



วัตถุประสงค์

- เพื่อให้สันติทราบความหมายของวัฏจักรของธาตุและสารอาหาร
- เพื่อให้สันติทราบวิธีการหมุนเวียน และกิจกรรมที่เกิดขึ้นในวัฏจักรของธาตุและสารอาหาร

Biogeochemical VS Nutrient cycling

- เป็นการเคลื่อนย้าย (transport) และการเปลี่ยนรูป (transformation) ของสารในระบบเป็นวงจร
 - วัฏจักรของธาตุ (Biogeochemical cycle)
 - วัฏจักรของสารอาหาร (Nutrient cycle)

Biogeochemical VS Nutrient cycling

- วัฏจักรของธาตุ
 - การหมุนเวียนของธาตุต่าง ๆ ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งรวมถึงน้ำ อากาศและดิน
 - พิจารณาโดยรวมทุกระบบนิเวศ (global scale)
 - กินเวลานาน, มิติเวลาทางธรณี

Nutrient VS Biogeochemical cycling

- วัฏจักรของสารอาหาร
 - การหมุนเวียนถ่ายเทสารอาหารที่จำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ ในมิติของเวลาทางนิเวศวิทยา
 - Smaller scale

Nutrient VS Biogeochemical cycling

- การจัดการสิ่งแวดล้อมในหลายกรณีจำเป็นต้องใช้ความรู้เกี่ยวกับการหมุนเวียนของธาตุและสารอาหารเข้าประกอบเพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุด
 - สารที่จำกัดอัตราผลผลิตในระบบนิเวศ เช่น ฟอสฟอรัส หากปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์จะมีผลกระทบต่อองค์ประกอบอื่น ๆ

Nutrient VS Biogeochemical cycling

- ธาตุบางชนิดหากเปลี่ยนรูปอาจเคลื่อนย้ายด้วยความเร็วผิดปกติ ซึ่งอาจทำให้ความเป็นพิษมีความรุนแรงกว่าขีดความทนทานของสิ่งมีชีวิตบางกลุ่ม
- การใช้ปริมาณปุ๋ยที่สูงขึ้นทุกปี ทำให้การหมุนเวียนของธาตุหลายชนิดเร็วผิดปกติ เช่น ฟอสฟอรัส ที่อัตราการเข้าสู่ระบบนิเวศสูงกว่าอัตราการสะสมในชั้นหิน

Nutrient VS Biogeochemical cycling

- รูปแบบการหมุนเวียนของธาตุและสารอาหารมีรูปแบบหลักคล้ายกันมี
 - การเคลื่อนย้าย
 - การหยุด
 - การเปลี่ยนรูป

Nutrient VS Biogeochemical cycling

- กระบวนการทั้งสามจะเกิดได้รวดเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารในแต่ละรูปแบบ เช่น
 - โปรทในรูปของธาตุ (Hg^0) มีความเฉื่อยสูงสามารถอยู่ในชั้นบรรยากาศได้นานตั้งแต่ 5 เดือนถึง 1 ปี และเคลื่อนที่ไปได้ทั่วโลก
 - โปรทที่ไวปฏิกิริยา (Hg^{2+}) สามารถละลายได้ดีระยะเวลาที่อยู่ในบรรยากาศจึงสั้น ไม่เกิน 5 วัน และเคลื่อนที่ได้ไม่เกิน 300 กิโลเมตร

Biogeochemical cycle

- Hydrological cycle
 - Water
- Gaseous cycle
 - Atmosphere, ex. CO_2 , N_2
- Sedimentary cycle
 - Lithosphere ex. P, S,

Hydrological cycle

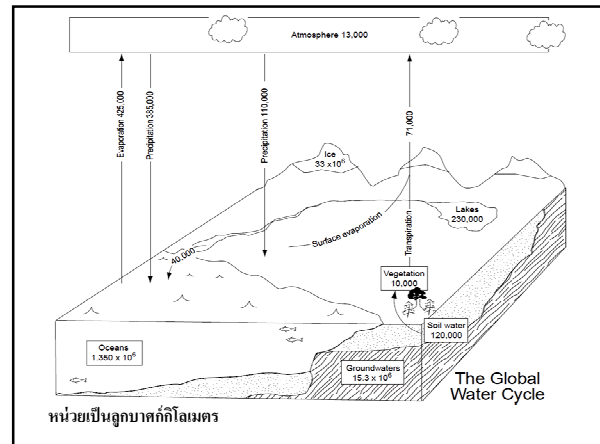
- บนผิวโลกมีน้ำปกคลุมพื้นที่มากที่สุด
- พบได้ทุกสถานะ
 - แก๊ส (ไอน้ำ เมฆ และหมอก)
 - ของเหลว (ฝน และน้ำ)
 - ของแข็ง (หิมะ น้ำแข็ง และลูกเห็บ)

Hydrological cycle

- น้ำสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดทั้ง
 - เป็นองค์ประกอบในร่างกาย
 - เป็นตัวพาสารต่าง ๆ รวมถึงอาหารให้แก่สิ่งมีชีวิต
- การหมุนเวียนของน้ำของโลกถูกขับเคลื่อนโดยพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นหลัก และมีความสัมพันธ์กับภูมิอากาศอย่างใกล้ชิด

Hydrological cycle

- กระบวนการที่เกี่ยวข้อง
 - Evaporation (การระเหย)
 - Transpiration (การคายน้ำ)
 - Precipitation: rain, snow, hail
 - Runoff
 - Percolation (การซึมลงแหล่งน้ำใต้ดิน)



Hydrological cycle

- การคงอยู่ของโมเลกุลน้ำในแหล่งต่าง ๆ แตกต่างกันตามลักษณะทางกายภาพ
 - ในแม่น้ำ 2-3 ปี
 - ในทะเลสาบอาจนานเป็นศตวรรษหากไม่มีการหมุนเวียนของน้ำในแนวตั้ง
 - ทะเลสาบมิชิแกนมีการคงอยู่นานถึง 600 ปี

Hydrological cycle

- ในมหาสมุทรนานถึง 3,000 ปี
- โมเลกุลของน้ำที่อยู่ในร่างกายสิ่งมีชีวิตมีการคงอยู่ในระยะสั้น ๆ ไม่เกิน 1 สัปดาห์
- หากน้ำที่ซึมผ่านลงไปถึงชั้นใต้ดินจะมีการหมุนเวียนนานมาก และมีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบนิเวศน้อยมาก

Carbon Cycle

- ธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต: คาร์โบไฮเดรต, ไขมัน, โปรตีน, กรดนิวคลีอิก
- คาร์บอนเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับสองในมวลของสิ่งมีชีวิตรองจากออกซิเจน
- สัมพันธ์ใกล้ชิดกับการถ่ายทอดพลังงานในระบบนิเวศ

