

文章编号: 1001-1498(2005)05-0510-06

# 云南红豆杉的地理分布与气候关系<sup>\*</sup>

苏建荣<sup>1</sup>, 张志钧<sup>1</sup>, 邓 疆<sup>1</sup>, 李国松<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224;  
2. 云南哀牢山国家级自然保护区新平管理局, 云南 新平 653407)

**摘要:**在广泛收集云南红豆杉地理分布资料的基础上,利用国际上比较流行的研究植被与气候相互关系的指标和方法,包括 Kira温暖指数、寒冷指数和徐文铎湿度指数, Penman可能蒸散、干燥度, Thomthwaite可能蒸散和水分指数, Holdridg生命地带分类系统指标生物温度和可能蒸散率,以及年平均气温、1月平均气温、7月平均气温、极端最高气温、极端最低气温、10 积温、年降水量和年相对湿度等单一气象因子,研究了云南红豆杉在中国的地理分布及其与气候的关系,讨论了云南红豆杉垂直分布的上限、下限以及北界热量指标状况。通过主成分分析,找出了影响云南红豆杉地理分布的主要因子,按作用大小的排序是:低温条件 >湿度因子 >高温条件 >光照因子。

**关键词:**云南红豆杉; 地理分布; 气候指标

**中图分类号:** S791.49 **文献标识码:** A

## Relationships between Geographical Distribution of *Taxus wallichiana* and Climate in China

SU Jian-rong, ZHANG Zhi-jun, DENG Jiang, LI Guo-song<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Resource Insects, CAF, Kunming 650224, Yunnan, China)  
(2. Xinning Bureau of Ailao Nature Reserve, Xinning 653407, Yunnan, China)

**Abstract:** According to the data on geographical distribution of *Taxus wallichiana* Cheng et L. K. Fu, several indexes widely used for the study of vegetation-climate interaction were applied. These indexes included Kira's warmth index and coldness index, Xu's humidity index, Penman's formula, Thomthwaite's indexes and climate classification, Holdridge's life zone classification system, annual average temperature, mean temperature in January, mean temperature in July, maximum temperature, minimum temperature, 10 accumulated temperature and precipitation. The relationship between the distribution of *T. wallichiana* and climate in China was analyzed and the Kira's water-temperature indexes on distributional upper limit, lower limit and north limit were discussed. The principal component analysis showed that relative effect of climate indexes on the distribution of *T. wallichiana* followed the order thermal factor in coldness month > relative humidity > thermal factor in hotness month > accumulated sunshine time.

**Key Words:** *Taxus wallichiana*; geographical distribution; meteorological indexes

云南红豆杉 (*Taxus wallichiana* Zuce K. Fu) 又名紫金杉、紫杉,起源古老,与罗汉松科 (Podocarpaceae)、粗榧科 (Cephaletaceae)植物具有共同的祖先<sup>[1]</sup>。红豆杉属植物富含的紫杉醇具有独特的抗

收稿日期: 2005-01-15

基金项目: 科技部中科院院所公益研究专项项目“濒危植物云南红豆杉的资源及保护技术研究”(2004D BJ104)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!

癌机理,对卵巢癌、乳腺癌等癌症的单药有效率高达 16%~59%,仅中国的年需求量就在 200~250 kg 以上<sup>[2,3]</sup>。随着紫杉醇在临床上的广泛应用,云南红豆杉因紫杉醇含量高、资源相对丰富<sup>[4]</sup>而遭到严重破坏,濒危程度骤增,曾被国际松杉类专家组(CSG)确定为 3 级渐危种,此后又分别于 1986 年、1993 年和 1999 年被列为云南省二级保护植物、林业部二级保护植物和国家一级保护植物。虽然关于云南红豆杉保护、利用的研究倍受重视,但是对它的地理分布尚无系统研究,鲜见专论文献,有关其地理分布与气候关系的研究亦未见报道。

植物与气候关系的研究具有重要的理论与实际意义,有关研究已从定性描述发展到定量研究。四川大头茶(*Gordonia acuminata* Chang)、水青冈属植物(*Fagus* spp.)等亚热带常绿阔叶林优势种及常见种、“三北”防护林地区主要树种<sup>[5]</sup>:红松(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)、杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、马尾松(*P. massoniana* Lamb.)、珙桐(*Davidia involucre* Bill.)、秃杉(*Taiwania flousiana* Gaussen)等中国主要造林树种和珍稀濒危植物<sup>[6]</sup>地理分布与气候关系的定量研究,为本研究在理论、方法方面奠定了基础<sup>[7]</sup>。

