

昼间亚高温对日光温室番茄光合作用及物质积累的影响

张 洁 李天来* 徐 晶

(沈阳农业大学园艺学院, 辽宁省设施园艺重点实验室, 沈阳 110161)

摘 要: 研究了昼间亚高温对日光温室番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill) 植株光合作用及物质积累的影响。结果表明: 昼间亚高温 (35/15, 30/15) 降低了番茄植株的光合作用, 导致生物量积累减少, 温度越高对植株的影响越大。亚高温条件下, 植株净光合速率和羧化效率均明显降低, 光呼吸速率升高, 植株生长发育变差, 亚高温对地下部的影响要大于地上部。亚高温加快植株生育进程, 导致番茄果实提前成熟, 但果实品质严重下降。长时间亚高温处理促使番茄植株提早衰老。

关键词: 番茄; 亚高温; 光合作用; 物质积累

中图分类号: S 641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2005) 02-0228-06

Effect of Daytime Sub-high Temperature on Photosynthesis and Dry Matter Accumulation of Tomato in Greenhouse

Zhang Jie, Li Tianlai*, and Xu Jing

(Shenyang Agriculture University, Horticulture Department, Key Laboratory of Protected Horticulture of Liaoning Province, Shenyang 110161, China)

Abstract: This study was undertaken to determine the effect of sub-high temperature of daytime on photosynthesis and growth in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). Results showed that daytime sub-high temperature (35/15 and 30/15) decreased the net photosynthesis and biomass, the more high temperature the more effect of tomato was suffered. Carboxylation efficiency (CE) declined while photorespiration at sub-high temperature increased. Root growth was more affected by sub-high temperature than shoot growth. The growth course of plant and ripening of tomato fruit were accelerated but the quality of fruit was decreased seriously at sub-high temperature. And a long period of sub-high temperature treatment even made the plants senescence earlier.

Key words: Tomato; Sub-high temperature; Photosynthesis; Dry matter accumulation

亚高温是温暖季节日光温室生产中常见的现象。在温暖季节日光温室番茄生产中, 光照充足的昼间若不及时通风或通风量小, 温室内温度很容易上升到 30 ~ 35。这一温度对于番茄栽培而言属于生长适宜温度的上限^[1,2], 虽不会造成植株致命性伤害, 但这种温度持续时间长, 番茄光合物质的生产有可能受到影响, 产生高温危害, 进而影响其正常生长发育, 且有些高温影响是不可逆的^[1]。为此, 开展这方面的研究对于日光温室番茄实际生产具有重要的意义。近年来, 有关日光温室蔬菜作物高温逆境生理的研究多集中在短期极端高温方面^[3,4], 而关于亚高温的研究则较少, 尤其是关于长期亚高温的研究更少, 直至目前长期昼间亚高温对番茄植株光合作用及物质积累的研究尚未见报道。本试验从亚高温对日光温室番茄光合作用的影响入手, 在昼间亚高温而夜间温度正常的条件下, 研究番茄植株光合产物生产及植株生长发育的变化, 以便为设施番茄栽培中进行环境调控提供理论依据。

收稿日期: 2004 - 05 - 17; 修回日期: 2004 - 07 - 29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30170640); 辽宁省自然科学基金资助项目 (20022080)

*通讯作者 Author for correspondence (E-mail: ltl@syau.edu.cn)

1 材料与方法

1.1 材料与试验处理

试验分别于 2003 年春季与秋季在沈阳农业大学蔬菜基地日光温室内进行, 供试番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill) 品种为 '辽园多丽'。温室中穴盘基质育苗后采用塑料桶栽培方式定植于日光温室内的温度处理室 (长 \times 宽 \times 高为 5 m \times 3 m \times 2.5 m) 中, 定植用塑料桶上口直径 33.7 cm, 下口直径 30.5 cm, 高 32 cm, 定植土为园田土 草炭 腐熟猪粪 = 3 2 2。定植后至第 1 花序第 3 花开放后第 2 天, 采用正常温度管理, 即昼温 (25 ± 1), 夜温 (15 ± 1)。当第 1 花序 3 朵花开放时采用 '丰产剂 2 号' 蘸整个花序 (同样, 第 2、3 花序分别在 3 朵花开放时蘸整个花序), 并于第 2 天开始进行温度处理。试验以昼温 (25 ± 1) 为对照, 共设 (35 ± 1)、(30 ± 1) 两个昼间亚高温处理, 夜温均为 (15 ± 1)。各处理区均定植 54 株, 单干整枝, 植株留 3 穗果后摘心, 其它管理同正常生产。

