8 광합성

명반응

- 개요
  - 반응중심 엽록소가 빛E흡수 → NADPH, ATP등 화학에너지 생성
  - 물의 광분해 + 광인산화(순환적/비순환적)
  - **장소 : 틸라코이드 내막**
- 비순환적 광인산화
  - 1. 안테나 복합체
    - 구성
      - 엽록소a, b
        - a (주색소) : CH3 / b (보조색소) : CHO
        - 내부에 Mg2+
        - 소수성 꼬리 : 틸라코이드 막 단백질 소수성 부분에 결합
      - 카로티노이드(카로틴, 크산토필)
      - 파이코빌린(홍조류, 남세균)
        - **파이에 코흘리면 홍남!**
    - 다양한 파장의 빛E흡수 → 엑시톤 전달 → 반응중심으로 E전이
    - 엑시톤 전달 : 빛E흡수 후 E전달시 **전자 방출 X**
  - 2. 광계II
    - 위치 : 그라나 라멜라
    - P680 반응중심 : 엽록소 a가 680nm빛 흡광
    - 광계 II = 산소 발생 복합체(Mn2+보유) → 물을 광분해 후 전자 전달 받음
    - 1차 전자 수용체 : 페오피틴 → PQ에 전자 전달
  - 3. PQ(플라스토퀴논) : 지질층 내에 존재
  - 4. 시토크롬 bf 복합체
    - PQ로 부터 전자 받음
    - 철황단백질 : 전자만 받고 H+는 틸라코이드 내강으로 방출
    - PC로 전자 전달
  - 5. PC(플라스토시아닌) : 수용성 단백질(Cu2+)
  - 6. 광계 I
    - 위치 : 스트로마 라멜라
    - P700 반응중심 : 엽록소 a가 700nm빛 흡광
    - PC(플라스토시아닌)으로부터 전자 받음
    - Fd(페레독신)에 전자 전달
      - Fd-NADP+환원효소에 2e-전달
      - NADP+ 2e- + H+ → NADPH 생성
        - 켈빈회로에 사용
  - 7. ATP합성효소
    - 1. 물의 광분해
2. 전자전달과정
      - 틸라코이드 내강에 [H+]↑ → 스트로마로 H+유출하면서 ATP합성
      - **명반응이 활발히 진행될때 스트로마의 pH는 높아진다 (O)**
- 순환적 광인산화
  - 1. 전자순환 → H+기울기(O) → ATP(O)
2. 물의 광분해(X) → O2(X)
3. NADPH(X)
    - cf) 비순환적 광인산화
1. ATP (O)
2. O2 (O)
3. NADPH (O)
- **저해제**
  - **DCMU**
    - PQ유사체
      - 광계 II → PQ 과정 차단
    - 전자 순환 X → O2발생(X), NADPH(X), H+기울기(X)
  - **파라쿼트**
    - Fd의 전자를 뺏어 산소에 전달 → 활성산소 생성 → 지질막 파괴
    - 전자 순환은 O → O2발생 (O), NADPH (X), H+기울기(O)
- 관련 실험
  - 힐의 실험
    - 엽록체는 빛에 의해 O2발생&전자전달 된다
    - NADP공급 차단 (전자전달 X) → DCPIP 처리(전자전달 O) → DCMU처리(전자전달 X)
  - 루벤의 실험
    - 물분자에서 O2가 발생한다
  - 에머슨 상승효과
    - 광계의 상호작용 증명 : 광계I, 광계II는 같이 작용시 광합성 속도가 ↑↑
  - 두이겐스의 실험
    - 두 광계는 시토크롬 bf의 앞뒤에서 상호작용하고 있다
- 광저해, 광보호
  - 광저해 = 광합성 저해
    - 잎이 너무 강한 빛
      - 광계 II 파괴
      - Fd에서 활성산소 생성
  - 광보호
    - 비올라크산틴 → 안테라크산틴 → 제아크산틴
      - **비올라 안되제!**
    - 제아크산틴 : 과도한 빛 E흡수 → 광보호
    - 광계I에서 발생한 활성산소 해독
    - 미세섬유가 엽록체를 입사광에 평행으로 배열 → 빛받는 면적↓

