

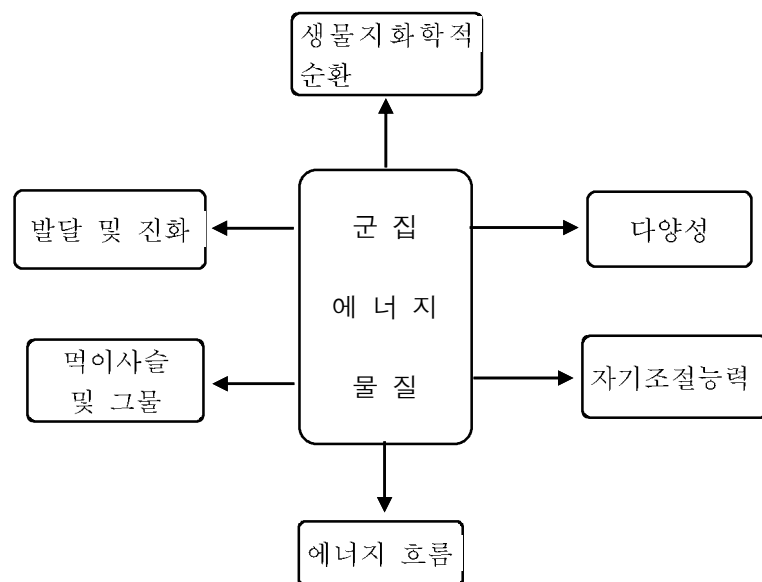
4차시. 생태계의 구조와 기능 II

학습내용

I. 생태계의 기능

- 생태계에서의 주요한 기능은 생물적 요소와 비생물적 요소간의 상호작용으로 이는 에너지(E) 흐름과 물질의 순환을 통해 대변될 수 있음
- 기능적인 특성은 각각의 생태계를 구분시켜주는 중요한 정보로서 기능을 파악함으로써 보다 효율적인 생태계보존대책의 수립이 가능
- 생태계는 항상성을 유지하려는 경향이 있다. → ∴ 구조와 기능은 별개의 것이 아닌 상호유기적인 관점에서 접근해야 함

- 생태계의 6가지 기능에는 에너지 흐름(Energy flow), 먹이사슬(Food chain), 군집의 시·공간적 다양성(Diversity pattern in time and space), 물질의 생물지화학적 순환(Biogeochemical cycle), 군집의 발달 및 진화기작(Development and evolution) 그리고 자기조절능력(Cybernetics)이 속한다. 생태계의 구조적인 특징을 나타내는 가장 중요한 3가지 구성요소가 에너지, 군집 및 물질이라 할 때 이들로부터 위 6가지 기능이 수행되거나 연관되어져 있는 것임



생태계의 구조적 특성과 이에 따른 주요 기능들.

- 에너지는 생산자, 소비자 그리고 분해자로 이루어진 생물적 요소에 필수적인 것으로 생산자에 의해 유기물의 형태로 전환되고 이는 곧 1차 소비자, 2차 소비자, 고차 소비자에게 전달되고 최종적 생물인자인 분해자에 의해 비생물적 요소형태로 다시 방출되는 일련의 과정을 거침

- 에너지의 획득 과정에 의해 생물적 요소간의 관계가 연결된 것을 먹이사슬(Food chain)로 표현하게 되며, 이와 같은 일련의 포식과 피식의 관계를 기초로 경쟁 및 공생의 관계를 이루는 복잡한 형태인 먹이그물(Food web)을 형성
- 물질은 일련의 순환작용을 거쳐 생물과 비생물적 요소를 오가게 되며 이를 생물지화학적 순환이라 하는데, 대표적인 물질로서 질소(N), 인(P), 황(S), 이산화탄소(CO₂) 및 물(H₂O)을 들 수 있음
- 가장 종합적으로 나타나는 기능은 자기조절 능력(Cybernetics)을 들 수 있는데 이는 군집의 발달 및 시공간적 다양성과 함께 작용

II. 생태계 내의 에너지(E)

- 지구 생태계의 궁극적인 에너지(E)원은 태양
- 이러한 태양에너지는 여러 가지 다른 방사에너지의 형태로 지구에 도달
즉, 열역학 제1, 2의 법칙에 의한 과정이 비생물과 생물, 생물과 생물사이로 반복되면서 나타나 에너지의 흐름이 지속됨.
- 태양광선이 지닌 에너지 함량은 파장에 따라 다름
⇒ 태양광선의 파장 : 100~4,000nm
(자외선 : < 400nm, 가시광선 400~700nm, 근적외선 700~4,000nm)

