

# 增强 UV-B 辐射对达乌里胡枝子紫外吸收物质和渗透调节物质含量的影响

朱建国, 郝文芳, 赵洁, 王龙飞

(西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**以盆栽达乌里胡枝子为试材, 研究在 0(CK)、1.944(T<sub>1</sub>)和 3.002 kJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>(T<sub>2</sub>) 3 种 UV-B 辐射强度下, 达乌里胡枝子叶片内紫外吸收物质和渗透调节物质含量的动态响应。结果表明: 增强 UV-B 辐射下达乌里胡枝子叶片内类黄酮、总酚、花青素含量以及苯丙氨酸转氨酶活性均呈现先增加后降低的趋势, 且大部分情况显著( $P < 0.05$ )高于对照组。不同剂量的 UV-B 辐射所引起的效应也略有不同, 3.002 kJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> 强度处理紫外吸收物质(花青素除外)和苯丙氨酸转氨酶活性在紫外辐射前期显著( $P < 0.05$ )高于 1.944 kJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> 强度处理。可溶性蛋白含量在 UV-B 辐射下大幅度下降, 最终极显著( $P < 0.01$ )低于 CK, 且随着 UV-B 辐射强度的增加而降低。游离脯氨酸含量只有在 1.944 kJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> 处理第 6 天时显著( $P < 0.05$ )高于对照组, 其余情况下均未显著高于对照组。表明增强 UV-B 辐射主要促进达乌里胡枝子叶片内紫外吸收物质含量的增加, 但是抑制了渗透调节物质的合成, 尤其是抑制可溶性蛋白。

**关键词:**达乌里胡枝子; 增强 UV-B 辐射; 紫外吸收物质; 渗透调节物质

**中图分类号:**Q 945 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)05-0013-05

由于人类工业和生活中大量温室气体的排放导致臭氧层的严重破坏, 大气中的 UV-B 辐射大量增加, 严重影响到植物的生命活动<sup>[1]</sup>。植物为抵抗 UV-B 辐射必须调整自身防御策略, 其中合成紫外吸收物质是植物在生理生化层面抵御 UV-B 辐射伤害的有效防御机制<sup>[2]</sup>。紫外吸收物质主要是酚类物质, 包括类黄酮、生物碱、花色素苷等<sup>[3]</sup>, 紫外吸收物质可以滤减 UV-B 辐射, 减少 UV-B 辐射对植物的伤害<sup>[4-5]</sup>。大量研究表明, 增强 UV-B 辐射下植物体内紫外吸收物质含量增加<sup>[6-9]</sup>, 也有研究表明长时间高强度的 UV-B 辐射导致紫外吸收物质含量下降<sup>[10-11]</sup>。UV-B 辐射对植物的另一方面影响是导致其渗透调节物质含量的变化。有研究表明, 随着 UV-B 辐射的进行, 可溶性蛋白质的质量分数先增加后减小<sup>[12]</sup>; 也有研究表明, 低 UV-B 辐射强度下可溶性蛋白含量增加, 高 UV-B 辐射强度下可溶性蛋白含量下

降<sup>[13]</sup>。不同植物叶片内可溶性蛋白含量在 UV-B 辐射下反应不同, 这可能是因为可溶性蛋白含量的增减决定于辐射强度和不同植物对 UV-B 辐射的敏感程度<sup>[14]</sup>。游离脯氨酸是植物蛋白组分之一, 具有清除活性氧功能<sup>[15]</sup>, 在多种逆境胁迫下植物体内均有积累。杨景宏等<sup>[16]</sup>研究发现 UV-B 胁迫下小麦(*Triticum aestivum*)叶片内游离脯氨酸含量增加, 认为这是植物抵抗 UV-B 胁迫所做出的适应性反应。