암반응

- 개요
  - 명반응으로 생성된 ATP, NADPH이용 → CO2환원 → 유기물 생산
  - 캘빈회로 : 6CO2, 18ATP, 12NADPH 이용 → 1포도당 합성
  - **장소 : 스트로마**
- 캘빈회로
  - 탄소고정(루비스코) : 1. RuBP x6 + 6CO2 → 3PGA x12
  - 환원
    - 2. 3PGA x 12 + 12ATP → 1,3-BPG x12
3. 1,3-BPG x12 + 12NADPH → G3P x12
      - 당신생 : 2G3P → F1,6-BP → F6P → G6P → 포도당
      - G3P = PGAL (동의어)
  - RuBP재생
    - 4. G3P x 10 → RuMP x6
5. RuMP x6 + 6ATP → RuBP x6
- 루비스코
  - RubisCO 활성과정
    - 1. 빛
2. 루비스코활성화 효소
3. 루비스코 활성
      - 명반응 제한 요인 : 빛
      - 암반응 제한 요인 : 온도, CO2, 빛(루비스코활성화효소)
  - 최적 조건
    - pH 8.0, CO2농도↑, 온도↓ → 활성 최적
- 광호흡
  - 문제상황
    - 루비스코 : CO2/O2 비율 ↓ or 온도↑↑ → CO2 대신 O2와 결합
    - 명반응 too much → NADPH↑(축적), NADP+↓(고갈) → Fd의 e- 축적 → 활성산소 발생 (광저해)
  - 해결=광호흡
(but G3P생성↓, ATP소모↑)
    - 광호흡 활발 → ATP, NADPH소모[스트로마] → NADP+재생산[스트로마] CO2생산[mt]
    - 장소 : 스트로마 → 퍼옥시좀 → 미토콘드리아
  - 미소체 정리
    - 퍼옥시좀
      - -광호흡O
-지방산 β-산화 O → 아세틸 CoA확보 → 다른 지질 합성
    - 글리옥시좀
      - -지방산 β-산화 O → 아세틸 CoA 확보 → 글리옥실산 회로 진행
-글리옥실산회로 O → 아세틸CoA로 다양한 유기물 합성
- 벤슨의 실험
  - 명반응 산물을 암반응이 이용하므로 명반응이 선행되어야함

