

水耕葉菜類營養元素含量之研究

余津聚¹⁾ 李文汕²⁾

關鍵字：水耕、葉菜、營養元素

摘要：本試驗利用水耕養液栽種芥藍、小白菜、青梗白菜、萵苣、茼蒿、蕹菜、及莧菜等七種葉菜類，調查營養元素含量之變化。芥藍、小白菜、萵苣、茼蒿及蕹菜地上部氮濃度隨著栽培日數增加而下降；磷濃度除茼蒿與萵苣於整個栽培期間無大幅變化，於採收時維持在 0.87%及 0.79%外，其他菜種皆隨著栽培日數的增加而顯著下降。鉀是供試作物中含量最高的礦物元素，茼蒿與萵苣最終濃度最高(9.91%及 8.22%)；鈣濃度以小白菜最高(5.8%)；鎂以莧菜、芥藍、青梗白菜及小白菜的最終濃度較高，約在 0.58 %~0.67 %。蕹菜錳含量顯著高於其它作物；鋅濃度則是茼蒿顯著高於他者。而銅濃度則以蕹菜高於其它作物各作物的銅離子濃度均低，除茼蒿外皆隨著栽培日數增加而有下降趨勢。

前 言

短期葉菜類生產是臺灣蔬菜產業中重要的一環，根據 98 年農業統計年報資料指出，臺灣一般短期葉菜類收穫面積為 25,772 公頃，總年產量則為 390,697 公噸。蔬菜的營養元素含量對蔬菜生育具有相當的影響性，適當的肥培管理能有效提升蔬菜的品質與產量。近年來，人們對於健康飲食、環境保護與節能減碳逐漸重視，因此如何適時、適當的肥料施用，量產出高品質又健康的蔬菜是相當重要的。當今一般農民在短期葉菜類肥料之施用，大多無特別針對不同菜種有所不同，添加的肥料量與元素比例是否適當，符合各菜種生理所需，應當是栽培業者所需考慮的。

若能了解短期葉菜類營養元素含量的狀態或許能作為肥料施用的參考，因此本試驗主要是利用非循環式水耕栽培法，栽培臺灣主要短期葉菜類作物，調查養液元素消耗及植株礦物元素含量，藉以了解不同種類的短期葉菜類植株營養狀況及營養元素需求性。

1) 國立中興大學園藝學系碩士班研究生。

2) 國立中興大學園藝學系副教授，通訊作者。

材料方法

一、試驗材料

(一) 供試作物

本試驗栽培的葉菜類作物共七種，分別為芥藍‘圓葉白花’、小白菜‘三鳳二號’、青梗白菜‘青梗’、萵苣‘葉用尖葉’、茼蒿‘大葉’、蕹菜‘竹葉’、莧菜‘白莧’，皆購自農友種苗公司。

(二) 育苗與定植

將種子置於流動的水中浸泡數小時後，播種於浸潤之每格 2.5 cm³ 的十字育苗海綿，每格播 2~3 粒種子，置於黑暗下培養並維持海綿溼度。待胚根突破種皮，上胚軸彎鉤突出海綿後，移至弱光處馴化 4 小時，再移入中興大學精密溫室進行育苗。育苗期間每兩日澆灌 1000 倍 Peters 液體化學肥料(N:P:K=20:20:20；Melchemie Holland)，於植株約兩片本葉時進行定植。選取生育狀況良好並一致的植株，疏苗成每格海綿一株，定植於鑽有孔洞、厚度 1.5 cm 的保麗龍板上，再將已固定植株之保麗龍板放置於裝有養液之水耕塑膠桶中，使浮於養液上方，以供栽培試驗調查。

(三) 水耕設備

本試驗採用非循環式水耕設備，定植後第 0~10 天以 42×32×11 cm 之藍色塑膠盆種植，每盆養液量為 10 公升。第 10~20 天以單植方式栽培，以直徑 16 cm、高 20 cm 之單植塑膠桶種植，每桶養液量為 3 公升。皆使用針頭及橡膠軟管連接馬達打氣，維持養液的通氣性。溶氧量約為 5.2~5.8 ppm。

(四) 養液配方

本試驗以逆滲透水(Reverse osmosis water, 簡稱 RO 水)為水源配製養液，配方以全量(full strength)的 Hoagland 及 Aron 氏配方(1950)做修正，微量元素部分則配合採用 Johnson 修正調配法(1957)，並添加 Fe-EDTA (Ethylenediaminetetracetic acid)作為鐵元素的來源。養液藥品皆以試藥級藥品配製。詳細配方如附錄 1。

二、試驗方法

(一) 試驗處理

本試驗於中興大學園藝學系精密溫室內進行，栽培時間為 2008 年 10 月 16 日起至 11 月 5 日。定植後第 0 天起，以非循環式水耕設備栽植，每盆 20 株，並提供 10 公升養液。定植後第 10 天更換一次養液，並將植株換盆至單植養液桶，每桶 1 株，提供 3 公升養液。於 5 天後(亦即定植後第 15 天)完全更換養液一次，調查至定植後 20 天。養液更換時，以 12N NaOH 或 6N H₂SO₄ 溶液將 pH 值調整在 5.8，其他時間則不進行調整。試驗採隨機完全區集設計(Randomized Complete Block Design；RCBD)方式排列，每處理 4 重複。

附錄 1、養液配方

Appendix 1. Nutrient solution

(1) 大量元素配方

(1) Macronutrient solution (Hoagland Solution)

Specific salts used	ml molar stock soln. in 1-liter soln.	Conc. of individual elements in final solution		
		Element	(μM) $\mu\text{g atoms per liter}$	ppm
KNO_3	5.0	N	15000	210
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	5.0	K	6000	234
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2.0	Ca	5000	200
KH_2PO_4	1.0	P	1000	31
		Mg	2000	48
		S	2000	64

(Hoagland and Arnon, 1950)

(2) 微量元素配方

(2) Micronutrient Solution (modified by Johnson)

