

不同时期 UV-B 辐射增强对灯盏花生物量和药用有效成分产量的影响

朱媛¹, 冯源¹, 祖艳群¹, 杨生超², 何永美¹, 李元¹

(1. 云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201; 2. 云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明 650201)

摘要: 采用小区试验, 研究不同时期 UV-B 辐射增强 ($5.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 旺长期辐射 T1、花期辐射 T2、旺长期 + 花期辐射 T3) 对灯盏花 (*Erigeron breviscapus* (Vant.) Hand. - Mazz.) 各部位生物量和药用有效成分含量的影响。结果表明: (1) 不同时期 UV-B 辐射均导致灯盏花株高、基叶数、最大基叶长、最大基叶宽、总生物量降低, 其中总生物量下降 2.91% ~ 15.79%; 花期辐射 (T2) 下, 各形态指标和生物量降低的幅度小于旺长期辐射 (T1)。 (2) 不同时期增强的 UV-B 辐射均导致灯盏花各部位有效成分 (总黄酮、咖啡酸酯、灯盏乙素) 含量升高, 含量依次为 T3 > T2 > T1 > CK。 (3) 不同时期增强的 UV-B 辐射使灯盏花药用有效成分产量发生改变, 仅花期辐射 (T2) 使灯盏花总黄酮、灯盏乙素和咖啡酸酯总产量均显著增加, 其中灯盏乙素增加 10%, 总黄酮增加 4.01%, 咖啡酸酯增加 4.05%。总之, 通过增加 UV-B 辐射来增加灯盏花药用有效成分产量是可行的, 以灯盏花花期进行 UV-B 辐射 30 d 具有较好的效果。

关键词: 灯盏花; UV-B 辐射; 生物量; 药用有效成分

中图分类号: Q945.78 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2010)增刊-0053-06

Effect of Enhanced UV-B Radiation in Different Growth Stage on Biomass and Active Ingredient of *Erigeron breviscapus* (Vant.) Hand. - Mazz.

ZHU Yuan¹, FENG Yuan¹, ZU Yan-qun¹, YANG Shen-chao², HE Yong-mei¹, LI Yuan¹

(1. College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: Effect of enhanced ultraviolet-B (UV-B, 280 ~ 310 nm, $5.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$) radiation in different growth stage on biomass and active ingredient of *Erigeron breviscapus* (Vant.) Hand. - Mazz were studied. Plant height, leaf number, leaf length and leaf width of bascal part and total biomass reduced with $5.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-B at growth stage (previous 30 days), flowering stage (latter 30 days), growth stage and flowering stage (entire 60 days). At flowering stage, decreases in plant height, leaf number, leaf length, leaf width of bascal part and total biomass of *E. breviscapus* was smaller than growth stage. Enhanced UV-B radiation in different stage caused increases in active ingredient (caffeate, total flavonoid, scutellarin) contents of *E. breviscapus*, active ingredient contents of *E. breviscapus* was growth stage and flowering stage > flowering stage > growth stage > CK. Enhanced UV-B radiation resulted in changes in active ingredient (caffeate, total flavonoid, scutellarin) yield of *E. breviscapus*. Increases in active ingredient yield of *E. breviscapus* were observed with UV-B radiation in flowering stage. Scutellarin content increased by 10%, total flavonoid content increased by 4.01%, while caffeate content increased by 4.05%. It was possible to increase active ingredient yield of *E. breviscapus* by enhanced UV-B radiation, whilst best effect was observed with UV-B radiation for 30 days in flowering stage of *E. breviscapus*.

