

2年生三尖杉生长和2种酯碱种源变异及初步选择

李因刚¹, 周志春¹, 金国庆¹, 廖国华², 余能健³, 王月生⁴

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江富阳 311400; 2. 福建省三明市林业科技推广中心, 福建三明 365000; 3. 福建省明溪县绿色生态研究所, 福建明溪 365200; 4. 浙江省淳安县富溪林场, 浙江淳安 311700)

摘要: 为了探讨三尖杉 *Cephalotaxus fortunei* 幼龄收获阶段生长、干物质积累和药用成分等种源变异和地理模式, 并为福建明溪选育出多个药用优良种源, 在福建明溪、浙江淳安和安吉等 3 个地点开展种源区域试验。研究结果表明, 2 年生三尖杉树高、地径、分枝数、各器官干物质积累量以及枝、叶药用成分均存在显著的种源变异。三尖杉生长和干物质积累量的种源分化可较多地归因于长叶和短叶类型间的差异。较之于短叶类型三尖杉种源, 长叶类型三尖杉种源的生长和干物质积累量大, 其种源间分化也较大。除种源效应外, 栽植地条件对三尖杉生长影响显著。测定结果表明, 不同类型间叶片三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数差异较小, 而枝条 2 种酯碱质量分数差异却较大, 且长叶类型枝条的 2 种酯碱质量分数均值高于短叶类型。相关分析发现, 种源干物质积累量和枝叶 2 种酯碱质量分数较多地受其产地经度的控制, 而与产地纬度的相关性较小。根据福建明溪点的测试结果, 以枝叶三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱产量为选育指标选择出福建武夷山、柘荣等优良药用种源。表 8 参 14

关键词: 林木育种学; 三尖杉; 种源; 三尖杉酯碱; 高三尖杉酯碱; 选择

中图分类号: S722 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2008)06-0749-07

Selecting provenances of *Cephalotaxus fortunei* for superior growth and content of harringtonine and homoharringtonine

LI Yin-gang¹, ZHOU Zhi-chun¹, JIN Guo-qing¹, LIAO Guo-hua², YU Neng-jian³, WANG Yue-sheng⁴

(1. The Research Institute of Subtropical Forestry, The Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China; 2. Extension Center for Forestry Science and Technology of Sanming City, Sanming 365000, Fujian, China; 3. Green Ecosystem Research Institute of Mingxi County, Mingxi 365200, Fujian, China; 4. Fuxi Forest Farm of Chun'an County, Chun'an 311700, Zhejiang, China)

Abstract: To determine variation in geographic growth patterns, dry matter accumulation, and medicinal content of young *Cephalotaxus fortunei* trees and to select superior provenances with high yield for medicinal use in Mingxi of Fujian Province, a provenance test was set up at Mingxi, Fujian Province as well as Chun'an and Anji in Zhejiang Province. Two-year-old seedlings were chosen for random block design with three replications in February, 2005, then branches and leaves were collected in September of 2006 to determine the content of harringtonine and homoharringtonine, and tree height, root collar diameter, number of branches, dry matter accumulation of each organ were measured in December of 2006. A correlation analysis was conducted. Results indicated strong differences ($P < 0.05$) among provenances for tree height, root collar diameter, number of branches, dry matter accumulation of each organ, and content of harringtonine and homoharringtonine in branches and leaves. In addition, differences among long-leaf *C. fortunei* with high growth rate and dry matter accumulation was greater ($P < 0.05$) than among short-

收稿日期: 2007-12-12; 修回日期: 2008-03-26

基金项目: 浙江省科学技术攻关项目(2005C32035)

作者简介: 李因刚, 硕士, 从事林木育种与培育研究。E-mail: hzliy@126.com。通信作者: 周志春, 研究员, 博士, 博士生导师, 从事亚热带重要针阔叶用材树种育种和栽培技术等研究。E-mail: zczhou_risf@163.com

leaf plants. Among the three sites, no differences between harringtonine and homoharringtonine content of leaves were found, whereas harringtonine was significantly greater ($P < 0.05$) in branches. Also, longitude of the seed source was correlated to: 1) dry matter accumulation ($r = 0.423\ 3$, $P < 0.05$), as well as 2) leaf homoharringtonine ($r = 0.505\ 1$, $P < 0.05$) and 3) branch harringtonine ($r = 0.450\ 0$, $P < 0.05$). Overall, for the index of harringtonine and homoharringtonine yield of branches and leaves, superior medicinal provenances such as Wuyishan and Zherong in Fujian Province were selected. [Ch, 8 tab. 14 ref.]

