

# 樱桃番茄在城市屋顶环境的高效管道栽培技术及生产模式研究

赵颖雷<sup>1</sup>, 施露<sup>2</sup>, 王华森<sup>3</sup>, 吴丽君<sup>3</sup>, 卫芳芳<sup>2</sup>

(1. 杭州市农业科学研究院 蔬菜所, 浙江 杭州 311300; 2. 浙江农林大学 农业与食品科学学院, 浙江 临安 311300;  
3. 临安市农业技术推广中心 农产品检测站, 浙江 临安 311300)

**摘要:**以城市闲置屋顶上架设的内部填充固体栽培基质的PVC管道为试材,以“金童”樱桃番茄为研究对象,研究了樱桃番茄城市屋顶环境的高效管道种植技术与最佳生产模式。结果表明:在填充有固体基质的纵长2 m、直径200 mm、植物生长口间距为300 mm的PVC管道中一次性施放2×浓度的养分(含20 g  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、10 g  $\text{KNO}_3$ 、14 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、10 g 尿素与100 mL微量元素浓缩液),可使所种植的樱桃番茄的长势、品质与肥水利用率达到最佳,每667 m<sup>2</sup>产值约合23 211.6元。

**关键词:**樱桃番茄;城市屋顶;PVC管道栽培;模式

**中图分类号:**S 641.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)03-0187-07

浙江省是我国经济发展最具活力的省份之一。改革开放已逾30年,浙江的城市化进程日趋加快<sup>[1]</sup>。全省城市化水平从1978年的14%急速提升至2007年的57.2%。而浙江省是全国陆域面积最小的省份,仅占10.18万km<sup>2</sup>,人均耕地面积仅367 m<sup>2</sup>,不到全国人均耕地的40%,在城市化的进程中大量优质耕地被征用,耕地资源受到了极大的冲击,城市化进程与农业发展的矛盾日趋尖锐<sup>[2]</sup>。而在城市化发展过程中,拥有道路、市场、人力、环境等资源优势的居住楼、写字楼、厂房等城市建筑屋顶形成了数量可观的“闲置性非耕地”,既无任何植被覆盖,也没有得到合理的利用<sup>[3]</sup>。因此,在浙江人多地少、土地资源短缺的背景下,充分利用城市屋顶,种植一些兼具观赏性和食用性的园艺作物,在美化环境的同时生产优质安全的高品质果蔬,对于缓解城市扩建

与耕地保有量的矛盾<sup>[4]</sup>,降低政府对城市绿化与土地再造的资金投入,增加城市绿化面积与有机果蔬供应,促进生态资源的高效利用和城市经济的可持续发展具有独特作用和实际意义<sup>[5]</sup>。

现以中早熟无限生长型黄果樱桃番茄“金童”为栽培对象,采用浙江农林大学“15号学院楼”楼顶搭建填充有固体栽培基质的PVC管道系统种植“金童”樱桃番茄,研究与番茄相对应的栽培管道结构与管网系统的最佳结构;同时研究高效利用栽培管道相对封闭的根系生长空间、屋顶环境充足的光照及降水等优势资源,进行肥水精准补给的各项技术参数,从而提高肥水利用率,削减施肥与灌溉成本,降低土传病害的发生率,以期建立一套适用于樱桃番茄的城市屋顶高效管道式固体基质栽培标准化流程,为该种植模式的推广提供理论基础和应用样板。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

1.1.1 栽培管道设计 采用90、140、200 mm 3种不同直径的PVC管道营造出3种不同的根系生长空间,单管纵向长度2 m,容积分别为12.7、30.8、62.8 L,每根管道设置5个间距为30 cm、口径为4 cm的植株生长口,栽培管道间距为30 cm,管内贯穿直径20 mm滴灌管(图1、2)。填充的固体基质为“金色3号”商品基质(杭州锦海农业科技有限公司生产,容重0.253 g/cm<sup>3</sup>,总孔隙度65.5%,通气孔隙度16%,水气比1:3.1,pH 6.9,EC=0.75 mS/cm)<sup>[6]</sup>。

**第一作者简介:**赵颖雷(1986-),男,硕士,研究方向为蔬菜栽培。E-mail:179549319@qq.com。

**责任作者:**王华森(1981-),男,博士,副教授,现主要从事园艺作物生理和分子生物学等研究工作。E-mail:whsych66@163.com。

**基金项目:**2012年浙江省大学生科技创新活动计划(新苗人才计划)资助项目(2012R412036);浙江农林大学国家级大学生创新创业训练计划资助项目(201210341007);浙江省“三农六方”农业科技协作计划资助项目(113-2045210160);2010年浙江省科技厅第五批重大科技专项和优先主题资助项目(2010C12030);浙江省公益行业科研资助项目(2012C22019);浙江农林大学农业与食品科学学院创新训练计划资助项目(20120101;20120102)。

