

7

คุณภาพน้ำในทะเลสาบและปัญหายูโทรฟิเคชัน

เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล*

7.1 คุณภาพน้ำผิวดินและสภาวะมลพิษในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ปัญหาคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เกิดจากสารอินทรีย์ที่มาจากแหล่งกำเนิดมลพิษ 5 ประเภทหลัก คือ ชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม ฟาร์มสุกร นาุ้ง และพื้นที่เกษตรอื่นๆ ที่ประเภทแรกมีลักษณะเป็นแหล่งกำเนิดที่ชัดเจน (Point source) ซึ่งต้องมีการบำบัดน้ำเสียเพื่อลดภาระมลพิษที่ลงสู่ทะเลสาบสงขลา ซึ่งเป็นต้นเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาอย่างอื่นๆ ตามมา อาทิ การเพิ่มขึ้นของสารอาหารพืชในน้ำจนเกิดภาวะที่มีมากเกินไป (Eutrophication) จนส่งผลให้เกิดการแพร่ขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วของพืชน้ำและสาหร่าย (Bloom) ในระดับที่ควบคุมไม่ได้ การตื่นขึ้นของทะเลสาบจากการทับถมของซากพืช การลดลงของค่าออกซิเจนละลายซึ่งส่งผลร้ายต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำ ความสกปรกจากปริมาณสารเจือปนที่มากเกินไปจนขนาดที่จะทำให้ไม่เหมาะต่อการอุปโภคบริโภคและกิจกรรมอื่นๆ ส่วนแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทหลังสุด (พื้นที่เกษตรอื่นๆ) มีลักษณะเป็นแบบกระจาย (Non-point source) กล่าวคือ ไม่สามารถระบุแหล่งกำเนิดได้ชัดเจน ต้องอาศัยการประมาณค่าจากการศึกษาวิจัยเท่านั้น

* คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

จากการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำทะเลสาบสงขลาของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 ในช่วงปี พ.ศ. 2540 - 2546 ทั้งน้ำในทะเลสาบสงขลา คลองสาขา และบริเวณชายฝั่งทะเลที่ต่อเนื่อง (ตารางที่ 7.1- 7.2 และรูปที่ 7.1) พบว่าคุณภาพน้ำโดยรวมแต่ละปีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ คุณภาพน้ำส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์พอใช้ ส่วนบริเวณปากคลองสาขาต่างๆ ก่อนไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างเสื่อมโทรม อาทิ คลองลำปำ คลองขวาง คลองลำโรง คลองพะวง คลองระโนด และคลองตะเครียะ อย่างไรก็ตาม คุณภาพน้ำบริเวณปากคลองอู่ตะเภา ซึ่งเป็นลำน้ำหลักที่ไหลผ่านชุมชนเมืองหาดใหญ่ ในปัจจุบันเริ่มปรับตัวดีขึ้นอยู่ในเกณฑ์พอใช้ จากเดิมที่เคยอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างเสื่อมโทรม ทั้งนี้เนื่องจากน้ำทิ้งที่เคยระบายลงสู่คลองอู่ตะเภาถูกรวบรวมนำไปบำบัด ณ โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำรวมเมืองหาดใหญ่แล้ว

ตารางที่ 7.1 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในแหล่งน้ำบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาปี 2540-2546

หน่วย: มก./ลิตร

จุดเก็บตัวอย่าง	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546
1. ชุมชนทะเลน้อย	30.7	7.0	59.0	36.0	83.3	31.2	76.1
2. กลางทะเลน้อย	6.7	6.0	9.0	10.0	9.4	13.0	121.5
3. ปากคลองนางเรียม	44.8	6.0	26.0	38.0	9.0	77.0	11.2
4. กลางทะเลหลวง	52.0	34.0	35.0	54.0	49.0	59.0	12.6
5. ปากคลองตะเครียะ	118.7	82.0	61.0	111.0	286.3	48.6	10.2
6. ปากคลองระโนด	41.6	42.0	34.0	101.0	32.7	59.9	16.2
7. ปากคลองบ้านโรง	76.8	27.0	41.0	55.0	45.7	66.3	12.7
8. ปากคลองลำปำ	7.2	4.0	11.0	13.0	11.3	16.8	10.2
9. แหลมควายราบ	50.7	21.0	37.0	17.0	71.0	23.4	26.2
10. ชุมชนปากพะยูน	46.6	23.0	22.0	35.0	34.7	9.3	43.5
11. ปากรอ	57.4	37.0	35.0	28.0	35.7	15.9	61.5
12. ปากคลองอู่ตะเภา	39.5	22.0	13.0	29.0	25.7	7.7	30.4
13. ปากคลองพะวง	25.2	26.0	28.0	20.0	11.7	11.6	84.5
14. ชุมชนเกาะยอ	32.5	43.0	98.0	40.0	34.7	42.5	159.9
15. ชุมชนหัวเขาแดง	82.1	75.0	63.0	76.0	39.0	39.6	120.6
16. ปากทะเลสาบสงขลา	31.4	37.0	23.0	63.0	34.3	26.0	165.5
17. ปากคลองขวาง	39.0	38.0	37.0	35.0	37.3	42.9	53.1
18. ท่าเรือประมงท่าสะอ้าน	33.0	82.0	60.0	90.0	30.7	30.0	141.9
19. ปากคลองลำโรง	29.7	41.0	36.0	27.0	30.0	64.8	15.3
20. หาดสมิหลา	48.0	7.0	9.7	6.5	8.0		
21. หาดแก้วเส้ง	17.0	10.5	16.3	5.5	8.0		
22. บ้านพักประมง	18.5	10.0	16.0	7.0	9.5		
23. แนวโรงงานฯ จุดที่ 1	43.0	10.5	13.7	5.5	10.0		
24. แนวโรงงานฯ จุดที่ 2	41.5	19.0	19.3	5.5	9.5		
25. แนวโรงงานฯ จุดที่ 3	42.5	12.0	15.7	5.5	10.5		

ที่มา : ข้อมูลปี พ.ศ. 2540-2544 จาก สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 12

ข้อมูลปี พ.ศ. 2545-2546 จาก สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16

ตารางที่ 7.2 ค่า BOD ในแหล่งน้ำบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาปี 2540-2546

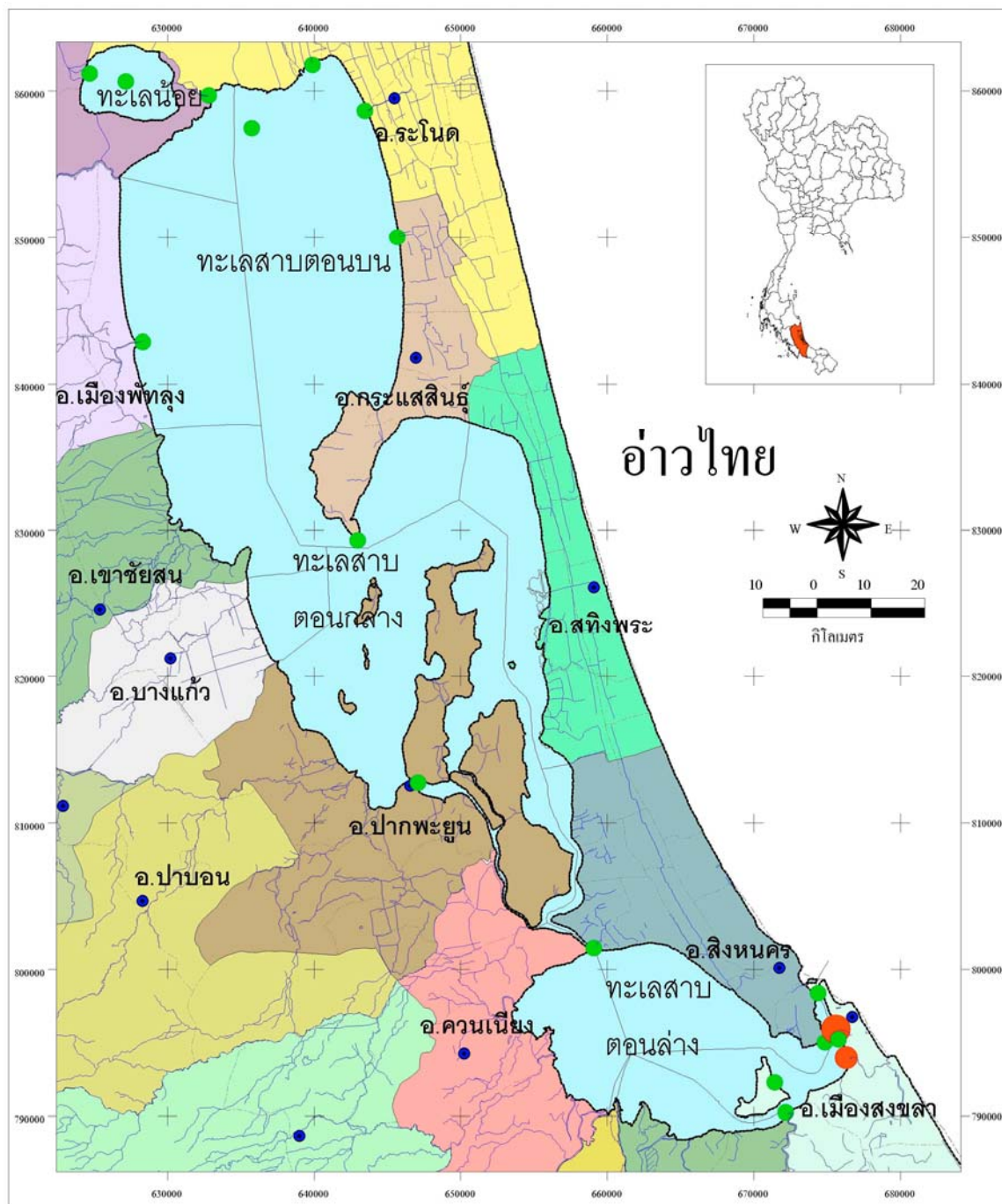
หน่วย : มก./ลิตร

จุดเก็บตัวอย่าง	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546
1. ชุมชนทะเลน้อย	1.5	9.1	2.4	1.6	2.9	2.5	2.7
2. กลางทะเลน้อย	1.6	2.0	2.5	2.9	1.6	1.8	1.1
3. ปากคลองนางเรียม	1.9	3.0	1.7	1.8	1.7	2.7	1.7
4. กลางทะเลหลวง	2.9	6.8	1.9	3.1	4.0	3.9	1.3
5. ปากคลองตะเคียะ	4.3	3.9	2.7	4.0	3.6	4.3	1.9
6. ปากคลองระโนด	5.3	3.9	3.3	3.8	3.7	4.5	3.9
7. ปากคลองบ้านโรง	4.9	3.6	3.8	3.0	7.8	4.1	1.2
8. ปากคลองลำปำ	1.3	2.0	2.6	0.9	1.7	2.7	2.5
9. แหลมควายราบ	4.1	1.9	1.7	2.7	7.1	2.3	1.4
10. ชุมชนปากพะยูน	1.9	1.5	1.0	1.8	1.5	1.2	0.8
11. ปากรอ	1.5	1.8	1.3	1.4	1.2	0.9	0.6
12. ปากคลองอยู่ตะเภา	2.5	2.3	1.9	1.4	2.5	1.8	1.5
13. ปากคลองพะวง	11.4	15.7	10.5	10.5	4.0	6.1	7.5
14. ชุมชนเกาะยอ	1.5	1.4	1.8	0.7	1.3	0.7	0.5
15. ชุมชนหัวเขาแดง	1.6	3.2	1.2	1.3	1.5	1.5	1.8
16. ปากทะเลสาบสงขลา	1.6	1.3	0.8	0.8	1.3	0.6	1.0
17. ปากคลองขวาง	100.1	133.0	49.4	67.7	63.3	56.2	42.6
18. ท่าเรือประมงท่าสะอ้าน	1.3	3.1	1.2	1.1	1.6	0.6	0.7
19. ปากคลองลำโรง	28.0	28.0	30.2	39.8	15.0	54.5	16.2
20. หาดสมิหลา	1.4	0.8	1.0	1.0	1.1		
21. หาดแก้วแสง	1.7	0.5	1.0	1.3	1.1		
22. บ้านพักประมง	0.7	1.1	0.8	1.3	0.7		
23. แนวโรงงานฯ จุดที่ 1	0.8	0.9	0.9	1.4	1.1		
24. แนวโรงงานฯ จุดที่ 2	0.5	1.0	1.3	1.3	0.9		
25. แนวโรงงานฯ จุดที่ 3	0.5	0.5	1.6	1.2	1.0		

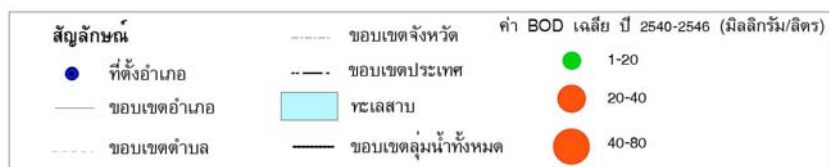
ที่มา: ข้อมูลปี พ.ศ. 2540-2544 จาก สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 12

ข้อมูลปี พ.ศ. 2545-2546 จาก สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16

คุณภาพน้ำบริเวณชุมชนทะเลน้อยจัดอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างเสื่อมโทรม เนื่องจากบริเวณชุมชนทะเลน้อยมีการอยู่อาศัยกันอย่างหนาแน่น กอปรกับการจัดการปัญหามลพิษและปัญหา
น้ำเสียยังขาดประสิทธิภาพ น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากชีวิตประจำวันมักจะถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่
ได้ผ่านกระบวนการบำบัด และในบางจุดมีการทิ้งมูลฝอยลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง ส่วนคุณภาพน้ำ
บริเวณของลำน้ำต่างๆ รอบทะเลสาบตอนบนพบว่าคุณภาพน้ำโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างเสื่อม
โทรมถึงเสื่อมโทรม



ที่มา : สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16



รูปที่ 7.1 ค่าบีโอดีในแหล่งน้ำบริเวณต่างๆ บริเวณทะเลสาบสงขลา ระหว่างปี พ.ศ. 2540-2546

สำหรับบริเวณกลางทะเลสาบตอนบนและตอนกลาง คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดีถึงพอใช้ และคุณภาพน้ำบริเวณทะเลสาบในภาพรวมอยู่ในเกณฑ์พอใช้เกือบตลอดปี ปริมาณน้ำจากบริเวณทะเลสาบตอนบนและตอนกลางเกือบทั้งหมดจะไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาบริเวณปากกรอ อย่างไรก็ตาม คุณภาพน้ำบริเวณปากกรอจัดอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรมตลอดทั้งปี เนื่องจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นโดยรอบเป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และส่วนใหญ่มีการระบายโคลนเลน และสารเคมี ลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง นอกจากนี้ยังมีการเลี้ยงปลากระชังหนาแน่นตลอดแนวคลองหลวง ซึ่งเป็นคลองที่เชื่อมต่อและระบายน้ำลงสู่ทะเลสาบตอนล่าง