各温度处理室分别采用空调机制冷、暖风机加热, 通过自动控温系统 GC- 型温室环境智能化控制器 (沈阳农业大学工厂化农业中心研制) 进行温度调控。每天上午 8: 00 开始升温, 9: 30 达到各处理所设定温度, 保持至下午 16: 30 开始降温, 18: 00 达到夜间所设温度。采用自然光照 ($550 \sim 800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 控制器控制排风扇适时调节处理区内的湿度 (白天 50% ~ 75%, 夜间 60% ~ 95%), 以减少处理间差异。

1.2 测定项目与方法

光合作用指标测定: 采用 LI6400 型光合测定仪, 于亚高温处理后的第 10、15、20、25、30、35 天上午 10: 00 至 11: 00, 分别测定各温度处理番茄植株第 2 花序下第 1 片叶的净光合速率 (P_n)、细胞间隙 CO_2 浓度 (C_i)、气孔导度 (G_s)、蒸腾速率 (T_r) 等光合作用指标, 并根据 $L_s = 1 - C_i/C_a$ 计算叶片气孔限制值 (L_s)。光合测定时处理间除温度不同外, 光合有效辐射强度均为 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (人工光源), CO_2 浓度均为处理室内自然浓度 ($450 \pm 150 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)。

羧化效率 (CE) 和光呼吸速率 (RP) 测定: 在亚高温处理开始后的第 25、35 天, 采用 LI6400 型光合测定仪, 利用外源 CO_2 钢瓶与人工光源 ($600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 在田间测定低 CO_2 浓度梯度下各温度处理番茄植株第 2 花序下第 1 片叶的 P_n 值, 根据 P_n-C_i 曲线的初始斜率求出 CE, 利用外推法求出 RP^[5]。

叶绿素含量测定: 自亚高温处理开始后第 10、15、20、25、35 天, 用打孔器分别在各温度处理植株第 2 花序下第 1 片叶打取叶圆片, 采用乙醇 丙酮为 1 1 的混合液浸提后, 用 Lambda 25 紫外/可见分光光度计测定^[6]。

干物质积累测定: 分别于处理第 10、15、20、25 天, 将各温度处理番茄植株从塑料桶中连同土壤和根系完整取出, 用水冲洗干净后, 将植株分解, 分别测定根、茎、叶、果实的鲜质量, 而后于烘箱中烘至恒重后称干质量。

有机酸与可溶性糖含量测定: 当番茄果实成熟时将果实匀浆后测定果实有机酸和可溶性糖^[6]含量, 计算糖酸比, 同时调查每一花序果实空洞果比率。

以上测定项目, 各处理每次均至少 3 次重复。春季与秋季试验测定结果趋势相似, 本文采用春季试验结果。

2 结果与分析

2.1 昼间亚高温对番茄叶绿素含量的影响

从表中可以看出: 自处理开始后 15 d 内, 随番茄生育期的延长, 各处理叶绿素总含量均增加, 此后则降低。35 处理各生育时期叶片叶绿素含量均明显低于 30 和 25 处理, 而 30 处理与 25 处理之间在 10 ~ 25 d 间无明显差异, 35 d 时 30 处理明显低于 25 处理。亚高温 35 d 时, 30 与

35 处理的叶绿素含量分别比 25 处理低 11.3% 和 19.0%，对叶绿素 b 影响较小，而对叶绿素 a 影响较大，导致叶绿素 a/b 比值降低。

2.2 昼间亚高温对番茄 Pn 及 Gs、Ci、Ls 的影响

由图 1 可以看出，随着处理天数的变化，各处理 Pn 的变化与叶绿素含量变化的趋势基本一致，即自处理开始后 15 d 内，各处理的 Pn 均增加，之后开始下降。从不同温度处理看，昼间亚高温处理降低了番茄植株叶片的 Pn，昼间温度越高，Pn 越低。其中在处理 15 d 和 35 d 时，30 和 35 处理区 Pn 分别比 25 处理区低 9.3%、25.4% 和 13.8%、19.4%。