Keywords: *Erigeron breviscapus*; UV-B radiation; biomass; active ingredient

收稿日期: 2009-09-10

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30660040)

作者简介: 朱媛 (1982-), 女, 在读硕士生, 主要从事环境生态学研究。

通讯作者: 李元 E-mail: liyuan03@yahoo.com.cn

人类活动释放大量的氯氟烃化合物(CFCs)在大气层中,该化合物长期存留在大气中并催化性地破坏平流层中的臭氧(O_3),导致地面紫外辐射(UV-B)剧增^[1-3]。研究表明,到达地表 UV-B 辐射仅有 10% 被植物叶片反射^[4],而近 40% 的 UV-B 辐射则通过植物叶片表皮^[5],对植物的生长和发育造成影响。已有较多文献报道了紫外线 B 辐射(280~315 nm)增强对植物影响的研究,已对 200 多种植物做过研究,发表了约 600 篇论文^[6-8]。研究内容多集中在紫外辐射对作物形态结构、生长发育、生理代谢、膜系统、类黄酮含量等方面^[9-13]。研究对象主要集中在高等植物尤其是农作物上,而对中草药生长发育、生理生化、有效成分含量对 UV-B 响应的研究还非常少。增强 UV-B 辐射对植物生长、发育影响的研究结果较为一致,而对植物体内次生代谢物质代谢的研究结果的差异较大^[14-15]。增强 UV-B 辐射对植物体内次生代谢产物的诱导可能具有一定的选择性。

灯盏花(*Erigeron breviscapus* (Vant.) Hand. - Mazz.) 为菊科短茎飞蓬属植物,又名灯盏细辛,全草可入药,但实际生产中往往只采收地上部分^[16]。云南省能入药的灯盏花资源占全国资源总量的 95% 以上。灯盏花的主要药用成分为总黄酮、灯盏乙素、咖啡酸酯^[17],具有扩张血管的作用,对治疗闭塞性脑血管疾病所致瘫痪及脑出血后遗症瘫痪有特效。本研究通过在不同时期对灯盏花植株进行 UV-B 辐射增强,揭示 UV-B 辐射对其生长和有效成分含量的影响,并探索利用增强 UV-B 辐射提高灯盏花药用有效成分产量的有效途径。

1 材料与方法

1.1 UV-B 辐射处理

模拟 UV-B 辐射使用 UV-B 300 W 灯管,灯管悬于植株上方,用紫外辐射仪(北京师范大学仪器厂)测 UV-B 辐射强度(以植株顶部计),每日辐射 7 h (10:00—17:00,阴雨天除外),灯管高度每周调 1 次,以保证各处理的灯管与灯盏花顶部的辐射强度不变,UV-B 辐射强度为 $5.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。灯盏花(云南生物谷公司小河灯盏花种植基地所采用的丘北人工驯化的第 3 代种源)于 2007 年 7 月 4 日播种于云南农业大学实验农场。9 月 4 日移栽,UV-B 辐射处理分别为 T1(旺长期辐射 30 d,9 月 20 日—10 月 20 日辐射)、T2(花期辐射 30 d,10 月 20 日—11 月 20 日辐射)、T3(旺长期、花期辐射共 60 d,9 月 20 日至 11 月

20 日辐射)和 CK(不辐射)。小区面积为 1.5 m^2 ,9 行×9 列,株行距为 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$,均为 3 个重复。

1.2 指标测定

11 月 20 日灯盏花处于盛花期,测定灯盏花形态特征指标,包括株高、单株基生叶数、单株分枝数、最大基叶长和宽。每个小区分别采 20 株灯盏花植株,把根、茎、叶、花分开,分别测药用有效成分含量(总黄酮、灯盏乙素、咖啡酸酯)和各部位生物量,称量鲜重;在 $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 下杀青 1 h,在 $68 \text{ }^\circ\text{C}$ 下烘干 68 h,测干重;计算整个小区各部位的生物量。

1.2.1 药用有效成分测定

总黄酮含量用无水乙醇萃取,分光光度(510 nm)法^[18-19]测定。灯盏乙素(335 nm)和咖啡酸酯(305 nm)的含量按 50% 甲醇超声萃取,分光光度法测定^[20]。

1.2.2 药用有效成分产量计算

灯盏花药用有效成分产量 = (花生物量 × 花药用有效成分含量) + (叶生物量 × 叶药用有效成分含量) + (茎生物量 × 茎药用有效成分含量) + (根生物量 × 根药用有效成分含量)。有效成分分别为总黄酮、灯盏乙素、咖啡酸酯。

