

2. 빛 관리

학습 목표: 빛의 세기(PPFD)·광주기·하루 빛의 양(DLI)·파장·조명 거리의 기준을 알고, DLI를 직접 계산하며, 조명 높이를 바꾼 뒤 다시 측정해야 하는 이유를 설명할 수 있다.

2-1 빛과 광합성, 식물 성장용 LED

식물은 빛·물·CO₂로 양분(포도당)을 만듭니다. 이것을 광합성이라고 합니다. 빛은 작물에게 "밥을 짓는 불"과 같습니다. 불이 약하면 밥이 설익고, 너무 세면 탕니다.

사람은 380~780nm 영역의 빛을 밝기와 색으로 구분하지만, 식물은 파장(색)마다 다르게 반응합니다. 특히 광합성에 효과적인 것은 두 가지입니다.

빛	파장	주요 작용
청색광	400~500 nm	잎을 두껍게 하고 줄기 웃자람 억제
적색광	640~700 nm	광합성 촉진, 성장 촉진

식물 성장용 LED는 이 두 빛을 넉넉히 내도록 만든 조명입니다.

2-2 빛의 세기 PPFD와 단계별 목표

PPFD(광합성 광량자 밀도)는 광합성에 쓰이는 빛(400~700nm)이 1초 동안 1m² 면적에 도달하는 양입니다. 단위는 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 입니다. 비에 비유하면 "빗줄기의 세기"입니다.

구분	목표 PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	이유
육묘기 (파종~정식)	150 ~ 200	조직이 연약해 강한 빛에 스트레스를 받음
재배기 (정식~수확)	250 ~ 300	잎이 빠르게 자라며 광합성량이 늘어남

빛이 부족하면 줄기가 가늘고 길게만 자라고(웃자람), 무게가 덜 나갑니다.

2-3 광주기

광주기는 24시간 중 빛이 있는 시간(명기)과 없는 시간(암기)의 길이입니다. 식물은 빛을 에너지로 쓸 뿐 아니라, 빛이 비치는 시간의 길이로 계절을 감지해 생리 반응을 조절합니다.

구분	이론 권장 주기	네토그린 목표 광주기
육묘기 (파종~정식)	14~17h ON / 7~10h OFF	15h ON / 9h OFF

구분	이론 권장 주기	네토그린 목표 광주기
재배기 (정식~수확)	14~17h ON / 7~10h OFF	15h ON / 9h OFF

왜 15시간인가요?

PPFD를 높게 유지하면 15시간만으로도 하루에 필요한 빛의 양(DLI)을 채울 수 있습니다. 켜는 시간을 줄여 전기를 아끼고, 낮이 길어지면 꽃대가 올라오는 추대 위험도 줄입니다. 추대가 시작되면 잎에 쓴맛이 강해져 상품성이 떨어집니다.

△ 주의 조명 스케줄은 대시보드 스케줄러가 자동으로 제어합니다. 현장에서 임의로 바꾸지 마십시오. 조명이 켜진 15시간이 작물의 낮, 꺼진 9시간이 작물의 밤이며, 주야간 온도도 이 시간에 맞춰 바뀝니다.

2-4 하루 빛의 양 DLI와 계산법

DLI(일일 적산광량)는 작물이 하루 동안 받은 빛의 총량입니다. 단위는 $\text{mol/m}^2/\text{d}$ 입니다. PPFD가 "빛줄기의 세기"라면, DLI는 "하루 동안 양동이에 모인 빗물의 양"입니다.

- 목표: 상추 등 엽채류 약 $12 \text{ mol/m}^2/\text{d}$

계산 방법

$$\text{DLI} = \text{PPFD}(\mu\text{mol/m}^2/\text{s}) \times 3,600(\text{초}) \times \text{조명 시간(h)} + 1,000,000$$

15시간 조명 기준 계산 예시는 다음과 같습니다.

