

中南林业科技大学学报

Journal of Central South University of Forestry & Technology

ISSN 1673-923X，CN 43-1470/S

《中南林业科技大学学报》2026年第9期

Doi:10.14067/j.cnki.1673-923X.2026.09.008

论文标题： 全国杉木王资源现状及其空间分布

作　　者： 丁福明，黄瑜成，余君昊，等

收稿日期： 2025-10-24

引文格式： 丁福明,黄瑜成,余君昊,等.全国杉木王资源现状及其空间分布[J].中南林业科技大学学报，2026,46(9):87-97,110.

Ding F M , Huang Y C, Yu J H, et al. Current status and spatial distribution of Chinese fir king resources in China[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2026,46(9):87-97,110.

相关论文推荐

Recommended articles

基于种实表型性状和SSR标记的杉木2代种子园遗传多样性分析

Genetic diversity analysis of 2-generation seed orchard of *Cunninghamia lanceolata* based on phenotypic cone and seed traits and SSR marker

杉木不同世代育种群体遗传多样性回溯分析与核心种质构建

Genetic diversity retrospective analysis and core collection construction for different generations of *Cunninghamia lanceolata* breeding population

杉木育种群体遗传多样性评价及核心种质构建

The evaluation of the genetic diversity of breeding populations and construction of a core collection of *Cunninghamia lanceolata*

亚热带杉木人工林单木径向生长对气候变化的响应

Optimization of forest canopy closure estimation model based on spaceborne photon counting LiDAR data

间伐保留密度对基于大径材培育下杉木人工林生长和材种结构的影响

Effects of thinning retention density on growth and wood species structure of Chinese fir plantation based on large-diameter timber cultivation

杉木林改造后空间结构与土壤水源涵养功能动态变化及其关系

Dynamic changes and their relationship of spatial structure and soil’s water conservation function in *Cunninghamia lanceolata* forest after stand improvement

Doi:10.14067/j.cnki.1673-923x.2026.09.008
http: //qks.csuft.edu.cn

全国杉木王资源现状及其空间分布

丁福明[1, 2]，黄瑜成[1, 2]，余君昊[1, 2]，潘梦琳[1, 2]，蔡丽平[1, 2]，吴鹏飞[1, 2]，李　明[1, 2]，马祥庆[1, 2]
（1. 福建农林大学 林学院，福建 福州 350002；2. 国家林业和草原局杉木工程技术研究中心，福建 福州 350002）

摘　要：【目的】掌握全国杉木王的资源状况、空间分布及其与环境因子的关系，为全国杉木王资源的保护和利用提供科学依据。【方法】利用 ArcGIS 空间分析法研究全国杉木王的空间分布格局，探讨杉木王分布与海拔、温度等环境因子的相关关系。【结果】全国达到杉木王标准的杉木古树有 278 株，其中达到国家一、二、三级古树标准的杉木分别有 91、101 和 86 株。全国不同分布区杉木王资源数量存在较大差异，其中 54.32% 的杉木王分布在中带东区，38.49% 的杉木王分布在福建省。树龄大于 1 000 a 的杉木王有 18 株，树高大于 40 m 的杉木王有 30 株，胸径大于 2.1 m 的杉木王有 5 株，冠幅大于 20 m 的杉木王有 24 株。全国杉木王呈现显著的空间聚集分布特征，高密度核心区主要集中于闽北、浙南、闽西、闽南及贵桂湘三省交界地带。全国杉木王资源数量与分布区人口密度呈负相关，与分布区河流缓冲区半径呈正相关，其空间分布有明显的区位倾向性，多集中于传统村落低热点区、海拔 600 ～ 900 m 的区域，且绝大部分资源位于林地范围内。全国杉木王树高与所在地的温度因子显著相关，与坡度呈显著正相关；杉木王胸径与分布区海拔呈显著正相关，冠幅与分布区最湿月降水量、海拔存在显著相关，树龄与分布区年均温度、最暖月最高温呈显著负相关。【结论】全国杉木王呈空间聚集分布特征，高密度核心区为闽北、浙南等杉木传统产区，其聚集特征反映了杉木的环境适应性，对杉木古树保护及人工林经营有参考价值。65.10% 的杉木王分布于传统村落热点区，进一步证明传统村落人们长期以来对古树崇拜形成的特有保护意识。

关键词：杉木王；环境因子；资源状况；空间分布
中图分类号：S718.5　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1673-923X(2026)09-0087-11

Current status and spatial distribution of Chinese fir king resources in China

Ding Fuming[1,2], Huang Yucheng[1,2], Yu Junhao[1,2], Pan Menglin[1,2], Cai Liping[1,2], Wu Pengfei[1,2], Li Ming[1,2], Ma Xiangqing[1,2]

(1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China; 2. Chinese Fir Engineering Technology Research Center of National Forestry and Grassland Administration, Fuzhou 350002, Fujian, China)

Abstract:【Objective】This study aims to understand the status, spatial distribution of Chinese fir king resources nationwide and their relationships with environmental factors.【Method】ArcGIS spatial analysis method was used to study the spatial distribution pattern of Chinese fir kings across the country, and the correlations between their distribution and environmental factors such as altitude and temperature were explored.【Result】There are 278 ancient Chinese fir trees meeting the Chinese fir king standard nationwide, among which 91, 101 and 86 trees meet the national first-, second-, and third-class ancient tree standards respectively. The quantity of Chinese fir king resources varies greatly among different distribution regions in China: 54.32% of Chinese fir kings are distributed in the eastern part of the middle zone, and 38.49% in Fujian Province. There are 18 Chinese fir kings with an age over 1 000 years, 30 with a height over 40 m, 5 with a diameter at breast height (DBH) over 2.1 m, and 24 with a crown width over 20 m. The spatial distribution of Chinese fir kings nationwide exhibits a spatial agglomeration characteristic, with high-density core distribution areas covering the junction of northern Fujian and southern Zhejiang, the junction of Guizhou, Guangxi and Hunan, and western and southern Fujian. The quantity of Chinese fir king resources is negatively correlated with the population density of the distribution area, and positively correlated with the radius of the river buffer zone in the distribution area. Most Chinese fir kings are distributed in low-hotspot areas of traditional villages and regions with an altitude of 600-900 m, and the majority grow on forestlands. The height of Chinese fir kings is significantly correlated with local temperature factors and significantly positively correlated with slope; their DBH is significantly

收稿日期（Received）：2025-10-24　　**修订日期**（Revised）：2025-12-16
基金项目：十四五国家重点研发计划项目（2021YFD2201302）。
第一作者：丁福明（81576376@qq.com），硕士研究生。 **通信作者：**马祥庆（lxymxq@126.com），教授，博士，博士研究生导师。
引文格式：丁福明 , 黄瑜成 , 余君昊 , 等 . 全国杉木王资源现状及其空间分布 [J]. 中南林业科技大学学报 ,2026,46(9):87-97,110.
Ding F M , Huang Y C, Yu J H, et al. Current status and spatial distribution of Chinese fir king resources in China[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2026,46(9):87-97,110.

positively correlated with local altitude; their crown width is significantly correlated with local wettest-month rainfall and altitude; and their age is significantly negatively correlated with local annual average temperature and maximum temperature of the warmest month.【Conclusion】Chinese fir kings across China exhibited a spatially clustered distribution, with high-density core areas mainly located in northern Fujian and southern Zhejiang, which are traditional Chinese fir-producing regions. This spatial aggregation reflects the environmental adaptability of Chinese fir and provides valuable references for the conservation of ancient Chinese fir trees and the management of Chinese fir plantations. Moreover, 65.10% of Chinese fir kings were distributed within hotspot areas of traditional villages, further demonstrating that the distinctive awareness of protecting ancient Chinese fir trees, shaped by local people's reverence for these trees, has contributed to their long-term preservation.

