

增强的紫外线-B 辐射对几种作物和品种生长的影响

安黎哲^{1,2}, 冯虎元^{1,2}, 王勋陵^{1*}

(1. 兰州大学生命科学学院, 兰州 730000; 2. 中国科学院兰州冰川冻土研究所冻土工程国家重点实验室, 兰州 730000)

摘要:在温室条件下,以每日 $2.2\text{kJ/m}^2(\text{CK})$ 、 $8.82\text{kJ/m}^2(T_1)$ 和 $12.6\text{kJ/m}^2(T_2)$ 紫外线-B 辐射 (UV-B, 280~320nm) 剂量研究了 5 个黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 品种, 7 个番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill) 品种及大豆 [*Glycine max* (L.) Merr.], 菜豆 (*Phaseolus vulgaris* L.) 和黄河密瓜 (*Cucumis melo* L.) 的生长反应。辐射处理 25d 后, 测定了株高 (PH)、叶重 (LDW) 及总生物量 (TDW)、叶面积 (LA)、特定叶重 (SLW)、上胚轴长度 (EL) 和番茄品种的子叶节周长 (GCN)。结果表明, 种间和种内差异显著。但是大多数品种及种的反应指数为负值, 并呈现强度负相关效应, 说明 UV-B 辐射抑制了它们的生长发育, 但大豆的反应指数在低剂量的处理下为正值反而促进其生长。UV-B 胁迫下, 大多数种类的上胚轴延伸明显受阻, 特定叶重增加, 叶面积和生物量减少, 番茄的子叶节膨大。作物对 UV-B 辐射的种内和种间反应是作物遗传特性上的差异和对环境的适应能力不同所致。

关键词:作物; 种内反应; 种间反应; 紫外线-B 辐射

Effects of enhanced UV-B radiation on the growth of some crops

AN Li-Zhe^{1,2}, FENG Hu-Yuan^{1,2}, WANG Xun-Ling¹ (1. School of Life Science, Lanzhou University, Lanzhou, 730000, China; 2. State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, LIGG, CAS, Lanzhou 730000)

Abstract: Five cucumber cultivars (*Cucumis sativus* L.), seven tomato cultivars (*Lycopersicon esculentum* Mill.), soybean [*Glycine max* (L.) Merr.], bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and watermelon (*Cucumis melo* L. cv. *huanghemi*) were investigated on their growth responses to simulating enhanced ultraviolet-B (UV-B, 280~320nm) radiation ($T_1 = 8.82\text{kJ/m}^2 \cdot \text{d}$, $T_2 = 12.6\text{kJ/m}^2 \cdot \text{d}$ and $\text{CK} = 2.2\text{kJ/m}^2 \cdot \text{d}$) under greenhouse conditions. After 25 days, leaf area (LA), leaf dry weight (LDW), total dry weight (TDW), plant height (PH), special leaf weight (SLW), epicotylar length (EL), girth of cotyledonary node (GCN) were measured. The results indicated that intraspecific and interspecific difference were significant. Enhanced UV-B radiation induced changes in morphological character, the reduction of biomass, plant height and leaf areas, the increase of special leaf weight and the inhibition of epicotylar growth, and finally lead to the reduction of RI ($RI < 0$). Of the cultivars, Jingchun 3 was the most sensitive to UV-B irradiance compared with other cucumber cultivars and ganfeng 2 more tolerant than other ones. Similarly, the most inhibition to Longfan 3 in tomato cultivars was observed and longfan 7 was more tolerant cultivar. UV-B radiation inhibited the girth of cotyledonary node of tomato cultivars. But Longfan 5 did not show significantly change statistically. It is unclear that the growth of soybean under T_1 treatment significantly increased. It could be inferred from the results that intraspecific and interspecific difference were due to different morphology, structure, the metabolic levels, hereditary characteristic and adaptive ability to UV-B stress.

