บทที่ 4
สารอาหารปริมาณน้อย

จุดประสงค์การเรียนรู้ หลังจากจบบทเรียนแล้วนิสิตควรมีความเข้าใจในสิ่งต่อไปนี้

1. ทราบถึงประเภทของวิตามิน สมาชิกในกลุ่มวิตามินที่ละลายในน้ำและละลายในไขมัน
2. ทราบถึงรูปแบบ หน้าที่ อาการขาดวิตามิน และความต้องการวิตามินที่ละลายในน้ำและละลายในไขมัน
3. เข้าใจการแบ่งประเภทของแร่ธาตุ สมาชิกในกลุ่มแร่ธาตุหลักและแร่ธาตุรอง
4. ทราบถึงรูปแบบ หน้าที่ อาการขาด และความต้องการแร่ธาตุหลักและแร่ธาตุรอง

กิจกรรมการเรียนการสอน

- บรรยาย
- ซักถาม และอภิปราย

สื่อการสอน

- ไฟล์นำเสนอที่สร้างจากโปรแกรม Power point

การประเมินผล

- ประเมินจากความสนใจของนิสิต การซักถาม และการตอบคำถาม

วิตามิน (Vitamin)

วิตามินเป็นสารอินทรีย์ มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โครงสร้างทางเคมีมีความแตกต่างกันมากแต่มีความจำเป็นต่อร่างกาย เนื่องจากร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ได้หรือสังเคราะห์ได้ปริมาณน้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ต้องได้รับเพิ่มเติมจากอาหาร (Steffens, 1989) วิตามินส่วนใหญ่จะทำหน้าที่เป็น Cofactor หรือสารตั้งต้นในกระบวนการเมตาบอลิซึม วิตามินสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ตามความสามารถในการละลาย คือ วิตามินที่ละลายในน้ำ และวิตามินที่ละลายในไขมัน ปกติร่างกายต้องการวิตามินในปริมาณน้อยเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต การดำรงชีพ และการสืบพันธุ์ให้ปกติ สัตว์น้ำโดยทั่วไปไม่สามารถสังเคราะห์วิตามินได้ หรือสังเคราะห์ได้ไม่เพียงพอกับความต้องการ ต้องได้รับเพิ่มเติมจากอาหาร สัตว์น้ำที่ขาดวิตามินจะมีอาการ เบื่ออาหาร การเติบโตลดลง ค่า FCR สูงขึ้น มีการผิดปกติของเนื้อเยื่อตามร่างกาย รายละเอียดคุณลักษณะของวิตามินต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 สรุปคุณสมบัติของวิตามิน

ชื่อ	**ชื่อสากล**	**คุณลักษณะ**
วิตามินที่ละลายในไขมัน		
Vitamin A	Retinol (A_1)	1 IU = 0.3 μg Vitamin A, ไวต่อออกซิเจน, ทนความร้อน
	Dehydroretinol (A_2)	
Vitamin D	Ergocalciferol (D_2)	1 IU = 25 ng Vitamin D_3, ทนต่อความร้อน
	Cholecalciferol (D_3)	
Vitamin E	α-Tocopherol	1 IU = 1 mg DL-α-tocopheryl acetate, ทนต่อความร้อน, ไวต่อแสงและออกซิเจน
Vitamin K	α-Phylloquinone (K_1)	ไวต่อแสงและออกซิเจน
	Menadione (K_3)	
วิตามินที่ละลายในน้ำ		
Vitamin B_1	Thiamine	ทนต่อความร้อนแห้ง, สลายตัวในกระบวนการทำอาหาร
Vitamin B_2	Riboflavin	ทนความร้อน, ไวต่อแสงสว่าง
Pantothenic acid	D-Pantothenic acid	ทนต่อความร้อนแห้ง
Vitamin B_3	Niacinamide	ทนต่อความร้อน

ชื่อ	ชื่อสากล	คุณลักษณะ
Vitamin B_6	Pyridoxine, Pyridoxamine, Pyridoxal	ไวต่อแสงสว่าง
Vitamin H	Biotin	คงตัวในสภาพที่มีแสงและความร้อน
Inositol	Mesoinositol (Myoinositol)	
Folic acids	Pterolglutamic acids	ไม่คงตัวในการเก็บรักษา
Vitamin B_{12}	Cyanocobalamin	
Choline	Hydroxyethyl-trimethyl-ammonium hydroxide	
Vitamin C	L-Ascorbic acid	ไวต่อออกซิเจนและความร้อน

ที่มา: Steffens (1989)

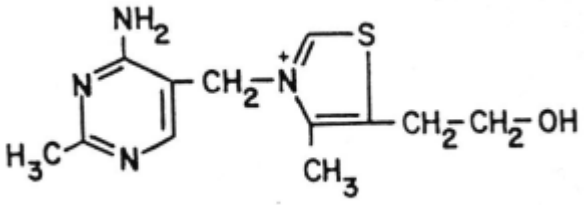
วิตามินที่ละลายในน้ำ (Water soluble vitamin)

วิตามินที่ละลายน้ำมี 11 ชนิด ประกอบด้วย วิตามินบีรวม (Vitamin B complex) 8 ชนิด วิตามินซี (Ascorbic acid) อินโนซิทอล (Inositol) และ โคลีน (Choline) วิตามินบีรวมส่วนใหญ่ เป็นองค์ประกอบของโคเอนไซม์ (Coenzyme function) ที่เกี่ยวข้องกับเมตาบอลิซึม ปลาต้องการในปริมาณน้อย ส่วนวิตามินซี, อินโนซิทอล และโคลีน ปลาต้องการปริมาณมาก เพราะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีในร่างกายจำนวนมาก

1. วิตามินบี 1 หรือ ไธอามิน (Vitamin B_1 or Thiamin)

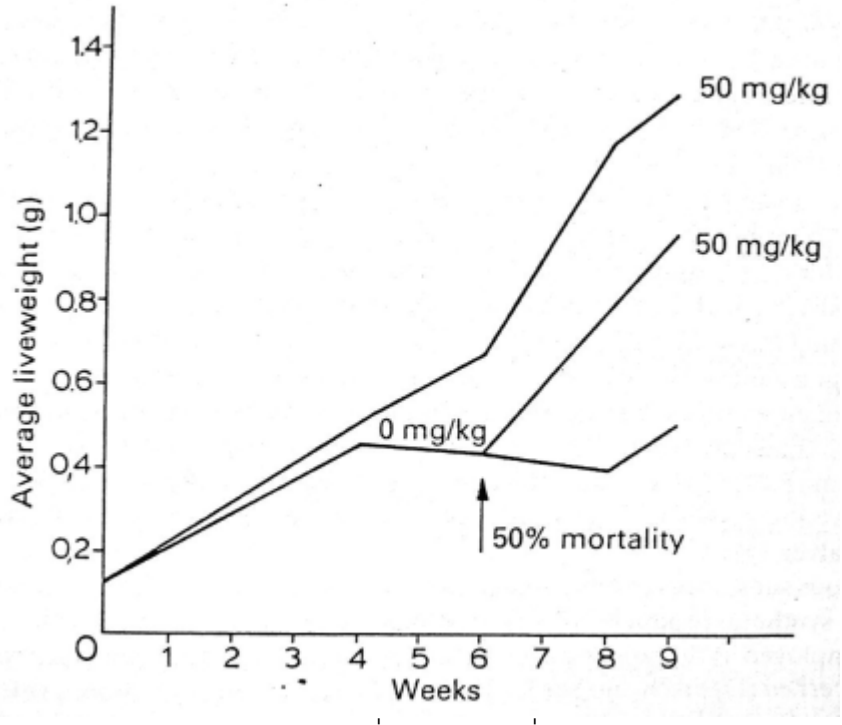
รูปแบบที่พร้อมทำงานของไธอามินคือ Thaimine pyrophosphate โดย Thaimine p yrophosphate เป็น Coenzyme ในเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต โดยการเกิดกระบวนการ Decarboxylation ของ α-Keto acid โครงสร้างของไธอามินแสดงดังภาพที่ 4-1 หน้าที่สำคัญของไธอามินคือ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยน Pyruvate ให้กลายเป็น Acetyl CoA (De Silva and Anderson, 1995)

อาการขาดไธอามินในปลา Rainbow trout จะพบว่าปลาลดความอยากกินอาหาร การเจริญเติบโตลดลง ความสามารถในการย่อยอาหารลดลง ว่ายน้ำเชื่องช้า กระดูกปิดเหงือกปิดไม่สนิท สูญเสียการทรงตัว ร่างกายมีสีเข้มขึ้น หลังจากนี้จะมีอัตราการตายสูง (Steffens, 1989) การเติบโตของปลา Rainbow trout ที่ได้รับอาหารที่มีไธอามินปริมาณต่างกันแสดงดังภาพที่ 4-2



ภาพที่ 4-1 โครงสร้างของไธอามิน

ที่มา: Lovell (1998)



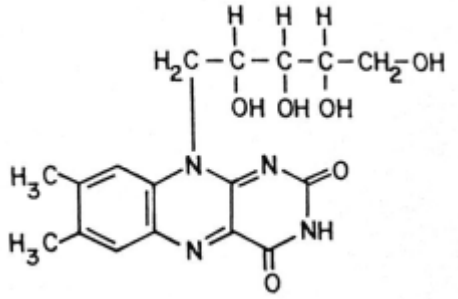
ภาพที่ 4-2 การเติบโตของปลา Rainbow trout ที่ได้รับอาหารที่มีไธอามินปริมาณต่างกัน

ที่มา: Steffens (1989)

แหล่งที่พบมาก ได้แก่ เนื้อสัตว์ ตับ ยีสต์ ธัญพืช โดยเฉพาะเมล็ดถั่วหรือข้าวในอาหารสด เช่น ปลาเป็ด ไส้ไก่ มีวิตามินบี 1 อยู่มาก แต่ก็มีเอนไซม์ย่อยวิตามินบี 1 (Thiaminase) อยู่ด้วย โดยเอนไซม์จะยับยั้งหรือต่อต้านการทำงานของวิตามินบี 1 สัตว์ที่ได้รับอาหารสดเหล่านี้ติดต่อกันนานจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536) วิตามินสังเคราะห์ที่นิยมใส่ในอาหารปลา ได้แก่ Thiamin hydrochloride และ Thiamin mononitrate เนื่องจากมีความคงตัวสูง

2. วิตามินบี 2 หรือ ไรโบฟลาวิน (Vitamin B_2 or Riboflavin)

ไรโบฟลาวินเป็นผลึกสีเหลืองเขียวเรืองแสงเป็นส่วนประกอบของ Flavin adenine dinucleotid (FAD) โดย FAD เป็น Cofactor ในกระบวนการถ่ายทอดพลังงานเพื่อให้ได้พลังงานออกมาในรูป ATP (De Silva and Anderson, 1995) ไรโบฟลาวินละลายน้ำได้เล็กน้อย ทนกรด และความร้อน สลายตัวเมื่อถูกด่าง แสงสว่าง และออกซิเจน พบมากใน ยีสต์ นม และพบบ้างปริมาณน้อยในปลาป่น และพืชสีเขียว (Steffens, 1989) โครงสร้างของไรโบฟลาวินแสดงดังภาพที่ 4-3

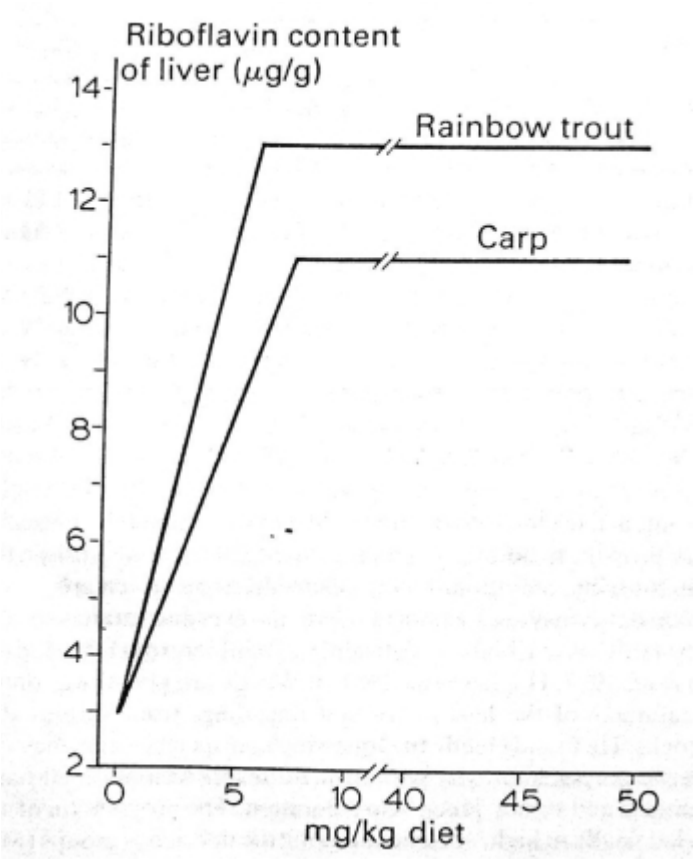


ภาพที่ 4-3 โครงสร้างของไรโบฟลาวิน

ที่มา: Lovell (1998)

อาการขาดไรโบฟลาวินในปลา Rainbow trout พบว่าจะมีอาการคล้ายอาการขาดไธอามิน ปลามีความอยากกินอาหารลดลง การเจริญเติบโตลดลง พบเนื้อเยื่อตายบริเวณเหงือก กระดูกปิดเหงือก และหาง ความสามารถในการว่ายน้ำลดลง ว่ายน้ำเชื่องช้า อาการที่เป็นลักษณะเฉพาะของการขาดไรโบฟลาวินคือ มีอาการเลือดออกบริเวณตา เลนส์ตาเป็นสีขาวขุ่น (Steffens, 1989)

ความต้องการไรโบฟลาวินของปลา Rainbow trout เท่ากับ 5-15 mg/kg อาหาร ในอาหารทั่วไปควรเพิ่มไรโบฟลาวินประมาณ 3-6 mg/kg อาหารแห้ง (Steffens, 1989) รูปแบบที่นิยมใส่เสริมในอาหารปลา Riboflavin phosphate มีความคงตัวสูง ความสัมพันธ์ระหว่างไรโบฟลาวินในอาหารและในตับในปลา Carp และปลา Rainbow trout แสดงดังภาพที่ 4-4



