中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国60年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第31卷 第1期
Vol.31 No.1
2011

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第31卷 第1期　2011年1月　(半月刊)

目次

青藏高原东缘林线杜鹃-岷江冷杉原始林的空间格局 ……………………… 缪宁,刘世荣,史作民,等 (1)
季风常绿阔叶林不同恢复阶段藤本植物的物种多样性比较 ……………… 李帅锋,苏建荣,刘万德,等 (10)
越冬和复苏时期太湖水体蓝藻群落结构的时空变化 ……………………… 顾婷婷,孔繁翔,谭啸,等 (21)
海南新村湾海草床主要鱼类及大型无脊椎动物的食源 …………………… 樊敏玲,黄小平,张大文,等 (31)
广西涠洲岛造礁珊瑚种群结构的空间分布 ………………………………… 梁文,张春华,叶祖超,等 (39)
宽窄行栽植模式下三倍体毛白杨根系分布特征及其与根系吸水的关系 … 席本野,王烨,贾黎明,等 (47)
干旱河谷-山地森林交错带土壤水分与养分特征……………………………… 刘彬,罗承德,张健,等 (58)
信号分子水杨酸减缓干旱胁迫对紫御谷光合和膜脂过氧化的副效应 …… 易小林,杨丙贤,宗学凤,等 (67)
UV-B 辐射对南方红豆杉生活史型和紫杉烷类含量的影响 ………………… 于景华,李德文,庞海河,等 (75)
模拟氮沉降对石栎和苦槠幼苗土壤呼吸的影响 …………………………… 李凯,江洪,由美娜,等 (82)
环渤海湾地区连作苹果园土壤中酚酸类物质变化………………………………… 孙海兵,毛志泉,朱树华 (90)
不同施肥方法对马来沉香和土沉香苗期根系生长的影响 ………………… 王冉,李吉跃,张方秋,等 (98)
秋华柳和枫杨幼苗对镉的积累和耐受性 ………………………………… 贾中民,魏虹,孙晓灿,等 (107)
祁连山北坡退化林地植被群落的自然恢复过程及土壤特征变化 ………… 赵成章,石福习,董小刚,等 (115)
中国北方农牧交错带 C3 草本植物 $\delta^{13}C$ 与温度的关系及其对水分利用效率的指示 ……………………………………………………………………………… 刘贤赵,王国安,李嘉竹,等 (123)
不同退耕模式细根(草根)分解过程中 C 动态及土壤活性有机碳的变化 ……………………………………………………………………………… 荣丽,李守剑,李贤伟,等 (137)
黑龙江省完达山东部林区东北虎猎物生物量………………………………… 周绍春,张明海,孙海义 (145)
生态保护项目对大熊猫栖息地的影响………………………………………… 张玉波,王梦君,李俊清 (154)
石灰和 EM 处理条件下土壤动物群落在落叶分解中的变化 …………………………… 高梅香,张雪萍 (164)
基于 EPG 的麦长管蚜、麦二叉蚜和禾谷缢管蚜取食行为比较 ……………… 苗进,武予清,郁振兴,等 (175)
对映-贝壳杉烷型二萜类化合物对土壤纤毛虫群落的毒性效应 ………………… 宁应之,杜海峰,王红军 (183)
红脂大小蠹种群空间格局地统计学分析及抽样技术 ……………………… 潘杰,王涛,宗世祥,等 (195)
山西不同生态型大豆种质资源蛋白亚基的变异 ………………………… 王燕平,李贵全,郭数进,等 (203)
施肥和覆膜垄沟种植对旱地小麦产量及水氮利用的影响 ……………… 李廷亮,谢英荷,任苗苗,等 (212)
近40a 甘肃省气候生产潜力时空变化特征………………………………………… 罗永忠,成自勇,郭小芹 (221)
基于 GIS 的农村住区生态重要性空间评价及其分区管制——以兴国县长冈乡为例 … 谢花林,李秀彬 (230)
农户收入差异对生活用能及生态环境的影响——以江汉平原为例……………………………… 杨振 (239)
河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因 ……………… 王千,金晓斌,周寅康,等 (247)
土地利用对石漠化地区土壤团聚体有机碳分布及保护的影响 …………… 罗友进,魏朝富,李渝,等 (257)

专论与综述

景观格局-土壤侵蚀研究中景观指数的意义解释及局限性 ……………………… 刘宇,吕一河,傅伯杰 (267)
美国煤矿废弃地的生态修复 ……………………………………………………… 张成梁,B. Larry Li (276)
农田土壤食物网管理的原理与方法 ……………………………………… 陈云峰,胡诚,李双来,等 (286)

学术信息与动态

旱地、荒漠和荒漠化:探寻恢复之路 ——第三届国际荒漠化会议述评 ……………………… 吕一河,傅伯杰 (293)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 33 * 2011-01

生 态 学 报 2011,31(1):0075—0081
Acta Ecologica Sinica

UV-B 辐射对南方红豆杉生活史型和紫杉烷类含量的影响

于景华,李德文,庞海河,魏晓雪,佟　璐,原树生,祖元刚*

(东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室,哈尔滨　150040)