**收稿日期:**2013-10-24

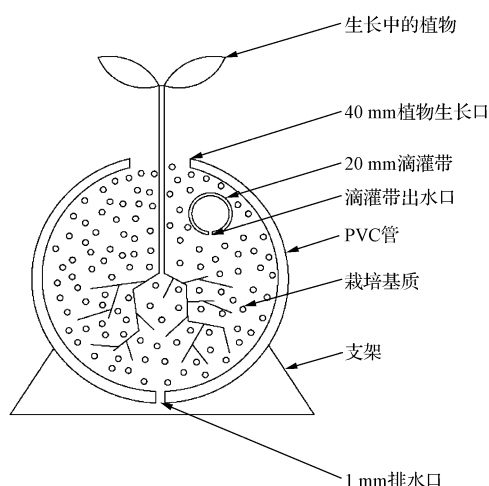


图1 PVC栽培管道横截面

Fig.1 The cross section diagram of PVC cultivation pipe

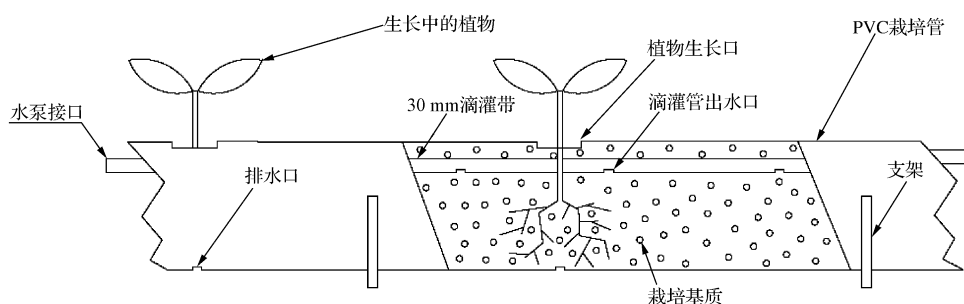


图2 栽培管侧截面

Fig.2 The sided cross section diagram of cultivation pipe

1.1.2 栽培管网 将栽培管道、水泵(大喜系列15SG0.4-6-2型自来水增压泵,流量0.4 m<sup>3</sup>/h)、500 L蓄

水桶及2 m×2 m集雨塑料薄膜相连形成管道栽培系统,连接后见图3。

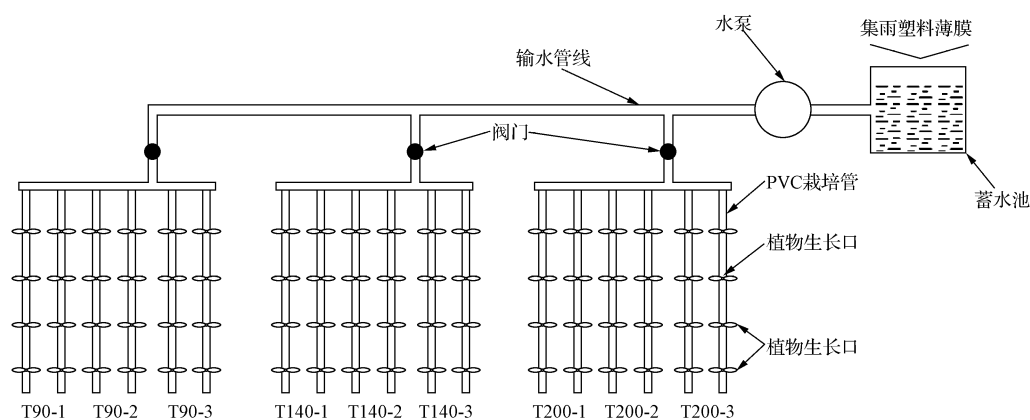


图3 管道栽培系统

Fig.3 The diagram of cultivation pipe system

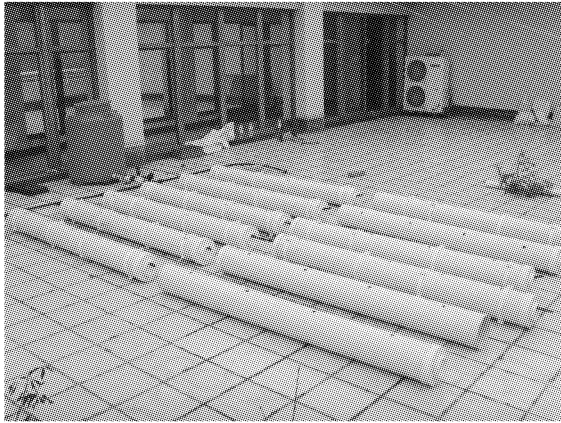


图4 搭建中的管道栽培系统

Fig. 4 The cultivation pipe system in building

1.1.3 营养液配置 将营养液按不同组份配置成 A、B、C、D、E 5 种母液,其中 A、B、C、E 液配方参照 Hoagland's (霍格兰氏)营养液配方<sup>[7]</sup>。A 液:Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 1.0 kg,蒸馏水 1.0 L,共配置 2 瓶;B 液:KNO<sub>3</sub> 1.0 kg,蒸馏水 1.0 L,共配置 2 瓶;C 液:KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 1.0 kg,蒸馏水 1.0 L,共配置 1 瓶;D 液:尿素 500 g,蒸馏水 1.0 L,共配置 1 瓶;E 液(微量元素):七水硫酸亚铁 5.56 g、乙二胺四乙酸二钠(EDTA-Na<sub>2</sub>)7.46 g、碘化钾 1.66 mg、硼酸 12.4 mg、硫酸锰 44.6 mg、硫酸锌 17.2 mg、钼酸钠 0.50 mg、硫酸铜 0.05 mg、氯化钴 0.05 mg,蒸馏水 1.0 L,调 pH 至 6.0,配置 2 瓶。

1.1.4 试验场地 设备搭建于浙江农林大学“15 号学院楼”楼顶,距离地面约 20 m,为自然露天场地,无遮荫设施。

## 1.2 试验方法

1.2.1 养分施放量设定 分别将 90、140、200 mm 3 种直径的栽培管分别标记为 T90-1、T90-2、T90-3、T140-1、T140-2、T140-3、T200-1、T200-2、T200-3,其中 1 组口径的栽培管中设定 3 个养分浓度,分别用 1、2、3 表示,1 个标记包含 2 根栽培管(图 3)。使用移液器将营养液从植物生长口注入栽培管内,各管中的养分施放量设定见表 1。

表1 单管中营养液补充量及养分含量

Table 1 The injecting amount of nutrient solution and content in a single pipe