达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica* (Laxm.) Schindl.) 为豆科(Leguminosae)胡枝子属(*Lespedeza* Michx.) 多年生草本状半灌木, 是黄土高原地带的代表性植被之一, 是一种耐旱、抗寒、耐贫瘠的优良牧草<sup>[17]</sup>, 主要分布于我国的东北、华北、西北、华中至云南, 出现在森林草原和草原地带的山坡、丘陵坡地, 为草原群落的次优势种和伴生种<sup>[18]</sup>。UV-B 辐射研究大多以作物为研究对象<sup>[19-21]</sup>, 而对牧草研究较少。该研究以达乌里胡枝子为研究对象, 采用盆栽试验, 研究增强 UV-B 辐射下达乌里胡枝子叶片内类黄酮、总酚、花青素、苯丙氨酸解氨酶、可溶性蛋白、游离脯氨酸含量的变化, 揭示达乌里胡枝子叶片内紫外吸收物质和渗透调节物质对增强 UV-B 辐射的动态响应, 旨在研究达乌里胡枝子对增强 UV-B 辐射的适应能力, 为进一步探究达乌里胡枝子抗紫外机理提供理论基础。

**第一作者简介:**朱建国(1987-), 男, 山东济宁人, 在读硕士, 研究方向为植物逆境生理。E-mail: zjgix0537@163.com。

**责任作者:**郝文芳(1968-), 女, 陕西西乡人, 博士, 副教授, 现主要从事植物生理生态学和恢复生态学研究。E-mail: haowenfang2002@tom.com。

**基金项目:**中国科学院“西部之光”人才培养资助项目(2008DF02)。

**收稿日期:**2011-12-28

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试达乌里胡枝子种子由北京市农林科学院畜牧所提供。紫外灯管购于北京电光源有限公司,功率为40 W,波长峰值313 nm。

### 1.2 试验方法

试验于2010年4月11日至8月2日在西北农林科技大学生命学院实验大棚内进行,随机选取均匀饱满的种子于45℃温水中浸泡24 h,再用0.2%高锰酸钾浸泡5 min,用蒸馏水冲洗干净。于4月11日播种于高27 cm、上口直径29 cm、下口直径23 cm的塑料桶中,每桶装土13 kg,取耕层土壤,过筛后与蚯蚓粪(v:v=3:1)混合均匀,每桶装入13 kg土壤,同时拌有尿素4.0 g/桶,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  3.4 g/桶<sup>[22]</sup>。装桶时,将大小均匀的鹅卵石(约3~5 cm)铺在桶底一侧,铺上滤纸,将长35 cm、 $\Phi$  20 mm的PVC管从滤纸的小圆洞插入到鹅卵石上。每桶播种约50粒,待苗齐后间苗,每桶定植15株。试验设置3个处理( $T_1$ 、 $T_2$ 、CK),每处理6桶,于7月9日开始处理。将紫外灯管悬于植株上方,采用升降式灯架,调节灯管和植株顶端的距离以控制UV-B辐射强度。低强度UV-B辐射,灯管距植株顶端60 cm;高强度UV-B辐射,灯管距植株顶端40 cm,对照组上方也悬挂灯管,但不通电,以保证处理间光照相同。UV-B辐射量由北京师范大学光电仪器厂制造的742型UV-B辐照计测定,并根据Caldwell M M<sup>[23]</sup>的公式计算后获得  $T_1 = 1.944 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ,  $T_2 = 3.002 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。每天照射5 h(10:00~15:00),每3 d取样1次,连续取样7次。

### 1.3 项目测定

类黄酮含量的测定参考Lois R<sup>[24]</sup>的方法,测定334 nm处的光密度值 $\text{OD}_{334}$ ,类黄酮含量以 $\text{OD}_{334}$ 鲜重表示;总酚含量的测定参考周新明<sup>[11]</sup>的方法;花青素的测定参考莫巍<sup>[25]</sup>的方法,设光密度为0.100时的花青素为1个单位;脯氨酸含量、可溶性蛋白含量、苯丙氨酸转氨酶活性的测定参考高俊凤<sup>[26]</sup>的方法。

### 1.4 数据处理与分析

利用SPSS 17.0数据分析软件对数据进行显著性和相关性分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 增强UV-B辐射对类黄酮含量的影响

