

다윈 식물기

조형택 교수

서울대학교 자연과학대학
생명과학부

학력

1982-1986 서울대학교 식물학과 이학사
1986-1988 서울대학교 식물학과 이학석사
1990-1994 서울대학교 생물학과 이학박사

경력

1995-1998 MSU-DOE Plant Research Laboratory, Michigan State University
(미국) 박사후연구원
1998-2003 Department of Biology, Pennsylvania State University
(미국) 박사후연구원
2003-2008 충남대학교 생물학과 조교수, 부교수
2008-현재 서울대학교 생명과학부 (세포분화학실험실) 부교수, 교수
2014-2015 서울대학교 생명과학부 학부장

연구분야

- 세포분화의 발달-진화학(Evo-devo)
- 세포 극성 형성에 따른 호르몬(옥신)의 극성 수송 메커니즘
- 호르몬(옥신) 신호전달 경로의 다양성

다윈 식물기

‘1월31일 아침 6시 45분, 아직 해가 뜨기 전 일어나자마자 파자마 바람으로 창가로 다가가 유리판 위에 잉크로 조그마한 첫 번째 점을 찍는다. 8시 30분 아침 식사를 마치고 다시 방으로 돌아왔을 때 가느다란 유리실 위에 매달린 조그만 유리구슬은 이미 한참을 움직인 뒤였다. 두 번째 위치를 유리판 위에 점으로 찍는다.’

이런 일을 다윈은 그의 생의 막바지에 하루 종일 또는 며칠에 걸쳐 수도 없이 반복한다. 이것은 1~2cm밖에 안 되는 조그만 어린 식물의 줄기 끝에 꽃힌 가느다란 유리실 끝의 위치를, 즉 식물 줄기의 움직임을 시간에 따라 추적하는 다윈의 실험 장면이다(그림1).

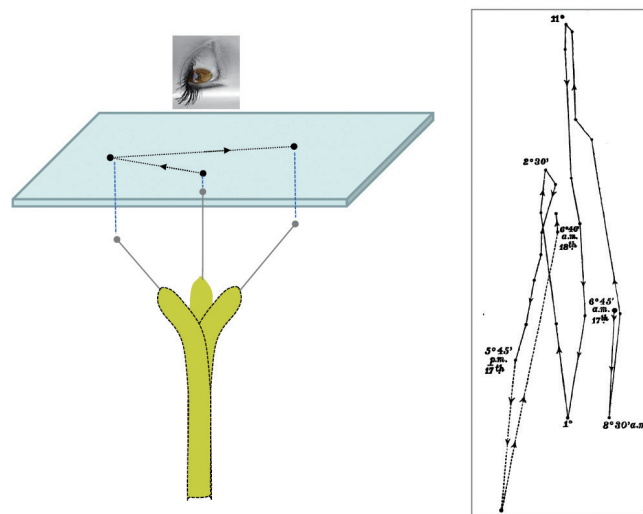


그림1. 어린식물 줄기의 움직임을 추적하는 다윈의 실험 방법(왼쪽)과 실제 다윈의 추적 기록(오른쪽).

다윈이 진화학자로서 ‘종의 기원’ 저작에 실패했더라도 그는 여전히 가장 뛰어난 실험 식물생리학자로 사람들에게 알려져 있을 것이다. 열일곱살(1826년) 다윈이 신학 공부를 위해 캠브리지 대학에 들어왔을 때 식물학자인 헨슬로우(J.S. Henslow) 교수와 친해지는데 아마도 이것이 다윈에게 식물에 대한 본격적인 관심을 갖게 한 계기일 것으로 생각된다. 식물과 밀접한 다윈의 최초의 저서는 ‘종의 기원’이 발표된 몇 년 뒤(1862년)에 나온 ‘난과 식물들의 다양한 충매(곤충에 의한 가루받이) 방법’이다. 이후로 병마에 시달리던 생애의 마지막 20여년을 다윈은 다양한 식물의 행동에 대한 관찰과 실험에 헌신하였다. 끈끈이주걱같은 식충식물의 잎이 곤충뿐 아니라 고기 덩어리, 심지어는 다양한 화학물질의 자극에 의해서도 움직인다는 것을 실험으로 보여주었다. 그리고 오이 같은 덩굴식물 덩굴손의 운동에 대한 연구 결과를 1864년에 발표하고, 1870년대에 걸쳐 다양한 식물 종들과 다양한 식물 부위들의 움직임에 대한

관찰과 실험을 수행하여 생을 마치기 2년 전인 1880년에 ‘식물 운동의 원동력’이라는 저서를 아들 프란시스와 함께 내놓는다.

