บทที่ 2

สภาวะสารอาหารในแหล่งน้ำ

2.1 สารอาหาร

ในที่นี้หมายถึงสารอาหารของพืช (plant nutrient) ทั้งหมด ทั้งที่อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ทันที (available form) และที่อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ในทันที (non-available form) อาจแบ่งสารอาหารออกเป็น 2 จำพวกใหญ่ ๆ ตามปริมาณที่พืชต้องการใช้ และจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและแพร่ขยายพันธุ์คือ สารอาหารปริมาณมาก (macronutrient) ได้แก่ คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โซเดียม (Na) โปแตสเซียม (K) ซัลเฟอร์ (S) สารอาหารปริมาณน้อย (micronutrient) ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) และคลอไรด์ (Cl^-) เป็นต้น (6, 8, 9) สารอาหารในแหล่งน้ำมีบทบาทโดยตรงต่อการกำหนดผลผลิต (productivity) และรวมถึงโครงสร้างของระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำด้วย แหล่งน้ำธรรมชาติ และ/หรือที่เกิดจากมนุษย์สร้างขึ้นก็ตาม เป็นทรัพยากรที่มีคุณค่าสำคัญมากต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ความเจริญ (civilization) ทำให้เกิดความเสื่อมโทรมขึ้นกับแหล่งน้ำได้หลายทาง และในที่สุดก็ทำให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์ ในระยะไม่กี่สิบปีมานี้ "สารอาหาร" จัดได้ว่าเป็นมลสาร (pollutant) ชนิดหนึ่งนอกเหนือไปจากมลสารอื่น ๆ ได้แก่ สารอินทรีย์ สารพิษ (โลหะหนัก, ยาปราบศัตรูพืช) ความร้อน และสารรังสี เป็นต้น (10) ทั้งนี้เนื่องจากสารอาหารทำให้เกิดผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ต่อแหล่งน้ำได้หลายทาง ได้แก่ ทำให้เกิดภาวะเน่าเสียของน้ำ การแพร่กระจายของวัชชพืช เป็นต้น (11)

โดยธรรมชาติแล้วสารอาหารมีความเกี่ยวข้องกับระบบนิเวศน์แหล่งน้ำ (aquatic ecosystem) โดยตรง และเกี่ยวข้องอย่างมากกับกระบวนการทางนิเวศน์วิทยา (ecological process) สารอาหารในแหล่งน้ำต่าง ๆ มีปริมาณมากน้อยต่างกันไปและจะมีการสะสมปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาที่ผ่านไป ทำให้มีการกำหนดคำบางคำเพื่อใช้เรียกเพื่อแยกให้

เห็นถึงความแตกต่างของแหล่งน้ำต่าง ๆ ตามระดับของสารอาหารและผลผลิตของแหล่งน้ำนั้น ๆ ที่ต่างกันไป เช่น คำว่า "oligotrophic" และ "eutrophic" สองคำนี้เป็นความหมายเริ่มแรกที่ใช้กันในสาขาวิชาชลธีวิทยา แม้ว่าคำสองคำนี้จะให้ความสับสนอยู่บ้างในหลาย ๆ กรณีในการแบ่งแยกประเภทของแหล่งน้ำก็ตาม แต่ในปัจจุบันก็ยังคงนิยมใช้คำเหล่านี้อยู่ (10, 12) เช่นเดียวกับมลสารอื่น ๆ ที่ทำให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำ ปัญหามลภาวะที่เกิดจากสารอาหารนั้นเป็นผลที่เกิดจากความเจริญและกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ แต่เนื่องจากสารอาหารนั้นประกอบด้วยกลุ่มของธาตุหรือสารประกอบหลาย ๆ ชนิด การเกิดขึ้นของปัญหามลภาวะสารอาหาร (nutrient pollution) นั้นเกี่ยวข้องและขึ้นอยู่กับปัจจัยหรือองค์ประกอบต่าง ๆ อีกหลายประการ ดังนั้น วิธีการศึกษาเพื่อให้เข้าถึงปัญหารวมทั้งการแก้ไขป้องกันจึงมีมากมายหลายวิธี และแต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อเสียที่ต่างกันไป วิธีการศึกษาถึงปริมาณและการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารในแหล่งน้ำจึงจัดได้ว่าเป็นงานวิจัยที่สำคัญประการหนึ่งที่ได้รับการสนใจกันอย่างกว้างขวาง (13) ในปัจจุบันการศึกษาเพื่อให้เข้าใจถึงสถานภาพสารอาหารของแหล่งน้ำนั้น วิธีหนึ่งที่ได้มีการยอมรับและนำมาใช้กันมากและถือได้ว่าเป็นวิธีการที่เป็นมาตรฐานคือการใช้สาหร่ายวิเคราะห์ (algal assay) (14, 15, 16) อย่างไรก็ดี การใช้สาหร่ายวิเคราะห์นี้ก็มีจุดอ่อนอยู่บ้าง ดังนั้น ในการประเมินสถานภาพสารอาหารจึงนิยมใช้ร่วมกับวิธีทางเคมีวิเคราะห์ (13, 16)

2.2 <u>ความเป็นมาของการกำหนดสถานภาพสารอาหาร</u>

ในปี ค.ศ. 1907 Weber (อ้างถึงโดย 12, 13, 17) ได้เป็นผู้ริเริ่มนำคำว่า "oligotrophic" "mesotrophic" และ "eutrophic" มาใช้ในวงการวิทยาศาสตร์เพื่อใช้อธิบายถึงความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารที่เขาได้พบในดินชั้นต่าง ๆ ในการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการทดแทนในทะเลสาบจนกลายเป็นพื้นดิน (lake succession) ในภาคเหนือของประเทศเยอรมัน โดยให้ความหมายไว้ดังนี้ "oligotrophic" หมายถึง สภาพที่ขาดแคลนหรือมีสารอาหารน้อย และ "eutrophic" หมายถึง สภาพที่มีสารอาหารอยู่มาก และคำว่า "mesotrophic" หมายถึง สภาพที่มีสารอาหารอยู่ระหว่าง "oligotrophic" และ "eutrophic" หลังจากนั้นต่อมา Einar Naumann (อ้างถึงโดย 17) ได้ทำการศึกษา planktonic algae และดินตะกอนในทะเลสาบหลาย ๆ แห่งในประเทศสวีเดน และได้

รายงานเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1917 ว่า phytoplankton นั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสภาพของสารอาหาร (nutrient condition) และเขาได้ทำนายต่อไปว่า ฟอสฟอรัสและไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดสัดส่วนและปริมาณของ phytoplankton ต่อมาในปี ค.ศ. 1919 Naumann (อ้างถึงโดย 12, 13, 17) ได้นำคำว่า "oligotrophic" และ "eutrophic" มาใช้ในการแบ่งประเภทของน้ำในทะเลสาบ โดยเขาสังเกตจากปริมาณของ phytoplankton ในทะเลสาบ ถ้ามี phytoplankton แพร่กระจายอยู่มาก (สังเกตว่าน้ำจะมีสีเขียวและขุ่น) แสดงว่ามีสารอาหารสูงและจัดว่าเป็น eutrophic ถ้ามี phytoplankton อยู่น้อยมาก (สังเกตได้ว่าน้ำจะใสและไม่มีสีเขียว) แสดงว่ามีสารอาหารอยู่น้อยหรือเกือบไม่มี ซึ่งจัดได้ว่าเป็น oligotrophic รายงานทั้งสองครั้งนี้เกิดขึ้นจากการสังเกตและการคาดคะเนเอาเองของ Naumann โดยไม่ได้อาศัยข้อมูลทางด้านเคมีวิเคราะห์หรืออื่น ๆ (ในช่วงเวลานั้นยังไม่มีวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ได้และน่าเชื่อถือ) แต่ก็ถือได้ว่า Naumann เป็นนักสังเกตที่ดีและมีสายตาที่กว้างไกล เพราะว่าข้อเขียนของเขาได้ถูกยอมรับว่าเป็นการเสริมสร้างแบบแผนทางทฤษฎีที่นำข้อสังเกตจากสาเหตุหรือเหตุการณ์หลาย ๆ อย่างเข้ามาผูกกันไว้ได้อย่างมีเหตุผล

ในปี ค.ศ. 1918 Thienemann (อ้างถึงโดย 17) ได้ผลสรุปจากการศึกษาทะเลสาบในแถบบอลติก และชับ-แอลไพน์ว่า การแบ่งแยกประเภทของทะเลสาบควรแบ่งตามรูปแบบของปริมาณออกซิเจนที่พบในชั้นน้ำชั้นล่าง (hypolimnion) ออกเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทแรกมีระดับออกซิเจนในชั้นน้ำชั้นล่างสูง และไม่ต่างจากระดับออกซิเจนในชั้นน้ำชั้นบน (epilimnion) (ภายหลังจัดเป็น oligotrophic) ประเภทที่สองคือ ระดับออกซิเจนในชั้นน้ำชั้นล่างลดน้อยลงจากที่มีอยู่ในชั้นน้ำชั้นบน (ภายหลังจัดเป็น eutrophic) แต่ต่อมาอีก 3 ปี Thienemann ก็ได้ยอมรับความคิดของ Naumann และได้ขยายความหมายของคำว่า "oligotrophic" และ "eutrophic" ออกไป และในปี ค.ศ. 1922 Naumann และ Thienemann ได้ร่วมกันวางรากฐานของวิชาที่ว่าด้วยการแบ่งแยกประเภทของทะเลสาบในการประชุมนานาชาติเกี่ยวกับทฤษฎีและการประยุกต์ของวิชาชลธีวิทยา อย่างไรก็ดี การจัดประเภทของทะเลสาบนั้นก็ยังคงมีความสับสนและขัดแย้งในแนวความคิดของแต่ละคนอยู่ดังเช่น ในปี ค.ศ. 1926 Wesenberg-Lund (อ้างถึงโดย 12) ได้กล่าวไว้ว่า "Naumann ได้พยายามที่จะจัดสภาวะทางธรรมชาติให้เข้ามาอยู่ในรูปแบบที่แน่นอนและตายตัว ซึ่งในแง่ของวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ในสายตา

ของข้าพเจ้า เห็นว่าการจัดแบบนี้เป็นสิ่งที่ค่อนข้างเปล่าประโยชน์" หมายความโดยสรุปว่าเขาไม่เห็นด้วยกับการจัดทะเลสาบออกเป็นประเภทต่าง ๆ ตามความคิดของ Naumann ตามข้างต้น ในระยะแรก ๆ นี้มีปัญหาเกี่ยวกับการกำหนดสถานภาพสารอาหารของแหล่งน้ำ ว่าจะใช้สารอาหารหรือผลผลิตของแพลงค์ตอนพืชหรือทั้งสองประการในการกำหนด ในปี ค.ศ. 1932 Naumann (อ้างถึงโดย 13) ได้เสนอแนะวิธีกำหนดสถานภาพสารอาหารว่า ถ้าข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณของสารอาหารและผลผลิตของแพลงค์ตอนพืชมีความขัดแย้งกัน ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ร่วมกันในการกำหนดสภาวะ eutrophic หรือ oligotrophic ของแหล่งน้ำได้ ก็ให้ใช้ผลผลิตของแพลงค์ตอนพืชเป็นหลักในการกำหนดสถานภาพสารอาหาร ข้อที่น่าสังเกตก็คือ ไม่ได้มีการอธิบายไว้ว่าทำไมข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณสารอาหารและผลผลิตของแพลงค์ตอนพืชจึงมีความขัดแย้งกัน ซึ่งปัญหานี้ได้เป็นปริศนาสำหรับเรื่อง eutrophication ในขณะนั้น (13)

แหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งได้แก่ทะเลสาบนั้นจะค่อย ๆ ตื้นเขินและกลายเป็นแผ่นดินไปในที่สุด กระบวนการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นวิวัฒนาการอย่างหนึ่งทางธรรมชาติของระบบนิเวศน์ แต่กระบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ กินเวลาหลายร้อยปีจนถึงหลายแสนปี บางแห่งอาจนานกว่านั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น ลักษณะทางธรณีวิทยาของแหล่งกำเนิด สัณฐานและขนาดของทะเลสาบ เป็นต้น ระหว่างที่แหล่งน้ำเกิดวิวัฒนาการนี้ระบบนิเวศน์ก็มีการเปลี่ยนแปลงตามไปเรื่อย ๆ แต่เนื่องจากเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นช้ามาก ดังนั้น ระบบนิเวศน์จึงยังคงรักษาสมดุลย์ของระบบไว้ได้ กล่าวได้ว่าเมื่อเริ่มเกิดทะเลสาบขึ้นนั้น ในระยะแรก ๆ ยังมีสารอาหารอยู่น้อยมากและมีผลผลิตต่ำ แพลงค์ตอนที่มีอยู่ส่วนใหญ่เป็นแพลงค์ตอนพืช ในช่วงนี้จัดได้ว่าทะเลสาบมีลักษณะเป็น oligotrophic เมื่อเวลาผ่านไปทะเลสาบก็ได้รับสารอาหารและสารอินทรีย์จากการชะพาของน้ำลงมาจากบริเวณพื้นที่รับน้ำ (catchment area) ทำให้ทะเลสาบมีผลผลิตของแพลงค์ตอนพืชและสัตว์เพิ่มมากขึ้น รวมทั้งมีประชากรปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นตามมา การเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพ (biomass) นี้ทำให้เกิดมีการถ่ายทอดของมวลสารและพลังงานในลักษณะของห่วงโซ่อาหาร (food chain) ทำให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ (ในรูปดินตะกอน) จากซากพืชและสัตว์ที่ตายลงในเวลาต่อมาและทำให้เกิดวัฏจักรของสารอาหาร (nutrient cycle) โดยอาศัยพวกแบคทีเรีย โปรโตซัว และพวกหนอนต่าง ๆ เช่น ไส้เดือนดิน เป็นต้น ในช่วงเวลาต่อมาอัตราการเพิ่มของสารอาหารภายในทะเลสาบจะเพิ่มสูงขึ้น เพราะว่านอกจากจะได้รับสารอาหารและสารอินทรีย์จากแหล่งภายนอกแล้ว ยังได้รับ

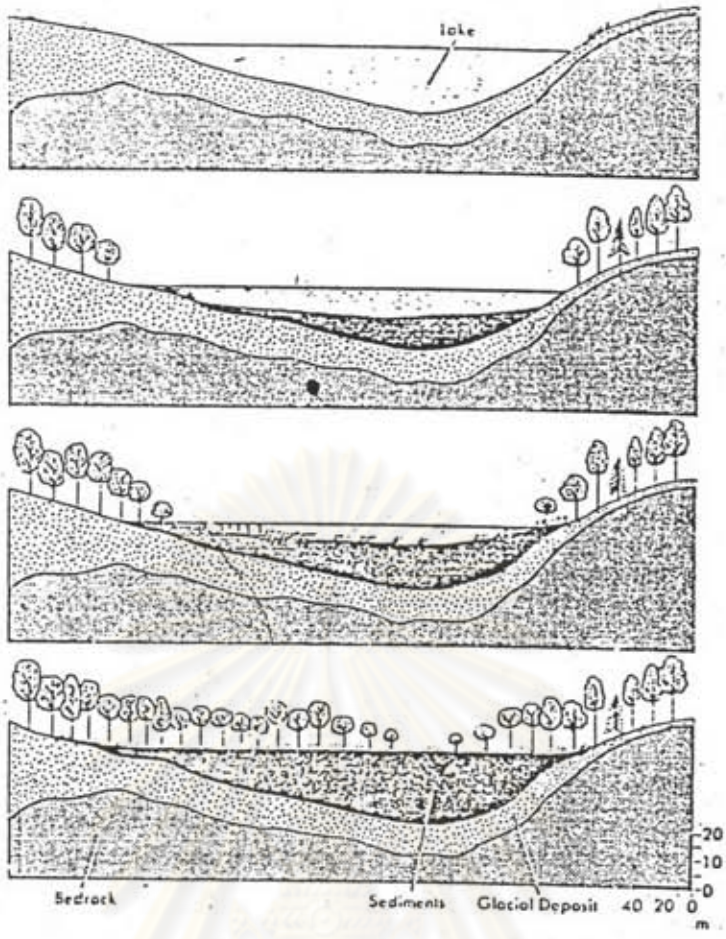
สารอาหารจากแหล่งภายใน (จากดินตะกอนโดยผ่านกระบวนการหมุนเวียนของสารอาหาร) ด้วย ขณะเดียวกันทะเลสาบก็ค่อย ๆ ตื้นขึ้นซึ่งเป็นผลจากการตกตะกอน ทำให้ความลึกและปริมาตรน้ำลดลงซึ่งเป็นปัจจัยเสริมให้มีสารอาหารในแหล่งน้ำเพิ่มสูงขึ้น เมื่อทะเลสาบตื้นขึ้นจนถึงระดับหนึ่งก็จะมีพวกพืชที่มีระบบราก เกิดขึ้นซึ่งก็จะช่วยเร่งอัตราการตื้นเขินของทะเลสาบให้เกิดเร็วขึ้นอีก จนในที่สุดทะเลสาบก็กลายเป็นแผ่นดินขึ้นมา (ดูรูปที่ 2.1) เมื่อพิจารณาในแง่ของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารอาหารในทะเลสาบในกระบวนการวิวัฒนาการแล้ว จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของสารอาหารในทะเลสาบเกิดขึ้นเป็นขั้นตอน รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของผลผลิตด้วย จากสภาพ oligotrophic มาเป็น mesotrophic และเข้าสู่สภาพ eutrophic ก่อนที่จะกลายเป็นแผ่นดินไปในที่สุด ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าการเกิดสภาวะ eutrophication นั้นเกิดขึ้นควบคู่พร้อมกันไปกับกระบวนการเพิ่มอายุ (aging process) ของทะเลสาบ (13, 18)

2.3 ขนาดและรูปร่างของทะเลสาบกับการเกิด eutrophication

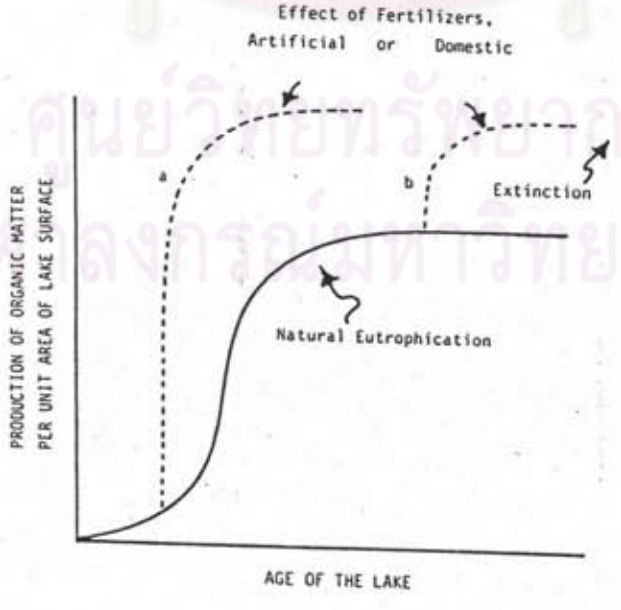
จากทฤษฎีการวิวัฒนาการของแหล่งน้ำธรรมชาติ ปัจจัยที่สำคัญต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงก็คือ ขนาดและความลึกของทะเลสาบ เพราะว่าปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดขนาดของปัจจัยอื่น ๆ ที่มีต่อทะเลสาบ ได้แก่ การหมุนกลับของสารอาหาร (nutrient turnover) จากชั้นน้ำชั้นล่างมายังชั้นน้ำชั้นบน การตกตะกอน (sedimentation) ซึ่งมีผลทำให้ทะเลสาบตื้นขึ้นและมีปริมาตรลดลง (ทำให้เกิดการหมุนกลับของสารอาหารในทะเลสาบได้ดีขึ้น) เป็นต้น ดังนั้น รูปร่างของทะเลสาบจึงใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงความยากง่ายของการเกิดสภาวะ eutrophication ได้ (19) Thomas (19) ได้อ้างถึงรายงานที่ผ่านมาของเขา ซึ่งได้ทำการศึกษาไว้ในปี ค.ศ. 1949 และ 1964 ในการศึกษาทะเลสาบหลายแห่งในยุโรปภาคกลาง ซึ่งเขาได้แบ่งทะเลสาบตามรูปร่างออกเป็น 3 กลุ่มคือ

2.3.1 ทะเลสาบขนาดเล็ก

กลุ่มนี้ได้แก่ ทะเลสาบที่มีขนาดพื้นที่ผิวน้อยกว่า 0.5 ตารางกิโลเมตร และมีความลึกน้อยกว่า 20 เมตร ทะเลสาบพวกนี้ได้รับสารอาหารจากแหล่งภายนอกโดยอิทธิพลของลำน้ำ (tributary) และลมที่พัดพาเอาใบไม้ เกสรดอกไม้ แมลงและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ลงสู่ทะเลสาบในปริมาณที่มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับทะเลสาบขนาดใหญ่ ซากพืชและสัตว์ภายในทะเลสาบก็มีส่วนเพิ่มสารอาหารให้กับทะเลสาบโดยกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์



รูปที่ 2.1 แสดงการเกิด lake succession



รูปที่ 2.2 แสดงวิถีทางการเกิด eutrophication

013861

และสัตว์หน้าดิน เนื่องจากมีลักษณะตื้นและมีปริมาตรของน้ำน้อยจึงทำให้เกิดการไหลเวียนของสารอาหารได้ดี ในช่วงฤดูร้อนซึ่งเกิดสภาพน้ำนิ่ง (stagnation) ปริมาณออกซิเจนในน้ำช่วงลึก ๆ จะลดลงจนหมดและเกิดสารพวก FeS, MnS และ H_2S ขึ้น สำหรับทะเลสาบที่มีความลึกน้อยกว่า 10 เมตรในช่วงที่มีลมแรงสามารถทำให้เกิดการแพร่กระจายของแพลงค์ตอนพืชได้ดี เนื่องจากทำให้เกิดการหมุนเวียนของสารอาหารขึ้นมาจากชั้นน้ำชั้นล่างของทะเลสาบ ทะเลสาบขนาดเล็กจึงจัดได้ว่ามีความไวต่อการเกิดสภาวะ eutrophication ถ้าได้รับสารอาหารจากแหล่งภายนอกมากขึ้น ดังนั้น จึงควรได้รับการดูแลป้องกันอย่างมาก

2.3.2 <u>ทะเลสาบขนาดกลาง</u>

เป็นกลุ่มทะเลสาบที่มีความลึกอยู่ในช่วง 20-50 เมตร และมีพื้นที่ผิวมากกว่า 0.5 ตารางกิโลเมตร ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาทะเลสาบเหล่านี้มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่สูงตลอดทุกระดับความลึกและตลอดทั้งปี แต่เนื่องจากมีปริมาตรของน้ำน้อยทะเลสาบเหล่านี้จึงไวต่อการทิ้งของน้ำเสีย การระบายน้ำเสียมีผลทำให้เกิดการแพร่กระจายของสาหร่ายและเป็นการทำลายสมดุลย์ของห่วงโซ่อาหาร ผลเสียที่เลวร้ายที่สุดก็คือ ออกซิเจนในช่วง 5-10 เมตรถูกใช้จนหมด การทำน้ำประปาจากทะเลสาบดังกล่าวทำได้ยากและเปลืองค่าใช้จ่าย