由图1可知,随着UV-B辐射时间的延长,处理组类黄酮含量呈现出先增加后降低的趋势。低紫外组在处理3 d后类黄酮含量较对照组变化不显著( $P>0.05$ ),从第3天开始类黄酮含量急剧增加,第9天类黄酮含量达到最高,极显著( $P<0.01$ )高于对照组18.01%,然后呈缓慢下降趋势,最终较第9天显著( $P<0.05$ )下降了8.88%,但仍显著( $P<0.05$ )高于对照组5.12%。高紫

外组从胁迫开始,类黄酮含量便呈现出较高的增长趋势,前15 d均显著( $P<0.05$ )高于对照组,其中在第12天类黄酮含量达到最高,高于对照组23.49%,之后大幅下降,最终较第12天极显著( $P<0.01$ )下降了14.50%,且与对照组差异不显著。高紫外组在第3天和第6天类黄酮含量极显著( $P<0.01$ )高于低紫外组,在第9天和第12天差异不显著( $P>0.05$ ),在第15天和第18天显著( $P<0.05$ )低于低紫外组。表明增强UV-B辐射能提高达乌里胡枝子叶片内类黄酮的含量,辐射强度不同类黄酮含量变化存在差异。

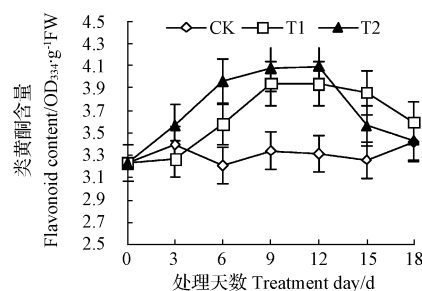


图1 紫外胁迫下叶片类黄酮含量

Fig. 1 The flavonoids content in leaves under different intensities of UV-B radiation

### 2.2 增强UV-B辐射对总酚含量的影响

由图2可知,随着UV-B辐射时间的延长,处理组总酚含量呈现先增加后降低的趋势。低紫外组总酚含量前9 d均极显著( $P<0.01$ )高于对照组,其中在第6天达到最高,高于对照组61.11%,随着处理的进行,总酚含量下降,第12天和第15天与对照组差异不显著( $P>0.05$ ),第18天较第6天极显著( $P<0.01$ )降低了53.19%,且极显著( $P<0.01$ )低于对照组。高紫外组总酚含量前15 d均显著( $P<0.05$ )高于对照组,其中在第9天达到最高,高于对照组102.08%,然后含量下降,第18天较第9天极显著( $P<0.01$ )下降了45.57%,且与对照组差异不显著( $P>0.05$ )。在增强UV-B辐射下,达乌里胡枝子叶片内总酚含量增加,而高强度紫外处理下效果更显著。

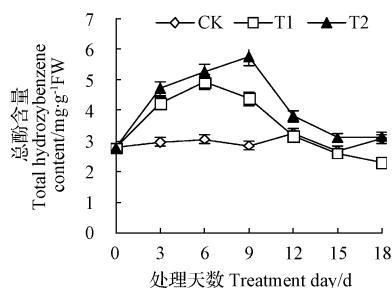


图2 紫外胁迫下叶片总酚含量

Fig. 2 The total hydroxybenzenes content in leaves under different intensities of UV-B radiation

### 2.3 增强UV-B辐射对花青素含量的影响

由图3可知,随着UV-B辐射时间的延长,处理组

花青素含量均呈现先增加后减少的趋势。低紫外组花青素含量在紫外处理期间均高于对照组,但除第 12 天外均未达到显著水平。第 12 天低紫外组花青素含量达到最高值,显著( $P<0.05$ )高于对照组 17.49%,然后含量降低,但未达到显著水平。高紫外组花青素含量在前 12 d 显著( $P<0.05$ )高于对照组,其中在第 9 天达到最高值,高于对照组 24.56%,然后含量下降,第 15 天和第 18 天与对照组差异不显著( $P>0.05$ ),最终较第 9 天显著( $P<0.05$ )下降了 16.61%。整个处理过程中,2 种紫外处理下花青素含量差异不显著( $P>0.05$ )。增强 UV-B 辐射能提高花青素含量,但不同强度 UV-B 辐射对花青素含量的影响并不显著。

