วิตามินเอในอาหารสัตว์น้ำ

Dietary Vitamin A for Aquatic Animals

พิเชต พลายเพชร[1*] และ จันทร์สว่าง งามผ่องใส[2]

Pichet Plaipetch[1*] and Chansawang Ngamphongsai[2]

[1]*ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์น้ำชลบุรี กรมประมง*

[2]*ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ*

[1]*Chonburi Aquatic Animal Feed Research and Development Center, Department of Fisheries*

[2]*National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, National Science and Technology Development Agency*

Received : 21 January 2021

Revised : 1 April 2021

Accepted : 29 April 2021

บทคัดย่อ

วิตามินเอเป็นกลุ่มของสารอินทรีย์ที่ออกฤทธิ์คล้ายเรตินอลและมีบทบาทสำคัญต่อการมองเห็น การสร้างเซลล์ การพัฒนาของตัวอ่อนและระบบภูมิคุ้มกัน วิตามินเอมี 2 กลุ่ม คือ เรตินอยด์ เช่น เรตินอลและเรตินาล และแคโรทีนอยด์ เป็นที่สารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอ เช่น เบต้าแคโรทีน สัตว์น้ำสะสมวิตามินเอส่วนใหญ่ในตับในรูปเอสเตอร์ของ all-*trans*-retinol (วิตามิน A_1) แล 3,4-dehydroretinol (วิตามิน A_2) โดยปลาทะเลสะสมในรูปวิตามิน A_1 เท่านั้น แต่ปลาน้ำจืดสะสมได้ทั้งสองรูปแบบ สัตว์น้ำที่ขาดแคลนวิตามินเอ (Hypovitaminosis A) แสดงอาการโรคที่จำเพาะคือตาบอดหรือตาโปน ส่วนการได้รับวิตามินเอในอัตราสูง (Hypervitaminosis A) ทำให้กระดูกผิดปกติโดยเฉพาะกระดูกสันหลัง ปริมาณวิตามินเอนิยมกำหนดเป็นหน่วย International Unit (IU) หรือ Retinol Equivalent (RE) ที่คิดเป็นปริมาณเรตินอลเท่ากับ 0.3 และ 1 ไมโครกรัม ตามลำดับ โรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำส่วนใหญ่ใช้เรตินิลอะซิเตตหรือเรตินิลปาล์มิเตตสังเคราะห์เป็นแหล่งวิตามินเอในอาหารทั้งรูปแบบวิตามินเดี่ยวหรือวิตามินรวม ปัจจุบัน มีการศึกษาเกี่ยวกับวิตามินเอในอาหารสัตว์น้ำมากขึ้นโดยเฉพาะในสัตว์น้ำวัยอ่อนและวัยรุ่น แต่ยังไม่สามารถระบุความต้องการวิตามินเอของสัตว์น้ำหลายชนิดที่ศึกษาได้อย่างชัดเจน เนื่องจากระดับทดสอบมีความแตกต่างกันมาก ระดับทดสอบไม่เป็นสัดส่วนกัน หรือระดับทดสอบบางส่วนมีค่าสูงจนทำให้สัตว์น้ำได้รับผลกระทบจากภาวะ Hypervitaminosis A อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากงานวิจัยที่ผ่านมาและคำแนะนำต่างๆ ทำให้มีข้อสรุปเบื้องต้นได้ว่าอาหารกุ้งและปลาควรมีวิตามินเอที่คำนวณเป็นปริมาณเรตินอลอย่างน้อย 4,000 IU และไม่ควรเกิน 12,000 IU ต่อกิโลกรัม

คำสำคัญ : วิตามินเอ ; เรตินอล ; เรตินอยด์ ; แคโรทีนอยด์ ; สัตว์น้ำ

Abstract

Vitamin A is a group of organic matters biologically active like retinol and plays important roles on vision, cell formation, embryonic development and immune system. It consists of two groups which are retinoids i.e. retinol and retinal, and carotenoids being precursors for vitamin A synthesis i.e. beta-carotene. Aquatic animals mostly deposit vitamin A in liver as ester forms of all-*trans*-retinol (Vitamin A_1) and 3,4-dehydroretinol (Vitamin A_2). Marine fish deposits only A_1, but both forms for freshwater fish. Vitamin A deficient aquatic animals (Hypovitaminosis A) show a unique clinical sign of blindness or exophthalmia, while excessive dietary intake (Hypervitaminosis A) causes bone deformity, especially spinal cord. Vitamin A quantity has been preferably determined as International Unit (IU) or Retinol Equivalent (RE) accounted for 0.3 and 1 microgram of retinol, respectively. Aquatic animal feed mills mostly use synthetic retinyl acetate or palmitate as dietary vitamin A source either a single or a vitamin premix form. Currently, there have been more studies about dietary vitamin A for aquatic animals, especially at young and juvenile stages, but requirements of those groups studied cannot be clearly specified. These are because of test levels were determined with high difference, non-proportion or some high values resulted in hypervitaminosis A. However, based on previous researches and recommendations, it can be preliminarily concluded that shrimp, prawn and fish diets should contain vitamin A calculated as retinol at least 4,000 IU and not above 12,000 IU per kilogram.

Keywords : vitamin A ; retinol ; retinoid ; carotenoid ; aquatic animal

*Corresponding author. E-mail : pichet28@yahoo.com

บทนำ

สัตว์น้ำเป็นแหล่งโปรตีนที่นิยมบริโภคอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีหลากหลายชนิด ส่วนใหญ่ราคาถูกกว่าโปรตีนสัตว์บกและบางชนิดสามารถหาได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ต้องซื้อ ซึ่งในปี พ.ศ. 2560 ประชากรโลกบริโภคสัตว์น้ำประมาณ 17% ของแหล่งโปรตีนสัตว์ทั้งหมดที่บริโภค คิดเป็น 7% ของแหล่งโปรตีนทั้งหมดที่บริโภค ในอดีตสัตว์น้ำส่วนใหญ่ได้จากการจับจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น มหาสมุทร ทะเล แม่น้ำ ลำคลองและแหล่งน้ำต่างๆ อย่างไรก็ตาม ความเสื่อมโทรมของสภาพแวดล้อมและการทำการประมงเกินกำลังการผลิต (Overfishing) ทำให้ผลผลิตสัตว์น้ำจากการจับมีแนวโน้มคงที่ตั้งแต่ปลายทศวรรษที่ 1980 ขณะที่ผลผลิตสัตว์น้ำจากการเพาะเลี้ยงมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยข้อมูลในปี พ.ศ. 2561 พบว่าผลผลิตสัตว์น้ำทั่วโลกมีประมาณ 179 ตัน และมาจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำประมาณ 80 ล้านตัน และแบ่งเป็นผลผลิตของปลา หอยทะเลและกุ้งทะเล ประมาณ 54, 18 และ 9 ล้านตัน ตามลำดับ (FAO, 2020) ทั้งนี้หากไม่รวมการเพาะเลี้ยงหอยทะเลและสัตว์น้ำบางชนิดที่อาศัยอาหารธรรมชาติแล้ว อาหารสัตว์น้ำมีบทบาทสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นแหล่งของสารอาหารที่ทำให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตและเป็นต้นทุนหลักของการเลี้ยง (Chueapohak, 1999) โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบพัฒนา (Intensive farming) และการเลี้ยงแบบพัฒนายิ่งยวด (Super-intensive farming) ปัจจุบัน ความต้องการอาหารสัตว์น้ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการขยายตัวของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่งผลให้มีการทำงานวิจัยด้านอาหารสัตว์น้ำอย่างต่อเนื่องและศึกษาในเชิงลึกมากขึ้น โดยเฉพาะงานวิจัยความต้องการสารอาหารเพื่อให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตดี อัตรารอดตายสูง อัตราแลกเนื้อดีและมีต้นทุนการผลิตต่ำ ซึ่งดัชนีเหล่านี้สำคัญต่อความคุ้มค่าในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของเกษตรกร

ทั้งนี้ความต้องการสารอาหารที่นิยมศึกษาในสัตว์น้ำ ได้แก่ โปรตีน กรดอะมิโนจำเป็น ไขมัน กรดไขมันจำเป็น วิตามินซี วิตามินอี แคลเซียมและฟอสฟอรัส ซึ่งปัจจุบันมีบทความปริทรรศน์ที่ได้รวบรวมผลงานวิจัยเกี่ยวกับความต้องการสารอาหารเหล่านี้ของสัตว์น้ำหลายชนิดโดยเฉพาะสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เช่น ปลาดุกอุยเทศ ปลานิล ปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม (Plaipetch, 2014a, 2014b, 2015, 2016) ขณะที่ความต้องการสารอาหารชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะวิตามินและแร่ธาตุชนิดอื่นๆ ยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจน สาเหตุหนึ่งมาจากการศึกษาที่ยังมีน้อยเพราะสัตว์น้ำไม่ค่อยยอมรับอาหารที่ทำจากวัตถุดิบสังเคราะห์ เช่น เด็กซ์ทรินและเจลาติน (Glencross, 2006) และอาหารทดลองที่ผลิตจากวัตถุดิบสังเคราะห์มีราคาแพง นอกจากนี้ วิตามิน และแร่ธาตุบางชนิดมีอิทธิพลร่วมกันในการทำหน้าที่ในร่างกายซึ่งหากวิตามินหรือแร่ธาตุชนิดใดชนิดหนึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการแล้วอาจทำให้ไม่สามารถระบุความต้องการวิตามินหรือแร่ธาตุชนิดที่ศึกษาในสัตว์น้ำชนิดนั้นๆ ได้ เช่น กลุ่มวิตามินบีรวม

ในบรรดาวิตามินที่ยังมีการศึกษากันน้อยนั้น วิตามินเอนับว่ามีความน่าสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากวิตามินเอในอาหารส่วนหนึ่งมาจากวัตถุดิบพวกเนื้อสัตว์และไขมันสัตว์ เช่น ปลาป่นและน้ำมันปลาทะเล แต่ในปัจจุบันมีการรณรงค์ให้ลดการใช้ปลาป่นและน้ำมันปลาทะเล เนื่องจากปลาธรรมชาติที่นำมาผลิตปลาป่นและน้ำมันมีปริมาณลดลง รวมทั้งมีการนำปลาเศรษฐกิจขนาดเล็กที่ถูกจับโดยบังเอิญมาผลิตปลาป่นซึ่งถูกมองว่าเป็นการแย่งชิงอาหารมนุษย์ (Naylor *et al*., 2000; Williams & Rimmer, 2005) ทำให้มีปริมาณวิตามินเอในอาหารที่ได้จากวัตถุดิบเหล่านี้ลดลงและอาจส่างผลกระทบต่อสัตว์น้ำได้หากไม่มีการเสริมหรือเสริมวิตามินเอในอาหารอย่างจำกัด โดยวิตามินเอไม่ได้เพียงแค่มีบทบาทและหน้าที่ต่อการมองเห็นเท่านั้น แต่ยังผลต่อการเจริญเติบโตและอัตรารอดตายเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะกรดเรติโนอิกเนื่องจากเกี่ยวข้องกับการสร้างเซลล์ การสร้างกระดูก การพัฒนาของตัวอ่อนและภูมิคุ้มกัน (Nasiri *et al*., 2011; Ravisankar *et al*., 2015) ดังนั้นบทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับวิตามินเอ บทบาทและ