다윈의 생애 거의 마지막 역작인 식물행동에 대한 이 연구에서 다윈은 여러 가지 실험기구와 장치들을 고안해서 진화적으로 매우 다양한 식물들을 대상으로 줄기, 잎, 꽃, 뿌리 등 여러 식물 부위의 자체적인 움직임, 그리고 빛, 중력과 같은 외부 자극에 반응하는 움직임(굴광성, 굴중성)을 실험, 관찰하였는데, 이 연구에서 무엇보다도 드라마틱한 것은 굴광성, 굴중성 실험을 통해 현대 식물생리학 연구의 핵심 요소인 호르몬의 존재와 영향에 대해 처음으로 유추해내는 통찰력을 보였다. 그가 유추해낸 호르몬을 우리는 지금 ‘옥신(auxin)’이라고 부른다.

어린 식물의 줄기(하배축)나 뿌리는 각각 빛과 중력을 향해 민감하게 굽는 행동을 보인다. 이것은 각각 광합성을 위해 그리고 수분과 영양분을 찾기 위한 식물의 기본 생존 행위이다. 다윈은 빛과 중력을 감지하는 부위는 각각 줄기와 뿌리의 끝 부분이며 실제 굽음이 일어나는 부위는 그 끝에서 일정 거리 떨어진 부분이라는 것을 관찰하고 줄기와 뿌리의 끝에서 자극에 반응하여 형성된 어떤 ‘영향력’이 굽는 부위까지 이동해서 그 부분의 세포가 더 자라게(또는 덜 자라게) 함으로써 굽게 만든다는 결론을 내렸다. 여기서 다윈이 지적인 ‘영향력’은 바로 대표적인 식물생장 호르몬인 옥신이다. 옥신은 화란의 프리츠 벤트(Frits Went)가 1928년 처음으로 화학물질로서 밝혀내고 이름이 지어진다. 다윈은 단순히 옥신이 굴중성과 굴광성 운동을 일으키는 주요 호르몬(영향력)일 뿐 아니라 옥신이 줄기와 뿌리 끝에서 각각 아래 부분으로 ‘이동’한다는 결론을 유추했다는 점에서 매우 통찰력 있는 실험 과학자라 할 수 있다. 옥신이 특정 방향으로 어떻게 이동하는 지는 다윈이 그것을 예측한지 100년이 훨씬 지난 21세기에 들어서 밝혀지기 시작했다.

옥신이 특정 방향으로 이동하는 것을 ‘옥신의 극성수송’이라고 하며, 이는 옥신이 세포와 세포 사이를 이동하는 식으로 이루어진다. 생체 내의 대표적인 옥신인 인돌아세트산은 친수성을 띠기 때문에 주

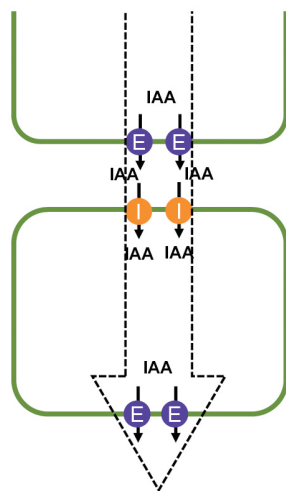


그림2. 옥신의 극성수송. IAA=옥신, E=옥신방출수송체, I=옥신유입수송체

로 지질로 구성된 세포막을 통과하기 위해서는 막에 있는 수송체 단백질의 도움이 필요하다. 옥신이 세포 사이를 이동하려면 세포 안에서 밖으로 옥신을 내보내는 옥신방출수송체와 세포 밖에서 안으로 들여보내는 옥신유입수송체의 두 가지 수송체 단백질이 필요하다. 이런 수송체 단백질이 세포막의 모든 부위가 아닌 세포막의 특정 방향에만 위치함으로써 옥신이 특정 방향으로 이동하게 된다(그림 2).