Key words: forest breeding; *Cephalotaxus fortunei*; provenance; harringtonine; homoharringtonine; selection

三尖杉酯类碱是三尖杉 *Cephalotaxus fortunei* 所含化学成分中具有抗癌活性的生物碱。中国迄今已提取分离到 30 ~ 40 种^[1], 其中最重要的是三尖杉酯碱、高三尖杉酯碱、异三尖杉酯碱和脱氧三尖杉酯碱, 它们对动物转移性白血病 P-388 和 L-1210 有抑制作用^[2]。临床上三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱已用于治疗各种类型白血病及部分实体瘤^[3], 同时三尖杉酯碱类药物还可用于治疗多种肾病^[4-6]和眼科疾病^[7]。此外, 三尖杉枝叶提取物及枝叶粉末对松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus*, 花生根结线虫 *Meloidogyne arenaria* 和水稻潜根线虫 *Hirschmanniella* spp. 等均有毒杀作用^[8]。由于三尖杉酯类碱的重要药用价值, 人们试图通过生物和化学合成以及生物反应器等途径来生产, 但其药理活性没有从天然植物中获取的高, 合成能力较低且不稳定^[9]。目前, 三尖杉酯类碱类药物主要来源于三尖杉属植物, 其中三尖杉为我国分布最为广泛, 三尖杉酯类碱含量最高的特有种^[9]。已有研究表明, 不同产地的三尖杉天然林植株其酯类碱相对含量差异较大, 并因不同部位和不同生长时期而有较大的变化^[10]。笔者在三尖杉苗期生长和形态种源差异研究^[11]的基础上, 进一步利用三尖杉多点圃地种源区试林的幼林材料, 系统研究三尖杉幼林收获期生长、干物质积累和枝叶三尖杉酯碱、高三尖杉酯碱质量分数等种源变异及地理模式, 综合筛选一批速生、高药效的三尖杉优良种源用于其短周期药用林经营。

1 材料与方法

1.1 试验材料和设计

试验材料来自设置在福建明溪、浙江淳安和安吉的 2 年生圃地三尖杉种源试验林, 共来自 11 省区的 24 个种源参试^[11]。2005 年 2 月上旬和中旬利用在福建省明溪县培育的 1 年生种源苗, 分别在福建省明溪县南山苗圃、浙江省安吉县白水湾乡山地苗圃和淳安县富溪林场龙门里苗圃营建三尖杉种源试验林。圃地三尖杉种源试验林按完全随机区组设计, 3 次重复, 10 ~ 20 株小区, 株行距为 40 cm × 50 cm。福建明溪、浙江淳安和安吉 3 个地点的参试种源分别为 24, 20 和 19 个。苗木定植后及时用塑料遮阳网搭做荫棚形成庇荫环境, 其透光率相当于全光照的 50%左右, 其他田间管理按正常进行。

1.2 三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数测定与数据调查

根据马彦卿^[12]研究结果, 9 月底为三尖杉植株收获最佳时期, 植株枝叶的三尖杉酯碱、高三尖杉酯碱质量分数最高。鉴于此, 于 2006 年 9 月 20 日利用福建明溪点 2 年生留床的三尖杉种源幼树, 每种源随机取 20 株生长正常的植株, 采集每株的所有叶片和小枝并分别混合, 及时送至福州长富星新药开发有限公司, 用高效液相色谱法^[13-14]测定三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数(按干质量计)。计有全部 24 个种源的叶片样品和 10 个代表性种源的小枝样品供检测。

