

# 양액제어와 EC, pH

시설원에, 식물공장에서는 생육환경을 위해 다양한 요소의 환경제어기 필요하다. 온도제어를 위한 냉난방기 및 온도센서가 필요하고, 습도제어를 위해서는 가습기 또는 제습기와 습도센서, 광 제어를 위해서는 광원과 광량자 센서, CO2 가스농도제어를 위해서는 CO2 발생기와 환기장치, 그리고 CO2 농도센서가 필요하다. 양액제어를 위해서는 양액 공급장치와 pH(산도) 및 EC(전기전도도)센서가 필요하다.

본 내용은 양액제어를 위한 전기전도도(EC)와 산도(pH)에 대한 기본사항과 주요 내용을 간략히 정리한 것이다.

## pH 정의

pH는 산성이나 염기성의 정도를 나타내는 단위이다.

일반적으로 용액의 수소이온농도는 매우 작은 값이기 때문에 다루기가 쉽도록 pH라는 지수를 도입한 것이다.

수용액 중의 수소이온(H<sup>+</sup>)농도를 0~14의 수치로 표기하며, pH 7을 중성이라 하고 이보다 작으면 산성, 크면 알칼리성(또는 염기성)이라 한다.

pH는 potential Hydrogen을 의미하며, 부르는 방법에는 독어의 '페하'와 영어의 '피에취'로 불린다.

표기방법은 'pH'로 표기하는 것이 옳은 표기이며 'PH', 'ph', 'Ph'는 잘못된 표기이다.

## pH 값과 생육환경

순수한 물(H<sub>2</sub>O)은 자동 이온화 과정을 통해 1.0×10<sup>-7</sup>M (몰농도)의 수소이온(H<sup>+</sup>)과 1.0×10<sup>-7</sup>M의 수산화이온(OH<sup>-</sup>)을 만든다. 그래서 중성인 물의 pH는 -log<sub>10</sub>(1.0×10<sup>-7</sup>) = 7이다.

25°C에서 순수한 물의 pH는 7.0이지만 일반적인 환경에서는 대기중의 이산화탄소가 용해되어 정확히 7.0은 아니다.

지표수(Surfacewater) 및 지하수(Groundwater)는 통상 6~8.5pH 정도라고 알려져 있다.

작물은 적정 범위의 pH에서 생육이 양호하고 강산성, 강알칼리성에서는 생육이 불량해진다.

뿌리 주변(근권)의 적합한 산도의 범위는 pH 5.5~6.5로, 이 범위를 벗어나면 양분의 흡수 및 이용도가 저하되며, pH 4 이하에서는 뿌리가 손상되고 pH 7 이상에서는 인(P), 철(Fe), 망간(Mn) 등의 흡수가 저해된다

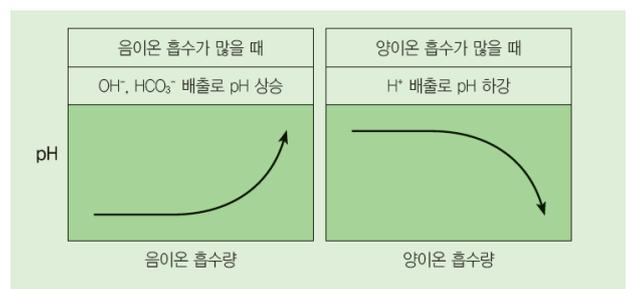
수경재배에서는 양액을 조성할 때는 양액의 농도를 조정 한 후 산과 알칼리 용액을 서서히 더해 pH를 조절한다. 양액의 pH를 낮추기 위해서는 황산이나 질산을, pH를 높이기 해서는 수산화나트륨이나 수산화칼륨을 이용한다.

## pH 관리

배양액 산도(pH)는 양분의 용해도와 작물의 양분흡수에 직접 영향을 미치며, 대부분의 작물은 토양재배와 수경재배에서 모두 pH 5.5~6.5 범위에서 대체로 생육이 왕성하다. 그 이유는 pH 5.5~6.5 범위에서 대부분의 무기양분의 흡수가 원활히 이루어지기 때문이다.

작물의 이온흡수 특성에 따른 뿌리 주변부분(근권부) 배양액 pH 변화를 보면 작물이 양이온(K<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>)을 흡수하면 뿌리에서 배양액으로 수소이온이 방출되어 뿌리 둘레(근권)의 pH가 낮아진다. 반대로 음이온(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>)을 흡수하면 수산이온(OH<sup>-</sup>)이 방출되어 뿌리 둘레(근권) pH가 높아진다. 이러한 pH 변화는 작물의 종류나 품종, 생장기, 환경에 따라 배양액에 존재하는 양이온과 음이온의 흡수비율이 달라지기 때문이다. 뿌리 주변(근권)의 pH를 적정 수준으로 유지하는 것은 수경재배에서 가장 중요한 배양액 관리 중의 하나이다.

배양액의 pH는 5.5~6.5로 유지하는 것이 좋지만 5.0~7.0의 범위에서도 작물생육에는 지장이 없다. 그러나 pH가 4.5 이하로 떨어지면 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등의 알칼리성 염류가 양액에 녹지 않는다(불용화). pH가 7.0이상일 경우에는 철이 침전되어 작물 흡수가 어렵고, 8.0 이상이면 망간과 인이 불용화되기 쉽다.



일반적으로 pH가 낮을 때에는 음이온의 흡수가, 높을 때에는 양이온의 흡수가 원활하다. 배양액 내 질산태질소와 암모니아

태질소의 비율도 pH에 영향을 준다. 작물이 암모니아 태질소를 먼저 흡수할 때 pH가 낮아지는데 배양액 pH에 따라 원예 작물의 질소 흡수특성이 달라진다. 또한 필수원소인 철은 킬레이트의 형태로 공급하지 않으면 pH가 높아지며 산화철 $Fe(OH)_3$ 의 형태로 침전된다. 킬레이트철의 종류에 따라 Fe-EDTA는 pH 7까지, Fe-DTPA는 pH 8까지, Fe-EDDHA는 전 영역에서 사용 가능하므로 상황에 맞춰 철 급원을 선택한다.

높아진 pH를 낮추기 위해서는 황산( $H_2SO_4$ ), 인산( $H_3PO_4$ ) 및 질산( $HNO_3$ ) 등을 사용하며 낮아진 pH를 높이기 위해서는 수산화칼륨(KOH)이나 수산화나트륨(NaOH)을 사용한다. 그 밖에 질산태질소와 암모니아태질소의 비율을 조정하여 pH를 조절하기도 한다. 또한 암모니아태질소( $NH_4^+N$ )를 함유한 질산암모늄( $NH_4NO_3$ ), 인산암모늄( $NH_4H_2PO_4$ ), 황산암모늄 [ $(NH_4)_2SO_4$ ] 등을 이용하여 비율을 조절한다.

영양생장기 동안에는 질산태질소( $NO_3^-N$ )를 주로 흡수하여 뿌리 주변(근권) pH는 계속 상승한다. 그 이유는 영양생장기 동안 식물이 수산이온( $OH^-$ )을 방출하기 때문이다. 따라서 질산태질소의 흡수를 억제할 수 있는 암모니아태질소를 공급해서 뿌리 주변(근권)의 pH 상승을 억제할 수 있다.

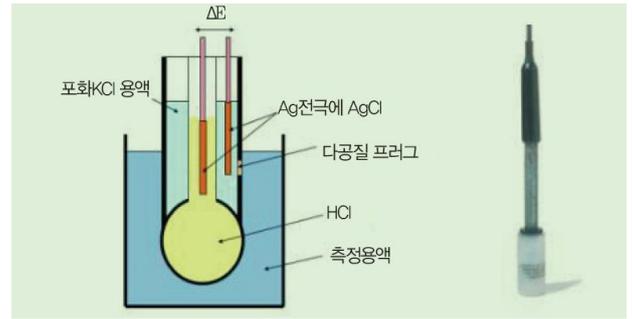
그러나 생식생장기 동안에는 식물이 칼륨을 중심으로 양이온을 많이 흡수하여 뿌리 둘레(근권)의 pH가 낮아진다. 이때에 암모니아태질소가 함유된 비료염을 사용할 경우 뿌리 둘레(근권)의 pH가 더욱 더 낮아진다. 이를 방지하기 위해서 중탄산칼륨( $KHCO_3$ )과 같은 비료를 사용하며 중탄산칼륨은 칼륨 공급원이 될 뿐만 아니라 동시에 중탄산이온( $HCO_3^-$ )이 pH가 낮아지는 것을 방지하여 pH를 안정적으로 유지한다.

배양액 자체의 pH 조절도 중요하지만, 배지의 pH를 먼저 조절하는 것이 합리적 pH관리 방법이다. 피트모스나 나무껍질(수피)과 같은 강한 산성의 배지를 사용할 때 배양액의 pH로 배지의 pH를 조절하기보다는 사용 전의 배지에 석회를 뿌려 배지 자체의 pH를 높인 후 작물을 재배한다. 양면, 입상양면, 훈탄, 목탄 등의 알칼리성 배지의 경우 배양액의 pH를 5.2~5.7로 다소 낮추어 공급한다. 반면, 펄라이트, 버미큘라이트 등의 중성 및 약산성 배지는 공급하는 배양액의 pH에 비교적 크게 영향을 받으므로 적정 범위로 조절한 배양액을 공급한다.

### pH전극 구조

pH전극은 보통 유리전극식을 사용하는데, 유리박막의 양쪽에 수소이온 농도에 따라 발생하는 전위차를 검출하여 측정하는 방식이다.

유리막형 pH센서 구조는 유리관의 끝부분에 반구 모양의 유리박막(전극막)이 있으며, 그 내부에 유리전극 내부액과 내부전극이 있다.



### pH 전극 보관 및 세척

사용하지 않는 센서를 보관할 경우, 전극의 종류와 제조사에 따라 pH 전극 보관용액을 별도로 판매한다. 하지만 보관용액이 없을 경우 4M KCl, pH 4 buffer, pH 7 buffer 용액에 보관하는 것이 좋다.

건조상태로 보관하거나 증류수에 보관하지 않아야 한다..

pH 전극이 오염되었다고 생각되어 세척이 필요할 경우, 0.1M HCl 용액 또는 0.1M HNO3 용액에 약 30 분간 담가둔 후, 탈이온수(Diwater / Deionized water)로 세척한다. 사용은 보관용액에 최소 1 시간 이상 전극을 담귀 안정시킨 다음 사용한다..

### pH 전극의 교체 및 세척 주기

pH 전극에서 생성되는 절대값(mV)은 각 제조사에 따라 전극의 종류에 따라 다르지만, 통상적으로 pH전극의 출력 전위차는 -413mV에서 +413mV를 발생한다.

산도에 따른 전위차변화의 기준 기울기 대비 약 90% 이상 기울러 지기 전에 재교정이 필요하다.

재교정 후에도 기울기가 유지되지않을 경우, 기울기가 60%이하로 둔해졌을 경우에는 교체가 필요하다.

(산도에 따른 발생 전위차는 아래 표 참조)

### pH 측정 시 외부 환경조건에 따른 차이

동일한 용액에서도 용액의 온도, pH 전극에 가해지는 외부압력, 용액의 유속등에 따라 전극의 출력값은 다를 수 있다.

25°C의 pH7 용액은 5°C에서 7.08, 60°C에서 6.98 을 나타낸다.

### pH 버퍼 용액관리

교정 및 전극확인을 위해 사용된 버퍼와 보관용액은 다시 사용하지 않는 것이 좋다. 사용하지 않은 용액이라도 대기 중에 있는 CO2 가스와 외부공기에 의한 오염으로 기준값을 유지하지 못하기 때문에 6개월 이상 된 용액은 폐기하는 것이 좋다..

### pH 기타

측정값의 재현성(reproducible)이 좋지 않거나, 반응속도가 느릴 경우 다음사항을 확인하여 조치를 취하거나 전극을 교체하는 것이 좋다.

- 시료가 오래되었는지,
- 주변에 전기적 (광파, 전파, 누설전류 등의)간섭이 있는지,
- 용액에 간섭을 일으키는 다른 성분의 물질이 있는지
- 전극의 보관은 올바른방법으로 보관되었는지,
- 전극주변에 공기층이 있거나 측정위치가 올바른지,
- 전극의 정션(junction)이 오염되지 않았는지를 확인한다.

### <일반적인 pH 전극의 산도에 따른 전위차>

pH	mV	비고
11.0	236.0	25°C 조건
10.5	206.5	
10.4	200.6	
10.3	194.7	
10.2	188.8	
10.1	182.9	
10.0	177.0	
9.9	171.1	
9.8	165.2	
9.7	159.3	
9.6	153.4	
9.5	147.5	
9.0	118.0	
8.0	59.0	
7.5	29.5	
7.4	23.6	
7.3	17.7	
7.2	11.8	
7.1	5.9	
7.0	0.0	
6.9	-5.9	
6.8	-11.8	
6.7	-17.7	
6.6	-23.6	
6.5	-29.5	
6.0	-59.0	
5.0	-118.0	
4.5	-147.5	
4.4	-153.4	
4.3	-159.3	
4.2	-165.2	
4.1	-171.1	
4.0	-177.0	
3.9	-182.9	
3.8	-188.8	
3.7	-194.7	
3.6	-200.6	
3.5	-206.5	
3.0	-236.0	

<센서제조사에 따라 다를 수 있으면 25°C 용액에서의 참고치임>

### EC(전기전도도) 는 무엇인가

전기저항의 역수인 전기전도도(EC, electric conductivity)는 물질에 전기가 잘 통하는 정도를 의미한다.

