

인류세

조용한
지구의 수호자,
식물

여름이 한창이다. 대부분의 시간을 냉방이 잘 되는 실내에서 보내다 보면 온도의 변화를 직접적으로 느끼기 힘들지만, 창문 너머 식물을 바라보면 계절을 짐작할 수 있다. 지금은 식물의 잎사귀가 커지고 초록빛이 점점 진해지는 시기이다. 연구에 따르면 초록색은 마음의 안정을 주는 색이라고 한다.¹ 따라서 식물은 대체로 인간에게 좋은 점수를 얻는다. 나무에 둘러싸인 숲세권 아파트, 피톤치드를 내뿜는 산책로... 하지만 초록색이 우리에게 주는 혜택은 우리가 생각하는 것 이상으로 크다. 그 가격을 산정할 수 없을 정도로.

광합성, 지구에서 가장 중요한 생화학 반응

식물이 초록색을 띠는 이유는 엽록소라는 색소 때문이다. 엽록소는 안테나처럼 태양에너지를 흡수하여 물과 이산화탄소를 저장하기 쉬운 화학에너지로 전환한다(광합성). 이 과정은 굉장히 간단해 보이지만 과학자들 사이에서는 지구에서 가장 중요한 생화학 반응으로 여겨진다.² 실제로 1988년 노

벨화학상은 광합성에 필수적인 단백질의 구조를 밝힌 요한 다이젠호퍼(Johann Deisenhofer), 로베르트 후버(Robert Huber), 하르트무트 미헬(Hartmut Michel)에게 돌아갔다. 노벨상은 단순히 과학적 업적에만 초점을 맞추기보다는 연구의 사회적 파급력을 더 중요시한다. 흑자는 “광합성이 인간의 삶에 무슨 기여를 했는가”, “나는 채식주의가 아니다. 고기를 선호한다”고 말할지도 모른다. 하지만 이는 이 지구라는 생태계의 작동 원리를 제대로 모르고 하는 말이다.

생명체는 에너지를 필요로 한다. 태양에너지는 지구에서 가장 풍부하고 무한한 에너지원이지만 안타깝게도 대부분의 생명체는 태양에너지를 직접적으로 이용할 수 없다. 태양에너지를 흡수하는 엽록소가 없기 때문이다. 따라서 엽록소가 없는 생명체는 이 색소를 가지고 있는 생명체에 기대어 에너지를 얻어야 한다. 여기서 생태피라미드가 파생된다(그림1). 피라미드 가장 하부에 위치한 식물은 엽록소를 이용

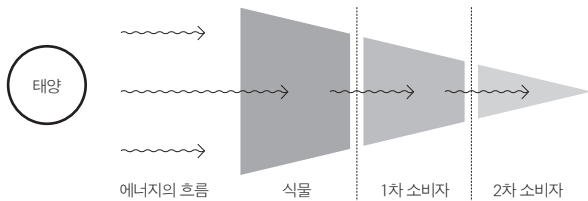


그림1 - 생태피라미드. 지구의 에너지는 한 방향으로 흐른다(태양 > 식물 > 동물). 1차, 2차 소비자는 식물이 엽록소를 이용하여 태양에너지를 전환시킨 화학에너지를(유기물)을 먹이로 삼아 생명을 유지한다.

하여 화학에너지를 만들어내고, 피라미드 상부의 생명체는 하부의 생명체를 먹음으로써 에너지를 흡수한다. 따라서 설령 내가 육식만 한다고 하더라도, 닭, 소, 돼지를 살찌우는 것은 결국 그 사료인 식물이다. 식물이 존재하지 않으면 인간은 굶어죽는다. 이러한 이유로 광합성은 지구의 모든 생명체를 지탱하는 가장 중요한 생화학 반응이 된다. 광합성의 첫번째 의미는 지구를 살찌우는 원동력(식량)에 있다.

