

스마트 팜 생육환경 모니터링 시스템

만지작
양액센서(HM-100) 활용설명서



❖ 식물 근권부 EC/pH 측정 필요성

수경재배에서 배지 내 EC는 양액의 이온 농도를 나타내며 이것은 영양분인 무기 염류(비료)의 양을 의미합니다. 작물의 최적 생육을 위해서는 적정 EC 범위를 유지하는 것이 중요합니다. 작물 종류, 생육 단계, 환경 조건 등을 고려하여 EC를 조절해야 하며, 정기적인 모니터링을 통해 양액 관리를 해야 합니다. 일반적으로 작물에 따라 EC 범위는 0.8~3.0 dS/m 정도이지만, 이는 작물마다 다를 수 있습니다.

또한, 수소이온 농도(pH)는 식물의 물과 양분 흡수 과정에 영향을 줍니다. 대부분의 식물은 약산성에서 약알칼리성 범위에서 양분을 가장 잘 흡수됩니다. 토양 미생물은 유기물 분해, 양분 무기화 등에 중요한 역할을 하며, 역시 배지 pH의 영향을 받습니다. 대부분의 토양 미생물은 중성 부근에서 가장 활발하게 활동합니다.

적정 EC 및 pH 범위를 벗어나면 작물에는 생육 불량, 병해충 감수성 증가 등의 문제가 발생할 수 있습니다. 식물의 양분 및 수분 흡수와도 직접적인 연관이 있습니다.

작물별로 적정 EC 및 pH의 범위는 이미 구명되어 있고, 이 범위를 목표치로 하여 근사하게 유지되도록 조절하는 것이 중요합니다.



❖ 전기전도도(EC)

전기전도도는 전류를 운반할 수 있는 정도를 말하며, 용액 중의 이온 농도를 신속하게 평가할 수 있는 지표입니다. 즉 EC는 용액의 전기 전도 능력을 나타내는 척도로 용액 내 이온의 총 농도를 간접적으로 측정하는 데 사용됩니다. 국제적으로 S(Siemens) 단위가 통용되고 있습니다.

식물 재배에서는 양액의 이온 농도를 측정하는 데 사용됩니다. 양액의 이온 농도는 곧 영양분인 무기 염류(비료)의 양을 의미합니다.

❖ 수소이온농도(pH)

수소 이온(H^+)은 양성자라고도 불리며, 수소 이온 자체가 산성을 띠는 입자라고 할 수 있습니다. 수용액에서 물 분자(H_2O)와 결합하여 수소 이온화물(H_3O^+)을 형성합니다. 이 수소 이온화물이 바로 산성을 나타내는 실체입니다. 과학적 관점에서 pH는 용액에 존재하는 수소 이온의 양을 측정한 것입니다. 이것이 산성도를 수소이온 농도로 표현하는 이유입니다.

산은 수용액에서 수소 이온(H^+)을 내놓는 물질로 정의됩니다. 예를 들어, 염산(HCl)은 물에 녹으면 H^+ 와 Cl^- 로 해리되어 산성 용액이 됩니다.

반면, 염기는 수용액에서 수산화 이온(OH^-)을 내놓는 물질입니다. 수산화 이온은 수소 이온과 결합하여 물을 형성하려는 경향이 있습니다.

따라서 수소 이온의 농도가 높을수록 용액은 산성을 띠게 되고, 반대로 수산화 이온의 농도가 높으면 용액은 염기성을 띠게 됩니다. 물에서 H^+ 와 OH^- 의 농도가 같으면 용액은 중성이 됩니다.



❖ 배액측정법을 사용하는 이유

식물 근권부의 EC 및 pH를 평가하는 여러 가지 방법이 있지만 각각의 장·단점이 있습니다. 여러 장점으로 인하여 배액의 EC 및 pH를 측정하고 관찰하는 것이 매우 유용합니다.