摘要:运用植物生活史型的理论与方法,研究了 UV-B 辐射增强对南方红豆杉 *Taxus chinensis* var. *mairei* 表型性状和紫杉烷类次生代谢产物的影响。结果表明,随 UV-B 辐射强度增加,南方红豆杉无性生殖表型性状(C)明显增强(*z* 值由 0.18 增加到 0.52),营养生长表型性状(V)相应降低(*x* 值由 0.82 降低至 0.48);$3.25\ \mu W \cdot cm^{-2} \cdot nm^{-1}$ UV-B 辐射处理较对照组和 $9.76\ \mu W \cdot cm^{-2} \cdot nm^{-1}$ UV-B 辐射处理组生物量增量更高;增补 UV-B 辐射处理显著促进了南方红豆杉叶片中紫杉醇(Taxol)的积累,但对 10-去乙酰基巴卡亭Ⅲ(10-deacetylbaccatin Ⅲ,10-DAB)、7-木糖-10-去乙酰基紫杉醇(7-xylosyl-10-deacetyltaxol,7-xyl-10-DAT)有一定的抑制效应,其中 $3.25\ \mu W \cdot cm^{-2} \cdot nm^{-1}$ UV-B 辐射处理对紫杉醇诱导效果最为明显。结果表明,在南方红豆杉田间栽培中应注意上层树种搭配、修剪,从而形成适当的 UV-B 辐射胁迫以诱导紫杉醇含量及生物量增量,达到高产、优质的生态培植目标。

关键词:UV-B;南方红豆杉;生活史型;紫杉烷类

Effects of supplementary UV-B radiation on life cycle forms and the accumulation of taxanes of *Taxus chinensis* var. *mairei*

YU Jinghua, LI Dewen, PANG Haihe, WEI Xiaoxue, TONG Lu, YUAN Shusheng, ZU Yuangang*

Key laboratory of Forest plant Ecology, the Ministry of Education of China, Northeast Forestry University, Harbin 150040, *China*

Abstract: Based on the theory of plant life history form, the present study explored the effects of supplemented UV-B radiation on phenotypic characteristics and taxane contents of *Taxus chinensis* var. *mairei*. The ecological adaptability of taxane accumulation to UV-B was studied in biennial-potted seedlings. The UV-B supplemented treatments were CK ($+0\mu W \cdot cm^{-2} \cdot nm^{-1}$, control), T1 treatment ($+3.25\mu W \cdot cm^{-2} \cdot nm^{-1}$), T2 treatment ($+9.76\mu W \cdot cm^{-2} \cdot nm^{-1}$), respectively, under greenhouse conditions. The results showed that with increased intensity of UV-B radiation, seedling clone growth (C type) properties, e. g. number of shoots and branches, branch length, and height of shoot and branch of cloning, were all enhanced. In this occasion, the z value of the C parameter increased from 0.18 to 0.52, while the vegetative growth value (V) dropped from 0.82 to 0.48. At the same time, other phenotypic characteristics of vegetative growth were likewise reduced, including plant height, stem base diameter and biomass accumulation. Under exposure of $3.25\mu W \cdot cm^{-2} \cdot nm^{-1}$ UV-B radiation (T2 treatment), individual biomass, the branch length of second level, the leaf length and leaf area were all higher than in control or T1 treatment, respectively. Moreover, the supplemental UV-B radiation significantly promoted the accumulation of taxol ($P < 0.05$), especially for the T1 treatment, while the accumulation of 10-deacetylbaccatin III (10-DAB), 7-xylosyl-10-deacetyltaxol and 7-xyl-10-DAT was inhibited to different extent. The content of taxol was highest under $3.25\mu W \cdot cm^{-2} \cdot nm^{-1}$ UV-B radiation.

In this experiment, although the young plants of *T. chinensis* var. *mairei* grew under the woods and natural conditions, they still revealed adaptability to UV-B exposure. Moreover, the low level UV-B radiation could initiate the settlement

---

基金项目:国家"十一五"科技支撑计划项目(2006BAD18B0303)

收稿日期:2010-04-16;　　**修订日期**:2010-10-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zygorl@ vip. hl. cn

ability of young seedlings of *T. chinensis* var. *maire* to clone growth. The height of plants dropped, however, main harvest position like branch shoot length, leaf area and biomass of single plants all increased. As a result, the plant displayed a VC life history form and the content of taxol also increased, taxol being the main bioactive substance. Consequently, it can be confirmed that some plants enhance their content and output of bioactive substance when switched from V form to VC life history form. Thus, for field cultivation of *T. chinensis* var. *mairei*, attention should be paid to i) match of tree species, ii) trim of upper layer, and iii) the relationship between life history form of and taxol content. The parameter of life history form can be used as the main indicator to adjust the intensity of photopermeability, with the aim to optimize UV-B exposure for increasing taxol content, biomass, high yield and good quality.

In conclusion, the present study confirmed that the yield of bioactive substance increased when plant life history form was switched from V to VC.

Key Words: UV-B; *Taxus chinensis* var. *mairei*; life cycle forms; taxanes

大气臭氧层不断受到破坏,导致地球表面 UV-B 辐射随之增强,UV-B 辐射的增强对植物影响的研究引起了人们的广泛关注[1-2]。大量的研究认为,UV-B 辐射对植物生长发育的影响与 UV-B 辐射的时间长短和剂量大小有关[3-4],当太阳辐射中的 UV-B 辐射强度超过植物能够容忍的剂量时,植物就会表现出受到伤害的症状,如黄梅玲等[5]研究发现相对于自然光照条件,增强 UV-B 辐射胁迫对 3 种木本植物的地径和株高都有抑制作用;此外,不同的植物种类对 UV-B 辐射的敏感性也不同,如安黎哲等研究发现植物响应 UV-B 辐射的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[6-7]。前人研究认为,UV-B 主要通过抑制植物光合作用、伤害生物膜及 DNA 等生物大分子来影响其生长发育,最终导致生物量及产量降低,甚至致死[8]。增补 UV-B 辐射条件下,植物能量分配在营养生长(Vegetative growth, V)、有性生殖(Sexual reproduction, S)及无性生殖(Clone reproduction, C)上的总量和比例也都将发生改变,以适应环境变化而获得最大的生存和繁殖效益[9]。目前有关 UV-B 辐射对植物表型的研究大多集中于对株高、叶片等单一性状的分析[3],综合多个生长参数指标进行分析的研究报导尚不多见。本文运用植物生活史型理论与方法对多个表型性状综合分析,可更准确地反映植物生活史对策及其能量分配格局。

