

低纬高原地区 UV-B 辐射对报春花 丙二醛、蛋白质含量的影响

罗丽琼¹, 陈宗瑜^{2*}, 周平³, 温永琴⁴, 丁金玲⁴

(1. 云南农业大学 园林园艺学院, 昆明 650201; 2. 云南省环境科学与工程创新人才联合培养基地, 昆明 650201;
3. 云南农业大学 云南农业大学 农学与生物技术学院, 昆明 650201; 4. 烟草学院, 昆明 650201)

摘要: 以同期种植的云南报春花为试验材料, 利用获得的云南不同纬度、不同海拔高度, 而经度差异不大的 4 个试验点的 UV-B 辐射观测资料, 初步研究了低纬高原地区不同 UV-B 辐射强度变化对云南报春花丙二醛、可溶性蛋白质的影响。结果表明, UV-B 辐射强度从 2~5 月呈上升趋势, 辐射值最高为丽江点, 5 月份达 $12.90 \text{ w} \cdot \text{m}^{-2}$, 相对来说高海拔地区的紫外辐射强度较强, 各试验点报春花叶片的丙二醛含量以 3、4 月份较高, 可溶性蛋白质含量以 2、4 月份较高。随着 UV-B 辐射强度增强, 报春花丙二醛含量先升高后降低, 叶片丙二醛含量也较高, 不同生育期丙二醛含量不同, 其含量以开花期和结实期最高; 而随着 UV-B 辐射强度的变化, 各实验点报春花叶片蛋白质含量变化不一致, 不同生育期可溶性蛋白质含量不同, 其含量以开花期为最高。

关键词: 低纬高原地区; UV-B 辐射; 报春花; 丙二醛; 可溶性蛋白质

中图分类号: Q945 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2008)01-0130-06

Effects of the low latitude and high elevation region's UV-B radiation on the content of MDA and soluble protein of the *Primula*

LUO Li-Qiong¹, CHEN Zong-Yu^{2*}, ZHOU Ping³,
WEN Yong-Qin⁴, DING Jin-Ling⁴

(1. *College of Horticulture & Landscape, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201*; 2. *The Base of Creative Talented Person in Environmental Science and Project of Yunnan Province, Kunming 650201*; 3. *College of Agricultural Sciences and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China*;
4. *College of Tobacco Science, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China*)

Abstract: Utilize the UV-B radiation strength datum of five-test place in Yunnan province, which located in different latitude and different elevation but similarly in the same longitude. At the same time plant primula as experimental material, then determine the content of MDA and soluble protein in plant leaves, analysis the effects of the low latitude and high elevation region's UV-B radiation on the content of MDA and soluble protein. The results shows that from February to May the UV-B radiation strength was increased, the maximum appeared in Lijiang ($12.90 \text{ w} \cdot \text{m}^{-2}$ in May); the low latitude and high elevation region's UV-B radiation was much higher than high latitude and low elevation region's; the primula leaves content of MDA was much higher during March and April, but the higher content of soluble protein appeared in February and April. The result shows that; with the increase of the UV-B radiation

收稿日期: 2006-05-11 修回日期: 2007-07-26

基金项目: 云南省自然科学基金(2002C0038M); 国家自然科学基金(40265001)[Supported by Natural Science Foundation of Yunnan Province (2002C0038M); National Natural Science Foundation of China(40265001)]

作者简介: 罗丽琼(1980-), 女, 云南昆明市人, 硕士研究生, 主要从事紫外辐射生态学及园林植物方面的研究, (E-mail)luoliqiong123@126.com.

* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: zchen191@sohu.com)

strength, the content on MDA increased at first and then; in higher UV-B radiation region the content of MDA was also higher; during different physiology time the content of MDA showing difference, the higher content emerge in flowering and fruiting duration; but with the variation of UV-B radiation strength the change of the soluble protein showing diversity in test place; during different physiology time the content of soluble protein showing variant, the higher content emerge in flowering period.

Key words: low latitude and high elevation region; UV-B radiation; *Primula*; MDA; soluble protein

就太阳中的紫外线而言, 根据其生物学效应的不同分为 3 类: 弱效应波 (UV-A, 320~400 nm 谱段), 强效应波 (UV-B, 280~320 nm 谱段)、超强效应波 (UV-C, 200~280 nm 谱段)。正常情况下, 平流层中的臭氧吸收了几乎全部的 UV-C 和 90% 的 UV-B, 而对 UV-A 不吸收。故臭氧层减薄将主要引起 UV-B 辐射的增强, 对地球上的生物造成严重的威胁。近 20 余年来, 全球科学家从环境、生态、生理学乃至分子水平等不同角度, 广泛开展了 UV-B 辐射增强对植物的生存产生胁迫作用机理等方面的研究 (Caldwell, 1995; 陈树元, 1992; Hanns, 2003)。