คุณภาพน้ำบริเวณทะเลสาบตอนล่าง แบ่งพิจารณาเป็น 3 ส่วน คือ

(1) บริเวณชุมชนหัวเขาแดงและชุมชนเกาะยอ บริเวณนี้เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยหนาแน่น และมีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจำนวนมาก โดยเฉพาะการเลี้ยงปลาในกระชัง ที่มีพื้นที่การเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้นและแออัด อย่างไรก็ตาม ในภาพรวม คุณภาพน้ำบริเวณนี้อยู่ในเกณฑ์พอใช้ แต่ก็พบว่าในบางครั้งจะเกิดปัญหาการขาดแคลนออกซิเจน เมื่อน้ำนิ่งและมีการระบายที่ไม่เพียงพอ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ปลาในกระชังตายเป็นจำนวนมาก

(2) คุณภาพน้ำจากบริเวณเขตเมืองสงขลา บริเวณนี้เป็นย่านธุรกิจและย่านที่อยู่อาศัยที่หนาแน่นตลอดริมฝั่งทะเลสาบและมีกิจกรรมการขนส่งทางน้ำหนาแน่น มีท่าเทียบเรือขนส่งจำนวนมาก รวมทั้งอยู่ช่อเรือขนาดต่างๆ กิจกรรมเหล่านี้มีส่วนก่อให้เกิดของเสียที่ระบายทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ อย่างไรก็ตาม คุณภาพน้ำที่ตรวจวัดได้ยังอยู่ในเกณฑ์พอใช้เกือบตลอดทั้งปี สำหรับคลองระบายน้ำที่ไหลผ่านเขตเทศบาลนครสงขลา คือ คลองขวาง และคลองสำโรง ซึ่งไหลผ่านชุมชนแออัดหลายแห่ง รวมทั้งผ่านบริเวณที่เป็นตลาดสด มีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรมมาก ลักษณะทางกายภาพของน้ำก่อให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่สวยงาม น้ำมีสีดำคล้ำ และส่งกลิ่นเหม็นในบางช่วง ทั้งคลองขวางและคลองสำโรง คุณภาพน้ำอยู่ในขั้นวิกฤต เกิดภาวะ Hypoxia (ออกซิเจนละลายต่ำกว่า 2 มก./ล. ตลอดเวลา ซึ่งภาวะดังกล่าวส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำบริเวณนั้นอย่างมาก

(3) บริเวณชายทะเล บริเวณนี้คุณภาพน้ำไม่ต่ำมากนัก เพราะได้รับอิทธิพลของคลื่นลมจากทะเลที่ช่วยหมุนเวียนมวลน้ำและแลกเปลี่ยนออกซิเจน แต่ก็จัดว่ามีคุณภาพน้ำต่ำกว่าน้ำทะเลทั่วไป

7.2 คุณภาพน้ำทางเคมีของน้ำในทะเลสาบสงขลา

ทะเลสาบสงขลาเป็นระบบทะเลสาบตื้นๆ มีทางเปิดออกทะเลเพียงทางเดียว ความลึกโดยเฉลี่ยประมาณ 2 ม. กิจกรรมต่างๆ ทั้งในทะเลสาบ และพื้นที่ลุ่มน้ำรอบๆ ทะเลสาบ จึงส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในทะเลสาบโดยตรง ปัญหาคุณภาพน้ำในทะเลสาบที่ส่งผลกระทบอย่างมากต่อระบบนิเวศทะเลสาบในปัจจุบัน คือ ปัญหาในเรื่องสารอาหารพืช (Nutrients) ซึ่งปกติจะมีอยู่ในปริมาณน้อย ถูกชะพาลงสู่ทะเลสาบ ทั้งโดยตรง คือ ในรูปของสารอาหารอินทรีย์ที่พร้อมใช้

(Inorganic nutrients) และโดยอ้อม คือ ในรูปของสารอินทรีย์ (Organic materials) ที่ปนเปื้อนไปกับน้ำทิ้ง-น้ำเสีย หรือเกิดขึ้นเองในทะเลสาบ แม้ว่าน้ำในทะเลสาบจะไหลออกสู่อ่าวไทย แต่สารอินทรีย์ต่างๆ เหล่านี้ ก็ไม่สามารถที่จะถูกชะพาออกสู่อ่าวไทยได้หมดภายในรอบวัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลงหนึ่งๆ (Tidal cycle) ทำให้ส่วนใหญ่ตกตะกอนนอนกันอยู่บนพื้นท้องน้ำทะเลสาบ รอวันที่กระบวนการย่อยสลาย (Degradation) โดยแบคทีเรีย เปลี่ยนรูปสารอินทรีย์เหล่านี้ให้เป็นสารอาหารอนินทรีย์ นอกจากนี้ กระบวนการย่อยสลายนี้ ยังใช้ออกซิเจนที่อยู่ในน้ำอย่างรวดเร็ว ในบางพื้นที่ที่มีสารอินทรีย์สะสมอยู่สูง ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำถูกใช้ไปในการย่อยสลายจนเกิดภาวะ Hypoxia (ภาวะที่มีออกซิเจนละลายต่ำกว่า 2 มก./ล.) ซึ่งหากปล่อยทิ้งไว้จนปัญหารุนแรงขึ้น ก็จะแปรสภาพเป็นภาวะ Anoxia (ภาวะที่ไม่มีออกซิเจนละลายเหลืออยู่) ซึ่งในภาวะหลังนี้ ผลผลิตตัวหนึ่งของกระบวนการนี้ คือ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือก๊าซไข่เน่า ที่นอกจากจะมีกลิ่นเหม็นแล้ว ยังเป็นพิษต่อสัตว์น้ำอีกด้วย

ในปัจจุบัน (พ.ศ. 2547) ปรากฏว่าปริมาณสารอาหารพืชที่เข้าสู่ทะเลสาบ จากสาเหตุต่างๆ สูงขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดปัญหา “ยูโทรฟิเคชัน” (Eutrophication) หรือภาวะที่มีสารอาหารพืชมากเกินไป ทำให้แพลงก์ตอน สาหร่าย และพืชน้ำ สามารถเจริญเติบโตได้อย่างไม่จำกัด จากค่าคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll *a*) ในทะเลสาบสงขลาที่มากกว่า 10 มคก./ล. แสดงถึงภาวะของการเป็นทะเลสาบแบบยูโทรฟิค (Eutrophic lake) (Sin *et al.*, 1999)

ตารางที่ 7.3 - 7.7 แสดงคุณภาพน้ำทางเคมีบางประการ (ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดยูโทรฟิเคชัน) ในช่วง 11 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2546 ของทะเลสาบตอนบน ตอนกลาง ตอนล่าง ปากคลองอู่ตะเภา และปากคลองพะวง ตามลำดับ

ตารางที่ 7.3 คุณภาพน้ำทางเคมีบางประการของน้ำทะเลสาบตอนบน พ.ศ. 2535-2546

พ.ศ.	PO_4^{3-} (มก.-P/ล.)	TP (มก.-P/ล.)	$NO_3^-+NO_2^-$ (มก.-N/ล.)	NH_3 (มก.-N/ล.)	TN (มก.-N/ล.)	DO (มก/ล.)	pH	Chlo a (มคก./ล.)
2535	0.002	-	0.022	0.024	-	6.11	7.94	11.0
2536	0.003	-	0.033	0.026	-	6.39	7.60	18.8
2537	0.009	-	0.030	0.027	-	6.87	8.02	52.4
2538	0.005	-	0.029	0.027	-	8.34	7.99	49.3
2539	0.011	-	0.023	0.021	-	9.09	8.07	49.8
2540	0.006	-	0.036	0.027	-	5.89	8.14	57.0
2541	0.005	-	0.032	0.021	-	7.30	7.99	36.5
2542	0.004	0.12	0.021	0.024	0.54*	7.54	8.14	34.3
2543	0.006	0.10	0.020	0.027	0.60	7.10	8.03	36.0
2544	0.004	0.09	0.023	0.036	0.72	7.69	8.08	37.0
2545	0.004	0.07	0.029	0.086	0.72**	7.52	8.10	44.5
2546	0.004	0.06	0.023	0.040	0.70	7.76	7.59	21.3

ที่มา: สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง (2547)

* เฉลี่ยจากเดือน พฤษภาคม - ธันวาคม

** เฉลี่ยจากเดือน มกราคม - เมษายน

ตารางที่ 7.4 คุณภาพน้ำทางเคมีบางประการของน้ำทะเลสาบตอนกลาง พ.ศ. 2535 - 2546

พ.ศ.	PO_4^{3-} (มก.-P/ล.)	TP (มก.-P/ล.)	$NO_3^-+NO_2^-$ (มก.-N/ล.)	NH_3 (มก.-N/ล.)	TN (มก.-N/ล.)	DO (มก/ล.)	pH	Chlo a (มคก./ล.)
2535	0.002	-	0.016	0.021	-	6.12	7.65	8.9
2536	0.003	-	0.026	0.021	-	6.47	7.73	5.8
2537	0.007	-	0.037	0.033	-	6.27	7.45	20.7
2538	0.003	-	0.036	0.042	-	7.70	7.35	16.1
2539	0.008	-	0.047	0.037	-	7.28	7.60	10.0
2540	0.008	-	0.060	0.037	-	6.99	7.65	18.9
2541	0.006	-	0.042	0.039	-	6.19	7.68	6.9
2542	0.005	0.07	0.053	0.056	0.49*	6.66	7.44	8.0
2543	0.011	0.09	0.061	0.057	0.43	6.33	7.53	14.3
2544	0.007	0.08	0.073	0.041	0.60	6.88	7.54	13.1
2545	0.003	0.05	0.045	0.023	0.73**	6.60	7.60	6.0
2546	0.002	0.05	0.017	0.028	0.42	7.32	8.01	5.4

ที่มา: สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง (2547)

* เฉลี่ยจากเดือน พฤษภาคม - ธันวาคม

** เฉลี่ยจากเดือน มกราคม - เมษายน

ตารางที่ 7.5 คุณภาพน้ำทางเคมีบางพารามิเตอร์ของน้ำในทะเลสาบตอนล่าง (ไม่รวมปากคลอง
อุตะเภและปากคลองพะวง) พ.ศ. 2535-2546

พ.ศ.	PO_4^{3-} (มก.-P/ล.)	TP (มก.-P/ล.)	$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (มก.-N/ล.)	NH_3 (มก.-N/ล.)	TN (มก.-N/ล.)	DO (มก/ล.)	pH	Chlo a (มคก./ล.)
2535	0.001	-	0.018	0.031	-	5.83	7.86	10.9
2536	0.007	-	0.024	0.032	-	6.46	7.77	5.7
2537	0.007	-	0.041	0.034	-	6.17	7.81	12.0
2538	0.004	-	0.051	0.045	-	6.96	7.54	10.5
2539	0.010	-	0.050	0.045	-	6.51	7.83	6.9
2540	0.008	-	0.087	0.063	-	5.77	7.79	9.3
2541	0.008	-	0.069	0.075	-	5.34	7.84	5.5
2542	0.008	0.06	0.048	0.056	0.40*	6.10	7.74	6.7
2543	0.008	0.07	0.072	0.060	0.46	6.09	7.81	10.2
2544	0.009	0.07	0.052	0.059	0.55	6.23	7.72	12.9
2545	0.007	0.06	0.039	0.035	1.09**	5.71	7.92	7.7
2546	0.007	0.06	0.031	0.035	0.38	5.85	7.89	7.1

ที่มา: สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง (2547)

* เฉลี่ยจากเดือน พฤษภาคม - ธันวาคม

** เฉลี่ยจากเดือน มกราคม - เมษายน

ตารางที่ 7.6 คุณภาพน้ำทางเคมีบางพารามิเตอร์ของน้ำในทะเลสาบตอนล่าง บริเวณปากคลอง
อุตะเภ พ.ศ. 2535-2546

พ.ศ.	PO_4^{3-} (มก.-P/ล.)	TP (มก.-P/ล.)	$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (มก.-N/ล.)	NH_3 (มก.-N/ล.)	TN (มก.-N/ล.)	DO (มก/ล.)	pH	Chlo a (มคก./ล.)
2535	0.066	-	0.139	0.343	-	4.88	7.47	21.1
2536	0.031	-	0.131	0.284	-	6.13	7.59	8.5
2537	0.044	-	0.232	0.332	-	5.84	7.73	23.0
2538	0.127	-	0.316	0.860	-	7.10	6.99	8.3
2539	0.074	-	0.436	0.589	-	6.69	7.59	11.9
2540	0.048	-	0.268	0.306	-	5.88	7.37	14.5
2541	0.041	-	0.330	0.418	-	5.52	7.54	17.1
2542	0.063	0.17	0.722	0.384	0.97*	4.88	6.97	11.2
2543	0.064	0.16	1.042	0.251	1.39	4.98	6.99	5.4
2544	0.056	0.17	0.713	0.214	1.43	6.55	7.15	12.6
2545	0.076	0.15	1.438	0.510	1.19**	4.70	7.15	16.4
2546	0.081	0.20	0.905	0.661	2.18	3.61	7.11	13.9

ที่มา: สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง (2547)

* เฉลี่ยจากเดือน พฤษภาคม - ธันวาคม

** เฉลี่ยจากเดือน มกราคม - เมษายน

ตารางที่ 7.7 คุณภาพน้ำทางเคมีบางพารามิเตอร์ของน้ำในทะเลสาบตอนล่าง บริเวณปากคลอง
พระวง พ.ศ. 2535-2546

พ.ศ.	PO ₄ ³⁻ (มก.-P/ล.)	TP (มก.-P/ล.)	NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻ (มก.-N/ล.)	NH ₃ (มก.-N/ล.)	TN (มก.-N/ล.)	DO (มก/ล.)	pH	Chlo a (มคก./ล.)
2535	0.005	-	0.031	0.084	-	5.60	7.66	5.3
2536	0.030	-	0.053	0.137	-	5.78	7.70	18.6
2537	0.022	-	0.057	0.131	-	5.78	7.63	14.0
2538	0.107	-	0.134	0.573	-	6.58	7.40	12.0
2539	0.075	-	0.085	0.183	-	6.32	7.76	11.7
2540	0.020	-	0.168	0.153	-	5.09	7.22	8.2
2541	0.022	-	0.085	0.223	-	5.43	7.73	13.6
2542	0.033	0.10	0.132	0.136	0.40*	5.81	7.62	16.9
2543	0.037	0.09	0.142	0.138	0.67	6.61	7.74	22.9
2544	0.021	0.09	0.076	0.095	0.65	8.65	8.03	27.8
2545	0.073	0.18	0.080	0.230	0.51**	5.90	7.71	40.0
2546	0.047	0.12	0.086	0.118	0.64	5.16	7.64	12.9

ที่มา: สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง (2547)

