

養液栽培の計算方法

鐘山グリーンテック株式会社

鐘鈴峰 (Sho Suzumine)

〒596-0048 大阪府岸和田市上野町西 25-28

Tel : 0724-36-8830 Fax : 0724-36-8831

E-mail : info@kaneyama.co.jp

1. 養液配合と単肥

養液のみで作物を栽培する試みは 100 年以上前よりなされ、日本に於いては 1946 年アメリカ進駐軍の水耕農場が最初であるといわれている。養液栽培の経済性が高まるにつれて、各業者は養液栽培に適する品種及び加温グリーンハウス施設の開発等に力を入れると同時に各種の養液配合肥料を作って販売を行い、養液栽培事業を推進して来る。各作物に適する養液配合肥料の販売によって一般の農家でも簡単に養液栽培ができるようになる。養液配合肥料は養液栽培の発展に大きな役割を果たしていることが疑う余地もない。

しかし、今日では日本のデフレの局面に会い、農産物の価格も同様な傾向が見られます。従来の液栽培方法を行うと、高肥料コストの為に高い収益はまず期待できません。特に養液栽培は肥料の使用量が非常に多いので、肥料のコスト削減が大きな増収要因になります。また、作物栽培は天候と環境に大きく影響されるので、より高品質な生産物を作るには場合によって各種成分を変更する必要があります。しかし、配合肥料を使用すると、容易に各種養分の濃度を変えることができないのは配合品の欠点です。幸い、各種の高純度な工業級化学肥料の市販によりこれを少し勉強すれば、各種単肥を使って容易に養液栽培ができます。今まで、養液単費の使用が多く農家を困らせたのは単肥の計算方法だと思います。確かに多量元素も微量元素も自分の手で計算すると、非常に煩雑な仕事になりますので、多くの生産者が躊躇するかもしれません。しかし、よく考えてみると、窒素、リン酸、加里、カルシウム及びマグネシウム 5 種類の多量元素が肥料使用量の 90%以上を示しているので、微量元素を配合品にすれば、単肥計算がより簡単になります。

2. 各種作物の基本培養液

昭和 35 年に農林省園芸試験場において山崎肯哉氏や堀裕氏によって行われたれき耕実用化試験から均衡培養液（園試処方）を発表しました。その後改良が重ねられ、第 1 表のように、作物別の処方が発表されるに及んで各社メーカーの養液栽培肥料製造の指針となりました。

第 1 表 野菜の培養液処方例 (野菜試験場研究資料 21 号)

処方例	成分濃度 (me/l)					生育段階調整		対象作物	備考
	N	P	K	Ca	Mg	前期	後期		
園芸試験場標準	16	4	8	8	4	...	...	各種	生育段階により濃度を調節する
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%	70%	キュウリ	冬季は後期 100%
	13	4	6	7	3	100%	100%	メロン	冬季は 120-140%
	5	1.5	3	2	1	100%	150%	イチゴ	開花期以後 150%
	6	1.5	4	2	1	100%	100%	レタス	
	8	2	4	4	2	100%	100%	ミツバ	冬季は 40-130%
	12	4	8	4	4	100%	100%	シュンギク	
	12	4	8	4	4	100%	100%	ホレンソウ	
	9	6	7	2	2	100%	100%	メネズ	冬季は 40-130%
	4.5	3	3.5	1	1	100%	100%	クレソン	
14	2	10	4	2	50%	100%	コガ	根茎 2cm 以上 100	
神名川園試処方	10	4	6	10	4	...	...	トマト	
千葉農試処方	12*	6	6	2	2	...	...	ネギ	*A-N 4me/l 含む

2. 園試処方について

大塚化学他各メーカーの凡用銘柄は二つの処方を基準として造られています（第2表）

第2表 園試処方均衡培養液の処方 (g/t)、(堀 1966 年より一部変更)

商品名	化学式	分子量	使用量
多量元素			
硝酸カルシウム	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	236	950
硝酸加里	KNO_3	101	810
硫酸マグネシウム	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246	500
磷酸一アンモニウム	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	115	155
微量元素			
キレート鉄	NaFe-EDTA		15~25
ホウ酸	H_3BO_3		3
硫酸マンガン	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$		2
硫酸亜鉛	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$		0.22
硫酸銅	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$		0.05
モリブデン酸ナトリウム	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		0.02