2.3.3 <u>ทะเลสาบขนาดใหญ่</u>

ทะเลสาบเหล่านี้มีความลึกมากกว่า 50 เมตร ในช่วงหลายศตวรรษที่ผ่านมาจัดได้ว่าเป็น oligotrophic การทำเกษตรกรรมในช่วงนับพันปีที่ผ่านมาก็ไม่ได้ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับสารอาหาร น้ำในทะเลสาบเหล่านี้ใสและส่องแสงได้ลึก ปริมาณ PO_4^{-3}-P มีน้อยมาก แต่มีปริมาณ NO_3^--N สูง (เป็นลักษณะเด่นของทะเลสาบในบริเวณนี้) แพลงค์ตอนพืชมีอยู่น้อยมากรวมทั้งมีพืชชายฝั่งขึ้นอยู่น้อยมากเช่นกัน เนื่องจากขาด PO_4^{-3}-P ดังนั้น ถึงแม้ว่าจะมี NO_3^--N อยู่ในปริมาณสูงก็ตามพืชก็ไม่สามารถนำไปใช้ได้ ตลอดทั้งปีน้ำจะใสสะอาดและมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและออกซิเจนตั้งแต่ระดับผิวน้ำจนถึงระดับท้องน้ำจะมีอยู่เท่า ๆ กันและตลอดทั้งปี ทะเลสาบขนาดใหญ่นี้มักไม่เกิดสภาวะ eutrophication เนื่องจากมีปริมาณน้ำมากทำให้มีความสามารถในการเจือจางสารอาหารที่เข้ามาในทะเลสาบได้ดี และไม่ค่อยเกิดการหมุนกลับของสารอาหารด้วย

2.4 การกำหนดสถานภาพสารอาหารในเชิงอุดมคติ

จากการศึกษาทะเลสาบหลาย ๆ แห่งในหลายประเทศซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันไป จึงได้มีการสรุปลักษณะของทะเลสาบว่าควรจัดเป็น oligotrophic หรือ eutrophic โดย Moss (10), Wood (13) และ EPA (20) ดังนี้

1) ทะเลสาบที่เป็น oligotrophic

ทะเลสาบที่จัดอยู่ในประเภทนี้ต้องเป็นทะเลสาบที่ลึก (มีสัดส่วนระหว่างพื้นที่ผิวและปริมาตรน้ำสูง) มีปริมาณสารอาหารต่ำ มีปริมาณเกลือแร่ (dissolved solid) ต่ำ มีผลผลิตต่ำ มีออกซิเจนสูง และเท่า ๆ กันทุกระดับความลึกและตลอดปี ดินตะกอนส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอนินทรีย์

2) ทะเลสาบที่เป็น eutrophic

เป็นทะเลสาบที่มีลักษณะตื้น (สัดส่วนระหว่างพื้นที่ผิวและปริมาตรน้ำต่ำ) มีปริมาณสารอาหารสูง มีปริมาณเกลือแร่สูง มีผลผลิตสูง (มีการแพร่กระจายของแพลงค์ตอนพืชและพืชลอยน้ำมาก) ออกซิเจนในชั้นน้ำชั้นล่างมีน้อยมากหรือไม่มีในช่วงฤดูร้อน ดินตะกอนมีปริมาณสารอินทรีย์สูง

ตารางที่ 2.1 และ 2.2 แสดงถึงความแตกต่างของทะเลสาบที่เป็น oligotrophic และ eutrophic การกำหนดดังกล่าวข้างต้นจัดได้ว่าค่อนข้างสมบูรณ์และละเอียดพอ แต่ถูกพิจารณาว่าเป็นเชิง "อุดมคติ" ทั้งนี้เนื่องจากการอธิบายดังกล่าวเป็นการให้ภาพของทะเลสาบในลักษณะคงตัว (static) แต่ความเป็นจริงแล้วทะเลสาบที่มีลักษณะเป็นระบบนิเวศที่เปลี่ยนแปลงได้ (dynamic ecosystem) โดยธรรมชาติ อย่างไรก็ดี การกำหนดสถานภาพสารอาหารขึ้นมาดังกล่าวช่วยให้เห็นภาพพจน์ที่ชัดเจนขึ้นของทะเลสาบใน 2 ลักษณะที่ต่างกันไป บ่อยครั้งที่กำหนดสถาน ภาพสารอาหารไม่สามารถทำได้ง่าย เนื่องจากมีลักษณะบางอย่างที่ขัดแย้งกับภายในตัวของมันเอง ตัวอย่างเช่น ในปี ค.ศ. 1937 Hutchinson (อ้างถึงโดย 12) ได้พบว่าทะเลสาบ Yaye Tso ในทิเบตซึ่งมีลักษณะตื้น และมีการละลายของออกซิเจนในชั้นน้ำชั้นล่างน้อยกว่าชั้นน้ำชั้นบน ในช่วงที่เกิดการแบ่งชั้นของน้ำ (stratification) แต่ถือว่าเป็น oligotrophic เนื่องจากมีผลผลิตต่ำ หรือในกรณีของทะเลสาบ Green ใน

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณลักษณะที่ใช้ในการกำหนดสถานภาพสารอาหารของแหล่งน้ำ (Wood, 13)

รายการ	oligotrophic	eutrophic
ผลผลิตพืช	ต่ำ	สูง
ผลผลิตสัตว์	ต่ำ	สูง
ปริมาณออกซิเจนในชั้นน้ำชั้นล่าง	มี	ไม่มี
ความลึก	ลึก	ตื้น
ค่าความนำไฟฟ้า	โดยทั่วไปต่ำ	บางแห่งสูง
จำนวนสายพันธุ์ของพืชและสัตว์	มาก	น้อย

ตารางที่ 2.2 แพลงค์ตอนในทะเลสาบที่เป็น oligotrophic และ eutrophic (Wood, 13)

รายการ	oligotrophic	eutrophic
ปริมาณ	น้อย	มาก
ความหลากพันธุ์	มาก	น้อย
การแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็ว (bloom)	เกิดขึ้นน้อยมาก	เกิดบ่อย ๆ
ชนิด	Chlorophyceae	Cyanophyceae

ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะบางประการของการแบ่งสถานภาพสารอาหารของทะเลสาบ (Whittaker, 18)

รายการ	oligotrophic	mesotrophic	eutrophic
ผลผลิตแพลงค์ตอนพืช, µg/mL	0.02-0.20	0.20-0.60	0.60-10.00
คลอโรฟิล เอ, µg/L	0.3-3	2-15	10-500
ฟอสฟอรัสทั้งหมด, mg/L	<0.001-0.005	0.005-0.010	0.010-0.030
อนินทรีย์ไนโตรเจน, mg/L	<0.001-0.200	0.200-0.400	0.300-0.650

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รัฐ Wisconsin ซึ่งรายงานโดย Jerday และ Birge ในปี ค.ศ. 1927 (อ้างถึงโดย 12) เป็นทะเลสาบที่มีขนาดลึกและมีการละลายของออกซิเจนเท่ากันทุกระดับความลึกของทะเลสาบตลอดช่วงฤดูร้อน แต่ว่าเป็นทะเลสาบที่มีผลผลิตสูงมาก โดยสรุปแล้วควรมองทะเลสาบในแบบที่เปลี่ยนแปลงได้มากกว่าที่จะมองในลักษณะที่คงตัว

ในการกำหนดสถานะภาพสารอาหารยังนิยมแบ่งระดับโดยอาศัยการพิจารณาในเชิงปริมาณของพารามิเตอร์หลายตัว ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิล ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เป็นต้น (ดูตารางที่ 2.3) ในลักษณะนี้ก็เช่นเดียวกับข้างต้นที่มองทะเลสาบในลักษณะคงตัว ซึ่งก็ทำให้เกิดปัญหาได้ในกรณีที่ต้องการเปรียบเทียบทะเลสาบที่อยู่ในที่ต่างกัน ตัวอย่างเช่น ทะเลสาบในประเทศแคนาดาพบว่า เมื่อปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นจาก 0.002 mg/L เป็น 0.008 mg/L ก็ทำให้เกิดปัญหาการแพร่กระจายของสาหร่ายในขณะที่ทะเลสาบในที่ราบต่ำบางแห่งของประเทศอังกฤษจะเกิดปัญหาเดียวกันนี้ เมื่อปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มจาก 0.020 mg/L เป็น 0.250 mg/L (10) การกำหนดสถานะภาพสารอาหารในลักษณะนี้จะใช้ประโยชน์ได้ต่อเมื่อใช้กับทะเลสาบที่อยู่ในแลตติจูดเดียวกัน และอยู่ในภูมิประเทศที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกัน และจะต้องทำการศึกษาในรายละเอียดและความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ เหล่านี้มามากพอสมควรแล้วด้วย

ปัจจุบันยังไม่มีแนวทาง (guideline) ที่ยอมรับได้โดยทั่วไปถึงการกำหนดสถานภาพสารอาหารที่แน่ชัดในเชิงสัมบูรณ์ (absolutely) เนื่องจากทะเลสาบมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้น การพิจารณาสถานภาพสารอาหารจึงควรพิจารณาในเชิงเปรียบเทียบ (relatively) โดยอาศัยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของตัวบ่งชี้ (indicator) บางตัวหรือหลายตัวในช่วงระยะเวลาหนึ่งซึ่งโดยทั่วไปใช้ 5 ปี ตัวบ่งชี้ที่ควรใช้ได้แก่ ผลผลิตปฐมภูมิ มวลชีวภาพของสาหร่าย เป็นต้น (20) รูปที่ 2.2 แสดงความเป็นไปของการเกิดสภาวะ eutrophication

2.5 <u>การเกิดสภาวะ accelerated eutrophication ในแหล่งน้ำต่าง</u> ๆ

ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมานี้ได้เกิดมีปัญหาของการแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็วของสาหร่ายขึ้นมากผิดปกติ ทำให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพน้ำและการใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำทั้งในทะเลและในทะเลสาบหลายแห่ง ดังนั้น จึงได้มีการศึกษาอย่างจริงจังถึงสาเหตุและผลของการเกิดสภาวะดังกล่าว เนื่องจากสภาวะ eutrophication ที่เกิดขึ้นนั้นไม่เป็นไปตามกระบวนการทางธรรมชาติและเกิดขึ้นเร็ว (ด้วยอัตราเร็วถ้าเปรียบเทียบกับการเกิดตามธรรมชาติ)

ดังนั้น จึงเรียกสภาวะดังกล่าวว่า accelerated eutrophication หรือ cultural eutrophication หรือ artificial eutrophication เพื่อเน้นให้เห็นความแตกต่างจาก natural eutrophication แต่ในปัจจุบันส่วนใหญ่เมื่อกล่าวถึงสภาวะ eutrophication มักจะถูกเข้าใจและตีความว่าเป็น accelerated eutrophication มากกว่าที่จะเป็น natural eutrophication (13) การเกิดสภาวะ accelerated eutrophication นั้น สามารถเกิดขึ้นได้ทั่วไปกับทะเลสาบต่าง ๆ ดังนี้

2.5.1 <u>ทะเลสาบบริเวณภาคกลางของยุโรป</u>

ทะเลสาบ Zurichsee จัดได้ว่าเป็นทะเลสาบขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิว 68 ตารางกิโลเมตร และลึก 138 เมตร โดยลักษณะรูปร่างของทะเลสาบจัดได้ว่าเป็น oligotrophic ต่อมาได้มีการระบายน้ำเสียจากบ้านเรือนลงสู่ทะเลสาบแห่งนี้ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในทะเลสาบสูงขึ้น และทำให้เกิดปัญหาการแพร่กระจายของสาหร่ายเกิดขึ้น สิ่งที่น่าสนใจก็คือ เกิดการแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็วของสาหร่ายขึ้นในช่วงฤดูร้อน ทะเลสาบ Zurichsee มีการผสมผสานของน้ำดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูใบไม้ผลิ ดังนั้น สารอาหารที่ถูกปล่อยลงพร้อมกับน้ำเสียจึงถูกผสมและทำให้เจือจางลง แต่ในฤดูร้อนเนื่องจากเกิดสภาวะน้ำนิ่ง ดังนั้น สารอาหารทั้งหมดที่มาพร้อมกับน้ำเสียที่ถูกปล่อยลงมาจึงกระจายอยู่ในชั้นน้ำชั้นบน (epilimnion) ทำให้ความเข้มข้นหรือปริมาณของสารอาหารในชั้นผิวน้ำมีสูงจนทำให้เกิดการแพร่กระจายของสาหร่ายได้ดี ลักษณะนี้ทำให้เห็นได้ว่าทะเลสาบที่ลึกและถูกจัดว่าเป็น oligotrophic เพราะว่าไม่มีการหมุนเวียนของสารอาหาร ซึ่งถือได้ว่าเป็นการไม่ได้รับสารอาหารจากแหล่งภายใน (internal loading) ได้รับเพียงแต่สารอาหารจากแหล่งภายนอก (external loading) เท่านั้น ซึ่งโดยธรรมชาติก็มีไม่สูงมากนัก ดังนั้น สารอาหารจากแหล่งภายในจึงเป็นปัจจัยที่ช่วยหนุนเสริมการเกิดสภาวะ natural eutrophication ได้ดี ซึ่งเกิดเฉพาะในทะเลสาบขนาดเล็กและตื้น ในกรณีของการเกิด cultural eutrophication นั้นอิทธิพลของสารอาหารที่มาจากแหล่งภายนอกมีมาก เมื่อเทียบกับสารอาหารที่ได้รับจากแหล่งภายใน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีของการเกิดการแบ่งชั้นของน้ำจากความต่างอุณหภูมิ (thermal stratification) กลับส่งผลให้มีการเพิ่มของสารอาหารในชั้นผิวน้ำให้สูงขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าโดยปกติน้ำในทะเลสาบจะมีการไหลเวียนโดยตลอด ทำให้มีการผสมผสานได้ดี จึงเท่ากับเป็นการเจือจางสารอาหารที่ได้รับจากแหล่งภายนอกลงได้มาก