* เฉลี่ยจากเดือน พฤษภาคม - ธันวาคม

** เฉลี่ยจากเดือน มกราคม - เมษายน

7.3 สาเหตุการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ

สาเหตุหลักของการเสื่อมโทรมลงของคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มาจากการเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์และสารอาหารอนินทรีย์ ซึ่งมาจากแหล่งกำเนิดมลพิษ 5 ประเภทใหญ่ๆ รอบทะเลสาบสงขลา คือ ชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม ฟาร์มสุกร นาุ้งและกระชังปลา และพื้นที่เกษตรอื่นๆ แม้ว่าแหล่งกำเนิดมลพิษ 4 ประเภทแรก จะเป็นแหล่งที่มีจุดกำเนิดชัดเจน (Point sources) ซึ่งสามารถที่จะบำบัดได้ แต่ปัจจุบันการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนมีเพียงในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่และเทศบาลนครสงขลาเท่านั้น ส่วนโรงงานอุตสาหกรรมก็มีเพียงโรงงานขนาดใหญ่เท่านั้นที่มีระบบบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ยังมีกรณีร้องเรียนจากชาวบ้านว่าโรงงานบางแห่งละเลย ไม่เปิดระบบบำบัดน้ำเสียในบางช่วงเวลา เช่น เวลากลางคืน อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำทิ้งน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์อยู่มาก ก็จะได้เป็นสารอาหารอนินทรีย์ซึ่งเป็นสารอาหารของพืช ซึ่งเมื่อถูกปล่อยออกสู่แหล่งน้ำก็จะกลายเป็นสาเหตุของการเกิดยูโทรฟิเคชัน ส่วนฟาร์มสุกรก็พบว่ามีการระบายน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง (รูปที่ 7.2) สำหรับนาุ้งรอบทะเลสาบสงขลาส่วนใหญ่เป็นรายย่อยจึงมีการระบายน้ำทิ้งซึ่งมีสารอินทรีย์สูงลงทะเลสาบโดยตรง ส่วนกระชังปลาในทะเลสาบนั้นก็เป็นแหล่งที่ปล่อยสารอินทรีย์ลงสู่ทะเลสาบโดยตรงเช่นเดียวกัน รูปที่ 7.3 แสดงบริเวณที่มีการเลี้ยงกุ้งและกระชังปลาในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา



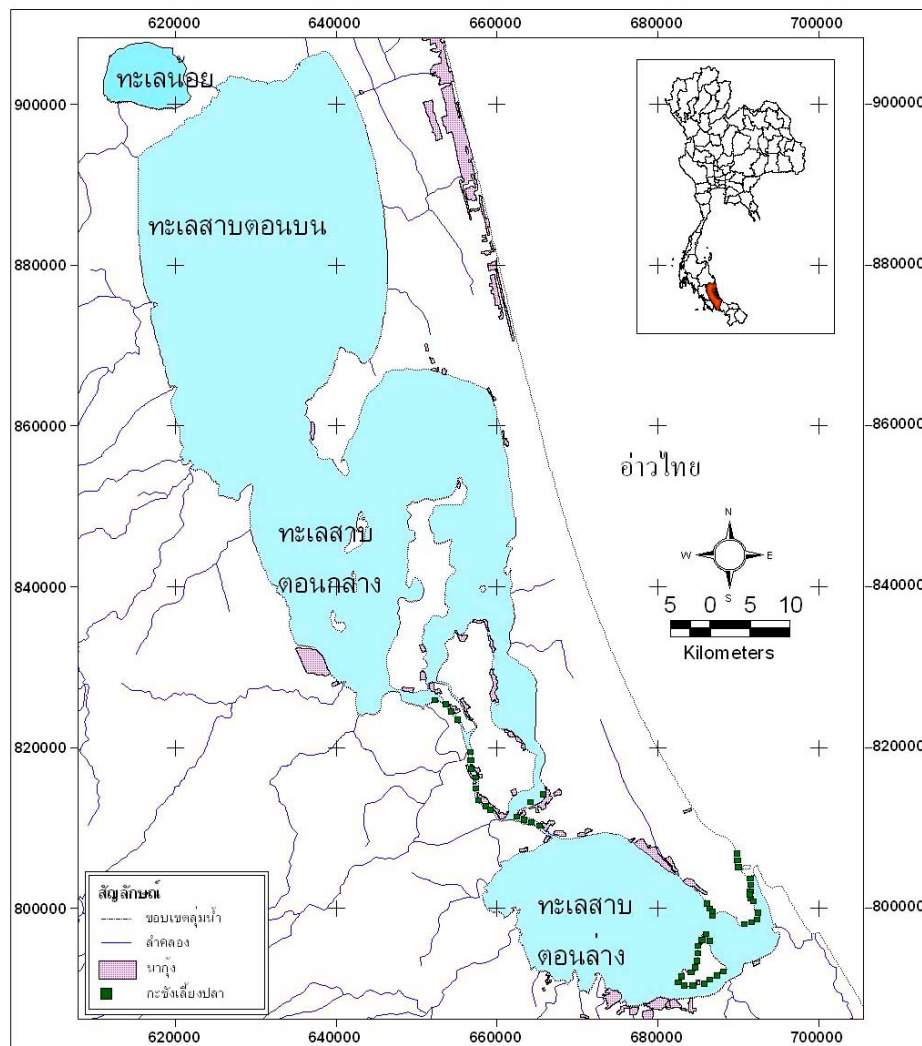
ฟาร์มสุกรหลังค่ายรัตนพล อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา บ่อขยะหลังค่ายรัตนพล อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา
ที่มา: สุนทร (2546)

รูปที่ 7.2 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทฟาร์มสุกรและบ่อขยะ

แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทที่ 5 คือ พื้นที่เกษตร ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแบบกระจาย (Non-point sources) สารอาหารอินทรีย์ที่ถูกชะพาจากพื้นที่เกษตรกรรมลงสู่แหล่งน้ำ ยังขาดการดูแลเอาใจใส่อย่างจริงจัง ทั้งในส่วนของภาครัฐและเกษตรกรเอง และเกษตรกรยังขาดความรู้และความตระหนักถึงผลที่ตามมา

แม้ว่าปัจจุบัน คุณภาพน้ำในทะเลสาบสงขลาส่วนใหญ่จะอยู่ในเกณฑ์พอใช้ แต่น้ำจากคลองต่างๆ ที่ไหลลงสู่ทะเลสาบค่อนข้างเสื่อมโทรม ได้แก่ คลองลำปำ คลองขวาง คลองสำโรง คลองพะวง คลองระโนด และคลองตะเคียนะ สำหรับคลองอู่ตะเภา พบว่าหลังจากมีการสร้างโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำรวมเมืองหาดใหญ่ คุณภาพน้ำเริ่มปรับตัวดีขึ้นจนอยู่ในเกณฑ์พอใช้ บริเวณคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมลงมากคือ คลองหลวง (บริเวณปากอ) ทั้งนี้เพราะว่าในบริเวณนี้มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (กระชังปลา และนากุ้ง) มาก ทำให้มีการระบายโคลนเลนและสารเคมีลงสู่แหล่งน้ำ ส่วนทะเลน้อยจะค่อนข้างเสื่อมโทรม เนื่องจากชุมชนโดยรอบยังขาดการจัดการปัญหามูลฝอยและปัญหาน้ำเสีย น้ำเสียและมูลฝอยจึงถูกทิ้งลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง

บริเวณที่มีปัญหาคุณภาพน้ำในทะเลสาบตอนล่าง คือ ชุมชนหัวเขาแดง ชุมชนเกาะยอ เขตเมืองสงขลา และชายทะเลแถบเก้าเส้ง สองบริเวณแรก มีสาเหตุมาจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่หนาแน่น โดยเฉพาะกระชังปลา และยังมีการเพิ่มพื้นที่ขึ้น นอกจากทำให้แออัดแล้ว ยังเป็นเหตุให้มีการสะสมสารอินทรีย์ในตะกอนบริเวณใต้กระชังปลา เมื่ออุณหภูมิและสภาวะแวดล้อมเหมาะสม สารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกแบคทีเรียย่อยสลาย ซึ่งกระบวนการนี้จะใช้ออกซิเจนที่ละลายน้ำไป จนทำให้น้ำในบริเวณนั้นขาดออกซิเจน โดยเฉพาะในเวลากลางคืน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูกาลที่การไหลเวียนของน้ำในทะเลสาบน้อย ก็จะทำให้การถ่ายเทน้ำมีน้อย ทำให้เกิดภาวะ Hypoxia (ปริมาณออกซิเจนละลายต่ำกว่า 2 มก./ล.) ปัจจุบันพบว่ามีปลากระชังลอยตายเป็นจำนวนมาก แม้ว่าจะยังไม่ทราบสาเหตุที่แน่ชัด แต่คาดว่าน่าจะเกิดขึ้นเนื่องจากเกิดภาวะ Hypoxia ในน้ำ ซึ่งสาเหตุไม่ได้มาจากน้ำที่ระบายจากคลองต่างๆ ลงสู่ทะเลสาบเท่านั้น แต่มาจากกิจกรรมในทะเลสาบเองเป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 7.3 บริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงกุ้ง และกระชังปลาในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

อีกบริเวณหนึ่งที่มีปัญหามาก คือ คลองขวาง และคลองลำโรง ซึ่งคุณภาพน้ำอยู่ในชั้นวิกฤต น้ำเน่าดำ และส่งกลิ่นเหม็น นอกจากนี้ บริเวณเขตเมืองสงขลา ซึ่งมีทั้งท่าเทียบเรือ อู่เรือ ซึ่งล้วนแต่ระบายน้ำเสียลงสู่ทะเลสาบโดยตรง แม้ว่าคุณภาพน้ำตลอดทั้งปียังอยู่ในเกณฑ์พอใช้ แต่ก็เป็นที่น่าเป็นห่วงว่าบริเวณนี้ติดต่อกับทะเลอ่าวไทย ทำให้มีการถ่ายเทน้ำออกสู่ทะเลภายนอกได้ อย่างไรก็ดี สารอินทรีย์ส่วนหนึ่งก็สะสมอยู่ในตะกอนบริเวณนั้น หากเมื่อใดที่มีมากจนกระทั่งถ่ายเทไม่ทัน น้ำก็จะเน่าเสีย ส่วนชายทะเลเก่าเลี้ยง แม้คุณภาพน้ำจะยังไม่ต่ำมาก เพราะจะได้คลื่นลมจากทะเลช่วยหมุนเวียนมวลน้ำและแลกเปลี่ยนออกซิเจน แต่ก็จัดว่ามีคุณภาพน้ำต่ำกว่าน้ำทะเลทั่วไป

ข้อมูลจากงานวิจัยที่กำลังดำเนินการของคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (เพ็ญใจ, 2547) ซึ่งศึกษาคุณภาพน้ำและตะกอนในทะเลสาบสงขลาทั้งระบบ พบว่ามีการสะสมของสารอินทรีย์ในตะกอนทะเลสาบสงขลาบางบริเวณ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณ

ปากทะเลสาบ (รูปที่ 7.4) ที่มีคลองลำโรง (ลุ่มน้ำย่อยตะวันออก 4) เป็นตัวพาเอาน้ำที่มีความสกปรกลงสู่ทะเลสาบ ส่วนตะกอนทะเลน้อยมีสารอินทรีย์ (organic matter) สะสมอยู่สูงมากเฉลี่ย 10.7% โดยน้ำหนักแห้ง สำหรับการแพร่กระจายของออกซิเจนละลาย ตะกอนแขวนลอย คลอโรฟิลล์ เอ และ สารอาหารพืชในน้ำ ได้แยกการแพร่กระจายของมลสารในทะเลสาบสงขลาออกเป็น 2 ส่วน ตามช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง เนื่องจากในทะเลสาบตอนบนและตอนกลางเก็บตัวอย่างในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2546 แต่ทะเลสาบตอนล่างเก็บตัวอย่างในเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 นอกจากนี้ ในช่วงการเก็บตัวอย่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2546 ไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลาย ดังแสดงในรูปที่ 7.5 ถึง 7.9 และสามารถสรุปได้ ดังนี้

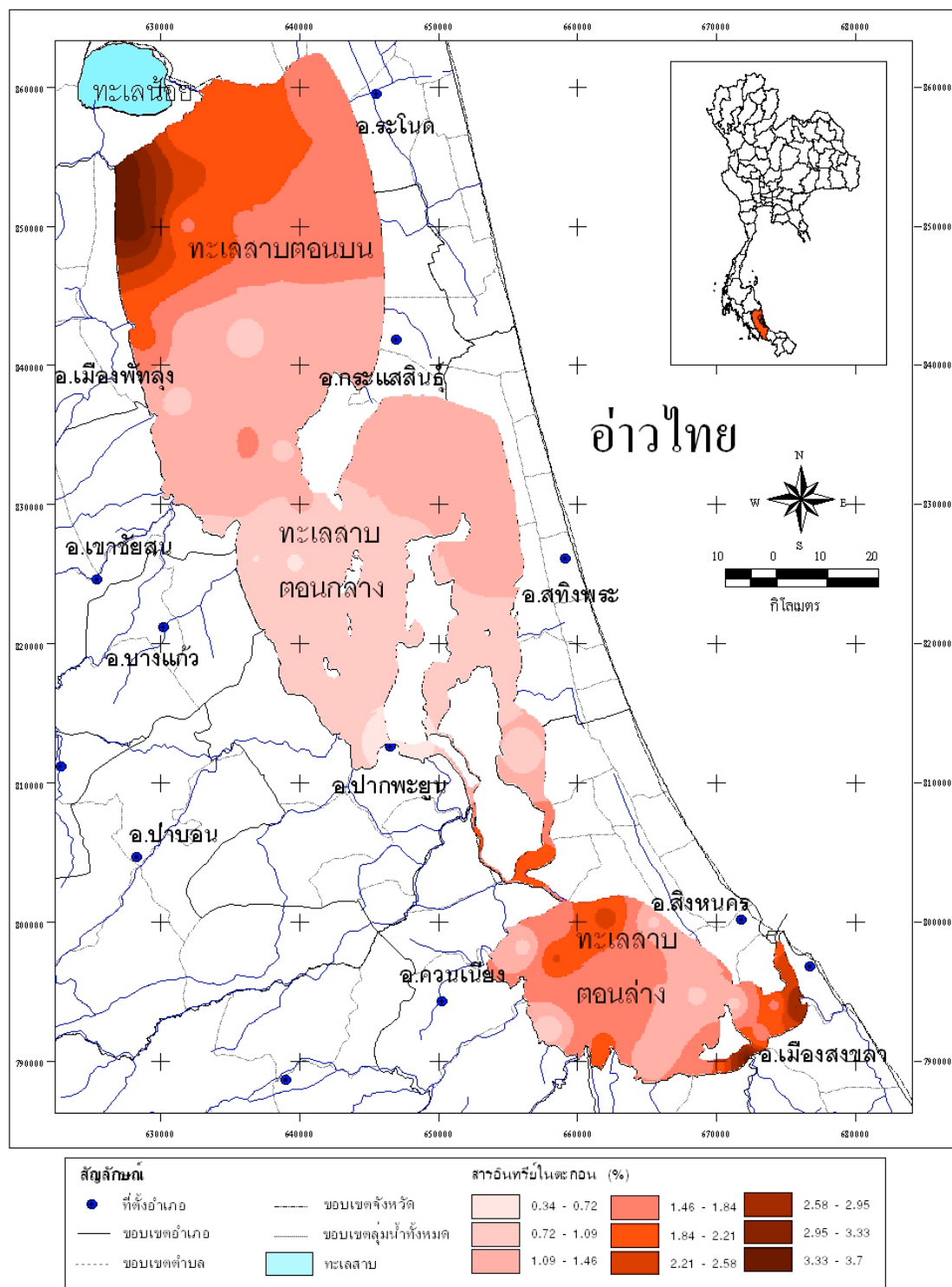
(1) จากรูปการแพร่กระจายของออกซิเจนละลายในน้ำทะเลสาบตอนล่าง (รูปที่ 7.5) เห็นได้ชัดว่าน้ำท่าที่มาจากคลองอู่ตะเภา (ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา) ที่เข้าสู่ทะเลสาบนั้นมีปริมาณออกซิเจนละลายที่ต่ำกว่าในทะเลสาบเล็กน้อย ขณะที่น้ำท่าซึ่งออกจากคลองลำโรง (ลุ่มน้ำย่อยตะวันออก 4) ลงสู่ทะเลสาบบริเวณปากทะเลสาบมีค่าออกซิเจนต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกันกับปริมาณสารอินทรีย์ที่สะสมในตะกอน ที่พบว่าคลองลำโรงเป็นคลองที่พาเอาน้ำที่มีความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ลงสู่ทะเลสาบตอนล่างและสะสมอยู่บริเวณหน้าปากคลองนั่นเอง