다윈이 관찰한 뿌리의 굴중성 반응을 현대적으로 해석해보자. 옥신은 주로 줄기 끝에서 만들어져 줄기와 뿌리의 중심부에 위치한 관다발 유조직 세포들을 따라 뿌리 끝(뿌리끝)까지 이동한다. 이는 옥신 방출수송체가 관다발 유조직 세포들의 아랫부분에, 옥신유입수송체가 세포의 윗부분에 위치하기 때문에 가능하다. 뿌리 끝인 뿌리끝까지 수송된 옥신은 뿌리 표피세포들을 따라 다시 윗부분으로 이동한다. 즉, 뿌리 표피세포에서는 관다발 세포와는 반대로 옥신방출수송체가 세포의 윗부분에, 유입수송체가 세포의 아랫부분에 위치하여 이를 가능케 한다(그림 3).

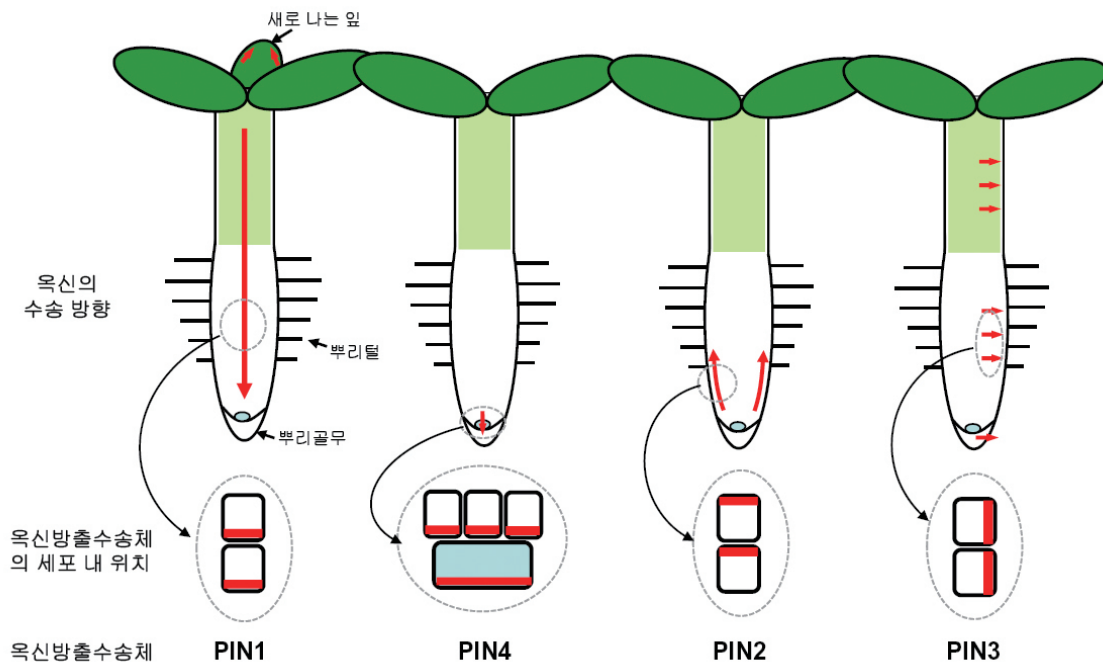


그림3. 어린 식물에서 옥신방출수송체들의 세포 내 위치와 그에 따른 옥신의 수송 방향.

줄기, 뿌리와 같은 원통형의 기관이 굽는다는 것은 굽음이 일어나는 안과 밖의 부위가 서로 다른 비율로 자란다는 것을 의미한다. 다윈이 관찰했듯이 뿌리의 굽음이 일어나는 생장 부위는 뿌리 끝에서 약간 떨어진 윗부분으로서, 옥신이 이 뿌리 부분의 양쪽 부위에 균등하게 공급되면 뿌리는 곧게 자라지만 옥신이 양쪽 부위에 불균등하게 공급될 경우 많이 공급된 부위에서는 억제, 적게 공급된 부위에서는 생장의 촉진이 일어나 결국 뿌리가 굽어서 자라게 된다. 이렇게 뿌리의 생장부위에 옥신을 어떻게 공급하느냐를 결정짓는 중요한 요소 중 하나가 바로 뿌리끝의 세포막에 위치한 특정 옥신방출수송체이다. 새로운 중력의 자극이 없이 뿌리가 곧게 중력방향으로 자라고 있을 때 이 수송체는 뿌리끝세포막의 모든 방향에 위치한다. 즉, 옥신을 모든 방향으로 골고루 공급해준다. 그러나 뿌리가 수평으로 눕게 될 때, 즉 중력 자극을 받게 될 때 모든 방향에 있던 이 옥신방출수송체는 다른 방향의 세포막에서는 사라지고 중력방향에 있는 세포막에만 위치하게 된다. 이는 곧 수평으로 놓인 뿌리의 아랫부분에서만 옥신이 방출되어 뿌리 생장부위의 아랫부분에 더 많은 옥신이 공급된다는 것을 말한다. 더 많은 옥신에 노출된 아랫부분은 낮은 농도를 유지하는 윗부분보다 생장이 억제되어 결국 뿌리는 아래(중력) 방향으로 굽게 된다