(โดยเฉพาะทะเลสาบที่มีขนาดใหญ่และลึกจะมีปริมาตรของน้ำมาก) การเกิดการแบ่งชั้นของน้ำจึงเท่ากับเป็นการลดปริมาตรของน้ำไปโดยปริยาย จึงทำให้มีสารอาหารเพิ่มมากในชั้นผิวน้ำประกอบกับเป็นช่วงฤดูร้อนซึ่งเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิและแสงพอเหมาะ จึงเท่ากับเป็นการเสริมกันของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็วของสาหร่ายได้ดีขึ้น (19) ลักษณะเช่นเดียวกันนี้ได้เกิดขึ้นกับทะเลสาบแห่งอื่น ได้แก่ ทะเลสาบ Lago Maggiore (ลึก 370 เมตร) ทะเลสาบ Lago di Lugano (ลึก 288 เมตร) เป็นต้น ทะเลสาบทั้งสองแห่งนี้อยู่ทางบริเวณด้านใต้ของเทือกเขา Alps ซึ่งศาสตราจารย์ Edgardo Baldi (อ้างถึงโดย 19) ได้สรุปไว้ในปี ค.ศ. 1939 ว่า ทะเลสาบที่อยู่ในบริเวณนี้เกิดวิวัฒนาการได้ช้ามากและมีลักษณะเป็น oligotrophic และอยู่ในสภาวะที่คงทนต่อการเปลี่ยนไปเป็น eutrophic ทั้งนี้โดยพิจารณาจากองค์ประกอบทางลักษณะรูปร่างและธรณีวิทยาของทะเลสาบ อย่างไรก็ดี เมื่อได้มีการระบายน้ำเสียจากบ้านเรือนลงในทะเลสาบอยู่ตลอดเวลา ผลก็คือทะเลสาบทั้งสองได้แสดงให้เห็นถึงสภาวะการเกิด eutrophication ขึ้น โดยสังเกตได้จากการลดลงของออกซิเจนในชั้นน้ำชั้นล่าง (hypolimnion) และมีการเพิ่มปริมาณของสาหร่ายมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูร้อน นอกจากนี้ยังมีทะเลสาบอื่น ๆ อีกที่เกิดสภาวะ eutrophication ได้แก่ ทะเลสาบ Logo'd Orta (ลึก 143 เมตร) ซึ่งได้รับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ทะเลสาบ Lac de Bourget (ลึก 145 เมตร) ทะเลสาบ Lac'd Annecy (ลึก 81 เมตร) เป็นต้น (19)

2.5.2 <u>ทะเลสาบในยุโรปตะวันออก</u>

ทะเลสาบ Sevan (มีพื้นที่ 1,416 ตารางกิโลเมตร และลึก 99 เมตร) ซึ่งอยู่ในประเทศเชคโกสโลวาเกียได้ถูกใช้ประโยชน์อย่างมากทางด้านชลประทานและการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังน้ำ จากการสังเกตปริมาณออกซิเจนพบว่า ในช่วงปี ค.ศ. 1938-1948 ปริมาณออกซิเจนไม่ลดลง แต่ในช่วงปี ค.ศ. 1956-1957 พบว่าออกซิเจนลดลง 60 เปอร์เซนต์ (ในช่วงฤดูร้อน) การศึกษาเกี่ยวกับแพลงค์ตอนพืชพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงทั้งชนิดและปริมาณ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1936-1962 พบว่ามีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae) เพิ่มขึ้นหลายพันธุ์ ได้แก่ <u>Oocystis submarina</u>, <u>Crucigenia quadrata</u> และ <u>Microcystis pulvera</u> เป็นต้น จากการเปรียบเทียบผลผลิตของแพลงค์ตอนพืชทั้งหมดในช่วง 10 ปี (ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1947-1957) พบว่ามีปริมาณเป็นขึ้น 2 เท่า แต่การเปลี่ยนแปลงของแพลงค์ตอน

สัตว์มีไม่มากนัก (21) จากข้อสังเกตต่าง ๆ เหล่านี้ Mechkova (อ้างถึงโดย 21) จึงได้สรุปไว้ว่า ในปัจจุบัน (ปี ค.ศ. 1962) ทะเลสาบแห่งนี้กำลังเกิดสภาวะ eutrophication ขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ (human activity)

2.5.3 ทะเลสาบในอเมริกาเหนือ

ทะเลสาบ Sebasticook อยู่ในรัฐ Maine ในช่วงปี ค.ศ. 1940-1950 พบว่ามีผลผลิตน้อยมาก (oligotrophic) ต่อมาอีก 10 ปีพบว่ามีสาหร่ายเพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับที่ก่อให้เกิดความรำคาญ ในปี ค.ศ. 1965 มีการแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 2 ตระกูล คือ Anacystis spp และ Anabaena spp จนถึงระดับที่ก่อให้เกิดความน่ารังเกียจ โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนจะเกิดเป็นแผ่นหนาลอยอยู่บนผิวน้ำ สาเหตุเกิดจากการระบายน้ำเสียจากอุตสาหกรรมและการเกษตรลงไป (22) ทะเลสาบ Washington อยู่ในรัฐ Washington ใกล้กับเมือง Seattle มีพื้นผิวประมาณ 88 ตารางกิโลเมตร และมีความลึกเฉลี่ย 33 เมตร จากการศึกษาของ Scheffer และ Robinson ในปี ค.ศ. 1933 (อ้างถึงโดย 22, 23) พบว่ามีสภาวะเป็น oligotrophic ต่อมาในปี ค.ศ. 1950 Comita และ Anderson (อ้างถึงโดย 22, 23) ได้รายงานว่าทะเลสาบมีแนวโน้มว่ามีปริมาณสารอาหารเพิ่มมากขึ้นจากการสังเกตปริมาณของแพลงค์ตอนพืช ดังนั้นในปี ค.ศ. 1952 คณะกรรมาธิการควบคุมมลภาวะของรัฐ Washington จึงได้เริ่มทำการศึกษาปริมาณสารอาหารและคลอโรฟิลของน้ำในทะเลสาบ (22) ในเดือนมิถุนายน ปี ค.ศ. 1955 ดร. George Anderson (อ้างถึงโดย 23) ได้สังเกตพบว่ามีการแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Oscillatoria rubescan) สาเหตุที่ทะเลสาบมีปริมาณสารอาหารและผลผลิตของแพลงค์ตอนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีการระบายน้ำเสียลงสู่ทะเลสาบ Washington จากชุมชนบ้านเรือนในเมือง Seattle ทะเลสาบ Michigan เป็นทะเลสาบใหญ่เป็นอันดับ 6 ของโลก มีพื้นที่ประมาณ 57,000 ตารางกิโลเมตร มีความลึกเฉลี่ย 99 เมตร ลักษณะเดิมของทะเลสาบเป็น oligotrophic เพราะว่ามีออกซิเจนสูงทั่วทุกระดับความลึกตลอดปีและมีค่าความโปร่งแสง (transparency) สูง การเปลี่ยนทางชีววิทยาที่สำคัญคือพบ Stephanodiscus hantzschii และ S. binderamus ซึ่งเป็นไดอะตอมที่ไม่เคยพบมาก่อน นอกจากนี้ยังพบว่ามีการแพร่กระจายของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และทำให้เกิดปัญหาอย่างรุนแรงบริเวณชายหาด (เกิดเป็นแผ่นคราบอยู่บนชายหาด) การเปลี่ยน

แปลงที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ในช่วง 20 ปีหลัง (1945-1965) ปลาที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ได้แก่ ปลาเทราท์ ปลาเฮริง มีปริมาณลดลงทั้ง ๆ ที่ได้มีการกำหนดมาตรการห้ามจับปลาเหล่านี้ แต่ก็ไม่มีส่วนช่วยทำให้ปลาเหล่านี้เพิ่มจำนวนขึ้น (24) ทะเลสาบ Ontario มีพื้นที่ประมาณ 19,000 ตารางกิโลเมตร มีความลึกเฉลี่ย 91 เมตร โดยลักษณะรูปร่างของทะเลสาบแล้วจัดว่าเป็น oligotrophic แต่มีลักษณะบางประการที่แสดงให้เห็นว่าได้เริ่มเกิดสภาพ eutrophic ขึ้น ได้แก่ การลดลงของความโปร่งแสง การเพิ่มขึ้นของอิออนที่สำคัญ ๆ คือ แคลเซียม ซัลเฟต และคลอไรด์ (24)

2.5.4 <u>ทะเลสาบในเอเชีย</u>

ทะเลสาบ Biwa-ko เป็นทะเลสาบที่ใหญ่ที่สุดในญี่ปุ่น มีความลึกเฉลี่ย 41.2 เมตร เดิมมีสภาพเป็น oligotrophic โดยพิจารณาจากปริมาณออกซิเจนในชั้นน้ำชั้นล่างและค่าความโปร่งแสง ต่อมาพบว่าค่าความโปร่งแสงค่อย ๆ ลดลงที่ละน้อยในระหว่างปี ค.ศ. 1922-1942 ต่อมาพบว่าลดลงอย่างมากในปี ค.ศ. 1950 และยังมีแนวโน้มที่จะลดลงเรื่อย ๆ สาเหตุมาจากการเร่งผลผลิตทางเกษตรกรรมรอบ ๆ ทะเลสาบ (ซึ่งเป็นผลมาจากสงครามโลกครั้งที่ 2) โดยการใช้ปุ๋ยและวัสดุเคมีการเกษตรอื่น ๆ มาก เป็นผลทำให้มีการเติมสารอาหารลงสู่ทะเลสาบแห่งนี้ สาเหตุอีกประการคาดว่าเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอากาศ ซึ่งเป็นที่รู้กันว่าอุณหภูมิของบรรยากาศได้เพิ่มขึ้นหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เป็นต้นมา (25) ทะเลสาบ Suwa-ko อยู่ทางภาคกลางของประเทศญี่ปุ่น มีการเปลี่ยนแปลงสถานภาพสารอาหารเร็วมาก ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1969 พบว่าทะเลสาบเริ่มเกิดสภาวะ eutrophic ทั้งนี้เพราะว่าทะเลสาบนี้เป็นแหล่งพักฟื้น และแหล่งท่องเที่ยว มีนักท่องเที่ยวมาพักผ่อนตลอดปี น้ำเสียที่ระบายจากโรงแรมต่าง ๆ เป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพของทะเลสาบ (25)

จากกรณีตัวอย่างต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถพิจารณาได้ว่า การเกิดสภาพ accelerated eutrophication นั้น สามารถเกิดได้กับทะเลสาบหรือแหล่งน้ำต่าง ๆ ซึ่งมีความแตกต่างทั้งขนาดลักษณะและรูปร่าง ธรณีวิทยาของแหล่งกำเนิด และในภูมิประเทศและภูมิอากาศต่าง ๆ ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วปัจจัยเหล่านี้มีผลมากต่อการเกิด natural eutrophication แต่สำหรับการเกิด accelerated eutrophication ปัจจัยเหล่านี้

