

立体栽培草莓的光温效应及其对光合的影响

陈宗玲¹ 刘鹏² 张斌¹ 汪佳易¹ 宋生印¹ 王红清^{1*}

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100193; 2. 北京市丰台区科学技术委员会, 北京 100071)

摘要 选用中型玻璃温室、中型塑料温室和大型塑料温室3种日光温室,采用立体A字架模式下,基质栽培‘章姬’草莓,研究温室环境对立体栽培草莓光合的影响。结果表明:立体架上层草莓根际温度高于中、下层。上层草莓叶片净光合速率日变化呈双峰型,而中、下层呈单峰型。面东与面西草莓叶片净光合速率及光合有效辐射日变化在中、下层有显著差异。中、下层叶片日平均光合有效辐射值分别为上层的51.21%~62.49%和33.64%~44.86%,日平均净光合速率分别为上层的62.42%~77.98%和42.14%~53.51%。表明‘章姬’草莓对弱光环境具有一定的适应能力。相关性分析结果显示,温室立体栽培模式下草莓叶片的净光合速率的大小以受光合有效辐射大小的影响为主,受空气温度的影响为辅,且不受根际温度影响的制约。

关键词 草莓; 立体栽培; 日光温室; 光温效应; 光合性能

中图分类号 S 668.4

文章编号 1007-4333(2011)01-0042-07

文献标志码 A

Light and temperature and their effects on photosynthesis characteristics of stereoscopic cultivation in strawberry

CHEN Zong-ling¹, LIU Peng², ZHANG Bin¹, WANG Jia-yi¹,
SONG Sheng-yin¹, WANG Hong-qing^{1*}

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

(2. Fengtai District Science and Technology Commission, Beijing 100071, China)

Abstract ‘Akihime’ strawberries (*Fragaria × ananassa* Duch.) were planted in grooves of an A-frame with the mixed substrate in three different greenhouses (medium-scale glass greenhouse, medium-scale plastic greenhouse and large-scale plastic greenhouse). The effects of greenhouse conditions on photosynthetic characteristics were evaluated. The results showed that the root temperature of plants in upper tier was higher than middle and lower tiers’ on an A-frame. The daily variation of net photosynthetic rate showed double-peak in upper tier, while single-peak in middle and lower tiers. The daily variation of net photosynthetic rate and photosynthetic active radiation displayed great discrepancy between facing east and facing west in middle tier and lower tier. The leaf photosynthetic active radiation in middle and lower tiers were 51.21% – 62.49%, 33.64% – 44.86% of upper tier, while their net photosynthetic rates could reach to 62.42% – 77.98%, 42.14% – 53.51% of upper tier. It indicated that ‘Akihime’ strawberry had some adaptive capacity under low light environment. Correlation analysis indicated that the leaf net photosynthetic rate was closely related to photosynthetic active radiation and air temperature, but almost not related to root temperature.

Key words strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.); stereoscopic cultivation; solar greenhouse; effect of light and temperature; photosynthetic characteristics

草莓色泽鲜艳,外形美观,柔嫩多汁,酸甜适口,是深受人们喜爱的时令水果。草莓不适宜远距离运

输,在大城市周边发展最有优势与前景,温室反季节栽培是目前国内最主要的生产方式。立体栽培作为

收稿日期: 2010-03-31

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAD3602)

第一作者: 陈宗玲,硕士研究生, E-mail: zonglingc@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

一种新兴的栽培形式,在温室草莓生产中取得很好的效果^[1]。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^[2-8]。通过立体高效栽培,单位面积草莓栽培的数量增加,大大提高了温室空间利用效率,也使观光采摘更具趣味性。

北京地区的日光温室存在着很多类型,从覆盖材料上分为塑料温室和玻璃温室,从温室有无加温设备分为加温温室和不加温温室,从规模上分为小型温室、中型温室和大型温室。目前对北京地区日光温室的结构研究多集中在光环境模拟与分析上^[9-10]。对于日光温室的生长环境,研究较多的是温室内外温度及地面温度^[11-12]、光环境^[13]。温度和光照是影响日光温室草莓光合性能的主导因素。有学者研究‘宝交早生’草莓冬季棚内外光化学特性,发现冬季在保证棚内温度的同时,改善棚用薄膜的透光性以增加棚内光照强度,可提高棚内草莓光合速率^[14]。遮光处理后,‘硕丰’草莓饱和光合速率下降了 47%,而‘宝交早生’草莓只下降了 20%,‘宝交早生’草莓表现出较强的光适应性^[15]。也有人认为草莓属喜光耐阴作物,在保护地栽培条件下,光照不是产量形成的限制因子^[16]。‘丰香’草莓对弱光环境有一定的适应能力,遮阴处理可以减轻强光下的草莓叶片光抑制程度,提高植株对光能的利用能力^[17]。

