

VII 養液栽培における肥料と養液管理

VII 養液栽培における肥料と養液管理

1 培養液の種類

土耕栽培では窒素、リン酸、カリウムの三要素に加えて、カルシウム、マグネシウム等を肥料として施用すればよいが、養液栽培では植物が根から吸収する必須元素（窒素、リン、カリ、カルシウム、マグネシウム、硫黄、ホウ素、鉄、マンガン、亜鉛、モリブデン）を肥料として施用しなければならない。これらの必須元素を溶かしたものが養液栽培の培養液である。

好適な培養液の成分組成は作物の種類によって異なるとともに、品種、栽培時期、生育段階、温度、光条件などによっても変わる。しかし、実際の栽培ではこのような細かい点まででコントロールできないため、同じ組成の培養液を追加しながら使い、生育段階や栽培時期で濃度を調整することが多い。

野菜及び花きの培養液処方表は表1、2のようなものがある（主要成分のみの表示で微量元素は省略してある）。

表1 培養液処方例（野菜試験場研究資料21号より、一部改）

処方例	成分濃度 (me/L)					生育調整段階		対象作物	備考
	N	P	K	Ca	Mg	前期	後期		
園芸試験場 処方	16	4	8	8	4	—	—	各種	生育段階により、濃度を調節
山崎処方	7	2	4	3	2	100	100	トマト	冬季は120～140%
	10	3	7	3	2	100	100	ナス	同上
	9	2.5	6	3	1.5	100	100	ピーマン	同上
	13	3	6	7	4	100	100	キュウリ	冬季は後期も100%
	13	4	6	7	3	100	100	メロン	冬季は120～140%、露地メロン品種は70～80%
	5	1.5	3	2	1	100	100*	イチゴ	*開花期以降
	6	1.5	4	2	1	100	100	レタス	
	8	2	4	4	2	100	100	ミツバ	NH ₄ -N1.7、SO ₄ -S 2me/L、EC1.6dS/m
	11	4	8	4	4	100	100	シュンギク	EC2.0dS/m、夏季70%
	11	4	8	4	4	100	100	ホウレンソウ	
	9	6	7	2	2	100	100	メネギ	夏季は25～100%、冬季は40～130%
	4.5	3	3.5	1	1	100	100	クレソン	
	14	1.5	5	2	—	100	100*	コカブ	*根茎2cm以上

（注）注記のない限り、NはNO₃-N、PはPO₄-P

表2 民間企業における培養液処方例（野菜試験場研究資料第21号より、一部改）

メーカー及び処方名	成分濃度 (me/L)					備 考
	N	P	K	Ca	Mg	
大塚化学 大塚A 処方	18.5	5.1	7.6	8.2	3.7	養液栽培一般
〃 大塚B 処方	16.4	3.9	8	7.8	4	
片倉チッカリン ロックメイトA 処方	12.7	3	4.2	5.9	1.9	バラロックウール 栽培用
片倉チッカリン ロックメイトTB 処方	15.1	3.9	8	6.8	3.5	トマトロックウール 栽培用
グローダン Normal	10.7	3.4	5.9	6	2.5	ロックウール栽培 用（欧州）
〃 Strong	7.9	3.4	9.7	9	3.3	
〃 Extra	20	3.4	11.5	10	3.3	

* 詳細な処方については公開していない企業が多い。

これらの培養液処方は、①正常な生育をした作物体の分析、②養液栽培で養水分吸収の細かい追跡、③各イオンの組成・濃度を変化させた栽培、などの結果に基づき最適な組成・濃度が決められている。表1のうち、園芸試験場標準は昭和36年に農林省園芸試験場の山崎肯哉氏と堀裕氏がれき耕用に開発したもので、「均衡培養液」あるいは「園試処方」と称されている。キュウリを中心にした果菜類の養分吸収比から決められたが、多くの作物に適用できるので組成及び濃度を調整して広く利用されている。

園試処方では、pHやECの変動が大きくなる場合があるので、水耕栽培用に山崎氏が作物毎に開発したものが山崎処方である。各種作物が、一定期間に吸収した肥料（n）と水分（W）を調べ、みかけの吸収成分組成・濃度（n/W）を測定して組成を決定した。この処方は、培養液組成・濃度とほぼ作物の吸収成分組成濃度が同等なので、常に同じ培養液を補給しておけば、EC、pHは比較的安定する。