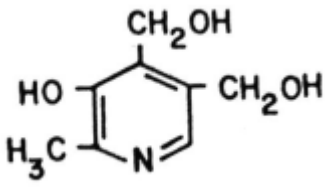
ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างไรโบฟลาวินในอาหารและในตับในปลา Carp และปลา Rainbow trout

ที่มา: Steffens (1989)

3. วิตามินบี 6 หรือ ไพริดอกซิน (Vitamin B_6 or Pyridoxine)

ไพริดอกซินเป็นสารอนุพันธ์ของ Pyridine ทนต่อความร้อนแต่มีความไวต่อแสง ในธรรมชาติพบ 3 ชนิดคือ Pyridoxine, Pyridoxal และ Pyridoxamine โครงสร้างของไพริดอกซินแสดงดังภาพที่ 4-5 ไพริดอกซินทำหน้าที่สำคัญโดยเป็น Coenzyme ในกระบวนการ Transamination ซึ่งหน้าที่ของ Coenzyme เชื่อว่าจะเกี่ยวข้องกับการสลายกรดอะมิโนเพื่อให้ได้พลังงาน (De Silva and Anderson, 1995) พบมากในยีสต์ และ ผลิตภัณฑ์จากธัญพืช สัตว์น้ำที่ขาดไพริดอกซินจะพบว่าไม่สามารถสังเคราะห์โปรตีนได้ ผิวหนังเกิดการอักเสบ เบื่ออาหาร มีอาการโลหิตจาง และปลาจะแสดงอาการทางประสาท กระวนกระวาย ตกใจง่าย (Steffens, 1989)

ความต้องการไพริดอกซินในปลา Rainbow trout จะประมาณ 1-10 mg/kg อาหาร รูปแบบที่นิยมใส่เสริมในอาหารปลา Pyridoxine hydrochloride เนื่องจากมีความคงตัวสูง (Steffens, 1989)



ภาพที่ 4-5 โครงสร้างของไพริดอกซิน

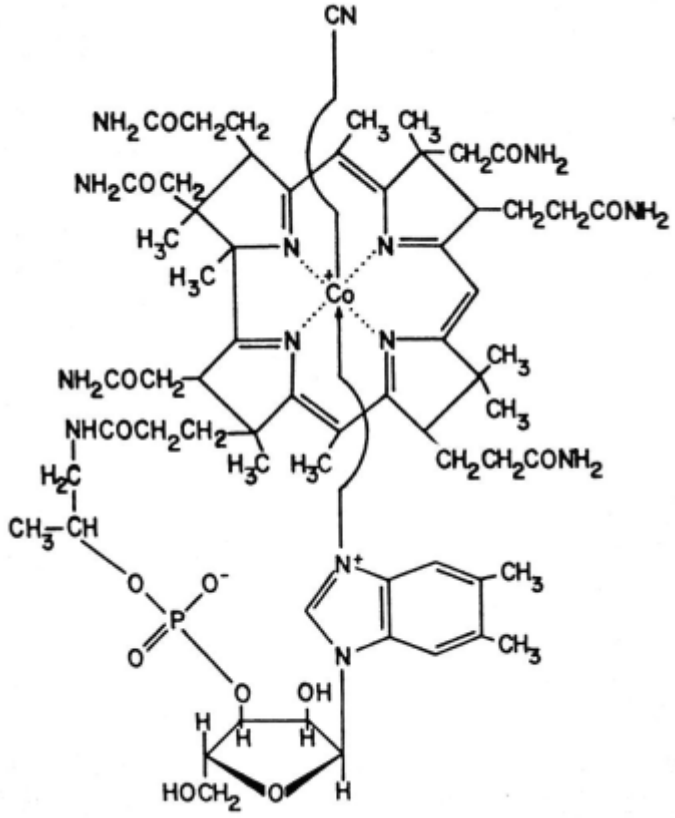
ที่มา: Lovell (1998)

4. วิตามินบี 12 หรือ ไซยาโนโคบาลามิน (Vitamin B_{12} or Cyanocobalamin)

วิตามินบี 12 พบได้เฉพาะในเนื้อเยื่อสัตว์เท่านั้น โครงสร้างมีสูตรโครงสร้างเป็น $C_{61-64}H_{86-92}N_{14}O_{14}PCo$ มีโคบอลต์อยู่กลางโมเลกุลซึ่งเป็นที่มาของชื่อ Cobalamine (Steffens, 1989) โครงสร้างของวิตามินบี 12 แสดงดังภาพที่ 4-6 วิตามินบี 12 พบมากที่บริเวณตับ ช่วยป้องกันโรคโลหิตจางสำคัญสำหรับการพัฒนาการเจริญเติบโต การพัฒนาระบบสืบพันธุ์ให้เป็นปกติ และการสังเคราะห์ Choline รวมถึงเมตาบอลิซึมของคาร์บอน ในอาหารสัตว์น้ำควรเพิ่มวิตามินบี 12 แต่โอกาสขาดวิตามินบี 12 มีไม่มากเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารสามารถสังเคราะห์วิตามินนี้ได้แต่ปัญหาที่พบในการขาดวิตามินบี 12 เนื่องจากขาด Intrinsic factor ซึ่งเป็น Mucoglycoprotein ทำหน้าที่เป็น Carrier ในบริเวณทางเดินอาหาร ทำให้สัตว์น้ำไม่สามารถดูดซึมวิตามินบี 12 ไปใช้ประโยชน์ได้ (De Silva and Anderson, 1995)

การศึกษาในปลา Channal catfish ที่ได้รับอาหารที่ขาดวิตามินบี 12 พบว่าแบคทีเรียบริเวณลำไส้เล็กสามารถสังเคราะห์วิตามินบี 12 ได้ประมาณ 1.4 ng Vitamin B12/g น้ำหนักปลา/วัน ที่อุณหภูมิ 28ºC และการสังเคราะห์จะถูกยับยั้งถ้าปลาได้รับอาหารที่มีวิตามินบี 12 หรือยาปฏิชีวนะ ปลาที่ไม่ได้รับวิตามินบี 12 จะพบการเจริญเติบโตลดลง ประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง เป็นโรคโลหิตจาง (Steffens, 1989) ผลของอาหารที่ขาดวิตามินบี 12 ต่อการเจริญเติบโตของปลา *Labeo rohita* วัยรุ่น แสดงดังภาพที่ 4-7

การผลิตอาหารปลาแบบเปียก (Moist diet) ควรระวังการสูญเสียวิตามินบี 12 เนื่องจากอาหารสดมีสภาพเป็นกรด ขณะเก็บรักษาทำให้วิตามินเสื่อมฤทธิ์ (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536) รูปแบบของวิตามินบี 12 ที่นิยมใส่เพิ่มในอาหารคือ Cyanocobalamin เนื่องจากมีความคงตัวสูง



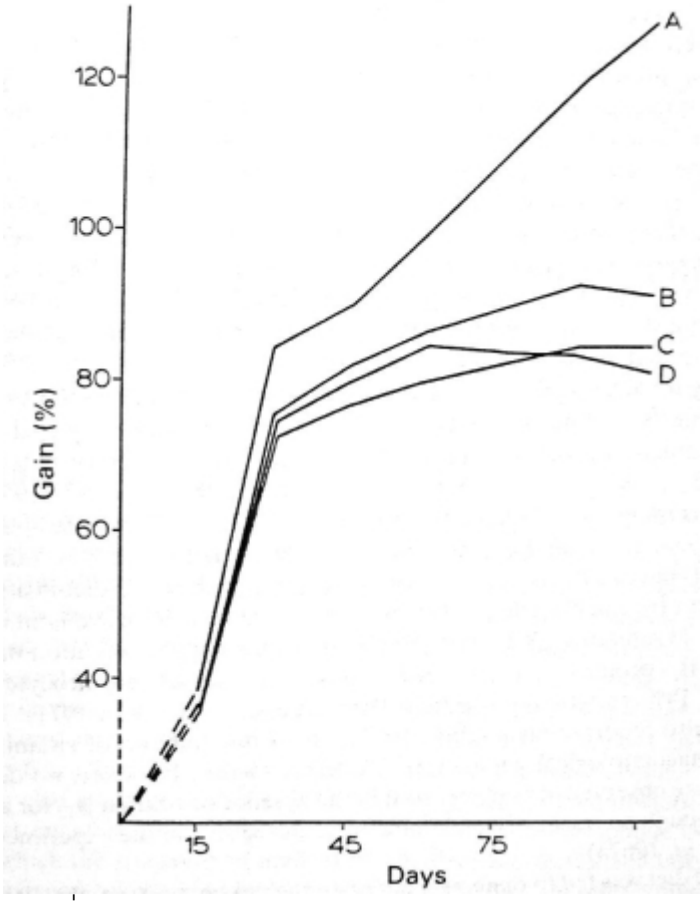
ภาพที่ 4-6 โครงสร้างของวิตามินบี 12

ที่มา: Lovell (1998)

5. กรดโฟลิค (Folic acid)

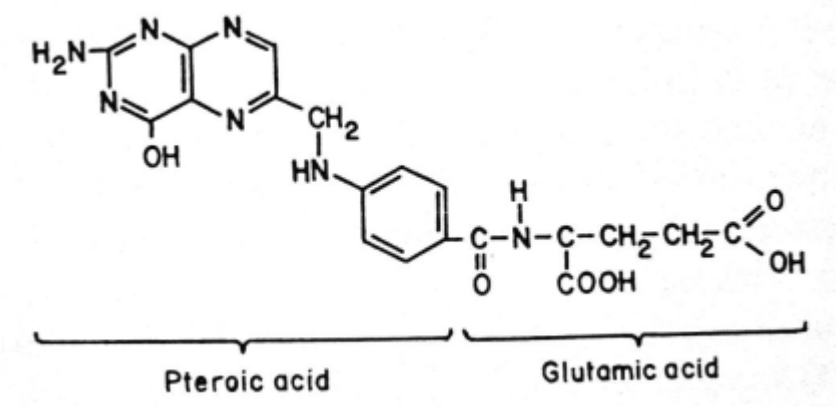
กรดโฟลิคในธรรมชาติพบทั้งรูปที่เป็นอิสระและจับกับสารอื่น พบทั้งในผลิตภัณฑ์จากพืชและสัตว์ รวมถึงในยีสต์ด้วย (Steffens, 1989) โครงสร้างของกรดโฟลิคแสดงดังภาพที่ 4-8 กรดโฟลิคทำหน้าที่เป็น Cofactor ในการขนส่งคาร์บอน เช่น หมู่ Methyl ไปยังสารโมเลกุลอื่น โมเลกุลของกรดโฟลิคประกอบด้วย 3 ส่วน คือ Pterodine, ρ-Aminobenzoic acid และ Glutamic acid สัตว์บางชนิดสามารถสังเคราะห์กรดโฟลิคได้จาก ρ-Aminobenzoic acid ในอาหาร (De Silva and Anderson, 1995) ผลของอาหารที่ขาด Folic acid ต่อการเจริญเติบโตของปลา *Labeo rohita* วัยรุ่น แสดงดังภาพที่ 4-7

ปลา Brook trout ที่ขาดกรดโฟลิคจะมีเกล็ดเลือด และเม็ดเลือดขาวลดลง เกิดโรคโลหิตจาง ในปลา Rainbow trout ที่ขาดจะพบการเจริญเติบโตลดลง ว่ายน้ำเชื่องช้า ครีบสึกกร่อน ตับมีขนาดใหญ่ และมีการอัตราการตายสูง อัตราการเพิ่มกรดโฟลิคในอาหารควรใส่เพิ่มประมาณ 5-15 mg/kg อาหาร (Steffens, 1989)



ภาพที่ 4-7 ผลของอาหารที่ไม่มี Folic acid และวิตามินบี 12 ต่อการเจริญเติบโตของปลา *Labeo rohita* วัยรุ่น โดย A = อาหารควบคุม, B = อาหารที่ขาด Folic acid, C = อาหารที่ขาดวิตามินบี 12 และ D = อาหารที่ขาดทั้ง Folic acid และวิตามินบี 12

ที่มา: Steffens (1989)

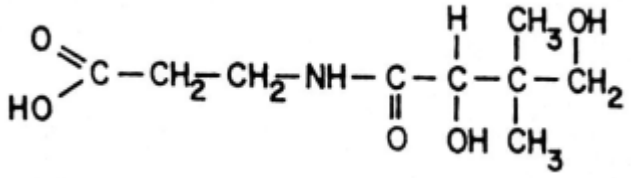


ภาพที่ 4-8 โครงสร้างของกรดโฟลิค

ที่มา: Lovell (1998)

6. กรดแพนโททีนิค (Pantothenic acid)

กรดแพนโททีนิคหรือ Coenzyme A ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปเกลือโซเดียมและเกลือแคลเซียม เช่น Calcium pantothenate (92% Pantothenic acid) แหล่งที่พบกรดแพนโททีนิคในธรรมชาติ ได้แก่ ยีสต์และผลิตภัณฑ์จากพืช รวมถึงตับ โครงสร้างของกรดแพนโททีนิคแสดงดังภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-9 โครงสร้างของกรดแพนโททีนิค

ที่มา: Lovell (1998)

กรดแพนโททีนิคทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบของ Coenzyme A ซึ่งมีความสำคัญในเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน (Steffens, 1989) โดยเป็น Coenzyme ของ Acetyl, Acyl หรือ Propionic CoA โดยกรดแพนโททีนิคจะเป็นตัวพาสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างและสลายกรดไขมัน กระบวนสลาย Pyruvate และ Acetylation และช่วยในการขนส่งพลังงานในปฏิกิริยาต่าง ๆ (De Silva and Anderson, 1995)