Specific salts used	mg per 1-liter stock soln.	Conc. of individual elements in final solution		
		Element	(μM) $\mu\text{g atoms per liter}$	ppm
KCl	3728	Cl	50	1.77
HBO_3	1546	B	25	0.27
$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	845	Mn	5	0.27
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	575	Zn	2	0.13
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	125	Cu	0.5	0.03
$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	18.4	Mo	0.1	0.01
EDTA-Fe	7340			

(Johnson, 1957)

(二) 調查項目與分析方法

1. 地上部鮮重：將植株地上部自育苗海綿切離，秤其重量。單位為公克(g)。
2. 地上部乾重：將地上部鮮體經洗滌後，放入紙袋中，置於 70 °C 烘箱經 72 小時烘乾稱其重量。單位為公克(g)。
3. 植體無機營養元素含量分析：

以乾灰化法(dry ashing)進行樣品營養元素含量分析，樣品製備步驟如下：自植物體採取所需分析的地上部，以自來水洗除附著於表面上之塵土等汙物；再以 1% HCl 快速涮洗，以徹底洗淨自來水無法洗淨之汙物；最後以去離子水(deionized water, D. I. water)沖洗 3 次，以去除 1% HCl 之殘留，洗畢將葉片上水分瀝乾後裝入紙袋中。將樣品置於通風的烘箱(forced-draft oven)內，先以 100°C 烘 1 小時殺菁以停止生化作用，再將溫度調至 70 °C 持續 72 小時，以減少自身分解作用直至樣品完全乾燥為止。以磨粉機(willy mill)將完全烘乾之樣品磨成粉末，經 20~40 mesh 篩網過篩之後，裝入硫酸紙袋中，即為乾燥樣品。將乾燥樣品置於乾燥的環境中保存。於分析前再將樣品置於 70 °C 烘箱中烘乾 12 小時以上，置於乾燥箱中待稱。稱取 0.5 g 樣品粉末置於坩堝之中，放入灰化爐(muffle furnace)內進行灰化。先以 200 °C 加熱 2 小時，再持續以 400 °C 加熱 1 小時，最後以 550 °C 加熱 2 小時，使其完全灰化。待樣品冷卻後由灰化爐內取出，加入 5 ml 2N HCl (Merck company) 將樣品灰分完全溶解，以無灰份濾紙(Whatman NO. 42)過濾，過濾時以去離子水將坩堝中殘留的樣品液完全洗下，濾液定量至 25 ml，混合均勻後裝入塑膠瓶內保存，即為待分析之樣品灰化液。

(1) 鉀(K)及鎂(Mg)含量之測定：

取 0.1 ml 樣品灰化液，加入 29.9 ml 去離子水稀釋 300 倍，振盪均勻後，以原子吸收光譜儀(Z-2000 Series Atomic Absorption Spectrophotometer)測定之，測定的濃度單位為(ppm)，需換算成百分率，即讀值 $\times 25$ (灰化液定量數 ml) $\times 300$ (稀釋倍數) $\times 10^{-4}$ /0.5(取樣量 g)，單位：%。

(2) 鈣(Ca)含量之測定：

取 0.1 ml 樣品灰化濾液，加 8.9 ml 去離子水及 1 ml 5 % 氧化鏷(La₂O₃, Lanthanum oxide)，共稀釋 100 倍，振盪均勻後，以原子吸收光譜儀測定之，同上述之換算公式，單位：%。

(3) 微量元素：鐵(Fe)、錳(Mn)、鋅(Zn)、銅(Cu)含量之測定：

直接取樣品灰化液，不需經稀釋，以原子吸收光譜儀測定之。單位：ppm。

(4) 氮(N)含量之測定—Micro-Kjeldahl 法：

將植體乾燥樣品置於 70 °C 烘乾 12 小時後，精秤 0.2 g 以無灰份濾紙(Toyo NO.1)包裹，投入分解管中，加入 1 g 催化劑(Selenium Se Mixture)(K₂SO₄ : CuSO₄ : Se = 100 : 10 : 1, w/v, Merck 8030)；再加入 4.5 ml 濃硫酸，放至分解爐中以 410 °C 加熱分解 1.5~2 小時，當分解管中液體呈現澄清淡綠色後，繼續加熱分解直至沒有白煙冒出，表示分解完全。將

分解管取出待其冷卻後，加入 15 ml 蒸餾水，振盪均勻。將樣品倒入 Micro-Kjeldahl 裝置的燒瓶中，加入 20 ml 之 12 N NaOH，通蒸氣使其氨化，並以裝有 20 ml 含指示劑(19 μ m Bromocresol green 及 25 μ m Methyl red)之 2 % 硼酸(Boric acid)溶液的塑膠杯來接收蒸餾出來的氨水，使指示劑從紫色變綠色，直至燒杯內溶液總體積達 50 ml 為止。以 1/14 N H₂SO₄ 標準酸滴定，使溶液從綠色變粉紅色。H₂SO₄ 滴定使用量即為滴定量數，以計算氮的百分比含量。 $N(\%) = 1/14 \text{ N H}_2\text{SO}_4 \text{ 滴定量數} \times F \text{ 值} / 2$ 。硼酸指示劑溶液之配置：取 20 ml 指示劑母液(0.33 g Bromocresol green 與 0.165 g Methyl red 溶於 500 ml 乙醇中)溶解於 1 公升含 2 % 硼酸溶液中，將 pH 值調至 5 後即完成配製。

(5) 磷(P)含量之測定—鉬黃法：

磷之測定採用鉬黃法(Vanadate-Molybdate Yellow Method) (Chapman and Pray, 1961)。取 1 ml 樣品灰化濾液加入 3 ml 去離子水，振盪均勻後加入 1 ml 鉬黃試劑，振盪均勻靜置 10~30 分鐘後，以分光光度計(Spectrophotometer, UV-1201, SHIMADZU)測量 470 nm 波長下的吸光值。另以不同濃度之 KH₂PO₄ 製作標準曲線。鉬黃試劑之配製：分別取 22.5 g (NH₄)₆Mo₇O₂₄ · 4H₂O 溶於 400 ml 去離子水中及 1.25 g NH₄VO₃(Ammonium vanadate, 釩鉬酸)溶於 300 ml 溫水中，將後者倒入前者中，再加入 250 ml 濃硝酸(Merck company)，最後以去離子水定量至 1000 ml 即完成配製。