管道 编号	施肥 倍率	A 液 /mL	B 液 /mL	C 液 /mL	D 液 /mL	E 液 /mL	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> /g	KNO <sub>3</sub> /g	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> /g	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> /g
T90-1	1×	10	5	7	5	100	10	5	7	5
T90-2	2×	20	10	14	10	100	20	10	14	10
T90-3	3×	30	15	21	15	100	30	15	21	15
T140-1	1×	10	5	7	5	100	10	5	7	5
T140-2	2×	20	10	14	10	100	20	10	14	10
T140-3	3×	30	15	21	15	100	30	15	21	15
T200-1	1×	10	5	7	5	100	10	5	7	5
T200-2	2×	20	10	14	10	100	20	10	14	10
T200-3	3×	30	15	21	15	100	30	15	21	15



图5 移栽后的栽培管

Fig. 5 The pipes after field planting

1.2.2 育苗、定植及水分管理 使用 32 孔穴盘及“金色 3 号”基质进行穴盘育苗。2012 年 8 月 15 日,将播种 30 d 的“金童”樱桃番茄苗移入植物生长口,栽培管内共定植番茄苗 90 株(图 4、5),单蔓整枝,留 8 穗果,190 cm 打顶。启动水泵进行补水,使用土壤水分速测器(宁波海曙科麦仪器有限公司产,SDT-300)进行基质含水量测定,维持基质含水量 50%~70%<sup>[8]</sup>。同时于大田中设置对照(CK)10 株,以常规方式一次性施加 0.5 kg 三元复合肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=15:15:15)。

## 1.3 项目测定

在番茄的生长过程中使用土壤水分速测器对基质的含水量进行测定。坐果前每 15 d 进行 1 次测定,坐果后每隔 7 d 进行 1 次测定。根据测定情况,当基质含水量低于 50% 时进行补水,提升含水量至 70%±5%<sup>[9]</sup>。

1.3.1 番茄品质测定 将采收期按 15 d 分为采收前期(10 月 15 日至 11 月 1 日)、采收中期(11 月 1~15 日)和采收后期(11 月 15 日往后)<sup>[10]</sup>。分别对 3 个采收期的番茄进行品质测定,维生素 C 含量测定采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法,参照中华人民共和国国家标准 GB 6195-86 水果、蔬菜维生素 C 含量测定法;可溶性总糖含量参照《NY/T 1278-2007 蔬菜及其制品可溶性糖测定法铜还原碘量法》测定;可滴定酸含量参照《GB 12293-90 水果、蔬菜制品 可滴定酸的方法测定》测定;蛋白质含量参照《中华人民共和国国家标准 GB 8856-88 水果、蔬菜产品粗蛋白的测定方法》测定。

1.3.2 大田与屋顶昼夜温差测定 从定植日起,在每月选择前后 2 d 均为晴天、雨天及阴天的时间段各 1 组,测定第 2 天早晨 8:00 与下午 14:00 时屋顶及大田地表气温,统计并记录温差。