生物碱作为一种次生代谢产物,在植物与环境相互作用中具有重要作用,其代谢受到环境的调控[10]。南方红豆杉 *Taxus chinensis* var. *mairei* 是红豆杉科红豆杉属植物,特产于我国,是红豆杉属中分布最广、生长最快的一类植物[11]。研究发现,南方红豆杉果实、种子、枝条和叶片均有较高的开发利用价值[12-13]。目前,国内人工栽培南方红豆杉在浙江、江西、四川和湖南等地已经形成较大的规模,并开始应用于紫杉醇生产。虽然如此,国内南方红豆杉种植业由于缺乏基础研究支持,一般采用 1—5 龄荫棚下种植、5 龄以上全光种植的方式,在生产实践中则采用了 1—2 龄荫棚下种植,2 龄以上林下定植的方式,并发现不同的透光方式对南方红豆杉表型性状、紫杉烷类物质含量有显著影响,并认为 UV-B 辐射可能是主要的影响因子。为此,本文即以温室内人工增补 UV-B 辐射的方法分析 UV-B 辐射对南方红豆杉生物量及紫杉烷类物质含量增量的诱导作用。

1 材料与方法

1.1 材料

在东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室的智能温室内,以每盆单株栽培的 2 a 生南方红豆杉为实验材料:在室内自然光照(CK)基础上,根据同类文献研究[3],人工增补 3.25 $\mu W \cdot cm^{-2} \cdot nm^{-1}$(T1)、9.76 $\mu W \cdot cm^{-2} \cdot nm^{-1}$(T2) 2 个不同辐射强度的 UV-B 处理:以 40 W 中波紫外线(UV-B)灯管(购于北京电光源研究所)为紫外光源,发射光谱为 280—320 nm,发射的紫外线用 0.08 mm 醋酸纤维膜过滤,以消除 UV-C 的影响,并每两周更换滤膜;根据试验设计的 3 个 UV-B 辐射处理强度,将可调高度的紫外线灯管平行架于南方红豆杉植株上方,UV-B 辐射强度通过 AvaSpec 2048-2 光谱仪 (Avantes BV, Netherlands)测定。处理期间通过调整灯管与植株冠层的高度以保证植株接受恒定剂量的 UV-B 辐射强度,对照组植株上方仅挂没有紫外灯的

灯架,以保证处理组和对照组的自然光条件一致。

选取生长状况相对一致南方红豆杉 180 盆,按上文随机均分为 3 个处理组,每个处理组内以 20 盆为单位各设 3 个重复,2009 年 6 月 1 日开始同步分组控制实验,60 d 后(7 月 30 日)测定各项指标。

1.2　实验方法

1.2.1　南方红豆杉生活史型的划分

因实验材料尚未进入有性生殖阶段,应用植物生活史型的理论和方法将南方红豆杉的形态指标划分为营养生长和无性生殖 2 类,每类由 5—7 个相关指标表征,采用 SPSS17.0 软件进行主成分分析,归一化营养生长性状(V)和无性生殖性状(C)的综合得分,以 V_xC_z的形式表示[14];若某一性状的参数值大于 0.8,则以该性状为定性后的类型名称,否则,则以 2 类性状中参数值较高者在前、较低者在后为定性后的类型名称。

1.2.2　南方红豆杉叶片中紫杉烷类含量的检测

处理 60 d 后,每重复单元分别随机取 5 株南方红豆杉全株叶片,混合均匀后于 60 ℃烘干、恒重后研磨,过筛,称取 0.5 g 样品,于 10 mL 甲醇中超声提取 20 min,离心后收集上清液,重复 2 次,合并上清液,浓缩至干,1 mL 甲醇定容,HPLC 法同时检测 3 种生物碱[15],每样品重复 3 次取平均值。

1.2.3　数据处理

应用 Excel 和 SPSS 软件进行数据分析,并采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)检验各处理组间差异显著性。

2　结果

2.1　增补 UV-B 辐射对南方红豆杉生活史型的影响

将增补不同 UV-B 辐射水平下的南方红豆杉表型按营养生长和无性生殖过程分为 2 类。以株高、基径、实验处理区间生长量等 7 个指标表征营养生长性状,以克隆芽数、克隆枝数、克隆枝长等 5 个指标表征无性生殖性状,计算上述 12 个参数的平均值和标准差,见表 1。

分析表 1 数据发现,处理区间单株生物量增量、基径、处理区间生长量、二级分枝长、叶面积、克隆芽数、克隆枝数、克隆枝长、克隆枝高度、克隆芽高度等指标在不同处理条件下差异显著,说明增补 UV-B 处理对南方红豆杉多个表型性状有显著影响。

表 1　增补不同 UV-B 辐射水平下南方红豆杉形态性状参数

Table 1　Morphological characteristic of *T. chinensis* var. *mairei* cultured in different UV-B radiation

