis, Bacillus cerus*, *Staphylococcus aureus* และ *Pseudomonas aeruginosa* พบว่ามีเพียง *Pseudomonas aeruginosa* ชนิดเดียวเท่านั้นที่ส่งให้เห็นถึง clear zone inhibition ที่มีต่อเชื้อ *Aeromonas hydrophial* ซึ่งก่อโรคในกุ้งดังกล่าว แต่เมื่อผสมจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดในอาหารและใช้เลี้ยงกุ้งที่มีอายุ 45-120 วัน พบว่าส่งผลให้อัตราการรอดตายของกุ้งเพิ่มสูงขึ้น (ทะเนตร,2545) และจากการศึกษาในกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*)โดยการใช้ Lactobacillus ที่แยกได้จากช่องว่างลำไส้ของไก่จำนวนหลายชนิดและหลายสายพันธุ์ ผสมกับอาหารสำเร็จรูป และใช้เลี้ยงกุ้งเป็นเวลา 100 วัน พบว่าสามารถส่งผลต่อการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น และเพิ่มอัตราการรอดตายของกุ้ง (วรรนิภาและคณะ, 2542)

ประโยชน์ของแบคทีเรียต่างๆ มีต่อการเพาะเลี้ยงซึ่งมีการศึกษาไว้ค่อนข้างหลากหลาย ในทำนองเดียวกันประโยชน์ของแลคติคแบคทีเรียซึ่งพบในนมหมัก (fermented milk) ก็ได้มีการรายงานไว้เช่นกัน กล่าวคือ ได้มีการใช้แลคติคแบคทีเรียซึ่งอยู่ในนมหมักเป็น adjuvant ในการทำวัคซีนต่อต้านเชื้อ *Vibrio cholerae* (Portier *et al.*, 1993)

2.16 การควบคุมการหมักในอาหาร (controlling fermentation in foods)

ปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และเมทตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ในการหมักอาหารประกอบด้วย กรด แอลกอฮอล์ การใช้หัวเชื้อ อุณหภูมิ ออกซิเจน และเกลือ โดยที่ปัจจัยเหล่านี้ จะบ่งถึงชนิดของจุลินทรีย์ ซึ่งอาจเจริญในอาหารหมักในช่วงของการเก็บรักษา (วราวุฒิ, 2538)

2.16.1 กรดอินทรีย์ (organic acid)

กรดอินทรีย์คือกรดที่ได้จากธรรมชาติ จากพืช สัตว์ หรือจุลินทรีย์ โครงสร้างทางเคมีจะประกอบด้วย หมู่คาร์บอกซิล [(carboxyl), -COOH] ในพันธะ หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic) เช่น กรดฟอร์มิก, กรดอะซิติก, กรดเบนโซอิก

กรดอินทรีย์จะแตกต่างจากกรดอนินทรีย์ตรงที่กรดอนินทรีย์เป็นกรดที่ได้จากแร่ธาตุมีฤทธิ์กัดกร่อนรุนแรงค่อนข้างอันตราย หากนำมาใช้ภายในสิ่งมีชีวิต เช่น กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก

การใช้กรดอินทรีย์จะช่วยแก้ปัญหาเรื่องการติดเชื้อในลำไส้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากกรดอินทรีย์สามารถเพิ่มความเป็นกรดภายในลำไส้ และสามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรีย, รา และ โปรโตซัว ที่ก่อโรคในทางเดินอาหารรวมถึงในอาหารซึ่งคุณสมบัติในข้อนี้เองที่ทำให้กรดอินทรีย์เหนือกว่ากรดอนินทรีย์ และยังช่วยในด้านลดการใช้ยาปฏิชีวนะในการกำจัดเชื้อก่อโรคได้อีกด้วย รวมทั้งกรดอินทรีย์เป็นกรดที่ได้จากธรรมชาติ จึงไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ไม่มีสารตกค้าง ซึ่งจะตรงกับกระแสความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน (เทวี, 2545; นฤดม, 2545)

2.16.2 การทำงานของกรดอินทรีย์

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า กรดอินทรีย์จะทำหน้าที่หลักสองอย่าง คือการเพิ่มความเป็นกรดในลำไส้ และกำจัดเชื้อก่อโรคในลำไส้ ซึ่งกลไกการทำงานของกรดอินทรีย์ที่แก้ปัญหาการติดเชื้อจะสามารถอธิบายได้คร่าวๆ ดังนี้(ณรงค์, 2546)

1. การเพิ่มความเป็นกรดภายในลำไส้ กรดอินทรีย์จะสามารถเพิ่มความเป็นกรดภายในลำไส้ของกุ้งได้ เมื่อมีการผสมกรดอินทรีย์ในสัดส่วนที่เหมาะสมลงในอาหารกุ้ง เมื่อลำไส้มีสภาพเป็นกรดอ่อนๆ แม้ในขณะกินอาหาร จะทำให้เชื้อก่อโรคที่ฉวยโอกาสเข้ามากับอาหารไม่สามารถเจริญเติบโตได้ เนื่องจากในธรรมชาติเชื้อก่อโรคเหล่านี้จะไม่สามารถทนต่อสภาวะความเป็นกรดภายในลำไส้ได้ ทำให้เชื้อตายลง หรือเจริญเติบโตไม่ต่อเนื่อง ในกรณีนี้นับว่าเป็นกรดภายในลำไส้ยังจะทำให้เอนไซม์ น้ำย่อยต่างๆ ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งเป็นผลดีต่อจุลินทรีย์โปรไบโอติกที่เป็นเชื้อประจำถิ่นภายในลำไส้อยู่แล้ว ส่งผลต่ออัตราการย่อย และดูดซึมที่จะเพิ่มขึ้น ทำให้กุ้งเจริญเติบโตได้ดีขึ้น

