

天然东北红豆杉枝中紫杉醇和三尖杉宁碱含量变化特征

常 醉¹ 周志强² 夏春梅³ 刘 彤³

(1 东北林业大学东北油田盐碱植被恢复与重建教育部重点实验室, 盐碱地生物资源环境研究中心

2 东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室 3 东北林业大学林学院)

摘要: 为研究天然东北红豆杉枝中紫杉醇和三尖杉宁碱的积累特点, 系统采集了不同年龄、不同性别、不同营养时期和不同坡向的天然东北红豆杉枝样品, 利用反相高效液相色谱对当年生、2年生和多年生枝中紫杉醇及三尖杉宁碱含量进行测定分析。结果表明: 1) 随树龄增加枝中的紫杉醇含量呈先上升后下降的趋势, 而三尖杉宁碱含量随树龄增加而降低; 2) 雌株和雄株枝中两种紫杉烷类物质含量只在较大径级(>60 cm)时有明显差异, 即雌株中含量低于雄株, 而在<60 cm径级范围内, 雌株和雄株间两种物质含量没有显著差异; 3) 随着营养时期的变化, 从4月到10月, 枝中两种紫杉烷类物质的含量整体呈先上升后下降并趋于稳定的变化趋势, 其中紫杉醇含量在8、9月达到峰值, 三尖杉宁碱含量在7、8月达到峰值; 4) 在不同坡向上, 只有在较小径级植株的当年生枝中, 阳坡两种物质含量高于阴坡, 而在较大径级时无显著差异。

关键词: 东北红豆杉枝; 紫杉醇; 三尖杉宁碱

中图分类号: S718.43 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2012)02-0071-07

CHANG Zui¹; ZHOU Zhi-qiang²; XIA Chun-mei³; LIU Tong³. **Characteristics of paclitaxel and cephalomannine content changing in the branches of natural Japanese yew.** *Journal of Beijing Forestry University* (2012) **34**(2) 71-77 [Ch, 27 ref.]

1 Key Laboratory of Saline-alkali Vegetation Ecology Restoration in Oil Field of Ministry of Education, Alkali Soil Natural Environmental Science Center, Northeast Forestry University, Harbin, 150040, P. R. China;

2 Key Laboratory of Forest Plant Ecology of Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin, 150040, P. R. China;

3 School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin, 150040, P. R. China.

In order to find out the characteristics of paclitaxel and cephalomannine in the branch of natural Japanese yew (*Taxus cuspidata*), the branch samples of natural Japanese yew were collected from Muling National Nature Reserve of Heilongjiang Province in different ages, sexes, months and site factors (slope aspects), and the content of paclitaxel and cephalomannine in the current-year branches, the biennial branches and the perennial branches were measured with RP-HPLC. The results were shown as follows: 1) for all of the branches of Japanese yew, the content of paclitaxel increased at the beginning and then decreased with age increasing, while that of cephalomannine decreased with age increasing. 2) When the DBH (diameter at breast height) was lower than 60 cm, there was no significant difference in the branch contents of paclitaxel and cephalomannine from trees sexes. But when the DBH was higher than 60 cm, higher paclitaxel and cephalomannine content was found in male trees than female trees. 3) For all of the branches, the content of paclitaxel and cephalomannine increased at the beginning and then decreased from April to October annually, and the maximum content of paclitaxel was found in August and September, meanwhile, that of cephalomannine was found in July and August. 4) For the current-year branches, the content of paclitaxel and cephalomannine was affected by the site factors obviously. About

收稿日期: 2011-08-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(30870464)、东北林业大学研究生论文资助项目(gram 09)。

第一作者: 常醉。主要研究方向: 生物活性物质利用。电话: 13674685241 Email: changzui@126.com 地址: 150040 黑龙江省哈尔滨市和兴路26号东北林业大学盐碱地中心。

责任作者: 刘彤, 博士, 教授。主要研究方向: 森林生态学。电话: 13946052485 Email: frauliutong@yahoo.com.cn 地址: 150040 黑龙江省哈尔滨市和兴路26号东北林业大学林学院。

本刊网址: <http://journal.bjfu.edu.cn>

the paclitaxel, the current-year branches of Japanese yew individuals on sunny slope had higher content than that on shady slope when DBH was lower than 45 cm, and concerning cephalomannine, the limiting condition of DBH reduced to 30 cm. There was no significant effects of slope aspect on the content of paclitaxel and cephalomannine in the biennial and perennial branches.