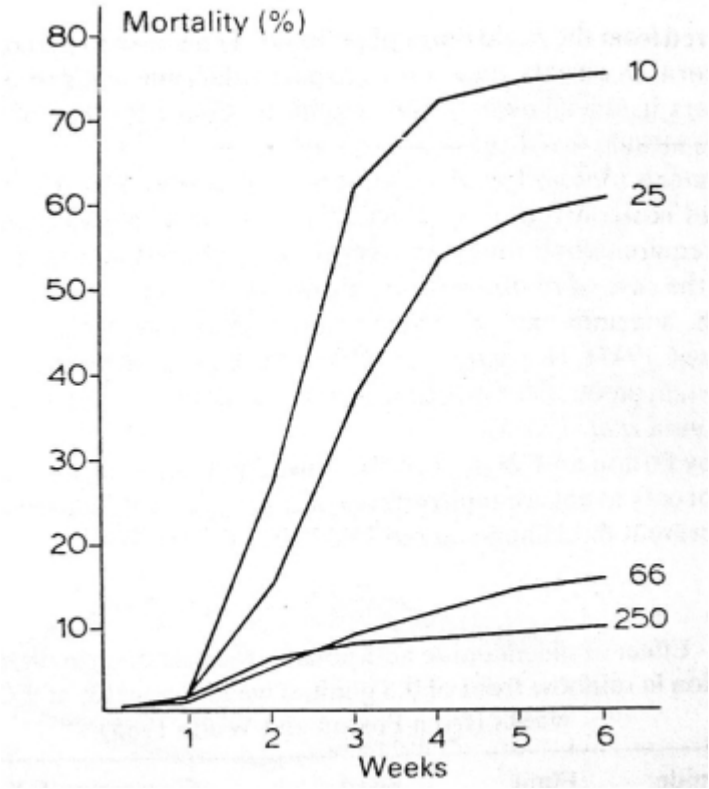
สัตว์ที่ขาดกรดแพนโททีนิคจะส่งผลต่อเมตาบอลิซึมเพิ่มสูงขึ้น ตับทำงานไม่เป็นปกติ เกิดแผลบริเวณเนื้อเยื่อเมือก ในปลา Rainbow trout ที่ขากกรดแพนโททีนิคพบว่าจะลดความอยากกินอาหาร เหงือกมีเมือกและซี่เหงือกหนา การว่ายน้ำผิดปกติ มีไขมันสะสมบริเวณตับมาก และอัตราการตายสูง (Steffens, 1989) อัตราการตายสะสมของลูกปลา Channel catfish ที่ได้รับกรดแพนโททีนิคในปริมาณต่างกันแสดงดังภาพที่ 4-10 ความต้องการกรดแพนโททีนิคในปลา Rainbow trout ประมาณ 10-20 mg/kg อาหาร สำหรับปลา Carp มีความต้องการ Ca-pantothenate ในช่วง 1.0-1.4 mg/kg น้ำหนักตัว/วัน หรือต้องเพิ่มกรดแพนโททีนิคในอาหารเท่ากับ 30-42 mg/kg อาหาร รูปแบบที่นิยมเสริมในอาหาร คือ Calcium-D-pantothenate มีความคงตัวสูง

7. ไนอาซิน (Niacin)

ไนอาซินหรือกรดนิโคตินิค (Nicotinic acid) เป็นส่วนประกอบด้วยสารพลังงานสูง 2 โมเลกุล คือ Niacinamide adenine dinucleotide (NAD) และ Niacinamide adenine dinucleotide phosphate (NADP) เกี่ยวข้องกับเมตาบอลิซึมของกรดอะมิโน กรดไขมัน และกลูโคส กรดนิโคตินิคสามารถสังเคราะห์ได้ในสัตว์ทั่วไปจากกรดอะมิโน Tryptophan สัตว์จะไม่ขาดไนอาซินถ้าได้รับ

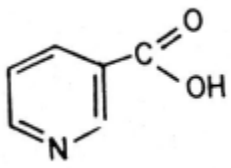
อาหารที่มี Tryptophan มาก แต่โดยทั่วไป Tryptophan พบได้น้อยในเนื้อสัตว์ ดังนั้นในอาหารสัตว์จึงควรเพิ่มไนอาซินด้วย (De Silva and Anderson, 1995) โครงสร้างของไนอาซินแสดงดังภาพที่ 4-11

ปลา Rainbow trout ที่ไม่ได้รับไนอาซินจะมีการเติบโตช้า เกิดโรคโลหิตจาง เหงือกบวม กระดูกปิดเหงือกเปิดออก ความต้องการไนอาซินสำหรับปลา Rainbow trout จะอยู่ในช่วง 1-5 mg/kg อาหาร และสำหรับปลา Brown trout และ Brook trout จะมีความต้องการประมาณ 150-200 mg/kg อาหาร โดยทั่วไปควรเพิ่มไนอาซินในอาหารอย่างน้อย 10 mg/kg อาหาร (Steffens, 1989)



ภาพที่ 4-10 อัตราการตายสะสมของลูกปลา Channel catfish ที่ได้รับกรดแพนโททีนิคในปริมาณ 10, 25, 66 และ 250 mg/kg อาหาร

ที่มา: Steffens (1989)

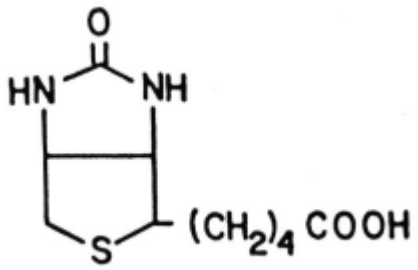


ภาพที่ 4-11 โครงสร้างของไนอาซิน

ที่มา: Lovell (1998)

8. ไบโอติน (Biotin)

ไบโอตินพบมากในตับและยีสต์ ทำหน้าที่ช่วยในการขนส่งกาซคาร์บอนไดออกไซด์ในปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่ต้องการใช้กาซคาร์บอนไดออกไซด์ โครงสร้างของไบโอตินแสดงดังภาพที่ 4-12 ไบโอตินสามารถสร้างได้จากแบคทีเรียในลำไส้เล็ก แต่ปริมาณที่ได้ไม่เพียงพอต้องได้รับจากอาหารเพิ่ม ส่วนประกอบในไข่ขาวที่เป็น Glycoprotein ที่ชื่อว่า Avidin เมื่อรวมตัวกับไบโอตินจะทำให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมสารประกอบนี้ไปใช้ประโยชน์ได้ ทำให้เกิดการขาดไบโอตินขึ้น ถ้าโครงสร้างของ Avidin ถูกทำลายด้วยความร้อนแล้ว ร่างกายก็สามารถย่อยและดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ได้ เพราะฉะนั้นในอาหารสัตว์น้ำจึงควรระวังเกี่ยวกับการใช้ไข่ดิบผสมอาหาร (De Silva and Anderson, 1995) การเจริญเติบโตและเปอร์เซนต์เกล็ดเลือดในปลา Channel catfish ที่ได้รับอาหารที่มีและไม่มีไบโอติน และ Avidin แสดงดังตารางที่ 4-2



ภาพที่ 4-12 โครงสร้างของไบโอติน

ที่มา: Lovell (1998)

ตารางที่ 4-2 ผลการเจริญเติบโตและเปอร์เซนต์เกล็ดเลือดในปลา Channel catfish ที่ได้รับอาหารที่มีและไม่มีไบโอติน และ Avidin

	อาหารที่มีไขมัน		**อาหารที่ไม่มีไขมัน**	
	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (g)	**เกล็ดเลือด** (%)	**น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น** (g)	**เกล็ดเลือด** (%)
มีไบโอติน	35.2	35.3	23.9	36.0
ไม่มีไบโอติน	31.4	36.3	23.2	31.9
มี Avidin	276	25.2	19.6	32.3

ที่มา: Steffens (1989)

ปลา Rainbow trout ที่ได้รับอาหารที่ขาดไบโอตินจะมีการเติบโตลดลง ประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำ ในปลา Brown trout และ Brook trout จะแสดงอาการเบื่ออาหาร กล้ามเนื้อลีบอ่อนแรง มี

รอยจ้ำเลือด ความต้องการไบโอตินในอาหารในปลา Rainbow trout พบว่ามีค่าน้อยมากประมาณ 0.05-0.25 mg/kg อาหาร (Steffens, 1989)

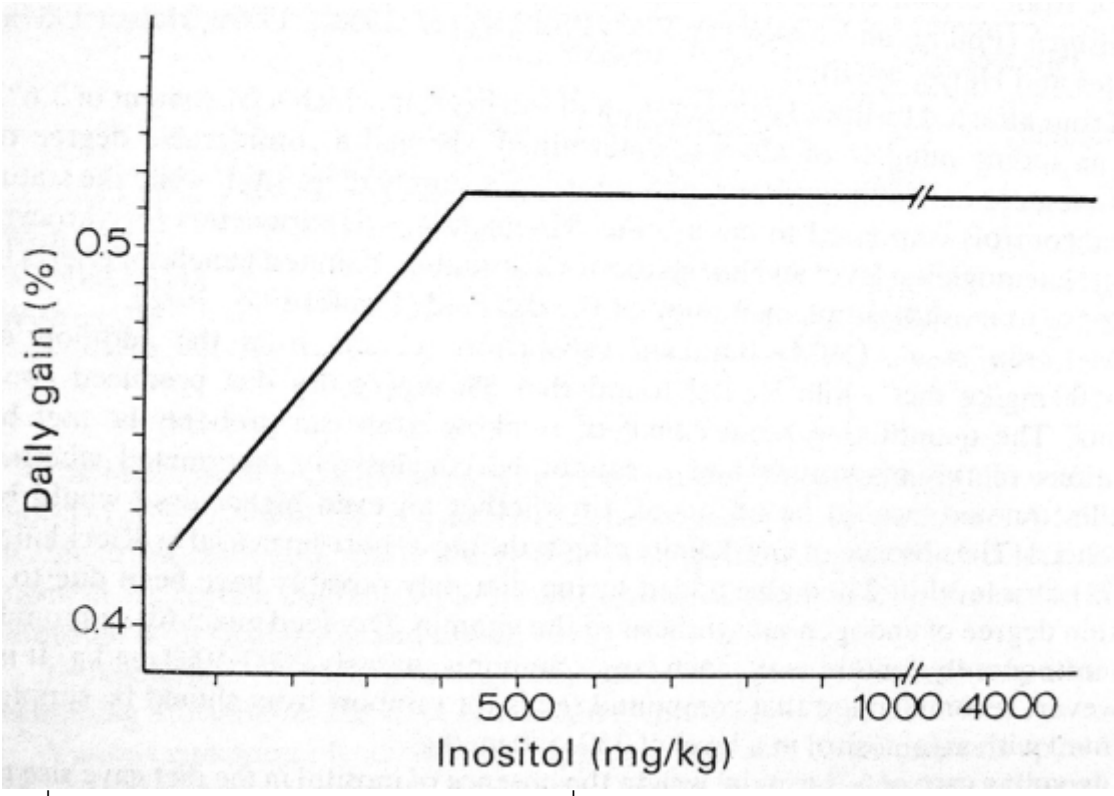
9. อินโนซิทอล (Inositol)

อินโนซิทอลเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ รูปแบบของอินโนซิทอลที่มีประโยชน์ต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมคือ Myoinositol หรือเรียกว่า Mesoinositol พบมากในเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์ ในสัตว์อินโนซิทอลจะพบใน Phospholipid ส่วนในพืชจะพบอินโนซิทอลในรูป Phosphoric ester (Phytic acid) เกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมของ Phytic acid เรียกว่า Phytin จะรบกวนการดูดซึมแคลเซียมในทางเดินอาหาร โครงสร้างของอินโนซิทอลและ Phytic acid แสดงดังภาพที่ 4-13 ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมสามารถสังเคราะห์อินโนซิทอลได้จาก D-glucose (Steffens, 1989)

ภาพที่ 4-13 โครงสร้างของอินโนซิทอลและ Phytic acid

ที่มา: Lovell (1998)

ปลา Rainbow trout ที่ขาดอินโนซิทอลจะพบว่าตับมีการสะสม Triglyceride และ Cholesterol มากแต่มี Phospholipid น้อย ในปลาทั่วไปจะพบว่ามีการเจริญเติบโตลดลง เกิดโลหิตจาง ครีบกร่อน และประสิทธิภาพการย่อยอาหารต่ำ (Lovell, 1998) ผลของการเจริญเติบโตของปลา Carp ที่ได้รับอินโนซิทอลปริมาณต่างกันในอาหารแสดงดังภาพที่ 4-14

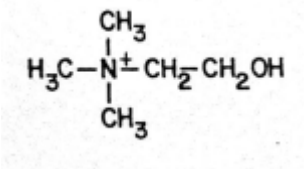


ภาพที่ 4-14 ผลของการเจริญเติบโตของปลา Carp ที่ได้รับอินโนซิทอลปริมาณต่างกันในอาหาร

ที่มา: Steffens (1989)

10. โคลีน (Choline)

โคลีนไม่ได้มีหน้าที่เป็น Coenzyme แต่ทำหน้าที่ในการให้หมู่ Methyl ในกระบวนการเมตาบอลิซึมหลายกระบวนการ เช่น ทำงานร่วมกับ Acetyl CoA ในการสร้าง Acetylcholine สัตว์สามารถสังเคราะห์โคลีนได้ถ้ามีกรดอะมิโน Methionine เพียงพอในอาหาร ดังนั้นในอาหารสัตว์น้ำจึงควรเพิ่มโคลีนเพื่อเป็นการลดความต้องการกรดอะมิโน Methionine ซึ่งในอาหารมีปริมาณน้อยอยู่แล้ว (De Silva and Anderson, 1995) โครงสร้างของโคลีนแสดงดังภาพที่ 4-15



ภาพที่ 4-15 โครงสร้างของโคลีน

ที่มา: Lovell (1998)

ปลา Rainbow trout ที่ขาดโคลีนจะมีการเจริญเติบโตช้า ตับมีสีเหลืองอ่อนและมีน้ำหนักมากขึ้นเนื่องจากมีการสะสมของไขมันมากขึ้น มีเลือดออกบริเวณไตและลำไส้เล็ก ช่องท้องขยาย เกิดโลหิต

จาง ลำตัวมีสีซีด และมีอัตราการตายเพิ่มขึ้นความต้องการโคลีนในปลา *Chrysophrys major* มีประมาณ 500 mg/kg อาหาร (Steffens, 1989) รูปแบบที่นิยมเสริมในอาหารได้แก่ Choline chloride ผลของการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารของปลา *Acipenser transmontanus* ที่ได้รับโคลีนและเลซิทินในอาหารแสดงดังตารางที่ 4-3

