

草莓日光温室立体栽培的光温效应及其影响分析

林晓 罗贇 王红清*

(中国农业大学 农学与生物技术学院,北京 100193)

摘要 为探究日光温室立体栽培的光温效应,以‘章姬’草莓为试材,分析测定支架型、双H型和A字型3种立体栽培架的光温条件,及其对草莓早期产量和果实品质的影响。结果表明,不同立体栽培架的光温条件差异较大,不受遮光影响的支架型、双H型上层和A字型上层有较好的光温条件。光合有效辐射对草莓的早期产量影响较大,相关性分析显示早期产量与光合有效辐射极显著相关,相关系数为0.70。不同立体栽培架上栽植草莓的硬度、可溶性固形物含量和平均单果重没有显著差异。

关键词 草莓 (*Fragaria × ananassa* Duch.); 立体栽培; 光合有效辐射; 温度; 产量; 品质

中图分类号 S 668.4 **文章编号** 1007-4333(2014)02-0067-07 **文献标志码** A

Effect of light and temperature on strawberry in three-dimensional culture system

LIN Xiao, LUO Yun, WANG Hong-qing*

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract This paper is concerned on the effect of temperature and light on strawberry in a three-dimensional culture system. Strawberry (*Fragaria × ananassa*, ‘Akihime’) were planted in ordinary hanging culture shelf, double H hanging culture shelf and A word hanging culture shelf respectively in a greenhouse. The photosynthetic active radiation and temperature at different shelves and different layers in one shelf were evaluated. The yield and fruit quality of strawberry were also determined. The results showed that different hanging culture shelves had quite different light and temperature conditions. The ordinary hanging culture shelf, the upper layer of double H hanging culture shelf and the upper layer of A word hanging culture shelf had better photosynthetic active radiation and temperature condition. The yield was therefore high. The correlation coefficient between photosynthetic active radiation and yield was 0.70. The strawberry fruit from the different shelves had similar soluble solid content, the hardness and average weight per fruit.

Key words *Fragaria × ananassa* Duch.; hanging culture shelf; photosynthetic active radiation; temperature; yield; fruit quality

草莓(*Fragaria × ananassa* Duch.)属蔷薇科草莓属,多年生草本植物,鲜美红嫩,芳香浓郁,是深受欢迎的鲜食果品之一,具有较高的营养及医疗保健价值。同其他果树相比,草莓很适宜保护地设施栽培,通过促成和半促成栽培,使草莓基本上做到周年供应。随着人们生活水平的不断提高,消费者对高品质草莓的需求将更加迫切。

日光温室栽培是中国北方草莓的主要种植形式

之一。在日光温室内实施立体栽培是目前国内一种新型草莓栽培方式。促成栽培是指草莓在自然条件下,完成花芽分化后,刚要进入休眠之前就开始采取保温等措施,使其不进入休眠,让植株正常生长,提早现蕾、开花和结果的栽培方式^[1],是草莓生产中果实成熟上市最早的一种栽培形式。日光温室草莓促成栽培的果实成熟期在11月下旬—翌年5月,上市时正值水果生产淡季、春节销售旺季,果实单价高,

