

紫外线 - B 照射对小白菜生长、产量及品质的影响

陈 岚, 吴 震^①, 蒋芳玲, 徐 磊, 王加倩

(南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 在温室条件下, 采用辐照度为 0.4、0.5 和 0.6 $W \cdot m^{-2}$ 的紫外线 - B (UV - B) 对小白菜 (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino) 照射 2、3 和 4 $h \cdot d^{-1}$, 连续照射 7 d 后, 研究了 UV - B 照射对小白菜生长、产量及品质的影响。结果表明, 停止照射后 35 d, 各处理组小白菜的鲜质量、株高、叶片数、干物质含量、叶绿素含量、可溶性糖含量及硝酸盐含量均与对照无显著差异, 但 V_c 含量增加, 可溶性蛋白质含量降低。经 UV - B 照射后, 下胚轴长度大于 2 cm 的小白菜植株所占的百分率显著低于对照, 说明 UV - B 照射可有效控制小白菜植株徒长。从子叶充分展开时用 0.4~0.6 $W \cdot m^{-2}$ UV - B 照射 2 $h \cdot d^{-1}$, 连续照射 7 d, 既能有效控制小白菜植株徒长、提高 V_c 含量, 又不会造成产量和品质的下降; 为最佳的补充 UV - B 处理条件。

关键词: 紫外线 - B; 小白菜; 生长; 产量; 品质

中图分类号: S634.3; S625.5⁺2 文献标志码: A 文章编号: 1004-0978(2008)01-0043-05

Effects of ultraviolet-B radiation on growth, yield and quality of pakchoi (*Brassica campestris* ssp. *chinensis*) CHEN Lan, WU Zhen^①, JIANG Fang-ling, XU Lei, WANG Jia-qian (Horticulture College of Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2008, 17(1): 43-47

Abstract: Plant growth, yield and quality of pakchoi (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino) treating with 0.4, 0.5 and 0.6 $W \cdot m^{-2}$ ultraviolet-B (UV-B) irradiated 2, 3 and 4 $h \cdot d^{-1}$ successively for 7 days were studied in greenhouse. The results showed that there were not significant difference in fresh weight, height, leaf number, dry matter content, chlorophyll content, soluble sugar content and nitrate content of pakchoi between treatment groups and control group after 35 d of stopping irradiated, however, V_c content increased and soluble protein content decreased in treatment groups. After irradiated with UV-B, the percentage of pakchoi plant of hypocotylar length above 2 cm was significantly lower than the control, which indicated that UV-B irradiation treatment has a significant effect on controlling plant overgrowth. The best treatment condition is that pakchoi is irradiated 2 $h \cdot d^{-1}$ with 0.4-0.6 $W \cdot m^{-2}$ UV-B successively for 7 days since cotyledons fully opened, which can be effective on controlling overgrowth and enhancing V_c content, while will not induce decline on yield and quality.

Key words: ultraviolet-B; pakchoi; growth; yield; quality

小白菜 (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino) 又称不结球白菜、青菜、油菜等, 是原产于中国的重要蔬菜作物之一。小白菜质地鲜嫩、营养丰富, 在人们的生活中占有重要地位^[1]。

近年来, 随着设施农业及无土栽培技术的迅速发展, 借鉴国外植物工厂化生产技术, 中国国内的叶菜工厂化栽培模式也处于不断探索和发展中^[2]。采用轻基质穴盘栽培的速生小白菜因优质安全、外观洁净、商品性好且能实现周年供应而倍受关注^[3]。但也有研究发现, 设施覆盖材料对可见光的

透过率较低, 对紫外线的透过率更低。据测定, 10 月份普通玻璃温室的透光率约 88.0%, 紫外线透过率仅 15.9%~21.1%; 露地晴天中午紫外线 - B (UV - B) 辐照度约为 0.500 $W \cdot m^{-2}$, 而玻璃温室内仅约 0.075 $W \cdot m^{-2}$ 。由于用穴盘栽培的植物普

收稿日期: 2007-05-14

基金项目: 江苏省科技攻关项目 (BE2001326-4); 江苏省重大科技攻关招标项目 (BE2002304)

作者简介: 陈 岚 (1982-), 女, 江苏南通人, 硕士研究生, 主要从事有关蔬菜生理生态学方面的研究。

^① 通讯作者 E-mail: zpzx@njau.edu.cn

遍存在地上部密度大、生长过快、光合面积小及易徒长等问题^[4],且紫外光照射能矮化植株,因此,紫外线强度过低可能是造成设施小白菜徒长的重要因素之一。

UV-B 对植物生长发育有显著影响,国外相关的研究主要集中在代谢过程及形态结构等方面^[5-9],国内学者的研究则主要集中在大田条件下增强 UV-B 照射抑制植物生长等方面^[10]。有研究表明,一定范围的紫外线照射对植物的生长发育无显著抑制作用,但具有控制徒长、缩短节间、增加分枝、使叶片变厚等效应^[11]。目前,有关紫外线照射对小白菜生长发育影响的报道较少,尚未见 UV-B 照射对小白菜生长、产量和品质影响的研究报道。在温室穴盘栽培条件下,作者研究了补充 UV-B 照射对小白菜生长、产量和品质的影响,探讨了补充 UV-B 照射对控制小白菜徒长的可能性和应用效果,为设施栽培小白菜品质的控制提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 材料

实验于 2006 年 9 月至 11 月在南京农业大学玻璃温室内进行。供试小白菜品种为‘矮脚黄’,由南京绿领种苗有限公司提供。紫外线-B(UV-B)通过悬挂在植株上方的紫外灯产生,所用紫外灯为 UV-B 保健灯,功率 30 W,由南京紫光灯具厂生产;紫外灯照射波长 280~315 nm,高峰波长 297 nm。UV-B 辐照度用北京师范大学光电仪器厂生产的 UV-B 紫外辐射强度仪测定。

1.2 方法

1.2.1 UV-B 处理方法 将小白菜种子直接播到装有复合基质的 50 孔塑料穴盘中,按体积比 2:1:1 的比例用芦苇末、蛭石和珍珠岩配制成复合基质。栽培过程中浇施日本园试配方营养液^[12],生长初期(出苗后前 20 d)每 2 天浇 1 次营养液,生长后期(出苗 20 d 以后)每天浇 1 次,每次浇透为止。

实验采用 2 因素(UV-B 辐照度和照射时间)3 水平正交设计,UV-B 辐照度设置 0.4、0.5 和 0.6 $W \cdot m^{-2}$ 3 个水平,照射时间设置 2、3 和 4 $h \cdot d^{-1}$ 3 个水平,共 9 个组合。以温室自然光照条件(UV-B 辐照度 0.018~0.075 $W \cdot m^{-2}$)为对照。选取生长一致的小白菜幼苗,在子叶展开后进行 UV-B 照射

处理,各处理均从中午 11:00 开始照射,持续照射至设定时间,连续 7 d 后停止 UV-B 照射并进行日常管理。每处理 3 次重复,每重复 3 个穴盘,每穴盘 50 株,不同重复采用随机区组排列。

1.2.2 产量和生长指标的测定方法 于 UV-B 照射处理后 14、21、28 和 35 d 分别取样测定植株的干质量和鲜质量。样品用自来水冲洗干净后,去离子水洗净,吸干水分,称取鲜质量;称重后的样品于 105 $^{\circ}C$ 杀青 30 min,85 $^{\circ}C$ 烘干至恒重,称取干质量。每个重复 5 株,结果取平均值。在处理 35 d 统计各处理组小白菜的株高、叶片数及下胚轴长度。每一穴盘小白菜的产量 = 处理后 35 d(生长 38 d)时的平均单株鲜质量 \times 50。

处理后 35 d,采用红菲罗琳法测定 V_c 含量^[13],用蒽酮比色法测定可溶性糖含量^{[14]195},用考马斯亮蓝比色法测定可溶性蛋白质含量^{[14]184},用水杨酸比色法测定硝酸根离子含量^{[14]123},用乙醇浸提比色法测定叶绿素和类胡萝卜素含量^{[14]130}。各项指标测定均 3 次重复,结果取平均值。

1.3 数据的统计分析

实验数据采用 SPSS 13.0 统计软件进行统计和差异显著性分析。

2 结果和分析

2.1 UV-B 照射对小白菜植株生物量的影响

UV-B 照射对小白菜鲜质量和干质量的影响见表 1。由表 1 可见,用辐照度 0.4、0.5 和 0.6 $W \cdot m^{-2}$ 的 UV-B 照射 4 $h \cdot d^{-1}$,14 d 后各处理组小白菜的鲜质量显著低于对照,其中 0.6 $W \cdot m^{-2}$ UV-B 照射 4 $h \cdot d^{-1}$ 处理组的小白菜鲜质量最低,仅为 0.59 g;其他处理组的小白菜鲜质量与对照差异不显著。用 0.5 和 0.6 $W \cdot m^{-2}$ UV-B 分别照射 4 $h \cdot d^{-1}$,小白菜的干质量显著低于对照,其中用 0.6 $W \cdot m^{-2}$ UV-B 照射 4 $h \cdot d^{-1}$ 处理组的小白菜干质量最低,仅为 0.04 g。在处理后的第 21 天和 28 天,用 UV-B 照射 4 $h \cdot d^{-1}$ 各处理组小白菜的鲜质量和干质量均显著低于对照,且均以用 0.6 $W \cdot m^{-2}$ UV-B 照射 4 $h \cdot d^{-1}$ 处理组小白菜的鲜质量和干质量最低。以上结果说明,UV-B 照射时间过长可导致植株生长量下降。

处理后 35 d,各处理组小白菜的干质量和鲜质

量与对照差异均不显著,说明一定时间的UV-B照射对小白菜生长后期物质积累的影响不显著。

在本实验范围内,不同UV-B辐照度对小白菜鲜质量和干质量影响的差异不明显,虽然UV-B辐照度的变化对小白菜生长有一定的影响,但这种抑

制作用随着生长而逐渐减弱。相比较而言,UV-B照射时间对小白菜生长的影响更显著,照射时间为 $4\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ 的各处理组小白菜在不同生长阶段的干物质积累均低于其他处理组,说明照射时间越长,UV-B对植株生长的抑制作用越强。

表1 UV-B照射对小白菜鲜质量和干质量的影响¹⁾

Table 1 Effect of UV-B irradiation on fresh weight and dry weight of pakchoi (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino)¹⁾

辐照度/ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ Irradiation intensity	照射时间/ $\text{h}\cdot\text{d}^{-1}$ Irradiation time	不同时期植株的鲜质量/g Fresh weight at different times				不同时期植株的干质量/g Dry weight at different times			
		14 d	21 d	28 d	35 d	14 d	21 d	28 d	35 d
0.4	2	1.06ab	3.89abc	9.65abc	13.07a	0.08a	0.20abc	0.38bc	0.88a
0.4	3	0.94abc	4.49ab	10.75a	15.17a	0.06abc	0.24ab	0.49ab	0.77ab
0.4	4	0.84bcd	2.76cd	6.89cd	11.69a	0.06abc	0.15cde	0.37bc	0.58ab
0.5	2	1.05ab	3.49bcd	10.77a	13.00a	0.07a	0.18bcd	0.59a	0.81a
0.5	3	1.02ab	3.72abcd	9.85ab	13.00a	0.08a	0.21abc	0.37bc	0.83ab
0.5	4	0.66cd	3.39bcd	7.79bcd	10.86a	0.04bc	0.13de	0.29cd	0.42b
0.6	2	0.90abcd	3.49bcd	9.01abc	12.51a	0.06a	0.18bcd	0.37bc	0.86a
0.6	3	0.95abc	3.57abcd	9.01abc	12.81a	0.06ab	0.18bcd	0.35cd	0.73ab
0.6	4	0.59d	2.65d	6.07d	11.84a	0.04c	0.10e	0.23d	0.55ab
CK		1.18a	4.73a	11.18a	15.77a	0.07a	0.27a	0.51a	0.89a

¹⁾ CK: 温室自然光照 Natural light in greenhouse; 同列中的不同字母表示在 $P=0.05$ 水平上邓肯氏新复极差检验差异显著 Different letters in the same column indicate the significant difference at $P=0.05$ level by using Duncan's Multiple Range Test.

2.2 UV-B照射对小白菜植株生长状况的影响

UV-B照射后35 d,各处理组小白菜的生长情况见表2。由表2可见,各处理组小白菜的株高、叶片数、干物质含量和穴盘产量与对照均无显著差异。就株高而言, $0.4\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ UV-B照射 $3\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ 处理组最高, $0.6\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ UV-B照射 $4\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ 处理组最低,分别为25.0和20.1 cm,二者差异显著;就叶片数而言, $0.5\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ UV-B照射 $3\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ 处理组叶片数最多,达6.1片,显著高于 $0.5\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ UV-B照射 $4\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $0.6\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ UV-B照射 $2\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ 处理组;就干物质含量而言,用 $0.4\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ UV-B照射 $2\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ 处理组干物质含量最高(7.5%),用 $0.5\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ UV-B照射 $2\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $0.6\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ UV-B照射 $2\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ 处理组略低,均为6.9%,用 $0.5\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ UV-B照射 $4\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ 处理组最低(3.8%),且前三者与后者间差异显著;此外,各处理组小白菜的产量差异不显著。实验结果表明,在生长初期进行UV-B照射对小白菜后期产量没有显著影响。用UV-B照射 $2\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ 各处理组小白菜的干物质含量较高,说明在生长初期进行短时间UV-B照射,有利于提高小白菜植株的干物质积累。一般情况下,植株的下胚轴长度可用于表示植

株的徒长程度,下胚轴越长,徒长程度越严重。由表2可见,所有UV-B处理组中,下胚轴长度大于2 cm的小白菜植株所占的百分率均显著低于对照,在照射 $4\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ 的3个处理组及 $0.4\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ UV-B照射 $2\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ 处理组中,下胚轴长度大于1 cm的植株所占的百分率均显著低于对照,说明生长初期采用UV-B照射对小白菜徒长有显著的控制效果。各处理组中,UV-B照射 $4\text{ h}\cdot\text{d}^{-1}$ 的各处理组小白菜的下胚轴伸长程度最小,进一步说明紫外线照射时间越长,对小白菜植株徒长的抑制作用就越强。

2.3 UV-B照射对小白菜叶片叶绿素含量的影响

处理后35 d,经UV-B照射的各处理组小白菜叶片的叶绿素a、b和总叶绿素含量及叶绿素a/b比值均与对照无显著差异(表3),说明补充UV-B照射后,经过一段时间的恢复生长,小白菜的叶绿素含量和比例没有受到显著影响。在UV-B照射下,植物能合成大量的保护物质(如黄酮类、花青素及类胡萝卜素等),它们能强烈吸收紫外线,使透过叶表进入细胞的UV-B辐射量减少,抑制UV-B对叶绿素的破坏作用^[11]。本实验中,受UV-B照射后,经过一段时间的恢复生长,小白菜叶片叶绿素含量恢复到对照水平,可能与上述机制有关。

表2 UV-B照射后35天小白菜植株各生长指标的比较¹⁾Table 2 Comparison of some growth indexes of pakchoi (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino) by UV-B irradiation after 35 d¹⁾

辐照度/ $W \cdot m^{-2}$ Irradiation intensity	照射时间/ $h \cdot d^{-1}$ Irradiation time	株高/cm Height	叶片数 Leaf number	干物质含量/% Dry matter content	产量/g Yield	百分率/% ²⁾ Percentage ²⁾	
						A	B
0.4	2	21.2ab	5.5ab	7.5a	653.5a	21.5bc	2.3c
0.4	3	25.0a	5.9ab	5.2ab	758.5a	30.3ab	11.1b
0.4	4	22.0ab	5.4ab	4.6ab	584.5a	16.9bc	0.0c
0.5	2	22.0ab	5.7ab	6.9a	650.0a	29.7ab	4.1c
0.5	3	23.4ab	6.1a	6.3ab	650.0a	28.3ab	5.5bc
0.5	4	21.0ab	5.3b	3.8b	592.0a	9.5c	0.6c
0.6	2	22.7ab	5.2b	6.9a	625.5a	28.4ab	5.0c
0.6	3	22.6ab	5.5ab	5.9ab	640.5a	32.8ab	5.8bc
0.6	4	20.1b	5.6ab	4.8ab	543.0a	6.9c	0.0c
CK		22.4ab	5.8ab	5.2ab	788.5a	41.5a	23.7a

¹⁾ CK: 温室自然光照 Natural light in greenhouse; 同列中的不同字母表示在 $P=0.05$ 水平上邓肯氏新复极差检验差异显著 Different letters in the same column indicate the significant difference at $P=0.05$ level by using Duncan's Multiple Range Test. ²⁾ A: 下胚轴长度大于1 cm的植株 Plant of hypocotylar length above 1 cm; B: 下胚轴长度大于2 cm的植株 Plant of hypocotylar length above 2 cm.

表3 UV-B照射后35天小白菜叶片叶绿素含量的比较¹⁾Table 3 Comparison of chlorophyll content of pakchoi (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino) by UV-B irradiation after 35 d¹⁾

辐照度/ $W \cdot m^{-2}$ Irradiation intensity	照射时间/ $h \cdot d^{-1}$ Irradiation time	含量/ $g \cdot kg^{-1}$ Content			Chla/ Chlb
		Chla	Chlb	Total	
0.4	2	0.67a	0.31a	0.98a	2.22a
0.4	3	0.95a	0.46a	1.41a	2.08a
0.4	4	0.87a	0.39a	1.26a	2.25a
0.5	2	0.70a	0.32a	1.03a	2.18a
0.5	3	0.85a	0.40a	1.26a	2.13a
0.5	4	1.02a	0.44a	1.46a	2.36a
0.6	2	0.79a	0.37a	1.16a	2.15a
0.6	3	0.92a	0.43a	1.35a	2.16a
0.6	4	1.04a	0.47a	1.50a	2.23a
CK		1.03a	0.50a	1.54a	2.10a

¹⁾ CK: 温室自然光照 Natural light in greenhouse; 同列中的不同字母表示在 $P=0.05$ 水平上邓肯氏新复极差检验差异显著 Different letters in the same column indicate the significant difference at $P=0.05$ level by using Duncan's Multiple Range Test.

2.4 UV-B照射对小白菜品质的影响

UV-B照射处理后35 d,各处理组小白菜的主要品质指标见表4。由表4可以看出,对照组小白菜叶片的 V_c 含量最低,仅为 $0.34 g \cdot kg^{-1}$,显著低于 $0.4 W \cdot m^{-2}$ UV-B照射 $3 h \cdot d^{-1}$ 、 $0.5 W \cdot m^{-2}$ UV-B照射 $2 h \cdot d^{-1}$ 和 $0.6 W \cdot m^{-2}$ UV-B照射 $3 h \cdot d^{-1}$ 及 $4 h \cdot d^{-1}$ 处理组,表明UV-B照射可提高小白菜叶片的 V_c 含量,但不同处理组间的 V_c 含量差异不显著。

由表4还可以看出,各处理组小白菜的可溶性

糖含量与对照差异不显著,但随UV-B照射时间的延长表现出升高的趋势,以 $0.6 W \cdot m^{-2}$ UV-B照射 $4 h \cdot d^{-1}$ 处理组小白菜的可溶性糖含量最高,达到1.19%。9个处理组中,有6个处理组的小白菜可溶性蛋白质含量显著低于对照,以 $0.5 W \cdot m^{-2}$ UV-B照射 $2 h \cdot d^{-1}$ 处理组最低($1.02 g \cdot kg^{-1}$),说明UV-B照射可使小白菜可溶性蛋白质含量下降。差异显著性分析结果表明,各处理组小白菜的硝酸盐含量为 $1.12 \sim 1.37 g \cdot kg^{-1}$,与对照间差异不显著。

表4 UV-B照射后35天小白菜主要品质指标的比较¹⁾Table 4 Comparison of main quality indexes of pakchoi (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino) by UV-B irradiation after 35 d¹⁾

辐照度/ $W \cdot m^{-2}$ Irradiation intensity	照射时间/ h Irradiation time	V_c 含量/ $g \cdot kg^{-1}$ V_c content	可溶性糖含量/% Soluble sugar content	可溶性蛋白质含量/ $g \cdot kg^{-1}$ Soluble protein content	硝酸盐含量/ $g \cdot kg^{-1}$ Nitrate content
0.4	3	0.57a	0.46bc	1.14bcd	1.37a
0.4	4	0.42ab	0.77abc	1.13bcd	1.16a
0.5	2	0.56a	0.37c	1.02e	1.18a
0.5	3	0.46ab	0.90ab	1.16abc	1.18a
0.5	4	0.46ab	0.87ab	1.17ab	1.30a
0.6	2	0.54ab	0.75abc	1.08cde	1.18a
0.6	3	0.55a	0.67bc	1.12bcd	1.25a
0.6	4	0.57a	1.19a	1.06de	1.12a
CK		0.34b	0.78abc	1.22a	1.21a

¹⁾ CK: 温室自然光照 Natural light in greenhouse; 同列中的不同字母表示在 $P=0.05$ 水平上邓肯氏新复极差检验差异显著 Different letters in the same column indicate the significant difference at $P=0.05$ level by using Duncan's Multiple Range Test.

3 讨论和结论

有研究表明,补充UV-B照射可使植物的株高降低,叶面积及地上、地下部分的干质量和鲜质量下降,表现出对植株生长的抑制作用^[15-16];UV-B照射也能使植物的光合作用受到抑制,总叶绿素、叶绿素a和b含量下降^[17-18]。本研究结果表明,虽然补充UV-B照射对小白菜生长有一定的抑制作用,但随植株的生长,这种抑制作用逐渐减弱。

由于蛋白质的吸收波长在UV-B波长范围内,因此UV-B照射能提高某些蛋白质的降解速率、降低合成速率,也能诱导某些蛋白质的合成^[10,19]。实验发现,UV-B照射降低了小白菜可溶性蛋白质含量,这与前人的部分研究结果一致。UV-B照射后,小白菜的V_C含量提高,这与王英利等的研究结果相似^[20]。UV-B照射可引起植物体内活性氧代谢增强,从而引起植物的防卫性响应^[21]。由于V_C对清除细胞内活性氧和自由基具有重要作用,因此,V_C含量的提高缓解了UV-B照射对植株的伤害。此外,V_C还是人体必需的维生素,适宜的UV-B照射能提高小白菜的V_C含量,有利于小白菜营养品质的提高。

UV-B照射可抑制小白菜下胚轴过度伸长,有效控制植株徒长,且对小白菜的生物产量和主要品质指标没有明显影响,说明用补充UV-B照射控制设施叶菜徒长是可行的。综合考虑包括能耗在内的各种因素,确定补充UV-B照射的最佳剂量应为0.4~0.6 W·m⁻²,以子叶展开期为最佳时期,每天照射2 h,连续照射7 d。采取这种措施既能有效控制小白菜植株徒长,又不会造成产量和品质的下降。

参考文献:

- [1] 高丽红,李式军,凌丽娟. 遮阳网覆盖缓解夏季普通白菜高温伤害机理的研究[J]. 园艺学报, 1997, 24(4): 399-400.
- [2] 杨其长,张成波. 植物工厂概论[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005.
- [3] 吴震,黄俊,翁忙玲,等. 无公害叶菜工厂化生产技术研究进展[J]. 中国农学通报, 2005, 21(7): 392-396.
- [4] 陈杰. 穴盘育苗中的物理和化学调控技术[J]. 中国蔬菜, 2004(5): 44-45.
- [5] Teramura A H. Effects of ultraviolet-B radiation on the growth and yield of crop plants[J]. *Physiol Plant*, 1983, 58: 415-427.
- [6] Santos I, Almeida J M, Salema R. Plants of *Zea mays* L. developed under enhanced UV-B radiation I. Some ultrastructural and biochemical aspects[J]. *Plant Physiol*, 1993, 141: 450-456.
- [7] Demchik S M, Day T A. Effect of enhanced UV-B radiation on pollen quantity, quality and seed yield in *Brassica rapa*[J]. *Am J Bot*, 1996, 83: 573-579.
- [8] Allen D J, Noguez S, Baker N R. Ozone depletion and increased UV-B radiation: is there a real threat to photosynthesis? [J]. *J Exp Bot*, 1998, 49: 1775-1788.
- [9] Barsig M, Malz R. Fine structure, carbohydrates and photosynthetic pigments of sugar maize leaves under UV-B radiation[J]. *Environ Exp Bot*, 2000, 43(2): 121-130.
- [10] 侯扶江, 贾桂英. 紫外线-B辐射对植物的影响研究进展[J]. 植物学通报, 1997, 14(4): 18-23.
- [11] 李元, 王勋陵. UV-B辐射对田间春小麦生物量和产量的影响[J]. 农村生态环境, 1999, 15(2): 28-31.
- [12] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [13] 汤章城. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [15] Teramura A H, Ziska L H, Sztein A E. Changes in growth and photosynthetic capacity of rice with increased UV-B radiation[J]. *Physiol Plant*, 1991, 83: 373-380.
- [16] Searles P S, Caldwell M M, Winter K. The response of five tropical dicotyledon species to solar ultraviolet-B radiation[J]. *Am J Bot*, 1995, 82: 445-453.
- [17] Strid A, Chow W S, Anderson J M. Effects of supplementary ultraviolet-B radiation on photosynthesis in *Pisum sativum*[J]. *Biochim Biophys Acta*, 1990, 1020(3): 260-268.
- [18] Hader D P, Hader M. Effects of solar and artificial UV radiation on motility and pigmentation in the marine cryptomonas maculate[J]. *Environ Exp Bot*, 1991, 31(1): 33-41.
- [19] Caldwell M M, Bjorn L O, Bornman J F, et al. Effects of increased solar ultraviolet radiation on terrestrial ecosystem[J]. *J Photochem Photobiol B: Biol*, 1998, 46: 40-52.
- [20] 王英利, 王勋陵, 岳明. UV-B及红光对大棚番茄品质的影响[J]. 西北植物学报, 2000, 20(4): 590-595.
- [21] 晏斌, 戴秋杰. 紫外线-B对水稻叶组织中活性氧代谢及膜系统的影响[J]. 植物生理学报, 1996, 22(4): 373-378.