

บทที่ 1

บทนำ



ความเป็นมาและความสำคัญ

ระบบนิเวศแนวปะการังจัดเป็นระบบที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศทางทะเลมากที่สุดระบบหนึ่งเนื่องจากเป็นแหล่งที่อยู่ แหล่งหลบภัย แหล่งวางไข่ของสัตว์น้ำนานาชนิด จึงทำให้แนวปะการังเป็นบริเวณที่มีความอุดมสมบูรณ์ และมีความหลากหลายทางชีวภาพสูง

มนุษย์แสวงประโยชน์จากแนวปะการังทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ประโยชน์ในแง่ของการท่องเที่ยว และผลผลิตทางการประมง นอกจากนี้แนวปะการังยังมีความสำคัญต่อระบบนิเวศอื่นๆด้วย เช่น การก่อกำเนิดของหาดทราย การป้องกันพื้นที่ชายฝั่งจากคลื่นลม ตลอดจนการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาและการจัดการทรัพยากรแนวปะการังที่เหมาะสม

บริเวณพื้นที่ชายฝั่งด้านตะวันออกของประเทศไทย ซึ่งเป็นที่ตั้งของโครงการพัฒนาชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก (Eastern Seaboard Development Project) เป็นบริเวณที่มีการแพร่กระจายของแนวปะการังอยู่โดยทั่วไป ตั้งแต่จังหวัดชลบุรีไปจนถึงจังหวัดตราด แต่พบว่าแนวปะการังส่วนใหญ่อยู่ในสภาพเสื่อมโทรมอันเป็นผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การลากอวนในแนวปะการัง การจับปลาโดยใช้ระเบิดหรือยาเบื่อ การทิ้งสมอเรือในแนวปะการัง เป็นต้น อย่างไรก็ตามจากแนวโน้มของโครงการพัฒนาพื้นที่ดังกล่าว จะมีผลให้จำนวนประชากรและกิจกรรมประเภทต่างๆ ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ชายฝั่งภาคตะวันออกเพิ่มมากขึ้น อันอาจเป็นผลให้แนวปะการังในบริเวณดังกล่าวถูกทำลายเพิ่มขึ้นได้

เขตเมืองพัทยาในปัจจุบันโดยเฉพาะเกาะครก เกาะสาก และเกาะล้าน จัดเป็นเป็นบริเวณหนึ่งที่มีกิจกรรมการท่องเที่ยวทางทะเลเป็นอันมาก จึงส่งผลกระทบต่อสภาพแนวปะการังโดยมักจะถูกทำลายเนื่องจากกิจกรรมการท่องเที่ยวทางทะเลไม่ว่าจะเป็น การทิ้งสมอเรือในแนวปะการัง การเหยียบย่ำปะการัง การเก็บปะการังไปเป็นที่ระลึก รวมทั้งผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการประมงในอดีต เช่น การระเบิดปลาและ การลากอวนในแนวปะการัง เป็นต้น จากสาเหตุดังกล่าวจึงทำให้แนวปะการังในบริเวณดังกล่าวถูกทำลายลงเป็นพื้นที่กว้าง

ผลจากการศึกษาปริมาณสารอาหารและผลผลิตปฐมภูมิในแนวปะการังส่วนใหญ่พบว่าปริมาณสารอาหารในแนวปะการังค่อนข้างน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่นๆในทะเลเช่น บริเวณชายฝั่งเอสทูรีหรือในเขตทะเลลึกบางบริเวณ แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าผลผลิตปฐมภูมิในแนวปะการังมีสูงมาก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการหมุนเวียนสารอาหารและความสำคัญของ

แนวปะการังในแง่ของการเป็นแหล่งผลิตที่สำคัญในระบบนิเวศทางทะเล สารอาหารส่วนใหญ่ที่มีการศึกษาในแนวปะการังได้แก่ สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน ในรูปของไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนียและ สารประกอบอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ ซึ่งสารอาหารที่อยู่ในรูปต่างๆเหล่านี้ สิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง

ในปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาปริมาณสารอาหาร และปริมาณผลผลิตปฐมภูมิของแนวปะการังในประเทศไทยยังมีค่อนข้างน้อยส่วนใหญ่จะเป็นงานวิจัยที่ทำในต่างประเทศ โดยเฉพาะในบริเวณแนวปะการังที่มีลักษณะเป็นเกือกม้า (atoll reef) ซึ่งต่างจากลักษณะแนวปะการังในประเทศไทยที่แนวปะการังส่วนใหญ่เป็นแบบติดชายฝั่ง (fringing reef) การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในภาคสนามโดยเลือกพื้นที่ ในบริเวณเกาะครก และเกาะสาก เขตเมืองพัทยา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการทดลองย้ายปลูกปะการัง (สิทธิพันธ์, 2535 : สิทธิพันธ์ และถนอมศักดิ์ 2536) โดยในบริเวณเกาะครกพบว่าปะการังมีอัตราการรอดค่อนข้างสูงแต่ยังขาดข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับปริมาณสารอาหารและปริมาณการใช้ออกซิเจนของแนวปะการังเนื่องจากข้อมูลในด้านเหล่านี้ในประเทศไทยยังมีจำกัด (Aksornkoae and Paphavasit, 1990) ดังนั้นการศึกษาปริมาณสารอาหารและผลผลิตปฐมภูมิในแนวปะการังจะเป็นประโยชน์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดวิธีการในการเพาะเลี้ยงปะการัง และประยุกต์ใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนจัดการทรัพยากรชายฝั่งของประเทศต่อไปได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงในรอบวันของปริมาณสารอาหารและออกซิเจนละลายน้ำที่เกิดขึ้นจากก้อนปะการัง (*Porites lutea*)
2. เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหารของน้ำในแนวปะการังและน้ำนอกแนวปะการัง บริเวณเกาะครกและเกาะสาก จ.ชลบุรี
3. เปรียบเทียบปริมาณสารอาหารและผลผลิตปฐมภูมิในแนวปะการังบริเวณเกาะครกและเกาะสาก จ.ชลบุรี

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบรูปแบบลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับปริมาณสารอาหารในแนวปะการัง ทั้งที่เกิดขึ้นในรอบวันและในแต่ละช่วงฤดูกาล
2. ทราบความสำคัญของแนวปะการัง ในแง่ที่เป็นแหล่งที่มีผลผลิตปฐมภูมิที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศทางทะเล

3. สามารถนำผลที่ได้มาใช้ในการประเมินและการควบคุมคุณภาพน้ำทะเลในบริเวณแนวปะการัง

4. สามารถทราบถึงปริมาณสารอาหารที่มีในแนวปะการัง เป็นประโยชน์ในการวางแผนการฟื้นฟูแนวปะการังได้

ชีววิทยาของปะการัง

ปะการังเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง จัดอยู่ใน Phylum Cnidaria Class Anthozoa Subclass Zoantharia และปะการังแข็งจะจัดอยู่ใน Order Scleractinia (สำหรับก้อนปะการังที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ อยู่ใน Family Poritidae และมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Porites lutea*)

ปะการังมีเนื้อเยื่อ 2 ชั้นโดยที่เซลล์ยังไม่มีกรรมรวมตัวกันเป็นอวัยวะต่างๆ ส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อหรือตัวปะการัง เรียกว่า โพลิป(Polyp) มีลักษณะรูปร่างของลำตัวเป็นทรงกระบอกตรงปลายสุดเป็นหนวด (tentacle) เรียงอยู่รอบปากคล้ายดอกไม้ทะเลแต่มีขนาดเล็ก ซึ่งส่วนของโพลิปจะอยู่ภายในช่องว่างของโครงร่างภายนอกที่มีลักษณะแข็ง(Corallite) เนื่องจากเป็นสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งสร้างโดยเนื้อเยื่อชั้น Ectoderm ของปะการัง

แนวปะการังเป็นโครงสร้างหินปูนที่ก่อตัวเป็นแนวใต้ทะเล ในระดับที่แสงส่องถึง (Euphotic zone) โครงสร้างนี้เกิดจากโครงสร้างหินปูน (Calcareous skeleton) ของปะการัง โดยปะการังจะมีสาหร่ายเซลล์เดียวที่เรียกว่า ซูแซนทาเลย์ (Zooxanthellae) ซึ่งเป็นพวกไดโนแฟลกเจลเลต อาศัยอยู่ร่วมกันในผิวชั้นนอก (Epidermis) ของตัวปะการัง

ปะการังจะได้รับอาหารทั้งจากการใช้หนวดจับอาหารที่ล่องลอยไปมาเช่น แพลงก์ตอนสัตว์ขนาดเล็กๆ หรือสารอินทรีย์ที่ล่องลอยในน้ำ แต่ส่วนใหญ่แล้วจะได้รับอาหารจากสาหร่ายซูแซนทาเลย์ โดยทั่วไปแล้วปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของแนวปะการังจะได้แก่ แสง อุณหภูมิ ความเค็ม และปริมาณตะกอนในน้ำ ซึ่งปกติแล้วปะการังจะสามารถเจริญได้ดีในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมไม่มากนัก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วแนวปะการังจะเจริญได้ดีในที่มีอุณหภูมิ 25 - 33 องศาเซลเซียส ความเค็ม 28 - 35 ส่วนในพันส่วน และจะพบในเขตที่แสงส่องถึงเท่านั้น (ถนอมศักดิ์, 2535)

การสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ข้อมูลด้านสภาพพื้นที่ทำการศึกษา

1.1. สภาพแนวปะการังบริเวณเกาะสาเกด้านใต้

เกาะสากอยู่บริเวณเส้นละติจูดที่ $12^{\circ} 57'$ เหนือ ลองจิจูดที่ $100^{\circ} 00'$ ตะวันออก อยู่ทางด้านทิศตะวันตกของเมืองพัทยา โดยอยู่ห่างจากฝั่งประมาณ 8 กิโลเมตร ลักษณะของตัวเกาะเป็นเกาะขนาดเล็กโค้งเป็นรูปเกือกม้าหงาย มีพื้นที่ประมาณ 0.05 ตารางกิโลเมตร (รูปที่ 2.1)

แนวปะการังมีความกว้างประมาณ 100 เมตร โดยอยู่ในช่วงความลึกตั้งแต่ 1 เมตรเหนือระดับน้ำลงต่ำสุดจนถึง 2.9 เมตรใต้ระดับน้ำลงต่ำสุด ลักษณะการแบ่งเขตของปะการังไม่ชัดเจน พบปะการังหลายชนิดขึ้นปกคลุม โดยมีสภาพการปกคลุมของปะการังค่อนข้างหนาแน่น ซึ่งสภาพแนวปะการังอยู่ในสภาพดีและส่วนใหญ่เป็นปะการังก้อน