Key words branches of Japanese yew (*Taxus cuspidata*); paclitaxel; cephalomannine

东北红豆杉(*Taxus cuspidata* Sieb. et Zucc.) 是红豆杉科(Taxaceae) 红豆杉属常绿乔木,是我国红豆杉属中分布最北的一个种,属第三纪孑遗树种,国家Ⅰ级重点保护的野生濒危植物种类^[1]。从其植株中提取的紫杉醇具有独特的抗肿瘤机理,可用于治疗卵巢癌、乳腺癌、肺癌、食管癌、大肠癌、膀胱癌、头颈部癌、黑色素瘤、淋巴瘤、脑瘤及卡波氏肉瘤等多种癌症,特别是对治疗卵巢癌和乳腺癌有显著疗效,被认为是迄今人类发现的最有效的抗癌药物之一^[2-4]。三尖杉宁碱是紫杉醇的紫杉烷类同系物,可以作为紫杉醇半合成的原料,而且其本身也具有一定的抗癌活性^[5]。

作为红豆杉属植物中的一类次生代谢物质,紫杉烷是植物对环境条件适应的物质基础之一,它随着环境的变化而变化,而且其产生和分布通常又表现出明显的种属、器官、组织及生育时期的特异性;因此,红豆杉植株中紫杉烷含量的影响因子(包括种和变种、树龄、器官、采集季节及生长环境)一直是研究的热点。目前的相关研究包括红豆杉属不同种间紫杉醇含量的分析^[6-8],紫杉醇及其衍生物的含量与植物生长年龄的关系^[9-10],不同组织部位紫杉醇分布的差异^[11-12],紫杉醇含量随季节的变化^[13],光照对红豆杉生长和紫杉醇含量的影响^[14]等。由于天然东北红豆杉的分布十分有限,东北红豆杉在国内的天然集中分布区仅限于吉林和龙、天桥岭、汪清、珲春和黑龙江省穆棱等地^[15],因此,上述研究中,以天然东北红豆杉为研究对象的涉及较少。由于次生代谢物质存在种属特异性,不能直接照搬其他红豆杉种的研究结果来指导东北红豆杉的资源培育与利用,因此,对东北红豆杉中紫杉烷类物质含量影响因素的研究十分必要和急迫。本文以黑龙江省穆棱东北红豆杉天然种群为实验对象,在前期研究的基础上,研究了年龄、性别、营养时期和坡向对天然东北红豆杉枝中紫杉醇和三尖杉宁碱含量的影响,为合理、高效的培育和利用东北红豆杉资源提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

研究地点位于黑龙江省穆棱东北红豆杉自然保护区。保护区东西宽 33 km,南北长 31 km,总面积

34 544 hm²,地理坐标为:东经 130°00′~130°28′,北纬 43°49′~44°06′。该区海拔 500~900 m,相对高度 150~450 m,气候属温带大陆性季风气候,无霜期 110 d,年降雨量 440~510 mm,年平均温度 -2℃,≥10℃年积温为 1 736.7℃。暗棕色森林土是保护区的地带性土壤。植被是以红松(*Pinus koraiensis*)、红皮云杉(*Picea koraiensis*)、臭冷杉(*Abies nephrolepis*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、白桦(*Betula platyphylla*)、枫桦(*B. costata*)、山杨(*Populus davidiana*)和蒙古栎(*Quercus mongolica*)等为主的温带针阔混交林。该保护区天然东北红豆杉种群规模庞大,共分布有天然东北红豆杉 179 613 株,是目前已知的最大天然东北红豆杉分布区^[1]。

1.2 取样方法

1) 立地条件与雌雄株差异取样:于 2010 年,在东北红豆杉生长季结束,植株中次生代谢物质含量稳定的 10 月下旬,分为雌、雄株和阳、阴 2 个坡向采样,选取不同径级的东北红豆杉植株,采集当年生、2 年生和多年生枝,样株径级范围在 1.8~72.2 cm 之间,共 108 株,样株的分布详见表 1。2) 不同营养时期差异取样:选取胸径在 30 cm 左右(树龄约 260 年),生长旺盛的、立地条件相近的东北红豆杉雌雄各 3 株,分别于 2010 年的 4、5、6、7、8、9、10 月下旬采集当年生、2 年生和多年生枝(当年生枝 6 月开始采集)。

表 1 立地条件与雌雄株差异取样情况

Tab. 1 Site conditions and female and male samples

径级/cm	样本数			
	阴坡	阳坡	雌株	雄株
≤15	4	4	2	6
15~30	15	3	10	8
30~45	42	12	25	29
45~60	14	4	8	10
>60	5	5	4	6
合计	80	28	49	59

1.3 提取与检测方法

紫杉醇和三尖杉宁碱提取和测定参考郭娜^[16]的方法,略有改动。

提取方法:精密称取天然东北红豆杉样品粉末 0.5 g 于 5 mL 容量瓶,加入 4 mL 80% 甲醇溶液,室温下超声波(工作频率 40 kHz、功率 170 W)辅助提

取 30 min 后,冷却至室温,再以 80% 甲醇溶液定容,摇匀。取其中 3 mL 上清液吹干,加入 200 μL 80% 甲醇漩涡震荡 1 min,15 000 g 离心,备用。