(2) คลองอู่ตะเภาพาเอาน้ำที่มีตะกอนแขวนลอยสูงกว่า 200 มก./ล. จากลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาลงสู่ทะเลสาบตอนล่าง และตกตะกอนในทะเลสาบตอนล่างก่อนออกสู่ทะเล จะเห็นได้ว่าจากปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำที่ออกสู่ทะเลทางปากทะเลสาบ มีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนทะเลสาบตอนบน บริเวณที่มีความขุ่นมากที่สุด คือ ทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของตัวทะเลสาบ ซึ่งเป็นด้านที่ติดกับทุ่งระโนด (ลุ่มน้ำย่อยตะวันออก 1) (รูปที่ 7.6)

(3) คลอโรฟิลล์ เอ ในทะเลสาบตอนบนและตอนกลางมีค่าสูงกว่า 10 มค.ก./ล. ตลอดทั้งทะเลสาบ และทะเลสาบตอนบนมากกว่าครึ่งหนึ่งของทะเลสาบมีค่าคลอโรฟิลล์ เอ สูงกว่า 60 มค.ก./ล. โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของตัวทะเลสาบ ซึ่งเป็นด้านที่ติดกับทุ่งระโนด (ลุ่มน้ำย่อยตะวันออก 1) ส่วนทะเลสาบตอนล่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ จะสูงบริเวณปากคลองอู่ตะเภา และใกล้ปากคลองลำโรง (ปากทะเลสาบ) (รูปที่ 7.7)

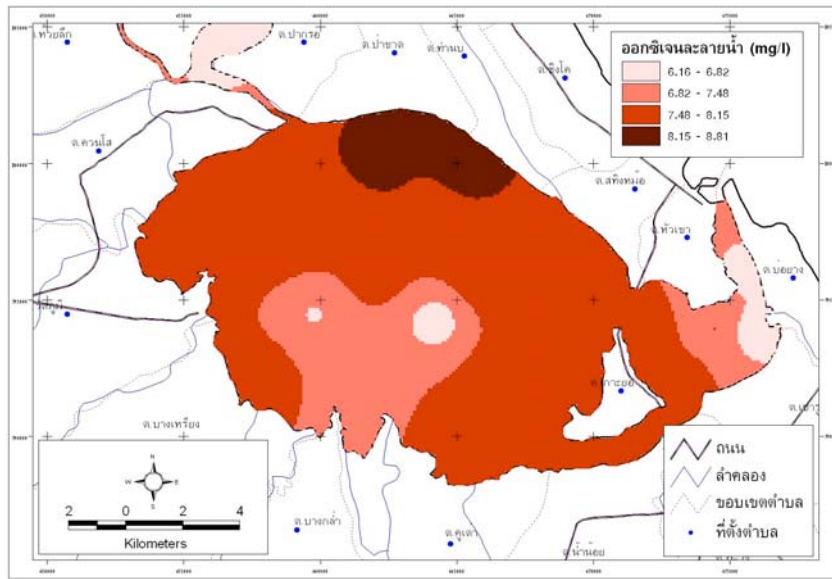
(4) ฟอสเฟต มีค่าสูงกว่า 0.03 มก.-ฟอสฟอรัส/ล. เกือบตลอดทั้งทะเลสาบตอนบนและตอนกลาง ส่วนทะเลสาบตอนล่างบริเวณที่มีค่าสูงกว่า 0.03 มก.-ฟอสฟอรัส/ล. จะอยู่บริเวณบางเหริย และปากคลองลำโรง ค่าฟอสเฟตที่สูงบริเวณบางเหริยคาดว่าน่าจะเนื่องมาจากการปลูกผักอย่างเป็นอุตสาหกรรม มีการใช้ปุ๋ยเคมีและสารปราบศัตรูพืชสูงมาก (รูปที่ 7.8)

(5) รูปที่ 7.9 แสดงการแพร่กระจายของสารอาหารอินทรีย์ในโตรเจนทุกรูปแบบ (แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต ซึ่งรูปแบบของสารอาหารไนโตรเจนทั้ง 3 ตัวนี้ เปลี่ยนแปลงไปมาได้) จะเห็นว่าบริเวณที่เป็นแหล่งกำเนิดสารอาหารไนโตรเจนที่สำคัญคือ ในทะเลสาบตอนบน บริเวณลุ่มน้ำย่อยคลองนาท่อมซึ่งไหลผ่านอำเภอมืองพัทลุง ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาที่ไหลผ่านตำบลบางเหริยและตัวเมืองหาดใหญ่ และลุ่มน้ำย่อยตะวันออก 4 ที่ไหลผ่านอำเภอมืองสงขลา และอาจมีบางส่วนมาจากจากลุ่มน้ำย่อยตะวันออก 1 (ทุ่งระโนด)



ที่มา: เพ็ญใจ (2547)

รูปที่ 7.4 การแพร่กระจายของสารอินทรีย์ในตะกอนทะเลสาบสงขลา



ที่มา: เพ็ญใจ (2547)

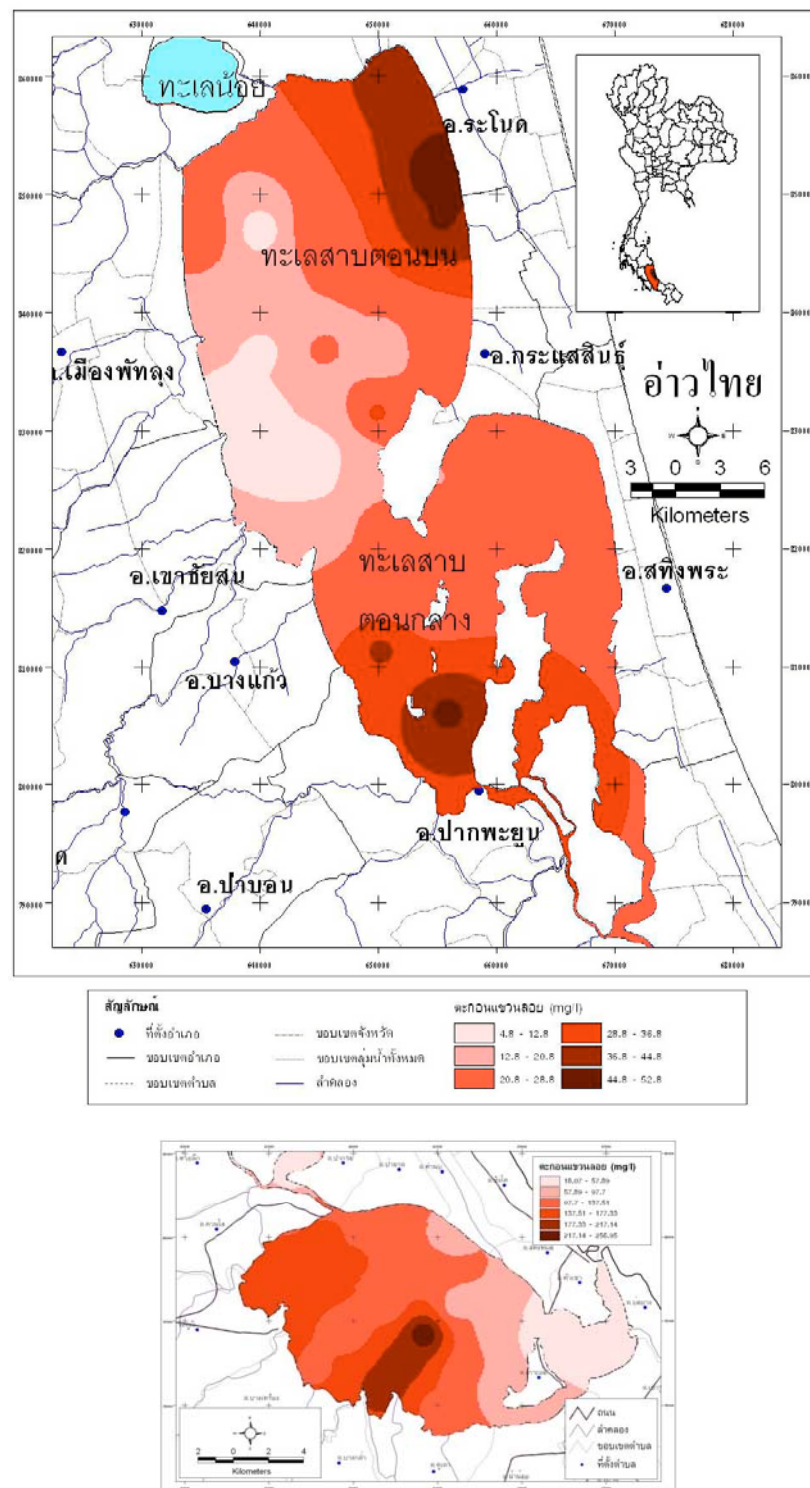
รูปที่ 7.5 การแพร่กระจายของออกซิเจนละลายในทะเลสาบสงขลาตอนล่าง

7.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำจากการเพาะเลี้ยงในทะเลสาบ

ปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในทะเลสาบมาก จนเกินศักยภาพที่ทะเลสาบจะรองรับได้ ทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมอย่างหนัก สาเหตุไม่เพียงแต่จะมาจากการเพาะเลี้ยงกึ่งรอบทะเลสาบเท่านั้น แต่ยังมาจากการชะล้างปุ๋ยและกากอาหาร ซึ่งมีหนาแน่นมากในบางส่วนของทะเลสาบ

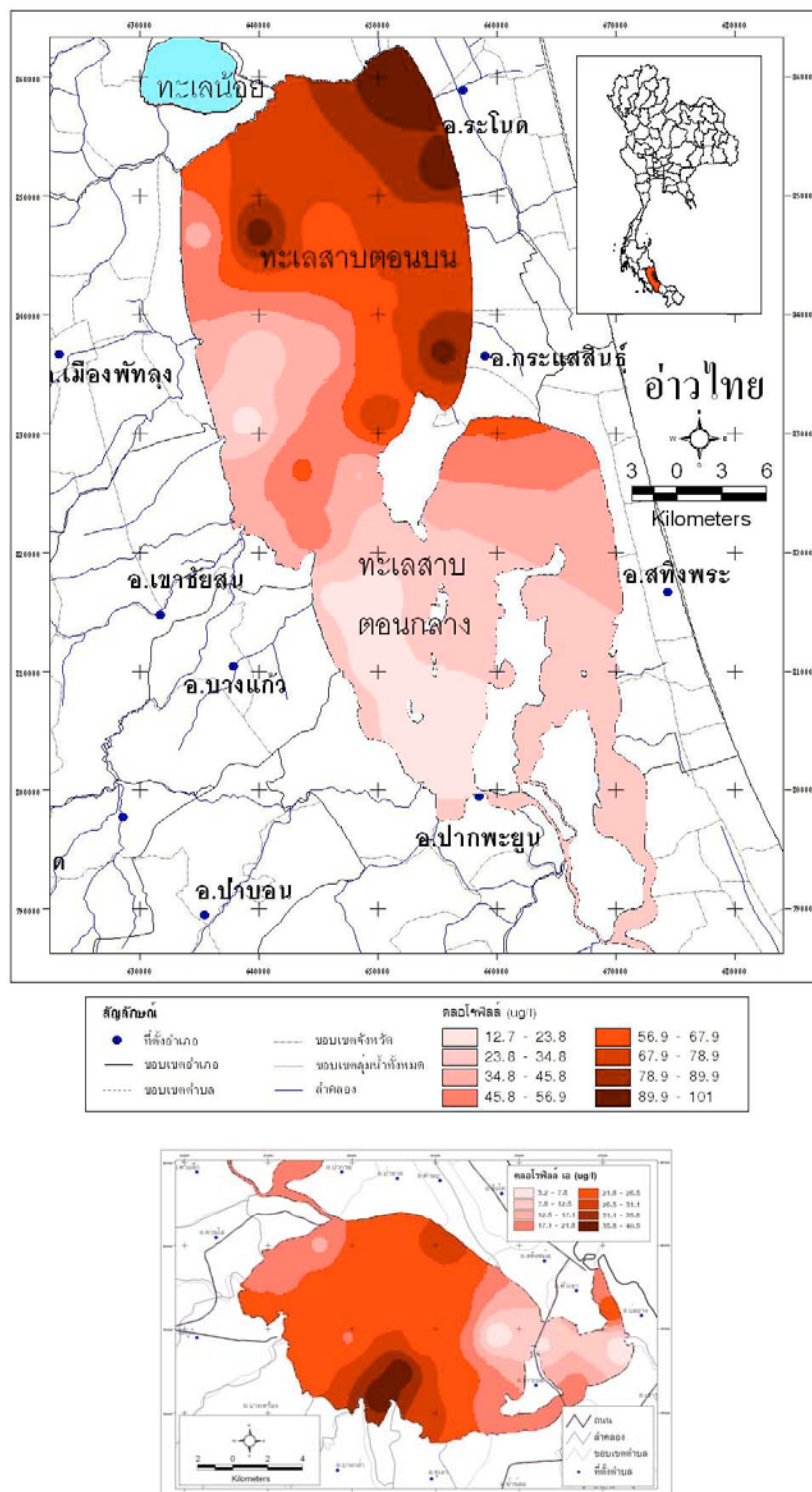
คุณภาพน้ำที่เสื่อมโทรม ส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของอินทรีย์สาร ที่เมื่อผ่านการย่อยสลายก็จะกลายเป็นสารอาหารอนินทรีย์ ซึ่งเป็นสาเหตุของยูโทรฟิเคชัน นอกจากนี้ในบางบริเวณก็เกิดปัญหาเรื่องการตายของปลาในกระชังขึ้น ในบริเวณที่มีการเลี้ยงอย่างหนาแน่นคือ หมู่ที่ 8 เกาะยอ และ หมู่ที่ 1 และ 2 บ้านท่าเสา เป็นต้น ประมาณการว่าในช่วงปี พ.ศ. 2544-2547 มีปลากะพงขาวในกระชังตายกว่า 100 ตัน การเลี้ยงปลาอย่างหนาแน่นทำให้ปลาต้องแย่งออกซิเจน ทั้งกับแพลงก์ตอนพืชซึ่งก็ต้องหายใจเช่นกันในเวลากลางคืน และกับแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนเพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สะสมในตะกอนใต้กระชังปลา สารอินทรีย์เหล่านี้มาจากมูลปลาและเศษอาหารที่เหลือ ในบริเวณที่เลี้ยงยังเป็นจุดอับ การไหลและการหมุนเวียนของน้ำไม่สะดวก ก็ยิ่งเป็นการจำกัดการถ่ายเทออกซิเจน ปลาจึงเครียดไม่กินอาหาร และตายในที่สุด