2006 年 12 月对福建明溪、浙江淳安和安吉等 3 个地点的 2 年生圃地三尖杉种源试验林开展全林调查, 测定指标包括树高、地径和分枝总数等。在福建明溪点, 每种源还挖取 5 株平均大小的 2 年生幼树, 并将植株分成叶、枝、茎和根 4 个部分, 经 105 °C 杀青 30 min, 79 °C 烘干至恒量, 测定各部分的干物质量。

1.3 统计分析

以单株测定值为单元, 开展单点和多点联合方差分析, 以检验种源、地点和种源 × 地点互作等

的显著性。方差分析采用 SAS/GLM 软件，侧枝数经 $(x + 0.5)^{1/2}$ 数据转换。通过种源性状均值与其产地经纬度的相关分析揭示三尖杉种源幼林干物质积累量和三尖杉酯碱、高三尖杉酯碱质量分数等主要性状的地理变异模式。根据福建明溪点的测定结果，以种源单株的三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱产量为综合选择指标，为该地区初选出多个优良药用种源。

2 结果与分析

2.1 三尖杉幼林生长和生物收获量的种源差异

2.1.1 幼林生长种源差异 福建明溪、浙江淳安和安吉等 3 个地点的地点方差分析结果表明(表 1)，三尖杉 2 年生树高、地径和分枝数等生长性状都存在极显著的种源变异，种源间生长遗传分化很大。在浙江安吉点，种源树高和地径分别为 15 ~ 100 cm 和 0.60 ~ 2.60 cm，树高和地径最大和最小种源分别相差 5.67 和 3.33 倍；在浙江淳安点，种源树高和地径则分别为 10 ~ 98 cm 和 0.40 ~ 2.45 cm，树高和地径最大和最小种源分别相差 8.80 和 5.13 倍；福建明溪点不仅水热资源丰富，立地条件也较佳，三尖杉种源 2 年生幼树种生长较好，种源间生长分化相对较小，种源树高和地径变化幅度分别为 24 ~ 106 cm 和 0.47 ~ 1.80 cm，树高和地径最大和最小种源分别相差 3.42 和 2.83 倍。分枝数不仅反映了幼树的生长状况，而且与枝叶的生物收获量

密切相关，从而影响了植株的三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱产量。表 1 显示，种源间分枝总数差异极为显著，福建明溪、浙江淳安和安吉 3 个地点的种源分枝数变幅分别为 2.55 ~ 4.74，1.22 ~ 5.34 和 1.19 ~ 5.05 枝，为三尖杉药用优良种源筛选提供了巨大的空间。

根据苗期资料，不同种源三尖杉的苗木生长和形态差异显著^[11]，而这种差异在幼林阶段保持不变。研究表明，三尖杉种源在幼林阶段的生长分化可较多地归因于类型间的差异。如在福建明溪试验点，长叶和短叶类型的种源分别有 14 个和 10 个种源，长叶类型种源 2 年生平均树高、地径和分枝总数分别为 72 cm，1.05 cm 和 3.48 个，而短叶类型种源则分别为 42 cm，0.83 cm 和 4.50 个，前者分别为后者的 171%，127%和 77%。这说明长叶类型种源幼树高径生长量较大，分枝稀少，短叶类型种源幼树高生长量较小，分枝较多。此外，还发现长叶类型种源的 2 年生树高和地径分化大于短叶类型种源，而分枝总数的种源分化则小于短叶类型种源。

3 个地点的联合方差分析(表 2)显示，2 年生树高、地径和分枝总数的地点和种源 × 地点互作效应都达到了极显著水平。3 个测试点间 19 个共有种源 2 年生生长结果表明，气候和立地条件对三尖杉种源生长影响极其显著，如福建明溪点地处亚热带中部，水热资源丰富，栽植的圃地土壤肥力也较高，其

表 1 不同地点三尖杉种源幼林生长方差分析

Table 1 Growth variance analysis of *Cephalotaxus fortunei* young traits at different sites