8-2 광합성

- **광합성 산물의 저장**
  - 고정된 탄소의 운명
    - **스트로마 : 녹말**로 포도당 저장
    - **세포질 : 설탕**으로 합성 → 다른곳 이동 (심플라스트, 아포플라스트)
      - 설탕이 비환원당이라 수송form유리
  - **설탕의 수송기작**
    - 1. 물관요소 : 기공 증산작용 + 표면장력 + 물의 응집력 → 잎, 뿌리에서 물 빨아들임
      2. 체관요소 : 잎에서 설탕 유입(H+와 symport) → 삼투압↑
      3. 물관(저농도) → 체관(고농도) 물 이동 : 체관부 팽압↑
      4. 압류유동설 : 체관액이 아래로 쭉 짜짐
      5. 설탕이 어린잎 or 열매로 이동(H+와 antiport) : 어린잎이 사용 or 열매에 설탕 저장
      6. 체관요소 삼투압↓→ 물관요소로 물 이동
      - **물관요소** : 죽은세포, 천공판O
      - **체관요소** : 살아있음, 체판 O
        (소기관, 미세섬유, 미세소관 없어서 물질 이동 용이)
      - **반세포** : 체관요소 보조 세포 (세포소기관 모두 갖춤)
- **식물의 진화와 광합성**
  - 진화 : 할로박테리움 → 녹/홍세균 → 남세균 → 조류(진핵생물) → 육상생물
  - 할로박테리움
    - 호염성 고세균
    - 박테리오로돕신 : 빛 → H+방출 → ATP합성
  - 광합성 세균
    - 녹세균/홍세균
      - 반응중심1개 (세균 엽록소) → only 순환적 광인산화
      - 물의 광분해 X → O2발생 X (혐기성 세균)
      - 비순환적 전자 흐름 (광인산화X) → H2S, S, H2에서 전자방출 → NADPH합성
        - 황세균 : H2S, S에서 전자 방출 → 주변에 황(S) 축적
        - 비황세균 : H2에서 전자 방출
    - 남세균
      - 2개의 광계 (엽록소a) → 비순환적 광인산화O → ATP, NADPH 동시 합성
      - 물의 광분해 O → O2발생(호기성)
      - 광계II에 파이코빌린 존재
  - 조류
    - 홍/규 갈/녹차 선양종
    - 노가리 비싸다
  - 고등식물
    - **기공 개폐 기작**
      - 아침 : 기공 열림
        - 청색광 → 포토트로핀, 제아크산틴 활성화
          → H+pump로 H+유출
          → K+유입
          → 삼투압↑
          → 물 유입 → 팽창(기공 open)
      - 오후 : 기공 열림 유지
        - 광합성 ing
          → 포도당을 설탕으로 저장
          → 삼투압 높게 유지
          → 기공 계속 열림
      - 밤 : 기공 닫힘
        - 광합성 stop
          → 설탕은 체관으로 이동
          → 삼투압 ↓
          → 물 out → 기공 닫힘
      - 수분부족시 : 기공 닫힘
        - ABA(앱시스산) 분비
          → 공변세포 수용체 결합
          → Gq신호전달 (IP3)
          → 액포 Ca2+방출
          → 내부 신호전달
          → 이온 배출 (삼투압↓)
          → 물 out → 기공 닫힘
    - 종류
      - **C3**
        - **루비스코가 3PGA(C3) 고정**
          - at 엽육세포
        - 엽육세포 : 명반응, 암반응 O
        - 광호흡 O
      - **C4**
        - 광합성
          - **PEPC가 OAA(C4)고정**
            - at 엽육세포
          - 공간적 분리
            - 엽육세포 : 명반응
              - 광계I,II 모두 존재 → 비순환적 광인산화
            - 유관속초세포 : 암반응
              - 캘빈회로 수행 (Rubisco 존재)
              - 광계 I 만 존재 → 순환적 광인산화도 진행
            - 엽육세포 : 비순환적 광인산화 O → O2생성
              But Rubisco는 유관속초세포에 있으므로 만나지 X
          - CO2 : ATP : NADPH = 1 : 5 : 2 사용 → E효율 ↓
        - 광호흡↓
          - **펩C 못사서 말자가 삐졌다**
            - 엽육 : PEP + CO2 → OAA → 말산
              유관속초 : 말산 → 피루브산 [NADPH생성]
              엽육 : 피루브산 → PEP [ATP소모]
      - **CAM**
        - 광합성
          - **PEPC가 OAA(C4)고정**
            - at 엽육세포
          - 시간적 분리
            - 밤 : 기공 open → CO2 흡수, 고정 → 말산으로 액포에 저장
            - 낮 : 기공 close
              - 말산에서 CO2꺼내 캘빈회로 진행
                - **모든식물은 명반응 산물을 암반응에 이용 → 낮에 암반응 진행**
              - 명반응 진행 : 순환적/비순환적 광인산화 (ATP, NADPH생성)
          - CO2 : ATP : NADPH = 1 : 5 : 2 사용 → E효율 ↓
        - 광호흡↓↓
          - **펩C 못사서 말자가 삐졌다**
- **양지 vs 음지 식물**
  - 양지식물
    - 1. 두꺼운 잎
      2. 크산토필(ex.제아크산틴) 多 → 광보호
      3. 루비스코 多
  - 음지식물
    - 1. 얇고 넓은 잎
      2. 광합성 많이 하려고 엽록소 多
      - 양지식물을 음지로 옮기면 엽록소 증가 (잎색 진해짐)