## 2 结果与分析

### 2.1 养分浓度与管道容积对番茄果实产量的影响

由表 2、图 6 可知,各管中以 T200-2 番茄果实的总



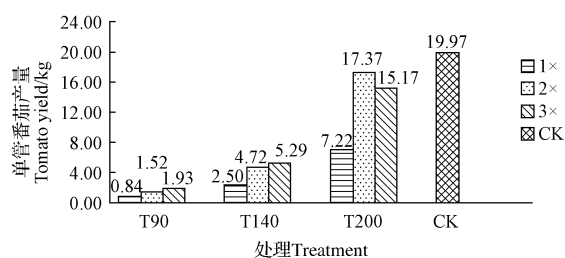


图6 不同管道容积与养分倍率对番茄产量的影响

Fig. 6 The effect of different pipe volumes and nutrient ratios on the yield of tomato

产量最高,仅比CK低0.26 kg,平均单管番茄产量1.737 kg,单穗结果数10~13粒。从表2可以看出,在相同养分倍率下番茄的产量随管道容积的增加而逐渐升高。T90与T140管道的番茄产量较低,说明90 mm与140 mm的栽培管道空间对于“金童”樱桃番茄根系的生长过于狭窄。同时,由于番茄根系生长产生的盐分及酸类物质等汇聚在狭窄的管道中,抑制了根系对养分的吸收,也在一定程度上降低了番茄的产量。T90与T140管组中,番茄产量随养分施放倍率的升高而升高,2×与3×养分浓度的番茄产量较接近,而在T200管组中,番茄产量则随养分施放倍率的升高呈先增后减趋势。各

表2 不同管道中单管番茄产量

Table 2 The tomato yield of single pipe in different pipes

管道 编号	养分 倍率	单管单株番茄产量/g			单管单株番茄 总产量/kg
		第1批采收	第2批采收	第3批采收	
T90-1	1×	340.88	269.66	225.54	0.8361
T90-2	2×	568.37	482.15	467.39	1.5179
T90-3	3×	712.12	652.22	563.53	1.9279
T140-1	1×	901.44	833.63	765.49	2.5006
T140-2	2×	1 788.97	1 500.86	1 428.89	4.7187
T140-3	3×	1 986.20	1 767.01	1 533.38	5.2866
T200-1	1×	3 746.10	2 288.66	1 186.50	7.2213
T200-2	2×	5 990.86	5 865.07	5 510.77	17.3667
T200-3	3×	5 070.29	5 065.69	5 033.42	15.1694
CK	—	6 794.23	6 710.72	6 460.45	19.9654

管组中除T200-2、T200-3与CK外,其余番茄10株产量均低于10 kg,且叶片发黄,普遍呈现缺肥态势。

## 2.2 养分浓度与管道容积对番茄品质的影响

根据对番茄果实产量的结果分析,除T200-2、T200-3与CK外,其余各管番茄普遍呈现缺肥态势,因此仅选择T200-2、T200-3与CK进行番茄品质的测定与比较。按试验方法对T200-2、T200-3与CK中“金童”番茄3个采收期的果实的维生素C、蛋白质、可溶性固形物、可溶性糖及可滴定酸含量进行测定,结果见表3。

表3

番茄品质测定结果

Table 3

The test results of tomato quality

管道 编号	维生素C含量		蛋白质含量		可溶性固形物含量		可溶性总糖含量		可滴定酸含量		糖酸比	
	含量 /mg·(100g) <sup>-1</sup>	标准差	含量 /%	标准差	含量 /%	标准差	含量 /mg·g <sup>-1</sup>	标准差	含量 /mg·g <sup>-1</sup>	标准差	比值	标准差
T200-2	10.86aA	0.083	0.704aA	0.007	6.17aA	0.04	41.61aA	0.50	4.807aA	0.065	8.66aA	0.02
T200-3	7.94cB	0.687	0.630bB	0.011	5.32bB	0.19	27.76bB	0.21	3.923bB	0.057	7.08bB	0.08
CK	9.88aA	0.131	0.712aA	0.004	5.96aA	0.06	41.33aA	1.11	4.823aA	0.031	8.57aA	0.27

注:小写字母表示 $P<0.05$ 差异水平,大写字母表示 $P<0.01$ 差异水平。

Note: Small letters mean difference at  $P<0.05$  level and capital letters mean  $P<0.01$  level.

