

培養液組成之 理論和實際(中)

專
題
報
導

前種苗改良場場長 沈再發

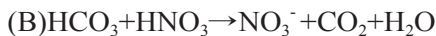
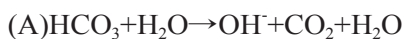
五、培養液的水源

通常以井水為多，其次為自來水、泉水、河川水、雨水等。在井水中主要要注意Na、Cl、Ca、Mg、Fe或CH₃的問題。但微量元素Zn、Cu、Mo、Cl含有之必要者量是有的，此地方之水源利用，上述之微量元素就不必施用。井水含有Fe多量時，取出後氧化成不溶性Fe³⁺，作物也難吸收，並且常造成栽培管路上沉澱阻塞。如Na含有500ppm以上的地方，特別是沿海地區，會因為Na之吸收直接引起障害，同時也對K、Ca和Mg之吸收抑制，如番茄之缺Ca現象、草莓之缺乏K現象，致使作物吸收能力降低，其生育和收穫量也降低。Cl高濃度地還含有700ppm者也很存在的，如果是100ppm左右，對作物吸收不引起障害的。但是高濃度時，培養液高濃度時其滲透壓影響，亦影響作物之吸水能力。

如水源為石灰岩地Ca含有170ppm以上時，其培養液pH也高，高於7.5以上時易引起缺Fe、Mg、P之症狀，其調整也相當困難。如有此水源時，Ca肥略為減少，K肥略加，使Ca/K比例平衡。諸如鳳山地區之用水中含有Ca 48ppm、Mg 14.6ppm，旗山則含有Ca 84ppm、Mg 19.5ppm，台北松山之自來水中含有Ca 7.9ppm、Mg 2.3ppm，而台中縣太平K 2.4ppm、Ca 43.5ppm、Mg 17.3ppm，顯然旗山、鳳山之水質含鈣質較高。

水源之水質，首先調查項目是EC、pH、NO₃-N、NH₄-N、P、K、Ca、Mg、Na及Cl等，以日本千葉農試列出水源之各成分界限濃度表如(表六)供參考用。如果其界限濃度以內水源可使用，如果超出濃度時此水源不能使用，最好另外找水源(大致EC 0.3mS/cm以下)。

另外，如水中重碳酸高，如與Na⁺等陽離子結合成很高pH值。因此，需要添加酸素中和，通常水中其重碳酸當量30~50ppm左右最適合，如果超過80ppm以上就不適當。高濃度之HCO₃反應是以(A)方式使pH上升之原因，中和之反應是以(B)方式。中和時通常以硝酸(約4%)或以磷酸(約40%)使用。相反的，如水源要提高pH時，可以含有HCO₃之用水使用，也可以碳酸，氫氧化鉀或氫氧化鈣(以前者為好)使用。



六、培養液之組成

對於作物之培養液組成，在栽培中其變化是極常見的，如果組成需修正時，應充分瞭解，對於專門的最適之組

表六、培養栽培之水源之各成分界限濃度(單位ppm)(日本千葉農試)

成份	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	Fe
界限濃度	< 60	< 30	< 80	< 80	< 40	< 80	< 200	< 10

成雖然有許多文獻，但是仍需佐以現地栽培加以證明。最適之組成受下列因素影響：

- (一)作物之種類和品種。
- (二)作物之生育階段。
- (三)收穫的部份，如根、莖、葉或果實等。
- (四)季節—日長。
- (五)氣象—溫度、濕度、日照。
- (六)栽培之方式

前述，有關培養液之組成非常多，Hewitt(1966)就收集160種處方，Resh也列出33種處方，由於種類很多如何選定何種配方，首先要瞭解主要形成配方之方法，大致可分為四種：

(一)依據生育良好而豐收的植物體、土壤分析後，以該組成經再試驗後確定為最適者。

(二)依據培養液的構成要素分成陽離子和陰離子，行各離子間各種比率的組合試驗，以表現最好之培養液組成和濃度所算出者。

(三)依據作物的生長階段詳細調查其養分和水分之吸收量，將此養分吸收之形態(pattern)以決定其組成和濃度者。

(四)重視培養液吸收過程和吸收之形態，以培養液的管理方式來調整為重點者。

在目前實際應用上較有名的Hoagland和Arnon培養液和日本之園藝試驗場處方為屬於第一方法。日本之名城大學高野依離子別所作成之培養液屬於第二方法。日本山崎以養液的穩定性管理為出發點所作成之作物別培養液為第三方法。而為使某些要素加重其吸收而出發點的神奈川園藝試驗場處方，番茄缺鈣而重鈣的濃度所作成的培養液，就是屬於第四方法。以上之培養液組成濃度列於(表七)供參考。

