บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

แพลงก์ตอนพืชมีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำ แพลงก์ตอนพืชนำธาตุอาหารที่เป็นอนินทรีย์สารมาใช้ประโยชน์ในการดำรงชีวิต ต่อจากนั้นธาตุอาหารก็จะถูกถ่ายทอดไปยังสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ตามสายใยอาหาร นอกจากเป็นจุดเริ่มต้นของสายใยอาหารในแหล่งน้ำแล้วแพลงก์ตอนพืชยังมีความสำคัญต่อมนุษย์ทั้งโดยทางตรงและทางอ้อมอีกมากมาย เช่น ใช้เป็นอาหาร ใช้ในอุตสาหกรรม ใช้ในการศึกษาและทดลองทางวิทยาศาสตร์ ใช้ในการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน เป็นต้น (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542; ธิดา เพชรมณี, 2542)

อย่างไรก็ตามแพลงก์ตอนพืชสามารถสร้างผลเสียให้กับแหล่งน้ำ และในบางกรณีอาจก่อให้เกิดอันตรายกับมนุษย์ด้วย การเบ่งบานหรือการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืช (algal bloom) ในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์มากเกินไปหรือยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) อาจนำไปสู่การลดต่ำลงและหมดไปของออกซิเจนละลาย (hypoxia/anoxia) ทำให้สิ่งมีชีวิตต่างๆ ตายเป็นจำนวนมาก (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2546; Iversen *et al.*, 1998; Sherman, 2000) การสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชที่เป็นพิษยังสร้างความเสี่ยงให้กับสาธารณชน เพราะพิษอาจไปสะสมอยู่ในสัตว์น้ำที่เป็นอาหารของมนุษย์โดยเฉพาะในหอย เมื่อบริโภคเข้าไปจะทำให้ร่างกายเป็นอัมพาตหรือท้องร่วงได้ (Wu, 1999) หรือไมโครซีสตีสที่สะพรั่งในแหล่งน้ำจืดสามารถสร้างสารพิษที่ก่อให้เกิดมะเร็งในตับและก่อให้เกิดลักษณะทางพยาธิสภาพต่อทางเดินอาหาร เกิดอาการท้องเสีย คลื่นไส้อาเจียน และตับอักเสบ (ธีรศักดิ์ สมดี, 2545)

โดยทั่วไปการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชเกี่ยวข้องกับหลายปัจจัย เช่น ธาตุอาหาร แสง และอุณหภูมิ เป็นต้น ในประเทศไทยแสงและอุณหภูมิไม่ใช่ปัจจัยจำกัด ดังนั้นธาตุอาหารจึงได้รับความสนใจมากกว่าปัจจัยอื่นๆ เนื่องจากการควบคุมปริมาณธาตุอาหารที่จะลงสู่แหล่งน้ำสามารถลดการเกิดยูโทรฟิเคชันได้ (Ryding and Rast, 1989; Wu and Chou, 2003)

ทะเลสาบสงขลาเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติที่สำคัญแห่งหนึ่งของประเทศไทย ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากทะเลสาบสงขลาในหลายๆ ด้านด้วยกัน ทั้งการประมง การเกษตรกรรม และเพื่อการอุปโภคและบริโภค เป็นต้น โดยเฉพาะในด้านการประมงนั้นทรัพยากรประมงในทะเลสาบสงขลาสามารถสร้างอาชีพและรายได้ให้แก่ประชาชนที่อาศัยอยู่รอบๆ ทะเลสาบกว่า 8,000 ครอบครัว (อังสุนีย์ ชุณหปราณ และคณะ, 2539) นอกจากนั้นทะเลสาบสงขลายังเป็นแหล่งเลี้ยงปลาในกระชังและกุ้งทะเลที่สำคัญ โดยมีกระชังเลี้ยงปลาอยู่ประมาณ 4,000 กระชัง และพื้นที่เลี้ยงกุ้งทะเลกว่า 8,000 ไร่ (ภาสกร ถมพลกรัง และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2542) ส่วนรอบๆ ทะเลสาบสงขลามีประชากรอาศัยอยู่กว่า 1.5 ล้านคน มีชุมชนขนาดใหญ่ตั้งอยู่หลายชุมชน เช่น เทศบาลนครสงขลา เทศบาลนครหาดใหญ่ และเทศบาลเมืองพัทลุง เป็นต้น (โครงการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา, 2542) บริเวณทะเลสาบสงขลายังเป็นแหล่งอุตสาหกรรมที่สำคัญโดยเฉพาะในพื้นที่ของจังหวัดสงขลา ซึ่งมีโรงงานอุตสาหกรรมกว่า 1,500 โรง (นุกูล อินทระสังขา และคณะ, 2546)

อย่างไรก็ตามการใช้ทรัพยากรต่างๆ บริเวณทะเลสาบสงขลายังไม่ได้มีการจัดการให้เป็นระบบอย่างมีประสิทธิภาพและไม่ได้อยู่บนพื้นฐานของการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน (Kamnalrat *et al.*, 1994 อ้างตามเสาวภา อังสุภานิช และคณะ, 2543) เช่น ยังมีการปล่อยน้ำเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมที่ยังไม่ได้บำบัดลงสู่ทะเลสาบสงขลาโดยตรง หรือการเลี้ยงกุ้งทะเลที่ทิ้งน้ำโดยไม่มีการบำบัด เป็นต้น จากรายงานของ Emsong project (1998a) พบว่า ในปี 2535 มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และของเสียในรูปบีโอดีจากแหล่งต่างๆ ลงสู่ทะเลสาบสงขลา 4,165, 647 และ 6,711 ตัน ตามลำดับ ส่งผลให้สภาพแวดล้อมในทะเลสาบสงขลาเสื่อมโทรมลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทะเลหลวงและทะเลสาบตอนกลางซึ่งพบว่ามีธาตุอาหารสูงและเกิดยูโทรฟิเคชัน (โครงการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา, ม.ป.ป.) ซึ่งยูโทรฟิเคชันที่เกิดขึ้นทำให้สัตว์น้ำในทะเลสาบสงขลาตายอยู่บ่อยครั้ง (นิคม ละอองศิริวงศ์ และคณะ, 2547)

ที่ผ่านมาได้มีรายงานถึงธาตุอาหารที่จำกัดมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชอยู่บ้างแล้ว แต่ยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจน ประกอบกับสถานการณ์ในปัจจุบันเกิดยูโทรฟิเคชันในทะเลสาบสงขลาค่อนข้างรุนแรง จึงได้ศึกษาธาตุอาหารที่เป็นปัจจัยจำกัดมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชในทะเลสาบสงขลา

การตรวจเอกสาร

1. ธาตุอาหาร

1.1 ความหมายและความสำคัญของธาตุอาหาร

ธาตุอาหาร (nutrients) คือ ธาตุต่างๆ ที่สิ่งมีชีวิตต้องการเพื่อสร้างโครงสร้างและ/หรือใช้ในกระบวนการเมตาโบลิซึม (Dennision, 1993) ธาตุอาหารอาจเรียกอีกชื่อหนึ่งได้ว่า " สิ่งกระตุ้นชีวิต (Biostimulant) " (Tchobanoglous and Schroeder, 1987) ธาตุอาหารที่สิ่งมีชีวิตต้องการมีประมาณ 40 ชนิด แบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ ธาตุหลัก (macroelements) กับธาตุรอง (microelements หรือ trace elements) ธาตุอาหารในกลุ่มแรกสิ่งมีชีวิตต้องการในปริมาณมาก เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซิลิคอน เป็นต้น ส่วนธาตุอาหารรองสิ่งมีชีวิตต้องการในปริมาณน้อย เช่น ทองแดง แมงกานีส โคบอลต์ สังกะสี คลอรีน และวิตามินต่างๆ เป็นต้น (Harper, 1992; Andrew and Jackson, 1996)