토양이나 재배 배지는 양분과 수분을 흡수하는 식물의 뿌리가 고정된 영역입니다. 하지만 식물의 뿌리가 경험하는 것은 토양이나 배지의 EC 및 pH가 아니라 공극에 존재하는 물, 즉 공극수(양액)입니다. 결국 식물의 양·수분 흡수와 관련하여서는 공극수와 뿌리의 상호작용이 중요합니다.

식물은 공급된 양액에서 약간의 영양분과 많은 양의 물을 흡수합니다. 또한 증발이 일어나서 배지의 EC가 상승합니다. 흡수하는 양분의 종류에 따라 pH도 변할 수 있습니다. 물론 일부는 배지 내에 흡착되어 집적됩니다. 이후, 다시 양액이 공급되면 새로운 양액과 이전 양액이 혼합됩니다. 이제 혼합된 양액이 배지에 남거나 배액으로 배출됩니다. 결국 배액은 근권에 남아 있는 공극수의 상태를 반영합니다.

물론 몇 가지 유의점이 있습니다. 급액에 다시 용해되지 않고 배지에 강하게 흡착된 양분도 있습니다. 또한 EC나 pH가 배지 내에서 고르게 분포하지 않을 수도 있습니다. 그러나 식물 뿌리와 공극수 사이에서 벌어지는 이·화학적 관계가 더 중요합니다. 그리고 수경재배를 하는 우리는 식물이 쉽게 흡수할 수 있는 충분한 양액의 양과 급액 시기를 결정할 수 있습니다.

이것이 배액측정법으로 EC 및 pH를 평가할 수 있는 이유입니다. 배액의 상태를 살피는 이 방법은 식물이 매 순간 경험하게 되는 근권부의 EC 및 pH를 바르게 평가하는 방법입니다.



❖ 배액측정법의 장점

- 배액은 식물이 직접적으로 경험하는 공극수의 상태를 반영하므로 비교적 정확합니다.
- 적은 비용과 노력으로 공극수의 상태를 관찰할 수 있습니다.
- 다른 평가 방법에 비해 측정이 간편하고 연속 측정이 가능합니다.
- 작물의 양분 흡수 상황을 실시간으로 관찰할 수 있습니다.
- 측정된 데이터를 쉽게 축적하고 활용할 수 있습니다.

❖ 배액측정법 활용시 유의점

- 배지의 EC와 pH는 작물의 양분 흡수 등의 영향으로 시간에 따라 변할 수 있습니다. 배액 분석은 특정 시점의 상태를 나타내므로, 배지의 연속적인 변화를 완전히 반영하지는 못합니다.
- 재배 배지는 입자 크기, 공극률, 수분 함량 등이 위치에 따라 다를 수 있습니다. 이로 인해 배지 내부의 EC와 pH 분포가 균일하지 않을 수 있습니다.
- 이러한 한계에도 불구하고, 정기적인 배액 분석을 통해 시간에 따른 EC와 pH의 변화 추이를 파악할 수 있으며, 이를 바탕으로 배지 관리 전략을 수립할 수 있습니다.
- 배액 분석 결과와 작물의 생육 상태를 종합적으로 고려하여 배지 환경을 최적화할 수 있습니다.



❖ EC와 작물의 관계

전기 전도도(EC)는 비료(무기 염류)를 포함한 배액 내 염류의 총량을 측정한 것입니다. 또한 비료에 포함된 대부분의 염류는 다량 영양소이기 때문에 다량 영양소 존재 여부를 나타내는 지표로 사용될 수 있지만 미량 영양소 존재에 대한 정보는 거의 또는 전혀 제공하지 않습니다.

작물의 최적 생육을 위해서는 적정 EC 범위를 유지하는 것이 중요합니다. 작물 종류, 생육 단계, 환경 조건 등을 고려하여 EC를 조절해야 하며, 정기적인 모니터링을 통해 양액 관리를 해야 합니다.

일반적으로 작물에 따라 EC 범위는 0.8~3.0 dS/m 정도이지만, 이는 작물마다 다를 수 있습니다.

식물이 활착하면 가능한 한 빨리 식물체 내의 삼투압(EC)을 높이려고 노력해야 합니다. 식물의 부피가 증가하고 물을 흡수하면 이 삼투압이 떨어집니다. 식물 내부의 영양분이 재분배되고 식물 자체가 물러지고 색이 밝아집니다. 이로 인해 물이 식물에서 쉽게 빠져나갈 수 있기 때문에 탈수(시들음)에 매우 취약해집니다.

뿌리에 더 많은 영양분을 공급하면 생장량에 비례하여 효과가 나타납니다. 운반 수단으로 사용된 물이 증발했기 때문에 영양분 염류가 식물 내부에 남아 내부 EC(삼투압)를 높일 것입니다. 삼투압이 높아졌기 때문에 재배자는 다시 뿌리에 더 높은 EC를 줄 수 있습니다.

식물에서 EC 축적의 선순환(positive spiral)을 달성함으로써 식물은 또한 물을 더 잘 흡수하고 유지할 수 있게 됩니다. 이 때문에 식물은 물이 쉽게 증발하지 않도록 하여 흡수한 물을 너무 빨리 잃지 않습니다. 너무 어린 식물의 경우 빛의 강도를 줄이거나 조명 시간을 줄여 하루가 끝날 때 수분 부족(shortage)을 방지해야 합니다.

- 식물에서 EC 축적의 선순환(positive spiral)을 달성에 대한 도움이 필요한 경우 당사와 소통하십시오.
- 강한 식물 만들기에 필요한 자료를 보내드립니다.

● EC가 너무 높으면

- 양액의 삼투압이 높아져 뿌리의 수분 흡수가 어려워집니다. 이로 인해 작물이 시들거나 생장 저하 등의 증상을 보일 수 있습니다.
- 특정 이온(예: 나트륨, 염소 등)이 과도하게 축적되어 양분 불균형을 초래할 수 있습니다. 이는 작물의 생리적 장애를 유발할 수 있습니다.
- 염류 스트레스로 뿌리 세포를 손상시킬 수 있습니다. 이는 양분 및 수분 흡수를 저해하여 작물의 생육을 억제합니다.
- 과실의 당도를 낮추고, 기형과 발생을 증가시킬 수 있습니다.

● EC가 너무 낮으면

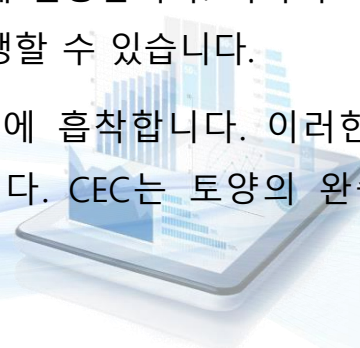
- 작물이 필요로 하는 양분이 부족해질 수 있습니다. 이는 생장 지연, 엽색 변화, 낮은 수확량 등의 문제를 야기할 수 있습니다.
- 근권부의 pH 변화가 크게 나타날 수 있습니다. 이는 양분 흡수율에 영향을 미쳐 결핍증 등의 문제를 일으킬 수 있습니다.
- 병원균의 번식에 유리할 수 있습니다. 이는 작물의 병해 발생 위험을 높일 수 있습니다.
- 작물은 환경 스트레스에 대한 저항성이 약해질 수 있습니다.



❖ pH와 작물의 관계

pH는 용액의 산성도 또는 알칼리성 정도를 나타내는 척도로, 토양과 농작물 재배에 중요한 역할을 합니다. 작물이 뿌리에서 양이온을 흡수하면 뿌리에서 수소이온이 방출되어 pH가 낮아지고, 음이온을 흡수하면 OH⁻이온이 방출되어 pH가 높아집니다. 배지 내 pH 변하는 것은 생장 시기나 환경 조건에 따라 양이온이나 음이온의 흡수비율이 달라지기 때문입니다. 즉 영양생장이나 생식생장 혹은 온·습도, 광, 근권 온도 등에 대응하는 식물 작용의 결과입니다. 매번 pH를 적정범위로 조절해 주어야 합니다. 부적절한 pH로 인하여 생육이 저조해지거나 생리 장애가 발생할 수 있습니다.

