Plant Physiology(1/5)

"Nulla in mundo pax sincera sine felle" / Viper pro creatione et prosperitatis

<수분이용효율>
* C4식물의 수분이용효율은 일반적으로 C3식물보다 높다, 온도가 20℃에서 35℃로 높아짐에 따라 C3식물과 C4식물 간의 차이는 더 커진다.
- C4식물에서 수분이용효율이 높은 요인은 높은 광도와 온도 조건에서 광합성이 높고 생장속도가 빠르며, 낮은 광도에서는 기공개방성이 높아 증산작용이 낮기 때문이다.
C3식물과 C4식물의 수분이용 효율은 CAM식물보다 낮다. 그러나 CAM식물의 작물로의 이용은 CO_2고정과 CAM식물의 생산성이 낮기 때문에 제한을 받는다.

* 수확체감의 법칙 : 결핍원소를 비료로 공급하면 최적 농도가 될 때까지는 수량이 직선적으로 증가하지만 최적 농도에 가까워질수록 수량증가율이 감소
* 양분최소율의 법칙 : 여러 가지 무기물이 부족할 때에는 가장 부족한 무기물에 의하여 생육이 영향을 가장 크게 받으며 그 부족한 것을 비료로 공급해 주면 그 다음 부족한 무기물에 의하여 생육과 수량이 결정

1 식물세포의 구조 및 기능

* 세포 소기관의 구조와 기능

핵	① 생명 활동의 중심 ② 염색사(DNA+히스톤 단백질), 인(리보솜 RNA 합성), 핵막(2중막)으로 구성	*2중막(복막) 구조
엽록체	① 식물의 광합성 장소(포도당 합성, 산소 발생) * 틸라코이드 중첩 : 그라나(리엘라 구조) * 기초질 : 스트로마	
미토콘드리아	① 세포 호흡 장소(ATP 합성) * 내막은 크리스테(cristae) 구조 * 호흡의 두가지 과정 : ① 유기산의 산화적 탈탄산 ② 시트그롤계에 의한 산화와 그것에 공역한 ATP 생성 ⇨ 지방산의 β산화 : acetyl CoA 생성 glutamic acid와 탈수소효소에 의한 glutamic acid의 산화적 탈아미노반응 → α-ketoglutamic acid 생성	*DNA, RNA, 리보솜 함유 ↳ 스스로 복제 및 증식 기능
골지체	① 단백질의 변형과 분비 ② 단일막 구조 ③ 분비소낭을 형성하여 단백질 분비	단막 구조
리소좀	① 골지체에서 유리 ② 가수분해 효소 포함 : 세포 내 소화 담당	
소포체	① 거친면(조면) 소포체(RER) : 단백질의 이동 통로 * 리보솜 ② 매끈면(활면) 소포체(SER) : 지질 합성, 독성물질 분해, 칼슘 저장	
중심액포	① 세포 내 수분량과 삼투압 조절 * 침투압을 가지고 세포의 팽압을 조절 ② 영양소와 노폐물, 색소 등 저장 ③ 오래된 식물 세포에서 발달	
미소체	① 페록시좀 : 엽록체와 미토콘드리아와 함께 광호흡 진행 ② 글리옥시좀 : 지질함량이 높은 종자의 발아과정에서 지방산의 분해를 돕는 역할	
리보솜	① 단백질 합성 장소 ② 리보솜 RNA와 단백질로 구성 ③ 막으로 싸여 있지 않음	
세포벽	① 식물 세포의 형태 유지, 식물체 지탱, 지나친 물 흡수 방지, 전투과성 막 ② 1차 세포벽 주성분 : 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 펙틴 2차 세포벽 주성분(2차 세포벽 내부) : 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 펙틴, 리그닌	
세포골격	① 세포의 형태 유지 ② 미세소관, 미세섬유, 중간섬유가 있음 ↳ 미세소관 : 세포 형태의 형성과 유지, 세포의 분화와 세포벽 건축, 세포 내부 수송, 염색체 이동과 세포판 형성, 섬모와 편모에 의한 세포의 이동 등 관여	
세포막	① 세포 안팎으로의 물질 출입 조절 ② 인지질 2중층+ 단백질 : 유동 모자이크 막 * 막 단백질 종류와 기능 ↓	

세포인식(당단백질)	신호전달(수용체 단백질)	효소작용(효소 단백질)	물질운반(수송 단백질)
다른 세포 구분	세포 외부의 화학 물질을 인식하여 세포 내부로 신호전달	세포 내부의 물질대사에 관여	막을 통한 물질의 이동에 관여

* 세포막의 막단백질은 인지질 층에 고정되어 있지 않고 자유롭게 이동

2 수분생리

* 수분퍼텐셜의 구성
① 생육중인 작물에 지배 : 삼투퍼텐셜 + 압력퍼텐셜
② 건조조직, 토양지배 : 매트릭퍼텐셜
③ 포장용수량(모관수) 토양수분 : 포화상태 = 중력 + 압력퍼텐셜
④ 포장용수량(흡습계수) 이상 : 불포화토양 = 중력 + 매트릭퍼텐셜
⑤ 작물체, 토양은 0 또는 + 값 : 압력퍼텐셜
⑥ 건조토양, 건조종자(액포가 없는 종자) 항상 0 -값 : 매트릭퍼텐셜
⑦ 작물체 정상 생육중 0 또는 항상 -값 : 삼투퍼텐셜

☞ 수분퍼텐셜은 용질의 농도가 높아짐에 따라 감소되고 압력이 증가되고 온도가 높아지면 증가된다.

* 수분퍼텐셜 구성 요소의 상호관계
① 수분퍼텐셜 = 삼투퍼텐셜 + 압력퍼텐셜
② 팽만상태 : (MPa = -2.0MPa + 2.0MPa
③ 약간팽만상태 : -1.2MPa = -2.5MPa + 1.3MPa
④ 원형질 분리상태 : -2.5MPa = -2.5MPa + 0MPa

* 수분 퍼텐셜 정리
① 순수한 물은 수분퍼텐셜이 0 / 삼투퍼텐셜도 0
② 세포내에서 수분은 수동적일 뿐만 아니라 능동적으로도 이동할 수 있다.
③ 용질의 농도가 높아지면 감소되고 압력이 증가되고 온도가 높아지면 증가
④ 식물세포 내 팽압은 벽압과 같은 값이나 방향이 정반대이다.
⑤ 초본식물에서 성숙된 액포를 갖고 있는 조직은 매트릭퍼텐셜이 거의 0에 가깝다.

* 토양수의 분류 ☞ 최대수분 = 포장용수량 - 흡습계수 ☞ 유효수분 = 포장용수량 - 영구위조점

생물적 분류	최이수분	유효수분			무효수분	
물리적 분류	중력수(pF 2.54 이하)	모관수(pF 2.54~4.5)			흡습수(pF 4.5) / 결합수(pF 7.0)	
토양수분의 특정항수(pF)	최대용수량(pF 0)	포장용수량 pF 2.54	수분당량 pF 2.7~3.0	초기 위조점 pF 3.9	영구위조점 pF 4.2/15기압	흡습계수 pF4.5
수분퍼텐셜(MPa)	최대용수량(-0.001)	포장용수량 -0.033	수분당량 -0.05	초기 위조점 -1.0	영구위조점 -1.5	흡습계수 -3.1

* 대부분의 초본식물의 잎은 수분퍼텐셜이 -1.5MPa(영구위조점) 이하가 될 때 생장하지 못한다. 일반적으로 수분퍼텐셜이 약 -2.0 ~ -3.0MPa(흡습계수 근사치) 이하로 떨어지면 초본식물 잎은 회복되지 못한다.

<뿌리에 의한 수분의 흡수>
* 카스파리대에 의하여 방해를 받고 카스파리대는 내피에서 왁스와 비슷한 소수성 물질인 수베린이 구형 세포벽에 집적된 띠이다.
- 아포플라스트 경로 : 죽어 있는 부위(세포벽, 세포간극) - 심플라스트 경로 : 세포안 원형질 연락사
* 증산계수(요구량) : 증발산량 / 건물생산량 * 증산효과 : 일정한 수분량을 소비한 생산된 건물량
* 수분 이용효율 : 건물 생산량 / 증발산량
* 통풍이 나쁜곳에서 자라는 논벼가 연약하게 도장하는 것은 증산량이 적기 때문이다.

* 기공의 개폐기구
① 개방 : 광합성을 시작 → CO_2 농도 감소 → K^+, H_2O 공변세포로 유입 → 기공이 열림
② 폐쇄 : 수분부족 → 세포질에서 ABA 농도 증가 → 공변세포로 ABA 유입 → K^+, H_2O가 공변세포에서 방출 → 기공이 닫힘
암조건 → CO_2 농도 증가 → ABA의 공변세포 원형질막의 전하분리 → 기공이 닫힘
* 수분 부족시 식물체 내부 현상 : ① ABA 합량증가 ② 당 함량 증가 ③ Proline 함량 증가 ④ 단백질 합성 감소
* 일액현상 : 밤에 토양온도가 높고 토양함수량이 많으며, 공기의 온도가 낮고 습도가 높아 포화상태에 가까울 때 일어난다.
↳ 저녁에 잎의 증산작용이 쇠퇴하였을때 일의 가장자리에 있는 수공에서 물이 나오는 일액현상도 근압에 의하여 일어난다.
* 일비현상 : 근압에 의해 생긴 물관부 안의 액압에 의하여 발생 / 봄 발아 전에 최대가 되고 발아 이후에는 급격히 감소
* 증산운집력설에 의한 식물체 내의 수분상승

원동력 : 증산작용	물관부 내에서 물의 응집력	토양으로부터 수분흡수
① 대기의 수분퍼텐셜이 낮기 때문에 세포벽으로부터 수분 증발 ② ①에서 수분퍼텐셜이 낮게 되고, 세포벽과 세포원형질체의 수분퍼텐셜이 낮아짐 ③ 에너지는 태양으로부터 얻어짐	④ 물기둥은 장력을 받아 응집됨 ⑤ 물관부요소의 모관작용이 일어남 ⑥ 기포가 생기면 수분은 통과하지 못함	⑦ 부의 수분퍼텐셜은 뿌리세포나 토양으로 전이됨 ⑧ 근모는 흡수부위를 증가시킴 ⑨ 내피를 통한 통과는 삼투력 과정으로 추정됨

3 작물의 영양생리

<수경재배예사> 질소를 NO_3^-로 공급하게 되면 음이온이 흡수될 때 OH^-가 나오게 되므로 배양액의 pH가 상승 NH_4^+로 공급하게 되면 pH 상승이 적어진다.

* 필수 광물성 원소의 생리작용

구 분	주요 생리작용	건물중 농도
N Nitrogen	① 질산태(NO_3^-)와 암모니아태(NH_4^+) 형태로 식물에 흡수 / NH_4^+가 NO_3^- 보다 단백질 합성시 에너지 소모 적다. ② 결핍되면 소형화되고 엽색이 황화, 안토시아닌색소가 나타나는 것도 있다. ③ 과잉시 잎색이 진해지고 결구에 지장이 있으며 과실은 착색이 지연되고 과배꼽 상태가 되어 생리장해를 일으킨다. * 질산환원효소의 구성성분으로 콩과작물의 질소고정에 필요무기성분 : Mo * 단백질의 16%<6.25=100/16>를 구성하므로 질소함량을 분석하여 6.25를 곱하면 단백질 함량이 된다.	1.5 * C 45 O 45 H 6
K Potassium	① 양이온(K^+) 형태로 이용되며 광합성량 촉진. 기공의 폐쇄, 세포 내의 수분공급 등에 관여하는 등 여러 생화학적 기능에 중요한 역할을 한다. ⇨ 체내 이동이 용이한 물질 * K과 길항원소는 Ca, Mg로 흡수를 저해한다. Mg은 K, Mn 길항작용을 한다. ② 단백질 합성에 필요하므로 칼륨 흡수량과 질소 흡수량의 비율은 거의 같은 것이 좋다. ③ 공변세포 주변에서 K^+과 ABA의 영향으로 기공이 열린다. * 흡수량이 적게 되면 내건성이 저하	1.0
Ca Calcium	① 세포막의 구성성분이며, 잎에 함량량이 많다. 질소의 흡수를 돕고 알루미늄의 과잉흡수 억제 ② 결핍시 생장점 등 분열조직의 생장이 갈퇴하며, 토마토의 배꼽썩음병, 사과 고두병을 일으킨다. * Ca 과용시 흡수저해 원소는 Mg, Fe, Zn, Co, B, Al, Mn	0.5
Mg Magnesium	① 엽록소의 구성원소로 결핍시 황백화 현상이 발생하며 지온이 낮아 인산의 흡수가 불량해지면 Mg 흡수도 영향을 받는다. 종자 내의 지유의 집적을 돕고 Mn과 길항작용이 있어 Mg의 공급량이 증가시키면 Mn의 과잉에 의한 독성을 줄일 수 있다. ② 결핍되면 광합성이 저하하여 곡물의 생장이 저해되고 오래된 잎에 있던 Mg이 생장점이나 어린 잎으로 이행한다. 포도, 고구마, 목화 등에서는 황색 대신에 잎이 적자색을 나타나기도 한다. ③ 벼에서는 유수형성기 이후부터 출수기까지의 Mg 결핍은 불임립이 증가하여 수량이 감소하고, 감자에서는 괴경에 전분의 축적이 감소한다. 특히 Mg 함량이 높으면 밥맛이 좋아진다. ④ 인산화과정 중에 모든 효소의 Cofactor로 작용	0.2
P Phosphorus	① 인산이온($H_2PO_4^-$, HPO_4^{-2})의 형태로 식물에 흡수 * 중성부근(pH 6.5)에서 인의 효과가 가장 높다. ② 결핍되면 잎이 말리고 농록색화 되고 갈색 반점이 생기고 고사한다. 뿌리의 경우에는 생육이 정지 하는 등 뿌리새소의 비대에 장해가 크다. * 작물체 내에서 이동이 가장 쉬운 양분 ③ 과용하면 토양중의 철이나 알루미늄과 결합하여 황화현상을 일으킨다. * 시비효과 : 논 < 밭 * 인산질 비료가 질소나 칼륨질보다 이용율이 떨어지는 주된 이유는 Fe, Al과 결합하여 고정되기 때문이다.	0.2
S Sulfur	① 단백질의 SH기가 중금속과 결합하면 다른 생리적으로 중요한 단백질의 기능이 보호 받아 식물이 중금속의 해를 피할 수 있다. ② 황은 화본과 < 콩과 < 십자화과 식물의 순으로 요구도가 크다. ③ 황은 식물체에서 재분배가 쉽지 않기 때문에 결핍증은 오래된 잎보다 어린잎에서 먼저 일어나며, 단백질합성이 저해되므로 일 전체가 황백화 한다. ④ 결핍시 단백질 생성이 억제되고 생육억제와 황백화 세포분열이 억제, 체내 이동성이 낮고 결핍증세는 새 조직에서 나타난다. 콩과작물에서 뿌리혹박테리아의 질소고정 감소	0.1
Si Silicon	① 벼, 보리 등에 함량이 높고 시용효과가 뚜렷하게 나타나며 화곡류 중 특히 벼는 규산(SiO_2)을 많이 흡수하는데 규산은 표피조직의 세포막에 침착하여 조직의 규질화를 이루어 병균(도열병 등) 침입을 막는다. ② 줄기를 튼튼하게 하여 병충해와 바람에 대한 도복 저항성이 커지고 Mg과 함께 사용하면 뿌리의 산화력을 높여 뿌리의 발달을 좋게 한다.	0.1
Cl Chlorine	① 가장 최근에 필수원소로 인정 ② 전분작물, 담배 등에서는 불리하게 작용 ③ 광합성(Hill 반응) 촉매 역할 : Mn^{2+}, Cl^- 물 광분해 / 섬유작물에 특히 효과적	0.01
Fe Iron	① 호흡 효소의 구성성분이며 엽록소의 형성에 관여 * 미량원소이므로 과다하면 해로울 수 있다. ② 철이 결핍되면 재분배가 일어나지 않으므로 어린잎부터 엽록소 감소, 황백화하여 엽맥 사이가 퇴색 * 철은 결핍되면 세포질보다 엽록체내에 있는 리보솜의 수가 감소하여 엽록소합성에 필요한 단백질을 충분히 공급하지 못하므로 엽록소함량이 감소하고 유리아미노산함량이 증가한다.	0.01
B Boron	① 광범위하게 결괴증상이 나타나는 원소로 결핍하면 코르크화 등 전반적으로 조직이 거칠고 단단해 진다. * 세포벽의 목질화와 관계되거나 세포내 다른 물질과 결합하고 있으며, 효소의 구성분은 아니다. * 식물별 B 요구량 : 외떡잎 식물 < 쌍떡잎 식물 < 십자화과 작물 ② 무, 배추 등 십자화과 채소에서 부족시 화주돌출, 임실저하, 위축 현상 * 뿌리에서 시토키닌의 합성을 촉진하므로 봉소가 결핍되면 어린 잎의 단백질함량이 감소하고 가용성 질소화합물이 증가하며 특히 NO_3^-가 많이 축적된다. 또한 옥신의 작용을 간접적으로 제어 * 결핍시 생장점 분열정지, 유관속 파괴, 유조직 터져서 흑화된다. 총생화 / 사과 코르크병, 축과병	0.002
Mn Manganese	① 각종 효소의 활성을 높여서 동화물질의 합성 분해, 호흡작용, 광합성 등에 관여 * 물이 광분해되어 전자가 방출되는 과정과 광합성에서 나오는 산소의 산화작용을 막는 작용 ② 부족하면 세포벽 두께워지며 표피조직 오그라든다. 조직 작아짐, 보리, 귀리에서 회색반점	0.005
Zn Zinc	① 여러 효소의 활성제로 작용하므로 탄수화물대사, 광합성, 단백질 합성에 필수적이다. 옥신의 전구체인 트립토판의 합성에 필요하다. * Zn 과잉은 뿌리의 생장을 억제하며 석회를 시용하면 토양 pH를 올려주게 되어 피해 방지 가능 ② 부족하게 되면 줄기의 마디길이가 짧아지는 로제트 현상과 little leaf 형상 나타남 * 결핍증은 토양 pH가 높거나 인산 시용량이 많을 때 일어나기 쉽다.	0.002
Na Sodium	① 염생식물에서 Na 결핍은 식물이 황백화 되고 조직괴사, 결국 생장정지 ② C3식물에서는 필수원소가 아니지만 C4식물/CAM식물은 필수원소로 카르복시화반응에 참여하는 phosphoenol pyruvate(PEP)를 재생산하는데 필수적인 것으로 판단 ③ 많은 C4 벼과 목초들은 상당량 대체할 수 있으나 옥수수, 호밀, 콩, 강낭콩, 상추, 티머시는 대체할 수 없다.	0.001
Cu Copper	① 광합성의 명반응에 관여하며 Cu^{+2}은 Cu^+로 환계환원되므로 전자전달계와 이에 관련된 효소의 구성분이다. ② 결핍되면 생장이 억제되고 어린잎이 비틀리며 정단분열조직이 괴사되는 증상을 보인다. * Cu 과잉은 엽록체 틸라코이드 막의 파괴로 황백화, 뿌리생장 억제 ③ phytoalexin 생성에 관여	0.0006
Ni Nickel	① 고등식물에서 요소분해효소가 Ni을 필요로 한다. Ni이 결핍된 식물은 요소를 잎에 축적하여 잎끝이 괴사 결핍증세를 보이는 작물은 거의 없으며 미국 peacan이 유일한 경도이다.	0.00001
Mo Molybdenum	① 근류균의 질소고정에 필요, 부족시 모자이크병 증세 ② 콩과작물의 경우 몰리브덴이 많이 필요 / NO_3^- 주로 이용하는 경우 필수적 * 고등식물에서 아질산(Nirite) · 질산(Nitrate) 환원효소(Reductase) 효소 구성성분 ③ 산성에서 유효도가 낮아지는 유일한 원소이다. 가장 적게 필요한 성분이다.	0.00001