식량, 그 너머

하지만 인간은 음식을 먹는 것만으로는 생활을 유지할 수 없다. 18세기 산업혁명 이후로 인간이 만들어낸 유사 생명체인 기계를 작동시키기 위해 인간이 먹지 않는 에너지가 필요해졌다. 기계는 고농도로 에너지가 농축된 화석 연료를 좋아했다. 다만, 무한한 줄 알았던 화석 연료는 그 매장량에 한계가 있다는 것이 드러나면서 우리는 기계를 유지시키기 위해 다른 에너지원을 찾아야 했다. 풍부하고 무한한 에너지

원. 어디서 들어보지 않았는가? 인간은 다시 태양에너지에 관심을 돌리기 시작했고 이를 이용할 줄 아는 식물을 이용해 기계를 작동시켜 보기로 결정했다. 일례로, 미국의 에너지부(Department of Energy)는 1970년대 후반 식물을 키워 에너지를 추출하는 바이오매스 개발 사업에 뛰어들었다. 화석 연료가 과거 지질 시대에 살았던 동식물의 사체로부터 에너지를 얻는 것이라면, 바이오매스란 현 시대에 키운 식물에 저장되어 있는 에너지를 이용하는 것이다. 초본류(grass), 목재, 조류(algae), 식량 작물의 먹지 않는 부분, 음식물 쓰레기 등이 모두 바이오매스로 쓰일 수 있다. 사실 바이오매스는 완전히 새로운 것이 아니다. 화석 연료를 사용하기 전 이미 인류는 쌀감을 태워 요리나 난방에 필요한 에너지를 얻어왔다. 19세기 중반까지만 해도 바이오매스는 미국 내 전체 에너지 소비량의 대부분을 차지했고, 현재도 개발도상국에서는 비싼 화석 연료 대신 바이오매스가 사용된다. 따라서, 최근의 바이오매스에 대한 관심은 새로운 에너지원이라는 의미보다는 에너지를 추출 및 저장하는 방식의 진보라고 보는 것이 맞을 듯하다. 현재는 바이오매스를 직접 태워 에너지를 얻기보다는 열화학적/생물학적 방법을 이용하여 고체, 기체, 액체상의 연료로 전환하여 사용하는 방식이 더 널리 쓰이고 있다. 특히나 여러 재생 가능한 에너지 중에서 바이오

매스만이 액체 연료로 전환될 수 있기 때문에 자동차, 비행기 및 여러 산업용 기계를 작동시키는 데 중요하게 쓰일 것이라 예측된다. 2020년 기준 바이오매스는 미국 내 에너지 생산량의 5%를 차지하며, 이중 절반이 목재/펄프 산업 부문에서 사용된다.

바이오매스는 가격이 없고 무한한 태양에너지를 이용하기 때문에 초기 자본 투입량이 낮다는 장점이 있지만, 바이오매스로 쓰일 식물을 키울 넓은 땅을 구하기가 쉽지 않다. 대부분의 경작 가능한 땅은 이미 식량을 생산할 용도로 쓰이고 있기 때문이다. 과학자들은 식량 작물과 땅을 경쟁하지 않으면서, 즉 식량 작물이 자랄 수 없는 매우 척박한 땅에서도 자라며, 다양한 기후에서도 잘 자라는 식물을 찾아야만 했다(그림2). 이를 위해 에너지부는 미국의 여러 지역에서 다양한 식물을 키운 후 이들의 성장 속도를 모니터링해왔다. 스위치그래스(Switchgrass)는 후보 식물 중 다양한 기후, 토양, 경작 방식 하에서도 가장 빨리 자라는 식물로 밝혀져 미국 에너지부의 바이오매스 사업 깃대종(Flagship species)으로 선정되었다.

