

โมเดลชีวธรณีเคมีของธาตุอาหารพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำทะเลน้อย
Biogeochemical nutrient budgets in the Thale Noi Wetland

ธงชัย สีฟ้า^{1*}, อ่อนจันทร์ โคตรพงษ์¹, อัสมน ลิ้มสกุล¹ และโสพล ขันธุ์เครือ¹
Thongchai Seepha^{1*}, Onchan Khottapong¹, Atsamon limsakul¹ and Solos Khankhrua¹

บทคัดย่อ

การศึกษา fluxes และพลวัตรของสารอินทรีย์และธาตุอาหารพืช (คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส) ในพื้นที่ชุ่มน้ำทะเลน้อย ด้วยโมเดลชีวธรณีเคมีของธาตุอาหารพืช (Biogeochemical Nutrient Budget Model) ในปี 2550 พบว่า พื้นที่ชุ่มน้ำทะเลน้อย เป็นแหล่งกักเก็บ (sink) ของ Dissolved Inorganic Phosphorus (DIP) และ Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN) ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนน้อย แต่เป็นแหล่งกำเนิด (source) ในช่วงฤดูฝนชุก โดยสมดุลของ DIP และ DIN ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการ uptake โดยกระบวนการทางชีวภาพ และปริมาณการระบายของธาตุอาหารพืช ลงสู่ทะเลน้อย การคำนวณเมตาบอลิซึมทั้งหมดของระบบนิเวศน์ (p:r) ซึ่งให้เห็นว่า ทะเลน้อย เป็นระบบ autrophic ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนน้อย แต่เปลี่ยนเป็นระบบ heterophic ในเดือนในช่วงฤดูฝนชุก

คำสำคัญ: โมเดลชีวธรณีเคมี พื้นที่ชุ่มน้ำทะเลน้อย เมตาบอลิซึม

Abstract

Study on nutrient fluxes and dynamics in the Thale Noi Wetland using biogeochemical nutrient budget in 2007 illustrated that Thale Noi Wetland acted as a net sink of Dissolved Inorganic Phosphorus (DIP) and Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN) during dry and light-rain seasons, but a net source of those nutrients during heavy-rain season. The DIP and DIN balances in this ecosystem appear to depend on biological uptake in combination with land-based fluxes of nutrients discharged into Thale Noi Wetland. In addition, stoichiometric analysis of net ecosystem metabolism (photosynthesis : respiration; p:r) indicated that Thale Noi Wetland was autrophic condition during dry and light-rain seasons, when primary producers seem to play an important role in nutrient assimilation and carbon fixation. However, it changed to be heterophic during heavy-rain season, when nutrient decomposition was dominant.

Keywords: Biogeochemical nutrient model, Thale Noi Wetland, Metabolism.

^{1*} ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยี อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

^{*}Corresponding author: E-mail:tseepha@hotmail.com; Tel:0-2577-4182 ext. 1129; Fax: 0-2577-1138

บทนำ

พื้นที่ชุ่มน้ำ นับเป็นระบบนิเวศที่มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการชีวธรณีเคมี ในแง่การเปลี่ยนรูป กักเก็บและหมุนเวียนของสารอินทรีย์และธาตุอาหารพืชที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต (คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส) รวมทั้งก๊าซเรือนกระจก (คาร์บอนไดออกไซด์ ไนตรัสออกไซด์ และมีเทน) (Burkett and Kusler, 2000) โดยพื้นที่ชุ่มน้ำ มีหน้าที่เป็นสื่อกลางในการควบคุมและหมุนเวียนของสารดังกล่าว ผ่านการเชื่อมโยงและปฏิสัมพันธ์ระหว่างพื้นดิน บรรยากาศและสิ่งแวดล้อมโดยรอบ ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพของระบบนิเวศน์ในภาพรวมลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีของชั้นบรรยากาศ

หลังจากยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม กิจกรรมของมนุษย์ ได้เป็นตัวการสำคัญที่รบกวนความสมดุล และการหมุนเวียนของสารในพื้นที่ชุ่มน้ำ รวมทั้งเป็นปัจจัยที่ทำให้ปริมาณของสารอินทรีย์ และธาตุอาหารพืชระบายนสู่พื้นที่ชุ่มน้ำในอัตราสูงแบบที่ไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อน ปรากฏการณ์ที่บ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงของพลวัตและสมดุลของสารอินทรีย์และธาตุอาหารพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ การเกิดสถานะยูโทรฟิเคชัน หรือ การเจริญเติบโตอย่างผิดปกติของแพลงก์ตอนพืช พืชน้ำและสาหร่ายขนาดใหญ่ ซึ่งกระบวนการดังกล่าว ได้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ กระบวนการชีวธรณีเคมี ความหลากหลายทางชีวภาพ และสุขภาพของระบบนิเวศน์ รวมทั้งศักยภาพความสามารถในการรองรับ (carrying capacity) สารมลพิษและความยืดหยุ่น (resilience) ต่อการเปลี่ยนแปลงและปัจจัยคุกคามของระบบ (Scott, 1993)

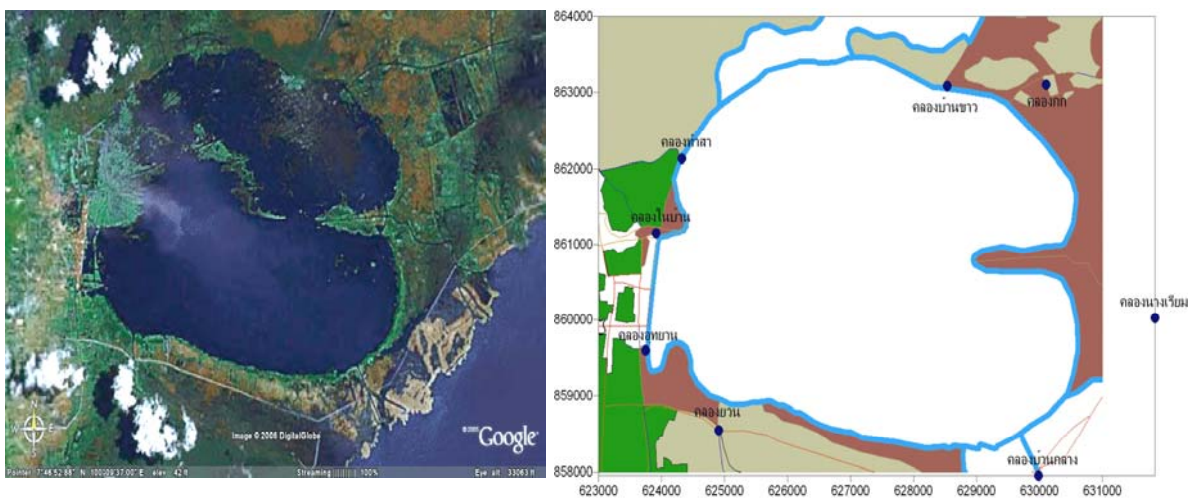
ดังนั้น องค์ความรู้ในเรื่องการหมุนเวียนและสมดุลของสารอินทรีย์และธาตุอาหารพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ จึงมีความสำคัญต่อการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์ระบบนิเวศน์พื้นที่ชุ่มน้ำอย่างชาญฉลาด รวมทั้งความรู้ความเข้าใจด้านศักยภาพการเป็นกั้นชนทางธรรมชาติที่ช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และบทบาทของพื้นที่ชุ่มน้ำต่อการกักเก็บและดูดซับก๊าซเรือนกระจก

การศึกษานี้ ได้นำโมเดลชีวธรณีเคมีของธาตุอาหารพืช ซึ่งถูกพัฒนาโดย Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ) ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษา fluxes ของสารอินทรีย์ และธาตุอาหารพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำทะเลน้อย โดยใช้ภาพฉาย (scenario) ของ fluxes ที่ได้เพื่อเข้าใจถึงสถานะ และพลวัตของกระบวนการชีวธรณีเคมี ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยาและสิ่งแวดล้อม จากกิจกรรมของมนุษย์

วิธีการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษาวิจัย

พื้นที่ศึกษาวิจัย คือ พื้นที่ชุ่มน้ำทะเลน้อยซึ่งเป็นระบบนิเวศน์ที่มีลักษณะเป็นป่าพรุน้ำจืด ตั้งอยู่บริเวณเหนือสุดของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีพื้นที่ส่วนที่เป็นน้ำ ประมาณ 28 ตารางกิโลเมตร โดยคลองป่าพะยอมเชื่อมต่อกับพื้นที่รับน้ำด้านทิศเหนือและบริเวณพื้นที่เชิงเขาด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (พรุควนเคร็งและป่าพะยอม) และเชื่อมต่อกับทะเลสาบตอนบนผ่านทางคลองนางเรียบและคลองบ้านกลาง ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำทะเลน้อย และจุดตรวจวัดความเร็วของกระแสน้ำแบบต่อเนื่อง และพื้นที่ตัดขวางของคลองที่ไหลเข้าและออกจากทะเลน้อย

2. วิธีการศึกษา fluxes และสมดุลมวลของน้ำ สารอินทรีย์และธาตุอาหารพืช

2.1 ตรวจวัดพื้นที่ตัดขวางและความเร็วของกระแสน้ำของคลองที่น้ำไหลเข้าและออกจากทะเลน้อย

ทำการตรวจวัดในเดือนพฤษภาคม สิงหาคมและธันวาคม 2550 และนำข้อมูลทั้ง 2 ส่วน มาคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำ

2.2 เก็บตัวอย่างน้ำแบบ Composite

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ ณ บริเวณที่ตั้งเครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำ โดยแต่ละครั้งเก็บตัวอย่าง จำนวน 3 จุด คือ ริมฝั่งคลองทั้งสองด้านและจุดกึ่งกลางของคลอง นำตัวอย่างแต่ละจุดมารวมกัน และนำไปวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ

2.3 จัดทำ Biogeochemical Nutrient Budget

นำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดข้างต้นมาวิเคราะห์สมดุลของมวลน้ำ เกลือ ธาตุคาร์บอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ด้วย LOICZ model (Gordon et al., 1996) ทั้งนี้แบบจำลองที่นำมาใช้เป็นแบบ Steady-state single box budget ซึ่งขั้นตอนการคำนวณ ประกอบด้วย

2.3.1 คำนวณหาอัตราแลกเปลี่ยนของน้ำจากสมดุลมวลของน้ำและเกลือ

โดยคำนวณบนหลักการพื้นฐานของสภาพคงที่ของมวลน้ำและเกลือ (Conservation of water & salt mass) ในกรณีปริมาณน้ำของระบบคงที่ การไหลออกของน้ำสุทธิ (Residual flow + Exchange flow) ซึ่งสามารถประมาณได้จากผลต่างของน้ำไหลเข้า (น้ำท่า น้ำฝน น้ำใต้ดิน และน้ำเสีย) และการไหลออก โดยการระเหย บวกกับการผสมกันของเกลือในระบบกับระบบข้างเคียง เพื่อรักษาสมดุลปริมาณของน้ำในระบบ การคำนวณ Water & salt balance ดังสรุปในสมการที่ 1-4 (ภาพที่ 2)

$$V_R = V_{in} - V_{out} = \frac{dV_1}{dt} - V_Q - V_P + V_E \quad (1)$$

โดยที่ V_R =Residual flow

+ Residual flow into the system

- Residual flow from the system

V_1 =ปริมาตรของระบบ V_Q =น้ำท่าที่ไหลเข้าระบบ

V_P =ปริมาณน้ำฝน V_E =ปริมาณการระเหย

$$V_x = (V_R S_R) / (S_1 - S_2) \quad (2)$$

และ

$$\text{Mixing Salt Flux} = [V_x (S_1 - S_2)] \quad (3)$$

โดยที่ S_1 =ความเค็มในระบบ (System salinity) S_2 =ความเค็มนอกระบบ (Outer salinity)

S_R =ขอบเขตความเค็มของทั้งสองระบบ (Boundary salinity)

V_R =Residual flow from water budget V_x =Water exchange flow

$$\tau = \frac{V_1}{V_x + |V_R|} \quad (4)$$

โดยที่ τ =Water exchange time

2.3.2 คำนวณสมดุลมวลของ Dissolved Inorganic Phosphorus (DIP) และ Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN)

