

文章编号:1001-1498(2005)04-0369-06

不同树龄、不同地理种源云南红豆杉 紫杉醇含量变化的研究*

苏建荣, 张志钧, 邓 疆

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224)

摘要:系统采集了10个龄级和12个地理种源的云南红豆杉样品,用高效液相色谱(HPLC)测定树皮、3年生小枝和当年生叶的紫杉醇含量,其平均值分别为0.0048%、0.0040%和0.0151%,3年生枝和叶的紫杉醇含量相近,差异不显著。树皮的紫杉醇含量与年龄存在回归关系: $Y=0.0316 \times e^{0.0067x}$;3年生小枝和当年生叶的紫杉醇含量与树龄不相关,但树龄小于72a时其含量随树龄增加而递增,树龄超过72a和114a后,3年生小枝和当年生叶的紫杉醇含量逐渐减少。12个云南红豆杉地理种源中,新平、宁蒗和泸水种源当年生叶的紫杉醇含量最高,在0.0077%~0.0098%间;兰坪、宁蒗和新平种源3年生小枝紫杉醇的含量最高,在0.0059%~0.0076%间;景东、木里和宁蒗种源树皮的含量最高,在0.0243%~0.0331%间。主成分分析表明,“温度因子”、“营养因子”和“光照因子”对云南红豆杉紫杉醇含量的影响最大。

关键词:云南红豆杉;紫杉醇;含量;树龄;地理种源

中图分类号:S791.49 **文献标识码:**A

Study on the Taxol Content in *Taxus yunnanensis* of Different Age and Different Provenance

SU Jianrong, ZHANG Zhi-jun, DENG Jiang

(Research Institute of Resource Insects, CAF, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: Contents of taxol in barks, 3 years old shoots and 1 year old needles of *Taxus yunnanensis* of 10 ages and 12 provenances were analyzed by HPLC. The average contents of taxol in the barks, 3 years old shoot and 1 year old needles were 0.0048%, 0.0040% and 0.0151% respectively. The contents of taxol in barks had a significantly correlation with age. The contents of taxol in 3 years old shoot and 1 year old needles of the plant had no significant correlation with age. In 12 different *Taxus yunnanensis* provenances, the contents of taxol in 1 year old needles from Xiping, Linlang and Lushui provenances were higher; the contents of taxol in 3 years old shoot from Langping, Linlang and Xiping provenances were higher; the contents of taxol in barks from Jingdong, Muli and Linlang provenances were higher. It was found that temperature, nutrition and sunshine were the most important among six essential factors affecting the content of taxol.

Key words: *Taxus yunnanensis*; taxol; content; age; provenance

收稿日期: 2004-11-16

基金项目: 科技部科研院所公益研究专项“濒危植物云南红豆杉的资源及保护技术研究”(2004DIBJ104)和科技部政府间国际合作项目“长江上游生态系统管理”(2002DFG00017)的部分研究内容

作者简介: 苏建荣(1970—),男,云南永胜县人,副研究员,在读博士生。

*本研究在导师蒋有绪先生的指导下完成,并得到哀牢山自然保护区新平管理局、景东管理局、高黎贡山自然保护区保山管理局、腾冲管理局、百花岭实验站以及双江、泸水、兰坪、鹤庆、香格里拉、宁蒗、大姚、木里等县林业局的大力帮助,在此一并致谢!

紫杉醇 (taxol) 是最具抗癌活性的天然化合物^[1], 现已被 40 多个国家用于卵巢癌、转移性乳腺癌、非小细胞肺癌及卡波氏肉瘤等多种癌症的治疗。据统计, 仅中国的紫杉醇年需求量就在 200 ~ 250 kg 以上^[2]。紫杉醇的可能获取来源共有 4 条途径, 即从人工红豆杉植物中提取、从野生红豆杉植物中提取、以巴可亭 或 10-脱乙酰基巴可亭 为前体人工半合成和红豆杉悬浮细胞培养。由于人工半合成法所需前体依赖红豆杉植物供给, 而且成本极高^[3]; 悬浮细胞培养法技术不成熟, 产量低而不稳定^[4]; 直接利用野生红豆杉植物不但缺乏法律基础, 而且导致资源枯竭, 所以人工栽培红豆杉植物是紫杉醇最主要的来源。