Keywords: Chinese fir king; environmental factor; resource status; spatial distribution

古树是指树龄 100 a 以上的树木 [1]，名木是指有重要历史、文化、科学、景观价值或者具有重要纪念意义的树木 [2-3]。古树名木作为自然界和前人留下的珍贵财富，承载了丰富的生态价值、文化底蕴和历史记忆，被誉为“有生命的文物”，是重要的物种资源、景观资源和生态资源 [4-6]。因此，近年来国家对古树名木资源保护非常重视，先后出台了《全国古树名木普查建档技术规定》[7]、《古树名木保护条例》[8]，补齐了古树名木保护领域国家层面的制度短板。各地方亦陆续配套出台针对性措施，如广东省发布《广东省古树名木保护提升行动方案（2023—2035 年）》[9]、四川省实施《古树名木养护和抢救复壮及管理技术规程》[10] 等，正共同构建古树名木保护新格局。从中央到地方，古树名木保护的制度体系持续完善，技术支撑不断加强。

杉木 *Cunninghamia lanceolata* 是我国南方重要的乡土造林树种，自然分布范围广泛，分布于我国南方 17 个省（区）。由于杉木具有生长快、产量高、材性优等特点 [11]，深受广大林农青睐，被广泛人工栽培，其人工栽培历史已逾 2 000 年。同时，杉木寿命较长 [12]，我国杉木主产区留存了丰富的杉木古树资源 [13]。俞新妥 [11] 将杉木胸径、树高和单株材积分别在 1 m、30 m、10 m^3 以上，或是 3 个指标中至少 2 个满足，另一个指标接近的杉木古树称为杉木王。杉木王作为珍稀古树资源，承载着珍贵的环境历史信息，具有极高的科研、生态与景观价值 [14]，是开展杉木种质资源挖掘、收集及树种气候环境适应性研究的理想试验材料。当前，在国家与地方古树名木保护条例的约束下，针对杉木王的人为破坏和损伤已较罕见，强风、火灾、雷击及病虫害等自然灾害是威胁其存活与健康生长的主要因素。杉木王因树龄长、树冠大、树干高，相较于普通林木对各类灾害更为敏感，极易受到风折、雷击、火烧及病虫害侵害 [15]。伴随着全球气候变化，干旱、森林火灾、雷击等极端灾害频发，进一步加剧了部分杉木王的生存胁迫与濒危风险 [16]。因此，在全球气候变化背景下，如何保护这些珍贵种质资源成为我国林业生产中亟待解决的重大课题。

为保护这些珍贵的杉木王资源，众多学者对我国杉木王资源进行了调查，取得了一些研究成果 [17-18]。俞新妥 [11] 通过对福建杉木王的调查，提出了杉木王的判定标准。马祥庆 [19] 对全国部分杉木王资源进行调查，并拍摄了杉木王的图片，出版了《中国杉木王》专著。李明等 [16] 采集了福建 44 个杉木王种质资源，采用 ISSR 分子标记方法分析了不同杉木王的遗传多样性，揭示了不同杉木王的亲缘关系和种群分布格局。受调查范围及调查时间的限制，以往我国杉木王资源调查区域有限、调查样本不够全面，难以全面掌握全国杉木王资源现状与分布特征，不利于实现对杉木王资源的有效保护。因此，在全球气候变化背景下加强对全国杉木王资源现状和空间分布特征的研究显得极为迫切。

本研究依托国家林业和草原局杉木工程技术研究中心的前期调研成果，采用古树名木资源资料收集和实地调查相结合的方法，开展全国杉木王资源的全面调查，掌握不同地区杉木王资源的数量现状。同时，采用 ArcGIS 空间分析法探讨全国杉木王资源的空间分布特征，分析全国杉木王分布与分布区环境、地貌、河流、人口及传统村落等因子之间的关系，为全国杉木王资源的保护和利用提供科学依据。

1 研究地概况

全国杉木王资源现状的调查范围涵盖全国杉木产区，包括福建、湖南、湖北、江西、广东、广西、贵州、浙江、四川、重庆、云南、安徽、河南、海南、陕西、江苏和台湾 17 个省（区、市）[20]。该分布区主要为亚热带季风气候，年均气温为 12 ～ 23 ℃，年降水量为 1 000 ～ 2 200 mm。根据不同分布区杉木的生长状况、环境条件、生产潜力及气候条件，

将全国杉木产区分为三带五区，即北带西区、北带东区、中带西区、中带中区、中带东区及南带[21]。

2 研究方法

2.1 全国杉木王资源数量现状调查方法

基于2014—2024年我国17个杉木分布省（区、市）的古树名木普查结果，系统梳理17个省（区、市）地方年鉴、历史资料、图书及研究论文中的杉木古树资料，并结合多地的实地调查结果，开展全国杉木王资源现状和空间分布调查。外业调查方法参照《古树名木普查建档技术规定》[7]。

考虑到调查方法及结果的延续性，本研究中杉木王的界定参照俞新妥[11]建立的判定标准。

杉木王单株材积计算公式[17]为：

$$V=\frac{1}{4}D^2\pi Hf \text{。} \quad (1)$$

式中：V为杉木单株材积；D为杉木胸径；H为杉木树高；f为杉木的实验形数。

2.2 全国杉木王分布特征的研究方法

2.2.1 最邻近点指数法

最邻近点指数是衡量点状物在地理空间中邻近程度的地理指标[22]。将全国杉木王的空间地理位置设为点状要素，计算两两最邻近点要素间的平均距离，并将该值与随机分布状态下的平均距离进行比较，以此来分析偏离随机分布的程度。计算公式为：

$$R=\frac{\overline{r_1}}{\overline{r_E}}; \quad (2)$$

$$\overline{r_E}=\frac{1}{2\sqrt{n/A}} \text{。} \quad (3)$$

式中：R为最邻近点指数；$\overline{r_1}$为点之间的实际平均最邻近距离；$\overline{r_E}$为点之间的理论平均最邻近距离；n为点的数量；A为区域总面积。若R=1时，表示全国杉木王为均匀分布；$R>1$时，表示全国杉木王为随机分布；$R<1$时，表示全国杉木王为集聚分布。

2.2.2 点要素核密度分析法

核密度法是判断研究对象空间分布聚集程度的方法，可分析古树资源点要素与其周围因子的聚集趋势，据此分析该区域点要素的分布态势。点要素的核密度估算值越大，则古树资源点空间分布密度越高，表明其保护需求越大[23]。核密度估算的定义为：x_1，x_2，…，x_n视为从密度函数为g的总体中抽取的样本，估算g在某一点x处的g（x）。本研究采用Rosenblatt-Parzen核估计模型[24]进行核密度估算，计算公式为：

$$g(x)=\frac{1}{nh}\sum_{i=1}^{n}k\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \text{。} \quad (4)$$

式中：$g(x)$为点分布的核密度值；n为点数量；k为核密度函数；$x-x_i$为估值点x与样本点x_i的距离；h为核密度测算带宽。

2.3 全国杉木王分布与环境因子关系的研究方法

2.3.1 数据获取

全国杉木王分布点对应的海拔、坡向、坡度、气候、人口、土地利用类型、传统村落等基础数据均取自国内各类公开数据库。全国高程数字模型（Digital elevation model，DEM）来自地理空间数据云网站（http://www.gscloud.cn/），分辨率为30 m；海拔、坡向、坡度等数据通过全国高程数字模型提取；10个生物气候数据（5 km）来自世界气象数据库（http：//www.worldclim.org/）；不同分布区人口密度数据（1 km）来自全球动态人口数据（https://landscan.ornl.gov/）；土地利用类型数据（30 m）通过Globeland30数据网（www.globeland30.org）获取；全国传统村落数据从传统村落网（http://www.chuantongcunluo.com/）获取。以上数据均取自2023年。

2.3.2 冷热点分析法

冷热点分析主要用于识别地理空间数据中值的聚集模式，即计算某一点在给定距离d范围内与其他点之间的空间关联程度[25]。结合杉木王分布与传统村落冷热点分析，统计不同冷热点区域的杉木王存量。计算公式为：

$$G_i=\sum x_iW_{ij}/\sum x_j; \quad (5)$$

$$Z=G_i-E(G_i)/\sqrt{\mathrm{var}(G_i)} \text{。} \quad (6)$$

式中：G_i为第i个空间单元的Getis-Ord统计量，用于表征该空间单元领域内属性值的空间聚集程度；x_i、x_j分别表示i区域和j区域传统村落的数量；W_{ij}表示空间权重函数；E（G_i）为G_i期望值；var（G_i）为G_i方差。本研究基于区域Z值的自然断点法，按Z值从低到高的梯度依次划分为6个等级，对应传统村落空间分布的6种类型，分别为高冷点区（−1.467 ～ −0.522）、次冷点区（−0.522 ～ 0.503）、低冷点区（0.503 ～ 1.974）、

