

บทที่ 4

ระบบนิเวศวิทยา, พลังงาน และผลผลิตของสิ่งมีชีวิต (Ecosystem, energy, and production)

ความหมายของคำว่า community และระบบนิเวศวิทยา

(The community concept and ecosystem)

Community หมายถึงกลุ่มของพืช, สัตว์, สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหมายถึง bacteria ก็ได้ที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่มใหญ่ (colony) ในพ.ท.เฉพาะแห่ง

community นี้มีคนที่ให้ความหมายไปหลายแง่ด้วยกัน เช่น Phillips (1935) ว่า biotic community คือ complex organism ซึ่งเป็นตัวแทนระดับสูงทาง biologic organization แต่ไม่ใช่พวก super organisms

Ecosystem หมายถึงผลรวมของสิ่งที่มีชีวิต และไม่มีชีวิตที่ประกอบกันขึ้นเป็นกลุ่ม community กลุ่มหนึ่ง มีความใกล้ชิดและสัมพันธ์กัน (Tansley's ecosystem) แต่อาจหมายถึง กลุ่มของสิ่งมีชีวิต (biotic community) และกลุ่มที่ไม่มีชีวิตทาง physiochemical ขององค์ประกอบสภาวะสิ่งแวดล้อม

ส่วนประกอบของ ecosystem ได้แก่

1. Abiotic substance หมายถึงสิ่งที่ไม่มีชีวิต
2. Producer คือสิ่งที่มีชีวิตสามารถสร้างอาหารเองได้
3. Consumer คือพวก heterotrophic กินพวก producer
4. Decomposer คือพวก heterotrophic bacteria, fungi ทำให้เกิดการเน่าเปื่อย

Community Succession

Community จะอยู่อย่างไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อสภาพแวดล้อมไม่เปลี่ยน มันไม่ได้หมายความว่า community จะคงที่ตลอดไป ถ้าเวลาผ่านไป จนถึงจุดขีดสุดแล้วมีการเปลี่ยนแปลงทางสภาพสิ่งแวดล้อม เช่น แสง, อากาศ สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำลดลง, การพังทลายของดินตามชายฝั่ง, สิ่งเน่าเปื่อย เกิดจากใบไม้, กิ่งไม้, สัตว์มาทับถมใน Oligotrophy จะเปลี่ยนกลายมาเป็น mesotrophy

แล้ว eutrophy มาเป็น senescence จนถึง terrestrial stage ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า succession จึงควรที่จะ ทำให้มีการป้องกันการเกิด succession โดยเราอาจขุดให้ลึกลง, เพิ่มสิ่งที่มีชีวิตในแหล่งน้ำ ให้กินพวก ฟิช เช่น large mouth bass fish ทำลายวัชพืชที่จะทำให้แหล่งน้ำตื้นขึ้น และใช้เครื่องมือช่วย การป้องกันนี้เรียกว่า Retrogressive succession

ขบวนการ succession นี้สามารถหยุดยั้งการกระจายของโครงสร้างพวก community ที่จะขยายออกไป community succession นี้จะทำให้เกิดความไม่ก้าวหน้า และเราต้องรักษาไม่ให้เกิด ขึ้น

Food chains and ecospecies

Food chain (ห่วงโซ่อาหาร) หมายถึงการกินอาหารของสิ่งที่มีชีวิตเป็นทอด ๆ ไป เช่น

Phytoplankton → zooplankton → ปลาตัวเล็ก → ปลาตัวใหญ่

พวก herbivores, omnivorous จัดว่าเป็น primary producer ในบางครั้ง omnivorous จัดอยู่เป็น primary consumer หรือ secondary consumers Carnivore จัดเป็นพวก primary secondary, tertiary quaternary consumers.

ecospecies หมายถึงพืชหรือสัตว์มีหน้าที่การทำงานเกือบเหมือนกันใน communities ที่แยกกัน

สภาวะทางชีวเคมี เป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศวิทยา

(Biogeochemical aspects of ecosystem)

