

第四篇 配製營養液的理論

為什麼說營養液是無土栽培技術的核心？

無土栽培作物所需要的營養元素，一般不是靠施用固體肥料，而是依靠營養液來供應的。而所謂的營養液是根據不同作物對各種養分的需求特點，以及吸肥特性，利用無機鹽類肥料，按一定數量和比例人工配製而成，含有植物生長所必需的營養元素的溶液。無論是水耕還是介質耕的無土栽培方式都需要用到營養液來給作物提供養分。因此，營養液是無土栽培技術的核心，只有瞭解和掌握它，才能真正掌握無土栽培技術，靈活而又正確地使用營養液以取得良好的效果。

在使用營養液時，必須瞭解營養液中所含營養元素的種類、數量、相對比率，以及各種肥料溶解度的大小和營養液的酸鹼度等影響作物吸收營養元素的因素，才能根據各種作物品種，以及不同的生育期來及時而有效地提供作物生長所需的養分，才能降低成本，提高產量，提高經濟效益。所以，營養液管理是無土栽培技術的關鍵，只有熟練地掌握，才能提高無土栽培的水準和經濟效益。

如何確定和選擇營養液配方？

無土栽培中，營養液是作物根系吸取營養的主要來源。因此，營養液中應包括作物生長發育所必需的所有營養元素。不同的作物和品種，同一作物不同的生育階段，對各種營養元素的需求差異很大，所以在確定營養液的配方時，要先瞭解各類作物，以至不同品種各個生育階段對各類必需元素的需要量，並以此為依據，來確定營養液的組成成分和比例。

植物主要是通過根系來吸收礦質元素，而各種植物吸收礦質元素又各有各的特點，主要表現在以下幾方面：

1.根系吸收礦質元素與水分的比例並非固定

礦質元素只有溶解於水才能被植物吸收，水分直接影響礦質元素的吸收和運輸，但兩者之間不成正比例關係，各具相對的獨立性。

2.根對礦質元素具有選擇性吸收

根系吸收鹽類離子的數量並不與溶液中的離子濃度成比例，同一化合物的陰陽離子，也以不同比例進入植物體，使得營養液的成分和酸鹼度逐漸改變。

3.離子吸收具拮抗作用

任何植物如在含單一鹽類的營養液中，則不能生長，稱為單鹽毒害，如在其中加入少量其他鹽類，則能使單鹽毒害消除，這種離子間能夠相互消除毒害的現象，也叫拮抗作用。因此，確定和選擇營養液配方時，應根據不同種類的特性選擇營養液配方。

無土栽培對營養液有何要求？

一、對營養液的要求

營養液是根據作物對各種養分的需求，把一定數量和比例的無機鹽類溶解於水中配製而成的。作為無土栽培的營養液，必須達到以下要求：

- 1.養分種類齊全：含有作物生長發育所必需的全部營養元素，包括大量、次量和微量元素。
- 2.養分比例適當：礦質元素應根據不同作物需要，供應適當量和比例配成的足量平衡營養液。
- 3.肥料完全溶解：所配製的無機鹽，在水中的溶解度要高，且是離子狀態，才易被作物所吸收。
- 4.肥分濃度恰當：不含有害及有毒成分，並保持適於根系生長，利於養分被吸收的酸鹼度和離子濃度。
- 5.取材容易，用量小，成本低。

因而，要配製符合要求的營養液，其原料包括水源、含有營養元素的化合物及輔助物質也要符合要求。

二、對水質要求

生產中使用的水，通常來自雨水、井水和自來水，其總的要求和符合衛生規範的飲用水相當。主要是硬度不能太高，酸鹼度 6.5-8.5 之間，氯化鈉含量小於 2 mmol/L，重金屬如汞、鎘、鉛等及有害健康的元素或有機污染物含量在容許範圍之內。

自來水的 EC 值約為 0.2 dS/m，使用上不成問題，但因添加氯氣消毒，最好能放置一夜，讓自來水中的氯氣消散後比較安全，大量調製時，可以使用海波 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 來處理，大約 1 噸水中加入 2.5-3 克。

三、對無機鹽化合物的要求

由於營養液配方標出的用量是以純品表示，在配製營養液時，要按各種化合物原料實際的純度來換算出原料的用量，商品標識不明、含雜質多的劣質肥料應禁用。化合物的純度要符合要求，少量的有害元素應不超過容許限度，否則均會影響營養液平衡，甚至危害人體健康。

配製水耕液時對使用水質的要求是什麼？如何鑑別水質的好壞？

水質與營養液的配製有密切關係。水質標準的主要指標是電導度、pH 值和有害物質含量是否超過標準。

電導度是溶液含鹽濃度的指標，通常用 mS/cm 或 dS/m 表示，有時亦可用電阻值($M\Omega \cdot cm$)來表示。各種作物耐鹽性不同，耐鹽性強的($EC=10$ dS/m)，如甜菜、菠菜、甘藍類。耐鹽中等($EC=4$ dS/m)，如黃瓜、菜豆、甜椒等。無土栽培對水質要求嚴格，尤其是水耕，因為它不像土壤栽培具有緩衝能力，所以許多元素含量都比土壤栽培允許的濃度標準低，否則就會發生毒害。一些農田用水不一定適合無土栽培，收集雨水做無土栽培，是很好的方法。無土栽培的水，pH 值不要太高或太低，因為一般作物對營養液 pH 值的要求以微酸性為好，如果水質本身 pH 值偏離，就要用酸或鹼進行調整，既浪費藥品又費時費工。

研判水質的好壞以分析無機成分、pH、EC 為主，其他如生物需氧量、化學需氧量亦在檢查之列。通常合宜的水質為 EC 值 <0.3 dS/m、pH 值 5-8、不含有銨鹽與硝酸鹽、Ca <40 ppm、Mg <20 ppm、Cl <60 ppm、Na <40 ppm。次頁表為我國灌溉水中特定項目的限值或適宜範圍，或可作為選用水源的依據。

依 EC 值研判水質

等級	EC 值 dS/m	CaO	MgO	Fe ³⁺	Na ⁺	Cl ⁻	NH ₄ ⁺ -N
mg/L							
A*	<0.2	<30	<10	<0.3	<10	<30	<1
B	<0.5	<50	<30	<1.0	<25	<50	<10
C	>0.5	>50	>30	>1.0	>25	>50	>10

* A 使用不會有問題；B 先行分析予以確認，變更養液配方。增加養液更新次數；
C 使用時發生困難之事多

灌溉水中特定項目的限值或適宜範圍

項目	台灣省灌溉水限值	俄亥俄州立大學	德克薩斯州大學*
pH 值	6.0-9.0		5.5-6.5
電導度 dS/m，25°C	<0.75	0-1.5	<0.25
懸浮固體物 mg/L	100		<175
鹼度(以 CaCO ₃ 表示)mg/L		1-100	