전기전도도의 측정은 두 개의 전극판을 사용하여 전류를 흘려보내 측정하며, 전기전도도는 물속에 함유된 용존고형물질(TDS, Total Dissolved Solids)의 양과 관계가 있다. 물속에 전하를 띤 이온이 많을수록 물의 전기전도도는 커진다. 즉 어떤 비료가 물에 녹아 있는 양이 많으면 많을수록 이온량이 많아져서 전기가 잘 통하게 되는 성질을 갖게 된다. 따라서 전기의 통전성 또는 전기저항의 역수를 이용하여 양액의 농도를 갈음하게 한다.



<전도도 측정 원리>

### 전기전도도(EC)의 단위

배양액 농도는 전기전도도(Electrical Conductivity, EC)로 나타내고, 이는 1cm<sup>2</sup>의 전극판이 1cm의 거리로 떨어져 있을 때의 전기저항치의 역수이다. 단위로는 mmho/L나 mS/cm를 사용하지만 양액농도의 단위는 데시시멘스퍼미터(dS/m)가 국제적으로 통용되고 있다.

1dS/m의 값은 어떤 비료가 상온에서 약 700ppm 정도가 녹아 있는 수준이 되며 양액조성 후 전체 양이온 또는 음이온농도를 합한 값(밀리당량)을 10으로 나눈 값 또는 양이온과 음이온 전체를 합한 이온농도의 값(밀리당량)을 20으로 나눈 값이 된다.

### EC값과 생육환경

EC센서는 양액농도를 간접적으로 측정하는 센서이다. EC가 크다는 것은 용액 중의 이온량이 많아 양분 농도가 진하다는 것을 의미한다. EC는 배양액의 이온 조성 변화가 크지 않기 때문에 양액의 EC를 측정,조절해 양액 중에 포함되어 있는 이온농도를 일정하게 유지시킨다.

배양액의 전 이온농도(EC)와 개별 무기양분농도는 작물의 생육, 수량 및 품질에 영향을 미치므로 배양액 농도관리가 중요하다. 배양액 농도는 작물 종류에 따라 적정 농도가 정해져 있다. 그러나 생육단계나 환경조건에 따라 다르므로 작물별 적정 농도범위를 기본으로, 생육단계나 환경조건에 따른 영향을 고려하여 배양액 농도를 관리한다. 일반적으로 생육 초기에는 작물의 양·수분 흡수량이 적고 생육이 진전됨에 따라 많아지므로 저농도(표준의 1/3)로 관리하고 생육이 진전됨에 따라 농도를 높여간다.

특히 열매채소류(과채류)는 과일의 비대·수확기, 즉 생식 생장기에 접어들면 양분 흡수량이 현저히 많아지므로 배양액

농도를 질게 관리한다. 잎과 줄기의 생육을 촉진하기 위해서는 질소를, 과일 생산을 위해서는 인, 칼륨, 칼슘 농도를 높이는 등 목적에 맞는 성분의 농도 조절이 필요하다. 또한 배양액 농도는 겨울철에는 높게, 여름철에는 낮게 관리하는데 이것은 계절에 따른 수분소비량이 다르기 때문이다.

수분흡수량은 기온과 뿌리 주변(근권) 온도가 높고 일사량이 많을 때 촉진되므로 이러한 조건에서는 배양액 농도를 열게, 겨울철에는 질게 관리한다. 일반적으로 작물별 적정 뿌리 주변(근권) 배양액 농도는 열매채소류(과채류) 2.5~3.5dS<sup>-1</sup>, 절화류 2.0~2.5dS<sup>-1</sup>, 잎채소류(엽채류) 1.5~2.0dS<sup>-1</sup> 수준이다. 그러나 광량이 부족한 겨울철이나 이상기후로 충분한 빛을 확보할 수 없을 때는 열매채소류(과채류)에서 3.0~6.0dS<sup>-1</sup>로 질게 관리하기도 한다. 또한 순환식은 비순환식보다 낮게 관리하고 피트모스나 코코피트 등의 유기배지는 낮게, 암면과 펄라이트 등의 무기배지는 다소 질게 관리하는 것이 일반적이다.