จากลักษณะของตัวเกาะทำให้จุดที่ทำการศึกษาไม่ได้รับผลกระทบ จากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนในช่วงฤดูลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จุดนี้ก็ได้รับผลกระทบไม่มากนัก เนื่องจากมีเกาะลันบังอยู่

1.2 สภาพแนวปะการังบริเวณเกาะครกด้านใต้

ตั้งอยู่ที่เส้นละติจูด $12^{\circ} 55' 30''$ เหนือ ลองจิจูดที่ $100^{\circ} 19' 30''$ ตะวันออก อยู่ทางตะวันตกของหาดพัทยา ประมาณ 8 กิโลเมตร (รูปที่ 2.1)

เกาะครกลักษณะเป็นเกาะขนาดเล็ก วางตัวในแนวเหนือใต้ ขนานกับชายฝั่งมีพื้นที่บนเกาะประมาณ 0.05 ตารางกิโลเมตร ส่วนยาวที่สุดยาวประมาณ 550 เมตร กว้างประมาณ 150 เมตร ลักษณะโดยรอบด้านตะวันตกเป็นหน้าผาหินชัน ส่วนด้านตะวันออกจะมีหาดทรายอยู่ทางตอนกลางของตัวเกาะ

แนวปะการังมีความกว้างประมาณ 90 เมตร โดยอยู่ในช่วงความลึกตั้งแต่ 0.6 เมตรเหนือระดับน้ำลงต่ำสุด จนถึง 4.2 เมตรจากระดับน้ำลงต่ำสุด ลักษณะการกระจายของปะการังไม่แบ่งเป็นเขตที่ชัดเจนพบปะการังหลายชนิด มีความหนาแน่นปานกลางเช่นเดียวกับสภาพของปะการังในบริเวณเกาะสากด้านใต้ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นปะการังก้อน

ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จุดนี้จะได้รับอิทธิพลจากคลื่นและลมค่อนข้างมาก ส่วนในฤดูลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะได้รับอิทธิพลไม่มากนัก เนื่องจากมีเกาะลันบังการไหลของกระแสน้ำจะไหลแรงในช่วงน้ำเริ่มขึ้นหรือเริ่มลงโดยมีทิศทางไหลไปทางเหนือขณะน้ำขึ้นและไหลกลับมาจากใต้เมื่อน้ำลง (ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล, 2529)

เมื่อพิจารณาถึงความหนาแน่นของปะการัง และเปอร์เซ็นต์ครอบคลุมพื้นที่ของปะการังมีชีวิต ในทั้งสองบริเวณพบว่า มีความแตกต่างกันไม่มากนักกล่าวคือ บริเวณเกาะสากด้านตะวันตก มีปะการังมีชีวิตคิดเป็น 58.2 % และในบริเวณเกาะครกด้านตะวันออกมีปะการังมีชีวิตคิดเป็น 51.2 % โดยมีปะการังก้อนเป็นส่วนใหญ่เช่นเดียวกันในทั้งสองบริเวณ (ถนอมศักดิ์ ,2534) และเป็นปะการังชนิดเด่น (dominant species) ในอ่าวไทยด้วยเช่นกัน

สารอาหาร

สารอาหาร หมายถึง สารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต ในทางสมุทรศาสตร์เคมี แต่เดิมหมายถึง สารประกอบของ ฟอสฟอรัส(Phosphorus) ไนโตรเจน(Nitrogen) และซิลิกอน(Silicon) แต่ในความเป็นจริงแล้วยังรวมถึงองค์ประกอบของสารปริมาณน้อยบางชนิดในน้ำทะเล และโลหะ จำนวนน้อยในน้ำทะเลหลายชนิด แต่เนื่องจากสารทั้งสามชนิดที่กล่าวมาแล้วมีปริมาณน้อยมาก ในหลายบริเวณของทะเล พบว่าสิ่งมีชีวิตบางชนิดจะมีการใช้สารอาหารทั้งสามไปเป็นจำนวนมาก เมื่อเทียบกับปริมาณของสารเหล่านี้ที่พบในน้ำทะเลและสารทั้งสามนี้ก็มิอยู่ในปริมาณไม่เพียงพอที่จะเป็น ตัวควบคุมหรือจำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชในทะเลได้ ซึ่งแหล่งที่สำคัญของสารอาหารในทะเลมาจาก การกักต่อนและการสลายตัวของหิน การเนาเปื่อยของสารอินทรีย์และของเสียต่างๆ โดยผ่านการชะล้างจากพื้นดิน รวมตลอดจนถึงสารต่าง ๆ ที่ได้จากภูเขาไฟ น้ำพุร้อน การละลายจากหินใต้ทะเล นอกจากนี้สารอาหารบางชนิดอาจถูกนำลงสู่ทะเลโดยการพัดพามาจากบรรยากาศและตกลงสู่ทะเลพร้อมกับฝนที่ตกลงมา (มนูวดี, 2532)

การแพร่กระจายของสารอาหารในทะเล พบว่าบริเวณผิวน้ำจะมีปริมาณของสารอาหารมากโดยเฉพาะในบริเวณชายฝั่งและพื้นที่ที่เกิดปรากฏการณ์น้ำผุด (upwelling) ส่วนในเขตทะเลน้ำลึก (deep-sea water) ที่ผิวน้ำจะมีปริมาณสารอาหารน้อยกว่าในที่ลึก สารอาหารเหล่านี้จะได้มาจากการเกิดน้ำผุด การแพร่จากบรรยากาศ และจะถูกนำออกจากน้ำที่ผิวน้ำโดยการจมตัวลงพร้อมกับการย่อยสลายของสิ่งมีชีวิต ซึ่งทำให้ในที่ลึกมีปริมาณสารอาหารมากกว่าที่ผิวน้ำ ส่วนการแพร่กระจายในบริเวณผิวน้ำจะเป็นผลเนื่องมาจากทิศทางการไหลของกระแสน้ำเป็นสำคัญ

สารอาหารในน้ำมีความสำคัญอย่างมากต่อห่วงโซ่อาหารและคุณภาพน้ำในบริเวณนั้นๆ สารอาหารที่พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต และเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำนั้นๆได้ สิ่งมีชีวิตกลุ่มที่เป็นพวกที่สร้างอาหารได้ด้วยตนเอง (autotroph) จะใช้สารอาหารเหล่านี้ไปสร้างโปรโตพลาสซึม ซึ่งจะกลายเป็นอาหารของกลุ่มที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ (heterotroph) ปริมาณสารอาหารเหล่านี้ในน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางเคมี ฟิสิกส์ และชีววิทยา (พรทิพย์, 2535)

ในสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดพบว่าปริมาณของสารอาหารแตกต่างกันไปขึ้นกับสภาพแวดล้อมและสรีระของร่างกายในสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด โดยสารอาหารที่พบในสาหร่ายเซลล์เดียว (Droop, 1974) และแบคทีเรียก็สามารถพบได้ในพวกสาหร่ายขนาดใหญ่ และพวกพืชชั้นสูงด้วยเช่นกัน (Funas, 1992 อ้างตาม Gaudet, 1977 ; Room, 1986) ทั้งนี้ขึ้นกับสารอาหารที่มีอยู่ในบริเวณนั้นๆด้วย

ตารางที่ 1.1 สารอาหารที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

Element	Role
Carbon	Structure of all biomolecules , energy metabolism
Nitrogen	Amino acid, nucleic acids , metabolic cofactors
Phosphorus	Nucleic acids , phospholipids , energy metabolism (ATP)
Sulfur	Amino acid (cysteine , methionine) metabolic cofactor (biotin , coenzyme A)
Silicon	Catalysis (e.g. pyruvate phosphokinase) enzyme activation
Magnesium	Photosynthesis (heme center in chlorophyll) enzyme activation
Calcium	Catalysis (amylase) , mitochondrial electron transport
Iron	Chlorophyllsynthesis , electron transport ,Photosynthesis , Nitrogen fixation peroxidase , catalase , nitrification
Boron	Carbohydrate metabolism
Magnese	Catalysis (e.g. phosphattransferase) , enzyme activation
Zinc	Catalysis (e.g. carbonic anhydrase , carboxy peptidase)
Copper	Electron transport , catalysis (e.g., tyrosinase) denitrification
Cobalt	Vitamin B ₁₂
Nikel	Catalysis (e.g., methanogenesis , urease)
Molybdenum	Nitrogen fixation , nitrate reduction , nitrification
Vanadium	Nitrogen (some bacteria)

ที่มา : Funas (1992)

จากตารางที่ 1.1 แสดงรายชื่อของสารอาหารที่จำเป็นต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำ ซึ่งสารอาหารหลักได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ ซัลเฟอร์ สารอาหารเหล่านี้จะเป็นส่วนประกอบพื้นฐานในโครงสร้างทางชีวโมเลกุล สำหรับไฮโดรเจนและออกซิเจนนั้น สิ่งมีชีวิตก็ต้องการเช่นกันแต่สามารถที่จะได้รับจากน้ำอยู่แล้ว ส่วนไดอะตอม ฟองน้ำ และพืชน้ำที่มีใบ จะมีความต้องการซิลิกอนในการสร้างผนังเซลล์ สปิคูล (spicule) หรือนำไปใช้เป็นโครงสร้างของใบ ในขณะที่แคลเซียมและโซเดียมจะมีบทบาทในการทำหน้าที่เป็น เอนไซม์แอกติเวเตอร์และโคแฟกเตอร์ (activator /cofactor) หรือเป็นสารที่เป็นตัวรักษาความสมดุลของเยื่อเมมเบรน สำหรับสารอาหารอื่นๆ

ยกเว้นโบรอน มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้นและส่วนใหญ่จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยารีดักชันหรือเป็นโคแฟกเตอร์ในเอนไซม์เฉพาะบางตัว (Huntsman and Sunda, 1980)