基金项目:国家自然科学基金 (39670132, 39970126) 和中国科学院重点 B (KZ952-S1-216) 资助项目

收稿日期:1998-11-24; **修订日期:**1999-09-21

* 通讯联系人 万方数据

作者简介:安黎哲 (1963~), 男, 甘肃省天水市人, 博士, 副教授。主要从事环境生物学和植物分子生物学的教学和研究。

Key words: crop; interspecific response; intraspecific response; UV-B radiation

文章编号: 1000-0933(2000)02-0249-05 中图分类号: Q948.116 文献标识码: A

大气污染物如硫化物、氮氧化物、氯化物、氯氟烃类的排放能破坏生物圈的保护层平流层臭氧层^[1], 使到达地表的具有生物学效应的紫外线辐射增强(280~320nm)^[2,3]。增强的紫外辐射(主要是 UV-B)对人类、动物、植物、大气质量、生物地球化学循环和材料等生物过程和化学过程都产生影响^[2,3]。由于植物是生态系统的生产者, 农作物是人类主要食物来源, 人们首先关注农作物的生长及产量对 UV-B 辐射增强的反应^[4], 因而研究增强的 UV-B 辐射对作物生长的影响具有一定的理论和实践意义。到目前为止, 国外已在大豆、玉米、水稻等作物方面进行了大量的研究工作^[4~13], 国内也看到了几篇有关文章, 但对于较高海拔地区甘肃种植的作物及品种的生长的研究未见报道。本文在两种 UV-B 处理强度下研究了 5 个黄瓜品种、7 个番茄品种、大豆、菜豆和黄河蜜瓜的种间和种内生长反应, 探讨它们的敏感性差异, 为高海拔地区抗性品种的选育提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料

试验用 5 个黄瓜(*Cucumis sativus* L.)品种(表 1)、7 个番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill)品种(表 2)由甘肃省农科院蔬菜所馈赠, 大豆[*Glycine max* (L.)Merr.], 菜豆(*Phaseolus vulgaris* L.)和黄河密瓜(*Cucumis melo* L.)(表 3)购自兰州市种子公司。这些品种在甘肃都有大面积的种植。种子经 5% 次氯酸钠消毒, 瓷盘中浸泡 24 h 后, 种植于 1.5 L 的塑料盆中, 盆内基质为蛭石: 砂石: 腐殖土=6: 2: 2, 温室栽培。每 3 d 浇 1 次 Haoglands 溶液, 每天浇水 1 次, 室内昼夜温度为 30/15℃, 光照为 400~600 μmol/m²·s, 相对湿度是 70%±10%。待幼苗长至三叶期时进行处理, 每处理 20 盆, 每盆 1 苗。

1.2 UV-B 处理

UV-B 处理和测定方法参见唐旭东等^[20], 处理强度为对照 CK=2.20 kJ/m²·d, 低强度 T₁=8.82 kJ/m²·d, 高强度 T₂=12.6 kJ/m²·d。每天 7h(10:00~17:00)。

1.3 生长指标的测定和统计分析

UV-B 照射处理 25d 后, 每个处理收获 20 株, 测量叶面积(LA)、植物高度(PH)、上胚轴长度(EL)、子叶节周长(GCN), 然后生根、茎、叶, 在 68℃ 下烘干至恒重, 称量其总干重(TDW), 叶干重(LDW)。计算出特定叶重(SLW)=叶干重/叶面积以及反应指数(RI)^[8]。

$$RI = \left(\frac{PH_t - PH_c}{PH_c} + \frac{TDW_t - TDW_c}{TDW_c} + \frac{LA_t - LA_c}{LA_c} \right) \times 100$$

其中, t=UV-B 处理; c=对照。

用最小差异显著法进行统计分析(LSD)。

2 结果

2.1 5 个黄瓜品种对增强 UV-B 辐射的种内反应

两种增强的 UV-B 辐射剂量对 5 个黄瓜品种都产生了影响。反应指数(RI)是 UV-B 辐射对植物干重、叶面积、株高影响的综合值, 能够反应作物品种对 UV-B 辐射的敏感性。由表 1 的结果可以看出, 5 个品种的 RI 值均为负值, 说明 UV-B 对黄瓜品种的生物量产生了负作用。高强度的辐射效应大于低强度的抑制作用。相比之下, 最敏感的品种是“津春三号”, T₁ 的 RI 值是 -49.9, T₂ 的 RI=-84, “甘丰 2 号”品种最具抗性, T₁ 的 RI 值为 -21.9, T₂ 为 -42.9。除“甘丰 2 号”外, 增强的 UV-B 辐射均显著(P<0.05)降低黄瓜品种的总干重, 叶面积和株高。“甘丰 2 号”的 TDW、LA 及“长春密刺”的 PH 虽然减少或降低, 但没有达到显著水平(P>0.05)。UV-B 辐射处理后, 使“津春 3 号”及“黄瓜 828”两个品种的 SLW 增加, 其余 3 个品种的特定叶重不受影响。仅“黄瓜 828”、“甘丰 2 号”、“甘丰 6 号”的上胚轴长度在 T₂ 强度下才显著降低。

