

不同温度和光照对温室番茄光合作用及果实品质的影响

赵玉萍, 邹志荣, 杨振超, 胡晓辉, 白鹏威, 李鹏飞, 任 雷

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】通过加温和补光,研究温室番茄光合特性、叶绿素含量和果实品质的变化规律,为西北地区日光温室番茄精准化管理,以及光合效应和经济效益的提高提供理论依据。【方法】以“金鹏 1 号”为材料,研究不同的温度和光照强度对开花期番茄功能叶片光合参数、叶绿素含量及果实品质的影响。【结果】在同一温度条件下,随光照强度增加,番茄叶片净光合速率(P_n)增加,但气温超过 30 °C 时随光照强度增加 P_n 降低;叶绿素 a 和 b 含量随着光照强度的增加而有所降低,而叶绿素 a/b 值增加;光照强度增加,番茄果实中 Vc、可溶性糖、可溶性固性物含量和糖酸比增加,有机酸含量降低。在同一光照强度下,随温度的增加,番茄叶片 P_n 增加,在 30 °C 时番茄植株光合作用最强,超过 30 °C 后番茄叶片 P_n 随温度上升而逐渐下降。随温度和光照强度增加,番茄叶片的气孔导度(G_s)和蒸腾速率(T_r)呈增加趋势,但各处理间差异不显著,胞间 CO_2 浓度减小,但差异也不显著;叶绿素 a 和 b 含量增加,a/b 值呈下降趋势;果实糖酸比降低。【结论】在相同温度下,光照强度越强番茄的光合作用越好,品质也越好。西北地区早春茬温室番茄适宜的平均温光条件分别是 26.6 °C 和 395 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

【关键词】 番茄;光合参数;叶绿素;果实品质;光合特性

【中图分类号】 S641.2

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)05-0125-06

Effect of temperature and light to tomato photosynthesis and quality in greenhouse

ZHAO Yu-ping, ZOU Zhi-rong, YANG Zhen-chao, HU Xiao-hui,
BAI Peng-wei, LI Peng-fei, REN Lei

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】By heating, ventilating and supplementary lighting in the greenhouse, we studied the evolution of photosynthetic characteristics and quality of tomato, then provided theoretical evidence for precision management of tomato in greenhouse in the northwestern areas, as well as the improvement of the photosynthetic effects and economic benefits. 【Method】Using “Jinpeng One” as material, effect of different temperature and light conditions on chlorophyll a, chlorophyll b, and chlorophyll a/b changes and quality of the tomatoes' functional leaves cultivated in the greenhouse was studied. 【Result】Under the same temperature, as the light intensity increased, the tomatoes' photosynthetic rate increased, but decreased when the temperature exceeded 30 °C. The value of chlorophyll a/b, vitamin C, as well as soluble sugar content increased, while chlorophyll a, chlorophyll b, and organic acid decreased with the increase of light intensity. Under the same light intensity, with the increase in temperature, photosynthetic rate increased, and reached

* [收稿日期] 2009-10-10

[基金项目] 国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAD79B04-01, 2007BAD79B04-03)

[作者简介] 赵玉萍(1982-),女,新疆石河子人,在读硕士,主要从事设施园艺研究。E-mail: zhaoyuping0993@yahoo.com.cn

[通信作者] 杨振超(1976-),男,天津市人,副教授,硕士生导师,主要从事设施园艺环境调控和栽培生理研究。

E-mail: yangzhenchao@nwsuaf.edu.cn

its highest level, but beyond 30 °C, photosynthetic rate decreased. With the increase of temperature and light intensity, the stomatal conductance and transpiration rate of tomato leaf increased, while the concentration of CO₂ decreased, but with no significant difference between each treatment; chlorophyll a and chlorophyll b increased, while chlorophyll a/b value and the sugar acid ratio decreased. 【Conclusion】 Under the same temperature, the more intense light the intensity is, the better the photosynthesis and quality are. The average temperature and light conditions of early spring tomato in the northwestern district are 26.6 °C and 395 μmol/(m² · s).