收稿日期:2013-03-06

基金项目:第七届世界草莓大会科技展示立体栽培展示项目

第一作者:林晓,硕士研究生,E-mail:linxiao0119@126.com

通讯作者:王红清,副教授,主要从事果树栽培和果树生理研究,E-mail:wanghq@cau.edu.cn

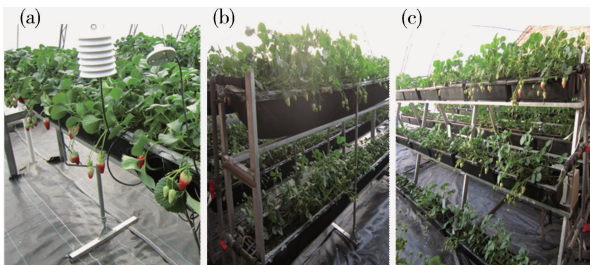
因此经济效益十分可观^[2]。草莓立体栽培,采用立架条件下的人工基质,能克服土壤病原菌对草莓的侵染,能避免地面对果实的污染,从而保障优质绿色果品生产的实现。通过立体栽培,大大地提高温室空间的利用效率,提高单位面积草莓栽培的数量,可获得较高的经济效益。同时科学的营养配比,还可以提高单株产量和果实品质。再配合滴灌设施,大大减少了因湿度引起的草莓病害,提高了草莓的优质果率和商品率。特别是通过立体栽培,改变了工人作业姿势,缩短了劳动时间,减少了劳动强度,使管理及采摘更加轻松。关于草莓立体栽培的研究在国外有很多报道,栽培模式多种多样^[3-7]。目前国内在传统日光温室条件下实施草莓立体栽培的相关研究还较少。

本试验拟分析测定支架型、双 H 型和 A 字型 3 种立体栽培架的光温条件,以及栽植在这 3 种立体栽培架上的‘章姬’草莓的早期产量和品质等指标,为立体栽培架的设计及其在我国北方地区日光温室草莓生产中的运用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 立体栽培架选择

本试验于 2010 年 12 月—2011 年 3 月在北京昌平区天润园日光温室(8 m×50 m)内进行,选取了支架型立体栽培架(以下简称支架型)、双 H 型立体栽培架(以下简称双 H 型)、A 字型立体栽培架(以下简称 A 字型)3 种立体栽培架(图 1)。



(a) 支架型;(b)双 H 型;(c)A 字型

- (a) Ordinary hanging culture shelf, hereafter referred to as O;
 (b) Double H hanging culture shelf, hereafter referred to as DH;
 (c) A word hanging culture shelf, hereafter referred to as A

图 1 立体栽培架

Fig. 1 Hanging culture shelves

所选取的支架型以 C 型钢骨架作为支撑,每架栽植 1 层草莓,长度为 5 m,骨架内径为 0.4 m,高为 1.0 m;基质距地面 0.9 m^[8],架子间距为 0.6 m。

所选取的双 H 型以 C 型钢骨架作为支撑,每架

栽植 2 层草莓,长度为 5 m,骨架内径为 0.36 m,高为 1.4 m;下层栽培槽底部距地面 0.30 m,上层底部距下层顶部 0.3 m^[9],架子间距为 0.6 m。

所选取的 A 字型每层设置钢管支架,长度为 5 m,骨架内径宽为 1.25 m,高为 1.5 m,分为东、西两侧,每侧骨架有上、中、下 3 层,每层放置盆式栽培槽,栽培槽可卸可装。上层距地面 1.5 m,中层距地面 1 m,下层距地面 0.5 m,架子间距为 0.6 m。

1.2 材料

草莓品种为‘章姬’(Fragaria × ananassa Duch. ‘Akihime’)。将草莓苗定植于日光温室的支架型、双 H 型和 A 字型 3 种立体栽培架上。草炭土、蛭石和珍珠岩(体积比 2:1:1),添加腐熟鸡粪和生物有机肥。槽内栽培 2 行草莓(A 字型栽植一行),行距 20 cm,株距 15 cm。施以山崎草莓配方营养液,施用次数和施液时间根据天气、盆内基质湿度和温室温度灵活掌握。原则是早晨观察草莓叶缘有水珠,白天中午不蒸为宜。按照生产的常规管理,及时进行去老叶和疏花疏果。

1.3 测定方法

选取位于日光温室中部,长势和位置一致的草莓植株,挂牌标记。以 4 株草莓为一个小区,每个位置设置 3 个重复。其中,双 H 型分为上层和下层 2 个位置(以下简称双 H 上和双 H 下),A 字型分为东面上层、东面中层、东面下层、西面上层、西面中层和西面下层 6 个位置(以下简称 A 东上、A 东中、A 东下、A 西上、A 西中和 A 西下)。

光温条件测定:用 Li-6400 便携式光合仪(LI-COR 公司,美国),从 9:30—15:30 每隔 1 h 测定一次每个小区的光合有效辐射,同时用普通温度计测定一次 10 cm 深处的根际温度。