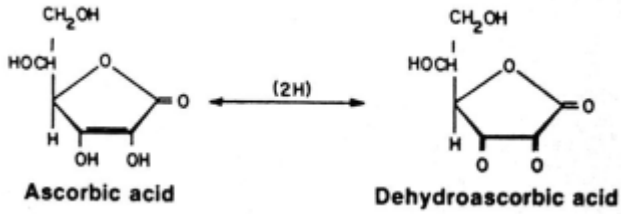
ตารางที่ 4-3 ผลของการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารของปลา Sturgeon *Acipenser transmontanus* ที่ได้รับโคลีนและเลซิทินในอาหารระยะเวลา 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 20°C

ส่วนประกอบอาหาร		**น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น**	**ประสิทธิภาพการ**
โคลีน (mg/kg)	**เลซิทิน** (%)	(%)	**เปลี่ยนอาหาร**
0	0	74	1.64
0	8	171	0.83
8000	0	203	0.72
8000	8	186	0.78

ที่มา: Steffens (1989)

11. วิตามินซี (Vitamin C or Ascorbic acid)

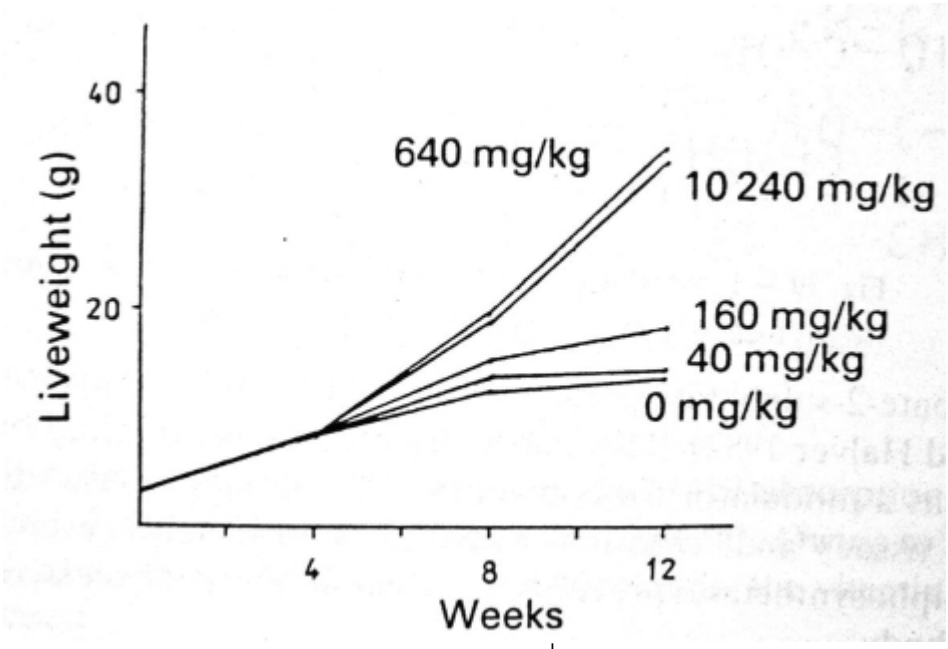
วิตามินซีสามารถสังเคราะห์ได้ในสัตว์หลายชนิดจากกลูโคสที่ตับ การขาดวิตามินเอและวิตามินอีจะมีผลกระทบต่อการสังเคราะห์วิตามินซี ปลาหลายชนิดไม่สามารถสังเคราะห์วิตามินซีได้เนื่องจากขาดเอนไซม์ L-gulonolactone oxidase สำหรับการสังเคราะห์วิตามินซี (Lovell, 1998) ทำให้ต้องได้รับวิตามินซีเพิ่มจากอาหาร วิตามินซีมีรูปแบบ 2 รูป คือ Ascorbic acid (reduced form) และ Dehydroascorbic acid (Oxidized form) โครงสร้างของวิตามินซีแสดงดังภาพที่ 4-16 นอกจากนี้ปลายังสามารถใช้วิตามินซีในรูปแบบ L-ascorbic-acid-2-sulphate ได้ (Steffens, 1989) วิตามินซีมีบทบาทในการเติมหมู่ไฮดรอกซี (Hydorxylation) ในการเปลี่ยนกรดอะมิโน Proline เป็น Hydroxyproline สำหรับการสังเคราะห์กระดูกอ่อน และทำหน้าที่เป็นสาร Reducing agent อย่างแรง มีส่วนในการสังเคราะห์ Carnitine และช่วยลดความเป็นพิษของยาฆ่าแมลงและสารพิษต่าง ๆ ที่เข้าสู่ร่างกาย วิตามินซีถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อนจากการปรุงอาหารหรือการเก็บรักษาไม่เหมาะสม โดยทั่วไปจะมีการเพิ่มวิตามินซีเกินกว่าความต้องการประมาณ 5-10 เท่า (De Silva and Anderson, 1995) รูปแบบที่นิยมใช้คือ L-Ascorbic acid



ภาพที่ 4-16 โครงสร้างของวิตามินซี

ที่มา: Lovell (1998)

ปลาที่ขาดวิตามินซีจะทำให้การสังเคราะห์ Collagen ผิดปกติ ซึ่ง Collagen เป็นส่วนประกอบของกระดูก กระดูกอ่อน เส้นเลือด ผิวหนัง และครีบ (Lovell, 1998) ปลา Rainbow trout และ Channel catfish มีความต้องการวิตามินซีในอาหารประมาณ 20 mg/kg อาหาร (Li and Lovell, 1984) ผลการเจริญเติบโตของปลา Rainbow trout ที่ได้รับวิตามินซีในอาหารแตกต่างกันแสดงดังภาพที่ 4-17 (Steffens, 1989)



ภาพที่ 4-17 ผลการเจริญเติบโตของปลา Rainbow trout ที่ได้รับวิตามินซีในอาหารแตกต่างกัน อุณหภูมิน้ำ 15°C

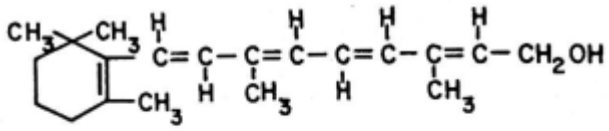
ที่มา: Steffens (1989)

วิตามินที่ละลายในไขมัน (Fat soluble vitamin)

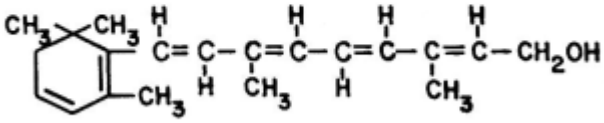
วิตามินที่ละลายในไขมันประกอบด้วยวิตามิน 4 ชนิด คือ วิตามินเอ ดี อี และเค โดยวิตามินจะถูกดูดซึมพร้อมกับไขมันเข้าสู่ร่างกาย ถ้าได้รับมากจะสะสมในร่างกายเกินความต้องการของร่างกาย (Hypervitaminosis) ทำให้เกิดพิษต่อร่างกาย

1. วิตามินเอ (Vitmain A)

วิตามินเอพบเฉพาะในสัตว์โดยเฉพาะที่ตับ วิตามินทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของโปรตีน Rhodopsin โดยรวมตัวกับโปรตีน Opsin ซึ่งเป็นเม็ดสีรับแสงบน Retina ในดวงตา วิตามินเอมี 2 รูป ได้แก่ วิตามินเอ 1 หรือ Retinol พบได้ทั่วไปในปลาทะเล และวิตามินเอ 2 หรือ Retinol 2 พบในปลาน้ำจืด นอกจากนี้วิตามินเอยังเกี่ยวข้องกับการสร้างเนื้อเยื่อ Epithelium กระดูก และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน β-Carotene ที่ใช้ในอาหารจะเป็นแหล่งของวิตามินเอ โดย β-Carotene 1 โมเลกุลให้วิตามินเอ 2 โมเลกุล (De Silva and Anderson, 1995) หน่วยวิตามินเอเป็นไอยู (IU, International unit) โดย 1 IU = 0.3 μg โครงสร้างของวิตามินเอและ β-Carotene แสดงดังภาพที่ 4-18 และ 4-19



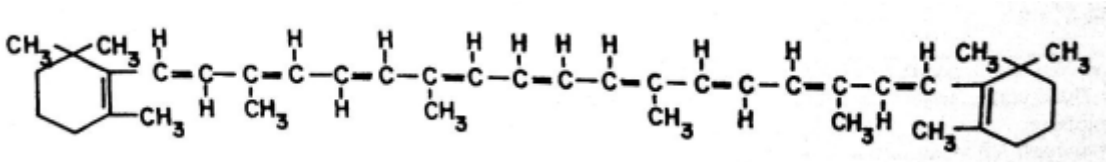
Vitamin A_1



Vitamin A_2

ภาพที่ 4-18 โครงสร้างของวิตามินเอ

ที่มา: Lovell (1998)

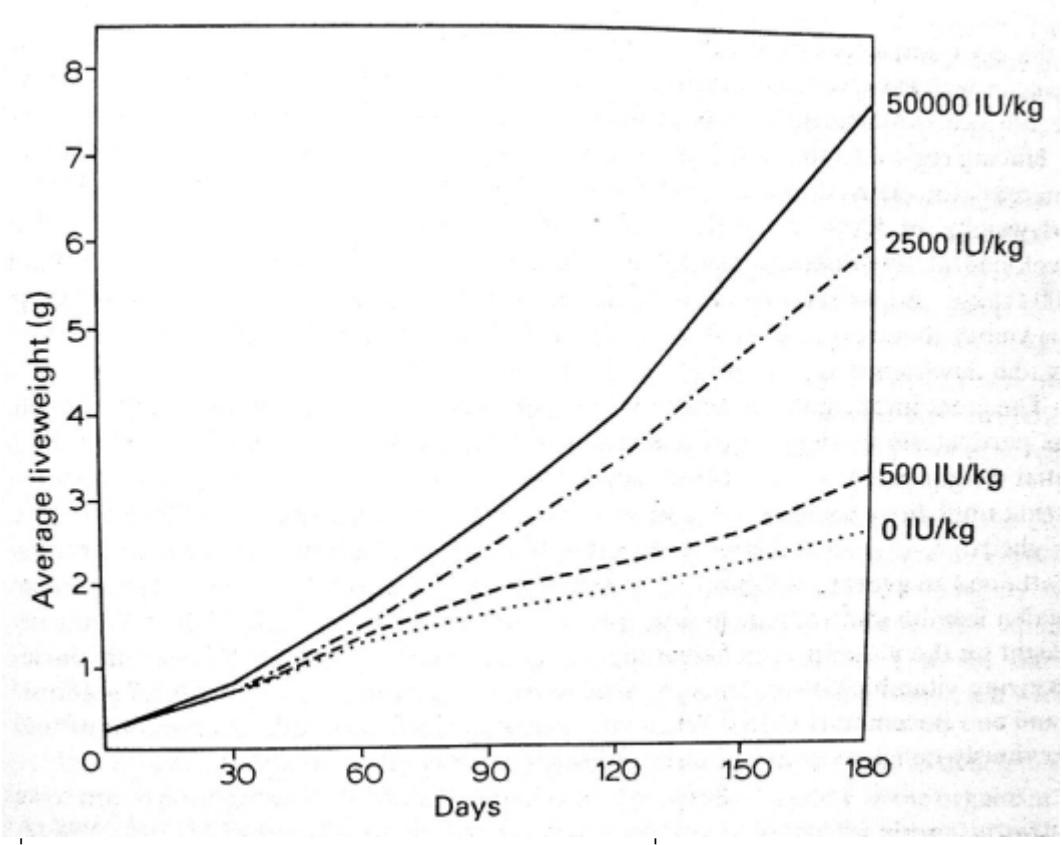


ภาพที่ 4-19 โครงสร้างของ β-Carotene

ที่มา: Lovell (1998)

วิตามินเอที่สะสมในปลามากเกินความต้องการจะทำให้เกิดพิษเรียกว่า Hypervitaminosis ปลา Rainbow trout มีความต้องการวิตามินเอประมาณ 1000-2000 IU/kg อาหาร ปลาที่ขาดวิตามิน

เอจะพบการเจริญเติบโตลดลง ในปลา Salmon จะพบอาการผิวหนังมีสีจางลง มีของเหลวในช่องท้อง มีอาการตกเลือดที่ตา เลนส์ตาขุ่น กระจกตาบาง ในปลา Carp จะพบอาการโลหิตจาง การเติบโตลดลง ผิวลำตัวมีสีซีด เกิดจ้ำเลือดที่ผิวหนังและครีบ และกระพุ้งแก้มผิดปกติ (Lovell, 1998) ผลของการเจริญเติบโตของปลา Rainbow trout ที่ได้รับวิตามินเอในอาหารในปริมาณต่างกันแสดงดังภาพที่ 4-20 รูปแบบของวิตามินเอที่นิยมใส่สมทบในอาหารได้แก่ Vitamin A acetate, Vitamin A palmitate (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)



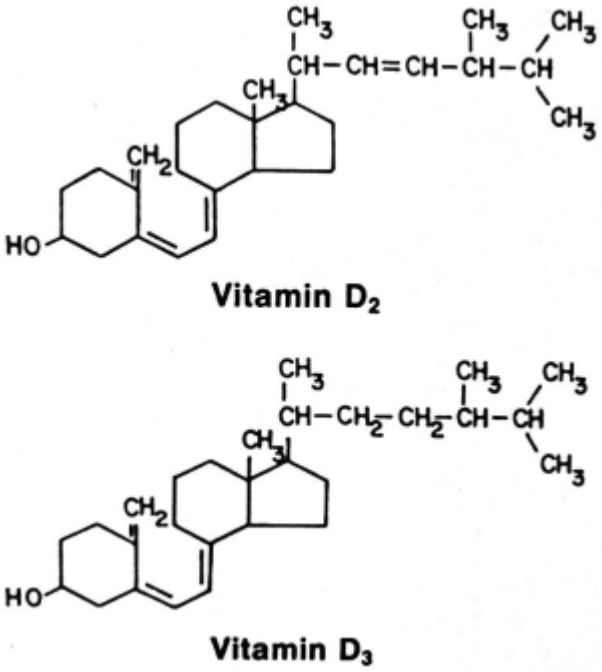
ภาพที่ 4-20 ผลของการเจริญเติบโตของปลา Rainbow trout ที่ได้รับวิตามินเอในอาหารปริมาณต่างกัน