โดยทั่วไปแล้วสิ่งมีชีวิตในน้ำจะมีอัตราส่วนของสารอาหารหลักในร่างกายแตกต่างกัน แต่ส่วนใหญ่แล้วจะใช้อัตราส่วนที่เรียกว่า Redfield ratio ในการกำหนดสัดส่วนของสารอาหารที่พบในแพลงก์ตอนพืชในทะเล ทั้งนี้พบว่าแพลงก์ตอนพืชในทะเลจะมีอัตราส่วนของสารอาหาร คาร์บอน ไนโตรเจนและ ฟอสฟอรัส (C:N:P) เป็น 106:16:1 (Redfield *et al* , 1963) และยังใช้กับพืชอื่น ๆ ที่มีได้อยู่ในระบบนิเวศทางน้ำ ซึ่งเมื่อเทียบอัตราส่วนกับแพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรีย (Howard - Williams and Junk, 1977 ; Golley, 1983 ; Boto and Buunt, 1982 ; Atkinson and Simith, 1983) พบว่าแบคทีเรียจะมีปริมาณของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงกว่าที่พบในพืชชั้นสูงและสาหร่ายขนาดใหญ่ (Fenchel and Blackburn, 1979) โดยปกติแล้วปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำของเขตร้อนจะต่ำกว่าในเขตอบอุ่น และมีระดับปริมาณของสารอาหารไม่เท่ากันในแต่ละระบบนิเวศของแต่ละบริเวณ เช่น เขตทะเลเปิด (open sea) แนวปะการัง ปากแม่น้ำขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นบริเวณที่มักได้อิทธิพลจากน้ำท่วม หรือการเกิดลมพายุ ทำให้มีระดับปริมาณสารอาหารเพิ่มขึ้นเป็นครั้งคราว ส่วนในเขต oligotrophic ของเขตร้อน พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารอาหารจะเป็นไปอย่างปกติ (Forsberg *et al*, 1989) เช่นในทะเลสาบหลายแห่งในประเทศเวเนซุเอล่า จะมีมลภาวะที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์หรือมิฉะนั้นก็ได้รับสารอาหารจากพื้นที่ลุ่มน้ำ (watershed) (Funas, 1992 อ้างตาม Tilly and Garcia-Sais, 1987)

สิ่งที่แตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างระบบน้ำจืดกับทะเลก็คือในระบบน้ำจืดจะมีปริมาณของสารอาหารมากกว่าในระบบนิเวศในทะเล (Funas, 1992) เป็นผลมาจากอัตราการไหลของน้ำในพื้นที่ลงสู่ระบบต่อหน่วยปริมาตรหรือต่อพื้นที่ที่สูง และจะคงอยู่ในลักษณะที่เป็นแหล่งสารอาหารที่ย่อยสลาย (detrital nutrient stock) (Gaudet, 1979) นอกจากนี้ในระบบนิเวศน้ำจืดยังมีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ที่ผิวดินคิดเป็นอัตราส่วนต่อพื้นที่หรือต่อปริมาตรสูง จึงเกิดการย่อยสลายและการนำสารอาหารไปใช้เกิดขึ้นในระบบนิเวศน้ำจืดก่อนที่ไหลลงสู่ทะเล จึงทำให้อัตราการกลับคืนของสารอาหารที่เกิดขึ้นในทะเลเปิดเขตร้อนลดลง (Furnas, 1992)

การกลับคืนของสารอาหาร (nutrient regenerated) ในแหล่งน้ำมักหมายถึงการที่สารอาหารที่มีอยู่เดิมในระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงตามกระบวนการ mineralization ส่วนสารอาหารที่ได้รับใหม่ (new nutrients) จะเป็นสารอาหารที่เข้ามาจากภายนอกระบบเข้าสู่การสะสมของระบบ ดังเช่นการเคลื่อนที่ของมวลน้ำที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง จะทำให้มีการผสมผสานกันของน้ำที่อยู่ในแต่ละชั้น ยังผลให้แอมโมเนียและกรดอะมิโนจะมีการกลับคืนเกิดขึ้น และในขณะเดียวกันในเขตร้อนส่วนใหญ่จะมาจากมวลน้ำชั้นล่างที่อยู่ต่ำกว่าชั้นเทอร์โมไคลน์ (thermocline layer) ซึ่งสารอาหารที่ได้มาจากมวลน้ำดังกล่าวจัดเป็นสารอาหารที่ระบบได้รับมาใหม่ อย่างไรก็ตามแอมโมเนียก็อาจจะได้มาใหม่จากบรรยากาศและ

จากน้ำจืดที่ไหลลงสู่ทะเล เช่นเดียวกับไนเตรทบางส่วนอาจเกิดขึ้นใหม่ได้จากกระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนีย (ammonium-oxidizing) โดยแบคทีเรีย (Dugdale and Goering, 1967 ; Funas, 1992)

การพิจารณาว่าสารอาหารที่มีอยู่ภายในแหล่งน้ำนั้นๆ ได้มาจากการกลับคืนหรือการได้มาใหม่ พิจารณาจากขนาดและลักษณะทางเคมีธรณี รวมถึงช่วงเวลาที่อยู่(residence time)ในแหล่งน้ำ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพและเคมีธรณีจะเกิดเร็วหรือช้าจะสัมพันธ์กับเวลาคงอยู่ในแหล่งน้ำ ในบางครั้งการหมุนเวียนของสารอาหารที่เกิดขึ้นแสดงถึงความสามารถของแหล่งน้ำนั้นๆ และในทางกลับกันถ้าเวลาคงอยู่ของน้ำ (water residence) มีน้อยเมื่อเทียบกับเวลาของกระบวนการต่างๆ ของสารอาหาร การไหลของน้ำก็จะเป็นปัจจัยสำคัญในการนำสารอาหารใหม่เข้าสู่แหล่งน้ำ ดังนั้นลักษณะทางกายภาพจึงมีความสำคัญในการพิจารณาด้วยเช่นกัน (Funas, 1992 อ้างตาม Glibert *et al.*, 1982)

การสำรวจหรือการศึกษาปริมาณของสารอาหารเน้นที่สารอาหารที่เป็น สารอนินทรีย์โมเลกุลเล็ก (inorganic macronutrients) เช่น แอมโมเนียม (NH_4^+) ไนเตรท (NO_3^-) ไนไตรท์ (NO_2^-) ฟอสเฟต(PO_4^{3-}) และ ซิลิเกต($\text{Si}(\text{OH})_4$) เนื่องจากเป็นสารอาหารที่พืชและแพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของ คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่มีต่อสิ่งมีชีวิตทั้งในระบบนิเวศทางทะเลและในระบบนิเวศน้ำจืด (Gaudet, 1979 ; Jackson and Williams, 1985) โดยเฉพาะในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำดิน สำหรับการศึกษเกี่ยวกับปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำ (dissolved organic nitrogen : DON) และสารอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (dissolved organic phosphorus : DOP) ยังมีค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับสารอนินทรีย์ที่ละลายโดยเฉพาะในน้ำทะเล (Funas, 1992 อ้างตาม Jenkins and Kemp, 1984) ความเข้มข้นของกรดอะมิโนอิสระในน้ำทะเลที่สิ่งมีชีวิตพวกสาหร่ายและแบคทีเรีย สามารถนำไปใช้ได้ มักกำหนดในช่วงนาโนโมลเช่นเดียวกับกรดอะมิโน (Fenchel and Blackburn, 1979)

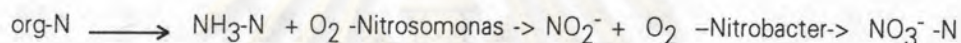
ไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีอยู่มากในสิ่งมีชีวิต โดยจะอยู่ในรูปที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนเช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก กรดอะมิโน นิวคลีโอไทด์ หรือยูเรีย เป็นต้น การเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอนินทรีย์จะต้องอาศัยกระบวนการทางชีวภาพ และกายภาพ (Funas, 1992)

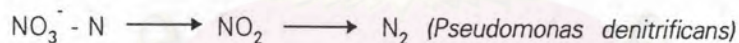
สารประกอบไนโตรเจนในทะเลส่วนใหญ่มาจากแผ่นดินโดยการไหลบ่า (run off) การแพร่จากบรรยากาศ การระเหยของแอมโมเนียจากแผ่นดิน และกระบวนการตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixation) ที่เกิดขึ้นในทะเล (Dugdale, 1976) ซึ่งจะพบในรูปของ โมเลกุลไนโตรเจน อนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย($\text{NH}_3\text{-N}$) ไนไตรท์($\text{NO}_2\text{-N}$) ไนเตรท($\text{NO}_3\text{-N}$) และสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนเช่น กรดอะมิโน ยูเรีย โดยมีความเข้มข้นของไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย กรดอะมิโนและ ยูเรีย อยู่ในช่วง

0.01 - 50, 0.01 - 5, 0.1 - 5, 0.1 - 5 และ 0.2- 2 ไมโครกรัมอะตอมไนโตรเจนต่อลิตรตามลำดับ (Clark et al., 1970 ; Riley and Segar, 1970 ; Remsen, 1971) ในขณะที่ไนโตรเจนที่อยู่ในสถานะก๊าซสามารถละลายน้ำได้ 370-800 ไมโครกรัมอะตอมต่อลิตร โดยขึ้นอยู่กับความเค็มของน้ำ (Riley and Chester, 1971) โมเลกุลของไนโตรเจนจะถูกตรึงโดยสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวเช่น *Caotrix* spp. (Allen, 1963) และ *Trichodesmium* spp. (Dugdale et al., 1964 ; Goering et al., 1966 ; Dugdale and Goering, 1967) ยีสต์ (*Rhodotorula* spp.) (Allen, 1963) และแบคทีเรียบางชนิดได้แก่ *Azotobacter* และ *Clostridium* (Pshenin, 1963)

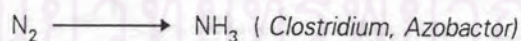
สารประกอบไนโตรเจนในน้ำ ในรูปของ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรทจะมีการเปลี่ยนรูปโดยสิ่งมีชีวิตในน้ำได้ตลอดเวลา ตามกระบวนการในวัฏจักรไนโตรเจน โดยที่อินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียโดยแบคทีเรียบางชนิด จากนั้นแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์และไนเตรท โดยแบคทีเรียพวก *Nitrosomonas* และ *Nitrobacter* ตามลำดับ ดังสมการ