ธาตุอาหารให้องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต (Andrew and Jackson, 1996) เช่น คาร์บอนเป็นองค์ประกอบของชีวโมเลกุล ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักของโปรตีน กรดนิวคลีอิก และคลอโรฟิลล์ ฟอสฟอรัสพบในอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate, ATP) และกรดนิวคลีอิก ซิลิคอนเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ของไดอะตอม เป็นต้น (Connell and Hawker, 1991)

ธาตุอาหารเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ปริมาณแพลงก์ตอนพืชจึงสัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหาร (Gowen *et al.*, 2000; Nielsen *et al.*, 2002) เมื่อปริมาณไนโตรเจนและ/หรือฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำเพิ่มสูงขึ้นจึงทำให้เกิดการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืช (Triantafyllo *et al.*, 2001)

1.2 ไนโตรเจน

1.2.1 ความสำคัญและที่มาของไนโตรเจนในแหล่งน้ำ

ไนโตรเจนเป็นหนึ่งในธาตุอาหารหลักที่ควบคุมผลผลิตขั้นต้นของแหล่งน้ำ รวมถึงทะเลเปิด และทะเลชายฝั่ง เนื่องจากเป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช (Boynton *et al.*, 1982)

แหล่งที่มาของไนโตรเจนในแหล่งน้ำ คือ น้ำชะจากแหล่งเกษตรกรรม น้ำทิ้งจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม (อุดร จารุรัตน์ และคณะ, 2545) จากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (FAO, 1991) ตลอดจนมาจากตะกอนพื้นท้องน้ำ (Flint, 1985)

1.2.2 รูปของไนโตรเจนในแหล่งน้ำ

ไนโตรเจนที่พบในแหล่งน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูป คือ รูปที่ละลายน้ำ (dissolved form) กับรูปที่เป็นอนุภาค (particulate form) (ตาราง 1 - 1) ไนโตรเจนที่ละลายน้ำยังแบ่งออกได้เป็นไนโตรเจนอินทรีย์ละลายน้ำ (dissolved organic nitrogen, DON) กับไนโตรเจนอนินทรีย์ละลายน้ำ (dissolved inorganic nitrogen, DIN) (Allan, 1995) ไนโตรเจนอินทรีย์ละลายน้ำประกอบด้วยสารประกอบที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน เช่น ยูเรีย กรดอะมิโนต่างๆ ไปจนถึงสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อน เช่น โปรตีน กรดฮิวมิก เป็นต้น ซึ่งไนโตรเจนอินทรีย์ละลายน้ำบางชนิดแพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ได้ (Anderson *et al.*, 2002)

ไนโตรเจนอนินทรีย์ละลายน้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท แอมโมเนียมี 2 รูป คือ รูปที่มีประจุ (NH_4^+) และไม่มีประจุ (NH_3) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาได้ขึ้นอยู่กับพีเอช อุณหภูมิ และความแรงของไอออน (ionic strength) โดยพีเอชมีอิทธิพลสูงสุด เมื่อพีเอชสูงขึ้นปริมาณของแอมโมเนียที่ไม่มีประจุจะเพิ่มมากขึ้น (Matthews *et al.*, 2000) ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีจะให้ผลรวมของแอมโมเนียทั้งที่มีประจุและไม่มีประจุ (NH_3+ NH_4^+) (Lawson, 1995) สำหรับไนโตรเจนอินทรีย์ในอนุภาค (particulate organic nitrogen, PON) เป็นไนโตรเจนที่อยู่ในสิ่งมีชีวิตและตะกอนสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำ ไนโตรเจนในรูปนี้ส่วนหนึ่งจะตกตะกอนสู่พื้นท้องน้ำ แต่อีกส่วนหนึ่งจะเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กรวมถึงแบคทีเรีย (ดารณี หันหาบุญ, 2526)

ตาราง 1 - 1 รูปของไนโตรเจนที่พบในน้ำ

Dissolved inorganic nitrogen (DIN)		
Nitrate (NO_3^-)	Total dissolved nitrogen(TDN)	Total nitrogen (TN)
Nitrite (NO_2^-)		
Total ammonia (NH_3 + NH_4^+)		
Dissolved organic nitrogen (DON)		
Particulate organic nitrogen (PON)		

ที่มา : ดัดแปลงจาก Allan (1995)

1.2.3 ความเข้มข้นของไนโตรเจนในแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำโดยทั่วไปจะมีแอมโมเนียรวม ไนไตรท์ หรือไนเตรทในความเข้มข้นที่ต่ำ แหล่งน้ำที่ไม่มีมลภาวะมีแอมโมเนียและไนเตรทน้อยกว่า 0.10 มก./ล. ขณะที่ไนไตรท์มีค่าเพียง 0.001 มก./ล. เท่านั้น (Chapman, 1996) นิคม ละอองศิริวงศ์ และคณะ (2544) รายงานว่า แหล่งน้ำในจังหวัดสงขลามีความเข้มข้นของแอมโมเนียรวม ไนไตรท์ และไนเตรทน้อยกว่า 0.05, 0.005 และ 0.05 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นของไนเตรทมีค่าใกล้เคียงกับอ่าวปัตตานี (ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และคณิต ไชยาคำ, 2537) ส่วนไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งจังหวัดสงขลาและจันทบุรีมีค่าใกล้เคียงกัน เฉลี่ย 0.38 - 0.45 มก/ล. (พุทธ ส่องแสงจินดา และคณะ, 2543; นิคม ละอองศิริวงศ์ และคณะ, 2544)

ไนโตรเจนที่พบในแหล่งน้ำส่วนใหญ่เป็นไนโตรเจนละลายน้ำ จากการศึกษาของพุทธ ส่องแสงจินดา และคณะ (2543) พบว่า น้ำทะเลที่ไหลเข้าอ่าวคุ้งกระเบนมีไนโตรเจนละลายน้ำถึง 90.9% ของไนโตรเจนรวม ส่วนที่เหลือเป็นไนโตรเจนอินทรีย์ในอนุภาค ขณะที่น้ำทะเลในอ่าวคุ้งกระเบนมีสัดส่วนของไนโตรเจนละลายน้ำ 78.8% และไนโตรเจนอินทรีย์ในอนุภาค 21.2% เนื่องจากได้รับผลกระทบจากน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง นิคม ละอองศิริวงศ์ และคณะ (2544) พบว่า บริเวณชายฝั่งทะเลของจังหวัดสงขลาพบไนโตรเจนอนินทรีย์ละลายน้ำในรูปของไนเตรทเป็นส่วนใหญ่ ขณะที่ลำคลองต่างๆ เช่น คลองปากระวะ - ท่าเข็น คลองดูหยง หรือแม้แต่ทะเลสาบสงขลาบางบริเวณ เช่น บริเวณบ้านคูเต่า พบไนโตรเจนอนินทรีย์ละลายน้ำในรูปของแอมโมเนียมากกว่ารูปอื่นๆ

1.2.4 วัฏจักรของไนโตรเจนในแหล่งน้ำ

ไนโตรเจนเปลี่ยนรูปไปมาระหว่างไนโตรเจนอนินทรีย์ละลายน้ำทั้งสามรูป ไนโตรเจนอินทรีย์ละลายน้ำ และไนโตรเจนในสิ่งมีชีวิต (Hansen and Koroleff, 1999) แพลงก์ตอนพืชใช้แอมโมเนีย ไนเตรท และไนไตรท์ ซึ่งเป็นไนโตรเจนอนินทรีย์ละลายน้ำเพื่อสร้างโปรตีน กระบวนการดังกล่าวเรียกว่า การรับเข้าไว้ทางชีวภาพ (biological assimilation) หลังจากนั้นไนโตรเจนก็จะถูกถ่ายทอดไปตามสายใยอาหาร การย่อยสลายสิ่งมีชีวิตโดยแบคทีเรียจะทำให้ได้ไนโตรเจนกลับคืนสู่มวลน้ำในรูปของแอมโมเนีย นอกจากนั้นแอมโมเนียในมวลน้ำส่วนหนึ่งยังได้มาจากการขับถ่ายของสิ่งมีชีวิต ซึ่งการขับถ่ายของสิ่งมีชีวิตยังปล่อยไนโตรเจนอินทรีย์ละลายน้ำพวกยูเรียออกมาด้วย ในสภาวะที่มีออกซิเจนแอมโมเนียจะถูกแบคทีเรียกลุ่มไนโตรโซโมแนส (nitrosomonas) และไนโตรแบคเตอร์ (nitrobactor) ออกซิไดส์ไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับ (nitrification) นอกจากนั้นไนโตรเจนในแหล่งน้ำยังได้มาจากการตรึงจาก