⇒ 파장이 짧을수록 에너지 함량이 높다.
지구표면에 도달하는 연간 에너지량 ⇒ cm²당 10만cal
→ 이 중 1/3은 물의 증발에 소비되고, 2/3(6만7천cal/cm²/yr)정도가 식물의 광합성과 기타 다른 목적에 이용됨
- 녹색식물은 연간 대기 중의 2천 억톤의 탄소를 사용하여 탄수화물을 생산
→ 이 양은 대단히 많은 것이나 태양에너지의 이용 효율면에서 볼 때 매우 저효율적 (33cal/cm² ⇒ 이용가능에너지의 0.05%만이 고정됨)

III. 먹이사슬과 먹이그물

A. 먹이사슬

- 포식과 피식의 수직적인 관계를 통한 생물적 요소를 간단하게 연관 또는 나열시킨 구조·기능적 관계
⇒ 즉, 생산자로부터 → 1차 소비자인 초식 → 2차 소비자(육식) → ... → 분해자
- 자연계내의 2가지 먹이사슬
 - ① 방목 먹이사슬(grazing food chain)
: 1차 소비자가 살아있는 식물체를 먹음으로써 시작
Ex) 곡식 → 메뚜기 → 개구리 → 매

② 부식질 먹이사슬(detritus food chain)

: 동식물의 사체나 이들이 생산한 배설물로부터 시작

부식질식자 → 동물의 사체를 섭식

미소소비자 → 식물의 낙엽이나 동물의 배설물을 분해

⇒ 이 두 종류의 먹이사슬이 유기적으로 연관됨으로써 생태계의 에너지 흐름이나 물질순환이 지속적으로 유지

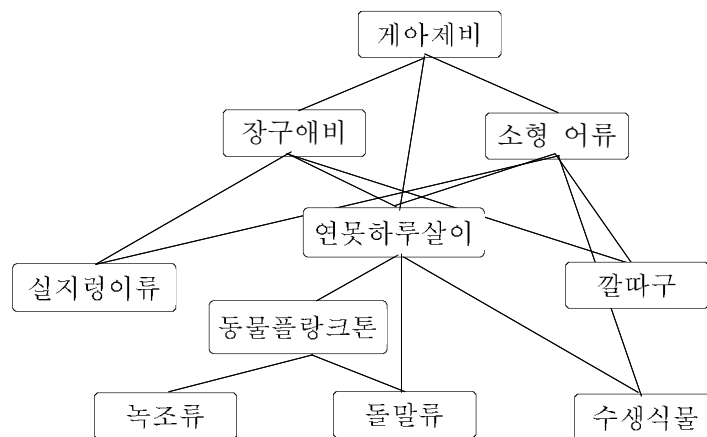
B. 먹이그물

- 먹이사슬에서 각 생물군의 위치를 영양단계라 한다.

(i.e. 생산자 → 1차 → 2차 → 3차 소비자)

⇒ 특정 종에 있어 이러한 영양단계는 고정적인 것이 아니라 유동적인 것

- 실제로 생태계 내의 먹이관계는 직선적인 관계가 아니고 피식과 포식의 관계가 매우 복잡하게 연관되어 있는 그물모양을 이룬다.
- 먹이그물에 있어서의 단순화된 예



C. 상이성과 연관성

- 먹이사슬과 먹이그물의 비교

먹이사슬	먹이그물
수직적 상호작용 (-)	수직 · 평적 상호작용 (- ,)
직접적인 영향	직 · 접적인 영향
단순하며 이론적	복잡하며 실제적
1 생물군	1 의 영양단계에 다수의 생물군

- 육상생태계의 먹이그물에 있어서의 영양단계 및 이와 상응한 용어

영양단계	생산자/ 소비자	영양체 형태	식성
1차 영양단계	생산자	독립영양체	
2차 영양단계	1차 소비자	중속영양체	초식성
3차 영양단계	2차 소비자	중속영양체	육식성
4차 영양단계	3차 소비자	중속영양체	육식성

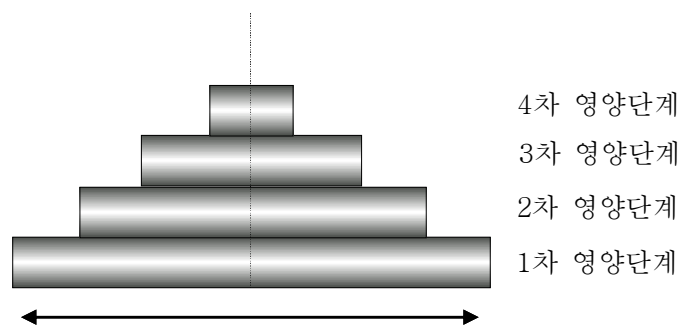
IV. 생물량과 생태피라미드

A. 생물량 or 생체량

- 생물량이란 얻어진(사용된) 에너지로부터 호흡 및 체온으로 방출된 열과 배설물로 배출된 에너지를 제외한 나머지 양으로 생물의 성장에 사용된 양을 말함
(Ex. 1차 영양단계 → 식물체의 총무게, 2차 영양단계 → 초식동물의 총무게)

B. 생태피라미드

- 특정 생태계에서 나타나는 영양단계의 구조와 기능을 도식화하여 나타낸 것을 생태피라미드 또는 생태학적 피라미드라고 한다. 군집의 영양 또는 에너지의 피라미드 구조는 연속적인 각 영양단계의 단위면적당 현존량이나 단위면적당 고정되는 에너지 효율로서 나타내어 질 수 있다. 이러한 구조에는 개체수피라미드, 생체량 피라미드와 에너지 피라미드의 3가지 종류가 있다.



개체수피라미드 :

/ !적

생체량 피라미드:

/ !적

에너지 피라미드 :

/ / !간

생태피라미드의 종류와 영양단계별 구조

- 각 영양단계의 생물량은 위로 갈수록 줄어든다.

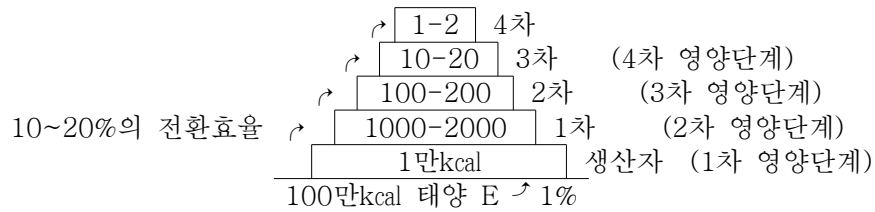
∴ 열역학 제2의 법칙에 의해

⇒ 이를 단계별로 쌓아올리면 하부구조는 넓고 위로 갈수록 생물량이 줄어들어 피라미드 구조를 하게 됨 ⇒ 이를 생물량(or 생체량) 피라미드

- 생물량과 에너지는 같은 개념이므로 각 영양단계의 에너지에 대한 같은 방법의 분석 역시 피라미드 형태가 나옴

⇒ 이를 에너지 피라미드라 함

- 일반적으로 이 두 pyramids를 함께 지칭해 생태 pyramid라 함
예) 가상적인 생태피라미드 에너지전달



- Pyramid 형태의 의미

① 영양단계의 증가 → 생물량↓ → 개체크기↑

⇒ ∴ 상위 영양단계의 개체수가 ↓

② 하위영양단계를 먹이로 활용할 경우 그 생태계는 더 많은 생물을 유지할 수 있다.

Ex) 20,000kcal 옥수수 → 2,000kcal 소고기 → 1인 충족



만약 1사람이 필요한 최저 열량이 2000kcal일 경우

10사람을 충족

③ 영양단계가 ↑ 따라 생물량이 줄어들기 때문에 먹이사슬은 무한정 이어질 수 없다.

∴ 보통 4~5개의 영양단계를 보임

V. 생산력

⇒ 식물체 내에서 태양에너지가 화학에너지로 전환되는 율, 정도

- 생태계의 생산력을 파악하기 위해서는

① 1차 총생산력(Gross Primary Productivity ⇒ GPP)

② 호흡량(Respiration ⇒ R)

③ 1차 순생산력(Net primary productivity ⇒ NPP)

이들의 관계

$$NPP = GPP - R$$

NPP : 식물에 저장되는 에너지

GPP : 고정된 화학에너지

R : 식물에 의해 소비되는 에너지

단위 : 일정시간 동안 단위면적당 고정되는 cal로 표시

- 생태계의 1차 총생산력(GPP)은 연간 생산되는 전체 생물량에 의해 결정되는데 이는 곧 생태계의 분포면적과 밀접한 관계를 지님

⇒ 즉, 해양, 목초지 & 열대우림 또는 아열대림에서의 생산력이 지구 전체의 생산량의 대부분을 차지

VI. 생물지화학환

- 생태계 내에서는 에너지의 흐름과 함께 영양염류의 순환이 관찰되어짐
즉, 물, C, N, P, O₂, S 등의 영양염류가 생물계와 비생물적 환경을 순환하게 됨 ⇒ 생물지화학환 (biogeochemical cycle) or 영양염류순환(nutrient cycle)
- 순환의 2단계, 즉 비생물권 vs 생물권
정상적인 기능은 두 단계의 밀접한 관계로 이루어짐
- 종류 ⇒ 크게 2가지, 주요 비생물권에서의 염류 저장고.
 - ① 기체형 순환
→ C, N
 - ② 침전형 순환
→ P
- 자연적으로 존재하는 92개 원소 중 40여 종류가 생물에 필요
→ 이중 C, H, O, N, S, P를 다량원소(macronutrients)
→ 철, 아연, 요오드 등과 같이 생물의 요구량이 적은 원소를 미량원소(micronutrients)라 함

A. 탄소순환

- 비교적 짧은 cycle 즉 순환시간이 빠르다(짧다)
- 해양에는 대기보다 50배 정도의 CO₂가 녹아 있고, 해양의 CO₂와 대기 중의 CO₂는 방출과 용해의 가역반응으로 상호보완적으로 완충기능을 보임
- 화석연료의 사용으로 대기 중 CO₂농도의 급격한 증가가 초래
→ 대부분 CO₂는 해양의 완충계와 늘어난 생물체 내에 저장되었을 것으로 추정

B. 질소순환

- 대기의 78%를 차지(N₂)
- 그러나 N₂그대로의 형태로는 생물체가 이용불가
- ∴ 박테리아의 역할을 통해 대기 중의 N₂를 식물체로 고정되거나, 아질산 or 질산염의 형태로 전환됨
(⇒ 미생물이 관여하는 부순환계(subsystem))

C. 인순환

- 침전형 순환
- P은 유전물질, ATP(에너지원), 고등척추동물의 뼈를 구성
- 인의 재순환은 100%에 못 미치는데 ∴ 수중생태계 내에서 불용성화합물의 형태로 퇴적되기 때문
∴ 해양에서 먹이를 먹고 육지로 이동하는 생물들(연어, 물개, 바닷새 etc)에 의해 육지로 회수됨

VI. 생태계의 평형

- 생태계는 인위적 or 자연적 교란을 통해 변화하고 또한 교란된 생태계는 시간이 지나면 원상태로 회복되기도 하는데 이러한 특성의 생태계의 안정성(stability)이라 함

A. 생태계의 안정성

- 안정된 생태계 : 그 구조와 기능이 오랜 기간에 걸쳐 다소 일정하게 유지되며 “동적평형상태”를 유지하는 생태계

‘동적평형상태’ → 내부적으로는 생태계 구성원들의 소규모적인 변화가 일어나지만 전체적으로는 큰 변화가 없는 상태

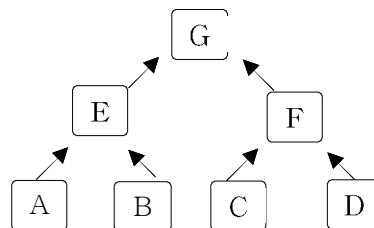
- 회복력(resilience) : 생태계의 안정성에 의해 교란된 생태계가 교란전의 상태로 복귀하는 능력
- 저항력(resistance) : 교란받지 않고 현재의 안정성을 유지하려는 경향 또는 능력

B. 종다양성과 생태계의 안정성

- 종다양성 : 생물종수와 각종의 개체수로 측정
일반적으로 극상군집에서 높게 나타남

• 종다양성과 생태계 안정성은 상호 긴밀한 관계를 갖고 있고 일반적으로 종 다양성이 ↑하면 안정성도 ↑, 즉 안정성이 높은 생태계의 구성 종은 매우 다양해지는 양상을 보인다.

- 7가지 생물군으로 형성된 가상적인 먹이그물에서의 안정성



C. 생태계 평형을 이루는 감소 및 증가요인

D. 종 다양성 유지 및 종 보존의 목적