2 培養液に使う肥料と培養液の作り方

培養液作成用市販肥料の多くは複数の肥料塩が含まれ、おおむね2種類の肥料を組み合わせる。一方、養液栽培に使う肥料塩には表3があり、これらを組み合わせ、表1の各処方や、原水の性質に応じた処方、あるいは独自に工夫した処方が可能になる。表4に各種の培養液処方を配合する場合の肥料塩の種類と量を示した。

表3 水耕栽培で用いられる肥料塩の性質（野菜試験場研究資料第21号より）

化 学 式	化学名 通 称	分子量	植物に吸収される 養分	水に溶 ける率	価 格	備 考
多量元素						
*KNO ₃	硝酸カリウム 硝石	101.1	K ⁺ 、NO ₃ ⁻	1 : 4	低	溶けやすい。純度が高い。
*Ca(NO ₃) ₂	硝酸カルシウム (無水塩)	164.1	Ca ²⁺ 、2 (NO ₃) ⁻	1 : 1	低～中	よく溶ける。潮解性が強い。粒状にしてプラスチック・コートした製品では、溶かしてから浮きかすを除く。
*Ca(NO ₃) ₂ ・4H ₂ O	硝酸カルシウム (結晶)	236.1				
NaNO ₃	硝酸ナトリウム、 チリ硝石	85.0	NO ₃ ⁻			窒素欠乏の対策として、培養液に食塩が含まれていない場合にのみ使う。
(NH ₂) ₂ CO	尿素	60.1				
NH ₄ NO ₃	硝酸アンモニウム、 硝安	80.1	NH ₄ ⁺ 、NO ₃ ⁻	1 : 1		これらは、光線の十分ある場合、窒素欠乏の対策としてのみ使う。
(NH ₄) ₂ SO ₄	硫酸アンモニウム、 硫安	132.2	2 (NH ₄) ⁺ 、SO ₄ ²⁻	1 : 2		
NH ₄ Cl	塩化アンモニウム、 塩安	53.5	NH ₄ ⁺ 、Cl ⁻			
NH ₄ H ₂ PO ₄	リン酸一アンモニウム、 リン安	115.0	NH ₄ ⁺ 、H ₂ PO ₄ ⁻	1 : 4		
H ₃ PO ₄	リン酸	98.0	H ₂ PO ₄ ⁻			
KH ₂ PO ₄	リン酸一カリウム	136.1	K ⁺ 、H ₂ PO ₄ ⁻	1 : 3	高	溶け易く、純度が高いけれども、非常に高価である。
KCl	塩化カリウム、 塩加	74.6	K ⁺ 、Cl ⁻	1 : 3		カリウム欠乏の対策として、培養液に食塩が含まれていない場合にのみ使う。
*K ₂ SO ₄	硫酸カリウム、 硫加	174.3	2K ⁺ 、SO ₄ ²⁻	1 : 15	低	溶け難い。熱湯で溶かす。
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ・H ₂ O	リン酸一カルシウム	252.1	Ca ²⁺ 、2 (H ₂ PO ₃) ⁻	1 : 60		
CaCl ₂ ・6H ₂ O	塩化カルシウム	219.1	Ca ²⁺ 、2Cl ⁻	1 : 1	高	溶けやすい。カルシウム不足の対策として使うと良い。培養液に食塩が含まれていない場合にのみ使う。
*MgSO ₄ ・7H ₂ O	硫酸マグネシウム	246.5	Mg ²⁺ 、SO ₄ ²⁻	1 : 2	低	溶け易く、純度が高い。
微量元素						
FeSO ₄ ・7H ₂ O	硫酸第一鉄	278.0	Fe ²⁺ 、SO ₄ ²⁻	1 : 4		
FeCl ₃ ・6H ₂ O	塩化第二鉄	270.3	Fe ³⁺ 、3Cl ⁻	1 : 2		

注) *溶解度が高く、培養液に使うべきもの。
水に溶ける率は肥料塩：水

(表 3 の続き)