氯化物(Cl ⁻)mg/L	175	0-140	< 70
硫酸鹽(SO ₄ ²⁻)mg/L	200	24-240	25-240
總氮量(T-N)mg/L	1.0		
硝酸根(NO ₃ ⁻)mg/L		0-5	45
銨態氮(NH ₄ ⁺)mg/L		ND	
油脂 mg/L	5.0		
鈉吸著比(SAR)	6.0	0-4	< 3
殘餘碳酸鈉(RSC)me/L	2.5		
水溫°C	35		
鈷(Co)mg/L	0.05		
銅(Cu)mg/L	0.2	0-0.2	0.05-0.1
鉛(Pb)mg/L	0.1		
錳(Mn)mg/L	2.0	0.5-2	0.1-1.0
汞(Hg)mg/L	0.005		
鉬(Mo)mg/L	0.01	0-0.02	
鎳(Ni)mg/L	0.5		
硒(Se)mg/L	0.02		
釩(V)mg/L	10.0		
鋅(Zn)mg/L	2.0	1-5	0.05-0.2
鋁(Al)mg/L	5.0	0-5.0	
砷(As)mg/L	1.0		
鉍(Be)mg/L	0.5		
硼(B)mg/L	0.75	0.2-0.8	0.2-0.8
鎘(Cd)mg/L	0.01		
鉻(總)(Cr)mg/L	0.1		
鈉(Na)mg/L	50	0-50	< 50
鐵(Fe)mg/L	5	2-5	0.1-2.0
鎂(Mg)mg/L	24	6-24	6-24
鈣(Ca)mg/L	120	40-120	20-100
鉀(K)mg/L	10	0.5-10	20-80
磷(P)mg/L	5	0.005-5	
氟(F)mg/L	1	0-1.0	0.1-1.0

*德州大學將灌溉水分成五級，表列為最佳級或適宜範圍。天然水之水質若超過本標準之限值，得不受本標準之限制。

配製養液時，選用化合物的原則如何？

1.所含陰陽離子都是植物生長所需

如此才不會有多餘的離子，增加養液的滲透壓，導致栽培困難。優先使用的肥料為 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、 KNO_3 、 NH_4NO_3 、 KH_2PO_4 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 、 K_2SO_4 、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 。

2.肥料鹽度較低而成分較高者

陰陽離子皆會吸附水成水合化合物而產生滲透壓，並和植物根部競爭水分，因而選用低鹽度、高成分和高溶解度的肥料，可以避免水耕植物的鹽度危害。

常用水耕化合物的種類、主成分、鹽度、總養分與相對鹽度危害

肥料種類	主成分 %	鹽度指標 ¹ Salt index	總養分 %	相對鹽度指標 ² Relative salinity
硝酸鈉	16.5 N	100.0	16.5	100.0
硝酸銨	35 N	104.7	35.0	49.4
硫酸銨	21 N	69.0	21.0	53.7
硝酸鈣	11.9 N, 17 Ca	52.4	28.9	30.1
硝酸鉀	13 N, 38 K	73.6	51.0	23.6
氯化鉀	49.8 K	116.3	49.8	38.5
磷酸一銨	12 N, 27 P	29.9	39.0	12.7
磷酸二銨	21 N, 23 P	34.2	44.0	12.7
硫酸鉀	45 K	46.1	45.0	17.0
硫酸鈣	23 Ca	8.1	23.0	5.8
硫酸鎂	16 Mg	44.0	16.0	44.5

¹以硝酸鈉施入土壤 5 天後，土壤溶液的滲透壓定為 100，其他等當量肥料施用後之滲透壓之相對值

²單位養分量之鹽度和硝酸鈉單位養分量之鹽度之相對比值

3.銨態氮和硝酸態氮有適當比例

適宜的銨態氮和硝酸態氮比例可以維持營養液 pH 值的穩定。在明亮的夏季，

光合作用旺盛，或發生缺氮時，以補充銨鹽較佳；其他狀況則以補充硝酸鹽為宜。

4.選用肥料溶解度大者

假使在介質栽培前便混入肥料，不溶或難溶的肥料尚可利用，然而如果是養液栽培或者生長後期澆灌，肥料的完全溶解是必需的。一般化合物的溶解度是鉀鹽>鈣鹽>鎂鹽，硝酸鹽>硫酸鹽。

5.選擇純度高的肥料

純度低的劣質肥料，常含有黏土等不活性固體，沉澱於水中，或與其他肥料結合，影響養分的吸收和堵塞供液裝置的管路。但高純度的肥料價格昂貴，所以選購肥料以食品級、工業級或肥料級為主，分析級試藥甚少採用。計算肥料用量時需考慮肥料純度。

6.氯化鈣和氯化鉀只適合在修正鈣、鉀濃度時使用

氯化鈣和氯化鉀僅在水源中氯化鈉很低(<50mg/L 或 1me/L)時，才可使用，因為含氯(Cl⁻)的化合物碰到鈉(Na⁺)，增加水耕液的滲透壓，將會使作物發生毒害。

7.微量元素的鉗合物

以鐵源為例，可用硫酸亞鐵、氯化鐵、EDTA-Fe 等，但前二者易生沉澱，不適水耕，目前多採用 EDTA-Fe。EDTA-Fe 即使在 pH 值略高時仍穩定，不會沉澱。

8.注意化合物被作物所吸收時，離子的有效型態。

配製營養液需考慮那些因素？

1.存在於化合物中之各種離子的相對比例

養液組成分中，作物對化合物離子之需要並不相同，例如：一分子硝酸鉀可提供一個鉀離子和一個硝酸根離子，而一分子硝酸鈣則可提供一個鈣離子和二個硝酸根離子，故若一養液期望提供充分的硝酸根，又要另一方面減少多餘的陽離子，當以使用硝酸鈣為宜。

2.肥料鹽溶解後離子之間的平衡

適當的離子平衡，可促進作物正常發育，提高產量。以過去對蕃茄水耕營養液之研究，以當量計算，陰離子組成百分率為 NO_3^- 50-70(60)、 H_2PO_4^- 3-10(5)、 SO_4^{2-} 25-45(35)；陽離子組成為 K^+ 30-40(35)、 Ca^{2+} 35-55(45)、 Mg^{2+} 15-30(20)。

3.肥料的溶解度

各種肥料的溶解度不一，由於水耕栽培必需使肥料溶於水中，才能供作物吸收利用，因此，選用肥料以溶解度高者較佳，例如，欲提供鈣，以硝酸鈣較硫酸鈣佳，雖然硫酸鈣較便宜，但配製時之費時與不溶物之移去，將增加不少麻煩。

4.肥料的價格

這裡所指肥料價格，係針對單位肥料成分重量之價格，價格越低越佳，這樣才能減少成本，增加收益。惟有時考慮營養液配製時之方便性或另一半成分之需要性，並非只考慮一個成分而已。