云南红豆杉 (*Taxus yunnanensis* Cheng et L. K. Fu) 因分布广、资源相对丰富^[5] 而成为我国紫杉醇生产的主要树种, 广泛用于云南、四川、重庆等省(市)的紫杉醇原料基地建设。高含量紫杉醇云南红豆杉种源是培育优质、高产紫杉醇原料林的基础。但是, 关于云南红豆杉紫杉醇含量的说法不一, 差异很大, 相关研究较少, 至今尚无系统取样分析资料出现^[6]。生产上, 主要以就近或就地采集插穗的方式培育扦插苗营造原料林。紫杉醇含量的高低已成为原料基地建设关注的焦点。

本研究在系统取样的基础上, 检测不同树龄与不同分布区内云南红豆杉树皮、小枝和叶的紫杉醇含量, 探讨不同树龄、不同地理种源和不同部位云南

红豆杉紫杉醇含量的变化规律, 为云南红豆杉优良种源筛选提供依据, 为紫杉醇原料林的标准化和目标准种植奠定基础, 促进云南红豆杉药用原料林的发展。

1 材料及方法

1.1 材料来源

分析样品采自滇、川两省云南红豆杉自然分布区的 12 个天然居群, 其所在地点与位置如表 1。采样地的气候条件如表 2。气候数据来源于国家气象局气象台站 1951—1980 年间的记录资料^[7], 按海拔每升高 100 m 气温降低 0.5 °C 换算而成。

表 1 取样地点与位置

地点	纬度 N	经度 E	海拔/m
新平县水塘村	24 11	101 22	2 700
景东县利月村	24 30	100 32	2 600
双江县清平村	23 22	99 58	2 540
腾冲县自治村	25 33	98 34	2 600
隆阳区百花岭	25 17	98 38	2 700
泸水县坡西村	26 07	98 34	1 580
兰坪县富和村	26 27	99 14	3 000
鹤庆县马厂村	26 25	100 04	3 040
香格里拉县吉仁电站	27 38	99 29	2 420
木里县阿比甸林场	28 07	101 07	3 315
宁蒗县石门村	27 30	100 32	3 203
大姚县坝口村	26 03	101 04	2 800

表 2 采样地基本气候情况

地点	1月平均气温/ 温/	7月平均气温/ 温/	年平均气温/ 温/	10 的积温/ 温/	年日照时数/ (h a ⁻¹)	年平均降水量/ 量/mm	年相对湿度/%
新平	10.5	21.6	17.4	5 722.8	2 252.4	952.7	75
景东	11.0	23.3	18.4	6 443.4	2 108.0	1 097.2	78
双江	12.6	23.8	19.6	7 108.5	2 226.9	1 020.9	76
腾冲	7.6	19.6	14.9	4 665.0	2 143.6	1 451.9	79
隆阳	8.1	20.9	15.6	4 929.4	2 379.6	974.2	75
泸水	9.1	19.3	15.1	4 737.6	2 049.9	1 203.5	71
兰坪	3.4	17.9	11.3	3 172.5	2 008.7	1 025.0	74
鹤庆	6.4	19.2	13.6	4 004.4	2 314.3	984.0	66
香格里拉	- 3.9	13.2	5.4	1 387.8	2 203.1	624.8	70
木里	4.2	17.0	11.5	3 177.0	2 287.7	823.1	57
宁蒗	4.2	19.4	12.8	3 782.3	2 298.0	925.3	69
大姚	8.9	20.6	15.7	4 875.3	2 534.0	796.3	65

云南红豆杉是国家一级保护植物, 濒危程度高, 种群数量少。研究表明, 其胸径与年龄存在 $Y = 1.02116 X^{0.69857}$ ($r = 0.93118$, $X < 300$, $N = 119$) 的