地点	性状	均值	变化幅度	变异来源	
				种源	机误
福建明溪	树高/cm	59	24 ~ 106	125 346.517 3**	92.250 1
	地径/cm	0.95	0.47 ~ 1.80	10.015 2**	0.029 0
	分枝总数/枝	3.51	2.55 ~ 4.74	42.871 1**	0.070 3
浙江淳安	树高/cm	40	10 ~ 98	73 179.901 0**	161.052 0
	地径/cm	1.06	0.40 ~ 2.45	11.831 8**	0.096 7
	分枝总数/枝	3.06	1.22 ~ 5.34	16.726 5**	0.292 3
浙江安吉	树高/cm	44	15 ~ 100	29 877.690 9**	123.520 2
	地径/cm	1.56	0.60 ~ 2.60	5.717 3**	0.150 3
	分枝总数/枝	3.60	1.19 ~ 5.05	43.642 5**	0.321 8

说明：浙江淳安、安吉和福建明溪点种源和机误的自由度分别为 19, 367; 18, 306 和 23, 437。+、* 和 ** 分别表示显著性概率为 0.10, 0.05 和 0.01。

表 2 三尖杉 19 个共有种源幼林生长的多点联合方差分析

Table 2 Combining variance analysis of growth of *C. fortunei* young traits for 19 common provenances at three sites

性状	变异来源			
	地点	种源	种源 × 地点	机误
树高/cm	36 819.903**	10 161.404**	735.836**	122.071
地径/cm	36.690**	0.587**	0.363**	0.087
分枝总数/枝	28.022**	1.740**	1.651**	0.219

说明：地点、种源、地点 × 种源和机误的自由度分别为 2, 18, 36 和 1 016。

2年生种源树高平均值为59 cm,较浙江淳安和安吉的40 cm和44 cm分别提高了47.5%和34.1%。三尖杉树高、地径和分枝总数存在显著的种源×地点交互,意味着应分不同地区筛选出适用的优良种源。

2.1.2 干物质积累量种源差异 干物质积累量反映了三尖杉幼树吸收和同化养分能力的大小,是筛选药用优良种源的主要依据之一。表3为福建明溪点三尖杉种源2年生幼树干物质积累量的方差分析结果。结果显示,不管是叶片、枝条、茎和根各器官的干物质积累量,还是植株总的干物质积累量,种源间差异都达到极显著水平,如种源干物质积累量变化为31.96~82.16 g·株⁻¹,最高和最低种源相差157.1%。按不同类型三尖杉种源估算,长叶类型种源幼树叶、枝、茎和根等各器官和总的干物质积累量都不同程度地大于短叶类型种源,长叶类型种源的平均总干物质质量为57.77 g·株⁻¹,较短叶类型种源平均高出17.4%。此外,从表3结果还可以看出,长叶类型干物质积累的种源分化大于短叶类型。

表3 福建明溪点24个三尖杉种源2年生幼树各器官单株干物质积累量方差分析

Table 3 Variance analysis of dry matters accumulation of each organ for two-year-old *Cephalotaxus fortunei* from 24 provenance at Mingxi, Fujian

性状	变异来源		长叶类型种源		短叶类型种源	
	种源	机误	均值	变幅	均值	变幅
叶片干物质/(g·株 ⁻¹)	72.036 2**	1.211 8	14.70	9.84 ~ 27.36	14.22	6.72 ~ 23.04
枝条干物质/(g·株 ⁻¹)	16.441 5**	0.666 5	7.70	4.64 ~ 11.31	6.42	4.06 ~ 9.86
茎干物质/(g·株 ⁻¹)	102.408 1**	2.255 1	15.95	1.03 ~ 24.24	10.03	1.09 ~ 13.92
根干物质/(g·株 ⁻¹)	84.384 7**	2.013 9	19.42	12.50 ~ 31.90	18.53	13.00 ~ 24.75
总干物质/(g·株 ⁻¹)	606.949 4**	14.637 4	57.77	32.91 ~ 82.16	49.20	32.96 ~ 69.18

