

식물은 어떻게 물을 이용 하는가¹⁾

민 경 희²⁾

숙명여자대학교 자연과학부 명예교수

식물의 수명은 동물보다 결정하기가 더 어렵지만 식물의 수명이 동물보다 더 장수하는 것으로 알려졌다. 북 캘리포니아에 서식하는 Sierra redwood(*Sequoiadendron giganteum*)의 수명은 약 4,000년으로 추정하고 있으며, 인도와 세일론에 있는 Bo tree(*Ficus religiosa*)는 불교와 로마 역사에 의하면 약 2,000-3,000년이라고 한다. 북 러시아의 Common juniper (*Juniperus communis*)의 수명은 2,000년, Norway spruce(*Picea abies*)는 1,200년, Swiss stone pine(*Pinus cembra*)도 1,200년으로 추정하고 있다.

식물마다 수명에 차이가 나는 이유는 각기 다른 구조와 생육환경에 대한 적응등이 다르기 때문으로 설명한다. 식물은 빛과 물, 공기중의 이산화탄소만으로도 광합성을 하여 생육할 수 있다. 그 중에서도 지구표면에 항상 존재하고 있는 빛과 이산화탄소를 제외하면 물은 가장 중요한 식물의 성장내지는 수명에까지 영향을 주는 환경요인이다.

식물은 왜 물이 필요한가

물은 식물생장에 있어서 매우 중요한 구성요소 일 뿐만 아니라 식물의 대사작용인 광합성, 질소동화, 증산작용, 그리고 뿌리로

부터 무기영양의 흡수에도 중추적인 역할을 한다. 물은 탄수화물, 핵산, 단백질등 수많은 세포구성물질의 분자구조를 이루게 한다. 광합성이나 호흡과정 이외에도 복잡한 식물체 내에서 다양한 기능을 수행한다. 물은 용매로서 세포내에서 대사물질들을 용해시키고, 이들을 이온화시켜서 수송을 용이하게 한다. 또한 복잡한 유전자의 발현, 효소의 기능등 생물체에서의 모든 조절작용에 관여한다.

그러므로 대부분의 성장중인 식물의 물 함량은 80-95%나 된다. 당근이나 상치의 물 함량은 85-95%이고 휴면중인 씨에도 물 함량은 5-15%나 된다.

따라서 물은 생명체의 구성에도 관여하지만 세포내 수많은 생화학반응을 할 수 있도록 용매의 역할을 하는 중요한 요소이다.

뿌리에서는 어떻게 물을 흡수하나

뿌리의 물 수송경로

식물은 뿌리털의 표피세포를 통하여 토양 속의 물과 무기양분을 흡수한다. 토양의 함수율은 식물의 물 흡수에 직접적인 영향을 주게 된다. 수분의 흡수는 뿌리털 세포의 삼투압이 토양수의 삼투압보다 높을 때에만 이루어진다. 따라서 토양에 물이 충분하면 식

1)How Plants Use Water

2)MIN, Kyung-Hee, Professor Emeritus, Division of Natural Science, Sookmyung Women's University

물뿌리에서 물을 충분히 흡수하여 원만한 생장을 하겠으나 물이 부족하면 식물은 물을 흡수하지 못하여 시들게 된다.

뿌리에는 표피층(epidermis), 피층(cortex), 내피(endodermis), 체관부(phloem), 물관부(xylem), 내초(pericycle) 등으로 되어 있다. 식물 표피세포는 점성세포벽 상태로 토양입자와 밀접하게 접촉되어 있다. 따라서 토양입자에 결합된 수분의 막은 직접 표피세포와 접촉되는 것이다. 뿌리털의 수는 물을 흡수하기 위하여 수 없이 많고 대단히 넓은 표면적으로 되어 있다. 뿌리의 표피세포로부터 내피에 이르기 까지 물의 흡수력은 다음과 같이 내부로 들어 갈수록 점점 커진다.

표피세포 < 피층 < 내피 < 물관

물의 이동과 함께 물에 녹아 있는 무기물질들은 능동수송(active transport)이라고 하는 별도의 기작에 의하여 물과 함께 식물체에 흡수된다.