在正常的生长条件下, 植物体内的活性氧自由基的产生清除以动态平衡的方式维持植物体内正常的代谢过程。而植物在低温、干旱、渗透和强紫外辐射等逆境生理胁迫下, 体内会产生大量如 O_2^- 、 H_2O_2 类活性氧自由基 (李惠梅, 2005)。当活性氧的产生和清除之间的平衡被破坏以后, 植物体内的自由基代谢会发生紊乱, 使防御系统失去平衡而导致细胞膜脂质过氧化, 产生大量的丙二醛 (MDA), 植物也会随之产生氧化伤害现象 (陈贵, 1991)。蛋白质是生物有机体的重要组成部分和生物催化剂, 而蛋白质的最大吸收波长正好在 UV-B 辐射的谱段内 (陈拓, 2001)。研究表明, 增强的 UV-B 辐射将对植物蛋白质的合成产生胁迫, 引起酶的失活或蛋白质结构的改变等 (李元, 2000; Bradford, 1976; 冯国宁, 1999; Brbato, 1995)。

UV-B 辐射对植物环境生态学效应的研究, 大多是模拟平流层臭氧减少 16%~25% 后的辐射增加量或设定一定的辐射剂量进行人工控制, 对照射处理后的植物进行生理生化分析研究 (李元, 1998; 强维亚, 2004)。针对环境因素对 MDA 和蛋白质的作用机理, 主要是水分胁迫、温度胁迫、无机营养及农药影响等, 并将其作为抗性、抗衰老的指标进行论证, 而对紫外辐射的响应机理关注不多 (杜英君, 2003; Braun, 1993; 赵福庚, 1999)。本文利用获得的云南不同纬度、不同海拔高度, 而经度差异不大的五个试验点获得的 UV-B 辐射观测资料, 以及同期

种植的云南报春花为试验材料得到的 MDA 和蛋白质实验分析数据, 初步研究了低纬高原地区不同 UV-B 辐射强度变化对云南报春花丙二醛、可溶性蛋白质含量的影响, 探讨自然环境条件下 UV-B 辐射对植物产生的生理生态效应。

1 试验材料与方法

1.1 紫外辐射观测

勐腊、宁洱、华坪、丽江等四个观测点均选在当地县城内, 以便利用当地的气候观测资料进行对比研究。昆明观测点位于云南大学校内, 各点下垫面均为水泥地。各观测点简况如下: 勐腊: $21^{\circ}23' N$, $101^{\circ}34' E$, 海拔 631.0 m; 宁洱: $23^{\circ}02' N$, $101^{\circ}03' E$, 海拔 1 320.0 m; 昆明: $25^{\circ}01' N$, $102^{\circ}41' E$, 海拔 1891.4 m; 华坪: $26^{\circ}38' N$, $101^{\circ}16' E$, 海拔 1 244.0 m; 丽江: $26^{\circ}52' N$, $100^{\circ}13' E$, 海拔 2 393.0 m。宁洱、华坪、昆明、丽江测点选法国产的 RADIOMETER 和 VLX-3W 紫外辐射表进行紫外辐射强度观测, 标准带宽为 0.295~0.395 μm , 中心波长为 0.312 μm ; 勐腊所用仪器为北京师范大学生产的环地 HANDY 紫外辐射表, 为保持观测结果的一致性, 于 2004 年在云南大学校园内进行了为期 1 个月的对比观测, 对观测资料进行统一处理。其观测规定在北京时间每天 11:30~12:30 之间进行观测 (雨天除外), 仪器开启 1 min 后开始归零测量, 3 min 内记录最稳定的一个数值, 3 min 后记下最大最小值, 同时记录当时的天气和天空状况。提供的各月 UV-B 辐射值, 是样品分析间隔时段 (每月不少于 20 d) 辐射观测值总和的平均值。

1.2 试验材料与 UV-B 处理方法

生化分析在云南农业大学烟草学院试验室内进行。材料为一年生草本花卉报春花 (*Primula*), 属报春花科 (Primulaceae) 报春花属 (*Primula*) 观赏花卉。在我国西部和西南各省分布较广, 云南为重要分布中心, 报春花适应性强, 喜适中日照, 栽培管理要求不严格。试验用盆花定购于昆明维生种苗有限

公司,布点日期为2003年12月4日。露天种植,土壤肥力中等,常规种植管理。

1.3 报春花叶片丙二醛、可溶性蛋白质含量的测定方法

1.3.1 测定时间 采取对不同生育期进行丙二醛、可溶性蛋白质含量的分析,不同生育期为:幼苗期、生长期、开花期、衰老期。具体时间为2004年的2月24日、3月27日、4月20日、5月11日。测定时将各点报春花统一运至云南农业大学进行含量分析测定,以避免因仪器及操作人员不同造成的误差,每次测定选取长势相近的盆花4~6盆,进行3次重复测定,取平均值作为分析试验数据。

