

생물다양성

03. 생태계



Environment

I 생태계의 정의

우리 주변에서 생태계 파괴나 생태계를 지키자 라는 말은 많이 하지만 길가는 사람에게 생태계가 무엇인지 질문한다면 자신 있게 설명할 수 있는 사람은 별로 많지 않을 것이다. 생태계라는 용어는 생태계 생태학에 지대한 공헌을 한 오덤(E.P. Odum)에 의해 1960년대 이후로 널리 쓰여 지고 있는 말이다. 생물이 포함된 자연을 하나의 열린 시스템으로 보고 생물뿐만 아니라 에너지와 물질까지도 포함하는 개념이다. 따라서 어떤 지역의 생태계라 할 때 그 지역에서 살고 있는 여러 생물들과 함께 돌고 도는 에너지와 물질까지 모두 가리킨다. 그럼에도 불구하고 어떤 생태계에서 가장 핵심적인 부분은 생산자와 소비자 및 분해자와 같은 생물들이며 이러한 생물들에 의해 대부분의 에너지와 물질이 순환하고 흐르게 된다. 따라서 생태계가 하는 일(생태계의 기능)은 대부분 생물들에 의해 이루어진다. 생태계를 정의한다면 “에너지 흐름과 물질 순환 속에서 생물 군집이 비생물적인 환경과 상호작용하는 총체적인 시스템”이라 할 수 있다. 생태계가 하는 일인 에너지 흐름과 물질 순환을 일으키는 궁극적인 에너지원은 태양이다. 따라서 생물요소인 생산자, 소비자, 분해자, 생태계 내의 기능인 에너지 흐름과 물질 순환, 그리고 생태계를 움직이는 에너지원 이렇게 6가지가 생태계를 이루고 있는 구성 요인이라 할 수 있다.

II 생태계의 기능: 에너지 흐름

1. 1차생산성

생태계의 에너지 흐름에서 가장 중요한 것 중의 하나는 1차생산성이 다. 식물 등 광합성생물들인 생산자가 주어진 시간 안에 광합성을 통해 생산해 내는 물질의 양을 1차생산성이라 정의한다. 보통 식물 스스로 호흡을 통해 유지하는데 필요한 양은 물질의 증가로 나타나지 않기 때문에 순 물질의 증가량을 순1차생산성이라고 한다. 이러한 생산성 개념은 우리 눈에 보이는 현재 물질의 양인 생물량 또는 현존량과는 다른 개념으로 얼마나 물질을 주어진 시간(보통 1일 또는 1년) 동안 물질을 생산하는 속도로 볼 수 있다. 1차생산성은 일정기간 동안 특정 생태계 내에 유입되는 태양에너지의 양이며 따라서 생태계 내의 에너지 흐름과 이에 따른 물질 순환 등 생태계의 기능의 상한(upper limit)을 결정하므로 매우 중요하다. 물이 부족한 사막 생태계의 1차생산성이 매우 낮는데 이런 낮은 1차생산성은 그 생태계의 먹이그물에 존재하는 생물들의 생산성이나 생물량이 매우 낮고 에너지 흐름이나 물질 순환이 빈약하다는 것을 알려준다. 1차생산성이 높을 때에는 생태계 내의 먹이그물을 통한 에너지 흐름이 많을 수도 있고 적을 수도 있다. 이런 상위 영양단계로의 에너지 흐름은 에너지 전달 효율에 따라 달라진다.

1차생산성이 매우 중요한 변수이므로 1차생산성이 어떤 요인에 따라 결정되는 지 많이 연구되

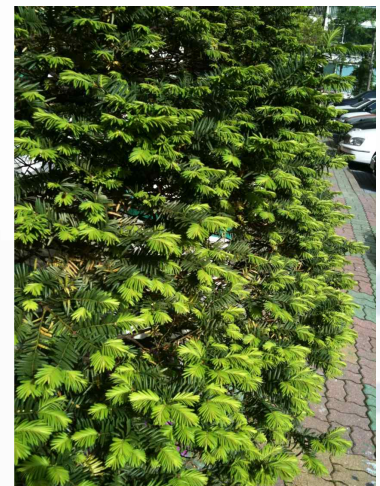


그림 1. 주목에서 올해 새로 나온 잎의 무게를 모두 모으면 특정 기간 동안 새로 생산한 물질의 양인 생산성을 추정할 수 있다.

