사막에서 사는 동·식물

이 훈 복 (서울여자대학교 생명환경공학과)

∵ 생태계의 종류(Biome)

지구에 사는 모든 생물들은 다양한 환경 및 기후에 영향을 받으면서 오랜 시간 동안 적응해서 살아오고 있는데, 그들이 사는 생태계는 크게 토양으로 이뤄진 육상생태계와 해수 및 담수를 포함한 수계생태계로 나눌 수가 있다. 일반적으로 생물들이 살아가는 권역을 바이옴, 생물군계, 생물군집, 또는 생태계라고도 부른다. 생태계는 미생물을 포함한 동·식물로 구성되어 있는 생물학적 요소와 이 생물들이 존재할 수 있게 하는 토양, 물, 공기, 바람, 햇빛, 영양 염류 등의 무생물적인 요소들로 구성되어 있다. 생태계의 생물적인 요소들과 무생물적인 요소들 간의 관계를 통해서 생태계의 기능을 수행한다. 즉, 햇빛에서 오는 열에너지는 지구의 현재의 환경을 유지하는 데 필수적인 조건이며, 태양에서 방출된 열에너지와 빛에너지는 영양단계에 따른 에너지 흐름을 통해서 엽록체를 갖고 있는 식물체들이 광합성을 할 수 있도록 함으로써 유기물을 생산할 뿐만 아니라, 생물체들이 필요로 하는 산소를 제공하는 생산자의 역할을 한다. 또한 생산자를 소비하는 동

물들은 1차 소비자 또는 초식자라고 하며, 초식자인 1차 소비자를 포식하는 동물들은 2차 소비자 또는 육식자, 이후 먹이관계가 더 상위에 있는 소비자는 고차소비자가 된다. 이런 영양단계별로 이뤄지는 과정 속에서 남은 식물체의 일부, 먹힌 유기체가 배설물이 되었거나, 모든 생물체의 사망으로 인한 유기체는 토양에서나 물속에 존재하는 미생물을 포함한 분해자들의 작용으로 분해되어서 무기영양염류가 되어서 토양 속에 존재하면서 생산자에게 또 다른 필수요소가 되는데, 이런 과정을 영양염류의 순환이라고 볼 수 있으며, 대기에 존재하는 수분은 모든 생명체들이 지구상에 존재하는데 아주 중요한 역할을 주는데, 이들은 생태계 내에서 물의 순환과정을 갖는다. 지구에 존재하는 여러 가지 요소들, 기후, 수분, 위도, 고도, 광량, 지구의 자전, 바람, 기온 등은 지구에 여러 형태의 생태계를 구성하게 하는 중요한 요소들이 존재함으로써, 식물의 분포유형이 결정되어 지역, 위도별, 고도별 생태계가 다르게 분포하는 것을 볼 수가 있다.

《그림 1. 캘리포니아 남부 상록관목림》

지구상에 존재하는 생태계의 특징은 일정한 계절을 나타내며, 동식물들이 매우 다양하게 존재하는 열대림, 사계절이 아주 뚜렷하고 낙엽활엽수가 주요 수종인 온대림, 자연적으로 발생하는 불 때문에 나무가 자랄 수 없어서 주로 초본류로만 구성되어 있는 온대초원, 열대초원의 하나인 사바나, 지중해 연안이나 북미주의 해안가는 항상 따스하지만 건조한 날씨 때문에 형성되는 상록관목림(그림 1), 겨울이 상대적으로 길어서 토양이 오랜 시간 동안 얼어 있는 툰드라, 상대적인 습도가 매우 건조한 사막 등은 지구에 존재하는 여러 형태의 주요 생태계이다.

∵ 사막의 특성 및 종류

사막은 연중 강수량이 250 mm 이하이고, 비가 오더라도 구름이 없는 날이 대부분이기 때문에 다른 지역에 비해 뜨거운 태양 때문에 증발되는 수분이 더 많아서 일년 동안 거의 항상 건조한 조건을 갖고 있고, 지구에서 가장 더운 곳이라는 특징이 있다. 대다수의 사막은 지구의 자전으로 인한 무역풍의 영향으로 남·북위 30°~40° 부근에 대부분 분포하며, 저녁에는 복사열이 쉽게 방출되기 때문에 낮은 온도가 되는 사막, 심지어 영하에 가까운 온도까지도 떨어진다. 아열대 사막은 강수량이 다른 사막보다는 조금 더 많지만, 강렬한 태양과 수분의 더 높은 증발은 토양을 건조하게 한다. 아열대 사막은 야간에 아주 낮은 온도로 떨어지는 경우는 거의 없지만, 대륙의 내부에 있는 사막은 매우 건조하고, 밤에 복사열이 떨어지면 매우 낮은 온도의 혹한이 되기도 하므로 그러한 곳을 한랭지 사막이라고 한다.