低热点区（1.974 ～ 3.910）、次热点区（3.910 ～ 6.744）、高热点区（6.744 ～ 13.836）。

2.3.3 叠置分析法

叠置分析是通过对两层及以上地图要素的叠加与融合生成新的图层，进而揭示不同图层综合要素间的内在关联。本研究将全国杉木王的点状要素与中国数字高程模型、人口分布、传统村落分布、河流缓冲区、地形地貌等要素图层进行融合叠置，由此分析全国杉木王分布与环境因子之间的关系。

2.4 数据分析与统计

采用 Excel 2016 软件进行杉木王资源数量统计；采用 Origin 2024 软件绘制杉木王生长特征分布图；采用 SPSS 23.0 软件进行杉木王生长状况与环境因子的相关性分析；采用 ArcGIS 10.8.1 软件进行核密度分析、叠置分析，并绘制杉木王分布与环境因子的关系图。

3 结果与分析

3.1 全国杉木王资源的数量特征

基于全国 17 个杉木天然分布省（区、市）的古树名木调查数据，共记录杉木古树资源 3 532 株。其中，达到杉木王标准的杉木古树 278 株，占全国杉木古树数量的 7.87%（表 1）。根据国家古树名木保护等级标准 [7]，达到一级保护标准（树龄≥ 500 a）的杉木王有 91 株，占全国杉木王数量的 32.73%；达到二级保护标准（300 a ≤ 树龄＜ 500 a）的杉木王有 101 株，占全国杉木王数量的 36.33%；达到三级保护标准（树龄≤ 300 a）的杉木王有 86 株，占全国杉木王数量的 30.94%。

不同省份杉木王资源数量存在较大差异，其中以福建省的杉木王数量最多，有 107 株，占全国杉木王总数的 38.49%；其次是广西壮族自治区，有 40 株，占全国杉木王总数的 14.39%；位居第三的是湖南省，有 36 株，占全国杉木王总数的 12.95%；排名第四的是浙江省，有 29 株，占全国杉木王总数的 10.43%；江西、四川、贵州、湖北杉木王数量分别占全国杉木王总数的 5.75%、4.68%、4.68% 和 4.31%；广东、云南、安徽杉木王数量分布较少，分别占全国杉木王总数的 2.52%、1.08% 和 0.72%；陕西、江苏、河南、重庆、台湾及海南无杉木王分布。

我国杉木的分布一般分为三带五区 [21]。从我国三带五区的杉木王分布情况（表 2）看，杉木王在不同分布区的资源数量不均匀，其中以中带东区分布最多，达 151 株，占全国杉木王总数的 54.32%；其次为中带中区，有 95 株，占全国杉木王总数的 34.17%；位居第三的是南带，有 13 株，占全国杉木王总数的 4.67%；北带西区、北带东区及中带西区分布较少，仅分别占全国杉木王总数的 3.24%、0.72% 和 2.88%。

表 1 全国不同省份杉木王资源的数量特征

Table 1 Distribution characteristics of Chinese fir king resources across the country by different protection levels

分布省（区、市）Province	一级古树 First-grade ancient tree / 株	二级古树 Second-grade ancient tree / 株	三级古树 Third-grade ancient tree / 株	总数 Number of plants / 株	比例 Proportion /%
福建 Fujian	29	33	45	107	38.49
广西 Guangxi	13	23	4	40	14.39
湖南 Hunan	9	11	16	36	12.95
浙江 Zhejiang	6	17	6	29	10.43
江西 Jiangxi	7	8	1	16	5.75
四川 Sichuan	4	4	5	13	4.68
贵州 Guizhou	6	1	6	13	4.68
湖北 Hubei	12	0	0	12	4.31
广东 Guangdong	2	3	2	7	2.52
安徽 Anhui	1	0	1	2	0.72
云南 Yunnan	2	1	0	3	1.08
陕西 Shaanxi	0	0	0	0	0
江苏 Jiangsu	0	0	0	0	0
河南 Henan	0	0	0	0	0
海南 Hainan	0	0	0	0	0
台湾 Taiwan	0	0	0	0	0
重庆 Chongqing	0	0	0	0	0
合计 Total	91	101	86	278	100.00

表 2　全国杉木王资源在不同分布区的数量特征
Table 2　Distribution characteristics of the regions producing Chinese fir king

不同分布区的数量（比例）Number (proportion) of different distribution areas/ 株						
北带 North belt		中带 Medium belt			南带 South belt	合计 Total
北带西区 North belt west region	北带东区 North belt east region	中带西区 Medium belt west region	中带中区 Medium belt medium region	中带东区 Medium belt east region		
9(3.24%)	2(0.72%)	8(2.88%)	95(34.17%)	151(54.32%)	13(4.67%)	278(100.00%)

3.2　全国杉木王资源的生长特征

由图 1 可看出，全国杉木王资源的树高和冠幅呈明显的正态分布，树龄和胸径呈偏正态分布。全国杉木王资源的平均树龄为 424 a，主要集中在 200 ～ 600 a，处在这一树龄阶段的杉木王有 195 株，占全国杉木王总数的 70.14%；树龄最大的杉木王是湖南省邵阳市城步苗族自治县长安营镇大寨村的杉木王，年龄为 1 600 a；树龄最小的杉木王是福建省南平市顺昌县洋墩乡蔡坑村的杉木王，树龄为 100 a。

目前，全国杉木王资源的平均树高为 30.47 m，主要集中在 25 ～ 35 m，处在这一高度范围的杉木王有 144 株，占全国杉木王总数的 51.80%；最高的杉木王是云南省文山壮族苗族自治州马关县八寨镇六差塘村的杉木王，树高为 53.60 m；最矮的杉木王是湖南省邵阳市城步苗族自治县长安营镇大寨村的杉木王，树高为 14.00 m。

目前，全国杉木王资源的平均胸径为 1.31 m，主要集中在 1.1 ～ 1.5 m，处在这一胸径范围的杉木王有 163 株，占全国杉木王总数的 58.63%；胸径最大的杉木王是福建省宁德市蕉城区虎贝乡黄家村的杉木王，胸径为 2.74 m；胸径最小的杉木王是广西壮族自治区桂林市龙胜各族自治县马堤乡百湾村的杉木王，胸径为 0.80 m。