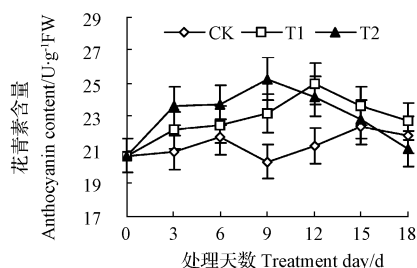


图 3 紫外胁迫下叶片花青素含量

Fig. 3 The anthocyanins content in leaves under different intensities of UV-B radiation

#### 2.4 增强 UV-B 辐射对苯丙氨酸转氨酶活性的影响

由图 4 可知,随着 UV-B 辐射时间的延长,处理组苯丙氨酸转氨酶活性呈现先上升后下降的趋势。低紫外组苯丙氨酸转氨酶活性在前 12 d 均极显著( $P<0.01$ )高于对照组,其中在第 9 天酶活性达到最高,高于对照组 185.42%,然后酶活性开始下降,第 15 天和第 18 天与对照组差异不显著( $P>0.05$ ),最终较第 9 天极显著( $P<0.01$ )下降了 68.22%。高紫外组苯丙氨酸转氨酶活性在紫外处理期间均极显著( $P<0.01$ )高于对照组。高紫外组在胁迫 6 d 后酶活性达到最高,高于对照组 251.92%,然后酶活性呈现下降趋势,最终较第 6 天极显著( $P<0.01$ )下降了 47.95%,但仍高于对照组 58.44%。高紫外组酶活性在处理前 6 d 极显著( $P<$

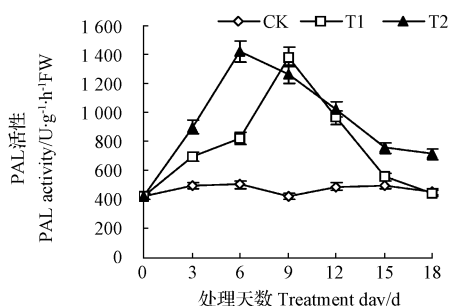


图 4 紫外胁迫下叶片 PAL 活性

Fig. 4 The phenylalanine ammonia-lyase activities in leaves under different intensities of UV-B radiation

0.01)高于低紫外组,在第 9 天和第 12 天与低紫外组差异不显著,在第 15 天和第 18 天极显著( $P<0.01$ )高于低紫外组。可见,在增强 UV-B 辐射下,苯丙氨酸转氨酶活性增加,且随着辐射强度的增强而增加。

#### 2.5 增强 UV-B 辐射对可溶性蛋白含量的影响

由图 5 可知,UV-B 辐射下,处理组可溶性蛋白含量始终下降。低紫外组可溶性蛋白含量在前 6 d 与对照组含量差异不显著( $P>0.05$ ),后期极显著( $P<0.01$ )低于对照组,第 18 天可溶性蛋白含量较对照组下降了 70.21%。高紫外组可溶性蛋白含量均显著低于( $P<0.05$ )对照组,第 18 天可溶性蛋白含量较对照组下降了 76.87%。高紫外组可溶性蛋白含量除第 12 天和第 18 天外均显著( $P<0.05$ )低于低紫外组。增强 UV-B 辐射降低了达乌里胡枝子叶片内可溶性蛋白含量,且高紫外胁迫下可溶性蛋白下降更明显。

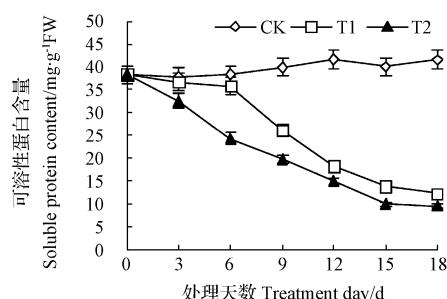


图 5 紫外胁迫下叶片可溶性蛋白含量

Fig. 5 The soluble proteins content in leaves under different intensities of UV-B radiation