- 식물은 대개 약산성에서 약알칼리성 (pH 5.5-6.5) 범위에서 양분을 가장 잘 흡수합니다. 그러나 5.0-7.0의 범위에서도 생육에는 큰 지장이 없는 것으로 알려져 있습니다.
- 강산성 (pH < 5.5) 또는 강알칼리성 (pH > 8.0) 토양에서는 일부 양분의 유효도가 감소할 수 있습니다.
- 일반적으로 pH가 낮을 때에는 음이온의 흡수가 원활하고 높을 때에는 양이온의 흡수에 유리합니다.
- 유기물 분해, 양분 무기화 등에 중요한 역할을 하는 토양 미생물도 토양 pH에 의해 영향을 받습니다.
- 대부분의 토양 미생물은 중성 부근 (pH 6.0-8.0)에서 가장 활발하게 활동합니다. 따라서 적정 pH 범위를 벗어나면 작물에는 생육 불량, 병해충 감수성 증가 등의 문제가 발생할 수 있습니다.
- 수소이온은 다른 이온들과 쉽게 교환되며 토양 콜로이드 표면에 흡착합니다. 이러한 특성 때문에 수소이온은 토양의 양이온 교환 능력(CEC)에도 영향을 미칩니다. CEC는 토양의 완충능력과 양분 보유력을 결정하는 중요한 토양 특성입니다.



❖ 양액(배액)센서 활용

영양소 문제는 온실에서 매우 흔하고 장기간 인지되지 않을 수 있습니다. 비료 과다 또는 과소 시비는 보통 식물 활력을 감소시켜 식물을 질병과 곤충에 더 취약하게 만들 수 있습니다.

이제 재배자가 생육주기 전반에 걸쳐 재배 배지를 테스트하는 것이 가능합니다. 이러한 측정은 쉽게 수행될 수 있기 때문에 재배자는 시비 전략을 즉시 조정할 수 있습니다. 수집할 수 있는 가장 중요한 두 가지 측정 항목은 배액의 EC와 pH입니다.

배액 EC와 pH를 정기적으로 관찰하면 비료와 관련된 거의 모든 문제가 제거됩니다. 측정한 수치에 대한 올바른 판단과 조치가 필요합니다.

❖ 배액 EC 조절

- 뿌리가 활착하는 초기 생장기(육묘기, 정식 초기)에는 상대적으로 낮은 EC를 유지합니다.
- 잎과 줄기를 키우는 영양생장기에는 작물 생장을 관찰하면서 점진적으로 EC를 높여 가면서 생장을 촉진합니다. 강한 식물을 만들기 위해 가능한 한 빨리 식물체 내부 삼투압을 높여야 합니다.
- 이 요구는 동화에 의해 조절됩니다. 흡수된 영양소는 부분적으로 동화 산물이 되지만 일부는 식물의 수액에 남아 있는 비율도 있으며 이것이 식물체 내부 EC를 결정합니다.
- 식물체 내부 EC가 증가하면 내부 삼투압이 증가하고 더 많은 양분과 수분을 흡수할 수 있습니다.
- 식물체 내부 EC를 높이고 결과적으로 높은 EC의 배지에 적응하도록 만드는 것은 점진적으로 이뤄지는 선순환입니다. 이는 식물 생장에 대한 요구를 고려하여 수행되어야 합니다.

- 개화와 과실 비대가 이뤄지는 시기는 EC를 다소 낮춰서 과실의 품질을 높입니다.
- 식물이 영양 생장을 마친 후에도 여전히 많은 양의 칼륨을 흡수할 수 있는데, 이는 내부 삼투압과 자방(후에 씨앗과 과일로 성장)을 위한 것입니다.
- 수확기가 되면 당도를 높이고 상품성을 유지하기 위해 EC를 더 낮은 수준으로 조절합니다.
- 식물 재배의 마지막 몇 주 동안 더 이상 많은 영양분이 필요로 하지 않습니다. 배지 내의 EC를 안정적으로 유지하는 정도의 영양분을 공급합니다. 일반적으로 EC를 낮게 하거나 심지어 매주 행굼(침출)을 합니다.
- 이 시점부터 재배자는 배지 내 영양분의 양과 공급하는 EC 사이의 균형을 맞추는 것이 중요해집니다.
- EC는 식물에 제공되는 영양소(비료)를 측정하는 단위일 뿐만 아니라 수분 흡수와 관련된 기후 조절 메커니즘이기도 합니다.
- EC 조절은 점진적으로 이루어져야 합니다. 급격한 변화는 오히려 작물에게 삼투압 스트레스를 유발할 수 있습니다.
- 현재 공급하는 양액의 EC를 점진적으로 낮출 수 있습니다. 일반적으로 0.2~0.3 dS/m 정도씩 낮추는 것이 좋습니다.
- 정기적이고 지속적인 관찰을 통해 염류가 집적되지 않도록 하는 것이 우선입니다.



- 급액량이나 급액 횟수를 늘려 배액률을 일시적으로 높일 수도 있습니다. 근권부에 축적된 양분을 씻어내는 데 도움이 됩니다. 이는 과잉 영양을 제거하고 염류 농도를 낮추는 데 효과적입니다.
- 급액량이나 급액 횟수를 늘리면 당연히 배지의 함수율이 평소보다 상승할 수밖에 없으므로 과습에 유의해야 합니다.
- 배액 EC가 매우 높고 다른 방법으로 조절이 어려운 경우 작물의 요구사항에 맞춰 새로운 양액을 준비하여 완전히 교체하는 것이 필요할 수 있습니다.
- 양액을 완전히 교체하는 것은 점진적으로 EC를 낮추는 방법이 아닙니다. 오히려 이는 급격한 변화를 주는 방법으로, 특정 상황에서만 제한적으로 사용되어야 합니다. 극약 처방은 언제나 최후의 수단입니다.



❖ 배액 pH 조절

- 양액 내 암모니아태 질소와 질산태 질소의 비율 pH에 영향을 주지만, 온실 기후와 근권 환경조건에 따라서 식물의 이온 흡수 양태가 달라져 pH가 변하기도 합니다. 즉, 식물 암모니아태 질소가 많이 흡수될 경우 pH가 낮아지고, 질산태 질소를 많이 흡수하면 근권부의 pH가 높아지는 경향이 있습니다. 따라서, 양액 처방이 작물이 흡수하는 조성 및 농도와 맞지 않을 경우 양분 흡수 불균형으로 인해 적정 pH 범위를 벗어날 수 있습니다. 이와 같이 pH는 양액 재배에서 원인 또는 결과가 되며, 수많은 요인이 작용하기 때문에 이들을 복합적으로 고려하여 조절해야 합니다.
- 양액의 pH를 용이하게 조절하기 위해, pH 1 조정에 필요한 양액 1톤 당 산의 양을 알고 있는 것이 좋습니다. 예를 들어, 배양액 1 톤당 3N 황산 10mL를 넣으면 pH가 1 만큼 낮아지고, 1 만큼 높이는 데는 KOH 5mL가 소요됩니다.
- 양액의 pH를 낮추기 위해 질산, 황산, 인산, 구연산 등의 산을 사용할 수 있습니다. 주된 목적은 탄산염(CO_3^{2-})과 중탄산염(HCO_3^-)을 제거하여 양액의 알칼리도를 감소시키기 위함입니다.
- 양액의 pH를 조절할 때에는 사용하는 물질이 양액의 다른 특성에 미치는 영향을 고려해야 합니다. 예를 들어, 황산을 첨가할 경우 양액의 EC를 상승시킬 우려가 있는데, 이는 흡수속도가 느린 황 이온 때문입니다. 인산을 첨가할 때는 칼슘과 반응하여 침전될 가능성이 있음을 유의해야 합니다. 가장 일반적으로 사용되는 질산은 장애가 가장 적으나, 질산 자체가 질소원의 역할을 하므로 질소 과잉 문제가 발생할 수 있습니다.



