

3. 공기와 양액 관리

학습 목표: 온도·습도·CO₂·EC·pH의 목표값과 각 기준이 작물에 미치는 영향을 이해하고, 단계별 재배 레시피표를 읽고 현장 수치를 판단할 수 있다.

3-1 주야간 온도와 DIF

작물은 낮(조명 ON)에 광합성으로 양분을 만들고, 밤(조명 OFF)에 호흡하며 그 양분을 써서 자랍니다. 그래서 낮과 밤의 온도를 따로 관리합니다.

구분	목표 온도	이유
주간 (조명 ON)	21 ~ 23℃	광합성 효소가 가장 활발한 온도대
야간 (조명 OFF)	17 ~ 18℃	주간보다 4~5℃ 낮게. 밤이 따뜻하면 호흡이 과해져 낮에 모은 양분을 낭비

밤 온도가 너무 높으면 무게가 덜 나가고 줄기만 길어지는 웃자람이 생깁니다.

DIF (주야간 온도차)

DIF는 주간 온도에서 야간 온도를 뺀 값입니다. 식물은 낮과 밤의 온도 차이에 따라 줄기와 마디 길이가 달라집니다. 이를 이용하면 화학 생장조절제 없이도 작물 크기를 조절할 수 있습니다.

DIF = 주간 온도 - 야간 온도			
유형	온도 조건	작물 반응	활용
+DIF	주간 > 야간	줄기 신장 촉진, 키가 큼	일반 생장 촉진
0 DIF	주간 = 야간	줄기 신장 억제	경미한 웃자람 방지
-DIF	주간 < 야간	줄기 신장 강하게 억제, 단단함	수량 모종 생산, 웃자람 교정
Morning Drop	조명 점등 전후 2시간 온도를 낮춤	마디 사이가 짧아짐	광합성 저하 없이 키 조절

네토그린 기준은 주야간 차이 4~5℃(+DIF)입니다.

3-2 상대습도·VPD와 팁 번

- 상대습도(RH): 현재 온도에서 공기가 최대로 품을 수 있는 수증기량 대비 실제 수증기량의 비율입니다.

- VPD(수증기압 차): 잎 내부(포화 상태)와 바깥 공기 사이의 수증기압 차이입니다. 단위는 **kPa**입니다.

공기가 물을 "더 받아들일 수 있는 여유"로, 마른 수건일수록 물을 잘 빨아들이는 것과 같습니다.

상대습도만으로는 온도가 바뀔 때 증산(잎에서 물이 빠져나가는 작용) 상태를 정확히 알기 어렵습니다. 그래서 온도와 습도를 함께 반영한 VPD를 수분 관리의 최종 목표로 씁니다.

왜 증산이 중요할까요?

작물은 잎으로 물을 내보내는 힘으로 뿌리의 물과 양분을 끌어올립니다. 빨대로 음료를 빨아올리는 것과 같습니다. 칼슘은 이 물길을 따라서만 이동하므로, 증산이 약하면 잎끝까지 칼슘이 가지 못해 잎끝이 갈색으로 타는 팁번이 생깁니다.

생육 단계	목표 상대습도	목표 VPD	관리 지침
발아·육묘기	70 ~ 80% (주·야간 동일)	0.4 ~ 0.8 kPa	뿌리가 약하므로 높은 습도로 수분 손실 최소화
영양 생장기 주간	60 ~ 70%	0.8 ~ 1.2 kPa	증산을 원활하게 해 양분을 잎끝까지 끌어올림
영양 생장기 야간	70 ~ 80%	0.5 ~ 0.8 kPa	증산이 멈추면 뿌리가 밀어 올리는 힘(근압)으로 속잎까지 칼슘 전달

▲ 주의 잎에 물방울이 맺힐 만큼 습해지면 곰팡이병이 생깁니다. 야간에도 80%를 넘기지 마십시오.

3-3 CO₂ 농도 관리

CO₂는 빛·물과 함께 광합성의 3대 재료입니다. 바깥 공기는 약 400 ppm이지만, 밀폐 재배실에서는 조명이 켜지자마자 작물이 빠르게 흡수해 농도가 급격히 떨어집니다. CO₂를 보충(시비)하면 광합성 속도가 빨라져 수확량과 품질이 좋아집니다.

- 자연 대기 수준: 약 400 ppm
- 목표 농도: 700 ppm

운영 규칙

1. 주간(조명 ON)에만 공급합니다. 밤에는 작물이 호흡으로 오히려 CO₂를 내뿜으므로, 공급하면 비용 낭비와 과포화만 생깁니다.
2. 서큐레이터로 공기를 계속 섞습니다. CO₂는 공기보다 무거워 가만두면 바닥에 가라앉고, 맨 위 잎 주변에는 부족해집니다.

3. 환기할 때는 공급을 중단합니다. 공급된 CO₂가 작물에 닿기도 전에 밖으로 버려집니다.

△ 주의 환기 중 CO₂ 자동화는 반드시 OFF 하십시오. 가스가 소진된 상태로 장치를 켜 두면 전자밸브가 과열되어 고장이나 화재로 이어질 수 있습니다.