5.肥料在水溶液中的行為

雖然肥料都能溶解，但培養液中以硫酸亞鐵為鐵源，則鐵易氧化而沈澱，有效性就降低了，栽培時容易引起缺鐵症狀。又如，磷酸鹽的多量使用將使磷酸根與微量元素，如鋅、鐵結合成溶解度較低的磷酸鋅及磷酸鐵，而使得培養液中鐵及鋅的有效性降低，容易引起微量元素之缺乏。

更實際一點，一公升養液中 Ca^{2+} 與 SO_4^{2-} 分別含 1 g(0.1 %)以上，就會有石膏 (CaSO_4) 沈澱。 Ca^{2+} 6 g， PO_4^{3-} 12 g 以上時，就會有磷酸一鈣 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 沈澱產生。硫酸鹽含硫(S)百分比會支配培養液中硫(S)的濃度。如 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 中含硫(S)13 %，要使培養液中硫的濃度在 0.1%以下時，應稀釋 130 倍以上。當然要把培養液中所有含硫酸鹽均全部計算含硫(S)量後，再由含硫量計算稀釋成 0.1 %以下，可能的話 0.05 %以下是必要的，山崎氏認為 0.03 %為標準培養液硫的濃度。

營養液濃度如何表示？

營養液濃度可分為直接表示法和間接表示法兩種。

一、直接表示法

直接表示法是指在一定重量或一定體積的溶液中，所含溶質的量，稱為溶液的濃度。無土栽培營養液常用一定體積的溶液中含有多少數量的溶質來表示其濃度。主要有下列幾種：

1.重量比：化合物千分之一(g/L, kg/m³)或百萬分之一(mg/L, g/m³, ppm)

每升溶液中含某化合物的重量數，重量可以用克或毫克表示，如每升營養液含有硝酸鉀 0.81 克(或者 810 毫克)。這種表示法通常稱為工作濃度或操作濃度，配製養液時是按照這種表示法來進行的。

2.重量比：元素百萬分之一(mg/L, ppm)

每升溶液中含有某營養元素的重量數。重量通常用毫克表示，如氮含量為每升 210 毫克(210 mg-N/L 或 210 ppm)，用元素重量表示濃度是科學研究比較上的需要，但不能直接用來進行養液配製。

3.單位容積的毫克分子量：毫莫耳濃度(mmol/L, mM)

每升溶液中含有某物質的毫莫耳數，某物質可以是元素、分子或離子。莫耳等於某物質的原子量、分子量或離子量。使用毫莫耳來表示濃度有助於瞭解溶液的確切化學組成，但不能直接進行操作，需進行換算後才能秤取配製。

4.單位容積的毫克當量：毫當量濃度(me/L)

每升溶液中含有某物質的毫當量數，某物質可以是元素、分子或離子。當量等於某物質的原子量、分子量或離子量與價數之比值，把某物質的重量除以當量即得當量數。使用當量數來表示濃度有助於瞭解溶液滲透勢之關係，但不能直接進行操作，亦需換算後才能秤取配製。植物從根部吸收養分時，係以 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 K^+ 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 H_2PO_4^- 等之離子型態被吸收，故要表現養液中之成分濃度時，也要盡量表明其離子數的關係。mM 與 me/L 之關係為在一價元素是相等的；在二價元素，1 mM=2 me/L。

二、間接表示法

間接表示法有下列 2 種：

1.電導度法(EC, dS/m)

通常配製營養液用的水溶性無機鹽是強電解質，其水溶液具有導電作用，導電能力的強弱可用電導度表示，在一定濃度範圍內，溶液的含鹽量(濃度)與電導度呈密切的正相關，含鹽量愈高，溶液的電導度愈大。因此，營養液的電導度能反映溶液中鹽分含量的高低，但電導度只反映營養液中各種鹽類總鹽分的濃度而不能反映各種鹽類的單獨濃度，但這已能滿足無土栽培中控制營養液的需要，是目前生產上最常用的測定方法。

2.滲透壓(OP, atm)

濃度不同的兩種溶液以半透膜相隔產生的水壓，水從濃度低的溶液中通過半透膜進到濃度高的溶液中就產生壓力，溶液濃度愈高，滲透壓力愈大，滲透壓的單位常用帕(Pa)表示，亦可以 atm, bar 表示， $1\text{ bar}=10^5\text{ Pa}=0.987\text{ atm}$ 。

三、各種表示法間的轉換

1.稀薄溶液間，離子濃度(C, mM)與滲透壓(OP, atm)之關係

$OP=0.0224CT$ ，式中 T 為絕對溫度(°K)

2.滲透壓(OP, atm)與電導度(EC, dS/m)

$OP=0.28-0.36EC$

3.當量濃度(C, me/L 或 ppm)與電導度(EC, dS/m)

$C(\text{me/L})=12.5EC$

$C(\text{ppm})=640EC$

以重量表示法，無論執行營養液配方的計算，或實際肥料的秤量，均較其他表示方式方便。然而，養分吸收時，最重要者為離子濃度，非為元素或離子重量。因此，當探討養液組成時，通常採用以離子數為基礎的毫當量濃度，較有意義。至於微量元素，由於其濃度稀薄，相互之間較不易互相制衡，以 ppm(當溶液極稀時， $\text{mg/L}=\text{mg/kg}=\text{ppm}$)表示即可。電導度表示法則因儀器使用簡便，其測值方便於栽培過程中濃度的管理。

根據肥料配方，如何選擇肥料種類與計算所需肥料量？

肥料種類選擇可依據下列順序，而獲得多種不同的正確處方。

- 1.選擇磷酸鹽：若配方含有 NH_4^+ ，則 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 是首選，若配方不含 NH_4^+ ，則選用 KH_2PO_4 ，亦可選用 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 。
- 2.選擇鈣鹽：通常以硝酸鈣為優先，硫酸鈣次之，高鈣配方才可選用氯化鈣。
- 3.選擇鎂鹽：通常以硫酸鎂提供。
- 4.選擇鉀鹽：磷酸一鉀中不足的鉀，硝酸鈣中不足的硝酸鹽，可由硝酸鉀提供，但需考慮鉀與硝酸鹽之量，由需求較少者決定，若鉀仍不足，可由硫酸鉀或氯化鉀補足，其中硫酸鉀優先於氯化鉀。
- 5.選擇微量元素：微量元素肥料的種類較少，通常鐵以 EDTA-Fe ，錳、銅、鋅以硫酸鹽，硼以硼酸或硼砂，鋁以鋁酸銨或鋁酸鈉提供。

配方組合，多種多樣，但總的量是完全符合配方需求的。

肥料配方常以化合物用量(g/1000L)、元素 ppm 數(mg/L)、離子毫當量濃度(me/L)或離子毫莫耳濃度(mmol/L, mM)表示。

以化合物用量表示，於配製養液時，完全不需轉換，只需秤出所需肥料量，然後溶於所需水量中即可。但仍然需要注意配方所描述肥料純度，或所選用肥料結晶水不一的問題，仔細核對，然後換算肥料真正需要量。

