

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คุณสมบัติในการละลายของน้ำ

น้ำหรือเรียกว่า “universal solvent” เนื่องจากละลายได้แม้กระทั่งองค์ประกอบเล็ก ๆ เป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุดสำหรับสารที่ยึดกันด้วยพันธะคู่หรือพันธะไอออนิก ในน้ำทะเลมีสารที่ละลายอยู่ได้แก่ของแข็งไอออนิก (ionic solid) และ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีสารที่ไม่มีขั้วละลายอยู่แต่เป็นส่วนน้อย เช่น Hydrocarbon oil เป็นต้น เมื่อเกลือละลายน้ำ เช่น NaCl พันธะไอออนิกของเกลือถูกทำลาย ไอออนบวกจะไปจับกับโมเลกุลของน้ำที่ปลายด้านออกซิเจน ส่วนไอออนลบจะไปจับกับโมเลกุลของน้ำที่ปลายด้านไฮโดรเจน และจะกลายเป็น hydrated ดังสมการ



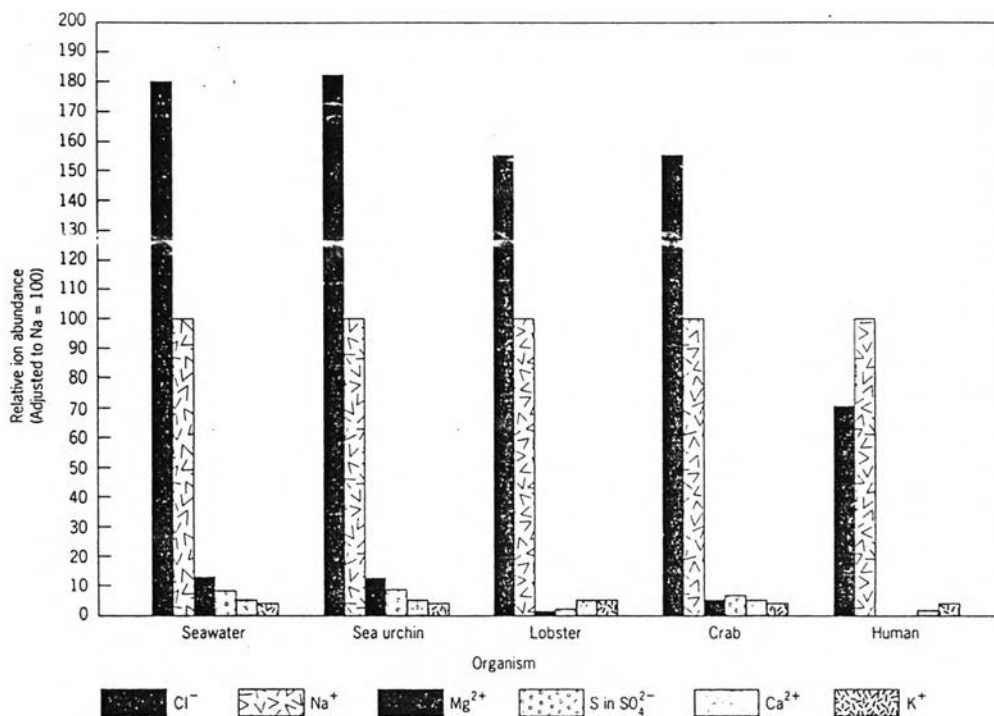
n และ m หมายถึงจำนวนโมเลกุลของน้ำที่ละลายกับเกลือ สำหรับเกลือ NaCl อยู่ระหว่าง 4 - 6 โมเลกุล ในระหว่างที่เกลือถูกละลายน้ำ พันธะโมเลกุลภายในของเกลือแตกออกกลายเป็น Na^+ (aq) และ Cl^- (aq) ดังสมการ



ความสามารถในการละลายของเกลือนั้นขึ้นกับแรงที่ยึดติดกันให้เป็นร่างแห (lattice energy) ซึ่งแรงนี้จะยึดติดให้เป็นรูปสามมิติ

น้ำทะเลมีความเข้มข้นของเกลือสูงดังนั้นจึงมีแรงดันออสโมติกสูงกว่าน้ำจืด ความแตกต่างระหว่างแรงดันออสโมติกทำให้โมเลกุลของน้ำแพร่ผ่านทาง semipermeable membrane จากบริเวณที่มีความเข้มข้นเกลือน้อยไปบริเวณที่มีความเข้มข้นเกลือมาก และสิ้นสุดการแพร่เมื่อความเข้มข้นของเกลือทั้งสองข้างเท่ากัน องค์ประกอบของเกลือในของเหลวภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิตในทะเลมีลักษณะใกล้เคียงกับในน้ำทะเล เพื่อให้ร่างกายได้ใช้พลังงานน้อยที่สุดเพื่อรักษาเกลือไว้ในร่าง

กาย(Libes, 1992) องค์ประกอบของเกลือในของเหลวภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิตในทะเล มนุษย์ และในน้ำทะเลแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 องค์ประกอบของของเหลวในร่างกายสิ่งมีชีวิตในทะเล (รูปจาก Sverdrup, Johnson and Fleming, 1941. อ้างโดย Libes, 1992)

องค์ประกอบของน้ำทะเล

จากวัฏจักรของน้ำ องค์ประกอบทางเคมีของน้ำตามธรรมชาติมีการเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากการละลายและการตกตะกอนของสารประกอบต่าง ๆ หรือโดยการสลายตัวของก๊าซ แต่ในน้ำทะเลนั้นตั้งแต่ผิวน้ำจนถึงก้นมหาสมุทร จากมหาสมุทรสู่ทะเลสาบสมุทรไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากมีสารที่เป็นตัวถูกละลายอยู่สูงมาก จากตารางที่ 1 องค์ประกอบของไอออนหลักในน้ำทะเล ได้แก่ Cl⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ และ SO₄²⁻ มีอัตราส่วนคงที่เนื่องจากถูกควบคุมโดยกระบวนการทางฟิสิกส์ ได้แก่การหมุนเวียนเข้าและออกของมวลน้ำในทะเล องค์ประกอบหลักนี้เรียกว่า “conservative ion” มีอยู่ในน้ำทะเล 99.8 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็น Na⁺ และ Cl⁻ ถึง 86 เปอร์เซ็นต์ ส่วนองค์ประกอบอื่นมีอัตราส่วนไม่คงที่ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งเกิดในมหาสมุทรและตะกอนดิน องค์ประกอบที่เหลือนี้เรียกว่า “nonconservative ion”

ตามหลักของ Marcet's Principle หรือ Rule of Constant Properties กล่าวว่าความเค็มของน้ำทะเลแม้ว่าจะต่างกัน แต่อัตราส่วนของไอออนหลักในทะเลเปิดยังคงที่ เนื่องจากอัตราการเคลื่อนย้ายมวลน้ำภายในทะเลนั้นเร็วกว่ากระบวนการทางเคมีที่เกี่ยวข้องทุกชนิด ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณของมวลน้ำในทะเลจึงเป็นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอออนหลัก และมีผลทำให้ความเค็มของน้ำเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากอัตราส่วนของไอออนหลักถูกควบคุมด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์มากกว่ากระบวนการทางเคมี จึงมีกระบวนการทางฟิสิกส์บางอย่างสามารถเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำได้ ได้แก่ การระเหย การกลั่นตัวลงมาเป็นฝน การแข็งตัวของน้ำแข็ง การละลายของน้ำแข็ง การผสมกันของมวลน้ำที่มีความเค็มต่างกัน เป็นต้น

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของไอออนหลักที่สำคัญในน้ำทะเล (ตารางจาก Culkin and Cox, 1966 และ Riley and Tongudai, 1966 อ้างโดย Libes, 1992)

Ion	g/kg of water of salinity 35 ppt	g/kg/Cl ppt	Ion	g/kg of water of salinity 35 ppt	g/kg/Cl ppt
Chloride	19.344	-	Bicarbonate	0.142	nonconservative
Sodium	10.773	0.556	Bromide	0.0674	0.00348
Sulfate	2.712	0.1400	Strontium	0.0079	0.00041
Magnesium	1.294	0.0668	Boron	0.00445	0.00023
Calcium	0.412	0.02125	Fluoride	0.00128	$6 \times 67 \times 10^{-5}$
Potassium	0.399	0.02060			

ทะเลชายฝั่งและบริเวณปากแม่น้ำ (marginal sea and estuaries) มีการผันแปรของอัตราส่วนไอออนหลักที่นอกเหนือจากหลักของ Marcet's Principle อัตราส่วนของไอออนในแม่น้ำได้รับอิทธิพลของท้องถิ่นที่ไหลผ่าน เมื่อมีการไหลลงสู่ปากแม่น้ำและทะเลชายฝั่ง (river runoff) จะนำมวลน้ำมวลน้ำที่ได้รับอิทธิพลของท้องถิ่นที่ไหลผ่านลงไปด้วย ซึ่งจะมีผลต่ออัตราส่วนไอออนหลักของน้ำทะเลชายฝั่งได้ (Libes, 1992)