1.3.2 丙二醛含量测定方法 采用硫代巴比妥酸反应比色法(陈贵,1991),略作改动。测定原理是脂质过氧化作用产生的丙二醛可与硫代巴比妥酸形成粉红色的三甲川(3,5,5-三甲基恶唑-2,4-二酮),三甲川在534 nm处有一吸收高峰,利用在534 nm处的消光系数即可计算出组织中丙二醛的含量。选取材料中长势相近的健康叶片,剪去叶柄及叶片主脉,切成丝状,混匀,后称取约0.5克重量的鲜叶加石英砂及磷酸缓冲液研磨成匀浆定容,使用离心机(1500 r/min)分离提取液20 min,取上层清液,定量稀释。在提取液中加入0.5%硫代巴比妥酸溶液5 mL,摇匀,放入沸水浴中煮沸10 min,后取出冷却,再使用离心机(3000 r/min)分离提取液15 min,取上层清液并量测量体积,以0.5%硫代巴比妥酸溶液为空白,测定534 nm和600 nm处的OD值。

1.3.3 可溶性蛋白质含量测定方法 采用考马斯亮蓝G-250染色法Bradford进行测定(方荣中,1989)。材料准备过程如上,称取植物鲜样1~5 g,加石英砂及磷酸缓冲液研磨至匀浆定容,使用离心机(1500 r/min)分离提取液20 min,取上层清液,定量稀释,取样再加考马斯亮蓝G-250溶液5 mL,摇匀,于595 nm波长下比色,记录吸光度A_{595 nm}值。以牛血清蛋白作为标准曲线,计算出可溶性蛋白质的含量。

2 结果与分析

2.1 UV-B辐射强度变化

在2004年2~5月的紫外辐射观测资料中(图1):5个实验点的UV-B辐射从2~5月基本呈上升趋势,5月份辐射值最高。总体来看夏初的UV-B

辐射明显高于春季,即5月份辐射强于2、3月份。从平均强度看,勐腊最弱,月平均辐射值为 $1.116 \text{ w} \cdot \text{m}^{-2}$,尤其3月份的辐射最低,辐射强度最强为丽江,月平均辐射值为 $8.915 \text{ w} \cdot \text{m}^{-2}$,5月份的辐射值最高达到 $12.90 \text{ w} \cdot \text{m}^{-2}$ 。从强度升高的趋势来看,低纬度的勐腊变化较平缓,从2~5月的强度变化不明显,两极值之间相差也只是 $0.768 \text{ w} \cdot \text{m}^{-2}$;而其余的4个实验点的月辐射强度的变化较大,上升趋势较明显,昆明从2~5月逐月增强,尤其4~5月的跃度较大;华坪和宁洱3~4月的跃度也较大;丽江UV-B辐射的两极值之间相差达 $6.654 \text{ w} \cdot \text{m}^{-2}$,紫外辐射强度也逐月增强。从五个试验点的辐射强度和地理因素分析,海拔高度是对UV-B辐射强度起主要作用的因子。

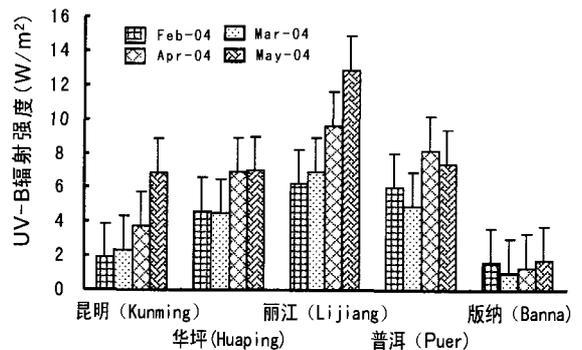


图1 2004年2~5月各试验点UV-B辐射强度变化
Fig.1 Varieties of UV-B radiation strength in test place from Feb. to May 2004

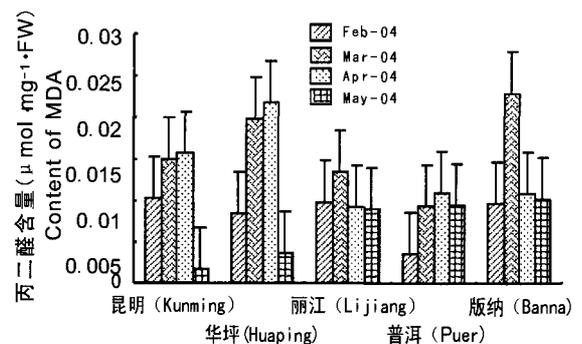


图2 各试验点报春花丙二醛含量
Fig.2 Content of MDA in *primula* from Feb. to May 2004

2.2 UV-B辐射对报春花叶片丙二醛含量变化的影响

从图2得知,总体上3、4月份UV-B辐射较强,各试验点报春花叶片的丙二醛含量的值也较高,如3月份丽江和勐腊两个点的丙二醛含量达最高,分

别为 $0.0134 \mu\text{mol} \cdot \text{mg}^{-1} \text{Fw}$ 和 $0.0228 \mu\text{mol} \cdot \text{mg}^{-1} \text{Fw}$, 4 月份华坪和宁洱的丙二醛含量达最高, 分别为 $0.0218 \mu\text{mol} \cdot \text{mg}^{-1} \text{Fw}$ 和 $0.0109 \mu\text{mol} \cdot \text{mg}^{-1} \text{Fw}$ 。而 4~5 月虽然紫外辐射仍在继续增强, 但报春花丙二醛含量的变化却不大, 华坪甚至还出现了急剧下降的现象。