第3表 園試処方培養液 (堀・山崎) 計算表

原料			成分表						
品名	量 g/t	成分含量%	N	P	K	Ca	Mg		
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	950	N-11.0 Ca-23.0	104.5			218.5			
KNO_3	810	N-13.0 K-46.0	105.3		372.6				
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	500	Mg-16.0						80.0	
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	155	N-11.0 P-61	17.1	94.6					
小計			226.9	94.6	372.6	218.5	80.0		
多量元素/me/l			16.2	4.0	7.9	7.8	4.0		
			Fe	B	Mn	Ze	Cu	Mo	
NaFe-EDTA	15	Fe-13.0	1.95						
H_3BO_3	3	B-55.0		1.65					
$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2	Mn-40.0			0.80				
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.22	Zn-22.0				0.05			
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.02	Cu-25.0					0.01		
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.05	Mo-39.0						0.008	
微量元素 ppm			1.95	1.65	0.80	0.05	0.01	0.008	

P=P₂O₅, K=K₂O, Ca=CaO, Mg=MgO, B=B₂O₃, Mn=MnO

3. 微量元素について

微量元素の必要量は少なく、培養液中の濃度は非常に低いです。微量元素に関しては、多量元素の場合のように全イオン濃度やイオン間の比等との関係を重視することは少ないです。主として個々のイオンの、欠乏症状を起こさない下限濃度と、過剰症状を起こさない上限濃度から、好適濃度範囲が決められます。

微量元素の好適濃度は、作物の種類、多量元素の濃度によっても異なります。またホウ素に見られるように、同じ濃度で欠乏症状を起こす場合も、過剰症状を起こす場合もあり、好適濃度の範囲は比較的狭いです。

Hewitt 氏 (1966 年) は、多くの植物に用いることのできる濃度範囲 ppm として下記の通りと結論しています。

微量元素	濃度範囲 ppm
Fe	0.5---5.6
Cl	0.5---3.5
B	0.5---1.0
Mn	0.25---0.5
Zn	0.25---0.5
Cu	0.02---0.05
Mo	0.01---0.1

代表処方 of 微量元素組成例を下記の第 4 表に記します。前にも述べたように微量元素の使用量が非常に少ないので、市販の微量元素配合品の使用を推奨したいです。これらの配合品を微調整すれば、殆どの作物栽培に対応できると思います。しかし、微量元素ですので、特に鉄、マンガン、銅等について、沈殿しにくいキレート類の使用をお奨めしたいです。

第 4 表 微量元素の組成例

処方名	成分濃度 (ppm)						備考
	Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo	
園試処方	3.00	0.50	0.50	0.050	0.020	0.010	
テンカン 1 号 (粉末)	3.00	0.30	0.60	0.030	0.012	0.006	水 1t に 600g 入れる
大塚ハウス 5 号 (粉末)	2.85	0.32	0.77	0.040	0.020	0.020	水 1t に 50g 入れる
大塚ハウス 5 号 (液体)	2.80	0.51	0.62	0.080	0.040	0.040	水 1t に 400ml を入れる
大塚、トマト処方	2.25	0.33	0.58	0.090	0.030	0.030	ハウス 1 号に配合
大塚、バラ処方	2.11	0.23	0.57	0.044	0.015	0.015	EC140ms/m で使用時
愛知園研、バラ処方	2.00	0.25	0.50	0.200	0.050	0.050	RW かけ流し方式
愛知園研、カーネ処方	1.50	0.30	0.50	0.200	0.050	0.050	RW かけ流し方式
カネヤマ M5 号	4.65	0.90	1.54	0.370	0.160	0.095	水 1t に 50g 入れる

5. 養液栽培用単肥の化学式及び成分量

養液栽培に多く用いる単肥の商品名、化学式及び成分量は多量元素と微量元素を分けてそれぞれ第 5 表と第 6 表に示します。

第 5 表 商品名、化学式及び成分量 (多量元素)

商品名	化学式	成分量%	
硝酸カルシウム	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	N-N 11.0	CaO 23.0
硝酸加里	KNO_3	N-N 13.0	W-K 46.0
硫酸加里	K_2SO_4	W-K 52.0	
磷酸一アンモニウム	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	A-N 11.0	W-P 61.0
硝酸アンモニウム	NH_4NO_3	A-N 17.2	N-N 17.2
硫酸アンモニウム	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	A-N 21.0	
第一磷酸加里	KH_2PO_4	W-P 51.0	
硝酸マグネシウム	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	N-N 10.0	W-Mg 15.0
硫酸マグネシウム	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	W-Mg 16.0	