ความพยายามเริ่มแรกที่จะเข้าใจถึงการทำงานของecosystem โดยมีจุดยืนที่ธรรมชาติทาง เคมีของสิ่งมีชีวิต ซึ่งต้องพึ่งพาสภาพแวดล้อม ต่อมากฎเกณฑ์ต่าง ๆ ที่ได้มาเกี่ยวข้องกับ organisms ในขบวนการทางเคมี ซึ่งเป็นจุดที่สำคัญในทางวิจัยของนิเวศวิทยา สิ่งนี้มีความจำเป็นต่อ ขบวนการชีวเคมีของสิ่งมีชีวิตสภาวะทางชีวเคมี อธิบายถึง organisms ที่สามารถสร้าง พริก minerals แต่เดี๋ยวนี้มันขยายออกไปเกี่ยวข้องกับ biosphere, atmosphere, lithosphere และ hydro-sphere มีการใช้ขบวนการ isotopes เพื่อที่จะทราบจำนวนของสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต มีความสัมพันธ์ กันใน ecosystem

ขบวนการทางเคมีของพืชน้ำ และสัตว์คล้ายกันมาก แม้กระทั่งอะตอมบางอะตอมของธาตุ
ที่มีมากในพวกนี้

การถ่ายเทพลังงานในระบบนิเวศวิทยา (Energy flow in ecosystems). สิ่งที่มีชีวิต เช่น
ปลา เกิดขึ้นจากการสืบพันธุ์ภายในทะเลสาบ มันจะมี minerals, nutrients, และ chemical energy-
ในร่างกายที่พร้อมจะถ่ายทอดเข้าสู่สัตว์น้ำที่มากินมัน

มีข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นทั่วไปมี 2 ข้อด้วยกันคือ

1. biomass ไม่ใช่ผลผลิต แต่หมายถึง อัตราการเกิดของผลผลิต (เช่นแม่ไก่ออกไข่
10 ใบไม่ใช่ว่ามีผลผลิต (production) จนกระทั่งจะรู้ได้ว่ามันจะเกิดเป็นตัวก็ตัวในช่วงระยะเวลาที่
ฟัก)

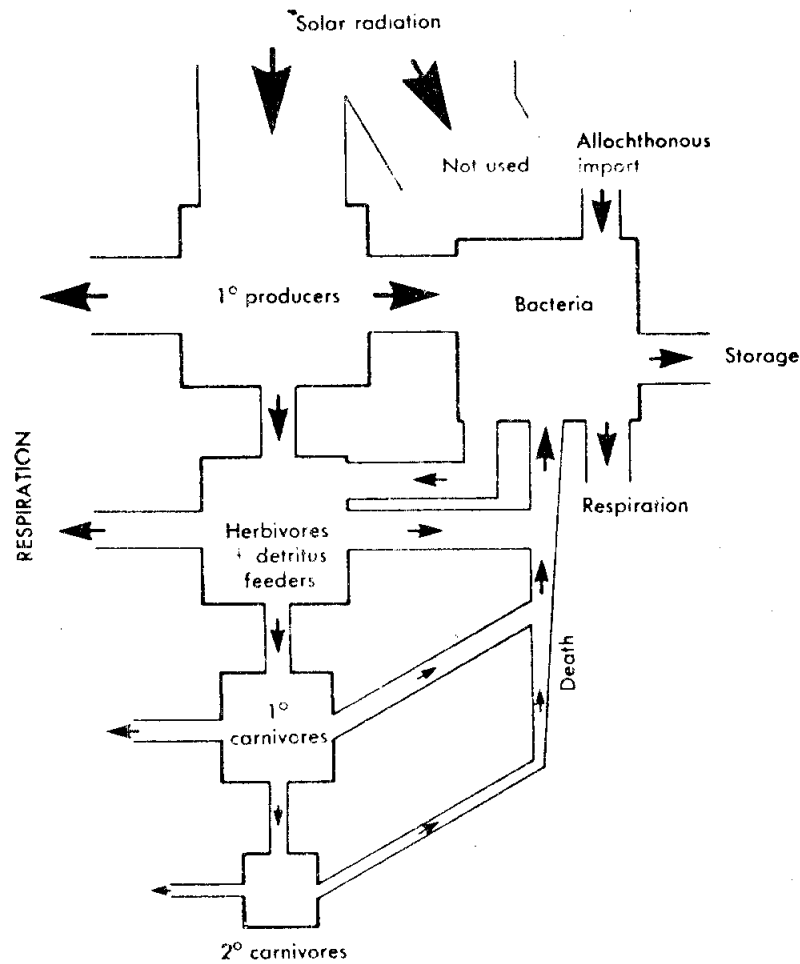


Fig. 4-1. Schematic portrayal of energy flow through an aquatic ecosystem.