1.3 数据处理

预处理采用 Excel 统计,UV-B 辐射和对照处理的方差分析,采用 SPSS 软件,LSI 检验法, $P < 0.05$ 水平。

2 结果与分析

2.1 UV-B 辐射增强对灯盏花药材性状特征的影响

UV-B 辐射使灯盏花株高显著降低,T1、T2、T3 处理与 CK 相比,株高分别降低 16.61%、9.71% 和 25.01%;T1 和 T3 处理基叶数显著降低,分别减少 16.22% 和 19.20%;T1 和 T3 最大基叶长显著变短,分别变短 10.57% 和 11.42%;最大基叶宽仅 T3 显著变窄 4.87%。T2 和 T3 处理单株分枝数分别比对照显著提高 7.66% 和 15.32%(表 1)。由此可知,在本研究条件下,仅花期进行 UV-B 辐射,灯盏花药材性状特征所受影响较小。

2.2 UV-B 辐射对灯盏花生物量的影响

11 月灯盏花处于花期,主要由叶、根、茎、花组成。UV-B 辐射处理使灯盏花各部位生物量降低(除根外)。各处理生物量大小关系为 $\text{CK} > \text{T2} > \text{T1} > \text{T3}$,T3 生物量最低与连续辐射 60 d 有关,使其所受的抑制最严重。T1 和 T3 总生物量显著降低,分别

降低 5.31% 和 15.79%。T1 和 T3 处理的叶片生物量显著降低,分别降低 10.4% 和 14.8%,T3 处理茎生物量显著降低 25.5%,花的生物量 T2 和 T1 显著提高,分别提高 2.5% 和 7.3%,T3 显著降低 8.7% (表 2)。

表 1 不同时期 UV-B 辐射增强对灯盏花药材性状特征的影响

Table 1 Effect of enhanced UV-B radiation in different stage on growth of *Erigeron breviscapus* (Vant.) Hand. - Mazz.

UV-B 辐射 UV-B radiation/ kJ·m ⁻²	形态指标 Morphological index				
	株高 Plant height/cm	单株基生叶数 Leaf numbers/plant	最大基叶长 Leaf length/cm	最大基叶宽 Leaf width/cm	单株分枝数 Branch numbers/plant
CK	27.1 ± 1.5a	32.3 ± 2.4a	19.87 ± 0.21a	2.67 ± 0.04a	6.66 ± 0.08c
T1	22.6 ± 1.21b	27.06 ± 1.75b	17.77 ± 0.42b	2.6 ± 0.08ab	6.69 ± 0.18c
T2	24.47 ± 0.85b	29 ± 1.28ab	19.17 ± 0.25a	2.62 ± 0.04ab	7.17 ± 0.06b
T3	20.3 ± 1.05c	26.1 ± 1.61b	17.6 ± 0.95b	2.54 ± 0.05b	7.68 ± 0.14a

注:数字后不同字母表示显著差异, $P < 0.05$, t 检验。下同。Different letter indicated significant differences at $P < 0.05$ with t -test. The same below.

表 2 不同时期 UV-B 辐射增强对灯盏花各部位生物的影响 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)

Table 2 Effect of enhanced UV-B radiation in different stage on biomass ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) of *Erigeron breviscapus* (Vant.) Hand. - Mazz.

处理 Treatment	各部位生物量 Biomass of different part				总生物量 Total biomass
	叶 Leave	根 Root	茎 Stem	花 Flower	
CK	100 ± 5.5a	29.6 ± 2.7a	64.4 ± 4.6a	60 ± 3.5b	254 ± 5.2a
T1	89.6 ± 3.6b	28 ± 3.2a	58.5 ± 5.2b	64.4 ± 3.9a	240.5 ± 4.3b
T2	94.1 ± 4.7a	28 ± 3.8a	63 ± 4.1a	61.5 ± 4.8a	246.6 ± 4.7a
T3	85.2 ± 4.3b	25.9 ± 4.5b	48 ± 3.7b	54.8 ± 2.6c	213.9 ± 4.9b

2.3 UV-B 辐射对灯盏花药用有效成分含量的影响

灯盏花有效成分主要为总黄酮、灯盏乙素及咖啡酸酯,目前生产中主要提取植株中的咖啡酸酯用于制备灯盏细辛注射液,提取灯盏乙素制备灯盏花素片。

各处理根的灯盏乙素含量无显著差异,T2 和 T3 叶、茎和花灯盏乙素显著提高,叶片依次提高 17.34% 和 30.25%,茎提高 12.77% 和 19.39%,花提高 14.64% 和 28.35% (图 1)。