หน้าที่ของวิตามินเอต่อการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกายของสัตว์และความต้องการวิตามินเอของสัตว์น้ำชนิดต่างๆ ที่มีการศึกษาไว้แล้ว เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนาวัตถุดิบอาหาร และการพัฒนาสูตรอาหารสำหรับโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำ เกษตรกรที่ผลิตอาหารสัตว์น้ำใช้เองในฟาร์มและผู้ที่สนใจ รวมทั้งเป็นแนวทางในการศึกษาความต้องการวิตามินเอในสัตว์น้ำที่ยังไม่มีการศึกษา และการศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับผลของวิตามินเอต่อของระบบต่างๆ ในร่างกายสัตว์น้ำต่อไป

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับวิตามิน

วิตามิน (Vitamin) เป็นสารอินทรีย์ที่สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ได้หรือสังเคราะห์ได้น้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการและแม้ต้องการในปริมาณน้อยแต่ขาดไม่ได้ ทั้งนี้สัตว์น้ำอาจได้รับวิตามินจากการสังเคราะห์ของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร เช่น การสร้างโคบาลามิน (B_{12}) และอิโนซิตอลในลำไส้ปลานิล (Chueapohak, 1999) การขาดวิตามินชนิดใดๆ ของสัตว์จะแสดงอาการโรคที่มีลักษณะจำเพาะและรักษาให้หายได้โดยการใช้วิตามินนั้นๆ หรือเสริมในอาหาร (Ravisankar *et al*., 2015) ทั้งนี้มีการค้นพบวิตามินครั้งแรกในปี พ.ศ. 2454 โดยเป็นการสกัดสารจากรำข้าวเพื่อรักษาโรคปลายประสาทอักเสบในนกพิราบและมีการตั้งชื่อว่า Vitamine ซึ่งมาจากคำว่า Vital ที่แปลว่าจำเป็นต่อชีวิต และ Amine ที่แปลว่ามีคุณสมบัติเป็นสารกลุ่มเอมีน อย่างไรก็ตาม ต่อมามีการค้นพบว่าวิตามินหลายชนิดไม่มีคุณสมบัติเป็นสารกลุ่มเอมีน ดังนั้นจึงมีการตัดอักษร e ออกเหลือเพียงคำว่า Vitamin และใช้คำนี้มาจนถึงปัจจุบัน (Rosenfeld, 1997) ปัจจุบันวิตามินที่ถูกค้นพบและเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปมีทั้งหมด 13 ชนิด แบ่งเป็นวิตามินที่ละลายในไขมัน (Fat soluble vitamins) จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ วิตามินเอ ดี อีและเค (A, D, E และ K) และวิตามินที่ละลายน้ำ (Water soluble vitamins) จำนวน 9 ชนิด ได้แก่ ไทอามีน (Thiamine, B_1) ไรโบฟลาวิน (Riboflavin, B_2), ไนอะซิน (Niacin, B_3) กรดแพนโทธินิก (Pantotenic acid, B_5) ไพริดอกซีน (Pyridoxine, B_6) โคบาลามิน (Cobalamin, B_{12}) กรดโฟลิก (Folic acid, M) ไบโอติน (Biotin, H) และกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid, C) นอกจากนี้ มีสารอินทรีย์บางชนิดที่บางครั้งถูกเรียกว่าวิตามินเช่นกัน (Vitamin like substances) เนื่องจากสิ่งมีชีวิตชั้นสูงต้องการ เช่น โคลีน (Choline) กรดพาราอะมิโนเบนโซอิก (Para-aminobenzoic acid) ไมโออิโนซิตอล (Myo-inositol) ไบโอฟลาโวนอยด์ (Bioflavpnoids) ยูบิควิโนน (Ubiquinones) กรดไลโปอิก (Lipoic acid) คาร์นิทีน (Carnitine) และไพโรโลควิโนลีน ควิโนน (Pyrroloquinoline quinone) ขณะเดียวกันมีสารอินทรีย์อีกหลายชนิดที่ถูกเสนอให้จัดเป็นวิตามินด้วยแต่ยังขาดหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ยืนยัน เช่น ลาอิไทรล์ (Laetrile), เกโรไวทัล (Gerovital), กรดโอโรติก (Orotic acid) และกรดแพนกามิก (Pangamic acid) (Combs, 2008)

ลักษณะทั่วไปและคุณสมบัติทางเคมีของวิตามินเอ

เรตินอลเป็นสารอินทรีย์กลุ่มไอโซพรีนอยด์ (Isoprenoid) มีคาร์บอน 20 อะตอม ประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีนที่มีคาร์บอน 5 อะตอม ทั้งหมด 4 หน่วย (Jain *et al*., 2005) วิตามินเอในธรรมชาติมี 3 ชนิด คือ เรตินอล ($C_{20}H_{30}O$) เรตินาล ($C_{20}H_{28}O$) และกรดเรติโนอิก ($C_{20}H_{28}O_2$) โดยที่พบมากที่สุดคือเรตินอลซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็ง ผลึกสีส้ม สีเหลืองหรือสีเหลืองอ่อนจนเกือบไม่มีสี ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์และไขมันแต่ไม่ละลายในน้ำ เสื่อมสภาพได้ง่ายเมื่อถูกแสงแดดและอากาศ (Chueapohak, 1999) แต่ในทางโภชนาการนั้นวิตามินเอหมายถึงกลุ่มของสารอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ (Biological activity) คล้ายเรตินอล แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ เรตินอยด์ (Retinoids) ได้แก่ เรตินอล เรตินาลและกรดเรติโนอิก ซึ่งพบในเนื้อและไขมันสัตว์ และแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ที่เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอหรือเรียกว่าโปรวิตามินเอ (Provitamin A) ได้แก่ แอลฟาแคโรทีนและเบต้าแคโรทีน ($C_{40}H_{56}$) ซึ่งพบในผักผลไม้สีเขียว สีเหลืองและสีแดง ทั้งนี้สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์วิตามินเอได้แต่สัตว์กินเนื้อได้รับวิตามินเอจากเนื้อและไขมันที่กินเข้าไป

สัตว์กินพืชได้รับวิตามินเอจากพืชที่กินเข้าไปในรูปแคโรทีนอยด์กลุ่มโปรวิตามินเอ ส่วนสัตว์ที่กินทั้งพืชและสัตว์ได้รับวิตามินเอจากอาหารทั้งสองแหล่ง ทั้งนี้วิตามินเอในร่างกายสัตว์สะสมในรูปเอสเตอร์จากการจับกับกรดไขมันโมเลกุลยาว เรียกว่าเรตินิลเอสเตอร์ (Retinyl ester) วิตามินเอเกือบ 90% สะสมในตับขณะที่ส่วนที่เหลือจะสะสมในเลือด ไตและปอด (McDowell, 2000) วิตามินเอส่วนใหญ่อยู่ในรูปเรตินิลปาล์มิเตต (Retinyl palmitate, $C_{36}H_{60}O_2$) และเรตินิลสเตียเรต (Retinyl stearate, $C_{38}H_{64}O_2$) ที่คิดเป็น 50 และ 25% ของวิตามินเอทั้งหมด ตามลำดับ (Bender, 2009)

โปรวิตามินเอ (Provitamin A)

ปัจจุบันมีการค้นพบแคโรทีนอยด์มากกว่า 600 ชนิด แต่ที่มีคุณสมบัติเป็นโปรวิตามินเอมีเพียง 50 ชนิด เท่านั้น โดยเบต้าแคโรทีนเป็นโปรวิตามินเอที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ แอลฟาแคโรทีน แกมมาแคโรทีนและคริปโตแซนทิน ตามลำดับ (Combs, 2008) เนื่องจากเบต้าแคโรทีน 1 โมเลกุล มีคาร์บอน 40 อะตอม สามารถแตกตัวให้สารที่มีโครงสร้างเหมือนเรตินอล (คาร์บอน 20 อะตอม) ได้ 2 โมเลกุล ขณะที่แอลฟาและแกมมาแคโรทีน และเบต้าคริปโตแซนทิน ($C_{40}H_{56}O$) แตกตัวให้สารที่มีโครงสร้างที่เหมือนเรตินอลเพียง 1 โมเลกุล เท่านั้น เนื่องจากวงแหวนคาร์บอนอีกด้านมีโครงสร้างไม่เหมือนเรตินอล (Jain *et al*., 2005) โดยกระบวนการเปลี่ยนแคโรทีนอยด์ไปเป็นวิตามินเอเกิดขึ้นหลังจากมีการย่อยแคโรทีนอยด์และการดูดซึมบริเวณลำไส้เล็กของสัตว์ อย่างไรก็ตาม สัตว์มีประสิทธิภาพในการย่อยแคโรทีนอยด์จากพืชและเปลี่ยนไปเป็นเรตินอลได้ต่ำ เช่น เบต้าแคโรทีนในพืช จำนวน 12 ไมโครกรัม มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้เพียง 1 ไมโครกรัม หรือเรียกว่า RE (Retinol Equivalent, RE) ซึ่ง RE เป็นหน่วยนับชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในการกำหนดปริมาณของวิตามินเอ ขณะที่โปรวิตามินเอชนิดอื่นๆ ต้องใช้อัตราการคำนวณ 24 ไมโครกรัม แต่ถ้าหากเป็นการเติมเบต้าแคโรทีนแบบสกัดเข้มข้นหรือแบบสารสีสังเคราะห์ลงในอาหารสัตว์โดยตรง จะใช้อัตราคำนวณในการเปลี่ยนโปร วิตามินเอเป็นเรตินอลคือ 2 ไมโครกรัม (Bender, 2009) นอกจากการกำหนดปริมาณวิตามินเอแบบ RE แล้ว การกำหนดปริมาณวิตามินเอในอาหารมนุษย์และสัตว์ยังนิยมใช้ในรูปแบบของหน่วยสากล (International Unit, IU) โดยเรตินอลในรูปแบบของ all-*trans*-retinol จำนวน 0.30 ไมโครกรัม คิดเป็น 1 IU แต่หากใช้ในรูปเอสเตอร์ เช่น เรตินิลอะซิเตต (Retinyl acetate, $C_{22}H_{32}O_2$) เรตินิลปาล์มิเตตและเรตินิลโปรปิโอเนต (Retinyl propionate, $C_{23}H_{34}O_2$) ปริมาณสารที่ใช้ต้องเพิ่มเป็น 0.344, 0.550 และ 0.359 ไมโครกรัม ตามลำดับ จึงจะเทียบเท่าวิตามินเอ 1 IU (Combs, 2008) ปัจจุบันสหภาพยุโรปได้อนุญาตให้ใช้แหล่งวิตามินเอในอาหารมนุษย์และสัตว์ได้ 4 ชนิด คือ เรตินอล เรตนิลอะซิเตต เรตินิลปาล์มิเตต และเบต้าแคโรทีน (EFSA, 2013) แม้ว่าการกำหนดปริมาณวิตามินเอนิยมใช้ค่า RE และ IU แต่บางครั้งงานวิจัยต่างๆ ได้นำเสนอเป็นค่าของวิตามินเอเป็นไมโครกรัมหรือมิลลิกรัม รวมทั้งมีการใช้แหล่งวิตามินเอหลากหลายชนิด จนทำให้เกิดการสับสนในการคำนวณปริมาณวิตามินเอเป็นค่า IU และ RE ของเรตินอล ที่เป็นหน่วยนับมาตรฐาน ดังนั้นบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการเปรียบเทียบและการแปลงค่าของวิตามินเอรูปแบบต่างๆ ให้อยู่ในรูปของเรตินอลเพื่อให้เข้าใจง่ายและมีประโยชน์ในการนำข้อมูลจากงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ ดังแสดงใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพและการแปลงค่าของวิตามินเอรูปแบบต่างๆ ให้อยู่ในรูปของเรตินอล