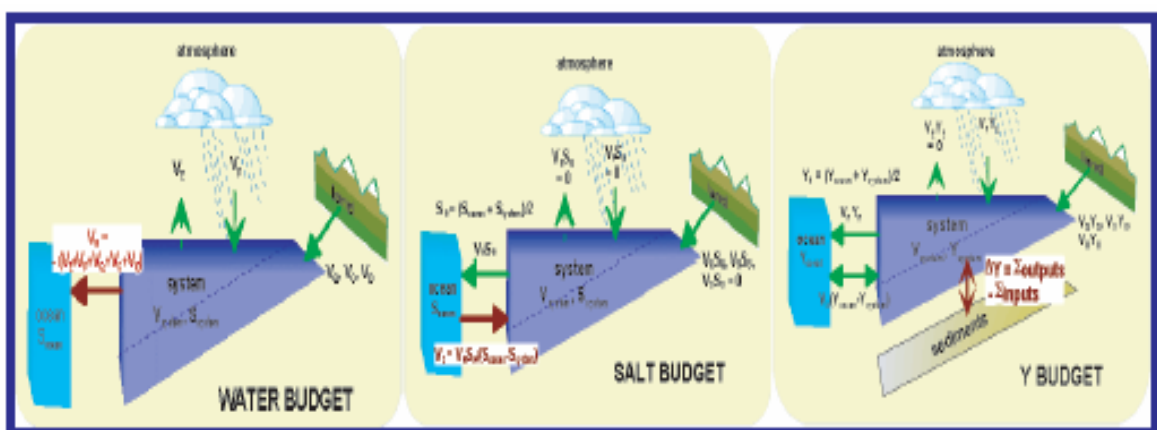
เป็นการคำนวณหาสมดุลมวลของ DIP และ DIN ที่มีสถานะไม่คงที่ (Non-conservative behavior) Residual และ Water exchange flow จะนำมาอธิบาย Exchange fluxes ของธาตุเหล่านี้ โดยทั่วไปมวลสารของ C N และ P ทั้งหมดในระบบจะคงที่ แต่เนื่องจากธาตุเหล่านี้สามารถเปลี่ยนรูปได้ โดยมีการบวนการชีวะธรณีเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้สารเหล่านี้เปลี่ยนรูป ซึ่งทำให้สมดุลของสารดังกล่าวดูเหมือนว่าจะไม่คงที่ ดังนั้น การประเมิน Residual flux ของสาร C N และ P เป็นการวัด Net internal fluxes (Source – Sink) (ภาพที่ 2) การคำนวณหา Net internal source or sink จะหาได้จากสมการ ดังนี้

$$\Delta Y = -\sum V_{in} Y_{in} + \sum V_{out} Y_{out} \quad (5)$$

โดยที่ Y = Non-conservative material
 ΔY = Net internal source or sink

2.3.3 คำนวณผลต่างระหว่างผลผลิตขั้นปฐมภูมิและการหายใจ (p-r) จาก C:P ratio

เป็นการวิเคราะห์สมดุลของกระบวนการเมตาบอลิซึมของระบบ ในแง่ของสมดุลระหว่างผลผลิตขั้นต้นและการหายใจ (p-r) และระหว่าง Nitrogen fixation และ Denitrification (nfix-denit) ซึ่งประมาณจาก C:P (106:1) และ N:P (16:1) ratios ของสารอินทรีย์ที่ถูกสร้างและทำลายโดยกระบวนการชีวะธรณีเคมีในสภาวะปกติ หรือเรียกว่า Redfield ratio (Karl et al., 1997)