早期产量测定:每隔 3 d 采摘着色 85% 的果实用电子天平称重并记录重量和采收果实的数量。统计小区早期产量(1 月 10 日—3 月 10 日)、果实个数和平均单果重。

果实品质测定:随着采收,对完全成熟、无病虫害、无机械伤和无畸形的果实用 KM-1 型果实硬度计(株式会社藤原制作所,日本)测定硬度;用 B-1 型手持糖度计(株式会社井内盛荣堂,日本)手持折光仪测定可溶性固形物含量。每小区随机测定 5 个果,取平均值。

1.4 统计分析

采用 Microsoft Excel 对测定数据进行绘图与

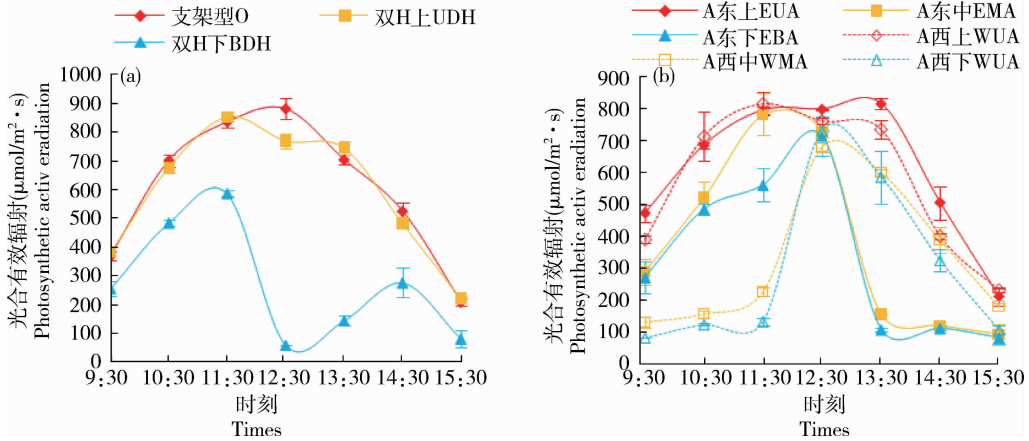
做表。用 DPS 数据处理系统进行回归相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同立体栽培架的光合有效辐射日变化

由图 2(a)可见,从光合有效辐射看,双 H 上与支架式的光合有效辐射变化曲线基本一致,因此,双 H 上与支架型全天均有较好的光照条件。双 H 上的光合有效辐射变化曲线为单峰曲线,峰值出现在 11:30 左右,与处于平面单层的支架型光照

条件相差不大。双 H 下为双峰曲线,11:30 左右出现第一峰值,光合有效辐射为双 H 上的 71.63%。正午受双 H 上阴影影响,完全遮光,光合有效辐射出现低谷,光合有效辐射仅为双 H 上的 7.74%,之后阴影移开,14:30 左右出现第二峰值,光合有效辐射为双 H 上的 57.35%。9:30—15:30,双 H 下的光合有效辐射为双 H 上的 45.79%,可见双 H 下受双 H 上遮荫的影响光合有效辐射较低(表 1)。



(a) 支架型与双 H 型的光合有效辐射日变化(O: 支架型;UDH: 双 H 上;BDH: 双 H 下。下同);(b) A 字型光合有效辐射日变化(EUA: A 东上;EMA: A 东中;EBA: A 东下;WUA: A 西上;WMA: A 西中;WBA: A 西下。下同。)

(a) Diurnal change of photosynthetic active radiation of strawberry in different positions of ordinary hanging culture shelf (O) and the double H hanging culture shelf (UDH, upper layer of double H hanging culture shelf; BDH, bottom layer of double H hanging culture shelf, similarly hereinafter); (b) Diurnal change of photosynthetic active radiation of strawberry in different positions of A word hanging culture shelf (EUA, east upper layer of A word hanging culture shelf; EMA, east middle layer of A word hanging culture shelf; EBA, east bottom layer of A word hanging culture shelf; WUA, west upper layer of A word hanging culture shelf; WMA, west middle layer of A word hanging culture shelf; WBA, west bottom layer of A word hanging culture shelf, similarly hereinafter)