结合图 2、3, 对于海拔高度相近的宁洱(1320.0 m)和华坪(1244.0 m)来说, 两地的纬度差异较大, 宁洱低于华坪 3.5° , 2~5 月宁洱的紫外辐射强度明显高于华坪, 图 3 中华坪报春花的丙二醛含量却显著高于宁洱(平均值相差 $0.0041 \mu\text{mol} \cdot \text{mg}^{-1} \text{Fw}$)。综合纬度和海拔高度效应分析, 丽江和华坪纬度差异不大, 丽江海拔高度比华坪高 1149 m, UV-B 辐射(月平均 $8.915 \text{w} \cdot \text{m}^{-2}$)也总体强于华坪(月平均 $5.615 \text{w} \cdot \text{m}^{-2}$), 而报春花叶片丙二醛含量总体表现为华坪为高, 平均值为 $0.01142 \mu\text{mol} \cdot \text{mg}^{-1} \text{Fw}$, 最高值为 $0.0218 \mu\text{mol} \cdot \text{mg}^{-1} \text{Fw}$, 而丽江的平均值仅为 $0.00896 \mu\text{mol} \cdot \text{mg}^{-1} \text{Fw}$, 最高值为 $0.0134 \mu\text{mol} \cdot \text{mg}^{-1} \text{Fw}$, 几乎相差一倍。另外, 勐腊的 UV-B 辐射强度明显偏低, 月平均仅为 $1.116 \text{w} \cdot \text{m}^{-2}$, 可叶片丙二醛含量分析数据表明叶片丙二醛含量较高, 尤其在 3 月份达 $0.0228 \mu\text{mol} \cdot \text{mg}^{-1} \text{Fw}$, 是所有分析数据中的最高值。

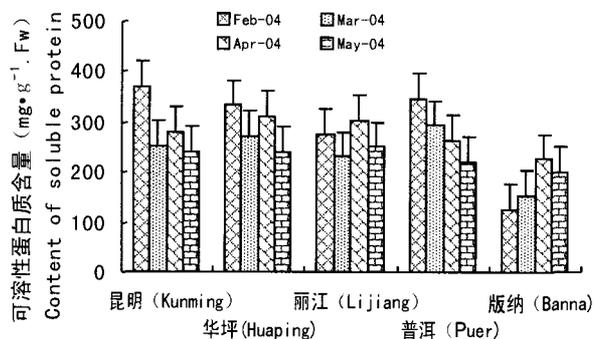


图 3 报春花可溶性蛋白质含量

Fig. 3 Content of soluble protein in *Primula*

2.3 UV-B 辐射对报春花叶片可溶性蛋白质含量变化的影响

从图 4 来看, 随着 UV-B 辐射强度的逐渐增强, 各实验点报春花叶片的可溶性蛋白质含量变化不一致, 总体趋势是叶片可溶性蛋白质含量以华坪的最高, 平均值 $275.748 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 相对来讲, 勐腊属低纬度、低海拔地区, 而紫外辐射强度最弱, 报春花可溶性蛋白质含量也最低, 月平均值为 $185.95 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,

最低月份达 $127.81 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。其中华坪、丽江两个实验点的含量变化大体一致, 呈现由 12 月份开始升高后降低, 至 4 月再升高最后又降低的变化趋势。此外, 勐腊和宁洱实验点的变化却差异较大, 宁洱的含量变化从 12 月份开始升高, 到 2 月份达最高值 ($345.67 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$), 此后便一直降低, 直到 5 月份最低值为 $220.63 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$; 而勐腊的蛋白质含量则呈现先下降而后再升高的趋势。

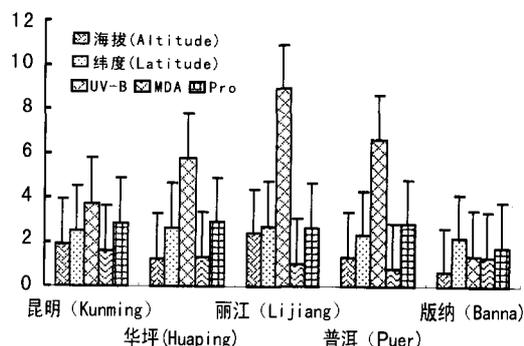


图 4 各试验点 MDA、Pro 含量和纬度、海拔、UV-B 辐射的关系

Fig. 4 The relationship between content of MDA, Pro, altitude, latitude and UV-B

2.4 UV-B 辐射对不同生育期报春花叶片丙二醛、可溶性蛋白质含量的影响

通过对报春花 5 个生育期: 幼苗期、生长期、开花期、结实期、衰老期的叶片丙二醛、可溶性蛋白质含量测定(表 1)看出, UV-B 辐射强度发生变化, 不同生育期报春花叶片丙二醛含量变化幅度差异较大。整个生育期内, 总体以开花期叶片丙二醛含量最高, 其次是结实期。总体呈现出由幼苗期开始从生长期含量逐渐上升至开花期含量达到最高, 后又下降的变化趋势。叶片可溶性蛋白质含量变化较平缓, 总体由幼苗期开始至衰老期呈现升高一下降一升高一下降的变化趋势, 在生长期和结实期呈现两个高含量高峰。在开花期和结实期, 报春花叶片丙二醛含量对 UV-B 辐射强度的敏感性显著高于其它两个时期, 而叶片可溶性蛋白质含量对 UV-B 辐射的敏感期主要是开花期和生长期。