项目 Item	变量 Var.	性状 Morphological characteristics	对照 CK	UV-B 处理 1 UV-B T1	UV-B 处理 2 UV-B T2
营养生长 Vegetative growth	*X*1	株高/cm	15.76 ±0.35a	15.64 ±0.13a	14.88 ±0.29b
	*X*2	基径/mm	0.29 ±0.01a	0.26 ±0.01b	0.21 ±0.01c
	*X*3	当年生长量/cm	7.04 ±0.25a	6.86 ±0.25b	4.58 ±0.17c
	*X*4	二级分枝长/cm	2.23 ±0.14b	5.70 ±0.35a	2.11 ±0.13c
	*X*5	叶长/cm	2.24 ±0.15a	2.39 ±0.17a	2.28 ±0.16a
	*X*6	单株生物量增量/g	0.78 ±0.02b	0.96 ±0.03a	0.69 ±0.01c
	*X*7	叶面积/cm^2	0.73 ±0.01b	0.76 ±0.01a	0.66 ±0.02c
无性生殖 Clonal reproduction	*X*8	克隆芽数/个	0.45 ±0.04c	2.00 ±0.16b	3.40 ±0.27a
	*X*9	克隆枝数/个	0.25 ±0.01c	2.80 ±0.12a	2.40 ±0.10b
	*X*10	克隆枝长/cm	1.09 ±0.08	3.42 ±0.24a	2.45 ±0.17
	*X*11	克隆芽高度/cm	2.35 ±0.12c	8.50 ±0.45b	11.35 ±0.60a
	*X*12	克隆枝高度/cm	2.35 ±0.07c	7.88 ±0.24a	7.65 ±0.24b

同一行数据中字母不同者表示差异显著($P<0.05$)

对南方红豆杉的营养生长和无性生殖性状应用 SPSS17.0 软件进行主成分分析,并进行归一化处理,计算出南方红豆杉在 CK、T1 和 T2 等 3 种处理条件下的生活史型参数,分别为 $V_{0.82}C_{0.18}$(V 型)、$V_{0.58}C_{0.42}$(VC 型)

和 $V_{0.48}C_{0.52}$（CV 型），表明随 UV-B 增补强度增加，营养生长性状的 x 值降低而无性生殖性状的 z 值升高，可以看出增补 UV-B 辐射导致更多的能量分配到无性生殖中。值得注意的是，相对于 CK 组，T1 处理方法有利于南方红豆杉生物量的增加，更高强度的 T2 处理方法则明显抑制南方红豆杉的生长，即适当提高 UV-B 辐射水平可以诱导南方红豆杉生物量增量。

2.2　增补 UV-B 辐射对南方红豆杉叶片中紫杉烷类物质含量的影响

对南方红豆杉叶片中的 10-DAB、7-xyl-10-DAT 和紫杉醇等紫杉烷类含量检测结果表明，增补 UV-B 辐射处理显著促进了南方红豆杉叶片中紫杉醇的积累，其中 T1 处理组紫杉醇含量最高，达到 0.108 mg/g，但 10-去乙酰基巴卡亭Ⅲ和 7-xyl-10-DAT 含量显著降低；T2 处理组紫杉醇含量虽高于 CK 组，但较 T1 组略有下降，10-DAB 和 7-xyl-10-DAT 含量与对照组相比无显著差异但高于 T1 处理组（图 1）。

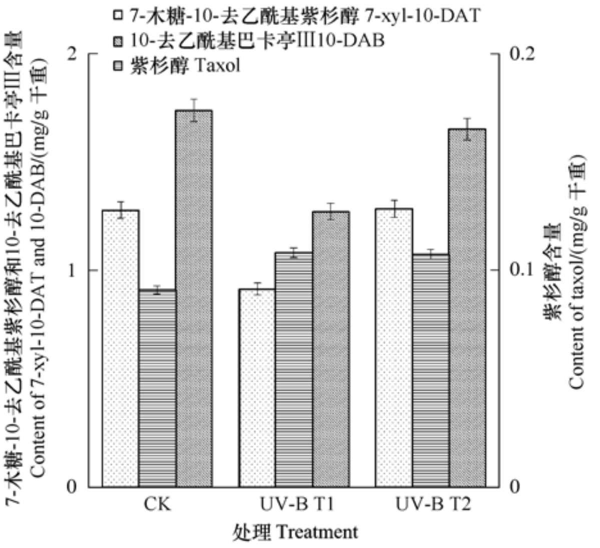

图 1　不同 UV-B 辐射强度下南方红豆杉叶片紫杉烷类含量变化

Fig. 1　The content change of taxanes in the leaves of *T. chinensis* var. *mairei* in different UV-B radiation

2.3　南方红豆杉叶片中紫杉烷类含量的相关性

南方红豆杉叶片中 10-DAB、7-xyl-10-DAT 和紫杉醇等生物碱的含量相关性见表 2：10-DAB 和 7-xyl-10-DAT 与紫杉醇呈较强的负相关，10-DAB 与 7-xyl-10-DAT 呈较强的正相关。

表 2　南方红豆杉叶片中紫杉烷类目的活性成分的 Pearson 相关系数矩阵

Table 2　Pearson correlation matrix of taxanes in the leaves of *T. chinensis* var. *mairei*

	10-去乙酰基巴卡亭Ⅲ 10-DAB	7-木糖-10-去乙酰基紫杉醇 7-xyl-10-DAT	紫杉醇 Taxol
10-去乙酰基巴卡亭Ⅲ 10-DAB	1		
7-木糖-10-去乙酰基紫杉醇 7-xyl-10-DAT	0.982	1	
紫杉醇 Taxol	-0.676	-0.523	1

3　讨论

由于臭氧层空洞而导致地球表面 UV-B 辐射增强对陆生植物的生活史进化发挥着非常重要的作用[16-17]。增强的 UV-B 辐射是植物表型和次生代谢等的主要环境影响因子之一[18-19]。研究表明，UV-B 辐射除了具备损伤 DNA 及细胞器的能力外，并可由水杨酸（salicylic acid，SA）、茉莉酸（jasmonic acid，JA）和乙烯（ethylene）等改变第二信使—活性氧（reactive oxygen species，ROS）、钙离子、激酶水平来完成生态适应过程[20-22]，例如降低 Rubisco 水平并导致光合速率下降[23-24]，激活次生代谢的苯基丙酸类途径（phenylpropanoid pathway）导致黄酮类、花青素等选择性积累[25-27]，以及诱导疾病相关蛋白的表达[28-29]等等，长期 UV-B 辐射影响植物光形态建成如节间缩短、分枝增加、叶面积降低但厚度增加、生物量减少等等[27]。