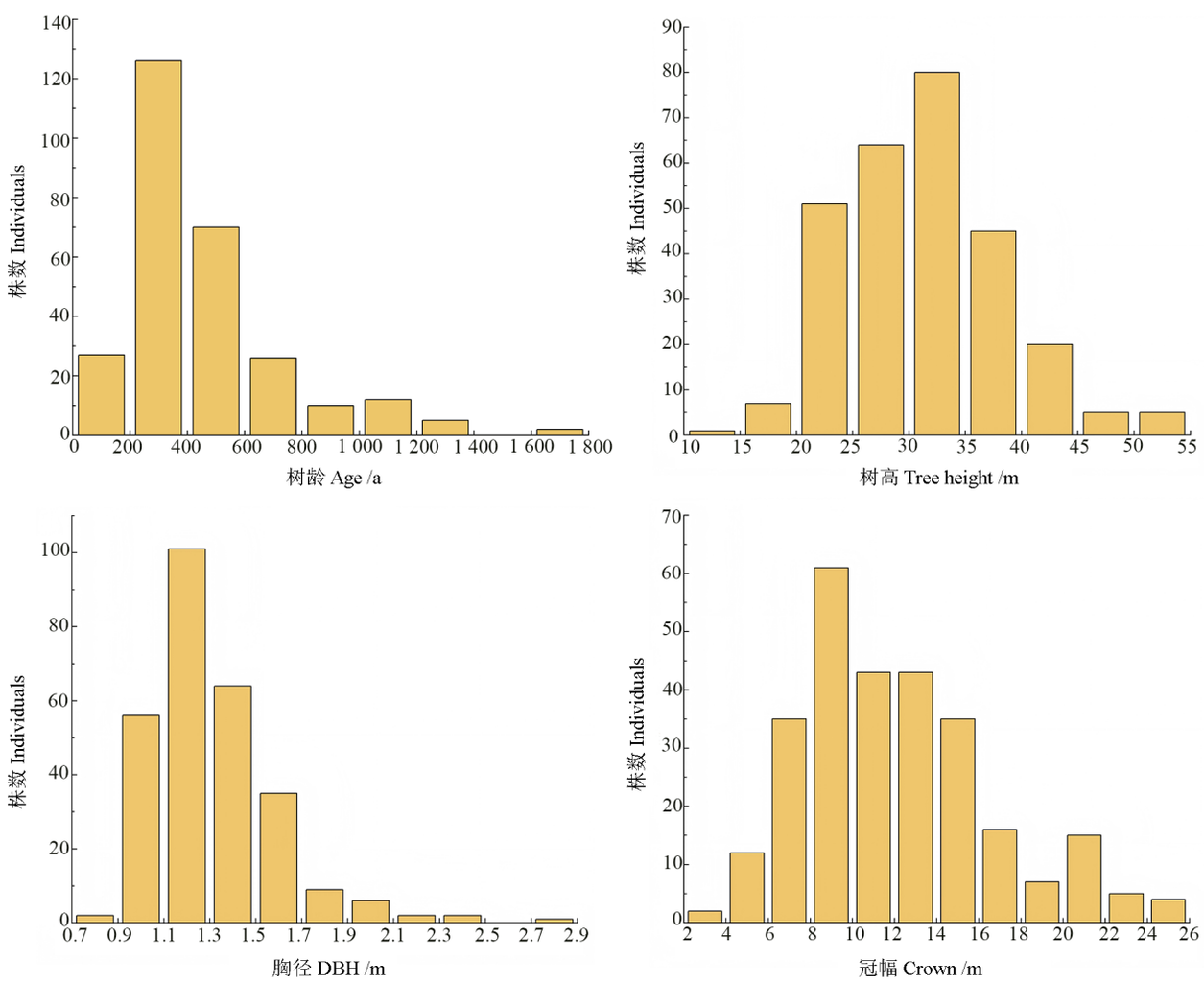


图 1　全国杉木王资源的树龄、树高、胸径和冠幅生长特征
Fig. 1　The distribution characteristics of age, height, DBH and canopy width of Chinese fir king resources nationwide

目前，全国杉木王资源的平均冠幅为 11.64 m，主要集中在 8 ～ 12 m，处在这一冠幅范围的杉木王有 105 株，占全国杉木王总数的 37.77%；冠幅最大的杉木王是湖北省恩施土家族苗族自治州官店镇白沙村的杉木王，冠幅为 25.30 m；冠幅最小的杉木王是广东省韶关市乐昌市白石镇富村的杉木王，冠幅为 3.10 m。

3.3 全国杉木王资源的分布特征

3.3.1 杉木王空间分布特征

由图 2 可知，我国杉木王以闽北、浙南、闽西、闽南、贵桂湘交界处为分布中心，该区域分布有较多杉木王，这些地方均是我国杉木中心产区。而在赣湘交界处、粤湘交界处、桂东北、贵中贵北、川中川东北、湘中及鄂南的杉木王则呈零星分布。可见，我国杉木王资源的空间分布与全国杉木产区的分布规律基本一致。

由表 3 可知，全国杉木王资源不同点之间的平均观测距离为 20 817.43 m，预期平均距离为 42 468.85 m，全国杉木王最邻近指数 R=0.49 ＜ 1，达到 1% 的显著水平（P=0），说明全国杉木王资源的空间分布类型为聚集分布，具有明显的空间聚集特征。

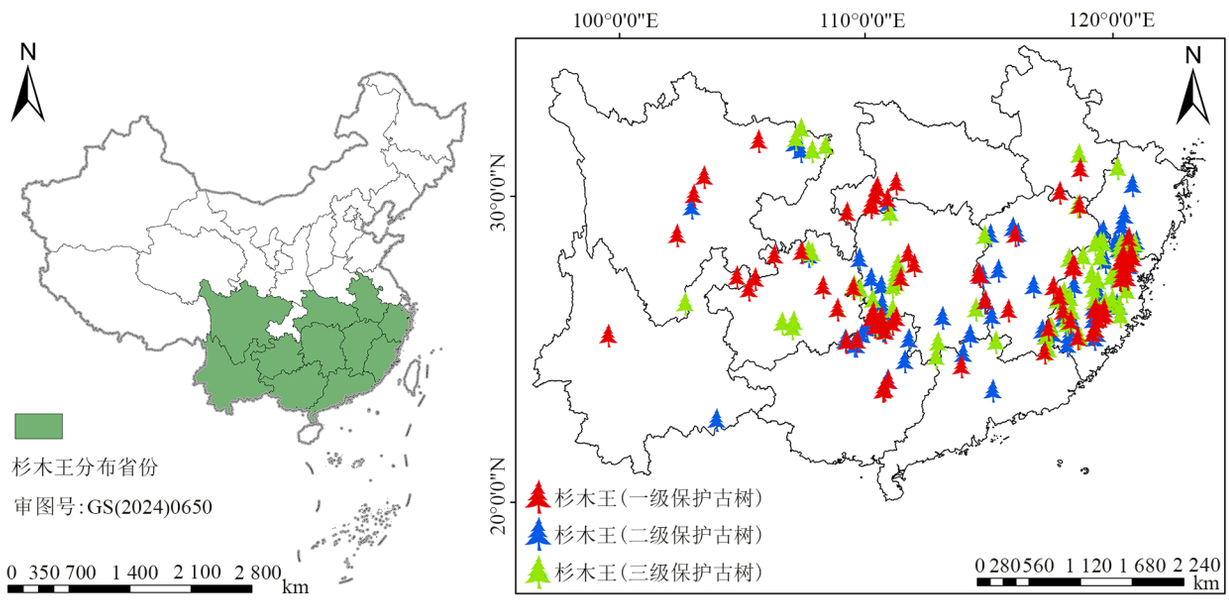


图 2 全国杉木王资源的空间分布特征

Fig. 2 The spatial distribution characteristics of Chinese fir king resources nationwide

表 3 全国杉木王资源分布的最邻近点指数特征

Table 3 The characteristics of the nearest neighbor index of the distribution of Chinese fir king resources nationwide

指标 Index	R	$\bar{r}_1$ /m	$\bar{r}_E$ /m	Z_{score}	P 值 P value
杉木王 Chinese fir king	0.49	20 817.43	42 468.85	−16.26	0

3.3.2 杉木王空间密度特征

由图 3 看出，全国杉木王资源的空间分布密度不均匀，在空间上表现出圈层结构，体现出“单核中心”的空间分布格局。全国有 1 个杉木王资源高密度分布区，以闽北、浙南为中心，密度为 0.001 64 ～ 0.001 85 株 / km^2；全国有 2 个杉木王资源次级密度分布区，以闽西、闽南及贵桂湘交界处为中心，密度为 0.001 43 ～ 0.001 64 株 /km^2。

3.4 全国杉木王资源分布与环境因子之间的关系

由图 4b 可看出，全国杉木王资源分布与所在地的人口密度呈负相关，全国杉木王资源在人口密度较小的区域有较多分布。在人口密度 0 ～ 200 人 /km^2 区域分布的杉木王最多，达 212 株，占全国杉木王总株数的 76.26%；在人口密度 200 ～ 400 人 /km^2 区域分布的杉木王有 33 株，占全国杉木王总株数的 11.87%；在人口密度 400 ～ 600 人 /km^2 区域分布的杉木王有 15 株，占全国杉木王总株数的 5.40%；在人口密度 600 ～ 800 人 /km^2 区域分布的杉木王有 10 株，占全国杉木王总株数的 3.60%；在人口密度 800 ～ 1 000 人 /km^2 和 1 000 人 /km^2 区域分布的杉木王均为 4 株，均占全国杉木王总数的 1.44%。可见，在全国杉木产区内人口分布越密集，保留的杉木王资源越少，说明

