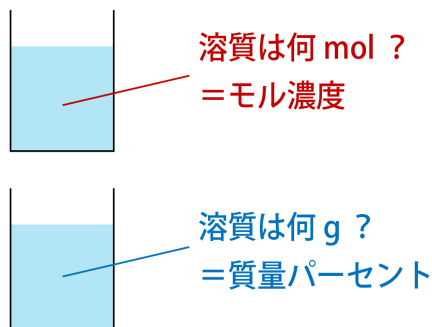


第8回 培養液組成

1. 培養液成分の吸収量の把握

モル濃度と質量パーセントの違いは、質量パーセントは単純に何グラム溶けているかを表すのに対して、モル濃度は分子がいくつ溶けているかを表す。

たとえば、ある物質 A と別の B を同じ条件で比べたい時、二つの物質を同じ重さでそろえても、同じ条件にはならないという場合がある。なぜなら、同じ 1 g の中に物質 A は 1000 個入っているけど、物質 B は 5000 個入っている、というようなことが起こる。つまり、物質は、それぞれ密度が違うということである。たとえ



ば、1 モル (6.02×10^{23} 個) の KNO_3 は水 1L に 101 g 溶けているが、1 モルの NaCl は水 1L に 58.5g 溶けている。

このように、養液管理でも各成分を幾つ（何個）取り込んだかをモル濃度で把握しておくことは重要ではあるが、吸収された各成分のモル濃度を計測することは煩雑で現実的ではない。また、管理の対象として

は、窒素、リン、カリウムの最も重要な成分についての動向を知れば、生育相（栄養成長と生殖成長）や根の活性、光合成能の診断ができるので、実際には利用された質量の計測で植物体の栄養生理状態を診断する。

3 要素の測定には、硝酸態窒素、リン酸、カリウムを現場で簡便に計測できるポケットタイプの濃度計を利用するのが便利である。それぞれの成分について、給液と排液の濃度差からおよその植物体への吸収量がわかる。栽培期間を通じての計測から植物体のビガー（地上部や根の活性）、生育相の推移が把握でき、その時点での養液管理はもちろん、毎年のデータ蓄積から安定した果実生産のための養液管理マニュアルの作成が可能となる。

2. 培養液組成

養液栽培では植物に対して水と養分を培養液として供給する。培養液は、栽培する植物の種類、発育ステージ、栽培する季節によって、また、かけ流し方式か循環方式か、あるいは、水耕か有機質培地での養液栽培か、さらに、有機質培地の利用ならばその種類などによっても培養液組成が若干異なる場合もある。また、対象作

物の違いによって様々な種類の培養液が用いられているが、その組成の違いに実はそれほど大きな差はない。

これまでに試験研究機関において様々な培養液が開発され、さらにそれらを改良して調整したものが製品として市販されている。しかし、その基本となっているのは園試処方と呼ばれるもので、生育段階や作物の種類によって濃度を調節して使用する。園試処方は、もともと作物の栄養生理の研究のために開発されたもので、水耕栽培に始まる。しかし、吸収される無機養分の比率が作物によって多少異なるため、作物ごとの吸収養分組成の違いから、若干の修正を加えて作物ごとに開発されたのが山崎処方である。第 1、2 表は山崎処方によるイチゴ用培養液 1,000L の組成を示したものである。

第 1 表に示す 4 種類の塩類が多量要素化合物として養液栽培用の化成肥料には配合されているが、「pH との EC の管理」でも示したように、 KNO_3 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ が強アルカリ + 強酸の塩で、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ のみ弱アルカリ + 強酸の塩であるため、培養液は通常弱酸性を示す。これは、これらの化合物の陰イオンと陽イオンの極性に由来する。培養液に関係する強アルカリ性の塩基は、水酸化カリウム(KOH)、水酸化ナトリウム(NaOH)、水酸化マグネシウム($\text{Mg}(\text{OH})_2$)、水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) の 4 種類で、これらの塩基からなる化合物は強アルカリ性を示す。一方、塩酸(HCl)、硝酸(HNO_3)、硫酸(H_2SO_4)、リン酸(H_3PO_4) の 4 種類の塩基からなる化合物は強酸性を示す。水に溶けて強アルカリ性を示す化合物なのか、強酸性を示す化合物なのかを知ることとも時として必要となる。

第 1 表 培養液に用いられる多量要素の化合物

硝酸カリウム	KNO_3	300g
硝酸カルシウム	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	240g
硫酸マグネシウム 7 水和物	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	120g
リン酸二水素アンモニウム	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	60g

培養液中でのイオン化

K^+	NO_3^-
Ca^{2+}	NO_3^-
Mg^{2+}	SO_4^{2-}
NH_4^+	H_2PO_4^-

N:5,P:1.5,K:3,Ca:2,Mg:1meq*相当 EC=0.7mS/cm

* ミリグラム当量：培土中の塩基の飽和度を表す単位.

* 水和物：化合物の結晶で分子に水がついたもの.