แนวทางการแก้ไข นอกจากจะต้องควบคุมการปล่อยน้ำทิ้งจากกังหันที่ลงสู่ทะเลสาบ โดยนากังหันควรมีระบบปิด มีการถ่ายเทน้ำลงทะเลสาบน้อยที่สุด ยังจะต้องควบคุมการขยายตัวของการเพาะเลี้ยงปลากะชัง โดยจำกัดความหนาแน่นของกระชัง และความหนาแน่นของปลาต่อกระชัง และไม่ควรอนุญาตให้มีการเพาะเลี้ยงปลากะชังในบริเวณที่กระแสน้ำอ่อน และน้ำไม่ค่อยมีถ่ายเท



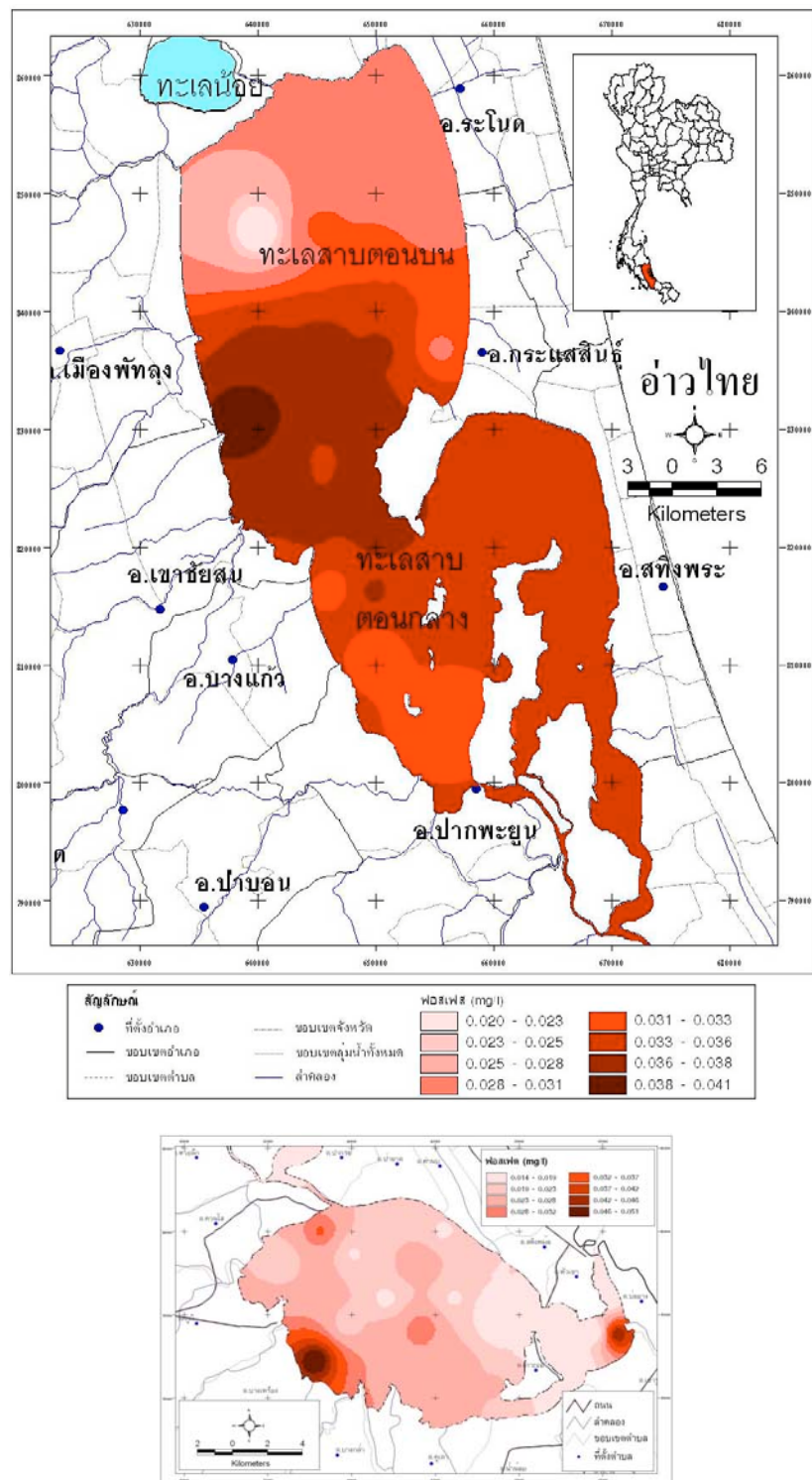
ที่มา: เพ็ญใจ (2547)

รูปที่ 7.6 การแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยในทะเลสาบสงขลา



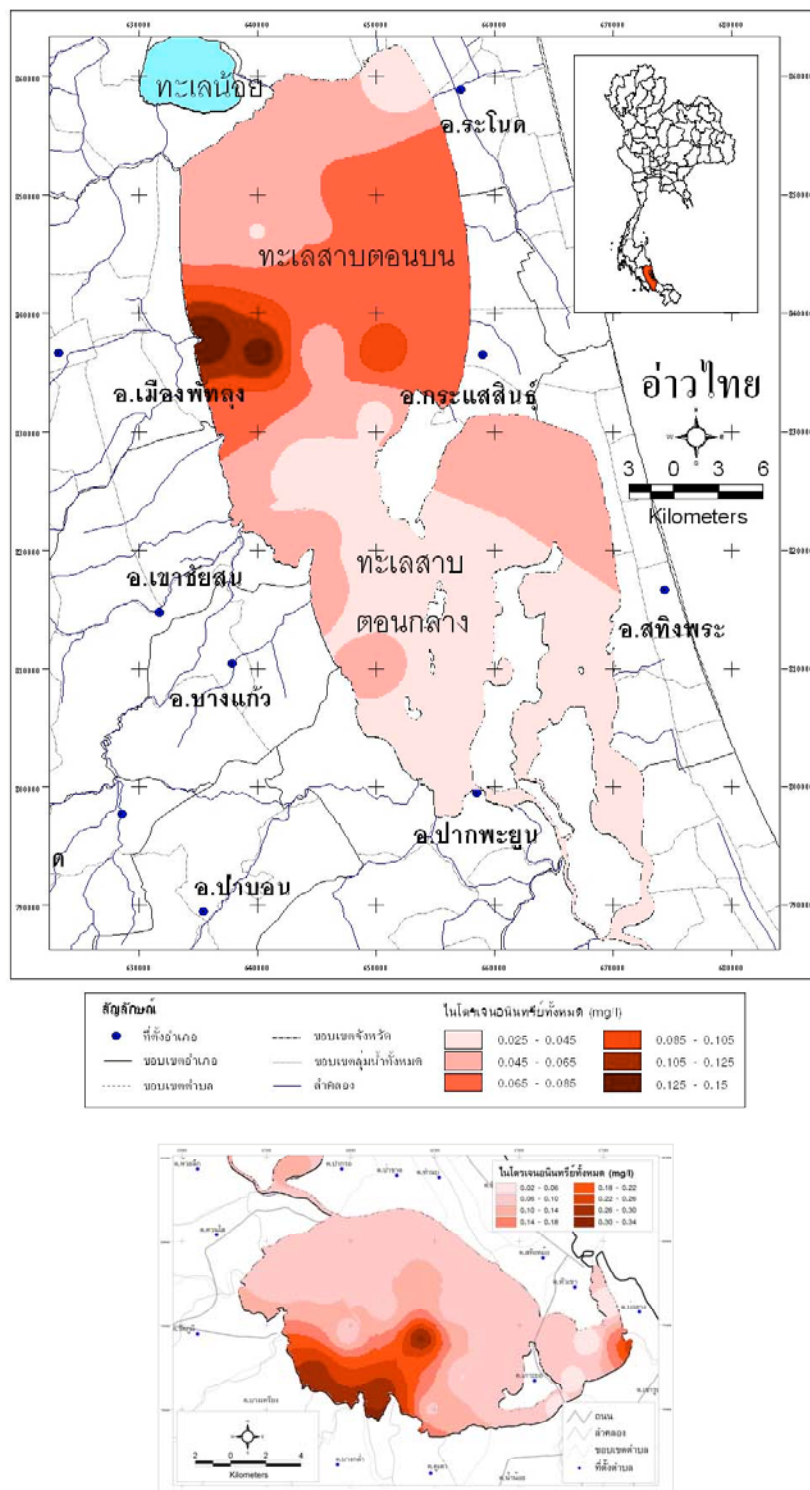
ที่มา: เพ็ญใจ (2547)

รูปที่ 7.7 การแพร่กระจายของคลอโรฟิลล์เอในทะเลสาบสงขลา



ที่มา: เพ็ญใจ (2547)

รูปที่ 7.8 การแพร่กระจายของฟอสเฟตในน้ำทะเลสาบสงขลา



ที่มา: เพ็ญใจ (2547)

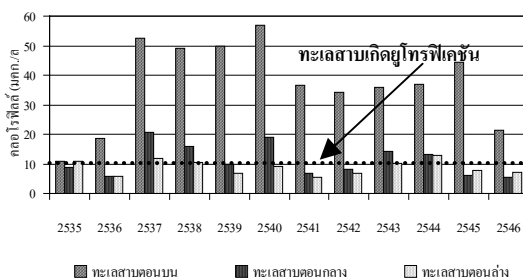
รูปที่ 7.9 การแพร่กระจายของสารอาหารอินทรีย์ไนโตรเจนทั้งหมด ในทะเลสาบสงขลา

7.5 ปัญหายูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)

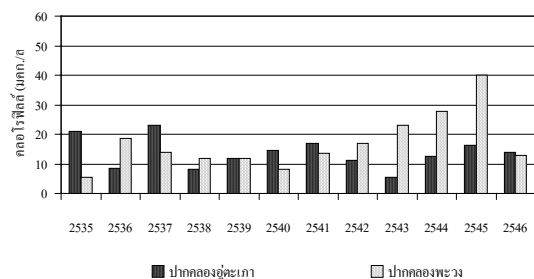
7.5.1 สาเหตุการเกิดยูโทรฟิเคชันในทะเลสาบสงขลา

การเกิดยูโทรฟิเคชัน คือ การที่มีสารอาหารของพืชอยู่มากเกินไป ยูโทรฟิเคชันที่เกิดในทะเลสาบสงขลา ไม่ได้เกิดเฉพาะทะเลสาบตอนกลางเท่านั้น แต่เกิดขึ้นทั้งทะเลสาบ ผลกระทบที่เกิดขึ้นให้เห็นจะแตกต่างกัน เนื่องจากความลึกของน้ำ และการถ่ายเทน้ำ ทะเลสาบตอนบนน้ำลึกกว่า ทำให้สาหร่ายขนาดใหญ่ (Macrophyte) ที่ต้องยึดเกาะกับพื้นท้องน้ำ ไม่สามารถเติบโตได้ สาหร่ายขนาดเล็กประเภทแพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) จึงเจริญเติบโตได้ดีกว่า แต่แพลงก์ตอนพืชก็ไม่สามารถมองเห็นเป็นตัวได้ชัดเจนเหมือนสาหร่ายขนาดใหญ่ แต่ก็เห็นได้ชัดจากการเปลี่ยนสีของน้ำในทะเลสาบ ซึ่งในทะเลสาบตอนบนนี้ บ่อยครั้งที่เห็นน้ำเป็นสีเขียวเป็นบริเวณกว้างอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังเห็นได้จากค่าคลอโรฟิลล์ เอ ที่สูงกว่าส่วนอื่นๆ ของทะเลสาบสงขลา ดังจะเห็นได้จากข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535-2546 (รูปที่ 7.10(ก))

ส่วนทะเลสาบตอนล่างพบว่า ปากคลองอยู่ตะเภาและปากคลองพะวงจะมีคลอโรฟิลล์ เอ สูงกว่าส่วนอื่นๆ ของทะเลสาบตอนล่างอย่างเห็นได้ชัด จึงได้แยกแสดงไว้ในรูปที่ 7.10(ข) นอกจากนี้ในบริเวณเกาะยอที่เลี้ยงปลากระชังหนาแน่นก็พบว่ามีคลอโรฟิลล์ เอ สูงเช่นกัน



(ก) ทะเลสาบสงขลาส่วนต่างๆ



(ข) ปากคลองอยู่ตะเภาและปากคลองพะวง
(ทะเลสาบตอนล่าง)

ที่มา: Sompongchaiyakul et al. (2004)

รูปที่ 7.10 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในทะเลสาบสงขลา

จากรูปที่ 7.10 เห็นได้ชัดว่ายูโทรฟิเคชันในทะเลสาบตอนบนส่งผลให้แพลงก์ตอนพืชสะพรั่งหรือการแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็ว (Bloom) ซึ่งเห็นได้จากค่าคลอโรฟิลล์ เอ ที่สูงมากกว่าส่วนอื่นๆ ของทะเลสาบ ยูโทรฟิเคชันในทะเลสาบตอนบน จะเกิดตลอดทั้งปีเพราะว่าน้ำจืดสนิทเกือบตลอดเวลา แพลงก์ตอนพืชที่สะพรั่งจะเป็นประเภทที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำจืด โดยเดือนกรกฎาคม-ตุลาคม จะมีค่าสูงกว่าช่วงอื่นๆ ในรอบปี ขณะที่ผลกระทบจากยูโทรฟิเคชันในทะเลสาบตอนกลางและตอนล่าง จะเห็นในช่วงปลายปี โดยในทะเลสาบตอนกลาง เมื่อน้ำมีความ

เค็มที่เหมาะสมกับพืชน้ำหรือสาหร่ายขนาดใหญ่ (ได้แก่ สาหร่ายหนาม (*Najas* sp.)) ก็จะส่งผลให้แพลงก์ตอนเค็มทะเลสาบ การผันรุนแรงเริ่มขึ้น ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 และเกิดต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน ส่วนทะเลสาบตอนล่างจะมีค่าคลอโรฟิลล์ เอ สูงในบางบริเวณ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณแหล่งเลี้ยงปลากระชังที่เกาะยอ

โดยความเป็นจริงแล้ว ยูโทรฟิเคชันในทะเลสาบลักษณะนี้ก็เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เนื่องจากการถ่ายเทน้ำจำกัด ทำให้น้ำมีระยะเวลาพำนัก (Residence time) อยู่ในทะเลสาบนาน ซึ่งแต่ละช่วงของทะเลสาบก็แตกต่างกัน ทะเลสาบตอนล่างได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง ทำให้อายุขัยพำนักของน้ำสั้นกว่าทะเลสาบส่วนอื่น ดังตารางที่ 7.8 การใช้ประโยชน์ที่ดินรอบทะเลสาบสงขลาในรูปแบบต่างๆ ส่งผลให้ปริมาณสารต่างๆ เข้าสู่ทะเลสาบมากขึ้น แต่การส่งออกสู่อ่าวไทยไม่ได้เพิ่มขึ้น ในวัฏจักรธรรมชาตินั้น เมื่อสารอาหารเข้าสู่ทะเลสาบ ส่วนหนึ่งจะถูกใช้ไปโดยแพลงก์ตอนพืชหรือพืชน้ำและถ่ายทอดไปตามสายใยอาหาร (Food web) บางส่วนลงไปสะสมอยู่ในตะกอนโดยกระบวนการ “sorption” ซึ่งมีทั้งการดูดซับ (Adsorption) ซึ่งเป็นการส่งออกจากระบบ และการคายออก (Desorption) ที่เป็นการนำเข้าสู่ระบบ ส่วนหนึ่งถูกนำออกจากระบบโดยการส่งออกสู่อ่าวไทย บางส่วนนำออกจากระบบผ่านการทำการประมงหรือการที่นกจับสัตว์น้ำกิน อย่างไรก็ตามเมื่อถึงระดับหนึ่งก็อัตราการไหลเข้ามากกว่าการไหลออก ก็ทำให้เกิดการสะสมขึ้นสารอาหารต่างๆ ที่เข้าสู่ทะเลสาบ