스위치그래스는 북미에 자생하는 여러해살이 풀이다. 스위치그래스는 물과 영양분의 요구량이 낮으며, 지상부와 지하부에 각각 2 m가량 자랄 수 있는 거대한 풀로, 여

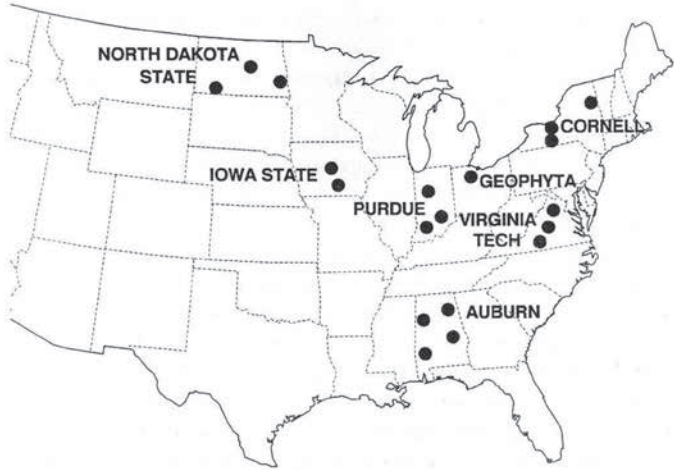


그림2 - (위) 미국의 바이오매스 식물 선별 실험지 분포도. 미국은 스위치그래스(Switchgrass), 빅 블루스텝(Big Bluestem), 클로버(Clover) 등 여러 예비 식물을 다양한 기후와 조건에서 키우는 대규모 실험을 통해 바이오매스 생산에 가장 적합한 식물을 선별하였다.³ (아래) 엄격한 선별 과정을 통과하여 바이오매스에 쓰이는 스위치그래스의 실제 모습.⁴

리 해에 걸쳐 반복 수확해도 성장에 지장이 없을 만큼 성장 속도가 빠르다는 장점이 있다. 바이오매스 식물은 에너지 및 기후변화에 관련하여 윈윈전략(win-win solution)이라고 볼 수 있는데, 빠른 광합성/성장 속도로 대기 중의 이산화탄소를 흡수하여 온실효과를 줄이는 동시에 식물 자체를 에너지 원으로 사용할 수 있기 때문이다. 현재 스위치그래스를 포함한 바이오매스는 전세계 전기 생산량의 약 2%를 차지한다.⁵ 미국은 2030년까지 바이오매스로부터 840억~970억 갤런(gallon)⁶의 연료를 얻을 수 있을 것이라 예측하는데, 이는 2015년 전미 휘발유 소비량(1400억 갤런)의 절반을 차지하는 막대한 양이다.⁷ 앞으로 바이오매스 에너지가 상용화되기까지는 생산, 수집, 운송, 저장을 위한 정부 차원의 인프라가 필요할 것으로 보인다.

위 아래 모두 버릴 것이 없는 식물

앞에서 언급한 식량, 에너지원으로서의 식물은 주로 땅 위

의 초록색 부분이 담당하는 역할이다. 하지만 식물은 지상부 만큼이나 큰 지하부를 가지고 있고, 사실 지하부의 활동 없이 식물은 자랄 수 없다. 뿌리는 광합성에 필요한 물을 흡수 하며, 식물이 안정적으로 자랄 수 있도록 물리적인 지지를 해주는 역할을 한다. 하지만 최근 과학자들은 이러한 기존의 생물학적 역할 이외에도 뿌리와 뿌리 주변 토양인 근권(rhizosphere)이 기후변화의 속도를 늦출 수 있는 생태적인 역할을 할 것이라 기대하고 있다. 뿌리는 초록색을 띠지 않는, 즉 광합성을 하지 않아서 이산화탄소를 흡수할 수 없는 부위인데, 어떻게 기후변화에 영향을 줄 수 있을까?