4. 養液元素含量分析：

將養液以無灰份濾紙(Whatman NO.1)過濾後，同植體灰化濾液，裝入塑膠瓶內保存。測量 P、Ca、K、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu 含量。測量方式同植體測定方式，其中 K 及 Mg 元素之測定樣品稀釋倍數為 100 倍，Ca 元素的測定樣品則為稀釋 50 倍，其他元素則以養液原液作測定分析。

三、 統計分析

調查所得數據採用 SAS 套裝軟體(SAS Institute, Cary, NC) ANOVA (analysis of variance) 進行變方分析，其處理均值以最小顯著差異測驗(Least Significant Difference Test；LSD)進行差異顯著性之比較測驗。

結 果

一、 各水耕葉菜類地上部植體營養元素濃度

供試作物採收時的營養元素濃度表現如表 1，其中氮濃度平均約占乾物 3.4~4.0 %。磷濃度以萵苣和茼蒿顯著較其他菜種為高，分別為 0.79 及 0.87 %；其他作物則在 0.4~0.65 %之間。鉀以茼蒿含量最高(9.9 %)，萵苣濃度次之，含量略低於茼蒿；再次為蕓菜；十字花科 3 種作物及莧菜濃度則在 5.2~6.6 %之間。鈣濃度以小白菜顯著高於其他作物，含有

5.8 %；青梗白菜、芥藍及莧菜次之，分別為 4.7、4.5、4.3 %。萵苣及茼蒿鈣濃度較低，約為 2.5 %；而蘿菜則是供試菜種中鈣濃度最低者(1.5 %)。鎂以芥藍、小白菜、青梗白菜，及莧菜濃度較高，在 0.6~0.7 %之間；而萵苣、茼蒿及蘿菜鎂濃度則僅約為前者之 1/2。

鐵元素在栽培 20 天時各菜種濃度約為 40~90 ppm，其中除青梗白菜及芥藍濃度顯著較低外(46 及 42 ppm)，其他菜種間並不具顯著性差異。錳則是蘿菜顯著較其他作物為高(198 ppm)；其次為茼蒿及芥藍，其濃度分別為 129 及 88 ppm；其他作物則約在 50~70 ppm 範圍。鋅以茼蒿濃度最高(154 ppm)，莧菜濃度最低(38 ppm)，其他作物分布在 50~70 ppm 之間。銅濃度以蘿菜最高(9 ppm)，而茼蒿及萵苣也具有相對較高的含量。

表 1、定植後第 20 天水耕葉菜植株地上部營養元素之含量^x

Table 1. The shoot nutrient element contents in hydroponic leafy vegetables for 20 days after planting.

Crops	Macroelement contents (%)				
	N	P	K	Ca	Mg
芥藍	4.03	0.47	5.99	4.54	0.65
小白菜	3.66	0.55	6.62	5.81	0.58
青梗白菜	3.74	0.47	5.57	4.66	0.60
萵苣	3.75	0.79	8.22	2.54	0.31
茼蒿	3.85	0.87	9.91	2.53	0.39
蘿菜	3.98	0.65	7.02	1.47	0.33
莧菜	3.43	0.38	5.24	4.26	0.67
LSD _{0.05}	0.32	0.13	1.19	0.98	0.14
Crops	Microelement contents (ppm)				
	Fe	Mn	Zn	Cu	
芥藍	41.50	88.00	53.67	1.50	
小白菜	58.17	53.83	88.00	2.83	
青梗白菜	46.17	52.33	69.33	3.33	
萵苣	82.33	72.50	68.00	6.83	
茼蒿	83.83	129.33	153.67	8.76	
蘿菜	64.50	198.17	66.83	9.00	
莧菜	87.17	47.33	37.83	5.33	
LSD _{0.05}	30.08	46.24	41.33	2.40	

x: 本試驗調查日期為 2008/11/5，即定植後第 20 天。

二、各水耕葉菜類地上部元素淨含量

將第 20 日植株元素總量扣除定植當日植株元素總量所得之地上部總量的表現如圖 1、2 所示。因各作物植株乾物重量不同，其元素含量的表現與則會與濃度狀況有所差異。植株礦物元素濃度的狀態，可作為植物營養所需的表徵，為判斷營養狀況的指標之一；而植株元素淨含量則是植株於定植至採收期間實際生成含有的元素量，會受植株株形大小重量不同的影響，可作為施肥要量的參考。在氮含量方面，芥藍含量最高，平均含有 205.1 mg。其次為青梗白菜及萵苣，分別為 167.6 mg 及 147.8 mg；小白菜與蕹菜單株含量為 126.5 mg 和 121.1 mg。萵蒿與萵苣雖氮濃度表現相似，但因株形及葉片生長模式、乾物質含量有所不同，故在單株總量有差異性產生，平均單株氮量相形較低。磷元素方面，萵苣因磷濃度高，加上地上部乾物重量較高，故總磷量顯著高於其他作物，每株平均為 31.2 mg。其他作物含量則相似，平均含量在 15 mg~25 mg 左右。

鉀元素以萵苣有較高的表現，平均 324.2 mg。其次為芥藍，平均含有 305.4 mg，皆次為青梗白菜、小白菜及蕹菜。萵蒿鉀濃度在供試作物中最高，但因乾物質偏低，單株含量平均為 165.6 mg。萵菜仍居最低，平均每株為 52 mg。鈣元素方面，十字花科的三種作物平均含量顯著較高，分別為芥藍 232 mg、青梗白菜 209.1 mg、小白菜 201.4 mg。萵苣則平均為 100.3 mg。至於蕹菜、萵蒿與萵菜的鈣量顯著低於其他作物，平均在 42~45 mg 之間。鎂元素各作物平均約在 50 mg 以下，以芥藍略高，每株約 32.9 mg。青梗白菜及小白菜次之，平均分別為 26.8 和 20 mg。萵苣平均含有 12.2 mg，而蕹菜和萵蒿分別為 10 及 6.5 mg。鎂濃度雖居最高的萵菜，其總量則較低，平均僅有 43.28 mg。