뿌리압(root pressure)

토마토 식물줄기의 아래 부위를 조심스럽게 절단하면 절단된 줄기에서 액즙이 흘러 나온다. 절단부위 위쪽으로 긴 압력계를 설치하면 액즙이 상당한 압력으로 밀려 올라오는 것을 관찰할 수 있다. 이것을 뿌리압(root pressure)이라고 한다. 이 뿌리압으로

인하여 토마토 같은 식물에서 수액을 도관을 통하여 밀어 올릴 수는 있지만 아주 높은 수목의 꼭대기까지는 수액을 밀어 올릴 수는 없다.

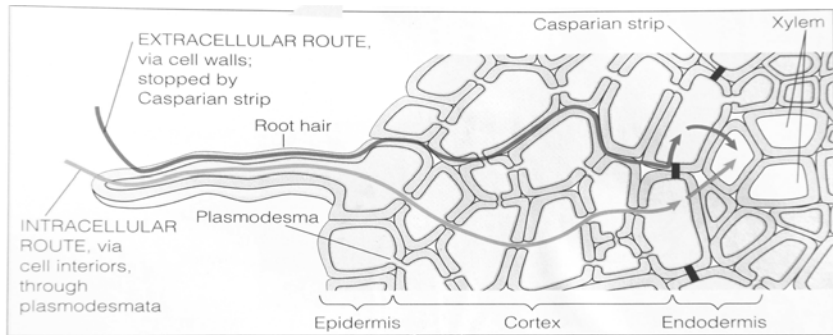
뿌리압의 발생원인은 토양에 함유되어 있는 물의 농도와 뿌리의 도관에 있는 수액의 농도차이에 의하여 생기는 것이다. 뿌리압은 몇몇 식물의 목부에서 물의 수송에 중요한 역할을 하지만 대부분의 식물에서는 대단히 낮은 뿌리압을 나타내든가 어느 식물에서는 뿌리압을 전혀 측정할 수 없었다.

특히 여름철에 식물의 증산작용이 매우 활발하게 진행된다면 물관을 통한 물의 수송은 활발하게 일어나지만 뿌리압은 전혀 측정되지 않는다.

따라서 뿌리압에 의한 물의 수송은 키가 큰 나무에 까지는 충분하지 못하므로 주요 기작이라고 할 수가 없다.

물은 높은 나무에 까지 어떻게 올라가는 가

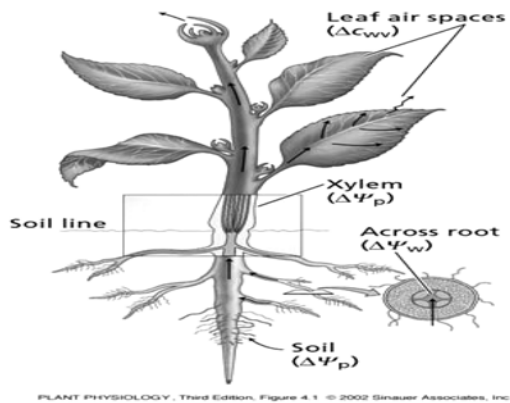
미국 서부의 키가 큰 전나무(Douglas-fir; red wood)는 300 feet 이상이다. 이 같은 높은 나무 위 꼭대기 까지도 물은 쉽게 상승한다. 그러면 어떠한 기작에 의하여 물은 식물체내에서 중력의 힘을 거슬러 위로 상승하는 것인가.



뿌리로 부터 물의 흡수 경로

1) 물의 이동경로

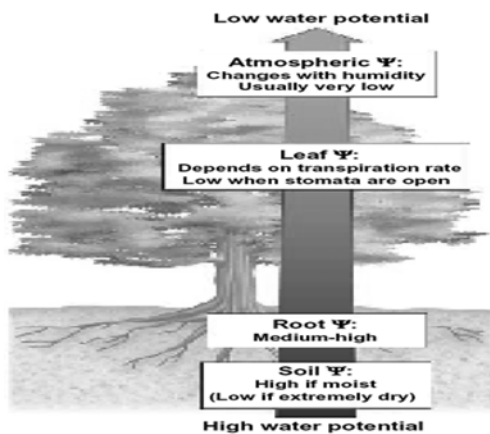
물은 삼투작용에 의하여 뿌리에서 흡수되어 물관으로 들어오게 된다. 이와 같은 물 이동의 원동력은 토양으로 부터 공기층에 까지 각 단계별 존재하는 함수량의 차이에 기인된다. 즉 각 단계별 수분 퍼텐셜의 차이 (water potential gradient)는