2.2.1 对维生素C含量的影响 由表3可知,在相同的光照条件下,3个试验组中以T200-2管中番茄果实维生素C含量最高,平均10.86 mg/100g,且每个采摘批次的维生素C含量较CK与T200-3稳定。3组中T200-2与CK的维生素C含量差异不显著,而与T200-3管的差异显著。

2.2.2 对可溶性蛋白质含量的影响 3个试验组中T200-2与CK的蛋白质含量差异不显著,以CK中番茄果实蛋白质含量最高,平均0.712%,略高于T200-2。每个采摘批次T200-2与CK的蛋白质含量较T200-3稳定。

2.2.3 对可溶性固形物含量的影响 可溶性固形物含量主要由可溶性糖和有机酸等物质构成,其高低对番茄果实的营养价值、风味口感、实质产量等方面有着较大影响<sup>[11]</sup>。3个试验组中,T200-2与CK的可溶性固形物

含量相近,但与T200-3表现出了显著差异。以T200-2管中番茄果实的可溶性固形物含量最高,平均为6.17%,高于CK 0.21个百分点,且每个采摘批次的可溶性固形物含量较CK与T200-3稳定。

2.2.4 对可滴定酸与可溶性糖含量的影响 有机酸与可溶性糖大量存在于番茄中。而人们的味觉器官对酸味反应较甜味敏感。因此,合适的糖酸比是影响番茄口感、风味与品质的重要指标,一般在6~10范围内较适合<sup>[12]</sup>。从表3可以看出,3个试验组的可滴定酸含量以CK最高,平均每个批次达4.823 mg/g,高于T200-2 0.016 mg/g,但差异不显著,而与T200-3管的差异极显著。3个试验组的可溶性糖则以T200-2最高,平均每个批次达41.61 mg/g,高于CK 0.28 mg/g,但差异不显著,而与T200-3管的差异较显著。T200-2的可滴定酸含量标准差大于CK,但可溶性糖含量标准差小于CK,

说明 CK 的 3 个批次采收期内番茄果实的可滴定酸含量积累较稳定,而 T200-2 管的番茄可溶性糖含量积累更稳定。由此得出的糖酸比显示,T200-2 与 CK 最为相近,并处于番茄最佳糖酸比 6~10 范围内,口感适中,略带甜味。而 T200-3 的高浓度养分施放量导致了番茄养分的吸收与糖分合成能力的下降,口感酸味明显,品质较低。

### 2.3 水分补充情况

试验设计对坐果前栽培管中的水分含量每隔 15 d 进行 1 次测定,坐果后缩短为每隔 7 d 进行 1 次测定,并根据测定情况实时补水,单管补水量及补水时间见表 4。2012 年 10 月 15 日左右,各管中番茄植株长势达到顶峰并开始坐果,因此这段时间的水分消耗极大。8 月 15 日前的补充水分分为设备搭建完成之日起至 8 月 15 日收集到的自然降水,用于调节基质含水量至 70%,不计入定植后的补水总量中。根据计算,自播种之日起至 11 月 15 日,屋顶设备的雨水收集总量为 459 L,而各管补水总量为 174 L,达到完全利用自然降水进行灌溉的预期目标。

表 4 单管中水分补充时间及补水量

Table 4 The time and amount of water resupplying in a single pipe L

管道编号	日期/月.日									补水总量
	8.15	9.15	9.30	10.7	10.15	10.23	10.30	11.7	11.15	
T90-1	6	2	0	2	0	2	0	2	0	8
T90-2	6	2	0	2	0	2	0	2	0	8
T90-3	6	2	0	2	0	2	0	2	0	8
T140-1	16	0	9	0	6	0	6	0	6	21
T140-2	16	0	9	0	6	0	6	0	6	21
T140-3	16	0	9	0	6	0	6	0	6	21
T200-1	33	0	11	0	9	0	9	0	0	29
T200-2	33	0	11	0	9	0	9	0	0	29
T200-3	33	0	11	0	9	0	9	0	0	29
合计	165	6	60	6	45	6	45	6	18	174
蓄水桶水位	270	190	217	171	177	145	153	118	120	—

注:0 表示测定当天含水量高于 50%,则按试验方法设定不进行补水;蓄水桶水位值为当日启动补水前蓄水桶的水位。

### 2.4 昼夜温差分析

温差是影响番茄可溶性固形物积累与分配的最重要环境因素,较大的温差可促进番茄果实可溶性固形物的形成。对定植后 3 个月中的晴天、阴天与雨天进行昼夜温差的测定。由表 5 可知,屋顶(6 楼)的昼夜温差普遍高于大田昼夜温差,其中以 9 月份晴天的大田与屋顶昼夜温差值的差距最高,达到 1.5℃,雨天及阴天温差基本为 0,而随着时间往冬季的推移,大田与屋顶的昼夜温差之间的差值均逐渐减小为 0。