มีบทบาทน้อยลงมา และสามารถกล่าวได้ว่าปัจจัยเหล่านี้ถือได้ว่าเป็นปัจจัยรองซึ่งมีส่วนช่วยเสริมหรือลดความยากง่ายของการเกิดสภาวะ accelerated eutrophication เท่านั้น แต่ไม่มีบทบาทโดยตรงต่อการเกิดสภาวะ accelerated eutrophication

2.6 ผลกระทบของ accelerated eutrophication

accelerated eutrophication ทำให้เกิดผลกระทบอย่างกว้างขวางต่อระบบนิเวศน์ทางน้ำและต่อมนุษย์ในที่สุด ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นผลเสียที่เกิดขึ้นมีทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเด็นใหญ่ ๆ ได้ดังนี้คือ

2.6.1 ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์แหล่งน้ำ

ระบบนิเวศน์ทางน้ำเป็นระบบที่มีความซับซ้อนมากจนยากที่จะสามารถเข้าใจได้อย่างถ่องแท้ ทุก ๆ องค์ประกอบของระบบมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันทั้งภายในกลุ่มเดียวกันและระหว่างกลุ่มซึ่งรวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต ห่วงโซ่อาหารเป็นความสัมพันธ์ของการถ่ายทอดมวลและพลังงานต่อกันไปเป็นทอด ๆ จากสิ่งมีชีวิตพื้นฐาน (แพลงค์ตอนพืช) ไปจนถึงสิ่งมีชีวิตที่มีความซับซ้อนมากขึ้น และเป็นความสัมพันธ์รูปแบบหนึ่งซึ่งมีความสำคัญต่อการเข้าใจถึงธรรมชาติของระบบนิเวศน์แหล่งน้ำ สามารถนำมาใช้ต่อการจัดการของมนุษย์เพื่อการใช้ประโยชน์ต่อระบบนิเวศน์อย่างมีประสิทธิภาพและชาญฉลาด ปัญหามลภาวะทางน้ำหลาย ๆ ประการเกี่ยวข้องอย่างมากต่อความสัมพันธ์ในรูปของห่วงโซ่อาหาร ได้แก่ การถ่ายทอดของสารพิษผ่านระบบห่วงโซ่อาหารและทำให้เกิดการขยายพิษทางชีวภาพขึ้น (bio-magnification) การทำลายหรือรบกวนต่อระบบห่วงโซ่อาหารไม่ว่าในขั้นตอนใดย่อมส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์แหล่งน้ำได้ทั้งระบบในทางใดทางหนึ่ง และอาจรุนแรงมากหรือน้อยก็ได้ แต่ในที่สุดก็จะส่งผลรบกวนต่อการใช้ประโยชน์ต่อทรัพยากรแหล่งน้ำของมนุษย์ (23)

การเพิ่มขึ้นของสารอาหารในแหล่งน้ำมีผลกระทบโดยตรงต่อผลผลิตปฐมภูมิของระบบนิเวศน์แหล่งน้ำ ทำให้มีการเพิ่มปริมาณของแพลงค์ตอนพืชอย่างรวดเร็ว แต่ว่ามีผลต่อการลดลงของความหลากชนิดของสายพันธุ์ (species diversity) แหล่งน้ำที่เป็น oligotrophic จะมีความหลากชนิดของสายพันธุ์สูง ขณะที่แหล่งน้ำที่เป็น eutrophic จะมีความหลากชนิดของสายพันธุ์ต่ำลง (6, 13) แพลงค์ตอนพืชที่มักจะเป็นสายพันธุ์เด่น (dominant species) ขณะเกิดการแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็วของสาหร่าย ได้แก่ พวกสาหร่าย

สีเขียวแกมน้ำเงิน ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีคุณสมบัติหลาย ๆ อย่าง ที่ทำให้ได้เปรียบสาหร่ายชนิดอื่น ๆ คือ มีช่องอากาศ (gas vacuole) ทำให้สามารถปรับตัวเองให้อยู่ในน้ำระดับต่าง ๆ ได้ (เป็นการเคลื่อนที่เข้าหาสารอาหาร) ส่วนใหญ่เป็นพวกที่ตรึงไนโตรเจนไว้ได้ มีเอนไซม์ alkaline phosphatase ทำให้สามารถใช้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ได้ และแพลงค์ตอนสัตว์โดยทั่ว ๆ ไปไม่ใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นอาหาร (13) ในแง่ของระบบนิเวศน์แล้วการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นที่ไม่ได้สัดส่วนของสารอาหารทำให้สมดุลย์ของระบบนิเวศน์เสียไป การที่สายพันธุ์ใดสายพันธุ์หนึ่งเด่นขึ้นมาอย่างผิดปกติอย่างไม่สามารถควบคุมได้ ทำให้กระทบถึงวงจรชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำอื่น ๆ ทั้งที่อยู่ในระดับเดียวกันหรือคนละระดับและทำให้ความสัมพันธ์ในรูปต่าง ๆ ทั้งที่เป็นแบบเสริมกัน หรือแบบแข่งขันกันถูกทำลายลง Palmer (อ้างถึงโดย 6) พบว่าสาหร่ายบางพันธุ์เมื่อตายแล้วจะปล่อยสารที่เป็นพิษออกมา เช่น Chlamydomonas sp. จะสร้างกรดไขมันชนิดหนึ่งที่เป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตต่อ Haemotococcus sp. Nostoc sp. ก็เป็นอีกสายพันธุ์หนึ่งที่ปล่อยสารควินโนน (quinone) ออกมายับยั้งการเจริญเติบโตของ Cosmarium sp.

ขณะที่มีการเพิ่มปริมาณของสาหร่ายอย่างรวดเร็ว จะทำให้เกิดสภาพออกซิเจนอิ่มตัวยิ่งยวด (supersaturation) ในเวลากลางวันซึ่งเป็นผลมาจากการสังเคราะห์แสง แต่จะทำให้เกิดสภาพขาดแคลนออกซิเจน (oxygen deficiency) ในเวลากลางคืน เนื่องจากออกซิเจนในน้ำถูกใช้ไปมากจากการหายใจของสาหร่าย ในแหล่งน้ำที่มีการแบ่งชั้นของน้ำเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมินั้น จะพบว่าปริมาณออกซิเจนในชั้นน้ำชั้นล่าง (hypolimnion) ลดลงอย่างมากซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญประการหนึ่งของแหล่งน้ำที่เปลี่ยนสภาพจาก oligotrophic มาเป็น eutrophic การเปลี่ยนแปลงประการอื่น ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) เพิ่มสูงขึ้นในชั้นผิวน้ำในเวลากลางวัน ขณะเดียวกันก็มีการตกตะกอนในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนตมากขึ้น ความเป็นกรด-ด่างของน้ำอาจมีค่าขึ้นถึง 10 สาหร่ายทำให้ความขุ่นและสีของน้ำเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความโปร่งแสง (transparency) ของน้ำลดลง ซึ่งมีผลทำให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านลงในน้ำได้น้อยลง การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ก็ทำให้เกิดผลสะท้อนกลับไปหาการเปลี่ยนแปลงจำนวนและประชากรของแพลงค์ตอน เพราะว่าสภาพทางเคมีและกายภาพเปลี่ยนไปแพลงค์ตอนชนิดต่าง ๆ ทั้งพืชและสัตว์มีความต้องการและความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ต่างกันไป ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของน้ำจึงมีส่วนช่วย

ทำให้สมดุลย์ของระบบนิเวศน์ต้องเสียไปเช่นเดียวกัน เมื่อสาหร่ายซึ่งมีปริมาณอยู่มากตายลงก็จะเป็นการเพิ่มสารอินทรีย์ให้กับแหล่งน้ำนั้น ๆ แบคทีเรียและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ (ใช้สารอินทรีย์เป็นอาหาร) ก็จะเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงมีผลทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจน (anoxic condition) ขึ้นได้ ซึ่งก็ทำให้เกิดสภาพเน่าเสียของน้ำตามมา นอกจากนี้สาหร่ายบางพวกโดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถสร้างสารพิษที่มีอันตรายต่อสาหร่ายชนิดอื่น ปลา นกน้ำ และสัตว์อื่น ๆ รวมถึงมนุษย์ถ้ามีการใช้น้ำจากแหล่งนั้น ๆ (6, 10, 11, 13, 19, 26, 27)

โดยสรุปแล้วการเพิ่มขึ้นของสารอาหารในแหล่งน้ำเป็นสาเหตุสำคัญของการเพิ่มปริมาณแพลงค์ตอนพืชอย่างรวดเร็ว ซึ่งถือได้ว่าเป็นผลโดยตรงอันดับแรกที่เกิดขึ้น การเพิ่มปริมาณอย่างมากของแพลงค์ตอนนี้ก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพในแหล่งน้ำตามมา ผลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นมานี้ย่อมส่งกระทบต่อเนื่องกันไปทั้งทางตรงและทางกลับ ทั้งนี้เพราะว่าในระบบนิเวศน์แหล่งน้ำทุก ๆ องค์ประกอบไม่ว่าจะเป็นสิ่งมีชีวิตหรือไม่มีชีวิตก็ตาม ย่อมมีความสัมพันธ์ต่อกันและกันและเชื่อมโยงไปมาระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ อย่างไรก็ดี การศึกษาทางด้านนิเวศน์แหล่งน้ำก็ดี ผลกระทบที่เกิดจาก eutrophication ก็ดี ที่จริงแล้วเน้นถึงส่วนที่เกี่ยวข้องต่อการสร้างและ/หรือเสียประโยชน์ของมนุษย์ต่อการใช้ทรัพยากรแหล่งน้ำเท่านั้น

2.6.2 ผลกระทบต่อคุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์

การแพร่กระจายของสาหร่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและพืชน้ำขนาดใหญ่อื่น ๆ ทำให้เกิดผลกระทบต่อการใช้น้ำเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ได้แก่ ระบบการทำน้ำประปาและคุณภาพน้ำประปา สาหร่ายเป็นสาเหตุของการอุดตันของระบบกรองน้ำ ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องคุณภาพของน้ำประปาในแง่ของสี กลิ่น และรส ซึ่งเป็นที่น่ารังเกียจต่อการบริโภค ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจาก slime-producing algae นอกจากนี้ยังทำให้เกิดอันตรายจากการบริโภคน้ำเนื่องจากสารพิษที่สร้างขึ้นโดยสาหร่ายบางจำพวก (6, 11, 16, 26, 28, 29) ในปี ค.ศ. 1959 Palmer (อ้างถึงโดย 6) ได้ทดลองสกัดสาร geosmin ซึ่งทำให้กลิ่นและรสของน้ำเสียได้จาก Oscillatoria spp. และ Symploca spp. ในปี ค.ศ. 1970 AWWA (30) ได้รายงานว่า Microcystis flos-aquae สร้างสารที่ทำให้เกิดกลิ่นและรสที่น่ารังเกียจซึ่งเป็นสารประเภทสารประกอบ

กำมะถัน นอกจากนี้ได้มีการทดลองให้หนูทดลองกิน Scendesmus spp. (สาหร่ายสีเขียว) พบว่าทำให้เซลล์ตับของหนูทดลองตาย (hepatic necrosis) (6)

การแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็วของสาหร่ายเป็นทั้งสาเหตุโดยตรงและโดยอ้อมต่อการลดปริมาณของปลาและรวมถึงการเปลี่ยนชนิดพันธุ์ของปลาด้วย (13) ผลโดยส่วนรวมก็คือทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของปลาลดลงและทำให้เกิดการสูญเสียทางด้านเศรษฐกิจการประมง Bachman (6) และ Mulligan (26) รายงานว่า filamentous algae เป็นสาเหตุทำให้จำนวนปลาลดลง กรณีตัวอย่างเช่น ในทะเลสาบ Erie พบว่า ปลาที่พบมากเป็นปลาที่ไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ หรือในอ่าว Kaneohe พบว่า สาหร่ายเป็นสาเหตุของการทำลายแนวปะการังซึ่งเป็นแหล่งอาหารและแหล่งอนุบาลของสัตว์น้ำเล็ก ๆ นอกจากนี้สาหร่ายบางประเภทก็เป็นพาราสิตต่อปลาและทำให้เกิดโรคได้ เช่น Oodinum ocellatum, O. limneticum และ Mucophiclus cyprini เป็นต้น (11)