Carbon Cycle

- นอกจากนี้สารประกอบคาร์บอน 2 ตัว ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และมีเทน (CH₄) ยังเป็นแก๊สเรือนกระจกที่มีผลต่ออุณหภูมิของโลก

Carbon Cycle

- ในการหมุนเวียนคาร์บอนเปลี่ยนรูปแบบ สถานะ และสะสมอยู่ในแหล่งต่าง ๆ ได้มากมาย
- แหล่งสะสมในบรรยากาศมีคาร์บอนอยู่ประมาณร้อยละ 0.03
- การตรึงคาร์บอนจากบรรยากาศมีราว 750 ล้านล้านเมตริกตันต่อปี
- การละลายลงในมหาสมุทรีมีประมาณ 38,000 ล้านล้านเมตริกตันต่อปี

Carbon Cycle

- การหมุนเวียนเกิดจากกระบวนการต่าง ๆ
 - Photosynthesis (assimilation by plants)
 - Respiration
 - Grazing
 - Decomposition
 - Erosion
 - Combustion (**fossil fuel)

Carbon Cycle

- พบอยู่ใน 4 แหล่งหลัก
 - บรรยากาศ - มีน้อยที่สุดแต่มีการหมุนเวียนมากที่สุด
 - มหาสมุทร - อยู่ในรูปของ
 - 1) dissolved organic carbon (DOC)

Carbon Cycle

- 2) dissolved inorganic carbon (DIC)
98% อยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต
- 3) particulate organic carbon (POC) (นับรวมสิ่งมีชีวิตและซาก)
 - Turn over rate = 2-3 สัปดาห์

Carbon Cycle

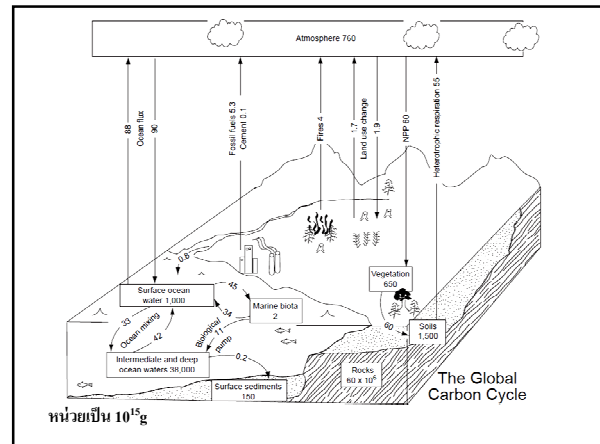
- พื้นดิน (ในดินและพืช)
 - คาร์บอนส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเนื้อเยื่อและโครงสร้างต่าง ๆ
 - ในพืช Turn over rate = 11 ปี, ในดิน = 25 ปี (บางครั้งอาจนานเป็นศตวรรษ)

Carbon Cycle

- ตะกอนและหิน
 - การหมุนเวียนช้ามาก (ล้านปี)
 - กระบวนการที่เกี่ยวข้องได้แก่ การเคลื่อนตัวของเปลือกโลก การระเบิดของภูเขาไฟ การยกตัว (uplift) และการผุพังอยู่กับที่ (weathering)

Carbon Cycle

แหล่งสะสม	มวลคาร์บอน (1 ล้านล้านกรัมเทียบ)
หินตะกอนในรูปของคาร์บอเนต	65,000,000
หินตะกอนในรูปของสารประกอบอินทรีย์	16,000,000
คาร์บอเนตที่ละลายอยู่ในทะเล (DIC)	38,000
ตะกอนในทะเลสาบ	19,510
เชื้อเพลิงฟอสซิล	5,200
พื้นดินบนบก	2,150
ชั้นบรรยากาศ (CO ₂)	750
สารอินทรีย์ในทะเล	650
พันธุ์พืชบนบก	560
สิ่งมีชีวิตในทะเล	2

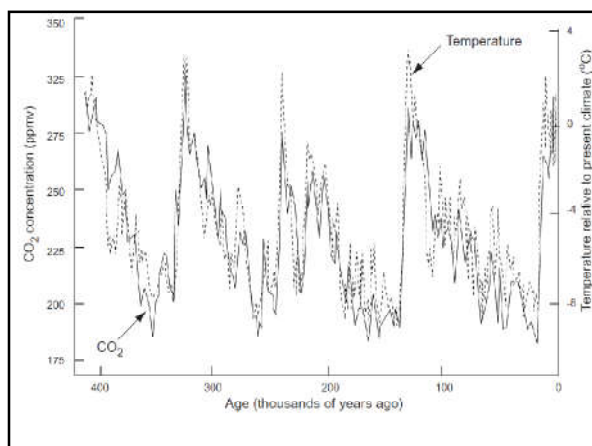


Carbon Cycle

- คาร์บอนในรูปแก๊สหลายชนิด เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทนเป็นแก๊สเรือนกระจกที่ทำให้ ภูมิอากาศของโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น

Carbon Cycle

- เมื่อตรวจคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศของโลกในจนถึง 400,000 ปีที่ผ่านมาจากการวิเคราะห์แกนน้ำแข็ง พบว่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก โดยอุณหภูมิของบรรยากาศโลกจะสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น



Carbon Cycle

- หลักฐานนี้แสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงของการรบกวนวัฏจักรคาร์บอนของมนุษย์โดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มากผิดปกติกับอุณหภูมิโลกที่เปลี่ยนแปลง

Nitrogen cycle

- เป็นองค์ประกอบหลักของ protein, amino acid และ nucleic acid
- ไนโตรเจนเป็นธาตุอีกตัวหนึ่งที่มักเป็นปัจจัยจำกัดของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ทั้ง
 - ด้านการเจริญเติบโต
 - อัตราผลผลิตปฐมภูมิ (primary productivity) ของผู้ผลิต

Nitrogen cycle

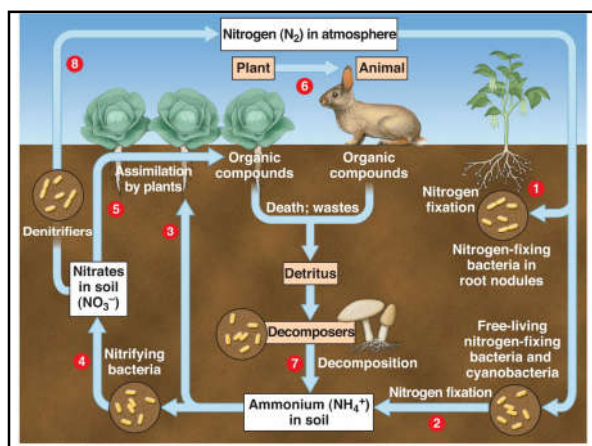
- แหล่งกักเก็บคือบรรยากาศ (N_2) ผู้ผลิตจะนำไนโตรเจนในบรรยากาศมาใช้ได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในรูปที่สามารถละลายน้ำได้
 - บรรยากาศมีไนโตรเจน 78 % (3.8×10^{21} g)
 - อยู่ในพืชบกและดิน 9.8×10^5 g
- การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่าง ๆ