回归关系(邹光启等, 云南省红豆杉资源研究, 云南省林业调查规划设计院, 1998)。因此, 取样时采用径级结构代替年龄结构, 以免破坏野生资源。另一

方面,由于云南红豆杉树皮和枝叶的紫杉醇含量与植株性别不相关^[8],故采样时不考虑性别因素。样品于2004年10月采集,同时在各居群边界内,随机取土壤表面以下30 cm处土样5个,均匀混合成混合样。土样由云南省农科院植保土肥测试分析中心检测,测定方法为pH值用电位法;有机质按GB9838-1988规定方法;全N用硫酸-双氧水消化,蒸

馏滴定法;全P用硫酸-双氧水消化,钒钼黄比色法;全K用硫酸-双氧水消化,原子吸收法;水解N用碱解扩散法;有效P用NaHCO₃法;有效K用乙酸铵浸提,原子吸收法;有效Zn用DTPA液提取,原子吸收法;有效B用热水浸提,亚甲胺比色法。土壤基本理化性质如表3。

表3 采样地土壤基本理化性质

地点	全 N/ (g kg ⁻¹)	全 P/ (g kg ⁻¹)	全 K/ (g kg ⁻¹)	有机质/ (g kg ⁻¹)	水解 N/ (mg kg ⁻¹)	有效 P/ (mg kg ⁻¹)	有效 K/ (mg kg ⁻¹)	有效 Zn/ (mg kg ⁻¹)	有效 B/ (mg kg ⁻¹)	pH 值
新平	5.56	0.72	5.38	140.1	218.94	6.89	203.07	0.17	0.88	4.61
景东	2.74	0.77	18.67	66.4	242.83	9.07	182.87	1.32	0.81	4.60
双江	5.54	0.61	10.30	124.6	324.24	0.11	265.68	1.55	1.44	4.86
腾冲	9.14	1.41	20.73	219.2	669.44	4.05	378.02	0.85	2.19	4.44
隆阳	5.14	0.60	15.65	137.4	361.76	痕量	244.96	1.78	0.76	5.40
泸水	4.12	0.97	13.94	120.9	251.01	痕量	166.31	0.40	0.62	5.31
兰坪	1.35	0.47	9.92	33.7	104.37	痕量	82.19	0.58	0.57	5.27
鹤庆	10.08	3.05	3.94	296.9	615.66	痕量	265.08	0.37	0.75	4.82
香格里拉	3.05	0.47	1.93	58.3	211.96	痕量	91.14	8.07	0.88	8.04
木里	5.29	0.90	17.00	143.7	354.72	0.02	118.11	3.47	1.17	5.30
宁蒗	4.04	1.09	20.85	85.8	317.47	痕量	209.99	3.73	2.37	4.84
大姚	1.61	0.46	24.74	27.5	118.48	22.21	195.04	1.06	0.37	5.92

不同地理种源紫杉醇含量变化研究中,在各点选择生长健壮、胸径为25 cm的植株,于距地1.2 m主干处剥取大小为20 cm × 30 cm的树皮,然后在树冠中部向阳面取3年生小枝500 g,同时从当年生枝条上采摘500 g当年生叶。树皮、3年生小枝条和叶于干燥、通风处阴干后备用,阴干过程避免阳光照射。

不同树龄紫杉醇含量变化研究中,在四川省木里县阿比甸林场云南红豆杉居群中选取径级分别为5、10、15、20、25、30、35、40、45、50 cm的样株,按前述取样和预处理方法采样,并对样品进行预处理。

