

亚低温条件下水分对温室番茄 生理生化指标及产量的影响

李建明,王静静,王 平,李 江

(西北农林科技大学 园艺学院,陕西 杨凌 712100)

【摘要】 【目的】探索亚低温条件下温室水分优化管理的技术指标,为实现番茄优质高产提供理论依据。【方法】以番茄品种“金棚1号”为材料,采用温室盆栽方法,以常温(18~35℃)环境为对照,研究亚低温(8~25℃)条件下,分别灌溉80%蒸腾蒸发量(ET)和100%蒸腾蒸发量的水分,对温室番茄生理生化指标、产量及水分利用率的影响。【结果】与常温环境相比,分别在2种灌溉条件下,亚低温均使番茄植株CAT和POD活性、叶绿素含量、叶片相对含水量、可溶性蛋白质含量显著降低,而番茄叶片细胞膜相对透性、SOD活性则升高;不论在亚低温还是常温条件下,水分胁迫均抑制了番茄植株的生长发育和产量形成,且水分利用效率降低。【结论】番茄在温室冬季亚低温栽培条件下,灌水量为100%ET有利于植株生长,植株抗寒性、产量和水分利用效率均较高。

【关键词】 亚低温;水分管理;番茄;生理生化指标;产量;水分利用效率

【中图分类号】 S641.201

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)06-0127-06

Influence of sub-low temperatures on the physiological, biochemical and yield indice of tomato in different irrigation amounts in greenhouse

LI Jian-ming, WANG Jing-jing, WANG Ping, LI Jiang

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

Abstract: 【Objective】 Under the sub-low temperature, the greenhouse moisture content optimal management technique index was explored to ensure the high quality and high yield of tomato, which can provide a theoretical basis in this field. 【Method】 With potted tomato plants in greenhouse as the experiment material, and with the plant under normal temperature (18—35℃) as control treatment, the influences of 80% and 100% of ET of irrigation amount on the physiological, biochemical indices, yield and water use efficiency of tomato under sub-low temperature (8—25℃) in greenhouse were investigated. 【Result】 Compared with normoral condition, and under the two conditions respectively, the activities of catalase and peroxidase, chlorophyll content, relative content and soluble protein content in tomato leaves were reduced; but the relative permeability of cell membrane and superoxide dismutase were increased; plant growth, yield and water use efficiency of tomato were restrained by water stress in both sub-low and normal conditon. 【Conclusion】 It is proved that 100% of ET of irrigation amount under sub-low temperature (8—25℃) was favorable to plant growth in winter tomato cultivation in greenhouse. At the same time, the plant may have higher cold resistance, yield and water use efficiency.

Key words: sub-low temperature; water management; tomato; physiological and biochemical indice;

* [收稿日期] 2009-11-29

[基金项目] 国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAD79B04)

[作者简介] 李建明(1966—),男,陕西洛川人,副教授,博士,硕士生导师,主要从事设施园艺研究。E-mail: lijianming66@163.com

yield; water use efficiency

在冬春季设施番茄节能栽培中,常遇到低于番茄生长发育适宜温度下限(15 ℃左右)的亚低温。番茄开花坐果期的适宜温度为 15~30 ℃^[1],低于 15 ℃不仅影响番茄的光合作用及有关物质的积累,而且易造成落花落果和座果率下降^[1-3],严重影响番茄产量。

前人研究证明,水分亏缺可导致植物发生一系列的生理生化变化,使光合速率降低^[4-6],并严重影响作物的产量^[6]。番茄是国内外广为种植的蔬菜作物,关于土壤水分与番茄生长、生理特性及产量关系的研究已有较多报道^[6-14],均认为番茄是对水分反应敏感且需水量较大的蔬菜,生长发育期间土壤水分条件对其代谢有显著影响^[15]。

在生产实践中,我国广泛应用的节能日光温室,一年中有较长时间均处于一种亚低温条件下,而目前有关亚低温和水分胁迫协同作用对番茄生长发育及产量影响的报道较少。为此,本研究探讨了温室亚低温条件下,不同水分处理对番茄生理生化指标的影响,以期明确亚低温条件下温室水分优化管理的技术指标,为提高水分利用效率及实现番茄优质高产提供依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