2.2 7 个番茄品种对增强 UV-B 辐射的种内反应。

7 个番茄品种对增强的 UV-B 的反应与 5 个黄瓜品种相似, 反应指数 RI 均为负值(表 2)。整体上, 番

茄品种 *RI* 比黄瓜品种低(表 1,表 2)。“陇番 3 号”最为敏感,而“陇番 7 号”较具抗性。从每一个生长参数来说,多数品种的 *LDW*、*TDW*、*LA*、*PH*、*EL* 都被 UV-B 辐射显著抑制($P<0.05$),而且所有品种在高强度(T_2)UV-B 处理下表现出较大的抑制效应,低强度对与对照相比不显著。“毛丰 802”和陇番系列品种的 *SLW* 没有显著性变化($P>0.05$),仅“早丰”明显增加而“早魁”显著降低。另外,实验测定的子叶节周长(*GCN*)在各个品种中有不同程度的增加。“早魁”和“陇番 7 号”在两种强度下 *GCN* 都明显增粗,而“毛丰 802”、“陇番 2 号”、“陇番 3 号”的 *GCN* 只有在 T_2 下才显著膨大,对“早丰”和“陇番 5 号”的影响没有达到统计上的显著水平(表 2)。

表 1 5 个黄瓜品种对 UV-B 辐射的种内反应

Table 1 Intraspecific response of 5 cucumber cultivars to UV-B radiation($n=20$,mean $\pm$ SE)

Cultivars	Treatment	<i>LDW</i> (g)	<i>TDW</i> (g)	<i>LA</i> (cm ²)	<i>SLW</i> (mg/cm ²)	<i>PH</i> (cm)	<i>EL</i> (cm)	<i>RI</i>
津春 3 Jinchun 3	CK	3.32 $\pm$ 0.21 ^a	5.95 $\pm$ 0.08 ^a	99.1 $\pm$ 6.5 ^a	335 $\pm$ 19 ^b	12.2 $\pm$ 1.2 ^a	2.75 $\pm$ 0.19	
	T ₁	2.99 $\pm$ 0.11 ^a	5.00 $\pm$ 0.1 ^b	91.7 $\pm$ 3.4 ^a	366 $\pm$ 10 ^{ab}	10.2 $\pm$ 1.1 ^{ab}	2.51 $\pm$ 0.20	-49
长春密刺 Changchun mici	T ₂	2.60 $\pm$ 0.18 ^b	4.30 $\pm$ 0.22 ^c	69.0 $\pm$ 8.7 ^b	376 $\pm$ 8 ^a	9.0 $\pm$ 0.7 ^b	2.24 $\pm$ 0.23	-84
	CK	3.06 $\pm$ 0.07 ^a	4.40 $\pm$ 0.18 ^a	94.5 $\pm$ 4.2 ^a	298 $\pm$ 4	9.7 $\pm$ 1.3	3.4 $\pm$ 0.38	
黄瓜 828 Cucume- ber 828	T ₁	2.50 $\pm$ 0.15 ^b	3.97 $\pm$ 0.24 ^{ab}	83.8 $\pm$ 5.7 ^{ab}	298 $\pm$ 5	9.0 $\pm$ 0.5	3.5 $\pm$ 0.29	-28.3
	T ₂	2.40 $\pm$ 0.09 ^b	3.80 $\pm$ 0.12 ^b	78.4 $\pm$ 3.8 ^b	306 $\pm$ 9	8.5 $\pm$ 0.4	3.09 $\pm$ 0.26	-53.2
甘丰 2 号 Ganfeng 2	CK	3.23 $\pm$ 0.4 ^a	5.78 $\pm$ 0.14 ^a	111.1 $\pm$ 9.0 ^a	291 $\pm$ 3 ^b	13.5 $\pm$ 0.4 ^a	2.81 $\pm$ 0.14 ^a	
	T ₁	3.04 $\pm$ 0.08 ^{ab}	5.40 $\pm$ 0.16 ^b	103.6 $\pm$ 6.1 ^{ab}	293 $\pm$ 4 ^a	12.1 $\pm$ 0.8 ^{ab}	2.52 $\pm$ 0.17 ^{ab}	-30.5
甘丰 6 号 Ganfeng 6	T ₂	2.80 $\pm$ 0.12 ^b	4.48 $\pm$ 0.22 ^c	90.8 $\pm$ 5.8 ^b	308 $\pm$ 8 ^a	10.8 $\pm$ 0.7 ^b	2.30 $\pm$ 0.18 ^b	-61.3
	CK	3.01 $\pm$ 0.26 ^a	5.89 $\pm$ 0.20	89.5 $\pm$ 4.9	326 $\pm$ 7	9.84 $\pm$ 0.43 ^a	2.75 $\pm$ 0.20	
2	T ₁	2.56 $\pm$ 0.05 ^{ab}	5.44 $\pm$ 0.24	81.9 $\pm$ 5.3	313 $\pm$ 15	8.93 $\pm$ 0.32 ^b	2.33 $\pm$ 0.31	-25.4
	T ₂	2.47 $\pm$ 0.13 ^b	5.28 $\pm$ 0.15	76.2 $\pm$ 6.2	324 $\pm$ 10	8.10 $\pm$ 0.71 ^b	2.0 $\pm$ 0.29	-42.9
6	CK	2.88 $\pm$ 0.10 ^a	5.77 $\pm$ 0.04 ^a	95.6 $\pm$ 2.4 ^a	301 $\pm$ 6	11.3 $\pm$ 0.94 ^a	2.88 $\pm$ 0.14 ^a	
	T ₁	2.64 $\pm$ 0.08 ^b	5.50 $\pm$ 0.10 ^b	84.3 $\pm$ 7.1 ^{ab}	310 $\pm$ 9	9.58 $\pm$ 0.72 ^{ab}	2.33 $\pm$ 0.40 ^{ab}	-31.7
	T ₂	2.47 $\pm$ 0.07 ^b	5.30 $\pm$ 0.09 ^b	76.1 $\pm$ 6.0 ^b	298 $\pm$ 5	8.59 $\pm$ 0.90 ^b	2.13 $\pm$ 0.18 ^b	-51.5