以元素 ppm 數表示時，需先將其除以原子量後轉換成莫耳數，其次乘上分子量，轉換成克數，最後除以純度而得所需化合物的量。例如某配方的鈣濃度為 160 ppm(mg/L 或 g/1000L)，欲以硝酸鈣提供，而硝酸鈣的純度為 90%，則配製 1000 公升養液所需硝酸鈣的量為 $(160/40) \times 236/0.9 = 1049 \text{ g}$ 。

以離子毫當量濃度(me/L)或離子毫莫耳濃度(mmol/L)表示時，亦需把肥料轉換成克數，然後秤量、溶解，才可配得所需的營養液。

配製濃縮貯備營養液時，如何注意肥料的沉澱問題？

配製營養液時，應注意避免難溶性物質的產生。良好平衡營養液配方配製成的營養液，應是不會產生沉澱的，但任何一種營養液配方都必然存在著產生難溶性物質沉澱的可能性。因為營養液含有鈣、鎂、鐵、錳等陽離子和磷酸根、硫酸根等陰離子，若配製過程掌握得好，就不會產生沉澱，掌握不好，就有可能產生沉澱。配製時應運用難溶性電解質溶解度積法則來指導，以免產生沉澱。為此，在配製濃縮貯備液或者工作營養液時，混合與溶解肥料應嚴格注意順序。要把鈣離子和硫酸根離子、磷酸根離子分開，即硝酸鈣不能與硫酸鹽類(如硫酸鎂)、磷酸鹽類(如磷酸一鉀)等混合，以免產生硫酸鈣或磷酸鈣沉澱。

配製濃縮的貯備液，一般將它們分成 A、B、C 三種母液。A 母液以鈣鹽為中心，凡不與鈣作用而產生沉澱的鹽都可放在一起。B 母液以磷酸鹽為中心，凡不與磷酸根形成沉澱的都可放在一起，A、B 母液製成工作液時的稀釋倍數大約為 250-500 倍。C 母液是微量元素，因其用量小，可以配成濃縮倍數更高的母液，有時可達 1000-5000 倍。母液的濃縮倍數，應以不致過飽和而析出為準，其倍數以配成整數為好，方便操作。若母液需貯存較長時間，應將其酸化，以防沉澱產生。母液應貯存於棕色容器中，避光保存。在以濃縮貯備液配製成工作營養液時，一定要將 A、B、C 三種貯備液分別稀釋後才加入，而且加入的速度要慢，在加入一種貯備液之後，須循環一段時間後，再加另一種貯備液。

配製濃縮貯備液的分開實例

貯備液	A 液	B 液	C 液
內容物	硝酸鈣、硝酸鉀、氯化鈣、氯化鉀、硝酸銨	磷酸一鉀、磷酸一銨、硫酸鎂、硫酸鉀	鉍形鐵、硫酸銅、硫酸鋅、硫酸錳、硼酸、鉬酸銨

水耕液中，一些常會形成沉澱的化合物的溶解度及其溶解度積

化合物	化學式	溶解度(g/100mL, 20°C)	溶解度積
硫酸鈣	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.24	1.2×10^{-6}
硫酸鉀	K_2SO_4	11.1	
硫酸鎂	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	25.2	
硫酸鐵	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$		
硫酸亞鐵	$\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	15.65	
磷酸一鈣	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.8	
碳酸鈣	CaCO_3	0.0014	4.8×10^{-9}
碳酸鎂	MgCO_3		1×10^{-5}
氫氧化亞鐵	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	0.00015	8×10^{-16}
氫氧化鐵	$\text{Fe}(\text{OH})_3$		4×10^{-38}
氫氧化鎂	$\text{Mg}(\text{OH})_2$		1.8×10^{-11}

直接配製工作營養液的步驟及注意事項如何？

- 1.根據配方，算出所需化合物的數量；
- 2.秤量肥料和配製過程中，應注意名實相符，防止秤錯肥料，並反覆核對確定無誤後才進行配製；
- 3.秤出個別肥料量(誤差 $\pm 5\%$)，依序成堆排列在 PE 布上、塑膠袋或夾鏈袋裡；
- 4.注入配製液量的 10%水於貯存池中；
- 5.將肥料鹽個別完全溶解在水桶中，然後逐一倒入貯存池，倒入時需一邊攪拌，一邊加水，直到所有鹽類完全溶解，假使肥料難溶，可使用熱水；
- 6.先溶大量元素，再溶微量元素；
- 7.大量元素中先溶硫酸鹽，磷酸鹽次之，硝酸鹽和氯化物最後溶，即以下列次序溶解之：
$$\text{K}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MgSO}_4 \rightarrow \text{KH}_2\text{PO}_4、\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 \rightarrow \text{KNO}_3、\text{KCl} \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2、\text{CaCl}_2$$
- 8.將水量加到所配養液量的 9 成 5，利用 3 M H_2SO_4 或 KOH 調整水耕液 pH 值在 6.5 左右；
- 9.將養液從貯存池中經栽培床循環流動 5-10 分鐘，再次調整 pH 值為 6.5，加入微量元素，注滿水到所需液量，再次確認 pH 值；
- 10.微量元素先溶硫酸鹽，在溶硼肥、鉬肥，最後溶鉈合態。

常見的水耕液問題？

- 1.水耕配方中常以硝酸鈣和硝酸鉀來提供氮源，當氮濃度改變時，鉀和鈣的濃度亦隨之改變，需藉 KCl、 CaCl_2 來調整鉀、鈣濃度，可能造成鹽度的增加；
- 2.水耕液多以硝酸鹽提供氮素，致培養液的 pH 值，一般均容易上升；
- 3.葉菜可食用部分類累積大量硝酸鹽；
- 4.一般葉片易呈淡綠色：水耕蔬菜由於長得比較快，養分吸收不及，常導致葉片顏色較淡；
- 5.藻類孳生問題：水耕系統中，若沒有將光線完全阻絕在外，則養液因養分充裕很容易使藻類孳生；
- 6.溶氧不足問題：夏季高溫常使溶氧不足；
- 7.沉澱問題：使用硫酸亞鐵為鐵源，若增加通氣量，常使 Fe^{2+} 氧化轉變成 Fe^{3+} ，產生褐色沉澱，並可能造成鐵的缺乏，當液溫超過 28°C 時，特別容易發生。

營養液配方(組成成分與濃度)是如何決定的？

確定各種營養液時，是以植物的需要為依據，模擬土壤溶液濃度或植物體內營養物質的組成設計而成。

1.以根圈土壤溶液濃度配製成不同種類營養液

Hoagland(1919)根據肥沃土壤溶液的組成，配製成 2 種不同濃度的營養液，分別用於大麥生育前期與後期，獲得良好結果。

以土壤溶液為基準而配成的 Hoagland 營養液 (Hoagland, 1919)