总黄酮含量的变化趋势与灯盏乙素大致一致,各处理条件下,根的总黄酮含量无显著差异,T2 和 T3 的叶、茎和花灯盏乙素显著提高,叶依次提高 11.85% 和 16.38%,茎提高 11.72% 和 13.04%,花提高 9.3% 和 11.63% (图 2)。

同样,UV-B 辐射使灯盏花咖啡酸酯含量升高,T2 和 T3 叶咖啡酸酯含量提高 8.31% 和 16.93%,茎提高 7.49% 和 14.27%,花提高 9.98% 和 10.83% (图 3)。花、叶和茎药用有效成分含量受 UV-B 辐射诱导,提高的幅度均为灯盏乙素 > 总黄酮 > 咖啡酸酯。

2.4 UV-B 辐射对灯盏花药用有效成分产量的影响

灯盏乙素总产量为 T2 > T1 > T3 > CK,花期 UV-B 辐射增强 (T2) 使灯盏花叶和花灯盏乙素产量显著提高,叶提高 5.20%,花提高 23.44% (图 4)。T2 处

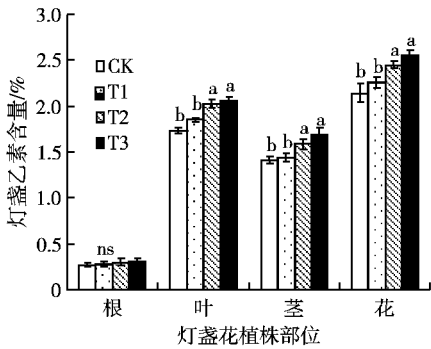


图 1 不同时期 UV-B 辐射对灯盏花花期各部位灯盏乙素含量的影响

Figure 1 Effect of enhanced UV-B radiation in different stage on scutellarin content of different part in *Erigeron breviscapus* (Vant.) Hand. - Mazz. at flowering stage

理根和茎灯盏乙素产量与 CK 很接近,无显著差异,叶和花灯盏乙素产量显著提高导致总产量提高,总产量显著提高 10%。T1 和 T3 处理仅花的灯盏乙素产量比 CK 高,所以总产量与 CK 无显著差异。

总黄酮产量为 T2 > CK > T1 > T3,花期辐射 (T2) 使灯盏花花的总黄酮产量显著提高 17.48%,根、叶和茎与 CK 无显著差异,导致总产量显著提高 4.01% (图 5)。T1 根、叶、茎和花与 CK 均无显著差异,导致

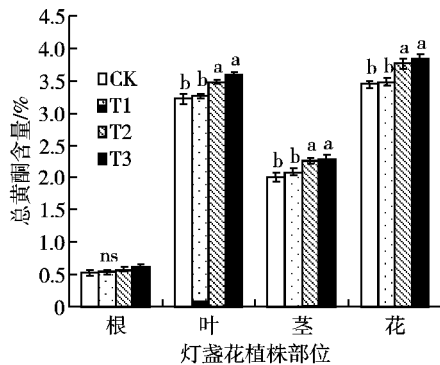


图2 不同时期 UV-B 辐射对灯盏花花期各部位总黄酮含量的影响

Figure 2 Effect of enhanced UV-B radiation in different stage on total flavonoid content of different part in *Erigeron breviscapus* (Vant.) Hand. - Mazz. at flowering stage

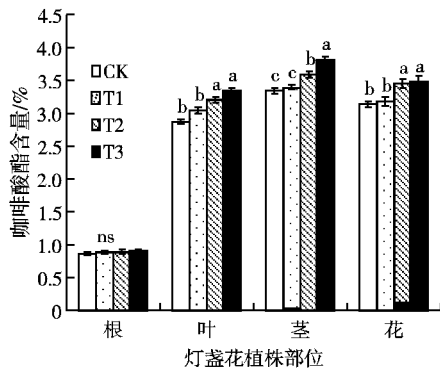


图3 不同时期 UV-B 辐射对灯盏花花期各部位咖啡酸酯含量的影响

Figure 3 Effect of enhanced UV-B radiation in different stage on caffeate content of different part in *Erigeron breviscapus* (Vant.) Hand. - Mazz. at flowering stage