#### 2.6 增强 UV-B 辐射对游离脯氨酸含量的影响

由图 6 可知,低紫外组游离脯氨酸含量呈现出先增加后降低的趋势,在第 6 天显著( $P<0.05$ )高于对照组 29.73%,其它时间均与对照组差异不显著( $P>0.05$ )。然后游离脯氨酸含量缓慢下降,最终较第 6 天显著下降 27.32%。高紫外组游离脯氨酸含量在前 6 d 与对照组差异不显著( $P>0.05$ ),然后含量迅速减少,显著( $P<0.05$ )低于对照组,第 9 天低于对照组 24.66%,后期游离脯氨酸含量趋于稳定。高紫外组游离脯氨酸含量在第 9 天和第 12 天极显著( $P<0.01$ )低于低紫外组,其它

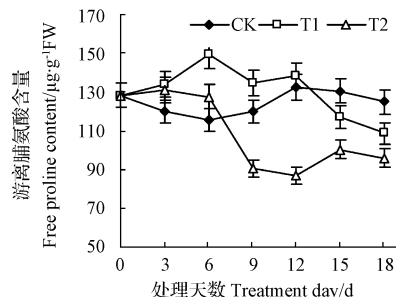


图 6 紫外胁迫下叶片游离脯氨酸含量

Fig. 6 The free prolines content in leaves under different intensities of UV-B radiation

时间与低紫外组差异不显著( $P>0.05$ )。在增强 UV-B 辐射下,游离脯氨酸含量没有明显增加,且处理后期呈现出下降趋势。

## 2.7 增强 UV-B 辐射后达乌里胡枝子叶片内紫外吸收物质、苯丙氨酸解氨酶和渗透调节物质之间的相关性分析

由表 1 可知,增强 UV-B 辐射后达乌里胡枝子叶片内苯丙氨酸转氨酶活性和类黄酮、总酚、花青素含量呈现出极显著( $P<0.01$ )正相关,紫外吸收物质类黄酮、总酚和花青素三者之间显著( $P<0.05$ )正相关,可溶性蛋白含量和游离脯氨酸含量极显著( $P<0.01$ )正相关,而紫外吸收物质和渗透调节物质之间相关性不显著。

表 1 紫外吸收物质、苯丙氨酸转氨酶和渗透调节物质之间的相关性分析

Table 1 Correlation analysis among UV-absorbing compounds, PAL and adjusting osmotic substances

	类黄酮 Flavonoid	总酚 Total hydroxybenzene	花青素 Anthocyanin	PAL	可溶性蛋白 Soluble protein	游离脯氨酸 Free proline
类黄酮 Flavonoid	1.000					
总酚 Total hydroxybenzene	0.365 *	1.000				
花青素 Anthocyanin	0.614 **	0.320 *	1.000			
PAL	0.691 **	0.776 **	0.438 **	1.000		
可溶性蛋白 Soluble protein	-0.521 **	0.271	-0.242	-0.103	1.000	
游离脯氨酸 Free proline	-0.246	0.098	-0.021	-0.040	0.659 **	1.000

注: \*\* ;  $P=0.01$ ; \* ;  $P=0.05$ . PAL: 苯丙氨酸转氨酶。

Note: \*\* ;  $P=0.01$ ; \* ;  $P=0.05$ . PAL: phenylalanine ammonia-lyase.