含量测定:利用 Waters 高效液相色谱仪(2487 型紫外检测器、1525 型高压泵)测定紫杉醇和三尖杉宁碱含量。Thermo Hypersil gold C18 柱(4.6 mm \times 25 cm \times 5 μm),流动相为乙腈和水溶液(体积比 45:55),流速 1 mL/min,进样量 20 μL ,检测波长 227 nm。

1.4 数据处理

应用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS16.0 软件进行数据分析,并采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)检验差异的显著性。

2 结果与分析

2.1 不同年龄天然东北红豆杉枝中紫杉醇和三尖杉宁碱的含量变化

本文在研究年龄对天然东北红豆杉枝中紫杉醇和三尖杉宁碱的影响时,以胸径的大小来反映年龄。东北红豆杉生长缓慢,寿命长,根据之前对东北红豆杉种群生殖力^[15]和树木年代学^[17]的研究,东北红豆杉在 160 年时达到自然成熟,而在径级 30~60 cm 时生殖力最强。结合本实验中选取的植株径级情况,将 108 株径级范围在 1.8~72.2 cm 之间的东北红豆杉以 15 cm 为一个径级组,分为如下 5 个径

级组:1) ≤ 15 cm 树龄在 140 年以下;2) 15~30 cm,树龄在 140~260 年;3) 30~45 cm,树龄在 260~330 年;4) 45~60 cm,树龄在 330~380 年;5) > 60 cm,树龄大于 380 年。通过对紫杉醇和三尖杉宁碱含量的分析,结果显示,随胸径增加,2 种物质表现出不同的变化趋势。从图 1 可以看出,紫杉醇含量随着径级的增加呈先上升后下降的趋势,这种趋势在当年生枝中表现的略为明显,其中 45~60 cm 径级组(平均树龄 350 年左右)含量最高,达到 23.1 $\mu\text{g/g}$,而 ≤ 15 cm 径级组(平均树龄 90 年左右)的含量最低,只有 14.4 $\mu\text{g/g}$,二者相差 1.6 倍,在 2 年生和多年生枝中也有同样的趋势。紫杉醇含量呈现这种趋势,一方面可能是东北红豆杉在幼年 and 老龄时期合成紫杉醇能力较低,而在中等径级时合成能力相对较高,另一方面可能是幼树和老树对环境的适应能力要低于中等径级的植株,更多的能量在抵御不良环境时消耗掉,因而形成这种趋势。由图 2 可见,三尖杉宁碱含量的变化特点与紫杉醇不同,在 ≤ 15 cm 径级组三尖杉宁碱含量最高,在 > 60 cm 径级组(平均树龄 400 年左右)含量最低,二者在当年生、2 年生、多年生枝中分别相差 2.1、2.4 和 2.9 倍。整体来看,随径级增加含量有下降趋势,可能是天然东北红豆杉合成三尖杉宁碱的能力随树龄增加而减弱的结果。

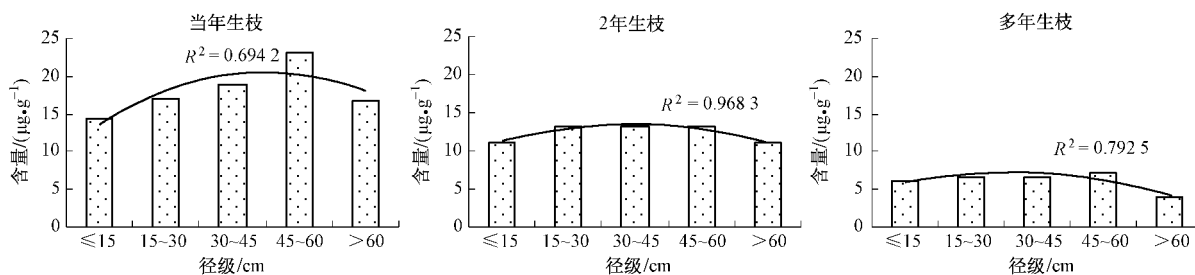


图 1 不同树龄天然东北红豆杉枝中紫杉醇含量

Fig. 1 Paclitaxel content in the branches of natural Japanese yew with different ages

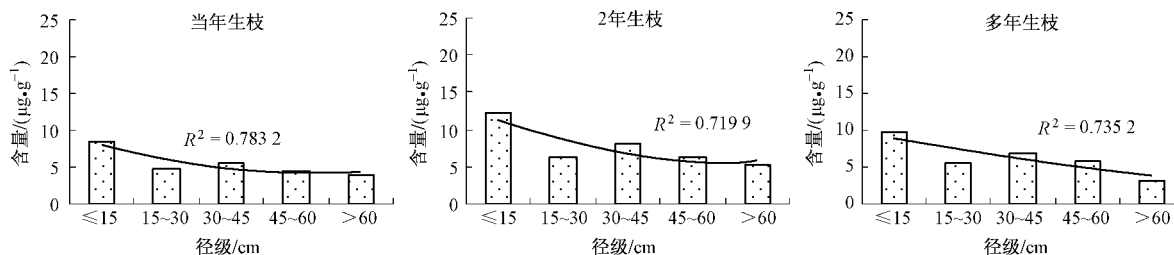


图 2 不同树龄天然东北红豆杉枝中三尖杉宁碱含量

Fig. 2 Cephalomannine content in the branches of natural Japanese yew with different ages