어 왔다. 1차생산성은 결국 광합성을 통해 태양에너지를 화학에너지로 전환하는 것이므로 광합성에 영향을 주는 요인이 바로 1차생산성에 영향을 주는 요인이 된다. 식물의 광합성은 빛의 세기, 온도, 수분, 영양소에 따라 속도가 결정되는데 육상식물의 1차생산성에 중요한 요인은 태양에너지와 수분이다. 위도가 적도로 갈수록 식물이 이용할 수 있는 태양에너지는 많아지므로 비가 많이 오는 열대우림의 1차생산성은 지구에서 가장 높은 수준이다(표 1). 또한 수분이 부족하지 않고 갈대와 같이 빛이 바닥까지 많이 가는 습지생태계 또한 1차생산성이 높다. 영양소가 부족한 원양은 수분이 부족한 사막과 함께 지구상에서 1차생산성이 가장 낮은 생태계이다.

표 1. 각 생태계 종류에 따른 식물의 현존량과 순1차생산성

생태계	순1차생산성 (g/m ² /yr)	평균 현존량 (kg/m ²)
대륙		
열대우림	2000	44.00
온대 낙엽수림	1200	30.00
냉대림	800	20.00
사바나	700	4.00
농경지	644	1.10
온대초지	500	1.60
툰드라와 고산초원	144	0.67
사막	71	0.67
습지	2500	15.00
호수와 하천	500	0.02
해양		
조류밭과 산호초	2000	2.00
하구	1800	1.00
대륙붕	360	0.01
원양	127	0.03

2. 2차생산성과 에너지전이효율

1차생산자가 생산한 물질은 먹이그물로 연결된 동물 소비자가 이용하여 동물의 몸을 이루는 물질을 생산한다. 이러한 소비자 단계의 물질생산 속도를 2차생산성이라고 한다. 생산자의 1차생산성과 소비자의 2차생산성을 영양단계에 따라 표시하면 상위영양단계로 가면서 생산성이 줄어드는 에너지 피라미드 형태를 보인다. 생산성이 줄어드는 비율은 매우 커서 평균적으로 약 10% 정도가 다음 단계의 생산성이 된다. 이러한 각 단계의 생산성의 비율을 에너지전이효율이라고 한다. 에너지전이효율은 5%~25% 정도로 생태계와 계절에 따라 달라진다. 특히 생산자와 1차소비자인 초식자 사이 단계의 에너지전이효율은 매우 변이가 심하여 생태계 내의 에너지 흐름을 좌우하는 경우가 많다.

3. 두 에너지 경로

생산자에서 1차소비자인 초식자, 초식자에서 2차 3차소비자인 육식자로 이어지는 먹이사슬은 널리 알려져있다. 이 먹이사슬을 초식자 먹이사슬(grazing food chain)이라고 한다. 생태계에는 이 초식자 먹이사슬 이외에 또 다른 에너지 경로가 존재하는데 이를 유기물잔해 먹이사슬이라고

한다. 숲생태계에서 생산된 유기물 중 아주 작은 부분만 1차소비자인 초식동물에게 이용되고 나머지는 모두 유기물잔해(detritus)가 된다. 이 유기물잔해를 이용하는 토양미생물 및 토양소동물들이 유기물을 분해하고 이들 생물로부터 시작하는 먹이사슬이 형성되는데 이를 유기물잔해 먹이사슬(detritus food chain)이라고 한다. 사실 초식자 먹이사슬과 유기물잔해 먹이사슬은 밀접하게 연관되어 있으며 초식자 먹이사슬로 에너지가 많이 흐르지 못하면 대부분의 1차생산성은 유기물잔해 먹이사슬로 흐르게 된다. 반대로 초식자 먹이사슬로 에너지가 많이 전달되면 유기물잔해 먹이사슬로는 상대적으로 에너지가 적게 흐르게 된다.