บรรยากาศ (nitrogen fixation) โดยแพลงก์ตอนพืชกลุ่มสีน้ำเงินแกมเขียวและแบคทีเรียบางชนิด

เมื่อแพลงก์ตอนพืชและสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำตาย ส่วนหนึ่งจะตกตะกอนสู่พื้นท้องน้ำ การย่อยสลายซากเหล่านี้ที่ผิวหน้าตะกอนเกิดขึ้นเช่นเดียวกันกับในมวลน้ำ(ภาพประกอบ 1 - 1) แต่บริเวณที่ลึกลงไปเป็นชั้นขาดออกซิเจน (anoxic condition) แบคทีเรียจะรีดิวส์ไนเตรทไปเป็นไนไตรท์ ไนตรัสออกไซด์ และแก๊สไนโตรเจน (denitrification) ซึ่งแก๊สไนโตรเจนจะแพร่สู่มวลน้ำได้เช่นเดียวกับแอมโมเนีย ไนเตรท และไนไตรท์ ดังนั้นสารประกอบไนโตรเจนในแหล่งน้ำจึงมีการแลกเปลี่ยนระหว่างมวลน้ำ ชั้นตะกอนผิวหน้า และชั้นตะกอนที่ลึกลงไปที่ไม่มีออกซิเจน

1.3 ฟอสฟอรัส

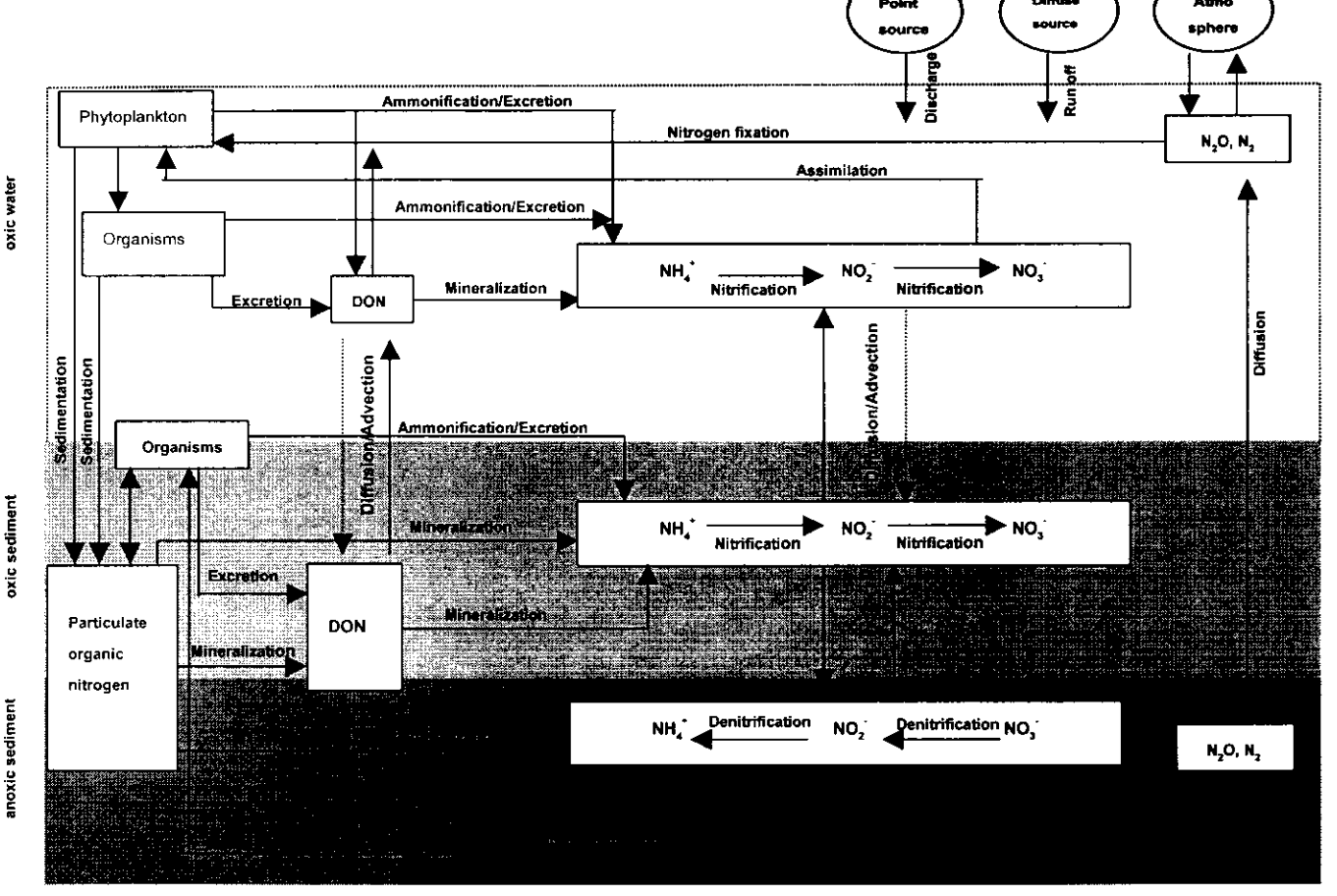
1.3.1 ความสำคัญและที่มาของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีความสำคัญมากในระบบนิเวศวิทยา ทั้งนี้เพราะฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดนิวคลีอิกและสารรับ - ส่งพลังงานในเซลล์สิ่งมีชีวิต ฟอสฟอรัสจึงพบในสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่ควบคุมผลผลิตของแหล่งน้ำจืด (Welch, 1992) รวมถึงแหล่งน้ำกร่อยและทะเลเปิดบางแห่ง เช่น อ่าวฟลอริดา (Florida bay) (Fourqurean *et al.*, 1993) ทะเลเซียเมน (Xiamen sea) (Hong *et al.*, 1999) เป็นต้น

ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำอาจได้มาจากน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม น้ำทิ้งจากเกษตรกรรม (อุดร จารุรัตน์ และคณะ, 2545) น้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (FAO, 1991) และจากตะกอนเช่นเดียวกับไนโตรเจน นอกจากนี้ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำยังได้มาจากการผุพังตามธรรมชาติ (weathering) ของหินฟอสเฟต (Burton, 1976)

1.3.2 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำค่อนข้างขาดแคลนฟอสฟอรัสเมื่อเทียบกับธาตุอาหารหลักอื่นๆ เนื่องจากเปลือกโลกมีฟอสฟอรัสอยู่น้อย อีกทั้งแร่ฟอสเฟตมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ไม่ดี ฟอสฟอรัสไม่อยู่ในรูปของแก๊สแตกต่างจากคาร์บอนและไนโตรเจน นอกจากนั้นฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำมีแนวโน้มถูกอนุภาคที่มีขนาดเล็กดูดซับเอาไว้ได้ง่าย (Chapra, 1997) ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำจึงค่อนข้างต่ำ จากการศึกษาของพุทธ ส่องแสงจินดา และคณะ (2536) พบว่า ชายฝั่งทะเลตั้งแต่อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ถึงอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราชที่ระยะห่างจากฝั่ง 100 เมตร มีค่าเฉลี่ย 0.001 - 0.004 มก./ล. แต่ในลำคลอง