지구에 존재하는 주요 사막은 아프리카의 사하라 사막, 누비아 사막, 리비아 사막, 시나이 사막, 나미브 사막, 칼라하리 사막, 북미의 블랙록 사막, 그레이트솔트레이크 사막, 데스벨리, 치와와 사막, 콜로라도 사막, 소노라 사막, 모하비 사막, 그레이트베이슨 사막, 남미의 아타카마 사막, 파타고니아 사막, 호주의 그레이트빅토리아 사막, 그레이트샌디 사막, 기브슨 사막, 심프슨 사막, 아시아의 고비 사막, 네푸드 사막, 루트 사막, 룹알할리 사막, 시리아 사막, 아라비아 사막, 카라쿰 사막, 카비르 사막, 키질쿰 사막, 타르 사막, 타클라마칸 사막, 투르케스탄 사막 등이다. 사막을 아열대 사막과 한랭지 사막으로 구분하면, 아열대에 속하는 사막은 사하라 사막, 아라비아 사막, 칼라하리 사막, 그레이트빅토리아 사막, 시리아 사막, 치와와 사막, 그레이트샌디 사막, 소노라 사막, 타르 사막, 기브슨 사막, 심프슨 사막, 모하비 사막, 루트 사막 등이며, 한랭지 사막은 고비 사막, 파타고니아 사막, 그레이트베이슨 사막, 카라쿰 사막, 콜로라도 사막, 키질쿰 사막, 타클라마칸 사막, 아타카마 사막, 나미브 사막, 카비르 사막 등이다.

∵ 사막의 생물의 특징

1. 사막의 식물

일반적인 지역에서의 식물들은 낮에는 광합성을 하여 산소를 방출하고, 밤에는 호흡을 통해서 이산화탄소를 방출한다. 그러나, 사막지역에서는 일정한 시기에만 비가 내리지만, 다른 시기에는 비가 거의 오지 않기 때문에 매우 건조한 환경을 가지고 있는 특징을 가지고 있다. 그러므로 사막의 식물들은 짧은 시기 동안 비 오는 시기에 맞추어서 잘 적응하여, 그 길지 않은 시기 동안에 싹을 틔우고, 자라고, 꽃을 피우고, 종자를 생산하여 식물들의 생활사를 마감하기도 한다. 단, 몇 주 동안만 화려한 색상으로 아름다운 경관을 만든다(그림 2).

《그림 2. 캘리포니아 남부의 사막에서 핀 국화과 식물》

사막에 주로 사는 선인장을 포함한 일부 캠(CAM) 식물은 큐티클층이 두껍고 다육질이면서 표면적이 작은 잎을 가지고 있으며, 사막이나 수분이 부족한 곳이거나 또는 밤낮의 온도차가 큰 환경에 적응한 식물이다. 뜨거운 낮에는 기공을 닫음으로써 수분 손실을 막고, 선선한 밤에 기공을 열어 이산화탄소(CO_2)를 고정한다. 즉, 낮에는 기공을 열어 수분을 손실하는 대신 적은 양의 명반응 광합성을 하여 생산물을 포도당으로 완전히 변환시키지 않고, 중간과정의 산물로 몸에 저장하였다가, 밤에 이산화탄소를 흡수하여 포도당으로 변화시키고 부산물인 산소를 방출한다. 사막의 대표적인 식물인 선인장은 잎을 가시로 변화시켜서 건조한 조건에 잘 견딜 수 있게 진화되었다. 선인장의 종류는 다양하며, 미국 아리조나주의 사막에서 자라는

《그림 3a. 아리조나주의 사구아로 선인장과 선인장의 올빼미를 비롯한 조류들이 둥지로 이용하는 구멍의 모습》

《그림 3b. 아리나조나주의 사구아로 선인장 앞에 선 저자》

10m 이상의 거대한 기둥으로 성장하는 사구아로 선인장(그림 3a, 3b)을 비롯해서 여러 형태의 모습을 갖고 있다(그림 4a, 4b, 4c). 원통형 선인장은 실제로 바깥층의 세포에 물을 저장하여 부풀어 오른다. 이때 과도하게 부풀어 오르면 아코디언이 접히는 것처럼 줄어드는 것을 볼 수 있다. 손가락선인장을 포함한 몇 가지 사막의 식물 종들은 둥글고 납작한 뿌리를 갖고 있으면서 건조할 때 그들의 잎을 모두 떨어뜨려서 건조한 조건을 버티고, 조건이 좋아지면 뿌리에서 수분을 흡수해서 다시 살아난다.