III 생태계의 기능: 물질 순환

생태계에서 생물과 비생물요인은 동등하게 다루어진다. 생물은 죽으면 유기물이 되고 유기물이 분해되면 무기물이 되고 이를 생산자가 다시 이용함으로써 한 자연 생태계 내의 대부분의 물질은 그 내부에서 순환하게 된다. 유기물에 가장 큰 비중을 차지하고 있는 원소는 탄소로 생물 건조중량의 약 40-50%를 차지한다. 태양에너지를 이용해 무기물인 이산화탄소를 탄수화물로 전환하는 것이 광합성이라면 태양에너지는 유기물로 전환되고 이 중 가장 많은 부분을 차지하는 탄소의 양은 물질의 양 중 에너지의 양을 표시하는 변수로 많이 쓰인다. 생물의 몸체 안에는 탄소와, 물을 이루는 수소와 산소뿐만 아니라 질소나 인과 같은 식물의 영양소도 존재한다. 질소와 인의 순환은 따라서 영양소 순환으로도 불린다. 생산자의 광합성을 위한 영양소인 질소와 인 등은 생태계 내부에서 분해 과정을 통해 식물에 다시 이용되어 재순환된다. 식물이 정상적인 생장에 필요한 비율로 영양소를 흡수하지 못하고 어느 하나가 부족한 경우 그 영양소를 식물의 생장을 제한하는 영양소라는 의미로 제한 영양소(limiting nutrient)라고 한다. 육상생태계의 경우 보통 질소가 민물의 경우 보통 인이 제한 영양소가 된다. 농경지에서는 부족한 질소를 비료를 통해서 인위적으로 공급하여 수확량을 높인다. 이러한 과잉의 비료는 하천을 통해 저수지로 들어가 인을 상대적으로 부족하게 만드는데 홍수 때 흙탕물이나 도시에서 세제로 흘러들어오는 인은 남세균 녹조를 일으킨다.

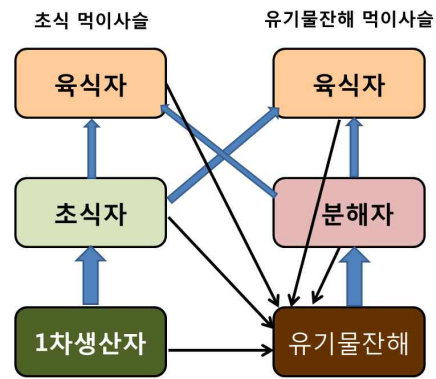


그림 2. 생태계 내 두 에너지 경로인 초식 먹이사슬과 유기물잔해 먹이사슬

IV 생태계의 기능과 안정성

생물다양성이 높은 생태계에서 생태계의 전체 기능을 알려주는 특성으로 알려진 일차생산성, 호흡, 에너지 흐름 등이 생물다양성이 낮은 생태계보다 더 안정한지에 대한 연구는 몇 십 년 동안 생태학자들의 관심을 받아온 주제였다. 이를 생태계의 복잡성과 안정성의 문제라고 보통

부른다. 생태계가 안정하다는 것은 태풍이나 가뭄과 같은 교란이 외부에서 왔을 때 생태계의 기능을 잘 잃지 않고 또 기능을 많이 잃었더라도 빨리 회복하는 것을 말한다. 만약 종다양성이 높은 생태계가 종다양성이 낮은 생태계보다 더 안정하다면 생물다양성을 보존해야지만 생태계가 붕괴되지 않고 그 기능을 유지할 수 있기 때문에 인류의 생존에도 매우 중요한 이슈가 된다.