以被廣泛之應用得最多的美國Hoagland和Arnon(1950)培養液(番茄)和日本園試培養液(1963)、英國Cooper's培養液(NFT)等也列在(表八)以供參考。

日本之水耕以前述第三種方法運用山崎以各作物別吸收成份濃度比(n/w)，n是me單位表示各成份之吸收量，w是吸收蒸發散所減少水量L(公升)，即養分之吸收量詳細的調查後決定組成和濃度，並將肥料鹽用量列於(表九)。

七、作物對氮素形態的營養特性

(一) 氮素形態

土壤中施用氮素肥料通常很迅速變為氧化物，亦即短時間內變成硝酸態氮($\text{NO}_3\text{-N}$)，因此N素之形態是無所謂的。但是在養液栽培時N素形態之變化在短時間是不變的，因此N素形態就必須注意。在養液栽培時N素肥料之形態以硝酸態氮較好，而銨態氮($\text{NH}_4\text{-N}$)時常有障害發生。通常以硝酸態氮時：

1. 培養液之N素濃度變化時K和Ca之濃度也會變化。
2. 培養液之pH有上升的現象。
3. 葉色較淡綠色。
4. 植物體內對人體有害的 $\text{NO}_3\text{-}$ 濃度也高。
5. 植物吸收 $\text{NO}_3\text{-}$ 和光合作用需要光的存在，如於弱光條件下其吸收光合作用也會被抑制。
6. 新葉或新梢容易折斷。

相對的， $\text{NH}_4\text{-N}$ 單獨使用，很容易發生生育障害之現象。但是，其營養特性或施用條件與對 $\text{NO}_3\text{-N}$ 相反，故將 $\text{NH}_4\text{-N}$ 與 $\text{NO}_3\text{-N}$ 併用比 $\text{NO}_3\text{-N}$ 單用可解決上述的問題。因此，以 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的併用時，較 $\text{NO}_3\text{-N}$ 單用時，其生育量得

到增加之效果。特別是葉菜類特別有效果。

(二) 有關氮素吸收之作物特性

作物種類和pH之不同對氮素之吸收具有不同選擇性。依池田(1981) 蔬菜之N素的吸收特性分類成如(表十)。

從(表十)中可分成下列數種狀況：

1. $\text{NH}_4\text{-N}$ 優先吸收與pH無關者：草莓、玉米、洋香瓜、胡瓜、萵苣、鴨兒芹、芹菜、茼蒿。

2. pH 7時 $\text{NH}_4\text{-N}$ 優先吸收，而pH 5時 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 同程度吸收者：茄、毛豆。

3. $\text{NO}_3\text{-N}$ 優先吸收與pH無關者：菠菜、白菜、蕪菁。

4. pH 5時 $\text{NO}_3\text{-N}$ 優先吸收，而pH 7時 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 同程度吸收者：豌豆、菜豆、西瓜、番茄、甘藍。

5. pH 5時 $\text{NO}_3\text{-N}$ 優先吸收，pH 7時 $\text{NH}_4\text{-N}$ 時優先吸收者：甜椒。

上述培養液中，僅以 $\text{NO}_3\text{-N}$ 為氮源時，於栽培期間pH常有上升的趨勢，如以 $\text{NH}_4\text{-N}$ 為氮源時則pH逐漸下

降。作物如為 $\text{NH}_4\text{-N}$ 優先被吸收者，培養液之pH會下降。但於 $\text{NH}_4\text{-N}$ 吸收完畢時，pH並非不變化，反而上升。

培養液pH之變化，不僅依氮之形態有所影響，而且培養液中 NO_3 和 NH_4 ，以適當的比率供給的話，也可使pH的變化減少。例如(圖一)所示，胡瓜、萵苣不論 NO_3 和 NH_4 之比率多少，培養液中只要 NH_4 存在的話其pH會下降，但是菠菜的培養液中 NO_3 和 NH_4 之比率以4:8~8:4(me/L)供給的話，pH可長時間維持穩定。