1.2 高效液相(HPLC)测定

(1) 样品制备:粉碎阴干样品,干燥处理至恒质量后称质量。样品在索式提取器中以乙醚为溶剂提取回流6 h,提取液浓缩后用甲醇定容。

(2) 仪器:美国惠普公司出产,HP1100。

(3) 试剂:重蒸甲醇、乙腈、二次重蒸水。

(4) 色谱柱:美国VARIAN公司出产;规格:MF-CROSRB-MV™ 4.6 × 250.0 mm C₁₈ 100A。

(5) 色谱条件:检测波长为227 nm;流动相:甲醇-乙腈-水=20:41:39;流速0.6 mL·min⁻¹,进样体积10 μL。

(6) 标准样品:云南汉德生物技术有限公司自制。

(7) 样品测定:用甲醇定溶,10 μL进样量,采用面积外标法计算样品的含量。样品由获美国FDA认证的云南汉德生物技术有限公司测定。

1.3 数据分析

应用SPSS软件进行云南红豆杉不同部位紫杉醇含量与树龄的回归分析,并建立回归方程;影响紫杉醇含量变化的主成分分析(PCA)以及不同部位紫杉醇含量的方差分析与相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同树龄云南红豆杉的紫杉醇含量

不同树龄云南红豆杉当年生叶、3年生小枝和树皮紫杉醇的含量如表4。

表4 不同树龄植株的紫杉醇含量

胸径/ cm	树龄/ a	含量/%		
		叶	小枝	树皮
5	13	0.003 9	0.002 7	0.015 4
10	30	0.004 8	0.003 8	0.018 9
15	50	0.006 6	0.006 4	0.026 9
20	72	0.008 2	0.013 4	0.041 7
25	95	0.005 2	0.004 4	0.024 4
30	119	0.005 8	0.005 2	0.013 2
35	144	0.011 0	0.003 2	0.011 1
40	169	0.005 5	0.005 0	0.011 6
45	196	0.005 6	0.004 2	0.012 0
50	223	0.003 4	0.000 9	0.003 7
(变异系数 CV/%)		36.809	67.844	60.128

不同树龄植株当年生叶紫杉醇含量在0.003 4%~0.011 0%间变化,变异系数为36.809%。144年生植株当年生叶的紫杉醇含量最高,223年生植株当年生叶的含量最低,两者相差3.2倍。72年生植株当年生叶的紫杉醇含量0.008 2%,为次高含量。72 a树龄以下植株当年生叶的紫杉醇含量随着树龄的增加而递增,树龄超过144 a后其含量趋于减少。

不同树龄3年生小枝紫杉醇含量在0.000 9%~0.013 4%间变化,变异系数为67.844%。72年生植株3年生小枝的紫杉醇含量最高,223年生植株3年生小枝的紫杉醇含量最低,两者相差14.9倍。树龄在72 a之前,3年生小枝的紫杉醇含量随着树龄的增加而递增,树龄超过72 a后,3年生小枝的紫杉醇含量呈减少趋势。

不同树龄植株树皮的紫杉醇含量在0.003 7%~0.041 7%间变化,变异系数为60.128%。72年生植株树皮的紫杉醇含量最高,223年生植株树皮的紫杉醇含量最小,两者相差11.3倍。树龄在72 a之前,树皮的紫杉醇含量随着树龄的增加而递增,树龄超过72 a后,树皮的紫杉醇含量呈减少趋势。

回归分析表明,3年生小枝和当年生叶的紫杉醇含量与树龄不相关;树皮的紫杉醇含量与年龄的相关性好,回归方程为:

$$Y = 0.031 6 \times e^{0.006 7x} \quad (r = 0.529, p = 0.017)$$

2.2 不同种源云南红豆杉的紫杉醇含量

2.2.1 紫杉醇含量 不同地理种源云南红豆杉当年生叶、3年生小枝和树皮紫杉醇的含量如表5。

不同地理种源云南红豆杉当年生叶的紫杉醇含量在0.000 2%~0.009 8%间变化,其中以新平种源的最高,香格里拉种源的最低,两者相差49倍。新平、宁蒗和泸水种源的含量均高于0.005 0%;木里、