3-4 EC: 양액의 진하기

EC(전기전도도)는 양액에 녹아 있는 이온(비료 성분)의 총량을 나타냅니다. 높을수록 진하고, 낮을수록 연합니다. 단위는 dS/m 또는 mS/cm이며 두 단위의 값은 같습니다. 국으로 치면 "간의 세기"입니다.

식물은 뿌리 바깥(양액)과 안쪽(세포액)의 농도 차이, 즉 삼투압을 이용해 물과 양분을 흡수합니다. 양액이 너무 진하면 오히려 뿌리에서 물이 빠져나가고, 너무 연하면 양분이 부족해집니다.

생육 단계	목표 EC (dS/m)	관리 지침
육묘기 (파종~정식)	0.8	뿌리가 미발달 상태. 진한 양액을 주면 삼투압 차이로 뿌리 화상(염류 장애) 발생
생육기 (정식~수확)	1.5 ~ 1.8	잎·줄기가 빠르게 자라 질소·인·칼륨 등 수요 증가. EC를 높여 충분히 공급

△ 주의 물만 보충하면 EC가 떨어집니다. 혼합탱크에 물을 추가했다면 반드시 대시보드에서 EC·pH를 다시 확인하십시오.

3-5 pH: 양분 흡수 스위치

pH는 양액의 산성·알칼리성 정도입니다. 뿌리가 양액 속 양분을 얼마나 쉽게 흡수할 수 있는지를 결정하는 "흡수 스위치"입니다. 아무리 좋은 비료를 정량으로 넣어도 pH가 맞지 않으면 작물은 양분을 먹지 못합니다.

- 목표 pH: 5.8 ~ 6.2 (육묘기~생육기 공통)
- 허용 편차: ±0.3 (5.5 ~ 6.5)
- 이 범위가 주요 양분이 동시에 가장 균형 있게 흡수되는 구간입니다.

pH 상태	일어나는 문제
6.5 이상 (알칼리화)	철·망간·붕소 등 미량원소가 침전되어 흡수되지 못함. 새잎이 노랗게 변하는 철 결핍 등 발생
5.5 이하 (강한 산성화)	칼슘·마그네슘 흡수 불량. 뿌리에 해로운 금속 이온이 녹아 나와 뿌리 괴사 가능

pH를 내릴 때는 C액(산), 올릴 때는 D액(알칼리)이 자동으로 도정됩니다.

3-6 단계별 재배 레시피

지금까지의 기준을 한 장으로 모은 표입니다. 출력해서 작업장에 붙여 두고 수시로 확인하십시오.

항목	파종기 (발아)	육묘기	정식~수확
재배 기간	3 ~ 5일	16 ~ 18일	27 ~ 32일
광량 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	150 ~ 200	150 ~ 200	250 ~ 300
온도 ($^{\circ}\text{C}$)	20 ~ 22	20 ~ 22	18 ~ 23
주간 습도 (%)	70 ~ 80	70 ~ 80	60 ~ 70
야간 습도 (%)	70 ~ 80	70 ~ 80	70 ~ 80
CO ₂ (ppm)	400 ~ 500 (대기 수준)	600 ~ 800	600 ~ 800
EC (dS/m)	0.8	0.8	1.5 ~ 1.8
pH	5.8 ~ 6.2	5.8 ~ 6.2	5.8 ~ 6.2

정식~수확 기간은 기준일 뿐입니다. 실제 수확 여부는 날씨가 아니라 목표 중량과 외관으로 판단합니다(5강 참고).

3-7 환경·양액 점검 체크리스트

매일 작업 시작 전 대시보드에서 아래 수치를 확인하고 재배 일지에 기록하십시오.

점검 항목	확인 여부
주간 온도 21~23 $^{\circ}\text{C}$ / 야간 17~18 $^{\circ}\text{C}$ 범위다	☐ 완료 / ☐ 미완료
육묘 습도 70~80%, 생육기 주간 습도 60~70%다	☐ 완료 / ☐ 미완료
앞에 물방울이 맺힌 곳이 없다	☐ 완료 / ☐ 미완료
CO ₂ 가 조명 ON 시간에만 공급되고 있다	☐ 완료 / ☐ 미완료
서큐레이터·재배팬이 모두 돌고 있다	☐ 완료 / ☐ 미완료
재배 EC 1.5~1.8 / 육묘 EC 0.8이다	☐ 완료 / ☐ 미완료
pH가 5.8~6.2 범위다	☐ 완료 / ☐ 미완료
물을 보충한 뒤 EC·pH를 다시 확인했다	☐ 완료 / ☐ 미완료

단원 마무리 확인 문제

- Q1.** 야간 온도를 주간보다 4~5°C 낮게 유지하는 이유를 설명하십시오.
- Q2.** 습도가 너무 높을 때와 너무 낮을 때 각각 틱번이 생기는 원리를 설명하십시오.
- Q3.** CO₂를 야간과 환기 중에 공급하지 않는 이유를 각각 쓰십시오.
- Q4.** 육묘기에 EC를 0.8로 낮게 유지하는 이유를 삼투압과 연결해 설명하십시오.
- Q5.** pH가 6.5 이상일 때 새잎에 나타나는 증상과 그 원인을 쓰십시오.