使用時期	NO ₃ ⁻ -N	P	K	Ca	Mg	S	滲透壓	pH
	mg/L						atm	
生育前期	700	136	284	200	99	368	0.78	6.8
生育後期	80	10.6	20.3	22.9	9.4	31.6	0.10	6.5

2.針對能正常成長及收穫量較高的植物體進行分析，以獲得該植物體所需吸取的元素的正確質與量

Hoagland 以蕃茄植體元素平均含量為基礎，決定蕃茄營養液配方。依據其所決定的質量，雖可明瞭植物吸收的離子比例與個別離子的總和，然而，對於養分吸收與水分消耗間的關係，以及養液全部離子濃度，卻無從決定。

Hoagland	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	P	K	Ca	Mg	S
配方	mg/L						
一(1933)	210	-	31	234	200	48	64
二(1935)	196	14	31	234	160	48	64
三(1940)	196	28	62	390	80	48	64

3.以消耗水量與消耗養分量為依據進行配製

山崎(1966-76)等就正常生長之土壤與溶液進行分析，並以此為依據進行消耗水量與消耗養分濃度關係之研究，提出 n/w [n/w =各種成分之吸收量(me)/消耗水量(L)] 與 N/W [N/W =各種肥料成分之離子量(me)/溶媒水量(L)]。當 $n/w \div N/W$ 時，最適作物生長，且養液無需更換。

良好養液配方考量的因子有那些？

養液栽培過程中，配合生育期需要，確有調整養液的必要，而調整的依據分析如下：

1.作物的種類和品系

作物種類不同，對養分的需求不一樣。相對而言，葉菜類需較多的氮，而蕃茄和小黃瓜需較多的磷鉀鈣；果菜類需低氮(80-90 ppm)，葉菜類需高氮(140 ppm)；根菜類需高鉀(300 ppm)，葉菜類低鉀(150 ppm)。

2.生長期

以蕃茄為例：營養生長期 N/K=1/5(80 ppm N, 400 ppm K)

開花結果期 N/K=1/3(110 ppm N, 300 ppm K)

果實成熟期 N/K=1/1.5(140 ppm N, 210 ppm K)

第一真葉至 14-16 吋高 S/3

14-16 吋至 24 吋高 2S/3

結果初期 S

S 為完全營養液的導電度值
S/3 為三分之一標準液濃度

以小黃瓜為例：第一果實著果前 S/3

第一果實著果後 2S/3

3.收穫部位

採收葉者需氮較多；採收果實者需氮較少，需磷鉀鈣較多；採收根者需鉀最多。

4.季節(日長)和氣候(日照強度和溫度)

低溫季節(秋末冬初)，高鉀可改善果實品質；長艷日夏季，與短弱日冬季相比，植物需較多的氮，較少的鉀，冬季的鉀氮比是夏季的 2 倍；下表為不同作物、不同氣候區，夏季和冬季需要三要素的相對重量含量比值。

作物	氣候區	季節	N	P	K
康乃馨、玫瑰、蕃茄	中歐	夏	1	0.2-0.3	1-1.5
		冬	1	0.3-0.5	2-4
	地中海	夏	1	0.2	1
		冬	1	0.3	1.5-2
萵苣和其他葉菜		夏	1	0.2	1
		冬	2	0.3	2

作為無土栽培氮源的肥料有那些？

水耕氮源主要有硝酸態氮和銨態氮兩類，包括的肥料有

肥料種類	化學式	分子 量	氮含 量%	生理 反應	溶解度(20°C) g/100 mL	性質說明
硝酸鈣	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	236.1	11.8	鹼	127.0	白色小晶固體，易溶於水，極易吸濕潮解，應注意乾燥保存，助燃易爆
硝酸鉀	KNO_3	101.1	13.8	弱鹼	31.5	是一種強氧化劑，遇火能爆炸，常易受潮結塊，貯存運輸中應注意安全
硝酸銨	NH_4NO_3	80.1	35.0	微酸	118.3	含銨態、硝態氮各半，具吸濕性，助燃易爆，在光照不足的情況下，可用以改善缺氮徵狀
氯化銨	NH_4Cl	53.5	26.1	極酸	163.0	吸濕性較硫酸銨大，迅速使土壤酸化
硫酸銨	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	132.2	21.2	極酸	70.6	吸濕性小，物理性佳，易使土壤酸化，在光照不足的情況下，可用以改善缺氮徵狀
磷酸一銨	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	115.0	12.2	微酸	22.7	灰白粉末狀，不吸濕結塊
磷酸二銨	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	132.1	21.2	微鹼	57.5	灰白色粉末，稍吸濕結塊

在無土栽培生產中，使用較多的氮素肥料有硝酸鈣、硝酸鉀、硝酸銨、磷酸一銨等。常以硝酸態氮為主，因為硝酸態氮雖為生理鹼性，但引起的生理鹼性變化幅度較小，易控制；而銨態氮所產生生理酸性較強，使水耕液 pH 值變化較劇烈，且不易控制。

硝酸態氮和銨態氮源是具有同等營養作用。生產上只需採取適當措施克服其伴隨生理酸鹼性質的不良影響，均可以做為氮源使用。銨態氮肥通常在光照充足情形下或缺氮而急需補充氮肥時使用。

深入
探討

尿素和氰氨化鈣可以作為水耕氮源嗎？為什麼？

作為無土栽培磷源的肥料有那些？

若配方中含有銨，以選用磷酸一銨為主，否則選用磷酸一鉀。一般肥料磷酸銨是磷酸一銨和磷酸二銨的混合物，使用前應瞭解其氮、磷含量。在配方中若能併用磷酸一鉀和磷酸二鉀，或多或少都能增加配方對 pH 值的緩衝性能。

肥料種類	化學式	分子量	磷含量 %	生理 反應	溶解度(20°C) g/100 mL	性質說明
磷酸一鉀	KH_2PO_4	136.1	22.8	中性	33.0	吸濕性小
磷酸一銨	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	115.0	26.9	微酸	22.7	灰白色粉末，不吸濕結塊
磷酸二銨	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	132.1	23.4	微鹼	57.5	灰白色粉末，稍吸濕結塊
磷酸一鈣	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	252.1	12.3	微鹼	1.8	價低廉，不易溶解，用熱水溶之
磷酸	H_3PO_4	98.0	26.9	酸	∞	用於調整酸鹼度或矯正磷缺乏