### 2.5 设备投入及产生的经济效益估算

根据对现有集雨设备的雨水收集能力分析,若扩大集水塑料薄膜的面积,使其在 1 个种植周期内的集雨量

表 5 昼夜温差测定结果

Table 5 The determination of results of temperature between day and night ℃

测定时间	位置	晴天			雨天			阴天		
		昼	夜	温差	昼	夜	温差	昼	夜	温差
9 月	屋顶	30.7	20.6	10.1	23.3	17.7	5.6	24.6	19.8	4.8
	大田	30.5	21.9	8.6	23.2	17.7	5.5	24.5	19.9	4.6
10 月	屋顶	24.3	17.7	6.6	16.3	11.5	4.8	18.4	13.5	4.9
	大田	23.9	18.1	5.8	16.3	11.6	4.7	18.4	13.5	4.9
11 月	屋顶	16.9	10.3	6.6	12.5	8.4	4.1	14.8	10.4	4.4
	大田	16.7	10.6	6.1	12.5	8.4	4.1	14.8	10.5	4.3

注:温度按测定日期先后自上而下排列。

达到 500 L 集雨桶的最大容量,则可支持约 50 支 T200-2 管同时栽培樱桃番茄。据此估算,若将 T200-2 的栽培规模按照 3 管直连,16 列的布局扩大至 48 管,则预计的设备投入及经济效益见表 6。48 m<sup>2</sup> 的屋顶的设备一次性投入 2 436.5 元,一次种植所收产品总产值达 1 670.4 元,连续种植 2 茬便可收回全部设备投入成本,达到试验预期的经济及社会效益。与传统大田种植相比,该种栽培模式融合了园艺作物的农业生产及城市绿化功能,免去了土地租金、温室大棚建设等费用,降低了土地、设施和肥水使用成本,更加符合政府公益性设施建设的支持标准,适合在大中型城市建筑屋顶大力推广。

表 6 48 m<sup>2</sup> 的屋顶番茄 T200-2 管道栽培设备投入及产出估算

Table 6 Estimation of input and output of tomato planting in T200-2 pipes on 48 m<sup>2</sup> rooftop

设备名称	单价	单管规格	规模	合计/元
PVC 管	20 元/m	2.0 m	48 管	1 440
滴灌管	5 元/m	2.2 m	48 管	528
蓄水桶	150 元/只	1 只	1 只	150
导水管	10 元/m	0.4 m	6.4 m	160
水泵	150 元/只	1 只	1 只	150
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1.6 元/kg	20 g/管	48 管	1.54
KNO <sub>3</sub>	5.8 元/kg	10 g/管	48 管	2.78
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	5.5 元/kg	14 g/管	48 管	3.70
尿素	2.0 元/kg	5 g/管	48 管	0.48
设备总投入	—	—	—	2 436.5
番茄产出	4.0 元/kg	8.7 kg/管	48 管	1 670.4

注:采用 3 管直连,16 列布局,共 48 管;管网系统长 6.6 m,宽 6.4 m,占地约 42.24 m<sup>2</sup>。

## 3 结论与讨论

随着我国农业资源的不断减少与人们对果蔬产品需求的不断提高,如今的农业生产与管理方式已逐渐向着植株的快速生长及肥水与土地的高效利用等方面转变<sup>[13]</sup>。试验过程中发现,在 1×(低)、2×(中)、3×(高)养分浓度及含量影响下,仅 T200-2 与 T200-3 栽培管中的番茄果实平均单株产量大于 1.5 kg 外,其余各管中番茄均表现为缺肥态势,引起这一现象的主要因素是管道容积与养分浓度的不合理搭配。以 T200-2 管的果实产量最为接近大田种植的 CK 产量,折合 667 m<sup>2</sup> 产量约

5 802.90 kg。但在肥料利用方面,T200-2 管的养分施放量(含 40 g  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、20 g  $\text{KNO}_3$ 、28 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、20 g 尿素与 200 mL 微量元素浓缩液,为 2 根管含量)相对于 CK 中的 0.5 kg 三元复合肥则表现出明显优势。固体基质管道栽培技术的设计初衷是以封闭的根系环境达到较高的肥水利用率为首要目的,使用过程遵循肥水精准补给原则以尽量减少了管道内肥水流失。尽管栽培管道下方预留了排水口,但仅为在特殊情况下排出管内过多积水所使用。但正是受到这种封闭性的影响,在没有外部调节物质输入的情况下,管内栽培基质的理化性质将会产生较大波动,从而影响番茄的产量与品质。而大田种植环境中,土壤中的生长抑制物质会被雨水带走而逐渐恢复中性,但也造成了养分利用率的低下与对环境的污染<sup>[14]</sup>。由此得出结论,200 mm 口径管道、2×养分施放倍率与株间距 30 cm 是管道栽培“金童”樱桃番茄的适宜技术指标。减小管道口径与株距,增大或减小养分施放倍率,都将对番茄的产量产生负面影响。