การแพร่พันธุ์ของพืชลอยน้ำต่าง ๆ ทำให้ขัดขวางต่อการไหลของน้ำและเป็นอุปสรรคต่อการคมนาคม (19, 32) พืชน้ำที่สร้างปัญหานี้ส่วนใหญ่ได้แก่ Eichornia crassipes (ผักตบชวา), Pista stratiotes (ดอกจอก) เป็นต้น (13, 26) การเน่าเสียของน้ำที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีสาหร่ายอยู่หนาแน่นมากเกินไป การเกิดคราบของสาหร่ายบริเวณชายฝั่ง การเกิดแผ่นหนาของสาหร่ายลอยอยู่บริเวณผิวน้ำ เป็นต้น ล้วนแต่มีผลทำให้ทัศนียภาพที่ดีต้องสูญเสียไป ซึ่งรวมถึงการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำในแง่ของการพักผ่อนหย่อนใจ เช่น มีผลกระทบต่อการว่ายน้ำ ตกปลา และการแล่นเรือ เป็นต้น (22, 23, 26) ผลกระทบอื่น ๆ ได้แก่ ทำให้เกิดการระบาดของพวกแมลง ได้แก่ ยุง เป็นต้น (20, 22, 26) และยังทำให้เกิดการกัดกร่อนต่อวัสดุก่อสร้างประเภทคอนกรีต เหล็ก ที่แช่อยู่ในน้ำ (11)

โดยสรุปแล้วอาจกล่าวได้ว่าผลกระทบที่สำคัญคือ ผลกระทบทางเศรษฐกิจ เนื่องจากความจำเป็นของการใช้น้ำในแง่ต่าง ๆ ดังนั้น เมื่อเกิดปัญหาขึ้นจึงจำเป็นต้องทำการป้องกันและแก้ไข ซึ่งทำให้เปลืองค่าใช้จ่ายต่าง ๆ มากขึ้น

2.7 ข้อบ่งชี้ของการเกิดสภาวะ eutrophication

แต่เดิมการพิจารณาสภาวะ eutrophication ในทะเลสาบในยุโรปภาคกลางนั้น อาศัยข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณของออกซิเจนในชั้นน้ำชั้นล่าง ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ปริมาณ NO_3-N^- ในชั้นน้ำชั้นบน และปริมาณสาหร่าย (19) แต่ "ข้อบ่งชี้" เหล่านี้บางอย่างก็ใช้ได้ในที่อื่น ๆ แต่บางอย่างก็ใช้ไม่ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของธรณีวิทยาของแหล่งกำเนิด สภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศของทะเลสาบต่าง ๆ Wood (13) และ Hopper (31) ได้รวบรวม "ข้อบ่งชี้" ไว้หลายข้อที่ใช้พิจารณาถึงการเกิดสภาวะ eutrophication ขึ้นในแหล่งน้ำต่าง ๆ ดังนี้

1) ปริมาณออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen status) โดยการพิจารณาปริมาณของออกซิเจนในชั้นน้ำชั้นล่าง (วิธีการนี้เหมาะกับทะเลสาบที่มีความลึกมาก ๆ และตรวจสอบได้ชัดเจนในช่วงฤดูร้อน)

2) ความโปร่งแสง (transparency) การเปลี่ยนแปลงความโปร่งแสงของน้ำเป็นตัวบ่งชี้การแพร่กระจายของแพลงค์ตอนได้ การศึกษากระทำได้ง่ายแต่ยากต่อการแปรผล เพราะว่าไม่สามารถบอกได้ถึงความแตกต่างระหว่างสารแขวนลอยกับแพลงค์ตอนได้ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ มาเกี่ยวข้องด้วย เช่น แสง เป็นต้น

3) รูปร่างลักษณะ (morphometry) ขณะที่ขั้นตอนของ eutrophication กำลังดำเนินอยู่จะทำให้รูปร่างลักษณะของแหล่งน้ำเปลี่ยนไป เช่น ตื้นขึ้น ชายฝั่งมีลักษณะราบเรียบขึ้น แต่ไม่ไวพอและไม่สามารถบอกได้ถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเนื่องจากมนุษย์ได้ ดังนั้น จึงไม่ใช่ข้อบ่งชี้ที่ดี แต่ใช้ประโยชน์ได้ในแง่ของ natural eutrophication และยังใช้เป็นข้อมูลประกอบสำหรับการพิจารณาว่าแหล่งน้ำนั้น ๆ มีความไวหรือความทน (resistance) ต่อการเกิดสภาวะ accelerated eutrophication เพียงใด

4) สารอาหาร ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารหลักของพืชและมักถูกปล่อยทิ้งลงมามากจากกิจกรรมของมนุษย์ ปัญหาก็คือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณและรูปแบบอยู่เกือบตลอดเวลา ดังนั้น การวัดต้องให้ได้ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ (available form) และบางครั้งการวัดไม่ไวพอ ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือไม่สามารถ

กำหนดปริมาณที่เป็นมาตรฐานได้ ปริมาณของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ทำให้เกิดปัญหา eutrophication ในที่หนึ่งอาจไม่ทำให้เกิดปัญหาในที่อื่น ๆ ก็ได้ นอกจากไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแล้ว อิออนอื่น ๆ ได้แก่ คลอไรด์ ซัลเฟต โซเดียม โปแตสเซียม แคลเซียม เป็นต้น สามารถใช้เป็นข้อบ่งชี้ได้ เนื่องจากอิออนเหล่านี้จะมีมาพร้อมกับน้ำเสียจากชุมชนและเกษตรกรรม และไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณและรูปแบบ

5) ตัวบ่งชี้ชีวภาพ (biological indicator) โดยอาศัยการเกิดขึ้นและสูญหายของสายพันธุ์ (species) บางชนิด ปัญหาก็คือ สายพันธุ์ไม่สามารถบอกได้ถึงอัตราและระดับของการเกิด eutrophy การเก็บข้อมูลทำได้ยากและต้องทำเกือบตลอดปี เนื่องจากในธรรมชาติความหลากชนิดของสายพันธุ์ขึ้นกับฤดูกาลที่เปลี่ยนไป นอกจากนี้ในแต่ละแห่งสายพันธุ์ที่ใช้ก็ต่างกันไปด้วย

6) ผลผลิต (productivity) เป็นค่าที่มีความไวเพียงพอในการเป็นตัวบ่งชี้ แต่ต้องใช้เวลาในการติดตามผลในระยะยาวมาก เพื่อกำจัดผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลออกจากข้อมูลก่อนที่จะนำมาแปรผล

7) การวิเคราะห์ดินตะกอน (sediment core analysis) วิธีนี้สามารถใช้บอกได้ถึงอายุและอัตราการเร่งของ eutrophy ได้แต่ต้องใช้เวลามากในการเก็บข้อมูลวิธีการก็ยุ่งยาก และเหมาะสำหรับ natural eutrophication

อย่างไรก็ดี "ข้อบ่งชี้" เหล่านี้ไม่มีความสมบูรณ์ในตัวเอง เนื่องจากมีข้อจำกัดในตัวของมันเองอยู่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องใช้เวลามากในการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาเปรียบเทียบและแปรผล รวมทั้งขาดความไวพอที่จะตรวจให้พบถึงความเปลี่ยนแปลงที่เริ่มเกิดขึ้นในกรณีที่แหล่งน้ำได้รับการคุกคามจากมนุษย์ นอกจากนี้ยังไม่สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบได้ระหว่างแหล่งน้ำในที่ต่าง ๆ ได้ เพราะว่า "ข้อบ่งชี้" เหล่านี้จะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศด้วย อย่างไรก็ดี การวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารในเชิงเคมีก็ยังเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญและจำเป็นต่อการศึกษาคุณภาพน้ำ ถึงแม้ว่าจะมีข้อจำกัดอยู่บ้างบางประการในตัวของมันเอง

2.8 การใช้สาหร่ายวิเคราะห์ (algal assay) ในการประเมินสถานภาพสารอาหาร

2.8.1 ความจำเป็นของการประเมินสถานภาพสารอาหาร

สาหร่ายวิเคราะห์เป็นวิธีที่เพิ่งจะนำมาใช้เมื่อเปรียบเทียบกับ "ข้อบ่งชี้" อื่น ๆ และเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด (13) "ข้อบ่งชี้" อื่น ๆ เพียงแต่บอกให้รู้ถึงสภาวะ eutrophication ว่าเกิดขึ้นแล้วหรือไม่ แต่ข้อมูลเพียงเท่านี้ยังไม่เพียงพอสำหรับการดำเนินการแก้ไขและป้องกันได้อย่างแท้จริง ในราวปี ค.ศ. 1954 นักเคมีและวิศวกรที่เกี่ยวข้องในด้านนี้ได้เริ่มให้ความสนใจที่จะพัฒนาวิธีการกำจัดสารอาหารออกจากแหล่งน้ำ (ที่เกิดปัญหา eutrophication แล้ว) เนื่องจากเชื่อว่าเป็นการแก้ไขที่ถูกต้องและตรงต่อปัญหา แต่สิ่งที่นักเคมีและวิศวกรต้องการรู้ก็คือควรกำจัดสารอาหารชนิดใดออกจากแหล่งน้ำ ซึ่งนักชีววิทยา (ในช่วงเวลานั้น) ก็ไม่สามารถให้คำตอบแก่นักเคมีและวิศวกรได้ เนื่องจากยังขาดวิธีการที่ยอมรับได้สำหรับการประเมินสารอาหารที่พืชต้องการ (32) โดยสรุปแล้วสามารถแยกให้เห็นปัญหาได้ 2 ประเด็นใหญ่ ๆ คือ

1) การประเมินเพื่อหาปริมาณสารอาหารที่พืชนำไปใช้ได้ (available nutrient) ในแหล่งน้ำ

2) การหาว่าสารอาหารชนิดใดที่เป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของพืช

2.8.2 ความเป็นมาของการใช้สาหร่ายวิเคราะห์

การวิเคราะห์ทางเคมีเพียงอย่างเดียวสามารถบอกถึงความอุดมสมบูรณ์โดยทั่ว ๆ ไปของแหล่งน้ำ แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าสารอาหารชนิดใดเป็นปัจจัยจำกัดและไม่สามารถบอกได้ถึงศักยภาพที่แท้จริงของแหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังไม่ไวพอที่จะตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารที่มีอยู่ในระดับเล็กน้อย (trace level) ได้ อีกประการหนึ่งก็คือ การวิเคราะห์ทางเคมีไม่สามารถบอกถึง interaction ของสารอาหารชนิดต่าง ๆ กับสาหร่ายได้ (9, 23, 32)

ในการศึกษาทางด้านชลธีวิทยานั้น เริ่มแรกเป็นการศึกษาในเชิงนิเวศน์โดยตรง ซึ่งเป็นการศึกษาถึงรายละเอียดต่าง ๆ ของระบบนิเวศน์และรวมถึงการเปลี่ยนแปลง วิธีนี้ให้