水耕以 NO_3 和 NH_4 適當比率時，通常比 NO_3 單獨使用時生育良好。同時，由於

表七、各種培養液之成分濃度 (me/L)

培養液處方	$\text{NO}_3\text{-N}$	P	K	Ca	Mg
Arnon及Hoagland	16	6	10	6	4
日本園藝試驗場標準	16	4	8	8	4
神奈川園試處方(番茄)	10	4	6	10	4
山崎處方(番茄)	7	2	4	3	2
高野處方	13	4	6	7	4.4

表八、常用於無土栽培之標準液濃度 (ppm)

培養液要素	美國	英國	荷蘭	美國	美國	加拿大	日本園試場
	Hoagland and Arnon	Cooper	Modified Steiner	Wilcox 1	Wilcox 2	Resh	
N	210	200	171	132	162	175	132
P	31	60	48	58	58	65	42
K	234	300	304	200	284	400	314
Ca	160	170	180	136	136	197	162
Mg	48	50	48	47	47	44	50
Fe	50	12	3	4	4	2	3
Mn	0.5	2	1	0.5	0.5	0.5	0.5
B	0.5	1.5	0.3	1.5	1.5	0.5	0.5
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

NO₃-之還原酵素的活性有賴光的存在，於弱光或光不足條件下，其活性降低，NO₃-之吸收也隨而降低。因此，光不足的條件下則以NH₄-之氮源較為有利，在秋冬季可略增加NH₄-N濃度，使光不足的生育差異得到改善。依日本安田、永井(1981)之試驗，NO₃:NH₄鴨兒芹以4:6，草莓以6:4則生育良好。番茄於冬季光照不足時以5:1~11.5:0.5，胡瓜以3:1以下時也可使生育正常(安井、本田1982)。鳳山農試所分所以洋香瓜進行不同NO₃/NH₄比率試驗結果顯示，NH₄較高比率時，株高似有略高的現象，但是葉片之乾物率反而降低。同時由於NH₄-之高比率時，植體之含量鈣和鎂量降低，果實之糖度則以NO₃/NH₄比率為10:2~8:4較為良好。番茄栽培於秋冬季時可以NO₃和NH₄並用，但是春季和夏季的高溫時期，雖然兩種氮源並用可使作物體生育促進，但是尻腐病果(Blossom-end rot)卻增加。因此春夏季最好以KH₂PO₄來代

替NH₄H₂PO₄，使培養液不因NH₄-N的存在而發生生理障害。

又如使用固體介質時，以泥炭土時，其氮素之比例無關，通常pH有些下降，用岩棉、炭化稻殼者，其pH通常上升現象，而以珍珠石pH較為穩定。

(三) 如何抑制NO₃-之吸收

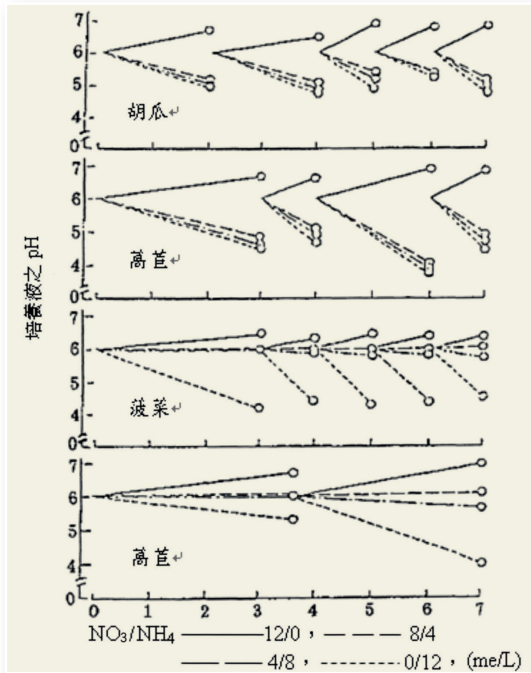
多量吸收NO₃-之作物對人體是有害的，因此作物體之可食用NO₃濃度盡可能低是好的，一般葉菜類中的NO₃濃度雖然是高些，但是食用的果實中的濃度通常很低的。葉菜類培養液中NO₃濃度和葉中有比例相當關係，培養液中NO₃濃度高時葉中濃度也有相當高的傾向。因此，如果希望葉中之NO₃濃度下降時，首先將培養液中之NO₃濃度下降是必要的，同時和NH₄併用的效果也是必要的。