ภาพประกอบ 1 - 1 วัฏจักรของไนโตรเจนในแหล่งน้ำกร่อย

ที่มา : ดัดแปลงจาก Santschi *et al.* (1990)

น้ำกร่อยมีฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำสูงกว่า เช่น คลองปากระวะ - ท่าเข็น คลองสะกอม และคลองตูหยงในจังหวัดสงขลามีค่าเฉลี่ย 0.002 - 0.028 มก./ล. (นิคม ละอองศิริวงศ์ และคณะ, 2544)

แหล่งน้ำผิวดินโดยทั่วไปมีสัดส่วนของฟอสฟอรัสละลายน้ำกับฟอสฟอรัสในอนุภาคใกล้เคียงกัน (นิคม ละอองศิริวงศ์ และคณะ, 2544) ขณะที่แหล่งน้ำที่มีการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชจะมีสัดส่วนของฟอสฟอรัสในอนุภาคมากกว่าฟอสฟอรัสละลายน้ำอย่างเห็นได้ชัด (Matsuda *et al.*, 1975) ส่วนฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำมีประมาณ 3 - 40% ของฟอสฟอรัสรวม ซึ่งน้อยกว่าสัดส่วนของฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำหรือฟอสฟอรัสในอนุภาค (นิคม ละอองศิริวงศ์ และคณะ, 2544; Fourqurean *et al.*, 1993; Conley *et al.*, 1995)

ตาราง 1 - 2 รูปของฟอสฟอรัสที่พบในน้ำ

Dissolved inorganic phosphorus (DIP) หรือ orthophosphate (PO_4^{3-})	Total dissolved phosphorus (TDP)	Total phosphorus (TP)
Dissolved organic phosphorus (DOP)		
Particulate phosphorus (PP)		

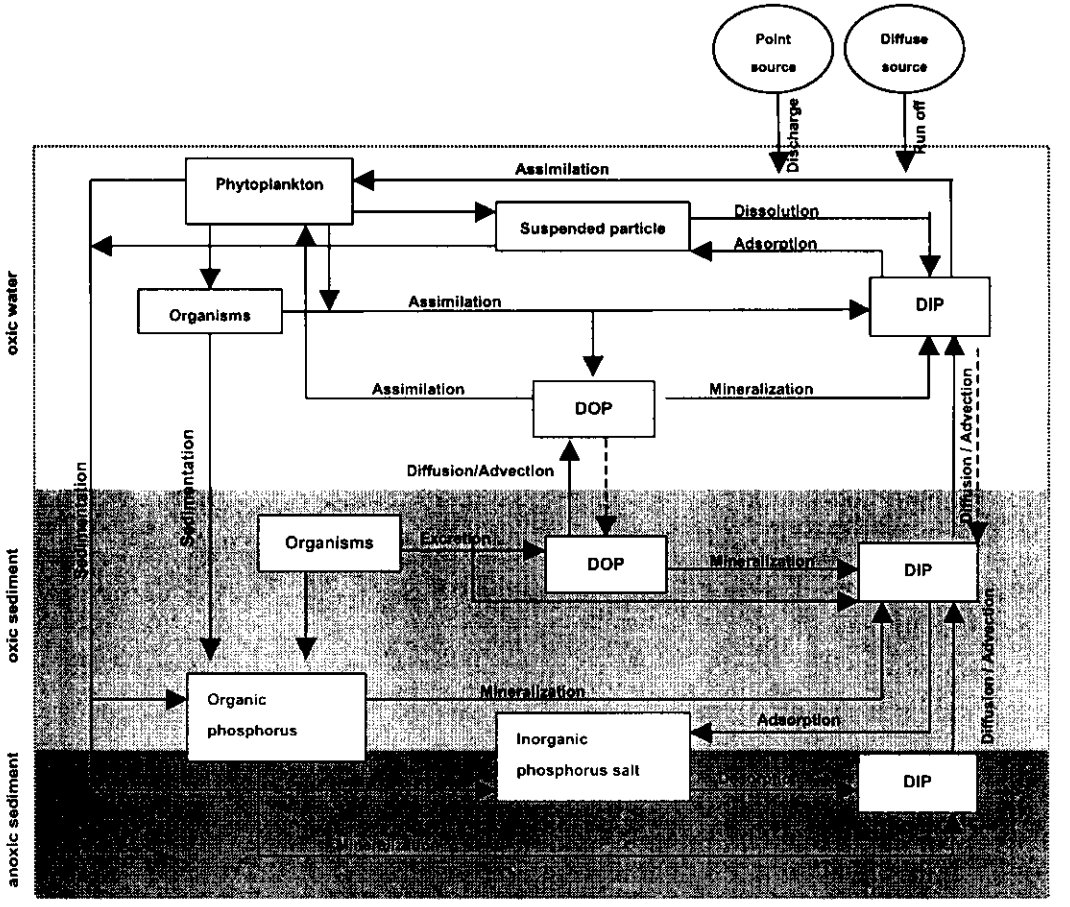
ที่มา : ดัดแปลงจาก Allan (1995)

1.3.3 วัฏจักรของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ

ฟอสฟอรัสเปลี่ยนรูปไปมาระหว่างรูปที่เป็นสารอนินทรีย์ละลายน้ำ สารอินทรีย์ละลาย และฟอสฟอรัสในสิ่งมีชีวิตเช่นเดียวกับไนโตรเจน (Hansen and Koroleff, 1999) แพลงก์ตอนพืชใช้ฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำเพื่อสร้างองค์ประกอบของเซลล์ ฟอสฟอรัสจึงเปลี่ยนรูปเป็นฟอสฟอรัสในอนุภาค เมื่อสิ่งมีชีวิตในน้ำขับถ่ายหรือระหว่าง cell lysis ก็จะมีการปล่อยฟอสฟอรัสในรูปของฟอสฟอรัสอนินทรีย์และฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำออกมา ซึ่งฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำจะถูกแบคทีเรียย่อยสลายกลายเป็นฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ

วัฏจักรฟอสฟอรัสยังเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปทางเคมี - ฟิสิกส์ (physico - chemical transformation) ฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำจะถูกอนุภาคดินเหนียว (clays) หรืออนุภาคอินทรีย์ต่างๆ (organic particles) ที่มีประจุดูดซับเอาไว้ (adsorp) และถูกปล่อยออกมาหากมวลน้ำมีฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำต่ำ (desorp) นอกจากนั้นภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนทั้ง

ฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำและฟอสฟอรัสอินทรีย์จะรวมกับโลหะออกไซด์และโลหะไฮดรอกไซด์ตกตะกอนสะสมอยู่ที่พื้นท้องน้ำ ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนตะกอนจะปล่อยฟอสฟอรัสเหล่านี้สู่มวลน้ำ ฟอสฟอรัสที่ถูกอนุภาคดูดซับไว้หรือฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในตะกอนจึงทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ควบคุมความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำในมวลน้ำ (Correll, 1998)



ภาพประกอบ 1 - 2 วัฏจักรของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำกร่อย

ที่มา : ดัดแปลงจาก Ahlgren *et al.* (1988)

2. สภาพทั่วไปของทะเลสาบสงขลา

2.1 ลักษณะทั่วไปของทะเลสาบสงขลา

ทะเลสาบสงขลาเป็นทะเลสาบธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศไทย มีพื้นที่ประมาณ 1,018 ตารางกิโลเมตร (โครงการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา, 2542) ตั้งอยู่ทางตอนล่างของภาคใต้ของประเทศไทยระหว่างจังหวัดสงขลาและจังหวัดพัทลุง