	วิธีการแปลงค่า	แหล่งวิตามินเอ			
		ROL	RAT	RPN	RPT
สูตรเคมี		$C_{20}H_{30}O$	$C_{22}H_{32}O_2$	$C_{23}H_{34}O_2$	$C_{38}H_{64}O_2$
1 IU เท่ากับ กี่ µg		0.300	0.344	0.359	0.550
กี่ IU เท่ากับ 1 RE (1 µg)		3.33	3.818	3.985	6.105
การแปลงค่า ROL (µg) เป็น ROL (IU)	×	3.33			
การแปลงค่า ROL (IU) เป็น ROL (µg)	÷	3.33			
การแปลงค่า RAT (µg) เป็น ROL (µg)	÷		1.147		
การแปลงค่า RAT (IU) เป็น ROL (µg)	÷		3.818		
การแปลงค่า RPN (µg) เป็น ROL (µg)	÷			1.197	
การแปลงค่า RPN (IU) เป็น ROL (µg)	÷			3.985	
การแปลงค่า RPT (µg) เป็น ROL (µg)	÷				1.833
การแปลงค่า RPT (IU) เป็น ROL (µg)	÷				6.105

หมายเหตุ RE = retinol equivalent, ROL = retinol, RAT = retinyl acetate, RPN = retinyl propionate และ RPT = retinyl palmitate 3.82 = (3.33x(0.344/0.30)), 3.985 = (3.33x(0.359/0.30)), 6.105 = (3.33x(0.550/0.30)) 1.147 = (0.344/0.30), 1.197 = (0.359/0.30), 1.833 = (0.55/0.30) และหากต้องการแปลง µg เป็น mg ให้หารด้วย 1,000 เนื่องจาก 1 mg = 1,000 µg

การย่อย การดูดซึม การขนส่งและการสะสม

วิตามินเอในอาหารที่อยู่ในรูปเรตินิลเอสเตอร์และแคโรทีนอยด์ชนิดโปรวิตามินเอจะถูกย่อยในลำไส้เล็กของสัตว์โดยเอนไซม์ไลเปสกลายเป็นโมเลกุลของวิตามินเอและแคโรทีนอยด์ หลังจากนั้นสารทั้งสองชนิดนี้จะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็กโดยการช่วยเหลือของไมเซลล์ (Micelle) ที่มีองค์ประกอบหลักคือ กรดไขมัน โคเลสเตอรอล ฟอสโฟไลปิด น้ำดี และเอนไซม์ เมื่อถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้ วิตามินเอจะถูกเปลี่ยนไปเป็นเรตินิลเอสเตอร์อีกครั้งในชั้นมิวโคซา (Mucosa) ของลำไส้เล็ก ขณะที่โปรวิตามินเอจะถูกเปลี่ยนไปเป็นเรตินาล เรตินอลและเรตินิลเอสเตอร์ ตามลำดับ ก่อนที่ เรตินิลเอสเตอร์จะจับกับไลโปโปรตีนชนิดที่เรียกว่าไคโลไมครอน (Chylomicrons) และเคลื่อนที่เข้าสู่ท่อน้ำเหลืองของลำไส้และเข้าสู่เส้นเลือดและถูกขนส่งไปที่ตับ ตามลำดับ (WHO/FAO, 2004) ทั้งนี้วิตามินเอในรูปเอสเตอร์ที่ขนส่งไปที่ตับจะอยู่ในรูปเรตินิลปาล์มิเตตและรูปเรตินิลสเตียเรต ประมาณ 50% และ 25% ตามลำดับ ขณะที่ส่วนที่เหลือจะอยู่ในรูปเรตินิลโอเลเอต (Retinyl oleate, $C_{22}H_{62}O_2$) และเรตินิลไลโนเลเอต (Retinyl linoleate, $C_{38}H_{60}O_2$) (Combs, 2008) หลังการขนส่งวิตามินเอไปที่ตับหากไม่มีการใช้ในทันทีวิตามินเอก็จะถูกสะสมในเซลล์ไขมันในตับที่เรียกว่า Stellate cell ซึ่งวิตามินเอประมาณ 50-80% ของทั้งหมดจะสะสมในเซลล์นี้หรือบางครั้งอาจสะสมในเนื้อเยื่อไขมัน (Bender, 2009)

การสะสมเรตินอลในสัตว์น้ำอาจมีรูปแบบแตกต่างกัน เช่น ปลาทะเลสะสมวิตามินเอในรูปเอสเตอร์ของ all-*trans*-retinol หรือเรียกว่าวิตามิน A_1 ขณะที่ปลาน้ำจืดสะสมทั้งในรูปวิตามิน A_1 และในรูปของ 3,4-dehydroretinol หรือเรียกว่าวิตามิน A_2 เช่น ปลานิลสามารถเปลี่ยนวิตามิน A_1 ไปเป็น A_2 ได้ และปลากดอเมริกันสามารถเปลี่ยน

เบต้าแคโรทีนไปเป็นวิตามิน A_1 และเปลี่ยน A_1 ไปเป็น A_2 ได้ในอัตราส่วน 1:1 (NRC, 1993) อย่างไรก็ตาม วิตามิน A_2 มีประสิทธิภาพการออกฤทธิ์เพียง 40% ของวิตามิน A_1 (Jain *et al*., 2005) ทั้งนี้การนำวิตามินเอที่สะสมในเซลล์ไขมันของตับไปใช้ประโยชน์นั้น ในขั้นแรกเรตินิลเอสเตอร์ที่สะสมในตับจะถูกเปลี่ยนเป็นเรตินอลก่อนขนส่งไปยังเซลล์ เนื้อเยื่อหรืออวัยวะเป้าหมายในร่างกายสัตว์ โดยเรตินอลที่ได้จากการสลายตัวของเรตินิลเอสเตอร์จะจับกับโปรตีนชนิด Retinol binding proteins (RBP) และ Transthyretin เรียกว่า holo-RBP ก่อนเข้าสู่กระแสเลือดและขนส่งไปยังเซลล์ เนื้อเยื่อหรืออวัยวะเป้าหมาย (WHO/FAO, 2004) หลังจากที่ holo-RBP ขนส่งเรตินอลไปยังเซลล์ เนื้อเยื่อหรืออวัยวะเป้าหมายแล้ว ตัวรับ (Receptors) บริเวณผิวเซลล์ของเนื้อเยื่อหรืออวัยวะเป้าหมายนั้นจะขนส่งเรตินอลเข้าเซลล์และนำไปจับตัวกับ RBP ภายในเซลล์ หลังการขนส่งเรตินอลให้แก่เซลล์เสร็จสิ้น ตัวรับบริเวณผิวเซลล์ได้เปลี่ยนสภาพของ RBP ไปอย่างสิ้นเชิง ทำให้ RBP ไม่สามารถจับเรตินอลหรือ Transthyretin ได้อีก เรียกว่า apo-RBP จากนั้น apo-RBP จะถูกขนส่งไปที่ไต ซึ่งทำหน้าที่กรองและดูดกลับ apo-RBP ก่อนนำไปย่อยสลาย (Bender, 2009) ในทางตรงกันข้าม holo-RBP ที่ยังไม่สูญเสียเรตินอลจะถูกกรองโดยไตและดูดกลับเข้าสู่กระแสเลือดเพื่อเป็นแหล่งวิตามินเอสำรองต่อไป (WHO/FAO, 2004)

เรตินอล

นอกจากเรตินอลจะมีบทบาทและหน้าที่สำคัญในการเป็นแหล่งสำรองของเรตินาลและกรดเรติโนอิกที่เป็นสารออกฤทธิ์สำคัญในกระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ ของร่างกายแล้ว มีการตั้งสมมติฐานว่าเรตินอลตัวมันเองยังมีบทบาทในการขนส่งน้ำตาลสำหรับการสร้างไกลโคโปรตีนบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งไกลโคโปรตีนนี้มีหน้าที่ทำให้เกิดการเกาะตัว การรวมตัวและการจดจำระหว่างเซลล์ต่างๆ และทำหน้าที่อื่นๆ ของเซลล์ (Combs, 2008) ต่อมามีการยืนยันว่าเรตินอลทำหน้าที่ร่วมกับหมู่ฟอสเฟตในการขนส่งน้ำตาลแมนโนสในรูปของสารประกอบ Mannosylretinylphosphate เพื่อนำไปสร้างไกลโคโปรตีนบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ (De Luca, 1982) นอกจากนี้เรตินอลยังมีบทบาทในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วย (Antioxidant) (Elomda *et al*., 2018) ซึ่งคุณสมบัตินี้ช่วยให้การสืบพันธุ์ของสัตว์มีประสิทธิภาพมากขึ้นเนื่องจากเรตินอลช่วยลดความเสียหายของดีเอ็นเอและการเสื่อมของไขมันบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของสเปิร์มที่เกิดจากสารอนุมูลอิสระทำให้สเปิร์มแข็งแรงและมีประสิทธิภาพในการปฏิสนธิสูงขึ้น (Ghyasvand *et al*., 2015) ขณะเดียวกันยังมีการค้นพบว่าเรตินอลช่วยป้องกันการเสื่อมจากกระบวนการออกซิเดชั่นของเซลล์ไข่ที่เกิดจากความร้อนด้วย (Ahmed *et al*., 2016)

เรตินาล

เป็นที่ทราบกันดีว่าเรตินาลมีบทบาทและหน้าที่สำคัญต่อการมองเห็นของสัตว์ โดยหลังจากมีการขนส่งวิตามินเอชนิด all-*trans*-retinol ไปยังเซลล์รับแสงรูปแท่ง (Rod cell) ในเรตินาของตาสัตว์แล้ว all-*trans*-retinol จะถูกเปลี่ยนเป็น 11-*cis*-retinol และ 11-*cis*-retinal ตามลำดับ ก่อนที่ 11-*cis*-retinal จะจับตัวกับโปรตีนที่เรียกว่า Opsin กลายเป็นสารสีม่วงเรียกว่า Rhodopsin โดยหลังจากเซลล์รูปแท่งได้รับแสงแล้ว 11-*cis*-retinal ใน Rhodopsin จะถูกเปลี่ยนเป็น all-*trans*-retinal และแยกตัวออกจาก Rhodopsin เกิดการสร้างกระแสประสาท (Nerve impulse) ไปยังระบบประสาทส่วนกลาง (Central nervous system, CNS) เพื่อแปลผลเกี่ยวกับแสงที่ตาสัตว์ได้รับ ทั้งนี้ all-*trans*-retinal ที่แยกตัวออกมาจะถูกเปลี่ยนกลับเป็น all-*trans*-retinol และรอการเปลี่ยนเป็น 11-*cis*-retinal ในกระบวนการต่อไป (Bender, 2009) ทั้งนี้ปริมาณแสงเป็นตัวควบคุมการสร้าง Rhodopsin ซึ่งหากแสงมีปริมาณน้อยจะกระตุ้นให้เกิดการสร้าง Rhodopsin แต่หากแสงมีปริมาณมากขึ้นจะกระตุ้นให้เกิดการสลายของ Rhodopsin กลายไปเป็น Opsin และ all-*trans*-retinal ดังที่กล่าวมา ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะสร้างกระแสประสาทไปยังระบบประสาทส่วนกลางเพื่อแปรผลและ