식물의 잎은 중앙 공급처로서 광합성을 통해 얻은 에너지를 유기물로 전환하여 광합성을 할 수 없는 뿌리나 줄기로 이동시킨다. 이렇게 이동된 에너지(유기물)는 뿌리나 줄기가 성장하거나 호흡을 하는 데에 사용된다. 놀라운 사실은 에너지 이동 과정에서 광합성을 통해 얻은 에너지(유기물)의 5%-21%가 뿌리 밖의 근권으로 유실된다는 것이다.⁸ 여기까지만 보면 식물은 경제 관념이 낮은 생명체 같다. 하지만 사실 이렇게 외부로 방출된 에너지는 식물의 영양분(질소, 인) 흡수를 도와 성장을 촉진한다. 식물이 직접 영양분의 위치를 탐색하고, 발견한 영양분을 흡수 가능한 형태로 잘게 쪼개는 대신 이 분야의 전문가인 토양 미생물에게 유기물을 공

급해준 후 그 대가로 도움을 얻는 것이다. 일종의 아웃소싱(outsourcing)인 셈이다. 토양 미생물은 뿌리보다 크기가 작기 때문에 토양 구석구석 영양분을 탐색하는 능력이 뛰어나다. 또한 발견된 영양분은 대부분 크기가 너무 커서 식물이나 미생물이 직접 흡수할 수 없기 때문에 토양 미생물은 이를 잘게 자르는 단백질을 다량 생산하여 흡수 가능한 영양분의 방출을 돕는다. 따라서 식물이 근권으로 방출하는 에너지가 많을수록(유기물을 많이 방출할수록) 토양 미생물의 활동도 활발해지고 덩달아 식물이 사용할 수 있는 형태의 영양분도 증가하게 되는 것이다. 토양 미생물과의 공조를 통해 식물의 뿌리가 광합성에 일조한다고 볼 수 있다.

뿌리의 생태적인 역할은 여기에서 끝나는 것이 아니다. 열역학법칙에 따르면 모든 탄소는 결국 이산화탄소의 형태로 변환되며, 따라서 인류가 대기 중으로 방출하는 탄소 외에도 자연적인 과정에 의해 탄소가 대기 중으로 방출된다. 인류가 야기한 기후변화와 그에 따른 온도 상승은 이러한 자연적 이산화탄소 방출 속도를 가속화하고 있다. 하지만 최근 연구에 따르면 근권의 토양 미생물에 의해 쪼개지고 전환된 토양 유기물은 안정적인 형태를 띠기 때문에 대기 중으로 이산화탄소의 형태로 방출되는 속도가 느리다고 한다.⁹⁻¹⁰ 이 연구 결과는 식물-토양 상호작용을 이용하면 기후변화

의 가속을 늦출 수 있는 가능성이 있음을 시사한다. 현재 미국의 로렌스리버모어 국립연구소(Lawrence Livermore National Laboratory)는 식물의 뿌리로 인하여 토양 미생물의 활동이 얼마나 향상될지, 어느 토양 미생물의 활동이 가장 영향을 받을지, 얼마나 많은 토양 유기물이 안정적인 형태로 변환될지, 얼마나 오랫동안 토양 유기물이 토양에 머무는지에 대한 해답을 얻기 위해 미국 전역에 걸친 스위치그래스 실험지를 대상으로 연구 중이다(그림 3). 토양을 채취하는 방법은 삽, 수동 토양 샘플러, 기계식 토양 샘플러 등으로 다양한데, 로렌스리버모어 국립연구소는 깊은 토양을 연구하기 위하여 드릴링 기계의 힘을 빌린다. 드릴링 기계에 쇠파이프를 장착하여 땅에 박은 후 다시 꺼내면 파이프 안에 토양이 가득 찬다. 파이프를 여러 개 연결하면 지반의 상태에 따라 수 미터에서 수십 미터까지의 토양을 채취할 수 있다. 로렌스리버모어 국립연구소의 실험 대상지가 전미의 다양한 기후, 토양 조건에 분포되어 있기 때문에 이 연구를 통해 식물-토양을 이용한 기후변화 저감 대책에 대한 일반적인 결론을 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