ประโยชน์ได้มากในแง่ของการใช้สายพันธุ์บางชนิด เป็นตัวบ่งชี้คุณสมบัติทางชีวภาพของแหล่งน้ำ เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำจากปัจจัยภายนอกของแหล่งน้ำ ต่อมาในราวปี ค.ศ. 1927 จึงได้เริ่มมีการศึกษาในเชิงสรีรวิทยาโดยการศึกษาถึงการตอบสนองของสายพันธุ์ทดสอบ (test species) ที่เพาะเลี้ยงขึ้นในห้องทดลองต่อตัวอย่างน้ำ โดยครั้งแรกสุดมีการใช้สาหร่ายสกุล Carteria เป็นสาหร่ายทดลองสำหรับการหาปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทะเล (11) สรุปได้ว่าการทดสอบทางชีวภาพ (biological test) มีอยู่ 2 หลักการใหญ่ ๆ คือ การทดสอบโดยตรงหรือการทดสอบเชิงนิเวศน์วิทยาในภาคสนาม และการทดสอบทางอ้อมหรือการทดสอบเชิงสรีรวิทยาในห้องทดลอง ต่อมาเมื่อปัญหา eutrophication ได้รับความสนใจมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของการแก้ไขป้องกันและการคิดตามผล การใช้สาหร่ายวิเคราะห์จึงได้เริ่มมีการใช้อย่างกว้างขวางและแพร่หลาย เนื่องจากสามารถให้คำตอบที่นักเคมีและวิศวกรต้องการได้ โดยหาว่าสารอาหารชนิดใดที่เป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของพืช (9) ซึ่งเป็นการนำไปสู่การทดลองที่เรียกว่า nutrient enrichment experiment ซึ่งเริ่มขึ้นประมาณปี ค.ศ. 1959 โดย Phyther และ Guillard (อ้างถึงโดย 9) จากนั้นมาสาหร่ายวิเคราะห์ก็เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากเพื่อวัตถุประสงค์ที่สำคัญ 2 ประการคือ เพื่อหาศักยภาพของแหล่งน้ำในการสนับสนุนต่อการเติบโตและแพร่พันธุ์ของสาหร่าย และการหาสารอาหารที่เป็นปัจจัยจำกัด การทดลองนี้ได้มีการทำในลักษณะแตกต่างกันไป ได้แก่ การเลือกใช้ปริมาตรของตัวอย่างน้ำ ปริมาณและชนิดของสารอาหารที่ใช้ ชนิดของสายพันธุ์ของสาหร่ายซึ่งมีทั้งที่ใช้สายพันธุ์ที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการและสายพันธุ์ท้องถิ่น (indigeneous species) ระยะเวลาของการเพาะเลี้ยง (incubation period) เป็นต้น ในระยะแรก ๆ ของการศึกษาสาหร่ายที่นิยมนำมาใช้ทดลอง ได้แก่ สกุล Chlorella sp., Scenedesmus sp., Chlamydomonas sp. และ Ankistrodesmus sp. ซึ่งเป็นกลุ่มสาหร่ายสีเขียว สำหรับกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ได้แก่ สกุล Oscillatoria sp., Mycrocystis sp. และ Anabaena sp. (13) แต่ทั้งหมดก็เป็นการทดลองในหลักการเดียวกัน ปัญหาก็คือผลที่ได้ไม่น่าเชื่อถือ ไม่มีความแน่นอน ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบระหว่างกันได้ รวมทั้งบางครั้งมีการแปรผลผิดไป เนื่องจากการออกแบบการทดลองผิดพลาด รวมทั้งขาดความรู้พื้นฐานทางด้านสรีรวิทยาของสาหร่าย (9, 23)

2.8.3 เหตุผลที่เลือกใช้สาหร่ายเป็นตัวทดสอบ

สาหร่ายจัดได้ว่าเป็นพืชน้ำกลุ่มหนึ่งที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำมากที่สุด สาหร่ายทำหน้าที่เป็นผู้ผลิตปฐมภูมิของระบบนิเวศน์ และทำหน้าที่เป็นแหล่งอาหารพื้นฐานที่หล่อเลี้ยงและผลักดันระบบนิเวศน์ให้ดำเนินอยู่ต่อไปได้ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ เป็นแหล่งผลิตออกซิเจนให้แก่สัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยต่อการฟอกตัวของแหล่งน้ำ (self purification) ด้วย (16, 26) อีกประการหนึ่งสาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารได้ไวและรวดเร็ว จากเหตุผลต่าง ๆ เหล่านี้จึงได้เลือกสาหร่ายเป็นเครื่องมือทดลองแทนที่จะใช้พืชหรือสัตว์ชนิดอื่น ๆ ในการประเมินสถานภาพสารอาหารในแหล่งน้ำ (16, 33)

2.8.4 การพัฒนาและปรับปรุงวิธีทดลองสาหร่ายวิเคราะห์เพื่อได้มาตรฐาน

ถึงแม้ว่าการทดลองสาหร่ายวิเคราะห์จะมีจุดอ่อนอยู่หลายประการ แต่ก็ได้ยอมรับกันว่าสาหร่ายวิเคราะห์เป็นวิธีการที่จะช่วยเสริมการวิเคราะห์ทางเคมีในทางที่จะได้ข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในการป้องกันแก้ไขและควบคุม เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ทางชีวภาพ (biological assay) อื่น ๆ เช่น ค่า BOD ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ทางชีวภาพวิธีหนึ่งที่ใช้ประเมินระดับสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ และเป็นเครื่องมือที่ใช้ประโยชน์มากสำหรับนักเคมีและวิศวกร สำหรับการศึกษาทางด้าน "มลภาวะทางน้ำ" ที่เกิดจากสารอินทรีย์โดยใช้ควบคู่กับค่า COD ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ทางเคมี (33)

คณะกรรมการร่วมเพื่อปฏิบัติภารกิจเกี่ยวกับ eutrophication ของภาครัฐบาลและภาคอุตสาหกรรมในประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากได้ตระหนักถึงความจำเป็นในการพัฒนาวิธีทดลองสาหร่ายวิเคราะห์ที่เป็นมาตรฐานเพื่อใช้สำหรับควบคุมปัญหา eutrophication ที่ผ่านมาผู้ทดลองขาดความรู้พื้นฐานทางด้านสรีรวิทยาของสาหร่ายและได้ออกแบบการทดลองเพื่อให้เข้ากับวัตถุประสงค์เฉพาะตัว ดังนั้น วิธีทดลองเหล่านี้จึงขาดรากฐานที่สำคัญสำหรับการนำผลมาเทียบเคียงหรือเปรียบเทียบกันได้ของแหล่งน้ำที่อยู่ในที่ ๆ มีภูมิประเทศและภูมิอากาศต่างกันไป ดังนั้น ในเดือนกุมภาพันธ์ปี ค.ศ. 1969 คณะกรรมการร่วมฯ จึงได้จัดพิมพ์เผยแพร่วิธีทดลองสาหร่ายวิเคราะห์โดยให้ชื่อว่า Provisional Algal Assay Procedure (PAAP) ซึ่งได้ทำการพัฒนาขึ้นมาโดยอาศัยความรู้และประสบการณ์ของนักวิทยาศาสตร์หลาย ๆ ท่านที่มีความรู้

และเชี่ยวชาญทางด้านสรีรวิทยาของสาหร่าย ทางด้านการตอบสนองต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย และจากท่านที่มีประสบการณ์ของการทดลองทางด้านนี้มาแล้วในแบบต่าง ๆ วิธีการของ PAAP ประกอบด้วยวิธีที่เป็นพื้นฐานสำคัญอยู่ 3 วิธีคือ Bottle test, In situ test และ Chemo-stat test ต่อมาไม่นานหลังจากการพิมพ์เผยแพร่วิธี PAAP ได้มีการจัดแผนงานเพื่อการปรับปรุงและประเมินวิธีการทดลองสาหร่ายวิเคราะห์ทั้ง 3 แบบ โดยมีห้องปฏิบัติการหลายแห่งทั้งของภาครัฐบาล มหาวิทยาลัย และภาคอุตสาหกรรมเข้าร่วมในการประเมิน โดยอาศัยการประสานงานจากหน่วยวางแผนงานวิจัยทางด้าน eutrophication ในสังกัดของสำนักงานจัดการคุณภาพน้ำของรัฐบาลกลาง เป็นเวลาเกือบ 2 ปีต่อมา U.S.EPA จึงได้พิมพ์เผยแพร่เอกสารวิธีทดลองสาหร่ายวิเคราะห์โดยใช้วิธี Bottle test ออกมาในปี ค.ศ. 1971 เนื่องจากได้ประเมินและสรุปจากงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้ดำเนินมาแล้วว่าวิธี Bottle test เป็นวิธีที่ดีและน่าเชื่อถือมากที่สุด (34) ต่อมาวิธีการนี้จึงได้รับอนุมัติให้พิมพ์ลงในหนังสือ Standard Methods เล่มที่ 14 ฉบับปี ค.ศ. 1975 ได้ (35) และตั้งแต่ปี ค.ศ. 1973 O.E.C.D. (Organization for Economic Co-operation and Development) ได้กำหนดให้ใช้สาหร่ายวิเคราะห์เป็นวิธีหนึ่งสำหรับการประเมินสภาวะ eutrophication (13) ต่อมา Miller, Greene และ Shiroyama ได้ทำการปรับปรุงวิธีการ Bottle test และในปี ค.ศ. 1978 ได้เผยแพร่เอกสารโดยใช้ชื่อ The Selenastrum capricornutum Printz Algal Assay Bottle Test (16) เอกสารชิ้นนี้ถือได้ว่าเป็นรากฐานของการทำสาหร่ายวิเคราะห์เพื่อหาศักยภาพการเจริญเติบโตของสาหร่าย (algal growth potential) และได้ปรับปรุงวิธีทดลองสาหร่ายวิเคราะห์เพื่อให้ใช้งานได้กว้างขวางและเป็นมาตรฐานยิ่งขึ้น ที่สำคัญก็คือนอกจากใช้ประเมินผลที่เกิดจากการเติมสารอาหาร (nutrient enrichment effect) ของแหล่งน้ำแล้วยังใช้ประเมินเกี่ยวกับการทดสอบความเป็นพิษ (toxicity test) ได้ด้วย (16, 35) วิธีการนี้ได้ผ่านขั้นตอนการลงมติและได้รับเลือกลงพิมพ์เผยแพร่ในเอกสารของ American Society for Testing and Materials (ASTM) (35) จนถึงปัจจุบันวิธีการนี้ก็ยังคงได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีการที่เป็นมาตรฐานของการทดลองสาหร่ายวิเคราะห์และยังคงได้รับการตีพิมพ์ลงในหนังสือ Standard Methods เล่มล่าสุด (เล่มที่ 16 ฉบับปี ค.ศ. 1985) และใน ASTM ฉบับล่าสุด (ปี ค.ศ. 1985) ด้วย วิธีการนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันแพร่หลายไปทั่วประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศต่าง ๆ ถึงอีกประมาณ 40 ประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มประเทศ Nordforsk ซึ่งได้แก่ เดนมาร์ค ฟินแลนด์ ไอซ์แลนด์ นอร์เวย์ และ

สวีเดน (13, 16, 35) สาหร่ายที่ถูกเลือกใช้ให้เป็นพันธุ์มาตรฐานสำหรับการทดลองมี 3 ชนิด ได้แก่ Selenastrum capricornutum, Anabaena flos aquae (สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้) และ Microcystis aeruginosa (ตรึงไนโตรเจนไม่ได้) แต่ Selenastrum capricornutrum ได้รับความนิยมมากที่สุด Leischman (35) ได้รายงานบทคัดย่อของงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับสาหร่ายวิเคราะห์และ Selenastrum โดยเฉพาะไว้ถึง 220 ชิ้น เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้บริหารที่วางแผนเกี่ยวกับการจัดการแหล่งน้ำ และนักวิทยาศาสตร์ที่สนใจในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Selenastrum และสาหร่ายวิเคราะห์

2.8.5 หลักการและความสำคัญของการใช้สาหร่ายวิเคราะห์

สาหร่ายวิเคราะห์มีพื้นฐานมาจากการดัดแปลงกฎของลีบิก (Liebig's Law of Minimum) (อ้างถึงโดย 14, 16) ซึ่งกล่าวไว้ว่า "ผลผลิตสูงสุดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณสารอาหารชนิดเดียวหรือหลายชนิด ซึ่งอยู่ในรูปที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ และมีอยู่ในปริมาณเล็กน้อยเมื่อเทียบกับความต้องการเพื่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต" จากหลักการนี้จึงนำไปสู่การทดลองแบบ nutrient enrichment experiment โดยการเลี้ยงสาหร่ายทดลองไว้ในขวดหลาย ๆ ขวดซึ่งบรรจุตัวอย่างน้ำที่ต้องการทดลองไว้และเติมสารอาหารต่างชนิดลงไป แล้ววัดผลการเติบโตของสาหร่ายทดลองในแต่ละขวดมาเปรียบเทียบกัน สารอาหารที่เติมลงไปแล้วทำให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายเพิ่มมากขึ้นถือได้ว่าเป็นสารอาหารที่เป็นปัจจัยจำกัด