ตอบสนองของสัตว์ทำให้สัตว์มองเห็นในภาวะแสงน้อยได้ ในทางตรงข้ามหาก all-*trans*-retinol ไม่เพียงพอ ทำให้เกิดความผิดปกติของการสร้าง Rhodopsin และก่อให้เกิดโรคมองไม่เห็นในเวลากลางคืน (Night blindness) โดยโปรตีนชนิด Rhodopsin พบในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม นกและปลาทะเล แต่ในปลาน้ำจืดมีสารสีเพิ่มเติมอีกชนิดคือ Porphyropsin ซึ่งสร้างจากวิตามิน A_2 (3,4-dehydroretinol) (Jain *et al*., 2004) ขณะที่เซลล์รับแสงรูปกรวย (Cone cell) ในเรตินาของตาสัตว์มีหน้าที่เกี่ยวกับการมองเห็นสี ประกอบด้วยสารสีม่วงที่มีลักษณะคล้าย Rhodopsin เรียกว่า Iodopsin และมีลักษณะแตกต่างกันอย่างน้อย 3 ชนิด คือ Cyanolabe, Chlorolabe และ Erythrolabe ซึ่งทำหน้าที่ดูดกลืนแสงสีน้ำเงิน เขียวและแดง ตามลำดับ (Rushton, 1966) โดยกระบวนการทำงานของสารสีเหล่านี้คล้ายกับ Rhodopsin กล่าวคือเมื่อได้รับแสง Iodopsin แต่ละชนิดจะแตกตัวเป็น Opsin และ all-*trans*-retinal และเกิดการสร้างกระแสประสาทไปยังระบบประสาทส่วนกลางและแปลผลออกมาเป็นการมองเห็นแสงสีน้ำเงิน เขียวและแดง ตามชนิดของ Iodopsin (Jain *et al*., 2004) อย่างไรก็ตาม Opsin ในเซลล์รูปกรวยของแต่ละเซลล์จะมีความจำเพาะกับแสงสีชนิดเดียวเท่านั้น จึงทำให้เกิดภาวะตาบอดสี (Color blindness) ได้ หากเกิดการสูญเสียสภาพหรือการกลายของ Opsin ในเซลล์ใดเซลล์หนึ่งหรือหลายเซลล์ (Bender, 2009) นอกจากนี้ ยังมีสารสีในเรตินาชั้นในอีกชนิดหนึ่งและไม่พบในเซลล์รูปกรวยหรือเซลล์รูปแท่งคือ Melanopsin ซึ่งมีองค์ประกอบของ Opsin และ 11-*cis*-retinal เช่นเดียวกัน แต่กระบวนการตอบสนองต่อแสงแตกต่างจาก Rhodopsin และ Iodopsin คือหลังจากสัมผัสแสงแล้วจะไม่มีการสลายกลายเป็น Opsin และ all-*trans*-retinal โดยสารสีชนิดนี้ยังถูกพบในส่วนนาฬิกาชีวภาพของสมอง ดังนั้นมีการคาดการณ์ว่าสารสีชนิดนี้น่าจะเกี่ยวข้องกับช่วงเวลาการรับแสง (Photoperiod) (Combs, 2008)

กรดเรติโนอิก

กรดเรติโนอิกมีบทบาทและหน้าที่สำคัญต่อร่างกายมากที่สุดเนื่องจากเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ ในร่างกาย เช่น การสร้างและการเจริญของเซลล์ปกติและเซลล์สืบพันธุ์ การสร้างกระดูก การพัฒนาของตัวอ่อน และระบบภูมิคุ้มกัน ผ่านทางการควบคุมการแสดงออกของยีน (Nasiri *et al*., 2011; Ravisankar *et al*., 2015) โดยหลังจากที่เรตินอลถูกขนส่งมายังเซลล์ เนื้อเยื่อหรืออวัยวะเป้าหมายแล้ว เรตินอลจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นเรตินาล จากนั้นเรตินาลจะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นกรดเรติโนอิกที่ไม่สามารถเปลี่ยนรูปกลับไปเป็นเรตินาลได้อีก (Irreversible reaction) กรดเรติโนอิกที่เซลล์สร้างขึ้นจะจับกับตัวรับบนนิวเคลียสของเซลล์ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด คือ Retinoic acid receptors (RARs) ที่จะจับกับ all-*trans*-retinoic acid หรือ 9-*cis*-retinoic acid และ Retinoid X receptors (RXRs) ที่จับกับ 9-*cis*-retinoic acid หรือสารอื่นๆ ที่ออกฤทธิ์เหมือนเรตินอยด์ จากนั้นกรดเรติโนอิกจะเข้าสู่นิวเคลียสและจับ DNA สั้นๆ ที่จำเพาะกับกรดเรติโนอิกเรียกว่า Retinoic acid responsive elements (RAREs) และทำการควบคุมการแปลรหัสของยีน (Oliveira *et al*., 2018) ทั้งนี้ RXRs สามารถจับกับ RARs, RXRs และตัวรับของวิตามินดี ฮอรโมนไทรอยด์และอนุพันธ์ของกรดไขมันโมเลกุลยาวได้ ทำให้กรดเรติโนอิกมีบทบาทในการควบคุมการแสดงของยีนหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและพัฒนาเนื้อเยื่อและมีความสำคัญต่อการทำงานของวิตามินดีและไทรอยด์ฮอรโมนด้วย อย่างไรก็ตาม แม้ว่า RXRs จะจับกับตัวรับของวิตามินดีหรือฮอร์โมนไทรอยด์ได้ แต่หาก RXRs ไม่ได้จับกับกรดเรติโนอิกมาก่อนจะไม่สามารถควบคุมการแปลรหัสยีนที่ต้องอาศัยการกระตุ้นจากวิตามินดีและฮอร์โมนไทรอยด์ได้ ดังนั้นการขาดแคลนวิตามินเอจึงส่งผลต่อการทำงานของวิตามินดีและฮอร์โมนไทรอยด์ในร่างกายด้วย ขณะเดียวกันหากมีวิตามินเอมากเกินไปจะทำให้มีการจับกันของ RXRs กันเองมากขึ้นและเหลือ RXRs น้อยลงสำหรับการจับกับตัวรับของวิตามินดีและตัวรับอื่นๆ ที่ส่งผลต่อร่างกายเช่นกัน (Bender, 2009)

กรดเรติโนอิกมีบทบาทและหน้าที่ต่อระบบคุ้มกันของร่างกายสัตว์เช่นกัน โดยกรดเรติโนอิกเกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีนเคราตินในเยื่อบุผิวและการสร้างชั้นเนื้อเยื่อ การพัฒนาและการทำหน้าที่ของเซลล์เยื่อบุผิวของท่อทางเดินหายใจและลำไส้ รวมทั้งเกี่ยวข้องกับการสร้างน้ำเมือก (Wang *et al*., 1997; Mccullough *et al*., 1999; Amitromach *et al*., 2009) นอกจากนี้ กรดเรติโนอิกเกี่ยวข้องกับการสร้างและการทำงานของเม็ดเลือดขาวชนิดต่างๆ เช่น การพัฒนาของเม็ดเลือดขาวลิมโฟไซต์ชนิด T-cell การทำงานของ Killer T-cell และการสร้างอิมมูโนโกลบูลินชนิด A (Immunoglobulin A, IgA) ของ B-cell (Mora *et al*., 2008) ขณะที่เรตินอยด์ช่วยในการเจริญและพัฒนาของเซลล์เม็ดขาวชนิดลิมโฟไซต์ต้นตอ (Lymphoid stem cell) (Oliveira *et al*., 2018)

แหล่งของวิตามินเอในอาหารสัตว์น้ำ

วิตามินเอในอาหารสัตว์น้ำส่วนใหญ่มาจาก 2 แหล่งหลัก คือ วัตถุดิบแหล่งโปรตีนและไขมันจากสัตว์ เช่น ปลาป่น ตับหมึกป่น ไก่ป่น เนื้อและกระดูกป่นและน้ำมันจากสัตว์ทะเล อีกแหล่งคือวิตามินสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปของน้ำมันอิมัลชั่น ผงหรือผลึก ที่มีการผลิตและจำหน่ายเชิงพาณิชย์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2502 ได้แก่ คือ เรตินอล เรตินิลปาล์มิเตต เรตินิลอะซิเตตและเรตินิลโปรปิโอเนต (McDowell, 2000) อย่างไรก็ตาม วิตามินเอที่ได้จากวัตถุดิบพวกสัตว์มักมีปริมาณไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดสัตว์ ฤดูกาล กรรมวิธีการผลิต การแปรรูปและอัตราการใช้ในสูตรอาหาร อีกทั้งในปัจจุบันวิตามินเอในอาหารสัตว์น้ำจากวัตถุดิบเหล่านี้มักมีค่าต่ำเนื่องจากมีการรณรงค์ให้ลดการใช้ปลาป่นและน้ำมันจากสัตว์ทะเลเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือการลดต้นทุนการผลิต ดังนั้นวิตามินเอสังเคราะห์ที่เสริมลงไปในอาหารจึงเป็นแหล่งวิตามินหลักโดยมีการใช้ทั้งในรูปแบบของวิตามินเดี่ยวหรือวิตามินรวม โดยชนิดนิยมใช้คือเรตินิลปาล์มิเตตและเรตินิลอะซิเตต (McDowell, 2000) นอกจากวิตามินเอสังเคราะห์ทั้งสองแหล่งแล้ว วิตามินเอในอาหารสัตว์น้ำอาจมาจากการเสริมแหล่งสารสีพวกแพลงก์ตอนพืช รา แบคทีเรีย ยีสต์และวัตถุดิบพืชที่เป็นแหล่งของแอลฟาแคโรทีน เบต้าแคโรทีน แอลฟาคริปโตแซนทินและเบต้าคริปโตแซนทิน เช่น สไปรูลิน่า และรา *Blakeslea trispora* ที่มีเบต้าแคโรทีนเป็นสารสีหลัก (Jing *et al*., 2016; Park *et al*., 2018) รวมทั้งการใช้สารสีสังเคราะห์ที่มีจำหน่ายในตลาดโดยเฉพาะเบต้าแคโรทีน

