

## 13 養液栽培の培養液管理

養液栽培は土を使わず固型の培地や水中に根を張らせ、生育に必要な肥料分を溶かした培養液を供給する栽培法である。培地の種類や培養液や酸素の供給方法などによって湛液型水耕・ロックウール耕・ヤシ殻耕などに分類される。培養液の供給方法には、「循環方式」と「かけ流し方式」がある。循環方式は、培養液を循環させるため作物の吸収により培養液組成が変化するので、時々分析値をみて成分調整をする必要がある。一方、かけ流し方式では、給液の濃度や量によって培地内培養液濃度が変化するため、時々、給液濃度とともに排液や培地内培養液濃度の分析を行い、作物の生育に適した値になっているよう確認が必要である。

なお、養液栽培を新たに始める際には使用する原水の分析を行わなければならない。EC、pH、重碳酸濃度の測定は必須であり、これらの値によっては養液栽培の導入を避けた方がよいときもある。

### (1) 養液作成の考え方

培養液の組成は、汎用的な園試処方や、作物別の山崎処方が作成されている。これらの処方では、各養分間のバランスは類似しており、meqで見ると $\text{NO}_3\text{-N}=\text{K}+\text{Ca}$ 、 $\text{P}=\text{Mg}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}:\text{P}=3\sim 4:1$ の関係がみられ、陽イオン(アニオン)と陰イオン(カチオン)のバランスがとられている。 $\text{NO}_3\text{-N}=\text{K}+\text{Ca}$ のKとCaの比については、野菜の種類によって異なり、キュウリ、メロン、スイカ等の好Ca野菜と、他の好K野菜に分かれる。

培養液の最適pHは5.5～6.5であり、この条件は作物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ある。培養液のpHが低いと、Ca、Mg、Kの沈殿が多くなるため欠乏症を生じ、逆に高いとFe、Mn、Pの欠乏症が発生する。このため、培養液のpHを定期的に測定し、不相当であれば酸やアルカリで調節する。一般的に、培養液の量が多く供給されている場合には、養分の変動は起こりにくい。

培養液の温度は、養分吸収や溶存酸素の量に影響する。適温は15～20℃であり、液温が低いと根の活性が低下し、P、N、Kの吸収は抑制される。逆に、液温が高いと根の呼吸が盛んになるにもかかわらず、養液中の溶存酸素が減少し、根腐れを起こす。さらに、Caの吸収が抑制され、トマトでは尻腐れを起こす。

なお、培養液の作成時に必要な肥料の量を計算をするソフトが発表されているので利用すると便利である。

(参考) 単肥配合プログラム「ベストブレンド」(日本養液栽培研究会)

<http://www.w-works.jp/youeki/yakudachi.html>

表13-1 培養液の処方例

作物名等	$\text{NO}_3\text{-N}$	P	K	Ca	Mg	EC (mS/cm)
園試処方	16	4	8	8	4	2.4
キュウリ	13	3	6	7	4	2.0
メロン	13	4	6	7	3	2.0
スイカ	13	1.5	6	7	1.5	1.6
トマト	7	2	4	3	2	1.1
ピーマン	9	2.5	6	3	2	1.3
ナス	10	3	7	3	2	1.5
イチゴ	5	1.5	3	2	1	0.7
レタス	6	1.5	4	2	1	0.8
ハウレンソウ	7	2	3	4	2	1.1
ミツバ	9	5	7	2	2	1.6

(単位はmeq/L, 山崎処方他)

(2) 培養液の作り方の例

培養液中の養分の単位は、多量要素はミリ当量で、微量元素はmg/Lで表示する。当量とは水素(H) 1gと化合する分子量であり、分子量を原子価で除した値である。ミリ当量はその1/1000の値であり、me(mi-liequivalent)で表示する。mg/Lは1Lに含まれる物質のmg数であり、ppmと同じ値である。

トマト用、イチゴ用の培養液の処方例について、表13-5、表13-6に示す。

表13-2 原子量, 原子価, ミリ当量(me)の関係

項 目	Ca	Mg	K	N	P	S
原 子 量 [A]	40.1	24.3	39.1	14.0	31.0	32.1
原 子 価 [B]	2	2	1	1	3	2
1me(mg) [A/B]	20	12	39	14	10	16