McGhee(1991) ได้กล่าวว่ามวลน้ำที่ปล่อยออกมาจากพื้นที่ระบายน้ำนั้น ในฤดูร้อนจะแทรกซึมลงสู่พื้นดินแล้วลงสู่แม่น้ำลำธาร ในฤดูฝนมีปริมาณเพิ่มน้ำเพิ่มมากขึ้นและจะไหลลงไปด้วย ปัจจุบันที่มีอิทธิพลต่อ runoff ได้แก่ การกลั่นตัวเป็นฝน ความแรงของแสงอาทิตย์ ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ การขวางกั้นการซึมผ่านสู่พื้นดิน เป็นต้น แต่ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดคือการกลั่นตัวเป็นฝน ซึ่งมีผลต่อมวลน้ำที่ปล่อยออกมาจากพื้นที่ราบลุ่ม แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเวลาและพื้นที่

เช่น ถ้าเป็นฤดูเพาะปลูกรน้ำจะถูกนำไปใช้ในทางเกษตรกรรมมาก หรือถ้าฝนตกลงมาน้อยก็จะเพียงซึมลงในพื้นดินเท่านั้น

ชีววิทยาและการแพร่กระจายของกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำ มีชื่อภาษาอังกฤษว่า “Giant Tiger Prawn” ชื่อวิทยาศาสตร์ *Penaeus monodon* Fabricius ลักษณะทางอนุกรมวิธานคือ

Phylum Arthropoda

Class Crustacea

Order Decapoda

Suborder Natantia

Family Penaeidae

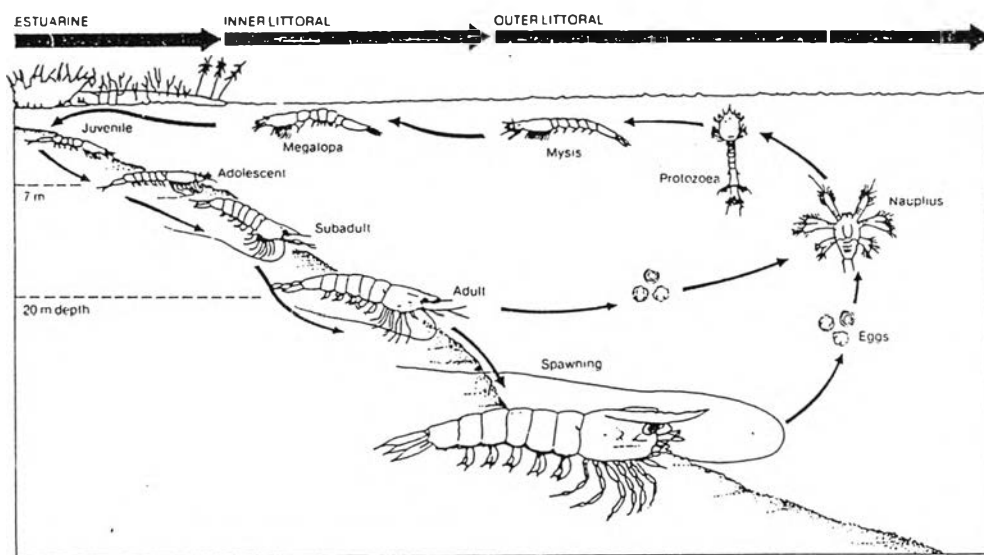
(Solis, 1988)

มีเปลือกเรียบและเป็นมันเงา ครีมีลักษณะโค้ง ด้านบนมีฟันอยู่ 6 - 8 ซี่ และด้านล่าง 2 - 4 ซี่ ปกติจะพบด้านบน 7 ซี่ และด้านล่าง 3 ซี่ ลำตัวสีม่วงแดงซึ่งมีแถบสีน้ำตาลหรือดำพาดขวางเป็นปล้อง ๆ หนวดสีน้ำตาลเข้มและไม่มีลาย ขาคืบและขาว่ายน้ำสีน้ำตาลและมีขน (Motoh, 1981)

กุ้งกุลาดำมีการแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้าง ในเขตอินโด - แปซิฟิก ครอบคลุมตั้งแต่ญี่ปุ่นใต้หวัน ตาฮิติ ออสเตรเลียจนถึงแอฟริกา พบบริเวณเส้นแวงที่ 30 - 135 องศาตะวันออก และเส้นรุ้งที่ 35 องศาเหนือถึง 35 องศาใต้ โดยมีการแพร่กระจายอย่างหนาแน่นในทะเลเขตร้อน ได้แก่ อินโดนีเซีย มาเลเซีย และ ฟิลิปปินส์ (Motoh, 1985) ในประเทศไทยพบทั้งในอ่าวไทยและทะเลอันดามัน ในอ่าวไทยพบได้ตั้งแต่ชายฝั่งจังหวัดสงขลา สุราษฎร์ธานี ชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ จันทบุรี ในทะเลอันดามันได้ตั้งแต่ชายฝั่งจังหวัดระนอง ภูเก็ต กระบี่ ตรัง และสตูล กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมสูง มักอาศัยในบริเวณพื้นโคลนปนทราย พบได้ตั้งแต่ปากแม่น้ำจนถึงทะเลลึก ความลึกตั้งแต่ 30 ถึง 150 เมตร ความเค็ม 5 - 35 ส่วนในพัน อุณหภูมิ 24- 34 องศาเซลเซียส กุ้งในทะเลลึกจะมีสีเข้มกว่ากุ้งในเขตน้ำตื้นและกุ้งในบ่อเลี้ยงกุ้งทั่วไป (สมเกียรติ ปิยะธีรจิตวิรกุล, 2540)

วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำเริ่มจากตัวเต็มวัย (adult) จะเริ่มอพยพจากชายฝั่งทะเลหรือปากแม่น้ำลงสู่ทะเลลึกเพื่อการผสมพันธุ์และวางไข่ โดยกุ้งพ่อพันธุ์จะฝากเชื้อสุจิในถุงน้ำเชื้อเข้าในอวัยวะเก็บถุงเชื้อของแม่กุ้งในขณะที่แม่กุ้งลอกคราบใหม่ ๆ เมื่อแม่กุ้งมีการพัฒนารังไข่จนถึงไข่อสุจิจะปล่อยไข่และน้ำเชื้อเพศผู้จากอวัยวะที่เก็บ มาผสมกันในขณะวางไข่ โดยแม่กุ้งจะวางไข่ครั้งละประมาณ 248,000 ถึง 844,000 ฟอง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.27 ถึง 0.31 มิลลิเมตร (Motoh,

1981) ไข่กุ้งกุลาค่าที่ได้รับการผสมแล้วจะฟักตัวเป็นตัวอ่อนระยะนอเพเลียส (Nauplius I - VI) ระยะโปรโตซัว (Protozoa I - III) ระยะไมซิส (Mysis I - III) และระยะโพสต์ลาร์วา (Postlarvae) ซึ่งใช้เวลาในการพัฒนา 1.5 วัน, 5 วัน, 4 - 5 วัน และ 6 - 15 วันตามลำดับ กุ้งจะอยู่บริเวณผิวน้ำและอพยพเข้ามาสู่บริเวณปากแม่น้ำหรือในป่าชายเลนที่มีความเค็มของน้ำต่ำ จากนั้นกุ้งจะอนุบาลและเลี้ยงตัวจนถึงระยะวัยรุ่น (Juvenile) ต่อจากนั้นจะเริ่มอพยพสู่ทะเลลึกพร้อมกับพัฒนาเป็นตัวเต็มวัย (Adult) เพื่อการผสมพันธุ์และวางไข่ต่อไป (สมเกียรติ ปิยะธีรชิตวิรกุล, 2540) Motoh (1981) พบว่ากุ้งกุลาค่าตัวเมียมีอายุสูงสุดประมาณ 2 ปี ส่วนกุ้งกุลาค่าตัวผู้มีอายุสูงสุดประมาณ 18 เดือน วงจรชีวิตของกุ้งกุลาค่าแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 วงจรชีวิตของกุ้งกุลาค่า (รูปจาก Motoh, 1981 อ้างโดย Solis, 1988)