第6表 商品名、化学式及び成分量（微量元素）

商品名	化学式	成分量%
キレート鉄	NaFe-EDTA	Fe 13.0
ホウ酸	H3BO3	W-B 55.0
硫酸マンガン	MnSO4・H2O	W-Mn 40.0
硫酸亜鉛	ZnSO4・7H2O	Zn 22.0
硫酸銅	CuSO4・5H2O	Cu 25.0
モリブデン酸ナトリウム	Na2MoO4・2H2O	Mo 39.0
pH調整、その他の用途		
85%リン酸液	85%H3PO4	P2O5 61.5
重炭酸加里	KHCO3	W-K 46.0

6.単肥原料より培養液処方作成方法

多量元素の培養液濃度（第1表参照）はme/lで表されています。Meとはミリグラム等量重のことで、1リットルの水の中に溶解するミリグラム等量重を表しています。即ち、1グラム当量=原子量/原子価=1000ミリグラム等量で表します。

第7表 多量元素の主なイオン（原子）の当量

原子量（またはイオン量）	原子価	ミリグラム等量	1ミリ等量を酸化物として表す**
NO ₃ -N ₃ , NH ₄ -N 14.01	1	14.0 mg	(N 14.0 mg 非酸化物)
PO ₄ 30.98	3	10.3 mg	P ₂ O ₅ 23.6 mg
K 39.10	1	39.1 mg	K ₂ O 47.1 mg
Ca 40.8	2	20.0 mg	CaO 28.0 mg
Mg 24.30	2	12.2 mg	MgO 20.1 mg

**窒素以外の多量元素の肥料成分はイオンの形で示さないで酸化物として表す理由は肥料登録の保証成分量が酸化物で表わされるためです。

肥料成分の単位間換算係数（元素—酸化物）

- ① P x 2.295 = P₂O₅ あるいは P = P₂O₅ x 0.437
 ② K x 1.205 = K₂O あるいは K = K₂O x 0.830
 ③ Ca x 1.399 = CaO あるいは Ca = CaO x 0.715
 ④ Mg x 1.658 = MgO あるいは Mg = MgO x 0.603
 ⑤ S x 2.500 = SO₃ あるいは S = SO₃ x 0.400

第8表 等量重とECの関係

商品名	化学式	等量重	備考
硝酸カルシウム	Ca(NO ₃) ₂ ・4H ₂ O	118	118gを原水1tに溶かすとECが0.1mS/cmになります。その他も同様です
硝酸加里	KNO ₃	101	
硫酸加里	K ₂ SO ₄	87	
リン酸一アンモニウム	NH ₄ H ₂ PO ₄	38	
硝酸アンモニウム	NH ₄ NO ₃	80	
硫酸アンモニウム	(NH ₄) ₂ SO ₄	66	
第一リン酸加里	KH ₂ PO ₄	45	
硝酸マグネシウム	Mg(NO ₃) ₂ ・6H ₂ O	128	
硫酸マグネシウム	MgSO ₄ ・7H ₂ O	123	

養液の+、-のイオン総量はそれぞれEC (mS/cm) の10倍になります。この関係をもとに、培養液の調整や栽培中の養液管理を行います。

即ち、同じ養液の中にある $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{K}+\text{NH}_4(\text{me/l})$ 等プラスイオン総量=
 $\text{NO}_3+\text{PO}_4+\text{SO}_4+\text{Cl}(\text{me/l})$ 等マイナスイオン総量= $10 \times \text{EC}(\text{ms/cm})$

次に、第1表中のネギ処方を例に設計してみましょう。

一、ネギ養液栽培処方 (me/l)

N (N-N 8, A-N 4)	P	K	Ca	Mg
12	6	6	2	2

計算方法1：第8表に表示されている成分を参照し、下記の通りで簡単に計算できます。

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	123mg/me	X	2me/l	=	246 mg/l	Mg 2me
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	118mg/me	X	2me/l	=	236 mg/l	Ca 2me NN 2me
KNO_3	101mg/me	X	6me/l	=	606 mg/l	K 6me NN 6me
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	38.3mg/me	X	6me/l	=	230 mg/l	P 6me AN 2me
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	66mg/me	X	2me/l	=	132 mg/l	AN2me

以上の計算はあくまでも成分100%と仮定した場合で、実際は各肥料の純度が97~99%ですので、計算結果は若干異なります。次により正確に計算してみます。

計算方法2：meをmgに換算します。

(A) N = 12	$\text{NO}_3\text{-N} = 8$	X	14.0(ミリ等量)	=	112.0 mg
	$\text{NH}_4\text{-N} = 4$	X	14.0	=	56.0mg
				小計	168.0mg
(B) P = 6	$\text{P}_2\text{O}_5 = 6$	X	23.6	=	141.6mg
(C) K = 6	$\text{K}_2\text{O} = 6$	X	47.1	=	282.6mg
(D) Ca = 2	$\text{CaO} = 2$	X	28.0	=	56.0mg
(E) Mg = 2	$\text{MgO} = 2$	X	20.1	=	40.2mg