양액의 EC는 작물의 생육에 영향을 미친다. EC가 높을 경우 작물은 수분을 흡수하기가 어려워지며 이러한 결과로 작물의 세포생육은 느려지며 세포는 작고, 세포벽은 두꺼워져 작물의 색깔은 진해지며 잎은 작고 단단해진다.

이런 경우 작물은 상대적으로 많은 에너지를 꽃과 과일 형성에 사용한다. 이런 현상은 토마토에서 쉽게 볼 수 있다. 그러나 양액의 EC는 작물이 받아들여지는데 있어서 상대적인 수치이며 절대적인 수치는 아니다.

반대로 낮은 광조건 아래서 EC가 낮은 경우 잎의 생장에 비해 과일의 생장은 잘 이루어지지 않는다. 그러나 광량이 높을 경우는 어느 정도 낮은 EC에서 작물이 빠르게 성장하게 된다. 이때 너무 높은 EC는 작물의 수분 흡수를 저해하는 결과를 가져와 작물 생육을 나쁘게 할 수 있다.

양액재배시 일반적인 급액관리농도 범위는 재배작목에 따라 차이가 나며 토마토의 경우 1.8~4.0dS/m, 파프리카의 경우 2.0~3.5dS/m, 딸기의 경우는 1.2~1.8dS/m이다.

### 전기전도도와 온도관계

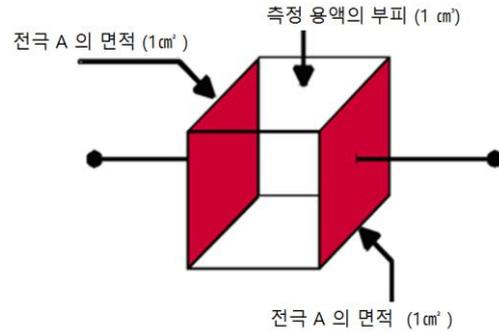
양액 내에 동일한 량의 이온이 있어도 온도에 따라 전기가 흐르는 힘, 즉EC는 변화한다. 양액의 온도가 높으면 양액내에 흐르는 전기의 량이 많아지며 따라서 EC가 증가하게 된다. 따라서 표준 EC는 온도가 25℃일 때를 기준으로 한다.

### EC전극의 K 상수

셀 상수(K)는 다음의 공식으로 결정된다.

$$K=L(\text{전극 간의 거리}) / a(\text{전극의 면적})$$

$$K=1 \text{ cm} / 1\text{cm}^2 = 1 \text{ cm}^{-1}$$



셀 상수(K)는 희망하는 측정범위의 적당한 전도성 셀을 결정하는 중요한 상수이다. 수경재배용으로는 일반적으로 셀상수 1의 것을 사용하면 적합하나 재배 시스템, 이나 제어하고자 하는 EC값에 따라 달라질 수 있으니 센서 제조사의 자료를 확인할 필요가 있다.

### EC전극관리

양액재배에서 많이 사용하는 EC센서는 2개의 전극사이에 낮은 교류전압을 걸어 전극 사이에 흐르는 전류를 측정하는 원리이다. EC센서는 취급이 쉽지만 양액온도에 따라 2%/℃ 정도 EC가 변한다. 따라서 온도 보정이 가능한 EC센서를 사용하는 것이 바람직하다.

사용 도중 정밀도 저하를 방지하기 위해서는 주기적으로 전극을 세척하여 관리하는 것이 중요하다.

수경재배용 EC센서는 0~5dS/m 또는 0~10dS/m 범위이면 적당하다.

센서의 설치 위치에는 용액의 흐름중에 공기층이 발생하지 않아야 한다.

또한 센서 전극주변에 금속부를 통해 전극에 가해지는 전압에 의해 누설되는 전류가 없어야 하고, 전기 누전에 의한 누설전류가 양액을 타고 전극에 영향을 주지 않도록 설치시 주의 하여야 한다.

### 참고문헌

- 농업기술 길잡이 191, 식물공장 2014 농촌진흥청
- 농업기술길잡이 71, 수경재배 2013 농촌진흥청

<허락 없이 본 자료에 대한 무단 복제 및 배포를 금합니다.>