说明:种源和机误的自由度分别为23和96。

2.2 三尖杉幼林叶片和枝条三尖杉酯碱、高三尖杉酯碱质量分数的种源差异

2.2.1 叶片三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数的种源差异 表4列出了24个三尖杉种源2年生幼树叶片的三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数测定平均值。比较发现,种源间三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱差异很大,分别为18~90和789~2 060 mg·kg⁻¹,质量分数最高的种源分别是最低种源的5.0倍和2.6倍。在所测定的24个种源中计有16个种源的叶片三尖杉酯碱质量分数高于总体平均值,其中以安徽黄山种源最高,为总体平均值的161%,江西修水、庐山,贵州从江,福建将乐和湖南通道等种源的次之,但均大于70 mg·kg⁻¹;对于叶片高三尖杉酯碱质量分数,计15个种源高于总体平均

表4 2年生24个三尖杉种源叶片三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数测定值

Table 4 Harringtonine and homoharringtonine contents of leaves from 24 provenance *C. fortunei* at two-year-old

类型	种源	叶片三尖杉酯碱/(mg·kg ⁻¹)	叶片高三尖杉酯碱/(mg·kg ⁻¹)	类型	种源	叶片三尖杉酯碱/(mg·kg ⁻¹)	叶片高三尖杉酯碱/(mg·kg ⁻¹)	类型	种源	叶片三尖杉酯碱/(mg·kg ⁻¹)	叶片高三尖杉酯碱/(mg·kg ⁻¹)
	安徽黄山	90	1 970		贵州黎平	59	1 640		江西修水	89	1 620
	江西庐山	77	1 740		湖南靖州	58	1 540		湖南通道	70	2 020
	贵州从江	77	1 350		福建明溪	50	1 690		湖南绥宁	67	1 860
	福建将乐	73	1 930		江西于都	26	938		河南洛阳	65	1 890
长叶	江西上饶	68	1 660	长叶	贵州铜仁	22	1 020	短叶	江西井冈山	62	1 610
	福建武夷山	67	1 900		广东平远	20	1 570		湖北恩施	35	867
	江西崇义	64	1 670		浙江诸暨	20	2 060		云南石屏	30	1 240
	贵州锦屏	64	789		均值	56	1 563		四川峨眉	18	1 250
	福建柘荣	61	1 540						均值	55	1 545

值，其中数浙江诸暨和湖南通道 2 个种源最高，分别达 2 060 mg·kg⁻¹ 和 2 020 mg·kg⁻¹，高出总体平均值的 32.31% 和 29.74%，安徽黄山，福建将乐、武夷山，河南洛阳和湖南绥宁等种源的次之。统计结果还表明，2 年生幼树叶片的三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱平均质量分数在长叶类型和短叶类型种源间差异很小，仅分别相差 1 mg·kg⁻¹ 和 18 mg·kg⁻¹。此外，还发现长叶类型种源叶片的三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数相关性较小($r = 0.3003$)，而短叶类型种源叶片的三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数的相关性显著($r = 0.7417$)。

2.2.2 枝条三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数的种源差异 表 5 列出了 10 个代表性种源枝条的三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数测定值。数据表明，较之于叶片，枝条三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数较低，分别为 37 和 1 128 mg·kg⁻¹，仅分别为叶片的 66.1% 和 72.4%。枝条的三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数不仅在种源间，而且在类型间都存在较大差异。枝条三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数以安徽黄山种源最高(70 和 1 850 mg·kg⁻¹)，广东平远种源最低(16 和 787 mg·kg⁻¹)，分别相差 54 和 1 063 mg·kg⁻¹。

类型间比较发现，长叶类型种源的枝条三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数平均值较短叶类型种源分别高出 114% 和 24%。除广东平远种源外，长叶类型种源的三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数都不同程度地高于短叶类型种源。此外，长叶类型种源的枝条三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数变幅远大于短叶类型种源，如三尖杉酯碱变幅为 16 ~ 70 mg·kg⁻¹，极值间相差 338%，高三尖杉酯碱变幅为 787 ~ 1 850 mg·kg⁻¹，极值间相差 135%。