2. เกลือแร่ ที่อยู่ในร่างกายปลาจะสามารถคืนสู่สภาพเดิมได้ ไม่ใช้การกระทำให้เกิดขึ้น ระยะสั้นกว่าที่เคยมีอยู่

พลังงานนี้จะถูกนำไปใช้ โดยสิ่งที่มีชีวิตสามารถสร้างอาหารเองได้ (green autotroph) เพียงน้อยกว่า 0.1% ส่วนใหญ่แล้วจะไม่กลับสู่พวก herbivore, phototrophic plants, ดวงอาทิตย์ พลังงานผ่านตลอด ecosystem และสูญหายไป

Communities ของสิ่งมีชีวิต มีการดำรงชีพซับซ้อน จนกระทั่งเสียชีวิต ดู Fig.4-1 จะเห็นว่า primary producer มีความสำคัญที่สุดใน ecosystem เริ่มแรกนำพลังงานจากแสงมาใช้ พลังงานจะไหลผ่านตามห่วงลูกศรไปยังองค์ประกอบของ ecosystem.

ขบวนการสร้างและทำลายในกลุ่มของสิ่งมีชีวิต (community metabolism) สามารถที่จะวัดได้ในระยะเวลาหนึ่ง จาก Gross หรือ total photosynthesis (P) ในเวลากลางวัน และเปรียบเทียบกับ total respiration (R) ระหว่างระยะเวลา 24 ชม. จาก P/R ไม่สามารถรู้ได้ในอัตราส่วนเฉพาะของ photosynthesis และ respiration ของ organism แต่ละชนิดใน ecosystem เพราะว่า P/R ratio

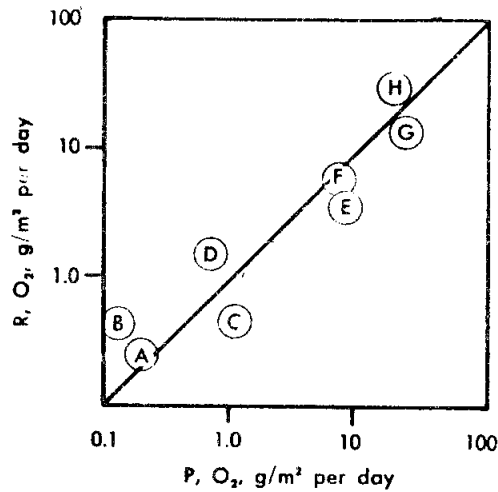


Fig. 4-2. Long-log plot of P/R ratios, On diagonal line, P/R = 1.0. Above the diagonal indicates heterotrophy; below the line, autotrophy. A Unpolluted portion of Lake Paijanne, Finland (Tuunainen and associates, 1972); B, grossly polluted portion of Lake Paijanne; C, Enriched, eutrophic portion of Lake Paijanne; D, Root Spring, Massachusetts (Teal 1957); E, Severson Lake, Minnesota (Comita 1972); F, Montezuma Well, Arizona (unpublished data); G, pounds of tertiary-treated waste water, Arizona (Foster 1973); H, sewage lagoons in the Dakotas (Bartsch and Allum 1957)

เปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน, แต่ละฤดู, แต่ละปี มันเพียงแต่บอกบางสิ่งบางอย่างของ ecosystem's nature.