ทะเลสาบสงขลามีลักษณะเป็นลากูน (lagoon) โดยมีช่องเปิดติดต่อกับอ่าวไทยอยู่ระหว่างอำเภอเมืองสงขลากับอำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา ความเค็มของน้ำในทะเลสาบสงขลาแต่ละพื้นที่จึงแตกต่างกันขึ้นกับฤดูกาลและระยะห่างจากปากทะเลสาบ (Angsupanich, 1994) ทะเลสาบสงขลาเชื่อมติดต่อกับคลองต่างๆ หลายสาย ที่สำคัญ เช่น คลองอู่ตะเภา คลองพะวง คลองป่าพะยอม คลองนาท่อม และคลองท่าเชียด เป็นต้น ส่วนก้นทะเลสาบมีลักษณะแบนคล้ายกระทะ (เพราพรรณ แสงสกุล, 2529)

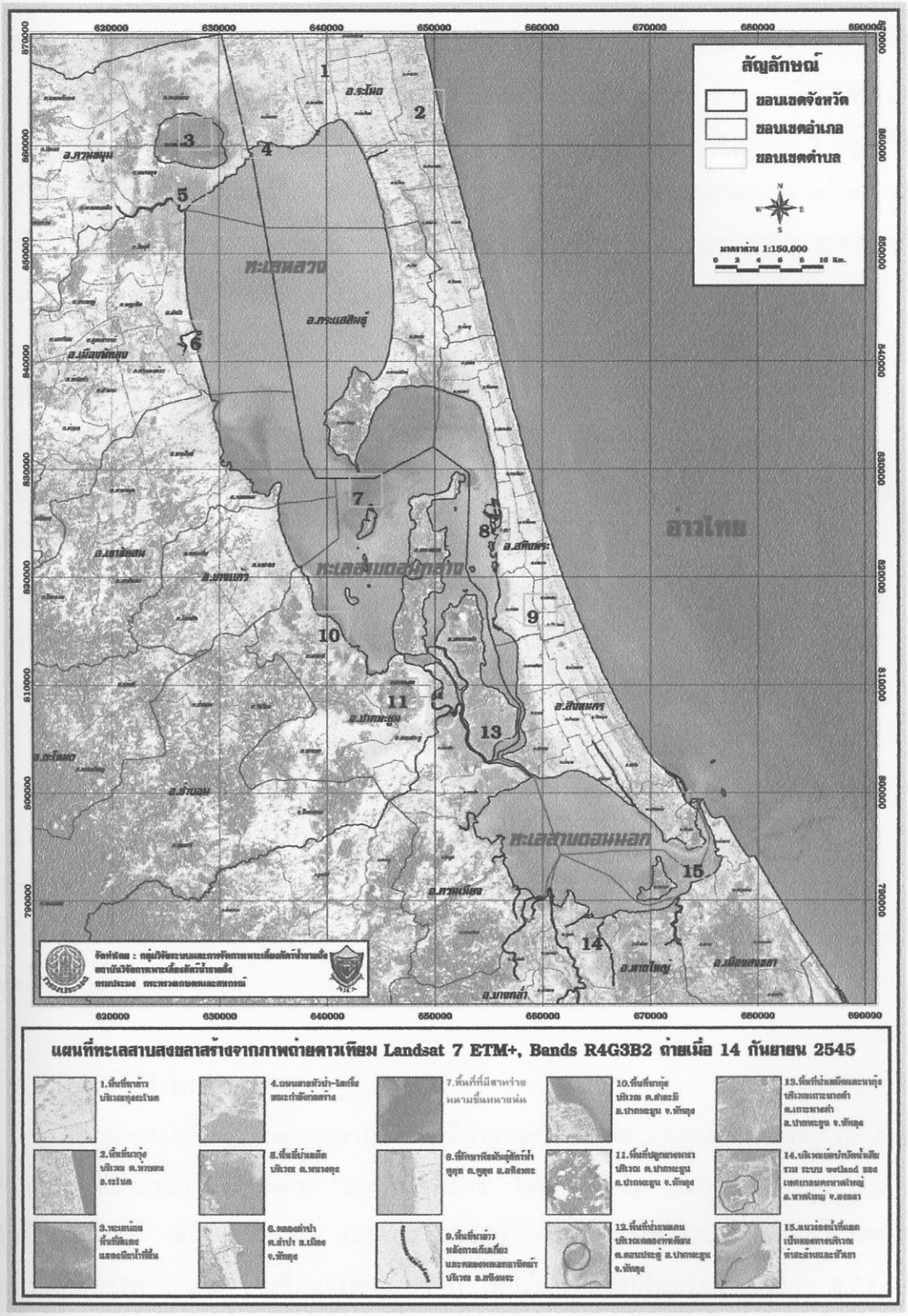
ทะเลสาบสงขลาแบ่งตามลักษณะทางนิเวศวิทยาและตามความเค็มของน้ำที่แตกต่างกันได้ 3 ส่วน ดังนี้ (ภาพประกอบ 1 - 3)

1) ทะเลสาบตอนนอก (Outer Lake หรือ Lower Lake) ทะเลสาบส่วนนี้เป็นส่วนที่อยู่นอกสุด มีอาณาเขตตั้งแต่บริเวณเชื่อมต่อกับอ่าวไทยหรือที่เรียกกันทั่วไปว่าปากทะเลสาบไปจนถึงปากคลองหลวง (คลองปากรอ) ทะเลสาบตอนนอกมีสภาพเป็นน้ำกร่อยเกือบตลอดทั้งปีและมีความเค็มสูงกว่าทะเลสาบส่วนอื่นๆ

2) ทะเลสาบตอนกลาง (Middle Lake) หรือทะเลสาบ เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากทะเลสาบตอนนอกจนถึงตำบลเกาะใหญ่ อำเภอกระแสสินธุ์ จังหวัดสงขลา และตำบลแหลมจองถนน อำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง แม้ว่าทะเลสาบส่วนนี้จะเป็นน้ำกร่อยเกือบตลอดทั้งปีเช่นเดียวกับทะเลสาบตอนนอก แต่จะมีความเค็มต่ำกว่า

3) ทะเลหลวง (Thale Luang) เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากทะเลสาบตอนกลางเข้าไปข้างใน ในอดีตทะเลสาบส่วนนี้เป็นน้ำจืดเกือบตลอดทั้งปี (เริงชัย ตันสกุล, 2536) แต่ปัจจุบันส่วนใหญ่มีสภาพเป็นน้ำกร่อยเกือบตลอดทั้งปี (นิคม ละอองศิริวงศ์ และคณะ, 2547)

สำหรับทะเลน้อยเป็นทะเลสาบที่มีน้ำจืดตลอดปีแยกออกไปจากทะเลสาบสงขลา แต่เชื่อมติดต่อกับทะเลสาบสงขลาโดยคลองนางเรียมและคลองปากประ (เริงชัย ตันสกุล, 2536)



ภาพประกอบ 1 - 3 การแบ่งทะเลสาบสงขลาและสภาพทั่วไปบริเวณทะเลสาบสงขลา

ที่มา : นิคม ละอองศิริวงศ์ และคณะ (2547)

2.2 สภาพภูมิอากาศบริเวณทะเลสาบสงขลา

บริเวณทะเลสาบสงขลามีลักษณะภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน คือ มีอากาศร้อนอุณหภูมิสูงตลอดปี และฝนตกชุก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2536) ส่วนฤดูกาลแบ่งได้ 2 ฤดู คือ ฤดูร้อน และฤดูฝน ฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม สำหรับฤดูฝนแบ่งได้เป็น 2 ช่วงคือ ช่วงแรกเริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ส่วนช่วงที่สองเริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนมกราคม (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2539)

3. คุณสมบัติทางฟิสิกส์ - เคมีของน้ำบางประการในทะเลสาบสงขลา

หน่วยงานต่าง ๆ ได้ศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของน้ำในทะเลสาบสงขลากันมานานแล้ว ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของน้ำในทะเลสาบสงขลาจึงมีค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับแหล่งน้ำอีกหลายแหล่งในประเทศไทย อย่างไรก็ตามข้อมูลส่วนใหญ่ยังขาดความต่อเนื่อง อีกทั้งมีปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของข้อมูล (Emsong project, 1997) คุณสมบัติทางฟิสิกส์ - เคมีของน้ำบางประการในทะเลสาบสงขลา มีดังนี้