* 식물체내에서 이동이 적은 물질 : Ca, Fe, S ⇨ 결핍시 어린잎에서 먼저 발생 / B도 흡수 후 생장점으로 재분배 잘 안된다.
* 무기양분의 투과성 - 순수한 인지질 2중층으로 된 인공막과 세포막의 선택적 투과성
① 소수성 분자 : 투과 / 탄화수소, O_2 ② 작고 해리되지 않은 극성분자 : 투과 / H_2O, CO_2
③ 크고 해리되지 않은 극성분자 : 불투과 / glucose ④ 이온 : 불투과 / H^+, Na^+, HCO_3^-, K^+, Ca^{+2}, Cl^-, Mg^{+2}

* 무기양분의 흡수 : 무기양분의 능동적 흡수에는 직접 ATP가 필요하지만 확산에 의한 수동적 흡수에도 에너지가 필요하다.
* 뿌리에서 양분의 흡수가 가장 왕성한 부위는 세포 분열이 활발한 선단부위보다 세포의 비대와 액포화가 일어나는 부위
* 저온 흡수저해 무기양분 : NH_4^+, PO_4^{-3}, K^+, H_2O * 저온에 영향을 받지 않는 양분 : Ca, Mg
* 광합성 관련 무기성분

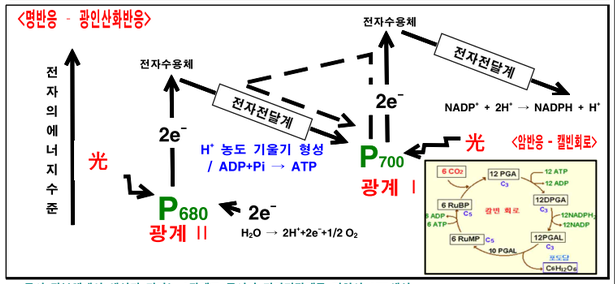
C, H, O, N, Mg	K	Mg	Fe	Cu, Mn
엽록소 구성 원소	기공개폐, CO_2고정반응 단계 효소활성화	결핍시 황백화 - 묵은잎 CO_2고정반응 단계 효소활성화	결핍시 황백화 - 어린잎 엽록소 형성	광합성 필수원소

4 광합성과 호흡작용

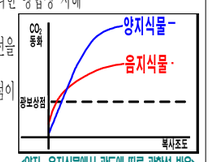
* 광합성 과정 : $6CO_2 + 12H_2O +$ 광E → $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O + 18$ ATP

구 분	명반응	암반응	
내 용	그라나에서 엽록소가 빛E를 흡수하여 화학 에너지로 전환하는 과정	스트로마에서 NADPH와 ATP를 이용하여 CO_2를 포도당으로 합성하는 과정	
생성물	NADPH와 ATP생성, O_2방출	PGA, 포도당 생성	
과 정	① 물의 광분해(Hill Reaction) * $2H_2{}^{18}O + C^{16}O_2$ → $^{18}O_2 + CH_2{}^{16}O + H_2O$ ② 광인산화반응 * 비순환적 광인산화 반응 ⇨ P680(Ⅱ광계) → P700(Ⅰ광계) * 순환적 광인산화 반응 : P700(Ⅰ광계)	C3식물 Calvin-Benson Cycle ① CO_2고정 단계 : RuBP + CO_2 → 2PGA ② 환원단계(당합성) : PGA + ATP + NADPH → PGald + ADP + NADP ③ RuBP 재생성 단계 : PGald → RuBP * RuBP carboxylase	C4식물 C3 + Hatch-Slack Cycle ① CO_2 + PEP → 옥살초산 → 말산, 아스파르트산 * PEP RuBP carboxylase
반응장소	그라나(틸라코이드 막)	스트로마(엽록체 기질)	

<명반응 - 광인산화반응>

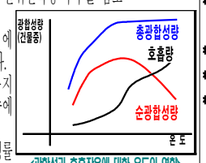


☞ 물의 광분해에서 생성된 전자는 2광계로 들어가 전자전달계를 거쳐서 ATP생성
* 식물별 CO_2에 의해 생기는 최초의 안정된 광합성 중간산물 ☞ C3 식물 : PGA(인산글리세르산) C4식물 : OAA(옥살아세트산)
* 비순환적 광인산화 반응 : 제 2광계(12ATP, $6O_2$ 생성), 제 1광계(12NADPH 생성)
* 순환적 광인산화 반응 : 제 1광계(6ATP 생성) / 산소는 방출하지 않고 NADP는 전자를 받지 않기 때문에 환원되지 않는다. ATP는 전자가 흐르는 동안에 형성되지만 NADPH가 형성되지 않으므로 순환적 광인산화반응은 CO_2를 환원시키고 당을 형성하는데 충분하지 못하다.
* 광합성 전자전달계 : 제2광계(PS 2 - P680)과 1광계(PS 1 - P700)가 있으며 두 광계는 시토크롬 복합체로 연결된다.
- 광계에서 대부분의 엽록소는 안테나 엽록소로서 기능을 하며 흡수된 광자의 안테나 복합체를 통하여 이동 최종으로 반응중심에 도달한다.
* BLACKMAN 한정 요인설 : 광합성량은 빛, 온도, CO_2의 농도 중 최소로 존재하는 광합성 요인에 의해 지배
☞ 광포화점에 있어서는 CO_2 농도와 온도가 광합성의 제한요인이 된다.
* Warburg Effect : RuBP Carboxylase(C3)에 대한 O_2와 CO_2의 경합 / 산소에 의한 광합성 저해
* 식물별 건물 생산 속도 : C4 > C3 > CAM
* 어머슨 효과(광합성측정효과) : 장파장의 광선을 조사하면서 동시에 단파장의 광선을 조사해 주면 장파장의 광합성 효율이 증가
* 광선이 있을때 1% 이상의 CO_2는 호흡을 멎게 하며 광이 약할 때에는 CO_2보상점이 높아지고 CO_2포화점이 낮아 진다. 광이 강할 때에는 반대로 된다.
* 카로티노이드(노란·오렌지·빨간색)의 광합성에서의 역할 - 40-C화합물
① 엽록소의 광산화 방지 ② 광에너지를 흡수하여 엽록체 a에 전이
↳ 엽록소가 광에너지를 받아 여기 상태가 될 때 생성된 ^{3}CHL과 $^1O_2$의 파괴작용을 소거
③ tetraterpene / 8개의 isoprene과 유사한 단위가 결합함
☞ Carotenes : 녹색 잎 존재(오렌지색) β-carotene($C_{40}H_{56}$) α-carotene($C_{40}H_{57}$), 토마토 붉은 색소 lycopene($C_{40}H_{56}$)
Xanthophylls(케톤기 또는 수산기로서 O를 함유하는 것) - 노란색 : zeaxanthin, lutein, vioaxanthin
* 광조건과 작물생육 : 생식세포 감수분열기의 차광은 영화의 퇴화를 가져오게 하여 1수 영화수를 적게 하고 영의 크기를 작게하여 1립중 감소 / 유수분화기 초기의 차광이 단위면적당 수수를 감소



<양지 · 음지식물에서 광도에 따른 광합성 반응>

* 광합성과 온도와의 관계
① CO_2농도, 광의 강도, 수분 등이 제한요소로 작용하지 않는 한 30~35℃에 이르기까지 광합성의 Q10은 2내외이고 광합성의 Q10은 고온보다 저온에서 크다.
② 외견상 광합성은 진정광합성보다 온도 상승에 따른 속도 증가가 고온까지 계속되기 힘들며 외견상 광합성은 적온 이상에서는 급격히 감소하고 온도상승에 따라 생장속도는 적온까지 증가
③ 고온은 photorespiration을 촉진시키거나 광합성기관을 파괴 시킴에 따라 광합성률은 감소된다.



<광합성과 호흡작용에 대한 온도의 영향>

* C3식물에서 산소에 의한 광합성 저해는 광합성 초기단계에서 RuBP carboxylase에 대한 O_2의 경합에 의하여 설명

* 엽록소의 광합성 단위 : 보통 200~300 엽록소 분자가 하나의 단위로 되어 광자를 수집하는 하나의 광계를 이루고 있다.
- 엽록소 a($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) : 2번 pyrrol에 메틸기($-CH_3$)를 결합
- 엽록소 b($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) : 2번 pyrrol에 알데하이드(-CHO)를 결합
- 안테나 엽록소 : 광계에서 대부분의 엽록소는 안테나 엽록소로서의 기능을 한다. 안테나 색소는 광을 흡수하나 직접적으로 광화학 반응에는 관여하지 않는다. 그러나 안테나 엽록소는 서로 밀접해 있어 動起된 에너지가 인근 색소분자들 사이를 쉽게 통과할 수 있다. 안테나 엽록소는 광입자를 수용하여 전달하는 역할을 하면서 광합성을 직접적으로 하지는 않고 광수용체의 역할을 담당하며 반응중심 엽록소에 전달
☞ 카로틴 - 엽록소b - 엽록소a (반응중심엽록소 P700 - 제 1광계, P680 - 제 2광계)
* 광합성 관여 색소 - 엽록소 a, 엽록소 b : 65% / carotene : 6% / xantophyll : 21%
* 고립상태 광포화점 순서
- 옴생식물 < 구약나물 < 콩 < 감자, 담배, 강낭콩, 보리, 귀리 < 벼, 목화 < 밀, 알팔파, 고구마, 사탕무, 무, 사과나무 < 옥수수
* 고립상태에서의 광포화점 : 생육적온까지 온도가 높아질수록 광합성 속도는 높아지나 광포화점은 낮아지고 CO_2포화점까지 공기 중의 CO_2 농도가 높아질수록 광합성과 광포화점이 높아진다.
* CO_2 포화점까지는 CO_2 농도가 높아짐에 따라 광포화점은 높아진다. 근류의 광포화점은 근류의 형성도가 높을수록 높아진다.
* 식물체 함수량과 광합성의 관계
① 잎의 삼투량 감소에 의한 기공의 가스확산 능력의 저하 ② 세포내의 엽록소나 원형질의 수화도 감소
* CO_2 - 광합성 관계 : 작물의 최대의 광합성은 광의 강도와 CO_2 농도 양자에 의하여 달라진다.
* 광합성의 제한요인

구 분	충분한 광조건	충분한 CO_2 농도	CO_2 농도가 극히 낮을 때
제한요인	CO_2 농도	광 강도	CO_2 농도 * 비교적 약한 광에서 최대 광의 강도를 늘려도 CO_2 흡수는 그 이상 일어나지 않는다. * CO_2 농도가 높을수록 광포화점에 도달하는데 더욱 강한 광을 필요

<호흡작용-respiration> : 식물은 체외에서 산소를 흡수하여 체내의 유기물질인 탄수화물, 단백질 또는 지방을 산화하여 생육에 필요한 에너지를 유리시키고 체외로 탄산가스와 물을 배출
* 호흡 과정 : $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$ → $6CO_2 + 12H_2O + 36ATP$

1단계 해당작용 (EMP Cycle)	포도당이 세포질에서 피루브산으로 분해되는 과정 * 반응식 : $C_6H_{12}O_6 + O_2$ → $2C_3H_4O_3 + 2H_2O + 6ATP$		6ATP	산소가 없어도 진행
	생산물	2ATP, 2NADH + H^+(4분자 ATP형성) * 기질 수준 인산화에 의해 4ATP가 생산되나 에너지 투자기에서 2ATP가 소모되었으므로 해당작용 전체로는 2ATP가 생산		
	장 소	세포질 - 시토졸		
2단계 TCA 회로 (Kreb's Cycle) 시트르산 회로	피루브산이 미토콘드리아 기질로 들어가 CO_2로 완전히 분해되는 과정 * 반응식 : $2C_3H_4O_3 + 5O_2$ → $2H_2 + 10H_2O + 30ATP$		30ATP	산소가 있어야 진행
	생산물	2ATP, 8NADH, $2FADH_2$ * 중간 생성물 : 시트르산 * 최종 생성물 : OAA		
	장 소	미토콘드리아 기질		
3단계 산화적 인산화 (전자전달계)	NADH, $FADH_2$에서 나온 전자가 미토콘드리아 내막의 전자 전달계를 이동하면서 방출한 에너지를 이용해 ATP를 합성하는 과정		34ATP	
	생산물	10NADH, $2FADH_2$ → 34ATP * NADH = 3ATP / $FADH_2$ = 2ATP		
	장 소	미토콘드리아 내막		

☞ 포도당 1분자가 세포호흡에 의하여 이산화탄소와 물로 완전히 분해될 때 총 36ATP가 생성된다.
☞ 호흡작용의 단계 : 해당작용(EMP) → Acetyl CoA 형성 → TCA회로 → 전자전달경로
* 5탄당 인산회로(6탄당인산분자회로) : glucose - 6 - phosphate로부터 시작(탈수소반응)하여 포도당을 산화하는 대사회로
- 해당과정과 유사하여 공통의 반응물을 가지며, 주로 세포질에서 일어난다.
※ 전자수용체 : 5탄당 인산회로 - $NADP^+$ / 해당과정 - NAD^+
- glucose - 6 - phosphate 1분자가 5탄당인산회로를 통하여 산화될 때에는 두 반응에서 2분자의 $NADPH+H^+$가 생성되며 CO_2와 물로 완전히 산화된다면(6회의 회로) 12$NADPH+H^+$가 생성된다.
- 세포내에서 5탄당인산회로를 통하여 $NADPH+H^+$는 일반적으로 전자전달계에 의하여 ATP로 산화되지 않고 $NADPH+H^+$를 전자공여체로서 특별히 요구하는 지방산과 isoprenoid의 합성과 같은 합성반응에 더 많이 이용
- 생장 중인 어린 조직에서는 포도당 산화의 주된 회로로서 크렙스회로를 이용하지만, 식물의 지상부와 늙은 조직에서는 크렙스회로뿐만 아니라 5탄당인산회로도 이용

<에너지 운용>

* 에너지 방출 반응(ADP+Pi → ATP)
* 탄수화물 · 지방 · 단백질 산화
⇨
* 에너지 소비(ATP → ADP+Pi)
* 탄수화물 · 지방 · 단백질 합성

* 포도당 1분자의 에너지 효율(1ATP = 7.3Kcal) : $1C_6H_{12}O_6$ = 686Kcal ⇨ 산소 호흡시 발생 36ATP(262.8Kcal)
⇨ 에너지 효율 40% / 발열-호흡열 60%
* TCA(크렙스) 회로의 최종산물 : 옥실초산 ☞ 시트르산(구연산) → ☞케토글루타르산 → 숙신산 → 푸마르산 → 말산 → 옥살아세트산
* 광합성율은 온도가 상승함에 따라 호흡률보다 서서히 증가
* 광호흡(Photorespiration)현상 - peroxisome이라는 특정 기관에서 일어난다.
① 탄소 고정량의 감소 유발 ② 광합성 효율 저하 ③ RuBP - Oxygenase가 관여
④ 산소에 의한 광합성 저해 - Warburg Effect ⑤ 산화적 광파괴로부터 보호
* 광호흡에 대한 조건(C3 plant) ↳ * 광산화는 특히 산소가 있는 상태에서 다욱 심하게 엽록소 파괴
① RuBP가 CO_2 결합 대신 O_2와 결합 ② O_2의 농도가 높고 CO_2의 농도가 낮은 조건 ③ 광도하에 반응, 고온에서 촉진

Plant Physiology(2/5)

* 광합성과 세포 호흡의 전과정 비교

구 분	광합성 (동화작용)	세포호흡 (이화작용)
과 정	빛 에너지를 화학 에너지로 전환하는 과정	포도당의 화학에너지를 사용하여 ATP를 합성하는 과정
	•명반응 : 빛에너지를 화학에너지로 전환하여 ATP와 NADPH에 저장(Hill Reaction) * 명반응이 진행되어야 암반응이 진행 •암반응 : ATP와 NADPH에 저장된 화학에너지로 CO_2를 환원시켜 포도당을 합성(Calvin Cycle) ① RuBP + CO_2 → 2PGA ② PGA + ATP + NADPH → GAP + ADP + NADP ③ GAP → RuBP	• 해당작용 : 포도당을 Pyruvic Acid으로 분해 • TCA회로 : Pyruvic Acid의 화학에너지를 NADH와 $FADH_2$에 저장(Krebs Cycle) • 산화적 인산화 : NADH와 $FADH_2$를 산화시켜 ATP를 합성 *C4회로(Hatch-Slack Cycle)식물 ☞ 광포화점이 높고 이산화탄소 보상점은 낮으나 포화점이 높아 광합성 효율이 높다
장 소	•명반응 : 엽록체의 그라나 •암반응 : 엽록체의 스트로마	•해당작용 : 세포질 •TCA회로 : 미토콘드리아의 기질 •산화적 인산화 : 미토콘드리아의 내막
과정별 반응식	•광합성 : $12H_2O + 6CO_2$ + 온도, 빛 → $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$ •호 흡 : ① 해당작용 : $C_6H_{12}O_6 + O_2 \rightarrow 2C_3H_4O_3 + 2H_2O$ + 8ATP ② TCA회로 : $2C_3H_4O_3 + 5O_2 \rightarrow 2H_2 + 10H_2O + 30ATP$	

* **호흡기질** : 세포호흡을 통해 분해되어 에너지를 방출하는 유기물(탄수화물, 지방, 단백질)
* **호흡원의 양** : 당류, 전분 등의 탄수화물이 체내에 많아지면 호흡이 증가하고 이들이 줄어들면 호흡이 저하되고 생육중인 작물체의 체내 당류가 감소하면 호흡작용이 약해진다.
* **호흡 기질이 세포 호흡에 이용되는 경우**

탄수화물	당으로 분해	해당작용으로 들어간 후 세포 호흡의 나머지 단계를 거친다.
지방	지방산과 글리세롤로 분해	지방산은 아세틸 CoA로 전환되어 TCA회로로 들어가고 글리세롤은 해당작용으로 피루브산으로 전환된 다음 세포 호흡의 나머지 단계를 거친다.
단백질	아미노산으로 분해	탈아미노 반응을 통해 아미노기($-NH_2$)가 떨어진 후 피루브산, 아세틸 CoA, TCA 회로의 중간 산물 등으로 전환되어 세포 호흡에 이용된다.