本研究在 2001—2004 年的 3 次野外调查基础上,结合相关文献资料,试图较全面、系统地论述我国云南红豆杉的地理分布,并采用国际上比较流行的研究植被—气候相互关系的指标和方法,综合研究云南红豆杉的地理分布与环境水热状况的关系,为深入研究其生态适应机理和濒危灭绝机制,为保护、恢复野生资源和发展人工原料林提供理论依据和基础资料。

## 1 研究方法

### 1.1 植物分布资料

采用野外调查与室内文献查阅、整理相结合的方法,尽可能全面查清云南红豆杉的现代分布点。2001—2004 年间,对云南省新平县、景东县、双江县、腾冲县、隆阳区、泸水县、兰坪县、云龙县、洱源县、鹤庆县、玉龙县、香格里拉县、宁蒗县、大姚县;四川省木里县、盐源县、西昌县等 17 个县(区)的野生红豆杉分布情况进行了调查。同时,通过中国植物志、相关省份的植物志、植被、森林等有关书籍、学术论文、野外调查记录、地方性植被调查报告、地方性植物名录、自然保护区调查报告、珍稀濒危植物专项

调查报告与资料等,广泛收集野生云南红豆杉的水平分布和垂直分布资料。

### 1.2 气象资料

气象资料来源于国家气象局气象台站 1951—1980 年的记录<sup>[8]</sup>,部分地方按当地气象记录进行了补充。所记录的指标为:经度、纬度、海拔高度、年及各月平均气温、降水量、蒸发量、年相对湿度、日照百分率及风速,均包括年及各月平均值或合计值。读取云南红豆杉分布区范围气象台站的记录,依次计算分布区的气象指标。本研究涉及的气象台站共 31 个。

### 1.3 气候指标

应用国际上比较流行的研究植被与气候相互关系的指标和方法,包括 Kira<sup>[9]</sup>的温暖指数、寒冷指数和徐文铎<sup>[10]</sup>的湿度指数,Penman<sup>[11]</sup>的可能蒸散、干燥度,Thomthwaite<sup>[12]</sup>的可能蒸散和水分指数,Holdridge<sup>[13]</sup>的生命地带分类系统指标生物温度和可能蒸散率,以及年平均气温、1 月均温、7 月均温、极端最高气温、极端最低气温、10 日积温、年降水量、相对湿度等单一气象因子。

按文献[9,10]所示方法计算温暖指数,寒冷指数和徐文铎湿度指数。Penman 指数、Thomthwaite 指数和 Holdridge 指数按张新时等<sup>[14~16]</sup>的方法与程序计算。

### 1.4 气温直减率

以山地气温直减率为 0.5 °C/100 m 进行计算。利用山地已知海拔高度的气候数据,按气温直减率每间隔 100 m 高度计算 1 次,并换算成温暖指数和寒冷指数值。根据垂直分布资料的上限和下限,确定云南红豆杉垂直分布范围内的温暖指数和寒冷指数值及年平均气温值。

### 1.5 热量指数分布的最适范围

在资料充足、可靠的情况下,树种温度分布曲线的范围可以认为是该树种分布最大的水平或垂直分布范围。考虑计算的误差,在热量指标的频数接近于正态分布时,可采用半峰宽(PWH)算法确定树种热量分布的最适范围<sup>[10]</sup>。半峰宽公式为: $PWH = 2.354 \cdot S$ ,最适范围为  $X - 0.5PWH \sim X + 0.5PWH$ ,式中  $S$  为树种热量指数的标准差, $X$  为热量指数的平均值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 云南红豆杉的地理分布

2.1.1 水平分布 云南红豆杉水平分布范围是 23 °

28°~30°19' N, 89°10'~102°16' E, 跨越了中亚热带、北亚热带、暖温带和寒温带等 4 个热量带, 主要分布在滇西、滇西北、滇西南、滇中、川西、藏东南等地区。云南红豆杉的分布以横断山区为中心, 在高黎贡山、怒江上游、澜沧江上游和金沙江上游地区呈连续分布; 向北间断分布于喜马拉雅山和雅鲁藏布江中下游地区; 向南延伸至哀牢山、永德大雪山、滇西南地区、滇中地区一带呈间断分布。它的自然分布还从云南、西藏向西延伸到缅甸北部、不丹、尼泊尔一带。