## 3 讨论与结论

增强 UV-B 辐射对植物最一致的影响是植物叶片紫外吸收物质含量的增加<sup>[27]</sup>。研究表明,增强 UV-B 辐射前期达乌里胡枝子叶片内紫外吸收物质类黄酮、花青素和总酚含量均显著( $P<0.05$ )增加,这与前人的结论相似<sup>[8,12,28-30]</sup>。其机理可能是由于增强 UV-B 辐射可以诱导苯丙氨酸转氨酶活性增强,而苯丙氨酸解氨酶是酚类物质(包括黄酮类物质)合成的关键酶<sup>[31]</sup>。增强 UV-B 辐射前期达乌里胡枝子叶片内苯丙氨酸转氨酶活性较对照组极显著( $P<0.01$ )增加,并且苯丙氨酸转氨酶活性与类黄酮、总酚、花青素含量均极显著( $P<0.01$ )正相关,由此可见增强 UV-B 辐射能诱导苯丙氨酸转氨酶活性,进而导致紫外吸收物质含量增加来抵抗增强 UV-B 辐射。达乌里胡枝子叶片内紫外吸收物质含量随 UV-B 辐射强度增加而显著( $P<0.05$ )增加(花青素除外),可见高强度 UV-B 辐射比低强度 UV-B 辐射更容易诱导达乌里胡枝子叶片内紫外吸收物质的合成。研究结果还显示,类黄酮、总酚、花青素三者之间显著( $P<0.05$ )正相关,说明三者抵抗增强 UV-B 辐射中存在一定的协

同作用,增强 UV-B 辐射导致三者含量均相应增加。

增强 UV-B 辐射后期紫外吸收物质含量显著( $P<0.05$ )下降(除低紫外组的花青素),最后甚至低于对照组。有研究表明,当 UV-B 辐射剂量超过植物所能耐受的阈值后会导致植物体内生理指标呈现下降趋势<sup>[12,31]</sup>。增强 UV-B 辐射后期达乌里胡枝子叶片内紫外吸收物质含量下降,可能是由于处理后期 UV-B 辐射剂量超过达乌里胡枝子所能耐受范围,苯丙氨酸转氨酶活性下降,紫外吸收物质合成受阻。

由于蛋白质的最大吸收波长正好处在 UV-B 辐射波长范围内,因此蛋白质本身会受到 UV-B 辐射的影响<sup>[21]</sup>。增强 UV-B 辐射下水稻(*Oryza sativa*)叶片内可溶性蛋白含量下降<sup>[32]</sup>,而螺旋藻(*Spirulina platensis*)体内蛋白质含量增加<sup>[33]</sup>,也有研究发现,低强度 UV-B 辐射促进大豆(*Glycine max*)体内蛋白质合成<sup>[13]</sup>,而高强度 UV-B 辐射则抑制其合成。UV-B 辐射下蛋白质含量的增减决定于辐射强度和不同植物对 UV-B 辐射的敏感程度<sup>[14]</sup>。增强 UV-B 辐射下达乌里胡枝子叶片中可溶性蛋白含量较对照组显著( $P<0.05$ )下降,同时,随着 UV-B 辐射强度的增加,可溶性蛋白含量下降幅度增大。这表明达乌里胡枝子对增强 UV-B 辐射敏感,蛋白质的合成受到抑制,而高强度 UV-B 辐射的抑制效果更加明显。这可能是由于 UV-B 辐射造成了 DNA 的损伤,抑制了蛋白质合成基因的表达,随着辐射强度的增加,基因损伤加重<sup>[13]</sup>。

增强 UV-B 辐射会造成植物体内活性氧积累,而游离脯氨酸具有清除活性氧的功能<sup>[15]</sup>,有研究表明增强 UV-B 辐射下植物体内游离脯氨酸含量升高<sup>[16,34]</sup>。在该研究中,低紫外组只有在第 6 天时达乌里胡枝子叶片内游离脯氨酸含量显著( $P<0.05$ )高于对照组,最后游离脯氨酸含量较第 6 天显著( $P<0.05$ )下降,而高紫外组游离脯氨酸含量前期与对照组差异不显著,后期则显著( $P<0.05$ )低于对照组。由此可见,增强 UV-B 辐射并没有明显促进游离脯氨酸含量增加,反而在处理后期使游离脯氨酸含量呈现下降趋势。可溶性蛋白含量和游离脯氨酸含量极显著( $P<0.01$ )正相关,说明增强 UV-B 辐射对二者的影响相似,均抑制了它们的合成。

试验结果表明,增强 UV-B 辐射诱导了达乌里胡枝子叶片内紫外吸收物质类黄酮、总酚和花青素的积累,但是若辐射剂量过大,超过达乌里胡枝子所能耐受的阈值,紫外吸收物质含量降低。同时增强 UV-B 辐射导致可溶性蛋白含量大幅下降,游离脯氨酸也整体上呈现出下降趋势(低紫外组前期略增加)。达乌里胡枝子对增强 UV-B 辐射存在一定的抗性,但如果辐射剂量过大,抗性降低。

## 参考文献

- [1] 赵平,曾小平,孙谷畴. 陆生植物对 UV-B 辐射增量响应研究进展[J]. 应用环境生物学报,2004,10(1):122-127.
- [2] Frohnmeyer H, Staiger D. Ultraviolet-B radiation-mediated responses in plants balancing damage and protection[J]. Plant Physiol, 2003, 133(4):1420-

1428.

- [3] 薛慧君,岳明. UV-B辐射增强对陆地植物次生代谢的影响[J]. 西北植物学报,2004,24(6):1131-1137.
- [4] Tevini M, Braun J, Fieser G. The protective function of the epidermal layer of rye seedling against ultraviolet-B radiation[J]. Photochem. Photobiol., 1991,53(3):329-333.
- [5] 周青,黄晓华. 生存胁迫-紫外辐射增强对植物生态生理效应[J]. 自然杂志,2001,23(4):199-203.
- [6] 祖艳群,李元,高召华,等. UV-B辐射对仙客来的生理效应[J]. 武汉植物学研究,2007,25(2):209-212.
- [7] 田向军,邱宗波,刘晓,等. 增强 UV-B辐射对小麦叶片黄酮类化合物日变化的影响[J]. 环境科学学报,2007,27(3):516-521.
- [8] 李元,祖艳群,高召华,等. UV-B辐射对报春花的生理生化效应[J]. 西北植物学报,2006,26(1):179-182.
- [9] Hollosy F. Effects of ultraviolet radiation on plant cells[J]. Micron, 2002,33(2):179-197.
- [10] 董新纯,赵世杰,郭珊珊,等. 增强 UV-B条件下类黄酮与苦荞逆境伤害和抗氧化酶的关系[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2006,37(2):157-162.
- [11] 周新明. UV-B辐射增强对葡萄叶片光合生理及总酚含量的影响[D]. 杨陵:西北农林科技大学,2007.
- [12] 赵晓莉,胡正华,徐建强,等. UV-B辐射与酸雨胁迫对生菜生理特性及品质的影响[J]. 生态环境,2006,15(6):1170-1175.
- [13] 强维亚,汤红官,侯宗东,等. 增强 UV-B辐射对大豆胚轴DNA损伤、修复和蛋白质含量的影响[J]. 生态学报,2004,24(4):852-856.
- [14] 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.
- [15] Smirnov N. The role active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation[J]. New Phytol,1993,125(1):27-58.
- [16] 杨景宏,陈拓,王勋陵. 增强 UV-B辐射对小麦叶片内源ABA和游离脯氨酸的影响[J]. 生态学报,2000,20(1):39-42.
- [17] 中国科学院中国植物志编委会. 中国植物志[M]. 41卷. 2分册. 北京:科学出版社,1995.