总产量无显著差异。T3 茎的总黄酮产量显著降低, 叶、茎和花无显著差异, 导致总产量显著降低。

咖啡酸酯产量为 T2 > T1 > CK > T3, T2 处理咖啡酸酯产量与 CK 相比, 总产量提高 4.05%, 花产量提高 18.09% (图 6)。T1 与 CK 无显著差异, T3 茎的产量显著降低。从图 6 可以看出, T2 根、叶和茎咖啡酸酯产量和 CK 很接近, 无显著差异, 仅花的咖啡酸酯产量有所提高, 说明 UV-B 辐射能诱导花的咖啡酸酯产量提高。

3 讨论

增强 UV-B 辐射能广泛地改变植物形态学特性。UV-B 辐射增强使灯盏花株高、基叶数、最大基叶长和叶宽均有不同幅度的降低。单株分枝数出现

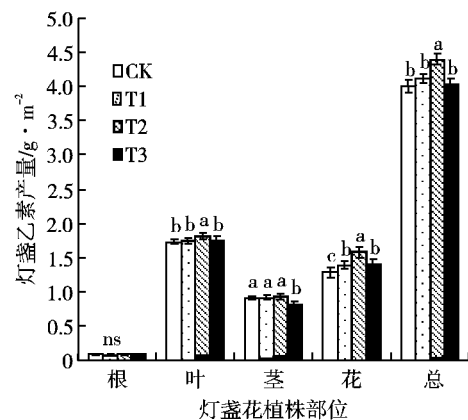


图4 不同时期 UV-B 辐射对灯盏花花期各部位灯盏乙素产量的影响

Figure 4 Effect of enhanced UV-B radiation in different stage on Scutellarin yield of different part in *Erigeron breviscapus* (Vant.) Hand. - Mazz. at flowering stage

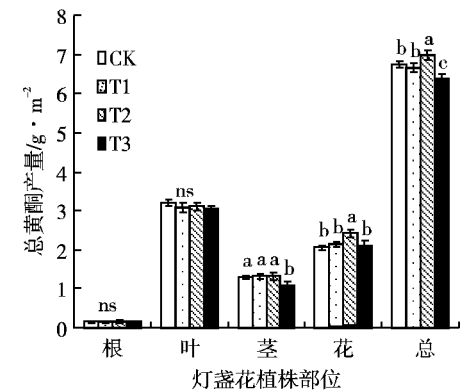


图5 不同时期 UV-B 辐射对灯盏花花期各部位总黄酮产量的影响

Figure 5 Effect of enhanced UV-B radiation in different stage on total flavonoid yield of different part in *Erigeron breviscapus* (Vant.) Hand. - Mazz. at flowering stage

增多和下降的原因很可能是 UV-B 辐射抑制植株生长, 使植株提前进入生殖生长的植株数增多, 这与 UV-B 辐射显著抑制荞麦的生长, 但促进荞麦发育使其开花期提前^[21]相一致。UV-B 对形态过程中很微妙的影响也会在植物总生物量中积累起来, 并造成对生物量的显著影响。在 UV-B 辐射增强下, 植物^[22]等表现出生物量降低, 但也有增加或不改变的现象^[23]。不同时期 UV-B 辐射增强条件下, 灯盏花叶片生物量比茎生物量降低的幅度大, 说明灯盏花叶片生物量对 UV-B 辐射更为敏感。而 T1、T2 处理花的生物量升高, 主要原因可能是由于 UV-B 辐射促进灯盏花提早进入花期, 而 T3 处理花的生物量含量降低主要与 UV-B 连续辐射 60 d 有关, 对灯盏花叶片和茎均