(A)~(B)の成分量mgを1リットルの水に溶解すると必要な濃度の培養液を完成します。

また、mgをgに置き換えれば、1トンの水となります。

原料の割合

(A)~(E)の成分量は第5表原料中から選び調合します。

@@計算方法

先ず重複しない成分より計算します。

@マグネシウム (MgO) の場合、全量硫酸マグネシウムを使用します。

$$40.2 \text{ mg} \div 16\% = 251.3 \text{ mg}$$

@カルシウム (CaO) の場合、全量硝酸カルシウムを使用します。

$$56.0 \text{ mg} \div 23\% = 243.5 \text{ mg}$$

243.5mgの硝酸カルシウムの中に $\text{NO}_3\text{-N}$ $243.5\text{mg} \times 11\% = 26.8\text{mg}$ があります。

@リン、カリの補給原料はそれぞれ数種類ありますので、窒素の量を勘定しながら原料を決定して行きます。 $\text{NO}_3\text{-N}$ を必要とすることを考慮して、カリは第一リン酸加里や硫酸加里ではなく、硝酸加里を優先的に使用します。

$$282.6 \text{ mg} \div 46\% = 614.3 \text{ mg}$$

@リン酸はリン酸アンモニウムで供給します。

$$141.6 \text{ mg} \div 61\% = 232.1 \text{ mg}$$

232.1 mgの第一リン酸アンモニウムの中に $(\text{NH}_4\text{-N})$ $232.1\text{mg} \times 11\% = 25.5\text{mg}$ があります。

以上の結果を整理してみると、下記のようになります。

原料名	使用量	N-N	A-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
硫酸マグネシウム	251.3mg	112mg	56mg	141.6mg	282.6mg	56mg	40.2mg
硝酸カルシウム	243.5mg	26.8mg				56mg	40.2mg
硝酸カリウム	614.3mg	79.9mg			282.6mg		
第一リン酸アンモニウム	232.1mg		25.5mg	141.6mg			
(不足分)		5.3mg	30.5mg	OK	OK	OK	OK

以上から見ると、5.3mg 硝酸性窒素を硝酸マグネシウムで補給すれば、 $5.3\text{mg} \div 10\% = 53\text{mg}$ 、

硝酸マグネシウムの Mg 含有量は 50mg 硫酸マグネシウムとほぼ同様です。従って、同量の硫酸マグネシウムを減らします。 $251.3 - 50 = 201.3\text{mg}$ 。アンモニア性窒素は硫酸アンモニアで補給します。 $30.5\text{mg} \div 21\% = 145.2\text{mg}$ 。小数点等を整理してまとめていきます。

第 9 表は調合割合をはかりやすいように微調整した設計表です(多量元素)。前にも述べたように、既成の微量元素配合(弊社の微量元素配合肥料、カネヤマ M5 号等)を使用すれば、これでネギ用培養液を完成することになりました。計算方法 1 と結果は少し異なります。

第 9 表 ネギの養液単肥設計表

原料名	使用量/l	N-N	A-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
		8me/l	4me/l	6me/l	6me/l	2me/l	2 me/l
		112mg	56mg	142mg	283mg	56mg	40mg
硫酸マグネシウム	200mg						32mg
硝酸カルシウム	244mg	27mg				56mg	
硝酸カリウム	615mg	80mg			283mg		
硝酸マグネシウム	53mg	5mg					8mg
第一リン酸アンモニウム	232mg		25.5mg	142mg			
硫酸アンモニア	145mg		30.5mg				

さらに、硝酸マグネシウムについて簡単に説明します。今まで国産工業級硝酸マグネシウムの価格は非常に高いので、養液栽培用肥料として大量に使えませんでした、しかし、特に土耕用養液栽培では、硫酸マグネシウムよりも硝酸マグネシウムのほうが土に(残留硫酸根の問題)優しいので、両者併用をすすめたいです。今回、弊社は安い高品質特級硝酸マグネシウムを輸入・販売していますので、これが可能になると思います。

二.配合処方からの計算

第 10 表 配合肥料

配合 1 号	保証成分	窒素全量	10.0%
		内アンモニア性窒素	1.5%
硝酸性窒素		7.5%	
リン酸		8.0%	
加里		24.0%	
苦土		5.0%	
マンガン		0.1%	
ホウ酸		0.1%	
鉄(キレート鉄)		0.18%	
配合 2 号	保証成分	硝酸性窒素	11.0%
		石灰	23.0%