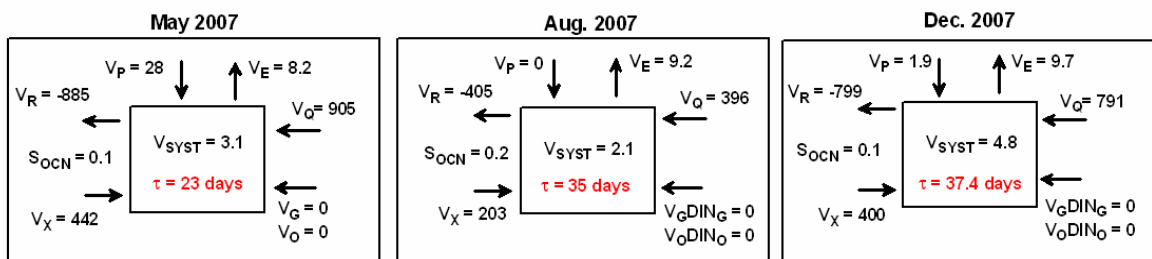


ภาพที่ 2 Diagram of Water, Salt and Nutrient Biogeochemical Budgets

ผลการวิจัย

1. สมดุลมวลของน้ำและเกลือ

มวลของน้ำและเกลือในเดือนพฤษภาคม สิงหาคมและธันวาคม พ.ศ. 2550 ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งผลการศึกษา พบว่า ทะเลน้อย เป็นระบบการไหลออกของน้ำสุทธิ (Net residual outflow) ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณน้ำไหลเข้า (V_Q) จากน้ำท่าและน้ำฝน มีปริมาณที่มากกว่าการสูญเสียจากระบบ โดยกระบวนการระเหย โดยที่ Residual flow (V_R) ที่ประมาณได้เท่ากับ $885 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ ในเดือนพฤษภาคม $405 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ ในเดือนสิงหาคม และ $799 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ ในเดือนธันวาคม สำหรับ Mixing exchange volume (V_X) ที่ทำให้เกิดความสมดุลของ Residual salt flux เท่ากับ $442 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ ในเดือนพฤษภาคม $203 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ ในเดือนสิงหาคม และ $400 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ ในเดือนธันวาคม การที่ Mixing exchange volume มีปริมาณมากกว่าปกติ อาจเกิดจากความเค็มระหว่างทะเลน้อยและทะเลสาบตอนบนมีค่าใกล้เคียงกัน การวิเคราะห์ Water exchange time (τ) ระหว่างทะเลน้อยกับทะเลสาบสงขลาตอนบน จะเห็นได้ว่า อัตราการแลกเปลี่ยนน้ำในเดือนพฤษภาคม มีค่าเท่ากับ 23 วัน โดยมีอัตราการแลกเปลี่ยนของมวลน้ำในระบบเร็วกว่าเดือนสิงหาคมและธันวาคม ซึ่งมีอัตราการแลกเปลี่ยนของมวลน้ำ เท่ากับ 35 และ 37.4 ตามลำดับ

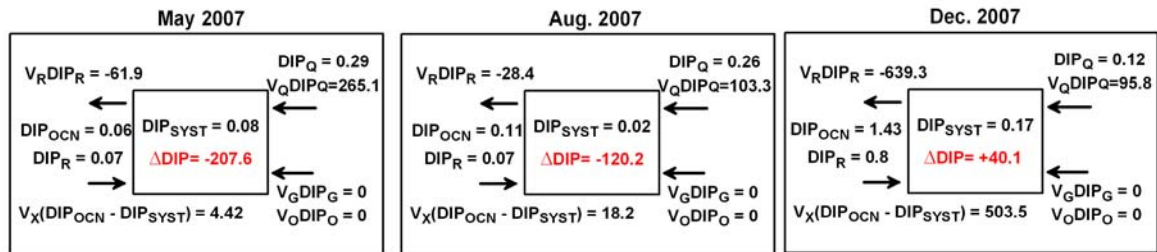


ภาพที่ 3 สมดุลมวลของน้ำและเกลือในทะเลน้อย ปริมาตรมีหน่วยเป็น 10^7 m^3 และ fluxes ของน้ำและเกลือ มีหน่วยเป็น $10^3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ $\text{psu m}^3 \text{ day}^{-1}$ ตามลำดับ