全国杉木王分布与人类活动存在一定关联性。

由图 4c 可看出，全国杉木王资源在传统村落热点区的分布明显多于冷点区。在低热点区分布的杉木王最多，达 97 株，占全国杉木王总株数的 34.89%；其次为次热点区，分布有杉木王 55 株；在低冷点区分布的杉木王有 48 株，在次冷点区分布的杉木王有 39 株；在高热点区分布的杉木王有 27 株，在高冷点区分布的杉木王数量最少，仅为 10 株，占全国杉木王总株数的 3.60%。可见，在传统村落密度高的地方分布有较多的杉木王，说明全国杉木王资源的分布与传统村落存在紧密联系，这可能与传统村落人们对古树的崇拜和保护有关。

基于全国河流水系数据，以 3 000、5 000、10 000、15 000 m 的缓冲半径设置缓冲区，进行杉木王分布与河流缓冲区关系分析，结果见图 4d。全国杉木王资源数量与所在地河流缓冲区半径呈正相关关系。在河流缓冲区半径大于 15 000 m 地区的杉木王分布最多，达 102 株，占全国杉木王总数的 36.69%；在河流缓冲区半径 10 000 ～ 15 000 m 地区的杉木王居第二位，有 76 株，占全国杉木王总数的 27.34%；在河流缓冲区半径 5 000 ～ 10 000 m 地区的杉木王有 56 株，占全国杉木王总数的 20.14%；在河流缓冲区半径 3 000 ～ 5 000 m 地区的杉木王有 26 株，占全国杉木王总数的 9.35%；在河流缓冲区半径 0 ～ 3 000 m 地区的杉木王有 18 株，占全国杉木王总数的 6.47%。可见，全国杉木王资源更多地分布在离河流较远的地方。

由图 4e 可看出，全国杉木王分布的土地类型有林地、耕地和草地。在林地上分布的杉木王数量最多，达 193 株，占全国杉木王总数的 69.42%；其次是分布于耕地的杉木王，为 65 株，占全国杉木王总数的 24.10%；在草地上的杉木王数量较少，仅 18 株，占全国杉木王总数的 6.47%。可见，全国杉木王资源主要分布在林地上。

由图 4f 可看出，不同海拔的杉木王资源分布存在差异。海拔 600 ～ 900 m 区域分布的杉木王最多，达 110 株，占全国杉木王总数的 39.57%；其次是海拔 300 ～ 600 m 区域的杉木王，有 73 株，占全国杉木王总数的 26.26%；在海拔 900 ～ 1 200 m 区域的杉木王有 57 株，占全国杉木王总数的 20.50%；在海拔 140 ～ 300、1 200 ～ 1 500 m 区域的杉木王各有 16 株，各占全国杉木王总数的 5.76%；在海拔 1 500 ～ 1 800 m 及以上区域的杉木王最少，均为 3 株。可见，我国杉木王资源主要分布在海拔 600 ～ 900 m 区域。

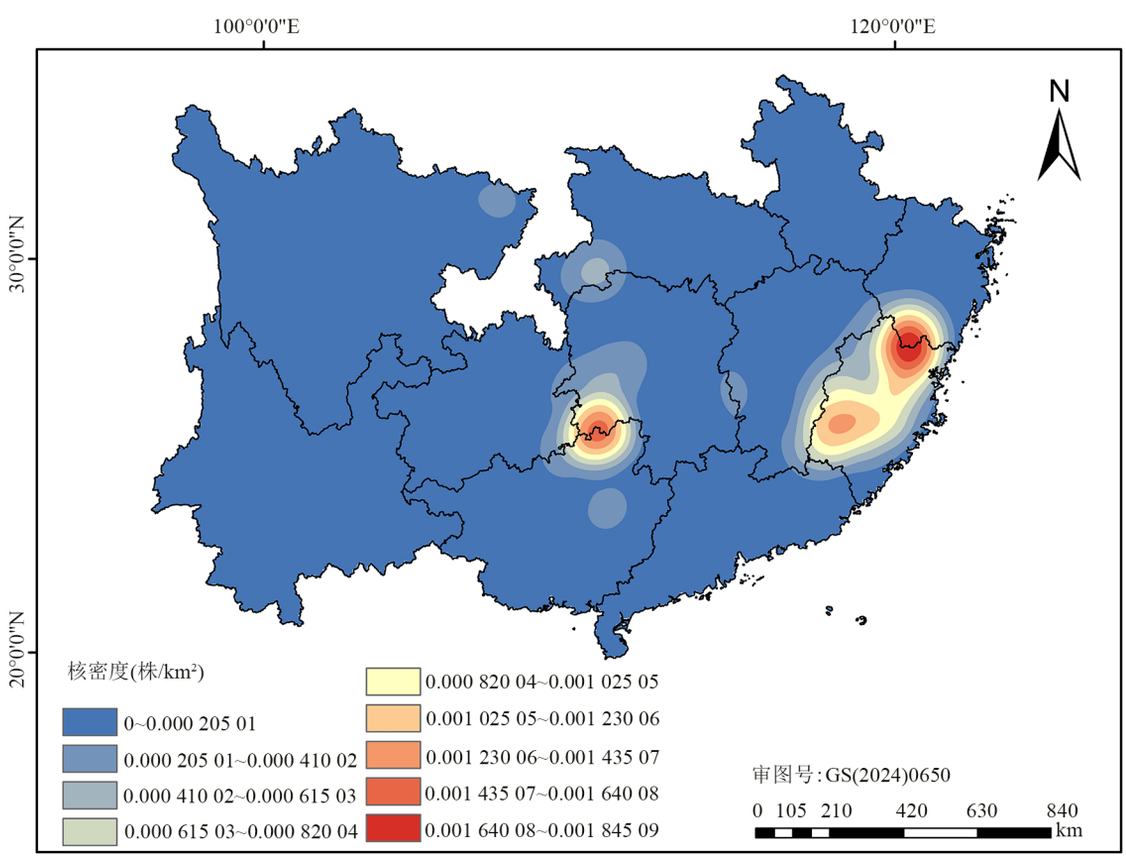
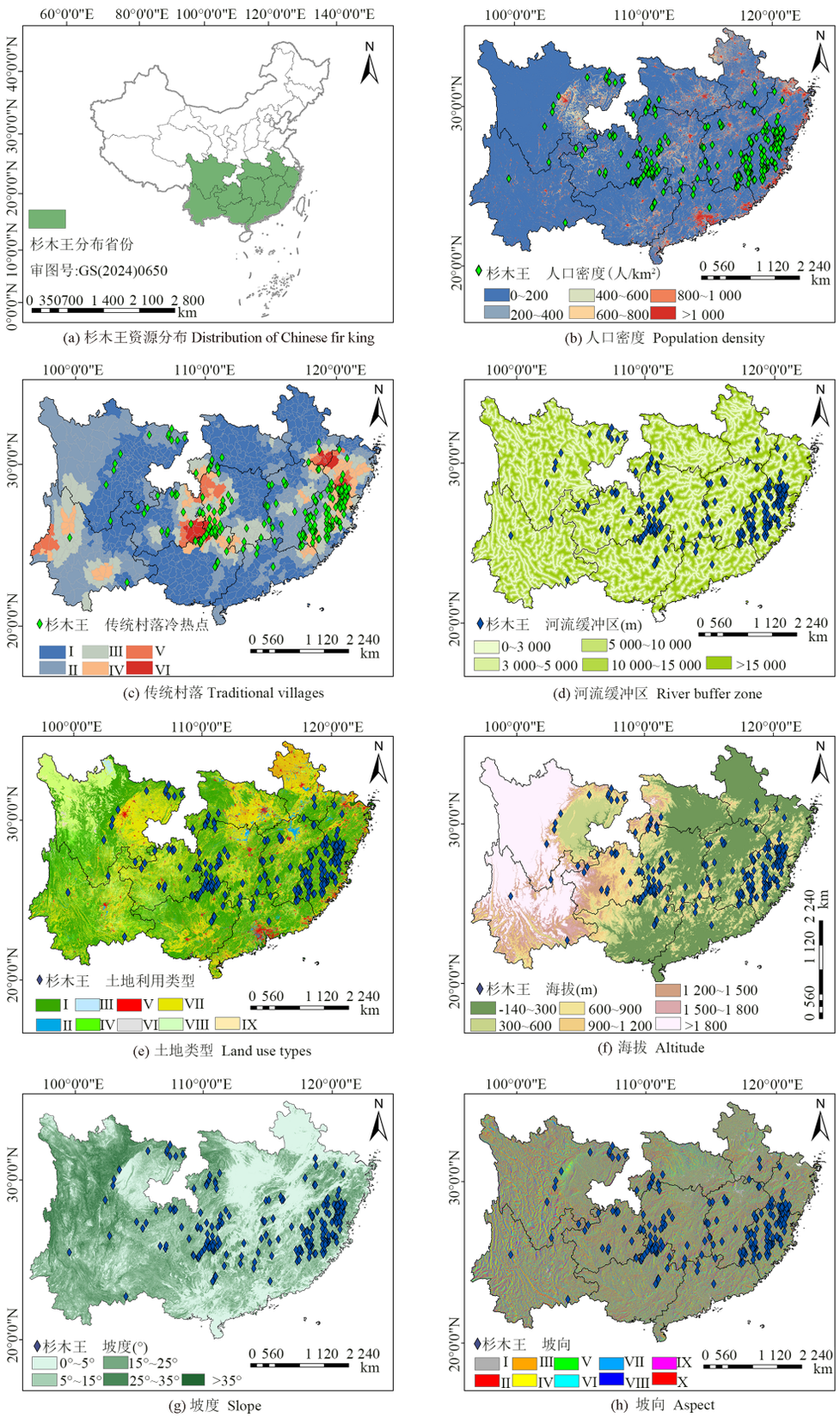


