

培養液組成之 理論和實際(下)

專
題
報
導

前種苗改良場場長 沈再發

八、施肥量之計算順序

在進入養液調配前，需先瞭解用水的水質，並調整其pH。以台中縣太平地區的泉水為例，其水質分析結果如（表十一）所示，EC為0.37mS/cm，每公噸水需以20~25 ml硫酸或50ml鹽酸來調整pH。

接著則是設定所要用的養液配方，然後扣除水中已經有的濃度，就是肥料鹽所需補充的部分。假設所要的配方 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N、P、K、Ca、Mg分別為7、0.67、2、4、3、2me/L，以上述太平泉水來配製時，扣除水中 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N、P、K、Ca、Mg之0、0、0、0.02、1.6、0.45me/L，所需配製的 NO_3^- -

N 、 NH_4^+ -N、P、K、Ca、Mg濃度分別為7、0.67、2、3.98、1.4、1.55me/L。

完成上述步驟後，即可按照以下順序計算肥料量：

(一)首先以 KNO_3 提供3.98me/L的K，此外也提供3.98me/L的 NO_3^- -N。

(二)以 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 提供1.4me/L的Ca，同時也提供1.4me/L的 NO_3^- -N。

(三)以 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 提供2me/L的P，同時也提供0.67me/L的 NH_4^+ -N。

(四)以 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 提供1.55me/L的Mg。

(五) NO_3^- -N總量需要7me/L，扣除 KNO_3 及 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 供應的3.98

表十一、施肥量之計算例

肥 料	N		P	K	Ca	Mg	EC	施肥量
	NO_3^- -N	NH_4^+ -N						
單位別	me/L	me/L	me/L	me/L	me/L	me/L	me/L	g
設定濃度	7.0	0.67	2.00	4.00	3.00	2.00	0.24	
水源（太平泉水）	0	0	0	0.02	1.60	0.45		
施肥濃度	7.0	0.67	2.00	3.98	1.40	1.55		
KNO_3	3.98			3.98				402
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.40				1.40			165
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$						1.55		191
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$		0.67	2.00					76
NH_4NO_3	(1.62)	(1.62)						(64.8)
KNO_3	(1.62)			(1.62)				(163.6)
合計	5.38	0.67	2.00	4.00	3.00	2.00		

及1.4me/L，尚不足1.62me/L，可以用NH₄NO₃或KNO₃來補足，如果用KNO₃來補就同時也增加了1.62me/L的K。

以上的肥料濃度以1噸水來配製時，需KNO₃ 420g、Ca(NO₃)₂·4H₂O 165g、MgSO₄·7H₂O 76g、NH₄H₂PO₄ 76g，不足之NO₃⁻-N以NH₄NO₃補需64.8g，以KNO₃補則需163.6g。

九、培養液調配

首先在培養液桶或栽培床內灌入約一半的水量，然後照(表九)作物別肥料鹽用量，首先以適當的容器加水。將硫酸鎂溶解，於溶解後倒入培養液桶或栽培床內。必要時一面加水一面逐漸將硫酸鎂分幾次加入，並同時攪拌。再以同樣之要領，依硝酸鈣、硝酸鉀、磷酸一銨順序逐次加入，最後以加水定量到所要

表十二、肥料種類和使用量（日本園藝試驗場處方）

肥料 ^z	使用量 (培養液1,000公升)
①硫酸鎂 MgSO ₄ ·7H ₂ O	500g
②硝酸鈣 Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	950g
③硝酸鉀 KNO ₃	810g
④磷酸一銨 NH ₄ H ₂ PO ₄	15g

^z依①→②→③→④順序添加。

表十三、微量元素之配製

肥料 ^z	使用量 (培養液1,000公升)
①硼酸 H ₃ BO ₃	300g
②硫酸錳 MnSO ₄ ·5H ₂ O	22g
③硫酸鋅 ZnSO ₄ ·7H ₂ O	200g
④硫酸銅 CuSO ₄ ·5H ₂ O	5g
⑤鉬酸鈉 Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	2g