Oligotrophic lakes มี P/R ไม่มีความแตกต่าง อย่างน้อยสำคัญจาก 1 (Fig. 4-2, A), สภาพของ community อยู่ในสมดุล ขบวนการสังเคราะห์แสง และการหายใจเกือบจะเท่ากัน (Fig. 4-2, F). ในกันพื้นน้ำมี

ใน eutrophic lakes P/R ratio มากกว่า 1.0 (Fig. 4-2, C และ E) พวก organisms ที่สามารถสร้างอาหารเองได้ และมีมากกว่ากันพื้นน้ำ ใน community มี P/R มากกว่า 1.0 แสดงว่ามีพวก autotroph มาก, ขบวนการ photosynthesis ของมันถูกทำลายโดยพวก heterotroph ในบ่อเพาะปลา มีพวกพืชน้ำมาก (Fig. 4-2, G). ขบวนการ primary productivity สูง, และส่วนหนึ่งอาจเป็นว่า heterotroph.

ในขณะที่ผลผลิตสูงของ ecosystems พลังงานที่ซึมเข้าไปจะหยุดการรวมของโมเลกุลของสิ่งที่มีชีวิต และทำให้พลังงานที่สะสมอยู่ลดลงในระยะที่อากาศไม่แจ่มใส เช่นมี เมฆ และฤดูหนาว มีน้ำแข็ง และหิมะปกคลุม eutrophic lakes จะทำให้อัตราส่วน P/R ลดลง

Aquatic ecosystem มี allochthonous รวมอยู่ ทำให้อัตราส่วน P/R มีนัยสำคัญต่ำกว่า 1.0 (Fig. 4-2, B, D และ H). โครงสร้างพลังงานโมเลกุลเข้าไปสู่ community metabolism ลดลงไม่ใช่มาจาก autochthonous ซึ่งเป็นผลผลิตเริ่มแรก และจะมีพวก heterotrophic.

ในขณะที่กระแสน้ำในลำธารเกิด pollution ขึ้นอัตราส่วน P/R น้อยกว่าหนึ่ง ไม่มีขบวนการสังเคราะห์แสงในแหล่งน้ำ ถ้ามีขบวนการสังเคราะห์แสงเป็นหลักจะมีพวก autotrophic มาก ในลำธารที่อุดมสมบูรณ์มากด้วย heterotrophic จะมี autotrophic น้อยและพวกพันธุ์ไม้น้ำถูกทำลายทำให้เกิดขบวนการสังเคราะห์แสงน้อยลง

Allotrophy หมายถึงทะเลสาบที่รับพลังงานส่วนใหญ่จากภายนอก

Anemotrophy หมายถึงบ่อที่มีดินแห้งแล้ง รับพลังงานส่วนใหญ่จากภายนอก, รับพลังงานเริ่มต้นจากสารประกอบของคาร์บอนที่มีมากที่สุดที่มากับลม

Primary production

ผลผลิตภายใน ecosystem ได้จากพวก autotroph สร้าง inorganic materials โดยมีพลังงานเป็นตัวเร่ง ทำให้เกิด organic substances ขึ้น

Autotroph หรือ primary producers แบ่งออกได้

1. **Phototroph** หมายถึง autotroph ใช้แสงจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงาน และสารประกอบพวกคาร์บอนด้วย

2. **Chemotroph** (chemosynthetic bacteria) หมายถึง autotroph ใช้แสงจากการเกาะตัวกันของคาร์บอนของ inorganic substances เป็นพลังงานเพื่อสร้าง organic compound.

เมื่อสิ่งมีชีวิตตายลง ทรากของมันจมลงก้นพื้นน้ำใน eutrophic lakes มีสารที่ถูกปล่อยออกมา เช่น H_2S , NH_4^+ , Fe^{++} , CH_4 , organic acids, alcohols, และพลังงาน ทั้ง anaerobic decomposers และ aerobic oxidizers สร้างรูปร่างจาก CO_2 หรือจากคาร์บอน ในรูปของ CH_4

Williams (1970) ว่า photosynthetic bacteria จะสร้างสารที่เป็นตัวช่วยของผลผลิตเริ่มต้นในน้ำกร่อย