ที่มา: Steffens (1989)

2. วิตามินดี (Vitamin D)

วิตามินดีพบมากในเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์ โดยเฉพาะน้ำมันปลา วิตามินดีมี 2 รูปแบบที่สำคัญ ได้แก่วิตามินดี 2 หรือ Ergocalciferol และวิตามินดี 3 หรือ Cholecalciferol โดยวิตามินดี 2 ได้จากโปรวิตามิน Ergostrol พบมากในพืช ส่วนวิตามินดี 3 ได้จากโปรวิตามิน 7-Dehydrocholesterol พบมากที่ผิวหนังสัตว์ (Lovell, 1998) โครงสร้างวิตามินดีแสดงดังภาพที่ 4-21 ปลาสามารถใช้ได้เฉพาะวิตามินดี 3 วิตามินดีเป็นสารตั้งต้นที่จะสร้างฮอร์โมน 1,25-Dihydroxycholescalciferol ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมปริมาณแคลเซียมและฟอสเฟตในเลือด ทำให้การดูดซึมแคลเซียมและฟอสฟอรัสบริเวณลำไส้เพื่อสร้างกระดูกเป็นปกติ สัตว์หลายชนิดรวมทั้งปลาที่อยู่ในน้ำตื้นสามารถสังเคราะห์วิตามินดีโดย

เปลี่ยน 7-Dehydrocholesterol เป็นวิตามินดีได้จากแสง Ultraviolet (De Silva and Anderson, 1995) ปลาทั่วไปที่ไม่ได้รับแสงควรได้รับวิตามินดีเสริมจากอาหาร วิตามินดี 1 IU เท่ากับ 0.025 μg Cholecalciferol



ภาพที่ 4-21 โครงสร้างของวิตามินดี

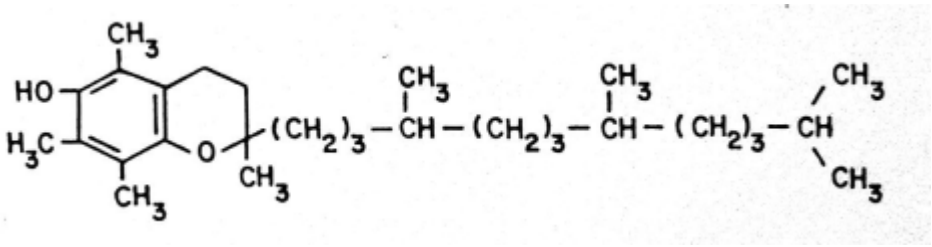
ที่มา: Lovell (1998)

ปลาที่ได้รับวิตามินดีมากจะแสดงอาการเป็นพิษขึ้น (Hypervitaminosis) โดยในปลา Brook trout จะพบปริมาณแคลเซียมในเลือดและเกล็ดเลือดสูงผิดปกติ การเจริญเติบโตลดลง สำหรับปลา Channel catfish ที่ขาดวิตามินดีจะพบการเจริญเติบโตลดลง ปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสในร่างการลดลง ความต้องการวิตามินดีในปลา Channel catfish ประมาณ 500 IU/kg อาหาร (Steffens, 1989) ในขณะที่ปลา Rainbow trout มีความต้องการวิตามินดีประมาณ 2400 IU/kg อาหาร (Lovell, 1998)

3. วิตามินอี (Vitamin E or Tocopherol)

วิตามินอีหรือ Tocopherol ทำหน้าที่เป็นสารต่อต้านการออกซิไดส์ช่วยป้องกันการออกซิไดส์ในกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (Polyunsaturated fatty acid) และ Unsaturated phospholipid ในอาหารที่มีไขมันกลุ่มไม่อิ่มตัวสูงในปริมาณมากควรมีการเพิ่มวิตามินอีในอาหาร (De Silva and Anderson, 1995) ความต้องการวิตามินอีสำหรับการป้องกันการออกซิไดซ์จะมากขึ้นถ้าในอาหารขาดซีลิเนียม (Selenium) เนื่องจากซีลิเนียมเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ Glutathione peroxidase ซึ่งเอนไซม์นี้

เป็นตัวกระตุ้นให้มีการสลายสาร Peroxide โครงสร้างของวิตามินอีแสดงดังภาพที่ 4-22 หน่วยวัดวิตามินอีใช้หน่วย IU โดยวิตามินอี 1 IU เท่ากับ 1 mg D-α-Tocopherol (Lovell, 1998)



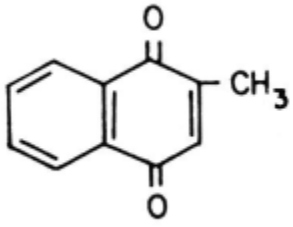
ภาพที่ 4-22 โครงสร้างของวิตามินอี

ที่มา: Lovell (1998)

ปลาที่ได้รับวิตามินอีมากเกินจะมีปริมาณเม็ดเลือดแดงลดลง การขาดวิตามินอีในปลาจะทำให้กล้ามเนื้อลีบและกล้ามเนื้อพัฒนาผิดปกติ การเจริญเติบโตลดลง ความสามารถการสืบพันธุ์ลดลง ตับมีไขมันสะสมมาก ความต้องการวิตามินอีในปลา Rainbow trout ประมาณ 5000 mg/kg อาหาร (Lovell, 1998) วิตามินอีสมทบที่นิยมใส่ในอาหารปลาอยู่ในรูป DL-α Tocopherol acetate และ DL-α Tocopherol phosphate (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)

4. วิตามินเค (Vitamin K)

วิตามินเคพบมากในปลาป่นและหญ้า Alfalfa วิตามินเคมีหลายชนิด ได้แก่ วิตามินเค 1 (Phylloquinone) แยกได้จากพืช วิตามินเค 2 (Menaquinone) แยกได้จากสัตว์ และ วิตามินเค 3 (Menadione) เป็นวิตามินสังเคราะห์มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิตามินเคในธรรมชาติ โครงสร้างของวิตามินเคแสดงดังภาพที่ 4-23 วิตามินเคช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน Prothrombin ที่ช่วยให้เลือดแข็งตัว (De Silva and Anderson, 1995) และโปรตีนอีกหลายชนิดที่ช่วยทำให้เลือดแข็งตัว เช่น Proconvertin, Plasma thromboplastin antecedent และ Stewart-Prower factor ต้องอาศัยวิตามินเคในการสังเคราะห์ (Lovell, 1998)



ภาพที่ 4-23 โครงสร้างของวิตามินเค 3 (Menadione)

ที่มา: Lovell (1998)

ปลา Channel catfish และปลา Trout ต้องการวิตามินเคสำหรับการแข็งตัวของเลือด ถ้าขาดวิตามินเคจะไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต ความต้องการวิตามินเคในปลา Trout ประมาณ 0.5-1 mg Menadione/kg อาหาร ในสัตว์บางชนิดสามารถสังเคราะห์วิตามินเคได้จากบริเวณลำไส้เล็ก แต่ไม่พบการสังเคราะห์วิตามินเคในปลา วิตามินเคที่เสริมในอาหารจะอยู่ในรูปเกลือของ Menadione เช่น Menadione sodium bisulfite หรือ Menadione dimethylpyrimidol bisulfite ซึ่งคงตัวต่อความร้อนสูงในกระบวนการทำอาหาร (Lovell, 1998)

ความต้องการวิตามินของสัตว์น้ำ (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)

1. ความต้องการวิตามินทางคุณภาพ (Qualitative requirement)

การศึกษาความต้องการวิตามินทางคุณภาพเป็นการศึกษาว่าปลาต้องการวิตามินชนิดใดบ้าง พบว่าปลาต้องการวิตามินละลายน้ำ 11 ชนิด และวิตามินละลายในไขมัน 4 ชนิด

2. ความต้องการวิตามินทางปริมาณ (Quantitative requirement)

การศึกษาความต้องการวิตามินเชิงปริมาณเป็นการศึกษาว่าปลาต้องการวิตามินแต่ละชนิดปริมาณเท่าไหร่ จุลินทรีย์ในลำไส้ปลาสามารถช่วยสังเคราะห์วิตามินให้แก่ปลาได้ ทำให้ความต้องการวิตามินของปลาลดลง โดยความต้องการวิตามินของปลาขึ้นกับ อุณหภูมิของน้ำ ขนาดของปลา สารต่อต้านการทำงานของวิตามิน และองค์ประกอบของอาหาร ความต้องการวิตามินในปลาชนิดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ความต้องการวิตามินในปลา Channel catfish, Rainbow trout, Pacific salmon, Common carp และ Nile tilapia (ต่อกิโลกรัมอาหาร) โดย R = required, NT = not tested, E = estimated และ NR = not required

วิตามิน	**Channel catfish**	**Rainbow trout**	**Pacific salmon**	**Common carp**	**Nile tilapia**
A, IU	1-2000	2500	2500	4000	NT
D, IU	500	2400	NT	NT	NT
E, IU	50	50	50	100	50
K, mg	R	R	R	NT	NT
Riboflavin, mg	9	4	7	7	6
Pantothenic acid, mg	15	20	20	30	10
Niacin, mg	14	10	R	28	NT
Vitamin B_{12}, mg	R	0.01E	R	NR	NR

วิตามิน	Channel catfish	Rainbow trout	Pacific salmon	Common carp	Nile tilapia
Choline, mg	400	1000	800	500	NT
Biotin, mg	R	0.15	R	1	NT
Folate, mg	1.5	1.0	2	NR	NT
Thiamin, mg	1	1	R	0.5	NT
Vitamin B_6, mg	3	3	6	NT	NT
Myoinositol, mg	NR	300	300	440	NT
C, mg	25-50	50	50	R	50

ที่มา: National Research Council (1993)

แร่ธาตุ (Mineral)

แร่ธาตุเป็นสารอนินทรีย์ที่ร่างกายต้องการเพื่อการเจริญเติบโต การดำรงชีพ และรักษาขบวนการเมตาบอลิซึมให้เป็นปกติ แร่ธาตุมีทั้งหมด 22 ชนิดที่ร่างกายต้องการ แบ่งเป็น แร่ธาตุหลัก (Macromineral) และแร่ธาตุรอง (Micromineral) ปลาและสัตว์น้ำสามารถใช้เหงือกในการดูดซึมแร่ธาตุจากน้ำเข้าสู่ร่างกาย นอกเหนือไปจากการดูดซึมแร่ธาตุที่ได้จากการกินอาหารตามปกติ อัตราการดูดซึมแร่ธาตุ ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของปลา อุณหภูมิน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณแร่ธาตุในน้ำ (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)

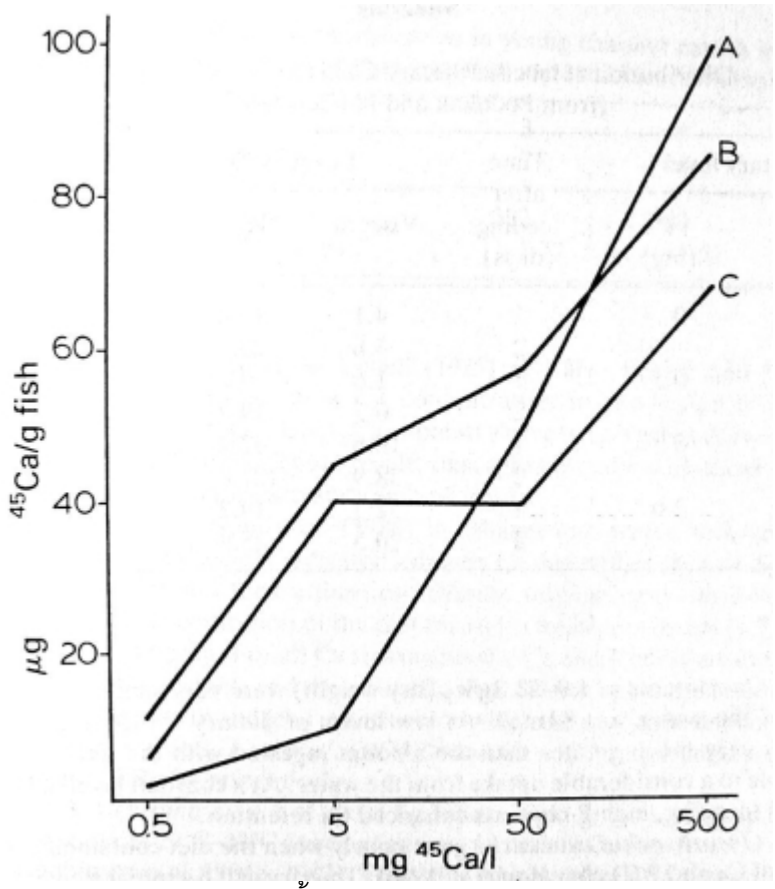
แร่ธาตุหลัก (Macrominerals or Major elements)

แร่ธาตุหลักหมายถึงแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการในปริมาณมากกว่า 100 mg/kg อาหาร (Steffens, 1989) เพื่อให้ร่างกายเจริญเติบโตตามปกติประกอบด้วย แคลเซียม (Ca) ฟอสฟอรัส (P) แมกนีเซียม (Mg) โซเดียม (Na) โปแตสเซียม (K) คลอรีน (Cl) และซัลเฟอร์ (S)

แคลเซียม (Calcium, Ca) และฟอสฟอรัส (Phosphorus, P)

แคลเซียมส่วนใหญ่ประมาณ 99% พบที่กระดูกและเกล็ดของปลา และประมาณ 20-40% พบที่เกล็ดของปลา ในช่วงเวลาขาดอาหารแคลเซียมที่เกล็ดของปลาจะถูกดูดซึมกลับสู่เนื้อเยื่อเพื่อให้กระบวนการสรีรทำงานต่อไปได้ แคลเซียมที่อยู่ในเนื้อเยื่อมีประมาณ 0.5-1% แคลเซียมมีความสำคัญต่อกระบวนการทางสรีรวิทยารวมถึงส่งผ่านกระแสประสาท การทำงานของกล้ามเนื้อ และการควบคุมแรงดันออสโมติก (Osmoregulation) และการแข็งตัวของเลือด (De Silva and Anderson, 1995; Lovell, 1998) ปลาส่วนใหญ่จะได้แคลเซียมจากน้ำผ่านทางเหงือกและผิวหนัง ดังนั้นความต้องการ