按行政区划, 云南红豆杉分布于我国的 13 个地(州、市) 38 个县(区)。在云南省境内, 云南红豆杉分布于丽江市的宁蒗县、玉龙县、永胜县; 大理州的云龙县、鹤庆县、剑川县、漾濞县、洱源县、祥云县、永平县、弥渡县、宾川县; 怒江州的泸水县、福贡县、贡山县、兰坪县; 迪庆州的香格里拉县、德钦县、维西县; 保山市的隆阳区、腾冲县; 思茅市的景东县; 临沧市的临沧县、凤庆县、云县、永德县、双江县; 楚雄市的双柏县、大姚县; 玉溪市的新平县等 9 州(市) 30 县。在四川省境内, 云南红豆杉分布于凉山州的木里县、盐源县、西昌市; 甘孜州的九龙县等 2 州 4 县。在西藏自治区境内, 云南红豆杉分布于林芝地区的察隅县、波密县、墨脱县; 日喀则地区的亚东县等 2 地 4 县。

2.1.2 垂直分布 云南红豆杉的垂直分布范围为 1 400~4 300 m, 上限与下限之间相差 2 900 m, 集中分布地带的海拔高度为 2 600~3 300 m。由于云南红豆杉分布区的地形、地貌复杂, 气候多变, 不同分布点的垂直分布情况差异很大, 即使是同一山体两侧的情况也大不一样。野外调查表明, 云南红豆杉在高黎贡山西坡的垂直分布范围仅是 2 800~3 100 m; 在东坡的垂直分布范围则在 1 900~3 600 m。相关分析表明(表 1), 云南红豆杉垂直分布的上限、下限与纬度的线性相关不显著; 下限与经度线性相关不显著, 上限与经度在 0.05 水平上显著线性相关, 从而呈现出垂直分布的上限海拔高度随着经度的增大而升高的趋势。

怒江州的泸水县、福贡县、贡山县一带, 云南红豆杉分布的最低海拔分别是 1 400、1 400 和 1 600 m, 为我国云南红豆杉垂直分布的下限。丽江市的宁蒗县、玉龙县和怒江州兰坪县一带, 云南红豆杉分布的最高海拔分别是 4 300、4 000 和 4 000 m, 为我国云南红豆杉垂直分布的上限。

表 1 云南红豆杉垂直分布上限、下限与纬度、经度的相关系数

	纬度	下限	经度	上限
纬度	1.000			
下限	-0.218 <sup>NS</sup>			
经度	-0.290 <sup>NS</sup>	0.081 <sup>NS</sup>		
上限	0.159 <sup>NS</sup>	-0.299 <sup>NS</sup>	0.348*	1.000

注: \* 为显著相关 ( $P=0.05$ ), NS 为相关不显著,  $n=34$ 。

2.1.3 分布生境 云南红豆杉主要分布在温凉、潮湿、多雾的高山、亚高山缓坡、沟谷、溪流两岸以及阴坡、半阴坡立地, 多在亚高山暗叶针叶林、中山针阔叶混交林、常绿阔叶林内散生或群状生长, 常成为下木第 1 林层。常见的伴生树种有云杉 (*Picea asperata* Mast)、冷杉 (*Abies fabri* (Mast) Craib)、云南铁杉 (*Tsuga dumosa* (D. Don) Eichler)、高山松 (*Pinus densata* Mast)、华山松 (*P. amandi* Franch)、黄背栎 (*Quercus pannosa* Hand - Mass)、川滇高山栎 (*Q. aquifolioides* Rehd et Wils)、槲栎 (*Q. dentata* Thunb)、箭竹 (*Fargesia spathacea* Franch)、滇川小檗 (*Berberis jam esiana* Forrest et W. W. Smith)、槭树 (*Acer* spp.)、杜鹃 (*Rhododendron* spp.) 等。

云南红豆杉对土壤的适应性较强, 在山地红壤、沟谷冲积土、森林棕壤、灰棕壤、高山沟谷冲积土、溪流两侧冲积土均能生长。此外, 也有少量云南红豆杉在石灰岩石砾土上生长。