ผลกระทบของการขาดแคลนหรือได้รับวิตามินเอในอัตราสูงในสัตว์น้ำ

เนื่องจากวิตามินเอโดยเฉพาะกรดเรติโนอิกมีบทบาทและหน้าที่สำคัญในกระบวนการมองเห็น การสร้างเซลล์ปกติและเซลล์สืบพันธุ์ การสร้างกระดูก การพัฒนาของตัวอ่อนและระบบภูมิคุ้มกันของสัตว์น้ำ (Combs, 2008) ดังนั้นการขาดแคลนวิตามินเอจึงส่งผลต่อการดำรงชีวิตและการรอดตายของสัตว์น้ำโดยเฉพาะสัตว์น้ำวัยอ่อนและวัยรุ่นที่มีการเจริญพัฒนาของเนื้อเยื่อและอวัยวะต่างๆ อย่างต่อเนื่อง โดยการขาดแคลนวิตามินเอ (Hypovitaminosis A) ของสัตว์น้ำแสดงอาการของโรคที่จำเพาะ คือ ตาบอด ตาโปน ตาบวมและการตกเลือดที่ตา ขณะที่อาการสำคัญอื่นๆ ได้แก่ ภาวะโลหิตจางและการตกเลือดที่ครีบ ผิวหนังและในอวัยวะต่างๆ ส่วนผลกระทบจากการได้รับวิตามินเอในอัตราสูง (Hypervitaminosis A) นั้น หากได้รับในอัตราที่สูงกว่าความต้องการสัตว์น้ำไม่มากมักจะส่งผลให้สัตว์น้ำกินอาหารน้อยลงและโตช้า แต่หากได้รับในอัตราสูงมากๆ จะแสดงลักษณะผิดปกติที่เด่นชัดคือ การสร้างกระดูกที่ผิดปกติโดยเฉพาะกระดูกสันหลัง เช่น การศึกษาในปลานิล (*Oreochromis niloticus*) (Saleh *et al*., 1995) อย่างไรก็ตาม ความผิดปกติของการสร้างกระดูกอาจมีอิทธิพลร่วมจากการขาดแคลนวิตามินซีและวิตามินดีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกระดูกเช่นกัน ดังนั้นการบ่งชี้ว่าความผิดปกติของกระดูกดังกล่าวเกิดจากการได้รับวิตามินเอในอัตราสูงหรือไม่นั้น อาหารต้องมีวิตามินซีและวิตามินดีเพียงพอต่อความต้องการ หรือควรพิจาณาความผิดปกติอื่นๆ ร่วมด้วยโดยเฉพาะที่ตา ทั้งนี้สมาคมวัตถุดิบอาหารสัตว์แห่งยุโรประบุว่าสัตว์น้ำทนทานต่อการได้รับวิตามินเอในรูปแบบของเรตินอลในสูงได้ถึง 25,000-33,330 IU หรือคิดเป็น 7.51-10.0

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ซึ่งสูงกว่ากับอัตราแนะนำสำหรับการผลิตอาหารประมาณ 3-4 เท่า (FEFANA, 2014) ยกเว้นปลากลุ่มปลาแซลมอน (Salmonids) ที่ทนทานได้มากกว่าสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ เช่น ปลาเรนโบว์ เทร้าต์วัยรุ่น (*Oncorhynchus mykiss*) ทนทานต่อเรตินอลในอาหารได้ถึง 490,000 IU ต่อกิโลกรัมอาหาร (Hilton, 1983) ขณะที่ปลาแอตแลนติกแซลมอนวัยรุ่น (*Salmo salar*) ทนทานต่อเรตินอลในอาหารได้ถึง 183,000 IU ต่อกิโลกรัมอาหาร (Ørnsrud *et al*., 2013) อาการผิดปกติของร่างกายสัตว์น้ำบางชนิดที่ขาดแคลนหรือได้รับวิตามินเอในอัตราสูงแสดงใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อาการผิดปกติของร่างกายสัตว์น้ำบางชนิดที่ขาดแคลนหรือได้รับวิตามินเอในอัตราสูง

ชนิด	ระยะ	อาการผิดปกติ	อ้างอิง
การขาดแคลน			
ปลาไน	ขนาดนิ้ว	ลำตัวผอมลีบ สีลำตัวจาง ตกเลือดที่ผิวหนังและครีบ ตาโปน แผ่นปิดกระพุ้งแก้มบิดเบี้ยว	(Aoe *et al*., 1968)
ปลาลิ้นหมาญี่ปุ่น	วัยอ่อน	กระดูกผิดปกติ โตช้า	(Dedi *et al*., 1995, 1997)
ปลาลิ้นหมาญี่ปุ่น	ขนาดนิ้ว	โตช้า ตับเล็ก	(Hernández *et al*., 2005)
ปลาเรนโบว์ เทร้าต์	วัยรุ่น	อัตราการตายสูง โตช้า ครีบต่างๆ ผิดปกติและมีรอยแผล	(Hilton, 1983)
ปลาเรนโบว์ เทร้าต์	ขนาดนิ้ว	โลหิตจาง แผ่นปิดกระพุ้งแก้มบิดเบี้ยว และตกเลือดในตาและฐานของครีบต่างๆ	(Kitamura *et al*., 1967)
ปลาเยลโล่ เทล	ขนาดนิ้ว	โลหิตจาง ตกเลือดที่ตาและตับ และแผ่นกระพุ้งแก้มผิดปกติ	(Hosokawa, 1989)
ปลากะรังปากแม่น้ำ	ขนาดนิ้ว	ตกเลือดที่ผิวหนังและฐานครีบ คอดหางกร่อน	(Mohamed *et al*., 2003)
ปลาแอตแลนติก ฮาลิบัต	วัยอ่อน	ตกเลือดที่ตา ครีบ ผิวหนัง โตช้า	(Moren *et al*., 2004)
ปลานิล	ขนาดนิ้ว	ตาบอด ตาโปน ตกเลือดที่ตา ครีบและผิวหนัง	(Saleh *et al*., 1995)
ปลาเซอร์รี่ แซลมอน		โตช้า ลำตัวสีซีด ตกเลือดที่ครีบ โลหิตจาง	(Taveekijakarn *et al*., 1994)
ได้รับในอัตราสูง			
ปลาแอตแลนติก แซลมอน	วัยอ่อน	กระดูกสันหลังผิดปกติ โตช้า อัตราการตายสูง	(Ørnsrud *et al*., 2002)
ปลาแอตแลนติก ฮาลิบัต	วัยอ่อน	ตกเลือดตามร่างกาย โตช้า	(Moren *et al*., 2004)
ปลานิล	ขนาดนิ้ว	กระดูกสันหลังผิดปกติ ตกเลือดที่ครีบ เนื้อตายที่ครีบหาง	(Saleh *et al*., 1995)
ปลากะพงยุโรป	วัยอ่อน	การสร้างกระดูกผิดปกติ เจริญเติบโตช้า	(Villeneuve *et al*., 2006)

หมายเหตุ ปลาไน (*Cyprinus carpio*),ปลาลิ้นหมาญี่ปุ่น (*Paralichthys olivaceus*), ปลาเรนโบว์ เทร้าต์ (*O. mykiss*), ปลาเยลโล่ เทล (*Seriola quinqueradiata*) ปลากะรังปากแม่น้ำ (*Epinephelus tauvina*), ปลาแอตแลนติก ฮาลิบัต (*Hippoglossus hippoglossus*), ปลานิล (*O. niloticus*), ปลาเซอร์รี่ แซลมอน (*O. masou*), ปลาแอตแลนติก แซลมอน (*S. salar*), ปลากะพงยุโรป (*Dicentrachus labrax*)

ความต้องการวิตามินเอของสัตว์น้ำ

ปัจจุบัน มีการศึกษาเกี่ยวกับวิตามินเอในอาหารสัตว์น้ำมากขึ้นหลังมีการค้นพบว่ากรดเรติโนอิกมีบทบาทและหน้าที่สำคัญต่อการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์และการสร้างภูมิคุ้มกันของสัตว์ ซึ่งในบทความนี้ได้นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับความต้องการวิตามินเอของสัตว์น้ำจืดและสัตว์ทะเลเฉพาะในส่วนของงานวิจัยที่มีใช้วิตามินเออย่างน้อย 4 ระดับทดสอบ ดังแสดงใน ตารางที่ 3 และ 4 เนื่องจากสามารถประเมินแนวโน้มความต้องการวิตามินเอของสัตว์น้ำแต่ละชนิดได้ดีกว่า 2 หรือ 3 ระดับทดสอบ ทั้งนี้งานวิจัยความต้องการวิตามินเอในสัตว์น้ำส่วนใหญ่นิยมศึกษาในสัตว์น้ำวัยอ่อนและวัยรุ่น ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากนักวิจัยให้ความสำคัญกับบทบาทและหน้าที่ของวิตามินเอต่อพัฒนาการร่างกายของสัตว์น้ำระยะเหล่านี้ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันความต้องการวิตามินเอของสัตว์น้ำวัยอ่อนและวัยรุ่นบางชนิดที่ศึกษาแล้วยังไม่ทราบแน่ชัด เนื่องจากงานวิจัยมีการกำหนดระดับของวิตามินเอทดสอบที่แตกต่างกันมากเกินไป หรือมีความแตกต่างของระดับทดสอบที่ไม่เป็นสัดส่วนกัน เช่น ปลาเรด ซีบรีมวัยอ่อน (*Chrysophrys major*) (Hernández *et al*., 2006) ปลาแอตแลนติกฮาลิบัตวัยอ่อน (*H. hippoglossus*) (Moren *et al*., 2004) ปลานวลจันทร์ทะเลวัยอ่อน (*Chanos chanos*) (Tutas *et al*., 2013) ปลากะพงยุโรปวัยอ่อน (*D. labrax*) (Villeneuve *et al*., 2005) และกุ้งแดงอาร์เจนตินาวัยรุ่น (*Pleoticus muelleri*) (Gimenez *et al*., 2008) นอกจากนี้ งานวิจัยบางเรื่องกำหนดระดับวิตามินทดสอบสูงเกินไปจนทำให้สัตว์น้ำได้รับผลกระทบจากภาวะได้รับวิตามินเอปริมาณสูง เช่น เจริญเติบโตช้าลงและโครงสร้างกระดูกผิดปกติ ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ไม่สามารถประเมินความต้องการวิตามินเอได้อย่างถูกต้อง เช่น การทดลองในปลาเรด ซีบรีมวัยอ่อน (*C. major*) (Hernández *et al*., 2006) และปลากะพงยุโรปวัยอ่อน (*D. labrax*) (Villeneuve *et al*., 2005) รวมทั้งการทดลองในพ่อแม่พันธุ์กุ้งขาวจีน (*Penaeus chinensis*) (Liang *et al*., 2004)