Nitrogen cycle

- ไนโตรเจนถูกดั่งสู่สิ่งมีชีวิตโดยวิธีการ
 - ทางกายภาพ
 - Electrochemical fixation และ photochemical fixation (ฟ้าผ่า-ฟ้าแลบ, 7.6×10^6 เมตริกตัน/ปี)
 - ทางชีวภาพ (54×10^6 เมตริกตัน/ปี)

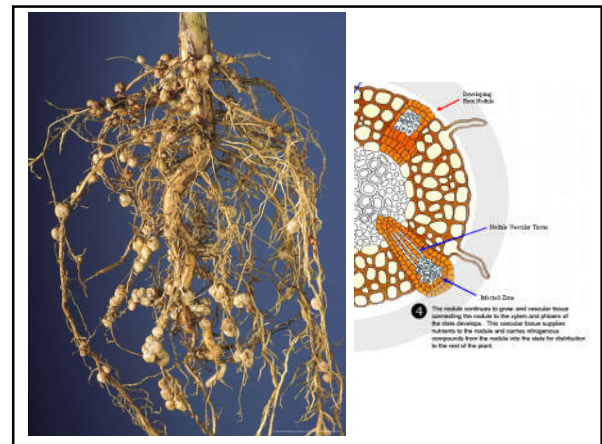
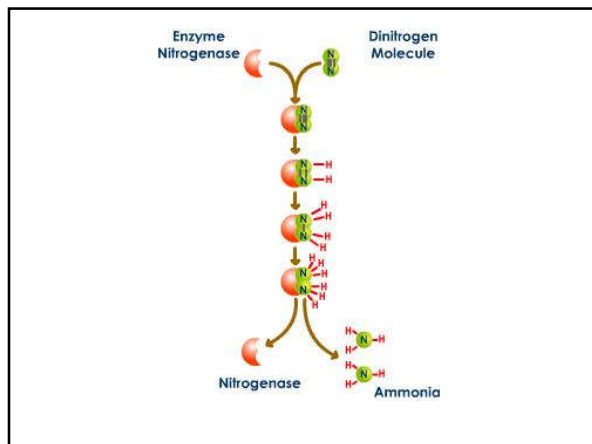
Nitrogen cycle

- สิ่งมีชีวิตที่สามารถใช้ไนโตรเจนจากบรรยากาศได้โดยตรง
 - Cyanobacteria
 - Free-living soil bacteria
 - Bacteria associated with the root of leguminous plants
 - Actinomycetes (แบคทีเรียที่คล้ายรา)



Processes of nitrogen cycling

- Nitrogen fixation
 - เป็นการเปลี่ยนแก๊สไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนีย : $N_2 \rightarrow NH_3$
 - เอนไซม์ไนโตรจีเนส (nitrogenase)
 - แบคทีเรียในดิน (*Rhizobium* spp. และ *Frankia*) ซึ่งมักมีการอยู่ร่วมกันกับพืชและสร้างปมรากขึ้นบริเวณที่แบคทีเรียเข้าอาศัยอยู่



Processes of nitrogen cycling

- Nitrogen fixation
 - โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เช่น *Anabaena cylindrica* และ *Nostoc commune*
 - โดยแบคทีเรียในดินหลายชนิดที่อยู่เป็นอิสระ และ *Actinomycetes*

Processes of nitrogen cycling

- การตรึงไนโตรเจนโดยสิ่งมีชีวิตจะทำงานในกรณีที่ขาดแคลนไนโตรเจน เพราะกระบวนการต้องใช้ ATP ประมาณครึ่งหนึ่งของกิจกรรมทั้งหมด ทำให้ขาดแคลนพลังงาน และมีการเติบโตช้า
- การอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่น เช่น พืช จึงพบได้มากในธรรมชาติ โดยพืชให้น้ำตาลแก่จุลินทรีย์เหล่านี้เพื่อให้พลังงานสำหรับการตรึงไนโตรเจน และแบ่งไนโตรเจนที่ตรึงได้ให้กับพืช

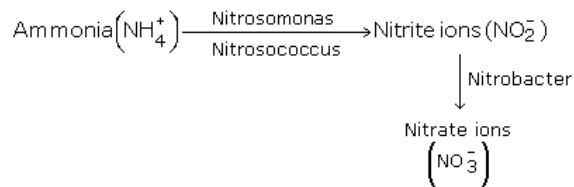
Processes of nitrogen cycling

- Assimilation
 - พืชจะดูดซึมไนโตรเจนที่ตรึงได้นำไปใช้เพื่อสร้างชีวมวลของตน
- Ammonification
 - พืชตายลงไนโตรเจนในสารอินทรีย์ทั้งหลายจะเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์คือ แอมโมเนียม (NH_4^+)

Processes of nitrogen cycling

- Nitrification
 - เปลี่ยนแอมโมเนียมให้เป็นไนไตรต์ (nitrite, NO_2^-) และไนเตรต (nitrate, NO_3^-) ตามลำดับ
 - การเปลี่ยนแอมโมเนียมเป็นไนไตรต์เกิดโดยแบคทีเรีย *Nitrosomonas* และ *Nitrosococcus*
 - การเปลี่ยนไนไตรต์ให้เป็นไนเตรตเกิดโดยแบคทีเรีย *Nitrobacter*

Processes of nitrogen cycling



Processes of nitrogen cycling

- Nitrification
 - ทำให้ไนโตรเจนมีการเคลื่อนย้ายได้เร็วขึ้น โดยไนไตรต์และไนเตรตต่างมีประจุลบทำให้สามารถเคลื่อนย้ายได้ดีกว่าแอมโมเนียม ทั้งสามารถสูญหายจากระบบนิเวศโดยละลายไปกับน้ำได้ดีกว่า

Processes of nitrogen cycling

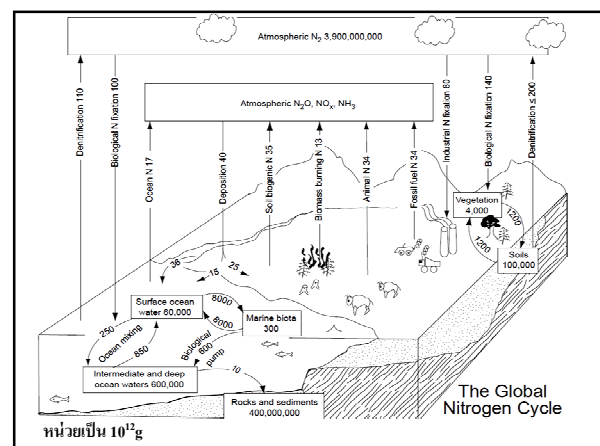
- Denitrification
 - เป็นรูปแบบการหายใจไม่ใช้ออกซิเจนแบบหนึ่ง
 - $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$
 - ผลลัพธ์สุดท้ายทำให้ไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์กลายเป็นแก๊สไนโตรเจนกลับสู่บรรยากาศ