2.3 三尖杉种源干物质积累量和 2 种酯碱质量分数的地理变异模式和性状间相关

相关分析表明(表 6)，2 年生三尖杉种源幼树各器官的干物质积累量和枝叶的三尖杉酯碱、高三尖杉酯碱质量分数与其产地经度多呈较高水平的正相关，而与产地纬度的相关性较小，说明种源干物质积累量和枝叶三尖杉酯碱、高三尖杉酯碱质量分数较多地受其产地经度控制，其中种源枝条干物质积累量、叶片高三尖杉酯碱质量分数和枝条三尖杉酯碱质量分数与产地经度的相关系数达到 5% 显著性水平。较之于中西部种源，来自东部沿海的三尖杉种源具有枝叶生物收获量和三尖杉酯碱、高三尖杉酯碱质量分数高的变异趋势。

表 6 福建明溪点 2 年生三尖杉种源干物质积累量、三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数与产地经纬度的相关系数

Table 6 Correlation between dry matter accumulation, harringtonine and homoharringtonine contents, and the latitude and longitude of their seed source of two-year-old *Cephalotaxus fortunei* provenances at Mingxi, Fujian

产地经纬度	叶片 干物质	枝条 干物质	茎 干物质	根 干物质	叶 三尖杉酯碱	叶片 高三尖杉酯碱	枝条 三尖杉酯碱	枝条 高三尖杉酯碱
纬度	0.026 8	0.034 6	- 0.011 1	0.054 4	0.119 6	0.165 0	0.198 0	0.283 4
经度	0.385 9	0.423 3*	0.349 7	0.330 6	0.257 8	0.505 1*	0.450 0*	0.376 3

说明：种源枝条三尖杉酯碱、高三尖杉酯碱质量分数与产地经纬度相关分析的样本数为 10，其他为 24；* 表示 0.05 水平显著。

表 5 2 年生 10 个三尖杉代表性种源枝条三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数测定值

Table 5 Harringtonine and homoharringtonine contents of branches of two-year-old trees from 10 representative provenance

类型	种源	枝条三尖杉酯碱/ (mg·kg ⁻¹)	枝条高三尖杉酯碱/ (mg·kg ⁻¹)
	安徽黄山	70	1 850
	福建明溪	68	995
	江西崇义	55	979
长叶	贵州黎平	45	1 170
	福建柘荣	25	1 570
	广东平远	16	787
	均值	47	1 225
短叶	四川峨眉	24	993
	湖北恩施	24	826
	云南石屏	21	1 230
	湖南绥宁	19	881
	均值	22	983
	总体均值	37	1 128

表7结果显示,三尖杉枝叶三尖杉酯碱、高三尖杉酯碱质量分数间均呈不同程度的正相关,其中叶片三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱间、叶片三尖杉酯碱与枝条三尖杉酯碱、高三尖杉酯碱间,以及叶片高三尖杉酯碱和枝条三尖杉酯碱间均呈显著的正相关关系。研究还发现,枝、叶干物质积累量间呈显著正相关,但与其双酯碱质量分数多呈不同程度的负相关,枝叶干物质积累量大的种源具有较低双酯碱含量的趋势。

2.4 速生高药用质量分数的三尖杉种源选择

因三尖杉短周期药用林收获的主要是其枝叶,要求其枝叶收获量大、三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数高。由于三尖杉种源枝叶干物质积累量与2种酯碱质量分数多呈不同程度的负相关(表7),这里以种源单株枝叶(或叶片)的2种酯碱产量为综合选择指标,以优选三尖杉药用种源。以福建明溪点当地种源为对照,表8给出了2年生单株叶枝2种酯碱产量较高种源的估算值。结果表明,在全部24个试验种源中,中东部的福建武夷山、河南洛阳、福建柘荣、浙江诸暨和广东平远等5个种源叶片的2种酯碱产量较高,分别超过对照的38.89%,25.20%,23.56%,16.12%和6.50%;在进行枝条三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数测定的10个种源中,仅福建柘荣和安徽黄山等2个种源枝条的三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱产量大于对照,分别较对照高出120.36%和59.16%。若估算枝叶的2种酯碱总产量,则在这10个种源中数地处东部沿海的福建柘荣、安徽黄山和广东平远种源最高,分别大于试验对照的45.16%,11.72%和3.78%。虽然试验未测定福建武夷山、浙江诸暨和河南洛阳种源的枝条2种酯碱,但根据种源枝、叶三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数间显著的正相关性,可以推测这3个种源枝条的三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数皆高于对照,加之这3个种源具有较高的枝条干物质积累量,结果其枝条以及枝叶总的三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱产量都高于试验对照。在24个全部测试的三尖杉种源中,数福建武夷山和柘荣等种源的枝叶2种酯碱总产量最高,河南洛阳、浙江诸暨、安徽黄山、广东平远以及作为试验对照的福建明溪等种源次之。

