

水耕蔬菜礦物質含量的探討

曾政鴻¹⁾ 金安兒²⁾

(接受刊載日期：中華民國 89 年 12 月 16 日)

摘要：水耕蔬菜(hydroponic vegetables)為臺灣近年來新興的種植作物，有關其栽培條件對於其本身營養成份變化量的影響仍有待探討。本研究即在探討不同營養液礦物質濃度對所得蔬菜礦物質含量的影響，並分析市販水耕與土植蔬菜二者間礦物質含量的差異。本研究蒐集市販水耕與土植空心菜，並模擬皺葉白菜之水耕栽培，測定所得蔬菜樣品中之礦物質含量。針對市售水耕與土植空心菜樣品，以及水耕模擬栽培之皺葉白菜樣品，利用原子吸收光譜儀測定其 K、Mg、Ca、Fe、Cu、Mn、Zn、Mo 等礦物質的含量。對於水耕模擬栽培試驗中之培養液，在栽培期中定期追蹤其中上述礦物質濃度及 pH 的變化。結果發現，蔬菜中礦物質含量的多寡與其培養液礦物質濃度大小並無明顯相關；但是培養液礦物質濃度高低對其生長的茂盛與否卻有影響。在市售樣品的比較方面，兩者蔬菜之個別元素組成多寡雖互有差異，但整體而言其礦物質含量亦差別不大。

關鍵詞：水耕、蔬菜、礦物質

前 言

植物營養成份的特性(種類、含量、分佈等)，受其耕作與栽培條件的影響甚大。若以土植作物而言，土壤營養素的組成(15, 26, 49)、土壤性質(17, 22)、肥料種類和施肥方式(11, 27, 30, 41, 46, 51, 53)、耕作栽培方法(44)、氣候(50)等均是重要影響因素。而土壤中營養素的變化，亦同時受耕作條件的影響(16, 32)。作物品種、對營養素的代謝

特性，最終又會使其營養素的含量與分佈有所差異(18, 55, 56)。在自然界的生態系統中，有機體由土壤中所吸收的營養素在有機體死亡分解後又會重新回到土壤中，完成營養素的循環；然而在人類的農耕栽培環境則非如此，很多營養素在農作物採收後便不會再返回土壤中(34)，因此有關的探討便相當重要。其中，植物體對礦物質成份的攝取，基本上取決於根部和外界環境溶液中所含礦物質間的一種動態的平衡(9, 20)。

1860 年時，德國學者 Knop 及 Sachs 研究植物生長所需的十大無機元素，將之配成培養液，成功

1) 中國醫藥學院營養學系講師。

2) 國立中興大學食品科學系教授，通訊作者。

開發出水耕栽培的技術(3)。水耕栽培(hydroponics)又稱養液栽培，是一種無土栽培的方式。其種植媒介不需土壤，只須將植株固定在水面介質上，由作物根部直接吸收水中必需營養素來生長發育(1, 6)。此種技術後來經美、歐、日等之改良而益趨成熟與多元化。本省則是自民國 72 年始由鳳山熱帶園藝試驗分所進行初步研究。74 年由臺中區農業改良場嘗試實用化操作，並開發出多種水耕系統。此後各公私立農業研究機構相繼投入此技術之研發，政府並有進一步推廣輔導的措施(6)。水耕栽培除了可以作為傳統土植栽種之替代方法之外，目前尚被應用於諸如農產品風味等嗜好性之改善(13)，以及代謝生理實驗用之含同位素元素之作物的栽培(36)等方面。

和土植栽培相較，水耕栽培具有下列優點(1, 7)：1. 不受土地、土壤的限制；2. 沒有土壤中病原菌、寄生蟲(卵)感染的威脅；3. 毋須除草；4. 使用無機鹽肥料，不會分解產生惡臭；5. 同一種作物可以進行連作栽培(只須更換或補充養液即可)。然而，水耕栽培亦有下列的問題和限制(4, 5)：1. 栽培作物可能發生根腐病；2. 種植之作物種類較受限制。至於水耕蔬菜是否會污染栽培介質之材料單體，則由 Castle 等(19)研究證實並無發生之可能。曾有研究(34)指出：水耕萵苣之硝酸態氮含量為土植者之二倍以上。栽培條件如光照強度、氮源、礦物質營養素之比例等，皆會影響栽培作物之品質(10, 29, 33, 37, 42, 45, 52, 54)。

一般而言，蔬菜所含蛋白質之質(營養價)或量比起動物性者較差，但卻是人類所需維生素、礦物質的重要來源。如前所述，不論土植或水耕栽培，營養源對於作物本身營養素的組成、含量影響很大，且營養素在土壤、水中兩種栽培介質的溶解性

也有所不同(14, 35, 47, 48)。由於植物本身能夠藉由各種主動和被動程序來對抗電化學梯度，以調節其組織中礦物質的組成(21)；因此本研究針對中部地區販售之水耕與土植蔬菜其礦物質含量作一比較，並以家庭式水耕栽培模擬實作，探討不同培養液礦物質濃度對蔬菜礦物質含量的影響，以瞭解水耕蔬菜之營養價值與對營養素之利用特性。

材料與方法

一、實驗項目

實驗設計共分為兩部份，一為市售水耕、土植蔬菜礦物質含量之調查，亦即蒐集市售之水耕與土植蔬菜樣品，測定兩者之礦物質含量，並以統計分析比較水耕、土植二者樣品礦物質含量之差異。另一部份則以水耕栽培模擬實作，探討不同濃度之培養液對所栽植蔬菜礦物質含量的影響，亦即以不同濃度之水耕培養液栽培蔬菜，測定所種植之蔬菜的礦物質含量，並且比較其彼此間礦物質含量是否具有顯著性差異。

二、實驗方法

(一)樣品蒐集

蒐集市販土植與水耕空心菜(*Ipomoea aquatica* Forch)。土植者來自嘉義縣新港鄉精緻農業共同經營班；水耕者為臺中縣東勢鎮邱君農園種植。所蒐集到之樣品中的水分含量為 92%，生長狀況良好，新鮮度佳。

(二)實驗型水耕模擬實作

1. 水耕設備與培養液

採用臺糖公司出品之家庭式水耕栽培箱，材質為保麗龍，內部長 51.5 cm，寬 31.5 cm，高 12 cm，包括調製好的培養液 A 液與 B 液各一瓶。A 液 100 ml 中含 $MgSO_4$ 10 g， $CaH_4(PO_4)_2$ 11.6 g， KNO_3 16.2 g， NH_4NO_3 6.4 g；B 液 100 ml 中含 H_3BO_3 1 g， $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.025 g， $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.625 g， $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ 0.5 g， $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.025 g， Na_2MnO_4 0.025 g。

2. 不同培養液濃度的製備

共使用 3 個水耕盒，每個體積約 19.5 公升。依照使用說明，將各個水耕盒加水至將滿，然後倒入不同濃度的培養液。作為控制組者加入 A 液 100 ml，攪拌均勻後，再倒入 100 ml B 液，然後再將水加滿。為了避免沉澱發生，A、B 液不可同時混合加入。試驗組分為二種培養液濃度，一為控制組濃度的一半，另一為控制組濃度的二倍；亦即分別加入一半或二倍的 A 液與 B 液量。最後於三組水耕盒上之小種植盒中撒上數粒皺葉白菜 (*Brassica chinensis* L.) 種子，令其生長約 35 天。於分析時採集所得樣品中的水分含量為 94.5%，生長狀況良好。

(三) 分析樣品之前處理

1. 培養液礦物質濃度測定之前處理

自水耕盒中取適量體積的培養液，經濾紙(Whatman No.2, 直徑 110 mm, Whatman International, Ltd., England)過濾後直接定量之。

2. 市售蔬菜與自種水耕蔬菜礦物質含量測定之前處理(2, 8, 12)

除去蔬菜樣品根部，將葉、莖部位細碎

混合，稱取約 20 g 置於坩堝中，以 100°C 烘乾，然後以 500 - 600°C 隔夜灰化。灰化後的樣品再加入 10 ml HCl (HCl : H_2O = 1 : 1)，在加熱平板上蒸乾。然後加入 10 ml HCl (HCl : H_2O = 1 : 3)，再次蒸乾。過濾後，依各測定目的元素分別定量至不同的體積。

(四) 分析(8, 12)

1. 礦物質

(1) K, Mg, Ca, Fe, Cu, Mn, Zn 之測定

上述元素之測定皆以原子吸收光譜儀(atomic absorption spectrophotometer; model z-8200, Hitachi, Tokyo, Japan)之火燄原子吸收光譜分析法(flame atomic absorption spectrophotometry)為之。測定 K 元素須加入 1~4% 之 CsCl，測定 Mg 須加入 1~5% 之 La_2O_3 ，以使測定之目的元素在火燄中不致逸散。上述各元素的分析參數設定係參照儀器操作手冊(39)為之。標準液先經原子吸收光譜儀以火燄燃燒原子化，並定出檢量線，接著將製備完成的樣品溶液以相同方法分析定量之。若測出之值遠高於檢量線之濃度範圍，則於稀釋適當倍數後再分析之。每一樣品作六重複分析。

(2) Mo 元素的測定

Mo 是以原子吸收光譜儀之石墨原子吸收光譜分析法(graphite atomic absorption spectrophotometry)測定之。其參數條件之設定係參照儀器操作手冊(40)為之。

2. pH 值測定

直接取水耕盒中的培養液，以 pH meter(HI 9021, Hanna Instruments, Taiwan)

測其 pH 值。

礦物質含量是否具顯著性差異。

(五)統計分析

實驗數據的分析使用 Statistical Analysis System (1985)軟體，市售水耕與土植空心菜樣品二者間之差異採用 t-test 分析，其他則利用 ANOVA 程序以 LSD (least significant difference) test 進行顯著性差異(p < 0.05)的比較。其相互間之顯著性差異結果以英文小寫字母標示，標示有相同字母的數據表示相互間不具顯著性差異。以此判定土植、水耕樣品間礦物質含量以及不同濃度培養液栽培所得蔬菜，其

結果與討論

一、市售水耕與土植蔬菜礦物質含量之比較

本研究蒐集了臺中市四家超級市場販賣之土植與水耕空心菜，每種樣品購買 2 份，共 8 份樣品。將採購得之蔬菜細碎混合分析之，其結果列表一。

表 1. 市售水耕與土植空心菜礦物質含量(mg/kg)分析值

Table 1. Mineral contents (mg/kg) of market-sold hydroponic and soil cultured water convolvulus

Elements	Culture Method	
	Hydroponics	Soil-culture
Fe	0.0192 ^{a*}	0.0240 ^b
Cu	0.0035 ^a	0.0039 ^b
Mn	0.0041 ^a	0.0044 ^b
Zn	0.0074 ^a	0.0056 ^b
Mo	ND ^{**}	ND
K	3.6363 ^a	1.0743 ^b
Mg	0.2948 ^a	0.3685 ^b
Ca	0.7511 ^a	0.7928 ^b

* Means not followed by the same letter within a row are significantly different at 5% level.

** ND: not detected.

由表一可知，不論水耕或土植者，均含有最多量的 K，除了 Mo 未測出外，含量最少的礦物質為 Cu。若以水耕與土植二者相較，則水耕空心菜較土植者含量較多之礦物質元素只有 K(3.6363 ppm)、Zn(0.0074 ppm)二種；而土植者則以 Ca(0.7928 ppm)、Mg(0.3685 ppm)、Fe(0.0240 ppm)、Mn(0.0044 ppm)、Cu(0.0039 ppm)等元素較水耕者為高。

在上述元素中，屬於水耕蔬菜巨量營養素 (macronutrients)者有 K、Ca、Mg，而 Fe、Cu、Mn、Zn、Mo 等則為微量營養素(micronutrients or trace elements)(24)。由表一可知，水耕蔬菜的元素測定值

亦以 K、Ca、Mg 此三者最多，但是其巨量元素則只有 K 較土植者多；而在微量營養素方面，水耕空心菜亦僅有 Zn 較土植者為高。

本部份主要在調查市售土植與水耕蔬菜之礦物質含量的差異性，以了解食用水耕蔬菜在礦物質獲取上是否與攝食土植蔬菜者有別。根據表一之分析值，發現二者的各個元素含量互有多寡，但差異性不大。故在礦物質攝取量方面，水耕與土植蔬菜應無明顯差別。

二、水耕實作過程中之培養液礦物質濃度

與 pH 值變化

本部份選用皺葉白菜作為試驗栽培蔬菜。為測定水耕栽培期間(約一個多月)，培養液濃度的變化情形，每 7 天取樣培養液一次，分析其中個別元素的濃度，其結果如表二所示。表三則為培養液在栽培期間 pH 值的變化情形。

由表二可知，在培養期間，各培養液礦物質濃度均維持相當程度的穩定性。此乃因植物在營養素吸收過程中，亦同時伴隨有培養液水份的吸收與蒸散(33)，因此在礦物質總量減少的同時，水份亦隨之減少，甚至同一水耕盒中有出現培養液濃度升高

的情形。但是在栽培成長期間培養液彼此之間仍保持有營養素濃度的差異性。另一方面，水耕培養液之 pH 值會受到其中所含元素成份的影響(24)，因此隨著培養過程中培養液元素組成的改變，pH 值亦會發生變化。

在 pH 值的變化方面，由表三可知，供給的培養液濃度越大，其 pH 值越小，此可能是由於營養素中之無機鹽類解離出 H⁺離子的作用結果(28)。同樣的，各濃度培養液的 pH 值在蔬菜栽培期間，亦維持相當程度的穩定性。

表 2. 各種濃度培養液在栽培過程中之礦物質濃度(mg/kg)變化

Table 2. Variation of mineral concentrations (mg/kg) of three hydroponic simulation culture solutions during experiment

Duration(days)	Concentrations	Elements							
		Fe	Cu	Mn	Zn	Mo	K	Mg	Ca
0	2 X*	3.16 ^{ab}	0.08 ^a	0.28 ^a	0.15 ^a	ND ^{***}	434.33 ^a	111.33 ^a	261.67 ^a
	1 X	1.63 ^b	0.05 ^b	0.17 ^b	0.12 ^b	ND	239.00 ^b	49.00 ^b	154.33 ^b
	1/2 X	0.69 ^c	0.06 ^c	0.15 ^c	0.10 ^c	ND	100.00 ^c	33.00 ^c	139.67 ^c
7	2 X	3.23 ^a	0.08 ^a	0.24 ^a	0.16 ^a	ND	462.33 ^a	138.33 ^a	316.67 ^a
	1 X	1.53 ^b	0.05 ^b	0.11 ^b	0.11 ^b	ND	241.67 ^b	78.33 ^b	209.67 ^b
	1/2 X	0.48 ^c	0.04 ^c	0.08 ^c	0.08 ^c	ND	109.00 ^c	41.33 ^c	140.00 ^c
14	2 X	3.08 ^a	0.09 ^a	0.15 ^a	0.16 ^a	ND	406.33 ^a	129.33 ^a	281.67 ^a
	1 X	1.43 ^b	0.07 ^b	0.11 ^b	0.12 ^b	ND	252.00 ^b	79.33 ^b	201.00 ^b
	1/2 X	0.23 ^c	0.06 ^c	0.07 ^c	0.08 ^c	ND	111.00 ^c	59.00 ^c	203.00 ^c
21	2 X	3.29 ^a	0.12 ^a	0.30 ^a	0.17 ^a	ND	467.67 ^a	147.33 ^a	311.67 ^a
	1 X	1.48 ^b	0.09 ^b	0.18 ^b	0.13 ^b	ND	253.33 ^b	75.67 ^b	195.67 ^b
	1/2 X	0.22 ^c	0.07 ^c	0.07 ^c	0.08 ^c	ND	110.33 ^c	53.00 ^c	188.33 ^c
28	2 X	3.37 ^a	0.10 ^a	0.33 ^a	0.20 ^a	ND	507.00 ^a	169.33 ^a	354.33 ^a
	1 X	1.46 ^b	0.08 ^b	0.17 ^b	0.16 ^b	ND	270.33 ^b	99.33 ^b	249.33 ^b
	1/2 X	0.18 ^c	0.05 ^c	0.00 ^c	0.09 ^c	ND	131.67 ^c	58.33 ^c	154.33 ^c
35	2 X	3.92 ^a	0.13 ^a	0.36 ^a	0.20 ^a	ND	539.00 ^a	177.33 ^a	378.67 ^a
	1 X	1.65 ^b	0.08 ^b	0.11 ^b	0.12 ^b	ND	260.67 ^b	61.33 ^b	185.00 ^b
	1/2 X	0.23 ^c	0.05 ^c	0.01 ^c	0.09 ^c	ND	130.00 ^c	3.00 ^c	94.33 ^c

* 2 X, 1 X, and 1/2 X represents double, equal, and half of the concentration of control respectively.

** Means not followed by the same letter are significantly different at 5% level.

*** ND: not detected.

表 3. 水耕培養液在培養過程中之 pH 值變化

Table 3. Variation of pH value of culture solutions during experiment

Duration (days)	Culture Solution Concentrations		
	2 X [*]	1 X	1/2 X
0	7.11 ^{c**}	7.49 ^b	7.82 ^a
7	6.79 ^c	7.50 ^b	8.07 ^a
14	6.09 ^c	7.04 ^b	7.73 ^a
21	5.49 ^c	5.94 ^b	7.36 ^a
28	5.68 ^c	6.10 ^b	7.38 ^a
35	5.46 ^c	6.57 ^b	7.51 ^a

* 2 X, 1 X, and 1/2 X represents double, equal, and half of the concentration of control respectively.

** Means not followed by the same letter are significantly different at 5% level.

三、不同培養液濃度水耕蔬菜礦物質含量之差異性

本部份實驗以皺葉白菜 (curled Pak-Choi) 為種

植樣品，以三種培養液濃度經一個多月水耕栽培後，測其莖、葉中礦物質含量的差異，結果如表四所示。

表 4. 不同培養液濃度水耕模擬栽培皺葉白菜之礦物質含量(mg/kg)分析值

Table 4. Mineral contents (mg/kg) of experimental hydroponic curled Pak-Choi cultured with different culture solution concentrations

Elements	Culture Solution Concentrations		
	2 X [*]	1 X	1/2 X
Fe	0.0290 ^{a**}	0.0290 ^a	0.0320 ^a
Cu	0.0028 ^a	0.0021 ^b	0.0029 ^a
Mn	0.0049 ^b	0.0068 ^a	0.0041 ^b
Zn	0.0056 ^a	0.0052 ^a	0.0042 ^b
Mo	ND ^{***}	ND	ND
K	5.1880 ^a	4.3570 ^b	4.362 ^b
Mg	0.5625 ^c	0.6000 ^b	0.7125 ^a
Ca	2.1000 ^b	1.9850 ^b	2.4270 ^a

* 2 X, 1 X, and 1/2 X represents double, equal, and half of the concentration of control respectively.

** Means not followed by the same letter are significantly different at 5% level.

*** ND: not detected.

由表四可知，在培養液中，未測得的礦物質元素 Mo(表二)，亦未出現在植物體中。在礦物質含量的比較上，Fe、Cu、Mn、Zn、Mo、K、Mg、Ca 八種測定元素中，只有三個最高分析值是出現在培養液濃度為 2 倍於控制組者(Cu: 0.0028 ppm，

Zn:0.0056 ppm，K:5.1880 ppm)，而且除了 Mo 以外，其他四種元素(Fe、Mn、Mg、Ca)之含量多寡與培養液濃度間並無明顯相關。甚且有培養液濃度為最小，但在蔬菜中卻含有最高的微量元素(Cu: 0.0029 ppm)與巨量元素(Mg:0.7125 ppm，Ca: 2.4270 ppm)

者。至於以一般市售培養液濃度進行試驗之控制組，則有兩種元素含量最多(Mn: 0.0068 ppm, Zn: 0.0052 ppm)而 Fe 在三種濃度試驗條件所得的數值都一樣。

綜合上述結果，不論是巨量或微量礦物質供給源，其濃度大小與植物體內該元素的含量多寡似無直接關係(31)，但是卻會明顯影響植物的生長(43)(生長茂盛情形分別為：2 倍濃度組 > 控制組 > 1/2 倍濃度組)。由附帶實驗顯示，若將濃度改為 4 倍、1 倍、1/4 倍，則生長最茂盛者為 1 倍濃度，其次為 1/4 倍者，4 倍濃度者則幾乎不生長。此可能係培養液濃度滲透壓過高(38)，反而易使蔬菜脫水而抑制了其生長，而培養液中所用元素之濃度亦有一最適之範圍(25)。

結 論

本研究以不同礦物質濃度的培養液模擬水耕蔬菜之栽培，再測定所得皺葉白菜樣品中之礦物質含量。結果發現，蔬菜中礦物質含量的多寡與其培養液濃度大致上並無關係，但是濃度高低對其生長的茂盛與否卻有影響。在市售樣品的比較方面，水耕與土植空心菜兩者間之個別元素組成多寡雖互有差異，但整體而言，其礦物質含量亦差別不大。

誌 謝

本研究承蒙中國醫藥學院經費補助(計畫編號 CMC87-NT-06)，謹此誌謝。

參考文獻

1. 丘應模。1995。清潔蔬菜，第 21-39 頁。渡假出版社，臺北。
2. 李秀、賴滋漢。1979。食品分析與檢驗，第 238-268 頁。精華出版社，臺中。
3. 林建夫。1994。水耕栽培百科。徐氏基金會，臺北。
4. 林益昇、黃淑華。1993。腐霉菌(*Pythium* spp.)引起水耕蔬菜根腐病。植物保護學會會刊 35(1): 51-61。
5. 黃淑華、林益昇、郭孟祥。1994。水耕蔬菜根腐病接種源來源、傳播與防治。植物保護學會會刊 36(1):41-52。
6. 綠生活雜誌編輯部。1993。最新家庭水耕菜園，第 1-26 頁。綠生活雜誌，臺北。
7. 蔡尚光。1994。室內陽臺的水耕綠化，第 1-52 頁。淑馨出版社，臺北。
8. 衛生署藥檢局。1991。常用食品檢驗方法專輯(二)，第 87-107。行政院衛生署，臺北。
9. Agren, G. I. 1988 Ideal nutrient productivities and nutrient proportions in plant growth. *Plant Cell Environ.* 11: 613-620.
10. Abu-Yaron, A. and A. Feigin. 1992. Effect of growing conditions on the corrosivity and ascorbic acid retention in canned tomato juice. *J. Sci. Food Agric.* 59: 101-108.
11. Anderson, R. and P. Christie. 1995. Effect of long-term application of animal slurries to grassland on silage quality assessed in laboratory silos. *J. Sci. Food Agric.* 67: 205-213.

12. AOAC. 1980. Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 13th ed. pp. 735-779. AOAC. Washington, D. C.
13. Auerswald, H., D. Schwarz, C. Kornelson, A. Krumborn and B. Bruckner. 1999. Sensory analysis, sugar and acid content of tomato at different EC values of the nutrient solution. *Sci. Hortic.* 82: 227-242.
14. Bolan, N. S., J. K. Syers and M. E. Sumner. 1991. Dissolution of various sources of gypsum in aqueous solutions and in soil. *J. Sci. Food Agric.* 57: 527-541.
15. Bonire, J. J., N. N. S. Jalil and J. A. Lori. 1991. Iron, nickel, copper, zinc and cadmium content of two cultivars of white yam (*Dioscorea rotundata*) and their source soils. *J. Sci. Food Agric.* 57: 431-435.
16. Bristow, A. W. and S. C. Jarvis. 1991. Effect of grazing and nitrogen fertiliser on the soil microbial biomass under permanent pasture. *J. Sci. Food Agric.* 54: 9-21.
17. Brough, S. H. and S. N. Azam-Ali. 1992. The effect of soil moisture on the proximate composition of bambara groundnut (*Vigna subterranean* (L) Verdc). *J. Sci. Food Agric.* 60: 197-203.
18. Brunsgaard, G., U. Kidmose, L. Sorensen, K. Kaack and B. O. Eggum. 1994. The influence of variety and growth conditions on the nutritive value of carrots. *J. Sci. Food Agric.* 65: 163-170.
19. Castle, L., M. J. Campos and J. Gilbert. 1991. Determination of acrylamide monomer in hydroponically grown tomato fruits by capillary gas chromatography-mass spectrometry. *J. Sci. Food Agric.* 54: 549-555.
20. Claassen, N. and S. A. Barber. 1974. A method for characterizing the relation between nutrient concentration and flux into roots of intact plants. *Plant Physiol.* 54: 564-568.
21. Clarkson, D. T. 1985. Factors affecting mineral nutrient acquisition by plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 36: 77-115.
22. Crocker, L. J. and C. R. Schwintzer. 1994. Soil conditions affect the occurrence of cluster roots in *Myrica gale* L. in the field. *Soil Biol. Biochem.* 26: 615-622.
23. De Rijck, G. and E. Schrevens. 1998. Multifactorial optimisation of the nutrient solution for hydroponically grown chicory plants. *Sci. Hortic.* 76: 149-159.
24. De Rijck, G. and E. Schrevens. 1997. pH influenced by the elemental composition of nutrient solutions. *J. Plant Nutr.* 20: 911-923.
25. De Rijck, G. and E. Schrevens. 1999. Chemical feasibility region for nutrient solutions in hydroponic plant nutrition. *J. Plant Nutr.* 22: 259-268.
26. Euroala, M. H., P. I. Ekholm, M. E. Ylinen, P. E. Koivistoinen and P. T. Varo. 1991. Selenium in Finnish foods after beginning the use of selenate-supplemented fertilisers. *J. Sci. Food Agric.* 56: 57-70.
27. Fischer, J. 1992. The influence of different nitrogen and potassium fertilisation on the chemical flavour composition of kohlrabi (*Brassica oleracea* var *gongylodes* L). *J. Sci. Food Agric.* 60: 465-470.
28. Frick, J. and C. A. Mitchell. 1993. Stabilization of pH in solid-matrix hydroponic systems. *HortScience* 28: 981-984.
29. Gigliotti, G., D. Businelli and P. L. Giusquiani. 1996. Trace metal uptake and distribution in corn plants grown on a 6-year urban waste compost amended soil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 58: 199-206.
30. Gomez, I., J. Navarro-Pedreno and J. Mataix. 1992. The influence of saline irrigation and organic waste

- fertilisation on the mineral content (N, P, K, Na, Ca and Mg) of tomatoes. *J. Sci. Food Agric.* 59: 483-487.
31. Grant, P. J., J. Y. Lu, D. G. Mortley, P. A. Loretan, C. K. Bonsi and W. A. Hill. 1993. Nutrient composition of sweet potato storage roots altered by frequency of nutrient solution change. *HortScience* 28: 802-804.
32. Hips, N. A. and T. J. Samuelson. 1991. Effect of long-term herbicide use, irrigation and nitrogen fertiliser on soil fertility in an apple orchard. *J. Sci. Food Agric.* 55: 377-387.
33. Ieperen, W. van. and H. Madery. 1994. A new method to measure plant water-uptake and transpiration simultaneously. *J. Exp. Bot.* 45: 51-60.
34. Le Bot, J., S. Adamowicz and P. Robin. 1998. Modelling plant nutrition of horticultural crops. *Sci. Hortic.* 74: 47-82.
35. Lyons, D. J., G. E. Rayment, P. E. Nobbs and L. E. McCallum. 1994. Nitrate and nitrite in fresh vegetables from Queensland. *J. Sci. Food Agric.* 64: 279-281.
36. Michael, A. G. 1997. Intrinsic stable isotope labeling of plants for nutritional investigations in humans. *J. Nutr. Biochem.* 8: 164-171.
37. Nelson, P. V. and C. E. Niedziela Jr. 1998. Effects of calcium source and temperature regime on calcium deficiency during hydroponic forcing of tulip. *Sci. Hortic.* 73: 137-150.
38. Nichols, M. A. 1994. Osmotic stress, yield and quality of hydroponic tomatoes. *Acta Hortic.* (361): 302-310.
39. Nil. 1987. Analysis Guide for Polarized Zeeman Atomic Absorption Spectrophotometry - Flame Atomization Method. Hitachi, Ltd., Tokyo, Japan.
40. Nil. 1988. Graphite Atomization Analysis Guide for Polarized Zeeman Atomic Absorption Spectrophotometry. Hitachi, Ltd., Tokyo, Japan.
41. Noomhorm, A., S. Ilangantileke and M. B. Bautista. 1992. Factors in the protein enrichment of cassava by solid state fermentation. *J. Sci. Food Agric.* 58: 117-123.
42. Novichkova, N. S., A. K. Romanova and A. I. Maslov. 1994. Photo-synthesis and nitrogen-fixation in red clover grown under diverse conditions of irradiance and nitrogen nutrition. *Russ. J. Plant Physiol.* 41: 51-63.
43. Pearce, R. C., Y. Li and L. P. Bush. 1999. Calcium and bicarbonate effects on the growth and nutrient uptake of barley tobacco seedlings: hydroponic culture. *J. Plant Nutr.* 22: 1069-1078.
44. Pisulewska, E., P. Hanczakowski, P. Pisulewski and B. Szymczyk. 1991. The changes of the yield, composition and nutritive value of leaf protein extracted from vetch and cereal mixtures during three years cultivation. *J. Sci. Food Agric.* 55: 197-205.
45. Premuzic, Z., M. Bargiela, A. Garcia and A. Ioria. 1998. Calcium, iron, potassium, phosphorus and vitamin C content of organic and hydroponic tomatoes. *HortScience* 33: 255-257.
46. Richardson, S. J. and M. Hardgrave. 1992. Effect of temperature, carbon dioxide enrichment, nitrogen form and rate of nitrogen fertiliser on the yield and nitrate content of two varieties of glasshouse lettuce. *J. Sci. Food Agric.* 59: 345-349.
47. Savvas, D. and G. Marcos. 1999. Automatic composition control of nutrient solution in closed soilless culture system. *J. Agric. Eng. Res.* 37: 29-33.
48. Seawright, D. E., R. R. Stickney and R. B. Walker. 1998. Nutrient dynamics in integrated

- aquaculture-hydroponics systems. *Aquaculture* 160: 215-237.
49. Shand, C., G. Coutts, E. Duff and D. Atkinson. 1992. Soil selenium treatments to ameliorate selenium deficiency in herbage. *J. Sci. Food Agric.* 59: 27-35.
50. Sud, R. G., R. Prasad and M. Bhargava. 1995. Effect of weather conditions on concentration of calcium, manganese, copper and iron in green tea (*Camellia sinensis* (L) O Kuntze) leaves of north-western India. *J. Sci. Food Agric.* 67: 341-346.
51. Thimmegowda, S. 1993. Effect of residual fertility and direct fertilisation on kernel, protein and oil yield of peanut (*Arachis hypogaea* L) grown in rice fallows. *J. Sci. Food Agric.* 61: 385-387.
52. Vakhmistrov, D. B. and V. A. Vorontsov. 1994. The ratios of mineral nutrients in a medium as related to plant-production. 3. Correlation probing of the response dome. *Russ. J. Plant Physiol.* 41: 373-381.
53. Withers, P. J. A. and F. M. O'Donnells. 1994. The response of double-low winter oilseed rape to fertiliser sulphur. *J. Sci. Food Agric.* 66: 93-101.
54. Zekki, H., L. Gauthier and A. Gosselin. 1996. Growth, productivity, and mineral composition of hydroponically cultivated greenhouse tomatoes, with or without nutrient solution recycling. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 121: 1082-1088.
55. Zhao, F., P. E. Bilsborrow, E. J. Evans and J. K. Syers. 1993. Sulphur turnover in the developing pods of single and double low varieties of oilseed rape (*Brassica napus* L). *J. Sci. Food Agric.* 62: 111-119.
56. Zhao, F., E. J. Evans, P. E. Bilsborrow and J. K. Syers. 1993. Influences of sulphur and nitrogen on seed yield and quality of low glucosinolate oilseed rape (*Brassica napus* L). *J. Sci. Food Agric.* 63: 29-37.

Studies on the Mineral Contents of Hydroponic Vegetables

Jeng-Horng Tsen¹⁾ V. An-Erl King²⁾

(Accepted for publication: December 16, 2000)

Abstract

Nutrient solution composition exerts significant effects on the nutrient contents of hydroponic vegetables. In this study, mineral contents of market-sold hydroponic and soil-cultured water convolvulus samples were analyzed, and hydroponic culture experiment of curled Pak-Choi was conducted and cultured samples were collected for mineral contents analysis. Atomic absorption spectrophotometry was applied to measure the contents of minerals, i.e. K, Mg, Ca, Fe, Cu, Mn, Zn, Mo of market-sold hydroponic and soil-cultured water convolvulus samples as well as hydroponic curled Pak-Choi. The variations of mineral concentrations and pH of the culture solutions used in the hydroponic experiments were tracked periodically. Results showed that there was no relationship existed between nutrient solution concentrations and vegetable mineral contents. However, the nutrient supply affected the growth of vegetables. Both market-sold samples had no remarkable difference in mineral compositions and contents.

Keywords: hydroponics, vegetable, minerals.

國立中興大學 

National Chung Hsing University

1) Lecturer, Department of Nutrition, China Medical College.

2) Professor, Department of Food Science, National Chung-Hsing University. Corresponding author.