數種蔬菜之葉中NO₃-N濃度顯示，白菜和菠菜對培養液之NO₃和NH₄-之吸收比率對NO₃-之優先吸收傾向很強，雖然與NH₄併用葉中之NO₃濃度仍是不降低的。相反的，萵苣為對NH₄優先吸收之葉菜，併用NH₄有助於葉中之NO₃濃度降低，但需注意NH₄併用時培養液pH的下降。

以上，以NO₃和NH₄適當併用時，作物培養液之pH變化很少，而葉中之NO₃濃度也可以降低。而且以NH₄併用時其葉色較濃是眾所周知的，如蔥等以NO₃單用時其葉容易折彎，如以NH₄併用時其葉形得以直立。

(四) NO₃和NH₄的併用使生育促進

通常以NO₃和NH₄併用者較NO₃單用者多。水耕以NO₃和NH₄併用時比起NO₃單用者生育較好，番茄和胡瓜之果菜類也可得到好的效果；尤其是冬季如果弱日照之下NO₃-N單用比起加入NH₄-N併用時效果是比較好的；在洋香瓜時併起來生育較好；但是番茄於春作、夏作的高



圖一、培養液之NO₃/NH₄比率與pH之變化(池田、大澤1983)。

溫時期，獨以 NH_4 併用時生育可得到促進者，但對頂腐病的發生較多，因此建議以 KH_2PO_4 代替 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 使用，使培養液中不含有 $\text{NH}_4\text{-N}$ 時可得到良好的結果。

(五) 花卉類之生育與氮素之形態

NO_3 和 NH_4 之濃度對生育之反應為：

1. NO_3 以100%之生育最好，如增加 NH_4 其生育卻時低下者：如波斯菊、牽牛花、爆竹紅、日日草、波斯菊、朝顏。

2. 在 NO_3 中加入 NH_4 20%~45%時生育較好者：康乃馨、秋海棠、三色堇、非洲菊、百合。

3. NO_3 和 NH_4 之濃度比無關係者：唐菖蒲。

(六) 培養液中的氮素形態之調整

培養液之氮素形態通常以不同肥料來調配，通常 NO_3 態以硝酸鉀(KNO_3)，硝酸鈣($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)兩者，又 NH_4 態者以硫酸銨($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)，磷酸一銨($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)，氯化銨(NH_4Cl)等來配製。在荷蘭為了pH之調整也會使用液體硝酸(HNO_3)。尚有兩種形態等量使用的情形，此時可以用硝酸銨(NH_4NO_3)。之外，也有以尿素為氮素源使用。植物比較難直接利用尿素，但是尿素在固體介質容易分解成 $\text{NH}_4\text{-N}$ 態，然後又氧化成 $\text{NO}_3\text{-N}$ 態為植物所利用。(待續)

表九、作物別的生育時期所吸收的肥料成分和水量之濃度比(n/w)訂出之組成(山崎1976)

作物別	肥料量 (公克/1,000公升)					成分濃度 (me/L)					電導度 mS/cm
	硝酸鉀	硝酸鈣	硫酸鎂	磷酸一銨	EDTA 鐵	硝酸態氮	鉀	鈣	磷	鎂	
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
番茄	400	360	250	80	20	7	4	3	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
萵蒿	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
蕪菜 [*]	707	354	246	152	20	10	7	3	4	2	1.6

*蕪菜係鳳山熱帶園藝試驗分所處方。

表十、蔬菜之氮素的吸收特性分類 (池田、大澤1981)

培養液之pH	優先吸收 NH_4	優先吸收 NO_3	NO_3 與 NH_4 之吸收相等
5	玉米、芹菜、草莓、洋香瓜、鴨兒芹、胡瓜、萵蒿、高苣	豌豆、菠菜、西瓜、白菜、菜豆、甘藍、番茄、小蕪菁、甜椒	茄、毛豆
7	玉米、高苣、草莓、芹菜、洋香瓜、萵蒿、胡瓜、鴨兒芹、毛豆、茄、甜椒	菠菜、白菜、小蕪菁	菜豆、甘藍、豌豆、番茄、西瓜