사막의 다년생 식물들은 혹독한 환경에 대응하여 세 가지 기본적인 형태로 진화하였다. 첫 번째로 수많은 뿌리털을 이용하여 빗물을 아주 빠른 속도로 흡수한다. 두 번째로 세포 조직에 물을 저장한다. 그리고 건기 동안 조금씩 내보내어 수분을 이용한다. 세 번째로 기공을 통해 물이 증발되어 손실되는 과정을 증산이라 하는데, 이러한 비율을 아주 낮게 만든다. 아카

《그림 4a. 뉴멕시코주의 선인장》

《그림 4b. 뉴멕시코주의 선인장2》

《그림 4c. 뉴멕시코주에 생육하는 선인장(앞쪽)과 향나무류(뒷쪽)》

시아 나무는 첫 번째 방법을 이용하여 수분을 일년 내내 공급 받을 수 있도록 땅 속에 깊게 뿌리를 퍼뜨렸다. 선인장과 사막의 다육식물은 우기에 물을 충분히 흡수하고 세포 조직에 저장한다.

사막에 적응한 식물들의 적응 전략의 예는 다음과 같다. 중남미에 사는 메스키트는 땅속 20m 아래까지 뿌리를 뻗어 생존하며, 크레오소트는 사막 표면의 이슬과 비를 흡수하며, 웰위치아식물은 사막의 안개를 흡수하며, 잎이 땅을 기어 자라는 식물이다. 선인장 꽃은 선인장의 몸체 끝부분에서 피고, 사막은 키가 큰 화훼로 잘 알려진 보라색 루핀이 카펫처럼 사막의 바닥을 뒤덮는다. 미국 남부와 멕시코에서 자라는 키가 아주 큰 사와로 선인장은 우기에 1톤에 가까운 물을 저장하고, 증산률을 최소로 하고, 오코틸로라는 관목성 선인장들은 토양의 수분 부족으로 인해 땅에 낮게 자라는 식물들과 항상 수분 경쟁을 한다. 일 년의 대부분의 시간을 그들은 매우 건조한 시기에도 꽃을 피울 수 있는 상태를 만들고 있다. 가시용설란과 용설란과의 유카는 두꺼운 밀랍으로 식물 외부를 코팅하고, 두꺼운 수피층을 만들어서 뜨거운 사막의 열기로부터 수분이 증발되는 것을 막는다. 호주

중앙부에 위치한 바위로 이뤄진 기브슨 사막에서는 벼과 스피니펙스 속에 속하는 각종 다년초들이 상당히 짧은 시간 동안 꽃을 피우며, 보라색 파라킬야도 꽃을 피우며 콩과의 한 종류인 스튜트의 사막콩은 오랜 휴면에서 깨어나 밝고 붉은색의 꽃을 피운다. 파인애플과의 틸란지아속 식물들은 식물 표면에 있는 이슬이나 대기 중에 있는 안개를 수분으로 이용하기 위해 잎을 접거나 아치형으로 만들어서 수분을 흡수한다. 이렇게 흡수한 수분은 줄기로 옮겨간다. 이러한 적응 방법은 식물이 건조한 토양 조건에 있는 뿌리를 필요로 하지 않기 때문에 매우 효율적이다.

2. 사막의 동물

사막의 동물들은 사막의 뜨거운 열기와 건조한 환경에서 놀라운 방법으로 진화해 왔다. 많은 종류의 동물들은 온도가 뜨거운 낮에는 동굴이나 그늘에 숨어 휴식을 취하고, 저녁이나 늦은 밤에 사냥을 시작한다. 이것은 그들의 작은 몸이 열을 빠르게 흡수하여 많은 햇빛을 받으면 그들의 체온은 급상승하기 때문이다. 파충류들은 두꺼운 피부와 신진대사의 속도를 느리게 하여 수분손실을 낮게 유지한다. 낙타와 같은 동물은 몸에 물을 저장하여 그들의 열을 식히는 방식으로 적응하였다. 낙타는 수분을 거의 잃지 않고 살아갈 수 있다. 일반적으로 사람은 몸의 13%의 수분이 손실되면 목숨을 잃는다. 그러나 낙타들은 몸 속의 수분이 30% 이상 빠져 나와야지 영향을 받는데, 그러한 경우는 매우 드물기 때문에 그들이 사막에서 살아 갈 수 있는 이유이며, 단봉낙타는 대부분의 동물들보다 내부의 온도 차이를 폭넓게 바꾸어 더위에 견딘다. 이들은 체온의 범위가 34~41℃이다. 낙타의 이러한 체온은 밤 시간 동안 온도를 떨어뜨려 낮이 되어도 긴 시간 동안 시원하게 지낼 수 있게 한다. 이렇게 하여 땀을 매우 적게 흘려 수분손실을 막는다.