- [18] 陈宝书. 牧草饲料作物栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2001.
- [19] 安黎哲,冯虎元,王勋陵. 增强的紫外线-B辐射对几种作物和品种生长的影响[J]. 生态学报,2001,21(2):249-243.
- [20] 陈拓,安黎哲,冯虎元,等. UV-B辐射对蚕豆叶膜脂过氧化的影响及其机制[J]. 生态学报,2001,21(4):579-583.
- [21] 冯国宁,安黎哲,冯虎元. 增强 UV-B辐射对菜豆蛋白质代谢的影响[J]. 植物学报,1999,41(8):833-836.
- [22] 慕自新,张岁岐,郝文芳,等. 玉米根系形态性状和空间分布对水分利用效率的调控[J]. 生态学报,2005,25(11):2895-2900.
- [23] Caldwell M M. Solar ultraviolet radiation and the growth and development of higher plant[J]. Photophysiol,1971,131-137.
- [24] Lois R. Accumulation of UV-absorbing flavonoids induced by UV-B radiation in *Arabidopsis thaliana* L. mechanisms of UV-resistance in *Arabidopsis*[J]. Plant Ecol,1994,194(2):498-503.
- [25] 莫巍. 彩叶树种叶片中花青素含量的测定及动态分析[J]. 新疆农业科学,2007,44(S2):138-140.
- [26] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安:世界图书出版公司,2000.
- [27] 李元,岳明. 紫外辐射生态学[M]. 北京:中国环境科学出版社,2000.
- [28] 徐敬敬,李静,冯希环,等. 紫外光增强对大葱形态和生理指标的影响[J]. 中国农学通报,2008,24(11):307-309.
- [29] 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.
- [30] 王毅,钟楚,陈宗瑜,等. UV-B辐射对烟草(*Nicotiana tobacum*)叶片总多酚含量和PPO活性的影响[J]. 中国烟草学报,2010,16(1):49-52.
- [31] 张晋豫,邱宗波,王勋陵,等. 增强 UV-B对矮牵牛花瓣中生理生化物质变化的影响[J]. 西北植物学报,2008,28(8):1637-1642.
- [32] 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.
- [33] 薛林贵,徐世健,李师翁,等. 螺旋藻对增强的 UV-B胁迫的响应[J]. 水生生物学报,2007,31(2):201-207.
- [34] 张益峰. 金荞麦和荞麦对增强 UV-B辐射及干旱胁迫的生理生态响应[D]. 重庆:西南大学,2010.

## The Effects of Enhance UV-B Radiation on the Content Variation of UV-absorbing Compounds and Adjusting Osmotic Substances of *Lespedeza davurica*

ZHU Jian-guo, HAO Wen-fang, ZHAO Jie, WANG Long-fei

(College of Life Science, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** Taking pot cultivation *Lespedeza davurica* (Laxm.) Schindl as test material, the effects of enhanced UV-B radiations (0, 1.944, 3.002 kJ · m<sup>-2</sup> · d<sup>-1</sup>) on the content variation of UV-absorbing compounds and adjusting osmotic substances in the leaves were studied. The results showed that under the enhanced UV-B radiation, the contents of flavonoid, total hydroxybenzene, anthocyanin and the activity of phenylalanine ammonia-lyase increased at first and then decreased, and mostly they were significantly higher than that of the control ( $P < 0.05$ ). Also due to different doses of UV-B radiation, the effects were slightly different. The increase extent (in the early stage of UV-B radiation) of the content of UV-absorbing compounds (except for anthocyanins) and the activity of phenylalanine ammonia-lyase under 3.002 kJ · m<sup>-2</sup> · d<sup>-1</sup> UV-B radiation are significantly larger than that of 1.944 kJ · m<sup>-2</sup> · d<sup>-1</sup> UV-B radiation ( $P < 0.05$ ). The content of soluble protein decreased significantly under the enhanced UV-B radiation ( $P < 0.01$ ), and decreased with the increasing of UV-B radiation. Only on the sixth day and under 1.944 kJ · m<sup>-2</sup> · d<sup>-1</sup> UV-B radiation the content of free proline was significantly higher than that of the control ( $P < 0.05$ ), which was not found in the the rest cases. These results implied that the enhanced UV-B radiation induced the synthesis of the UV-absorbing compounds in the leaves of *Lespedeza davurica*, but inhibited the synthesis of the adjusting osmotic substances especially soluble protein.

**Key words:** *Lespedeza davurica*; enhanced UV-B radiation; UV-absorbing compound; adjusting osmotic substances