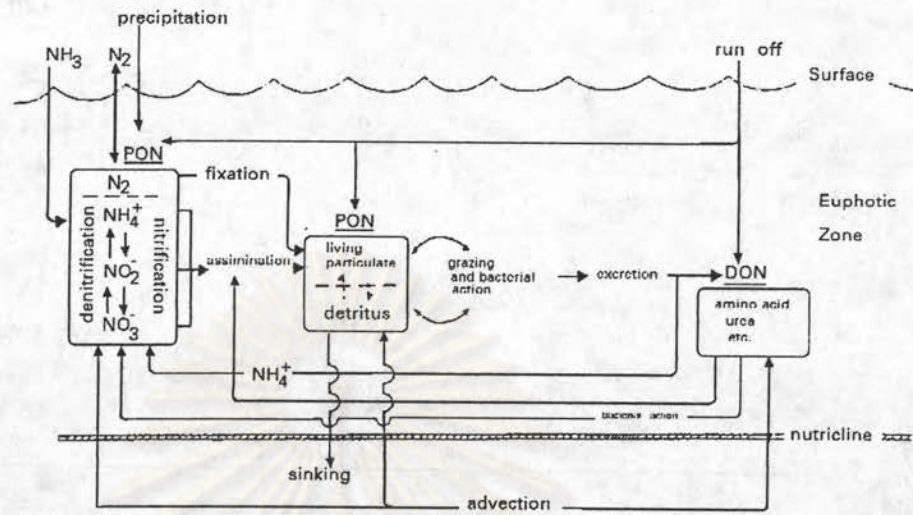
ซึ่งเรียกกระบวนการดังกล่าว ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และในทางกลับกันกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ซึ่งเป็นการรีดักชันไนเตรทให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจน



และการเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนให้กลายเป็นแอมโมเนียไนโตรเจนโดยกระบวนการตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixation) ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของแบคทีเรียบางชนิด



จากวัฏจักรไนโตรเจน (รูปที่ 1.1) ไนโตรเจนสามารถลงสู่จาก point source และ diffuse source จากแผ่นดิน การแพร่ทางบรรยากาศ การเกิดปรากฏการณ์น้ำมุด และการตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพ (biological fixation) ซึ่งเป็นการตรึงไดไนโตรเจน (di-nitrogen : N_2) จากอากาศโดยสิ่งมีชีวิตที่อยู่เป็นอิสระ (free-living) และแบคทีเรียที่อาศัยร่วมกัน (symbiotic bacteria) ซึ่งการตรึงไนโตรเจนนี้สามารถเกิดขึ้นได้ทุกระบบแหล่งน้ำที่อยู่ในเขตร้อน เช่น แนวปะการัง (Webb et al., 1975 ; Weibe et al., 1975) ในตะกอน (Capone, 1983) พื้นที่ลุ่มชื้น (wet land) (Gaudet, 1979) หนองทะเล (Capone, 1977 ; Goering and Parker, 1972) นาข้าว (Funas, 1992 อ้างตาม DeSatta and Patrick, 1986 ; Rinuado et al., 1971) รวมทั้งบริเวณกลางมหาสมุทร(Capenter,1983) เป็นต้น

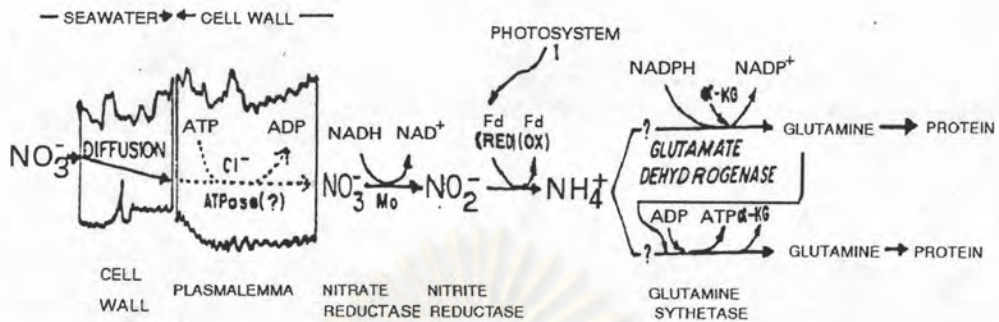


รูปที่ 1.1 แสดงวัฏจักรไนโตรเจนในทะเล

ที่มา : Parson *et al* , (1984)

เอนไซม์ไนโตรจีเนส (nitrogenase) เป็นเอนไซม์หลักที่เกี่ยวข้องในการตรึงไนโตรเจน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ต้องเกิดในสภาพที่มีออกซิเจน (anaerobic condition) พบว่าในบริเวณแนวปะการังมีอัตราของการตรึงไนโตรเจนเกิดขึ้นสูงมาก (Funas, 1992)

แอมโมเนียถูกออกซิไดส์ให้กลายเป็นไนเตรทในสภาพที่มีออกซิเจนน้อยหรือที่เรียกว่าไนตริฟิเคชันแบ่งออกได้เป็นสองขั้นตอนโดยในขั้นแรกแอมโมเนียจะถูกออกซิไดส์ให้กลายเป็นไนเตรทโดย *Nitrosococcus*, *Nitrosomonas* ซึ่งจะถูกปล่อยออกมาและถูกออกซิไดส์ต่อให้กลายเป็นไนเตรท โดย *nitrobacter*, *Nitrococcus* (Fenchel and Blackburn, 1979) ไนเตรทอาจถูกปล่อยออกมาโดยแบคทีเรียในขณะที่เกิดการรีดิวซ์ไนเตรท นอกจากนี้ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมอาจส่งผลต่ออัตราของไนตริฟิเคชัน แบคทีเรียที่เป็นพวกไนตริไฟอิง (nitrifying bacteria) จะมีมากเมื่อมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญ (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส) (Fenchel and Blackburn, 1979 ; Atkinson, 1987) และจะมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีเมื่อปริมาณของออกซิเจนมากกว่า 31 ไมโครโมลต่อลิตรและอัตราของไนตริฟิเคชันยังขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย และไนโตรท็อกด้วย (Kaplan, 1987)



รูปที่ 1.2 แสดงกระบวนการนำไนเตรทเข้าสู่เซลล์ของแพลงก์ตอนพืช

ที่มา : Parson *et al.*, (1984)

การรีดิวซ์ไนเตรทให้เปลี่ยนเป็นแอมโมเนียเป็นแหล่งที่มาที่สำคัญของแอมโมเนีย และจะถูกนำเข้าสู่สิ่งมีชีวิตเกิดเป็นโมเลกุลของสารอินทรีย์เกิดขึ้นได้หลายทาง) กระบวนการที่เกี่ยวข้องนำเข้า (uptake) ไนเตรทโดยแพลงก์ตอนพืช (รูปที่ 1.2) จะมีอยู่สองขั้นตอน คือ ขั้นแรกจะเป็นการนำเข้าไนเตรทจากภายนอกเซลล์เข้าสู่ภายในเซลล์ผ่านเซลล์เมมเบรน โดยอาศัยหลักการของการแพร่ (diffusion) เนื่องจากปริมาณของไนเตรทภายในเซลล์จะลดน้อยลง อันเป็นผลเนื่องมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ไนโตรเจนรีดักเตส (nitrate reductase) ส่วนขั้นที่สองจะเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากไนเตรทที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ โดยเอนไซม์ไนโตรเจนรีดักเตสจะรีดิวซ์ไนเตรทให้กลายเป็นไนไตรท์ ซึ่งขั้นตอนนี้ต้องใช้พลังงานที่อยู่ในรูปของ photosynthetic reductant (NADH) การสังเคราะห์ไนไตรท์จะถูกยับยั้งเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียมีประมาณ 0.5 - 1 ไมโครโมล ส่วนในกรณีของการนำไนไตรท์เข้า จะมีการใช้เอนไซม์เพียงตัวเดียว คือ ไนไตรท์รีดักเตส ขณะที่ไนเตรทต้องการเอนไซม์ถึง 2 ตัว คือ ไนเตรทรีดักเตส และไนไตรท์รีดักเตส ในขณะที่การนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์โดยตรงจะมีความเร็วเป็นสองเท่าของกระบวนการดังกล่าว โดยการเคลื่อนผ่านเซลล์เมมเบรนนี้จะเป็นขั้นตอนที่จะต้องมีการใช้พลังงาน เช่นเดียวกับไนไตรท์และไนเตรท แต่ไม่ต้องการเอนไซม์เฉพาะมาใช้ในกระบวนการดังกล่าว ((Hattori, 1982 ; Parson *et al.*, 1984) หลังจากที่ได้แอมโมเนียมาแล้วทั้งจากการสังเคราะห์ขึ้น และจากการนำเข้าโดยตรงแอมโมเนียก็จะถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นกรดอะมิโน (รูปที่ 1.2) โดยกระบวนการ reductive animation ของ α -ketoglutarase โดยมีเอนไซม์กลูตาเมตดีไฮโดรจีเนส (glutamate dehydrogenase : GDH) (Ahmed *et al.*, 1977) เป็นตัวเร่ง และยังสามารถเกิดขึ้นได้จาก glutamate synthetase จาก glutamate โดยใช้ ATP อีกด้วย (Parson *et al.* , 1984 อ้างตาม Falkowski and Rivkin, 1976 ; Turpin and Haririson, 1978 ; Dortch and Ahmed, 1978)

การเพิ่มปริมาณไนเตรทลงไปในแหล่งน้ำในขณะที่กิจกรรมของไนตริฟายอิงแบคทีเรียมีน้อยจะทำให้ปริมาณไนเตรทในน้ำหรือในตะกอนเพิ่มมากขึ้น แม้ว่าปริมาณของแอมโมเนียจะมีอยู่มากแล้วก็ตาม พืชน้ำจะไม่นำเข้าไปในไนเตรทโดยตรงซึ่งสภาพของการเกิดดีไนตริฟายในดินและ microzone การเกิดดีไนตริฟเคชั่นมักจะเกิดในดินที่มีน้ำขุ่น (waterlogged soil) รวมทั้งตะกอนที่มีสภาพขาดออกซิเจน และเกิดสะสมใน detritus (Parson et al., 1984)

พรทิพย์ งานสกุล (2535 อ้างตาม Tebbutt, 1977) กล่าวว่าปกติแล้วในแหล่งน้ำธรรมชาติเช่น แม่น้ำลำคลอง หนอง บึง จะมีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและไนเตรทน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ พบว่า ถ้ามีปริมาณสูงกว่านี้ อาจก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ ตามมาได้ แหล่งที่พบไนเตรทและไนไตรท์แบ่งออกเป็น 2 แหล่งใหญ่ ได้แก่ แหล่งที่พบในธรรมชาติ เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีนในพืช สัตว์ และของเสียจากสัตว์โดยจุลินทรีย์ แอมโมเนียมีออกซิไดส์เป็นไนไตรท์และไนเตรท แต่ไนไตรท์โดยปกติจะพบในปริมาณต่ำมาก นอกจากนี้การกระทำของมนุษย์ เช่นจากการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีต่างๆ ในภาคอุตสาหกรรมเกษตร ก็สามารถปล่อยสารไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำได้เช่นเมื่อเกิดน้ำหลากหรือในเวลาที่มีฝนตก

ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญต่อพืชน้ำเนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบของโมเลกุลของสิ่งมีชีวิต เช่น กรดนิวคลีอิก และ Adenosine triphosphate (ATP) ซึ่งเป็นสารสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการสร้างและเคลื่อนย้ายพลังงาน สารประกอบของ ATP ยังมีบทบาทที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งถือเป็นผู้ผลิตชั้นปฐมภูมิในแหล่งน้ำด้วย ความเข้มข้นของสารประกอบที่ถูกนำไปใช้จะควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในแหล่งน้ำนั้นคือจะเป็นตัวควบคุมผลผลิตของแหล่งน้ำด้วย

ฟอสฟอรัสในรูปสารอนินทรีย์และฟอสฟอรัสที่แขวนลอยอยู่จะมีความสำคัญต่อแหล่งน้ำธรรมชาติอย่างมาก ในแง่ของการควบคุมความอุดมของแหล่งน้ำ โดยถ้าปริมาณของฟอสฟอรัสที่มีในแหล่งน้ำมีปริมาณมากเกินไป จะทำให้พืชน้ำเกิดการเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งจะส่งผลให้แหล่งน้ำนั้นตื้นเขิน หรือเกิดสภาวะการเน่าเสียเนื่องจากการตายของพืชน้ำเหล่านี้ (Lee, 1975) ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำในระดับหนึ่งจะทำให้แพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตได้ดี ความเข้มข้นดังกล่าวจะสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในสาหร่ายชนิดต่างๆ ซึ่งจะมีค่าต่างกันไป (Lund, 1970) และพบว่าฟอสฟอรัสถูกจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมผลผลิตทางชีววิทยาในแหล่งน้ำ เมื่อปริมาณฟอสฟอรัสสูงขึ้นไม่ว่าจะจากแหล่งใดจะทำให้ประชากรแพลงก์ตอนพืชเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก (Reynolds, 1978)

ไม่เพียงแต่ฟอสฟอรัสเท่านั้นที่จัดว่าเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของพืชน้ำ มีแหล่งน้ำในหลายบริเวณที่ไนโตรเจนหรือสารอาหารอื่นๆ เป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งความเข้มข้น

ของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำเหล่านั้นไม่ปรากฏว่าควบคุมผลผลิตทางชีวภาพโดยตรง โดยการที่จะทำนายว่าแหล่งน้ำใดจะถูกควบคุมการเจริญเติบโตของพืชโดยสารอาหารใดโดยเฉพาะในโตรเจนและฟอสฟอรัส อาจพิจารณาได้จากอัตราส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในสิ่งมีชีวิตซึ่งค่อนข้างจะเป็นค่าคงที่ แหล่งน้ำที่ถูกจำกัดผลผลิตโดยสารอาหารอื่นที่ไม่ใช่ฟอสฟอรัสอาจเป็นเพราะมีฟอสฟอรัสอยู่มากเกินไป เมื่อมีการเอาฟอสฟอรัสออกจากแหล่งน้ำส่วนหนึ่งจะทำให้ฟอสฟอรัสเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตของพืชน้ำได้ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าไม่สามารถนำข้อมูลเกี่ยวกับฟอสฟอรัสจากแหล่งน้ำหนึ่ง ไปใช้ในการทำนายผลของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำอื่นๆได้ (เพราพรณ, 2529)

ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำธรรมชาติอาจมาจากการสลายตัวของหินฟอสเฟตหรือจากการนำเปื่อยผุพังของซากพืชซากสัตว์ ซึ่งกรณีหลังเป็นฟอสเฟตอินทรีย์อาจอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ หรือยังเป็นซากพืชสัตว์ ฟอสเฟตเข้าป็นเบื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติได้หลายทางเช่น น้ำทิ้งจากครัวเรือนมีฟอสเฟตจากผงซักฟอกซึ่งเป็นโพลีฟอสเฟตเสียเป็นส่วนใหญ่ น้ำทิ้งจากการเกษตรซึ่งมีปุ๋ยที่ถูกชะพาลงสู่แหล่งน้ำในรูปของออร์โธฟอสเฟต ตามปกติแล้วฟอสฟอรัสที่อยู่ในน้ำจะละลายน้ำได้น้อยมาก (เพลินจิตต์, 2530) ซึ่งสามารถสรุปรูปของฟอสฟอรัสในน้ำทะเล ได้ดังนี้คือ

1. ฟอสเฟตในรูปสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ (Dissolved inorganic phosphorus) ได้แก่ ออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate) โดยอยู่ในรูป HPO_4^{2-} เป็นส่วนใหญ่

2. ฟอสฟอรัสในรูปสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (Dissolved organic phosphorus) ซึ่งเป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่สลายออกมาจากเซลล์สิ่งมีชีวิตเช่น ฟอสโฟโปรตีน (phosphoproteins) ฟอสโฟลิปิด (phospholipids)

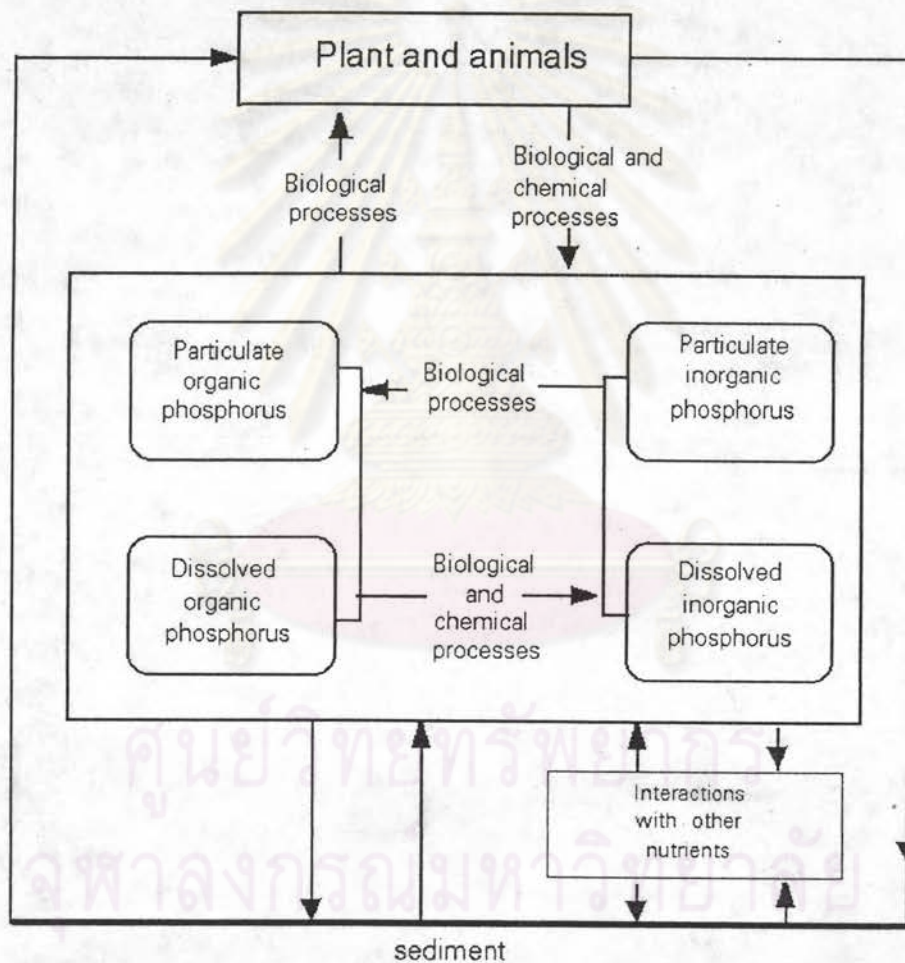
3. ฟอสฟอรัสในรูปสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำ (Particulate organic phosphorus) คือสิ่งมีชีวิตหรือสิ่งมีชีวิตที่เพิ่งตายลงแขวนลอยอยู่ในน้ำ รวมทั้งสารประกอบในเซลล์ที่ออกมาภายนอกเซลล์หลังเซลล์แตก ฟอสฟอรัสในรูปนี้จะมีปริมาณมากที่สุดในแหล่งน้ำและจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นอนินทรีย์ โดยกระบวนการที่ช้ามาก (เพราพรณ, 2529 อ้างตาม Cooke and Williams, 1973)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในแหล่งน้ำจะอยู่ในรูปอินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นส่วนใหญ่ ซึ่ง 70% อยู่ในรูปของสารแขวนลอย ส่วนที่เหลือจะเป็นรูปสารละลายและคอลลอยด์ โดยอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำจะมีปริมาณต่ำมาก คือเพียง 2 - 3% ของฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่านั้น (เพราพรณ, 2529) เซลล์พืชสามารถดึงเอาออร์โธฟอสเฟตอออกไปใช้ได้โดยตรง ในขณะที่ฟอสฟอรัสในรูปอื่นๆ เมื่อจะนำไปใช้ต้องถูกไฮโดรไลซ์ก่อนโดยเอนไซม์ที่สร้างขึ้นภายในเซลล์ของพืชนั้นๆ

ฟอสฟอรัสในรูปสารอนินทรีย์ส่วนที่ละลายน้ำจะถูกใช้โดยสาหร่าย และแบคทีเรียโดยการซึมผ่านทางผนังเซลล์ และสร้างเป็นฟอสฟอรัสในรูปสารอินทรีย์ส่วนที่แขวนลอยซึ่งสามารถถูกปลดปล่อยออกมาได้ทั้งในรูปสารอินทรีย์และอนินทรีย์ส่วนที่ละลายน้ำ จากการขับถ่ายฟอสฟอรัสในรูปสารอินทรีย์ส่วนที่ละลายน้ำ จะสามารถถูกย่อยสลายโดยการทำงานของแบคทีเรีย โดยเปลี่ยนให้กลายเป็น

ฟอสฟอรัสในรูปสารอินทรีย์ส่วนที่ละลายน้ำได้ กระบวนการนี้เกิดขึ้นได้ทั้งในน้ำ และดินตะกอนโดย ความสำคัญของแบคทีเรียในการสร้างฟอสฟอรัสในรูปสารอินทรีย์ของดินตะกอนมีมากกว่าในน้ำ ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำที่แทรกอยู่ระหว่างดินตะกอนจะแพร่ออกสู่น้ำได้เช่นกัน