## 2.2 云南红豆杉分布与气候指标的关系

通过计算得出云南红豆杉分布的各种气候指标。从表 2 可知, 云南红豆杉分布区的年平均气温为 6.756~11.881, 最适范围为 7.830~11.244, 平均值为 9.539; 温暖指数为 39.989~82.872, 月<sup>-1</sup>, 最适范围为 47.301~75.272, 月<sup>-1</sup>, 平均值为 61.287, 月<sup>-1</sup>; 寒冷指数为 -19.123~0, 月<sup>-1</sup>, 平均值为 -7.021, 月<sup>-1</sup>; Holdridge 可能蒸散平均值为 562.064 mm, 生物温度平均值为 9.538; 结合其它指标如徐文铎湿润指数平均值为 16.622, Penman 干燥度平均值为 0.693, Holdridge 可能蒸散率平均值为 0.583, Thomthwaite 水分指数平均值为 57.672, 10 积温平均值为 4 324.634, 年相对湿度平均值为 70.594%, 年日照时数平均值为 2 186.375 h 等来看, 分布区内的水热指标均反映出湿润温凉, 光照充足的共同特点。

表 2 云南红豆杉分布的气候指标

指标	平均值	标准差	最小值	最大值	最适范围	
					下限	上限
1月均温 /	2.242	2.024	-1.520	6.281	-0.140	4.624
7月均温 /	15.061	1.021	13.089	17.805	13.859	16.262
极端最高气温 /	30.547	4.018	16.238	36.937		
极端最低气温 /	-13.595	4.312	-27.020	-5.069		
年均气温 /	9.539	1.449	6.756	11.881	7.834	11.244
10 积温 /	4 324.634	1 529.032	686.700	7 108.500	2 524.964	6 124.305
Kira温暖指数 / ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{月}^{-1}$ )	61.287	11.882	39.989	82.872	47.301	75.272
Kira寒冷指数 / ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{月}^{-1}$ )	-7.021	5.916	-19.123	0.000		
徐文铎湿润指数	16.622	4.078	11.488	29.570		
年降水量 /mm	997.741	234.011	624.800	1 667.600		
年相对湿度 /%	70.594	5.684	57.000	80.000		
Penman潜在可能蒸散 /mm	424.393	91.924	236.496	575.023	316.199	-186.432
Penman干燥度	0.693	0.223	0.169	1.157	0.430	0.956
Thomthwaite可能蒸散 /mm	630.546	50.793	557.604	728.551	570.762	690.329
Thomthwaite热量系数 /cm	63.055	5.079	55.760	72.855	57.076	69.033
Thomthwaite水分指数	57.672	31.151	1.559	146.408		
Holdridge生物温度 /	9.538	1.422	6.880	11.906	7.864	11.211
Holdridge可能蒸散 /mm	562.064	83.783	405.414	701.621	463.452	660.677
Holdridge可能蒸散率	0.583	0.117	0.338	0.753		
日照时数 / ( $\text{h} \cdot \text{a}^{-1}$ )	2 186.375	309.767	1 322.900	2 622.100		
温湿度系数	7.583	1.330	5.661	10.536	6.017	9.148

野外调查发现,云南红豆杉常分布在阴坡、半阴坡、沟谷、溪流两岸等湿度较高的地方。在光照充足的林窗或林分边缘,云南红豆杉生长良好,发育成干形好、高大的乔木,雌株结实量和自然更新的幼苗较多;而在光照不足、湿度较高的冷杉—箭竹群落中,雌株结实量和自然更新的幼苗较少。这些现象从侧面说明了云南红豆杉喜湿、喜光的生态习性。

张新时<sup>[14]</sup>曾按 Penman潜在可能蒸散与干燥度对我国的植被带进行划分,云南红豆杉的潜在可能蒸散与干燥度分别为 424.393 mm和 0.693,属于凉温带针阔混交林带树种。按 Thomthwaite 气候系统<sup>[15]</sup>,云南红豆杉的水分指数是 57.672,热量系数为 63.055 cm,它的分布区气候属于 B<sub>2</sub>B<sub>1</sub> 型,即为中温湿润型。按 Holdridge 生命地带分类系统<sup>[16]</sup>,云南红豆杉分布区的生物温度为 9.538,年降水量为 997.741 mm,可能蒸散率为 0.583,属于冷温带湿润森林生命地带类型中的树种。

从表 2 还可看出,云南红豆杉分布区的 Thomthwaite水分指数, Holdridge可能蒸散率,年降水量的全范围与最适范围都不宽,而且它们的平均值也不低,表明云南红豆杉对水、湿条件的要求很高;热量指标也呈现同样的规律性,由此反映出云南红豆杉分布相对狭窄,生态幅狭小,生态适应性差的特点,这是导致云南红豆杉趋于濒危灭绝的原因之一。