从表 2 中可以看出，各温度处理间气孔导度 (Gs)、胞间 CO₂ 浓度 (Ci)、气孔限制值 (Ls) 及蒸腾速率 (Tr) 有明显差异。随着处理温度的升高，植株叶片的 Gs 和 Ci 均升高，尤其是 35 处理区植株叶片的 Gs、Ci 及 Tr 明显高于 25 处理区，在 Pn 达到最大值时这种差异更加明显。而叶片 Ls 在亚高温处理时却降低，温度越高 Ls 越小。在处理 10 d 时 35 叶片 Ls 比 25 低 18.1%，在处理 15 d 时，甚至降低 63.7%。昼间亚高温番茄叶片 Gs、Ci 升高，而 Ls 降低，同时叶片 Gs 与蒸腾速率成正比，因此认为 Pn 的下降是由非气孔限制因素引起的。

表 1 昼间亚高温对番茄叶片叶绿素含量的影响

Table 1 Effect of sub-high temperature of daytime on chlorophyll content of toma to leaves

温度 Temperature ()	天数 Days (d)	叶绿素 a Chlorophyll a (mg · dm ⁻²)	叶绿素 b Chlorophyll b (mg · dm ⁻²)	叶绿素 (a + b) Chlorophyll(a + b) (mg · dm ⁻²)
25	10	2.85 ±0.32	1.35 ±0.26	4.20 ±0.58
	15	3.60 ±0.46	1.23 ±0.17	4.83 ±0.63
	20	3.21 ±0.39	1.19 ±0.25	4.40 ±0.64
	25	2.68 ±0.35	1.35 ±0.31	4.03 ±0.66
	35	2.86 ±0.41	1.03 ±0.22	3.89 ±0.63
30	10	3.26 ±0.36	1.28 ±0.27	4.54 ±0.63
	15	3.65 ±0.48	1.34 ±0.29	4.99 ±0.77
	20	3.13 ±0.37	1.26 ±0.27	4.39 ±0.64
	25	2.67 ±0.57	1.63 ±0.35	4.30 ±0.94
	35	2.46 ±0.52	0.99 ±0.22	3.45 ±0.74
35	10	2.55 ±0.55	1.03 ±0.22	3.58 ±0.77
	15	2.99 ±0.34	1.11 ±0.24	4.10 ±0.58
	20	2.74 ±0.43	1.19 ±0.23	3.93 ±0.66
	25	2.43 ±0.31	1.17 ±0.29	3.60 ±0.60
	35	2.23 ±0.38	0.92 ±0.20	3.15 ±0.58

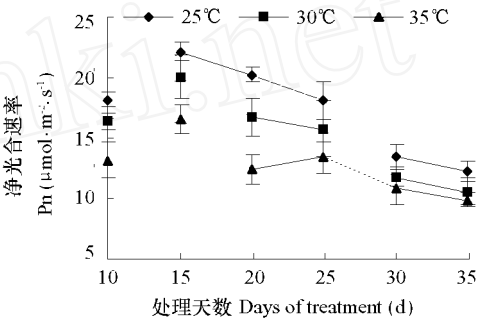


图 1 昼间亚高温对番茄叶片净光合速率的影响

Fig. 1 Effect of sub-high temperature of daytime on net photosynthesis of toma to leaves

表 2 昼间亚高温对番茄叶片气孔导度 (Gs)、胞间 CO₂ 浓度 (Ci)、蒸腾速率 (Tr) 及气孔限制值 (Ls) 的影响

Table 2 Effect of sub-high temperature of daytime on Ci, Gs, Tr and Ls of toma to leaves