表8 福建明溪点三尖杉优良药用种源单株枝叶2种酯碱产量

Table 8 Harringtonine and homoharringtonine yields of leaves and branches of superior medicinal provenances selected at Mingxi, Fujian

种源	叶片2种酯碱 产量/(mg·株 ⁻¹)	> ck / %	枝条2种酯碱 产量/(mg·株 ⁻¹)	> ck / %	枝叶2种酯碱总 产量/(mg·株 ⁻¹)	> ck / %
福建武夷山	40.59 9	38.89	—	—	—	—
河南洛阳	36.59 8	25.20	—	—	—	—
福建柘荣	36.11 9	23.56	18.50 2	120.36	54.62 1	45.16
浙江诸暨	33.94 6	16.12	—	—	—	—
广东平远	31.13 2	6.50	7.91 8	-5.70	39.05 0	3.78
安徽黄山	28.67 5	-1.90	13.36 3	59.16	42.03 8	11.72
福建明溪(ck)	29.23 2		8.39 6		37.62 8	

表7 福建明溪点2年生三尖杉种源干物质积累量、三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数间的相关系数

Table 7 Correlation between dry matter accumulation and harringtonine, homoharringtonine contents of two-year-old *Cephalotaxus fortunei* at Mingxi, Fujian

性状	叶片 干物质质量	枝条 干物质质量	叶片 三尖杉酯碱	叶片 高三尖杉酯碱	枝条 三尖杉酯碱
枝条干物质质量	0.605 3+				
叶片三尖杉酯碱	-0.482 8	-0.332 2			
叶片高三尖杉酯碱	-0.624 6+	-0.105 1	0.729 4*		
枝条三尖杉酯碱	-0.162 4	0.043 8	0.633 7*	0.533 6+	
枝条高三尖杉酯碱	-0.329 1	-0.470 3	0.628 3+	0.394 5	0.429 7

说明:种源枝条、叶片干物质积累量和2种酯碱含量相关分析的样本数为10,其他为24。+,*分别表示显著性概率为0.10,0.05。

3 结论与讨论

笔者在三尖杉种源苗期试验的研究基础上^[1]，报道了福建明溪、浙江淳安和安吉等 3 个区试点 2 年生三尖杉种源试验结果。3 个区试点的单点方差分析结果表明，三尖杉幼林树高、地径和分枝数等生长性状在种源间差异都达到了极显著水平，进一步证实了三尖杉存在明显的种源遗传分化。多点联合方差分析结果显示，三尖杉生长性状不仅存在显著的地点效应，而且存在显著的种源 × 地点交互。如福建明溪点因水热资源丰富，立地条件好，2 年生种源树高平均值高达 59 cm，较浙江淳安和安吉点的 40 cm 和 44 cm 分别提高了 47.5% 和 34.1%。除上述生长性状外，三尖杉种源间叶片、枝条等各器官和总干物质积累量差异也很大，不同种源干物质积累量变化为 31.96 ~ 82.16 g·株⁻¹，最高和最低种源间相差 157.1%。三尖杉各种源在幼林阶段仍保持其苗期的长叶或短叶类型不变，幼林种源生长和干物质积累量的分化可较多地归因于类型间的差异。