温室草莓立体栽培是国内外公认的一种良好栽培模式,而我国目前尚未系统开展温室草莓立体栽培方面的研究。本试验旨在研究立体栽培模式下,草莓的光温效应及其光合特性,为进一步发展草莓温室立体栽培技术提供指导,也为丰富草莓的光合生理生态研究起到积极作用。

1 材料与方法

1.1 温室选择

本试验于 2008-03—2009-03 分别在北京市海淀区中国农业大学科学园中型玻璃温室、顺义区中型塑料温室及昌平区大型塑料温室共 3 种不同构造类型的日光温室内进行,均采用 A 字架立体模式栽培草莓。

所选中型玻璃温室为中国农业大学科学园的日光温室,面积 560.0 m²,脊高 2.3 m。温室坐北朝南,东西走向。顶棚为玻璃板。冬季温度低时,进行暖气加温。A 字架南北方向安置,南侧紧靠棚膜,北侧距墙壁有约 1.0 m 宽的走道。A 字架长度为 6.0 m,高 1.5 m,两脚间距 1.4 m,分上、

中、下 3 层,分别距地面 1.3、0.8 和 0.3 m,架与架之间相隔 0.8 m。

所选中型塑料温室为顺义区三高科技示范园区的生产日光温室,面积 560.0 m²,脊高 4.0 m。温室坐北朝南,东西走向。顶棚为塑料薄膜。冬季不进行加温。A 字架南北方向安置,南侧紧靠棚膜,北侧距墙壁有约 0.7 m 宽的走道。其他参数与中型玻璃温室一致。

所选大型塑料温室为昌平区凤山温泉的生产日光温室,面积为 700.0 m²,脊高 5.0 m。温室坐北朝南,东西走向。顶棚为塑料薄膜。冬季不进行加温。A 字架南北方向安置,南侧紧靠棚膜,北侧距墙壁有约 0.6 m 宽的走道。A 字架长度为 8.5 m,高 1.2 m,两脚宽 1.0 m,分上、中、下 3 层,分别距地面 1.1、0.6 和 0.25 m,架与架之间相隔 0.8 m。

1.2 材料

草莓品种为‘章姬’(*Fragaria × ananassa* Duch. cv. ‘Akihime’),采用栽培槽种植,每槽 4 株,株距 15 cm。2008-08 移栽到温室进行立体无土栽培,选用蛭石和草炭土的混合基质栽培,初期施足有机肥,以后定期进行膜下滴灌,配合施用发酵好的豆渣肥等,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

对 A 字架中间位置(即距北墙 3.5 到 5.0 m)分上、中、下 3 层及面东、面西随机组合为 6 个不同位置的栽培草莓进行光温以及光合性能测定。从 8:00—17:00 用普通温度计每隔 1 h 测定 1 次 10 cm 深处的根际温度。从 8:00—17:00 用普通温度计每隔 1 h 测定 1 次上、中、下层的空气温度。每个栽培槽各选取 1 株盛果期(3 月)草莓植株,每株选取 3 片功能叶,于晴天利用美国 LI-COR 公司制造的 Li-6400 便携式光合作用测定系统从 8:00—17:00 每隔 1 h 测定叶片光合有效辐射和净光合速率。

1.4 统计分析

采用 Microsoft Excel 2003 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 3 种日光温室立体栽培草莓根际温度日变化

从图 1 可以看出,温室立体栽培架上草莓根际温度在白天中逐渐上升,且幅度较大,而地面温度上

升幅度较小。中型玻璃温室立体架草莓根际温度一天中一直比中型塑料温室高 $2\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；而中型塑料温室又比大型塑料温室高 $1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这主要是由于中型玻璃温室具有加温设备将根际温度提高了 $2\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，又由于大型塑料温室顶棚较高，A字架的高度较低，使得根际升温慢。立体A字架上，不同位置草