鐵總量以萵苣最高，平均 6.665 mg，顯著高出其他作物。而除了萵菜顯著較低(0.563 mg)，其他作物平均約為 2.5 mg~3.7 mg。錳元素方面，各作物含量變化很大。蕹菜是試驗作物中最高者，平均 8.578 mg。次之為萵苣(5.869 mg)，再者為芥藍(5.366 mg)。接次則為萵蒿、青梗白菜及小白菜。萵菜因乾物含量極低，本身錳濃度也是試驗作物中最低者，故含量僅為 0.305 mg。鋅元素方面，小白菜、青梗白菜、萵苣及萵蒿此 4 種作物平均 5.0~5.7 mg 之間。芥藍和蕹菜分別為 3.272 mg 及 2.893 mg，萵菜含量則為 0.244 mg。銅則是以萵苣顯著較高(552.96 μ g)，其次為蕹菜(389.61 μ g)，依次為萵蒿(289.52 μ g)、青梗白菜(252.71 μ g)、小白菜(183.10 μ g)、芥藍(91.47 μ g)及萵菜(34.43 μ g)。

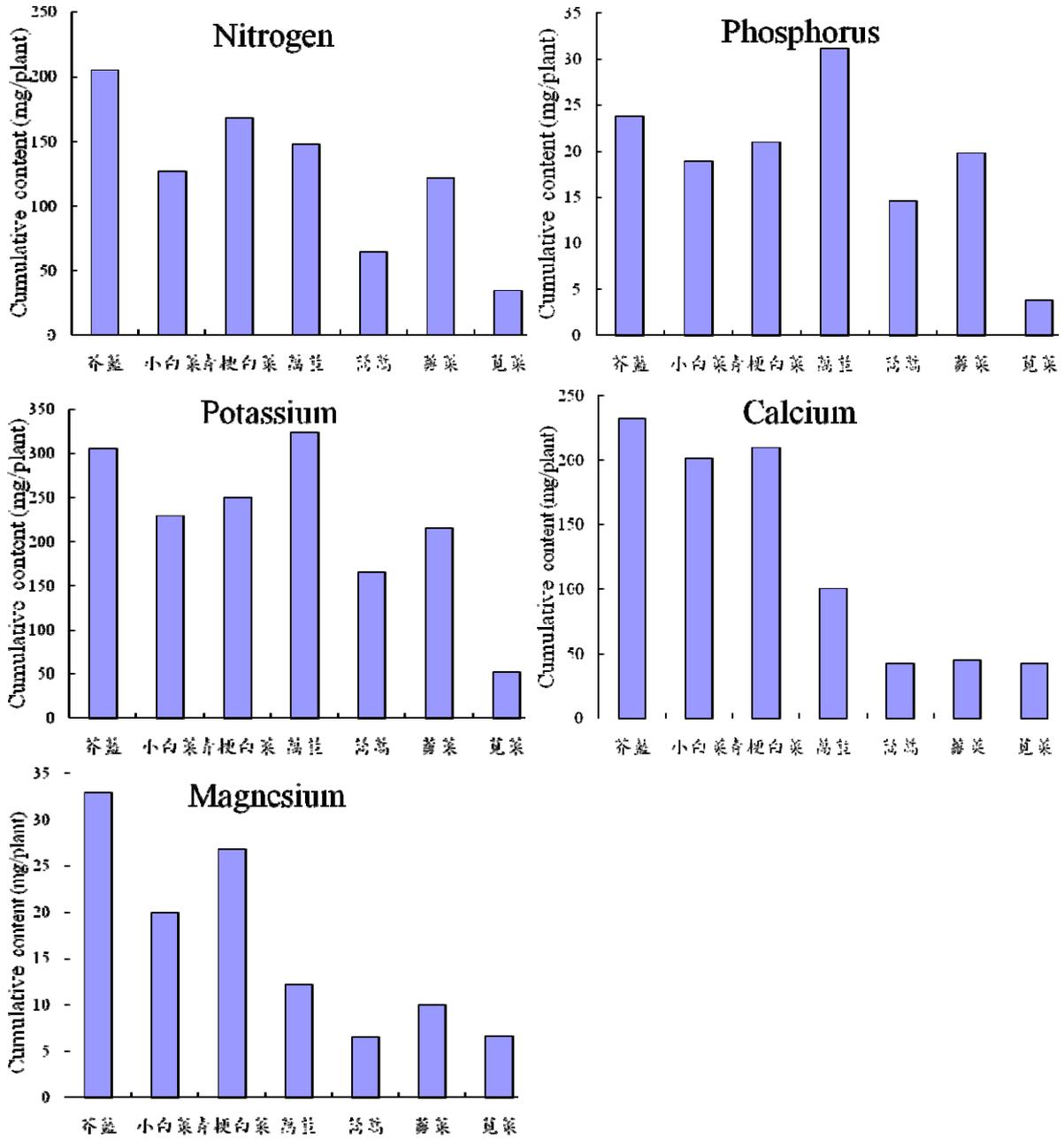


圖 1、各水耕葉菜類於定植起 20 天單株地上部大量元素淨含量^x

Fig.1. The macroelement cumulative content of hydroponic leafy vegetables on 20 days after planting.