深入 探討	過磷酸鈣可以作為水耕磷源嗎？為什麼？
----------	--------------------

無土栽培鉀、鈣、鎂肥有那幾種？它們各有何特點？

鉀肥以磷酸一鉀、磷酸二鉀、硝酸鉀、硫酸鉀、氯化鉀的優先次序選用，鈣肥以硝酸鈣、硫酸鈣、氯化鈣的優先次序選用，鎂以硫酸鎂供應。

肥料種類	化學式	分子量	鉀含量 %	生理 反應	溶解度(20°C) g/100 mL	性質說明
硝酸鉀	KNO_3	101.1	38.6	弱鹼	31.6	是一種強氧化劑，遇火能爆炸，易受潮結塊，貯存運輸中應注意安全
氯化鉀	KCl	74.6	52.3	極酸	26.5	稍具吸濕性，長期貯存會結塊；養液中低食鹽時，才可用於改善缺鉀徵狀
硫酸鉀	K_2SO_4	174.3	44.8	強酸	11.1	白色小晶固體，物理性佳，不具吸濕性；溶解度不高，可用熱水溶之
磷酸一鉀	KH_2PO_4	136.1	22.8	中性	22.6	白色小晶固體，吸濕性小
硝酸鈣	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	236.1	16.9	鹼	129.3	白色小晶固體，易溶於水，極易吸濕潮解，應注意乾燥保存，助燃易爆
氯化鈣	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	219.1	18.3	酸	74.5	強吸濕性，養液中低食鹽時，才可用於改善缺鈣徵狀
硫酸鈣	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	172.2	29.4	酸	0.2	白色粉末，溶解度很小，養液中很少使用
硫酸鎂	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246.5	9.8	酸	25.2	白色小晶固體，價廉，易溶

無土栽培中的鐵源是什麼？為什麼要對鐵元素進行鉗合？

無土栽培發展的早期，鐵源為硫酸亞鐵($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)或氯化鐵($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)。氯化鐵分子量 270.3，含鐵 20.7%，呈黃棕色或橙黃色的塊狀結晶，稍帶鹽酸氣味，在空氣中極易潮解，易溶於水。硫酸亞鐵，俗稱綠礬，可提供鐵和硫，分子量為 278.0，含鐵 20.1%，為黃綠色晶體，性質不穩定，易失水氧化變成棕色的硫酸鐵，在高溫和強光照或有鹼性物質存在的條件下，更不穩定。硫酸亞鐵是一些工業的副產品，來源廣泛，價格又便宜，是無土栽培作物的重要鐵源，也是製造其他鐵肥(如硫酸亞鐵銨和鉗合鐵)的原料。由於氯化鐵和硫酸亞鐵等無機鐵鹽在鹼性時很容易變成磷酸鐵或氫氧化鐵沉澱而失效，甚至在中性情況下也會被氧化成鹼式鹽沉澱，而低價的硫酸亞鐵易被空氣中的氧氧化為高價鐵而失效，常造成植物缺鐵，後來栽培中的鐵鹽改為有機鐵(如檸檬酸鐵和酒石酸鐵)，這些化合物在有效性上雖比氯化鐵、硫酸亞鐵好些，但本身很不穩定，故其效果也不理想。

鐵鉗合物為淺棕色或暗棕色粉末狀物質，在無土栽培營養液中鉗合鐵能形成穩定的化合物，能保持較長時間的有效性，其有效性不易受 pH 值的影響。鐵的鉗合物主要有 Na_2FeEDTA 、 Na_2FeDTPA 等多種。由於 Na_2FeEDTA (含鐵 10.5%) 價格便宜，穩定性也較好，是目前最常用的鐵肥。

無土栽培的微量元素肥料有那些？

所謂微量元素是按植物體內含量來劃分，一般以低於千分之一(0.1%)者屬之。在植物所必需的 18 種營養元素中，有 9 種(即氮、鐵、硼、錳、鋅、銅、鉬、鈷、鎳)為微量元素。氮由於其容許存在的範圍較寬，生產用水與肥料鹽的不純物中都有足夠植物生長需要的氮存在，所以不再添加。鈷與鎳的需要量非常少，存在於種子中的量已足敷需求(若以水耕種植，採收種子後再種，就必須添加了)，故通常所講的微量元素指鐵、硼、錳、鋅、銅、鉬 6 種。

肥料種類	化學式	分子量	元素含量%	溶解度 (20°C) g/100mL	性質說明
硼酸	H ₃ BO ₃	61.8	17.5	4.6	無色或白色結晶粉末，易溶於熱水，呈無色的水溶液
硼砂	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	381.4	11.3	4.0	無色或白色結晶狀，易溶於水
硫酸錳	MnSO ₄ ·4H ₂ O	223.1	23.5	50.0	粉紅色晶體狀
硫酸鋅	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	287.6	22.7	36.6	無色或白色結晶粒或粉末物質，很易溶於水
硫酸銅	CuSO ₄ ·5H ₂ O	249.7	25.5	20.7	藍色結晶物質
鉬酸銨	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	1235.9	54.3	10.0	白色、無色、淺黃色或淺綠色結晶顆粒或粉末，易溶於水
鉬酸鈉	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	241.9	38.8		白色粉末，易溶於水
硫酸亞鐵	FeSO ₄ ·7H ₂ O	278	20.0	26.0	
EDTA-Fe		421	12.5	42.1	淺綠色粉末

主要肥料的分子式、分子量、溶解度、純度與價格表

肥料	分子式	分子量	可吸收養分 形態	溶解度 20°C(g/l)	純度 (%)	價格 (元/kg)
硝酸鉀	KNO ₃	101	K ⁺ , NO ₃ ⁻	315	95	30
硝酸鈣	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O 無水鹽 Ca(NO ₃) ₂	236	Ca ⁺² , 2(NO ₃ ⁻)	1270	70 90	45
硝酸鈉	NaNO ₃		Na ⁺ , NO ₃ ⁻		98	19
尿素	CO(NH ₂) ₂	60	NH ₄ ⁺	1000	98	12
氯化銨	NH ₄ Cl	53	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻	1630		18
磷酸一銨	NH ₄ H ₂ PO ₄	115	NH ₄ ⁺ , H ₂ PO ₄ ⁻	365	98	40
硫酸鎂	MgSO ₄ ·7H ₂ O	246	Mg ⁺² , SO ₄ ⁻²	356	45	15
硝酸銨	NH ₄ NO ₃	80	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻	1877	98	31
硫酸銨	(NH ₄) ₂ SO ₄	132	2NH ₄ ⁺ , SO ₄ ⁻²	754	94	4.6
氯化銨	NH ₄ Cl	53	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻	1630		12
硫酸鉀	K ₂ SO ₄	174	2K ⁺ , SO ₄ ⁻	111	90	31
氯化鉀	KCl	74	K ⁺ , Cl ⁻	343	95	10
氯化鈣	CaCl ₂ ·2H ₂ O	147	Ca ⁺² , Cl ⁻	536	75	12
磷酸一鉀	KH ₂ PO ₄	136	K ⁺ , H ₂ PO ₄ ⁻	227	98	60
磷酸一鈉	NaH ₂ PO ₄ ·H ₂ O	138	Na ⁺ , H ₂ PO ₄ ⁻	857		35
磷酸一鈣	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O	252	Ca ⁺² , H ₂ PO ₄ ⁻	18		56
硫酸亞鐵	FeSO ₄ ·7H ₂ O	270	Fe ²⁺ , SO ₄ ²⁻	260		16
EDTA 鐵	Fe-EDTA	421	Fe ⁺²	421		340
硼酸	H ₃ BO ₃	62	H ₃ BO ₃	46		23
硫酸鋅	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	288	Zn ⁺² , SO ₄ ⁻²	366		33
硫酸銅	CuSO ₄ ·5H ₂ O	250	Cu ⁺² , SO ₄ ⁻²	168		39
鉬酸銨	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O		NH ₄ ⁺ , Mo ₇ O ₂₄ ⁻⁶	100		863
硫酸錳	MnSO ₄ ·4H ₂ O	223	Mn ⁺² , SO ₄ ⁻²	500	99	50