2.2 天然东北红豆杉雌雄株枝中紫杉醇和三尖杉宁碱的含量变化

东北红豆杉是雌雄异株植物,雌株和雄株的生理特征必定不同,实验考察了 5 个径级组共 108 株

雌雄株之间紫杉醇和三尖杉宁碱含量的差异。结果如图 3、4 所示,从图中可以看出,在 < 60 cm 径级组内,雌株和雄株中紫杉醇含量没有明显的规律,而在 > 60 cm 径级组内,雄株当年生、2 年生、多年生枝中

紫杉醇含量分别是雌株的 1.8、2.1 和 1.7 倍。三尖杉宁碱的结果同紫杉醇相似,在 <60 cm 径级组内,雌株和雄株间三尖杉宁碱含量没有明显规律,在 >60 cm 径级内,雄株当年生、2 年生和多年生枝中三尖杉宁碱含量分别是雌株的 1.8、2.1 和 1.3 倍。这样的结果可能与东北红豆杉雌雄株繁殖功能差异有关。大量研究显示,雌株要比雄株付出更高的繁殖代价^[18-21]。当植株生长到一定年限,这种代价造成的后果便明显显现出来,出现了图中所示的结果。前期研究中发现,在穆棱东北红豆杉自然保

护区,较大径级东北红豆杉雌株大多树干中空、树冠偏枯、植株部分枯死等状况,这也说明了较大的繁殖压力确实影响了雌株的生理活动,而本实验结果表明紫杉醇和三尖杉宁碱的合成亦受到影响。另外,尽管 2 种物质含量在不同性别植株间有差异,但是,无论在雌株还是雄株中,这 2 种物质含量在径级上的变化规律与上述 2.1 的结果都是一致的,即紫杉醇含量随径级增加先上升后下降,三尖杉宁碱含量随径级增加而下降。

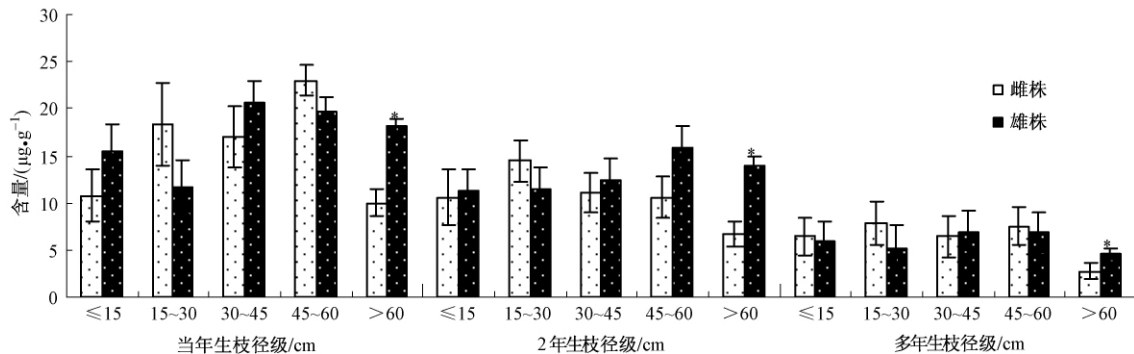


图3 天然东北红豆杉雌雄株中紫杉醇的含量

Fig. 3 Paclitaxel content in the branches of female and male trees of natural Japanese yew

注: * $P < 0.05$ 水平上差异显著。下图 4、7、8 同此。

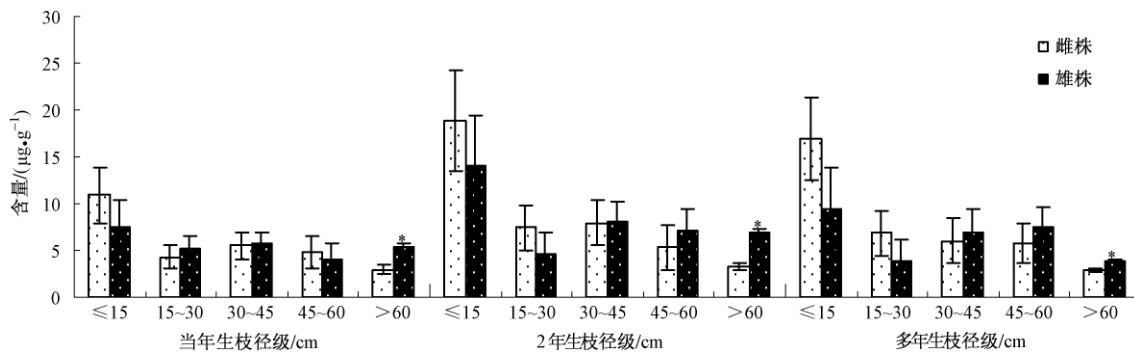


图4 天然东北红豆杉雌雄株中三尖杉宁碱含量

Fig. 4 Cephalomannine content in the branches of female and male trees of natural Japanese yew