3.1 ความเค็ม

ความเค็มของน้ำในทะเลสาบสงขลาลดลงตามระยะทางที่ห่างจากปากทะเลสาบ (ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และนิคม ละอองศิริวงศ์, 2540) โดยทะเลสาบตอนนอกมีค่าสูงสุดเฉลี่ย 13.68 พีเอสยู ส่วนทะเลสาบตอนกลางและทะเลหลวงมีความเค็มเฉลี่ย 4.57 และ 0.15 พีเอสยู ตามลำดับ (ไภษัชย์ แซ่จู และเพราพรรณ แสงสกุล, 2527) นอกจากนั้นความเค็มของน้ำในทะเลสาบสงขลายังขึ้นอยู่กับฤดูกาล โดยความเค็มจะลดต่ำลงในฤดูฝน และเพิ่มสูงขึ้นในฤดูแล้ง (Rakkheaw, 1994)

3.2 ความโปร่งใส

ความโปร่งใสของน้ำในทะเลสาบสงขลามีค่าสูงสุดในทะเลสาบตอนนอก เฉลี่ย 0.73 ม. รองลงมา คือ ทะเลสาบตอนกลาง และทะเลหลวง โดยมีค่าเฉลี่ย 0.68 และ 0.36 ม. ตามลำดับ (ไพโรจน์ สิริมนตาภรณ์ และคณะ, 2520) ความโปร่งใสของน้ำในทะเลสาบสงขลาระหว่างปี 2528 - 2537 เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.48 - 0.54 ม. (ไพโรจน์ สิริมนตาภรณ์ และคณะ, 2528; ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และนิคม ละอองศิริวงศ์, 2540)

3.3 ออกซิเจนละลาย

ปริมาณออกซิเจนละลายในทะเลสาบสงขลาโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ปกติ จากการศึกษาของณรงค์ ณ เชียงใหม่ และคณะ (2531) พบว่า ทะเลสาบตอนนอกมีค่าอยู่ระหว่าง 6.1 - 6.9 มก./ล. ทะเลสาบตอนกลาง 6.8 - 7.4 มก./ล. และทะเลหลวง 6.8 - 7.7 มก./ล. อย่างไรก็ตาม บริเวณปากคลองบางคลองที่เชื่อมต่อกับทะเลสาบตอนนอก เช่น คลองสำโรง คลองขวาง และบริเวณที่อยู่ใกล้กับแหล่งชุมชน ท่าเทียบเรือประมง มีปริมาณออกซิเจนละลายค่อนข้างต่ำและมีค่าเป็นศูนย์ในบางครั้ง (นุกูล อินทระสังขา, 2536)

3.4 พีเอช

เพราพรรณ แสงสกุล (2529) กล่าวว่า ค่าพีเอชของน้ำในทะเลสาบสงขลามีค่าใกล้เคียงกับน้ำทะเลที่รุกเข้าไป ทะเลสาบตอนนอกจึงมีค่าสูงสุด เฉลี่ย 7.50 - 7.89 (ไพโรจน์ สิริมนตาภรณ์ และคณะ, 2520; ไภษัชย์ แซ่จู และเพราพรรณ แสงสกุล, 2527; สุภาพร รักเขียว, 2537) ส่วนทะเลหลวงและทะเลสาบตอนกลางมีพีเอชใกล้เคียงกัน เฉลี่ย 7.30 - 7.59 และ 7.40 - 7.59 ตามลำดับ (ไพโรจน์ สิริมนตาภรณ์ และคณะ, 2520; ไภษัชย์ แซ่จู และเพราพรรณ แสงสกุล, 2527)

3.5 ไนโตรเจน

มีการศึกษาไนโตรเจนในทะเลสาบสงขลากันมานานแล้ว ซึ่งส่วนใหญ่ศึกษาในรูปของไนเตรท - ไนโตรเจน พบว่า มีความเข้มข้นเฉลี่ย 0.035 - 0.070 มก./ล. (ไพโรจน์ สิริมนตาภรณ์ และคณะ, 2528; ณรงค์ ณ เชียงใหม่, 2531; ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และนิคม ละอองศิริวงศ์, 2540) สำหรับแอมโมเนียรวม - ไนโตรเจนและไนโตรเจนรวมเพิ่งจะมีการศึกษาเมื่อไม่นานมานี้ (สุภาพร รักเขียว, 2537; ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และนิคม ละอองศิริวงศ์, 2540) พบว่า มีค่าเฉลี่ย 0.10 - 0.14 และ 0.57 - 0.80 มก./ล. ตามลำดับ ขณะที่ไนโตรเจนในรูปอื่นๆ เช่น ไนโตรเจนอินทรีย์ในอนุภาค และไนโตรเจนอินทรีย์ละลายน้ำยังไม่มีการศึกษากัน

3.6 ฟอสฟอรัส

มีการศึกษาฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำในทะเลสาบสงขลากันมานานแล้วเช่นเดียวกับไนเตรท - ไนโตรเจน พบว่า มีค่าแตกต่างกันค่อนข้างมาก จากการศึกษาของไพโรจน์ สิริมนตาภรณ์ และคณะ (2520) และไภษัชย์ แซ่จู และเพราพรรณ แสงสกุล (2527) พบว่า ทะเลสาบตอนนอก ทะเลสาบตอนกลาง และทะเลหลวง มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 0.27 - 0.54 มก./ล. ขณะที่

สุภาพร รักเขียว (2537) รายงานว่า ทะเลสาบตอนนอกมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ เฉลี่ยเพียง 0.022 มก./ล. ซึ่งเท่ากับค่าเฉลี่ยทั้งทะเลสาบที่ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และนิคม ละอองศิริวงศ์ (2540) ได้รายงานไว้

สำหรับฟอสฟอรัสรวมและฟอสฟอรัสรูปอื่นๆ ยังศึกษากันน้อยมาก จากการศึกษาของสุภาพร รักเขียว (2537) และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และนิคม ละอองศิริวงศ์ (2540) พบว่าฟอสฟอรัสรวมในทะเลสาบสงขลามีค่าเฉลี่ย 0.06 - 0.14 มก./ล. ส่วนฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำรวมมีค่าเฉลี่ย 0.031 มก./ล. (เพราพรรณ แสงสกุล, 2529)

3.7 คลอโรฟิลล์เอ

จากการศึกษาของเพราพรรณ แสงสกุล (2529) พบว่า มีค่าเฉลี่ย 13.56 มคก./ล. ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และนิคม ละอองศิริวงศ์ (2540) ได้ทำการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์เอในทะเลสาบสงขลา ระหว่างปี 2535 - 2537 พบว่า ค่าเฉลี่ยรายปีอยู่ในช่วง 9.5 - 24.5 มคก./ล. ซึ่งค่าเฉลี่ยในปี 2537 เพิ่มสูงขึ้นจากปี 2535 และปี 2536 ค่อนข้างมาก สำหรับทะเลสาบตอนนอก Yamaguchi (1995) พบว่า ส่วนใหญ่มีคลอโรฟิลล์เอต่ำกว่า 10 มคก./ล. โดยพื้นที่ระหว่างปากคลองอู่ตะเภาและปากคลองพะวงมีค่าสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ

4. ยูโทรฟิเคชัน

ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) หมายถึง ความอุดมสมบูรณ์ไปด้วยธาตุอาหารของแหล่งน้ำเป็นเหตุให้เร่งการเจริญเติบโตของสาหร่ายและพวกพืชชั้นสูงจนกระทั่งสร้างการรบกวนที่ไม่ต้องการต่อสมดุลย์ของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำและต่อคุณภาพของน้ำ (OSPAR, 1999) ยูโทรฟิเคชันนอกจากจะมีต้นเหตุหลักมาจากธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เพิ่มสูงขึ้นแล้วการเกิดยูโทรฟิเคชันยังต้องมีปัจจัยอื่นเสริมด้วย เช่น การไหลถ่ายเทของมวลน้ำ (Black, 2001) ซึ่งโดยทั่วไปยูโทรฟิเคชันมักเกิดขึ้นตามแหล่งน้ำที่มีการไหลหมุนเวียนของน้ำค่อนข้างจำกัด (Meyer-Reil and Köster, 2000; Black, 2001; Elliott and de Jonge, 2002)

ยูโทรฟิเคชันสามารถบ่งชี้ได้จากปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Jorgensen, 1992) หรือผลผลิตขั้นต้น (Meyer-Reil and Köster, 2000) แหล่งน้ำที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอมากกว่า 10 มคก./ล. หรือมีผลผลิตขั้นต้นมากกว่า 300 กรัม-คาร์บอน/ม^2/ปี บ่งชี้ว่าเกิดยูโทรฟิเคชัน (Bock *et al.*, 1999; Black, 2001; Nedwell, *et al.*, 2001) สำหรับแหล่งน้ำตื้นการเกิดยูโทรฟิเคชันยังบ่งชี้ได้จากการเพิ่มจำนวนอย่างผิดปกติของสาหร่ายขนาดใหญ่(macroalgae) เช่น *Cladophora, Ulva* หรือ *Enteromorpha* เป็นต้น (Jorgensen, 1992; Black, 2001)

นอกจากนี้ยูโทรฟิเคชันยังบ่งชี้ได้จากปริมาณธาตุอาหาร แหล่งน้ำที่เกิดยูโทรฟิเคชันมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำมากกว่า 0.168 และ 0.062 มก./ล. ตามลำดับ(Bock *et al.*, 1999) แต่การใช้ธาตุอาหารบ่งชี้ถึงยูโทรฟิเคชันอาจไม่เหมาะสมนัก เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารจะลดต่ำลงอย่างมากในช่วงที่สาหร่ายสะพรั่งเนื่องจากถูกสาหร่ายนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต (Costa *et al.*, 1992)

5. ธาตุอาหารจำกัด (nutrient limitation)

สมสุข มัจฉาชีพ (2528) ได้ให้คำนิยามของปัจจัยจำกัดหรือตัวการจำกัด (limiting factors) ไว้ว่าเป็น "สภาพแวดล้อมที่มีปริมาณต่ำหรือสูงเกินไปจากจุดวิกฤติของความต้องการของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ" ส่วนธาตุอาหารจำกัด (nutrient limitation) หมายถึง ธาตุอาหารชนิดใดชนิดหนึ่งที่มีความเข้มข้นต่ำจนจำกัดอัตราการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชและอัตราผลผลิตขั้นต้นสุทธิ (การสะสมมวลชีวภาพ) (Howarth, 1988 อ้างตาม Sin *et al.*, 1999) ซึ่งธาตุอาหารทุกชนิดสามารถเป็นธาตุอาหารจำกัดได้ทั้งสิ้น (DeAngelis, 1992)

แนวคิดเกี่ยวกับธาตุอาหารจำกัดมีพื้นฐานมาจากกฎปริมาณต่ำสุดของไลบิค (Liebig's law of minimum) ที่กล่าวว่า " การเจริญเติบโตของพืชขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุอาหารที่มีปริมาณต่ำสุด " (Odum, 1971) แนวคิดนี้สามารถใช้กับการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชได้เช่นกัน (Okada, n. d.)

การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชอาศัยธาตุอาหารต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำ คาร์บอนและออกซิเจนได้จากคาร์บอนไดออกไซด์ที่แพร่จากบรรยากาศลงสู่น้ำ ส่วนธาตุอาหารอื่นๆ ได้จากเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำหรือตะกอน (Harper, 1992) แต่ธาตุอาหารบางธาตุไม่ได้มีอยู่ในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของแพลงก์ตอนพืชเสมอไป เนื่องจากมีอยู่ในปริมาณน้อยในน้ำเมื่อเทียบกับความต้องการของแพลงก์ตอนพืช ซึ่งในแหล่งน้ำจืดธาตุอาหารเหล่านี้ได้แก่ ฟอสฟอรัส เหล็ก และโคบอลต์ ส่วนในทะเล ได้แก่ ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน ซิลิคอน เหล็ก สังกะสี ทองแดง แมงกานีส และโคบอลต์ อย่างไรก็ตามเมื่อกล่าวถึงธาตุอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชโดยทั่วไปมักหมายถึงฟอสฟอรัส ไนโตรเจน และซิลิคอน (Hecky and Kilham, 1988)

แพลงก์ตอนพืชต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากแหล่งน้ำตามสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในตัวแพลงก์ตอนพืช (Chapra, 1997) ดังสมการ

$$106CO_2 + 16NH_4^+ + HPO_4^{2-} + 108H_2O \longrightarrow C_{106}H_{263}O_{110}N_{16}P_1 + 107O_2 + 14H^+$$

" แพลงก์ตอนพืช "

จากสมการจะเห็นว่าแพลงก์ตอนพืชต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในสัดส่วน 16 : 1 (ในรูปอะตอม) สัดส่วนดังกล่าวเรียกว่า "สัดส่วนของเรดฟิลด์ (Redfield's ratio)" สัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่เบี่ยงเบนไปจากสัดส่วนของเรดฟิลด์ชี้ถึงธาตุอาหารที่จำกัด แต่สัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชยังมีการโต้แย้งกันอยู่ เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชต่างชนิดกันมีสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสแตกต่างกัน (Hecky and Kilham, 1988) อย่างไรก็ตาม Justic *et al.* (1995) กล่าวว่า สัดส่วนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชอยู่ระหว่าง 10 - 22:1 เนื่องจากผลของธาตุอาหารมุ่งเน้นถึงมวลชีวภาพที่เกิดจากแพลงก์ตอนพืชทุกชนิด ซึ่งธาตุใดเป็นธาตุจำกัดขึ้นอยู่กับสัดส่วนดังกล่าว ถ้าสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสน้อยกว่า 10 : 1 ชี้ว่าไนโตรเจนจำกัด และฟอสฟอรัสจำกัดเมื่อสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสมากกว่า 22 : 1

6. วิธีประเมินธาตุอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช

6.1 การใช้ความเข้มข้นและสัดส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ใช้ประเมินธาตุอาหารจำกัดนั้นต้องอยู่ในรูปที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ คือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ ค่าที่บ่งชี้ว่าฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารจำกัดเริ่มเมื่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำน้อยกว่า 0.005 มก./ล. และไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารจำกัดเมื่อความเข้มข้นของไนโตรเจนอนินทรีย์ละลายน้ำน้อยกว่า 0.020 มก./ล.

