

立體式栽培對改進甜椒生產模式之研究

方怡丹¹⁾ 宋 妤²⁾ 張武男³⁾ 曾夢蛟⁴⁾

關鍵字：甜椒、立體式栽培、袋耕栽培

摘要：‘銘星’甜椒以雙層之立體式袋耕栽培，並以一般性之單層栽培為對照組，分別調查不同栽培位置之植株生長變化及生理分析。試驗結果顯示立體式栽培對植株節數、株高、葉片乾重及葉片數等外觀表現無明顯影響，但葉片鮮重、葉面積、比葉重及葉果比以下層植株較高。受遮蔭影響，下層植株始花期延遲，始果節位高，落花(果)之情形較上層嚴重，但雙層產量仍高於單層栽培，對提升單位產量已發揮效果。生理分析部分，上層植株葉片之礦物元素濃度低於下層，不同採樣部位之葉片可溶性醣在不同栽培位置間無明顯差異，單層栽培之植株葉片總可溶性醣類含量最高，上段及中段位製之葉片澱粉含量明顯較低，顯示兩者在養份運移之利用有差異性。光合作用速率與氣孔導度以單層及上層栽培較佳，下層可能因遮蔭對氣孔之開閉造成影響，光合作用速率及氣孔導度下降。不同栽培位置採收果實之色澤、硬度及維他命 C 等品質，以上層果實品質優於下層，上層果實每百克鮮重維他命 C 含量達 210 mg，約為下層果實之二倍。

前 言

甜椒 (*Capsicum annuum* L.) 原產自南美秘魯及中美洲之墨西哥一帶之暖季作物，為茄科番椒屬之蔬菜，台灣光復期間引進栽培，以食用未完熟之青椒為主，栽培地區主要位於南投、雲林、屏東、高雄、花蓮與台南等地，民國 97 年台灣甜椒栽培面積約 1,170 公頃，總收量約 16,057 公噸 (農情報告資源網)。甜椒可週年生產，但夏季高溫多雨，不適平地栽培，一般多在中海拔地區生產 (林，2003)。由於果菜類栽培約需四個月以上，

-
- 1) 行政院農業委員會農糧署技正，國立中興大學園藝學系博士班研究生。
 - 2) 國立中興大學園藝學系教授。
 - 3) 國立中興大學園藝學系兼任教授。
 - 4) 國立中興大學園藝學系教授，通訊作者。

為增加產量，延長採收期、增加複作期數與提高密度等為常見之方法。為維持植株強健的生長勢以持續開花結果，增加許多病蟲害防治及人工管理成本，並降低溫室週轉率。因此，為獲得較高之品質與產量，亟需開發提高單位面積產能之技術。立體式栽培具有改善作業姿勢，增加單位面積採果數，穩定品質及減少農藥施用量等優點 (渡邊, 1999)，為一種土地精耕且集約栽培蔬菜之方法，使有限之耕地創造出最大的土地潛力，並可增加複作期數，比傳統式栽培高出 2-3 倍之產量，並紓緩溫室不足使用之情形 (Xing, et al., 1997.)。

本試驗以‘銘星’甜椒為材料，探討雙層之立體式袋耕方法適用之栽培模式，配合定植較大苗齡之 9 週穴盤苗，且保留盛產之果實節位，收穫後隨即再重新定植新苗，以節省田間生育時間，並增加栽種期數，減少後續防治及管理成本。惟立體式栽培對養份分佈之影響甚巨，如何在養液管理上加強品質，增加栽培方式之多樣化，可供未來進行設施栽培甜椒之參考

材料與方法

一、材料

- (一). 試驗材料及地點：‘銘星’甜椒(*Capsicum annuum* L. cv. ‘Andalus’) 為供試材料，育苗至 9 週後，定植於中興大學網室。
- (二). 立體式栽培：甜椒立體式栽培情形如圖 1.所示。利用鍍鋅管搭設二層之栽培床架。床架寬度 60 公分，二栽植床間距(走道)120 公分，上下二層間高度為 90 公分，栽培時介質袋交錯放置，每袋栽植 6 株，3 重覆，誘引時將下層枝條朝約 20° 角之斜向固定，減少植株之遮蔭情形，並以滴灌方式定時提供養液供植株生長。

二、方法

(一). 立體式栽培對甜椒生育之影響

甜椒種子於室內以流水浸種催芽 2 天後，於 2005 年 1 月 3 日於中興大學溫室內播種於 72 格穴盤，育成 9 週苗，並於 2005 年 3 月 10 日定植於中興大學網室內。

每袋栽培介質體積為 50 公升 (採用昌林國際貿易有限公司進口之 Floral Potting Plant 泥炭土，長×寬×高比例分別為 75cm×42cm×9cm)，灌溉養液配方取自南投縣埔里鎮台一農場栽培甜椒之慣用配方，每袋並以 3 支滴灌管固定於介質袋的前、中、後 3 點，以定時自動灌溉。試驗採 RCBD 設計，每袋定植 6 株(雙行種植，每行 3 株)，採 3 重覆，定植後每週調查植株生育之情形，包括節間長度、葉柄長度、葉片長度、寬度及厚度等相對生長量之變化。

第一花序開花後記錄前 3 花序之開花日期，並除去第一花序。本試驗採用雙幹整枝法，每週整理並去除側枝，至第 4 花序著果之小果達 5 公分時期時，保留此果上位之 2 葉片以供應光合產物，再截去頂端以促進養分回流及果實成熟，並調查葉

片光合作用速率、各部位之醣類、大量元素及微量元素等養份分佈，及果實品質與產量等。

(二). 統計分析

調查所得數據以 SAS 套裝軟體(SAS. Institue, Cary NC)中 ANOVA(Analysis of Variance)進行變方分析(analysis of variance)($\alpha=0.05$)，以 Fisher's LSD 進行試驗間各處理平均值之比較。

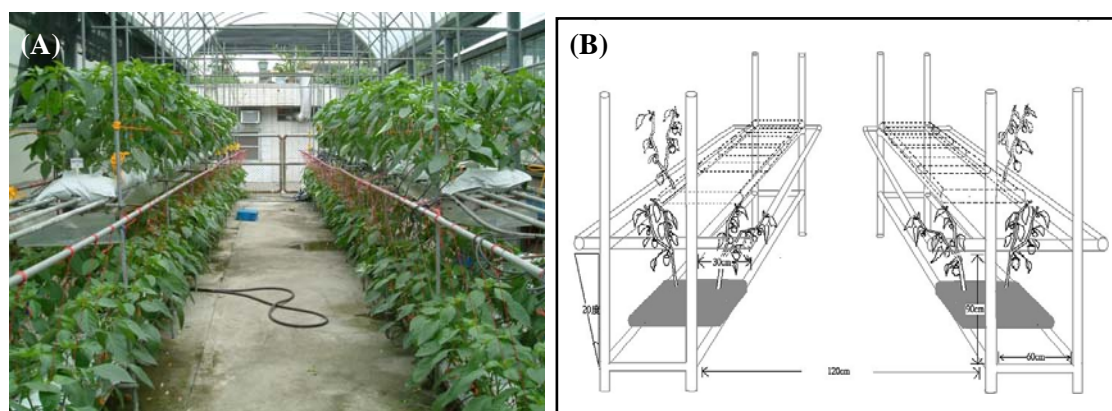


圖 1. 甜椒立體式栽培之情形(A)及其示意圖(B)

Fig. 1. Vertical culture system of *Capsicum annuum* L. (A) and schematic drawing (B).

結 果

一、立體式栽培對甜椒生長之影響

立體式栽培對甜椒各項園藝性狀之影響如表 1 所示。本試驗係於第 4 果位著果發育後，截去頂端以促進養份回流，因此，植株維持之平均節數約 13-14 節。不同栽培位置之葉片同化物質累積結果具明顯差異，上層植株之葉片鮮重約為 61.3g，低於對照組單層栽培的 90.2g，葉片鮮重之相對比率僅單層栽培的 67.9%，下層栽培雖葉片鮮重略高於上層，但僅佔單層之 90.4%，葉片乾重的調查結果呈現相似的趨勢，但下層植株之葉片乾重相對比率為 73.8%，與上層之 70.5%相當接近，顯示下層植株之葉片含水量較高。

立體式栽培對光合作用部位之影響，尤其葉面積與葉片數之變化相關。試驗結果顯示，單層栽培之葉片較小，但每節位著生之葉片數多。以每形成 1 公克乾重所需要之葉面積比率 (比葉重; Specific Leaf Area) 計算其光合作用同化效率，上層葉片之比葉重為 244.9，與單層的 243.1 接近，但下層植株則需要 305.6 才能產生 1g 之乾物質，顯見光合作用效率偏低。

開花後之生育與產量變化如表 2，下層栽培者定植後約需 22 天進入始花期，上層及單層栽培僅需 20 天，平均比下層提早約 2 天。始花節位則以單層栽培者最低，平均約於第 7.6 節始花，始果節位於第 8.1 節，著花 (果) 率為 93.8%；下層栽培者之始花節位於第 8.0 節，但始果節位約在 8.6 節，著花 (果) 率約 93%，與單層栽培者相當接近。上層植株平均始花於第 7.8 節，但始果節位在第 7.9 節，約有 98.7%之著花 (果) 率，與其他處理具有顯著之差異性。且上層栽培之甜椒單株採果數約 2.9 個，相較於單層之 2.5 個，其相對比率約 116%，確有較佳之表現，但下層之採果數僅達單層之 72%。單果重部分，每袋總產量以上層最高 (2,160 g/bag)，其次為單層 (1,715 g/bag)，平均採果量有 20 個以上，但下層之採果數僅約 15 個。上下層產量合計為 3,459 g/bag，確實較單層栽培之 1,715 g 增產近一倍，對提升單位產量已發揮效果。

表 1. 立體式栽培對甜椒園藝性狀的影響

Table 1. Effects of vertical culture system on the horticultural characters of sweet pepper.

處理 Treatment	節數 No. of node (No.)	株高 Plant height (cm)	葉片鮮重 Fresh wt. of leaves (g/plant)	葉片乾重 Dry wt. of leaves (g/plant)	葉面積 Leaf area (cm ²)	葉片數 No. of leaf (No.)	比葉重 ^z Specific leaf area (cm ² /g)	葉果比 Ratio of Leaf no. to fruit no. (ratio)
上層 Upper layer	13.8a ^x (98.8) ^y	44.7a (98.9)	61.3b (67.9)	4.5b (70.5)	1102b (70.8)	17.3b (51.2)	248.3b (102.4)	6.1b (55.0)
下層 Lower layer	14.8a (106.0)	41.8a (92.6)	81.5ab (90.4)	4.8b (73.8)	1467a (94.3)	21.5b (63.5)	310.8a (128.2)	12.3a (110.8)
單層 Single layer	14.0a (100)	45.2a (100)	90.2a (100)	6.4a (100)	1556a (100)	33.8a (100)	242.4b (100)	11.1a (100)

^x: Means within each column followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.05$ according to Fisher's protected LSD.

^y: The ratio of characters of treatment to single layer growth of pepper x 100%.

^z: Specific Leaf Area (SLA) = leaf area/ leaf dry weight

節間長度之相對生長量調查結果如圖 2(A)所示，節間長度以上層栽培者最短，至測量後期 (4 月 23 日) 生長減緩，下層栽培植株之節間長度幾乎以接近直線型上升 ($r^2 = 0.9152$)，至調查結束未有下降之趨勢。葉柄長度之變化如圖 2(B)，三種處理在葉柄長度之生長趨勢類似，但仍可看出經過 2 個月之連續調查，上層栽培者之葉柄生長曲線斜度低於其他二種處理。

不同栽培位置對甜椒葉片長、寬及厚度之影響如圖 3，葉長及葉寬之相對生長速率大致以下層大於單層及上層，定植後約 50 天葉片長寬趨於穩定，葉面積不再急速增加漸趨平緩 (圖 3A、B)。但是葉寬之生長趨勢在下層仍有微幅增加之情形，可見下層之光線不足問題引起葉片之型態變化，以爭取較大之光合作用面積。尤其自葉片厚度之差異明顯看出下層植株之葉片厚度變薄，平均每週之相對生長量僅 0.3mm，且定植後約 30 天無明顯增加生長之情形，其餘處理之相對生長量可達到 0.4mm 且持續生長(圖 3C)。

表 2. 立體式栽培對甜椒開花及產量的影響

Table 2. Effects of vertical culture system on the flowering and yield of sweet pepper.

處理 Treatment	始花日數 Days to 1 st flowering (day)	始花節位 Node for 1st flower (no.)	始果節位 Node for 1st fruit (no.)	採果數 No. of fruits harvested (fruit/plant)	單果重 Wt. per fruit (g)	總產量 Total yield (g/bag)
上層 Upper layer	19.5b ^x (96.1) ^y	7.8ab (102.6)	7.9b (97.5)	2.9a (116.0)	89.2a (111.8)	2160a (125.9)
下層 Lower layer	22.3a (109.9)	8.0a (105.3)	8.6a (106.2)	1.8b (72.0)	86.6a (108.5)	1299b (75.7)
單層 Single layer	20.3b (100)	7.6b (100)	8.1b (100)	2.5a (100)	79.8b (100)	1715a (100)

^{x, y} : the same as Table 1 indicated.

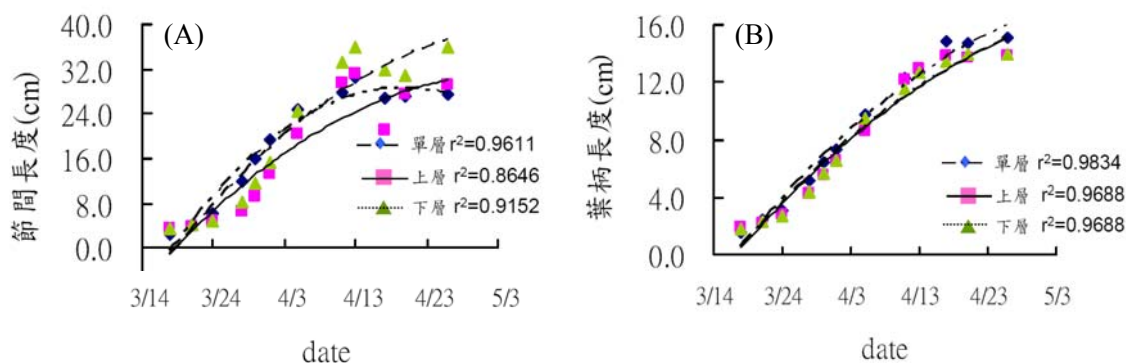


圖 2. 立體式栽培對甜椒植株節間(A)與葉柄(B)生長的影響

Fig. 2. Effects of vertical culture system on growth rate of internode (A) and leaf blade (B) of sweet pepper.

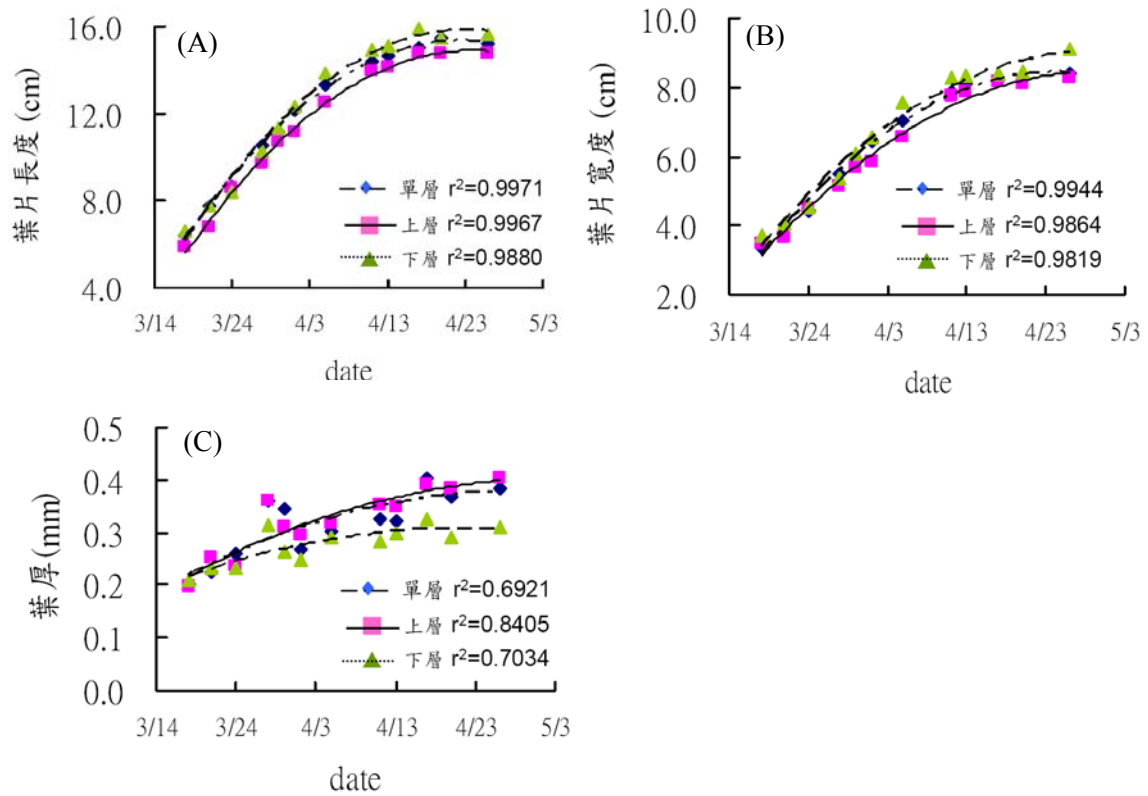


圖3. 立體式栽培之不同位置對甜椒葉片長度(A)、寬度(B)及厚度(C)之影響

Fig. 3. Effects of cultivation position of vertical culture system on leaf length (A), width (B), and thickness (C) of sweet pepper. Vertical bars represent \pm SE(N=6)

二、立體式栽培對甜椒生理之影響

定植一個月後測量不同栽培位置之甜椒光合作用速率及氣孔導度之變化如表 3，光合作用速率以單層栽培之表現優於立體栽培，栽培位置對葉片光合作用速率之影響差異不明顯，但下層之葉片光合作用速率較差。此外，氣孔為植物進行光合作用及蒸散作用之水分及 CO₂ 交換的主要門戶，在氣孔導度之調查結果，上層與單層栽培之葉片氣孔導度明顯高於單層處理，顯示氣體交換能力與栽培位置具有明顯之相關性。

將地上部分為上、中、下三段葉片，分別調查醣類及澱粉之含量 (表 4)。結果顯示，在三種栽培位置所採樣之不同部位葉片全可溶性醣量分佈之趨勢相似，下位葉之含醣量至少 5.1%，而上、中位葉片含醣量約在 3.66 - 3.97% 之間，具顯著差異(LSD0.05=1.30)。

三種栽培位置之葉片澱粉含量分別為 6.71%、5.20%及 8.08%，單層栽培者之澱粉含量明顯高於立體栽培者，且不同採樣葉片位置對醣類及澱粉含量之影響極為顯著 ($p \leq 0.01$)，但栽培位置與不同節位之葉片間並無存在交感作用。

表 3. 立體式栽培甜椒之氣孔導度及光合作用速率變化

Table 3. Effects of cultivation position of vertical culture system on leaf photosynthesis rate and stomata conductance of sweet pepper.

栽培位置 Cultivation position	氣孔導度 Stomatal conductance (mol m ⁻² s ⁻¹)	光合作用速率 Photosynthesis rate (μmole m ⁻² s ⁻¹)
上層 Upper layer	0.95 a ^z	0.62 a
下層 Lower layer	0.58 b	0.45 b
單層 Single layer	0.80 ab	0.68 a

^z Mean followed by the same letter within each column are not significantly different by LSD (p ≤ 0.05).

表 4. 立體式栽培之甜椒在不同部位葉片的全可溶性醣類及澱粉含量之變化

Table 4. Total soluble sugar and starch contents of sweet pepper leaf in vertical culture system.

栽培位置 Cultivation position	葉片位置 Leaf position	全可溶性醣類 Total soluble sugar (D.W.%)	澱粉 Starch (D.W.%)
上層 Upper layer	上 (Upper)	3.66 c ^x	1.96 bcd
	中 (Middle)	3.97 bc	1.74 cd
	下 (Lower)	5.15 ab	3.01 a
	合計 (Total)	12.78	6.71
下層 Lower layer	上 (Upper)	3.80 c	1.19 d
	中 (Middle)	3.96 bc	1.37 d
	下 (Lower)	5.32 a	2.64 abc
	合計 (Total)	13.08	5.20
單層 Single layer	上 (Upper)	3.68 c	2.46 abc
	中 (Middle)	3.71 c	2.69 abc
	下 (Lower)	5.10 ab	2.93 ab
	合計 (Total)	12.49	8.08
栽培位置(Cultivation position)		n.s. ^y	*
葉片位置(Leaf position)		**	**
栽培×葉片(Cultivation position × Leaf position)		n.s.	n.s.

^x : the same as Table 3 indicated.^y : ns, *, ** indicated nonsignificant or significant at p=0.05 or 0.01, respectively.

立體栽培之甜椒葉片大量元素含量之變化如表 5。各處理之氮、磷之含量分佈趨勢相似，均為上位葉高於中、下位葉。顯示氮、磷之移動不受立體栽培位置之影響，且累積至植株上位葉片。鉀、鈣及鎂等元素則多累積在中、下段節位之葉片，與氮、磷之含量變化呈現相反之趨勢。三種栽培位置之處理間的差異，對氮、鉀二種元素含量之影響不顯著，但是在磷、鈣及鎂等元素含量部分，磷的含量以立體栽培者偏高 (0.79 -0.83%)，單層僅約 0.51%，呈極顯著水準差異。鈣、鎂含量則以上層栽培者最低，每克乾重所分析出之鈣、鎂含量僅有 5.58%、2.24%，已具有統計極顯著水準差異。在葉片位置之處理分析結果，所有調查之大量元素與採樣葉片之位置有極顯著水準差異，但是在栽培位置與採樣葉片部位之間除了鈣以外，並無存在顯著交互作用，顯示鈣的分佈受到栽培位置與葉片位置之相互影響甚大。

表 5. 立體式栽培之甜椒葉片的大量元素含量之變化

Table 5. Macroelements contents of sweet pepper leaves in vertical culture system.

栽培位置 Cultivation position	葉片位置 Leaf position	N(%)	P(%)	K(%)	Ca(%)	Mg(%)
上層 Upper layer	上 (Upper)	4.12 a ^x	0.35 a	6.87 b	1.14 f	0.51 f
	中 (Middle)	3.30 cd	0.26 b	8.75 a	2.09 c	0.79 d
	下 (Lower)	2.96 cd	0.22 b	8.68 a	2.35 b	0.94 bc
	合計 (Total)	10.38	0.83	24.3	5.58	2.24
下層 Lower layer	上 (Upper)	4.27 a	0.34 a	6.91 b	1.59 e	0.61 ef
	中 (Middle)	3.39 bc	0.23 b	8.95 a	2.29 b	0.85 cd
	下 (Lower)	3.00 cd	0.22 b	9.17 a	2.42 b	0.90 cd
	合計 (Total)	10.66	0.79	25.03	6.30	2.36
單層 Single layer	上 (Upper)	3.85 ab	0.22 b	6.99 b	1.76 d	0.68 e
	中 (Middle)	3.15 cd	0.15 c	8.56 a	2.36 b	1.03 b
	下 (Lower)	2.84 d	0.14 c	8.58 a	2.71 a	1.18 a
	合計 (Total)	11.84	0.51	24.13	6.83	2.89
栽培位置(Cultivation position)		n.s. ^y	**	n.s.	**	**
葉片位置(Leaf position)		**	**	**	**	**
栽培×葉片(Cultivation position × Leaf position)		n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.

^x : the same as Table 3 indicated.

^y : ns, *, ** indicated nonsignificant or significant at p=0.05 or 0.01, respectively.

微量元素含量如表 6 所示，分析三種不同栽培位置之植體內鐵、錳、鋅、銅等元素含量，發現在不同葉片位置的元素分佈差異大。在頂端節位之葉片，錳、鋅含量較低，鐵則分佈於上、下二段節位之葉片，中段節位之鐵含量稍低，銅則集中在頂端節位。不同栽培位置對微量元素之吸收與分佈，除了鋅以外，均有極顯著之影響，但栽培位置與葉片部位之間，並無交感作用。

比較立體式栽培對果實品質之影響如表 7，下層栽培之果實硬度最差，果肉厚度最薄，上層及單層之間則無顯著差異。而果實色澤以上層栽培者顏色較濃綠，下層與單層栽培之對照組無顯著差異。至於維他命 C 含量以上層栽培者每百克之鮮重含量達 210.52 mg，受紫外線刺激增加生成，幾乎為下層植株含量 112.8 mg 的一倍，也明顯高於單層栽培之 163.8 mg。

表 6. 立體式栽培之甜椒葉片的微量元素含量之變化

Table 6. Microelements of sweet pepper leaves in vertical culture system.

栽培位置 Cultivation position	葉片位置 Leaf position	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)
上層 Upper layer	上 (Upper)	92.21 cde ^x	89.71 e	69.77 d	7.39 ab
	中 (Middle)	85.52 e	197.60 d	117.89 ab	4.90 cd
	下 (Lower)	99.74 bc	257.65 c	126.34 a	6.15 bc
	合計 (Total)	277.47	544.96	314.00	18.44
下層 Lower layer	上 (Upper)	102.56 b	129.87 e	91.15 c	8.89 a
	中 (Middle)	102.03 b	290.93 bc	113.07 ab	5.24 cd
	下 (Lower)	111.55 a	326.09 b	114.79 ab	5.74 cd
	合計 (Total)	316.14	746.89	319.01	19.87
單層 Single layer	上 (Upper)	94.49 bcd	141.20 e	68.11 d	6.31 bc
	中 (Middle)	87.58 de	327.37 b	103.06 bc	4.40 d
	下 (Lower)	94.28 bcd	404.62 a	119.42 ab	4.39 d
	合計 (Total)	276.35	873.20	290.59	15.10
栽培位置(Cultivation position)		** ^y	**	n.s.	**
葉片位置(Leaf position)		**	**	**	**
栽培×葉片(Cultivation position × Leaf position)		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

^x : the same as Table 3 indicated.

^y : ns, *, ** indicated nonsignificant or significant at p=0.05 or 0.01, respectively.

表 7. 立體栽培對甜椒果實品質之影響

Table 7. Effects of vertical culture system on fruit quality of sweet pepper.

栽培位置 Cultivation position	硬度 Hardnes (newton)	果厚 Thickness (mm)	L 值 L value	Vit.C (mg/100g F.W.)
上層 Upper layer	2.40a ^x	3.70a	40.50a	210.52a
下層 Lower layer	1.78a	3.05b	37.67ab	112.80b
單層 Single layer	2.03a	3.56a	36.52b	163.80b

^x: the same as Table 3 indicated.

討 論

一、立體式栽培對甜椒生長之影響

立體栽培技術主要係以空間之延伸，提高土地之效能，達到增產之目的。最難克服之問題即為光線之利用，由於溫室的型式與結構對光線的吸收與反射影響甚大，因此，栽培者需設法調整光線、種植密度、或以園藝操作如整枝後停心及去葉等方法加以改善。本試驗之單層栽培對地上部生長，包括葉片發育及乾物質累積等均較立體栽培為佳，顯示立體栽培之植株在外觀性狀之表現如葉片數或葉面積等，無法如同單層栽培達到枝葉茂密之程度。但果菜類之生產著重經濟部位之產量與品質，試驗結果上層袋耕之產量 2,160g/bag 明顯高於單層栽培之 1,715g/bag，增產近 25%，外觀的枝葉茂密不全然對增進產量有所助益，合理的葉面積與光合產物分配，避免嚴重遮蔭、通風不良所導致之病蟲害等，進而增進產量與品質，應是研究立體栽培之首要目的。

比葉面積 (specific leaf area, cm^2/g ; SLA) 或稱為比葉重，指每一形成單位葉重所需之平均葉面積，可視為葉片密度或葉片相對厚度之測量介量 (陳等, 1998)。Jolliffe and Gaye (1995) 曾提出 SLA 可視為甜椒產量組成因子之論述。本試驗地上部之葉片數與葉面積均以單層栽培者最佳 (表 1)，每形成 1 克之乾重需要 242.4 cm^2 之葉面積供應，但下層栽培之植株則需 305.6 cm^2 方能合成 1 克之乾重，顯見遮蔭影響下層植株之光合作用能力 (表 3)。

單位面積內之葉面積指數 (leaf area index; LAI) 代表葉片分佈之指標 (許, 1977)。藉由生長分析瞭解作物在何階段生長速率加快，葉面積分佈是否具效率，所累積之光合產物是否能由供源 (source) 迅速移轉至生產蓄積的積貯 (sink)，以及營養生長與生殖生長之強弱等生理現象，均可作為研究立體栽培之參考 (許, 1977；陳等, 1998)。試驗結果下層植株

之節間與葉柄長度相對生長速率最高(圖 2A、B)，葉片的伸展(包含葉長及葉寬等)亦以下層最大，且葉片含水量高，雖細胞增大但內容物並無明顯增加，導致葉片變薄(圖 3C)，此結果與 Papadopoulos and Ormrod (1991)以番茄密植栽培之研究結果一致。下層植株因遮蔭使葉面積變寬，節間長度與葉柄之生長速率加快、葉片厚度變薄等光型態改變，為植株相互競爭光線之結果。Aloni *et al.*(1996)曾調查甜椒在低光及高溫下落花之原因，發現正常甜椒花朵含有高量之醣類及澱粉，在低光下因葉片與鄰近之花朵競爭同化物，葉片積貯強度(sink strength)大於花朵，使花朵內之碳水化合物含量下降，認為葉片與花朵競爭碳水化合物可能為影響著果之重要因子。由於葉片累積碳水化合物需有最低光照臨界值之門檻，比引起落花所需之光強度低，因此，如何在植床與栽植袋排列之配置上增加光線穿透，如栽植袋間隔排列、栽培床之離地高度加高及下層植株的枝條誘導角度加大等操作技巧，減少下層之弱光情形，應是未來需進一步探討與改進之重點(林，2003；楊，2005；Xing, *et al.*, 1997)。

產量決取於果實數量及落花(果)之程度，包括採果數、單果重及單位產量等三方面，早著花之甜椒易形成著果節成性(朱等, 2005；Marcelis *et al.*, 1995)，立體式栽培對光線利用之差異性，使下層植株因落花導致始果節位提高，開花高峰期延遲，且單株著果數平均僅 1.8 個，為正常栽培之 75%。但二層產量總計 3,499g/bag 仍高於單層約 2 倍，以經濟之觀點，雙層栽培在應用上具優勢，應有開發之潛力。

二、立體式栽培對甜椒生理之影響

本試驗調查盛花期第一花序下第一片成熟葉片之光合作用速率，以單層栽培較佳，上下層之間無明顯差異(表 3)。雖下層植株光線利用度不足，可能與植袋排列與整枝角度有關，但水分不均與光照不足均可能改變植體的碳水化合物分佈。尤其下層植株之葉片澱粉含量下降幅度大於上層，並轉為可溶性醣貯存於葉片中。此結果與朱等(2005)發表弱光下單位葉面積可溶性蛋白質含量降低，使可溶性醣含量增加之試驗結果類似。在許多種類植物的葉片中，澱粉可作為短暫的積貯(sink)以容納過量的光合產物，免於被轉換為蔗糖運出，澱粉合成的能力特別是在高光度及高二氧化碳情況下，比起一般蔗糖合成的方式，可使許多植物達到較高的光合作用率及提高澱粉合成(Paul and Foyer, 2001)。澱粉累積的狀況已被假設為一種潛力，以解釋光合作用的回饋調整(Huber, 1989)。

此外，立體式袋耕栽培對葉片內無機及有機成分之運移、合成及利用有所影響，尤其對光照敏感。當植體內氮、磷及鉀等大量元素吸收速率維持不變時，光合產物的累積與代謝會沖淡礦物元素的濃度，但下層之遮蔭會減弱光合作用，造成碳同化速率之減弱，引起葉片中大量元素濃度增加(劉和康，2002)。整體而言，下層植株葉片因同化速率降低，礦物元素含量高於上層，其中氮、磷含量具顯著差異，微量元素之濃度變化大致與大量元素類似(表 5、6)。

值得注意的是上層植株之鈣含量低於其他處理，因鈣的移動慢，中下段部位葉片累積較高濃度之鈣為正常情形，但上層栽培植株因有水分稍微蒸散過快的情形，致使鈣濃度偏

低。同時上層植株各時期果實之鈣含量亦同步降低至 0.05-0.06% (未發表資料)，雖調查時未達到缺鈣之程度，但栽培上仍需注意鈣肥之供應，以避免發生尻腐病。

參 考 文 獻

- 林英志。2003。植株密度對袋耕”花蓮亞蔬五號”番茄生長與產量之影響。興大園藝 28(2):41-56。
- 李敏、孟祥霞、孫海燕、呂劍、石運生。2002。彩色甜椒果實發育及品質形成研究。萊陽農學院學報 19(3): 187-190。
- 許福星。1977。作物生長分析及其應用。科學農業 25(11-12): 335-341。
- 陳烈夫、呂椿棠、呂秀英。1998。水芋在不同栽培季節之生長分析。中華農業研究 47(3): 220-241。
- 劉賢趙、康紹忠。2002。不同生長階段遮蔭對番茄光合作用、乾物質分配與葉 N、P、K 的影響。生態學報 22(12): 2265-2271。
- 楊瑜甄。2005。不同立體栽培模式對番茄”桃園亞蔬九號”生育及產量之影響。國立中興大學園藝學研究所碩士論文。台灣台中。
- 渡邊慎一。1999。果菜類の省力・高品質生産技術。農耕と園藝 100-103。
- Aloni, B., L. Karni, Z. Zaidman, and A. A. Schaffer. 1996. Changes of carbohydrates in pepper (*Capsicum annuum* L.) flowers in relation to their abscission under different shading regimes. Ann. Bot. 78:163- 168.
- Huber, S. C. 1989. Biochemical mechanism for regulation of sucrose accumulation in leaves during photosynthesis. Plant Physio. 91: 656-662.
- Jolliffe, P. A. and M. M. Gaye. 1995. Dynamics of growth and yield component responses of bell peppers (*Capsicum annuum* L.) to row covers and population density. Sci. Hort. 62: 153-164.
- Marcelis, L. F. M. and L. R. B. Horman-Eijer. 1995. Growth analysis of sweet pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). Acta Hort. 412: 470-479.
- Papadopoulos, A. P. and D. P. Ormrod. 1991. Plant spacing effects on growth and development of greenhouse tomato. Can. J. Plant Sci. 71:297-304.
- Paul, M. J. and C. H. Foyer. 2001. Sink regulation of photosynthesis. J. Exp. Bot. 52: 1383-1400.
- Xing, Y., X. Wang, and A. P. Papadopoulos. 1997. A multilayer soilless system for greenhouse tomato production pioneered in Shandong province, people's republic of china. HortTechnology 7(2): 169-176.

Study on the Vertical Culture System for Improving the Production of Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.)

Yi-Tan Fang ¹⁾ Yu Sung ²⁾ Woo-Nang Chang ²⁾ Menq-Jiau Tseng ³⁾

Key words: Sweet pepper, Vertical culture system, Bag culture

Summery

The objectives of this study were to establish the two layer of vertical culture system for improving the production of sweet pepper. The results indicated that there were no significant differences among culture systems in the parameters of plant node, plant height, leaves number, and leaves dry weight, but the leaves fresh weight, leaves area, specific leaf area (SLA), and leaf/fruit ratio were higher in upper layer of vertical culture system than in lower layer. This could be attribute to the limitation of sunlight in the lower layer, resulted in the increasing the leaf/fruit ratio, delaying the flower initiation, higher the node of initial fruit, and increasing the flower abscission. The results showed that lower the total soluble sugar and starch contents of sweet pepper leaf were found in the lower layer of vertical culture system, while higher the macroelements as well as microelements contents in the lower layer of vertical culture system. The total soluble sugar contents in the upper and middle part of sweet pepper leaf cultivated in the vertical culture system were significantly lower than those in single layer of controls. There was no significant difference in the leaf photosynthesis rate between upper and lower layer of vertical culture system, whereas the stomata conductance of sweet pepper leaf in the upper layer was significant higher in the upper layer of vertical culture system. In the parameters of fruit quality, such as color, firmness, and vitamin C contents, there was a trend for better performance in upper layer than that in the lower layer of vertical culture system.

1) Technical Specialist, Agriculture and Food Agency, COA, Taiwan, ROC. Graduate student in Ph.D. program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

3) Adjunct Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

4) Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University. Corresponding author.