### 2.3 云南红豆杉分布界限的热量状况

如前所述,泸水县、福贡县、贡山县一线是我国云南红豆杉分布的垂直分布下限;宁蒗县、玉龙县、兰坪县一线是分布的垂直上限;九龙县、察隅县、波密县一线是水平分布的北界;双江县、临沧县、永德县一线是水平分布的南界。表 3 列出了云南红豆杉垂直分布上限、下限以及水平分布北界的年平均气温、kira温暖指数和寒冷指数值,研究所用气象站点数各为 3 个,共 9 个。

表 3 云南红豆杉分布界限的热量指标

指标	上限		下限		北界	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
年均温度 /	8.531	0.272	10.829	0.401	8.850	1.286
Kira温暖指数	53.120	1.592	72.074	4.086	56.432	10.148
Kira寒冷指数	-10.648	3.503	-2.099	1.845	-10.601	5.310

寒冷指数是影响森林向上和向北分布最显著的因子。云南红豆杉上限和北界的寒冷指数值较低为 -10.648 和 -10.601, 温暖指数值也较低为 53.120 和 56.432; 下限温暖指数值仅为 72.074, 寒冷指数值为 -2.099, 限制它向上、向北和向下的分布, 从而集中生长在海拔较高、纬度偏北地区, 加之喜湿、喜光的生态习性, 使它成为局限分布于横断山区及其周边的特有树种。

表 3 还表明, 云南红豆杉上限的温暖指数值为 53.120, 要比北界的 56.432 低, 寒冷指数也呈同样的规律, 这也与研究中国水青冈属<sup>[17]</sup>和四川大头茶<sup>[18]</sup>等阔叶树种所发现的规律相同。其原因是温度垂直向上递减率比向北的快, 而且山地气候温差小, 湿度有效性大, 同时随海拔的升高湿度增大。一般而言, 年平均气温、温暖指数、寒冷指数与树种的地理分布越相关, 它们的标准差就越低, 用植物生长季节长度修正后标准差可直接用来比较<sup>[9]</sup>。因此, 可进一步通过比较云南红豆杉与其主要伴生树种热量指数的标准差, 深入研究它的生态适应性与濒危灭绝机制。

#### 2.4 水热指标的主成分分析

采用 SPSS 统计软件对 1 月平均气温、7 月平均

气温、10 月的年均积温、温暖指数、寒冷指数、年降水量、相对湿度、年日照时数这 8 个水热指标进行主成分分析 (PCA), 得出各主成分的负荷量、特征值及信息量。

从表 4 可以看出, 8 项水热指标中, 第 1、第 2、第 3、第 4、第 5 主成分的信息量分别占总信息量的 39.475%、14.401%、13.492%、12.716% 和 11.907%。它们的积累信息量已经占总信息量的 90% 以上, 已能反映各因子影响云南红豆杉分布的主要信息, 所以选用前 5 个主成分进行分析。第 1 主成分中, 1 月平均气温和寒冷指数的负荷值较大, 且两者的差异不大, 故第 1 主成分反映低温期的热量条件, 可定义为“低温条件”; 第 2 主成分以相对湿度的负荷量最大, 其它指标的负荷量较小, 定义为“湿度因子”; 第 3 主成分以高温期的热量条件为主, 定义为“高温条件”; 第 4 主成分以日照时数为主, 定义为“光照因子”; 第 5 主成分以年降水量为主, 定义为“降水因子”。由此可见, 前 4 个主成分对云南红豆杉地理分布的影响最大, 按影响大小的排列次序是: 低温条件、湿度因子、高温条件、光照因子。

表 4 气候水热指标中前 5 个主成分的负荷量

指标	主成分				
	1	2	3	4	5
1 月平均气温	0.967	0.039	0.126	0.034	0.162
7 月平均气温	0.369	-0.037	0.884	-0.279	-0.004
年均积温 (10 )	0.585	0.321	-0.076	0.157	0.240
温暖指数	0.870	0.081	0.414	-0.039	0.056
寒冷指数	0.941	-0.003	0.165	0.054	0.192
年均降水量	0.303	0.290	0.002	-0.288	0.850
相对湿度	0.042	0.944	-0.019	-0.215	0.211
年日照时数	0.096	-0.254	-0.277	0.883	-0.249
特征值	4.068	1.784	1.331	0.452	0.174
信息量 / %	39.475	14.401	13.492	12.716	11.907
积累信息量 / %	39.475	53.875	67.367	80.083	91.990