3 讨论

实验结果表明: UV-B 辐射强度发生的变化对报春花叶片内的丙二醛、可溶性蛋白质含量均有影响。一般认为, UV-B 辐射强度增加, 植物体内的可

溶性蛋白质含量减少(Bjon, 1996; Braun, 1993), 丙二醛含量增加(Larcher, 1995; Hernan, 2001), 陈拓(2001)等对蚕豆研究表明, 经 UV-B 辐射处理后蚕豆叶片中丙二醛含量显著升高。余弘(2004)研究紫萍也发现随着 UV-B 处理时间的延长, 体内的抗氧化保护系统能力下降, SOD 和 AP 活性下降, 细胞膜脂质过氧化产物丙二醛含量增加。本实验结果初步证明了随 UV-B 辐射强度增强, 丙二醛含量先升高后下降的特征。细胞膜脂质过氧化的次生产物丙二醛, 是长期以来用于检测细胞膜脂质过氧化程度的一个公认指标。丙二醛又是一种高活性的细胞膜

脂质过氧化产物, 它能交联脂类、核酸、糖类及蛋白质, 进一步对脂膜的结构和功能造成不良影响, 使其电解质持泄漏量增加(房江育, 2001)。从这一点可看出, 细胞脂膜在 UV-B 辐射胁迫条件下, 膜的氧化胁迫可能对丙二醛的形成过程产生促进作用, 使细胞膜脂质过氧化程度加重。但作为逆境适应变化, 其能力和变化也存在一定范围。实验结果表明, 在植物生长后期随 UV-B 辐射强度的增强, 植物对 UV-B 辐射的适应能力也逐渐增强, 受伤害程度逐渐减小, 因而丙二醛含量下降。

随 UV-B 辐射强度的增强, 一些实验点报春花

表 1 各实验点不同生育期报春花丙二醛、可溶性蛋白质含量($\mu\text{mol} \cdot \text{mg}^{-1}\text{Fw}$)

Table 1 content of MDA and soluble protein on different physiology time of the *Primula* in test place

生育期 Physiology term	丙二醛 MDA					可溶性蛋白质				
	昆明	华坪	丽江	宁洱	勐腊	昆明	华坪	丽江	宁洱	版纳
幼苗期 Seedling term	0.0103	0.0084	0.0098	0.0036	0.0096	370.66	333.34	275.6	345.67	127.81
生长期 Growth term	0.015	0.0198	0.0134	0.0093	0.0228	253.6	272.72	230.58	293.89	153.16
开花期 Anthesis term	0.0157	0.0218	0.0092	0.0109	0.0108	280.31	310.31	304.1	265.51	226.67
衰老期 Decrepitude term	0.0017	0.0037	0.009	0.0094	0.0102	240.01	240.8	250.14	220.63	200.54
相关系数 Correlative coefficient										

叶片可溶性蛋白质含量变化基本呈现升高—降低—升高—降低的变化趋势; 而部分实验点表现却是先下降后升高(如勐腊)或者先升高而后下降(如宁洱)。这种不稳定的含量变化与前人的研究有类似之处, Tvini 曾报道 UV-B 辐射可使植物蛋白质含量增加, Nedunchezian 也表明 UV-B 辐射促进植物细胞蛋白质合成(Nedunchezian, 1992), 李曼华(2004)证实了 UV-B 辐射增强, 小麦和玉米的叶绿素含量降低, 籽粒中赖氨酸、蛋白质及可溶性糖的含量增加, 张文会等(2003)对水稻不同生育期的研究也发现, 经 UV-B 辐射处理后, 水稻贮藏蛋白质增加; 也有研究表明 UV-B 辐射降低了植物可溶性蛋白质含量, 冯国宁(1999)在菜豆研究中发现, 短时间的 UV-B 辐射(7 d 内)促进蛋白质的合成, 降低了蛋白水解酶的活性, 使菜豆叶片中的可溶性蛋白质含量上升。同时观察到, UV-B 辐射(7~35 d)则抑制蛋白质的合成, 促进蛋白质水解酶活性的上升, 从而使蛋白质的分解代谢加强和游离氨基酸的积累, 降低了可溶性蛋白质的含量。这可能是由于较短时间的 UV-B 辐射促进了蛋白质的合成; 降低了蛋白水解酶的活性; 使植物叶片中的可溶性蛋白质含量上升。而较长时间的 UV-B 辐射则会抑制蛋白质的合成进而加速蛋白质的分解。从本实验结果可看