本文研究发现，增补较低剂量的 UV-B 促进南方红豆杉二级分枝长增加、叶面积及生物量增量明显等，生活史型由 V 型向 VC 型转变；增补较高剂量的 UV-B 则导致南方红豆杉分枝间距减小、植株矮化甚至顶芽死亡、叶面积及生物量显著降低，生活史型表现为 CV 型。这表明，南方红豆杉幼苗能够较好的适应一定程度、一定时间的 UV-B 辐射，在生产中通过改变上层树种的郁闭度来调节 UV-B 接受量使南方红豆杉处于 VC 生

活史型,可以达到生物量产量提高的目标。

虽然紫杉烷类次生代谢物质某些具体代谢途径还不十分清楚,但已知紫杉醇侧链及水杨酸生物合成共同来源于苯基丙酸途径[30],而 10-去乙酰基巴卡亭 III(紫杉醇母核)与侧链的连接是紫杉醇生物合成的必经途径[31]。有研究认为,水杨酸通过提高 10-去乙酰基巴卡亭 III 生物合成速率促进紫杉醇产量提升并被做为紫杉醇合成的诱导子之一[32],茉莉酸类物质同样是紫杉醇合成的诱导子[33]。7-xyl-10-DAT 代谢途径目前仍然缺乏研究,其水溶性较高,可能是紫杉醇在植物体内的主要运输形式,二者之间如何转化有待进一步的研究。另外,包含紫杉烷类在内的萜类物质在 UV-B 胁迫下的生态适应功能已经得到证明[34]。结合本文的研究结果,我们认为,UV-B 辐射增加导致水杨酸、茉莉酸含量水平上升,促进了 10-DAB 的生物合成,而 UV-B 诱导下苯基丙酸途径被激活则保证了侧链的供应,虽然 3 种紫杉烷类物质在不同处理下由于代谢网络的复杂性没有体现此简单的加和关系,但由 10-DAB 和侧链合成为紫杉醇以及由 7-xyl-10-DAT 转化为紫杉醇仍然是细胞内生物转化的主要方向之一,因此紫杉醇含量显著增加,而 10-DAB 和 7-xyl-10-DAT 却表现出下降趋势,这种生物转化的生态适应意义在于,紫杉醇大量积累后可以晶体形式储存于细胞壁及液泡中[35-36],由水溶性产物向非水溶性、UV-B 区有吸收的晶体物质转化可以吸收部分 UV-B 而保护细胞内部结构,从而成为抵御 UV-B 胁迫的重要生理适应机制。在更高强度的 UV-B 辐射下,南方红豆杉由以生理适应为主转变为以形态、解剖结构适应为主[37],生理水平适应作用的下降导致紫杉烷类物质生物合成及转化方向转变,紫杉烷类物质含量介于对照与较低 UV-B 辐射处理组间是可以理解的。

综合本文研究结果,虽然由于代谢途径不够清楚,有些深层机制有待深入研究,仍可以得出以下结论,即:(1)适当水平的 UV-B 辐射可以诱导紫杉醇含量与产量的提升,较高水平的 UV-B 辐射虽然可以提高紫杉醇含量,但严重影响采收部位生物量的增加;(2)即使室内研究得出最佳 UV-B 辐射水平,对于生产实践也很难应用,但本文发现 UV-B 辐射处理、南方红豆杉生活史型参数转变、紫杉烷类物质含量存在显著的相关关系,可以以本文为依据,在生产中进一步研究上层树种修剪方式对南方红豆杉生活史型参数及紫杉烷类物质含量的关系,并以生活史型这一可快速获取数据的指标作为调整参数,获得最佳的田间南方红豆杉生态培植方案。

References:

[1] Caldwell M M, Teramura A H, Tevini M, Bornman J F, Björn L O, Kulandaivelu G. Effects of increased solar ultraviolet radiation on terrestrial plants. Ambio, 1995, 24 (3): 166-173.

[2] Bjorn L O. Effects of ozone depletion and increased UV-B on terrestrial ecosystems. International Journal of Environmental Studies, 1996, 51 (3): 217-243.

[3] Wang S W, Duan L S, Eneji A E, Li Z H. Variations in growth, photosynthesis and defense system among four weed species under increased UV-B radiation. Journal of Integrative Plant Biology, 2007, 49(5): 621-627.

[4] Day T A, Ruhland C T, Xiong F S. Influence of solar ultraviolet-B radiation on Antarctic terrestrial plants: results from a 4-year field study. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2001, 62(1): 78-87.

[5] Huang M L, Jiang H, Jin Q, Yu S Q. The seedling growth and photosynthetic characteristic of three ligneous plants with different evolutionary time to UV-B radiation stress. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(8):1998-2009.

[6] Wang S, Duan L, Li J, Tian X, Li Z. UV-B radiation increases paraquat tolerance of two broad-leaved and two grass weeds in relation to changes in herbicide absorption and photosynthesis. Weed Research, 2007, 47(2): 122-128.

[7] An L Z, Feng H Y, Wang X L. Effects of enhanced UV-B radiation on the growth of some crops. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(2): 249-253.

[8] Zhang H, Lu S H, Zhang W H. Research advances on responsion molecular mechanisms and signal cascade for plants to enhanced Ultraviolet-B radiation. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2009, 29(9):1932-1937.