養液的調製依據與配方有那些？

作物對於養分的吸收隨種類及品種、生育階段、收穫部位(如根、莖、葉、花或果實等)、環境因子(如日長、日強、溫度、濕度等)、栽培方式(介質有無、介質性質、供液方式)而不同。因此，雖然對許多的特定作物有所謂的最適組成，但實際上養液的組成及濃度有時變化很大，仍有自行修正以建立本身最適標準的必要。調整配方係根據下列幾項因子而決定。

- 1.某些作物對某些元素有特別喜好，所以配方要因應作物需求；
- 2.元素的相對濃度比絕對濃度重要；
- 3.循環速度或次數增加，養液濃度可以調降；
- 4.密閉循環水耕系統中，必須每天添加水分以維持養液量；
- 5.營養元素伴隨水分而被作物吸收，所以添加水分時亦必須添加養分。

荷蘭岩綿栽培之營養液組成

成分	胡瓜	蕃茄	甜椒	茄子	康乃馨	玫瑰	非洲菊	火鶴	虎頭蘭	菊花
EC dS/m	2.1	2.3	1.7	1.7	2.2	1.8	1.8	1.1	1.0	1.4
NO ₃ ⁻ *	15.7	13.5	12.25	12.0	15.0	13.0	13.0	6.5	3.8	10.5
H ₂ PO ₄ ⁻	1.5	2.0	1.25	1.5	1.75	1.75	1.5	1.0	1.0	1.0
SO ₄ ²⁻	1.25	3.5	1.25	1.0	1.5	1.50	1.25	1.5	2.3	1.0
NH ₄ ⁺	0.5	0.5	0.25	0.5	0.5	0.75	0.5	0.5	1.0	0.5
K ⁺	8.0	9.5	6.0	6.0	7.25	6.0	6.5	4.5	3.2	5.0
Ca ²⁺	4.25	4.75	3.75	3.0	4.75	4.5	4.0	1.75	1.7	3.0
Mg ²⁺	1.375	1.5	1.125	1.5	1.25	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0
Fe	15	15	10	10	25	25	35	15	8	60
Mn	10	10	10	10	10	5	5	3	20	20
Zn	5	5	4	4	4	3.5	4	3	4	3
B	25	25	25	20	25	20	30	20	20	20
Cu	0.75	0.75	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75	0.5	0.4	0.5
Mo	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5

*大量元素單位為 mmol/L，微量元素單位為μmol/L

常用於無土栽培之營養液組成成分濃度(ppm)

要素	美國 Hoagland	英國 Cooper	荷蘭 Steiner	美國 Wilcox1	美國 Wilcox2	加拿大 Resh	日本 園試	丹麥 Grodan
N	210	200	171	132	162	175	132	150
P	31	60	48	58	58	65	42	35
K	234	300	304	200	284	400	314	190
Ca	160	170	180	136	136	197	162	150
Mg	48	50	48	47	47	44	50	30
Fe	50	12	3	4	4	2	3	1
Mn	0.5	2	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.75
B	0.5	0.3	0.3	1.5	1.5	0.5	0.5	0.2
Zn	0.05	0.1	0.4	0.3	0.3	0.05	0.05	
Cu	0.02	0.1	0.2	0.1	0.1	0.05	0.02	
Mo	0.01	0.2	0.1	0.1	0.1	0.02	0.01	

日本山崎氏依作物別之適宜養液組成

養液 配方	硝酸鉀	硝酸鈣	硫酸鎂	磷酸 一鉍	EDTA- Fe	成分濃度					電導度
						硝酸態氮	鉀	鈣	磷	鎂	
						g/1000 公升					me/L
胡瓜	610	830	500	120	20	13	6	7	3	4	2.0
洋香瓜	610	830	380	155	20	13	6	7	4	3	2.0
西瓜	610	830	185	60	20	13	6	7	1.5	1.5	1.6
菠菜	300	470	250	80	20	7	3	4	2	2	1.1
草莓	310	240	125	60	20	5	3	2	1.5	1	0.7
甜椒	610	360	250	100	20	9	6	3	2.5	2	1.3
茄子	710	360	250	120	20	10	7	3	3	2	1.5
萵苣	400	240	125	60	20	6	4	2	1.5	1	0.8
茼蒿	810	470	500	155	20	12	8	4	4	4	2.0
蕪菁	510	240	125	60	20	7	5	2	1.5	1	0.9
鴨兒芹	710	240	250	190	20	9	7	2	5	2	1.6
康乃馨	400	590	310	80	20	9	4	5	2	2.5	1.3
玫瑰花	300	360	150	60	20	10	3	3	1.5	1.2	1.3
火鶴花	200	240	200	30	20	4	2	2	0.8	1.6	0.6
秋菊	400	240	125	80	20	8	4	2	2	1	1.1
柑橘	200	470	185	60	20	6	2	4	1.5	1.5	0.9
蕪菜	707	354	246	152	20	10	7	3	4	2	1.6
蕃茄	400	360	250	80	20	7	4	3	2	2	1.1
蕃茄 ¹	810	950	500	155	20	16	8	8	4	4	2.4
蕃茄 ²	610	470	500	155	20	10	6	10	4	4	1.6
蕃茄 ³	610	950	500	120	3.73	14	6	8	3	4	
蕃茄 ⁴						13.5	9.5	9.5	6	3	2.3
蕃茄 ⁵	583	1003	513	263 ⁶	79						
蕃茄 ⁷⁸	220	590	490	90 ⁶	22.6						
蕃茄 ⁹	700	800	400	130	12						2.0

¹²³⁴⁵⁷⁹ 分別為日本園試、神奈川、美國 Johnson、荷蘭 Sonneveld & Krey、英國 Cooper、台灣亞蔬及阿波羅水耕處方

⁶ 以磷酸一鉀取代磷酸一鉍

⁸ 配方中又加了 180 g/1000 L 的氯化鈣($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