2.3 不同营养时期天然东北红豆杉枝中紫杉醇和三尖杉宁碱的含量变化

为了考察不同营养时期 2 种紫杉烷含量的变化,实验对雌雄各 3 株树龄在 230 ~ 270 年之间、生境相近的东北红豆杉在生长季进行了连续的采样分析。根据前文的结果,在该年龄范围内,雌雄株之间 2 种物质含量没有显著差异,因此,在本节中不考虑雌雄株的差异。图 5、6 显示,随着营养时期的不同,从 4 月到 10 月 2 种紫杉烷类物质的含量整体呈先上升后下降并趋于稳定的变化趋势。在当年生枝中,紫杉醇含量呈明显的先上升后下降的趋势,在 8 月达到最大值(40.1 $\mu\text{g/g}$)。2 年生和多年生枝中紫杉醇含量的变化基本一致,开始整体呈上升趋势,到

9 月达到最高值(分别为 24.7、19.8 $\mu\text{g/g}$),之后又略有下降,并趋于稳定,但整体来看变化幅度不大。三尖杉宁碱含量在当年生枝中 6 月最小(1.73 $\mu\text{g/g}$),之后急剧上升,7 月即达到最大值(25.2 $\mu\text{g/g}$);在之后的 3 个月里,含量缓慢下降,三尖杉宁碱含量在 2 年生和多年生枝中变化趋势与紫杉醇相似,但与之不同的是最高值出现在 8 月(分别为 15.5、14.6 $\mu\text{g/g}$)。以上结果表明,尽管紫杉醇和三尖杉宁碱含量随生长时期而变化,但始终保持在一定的范围内,以维持体内环境的平衡。分析其波动变化的原因,我们认为,5 月是生长季的开始,植物将更多的能量用于初生生长,不利于次生代谢物质的积累,而随着光照的增强和时间延长,植物代谢旺盛,

紫杉醇和三尖杉宁碱含量开始增加,并在7、8月达到最高值;之后随气温下降,东北红豆杉代谢活动变慢,紫杉醇和三尖杉宁碱开始在体内积累,含量基本保持稳定。而造成当年生枝中两种紫杉烷类物质变化程度较大的原因是当年生枝处于生长发育的旺盛阶段,受到外界的影响可能较大。另外,值得注意的是,在6月当年生枝中紫杉醇含量已经很高,达到 $27.7 \mu\text{g/g}$,而三尖杉宁碱含量只有 $1.73 \mu\text{g/g}$,之后含量才升高,说明新生枝已经有较强的合成紫杉醇能力,而合成三尖杉宁碱的能力则较低。

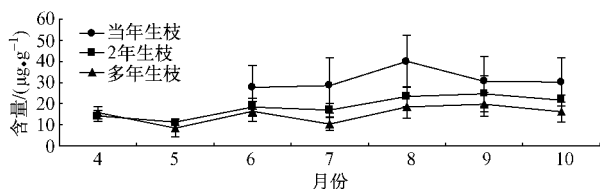


图5 不同采收月份天然东北红豆杉枝中紫杉醇含量

Fig. 5 Paclitaxel content in the branches of natural Japanese yew in different months

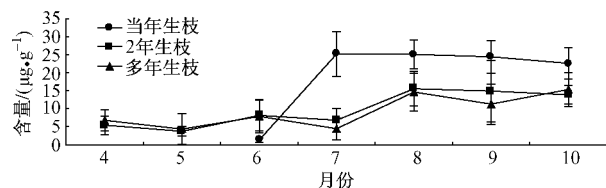


图6 不同采收月份天然东北红豆杉枝中三尖杉宁碱含量

Fig. 6 Cephalomannine content in the branches of natural Japanese yew in different months

2.4 不同坡向天然东北红豆杉枝中紫杉醇和三尖杉宁碱的含量变化

根据前期的研究结果^[1],我们发现,天然东北红豆杉在阴坡和阳坡分布是不均匀的,阴坡的种群数量要远高于阳坡。通过对生长在不同坡向的东北红豆杉枝中两种紫杉烷类物质含量的测定,得到如下结果(图7、8)。在不同坡向上,紫杉醇含量表现出差异,主要表现在中小径级(<45 cm)植株的当