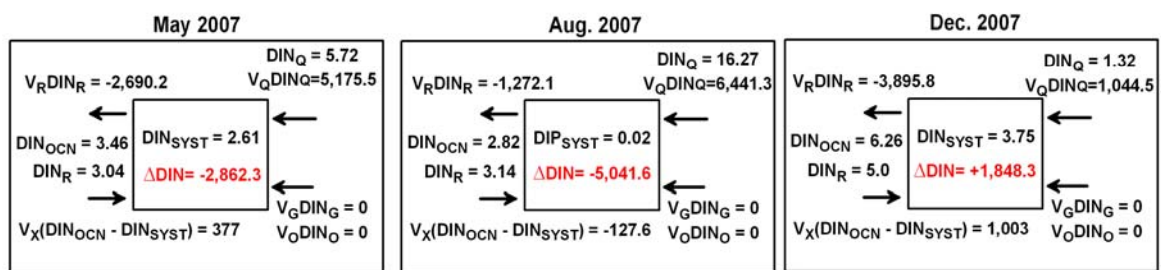
2. สมดุลมวลของ DIP และ DIN

ผลการคำนวณ Non-conservative nutrient budget ในกรณีของสารอนินทรีย์ฟอสเฟต (DIP) และไนโตรเจนที่ละลายน้ำ (DIN) (ภาพที่ 4 และ 5) ในทะเลน้อย ปรากฏว่า ทะเลน้อย เป็นทั้งแหล่งกักเก็บ (Sink) และเป็นแหล่งกำเนิด (Source) โดยในเดือนพฤษภาคมและสิงหาคม มีการสะสมของ DIP (DIN) ในอัตรา 207.6 (2862.3) และ 120.2 (5041.6) $\text{mol P (N) day}^{-1}$ ตามลำดับ ในขณะที่เดือนธันวาคม ทะเลน้อยเป็นแหล่งกำเนิดของทั้ง DIP และ DIN ซึ่งระบายออกสู่ทะเลสาบสงขลาตอนบนในอัตรา 40.1 และ 1848.3 $\text{mol P และ N day}^{-1}$ ตามลำดับ สมดุลมวลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ชุ่มน้ำทะเลน้อย

มีการสะสมของธาตุอาหารในเดือนพฤษภาคมและสิงหาคมในอัตราที่สูง แสดงถึงประสิทธิภาพการ Uptake โดยกระบวนการทางชีวภาพ ประกอบกับการระบายธาตุอาหารจากพื้นที่โดยรอบลงสู่ทะเลน้อย มีปริมาณค่อนข้างสูง



ภาพที่ 4 สมดุลมวลของ DIP ในทะเลน้อย Fluxes ของ DIP มีหน่วยเป็น mol day^{-1} และความเข้มข้นมีหน่วยเป็น mmol m^{-3}



ภาพที่ 5 สมดุลมวลของ DIN ในทะเลน้อย Fluxes ของ DIN มีหน่วยเป็น mol day^{-1} และความเข้มข้นมีหน่วยเป็น mmol m^{-3}

3. เมตาบอลิซึมของระบบนิเวศ (ผลต่างระหว่างผลผลิตขั้นปฐมภูมิและการหายใจ; $p-r$)

การวิเคราะห์ทาง Stoichiometric ของ Non-conservative fluxes ยังพบว่า ทะเลน้อยมีกระบวนการตรึงไนโตรเจนเพียงเล็กน้อยในเดือนพฤษภาคมและธันวาคม ซึ่งมีค่า $(nfx-\text{denit}) = 0.02$ และ $0.04 \mu\text{mol N m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ในขณะที่เกิดกระบวนการปล่อยไนโตรเจนมากกว่ากระบวนการตรึงไนโตรเจนในเดือนสิงหาคม โดยมีค่า $(nfx-\text{denit}) = -0.12 \mu\text{mol N m}^{-2} \text{day}^{-1}$ การคำนวณเมตาบอลิซึมทั้งหมดของระบบนิเวศ (ผลต่างระหว่างการสังเคราะห์แสงและการหายใจ; $p-r$) ซึ่งให้เห็นว่า ทะเลน้อยเป็นระบบ Autotrophic ในเดือนพฤษภาคมและสิงหาคม โดยค่า $(p-r) = 0.81$ และ $0.47 \mu\text{mol C m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ตามลำดับ แต่เปลี่ยนเป็นระบบ Heterotrophic ในเดือนธันวาคมโดยค่า $(p-r) = -0.16 \mu\text{mol C m}^{-2} \text{day}^{-1}$

วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

สมดุลของมวลน้ำและ fluxes ของสารอินทรีย์และธาตุอาหารพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำทะเลน้อย มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยรูปแบบและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางอุทกนิเวศวิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณฝนและความถี่ของสถานการณ์ฝน และอัตราการระเหยที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลง ทั้งทิศทางและความแรงของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดปริมาณ และคุณสมบัติของน้ำท่า รวมทั้งสารมลพิษที่ไหลลงสู่ทะเลน้อย ซึ่งควบคุมพลวัตของระบบนิเวศน์ ในทะเลน้อยโดยมีการเชื่อมโยงและปฏิสัมพันธ์กับพื้นที่รับน้ำโดยรอบอย่างใกล้ชิด ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ สมดุลของน้ำ ด้วย Biogeochemical Nutrient Budget Model พบว่า Water exchange time (τ) ระหว่าง ทะเลน้อยกับทะเลสาบสงขลาตอนบน ในแต่ละฤดูกาล มีการเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยอุตุ-อุทกวิทยา ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

การวิเคราะห์สมดุลมวลของธาตุอาหารพืชในรูปของสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (DIP) และไนโตรเจน (DIN) ซึ่งเป็นฟอร์มที่สิ่งมีชีวิตชั้นปฐมนำไปใช้ในการสังเคราะห์เพื่อเปลี่ยนสารอนินทรีย์คาร์บอนเป็นสารอินทรีย์ที่มีพลังงานสูง และยังพบว่า พื้นที่ชุ่มน้ำทะเลน้อย เป็นแหล่งกักเก็บ (sink) ของ (DIP) และ (DIN) ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนน้อย ซึ่งเป็นช่วงที่กระบวนการสังเคราะห์แสง โดยแพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำเกิดขึ้นสูง แสดงให้เห็นถึงการ uptake และกักเก็บธาตุดังกล่าว ด้วยกระบวนการชีวภาพมีประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตาม ทะเลน้อย เปลี่ยนเป็นแหล่งกำเนิด (source) ของ DIP และ DIN ในช่วงฤดูฝนชุก ซึ่งเกิดจากปริมาณการระบายของธาตุอาหารพืชจากพื้นที่โดยรอบ ลงสู่ทะเลน้อย มีอัตราที่สูง ประกอบกับการนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิตมีอัตราที่น้อย ส่งผลให้ในช่วงฤดูฝนชุก DIP และ DIN ไหลลงสู่ทะเลสาบตอนบนและเป็นแหล่งอาหารสำหรับสิ่งมีชีวิตชั้นปฐมภูมิ ในทะเลสาบสงขลา

ในแง่ของเมตาบอลิซึมทั้งหมดของระบบนิเวศน์ ซึ่งคำนวณจากผลต่างระหว่างการสังเคราะห์แสง และการหายใจ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ทะเลน้อย เป็นระบบ autrophic ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนน้อย ซึ่งสารอินทรีย์ที่ไหลผ่านสู่ห่วงโซ่อาหารเกิดจากการสังเคราะห์แสงขึ้นเองในระบบนิเวศน์ทะเลน้อยโดยผู้ผลิตขั้นต้น (Autochthonous primary productivity) แต่ระบบนิเวศน์ทะเลน้อย กลายเป็นระบบ heterophic ในช่วงฤดูฝนชุก ซึ่งสารอินทรีย์ที่จำเป็นสำหรับเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหาร เกิดจากแหล่งภายนอกระบบ (Allochthonous source)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล หน่วยวิจัยชีวธรณีเคมีและการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อม (BENCH) คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม รศ.ดร.พรศิลป์ ผลพันธุ์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ ผศ.ดร.สุพัตรา เดวิดสัน ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ ผศ.ดร.อัศววิทย์ กาญจนโอภาส ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารอ้างอิง

- Burkette, V., and Kusler, J. 2000. Climate Change: Potential impacts and interactions in wetlands of the United States. *Journal of the America Water Resources Association* 36(2):313-320.
- Gordon, D.C., Boudreau, Jr. P.R., Mann, K.H., Ong J-E., Silvert, W.L., Smith, S.V., Wattayakorn, G., Wulff, F. and Yanagi, T. 1996. LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines. LOICZ/R&S/95-5.
- Karl, D., Letelier, R., Tupas, L., Dore, J., Christian, J., Hebel, D. 1997. The role of nitrogen fixation in biogeochemical cycling in the subtropical North Pacific Ocean. *Nature*.388:533-538.
- Scott, D.A. 1993. Wetland inventories and the assessment of wetland loss: a global overview. In Moser, Prentice & van Vesseem, 1992.