ตารางที่ 7.8 ข้อมูลบางประการของทะเลสาบสงขลา

	ทะเลสาบตอนบน	ทะเลสาบตอนกลาง	ทะเลสาบตอนล่าง
ความลึกเฉลี่ย (ม.) [*]	1.9	1.1	1.5
ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม.) [*]	2,817	1,094	1,728
ระยะเวลาพำนัก (วัน) [*]	55	28	15
ความเค็ม (psu) [*]	0-11	0-32	0-33

ที่มา: นิคมและคณะ (2547)

* ข้อมูลจาก Emsong Project (1998)

* ข้อมูลของสถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง

จากข้อมูลข้างต้น จะเห็นว่ายูโทรฟิเคชันในทะเลสาบสงขลาเกิดมานานแล้ว อย่างน้อยตั้งแต่ก่อนปี พ.ศ. 2527 และเพิ่มความรุนแรงมากขึ้นตั้งแต่ปลายปี พ.ศ. 2536 เมื่อความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ เพิ่มขึ้นมากกว่าแต่เดิมมาก และคงระดับสูงเช่นนั้นในปีต่อๆ มา จนช่วงปี พ.ศ. 2545 และ 2546 สถานการณ์ยิ่งแย่งกว่าเดิมมาก เมื่อเกิดการระบาดของสาหร่ายหนามหรือที่ชาวบ้านเรียกว่าสาหร่ายหนาม (*Najas* sp.) และสาหร่ายขนาดใหญ่ชนิดอื่น เช่น *Cladophora* และ *Enteromorpha* ในทะเลสาบตอนบนและตอนกลาง ครอบคลุมพื้นที่ถึง 160 ตร.กม. ซึ่งก่อนหน้านี้แม้ว่าจะมีปัญหาจากยูโทรฟิเคชันเกิดขึ้นในทะเลสาบสงขลาบ้าง

แต่ก็เป็นช่วงระยะเวลาสั้นๆ และการเกิดยูโทรฟิเคชันในทะเลสาบสงขลาเป็นผลมาจากการเพิ่มสูงขึ้นของปริมาณสารอาหารที่เข้าสู่ทะเลสาบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากกลุ่มน้ำย่อยที่รายรอบทะเลสาบตอนบนและตอนกลาง ซึ่งเมื่อมองการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่รายรอบทะเลสาบสงขลาแล้ว ส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่เกษตรกรรม และชุมชน ซึ่งจัดเป็นแหล่งกำเนิดมลสารประเภทไม่รู้แหล่งกำเนิดดังกล่าวมาแล้ว น้ำฝนที่ตกลงมาจะพัดพาเอาสารอาหารที่อาจจะมาจากปุ๋ยส่วนเกินที่เกษตรกรใช้ หรือมาจากน้ำทิ้งชุมชน หรือมาจากน้ำทิ้งนาทุ่ง ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาซึ่งเป็นปลายน้ำ ทางระบายออกของน้ำในทะเลสาบตอนบนและตอนกลาง (ที่มีสารอาหารเหล่านี้) ทางเดียว คือ ทางช่องแคบปากกรอ (คลองหลวง) ลงสู่ทะเลสาบตอนล่าง และออกสู่อ่าวไทย

อย่างไรก็ดี กิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในทะเลสาบเองหรือพื้นที่ริมทะเลสาบ ล้วนแล้วแต่เป็นการเพิ่มพูนสารอาหารเข้าสู่ในทะเลสาบแทบทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นกระชังปลาที่มีอยู่มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในคลองหลวง และรอบๆ เกาะยอ หรือนากุ้งรอบๆ ทะเลสาบที่เพิ่มจำนวนขึ้นเรื่อยๆ ของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำเหล่านี้มีปริมาณมากเกินกว่าที่จะระบายออกสู่ทะเลอ่าวไทยได้ทันในช่วงวัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลงหนึ่งๆ (Tidal cycle) จึงสะสมอยู่ในทะเลสาบนั่นเอง นอกจากนี้ การที่มีเครื่องมือประมงแบบคงที่จำนวนมากในทะเลสาบ ก็เป็นการกีดขวางการไหลของน้ำ เมื่อสายน้ำไหลปะทะไม้หลักที่เป็นองค์ประกอบของเครื่องมือประมง จะทำให้เกิดการหมุนวนและชะลอความเร็วลงเล็กน้อย ซึ่งมากพอที่จะลดแรงพยุงบ่ออนุภาคแขวนลอยที่มากับกระแสน้ำได้ส่วนหนึ่ง อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าที่กระแสน้ำจะพยุงไว้ได้ ก็จะตกตะกอนลง ซึ่งนอกจากจะเป็นสาเหตุของการเพิ่มอัตราการตกตะกอนของอนุภาคและทำให้ทะเลสาบตื้นเร็วขึ้นแล้ว อนุภาคส่วนหนึ่งซึ่งเป็นอนุภาคอินทรีย์ก็จะตกลงสะสมในตะกอนท้องน้ำ ซึ่งตามธรรมชาติแล้วสารอินทรีย์เหล่านี้ก็จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียต่อไป

กระบวนการย่อยสลายโดยแบคทีเรียนี้ จะเปลี่ยนไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งอยู่ในรูปสารอินทรีย์ ออกมาเป็นสารอาหารอนินทรีย์ ซึ่งก็คือ สารอาหารที่พร้อมใช้ของพืชน้ำนั่นเอง ดังนั้น หากไม่ร่วมมือกันแก้ไขปัญหานี้โดยเร็ว ในอนาคตอันใกล้ทะเลสาบสงขลาจะเกิดภาวะ Hypoxia (ออกซิเจนละลายต่ำกว่า 2 มก./ล.) ทั้งทะเลสาบ และสัตว์น้ำจะตายเป็นจำนวนมากกว่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งที่น้ำในทะเลสาบสงขลาค่อนข้างนิ่ง ปริมาณน้ำท่าลงสู่ทะเลสาบน้อย ทำให้ปริมาณน้ำท่าไม่เพียงพอที่จะดันมวลน้ำที่มีสารอาหารสูงออกสู่อ่าวไทย ประกอบกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่จะเกิดกระบวนการย่อยสลายโดยแบคทีเรียได้เร็วขึ้น

7.5.2 ปริมาณสารอาหารในทะเลสาบสงขลา

ยูโทรฟิเคชัน คือ การที่แหล่งน้ำมีธาตุอาหาร (ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส) สำหรับพืชน้ำมากเกินไป ซึ่งโดยส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ จากข้อมูลของ EmSong (1999) ในตารางที่ 7.9 พบว่าในปี พ.ศ. 2535 มีสารอาหารประเภทไนโตรเจนลงสู่ทะเลสาบสงขลาทั้งสิ้น 4,165 ตัน และฟอสฟอรัส 647 ตัน

ตารางที่ 7.9 ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ลงสู่ทะเลสาบสงขลาในปี พ.ศ. 2535

พื้นที่	ไนโตรเจน (ตัน/ปี)	ฟอสฟอรัส (ตัน/ปี)
ทะเลสาบตอนบน	1,573	247
ทะเลสาบตอนกลาง	954	113
ทะเลสาบตอนล่าง	1,638	287
รวม	4,165	647

ที่มา: นิคมและคณะ (2547)

แม้ว่าจะมีการศึกษาในเรื่องธาตุอาหารในทะเลสาบ ซึ่งดำเนินการโดยสถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง (National Institute of Coastal Aquaculture : NICA) ในจังหวัดสงขลา มานานเกือบ 30 ปีแล้ว แต่ข้อมูลยังไม่ค่อยสมบูรณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของความต่อเนื่องของข้อมูล ทำให้ไม่สามารถติดตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในทะเลสาบสงขลาได้ อีกทั้งข้อมูลส่วนใหญ่เป็นข้อมูลของสารอาหารอินทรีย์พร้อมใช้ของพืชน้ำ (ไนเตรต แอมโมเนีย และ ออร์โธฟอสเฟต) เท่านั้น ยังไม่ครอบคลุมไปถึงสารอินทรีย์ที่สะสมในตะกอนทะเลสาบ¹³ ซึ่งเป็นแหล่งปลดปล่อยสารอาหารออกสู่มวลน้ำในระยะยาว และนอกจากนี้ข้อมูลต่างๆ ยังไม่ครอบคลุมทั่วทั้งทะเลสาบ

จากข้อมูลของ NICA ระหว่างปี พ.ศ. 2535-2546 (ตารางที่ 7.3-7.7) พบว่าทะเลสาบสงขลาแต่ละตอนมีความเข้มข้นของไนเตรต+ไนไตรต์ แอมโมเนีย และออร์โธฟอสเฟตใกล้เคียงกัน โดยความเข้มข้นของไนเตรต+ไนไตรต์ และแอมโมเนีย ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่า 0.05 มก.-ไนโตรเจน/ล. ส่วนออร์โธฟอสเฟตมีค่าอยู่ระหว่าง 0.001-0.040 มก.-ฟอสฟอรัส/ล. ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ จากตารางที่ 7.10 จะเห็นว่าปริมาณสารอาหารประเภทไนโตรเจนในทะเลสาบตอนกลางและทะเลสาบตอนล่าง มีค่าสูงกว่าทะเลสาบตอนบน และมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณปากคลองอู่ตะเภาและปากคลองพะวง ซึ่งไหลลงสู่ทะเลสาบตอนล่าง พบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างชัดเจน ขณะที่ออร์โธฟอสเฟตไม่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด (Sompong-chaikakul *et al.*, 2004)

โดยทั่วไปยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำ บ่งชี้ได้จากปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ หรือผลผลิตขั้นต้น (Primary production) แหล่งน้ำที่จัดว่าเกิดยูโทรฟิเคชันจะมีความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ มากกว่า 10 มก./ล. (Sin *et al.*, 1999) หรือผลผลิตขั้นต้นมากกว่า 300 ก.-คาร์บอน/ตร.ม./ปี (Black, 2001) แหล่งน้ำที่ที่เกิดภาวะยูโทรฟิเคชันจะพบสาหร่ายขนาดใหญ่ (Macroalgae) ขึ้นปกคลุมผิวน้ำอย่างหนาแน่น ขณะที่แหล่งน้ำเล็กจะพบเป็นสาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) หรือแพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) (Black, 2001)

¹³ ในทะเลสาบที่น้ำตื้น สารอินทรีย์ที่สะสมในตะกอนเป็นแหล่งสารอาหารอินทรีย์ที่มีความสำคัญมาก ปริมาณสารอินทรีย์พร้อมใช้ที่ถูกปลดปล่อยเข้าสู่มวลน้ำ จะขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ และอัตราการย่อยสลายซึ่งแตกต่างกันตามฤดูกาล

ตารางที่ 7.10 คุณภาพน้ำทางเคมีบางประการในช่วง พ.ศ. 2535-2543

ปัจจัยสิ่งแวดล้อม	ทะเลสาบตอนบน	ทะเลสาบตอนกลาง	ทะเลสาบตอนล่าง
pH	8.0 (7.6-8.4)	7.5 (7.4-7.6)	7.7 (7.6-7.8)
ความโปร่งใส (ซม.)	32.2 (21-41)	58.0 (34-86)	61.1 (53-73)
PO ₄ ³⁻ (มก.-P/ล.)	0.006 (0.002-0.011)	0.006 (0.001-0.011)	0.023 (0.005-0.040)
NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻ (มก.-N/ล.)	0.028 (0.020-0.045)	0.046 (0.022-0.078)	0.121 (0.038-0.224)
NH ₃ (มก.-N/ล.)	0.028 (0.020-0.045)	0.044 (0.027-0.060)	0.155 (0.118-0.263)
DO (มก./ล.)	7.5 (6.3-8.7)	6.4 (6.1-6.7)	5.9 (5.3-6.3)
Chlorophyll a (มค.ก./ล.)	38.4 (14.5-56.5)	11.9 (5.6-20.2)	10.3 (6.8-13.9)

ที่มา: นิคมและคณะ (2547)

หมายเหตุ : ค่านอกวงเล็บคือค่าเฉลี่ย ค่าในวงเล็บคือค่าพิสัย

จากการศึกษาในเบื้องต้น (เพ็ญใจ, 2547) จากตัวอย่างตะกอนกว่า 70 ตัวอย่าง ครอบคลุมพื้นที่ทั้งทะเลสาบ (รูปที่ 7.4) พบว่าตะกอนทะเลน้อยมีสารอินทรีย์สะสมอยู่มากที่สุด ปริมาณสารอินทรีย์ (Organic matter) ในตะกอนในส่วนต่างๆ ของทะเลสาบ มีค่าเฉลี่ย ดังนี้

- ทะเลน้อย 10.72%
- ทะเลสาบตอนบน 1.72%
- ทะเลสาบตอนกลาง 1.10%
- ทะเลสาบตอนล่าง 1.71%

7.5.3 ยูโทรฟิเคชันในทะเลสาบสงขลา

การบลูม (Bloom) ของสาหร่ายขนาดใหญ่ในทะเลสาบสงขลา พบว่าเกิดขึ้นมานานกว่า 20 ปี โดยมีรายงานไว้ในหนังสือ Data Book of the World Lakes ซึ่งจัดพิมพ์ขึ้นในปี พ.ศ. 2527 (Kira, 1984) ว่ามีการบลูม ของ *Nostoc* sp. และ *Euglena* sp. ในทะเลสาบตอนบนมาหลายปีมาแล้ว ซึ่งแสดงว่าทะเลสาบสงขลาจะเกิดยูโทรฟิเคชันมาตั้งแต่ก่อนปี พ.ศ. 2527