^x 本數據為 2008/11/5 即定植後第 20 天元素含量與 2008/10/16 即第 0 天元素含量相減而得。

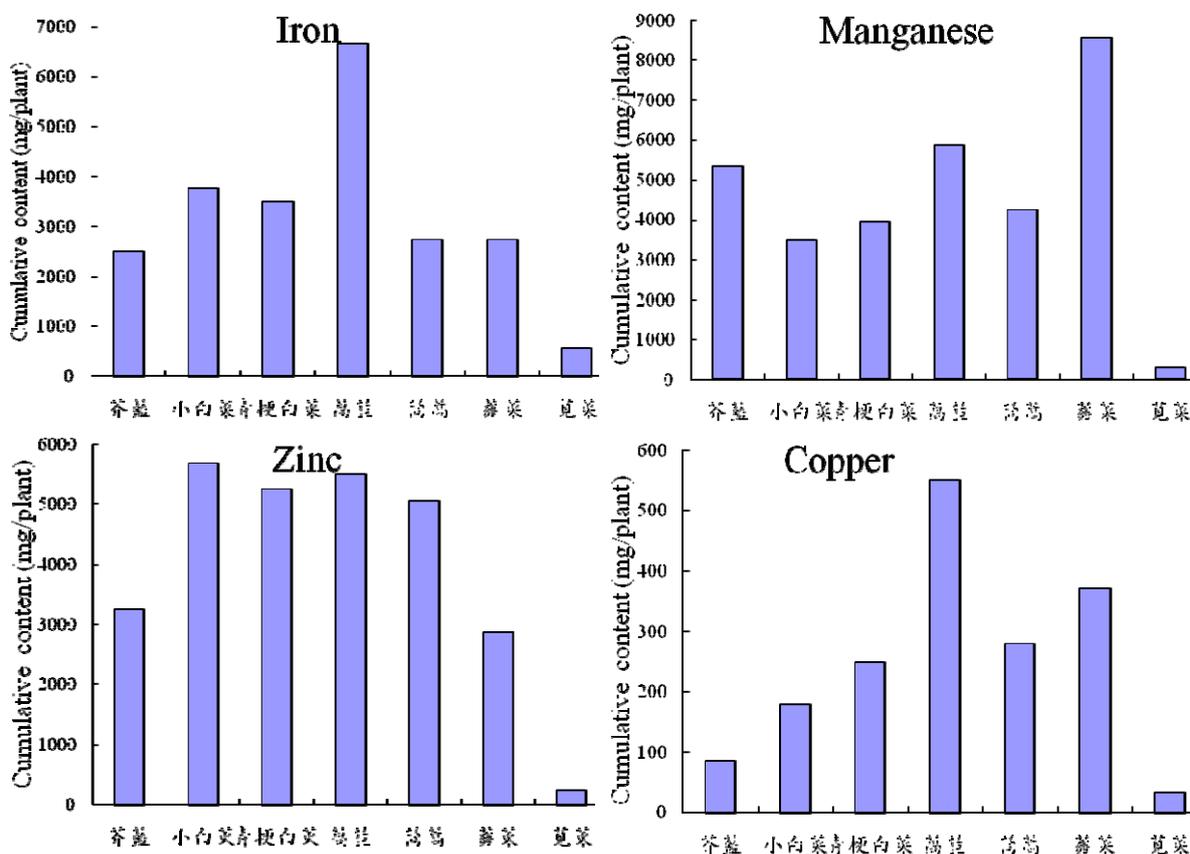


圖 2、各水耕葉菜類於定植起 20 天單株地上部微量元素淨含量^x

Fig.2. The microelement cumulative content of hydroponic leafy vegetables on 20 days after planting.

^x: 本數據為 2008/11/5 即定植後第 20 天的元素含量與 2008/10/16 即第 0 天的元素含量相減而得。

三、各葉菜類養液元素消耗情形

在養液消耗量方面，如圖 3 所示。本試驗過程中，養液中的氮多半被植株消耗殆盡，加上養液中氮素不易保存供以分析，致使分析過程剩餘量可測定值過低，難以推測各菜種消耗量實際值；而微量元素的部份，因占養液中的濃度太低，在分析過程中易有誤差產生，未能將實際消耗量準確表現，因此本試驗養液氮素以及微量元素數據並未在此呈現，故僅就磷、鉀、鈣和鎂元素作討論。

在磷消耗量部分，以芥藍最高(118 mg)，其次為蕪菁(115 mg)，再次為茼蒿及小白菜，分別為 108 mg 及 105 mg；青梗白菜總量平均為 99 mg，萵菜為 74 mg；最低消耗量為莧菜，每株總消耗 34 mg。鉀元素的部份，以茼蒿消耗總量最大，每株平均消耗 485 mg；其

次為蘿菜與小白菜，分別為 434 及 429 mg。再次為芥藍、青梗白菜及茼蒿，其總消耗量為 362、349 及 285 mg。莧菜整體仍為最低，栽培過程僅有 140 mg 的消耗量。鈣元素方面，芥藍因最後 5 天消耗量大增，故總消耗量為 7 菜種間最高(343 mg)；其次為蘿菜、小白菜及青梗白菜，分別為 259 mg、244 mg 及 219 mg；再次為茼蒿及茼蒿，其單株平均共消耗 108 mg 及 101 mg 的鈣元素；最低為莧菜，僅約為芥藍總消耗量的 1/4，為 89 mg。鎂元素的消耗量則是以小白菜最高，總消耗量為 280 mg；而青梗白菜、茼蒿的消耗量也屬較高，分別為 276 及 273 mg。其他作物總量則約為 30~65 mg 左右，總消耗量較低，分別為莧菜 31.32 mg、茼蒿 46.19 mg、蘿菜 56.98 mg，及芥藍 67.32 mg。