图 2 草莓立体栽培架光合有效辐射日变化

Fig. 2 Diurnal change of photosynthetic active radiation of strawberry in different hanging culture shelf

表 1 立体栽培架的不同位置的相对光合有效辐射

Table 1 Relative photosynthetic active radiation of strawberry in different locations at the hanging culture shelves

栽培架 Shelf	位置 Location	时刻 Time							日均平量 Mean	
		9:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30		
支架型		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
双 H 型	上	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
	下	67.11	70.89	70.68	91.03	19.19	23.93	44.14	62.80	
A 字型	东	上	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
		中	61.26	70.89	70.68	91.03	19.19	23.93	44.14	62.80
		下	57.64	76.06	98.33	89.37	13.36	22.31	39.34	54.59
	西	上	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
		中	33.77	22.09	27.85	89.37	81.50	97.00	78.08	58.44
		下	21.27	17.48	16.45	95.93	79.60	81.20	46.85	51.67

注:相对光强表示在某一时刻以上层光强值为基数 100,中、下层与上层的比值。

Note: Relative photosynthetic active radiation was denoted that the ratio of between other layers and upper layer with photosynthetic active radiation of upper layer as the base value of 100.

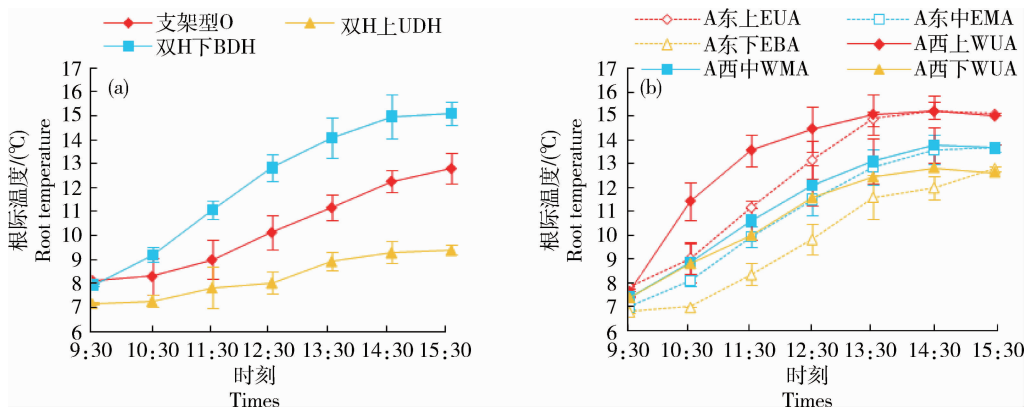
由图2(b)可见,A字型光照曲线均为单峰,从总体上来看,A东上和A西上的光照条件最好,9:30—15:30,均有较高的光强。A东中、A东下、A西中和A西下的光合有效辐射从9:30开始上升,在12:30出现高峰后迅速下降。上午时段,A东中和A东下接受到的光照相当于A东上的50%以上,下午时段则低于A东上的50%。西面则相反,上午时段,A西中和A西下接受到的光照低于A西上的50%,下午时段高于A西上的50%。A东中和A东下之间以及A西中和A西下之间的光合有效辐射变化曲线基本一致。从9:30—15:30,A东中和A东下的光合有效辐射分别为A东上的62.80%和54.59%,A西中和A西下的光合有效辐射分别为A西上的58.44%和51.67%,A字型的中和下层接受到的光照都超过了同面的上层的50%(表1)。

2.2 不同立体栽培架的温度日变化

由图3(a)可见,早上刚揭开温室棚膜时,双H上的根际温度和处于平面的支架型基本一致,而双H下的根际温度为7.2℃,略低于双H上和支架型的根际温度。棚膜揭开后,立体栽培架的根际温度开始上升,其中温度上升最快的为支架型,其次为双

H上,从9:30—15:30支架型的根际温度平均比双H上的根际温度平均高了1.6℃。双H下由于受到双H上遮光的影响,温度上升较慢,特别是正午受双H上阴影影响,完全遮光,从11:30—12:30下层根际温度仅上升了0.2℃,之后阴影移开,双H下根际温度继续上升,可见双H上的温度条件明显好于双H下。