[9] Tang Z H, Jiao Y, Zhang X K, Zu Y G, Gao Y, Sun Y F, Yang L, Zhao X J. Effect of high temperature on life cycle forms and physiological metabolisms of *Catharanthus roseus*. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(11): 3641-3646.

[10] Tang Z H, Yang L, Liang S N, Zu Y G. Effects of different water conditions on life cycle forms and physiological metabolisms of *Catharanthus roseus*. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(7): 2742-2747.

[11] Jennewein S, Croteau R. Taxol: Biosynthesis, molecular genetics, and biotechnological applications. Applied Microbiology and Biotechnology,

2001, 57(1): 13-19.

[12] Su Y J, Wang T, Li X Y, Fan G K, Ke Y Y, Zhu J M, Liao W B, Shi Z Q, Wu H Q, Yang L X, Ge F H. Studies on the chemical constituents of the stem of *Acanthopanax Setchuenensis*. Natural Product Research and Development, 2001, 13(2): 19-20.

[13] Yang F J, Pang H H, Zhang X K, Sun J Y, Zu Y G. Quantitative changes of anti-cancer active components in *Taxus chinensis* var. *mairei* branches and leaves. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(4): 911-914.

[14] Zu Y G, Zhao Z H, Yang F J, Tang Z H, Cao J G. Classification and reciprocal transformation of plant life cycle forms. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(9): 2348-2353.

[15] Zu Y, Wang Y, Fu Y, Li S, Sun R, Liu W, Luo H. Enzyme-assisted extraction of paclitaxel and related taxanes from needles of *Taxus chinensis*. Separation and Purification Technology, 2009, 68(2): 238-243.

[16] Rozema J, Björn L O, Bornman J F, Gaberščik A, H der D P, Trošt T, Germ M, Klisch M, Gröniger A, Sinha R P, Lebert M, He Y Y, Buffoni-Hall R, de Bakker N V J, van de Staaij J, Meijkamp B B. The role of UV-B radiation in aquatic and terrestrial ecosystems-an experimental and functional analysis of the evolution of UV-absorbing compounds. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2002, 66(1): 2-12.

[17] Caldwell M M, Björn L O, Bornman J F, Flint S D, Kulandaivelu G, Teramura A H, Tevini M. Effects of increased solar ultraviolet radiation on terrestrial ecosystems. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 1998, 46 (1): 40-52.

[18] Tsormpatsidis E, Henbest R G C, Davis F J, Battey N H, Hadley P, Wagstaffe A. UV irradiance as a major influence on growth, development and secondary products of commercial importance in Lollo Rosso lettuce ‘Revolution’ grown under polyethylene films. Environmental and Experimental Botany, 2008, 63(1): 232-239.

[19] Semerdjieva S I, Phoenix G K, Hares D, Gwynn-Jonse D, Callaghan T V, Sheffield E. Surface morphology, leaf and cuticle thickness of four dwarf shrubs from a sub-Arctic heath following long-term exposure to enhanced levels of UV-B. Physiologia Plantarum, 2003, 117(2): 289-294.

[20] Mackerness S H A. Plant responses to ultraviolet-B (UV-B: 280 —320 nm) stress: What are the key regulators? Plant Growth Regulation, 2000, 32(1): 27-39.

[21] Mackerness S A H, Surplus S L, Blake P, John C F, Buchanan-Wollaston V, Jordan B R, Thomas B. Ultraviolet-B-induced stress and changes in gene expression in *Arabidopsis thaliana*: role of signalling pathways controlled by jasmonic acid, ethylene and reactive oxygen species. Plant, Cell & Environment, 1999, 22(11): 1413-1423.

[22] Mikael B, Ake S. Molecular events following perception of ultraviolet-B radiation by plants. Physiologia Plantarum, 2003, 117(1): 1-10.

[23] Allen D J, McKee I F, Farage P K, Baker N R. Analysis of the limitation to CO_2 assimilation on the exposure of leaves of two *Brassica napus* cultivars to UV-B. Plant, Cell & Environment, 1997, 20(5): 633-640.

[24] Baker N R, Nogues S, Allen D J. Photosynthesis and photoinhibition//Lumsden P J ed. Plants and UV-B: Responses to Environmental Change. Cambridge: Cambridge University Press, 1997, 113-134.

[25] Caldwell M M, Robberecht R, Flint S D. Internal filters: Prospects for UV-acclimation in higher plants. Physiologia Plantarum, 1983, 58(3): 445-450.

[26] Robberecht R, Caldwell M M. Leaf UV optical properties of *Rumex patentia* L. in regard to a protective mechanism against solar UV-B radiation injury// Worrest R C, Caldwell M M, eds. Stratospheric Ozone Reduction, Solar Ultraviolet Radiation and Plant. Berlin: Springer-Verlag, 1986: 251-259.

[27] Frohnmeyer H, Staiger D. Ultraviolet-B radiation-mediated responses in plants. Balancing damage and protection. Plant Physiology, 2003, 133: 1420-1428.

[28] Green R, Fluhr R. UV-B-induced PR1 accumulation is mediated by active oxygen species. Plant Cell, 1995, 7(2): 203-212.

[29] Surplus S L, Jordan B R, Murphy A M, Carr J P, Thomas B, -Mackerness S A H. UV-B induced responses in *Arabidopsis thaliana*: Role of salicylic acid and ROS in the regulation of transcripts and acidic PR proteins. Plant, Cell & Environment, 1998, 21(7): 685-694.

[30] Leete E, Bodem G B. The biosynthesis of 3-dimethylamino-3-phenyl-propanoic acid in yew. Tetrahedron Letters, 1996, 14: 3925-3927.