图 3　全国杉木王资源空间分布的核密度特征

Fig. 3　Kernel density characteristics of the spatial distribution of Chinese fir king resources nationwide



(a) 杉木王资源分布 Distribution of Chinese fir king

(b) 人口密度 Population density

(c) 传统村落 Traditional villages

(d) 河流缓冲区 River buffer zone

(e) 土地类型 Land use types

(f) 海拔 Altitude

(g) 坡度 Slope

(h) 坡向 Aspect

图 c 中，Ⅰ为高冷点区，Ⅱ为次冷点区，Ⅲ为低冷点区，Ⅳ为低热点区，Ⅴ为次热点区，Ⅵ为高热点区。图 e 中，Ⅰ为林地，Ⅱ为水体，Ⅲ为湿地，Ⅳ为灌木地，Ⅴ为人造地表，Ⅵ为冰川和永久积雪，Ⅶ为耕地，Ⅷ为草地，Ⅸ为裸地。图 h 中，Ⅰ为平面（-1° ～ 0°），Ⅱ为北（0 ～ 22.5°），Ⅲ为东北（22.5° ～ 67.5°），Ⅳ为东（67.5° ～ 112.5°），Ⅴ为东南（112.5° ～ 157.5°），Ⅵ为南（157.5° ～ 202.5°），Ⅶ为西南（202.5° ～ 247.5°），Ⅷ为西（247.5° ～ 292.5°），Ⅸ为西北（292.5° ～ 337.5°），Ⅹ为北（337.5° ～ 360°）。

Fig c Ⅰ: High cold spot Area, Ⅱ: Sub-cold spot area, Ⅲ: Low cold spot area, Ⅳ: Low hot spot area, Ⅴ: Sub-hot spot area, Ⅵ: High hot spot area. Fig e Ⅰ: Forest land, Ⅱ: Water body, Ⅲ: Wetland, Ⅳ: Shrub land, Ⅴ: Artificial surface, Ⅵ: Glacier and permanent snow, Ⅶ: Cropland, Ⅷ: Grassland, Ⅸ: Bare land. Fig h Ⅰ: (-1°-0°), Ⅱ: North (0°-22.5°), Ⅲ: Northeast (22.5°-67.5°), Ⅳ: East (67.5°-112.5°), Ⅴ: Southeast (112.5°-157.5°), Ⅵ: South (157.5°-202.5°), Ⅶ: Southwest (202.5°-247.5°), Ⅷ: West (247.5°-292.5°), Ⅸ: Northwest (292.5°-337.5°), Ⅹ: North (337.5°-360°).

图 4 全国杉木王资源分布与环境因子的关系

Fig. 4 The relationship between the distribution of national Chinese fir king resources and environmental factors

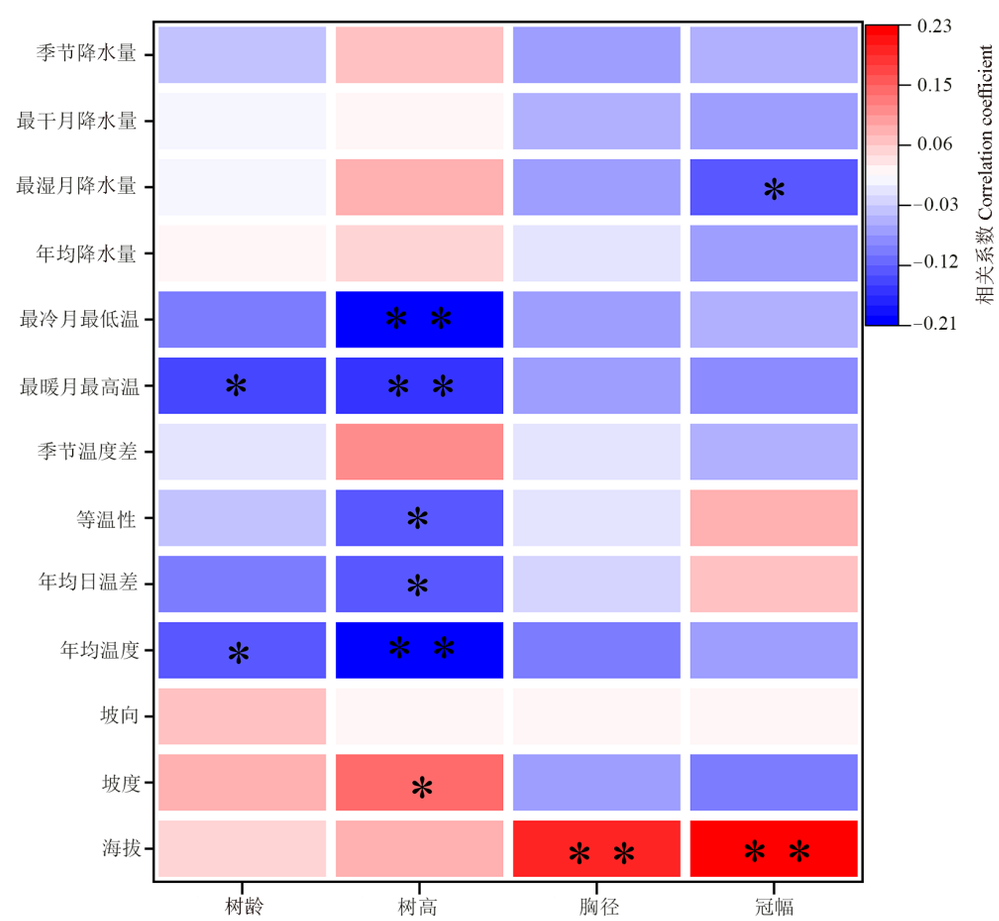
由图 4g 可看出，全国杉木王资源的分布与所在地的坡度呈负相关。在坡度 0° ～ 5° 区域的杉木王最多，达 157 株，占全国杉木王总数的 56.47%；其次是坡度 5° ～ 15° 区域，有 111 株，占全国杉木王总数的 39.93%；在坡度 15° ～ 25° 区域的杉木王较少，仅 10 株，占全国杉木王总数的 3.60%；在坡度 25° ～ 35° 及＞ 35° 的区域没有杉木王分布。可见，我国杉木王资源主要分布在坡度 0° ～ 5° 较平缓地域。

由图 4h 可看出，全国杉木王资源在不同坡向的分布比较均匀，其中以西北向的杉木王最多，占全国杉木王总数的 15.83%；东北向的杉木王较少，占全国杉木王总数的 8.99%；北向、东向、东南向、南向、西南向、西向的杉木王分别占全国杉木王总数的 11.51%、11.15%、14.03%、8.99%、14.03% 和 14.75%。可见，我国杉木王资源以西北坡向的分布居多。

由图 5 可看出，全国杉木王的树龄与所在地的年均温度、最暖月最高温呈显著负相关（$P < 0.05$）；杉木王树高与等温性、年均日温差呈显著负相关（$P < 0.05$），与最冷月最低温、最暖月最高温、年均温度呈极显著负相关（$P < 0.01$），与坡度呈显著正相关（$P < 0.05$）；杉木王胸径与海拔呈显著正相关（$P < 0.01$）；杉木王冠幅与最湿月降水量呈显著负相关（$P < 0.05$），与海拔呈极显著正相关（$P < 0.01$）。可见，全国杉木王的生长状况与所在地的环境因子密切相关，且在各类环境影响因子中，温度因子与杉木王生长状况的关系最为密切。

4　讨　论

古树的分布受自然因素和人为因素的综合影响，其背后蕴含着复杂的生态适配机制与人文调控机制，影响因素包括地形地貌、气候条件、人口密度及风俗习惯等 [26-28]。本研究发现，全国杉木王分布与传统村落呈显著空间耦合特征，有 65.10% 的杉木王分布于传统村落热点区，与袁苏婷 [29] 对古树与传统村落关联性的研究结论相一致，其核心驱动机制在于传统村落特有的人文保护体



*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$.