Key words: tomato; photosynthetic parameter; chlorophyll; fruit quality; photosynthetic characteristic

番茄是我国设施栽培的主要蔬菜作物之一, 设施生产中, 温度和光照是影响番茄产量及商品性的重要因子。目前, 关于番茄温光互作效应鉴定指标的研究较多^[1-4], 但大多数是苗期耐弱光低温性生理指标的研究, 有关成株期相关指标的研究则较少, 成株期加温补光的研究更少。在生产实践中, 适当的加温补光会增加经济效益, 但是过多的加温补光则会增加投资, 影响经济效益。据报道, 苗期与成株期加温补光的鉴定指标存在一定差异^[5-10]。为了更准确地反映试验材料加温补光的真实效应, 研究成株期番茄温度和光强的鉴定指标更具有现实意义。因此, 本研究结合日光温室番茄生产实际, 在常规管理条件下, 通过定时加温和定时补光, 研究日光温室番茄光合特性的变化规律, 旨在为西北地区日光温室番茄的精准化管理, 以及提高温室番茄的光合效应和经济效益提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

番茄品种: 金鹏 1 号, 由杨凌专用种子公司提供。

1.2 试验设计

试验设空气温度和光照强度 2 个因素, 空气温度设定 3 个水平, 分别是日光温室常规管理的自然温度、比自然温度高 3~5 °C 和 8~10 °C; 光照强度也设定 3 个水平, 分别是日光温室常规管理的自然光照强度、补光 100 和 200 μmol/(m² · s), 温光交互共 9 个处理: T1L1 自然温度+自然光照(CK); T1L2 自然温度+补光 100 μmol/(m² · s); T1L3 自然温度+补光 200 μmol/(m² · s); T2L1 增温 3~5 °C+自然光照; T2L2 增温 3~5 °C+补光 100 μmol/(m² · s); T2L3 增温 3~5 °C+补光 200 μmol/(m² · s); T3L1 增温 8~10 °C+自然光照; T3L2 增温 8~10 °C+补光 100 μmol/(m² · s); T3L3 增温 8~10 °C+补光 200 μmol/(m² · s), 重

复 3 次。

1.3 试验方法

试验在西北农林科技大学北校区园艺试验场日光温室进行。2008-12-23 营养钵基质育苗, 待 4~5 片真叶时定植于直径(33 cm)和高(22 cm)的塑料花盆中, 每盆 1 株, 共种植 270 株, 栽培基质为 V(土): V(牛粪): V(草炭)=5:3:2, 并加入复合肥。定植后分别置于日光温室(分 3 个隔间, 各隔间温度不同, 之间密封, 温度不会相互影响), 每隔间(即每个温度处理)设 3 个光照小区, 各小区间用 2 行保护行隔开, 共 9 个处理小区, 具体处理方法如下。

温度处理: T1 常规管理的自然温度; T2 前期用 1 台热风炉加热, 每日清晨和傍晚加温, 加温时间约 5 h, 保证日平均温度比自然温度高 3~5 °C, 后期通过控制通风量, 保证日平均温度比自然温度高 3~5 °C; T3 用 2 台热风炉加热, 前期每日清晨和傍晚加温, 加温时间约 5 h, 保证日平均温度比自然温度高 8~10 °C, 后期通过控制通风量, 保证日平均温度比自然温度高 8~10 °C。

光照处理: L1 自然光照; L2 自然光照+2 盏补光灯(补光灯均为飞利浦农用钠灯, 每盏灯能补光 40~60 μmol/(m² · s), 补光面积约 15 m²); L3 自然光照+4 盏补光灯。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 环境指标的测定 棚室的平均温度用 PDE-R4 温度数据记录仪测定, 测点安置在温室东西山墙中间, 分 4 个探测点, 每 30 min 记录 1 次温度数据。每天 08:30-18:30 每隔 2 h 在小区番茄植株上方 80 cm 处, 用手持照度计测定 1 次光照强度。

1.4.2 光合参数及叶绿素含量的测定 于番茄开花盛期(03-16)天气晴朗时, 早晨 09:00 用 LI-6400 型光合仪测定从顶叶向下第 4 片离体功能叶片的净光合速率(P_n)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)、气孔导度(G_s)和蒸腾速率(T_r), 并测定叶绿素含量^[11]。