表13-3 培養液に用いられる主な多量要素

肥料塩	分子式	分子量	当重量	成分含量 (肥料塩 1 me 当たり)			水への溶解性 (g/L)
				(me)	(mg)	(%)	
硝酸カリウム	KNO <sub>3</sub>	101	101	NO <sub>3</sub> -N:1, K:1	N:14, K:39	N:14, K:39	378 (25°C)
硝酸カルシウム	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	236	118	NO <sub>3</sub> -N:1, Ca:1	N:14, Ca:20	N:12, Ca:17	1, 376 (25°C)
硝酸アンモニウム	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	80	80	NO <sub>3</sub> -N:1, NH <sub>4</sub> -N:1	N:25	N:35	2, 134 (25°C)
硝酸マグネシウム	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	256	128	NO <sub>3</sub> -N:1, Mg:1	N:14, Mg:12	N:5, Mg:9	725 (25°C)
硫酸アンモニウム	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · SO <sub>4</sub>	132	66	NH <sub>4</sub> -N:1, S:1	N:14, S:16	N:21, S:24	750 (20°C)
塩化アンモニウム	NH <sub>4</sub> Cl	53	53	NH <sub>4</sub> -N:1, Cl:1	N:14, Cl:16	N:26, Cl:66	372 (20°C)
尿素	(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	60	30	N:1	N:14	N:47	519 (20°C)
硫酸カリウム	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	174	87	K:1, S:1	K:39, S:16	K:45, S:18	120 (25°C)
硫酸マグネシウム	MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	246	126	Mg:1, S:1	Mg:12, S:16	Mg:10, S:13	355 (20°C)
リン酸二水素カリウム	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136	45	K:0.3, P:1	K:13, P:10.3	K:29, P:22	250 (20°C)
リン酸二水素アンモニウム	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	115	38	NH <sub>4</sub> -N:0.3, P:1	N:4.6, P:10.3	N:12, P:27	230 (0°C)
塩化カリウム	KCl	75	75	K:1, Cl:1	K:39, Cl:35	K:52, Cl:48	358 (25°C)
塩化カルシウム	CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	147	74	Ca:1, Cl:1	Ca:20, Cl:35	Ca:27, Cl:48	750 (20°C)

含有率: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=P×2.295, K<sub>2</sub>O=K×1.205, CaO=Ca×1.399, MgO×1.658, SO<sub>3</sub>=S×2.995

表13-4 培養液に用いられる主な微量元素

肥料塩	分子式	分子量	成分含量 (%)	水への溶解性 (g/L)
キレート鉄(Fe-EDTA)	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O <sub>8</sub> NaFe·3H <sub>2</sub> O	421	Fe:13.3	300以上 (20°C)
硫酸銅	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	250	Cu:26.2	207 (20°C)
硫酸亜鉛	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	288	Zn:22.7	470 (10°C)
硫酸マンガン	MnSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	241	Mn:22.8	645 (20°C)
塩化マンガン	MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	198	Mn:27.7	739 (20°C)
ホウ酸	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	62	B:17.4	50 (20°C)
ホウ砂	NaB <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	381	B:11.4	
モリブデン酸ナトリウム	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	242	Mo:39.6	
モリブデン酸アンモニウム	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub>	1163	Mo:57.7	439 (25°C)

表13-5 トマト用培養液(山崎処方)の作り方(1,000L当たり)

多量要素			微量要素		
硝酸カリ	KNO <sub>3</sub>	400g	硫酸第1鉄	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	15g
硝酸石灰	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	360g	ほう酸	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	3g
硫酸苦土	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	250g	硫酸マンガン	MnSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	2g
第1燐安	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	80g	硫酸亜鉛	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.22g
N:7, P:2, K:4, Ca:3, Mg:2me相当			硫酸銅	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.05g
EC=1.2mS/cm			モリブデン酸ナトリウム	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.01g
			Fe:3, B:0.5, Mn:0.5, Zn:0.05, Cu:0.02, Mo:0.01mg/L相当		

表13-6 イチゴ用培養液(山崎処方)の作り方(1,000L当たり)