表5 不同地理种源植株的紫杉醇含量

产地	含量/%		
	叶	小枝	树皮
新平	0.009 8	0.005 9	0.014 0
景东	0.002 9	0.002 9	0.033 1
双江	0.001 7	0.001 4	0.004 9
腾冲	0.001 1	0.000 8	0.004 6
隆阳	0.000 6	0.002 0	0.007 3
泸水	0.007 7	0.000 6	0.017 5
兰坪	0.004 6	0.007 6	0.006 0
鹤庆	0.003 3	0.003 3	0.014 4
香格里拉	0.000 2	0.000 8	0.003 0
木里	0.005 2	0.004 4	0.024 4
宁蒗	0.008 5	0.007 0	0.024 3
大姚	0.001 2	0.002 5	0.009 8
(变异系数 CV/%)	84.275	75.000	70.356

兰坪、鹤庆和景东种源的含量居中,在0.002 9%~0.005 2%间;双江、大姚、腾冲、隆阳和香格里拉种源的含量在0.000 2%~0.001 7%间。

不同地理种源云南红豆杉3年生小枝紫杉醇含量在0.000 6%~0.007 6%间变化,其中以兰坪种源的含量最高,泸水种源的含量最低,两者相差12.7倍。兰坪、宁蒗和新平种源的含量都高于0.005 0%,木里、鹤庆、景东、大姚和隆阳种源的含量居中,在0.002 0%~0.004 4%间;双江、腾冲、香格里拉和泸水种源的含量都低于0.002 0%。

不同地理种源云南红豆杉树皮的紫杉醇含量在0.003 0%~0.033 1%间变化,其中以景东种源的含量最高,香格里拉种源的含量最低,两者相差11.2倍。景东、木里和宁蒗种源的含量皆高于0.020 0%;泸水、鹤庆和新平种源的含量居中,在0.014 0%~0.017 5%间;大姚、隆阳、兰坪、腾冲和香格里拉种源的含量均低于0.010 0%。

不同地理种源云南红豆杉当年生叶、3年生小枝和树皮紫杉醇含量的变异系数分别为84.275%、75.000%和70.356%。当年生叶紫杉醇含量的变异程度最大,3年生小枝含量的变异次之,而树皮含量的变异相对较小。

2.2.2 主成分分析 以采样地的基本气候和土壤理化指标进行影响紫杉醇含量的因子分析表明,前6个主成分的积累贡献率达93.493%,已能反映各因子对含量变化的主要信息,故选前6个主成分进行分析。表6是前6个主成分的指标因子负荷量。

根据主成分中各指标因子负荷量的大小进行指标因子分类。第 1 主成分中负荷量较大的变量是反映热量条件的年平均气温、7 月平均气温、10 的积温、1 月平均气温和纬度,将其认为是“温度因子”。第 2 主成分中土壤有机质含量、全 N 含量、全 P 含量和水解 N 含量等变量的负荷量较大,它们是云南红豆杉生长发育必需的营养生长物质,可将其定义为“营养因子”。第 3 主成分中负荷量较大的变量是年日照时数,它与该成分成正相关,可将其认为是“光照因子”。海拔是第 4 主成分中负荷量较大的变量,其它变量的负荷量则很小,可将其确认为“海拔因子”。第 5、6 成分中,土壤中的全 K 含量和有效 B 含量等变量的负荷量较大,可分别称为“K 因子”和“B 因子”。第 1~6 个主成分的贡献率分别是

34.148%、23.541%、10.983%、9.111%、7.920% 和 7.790%,前 3 个主成分的贡献率较高,合计达 68.671%,说明这 3 个因子对云南红豆杉紫杉醇含量的影响最大,按影响大小的排序为“温度因子”>“营养因子”>“光照因子”。

不同地理种源云南红豆杉紫杉醇含量研究中,香格里拉种源地的年平均气温、7 月平均气温、10 的积温、1 月平均气温都很低;土壤有机质含量、全 N 含量、全 P 含量和水解 N 含量又都很低。表 6 表明,这些指标与紫杉醇的含量正相关。这可能是导致香格里拉种源当年生叶、3 年生小枝和树皮紫杉醇含量均比其它种源紫杉醇含量低的原因之一。当然,还需要结合遗传、生理生态等进行进一步深入研究才能得出准确的结论。