水 1 トンに配合 1 号 1.5kg、2 号 1kg を完全に溶かす場合：リン酸は 8%ですので、
 $1500g \times 0.08 \div 1000 = 120ppm$ 、他成分も同様に計算できます。計算結果は下記の第 11 表に示しています。

第 11 表 処方成分濃度

濃度	窒素全量	N-N	A-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe	MnO	B ₂ O ₃
Ppm(mg/l)	260	233	23	120	360	230	75	2.7	1.5	1.5

三.養液単肥使用時の注意事項

配合から単肥に移行する養液栽培農家が非常に増えています。同時に単肥移行に伴ってミスやトラブルも多発しています。たとえ成分の計算が正確としても原液と給液の pH 調整が 5.5～6.0 にしないと、生育が影響されます。硝酸やリン酸等の使用で場合によって上記の成分を調整することも念頭に置けなければなりません。さらに原水成分も考慮する必要もあります。カルシウム含量の高い原水であれば、硝酸を使用することによって硝酸カルシウムを減らすことができます。

7.原水診断の考え方

(1) 原水の診断項目

A. PH

B. EC(ms/cm、電気伝導率)：水に溶けている塩類の総量を知ることができます。

C. +、-のイオンの種類

D. 鉄とマンガン：マンガンはそのまま作物に利用されるために注意する必要があります。

E. 重炭酸 (HCO₃⁻、陰イオン)：重炭酸イオンは地下水に含まれる主要な陰イオンの一つです。重炭酸は緩衝能が高く、適度に含まれる場合には pH の安定化に役立つが、多量に含まれる場合には pH が高くなり、しかも中和は難しいです。PH (採水直後) も同じ原水でも、重炭酸濃度が違うと培養液の pH は異なり、pH 調整に必要な酸の量も違ってきます。原水の診断における重要項目です。

(2) 原水の診断基準

養液栽培用の水質基準 (全農)

EC	pH	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ca	Na	Cl
0.3mS/cm 以下	5-8	無	無	40ppm 以下	20ppm 以下	60ppm 以下

水質の判定基準表及び処理方法 (大塚化学)

水質	pH	EC	CaO	MgO	Fe	Na	Cl	HCO ₃
A	<7.0	<0.15	<20	<10	<0.1	<10	<10	<30
B	<7.3	<0.30	<50	<30	<1.0	<50	<50	<70
C	<7.6	<0.60	<80	<40	<3.0	<70	<70	<180
D	>7.6	>0.60	>80	>40	>3.0	>70	>70	>180
A	基本的に修正なしで使用可能です。							
B	複合肥料を用いて簡単な処方修正で使用可能です。							
C	複合と単肥を用いて簡単な処方処理修正を行い使用します。							
D	使用不適です。							

(3) 問題のある水の対策

@重炭酸が高く pHの高い水:そのまま使用すると、栽培中に培養液の pHが上昇し)の重炭酸濃度を 30~50 ppm 程度に下げることがあります。加えた硝酸またはリン酸は作物に吸収利用されるため、加えた量を差し引いた培養液処方にするのが望ましいです。

@ EC が高い水: EC は 0.3mS/cm 以下が望ましく、EC が 0.6mS/cm 以上の水は養液栽培には使用しないほうがよいと思います。EC が 0.3---0.6mS/cm の水では、培養液処方を修正すれば使用可能ですが、培養液管理が難しくなるので、使用にあたっては十分な検討が必要だと思います。

@鉄分の高い水:鉄分を除去したあとの水質が養液栽培に適するかどうかを最初にチェックします。鉄分は、ばっ気とフィルターによるろ過で除去できます。あるいは簡単な砂ろ過装置を自作することにより、低コストで鉄分、粘土分、有機物を除去できます。

(4) 原水の診断事例

ロックウール栽培ナス農家

原水の分析結果

pH	EC	CaO	MgO	K	Na	Cl	HCO ₃
7.2	0.27	46	14	2	35	16	151

pH と EC とともに基準値の上限に近く、また、重炭酸濃度が高いです。養液栽培に用いる場合には酸を加えて重炭酸濃度を 30-50ppm 程度まで下げる必要があります。重炭酸濃度が 152ppm の原水を 50ppm に下げるためには硝酸(61%): $(152-50) \div 40.5=2.518 \dots$ 即ち 20t 当たり 2.52 リットルを加えます。また、酸として加える硝酸を考慮して培養液の処方を修正する必要があります。