### 3 小结

(1) 云南红豆杉起源古老, 药用价值很高, 系国家一级保护植物。它分布在滇西、滇西北、滇西南、滇中、川西、藏东南的 13 个地 (州、市) 的 38 个县。水平分布以横断山区为中心, 连续分布在高黎贡山、怒江上游、澜沧江上游和金沙江上游; 向北间断分布在喜马拉雅山、雅鲁藏布江中下游; 向南间断分布在

哀牢山、永德大雪山、滇西南和滇中地区; 向西延伸至缅甸北部、不丹和尼泊尔一带。垂直分布范围为 1 400 ~ 4 300 m, 集中分布地带的海拔为 2 600 ~ 3 300 m。

(2) 云南红豆杉分布区湿润温凉, 光照充足。分布区的年平均气温在 6.756 ~ 11.881 之间, 最适范围为 7.834 ~ 11.244, 平均值为 9.539; 温暖指数在 39.989 ~ 82.872 ·月<sup>-1</sup> 之间, 平均值为

61.287 °C·月<sup>-1</sup>;寒冷指数在 -19.123 ~ 0 °C·月<sup>-1</sup>之间,平均值为 -7.021 °C·月<sup>-1</sup>;年均相对湿度在 57% ~ 80%之间,平均值为 70.594%;年日照时数在 1322.9 ~ 2622.1 h 之间,平均值为 2186.375 h。按 Penman 指数,云南红豆杉属于凉温带针阔混交林带树种;在 Holdridge 分类系统中,它属于冷温带湿润森林生命地带类型树种;在 Thornthwaite 系统中,云南红豆杉分布区的气候属中温湿润型气候。

(3)云南红豆杉上限、下限和北界的寒冷指数值分别为 -10.648、-2.099 和 -10.601,温暖指数分别为 53.120、72.074 和 56.432,呈现出上限的温暖指数值和寒冷指数均比北界的温暖指数值和寒冷指数低的规律,而且不同分布点的垂直分布情况差异很大。

(4)主成分分析表明,4 个因子对云南红豆杉地理分布起主导作用,按作用大小的排序是:低温条件 > 湿度因子 > 高温条件 > 光照因子。

#### 参考文献:

- [1] 吴征镒,王荷生. 中国自然地理(植物地理),上册[M]. 北京:科学出版社,1983:9~13
- [2] Schiff P B, Fant J, How S B. Prm of Microtubule Assembly in Vitro by Taxol[J]. Nature, 1979, 277(22): 665~667
- [3] 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
- [4] 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
- [5] 方精云,唐艳鸿,林俊达,等. 全球生态学:气候变化与生态响应[M]. 北京:高等教育出版社;海德堡:施普林格出版社, 2002: 158~176
- [6] 徐德应,郭泉水,阎洪,等. 气候变化对中国森林影响研究[M]. 北京:科学技术出版社, 1997: 35~74
- [7] 孟猛,倪健,张治国. 地理生态学的干燥度指数及其应用评述[J]. 植物生态学报, 2004, 28(6): 853~861
- [8] 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
- [9] Kira T. On the Altitudinal Arrangement of Climatic Zone in Japan[J]. Kanti-Nougaku, 1984, 2: 143~147
- [10] 徐文铎. 吉良的热量指数及其在中国植被中的应用[J]. 生态学杂志, 1985(3): 35~39
- [11] Penman H L. Estimating Evaporation[J]. Transaction Amer Geophys Union, 1956, 37: 57~94
- [12] Thornthwaite C W. An approach towards a rational classification of climate[J]. Geograph Rev, 1948, 38: 57~94
- [13] Holdridge L R. Life Zone Ecology[M]. Costa Rica: Tropical Science Center, 1967
- [14] 张新时. 植物的 PE(可能蒸散)指标与植被气候分类, (一)几种主要方法与 PEP 程序介绍[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 13(1): 1~9
- [15] 张新时. 植物的 PE(可能蒸散)指标与植被气候分类, (二)几种主要方法与 PEP 程序介绍[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 13(2): 197~207
- [16] 张新时,杨奠安,倪文革. 植物的 PE(可能蒸散)指标与植被气候分类, (三)几种主要方法与 PEP 程序介绍[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1993, 17(2): 97~109
- [17] 洪必恭,安树青. 中国水青冈属植物地理分布初探[J]. 植物学报, 1993, 35(3): 229~233
- [18] 孙凡,钟章成,李旭光. 四川大头茶地理分布与环境水热状况的关系[J]. 热带亚热带植物学报, 1998, 6(4): 315~322