

罗焱毓, 骆金初, 冯慧芳, 肖美娟, 杨诗敏, 李永泉, 刘菊秀, 李旭. 不同林龄杉木人工林药用植物多样性恢复动态[J]. 应用与环境生物学报, 2024, 30 (1): 35-45

Luo HY, Luo JC, Feng HF, Xiao MJ, Yang SM, Li YQ, Liu JX, Li X. Restoration dynamics of medicinal plant species diversity in *Cunninghamia lanceolata* plantations at different ages [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2024, 30 (1): 35-45

不同林龄杉木人工林药用植物多样性恢复动态

罗焱毓^{1,2} 骆金初^{1,2} 冯慧芳³ 肖美娟^{2,4} 杨诗敏^{1,2} 李永泉¹ 刘菊秀² 李旭^{2,4}✉

¹仲恺农业工程学院 广州 510225

²中国科学院华南植物园退化生态系统植被恢复与管理重点实验室 广州 510650

³广东省森林资源保育中心 广州 510173

⁴中国科学院大学 北京 100049

摘 要 野生药用植物资源是我国中医药事业和产业的重要物质基础, 并与生态平衡密切相关, 然而药用植物资源和物种多样性在人工林恢复中随林龄的变化知之甚少. 以广东省乐昌林场选取近自然经营杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 人工林 (5、10、15、20、30和60年林龄) 为研究对象, 分析药用植物多样性及组成结构随林龄的变化轨迹. 结果表明: (1) 6个林龄下共有林下植被74科131属和178种, 其中药用植物有58科86属105种. (2) 杉木人工林林下植被和药用植物物种丰富度随林龄无显著的线性关系, 林下植被灌木层物种多丰富度最大值出现在林龄10年 (22.33), 草本层出现在林龄20年 (14.33). 灌木层药用植物物种丰富度最大值出现在10年和20年的林龄 (16.00), 草本层为20年林龄 (8.67). (3) 杉木林草本层和灌木层的药用植物Jaccard和Morisita-Horn相似性指数比林下植被的草本层和灌木层更高; 杉木人工林林下植被灌木层、草本层和灌木层药用植物随林龄间隔Jaccard相似性指数降低, 而草本层药用植物增加. 综上, 近自然经营的杉木人工林可以培育较多药用植物, 停止人为扰动后药用植物多样性随着恢复时间会维持一个相对稳定的状态. 结合人工林野生药用植物的恢复趋势, 可以根据林龄适当地进行野生药材资源的保护性开发. (图5 表7 参49)

关键词 林下植被; 药用植物; 重要值; 物种多样性; 演替

Restoration dynamics of medicinal plant species diversity in *Cunninghamia lanceolata* plantations at different ages

LUO Hanyu^{1,2}, LUO Jinchu^{1,2}, FENG Huifang³, XIAO Meilian^{2,4}, YANG Shimin^{1,2}, LI Yongquan¹, LIU Juxiu² & LI Xu^{2,4}✉

¹ Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China

² Key Laboratory of Vegetation Restoration and Management of Degraded Ecosystems, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China

³ Forest Resources Conservation Center of Guangdong Province, Guangzhou 510173, China

⁴ University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract Wild medicinal plant resources are an important material basis for China's traditional Chinese medicine business and industry, and are closely related to ecological balance, yet little is known about the changes in medicinal plant resources and species diversity with forest age in plantation forest restoration. Here, we selected *C. lanceolata* plantations, located at the Lechang Forest Farm in Guangdong Province, with six age series of 5, 10, 15, 20, 30, and 60 years. The medicinal plant diversity and community composition indices were used to analyze the variation trend of species diversity with forest stand age. (1) A total of 74 families, 131 genera, and 178 understory vegetation species were present across the six forest ages. The shrub layer had 58 families, 86 genera, and 105 species and the main plants were Fagaceae. (2) No significant linear relationship was there between age and the species richness of understory vegetation and medicinal plants in *C. lanceolata* plantations. The maximum species richness of the understory shrub layer appeared in the 10-year-old stand (22.33), and that of herbs appeared in the 20-year-old stand (14.33). The maximum species richness of the medicinal plant shrub layer occurred in the 10- and 20-year-old stands (16.00), and herbs emerged in the 20-year-old stand (8.67). (3) Compared to understory vegetation, the Jaccard and Morisita-Horn similarity indices of the herb and shrub layers of medicinal plants were higher. The Jaccard similarity index of the medicinal plants in the shrub and herb layers decreased with stand age, whereas that of the medicinal