* **호흡률(CO_2 / O_2)** : 호흡 기질이 세포 호흡에 의해 분해될 때, 소비된 O_2의 부피에 대해 발생한 CO_2의 부피의 비

• **호흡률(RQ)** = 발생한 CO_2의 부피(CO_2 방출량) / 소비된 O_2의 부피(O_2 흡수량)
• **호흡률**은 호흡 기질의 탄소, 수소, 산소의 함량비에 따라 다르게 나타난다.
* **탄수화물의 호흡률 : 1.0, 단백질의 호흡률 : 0.8, 지방의 호흡률 : 약 0.7**
⇨ **지방은 당과 비교하여 산소가 적고 수소가 많기 때문에 산화되어 CO_2와 H_2O가 되기 위해서는 더 많은 산소가 필요하게 되어 호흡계수는 1보다 작다.**

* **발 효**
- 산소 호흡과 무산소 호흡의 비교

구 분		산소 호흡	무산소 호흡
공통점		유기물을 산화시켜 생활에 필요한 에너지(ATP)를 얻는 과정	
차이점	산 소	소모함	소모하지 않음
	장 소	세포질, 미토콘드리아	세포질
	분해 정도	이산화탄소와 물로 완전 분해	불완전 분해되어 중간 산물이 남음
	에너지	많음 → 다량의 ATP가 생성됨	적음 → 소량의 ATP가 생성됨

- 발효의 종류 : 중간 산물의 종류에 따라 알코올, 젖산, 아세트산 발효

종류	미생물	물질 분해 과정	실생활 이용 예
알코올 발효	효모	포도당 → 피루브산($C_3H_4O_3$) → 에탄올 $C_6H_{12}O_6$ ⇨ $2C_2H_5OH + 2CO_2 + 2ATP$	술, 빵
젖산 발효	젖산균	포도당 → 피루브산($C_3H_4O_3$) → 젖산 $C_6H_{12}O_6$ ⇨ $2C_3H_6O_3 + 2CO_2 + 2ATP$	김치, 치즈, 요구르트
아세트산 발효	아세트산균	에탄올 → 아세트산 $C_2H_5OH + O_2$ ⇨ $CH_3COOH + H_2O$ + 다량의 ATP	식초

* **호흡작용에 미치는 영향**

O_2의 농도	공기 20% 이하면 호흡작용 저하, 5% 이하면 유기호흡 현저히 감소, 발아하는 종자는 산소농도가 낮을 때 유기호흡보다 무기호흡을 더 많이 하나 산소농도가 10% 이상이면 유기호흡을 한다.
온 도	식물의 호흡작용은 효소에 의하여 일어나기 때문에 온도의 영향을 받는다.
CO_2 농도	보통의 CO_2농도보다 더 높은 농도에서 호흡작용이 상당히 감소, 기공이 닫혀 산소량 감소하기 때문이다.
수 분	호흡율이 매우 낮은 성숙한 건조종자나 포자에 있어서 수분은 호흡의 제한요인이 된다.
화학약제	cyanamide, azide, fluoride등의 약제는 호흡효소의 작용을 억제 / ethylene 등은 호흡을 촉진

5 탄수화물, 질소화합물 및 지질 대사

<탄수화물 종류와 생리적 작용>

단당류	5탄당	크실로오스, 아라비노오스, 리보오스, 디옥시리보오스
	6탄당	포도당, 과당[호흡원으로 이용] / 만노오스, 갈락토오스[유도체로 존재, 호흡원으로 미이용]
	측쇄단당류 : apiose(5탄당), hamamelose(6탄당)	
과당류	2당류	① 엿당[맥아당 - maltose] = 포도당 + 포도당 / 환원력이 있다. ② 설탕[자당 - sucrose] = 포도당 + 과당 / 환원력이 없다. ③ 젖당[유당 - lactose] = 포도당 + 갈락토오스 - 식물체내에서 발견되지 않는다. * cellobiose(2당류) : 셀룰로스, 리그닌이 분해할 때 생성되는 2당류 2분자 포도당 축합
	3당류	① 겐티아노오스 = 2포도당 + 과당 ② 라피노오스 = 갈락토오스 + 포도당 + 과당 ☞ 3당류는 환원력이 없다.
	4당류	• 스타키오스 = 포도당 + 과당 + 2갈락토오스
다당류		헥소산[$(C_6H_{10}O_5)n$], 펜토산[$(C_5H_8O_4)n$], 헥소산 + 펜토산 = 헤미셀룰로오스
	전 분	• 아밀로오스 + 아밀로펙틴 * 전체 전분함량의 70% 이상이 아밀로펙틴 * α-D-glucose의 유도체

구 분	구 조	포도당 단위	분 해	요오드반응	점 성
아밀로스	직쇄 구조 α(1→4) 글리코시드 결합	200 ~ 1,000	물에 녹음	청색	찰기 없음
아밀로펙틴	측쇄 구조 주 연쇄 : α(1→4) 글리코시드 결합 측쇄 : α(1→6)α(1→3) 글리코시드 결합	2,000 ~ 200,000	물에 안 녹음	적자색	찰기 있음 (끈끈함)

* **식물체의 아밀로스** : 일반적으로 **아밀로 펙틴 비율이** 전체 전분함량의 **70%**
- 감자 괴경의 전분립 : 아밀로스 22%, 아밀로펙틴 78%

셀룰로오스	• 세포벽을 이루는 주성분 - 물에 녹지 않는다. * β-D-glucose의 유도체 • 포도당 잔기가 β(1→4)결합을 하여 대단히 긴 쇄상으로 이어진 직쇄고분자화합물
이눌린	• 국화과 식물, 특히 뚱딴지, 달리아, 우엉 민들레 등의 괴경에는 저장물질로서 이눌린이 집적 * **이눌린은 약 35개의 과당이 결합하고 있는 화합물이다.**
펙 틴 화합물	• 펙트산, 유도체인 펙틴 및 프로토펙틴 - 펙틴물질은 세포벽질의 하나로 보통 펙트산의 Ca염 또는 Mg염의 형으로 존재한다. • 펙트산 : 100개의 칼락토스 분자로 구성 • 펙틴 : 펙트산의 카르복실기가 메틸알코올로 에스테르화 된 것으로 펙트산과 매우 유사 * 펙틴은 알코올이나 당을 첨가하면 물속에서 교질현탁이 되어 젤(gel)화된다.
펜토산	•5탄당의 복합화합물 : 자일란, 아라반 → (가수분해) 자일로스, 아라비노스 - 자일란이나 아라반은 목화한 세포벽에 함유, 목재나 화곡류의 짚의 특유한 화학성분 •펜토산은 전분이나 덱스트린과 같은 저장양분이 완전히 소모되는 경우에는 저장물질로 이용

* **고분자 화합물의 가수분해** : 다당류는 물에 불용성, 단맛이 없다. - 전분 : α-D-glucose / 셀룰로스 : β-D-glucose
☞ **당류의 직쇄구조식은 주로 당류가 용액으로서 존재할 때 작용되는 것이며 그들의 유도체(유기화합물 ; 전분, 셀룰로오스 등) 안에서는 환상구조를 이루고 있다.**

<탄수화물의 합성과 분해>

* **인산화** : 잘물체 안에서 다른 물질로 변화하는 제1단계는 hexokinase의 촉매작용으로 인산과 결합하여 에스터(ester)를 만드는 일
↳ 6탄당이 호흡작용에 의하여 산화되는 경우 셀레로 호흡원으로서 이용되는 것은 다른 자체가 아니고 인산화된 당류인 fructose-1, 6-bisphosphate이다. 6탄당은 모두 이물질로 변화한 다음에 비로소 호흡작용에 의하여 분해된다. glucose-1-phosphate는 단당류가 식물체 안에서 다당류로 변화하는 출발점이 된다.
* **자당($C_{12}H_{22}O_{11}$)** = glucose + fructose + H_2O / 고등식물에서 탄수화물의 전류는 주로 자당의 형태로 이루어진다.
* **자당의 합성** : Calvin-Benson Cycle이 일어나는 엽록체에서 일어나지 않고 세포질에서 일어난다.
↳ 세포질에서 자당의 생합성 경로가 3가지인데... 복잡하다... 결론은 포도당 + 과당 = 자당 이다.
① glucose-1-phosphate+과당 → 자당 + Pi
② 복잡한 뭔가 ~~~ sucrose-9-phosphate + H_2O → 자당 + Pi
③ UDP-glucose + 과당 → UDP + 자당

<아미노산>

* **아미노산의 생합성 - 아미노산의 생물발생학적 기원물질 :** ① 3-phosphoglycerate ② phosphoenol pyruvate, PEP ③ pyruvate ④ α - ketoglutaric acid ⑤ OAA

① 질소동화와 아미노산의 생합성	* **질소수송 아미노산 : 글루탐산, 글루타민, 아스파라진산, 아스파라진** - **글루탐산** : glutamine synthetase(GS)의 작용 / 곁사슬 카복시기에 다시 암모니아를 고정하여 글루타민이 된다. 글루타민의 곁사슬을 아미노기 glutamine oxoglutarate amino transferase(GOGAT)에 의해 α-ketoglutaric acid에 전이되어 글루탐산 합성 ☞ **GS/GOGAT cycle : 식물의 주요한 질소동화 경로** - **글루탐산의 생성** : α-ketoglutaric acid의 α-탄소 + NH_3 → 글루탐산 ※ 글루탐산은 아미노기전이반응을 통하여 글루탐산 이외의 아미노산과 핵산의 생합성 시발물질로 사용된다. - **고등식물에서 NH_3의 동화작용** : 글루타민과 글루탐산 생합성 ① 글루탐산 + NH_3 + ATP → 글루타민 + ADP + Pi ② 글루타민 + α-ketoglutaric acid → 2글루탐산 - **아스파르트산 생합성**(아미노기전이 반응) → 옥살초산 + 글루탐산 → 아스파르트산 + α-ketoglutaric acid - **아스파라긴 생합성** → 글루타민 + 아스파르트산 + ATP → 글루탐산 + 아스파라긴 + AMP + PPi
② 방향족 아미노산의 생합성	* **페닐알라닌, 트립토판, 타이로신** ☞ **방향족 아미노산의 생합성은 엽록체에서 진행** - PGA + PEP + erythrose-4-phosphate ⇒ shikimic acid - 시킴산-3-인산 → 5-에놀피루브시킴산-3-인산(EPSP) → 코리스민산
③ 아스파라진산 유래 아미노산의 생합성	* **라이신, 트레오닌, 메티오닌은 아스파라진에서 유래** ☞ **엽록체 등의 색소체에서 합성** - 트레오닌의 탄소골격은 모두 아스파라진산에서 제공된다. 모든 아스파라진산 유래 아미노산 생합성의 첫 번째 개입단계는 아스파라진산이 aspartate kinase에 의해 인산화되어 아스파라진산-4-인산이 생성되는 반응이다.
④ 분지 아미노산의 생합성	* **분지된 지방족의 곁사슬을 갖고 있는 아미노산 중에서 아이소류신과 발린은** ☞ **엽록체에서 합성** - 두 아미노산은 생합성 경로의 대부분을 공유하며 유일한 차이는 트레오닌을 전구체로 이용하여 트레오닌을 탈아미노화하는 아이소류신 생합성 경로로의 개입단계 반응이다.
⑤ 프롤린 생합성	* **글루탐산 또는 오르니틴을 전구물질로 사용하는 별도의 두 경로에 의해 생성** - 글루탐산을 이용하는 경로가 잘 알려져 있으며 첫 번째 반응은 글루탐산의 인산화반응이며 이어서 환원반응, 자발적 탈수반응 그리고 환원반응이 순차적으로 진행되어 프롤린이 합성된다.

* **펩티드 결합** : 2개의 아미노산이 결합할 때 아미노산의 카르복시기와 다른 아미노산의 아미노기 사이에서 물 1분자가 빠져나오면서 새로운 결합 형성

<전류물질의 운반과 저장>

* **체관부 속에서 전류하는 물질** : 체관부에서 전류되는 물질은 90% 또는 그 이상이 탄수화물이고 전류하는 탄수화물 중에서는 비환원당인 자당이나 라피노스 같은 탄수화물이며 전류하는 탄수화물 중에서는 자당이 대부분을 차지.

① **탄수화물** : 자당(비환원당으로 알데하이드, 케톤기를 갖고 있지 않는다), 라피노스
- 작물의 종류에 따라서는 자당에 라피노스, 스타키오스, 버바스코스 등과 같은 과당류도 전류한다.
- 장미과 식물에서는 당알코올인 만니톨, 소비톨이 탄수화물의 주요 이동형태가 된다.
* **비환원당(nonreducing sugar)** : CHO-(알데하이드), -C-O-(케톤)기를 가지고 있지 않는다.

② **질소화합물** : 아미노산과 아마이드는 노화되고 일이나 꽃으로부터 전류하여 식물의 더 어린부분으로 재분배.
질소화합물의 전류는 주로 체관부에서 이루어진다. ※ **질소화합물의 전류는 주로 체관부에서 이루어진다.**
- **버드나무 줄기의 체관부에서 전류** : 글루탐산, 글루타민, 아미노부티르산
- **대생식물 호르몬** : 옥신, 지베렐린, 사이토키닌, 앱시스산
- 체관부에서 전류하는 질소화합물의 농도는 식물의 생육기에 따라 다르며 나무에 있어서 잎의 생장이 가장 빠를 시기나 잎의 노화가 심한 생육말기에 이들 화합물의 농도는 가장 높다
※ **환원당, 질측성 제초제, 단백질, 대부분의 다당류, 칼슘, 철 및 대부분의 미량원소와 같은 많은 화합물은 체관부에서 정상적으로 이동하지 못한다.**

* **체관부에서의 물질의 전류속도** : 일반적으로 C4식물은 C3식물보다 동화산물의 전류속도가 빠르다.
* **체관부 적재** : 엽육세포의 엽록체에서 성숙한 잎의 체요소로 이동하는 과정 / 낮 동안 광합성 과정에서 생긴 3탄당은 먼저 엽록체로부터 세포질로 운반되어 그곳에서 자당으로 전환, 자당은 엽육세포에서 잎의 가장 작은 엽맥에 있는 체요소 주변으로 전류
※ 아포플라스트에서 양이온이 높고 평형을 유지하려는 경향은 양이온을 심플라스트로 확산하게 한다. 아포플라스트의 pH가 높으면(H^+ 농도가 낮으면) 외부의 자당이 체요소와 반세포로 잘 흡수되지 않는다. 이러한 효과는 아포플라스트의 양이온 농도가 낮은 경우 심플라스트의 양이온 확산 및 자당 H^+ 공동수송 단백질의 추진력이 감소하기 때문이다. 특정 운반체분자는 자당을 운반하게 하며 이러한 종류의 운반을 자당/양이온 공동수송이라고 한다. 이와 같은 능동적 체관분적재는 체관부 전류기구에 중요한 역할을 한다.
* **체관부 하적** : 수용부위(sink) 조직 말단에 있는 체요소로부터 자당과 그 밖의 다른 용질이 빠져 나가는 과정
* **체관부 P-단백질과 callose 주요기능**
① **P-단백질** : 체관공을 막아 손상을 받는 체요소를 메우는 역할
② **callose** : 체관 손상을 장기적으로 해결하기 위해 체관공에서 callose 생성, callose는 상해나 기계적인 자극, 고온과 같은 스트레스, 휴면과 같은 정상적인 발달 과정에서 합성
* **동화물질의 분배** : 상위엽은 정단부, 하위엽은 뿌리, 중간엽은 성숙엽을 우회하여 방향 전류
- 유한생육형 : 개화 후 생육기간 수용부가 강화, 영양생장 정지
- 무한생육형 : 영양·생식 생장 동시에 진행되므로 생식생장 기간중 영양생장이 많으면 생식기관 수량 감소
* **동화물질의 운반경로** : symplast 원형질 연락사를 이용 / 부분적으로 체관부 경유 apoplast(자당의 운반은 K^+ 수준으로 결정)
* **전분은 광합성이 일어나는 낮에 보통 생성되지만 밤에는 호흡작용과 계속적인 전류 때문에 전분의 일부는 소실된다.**
* **뿌리의 수분흡수 경로**
- 물분자가 식물세포 원형질막의 지질 2중층을 통과하는 것은 aquaporin에 의하여 이루어진다. aquaporin은 일종의 막단백질이며 매우 높은 투수성을 지니고 있으며 aquaporin 채널은 지질 2중층보다 물을 비선택적으로 매우 빠르게 확산시켜 식물세포로 물의 이동을 쉽게 한다.