温度 Temperature ()	天数 Days (d)	Gs(mmol · m ⁻² · s ⁻¹)	Ci(μmol · mol ⁻¹)	Tr(mmol · m ⁻² · s ⁻¹)	Ls
25	10	0.13 ±0.01	145 ±5.13	2.12 ±0.06	0.613
	15	0.49 ±0.01	309 ±7.00	2.58 ±0.10	0.278
	20	0.12 ±0.01	235 ±15.01	2.33 ±0.02	0.415
	25	0.12 ±0.01	116 ±12.53	2.86 ±0.25	0.689
	30	0.55 ±0.01	406 ±11.53	2.80 ±0.14	0.156
30	35	0.14 ±0.01	253 ±14.64	1.29 ±0.36	0.403
	10	0.15 ±0.04	169 ±8.54	2.64 ±0.11	0.529
	15	0.95 ±0.03	337 ±21.28	4.48 ±0.16	0.213
	20	0.15 ±0.01	237 ±23.01	3.12 ±0.19	0.282
	25	0.15 ±0.02	190 ±15.89	3.33 ±0.11	0.518
35	30	0.72 ±0.02	552 ±22.59	2.88 ±0.21	0.089
	35	0.23 ±0.01	350 ±25.50	3.03 ±0.09	0.234
	10	0.19 ±0.03	153 ±10.09	3.26 ±0.38	0.502
	15	1.78 ±0.04	417 ±18.08	5.02 ±0.16	0.101
	20	0.15 ±0.01	242 ±16.07	3.92 ±0.15	0.337
	25	0.15 ±0.01	174 ±11.72	4.66 ±0.11	0.503
	30	0.53 ±0.02	545 ±17.62	2.63 ±0.08	0.059
	35	0.19 ±0.01	282 ±22.55	3.62 ±0.21	0.297

2.3 昼间亚高温对番茄 CE与 RP的影响

从图 2中可以看出,春季光照充足,植株生长旺盛,测定时叶片处于较佳生长状态,因此 CE较高,但昼间亚高温则明显使其降低,温度越高,CE值越低。随处理时间延长,各处理植株 CE值均呈下降趋势。35 d时,30 和 35 处理的 CE值分别比 25 处理的低 46.6%和 56.6%。

从图 3中可以看出,昼间亚高温使植株的 RP增加,35 处理 RP最大。随处理时间的延长,各处理 RP均增加,处理之间差异变小,但 35 d时,35 处理区植株的 RP仍比 25 处理高 26.4%。

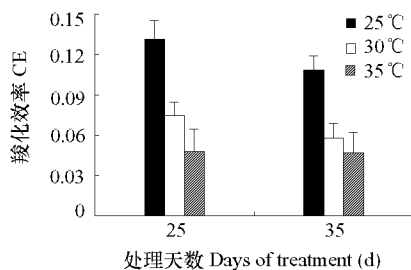


图 2 昼间亚高温对番茄叶片羧化效率的影响

Fig 2 Effect of sub-high temperature of daytime on carboxylation efficiency (CE) of tomato leaves

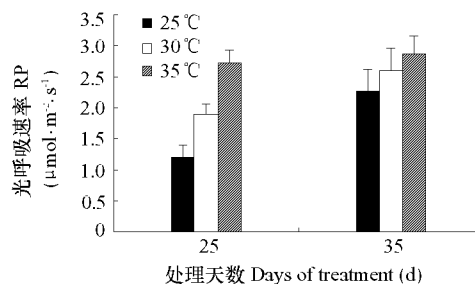


图 3 昼间亚高温对番茄叶片光呼吸速率的影响

Fig 3 Effect of sub-high temperature of daytime on photorespiration rate (RP) of tomato leaves

2.4 昼间亚高温对番茄植株干物质积累的影响

从表 3中看出,30 与 25 处理间无明显差异,但 35 处理植株干物质积累却在处理 10 d后就明显低于 25 处理。各温度处理植株根、茎的变化趋势基本一致,30 与 25 处理区无明显差异,而 35 处理却明显低于 25 处理。昼间亚高温对根部干物质积累的影响较大,在 25 d时,35 处理根部干物质比 25 减少 10.7%;各温度处理叶片的干物质积累量随温度升高而减小;果实则是 30 处理明显大于 25 处理,35 介于二者间,随着处理时间的延长,干物质积累的温度间差异增大,其中 25 d时,30 比 25 处理高 59.3%。

表 3 昼间亚高温对番茄干物质积累的影响

Table 3 Effect of sub-high temperature of daytime on amount of dry matter of tomato plant