ขบวนการสังเคราะห์แสง มีความแตกต่างทางวิธีการ เช่น O_2 ไม่มีส่วนเกี่ยว, ความแตกต่างความยาวของคลื่นที่นำใช้, หน้าทีของ pigments ที่แตกต่างกัน ขบวนการสังเคราะห์แสงทั้งหมดขึ้นอยู่กับรังสีการแพร่กระจายของแสงมาใช้สังเคราะห์ สารประกอบอินทรีย์ให้เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อน

Biomass

Biomass หมายถึงกลุ่มของสิ่งที่มีชีวิตอยู่ Biomass ใน ecosystem ที่มีความสัมพันธ์กันในแต่ละระดับ โดยพลังงานได้ถูกนำมาใช้เป็นจำนวนมากในแต่ละระดับสิ่งที่มีชีวิตได้สร้างขึ้นถูกลดลงในแต่ละระดับ ดังจากรูป Eltonian pyramid.

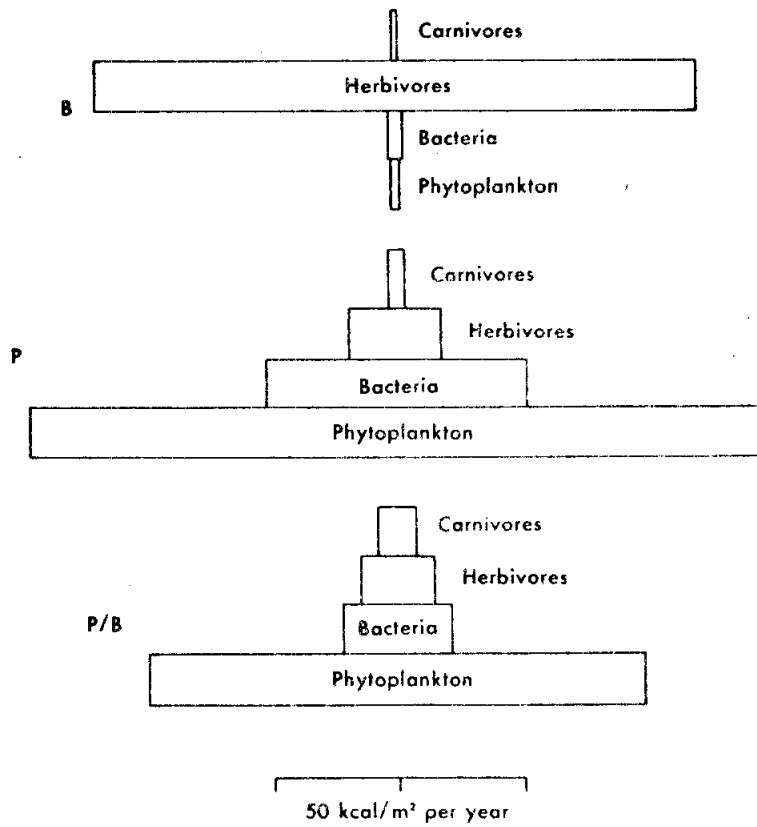


Fig. 4-3. Eltonian pyramids from oligotrophic Russian lake Krivoie. *B*, Mean annual biomass; *P*, annual production; *P/B*, quotient of annual production and mean annual biomass. (Data from Winberg 1972.)

Assimilation number

มันคือตัวเลขที่บอกถึงในหน่วยฟ.ท.หนึ่ง มี primary production เท่าไร หาได้จาก

$$\frac{\text{mg. C per hour}}{\text{mg. chlorophylla}} = \text{assimilation number}$$

mg C/m³ ในตอนกลางวันได้จาก photosynthesis

mg Chlorophyll a ต่อปริมาตรเดียวกัน

Efficiency of primary production

$$E = \frac{L_n}{L_{n-1}} \times 100$$

L_{n-i} = รังสีแสง (หมายถึงผลรวมของแสงอาทิตย์ แสงหลังจากขบวนการสังเคราะห์แสงที่แลเห็นได้ (จาก 380-720 nm), แสงส่องทะลุสู่ community แสงถูกดูดซึมโดย cellพืช, แสงถูกดูดซึมโดย pigments ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง โดยเฉพาะ)

L_n = พลังงานของ primary producer.