莓根际温度在一天中大小有差异。基本趋势是上层草莓根际温度高于中、下层，面东与面西没有差异。栽培槽由于受光照的影响，草莓根际温度白天升温快，但晚上降温也快，保温效果比地面的土壤差，所以白天打开保温被前，地面温度比草莓根际温度高 $1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

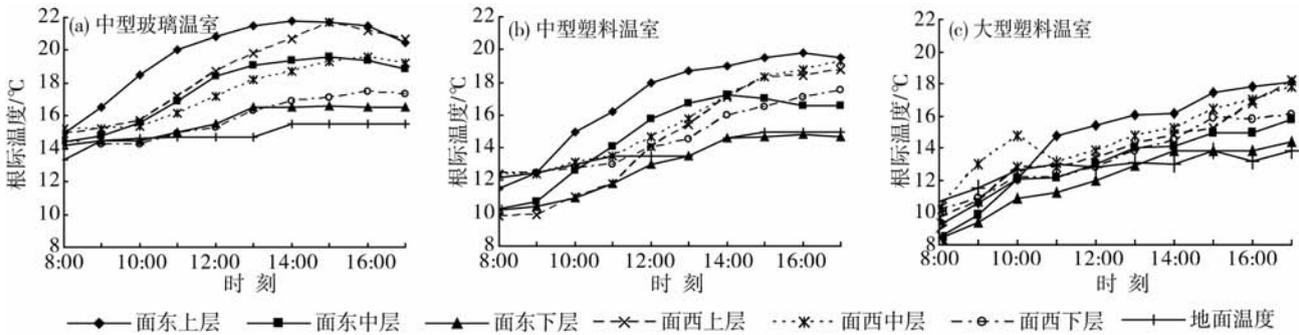


图1 3种日光温室草莓根际温度日变化

Fig. 1 Diurnal change of root temperature of strawberry in three solar greenhouses

2.2 3种日光温室立体栽培草莓的空气温度日变化

从图2可以看出，立体栽培温室内，草莓空气温度呈现由低到高又降低的趋势，这与一天中太阳光的照射有关。早晨，中型玻璃温室分别比中型塑料温室和大型塑料温室高 $2\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；中午，中型玻璃温室分别比中型塑料温室和大型塑料温室高

$5\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $5\sim 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；傍晚，中型玻璃温室分别比中型塑料温室和大型塑料温室高 $1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。中型玻璃温室由于有加温设备，一天中叶片温度一直明显高于另2个温室，并且清晨揭棚时其温度较高（ $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右），这容易使草莓徒长。空气温度在上、中、下层之间有差异，基本趋势是上层高于中层，中

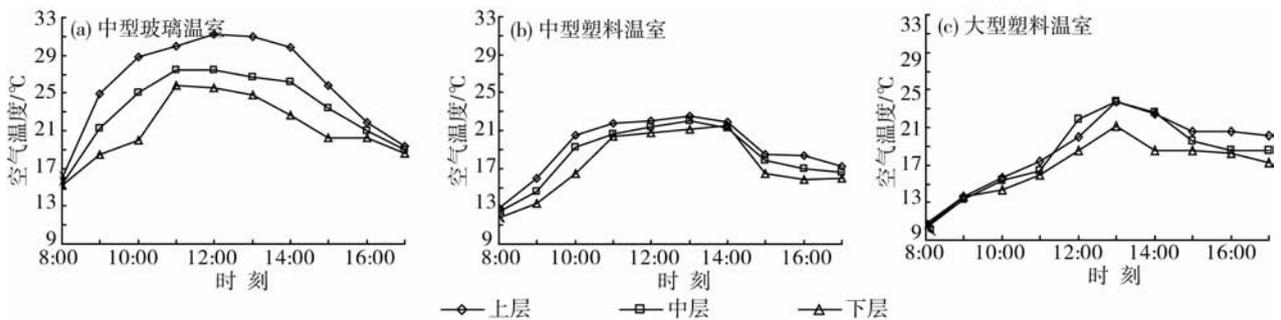


图2 3种日光温室立体栽培草莓的空气温度日变化

Fig. 2 Diurnal change of air temperature of strawberry in three solar greenhouses

层高于下层，并且这种差异在中午时段最显著。

2.3 3种日光温室立体栽培草莓叶片的光合有效辐射

日光温室内，立体A字架面东与面西的上、中、下3层栽培的草莓叶片光合有效辐射日变化均呈抛物线型，上层没有显著差异，但中、下层有明显差异，上午时段，面东侧的中、下层的光合有效辐射明显高