จากวงจรของฟอสฟอรัสในทะเล (รูปที่ 1.3) ฟอสฟอรัสในรูปต่างๆ จะเกิดการเปลี่ยนแปลง ในกระบวนการสร้างและสลาย(metabolite) อัตราในการย้อนกลับ (turnover) โดยเฉพาะในแพลงก์ตอน สัตว์ ได้แสดงให้เห็นว่ายังมีฟอสฟอรัสในทะเลอยู่บ้าง ทั้งๆที่ปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัส แทบจะไม่พอกับความต้องการในการเจริญเติบโตตามปกติของแพลงก์ตอนพืช



รูปที่ 1.3 แสดงวัฏจักรฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ

(ที่มา : ดัดแปลงจาก Funas, 1992)

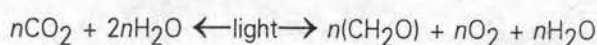
โดยปกติแล้วแพลงก์ตอนพืชจะใช้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของ ออโรฟอสเฟตให้ออนได้โดยตรง แต่ในบางครั้งก็สามารถใช้ประโยชน์จากอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้เช่นกัน (Parson *et al.*, 1984 อ้างตาม Provasoli and McLaughlin, 1963 ; McLaughlin and Zahl, 1966) และพบว่ามีสาหร่ายบางชนิด เช่น *Skeletonema* และ *Amphidinium cateri* สามารถที่จะใช้โพลีฟอสเฟตเป็นแหล่งฟอสฟอรัสในขณะที่มีไนโตรเจนมากเกินไป โดยสามารถที่จะไฮโดรไลซ์โพลีฟอสเฟตได้เร็วกว่าการนำมาใช้โดยเซลล์ ซึ่งเป็นผลให้มีออโรฟอสเฟตในน้ำเพิ่มขึ้น (Solorzano and Strickland, 1968) แพลงก์ตอนพืชโดยทั่วไปไม่นำฟอสเฟตที่อยู่ในรูปเอสเทอร์ที่ละลายน้ำ (simple dissolved phosphate ester) เข้าสู่เซลล์โดยตรง แต่จะได้รับฟอสฟอรัสจากการสลายตัวของฟอสเฟตที่เกิดจากการทำงานของ อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส (Alkaline phosphatases) ซึ่งจะทำให้กลุ่มของฟอสเฟตในสารประกอบหลุดออกและกลายเป็นอิออนของฟอสเฟตอิสระ ทำให้สามารถที่จะนำเข้าสู่เซลล์ได้จากกระบวนการขนส่งฟอสเฟตตามปกติ อัลคาไลน์ฟอสเฟตจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นในกรณีที่มีความเข้มข้นของออโรฟอสเฟตต่ำกว่า 0.1 ไมโครกรัมอะตอมต่อลิตร และโดยเฉพาะเมื่อปริมาณความเข้มข้นของอินทรีย์ฟอสเฟตสูงกว่าอนินทรีย์ฟอสเฟต ฟอสฟอรัสที่เข้าสู่เซลล์แล้วจะถูกนำไปใช้เป็นโครงสร้างส่วนประกอบของเซลล์ เช่น poly-P-RNA และต่อมาก็จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสร้างพลังงานภายในสิ่งมีชีวิต (ADP และ ATP) ซึ่งการนำฟอสฟอรัสไปใช้ในเซลล์จะต่างจากการนำไนโตรเจนไปใช้ โดยไนโตรเจนจะไม่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการการสร้างพลังงาน (Parson *et al.*, 1984)

สารประกอบอินทรีย์จะถูกไฮโดรไลซ์ในสภาพที่เป็นต่างของน้ำทะเลโดยเอนไซม์ฟอสฟาเตส (phosphatases) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีในแบคทีเรียหลายชนิดและในแพลงก์ตอนพืชที่อาศัยอยู่ในบริเวณผิวน้ำ โดยเฉพาะในบริเวณที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในรูปสารอินทรีย์ต่ำ แต่เมื่อเทียบกับวัฏจักรของสารอินทรีย์ในโตรเจนที่จะเกิดขึ้นยากกว่า เนื่องจากต้องมีการแลกเปลี่ยนพลังงานในขั้นตอนการตรึง การรีดักชันและการออกซิเดชันกลับคืนในรูปไนเตรท (Parson *et al.*, 1984) โดยมีการทดลองกับแพลงก์ตอนพืชพบว่าฟอสฟอรัสจะกักตัวใน 14 วัน ขณะที่การกักตัวของอินทรีย์ไนโตรเจนจะมีขึ้นใน 75 วัน (Antia *et al.*, 1963)

ผลผลิตปฐมภูมิในทะเล

ในระบบนิเวศทางทะเลแพลงก์ตอนพืชจะเป็นกลุ่มที่มีผลผลิตมากที่สุดและเป็นรากฐานของห่วงโซ่อาหารในทะเล การสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชถือได้ว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง ซึ่งเป็นผลผลิตปฐมภูมิ (primary production) โดยแพลงก์ตอนพืชจะผลิตสารอินทรีย์จากกระบวนการสังเคราะห์แสง ในกระบวนการนี้เซลล์ของแพลงก์ตอนพืชจะดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ แล้วเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี โดย NADPH และ ATP ส่วนการตรึง CO₂จะใช้

NADPH และ ATP ที่ได้จากกระบวนการข้างต้น ผลผลิตที่ได้จะถูกสะสมไว้ในรูปของสารอินทรีย์ที่มีพลังงานศักย์สูง โดยอาศัยน้ำเป็นตัวให้อิเล็กตรอน (H-donor) ดังสมการ



จากสมการของการสังเคราะห์แสง สามารถหาผลผลิตปฐมภูมิ ได้จากการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงโดยการศึกษาปริมาณสารที่ใช้ไป (CO_2 - consumption) หรือสารที่เกิดขึ้น (O_2) นอกจากนี้ยังสามารถใช้อัตราที่คาร์บอนถูกเปลี่ยนไปเป็นเนื้อเยื่อพืช การวัดอัตราการสูญเสียไนโตรเจนหรือฟอสเฟตที่ละลายในน้ำ วิธีที่นิยมใช้กันมากก็คือ วิธีวัดอัตราการคายออกซิเจน แต่อย่างไรก็ตามในสภาพธรรมชาติยังมีปฏิกิริยาที่เกิดต่อเนื่องก็คือ การนำออกซิเจนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการหายใจ (respiration) ของสิ่งมีชีวิต

ผลผลิตรวมทั้งหมดของสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดังกล่าว จะแสดงในรูปของผลผลิตรวม (gross production) ขณะที่ผลผลิตที่เหลือจากการหายใจและกระบวนการ Metabolism เรียกว่าผลผลิตสุทธิ (net production) ซึ่งได้จาก การนำผลผลิตที่ได้จากการหายใจหักออกจากผลผลิตรวมผลผลิตสุทธิเมื่อเทียบต่อหน่วยเวลา จัดเป็นผลผลิตปฐมภูมิซึ่งหมายถึงอัตราผลผลิตสุทธิในช่วงวัน เดือน หรือปี (Larkum, 1983)

อัตราการเกิดผลผลิตปฐมภูมิ = น้ำหนักของอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์แสง ใน 1 หน่วยเวลาต่อ 1 หน่วยปริมาตร หรือภายใต้ 1 หน่วยพื้นที่ของผิวน้ำทะเล มีหน่วยเป็น กรัมคาร์บอนต่อลบ.ม.ต่อวัน ($\text{g Cm}^{-3} \text{ day}^{-1}$)

ปัจจัยต่างๆ ทางกายภาพที่ควบคุมผลผลิตนี้ ได้แก่ แสงสว่าง อุณหภูมิ ความเร็วของกระแสน้ำ เป็นต้น ส่วนปัจจัยทางชีวภาพได้แก่ อัตราการเจริญ และปฏิกิริยาการตอบโต้ระหว่างสิ่งมีชีวิตด้วยกัน นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารอาหารที่แพลงก์ตอนพืชจะนำไปใช้ได้หรือสารที่มีผลต่อการกระตุ้นการเจริญเติบโต (มนูดี, 2532) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส (Nipavan, 1984)

สารอาหารและผลผลิตปฐมภูมิในแนวปะการัง

สารอาหารที่มักทำการศึกษาในแนวปะการังได้แก่ ไนเตรต ($\text{NO}_3^- \text{-N}$) ไนไตรท์ ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) แอมโมเนีย ($\text{NH}_4^- \text{-N}$) และฟอสเฟตในรูปของออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) (Crossland, 1983 : D'Elia, 1977 : Kinsey and Davies, 1979 : Odum and Odum, 1955 : Pilon and Betzer, 1973: Wiebe et al., 1975) ส่วนใหญ่แล้วการศึกษาสารอาหารในแนวปะการัง จะกระทำในลักษณะที่เป็นการประเมินปริมาณใน

