

講 座

양액 상태의 계측

Measurement on Nutrient Solution

류 관 희

서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

양액재배에 있어서 배양액 중에 있는 질소, 칼륨, 인, 칼슘, 마그네슘 등 식물 영양성분의 함유량을 항상 알맞게 유지시키는 일은 매우 중요하다. 아울러, 양액의 산도(pH)와 용존산소량(dissolved oxygen; DO)도 식물 생장에 큰 영향을 미치기 때문에 적절히 유지하지 않으면 안된다.

양액의 상태를 항상 작물 생육에 알맞게 유지하기 위해서는 먼저 양액의 조성과의 관계가 있는 물리량을 정확히 측정할 필요가 있다. 특히 양액관리를 자동화하기 위해서는 정확도와 함께 신속하고도 간편한 측정방법이 필요하다. 양액 상태에 관한 주요 측정항목에는 전기전도도(electric conductivity; EC), 산도(pH), 용존산소량(DO)이 있다.

1. 전기전도도의 계측

전기전도도는 단면적 1cm<sup>2</sup>, 거리 1cm의 평행 전극간에 있는 용액의 전기저항의 역수로서 정의된다. 작물 생장에 필요한 각종 무기물을 조합시켜 조제하는 양액에는 여러 종류의 전해물질이 용해되어 이온 형태로 존재한다. 이들 각각의 이온량을 측정하면 각각의 무기물의 양을 개별적으로 파악하는 것이 가능하지만 기술적으로 어려움이 많고 비싼 장비가 요구될뿐만 아니라 분석에 시간이 많이 요구된다.

따라서, 전기전도도를 측정함으로써 배양액 중에 포함되어 있는 전체 이온량의 변화를 추정하는 방법이 사용되고 있다. 실용적인 양액농도에서와 같이 이온의 조성이 변화하지 않는 상태에서는 전

기전도도가 양액의 농도에 비례관계에 있으므로 전기전도도를 계측하여 양액농도를 추정할 수 있다.

전기전도도의 측정원리는 다음과 같다. 두 전극의 양단에 전위차가 있을 경우 하전입자의 이동에 의해 전류가 흐른다. 이때 전극 사이를 통하여 흐르는 전류는 양액 중에 포함된 무기 양분의 농도에 비례하기 때문에 양액의 조성 변화에 따라 두 전극 사이의 전기전도도가 변화하게 된다.

용액 중에서 전하를 띤 각각의 입자 i가 반대극성을 가진 전극 쪽으로 이동할 때 발생하는 전류밀도 J<sub>i</sub>의 총합은 식(1)과 같다.

$$J = \sum J_i = \epsilon \sum (N_i | Q_i | U_i) \dots\dots\dots (1)$$

여기에서 J<sub>i</sub> : 전류밀도 [Cs<sup>-1</sup>cm<sup>-2</sup>]

ε : 전계강도 [V cm<sup>-1</sup>]

N<sub>i</sub> : 단위체적당 입자 i의 갯수 [ea/cm<sup>3</sup>]

Q<sub>i</sub> : 각 입자의 전하량 [C]

U<sub>i</sub> : 입자의 활동도

또한 전기전도도 K는 식(2)와 같이 전류밀도 J와 전계강도 E의 비율로 정의된다.

$$K [\Omega^{-1}cm^{-1}] = J_i [Cs^{-1}cm^{-2}] / E [V cm^{-1}] \dots\dots\dots (2)$$

입자의 활동도에 비례하는 등가 전도상수 λ<sup>0</sup>와 노르말 농도 C<sub>i</sub><sup>0</sup>를 이용하여 식(1)과 식(2)를 조합하면 식(3)을 얻는다.

$$K = (1/1000) \sum C_i \lambda_i^0 \dots\dots\dots (3)$$

주요 양이온과 음이온에 대한 등가 전도상수  $\lambda^0$  는 표1에 나타낸 바와 같다. 일반적인 양액조성에 대하여 각 이온에 대한  $\lambda^0$ 를 표1에서 찾고 식(3)에서 각각의 노르말 농도  $C_i^*$ 를 곱하여 합산하면 전기전도도  $K$ 는  $10000 \mu\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ 이내에 있다. 전기전도도는 mS의 단위가 사용되고 있는데 이것은  $1\text{m}\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ 와 같은 값이다.

표1. 양액성분에 포함된 이온의 등가전도상수

양이온	$\lambda^0_+$	음이온	$\lambda^0_-$
H <sup>+</sup>	349.8	OH <sup>-</sup>	199.2
Li <sup>+</sup>	38.6	F <sup>-</sup>	55.4
Na <sup>+</sup>	50.1	Cl <sup>-</sup>	76.4
K <sup>+</sup>	73.5	Br <sup>-</sup>	78.1
Rb <sup>+</sup>	77.8	I <sup>-</sup>	76.8
Ag <sup>+</sup>	61.9	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	71.5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	73.5	ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	64.6
(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH <sub>2</sub> <sup>+</sup>	51.8	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	67.4
(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> NH <sup>+</sup>	47.2	IO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	54.5
(CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	44.9	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	80.0
Mg <sup>+</sup>	53.0	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	69.3
Ca <sup>+</sup>	59.5	Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>4-</sup>	111.0
Ba <sup>+</sup>	63.6	Formate	54.6
Cu <sup>+</sup>	53.6	Acetate	40.9
Zn <sup>+</sup>	52.8	Benzoate	32.4
La <sup>+</sup>	69.7	-	-
Ce <sup>+</sup>	69.8	-	-

실제의 전기전도도의 측정에서는 백금 전극 사이의 임피던스를 측정하는 방법이 일반적으로 이용되고 있다.