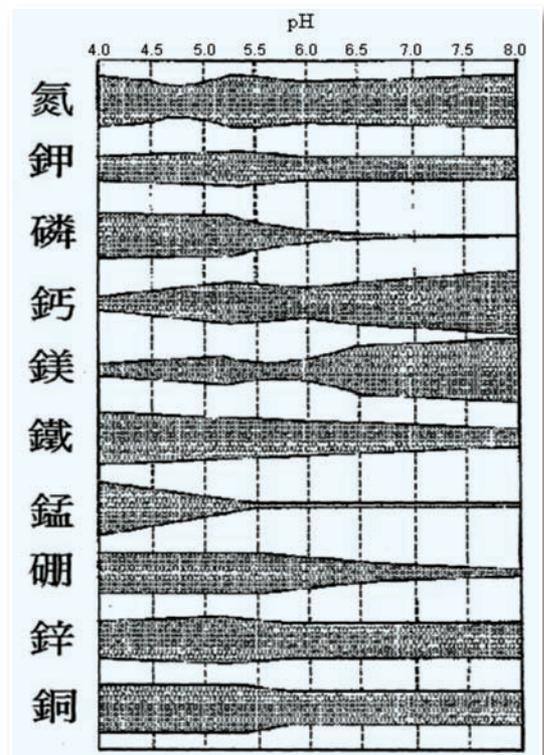
^z ①→②→③→④→⑤順序添加；1,000公升培養液添加原液100毫升；鐵(Fe 3ppm)高濃度使用時(1,000倍稀釋)10L以EDTA-Fe 226.2g，另單獨或混合原液使用，高濃度使用時(1,000倍稀釋)10L，226.2g是必要。

的容積。肥料加入之順序並非絕對的，只要能夠充分攪拌，順序並無重大影響。但是要注意的是硫酸鎂和硝酸鈣，硝酸鈣和磷酸一銨如以高濃度混合一起時會發生沈澱。

以日本園藝試驗場處方肥料之調裝如(表十二)和微量要素之調配如(表十三)調配液量相當大時，無法以上述方法調配，就得用攪拌裝置或以泵浦攪拌以節省勞力。

十、培養液之pH管理

培養液之pH以6為標準，大約以5.5~6.5左右作物之生育最良好，而pH和肥料要素之有效性如(圖二)。pH降至5.5以下時，氮素、磷酸鉀、鈣、硫、鉬等之吸收及有效性不良。pH上升至6.5以上時鐵、錳、硼、鋅等之吸收及有效性不良。



圖二、植物的養分有效性與養液pH值之關係。

至於培養液pH受到各種因素的影響也是變動的，如前述之植物對 NO_3^- ， NH_4^+ 優先吸收性質就會對pH有很大的影響。以 NO_3^- 為優先吸收者其pH就有上升傾向， NH_4^+ 為優先吸收者其pH就有下降傾向。

以胡瓜或萵苣栽培為例，如果肥料之P源以 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 使用時，胡瓜或萵苣之培養液中因為 NH_4^+ 之優先吸收而使pH降低，但栽培到 NH_4^+ 逐漸吸收完後培養液中的氮源只有 NO_3^- ，pH反而會上升。

上述引起栽培期間pH變化之原因：

(一)供給培養液之組成濃度和作物之吸收組成濃度不一致。例如栽培番茄、茄、甜椒等時，比起洋香瓜、胡瓜、西瓜等其pH較容易上升，乃由於番茄等對於陰離子 NO_3^- 、 PO_3^{3-} 的酸根和K一起吸收量較多，而洋香瓜等則吸收較多之Ca和Mg等陽離子。但是如果供給之營養液與作物吸收之元素平衡的話，pH的變化就很少。

(二)若是用水之pH高且Ca、Mg含量大時，則培養液之濃度降低時，易引起pH偏高。

(三)於高溫多日照條件下，作物對N、P、K之吸收較多，Ca、Mg之吸收較少，易使pH上升。相反的於低溫、少日照時，培養液之pH易降低。

(四)根部分泌出或根的老化所分解出的有機酸、胺基酸，尤其是呼吸的碳酸使 Ca^{++} 、 Mg^{++} 沉澱，因此培養液pH降低。

一般如需培養液之pH降低時可以用硫酸(H_2SO_4)或以磷酸(H_3PO_4)，硝酸(HNO_3)等，相反的，欲使pH較高可以用氫氧化鈉(NaOH)或以氫氧化鉀(KOH)等。通常一公噸培養液pH 7欲下降為pH 6時需要用稀釋後之硫酸(3N)約8~10ml，逐漸加入並充分的攪拌混合。而

pH欲提高1時則每公噸培養液加入6公克氫氧化鈉，同樣也需要先稀釋後再加入。

另外pH之調整方式有二種，一種是前述以培養液中之 NH_4 和 NO_3 之比率來進行。第二種則是添加碳酸及重碳酸來調整，因為pH比較多變化的水中緩衝能力很低，因此培養液中加入低濃度的碳酸、重碳酸，可使緩衝能提高，使pH之變化較小。

