

立柱和柱式无土栽培系统及其在生菜栽培上的应用*

李止正** 龚颂福

(中国科学院上海植物生理研究所 上海 200032)

摘 要 具溢水管,容积为1 L的12只ABS塑料盆钵组装的水培立柱,其底部是底座,顶部是淋漓装置,总高200 cm,直径为15 cm.按柱间距80 cm×80 cm排列在面积为 $A=540\text{ m}^2$ 的非自控玻璃温室内,然后再串联和并联成"树林"式栽培整体.该整体含636根立柱,每根立柱的最多种植量有60株,总共种植38 160株,加地面原有种植数10 314株,共有48 474株,此为地面原种植量的4.7倍.立柱被安装在地面水槽上,通过循环灌溉系统(营养液)将立柱无土栽培和地面无土栽培组合为一体,即谓柱式无土栽培系统.柱式无土栽培系统全种生菜,育苗移栽,种后40 d(中后期),立柱区的光照 $E=680\sim 860\text{ }\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$,高出生菜光合作用饱和点 $E=180\sim 360\text{ }\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$.立柱上的小栽培钵的一点底面接触水面,使苗的大部分根数生长于水面之上湿润的岩棉之中,良好的生长空间加上流动的水柱,生菜获得了水、气、肥协调的根部环境.冬季最高气温平均为 $\theta=20\text{ }^\circ\text{C}$,最低气温平均有 $\theta=3.3\text{ }^\circ\text{C}$,RH=57%~71%.种后53 d(生长后期),生菜产量平均有 5.6 kg/m^2 ,较CK(平均 1.5 kg/m^2)提高3.7倍.柱式无土栽培系统是一种高产高效的工厂化生产模式.图7表3参7

关键词 立柱;柱式无土(水培)栽培系统;生菜;高产高效

CLC S604.7 : S636.2

VERTICAL COLUMN AND SYSTEM OF COLUMNAR SOILLESS CULTURE (SCSC) AND ITS APPLICATION TO CULTIVATION OF LETTUCE (*CAPITATA* L.)

LI Zhizheng** & GONG Songfu

(Shanghai Institute of Plant Physiology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200032, China)

Abstract A culture column was composed of hat named as dripping unit, columnar body which was an axle contacted 12 one-liter volume plastic pots with overflow tube and columnar base. The column was 200 cm tall and was 15 cm indiameter. The columns were arranged by 80 cm×80 cm in rows to establish the columnar cultural unity, which consisted of 636 columns in 540 m^2 cultivable area in glass house and was used for cultivating lettuce. This columnar cultural unity stood on the culture water troughs on the ground, and both the former and the later were connected through the circulating irrigating system of water to form a big stereoscopic culture unity named as the system of columnar soilless culture (SCSC). The culture area of SCSC system was enlarged 3 times more than that of the culture water troughs. Each plastic pot in the column held 5 plants and one column could carry 60 plants. The columnar cultural unity could support 38 160 plants and included 10 314 plants grown on the water troughs, so it could totally support 48 474 plants, which was 4.7 times more than that held by the cultural water troughs on the ground. At the middle-late growth stage of lettuce (40 d after planting), in the columnar culture area illumination (E) was $680\sim 860\text{ }\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$, and was $180\sim 360\text{ }\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ higher than that of the saturation point of photosynthesis of lettuce. As a result of a good space between the small culture pots in the pot and water surface in the pot (Fig 7), the young plants grown above the water surface could get enough air, water and nutrition through the rock fibre

收稿日期: 2001-05-15 接受日期: 2001-05-23

* 国家科技部和上海市科委资助项目,“九五”国家重大科技产业工程《工厂化高效农业》示范工程上海分项内容之一 Supported by the State Science and Technology Department of China and the Municipal Science and Technology Committee of Shanghai. It is one of demonstration projects in the national "Ninth Five-year Plan" key industrial engineering of science and technology

** 通讯作者 Corresponding author

wrapped plant. The maximum mean air temperature was 20 °C, the minimum mean temperature was 3.3 °C and the humidity (RH) was 57% ~ 71% in the columnar culture area in winter. After 53 d growth, the yield of fresh lettuce by SCSC in a area of 160 m² was 5.6 kg/m², 3.7 times higher than that of CK. The SCSC was shown as large production model with high yield and benefit. Fig 7, Tab 3, Ref 7

Keywords hydroponics cultural column; system of columnar soilless culture (SCSC); lettuce; high yield and high benefit

CLC S604.7 : S636.2

立体无土栽培技术的国内外发展情况以前已有简介^[1],至今国外未见有新发展,而国内在过去研究初报的基础上^[1],柱式栽培研究已有很大发展,柱式设施已标准化、产业化,能满足各种大小生产规模需求,并在全国推广了 22 个省市 50 多个部门,面积在 26 640 m² 以上,设施还远销澳大利亚. 几年来我们用立柱种植过 20 种蔬菜和 23 科的 53 种花卉,积累了一些栽培资料.

虽然报刊^[2~5]、电视、电台、博览会陆续展示报道过柱式栽培,但都是些消息,而对柱式栽培的系统技术资料却一直没有报道. 为了陈述本工作的目的意义,进一步推动柱式栽培技术的研究发展,在学术期刊交流这方面的研究结果是必要的. 本文先就立柱,即所谓柱式无土栽培系统及其在生菜栽培上的应用予以讨论.

1 系统的结构

1.1 组装立柱的盆钵(图 1)

盆钵是由高硬度、抗老化、无毒性的 ABS 工程塑料铸塑而成. 盆钵的 h 和 d 均为 15 cm; 周壁向外有 5 条半圆形凸起是栽培位置,鸟瞰形如梅花. 5 条凸起外壁中部各有 1 只耳环,用于固扎高杆植物. 盆钵上沿有 5 只凹扣,下沿有 5 只凸扣,凸凹扣相连组成盆钵立柱. 另外,盆钵中央有一中轴管道,立柱的中轴通过管道串联诸多盆钵,再加上凸凹扣的作用使柱上盆钵构成一稳固的柱体.

组成立柱的盆钵有 4 种系列产品,其中 3 种的外形相同(图 1),但盆腔内结构不同. 本文介绍的是水培型盆钵,其底部为封闭式(图 2),盆腔内有一高度低于盆沿 2 cm 的溢水管穿过底部,使柱上所有盆钵水路相通,当水面高出溢水管时,水即流入下一只盆内,所以由这种盆组成的立柱是流动的水柱.

1.2 淋滴装置(图 3a,b)

该装置是 d 10 cm 的上下两部分经螺纹旋合而成,上半部(图 3a)的外表面垂直对称位置分别是水管接头和定位孔. 从装置的纵切面(图 3b)可见上半部的内面中央有一圆形漏水孔(图 3b). 装置的下半

部(图 3b)的内面中央有一短轴(塞子),当装置的两部分旋紧时,短轴插入上半部的漏水孔中,无水流出,旋松时,水的流出量随旋松程度而变化,所以短轴可调节供水量. 进入装置内的水经下半部内面 4 只对称滴水孔(图 3b)流入立柱上端的盆钵内. 4 只滴水孔出水量之和大于漏水孔的进水量,所以螺纹处不会有水溢出. 装置的下半部的外表面中央有段套管(图 3b),可套在柱中轴的上端.

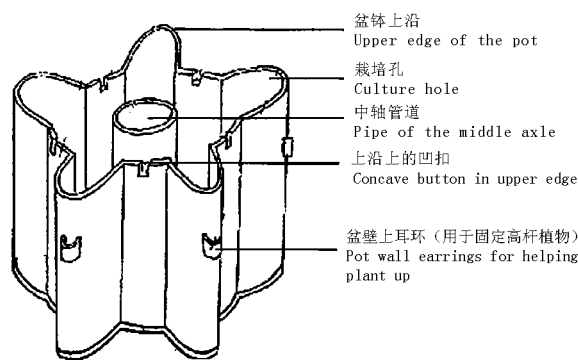


图 1 盆钵外观

Fig 1 The outside appearance of the pot

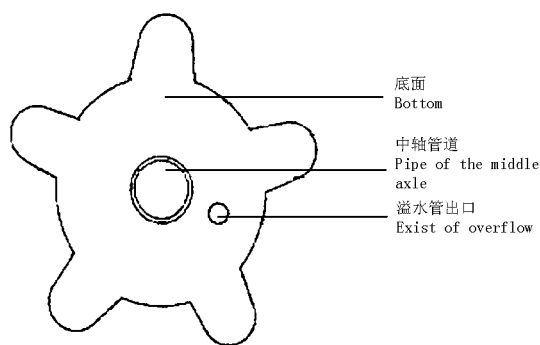


图 2 水培型盆钵的底部

Fig 2 The bottom of the hydroponics pot

1.3 立柱的底座(图 4)

这是一只黑色圆形 ABS 塑料平台, h 2 cm, d 15 cm, 平台的中央有一圆形封底的凹陷, 深约 2 cm, 凹陷的 d 同于盆钵中轴管道的 d .

1.4 立柱的组装(图 4)

柱中轴先串联 12 只盆钵再插入底座中央凹陷,

上端套盖淋滴装置,连接凸凹扣使 12 只盆钵成一体,全柱 h 200 cm. 柱上相邻盆钵的栽培孔错位排列互不遮挡,柱上所有盆钵可同时环绕中轴转动,有利植物采光.

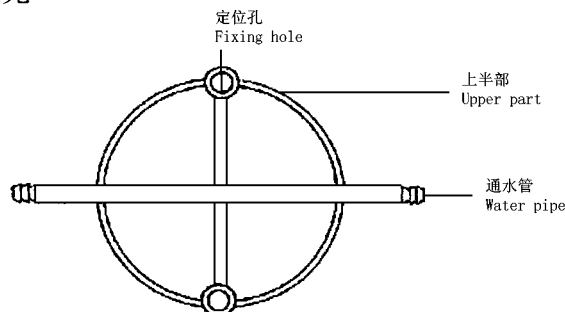


图 3a 淋滴装置顶面观示意图

Fig 3a The dripping unit from top view

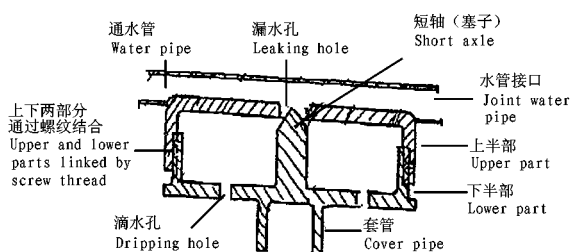


图 3b 淋滴装置(示意由上下两部分结合的纵剖面)

Fig 3b Vertical section of the dripping unit

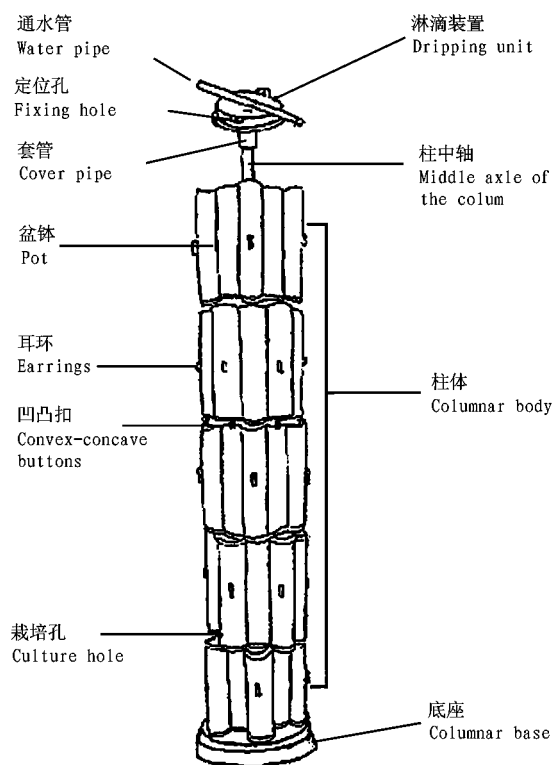


图 4 立柱示意图

Fig 4 A composed column

1.5 柱式无土栽培系统的建立

在地面无土栽培槽的上面,安装立柱设施,两者通过循环灌溉系统组合为一,这就是立柱式(柱式)无土栽培系统(图 5a).

实验在上海马桥园艺场面积为 $A = 540 \text{ m}^2$ 的三连栋非自控玻璃温室内进行. 室内地面共有 9 条水槽,每槽宽 1.00 m,其中 6 条各长 28 m,其余 3 条除去水池占用面积,各长 24.5 m,槽间距是 0.8 m,两栋的槽间距是 1.4 m,槽距四周玻璃门窗都是 0.6 m,所以地面水槽总面积是 $A = 241.5 \text{ m}^2$.

柱子立在地面水槽上(图 5a),每条水槽设两行立柱,柱间距为 $0.8 \text{ m} \times 0.8 \text{ m}$,共安装立柱 636 根. 每根立柱外表面是 $A = 0.84 \text{ m}^2$,所有立柱的栽培面积共有 $A = 534 \text{ m}^2$. 加上水槽面积,则柱式无土栽培系统的总面积是地面栽培面积的 3.2 倍.

各行立柱需分别用铅丝串联于温室两端墙壁才能站稳,然后将定位钩分别插入淋滴装置的定位孔(图 3a, 图 4)中,使立柱并联,但为其稳定,最好在每排立柱的 3 或 4 段处分别用铅丝将各排再并联一次,并分别与温室另两边墙壁连接. 这样经过纵横串联和并联的立柱设施就与温室结合为一体.

2 肥水供给及种植管理

2.1 肥料

全用国产化肥,以 Arnon and Hoagland (1940)^[6] 的配方为基础,取其硝酸盐 $[\text{KNO}_3, \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ 用量的 1/2,磷酸盐 $(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)$ 和镁盐 $(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$ 用量的 1/4 作为大量元素,改用 Fe-ED-TA ($w(\text{Fe}) = 2 \text{ mg kg}^{-1}$),其它各种必要元素均取其用量的 1/2. pH 5.5 ~ 6.5, EC 1.0 左右.

2.2 供水(营养液)系统(图 6)

水由蓄水池泵出,经过滤器和管道,流至地面水槽的一端,然后按水槽数量分几路垂直上升至立柱高度,再各分两路流经串联于淋滴装置的输水管(图 3a, 图 4),经淋滴装置浇灌各行立柱.

2.3 种植和管理

生菜 (*Capitata* L.) 有绿波、玻璃、红叶和波士顿 4 个叶用品种. 连续 4 年以全温室 ($A = 540 \text{ m}^2$) 为种植单位,各年均生长良好. 以生菜绿波为例叙述之:

育苗移栽,小苗生长至 3 ~ 5 片真叶,用岩棉包裹根部放入网状小栽培钵中,再插入盆钵栽培孔中(图 1、4),每盆 5 株,全柱 12 只盆钵共种 60 株,全温室立柱上共种 38 160 株,柱间地面水槽上定植有 10 314 株,所以立柱栽培系统内共有 48 474 株,是地面种植

量的 4.7 倍。

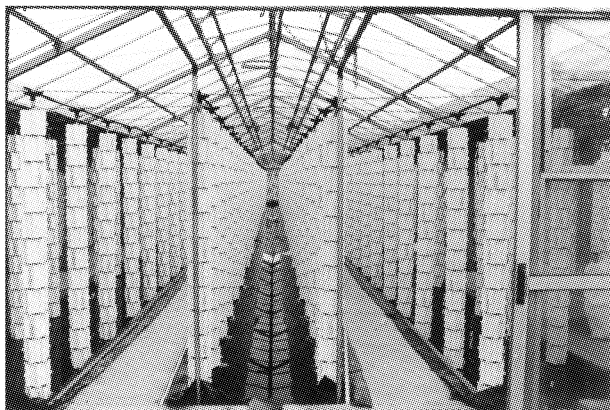


图 5a 柱式无土栽培系统

Fig 5a The system of the columnar soilless culture (SCSC)



图 5b 生菜的柱式无土栽培系统和地面无土栽培

Fig 5b SCSC and its ground soilless culture of lettuce



图 5c 不同时间定植之后不同品种生菜的中后期生长情况

Fig 5c The middle-late growth period condition of different kinds of lettuce planted in different time

为做好对比实验,柱式栽培的第一年取 1/3 玻璃温室即一栋做柱式栽培,其余二栋仍为地面栽培(图 5b).两栽培区用同一池营养液灌溉,每小时循环 15 min 休息 45 min,每天下午 6:00 至次日 7:00 停灌。

3 系统运行管理

3.1 根系环境

观察盆钵中小栽培钵、植株和水面三者之间的相对位置(图 7),可以看出,小栽培钵斜向插入盆钵的栽培孔中,其底面的小部分触及水面和水面形成角度.包裹小苗的岩棉吸水而上供给水分和营养,小苗的部分新根沿岩棉进入水中,有的根穿过岩棉进入水气饱和的空气层再进入水中,所以小苗能得到充分的空气、营养和水分,再加上不断循环灌溉的水带给的新鲜营养和空气,使根系始终生长于良好的环境中。

立柱设施也给柱间地面植物提供了优良的根系环境,在一只地面水槽中有两排共有 52~70 根立柱,每当水循环时所有立柱同时注水入槽,带给地面生菜比无柱区的对照植株更充分的空气和营养。

3.2 光照 ($E/E\ m^{-2}\ s^{-1}$) 条件

分析两处理(图 5b)的光照 ($E/E\ m^{-2}\ s^{-1}$) 条件(表 1),在柱式栽培区,定植前(1996-01-30)柱间 30 cm 和 100 cm 两种高度有基本相同的光照量,与 CK 相比,(无柱区)都没有明显减少,另外两区内白色膨体塑料地面反射的光都有 $E = 240\ \mu E\ m^{-2}\ s^{-1}$ 左右,说明所设立柱密度(80 cm × 80 cm)对光照的影响不明显。

在生菜生长的中后期(图 5c,3 月 6 日),再分别检测原定地点的光照,柱高 30 cm 和 100 cm 高处分别有 $E = 680\ \mu E\ m^{-2}\ s^{-1}$ 和 $E = 860\ \mu E\ m^{-2}\ s^{-1}$,虽较 CK 的 $E = 1\ 060\ \mu E\ m^{-2}\ s^{-1}$ 明显减少,但仍高于生菜光合作用饱和点 $E = 500\ \mu E\ m^{-2}\ s^{-1}$ [7]。此外,近柱旁有 $E = 280\ \mu E\ m^{-2}\ s^{-1}$ 的光照,比原来减少不多,各测定点反射的光有 $E = 200\ \mu E\ m^{-2}\ s^{-1}$ 也接近原测定结果,所以立柱区内总的光照情况能满足生菜光合需要量(表 1)。

于生长后期(图 5b,表 2)考察 3 叶期和 5 叶期时候定植的生菜,在柱间地面的单株鲜重反而比 CK(无柱区)高 37%~48% (表 2),证明无柱区过强的光照量(表 1)已对生菜生长产生不利影响,而立柱区内的光照量能维持生菜光合需要.此外已如前述,由于槽中增加的水流量带来的溶氧量和新鲜养分的增加都优于 CK(无柱区),有利柱间地面生菜生长。

但是立柱上的生菜单株鲜重比柱间地面低 1.1 倍,又比无柱区的 CK 低 31%。从光照(表 1)和上述分析可知,这一结果主要不是发生在 3 月 6 日即生长中后期(图 5c)之前,而是发生在以后至采收时,此期间气温渐高,生长渐快,植株茂盛拥挤(图 5b),使柱上植株失去了生长空间,地面封行,失去了反射的光,因而影响了柱上生菜的生长.但是如果改进收获方法(见后),可以改善柱上的生长条件。

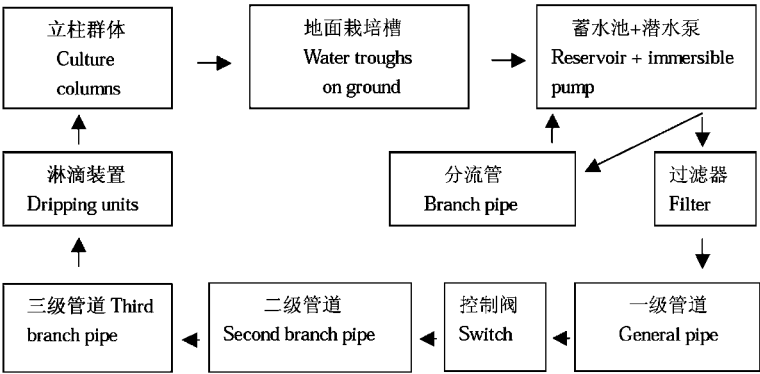


图6 供水系统流程示意图
Fig 6 The irrigating system of SCSC

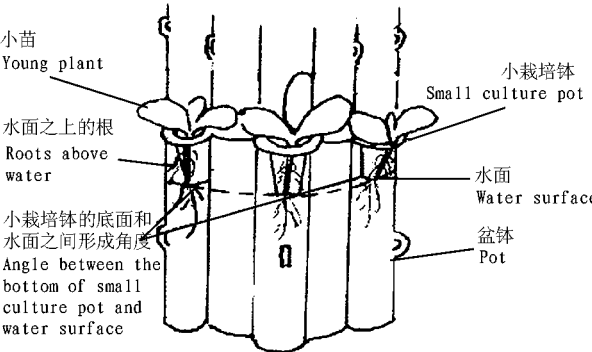


图7 盆钵中小栽培钵、小苗和水面空间位置示意图
Fig 7 The relative position of small culture pot, young plants and water surface in the pot

表1 生菜不同栽培区内的光照

($E/\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$) 条件 ($\bar{X}$, $N=5$)

Tab 1 The illuminative conditions in different culture areas of lettuce

不同栽培区 Different culture area	观测时间 (年、月、日) Observation time (year - month - date)	测定高度 (h/cm) Height	$E/\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$	
			直射光 Directing	反射光 Reflecting
对照区 (CK) Area without column	1996 - 01 - 30 (定植前) (Before planting)	30	400	240
		100	401	240
立柱区 Columnar area		30	340	220
		100	360	/
对照区 (CK)	1996 - 03 - 06 (生长的中后期) (Middle - late growth period)	30	1061	/
		100	1061	/
立柱区 Columnar area		30	680	220
		100	860	200
立柱旁边 Side of the column		30	280	200
		100	/	/

3.3 温度($\theta/^{\circ}\text{C}$)和湿度(RH / %)

于生菜生长的冬季(2月和3月)观察了气温和水温,柱间气温同于温室内的气温,2月两处理的最高

气温是 21°C ,最低是 2.8°C ,3月的最高气温在CK区是 21°C ,立柱区是 20°C ,两区的最低温度都是 3.3°C ,而2月柱上盆钵中的水温比CK区浮板下的水温高 2°C ,是 12°C ,此期间我们观察到立柱上生菜苗生长快于CK区,可能是在光照下塑料盆钵内水温易升高引起的效应。

在日间门窗敞开情况下,立柱区的湿度(RH)为 $57\% \sim 71\%$,属正常。

4 系统经济效益评价

4.1 产品

以实验基地为例考察一茬生菜总产量,立柱区实收总产量 893 kg ,平均为 $5.58\text{ kg}/\text{m}^2$,CK区实收 271 kg ,平均为 $1.50\text{ kg}/\text{m}^2$,前者是后者的3.7倍(表3)。

水培型柱栽培蔬菜特别是叶菜类,方法简单,干净卫生,生长快。除生菜外,我们还种植过香葱、芹菜、紫背菜、白背菜、茴香等,也都取得成功。这类柱子更适合于春、秋、冬三季在上海非自控温室内使用。夏季柱中水温同于气温,根系生长差,抽苔快,菜的质量不高,如同温室中的其它种植方式在夏季不能种植一样,夏季也不适合立柱种植。但如果改用地下水降低根际温度,或者天气转暖时改种果菜类,如葫芦科夜开花,丝瓜等每盆1棵,每根立柱种3棵,多次循环灌溉,不仅能取得好结果还可过夏栽培。

水耕法种菜的品质是人们关心的问题,有人说此类蔬菜中的 NO_3^- 含量高有害健康。在 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ (水培必用的成分)营养液栽培的绿叶菜中,能诱导形成硝酸还原酶(NR)和亚硝酸还原酶(NiR),两种酶负责转化 NO_3^- 至 NH_2^+ ,所以通常在良好的光照条件下,叶细胞内不会积累 NO_3^- ,但在连续阴雨条件下,由于酶活性低,特别在老化的叶片中将积累较多的 NO_3^- 。为了减少蔬菜中的 NO_3^- 积累,在收获上市前的1 wk减少营养液中

NO₃⁻ 的用量,将有利提高蔬菜品质.

表 2 栽培方式对生菜生长的影响 ($x, N=20$)
Tab 2 Effect of the different culture methods on the

观测时间 Time Determined	苗龄(叶片数) Age of seedlings (with leaves)	不同栽培方法的单株地上部鲜重 Shoot fresh weight per plant from different cultural methods (m/g)		
		growth of lettuce ($x, N=20$)		
		CK	立柱上 On columns	柱行间地面 On ground between rows
1996-03-21	3	51	/	70
	5	100	/	148
1996-03-26	3	58	40	84

柱式栽培的目的是高产优质,至少高出 1 倍的产量才有意义. 为此,注意改进栽培管理和采收方法,如果柱上和柱间平面都种满生菜,待生菜生长到柱面封柱,地面封行时及时收获半数植株,留出空间让剩余植株继续生长到丰满,或者根据市场需求量先从边行采收立柱上半部的植株,依次逐日采收至另一边,然后返回原处采摘柱子下半部的植株,再依次至另一边. 如此采收方法,菜的品质将提高,总产量将达 4 倍以上.

夏季闲置不用的水培柱应即时放水,用一根装满水的软管将其一头插入盆钵中,另一头迅速放到最低处借虹吸原理将柱中的水放完,否则在高温下盆中易滋生藻类而影响以后使用.

表 3 不同栽培方式的生菜产量
Tab 3 The lettuce yield (fresh weights) by
different culture methods

观察项目 Items	无柱区 CK	立柱区 Area of columns
品种 Variety	绿波 Lu bo	绿波 Lu bo
定植时间 Plantation time	1996-02-01	1996-02-01
A_{exp}/m^2	180	160
收获时间 Harvesting time	1996-03-25 ~ 26	1996-03-25 ~ 26
鲜菜总产量 Total yield (m_t/kg)	271	893
$m_{av}/kg\ m^{-2}$	1.5 (A)	5.58 (B)
生产效率 Production efficiency $A(B)/A$	1	3.7

4.2 产值

仅以生菜为例,按表 3, 666.7 m^2 一次产量达 3 000 kg 鲜菜,全年平均售价 2.00 元/kg,共有 6 000 元. 在上海自然条件下,一年(冬、春、秋)可种植 5 次,

共产生菜 15 000 kg,价值 30 000 元. 扣除柱式设施折旧费 5 000 元,营养液费 2 000 元,一人的人工费 10 000 元,约可有 17 000 元的净创收,如果加上 7、8、9 月夏季果菜收入,全年约可收入 20 000 元.

我们一直在追求更为新颖的优质优价销售方式,并已在上海实践两次,在一家火锅城安装 8 层水培型立柱共 10 根,再从园艺场生产基地的水培柱上带根取可上市的生菜 400 株并插入火锅城的立柱上,每根柱可种生菜 40 株,放在餐桌旁,当天销售. 客人从柱子上采下正在生长的干净生菜,交服务员洗好送回.

这种销售方式做到了双盈,园艺场以 0.5 元/棵售出,火锅城以 2.00 元/棵售出,仍几近火爆. 情况说明以立柱形式向宾馆、家庭销售蔬菜是有无限潜力的经营方式. 以 0.5 元/棵生菜售出,仅立柱上就有 38 160 株,则一次的产值应有 19 080 元,全年 5 次共 95 400 元(这只是本工作栽培面积 540 m^2 上的立柱产出的产值). 但这一经营方式没有延续,主要原因是没有专用的运输车和品种单调,跟不上顾客需要.

鸣谢 在盆钵的研制生产阶段得到遵化市府和该市农业局刘宗海等同志的大力支持,栽培过程中又得到马桥园艺场领导和职工的协助,特此致谢!

References

1 Gong SF(龚颂福), Li ZZ(李止正). Studies on the soilless cultures on vertical columns. *Chin J Appl Environ Biol*(应用与环境生物学报), 1995,2(2):187~188

2 龚颂福,李止正. 立柱式无土栽培. 植物学杂志, 1996,5: 22~23

3 龚颂福,李止正. 占地少而生产效率高的立柱式无土栽培法. 植物生理学通讯(专辑), 1997,6:463~464

4 Li ZZ, Gong SF. The columnar soilless culture of vegetables. 3rd Asia Pacific Conference on Plant Physiology, Shanghai, China, 1997. 143

5 Li ZZ(李止正), The significance of columnar soilless culture in the agricultural revolution in the next century. *World Sci-Tech R&D*(世界科技研究和发展), 1998,20(4): 120~122

6 Arnon DI, Hoagland DR. Crop production in artificial solutions and in soils with special reference to factors influencing yields and absorption of inorganic nutrients. *Soil Sci*, 1940, 50:463~484

7 山东农业大学主编. 蔬菜栽培学各论. 第 3 版. 北京:农业出版社,2000. 134