图 5　全国杉木王分布与所处环境因子的相关性分析

Fig. 5　Correlation analysis of the distribution of Chinese fir king resources nationwide and the environmental factors of their habitats

系。全国杉木王资源分布与所在地人口密度呈负相关，这一现象的内在机制与杉木的经济属性及人类活动的强度密切相关。杉木为我国南方林区重要用材树种，早在新石器时代古越人就采伐杉木营建居所 [30]。受人类活动强度差异影响，人口密集区域的杉木资源长期遭受过度采伐，仅人口稀疏的偏远区域留存了大量杉木古树资源。本研究采用现时人口数据开展分析，难以完全反映历史人类活动对杉木王分布的长期影响。后续研究可结合历史人口数据，重构长时序人类活动强度演变过程，进一步精准揭示杉木王与人居活动的动态耦合机制。本研究发现，全国 39.57% 的杉木王资源分布在海拔 600 ～ 900 m 的区域，这可能与该海拔范围内的温度、湿度和土壤条件有利于杉木生长有关。杉木王树高生长与所处环境的温度显著相关，这与李程等 [31] 对浙江省古樟树的研究结果一致，说明温度对古树的树高生长有较大影响。本研究利用当前杉木王所处位置的温度、湿度等气候因子来分析杉木王与气候因子的关系不够科学，无法充分反映历史气候变迁对杉木王分布的长期作用，存在一定分析偏差。未来可结合长时序气候数据深入剖析，以提升研究结论的科学性与准确性。

本研究还发现，全国杉木王资源呈聚集性空间分布，高密度分布核心区覆盖闽北浙南交界处、贵桂湘交界处、闽西闽南地区，这一格局的形成机制与杉木的生态适应性及人工林栽培历史密切相关。杉木王核心分布区均为我国杉木人工林的传统产区 [32]，区域内林分生产力水平较高，可见，全国杉木王资源空间聚集特征反映了杉木的环境适应性，对我国杉木古树资源保护及其人工林经营有重要参考价值。

5 结 论

按照国家古树名木标准，全国杉木古树共有 3 532 株，符合杉木王标准的古树有 278 株，达到国家一、二、三级古树标准的杉木王分别为 91、101、86 株。不同省（区、市）杉木王数量排序为福建（107 株）＞广西（40 株）＞湖南（36 株）＞浙江（29 株）＞江西（16 株）＞四川（13 株）和贵州（13 株）＞湖北（12 株）＞广东（7 株）＞云南（3 株）＞安徽（2 株）；不同分布区杉木王数量排序为中区东带（151 株）＞中带中区（95 株）＞南带（13 株）＞北带西区（9 株）＞中带西区（8 株）＞北带东区（2 株）。

全国杉木王资源呈聚集性空间分布，以闽北、浙南、闽西、闽南、贵桂湘交界处为高密度分布核心区。全国杉木王资源数量与分布区人口密度呈负相关，与河流缓冲区半径呈正相关，在传统村落低热点区和海拔 600 ～ 900 m 的区域分布较多杉木王，全国杉木王资源大部分分布在林地上。

全国杉木王资源的平均树龄 424 a，平均树高 30.47 m，平均胸径 1.31 m，平均冠幅 11.64 m。全国杉木王树龄与分布区年均温度、最暖月最高温呈显著负相关，杉木王树高与等温性、年均日温差、最冷月最低温、最暖月最高温、年均温度呈显著负相关，杉木王胸径与海拔呈显著正相关，杉木王冠幅与最湿月降水量呈显著负相关。

参考文献：

[1] 王继程 . 古树名木综合价值评价研究 [D]. 南京 : 南京农业大学 ,2011:1-2.
Wang J C. A comprehensive evaluation of heritage trees[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University,2011:1-2.

[2] 徐金颢 . 基于树木雷达 (TRU) 的古树地下根系探测图像识别技术研究与应用 [D]. 杨凌 : 西北农林科技大学 ,2024:3.
Xu J H. Research on ancient tree root detection and image recognition based on tree radar (TRU)[D]. Yangling: Northwest A & F University,2024:3.

[3] Mousavi S, Pandolfi S, Lo Conte A, et al. The ancient olive trees of Capri Island renaissance of an abandoned treasure[J]. Scientia Horticulturae,2024,328:112930.

[4] 秦春 , 马建成 , 刘晶晶 . 甘肃省古树名木资源现状、问题与建议 [J]. 应用生态学报 ,2025,36(2):605-613.
Qin C, Ma J C, Liu J J. Current situation, problems and suggestions of ancient and notable tree resources in Gansu Province, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2025,36(2): 605-613.

[5] Tian P P, Liu Y F, Lü W, et al. Exploring influential factors on biomass and diversity of ancient trees in human-dominated regions: a case study in Guangdong Province, China[J]. Journal of Cleaner Production,2024,480:143965.

[6] Zhang Y H, Liu P Y, Kong Q Q, et al. The contents of terpene trilactone and flavonoid in leaves of seedlings from ancient female ginkgo trees in China[J]. Horticultural Plant Journal,2017,3(4): 165-171.

[7] LY/T 2738—2016 古树名木普查技术规范 [S].
LY/T 2738-2016 Technical regulation for surveying of old and notable trees[S].

[8] 国家林业和草原局 . 古树名木保护条例 [Z]. 2025.
National Forestry and Grassland Administration. Regulations on the protection of ancient and famous trees[Z]. 2025.

[9] 广东省绿化委员会 , 广东省林业局 , 广东省住房和城乡建设厅 , 广东省农业农村厅 . 广东省古树名木保护提升行动方案 (2023—2035 年)[Z]. 2023.
Guangdong Greening Committee, Guangdong Forestry Bureau, Guangdong Department of Housing and Urban-Rural Development, Guangdong Department of Agriculture and Rural Affairs. Action plan for the protection and improvement of ancient and famous trees in Guangdong Province (2023-2035)[Z]. 2023.

[10] DB51/T 2919—2022 古树名木养护和抢救复壮及管理技术规程 [S].
DB51/T 2919-2022 Technical rules for maintenance, rescue, rejuvenation and management of ancient and famous woody trees[S].

[11] 俞新妥 . 中国杉木研究 [J]. 福建林学院学报 ,1988,8(3):203-220.
Yu X T. The research of Chinese fir in China[J]. Journal of Fujian College of Forestry,1988,8(3):203-220.

[12] 苏比·热西塔洪 , 阮颖超 , 何宗明 , 等 . 立地管理措施对 2 代 26 年生杉木林生产力的影响 [J]. 森林与环境学报 ,2024,44(3):267-273.
Subi·Rexitahong, Ruan Y C, He Z M, et al. Effects of site management on the productivity of a 26-year-old second rotation Chinese fir plantation[J]. Journal of Forest and Environment, 2024,44(3):267-273.

[13] 黄晓霞 , 尤美子 , 徐伟涛 , 等 . 目标树经营对杉木人工林林分空间结构的影响 [J]. 森林与环境学报 ,2022,42(2):131-140.
Huang X X, You M Z, Xu W T, et al. Influence of target tree management on the spatial structure of *Cunninghamia lanceolata* plantation[J]. Journal of Forest and Environment,2022,42(2):131-140.