ตารางที่ 3 ความต้องการวิตามินเอของปลาทะเลและกุ้งทะเล

ชนิด	ระยะ	อาหาร	แหล่งวิตามิน	ROL (มิลลิกรัม/กก. อาหาร)	ค่าเหมาะสม
ปลากะรังปากแม่น้ำ[1]	ขนาดนิ้ว	กึ่งบริสุทธิ์	RAT	0.05, 0.12, 0.24, 0.46, 0.98, 1.85, 3.75 และ 7.64	0.81
ปลาเรด ซีบรีม[2]	วัยรุ่น	กึ่งบริสุทธิ์	RPT	0, 0.3, 0.6, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 15 และ 30	1.5
ปลาเรด ซีบรีม[3]	วัยอ่อน	กึ่งบริสุทธิ์	RPT	0, 14.75, 147.5 และ 901.64	14.75
ปลาแอตแลนติก แซลมอน[4]	วัยรุ่น	ปกติ	RAT	6, 12, 26, 55, 82, 112 และ 360 และ 749	37
ปลาแอตแลนติก ฮาลิบัต[5]	วัยอ่อน	ปกติ	RAT	0, 0.25, 0.75, 2.5, 25 และ 250	2.5
ปลาลิ้นหมาญี่ปุ่น[6]	ขนาดนิ้ว	กึ่งบริสุทธิ์	ROL	0, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 และ 7.5	2.7
ปลานวลจันทร์ทะเล[7]	วัยอ่อน	ปกติ	RPT	0, 0.16, 1.64, 32.8 และ 65.6	1.77
ปลากะพงยุโรป[8]	วัยอ่อน	ปกติ	RAT	0, 8.70, 43.48, 217.39 และ 869.57	26.96
กุ้งคูรูม่า[9]	วัยรุ่น	กึ่งบริสุทธิ์	RPT	0.90, 1.8, 2.7, 3.6, 4.5, 5.4 6.3 และ 7.22	2.25
กุ้งกุลาดำ[10]	วัยรุ่น	กึ่งบริสุทธิ์	RAT	0, 1.5, 3.0, 15.0, 30.0, 45.0 และ 60.0	3.0
	วัยรุ่น	กึ่งบริสุทธิ์	RAT	0, 0.6, 1.2, 1.8, 2.4, 3.0, 3.6 และ 4.5	2.50
กุ้งแดงอาร์เจนตินน่า[11]	วัยรุ่น	กึ่งบริสุทธิ์	RAT	0, 18.32, 20.94 และ 23.56	18.32
กุ้งขาวจีน[12]	พ่อแม่พันธุ์	กึ่งบริสุทธิ์	RAT	0, 2.62, 5.23 และ 7.85	7.85

หมายเหตุ RE = retinol equivalent, ROL = retinol, RAT = retinyl acetate, RPT = retinyl palmitate, 1 (Mohamed *et al*., 2003), 2 (Hernández *et al*., 2004), 3 (Hernández *et al*., 2006), 4 (Ørnsrud *et al*., 2013), 5 (Moren *et al*., 2004), 6 (Hernández *et al*., 2005), 7 (Tutas *et al*., 2013), 8 (Villeneuve *et al*., 2005), 9 (Hernández *et al*., 2009), 10 (Shiau & Chen, 2000) 11 (Gimenez *et al*., 2008), 12 (Liang *et al*., 2004)

งานวิจัยบางเรื่องมีการแปลงค่าแหล่งวิตามินเอให้อยู่ในรูปเรตินอลเพื่อให้ง่ายในการเปรียบเทียบ

หากต้องการแปลงค่าที่เหมาะสมเป็นหน่วย RE หรือ IU ของเรตินอล ให้คูณด้วย 1,000 และ 3,330 ตามลำดับ

กุ้งคูรูม่า (*Marsupenaeus japonicus*), กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*)

ตารางที่ 4 ความต้องการวิตามินเอของปลาน้ำจืด

ชนิด	ระยะ	อาหาร	แหล่งวิตามิน	ROL (มิลลิกรัม/กก. อาหาร)	ค่าเหมาะสม
ปลานิล[1]	ขนาดนิ้ว	กึ่งบริสุทธิ์	RAT	0, 0.65, 1.31, 2.62 และ 5.24	1.31
ปลานิล[2]	วัยรุ่น	กึ่งบริสุทธิ์	RPT	0, 0.10, 0.20, 0.29, 0.39, 0.49, 0.59, 0.69, 0.79 และ 0.89	0.89
ปลานิล[3]	ขนาดนิ้ว	กึ่งบริสุทธิ์	RAT	0, 0.13, 0.26, 0.52, 1.05 และ 2.09	1.05
ปลานิล[4]	ขนาดนิ้ว	ปกติ	ROL	0, 1.5, 3.0 และ 12.0	1.50
ปลาเฉา[5]	ขนาดนิ้ว	กึ่งบริสุทธิ์	RAT	0.02, 0.10, 0.18, 0.40, 0.77,1.43	0.77
ปลาหวูชาง บรีม[6]	ขนาดนิ้ว	บริสุทธิ์	RAT	0.51, 1.02, 2.07, 4.17 และ 12.54	1.02
ปลากิเบล คาร์พ[7]	วัยรุ่น	กึ่งบริสุทธิ์	ROL	0.08, 0.38, 0.59, 0.95, 1.23, 1.48 และ 1.72	0.81
ปลาเปคูเกล็ดเล็ก[8]	ขนาดนิ้ว	ปกติ	RAT	0, 0.78, 1.57, 2,36 และ 3.14	1.45
ปลาลาร์จ เม้าท์ แบส[9]	วัยรุ่น	ปกติ	RAT	0.12, 0.42, 0.82, 1.05 และ1.39	0.78
ปลาสเตอร์เจียน[10]	วัยรุ่น	กึ่งบริสุทธิ์	RAT	0.0, 0.07, 0.13, 0.27, 0.53, 1.07 และ 2.17	0.24

หมายเหตุ 1 (Guimarães *et al*., 2014), 2 (Campeche *et al*., 2009), 3 (Guo *et al*., 2010), 4 (Saleh *et al*., 1995), 5 (Wu *et al*., 2016), 6 (Liu *et al* ., 2016), 7 (Shao *et al*., 2016), 8 (Signor *et al*., 2018), 9 (Lian *et al*., 2017), 10 (Wen *et al*., 2008)
งานวิจัยบางเรื่องมีการแปลงค่าแหล่งวิตามินเอให้อยู่ในรูปเรตินอลเพื่อให้ง่ายในการเปรียบเทียบ
หากต้องการแปลงค่าที่เหมาะสมเป็นหน่วย RE หรือ IU ของเรตินอล ให้คูณด้วย 1,000 และ 3,330 ตามลำดับ
ปลาเฉา (*Ctenopharyngodon Idellus*), ปลาหวูชาง บรีม (*Megalobrama amblycephala*), ปลากิเบล คาร์พ (*Carassius auratus gibelio*), ปลาเปคูเกล็ดเล็ก (*Piaractus mesopotamicus*), ปลาลาร์จ เม้าท์ แบส (*Micropterus salmoides*), ปลาสเตอร์เจียน (*Acipenser schrenckii*)

จากการศึกษาที่ผ่านมามีแนวโน้มว่าความต้องการวิตามินเอของสัตว์น้ำจะลดลงตามช่วงอายุเหมือนสารอาหารชนิดอื่นๆ ซึ่งอาจเกิดจากสัตว์น้ำมีประสิทธิภาพการย่อยสารอาหารดีขึ้น เช่น การทดลองในปลาเรด ซีบรีม (*C. major*) (Hernández *et al*., 2004, 2006) และปลานิล (*O. niloticus*) (Campeche *et al*., 2009; Guo *et al*., 2010) เช่นเดียวกันกับ IAFFD (2021) ที่แนะนำว่าควรลดระดับวิตามินเอในอาหารตามช่วงอายุของสัตว์น้ำ และเพิ่มปริมาณอีกครั้งในช่วงการสืบพันธุ์โดยให้มีค่าใกล้เคียงกับสัตว์น้ำขนาดเล็ก (ตารางที่ 5) แม้ว่าปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดอัตราสูงสุดของวิตามินเอที่อนุญาตให้ใช้ในอาหารสัตว์น้ำ (EFSA, 2013) แต่สมาคมวัตถุดิบอาหารสัตว์แห่งยุโรปแนะนำว่าอาหารปลาเขตอบอุ่นและกุ้งควรมีวิตามินเอประมาณ 8,000-12,000 และ 10,000-12,000 IU หรือคิดเป็น 2.40-3.33 และ 3.33-3.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (FEFANA, 2014) ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลจากรายงานวิจัยบางส่วนที่นำเสนอในบทความนี้ ร่วมกับ

คำแนะนำของสมาคมวัตถุดิบอาหารสัตว์แห่งยุโรป และคำแนะนำของ IAFFD (2021) อาหารสัตว์น้ำแต่ละกลุ่มควรมีปริมาณวิตามินเอดังที่แสดงใน ตารางที่ 6 โดยสัตว์น้ำเขตอบอุ่นมีแนวโน้มความต้องการวิตามินเอมากกว่าสัตว์น้ำในเขตร้อน ซึ่งน่าจะเกิดจากสัตว์น้ำในเขตอบอุ่นสะสมกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงในร่างกายมากกว่าสัตว์น้ำในเขตร้อน ทำให้ต้องการวิตามินเอเพิ่มขึ้นเพื่อป้องกันการเสื่อมของไขมันในร่างกายร่วมกับสารต้านอนุมูลอิสระชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ สัตว์น้ำในเขตอบอุ่นต้องการวิตามินเอในอัตราสูงเพื่อกระตุ้นการสร้างและการเจริญของเซลล์ปกติและเซลล์ของระบบภูมิคุ้มกันต่างๆ ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและการป้องกันเชื้อโรคโดยเฉพาะเซลล์ของระบบภูมิคุ้มแบบรับมา เนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะยับยั้งการทำงานของ T-cell และ B-cell (Van Muiswinkel & Vervoorn-Van Der Wal, 2006)

ตารางที่ 6 ปริมาณวิตามินเอที่เหมาะสมในอาหารสัตว์น้ำ

กลุ่มสัตว์น้ำ	ชนิดสัตว์น้ำ	IU หรือ mg /กก. อาหาร
กุ้งทะเล	กุ้งขาวแวนนาไมและกุ้งกุลาดำ	3,500-10,000/1.05-3.00
กุ้งน้ำจืด	กุ้งก้ามกราม	3,200-6,300/0.96-1.89
ปลากินเนื้อเขตร้อน	ปลาช่อน ปลากะพงขาว ปลากะรังและปลากะพงแดง	4,000-8,000/1.20-2.40
ปลากินเนื้อเขตอบอุ่น	ปลาเรนโบว์ เทร้าต์ ปลากะพงยุโรปและปลาแซลมอน	4,000-10,000/1.20-3.00
ปลากินทั้งพืชและเนื้อเขตร้อน	ปลานิล ปลาสวาย ปลายี่สกเทศและปลานวลจันทร์ทะเล	4,000-10,000/1.20-3.00
ปลากินทั้งพืชและเนื้อเขตอบอุ่น	ปลาไน ปลาเฉา ปลากิเบล คาร์พและปลาหวูชาง บรีม	4,000-12,000/1.20-3.60

หมายเหตุ ประมวลข้อมูลจากงานวิจัยในตารางที่ 3-5 ร่วมกับคำแนะนำของ IAFFD (2021) และ FEFANA (2014) ยกเว้นกุ้งก้ามกรามที่เป็นข้อมูลจากคำแนะนำของ IAFFD เพียงอย่างเดียว เนื่องจากไม่มีข้อมูลงานวิจัย