Processes of nitrogen cycling

- Denitrification
 - อัตราการเกิดกระบวนการขึ้นกับปัจจัย
 - ภาวะการมีออกซิเจน
 - การปนเปื้อนของปุ๋ยจากการเกษตร (การมีไนเตรตมากผิดปกติ)

Processes of nitrogen cycling

- Denitrification
 - ถือได้ว่าเป็นการจำกัดปริมาณไนโตรเจนในแหล่งน้ำไม่ให้มีไนโตรเจนมากเกินไป เนื่องจากแหล่งน้ำมักเป็นแหล่งรองรับและสะสมสารต่าง ๆ จากระบบนิเวศบก
 - *Pseudomonas denitrificans*



ผลของกิจกรรมของมนุษย์

- การหมุนเวียนไนโตรเจนตามธรรมชาติถูกรบกวนโดย
 - เร่งกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน
 - กระตุ้นการปลดปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N_2O) เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.2-0.3 ต่อปี

ผลของกิจกรรมของมนุษย์

- การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนมากเกินไปในพื้นที่เกษตรเร่งให้พืชดึงไนโตรเจนมาใช้
 - ทำให้อัตราการย่อยสลายของสารอาหารในดินเกิดสูงขึ้น
 - ทำให้มีการปลดปล่อยไนเตรตและไนตรัสออกไซด์ในดินที่ลึกลงไปเกิดเร็วขึ้น

ผลของกิจกรรมของมนุษย์

- ปุ๋ยที่ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำเป็นสาเหตุของ
 - ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน
 - ทำให้สัตว์น้ำตายในที่สุด

ผลของกิจกรรมของมนุษย์

- ระบบนิเวศป่าหากได้รับแอมโมเนีย และไนเตรตจากกิจกรรมของมนุษย์มากเกินไปทำให้เกิดปรากฏการณ์ nitrogen saturation
 - การตอบสนองอาจเกิดได้ในหลายรูปแบบ เช่น พืชตระกูลสนจะตายมากขึ้นในฤดูหนาวเนื่องจากความสามารถในการทนต่อภาวะอุณหภูมิต่ำในฤดูหนาวมีน้อยลง

ผลของกิจกรรมของมนุษย์

- ระบบนิเวศอาจอยู่ในภาวะขาดแคลนแร่ธาตุ เช่น แคลเซียม และฟอสฟอรัส
 - ไนโตรเจนเร่งการดูดซับธาตุต่าง ๆ ได้มากและเร็วขึ้น
 - ธาตุที่พืชต่าง ๆ จะดูดซับได้จึงมีน้อยลง

ผลของกิจกรรมของมนุษย์

- ไนโตรเจนที่มากเกินไปอาจทำให้มวลชีวภาพของรากพืชลดลง และทำให้พืชมีความทนทานต่อความแห้งแล้งลดลง

- ไนโตรเจนสูญเสียโดยกระบวนการ denitrification และการถ่ายเทไปสู่มหาสมุทร
- การตรึงไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 25 ใน อีก 25 ปีข้างหน้าจากกิจกรรมของมนุษย์
- N_2O เป็นแก๊สเรือนกระจก ($1 \text{ mlc} > 100 \text{ mlc CO}_2$)
- N_2O เพิ่มขึ้น 3% / ปี
- $NO, N_2O \rightarrow$ เป็นสาเหตุของฝนกรด ($pH < 5.0$)

Phosphorus cycle

- ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิต
 - องค์ประกอบของสารพันธุกรรม (DNA และ RNA)
 - องค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ (ฟอสโฟลิพิด; phospholipid) เกี่ยวข้องกับระบบการถ่ายทอดพลังงาน (ATP)
 - เป็นโครงสร้างของสัตว์มีกระดูกสันหลัง ร่วมกับแคลเซียม

Phosphorus cycle

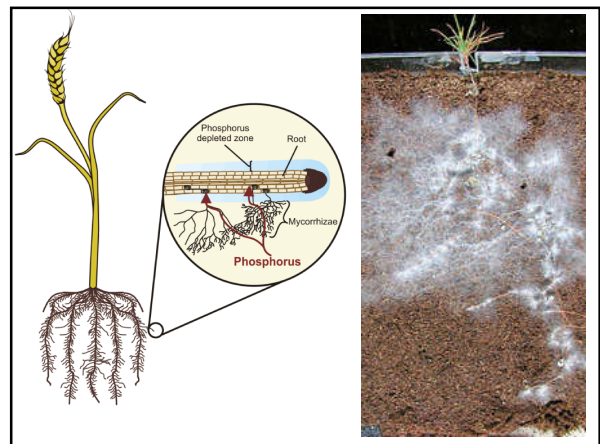
- ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิต
 - ฟอสฟอรัสแม้เป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับธาตุอื่น ๆ ในระบบนิเวศ แต่ฟอสฟอรัสก็เป็นธาตุที่ทำหน้าที่สำคัญและเป็นตัวจำกัดผลผลิตปฐมภูมิในระบบนิเวศ ทั้งระบบนิเวศบก และแหล่งน้ำ

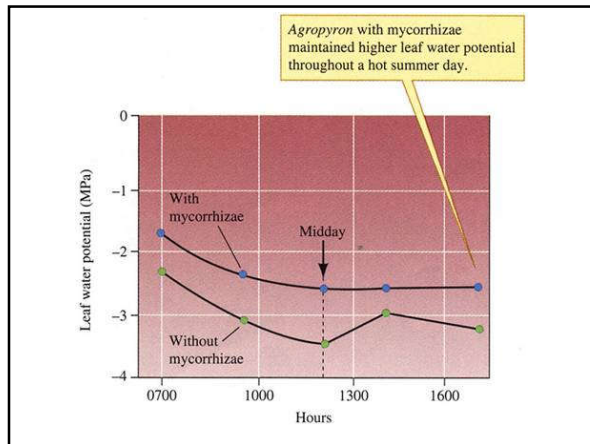
Phosphorus cycle

- การหมุนเวียนของฟอสฟอรัสเกือบทั้งหมดอยู่ในรูปของของแข็ง
 - รูปแก๊ส (ฟอสฟีน, PH_3) พบได้ยากมาก
- วิธีการหมุนเวียนจึงมักเป็นการพัดพาโดยน้ำและลม การย้ายตามสิ่งมีชีวิต และการตกตะกอน
- แหล่งสะสมหลักของฟอสฟอรัสอยู่ในรูปของหินฟอสเฟต (phosphate rock) และแคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3(PO_4)_2$)