2. การกำจัดเชื้อก่อโรคภายในลำไส้นอกจากการเพิ่มความเป็นกรดในลำไส้แล้ว ความสามารถในการทำลายเชื้อก่อโรคยังเป็นคุณสมบัติพิเศษที่สำคัญของกรดอินทรีย์ โดยกรดอินทรีย์จะรบกวนการสังเคราะห์โปรตีนที่ผนังเซลล์ ของเชื้อแบคทีเรีย รวมทั้งยังเข้าไปทำลายเชื้อจากภายในเซลล์ของเชื้อด้วย เนื่องจากกรดอินทรีย์ที่เป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile fatty acid) มักจะมีโมเลกุลเล็ก สามารถซึมผ่านผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมลบที่ก่อโรคได้ดี (ณรงค์, 2546; เทวี, 2545)

2.16.3 กรดอะซิติก (acetic acid)

กรดอะซิติก หรือกรดเอทาโนอิก (ethanoic acid) เป็นกรดที่มีลักษณะเป็นของเหลวใส หรือผลึกมีกลิ่นฉุนเฉพาะตัวรวมตัวกับน้ำหรือแอลกอฮอลล์หรืออีเทอร์ได้ดีกรดอะซิติกเป็นส่วนประกอบหลักของน้ำส้มสายชู ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้น้ำส้มสายชูกันมาก สำหรับวัตถุประสงค์ ในการใช้ ส่วนใหญ่เพื่อเป็นสารให้กลิ่น รส หรือเพื่อเน้นกลิ่นรส หรือเพิ่มความเป็นกรดให้อาหาร ช่วยควบคุมความเป็นกรด–ด่าง หรือช่วยยืดอายุการเก็บของอาหาร กรดอะซิติกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และราได้ดีกว่ายีสต์ จึงได้มีการนำมาใช้ในการยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ขนมปังและผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดที่ทำให้ขึ้นฟูโดยใช้ยีสต์ นอกจากนั้นยังมีการนำมาใช้ยืดอายุการเก็บอาหารของทารกแทนกรดแลคติกด้วย กรดมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ถึงแม้ว่าจะเป็นกรดที่ถูกเติมลงไปในอาหาร หรือเป็นกรดที่มีอยู่ในส่วนประกอบของอาหาร หรือกรดที่ถูกสร้างขึ้นมาจากการหมักก็ตาม อย่างไรก็ตามถ้าความเข้มข้นของกรดเพียงพอ จะมีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ แต่ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของกรดและชนิดของจุลินทรีย์ (ณรงค์, 2546; ศิวาพร, 2546)

ในกรณีของอาหารที่ไม่มีกรดอยู่ในส่วนประกอบของอาหาร จำเป็นต้องเติมกรดหรือให้มีการสร้างกรดจากการหมักโดยตรง ทั้งนี้ต้องก่อนที่จะเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ ส่วนในอาหารที่มีกรดอยู่อาจเรียกได้ว่าอยู่ในสภาวะของการถนอมอาหาร แต่ถ้าสภาพแวดล้อมของอาหารนั้นมีออกซิเจนอยู่เพียงพอที่ทำให้เชื้อราสามารถเจริญขึ้นที่ผิวของอาหาร และใช้กรดเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการเจริญเติบโต ทำให้ผลของกรดที่มีต่อการถนอมอาหารลดลง ซึ่งต่อมาอาจมีการเจริญของ แบคทีเรีย ซึ่งก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารยิ่งขึ้น

การเปลี่ยนแปลงของกรดต่อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหาร เช่นในกรณีของการหมักน้ำนมดิบแบบธรรมชาติ โดยทั่วไปน้ำนมดิบจะปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์หลายชนิด ในช่วงแรกซึ่งเป็นช่วงสั้นๆ หลังจากรีดนมมา น้ำนมดิบที่ได้จะไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (ช่วงนี้เรียกว่า germicidal action) หลังจากนั้นแบคทีเรีย *Streptococcus lactis* จะเจริญเด่นขึ้นมาและสร้างกรดแลคติกขึ้นมาในน้ำนม จนในที่สุดความเป็นกรดที่เกิดขึ้นในน้ำนมจะกลับไปยับยั้งการเจริญของ

เชื้อชนิดนี้ ต่อมาแบคทีเรียในกลุ่ม Lactobacillus ซึ่งมักพบในนม และมีคุณสมบัติในการทนต่อกรดได้ดีกว่า *Streptococcus lactis* จะเจริญเด่นขึ้นมาแทนและจะสร้างกรดออกมาอีกจนกระทั่งตัวมันเองไม่สามารถเจริญได้อีกต่อไป เนื่องจากความเป็นกรดที่ตัวมันสร้างขึ้นมานั่นเอง ในสภาพของน้ำนมที่มีความเป็นกรดสูงในช่วงนี้ Lactobacilli จะตายไปเรื่อย แต่เชื้อยีสต์และเชื้อราจะใช้กรดเป็นแหล่งคาร์บอน ส่วนยีสต์จะสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นด่าง ซึ่งเกิดการปนเปื้อนด้วยแบคทีเรีย ซึ่งจะก่อให้เกิดการเน่าเสื่อมต่อไป (ณรงค์, 2546)