当前人们对果蔬的需求观念已发生了根本性的转变。从以往对数量的追求,逐渐发展到对果蔬风味、营养价值、外观及食用安全性的追求。因此,研究提高果蔬品质的种植技术,已成为农业科研人员的研究重点<sup>[15]</sup>。中国农业科学院蔬菜花卉研究所设施栽培组对设施农业有机土栽培技术进行了很多深入的研究,证明了与普通土壤栽培相比,使用无土有机基质栽培蔬菜在品质上能够达到甚至超越蔬菜土壤种植方法<sup>[16]</sup>。固体基质管道栽培充分体现了基质栽培与限根栽培的特征,缩短了缓苗时间,增强了根系活力,使番茄更早地进入生殖生长阶段,配合合理的肥水管理方案,使番茄的生长始终保持在最佳状态,显著提升番茄的产量及品质。该试验中,T200-2 管中番茄在维生素 C、可溶性固形物含量及糖酸比均优于大田种植。

营养成分是决定果蔬品质的主要因素,受气候、土肥、栽培方式等外部因素影响较大。一定范围的较低温度与昼夜温差对番茄糖分与有机酸的积累起主导作用,昼夜温差较大,有利于糖分的累积,反之则有利于有机酸的累积<sup>[17]</sup>。该试验结果表明,屋顶相对大田较大的昼夜温差使 T200-2 管内番茄在根系空间及施肥量均显著低于大田 CK 的情况下达到产量接近,果实中维生素 C、可溶性总糖及可溶性固形物含量上超越 CK,番茄果实品质及养分利用率得到了显著提升。

但 PVC 管栽培也存在一定的问题。一是管道式固体基质栽培技术是无土栽培、节水灌溉及限根栽培等多项现代农业科技的有机集成,科技含量高,存在一定的技术复杂性。与传统土壤栽培番茄相比,管道式固体基质栽培增加了营养液的配置及管理、基质的选择及运用、机械操作与自动化控制等环节,栽培环境管理严格,

于是要求管理人员和操作人员需要具备较高的技术水平和文化素质,否则难以胜任,这是限制该技术推广应用的主要瓶颈。为使该技术及设备得到社会应用,该研究对应作物的标准化种植流程,降低或免去技术中过于复杂操作环节,使之成为能够方便快捷简便的栽培技术。二是园艺作物品种多样,不同的作物对生长环境的要求各不相同。目前通过试验获得的标准化栽培流程的作物种类仅为樱桃番茄一种。因此,需要后续扩大试验作物种类,尝试使用该技术及设备种植更多的园艺作物,以增加适用于屋顶管道栽培的果蔬品种。三是试验中所用设备来源于各个不同的领域,非专业化程度较高。城市屋顶高效管道式栽培行业若发展,形成产业链,需要有更多的研究单位及生产企业配套生产更为专业的屋顶管道式栽培设备。

该试验结果表明,选择 200 mm 口径的 PVC 管道,单根纵长约 2 m,内部填充能够稳定保持通气孔隙为 18%~20%、pH 为 5.5~6.5、 $\text{EC}<4.5 \mu\text{S}/\text{cm}$  的固体栽培基质(如杭州产的“金色 3 号”基质);育苗穴盘为 32 孔或 50 孔穴盘;以樱桃番茄为好;种植方式采用单管,使用固体基质 62.4 L,施入 20 g  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、10 g  $\text{KNO}_3$ 、14 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、10 g 尿素及 100 mL 微量元素溶液(参照霍格兰氏营养液配方);栽培管设置 5 个植株种植口,间距 30 cm;在杭州于 7 月中上旬穴盘育苗,苗龄约 25 d,8 月中旬移入栽培管,单蔓整枝,留 8 穗果打顶(10 月初主蔓打顶);定植前调节管中基质含水量至 70%,坐果后可每 15 d 补水 9 L,以保持基质 50%~70%含水量,补水量可根据具体情况做调整。

### 参考文献

- [1] 李辛白.世界土地资源的破坏[J].福建环境,1994,6(11):22.
- [2] 朴永吉,刘仁英.观赏蔬菜的分类及园林应用形式研究[J].技术与市场(园林工程),2006(11):50-53.
- [3] 李国景,徐召忠.我国现阶段发展蔬菜无土栽培的探讨[J].长江蔬菜,1997(4):1-4.
- [4] 李惠芬,钱芝龙.羽衣甘蓝创新种质形态学特征研究[J].北方园艺,2005(3):56-58.
- [5] 李梅勇.我国蔬菜营养液膜栽培技术新进展[J].长江蔬菜,1998(2):1-3.
- [6] 方智远,祝旅,李树德.我国蔬菜科技五十年的主要成就与今后的任务[J].中国蔬菜,1999(5):1-5.
- [7] 郑光华,蒋卫杰,刘伟.我国北方水质与无土栽培系统的选择[J].中国蔬菜,1996(3):31-34.
- [8] 顾卫红,郑洪建,张燕,等.观赏型羽衣甘蓝新品系的选育及其主要遗传性状的传递规律初探[J].上海交通大学学报(农业科学版),2002(2):129-131,134.
- [9] 宋明,汤清林.观赏蔬菜生产技术[M].成都:四川科学技术出版社,2004.
- [10] 郑光华.蔬菜无土栽培与绿色食品生产[J].中国蔬菜,1996(4):1-3.
- [11] 郁樊敏.上海市蔬菜无土栽培的现状与发展[J].上海农业科技,1997(6):31-32.