收稿日期 Received: 2023-02-07 接受日期 Accepted: 2023-08-07

广东省重点领域研发计划项目 (2022B1111230001)、广东省基础研究旗舰项目 (2023B0303050001)、广东省财政专项林业项目和国家自然科学基金项目 (32101342和41991285) 联合资助 Supported by the Key-Area Research and Development Program of Guangdong Province (2022B1111230001), Guangdong Province Basic Research Flagship Project (2023B0303050001), Special Forestry Project of Guangdong Provincial Finance and the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 41991285 and 32101342)

✉通信作者 Corresponding author (E-mail: lixu@scbg.ac.cn)

plants in the herb layer increased. In conclusion, near-naturally managed *C. lanceolata* plantation forests can cultivate more medicinal plants, and the diversity of medicinal plants will maintain a relatively stable state with the recovery time after the cessation of anthropogenic disturbance. Combined with the recovery trend of wild medicinal plants in plantation forests, the protective development of wild medicinal resources can be carried out appropriately according to the age of the forest.

Keywords understory; medicinal plant; important value; species diversity; succession

生物多样性的分布格局和维持机制一直是群落生态学研究热点与核心问题^[1-3]，林下植被作为植物群落结构中的重要组成部分，对改良、促进土壤养分循环和能量流动有着不可忽视的作用^[4-6]，甚至林下植被多样性可对林分生产力有较好的指示作用^[6-7]。药用植物是植物物种多样性的重要组成部分，由于较大的占比，其多样性的变化可能会导致森林生态系统的结构、功能和养分循环发生改变^[8]。我国植物资源种类繁多且分布广泛，拥有3万多种高等植物，其中药用植物种类有1万多种^[8-9]，约占全球药用植物资源总量的1/5。然而，由人类活动引起的气候变化和土地利用变化，导致了药用植物由的多样性和物种数量都在急剧减少^[10-12]。

野生药用植物资源是我国中医药事业和产业的重要物质基础，是国家重要的战略性资源，野生药用植物资源与生态平衡联系紧密，厘清药用植物资源情况，有助于保护及开发措施^[8-12]。自然林中的植物资源及野生药用植物非常丰富，肖美娟等（2022）^[9]发现，随着演替进行，鼎湖山的植物丰富度呈现逐渐增加趋势，药用植物丰富度在演替前期过渡到演替中期时略微下降随后大幅上升。大面积被沙漠覆盖的塔里木盆地，药用植物比例较高，而在物种丰富程度较高的天山山区药用植物比例较低^[13]。然而，人工林林下药用植物比例也较高，但人工林林下药用植物及其变化规律的研究较少。有研究表明，退化森林无论是人工抚育还是封山育林恢复30年，物种生物多样性和生态系统功能都低于各自的参考水平^[14-15]。因此，厘清物种多样性在林分发育的恢复规律，有助于管理者及时把握森林物种多样性和生态系统恢复现状和程度。

杉木（*Cunninghamia lanceolata*）是我国南部亚热带地区一种重要的本地针叶树种，种植面积横跨16个省，超过我国人工林面积的1/4以及世界人工林面积的5%^[17-24]。由于不当的经营管理，我国杉木林早期多以高密度的纯林为主，随着林分的发育导致林分多样性降低、地力衰退、和生态功能低下等问题，严重制约了森林的可持续经营^[18-25]。因此，综合考虑经济价值和药用植物保护的生态价值，有助于最大限度地利用和保护森林资源，科学地、可持续的经营和管理人工林是当今人工林亟待解决的问题^[19-24]。大量研究表明，杉木林林下存在较多的药用植物以及国家二级保护植物如金毛狗（*Cibotium barometz*）和观音莲座蕨（*Angiopteris fokiensis*）等，但未能厘清药用植物与杉木林林龄的关系^[24-25]。基于此，本研究以近自然经营杉木林为研究对象，旨在探索近自然经营的杉木林林下药用植物多样性及组成结构随着恢复时间的恢复轨迹是怎样的？本研究

旨在为我国人工林野生药用植物资源以及近自然经营的杉木人工林药用植物的随林龄的恢复和稳定性提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于广东省乐昌林场，属中亚热带气候，年均温度21.7℃，年平均降水量1 694 mm^[25]。该地区地形起伏较大，海拔在100-1050m之间。土壤类型主要为由花岗岩和砂页岩发育而成的赤红壤^[25-26]。