1.4.3 品质指标的测定 选成熟一致性好的番茄

果实用于测定。可溶性糖含量测定采用蒽酮法;有机酸含量测定采用滴定法;可溶性固形物含量测定采用糖量计;维生素 C 含量测定采用 2,6 二氯酚靛酚钠法^[11-12]。

1.5 数据统计分析

数据统计分析采用 DPS 统计软件完成,采用

LSD 法进行多重比较,Microsoft Excel 作图。

2 结果与分析

2.1 不同温光处理温室温度和光照强度的变化

不同处理日光温室温度和光照强度的变化见图

1。

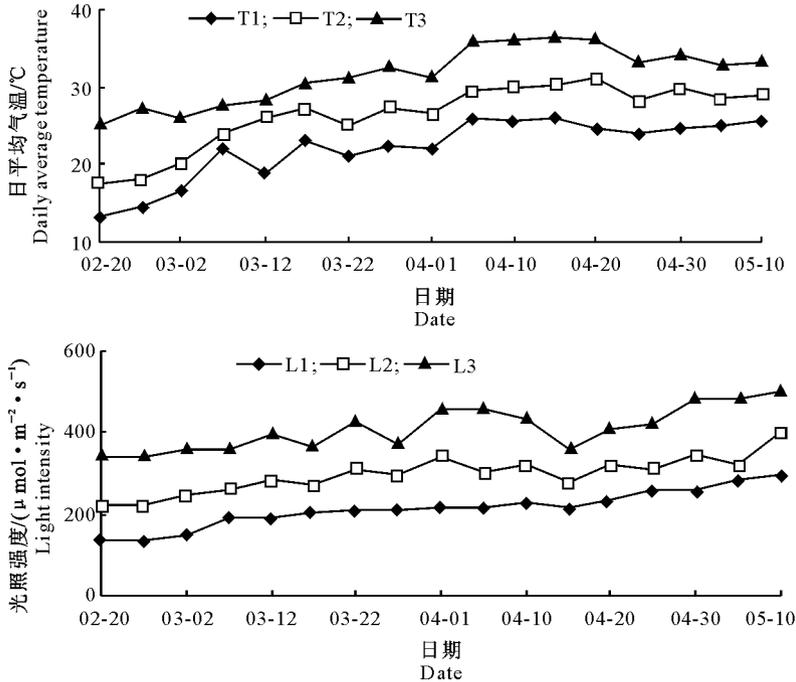


图 1 不同处理日光温室温度和光照强度的变化

Fig. 1 Changes of different temperature and light intensity in solar greenhouse

由图 1 可以看出,番茄生育期日光室内 T3 温度最高,其次是 T2, T1 最低;光照强度是 L3 最强,其次是 L2、L1。在晴朗天气下相应通风,正午高温 1~2 h,但一般不会超过 35 °C,2009-03-05 T1、T2 和 T3 日平均气温分别为 21.6, 26.6 和 32.1 °C,温度相差 5 °C 左右;L1、L2 和 L3 日平均光照强度分别为 226.7, 279.67 和 395 μmol/(m²·s)。由

于 2009 年春阴天和雨水较多,所以平均光合有效辐射数值较低。

2.2 不同温光处理对温室番茄开花盛期光合特性的影响

不同温光处理对温室番茄开花盛期光合特性的影响见表 1。

表 1 不同温光处理对温室番茄开花盛期光合特性的影响

Table 1 Effect analysis of different temperatures and light on tomato photosynthetic characteristics in greenhouse

处理 Treatment	$Pn/$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	$Ci/$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	$Gs/$ ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	$Tr/$ ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
T1L1	27.32 b	307.57 ab	0.61 a	7.67 ab
T1L2	28.48 b	304.34 a	0.63 a	7.92 ab
T1L3	30.30 a	302.61 ab	0.65 a	8.10 ab
T2L1	28.26 a	295.30 ab	0.64 a	7.61 ab
T2L2	33.46 b	290.33 ab	0.68 a	7.75 ab
T2L3	34.40 c	284.58 b	0.69 a	7.78 ab
T3L1	34.10 ab	290.33 ab	0.54 a	7.58 b
T3L2	33.50 ab	289.32 ab	0.61 a	8.72 a
T3L3	32.16 b	284.86 ab	0.72 a	8.81 ab

注:同列小写字母表示在 $\alpha=0.05$ 水平下差异显著。下表同。

Note: Small letters in the same forms means significant difference at 5% level. The same is below.