表 6 旋转矩阵中前 6 个主成分因子指标负荷量

项目	主成分					
	1	2	3	4	5	6
经度	0.286	-0.293	0.501	0.603	-0.230	-0.102
纬度	-0.923	0.031	-0.044	0.287	0.154	-0.120
海拔	-0.167	0.121	0.162	0.854	0.085	0.188
1 月平均气温	0.953	0.099	0.073	-0.046	0.155	-0.111
7 月平均气温	0.970	0.006	0.086	0.058	0.083	0.064
年平均气温	0.973	0.065	0.085	-0.013	0.119	-0.008
10 的积温	0.969	0.008	0.084	-0.072	0.027	0.057
年日照时数	-0.017	0.127	0.915	0.240	0.107	0.007
年平均降水量	0.507	0.393	-0.521	-0.325	0.407	0.131
年相对湿度	0.562	-0.106	-0.328	-0.472	-0.180	0.387
pH 值	-0.745	-0.362	0.314	-0.348	-0.289	-0.059
有机质	0.103	0.979	-0.063	0.019	-0.113	-0.011
全 N	0.115	0.964	-0.023	-0.016	-0.104	0.163
全 P	-0.031	0.894	-0.050	0.194	-0.047	-0.184
全 K	0.214	-0.166	0.198	0.064	0.908	0.196
水解 N	0.018	0.935	-0.063	-0.062	0.115	0.289
有效 P	0.324	-0.310	0.657	-0.020	0.355	-0.235
有效 K	0.500	0.666	0.171	-0.220	0.211	0.407
有效 Zn	-0.761	-0.259	0.195	-0.048	-0.265	0.414
有效 B	-0.014	0.287	-0.168	0.178	0.238	0.856
特征值	7.576	4.609	2.732	1.612	1.105	1.065
信息量/%	34.148	23.541	10.983	9.111	7.920	7.790
积累信息量/%	34.148	57.688	68.671	77.782	85.702	93.493

2.3 云南红豆杉不同组织的紫杉醇含量

本次所测云南红豆杉当年生叶、3 年生小枝和树皮的紫杉醇平均含量分别为 0.004 8%、0.004 0% 和 0.015 1%。树皮的紫杉醇含量分别是当年生叶和 3 年生小枝的 3.1 倍和 3.8 倍。方差分析(表 7)表明,云南红豆杉树皮、3 年生小枝和当年生叶的紫杉醇含量差异达到极显著水平($p < 0.001$)。经 Duncan 多重比较检验(表 8)表明,当年生叶和 3 年生小

枝紫杉醇含量的差异不显著,而树皮紫杉醇含量与叶、3 年生小枝紫杉醇含量差异达到极显著水平($p < 0.001$)。

表 7 不同组织紫杉醇含量的方差分析

来源	SS	df	s^2	F	p
时间	0.002	2	0.001	19.890	0.000
组内	0.002	60	0.000		
总体	0.004	62			

表8 不同组织紫杉醇含量的多重比较

部位	叶	小枝	树皮
含量	0.004 8 ^a	0.004 0 ^a	0.015 1 ^b

表中数据为平均值。通过 Duncan 多重比较检验,具有不同字母的处理差异性显著($p < 0.001$)

相关分析表明,云南红豆杉当年生叶的含量与3年生小枝的含量显著相关($r = 0.608, p < 0.05$),而树皮的含量则与前两者的相关性不显著。

3 小结

(1) 云南红豆杉当年生叶、3年生小枝和树皮的紫杉醇平均含量分别为0.004 8%、0.004 0%和0.015 1%。树皮紫杉醇含量与叶、3年生小枝紫杉醇含量差异达到极显著水平,而3年生枝和当年生叶的紫杉醇含量相近,差异不显著。

(2) 云南红豆杉树皮的紫杉醇含量与年龄存在着 $Y = 0.0316 \times e^{0.0067x}$ 的回归关系。3年生小枝和当年生叶的紫杉醇含量与树龄不相关,但树龄在72 a之前含量随树龄增加而递增;树龄超过72 a和114 a后,植株3年生小枝和当年生叶的紫杉醇含量呈减少趋势。