<질소화합물 대사>

* **질소영양** : 식물이 이용하는 질소의 형태는 질산태 · 암모니아태 · 유기태 · 분자상 질소
* **질산태 질소와 암모니아태 질소** : 질산의 환원 및 동화작용
- **질산태 질소의 환원 : 질소 동화 과정 / 1단계 시토졸, 2단계 엽록체**

NO_3^- ⇨ NO_2^- ⇨ NH_3 ⇨ 아미노산
nitrate reductase(질산 환원효소) nitrite reductase(아질산 환원효소)

① **1단계 환원** : 세포질에서 진행, 세포질의 질소 환원효소는 NO_3^-를 NO_2^-로 환원시킨다.
② **2단계 환원** : 엽록체에서 진행, 세포질에서 환원된 NO_2^-는 엽록체에서 다시 NH_3로 환원된다.
* **유기태 질소** : 아미노산, 아마이드, 요소
↳ 요소는 식물의 유기화합물속에 결합되기 이전에 urease의 작용으로 가수분해되어 암모니아와 탄산가스로 전환
* **분자상 질소** : 분자상 질소는 세균, 남조류와 같은 하등식물이 주로 이용
- **질소고정효소에 의하여 촉매되는 질소고정반응** ⇨ **8H + 8e⁻ + N_2 + 16Mg ATP → 2NH_3+ H_2 + 16Mg ADP + 16Pi**
- **비공생적 질소고정** : 가장 효과적인 비공생적 질소고정을 위해서 Mo, Fe, Ca 등의 무기원소가 필요하며, 특히 Mo의 영향이 크다. 한편, 세포의 대사를 저해하는 인자, 분자상수소, NH₃와 같은 복합된 질소 등은 비공생적 질소 고정을 저해한다.
- **공생적 질소고정** : 기주식물과 세균의 정확한 상호 인지가 필수적이며 질소는 질소고정효소(nitrogenase)의 촉매작용으로 암모니아로 환원된다.
☞ **공생적 질소고정 3가지**
① gram음성세균 : 뿌리혹세균 - 콩과작물 / ② gram양성세균 : 방선균속 세균 - 쌍자엽, 수목 ③ 남조세균 : 쌍자엽 식물

<단백질>

* **단백질의 구조를 안전하게 하는 비공유결합의 몇 가지 형태**
① 정전기적 인력 ② tyrosine 잔기와 곁사슬의 카르복실기 간의 수소결합 ③ 반데르발스의 인력 ④ 이황화결합
⑤ 용매의 상호반발에 의하여 생기는 무극성 곁사슬 사이의 상호작용
- 아미노산의 펩티드결합과 일정한 배열순서는 단백질의 1차적 구조를 추정, 이황화결합(-S-S-)
- 펩티드의 나선구조는 단백질 분자의 2차적 구조를 구성하고 있다. 나선구조를 유지하는 것은 염결합(salt link), 수소결합(hydrogen bond) 및 반데르발스(van der Waals)의 상호작용 등이다.
- 나선 그 자체는 여러 가지 특이한 모양으로 중첩되어 소위 단백질 분자의 3차 구조 이루고, 수소결합이 유지
- 4차구조는 3차구조를 가진 2개 이상의 폴리펩타이드가 연합하여 형성한 구조

* **단백질의 분류**

① 효소(enzyme)	• 단백질 중 많은 종류가 효소로 작용 - 효소는 세포 내에서 진행되는 반응을 촉매하는 단백질로서 반응의 속도를 비촉매 반응에 비하여 10^{20}배까지 증가 시킬수 있다.
② 조절 단백질 (regulatory protein)	• 화학적 변환 반응을 수행하는 단백질에 작용하여 그 능력을 조절하는 작용을 한다. 대표적인 조절단백질로 유전자의 조성자 역역에 결합하여 유전자의 전사를 유도하는 유도자 또는 유전자의 발현을 억제하는 억제자가 있다. 조절단백질은 류신지퍼(leucine zipper), 아연핑거(zinc finger), 나선-돌기-나선(helix-turn-helix)등과 같은 구조적 특징을 갖는다.
③ 운반 단백질 (transport protein)	• 특정한 대사물질을 한 장소에서 다른 장소로 운반하는 작용을 하는 단백질이다. 막을 관통하여 존재하는 운반단백질은 세포막에서 통로로 만들어서 막의 소수성 장벽을 가로질러 대사물질을 선택적으로 운반한다. 식물의 뿌리세포가 양분을 토양용액에서 세포 내부로 흡수하는 과정에도 운반단백질이 관여한다.
④ 저장 단백질 (storage protein)	• 영양분과 에너지를 세포에 저장하는 역할을 한다. 벼의 저장 단백질에는 알부민, 글루테린, 프롤라민, 글로불린 등이 있다. - 옥수수, 밀, 콩 및 완두의 대표적인 저장단백질은 각각 zein, glutein, glycirin, phaseolin이다.
⑤ 수축 및 운동 단백질	• 세포의 수축과 운동에 관여하는 단백질은 세포의 분열, 세포질의 유동 등에 기여한다. actin 단백질의 중합체인 미세섬유와 tubulin 단백질의 중합체인 미세소관은 각각 세포의 수축과 운동에 관여하는 단백질로 소위 동력단백질(motor protein)로 불리는 myosin, dyneim, kinesin이 있다.
⑥ 구조 단백질 (structural protein)	• 세포의 구조를 형성하고 유지하는 역할, 세포의 골격구조는 액틴과 튜블린의 중합체인 미세섬유와 미세소관으로 구성, 대표적인 구조 단백질에는 keratin, collagen, elastin이 있다.
⑦ 보조 및 활용단백질 (protective or explotive protein)	• 세포를 보호하고 방어하는 역할을 수행하는 단백질을 보호, 활용하는 단백질 / 식물의 저항성 단백질을 병에 대한 선천적 저항성을 결정한다. 식물에서 생성되는 ricin과 같은 독성 단백질은 초식동물이나 곤충으로부터 식물을 보호하는데 효과적으로 활용
⑧ 특수기능 단백질	• 극지와 같은 매우 낮은 온도에서도 생존하는 식물은 결빙억제 단백질(anti freeze protein)을 만들어 세포를 보호한다. 아프리카에서 생존하는 식물의 열매에는 단맛의 단백질인 모넬린이 함유되어 있다.

단순 단백질 ⇨ 가수분해시 오직 아미노산만 생성	① 알부민 : 물이나 낮은 농도의 염류용액에 녹고 열에 부딪히면 응고 * 보리 β - amylase ② 글로불린 : 물에 거의 불용성 낮은 농도의 염류용액에 녹고 열에 부딪히면 응고, 종자의 저장단백질 ③ 글루텔린 : 중성 용액에는 녹지 않으나 약산이나 알칼리 용액에는 녹는다. 화곡류의 종자 속에 존재 ④ 프롤아민 : 물에는 녹지 않으나 70~80%알코올에 녹는다. 이들은 단백질이 가수분해하면 비교적 다량의 프롤린과 암모니아가 생성 ⑤ 히스톤 : 아르기닌이나 리신과 같은 아미노산이 많고 물에 녹는다. 이들 단백질은 세포핵에 다량존재하며 염색체의 뉴클레오좀 입자를 형성 ⑥ 프로타민 : 물에 녹고, 히스톤과 같이 이들 단백질은 세포핵에 존재하며 핵산과 관련되어 있다. 이들 단백질에는 아르기닌이 많고 티로신이나 트립토판과 같은 아미노산은 없다.
복합 단백질 ⇨ 단백질, 비단백질 부분이 결합한 복합단백질	① 핵단백질 : 핵단백질이 가수분해 되면 단순단백질과 핵산이 생성 ② 당단백질 : 보결분자단으로서 소량의 탄수화물을 함유하는 단백질 ③ 지질단백질 : 레시틴이나 세팔린과 같은 지질을 보결분자단으로서 함유 세포벽, 핵, 엽록소의 라멜라 등에 존재 ④ 색소단백질 : 플라빈단백질, 광합성복합단백질 등을 포함한다. 모든 색소단백질의 공통된 특성은 보결분자단으로서 색소기를 가지고 있다. ⑤ 금속단백질 : 활성제로서 금속을 요구하는 여러 가지 효소가 금속단백질이다.

* **단백질의 합성 과정** : ① 아미노산의 활성화 → ② 활성화된 아미노산의 tRNA에 부착 → ③ 리보솜에서의 폴리펩티드의 형성
☞ ① 사슬합성의 시작 → ② 사슬연장 → ③ 사슬종결 단계
* **단백질 분해효소는 단백질 가수분해와 역방향의 반응, 즉 아미노산을 결합하여 펩티드를 형성하는 것에는 작용하지 않는다.**

<핵 산>

구 성	• 뉴클레오티드의 중합체로서 이에는 RNA, DNA가 있다. • 뉴클레오티드 : 염기 + 당 + 인산 ⇨ 뉴클레오시드(염기+당) + 인산 ↳ 당 : 리보스, 디옥시리보스 ⇨ 각 RNA, DNA 뉴클레오티드 구성	
염기종류	**퓨린** 염기 : A, G - 이중고리	**피리미딘** 염기 : C, T, U - 단일고리
구성염기 / 형태	DNA : A, G, C, T / 이중 나선구조(상보적)	RNA : A, G, C, U / 단일가닥
존재 장소	DNA : 핵, 엽록체, 미토콘드리아	RNA : 인, 리보솜, 세포질
염기의 상보적 결합	A - T : 이중 수소결합 / G - C : 삼중 수소결합	
DNA의 복제방향	새로 첨가되는 뉴클레오티드의 인산기(5번 자리)는 리보오스 5탄당의 3번탄소의 -OH기에 붙기 때문에 DNA의 복제는 DNA 가닥의 5' → 3' 방향으로 진행된다.	

* **표준 아미노산의 구조와 탄소골격 제공 대사물질**

α - ketoglutartate	glutamate, glutamine, histidine, proline, arginie
oxalacetate	asparate, asparagine, threonine, isoleucine, methionine, lysine
3 - phosphoglycerate	serine, glycine, cysteine
pyruvate	glutamate, leucine, valine
phosphoenol pyruvate	tryptophan, tyrosine, phenylalanine

Plant Physiology(3/5)

“Nulla in mundo pax sincera sine felle” / Viper pro creatione et prosperitatis

<지질의 대사>

* 지질의 종류와 구조

구 분	특 징
지방산	• 극성을 갖는 카르복실기와 비극성을 띠는 탄화수소사슬 꼬리 부분으로 되어 있으며 양친매성을 나타낸다. • 탄화수소사슬의 탄소-탄소결합이 모두 단일결합이면 포화지방산이며 이중결합이 있으면 불포화지방산이다.
트리아글리세롤	• 지방산과 글리세롤의 에스테르이며 중성지질이라고도 하며 주로 저장지질로 이용된다. • 에너지원과 탄소원으로 이용된다.
글리세롤인지질	• 보통 인지질이라고 하며 지방산의 글리세롤에스테르이고 인산·질소 등을 함유하는 화합물 • 인지질 분자는 분자 내에 친수성과 소수성 부분을 동시에 갖고 있어 양친매성을 지닌다.
당지질	• 인지질의 인산 부분이 탄수화물로 대체된 지질 / 식물의 엽록체에 특히 많이 존재
스핑고지질	• 지방산과 아미드결합을 형성한 긴 사슬 아미노당으로 구성, 글리세롤의 에스테르가 아니다.
테르펜	• 탄소 5개의 아이소프렌이 2개 이상 결합하여 형성된 성분
스테로이드	• 세 개의 6원자 고리와 한 개의 5원자 고리가 융합된 공통구조를 갖는 성분이다.
큐틴·수베린 및 왁스	• 구조지질이라고도 하며 고등식물 지상부의 외피세포는 가용성의 지질 중합체인 큐티클 피막으로 되어 있다. - **큐틴** : 큐티클의 주성분은 산화된 C_{16} 및 C_{18} 지방산이 에스테르결합으로 고분자의 망상 구조를 형성 / 수분의 손실을 막기 위한 투과장벽의 역할을 하고, 병균과 해충에 대한 저항성에도 기여 - **수베린** : 큐틴과 유사하나 수베린의 지방산은 2가 알코올이나 epoxy기를 갖지 않고 보통 C_{18}보다 길다. 수베린은 큐틴보다 더 소수성이어서 수분이 투과하기 매우 어렵다. - **왁스** : 1가 알코올과 긴 사슬을 가진 지방산의 에스테르이다. 왁스의 지방산은 보통 포화되어 있으며 에스테르의 약한 극성 때문에 매우 불용성이다. 왁스는 보통 큐티클의 외부에 존재하며 수분의 손실을 크게 감소시킨다.

① 지방 : 주로 저장물질이며 지방산과 글리세롤의 에스테르이다.
② 납(왁스) : 세포벽질 특히 각피의 성분을 이룬다.
  - 1가 알코올과 지방산의 에스테르 / 지방산과 비슷한 쇄상구조를 가진 탄화수소, 알코올, 케톤
③ 인지질 : 원형질의 일부를 구성하고 지방산의 글리세롤에스테르이며 인산, 질소 등을 함유하는 화합물이다.

* 지방의 화학적 구조 : 지방은 화학적으로 유기산과 알코올의 에스테르로 구성
  ① 지질의 화학식 : $R_1COOH + R_2OH \rightarrow R_1COOR_2 + H_2O$ / 에스테르화 및 가수분해
  ② 지방을 구성하는 알코올은 3가의 알코올의 글리세롤이고 유기산은 지방산이므로 지방을 가수분해하면 글리세롤과 지방산이 생긴다.

* **포화지방산** : 상온에서는 고체를 이루고 있는 지방(Fat) / **불포화지방산** : 상온에서 액체를 이루고 있는 기름(Oil)

* **지방산은 우수의 C가 길게 이어진 유기산이며, 고등식물에서 발견되는 것은 C가 12~26이다.**

* 지방산의 생합성(생성 순서)
  ① 아세틸-CoA의 탄산화에 의한 말로닐-CoA의 생성 ② 말로닐-CoA와 ACP의 결합에 의한 말로닐-ACP의 생성
  ③ 아세틸-CoA와 말로닐-ACP 간의 1:1 축합에 의한 케토아실-ACP의 생성
  ④ 케토아실-ACP의 케토기의 환원 ⑤ 탈수효소에 의한 이중결합의 도입
  ⑥ 환원효소에 의한 이중결합의 환원, 그리고 아실기 간의 축합에 의해 탄소 2개가 첨가된 케토아실기의 생성 순으로 진행

* **글리세롤지질의 합성** : 색소체에서 합성된 지방산과 해당과정의 대사산물인 글리세롤-3-인산을 전구체로 이용하여 합성
  ① 경로 #1 : 색소체에서 진행되는 원핵성 경로 ② 경로 #2 : 소포체가 관여하는 진핵성 경로

* **트라이아실글리세롤의 분해** : 고도로 환원된 탄화수소사슬을 갖고 있어 발아하는 종자와 꽃가루에 필요한 많은 양의 에너지와 탄소골격을 효과적으로 제공
  ☞ **트라이아실글리세롤은 종자나 식물조직에 존재하는 lipase에 의해 가수분해되어 지방산과 글리세롤로 전환되어 이용**

* 지방산의 분해 - 지방산의 산화 진행 순서
  ① 카르복실기의 탄소에 보조효소 CoASH의 첨가 ② β-탄소에 해당하는 C_3탄소의 산화효소에 의한 산화
  ③ C_3탄소에 대한 가수반응 ④ 탈수소반응에 의한 C_3탄소의 카보닐(=C=O)로의 전환
  ⑤ acyl-CoA acetyltransferase에 의해 촉매되는 카보닐탄소에 대한 보조효소 CoASH 전이반응으로 아세틸-CoA와 2개의 탄소가 감소된 acyl-CoA가 생성
  ☞ **일련의 반응이 반복적으로 진행되어 acyl-CoA가 모두 acetyl-CoA로 전환된다.**
  ex) C_{18}지방산은 8회의 β-산화를 거쳐 모두 9분자의 acetyl-CoA로 전환된다.
  - lipase의 작용으로 생긴 지방산은 산화에 의하여 CO_2와 물로 되며 이때 상당한 양의 ATP, NADP와 $FADH_2$를 생성
  - 팔미트산 + ATP + 7FAD + $7H_2O$ + 8CoASH → 8acetyl CoA + AMP + pyrophosphate + 7NADH + $7H^+$ + $7FADH_2$

* **포도당신생합성** : 지방을 많이 함유하고 있는 종자가 발아할 때 글리옥시솜에서 진행되는 β-산화에 의해 생성된 acetyl CoA의 일부는 글리옥시솜·미토콘드리아 및 세포질에서 진행되는 일련의 반응을 통하여 포도당으로 전환

* **글리옥실산회로** : 포도당신생합성 경로의 글리옥시솜에서 진행되는 acetyl CoA가 숙신산으로 전환되는 과정
  ☞ **숙신산은 미토콘드리아의 시트르산회로에 의하여 차례로 푸마르산과 말산으로 전환, 말산은 세포질로 운송되어 옥살초산을 거쳐 phosphoenolpyruvate(PEP)로 전환된 다음 해당과정의 역과정을 거쳐 6탄당으로 전환**

* **지질은 일반적으로 식물세포의 건물중의 약 5.9%를 차지하는데 지질 중에서 가장 많은 비중을 차지하는 것은 글리세롤지질이다.**

* **식물에서 지질분자 주요기능**
  ① **막구성** : 글리세롤지질, 스핑고지질, 스테롤 ② **전자전달** : 엽록소와 기타색소, 유비퀴논, 플라스토퀴논
  ③ **광보호** : 카로티노이드

* 지질 종류와 구조
  ① **단순지질** : 가수분해에 의해 2종 이하의 주성분을 생성하는 지질
  - triaclyglycerol, diglycerol, monoglycerol, sterol, sterol ester, wax, tocoperol
  ② **복합지질** : 3종 이상의 주성분을 생성하는 지질
  - glycerolphospholipid, glycoglycerollipid, spingomyelin, glycospingolipid

* **지방산은 산화과정을 거쳐 acetyl-CoA로 전환** : acetyl-CoA는 glyoxylic acid 회로를 통해서 당과 지방산으로 전환
  ① glyoxysome에서 citric acid, malic acid, succinic acid로 전환 ② mitochondria에서 succinic acid가 malic acid로 전환
  ③ 역 해당과정에서 malic acid가 당으로 전환 ④ 전 색소체(proplastid)에서 citric acid가 지방산이 됨.