于面西侧的中、下层；下午时段，面西侧的中、下层光合有效辐射则明显高于面东侧的中、下层。表1所示立体架不同位置草莓叶片同一时刻的相对光合有效辐射量不同，立体架中层 $2/3$ 的时间和下层 $1/3$ 左右的时间能接受到相当于上层的 50% 以上的光照，其余时间仅有 $10\%\sim 40\%$ 。说明立体架中层基本能得到较好的光照，而下层受光较差，尤其上午

8:00—10:00 和下午 13:00—16:00 两段时间里光照状况较差。从 3 种温室一天的相对光合有效辐射平均量来看,中层能达到 51.21%~62.49%,下层

能达到 33.64%~44.86%。其中,中层相对光合有效辐射以大型塑料温室为最高,下层相对光合有效辐射以中型塑料温室为最高。

表 1 3 种日光温室 A 字架不同位置草莓叶片的相对光合有效辐射*

Table 1 Relative photosynthetic active radiation of strawberry leaves in different locations on an A-frame in three solar greenhouses

温室	位置	时刻									日平均量	
		8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00		
中型玻璃温室	面东上层	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	面东中层	39.89	74.40	74.51	85.67	62.48	28.75	18.72	50.28	58.28	54.78	
	面东下层	21.64	27.24	65.78	64.78	62.81	20.88	12.10	31.27	36.36	38.10	
	面西上层	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
	面西中层	20.63	16.96	15.28	47.38	54.11	72.70	74.76	80.34	78.74	51.21	
	面西下层	11.48	9.78	10.54	32.55	39.47	50.94	60.47	43.40	44.12	33.64	
中型塑料温室	面东上层	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
	面东中层	64.82	76.37	93.13	90.11	74.37	40.08	22.77	19.64	18.79	55.57	
	面东下层	22.79	25.23	74.04	91.36	59.40	56.97	21.65	20.34	26.79	44.29	
	面西上层	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
	面西中层	15.65	11.07	13.55	78.11	84.56	83.75	81.53	84.02	57.22	56.61	
	面西下层	33.73	19.48	10.73	64.15	75.40	96.85	61.65	26.13	15.59	44.86	
大型塑料温室	面东上层	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
	面东中层	61.31	91.03	79.85	75.32	74.78	72.12	13.71	12.55	21.68	55.82	
	面东下层	19.42	32.52	75.77	77.75	86.30	28.33	11.63	10.36	18.08	40.02	
	面西上层	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
	面西中层	12.15	17.70	30.02	67.85	95.72	89.79	91.64	90.81	66.71	62.49	
	面西下层	6.26	11.13	11.71	40.09	80.38	84.72	65.49	25.30	31.54	39.63	

注：* 相对光合有效辐射表示在某一时刻,以上层光合有效辐射值为基数 100,中、下层与上层的比值。

2.4 3 种日光温室立体栽培草莓叶片的净光合速率

3 种温室栽培架上层草莓叶片净光合速率均呈双峰型,存在“光合午休”现象,但中、下层均呈单峰型。中型玻璃温室栽培架上层草莓叶片净光合速率在 11:00 和 13:30 各有 1 个高峰值,分别为 16.60 和 12.18 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。中型塑料温室栽培架上层草莓叶片净光合速率在 10:00 和 13:00 各有 1 个高峰值,分别为 19.17 和 18.64 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。大型塑料温室的上层草莓叶片净光合速率在 10:30 和 13:00 各有 1 个高峰值,分别为 16.16 和 12.35 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

立体 A 字架草莓叶片的净光合速率日变化规律中,上层面东与面西没有差异,但中、下层有明显不同:上午时段,面东侧的中、下层叶片净光合速率

明显高于面西侧的中、下层;下午时段,面西侧的中、下层净光合速率则明显高于面东侧的中、下层。变化规律与光合有效辐射的日变化规律一致。说明立体栽培模式下,草莓叶片的光合有效辐射日变化与净光合速率的日变化有密切关系,受光状况影响了叶片净光合速率的大小。

从立体架不同位置草莓叶片相对净光合速率看,立体架中层一半的时间和下层 1/3 左右的时间净光合速率能达到上层的 80%~113%。从 3 种温室一天的相对净光合速率平均量来看,中层能达到 62.42%~77.98%,下层能达到 42.14%~53.51%,中层以大型塑料温室的相对净光合速率最高,下层以中型塑料温室的相对净光合速率最高(表 2)。