[14] 黄木生 , 李明 , 苏烁烁 , 等 . 福建 “ 杉木王 ” 种质资源调查分析 [J]. 福建林业科技 ,2016,43(4):169-173,189.
Huang M S, Li M, Su S S, et al. Germplasm resource investigation and analysis of the king of Chinese fir in Fujian Province[J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology,2016,43(4): 169-173,189.

[15] Shive K L, Wuenschel A, Hardlund L J, et al. Ancient trees and modern wildfires: declining resilience to wildfire in the highly fire-adapted giant sequoia[J]. Forest Ecology and Management, 2022,511:120110.

[16] 李明 , 黄木生 , 苏烁烁 , 等 . 福建杉木王种质资源的遗传多样性 [J]. 森林与环境学报 ,2016,36(3):312-318.
Li M, Huang M S, Su S S, et al. Genetic diversity of germplasm resources of the king of Chinese fir in Fujian provenances[J]. Journal of Forest and Environment,2016,36(3):312-318.

[17] 黄木生 . 福建杉木王种质资源的调查及其遗传多样性分析 [D]. 福州 : 福建农林大学 ,2010:11-12.
Huang M S. Investigation and genetic diversity analysis of the king of *Cunninghamia lanceolata* in Fujian provenances[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University,2010:11-12.

[18] 吴小健 , 李秉钧 , 颜耀 , 等 . 不同种源杉木细根解剖性状的差异分析 [J]. 森林与环境学报 ,2023,43(3):232-239.
Wu X J, Li B J, Yan Y, et al. Analysis of differences in fine root anatomical traits of Chinese fir from different provenances[J]. Journal of Forest and Environment,2023,43(3):232-239.

[19] 马祥庆 . 中国杉木王 [M]. 北京 : 中国林业出版社 ,2014:1-6.
Ma X Q. Chinese fir king in China[M]. Beijing: China Forestry Publishing House,2014:1-6.

[20] 陈禹光 , 乐新贵 , 陈宇涵 , 等 . 基于 MaxEnt 模型预测气候变化下杉木在中国的潜在地理分布 [J]. 应用生态学报 ,2022,33(5):1207-1214.
Chen Y G, Le X G, Chen Y H, et al. Identification of the potential distribution area of *Cunninghamia lanceolata* in China under climate change based on the MaxEnt model[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2022,33(5):1207-1214.

[21] 俞新妥 . 杉木栽培学 [M]. 福州 : 福建科学技术出版社 ,1997:9-11.
Yu X T. Cultivation of Chinese fir[M]. Fuzhou: Fujian Science and Technology Publishing House,1997: 9-11.

[22] 何江 . 湖北省恩施土家族苗族自治州古树名木资源与空间分布格局 [D]. 南宁 : 广西大学 ,2024:12-13.
He J. Resources and spatial distribution pattern of ancient and famous trees in Enshi Tujia and Miao Autonomous Prefecture of Hubei Province[D]. Nanning: Guangxi University,2024:12-13.

[23] 陈勇 , 何峰 , 韩也逸 . 南京市古树名木资源现状与空间布局 [J]. 中南林业科技大学学报 ,2023,43(12):14-23,125.
Chen Y, He F, Han Y Y. Present situation and spatial layout of ancient and famous trees in Nanjing[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2023,43(12):14-23,125.

[24] 陈永曦 . 广州市从化区古树名木资源调查与健康评价研究 [D]. 广州 : 华南农业大学 ,2020:18-20.
Chen Y X. Investigation and evaluation of health status of ancient and famous trees in Conghua district, Guangzhou City[D]. Guangzhou: South China Agricultural University,2020:18-20.

[25] 赵振宇 . 基于森林资源清查和遥感数据的青浦区森林碳储量估算及空间分布研究 [D]. 上海 : 上海师范大学 ,2023:59.
Zhao Z Y. Estimation and spatial distribution of forest carbon storage in Qingpu district based on forest resource inventory and remote sensing data [D]. Shanghai: Shanghai Normal University,2023:59.

[26] 朱弘 , 洪凌涛 , 任典挺 , 等 . 浙江省三门县古树资源特征和空间分布格局分析 [J]. 林业与环境科学 ,2024,40(4):27-34.
Zhu H, Hong L T, Ren D T, et al. Resource characteristics and spatial distribution pattern analysis for large old trees in Sanmen County, Zhejiang Province[J]. Forestry and Environmental Science,2024,40(4):27-34.

（下转第 110 页）

seedling regeneration, and effects of forest gap disturbance[D]. Hangzhou: Zhejiang University,2015:73-74.

[35] 王衷涵 , 吴初平 , 钱海源 , 等 . 冰雪灾害前后的浙江古田山亚热带常绿阔叶林群落谱系结构变化 [J]. 中国科学 (生命科学), 2020,50(4):373-380.
Wang Z H, Wu C P, Qian H Y, et al. The phylogenetic structure of a subtropical evergreen broad-leaved forest community before and after an ice-snow storm in Gutianshan, eastern China[J]. Science in China (Series C),2020,50(4):373-380.

[36] 李光南 . 植被冠层与枯落物对积雪分布及冻融过程的影响 [D]. 沈阳 : 沈阳农业大学 ,2016:18-24.
Li G N. Research on the influence of vegetation canopy and litter on snow distribution and soil freeze-thaw process[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University,2016:18-24.

[37] 冯嘉朗 . 基于风洞实验的深圳市 7 种行道树风荷载研究 [D]. 广州 : 仲恺农业工程学院 ,2021:68-70.
Feng J L. Study on wind roads of seven street trees in Shenzhen based on wind tunnel experiment[D]. Guangzhou: Zhongkai University of Agriculture and Engineering,2021:68-70.

[38] 方怡然 , 潘澜 , 薛立 . 冰雪灾害后的杉木人工林冠层结构与林下光照及土壤生化特性的关系 [J]. 生态环境学报 ,2018, 27(4):609-616.
Fang Y R, Pan L, Xue L. Relationships between canopy structure and understory light and soil biochemical property in a *Cunninghamia lanceolata* stand suffering from ice-snow damage[J]. Ecology and Environment Sciences,2018,27(4):609-616.

[39] 李婉舒 . 冰冻干扰对大明山常绿阔叶林林冠状况及幼苗动态的影响 [D]. 南宁 : 广西大学 ,2016:48-51.
Li W S. Effects of frozen disturbance on canopy condition and seedling dynamics of an evergreen broad-leaved forest in Damingshan[D]. Nanning: Guangxi University,2016:48-51.

[本文编校：谢荣秀]

（上接第 97 页）

[27] Jim C Y, Zhang H. Species diversity and spatial differentiation of old-valuable trees in urban Hong Kong[J]. Urban Forestry & Urban Greening,2013,12:171-182.

[28] Liu J J, Lindenmayer D B, Yang W J, et al. Diversity and density patterns of large old trees in China[J]. Science of the Total Environment,2019,655:255-262.

[29] 袁苏婷 . 基于古树名木保护的苏南地区传统村落空间形态优化研究 [D]. 南京 : 南京林业大学 ,2024:108-109.
Yuan S T. Optimisation of spatial morphology of traditional villages in southern Jiangsu based on the protection of old and valuable trees[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University,2024:108-109.

[30] 何林 . 江苏地区考古木材鉴定分析 [D]. 南京 : 南京林业大学 , 2015:82-83.
HE L. Identification and analysis of archaeology wood in Jiangsu Province[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University,2015:82-83.

[31] 李程 , 罗鹏 , 邓秀秀 , 等 . 古树名木生长状况与环境因子关系研究 : 以浙江省古樟树为例 [J]. 中南林业科技大学学报 , 2015,35(11):86-93.
Li C, Luo P, Deng X X, et al. Study on relationship between ancient and famous trees' growth status and environmental factors: taking ancient *Cinnamomum camphora* in Zhejiang Province as an example[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2015,35(11):86-93.

[32] 田大伦 . 杉木林生态系统学 [M]. 北京 : 科学出版社 ,2003: 454-456.
Tian D L. Ecosystem science of Chinese fir plantations[M]. Beijing: Science Press,2003:454-456.

[本文编校：谢荣秀]