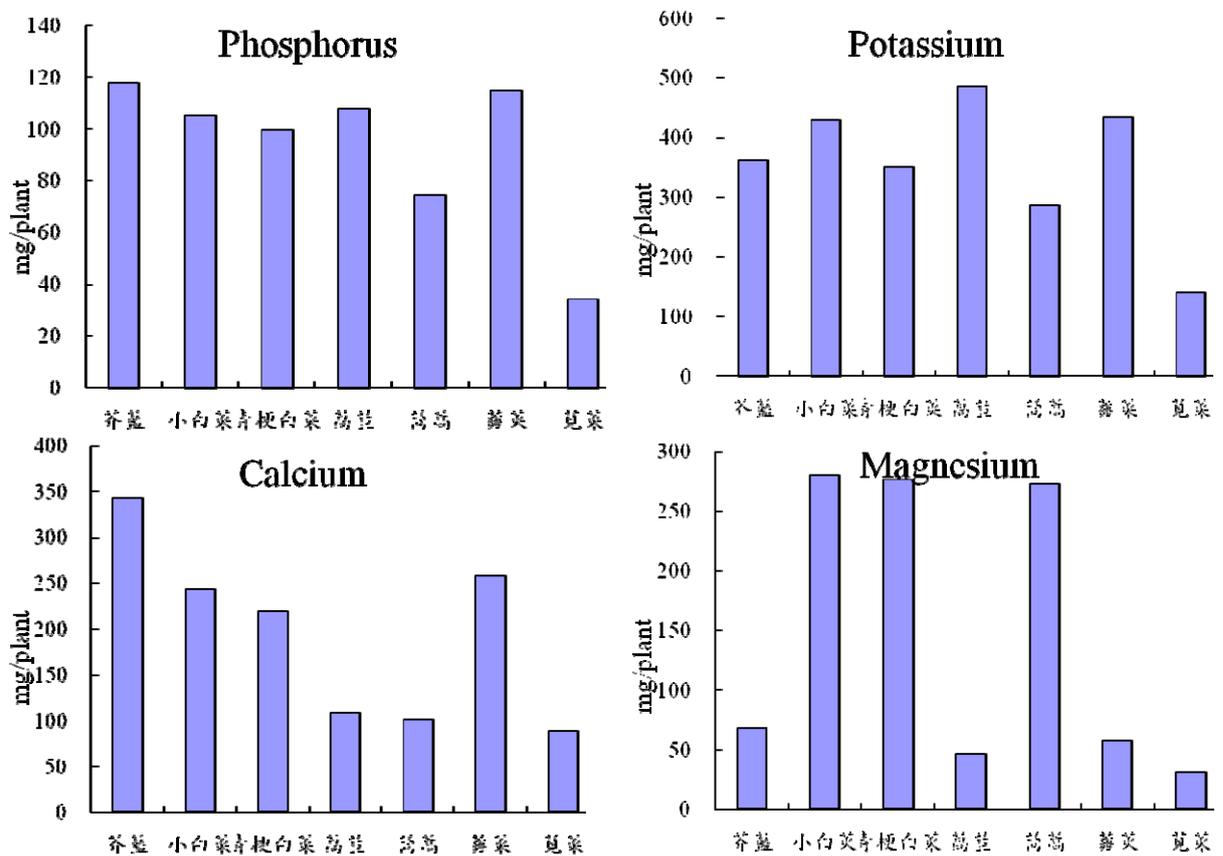


圖 3、七種水耕葉菜於定植後不同階段養液磷、鉀、鈣、鎂元素之消耗量^x

Fig.3. The phosphorous, potassium, calcium, and magnesium consumption in nutrient solution of hydroponic vegetables in different stage after planting.

^x: 本試驗調查日期定植後第 0 天為 2008/10/16；第 10 天為 2008/10/26；第 15 天為 2008/10/31；第 20 天為 2008/11/5。本數值為不同天數養液磷含量相減而得。

討 論

一、不同水耕葉菜在生育期地上部植體營養元素濃度含量之比較

氮元素是公認植物生長發育過程中最為重要的營養元素(Kato, 1986)，因氮在植物代謝與生長上扮演關鍵性的角色(張等, 1981；柯, 2002)，故氮濃度對植物許多成分的構成具有指標性意義。在本試驗調查過程可見，以硝酸態氮為主要氮供應來源的 Hoagland 配方做為養液的環境下，至定植後第 20 天，各菜種氮濃度皆在 3~4% 之間。在接近採收期時，作物因快速生長，使得氮濃度明顯下降，除了萵苣與薺菜尚落在學者研究範圍內(張和張, 1997)，整體而言濃度皆偏低。學者研究指出，適當的添加銨態氮源，調整養液中硝酸銨比能促進作物的生長(沈和許, 1989)；此外，若能針對不同 pH 值及作物對氮源的偏好性調整養液氮肥供應源及其比例，並於栽培後期藉由葉面施肥或補充養液氮肥，或許能避免植株氮濃度缺乏的可能性發生，更進一步促進植株生長及商品價值。

磷是植物原生質重要之構成成分(陳, 1988)，在熱能代謝及許多物質合成、分解反應上具有重要作用，且生物體中須藉著含磷化合物如 NADP、ATP 等來傳遞能量，若磷無法獲得充分的供給便造成大部分合成反應的減低(柯, 2002)。磷濃度在測試作物大量元素中屬於偏低者，除了萵蒿及萵苣分別維持在 0.87% 及 0.79% 外，其他菜種磷濃度都有不同程度下降。雖濃度略為下降，但大致上並不影響植株的正常生長。

鉀是作物當中濃度較高的營養元素(Evans and Sorger, 1966)，且鉀元素在植物體內移動性相當高，並集中分布在幼嫩組織，如生長點、幼葉和形成層等鉀的含量往往較多(柯, 2002)。短期葉菜類作物為一種快速收成的作物，並以幼嫩葉片為主要的販售部位，因此葉片當中濃度也較其他非食用葉片的作物為高。本試驗過程中，各菜種鉀元素皆無缺乏的疑慮，應是養液中鉀源充足、加上為硝酸態氮源所引發的共伴效應(Blevins, 1985)，且鉀元素本身易於吸收、轉運和累積之故。在整個栽培試驗過程中，萵蒿與萵苣的鉀濃度一直顯著的高於其他作物，因此可知萵蒿與萵苣在 Hoagland 養液生長下，對於鉀的吸收、轉運及累積能力皆相當高。在前人研究中，已知萵苣為一好鉀作物(沈, 1987)，在本試驗中則可推測同為菊科作物的萵蒿也具有相似的特性。在本試驗中鉀濃度隨著栽培日數的增加，各菜種濃度含量的變化並無一致的趨勢性，推測應是鉀元素的吸收和轉運能力皆相當高，並參與植物細胞與組織多項調控機制(Dibb and Thompson, 1985)，故會與各植株生長速率、葉片增生以及多項生理因素所影響而有不同的表現，各作物各時期對鉀元素的累積量也就有所不同。