# 典型农田生态系统水源涵养服务流量过程研究

李士美<sup>1,2</sup>, 谢高地<sup>2</sup>

(1. 青岛农业大学 园林与林学院, 山东 青岛 266109; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘 要:**以中国生态系统研究网络定位监测数据为基础,比较分析了典型农田生态系统水源涵养服务流量过程。结果表明:农田生态系统的水源涵养服务可以分为现实水源涵养服务和潜在水源涵养服务;栾城和禹城农田生态系统的水源涵养服务流量均呈现显著性的季节变异;栾城和禹城农田生态系统的现实水源涵养量分别在 70.02~136.99 mm 和 70.10~142.02 mm 之间波动;栾城农田的潜在水源涵养量在 0.05~67.02 mm 之间波动,而禹城农田的潜在水源涵养量变异较大。

**关键词:**农田;水源涵养服务;流量过程

**中图分类号:**Q 149 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)04-0193-04

农田生态系统是地球上重要的生态系统之一。随着全球生态环境的恶化,农田生态系统的功能已经从单

**第一作者简介:**李士美(1981-),男,山东鄄城人,博士,讲师,研究方向为生态系统功能与服务。E-mail:li\_shimei@163.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(30770410,31070384);国家重点基础研究发展计划资助项目(2009CB421106)。

**收稿日期:**2013-10-24

纯的农业生产拓展为除农业生产外,还为当地和周边居民提供必不可少的生态系统服务,如气体调节、涵养水分、净化水质、保持土壤、维持生物多样性等<sup>[1-2]</sup>。1997年 Costanza 等《全球生态系统服务与自然资本的价值》在 Nature 发表以来,越来越多研究者开始重视生态系统服务价值的研究,其中涉及农田生态系统服务价值的研究越来越多,主要集中于农产品供给、碳汇、土壤保持与

[12] 张振贤. 蔬菜栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.

[13] 王雅丽,苏淑芳,程爱荣,等. 观赏蔬菜在温室园景中的应用探讨[C]. 濮阳市首届学术年会论文,2006:181-183.

[14] 王化. 美国蔬菜无土栽培技术[J]. 中国蔬菜,1989(1):49-51.

[15] 张建国,贾晓航. 蔬菜无土栽培概述[J]. 北方园艺,1993(2):2-29.

[16] Dayan E, Van Keulen H, Jones J W, et al. Development, calibration and validation of a greenhouse tomato growth model [J]. Agricultural

Systems, 1993, 43: 145-163.

[17] Calvert A, Hussey G. Growth and development in the young tomato [J]. Exp Bot, 1963, 14: 316-325.

[18] Hevelink E. Growth, development and yield of a tomato crop: Periodic destructive measurements in a greenhouse [J]. Science Horticulture, 1995, 10 (61): 77-99.

## Study on Efficient Pipeline Cultivation Technology and Production Mode of Cherry Tomato in Urban Roof Environment

ZHAO Ying-lei<sup>1</sup>, SHI Lu<sup>2</sup>, WANG Hua-sen<sup>3</sup>, WU Li-jun<sup>3</sup>, WEI Fang-fang<sup>2</sup>

(1. Vegetable Institute, Hangzhou Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou, Zhejiang 311300; 2. Agriculture and Food Science School, Zhejiang Agricultural and Forestry University, Lin'an, Zhejiang 311300; 3. Station for Detection of Agricultural Products, Agriculture Technology Extension Center of Lin'an City, Lin'an, Zhejiang 311300)

**Abstract:** Taking PVC pipeline with solid substrates on idle urban roof as material, with 'Jintong' cherry tomato as object, the efficient pipeline cultivation technology and the best production mode of cherry tomato in urban roof environment were studied. The results showed that in the PVC pipeline (2 m length, 200 mm diameter, 300 mm distance from the planting holes) with solid substrates containing 20 g Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 10 g KNO<sub>3</sub>, 14 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 10 g urea and 100 mL trace elements at one time, the growth vigor, quality, fertilizer and water use efficiency could reach the best, and the output could reach 23 211.6 yuan per 667 m<sup>2</sup>.

**Key words:** cherry tomato; urban roof; PVC pipeline cultivation; mode