Osmoregulation

การที่สิ่งมีชีวิตสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในสิ่งแวดล้อมของถิ่นที่อยู่อาศัยนั้น ขึ้นอยู่กับความสามารถในการปรับตัวของสัตว์ชนิดต่าง ๆ ในวงจรชีวิตของสัตว์น้ำมีปัจจัยหลักที่สำคัญคือความเค็มของน้ำรอบตัว สัตว์น้ำบางชนิดอาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีความเค็มคงที่ตลอดชีพ แต่มีบางชนิดต้องมีการอพยพเข้าไปเพื่อการเจริญเติบโตหรือเพื่อการสืบพันธุ์ จึงต้องเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำที่แตกต่างจากเดิม สัตว์จำพวกนี้จำเป็นต้องมีระบบการควบคุมสมดุลของเกลือในร่างกาย เพื่อสามารถอาศัยในสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ (Charmantier, 1998)

osmoregulation ได้มีคำจำกัดความไว้ว่า การปรับสมดุลความเข้มข้นของอนุภาคทั้งหมดของสารเหลวที่ต่างจากสภาพแวดล้อมภายนอกตัว ความคุมโดยกลไกหลักที่สำคัญคือ การควบคุมน้ำและสารละลายและการควบคุมส่วนประกอบและความเข้มข้นของไอออนต่าง ๆ (Osmotic and Ionic Regulation) (Robertson, 1960) ซึ่งก่อให้เกิดการทำงานในระดับเซลล์และเนื้อเยื่อ เมื่อสิ่งแวดล้อมที่อยู่อาศัยเกิดการเปลี่ยนแปลง สัตว์น้ำจำเป็นต้องมีการปรับตัวให้เข้ากับกลไก osmoregulation เพื่อรักษาสมดุลที่เกิดการผันแปรภายในร่างกาย เช่น การรักษาปริมาณน้ำเข้าออกให้คงที่ การรักษาอุณหภูมิภายใน การควบคุมความเป็นกรดเป็นด่าง เป็นต้น (ส่งศรี มหาสวัสดิ์, 2533)

การควบคุมของ osmolality ในสัตว์น้ำ

1. osmoconformity : เป็นกลไกที่ทำให้การแพร่ผ่านเข้าออกของน้ำและไอออนเกิดขึ้นน้อยที่สุด เพื่อลดความแตกต่างระหว่างของเหลวในเลือดและน้ำภายนอก กลไกนี้ osmoconformer จะลดความเข้มข้นของของเหลวในเลือดลงเมื่ออยู่ในน้ำที่ความเค็มลดลง โดยจะไปลดตัวที่สำคัญคือกรดอะมิโนในเนื้อเยื่อ จะไม่พบกลไกนี้ในสัตว์น้ำจืด เนื่องจากมีความเข้มข้นในเลือดสูงกว่าน้ำภายนอก (Mantel and Farmer, 1983) การที่กรดอะมิโนลดลงนั้น เนื่องจากกรดอะมิโนจะรวมกันเป็นโปรตีนอยู่ในภาวะ osmotically inactive เมื่อกลับไปอยู่ในความเค็มที่สูงขึ้นจะสร้างกรดอะมิโนเพิ่มขึ้น (ส่งศรี มหาสวัสดิ์, 2533)

2. osmoregulation : มี 2 รูปแบบคือ

2.1 hyperosmotic : สัตว์น้ำจะอยู่ในสภาวะที่ ความเข้มข้นของของเหลวในร่างกายมากกว่าน้ำภายนอก จะเผชิญกับน้ำภายนอกที่ซึมเข้าตัวและการสูญเสียไอออนตลอดเวลา พบในสัตว์น้ำจืด หรือในสภาวะความเค็มต่ำ

ความสามารถในการแพร่ผ่านเข้าออกของไอออนนั้นพบว่า สัตว์น้ำจืดและน้ำกร่อยมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับสัตว์ทะเล แต่ในการปรับตัวระยะสั้นนั้นพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ความสามารถในการแพร่ผ่านเข้าออกของน้ำนั้นพบว่า สัตว์ทะเลมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับสัตว์น้ำจืดและสัตว์น้ำกร่อย (Mantel and Farmer, 1983)

2.2 hypoosmotic : สัตว์น้ำจะอยู่ในสภาวะที่ ความเข้มข้นของของเหลวในร่างกายน้อยกว่าน้ำภายนอก จะเผชิญกับการสูญเสียน้ำและการรับไอออนเข้ามาตลอดเวลา จะพบในสัตว์ทะเล

กลไกการปรับสมดุลไอออนนั้น มีอวัยวะที่เกี่ยวข้องคือแอนเทนนาออลเกลนด์ จะเป็นตัวผลิตยูรีนขึ้นมาเพื่อขับถ่ายไอออนและปรับความเหมาะสมขององค์ประกอบในเลือด เหงือกจะเป็นจุดที่ใช้ดูดซึมหรือขับ ไอออนส่วนเกินและในลำไส้จะมีการดูดซึมไอออน(ประจวบ หล้าอุบล, 2537)

รูปแบบการควบคุมของ osmoregulation ในสัตว์น้ำ มีกระบวนการดังนี้

1. สัตว์น้ำจืด : ความเข้มข้นของของเหลวในเลือดมากกว่าน้ำภายนอก จึงมีความเข้มข้นของของเหลวในร่างกายเป็น hyperosmotic กับน้ำภายนอก สัตว์น้ำจืดจึงเป็น hyperosmoregulator จะเผชิญกับน้ำภายนอกที่ซึมเข้าตัวและการสูญเสียไอออนตลอดเวลา กลไกของ hyperosmotic ต้องกำจัดน้ำที่แพร่เข้าสู่ร่างกายอย่างต่อเนื่อง ขณะเดียวกันต้องรักษาความเข้มข้นของเลือดไว้ โดยเพิ่มการขับถ่ายน้ำมากขึ้น ผลิตปัสสาวะที่เป็น isoionic หรือ hypoionic กับเลือดเพื่อป้องกันการสูญเสียไอออน และชดเชยการสูญเสียไอออนโดยการกินและการซึมผ่านทางเหงือก ด้วยขบวนการ active transport (ส่งศรี มหาสวัสดิ์, 2533)

มีครัสตาเซียหลายชนิดที่เป็นสัตว์น้ำจืดและสามารถอยู่ในน้ำความเค็มสูงได้ ชนิดที่สำคัญคือ Palamonid shrimp ได้แก่ *Macrobrachium rosenbergii* และ *M. australiense* เมื่ออยู่ในน้ำความเค็มสูงจะผลิตยูรีนที่เป็น isoosmotic หรือ hypoosmotic กับเลือดโดยที่ความเข้มข้นของของเลือดยังคงที่ (Mantel and Farmer, 1983)

2. สัตว์ทะเล : มีความเข้มข้นของของเหลวในร่างกายน้อยกว่าน้ำทะเลภายนอก จะเผชิญกับการสูญเสียน้ำและการรับไอออนเข้ามาตลอดเวลา จึงมีความเข้มข้นของของเหลวในร่างกายเป็น hypoosmotic กับน้ำภายนอก สัตว์ทะเลจึงเป็น hypoosmoregulator แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.1 สัตว์ทะเลที่มีความเข้มข้นของของเหลวในร่างกายเป็น isoosmotic กับน้ำทะเล ได้แก่ สัตว์ทะเลชั้นต่ำ และ ปลากระดูกอ่อน

2.2 สัตว์ทะเลที่มีความเข้มข้นของของเหลวในร่างกายเป็น hypoosmotic กับน้ำทะเล ได้แก่ ปลากระดูกแข็ง

กลไกของ hypoosmotic จะชดเชยการสูญเสียน้ำโดยการกินและการดูดซึมที่ทางเดินอาหาร ขับถ่ายปัสสาวะที่เป็น isoionic หรือ hyperionic กับเลือด และขับถ่ายไอออนส่วนเกินทางเหงือกด้วยขบวนการ Active transport (ส่งศรี มหาสวัสดิ์, 2533) เมื่อสัตว์ทะเลอยู่ในน้ำที่ความเค็มลดลงจะปรับตัวเป็น hyperosmotic กับน้ำภายนอก และเมื่อสัตว์ทะเลอยู่ในน้ำที่ความเค็มสูงขึ้นจะปรับตัวเป็น isosmotic กับน้ำภายนอก (Robertson, 1960)

3. สัตว์น้ำกร่อย : อาศัยอยู่ในช่วงรอยต่อระหว่างทะเลกับแม่น้ำ จะพบสภาพที่ความเค็มของน้ำขึ้น ๆ ลง ๆ ตลอดเวลา สัตว์น้ำกร่อยจะมีการรับน้ำและเสียน้ำ มีการแพร่ผ่านเข้าออกของไอออน สัตว์น้ำกร่อยส่วนมากเลือดอยู่ในภาวะ hyperosmotic กับน้ำภายนอก สัตว์น้ำกร่อยที่สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มได้ในช่วงแคบจัดเป็น stenohaline ที่สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มได้ในช่วงกว้างจัดเป็น euryhaline (ส่งศรี มหาสวัสดิ์, 2533)

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม สัตว์น้ำกร่อยที่รักษาความดันออสโมติกให้เข้ากับสภาวะแวดล้อม จัดเป็นพวก poikilosmotic form (isoosmotic) ส่วนพวกที่รักษาความดันออสโมติกให้มีขีดจำกัด แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของสภาพแวดล้อม จัดเป็นพวก homoiosmotic form (Robertson, 1960)