식물체내 물의 이동경로

토양>뿌리>줄기>잎>공기의 순서가 되므로 물의 농도가 높은 곳에서 부터 낮은 곳으로 이동하게 된다. 따라서 식물체내에서 물의 이동경로는

토양→뿌리→줄기→잎→증산→공기의 순서로 진행된다.

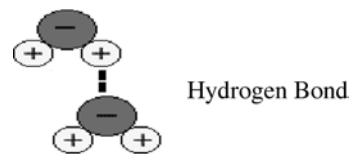


단계별 수분 퍼텐셜

2) 증산작용-응집력-장력기작(transpiration-cohesion-tension mechanism)

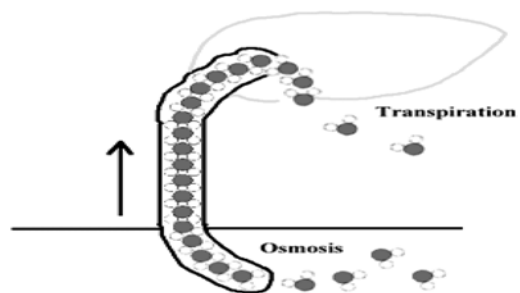
물은 잎 표면에서 증산에 의하여 지속적으로 공기 중으로 수증기 상태로 확산 된다. 이때 증산에 의하여 끌어 올리는 힘은 물 이동의 주요 원동력은 무엇일까.

응집력(cohesion); 물은 극성을 띠고 있으므로 물 분자들이 서로 가까이 접근되어 있으면 서로 수소결합을 하게 된다. 한 물 분자의 음성으로 하전 된 산소원자는 다른 물 분자의 양성으로 하전 된 수소원자와 수소결합을 형성한다. 이같이 물분자간의 인력을 응집(cohesion)이라고 한다.



물 분자간의 수소결합

식물체에서 물 분자들은 지속적인 물 분자들과의 수소결합으로 연결되어 뿌리에서 부터 나무의 꼭대기 잎까지 연결되어 하나의 긴 물기둥을 이루고 있는 상태이다. 잎에서 지속적으로 공기 중으로 증산작용(transpiration)이 일어나면 하나의 물 분자를 잃게 되면 다른 물 분자를 끌어 올리게 된다.



물 분자간의 응집력에 의한 물기둥 형성

표면장력(surface tension) ; 공기에 노출된

물 분자들은 응집력에 의하여 표면적을 최소화하는 힘을 받는데 이 같은 힘을 표면장력(surface tension)이라고 한다. 물이 물관이나 헛물관 같은 직경이 좁은 관에 있으면 응집력이 대단히 강하게 된다. 이 물기둥은 강한 표면장력을 가지게 되어 끊어지지 않는다. 다시 말하면 장력은 가느다란 물기둥을 위에서 끌어당기는 힘, 또는 증산이 일어나는 동안 물관이나 헛물관에서 물을 끌어당기는 힘을 말한다.

부착력(adhesion); 물 분자는 세포벽이나 유리표면 같은 단단한 물질과 인력에 의한 부착력(adhesion)이 있다. 물은 물관속의 섬유소분자에 부착하여 식물전체로 물을 이동하게 하는 주요한 힘이 된다.

응집력, 부착 그리고 표면장력이 작용하여 모세관현상이 생기는 것이다. 직경이 작을수록 물기둥의 높이는 더 높이 올라간다. 물 분자가 세포벽에 부착하는 부착력과 물 분자끼리 결합하는 응집력으로 인하여 표면장력이 생기기 때문이다.

공변세포가 증산을 조절한다. 식물은 잎에서 광합성이나 호흡과정에 의하여 기공세포에서의 활발한 가스교환이 일어나게 되는데 이때에 잎 내부의 수분이 외부 공기로 지속적으로 유실된다.