由表 1 可知,在 L1、L2 光照强度下,随温度增加,番茄叶片净光合速率增加,但在 L3 光照强度下,随温度增加净光合速率先增加后降低;在 T1、T2 温度下,随光照强度的增加,番茄叶片净光合速率增加,但在 T3 温度下,随光照强度的增加净光合速率降低。在自然温度下,L2、L3 处理净光合速率分别较 L1 增加了 4.2%和10.9%,L3 处理显著高于 L1 和 L2;在增温 3~5 °C 下,L2、L3 处理净光合速率分别较 L1 增加了18.4%和 26.1%,处理之间差异显著;在增温 8~10 °C 下,L2、L3 处理净光合速率分别较 L1 下降了1.8%和 2.7%,处理之间差异不显著。

随温度和光照强度增加,番茄叶片的气孔导度

表 2 不同温光处理对温室番茄开花盛期叶绿素含量的影响

Table 2 Effect of different temperatures and light to tomato chlorophyll in greenhouse

处理 Treatment	叶绿素 a/ (mg · g ⁻¹) Chlorophyll a	叶绿素 b/ (mg · g ⁻¹) Chlorophyll b	叶绿素 a/b Chlorophyll a/b	处理 Treatment	叶绿素 a/ (mg · g ⁻¹) Chlorophyll a	叶绿素 b/ (mg · g ⁻¹) Chlorophyll b	叶绿素 a/b Chlorophyll a/b
T1L1	1.15 bc	0.27 cd	4.26 e	T2L3	1.11 d	0.24 f	4.58 c
T1L2	1.13 d	0.24 ef	4.72 b	T3L1	1.19 a	0.31 a	3.85 g
T1L3	1.08 e	0.22 f	4.91 a	T3L2	1.17 a	0.28 b	4.18 f
T2L1	1.16 ab	0.28 bc	4.16 f	T3L3	1.13 cd	0.26 de	4.36 d
T2L2	1.13 d	0.26 d	4.35 d				

由表 2 可见,不同温光处理开花盛期番茄叶绿素 b 含量不同。随温度的增加番茄叶绿素 b 含量也在增加,而光照强度增加叶绿素 b 含量降低。其中,补光处理 L3 开花盛期番茄叶绿素 b 含量在不同温度下均为最低,在温度 T1、T2、T3 下,L2 处理番茄叶绿素 b 含量分别较各温度下 L1 降低了 11.1%、6.5%和 9.6%,L3 处理叶绿素 b 含量分别较各温度下 L1 降低了 18.5%、13.7%和 16.4%。

不同温光处理番茄叶绿素 a/b 值不同。随光照强度增加,番茄开花盛期叶绿素 a/b 值增加,温度增

(Gs)和蒸腾速率(*Tr*)呈增加趋势,但各处理间差异不显著;胞间 CO₂ 浓度减小,各处理间差异也不显著。

2.3 不同温光处理对温室番茄开花盛期叶绿素含量的影响

由表 2 可以看出,不同温光处理对开花盛期番茄叶绿素 a 的影响不同。随温度增加,番茄叶绿素 a 含量增加,光照强度增大叶绿素 a 含量降低。其中,补光处理 L3 的番茄叶绿素 a 含量在不同温度下均为最低;温度 T1~T3 补光处理中,L2 处理的叶绿素 a 含量分别比各温度下 L1 降低了 1.7%、2.2%和 2%,L3 处理分别比各温度下 L1 降低了 6.2%、4.8%和5.3%。

加叶绿素 a/b 值降低。补光处理 L3 叶绿素 a/b 值在不同温度下均为最大。

2.4 不同温光处理对温室番茄果实品质的影响

由表 3 可以看出,温室内温光环境对番茄品质的影响不同。在同一温度条件下,Vc、可溶性糖、可溶性固形物含量都随光照强度的增加而增加,有机酸含量随光照强度的增加而降低;在同一光照条件下,各处理之间 Vc 含量随温度的升高差异不显著,但随温度增加,可溶性固形物、可溶性糖和有机酸含量均与对照差异显著。