หลักการที่สำคัญอีกประการหนึ่งของการทำสาหร่ายวิเคราะห์ก็คือ การใช้สาหร่ายที่ได้รับการคัดเลือกแล้วว่าเหมาะสมและทำการเพาะเลี้ยงไว้ในห้องปฏิบัติการเพื่อใช้เป็นพันธุ์มาตรฐานสำหรับทดสอบตัวอย่างน้ำ อีกประการหนึ่งก็คือการทดลองจะใช้สาหร่ายเพียงพันธุ์เดียว (unialgal culture) เท่านั้น เหตุผลของการเลือกใช้สาหร่ายพันธุ์มาตรฐานก็คือเพื่อที่จะสามารถนำค่าศักยภาพการเจริญเติบโตของสาหร่าย (algal growth potential AGP) ของแหล่งน้ำในที่ต่าง ๆ กันนำมาเปรียบเทียบกันได้ สาหร่ายที่เลือกใช้ทดสอบควรมีคุณสมบัติดังนี้คือ เป็นพันธุ์ที่หาได้ง่าย สามารถวัดความเจริญเติบโตได้ง่ายและถูกต้อง มีการตอบสนองต่อสารอาหารอย่างสม่ำเสมอ ทั้งนี้เพราะว่าสาหร่ายบางชนิดสามารถสะสมอาหารได้ ทำให้การตอบสนองการเจริญเติบโตไม่เป็นเส้นตรง ทำให้แปรผลผิดได้ การเลือกใช้สาหร่ายท้องถิ่น (indigineous species) นั้นไม่มีความจำเป็น เนื่องจากสาหร่ายท้องถิ่น

อาจไม่มีคุณสมบัติครบถ้วนของการเป็นสาหร่ายทดลองที่ดี อีกประการหนึ่งก็คือ ถึงแม้ว่าสาหร่ายท้องถิ่นที่จะเลือกนำมาใช้จะเป็นพันธุ์เด่น (dominant species) ก็ตาม แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าเมื่อนำมาเลี้ยงในห้องทดลองแล้วจะช่วยในการแปรผลถูกต้องแม่นยำต่อสภาพธรรมชาติในปัจจุบันได้ดีกว่าพันธุ์ทดลอง ทั้งนี้เพราะว่าในธรรมชาติระดับสมดุลย์ของแพลงค์ตอนพืชจะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงได้อยู่ตลอดเวลา ในช่วงฤดูกาลที่เปลี่ยนไปก็จะมีสาหร่ายพันธุ์อื่น ๆ เจริญเติบโตขึ้นมาเป็นพันธุ์เด่นทดแทนกันอยู่ตลอดเวลา จะไม่มีสายพันธุ์ใดที่เป็นพันธุ์เด่นอยู่ตลอดปี ในสภาพธรรมชาติที่มีแสงแดดและอุณหภูมิพอเหมาะสาหร่ายท้องถิ่นก็จะเจริญเติบโตไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถูกจำกัดโดยสารอาหารที่สำคัญบางตัว ถ้าสาหร่ายท้องถิ่นถูกจำกัดโดยสารอาหารดังกล่าว สาหร่ายทดลองที่ถูกเลี้ยงในสภาพแวดล้อมที่พอเหมาะ (แสงและอุณหภูมิพอเหมาะ) และปราศจากการแข่งขัน (เนื่องจากใช้สาหร่ายพันธุ์เดียว) ก็จะตอบสนองต่อสารอาหารดังกล่าวเช่นเดียวกับสาหร่ายท้องถิ่นในลักษณะที่ขนานกันไป (14, 15, 16)

ข้อดีของสาหร่ายวิเคราะห์ก็คือค่า AGP ที่ได้นั้นเป็นค่าที่สะท้อนให้เห็นผลที่เกิดจากปัจจัยทางเคมี (chemical factor) เพียงอย่างเดียว โดยที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่น ๆ คือ ปัจจัยทางกายภาพ เช่น แสงและอุณหภูมิ เป็นต้น ปัจจัยทางชีวภาพ ได้แก่ การแข่งขันกันระหว่างสายพันธุ์ การถูกกินจากพวกแพลงค์ตอนสัตว์และปลากินพืช เป็นต้น ดังนั้นค่า AGP นี้จึงใช้เป็นข้อบ่งชี้ที่ดีสำหรับการประเมินศักยภาพสารอาหารและมีความไวต่อการตอบสนองของสารอาหารแม้ในปริมาณเล็กน้อย (ที่จะไม่สามารถวัดได้หรือวัดได้อย่างไม่ถูกต้องในเชิงเคมี) อย่างไรก็ดี ค่า AGP นี้เป็นค่าสัมบูรณ์ (absolute value) จึงไม่สะท้อนให้เห็นถึงภาพรวมทางนิเวศน์ได้ (47) การแปรผลและการพิจารณาสภาวะ eutrophication ก็ยังจำเป็นต้องใช้ข้อมูลทางกายภาพอื่นประกอบอยู่พอสมควร แต่วิธีทดลองสาหร่ายวิเคราะห์ก็ได้รับการยอมรับแล้วว่ามีคุณค่ามากในเรื่องของการจัดการแหล่งน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ควบคู่ไปกับวิธีเคมีวิเคราะห์

2.9 ปัญหา eutrophication ในประเทศออสเตรเลีย

ในช่วงระยะเวลาสิบกว่าปีที่ผ่านมานี้ ประเทศออสเตรเลียเพิ่งจะเริ่มตื่นตัวถึงปัญหาที่เกิดจากสภาวะ eutrophication ในเดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 1973 และระหว่างเดือนมีนาคมถึงเมษายน ปี ค.ศ. 1974 พบว่ามีการแพร่ขยายพันธุ์ของ Anacytis aeruginosa

I15841A80

และ Anabaena flos-aquae เกิดขึ้นมากในทะเลสาบ Burrumbeet ซึ่งอยู่ในรัฐวิคตอเรีย นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ที่ดื่มน้ำจากทะเลสาบนี้ (โดยไม่ได้ตั้งใจ) มีอาการอาเจียนและยังพบว่าแกะที่เลี้ยงอยู่บริเวณนี้ก็ได้รับอันตรายจากการกินน้ำจากทะเลสาบ ทะเลสาบอีกหลายแห่งในรัฐวิคตอเรียก็เกิดปัญหาเช่นเดียวกันนี้ สาหร่ายที่มีการแพร่พันธุ์อยู่มากส่วนใหญ่เป็น Microcystis spp. นอกจากจะมีปัญหาเรื่องการแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็วของสาหร่ายเกิดขึ้นแล้วยังมีปัญหาเรื่องการแพร่พันธุ์ของพวกพืชน้ำขนาดใหญ่ด้วย ได้แก่ Eleocharis spacelata ที่มาทองปัญหา eutrophication ที่เกิดขึ้นในประเทศออสเตรเลียได้มีการประเมินไว้ว่า เกิดจากการที่มีการปล่อยทิ้งน้ำเสีย (ที่บำบัดแล้ว) และน้ำเสียจากชุมชนลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณที่มากขึ้น จากการดัดแปลงสภาพการใช้ที่ดิน (สภาพเดิมเป็นป่า) เพื่อทำเกษตรกรรมและประกอบกับมีการใช้ปุ๋ยในการทำเกษตรกรรมมากขึ้น ถึงแม้ว่าปัญหา eutrophication ได้เกิดขึ้นจนเห็นได้ชัดเจน ประเทศออสเตรเลียก็ประสบปัญหาเกี่ยวกับการแก้ไขและการจัดการ เนื่องจากขาดแคลนข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญ ๆ หลาย ๆ ประการ ได้แก่ ปริมาณของสารอาหารในแหล่งน้ำ ความสามารถในการรับสารอาหารของแหล่งน้ำ (nutrient loading capacity) เป็นต้น ที่สำคัญก็คือนักวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องยังขาดความเข้าใจถึงธรรมชาติและความสำคัญของปัญหา eutrophication อย่างถ่องแท้ ทำให้การศึกษาเกี่ยวกับแหล่งน้ำต่าง ๆ ยังมีช่องว่างของความรู้หลายประการเกี่ยวกับธรรมชาติและสาเหตุของการเกิด eutrophication ข้อบกพร่องเหล่านี้ทำให้ไม่สามารถรู้และติดตามขั้นตอนการเกิด eutrophication ว่าเกิดขึ้นตั้งแต่เมื่อใด เป็นระยะเวลานานแค่ไหนและอย่างไร ทำให้ไม่สามารถที่จะจัดการกับแหล่งน้ำเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้ (13, 36) การประเมินสภาพสารอาหาร (trophic state) ในแหล่งน้ำให้ถูกต้องและชัดเจนควรประเมินจาก "ตัวบ่งชี้" หลาย ๆ ประการ ได้แก่ ปริมาณออกซิเจน ความเข้มข้นของสารอาหาร ผลผลิตปฐมภูมิ เป็นต้น (13, 31) แต่ข้อมูลจาก "ตัวบ่งชี้" เหล่านี้จะใช้ประโยชน์ได้ต่อเมื่อมีการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลานานพอสมควร ดังนั้นสำหรับประเทศออสเตรเลียซึ่งประสบกับปัญหาการขาดแคลนข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง การใช้สาหร่ายวิเคราะห์จึงเป็นวิธีที่ให้ประโยชน์มากที่สุดในการศึกษาศักยภาพความอุดมสมบูรณ์ของน้ำ (potential water fertility) และการตอบสนองต่อการเติมสารอาหารลงในแหล่งน้ำด้วย (13, 36)

2.10 ปัญหา eutrophication ในประเทศไทย

ประเทศไทยมีแหล่งน้ำที่สำคัญอยู่หลายแห่ง ทั้งที่เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น อย่างไรก็ดี การศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับคุณภาพน้ำและการจัดการต่อแหล่งน้ำในประเทศไทยนั้นมีจำกัด ถึงแม้ว่าจะมีหลาย ๆ หน่วยงานทั้งในภาครัฐบาลและมหาวิทยาลัยที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาทางด้านสิ่งแวดล้อมก็ตาม แต่เนื่องจากขาดนโยบายระดับชาติที่ชัดเจนเกี่ยวกับการพัฒนาและจัดการต่อแหล่งน้ำ จึงทำให้ข้อมูลต่าง ๆ ทางด้านนี้มีอยู่น้อยมากและไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ การศึกษาโดยตรงทางด้านชลธีวิทยาเกี่ยวกับแหล่งน้ำภายในประเทศไทยยังมีน้อยมาก ส่วนใหญ่ข้อมูลที่ทำการศึกษานั้นเป็นข้อมูลทางด้านเคมีและกายภาพ (physico-chemical data) และยังเป็นการศึกษาอย่างจำกัดเฉพาะเรื่องตามความต้องการของแต่ละหน่วยงานอีกด้วย (37) ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าปัญหาที่ประเทศออสเตรเลียเคยประสบอยู่นั้นคล้ายกับประเทศไทยมากในแง่ของการขาดแคลนข้อมูลพื้นฐานและการขาดความเอาใจใส่ และรวมถึงการขาดแคลนความรู้ทางด้านชลธีวิทยาด้วย ดังนั้น ในแง่ของการประเมินสภาพสารอาหารการใช้สาหร่ายวิเคราะห์ก็จะมีประโยชน์มาก ถ้าเทียบกับการศึกษาทางด้านอื่น ๆ ที่ต้องใช้เวลานานและยากต่อการปฏิบัติ ปัจจุบันสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้ยอมรับว่าการทิ้งสารอาหารลงสู่แหล่งน้ำโดยปราศจากการควบคุมนั้น ได้ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำได้ และยังยอมรับว่ายังขาดแคลนข้อมูลทางด้านนี้อีกมาก และควรมีการทำการวิจัยทางด้านนี้เพิ่มมากขึ้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มากพอที่จะเข้าใจและสามารถป้องกันและแก้ไขปัญหาในเรื่องนี้ (38)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย