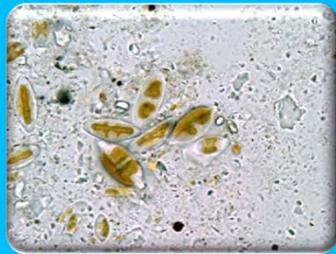


교과목명: 생물해양학 및 실험 2013년도 1학기

담당교수: 김 종성

해양생물학



3장 (2/2)



Laboratory of Marine Benthic Ecology

서울대학교 해양저서생태학연구실

3장



생태학의 기본개념들

1. 생태학
2. 생물의 다양성
3. 생태적 지위
4. 개체군
5. 군집
6. 에너지 흐름과 물질순환

3장 생태학의 기본개념들

4. 개체군



4.1 개체군 성장과 종내경쟁: 개체군의 크기

- 개념

- 생물 종은 생태적 지위를 차지, 자손 번식하며 증감 지속
- 이때 개체군은 생물적, 무생물적 환경의 지배를 받음
- 이들 관계를 이론적으로 수식으로 표현할 수 있음

- 개체군의 크기 변동을 수식으로 표현

- $N(\text{미래 개체군 크기}) = N(\text{현재 개체군 크기}) + B - D + I - E$

→ B: 출생 (+)

→ D: 사망 (-)

→ I: 전입 (+)

→ E: 전출 (-)

3장 생태학의 기본개념들

4. 개체군



4.1 개체군 성장과 종내경쟁: 개체군 변동모델

- 생물의 증식
 - 생물의 가장 큰 특성은 증식을 하는 것임
 - 조건이 좋다면 개체군은 끊임없이 증가할 것임
- 기하급수적 개체군 변동모델
 - 한 번의 번식기를 가지는 일년생 생물을 예로 살펴보자.
 - N_1 (다음세대 개체수) = N_0 (전세대 개체수) $\times R$
 - R : 생존하는 평균 자손 수 ($R=B(\text{출생})-D(\text{사망})$)
 - 해마다 R 이 일정하다면?
 - $N_T = N_0 \times R^T$ (이때 $R>1$ 경우 개체군은 기하급수적으로 증가)
 - $R=1$ 경우 개체군 변동 없음, $R<1$ 경우 개체군 감소

3장 생태학의 기본개념들

4. 개체군



4.1 개체군 성장과 종내경쟁: 개체군 변동모델

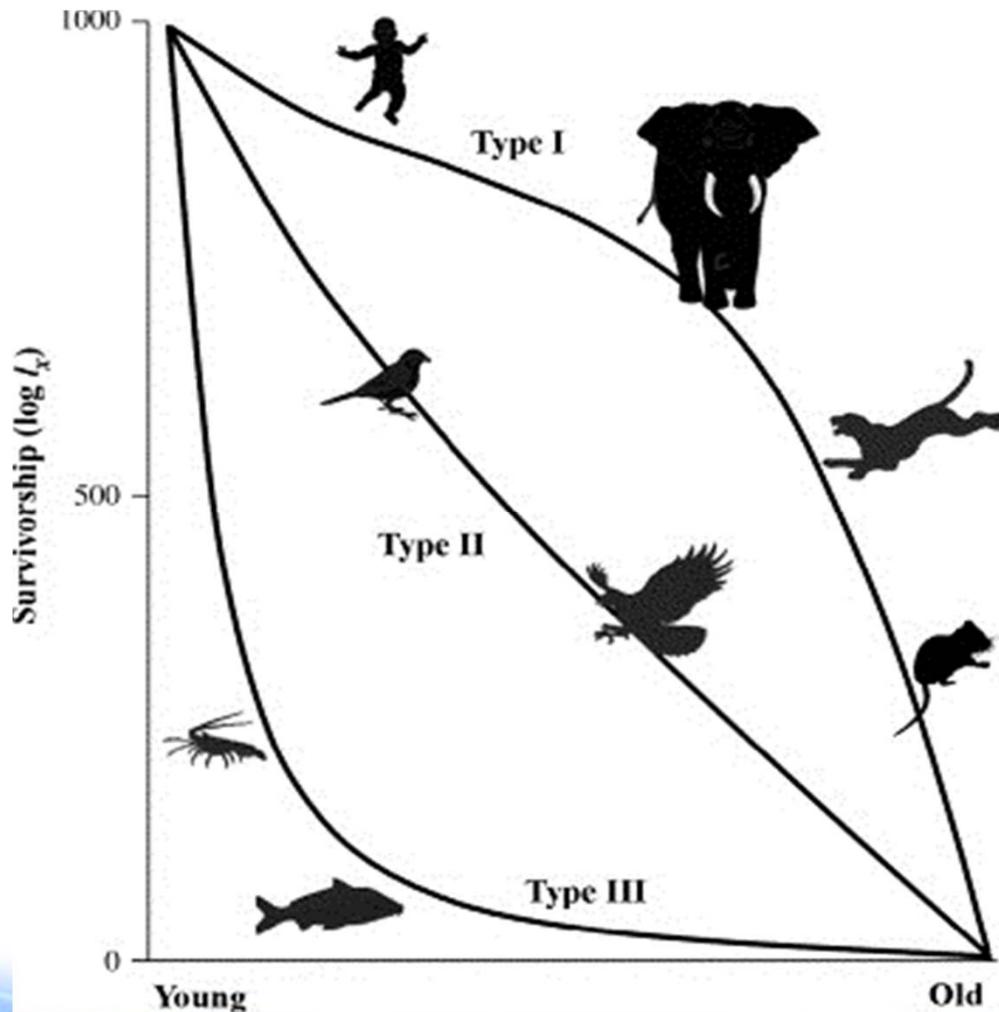
- 하지만, 기하급수적 개체군 변동모델은 실제로는 불가능
 - 생존 자손수 R 은 출생(B)과 사망(D) 외에도 다양한 조건에 의해 결정
 - 다년생 생물의 경우, 연령에 따른 구성비율이 달라짐
(e.g., 연령별로 R 값이 다름, 따라서 R 은 일정할 수가 없음)
- 기하급수적 개체군 변동모델
 - 이산적 모형 (세대별로 불연속적으로 표시된 개체군의 크기변동)
: $N_T = N_0 \times R^T$
 - 연속적 모형 (미분의 형태로 표시된 연속적 개체군의 크기변동)
: $\frac{dN}{dt} = rN$, $N = N_0 \times e^{rt}$ (t=시간, r=개체군 성장률)

3장 생태학의 기본개념들

4. 개체군



4.1 개체군 성장과 종내경쟁: 생잔율 곡선



- Pearl (1928)의 생잔율 곡선

- 유형1: 최대수명까지 적은사망률
- 유형2: 일정한 비율로 감소
- 유형3: 초기에만 큰 사망률
 - 해양생물은 유형3이 많음
 - 식물도 유형3에 해당
 - 많은 수를 번식하는 것이 특징
 - r/K 선택 이론과 관련

3장 생태학의 기본개념들

4. 개체군



4.1 개체군 성장과 종내경쟁: 환경용량이란? 경쟁은?

- **환경용량(carrying capacity)**
 - 특정 서식처가 지탱할 수 있는 최대 개체의 수로 정의
 - 먹이의 양, 물, 영양염, 공간 등이 제한요인이 됨
 - 각 종마다 환경용량이 다름 (e.g., 송어의 경우 대략 1개체/m²)
- **경쟁(competition)**
 - 생물은 모두 번식의 욕구가 있으나, 자원은 한정됨 → 경쟁 발생
 - 동일 개체군의 다른 개체나 다른 종에 속하는 개체와 경쟁
 - 착취경쟁 (exploitation competition) :
 - 자원을 소비하여 다른 개체에 간접적으로 영향을 미치는 경쟁 방식
 - 간섭경쟁 (interference competition) :
 - 직접적으로 다른 개체를 공간에서 몰아내는 경쟁 방식

3장 생태학의 기본개념들

4. 개체군



4.1 개체군 성장과 종내경쟁: 환경용량과 경쟁 고려?

- 환경용량과 경쟁이 적용된 개체군 변동모델

- 밀도가 높아지면 경쟁이 치열해짐
- 출생률(b) 감소, 사망률(d) 증가 \rightarrow 개체군 성장률 $r (= b-d)$ 감소
- r 값이 특정 값에서 안정화 될 때, 개체군의 크기가 환경용량에 접근했다고 해석 가능

$$: \frac{dN}{dt} = r_{max} \left(\frac{K-N}{K} \right) N, \quad K = \text{환경용량}$$

- r 대신 $r_{max} \left(\frac{K-N}{K} \right)$ 사용, N 이 K 에 근접할 때 성장률 0에 근접함 의미
- 이 모델은 개체군 밀도가 충분히 클 때, 잘 들어맞음

3장 생태학의 기본개념들

4. 개체군



4.1 개체군 성장과 종내경쟁: 개체군 성장과 밀도

- 개체군 밀도가 충분히 큰 경우
 - 개체군 내 경쟁이 발생하여 개체군 성장을 저해
 - 밀도종속(density dependence)
- 개체군 밀도가 크지 않은 경우
 - 밀도 이외의 요인이 개체군 성장을 저해
 - 밀도독립(density independence)
e.g., 생물간 상호작용 (포식자의 포식활동 등),
e.g., 자연재해 (폭우, 쓰나미 등)

3장 생태학의 기본개념들

4. 개체군



4.2 종간경쟁과 공존, 피식-포식: 생물간 상호작용도 고려?

- 생물간의 상호작용

- 경쟁 (-,- / 상호간에 개체군이 감소)

- 포식과 기생 (+,- / 기생 및 포식자는 개체군 증가하고 피식자는 감소)

- : 포식 - 피식자의 즉각적 사망을 야기

- : 기생 - 지속적으로 피식자의 사망률을 높이고 생존율을 낮춤

- 공생 (symbiosis)

- : 상리공생 (+,+ / 상호간에 이득을 주어 양쪽 모두 개체군 증가)

- e.g., 집게와 말미잘, 흰동가리와 말미잘, 망둥어와 새우*

- : 편리공생 (0,+ / 한쪽은 아무런 영향 없고 다른 쪽 생물만 개체군 증가)

- e.g., 고래 피부에 붙어사는 따개비, 불가사리 내장 안 기생물고기*

3장 생태학의 기본개념들

4. 개체군



4.2 종간경쟁과 공존, 피식-포식: 경쟁적 배타

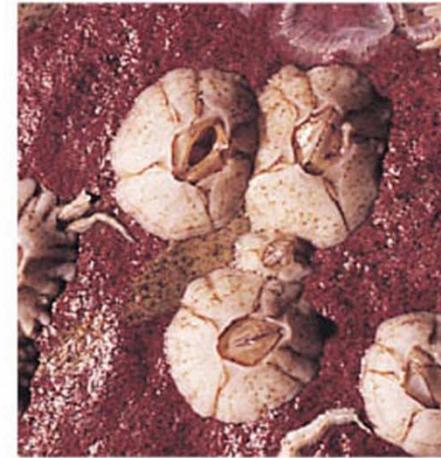
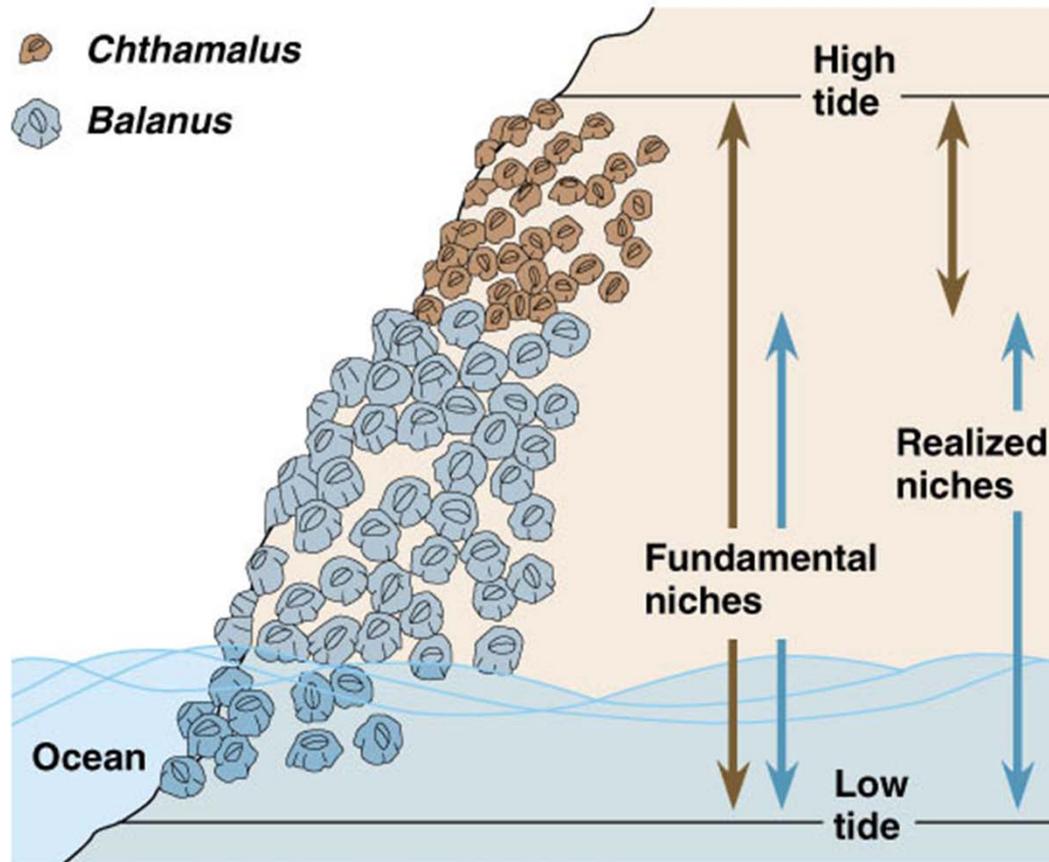
- **경쟁적 배타의 원리 (competitive exclusion)**
 - 두 종의 생태학적 지위가 같을 때 공존하기가 어려움
 - 두 종이 공존한다면, 지위의 분화가 일어났기 때문이라는 것
- **경쟁적 배타의 원리가 적용되지 않는 환경**
 - 불안정하여 평형에 이르지 않는 경우, 개체군 크기가 변동하는 경우
e.g., 플랑크톤의 역설, 영양염을 놓고 경쟁하지만 많은 종의 플랑크톤이 공존
 - 경쟁이 일어나지 않는 경우
e.g., 포식/기생/자연재해 등으로 경쟁자의 밀도가 항상 낮아 자원제한이 없음
 - 변동이 계속되어 경쟁효과의 방향이 바뀌는 경우

3장 생태학의 기본개념들

4. 개체군



4.2 종간경쟁과 공존, 피식-포식: 경쟁적 배타, 대상분포?



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

3장 생태학의 기본개념들

4. 개체군



4.2 종간경쟁과 공존, 피식-포식: 피식자-포식자 관계

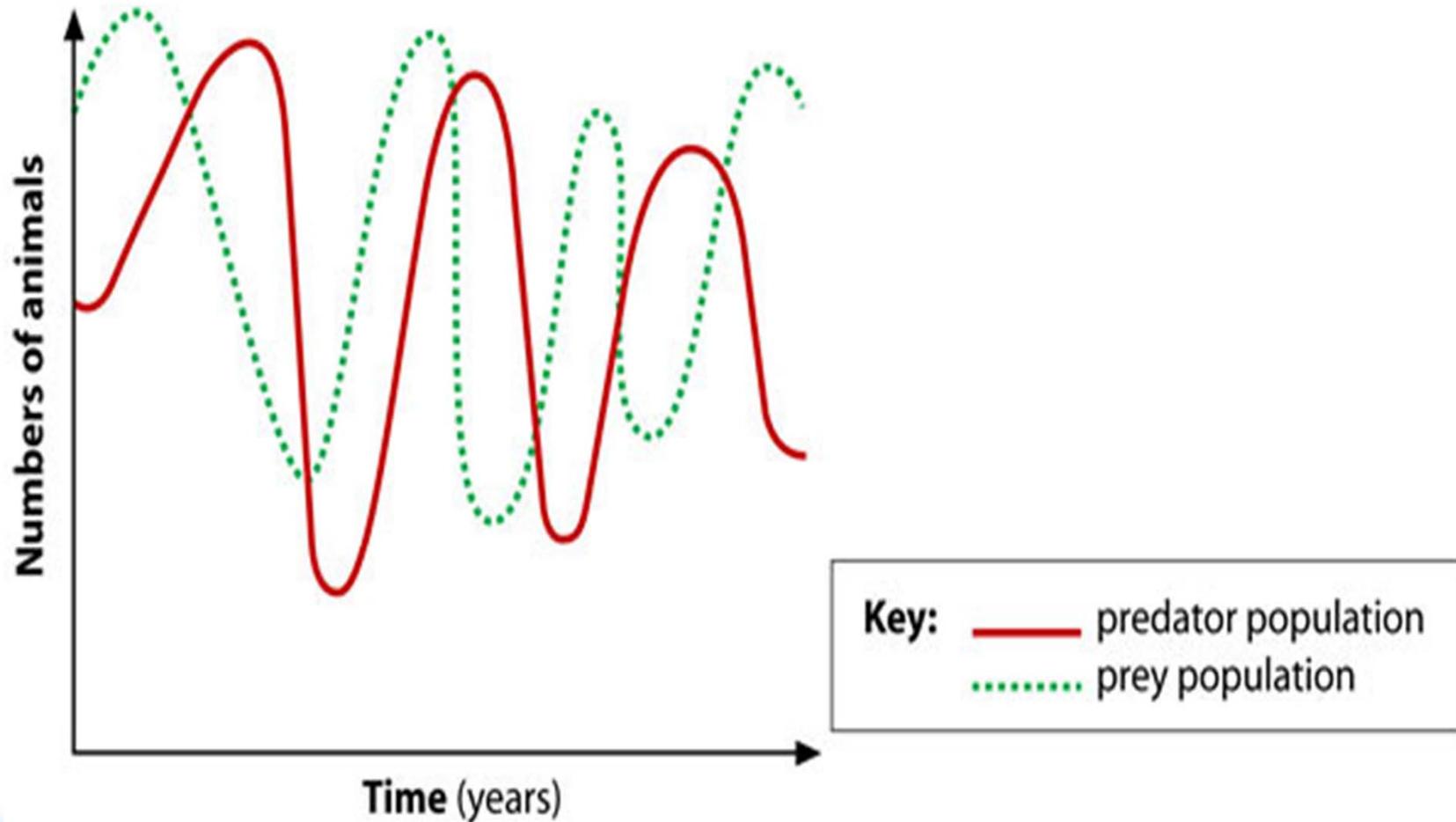
- **피식자(*prey*) – 포식자(*predator*)의 관계**
 - 포식자가 피식자에 의존하는 관계
 - 일반적인 자연환경에서, 피식자의 *niche*가 보존될 경우만 포식자와 피식자의 공존이 가능함
 - 이론적으로는, 포식자는 피식자가 사라질 때까지 포식
 - 실제로는, 포식자가 피식자를 만날 확률이 포식자와 피식자의 밀도에 의해 결정됨

3장 생태학의 기본개념들

4. 개체군



4.2 종간경쟁과 공존, 피식-포식: 예, 시간에 따른 배타



3장 생태학의 기본개념들

4. 개체군



4.3 생활사적 생존전략: 대립형질?

- 생존전략

- 생물은 살아남기 위해 전략이 필요, 개체의 생존/번식이 최대 관심
- 개체 크기를 크게 하려면 생식시기를 늦추어야 함
- 생식시기를 앞당기려면 작은 개체 크기를 감수해야 함
- 결국 생존과 번식의 대립형질이 존재하게 됨

- 대립형질의 절충?

- 환경은 계속 변화하고, 모든 형질은 환경에 장/단점을 가짐

e.g., 개체의 크기가 큰 경우

: 환경변화에 덜 민감해져 생존률을 높일 수 있으나,

: 포식자에게 감지되기 쉬운 단점이 있음

3장 생태학의 기본개념들

4. 개체군



4.3 생활사적 생존전략: r -선택

- 대표적인 생존전략: r -선택

- r -선택 (많이 낳아서 일단 많이 살리고 보자?)

- 빠르게 자라서, 엄청난 양의 자손을 낳고 생활사를 마칩

- : 생활사 초기 사망률이 높음

- 한 세대가 짧으므로, r 을 크게 하는 방향으로 자연선택이 일어남

- : 높은 r 의 값을 가져, 기하급수적인 개체군 성장을 할 수 있음

- : 개체군 크기가 환경수용력에 못 미치고, 불안정한 서식환경에 적합

- 기회주의 종이 많음, 특성은...

- : 작은 개체 크기, 이른 성적 성숙, 일회번식, 작고 많은 자손 등

- : 특히 최적 환경이 되었을 때, 개체가 폭발적으로 불어남 (e.g., 적조종)

3장 생태학의 기본개념들

4. 개체군



4.3 생활사적 생존전략: K-선택

- **대표적인 생존전략: K-선택**
 - K-선택 (조금 낡더라도 제대로 키우자!)
 - 성장이 느리고 오래 걸림, 소수의 큰 자손을 적게, 반복적으로 생산
 - : 자손의 최대 생존을 위해 양육을 하는 경우도 있음
 - K-선택환경에서는 경쟁력이 강한 개체가 선택됨
 - : 개체 크기를 크게 해야 하고 생식 시기를 늦추어야 함
 - : 개체군 크기가 환경수용력에서 안정된 경우 유리한 전략
- **r-K 전략**
 - 실제 환경에서는 r/K-선택의 단순한 이분법을 따르지는 않음

3장 생태학의 기본개념들

4. 개체군



4.3 생활사적 생존전략: 비교

Some of the Correlates of *r*- and *K*-Selection

	<i>r</i> -selection	<i>K</i> -selection
Climate	Variable and unpredictable; uncertain	Fairly constant or predictable; more certain
Mortality	Often catastrophic, nondirected, density independent	More directed, density dependent
Survivorship	Often Type III	Usually Types I and II
Population size	Variable in time, nonequilibrium; usually well below carrying capacity of environment; unsaturated communities or portions thereof; ecologic vacuums; recolonization each year	Fairly constant in time, equilibrium; at or near carrying capacity of the environment; saturated communities; no recolonization necessary
Intra- and interspecific competition	Variable, often lax	Usually keen
Selection favors	<ol style="list-style-type: none">1. Rapid development2. High maximal rate of increase, r_{max}3. Early reproduction4. Small body size5. Single reproduction6. Many small offspring	<ol style="list-style-type: none">1. Slower development2. Greater competitive ability3. Delayed reproduction4. Larger body size5. Repeated reproduction6. Fewer, larger progeny
Length of life	Short, usually less than a year	Longer, usually more than a year
Leads to	Productivity	Efficiency
Stage in succession	Early	Late, climax

3장 생태학의 기본개념들

5. 군집



5 군집: 정의

- 군집
 - 정의 : 어떤 지역에 살고 있는 여러 종류의 개체군의 집합
 - 범위 : 관찰자가 임의로 정한 지역 or 실제 지리적 격리된 특정 지역
- 군집의 구성원
 - 생태학적 우점종(ecological dominants)
 - : 군집 내에서 양적으로 가장 풍부한 종을 지칭함
 - 핵심종(keystone species)
 - : 군집의 구조나 기능을 조절하는 역할을 하는 종을 지칭함
 - e.g., 불가사리 - 다양한 저서생물을 가리지 않고 섭식하여 다양한 종조성이 유지되도록 조절*

3장 생태학의 기본개념들

5. 군집



5 군집: 종 풍부도

- 군집을 이루고 있는 종의 다양성
 - 종풍부도(species richness)
 - : 한 지역의 전체 종의 수 또는 생체수(개체수)에 대한 종수의 비율
 - : 종이 다양하다면 종풍부도는 높음
 - : 각각 종들의 개체수에 대한 상대적인 불균등성은 대변하지 못함
 - 상대적 풍부도
 - : 군집을 이루는 각 종의 비율
 - : 각각 종들이 상대적인 불균등성을 알 수 있음
 - 척도로는 심프슨 지수, 새논 지수 등이 있음

3장 생태학의 기본개념들

5. 군집



5 군집: 심프슨 지수

- 심프슨 지수(Simpson index)

- $D = \sum \left(\frac{n_i}{N}\right)^2$, N은 총 개체수 n_i 는 각종의 개체수

- D는 0~1.0까지의 값을 가질 수 있음

- D가 높을 수록 군집의 종조성이 불균등함을 의미

e.g., 총 100개체가 존재하는 군집이 50개체/50개체의 두 종으로 구성되었다면?

$$: D = \left(\frac{50}{100}\right)^2 + \left(\frac{50}{100}\right)^2 = 0.5$$

e.g., 총 100개체가 존재하는 군집이 1개체/99개체의 두 종으로 구성되었다면?

$$: D = \left(\frac{1}{100}\right)^2 + \left(\frac{99}{100}\right)^2 = 0.9802$$

예시 2의 경우가 종조성이 불균등하고 우점하는 종이 있음을 알 수 있음

3장 생태학의 기본개념들

5. 군집



5 군집: 새논 지수

- 새논 지수(Shannon index)

- $H = - \sum \left(\frac{n_i}{N} \right) \log \left(\frac{n_i}{N} \right)$, N은 총 개체수 n_i 는 각종의 개체수

- 더 다양한 종이 균등하게 군집을 구성할 때, H값은 증가함

e.g., 총 100개체가 존재하는 군집에 네 종이 각각 25개체로 구성되었다면?

$$: H = - \left[\frac{25}{100} \log \left(\frac{25}{100} \right) + \frac{25}{100} \log \left(\frac{25}{100} \right) + \frac{25}{100} \log \left(\frac{25}{100} \right) + \frac{25}{100} \log \left(\frac{25}{100} \right) \right] = 2.4084$$

e.g., 총 100개체가 존재하는 군집이 1개체/99개체의 두 종으로 구성되었다면?

$$: H = - \left[\frac{1}{100} \log \left(\frac{1}{100} \right) + \frac{99}{100} \log \left(\frac{99}{100} \right) \right] = 0.0243$$

예시 1의 경우가 더 다양한 종이 균등하게 군집을 이루는 것을 알 수 있음

3장 생태학의 기본개념들

6. 에너지 흐름과 물질순환



6.1 먹이망: 에너지 흐름

- 생태계의 에너지 흐름

- 모든 생명현상의 에너지의 근원은 태양임
- 해수면까지 도달하는 태양복사에너지는 약 $0.5 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$
- 이중에 약 0.8% 정도가 광합성을 통해 생물계로 들어감
(절반 정도는 해양)

- 생물의 에너지 섭취방식

- 자가영양자(**autotroph**): 스스로 영양분을 만들어 섭취함
- 타가영양자(**heterotroph**): 다른 생물을 섭취하여 영양을 얻음
- 부식영양자(**saprotroph**): 유기물을 섭취하여 영양을 얻음, 박테리아, 곰팡이

3장 생태학의 기본개념들

6. 에너지 흐름과 물질순환



6.1 먹이망: 에너지 흐름

- 에너지 흐름의 단계에 따른 분류
 - 생산자(producer)
 - : 에너지를 합성할 수 있는 생물
 - 소비자(consumer)
 - : 생산자를 섭식하여 에너지를 얻음
 - 분해자(decomposer)
 - : 다른 생물로 부터 나온 유기물을 섭식하여 에너지를 얻음
 - : 분해자는 유기물을 무기영양물질로 분해하여 생산자의 에너지 합성의 재료를 제공

3장 생태학의 기본개념들

6. 에너지 흐름과 물질순환



6.1 먹이망: 생산력

- 생물학적 생산력
 - 정의
 - : 단위면적당 만들어지는 생체량 (광합성, 성장 등을 모두 포함)
 - 단위
 - : 에너지 단위 ($\text{cal}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$), 무게 단위 ($\text{gC}/\text{m}^2 \cdot \text{year}$)
 - 일차생산력(primary productivity)
 - : 광합성생물의 광합성에 의한 생산력
 - 이차생산력(secondary productivity)
 - : 동물의 생체량 증가에 의한 생산력

3장 생태학의 기본개념들

6. 에너지 흐름과 물질순환



6.1 먹이망: 물질순환과 에너지 흐름

- 먹이망(food web)
 - 실제로 먹고 먹히는 관계를 연결한 것
- 먹이망에서 물질순환과 에너지 흐름
 - 먹이망에서 물질은 순환함
 - 에너지는 순환할 수 없음
 - : 열역학 제 2법칙에 따라, 에너지가 전환될 때는 반드시 열이 발생
 - : 태양에너지가 광합성에 의해 화학에너지로 전환될 때, 먹이망을 통해서 먹고 먹히는 과정 속에서 에너지의 많은 부분이 열로 소실
 - 따라서, 에너지는 계속해서 외부에서 공급되어야 함
 - 에너지가 순환하기 위해서는 탄소, 질소, 인 같은 물질이 필요

3장 생태학의 기본개념들

6. 에너지 흐름과 물질순환



6.2 에너지 전달 효율: 생산

- 일차생산자의 생산성
 - 총일차생산력(gross primary production)
= 호흡량 + 생체량 생산
 - 순일차생산력(net primary production)
= 총일차생산력 - 호흡량 = 생체량 생산

3장 생태학의 기본개념들

6. 에너지 흐름과 물질순환



6.2 에너지 전달 효율: 소비

- 이차 이상의 영양단계에서의 에너지 전달 효율

- 소비효율(consumption efficiency)

: 전단계 생산자의 생산량에 대한 다음단계 포식자가 취한 에너지의 비

$$= \text{소비효율 (CE)} = \frac{I_n}{P_{n-1}}$$

- n: 영양단계 위치
- P: 생산된 에너지
- I: 섭취한 에너지 총량

3장 생태학의 기본개념들

6. 에너지 흐름과 물질순환



6.2 에너지 전달 효율: 동화

- 이차 이상의 영양단계에서의 에너지 전달 효율

- 동화효율(assimilation efficiency)

: 포식자가 섭취한 에너지 양 중에 실제로 소화된 양의 비율

$$= \text{동화효율 (AE)} = \frac{A_n}{I_n'}$$

- n: 영양단계 위치
- I: 섭취한 에너지 총량
- A: 소화된 양

3장 생태학의 기본개념들

6. 에너지 흐름과 물질순환



6.2 에너지 전달 효율: 생산

- 이차 이상의 영양단계에서의 에너지 전달 효율
 - 생산효율(production efficiency)
: 소화되어 동화된 양 중에 성장에 사용된 에너지의 비율
 - 생산효율(PE) = $\frac{P_n}{A_n} = \frac{P_n}{P_n + R_n}$
 - n: 영양단계 위치
 - A: 동화된 에너지 양
 - P: 생산된 에너지에너지 총량
 - R: 호흡에 사용된 에너지

3장 생태학의 기본개념들

6. 에너지 흐름과 물질순환



6.2 에너지 전달 효율: 생태학적 효율

- 이차 이상의 영양단계에서의 에너지 전달 효율

- 생태학적 효율(ecological efficiency)

- : 전단계의 생물이 실제로 동화시킨 양에 대한 다음단계 생물의 동화량 비율

- = 생태학적 효율 (EE) = $\frac{A_n}{A_{n-1}}$

- n: 영양단계 위치

- A: 소화된 양

- 일반적으로, 다음단계로 넘어갈 때 에너지 효율은 15~20% 정도

3장 생태학의 기본개념들

6. 에너지 흐름과 물질순환



6.3 물질순환: 개요

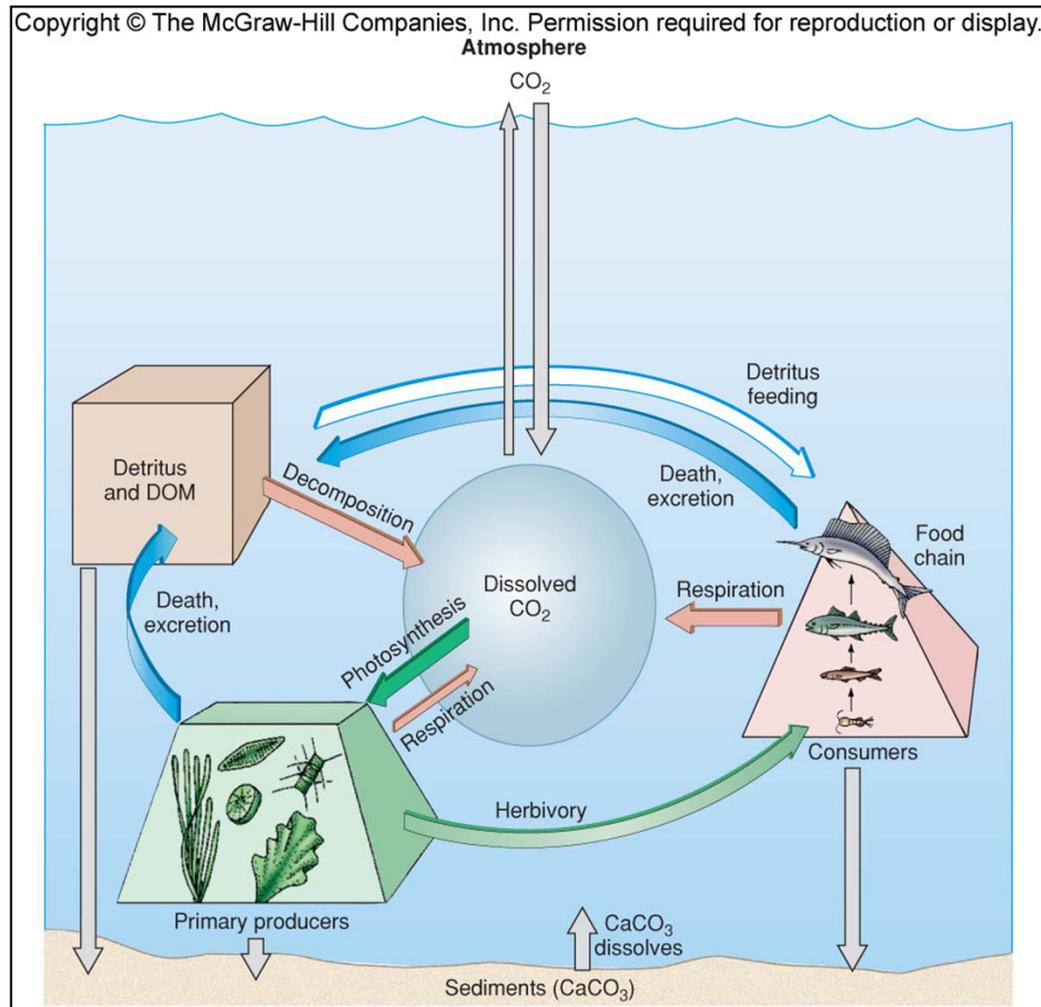
- 에너지는 흐르지만, 물질은 순환한다
- 생물체에게 중요한 물질은 탄소, 산소, 수소, 질소, 인, 황 등
 - 탄소
 - : 해양에서 다양한 이온의 형태로 존재
 - : 식물의 광합성에 의해 유기물로 만들어져 먹이망을 순환
 - 질소
 - : 대기에 매우 풍부하나,
 - : 질소분자는 강력한 결합으로 직접사용하기에는 어려움,
 - : 질소고정 박테리아에 의해 질산염의 형태로 먹이망으로 들어감

3장 생태학의 기본개념들

6. 에너지 흐름과 물질순환



6.3 물질순환: 탄소의 순환

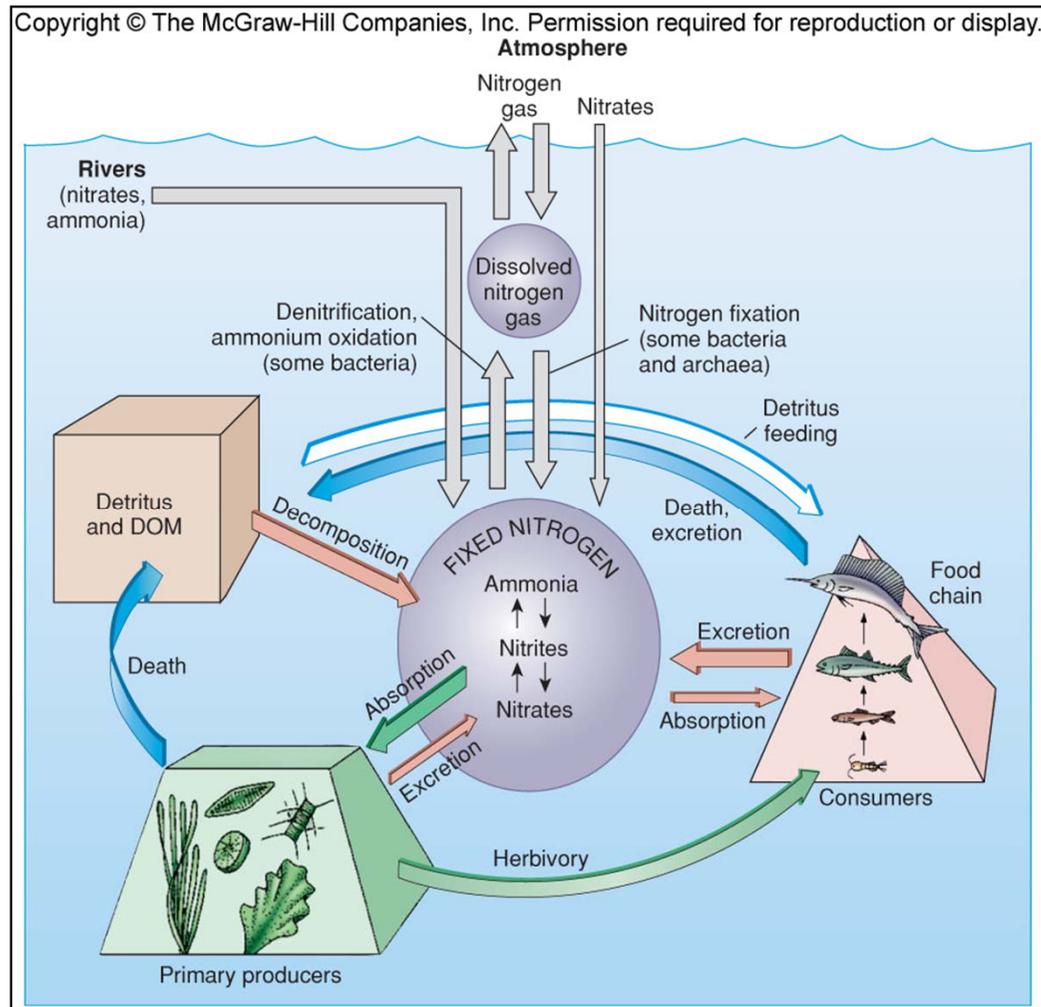


3장 생태학의 기본개념들

6. 에너지 흐름과 물질순환



6.3 물질순환: 질소의 순환

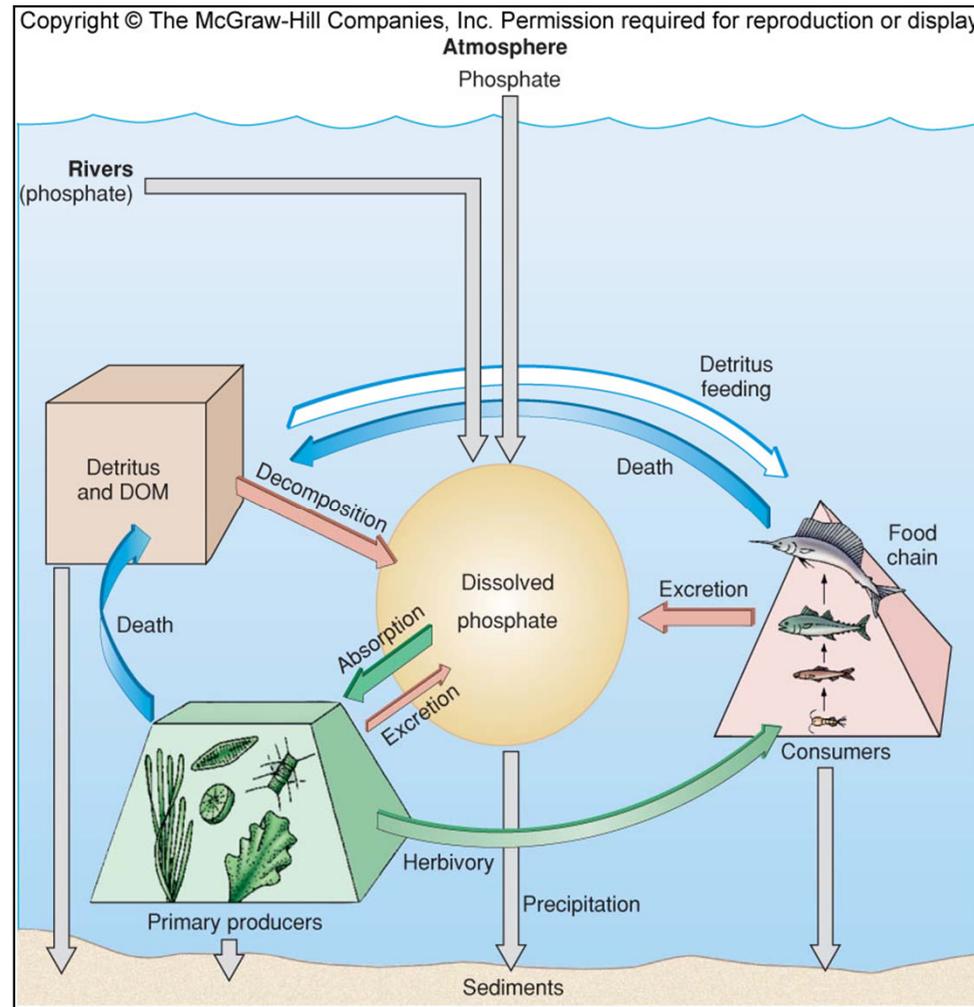


3장 생태학의 기본개념들

6. 에너지 흐름과 물질순환



6.3 물질순환: 인의 순환



요약



생태학의 기본 개념들

1. 개체군의 크기 변동을 수식으로 표현-개체군 변동모델 소개
2. 환경용량과 경쟁, 이에 따른 생물간의 상호작용, 경쟁배타 원리
3. 생존전략, r-선택, K-선택, 비교해서 이해하자
4. 군집의 다양성, 풍부도, 다양성 지수에 대한 소개 및 계산
5. 에너지 흐름과 물질의 순환에 대한 이해
6. 에너지 전달 효율, 소비/동화/생산/생태학적 효율

숙제

HOMEWORK
SUCKS

용어정리 & 그림작성 (with >5 terms)

1. 슬라이드(그림 포함)에 제시된 용어 30개 이상을 정리
2. 선택한 용어 중 5개 이상을 이용하여 창의적인 그림 작성

4장

SEE YOU

Next Week!

부유생물

1. 부유생물의 구분
2. 채집과 동정, 계수
3. 종류
4. 부유방법
5. 부유식물의 일차생산