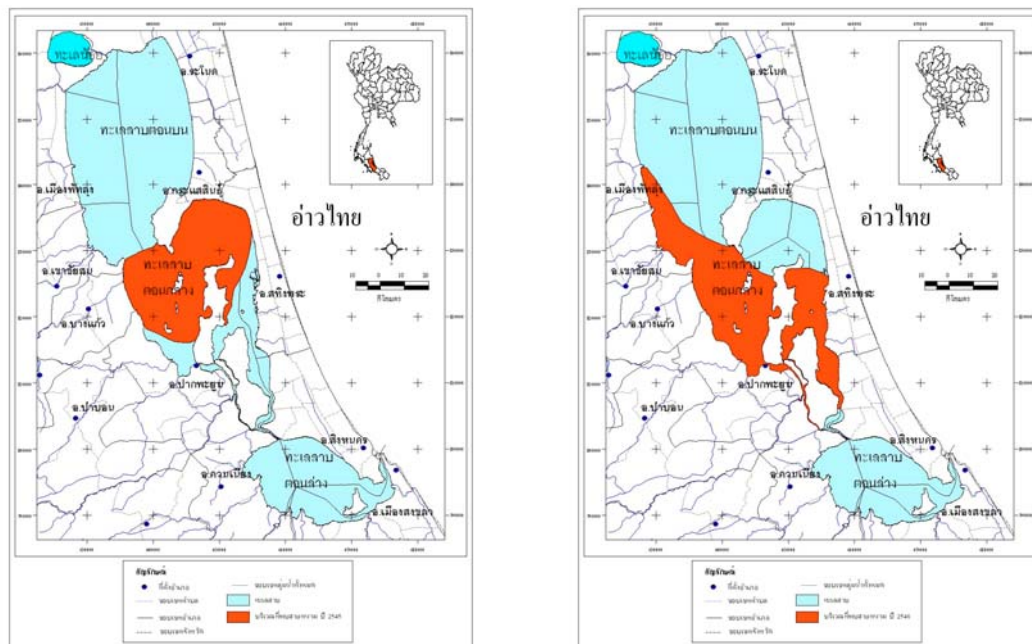
ทะเลสาบสงขลาแต่ละตอนจะเกิดยูโทรฟิเคชันแตกต่างกัน โดยพบว่าทะเลสาบตอนบนจะเกิดยูโทรฟิเคชันตลอดทั้งปี ขณะที่ทะเลสาบตอนกลางและทะเลสาบตอนล่าง จะเกิดยูโทรฟิเคชันในช่วงปลายปี นอกจากนี้ยังพบว่าบางครั้งคลอโรฟิลล์ เอ ในทะเลสาบตอนบนมีค่าสูงมากในบางเดือน โดยจะสูงถึง 160 มก./ล. ซึ่งแสดงว่าทะเลสาบตอนบน ประสบปัญหา

ยูโทรฟิเคชันค่อนข้างรุนแรงมาหลายปีแล้ว โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2539-2540 ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สัตว์น้ำในทะเลสาบตอนบนตายเป็นบริเวณกว้างในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2540

สถานการณ์ล่าสุด (ในปี พ.ศ. 2547) พบว่า ยูโทรฟิเคชันเกิดขึ้นอย่างรุนแรงในทะเลสาบตอนกลาง โดยเกิดการแพร่กระจายอย่างรวดเร็วของพืชน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งเกือบทั้งหมดเป็นสาหร่ายหนาม (*Najas* sp.) ครอบคลุมพื้นที่กว่า 160 ตร.กม. ซึ่งคิดเป็นน้ำหนักเปียกถึง 6 แสนตัน ในปี พ.ศ. 2546 ก็เกิดการแพร่กระจายของสาหร่ายหนามในบริเวณกว้างเช่นเดียวกัน โดยพบเกือบตลอดปี แต่หลังจากสาหร่ายหนามแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างประมาณ 4 เดือน (มีนาคม-มิถุนายน) ก็พบสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ *Cladaophora* เจริญเติบโตปกคลุมสาหร่ายหนามอย่างหนาแน่นครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างด้วย นอกจากนี้ ในบางพื้นที่ของทะเลสาบตอนกลาง เช่น บริเวณบ้านคูซุด ยังพบ *Enteromorpha* ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่เช่นเดียวกับ *Cladaophora* ขึ้นปะปนอยู่กับสาหร่ายหนามและ *Cladaophora*

ช่วงเวลาที่เริ่มพบสาหร่ายหนามแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างในปี พ.ศ. 2545 และ 2546 ใกล้เคียงกัน คือ ประมาณเดือนมีนาคมถึงเมษายน สาหร่ายหนาม และ *Cladaophora* เจริญเติบโตอย่างหนาแน่นและแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างนานประมาณ 7-8 เดือน เมื่อถึงเดือนตุลาคม ซึ่งฝนตกมากขึ้น น้ำจืดไหลลงทะเลสาบมากขึ้น ทั้งสาหร่ายหนามและ *Cladaophora* ที่มีอยู่อย่างหนาแน่นตามพื้นที่ต่างๆ เริ่มเน่า และในเดือนธันวาคม พบเห็นสาหร่ายหนามรวมถึง *Cladaophora* และ *Enteromorpha* ที่ยังไม่ตาย ขึ้นอยู่ประปรายบริเวณริมทะเลสาบตอนกลาง แถวบ้านคูซุดไปจนถึงคลองชะแล้ ขณะที่บริเวณอื่นไม่พบสาหร่ายหนาม และไม่พบทั้ง *Cladaophora* และ *Enteromorpha* ด้วย

บริเวณที่พบสาหร่ายหนาม และ *Cladaophora* ในปี พ.ศ. 2546 แตกต่างจากปี พ.ศ. 2545 โดยในปี พ.ศ. 2545 พื้นที่ที่พบส่วนใหญ่ของตอนกลางของทะเลสาบตอนบน ขณะที่ในปี พ.ศ. 2546 พื้นที่ที่พบครอบคลุมพื้นที่ทางฝั่งตะวันตกของทะเลสาบตอนบนเกือบทั้งหมด ตั้งแต่ปากคลองลำปาลงมา อย่างไรก็ตาม บริเวณทิศใต้ของเกาะใหญ่ ซึ่งเคยพบสาหร่ายหนามอย่างหนาแน่น เมื่อ ปี พ.ศ. 2545 แต่ในปี พ.ศ. 2546 ไม่พบสาหร่ายหนามแต่อย่างใด นอกจากนั้นในปี พ.ศ. 2545 สาหร่ายขนาดใหญ่ที่พบ จะเป็นพวกสาหร่ายหนามเท่านั้น แต่ในปี พ.ศ. 2546 จะพบ *Cladaophora* และ *Enteromorpha* ด้วย อย่างไรก็ตาม พวก *Cladaophora* และ *Enteromorpha* จะพบในทะเลสาบตอนกลางเท่านั้น เหนือขึ้นไปจะไม่พบ โดยเฉพาะ *Enteromorpha* จะพบบางพื้นที่เท่านั้น คือ แถวบ้านคูซุดไปจนถึงคลองชะแล้ ขณะที่ *Cladaophora* พบได้ทั่วไปเช่นเดียวกับสาหร่ายหนาม (รูปที่ 7.11)

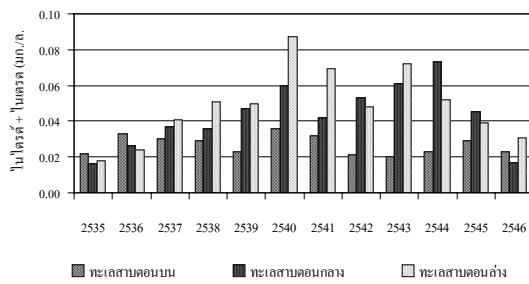


ที่มา: Sompongchaiyakul *et al.* (2004)

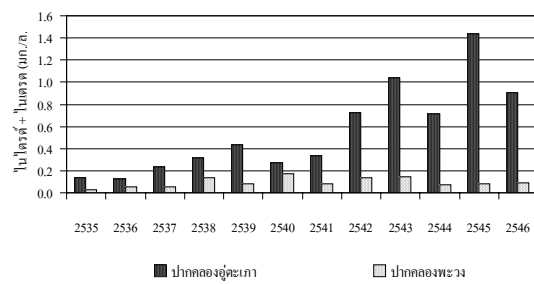
รูปที่ 7.11 บริเวณที่พบสาหร่ายหนาม และสาหร่ายขนาดใหญ่ในทะเลสาบสงขลา ภาพซ้ายในปี พ.ศ. 2545 และภาพขวาในปี พ.ศ. 2546

7.5.4 ผลกระทบของยูโทรฟิเคชันต่อสภาพแวดล้อมในทะเลสาบสงขลา

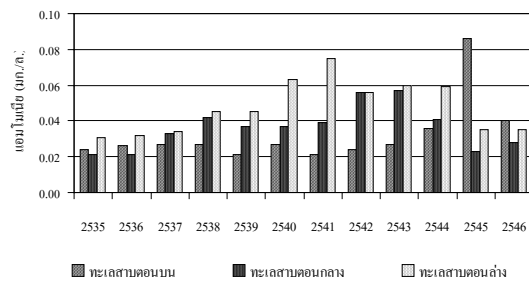
จากการติดตามศึกษาการแปรผันรายเดือนของสารอาหารฟอสฟอรัส ไนโตรเจน+ไนไตรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟต ในทะเลสาบส่วนต่างๆ เป็นเวลากว่า 10 ปี โดยสถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง (National Institute of Coastal Aquaculture : NICA) สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง พบว่าความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ดังรูปที่ 7.12 (ก-1 ถึง ค-1) และจะเห็นว่าในทะเลสาบตอนกลางในปี พ.ศ. 2545 และ 2546 ความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำลดลงอย่างชัดเจน ทั้งนี้เพราะว่าสาหร่ายขนาดใหญ่ที่สะสมอยู่ได้ใช้สารอาหารเหล่านี้ไป และสะสมอยู่ในตัวมัน เมื่อมันตาย (น้ำจืดตกลง ทำให้น้ำทะเลแทรกเข้าไป) ก็จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายและค่อยๆ ปล่อยสารอาหารออกมาสู่มวลน้ำ ซึ่งเป็นช่วงเดียวกับสภาวะแวดล้อมในทะเลสาบเหมาะสมกับการเจริญของสาหร่ายขนาดใหญ่ (น้ำจืดมาก) นอกจากนี้จะเห็นว่าปริมาณสารอาหารประเภทไนโตรเจนที่ลงสู่ทะเลสาบ เพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับในช่วงปีหลังๆ ซึ่งน่าจะเป็นผลส่วนหนึ่งจากการที่น้ำเสียผ่านการบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียหาดใหญ่ ซึ่งเปลี่ยนจากสารปนเปื้อนอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ ซึ่งพร้อมใช้สำหรับแพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำ อย่างไรก็ตาม ในปี พ.ศ. 2547 เทศบาลนครหาดใหญ่ได้เริ่มศึกษา และให้มีการปลูกพืชเพื่อดูดซับสารอาหารเหล่านี้ ก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่ทะเลสาบสงขลา



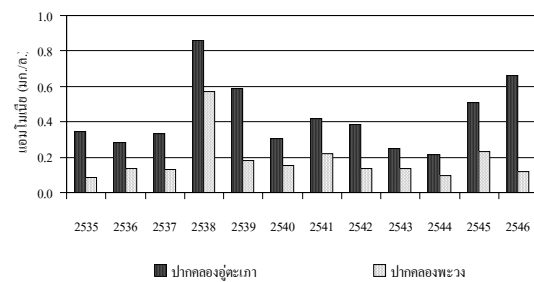
(ก-1)



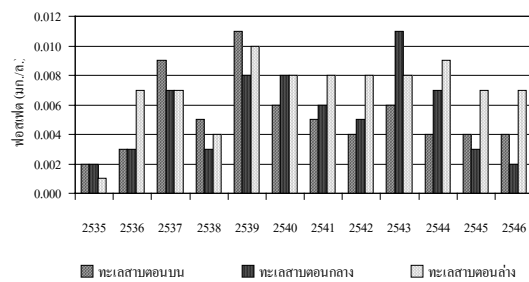
(ก-2)



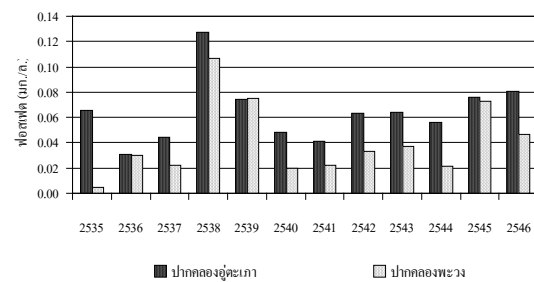
(ข-1)



(ข-2)



(ค-1)



(ค-2)

ที่มา: Sompongchaiyakul *et al.* (2004)

รูปที่ 7.12 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหารในน้ำทะเลสาบส่วนต่างๆ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536-2546

ตารางที่ 7.11 เป็นค่าสัดส่วนโมลของ ไนโตรเจน ต่อ ฟอสฟอรัส (N:P ratio) ในน้ำทะเลสาบสงขลาส่วนต่างๆ จะเห็นว่ามีค่ามากกว่า Redfield ratio (N:P=16:1) มากในแทบทุกส่วนของทะเลสาบ ซึ่งหมายความว่า หากมีฟอสฟอรัสเข้าสู่มวลน้ำเมื่อไร และสภาวะแวดล้อมเหมาะสม (น้ำมีความเค็มพอเหมาะ มีแดดดี) ก็จะมีการสะสมของแพลงก์ตอนพืชได้ทันที (ในกรณีของทะเลสาบตอนกลางสำหรับขนาดใหญ่เจริญได้ดีกว่า เพราะว่ามีน้ำตื้น) ซึ่งคาดว่าแหล่งที่มาของฟอสฟอรัสน่าจะมาจากตะกอนท้องน้ำที่เกิดจากการสะสมมาเป็นเวลานาน อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาถึงฟลักซ์ (Flux) ของฟอสฟอรัสจากตะกอนที่เข้าสู่มวลน้ำทะเลสาบ ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปได้ว่าแหล่งที่มาของฟอสฟอรัสที่จะเป็นสาเหตุการสะสมของแพลงก์ตอนพืชในทะเลสาบได้

ตารางที่ 7.11 สัดส่วนโมลของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P ratio) ในน้ำทะเลสาบสงขลาส่วนต่างๆ

พ.ศ.	ทะเลสาบ ตอนบน	ทะเลสาบ ตอนกลาง	ทะเลสาบ ตอนล่าง	ปากคลอง อู่ตะเภา	ปากคลอง พะวง
2535	50.9	40.9	108.4	16.2	50.9
2536	43.5	34.7	17.7	29.6	14.0
2537	14.0	22.1	23.7	28.4	18.9
2538	24.8	57.5	53.1	20.5	14.6
2539	8.8	23.2	21.0	30.6	7.9
2540	23.2	26.8	41.5	26.5	35.5
2541	23.4	29.9	39.8	40.4	31.0
2542	24.9	48.2	28.8	38.8	18.0
2543	17.3	23.7	36.5	44.7	16.7
2544	32.6	36.0	27.3	36.6	18.0
2545	63.6	50.1	23.4	56.7	9.4
2546	34.8	49.8	20.9	42.8	9.6

ที่มา: คำนวณจากข้อมูลจากตาราง 7.3-7.7

อย่างไรก็ดี การสะสมของสาหร่ายในทะเลสาบทำให้เกิดการตายของปลาเป็นจำนวนมาก เนื่องจากขาดออกซิเจนในเวลากลางคืน ดังรูปที่ 7.13 นอกจากนี้ ในทะเลสาบตอนล่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งใกล้เกาะยอ เกิดการตายของปลาในกระชังเป็นจำนวนมากเช่นเดียวกัน (รูปที่ 7.14) ซึ่งสาเหตุไม่น่าจะเกิดจากยูโทรฟิเคชันแต่เพียงอย่างเดียว แต่น่าจะเป็นผลร่วมกันจากหลายปัจจัย คือ การเลี้ยงปลาอย่างหนาแน่นทำให้ปลาต้องการออกซิเจนสูง ในตอนกลางวันอาจจะมีเพียงพอเพราะว่าแพลงก์ตอนพืชสังเคราะห์แสงและคายออกซิเจนออกมา แต่ในตอนกลางคืนก็ต้องหายใจเช่นกัน จึงจะแย่งออกซิเจนกันกับปลา นอกจากนี้การเลี้ยงปลากระชังทำให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ในตะกอนใต้กระชัง สารอินทรีย์เหล่านี้มาจากมูลปลา และเศษอาหารที่เหลือ เมื่อเกิดการย่อยสลายก็ต้องใช้ออกซิเจนเช่นเดียวกัน และยังเมื่อน้ำนิ่งการหมุนเวียนของน้ำไม่ดี การถ่ายเทออกซิเจนจึงยิ่งจำกัด ทำให้เกิดภาวะที่เรียกว่า Hypoxia ซึ่งบางครั้งปลาอาจไม่ตายทันที แต่เกิดความเครียด และไม่กินอาหาร

