

中国濒危植物华南五针松的地理分布与气候的关系

陶翠, 李晓笑, 王清春*, 崔国发*

(北京林业大学自然保护区学院, 北京 100083)

摘要: 通过实地考察和资料查询, 广泛收集华南五针松的地理分布资料, 同时对分布区范围内 113 个地面气象站的气象数据进行插值分析, 提取华南五针松分布点的气象数据。利用 17 项与植被相关的气候指标, 分析华南五针松地理分布与气候特征的关系, 结果表明, 华南五针松在不同地区的高温条件的变化范围比较小, 低温条件变化范围较大, 但从物种量上来说, 无论是高温条件还是低温条件都偏低, 生长季降水量很丰富, 变化范围较小, 所以华南五针松喜好温凉湿润的生境条件。将华南五针松分布区分为三部分, 即: 南岭山地、南岭以南地区、海南地区, 通过对三个地区相关气候指标的分析, 进一步讨论了华南五针松分布区的气候特征, 结果表明, 相对于降水, 温度是限制其分布的更重要的因子。利用主成分分析方法, 对单一的气候指标进行了数理统计分析, 结果表明, 影响华南五针松地理分布的主要限制因子, 按影响的大小依次为: 温度因子 > 降水因子 > 湿度因子。还讨论了在气候变化的情况下, 华南五针松分布区的变化趋势, 提出了对华南五针松迁地保护地点选择的建议。

关键词: 华南五针松; 地理分布; 气候指标

中图分类号: Q948.2

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2012)06-0577-07

Relationships between Geographical Distribution of Endangered *Pinus kwangtungensis* and Climate in China

TAO Cui, LI Xiao-Xiao, WANG Qing-Chun*, CUI Guo-Fa*

(College of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: According to geographical distribution data of *Pinus kwangtungensis* acquired through field investigation and pre-existing data as well as meteorological data acquired through spatial interpolation of climate factors from 113 meteorological stations in distribution area of *P. kwangtungensis*, seventeen indexes of vegetation-climate interaction were applied to study relationships between geographical distribution of *P. kwangtungensis* and climate in China. Results showed that *P. kwangtungensis* grew well in cool, wet environments. Geographical distribution regions of *P. kwangtungensis* were divided into three parts and according to the climate characteristics of its distribution temperature was a more important limitation on distribution than precipitation. Principal component analysis showed that the relative effect of climate indexes on the distribution of *P. kwangtungensis* followed the order thermal factor in temperature > precipitation > relative humidity. Finally, the article discusses the distribution trend in relation to climate change and provides suggestions for *ex-situ* conservation of *P. kwangtungensis*.

Key words: *Pinus kwangtungensis*; Geographical distribution; Meteorological indexes

华南五针松(*Pinus kwangtungensis*)又名广东松, 是松科松属五针松组常绿乔木, 我国华南地区特有珍稀濒危物种, 国家Ⅱ级重点保护野生植物^[1]。

华南五针松多生长在山顶或山脊, 干材端直, 质地优良、坚实, 是中亚热带至北热带中山地区的优良造林树种^[2]。

收稿日期: 2012-06-11, 修回日期: 2012-08-05。

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项经费(200804001)。

作者简介: 陶翠(1986-), 女, 河南信阳人, 硕士研究生, 主要从事植物生态学研究。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: wangqch@yahoo.com.cn; E-mail: fa6716@163.com)。

前人对华南五针松的研究重点是局部分布区的群落特征及种间关系^[3-6], 还未见有关于华南五针松整体分布与气候关系方面的研究报道。华南五针松主要分布在南岭山脉、南岭以南地区以及海南五指山等地区海拔较高的山地^[7-9], 它能在多种土壤环境中生长, 无论是酸性沙页岩、石灰岩或花岗岩区域都有分布, 但是分布数量较少, 在部分地区也会与其它一些针、阔叶树种形成小片残存的森林或形成纯林^[8]。华南五针松是单维管束松亚属植物, 其分布受到气候、环境等条件的严格制约^[10], 其现代地理分布区虽然范围跨越大, 但呈现出分布零散、数量少、海拔高等特点。