由图3(b)可见,A字型根际温度曲线从总体上来看,上层高于中层,中层高于下层。与双H型和支架型类似,从上午揭棚开始A字型的不同位置温度开始上升,其中,上层上升速度最快,中层次之。因此上层根际温度高于中层,中层高于下层,9:30—15:30,A东上、A东中和A东下的根际温度分别上升了7.4、6.3和5.3℃,A西上、A西中和A西下的根际温度分别上升了7.3、6.7和6.5℃。上午刚揭开棚膜时同层之间东、西面的根际温度相差不大,但由于上午太阳偏东,因此上午东面温度上升快于西面,9:30—13:30,同层之间东面的根际温度高于西面。下午随着太阳向西偏移,西面温度迅速上升,从14:30开始,同层东和西两面的根际温度逐渐接近,直至基本一致。



(a) 支架型与双H型的根际温度日变化;(b) A字型的根际温度日变化

(a) Diurnal change of root temperature of strawberry in different positions of ordinary hanging culture shelf and the double H hanging culture shelf; (b) Diurnal change of root temperature of strawberry in different positions of A word hanging culture shelf

图3 草莓立体栽培架根际温度日变化

Fig. 3 Diurnal change of root temperature of strawberry in different hanging culture shelf

2.3 不同立体栽培架的草莓早期产量

由图4可见,不同位置的‘章姬’草莓的单株早期产量有一定的差异。在光温条件较好的支架型、双H上和A字型上层的早期产量较高,其中双H

上的单株早期产量最高,达到178.8g/株,然而由于双H上对双H下的遮荫,双H下的早期产量最低,为76.7g/株,仅为上层的42.9%,方差分析显示差异达到极显著水平。A字型不同层之间不重叠,上

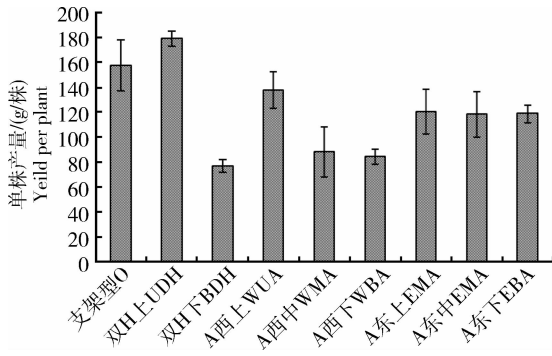


图 4 立体栽培架不同位置的草莓的早期单株产量

Fig. 4 Yield per plant of strawberry in different positions of hanging culture shelf

层对下层的遮光不如双 H 型那么严重(图 2(a)),因此上、中和下层的早期产量差异不大,方差分析显示没有显著差异。但完全不受遮光影响的上层早期产量略高,尤其是 A 西上的早期产量(137.6 g/株)高于 A 西中(88.3 g/株)和 A 西下(84.3 g/株)。而 A 东上、A 东中和 A 东下的早期产量接近,分别为 120.8、118.2 和 118.7 g/株。

由表 2 可知,每棚栽培株数最多的为双 H 型(12.60 万株/hm²),因此对土地的利用率最高;最低的为支架型(8.71 万株/hm²)。由于单位面积栽植的株数较多,因此双 H 型的单产最高为 1.61 万 kg/hm²,最低的为 A 字型为 1.28 万 kg/hm²。

表 2 不同立体栽培架的经济效益

Table 2 Economic benefit of different hanging culture shelf

架式 Shelf	架数/(架/hm ²) Shelves number	株数/(株/架) Plants number per shelf	株数/(万株/hm ²) Plants number per hectare	早期产量/(g/株) Early production per plant	总产量/ (万 kg/hm ²) Yield per hectare
支架型 O	1245	70	8.7	157.4	1.37
双 H 型 DH	900	140	12.6	127.8	1.61
A 字型 A	600	192	11.5	111.2	1.28