รูปที่ 7.13
ปลาตายเป็นจำนวนมาก
ในทะเลสาบตอนกลาง
ขณะเกิดการสะพรั่งของสาหร่าย
ขนาดใหญ่



ที่มา: นิคม (2547)



รูปที่ 7.14
ปลาตายเป็นจำนวนมาก
ในกระชังเลี้ยงปลา
ในทะเลสาบตอนล่าง

ที่มา: นิคม (2547)

ภาวะยูโทรฟิเคชัน ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำ เช่น ทำให้ออกซิเจนละลายลดลงต่ำกว่า 2 มก./ล. (Hypoxia) หรือหมดไป (Anoxia) สำหรับยูโทรฟิเคชันที่เกิดขึ้นในทะเลสาบสงขลา พบว่าส่งผลกระทบ ดังต่อไปนี้

(1) **ทำให้ค่า pH และออกซิเจนละลายในเวลากลางวัน มีค่าเพิ่มขึ้นจากระดับปกติ** ในช่วงปี พ.ศ. 2535-2536 ค่า pH และออกซิเจนละลายในทะเลสาบ โดยรวมมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน แต่หลังจากเริ่มเกิดยูโทรฟิเคชันอย่างรุนแรง (ค่าคลอโรฟิลล์ เอ เพิ่มขึ้นอย่างมาก) ในทะเลสาบตอนบน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 เป็นต้นมา มีผลให้ค่า pH และออกซิเจนละลายในทะเลสาบตอนบนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด บางครั้งค่า pH มากกว่า 9 และเคยสูงถึง 9.5 ซึ่งที่ pH ดังกล่าว แอมโมเนียส่วนใหญ่ จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียอิสระ ที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ แม้ว่าจะมีอยู่ในระดับความเข้มข้นที่ต่ำ (Lawson, 1995; Boyd and Tucker, 1998) ในปี พ.ศ. 2545 ซึ่งมีสาหร่ายขนาดใหญ่แพร่กระจายอยู่เป็นจำนวนมากผิดปกติ ก็พบว่าค่า pH และออกซิเจนละลายมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

(2) **เพิ่มการผันแปรในรอบวันของค่า pH และออกซิเจนละลาย** จากการตรวจวัดค่าความผันแปรในรอบวันของค่า pH และออกซิเจนละลายบริเวณบ้านเกาะใหญ่ อ. กระแสสินธุ์ จ. สงขลา พบว่าค่าออกซิเจนละลายผันแปรอยู่ในช่วง 1-8 มก./ล. โดยจะอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 3 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ นานถึง 6 ชั่วโมง ส่วนค่า pH ผันแปรอยู่ระหว่าง 7-9

(3) **ทำให้ความโปร่งใสของน้ำเปลี่ยนแปลง** ยูโทรฟิเคชันอาจทำให้น้ำใสหรือขุ่นขึ้นอยู่กับประเภทของพืชน้ำที่เกิดขึ้น ในทะเลสาบตอนบน ยูโทรฟิเคชันทำให้สาหร่ายประเภทแพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตมากผิดปกติ ทำให้น้ำขุ่นขึ้น จนค่าความโปร่งใสต่ำกว่าส่วนอื่นๆ ของทะเลสาบ แต่ในทะเลสาบตอนกลาง ที่มีสาหร่ายหนามหรือสาหร่ายขนาดใหญ่เกิดขึ้น น้ำบริเวณดังกล่าวใสขึ้นจนมองเห็นพื้นดิน อย่างไรก็ตาม เมื่อสาหร่ายหนามตายและเน่า น้ำก็จะขุ่นอีกครั้ง

(4) **ลดความเข้มข้นของธาตุอาหารในน้ำ** ในทะเลสาบตอนบนและตอนกลางที่มีสาหร่ายหนามกระจายอยู่เป็นบริเวณกว้าง พบว่าก่อนที่จะมีสาหร่ายหนามและ *Cladophora* เกิดขึ้น ค่าความเข้มข้นของสารอาหารอนินทรีย์ที่พร้อมใช้ของพืช พวก Dissolved inorganic nitrogen (DIN) และ Dissolved inorganic phosphorus (DIP) จะมีค่าสูงกว่าช่วงที่เกิดสาหร่ายหนามและ *Cladophora*

(5) **ทำให้ตะกอนดินเน่าเสีย** เมื่อสาหร่ายตายทับถมกันเป็นสารอินทรีย์อยู่ในตะกอนบริเวณนั้น เมื่อเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรีย ออกซิเจนในบริเวณนั้นก็จะถูกใช้ไปจนหมด จนกระทั่งอยู่ในสภาวะไร้อากาศ (Anoxia) ทำให้แบคทีเรียต้องใช้ออกซิเจนจากแหล่งอื่น เช่น ชัลเฟต ซึ่งจะทำให้เกิดการสะสมของไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตะกอนดินก็จะมีสีดำและมีกลิ่นเหม็น แม้แต่สัตว์หน้าดินก็ไม่สามารถจะอยู่ได้ แต่ก่อนหน้าที่จะเกิดสภาวะไร้อากาศก็จะเกิดสภาวะที่ออกซิเจนต่ำมาก (Hypoxia) ถึงขั้นวิกฤต คือ ต่ำกว่า 2 มก./ล.

(6) **เป็นสาเหตุการตายของสัตว์น้ำในทะเลสาบ** ช่วงปี พ.ศ. 2540-2544 มีปลาตายในทะเลสาบสงขลาเกือบทุกปี โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2540 นั้นเหตุการณ์รุนแรงกว่าปีอื่นๆ เพราะมีปลาตายเป็นจำนวนมาก ตั้งแต่เกาะใหญ่ไปจนถึงโรงสูบน้ำระโนด ในปี พ.ศ. 2543 พบว่าปลาตายถึง 2 ครั้ง ครั้งแรกในเดือนเมษายน และครั้งที่ 2 ในเดือนตุลาคม โดยพื้นที่ที่พบปลาตายในครั้งแรกนั้นอยู่ในบริเวณทะเลสาบตอนบน ซึ่งเคยมีปลาตายเป็นจำนวนมากเมื่อปี พ.ศ. 2540 ส่วนบริเวณที่พบปลาตายในเดือนตุลาคม อยู่บริเวณหมู่ที่ 1 และ 2 ต.คูซุด อ.สทิงพระ ในปี พ.ศ. 2544 มีรายงานว่ามียาปลาตายบริเวณระหว่างเกาะใหญ่กับเกาะสี่ เกาะห้า ช่วงเดือนที่มีปลาตายอยู่ระหว่างเดือนมีนาคม-พฤษภาคม และในเดือนพฤศจิกายนปีเดียวกัน ในทะเลสาบตอนล่างก็มีปลาและสัตว์น้ำชนิดอื่นตาย ปลาที่ตายทุกๆ ปี ส่วนใหญ่เป็นปลากดน้ำจืด (*Arius maculatus*) หรือที่ชาวบ้านเรียกว่า ปลากดหัวอ่อนหรือปลาหัวโม่ นอกจากนี้

ยังมีปลาและสัตว์น้ำชนิดอื่น เช่น ปลาสวาย ปลาหัว ปลาดุกทะเล ปลาแขยง ปลาทองเทียว (ปลาลูชนิดหนึ่ง) และกั้งตักแทน เป็นต้น จะเห็นว่าสัตว์น้ำที่ตายทุกชนิดเป็นสัตว์น้ำที่อาศัยและหากินบริเวณพื้นท้องน้ำ จากข้อมูลคุณภาพน้ำในบริเวณที่มีสัตว์น้ำตาย (ตารางที่ 7.12) พบว่าที่พื้นท้องน้ำบริเวณเหล่านี้มีออกซิเจนละลายต่ำและค่าคลอโรฟิลล์ เอ (ซึ่งมีรายงานเพียงครั้งเดียว) สูงถึง 164 มค.ก./ล. ซึ่งเป็นที่ชัดเจนว่าการเกิดยูโทรฟิเคชันเป็นสาเหตุการตายของสัตว์น้ำ

ตารางที่ 7.12 คุณภาพน้ำในบริเวณที่มีสัตว์น้ำตาย

เดือน/ปี	เวลา	DO (มก./ล.)		pH	ความเค็ม (psu)	(มค.ก.-N/ล.)			คลอโรฟิลล์ เอ (มค.ก./ล.)
		ผิวน้ำ	ท้องน้ำ			NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₃	
ต.ค. 2540	11.00	7-8	1-2	-	-	0-2	22-52	10-48	-
เม.ย. 2543	15.00	-	-	-	0	-	-	9	-
ต.ค. 2543	11.00	6.8-7.0	-	-	0.3	-	-	-	-
พ.ค. 2544	15.00	5.6-6.6	2-3	-	-	0-2	-	1-2	-
พ.ย. 2544	11.00	8.3-10.4	5.8-7.2	8.02	7.2-8.8	0.7	149	120	164
พ.ย. 2544	05.50	-	3.4-3.6	6.6-6.9	8.7	-	-	-	-

ที่มา: นิคมและคณะ (2547)

(7) **ทำให้ทะเลสาบตื้นเขิน** ยูโทรฟิเคชันที่ทำให้เกิดสาหร่ายหนามแพร่กระจายในทะเลสาบสงขลาเป็นอาณาบริเวณกว้างถึง 160 ตร.กม. คิดเป็นน้ำหนักเปียกประมาณ 6 แสนตัน เมื่อสาหร่ายเหล่านี้ตายย่อยมตกตะกอนทับถมอยู่ในทะเลสาบ อย่างไรก็ดี ระหว่างที่สาหร่ายเหล่านี้ยังมีชีวิตอยู่ ก็จะทำหน้าที่เสมือนตัวดักตะกอนที่มากับสายน้ำไม่ให้ถูกส่งออกสู่ทะเลสาบตอนล่างได้อย่างสะดวก

7.6 แนวทางในการจัดการและแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำและปัญหายูโทรฟิเคชัน

แนวทางการแก้ไข จะต้องมีการควบคุมการปล่อยน้ำทิ้งที่ลงสู่ทะเลสาบ ทั้งที่มาจากแผ่นดิน (ชุมชน เกษตรกรรม อุตสาหกรรม ปศุสัตว์ และนาุ้ง) และที่มาจากในทะเลสาบ (การเลี้ยงปลากระชัง) โดยอาจจะประกาศให้พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2537)

โดยสรุปแล้ว การจัดการและแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำและปัญหายูโทรฟิเคชัน คือ ต้องลดสารอินทรีย์และสารอาหารที่เข้าสู่ทะเลสาบสงขลา และจัดการกับสารอาหารส่วนเกิน โดยการกำจัดพืชน้ำที่แพร่สะพรั่งออกไป มาตรการในระยะสั้นและระยะยาว พอจะสรุปเป็นประเด็น ดังนี้

มาตรการระยะสั้น

- กำจัดพืชน้ำที่แพร่สะพรั่ง ในทะเลน้อย และทะเลสาบตอนกลางออก ให้เหลือเพียงเฉพาะ ตามขอบตลิ่งเพื่อให้เป็นที่อนุบาลและเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ

มาตรการระยะกลาง

- จัดการให้มีการบำบัดน้ำเสียทั้งจากชุมชน และอุตสาหกรรม
- ปรับปรุงเทคโนโลยีการเลี้ยงปศุสัตว์
- ปรับปรุงเทคโนโลยีในการบำบัดน้ำทิ้งน้ำเสีย ไม่ให้ปลดปล่อยสารอาหารฟอสฟอรัสในทะเลสาบ
- ปรับปรุงเทคโนโลยีทางการเกษตรกรรมให้ใช้ปุ๋ยน้อย
- ควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษประเภททราบแหล่งกำเนิด
- วิเคราะห์และพิจารณาความเหมาะสม ในการประกาศพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบให้เป็นเขตพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535

มาตรการระยะยาว

- ศึกษาหาแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทไม่สามารถระบุที่มาได้ และพฤติกรรมการแพร่กระจายของมลพิษนั้น เพื่อวางมาตรการควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดิน
- ให้ความรู้แก่ชุมชนในพื้นที่ลุ่มน้ำถึง ลักษณะทางกายภาพของทะเลสาบ สภาพความเป็นจริง ต้นเหตุการเกิดปัญหา และแนวทางการร่วมมือในการป้องกันและแก้ไขปัญหา

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2537. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง. กรุงเทพฯ.
- นิคม ละอองศิริวงศ์. 2547 สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง (ติดต่อส่วนตัว).
- นิคม ละอองศิริวงศ์, ภาสกร ถมพลกรัง, ลักขณา ละอองศิริวงศ์ และ ทองเพชร สันบุกา. 2547. *ยูโทรฟิเคชัน: ผลกระทบต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการประมงในทะเลสาบสงขลา*. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง
- เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล. 2547 คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ (ติดต่อส่วนตัว).
- Black, K.D. (ed.). 2001. *Environmental impacts of aquaculture*. Sheffield academic press, Sheffield. 214. p.
- Boyd, C. E. and Tucker, C. S. 1998. *Pond aquaculture water quality management*. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts. 700 p.
- EmSong Project. 1998a. *Environmental diagnosis for the Songkhla Lake Basin : Technical background report No.9*. VKI in association with DHI, Pem Consult A/S, COWI A/S, Prince of Songkla University and Seatec International Ltd.
- EmSong Project. 1998b. *Integrated surface water model for the Songkhla Lake Basin: Technical background report No. 13*. VKI in association with DHI, PEM Consult A/S, COWI A/S, Prince of Songkla University and Seatec International Ltd.
- EmSong. 1999. *Environmental Management in the Songkhla Lake Basin*. Environmental Action Programme Volume 3/3.
- Kira, T. (editor in chief). 1984. *Data Book of World Lakes*. Lake Biwa Research Institute and National Institute for Research Advancement. Dogura, Kyoto. 513 p.
- Lawson, T. B. 1995. *Fundamentals of Aquaculture Engineering*. Chapman & Hall, New York. 355 p.
- Sin, Y., Richard, W. L. and Iris, A. C. 1999. *Spatial and temporal characteristics of nutrients and phytoplankton dynamics in the York River Estuary, Virginia: Analyses of long-term data*. Estuaries 22 (2A): 260 – 275.
- Sompongchaiyakul, P., Laongsirirong, N. and Sangkarnjanawanich, P. 2004. *An Occurrence of Eutrophication in Songkhla Lake: A Review*. Paper presented in the International Workshop on Integrated Lake Management, 19–21 August 2004. Hat Yai, Thailand.