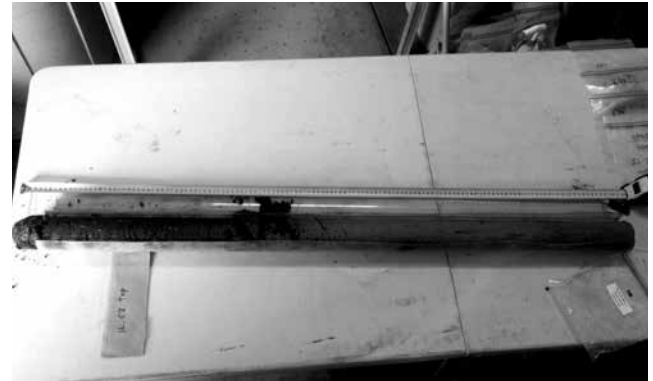


그림3 - (위) 미시간주립대학교 켈로그생물학센터(Michigan State University Kellogg Biological Station)에서 관리하는 스위치그래스 실험지에서 토양 샘플을 채취하는 모습. 리모컨을 이용하여 드릴링머신을 작동시키며 소음 제거용 헤드폰을 사용하여 청력을 보호한다. (아래) 상층부 0-120cm에서 채취한 토양코어 샘플. 이렇게 채취한 토양은 토양화학, 미생물군집 분석에 쓰인다.

슈퍼맨의 활약이 멋지게 보이는 이유는 평상시에 양복과 안경에 가려진 조용하고 수동적인 모습과의 대비 때문이다. 식물은 한곳에 정착하여 주어진 환경에 적응하여 살아가기 때문에 역동적이지도 박력 있어 보이지도 않는다. 하지만 그들은 지구의 모든 생명체를 지탱하는 식량을 제공하고, 현대 사회를 작동시키는 에너지를 공급해주며, 인류가 야기한 기후변화를 되돌릴 수 있는 막강한 힘을 가진 강력한 생명체이다. 지금 우리가 일하는 사무실 밖에서 조용히 광합성을 하고 있는 식물이 사실은 인류가 직면한 다양한 문제점에 대한 해결책인 셈이다. 여름이 되어 활발하게 초록빛을 발산하는 식물을 바라보며, 더 많은 사람들이 식물과 인간의 긴밀한 연결 고리를 깨닫고 이 오래된 생명체가 지구를 수호하는 핵심적인 역할을 수행하는 것을 알아주었으면 한다.

1

Alcock I, White MP, Wheeler BW, Fleming LE, Depledge MH (2014), "Longitudinal effects on mental health of moving to greener and less green urban areas". *Environmental Science & Technology* 48, 1247-1255.

2

노벨상 홈페이지
<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1988/speedread/>

3

Oak Ridge National Laboratory (2007) 「Historical perspective on how and why switchgrass was selected as a "model" high-potential energy crop」.

4

Wright LL, Perlack RD, Turhollow AF, Eaton LM (2011), "Switchgrass production in the USA". *IEA Bioenergy Task* 43. 03.

5

폴 호켄(2019) 『플랜 드로다운』, 이현수 옮김, 글항아리사이언스.

6

1 갤런은 약 3.8리터로, 840-970억 갤런은 약 3200억-3700억리터 정도이다.

7

미국 에너지부 홈페이지
<https://www.energy.gov/eere/bioenergy/bioenergy-frequently-asked-questions>

8

Haichar FZ, Santaella C, Heulin T, Achouak W (2014), "Root exudates mediated belowground interactions". *Soil Biology & Biochemistry* 77, 69-80.

9

Poirier V, Roumet C, Munson AD (2018), "The root of the matter linking root traits and soil organic matter stabilization processes". *Soil Biology & Biochemistry* 120, 246-259.

10

Dijkstra FA, Zhu B, Cheng W (2020), "Root effects on soil organic carbon a double-edged sword". *New Phytologist* 230, 60-65.