

第7回 pH と EC の管理

1. 養液栽培に必要な単位の知識

1) 重さの単位

- ・ 1mg (ミリグラム) : g の 1000 分の 1。1g は 1000mg。
- ・ μg (マイクログラム) : mg の 1000 分の 1。1mg は 1000 μg 。

2) 体積の単位

- ・ ml (ミリリットル) : L (リットル) の 1000 分の 1。1L は 1000ml。
- ・ $1\mu\text{l}$ (マイクロリットル) : ml の 1000 分の 1。1 ml は 1000 μl 。

3) 比率の単位

- ・ ppm (parts per million) : 1% は 10000ppm。
水 1L 中に 1mg の物質が溶けていれば 1ppm。

4) モル (mole) とモル濃度 (mol/L)

ある化合物について、それを構成する元素の原子量の合計を分子量という。この分子量をグラム(g)で表したのが 1 モル (mole) であり、1mol はその化合物の 1 分子が 6.02×10^{23} 個存在する状態を指している。

例えば、肥料成分のリン酸二水素アンモニウム ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) では、

N、H、P、O のそれぞれの原子量が 14、1、31、16 であるので、

$$1\text{N} + 6\text{H} + 1\text{P} + 4\text{O} = 14 + (6 \times 1) + 31 + (4 \times 16) = 115 \rightarrow \text{分子量}$$

分子量 g が 1mol となるので、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ の分子個数が 6.02×10^{23} 個集まった状態の 1 mol は 115g である。

モル濃度は、水 1 リットル中に何モルの物質が溶けているかを mol/L で表したものである。

$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ では、水 1 リットル中に 115g 溶けていれば、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ のモル濃度は 1mol/L、230g 溶けていれば 2mol/L となる。

2. 培養液の pH と植物の養分吸収

水溶液中には H^+ (水素イオン) と OH^- (水酸化物イオン) が混在していて、酸性の水溶液では H^+ が多く、塩基性の水溶液では OH^- が多く存在している。中性 (pH=7) では水素イオンと水酸化物イオンの濃度は等しくなっていて、

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{mol/L}$$

となっている。

pH (Potential Hydrogen)とは、水素イオンの濃度 (mol/L) を負の常用対数で示した値である。

$$\text{pH} = -\log_{10}([\text{H}^+])$$

常用対数は $x = \log_{10}(b)$ では $b = 10^x$ となり、 x は 10 を何乗したら b になるかを示している。

例えば、水溶液中の $[\text{H}^+]$ 濃度が 1 L あたり 0.00001 mol (10^{-6} mol/L) の時、

$$\text{pH} = -\log_{10} 10^{-6} = 6$$

pH 濃度は 6 である。

水素イオンと水酸化物イオンの積は一定であり

$$[\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = 10^{-14} \text{ mol/L}$$

の関係があるので、

$$[\text{H}^+] = 10^{-14} / [\text{OH}^-]$$

つまり、pH 値が 6 では、

$$10^{-6} = 10^{-14} / [\text{OH}^-]$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-14} / 10^{-6} = 10^{-8}$$

となる。

酸性と塩基性の関係は、

$$\text{酸性} : [\text{H}^+] > 10^{-7} \text{ mol/L}, [\text{OH}^-] < 10^{-7} \text{ mol/L}$$

$$\text{塩基性} : [\text{H}^+] < 10^{-7} \text{ mol/L}, [\text{OH}^-] > 10^{-7} \text{ mol/L}$$