- 적절한 비료 염을 사용하는 방법도 있습니다. 암모니아태 질소를 우선적으로 흡수하는 작물에서는 적은 양의 황산암모늄으로 쉽게 pH를 저하시킬 수 있습니다. 다만, 암모니아태 질소의 과다 공급은 암모니아 독성, 근권 산성화, 양분 불균형 등의 문제를 야기할 수 있으므로 주의가 필요합니다.
- 질산태 질소를 선호하는 작물에서 암모니아태 질소의 비율을 조절하여 pH를 낮출 수 있습니다. 식물이 질산태 질소를 흡수하면 양이온-음이온 균형을 맞추기 위해 OH^- 또는 HCO_3^- 등의 음이온을 근권에 방출하므로 pH가 상승하는 경향이 있습니다. 이때, 암모니아태 질소를 일부 공급하면 식물에 의한 암모늄 이온 흡수와 암모니아태 질소의 질산화 과정을 통해 pH 상승을 완화할 수 있습니다. 다만, 암모니아태 질소의 해로운 작용을 고려하여 전체 질소 공급량의 10% 미만으로 사용하는 것이 안전합니다.
- 탄산염과 중탄산염은 양액 내에서 pH 완충 작용을 하는 주요 물질입니다. pH 변화를 억제하려는 경향이 있어, 알칼리도가 높은 양액의 pH를 낮추기 위해서는 이 완충물질을 제거해야 합니다.
- pH를 높이기 위해 중탄산칼륨을 이용하기도 하는데, 이는 중탄산칼륨에 포함되어 있는 중탄산 이온의 완충 효과 때문입니다.
- 산이나 알칼리를 사용할 경우, 수경재배 시설에 갑자기 많은 양을 투입하면 배드의 부식이나 식물체 자체에 직접적인 피해를 줄 수 있으므로 소량씩 서서히 투입하면서 조절해야 합니다.
- pH가 극단적으로 변화하지 않았을 경우에는無理하게 조정하지 않는 것이 바람직합니다.
- 급액을 조정하더라도, pH가 높아질 경우에는 pH 5.0 이하로 내려가지 않는 양액으로, 낮아질 경우에는 pH 7.0 이상으로 올라가지 않는 양액으로 급액 합니다.

❖ 그 외 양액센서의 활용

HM-100은 용액의 수소이온 농도(pH) 및 전기전도도(EC)를 측정하는 센서입니다. 따라서 재배 배지에 공급하는 급액이든 배출되는 배액이든 모두 측정이 가능합니다.

- 주로 배액 라인에 설치되는 HM-100 센서는 급액 측정에도 사용될 수 있습니다.
- 가끔 급액을 따로 받거나 양액 혼합통의 양액을 덜어내어 배액 라인에 설치된 센서(HM-100)로 측정하여 비교해 보는 것도 좋은 방법입니다. 급액 및 배액 라인의 센서 이상을 감지할 수 있습니다.
- 배액을 받아 양액기에서 측정하는 것은 번거로운 작업입니다. 양액을 받아 배액 라인(HM-100)에서 측정하고 양액기 센서의 측정값과 비교하십시오.
- 양액기 센서의 측정값과 HM-100 센서의 측정값을 상호 교차 검증하면 센서 고장을 쉽게 인지할 수 있습니다.
- 별도의 휴대용 측정기를 구비하는 것도 좋은 방법입니다.
- 급액 라인 혹은 양액 혼합통에 설치하여 양액기와 별도로 양액의 상태를 계측하여 비교할 수도 있습니다. 양액기에 부착된 pH/EC 센서의 일시적인 고장에 대비할 수 있습니다. 또한 급액 및 배액의 실시간 측정값을 확보하여 비교할 수 있습니다.
- 고정 설치된 센서는 알람기능을 활용하면 쉽게 이상 징후를 파악할 수 있습니다. 급액과 배액 모두에 알람 설정을 하십시오

