

# 광합성 조절을 위한 양자 스위치 발견

(2023.09.08., 양자정보연구지원센터)

## □ 분자 간 에너지 전달을 위한 광합성 색소 양자 스위치 확인

○ 빛의 강도 변화에 대한 신속한 반응은 광합성의 높은 효율과 양자 스위치 역할을 하는 LHCII를 통한 균형 잡힌 광 보호를 유발함

- 광합성(photosynthesis)은 식물이 태양 에너지를 사용하여 이산화탄소를 유기 화합물로 전환할 수 있게 하는 중요한 과정

- 빛 수확 복합체 II(LHCII, Light-harvesting complex II)는 단백질에 결합된 색소 분자의 복합체임

- 비광화학적 담금질(nonphotochemical quenching)을 통해 높은 광도의 유해한 과잉 빛 에너지를 열로 방출하는 것과, 낮은 광량 하에서 거의 단위 효율로 흡수된 빛을 반응 센터로 전달하는 두 가지 주요 기능 사이를 전환

○ 단일 입자 극저온 전자현미경(cryo-EM) 연구를 원자분해능에서 LHCII의 동적 구조와 결합 연구

- 생명공학 연구에서 이 두 기능 사이 전환을 가속화하면, 광합성 효율이 증가할 수 있음을 보여줌(예를 들어, 대두 수확량이 최대 33% 증가), 이러한 알로스테릭\* 조절을 활성화시키는 LHCII의 원자 수준 동적 구조 변화는 이전에 밝혀지지 않았음

※ allosteric: 다른 분자와의 반응성이 제3의 분자와 결합에 의해 변화되는 거대분자 혹은 효소

- 분자 간 에너지 전달을 위한 광합성 색소 양자 스위치를 식별하기 위해 광합성 색소 분자 사이의 에너지 전달에 대한 다중 상태 밀도 함수 이론(multistate density functional theory, MSDFT) 계산 사용

- 용액 내 LHCII가 있는 에너지 전달 상태와 중성 및 산성 조건에

서 막 나노디스크(membrane nanodiscs)에 측면으로 제한된 LHCII가 있는 에너지 소멸(quenching) 상태를 포함하여 일련의 6개 저온-EM 구조를 보고함

- 다양한 구조 비교, LHCII는 산성화 시 형태 변화를 겪음
  - 측면 압력으로 제한된 LHCII는 비광화학적전 담금질(NPQ, non-photochemical quenching)의 전제 조건인 반면, 산으로 인한 구조 변화는 형광 담금질을 향상시킴
  - 극저온 EM 구조와 소멸(quenching) 상태의 알려진 결정 구조에 대한 MSDFT 계산과 일시적인 형광 실험을 통해 Lut1-Chl612 거리를 핵심 요소로 하는 LHCII의 중요한 양자 전환 메커니즘이 밝혀짐
  - 이 거리는 LHCII의 측면 압력과 형태 변화에 반응하여 에너지 전달 양자 채널을 조절함, 즉 임계 거리(5.6 Å)에서 약간의 변화로 빛 수확과 과도한 에너지 소산 사이의 가역적 전환이 가능해짐
- 두 연구 그룹(중국과학원 물리학연구소 및 Shenzhen Bay Lab)은 분자 역학 시뮬레이션과 초고속 적외선 분광학 실험에 협력, LHCII가 알로스테릭하게 조절되는 분자 기계라고 제안
  - 현재 실험적인 극저온-EM 구조는 이전에 이론적으로 예측된 LHCII의 구조적 변화를 확인시켜 줌
  - 광 활성화(Photo-active) 및 광 보호(Photo-protecting) 상태에서 LHCII의 Cryo-EM 구조는 빛 수확 및 과도한 에너지 소산의 알로스테릭 조절을 드러냄(Nature Plants 게재)

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2023/09/05/researchers-discover-quantum-switch-for-regulating-photosynthesis/>