表2 3种日光温室A字架上不同位置草莓叶片相对净光合速率^①

Table 2 Relative net photosynthetic rate of strawberry leaves in different locations on an A-frame in different structural solar greenhouses

温室	位置	时刻									日平均量 %	
		8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00		
中型 玻璃温室	面东上层	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	面东中层	69.61	119.60	101.13	83.18	90.35	42.28	19.91	27.68	56.34	67.79	
	面东下层	25.43	79.37	77.39	64.15	92.69	35.60	15.46	28.41	28.42	49.66	
	面西上层	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
	面西中层	39.15	27.40	29.43	57.84	113.51	106.30	97.37	95.63	98.35	73.89	
	面西下层	14.22	20.29	23.33	26.26	86.38	80.59	72.58	37.29	29.93	43.43	
中型 塑料温室	面东上层	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
	面东中层	86.75	92.44	90.09	79.94	91.55	52.02	27.56	22.67	18.76	62.42	
	面东下层	24.65	35.65	76.00	78.25	77.43	65.08	19.98	11.85	35.97	47.21	
	面西上层	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
	面西中层	24.33	25.54	27.00	87.13	100.55	88.50	85.73	84.09	74.10	66.33	
	面西下层	56.61	40.32	15.59	72.37	91.14	83.22	78.99	29.78	13.56	53.51	
大型 塑料温室	面东上层	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
	面东中层	95.37	98.65	110.47	105.43	96.04	88.76	18.86	16.52	17.37	71.94	
	面东下层	34.85	53.61	101.38	90.48	80.28	55.49	12.39	14.81	12.45	50.64	
	面西上层	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
	面西中层	17.62	27.38	52.92	92.91	117.32	113.00	101.66	102.42	76.61	77.98	
	面西下层	5.54	10.73	17.74	49.49	81.17	80.20	78.66	34.36	21.38	42.14	

注:①相对净光合速率表示某一时刻,以上层净光合速率为基数100,中、下层与上层的比值。

2.5 3种日光温室立体栽培草莓根际温度、空气温度及光合有效辐射与叶片净光合速率的相关性

中型玻璃温室、中型塑料温室和大型塑料温室立体栽培草莓叶片的净光合速率与光合有效辐射、

空气温度均达到极显著性正相关,前者的相关系数高于后者,而与根际温度不相关(表3)。进一步表明温室立体栽培草莓的叶片净光合速率的大小与光合有效辐射的大小最相关,同时,受空气温度大小的影响,而与根际温度的关系不大。

表3 3种日光温室立体栽培草莓叶片净光合速率与根际温度、空气温度及光合有效辐射之间的相关分析

Table 3 Correlation analysis between leaf net photosynthetic rates and root temperature, air temperature, photosynthetic active radiation of stereoscopic-cultivation strawberry

日光温室	根际温度	空气温度	光合有效辐射
中型玻璃日光温室	0.007	0.536**	0.917**
中型塑料日光温室	-0.020	0.546**	0.931**
大型塑料日光温室	-0.047	0.392**	0.884**

注:**表示在0.01水平差异极显著(双尾检验)。

3 讨论与结论

1) 草莓是浅根性植物,在营养生长期,80%根系分布在地表下0~15 cm的深度范围内^[18],因此,根际温度对草莓生长存在重要影响。有研究报道落花后,草莓叶片和叶柄的最适昼夜温度为25℃/12℃,根系和果实的最适昼夜温度为18℃/12℃,而整个植株生长的最适昼夜温度为25℃/12℃^[19]。本试验立体栽培槽内根际温度在中型玻璃温室范围为14~22℃、中型塑料温室为10~20℃、大型塑料温室为9~18℃,虽然清晨时不加温温室根际温度(9~10℃)低于地面温度(11~13℃),但从本试验草莓植株生长状况看,并不影响草莓根系正常生长的需要。