本研究通过对华南五针松现代地理分布与气候关系的定量分析, 探讨华南五针松现代分布区的气候特征, 华南五针松的现代分布与当地气候特征, 尤其是与水热条件之间的关系, 影响华南五针松现代地理分布的限制因子等问题, 预测随着气候变化华南五针松分布区的变化趋势, 以期对华南五针松的迁地保护提供科学依据。

1 研究数据获取及研究方法

1.1 植物分布数据调查及查阅

于2012年3月底至4月在湖南东安舜皇山、广西融水元宝山、广东乳阳林区、海南鹦哥岭等地对华南五针松的水平及垂直分布状况进行实地调查, 并通过查阅中国植物志^[11]、中国树木志^[2]、中国森

林^[12], 相关省份的植物志、植被、森林(广东、广西、贵州、海南、江西、湖南)等有关书籍、学术论文、地方性植被调查报告、地方性植物名录、自然保护区科考报告、珍稀濒危植物专项调查报告与资料等^[13-24], 对华南五针松的水平和垂直分布资料进一步完善。

1.2 气象数据来源

气象资料来源于国家气象局信息中心中国地面气候资料年值、月值、日值数据集^[25], 包括华南五针松分布范围内113个基本、基准地面气象观测站及自动站1951-2004年的记录, 气象站分布见图1所示。由于气象站点的分布数量有限, 且大都分布在县城, 而华南五针松的分布点多在高海拔山区, 因此, 可通过对站点观测数据采用空间插值, 来获取华南五针松分布点的各气象要素值。

根据孟庆香等^[26]的研究结果, 本研究采用普通克里金法对降水量等气象数据进行差值分析, 同时考虑到高程和地形因子对温度的影响, 采用协同克里金法对平均气温、年积温等热量气象因子进行差值分析。

1.3 气候指标及计算方法

选取具有明显生物学意义的气候指标共17项。单一指标包括: 年平均气温(T_{ann})、最暖月平均气温($MTWM$)、最冷月平均气温($MTCM$)、极端最高气温(MAX)、极端最低气温(MIN)、大于10℃年均积温、年降水量(P_{ann})、生长季降水量(P_{4-10})、

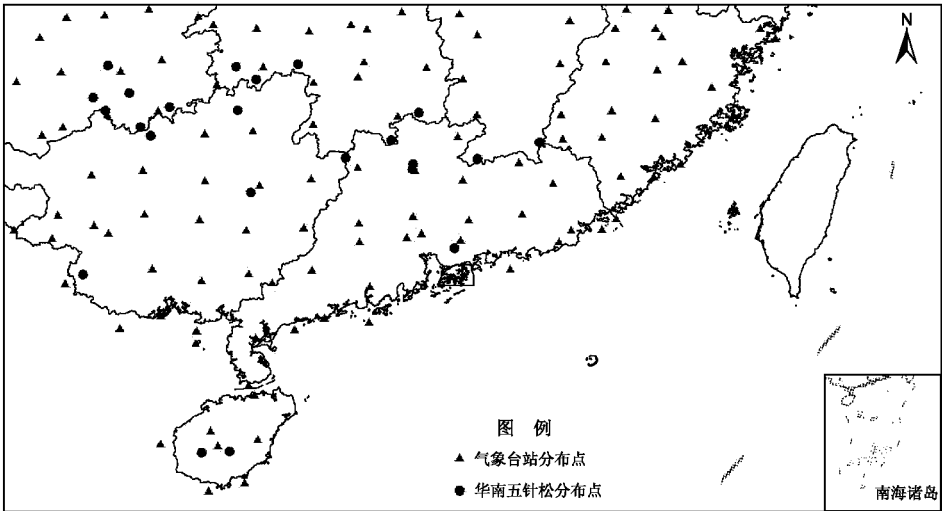


图1 华南五针松地理分布及气象站点位置示意图
Fig. 1 Geographical distribution of *Pinus kwangtungensis* and location of meteorological stations

年相对湿度 (HR)、年日照时数 (SD)；综合指标包括：气温年较差 (ART)、Kira 的温暖指数 (WI)、寒冷指数 (CI)^[27]、Holdridge 的生物温度 (BT) 和可能蒸散率 (PER)^[28]、徐文铎的湿润指数 (HI)^[29]、Bailey 水热综合因子指数 (S)^[30]。