化 学 式	化学名 通 称	分子量	植物に吸収される 養分	水に溶 ける率	価 格	備 考
*Fe-EDTA	キレート鉄	382.1	Fe ²⁺	溶解度 高い	高	鉄を10.5%含有し、 鉄源として最良であ る。 ホウ素源として最良で ある。熱湯に溶かす。
*H ₃ BO ₃	ホウ酸	61.8	B ³⁺	1:20	高	
Na ₂ B ₄ O ₇ ・10H ₂ O	ホウ酸ナトリ ウム、ホウ砂	381.4	B ³⁺	1:25		
*MnSO ₄ ・4H ₂ O	硫酸マンガン	223.1	Mn ²⁺ 、SO ₄ ²⁺	1:2	低	
MnCl ₂ ・4H ₂ O	塩化マンガン	197.9	Mn ²⁺ 、2Cl ⁻	1:2	低	
*Mn-EDTA	キレート・マ ンガン	381.2	Mn ²⁺	溶解度 高い	高	
*ZnSO ₄ ・7H ₂ O	硫酸亜鉛	287.6	Zn ²⁺ 、SO ₄ ²⁻	1:3	低	
ZnCl ₂	塩化亜鉛	136.3	Zn ²⁺ 、2Cl ⁻	1:1.5	低	
*Zn-EDTA	キレート亜鉛	431.6	Zn ²⁺	溶解度 高い	高	
*CuSO ₄ ・5H ₂ O	硫酸銅	249.7	Cu ²⁺ 、SO ₄ ²⁻	1:5	低	
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ・4 H ₂ O	モリブデン酸 アンモン	1235.9	NH ₄ ⁺ 、Mo ⁶⁺	1:23	中～高	
NaMoO ₄ ・2H ₂ O	モリブデン酸 ナトリウム	242.0	Mo ⁶⁺			

注) *溶解度が高く、培養液に使うべきもの。
水に溶ける率は肥料塩：水

表 4 単肥配合による培養液の作成事例 (g/1000L)

培養液処方		KNO ₃	Ca (NO ₃) ₂ ・4H ₂ O	MgSO ₄ ・7H ₂ O	NH ₄ H ₂ PO ₄
園試処方		808	944	492	152
山崎処方	トマト	404	354	246	76
〃	ナス	707	354	246	114
〃	ピーマン	606	354	185	95
〃	キュウ	606	826	492	114
〃	メロン	606	826	369	152
〃	レタス	404	236	123	57

なお、培養液の調整の際は、肥料濃度が高いままで混用すると化学反応を起こして沈殿が生じ、肥料養分が不溶性になってしまうので、注意する。特に、CaSO₄、CaとPO₄は沈殿が生じやすい。

また、標準濃度より下げて使用する場合には、微量要素は標準濃度分だけ入れなければならない。多量要素に微量要素を添加した肥料を使う場合で標準濃度より下げて使う時には微量要素が不足するので、必ず別の微量要素肥料で補う必要がある。微量要素の処方例は表 5 に示すとおりである。

表5 微量要素組成例

処方例	成分濃度 (ppm)						備考
	Mn	B	Fe	Cu	Zn	Mo	
園試処方	0.50	0.50	3.00	0.020	0.050	0.010	
大塚ハウス5号 (粉体)	0.77	0.32	2.85	0.020	0.040	0.020	水1tに50g入れた場合
愛知園研、バラ処方	0.50	0.25	2.00	0.050	0.200	0.050	RWかけ流し方式

3 培養液の管理

培養液の組成濃度と作物の吸収成分組成濃度 (n/W) が一致していれば、培養液濃度は変化しないが、作物の n/W は生育状況、生育ステージ、品種、環境条件等で変化するため、栽培中に培養液の調整を行う。

培養液管理は、EC を指標にして濃度調整を行い、pH も 5.0～7.0 くらいの範囲で酸、アルカリを使って調整する。

pH の変化は、①作物の吸収と培養液の組成がずれているために、陽イオンと陰イオンのバランスが崩れたり、②根から排出される根酸や根の腐敗による有機酸によって下がったり、③原水の pH に影響されたり、④培地の化学性により変化したり、種々の原因がある。そのため、原因によって対応が異なる。