ตารางที่ 5 วิตามินเอขั้นต่ำในอาหารของสัตว์น้ำที่นิยมเลี้ยง (IAFFD, 2021)

ปลาน้ำจืด						
ขนาด	ปลานิล	ปลาสวาย	ปลาช่อน	ปลาไน	ปลาเรนโบว์ เทร้าต์	ปลายี่สกเทศ
<5 กรัม	6,300	12,300	6,300	12,600	6,300	6,300
5-50 กรัม	4,200	8,000	4,200	8,400	4,200	4,200
50-200 กรัม	3,200	6,000	3,200	6,300	3,200	3,200
200-500 กรัม	3,200	6,000	3,200	6,300	3,200	3,200
500-1,500 กรัม	3,200	6,000	3,200	6,300	3,200	3,200
>1,500 กรัม	4,200	7,400	4,200	8,400	4,200	4,200
เฉลี่ย	4,050	7,617	4,050	8,050	4,050	4,050
ปลาทะเล						
ขนาด	ปลานวลจันทร์ทะเล	ปลากะพงขาว	ปลากะรัง	ปลากะพงยุโรป	ปลากิลต์เฮด ซีบรีม	ปลากะพงแดง
<5 กรัม	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300
5-50 กรัม	4,200	4,200	4,200	4,200	4,200	4,200
50-200 กรัม	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200
200-500 กรัม	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200
500-1,500 กรัม	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200
>1,500 กรัม		4,200	4,200	4,200	3,200	4,200
เฉลี่ย	4,020	4,050	4,050	4,050	3,883	4,050
ปลาแซลมอนและกุ้ง						
ขนาด	ปลาแอตแลนติก แซลมอน	ปลาชินุก แซลมอน	ขนาด	กุ้งขาวแวนนาไม	กุ้งกุลาดำ	กุ้งก้ามกราม
<50 กรัม	6,300	6,300	<3 กรัม	7,000	6,300	6,300
50-200 กรัม	4,200	6,300	3-15 กรัม	4,900	4,200	4,200
200-500 กรัม	3,200	4,200	15-40 กรัม	3,200	3,200	3,200
500-1,250 กรัม	3,200	3,200	>40 กรัม	3,200	3,200	3,200
1,250-2,000 กรัม	3,200	3,200				
2,000-3,500 กรัม	4,200	3,200				
3,500-5,000 กรัม	4,200	4,200				
เฉลี่ย	3,700	4,050		3,767	3,533	3,533

หมายเหตุ มีการแปลงหน่วยจากมิลลิกรัม เป็น IU ต่อกิโลกรัมอาหาร โดย เรตินอล 1 IU เท่ากับ 0.3 ไมโครกรัม

ปลาสวาย (*Pangasianodon hypophthalmus*), ปลาช่อน (*Channa striatus*), ปลายี่สกเทศ (*Labeo rohita*) ปลากะพงขาว (*Lates calcarifer*), ปลากะรัง (*E. coioides*), ปลากิลต์เฮด ซีบรีม (*Sparus aurata*), ปลากะพงแดง *(Lutjanus argentimaculatus*), ปลาชินุก แซลมอน (*O. tshawytscha*), กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*), กุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*)

บทสรุป

วิตามินเอเป็นกลุ่มของสารอินทรีย์ที่ออกฤทธิ์คล้ายเรตินอล แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเรตินอยด์ เช่น เรตินอล เรตินาลและกรดเรติโนอิก และกลุ่มแคโรทีนอยด์ชนิดที่เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอ (โปรวิตามินเอ) เช่น แอลฟาแคโรทีนและเบต้าแคโรทีน โดยเรตินอลเป็นแหล่งวิตามินเอสำรองสำหรับการสร้างเรตินาลและกรดเรติโนอิก การสร้างไกลโคโปรตีนในเยื่อหุ้มเซลล์และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เรตินาลมีหน้าที่จำเพาะเกี่ยวกับการมองเห็นและกรดเรติโนอิกมีหน้าที่เกี่ยวกับการควบคุมการแสดงออกยีนของการสร้างเซลล์ การสร้างกระดูก การพัฒนาของตัวอ่อนและระบบภูมิคุ้มกัน สัตว์น้ำสะสมวิตามินเอเกือบทั้งหมดในเซลล์ไขมันของตับที่เรียกว่า Stellate cell ในรูปเอสเตอร์ของ all-*trans*-retinol (วิตามิน A_1) และ 3,4-dehydroretinol (วิตามิน A_2) โดยปลาทะเลสะสมวิตามิน A_1 แต่ปลาน้ำจืดสะสมได้ทั้งวิตามิน A_1 และ A_2 สัตว์น้ำที่ขาดแคลนวิตามินเอแสดงอาการจำเพาะคือ ตาบอด ตาโปนหรือตาบวมและการตกเลือดที่ตาและอาจมีภาวะโลหิตจางและการตกเลือดที่ครีบ ผิวหนังและในอวัยวะต่างๆ ส่วนการได้รับวิตามินเอในอัตราสูงจะแสดงลักษณะที่เด่นชัดคือการสร้างกระดูกที่ผิดปกติโดยเฉพาะกระดูกสันหลัง

ในทางโภชนาการ การกำหนดปริมาณวิตามินเอที่นิยมกันมี 2 รูปแบบ คือ International unit (IU) และ Retinol equivalent (RE) ที่คิดเป็นปริมาณเรตินอลเท่ากับ 0.3 และ 1 ไมโครกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้วิตามินเอในอาหารสัตว์น้ำมาจาก 4 แหล่งหลัก ได้แก่ วัตถุดิบอาหารที่เป็นเนื้อและไขมันสัตว์ วิตามินเอสังเคราะห์ สารสีธรรมชาติและสารสีสังเคราะห์ที่มีแคโรทีนอยด์ชนิดโปรวิตามินเอเป็นองค์ประกอบ อย่างไรก็ตาม วิตามินเอในอาหารสัตว์น้ำส่วนใหญ่มาจากการเสริมแหล่งวิตามินเอสังเคราะห์ทั้งในรูปแบบของวิตามินเดี่ยวหรือวิตามินรวม โดยวิตามินเอสังเคราะห์ที่นิยมใช้คือเรตินิลอะซิเตตและเรตินิลปาล์มิเตตซึ่งเรตินิลอะซิเตตมีประสิทธิภาพดีกว่าเรตินิลปาล์มิเตต ปัจจุบัน มีการศึกษาเกี่ยวกับวิตามินเอในอาหารสัตว์น้ำหลายชนิดโดยเฉพาะสัตว์น้ำวัยอ่อนและวัยรุ่นแต่ยังไม่สามารถระบุความต้องการวิตามินเอได้อย่างแน่ชัด เนื่องจากระดับทดสอบมีความแตกต่างกันมาก ระดับทดสอบไม่เป็นสัดส่วนกัน หรือระดับทดสอบบางส่วนมีค่าสูงจนทำให้สัตว์น้ำได้รับผลกระทบจากภาวะได้รับวิตามินเอสูง อย่างไรก็ตาม เมื่อประมวลผลจากรายงานวิจัยและคำแนะนำต่างๆ ทำให้สรุปในเบื้องต้นได้ว่าอาหารกุ้งและปลาควรมีวิตามินเอที่คำนวณเป็นปริมาณเรตินอลอย่างน้อย 4,000 IU และไม่ควรเกิน 12,000 IU ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยปลาและกุ้งในเขตอบอุ่นต้องการวิตามินเอสูงกว่ากุ้งและปลาในเขตร้อน

เอกสารอ้างอิง

Ahmed, J.A., Dutta, D. & Nashiruddullah, N. (2016). Comparative efficacy of antioxidant retinol, melatonin, and zinc during in vitro maturation of bovine oocytes under induced heat stress. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, *40*(4), 365-373.

Amitromach, E., Uni, Z., Cheled, S., Berkovich, Z. & Reifen, R. (2009). Bacterial population and innate immunity-related genes in rat gastrointestinal tract are altered by vitamin A-deficient diet. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, *20*(1), 70-77.

Aoe, H., Madsuda, I., Mimura, T., Sato, T. & Komo, A. (1968). Requirement of young carp for vitamin A. *Nippon Suisan Gakkaishi, 33(*10*),* 1068-1071.

Bender, D.A. (2009). The vitamins. In M.J. Gibney, S.A. Lanham-New, A. Cassidy & H.H. Vorster. (Eds.), *Introduction to Human Nutrition*. (Second edition). (pp. 147-202). NJ, USA: Wiley-Blackwell.

Campeche, D., Catharino, R.R., Godoy, H.T. & Cyrino, J.E.P. (2009). Vitamin A in diets for Nile tilapia. *Scientia Agricola*, *66*(6), 751-756.

Chueapohak, W. (1999). *Aquatic Animal Nutrition and Feeding Aquatic Animal*. Bangkokok, Thailand : Kasetsart University Press. (in Thai)

Combs, G.F. (2008). *The vitamins, Fundamental Aspects in Nutrition and Health*. (Third edition). MA, USA: Elsevier Academic Press.

Dedi, J., Takeuchi, T., Seikai, T. & Watanabe, T. (1995). Hypervitaminosis and safe levels of vitamin A for larval flounder (*Paralichthys olivaceus*) fed *Artemia* nauplii. *Aquaculture*, *133*(2), 135-146.

Dedi, J., Takeuchi, T., Seikai, T., Watanabe, T. & Hosoya, K. (1997). Hypervitaminosis A during vertebral morphogenesis in larval Japanese flounder. *Fisheries Science*, *63*(3), 466-473.

De Luca, L.M. (1982). Studies on mannosyl carrier function of retinol and retinoic acid in epithelial and mesenchymal tissues. *Journal of the American Academy of Dertamology*, *6*(4)Part 2, 611-618.

EFSA. (2013). Scientific opinion on the safety and efficacy of vitamin A (retinyl acetate, retinyl palmitate and retinyl propionate) as a feed additive for all animal species and categories. *EFSA Journal*, *11*(1), 3037.

Elomda, A.M., Saad, M.F., Saeed, A.M., Elsayed, A., Abass, A.O., Safaa, H.M. & Mehaisen, G.M.K. (2018). Antioxidant and developmental capacity of retinol on the in vitro culture of rabbit embryos. *Zygote*, *26*(4), 326-332.

FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization Headquarter.

FEFANA. (2014). *Vitamins in Animal Nutrition*. Brussels, Belgium: FEFANA Office.

Ghyasvand, T., Goodarzi, M.T., Amiri, I., Karimi, J. & Ghorbani, M. (2015). Serum levels of lycopene, beta-carotene, and retinol and their correlation with sperm DNA damage in normospermic and infertile men. *International Journal of Reproductive BioMedicine, 13(*12), 787-792.

Gimenez, A.V.F., Díaz, A.C., Velurtas, S.M., Petriella, A.M. & Fenucci, J.L. (2008). Effects of different dietary vitamin A levels in the red shrimp *Pleoticus muelleri* (Bate, 1888) (Decapoda, Solenoceridae). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, *43*(3), 483-490.

Glencross, B.D. (2006). The nutritional management of barramundi, *Lates calcarifer* -a review. *Aquaculture Nutrition*, *12*(4), 291-309.