이때 잎의 공변세포에서 기공이 열리고 닫히는 개폐기작은 K⁺ 이온, 햇빛, CO₂ 농도 등에 의하여 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 공변세포의 기공이 열리면 증산작용이 일어나고 기공이 닫히면 증산은 일어나지 않는다.

따라서 공변세포에서 증산작용을 조절하는 중요한 기능을 가지고 있다.

이를 종합하면 증산작용을 하게 되면 물 분자의 응집력과 부착력에 의하여 물관의 물을 끌어 올리는 흡인력인 장력이 생기게 된다. 증산작용이 활발히 일어나고 있을 때는

장력(흡인력)은 물관속의 물기둥을 높은 나무위에 까지 끌어 올릴 수 있는 힘이 생기게 되는 것이다.

식물은 물을 어떻게 보존하는 가

지의류

높은 산의 큰 바위나 왕능 주변의 석조물의 바위표면에는 지의류가 붙어 살고 있다. 비가 와서 습도가 높아지면 지의류는 부풀어 성장을 하지만 가뭄이 장기간 지속되면 지의류의 엽상체는 건조된 상태로 축소된다. 지의류는 유기물과 토양 그리고 물이 거의 없는 바위 표면에 어떻게 부착하여 생존하는 것일까.

지의류는 균류(fungi)와 조류(algae)의 공생체로 지의류 자체의 특이한 구조를 하고 있다. 지의류는 건조와 가뭄에 대하여 놀랄 만한 저항력을 가지고 있는 것은 수분을 보호하는 엽상체의 특이한 구조에 기인한다. 즉 엽상체내의 균사의 원형질은 대단히 두터운 젤라틴 수질층벽으로 되어 있어서 건조에 잘 견디게 되어 있다. 엽상체가 비가 와서 젖으면 갑자기 물을 흡수하여 3-35배의 무게로 커지게 된다. 이때 엽상체의 균사는 물을 대단히 많이 흡수하여 균사의 두터운 수질층내에 물을 저장하여 가뭄에 대비하는 것이다.

사막의 식물

식물은 물이 부족할 경우 어떻게 생존하고 있는 것일까. 건조한 환경에 잘 견디는 사막의 식물들에는 대추야자나무, 사막아카시아, 크레오소트나무, 바오밥나무(Baobab tree), 웰위치아(Welwitschia), 유카의 일종인 조슈아나무(Joshua tree), 유칼립투스(Eucalyptus macrocarpa), 알로에의 일종인 퀴버나무(Quiver tree), morning tree(Ovalifolia), 선인



바오밥 나무(Baobab tree)



유칼립투스(*Eucalyptus macrocarpa*)



조슈아 나무(Joshua tree)

장종류 등이 있다. 신기하게도 morning tree 배하기도 한다.
는 귀중한 식량, 약용, 기름생산을 위하여 재 식물은 수분이 원활한 환경에서는 생장이



Morning tree

용이하지만 사막과 같은 대단히 건조한 환경에서는 특이하게 적응하여 생존하고 있는 것이다. 사막의 식물들은 다년생식물이 많다. 이곳의 식물들은 물의 소실을 막기 위하여 잎이 매우 작거나 없는 경우도 있다. 다육식물인 선인장종류는 잎이 가시로 변형되어 수분의 손실을 최소화하여 사막에서도 생존하고 있는 것이다.

이와 같이 식물들은 물이 생존에 필수적이므로 물 부족에 대비하여 형태적인 변형 내지는 식물체내에서의 특수한 물 보존 기작을 가지고 있다.

참고문헌

1. 최신 식물생리학. 권영명 외, 2003. 8. 아카데미서적.
2. 식물생리학(번역). 홍영남 외, 2006. 1. 월드 사이언스(Introduction to Plant Physiology by W.G. Hopkins & N.P.A. Huner).
3. 생명과학의 이해, 이광웅 외, 1996. 을유문화사.
4. <http://www.tvdsb.on.ca/westmin/science/sbioac/plants/cohesion.htm>
5. <http://4e.plantphys.net/article.php?ch=4&id=99>
6. <http://4e.plantphys.net/article.php?ch=e&id=98>
7. <http://employees.csbsju.edu/ssaupe/biol327/Lecture/water-trans.htm>