2.4 不同立体栽培架的草莓品质

本试验中,不同架式之间的果实品质差异不显著。除了双 H 下的硬度较低,双 H 上的平均单果重大于其他位置外,其余的均无显著差异。这表明,

不同架式之间在光温条件上虽然有明显的差异,但对果实品质的影响不显著(表 3)。

表 3 不同位置的草莓果实品质

Table 3 Fruit quality of strawberry in different positions of hanging culture shelf

架式 Shelf and Location	硬度/(kg/cm ²) Hardness	可溶性固形物含量/% Soluble solid content	平均单果重/g Average single fruit weight
支架型 O	0.191 9 ab	11.5 a	22.34 ab
双 H 上 UDH	0.197 5 ab	11.0 a	24.42 a
双 H 下 BDH	0.184 0 b	10.0 a	19.21 ab
A 西上 WUA	0.213 3 ab	10.3 a	19.66 ab

表3(续)

架式 Shelf and Location	硬度/(kg/cm ²) Hardness	可溶性固形物含量/% Soluble solid content	平均单果重/g Average single fruit weight
A 西中 WMA	0.192 8 ab	11.0 a	18.48 b
A 西下 WBA	0.214 4 ab	10.6 a	20.68 ab
A 东上 EUA	0.194 2 ab	10.0 a	17.68 b
A 东中 EMA	0.205 9 ab	9.8 a	19.69 ab
A 东下 EBA	0.221 9 a	10.6 a	21.25 ab

3 讨 论

不同立体栽培架由于其结构的不同,光温条件差异较大,且在本次试验中不同立体栽培架结构对光照和温度的影响趋势基本一致。其中位于高处不受遮光影响的支架型、双 H 上和 A 字型上层光温条件较好。在试验中还发现,A 字型东面的光温条件好于西面,这可能是由于北京地区冬季放下保温被的时间大约在 16:00 左右,这就使得白天开棚的大部分时间里太阳均位于东面造成的。另外,支架型的温度和光照要略好于双 H 上、A 东上和 A 西上,这可能是由于,支架型的高度低于双 H 型和 A 字型,架子之间互相遮挡不严重造成的。

不同位置之间早期产量有一定差异,其中光温条件较好的位置早期产量较高。相关性分析显示,早期产量与光合有效辐射呈极显著相关,相关系数为 0.70。据报道,草莓的光饱和点约为 2 万~3 万 lx^[10]。本试验中,支架型、双 H 上、A 东上和 A 西上的平均光合有效辐射达到 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (约 2.6 万 lx)以上,而这些位置的早期平均单株产量均达到 120 g/株以上,与前人的报道相一致。本试验中,A 字型立体栽培架东面的上、中和下三层的产量差异不大,分析其可能的原因是,A 字型立体栽培架东面的整体光照条件较好,因此,虽然上层光照条件好于中、下层,但对产量的影响不大,这也进一步说明了光照与草莓的产量关系密切。光合有效辐射直接影响到草莓植株的生长发育,因此,尽可能的少遮光是在进行立体栽培架设计和栽培架式选择的重要指标^[11]。改进冬季温室光照有利于提高产量,从而

提高温室效益。人工补光能够有效的解决冬季日光温室光照不足的情况,是草莓立体栽培的一种效果很好的辅助手段,对促进植株生长和果实发育极为有效^[12],因此在生产中应该通过清洗塑料棚膜、放置人造光源等手段提高温室的光照。另外,在生产实践中,应注重采取一些技术措施促使立体架下层草莓植株尽可能多地接受光照。虽然不同位置的温度表现出与光合有效辐射一致的变化趋势,但相关性分析显示,温度和早期产量没有显著相关性。当温度降到 10 °C 以下时根系的生长就会减弱^[13],在本试验中不同架式的温度虽然有差异,但平均温度都能达到 10 °C 以上,因此在本试验中温度对早期产量的影响不如光照大。但是草莓根系生长最适宜的温度为 15~20 °C^[10],而本次试验测定结果显示不同架式的平均温度为 10~15 °C,略低于最适宜温度,因此,在草莓日光温室促成栽培中有必要通过加温设备提高土壤温度,促进根系生长,进而提高产量。