* **종자**에서 **지방산**은 일부 기관을 형성하기 위한 인지질이나 당지질의 합성에 사용되기도 하지만 **대부분 당으로 전환된 다음 생장에 재이용 된다.**

<2차대사물질 대사>

* 1차대사와 2차대사의 주요 특성 비교

구 분	주 요 특 성
1차 대사	**유기산, 당, 아미노산, 단백질, 지방, 핵산 등 모든 세포에 존재하면서 세포의 기본적인 분자기구 구성** • 개체의 성장과 발달을 담당함 • 필수적, 보편적, 획일적, 보존적 특성을 지님 • 대사과정에 관여하는 유전자는 필수기능을 엄격하게 조절함
2차 대사	**식물이 생산하는 유기화합물 중에서 많은 종류는 특정 식물의 종, 조직 또는 세포 등에 한정적 존재-천연물** • 개체의 환경과의 상호작용을 담당함 • 특이적이고 다양하며 적응하는 특성을 지님 • 개체의 생장과 발달에는 비필수적이나 환경에서의 생존에 필수적임 • 대사과정에 관여하는 유전자는 가변적인 환경의 선발압력을 받는 기능을 유연하게 조절

* 2차 대사물질 중에서 1차적 기능 또는 1·2차적 기능을 동시에 가는 대표적 물질

구 분	주 요 특 성
1차 대사 기능을 획득한 2차대사물질	① diterpenoid - 지베렐린 ② benzoate - 살리실산(스트레스 신호) ③ triterpenoid - 브라시노스테로이드 ④ tetraterpenoid - 카로티노이드, 크산토필 ⑤ flavonoid - 플라보노이드 중 일부(발달조절자) ⑥ sesquiterpenoid - ABA
1차적 및 2차적 기능을 동시에 갖는 2차대사물질	① lignin - 세포벽 강화 및 화학적 방어 ② canavanine - 화학적 방어 및 종실 질소 저장

<2차대사와 2차대사물질의 종류>

구 분	주 요 특 성
테르페노이드	• **테르펜, 아이소프레노이드라고 부르기도 한다.** • 테르페노이드는 2차대사물질 중에서 구조적으로나 기능적으로 가장 다양한 물질군이다. • 테르페노이드 중에는 호르몬(GA, ABA), 카로티노이드 색소(카로틴, 잔토필), 스테롤과 스테롤 유도체, 라텍스와 향유 성분 등이 있다. • 천연 테르페노이드의 일반적인 화학식은 $(C_5H_8)n$이며 n가에 따라 분류가 가능 - 비고리형·단일고리·2중고리·3중고리·4중고리 테르페노이드로 나눈다. 〈테르펜 생합성〉 • 테르페노이드의 생합성에 이용되는 기본 소재는 아이소펜탄의 활성화 유도체인 isopentenyl diphosphate이다. • 테르페노이드 생합성에 사용되는 아이소펜탄 골격은 해당과정을 거쳐 생성된 acetyl-CoA가 메발론 경로를 거쳐 합성된 메발론산에서 유래된다. • 파네실 두 분자의 머리 부분 간의 축합반응은 모든 트라이테르페노이드의 공통 전구체인 스콸렌을 형성한다. 〈테르페노이드의 종류와 역할〉 모노테르페노이드·세스퀴테르페노이드 : 정유(精油)의 주요 성분 - alleopathy, 상처의 치유 등에 관여 멘톨 : 모노테르페노이드 정유성분 - 의약, 화학재료, 식품, 향료 등 다양하게 사용 모노테르페노이드 : 동물과 세포 모델에서 항종양 및 항산화 작용을 나타낸다. 세스퀴테르페노이드 : 테르페노이드에서 가장 종류가 다양 다이테르페노이드 : 비타민 A 활성을 갖는 letinol과 식물의 종자의 발아를 조절하는 GA가 있다. 피톨(phytol)은 다이테르펜 중에서 예외적으로 열린 구조이며 엽록소의 구성 성분이다. 트라이테르페노이드 : 스테로이드와 스테로이드에 알코올기가 결합된 스테롤을 포함하는 다양한 성분의 물질군. 스테로이드는 스콸렌이 고리화, 불포화 유도체화 반응을 거쳐 형성되는 변형된 트라이테르페노이드이다. 스티그마스테롤·시토스테롤 : 식물에서 가장 풍부하게 존재하는 스테롤. 스테롤은 식물 세포막의 구성성분으로 막의 점성과 안정성을 높이는 역할 / 식물체에서 다양한 조절작용. 인체 내에서는 염증을 감소시키는 기능의 의약품의 소재로 사용
알칼로이드	• 질소를 함유하는 2차대사물질이며, 식물·미생물·동물에 존재 • 활용 : 의약품, 흥분제, 마취제, 독약 * 종류는 P256 참조 - 너무 많다. 인간적으로 이건 아니다. - 진통제(morphine, codenine), 항종양제, 통풍억제제, 근육이완제, 항부정맥제, 지정제 - 식물유래 알칼로이드 : caffeine, nicotine, cocaine - 합성제 : heroine • 진정·원시·폴리아민·펩타이드 및 사이클로펩타이드 알칼로이드, 유사 알칼로이드로 나뉜다. 〈아이소퀴놀린 알칼로이드 생합성〉 • 아시소퀴놀린 알칼로이드는 2분자 카이로신으로부터 유래되는 노르코클라우린을 전구체로 하여 생성 - 노르코클라우린은 타이로신이 탈탄산반응, 수산화반응 및 탈아민반응을 거쳐 전환된 dopamine과 4-HPAA의 축합에 의해 생성 • 모르핀알칼로이드 생합성의 첫 번째 개입단계는 S-레티쿨린이 R-레티쿨린으로 전환되는 에피머화반응이다. - 모르핀은 체관부에서 합성되는데 생합성에 관여하는 일부 효소는 체요소에 해당 효소의 유전자 전사체는 반세포에 특이적으로 존재한다. 양귀비에서 체관부의 유관에서는 벤조퀴놀린 알칼로이드가 축적되고 생합성은 진행되지 않는다.
페닐프로파노이드	• 생물계에 순환하는 유기탄소의 약 40%를 차지하는 페놀화합물은 페닐프로파노이드와 페닐프로파노이드 초산염에서 유도된다. ① C_6-C_3 가 산, 알데하이드, 알코올, 올레핀의 형태로 된 화합물 ② C_6-C_3 의 락톤 화합물(쿠마린) ③ C_6-C_3 2분자가 축합된 형태의 화합물(리그난·네오리그난) ④ C_6-C_3 3분자 또는 4분자가 축합된 형태의 화합물(세스퀴리그난·다이리그난) ⑤ 다분자의 C_6-C_3 가 축합된 형태의 고분자 화합물(리그닌) ⑥ 기타 형태의 화합물 등 다양한 종류의 페놀화합물이 존재 〈페닐프로파노이드의 생합성〉 • 페닐알라닌은 PAL(phenylalanine ammonia-lyase)에 의하여 탈아미노화되어 신남산이 된다. • 신남산에서 전환된 쿠마르산, 카페산과 시납산은 카르복실기가 환원되어 각각의 알데하이드로 전환된다. • 알데하이드는 어찌어찌해서 모노리그놀로 전환, 모노리그놀 단량체가 중합하여 다양한 형태의 리그닌과 수베린이 되어 세포벽을 구성하는 성분이 된다. ☞ **페닐알라닌 → 신남산 → 알데하이드 → 모노리그놀 → 리그닌, 수베린** * **리그난과 네오리그난** : 페닐프로파노이드 2분자가 산화 축합하여 생성된 화합물 * **플라보노이드** : 페놀성 천연물로서 현재까지 4,500종 이상이 알려져 있으며 색소성분이 가장 많다. * **쿠마린** : 식물에 널리 분포하는 benzopyranone 대사물질군에 속하며 과실과 꽃에 많이 함유되어 있다. - 동물이 쿠마린 함량이 높은 식물을 섭취하면 대량의 내장출혈이 발생 - 쥐약 개발 : warfarin * **스틸벤** : 시나모일-CoA와 4-쿠마로일-CoA의 축합반응으로 생성 - 적포도와 포도주에 들어 있는 레스베라트롤(resveratrol)은 강력한 항암작용을 나타낸다.

* **페닐프로파노이드 : 플라보노이드 경로에 대한 대사공학적 조절**
  ❶ 청색장미의 개발(플라보노이드 대사공학)
  ① 청색장미의 적색 색소를 만드는 dihydroflavonol reductase(DFR) 유전자의 발현 중단
  ② 청색 색소 델피니딘을 만드는 팬지의 델피니딘 유전자의 전이
  ③ 청색 색소를 잘 만드는 붓꽃의 DFR 유전자의 전이의 3단계 과정
  콩에 존재하는 제니스테인(genistein)은 식물성 에스트로겐의 일종으로 건강에 유용한 성분인데 제니스테인을 생합성하지 않는 벼에 콩의 IFS유전자를 전이시켜 발현시킴으로써 벼에서 제니스테인을 생성

6 작물의 발아와 휴면생리

* **종자발아 순서** : **수분흡수** → 효소활성화, 저장양분 소화 → 양분이동 → 호흡 → 유식물의 생장, 발육
  ☞ **흡수 ⇨ 양분 이화 ⇨ 이동 ⇨ 산화**   ☞ **발아과정의 생리상 : 흡수기(A相), 발아준비기(수분포화기 ; B相), 생장기(C相)**

종자 성분	효 소	분 해 된 성 분			
단백질 (Protein)	프로테아제	아미노산, 펩타이드			
핵 산 (Nucleic acid)	뉴클레아제	뉴클레오시드, 뉴클레오티드			
피 틴 (Phytin)	피타아제	이노시톨, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, HPO_4^-			
전 분(Starch)		구 분	α-amylase	β-amylase	α-glucosidase(말타아제)
		아밀로스	맥아당, 포도당	맥아당	-
		아밀로펙틴	포도당, 맥아당, 덱스트린	맥아당, 덱스트린	-
		맥아당	-	-	포도당
지 방 (Fat)	리파아제	글리세롤($C_3H_8O_3$) + 지방산			

☞ 가수분해 효소 활성화(**지베렐린**) ⇨ 세포분열 촉진 / 유근, 유아 생장(**시토키닌**) ⇨ 세포신장 촉진, 뿌리 지하로, 어린싹 지상(**옥신**)
☞ 단자엽 식물의 경우 배에서 생성된 지베렐린은 배반을 통하여 방출되어 호분층으로 이동

* 배의 생장
  ① 배를 구성하고 있는 세포들의 신장
  ② 유아와 유근을 연결하는 역할을 맡은 배축의 형성과 생장
  ③ 유아나 유근의 분열조직에서 새로운 세포의 생성에 따른 형태적 변화과정을 통해 유식물체 형성

* **유묘의 출현 구분**

구 분	지하 자엽형	지상 자엽형
배유 종자	벼, 보리, 밀, 옥수수, 자주닭개비	피마자, 메밀, 마디풀, 양파
자엽성 종자	**상추, 완두, 잠두, 팥, 붉은강낭콩**	오이, 호박, 땅콩, 콩, 녹두, 덩굴강낭콩

* **논벼의 저온발아성 정도** : 도입 일본종 < 국내육성종 < 재래종 / **조만성** : 만생종 < 중생종 < 조생종
  ↳ 논벼 종자에 대한 GA_3(100ppm), 에틸렌(5~10ppm), r선 등의 처리는 저온발아성 향상

* 산소와 발아

수중 불발아 종자	밀, 귀리, 무, 배추, 가지, 고추, 알팔파, 양배추, 코스모스, 후추, 파, 메밀, 콩, 알팔파
수중 발아 저하 종자	미모사, 담배, 토마토, 화이트클로버, 카네이션, 석죽
수중 발아 종자	**벼, 상추, 당근, 셀러리, 피튜니아, 티머시, 켄터키블루그래스**

* 광(光)과 발아

호광성 종자(목초, 화본과)	**화본과 목초, 담배, 상추, 우엉, 셀러리, 갓, 뽕나무, 페튜니아, 베고니아**
혐광성 종자(**파속, 나리과**)	수박, 호박, 토마토, 가지, 고추, 양파, 오이, 무, 부추 - **김치재료**
광 무관계 종자	화곡류, 옥수수, 대다수의 콩과식물

☞ **광의 파장과 발아**

420~520nm	520~700nm	660nm(적색광)	700~800nm	730nm(원적색광)
억제 효과	촉진적 작용	촉진 효과 多	억제 효과	억제 효과 多

※ 광 파장은 적색 부분(660~700nm)으로 그중 670nm에서 가장 촉진되고, 700nm에서 억제

* 이유기와 독립생장기의 전환
  - 유식물은 초기에 배유 자엽의 저장양분에 의해서 생육, 독립영양의 시기로 변천하게 되는데 이 전환기를 이유기라고 한다.
  → 배유양분 소진기 생장상태 : 벼 본엽 4매, 밀 본엽 3매, 보리 본엽 2매

* 발아 촉진 물질

지베렐린	GA_3가 많이 이용, 발아에 필요한 광과 온도를 대체할 수 있는 효과 - 광발아종자의 발아 촉진
시토키닌	정아우세를 억제하고 측아의 생장을 촉진, 광선과 결합하여 발아를 촉진하고, 키네틴은 호광성 종자의 암발아를 유도한다. - ABA의 작용을 억제하므로 발아 촉진
에틸렌(C_2H_4)	과실의 성숙이나 눈의 휴면 또는 잎의 이층 형성에 효과, 종자의 발아를 촉진 ☞ **상추, 양딸기, 땅콩, 유채, 서브클로버 종자의 발아촉진**
과산화수소(H_2O_2)	침엽수, 콩과식물, 토마토, 보리 등의 발아 촉진, 종자 살균제 역할도 가능
질산칼륨(KNO_3)	발아 촉진에 쓰이며 발아시험에는 0.1~1.0%의 농도로 이용, 화본과 목초의 발아촉진, 암중발아 촉진
Thio - Urea	발아 촉진에 널리 이용, 발아에 필요한 광과 온도를 대체 할 수 있는 효과
$MnSO_4$	상당히 넓은 농도범위에서 망고, 옥수수, 양배추 등의 종자발아 촉진

6 작물의 발아와 휴면생리(계속)

* 발아 촉진 / 휴면타파방법

목초종자 발아촉진	감자의 휴면타파방법	경실종자 발아촉진	발아억제 방법
질산염류액 처리	**에틸렌 크로로하이드린 처리**	농황산 처리	MH - 30

* **습윤저온처리(층적법)시 휴면종자의 후숙이 진행되는 동안 생리적 변화**(0℃ 이하에서는 효과 없고 5℃ 내외에서 효과 크다)
  ① lipase, peroxidase, oxidase, catalase 등 효소활력의 증가 ② 삼투퍼텐셜 저하
  ③ 불용성 물질이 가용성 물질로 변화 ④ 신조직 형성에 사용되는 당류, 아미노산 등의 집적

* 휴면타파
  ① 미숙배의 휴면타파 : 층적법(저온 습윤 처리) → ABA, Coumarin 저하 / GA_3, cytokinin 상승
  ② 화학물질 처리에 의한 휴면타파 : thiourea, ethylene chlorohydrin, dinitrophenol, NaN_3(sodium azide), $NaC_7H_5O_3$(sodium salicylate), CO_2, N_2, ethylene

* **식물호르몬에 의한 휴면타파** : GA, Cytokinin은 함께 있으면 종자의 휴면타파하고 촉진되나, Cytokinin은 혼자 있으면 억제물질의 존재유무와 관계없이 휴면타파를 하지 못한다.
  ⇨ **발아조건** : ① GA ○, Cytokinin ○, ABA ○ / ② GA ○, Cytokinin ○, ABA × / ③ GA ○, Cytokinin ×, ABA ×
  ☞ **GA는 발아에 있어 필수적으로 필요하며 Cytokinin은 GA와 함께 존재해야만 발아 할수 있으며 GA와 ABA가 동시에 존재한다면 휴면하게 된다.**

* **종자의 발아력 상실**
  ① 원형질 단백질 응고 ② 효소활력 저하 ③ 생리활성물질 활력저하 ④ 양분소모 ⑤ 종자에 수분 함량 저하

* **발아 억제 물질** : 종자나 과피의 껍질에 존재하는 발아 억제 물질에는 암모니아, 시안화수소, 알데하이드, 쿠마린, 페놀산, 앱시스산 등이 있다.
  ☞ **HCN, H_2S 등은 발아율에 별로 영향 주지 않으나 NH_3, Cl 등은 발아에 유해, 특히 SO_2의 해가 뚜렷**
  ☞ **감자의 저장중 발아억제제 : NAA, MENA - 맹아억제**
  ☞ **밤종자의 저장에 2,4-D, NAA가 효과적 이용, NAA는 밀의 수발아 억제에도 효과가 있다.**

* **종자 휴면의 유형** : ① 불투수성 종피 ② 종피의 기계적 저항에 의한 휴면 ③ 산소를 통과시키지 않는 종피 ④ 미발달된 배에 의한 휴면 ⑤ 2차 휴면
  ☞ **종피의 불투수층은 책상조직이며 관여물질은 책상세포 안의 펙틴(pectin)이 지적되고 있다.**

* **불투수성 종피** : 경실 종자 - 물이 종피를 투과하지 못하여 장기간에 걸쳐 발아 할 수 없는 종자
  - 콩, 팥, 동부, 감자, 오크라, 황마, 나팔꽃, 연, 붉은 토끼풀, 흰토끼풀, 갸자리
  - 종피의 불투수성은 울타리세포(책상세포)와 관련
  ※ 울타리 세포안의 pectin이 불투수성에 관여하는 물질로 알려져 있다.
  펙틴 함량이 많을수록 경실화 되는 경향이 많으며 울타리 세포안의 suberin이 불투수성에 관여한다.
  - 루핀, 헤어리베치 등의 종자는 고온, 저습 저장시 경실화 / 수분의 상태에 따라 경실 - 비경실로 구분 가능

* **종피의 불투수성 원인 : ① 건조에 의한 종피의 기계적인 수축 ② 토양수분이 많을수록 ③ 소립종자일수록 ④ 숙도가 높은 종자일수록 ⑤ 저장에 의하여 종자가 경실화**

* **경실종자 부상법**

화학적 부상법	물리적 처리법
진한 황산, 중탄산소다액, 알코올, 아세톤, 수산(蓚酸), pectinase	진탕, 온탕, 저온, 고압

* **종자의 수명** ☞ **함수량이 적을 때 종자는 비교적 저온에 잘 견디며, 어느 정도까지 함수량을 줄이면 액체질소의 온도에서도 해를 받지 않는다.**

단명종자(3년 이내) microbiotic seed	콩, 양파, 파, 당근, 땅콩, 고추, 상추, 메밀, 우엉, 토당귀 등
상명종자(3 ~ 15년) mesobiotic seed	벼, 보리, 밀, 무, **완두**, 목화
장명종자(15 ~ 100년) macrobiotic seed	토마토, 수박, 호박, **녹두**, 오이, 배추, 가지, **알팔파**

☞ **종자의 수명에 영향을 끼치는 외적조건 : ① 습도 ② 온도 ③ 산소**
☞ **함수량이 많은 종자를 완전히 산소가 제거된 장소 보관시 혐기성 호흡으로 유해물질 생성되어 발아저해, 장기저장에서 산소의 존재가 수명을 단축하는 결과 초래**

* 종자의 수명에 미치는 영향
  ① **일반적으로 건조종자의 수명은 수분을 다량 함유한 종자보다 길다. 이는 함수량이 많을 때 단백질이 응고하기 쉽기 때문이다.**
  ② 종자의 함수량 자체뿐만 아니라 함수량의 변화도 종자의 수명을 단축하는 원인이 된다.
  ③ 저온 효과는 특히 종자 함수량이 높을 때 크게 나타난다.
  ④ **콩 종자는 함수량이 많아도 저장온도를 어는점 이하로 내리면 오랫동안 수명을 보존할 수 있다.** 그러나 수분함량이 많은 종자를 초저온 하에 두면 결빙으로 인한 해를 받는다. 함수량 적을 시 액화질소(-196℃)에도 안전하다.
  ⑤ 함수량이 많은 종자를 무산소 상태로 저장하면 혐기성 호흡에 의하여 생성되는 유해물질 때문에 발아가 저해된다.

* **눈의 휴면유도**
  - 일반적으로 장일조건은 영양생장을 촉진하고 단일조건은 신장생장을 억제하여 휴면아의 형성을 촉진
  - 겨울기간 동안 저온에 접촉해야만 휴면이 각성되어 정상적인 생육이 가능

* **2차 휴면 : 발아에 부적당한 환경으로는 고온, 저온, 습윤, 건조, 암흑, 광, 산소 부족 등이 있다.**
  CO_2는 고농도에서는 억제적으로 작용, 저농도에서는 촉진적으로 작용

* **후숙(after ripening)** : 많은 종자는 건조에 의해서 어느 수준까지 수분함량이 감소하면 휴면이 소실되는 현상

Plant Physiology(4/5)

<생장조절물질의 개화조절>
① 옥신 : IAA, NAA 등은 장일식물의 개화를 촉진하나 단일식물의 개화는 억제한다.
② 지베렐린 : GA_3는 저온이나 장일을 대체하여 개화를 유도, 촉진한다.
③ 오이암꽃 착생촉진 : 저온단일, 2,4-D, NAA, 에스렐
④ 오이수꽃 착생촉진 : 고온장일, 초산은, 지베렐린
※ 시토키닌, 에틸렌 등은 개화를 촉진 MH-30은 개화를 억제하는 것으로 알려져 있다.