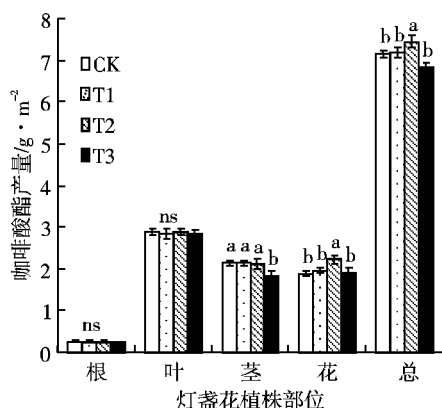


图6 不同时期 UV-B 辐射对灯盏花花期各部位咖啡酸酯产量的影响

Figure 6 Effect of enhanced UV-B radiation in different stage on caffeate yield of different part in *Erigeron breviscapus*

(Vant.) Hand. - Mazz. at flowering stage

造成较为严重的抑制,因此花的生物量也受到抑制。增强 UV-B 能降低植株总生物量,原因可能是增强的 UV-B 辐射可使植物体内发生强烈的自由基反应,产生大量的自由基,伤害植物光系统 II,使净光合速率降低,同时叶面积指数降低,光合有效面积减少,引起植株光合能力下降,从而降低总生物量和产量。

灯盏花总黄酮含量随地区、居群、生育时期和部位不同而不同^[24-26],在同一地区则随海拔的升高而上升,盛花期总黄酮含量最高,谢花期最低。植株各部位总黄酮、灯盏乙素的含量为叶>花>茎>根^[27-30]。本实验中,灯盏花总黄酮含量为花>叶>茎>根,可能是由于灯盏花居群不同造成的差异。不同时期 UV-B 辐射增强条件下,灯盏花药用有效成分含量升高,该结果与苏文华等^[31]的研究结果吻合,主要原因可能是因为 UV-B 辐射通过调控黄酮合成的酶蛋白基因的表达,使与黄酮合成相关的酶如苯丙氨酸解氨酶(PAL)、对香豆酸-CoA 联结酶(4CL)、查尔酮合成酶(CHS)、查尔酮异构酶(CHI)和异黄酮还原酶(IFR)的含量和活性大幅度提高,从而增加黄酮类化合物含量^[32]。

灯盏花为药用经济作物,主要经济产量由生物量(地上部分)和有效成分含量两种因素决定,不同时期增强的 UV-B 辐射使灯盏花生物量和有效成分含量发生改变。花期辐射使灯盏花各部位生物量稍有降低,使灯盏花各部位有效成分含量显著升高。因此,花期辐射(T2)使灯盏花总黄酮、灯盏乙素和咖啡酸酯总产量均显著增加,利于灯盏花药用有效成分产量的积累。花期灯盏花由根、茎、叶、花组成,该时期是

灯盏花快速旺盛生长的时期,灯盏花具备了一定抗逆能力,对 UV-B 辐射伤害有一定的抵抗力,而该时期次生代谢比较旺盛,诱导效果好。

参考文献:

- [1] Kerr J, McElroy C. Evidence for large upward trends of ultraviolet - B radiation linked to ozone depletion[J]. *Science*, 1993, 262:1032 - 1034.
- [2] Madronich S, McKenzie R L, Bjorn L O, et al. Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the earth's surface[J]. *Journal Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 1998, 46: 5 - 19.
- [3] Mckenzie, Connor B, Bodeker G. Increased summer time UV radiation in New Zealand in response to ozone loss[J]. *Science*, 1999, 285: 1709 - 1711.
- [4] Clark J B, Lister G R. Photosynthetic action spectra of trees(II): The relationship of cuticle structure to the visible and ultraviolet spectral properties of needles from four coniferous species[J]. *Plant physiology*, 1975, 55: 407 - 413.
- [5] Day T A, Vogelmann T C, Delucia E H. Are some plant life forms more effective than others in screening out ultraviolet - B radiation? [J]. *Oecologia*, 1992, 92: 513 - 519.
- [6] 蔡锡安, 夏汉平, 彭少麟. 增强 UV-B 辐射对植物的影响[J]. 生态环境, 2007, 16(3): 1044 - 1052.
CAI Xi-an, XIA Han-ping, PENG Shao-lin. Effects of enhanced UV-B radiation on plants[J]. *Ecology and Environment*, 2007, 16(3): 1044 - 1052.
- [7] 田向军, 林 玥, 邱宗波, 等. 温室条件下增强 UV-B 辐射对小麦、谷子大小等级性和异速生长的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5202 - 5208.
TIAN Xiang-jun, LIN Yue, QIU Zong-bo, et al. Effects of enhanced ultraviolet - B irradiance on size hierarchy and allometry of wheat and millet in greenhouse[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 16(3): 1044 - 1052.
- [8] Barnes P W, Shinkle J R, Flint S D, et al. UV-B radiation photomorphogenesis and plant - plant interaction[J]. *Progress in Botany*, 2005, 66: 313 - 340.
- [9] 陈 岚, 吴 震, 蒋芳玲, 等. 紫外线-B 照射对小白菜生长、产量及品质的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2008, 17(1): 43 - 47.
CHEN Lan, WU Zheng, JIANG Fang-ling, et al. Effects of ultraviolet - B radiation on growth, yield and quality of pakchoi (*Brassica campestris ssp. chinensis*) [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2008, 17(1): 43 - 47.
- [10] 何丽莲, 姚银安, 祖艳群等. 类黄酮与植物 UV-B 敏感性: 生理代谢与生态功能. 生态科学进展, 2005, 1: 203 - 214.
- [11] 李 元, 何永美, 祖艳群. 增强 UV-B 辐射对作物生理代谢、DNA 和蛋白质的影响研究进展[J]. 应用生态学报, 2006, 17(1): 123 - 126.
LI Yuan, HE Yong-mei, ZU Yan-qun. Effects of enhanced UV-B radiation on physiological metabolism, DNA and protein of crops: A review[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(1): 123 - 126.