사막 표면의 낮과 밤의 온도 차이는 매우 크다. 동물들은 땅을 파고 들어가 온도의 영향이 미치지 않는 곳으로 내려가 가만히 있는다. 사막의 표

면에서 15cm만 들어가도 8℃가 떨어지고 25cm를 내려가면 17℃가 더 떨어진다. 어떤 전갈은 낮 시간에 굴을 파고 들어가 시원한 곳에 머물러 있다가 해가 지고 나면 사냥을 시작한다.

《그림 5. 캘리포니아 남부의 샌디에고와 멕시코 경계에 있는 모래언덕에서 바람이 심하게 불어서 모래가 날려 뿌옇게 보이는 고속도로 I-8》

사막에 적응해서 살아가는 동물들을 보면 그들의 생활전략이 아주 독특하다. 모래도마뱀은 온도가 높은 낮 시간 동안에는 물갈퀴와 비슷한 발을 이용하여 온도가 낮은 땅 아래로 굴을 파고 들어간다. 이때 도마뱀은 눈꺼풀을 덮는 막으로 눈과 콧구멍에 통해 들어온 모래를 막는다. 미국 남부의 모래언덕에서 바람에 날려 고속도로가 뿌옇게 된 것을 볼 때, 이러한 도마뱀들의 적응된 생활이 없다면 생존하지 못한다는 것을 상상할 수 있을 것이다(그림 5). 꽃이 핀 초본류에서 먹이를 섭취하는 개미와 메뚜기류가 있으며, 이런 곤충들은 식물에서 먹이를 섭취하면서 수분을 함께 획득한다(그림 6a, 6b). 사막도마뱀은 이런 곤충류를 잡아먹으면

《그림 6a. 뉴멕시코주의 사막에 자란 초본류의 꽃대 위에서 쉬고 있는 메뚜기》

《그림 6b. 뉴멕시코주의 사막에 자란 초본류의 꽃속에서 꿀을 먹는 개미

서 영양분과 수분을 얻는다. 육지거북은 그들의 등껍질 아래에 물의 저장소를 두고 옮겨 다닌다. 파충류는 사막기후에 매우 적합하다. 그들은 음식을 통해 물의 대부분을 얻고, 그들의 피부를 통하여 수분을 잃는 것을 막는다. 미국 남서부에 사는 작은요정올빼미는 그들의 둥지를 키가 큰 사와로선인장이나 사막에서 자라는 나무 속에 둥지를 만들고 낮 시간을 보낸다(그림 3a). 북아프리카의 사막여우는 커다란 그늘진 바위 아래에서 저녁까지 기다린다. 15cm의 커다란 귀는 넓은 표면적을 이용하여 몸의 열을 분산시켜 몸을 시원하게 만든다. 북아메리카 사막에서 가늘고 긴 꼬리를 가진 캥거루쥐는 땅속을 깊게 파고 들어가 지하에서 생활한다. 또한 캥거루와 같이 꼬리를 이용하여 균형을 잡으며 도약할 수 있다. 이 동물은 사막이 시원해지는 밤에 주로 활동하며 물을 마시지 않고 씨앗으로부터 필요한 수분을 얻고 살아간다. 매달 건조한 보리종자 100g을 먹이로 공급한다면 캥거루쥐는 보리종자로부터 57g의 수분을 얻을 수 있다. 동시에 호흡이나 배설을 통해 71g의 수분을 잃게 되는데, 이때 캥거루쥐의 신진대사를 위해 모자란 14g의 수분은 둥지의 습한 공기에서 호흡하면서 수분을 얻는다. 캥거루쥐는 땀을 흘리지 않기 때문에 매우 소량의 수분을 잃는다. 이들의 몸은 소변을 매우 적게 배출하고, 몸에서 내보낼 때 고체 형태로 내보낸다.