Phosphorus cycle

- การหมุนเวียนช้ามากแม้การเคลื่อนย้ายระหว่างสิ่งมีชีวิตจะใช้เวลาอันน้อย แต่ช่วงที่ฟอสฟอรัสเป็นตะกอนใต้มหาสมุทรและกลายเป็นหินจนกลับมาสู่ผิวดินกินเวลานานถึง 500 ล้านปี
- มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับความเป็นกรดด่างของดิน
- Mycorrhizae $\rightarrow$ ช่วยการส่งผ่านฟอสเฟตจากดินสู่พืช





Phosphorus cycle

- กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการหมุนเวียน
 - การผูกพันอยู่กับที่ อัตราการปลดปล่อยฟอสเฟตขึ้นอยู่กับ
 - ปัจจัยทางเคมีและกายภาพของหินแร่
 - ภูมิอากาศ
 - สภาพภูมิศาสตร์
 - สิ่งมีชีวิตในบริเวณนั้น ๆ

Phosphorus cycle

- กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการหมุนเวียน
 - หากอุณหภูมิสูง มีฝนชุก และพื้นที่ที่มีความลาดชันจะทำให้การผูกพันอยู่กับที่ เกิดได้เร็วขึ้น
 - สภาพความเป็นกรดที่เกิดจากปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพสามารถเร่งให้แคลเซียมฟอสเฟตละลายน้ำได้ดีขึ้น

Phosphorus cycle

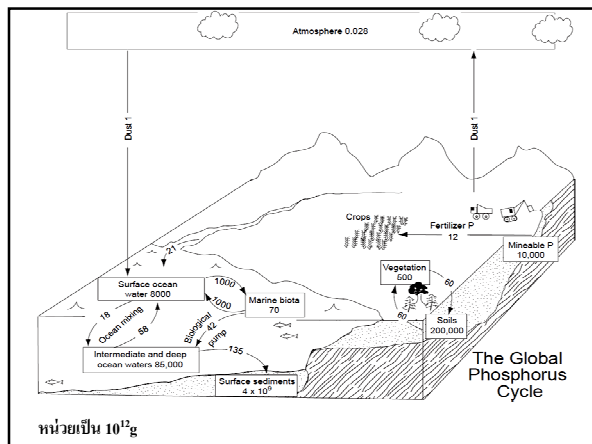
- การดูดซับ (adsorb) อยู่ที่ผิวของอนุภาคดินหรือเคลื่อนย้ายไปยังส่วนอื่น ๆ ของระบบนิเวศ
 - ฟอสฟอรัสในดินอาจละลายน้ำและไหลไปกับน้ำและลงสู่ทะเล หรือถูกนำไปใช้ (เกิดแอสซิมิเลชัน) โดยพืชและสาหร่าย กลายเป็นมวลชีวภาพต่อไป

Phosphorus cycle

- ฟอสฟอรัสจะถูกส่งต่อไปยังผู้บริโภ�พืชและผู้บริโภ�สัตว์ต่อไป
- ในธรรมชาติรากพืชที่มีรา Mycorrhiza อาศัยอยู่ด้วยจะสามารถดูดซับฟอสฟอรัสจากดินมาใช้ได้มากขึ้น เช่น ในข้าวสาลี ฟอสฟอรัสคิดเป็น ร้อยละ 50 - 80 เป็นฟอสฟอรัสที่ได้จากการทำงานของราไมคอร์ไรซา

Phosphorus cycle

- การย่อยสลาย
 - ฟอสฟอรัสจะกลับเข้าสู่ดินในรูปของมูลและของเสียของสิ่งมีชีวิต รวมถึงซากอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายทำให้กลายเป็นแร่ธาตุ
 - ปลดปล่อยฟอสฟอรัสสู่ดิน
 - ฟอสฟอรัสอาจถูกดึงกลับไปสู่พืช หรือถูกพาไปกับน้ำ



ผลของกิจกรรมของมนุษย์

- Sewage, Fertilizer and Detergent
 - เป็นตัวกระตุ้นอัตราผลผลิตเทียมในระบบนิเวศแหล่งน้ำ
 - เป็นสาเหตุของภาวะมีสารอาหารเกิน (eutrophication) และทำให้เกิด plankton bloom ตามมา

ผลของกิจกรรมของมนุษย์

- การเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในธรรมชาติโดยมนุษย์มักทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในระบบนิเวศ
- ในพื้นที่เกษตรการใส่ปุ๋ยเพิ่มปริมาณมหาศาล (22.6×10^{12} กรัม ในปี 2010) เพื่อชดเชยธาตุอาหารที่ถูกเก็บเกี่ยว = การทำเหมืองซึ่งอาจกระทบต่อพื้นที่ธรรมชาติต่อไป

ผลของกิจกรรมของมนุษย์

- ธาตุอาหารบางส่วนรั่วไหลจากพื้นที่การเกษตรและไหลลงสู่แหล่งน้ำ

ผลของกิจกรรมของมนุษย์

- แหล่งน้ำจืดเป็นระบบนิเวศที่มีฟอสฟอรัสน้อย
 - ฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นจากทั้งการใช้ปุ๋ยเกินขนาด สารซักฟอกจากครัวเรือน และน้ำเสียจากโรงงาน ล้วนเป็นตัวกระตุ้นการเติบโตของพืชน้ำและแพลงก์ตอนต่าง ๆ (ตัวกระตุ้นอัตราผลผลิตเทียมในระบบนิเวศแหล่งน้ำ) และเป็นสาเหตุของภาวะมีสารอาหารเกิน (eutrophication)