Charmantier (1998) ได้สรุปว่าในครัสตาเซียชั้นนั้น จะพบกลไก osmoregulation ในระยะ Post embryonic stage ไอออนหลักที่เกี่ยวข้องคือ โซเดียม ไอออนและคลอไรด์ ไอออน ในระยะต้นจะใช้เวลาในการปรับตัวน้อยกว่าระยะสูงขึ้น จะพบอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนไอออนในระยะต่าง ๆ คือจะพบ brachial chamber ในระยะโพสต์ลาร์วาและจะพบเหงือกในระยะสูงขึ้น ในทางสรีรวิทยามีพื้นที่ที่ควบคุมการปรับสมดุลคือ neuroendocrine control ซึ่งอยู่ในก้านตาซึ่งจะพบในระยะ early post - embryonic stage และ Intracellular regulation พบในเนื้อเยื่อระยะโพสต์ลาร์วา ซึ่งเป็นการควบคุมของเหลวภายในร่างกายให้คงที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำ สำหรับกุ้ง *Penaeus japonicus* หลังจากฟักตัวแล้วอพยพมาที่ชายฝั่ง ซึ่งต้องทนต่อความเค็มที่ลดลง เรียกว่า hyperosmoconformer ซึ่งในระยะนี้จะทนทานความเค็มได้ในช่วงแคบ จากนั้นจะพัฒนาตัวเป็นโพสต์ลาร์วาอยู่ในเขตน้ำกร่อยเป็นระยะเวลาหลายเดือน จึงอพยพกลับไปเป็นตัวเต็มวัยในทะเลลึก ซึ่งจะมีความทนทานต่อความเค็มมากขึ้น และเปลี่ยนเป็น hyperosmotic และ hypoosmotic regulation ตามลำดับ

บทบาทของไอออนหลักในการปรับสมดุล

ไอออนหลักที่สำคัญต่อการดำรงชีพของกุ้ง ที่เกี่ยวข้องกับการปรับสมดุลคือ โซเดียม (Na^+) โปแตสเซียม (K^+) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) แคลเซียม (Ca^{2+}) และคลอไรด์ (Cl^-)

๑. โซเดียม (Na^+)

ส่วนใหญ่อยู่ในของเหลวภายในตัวประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ มีอยู่ในเลือดน้อย ปริมาณของโซเดียมแตกต่างกันที่อยู่อาศัย กุ้งกุลาดำในระยะวัยรุ่นจะอพยพออกสู่ทะเล เพื่อให้ปริมาณโซเดียมเพิ่มมากขึ้นเพื่อการผสมพันธุ์วางไข่ หน้าที่ของโซเดียมคือ

1. รักษาสมดุลของแรงดันออสโมติกควบคู่กับการทำงานของ โปแตสเซียม (K^+)
2. รักษาสภาพความเป็นกรดเป็นด่างในร่างกายให้สมดุล
3. ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของกล้ามเนื้อและระบบประสาท

ถ้ามีโซเดียมในร่างกายมากเกินไปจะถูกขับออกทางเหงื่อและ green gland ถ้าขาดหรือมีไม่เพียงพอจะทำให้การเจริญเติบโตลดลง การใช้ประโยชน์จากโปรตีนด้อยลงไป เกิดปัญหาเกี่ยวกับการผสมพันธุ์หรือทำให้เข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ช้าลง และทำหน้าที่ควบคุมประจุต่าง ๆ ในร่างกายควบคู่กับคลอไรด์ (Cl⁻) (ประจวบ หล้าอุบล, 2537)

2. โพแทสเซียม (K⁺)

พบอยู่ในเซลล์ของร่างกายและในเลือด หน้าที่ของโพแทสเซียมคือ

1. รักษาสมดุลของแรงดันออสโมติกควบคู่กับการทำงานของโซเดียม
2. รักษาสภาพความเป็นกรดเป็นด่างในร่างกายให้สมดุล
3. ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของกล้ามเนื้อและระบบประสาท
4. มีผลต่อจังหวะการเต้นของหัวใจ

ร่างกายจะขับโพแทสเซียมส่วนเกินผ่านทางแอนเทนนาทอลเกลนด์พร้อม ๆ กับแมกนีเซียมและซัลเฟต ถ้าร่างกายขาดโพแทสเซียมจะทำให้การใช้ประโยชน์จากโปรตีนด้อยลงไป เกิดปัญหาเกี่ยวกับการผสมพันธุ์หรือทำให้เข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ช้าลง ทำให้เลือดเป็นกรด กินอาหารน้อยลงและยับยั้งการพองตัวของหัวใจ ถ้ามีโพแทสเซียมมากเกินไปจะมีผลทำให้หัวใจหยุดเต้น และถ้ามีมากในพลาสมา ร่างกายจะไม่สามารถเก็บไว้ใน intracellular fluid ได้ (ประจวบ หล้าอุบล, 2537)

3. แมกนีเซียม (Mg²⁺)

พบอยู่ในโครงสร้างของร่างกายประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และพบในเนื้อเยื่อและเลือด 30 เปอร์เซ็นต์ หน้าที่ของแมกนีเซียมคือกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ให้ได้ผลดีขึ้น มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการเผาผลาญอาหาร ถ้ามีแมกนีเซียมมากเกินไป จะมีผลต่อการยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อหัวใจและหัวใจเต้นช้าลง แมกนีเซียมส่วนเกินจะถูกออกมากับปัสสาวะและอุจจาระ (ประจวบ หล้าอุบล, 2537)

4. แคลเซียม (Ca²⁺)

เป็นส่วนประกอบสำคัญของโครงสร้างภายนอกของคริสตาเซีย ร่างกายจะสะสมในเฮพาทอแพนแครีตในรูปแบบของเกลือแคลเซียมฟอสเฟต (CaPO₄) นอกจากนี้ยังสะสมในเลือดและส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย คริสตาเซียต้องใช้แคลเซียมควบคู่กับฟอสฟอรัสในอัตรา 1 : 1 จึงจะมีประสิทธิภาพการดูดซึมบริเวณลำไส้จะทำได้ดีถ้ามีวิตามินดีรวมอยู่ด้วย (ประจวบ หล้าอุบล, 2537)

5. คลอไรด์ (Cl⁻)

พบในของเหลวทั้งในเซลล์และนอกเซลล์ หน้าที่ของคลอไรด์คือ

1. ถ้าอยู่ในเลือดจะรักษาความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำย่อย และเป็นส่วนประกอบของน้ำย่อยด้วย
2. รักษาแรงดันออสโมติก ควบคุมการเข้าออกของน้ำและสารภายในเซลล์ ถ้าไอ้จะดูดซับคลอไรด์และขับออกในรูปของยูรีนเป็นส่วนใหญ่ ร่างกายรับและขับถ่ายบริเวณเหงือกสลับการเข้าออกของโซเดียม ในสัตว์น้ำจืดคลอไรด์จะแพร่เข้าตัวสลับกับโซเดียมที่แพร่ออกจากตัว ในสัตว์ทะเลคลอไรด์จะแพร่ออกนอกตัวสลับกับโซเดียมที่จะซึมเข้าตัว คลอไรด์ยังเกี่ยวข้องกับการเกิดสมดุลไอออนบวกและไอออนลบโดยอยู่ร่วมกับโซเดียม ถ้าอยู่ในสภาพสมดุลการแลกเปลี่ยนแมกนีเซียมและซัลเฟตจะเกิดได้ดี ค่าคลอไรด์จะแปรผกผันกับซัลเฟต กล่าวคือถ้าซัลเฟตลดลงคลอไรด์จะเพิ่มขึ้น หรือถ้าซัลเฟตเพิ่มขึ้นคลอไรด์จะลดลง
3. กระตุ้นน้ำย่อย amylase ให้ทำงานดีขึ้น (ประจวบ หล้าอุบล, 2537)