แคลเซียมจากอาหารของปลาจึงมีความต้องการน้อยลงและส่วนใหญ่จะไม่มีการทดสอบความต้องการแคลเซียมในอาหาร ปลา Catfish และ Tilapia ที่ทดลองเลี้ยงในน้ำที่ปราศจากแคลเซียมจะพบว่ามีความต้องการแคลเซียมจากอาหาร โดยทั่วไปแคลเซียมที่อยู่ในน้ำและในสิ่งแวดล้อมรอบตัวปลาเป็นแหล่งแคลเซียมที่เพียงพอต่อความต้องการของปลา (Lovell, 1998) ปริมาณการดูดซึมแคลเซียมในน้ำของปลา Rainbow trout, Brook trout และ Brown trout แสดงดังภาพที่ 4-24

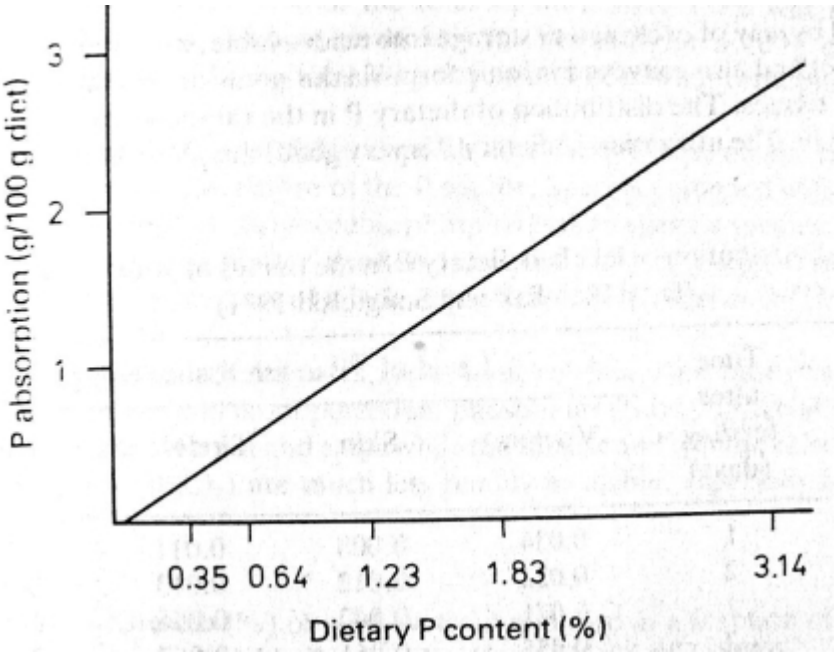


ภาพที่ 4-24 ปริมาณการดูดซึมแคลเซียมในน้ำของปลา Rainbow trout, Brook trout และ Brown trout
ที่มา: Steffens (1989)

ฟอสฟอรัสเป็นแร่ธาตุหลักอีกชนิดที่ปลาต้องการ ฟอสฟอรัสประมาณ 85-90% พบที่กระดูกและเกล็ดปลาโดยรวมตัวกับแคลเซียม ฟอสฟอรัสทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบของ Adenosine triphosphate (ATP) Deoxyribonucleic acid (DNA) Ribonucleic acid (RNA) และ Phospholipids มีบทบาทในกระบวนการ Phosphorylation ในเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และกรดอะมิโน รวมทั้งมีหน้าที่เป็นสารบัฟเฟอร์ช่วยควบคุมระดับ pH ของของเหลวภายในร่างกาย (De Silva and Anderson, 1995; Lovell, 1998) ปลาที่ขาดฟอสฟอรัสอจะมีการเจริญเติบโตลดลง แร่ธาตุในกระดูกลดลง ในปลา Carp จะพบมีการเพิ่มของไขมันบริเวณลำตัว ระดับฟอสฟอรัสในเลือดลดลง กระดูก

บริเวณหัวและสันหลังผิดปกติ ในปลา Channel catfish จะพบว่าความสามารถในการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียลดลงด้วย (Lovell, 1998)

อาหารเป็นแหล่งฟอสฟอรัสที่สำคัญสำหรับปลา ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสในอาหารและความสามารถในการดูดซึมฟอสฟอรัสแสดงดังภาพที่ 4-25 ความต้องการฟอสฟอรัสในปลา Channel catfish วัยรุ่นประมาณ 0.4-0.45% ปลา Commond carp ต้องการ 0.6% ปลา Nile tilapia ต้องการ 0.9% และปลา Red sea beam ต้องการ 0.68% การเจริญเติบโตของปลา Channel catfish ที่ได้รับแคลเซียมและฟอสฟอรัสในปริมาณต่างกันแสดงดังตารางที่ 4-5 ฟอสฟอรัสที่อยู่ในพืชประมาณ 67% อยู่ในรูป Phytate phosphorus ซึ่งปลาไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ส่วนฟอสฟอรัสในปลาป่นประมาณ 40-75% ปลามีกระเพาะอาหารสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ในขณะที่น้อยกว่า 25% ของฟอสฟอรัสในปลาป่นที่กลุ่มปลาไม่มีกระเพาะ เช่นปลา Common carp สามารถใช้ประโยชน์ได้ (Lovell, 1998) ฟอสฟอรัสที่รวมตัวกับโซเดียม หรือ Monocalcium phophate ปลาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี Dicalcium phophate ปลาสามารถใช้ประโยชน์ได้ลดลง ส่วน Tricalcium phophate ปลาใช้ประโยชน์ได้น้อย การเจริญเติบโตของปลา Rainbow trout และ Carp ที่ได้รับฟอสฟอรัสต่างรูปแบบแสดงดังตารางที่ 4-6



ภาพที่ 4-25 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสในอาหารและความสามารถในการดูดซึมฟอสฟอรัส

ที่มา: Steffens (1989)

ตารางที่ 4-5 การเจริญเติบโตของปลา Channel catfish ที่ได้รับแคลเซียมและฟอสฟอรัสในปริมาณต่างกัน ระดับโปรตีนในอาหาร 20%

Ca (g/kg)	**3**	**8**	**15**
P (g/kg)	**2**	**4**	**9**
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%)	332	389	456
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (kg/kg อาหาร)	1.72	1.51	1.41

ที่มา: Steffens (1989)

ตารางที่ 4-6 การเจริญเติบโต (%) ของปลา Rainbow trout และ Carp ที่ได้รับฟอสฟอรัสต่างรูปแบบ

	ปลา Rainbow trout	**ปลา Carp**
Monocalcium phosphate	640-710	270-287
Dicalcium phosphate	610	150
Tricalcium phosphate	494	112

ที่มา: Steffens (1989)

แมกนีเซียม (Magnesium)

แมกนีเซียมประมาณ 70%พบมากในโครงสร้างส่วนที่แข็งของปลา หน้าที่ของแมกนีเซียมเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต และการสังเคราะห์โปรตีน จำเป็นต่อกระบวนการออสโมติก ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อเรียบ (Lovell, 1998)

ปลา Channel catfish ที่ขาดแมกนีเซียมจะเจริญเติบโตช้า เชื่องซึม กล้ามเนื้ออ่อนแรง อัตราการตายสูง และปริมาณแมกนีเซียมทั้งร่างกาย ในเลือด และกระดูกลดลง อาการขาดแมกนีเซียมจะไม่พบในปลาที่เลี้ยงในทะเล (Lovell, 1998) ปลาสามารถดูดซึมแมกนีเซียมในน้ำผ่านทางเหงือกได้เช่นเดียวกับแคลเซียม และฟอสฟอรัส ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำจืดไม่เพียงพอกับความต้องการของปลา ในขณะที่น้ำทะเลมีปริมาณแมกนีเซียมประมาณ 1.3 g/L ซึ่งเพียงพอกับความต้องการของปลา ปลาน้ำจืดที่อาศัยอยู่ในน้ำที่มีแมกนีเซียม 1-3 mg/L ต้องการแมกนีเซียมในอาหารประมาณ 0.025-0.07% ในอาหารทั่วไปโดยเฉพาะที่มีส่วนประกอบจากพืชจะมีแมกนีเซียมค่อนข้างสูงจึงอาจไม่ต้องเพิ่มแมกนีเซียมในอาหาร (Steffans, 1989; Lovell, 1998)

โซเดียม โพแทสเซียม และคลอไรด์ (Sodium, Potassium and Chloride)

คลอไรด์เป็นสารอิเลคโทรไลต์ หรือสารบัฟเฟอร์ที่พบมากที่สุดในร่างกาย โซเดียม และคลอไรด์พบเฉพาะของเหลวภายนอกเซลล์ (Extracellular fluid) โพแทสเซียม พบเฉพาะของเหลวภายในเซลล์ (Intracellular fluid) ช่วยควบคุมระบบออสโมเลกุเลชัน (Osmoregulation) ให้คงที่ ควบคุมสารผ่านเข้าออกเซลล์ ช่วยรักษาสมดุลกรด-ด่างของของเหลวภายในร่างกาย ช่วยในการถ่ายทอดสัญญาณประสาท ช่วยในการคลายตัวของกล้ามเนื้อ คลอไรด์ช่วยในการสร้างกรดเกลือ (HCl) ในกระเพาะอาหาร (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)

ปลาสามารถดูดซึมโซเดียม โพแทสเซียม และคลอไรด์จากน้ำได้ดี เพียงพอกับความต้องการของปลา มีรายงานว่าปลาส่วนใหญ่ต้องการโซเดียม โพแทสเซียม และคลอไรด์จากอาหารอยู่ในช่วงประมาณ 0.1-0.3%, 0.1-0.3% และ 0.1-0.5% ตามลำดับ โซเดียม โพแทสเซียม และคลอไรด์นิยมเสริมรวมเข้าไปในรูปพรีมิกซ์ (Premix) ในปลาทะเลไม่มีรายงานการขาดโซเดียม โพแทสเซียม และคลอไรด์ ในขณะที่สัตว์บกถ้าขาดจะมีอาการ โตช้า FCR สูง การทำงานของเซลล์ผิดปกติ กล้ามเนื้ออ่อนแอ (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)

กำมะถัน (Sulfur)

กำมะถันเป็นเป็นองค์ประกอบของ เมทไธโอนีน ซีสทีน และซีสเตอีน ปลาดูดซึมกำมะถันในน้ำได้เช่นเดียวกับคลอไรด์และฟอสเฟตผ่านทางเหงือก อัตราการดูดซึมขึ้นกับความเข้มข้นของกำมะถันในน้ำแต่อัตราการดูดซึมจะค่อนข้างต่ำ ถ้าอุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้นอัตราการดูดซึมจะมากขึ้นด้วย แต่กำมะถันที่อยู่ในอาหารสามารถดูดซึมได้รวดเร็วกว่าประมาณ 100 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับกำมะถันในน้ำ แต่อัตราการเปลี่ยนกำมะถันในอาหารเป็นสารประกอบอินทรีย์กำมะถันพบว่ากำมะถันในอาหารมีอัตราการเปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์กำมะถันน้อยกว่ากำมะถันในน้ำประมาณ 10 เท่า ในสัตว์น้ำไม่มีรายงานการขาดกำมะถันรวมถึงอาการของสัตว์ที่ขาดกำมะถัน (Steffans, 1989)

แร่ธาตุรอง (Microminerals or Trace elements)

แร่ธาตุรองหมายถึงแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อยมาก แต่จำเป็นต้องใส่ลงในอาหารเพื่อให้ร่างกายเจริญเติบโตได้ตามปกติ ความต้องการจะน้อยกว่า 100 mg/kg อาหาร (Steffans, 1989) ประกอบด้วย เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ซีลีเนียม (Se) ไอโอดีน (I) โคบอลต์ (Co) โมลิบดินัม (Mo) โครเมียม (Cr) ฟลูออไรด์ (F) อะลูมิเนียม (Al) นิกเกิล (Ni) วานาเดียม (V) ซิลิคอน (Si) และโบรอน (Br)

เหล็ก (Iron)

เหล็กส่วนใหญ่ในปลาเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในเม็ดเลือดแดง โดยเซลล์เม็ดเลือดแดงจะถูกสร้างจากม้ามและไตส่วนหน้าของปลาแทนที่ไขกระดูกในสัตว์บก และเหล็กยังเป็นส่วนประกอบของ Heme enzyme เช่น Cytochromes ซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งอิเลคตรอนในการหายใจระดับเซลล์ (Lovell, 1998)

เหล็กจะถูกดูดซึมและขนส่งภายในร่างกายโดยการรวมตัวกับโปรตีน เช่นเดียวกับสังกะสี และทองแดง เหล็กจะรวมตัวกับโปรตีน Apoferritin กลายเป็น Ferritin ที่เนื้อเยื่อชั้น Mucosa บริเวณลำไส้เล็ก ปริมาณโปรตีน Apoferritin จะเป็นตัวควบคุมความต้องการเหล็กของร่างกาย เหล็กจะอยู่ในรูป Oxidized (Fe^{3+}) ในขณะที่รวมตัวกับโปรตีน เมื่อเหล็กถูกปลดปล่อยเข้าสู่กระแสเลือด เหล็กจะอยู่ในรูป Fe^{2+} การขนส่งเหล็กในกระแสเลือดเหล็กจะจับตัวกับโปรตีนชนิดอื่น เช่น Transferrin และถูกส่งไปสะสมยังตับและ Hemopoietic tissues โดยเหล็กจะจับกับโปรตีนจนกระทั่งถูกนำไปใช้งาน เหล็กและแร่ธาตุชนิดอื่นที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยจะไม่ถูกขับออกจากร่างกายผ่านปัสสาวะ แต่จะถูกหมุนเวียนกลับระบบย่อยอาหารผ่านทางท่อน้ำดี (Lovell, 1998) ผลของการขาดเหล็กต่อการเจริญเติบโต จำนวนเม็ดเลือดแดง และปริมาณ Haemoglobin ของปลา Brook trout แสดงดังภาพที่ 4-27