出, 报春花叶片可溶性蛋白质含量与紫外辐射强度的变化间的关系不明确, 没有呈明显的相关关系。

报春花不同生育期丙二醛和可溶性蛋白质含量对 UV-B 辐射的敏感度不同。报春花叶片丙二醛含量较高时期在开花期和结实期, 可溶性蛋白质含量较高时期则是生长期和开花期。一般来说植物的开花、结实期是生殖生长的关键时期, 对外界反应最为敏感, 如干旱、渍涝、病虫害等, 在这段时期发生的任何微小的变化都会对植物的生长产生影响(Rose-na, 1997; 韩蓉, 2002; 陈章和, 2000; Teramura, 1983), 从研究结果看, UV-B 辐射作为一种不利的环境因子在植物的敏感时期对其造成了伤害。至于生长期叶片可溶性蛋白质含量较高, 与报春花前期生长于大棚内, 水肥充足, 生长条件较好, 植物生长旺盛, 而布置于各个实验点后, 环境条件变化较大, 为适应这种变化促使植物体内相关的逆境蛋白的合成增加, 造成蛋白质含量升高。

从报春花叶片的丙二醛、可溶性蛋白质含量变化与 UV-B 辐射强度变化不一致的现象可以看出, 不同实验点气候条件的差异, 对报春花叶片的丙二醛、可溶性蛋白质含量肯定会产生一定的影响。类似的冯绪猛等(2003)研究农药对水稻生长的影响, 发现不同浓度农药处理的水稻, 叶片中的丙二醛含

量发生变化, 农药处理浓度加大, 丙二醛含量逐渐增加, 影响时间也加强。马双艳等(2003)通过对苹果叶片在干旱胁迫下的研究也发现叶片内的丙二醛含量随胁迫程度的增加而呈显著上升趋势, 而房江育等(2001)发现在水分胁迫下春小麦丙二醛含量显著上升, 施肥后丙二醛含量有所下降。位于西双版纳州的勐腊属于北热带气候。综合实验结果, 该点紫外辐射强度最低而丙二醛含量较高, 蛋白质含量较低, 与其他地点差异较大, 可解释为由于环境条件差异不利于报春花生长而引起的, 尤其是处于 5 月份的生长后期。由此可推断, 生境条件越利于植物生长, 植物抵御 UV-B 辐射损伤的能力越强, 丙二醛含量降低, 而可溶性蛋白质含量则升高; 相反植物抵抗 UV-B 辐射损伤能力则越弱, 叶片丙二醛含量就越高, 可溶性蛋白质含量也就越低。

4 结论

(1) UV-B 辐射强度增加, 报春花叶片内的丙二醛含量呈现先升高后下降的变化趋势, 其中开花期、结实期叶片中丙二醛含量较高, 对紫外辐射的敏感度较高。(2) 随着 UV-B 辐射强度增加, 不同实验点报春花叶片内的可溶性蛋白质含量变化差异较大, 其中华坪和丽江的含量变化呈现先升高后降低, 再升高又降低的趋势; 宁洱的含量先升高后降低; 勐腊的变化曲线却是先下降后升高。综合表现为生长期和开花期, 尤其是在开花期报春花可溶性蛋白质含量较高, 对紫外辐射的敏感程度也较高。(3) 作为在自然环境条件下, 尤其在独特地理环境低纬高原的云南地区, 以云南报春花为试验材料, 研究 UV-B 辐射对植物产生的生理生态效应是新的尝试。通过对报春花丙二醛和可溶性蛋白质含量变化的研究表明, 与其它研究方法获得的结果有其相同的变化趋势, 但亦存在一些特殊的表现, 有必要结合其它生态因子进行深入研究。

参考文献:

- 方荣中, 李文杰. 1989. 自由基与酶[M]. 北京: 科学出版社
李元, 岳明. 2000. 紫外辐射生态学[M]. 北京: 中国环境科学出版社: 1-527
李曼华. 2004. UV-B 辐射增强对冬小麦和玉米影响的对比研究[D]. 南京气象学院: 1-51
余弘. 2004. UV-B 辐射对紫萍生理生化效应的研究[D]. 华南师范大学: 1-41
郑有飞, 何金海, 石广玉, 等. 2000. 臭氧和地表紫外辐射量变化

