

磷肥施用量對水耕小白菜化學成分之影響

Studies on the effect of phosphate fertilization upon the chemical composition of hydrocultured small Pai-tsai (*Brassica chinensis*)

劉慧瑛^{1*} 黃菊美¹ 張庚鵬¹ 朱戡良¹
Huey-Ing Liu^{1*} Chu-Mei Huang¹ Geng-Preng Chang¹ Chien-Liang Chu¹

ABSTRACT

, Phosphorus fertilization, hydro culture, chemical composition.

Effect of different phosphate nutrient concentration (0, 5, 10, 20, 40, 80, 160ppm-P) of water-culture medium on the quality and chemical compositions of small Pai-tsai (*Brassica chinensis*) had been discussed. At the 40ppm-P, the plant weights were highest, then the 80ppm-P and the 20ppm-P treatment. The P treatment lower than 10ppm-P and the 160ppm-P treatment had less plant yield. The P concentration of both fresh leaf blade and petiole were increased with the phosphate concentrations. If the medium PO_4 -P less than 10ppm or more than 80ppm the weight ratio of petiole were decreased. The ascorbic acid, total soluble solids, water insoluble solid, titratable acidity, ash, Mg, S, Fe and Boron contents (in fresh weight basis) of the up-land part of plant were decreased both in the lowest and highest P treatment. Both in P deficient and P excess medium, plants grew worse. There were more P, Na, Mn and Cu (in blade) contents in the 160ppm-P treated plants, but more ascorbic acid, soluble solid, acidity, water soluble carbohydrate, K, Ca, B, amino-nitrogen and dry matter in the Phosphate deficient plant.

摘要

探討水耕栽培營養液中不同磷肥施用量0、5、10、20、40、80、160ppm-P對小白菜生育品質及化學組成分之影響。株重以40ppm-P標準施磷量為最高, 80ppm略低, 其次為20ppm, 施磷量在10ppm以下或160ppm以上時, 小白菜產量明顯減少。以鮮重為計算基礎, 無論是葉身或葉柄, 其磷含量大致上會隨著磷肥施用量增加而增加。施磷量若少於10ppm-P或大於80ppm-P時, 葉柄佔全株重量比會愈形減少, 即外觀葉柄較葉身為小; 植株抗壞血酸、可溶固形物、不溶固形物、滴定酸度、灰分及鎂、硫、鐵、硼等元素含量則會隨著低施磷量的減少與高施磷量的增加而增加。磷肥不足或過剩之小白菜株重、單株葉數及單株重雖然相近, 但磷肥過剩時植體內有異常高的磷、鈉、錳、銅(葉身)等元素; 而缺磷肥之植體則含有較高的乾物重、抗壞血酸、可溶固形物、可滴定酸度、水溶性醣、鉀、鈣、硼及胺基態氮含量。

Key words: small Pai-tsai (*Brassica chinensis*)

關鍵詞: 小白菜、磷肥、水耕、化學成分。

1. 臺灣省農業試驗所農業化學系。Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute.

* Corresponding author.

前言

蔬菜栽培時養分的缺乏與過剩都會造成生理上的障礙。飯塚氏在討論蔬菜的生育障害時，將作物營養要素的含有率分為缺乏 (deficiency)、不足 (latent deficiency or hidden hunger)、安全 (safety)、過多 (luxury uptake) 與過剩 (excess) 五區，且認為只有在安全區才能得到最高的作物生育量，因為養分缺乏與過剩都是蔬菜生育障礙之因 (飯塚, 1991 ab)。由營養要素的缺乏或過剩所引起的蔬菜外觀病徵，國內外已有相當多的研究與圖片介紹 (渡邊, 1984; 清水, 1990; 張, 1997; Hewitt, 1984)。由於水耕的養分較土耕容易控制且不易流失，營養要素施用量對品質之影響也較容易瞭解，因此國內外不乏利用水耕探討要素施用量之報告。磷為肥料三要素之一，生物體內磷含量約為 0.16 ~ 0.25%，是構成核酸、細胞核及 ATP 等高能化合物等與生命活動有關之重要物質；無機磷酸則參與代謝活動 (平岡, 1990)，磷若嚴重缺乏時會對細胞最活躍的生長點造成抑制生長，進而影響氮、鉀吸收及產量減少。雖然在生物體內磷的移動性與氮、鉀、鎂等同樣高，但是磷肥利用率僅 10 ~ 20%，較氮 50 ~ 60%、鉀 60 ~ 80% 之吸收率低甚多 (土屋, 1990; 渡邊, 1984)。有許多蔬菜生育不好是因為潛在缺磷，而對潛在磷缺乏症之作物多施磷肥則可增加收量。多施而未被利用的磷肥則在土壤中逐漸蓄積。由於磷過剩的直接障害少，而因拮抗作用引起之障害多 (土屋, 1990)，在現場往往無法直接判定磷過剩症狀。日本近年來已對過剩施肥開始重視，關於多施磷肥造成磷濃度上昇而致其他要素如鋅、鐵、鉀等缺乏之現象也多有報導 (土屋, 1990; 平岡, 1990; 渡邊, 1984; 清水, 1990 ab; 飯塚, 1991 ab)；有許多原因不明之生理障害，分析其土壤即發現蓄積異常