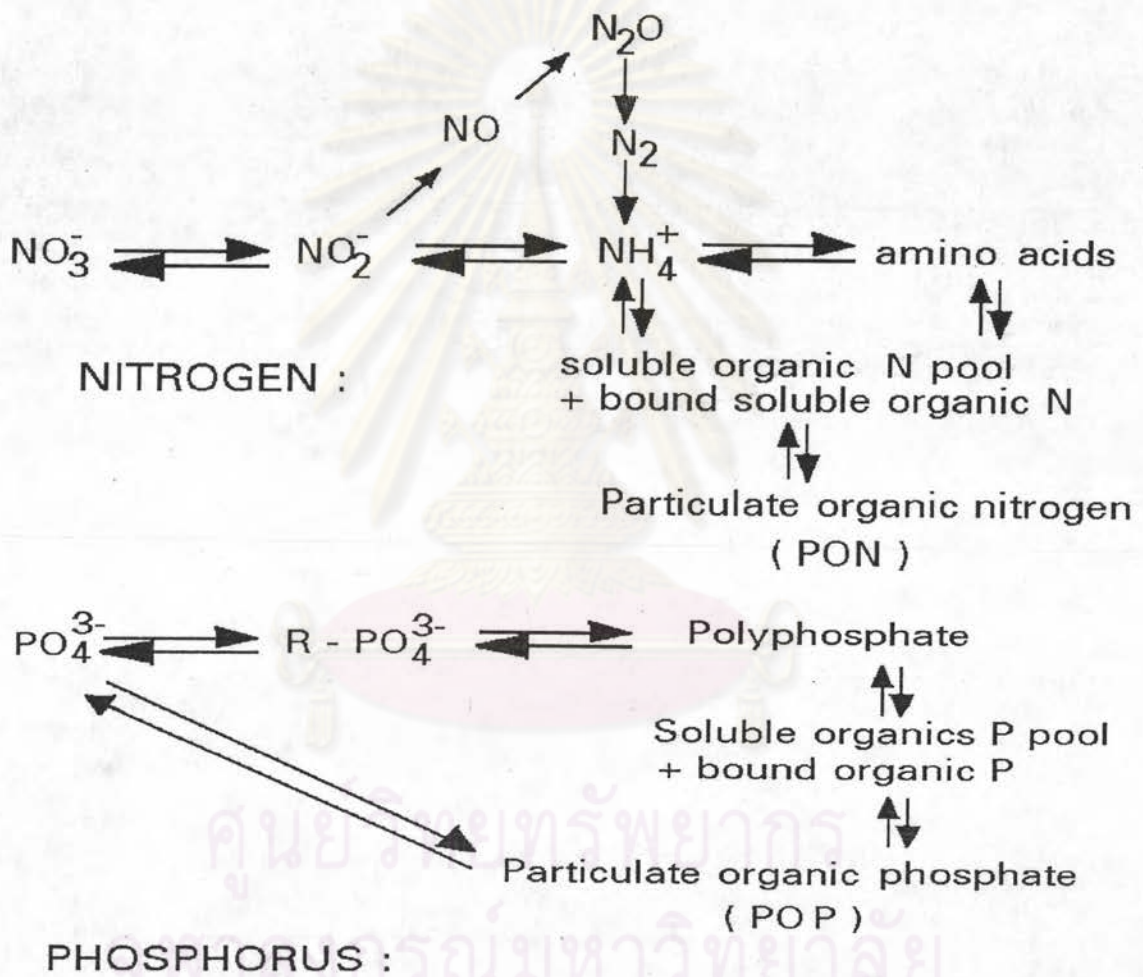
ลักษณะความเข้มข้นของสารอาหารต่อปริมาณน้ำในมวลน้ำ ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งในช่วงเวลาต่างๆ กัน รวมถึงการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหารในระดับความลึกต่างๆ แต่จากผลการศึกษาปริมาณสารอาหารในแนวปะการังบริเวณต่างๆพบว่ามียูในระดัที่ไมสูงมากนัก ดังในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 แสดงผลการศึกษาปริมาณสารอาหารในแนวปะการัง บริเวณต่างๆ
(หน่วยเป็น ไมโครกรัมอะตอมต่อลิตร)

สถานที่ศึกษา	สารอาหาร				ผู้ศึกษา
	ไนเตรท	ไนโตรท์	แอมโมเนีย	ฟอสเฟต	
Canton Atoll lagoon	0.02 - 2.4		0.09 - 1.30	0.03 - 0.45	Smith & Henderson (1973)
Enewetok Atoll					
- off shore	0.02		0.03		Smith & Joke (1955)
- reef 1	0.06 - 1.0			0.26 - 0.64	Odum & Odum (1955)
- reef 2	0.08 - 0.3		0.20 - 0.29		Webb <i>et al</i> (1975)
- reef 3	0.11 - 0.17		0.24 - 0.29	0.17	Johannes <i>et al</i> (1972)
- lagoon	0.07		0.28		Webb <i>et al</i> (1975)
Fanning Atoll	0.48 - 1.98				Krasnick (1973)
Tarawa Atoll	0.05 - 2.6		0.36	0.05 - 0.38	Johannes <i>et al</i> (1979)
Lizard Islands					
- offore	0.54	0.14	0.32	0.25	Crossland & Barnes (1983)
- windward reef	0.22 - 1.02	0.11 - 0.17	0.22 - 0.26	0.22 - 0.3	“
- lagoon	0.59 - 0.82	0.17	0.25 - 0.34	0.18 - 0.24	“
- leeward reef	0.54 - 0.58	0.07 - 0.14	0.23 - 0.38	0.15 - 0.23	“
Abrolhos Islands	0.79 - 5.17	0.01 - 0.50	0.07 - 11.0	0.16 - 2.92	Crossland & Barnes (1983)

ที่มา : Crossland, 1983

ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส จะถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อในสิ่งมีชีวิต ในขณะที่สารอื่นรวมถึงวิตามินที่ละลายน้ำ จะถูกปล่อยออกสู่น้ำทะเล โดยสิ่งมีชีวิตและพืชที่สังเคราะห์แสงได้ การสลายตัวของแพลงก์ตอนพืช จะทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนโมเลกุลของสารอาหารและจะถูกส่งต่อไปกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆต่อไป โดยเกิดขึ้นในลักษณะของวงจรชีวภาพของสารประกอบอินทรีย์ ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 แสดงการเปลี่ยนรูปของสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแนวปะการัง

(ที่มา : Crossland, 1983)

กระบวนการต่างๆดังกล่าวอาจเกิดขึ้นได้ด้วยสิ่งมีชีวิตหลายชนิดทำให้เกิดความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตขึ้นในระบบแนวปะการัง จึงอาจเป็นไปได้ว่าสารอาหารที่เข้ามาในระบบนิเวศแนวปะการังถูกนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิตบางชนิดที่มีการเจริญเติบโตในลักษณะที่ขึ้นกับฤดูกาลต่างๆ(Tanda,1974) ซึ่งสามารถเก็บให้อยู่ในรูปสารประกอบแร่ธาตุภายในตัวของสิ่งมีชีวิต แล้วจึงปลดปล่อยออกสู่น้ำภายหลังทำให้เกิดสมดุลของสารอาหารในบริเวณต่างๆ (Crossland,1983)

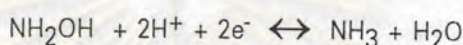
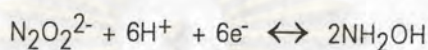
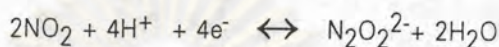
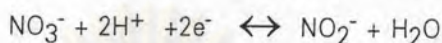
Andrew และ Muller (1983) ได้ทำการวัดค่าปริมาณสารอาหารในแนวปะการังบริเวณที่เป็นลากูน (Lagoonal patchreef) เปรียบเทียบกับในบริเวณที่มีอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงระหว่างน้ำที่อยู่ภายในลากูนซึ่งได้รับอิทธิพลของความเข้มของแสง และน้ำภายนอกลากูนซึ่งได้รับอิทธิพลของกระแสน้ำรอบนอก ในรอบ 48 ชั่วโมง สรุปว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหารในบริเวณ patch reef นอกจากจะขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงแล้ว ยังขึ้นอยู่กับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง และกระแสน้ำอีกด้วย

ในระบบนิเวศแนวปะการังนั้นจัดว่าเป็นบริเวณที่มีปริมาณสารอาหารเป็นปริมาณน้อยมาก แต่จัดว่าเป็นบริเวณที่มีปริมาณผลผลิตปฐมภูมิสูง Odum and Odum (1955) ได้ทำการศึกษาผลผลิตปฐมภูมิจากมีค่าประมาณ $1500 - 3500 \text{ g C/ m}^2 / \text{yr}$. ซึ่งตรงข้ามกับปริมาณผลผลิตที่ได้จากน้ำทะเลในบริเวณทะเลเปิดซึ่งมีค่าเพียง $18 - 50 \text{ g C/ m}^2 / \text{yr}$. ทั้งนี้เนื่องจากการมีความอุดมสมบูรณ์ของสิ่งมีชีวิตในแนวปะการังทำให้สามารถใช้สารอาหารซึ่งมีปริมาณเพียงเล็กน้อยในน้ำในการเจริญเติบโต โดยมีการสูญเสียออกนอกระบบน้อยที่สุดแสดงถึงความสัมพันธ์กันในระบบห่วงโซ่อาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการที่สาหร่ายซูแซนเทลย์ (zooxanthellae) ซึ่งเป็นสาหร่ายไดโนแฟลกเจลเลต(Dinoflagellate)พวกหนึ่ง ที่อาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อชั้นเอพิเดอร์มิส(epidermis)ของปะการังในปริมาณเพียง 10 % (Odum and Odum, 1955) และอยู่ร่วมกับปะการังในลักษณะของการพึ่งพา(Symbiosis) โดยเป็นผู้ให้อินทรีย์คาร์บอนแก่ปะการัง และสามารถใช้ของเสียที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของปะการัง ในรูปของ ไนเตรต ไนไตรท์ หรือ ฟอสเฟต ซึ่งสาหร่ายสามารถนำไปใช้ในกระบวนการสร้างเนื้อเยื่อโปรตีนของเซลล์ได้ เป็นผลให้เกิดการหมุนเวียนของสารอาหารและควบคุมการสร้างหินปูนของปะการัง (Lewis,1977) โดยมีการสูญเสียออกสู่มวลน้ำภายนอกแนวปะการังน้อยมาก สาหร่ายเซลล์เดียวหรือแพลงก์ตอนพืชที่ล่องลอยอยู่ในมวลน้ำก็สามารถนำสารอาหารเหล่านี้ไปใช้ได้ (Crossland,1983)

Ferrer และ Szman(1988) พบว่าในแนวปะการังที่มีปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำในปริมาณที่น้อยจะไม่เป็นปัจจัยจำกัดในการเจริญ โดยจะมีการหมุนเวียนสารอาหารกลับคืนสู่น้ำเนื่องจากการกระทำของปะการัง *Montastrea annulata*

กระบวนการในการนำไนเตรทจากมวลน้ำไปใช้โดยสาหร่ายซูแซนเทลย์จะมีอยู่สองขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 คือ สาหร่ายซูแซนเทลย์ สามารถรับไนเตรทจากมวลน้ำเข้าสู่เซลล์เมมเบรน โดยใช้การนำเข้าแบบแอกทีฟ ทรานสปอร์ต (Active transport) ซึ่งจะต้องใช้พลังงานในการขนส่ง ขั้นตอนที่ 2 คือ นำไนเตรทที่ได้เข้าไปเปลี่ยนรูปภายในเซลล์