* The same letter in the coloum shows not significantly difference at $P<0.05$ level with *LSD* test

表 2 7 个番茄品种对 UV-B 辐射的种内反应

Table 2 Intraspecific response of 7 tomato cultivars to UV-B radiation($n=20$,mean $\pm$ SE)

Cultivars	Treatment	<i>LDW</i> (g)	<i>TDW</i> (g)	<i>LA</i> (cm ²)	<i>SLW</i> (mg/cm ²)	<i>PH</i> (cm)	<i>EL</i> (cm)	<i>GCN</i> (mm)	<i>RI</i>
早丰 Zaofeng	CK	2.60 $\pm$ 0.12 ^a	5.21 $\pm$ 0.12 ^a	110 $\pm$ 6 ^a	236 $\pm$ 10 ^a	17.1 $\pm$ 1.0 ^a	3.2 $\pm$ 0.1 ^a	11.0 $\pm$ 2.0	
	T ₁	2.32 $\pm$ 0.14 ^b	5.02 $\pm$ 0.09 ^a	98 $\pm$ 4 ^b	256 $\pm$ 9 ^b	14.9 $\pm$ 1.2 ^b	2.9 $\pm$ 0.2 ^a	13.8 $\pm$ 1.3	-25.8
	T ₂	2.14 $\pm$ 0.09 ^b	4.69 $\pm$ 0.07 ^b	86 $\pm$ 5 ^c	273 $\pm$ 7 ^c	14.0 $\pm$ 0.8 ^b	2.4 $\pm$ 0.2 ^b	15.0 $\pm$ 2.1	-47.9
毛粉 802 Maofeng 802	CK	2.52 $\pm$ 0.10 ^a	5.22 $\pm$ 0.10 ^a	83 $\pm$ 8 ^a	301 $\pm$ 8	15.6 $\pm$ 0.6 ^a	3.6 $\pm$ 0.3 ^a	11.1 $\pm$ 1.2 ^a	
	T ₁	2.30 $\pm$ 0.18 ^{ab}	4.89 $\pm$ 0.21 ^{ab}	77 $\pm$ 4 ^b	301 $\pm$ 6	14.2 $\pm$ 0.4 ^b	3.1 $\pm$ 0.2 ^{ab}	12.6 $\pm$ 0.9 ^a	-21.5
	T ₂	1.89 $\pm$ 0.21 ^b	4.60 $\pm$ 0.23 ^b	67 $\pm$ 7 ^c	281 $\pm$ 12	12.8 $\pm$ 1.0 ^c	2.9 $\pm$ 0.2 ^b	13.4 $\pm$ 0.8 ^a	-46.2
陇番 2 号 Longfan 2	CK	2.49 $\pm$ 0.14 ^a	4.91 $\pm$ 0.17 ^a	93 $\pm$ 3 ^a	271 $\pm$ 3	16.3 $\pm$ 0.7 ^a	3.5 $\pm$ 0.1 ^a	10.2 $\pm$ 1.7 ^b	
	T ₁	2.78 $\pm$ 0.06 ^b	4.68 $\pm$ 0.13 ^a	79 $\pm$ 2 ^b	276 $\pm$ 3	15.4 $\pm$ 0.4 ^a	3.2 $\pm$ 0.1 ^b	12.1 $\pm$ 1.2 ^{ab}	-19.8
	T ₂	2.21 $\pm$ 0.05 ^c	4.30 $\pm$ 0.14 ^b	78 $\pm$ 7 ^b	270 $\pm$ 8	13.3 $\pm$ 1.1 ^b	2.9 $\pm$ 0.2 ^b	13.4 $\pm$ 0.8 ^a	-46.2
陇番 3 号 Longfan 3	CK	2.56 $\pm$ 0.20 ^a	4.87 $\pm$ 0.16 ^a	96 $\pm$ 4 ^a	270 $\pm$ 5	17.3 $\pm$ 0.3 ^a	3.6 $\pm$ 0.2 ^a	11.3 $\pm$ 0.6 ^b	
	T ₁	2.22 $\pm$ 0.17 ^{ab}	4.40 $\pm$ 0.23 ^b	79 $\pm$ 2 ^b	276 $\pm$ 3	15.4 $\pm$ 0.4 ^b	3.5 $\pm$ 0.1 ^a	12.8 $\pm$ 1.0 ^{ab}	-37.6
	T ₂	1.89 $\pm$ 0.19 ^b	3.92 $\pm$ 0.20 ^c	68 $\pm$ 8 ^c	276 $\pm$ 6	13.2 $\pm$ 0.9 ^c	3.1 $\pm$ 0.1 ^b	14.0 $\pm$ 0.9 ^a	-73.0
陇番 5 号 Longfan 5	CK	2.70 $\pm$ 0.07 ^a	5.31 $\pm$ 0.11 ^a	96 $\pm$ 6 ^a	278 $\pm$ 4	15.5 $\pm$ 0.5 ^a	3.6 $\pm$ 0.2 ^a	10.5 $\pm$ 1.1	
	T ₁	2.41 $\pm$ 0.10 ^b	5.02 $\pm$ 0.09 ^b	88 $\pm$ 4 ^b	273 $\pm$ 5	14.2 $\pm$.5 ^b	3.2 $\pm$ 0.3 ^b	12.0 $\pm$ 0.8	-22.2
	T ₂	2.00 $\pm$ 0.24 ^c	4.72 $\pm$ 0.13 ^c	77 $\pm$ 2 ^c	260 $\pm$ 14	12.9 $\pm$ 1.3 ^b	2.2 $\pm$ 0.3 ^b	15.0 $\pm$ 1.4	-45.5
陇番 7 号 Longfan 7	CK	2.40 $\pm$ 0.05 ^a	5.13 $\pm$ 0.10 ^a	88 $\pm$ 5 ^a	272 $\pm$ 7	16.8 $\pm$ 0.3 ^a	3.6 $\pm$ 0.2 ^a	10.0 $\pm$.2 ^b	
	T ₁	2.31 $\pm$ 0.07 ^b	4.90 $\pm$ 0.05 ^b	84 $\pm$ 3 ^a	273 $\pm$ 8	15.6 $\pm$ 0.7 ^a	3.2 $\pm$ 0.2 ^{ab}	12.2 $\pm$ 0.7 ^{ab}	-15.6
	T ₂	2.02 $\pm$ 0.12 ^b	4.7 $\pm$ 0.08 ^c	74 $\pm$ 5 ^b	272 $\pm$ 6	14.7 $\pm$ 0.2 ^b	2.9 $\pm$ 0.1 ^b	14.2 $\pm$ 0.5 ^a	-36.4
早魁 Zaokui	CK	2.73 $\pm$ 0.13 ^a	5.3 $\pm$ 0.14 ^a	97 $\pm$ 9 ^a	280 $\pm$ 7 ^a	17.6 $\pm$ 0.8 ^a	3.6 $\pm$ 0.1 ^a	10.0 $\pm$ 1.1 ^c	
	T ₁	2.50 $\pm$ 0.09 ^a	5.0 $\pm$ 0.10 ^b	88 $\pm$ 7 ^b	280 $\pm$ 8 ^a	15.0 $\pm$ 0.9 ^b	3.2 $\pm$ 0.2 ^b	12.5 $\pm$ 1.0 ^b	-29.7
	T ₂	1.82 $\pm$ 0.27 ^b	4.5 $\pm$ 0.23 ^c	70 $\pm$ 10 ^c	194 $\pm$ 4 ^b	13.5 $\pm$ 0.9 ^b	2.4 $\pm$ 0.4 ^c	15.2 $\pm$ 1.3 ^a	-65.8

* The same letter in the coloum shows not significantly difference at $P<0.05$ level with *LSD* test

2.3 5 种作物对 UV-B 辐射的种间差异

5 种作物品种黄河蜜瓜、黄瓜、番茄、大豆、菜豆对 UV-B 辐射的影响也存在着明显的差异(表 3),显示出种间反应的多样性。大豆最具抗性,表现在低强度时促进其生长($RI=7$),对 TDW 、 LDW 、 PH 、 EL 的影响不显著($P>0.05$),对 LA 、 SLW 的影响只在 T_2 高强度下才明显。黄瓜和黄河密瓜较敏感,菜豆具有一定的抗性。

表 3 5 种植物对 UV-B 辐射的种间反应
Table 3 Intraspecific response of 5 species plant to UV-B radiation($n=20$, mean $\pm$ SE)

Cultivars	Treatment	LDW (g)	TDW (g)	LA (cm ²)	SLW (mg/cm ²)	PH (cm)	EL (cm)	RI
黄河蜜 Huanghemi	CK	2.21 $\pm$ 0.25 ^a	28.5 $\pm$ 1.40 ^a	77 $\pm$ 6	286 $\pm$ 3	10.5 $\pm$ 0.5 ^a	3.0 $\pm$ 0.4	
	T ₁	2.20 $\pm$ 0.2 ^a	28.2 $\pm$ 0.6 ^a	75 $\pm$ 6	291 $\pm$ 4	10 $\pm$ 0.7 ^a	3.1 $\pm$ 0.3	-19
	T ₂	1.81 $\pm$ 0.11 ^b	19.8 $\pm$ 2.4 ^b	69 $\pm$ 6	262 $\pm$ 23	8.7 $\pm$ 1.0 ^b	3.0 $\pm$ 0.6	-58
菜豆 Bean	CK	7.25 $\pm$ 0.24 ^b	221.0 $\pm$ 18 ^a	302 $\pm$ 18	242 $\pm$ 6	76.1 $\pm$ 4.0 ^a	9.5 $\pm$ 1.8 ^a	
	T ₁	6.90 $\pm$ 0.19 ^b	192.0 $\pm$ 10.8 ^a	290 $\pm$ 9	239 $\pm$ 13	67.2 $\pm$ 3.3 ^b	8.8 $\pm$ 0.6 ^{ab}	-16.9
	T ₂	8.80 $\pm$ 0.25 ^a	180.4 $\pm$ 0.9 ^b	253 $\pm$ 21	248 $\pm$ 10	62.0 $\pm$ 2.1 ^c	7.0 $\pm$ 1.2 ^b	-36.4
大豆 Soybean	CK	3.42 $\pm$ 0.40	75 $\pm$ 5.1	120 $\pm$ 6 ^a	286 $\pm$ 1.7 ^a	24.3 $\pm$ 1.4	5.0 $\pm$ 0.4	
	T ₁	3.51 $\pm$ 0.28	76 $\pm$ 4.2	119 $\pm$ 7 ^a	288 $\pm$ 1.5 ^a	26.1 $\pm$ 1.6	4.9 $\pm$ 0.3	7.7
	T ₂	3.15 $\pm$ 0.19	68 $\pm$ 3.4	94 $\pm$ 6 ^b	264 $\pm$ 1.2 ^b	22.9 $\pm$ 2.3	5.0 $\pm$ 0.4	-30.7
毛粉 802 Maofeng 802	CK	2.52 $\pm$ 0.10 ^a	5.22 $\pm$ 0.10 ^a	83 $\pm$ 8	301 $\pm$ 8	15.6 $\pm$ 0.6 ^a	3.6 $\pm$ 0.3 ^a	
	T ₁	2.30 $\pm$ 0.18 ^a	4.89 $\pm$ 0.21 ^{ab}	77 $\pm$ 4	301 $\pm$ 6	14.2 $\pm$ 0.4 ^b	3.1 $\pm$ 0.2 ^{ab}	-21.5
	T ₂	1.89 $\pm$ 0.21 ^b	4.60 $\pm$ 0.23 ^b	67 $\pm$ 7	281 $\pm$ 12	12.8 $\pm$ 1.0 ^c	2.9 $\pm$ 0.2 ^b	-46.2
津春 3 号 Jichung 3	CK	3.32 $\pm$ 0.21 ^a	5.95 $\pm$ 0.08 ^a	99.1 $\pm$ 6.5 ^a	335 $\pm$ 19 ^b	12.2 $\pm$ 1.2 ^a	2.75 $\pm$ 0.19 ^a	
	T ₁	2.99 $\pm$ 0.11 ^b	5.00 $\pm$ 0.1 ^b	91.7 $\pm$ 3.4 ^b	366 $\pm$ 10 ^{ab}	10.7 $\pm$ 1.1 ^a	2.51 $\pm$ 0.20 ^{ab}	-49
	T ₂	2.60 $\pm$ 0.18 ^c	4.3 $\pm$ 0.22 ^c	69.0 $\pm$ 8.7 ^c	376 $\pm$ 8 ^a	9.0 $\pm$ 0.7 ^b	2.24 $\pm$ 0.23 ^b	-84

* The same letter in the coloum shows not significantly difference at $P<0.05$ level with LSD test.

3 讨论

植物形态学变化和生物量的变化是最为敏感的指标。本实验的 5 个黄瓜,7 个番茄品种和大豆、菜豆、黄河密瓜对 UV-B 胁迫反应显示出明显的差异性。敏感植物 LA 减少,植株矮化,上胚轴伸长受阻,干物质积累下降,特定叶重增加(表 1,表 2,表 3)。这与在大豆、菜豆^[9]、黄瓜^[9,10]、番茄^[12]、玉米^[7]、水稻^[4,8]、小麦^[14]、松树^[13]等种或品种中报道的结果相一致。Tevini 等^[5]总结了 100 种受试植物,发现超过 50% 的种类(含品种)对 UV-B 敏感。Dai 等^[8]研究了 188 个全世界的水稻品种,其中 143 个品种的 PH 、52 个品种的 LA 、61 个品种的 TDW 在 UV-B 处理 3 周之后显著下降($P<0.05$)。本试验中,对增强的 UV-B 辐射最敏感的黄瓜是“津春 3 号”,较具抗性的是“甘丰 2 号”,它们的遗传特性是中晚熟,抗高温,抗病。在番茄品种中,最有耐受力的是“陇番 7 号”,它是中晚熟、耐旱、耐早疫病、耐高温品种,而“陇番 3 号”和“早魁”较为敏感,二者都是极早熟,耐热性差的品种。这说明中晚熟、抗高温、抗病能力强的品种对 UV-B 胁迫具有抗性,而早熟或极早熟,耐热性差的品种更为敏感。早熟的“毛丰”番茄,其茎叶果实上均密生有白色长茸毛,从 RI 值来看,该品种也具抗性,可能与长茸毛阻挡和反射部分 UV-B 有关^[16],去毛的橡树叶比对照更为敏感^[18]。但是,品种间差异的原因不是十分清楚^[4,6]。Teramura^[5]认为这种差异是形态、解剖和生理过程共同作用的结果。如叶表皮蜡质的差异,紫外吸收物的不同, SLW 、 LA 及叶面反射性的改变,植物冠层结构的不同等。Tevini 等^[6]也有相同的观点。本实验结果表明,品种间的差异性作物遗传特性不同的所决定的。较具抗性的遗传特性是中晚熟、耐旱、抗病、耐高温品种,而极早熟,耐热性差的品种对 UV-B 辐射较为敏感。可见,具抗性的品种其形态和生理特征表现为尽可能减少和抵御 UV-B 的辐射,印证了以上观点。品种间的遗传特性的差异将为抗 UV-B 的作物和品种的选育提供依据^[4,8]。UV-B 辐射使细胞分裂或伸长发生改变^[5,6]是激素作用的结果。实验表明,向日葵幼苗上胚轴延伸受阻是生长素(IAA)吸收 UV-B 并转化为各种光氧化产物,从而抑制上胚轴生长的缘故^[6]。本实验观察到番茄子叶节增粗的现象可能与 UV-B 辐射引起的植物体内激素代谢水平变化有关,在还需要做进一步的试验研究。