ทางผ่านไปยัง secondary production (Pathways to secondary Production)

พลังงานจาก primary production ที่จะถ่ายทอดสู่ secondary production มีสองทางด้วยกัน

1. **Grazing pathway** เมื่อ herbivore กินพวก green organism พลังงานของขบวนการสังเคราะห์แสงก็ถูกส่งต่อไปยัง consumer

2. **Dead-hay route** เมื่อพืช (green organism) ได้ตายลง พลังงานก็จะไหลออก

Secondary production

Secondary producers หมายถึง Organism กิน primary producers เมื่อมีมาก ๆ ขึ้นโดยวิธีใดก็ตามผลที่ได้เราก็เรียกว่า secondary production ในการดำรงชีพ ของสิ่งที่มีชีวิต (organisms) มีการเปลี่ยนแปลงนิสัยการกินอาหาร อาจขึ้นอยู่กับฤดูกาลก็ได้

การประมาณ secondary production ของแต่ละชนิด

(Estimating secondary production of individual species)

วิธีการวัดว่า มี secondary production เท่าไรนั้นมันยากลำบากเนื่องจากมีสาเหตุหลาย ๆ ประการ แต่ก็มีวิธีการง่าย ๆ ซึ่งอาศัยหลักการรูปฟอร์มทางเศรษฐศาสตร์ จากสูตรการคำนวณดังต่อไปนี้

$$P = (N_1 - N_2) \times \frac{W_1 + W_2}{2}$$

N_1 และ N_2 คือ จำนวนของสัตว์ต่อหน่วย พ.ท. ที่เริ่มต้น และสิ้นสุดในปี

W_1 และ W_2 คือ น.น. ของสัตว์แต่ละตัว

Estimating secondary production at the trophic level

การประมาณการ secondary production ที่ trophic level มีวิธีการที่ดีในการศึกษา โดยการศึกษาสิ่งที่มีชีวิตแต่ละ species แต่ละชนิดในห้องแล็บ และจะได้รายละเอียด ที่จะช่วยในการอธิบายถึง secondary production ในแหล่งนั้น ๆ โดยสามารถรู้จากอาหารว่ามีความจำเป็นสำหรับสิ่งที่มีชีวิต, เมื่ออาหารถูกนำไปใช้แล้ว สิ่งที่ได้ตามมาก็คือ จำนวนความร้อน (พลังงาน) เท่าไรนำไปใช้ในการเจริญเติบโต, มีการสูญเสียจากขบวนการหายใจ, ขบวนการขับของเสีย, net production ระหว่างการดำรงชีพได้มาจากผลรวมของการเจริญเติบโตของร่างกาย, การสืบพันธุ์ที่มีขึ้นใหม่ และพลังงานที่สูญเสียในการลอกคราบ (exoskeleton เช่นในพวก invertebrates)

Comita (1964) ศึกษา *Diaptomus sililoides* ในห้องแล็บ ผลที่ได้จากการศึกษาคือ annual heat budget จากรายละเอียดนี้ เขานำไปคำนวณความสัมพันธ์ของพลังงานใน plankton community (1972) และเป็นที่ยอมรับว่า annual energy ที่ไหลเข้าสู่ทะเลสาบมีความสำคัญที่สุดต่อ primary consumer

มีการทำการศึกษากันมาก เช่น ความสัมพันธ์ระหว่าง production (P) และ mean biomass (B) P/B คือ assimilation number ใน primary production growth efficiency คือ อัตราส่วนระหว่าง P/C ($P =$ production, $C =$ total food consumed)

$$K_1 \text{ (gross growth efficiency)} = P/C$$

$$K_2 \text{ (net growth efficiency)} = P/A$$

($A =$ assimilated food)

Mann (1969) ว่า P/C สำหรับประชากรทั้งหมด แสดงให้รู้ว่าพลังงานไหลเข้าและออกใน trophic level

Biomass และประสิทธิภาพของ secondary producers

(Biomass and efficiency of secondary producers)

Eltonian pyramid ดังกล่าวข้างต้นสามารถที่จะทำให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยบ่งถึง model ของแต่ละชนิด, จำนวน, ขนาด, ของสิ่งที่มีชีวิต รูปประมิตนี้จะอยู่ในลักษณะสมคูลย์ ตั้งแต่ส่วนยอดปลายสุดถึงส่วนฐาน