早期产量直接影响到草莓的经济效益,支架型由于其每公顷栽培株数较少,植株有充分的伸展空间,互相之间遮荫较少,因此平均单株早期产量最高。双 H 型因其每公顷栽培株数多,对土地利用率高,因此每公顷早期产量为 3 种架式中最高。草莓是喜光植物,但又具较强的耐荫性^[14-15],预计双 H 下后期连续结果能力会好于其它立体栽培架,A 字型上采用的是盆式的栽培槽栽植,盆式栽培槽的空间不如塑料膜栽培槽的空间大,因此根系的伸展可能会受到一定的抑制,这可能会影响到草莓苗的生长,造成单株早期产量降低。Higashide 等^[16]以

番茄为试材研究发现,斜坡地栽植的植株中、下层叶片的光拦截高于平地栽植的,斜坡地栽植树冠光衰减也比平地栽植小,斜坡地栽植更有利番茄的生长发育。因此,可以通过将A字型设计成可以悬挂塑料膜栽培槽的结构,这样就能克服草莓根系生长空间受抑制的不良影响,从而提高其产量。

本试验中,光温条件对果实品质影响不大。因此不同立体栽培架上栽植的草莓只要管理措施得当,就能保证草莓的果实品质。

本试验中,整体早期产量不高,这一方面是由于试验材料于2010年11月中旬定植,定植时间较晚,12月下旬开始结果,结果时间较短;另外,本试验的时间为2010年12月一次年3月,试验结束后,试验材料依然有较好的连续结果能力,产量依然较高,但这不影响各个架式的产量趋势,对试验结果影响不大。

致谢 感谢第七届世界草莓大会组委会为本次试验提供资金支持。感谢昌平区天润园对草莓的栽植及日常管理提供帮助。

参 考 文 献

- [1] 黄喜明. 草莓日光温室促成高效种植新技术[J]. 农业科技通讯, 2001(6): 16-17
- [2] 张利喜, 张运涛, 王桂霞, 等. 日光温室草莓促成栽培技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 279-281
- [3] Oliveira, Roberto P De, Brahm, et al. Production of strawberry runners in greenhouse using hanging baskets[J]. Horticult Bras, 2007, 25(1): 107-109
- [4] Nimah M N, Bashour I, Corbani K, et al. Water and land productivity under conventional versus vertical cultivation[J]. Acta Horticulturae, 2004, 664: 437-443
- [5] Maher M J. Influence of plant type on strawberry production in a peat based medium in hanging containers [J]. Acta Horticulturae, 1989, 238: 135-140
- [6] Kosir D B, Korez M, Pinoza J, et al. Techniques for growing plants in grow-bags[J]. Sodobno Kmetijstvo, 2004, 37(2): 38-41
- [7] Noji Kumiai Hojin Ootomi Noen. Elevated plant cultivation for greenhouse, involves parallelly displacing hanging culture shelves, in which plants are planted, with respect to each other to form route on floor surface. Japanese patent [P]. JP2005046025-A, 2005-02-24
- [8] 中国农业大学. 一种悬挂式支架栽培系统及其安装方法[P]. 中国专利: ZL201110117181. 2013-02-13
- [9] 中国农业大学. 一种用于温室草莓观光采摘及生产的双H支架栽培系统[P]中国专利: ZL201120293224. 8, 2012-05-30
- [10] 雷世俊. 草莓种好不难[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 37
- [11] 董静, 张运涛, 王桂霞, 等. 日光温室草莓立体栽培研究[J]. 北方园艺, 2011(4): 71-73
- [12] 辛贺明, 张喜焕. 草莓生产关键技术百问百答[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005, 134
- [13] 苗璐. 草莓生长发育及对环境条件的要求[J]. 北方园艺, 2006(3): 87
- [14] 陈宗玲, 刘鹏, 张斌, 等. 光温效应对立体栽培草莓光合的影响[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(1): 42-48
- [15] 张玉星. 果树栽培学各论: 北方本[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2005: 422
- [16] Higashide T. Light interception by tomato plants (*Solanum lycopersicum*) grown on a sloped field [J]. Agr Forest Meteorol, 2009, 149: 756-76

责任编辑: 王燕华