气温年较差 (ART) 是表示月平均气温的变化范围,是气候大陆的指标,即:

$$ART = MTWM - MTCM \quad (1)$$

Kira 的温暖指数 (WI):

$$WI = \sum_{i=1}^{12} (t_i - 5) \quad (2)$$

式(2)中, t_i 是大于5℃的月均温。

寒冷指数 (CI):

$$CI = - \sum_{i=1}^{12} (5 - t_i) \quad (3)$$

式(3)中, t_i 是小于5℃的月均温。

Holdridge 的生物温度 (BT) 及可能蒸散率 (PER):

$$BT = \sum T/12 \quad (4)$$

$$PER = 58.93 BT/P \quad (5)$$

式(4)、(5)中, BT 表示植物出现营养生长范围内的平均温度。其中, T 是0~30℃内的月均温,小于0℃的月均温记为0,大于30℃的月均温记为30。

徐文铎的湿润指数 (HI):

$$HI = P/WI \quad (6)$$

式(6)中, P 是年降水量(mm), WI 是温暖指数。

Bailey 水热综合因子指数 (S):

$$S = \sum_{i=1}^{12} (0.18 P_i / 1.045^i) \quad (7)$$

式(7)中, P_i 是每月降水量(mm), t 是每月均温。

1.4 气温直减率及气候指标的分析方法

根据方精云对我国气温直减率分布规律的研究,利用已知海拔高度的气象台站的气象数据,按0.5℃/100 m的气温直减率,每间隔100 m高度计算一次,由此来确定植物垂直分布范围内的热量指标。对华南五针松分布区17个水热指标进行统计分析,分别计算其最大值、最小值、平均值、标准差,然后利用主成分分析法对单一的气候指标进行分析,确定影响其分布的主导因子^[31,32]。

1.5 热量指标分布的最适范围

一般认为,树种温度分布曲线的范围就是该树种最大的水平或垂直分布范围,考虑到计算过程中的误差或其他因素,可以通过确定热量指标的最适

范围来确定树种的主要分布范围。本研究中,热量分布的最适范围是通过半峰宽 (PWH) 公式获得^[33,34]。即: $PWH_i = 2.354 S_i$,最适范围为 $X_i - 0.5 PWH_i \sim X_i + 0.5 PWH_i$,其中 X_i 为 i 指标的平均值, S_i 为 i 指标的标准差。

2 结果与分析

2.1 华南五针松的地理分布及生境条件

华南五针松是我国五针松中分布最南的树种,在华南地区的南岭山脉广泛分布,另外在南岭以南的部分山地及海南岛也有少量分布;其分布界限北至湖南越城岭,南至海南五指山,西至广西龙州,东至江西寻乌县项山^[2]。华南五针松的水平分布范围为北纬18°~27°,东经106°~116°,垂直分布范围为600~1650 m。其地理分布见图1,具体的分布、纬度及海拔见表1。

由表1可见,从中亚热带到北亚热带,华南五针松都有广泛分布,但分布数量特征及垂直高度却有显著不同。在高纬度的南岭山脉,华南五针松主要集中在中山或山顶,与其他树种形成针阔叶混交林,或形成小片纯林^[8];往南到珠三角地区的银瓶山以及海南岛的五指山、鹦哥岭,只在山顶的矮林灌丛中有分布^[9]。

另外,华南五针松对土壤的要求不高,能在多种土壤中生存,其分布的地貌以山地为主,主要为花岗

表 1 华南五针松在中国的地理分布

Table 1 Geographical distribution of *P. kwangtungensis* in China

省区 Provinces	地理分布 Geographical distribution	纬度 Latitude	海拔(m) Altitude
湖南 Hunan	湖南西部越城岭区域	26°17' ~ 26°37'	590 ~ 1640
	湖南南部的莽山山区	24°53' ~ 25°03'	900 ~ 1600
贵州 Guizhou	贵州中部麻江县	26°50'	1620
	贵州南部云贵高原区	25°09' ~ 25°55'	700 ~ 1050
广西 Guangxi	广西北部云贵高原东南边缘	25°05' ~ 25°39'	940 ~ 1300
	广西中部大瑶山	23°40' ~ 24°24'	1000 ~ 1500
	广西西南部的龙州县	22°22'	900 ~ 1100
江西 Jiangxi	江西南部寻乌、龙南县	24°35' ~ 24°58'	900 ~ 1200
广东 Guangdong	广东北部南岭中段	24°23' ~ 25°22'	900 ~ 1600
	广东南部东莞市谢岗镇	22°53'	800
海南 Hainan	五指山市五指山	18°49' ~ 19°12'	950 ~ 1600

岩、石灰岩山地。华南五针松是阳性树种,其生境条件较为恶劣,常成为建群种或优势种,多生长在接近山顶的针阔叶混交林和山顶矮林的群落中,或在严酷的悬崖陡壁上形成纯林。常见的伴生树种有五列木 (*Pentaphylax euryoides*)、甜椎 (*Castanopsis eyrei*)、疏齿木荷 (*Schina remotiserrata*)、南方铁杉 (*Tsuga tchekiangensis*)、长苞铁杉 (*Tsuga longibracteata*)、福建柏 (*Fokienia hodginsii*)、乌冈栎 (*Quercus phillyraeoides*) 等^[4,6,7]。

2.2 华南五针松分布区的气候特征

利用 ArcGIS10.0 软件对 113 个气象站的各气象要素进行普通克里金插值分析和协同克里金差值分析,然后提取华南五针松各分布点的气象数据,通过计算,得出了华南五针松地理分布的各项气候指标(见表 2)。

由表 2 可知,除极端最低温和寒冷指数,其他的气候指标的变异系数都较低,且最暖月均温、极端最高温和相对湿度的变异系数均小于 0.1,说明华南

五针松分布区各项气候指标的变化范围比较窄,所以,华南五针松对生境条件的要求是比较严格的。相对来说,对高温条件及其他的气候指标的范围要求较小,而对低温条件的范围要求较宽。

华南五针松的分布范围很广,从海南地区到湖南西南部都有分布,但分布点却只集中于部分区域,从整个分布范围来看,华南五针松分布点的高温条件变化并不明显。根据 Kira 的观点,即限制热带和亚热带植物地理分布的热量指标是寒冷指数,而不是温暖指数,因此,相对来说尽管寒冷指数的变化较大,但限制华南五针松分布的热量指标仍然为寒冷指数。这从华南五针松由北向南的海拔逐渐升高的现象中可以看出。表示低温条件的气候指标年最冷月均温范围为 1.2~15.1℃,平均值为 8.0℃,年极端最低温范围为 -8.4~-4.3℃,平均值为 -4.0℃,寒冷指数的范围为 -5.6~0℃,平均值为 -4.0℃,同时,年均温也只有 19.2℃,因此,华南五针松偏好气候温凉的生境。

表 2 华南五针松分布区的气候指标
Table 2 Climatic indexes of *P. kwangtungensis*

指标 Climatic indexes	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	最小值 Min	最大值 Max	变异系数 Coefficient of variance	最适范围 Optional range	
<i>Tann</i>	19.166	2.237	16.644	24.292	0.117	15.415	22.917
<i>MTWM</i>	23.771	2.193	21.213	28.434	0.092	20.094	27.448
<i>MTCM</i>	7.994	2.265	1.213	15.130	0.283	4.146	11.792
<i>MAX</i>	38.191	0.630	37.303	39.114	0.016		
<i>MIN</i>	-4.019	3.474	-8.385	4.309	0.864		
<i>AT</i>	5357.678	785.654	4132.545	6457.012	0.147	4040.163	6675.220
<i>Pann</i>	1537.038	164.474	1288.820	1771.360	0.107		
<i>P₄₋₁₀</i>	1035.723	187.665	995.832	1539.524	0.181		
<i>HR</i>	0.803	0.025	0.760	0.850	0.031		
<i>SD</i>	1466.963	177.235	1220.100	1831.500	0.120		
<i>ART</i>	18.284	3.384	9.782	22.474	0.185		
<i>WI</i>	184.945	20.678	133.389	251.631	0.112	150.268	219.622
<i>CI</i>	-3.972	3.216	-5.677	0.000	0.810		
<i>BT</i>	15.153	2.392	11.834	18.758	0.158	11.142	19.146
<i>PRE</i>	0.577	0.115	0.527	0.816	0.199	0.384	0.770
<i>HI</i>	9.255	1.679	6.085	11.714	0.181		
<i>S</i>	147.310	26.054	94.552	179.053	0.177		

注: *Tann*: 年平均气温(℃); *MTWM*: 最暖月平均气温(℃); *MTCM*: 最冷月平均气温(℃); *MAX*: 极端最高气温(℃); *MIN*: 极端最低气温(℃); *AT*: 大于 10℃ 积温(℃); *Pann*: 年降水量(mm); *P₄₋₁₀*: 生长季降水量(mm); *HR*: 年相对湿度(%); *SD*: 年日照时数(h); *ART*: 气温年较差(℃); *WI*: Kira 温暖指数; *CI*: 寒冷指数; *BT*: Holdridge 的生物温度; *PRE*: 可能蒸散率; *HI*: 徐文铎的湿润指数; *S*: Bailey 水热综合因子指数。下同。
Notes: *Tann*: Annual temperature; *MTWM*: Mean temperature in July; *MTCM*: Mean temperature in January; *MAX*: Maximum temperature; *MIN*: Minimum temperature; *AT*: ≥10℃ Accumulated temperature; *Pann*: Annual precipitation; *P₄₋₁₀*: Precipitation during growing season; *HR*: Relative humidity; *SD*: Sunshine duration; *ART*: Annual range of temperature; *WI*: Kira's warmth index; *CI*: Coldness index; *BT*: Holdridge biology temperature; *PER*: Potential evapotranspiration; *HI*: Xu's humidity index; *S*: Bailey's index. The same below.

另外,通过对热量指标最适范围的确定可以得出,分布在南岭山地以及南岭以南地区的华南五针松,其生境的热量指标处在最适范围之内,所以,单从热量上讲,海南地区已经不是华南五针松的最适生境。

从水分条件来讲,华南五针松分布区的年均降水量为 1537 mm,范围是 1288. 8~1771. 4 mm,其中生长季降水量占年降水量的 70% 以上,其平均值为 1035. 7 mm,年相对湿度平均值为 80. 3%,可能蒸散率平均值为 0. 778。这些指标充分反应出华南五针松喜湿的特点。

按 Holdridge 系统^[28],暖温带与亚热带的界限为生物温度 17℃,华南五针松属于暖温带湿润森林生命地带类型中的树种。张新时根据中国的情况对 Holdridge 系统进行了修改^[35],认为暖温带和亚热带的界限为 14℃,由此,华南五针松应属于亚热带湿润森林生命地带类型中的树种。

为进一步探讨华南五针松分布区的气候特征,将华南五针松分布区分为三个部分,即南岭山地、南岭以南地区、海南地区。分别计算三个地区水平及垂直方向上相关气候指标的平均值及范围,进行对比分析,能更明确地了解限制华南五针松分布的气候原因,结果见表 3。

由表 3 可以看出,无论是表现热量的年均温、温暖指数、寒冷指数还是表现水分的年降水量、相对湿度,自北向南都表现出递增的趋势,而华南五针松自北向南分布也越来越少,越来越零散,海拔也越来越高。

华南五针松的分布特征主要可从两个方面来解释,即:地理和气候原因。南岭是我国南部地区最主要的一条南北走向的山脉,也是我国地理和气候上

最主要的一条分界线。因其对南北气流的运行有一定的阻碍作用,使岭南与岭北的水热状况有一定的差异,而南岭山脉也具有自己独特的地理气候特征^[36]。南岭气候受海洋暖湿气流的影响,温暖潮湿,年平均气温为 18. 7℃,年平均降水量为 1600 mm 以上,良好的水热条件,多变的地形,使之成为各种动植物繁衍生息的理想环境^[37],华南五针松在南岭山脉生长良好。南岭以南地区地势平缓,海拔较低,虽然在温度及降水等气候条件上与南岭同海拔地区差异不大,但仍然不适合华南五针松的生长。海南地区华南五针松的分布特点是高海拔,在山顶形成华南五针松单优群系,由于长期受常风影响,使树木矮小,呈灌木状。

无论是从地理还是气候上分析,都是水热条件作用来影响华南五针松的分布,而其在地理上的分布显示出其喜温凉湿润的特点。虽然水热条件都是影响华南五针松分布的重要因素,但根据其在南岭以南及海南地区高海拔的分布特点可知,相对于水分条件,温度是限制其分布的更重要的因素。

2.3 气候限制因子分析

从前面分析可知,华南五针松的分布受温度、湿度、光照等因子的影响,采用 SPSS 统计软件对最冷月均温、最暖月均温、大于 10℃ 年均积温、温暖指数、寒冷指数、年降水量、生长季降水量、相对湿度、年日照时数 9 个单一水热指标进行主成分分析。先对数据进行标准化,采用 SPSS 默认的 Z-score 标准化方法,然后对标准化的数据进行分析,得出各主成分的负荷量、特征值及贡献率,其结果见表 4。

由表 4 可知,第 1、第 2 及第 3 主成分的贡献率分别为 54. 375%、20. 548%、11. 789%,它们的累积贡献率达到 86. 712%,基本上能反映各因子影响

表 3 华南五针松三个分布区气候指标对比
Table 3 Climatic indices of three *P. kwangtungensis* geographic distribution regions

气候指标 Climatic indices	南岭山地 Nanling region		南岭以南地区 South of Nanling region		海南地区 Hainan region	
	平均值 Mean	范围 Range	平均值 Mean	范围 Range	平均值 Mean	范围 Range
<i>Tann</i>	16.021	13.20 ~ 17.75	18.758	14.650 ~ 20.240	20.675	16.835 ~ 23.378
<i>WI</i>	173.142	135.36 ~ 211.40	180.153	156.67 ~ 208.64	197.991	175.9 ~ 214.7
<i>CI</i>	-3.897	-7.89 ~ 0.00	-1.583	-4.79 ~ 0.00	0.000	0.00 ~ 0.00
<i>Pann</i>	1375.754	1288.80 ~ 1641.0	1465.057	1353.00 ~ 1698.7	1915.650	1392.1 ~ 1771.4
<i>P₄₋₁₀</i>	1087.576	995.80 ~ 1457.5	1233.563	1054.50 ~ 1372.6	1379.325	1173.1 ~ 1439.5
<i>HR</i>	79.857	76.00 ~ 82.0	79.333	78.00 ~ 80.0	81.500	78.0 ~ 85.0

表 4 气候指标中前 3 个主成分的负荷量
Table 4 Load of the first three principal components in climatic indexes

气候指标 Climatic indexes	第 1 主成分 First principal component	第 2 主成分 Second principal component	第 3 个主成分 Third principal component
<i>MTCM</i>	0.984	-0.028	0.087
<i>MTWM</i>	0.355	-0.817	-0.132
<i>AT</i>	0.967	-0.255	0.119
<i>WI</i>	-0.754	0.417	-0.243
<i>CI</i>	0.899	-0.256	0.185
<i>Pann</i>	0.673	0.705	-0.385
<i>P₄₋₁₀</i>	0.815	0.552	-0.077
<i>HR</i>	0.064	0.341	0.862
<i>SD</i>	0.603	0.508	-0.298
特征值 Characteristic value	4.894	1.849	1.061
贡献率(%) Rate of contribution	54.375	20.548	11.789
累积贡献率(%) Accumulating contribution rate	54.375	74.923	86.712

华南五针松分布的主要信息。第 1 主成分中,最冷月均温、寒冷指数以及大于 10℃年均积温的负荷值较大,可定义为“温度条件”;第 2 主成分中,年降水量和生长季降水量的负荷值较大,可定义为“降水因子”;第 3 主成分中,相对湿度的负荷值较大,可定义为“湿度因子”。由此可见,前 3 个主成分对华南五针松地理分布的影响较大,按各因子影响大小进行排序为:温度条件、降水因子、湿度因子。

3 讨论

华南五针松作为单维管束松亚属植物,是一种比较原始、比较古老的物种^[10],在历史上经历了各种气候变迁、环境变化的影响。由前文分析可知,温度条件是决定华南五针松近现代分布的最重要的限制因子,其对高温条件的要求极为严格,偏好温凉的生境。随着全球气候变暖,气候带北移^[38],华南五针松分布的最低海拔将不断上升,南亚热带和北热带地区的华南五针松已经上移至山顶,部分地区已经消失。如气候进一步变暖,气候带进一步北移,高温条件将如洪水般淹没至山顶,分布在低纬度地区的华南五针松将失去其适合的生境^[39],从而使分布区的南界北移。在华南五针松的现代分布区内,降水均比较丰富,所以相对于热量条件来讲,降水条件的影响不是很显著,仅从热量考虑,华南五针松分布的北界应该北移,但由于南岭山脉的阻挡作用,使岭

南岭北的降水有一定的差异,所以,随着气候带北移,华南五针松分布区是否北移,降水对华南五针松分布的影响有多大,还需要进一步研究。

华南五针松的分布区越来越窄,除对生境进行就地保护之外,从长远考虑,迁地保护才是治本之策^[40]。华南五针松的迁地保护可以进行同纬度同海拔迁移,或者向高纬度低海拔地区迁移。同纬度同海拔迁移,各种环境气候比较一致,迁移的成功率较高,向高纬度迁移时,需要考虑的问题就较多。华南五针松迁移地点的选择应充分考虑热量、降水、湿度等几个方面的因素,另外如地貌、土壤、各种小气候等也存在着不确定的因子^[41],由此可以选择南岭以北秦岭淮河以南地区的部分山地作为迁地保护的试点。

4 结论

华南五针松的水平分布范围为北纬 18°~27°,东经 106°~116°,垂直分布的海拔范围为 600 ~ 1650 m。在其分布区内,华南五针松分布的数量随着纬度的降低越来越少,从南岭地区的整片纯林到海南岛非典型山顶灌丛群落;其分布的最低海拔也随着纬度的降低越来越高,从南岭山脉的中山地带到海南的山顶灌丛。华南五针松分布区各项气候指标的波动范围都较窄,对生境的要求比较严格。总的来说,自北向南,随着各种气候指标在数值上的增加,华南五针松分布越来越少,而且海拔越来越高,显示出其喜温凉湿润的特点,而且相对于水分条件,温度是限制其分布的更重要的因素。另外,有 3 个因子对华南五针松地理分布起主导作用,其中,温度条件大于降水因子,降水因子又大于湿度因子。

参考文献:

[1] 于永福. 国家重点保护野生植物名录(第一批)[J]. 植物杂志, 1999(5): 4-11.
[2] 张宏潮,刘先银. 中国树木志[M]. 北京:中国林业出版社, 2004.
[3] 杜道林,刘玉成,苏杰. 茂兰喀斯特山地广东松种群结构和动态初步研究[J]. 植物生态学报, 1996, 20(2): 159-166.
[4] 杨沅志,张璐,陈北光,等. 珍稀濒危植物广东松林的群落特征[J]. 华南农业大学学报, 2006, 27(2): 70-73.
[5] 夏杰,张璐,陈北光,等. 南岭广东松林植物区系及生态特征研究[J]. 华南农业大学学报, 2006, 27(2):

- 78-82.
- [6] 王厚麟, 缪绅裕, 邓敏, 等. 广东乐昌杨东山-十二渡水保护区广东松群落的特征[J]. 生态科学, 2007, 26(2): 115-119.
- [7] 黄练忠, 张尚坤, 陈进, 等. 东莞银瓶山森林公园广东松+红花荷群落的基本特征[J]. 广东林业科技, 2011, 27(5): 13-18.
- [8] 王献浦, 李信贤. 广西环江县石灰岩山地广东松林群落学特点的研究[J]. 植物研究, 1989, 9(3): 77-86.
- [9] 王发国, 张荣京, 邢福武, 等. 海南鹦哥岭自然保护区的特有及珍稀濒危植物与保育[J]. 武汉植物学研究, 2007, 25(3): 303-309.
- [10] 李林初, 钱吉. 两种中国特有松属植物核型的研究兼论松属的系统位置[J]. 云南植物研究, 1993, 15(1): 47-56.
- [11] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第7卷[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [12] 中国森林编辑委员会. 中国森林[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [13] 贵州植物志编委会. 贵州植物志: 第1卷[M]. 贵州: 贵州人民出版社, 1982.
- [14] 钱伟长. 广东植物志: 第4卷[M]. 广东: 广东科技出版社, 2000.
- [15] 中国科学院华南植物研究所. 海南植物志: 第1卷[M]. 北京: 科学出版社, 1964.
- [16] 彭少麟, 陈万成. 广东珍稀濒危植物[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [17] 广东省植物研究所. 广东植被[M]. 北京: 科学出版社, 1976.
- [18] 覃海宁, 刘演. 广西植物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [19] 罗仲春. 波新宁植物[M]. 北京: 中国林业出版社, 2008.
- [20] 邢福武. 中国的珍稀植物[M]. 湖南: 湖南教育出版社, 2005.
- [21] 张莫湘, 李世晋. 南岭植物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [22] 邢福武, 陈红锋, 王发国, 等. 南岭植物物种多样性编目[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2012.
- [23] 温远光, 和太平, 谭伟福. 广西热带和亚热带山地的植物多样性及群落特征[M]. 北京: 气象出版社, 2004.
- [24] 杨道德, 庾庐山, 喻勋林, 等. 湖南东安舜皇山自然保护区综合考察报告集[M]. 湖南: 湖南科学技术出版社, 2011.
- [25] 邹凤玲, 朱燕君. 中国地面气候资料数据集[DB]. 中国气象科学数据共享服务网 <http://new-cdc.cma.gov.cn:8081/home.do>
- [26] 孟庆香, 刘国彬, 杨勤科. 基于GIS的黄土高原气象要素空间插值方法[J]. 水土保持研究, 2012, 17(1): 10-14.
- [27] Kira T. On the altitudinal arrangement of climatic zone in Japan[J]. *Kanti-Nougaku*, 1948, 2: 143-147.
- [28] Holdridge L R. Life Zone Ecology[M]. Costa Rica: Tropical Science Center, 1967.
- [29] 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.
- [30] 王娟, 倪健. 中国北方温带地区5种锦鸡儿植物的分布模拟[J]. 植物生态学报, 2009, 33(1): 12-24.
- [31] 倪健, 宋永昌. 中国青冈的地理分布与气候的关系[J]. 植物学报, 1997, 39(5): 451-460.
- [32] 苏建荣, 张志钧, 邓疆, 等. 云南红豆杉的地理分布与气候关系[J]. 林业科学研究, 2005, 18(5): 510-515.
- [33] 洪必恭, 李绍珠. 江苏主要常绿阔叶树种的分布与热量关系的初步研究[J]. 生态学报, 1981, 23(2): 105-110.
- [34] Yim Y J. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean peninsula (Ⅲ), distribution of tree species along the thermal gradient[J]. *Jap J Ecol*, 1977, 27: 177-189.
- [35] 张新时. 植被的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.
- [36] 薛丽芳, 王春林, 申双和. 奥北南岭精细化气候资源分布及区划研究[J]. 中国农业气象, 2011, 32(S1): 178-183.
- [37] 杨汝荣. 南岭山区的生物多样性和生态系统保护与区域环境安全[J]. 江西农业大学学报, 2000, 22(2): 199-203.
- [38] 方精云, 朱江玲, 王少鹏, 等. 全球变暖、碳排放及不确定性[J]. 中国科学, 2011, 54: 1458-1468.
- [39] Fang J Y, Song Y C, Liu H Y, Piao S L. Vegetation-climate relationship and its application in the division of vegetation zone in China[J]. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44(9): 1105-1122.
- [40] 周瑞. 中国国家重点保护野生植物迁地保护研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2009.
- [41] 吕佳佳, 吴建国. 气候变化对植物及植被分布的影响研究进展[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(6): 85-95.