7 작물의 생장생리

* 생장의 단계
- 정단분열조직 : 정단생장 - 줄기, 뿌리 신장생장
- 절간분열조직 : 절간생장
- 측면분열조직 : 비대생장
  - 단자엽 식물 : 정단분열조직 세포 크기증대로 대체
  - 목본쌍자엽식물 : 형성층 세포분열, 2차생장 - 코르크 형성층 세포분열의 결과, 뿌리도 2차생장하여 굵어 짐
☞ 산생장설(酸生長說) : 옥신이 세포막에 있는 ATPase의 활성을 증가시켜 세포벽쪽으로 H^+를 방출시킴으로써 세포벽의 pH를 낮춘다. 세포벽 내의 H^+가 증가하면 세포벽 구성물질 간의 수소결합이 약해져서 세포벽이 느슨해진다.
이와 같이 생장에 필수적인 세포벽의 가소성 증가가 세포벽의 산성화에 의하여 일어난다.
- 단자엽식물줄기 : 2차 생장은 없다. 폐쇄유관속
- 초본쌍자엽식물 : 개방유관속
- 목본쌍자엽식물 : 1차생장, 2차생장이 확연
- 뿌리비대 생장 : 목본쌍자엽식물의 주근은 유관속형성층과 코르크 형성층, 분열조직으로 비대

* 생장과 환경조건
- 광 조건 : 광이 없는 상태에서 발아하여 자랄 경우 암형태형성으로 발달되며 암상태 생장 식물은 황백화식물로 줄기가 길고 떡잎이 겹쳐져 있으며 엽록소의 축적이 거의 없다. (암형태형성 ↔ 광형태형성)
- 파장영역이 식물 생육에 미치는 영향

구 분	광 합 성	광형태 형성	생육저해 효과	온도상승 효과
자외선(200~400nm)	효과 없음	효과 적음	효과적	효과 없음
광합성유효파장(400~700nm)	효과적(청색-430nm, 적색-650~680nm)	효과적	효과 적음	효과적
적외선(750~4,000nm)	효과 적음	효과적	효과 없음	효과적
극장파(4,000~100,000nm)	효과 없음	효과 없음	효과 없음	효과적

- 고온에서는 증산량이 많고 광합성보다 호흡작용이 더 빠르기 때문에 일반적으로 생장속도가 느리다.
- 변온조건 : 야간온도가 낮은 경우 생장이 좋아지는 원인은 정확하지 않으나 야간온도가 낮을 때 많은 작물의 당함량이 높아지고 뿌리로의 당 이동이 증가되며 지상부에 비하여 뿌리생장이 더 활발해지고 또 호흡에 의한 탄수화물 소모가 감소한다.

* 생장상관
- 뿌리와 줄기의 생장상관 : 발아 초기 유근이 나올 때를 제외하면 뿌리는 줄기의 생장을 촉진, 뿌리에서 공급 아미노산, 호르몬의 영향
- 잎과 겨드랑눈의 생장생관 : 시토키닌은 성숙한 잎에 의한 생장억제효과를 줄여서 겨드랑눈의 생장을 유도
/ 옥신·에틸렌, ABA는 겨드랑눈의 생장을 더욱 억제
- 끝눈과 곁눈의 생장상관과 정부우세성 : 옥신과 시토키닌이 뿌리의 정부우세성에 미치는 영향은 줄기의 정부우세성에 미치는 영향과는 정반대
☞ 정부우세성의 원인
① 끝눈의 강력한 수용부위활성에 의한 곁눈의 영양부족 ② 정단부와 어린 잎에서 합성되어 극성이동하는 높은 농도의 옥신
③ 뿌리에서 합성되어 지상부로 이동하는 시토키닌의 부족 ④ ABA를 포함한 생장억제물질의 농도가 곁눈에 증가하는 것
- 영양기관과 생식기관의 상관 : 생식기관의 형성과 발달은 줄기의 절단, 유인, 환상박피 등 영양생장기관의 생장을 억제함으로써 어느 정도 촉진, 영양생장을 억제하는 TIBA처리는 꽃눈형성을 현저하게 촉진
- 보상적 상관 : 식물의 어느 기관내에서 그들 사이에 영양이나 호르몬의 경쟁관계가 형성될 때 기관의 수를 줄이면 남은 기관의 크기가 커지는 것을 보상적 상관(한 작물체에서 과실의 수가 많으면 많을수록 과실의 크기가 작아진다.)

* 생장해석

개체에 대한 생장해석	상대생장률(RGR)	어떤 시간 동안 원래 무게에 대한 건물중의 증가 / 일정기간, 식물체의 건물생산능력 / 작물의 생장초기에 주로 사용 ☞ RGR = NAR × LAR
	순동화율(NAR)	단위엽면적 및 단위시간의 건물중 증가를 의미 / 단위엽면적당 일정기간의 식물체 건물생산능력
	엽면적률(LAR)	식물체의 단위 무게에 대한 엽면적의 비율
군락상태에서의 생장해석	엽면적 지수(LAI)	작물이 차지하고 있는 땅면적에 대한 엽면적의 비율을 말함
	작물생장속도(CGR)	일정기간에 단위면적당 작물군락의 총 건물 생산능력
	엽면적 기간(LAD)	누적엽면적지수 - 작물의 생장기간 동안 엽면적 크기와 유지 정도, 수광정도를 반영

* 식물 호르몬의 작용기구
① 식물호르몬은 세포막의 투과성에 영향을 끼쳐 이온이나 물질이동을 변화시킬 수 있다.
② 식물호르몬은 다른 호르몬과의 상호작용으로 그 자체는 물론 다른 호르몬의 활성을 조절하는 경우가 많다.

❶ 신장생장에 미치는 IAA와 GA의 상조작용 ❷ 옥신에 의한 에틸렌합성의 증가
❸ 발아하는 종자의 가수분해효소 합성과 휴면타파에 미치는 GA과 ABA의 길항작용
❹ 시토키닌에 의한 IAA의 합성과 이동증가나 결합형 IAA의 감소
❺ 시토키닌처리가 쌍떡잎식물 줄기의 GA에 대한 감수성을 증가
❻ 옥신과 시토키닌의 상대적 농도차이가 식물의 줄기나 뿌리의 분화에 미치는 영향

③ 식물호르몬의 기능은 그 자체보다 다른 물질에 종개되는 경우가 많다. ④ 호르몬은 유전자발현의 조절을 통해 대사작용을 조절

<식물 생장 조절제의 전구물질>

옥 신 (Auxin)	지베렐린 (Gibberellin)	시토키닌 (Cytokinin)	ABA (Abscissic acid)	에틸렌 (Ethylene)
트립토판 * Zn이 전구체인 트립토판의 합성에 필요	G3P (glyceraldehyde-3-phosphate)와 pyruvate * 기본골격 : ent-gibberellane / acetyl CoA에서 유래한 메발론산 출발	* 화학적 성질 : 아데닌 유도체 * 시토키닌은 isoprene의 전구체인 deoxyxylulose로부터 Δ^2-isopentenyl pyrophosphate를 거쳐 생합성	① 메발론산 ② 크산톡신 * ABA는 식물체의 엽록체와 색소체(plastid)에서 deoxy xylusose 경로를 통해 생합성, ABA 생합성 전반부는 isoprenoid 계통(GA, Carotinoid)의 생합성과 동일한 경로로 합성	메티오닌

<식물 생장 조절제>

옥 신 (Auxin)

<생물적 효과>
① 줄기 및 자엽초의 신장 ② 정아우세 ③ 뿌리의 신장 및 발근 촉진 ④ 굴성 및 극성 발현
⑤ 꽃눈 발달과 일차제 조절 ⑥ 유관속 분화유도 ⑦ 과실의 발달촉진 ⑧ 옥신의 상업적 이용
① 저농도에서는 옥신이 줄기 및 뿌리의 신장효과가 있으며 고농도에서는 ethylene의 생성을 조장하여 신장이 억제된다.(줄기 및 자엽초의 신장)
② 세포 신장에 관여 식물이 생장을 촉진, 정아의 생장 촉진(정아우세)
※ IAA oxidase 활성화 방해 : 폴리페놀 / 활성화 증가 : 모노페놀 ⇨ IAA의 양을 감소
☞ 쿠마르산(모노페놀)을 처리하면 생장이 억제되는 것은 IAA oxidase의 활성을 증가시켜 내생 IAA의 양을 감소시킨다.
* TIBA, NPA, morphactin 등은 옥신의 극성이동 억제, 정부우세성 타파되어 곁눈의 생장 유도
* 굴광반응을 일으키는 광 : 청색광(420 ~ 480nm), 445nm가 가장 효과적
③ 벼는 2,4-D의 발아 억제작용에 대한 저항성이 강하다.

생합성 흐르몬	IAA, PAA, IAN, Indoleacetic Aldehyde
합성 흐르몬	NAA, 2,4-D, 2,4,5-T, MCPA, IBA, PCPA, BNOA
4-CPA	착과제 토마토톤의 주성분

* 전구물질 : 트립토판
* 식물의 암꽃착생 증가 - 에틸렌 합성을 통해 증개

<재배적 이용>
* 발근촉진, 접목에서 활착촉진, 가지의 굴곡유도, 개화촉진, 적화 및 적과, 낙과방지(이층형성 억제), 과실의 비대, 성수의 촉진, 단위결과의 유도, 증수효과, 제초제 이용
* 고구마의 괴근은 옥신(NAA) 함량이 많아야 비대, 감자의 괴경은 옥신함량이 적어야 비대가 촉진된다.
* 2,4-D, dicamba : 과다한 세포팽창을 유도하여 제초제로 사용된다.(옥신의 상업적 이용)
* 단자엽 식물은 합성옥신을 신속하게 불활성화하여 합성옥신에 대한 친화도가 낮은 옥신 수용체를 갖고 있어 합성옥신에 의한 식물체 고사에 덜 민감하다.

지베렐린 (Gibberellin)

<생물적 효과>
① 생장촉진 : 절간신장 이외의 GA에 의한 생장촉진 효과는 뚜렷하지 않고 뿌리신장에도 관여한다.
⇨ rossette식물에서 개화에 필요한 저온 · 장일처리 대체 가능
② 개화유도와 성결정
⇨ 옥수수에서는 GA가 수술의 발달을 억제하여 암꽃만 형성시킨다. 반면 오이, 대마, 시금치에는 GA를 처리하면 수꽃은 형성이 촉진되고 GA 생합성 억제제를 처리하면 암꽃의 형성이 촉진된다.
☞ 옥수수 수술발달 억제 암꽃만 형성 / 오이 · 대마 · 시금치는 수꽃 형성
③ 종자의 발달, 휴면타파, 저장양분이동
④ 유년기에서 성년기로의 전환 조절 ⇨ 유년단계(소나무)를 단축시켜 2~3년 내에 솔방울을 형성
⑤ 꽃가루 발달 및 꽃가루관 생장촉진 ⑥ 착과 및 위과형성 촉진
① 미숙종자에 많이 함유 / 극성이 없으며 식물체의 어느 부분에 공급되어도 자유로이 이동 / 다면적인 생리작용을 나타낸다.
② 생합성 과정 : G3P + Pyruvate → ent-kaurene → GA_{12} aldehyde → 다양한 GA
↳ 지베렐린 생합성의 전반부는 엽록체에서 일어나므로 G3P(glyceraldehyde-3-phosphate)와 pyruvate가 GA 생합성 전구체이다.
* 기본골격 : ent - gibberellane / acetyl CoA에서 유래한 메발론산 출발
③ 생리활성에 있어서 일반적으로 개화촉진효과가 높은 GA는 생장촉진효과 증대
생장촉진에 효과 높은 GA는 개화촉진 효과가 낮은 현상이 있다.

<재배적 이용>

경엽의 신장촉진	발아촉진	화성의 촉진	단위결과 유도	수량증대
왜성식물 등에서 효과	종자의 휴면 타파 및 호광성 종자의 암발아 유도	저온이나 장일을 대체하여 화성을 유도, 촉진	포도의 무핵과 형성을 유도	채소, 가을씨감자

* 오이나 머스크멜론과 같은 자웅동주의 박과 식물에서 수꽃의 수를 증가시킨다.
* 씨 없는 포도(델라웨어)를 만들기 위해 지베렐린 처리는 만개 13~14일 전 1차 처리, 만개 10일 후 2차 처리
☞ 1차 처리는 씨를 없애기 위해, 2차 처리는 포도알의 비대 및 성숙 촉진(보통 100ppm의 농도로 실시

* 기타 내생 생장조절물질

자스몬산 (jasmonic acid)	· 발아나 생장을 억제하고 노화나 탈리 · 엽록소분해 등을 촉진 · ABA의 기능과 유사
폴리아민 (polyamine)	· 노화 지연, 세포막 구조 안정화 에틸렌에 길항작용 · 식물이 스트레스 조건에 놓이게 되면 농도 증가
브라시노스테로이드 (brassinosteroid)	· 신장생장, 세포분열 촉진 ⇨ 옥신과 상조작용 · 강낭콩의 절간신장 촉진 · 귀리의 초엽생장촉진 - 부정근 발생억제
페놀화합물 (phenolic substance)	· 대개 생장억제 - 옥신과 길항작용 · IAA의 산화작용을 촉진 · 유리상태에서 주로 액포 속에 존재 · phytoalexin에서도 발견 - 병균침입시 증가

시토키닌 (Cytokinin)

<생물적 효과>
① 세포분열 촉진, 주로 뿌리에서 합성, 물관을 통해 지상부의 다른 기관으로 전류
☞ 조직배양에서 많이 이용, 옥신과 함께 존재해야 효과 발휘 * 화학적 성질 : 아데닌 유도체
② 노화방지(엽록소 · 핵산 · 단백질 분해 억제) * 두과작물 근류형성 필수 생장조절물질

생합성 흐르몬	Zeatin, IPA, zeatin riboside, ribosyl zeatin, isoprentenyl adenine, dihydrozeatin
합성 흐르몬	Kinetin, BA(benzyladenine)

③ 시토키닌은 isoprene의 전구체인 deoxyxylulose로부터 Δ^2-isopentenyl pyrophosphate를 거쳐 생합성
↳ 뿌리에서 합성된 시토키닌은 물관부를 거쳐 줄기로 수송되나 뿌리만이 합성할 수 있는 유일한 기관은 아니고 식물의 여러 조직이 시토키닌을 생합성 한다.

<재배적 이용>
① 휴면종자나 겨드랑눈의 발아촉진(상추종자 암발아, 저온휴면타파 대체효과) * 광선과 결합하여 발아촉진
② 작물의 내한성 촉진, 잎의 생장촉진, 호흡억제, 저장 중 신선도 유지, 기공의 개폐 촉진, 종자발아촉진

ABA (Abscissic acid)

<생물적 효과>
① 기공개폐 ② 종자휴면과 눈휴면 ③ 스트레스경감
④ 탈 리(에틸렌 형성을 간접유도 노화 촉진) ⑤ 종자 저장양분의 축적 ⑥ 수발아 억제
① 대표적인 생장억제물질 / 건조, 무기양분의 부족 등 식물체가 스트레스를 받는 상태에서 발생이 증가
② IAA, GA에 의해 일어나는 신장을 저해하는 등 생장촉진 호르몬과 상호 및 길항작용
☞ 옥신은 세포벽을 산성화시켜 신장 시킬 수 있다. / 산생장설의 반대적인 역할을 ABA가 수행
* 전구물질 : ① 메발론산 ② 크산톡신
* ABA는 식물체의 엽록체와 색소체(plastid)에서 deoxy xylusose 경로를 통해 생합성, ABA 생합성 전반부는 isoprenoid 계통(GA, Carotinoid)의 생합성과 동일한 경로로 합성

<재배적 이용>

휴면유기 및 유지	생장억제	노화 및 탈리촉진	수분대사 조절
종자와 눈의 휴면을 조절, 미숙종자 수발아 억제	세포벽에서의 H^+이온 증가 억제 곁눈의 생장 억제, 정부우세성 강화	에틸렌 합성 증가와 함께 탈리촉진에 기여	잎의 기공 폐쇄-증산억제 내건성을 강화-적응생장

에틸렌 (Ethylene) C_2H_4

<생물적 효과>
① 과실성숙 촉진 ② 노화 탈리 촉진 ③ 줄기 및 뿌리생장
④ 종자 및 눈 휴면 타파 ⑤ 개화유도 ⑥ 에틸렌과 에틸렌 억제제의 상업적 이용
① 액상의 물질(에세폰)을 살포하면 분해되어 에틸렌을 발생, pH7 이상의 알칼리에서 에틸렌이 발생
* 발달중인 어린 잎은 완전히 성숙한 잎보다 에틸렌을 더 많이 생성 * 전구물질 : 메티오닌
※ 에틸렌 생성 증가 Route
① 스트레스 조건(병원균 감염, 저온, 건조)에서 발생
② 옥신처리 ⇨ ACC synthase 활성유도 / ACC synthase에 의해 ACC가 에틸렌으로 전환
* ACC synthase의 억제 : AVG, AOA * 에틸렌 합성 억제제 : AVG(aminoethoxyvinylglycine)

<재배적 이용>

성숙·노화 및 탈리 촉진	신장생장과 생장에 관련된 작용	종자와 눈의 휴면타파
토마토 리코펜, β-카로틴 합성유도로 시장성 증가 cellulase, polygalacturonase의 합성 촉진-이층형성	옥신의 극성이동 방해 삽목시 상처에 의한 발근(에틸렌합성증가)	화곡류 종자 휴면타파 감자의 괴경, 구근류 발아율 증가

☞ 화곡류 뿌리신장 억제, 감자 양파 비대 촉진 * 성발현의 조절 : 오이 암꽃 조기 착생에 효과
* 낙엽을 촉진하여 조기수확이 가능하도록 하며 적과의 효과도 있다.
* $KMnO_4$(에틸렌흡수제)를 채소 저장고에 넣어두면 저장수명 연장가능

생장억제물질

① 체내 생장촉진호르몬의 생합성 과정을 방해하여 식물의 생장을 억제
② 식물을 왜(倭)화시켜 도복을 방지하거나 분화 화훼의 미적 가치를 높이는데 이용

<재배적 이용>

B-9	Phosfon D	CCC	Amo 1618	MH	morphactin	coumarin
신장억제 및 왜화작용	줄기의 길이 단축 (토양에 시용)	절간신장 억제 (Rosette현상) 및 토마토의 개화촉진	국화의 왜화 및 개화지연	저장 중 감자, 양파의 발아억제, 수발아억제	제초제 이용	발아억제
Anti gibberellin				Anti Auxin		