[31] Croteau R, Ketchum R E B, Long R M, Kaspera R, Wildung M R. Taxol biosynthesis and molecular genetics. Phytochemistry Reviews, 2006, 5 (1): 75-97.

[32] Miao Z Q, Wei Z J, Yuan Y J. Study on the effects of salicylic acid on taxol biosynthesis. Chinese Journal of Biotechnology, 2000, 16(4): 509-513.

[33] Yu L J, Zhu M, Zhou Y, Ke T, Mei X G. The induction effect of methyl-jasmonate on taxol biosynthesis. Natural Product Research and Development, 1999, 11(5): 1-7.

[34] Robberecht R, Caldwell M M. Protective mechanisms and accumulation to solar ultraviolet-B radiation in *Oenotherzn strieta*. Plant, Cell & Environment, 1983, 6: 477-485.

[35] Russin W A, Ellis D D, Gottwald J R, Zeldin E L, Brodhagen M, Evert R F. Immunocytochemical localization of Taxol in *Taxus cuspidata*.

International Journal of Plant Sciences, 1995, 156(5): 668-678.

[36] Choi H K, Kim S I, Song J Y, Son J S, Hong S S, Durzan D J, Lee H J. Localization of paclitaxel in suspension culture of *Taxus chinensis*. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2001, 11(3): 458-462.

[37] Zu Y G, Pang H H, Yu J H, Li D W, Wei X X, Gao Y X, Tong L. Responses in the morphology, physiology and biochemistry of *Taxus chinensis* var. *mairei* grown under supplementary UV-B radiation. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2010, 98(2): 152-158.

参考文献:

[5] 黄梅玲,江洪,金清,余树全. UV-B 辐射胁迫下不同起源时期的 3 种木本植物幼苗的生长及光合特性. 生态学报,2010,30(8):1998-2009.

[7] 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. 生态学报,2001,21(2):249-253.

[8] 张辉,吕山花,张文会. 植物对 UV-B 辐射增强应答的分子机制及信号级联研究进展. 西北植物学报,2009,29(9):1932-1937.

[9] 唐中华,焦琰,张学科,祖元刚,高杨,孙艳斐,杨蕾,赵晓菊. 高温对长春花生活史型形成和生理代谢的影响. 生态学报,2006, 26(11):3641-3646.

[10] 唐中华, 杨蕾, 梁胜楠,祖元刚. 土壤不同水分条件对长春花(*Catharanthus roseus*)生活史型的影响. 生态学报,2007,27(7):2742-2747.

[12] 苏应娟,王艇,李雪雁,范国宽,柯亚永,朱建明,廖文波,史志强,吴惠勤,杨礼香,葛发欢. 南方红豆杉不同部位紫杉醇含量的分析. 天然产物研究与开发, 2001, 13(2):19-20.

[13] 杨逢建,庞海河,张学科,孙佳音,祖元刚. 南方红豆杉枝叶中药用抗癌活性物质含量. 应用生态学报, 2008,19(4):911-914.

[14] 祖元刚,赵则海,杨逢建,唐中华,曹建国. 植物生活史型的划分及其相互转化. 生态学报, 2005, 25(9):2348-2353.

[32] 苗志奇,未作君,元英进. 水杨酸在紫杉醇生物合成中诱导作用的研究. 生物工程学报, 2000,16(4):509-513.

[33] 余龙江,朱敏,周莹,柯铁,梅兴国. 茉莉酸甲酯对紫杉醇生物合成的诱导作用. 天然产物研究与开发,1999,11(5):1-7.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 1 January, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Spatial pattern analysis of a *Rhododendron-Abies* virginal forest near timberline on the eastern edge of Qinghai-Tibetan Plateau, China ······ MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (1)

Changes of liana species diversity in different restoration stages of monsoonal broad-leaved evergreen forest ······ LI Shuaifeng, SU Jianrong, LIU Wande, et al (10)

Investigation on spatio-temporal pattern of cyanobacterial community structure by T-RFLP during overwinter and recruitment period in Taihu Lake ······ GU Tingting, KONG Fanxiang, TAN Xiao, et al (21)

Food sources of fish and macro-invertebrates in a tropical seagrass bed at Xincun Bay, Southern China ······ FAN Minling, HUANG Xiaoping, ZHANG Dawen, et al (31)

Spatial pattern of Scleractinian coral Population Structure in Weizhou Island, Beihai, Guangxi ······ LIANG Wen, ZHANG Chunhua, YE Zuchao, et al (39)

Property of root distribution of triploid *Populus tomentosa* and its relation to root water uptake under the wide-and-narrow row spacing scheme ······ XI Benye, WANG Ye, JIA Liming, et al (47)

Soil nutritional properties and moisture gradient of the ecotone between dry valley and montane forest of the Minjiang River ······ LIU Bin, LUO Chengde, ZHANG Jian, et al (58)

Signal chemical salicylic acid mitigates the negative effects of drought on photosynthesis and membrance lipid peroxidation of purple majesty ······ YI Xiaolin, YANG Bingxian, ZONG Xuefeng, et al (67)

Effects of supplementary UV-B radiation on life cycle forms and the accumulation of taxanes of *Taxus chinensis* var. *mairei* ······ YU Jinghua, LI Dewen, PANG Haihe, et al (75)

Effect of simulated nitrogen deposition on the soil respiration of *Lithocarpus glabra* and *Castanopsis sclerophylla* ······ LI Kai, JIANG Hong, YOU Meina, et al (82)

Changes of phenolic acids in the soil of replanted apple orchards surrounding Bohai Gulf ······ SUN Haibing, MAO Zhiquan, ZHU Shuhua (90)

Growing dynamic root system of *Aquilaria malaccensis* and *Aquilaria sinensis* seedlings in response to different fertilizing methods ······ WANG Ran, LI Jiyue, ZHANG Fangqiu, et al (98)