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ では、 MgSO_4 1 分子に H_2O 7 分子がついている.

第 2 表 培養液に用いられる微量元素の化合物

硫酸第 1 鉄	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	15g
ホウ酸	H_3BO_3	3g
硫酸マンガン	$\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	2g
硫酸亜鉛	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.22g
硫酸銅	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.55g
モリブデン酸ナトリウム	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.11g

培養液中でのイオン化

Fe^{2+}	SO_4^{2-}
H^+	BO_3^{3-}
Mn^{2+}	SO_4^{2-}
Zn^{2+}	SO_4^{2-}
Cu^{2+}	SO_4^{2-}
Na^+	MoO_4^{2-}

Fe:3,B:0.5,Mn:0.5,Zn:0.05,Cu:0.02,Mo:0.01mg/L 相当

培養液の組成は園試処方でも山崎処方でも同じ考え方から開発されていて、各養分間のバランスは類似しており、 $\text{NO}_3\text{-N}=\text{K}+\text{Ca}$ 、 $\text{P}=\text{Mg}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}:\text{P}=3\sim4:1$ の関係にあり、陽イオン（カチオン）と陰イオン（アニオン）のバランスがとられている。培養液の最適 pH は一般に 5.5～6.5 といわれ、この条件は作物の生育に適しているだけでなく、肥料成分の溶解やイオン化に適した条件でもある。培養液栽培の肥料は、総陽イオンと総陰イオンの飽和度を考えて化合物の選択と配合量が調整されている。肥料の作成は手作りでも出来るが、かなり高度な当量の知識が要求され、自作では水に溶けてイオン化した肥料が水溶液 pH を平衡状態にしようとするために、結合し合い不溶性の化合物が析出して養分としての供給が出来ないことが多い。

3. 窒素の動態

植物体に吸収された NO_3^- は NH_4^+ に還元されてから同化されるのに対して、 NH_4^+ は吸収された後そのまま同化される。しかし、培養液中の NH_4^+ 濃度が適正值より高い場合や、 NH_4^+ 吸収速度が同化速度を上回るなどして体内に蓄積すると、Ca の吸収を阻害して Ca 欠乏症を引き起こして葉を白化させるなど、生育や果実の品質を著しく低下させる。

特に、水耕栽培やロックウール栽培では硝酸化成菌濃度が低いので、硝酸化成が起こりにくい。しかも、イオンの吸着物がなく緩衝能も小さいために、 NH_4^+ による生育障害が起こりやすい。そのため、既製の養液栽培用肥料は水耕栽培にも対応できるように NO_3^- が主たる窒素源とする配合となっている。しかし、 NO_3^- 、 NH_4^+ とも

第 3 表 若齢時の野菜の窒素吸収特性

培養液の pH	NH_4^+ を優先吸収	NO_3^- を優先吸収	NH_4^+ と NO_3^- の吸収がほぼ等しい
5	トウモロコシ	エンドウ、インゲン	エダマメ
	レタス、イチゴ	ハウレンソウ	ナス
	セルリー、メロン	スイカ、トマト	
	セリ、キュウリ	ハクサイ、キャベツ	
	ミツバ、シュンギク	コカブ、ピーマン	
7	トウモロコシ	ハウレンソウ	エンドウ
	レタス、イチゴ	ハクサイ	インゲン
	セルリー、メロン	コカブ	スイカ
	セリ、キュウリ		トマト
	ミツバ、シュンギク		キャベツ
	エダマメ、ナス		
	ピーマン		

に長所と短所があり、本来ならば、作物の種類や生育ステージ、環境条件などに合わせた施与が理想的であるといえる。

NO_3^- と NH_4^+ の優先吸収は作物の種類によって異なっていて、第 3 表に示すように分類される。イチゴは培養液の pH に関わりなく NH_4^+ を優先的に吸収する性質を持っている。したがって、イチゴは NH_4^+ の障害を比較的受けにくい植物である。

NO_3^- と NH_4^+ の併用でイチゴの収量が増加することが明らかになっていて、 NO_3^- と NH_4^+ 比が7.5：2.5が最も収量が増加するとされる。

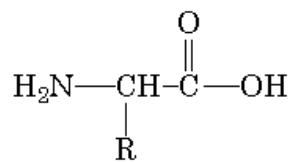
植物体に吸収された NO_3^- は硝酸還元酵素によって NH_4^+ に還元されるが、この酵素活性は光依存性が高く弱光条件下では生育が抑制される。このことから、 NH_4^+ が適量（イチゴでは20%前後）混合された肥料を使用することが望ましい。

4. アミノ酸

植物体内でのタンパク質合成には、光合成で生産された炭水化物と根から吸収した NO_3^- や NH_4^+ の無機態窒素を原料として作り出されるアミノ酸が原料となっている。したがって、アミノ酸が根や葉から直接吸収されれば、植物体内でのアミノ酸合成を省略できるため、無機態窒素の利用に比べて植物の生育に有利であるといわれている。また、低温や日照不足など、天候不順で光合成速度が遅くなっている時に、代謝されやすいアミノ酸が直接吸収されれば成長にそのまま使われ、光合成産物の根への転流分を一部代替することもできる。同時に、根の活性が増加するので、地上部への養分供給量も増大し、地上部の生育が促進すると推察される。このようにアミノ酸の有効性が認められていることから、灌注、葉面散布などさまざまなアミノ酸製剤が製品化されている。