温度 Temperature()	天数 Days(d)	根 Root(g)	茎 Stem (g)	叶 Leaf(g)	果实 Fruit(g)	总计 Total(g)
25	10	1.57 ±0.22	9.66 ±1.24	29.01 ±2.18	1.19 ±0.25	41.43 ±6.41
	15	1.94 ±0.38	14.53 ±1.09	43.00 ±0.04	4.24 ±0.30	63.71 ±1.16
	20	2.12 ±0.22	16.43 ±0.79	51.16 ±3.47	10.98 ±1.51	80.69 ±9.23
	25	2.35 ±0.13	19.87 ±1.65	57.78 ±4.64	16.25 ±1.5	96.25 ±4.89
30	10	1.50 ±0.40	11.60 ±0.93	32.16 ±1.45	2.2 ±0.41	47.46 ±3.44
	15	1.79 ±0.01	14.36 ±0.84	39.74 ±0.34	6.4 ±1.05	62.29 ±2.66
	20	2.06 ±0.42	16.84 ±1.78	47.66 ±4.04	12.99 ±0.92	79.55 ±2.27
	25	2.30 ±0.08	19.79 ±1.11	55.74 ±5.01	25.88 ±0.79	103.71 ±7.16
35	10	1.38 ±0.21	8.69 ±0.56	27.40 ±2.16	1.17 ±0.31	38.64 ±5.89
	15	1.63 ±0.34	12.51 ±1.15	35.02 ±2.20	4.59 ±0.22	53.75 ±3.34
	20	1.86 ±0.12	15.45 ±1.89	45.79 ±5.32	11.83 ±0.50	74.93 ±8.85
	25	2.10 ±0.39	19.13 ±1.91	54.84 ±4.82	20.99 ±1.96	97.06 ±7.34

2.5 昼间亚高温对番茄生育进程及果实质量的影响

昼间亚高温处理加快了番茄植株的生育进程,促进果实的提早发育。从表 4可以看出各处理果实发育过程中的鲜质量变化,35 处理第 1穗果实前期发育较快,生育期缩短,比 25 处理提早 9 d成熟,而 30 处理则提早 5 d成熟。亚高温下果实的品质严重变差,果实着色不良,颜色变黄,空洞果大量发生,含糖量降低,酸含量增加,糖酸比下降,处理温度越高,这种现象越为严重。35 处理第 1花序果实空洞率达 74.4%,是 25 处理的近 5 倍;果实含糖量为 4.2%,比 25 处理降低 10.2%;果实含酸量为 0.45%,比 25 处理提高 9.6%;糖酸比降低 25.5%。30

处理的果实品质介于 25 处理和 35 处理之间, 其中果实空洞率虽然也较高, 但空洞程度明显低于 35 处理 (表及图片略)。

表 4 昼间亚高温对番茄第 1 花序平均单果质量变化的影响

Table 4 Effect of sub-high temperature of daytime on the development of tomato fruits

(g)

温度 Temperature (°C)	15 d	20 d	25 d	30 d	35 d	54 d	58 d	63 d
25	16.8 ±0.36	40.6 ±1.24	61.2 ±3.23	85.4 ±4.66	125.9 ±10.03	-	-	208.5 ±9.55
30	21.0 ±1.25	66.5 ±3.82	86.3 ±6.30	102.3 ±5.02	162.8 ±11.27	-	210.8 ±8.53	-
35	22.1 ±2.45	51.1 ±5.20	85.4 ±2.65	96.5 ±3.59	132.4 ±10.53	202.4 ±10.17	-	-

3 讨论

3.1 昼间亚高温降低番茄植株光合作用

植物的光合作用在一定温度范围随着环境温度的升高而增强, 但在高温环境中就会出现光合作用受到抑制的现象。光合作用是植物体对高温最敏感的生理现象之一, 在其他胁迫症状出现以前, 光合作用已被抑制^[7-9]。丁兆堂等^[10]报道, 温度在 25 之前, 越夏番茄光合速率随温度升高增加较快, 超过 30 光合速率随温度上升而逐渐下降。本试验中番茄植株在亚高温条件下 Pn 降低, 温度越高, 降低越明显。

关于高温降低植物叶片光合作用已有一些报道^[7-10]。早期的研究认为光合速率的降低是由于叶片 Gs 的下降, 使叶绿体内 CO₂ 的供应受阻, 属于气孔限制因素^[7]引起的。但许大全^[11]等研究认为高温对光合作用的抑制是由非气孔因素引起的, 是叶肉细胞气体扩散阻抗增加、CO₂ 溶解度下降、Rubisco 对 CO₂ 的亲合力降低等原因所致。本试验表明, 在 30 和 35 昼间亚高温处理下, 番茄叶片 Pn 下降, 同时伴随着 Gs 和 Ci 不同程度的增加及 Ls 的明显降低, 认为在较长时间昼间亚高温处理时, 番茄叶片 Pn 下降可能是非气孔因素的限制作用。其中, CE 的降低和 RP 增加可能是亚高温条件下番茄 Pn 降低的重要原因。这与赵世伟等人^[5]对海芋和山茶的研究结论一致。本试验中, 在 30 d 光合作用测定时, 各处理植株的 Ci 偏大, 是由于测定时植株所处环境中 CO₂ 浓度较高 (550 ±50 μmol · mol⁻¹), 导致植株细胞间隙 CO₂ 浓度升高。本研究主要讨论昼温 25、30、35 对番茄植株光合作用的相对影响, 每次测定时除温度外处理间环境条件一致, 但不同时期测定时环境会出现差别, 如果要测定生育期内光合指标的绝对值, 需要严格控制整个生育期内环境条件一致。