多量要素			微量要素		
硝酸カリ	KNO <sub>3</sub>	300g	硫酸第1鉄	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	15g
硝酸石灰	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	240g	ほう酸	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	3g
硫酸苦土	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	120g	硫酸マンガン	MnSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	2g
第1燐安	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	60g	硫酸亜鉛	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.22g
N:5, P:1.5, K:3, Ca:2, Mg:1me相当			硫酸銅	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.05g
EC=0.7mS/cm			モリブデン酸ナトリウム	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.01g
			Fe:3, B:0.5, Mn:0.5, Zn:0.05, Cu:0.02, Mo:0.01mg/L相当		

### (3) ロックウール栽培の施肥

ロックウールは、一般的には、輝緑岩や玄武岩などの岩石を1,500℃の高温で溶解し、繊維化したものであるが、日本では製鉄スラグを原料としている。数ミクロンの繊維(ケイ酸カルシウム)がからみ合った構造をしているため、空げき率は95%を越す。また、この繊維の間は毛細管であり、容水量は容積の90%を越す。また、軽量で材質が均質であり、数年作は繰り返し使用ができ、形が自由に成型できるためキュービックポットとして利用できる等の特徴がある。

「かけ流し方式」では、基準濃度の培養液を一定の間隔で供給する。給液量が少なすぎると生育むらが生じるため、培地内の培養液を更新する意味も含め、給液量の2割から3割程度が排液となるように管理する。

ロックウール栽培における培養液の処方例について、表13-7に示す。

表13-7 バラにおけるロックウール栽培の培養液の処方例

項 目	給液濃度 適正範囲	根圏溶液濃度				
		愛知	オランダ	許容範囲		
要素 単位	愛知	オランダ	愛知	オランダ	愛知	
EC	mS/cm	1.5	1.6	2.0~2.5	2.2	1.5~2.8
NO <sub>3</sub> -N	meq/L	11.0	11.0	12.0	12.5	7.0~14.0
NH <sub>4</sub> -N	〃	2.0	1.25	<0.5	<0.5	0~0.5
P	〃	3.5	1.25	3.0	0.9	2.5~4.0
K	〃	4.5	5.0	4.0	6.0	3.5~6.0
Ca	〃	6.5	3.5	10.0	5.0	8.0~12.0
Mg	〃	2.0	0.75	4.0	2.0	3.0~6.0
S	〃	2.0	1.25	4.0	3.0	3.0 6.0
Fe	mg/L	2.0	1.4	—	1.4	—
Mn	〃	0.5	0.3	—	0.1	—
B	〃	0.2	0.2	—	0.2	—
Zn	〃	0.2	0.2	—	0.2	—
Cu	〃	0.25	0.05	—	0.6	—
Mo	〃	0.05	0.05	—	—	—
Na	meq/L	—	—	<1.0	—	0~2
Cl	〃	—	—	<1.0	—	0~3

#### (4) 培養液管理

ロックウール耕における管理の要点を以下に示すが、養液の管理はその他の方式でも基本的には同じと考えてよい。

##### ア 濃度

培養液の濃度は、それぞれの作物の養分吸収パターンにより調整するが、例えば、トマトでは、夏期は低めに、冬期は高めに管理する。7月まきの促成栽培では、ECの値を生育初期で0.8mS/cm、開花肥大期で1.2~1.8mS/cm、収穫期で1.6~2.2mS/cm程度にするとよい。

花き類においても、養分吸収パターンに応じて調整するのは同様であるが、切り花の品質やボリュームとの関連から、特に窒素の過剰施用を避ける。

##### イ pH

多くの作物では、5.5~6.5の範囲で管理する。特に、循環式では養分の吸収によって変化するので、時々チェックする。pHを下げるためには、硫酸やりん酸、硝酸などを使用し、また、上げるためには水酸化ナトリウムや水酸化カリウムを使用する。

##### ウ 窒素形態

窒素は、主に硝酸イオンとアンモニウムイオンの形で供給されるが、作物によって、硝酸態を好むものとアンモニア態を好むものがあるので、作物によって比率を変えるのが望ましい。また、培養液のpHは、硝酸イオンが優先的に吸収されると上昇し、アンモニウムイオンが優先的に吸収されると下降するので、循環式ではこの点にも注意する。