การศึกษา osmoregulation ในกึ่งน้ำจืดซึ่งมีวงจรชีวิตต่างจากกึ่งกลาคือ ผสมพันธุ์และวางไข่ในเขตน้ำจืด แล้วว่ายน้ำเข้ามาเพื่อพัฒนาตัวเป็น post larva และ juvenile ในเขตน้ำกร่อยซึ่งเหมือนกับกึ่งกลาค่า แต่จะว่ายกลับไปสู่เขตน้ำจืดเพื่อพัฒนาเป็นตัวเต็มวัย การศึกษาในกึ่ง *Macrobrachium rosenbergii* โดย Funge – Smith et al.(1995) และ Castille and Lawrence(1981 b) ได้สรุปว่าในน้ำจืดและน้ำกร่อยเป็น hyperosmotic regulation และที่ความเค็ม 17 ppt ขึ้นไปเป็น isoosmotic regulation เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนกับน้ำภายนอกพบว่า ค่าโซเดียมไอออนในเลือดเมื่ออยู่ในน้ำจืดเป็น hyperionic regulation และเป็น isoionic regulation ที่ความเค็ม 15 ppt ขึ้นไป ค่าคลอไรด์ไอออนในเลือดเมื่ออยู่ในน้ำจืดเป็น hyperionic regulation ที่ความเค็ม 17 ppt ขึ้นไป ค่าโปแตสเซียมไอออนและแคลเซียมไอออนในเลือดเป็น hyperionic regulation ที่ความเค็ม 0 - 35 ppt ค่าแมกนีเซียมไอออนในเลือดเป็น hypoionic regulation ทุกความเค็ม Castille et al. (1981) ได้สรุปถึงค่าโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนว่า ในความเค็มสูงนั้นสัตว์ที่มีปริมาณโปรตีนในเลือดสูง passive equilibrium ระหว่างน้ำกับเลือดจะทำให้ผลิต anion สูงและผลิต cation ต่ำ จึงพบว่ากึ่ง *Macrobrachium rosenbergii* มีความเข้มข้นของคลอไรด์ในเลือดน้อยกว่าโซเดียมไอออนแม้ว่าในทะเลจะมี คลอไรด์ไอออนสูงกว่า Funge - Smith (1995) ได้ศึกษาค่าโบรไมด์ไอออนและสตรอนเซียมไอออนพบว่าทั้งคู่น่าจะมีบทบาทสำคัญทางสรีรวิทยาต่อกึ่งชนิดนี้ เนื่องจากสามารถเกิด hyperionic regulation ได้ในน้ำจืดถึง 14 ppt สตรอนเซียมไอออนมีความสัมพันธ์กับ

แมกนีเซียมไอออน กล่าวคือเมื่อค่าแมกนีเซียมไอออนในเลือดต่ำจะส่งผลมาถึงการควบคุม สตรอนเซียมไอออนในเลือด

กึ่งน้ำจืด *Macrobrachium ohione* จากการศึกษาของ Castille and Lawrence (1981 b) พบว่า ในน้ำจืดและน้ำกร่อยเป็น hyperosmotic และ hyperionic regulation คือ Na^+ และ Cl^- ในน้ำความเค็ม สูงเกิด hypoosmotic และ hypoionic regulation

กึ่งน้ำจืด *Macrobrachium carcinus* จากการศึกษาของ Moriera et al. (1988) ในช่วงความ เค็ม 0 - 35 ppt พบว่า ที่ความเค็ม 0 - 21 ppt กึ่งเกิด hyperosmotic regulation และเกิด hypoosmotic ที่ความเค็มสูงกว่า 21 ppt ขึ้นไป เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนกับน้ำ ภายนอกพบว่า โซเดียมไอออนในเลือดเมื่ออยู่ในน้ำความเค็มต่ำเป็น hyperionic regulation และเป็น hypoionic regulation ที่ความเค็ม 15.5 ppt โปแตสเซียมไอออนในเลือดในน้ำความเค็มต่ำจะเป็น hyperionic regulation และเป็น hypoionic regulation ที่ความเค็ม 35 ppt แคลเซียมไอออนในเลือด เป็น hyperionic regulation ทุกความเค็ม เมื่อเปรียบเทียบกับกึ่งน้ำจืด *M. rosenbergii* แล้วพบว่า *M. carcinus* สามารถปรับตัวให้เข้ากับน้ำกร่อยและน้ำความเค็มสูงดีกว่า และสามารถป้องกันไม่ให้ ปริมาณไอออนในเลือดมากเกินไปเกินกำหนดได้ดีกว่าเช่นกัน

กึ่งน้ำจืด *Macrobrachium amezonicum* จากการศึกษาของ Zander and Rodriguez (1992) ที่ ความเค็ม 0 - 25 ppt พบว่ากึ่งเกิด hyperosmotic regulation ที่ความเค็ม 0 - 15 ส่วนในพันและเกิด isoosmotic regulation ที่ความเค็มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนในเลือดกับน้ำ ภายนอกพบว่า ที่ความเค็ม 0 - 25 ส่วนในพันโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนในเลือดเป็น hyperionic regulation และที่ความเค็มสูงกว่า 25 ppt โซเดียมไอออนเป็น isoionic regulation ขณะที่ คลอไรด์ไอออนเป็น Slightly hyporegulation ทุกระดับความเค็ม โปแตสเซียมไอออนและ แคลเซียมไอออนเป็น hyperionic regulation ขณะที่แมกนีเซียมไอออนเป็น hypoionic regulation อุณหภูมิไม่มีผลต่อปริมาณไอออนในเลือด ยกเว้นแมกนีเซียมไอออนความเข้มข้นลดลงเมื่ออุณหภูมิ สูงขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการขับถ่ายยูรีนในสัตว์น้ำจะมีอัตราเพิ่มขึ้นสูงขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ ความเข้มข้นแมกนีเซียมไอออนในร่างกายลดลง

Santos และ McNamara (1996) ศึกษาผลของ neuroendocrine ต่อ osmoregulatory factor ในกึ่งน้ำจืด *Macrobrachium olfersii* สกักระบบประสาทส่วนกลางคือ optic ganglion (OG) และ ventral nerve cord (VNC) จากการศึกษาแล้วฉีดเข้าไปในตัวกึ่งแล้วนำไปเลี้ยงที่น้ำจืดและน้ำทะเล พบว่าทั้ง optic ganglion และ ventral nerve cord มีการผลิต neuroendocrine factor ซึ่งมีผลต่อ ion uptake หรือ ion permeability, ต่อระบบไหลเวียนของน้ำในร่างกาย, ต่อการกระตุ้นการทำงานของ หัวใจและต่อการขับปัสสาวะ ในกึ่งที่เลี้ยงในน้ำทะเล optic ganglion และ ventral nerve cord จะไป

ลด haemolymph osmolality, haemolymph chloride concentration แต่จะเพิ่มอัตราการเดินของหัวใจ ; ส่วนในกุ้งที่เลี้ยงในน้ำจืด optic ganglion จะไปลดอัตราการเดินของหัวใจและเพิ่มปริมาณน้ำในร่างกายซึ่งมีผลตรงกันข้ามกับ ventral nerve cord จะไปเพิ่มอัตราการเดินของหัวใจและลดปริมาณน้ำในร่างกาย จะเห็นว่า neuroendocrine factor ในระบบประสาทส่วนกลางสามารถควบคุม osmoregulatory factor ได้ ซึ่งจะมีผลต่อการปรับสมดุลเกลือและน้ำในร่างกายของกุ้งชนิดนี้

การศึกษาในกุ้งทะเลสกุล *Penaeus* spp. โดย Castille and Lawrence (1981 a.) พบว่ามีลักษณะแตกต่างไปจากกุ้งน้ำจืด กล่าวคือ *P. aztecus*, *P. duorarum*, *P. setiferus*, *P. stylirostris* และ *P. vannamei* มีลักษณะเป็น hyperosmotic regulation ในน้ำความเค็มต่ำและมีลักษณะเป็น hypoosmotic regulation ในน้ำความเค็มสูง การควบคุมโซเดียมและคลอไรด์ไอออนพบว่าที่ความเค็มต่ำเป็น hyperionic regulation และความเค็มสูงเป็น hypoionic regulation กุ้งทั้ง 5 ชนิดมีความสามารถในการควบคุมต่างกันระหว่าง subgenus กล่าวคือ *P. setiferus*, *P. stylirostris* และ *P. vannamei* ซึ่งเป็น subgenus Litopenaeus สามารถปรับตัวให้เข้ากับน้ำจืดได้ดีกว่า *P. aztecus* และ *P. duorarum* ซึ่งเป็น subgenus Melifertus

การศึกษาในกุ้งทะเล *Penaeus chinensis* โดย Chen and Lin (1994) ศึกษาในตัวเต็มวัยระยะต้น (subadult) และ Chen et al.(1995) ศึกษาในระยะวัยรุ่น (juvenile) พบว่าทั้งสองระยะค่า haemolymph osmolality ได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิและความเค็ม กล่าวคือทั้งสองระยะค่า haemolymph osmolality เพิ่มขึ้นเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นในช่วง 0 - 40 ppt ซึ่งในน้ำความเค็มต่ำจะเป็น hyperosmotic และ hyperionic regulation กุ้งมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิคือค่า haemolymph osmolality ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในตัวเต็มวัยระยะต้นทุกความเค็มที่อุณหภูมิ 24 และ 30 องศาเซลเซียสจะมีการควบคุมสมดุลเกลือและน้ำดีกว่าที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส กล่าวคือมีการเปลี่ยนแปลงค่า haemolymph osmolality น้อยกว่า ส่วนในระยะวัยรุ่นค่า haemolymph osmolality ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นในช่วง 12 - 30 องศาเซลเซียส

การศึกษาในกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* โดย Ferrasis et al.(1986) พบลักษณะ Osmotic และ Ionic regulation เหมือนใน Penaeid shrimp (Castille and Lawrence, 1981 a.) ขนาดของตัวเต็มวัยระยะต้น(10 และ 30 กรัม)ไม่มีผลต่อค่าคลอไรด์ไอออนและค่า osmolality ในน้ำทะเลปกติ แคลเซียมไอออนมีค่าคงที่ตลอดหลังจากลอกคราบ ส่วนคลอไรด์ไอออนและ osmolality มีค่าคงที่ 1 วันหลังจากลอกคราบ เมื่อทดลองย้ายกุ้งไปที่ความเค็ม 8 - 40 ppt พบลักษณะ Osmotic และ Ionic regulation เหมือนเดิม คลอไรด์ไอออนและ osmolality มีค่าคงที่ 24 - 48 ชั่วโมงหลังจากลอกคราบ ส่วนแคลเซียมไอออนมีค่าไม่คงที่หลังจากลอกคราบ เนื่องจากในระยะลอกคราบ (intermolt) กุ้งเริ่มสะสมแคลเซียม โดยดึงมาจากคราบเก่าก่อนสลัดทิ้ง

การศึกษาผลของขนาด Penaeid shrimp ต่อ osmotic และ ionic regulation โดย Vargas-Albores and Ochoa (1992) ใน Blue shrimp *Penaeus stylirostris* ในตัวเต็มวัยระยะต้นขนาดต่าง ๆ พบว่าโซเดียมไอออนไม่ขึ้นอยู่กับขนาดแต่โปแตสเซียมไอออนและ osmolarity ขึ้นอยู่กับขนาดของกุ้ง ซึ่ง osmolarity ในกุ้งขนาดใหญ่มีค่าสูงกว่า แสดงให้เห็นว่ากุ้งขนาดเล็กมีความสามารถในการควบคุมการปรับสมดุลเกลือและน้ำได้ดีกว่า โปแตสเซียมไอออนในกุ้งขนาดใหญ่มีค่าสูงกว่ากุ้งขนาดเล็กและยังพบว่า อัตราส่วนระหว่างโซเดียมและโปแตสเซียมไอออนมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับค่า osmolarity แสดงให้เห็นว่านอกจากโซเดียมไอออนแล้ว โปแตสเซียมไอออนน่าจะเป็นตัวสำคัญในการปรับสมดุลออสโมติก (osmotic equilibrium)

การศึกษาในปูทะเล (Mud crab) *Scylla serrata* ซึ่งมีวงจรชีวิตคล้าย Penaeid Shrimp คือ ผสมพันธุ์และวางไข่ในทะเลลึก แล้วว่ายน้ำเข้ามาเพื่อพัฒนาตัวเป็น Post larva และ juvenile ในเขตน้ำกร่อย และว่ายน้ำกลับไปสู่ทะเลลึกเพื่อพัฒนาเป็นตัวเต็มวัย การศึกษาโดย Chen and Chia (1997) ศึกษาที่ความเค็ม 0 - 44 ppt พบว่าปูทะเลเกิด hyperosmotic regulation ที่ความเค็ม 0 - 33.4 ppt และเกิด osmoconformer ที่ความเค็ม 33.4 ppt ขึ้นไป เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนกับน้ำภายนอกพบว่าที่น้ำความเค็มต่ำโซเดียม , คลอไรด์ , โปแตสเซียม , แมกนีเซียม และ แคลเซียมไอออนเป็น hyperionic regulation และที่ความเค็ม 24 - 44 ppt โซเดียม, โปแตสเซียม และคลอไรด์ไอออนจะเกิด hypoionic regulation แมกนีเซียมไอออนจะเกิด hypoionic regulation ที่ความเค็ม 21 - 44 ppt และแคลเซียมไอออนจะเกิด hypoionic regulation ที่ความเค็ม 33.4 - 44 ppt

ระบบต่อมไร้ท่อ (Endocrine gland)

ระบบต่อมไร้ท่อเป็นระบบที่ก่อให้เกิดผลต่ออวัยวะเป้าหมาย ซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมของระบบประสาททั้งทางตรงและทางอ้อม ต่อมไร้ท่อจะหลั่งสารเคมีออกมาเรียกว่าฮอร์โมน ให้เข้าสู่ระบบหมุนเวียนหรือช่องว่างภายในตัวสัตว์ที่ยังไม่มีระบบเลือด เพื่อนำไปสู่อวัยวะเป้าหมายต่อไป ฮอร์โมนจะมีผลต่อเนื้อเยื่อหรืออวัยวะเป้าหมายที่เฉพาะเจาะจง โดยทั่วไปการทำงานของฮอร์โมนสามารถสรุปได้ดังนี้

1. reproductive activities : ควบคุมการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ การพัฒนาการเจริญเติบโตของ secondary sex characteristics เพื่อแสดงพฤติกรรมทางเพศ
2. growth maturation and regeneration : เสริมสร้างการเจริญเติบโตและการงอกขึ้นใหม่ของอวัยวะหรือส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย
3. metabolism and homeostasis : ควบคุมรักษาสภาพแวดล้อมภายในให้คงที่

4. adaptation to external factor : การปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม เพื่อควบคุมขบวนการทางสรีรวิทยาของร่างกาย (สังศรี มหาสวัสดิ์, 2533)

ฮอร์โมนในครัสตาเซียเป็นการสร้างสารประกอบทางเคมีซึ่งมีจุดกำเนิดมาจากเลือด มีจุดทำงานอยู่ที่เซลล์นั้น ๆ เซลล์ที่ทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนมี 2 ประเภท

1. neurosecretory cell : เป็นเซลล์กลุ่มพิเศษที่อยู่ในส่วนของประสาทส่วนกลาง (central nervous system : CNS) เมื่อเซลล์ประสาทได้รับกระแสประสาทกระตุ้น จะมีส่วนปลายของปมประสาทไปสิ้นสุดใกล้ส่วนของระบบหมุนเวียนซึ่งอยู่ในโครงสร้างที่ทำหน้าที่เก็บและขับฮอร์โมน (neurohemal organs) และมีการขับบางอย่างออกมาทำหน้าที่เช่นเดียวกับฮอร์โมนเรียกว่า neurohormone ควบคุมด้วย feed back mechanism โดยสารนี้จะมีผลระยะไกลต่ออวัยวะเป้าหมายที่ตอบสนอง

2. เซลล์ที่ไม่ได้เกิดจากระบบประสาท เช่น Y - organ, Androgenic gland และ Ovary (Florey, 1966)

แหล่งผลิตฮอร์โมนที่สำคัญ

1. neurosecretory cell (CNS) เป็นแหล่งผลิตและสะสมฮอร์โมนที่สำคัญ และเป็นจุดปล่อยหรือขับฮอร์โมนไปตามจุดต่าง ๆ ฮอร์โมนที่ผลิตจากแหล่ง neurosecretory cell เรียกว่า neurohormone หรือ neuro - effector ทำหน้าที่กระตุ้นระบบอื่น ๆ ให้ทำงาน neurosecretory center ที่สำคัญในครัสตาเซีย ได้แก่

1.1 X organ - sinus gland complex ในครัสตาเซียจะมีโครงสร้างที่มีหน้าที่ผลิตฮอร์โมน คือ X - organ ซึ่งที่พบอยู่ในปมประสาทบริเวณก้านตา (neurosecretory cell) และมีเส้นประสาทเชื่อมกับ sinus gland ซึ่งอยู่บริเวณหัวตา (รูปที่ 3) ดังนั้น sinus gland จะทำงานเป็น neurohemal organ เพื่อสะสมฮอร์โมนจาก X - organ ที่ส่งมาจากเส้นประสาทและปล่อยเข้าสู่กระแสเลือด ฮอร์โมนสำคัญที่ต่อมเหล่านี้ได้แก่

1.1.1 molt inhibiting hormone (MIH) ฮอร์โมนควบคุมการลอกคราบซึ่งทำงานร่วมกับ Y - organ โดยที่ X - organ จะผลิต MIH ในช่วงหลังลอกคราบและก่อนลอกคราบ และส่ง MIH ไปเก็บใน Y - organ ในช่วงลอกคราบจะหยุดผลิต MIH และ Y - organ จะปล่อย MIH ที่สะสมไว้ออกมาในช่วงนี้

1.1.2 erythropore - concentrating hormone (HGH, RPCH) ฮอร์โมนควบคุมจุดสีของโครมาโตฟอร์ ควบคุมการกระจายของจุดสี

1.1.3 hyperglycemic hormone(HGH) ฮอร์โมนควบคุมการสันดาปน้ำตาล

1.1.4 light - adapting hormone และ dark - adapting hormone (LAH, DRPH) ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการปรับตัวเมื่อมีการอพยพ