十一、培養液之濃度EC與管理

利用手提式電導度計以測定培養液之EC值是培養液之全鹽濃度的表現，並不能判定各要素的濃度或數字，這一點是首先要認識的。通常培養液中肥料鹽計1me/L約為濃度0.1m mho/cm。山崎(1976)以日本園藝處方標準濃度與EC、pH和滲透壓之關係如(表十四)。

作物別之適宜培養液的電導度(EC)值如(表九)。但是EC值會隨水質而有所差異。因此，用水之EC應事先瞭解(最好測定其所含礦物質分量)。於培養液調配完成後也要測定其EC值，是否與(表九)之培養液EC值大致相符合，並於栽培期間，每隔數天或每週測定其變化情形。EC隨作物之生育時期及氣候環境條件而變化，所以欲維持長時間保持同一濃度是困難的，但是若能維持大致相近電導度，同時配合穩定的pH值，作物當可正常的生育。

培養液之濃度與電導度(EC)呈高度相關，因此可以手提式電導度計測定EC值而推斷大致濃度，利用此EC值在肥料不足時給予追肥或過高時給予稀釋。由於用水(尤其地下水)其中所含成分之不同，最好栽培者自行測定，作成其相關表為宜。以20公噸之培養液量(栽培床和栽培桶合計)為例，栽培標準液之EC值

為1.5m mho/cm，經栽培一段時期後EC降為1.0m mho/cm。為維持原來之標準濃度，需加入Xm mho/cm之相當肥料， $(1.0+X) \times 20 = 1.5 \times 20$ ， $X = 0.5$ ，也就是以0.5m mho/cm培養液所需的相當肥料量加入原來20公噸的培養液內，並充分攪拌混合之。如果原來標準濃度為1.5m mho/cm，經一段栽培後EC升為2.5時，為維持原來標準濃度，可行下列方法：(一)以原來培養液加入清水稀釋時，所需加入水量為X， $1.5 \times (20+X) = 2.5 \times 20$ ， $X = 13.3$ (公噸)，或(二)原來之培養液取出，再加水稀釋至20公噸，所需取出之水量為X， $2.5 \times (20-X) = 1.5 \times 20$ ， $X = 8$ (公噸)，即取出培養液8公噸後再加水8公噸。所取出之8公噸2.5m mho/cm培養液，也可再加X公噸水使成為1.5m mho/cm， $2.5 \times 8 = 1.5 \times (8+X)$ ， $X = 5.3$ 公噸。此方法僅為簡易之管理法，欲於養液組成與所訂濃度保持平衡，則有賴栽培期間行成分分析。如其組成成分一直不平衡的話，容易發生生理障礙。

十二、用水量和吸收要素量

培養液通常因栽培方式有差異，果菜類(協和式)每1,000m²面積用水量大致為10m³/100m²，NFT每1,000m²面積大致為3~10m³。也有不設養液桶者，其果菜用1,000m²面積需要當40m³，葉菜用需要52m³。新和式等量交換水耕1,000m²面積，得要40m³培養液量。總量大者，其培養液之組成濃度pH和溫度也較安定。番茄栽培生育快時，於高溫期1日每株吸收培養液量，每分地種2400(8株/坪)每日吸收4.8公噸是必要的。溫室洋香瓜之吸收養液量，依生育期分為：營養生長期、小果期、果實肥大期和果實成熟期，以春作每株消耗量各為0.67、1.05、1.85、1.39公升，平均1.27公升(株/日)；夏作時各為0.66、1.49、2.46、1.96公升，平均1.66公升(株/日)。對於大量元素之吸收量，於春作時NO₃-N、P、K、Ca、Mg分別為20.6、4.34、21.9、15.3、5.0公克/株，夏作時各為24.9、4.86、33.7、15.5、6.0公克/株。

表十四、培養液之濃度與電導度EC、pH和滲透壓之關係(山崎1976)

濃度 ^a	全鹽濃度 (me/L)	電導度 (EC)	pH	mM/L 合計	滲透壓 ^b (20° C)
2.0	48.2	4.5	6.0	74.6	1.8
1.8	43.4	4.1	6.1	67.1	1.6
1.6	38.6	3.7	6.2	59.7	1.4
1.4	33.7	3.3	6.2	52.2	1.3
1.2	28.9	2.9	6.3	44.6	1.1
1.03	24.1	2.4	6.4	37.3	0.9
0.8	19.3	2.0	6.5	29.8	0.7
0.6	14.5	1.5	6.5	22.4	0.5
0.4	9.6	1.1	6.7	19.9	0.4
0.2	4.8	0.6	6.9	7.5	0.2