日本山崎營養液微量元素之組成

要素	肥料名稱	分子式	分子量	要素含量 %	化合物 g/1000L	溶解度 g/L	養液濃度 ppm
Fe	鉗形鐵*	Fe-EDTA	421	12.5	24	421	3
	硫酸亞鐵	FeSO ₄ ·7H ₂ O	278	20.0	15	260	
B	硼酸	H ₃ BO ₃	62	18.0	3	100	0.5
	硼砂	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	381	11.6	4.5	25	
Mn	氯化錳	MnCl ₂ · 4H ₂ O	198	28.0	1.8	735	0.5
	硫酸錳	MnSO ₄ ·4H ₂ O	223	23.5	2	629	
Zn	硫酸鋅	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	288	23.0	0.22	550	0.05
Cu	硫酸銅	CuSO ₄ ·5H ₂ O	250	25.5	0.05	220	0.02
Mo	鉬酸鈉	Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	206	47.0	0.02		0.01
	鉬酸銨	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	1164	49.0	0.02		
Cl	KNO ₃ 中不純物或水中已含有。35ppm 內為限，350ppm 以上有害						1.75

*列有 2 種肥料者，選用其中一種即可

微量元素配方(g/1000L)

名稱	EDTA-Fe	硼酸	硫酸錳	硫酸鋅	硫酸銅	鉬酸銨	鉬酸鈉
日山崎	24	3	2	0.22	0.05	0.02	
日園試	20	3	2	0.22	0.05	0.02	
美 Johnson	3.73	1.55	0.34	0.58	0.13		0.081
英 Cooper	79	1.7	6.1	0.44	0.39	0.37	
台亞蔬	22.6	2.86	1.54	0.22	0.08	0.03	
台阿波羅	12	1.8	1.2	0.13	0.03	0.012	
丹 Grodan	1.00	0.20	0.75	-	-	-	
荷 Sonneveld*	15	25	10	5	0.75	0.5	

*荷 Sonneveld 的單位為μmol/L

水耕栽培是否每種作物都應有一種專用配方？

從大面積作物水耕栽培來看，為了提高產品品質和產量，每一類作物應有它專用的營養液配方，但是小面積、多樣化的栽培下，多種配方易發生管理上的不方便，因此，如果因應果菜、葉菜和根菜而提出相應的配方，基本上已經夠用了，但是還是必需了解期間的小差異，而進行適時適量增補，當可使作物生長更好。

液態肥料(營養液)配製計算範例

- 1.利用硝酸鈣 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 配製含有 200 mg-Ca/L 的溶液？(假設硝酸鈣的純度為 90%)

硝酸鈣的分子量為 $40+2(14)+6(16)+4(18)=236$

$$200 \times 236 / 40 = 820(\text{mg})$$

$820 / 0.90 = 911(\text{mg})$ 將 911 毫克的硝酸鈣溶於水中，並稀釋至 1 L，即得。

- 2.利用硝酸鈣 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 和氯化鈣 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 配製含有 300 mg-Ca/L 和 150 mg-N/L 的溶液？(假設硝酸鈣和氯化鈣純度分別為 90 和 75%)

- 3.計算下列 4 組肥料(括弧內為三要素 N、 P_2O_5 、 K_2O 含量)於配製 1 m^3 含氮與鉀都為 200 ppm 的養液時，各需要多少肥料？請列出計算式子。(20 分)

(1)Ammonium sulfate(20-0-0)

Potassium chloride(0-0-60)

(2)Ammonium nitrate(33.5-0-0)

Potassium nitrate(13-0-44)

(3)Urea(46-0-0)

Potassium nitrate(13-0-44)

(4)Ammonium nitrate(33.5-0-0)

Calcium nitrate(15-0-0)

Potassium chloride(0-0-60)

- 4.日本山崎氏茼蒿養液大量元素組成如下

濃縮液		用量 (mL/L)	(1)試計算日本山崎氏茼蒿養液中氮、磷、鉀、鈣及鎂的濃度。請以 mg/L、me/L 及 mmol/L 表示之。(註：氮、磷、鉀、鈣、鎂的原子量分別為 14、31、39、40 及 24。 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 、 KNO_3 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 及 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 的分子量分別為 115、101、236 及 246。)
1.33 M	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	1.0	
1 M	KNO_3	8.0	
1 M	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2.0	
1 M	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2.0	

(2)欲配製 1000 公升日本山崎氏萵苣養液，各需上述肥料多少公克？假設肥料純度均為 100%。

5.荷蘭岩綿栽培菊花之大量元素營養液組成如右表，如欲配製 1000 公升養液，請根據表列資料推薦肥料種類，並計算肥料用量。(假設肥料純度均為 100%，各成分的單位為 mmol/L)

成分	菊花
NO_3^-	10.5
H_2PO_4^-	1.0
SO_4^{2-}	1.0
NH_4^+	0.5
K^+	5.0
Ca^{2+}	3.0
Mg^{2+}	1.0

6.福格蘭養液配方(Hoagland's nutrient solution formulas)的大量元素用量如右表，請算出該配方化合物濃度(g/m³)、氮、磷、鉀、鈣及鎂的重量比濃度(mg/L)、毫莫耳濃度(mM)、毫當量濃度(me/L)各為何？(假設(NH₄)H₂PO₄、KNO₃、Ca(NO₃)₂·4H₂O及MgSO₄·7H₂O之純度分別為98、95、85及95%，H, O, N, P, K, Ca, Mg之原子量分別為1, 16, 14, 31, 39, 40及24)。

濃縮液	使用時用量 (mL/L)
1M (NH ₄)H ₂ PO ₄	1.0
1M KNO ₃	6.0
1M Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	4.0
1M MgSO ₄ ·7H ₂ O	2.0

7.5 個不同來源的蕃茄養液配方如下表，根據表列資料回答問題

- (1)寫出每個配方在配製 1000 公升養液時，所需的肥料種類與用量？(假設肥料純度為 100%)
- (2)一般而言，一個好的養液配方，需具備平衡的離子濃度，對陽離子鉀、鈣和鎂的當量百分比分別為 30-40、35-55 和 15-30%可符合平衡需求，請問表列 5 種配方是否都可達到平衡需求？
- (3)將 5 個配方的初始 pH 值調整在 6.0，然後開始種植蕃茄，請你預測 3 星期後水耕液 pH 值的排序如何？為何會有這樣的改變？
- (4)5 個配方的成分差異很大，你能不能推測各個配方適用於何種情況下？例如何種氣溫、季節、生長期等等。
- (5)如果你是一位水耕專家，表列哪一個配方比較符合台灣的夏季氣候？又如果配方成分需要調整，你會如何修正，並寫出你做如此修正的理由？

蕃茄配方	單位	成分濃度					
		硝酸態氮	鉀	鈣	磷	鎂	銨態氮
山崎	me/L	7	4	3	2	2	0.67
Sonneveld & Krey	me/L	13.5	9.5	9.5	6	3	0.5
神奈川	me/L	10	6	10	4	4	1.33
園試	mmol/L	16	8	4	1.33	2	1.33
Hoagland	mg/L	196	234	160	31	48	14