であり、このような $[\text{H}^+]$ と $[\text{OH}^-]$ の関係から、酸性か塩基性かを測るのには

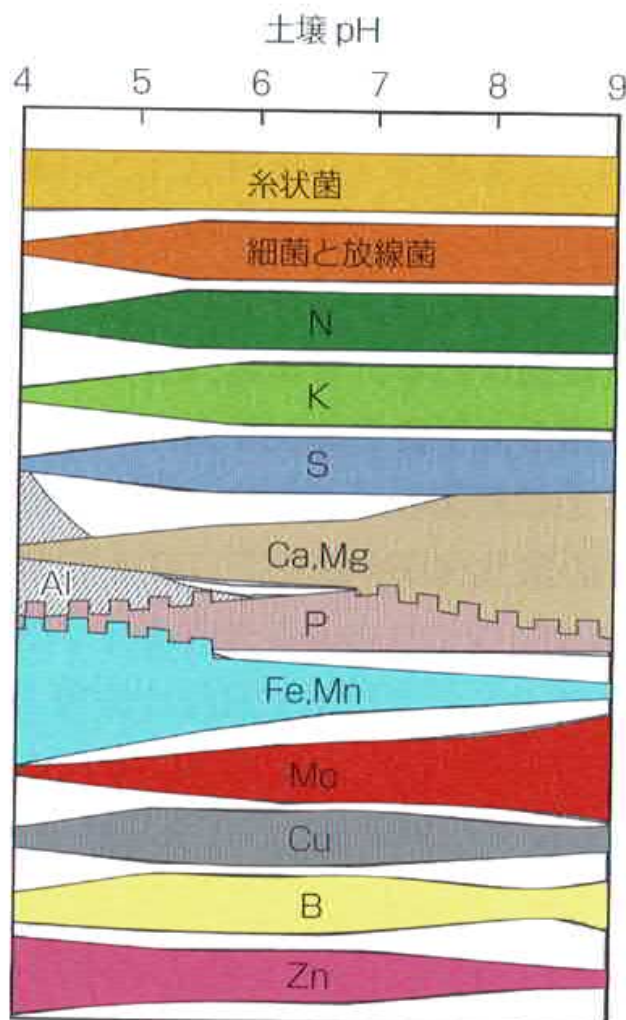
$[\text{H}^+]$ の濃度を求めるだけでよいので、pH は水素イオン濃度の階乗の絶対値を数値として用いている。

また、下の計算式で解るように pH 値が 1 違うと濃度は 10 倍の差がある。

$$10^{-2} = \frac{1}{10^2} = 0.01$$

$$10^{-7} = \frac{1}{10^7} = 0.0000001$$

$$10^{-13} = \frac{1}{10^{13}} = 0.0000000000001$$



第1図 培地の pH が栄養成分の有効性に及ぼす影響

培地に残存する。逆に、pH 値が5以下となると Fe や Mn の過剰症などが発生しやすくなる。これらのことから培地の pH 値は 5.5～7.0 の範囲で管理することが重要である。

培養液に用いられる多量必須要素を含む4種類の塩 (KNO_3 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) のうち、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ のみ弱アルカリ+強酸の塩であり、その他の塩は強アルカリ+強酸の塩であるため、培養液は通常弱酸性を示す。しかし、栽培日数が経過するにつれて培地中に含まれる培養液の pH は変化していく。これは植物体によるカチオン（陽イオン）とアニオン（陰イオン）の吸収の不均衡のために起こる。多くの場合、植物体が陽イオンを吸収すれば根から H^+ を、陰イオンを吸収すれば OH^- を放出する。したがって、植物が陽イオンを多く吸収すると培地の pH 値は低下し、陰イオンを多く吸収すれば pH 値は

培養液の pH 値は養分の有効性に影響を及ぼす。第1図は培土中の培養液の pH が培養液成分の有効性に及ぼす影響を示したものである。

特に気をつけなければならないのは P の動態で、P は養液中では H_2PO_4^- や HPO_4^{2-} などの形態をとるが、pH 値が低い場合には H_2PO_4^- が大半を占め、pH 値が高い場合には H_2PO_4^- の割合が減少して HPO_4^{2-} が増加する。植物が主として吸収するのは H_2PO_4^- であり、pH 値がおよそ 5.5～7 では 80%以上であるが、pH 値が7以上になると約 30%に減少し P が吸収しにくくなる。また、同時に Ca や Mg と結合して $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ や $(\text{MgNH}_4)\text{PO}_4$ などが沈澱しやすくなり、不溶性の化合物として

上昇する。この傾向が最も顕著に現れるのが植物の窒素の選択吸収による pH の変動である。

養液栽培では窒素源として大部分は硝酸態窒素化合物 (KNO_3) が用いられるが、同時にアンモニア態窒素化合物 ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) も併用したほうが生育や果実収穫量は良好となるとされ、多くの養液栽培用肥料には両者が含まれている。しかし、一般的には硝酸態窒素 (NO_3^-) がアンモニア態窒素 (NH_4^+) より優先的に吸収されるため根から放出される OH^- によって pH は上昇しやすくなる。したがって、培地中の培養液 pH 値が上昇する原因としては硝酸態窒素の過剰吸収によることが多い。また逆に、根付近の高温や酸欠によって根に障害が発生したり腐敗したりすると、酢酸、ギ酸、プロピオン酸などの有機酸が培地に放出されて pH が低下する場合もある。いずれにしても培地中の培養液 pH の測定（現実には排液 pH の測定）は、植物体の生育の診断と予測に欠かせない管理である。