草莓在温度20~35℃之间花粉萌发很好,尤其25~30℃是花粉萌发最适宜温度^[20]。本试验温室内,中型玻璃温室草莓空气温度在中午上、中、下层能达到25~31℃、中型塑料温室达到20~24℃、大型塑料温室达到21~25℃,这保证了草莓花粉萌发,正常传粉座果。据报道日光温室气温在垂直方向上存在差异,晴天北部(距北墙2.0 m)中层(距地面1.5 m)气温最高,上层(距地面2.5 m)次之,下层(距地面0.5 m)最低;中部(距北墙4.3 m)、南部(距北墙6.6 m)气温随着高度增加而升高^[21]。本试验发现立体栽培模式下,空气温度存在随着高度增加而升高的变化趋势。

2) 草莓是喜光植物,但又具较强的耐阴性^[20]。本试验中,中、下层草莓的净光合速率变化规律与光合有效辐射是一致的,光照弱时,净光合速率显著降低,表明草莓喜光。中、下层叶片日平均光合有效辐射值分别为上层的51.21%~62.49%、33.64%~44.86%,叶片日平均净光合速率分别为上层的62.42%~77.98%、42.14%~53.51%,表明草莓具有一定的耐阴性。Ferree和Stang报道持续的遮阴和座果期的遮阴均提高了‘Earliglow’草莓的单果重,但由于果实个数减少而使产量下降^[22]。据报道美国黑莓遮阴处理后净光合速率日变化为单峰曲线,透光率50%时叶绿素含量显著高于全光处理,具有一定的耐阴性^[23]。

草莓是具有光合“午休”现象的植物,有学者认为其主要影响因素是气孔因素,高温低湿的环境,促使叶片气孔关闭,从而导致草莓出现“午休”现

象^[24-25]。‘赛娃’和‘美德莱特’2个草莓品种净光合速率的日变化趋势均呈双峰曲线,推测气孔因素是主要原因^[25]。‘丰香’草莓遮阴后净光合速率日变化由“双峰”型变为“单峰”型,叶片气孔导度提高,蒸腾速率下降,可能与叶面温度下降有关^[17]。本试验发现立体A字架上层草莓叶片的净光合速率日变化呈双峰型,而中、下层的呈单峰型。空气温度随着高度增加而升高的变化趋势。因此,上层出现中午净光合速率低谷的主要原因是立体栽培模式下,中午上层受到光照较强,气温升高,大气湿度急剧下降,导致光合下降。

光照是影响立体栽培产量和品质的重要环境因子。有学者报道斜坡地栽植的番茄植株中、下层叶片的光拦截高于平地栽植,斜坡地栽植番茄树冠光衰减也比平地栽植小,斜坡地栽植更有利于番茄生长发育^[26]。本试验发现白天,中层有2/3的时间、下层有1/3左右的时间接受到相当于上层的50%以上的光照,日平均量上,中层能达到51.21%~62.49%,下层能达到33.64%~44.86%,这主要是由于立体架之间遮挡光照的原因造成的。Takeda报道在含有7个泡沫聚丙烯盆栽的垂直塔架的底部草莓冠层受到的光照密度仅为顶层的10%,塔架中层和底层草莓生长的光照条件较差,这导致了生长延迟及果实产量减少^[27]。Van Looy和Aerts报道A型架中层种植的草莓会受到光分布不均的不利影响,并且A型架下层的草莓果小畸形,腐烂果多,颜色不一致^[4]。Durner报道在填入了珍珠岩的垂直聚氯乙烯柱种植的‘甜查理’草莓,垂直高度每下降30 cm单株产量减少40 g,这可能由于在这种种植系统中,下部光强减弱^[6]。而Paranjpe等研究发现使用挂式水平槽系统栽植草莓可以获得单位面积是大田高畦栽培的五倍或更多的早期产量,同时最大程度地削弱垂直栽培系统中遇到的阴影影响^[8]。采用植物声频发生器处理草莓植株,可以增强草莓光合作用,草莓开花数、结果数和叶绿素含量均有不同程度的提高^[28],温室草莓立体栽培中,应用这一农业新技术可以更好地发挥立体栽培的优势。

综上所述,草莓实施立体栽培有很多的优势和很大的前景,光照是影响立体草莓生长发育的重要因素,因此,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,并且进一步探索和设计更佳的立体栽培模式。