^a培養液以日本園藝試驗處方標準濃度S為1，分成0.2~20不同濃度用水為0.15m mho/cm。

^b滲透壓依據離子濃度滲透壓關係之計算P滲透壓= $mM \times 0.0224 \times \frac{273+t}{273}$ 。

洋香瓜春作和夏作之養液消耗量變化如(圖三)和(圖四)，春作每株每日之消耗量年平均為1.27公升，夏作每株每日消耗量平均為1.66公升。

十三、培養液之壽命

培養液之可維持時間由於循環式和滴液方式有所不同。循環式通常3-4回循環後得換一次培養液，然而如果經培養液分析值修正者，可維持至2個月壽命，但是必須以電導度EC和pH至少每16天測定一次並修正。至於以滴灌方式培養液通常排出後，培養液就不用再配置。最近幾年前，荷蘭法律規定養液不能排出，會污染到土壤或水，所以栽培者必須付出檢查費用，對供液岩棉中者餘液等採樣分析並隨時修正之。

在熱帶地區以蔬菜浮根式水耕，其養液組成 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、P、K、Ca、Mg分別為10、4、7、3、2 me/L；可整年栽培只持續添加培養液，無論夏作或冬作其pH和EC都很穩定。如(圖五)。南部可年收24次，中部年收23次，北部年收18次。也就是均衡配方的培養液。

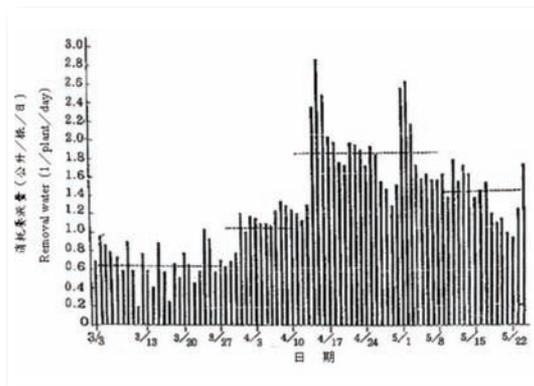
高苜浮根式水耕(品種：大究葉高苜，台灣長葉高苜)，其培養液 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、P、K、Ca、Mg分別為7、1.5、4.5、2.5、1me/L，連續連七作，培養液持續使用40週如(圖六)，而培養液同樣地供給或補充，其pH和EC可一直維持穩定狀態，不必更新培養液。

十四、肥料稀釋器之倍數計算

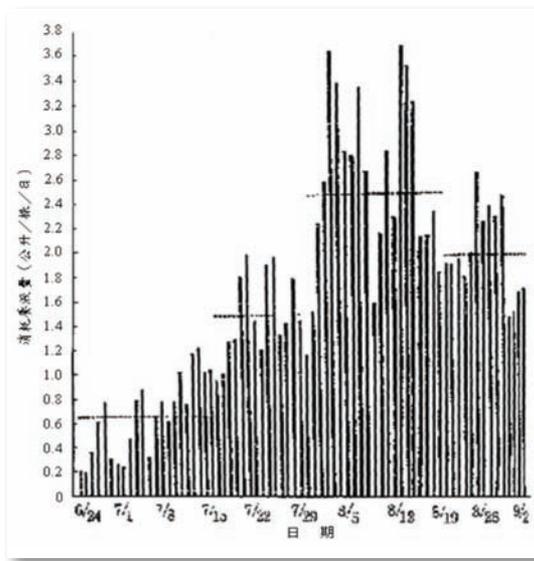
以肥料高濃度母液配合自動的稀釋器，可節省勞力或設備費。為避免硝酸鈣與硫酸鎂，或硝酸鈣與磷酸一鉍之高濃度液混合時易引起硫酸鈣或磷酸鈣之沈澱，最好分成兩個原液桶，而原液桶A裝入硝酸鈣，或混入Fe-EDTA，另其他