ผลของกิจกรรมของมนุษย์

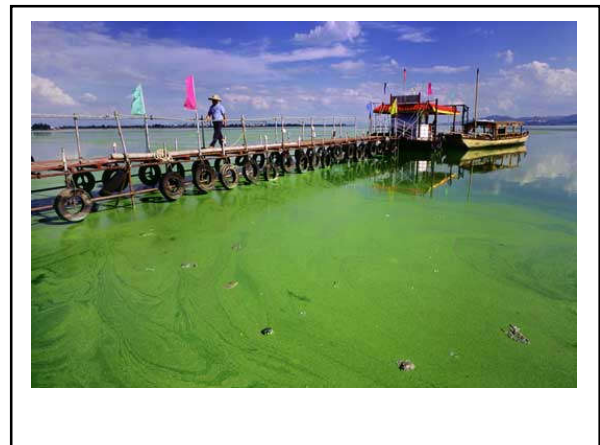
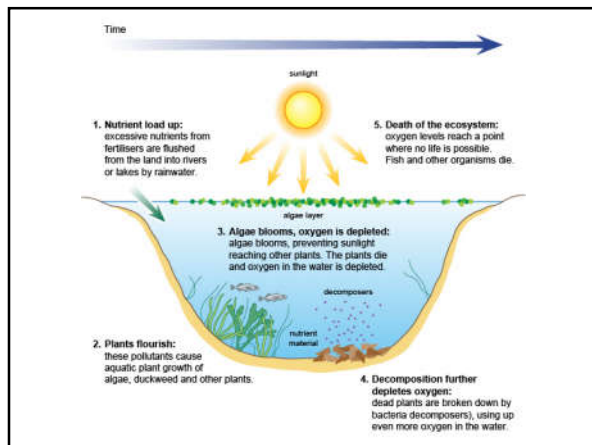
- ปริมาณฟอสฟอรัสที่มากผิดปกติจะทำให้โครงสร้างของระบบนิเวศเปลี่ยนแปลง
 - แพลงก์ตอนพืชจะมีการเติบโตที่เร็วกว่าพืชใต้น้ำ (เกิด plankton bloom)
 - ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณแสงส่องผ่านในน้ำลดลงจนพืชใต้น้ำไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

ผลของกิจกรรมของมนุษย์

- พืชได้น้ำต่าง ๆ จึงตายลง และปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะถูกใช้ไปกับกิจกรรมการย่อยสลายซากมากขึ้น
- ทำให้เกิดภาวะน้ำเน่าเสีย

ผลของกิจกรรมของมนุษย์

- บางกรณีสาหร่ายที่เพิ่มจำนวนมีการสร้างสารพิษ เช่น สาหร่ายในกลุ่มไดโนแฟลกเจลเลต ซึ่งสร้างสารพิษต่อระบบประสาท ทำให้สัตว์ต่าง ๆ ตายเป็นจำนวนมาก



Sulfur cycle

- การสังเคราะห์โปรตีน (polypeptide chain)
- องค์ประกอบของกรดอะมิโน 2 ตัว: Cysteine, methionine
- แหล่งกักเก็บคือ lithosphere (H_2S , SO_2^{2-} , SO_4^{2-} , fossil fuel)
- ปรากฏในรูปของแก๊สและของแข็ง

Sulfur cycle

- การหมุนเวียนของกำมะถันมีการหมุนเวียนผ่านทั้งพื้นดินและบรรยากาศ
- การหมุนเวียนผ่านบรรยากาศ แม้มีปริมาณน้อย แต่ทำหน้าที่สำคัญในระบบนิเวศ
- โดยธรรมชาติกำมะถันเคลื่อนย้ายในรูปของซัลเฟตที่ละลายน้ำ และถูกพัดพาไปยังแหล่งน้ำต่าง ๆ รวมถึงถูกดูดซับไปใช้โดยพืช เพื่อนำไปสร้างกรดอะมิโน และถูกส่งต่อผ่านห่วงโซ่อาหารต่อไป

Sulfur cycle

- กำมะถันยังอาจเกิดปฏิกิริยารีดิวซ์ทำให้กลายเป็นซัลไฟด์ หรือแก๊สอื่น ๆ
 - อาจเกิดจากสิ่งมีชีวิตที่หายใจในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน เช่น
 - *Desulfovibrio* และ *Desulfomonas* เปลี่ยน SO_4^{2-} เป็น H_2S และ S^{2-}

Sulfur cycle

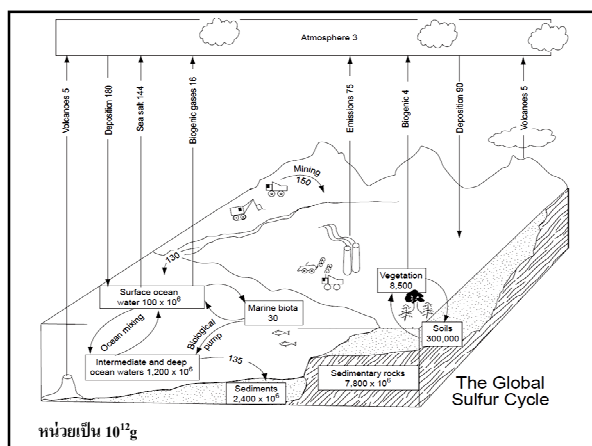
- ในทางกลับกันแบคทีเรียสีม่วง (purple bacteria) มีการนำไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปใช้และปลดปล่อยออกมาในรูปของซัลเฟต ซึ่งอาจถูกดูดซับโดยพืช หรือทำปฏิกิริยากับน้ำกลายเป็นกรดซัลฟูริก

Sulfur cycle

- ส่วนแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) โดยปกติจะถูกปลดปล่อยจากภูเขาไฟ
 - แก๊สไวต่อปฏิกิริยาสูง เมื่อพบกับไอน้ำจะเกิดปฏิกิริยากลายเป็นกรดซัลฟูริก และตกลงมากับฝนกลายเป็นฝนกรด
 - โดยปกติใช้เวลาเพียง 2-3 วัน

ผลของกิจกรรมของมนุษย์

- ปัจจุบันการปลดปล่อยกำมะถันสู่บรรยากาศโดยมนุษย์เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 50 โดยเฉพาะการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน
- เมื่อแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ถูกปลดปล่อยพบกับน้ำ เช่น หมอก หรือฝน ซึ่งในบริเวณที่มีความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกมากเกินไปจนทำให้เกิดภาวะมลพิษซึ่งเป็นสารที่มีพิษเฉียบพลันต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ รวมถึงมนุษย์



Nutrient cycle

- การพิจารณา
 - สเกลเล็กกว่าวัฏจักรของธาตุ
 - รวมธาตุต่าง ๆ หลายชนิดพร้อมกัน
- การหมุนเวียนในแต่ละระบบนิเวศมีลักษณะเฉพาะ

สารอาหาร (Nutrient)

- อะตอมและโมเลกุลที่สำคัญสำหรับการเติบโตของพืช
- ต่างจากพลังงาน (ได้จากแสงอาทิตย์และถูกเปลี่ยนรูปผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้เป็นน้ำตาล)

Nutrient

- สารอาหารหลัก (macronutrient)
 - > 0.2 % in dry weight of organism
 - ex. C, H, O, P, Mg, Fe, Cu *etc.*
- สารอาหารรอง (micronutrient)
 - < 0.2 % in dry weight of organism
 - enzyme, co-enzyme
 - ex. Al, Br, Cr, Mo, Se, Ti *etc.*