(3) 在12个云南红豆杉地理种源中,新平、宁蒗和泸水种源当年生叶的紫杉醇含量高,在0.007 7%~0.009 8%间;兰坪、宁蒗和新平种源3年生小枝的紫杉醇含量高,在0.005 9%~0.007 6%间;景东、木里和宁蒗种源树皮的紫杉醇含量高,在0.024 3%~0.033 1%间。主成分分析表明,“温度因子”、“营养因子”和“光照因子”对云南红豆杉紫杉醇含量的影响最大。

(4) 有关研究以紫杉醇含量的高低为指标比较、评价云南红豆杉、南方红豆杉(*T. chinensis* var. *mairii* (Lemee et L. é. l.) Cheng et L. K. Fu)和东北红豆杉(*T. cuspidata* Sieb. et Zucc.)的开发、利用价值,得出了一系列不一致的结论^[8~12]。本研究表明,不同树龄、产地和部位的云南红豆杉紫杉醇含量差异变化很大。

因此,以紫杉醇为目标的优良种源筛选、资源评价研究应注意取样的系统性和分析结果的可比性,以便得出全面、可靠的结论。取样设计时,应注意消除个体、地域、立地、树冠部位、年龄、采样时间等差异因素的干扰^[13]。目前,在红豆杉植物的紫杉醇等有效物质含量研究工作中,迫切需要研究制定系统的采样规范,以保证不同研究结果有可比性,推动紫杉醇次生代谢物合成积累规律的研究。

参考文献:

- [1] Crag G M, Scheperat S A, Suffness M, et al. The taxol supply crisis. New NCI policies for handling the large-scale production of novel natural product anticancer and anti-HIV agents[J]. J Nat Prod, 1993, 56: 1657 ~ 1668
- [2] 吴彦, 刘庆, 胡科, 等. 我国红豆杉资源现状和紫杉醇产业化对策[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(6): 515 ~ 520
- [3] Denis J N, Hezari M, Croteau R. A highly efficient, practical approach to natural taxol[J]. J Am Chem Soc, 1988, 110: 5 917 ~ 5 919
- [4] Takeya K. Plant tissue culture of taxoids[A]. In: Itokawa H, Lee K H. Taxus[M]. London and New York, Taylor & Francis. 2003
- [5] 陈振峰, 张文成, 冠玉峰. 我国红豆杉资源及可持续利用对策[J]. 世界科学技术, 2002, 4(1): 106 ~ 109
- [6] 王达明, 周云, 李莲芳. 云南红豆杉抗癌药用成分的含量[J]. 西部林业科学, 2004, 33(3): 12 ~ 17
- [7] 北京气象中心资料室. 中国地面气候资料[M]. 北京: 气象出版社, 1984
- [8] 项伟, 阮德春, 张宏杰, 等. 不同产地云南红豆杉紫杉醇的含量分析[J]. 云南林业科技, 1996, 75(2): 74 ~ 76
- [9] 罗士德, 宁冰梅, 阮德春, 等. 红豆杉及其近缘植物中紫杉醇与同系物的高效液相色谱分析[J]. 植物资源与环境, 1994, 3(2): 31 ~ 33
- [10] 项伟, 阮德春, 张宏杰, 等. 云南红豆杉中紫杉醇和四种紫杉烷类化合物含量[J]. 植物资源与环境, 1997, 6(1): 56 ~ 57
- [11] 郑德勇. 我国3种红豆杉各部位紫杉醇含量的比较[J]. 福建林业学院学报, 2003, 23(2): 160 ~ 163
- [12] 苏应娟, 王艇, 李雪雁, 等. 南方红豆杉不同部位紫杉醇含量的分析[J]. 天然产物研究与开发, 2000, 13(2): 19 ~ 20, 33
- [13] 董娟娥, 梁宗锁. 植物次生代谢物积累量影响因素分析[J]. 西北植物学报, 2004, 24(10): 1979 ~ 1983