PPFD ($\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$)	DLI ($\text{mol/m}^2/\text{d}$)	판정
200	10.8	목표 12에 못 미침
250	13.5	목표 충족
300	16.2	목표 충족

재배기에 PPFD 250 이상을 유지하는 이유가 여기에 있습니다. 조명이 고장으로 몇 시간 꺼졌다면 그날의 DLI가 부족해진다는 점도 기억해 두십시오.

2-5 파장 비율과 백색광 베이스

육묘 및 영양 생장기(잎·줄기 성장) 권장 비율

- 청색광 비율을 상대적으로 높게 설정합니다. 예) 청색 30% : 적색 70%, 또는 청색 40% : 적색 60%
- 효과: 청색광은 세포 분열을 돕고 마디 사이(절간)가 길어지는 웃자람을 막습니다. 잎을 두껍고 단단하게 만들고 엽록소 형성을 도와 초기 성장을 튼튼하게 합니다.

운영 지침

1. 백색광(Full Spectrum)을 기본으로 사용합니다. 적색과 청색만 섞은 분홍빛 조명은 작업자 눈을 쉽게 피로하게 하고, 잎 색 변화(황변·tipburn)를 알아보기 어렵게 합니다.
2. 품종별로 사전 테스트를 거칩니다. 청색광이 너무 적으면 웃자라 상품성이 떨어지고, 너무 많으면 성장이 느려집니다. 시험 재배 후 양산 비율을 확정합니다.

2-6 조명 높이와 조사 거리

조사 거리는 LED 발광면에서 작물 맨 윗잎(캐노피)까지의 수직 거리입니다. 빛의 세기는 거리에 따라 급격히 변하므로, 생육 단계에 맞는 거리를 유지하는 것이 품질 관리의 핵심입니다. 손전등을 얼굴 가까이 대면 눈이 부신 것과 같은 원리입니다.

생육 단계	권장 거리	이유
발아 및 육묘기	약 40 ~ 60 cm	연약한 조직의 광 스트레스를 막고 안정적인 뿌리 활착 유도
영양 생장기	약 30 ~ 50 cm	광합성이 활발해지는 시기. 충분한 빛을 주되 웃자라지 않게 관리

▲ 주의 단 높이를 바꿨다면 반드시 광량계를 작물 맨 윗잎 높이에 대고 PPFD를 다시 측정하십시오.

2-7 빛 관리 점검 체크리스트

점검 항목	확인 여부
대시보드 조명 스케줄이 15h ON / 9h OFF로 설정되어 있다	☐ 완료 / ☐ 미완료
모든 단의 LED가 켜져 있고 깜빡이거나 꺼진 등이 없다	☐ 완료 / ☐ 미완료
육묘 랙 PPFD가 150~200 범위다	☐ 완료 / ☐ 미완료
재배 랙 PPFD가 250~300 범위다	☐ 완료 / ☐ 미완료
단 높이를 바꾼 경우 작물 윗면 높이에서 PPFD를 재측정했다	☐ 완료 / ☐ 미완료

점검 항목	확인 여부
오늘의 DLI가 약 12 이상인지 계산해 보았다	☐ 완료 / ☐ 미완료
조명 고장으로 꺼졌던 시간이 있으면 재배 일지에 기록했다	☐ 완료 / ☐ 미완료

단원 마무리 확인 문제

- Q1.** PPFD와 DLI의 차이를 비유를 들어 설명하십시오.
- Q2.** PPFD 250으로 15시간 조명을 켜었을 때 DLI를 계산하고, 목표값 12와 비교하십시오.
- Q3.** 우리 농장이 광주기를 15시간으로 설정한 이유 두 가지를 쓰십시오.
- Q4.** 적색·청색만 섞은 분홍빛 조명 대신 백색광을 기본으로 쓰는 이유를 설명하십시오.
- Q5.** 단 높이를 바꾼 뒤 반드시 해야 할 일은 무엇이며, 그 이유는 무엇입니까?