年生枝中,生长在阳坡的植株紫杉醇含量要高于阴坡,而在较大径级(>45 cm)植株的枝中,阳坡和阴坡间紫杉醇含量没有显著差异。三尖杉宁碱含量变化与植株坡向的关系同紫杉醇类似,在<30 cm径级的当年生枝中阳坡植株的三尖杉宁碱含量要高于阴坡。尽管之前的研究表明阴坡可能更适于东北红豆杉的生长,但从本实验的结果来看,阴坡的生长环境并不利于紫杉烷类次生代谢产物的积累。阳坡中小径级植株枝中紫杉烷类含量高于阴坡的原因,可能是中小径级的天然东北红豆杉在林中属于被压木,光照是重要的限制因子,而阳坡光照条件较好,有利于枝中紫杉醇和三尖杉宁碱的合成,而较大径级植株没有这种差异的原因可能是此时东北红豆杉已经进入主林层,受周围其他树种的遮蔽影响小,无论阴坡还是阳坡都能够接受足够的阳光。另外,当年生枝生长旺盛,初生代谢强度大,受到光照的影响也较大,而2年生和多年生枝相对来说生理特性更加稳定,因此只有中小径级植株的当年生枝中表现出这种差异。

3 结论与讨论

1) 随树龄增加,天然东北红豆杉枝中紫杉醇含量呈先上升后下降的趋势,径级在30~60 cm(树龄260~380年)范围内含量最高,而三尖杉宁碱含量呈随树龄增加而降低的趋势,径级≤15 cm(树龄<140年)植株中含量最高。

苏建荣等^[9]对树龄范围在13~223年的云南红豆杉(*T. yunnanensis*)3年生小枝的研究表明,不同年龄云南红豆杉的3年生小枝中,紫杉醇含量在72年最高,在72年之前随树龄增加而递增,树龄超过114年后,紫杉醇含量呈减少趋势。本实验中样株树龄范围在20~413年,紫杉醇含量最高值出现在260~350年,且本实验研究材料包括当年生、2年生和多年生枝,研究的年龄范围和材料不同,可能是造成结果不同的原因,另外也可能是种间差异的原因。

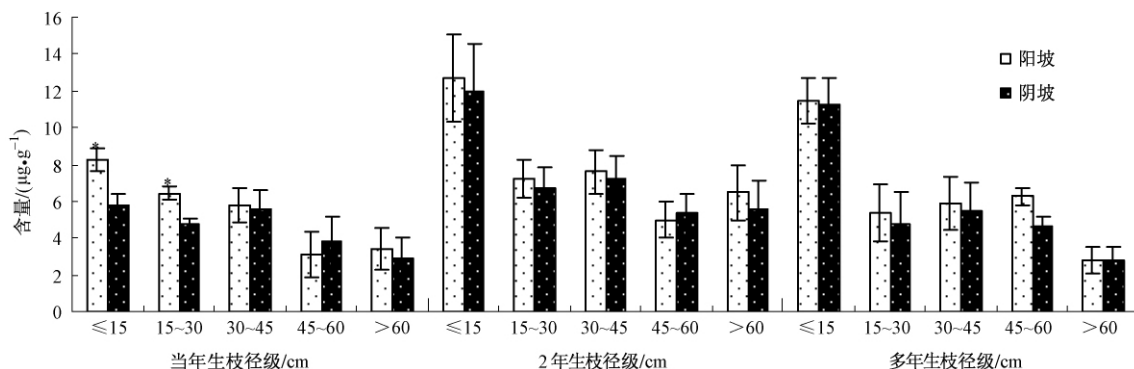


图7 不同坡向天然东北红豆杉枝中紫杉醇含量

Fig. 7 Paclitaxel content in the branches of natural Japanese yew with different slope aspects

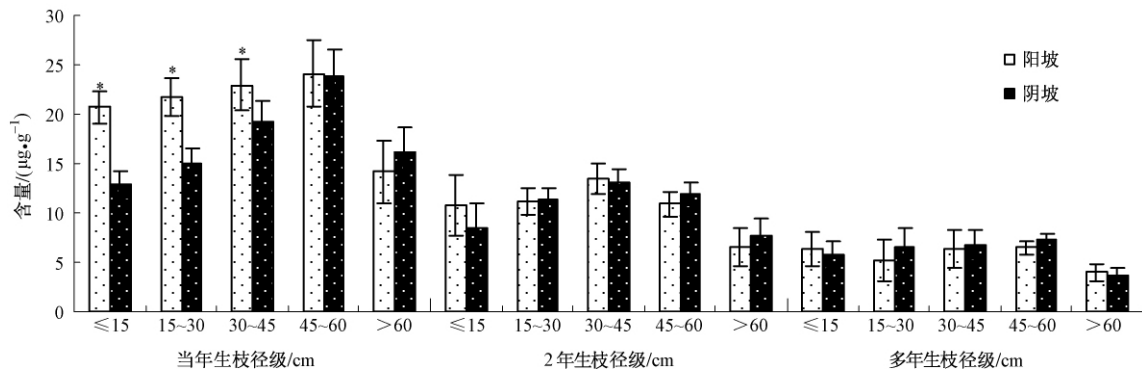


图8 不同坡向天然东北红豆杉枝中三尖杉宁碱含量

Fig. 8 Cephalomannine content in the branches of natural Japanese yew with different slope aspects