측정 범위는 0~20mS, 정확도(전입력오차율)는 0.5~2.0%FS, 응답시간은 10여초 내외이다. 교정은 표준 용액을 사용하여 실시한다. 온도 보상과 전극 표면의 주기적인 청소가 필요하다.

## 2. 산도의 계측

수용액의 산도(pH)는 용액 중에 포함된 수소

이온 농도 또는 수소 이온 활동도의 대수치로서 정의되는 상수이며, 용액의 산성 또는 알칼리성을 나타내는 척도로서 널리 사용되고 있다.

산도의 측정 방법에는 유리전극법, 전지법, 안티몬 전극법 등이 있으나, 일반적으로 유리전극법이 널리 사용되고 있다.

유리전극법은 용액의 조성이나 온도에 무관하게 일정한 전위를 나타내는 기준전극과 유리전극 사이의 전위의 차이에 의해 측정하는 방법이다. 여기서 유리전극은 용액의 pH에 비례하여 기전력을 발생하는 특수한 조성의 유리박막을 선단으로 하고, 그 내부에 전극 내부액과 전극을 봉입하여 만들어진다.

유리전극과 기준전극 사이에 존재하는 막전위 ( $E_{\text{cell}}$ )는 Nernst방정식에 의해 다음 식으로 표현된다.

$$E_{\text{cell}} = E_{\text{iso}} - 2.3026 \alpha (RT/F) (\text{pH}_x - \text{pH}_{\text{iso}}) \dots\dots\dots (4)$$

여기에서  $E_{\text{iso}}$ : 전극쌍의 등전위점

$\text{pH}_{\text{iso}}$ : 등전위 pH점

$\alpha$ : slope factor

R: 기체상수[8.31441 J/K.mol]

T: 절대온도[K]

F: 패라데이 상수[96484.56 C/mol]

식(4)에서 pH 측정용 유리전극의 출력전위와 실제 pH값은 온도의 함수로 주어지므로 온도 보상이 필요하게 되는데 자동적인 온도보상용 저항체(automatic temperature compensator;ATC)를 이용한다.

유리전극법의 산도측정기의 측정범위는 pH 2~12, 정확도는 0.2pH 또는 전입력오차율 2% FS, 응답시간은 10여초 내외이다. 또한 온도보상과 더불어 전극 표면의 주기적인 세척이 필요하다.

또한 측정의 정확을 기하기 위하여 pH 표준 용액을 사용하여 적절한 시기에 교정을 실시할 필요가 있으며, 오차가 클 경우에는 새것으로 교환할 필요가 있다.

## 3. 용존산소 농도의 계측

배양액의 용존산소(DO) 농도는 시험연구에서는

중요한 측정 항목이지만 일반 재배에서는 배양액의 순환량을 타이머 등으로 조절하여 적절한 농도를 유지하고 있으며 직접 측정하는 경우는 드물다.

용존산소농도의 측정에는 전기화학적인 격막전극법이 널리 사용되고 있다. 전극부는 테프론 등의 얇은 막과 음극, 양극, 전해액으로 구성되어 있다. 테프론 등의 박막은 산소 분자는 투과되지만 다른 분자는 투과되기 어려운 특성을 가지고 있다. 이러한 전극부를 용액 속에 담그면 용존산소는 얇은 막을 투과하여 전극 내의 전해액 중에 확산하고 전극반응을 일으켜 환원하며 확산한 산소량에 비례하는 전류가 흐른다. 이 미약한 전류를 증폭하여 계기로 표시하는 것이다.

격막전극법의 측정범위는 0~15ppm, 정확도는 전극이 2%FS, 지시계가 2%FS, 응답시간은 20~50초 정도이다. 오차의 주 원인은 온도, 유속 및 기포의 부착 등이 있다. 온도의 영향은 박막의 산

소 투과율이 큰 온도계수(약 +3%/°C)를 가지고 있기 때문이다. 유속은 출력전류에 영향을 주며 유속이 작으면 측정값이 작아지므로 30cm/sec 이상의 유속에서 측정할 필요가 있다. 기포의 격막 부착은 격막의 산소 투과율에 직접 영향을 주기 때문에 전극부를 담글 때는 경사지게 하여 기포가 붙지 않도록 해야 한다.

영점조정은 증류수에 질소가스를 충분히 불어넣어 용존산소량이 0이 되는 상태를 만든 후 전극부를 담가서 실시하고, 눈금폭 조정은 공기를 충분히 불어넣어 포화상태로 만들어 실시한다.

전극의 세척은 통상 1개월마다 실시하며, 격막의 세척은 화장지나 부드러운 천으로 가볍게 닦거나 붓을 물에 적서 가볍게 닦는다. 전해질 및 격막의 교환은 통상 3개월마다 실시하지만 눈금폭 조정이 불가능하거나 눈금 지시가 불안정해지면 교환한다.

## 학 회 광 고

한국생물생산시설환경학회에서는 본 학회지인 “生物生産施設環境”에 게재할 원고를 아래와 같이 모집하고 있사오니 많은 투고를 바랍니다.

-아 래 -

1. 원고의종류 : 논문, 논설, 자료, 국제회의보고, 신간소개, 기타
2. 작 성 요 령 : “아래한글”을 사용하여 디스켓에 수록할 것.  
기타사항은 논문투고요령 참조할 것.
3. 접 수 내 용 : 최초의 제출부수는 사본3부(2부:심사용, 1부:반송용)  
최종수정후(게재확정시)에는 원본1부 및 디스켓 1매만 제출
4. 접 수 시 기 : 제3권 제1호(6월 발행예정)에 게재할 원고는 4월30일까지,  
이후 게재예정원고는 수시접수
5. 접 수 처 : 본 학회 사무국

※ 회원동정에 관한 사항도 접수하고 있사오니 연락바랍니다.