ซึ่งกระบวนการทั้งสองนี้จะมีเอนไซม์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแตกต่างกัน ในขั้นตอนแรก จะต้องมีการแพร่โดยใช้พลังงานจาก ATP ผ่านเซลล์เมมเบรน และเมื่อเข้าถึงในเซลล์ เอนไซม์ไนเตรทรีดักเตส จะมาทำการรีดิวซ์ ไนเตรทให้เป็นไนไตรท์ ซึ่งในขั้นตอนนี้อาจจำเป็นต้องใช้พลังงานจากการสังเคราะห์แสง ในรูปของ NADH เข้ามาช่วยด้วย และเมื่ออยู่ในรูปของไนไตรท์แล้ว จึงจะเกิดการเปลี่ยนรูปให้เป็นแอมโมเนีย โดยมีการรีดิวซ์ของ เอนไซม์ไนไตรทรีดักเตส ร่วมกับเฟอร์ริดอกซินที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง สาหร่ายซูแซนทาเล่ย์เปลี่ยนรูปของไนโตรเจนดังนี้



หลังจากนั้นเซลล์ของสาหร่ายซูแซนทาเล่ย์ จึงจะได้มีการนำแอมโมเนียที่ได้ไปสร้างโปรตีนต่อไป (Hattori and Myers, 1966) ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า การนำไนเตรทไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนและเนื้อเยื่อของปะการังจำเป็นต้องเกิดในช่วงที่มีการสังเคราะห์แสง ในช่วงเวลาที่มีแสงเท่านั้น

ไนโตรเจนที่ละลายน้ำบางส่วนจะถูกตรึงโดยแบคทีเรีย การปลดปล่อยไนโตรเจนจากการขับถ่ายทิ้งของแข็งและของเหลวของสิ่งมีชีวิต การกระทำของคลื่นทำให้เกิดการแตกหักของสาหร่ายและถูกกินโดยสัตว์อื่น รวมถึงการปล่อยสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำจากสิ่งมีชีวิต (Mann, 1982)

Hatcher และ Hacher (1981) พบว่าในบริเวณ One tree reef lagoon มีปริมาณของไนเตรทไนไตรท์ และแอมโมเนีย จะมีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาลและมีความสัมพันธ์กันระหว่าง ผลผลิตการกลับคืน (regeneration) และกระบวนการใช้ประโยชน์ทางชีวภาพ (biological utilization)

Webb และคณะ (1975) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนที่ละลายน้ำและไนโตรเจนแขวนลอยในน้ำที่ไหลผ่าน Enewetok atoll พบว่าการเปลี่ยนแปลงของไนเตรทและแอมโมเนียจะมีมากในบริเวณที่มีการปกคลุมของปะการังหนาแน่น

ในบริเวณที่เป็นชุมชนของปะการัง (reef community) จะมีการเก็บสะสมของสารอาหารน้อยเมื่อเทียบกับบริเวณชายฝั่ง การรีดักชันของซัลเฟตในตะกอนจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการหมุนเวียนของสารอาหารอื่น เช่น ฟอสฟอรัส (Partrick and Khalid, 1974) นอกจากนี้ใน ชุมชนสิ่งมีชีวิตหน้าดินในแนวปะการัง (reef benthic community) การแลกเปลี่ยนฟอสเฟตจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเกิดขึ้นตลอด 24 ชั่วโมง (Attkinson, 1981)

D'Elia (1977) พบว่าปะการังที่ไม่มีสาหร่ายซูแซนทาเล่ย์ จะไม่สามารถนำฟอสเฟตจากน้ำทะเลเข้าสู่เซลล์ได้ จึงสรุปว่ากลไกในการหมุนเวียน (recycling) ฟอสฟอรัสจะต้องอาศัยความสัมพันธ์ในลักษณะที่เป็นซิมไบโอซิส ซึ่งจะช่วยให้ปะการังสามารถเจริญเติบโตได้ในที่มีปริมาณของฟอสฟอรัสต่ำ

โดยทั่วไปแล้วปะการังที่มีสาหร่ายซูแซนทาเล่ย์จะนำฟอสเฟตเข้าสู่เซลล์ในช่วงเวลาที่มีแสง และจะปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาในรูปของอินทรีย์ฟอสฟอรัสในตอนกลางคืน โดยที่การนำเข้าจะเกิดขึ้นช้ากว่าในช่วงที่มีแสง

Pomeroy (1970) กล่าวว่าในบริเวณชุมชนแนวปะการังจะมีสารอาหารไม่มากนักเมื่อเทียบกับบริเวณชายฝั่ง ทั้งนี้การเกิดรีดักชันของซัลเฟตในตะกอนก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับวงจรของฟอสฟอรัสด้วยเช่นกัน Patrich และ Khalid(1970) เสนอว่าควรที่จะมีการศึกษาและวิจัยถึงแหล่งที่มาของสารอาหารการสลายตัวรวมถึงการหมุนเวียนของสารอาหารในบริเวณต่างๆ เช่น บริเวณชายฝั่งในเขตอบอุ่นหรือเขตร้อนโดยเน้นถึงความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสและไนโตรเจน(Crossland,1983 อ้างตาม Pilson และ Betzer, 1973 : Pomeroy et.al.,1970 : Webb, 1975.)

สำหรับวงจรของฟอสฟอรัสใน Enewetok atoll จะเกิดขึ้นโดยไม่มีการสูญเสียฟอสฟอรัสออกภายนอกระบบได้เลย (Pilson และ Betzer,1973) ทั้งนี้เนื่องจากสภาพสังคมที่มีสาหร่ายปกคลุม โดยเกิดขึ้นเนื่องจากการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากสิ่งมีชีวิตในบริเวณนั้น ทำให้เกิดการสมดุลกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้โดยสิ่งมีชีวิต ทั้งนี้จะมีการใช้ฟอสฟอรัสโดยสาหร่ายในกระบวนการสังเคราะห์แสงในเวลากลางวันและจะสะสมฟอสฟอรัสในเวลากลางคืน (Mann,1982)

จึงกล่าวได้ว่าการหมุนเวียนของสารอาหารอยู่ในลักษณะที่เป็นวงจรปิดด้วยเหตุที่ Enewetok atoll มีไนโตรเจนที่ละลายน้ำออกไปจำนวนมาก (Margalef,1968) เนื่องจากมีการตรึงไนโตรเจนในน้ำมาก และถูกเปลี่ยนไปเป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำ แล้วถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของไนเตรทโดยแบคทีเรีย ทั้งนี้แอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทในที่สุด (Mann,1982) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าฟอสฟอรัสจะมีการหมุนเวียนที่แน่นอนทั้งในระหว่างปะการังและสาหร่ายซูแซนทาเล่ย์ แต่สำหรับการหมุนเวียนของไนโตรเจนจะแน่นอนน้อยกว่า มีการสูญเสียไนโตรเจนเกิดขึ้น

Nipavan,1983 ได้ทำการวิเคราะห์น้ำที่นำมาจากภายในถุงพลาสติกที่หุ้มปิดหัวปะการังพบว่ามีการปลดปล่อยของสารพวกฟอสเฟตและแอมโมเนียออกมาและหมุนเวียนภายในถุงพลาสติกเพื่อให้แพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ได้

ผลผลิตปฐมภูมิอาจเกิดขึ้นได้จากพืชในทะเลหลายชนิด เช่น สาหร่ายซูแซนทาเล่ย์ สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเส้นใยที่ติดบนโครงสร้างของปะการัง สาหร่ายสีแดงและสีน้ำตาล สาหร่ายที่สร้างแนวหินปูนได้ หนูกทะเล Benthic diatom และแพลงก์ตอนพืช (Larkum ,1983 : Lewis, 1977อ้างโดย Mann, 1982) พบว่าผลผลิตที่เกิดจากสาหร่ายซูแซนทาเล่ย์มีบทบาทสำคัญที่สุดในการเกิดผลผลิตปฐมภูมิ(Larkum,1983และ Mann,1982)

โดยทั่วไปแล้ว การประเมินผลผลิตรวมของน้ำที่อยู่ในบริเวณแนวปะการังจะอยู่ในระหว่าง 300 - 5000 g Cm⁻² yr⁻¹ ดังในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 แสดงปริมาณผลผลิตปฐมภูมิที่เกิดขึ้นในแนวปะการัง บริเวณต่างๆ

สถานที่	Gross production $\text{g Cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$	Community Respiration $\text{g Cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$	P / R	ผู้ศึกษา
Hawaiian coral reef	7300	12370	0.59	Gordon & Kelly (1962)
Coconut Island				
Fringing coral reef	2427	2200	1.1	Kohn & Helfrich (1957)
Eniwetok Atoll , Marshall Is.	4200	4200	1.0	Odum & Odum (1955)
El. Mario reef , Puertorico	4450	4100	1.1	Burkhold & Rivero (1959)
Atoll Marshall Island				
Kavaratti lagoon	4715	3482	1.3	Qasim & Sankaranayana (1970)
Laccadives				
Bemini lagoon , British	319	205	1.5	Odum & Hoskin (1958)
Turttle grass bed	3880	2740	1.4	Odum (1957)
Long Key , Florida				
Turtle grass bed	980	1290	0.8	Burkhold & Rivero (1959)
West La Gata reef				
turtle grass bed	1350	1500	0.9	Burkhold & Rivero (1959)
Isla Magueyes , Puertorico				
One Tree Island , lagoon reef	1387	1314	1.1	Kinsey (1972)
Eniwetok Atoll				
- Agal flat	4234	2190	1.9	Smith & Marsh (1973)
- coral agal flat	2190	2190	1.0	“
- windward reef flat	3285	2190	1.5	Smith (1974)
- Agal flat	5329	2190	2.4	“
Guam				
- reef flat	6900	2600	2.6	Marsh (1974)

ที่มา : Lewis, (1977)

แม้ว่าการนำเข้าและการปลดปล่อยจะเกิดขึ้นในปริมาณไม่มากนัก อัตราการนำเข้าของฟอสเฟตจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณฟอสเฟตที่มีในน้ำทะเลโดยรอบ (ambient water) (Atkinson,1987) อาจกล่าวได้ว่าสิ่งจำกัดการสังเคราะห์แสงของแนวปะการังไม่เฉพาะเพียงแต่ความเข้มแสง อุณหภูมิ และสารอนินทรีย์คาร์บอนในสภาพแวดล้อม แต่สิ่งที่สำคัญก็คือปริมาณสารอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจน และฟอสฟอรัสซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการจำกัดผลผลิต (Crossland,1983 อ้างโดย Larkum,1983)

Anond,(1987) กล่าวว่าอัตราส่วนที่พอเหมาะของปริมาณสารอาหารในรูปของฟอสฟอรัส และไนโตรเจน มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญกับการเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์คาร์บอนในสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้ผลิตปฐมภูมิในแนวปะการัง



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย