

File No. 57

硝酸態窒素と養液栽培

養液栽培の培養液処方を見ると、微量元素を除き、基本的に硝酸加里、硝酸カルシウム、りん酸一アンモニウム、りん酸一カリウムに硫酸マグネシウムを加える 5 種類の肥料を使うものである。100% 水溶性のものでなければ培養液の原料として使えないことは理解できるが、慣行栽培によく使われている尿素、硫安も完全水溶性のものであるが、なぜ養液栽培に使われていないのか？

その理由は植物根の養分吸収特性にある。通常、根に吸収されるのはイオン状態の養分に限られ、イオン化されていない養分は基本的に直接的に吸収することができない。また、イオン状態の養分に対しても無選別ではなく、選択的に吸収する。

このイオン状態の養分を選択的に取り込む装置がイオンチャネル (ion channel) とイオントランスポーター (ion transporter) の 2 種類に分けられるが、共にタンパク質で構成し、根毛細胞の細胞膜に存在する。

イオンチャネルとは、根の細胞膜にある膜貫通タンパク質の一種で、受動的にイオンを通過させるタンパク質の総称である。イオン種ごとに専用のチャネルがある。多くのイオンチャネルはタンパク質の分子内にゲートと呼ばれる構造があり、これが開くと外部のイオンはタンパク質の細孔（ポア）を通って細胞内に流れ込む。イオンチャネルを介するイオンの移動には代謝エネルギーは必要でない。イオンの移動は受動拡散である。

イオントランスポーターも細胞膜にあるタンパク質の 1 種で、イオン種ごとに専用のトランスポーターがある。イオンを輸送するたびにトランスポーターの基質結合部位の向きを細胞内／外に一回ごとにスイッチ・リセットしながら輸送するとされる。このためトランスポーターの輸送速度 (100~1 万個／秒) はチャネルの輸送速度 (100 万~1 億個／秒) よりも極めて遅くなる。さらにトランスポーターは、チャネルとは異なり、輸送基質としてイオンだけでなく、アミノ酸などの大分子も輸送できる。なお、トランスポーターによるイオンの移動はエネルギーが必要で、代謝エネルギーを消費する能動輸送である。詳細は「化学肥料に関する知識」の「植物根の養分吸収メカニズム」編を参照ください。

窒素肥料は、硝酸イオン (NO_3^-) の形で存在する硝酸態窒素、アンモニアイオン (NH_4^+) の形で存在するアンモニア態窒素、尿素分子 ($(\text{H}_2\text{N})_2\text{C=O}$) の形で存在する尿素態窒素、石灰窒素に含まれているシアナミド ($\text{H}_2\text{N}\cdot\text{CN}$) で存在するシアナミド態窒素と有機肥料中のタンパク質やアミノ酸など有機物と結合している有機態窒素の 5 種類しかない。硝酸態窒素とアンモニア態窒素はイオンで、ほかの 3 種類が分子状態である。根が基本的にイオン状態の養分しか吸収しないため、土壤を使わない養液栽培では分子状態の尿素態窒素、シアナミド態窒素と有機態窒素が利用されない。

硝酸態窒素はイオントランスポーターを介して根に吸収される。吸収された硝酸態窒素は一部が根にアミノ酸やタンパク質に合成される。一部が根細胞内の液胞に保存されるほか、大部分が (NO_3^-) イオンのままで地上部の茎葉に移送され、そこでアミノ酸やタンパ

ク質の合成に供される。硝酸態窒素は毒性がないため、細胞に高濃度存在しても害を引き起こさない。野菜の葉に高濃度の硝酸態窒素が検出されることはしばしば有機食品ビジネス関係者の化学肥料有害性を主張する根拠の一つとなる。

一方、アンモニア態窒素が主にイオンチャネルを通して根に入る。アンモニアは毒性があり、植物細胞内にアンモニアイオンが一定濃度を超えると、害を引き起こす。従って、吸収されたアンモニア態窒素はすぐ根にアミノ酸に合成される。根細胞に NH_4^+ イオンのまま保存するまたは地上部に移送されることがない。

硝酸態窒素とアンモニア態窒素の細胞に対する毒性の違いにより、長く植物進化の結果、水生植物と水稻など一部のイネ科植物を例外にして、ほとんどの陸生植物は硝酸態窒素を喜んで吸収する。

アンモニア態窒素と硝酸態窒素の植物生育効果を比較する水耕栽培実験も多数行われた。ほかの養分が同じで、窒素の種類だけが異なる条件では、植物はアンモニア態窒素より硝酸態窒素を多く吸収し、生育がよく、収量が増える実験結果が多数発表された。特に植物の生育に有利な高温強光の環境に於いて、硝酸態窒素の優勢が一段と鮮明となる。

通常、土壤中のアンモニア態窒素が硝化細菌により酸化され、亜硝酸態窒素を経て、硝酸態窒素となってから根に吸収されるため、尿素やアンモニア系の硫安、塩安も硝酸系肥料に比べ大差なく同じように吸収利用される。一方、土壤微生物のない養液栽培ではアンモニア態窒素と尿素態窒素が硝酸態窒素に変えることがほぼ不可能なので、培養液に硝酸態窒素が主な窒素源である。表 1 は代表的な培養液処方の多量元素の組成と濃度を示す。

表 1. 代表的な培養液処方の多量元素の組成と濃度

培養液処方		養分種類と濃度 (me/L)					
		NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	P	K	Ca	Mg
園芸試験場標準処方		16	1.33	4	8	8	4
千葉農試イチゴ処方		11	1	3	6	5	4
愛知園研バラ処方		13.3	0.5	5.3	6	8	2
大塚化学 A 処方		16.6	1.6	5.1	8.6	8.2	3
池田ホウレンソウ処方		16	4	4	10.3	3	4
山崎処方	トマト	7	0.67	2	4	3	2
	キュウリ	13	1	3	6	7	4
	ナス	10	1	3	7	3	2
	メロン	13	1.3	4	6	7	3
	イチゴ	5	0.5	1.5	3	2	1
	レタス	6	0.5	1.5	4	2	1
	ミツバ	8	0.67	2	4	4	2

註： me/L はイオン濃度の単位、1L 中に 1 ミリグラム等量溶けている濃度

通常、養液栽培では植物は硝酸態窒素のみでも十分な生育が得られるが、培養液に少量のアンモニア態窒素を添加すると生育が促進されることもある。そのメカニズムが不明であるが、アンモニア態窒素の存在により培養液の pH が安定されるほか、アンモニア態窒素がイオンチャンネルを刺激して、その他の陽イオン養分の吸収を促進するのではないかと推測される。ただし、レタスなど葉菜類では栽培開始時に培養液にアンモニア態窒素が入っていると、アンモニアの過剰吸収によって障害が出る場合がある。栽培開始時の培養液（スターター培養液）からはアンモニア態窒素を抜いて、生育が安定してからアンモニア態窒素を入れた方がよいといわれる。

一方、根の選択吸収により硝酸態窒素濃度が低くなったが、アンモニア態窒素濃度が高い培養液をそのまま補充更新せずに使い続ける場合、根が傷み、カルシウムの吸収が阻害され、トマトの尻腐れやレタスのチップバーンを引き起こしやすい。

アンモニアイオンを吸収する際に根から水素イオン (H^+) を放出して、根の周辺の pH を下げ、根圏酸化 (rhizosphere acidification) 現象を引き起こす。硝酸イオンを吸収する場合はこのような現象が見られない。アンモニア態窒素と硝酸態窒素の比率を調整することで培養液の pH をコントロールすることができる。すなわち、培養液の pH が上昇傾向にある場合はアンモニア態窒素を増やして、pH が下降傾向にある場合はアンモニア態窒素を減らすなど微調整を通じて培養液を長く使用するコツがある。

養液栽培の培養液は硝酸系窒素が硝酸加里、硝酸カルシウムから由来し、アンモニア態窒素がりん酸一アンモニウム (MAP) から供給される。ただし、固形培地耕、特に養液土耕の場合は、固形培地に微生物が定着と繁殖しているため、上記の制限がなく、慣行栽培と同じ廉価の尿素や硫安を使用することができる。