Guimarães, I.G., Lim, C., Yildirim-Aksoy, M., Li, M. & Klesius, P.H. (2014). Effects of dietary levels of vitamin A on growth, hematology, immune response and resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to *Streptococcus iniae*. *Animal Feed Science and Technology, 188,* 126-136.

Guo, R., Lim, C., Xia, H., Yildirim-Aksoy, M., & Li, M. (2010). Effect of various dietary vitamin A levels on growth performance and immune response of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Frontiers of* Agriculture *in China*, *4*(4), 507-512.

Hernandez, L.H.H, Teshima, S., Ishikawa, M., Koshio, S. & Tanaka, Y. (2004). Effects of dietary vitamin A on juvenile red sea bream *Chrysophrys major*. *Journal of the World Aquaculture Society*, *35*(4), 436-444.

Hernandez, L.H.H., Teshima, S., Ishikawa, M., Alam, S., Koshio, S. & Tanaka, Y. (2005). Dietary vitamin A requirements of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture Nutrition*, *11*(1), 3-9.

Hernandez, L.H.H., Teshima, S., Koshio, S., Ishikawa, M., Gallardo-Cigarroa, F.J., Alam, S., & Uyan, O. (2006). Effects of vitamin A palmitate, β-carotene and retinoic acid on the growth and incidence of deformities in larvae of red sea bream *Chrysophrys major*. *Ciencias Marinas*, *32*(1B), 195-204.

Hernandez, L.H.H., Teshima, S., Ishikawa, M., Koshio, S., Gallardo-Cigarroa, F.J., Uyan, O. & Alam, S. (2009). Vitamin A effects and requirements on the juvenile kuruma prawn *Marsupenaeus japonicus*. *Hidrobiológica, 19*(3), 217-223.

Hilton, J.W. (1983). Hypervitaminosis A in rainbow trout (*Salmo gairdneri*): Toxicity signs and maximum tolerable level. *The Journal of Nutrition*, *113*(9), 1737-1745.

Hosokawa, H. (1989). *The Vitamin Requirements of Fingerling Yellowtail, Seriola quinqueradiata*. Kochi, Japan: Kochi University.

IAFFD. (2021). *Aquaculture Species Nutritional Specifications Database (ASNS)*. Retrieved January 19, 2021, from http://www.iaffd.com.

Jain, J.L., Jain, N. & Jain, S. (2005). *Fundamentals of Biochemistry*. (Sixth edition). New Delhi, India: S. Chand & Company Ltd.

Jing, K., He, S., Chen, T., Lu, Y. & Ng, I.S. (2016). Enhancing beta-carotene biosynthesis and gene transcriptional regulation in *Blakeslea trispora* with sodium acetate. *Biochemical Engineering Journal*, *114*, 10-17.

Kitamura, S., Suwa, T., Ohara, S. & Nakagawa, K. (1967). Studies on vitamin requirements of rainbow trout. II. The deficiency symptoms of fourteen kinds of vitamins. *Nippon Suisan Gakkaishi*, *33(*12), 1120-1125.

Lian, X.Y., Chen, N.S., Wang, M.L., Yan, C.H. & Ding, G.T. (2017). Dietary vitamin A requirement of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Chinese Journal of Animal Nutrition*, *29*(10), 3819-3830.

Liang, M., Wenjuan, J., Qing, C. & Jialin, W. (2004). The effect of vitamin A supplementation in broodstock feed on reproductive performance and larval quality in *Penaeus chinensis*. *Aquaculture Nutrition*, *10*(5), 295-300.

Liu, B., Zhao, Z., Brown, P.B., Cui, H., Xie, J., Habte-Tsion, H.M. & Ge, X. (2016). Dietary vitamin A requirement of juvenile Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*) determined by growth and disease resistance. *Aquaculture*, *450*, 23-30.

McCullough, F.S., Northropclewes, C..A. & Thurnham, D.I. (1999). The effect of vitamin A on epithelial integrity. *Proceedings of the Nutrition Society*, *58*(2), 289-293.

McDowell, L.R. (2000). *Vitamins in Animal and Human Nutrition*. (Second edition). IA, USA: Iowa State University Press.

Mohamed, J.S., Sivaram, V., Roy, T.S.C., Marian, M.P., Murugadass, M. & Hussain, M.R. (2003). Dietary vitamin A requirement of juvenile greasy grouper (*Epinephelus tauvina*). *Aquaculture*, *219*(104), 693-701.

Mora, J.R., Iwata, M. & von Andrian, U.H. (2008). Vitamin effects on the immune system: vitamins A and D take centre stage. *Nature Reviews Immunology*, *8*(9), 685-698.

Moren, M., Opstad, I., Berntssen, M.H.G., Zambonino Infante, J.L. & Hamre, K. (2004). An optimum level of vitamin A supplements for Atlantic halibut (*Hipoglossus hipoglossus* L.) juveniles. *Aquaculture*, *235*(1-4), 587-599.

Nasiri, E., Mahmoudi, R., Bahadori, M.H. & Amiri, I. (2011). The effect of retinoic acid on *In vitro* maturation and fertilization rate of mouse germinal vesicle stage oocytes. *Cell Journal (Yakhteh)*, *13*(1), 19-24.

NRC. (1993). *Nutrient Requirements of Fish*. Washington D.C., USA: National Academy Press.

Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C.M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H. and Troell, M. (2000). Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, *405*, 1017-1024.

Oliveira, L.M, Teixeira, F.M.E. & Sato, M.S. (2018). Impact of retinoic acid on immune cells and inflammatory diseases. *Mediators of Inflammation*, 3067126.

Ørnsrud, R., Graff, I.E., Høie, S., Totland, G.K. & Hemre, G.I. (2002). Hypervitaminosis A in the first-feeding fry of the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture Nutrition*, *8*(1), 7-13.

Ørnsrud, R., Lock, E.J., Waagbo, R., Krossøy, C. & Fjelldal, P.G. (2013). Establishing an upper level of intake for vitamin A in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) postsmolts. *Aquaculture Nutrition*, *19*(5), 651-664.

Park, W.S., Kim, H.J., Li, M., Lim, D.H., Kim, J., Kwak, S.S., Kang, C.M., Ferruzzi, M.G. & Ahn, M.J. (2018). Two classes of pigments, carotenoids and C-phycocyanin, in spirulina powder and their antioxidant activities. *Molecules*, *23*(8), 2065.

Plaipetch, P. (2014a). Nutritional researches on hybrid clariid catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*). *Journal of Science and Technology Kasetsart University*, *3(2),* 52-70. (in Thai)

Plaipetch, P. (2014b). Advances in nutritional researches on Asian sea bass *Lates calcarifer* (Bloch, 1790). *KKU Research Journal*, *19*(4), 571-584. (in Thai)

Plaipetch, P. (2015). Nutritional management for nursing and culturing Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931). *Journal of Agriculture*, *31(*1*),* 89-105. (in Thai)

Plaipetch, P. (2016). Nutritional management for culturing Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Thammasat Journal of Science and Technology*, *24(*1*),* 12-39. (in Thai)

Ravisankar, P., Reddy, A.A., Nagalakshmi, B., Koushik, O.S., Kumar, B.V. & Anvith, P.S. (2015). The comprehensive review on fat soluble vitamins. *IOSR Journal of Pharmacy*, *5(*1*),* 12-28.

Rosenfeld, L. (1997). Vitamine-vitamin, the early years of discovery. *Clinical Chemistry*, *43*(4), 680-685.

Rushton, W.A.H. (1966). Densitometry of pigments in rods and cones of normal and color defective subjects. *Investigative Ophthalmology*, *5(*3), 233–241.

Saleh, G., Eleraky, W. & Gropp, J.M. (1995). A short note on the effects of vitamin A hypervitaminosis on health and growth of Tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*). *Journal Applied Ichthyology*, *11*(304), 382–385.

Shao, L., Zhu, X., Yang, Y., Jin, J., Liu, H., Han, D. & Xie, S. (2016). Effects of dietary vitamin A on growth, hematology, digestion and lipometabolism of on-growing gibel carp (*Carassius auratus gibelio* var. CAS III). *Aquaculture*, *460*, 83-89.

Shiau, S.Y. & Chen, Y. (2000). Estimation of the dietary vitamin A requirement of juvenile grass shrimp, *Penaeus monodon*. *The Journal of Nutrition*, *130*(1), 90-94.

Signor, A.A. Signor, A., Signor, F.R.P., Boscolo, W.R., Feiden, A. & Vargus, L. (2018). Vitamin A supplemented diet for pacu fingerlings. *Boletim do Instituto de Pesca*, *44*(3), e331.

Taveekijakarn, P., Miyazaki, T., Matsumoto, M. & Arai, S. (1994). Vitamin A deficiency in cherry salmon. *Journal of Aquatic Animal Health*, *6*(3), 251-259.

Tutas, L.B., Serrano Jr., A.E., Traifalgar, R.F.M. & Corre, V.L. (2013). Optimum dietary levels of Vitamin A (retinyl palmitate) for growth and reduction of incidence of operculum deformity in milkfish (*Chanos chanos*) fry. *AACL Bioflux*, *6*(5), 464-469.

Van Muiswinkel, W.B. & Vervoorn-Van Der Wal, B. (2006). The immune system of fish. In P.T.K. Woo. (Eds.), *Fish Diseases and Disorders*. (Second edition). (pp. 678-702). England: CAB International Publishing.

Villeneuve, L., Gisbert, E., Le Delliou, H., Cahu, C.L. & Zambonino-Infante, J.L.(2005). Dietary levels of all-trans retinol affect retinoid nuclear receptor expression and skeletal development in European sea bass larvae. *British Journal of Nutrition*, *93*(6), 791-801.

Villeneuve, L., Gisbert, E., Moriceau, J., Cahu, C.L. & Zambonino-Infante, J.L. (2006). Intake of high levels of vitamin A and polyunsaturated fatty acids during different developmental periods modifies the expression of morphogenesis genes in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *British Journal of Nutrition*, *95*(4), 677-687.

Wang, J.L., Swartz-Basile, D.A., Rubin, D.C. & Levin, M.S. (1997). Retinoic acid stimulates early cellular proliferation in the adapting remnant rat small intestine after partial resection. *The Journal of Nutrition*, *127*(7), 1297-1303.

Wen, H., Yan, A.S., Gao, Q., Jiang, M. & Wei, Q. (2008). Dietary vitamin A requirement of juvenile Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*). *Journal of Applied Ichthyology*, *24*(5), 534-538.

WHO/FAO. (2004). *Vitamin and Mineral Requirements in Human Nutrition*. (Second edition). Hong Kong: SNP Best-set Typesetter Ltd.

Williams, K.C. & Rimmer, M.A. (2005). The future of feeds and feeding of marine finfish in the Asia-Pacific region: the need to develop alternative aquaculture feeds. In *APFIC Regional Workshop on Low Value/Trash Fish in the Asia-Pacific Region*. (pp. 223-233). Vietnam: Hanoi.

Wu, F., Zhu, W., Liu, M., Chen, C., Chen, J. & Tan, Q. (2016). Effects of dietary vitamin A on growth performance, blood biochemical indices and body composition of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon Idellus*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *16,* 339-345.

.