尽管结果不完全一致,但紫杉醇含量都是呈先上升后下降的趋势,这可能是红豆杉属植物共同的特征。

2) 雌株和雄株枝中两种紫杉烷类物质在径级 < 60 cm (树龄 < 380 年) 时含量没有显著差异,而在径级 > 60 cm (树龄 > 380 年) 时雌株枝中两种紫杉烷类物质含量低于雄株。

前人的一些研究结果与本文相似,其中,Fett-Neto 等^[22]对东北红豆杉的研究以及 Nadeem 等^[10]对喜马拉雅红豆杉 (*T. wallichiana*) 的研究都认为雌株和雄株间紫杉醇含量没有显著差异;但他们的研究都只限于较小径级的植株,而且径级范围窄。东北红豆杉雌株和雄株的生物学特性不同,随着树龄的变化,它们之间的生理变化也一定是不同的。雌株结实过程中,需要分配更多的生物量用于繁殖过程^[23]。而这种高生殖投入往往以雌株降低其随后的营养生长为代价^[24]。这必然会同时导致对次生代谢的影响。本实验结果显示了在较大径级时,雌株枝中两种物质含量确实低于雄株。

3) 天然东北红豆杉在生长季,枝中紫杉烷类物质的含量整体呈先上升后下降并趋于稳定的变化趋势,其中紫杉醇含量在 8、9 月最高,而三尖杉宁碱含量在 7、8 月最高。

红豆杉中紫杉醇及其衍生物含量随季节而变化,之前已有研究,但与本实验的结果并不完全一致。例如:张凤梅等^[13]研究表明,东北红豆杉叶中紫杉醇含量在 7 月最高;张鸿等^[25]认为采集于 4 月份的云南红豆杉树皮中紫杉醇含量明显高于采集于 9 月的样品;付玉杰等^[26]认为东北红豆杉枝中紫杉醇含量在 7 月最高,8 月最低。造成各研究结果不一致的原因可能有以下几点:首先,研究选用的树种不同;其次,研究的部位不同;第三,各地的气候条件不同。这都会对紫杉醇含量产生影响,也正因为以上的条件不统一,因此无法与本实验的结果相对比。另外,研究结果差异如此之大,也说明了紫杉醇含量受各方面因素的影响很大,表明如果能够掌握紫杉

醇含量的变化规律,通过提供适当的条件来获得较高紫杉醇产量的红豆杉植株是可行的。

4) 在不同坡向上,中小径级的天然东北红豆杉枝中 2 种物质含量在阳坡高于阴坡,而在较大径级时无明显差异。

坡向是影响天然东北红豆杉分布的重要立地因子。本实验中的结果显示,在中小径级东北红豆杉的当年生枝中,阳坡 2 种物质含量高于阴坡,表明生长在阳坡有利于枝中紫杉烷类物质的合成。Kelsey 等^[27]对短叶红豆杉 (*T. brevifolia*) 以及张鸿等^[25]对云南红豆杉树皮中紫杉醇含量做了相关研究,认为遮蔽的生长环境有利于红豆杉树皮中紫杉醇的积累,表明在红豆杉植株中不同部位紫杉烷类物质积累的特点是不同的。天然东北红豆杉生长缓慢,对其可再生部位合理的利用有利于资源的保护;因此对枝中紫杉烷类物质积累规律的研究十分必要,而这正是以往的研究中较少涉及的。通过分析,我们认为在东北红豆杉植株中,紫杉醇或紫杉醇的前体在枝叶中合成,而在皮中贮藏,阳坡相对强的光照有利于枝中紫杉醇的合成,而阴坡的遮蔽条件有利于皮中紫杉醇的积累,这样就很好地解释了本实验和前人实验的结果;但这只是推测,还有待于进一步研究。

总体看来,不同年龄、不同性别、不同营养时期和不同坡向的东北红豆杉枝中两种紫杉烷类物质含量差异很大;因此,在以紫杉醇为目的的东北红豆杉人工种植中,选择合适的种植地点,给予植株适当的光照,一方面有利于紫杉烷类物质的合成,另一方面有利于植株生物量的积累。在选择小苗时,可以不予考虑雌雄株的差异,以节约种植成本。在采收时,因为在一定年龄内,植株生物量和紫杉醇含量都随树龄增加而增加;但由于东北红豆杉生长缓慢,还要考虑种植年限和种植茬数的最优组合。另外,由于枝叶的再生能力较强,因此还可以考虑在不对植株造成严重伤害的前提下,在 8、9 月份对东北红豆杉

枝叶等可再生部位进行适当采收。

参 考 文 献

- [1] 周志强, 刘彤, 袁继连. 黑龙江穆稜天然东北红豆杉种群资源特征研究[J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 476-482.
- [2] 田丽红. 紫杉醇研究进展概述[J]. 中国临床医药杂志, 2004(117): 12311-12314.
- [3] YUAN J H, WANG X W, LUO D, et al. Anti-hepatoma activity of taxol *in vitro* [J]. *Acta Pharmacologica Sinica*, 2000, 21(5): 450-454.
- [4] 李媛, 李振宇. 天然抗癌药物: 紫杉醇[J]. 中山大学研究生学刊: 自然科学·医学版, 2006, 27(4): 58-62.
- [5] 许学哲. 紫杉醇提取分离方法的研究[J]. 延边大学学报: 自然科学版, 1998, 24(1): 42-44.
- [6] 郑德勇. 我国3种红豆杉各部位紫杉醇含量的比较[J]. 福建林学院学报, 2003, 23(2): 160-163.
- [7] 张鸿, 杨明慧. 国产红豆杉各部位紫杉醇含量分析[J]. 中草药, 2000, 31(6): 434-435.
- [8] VAN ROZENDAAL E L M, LELYVELD G P, VAN BEEK T A. Screening of the needles of different yew species and cultivars for paclitaxel and related taxoids[J]. *Phytochemistry*, 2000, 53(3): 383-389.
- [9] 苏建荣, 张志钧, 邓疆. 不同树龄、不同地理种源云南红紫杉醇含量变化的研究[J]. 林业科学研究, 2005, 18(4): 369-374.
- [10] NADEEM M, RIKHARI H C, KUMAR A, et al. Taxol content in the bark of Himalayan yew in relation to tree age and sex [J]. *Phytochemistry*, 2002, 60(6): 627-631.
- [11] 王书凯, 陈凡. 东北红豆杉中紫杉醇含量的研究[J]. 林业科技通讯, 1999(7): 19-20.
- [12] LIU G M, FANG W S, QIAN J F, et al. Distribution of paclitaxel and its congeners in *Taxus mairei* [J]. *Fitoterapia*, 2001, 72(7): 743-746.
- [13] 张凤梅. 野生东北红豆杉不同部位和不同生长季节叶中紫杉醇含量测定[J]. 首都医药, 2008(9): 52-53.
- [14] 王昌伟, 仝川, 李文建, 等. 遮光对南方红豆杉生长及紫杉醇含量的影响[J]. 生态学杂志, 2008, 27(8): 1269-1273.
- [15] 周志强, 胡丹, 刘彤. 天然东北红豆杉种群生殖力与开花结实特性[J]. 林业科学, 2009, 45(5): 80-86.
- [16] 郭娜. 天然东北红豆杉中紫杉醇及三尖杉宁碱含量的分布规律[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2009.
- [17] 胡林林. 东北红豆杉树木年代学研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2009.
- [18] DELPH L F. Sex-differential resource allocation patterns in the subdioecious shrub *Hebe subalpina* [J]. *Ecology*, 1990, 71(4): 1342-1351.
- [19] DAWSON T D, EHLENGER J R. Gender-specific physiology, carbon isotope discrimination, and habitat distribution in boxelder, *Acer negundo* [J]. *Ecology*, 1993, 74(3): 798-815.
- [20] CIPOLLINI M L, WHIGHAM D F. Sexual dimorphism and cost of reproduction in the dioecious shrub *Lindera benzoin* (Lauraceae) [J]. *American Journal of Botany*, 1994, 81(1): 65-75.
- [21] BAÑUELOS M J, OBESO J R. Resource allocation in the dioecious shrub *Rhamnus alpinus*: The hidden costs of reproduction [J]. *Evolutionary Ecology Research*, 2004, 6(3): 397-413.
- [22] FETT-NETO A G, DICOSMO F. Distribution and amount of taxol in different shoot parts of *Taxus cuspidata* [J]. *Planta Medica*, 1992(58): 464-466.
- [23] ÅGREN J. Sexual differences in biomass and nutrient allocation in the dioecious *Rubus chamaemorus* [J]. *Ecology*, 1988, 69(4): 962-973.
- [24] NICOTRA A B. Sexually dimorphic growth in the dioecious tropical shrub, *Siparuna grandiflora* [J]. *Functional Ecology*, 1999, 13: 322-331.
- [25] 张鸿, 杨明慧. 影响红豆杉树皮中紫杉醇含量的若干因素[J]. 中草药, 2002, 33(1): 39-41.
- [26] 付玉杰, 李双明, 孙蕊, 等. 东北红豆杉可再生部位紫杉醇含量时空动态变化规律[J]. 植物学通报, 2007, 24(4): 465-469.
- [27] KELSEY R G, VANCE N C. Taxol and cephalomannine concentrations in the foliage and bark of shade grown and sun exposed *Taxus brevifolia* trees [J]. *Journal of Natural Products*, 1992, 55(7): 912-917.

(责任编辑 赵 勃)