多的磷 (渡邊, 1984)。國內外常使用的水耕營養液磷濃度範圍則為 1.5 ~ 5.0 me/L (池田 1986; 高, 1991)，或 10 ~ 65 ppm-P (申 1994; 吳, 1991; 鍾, 1997; Hewitt, 1996; Sonneveld, 1992)。小白菜為深受國人喜愛之主要蔬菜之一，與山東白菜 (大白菜)、青梗白菜 (青江菜) 等同屬白菜一種 (*Brassica chinensis* L.)，俗稱小白菜或黃金白菜 (golden Pai-tsai) (董, 1961)。常見栽培品種有黃金白菜、喜樹白菜、鳳山白菜、明利小白菜、臺農一號等，不同品種間其性狀及產量差異相當大 (沈, 1996)。市售來源有露地、溫、網室水耕栽培等。近年來在國內曾有吳氏等針對小白菜擬出水耕營養液配方並進行與氮源有關之營養試驗 (吳, 1991; 吳, 1995)，申氏等 (1994) 比較不同水耕液配方及探討小白菜動態生長，鍾氏 (1997) 等以水耕試驗探討停止硝酸態氮供應下青梗白菜的氮組成等，然而在對小白菜要素試驗上多以氮素為主，對磷肥的吸收及植株生長的營養生理上，尚少研究。小白菜屬於本土性蔬菜，國外較少研究，由於磷肥施用多少都會影響產量與品質，本試驗因此利用水耕方式，探討不同磷肥施用量對小白菜化學成分之影響，俾能求出最適小白菜生長之磷肥條件及瞭解植體對磷肥利用之化學特性。

材料與方法

一、使用材料

試驗小白菜 (small Pai-tsai) 採用黃金白菜 (golden Pai-tsai, *Brassica chinensis* L.) 開利小白菜品種。

二、水耕栽培設施

在溫室採用循環式動態浮根栽培 (高, 1991)，每一培養槽長約 2 公尺，寬約 1 ~ 1.2 公尺，植 80 株；每槽營養液量約 40

~100L，視植株大小及水分蒸散情形控制水位高度。培養槽下方連接營養液桶，全部養液量為250L，視栽培環境調整養液循環速率。

三、栽培條件

於五月初將小黃金白菜發芽至展開2~3葉的幼苗移入溫室中，在含有不同磷肥含量營養液之水耕栽培設施內，培養三週後收穫。使用之水耕營養液配方係參考

Sonneveld 氏 (1992) 之萵苣標準水耕營養液元素濃度 (如表一) 配製，其化學肥料組成及配製方法如表二所示，並依表二之配方調配不同磷肥含量之營養液肥250L。(磷含量分別為0、5、10、20、40、80、160 ppm-P，標準為40 ppm-P)。

四、樣品前處理

將施肥試驗收穫後之植株地上部，快速以去離子水洗淨及拭乾後，切分葉身

Table 1. The element concentrations of standard water-culture medium

巨量元素 Macro element	濃度(m mole/L) concentration	微量元素 Minor element	濃度(μ mole/L) concentration
NO ₃	19	Fe	40
H ₂ PO ₄	1.3	Mn	5
SO ₄	1.125	Zn	4
NH ₄	1.25	B	30
K	11	Cu	0.75
Ca	4.5	Mo	0.5
Mg	1.0		
Si	0.5		

Table 2. Chemicals and preparative method of water-culture medium

使用化肥種類 Chemicals	貯藏溶液 Stock (g/L)	使用量 ml/60L	元素濃度 Element Concentration (ppm.)
KNO ₃	202	330	K : 430, N : 154
NH ₄ NO ₃	160	38	N : 35
Ca (NO ₃) ₂ · 2H ₂ O	236	210	Ca : 140, N : 98
MgSO ₄ · 7H ₂ O	273.7	30	Mg : 14, S : 19
NaH ₂ PO ₄ · 2H ₂ O	104	180	Na : 46, P : 62
Na ₂ -EDTA	16.6		
FeSO ₄ · 7H ₂ O	12.4	53	Fe : 2.23
MnSO ₄ · 4H ₂ O	11.15	6	Mn : 0.275
HBO ₃	18		B : 0.32
CuSO ₄ · 5H ₂ O	1.88		Cu : 0.048
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	11.67		Zn : 0.262
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	0.88		Mo : 0.048

Note 1: adjust the medium with 6N sulfuric acid to pH 5.5.

Note 2: supposed the tap water contained 40ppm-Ca and 10ppm-Mg ion.

Note 3: using the lettuce nutrient solution of I · C · Sonneveld (1992).

(leaf blade) 與葉柄 (leaf petiole) 進行化學成分分析。

五、分析項目

1. 水份：精秤約 10g 新鮮樣品在 105 °C 下乾燥過夜，秤至恆量，以乾燥前後重量差異計算水份含量。

2. 灰份：精秤新鮮樣品 10g 或烘乾磨粉樣品 1g 以 550 °C 灰化法測定 (AOAC, 1980)。

3. 抗壞血酸：切取新鮮樣本 2g 依 A.O.A.C.(1980)方法中之 2,6-Dichlorophenol-indophenol 指示劑滴定法測定。

4. P、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn、S、B、Al：將測定灰分後之灰化樣本，以 3N HCl 煮沸十分鐘溶出礦物質元素，並加 0.2N HCl 稀釋至 50ml 後，用感應耦合電漿—原子發光光譜分析儀 (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrophotometer, ICP-AES) Jobin-Yvon JY38 Type III 測定。

5. K、Na：將鹽酸溶解之灰化樣本以火焰分光光度計 (Corning Co. 之 Flame Photometer 400) 測定。

6. 可溶固形物：以手持式折射計測定。

7. 可滴定酸度：秤取新鮮樣品 10g 加去離子水均勻打漿後，依據 CNS 水果及蔬菜汁飲料檢驗法測定 (中標局, 1989a) 並將 0.1N NaOH 滴定所得之有機酸酸度值換算檸檬酸表示之。

8. 胺基態氮：取測定可滴定酸度後之打漿樣品，參考 CNS 水果及蔬菜汁飲料檢驗法 (中標局, 1989b) 以甲醛態氮滴定法 (formol titration) (京都大學, 1957) 測定。

9. 不溶固形物：參考 CNS 水果及蔬菜汁飲料檢驗法 (中標局, 1989c)，精秤 10g 打漿樣本，放入 600ml 燒杯中，加去離子水

至 200g 後，煮沸 30 分鐘，以已乾燥秤量之 Whatman No.41 濾紙過濾，再用熱水充分洗滌後，在 105 °C 烘乾過夜，測定濾紙增加之重量，即不溶固形物。

10. 水溶性糖：取測定不溶固形物時得到之濾液定容後取適當量稀釋，以酚—硫酸法 (Dubois, 1956) 測定濾液中之六碳糖含量，而以葡萄糖為計算標準。

結果與討論

一、植株外觀性狀之比較

小白菜不同品種間其性狀及產量差異相當大，株高為 19.0 ~ 29.1 公分，葉數為 5 ~ 9 片，單株重 15.1 ~ 94.7 公克 (沈, 1996)。不同施磷量對水耕小白菜植株外觀性狀之影響示如表三，由此表中可以看出株重以 40ppm-P 標準施磷量為最高，80ppm 略低，其次為 20ppm，施磷量在 10ppm 以下或 160ppm 以上時，小白菜產量明顯驟減。除了株重外，無論是葉片數及株高均以 20 ~ 80ppm 處理較大。應用飯塚氏之要素含有率區分概念圖 (飯塚, 1991ab)，將水耕養液之磷含量加以區分，則可略估磷肥之施用以 0 ~ 5ppm 為嚴重缺乏、10ppm 以下為缺乏，10 ~ 20ppm 為不足，40ppm 安全，80ppm 過多，160ppm 為過剩。

水耕蔬菜缺磷時之症狀已有許多報告與描述，生育初期顯著缺磷時葉光澤差，呈暗濃綠色。由於磷在體內易移動，發生缺乏時會由老葉向新葉移動，徵狀會從老葉葉柄或葉脈開始，嚴重缺乏時葉變暗綠色，老下葉則帶紫色 (清水, 1990a)。一般而言，葉菜缺磷之共通徵狀為葉片變小，由下部葉片開始出現病徵，葉色轉呈暗綠色，再漸次擴及全株，老葉較新葉嚴重。許多作物如葉萵苣、白菜、蕃茄及一些油

Table 3. Effect of phosphate nutrition on the plant growth characters of small Pai-tsai grown in hydro culture.

項目 Item	磷肥量 PO ₄ -P 0 ppm	5 ppm	10 ppm	20 ppm	40 ppm	80 ppm	160 ppm
外觀 appearance	株小、深綠色 small, dark green	株小、深綠 及紅紫色 small, dark green					株小、深綠色 small, dark green
株重 (g/pl.) plant weight	0.54	4.49	12.72	15.62	22.35	19.85	6.55
每株葉數 leaf number per plant	3.2	6.2	7.0	7.8	8.0	9.3	7.1
株高 (cm) plant height	4.5 -9.5	10.0 -17.0	14.5 -24.0	16.5 -24.0	21.0 -24.0	22.0 -24.0	11.5 -15.5
葉身重量比(%) blade wt./leaf wt.	77.4	66.8	53	55.3	53.7	54.2	67.7
葉柄重量比(%) petiole wt./leaf wt.	22.6	33.2	47.0	44.7	46.3	45.8	32.3

菜品種缺磷時其莖葉(或葉緣、葉脈、葉柄)常呈現紅紫色；下位葉有時呈黃化，漸次凋萎而帶棕色或黑色(高,1991; 渡邊,1984; 張,1997; Hewitt,1984)。本試驗之養液中完全沒有磷源時，蔬菜的生育停頓，幾乎不生長。地上部每株平均重1克、且一株僅能生長至3~4葉；株小、乾枯、色暗綠。養液中磷含量為5ppm-P時，小白菜生長甚緩，部份葉片之葉身及葉柄有紅紫色出現。施磷量為10ppm-P時即有植株較小、葉片較少及葉色較深之磷缺乏徵狀，其葉身重量比則略高於葉柄。潛在磷缺乏一般在外觀上不易看出，往往由外觀發現缺乏症狀時，已不易補救(清水,1990c)。在20ppm-P下生長之植株，外觀上除株高相差較大外，與標準施磷者相似，由於其地上部產量較少，推測其存在著潛在磷含量不足之狀況。

氮與磷過量施用均易發生障害，但在三要素中磷的障害較難呈現(清水,1990b)。磷過剩常發生於田間施用過量的磷肥或水耕栽培時養分調配不當時，會使植株生育緩慢，葉片變小，葉色深，嚴重降低產量。磷肥施用過多如80ppm-P時並沒有明顯的生育障害症狀可見，只是地上部產量較標準低，葉片數雖較多但生長偏向葉身而非葉柄。施磷過剩如160ppm-P時，植體生育顯然會受到抑制。葉片數減少，色深且株小，產量顯著減低，葉片的生長也偏向葉身部位。在外觀上嚴重缺磷與過剩之不同在於後者無紅紫色植株出現。施磷過多對小白菜之栽培除了產量減少外，更增肥料成本及蓄積土壤磷肥，污染環境，可謂有害無益。

二、植株一般化學成分之比較

圖一至圖八所示為不同磷肥施用量對新鮮葉身與葉柄之部份化學成分影響。其中圖一乾物重、圖三抗壞血酸及圖五不溶固形物含量等之影響圖形呈相似的表現，可見此三者間相關密切。養液完全缺磷時葉身汁液的可溶固形物雖達 9.6 % (見圖四)，可滴定酸度卻也高達 0.58 % (以檸檬酸計算，見圖六)。以鮮重為計算基礎，不論是葉身或葉柄，其乾物重、不溶固形物、灰分、水溶性醣、胺基態氮、可滴定酸度、抗壞血酸等含量均最高。分析其原因可能是沒有磷酸根的參與，許多由種子供應之代謝產物、光合作用的生合成產物

及由根部吸收所得到的成分等均無法被利用進行生化合成及能量生成反應而蓄積於植體中，終致無法繼續生長。磷肥嚴重缺乏 (5ppm-P) 時，葉身與葉柄的可溶固形物及可滴定酸度雖較完全無磷供應之植體為低，但與標準施磷之葉片相比仍然偏高。其它如水分、不溶固形物、灰分、水溶性醣、胺基態氮、抗壞血酸等成分含量均介於完全缺乏 (0 ppm-P) 與不足 (10ppm-P) 之間。由此可見，有少量磷酸鹽存在下，植體內的部份養分已能繼續參與生化反應而供植體生長，不過由於磷的供應量嚴重不足，生長仍遲頓，而生合成代謝產物仍受

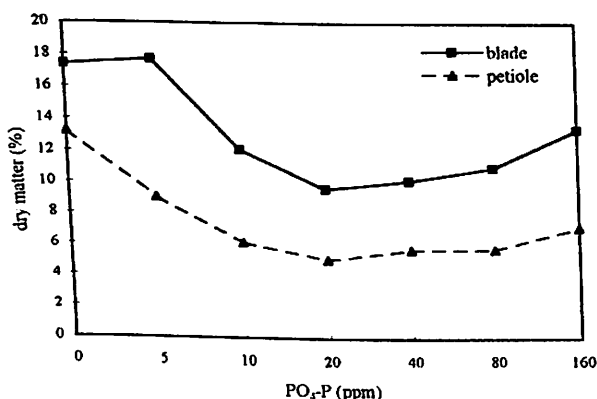


Fig. 1. Effect of phosphate concentration on the dry matter of small Pai-tsai grown in hydroponic culture.

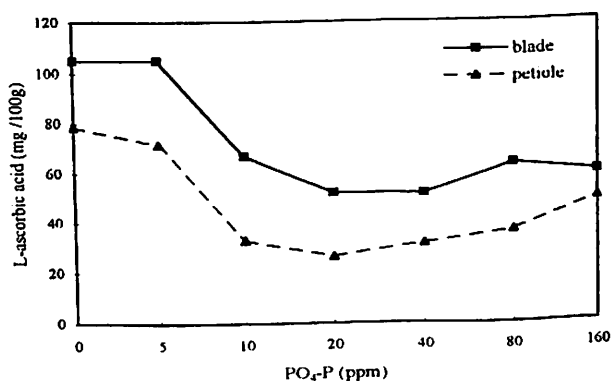


Fig. 3. Effect of phosphate concentration on the L-ascorbic acid content of small

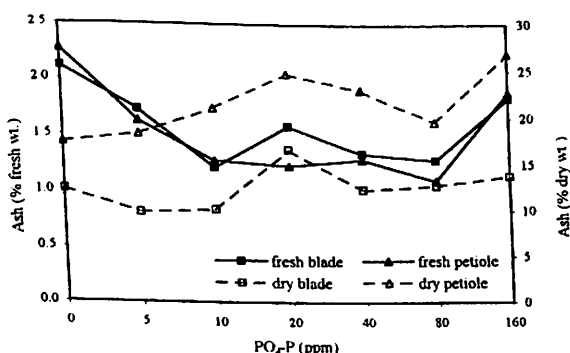


Fig. 2. Effect of phosphate concentration on the ash content of small Pai-tsai grown in hydroponic culture.

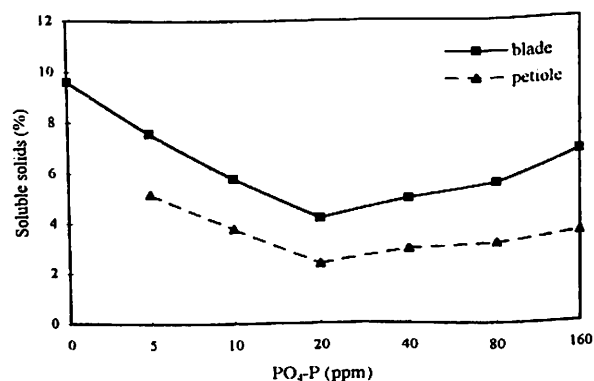


Fig. 4. Effect of phosphate concentration on the soluble solid content of small Pai-tsai grown in hydroponic culture.

到缺磷的影響無法被繼續利用而蓄積體內。

磷肥為 10ppm-P 時葉身與葉柄的可溶固形物含量較低、可滴定酸度也明顯降低。其它成分則介於 5ppm 與 20ppm 之間，可見這些成分已隨著磷供應增加而被利用於植株之生長。20ppm-P 之施肥處理者為各處理中水份含量最高者，除胺基態氮外，其他成分含量則為各處理中最低者。此時的葉片富含水分，且葉柄所佔比率最大、肥厚多汁、纖維性成分(不溶固形物中主要成分)較少，食味品質最佳，惟產量較

標準處理低。施磷量為 40ppm-P 之各成分分析值與 20ppm 處理者接近。此時的小白菜其食味品質似與 20ppm-P 相近。若以小白菜的正常生育量及部份營養成分含量來比較，施磷 20ppm-P 似乎略微不足。

施磷量 80ppm-P 時葉身與葉柄之各成分含量雖與標準接近，但與 160ppm 之處理一併比較則可看出隨著施磷量的增加植體各成分含量均有漸增之趨勢；可見過量施磷也會使植體中蓄積有機酸、胺基態氮、水溶性醣、抗壞血酸等成分。過量施磷樣本類似嚴重缺磷時之植株成分，推測其中

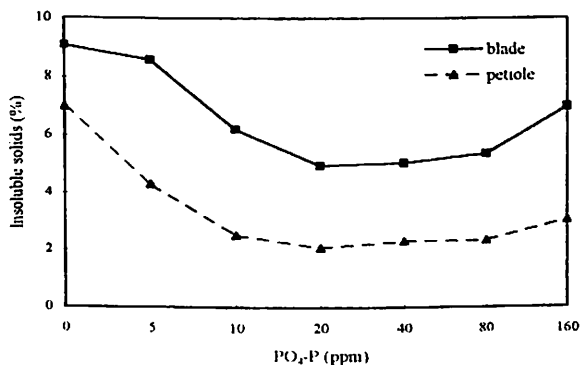


Fig. 5. Effect of phosphate concentration on the insoluble solid content of small Pai-tsai grown in hydroponic culture.

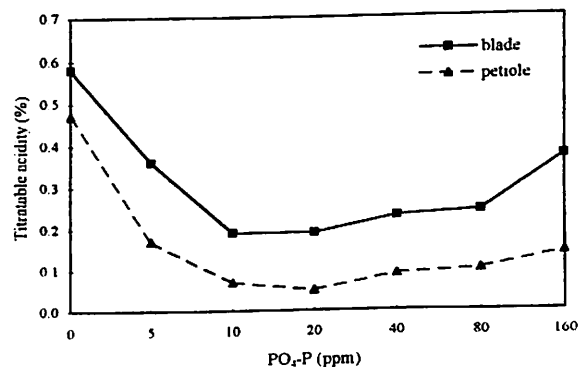


Fig. 6. Effect of phosphate concentration on the titratable acidity of small Pai-tsai grown in hydroponic culture.

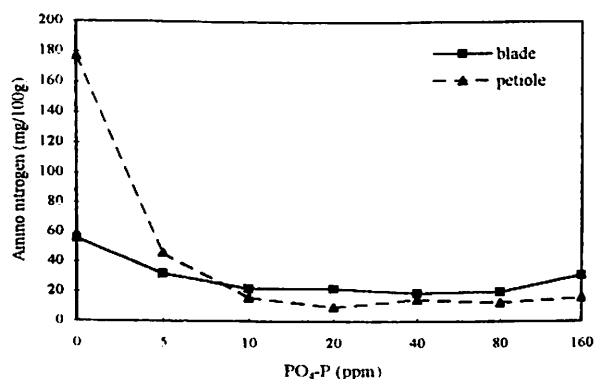


Fig. 7. Effect of phosphate concentration on the amino nitrogen content of small Pai-tsai grown in hydro culture.

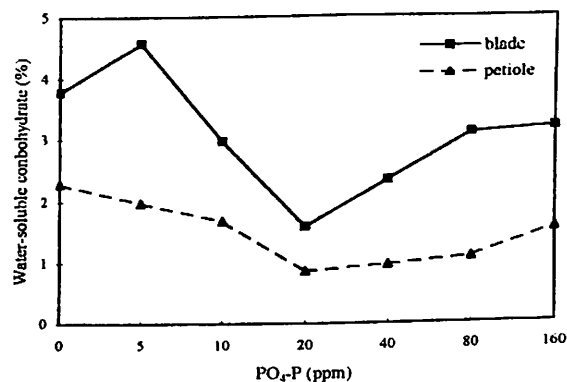


Fig. 8. Effect of phosphate concentration on the water-soluble carbohydrate content of small Pai-tsai grown in hydro culture.

的部份營養成份可能因磷酸的毒害而無法被利用，植株亦無法生長。平岡氏即指出高磷酸對糖代謝阻害而引起之生育抑制不可不重視(平岡,1990)。

三、植株礦物質元素含量比較

Hewitt 氏 (1984) 提到葉片缺乏磷之臨界濃度 (critical leaf concentration) 為 0.35% P。張氏 (1997) 比較正常與缺磷時各蔬菜作

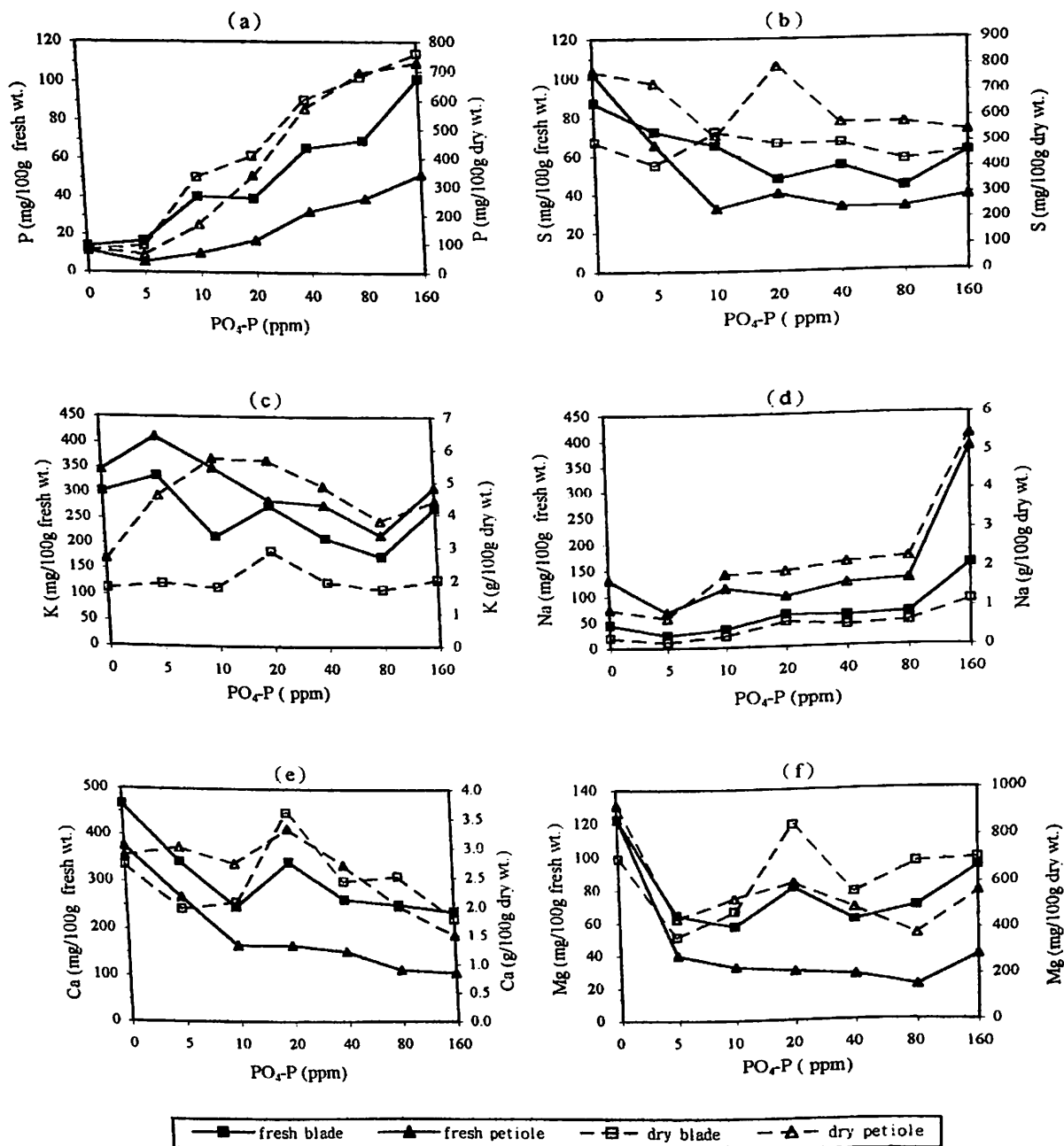


Fig. 9. Effect of phosphate concentration on the major element contents of small Pai-tsai grown in hydro culture.

物之磷含量則正常為0.45-0.96%，缺乏者磷小於0.4%。依據圖九(a-f)及圖十(a-f)以鮮物及乾物重計算之不同磷肥施用量對葉身與葉柄之主要礦物質元素磷、硫、鉀、

鈉、鈣、鎂等與微量元素鐵、錳、銅、鋅、硼、鋁等含量影響圖顯示，以乾物計算時小白菜嚴重缺磷時磷含量不及0.1%，施磷量10ppm以下時磷含量不及0.35%，

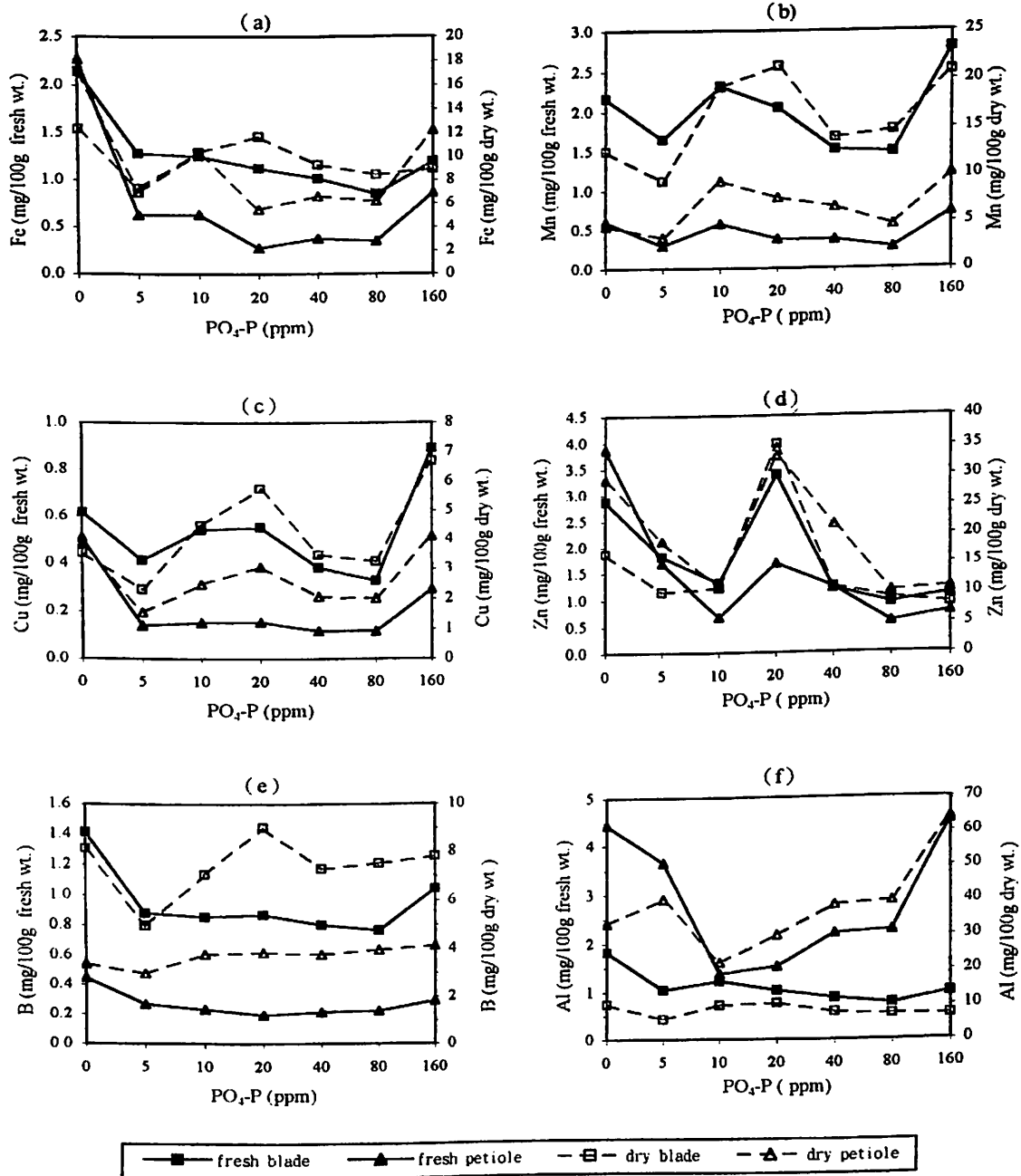


Fig. 10. Effect of phosphate concentration on the minor element contents of small Pai-tsai grown in hydro culture.

施磷量 20ppm 時磷含量略低於 0.4%；磷肥施用量過剩 (160ppm-P) 時，植株之磷含量大於 0.7%。以鮮物重比較各處理之礦物質元素含量則無論是葉身或葉柄，其磷含量大致上會隨著磷肥施用量增加而增加。施磷量若少於 10ppm-P 或大於 80ppm-P 時，灰分及鎂、硫、鐵、硼等元素含量則會隨著低施磷量的減少與高施磷量的增加而增加，深綠色蔬菜常富含鐵，鎂為葉綠素之構成元素，缺磷或磷過剩之植體呈深綠色可能與其含有較多量的鎂、鐵有關。磷肥缺乏下生長之小白菜體內蓄積較多量的鉀、鈣、硼等元素。施磷過剩 (160ppm) 之植體內則有異常高的磷、鈉、錳、銅 (葉身) 等元素；其中鈉含量會隨著磷肥施用量之增加而升高可能是由於培養液使用磷酸鈉之故。施用磷肥 80ppm 以上之植株磷量均大於標準，而其產量反而隨磷肥的增加而低下，可見多施磷肥已然造成傷害。

上屋氏討論蔬菜要素過剩伴隨的生理障礙實態時，認為磷過剩引起鉀及鋅吸收低下，由於吸收的不平衡，引起鋅的缺乏；又，由於過多的磷酸與鐵結合而造成鐵缺乏。僅有磷過剩時不易呈現障礙，但鉀不足時則易發生障害 (土屋, 1990)。平岡等氏也認為，為了得到高收量，多施磷肥造成磷濃度上昇而其他要素的吸收受到抑制而發生缺乏，其中以鐵及鋅最成問題。磷並不直接影響鋅吸收，但是可能高濃度磷妨害鋅的代謝，導致因磷而引起鋅缺乏；也有人表示原來是磷缺乏狀態下，在多施磷肥後由於生育量增加造成稀釋效果而發生鋅缺乏症狀 (平岡, 1990)。依據圖九與圖十之結果顯示，若與標準施磷量比較，小白菜在施磷量大於 80ppm 時鋅含量減少，但鉀與鐵僅以施磷量 80ppm 者含量較低，160ppm 者含量反而較多。

四、紅紫色缺磷葉片之礦物質含量比較

氮缺乏之主述徵狀為葉片黃化，而磷缺乏則以紅紫色為判斷。黃化是因葉綠素分解消失，只殘存黃色胡蘿蔔素，紅紫色產生的原因則可能是磷的缺乏直接影響了糖的移動與代謝，光合作用產生的碳水化合物無法利用為能源，導致糖分與花青素結合；葉中糖類蓄積，是花青素生成原因之一，惟其作用尚不明白 (渡邊, 1984)。花青素因配糖體之 aglycon 或糖的種類、結合方式不同而呈紅、青、紫等顏色。而蔬菜因種類或品種不同花青素含量有差異，造成其呈色度、色調有所不同。由於花青素因受到光、低溫或氮素缺乏而促進生成，因此在診斷上也需注意。番茄、甘藍菜、草莓等在低溫下葉呈紅紫色，此時其磷之吸收也低下 (渡邊, 1984)。小白菜葉片呈綠色，在完全缺磷或施磷不足時 (10ppm-P) 時亦不呈紅紫色，僅在嚴重缺磷 (5ppm-P) 時發現部份植株有此顏色出現。Hewitt 氏指出有些 Brassica, carrot, sweet corn 在缺磷時較老葉會呈現紫化，主要發生在富含鐵及氧化鋁的酸性土壤 (即熱帶土壤) (Hewitt, 1984)。表四所示為在施磷 5ppm-P 下生長之植株紅紫色葉片與全部葉片礦物質元素含量之比較。由此表中可以看出紅紫色葉片無論是葉身或葉柄均含有較多的鐵與鋁。此或可說明紅紫色缺磷葉片與富含鐵、鋁之酸性土壤間之密切關係。

結論與建議

依據試驗結果水耕栽培小白菜的養液磷肥施用量可略分為五區，10ppm 以下為缺乏 (0 ~ 5ppm 為嚴重缺乏)、10 ~ 20ppm 為不足、40ppm 安全、80ppm 為過多、160ppm 為過剩。磷肥之施用無論過與不足都會減少小白菜生育量。嚴重缺磷時因植株矮小有紅紫色出現而易被發覺，磷肥不足、潛在缺磷或施用過多則除了植株矮小

Table 4. Comparison on the mineral element contents between red-purple and whole leaves of phosphate deficient small Pai-tsai.

葉片種類 leaves 部位 part 項目 item	紅紫葉片 Red-purple		全部葉片 whole leave	
	葉身 blade	葉柄 petiole	葉身 blade	葉柄 petiole
乾物重 dry matter(%)	17.83	8.36	17.69	8.99
灰份 ash (g/100g)*	9.31	20.45	9.78	18.13
磷 P (mg/100g)*	79	84	96	62
鉀 K (g/100g)*	1.68	5.37	1.89	4.58
鈣 Ca (g/100g)*	2.11	2.92	1.94	2.98
硫 S (g/100g)*	0.42	0.48	0.41	0.73
鈉 Na (g/100g)*	0.16	0.77	0.14	0.77
鎂 Mg (g/100g)*	0.50	0.45	0.37	0.45
鐵 Fe (mg/100g)*	9.59	15.15	7.24	6.97
錳 Mn (mg/100g)*	8.41	3.01	9.33	3.28
銅 Cu (mg/100g)*	2.98	2.94	2.34	1.56
鋅 Zn (mg/100g)*	12.63	18.98	10.21	18.76
硼 B (mg/100g)*	5.57	3.12	4.97	2.97
鋁 Al (mg/100g)*	7.8	88.2	5.9	40.6

* 以乾物重計算 dry basis

外並無明顯病徵，較難引起注意。對缺磷的作物，多施磷肥會使生育旺盛，但未分析植株磷含量多寡無法診斷是否潛在缺磷或磷過多下，多施磷肥雖有可能增加收量，也可能造成傷害。未來對施磷過剩所造成的其他要素缺乏障害及如何利用土壤中過剩的磷肥似需要更多深入的重視與研究。

參考文獻

- 土屋一成 1990 農業資材多投に伴う作物營養學的諸問題1—野菜および作物の要素過剰の實態。日本土肥誌 61(1):98-103。
- 中央標準局 1989a 水果及蔬菜汁飲料檢驗法—可滴定酸度之測定，中國國家標準 CNS 12570 類號 N6216。
- 中央標準局 1989b 水果及蔬菜汁飲料檢驗法—胺基態氮之測定，中國國家標準 CNS 12630 類號 N6219。
- 中央標準局 1989c 水果及蔬菜汁飲料檢驗法—不溶固形物之測定，中國國家標準 CNS 12629 類號 N6218。
- 申 雍、張朝芬 1994 光合作用有效輻射量與有效溫度對小白菜動態生長影響之定量研究。中國農業化學會誌 32(5): 533-542。
- 平岡潔志、米山忠克 1990 農業資材多投に伴う作物營養學的諸問題3—窒素，リン，カリウムの過剰と生理機能。日本土肥誌 61(3): 315-322。
- 池田英男 1986 作物の營養特性からみた培養液管理。農業および園藝 61(1): 205-211。

- 沈再發、劉政道、陳甘澍、李碩朋 1996
夏季區域性葉菜類栽培與品種選拔。蔬菜作物試驗研究彙報(第八輯) p.386-393。
- 吳正宗、王銀波 1991 夏季小白菜水耕液配方之初擬。農林學報 40(1): 109-118。
- 吳正宗、王銀波 1995 一些影響小白菜 (*Brassica chinensis* L.) 硝酸態氮含量的環境因子。中國農業化學會誌 33(2): 125-133。
- 京都大學農學部農藝化學教室編 1957
新改版農藝化學實驗書第二卷 p.533-534。產業圖書株式會社。東京。
- 高德錚 1991 動態浮根式水耕系統之開發與利用。台灣省臺中區農業改良場編印。彰化，臺灣。
- 渡邊和彥 1984 野菜の要素欠乏と過剩症。イタキ種苗宣伝出版社。
- 清水 武 1990a 原色要素障害診斷事典。農文協。東京。
- 清水 武 1990b 農業資材多投に伴う作物營養學的諸問題5 - 要素過剩の診斷技術。日本土肥誌 61(5):531-537。
- 張庚鵬、張愛華 1997 蔬菜作物營養障礙診斷圖鑑。臺灣省農業試驗所特刊第65號。臺灣省農業試驗所出版。霧峰，臺灣。
- 飯塚隆治 1991a 野菜の生育障害(1)。化學 生物 29(10):679-688。
- 飯塚隆治 1991b 野菜の生育障害(2)。化學 生物 29(11):746-753。
- 董大成、黃伯超、李源基、陳熙林 1961
臺灣產常用食品之營養成分。臺灣醫會雜誌 60(11):973-1005。
- 鍾仁賜、倪禮豐 1997 停止硝酸態氮的供應與遮光對青梗白菜氮組成的影響。中國農業化學會誌 35(4):453-461。
- Association of Official Agricultural Chemists. 1980 "Official Methods of Analysis" 13th ed. Assoc. Offic. Agr. Chemists, Washington D.C.
- Dubois, M., et al. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal. Chem., 28:350-356.
- Hewitt, E. J., 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition, 2nd. ed. Common wealth Agricultural Bureau , Farnham Royal, England.
- Hewitt, E.J. and P. Needham.1984. Diagnosis of mineral disorders in plant.
- Sonneveld, I. C. et al. 1992. Nutrient solutions for vegetables and flowers grown in water or substrates. 9th ed. No.8 p.21