植物通过不同的途经来适应 UV-B 胁迫环境^[15],如次生代谢加强、形态解剖特征的改变等。本实验在不同的 UV-B 强度下,观察到 *SLW* 增加,而 *LA* 减小,说明叶面积减少和叶片加厚有利于减少 UV-B 辐射胁迫或阻挡过多的 UV-B 进入深层的组织^[11,16]。但是,“早魁”番茄品种的 *SLW* 在 T_2 下明显下降,可能是超过了其所能忍受的阈值而造成伤害所致^[21]。番茄比黄瓜品种稍具抗性(从 *RI* 来判断)与前者体表被皮毛较多和色素含量增加能增强防护 UV-B 辐射的能力有关^[11,18]。此外,试验还发现菜豆、大豆受到 UV-B 之后,叶片自动下垂、倾斜或叶色加深,这些变化是植物减少或减轻辐射的防御性反应,这些适应性形态和生长的变化是植物生理代谢变化的最终结果,也是植物较具抗性在形态特征上的体现。

参考文献

- [1] Rowland F S. Chlorofluorocarbons and the depletion of stratospheric ozone. *Amer. Sci.*, 1989, **77**: 36~45.
- [2] UNEP. *Environmental effects of ozone depletion: 1994 assessment*. United Nations Environment Programs (UNEP). 1994.
- [3] SCOPE. *Effects of increased ultraviolet radiation on biological system*. Scientific committee on problems of the environment (SCOPE). 1992.
- [4] Olszyk O, Dai Q J and Teng P, *et al.* UV-B effects on crops: response of the irrigated rice ecosystem. *J. Plant Physiol.*, 1996, **148**: 26~34.
- [5] Teramura A H. Effects of ultraviolet radiation on the growth and yield of crop plants. *Physiol. Plant*, 1983, **58**: 415~427.
- [6] Tevini M and Teramura A H. UV-B effects on terrestrial plants. *Photochem. and Photobiol.*, 1989, **50**: 479~487.
- [7] Mark U, Sailemark M and Tevini M. Effects of solar UV-B radiation on growth, flowering and yield of central and southern European maize cultivars (*Zea mays* L.). *Photochem. and Photobiol.*, 1996, **64**: 457~463.
- [8] Dai Q J, Peng S and Chavez A Q, *et al.* Intraspecific responses of 188 rice cultivars to enhanced ultraviolet-B radiation. *Environmental and Experimental Botany*, 1994, **34**: 433~442.
- [9] Biggs R H and Kossuth S V. Effects of ultraviolet radiation enhancements under field conditions. In: *UV-B Biological and Climatic Effects Research (BSCER), Final Report*. University of Florida Press. 1978. 77.
- [10] Murali N S and Teramura A H. Intraspecific difference in sensitivity on *Cucumis sativus* to ultraviolet-B radiation. *Physiol. Plant*, 1986, **68**: 673~677.
- [11] Tevini M, Braun J and Fieser G. The protective function of the epidermal layer of rye seedlings against ultraviolet-B radiation. *Photochem. and Photobiol.*, 1991, **53**: 329~333.
- [12] Teramura A H. Implications of stratospheric ozone depletion upon plant production. *HortSci.*, 1990, **25**: 1557~1560.
- [13] Sullivan J H and Teramura A H. The effects of UV-B radiation on loblolly pine. 2. Growth of field-grown seedlings. *Trees*, 1992, **6**: 115~120.
- [14] Häder D P. Effects of solar radiation on local and German wheat seedlings in a Chilean high mountain station. *J. Plant Physiol.*, 1996, **35**: 181~187.
- [15] Björn L O. Effects of ozone depletion and increased UV-B on terrestrial ecosystems. *Intern. J. Envir. Studies* 1996 **51**: 217~243.
- [16] Caldwell M M, Roberecht R and Flint S D. Internal filters: prospects for UV-acclimation in higher plants. *Physitol. Plant*, 1983, **58**: 445~450.
- [17] Lichtenthaler H K. Vegetation stress: an introduction to stress Concept in plants. *J. Plant Physiol.*, 1996, **148**: 4~14.
- [18] Grammatikopoulos G, Karabourniotis G, Kyparissis A, *et al.* Leaf hairs of Olive (*Olea europaea*) prevent stomatal closure by ultraviolet-B radiation. *Aust J Plant Physiology*, 1994, **21**: 293~301.
- [19] Caldwell M M. Solar ultraviolet radiation and the growth and development of higher plant. In: Giese A C ed. *Photophysiology*, 1971, **6**: 131~177.
- [20] 唐旭东, 安黎哲, 王勋陵. 增强的 UV-B 辐射对蚕豆微粒体膜一些性质的影响. *植物生理学报*, 1998, **18**(2): 171~177.