대부분의 동물은 수분 없이 살 수 없다. 그러나 어떤 동물들은 물을 집접적으로 마시지 않고도 필요로 하는 수분을 얻을 수 있다. 다른 동물들은 잎, 종자, 초본류, 다른 물질로부터 수분을 추출해내며, 다른 종류는 부드러운 음식으로부터 수분을 얻고, 그 음식으로부터 당을 합성하며, 대기로부터 피부를 통하여 물을 흡수한다. 수분은 살아가는데 필수적인 요소이며, 동물의 신진대사는 수분을 얻는 양과 비교하여 수분을 소모하는 호흡, 땀의 배출, 배설을 통하여 수분량을 조절한다. 장기적인 가뭄이 찾아온다면 이러한 능력이 없는 온대지방의 동물들은 모두 죽을 것이다. 하지만 사막의 동물들은 수분의 부족에도 지속적으로 살아남을 수 있는 생활 전략을 갖고 있다.

가뭄기간 동안 어른쟁기발두꺼비는 삽처럼 생긴 두 팔다리로 구멍을 파

고 지하로 들어가 휴면을 한다. 마른 웅덩이의 갈라진 진흙 틈에는 브라인새우의 알이 살아있지도 죽지도 않은 정지 상태로 휴면하고 있다. 우기가 시작되면 쟁기발두꺼비는 표면으로 올라온다. 수컷은 짝을 유혹하기 위해 웅덩이에서 큰 소리로 울음소리를 낸다. 또한 브라인새우 알은 유생으로 우화하여 웅덩이 속을 자유롭게 헤엄친다. 짝짓기 후 암컷두꺼비가 웅덩이의 가장자리 중 얕은 곳에 산란을 한다. 브라인 새우의 유생은 조류를 먹으면 매우 빠르게 자란다. 몇 일 동안 두꺼비 알은 올챙이로 부화한다. 이들은 10일 만에 어른두꺼비의 크기로 성장한다. 같은 시기에 브라인새우 또한 성숙하고 웅덩이 아래에 새알을 낳는다. 웅덩이는 열기에 의해 증발한다. 만약 너무 빠르게 증발하지 않는다면 올챙이는 꼬리가 있는 형태에서 아성체가 될 시간을 가진다. 하지만 브라인새우는 물이 마르게 되면 바로 죽는다. 웅덩이가 마르게 되면 성숙하지 못한 올챙이들은 죽게 된다. 다음 우기에 그들의 몸은 조류의 영양분이 된다. 브라인새우의 알은 바람에 의해 날려 원래 서식지에서 수십 km까지 옮겨 다닐 수 있다. 어른두꺼비는 땅을 파고 들어가 그들의 코를 제외한 모든 부위를 봉인한다. 이들은 이러한 방법으로 비가 오지 않아도 2년 동안 살아 있을 수 있다.

일부 사막에 사는 종들은 우기와 건기와 같은 시간을 통하여 그들의 생활방식을 적응시켜 나갔다. 몇몇 종들은 우기에만 그들의 생식활동을 하게 되었다. 전 세계적으로 알려진 사막에 사는 개구리와 같은 양서류의 50여 가지 종들은 우기에 짝짓기를 하기 위해 몇 달 동안 모래 속에서 비를 기다린다. 이 동물들은 첫 방울의 비가 땅에 떨어짐과 동시에 매우 빠른 속도로 짝짓기를 하고 알을 낳으며, 부화하고 나와 빠르게 성장하고, 몇 일 만에 어른이 된다. 쟁기발두꺼비는 브라인새우와 함께 비에 반응한다. 갑각류인 브라인새우는 식물의 씨앗처럼 생긴 알을 부화하기 전에 사막의 바람에 의해 50년 동안 날아다니며 번식했을 것이다.

참고문헌

1. 강영희. 1988. 식물생리학. 아카데미서적.

2. 곽병하. 1981. 식물생리학. 향문사. 1981.
3. Larcher, W. 2003. Physiological Plant Ecology, 4th Ed. 512 pp.
4. Odum, E. P. 1969. The strategy of ecosystem development. Science 164, pp. 262-270.
5. http://terms.naver.com/
6. http://pubs.usgs.gov/gip/deserts/what/
7. http://ko.wikipedia.org/wiki
8. http://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%82%AC%EB%A7%89
9. Ecology, Understanding Science and Nature, Time Life Pub. 144 pp.