- 及其对我国主要农作物影响研究[D]. 南京气象学院: 1-150
韩榕. 2002. He-Ne 激光对小麦增强 UV-B 辐射损伤的修复效应及机理[D]. 西北大学: 1-77
Barbato R, Frizzo A, Friso G, et al. 1995. Degradation of the D1 protein of photo-system II reaction center by ultraviolet-B radiation requires the presence of functional manganese on the donor side[J]. *European Biochemistry*, **227**: 723-729
Bradford M M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J]. *Anal Biochem*, **72**: 248
Braun J, Tevini M. 1993. Regulation of UV-protective pigments synthesis in the epi-dermal layer of rye seedlings(*Secale cereale* ev. Kustro)[J]. *Photochem Photobiol*, **57**: 318-323
Caldwell MM, Teramura AH, Tevini M, et al. 1995. Effect of increased solar ultraviolet radiation on terrestrial plants[J]. *Ambio*, **24**: 166-173
Chen G(陈贵), Hu WY(胡文玉), Xie PD(谢捕缔). et al. 1991. Solvent of Extracting Malondialdehyde in Plant as an Index of Senescence (提取植物体内 MDA 的溶剂及 MDA 作为衰老指标的探讨)[J]. *Plant Physiol Commu* (植物生理学通讯), **27** (1): 44-46
Chen SY(陈树元). 1992. Effect of Solar UV-B Radiation on Plants(太阳紫外线 UV-B 对植物的影响)[J]. *Acta Sci Circumstantiae Sin*(环境科学), **3**(6): 52-56
Chen T(陈拓), An L ZH(安黎哲), Feng H Y(冯虎元). et al. 2001. The effect of UV-B radiation on membrane lipid peroxidation and mechanisms in broad bean leaves(UV-B 对蚕豆叶膜脂过氧化的影响及其机制)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **4**: 579-584
Chen ZH(陈章和), Zhu SQ(朱素琴), Li SS(李韶山). et al. 2000. Effects of UV-B radiation on seedling growth of several woody species in the southern subtropical forest (UV-B 辐射对几种南亚热带森林木本植物种子的生长的影响)[J]. *Acta Bot Yunnan*(云南植物研究), **22**(4): 467-474
Du Y J(杜英君), Jiang P(姜萍), Wang B(王兵). et al. 2003. Effect of ultraviolet-C irradiation on membrane lipid peroxidation and activity of PSII electron transport in chloroplasts of *Taxus cuspidate* needles(UV-C 对紫杉针叶叶绿体膜脂过氧化及 PSII 电子传递活性的影响)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **14**(8): 1 218-1 222
Fang JY(房江育), Zhang RX(张仁徙). 2001. Effects of nutrition and water stress on content of chlorophyll MDA of the corn(无机营养和水分胁迫对春小麦叶绿素、丙二醛含量等的影响及其相关性)[J]. *J Gansu Agric Univ*(甘肃农业大学学报), **3** (1): 89-94
Feng GN(冯国宁), An LZ(安黎哲), Feng HY(冯虎元). 1999. Effects of Enhanced UV-B Radiation on Protein Metabolism of Bean Leaves (增强 UV-B 辐射对菜豆蛋白质代谢的影响)[J]. *Acta Bot Sin*(植物学报), **41**(8): 833-836
Feng XM(冯绪猛), Luo SHSH(罗时石), Hu JW(胡建伟). et al. 2003. Effects of pesticides on MDA and chlorophyll content of rice leaves (农药对水稻叶片丙二醛及叶绿素含量的影响)[J]. *Acta Agric Nucleatae Sin*(核农学报), **17**(6): 484-484
Hanns Frohnmeyer, Dorothee Staiger. 2003. Ultraviolet-B Radia-
(下转第 3 页 Continue on page 3)

cucullatae, corniculatae, cornibus 2 mm longis, dorso minute puberulae, minores 4 naviculari-lineares, 2—3 mm longae, 0.9—1 mm latae, apice cucullatae et corniculatae, cornibus 1 mm longis; bracteolae circ. 7, vel bracteis minoribus similes, cornibus usque ad 1.5 mm longis praeditae, vel lineares, apice haud cucullatae et corniculatae, 1.2 mm longae, 0.3 mm latae, glabrae. Alabastra florum staminatorum tetramera, circ. 1.5 mm in diametro, apice 4-corniculata, glabra; pedicellis 0.8 mm longis glabris.

多年生草本。根状茎细, 长约 6 cm, 被密集的苔藓覆盖。茎 3 条丛生, 高 10.5—16 cm, 基部粗 1—1.2 mm, 无毛, 不分枝, 有 5—10 叶。叶无柄或近无柄; 叶片草质, 斜狭至宽椭圆形, 长 1—4.5 cm, 宽 0.6—1.6 cm, 顶端长渐尖、渐尖、急尖或钝, 基部狭侧楔形, 宽侧耳形, 边缘下部全缘, 其他部分有牙齿, 上面近牙齿顶端和边缘有极短伏毛(毛长 0.1—0.15 mm), 下面无毛, 钟乳体稀疏, 不明显, 稀明显, 杆状, 长 0.1—0.2 mm, 三出脉, 侧脉在狭侧 1—2 条, 在宽侧 2—3 条; 托叶膜质, 淡褐白色, 条形或宽条形, 长 4.5—6.5 mm, 宽 1—1.5 mm, 无毛, 具 1 条褐色脉。雄花序成对腋生, 具短梗, 约有 9 花; 花序梗粗壮, 长 1 mm, 无毛; 花序托近圆形, 直径 1.2 mm, 无毛; 苞片 6, 较大者 2 枚对生, 卵状三角形, 长 2.8 mm, 宽 2 mm, 顶端稍萼状,