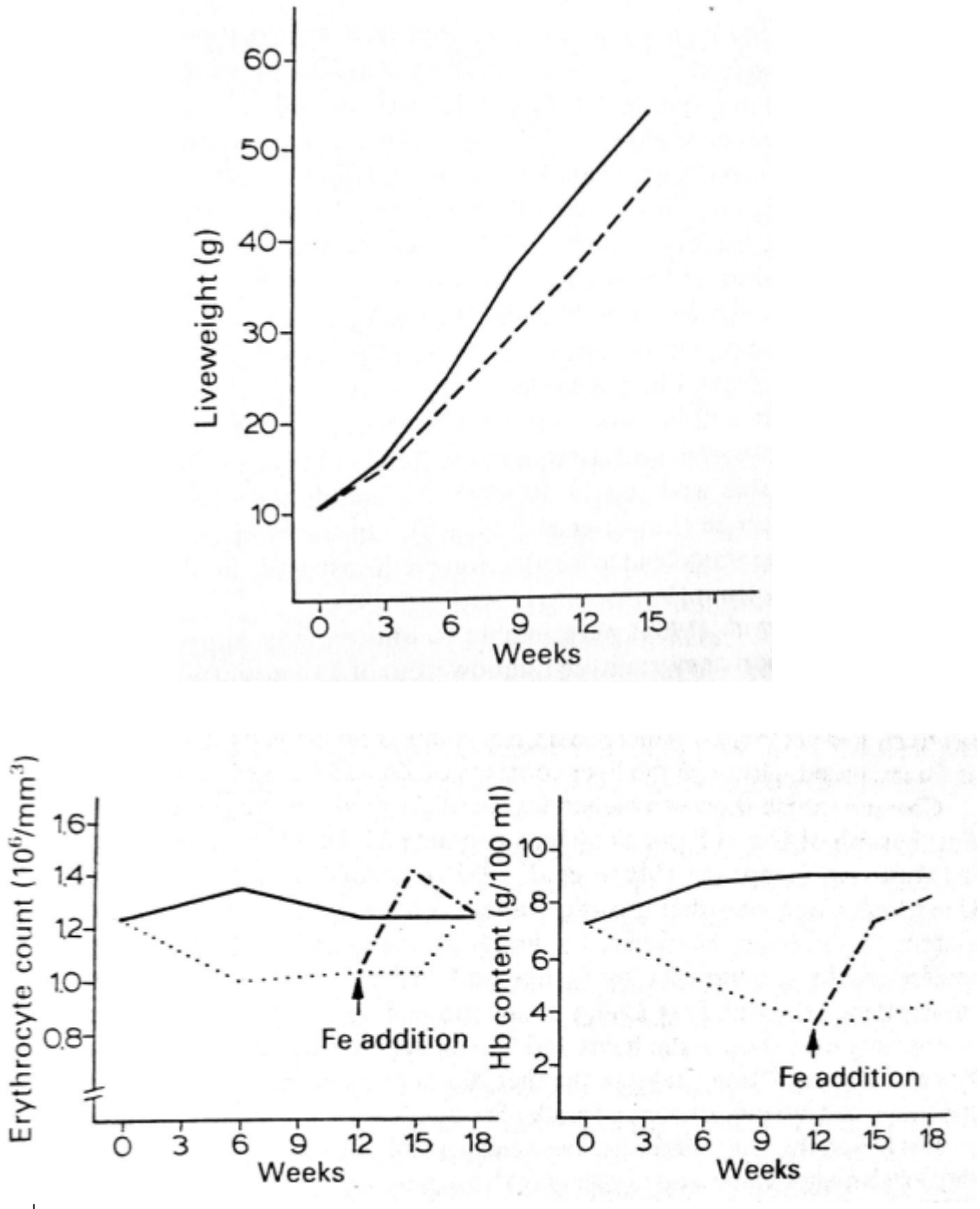
อาการขาดเหล็กในปลาจะพบว่าปลามีอาการโลหิตจาง ความต้องการเหล็กในปลา Channel catfish เท่ากับ 30 mg/kg อาหาร ในขณะที่ปลา Atlantic salmon มีความต้องการประมาณ 60 mg/kg อาหาร เหล็กที่ละลายอยู่ในน้ำมีปริมาณน้อย ในขณะที่เหล็กจะพบในอาหารทั่วไปแต่ในพืชจะมีเหล็กที่ในประโยชน์ได้น้อย เพราะฉะนั้นจึงควรมีการเสริมเหล็กในอาหารโดยรูปแบบที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้ดีคือ Ferrous sulfate และ Ferrous cabonate (Lovell, 1998)

ทองแดง (Copper)

ทองแดงมีบทบาทต่อการดูดซึมและเมตาบอลิซึมของเหล็ก ถ้าอาหารขาดทองแดงปริมาณเหล็กในร่างกายจะลดลงด้วย ทองแดงมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์เม็ดเลือดแดง (Hematopoiesis) และเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์เช่น Cytochrome C oxidase ในกระบวนการขนส่งอิเลคตรอน Superoxide dismutase และ Tyrosinase สำคัญต่อการพัฒนากระดูกเพราะมีบทบาทในการสังเคราะห์ Collagen ในสัตว์ทะเลไม่มีกระดูกสันหลังเช่น หอยและครัสตาเซีย ทองแดงยังเป็นส่วนประกอบของ Pigment ที่ช่วยในการขนส่งออกซิเจนที่ชื่อ Hemocyanin หรือ Cyanidin ทองแดงถูกดูดซึมและขนส่งในร่างกายโดยรวมกับโปรตีนเช่นเดียวกับเหล็ก (Lovell, 1998)

ปลา Common carp ต้องการทองแดงประมาณ 3 mg/kg อาหาร ปลา Channel catfish มีความต้องการประมาณ 1.5-5.0 mg/kg อาหาร เพื่อการเจริญเติบโตที่เป็นปกติ และช่วยสร้างเม็ดเลือด

แดง ถ้าได้รับมากถึง 32 mg/kg อาหาร จะทำให้การเจริญเติบโตลดลง และมีอาการโลหิตจาง (Lovell, 1998)



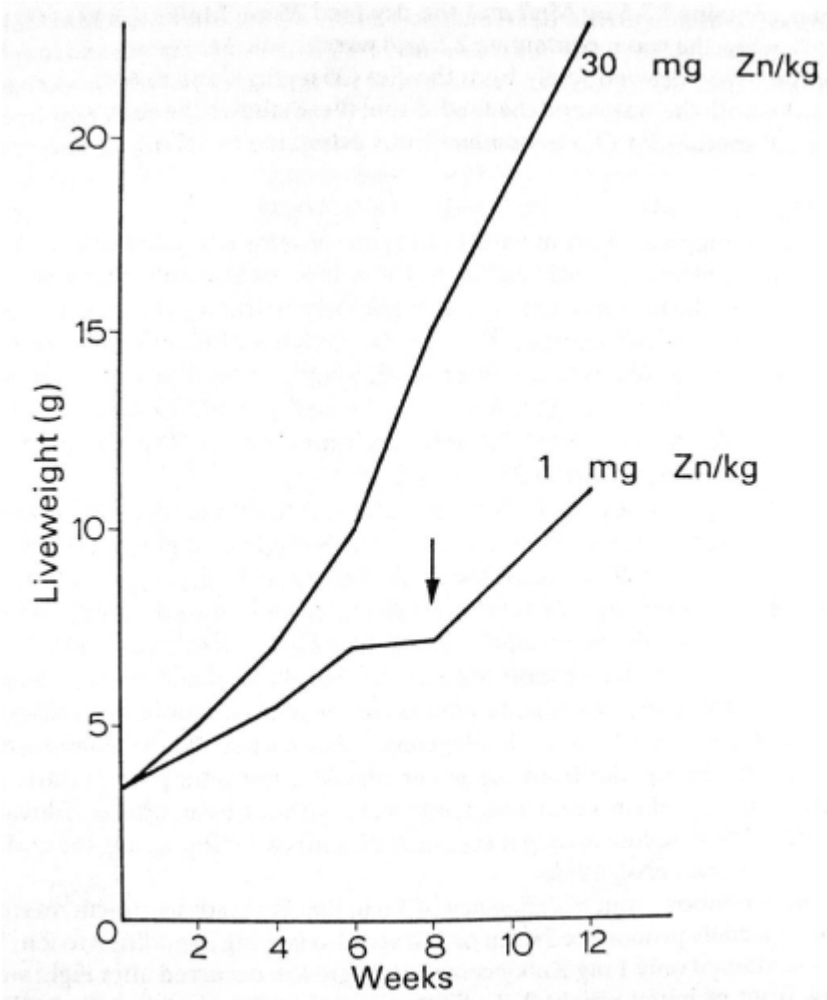
ภาพที่ 4-27 ผลของการขาดเหล็กต่อการเจริญเติบโต จำนวนเม็ดเลือดแดง และปริมาณ Haemoglobin ของปลา Brook trout (—) อาหารควบคุม (- -) อาหารที่ขาดเหล็ก

ที่มา: Steffens (1989)

สังกะสี (Zinc)

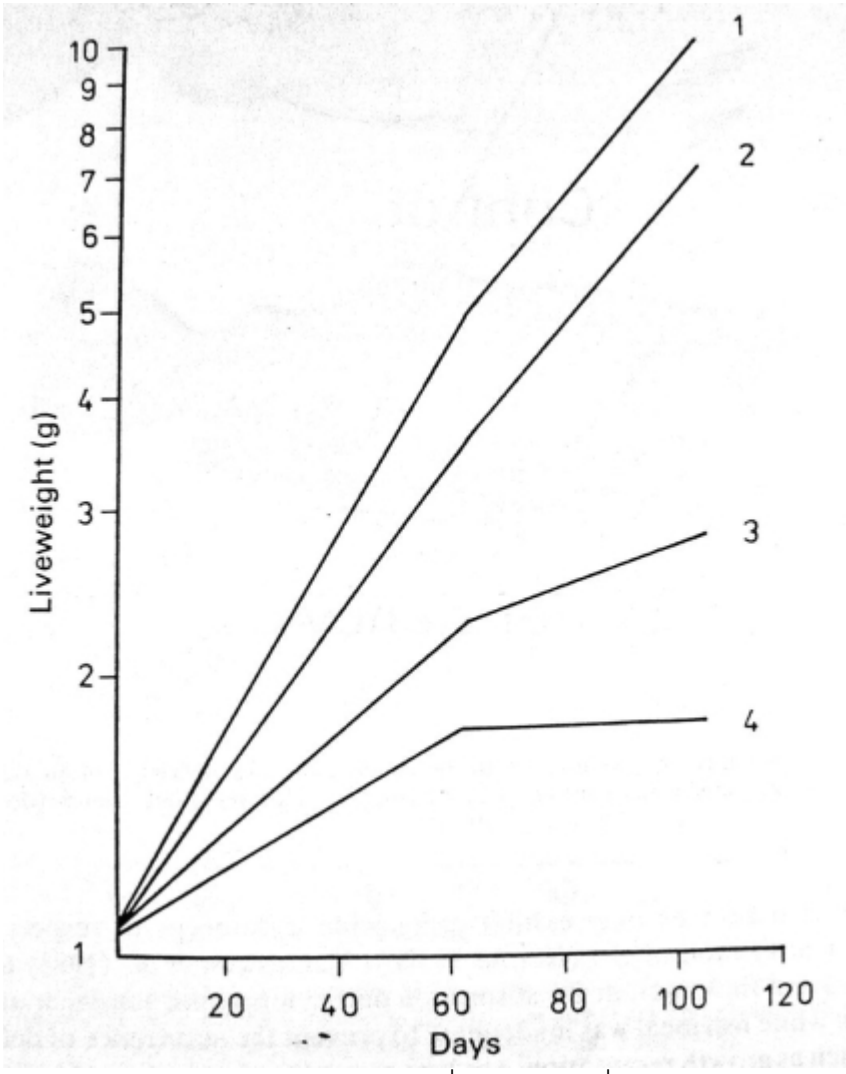
สังกะสีทำหน้าที่เป็น Cofactor ของเอนไซม์หลายชนิด เช่น Carbonic anhydrase ที่พบในเซลล์เม็ดเลือดแดง และเอนไซม์ในเมตาบอลิซึมของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ช่วยป้องกันการเกิด Keratinization ของเนื้อเยื่อ Epithelium ฮอร์โมน Insulin ที่สะสมในร่างกายจะอยู่ในรูปที่รวมตัวกับสังกะสี (Lovell, 1998)

ปลา Channel catfish ที่ขาดสังกะสีจะมีการเจริญเติบโตช้า ลดความอยากกินอาหาร ผิวหนังและครีบเปื่อย และปริมาณสังกะสีและแคลเซียมในกระดูกลดลง ผลของอาหารที่มีปริมาณสังกะสีต่างกันต่อการเจริญเติบโตของปลา Rainbow trout แสดงดังภาพที่ 4-28 ปลา Channel catfish ต้องการสังกะสีประมาณ 20 mg/kg อาหาร (Lovell, 1998)



ภาพที่ 4-28 ผลของอาหารที่มีปริมาณสังกะสีต่างกันต่อการเจริญเติบโตของปลา Rainbow trout
ตำแหน่งลูกศรแสดงการให้อาหารที่มีสังกะสี 30 mg/kg ทดแทนอาหารที่ขาดสังกะสี
ที่มา: Steffens (1989)

ความเข้มข้นของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในอาหารที่อยู่ในรูป Phytic acid และแหล่งของสังกะสีมีผลต่อการดูดซึมสังกะสี โดย Phytic acid จะจับตัวกับสังกะสีขัดขวางการดูดซึมสังกะสีไปใช้งาน ในขณะที่แคลเซียมจะเป็นตัวช่วยให้สังกะสีมีการรวมตัวกับ Phytic acid มากขึ้น ความสามารถในการใช้ประโยชน์สังกะสีที่อยู่ในปลาป่นมีความสัมพันธ์ผกผันกับปริมาณ Tricalcium phsphate เพราะสังกะสีจะรวมตัวกับ Tricalcium phsphate ทำให้ไม่สามารถถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ในบริเวณลำไส้เล็กได้ ดังนั้นปริมาณการเสริมสังกะสีในอาหารจะขึ้นกับปริมาณปลาป่น เนื้อและกระดูกป่น และ