1.2 样地选取和布设

在2021年的7-8月对杉木人工林林下植被进行调查，在每个林龄阶段（5、10、15、20、30和60年）随机选择3个20 m × 30 m样方（表1），每个林龄样地的间距> 1 km，且所有样方距林缘均> 100 m^[6, 26-28]。灌木层（1.3-4 m的维管植物和非维管植物）小样方（5 m × 5 m）在每个样地内随机选择3个，草本层（高度< 1.3 m的维管植物和非维管植物）小样方（1 m × 1 m）在每个样地内随机选择6个，利用卷尺测量灌木层和草本层小样方内的中每个物种的高度和盖度，记录样地基本信息、种名和数量^[6, 26-28]。

1.3 多样性测度

采用物种丰富度（ R ）、Shannon-Wiener指数（ H' ）、Simpson指数（ D ）和Pielou指数（ E ）4个常用指数测度灌木和草本的 α 多样性^[2, 6, 29-30]，具体计算公式为

物种丰富度： $R = S$

Simpson优势度（ D ）： $D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$

Shannon-Wiener多样性指数（ H' ）： $H' = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)$

Pielou均匀度指数（ E ）： $E = H'/h S$

式中， S 为样方中物种数， P_i 为群落中第 i 个物种的重要值。林下植被（灌木和草本）的重要值（important value, IV）用来反映各个物种在群落中的相对重要性^[2, 6, 29-30]，计算公式为

（灌木层）重要值IV = （相对密度+相对高度+相对频度）/3

（草本层）重要值IV = （相对密度+相对盖度+相对频度）/3

参考毛亦杨等（2021）^[7]， β 多样性指数采用Jaccard和Morisita-Horn指数测定相似性，具体计算公式为

$$J = \frac{a}{a+b+c}$$

其中， a 是两个样地共有的物种数量， b 和 c 分别为每个样地独

表1 样地基本信息

Table 1 Information of the sampling sites

林龄 Age (t/a)	经度 Longitude	纬度 latitude	海拔 Altitude (h/m)	坡向 Direction (α°)	郁闭度 Canopy density (P %)	灌木层盖度 Shrub layer (r %)	草本层盖度 Herb layer (r %)
5	113°17'20"E	25°8'48"N	345	南 South	70.0	5.78 ± 0.48	58.00 ± 6.02
10	113°21'5"E	25°8'29"N	370	西南 Southwest	90.0	21.03 ± 0.93	74.08 ± 2.48
15	113°18'42"E	25°10'30"N	390	东南 Southeast	82.5	24.92 ± 1.93	84.50 ± 11.29
20	113°18'9"E	25°10'12"N	540	东 East	60.0	6.26 ± 1.39	52.58 ± 5.75
30	113°23'1"E	25°1'5"N	490	北 North	80.0	9.95 ± 1.63	56.92 ± 12.33
60	113°21'2"E	25°17'49"N	1005	南 South	75.0	30.83 ± 5.71	57.83 ± 10.73

有的物种数量^[31-32].

$$MH = \frac{2\sum (a_i \times b_i)}{(d_a + d_b) N_a + N_b}$$

其中, N_a 是样地A的总个体数, N_b 是样地B的总个体数, a_i 第*i*物种在样地A的个体数量, b_i 第*i*物种在样地B的个体数量, d_a (d_b)^[33]的计算是:

$$d_a = \sum \frac{a_i^2}{N_a^2}$$

通过查阅《中药学》《中国药用植物》和《华南药用植物》^[34-36]等相关书籍同时结合植物智(www.iplant.cn)等网络平台对样地的植物进行分类整理,并统计药用植物的入药部位和功效^[9].

1.4 数据处理与分析

文中所有数据先使用Excel 2020进行数据初步处理,随后采用SPSS 22.0进行数据处理和分析,进一步通过R 3.6.0软件中ggplots, vegan和fossil进行计算相关指标和作图. 采用一元线性回归分别检验杉木林林下植被的β多样性指数中

的J和H与林龄间隔的关系,再分别比较杉木林林下药用植物的J和H指数间的相关关系. 所用的统计显著水平值设为0.05.