Accumulation and tolerance of *Salix variegate* and *Pterocarya stenoptera* seedlings to cadmium ······ JIA Zhongmin, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (107)

Dynamics of vegetation structure and soil properties in the natural restoration process of degraded woodland on the northern slope of Qilian Mountains, northwestern China ······ ZHAO Chengzhang, SHI Fuxi, DONG Xiaogang, et al (115)

Relationship between temperature and $\delta^{13}C$ values of C3 herbaceous plants and its implications of WUE in farming-pastoral zone in North China ······ LIU Xianzhao, WANG Guoan, LI Jiazhu, et al (123)

Carbon dynamics of fine root (grass root) decomposition and active soil organic carbon in various models of land use conversion from agricultural lands into forest lands ······ RONG Li, LI Shoujian, LI Xianwei, et al (137)

Prey biomass of the Amur tiger (*Panthera tigris altaica*) in the eastern Wanda Mountains of Heilongjiang Province, China ······ ZHOU Shaochun, ZHANG Minghai, SUN Haiyi (145)

The impact of conservation projects on iant Panda Habitat ······ ZHANG Yubo, WANG Mengjun, LI Junqing (154)

Fluctuation of soil fauna community during defoliation decomposition under lime and EM treatment ······ GAO Meixiang, ZHANG Xueping (164)

Comparative of feeding behaviors of *Sitobion avenae*, *Sitobion graminum* and *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: Aphididae) using electrical penetration graph (EPG) ······ MIAO Jin, WU Yuqing, YU Zhenxing, et al (175)

Toxic effects of *ent*-kaurane diterpenoids on soil ciliate communities ······ NING Yingzhi, DU Haifeng, WANG Hongjun (183)

Geostatistical analysis and sampling technique on spatial distribution pattern of *Dendroctonus valens* population ······ PAN Jie, WANG Tao, ZONG Shixiang, et al (195)

Variation analysis of protein subunits of soybean germplasms of different eco-types in Shanxi ······ WANG Yanping, LI Guiquan, GUO Shujin, et al (203)

Effects of fertilization and plastic film mulched ridge-furrow cultivation on yield and water and nitrogen utilization of winter wheat on dryland ······ LI Tingliang, XIE Yinghe, REN Miaomiao, et al (212)

The changing characteristics of potential climate productivity in Gansu Province during nearly 40 years ······ LUO Yongzhong, CHENG Ziyong, GUO Xiaoqin (221)

Spatial assessment and zoning regulations of ecological importance based on GIS for rural habitation in Changgang Town, Xinguo county ······ XIE Hualin, LI Xiubin (230)

Influences of rural households' income differences on living energy consumption and eco-environment: a case study of Jianghan Plain, China ······ YANG Zhen (239)

Spatial differences and its driving factors of emergy indices on cultivated land eco-economic system in Hebei Provence ······ WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang, et al (247)

Effects of land use on distribution and protection of organic carbon in soil aggregates in karst rocky desertification area ······ LUO Youjin, WEI Chaofu, LI Yu, et al (257)

Review and Monograph

Implication and limitation of landscape metrics in delineating relationship between landscape pattern and soil erosion ······ LIU Yu, LÜ Yihe, FU Bojie (267)

Ecological reclamation and restoration of abandoned coal mine in the United States ······ ZHANG Chengliang, B. Larry Li (276)

Managing farmland soil food web: principles and methods ······ CHEN Yunfeng, HU Cheng, LI Shuanglai, et al (286)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

（源于 2010 年版 CSTPCD 数据库）

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	**生态学报**	**11764**	1	**生态学报**	**1.812**
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次，**全国排名第 1**；影响因子 1.812，**全国排名第 14**；第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊；中国精品科技期刊

编辑部主任：孔红梅　　**执行编辑：**刘天星　段　靖

生　态　学　报
（SHENGTAI　XUEBAO）
（半月刊　1981 年 3 月创刊）
第 31 卷　第 1 期　（2011 年 1 月）

ACTA ECOLOGICA SINICA
（Semimonthly，Started in 1981）
Vol. 31　No. 1　2011

编　辑　《生态学报》编辑部
地址：北京海淀区双清路 18 号
邮政编码：100085
电话：（010）62941099
www. ecologica. cn
shengtaixuebao@ rcees. ac. cn
主　编　冯宗炜
主　管　中国科学技术协会
主　办　中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
地址：北京海淀区双清路 18 号
邮政编码：100085
出　版　科学出版社
地址：北京东黄城根北街 16 号
邮政编码：100717
印　刷　北京北林印刷厂
发　行　科学出版社
地址：东黄城根北街 16 号
邮政编码：100717
电话：（010）64034563
E-mail：journal@ cspg. net
订　购　全国各地邮局
国外发行　中国国际图书贸易总公司
地址：北京 399 信箱
邮政编码：100044
广告经营许可证　京海工商广字第 8013 号

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add：18，Shuangqing Street，Haidian，Beijing 100085，China
Tel：（010）62941099
www. ecologica. cn
Shengtaixuebao@ rcees. ac. cn
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences，CAS
Add：18，Shuangqing Street，Haidian，Beijing 100085，China
Published by Science Press
Add：16 Donghuangchenggen North Street，
Beijing　100717，China
Printed by Beijing Bei Lin Printing House，
Beijing 100083，China
Distributed by Science Press
Add：16 Donghuangchenggen North
Street，Beijing 100717，China
Tel：（010）64034563
E-mail：journal@ cspg. net
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add：P. O. Box 399 Beijing 100044，China

ISSN 1000-0933

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行　**国内邮发代号** 82-7　**国外发行代号** M670　**定价** 70. 00 元