ภาพที่ 4-29 การเจริญเติบโตของปลา King salmon ที่ได้รับอาหารที่มีสังกะสี 50 mg/kg แต่ปริมาณแคลเซียมและ Phytic acid แตกต่างกัน โดย 1 = 4.4 g Ca/kg, 1.6 g Phytic acid/kg; 2 = 49.0 g Ca/kg, 1.6 g Phytic acid/kg; 3 = 5.1 g Ca/kg, 25.8 g Phytic acid/kg และ 4 = 51.0 g Ca/kg, 25.8 g Phytic acid/kg

ที่มา: Steffens (1989)

Phytic acid ซึ่งพบมากในกากถั่วเหลือง ที่มีอยู่ในอาหาร ในอาหารทั่วไปควรเพิ่มสังกะสีในอาหารประมาณ 80-100 mg/kg อาหาร (Lovell, 1998) ผลการเจริญเติบโตของปลา King salmon ที่ได้รับอาหารที่มีสังกะสี 50 mg/kg แต่ปริมาณแคลเซียมและ Phytic acid แตกต่างกันแสดงดังภาพที่ 4-29

แมงกานีส (Manganese)

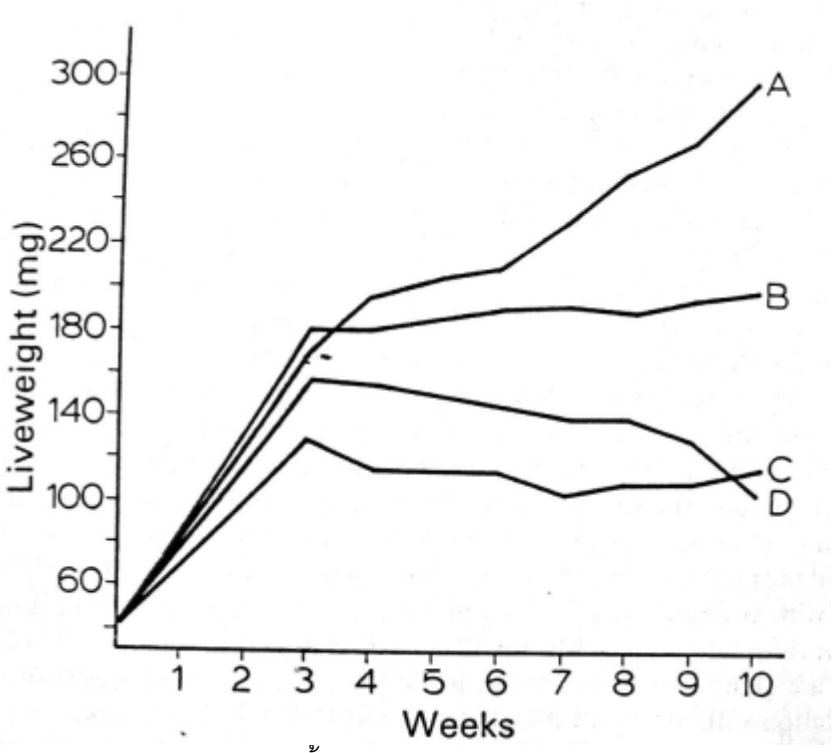
แมงกานีสทำหน้าที่เป็น Cofactor ของเอนไซม์ Superoxide dismutase และมีบทบาทในเมตาบอลิซึมของกรดอะมิโน กรดไขมัน และกูลโคส (Lovell, 1998)

ปลา Common carp และปลา Rainbow trout ที่ขาดแมงกานีสจะทำให้การเจริญเติบโตลดลง การพัฒนาของหางผิดปกติ และลำตัวสั้น ในอาหารควรใส่แมงกานีสเพิ่มประมาณ 13 mg/kg อาหาร น้ำทะเลเป็นแหล่งแมงกานีสที่สำคัญของปลา ในขณะที่น้ำจืดพบว่ามีแมงกานีสละลายน้ำน้อยมาก ผลของการเสริมแมงกานีสในน้ำและในอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลา *Oreochromis mossambicus* แสดงดังภาพที่ 4-30 วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งโปรตีนจากสัตว์จะมีแมงกานีสสูงแต่ปริมาณยังไม่เพียงพอกับความต้องการเนื่องจากปริมาณวัตถุดิบเหล่านั้นที่เป็นส่วนประกอบในอาหารมีปริมาณจำกัด และการใช้ประโยชน์ได้ของแมงกานีสในแหล่งวัตถุดิบเหล่านั้นมีจำกัด รูปแบบของแมงกานีสที่เสริมในอาหารคือ Manganese sulfate สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก (Lovell, 1998)

ซีลีเนียม (Selenium)

ซีลีเนียมทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ Glutathione peroxidase ในการสลาย Hydroperoxide และเป็นสารป้องกันการถูกออกซิไดส์อย่างแรงช่วยป้องกันกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง และ Unsaturated phospholipid จากการถูกออกซิไดส์ และซีลิเนียมยังเป็น Cofactor ในเมตาบอลิซึมของกูลโคส (Lovell, 1998)

ปลา Atlantic salmon ที่ขาดซีลิเนียมจะมีการเติบโตลดลง การทำงานของเอนไซม์ Glutathione peroxidase ในเลือดลดลง การขาดซีลิเนียมอย่างเดียวไม่ทำให้ปลาแสดงอาการทางพยาธิสภาพ แต่ถ้าขาดซีลิเนียมร่วมกับขาดวิตามินอีจะทำให้ปลาเกิดอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรง ปลา Rainbow trout ที่ได้รับซีลิเนียม 0.38 mg/kg จะพบการทำงานของเอนไซม์ Glutathione peroxidase สูงสุด แต่ถ้าได้รับซีลิเนียมในรูป Sodium selenite มากถึง 13 mg/kg จะทำให้การเจริญเติบโตลดลงและอัตราการตายเพิ่มมากขึ้น สำหรับปลา Channel catfish ปริมาณซีลิเนียมที่เหมาะสมเท่ากับ 0.25 mg/kg ถ้าได้รับมากถึง 15 mg/kg จะทำให้เกิดความเป็นพิษ รูปแบบของซีลิเนียมที่ใช้เสริมในอาหารคือ Selenite selenium (Lovell, 1998)



ภาพที่ 4-30 ผลของการเสริมแมงกานีสในน้ำและในอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลา *Oreochromis mossambicus* โดย A = เพิ่มแมงกานีสในน้ำและอาหาร; B = เพิ่มในน้ำอย่างเดียว; C = เพิ่มในอาหารอย่างเดียว และ D = ไม่เพิ่มทั้งในน้ำและอาหาร

ที่มา: Steffens (1989)

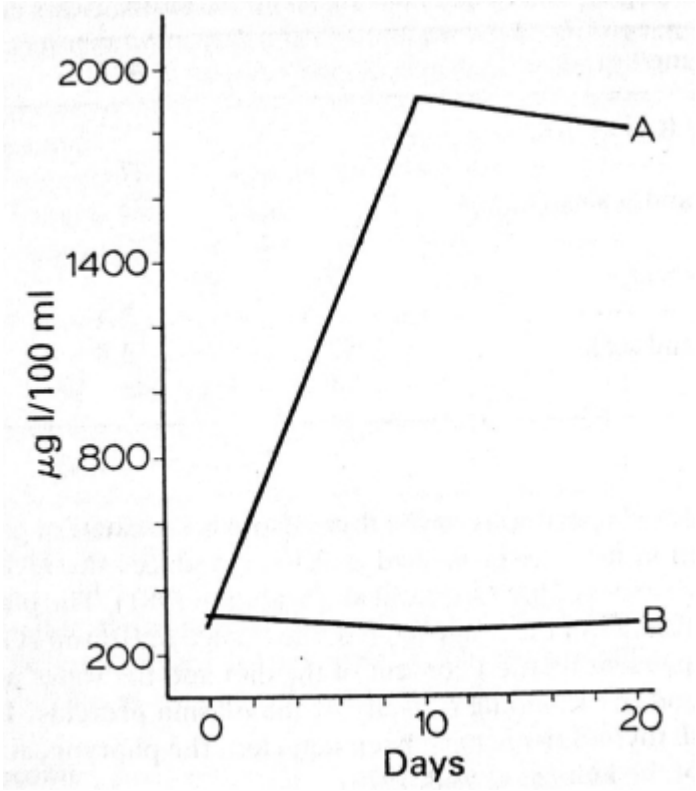
โครเมียม (Chromium)

โครเมียมมีหน้าที่เป็น Cofactor ของเอนไซม์ในเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน กรดนิวคลีอิก และ Sterol ช่วยกระตุ้นการทำงานของฮอร์โมน Insulin สำหรับเมตาบอลิซึมของกูลโคส ถ้าไม่มีโครเมียมจะทำให้ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ไขมันและไกลโคเจนจากกูลโคสได้ ในอาหารที่มีโครเมียมในรูป Chromium picolinate ปริมาณ 0.2-0.4 mg/kg จะทำให้การเจริญเติบโตและกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น ปริมาณไขมันลดลง (Lovell, 1998)

ความต้องการโครเมียมในปลายังไม่มีการศึกษา ปริมาณโครเมียมที่มีอยู่ในอาหารเพียงพอต่อความต้องการ แต่ถ้าอาหารที่มีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตสูงควรเพิ่มโครเมียมลงในอาหาร รูปแบบที่ใช้คือ Chromium chloride ในรูปสารอนินทรีย์ และโครเมียมในรูปสารอินทรีย์ใช้ Chromium pinolinate, Chromium proteinate และ Chromium yeast ซึ่งโครเมียมในรูปสารอินทรีย์สามารถใช้ประโยชน์ในสัตว์ได้ดีกว่า Chromium chloride (Lovell, 1998)

ไอโอดีน (iodine)

ไอโอดีนเป็นส่วนประกอบของฮอร์โมนไธรอกซิน (Thyroxin) ซึ่งถูกสังเคราะห์ภายในต่อมไทรอยด์ (Thyroid) ช่วยควบคุมการออกซิเดชันภายในเซลล์ ช่วยควบคุมการเจริญเติบโตให้เป็นปกติ ป้องกันโรคคอพอก ปลาสามารถดูดซึมไอโอดีนจากน้ำมาใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าดูดซึมจากอาหาร ในปลา Rainbow trout สามารถดูดซึมไอโอดีนจากน้ำได้มากถึง 80% และดูดซึมจากอาหารได้ประมาณ 19% อีก 1% เป็นการนำฮอร์โมนไธรอกซินกลับมาใช้ใหม่ ความต้องการไอโอดีนของปลาประมาณ 1-5 mg/kg อาการขาด เป็นโรคคอหอยพอก โดยส่วนใหญ่มักเป็นปลากลุ่มกินเนื้อ (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536) ปริมาณไอโอดีนในเลือดของปลา Brook trout ที่ตอบสนองต่อปริมาณไอโอดีนในอาหารแสดงดังภาพที่ 4-31



ภาพที่ 4-31 ปริมาณไอโอดีนในเลือดของปลา Brook trout ที่ตอบสนองต่อปริมาณไอโอดีนระดับสูง (A) และระดับต่ำ (B) ในอาหาร

ที่มา: Steffens (1989)

โคบอลต์ (Cobalt)

โคบอลต์เป็นองค์ประกอบของวิตามินบี 12 ซึ่งถูกสังเคราะห์ขึ้นมาโดยจุลินทรีย์ในลำไส้เพื่อนำไปสร้างเม็ดเลือดแดง เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด มีความสำคัญต่อเมตาบอลิซึมของ

คาร์โบไฮเดรตและโปรตีน การขาดโคบอลต์สัตว์จะแสดงอาการเหมือนการขาดวิตามินบี 12 (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536; Steffans, 1989)

ปลาสามารถดูดซึมโคบอลต์จากน้ำผ่านทางเหงือก ปลาจะดูดซึมโคบอลต์ในน้ำได้มากขึ้นถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและดูดซึมได้ลดลงเมื่อมีแคลเซียมในน้ำ ลำไส้เล็กส่วนต้นมีบทบาทสำคัญในการดูดซึมโคบอลต์จากอาหาร การเพิ่มโคบอลต์ในอาหารจะทำให้ปลา Rainbow trout และปลา *Mugil parsia* มีการเจริญเติบโตดีขึ้น จำนวนเม็ดเลือดแดงมากขึ้น ปริมาณความต้องการโคบอลต์ประมาณ 0.05 mg/kg อาหาร (Steffans, 1989)

ความต้องการแร่ธาตุของสัตว์น้ำ

1. ความต้องการแร่ธาตุทางคุณภาพ (Qualitative requirement) การศึกษาทำได้ยาก เพราะต้องแยกแร่ธาตุชนิดที่ต้องการศึกษาออกจากอาหารและน้ำที่ใช้เลี้ยง การศึกษาความต้องการแร่ธาตุทางคุณภาพทำให้ทราบว่าสัตว์น้ำต้องการแร่ธาตุหลัก และแร่ธาตุรอง (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)
2. ความต้องการแร่ธาตุทางปริมาณ (Quantitative requirement) การศึกษาความต้องการแร่ธาตุทางปริมาณ ควบคุมปริมาณแร่ธาตุที่สัตว์น้ำได้รับทางน้ำลำบาก มีการศึกษาเฉพาะในสัตว์น้ำบางกลุ่ม (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536) ความต้องการแร่ธาตุของปลา Rainbow trout และปลา Carp แสดงดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ความต้องการแร่ธาตุสำคัญในปลา Rainbow trout และปลา Carp

	ปลา Rainbow trout	**ปลา** Carp
แร่ธาตุหลัก (g/kg น้ำหนักเปียก)		
Ca	5.2	6.1
P	4.8	5.0
Mg	0.33	0.25
K	3.2	2.1
Na	1.3	0.85
แร่ธาตุรอง (mg/kg น้ำหนักเปียก)		
Fe	12	20
Cu	1.2	1.1
Mn	1.8	0.7
Zn	25	63

ที่มา: Steffens (1989)