关于叶绿素含量与 Pn 之间关系的研究较多。Ivakin^[12]认为不同品种番茄在高温处理下, 光合作用都稍有下降, 叶绿素含量的变化趋势与光合作用基本相同。侯兴亮等^[13]也认为, 番茄叶片叶绿素含量的多少直接影响到其光合作用的强弱。本文中, 叶绿素含量与 Pn 之间存在一定的相关性, Pn 随叶绿素含量的增多而升高。但较短时间的 30 昼温处理出现植株叶绿素含量稍高, 而 Pn 较低的现象, 可能是由于 Pn 受多方面因素影响之故。

3.2 昼间亚高温缩短番茄植株生育进程而导致植株提早衰老, 果实品质变差

作物处于长期亚高温之下会发生一系列的生长障碍, 如植株徒长、根系生长受阻、植株提早衰老等^[2,14]。郭建平等^[15]曾指出高温使农作物生育进程加快, 生育期缩短, 潘瑞炽^[16]也曾指出, 高温加快作物的出叶速度, 生育期变短。在本试验中, 昼间亚高温降低了植株生物量的积累, 同时导致干物质的分配发生改变。在处理前期, 亚高温处理区果实积累干物质较正常温度果实多, 这可能由于亚高温增强了“库”的强度, 促进了番茄光合产物的快速运转^[17], 加快了果实细胞的发育速度, 从而使果实的发育提早, 果实成熟期提前。同时由于光合速率下降, 呼吸作用增强, 造成光合物质供应不足, 最终导致植株消耗过多提早衰老, 生育期缩短。有人认为^[18]30 对番茄生长影响不大, 与本试验结果不尽一致, 这可能是由于温度持续时间长短不同所致。

本试验采用“丰产剂 2 号”蘸花以保证各处理番茄果实有较好的坐果和膨大, 亚高温处理造成

番茄果实空洞果比率增加,可能是由于亚高温促使植株生长和果实细胞膨大加快,而亚高温又造成光合速率下降,光合产物积累减少,物质供应不足,因此,造成果实空洞,并且温度越高,果实空洞程度越明显,这一点与前人的研究结果一致^[2]。但本试验中昼间 30℃ 温度就可使番茄空洞果发生率达到 30%~55%的结果,为番茄生产中制定适宜的昼温控制指标提供了重要参考。此外,昼间亚高温还会使成熟果实的颜色变黄,这可能是由于高温下番茄红素的形成受到限制^[19],也可能是高温下番茄果实中的色素组成成分发生变化,这一点有待于深入研究。

参考文献:

- 1 张福漫. 设施园艺学. 北京: 中国农业大学出版社, 2000. 142~145
Zhang F M. Protected horticulture. Beijing: Zhongguo Agricultural University Press, 2000. 142~145 (in Chinese)
- 2 日本农山渔村文化协会编. 蔬菜生物生理学基础. 北京: 北京农业大学译, 1985. 184~223
Basic of vegetable biology and physiology. Beijing: Beijing Agricultural University, 1985. 184~223 (in Chinese)
- 3 吴韩英, 寿森炎, 朱祝军, 杨信廷. 高温胁迫对甜椒光合作用和叶绿素荧光的影响. 园艺学报, 2001, 28 (6): 517~521
Wu H Y, Shou S Y, Zhu Z J, Yang X Y. Effect of high temperature stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in sweet pepper (*Capsicum frutescens* L.). Acta Horticulturae Sinica, 2001, 28 (6): 517~521 (in Chinese)
- 4 韩笑冰, 利容千, 王建波, 苗琛. 热胁迫对辣椒花粉发育及其生活力的影响. 园艺学报, 1996, 23 (4): 359~364
Han X B, Li R Q, Wang J B, Miao C. Effect of heat stress on pollen development and pollen viability of pepper. Acta Horticulturae Sinica, 1996, 23 (4): 359~364 (in Chinese)
- 5 赵世伟, 刘东焕, 刘玉军, 张佐双, 高荣孚. 海芋、山茶夏季温室条件下的光合特征. 园艺学报, 2002, 29 (2): 457~461
Zhao S W, Liu D H, Liu Y J, Zhang Z S, Gao R F. The photosynthetic characters of *Alocasia odora* C. Koch and *camellia japonica* L. in greenhouse in summer. Acta Horticulturae Sinica, 2002, 29 (2): 457~461 (in Chinese)
- 6 邹琦. 植物生理生化实验指导. 北京: 中国农业出版社, 1995. 36~39
Zou Q. Experimental instruct of plant physiology and biochemistry. Beijing: China Agriculture Press, 1995. 36~39 (in Chinese)
- 7 Erry J, Björkman O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. Annu Rev Plant Physiol, 1980, 31: 491~543
- 8 Astenes C, Horton P. Effect of higher temperature on photosynthesis in beans. Oxygen evolution and chlorophyll fluorescence. Plant Physiol, 1996, 112: 1245~1251
- 9 Karin M A, Frachboud Y, Stamp P. Effect of higher temperature on seedling growth and photosynthesis of tropical maize genotypes. J. Agr Crop. Sci, 2000, 184: 217~223
- 10 丁兆堂, 卢育华, 徐坤. 环境因子对番茄光合特性的影响. 山东农业大学学报, 2003, 34 (3): 356~360
Ding Z T, Lu Y H, Xu K. Effect of environment factors on tomato photosynthetic characteristics. Journal of Shandong Agricultural University, 2003, 34 (3): 356~360 (in Chinese)
- 11 许大全, 沈允钢. 光合作用的限制因素. 植物生理与分子生物学. 北京: 科学出版社, 1998. 262~276
Xu D Q, Shen Y G. Restrained factors of photosynthesis. Plant Physiology and Molecular Biology. Beijing: Science Press, 1998. 262~276 (in Chinese)
- 12 Ivakin A P. Effect of high temperatures on photosynthesis and content of some pigments in tomato under natural conditions. Trudy Po Prikladnoi Botanike Genetike i Selektcii, 1981, 71: 1, 70~76
- 13 侯兴亮, 李景富, 许向阳. 番茄耐弱光性的研究进展. 中国蔬菜, 1999, 4: 48~50
Hou X L, Li J F, Xu X Y. Advances in study of tomato tolerance to weak-light. China Vegetables, 1999, 4: 48~50 (in Chinese)
- 14 缪漫璐. 黄瓜热伤害与热适应生理机制及耐热栽培技术研究. [博士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2000. 6~9
Miao M M. Studies on the mechanism of heat injury and heat adaptation and summer cultivation techniques of cucumber (*Cucumis sativus* L.): [Ph. D. Dissertation]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2000. 6~9 (in Chinese)
- 15 郭建平, 高素华. 高温、高 CO₂ 对农作物影响的试验研究. 中国生态农业学报, 2002, 10 (1): 17~20
Guo J H, Gao S H. The experimental study in impacts of high temperature and high CO₂ concentration on crops. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2002, 10 (1): 17~20 (in Chinese)
- 16 潘瑞炽. 植物生理学 (第四版). 北京: 高等教育出版社, 2001. 6
Pan R C. Plant physiology (Fourth). Beijing: High Educational Press, 2001. 6 (in Chinese)
- 17 Walker A J, Ho L C. Carbon translocation in the tomato: Effects of fruit temperature on carbon metabolism and the rate of translocation. Annals of Botany, 1977, 41: 825~832
- 18 于桂玲. 呼和浩特地区日光温室番茄的模式化栽培. 内蒙古农业科技, 1997, 5: 31
Yu G L. Model culture of greenhouse tomato in the area of Hohhot. Inner Mongolia Agriculture Technology, 1997, 5: 31 (in Chinese)
- 19 李纪锁, 沈火林, 石正强. 番茄红素的研究进展. 中国蔬菜, 2003, (1): 58~60
Li J S, Shen H L, Shi Z Q. The advance of the research on lycopene. China Vegetables, 2003, (1): 58~60 (in Chinese)