1.1.5 control growth rate of gonad ฮอร์โมนควบคุมการเติบโตของรังไข่ซึ่งทำงานร่วมกับ Y - organ

1.1.6 heart accelation ฮอร์โมนควบคุมการเต้นของหัวใจ

นอกจากนี้ยังมีฮอร์โมนอื่น ๆ ได้แก่ ฮอร์โมนควบคุมการสะสมน้ำ ฮอร์โมนควบคุมการสันดาปไขมัน ฮอร์โมนควบคุมการสันดาปคาร์โบไฮเดรต ฮอร์โมนควบคุมการสันดาปโปรตีน ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ เป็นต้น (Cooke and Sullivan, 1982)

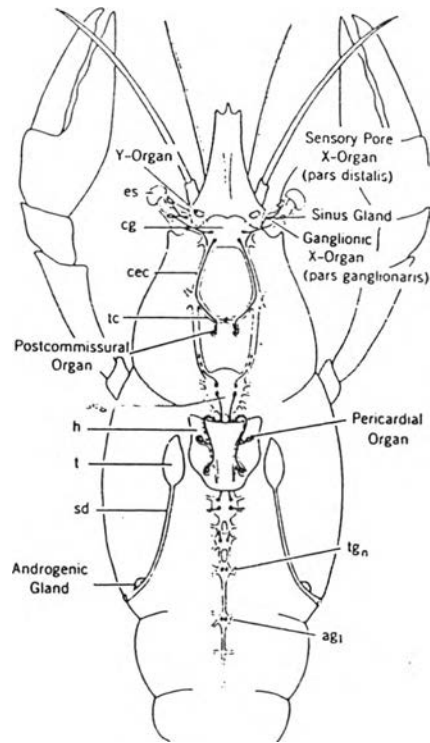
1.2 postcommissure organs เป็น neurosecretory complex ชุดที่สอง อยู่บริเวณส่วนหัวด้านบนซึ่งอยู่ติดกับหลอดอาหาร(รูปที่ 3) Brown(1946)พบฮอร์โมน potent chromatophorotrophic อยู่ภายใน การศึกษาใน postcommissure organs มีน้อย พบในกุ้ง (Knowles, 1953) ในปู (Matsumoto, 1958) และใน stomatopods (Carlise and Knowles, 1959) (Turner, 1966)

1.3 pericardial organs เป็น neurosecretory - neurohemal organ ซึ่งมีทั้งเส้นประสาทและปลายประสาทจาก neurosecretory cell อยู่ภายใน (รูปที่ 3) Alexandrowicz and Carlisle (1953) พบฮอร์โมนที่ควบคุมอัตราการเต้นของหัวใจ (Turner, 1966)

2. androgenic gland ทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมน ฮอร์โมนที่สร้างขึ้นเรียกว่า primary effector ฮอร์โมนที่ผลิตขึ้นส่งไปเก็บที่แหล่งที่ทำหน้าที่จับหรือปล่อยฮอร์โมน ต่อมาจะผลิตฮอร์โมนควบคุมการเจริญเติบโตของเพศผู้ ซึ่งควบคุมโดย neurohormone จาก X organ - sinus gland complex (รูปที่ 3)

3. Y - organ หรือ ventral gland ทำหน้าที่ผลิตอย่างเดี่ยวเหมือน androgenic gland ฮอร์โมนที่สร้างขึ้นเรียกว่า primary effector ต่อมาจะผลิตฮอร์โมนที่ทำหน้าที่กระตุ้นการลอกคราบ และมี neurohormone จาก X organ - sinus gland complex ควบคุมอีกต่อหนึ่ง (รูปที่ 3)

4. Ovary ทำหน้าที่ผลิตอย่างเดี่ยวเหมือน androgenic gland ผลิตฮอร์โมนที่ควบคุมการเจริญเติบโตของเพศเมีย ซึ่งควบคุมโดย neurohormone จาก X organ - sinus gland complex (Florey, 1966)



รูปที่ 3 ระบบต่อมไร้ท่อของครัสตาเซีย (รูปจาก Gorbman and Bern, 1962 อ้างโดย Turner, 1966)

การศึกษาผลของการตัดก้านตาในกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* ระยะวัยรุ่น (juvenile) โดย Nan et al. (1993) พบว่าเมื่อตัดก้านตาตั้งแต่ระยะ juvenile สามารถเลี้ยงต่อไปได้ถึง 5 เดือน กุ้งที่ตัดก้านตาจะมีน้ำหนักตัวมากกว่า ซึ่งอาจจะเป็นผลของการตัดก้านตาไปจะไปกำจัด molt inhibiting hormone และเร่งการเจริญเติบโต โซเดียมไอออนหลังจาก 5 เดือนมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม ส่วนโปแตสเซียมและแคลเซียมไอออนมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม ซึ่งก้านตาอาจจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการควบคุม Na^+ uptake หรือเพิ่มอัตราการซึมผ่านของโซเดียมไอออน ผลจากการลดลงของโซเดียมไอออนทำให้ Na^+ , K^+ -ATPase ที่เหงือกซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ในการขับโซเดียมออกนอกเซลล์สูงตามด้วย Nan et al. (1993) เสนอสมมติฐานว่าฮอร์โมนจากก้านตาอาจจะไปยับยั้งการสูญเสียโซเดียมไอออนในน้ำทะเลหรือกุ้งอาจจะสร้างสารบางอย่างซึ่งจะไปยับยั้ง Na^+ , K^+ -ATPase

การศึกษาผลของการตัดก้านตาในปูก้ามดาบ *Uca pugilator* โดย Heit and Fingerman (1975) ซึ่งเป็นปูที่เผชิญกับการเปลี่ยนแปลงความเค็มของสิ่งแวดล้อมบริเวณชายฝั่ง พบว่าในสภาวะที่น้ำทะเลเป็น hyperosmotic กับเลือด การตัดก้านตาจะทำให้โซเดียมไอออนลดลง เมื่อฉีดก้านตาสักกลับเข้าไปจะทำให้ค่ากลับคืนมาอยู่ระดับปกติ แต่ไม่พบกลไกนี้ในน้ำที่เป็น isoosmotic และ

hyperosmotic กับเลือด Heit and Fingerman (1975) สันนิษฐานว่าในก้านตาอาจจะมีฮอร์โมนที่มีบทบาทในการป้องกันการสูญเสียโซเดียมไอออนในเลือด เมื่ออยู่ในน้ำที่เป็น hyperosmotic กับเลือด

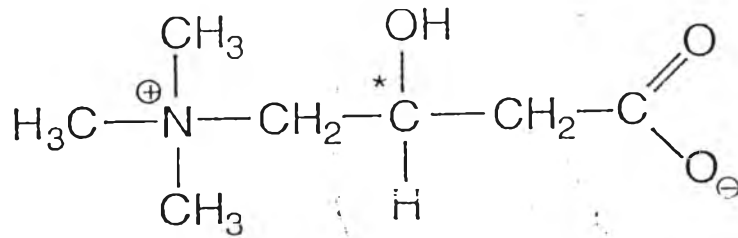
Charmatier - Daures et al. (1994) ศึกษาผลของการตัดก้านตาต่อการควบคุมสมดุลเกลือและน้ำในร่างกายของ American lobster *Homarus americanus* พบว่าค่า osmoregulation capacity ลดลงถึง 50 % หลังจากตัดก้านตาแล้ว เมื่อฉีด sinus gland extract จากก้านตาลับเข้าไปทำให้ค่ามีค่า osmoregulation capacity สูงขึ้น เมื่อวิเคราะห์ sinus gland extract พบว่ามีส่วนประกอบของ hyperglycemic neuropeptide (CHH isoform) มีผลทำให้ค่า osmoregulation capacity สูงขึ้น

อาหารเสริมคาร์นิทีน (Carnitine feed supplementation)