试验于 2008-02—2009-05 在陕西杨凌西北农林科技大学园艺学院实验场温室内进行。试验材料为“金棚 1 号”温室番茄专用品种,由西北农林科技大学农城种业科技中心提供。

1.2 试验方法

2008-02-01 采用营养钵育苗,育苗基质为陕西杨凌新天地育苗专用基质(营养成分含量为:有机质质量分数 $\geq 50\%$,腐殖酸质量分数 $\geq 20\%$,pH 值 5.5~6.5)。2008-02-28 将番茄苗定植于直径 40 cm 的花盆内,定植基质中 V(土壤):V(牛粪)=2:1,每盆定植 1 株,共 80 盆。缓苗 7 d 后,将 80 盆成活的植株分成 2 组(各 40 盆),一组置于常温(18~35 ℃)温室内,另一组置于亚低温(8~25 ℃)温室内;然后将每个温室内的植株再分成 2 小组,第 1 小组正常供水(灌溉量为蒸腾蒸发量的 100%),第 2 小组缺水处理(灌溉量为蒸腾蒸发量的 80%)。试验设计详见表 1。处理时间为 2008-03-05—2008-04-23(第一穗果坐稳为止)。处理结束后,番茄进入

座果期,恢复常温和正常供水。

水分处理时以常温和正常供水的番茄植株为对照,采用称质量法补充蒸腾蒸发失水量。具体方法是:在处理前 1 d,对植株充分供水后控水 24 h(使花盆内基质水分达到饱和),然后称量每个花盆的质量,24 h 后再对每个花盆称质量,分别计算每个花盆植株的蒸腾蒸发失水量,并计算出应补充的灌溉量。

温室的温度在使用常规通风方式控制的基础上,再根据需要开启温室湿帘进行降温或用电热丝加温,以保证达到试验设计的温度。

表 1 试验设计

Table 1 Experiment treatment

处 理 Treatment	最高温度/℃ Top temperature	最低温度/℃ Low temperature	灌水量 Irrigation amount
CK	35	18	100% ET
T1	35	18	80% ET
T2	25	8	100% ET
T3	25	8	80% ET

注:ET 为蒸腾蒸发量。
Note:ET is transpiration and evaporation.

1.3 测定指标及其方法

在番茄植株缓苗进入开花座果期后,每 8 d 测定 1 次生理指标,共测定 7 次。在每个小区的不同位置选择 3 株番茄植株,取同一部位的新鲜叶低温保存后,带回实验室立即测定细胞膜相对透性、叶绿素含量、叶片相对含水量、可溶性蛋白质含量及 CAT、SOD 和 POD 活性。

细胞膜相对透性测定采用电导仪法^[16];叶绿素含量测定采用直接浸提法^[16];叶片相对含水量测定参考孙群^[17]的方法;可溶性蛋白质含量测定采用考马斯亮蓝染色法^[17];CAT 活性的测定采用过氧化氢法^[17],以 1 min 内 A_{240} 值降低 0.1 为 1 个酶活性单位;SOD 活性的测定采用 NBT 法,以抑制 NBT 光化学还原 50% 的酶量为 1 个酶活性单位^[17];POD 活性的测定采用愈创木酚法^[17],以每克鲜组织 1 min 内 A_{470} 值变化 0.10 为 1 个酶活性单位。

待果实成熟时,统一采收,统计每株番茄的总产量。灌溉量每次用量杯量取,并统计每株的总灌溉量,最后计算水分利用效率(单株总产量/单株总灌溉量)。

试验数据用 Excel 软件和 SAS 统计软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 水分对番茄开花座果期叶片保护酶活性的影响

从图 1 可以看出,在亚低温条件下,2 种供水处理番茄叶片的 POD、CAT 活性均较常温下低,而 SOD 活性则比常温下高;其中正常供水番茄叶片的

POD、CAT 活性比水分胁迫的植株高($T_2 > T_3$), SOD 活性则与之相反($T_2 < T_3$)。由图 1 还可以看出,亚低温对番茄植株叶片 SOD、POD、CAT 活性的影响大于水分。在亚低温条件下,番茄植株的 SOD 活性在处理初期增大不明显,可能是由于此时受亚低温的影响较小,但随着处理时间的延长,其活性逐渐升高。

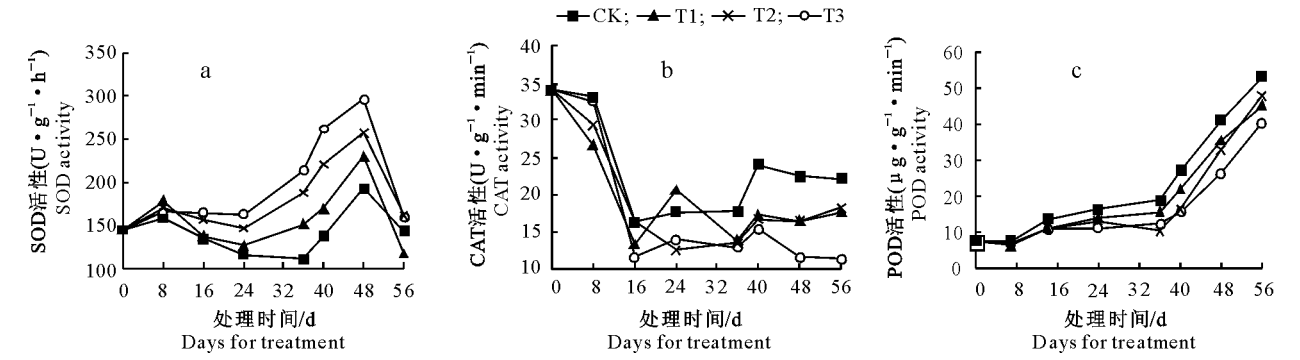


图 1 亚低温条件下灌水量对番茄叶片 CAT(a)、POD(b)、SOD(c)活性的影响
Fig. 1 Effect of irrigation amount on CAT(a), POD(b), SOD(c) in tomato leaves under sub-lower temperature

2.2 水分对番茄开花座果期部分生理指标的影响

植株叶片相对含水量是反映植物水分状况、研究植物水分关系的重要指标。从图 2a 可以看出,在亚低温条件下,正常供水番茄叶片的相对含水量一直高于水分胁迫的番茄($T_2 > T_3$)。在水分胁迫条件下,叶片相对含水量并未随着亚低温胁迫而降低,反而略有升高($T_3 > T_1$)。这可能是因为亚低温条件下植株叶片的蒸腾量小,而常温下叶片的蒸腾失水量较大,根系吸收的水分不足以补充叶片失水,使本来已发生水分亏缺的组织 and 细胞进一步脱水,故使叶片的相对含水量降低。

降。

植物组织在受到各种不利环境条件危害时,细胞膜的结构和功能首先受到伤害,细胞膜透性增大,相对应的细胞膜相对透性也随之增大。从图 2c 可以看出,在亚低温条件下,2 种供水处理番茄植株叶片的细胞膜相对透性均比常温下大,其中正常供水番茄植株叶片的细胞膜相对透性在整个生长期均较水分胁迫处理小($T_2 < T_3$)。各处理番茄叶片的细胞膜相对透性在处理初期变化幅度均较大,随着处理时间的延长,变化幅度均减小。在水分胁迫条件下,叶片细胞膜相对透性因亚低温胁迫而明显升高($T_3 > T_1$),说明其对亚低温的抵抗能力低于常温。

植物在遭受逆境胁迫时,各种生理过程都会受到影响,从而直接或间接地影响叶绿素的含量,而叶绿素含量的变化会对光合作用产生直接影响。在低温和水分胁迫下,叶绿素含量的变化可以反映植物对以上 2 种胁迫的敏感性。从图 2b 可以看出,在亚低温条件下,2 种供水处理番茄植株的叶绿素含量均低于常温植株,而正常供水番茄植株叶片的叶绿素含量在整个生长期都较水分胁迫番茄植株高($T_2 > T_3$)。在水分胁迫条件下,叶绿素含量因亚低温胁迫而明显下降($T_3 < T_1$),并随着处理时间的延长下降幅度加大,说明经过水分胁迫后的植株对亚低温胁迫的抵抗能力低于正常供水植株。亚低温与水分胁迫都能使番茄叶片叶绿素含量降低,这是由于逆境使叶绿体膜体系结构发生了改变,导致叶绿素合成速度减慢,而分解加速,因此叶绿素含量下

从图 2d 可以看出,在亚低温条件下,2 种供水处理番茄植株的可溶性蛋白质含量均较常温下低,其中正常供水番茄植株叶片的可溶性蛋白质含量在前期高于水分胁迫处理,后期两者趋于接近。在水分胁迫条件下,可溶性蛋白质含量因亚低温胁迫而明显下降($T_3 < T_1$),表现出亚低温对可溶性蛋白质含量的影响大于水分。

2.3 水分对温室番茄单株产量及水分利用效率的影响

从表 2 可以看出,在亚低温条件下,2 种供水处理的番茄单株产量均比常温下低,并存在极显著差异($P < 0.01$),与之相对应的水分利用效率也随之降低;其中正常供水处理的单株产量及水分利用效率均比亏缺供水植株高($T_2 > T_3$)。在水分胁迫条

件下,番茄植株的单株产量随温度的降低而降低($T_3 < T_1$),相对应的水分利用效率也随之降低($T_3 < T_1$),降低了 9.7%。显然,经水分胁迫后的番茄植株,对亚低温胁迫的抵抗能力不但没有加强,

反而弱于正常供水植株,最终表现为植株产量的减少及水分利用效率的降低。在亚低温条件下,番茄于初花期进行水分胁迫处理不仅未能增加产量、提高水分利用效率,反而使之均降低。

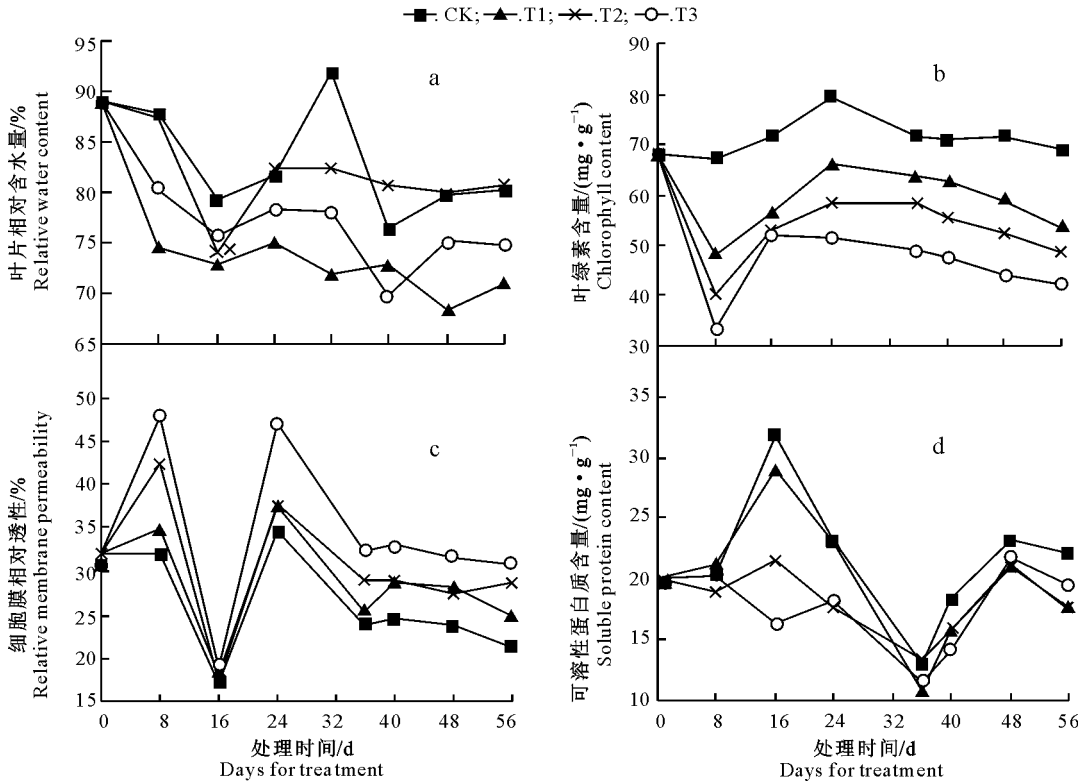


图 2 亚低温条件下灌水量对番茄叶片相对含水量(a)、叶绿素含量(b)、细胞膜相对透性(c)和可溶性蛋白质含量(d)的影响

Fig. 2 Influence of sub-low temperature on the relative water content(a), chlorophyll content(b), relative membrane permeability(c), soluble protein content(d) in different irrigation amounts in greenhouse

表 2 亚低温条件下灌水量对番茄单株产量及水分利用效率的影响

Table 2 Influence of sub-low temperature on the yield per plant and water use efficiency of tomato of different irrigation amounts in greenhouse

处 理 Treatment	单果质量/g Weight of average fruit	单株座果数 Setting fruit of average each plant	单株产量/g Yield of each average plant	每株灌水量/dm ³ Irrigation for each plant	水分利用效率/ (kg·m ⁻³) Efficiency of water used
CK	64 bB	12.3	790 aA	145.5	54.3
T1	69 aA	10.8	698 bB	132.7	52.6
T2	59 cC	8.7	503 cC	110.4	45.6
T3	63 bB	7.3	460 dD	107.1	42.9

注:同列数据后标不同大、小写字母者分别表示差异达 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 显著水平。
Note: Duncan's test (SSR). The same capital or small letter indicates no significance at $P = 0.01$ or 0.05 under different treatments.

3 结论与讨论

番茄属喜温蔬菜,不耐低温,对寒冷敏感,在整个生育期的最适生长温度为 30~15℃,当遭遇 15℃以下的亚低温时,植株的生长发育将受到一定程度抑制。本研究结果表明,亚低温对番茄的生理特

性、产量及水分利用效率的影响很大。亚低温(15~8℃)可使番茄植株的 POD、CAT 活性降低, SOD 活性升高,这与前人的研究结果不尽相同^[18-20];亚低温胁迫下番茄叶片可溶性蛋白质含量降低,这与武雁军等^[21]的相关研究结果不一致,主要是由于处理时间和处理温度不同,但与刘景安等^[22]以甜瓜为材

料的持续亚低温处理研究结果相同,说明持续亚低温与短期低温处理对可溶性蛋白质含量的影响不同;亚低温可使番茄叶片中叶绿素含量降低,这与艾希珍等^[23]、吴雪霞等^[24]的研究结果一致;使叶片细胞膜相对透性升高,这与刘景安等^[22]、武雁军等^[21]的研究结果一致,说明长期的亚低温胁迫均会导致叶绿素含量降低、细胞膜透性升高。

本研究还发现,番茄的抗寒性与水分状态关系密切。对于受水分胁迫的植株,亚低温胁迫引起CAT、POD酶活性的进一步降低,SOD酶活性进一步升高;使可溶性蛋白质含量、叶绿素含量进一步降低,叶片相对含水量、叶片细胞膜相对透性进一步升高。说明适宜的灌水量可使番茄植株对亚低温的抗性增强;相反,受水分胁迫的植株对亚低温的抗性减弱。目前有关低温条件下水分对番茄植株的生理特性、产量及水分利用效率影响的研究较少,其中涉及亚低温条件下水分对番茄影响的研究则更为少见。因此,亚低温与水分对番茄生长发育的协同作用,还有待进一步研究。

番茄植株的生长发育及产量的形成,不仅受亚低温和水分的单独影响,而且还受其协同作用的影响。在本研究中,番茄开花座果期经过亚低温处理,对其前期的产量及水分利用效率有显著影响。亚低温胁迫对正常供水番茄植株的影响表现为单株产量减少,水分利用效率降低;对于同时处于水分胁迫的番茄植株,单株产量进一步减少,水分利用效率进一步降低。因此,在寒潮降临之前,生产中可采取提前灌水、覆盖地膜的保护措施,使土壤具有适宜的含水量和较高的温度,以防止落花落果、产量减少、水分利用效率降低。在冬季温室番茄栽培中,应保持初花期温度适宜并正常供水,才能保障番茄的高产及水分利用效率的提高,达到节水高产的目的。

[参考文献]

- [1] 朱龙英,陈龙英.番茄耐低温和耐弱光性能鉴定方法初探[J].上海农业学报,1998,14(1):45-50.
Zhu L Y,Chen L Y. Preliminary study on methods of assessing low temperature resistance and weak light tolerance of tomato [J]. Acta Agriculture Shanghai, 1998, 14(1): 45-50. (in Chinese)
- [2] 李国强,齐明芳,李天来,等.夜间亚低温恢复期番茄幼苗光合作作用和生长发育的变化[J].沈阳农业大学学报,2006,37(3):491-494.
Li G Q,Qi M F,Li T L, et al. Change of photosynthesis and growth of tomato seedlings in recovery after night sub-low temperature [J]. Journal of Shenyang Agricultural University,

- 2006,37(3):491-494. (in Chinese)
- [3] 王荣青,阮美颖,杨悦俭,等.亚低温对番茄座果的影响及耐低温材料的筛选[J].浙江农业学报,2007,19(3):206-210.
Wang R Q,Ruan M Y,Yang Y J, et al. Effects of sub-low temperature on the fruit setting of tomato and the screening of tolerant lines [J]. Acta Agriculture Zhejiangensis, 2007, 19(3): 206-210. (in Chinese)
- [4] 齐红岩,李天来,曲春秋,等.亏缺灌溉对设施栽培番茄物质分配及果实品质的影响[J].中国蔬菜,2004(2):10-12.
Qi H Y,Li T L,Qu C Q, et al. Effects of deficit irrigation on dry matter distribution and fruit quality of tomato in protected cultivation [J]. China Vegetables, 2004(2):10-12. (in Chinese)
- [5] 张维强,沈秀瑛.水分胁迫和复水对玉米叶片光合速率的影响[J].华北农学报,1994,9(3):44-47.
Zhang W Q,Shen X Y. Effects of water stress and rewatering on photosynthetic rate of maize leaf [J]. Acta Agriculturae Boreal-Sinica, 1994, 9(3): 44-47. (in Chinese)
- [6] 张大鹏,罗国光.不同时期水分胁迫对葡萄果实生长发育的影响[J].园艺学报,1992,19(4):296-300.
Zhang D P,Luo G G. Effects of water stress on grape fruit development in different stages of growing season [J]. Acta Horticulture Sinica, 1992, 19(4): 296-300. (in Chinese)
- [7] 柏成寿,陆帼一.水分胁迫对番茄幼苗生长影响的研究[J].园艺学报,1991,18(4):340-344.
Bo C S,Lu G Y. Effects of water stress on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seeding [J]. Acta Horticulture Sinica, 1991, 18(4): 340-344. (in Chinese)
- [8] Baselga Yrisarry J J. Response of processing tomato to three different levels of water and nitrogen application [J]. Acta Hort, 1993, 335: 149-153.
- [9] 姚磊,杨阿明.不同水分胁迫对番茄生长的影响[J].华北农学报,1997,12(2):102-106.
Yao L,Yang A M. Influences of different water stress on tomato growth [J]. Agriculture Boreal-sinica, 1997, 12(2): 102-106. (in Chinese)
- [10] 奇红岩,李天来.亏缺灌溉对番茄蔗糖代谢和干物质分配及果实品质的影响[J].中国农业科学,2004,37(7):1045-1049.
Qi H Y,Li T L. Effects of irrigation on sucrose metabolism, dry matter distribution and fruit quality of tomato under water deficit [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(7): 1045-1049. (in Chinese)
- [11] 刘明池,张慎好,刘向莉.亏缺灌溉时期对番茄果实品质和产量的影响[J].农业工程学报,2005,21(S):92-95.
Liu M C,Zhang S H,Liu X L. Effects of different deficit irrigation periods on yield and fruit quality of tomato [J]. Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(S): 92-95. (in Chinese)
- [12] Intriglio D S,Castel J R. Effects of regulated deficit irrigation on growth and yield of young Japanese plum trees [J]. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2005, 80(2): 177-182.
- [13] Goldhamer D A,Viveros M,Salinas M. Regulated deficit irri-