การหมุนเวียนสารอาหารในระบบนิเวศ

- วงจรของสารอาหารเกี่ยวข้องกับ
 - การเข้าของสารอาหารของระบบนิเวศ
 - การออกของสารอาหารของระบบนิเวศ
 - การหมุนเวียนสารอาหารในระบบนิเวศ

การหมุนเวียนสารอาหารในระบบนิเวศ

- การเข้าของสารอาหารสู่ระบบนิเวศ
 - จากการผุพังอยู่กับที่และเข้าสู่พืชตามวัฏจักรของธาตุ
 - จากการพาเข้ามาของลม ฝน
 - มักนำเข้สารหลายตัวทั้งในรูปของฝุ่น และสารละลาย เช่น แคลเซียม โซเดียม โพแทสเซียม และเกลืออื่น ๆ จากทะเล

การหมุนเวียนสารอาหารในระบบนิเวศ

- การเข้าของสารอาหารสู่ระบบนิเวศ
 - เมื่อสารอาหารเข้าสู่ระบบแล้วจะถูกดึงไปใช้โดยพืชและสัตว์ และสะสมในชีวมวลต่อไป
 - ในแหล่งน้ำจืดสารอาหารมักเข้าสู่ระบบจากการพัดพาของน้ำจากพื้นที่ใกล้เคียง
- จากการพามาโดยสิ่งมีชีวิต

การหมุนเวียนสารอาหารในระบบนิเวศ

- การหมุนเวียนสารอาหารในระบบนิเวศ
 - หลังจากสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ นำสารอาหารไป
 - ผลัดเป็นชีวมวล → ส่งผ่านไปยังสิ่งมีชีวิตอื่น
 - ขับออกมาเป็นของเสีย
 - เมื่อสิ่งมีชีวิตตายลงสารอาหารต่าง ๆ จะถูกย่อยสลายโดยผู้ย่อยสลายกลายเป็นแร่ธาตุกลับสู่ดิน และหมุนเวียนกลับไปให้พืชต่อไป

การหมุนเวียนสารอาหารในระบบนิเวศ

- การหมุนเวียนสารอาหารในระบบนิเวศ
 - ในระบบนิเวศบางแห่ง เช่น ระบบนิเวศป่าเขตร้อน มีการสะสมสารอาหารภายในระบบสูงมากในรูปของชีวมวล และเนื้อไม้

การหมุนเวียนสารอาหารในระบบนิเวศ

- การหมุนเวียนสารอาหารในระบบนิเวศเกิดจาก
 - การกินของสัตว์
 - การชะล้างโดยน้ำฝน
 - การเคลื่อนย้ายโดยลม
 - การพาลงสู่ใต้ดินจากการซึมผ่านของน้ำ
 - การดึงขึ้นมาใช้ของพืช
 - การย่อยสลาย
 - การผุพัง (weathering and erosion)

ปัจจัยที่มีผลต่อการหมุนเวียน

- อุณหภูมิ
 - ถ้าอุณหภูมิสูง
 - อัตราการหมุนเวียนสูง
 - อัตราการละลายไปกับน้ำสูง (สัมพันธ์กับความชื้น)

ปัจจัยที่มีผลต่อการหมุนเวียน

- ความชื้น
 - สูง
 - อัตราการละลายไปกับน้ำสูง
 - ต่ำ
 - อัตราการสร้างผลผลิตลดลง
 - การย่อยสลายลดลง
 - การหมุนเวียนลดลง

Table 2 Phosphorus retention and leaching and water loss from litter-soil cores. Values are percentages (%) of total added except for ^{31}P , where values are percentages of the dynamic P pools (see text). Values are averages of four replicates with standard errors in parentheses

	10 mm rainfall		30 mm rainfall	
	Rainy season	Dry season	Rainy season	Dry season
^{32}P retained in litter	9.40 (1.39)	9.02 (0.89)	10.34 (1.24)	6.15 (0.67)
^{32}P retained in soil	90.51 (9.56)	89.85 (9.65)	83.71 (7.94)	73.92 (7.15)
^{32}P leached from core	0.09 (< 0.01)	1.13 (0.10)	5.95 (0.51)	19.93 (1.79)
Water loss from core	1.01 (0.07)	1.36 (0.10)	40.41 (3.15)	40.76 (2.98)
^{31}P leached from core	0.0001 (< 0.001)	0.18 (0.01)	0.01 (< 0.001)	0.72 (0.07)

ปัจจัยที่มีผลต่อการหมุนเวียน

- ปัจจัยทางชีวภาพ
 - อัตราการสร้างผลผลิตปฐมภูมิ
 - เขตร้อนสูงที่สุด
 - การกินพืช
 - เป็นการดึงสารอาหารเข้าสู่วัฏจักรอาหาร

ปัจจัยที่มีผลต่อการหมุนเวียน

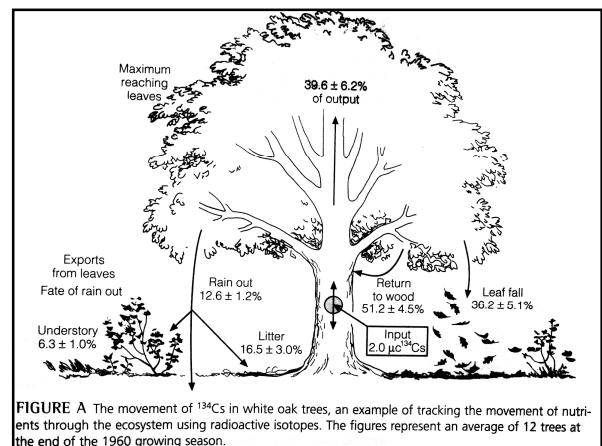
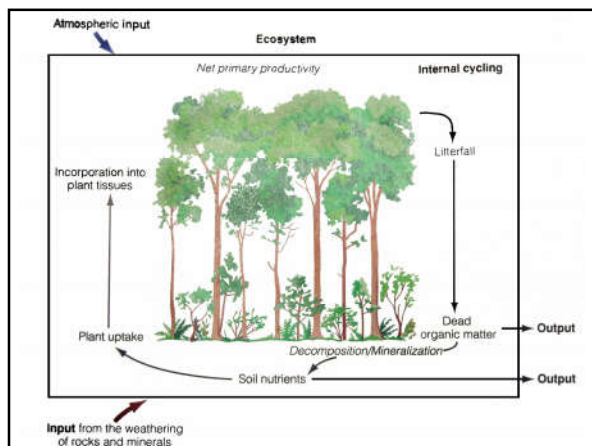
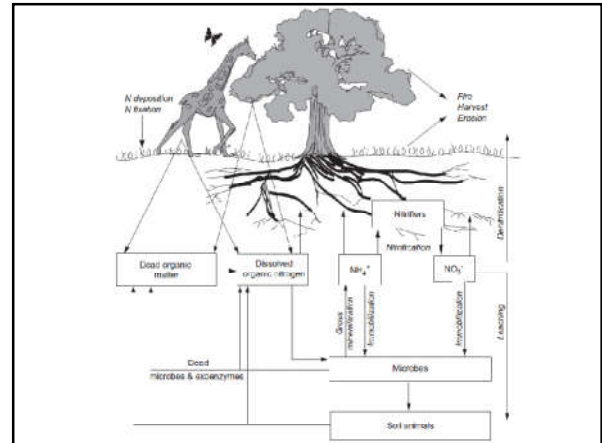
- การย่อยสลาย -> วัดปริมาณ CO_2 (ดูอัตราการย่อยสลาย)
- เกิดมากหรือน้อยขึ้นกับ
 - C:N ratio -> สูง อัตราการย่อยต่ำ (มี N น้อย)
 - ปริมาณลิกนิน -> มาก อัตราต่ำ