表 3 不同温光处理对温室番茄果实品质的影响

Table 3 Effect of different temperatures and light on the quality of the tomato in greenhouse

处理 Treatment	Vc/ (mg · kg ⁻¹)	可溶性固形物/ (g · kg ⁻¹) Soluble solids content	可溶性糖/ (g · kg ⁻¹) Soluble sugar content	有机酸/ (g · kg ⁻¹) Organic acid	糖酸比 Sugar acid ratio
T1L1	59.7 b	50 bc	41.3 f	5.7 ab	7.25 f
T1L2	64.4 b	55 b	64.0 cd	4.9 abc	13.06 d
T1L3	77.9 a	65 a	76.0 a	3.7 c	20.54 a
T2L1	63.5 b	41 e	44.7 e	6.3 ab	7.10 f
T2L2	67.3 ab	46 cd	59.1 d	5.4 abc	10.94 e
T2L3	78.4 a	60 a	72.0 ab	5.0 abc	14.40 c
T3L1	61.5 b	44 de	43.9 ef	8.3 a	5.29 g
T3L2	68.1 ab	46 cde	47.1 e	6.6 ab	7.14 f
T3L3	79.7 a	50 bc	69.0 bc	4.3 bc	16.05 b

糖酸比是评价番茄果实风味品质的一个重要指标,糖酸比高的果实风味好。在同一温度条件下,随

光照强度增加番茄果实糖酸比增加,特别是在补光 200 μmol/(m² · s)处理条件下,T1、T2 和 T3 处理

番茄果实的糖酸比分别较各温度下 L1 增加了 67%, 52% 和 56%。温度处理之间番茄果实糖酸比整体差异不大,但是自然温度处理的果实糖酸比较增温 8~10 °C 高,可见长期的亚高温处理会降低番茄果实的口感和风味品质。

3 讨论

光合作用是植物生物产量的基础,植物对环境胁迫响应的共同特征是叶片净光合速率降低。孟焕文等^[13]研究了不同温度胁迫对番茄光合特性的影响,结果表明,随着温度胁迫时间的延长,番茄叶片净光合速率和胞间 CO₂ 浓度下降。本试验结果表明,在同一光照强度下,随温度增加番茄叶片净光合速率增加;气温 30 °C 时番茄植株光合作用最强,超过 30 °C 后番茄叶片净光合速率随温度上升而逐渐下降,说明当温度达到 30 °C 以上时,番茄的光合作用会受到抑制,植株生长速率减慢,番茄叶片的 *Pn*、*Gs* 和 *Tr* 下降,这与李梅等^[14]的试验结果一致。但在 25~35 °C 番茄叶片净光合速率变化不大,说明温度超过番茄的最适温度会抑制番茄的光合作用,这与张洁等^[15]的试验结果一致。侯兴亮等^[16]研究了弱光对番茄生长的影响,结果表明,光照不足必然会影响植株的光合作用,导致净光合速率下降。本试验结果表明,在同一温度下,随光照强度的增加,番茄叶片净光合速率增加。无补光条件下气孔开度的增大有利于增加 CO₂ 供应,提高 *Ci*。

随温度增加番茄开花盛期叶绿素含量增加,在同一温度条件下,光照强度增加,叶绿素含量(*Chla* 和 *Chlb*)降低,叶绿素 *a/b* 值升高,这与其他植物的研究结果一致,是植物对温室光照强度增加的适应性反映。叶绿素含量降低有利于植物将光能转换成生长物质^[17];而温度增加,植株会提前衰老,叶片变薄,光合作用减弱,即植物光能利用率低,叶绿素含量增加。

在补充光照强度条件下,番茄果实 *Vc*、可溶性糖含量增加,有机酸含量降低,相反,糖酸比增加。自然温度处理区果实糖酸比较增加温度处理区高,这可能是由于一定的昼夜温差有利于番茄果实的发育和糖分的积累^[18],而增温处理区植株提前衰老,光合作用减弱,营养供应不足^[19]。温度越高果实糖酸比越低,这是由于有机酸含量升高所致。