また、酸、アルカリで矯正する場合も、一度に 1.0 程度の大きな変化は根に影響するので、徐々に行う必要がある。

なお、原水中に重炭酸イオン (HCO_3^-) が多いと pH 緩衝能が高く、pH は下がりにくいので、硝酸やリン酸で中和して 20～50ppm 程度まで下げておくといい。逆に pH の変化が大きいときは重炭酸カリなどを添加して、重炭酸濃度を高めると pH が安定する。

4 原水の水質

養液栽培に用いる原水の水質は重要である。多量要素は、原水中にある程度含まれていても、単肥を用いて培養液組成を調整することにより栽培は可能なことが多い。しかし、微量要素は低濃度であっても過剰障害が発生するため、ある程度以上の濃度で含有している場合、原水として使えないことが多い。水質基準については必ずしも統一されていないが、表 6、7 はその事例である。

表6 全農の水質基準

水質基準	EC	・・・0.3mS/cm以下であること
	pH	・・・5～8の範囲に入ること
	N ($\text{NO}_3\text{-N}$ ・ $\text{NH}_4\text{-N}$)	含まないこと
	Ca	40ppm以下であること
	Na	20ppm //
	Cl	60ppm //

表7 ナールドワイク（オランダ）温室作物試験場の水質基準

	基準 1	基準 2
Cl	<50 ppm	50～100ppm
Na	<30 ppm	30～60ppm
HCO ₃	<40 ppm	<40 ppm
Fe	<1.0ppm	<1.0ppm
Mn	<0.5ppm	<1.0ppm
B	<0.3ppm	<0.7ppm
Zn	<0.5ppm	<1.0ppm
EC	<1.5mS/cm	

(注) 基準1は栽培期間中にほとんど問題を生じない用水。
基準2は栽培に適しているが、微量元素などがロックウールスラブ内に集積するため、ロックウールを再利用する場合には洗浄が必要な用水。

5 排水処理

養液栽培では、培養液の排水の量や排水中の肥料分を削減することが求められている。排水処理は、処理設備の管理を生産者が行うことを前提にすれば、処理コストの少ないこと、維持管理負担が軽いことが必要条件となる。現在、実用化された硝酸性窒素除去方式は表8のとおりである。いずれの方式でも自然流下でなければ揚水のための電力が必要となる。

表8 硝酸性窒素除去方式

(第18回土・水研究会資料[農業環境技術研究所]、増島)

分類	処理技術	原理	特徴	問題点
生物的 処 理	従属栄養脱窒	有機物を電子供与体として脱窒菌により硝酸性窒素を還元除去	低ランニングコスト 電子供与体の種類豊富 土地利用に組み込むことも可能	処理効率は水温に依存 冬季は加温が必要 残存有機物や汚泥の処理
	独立栄養脱窒	主に硫黄を電子供与体として硫黄酸化菌により硝酸性窒素を還元除去	低ランニングコスト 維持管理労力が少ない 電子供与体は安価なS チオ硫酸溶液も使用可	処理効率は水温に依存 冬季は加温が必要 硫酸が生成する→処理水中和の必要性
物 理 化学的 処 理	イオン交換	陰イオン交換樹脂による吸着	設備費高い 維持管理は容易 副生産物なし 反応速度早い	イオン交換樹脂の再生に多量のNaCl必要 高濃度排水の処理必要
	逆 浸 透	逆浸透膜による硝酸イオンの濃縮	設備費・維持費高い 維持管理は容易	他の塩類も除去される 高濃度排水の処理必要
	電 気 透 析	電気透析膜による硝酸イオンの濃縮	副生産物なし 薬剤使用量少ない	

養液栽培排液は集中した排出口から排出されるので、今後は「排水基準」が適用されるケースも考えられることから、高度処理的方式が導入しやすい。周辺の環境により次の(1)、(2)のいずれかの方法によって脱窒処理する。

- (1) 排液を水田または脱窒用還元ゾーンに導水して脱窒させる。
- (2) 排液を水処理施設によって処理する。コストや維持管理面からは排水の物理・化学的処理方式は適用困難であり、硫黄酸化菌を利用した脱窒システムの導入が可能と考えられる。脱窒プロセスの環境影響として N_2O (亜酸化窒素) の発生が問題にされることが多いが、解明はまだ十分なされていない。完全に脱窒反応が進み、処理水に NO_2-N が検出されない状態であれば、 N_2O の発生は無視できるといわれている。