ปัจจัยที่มีผลต่อการหมุนเวียน

- ปัจจัยทางชีวภาพที่ทำให้การหมุนเวียนสูงขึ้น
 - ปลวก
 - มดและรา
 - ไส้เดือนดิน

การหมุนเวียนสารอาหารในระบบนิเวศ

- การออกของสารอาหารจากระบบนิเวศเกิด
 - โดยลมและฝน
 - โดยตัวพาทางธรณี เช่นการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก
 - โดยตัวพาชีวภาพ
 - โดยมนุษย์ เช่น การชักลากไม้ออกจากป่า การเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร

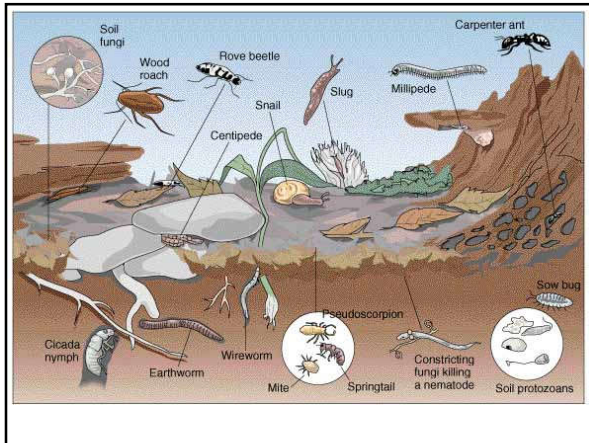


ตัวอย่างการหมุนเวียนสารอาหารในป่าฝนเขตร้อน

- Fertile topsoil หนาประมาณ 2-4 ซม.
- การหมุนเวียนสารเกิดได้รวดเร็วมาก
- พืชมีการดูดกลับแร่ธาตุส่วนใหญ่ก่อนที่จะร่วง
- สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ตามพื้นล่างจะเป็นตัวบริโภคและย่อย litter
 - แมลงต่าง ๆ , เห็ดรา, ผู้ย่อยสลายอื่น ๆ

ตัวอย่างการหมุนเวียนสารอาหารในป่าฝนเขตร้อน

- ป่าดิบเป็นระบบที่มีการหมุนเวียนสารต่าง ๆ เร็วมาก
- สารอาหารต่าง ๆ มักอยู่ในรูปของมวลชีวภาพ
- ในดินมีสารอาหารต่ำ
- เป็นเหตุผลให้ระบบนิเวศป่าดิบชื้นเปราะบางมาก

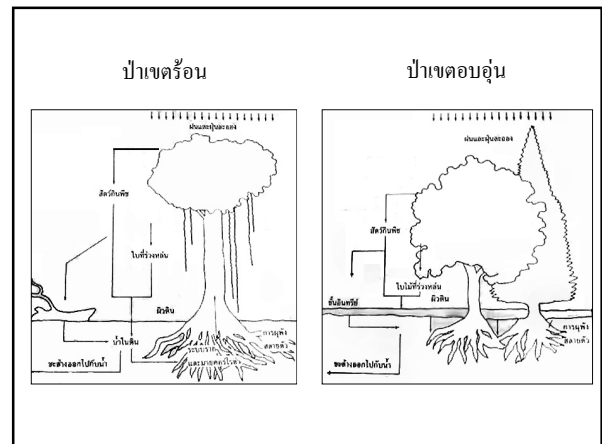


ตัวอย่างการหมุนเวียนสารอาหารในป่าฝนเขตร้อน

- สารอาหารเช่น Ca Na จากบรรยากาศและผสมกับฝนนั้นเป็นสัดส่วนถึง 80% , Mg 57% และ K เข้าสู่ระบบนิเวศผ่านน้ำที่ชะตามเปลือกไม้ สูงถึง 78% (ป่าฝนบราซิล) (Scheer, 2011)
 - แร่ธาตุต่าง ๆ ระเหยจากมหาสมุทรและถูกลมพัด
 - ปริมาณสูงสุดที่แร่ธาตุเหล่านี้เข้าสู่ระบบนิเวศคือฤดูฝน

ตัวอย่างการหมุนเวียนสารอาหารในป่าฝนเขตร้อน

- เศษใบไม้เป็นส่วนที่มีสารอาหารสะสมที่สำคัญ โดยเฉพาะ ไนโตรเจน
- ในป่าเขตร้อนที่มีหน้าแล้ง สารอาหารเหล่านี้จะถูกทำให้หมุนเวียนไม่ได้ (immobilized) จนถึงหน้าฝน



สิ่งที่รบกวนการหมุนเวียน

- การรบกวนการหมุนเวียนพิจารณาตามระดับ
 - รุนแรงน้อย – ไม่มีผลต่อโครงสร้างของระบบนิเวศ เช่น การล้มของต้นไม้ทำให้มีช่องว่างของเรือนยอด
 - รุนแรงปานกลาง – มีผลต่อโครงสร้าง แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อดิน เช่น การตัดป่า ปลุกสวนยาง / กาแฟ / สวน ฯลฯ

สิ่งที่รบกวนการหมุนเวียน

- การรบกวนการหมุนเวียนพิจารณาตามระดับ
 - รุนแรงมาก – มีผลกระทบต่อทั้งโครงสร้างระบบนิเวศ และโครงสร้างดิน เช่น แผ่นดินถล่ม การทำลายป่าโดยมีการไถหน้าดินด้วย

สิ่งที่รบกวนการหมุนเวียน

- ฝนกรด => ทำให้สมบัติทางเคมีของดินเปลี่ยนไป รวมถึงสารต่าง ๆ ในดิน
- การถางป่า => การชะล้างหน้าดิน ทำให้แร่ธาตุที่พืชจะใช้ในอนาคตหมดไป
- ไฟป่า/ความแห้งแล้ง => ทำให้การหมุนเวียนผิดปกติ (ขาดน้ำ)