鈣元素在本試驗中，各試驗作物濃度差異分層現象較其他元素明顯。整個生育過程中，各作物葉片鈣濃度與前人研究正常生育所需的濃度範圍皆符合，可見以此養液栽培下，對於鈣元素的提供是適當的，但略有偏高的現象。在整個栽培過程中，小白菜鈣含量一直皆是試驗作物中濃度最高者，因此可以證明小白菜對於鈣的累積能力較其他作物為高，為好鈣作物(吳, 1989)。而同為莢苔屬的青梗白菜與芥藍在鈣的累積也有不錯的效果。

在前人的研究中指出， NO_3^- 有利於鎂元素的吸收。在本試驗中，各階段各菜種皆可發現，葉片鎂元素的濃度皆落在學者研究中正常生長所需濃度範圍較高處，甚至高於學者研究值，應是源於此故。學者指出，鉀和鎂元素具有負向的關係(沈，1990)，在本試驗中，葉片含有高濃度鉀的萵苣及茼蒿，其葉片乾物中鎂元素確實濃度有較低的現象。雖各作物濃度高低無絕對性，但可發現相對性的表現。高鎂濃度的芥藍、小白菜、青梗白菜及莧菜之鉀濃度則較低。而其他鉀濃度偏高的作物，則可能因與其他元素有交叉影響的發生，對於鎂的影響性並不顯著。

養液栽培過程中，鐵是個易缺乏的微量元素，其易受環境 pH 高低影響(柯，2002)，並易與環境中的離子結合，或受光照分解影響。鐵元素的移動性低，吸收與轉運的速度也相之為低。故若植株於生長初期鐵的供應與吸收發生不足，對於後期鐵的吸收以及植株生育皆會有負面的影響，因此初期鐵的吸收及所含濃度相當的重要。在最後採收階段各試驗菜種的鐵濃度約在 40~90 ppm 間，皆與學者研究正常生長的鐵濃度範圍有所落差。各菜種多已達學者指稱之缺乏臨界值，有些作物已開始有缺鐵徵狀的發生，但並未有顯著的抑制現象。但若已出現缺鐵抑制，對於此一移動性緩慢的元素，再做補充的動作應已嫌晚。且也可知，僅於養液更換時期，即每 5~10 天施加鐵肥，對這幾種葉菜作物是不足的。故若以此養液配方栽培，應定期補充鐵源，並且監測養液 pH 值的濃度，使養液中鐵元素能有效的利用，減少缺乏症發生的可能性。錳是維持葉綠體構造所必須的元素(柯，2002)。從葉綠素計值與錳之間可見很顯著的正向關係。至第 20 天最終採收期，各菜種錳濃度都略有下降，惟蕪菜濃度仍高居不下，含有 198 ppm，大於小白菜及青梗白菜等近 4 倍。蕪菜在整個栽培過程中，錳濃度都較其他試驗作物為高，因此可認為蕪菜相較於其他 6 種葉菜類對錳有較高的累積性。鋅元素因定植後 10~20 天對於短期葉菜類而言，是一個快速生長充實的階段，因此其葉片面積、鮮物重皆快速上升，但因鋅元素移動較慢，故在此階段濃度因此會有下降的現象。銅在植物微量元素中，僅次於鉬含量最低的元素(Shimada, 1995)。在本試驗中，也可見銅元素是分析元素中所占各試驗作物植株葉片比例最低的元素。一般而言，作物對於銅的需求性並不高，加上移動性低(羅，2003)，吸收與累積的量往往不及作物生長速率。小白菜及芥藍在整個試驗過程中銅的濃度皆不高，至第 20 天時應是生長速率旺盛、銅離子移動緩慢緣故，所含濃度與學者試驗值相較有略低的情形。另外，蕪菜則是整個試驗過程中，7 個菜種中整體銅離子濃度普遍最高者。

二、水耕葉菜地上部營養元素含量與養液元素消耗量之關係

對照試驗作物大量元素的表現上可見，大部分作物地上部營養元素含量與養液元素消耗量無明顯的一致性，其營養元素消耗與植株的生成利用率是不等的。整體而言，養液元素消耗量會大於植體地上部營養元素的含量，其原因主要有：1.根部元素含量：因本試驗分析部位為植株地上部的元素含量，作物其實有部分的元素累積於植體地下根部，供給根部生長與發育。因此各作物根部與地上部比例的高低會影響地上部採收部位所含有的元素

量，且有些礦物元素易附著於根部表面或於地下部有較高的含量。2.養液藻類生成：整個試驗栽培環境為開放性空間，養液若有藻類細菌的存在或滋生皆會消耗掉養液中之營養元素，而有栽培過程的耗散現象。3.養液元素沉澱：養液會受環境溫度、酸鹼度及藥品間相互作用之影響，有不同程度之沉澱情形。這些原因皆會造成養液元素分析上的誤差產生。

在磷元素部份，養液消耗量轉為植物營養含量的部份不到 30%，其中以萵苣的轉換率較高約為 28%，其次為青梗白菜 21%、芥藍 20%。2006 年 Darawshch 等學者在番茄季節溫度試驗中指出，在夏季番茄根部有較高的磷濃度，而葉片磷濃度則較低。因此可知，高溫會增加磷的吸收，但不提高磷轉運至地上部的能力。當溫度提升，可使根部頂端分生組織的增加、新側根與根毛的生成，提高磷的吸收。地上部無明顯提高應與磷被固定在根部及不活化有關。在本試驗中，平均環境溫度也是有偏高的情形。雖無調查根部磷濃度，但仍可由磷的消耗與地上部含量轉換關係看出此數種短期葉菜類具相似的趨勢。

鉀元素流動性很高(柯，2002)，一般而言高溫環境下轉運至地上莖部的能力也很高，本試驗中，各作物地上部含量的轉換率有所不同。芥藍吸收轉換機率約為 84%，青梗白菜 72%次之，而其他作物則在 37~66%之間。若各作物受環境影響耗散消耗的情形略同，則可推測各作物轉運速率以及根部累積的效果有顯著的差異性。