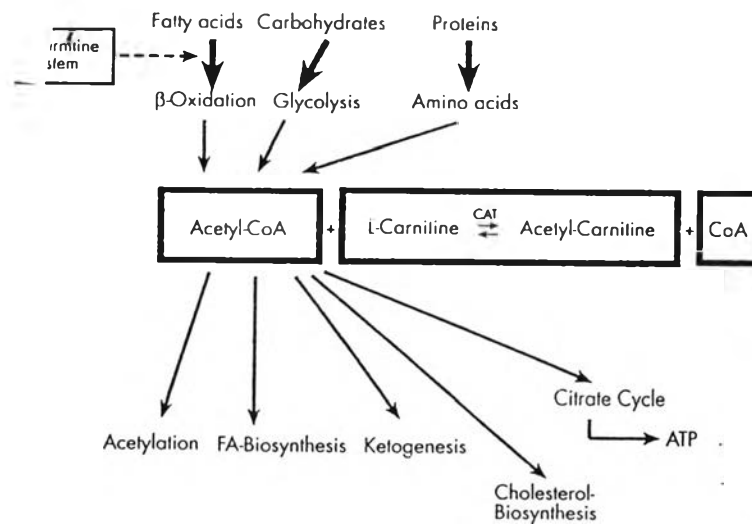
คาร์นิทีน พบครั้งแรกในกล้ามเนื้อ (liebig's meat extract) ในปี ค.ศ.1905 พบโครงสร้างทางเคมีคือ 4 - trimethyl -3- hydroxy - buteric acid (รูปที่ 4) ในปี ค.ศ.1927 พบหน้าที่ทางชีววิทยา ในปี ค.ศ. 1952 ใน Flat yellow meal worm (*Tenebrio molitor*) ซึ่งต้องการ คาร์นิทีน เป็นสารอาหารที่จำเป็นคือ ไวตามินบีรวม หน้าที่หลักของ คาร์นิทีน คือ เป็นสารที่สำคัญในการกระตุ้นให้เกิดการสันดาปในไมโทคอนเดรียในกรดไขมันสายยาว และทำหน้าที่เป็นตัวนำกรดไขมันที่แอคทีฟ จากไซโตพลาสซึมไปไมโทคอนเดรีย ถ้าร่างกายขาดคาร์นิทีนจะแสดงอาการโดยยับยั้งการสันดาปในไมโทคอนเดรีย (Rotzsch, 1996) คาร์นิทีนเป็นสารประกอบซวิตเตอร์ไอออนิก (zwitterionic compound) ที่สร้างจากไลซีน จากรูปที่ 5 กรดไขมันจะถูกออกซิไดซ์โดยวัฏจักร β - ออกซิเดชันได้เป็นเอซิลโคเอที่แอคทีฟ จากนั้นคาร์นิทีนจะนำกรดไขมันที่แอคทีฟซึ่งในรูปเอซิลโคเอเข้าสู่เมทริกซ์ของไมโทคอนเดรียเกิดเป็นเอซิลคาร์นิทีน คาร์นิทีนจะถ่ายทอดหมู่เอซิลให้กับโคเอได้เป็นเอซิลโคเอ ส่วนคาร์นิทีนจะถูกปล่อยออกมาสู่ด้านนอกของเมมเบรน เมื่อกรดไขมันเข้าสู่ไมโทคอนเดรียแล้วแล้วจะเกิดวัฏจักรออกซิเดชัน สุดท้ายจะได้เป็นอะเซติลโคเอ อะเซติลโคเอที่ได้จะเข้าสู่วิถีการสันดาปกรดไขมันในดับคือ

1. จะถูกออกซิไดส์ต่อไปในวัฏจักรเครปและออกซิเดทีฟฟอสโฟไรเลชัน เกิดการสร้าง ATP
2. อะเซติลโคเอที่มากเกินไปความต้องการของดับจะถูกเปลี่ยนเป็นคีโตนบอดีส์ เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับวัฏจักรเครป
3. จะถูกนำไปใช้เป็นสารต้นตอในการสังเคราะห์โคเลสเตอรอลและกรดน้ำดี
4. ใช้เป็นสารต้นตอสำหรับสร้างส่วนของไลปิดในพลาสมาไลโปโปรตีน ไลโปโปรตีน ทำหน้าที่ขนส่งไลปิดไปยังเนื้อเยื่อไขมัน เพื่อเก็บสะสมในรูปไตรเอซิลกลีเซอรอล

5. จะจับกับซีรั่มอัลบูมินและถูกส่งไปยังหัวใจและกล้ามเนื้อหลายทางกระแสโลหิต เพื่อใช้เป็นสารเชื้อเพลิงที่สำคัญ (ฮาภัสตรา ชมิดท์, 2537)



รูปที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของคาร์นิทีน (4 - trimethyl -3 - hydroxy - buteric acid) (รูปจาก Rotzsch, 1996)



รูปที่ 5 ผังภูมิบทบาทของคาร์นิทีนในปฏิกิริยาการสันดาปไขมัน (รูปจาก Rotzsch, 1996)

คาร์นิทีนพบ 2 ไอโซเมอร์คือ L และ D ไอโซเมอร์ L - carnitine พบเป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อพืชและสัตว์ซึ่งอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน ส่วน D - carnitine เป็นการสังเคราะห์ขึ้นมาซึ่งไม่พบในส่วนประกอบของร่างกายสิ่งมีชีวิต L - carnitine เป็นไอโซเมอร์เดียวที่มีปฏิกิริยาตอบสนองทางสรีรวิทยา ถ้ามี 2 ไอโซเมอร์อยู่ด้วยกันนอกจากจะยับยั้งผลของ L - carnitine แล้วยังไปยับยั้งกระบวนการสันดาปอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องอีกด้วย นอกจากนี้ที่หลักแล้วยังพบหน้าที่อื่น ๆ อีกคือเป็น

อะเซติล บัฟเฟอร์, รักษาไมโทคอนเดรียของโคเอนไซม์ เอ ของพลังงานในสภาวะไร้ออกซิเจน, กระตุ้นวงจร ไตรคาร์บอกซิลิก เอซิด และขนส่ง ATP จากไมโทคอนเดรียระหว่างที่กล้ามเนื้อทำงานอย่างหนัก (Lonza, 1996)

L - carnitine เป็นสารอาหารที่สำคัญของมนุษย์และสัตว์ ร่างกายสามารถสังเคราะห์ได้จากตับและได้รับจากการกิน การขาด L - carnitine มีสาเหตุ 2 ประการ ประการแรกจากความผิดปกติแล้วถ่ายทอดทางพันธุกรรม และประการที่สองได้รับจากอาหารไม่เพียงพอ ภาวะทางโภชนาการของ L - carnitine ของสัตว์ชนิดต่าง ๆ มีดังนี้ ในทารกหรือตัวอ่อนแรกเกิดกระบวนการสังเคราะห์ L - carnitine ยังไม่สมบูรณ์และต้องรักษาอุณหภูมิของร่างกายโดยการเพิ่มการสังเคราะห์ไขมัน ซึ่งอาจทำให้ขาดได้ ในลูกสุกรระยะหย่านม การเพิ่มลงไปให้อาหารจะช่วยรักษาโปรตีนและไนโตรเจน ในสัตว์เคี้ยวเอื้องมีผลต่อการสันดาปคีโตนในตับ ในปลาจะช่วยลดอัตราการตายและเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต ในม้าแข่งจะช่วยให้การใช้พลังงานดีขึ้น ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ ปลาและกุ้ง มีประโยชน์คือลดอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ เพิ่มอัตราการเจริญเติบโต เพิ่มอัตราการใช้โปรตีนและไขมัน ลดอัตราการปล่อยสารไนโตรเจน และลดพิษที่เกิดจากแอมโมเนีย ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำทางการค้า ใช้แหล่งโปรตีนดีจากสัตว์ที่สำคัญคือปลาป่นซึ่งมีส่วนประกอบอยู่ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนดีที่มาจากสัตว์จะมีปริมาณ L - carnitine สูงกว่าโปรตีนที่มาจากพืช 10 - 20 เท่า ถ้าเปลี่ยนส่วนผสมโดยใช้โปรตีนจากพืชแทนเช่นถั่วเหลืองป่นหรือถั่วลิสง จะทำให้ปริมาณ L - carnitine ในอาหารลดลงมาได้ (Lonza, 1996)

การศึกษาผลของอาหารเสริม L - carnitine ในปลา Red sea beam วัยอ่อน (fingering) โดย Chatzifotis et al. (1995) โดยผสมลงในอาหารที่ใช้เลี้ยงในอัตราส่วนต่าง ๆ และมีโปรตีน 55 % ในระยะเวลา 42 วัน พบว่า L - carnitine สามารถลด free fatty acid ในตับซึ่งแสดงว่ามีการเพิ่มการใช้ประโยชน์ของ fatty acid มากขึ้น เมื่อวิเคราะห์ไปที่องค์ประกอบของ fatty acid ในตับพบว่า L - carnitine ทำให้ long chain fatty acid (20 - 22 carbon atoms) ลดลงซึ่งแสดงว่ามีการเพิ่มการใช้ประโยชน์เช่นกัน

Jayaprakas and Sambhu (1995) ศึกษาผลของอาหารเสริม L-carnitine ใน White prawn *Penaeus indicus* ระยะ juvenile โดยผสมลงในเนื้อปลาสดใช้เลี้ยงในอัตราส่วนต่าง ๆ และมีโปรตีน 40 % ในระยะเวลา 120 วัน พบว่าที่ 500 mg/kg ให้อัตราการเจริญเติบโต, ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและการดูดซึมสูงสุด เมื่อวิเคราะห์ลงไปสามารถสรุปได้ว่า L-carnitine ทำให้ lipid ลดลงโดยใช้พลังงานและใช้โปรตีนมากขึ้นเพื่อการเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