肥料則放入原液桶B。

容器以可容500公升並為不透光的塑膠桶為宜。依(表九)以鳳山熱帶園藝試驗分所蔬菜配方為例，每公噸水需要溶解硝酸鉀、硝酸鈣、硫酸鎂、磷酸一鉍、分別為707、352、246、152公克。由於蔬菜需要較多量的硝酸鉀，但是由於硝酸鉀之溶解度也比較低(每公升為315公克，(表二)，因此，原液配製時的限制量應為硝酸鉀的溶解度。以500公升容量養液桶時可溶解的硝酸鉀量應為 $315 \times 500 = 157,500$ (公克)，從(表五)中



圖三、春作溫室洋香瓜養液消耗量之變化(1987沈，許)。



圖四、夏作溫室洋香瓜養液消耗量之變化(1987沈，許)。

得知每公噸培養液中溶解有707公克，因此若溶解15,700公克硝酸鉀成1噸母液， $15,700 \div 707 = 222.8$ ，則該母液為222.8倍濃度。茲為方便起見，以200倍量計算的話，則500公升原液桶內溶解蔬菜培養液的肥料量列如（表十五）。

所列重量是由(表九)蔬菜每公噸用水的200倍量。將原液A和原液B裝入各0.5公噸桶內，將A和B經定量泵各20L，同時經加水合起來，稀釋200倍混合於養液桶內共4公噸(圖七)。因此A、B原液若加水充分混合可稀釋25次(500L/20L)，合計100公噸的養液。

十五、參考文獻

沈再發·1989·養液之配製與管理。設施園藝技術·豐年社。

沈再發·2001·養液栽培·研究報告及專論·沈再發博士論文集(上冊)·農委會種苗改良繁殖場編印。

沈再發·2001·養液栽培·研討論文。沈再發博士論文集(下冊)·農委會種苗改良繁殖場編印。

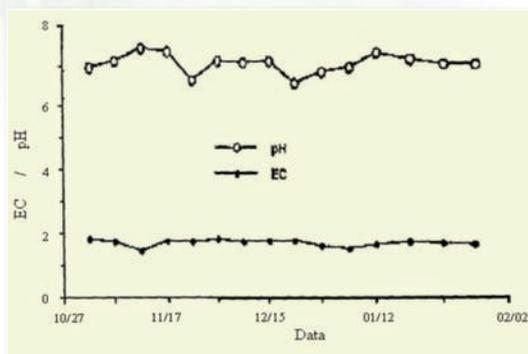
表十五、蔬菜供給500公升原液桶可溶解肥料鹽重量(公克)

肥料鹽	重量	
硝酸鈣	70,800	原液A
Fe-EDTA	4,000	
硝酸鉀	141,400	原液B
硫酸鎂	49,200	
磷酸一鉍	30,400	
硼酸	600	
硫酸錳	400	
硫酸鋅	40	
硫酸銅	10	
硫酸銨	4	

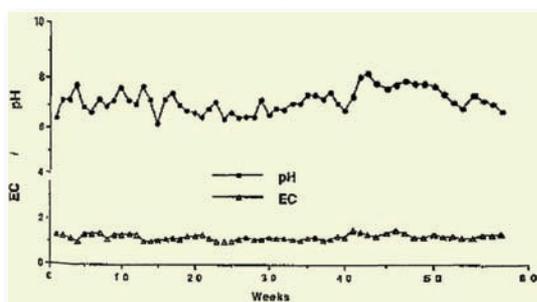
山崎肯哉·1982·養液栽培全編·日本博友社。

池田英男·2007·用水と栽培液の調整。最新養液栽培の手引き·日本施設園藝協會編·誠文堂新光社。

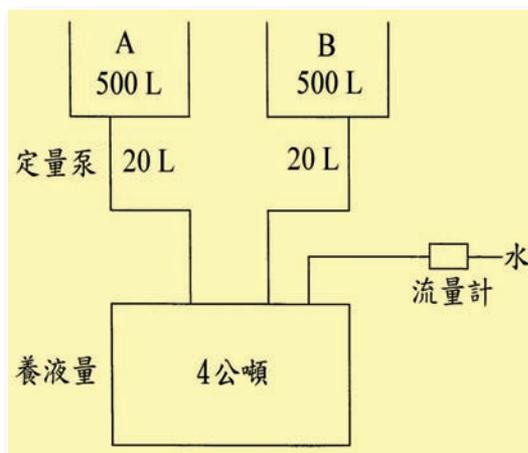
板木利隆等·2006·養液栽培の用技術。日本農業電化協會發行。



圖五、蔬菜浮根式培養栽培之養液pH和EC的變化。



圖六、葉萵苣浮根式養液栽培之養液pH和EC的變化。



圖七、肥料稀釋器之示意圖。