鈣為不易運移的元素(柯，2002)，其吸收和轉運目前研究仍傾向被動運輸，主要受蒸散流的拉力影響。因此高溫蒸散作用強的環境下，莖部的鈣含量通常較高；反之則是根部累積較多。本試驗中各作物鈣的吸收轉換情形有顯著的差異性，其中，青梗白菜在養液中消耗的鈣離子有 95%經過吸收運移至地上部，而萵苣則有 93%的鈣轉換。小白菜及芥藍的轉運約為 83%及 68%；而莧菜及茼蒿則僅為 48%和 42%，蕓菜養液的鈣消耗雖高，但其地上部累積的程度卻為最低，僅有 17%。

鎂元素轉運累積的效果各作物有不同表現，但整體皆屬偏低的情形。其中芥藍消耗量雖非最高，但其單株地上部累積的量則較其他六種菜類為高，約有 49%吸收轉運到地上部。其他作物鎂元素轉送的比率則分別為：萵苣 26%、莧菜 21%、蕓菜 17%、青梗白菜 10%、小白菜 7%、茼蒿 2%。

鐵元素方面，萵苣地上部含量顯著較其他作物為高。其他作物含量偏低，推測其被磷固定在根部的機率很高，加上鐵極易受環境影響而受破壞，皆造成植體含量有偏低的情形。在陳氏 2010 的研究指出，白菜及萵苣連作後之土壤含有較少的鐵，推測其對鐵元素的消耗量較大。相較於本試驗作物單株累積生成量中，萵苣含量最高(6654 μg)，次之為小白菜(3750 μg)，與其試驗結果有相對照的表現。因此，若以土耕栽培小白菜後，應補充鐵肥，再進行下一期作物的栽培，減少下期作物鐵元素缺乏的可能性。其他微量元素的部份雖在本試驗中無法精確的得知養液消耗的情形，但從作物元素累積含量的狀況，可以推測各作物對元素的需求性。

參 考 文 獻

- 吳正宗。1989。夏季小白菜水耕液配方及管理技術之研擬。國立中興大學土壤學研究所碩士論文。66pp.。
- 沈再發。1987。葉莖浮根式水耕之養分吸收。中華農學研究 36(4): 372-380。
- 沈再發。1990。植物生長與養液要素之關係。養液栽培技術講習會專刊第三輯。臺灣省農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所。pp. 9-13。
- 沈再發。許焱焱。1989。作物的營養特性及影響養液組成之因素。養液栽培技術講習會專刊第二輯。臺灣省農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所。pp.44-59。
- 柯勇。2002。植物生理學。藝軒圖書出版社。762pp.。
- 張仲民譯、麻生末雄、麻生昇平、松崎敏英。1981。作物之營養與肥料。徐氏基金會。188pp.。
- 張庚鵬、張愛華。1997。蔬菜作物營養障礙診斷圖鑑。臺灣省農業試驗所。109pp.。
- 陳彥宇。2010。短期葉菜類輪作之探討。國立中興大學園藝學系碩士論文。81pp.。
- 陳清義。1988。植物營養學。國立中興大學。261 pp.。
- 臺灣農業統計年報。2009。行政院農業委員會。
- 羅秋雄。2003。作物營養障礙診斷與防治手冊。行政院農業委員會桃園區農業改良場。48pp.。
- Blevins, D. G. 1985. Role of potassium in protein metabolism in plants. In: Potassium in Agriculture. Madison, WI, American Society of Agronomy. pp. 131-162.
- Chapman, H. D. and P. F. Pray 1961. Methods of analysis for soil, plant, and water, Univ. California, Davis.
- Darawsheh, K. M., G. Zerva, and D. L. Bouranis. 2006. Seasonal-dependent fruit loading: effect on nutrient homeostasis of tomato plants. J. Plant Nutr. 29: 505-519.
- Dibb, D. W. and W. R. Thompson, Jr. 1985. Interactions of potassium with other nutrients. In: Potassium in Agriculture. Madison, WI, ASA-CSSASSSA. pp. 515-533.
- Evans, H. J. and G. J. Sorger. 1966. Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. Ann. Rev. Plant Physiol. 17: 47-76.
- Hoagland, D. R. and D. I. Arnon. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. California Agr. Expt. Sta. Circ. 347.
- Johnson, C. M., P. R. Stout, T. C. Eroyer, and A. B. Carlton. 1957. Comparative chlorine requirements of different plant species. Plant Soil 8: 337-353.
- Kato, T. 1986. Nitrogen metabolism and utilization in citrus. Hort. Rev. 8: 181-216.
- Shimada, N. 1995. Deficiency and excess of micronutrient elements. Science of the rice plant. Tokyo, Japan, Food and Agricultural Policy Research Center. 2: 412-419.

Studies on the Mineral Nutrient Uptake of Leafy Vegetables in Hydroponic System

Jin-Jiu Yu ¹⁾ Wen-Shann Lee ²⁾

Key words : Hydroponic, Leafy vegetable, Nutrient element

Summary

Experiments were conducted to study the nutrient uptake and consumption of main leafy vegetables in Taiwan. Chinese kale, Pak-choi, chingensai, lettuce, garland chrysanthemum, water convolvulus, and Chinese amaranth, were grown hydroponically in Hoagland solution and harvested for tissue analysis. It was found that nitrogen concentrations of Chinese kale, Pak-choi, lettuce, garland chrysanthemum, and water convolvulus had a downward trend with the increase of the planting days. The leaf phosphorus contents of garland chrysanthemum and lettuce did not change significantly through the cultural periods was observed at the ranges of 0.87 % and 0.79 % in the end of the experiment. Potassium was the most abundant mineral element in all tested vegetables, and the highest concentration was found at 9.91% and 8.22% in garland chrysanthemum and lettuce in the end of the experiment. Pak-choi had the highest calcium concentration at 5.8 %. The magnesium concentrations of Chinese amaranth, Chinese kale, chingensai and Pak-choi increased 0.58 %~0.67 % from the start of planting to the end of the experiment. Accumulation of manganese in water convolvulus was significantly higher than other vegetables all through the experimental period. The zinc concentration in garland chrysanthemum was significantly higher than others. According to the data, different leafy vegetables had different preference of taking up different mineral nutrients. The results can therefore be a good reference to the fertilization and rotation management of the above leafy vegetables.

1) Graduate student, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Associate professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

Corresponding author.