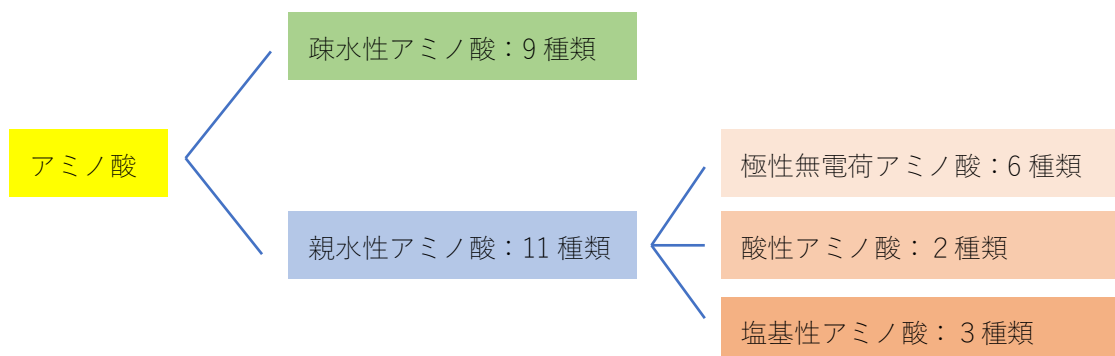
動植物がタンパク質を合成するのに必要なアミノ酸は20種類あり、基本的な分枝構造は第1図に示したとおりで、20種類の違いはR（アミノ酸側鎖）が異なるだけである。20種類のアミノ酸が数十から数万個連なって一つのタンパク質が出来上がっている。

アミノ酸はそれぞれの極性の違いによって第2図のように分類される。



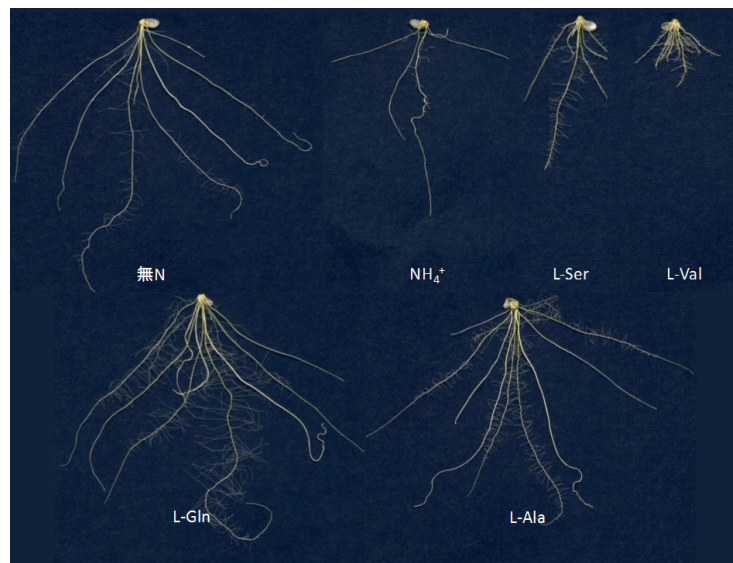
第1図 アミノ酸の分子構造

R：アミノ酸側鎖（20種類）



第2図 アミノ酸の種類

植物体に吸収されるとしたら、このうち電荷をもつ酸性アミノ酸のアスパラギン、グルタミンと、塩基性アミノ酸のアルギニン、ヒスチジン、リジンの5種類である。これまでのアミノ酸の植物体への効果についての研究から、このうちのアスパラギンあるいはグルタミンを培養液中に添加した場合に、植物体の生育を促進することが明らかになっている（第3図）。特に、グルタミンは植物体に吸収された後、分解されずに他のアミノ酸や有機酸へ代謝されるので、施与には最も効果があるアミノ酸であると思われる。また、グルタミンは根で $\text{NO}_3 \rightarrow \text{NH}_4^+$ の無機窒素を代謝する際に、最初に合成されるアミノ酸でもある。



第3図 アミノ酸がイネの根の生育に及ぼす影響

L-Gln:グルタミン、L-Ala:アラニン、L-Ser:セリン、L-Val:バリン

ここまで述べてきたように、根から代謝されやすいアミノ酸が直接吸収されれば、根の成長にそのまま利用されるので、光合成産物の根への転流分を一部代替することもできる。同時に、根の活性が高まるので地上部への養分供給量も増大し、地上部の生育が促進される。無機成分肥料に加えてアミノ酸の施与が、植物体の旺盛な生育と果実品質の向上につながる可能性は高いのではないかと推察できる。