具角状突起(突起长 2 mm), 背面有极短的柔毛, 较小者 4 枚, 船状条形, 长 2—3 mm, 宽 0.9—1 mm, 顶端萼状并具角状突起(突起长 1 mm); 小苞片约 7, 或与较小的苞片相似, 有长达 1.5 mm 的角状突起, 或呈条形, 顶端不呈兜状并无角状突起, 长 1.2 mm, 宽 0.3 mm, 无毛。雄花蕾四基数, 直径约 1.5 mm, 顶端有 4 条角状突起, 无毛; 花梗长 0.8 mm, 无毛。

贵州(Guizhou): 都匀(Duyun), 斗蓬山(Doupeng Shan), 土山疏林下(in sparse forest on earth mountain slope), 2007-04-30, 温放(F. Wen) 070430C(holotype, PE; isotype, IBK).

本种在亲缘关系上与上林楼梯草 *E. shanglinense* W. T. Wang 甚为相近, 但根状茎细长, 明显, 长约 6 cm, 茎高 10.5—16 cm, 叶上面近牙齿顶端处被极短糙伏毛, 托叶较大, 条形或宽条形, 长 4.5—6.5 mm, 有 1 条褐色脉, 雄花序有短花序梗, 花序托小, 但明显, 近圆形, 直径 1.2 mm, 苞片 6 枚, 2 枚较大, 对生, 卵状三角形, 4 枚较小, 船状条形, 顶端兜状, 小苞片无毛, 可以区别。在上林楼梯草, 根状茎极短, 不明显, 茎较低矮, 高约 9 cm, 叶两面无毛, 托叶较小, 狭披针形, 长约 2.2 mm, 无脉, 雄花序无梗, 苞片 6 枚形状相同, 均为长圆形, 并近等大, 小苞片顶端密被长柔毛。

致谢 感谢孙英宝先生为本文绘图。

(上接第 135 页 Continue from page 135)

- tion-Mediated Responses in plants, Balancing Damage and Protection[J]. *Plant Physiology*, December **133**: 1 420—1 428
- Hernan E, Boccalandro, Carlos. A, Mazza. 2001. Ultraviolet B Radiation Enhances a Phytochrome-B-Mediated Photomorphogenic Response in Arabidopsis[J]. *Plant Physiology*, June, **126**: 780—788
- Larcher w. 1995. Physiological plant ecology, 3rd ed. Berlin Heidelberg[M]. New York: Springer Press
- Li HM(李惠梅), Shi SB(师生波). et al. 2005. Effects of Enhanced UV-B Radiation on Antioxydative Enzymes in *Gentiana straminea* Leaves(增强辐射对麻花九叶片的抗氧化酶的影响)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报), **25**(3): 519—524
- Li Y(李元), Wang XL(王勋陵). 1998. Effects of Enhanced UV-B Radiation on Physical-Production and Quality of the Wheat(紫外辐射增加对春小麦生理产量和品质的影响)[J]. *Acta Sci Circumstantiae*(环境科学学报), **18**(5): 504—509
- Ma SY(马双艳), Jiang YM(姜远茂), Peng FT(彭福田), et al. 2003. Effects of drought stress on content of beet alkali and MDA of the apple lobe(干旱胁迫对苹果叶片中甜菜碱和丙二醛及脯氨酸含量的影响)[J]. *Deciduous Fruits*(落叶果树), **5**: 1—4
- Nedunchezian N, et al. 1992. Induction of heat shock-like proteins in *Vigna sinensis* seedlings growing under UV-B enhanced radiation[J]. *Physiol Plant*, **85**: 503—524
- Qiang WY(强维亚), Tang HG(汤红官), Hou ZD(侯宗东), et al. 2004. Effect of enhanced UV-B radiation on DNA damage, repair and protein content on soybean hypocotyls(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]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **24**(4): 852—856
- Rosena O, Staaij JVD, Bjorn LO. 1997. UV-B as an environmental factor in plant life, stress and regulation[J]. *Tree*, **12**: 22—28
- Teramura AH, Tevini M, Iwanzik W. 1983. Effects of ultraviolet-B irradiation on plants during mild water stress and Effects on diurnal stomatal resistance[J]. *Physiol Plant*, **57**: 175—18
- Zhao FG(赵福庚), Liu LY(刘友良). 1999. Advance research of the stress conditions on pro metabolism and regulation of plants(胁迫条件对高等植物内 pro 代谢及调节研究进展)[J]. *Chin Bull Bot*(植物学通报), **6**(5): 240—246
- Zhang WH(张文会), Sun CQ(孙传清), Zuoten YZ(左藤雅志), et al. 2003. Effect of Supplement Ultraviolet-B Radiation on Yield and the Content of Protein in Rice (*Oryza sativa*)(紫外线 UV-B 照射对水稻产量及稻米蛋白质含量的影响)[J]. *Acta Agronomica Sin*(作物学报), **29**(6): 908—912