수많은 실험과 연구 결과를 바탕으로 현재에는 생물다양성이 생태계 기능의 유지 즉 안정성에 중요한 기여를 한다는 것이 널리 받아들여지고 있다.

그러면 생물다양성은 어떻게 생태계의 안전성에 기여할까? 윌슨(E.O Wilson)에 따르면 보형 원리라는 것이 있다. 만약 어떤 종이 사라졌을 때 그 역할을 대신할 경쟁자가 많다면 생태계의 기능은 큰 변화가 없을 수 있다. 어떤 큰 호수가 있다고 하자. 사람의 눈에는 검정말, 부들, 물고기, 물새, 잠자리 등만 볼 수 있지만 그 외에도 사람이 볼 수 없는 수없이 다양하고 많은 수의 세균, 원생동물, 플랑크톤 등이 호수 생태계를 이루며 큰 생물의 몸을 분해하고 영양소를 순환시키며 에너지를 흐르게 한다. 높은 생물다양성이 서로 먹이그물을 이루며 얽혀 있는 생태계는 어떤 종이 사라지거나 수가 줄어도 보형 원리에 의해 생태계 전체의 물질 순환과 에너지 흐름은 안정되게 유지될 수 있는 것이다.

V 생태계서비스

생물 군집과 생태계가 사람들에게 필요한 서비스를 제공한다는 생각은 플라톤 등 이전부터 있어왔지만 생태학 및 경제학 등 현대적인 학문에 의해 개념이 제안된 것은 최근이다. 1997년에 데일리(G.C. Daily)가 생물 군집이 중심인 자연 생태계가 사람의 삶에 필요한 것을 채워주는 서비스를 제공한다는 의미로 생태계 서비스(ecosystem services)라는 말을 제안하였다. 이러한 생태계서비스에는 토양 침식 억제, 수질 정화, 꽃가루반이, 야생동물 서식지, 해충 방제를 대표적으로 들 수 있다. 최근에 상영된 꿀벌대소동(원제: Bee Movie)에서 벌들이 일을 하지 않자 모든 식물들이 번식을 못하게 되는 장면이 이러한 생태계가 제공하는 서비스의 한 사례를 잘 보여 주고 있다.

생태계서비스는 보통 물자서비스, 문화서비스, 부양서비스, 조절서비스의 네 가지 서비스로 보통 나누어 설명한다. 생물다양성은 물자서비스와 문화서비스를 직접 제공하지만 부양서비스와 조절서비스는 생태계의 기능을 통해 간접적으로 제공한다(그림 2).

1. 물자서비스

사람은 생태계로부터 식량, 물, 목재, 섬유, 해산물, 유전자원, 약물 등을 얻는다. 이러한 물자는 생태계 내 생물들로부터 직접 나온다. 오래 전부터 사람은 음식과 의복, 그리고 주거를 위해서 많은 종류의 식물과 동물을 이용하고 길들여 왔다. 지구 인구 중 약 26억 명이 농업이나

목축업, 임업이나 수산업에 종사하면서 생태계로부터의 물자에 의존하고 있다. 식량과 생활에 필요한 물자뿐만 아니라 건강을 지키기 위한 천연 약물 성분도 다양한 생물 특히 식물과 곰팡이로부터 공급받는다.

2. 문화 서비스

생태계의 생물다양성은 사람들에게 정신적인 풍요, 성찰, 여가 활동, 미적 경험 등 무형의 혜택을 주는데 이를 문화서비스라고 한다. 사람의 영적이나 종교적인 믿음이나 풍습 등은 자연과 밀접한 관계 속에서 생겨난 경우가 많다. 우리나라의 단군신화에 나오는 곰과 호랑이, 마늘과 쑥, 울산의 반구대암각화에 그려진 고래 등은 동식물이나 자연물을 신성시하는 토LEM 신앙과 관련이 있다.

3. 부양서비스

생태계는 또한 이 지구상에 있는 모든 생물이 살아갈 수 있게 도와주는 부양서비스(supporting service)를 제공한다. 이러한 부양서비스에 해당되는 것으로 생태계는 일차생산성과 서식지/생육지를 제공하고 영양소를 순환시키며, 토양을 형성하고 보유하며 공기 중의 산소를 만들며 물을 순환시킨다.

일차생산성(생산자인 식물과 조류들이 태양에너지를 이용하여 만드는 물질의 양) 과정에서 만들어진 탄수화물은 사람을 포함한 먹이그물 내의 모든 생물들이 기본 에너지로 이용하며 살아갈 수 있게 도와준다. 식량을 제공하는 작물의 꽃가루받이가 이루어지려면 벌과 같은 꽃가루받이 생물(수분자)들이 필요한데 수분자들은 식물이 만들어낸 물질의 양(일차생산성)에 의존해서 살아간다. 우리가 먹는 참치는 궁극적으로는 먼 바다의 식물플랑크톤이 만들어낸 물질의 양(일차생산성)이 먹이그물을 통해 전달된 에너지에 의해 생존한다.

4. 조절 서비스

생태계는 지구의 자연적인 균형이 유지되게 하는 서비스로 기후 및 공기와 물의 질, 생태계의 교란을 막아주는 조절서비스를 제공한다. 이러한 조절서비스에는 기후조절, 수질 정화, 꽃가루받이, 해충과 질병 방지, 침입종 방지, 침식 예방 등이 있다.

이러한 생태계서비스의 가치를 돈으로 환산하는 것에 대해 많은 논란이 있지만, 코스탄자(R. Costanza)는 1997년에 전 세계의 생물권은 최소한 연간 약 33조 달러에 해당하는 서비스를 제

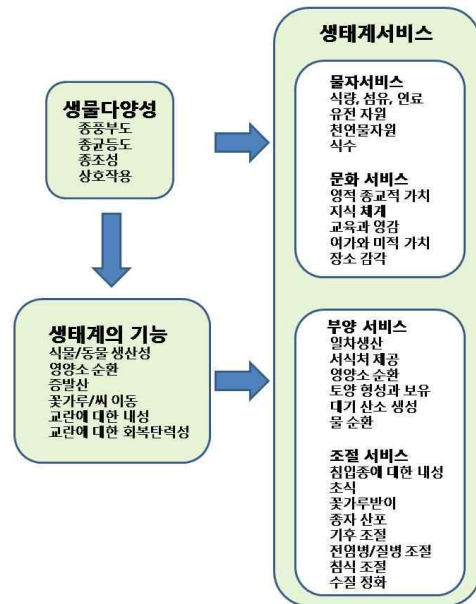


그림 2. 생물다양성과 생태계서비스의 관계. 생물다양성은 물자와 문화적 서비스를 직접 제공하고 생태계의 기능을 통하여 부양 및 조절 서비스를 간접적으로 제공한다.

공한다고 추정할 적이 있다. 이 당시 전 세계의 국민총생산의 합은 연간 약 18조 달러였다. 이러한 생태계서비스를 돈으로 환산하는 것은 어떤 상황에서 자연을 보존할 것인지 개발할 것인지 결정할 때 그 가치를 쉽게 판단할 수 있게 도와주는 장점이 있다. 예를 들면, 미국의 뉴욕시에서는 20세기 후반 사람들이 늘어나면서 숲을 베어내고 집과 농장을 만들고 리조트를 건설하면서 미국 환경보호청의 기준치 이하로 수질이 나빠지게 되었다. 60억에서 80억 달러를 들여 정수장을 만들고 매년 3억 달러의 운영비를 쓸 것인지 아니면 10억 달러를 들여 숲을 복원할 것인지 두 가지 선택 중 뉴욕시는 후자를 택했고 아주 싼 비용으로 맑은 물과 쉼터를 다시 찾고 홍수 조절도 자연적으로 가능하게 되었다.