- [12] Bassman J H, Edwards G E, Robberecht R. Long-term exposure to enhanced UV-B radiation is not detrimental to growth and photosynthesis in Douglas-fir[J]. *New Phytologist*, 2002, 154: 107-120.
- [13] Li Y, Zu Y Q, Chen J J. Intraspecific differences in physiological responses of 20 wheat cultivars to enhanced ultraviolet-B radiation under field conditions[J]. *Environ Experi Botany*, 2000, 44(2): 95-10.
- [14] 戴 浩, 周 青. Ce(Ⅲ)对增强 UV-B 辐射胁迫下大豆幼苗光呼吸关键酶活性影响[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(2): 321-324.
- DAI Hao, ZHOU Qing. Effect of Cerium on the key enzymes of photorespiration in soybean seedling under supplementary UV-B radiation stress[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(2): 321-324.
- [15] Harborne J B, Williams C A. Advances in flavonoid research since 1992[J]. *Phytochemistry*, 2000, 55(6): 481-504.
- [16] 王平理, 杨生超, 杨建文. 云南灯盏花种质资源的考察与采集[J]. *现代中药研究与实践*, 2007, 22(2): 25-28.
- WANG Ping-li, YANG Sheng-chao, YANG Jian-wen. Description and collection of *Erigeron breviscapus* germplasm resources in Yunnan[J]. *Research and Practice on Chinese Medicines*, 2007, 22(2): 25-28.
- [17] 张 俭, 肖逢连, 阳小燕. 灯盏花生物学特性及其药用功效[J]. *时珍国医国药*, 2007, 18(12): 2925-2926.
- ZHANG Jian, XIAO Feng-lian, YANG Xiao-yan. The biological characteristics and pharmacological function of *Erigeron breviscapus* [J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2007, 22(2): 25-28.
- [18] 上海市植物生理学会. 现代植物生理学试验指南[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [19] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学试验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [20] 许海琴, 许列琴, 许江苇. 常用天然提取物质量标准参考手册[M]. 北京: 化学工业出版社 & 现代生物技术与医药科技出版中心, 2003: 124-125.
- [21] 姚银安, 杨爱华, 徐 刚. 两种栽培荞麦对日光 UV-B 辐射的响应[J]. *作物杂志*, 2008, 6: 69-73.
- YAO Yin-an, YANG Ai-hua, XU Gang. Responses of two cultivated buckwheat subspecies to solar UV-B radiation[J]. *Crops*, 2008, 6: 69-73.
- [22] 唐莉娜, 林文雄, 梁义元, 等. UV-B 辐射增强对水稻蛋白质及核酸的影响研究[J]. *中国生态农业学报*, 2004, 12(1): 40-42.
- TANG Li-na, LIN Wen-xiong, LIANG Yi-yuan, et al. Effects of enhanced ultraviolet-B radiation on soluble protein and nucleic acid in rice leaves[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(1): 40-42.
- [23] 侯扶江, 贾桂英, 颜景义, 等. 田间增加紫外线(UV)辐射对大豆幼苗生长和光合作用的影响[J]. *植物生态学报*, 1998, 22(3): 256-261.
- HOU Fu-jiang, PENG Gui-ying, YAN Jing-yi, et al. Effects of supplemental ultraviolet UV radiation on the growth and photosynthesis of soybean growing in the field [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(3): 256-261.
- [24] 冯虎元, 安黎哲, 徐世健, 等. 紫外线-B 辐射增强对大豆生长、发育、色素和产量的影响[J]. *作物学报*, 2001, 27(3): 319-323.
- FENG Hu-yuan, AN Ni-zhe, Xu Shi-jian, et al. Effect of enhanced ultraviolet-B radiation on growth, development, pigments and yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(3): 319-323.
- [25] Hu C. Antioxidative property of flavonoid [J]. *China Oils and Fats*, 1996, 21(4): 18-21.
- [26] 冯定霞, 陈 勃, 党承林, 等. 短葶飞蓬总黄酮含量变化研究[J]. *中草药*, 2003, 34(4): 362-365.
- FENG Ding-xia, CHEN Bo, DANG Cheng-lin, et al. Study on variation of total flavonoids in *Erigeron breviscapus* [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2003, 34(4): 362-365.
- [27] 王 敏, 尹树泽, 曾俊苍, 等. 大理地区灯盏细辛中总黄酮含量的季节变化[J]. *中草药*, 1988, 19(7): 35-36.
- WANG Min, YIN Shu-ze, ZENG Jun-cang, et al. *Erigeron seasonal changes of total flavonoids in the Dali region* [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 1988, 19(1): 35-36.
- [28] 李国辉, 张录达, 杨建文, 等. 栽培和野生中药材灯盏花的近红外光谱鉴别模型[J]. *光谱学与光谱分析*, 2007, 27(10): 1959-1961.
- LI Guo-hui, ZHANG Lu-da, YANG Jian-wen, et al. Identification model of cultivated and wild chinese medical herbs *Erigeron breviscapus* with near-infrared spectroscopy[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2007, 27(10): 1959-1961.
- [29] 吴丰, 刘爱民, 马 林. 栽培灯盏细辛中灯盏花乙素的含量测定[J]. *中国中药杂志*, 2007, 32(11): 1092-1093.
- WU Feng, LIU Ai-min, MA lin. Cultivation of *Erigeron* in the determination of scutellarin[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2007, 32(11): 1092-1093.
- [30] 杨生超, 杨忠孝, 张乔芹, 等. 灯盏花种植技术初探[J]. *中草药*, 2004, 35(3): 318-321.
- YAN Sheng-chao, YANG Zhong-xiao, ZHANG Qiao-qing, et al. Preliminary studies on growing of *Erigeron breviscapus* [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2004, 35(3): 318-321.
- [31] 苏文华, 张光飞, 李秀华, 等. 光强和光质对灯盏花生长与总黄酮量影响的研究[J]. *中草药*, 2006, 37(8): 1244-1247.
- SU Wen-hua, ZHANG Guang-fei, LI Xiu-hua, et al. Effect of light intensity and light quality on growth and total flavonoid accumulation of *Erigeron breviscapus* [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2006, 37(8): 1244-1247.
- [32] 黄 勇, 周冀衡, 郑 明, 等. UV-B 对烟草生长发育及次生代谢的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2009, 17(1): 140-144.
- HUANG Yong, ZHOU Ji-heng, ZHENG Ming, et al. Effect of UV-B on growth and development and secondary metabolism of flue-cured tobacco [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(1): 140-144.