* 기타 Anti gibberellin : paclobutrazol, uniconazol * 기타 Anti Auxin : TIBA, NPA

8 작물의 개화생리

* 화성유도 : 개화를 위해서는 기본적인 영양생장기간이 필요하며 유년성 기간이 지나 화성이 유도되면서 생식생장을 할 수 있는 성년성(adult phase)을 넘어가는 생리적인 상변화(phase change)가 순차적으로 일어난다.
또한 성년성인 식물만이 생식작용을 할 수 있으나 성년성으로 전환된 이후에도 많은 영양기관을 형성할 수도 있다.
* 한계일장 : 유도일장과 비유도 일장의 경계가 되는 일장(화성유도의 한계가 되는 일장) ⇨ 12시간보다 길거나 짧은 것이 아님.
☞ 사리풀(장일식물)의 한계일장 11시간이므로 11시간 이상에서 화성유도
/ 도꼬마리(단일식물)의 한계일장 15.6시간으로 15.6시간보다 짧은 일장에서 화성유도
* 개화촉진 GA의 일반적인 특징 : ① 개화촉진 효과 ↑ ⇨ 생장촉진 효과 ↓ / ② 개화촉진 효과 ↓ ⇨ 생장촉진 효과 ↑
* 식물의 일장감응형 (L = Long, I = Indeterminate, S = Short) ☞ 일장처리에 감응하는 부위는 잎 - 成葉 Yes / 幼葉, 老葉 No

구 분	화아분화 전	화아분화 후	종 류		절대적 요구(필수)	조건적 요구(촉진)
LI식물	장일성	장일성	시금치, 봄보리	보리, 시금치, 상추, 무, 양파, 감자, 대부분의 맥류	사탕무, 귀리, 클로버, 가을보리, 시금치, 카네이션	상추, 완두, 순무, 봄밀 아주까리
LI식물		중일성	Phlox paniculata, 사탕무			
LS식물		단일성	Boltonia, Physostegia			
II식물	중일성	장일성	밀	오이, 호박, 고추, 토마토, 완두콩, 당근, 가지, 조생종 벼	오이, 장미, 토마토, 고추, 감자	
II식물		중일성	고추, 벼(조생종), 메밀, 토마토			
IS식물		단일성	소빈국(小菘菊)			
SI식물	단일성	장일성	엥초(프리물러), 시네라리아, 딸기	콩, 옥수수, 담배, 고구마, 말기, 만생종 벼, 들깨, 국화, 코스모스	국화, 담배, 포인세티아, 딸기, 일본나팔꽃	목화, 코스모스, 벼의 일부
SI식물		중일성	벼(만생종), 도꼬마리			
SS식물		단일성	코스모스, 나팔꽃, 콩(만생종)			

<일장효과에 영향을 미치는 조건>
* 온도의 영향 : ① 일장효과의 발현에는 특히 암기온도의 영향을 받는다.
② 일장효과의 발현에는 어느 한계의 온도가 필요, 저온하에서는 단일조건이라도 개화(국화, 사리풀)
* 광의 파장 : ① 가장 큰 효과는 적색광 600~800nm(단, 광합성은 660nm) ☞ 녹색광은 효과가 없다.
② 두번째 효과는 자색광 400nm(단, 광합성은 450nm) ③ 효과가 떨어지는 청색광 480nm(광합성은 효과적임)
* 질소의 시용 ☞ 장일식물은 질소시용 NO / 단일식물은 질소시용 YES
① 장일식물에 있어서는 질소가 부족한 경우에 영양생장이 억제되어 장일효과가 더욱 잘 나타나고, 개화가 촉진
② 단일식물에 있어서는 질소의 요구도가 크기 때문에 질소가 넉넉하여야 생육속도가 빨라져서 단일효과가 더욱 잘 나타난다.
☞ Lysenko 형님께서 작물의 발육상을 특정 온도를 필요로 하는 감온상과 특정한 일장을 필요로 하는 감광상으로 구분 / 초기 감온기가 필요, 후기 감광기가 필요(일장처리) 라고 하셨습니다.

<광가역성(파이토크롬 색소 단백질)>

적색광 → Pr, 근적외광, 암전환 → Pfr, → Pr
↳ 암흑에서의 생체내 생성
☞ 몇 번을 조사해도 최종 광선의 효과(개화반응)가 발생
↳ 단일식물의 개화유도기간중에 적생광과 원적색광을 번갈아 약 2분만 조사하면 적색광은 개화를 억제시키나 원적색광은 적색광의 억제효과를 제거시켜 개화가 유도

☞ 피토크롬은 낮에는 대부분 Pfr 형태이지만 암기 동안 Pr형으로 전환 / 장일식물은 Pfr에 의해 개화 촉진
☞ 품종과 일장처리를 교묘히 이용하면 국화는 연중 어느 때나 개화시킬 수 있는데 이것을 주년재배라고 한다.
↳ 전등조명에 의한 억제재배와 단일처리에 의한 촉성재배로 개화기를 조절
① 광발아성인 양상추 종자에 적색광을 조사하면 발아가 100% 가깝게 촉진되는 반면, 원적색광을 조사하면 발아가 완전히 억제
② Pfr의 농도가 한계수준 이하로 떨어지면 단일식물은 개화, 그러나 암기 동안에 적색광을 단시간 조사하면 Pfr형의 phytochrome비율이 높아져 개화유도가 이루어지지 않게 된다. 장일식물은 Pfr에 의하여 촉진되므로 암기가 짧아야 한다.

* 파이토크롬 생태적 기능
① 잎의 수면운동 조절 ② 광질변화 적응
③ 그늘현상 감지 : 양지식물의 경우 원적색광의 비율이 높을 때 지상부로 더 많은 동화산물 분배→신장생장으로 그늘회피
④ 원적색광의 비율이 높아지면 발아 저해
⑤ 그늘회피반응 : 식물이 자연상태에서 이웃하고 있는 식생을 감지하고 경쟁 할수 있도록 유도
↳ 벼의 경우 생산량증대는 개체당 생산량 증가보다는 밀식에 대한 내성(그늘회피반응 둔감형)이 높은 품종을 육종

* 광주기성과 식물의 분포

구 분	특 징	저위도 분포	중위도 분포	고위도 분포
단일식물	① 봄에 발아 여름의 장일시기에 영양생장 후 대부분 가을에 개화·결실	연중개화 가능 / 다수분포	장·단일 식물 분포 * 중성식물은 모든 위도지역에 분포	개화 불가
장일식물	② 봄에 발아 여름에 개화·결실 ② 가을 발아 유식물로 월동후 내년에 개화·결실	개화 불가		다수분포

↳ 감광성은 단일식물은 단일에서 장일식물은 장일에서 출수·개화가 촉진되는 정도를 나타낸다.

* 광주기 반응의 응용
①품종간 차이 및 품종의 선발 ②육종방법에의 이용 ③화훼작물의 개화기 조절 ④파종기 및 기타 재배상의 문제
☞ 품종간 차이 및 품종의 선발
❶ 고위도 지방에서는 감광성이 큰 품종은 일장이 긴 여름까지 영양생장만 계속하다가 그 후 일장이 짧아지면 비로소 유수분화가 시작되므로 가을의 저온으로 완전히 성숙하지 못하므로 적합하지 않고 오히려 감온성이 큰 품종을 재배
❷ 저위도 지방에서는 감온성이 큰 품종은 영양생장이 충분히 이루어지기 전에 고온이 되므로 일찍 유수를 형성하고 출수하여 다수확을 기대할 수 없다. 따라서 저위도지방에서는 기본영양생장성이 크고 감온성이 적은 품종을 선택

* 개화 이외의 일장효과
① 모시풀(단일식물)은 단일에서는 자성이 우세, 장일에서는 웅성이 우세
☞ 8시간 이하 일장은 완전자성, 14시간 이상 장일은 완전웅성
② 삼(대마) : 장일은 ♂→♀, ♀→♂의 성전환 억제, 단일은 ♂→♀, ♀→♂의 성전환 조장
③ 영양번식 기관의 형성 비대 : 단일조건에서 대체로 비대가 조장 / 양파의 인경은 장일에서 비대 조장

Plant Physiology(5/5)

"Nulla in mundo pax sincera sine felle" / Viper pro creatione et prosperitatis

* 이상환경과 작물생육

내건성	구조적 내건성	수분 보존형	엽면적이 작고 요수량이나 증산량이 많지 않다.
		수분 소비형	근계발달이 좋아 수분흡수량이 증가
	원형질적 내건성	원형질의 수분함량이 감소해도 생리적 장해를 크게 받지 않는 진정한 의미의 내건성이며 내탈수성이라고 한다.	

* 삥해형 냉해 양상 : 저온 ⇨ 광합성 저하 ⇨ 탄수화물 생산 저하 ⇨ 질소대사 능력 저하 ⇨ 단백질 생산 저하 ⇨ amide, amino acid 축적 ⇨ 도열병균이 직접 이용 ⇨ 도열병 이병
* Proline(amino acid) : 건조 및 수분 부족시 증가 / 저온시 감소 * 내염성 식물 : 다량의 proline 함유
* osmotic adjustment : glycine betaine, sorbitol, glycerol, aspartic acid, glutamic acid, glutamic acid

8 작물의 개화생리 - 계속

* 춘화처리의 효과에 영향을 주는 조건
① 수분함량 : 종자가 수분을 흡수하지 않는 한 춘화처리의 효과는 없다.
② 온도 및 처리기간 : 온도는 각각 다르나 일반적으로 0~10℃에서 가장 유효
☞ 춘화처리 감응부위는 생장점이나 생장점뿐만 아니라 식물체의 어느 부위든지 분열하고 있는 세포는 춘화처리 자극에 감응
③ 산소 : 춘화처리 동안 물론 처리 후에도 저온처리 효과를 지속시키기 위해 종자나 어린식물에 산소공급이 필요
④ 탄수화물 : 종자의 배 안에 있는 탄수화물 함량과 춘화처리 효과는 정(+)의 상관관계가 있다.
⑤ 화학약제 : 배양액 중에 K^+가 함유되어 있으면 춘화처리 효과가 크며 에틸렌이나 지베렐린과 함께 종자를 처리하면 처리기간 단축 가능
⑥ 고온에 의한 이춘화 : 춘화된 종자를 25~35℃의 고온에 다시 처리하면 춘화처리 효과가 감소
⑦ 품종의 영향 : 추파성이 높은 품종은 저온처리를 오래 하지 않으면 출수하지 않는다.
☞ 추파맥류를 저온처리하여 봄에 파종하면 정상적으로 출수하지만 무처리의 경우에는 화지현상 발생

* 춘화현상의 기구<Melchers와 Lang(1948)> ☞ 개화유도과정 : 저온(춘화처리) → 춘화된 상태 → 전이물질 생성(바날린) → 플로리겐 형성 → 개화
☞ GA 처리를 하면 춘화처리를 하지 않고도 저온요구식물이 개화, GA의 이러한 효과는 광주기성 경우에도 마찬가지로 GA은 개화유도 필요한 체내반응의 시작과정이나 일장과 저온과 같은 환경신호를 대체

* 춘화 처리의 농업적 이용 : ① 조기출하재배 ② 채종재배 및 육종 ③ 재배지역의 확대 및 대파

* 화기의 형성
- 화기분화순서 : 꽃봉침 → 꽃잎 → 수술 → 암술 ☞ 정단분열조직은 화서분열조직과 화기분열조직으로 전환
- 수술 : ① 화사(유관조직으로 물과 영양의 이동통로) ② 약(화분을 생산, 방출하는 기능)
③ 소포자(유사분열로 정핵세포를 함유한 다세포 웅성배우체인 화분 생산) ☞ 소포자 : 생식세포 크기 < 영양세포크기
④ 화분 : 화분 모세포 → 감수분열 → 4분자(n) → callase에 의해 개개의 소포자(n)로 분리
* 화분관세포의 발아능력 검정배양액 : B, Ca 필요
☞ 한 개의 화분립은 2개의 정핵과 1개의 영양핵(화분관핵) 등 3개의 핵을 갖는다.
- 조세포 : 화분관이 주공안으로 들어오는 것을 돕는다.
- 종자 : 배주에서 발달한 배가 종피에 싸인 것 - 과실 : 자방이 발달, 성숙한 것
- 종피 : 주피에서 유래, 외주피와 내주피의 바깥쪽 층은 소멸, 안쪽 층이 발달, 늘어나 압축되어 얇은 막

* 화기의 구조
① 단자엽 식물 : 자엽 1개, 나란히맥을 가진 잎과 3배수의 화기구조를 가진 식물
② 쌍자엽 식물 : 자엽 2개, 그물맥을 가진 잎과 4~5배수의 화기구조를 가진 식물

<배낭형성>

대포자 형성기	대배우자 형성기
대포자정보세포가 두 번의 감수분열을 거쳐 4개의 대포자 생성	대포자의 유사분열과 핵이동 및 세포질분열로 성숙한 배낭 형성

* 성숙한 배낭의 구성 : 반족세포 3개, 극핵 2개, 난세포 1개, 조세포 2개 ⇨ 8개
☞ 배유(3n) = 정핵(n) + 극핵(2n) ☞ 배(2n) = 정핵(n) + 난핵(n)

* 개화식물의 성결정 : Auxin처리는 자성비를 증가, GA처리는 웅성비 증가
* 식물의 무성번식 : 일장이 지하저장기관 형성에 미치는 영향(일장이 개화에 미치는 영향과 비슷)

단일조건이 촉진 조건	장일조건이 촉진 조건
감자 · 달리아 · 베고니아 - 괴경	양파 · 마늘 - 인경

☞ 일장에 감응하는 기관이 잎이라는 점은 종자번식식물의 개화생리와 동일
* 지하저장기관을 발육하는 분열조직은 강력한 탄수화물 수용부위로 작용해서 세포분열과 확대에 의하여 비대하게 된다. 괴경은 성숙하면 전분과 단백질이 축적되는데 전분 대신 이눌린으로 축적되는 경우도 있다.

9 작물의 결과생리

* 화분관 신장과 수정
① 주두에 부착된 화분의 발아 : 주두의 수분 및 유기화합물 흡수 → 화분관 신장
↳ 화분관의 세포벽 구성 : callose(다당류) / 화분관의 신장시 화분관의 세포질의 부피는 증가하지 않는다.(액포발생)
☞ 개화기 때 비가 오면 갑작스런 수분흡수로 화분세포의 팽압이 증가하여 파열될 수 있다.(우기 수정을 저하 원인)
② 화분관 신장중 핵분열로 2개의 정핵 생성(식물체 70%)
③ 화분관 신장 → 자방 도달시 주공을 통해 배낭으로 들어가고 영양핵은 퇴화 ⇨ 조세포가 이 작용을 돕는다.
※ 수분시 꽃가루 발아 조건
- 수분 : 팽압제공, 물질운반 - 당분 : 호흡에 필요한 양분 공급/삼투압 조절 - 칼슘 : 세포벽 구성
- 붕소 : 화분관 신장에 필요 - 식물호르몬 : 옥신, 지베렐린(꽃가루에 다량 함유)

<불임성과 그 원인>
* 자가불화합성 기구
① 수분된 화분이 주두에서 발아하지 못함 ② 화분이 발아해도 화분관이 주두조직 안에서 신장하지 못함
③ 화분관 신장도 정상적이고 수정도 제대로 되지만 그 후의 발육이 저해되어 종자가 형성되지 못하는 경우
* 자가불화합성 생리적 원인
① 화분의 발아 및 화분관 신장을 저해하는 억제물질의 생성 ② 화분관 신장에 필요한 물질의 부족
③ 화분과 주두조직 사이의 삼투압 차이 ④ 화분과 주두조직에 있는 단백질들의 친화성 결여
⑤ 특수한 ribonuclease 유전자 발현
* 교잡불화합성 작물 : 사과, 배, 양앵두, 고구마, 십자화과 작물
* 1대 잡종 종자 생산시 불화합성 이용

웅성 불임성 이용	양파, 파, 고추, 당근, 옥수수 등
자가 불화합성 이용	배추, 양배추, 무 등
인공교배 이용	토마토, 오이, 가지, 수박, 참외 등

<불임성과 그 원인> - 계속

<성적 결함에 의한 불임성>

•자성불임 : 배주나 배낭에 이상현상이 나타나서 생기는 불임으로 드물다.
•웅성불임

세포질 유전자 웅성불임 (CGMS)	양파, 당근, 사탕무, 아마 - 핵 내 유전자와 세포질 요인의 상호작용에 의해 발생 * 임성회복천(화분천), 임성유지천, 불임천이 있어야 한다.
세포질 웅성불임 (CMS)	옥수수, 수수, 사료용 유채 - 웅성불임이 세포질 요인에 의해서만 지배 * 멘델법칙을 따르지 않는다. - 유전물질에 의한 것이 암놈의 세포질에 의존 * 세포질웅성불임성은 화분천에 관계없이 불임이 되므로 양파처럼 영양기관을 이용하는 작물에서 1대 잡종을 생산하는데 이용
유전자 웅성불임 (GMS)	고추, 토마토, 보리, 수수, 벼 - 웅성불임이 핵 내 유전자에 의해서만 지배 * 온도, 일장, GA 등에 의해 임성을 회복하는 환경감응형 웅성불임성이 있다.

•화분불임 : 유전적 원인에 의하여 화분의 발육이 불완전

<불수정에 의한 불임성과 불화합성>

•자웅이숙, 이형예현상
•타가불화합성(교잡불화합성) : 사과, 배, 양앵두, 고구마, 십자화과 식물에서 볼수 있다.
•자가불화합성 : 배우체형 자가불화합성, 포자체형 자가불화합성(동형화주형, 이형화주형)
☞ 자가불화합성을 지배하는 유전자좌를 S-locus라고 하며 동일 유전자좌 내 여러 개의 복대립유전자간 상호작용에 의해 지배
☞ 배우체형 자가불화합성은 자방천의 불화합유전자가 화분의 불화합유전자와 한가지라도 서로 같으면 불화합이 된다
① 배우체형 자가불화합성 : 화분(n)의 유전자가 화합·불화합을 결정
② 포자체형 자가불화합성 : 화분을 생산한 식물체(포자체, 2n)의 유전자형에 의하여 화합·불화합이 결정

* 자가불화합성 타파

뇌우분	억제물질이 생성되기 전인 개화 2~3일전의 꽃봉오리(화뢰)에 수분하는 것으로 자가수정물이 높으며 십자화과식물의 채종에 많이 이용된다.
노화수분	개화 후 3~4일 후에 수분
자연수분	억제물질의 활성이 약화된 화기 말에 수분
CO_2처리	개화기에 3~5% 정도의 탄산가스를 4시간 정도 처리하며 1대 잡종 무의 원종 증식을 위해 종자회사 등에서 가장 많이 이용하는 방법이다.