Mc Connell (1963) ได้เก็บตัวอย่างปลาจาก Pena Blanca lake พบว่า พลังงานถูกใช้ไป 0.98% ของขบวนการสังเคราะห์แสง มีการสูญเสียพลังงานไป 70%-95% ในพืชไปยัง herbivore และ herbivore ไปยัง carnivore ในแต่ละระดับ อย่างไรก็ตาม สัตว์ก็มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานมากกว่าพืช

อัตราส่วน R/P ($R = \text{respiration}$, $P = \text{gross production}$) แสดงให้เห็นว่าสัตว์ใช้พลังงานส่วนมากจากขบวนการหายใจของพืช

การประมาณ secondary production ขึ้นอยู่กับอัตราของสารประกอบอินทรีย์ ถูกสร้างขึ้นใน primary production

ปัญหาการผลิต (The Problem of Production)

Production หมายถึง สิ่งที่มีชีวิตสร้างอินทรีย์วัตถุจากวัตถุดิบ (raw materials) หรืออนินทรีย์วัตถุ (inorganic matter) ภายในระยะเวลาหนึ่งที่ตั้งที่ production นี้เมื่อถูกนำขึ้นมาหลังจากสิ้นสุดฤดูกาลเจริญเติบโต เรียก annual yield ถ้าสิ่งที่มีชีวิตที่มีอยู่ในแหล่งน้ำขณะใดขณะหนึ่ง เรียก Standing crops

ใน eutrophic lakes มีขอบเขตของการผลิตไม่มากกว่าใน oligotrophic lakes เพราะ organisms มันพยายามหลีกเลี่ยงแสง และระดับบริเวณที่อยู่ตื้นกว่า

ในการพิจารณา production ของสิ่งที่มีชีวิตในทะเลสาบ มี 2 ประการด้วยกัน

1. a unit surface area (หนึ่งหน่วย พ.ท. ผิวหน้า)

พิจารณาจากสิ่งที่มีชีวิตที่อยู่ภายใต้ พ.ท. ผิวหน้าหนึ่งหน่วย ซึ่งเป็น production บังเกิดขึ้นชั่วขณะของ plankton ในทะเลสาบ

2. a unit volume of water (หนึ่งหน่วยปริมาตรของน้ำ)

พิจารณาถึงจำนวนสิ่งที่มีชีวิตตัวเฉลี่ยที่บังเกิดขึ้นในขอบเขตของ production ในน้ำหนึ่งหน่วยปริมาตร

ปัญหาของ production เกิดจาก

1. อาหาร (nutrients) มีจำนวน และคุณค่าทางโภชนาการพอเพียงหรือไม่ ถ้าแหล่งน้ำใส สามารถมองด้วยตาเปล่าเข้าไปลึก แสดงว่าแหล่งน้ำนี้มี nutrients น้อย ถ้าแหล่งน้ำไม่ใส นัก และไม่ขุ่นแสดงว่า มี nutrient มาก ถ้าแหล่งน้ำเสีย, มีค แสดงว่าไม่มี nutrient

2. แสงที่อยู่ใน trophic level ของน้ำจะทำให้เกิดขบวนการสังเคราะห์แสง แสงจะแผ่กระจาย กระจายเป็นเหตุให้เกิดความแตกต่างใน energy factor ทำให้ความขุ่นใสของน้ำแตกต่างกันด้วย และขึ้นอยู่กับการดูดซึมของน้ำ, สารแขวนลอย

3. อุณหภูมิ เมื่อระดับความร้อนมีมากหรือน้อย ซึ่งเกิดจากแสงส่องทะลุผ่านเข้าไปในแหล่งน้ำ จะมีอิทธิพลในการผสมพันธุ์ และการพักเป็นตัวของ organisms นอกจากนี้ยังทำให้จำนวนแก๊สเปลี่ยนแปลงที่จะกล่าวถึงภายหลัง