参 考 文 献

- [1] 黄广礼. 立体栽培草莓效益可观[J]. 北京农业, 2002(1):15
- [2] Özeke E, Eltez R Z, Tuzel A, et al. Investigations on the effects of different growing media on the yield and quality of strawberries grown in vertical bags [J]. *Acta Hort*, 1999, 491:409-412
- [3] Carpenter T D. Lettuce, herbs, and strawberries; alternative crops for greenhouses and small farms [R]. Southeastern United States; Southeastern United States Greenhouse Vegetable Growers, Conference and Trade Show Proceedings, 1999
- [4] Van Looy J, Aerts J. Annual report on strawberries [J]. Proefbedrijf der Noorderkempen, Meerle, 1982:146
- [5] IE-Behairy U A, Abou-Hadid A F, Medany M A. The effect of different cultivars, orientation, and soilless culture systems on production and quality of strawberries [J]. *Acta Hort*, 2001, 548:59-64
- [6] Durner E F. Winter greenhouse strawberry production using conditioned plug plants [J]. *HortScience*, 1999, 34:615-616
- [7] Paranjpe A V, Cantliffe D J, Lamb E M, et al. Increasing winter strawberry production in north-central Florida using passive ventilated greenhouses and high plant densities [J]. *Acta Hort*, 2003, 626:269-276
- [8] Paranjpe A V, Cantliffe D J, Stoffella P J, et al. Relationship of plant density to fruit yield of 'Sweet Charlie' strawberry grown in a pine bark soilless medium in a high-roof passively ventilated greenhouse [J]. *Scientia Horticulturae*, 2008, 115:117-123
- [9] 孙忠福, 李佑祥, 吴毅明, 等. 北京地区典型日光温室直射光环境的模拟与分析[J]. 农业工程学报, 1993, 9(2):45-51
- [10] 刘洪, 郭文利, 李慧君. 北京地区日光温室光环境模拟及分析[J]. 应用气象学报, 2008, 19(3):350-355
- [11] 王静, 崔庆法, 林茂兹. 不同结构日光温室光环境及补光研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4):86-89
- [12] 王树忠. 北京节能型日光温室结构及性能[J]. 中国蔬菜, 1995(3):37-40
- [13] 郭洪恩, 赵红. 晴阴天对不同结构日光温室温度的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(28):13964-13966, 13973
- [14] 刘永, 张云华, 明毅强. 不同温度及不同光强条件下草莓叶片的光化学效率[J]. 安徽农业科学, 2002, 30(2):177-178
- [15] 迟伟, 王荣富, 张成林. 遮阴条件下草莓的光合特性变化[J]. 应用生态学报, 2001, 12(4):566-568
- [16] 张广华, 葛会波, 李青云, 等. 草莓不同叶位叶片光合特性研究[J]. 河北农业大学学报, 2004, 27(4):37-39
- [17] 刘卫琴, 汪良驹, 刘晖, 等. 遮阴对丰香草莓光合作用及叶绿素荧光特性的影响[J]. 果树学报, 2006, 23(2):209-213
- [18] 森下昌三, 郑宏清, 叶正文. 草莓生理生态及实用栽培技术[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1993
- [19] Wang S Y, Camp M J. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry [J]. *Scientia Horticulturae*, 2000, 85:183-199
- [20] 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
- [21] 郜庆炉, 段爱旺, 梁云娟. 日光温室内温光条件对作物种植制度的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(1):106-110, 137
- [22] Ferree D C, Stang E J. Seasonal plant shading, growth, and fruiting in 'Earliglow' strawberry [J]. *J Am Soc Hort Sci*, 1988, 113:322-324
- [23] 杨俊霞, 郭宝林, 鲁初强, 等. 遮阴对美国黑莓生长及光合特性的影响[J]. 园艺学报, 2005, 32(2):292-294
- [24] 苏培玺, 杜明武, 张立新, 等. 日光温室草莓光合特性及对 CO₂ 浓度升高的响应[J]. 园艺学报, 2002, 29(5):423-426
- [25] 冯立娟, 侯广军, 蔚成祥, 等. 四季草莓品种“赛娃”和“美德莱特”光合特性的比较[J]. 山东农业大学学报:自然科学版, 2009, 40(2):179-182
- [26] Higashide T. Light interception by tomato plants (*Solanum lycopersicum*) grown on a sloped field [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 149:756-762
- [27] Takeda F. Out-of-season greenhouse strawberry production in soilless substrate [J]. *Advin Strawberry Res*, 2000, 18:4-15
- [28] 周清, 曲英华, 李保明, 等. 声频处理对草莓植株性状及叶片叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国农业大学学报, 2010, 15(1):111-115

(责任编辑:袁文业)