อย่างไรก็ตามหากความเข้มข้นของธาตุอาหารในรูปที่สิ่งมีชีวิตใช้ได้ไม่ลดลงถึงระดับที่จำกัดการเจริญเติบโต สัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสสามารถชี้ถึงธาตุอาหารที่อาจเป็นธาตุอาหารจำกัดได้ โดยคำนวณสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสจากความเข้มข้นที่วัดได้เปรียบเทียบกับสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่แพลงก์ตอนพืชใช้เพื่อการเจริญเติบโต Ryding and Rast (1989) กล่าวว่า การประเมินธาตุอาหารจำกัดควรใช้ทั้งความเข้มข้นและสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสรูปที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ได้

นอกจากนี้ยังมีการใช้เกณฑ์อื่นๆ ร่วมกับความเข้มข้นหรือสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสประเมินธาตุอาหารจำกัด เช่น ความเข้มข้นครึ่งหนึ่งของจุดอิ่มตัว (half saturation concentration) (Kromkamp *et al.*, 1995; Cabecadas *et al.*, 1999) หรือความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์เอกับธาตุอาหารในรูปต่างๆ (Fourqurean *et al.*, 1993) นอกจากนั้นการประเมินธาตุอาหารจำกัดควรพิจารณาถึงฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำด้วย เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชสามารถใช้ฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำเพื่อการเจริญเติบโตได้ด้วย (Monaghan and Ruttenberg, 1999)

6.2 การใช้วิธีชีววิเคราะห์ด้วยสาหร่าย

หากความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสและสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสไม่สามารถบอกถึงธาตุอาหารจำกัดได้ การใช้วิธีชีววิเคราะห์ด้วยสาหร่ายเป็นอีกแนวทางหนึ่งการประเมินธาตุอาหารจำกัดด้วยวิธีนี้จะเติมธาตุอาหารที่รู้ความเข้มข้นลงในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายมาตรฐาน (standard algal culture) หรือการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจากธรรมชาติภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิและแสงเหมาะสม ธาตุอาหารใดจัดเป็นธาตุอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโตนั้นก็ต่อเมื่อพบว่า เมื่อเติมธาตุอาหารนั้นลงไปแล้วมวลชีวภาพของสาหร่ายจะเพิ่มตามปริมาณธาตุอาหารนั้นๆ ที่เติมลงไป

6.3 การใช้ตัวบ่งชี้ทางสรีระ (the use of physiological indicator)

ถ้าการใช้ความเข้มข้น/สัดส่วนของธาตุอาหารหรือการใช้วิธีชีววิเคราะห์ด้วยสาหร่ายไม่สามารถชี้ถึงธาตุอาหารที่จำกัดได้ชัดเจน ผลการทดสอบขัดแย้งกันหรือแปรผลผิดพลาด คุณลักษณะเกี่ยวกับรูปร่างและสรีระของสาหร่ายสามารถชี้ถึงธาตุอาหารที่จำกัดได้เช่นกัน แต่วิธีดังกล่าวซับซ้อนมากกว่า 2 วิธีข้างต้น จึงไม่ค่อยนิยมใช้

7. การศึกษาธาตุอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช

ได้มีการศึกษาธาตุอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชตามแหล่งน้ำต่างๆ กันมานานแล้ว ส่วนใหญ่แล้วนิยมใช้สัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสมากกว่าหลักเกณฑ์อื่นๆ แต่จะไม่ใช้สัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสเพียงเกณฑ์เดียวศึกษาธาตุอาหารจำกัด จากตาราง 1 - 3 เห็นได้ว่า ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสามารถเป็นธาตุอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชได้ทั้งแหล่งน้ำจืดและในทะเล ซึ่งลักษณะของการจำกัดอาจจะมาจากธาตุเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งหรือทั้งสองชนิดร่วมกัน

สำหรับทะเลสาบสงขลา Yamaguchi (1995) ได้ประเมินสภาวะธาตุอาหารสำหรับแพลงก์ตอนพืชในทะเลสาบตอนนอกโดยใช้สัดส่วนไนโตรเจนอนินทรีย์ละลายน้ำต่อฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำ พบว่า สัดส่วนไนโตรเจนอนินทรีย์ละลายน้ำต่อฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำในฤดูร้อน (กุมภาพันธ์ - มิถุนายน) มีค่าสูง ในขณะที่ในฤดูฝน (สิงหาคม - ธันวาคม) สัดส่วนดังกล่าวมีค่าต่ำกว่า ซึ่งในรายงานสรุปว่า ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำที่ต่ำอาจจำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชในทะเลสาบตอนนอกในฤดูร้อน

ตาราง 1 - 3 ธาตุอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชตามแหล่งน้ำต่างๆ และวิธีที่ใช้ศึกษา/ประเมิน

พื้นที่ศึกษา	วิธีการศึกษา/ประเมิน	ธาตุอาหารที่จำกัด	ผู้ศึกษา
Northern Adriatic Sea	Nutrient addition	ฟอสฟอรัส	Chiaudani and Vighi (1982)
Gerorgia coastal waters	Nutrient addition	ไนโตรเจน	Stephen *et al.* (1984)
Laholm bay	Nutrient addition	ไนโตรเจน	Granéli (1987)
Eastern Mediterranean Sea	N:P	ฟอสฟอรัส	Krom *et al.* (1991)
Florida bay	N:P, concentration, correlation	ฟอสฟอรัส	Fourqurean *et al.* (1993
Lake Futalaufquen	N:P, concentration, correlation	ไนโตรเจน	Pizzolon *et al.* (1995)
Westerschelde estuary	N:P:Si, half saturation concentration	ซิลิเกต, ฟอสฟอรัส	Kromkamp *et al.* (1995)
Perido bay	Nutrient addition	ฟอสฟอรัส	Flemer and Livingston (1996)
Firth of Clyde	N:P	ฟอสฟอรัส	Bock *et al.* (1999)
Scheldt estuary	N:P, Si:N, Si:P, half saturation concentration	ซิลิเกต	Cabecadas *et al.* (1999)
Gironde estuary	N:P, Si:N, Si:P, half saturation concentration	แสง	Cabecadas *et al.* (1999)
Sado estuary	N:P, Si:N, Si:P, half saturation concentration	ไนโตรเจน	Cabecadas *et al.* (1999)
Alton water reservior	N:P, concentration, correlation	ฟอสฟอรัส	Perkins and Underwood (2000)
Pearl river estuary	Nutrient addition, N:P	ฟอสฟอรัส และ ไนโตรเจน	Yin *et al.* (2001)

8. แพลงก์ตอนพืชและมวลชีวภาพ

แพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) หมายถึง พืชขนาดเล็กมากที่ล่องลอยอยู่ในน้ำซึ่งมีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้อย่างจำกัดตามกระแสน้ำ (มนุวดี หังสพฤกษ์, 2532) แพลงก์ตอนพืชเป็นสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) แพลงก์ตอนพืชจัดเป็นผู้ผลิตที่สำคัญในแหล่งน้ำ Nienhuis (1993) พบว่า ผลผลิตขั้นต้นจากแพลงก์ตอนพืชตามเอสทูรีต่างๆ ในประเทศเนเธอร์แลนด์มีสัดส่วนถึง 45 - 71% ของผลผลิตขั้นต้นทั้งหมด ปริมาณแพลงก์ตอนพืชจึงชี้ถึงระดับความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542)

ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำสามารถประเมินได้จากวิธีต่างๆ ได้หลายวิธีด้วยกัน รวมถึงวิธีการวิเคราะห์มวลชีวภาพ (นันทนา คชเสนี, 2539) ซึ่งหมายถึงมวลของสิ่งมีชีวิตต่อหนึ่งหน่วยของน้ำ (Begon *et al.*, 1990) มวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชนั้นสามารถหาได้จากการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2526; Dojlido and Best, 1993)

9. วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และคลอโรฟิลล์เอในทะเลสาบสงขลา
2) เพื่อศึกษาธาตุอาหารที่เป็นปัจจัยจำกัดมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชในทะเลสาบสงขลา
3) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์เอกับธาตุอาหารรูปที่สิ่งมีชีวิตใช้ได้

10. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ความรู้ที่ได้จากการศึกษาธาตุอาหารที่เป็นปัจจัยจำกัดมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชจะเป็นแนวทางในการจัดการ ลด หรือป้องกันการเกิดยูโทรฟิเคชันในทะเลสาบสงขลา รวมทั้งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาเกี่ยวกับยูโทรฟิเคชันในทะเลสาบสงขลาต่อไป นอกจากนั้นการศึกษาถึงความเข้มข้นของธาตุอาหารและคลอโรฟิลล์เอจะทำให้ทราบถึงระดับความอุดมสมบูรณ์ของทะเลสาบว่ามีมากน้อยเพียงใด ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนในด้านต่างๆ เช่น การก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาด้านอื่นๆ ต่อไป