(그림 4). 옥신은 가장 중요한 식물성장 호르몬 중의 하나이기 때문에 옥신수송의 결함은 곧바로 식물 발달의 이상으로 나타난다. 따라서 옥신수송체 유전자가 망가진 돌연변이체는 옥신이 관여하는 굴광성, 굴중성, 뿌리성장, 새로운 뿌리와 잎나기, 배발생 등 식물 발달의 핵심적인 과정에 이상을 보인다.

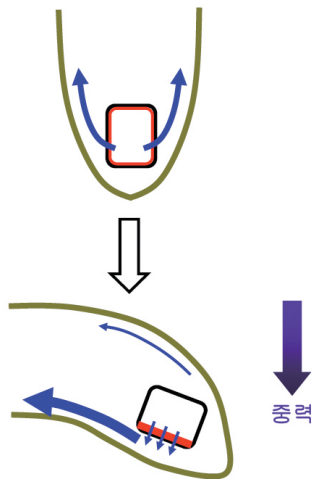


그림4. 중력방향의 변화에 따른 옥신방출수송체의 위치변화와 옥신의 분포변화 그리고 뿌리의 굽음 운동. 사각형의 세포는 뿌리끝무세포를 과장해서 그린 것으로 그 안의 빨간색은 옥신방출수송체의 세포막 상 위치를 나타낸다. 뿌리에 표시한 화살표는 옥신 흐름의 방향과 양을 표시한다.

다윈은 줄기가 빛을 향해 굽거나 뿌리가 중력을 향해 굽는 식물의 운동 반응을 동물의 신경계와 즐겨 비교하였다. 특히 줄기와 뿌리의 끝 부분이 빛과 중력을 각각 '감지'하는 데 핵심 역할을 하기 때문에 이 끝 부분을 동물의 두뇌와 견주기도 하였다. 특히 줄기의 굴광성을 조사하는 실험에서는 줄기 끝이 12 m 나 떨어진 조그만 촛불 램프의 빛도 감지하여 그 방향으로 줄기를 굽게 만든다는 것을 관찰하였다. 이 정도의 불빛에서는 이미 6 m 만 떨어져도 사람 눈으로는 그 식물이 전혀 보이지 않을 정도였다고 다윈은 기술한다. 줄기나 뿌리의 끝을 제거하거나 자극을 감지하지 못하도록 하는 수많은 반복 실험을 통해 이 끝 부분이 정말 동물의 머리와 같은 역할을 할 것이라고 당연히 다윈은 생각했을 것이다. 이러한 다윈의 아이디어들은 최근에 '식물신경생물학'이라는 분야를 탄생시키게 된다. 물론 식물이 동물과 같은 신경세포로 구성된 신경계를 지니고 있지는 않지만, 자극을 감지하고 운동반응을 보이며 옥신과 같이 기관, 조직, 세포 사이의 통신을 담당하는 물질이 존재한다는 사실이 식물신경생물학의 개념을 낳게 한 이유가 되었다.

식물의 운동에 대한 다윈의 관찰과 실험은 항상 여러 가지 식물 종을 대상으로 함으로써 진화적인 관계 또는 보존성을 밝히고자 하였으며, 많은 반복실험과 항상 적절한 대조구 실험을 통해 실험의 신뢰도를 크게 높였다. 다윈의 학문적 결론과 이론은, 몇 가지 사례만으로부터 안락의자에 앉아서 유추해낸 것이 아니라, 진정으로 수많은 '사실들'을 수집하고 분석, 실험한 뒤 도출해낸 것들이기에 더욱 진리에 다가가는 것들이다. 진리를 추구하는 데 있어서 이러한 다윈의 진지한 자세가 그의 탄생 200년이 지난 지금 어린 과학도들에게 알려지기를 희망한다.