4. ที่ลุ่ม (shading) เป็นที่พำนักของ organisms บางชนิดก่อนผสมพันธุ์ และหลังผสมพันธุ์

Temperate lakes มีกลุ่มพวก sulfur และ organism ใช้ O_2 และสารอนินทรีย์ เพื่อใช้ในการ oxidise เช่นพวก sulfur bacteria, purple bacteria และ iron bacteria

เมื่อเราทำการแบ่ง bacteria ออกตาม nutrient ได้

1. Autotrophic bacteria หมายถึง bacteria ที่สามารถสร้างอาหารเองได้ โดยใช้แสงมาช่วยในขบวนการสังเคราะห์แสง

2. Heterotrophic bacteria หมายถึง bacteria ที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ โดยได้อาหารจากพวกอื่น แบ่งออกได้

2.1 Saprophytic bacteria หมายถึง bacteria ที่กินอาหารจากพวกซากพืช และซากสัตว์

2.2 Parasitic bacteria หมายถึง bacteria ที่กินอาหารจากพวกสิ่งมีชีวิต แบ่งออกได้

2.2.1 external parasitic bacteria ได้แก่ bacteria ที่อยู่ภายนอก กินอาหารจากสิ่งมีชีวิต

2.2.2 Internal parasitic bacteria ได้แก่ bacteria ที่อยู่ภายในสิ่งมีชีวิต

ใน ecosystem bacteria ทำหน้าที่เป็น

1. decomposer
2. chemical oxidation และ reduction
3. food filter
4. bottom sediment

ดูจาก Fig.4-3

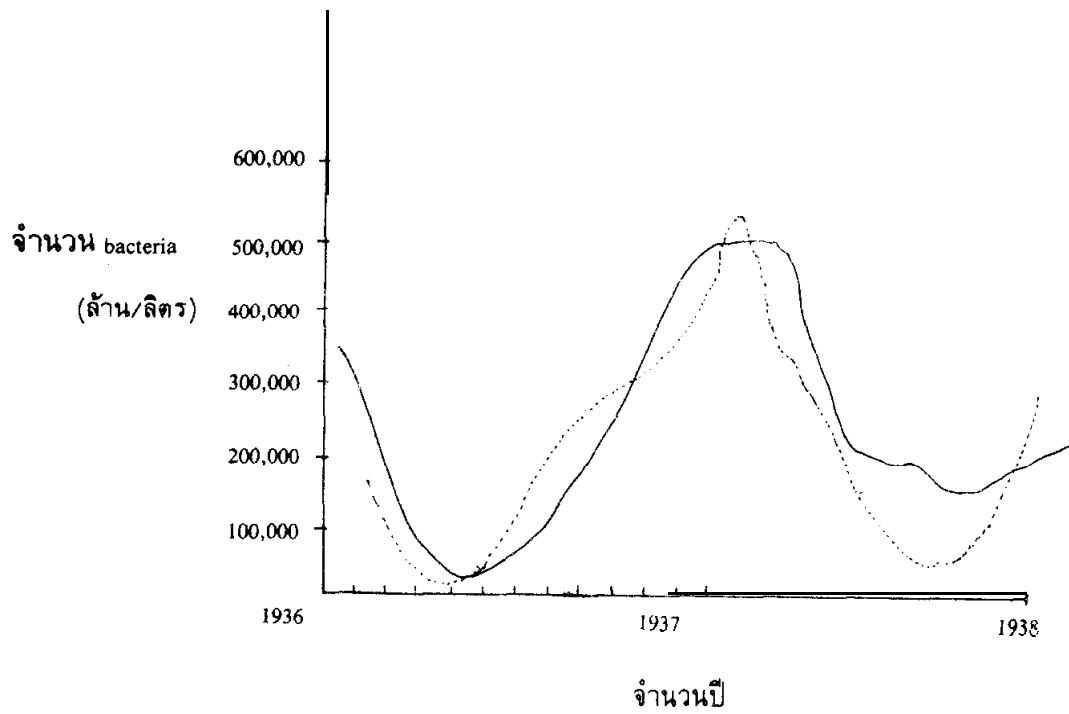


Fig. 4-3 แสดงถึง bacteria ในรอบปี