- gation; Effects of variation in applied water and stress timing on yield and yield components [J]. *Irrigation Science*, 2006, 24(2): 101-114.
- [14] 刘明池, 小岛孝之, 陈 杭, 等. 亏缺灌溉对草莓生长和果实品质的影响 [J]. *园艺学报*, 2001, 28(4): 307-311.
Liu M C, Xiaodao X Z, Chen H. Effect of soil moisture on plant growth and fruit properties of strawberry [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2001, 28(4): 307-311. (in Chinese)
- [15] Bauero, Biehler K, Fock H. A role of cytosolic glutamine synthetase in the remobilization of leaf nitrogen during water stress in tomato [J]. *Physiology in Plantarum*, 1997, 99: 241-248.
- [16] 高俊凤. 植物生理学实验技术 [M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000: 192-199.
Gao J F. Plant physiology research technology [M]. Xi'an: World Book Publishing, 2000: 192-199. (in Chinese)
- [17] 孙 群. 植物生理研究技术 [M]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2007: 138-171.
Sun Q. Plant physiology research technology [M]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University Press, 2007: 138-171. (in Chinese)
- [18] 张渝洁. 番茄在低温弱光下生理特性的变化研究 [J]. *北方园艺*, 2008(3): 38-39.
Zhang Y J. Studies on the physiological characteristic of lycopersicon esculentum mill at low temperature under low irradiance [J]. *Northern Horticultuer*, 2008(3): 38-39. (in Chinese)
- [19] 张 雅. 低温弱光对茄子嫁接苗和自根苗抗氧化酶系统的影响 [J]. *浙江农业学报*, 2007(4): 2-5.
Zhang Y. Effects of low temperature and poor light on the antioxidant enzymes in leaves of own-rooted and grafted eggplant seedlings [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2007(4): 2-5. (in Chinese)
- [20] 李建设, 耿广东, 程智慧. 低温胁迫对茄子幼苗抗寒性生理生化指标的影响 [J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2003, 31(1): 90-92.
Li J S, Geng G D, Cheng Z H. Effects of chilling stress on chill-resistance physiological and biochemical indexes of eggplant seedlings [J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Nat Sci Ed*, 2003, 31(1): 90-92. (in Chinese)
- [21] 武雁军, 刘建辉. 低温胁迫对厚皮甜瓜幼苗抗寒性生理生化指标的影响 [J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2007, 35(3): 139-143.
Wu Y J, Liu J H. Effects of chilling stress on chill-resistance physiological and biochemical indexes of muskmelon seedlings [J]. *Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed*, 2007, 35(3): 139-143. (in Chinese)
- [22] 刘景安, 孙玉文. 持续亚低温对甜瓜幼苗生理生化指标的影响 [J]. *中国农学通报*, 2008, 24(11): 240-243.
Liu J A, Sun Y W. Influence of sustained sub-low temperature on the physiological and biochemical indices of muskmelon (*Cucumismelon* L.) seedlings [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(11): 240-243. (in Chinese)
- [23] 艾希珍, 马兴庄. 弱光下长期亚适温和短期低温对黄瓜生长及光合作用的影响 [J]. *应用生态学报*, 2004, 15(11): 2091-2094.
Ai X Z, Ma X Z. Effects of long-term suboptimal temperature and short-term low temperature under low light density on cucumber growth and its photosynthesis [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(11): 2091-2094. (in Chinese)
- [24] 吴雪霞, 陈建林, 查丁石. 低温胁迫对茄子幼苗叶片光合特性的影响 [J]. *华北农学报*, 2008, 23(5): 185-189.
Wu X X, Chen J L, Cha D S. Effects of low temperature stress on photosynthetic characteristics in leaves of eggplant seedlings [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2008, 23(5): 185-189. (in Chinese)