* 수분에 따른 작물 분류

자가수정 작물	벼, 보리, 밀, 귀리, 조, 콩, 담배, 땅콩, 아마, 토마토, 가지, 고추, 상추, 수박 - 화본과, 두류
타가수정 작물	•자웅이주 : 시금치, 아스파라거스 •자웅동주 이화 : 옥수수, 오이, 호박, 수박, 참외 •자웅동주 동화 : 무, 배추, 양배추, 등 십자화과
자가수분이 원칙이나 타가수분도 가능	피망, 갓, 수수, 목화, 유채, 수단그래스

* 화기의 구조적 원인

자가불화합성	무, 배추, 양배추 등 십자화과
자웅이숙	•웅예선숙 : 양파, 당근 •자예선숙 : 십자화과, 목련, 호두
자웅이주	시금치, 아스파라거스, 은행나무
자웅동주	오이, 수박, 호박, 옥수수
이형예	메밀, 프리물러 * 자가불화합성과 자웅이숙이 함께 작용하는 경우가 많음
장벽수정	붓꽃 * 꽃밥이 암술대의 움푹한 곳에 위치한 경우 등 암술과 수술의 위치가 자가수정을 할 수 없는 상태

<수정 후의 퇴화로 인한 불임성>

•수정은 정상적으로 되나 접합자가 생긴 후에 퇴화현상이 일어나서 불임이 되는 경우
- 불임성이 가장 빨리 나타나는 것으로 배의 사멸(embryo destruction)을 들 수 있는데 어떤 원인으로 배의 생장이 원만하지 못하여 종자형성이 안되는 것

<종자형성과 발달>
* 외떡잎 식물 종자의 발달과정(발육중인 옥수수 종자의 구성성분 변화)
① 종자의 건물중, DNA, 단백질은 지속증가 ② 종자의 생체중, 아미노산, RNA는 발달 중기 이후 성숙기까지 감소
☞ 단, 배의 경우에는 상기 사항이 지속 증가한다. 배유에서는 종자의 발육단계에 따라 다른 종류의 단백질합성이 일어나고 저장단백질이 현저하게 증가하는 후기에는 현저한 아미노산 감소가 수반
* 쌍떡잎 식물 종자의 발달과정(콩)

배 발생	종자 발육	휴 면
※ 배젖이 먼저 발생하고 배는 이후에 발생한다	단백질 축적 지질 축적	단백질 합성 감소 ※ 탈수로 인하여 종자의 생체중이 감소한다.
배축 지연분화		
	DNA 중복합성	
세포분열	세포확대	탈수

<과실의 생장>
* 과실의 생장 구분
① 단일 시그모이드 곡선 : 과실의 대부분의 식물 ② 2중 시그모이드 곡선 : 핵과류, 포도
③ 단일 시그모이드 - 꼬투리 / 2중 시그모이드 - 종자 (콩)

<단위결과>
① 자연적 단위결과 작물 : 토마토, 고추, 호박, 오이, 감귤류, 바나나, 파인애플
☞ 바나나, 감귤류(불완전 화분), 파인애플(자가불화합성), 멜론(유전적 불임성인 3배체)
② 환경적 단위결과 : 고온, 일장, 안개, 환상박피, 타화수분, 곤충작용
☞ 고온에서 단위결과 발생 : 배, 토마토
③ 화학적 단위결과 : 옥신처리로 단위결과 유기, GA처리로 과실을 무핵화 및 숙기 단축
☞ 감, 배도 GA_3으로 단위결과 유도 할 수 있으나 경제적 가치 없다.
☞ GA처리로 무핵화 시킨 포도는 개화 후에 다시 한번 처리함으로써 비대생장을 촉진시킬 수 있는데, 생장촉진을 위한 GA효과는 유핵품종에서는 그효과가 거의 없는 것이 보통이다.

<과실의 성숙>
* 과실의 성숙과 일어나는 변화
① 색소의 변화 : 엽록소 감소 / Carotenoid(카로틴, 리코펜, 크산토필), Anthocyanin 의 증가
② 성숙과정에서 과실의 경도 감소 : 세포간 접착역할을 하는 펙틴질의 분해로 가용성이 되어 세포간 접착능력 소실
③ 과실내 성분변화 : 과실에서 가용성 고형물 증가, 유기산 감소, 휘발성 향기성분의 증가
* Climacteric Rise : 생장기간 동안 과실의 호흡량 감소, 성숙기에 호흡량이 급격하게 증가 하는 현상

Climacteric rise	Non climacteric rise
사과, 배, 복숭아, 살구, 바나나, 토마토	감귤, 오렌지, 포도, 레몬, 수박, 파인애플, 딸기, 버찌

☞ 삼고 재배학(Climacteric rise) : 사과, 배, 토마토, 복숭아, 수박, 멜론, 감, 살구, 무화과, 망고, 아보카도, 바나나, 키위, 파파야
☞ 클라이맥터릭형 과실은 에틸렌 처리로 성숙을 촉진시킬수 있으나 비클라이맥터릭형 과실은 에틸렌 농도에 비례하여 호흡량은 증가하나 내생에틸렌 발생에는 큰 변화가 없고 성숙촉진효과도 일관성이 없는 것이 보통이다.

* 세포의 죽음 과정
① 세포의 죽음으로 예정된 노화과정 : PCD(Programmed Cell Death)
② 과사로서 냉해, 상처 및 미생물의 침입들과 같이 갑자기 발생하는 외부요인에 의해 일어나는 과정
③ 만성적인 퇴행으로 시간이 경과함에 따라 점차 치명적인 손상이 누적되면서 나타나는 과정 ⇨ 진정한 aging
☞ 손상을 받아 제대로 작용하지 못하는 특정 세포를 식물체 스스로가 선택적으로 제거하기 위해서 다양한 분해효소의 작용에 의하여 세포를 죽게 하는 과정 ⇨ 유전적인 통제를 받는 발달과정의 일환

구 분	P C D	괴 사
차이점	발달과 연관, 유전자 통제 : 분해효소 작용, 질병차단	발달과 무관, 유전자 통제 없음 : 분해효소 작용 및 질병차단 효과 없음
공통점	죽 음	

10 작물의 수량생산 생리

<수량구성 요소>
① 곡 류 : 단위면적당 수수 × 1수 영화수 × 등숙비율 × 1립중
☞ 이삭수가 감소하면 영화수는 증가, 이삭수가 증가하면 영화수는 감소, 서로 상보적 관계를 띤다.
② 과 실 : 과수당 과실수 × 과실의 크기(무게)
③ 뿌리작물 : 단위면적당 식물체 수 × 식물체당 덩이뿌리 수 × 덩이뿌리의 무게
④ 사탕무 등 : 단위면적당 식물체 수 × 덩이뿌리무게 × 성분함량

<광합성과 수량 >
* 고립상태에서는 광과 탄산가스가 광합성을 하는 데 크게 제한받지 않으므로 광합성량은 엽면적에 비례, 그러나 포장상태에서는 작물이 어릴때에는 고립상태와 같으나 작물이 생장함에 따라 엽면적이 커지고 하위엽이 광을 충분히 받지 못하므로 엽면적의 크기는 물론 잎의 형태와 위치 등도 총광합성량에 영향을 끼친다.
* 군락의 최적엽면적지수는 군락의 수광태세가 좋을 때 커진다. 또한 동일엽면적 이라도 군락의 수광능률은 수광태세가 좋을때 높아진다.
* 엽면적지수가 작을 때에는 수평으로 있는 잎 일수록 광을 많이 받을 수 있으므로 광합성량이 많다.
엽면적지수가 클때에는 직립하는 잎이 군락의 광합성량이 많다.

<단위면적당 광합성 능력>
* 작물의 유전성
- 통일형 품종은 일본형보다 광합성능력이 높아 광합성 능력을 한 단계 더 높였는데, 이는 RuBP carboxylase의 활성이 현저히 높아 탄산가스의 고정량은 많지만 높은 온도에서 광호흡을 나타내는 RuBP oxygenase의 활력은 오히려 낮고 잎이 직립하여 하위엽까지 광투과가 좋아 수량성이 훨씬 높으며, 한편으로는 광합성 산물을 필보다 종실에 더 많이 축적하여 수확지수가 높기 때문이다.
* 시비 관리

벼	•최근 육성 품종일수록 단간종으로 도복에 강하고 다비성이 높아져서 질소 시비량도 점차 증가하였다 ☞ 질소비료를 많이 흡수해도 도복되지 않고 도열병에도 이병되지 않는다면 어느 한계까지 질소시비량이 증가 할수록 수량이 증가 예상
옥수수	•옥수수는 질소의 과다 시용으로 문제되는 병은 없지만 도복이 문제가 되며 내도복성이 강한 1대 잡종은 질소시비량이 증가 할 수 있다. ☞ 질소 시비량의 증가가 수량증가의 가장 큰 원인
콩	•종자에 저장된 질소나 토양의 존재 질소가 충분하지 않아 파종시 약간의 질소비료를 시비하지만 과다한 경우에는 토양에서 NO_3로 변하여 콩에 흡수되면 근류균의 leghemoglobin과 결합하여 근류균에 산소를 공급하지 못하므로 근류균은 질소고정능력이 떨어져 질소비료의 효과가 나타나지 않는다. ☞ 초기 시비량은 조금만 시용하고 콩의 질소요구량이 많은 개화기에 질소비료를 시용하면 광합성 능력이 증가하고 잎의 노화가 지연되어 수량이 증가할 수 있으므로 질소 추비 연구가 진행중

* 광도에 따른 재식거리

정방형	생육초기 양분 수분경합이 적어서 초기에 좋다
장방형	조간이 넓어 채광 통풍 좋고 하위엽까지 수광이 가능하여 후기에 좋다 - 조간이 넓고 주간이 좁다

* 공급부위와 수용부위의 균형
① 저장기관의 물질(당) → 전분(수분과텐셜 상승) → 저장기관의 압력저하 → 잎의 압력이 높다(상대적) → 양분의 저장기관으로의 이동
② 저장기관 少 광합성 능력이 大 : 장소관계 없이 수량 안정하나 다수확은 기대할수 없다
저장기관 大 광합성 능력이 小 : 환경에 따라 수량 변동이 되니 환경을 극복하기 위해 노력해야 한다.
☞ 작물육종을 할때 과실의 크기만 보고 선발하지 않고 좋은 초형을 같이 선발하는 이유가 된다.

10 작물의 수량생산 생리(계속)

<동화산물의 이동과 축적>
* 공급부위(souce)와 수용부위(sink)
- 성숙한 잎(source) → 어린 잎(sink) ⇨ 어린잎 성장(source) / 종실이 생기기 전 줄기, 잎집(source) ⇨ 발달하게 되는 종실(sink)
☞ source와 sink의 관계는 항상 고정된 관계가 아니며 발달의 상황에 맞춰 변해간다.
↳ 외부환경에 따라 수용부위가 변하기도 한다. 즉, 시탄무에서 광합성량이 적을 때에는 탄수화물은 주로 어린잎으로 이동되어 엽면적을 증가하는 데 이용된다. 그러나 토양수분이 부족할 때에는 잎의 생장이 억제되므로 탄수화물은 어린잎으로 이동하는 비율이 낮아지고 뿌리가 발달하는 데 이용되어 수분흡수를 좋게 한다.

11 이상환경과 작물생육

<한 해 : 旱害> - 내건성
① 구조적 내건성 : 기공의 폐쇄, 잎면적의 감소, 수분을 향한 신장, CAM 식물, 잎 표면의 납축적

기공의 폐쇄	기공의 개폐기구 ① 개방 : 광합성을 시작 → CO_2 농도 감소 → K^+, H_2O 공변세포로 유입 → 기공이 열림 ② 폐쇄 : 수분부족 → 세포질에서 ABA 농도 증가 → 공변세포로 ABA 유입 → K^+, H_2O가 공변세포에서 방출 → 기공이 닫힘
잎면적의 감소	•단자엽 식물 : 수분 부족시 잎이 말린다. •쌍자엽 식물 : 잎이 아래로 늘어져 광에 노출되는 면적이 줄어든다.
수분을 향한 신장	근계가 잘 발달하는 심근성 작물을 재배하거나 품종을 육종하면 일시적으로 오는 한발에는 견딜수 있으나 한발이 장기간 지속되어 심토까지 수분이 부족하면 초기의 생육촉진으로 엽면적이 크게 증가하면 생육후기에는 오히려 증산량이 많아 한발의 피해가 심해질수 있다.
CAM 식물	증산이 심한 낮에는 기공을 닫고, 상대습도가 높은 밤에는 기공을 열어 탄산가스를 흡수하여 말산이나 시트르산 등으로 저장하여 낮에 이들 유기산이 분해될 때 나오는 탄산가스를 이용하여 광합성 ☞ 상대습도가 높고 온도가 낮은 밤에 기공을 열고 낮에는 닫고 있어 수분손실 억제
잎 표면의 납축적	수분이 결핍되면 잎 표면에 왁이 축적되어 각피 증산을 감소시킨다.(각피증산은 총 증산량의 10%)
생육특성	•콩 유한생육형 : 개화기에 한발이 오면 결실에 영향이 크다. 우리나라 한발기간이 짧아 주로 재배 •콩 무한생육형 : 생육기간 계속 개화 특성, 한발이 지나고 비가 온 후 개화 결실하여 한발을 피할 수 있으나 가을에 저온이 오면 종자가 성숙하기 전 서리가 와서 수량감소, 우리나라 재배 안함.

② 원형질 내건성 : 세포 삼투퍼텐셜 조절, 단백질의 특성
- 세포 조절 : 수분 부족시 세포의 크기가 작아지고 세포액의 농도가 높아지므로 삼투퍼텐셜이 감소
- 단백질의 특성 : 내건성이 강한 작물과 품종에는 단백질분자에 -SH기가 많고 약한것에는 -S-S-기가 더 많다.

<습해 및 관수장해>
* 작물체내 저해물질의 생성 : 산소가 없으면 해당과정에서 피루브산으로 분해된 후 젖산발효에 의하여 젖산이 생성되어 세포내 pH가 내려간다. 그러면 포도당은 알코올발효에 의하여 분해되고 에탄올이 축적되면 세포막과 같은 지방성 물질로 구성된 부분이 용해되어 장해를 받는다.
* 토양내 환원물질의 생성 : NO_3^-는 탈질되어 질소가 공중으로 날아가므로 비료효과를 감소, 철분은 Fe^{2+}, 망간은 Mn^{2+} 변하여 가용성이 되므로 습할 때 발작물은 미량원소인 철과 망간 과잉의 해가 문제된다.
* 관수장해의 기구
① 청고 : 벼가 수온이 높은 정체 탁수 중에서 급속히 죽게 될 때 단백질을 소모하지 못하고 푸른채로 급격히 죽는 현상
② 적고 : 맑고 흐르는 물에 잠기면 수온이 높지 않아 탄수화물이 서서히 소모된 후 엽록소에 붙어 있는 단백질도 분해되어 호흡기질로 이용되고 엽록소의 색깔이 없어지고 적갈색을 나타내며 죽는 현상
* 내습성 및 관수저항성
① 통기조직의 발달 : 내습성 식물 뿌리의 피층세포는 직렬로 배열되어 세포간극이 크다.(내습성 : 직렬 > 사열)
② 세포벽의 코르크화 및 목질화 : 답수해서 자라는 벼는 뿌리의 표피가 심하게 코르크화(suberization), 목질화 되어있다.
- 대사경로의 변경 : 관수 저항성 식물은 유해한 에탄올을 축적하는 대신 해가 없는 malate를 축적하기 때문에 물속에서도 장해를 받지 않는다.
☞ 해당과정 발생 phosphoenolpyruvate(PEP)가 pyruvate → acetaldehyde → ethanol로 변하지 않고, PEP가 PEP carboxylase에 의해 탄산가스와 결합하여 oxalaceticc acid(OAA) → malate로 변한다.
☞ 토양이 환원되면 산화상태에서는 인산과 결합하여 불용화 된 철 망간 등이 많이 나와 볼철 비는 미량원소를 많이 흡수시켜 장해가 높아진다.

<자온 장해 - 冷害, 寒害, 東害, 凍傷害>
* 기온이 높고 지온이 낮은 경우 : 뿌리의 호흡률이 낮아 무기양분의 흡수가 억제되고, 점성이 낮아져 물의 흡수도 억제되며, 뿌리에서 생성되는 시토키닌과 같은 생장조절물질의 생성도 억제되어 생육이 저하
* 작물의 내동성 정도
① 세포내의 자유수 함량이 적을수록, 전분함량이 낮을수록 내동성이 높다.
② 삼투압의 높을수록, 유지 함량이 높을수록, 가용성 당함량이 높을수록 내동성이 높다.
③ 같은 수분함량이면 친수성함량이 많을수록 내동성 증가 ☞ 친수성 콜로이드에 들어 있는 수분은 얼지 않는단다.
④ 원형질의 투과성이 클수록 내동성 증가
⑤ 포복성, 잎의 색이 진한, 생장점의 위치가 땅속 깊은 일수록 내동성이 강하다.
⑥ 원형질의 점도와 연도 : 점도가 낮고 연도가 크면 세포 외 결빙에 의해서 세포가 탈수될 때나 융해시 세포가 물을 다시 흡수할 때 원형질의 변형이 적으므로 내동성이 크다.
⑦ 내동성이 강한 작물과 품종에는 단백질분자에 -SH기가 많고 약한것에는 -S-S-기가 더 많다. - 내건성도 높단다.
※ 내냉성 작물은 불포화지방산의 비율이 높고, 내열성 작물은 포화지방산의 비율이 높아 고온에서 세포막의 안정성이 크다.
☞ 내냉성이 약한 식물의 세포막에는 포화지방산이 다량 포함되며 기온이 낮을 경우 저온 반결정, 막의 유동성 떨어지면 단백질의 기능이 상실된다.
☞ 봄의 일변화가 많을 경우(기온이 높고 지온이 낮을 경우) : 낮은 지온에서는 물의 점성이 높아 흡수는 잘되지 않지만 기온이 높아 증산량이 많아지므로 벼는 수분의 불균형으로 잎이 시들고 심하면 고사·뜸묘가 발생되므로 관수 및 ABA처리가 대책이다.

<풍 해>
* 풍해의 생리적 기구 : 탈수, 기공폐쇄와 광합성 저하, 호흡증가(傷害呼吸)
↳ 풍속이 빠르면 기공의 공변세포가 탈수되는 속도가 주위 세포에서 물이 이동되는 속도보다 더 빨라 팽압을 잃고 기공이 닫힌다.

<대기오염 스트레스>
* 산성비 저항성 : 쌍떡잎목본 < 쌍떡잎목본 < 외떡잎 < 침엽수
* 벚과 작물의 O_3 내성 : 겨울밀 < 옥수수 < 수수 / O_3 민감작물 : 목화, 콩과(땅콩, 콩)
* 산성비의 기준 : pH 5.6 / H_2SO_4 : HNO_3 = 2 : 1