4 结论

在番茄生长发育过程中,温光环境是影响番茄

光合作用和果实品质的关键因子。在本试验条件下,温室内 3 个隔间的日平均温度分别为 21.6、26.6 和 32.1 °C,日平均光照强度分别为 226.7、279.67 和 395 μmol/(m²·s);在同一温度条件下,随光照强度增加番茄叶片净光合速率增加,叶绿素含量降低,但气温超过 30 °C 时,随光照强度增加净光合速率降低,在同一光照强度下,随温度的增加,净光合速率增加,超过 30 °C 后番茄叶片净光合速率随温度上升而逐渐下降,因此,26.6 °C 和 395 μmol/(m²·s)温光交互作用下的番茄果实品质最好。总之,温光对植物的影响是复杂的,在补光条件下改变的不仅是植物的光照情况,其他小气候因子,如温室内的湿度、土壤湿度以及通风量、CO₂ 含量等也会随之变化,这些指标对植物产生的影响还有待进一步深入研究。

[参考文献]

- [1] 舒英杰,周玉丽. 蔬菜植物光合作用研究进展 [J]. 长江蔬菜, 2005, 10(5): 34-38.
Shu Y J, Zhou Y L. Research progress of photosynthesis of vegetable plants [J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2005, 10(5): 34-38. (in Chinese)
- [2] 张振贤,周绪元. 主要蔬菜作物光合与蒸腾特性研究 [J]. 园艺学报, 1997, 24(2): 155-160.
Zhang Z X, Zhou X Y. The characteristics of photosynthesis and transpiration in major vegetable crops [J]. Acta Horticulture Sinica, 1997, 24(2): 155-160. (in Chinese)
- [3] 张往祥,曹福亮,吴家胜. 光强对银杏光合作用和光化学效率的影响 [J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2002, 26(6): 5-9.
Zhang W X, Cao F L, Wu J S. Influence of photosynthetically active radiation on photosynthesis and photochemistry efficiency in leaves of ginkgo [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2002, 26(6): 5-9. (in Chinese)
- [4] 张新生,陈湖,傅友. 光照和温度对温室桃光合特性的影响 [J]. 河北农业科学, 2006, 10(2): 31-33.
Zhang X S, Chen H, Fu Y. Effect of light and temperature on photosynthesis of peach in greenhouse [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2006, 10(2): 31-33. (in Chinese)
- [5] Maxwell K, Johnson G N. Chlorophyll fluorescence A practical guide [J]. J Exp Bot, 2000, 51(3): 659-668.
- [6] Genty B E, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence [J]. Biochem Biophys Acta, 1989, 9(9): 87-92.
- [7] 王志强,何方,牛良. 设施栽培油桃光合特性研究 [J]. 园艺学报, 2000, 27(4): 245-250.
Wang Z Q, He F, Niu L. A comparative research on photosynthesis of nectarine grown inside and outside greenhouses [J]. Acta Horticulture Sinica, 2000, 27(4): 245-250. (in Chinese)