3. 培養液 pH の調整

イチゴの健全な生育の指針となる培地中の培養液 pH が適正範囲を大きく逸脱した場合、給液培養液の pH を補正して、強制的に培地中の培養液 pH を正常値に戻す場合もある。培養液 pH の調整には下降剤としては H_2SO_4 （強酸）、 HNO_3 （強酸）、 H_3PO_4 （弱酸）などの酸を、上昇剤としてはいずれも強アルカリの NaOH 、 KOH などが一般に用いられる。ただし、調整にあたっては加えた酸やアルカリによって一定の pH になるまでに相当の時間がかかること、また、一度にアルカリを多量に加えるとアルカリと反応してカチオンが沈澱するなど、十分な注意が必要である。また、pH の調整に H_2PO_4 や HNO_3 、 KOH を使用する場合、肥料成分である PO_4^{2-} や NO_3^- 、 K^+ を加えることになるので、加えた量を差し引いて処方しなければならない。

以上の調整法は少し難しく、化学の知識が必要とされるため、以下の二つの処方をとる方が安全といえる。

一つは、給液量を増やすと pH は低下し、給液量を減らすと pH は上昇する傾向があることから、これを pH の調節に利用することや、培養液濃度が高いと pH は低下し、培養液濃度が低いと pH が上昇する傾向があることから、培養液の EC 調節によって pH を制御する方法である。もう一つは、肥料メーカーから供給されるアップ剤やダウン剤を処方する方法で、これが最も安全であるかもしれない。いずれにしても、培地中の培養液 pH を矯正する前に、植物体の観察を通してその原因を明らかにすることが極めて重要である。

4. EC 値の利用

EC（電気伝導度、electric conductivity）は培養液中に溶けているすべての塩類の濃度を示す指標として利用されている。無機塩で構成される化成肥料は水に溶かすと陽イオンと陰イオンに電離する。培養液中のイオンの総量が多いほど電気が流れやすいことから、培養液の EC 値が大きいほどイオン濃度は高いことになる。したがって、培養液の濃度管理には一般に EC 値が利用されている。EC 値は電気抵抗（電気の流れにくさ）の逆数（ $1/\Omega$ ）として表され、電気の流れやすさを意味している。養液栽培では多くの場合、mS/cm あるいは $\mu\text{S/cm}$ の単位を使って表記している。

EC 値は培養液中の総イオン量を示すものであることから、EC 値から各イオンの濃度を個別に知ることはできない。たとえば、栽培開始時点とその後時間的な間隔をおいて計測した EC 値が同じであっても、時間経過とともに特定のイオンが植物体に多く吸収され、別のイオンはあまり吸収されずに残っていて、EC 値が同じでも培地中のイオンの組成は大きく変わってしまっているという場合も時としてありうる。したがって、pH 値の計測を合わせて行うことも水素イオンと水酸化物イオンのバランス状態を知る上で必須である。

したがって、養液栽培の現場では、基本的に毎日決まった時間に給液 EC 値と排液 EC 値を計測し、pH 値との相関から、その時点で植物体に吸収されている、あるいは、吸収されていないイオンの成分を推察することが可能である。

5. 培養液濃度

培養液中の個々の成分濃度や全塩類濃度はイチゴに限らず、すべての作物の生育や品質に大きな影響を及ぼす。したがって、培養液の濃度をどのように設定するかを決めることは極めて重要で、イチゴの場合では、発育ステージごとに適正な培養液濃度の管理が必要である。これまでの研究から一季成り性品種での冬春どり栽培における培養液濃度管理方法は提示されているが、これをイチゴの生態や温度と日射条件などの環境要因が異なる四季成り性品種の夏秋どり栽培にそのまま適応させることはできない。また、一季成り性品種よりも複雑な交配から育成されている四季成り性品種では、一季成り性品種よりさらに品種ごとの養液管理が大きく異なる場合が多い。栽培対象とする品種ごとの養液管理が必ず必要となる。

一般的な養液栽培においては、培養液濃度が低すぎると養分が足りずに生育は抑制され、逆に培養液濃度が高すぎると浸透圧が上昇しすぎて養水分の吸収が抑

制されて生育が抑制される。したがって、人工培土を用いた養液栽培の現場では、適正な EC 値よりもやや高めの EC 値の培養液を給液していることが多い。

培養液が給液されて培地に浸透すると、養水分を吸収する根毛付近の EC 値は上がり一時的に養分濃度は濃くなるが、時間とともに徐々に低下していく。給液回数が少なく時間の間隔が長い場合、根毛付近の養分濃度は濃淡を繰り返すことになる。したがって、植物体への円滑な養分吸収を促進するためには、培養液を動かしてイオン粒子が常に根の表面に存在している状態を作り出すことが重要となる。

近年盛んに研究されている「量的管理」の考え方では、こうした問題を解決する方法として、比較的低濃度で給液を短い時間間隔で多数回行うことが好ましいとしている。