生物收获量和三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数是三尖杉药用良种选育的 2 个目标性状。除生物收获量外，三尖杉种源的枝叶三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数差异也很大，说明开展三尖杉药用种源选择可取得很好的效果。如叶片三尖杉酯碱最高和最低的种源分别为安徽黄山(90 mg·kg⁻¹)和四川峨眉(18 mg·kg⁻¹)，前者是后者的 5.0 倍；叶片高三尖杉酯碱最高和最低的种源分别是浙江诸暨(2 060 mg·kg⁻¹)和江西崇义(789 mg·kg⁻¹)，前者是后者的 2.6 倍。较之于枝条，三尖杉种源叶片三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数分别高出 51.3% 和 38.1%，加之种源叶片的干物质积累量也较高，种源叶片三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱产量在很大程度上决定了整个植株的产量，应优先选择叶片收获量大、三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数高的种源。虽然长叶和短叶类型种源间的单株生物收获量差异显著，但叶片干物质积累量和三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱质量分数在不同类型种源间却差异较小，应着重种源而非类型的选择。

经与产地经纬度的相关分析发现，三尖杉种源幼树各器官干物质积累量和枝叶三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱含量多受经度的控制，与纬度的相关性较小，来自东部沿海的三尖杉种源具有枝叶生物收获量和三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱含量高的特点。本文基于福建明溪点三尖杉种源试验林 2 年生枝叶生物收获量和三尖杉酯碱、高三尖杉酯碱含量测定结果，以单株枝和叶三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱的总产量为选择指标，初选出福建武夷山、柘荣等几个优良药用种源，可用于三尖杉短周期药用林经营。

参考文献：

- [1] 朱太平. 三尖杉植物生物碱研究及化学分类问题[J]. 植物分类学报, 1979, 17 (1): 7 - 20.
- [2] 中国科学院植物研究所植化室生物碱组. 粗榧生物碱的研究[J]. 植物学报, 1980, 22 (2): 157 - 160.
- [3] SMITH C R, MIKOLAJCZAKS K L, POWELL K G. *Anticancer Agents Based on Natural Product Models* [M]. New York: Academic Press, 1980.
- [4] 钟建庭, 王璇, 刘丽, 等. 小剂量三尖杉酯碱治疗紫癜性肾炎[J]. 中国现代医学杂志, 2002, 12 (4): 47 - 48.
- [5] 钟建庭, 王璇, 刘丽, 等. 小剂量三尖杉酯碱治疗狼疮肾炎[J]. 中华风湿病学杂志, 2004, 8 (1): 42 - 43.
- [6] 钟建庭, 王璇, 刘丽, 等. 小剂量三尖杉酯碱治疗难治性肾病综合征[J]. 中国现代医学杂志, 2005, 14 (9): 152 - 153.
- [7] 李桥, 卞春及. 三尖杉酯碱类药物在眼科应用中的研究进展[J]. 中国中医眼科杂志, 1999, 9 (4): 247 - 249.
- [8] 文艳华, 冯志新, 徐汉虹, 等. 植物抽提物对几种植物寄生线虫的杀线活性筛选[J]. 华中农业大学学报, 2001, 20 (3): 410 - 414.
- [9] 白雪芳, 杜昱光. 抗肿瘤药物——三尖杉酯类碱的开发研究进展[J]. 中国生化药物杂志, 1998, 19 (1): 50 - 52.
- [10] 胡玉熹. 三尖杉生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [11] 焦月玲, 周志春, 金国庆, 等. 三尖杉苗木生长和形态种源差异[J]. 林业科学研究, 2006, 19 (4): 452 - 456.
- [12] 马彦卿. 粗榧和三尖杉中 2 种酯碱的含量测定[J]. 植物学报, 1984, 26 (4): 405 - 410.
- [13] 李晓, 陈秋潮, 朱益民. 用高效液相色谱法测定血清三尖杉酯碱浓度[J]. 上海医科大学学报, 1996, 23 (5): 387 - 388.
- [14] 耿莹莹, 阙慧卿, 邓思珊, 等. 高效液相色谱法测定组织培养株中高三尖杉酯碱的含量[J]. 中国药学杂志, 2006, 41 (2): 238 - 239.