- [8] 江 力,曹树青,戴新宾,等. 光强对烟草光合作用的影响 [J]. 中国烟草学报,2000,6(4):17-20.
Jiang L,Cao S Q,Dai X B,et al. Effect of different light intensity on photosynthesis of tobacco [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2000,6(4):17-20. (in Chinese)
- [9] 王建程,严昌荣,卜玉山. 不同水分与养分水平对玉米叶绿素荧光特性的影响 [J]. 中国农业气象,2005,26(2):95-98.
Wang J C,Yan C R,Bu Y S. Effects of vary soil moisture and fertility levels on chlorophyll fluorescence characteristics in maize [J]. Agricultural Meteorology,2005,26(2):95-98. (in Chinese)
- [10] 薛 琳,和红军,田丽萍,等. 低温对加工番茄光合生理特性的影响 [J]. 北方园艺,2008(7):11-13.
Xue L,He H Y,Tian L P,et al. The effect of tomatoes physiological property under low temperature [J]. Northern Horticulture,2008(7):11-13. (in Chinese)
- [11] 高俊凤. 植物生理学实验技术 [M]. 西安:兴界图书出版公司,2000:167-169.
Gao J F. Experimental technology of plant physiology [M]. Xi'an:Xingjie Publishing Press,2000:167-169. (in Chinese)
- [12] 赵世杰,刘华山,董新纯. 植物生理实验指导 [M]. 北京:中国农业科技出版社,1998:68-72.
Zhao S J,Liu H S,Dong X C. Experimental technology of plant physiology [M]. Beijing:China Agricultural Technology and Science Publishing House,1998:68-72. (in Chinese)
- [13] 孟焕文,程智慧,吴 洋,等. 温度胁迫对番茄转化酶表达和光合特性的影响 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(12):41-52.
Meng H W,Cheng Z H,Wu Y,et al. Impact of temperature stress on invertase expression and photosynthetic characteristic in tomato plant [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry:Natural Science Edition, 2006,34(12):41-52. (in Chinese)
- [14] 李 梅,须 晖,李天来,等. 不同夜温对番茄叶片呼吸及光合启动时间的影响 [J]. 石河子大学学报:自然科学版,2006,24(2):201-204.
Li M,Xu H,Li T L,et al. Influence of different night temperature on the respiration and the starting time of photosynthesis to tomato leaves [J]. Journal of Shihezi University:Natural Science Edition,2006,24(2):201-204. (in Chinese)
- [15] 张 洁,李天来,徐 晶. 昼间亚高温对日光温室番茄生长发育、产量及品质的影响 [J]. 应用生态学报,2005,16(6):1051-1055.
Zhang J,Li T L,Xu J. Effects of daytime sub-high temperature on greenhouse tomato growth, development, yield and quality [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2005,16(6):1051-1055. (in Chinese)
- [16] 侯兴亮,李景富,许向阳. 弱光处理对番茄不同生育期形态和生理指标的影响 [J]. 园艺学报,2002,29(2):123-127.
Hou X L,Li J F,Xu X Y. Effects of low light on morphological and physiological indexes of tomato at different growth stages [J]. Acta Horticulture Sinica,2002,29(2):123-127. (in Chinese)
- [17] 孙治强,张 强,张惠梅. 低温弱光对番茄叶绿素含量变化的影响 [J]. 华北农学报,2005,20(1):82-85.
Sun Z Q,Zhang Q,Zhang H M. Effect of low temperature and poor light on chlorophyll content of tomato [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica,2005,20(1):82-85. (in Chinese)
- [18] 周 博,陈竹君,周建斌. 水肥调控对日光温室番茄产量、品质及土壤养分含量的影响 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(4):58-62.
Zhou B,Chen Z J,Zhou J B. Effect of different fertilizer and water managements on the yield and quality of tomatoes and nutrient accumulations in soil cultivated in sunlight greenhouse [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry:Natural Science Edition, 2006,34(4):58-62. (in Chinese)
- [19] 吕长山,王金玲,于广建,等. 不同光照强度对辣椒果实品质及产量的影响 [J]. 北方园艺,2005(1):47-48.
Lu C S,Wang J L,Yu G J,et al. Effect of different light to pepper fruits' quality and yiled [J]. Northern Horticulture, 2005(1):47-48. (in Chinese)

(上接第 124 页)

- [22] 樊虎玲,郝明德,李志西. 黄土高原旱地小麦-苜蓿轮作对小麦品质和子粒氨基酸含量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(2):262-266.
Fan H L,Hao M D,Li Z X. Effect of alfalfa-wheat rotation system on the quality and amino acid content of wheat in dryland of Loess Plateau [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2007,13(2):262-266. (in Chinese)
- [23] Pnkopa M,Richter R,Zimolka J,et al. The influence of the year,fore-crops and fertilization on yield and content of cruse protein in spring barley [J]. Plant Soil Environ,2005,51(3):144-150.
- [24] 陈 平,杜太生,王 峰,等. 西北旱区温室辣椒产量和品质对不同生育期灌溉调控的响应 [J]. 中国农业科学,2009,42(9):3203-3208.
Chen P,Du T S,Wang F,et al. Response of yield and quality of hot pepper in greenhouse to irrigation control at different stages in arid northwest China [J]. Scientia Agricultura Sinica,2009,42(9):3203-3208. (in Chinese)