2 结果与分析

2.1 不同林龄杉木人工林林下药用植物优势种数量特征

杉木人工林林下植被的调查结果显示, 6个林龄共有植物74科131属和178种, 其中药用植物有58科86属105种. 主要是五加科(11, 占比5.7%)、茜草科(11, 占比5.7%)和蔷薇科(11, 占比5.7%)的比例相对较大, 其次是桑科(10, 占比5.2%)和乌毛蕨科(10, 占比5.2%)(表2, 3). 研究发现药用植物为6个林龄杉木林的林下植被(草本和灌木层)主要优势种, 例如在5年林龄的杉木林中灌木层植被优势种为光叶山黄麻(*Trema cannabina*)、粗叶榕(*Ficus hirta*)和藤构(*Broussonetia kaempferi*); 草本层为乌毛蕨(*Blechnum orientale*)、海金沙(*Lygodium japonicum*)和类芦(*Neyraudia reynaudiana*)(表2、3). 10年林龄杉木林中灌木层植被优势种为鲫鱼胆(*Maesa*

表2 不同林龄杉木林灌木层物种组成和重要值
Table 2 Main species composition and important values of the shrub layer of understory vegetation in *Cunninghamia lanceolata* plantations of different stand ages

种名 Species	科 Family	属 Genus	重要值 Important value (IV/%)					
			5 a	10 a	15 a	20 a	30 a	60 a
白花灯笼 <i>Clerodendrum fortuneatum</i>	唇形科 Lamiaceae	大青属 <i>Clerodendrum</i>	2.82	0	0.79	0	4.75	0
白花酸藤果 <i>Embelia ribes</i>	报春花科 Primulaceae	酸藤子属 <i>Embelia</i>	1.57	0	0	0	0	0
白花悬钩子 <i>Rubus leucanthus</i>	蔷薇科 Rosaceae	悬钩子属 <i>Rubus</i>	2.57	0.74	0	9.35	29.20	0
粗叶榕 <i>Ficus hirta</i>	桑科 Moraceae	榕属 <i>Ficus</i>	13.49	6.35	6.92	0.81	3.87	0
粗叶悬钩子 <i>Rubus alceifolius</i>	蔷薇科 Rosaceae	悬钩子属 <i>Rubus</i>	0.60	0	0	0	0	0
钩吻 <i>Gelsemium elegans</i>	钩吻科 Gelsemiaceae	钩吻属 <i>Gelsemium</i>	1.34	0	0	0	0	0
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	桑科 Moraceae	构属 <i>Broussonetia</i>	2.70	0	0	0	0	0
光叶山黄麻 <i>Trema cannabina</i>	大麻科 Cannabaceae	山黄麻属 <i>Trema</i>	21.93	0	0	0	0	0
黄毛榕 <i>Ficus esquiroliana</i>	桑科 Moraceae	榕属 <i>Ficus</i>	2.45	0	0	0	0	0
毛果算盘子 <i>Glochidion eriocarpum</i>	叶下珠科 Phyllanthaceae	算盘子属 <i>Glochidion</i>	2.48	0	0	0	0	0
枇杷叶紫珠 <i>Callicarpa kochiana</i>	唇形科 Lamiaceae	紫珠属 <i>Callicarpa</i>	5.67	0.68	0	0	0	0
琴叶榕 <i>Ficus pandurata</i>	桑科 Moraceae	榕属 <i>Ficus</i>	0.99	0	0	3.38	0	0
三桠苦 <i>Melicope pteleifolia</i>	芸香科 Rutaceae	蜜桠属 <i>Melicope</i>	0.86	0	0	1.10	1.05	0
山莓 <i>Rubus corchorifolius</i>	蔷薇科 Rosaceae	悬钩子属 <i>Rubus</i>	0.72	1.37	1.08	1.43	6.13	0
柿 <i>Diospyros kaki</i>	柿科 Ebenaceae	柿属 <i>Diospyros</i>	0.99	0.46	0	0	0	0
水锦树 <i>Wendlandia uvariifolia</i>	茜草科 Rubiaceae	水锦树属 <i>Wendlandia</i>	1.50	0	0	0	1.04	0
台湾榕 <i>Ficus formosana</i>	桑科 Moraceae	榕属 <i>Ficus</i>	0.68	0	0	0	0	0
藤构 <i>Broussonetia kaempferi</i>	桑科 Moraceae	构属 <i>Broussonetia</i>	11.49	1.17	0	8.22	5.26	0
星齿叶桉 <i>Eurya nitida</i>	五列木科 Pentaphylacaceae	桉属 <i>Eurya</i>	1.23	1.56	0	0	0	2.11
星毛鸭脚木 <i>Schefflera minutistellata</i>	五加科 Araliaceae	鹅掌柴属 <i>Schefflera</i>	3.63	0	0	0	0	0
野牡丹 <i>Melastoma candidum</i>	野牡丹科 Melastomataceae	野牡丹属 <i>Melastoma</i>	3.47	3.84	0.86	0	0	0
野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	漆树科 Anacardiaceae	漆树属 <i>Toxicodendron</i>	0.80	0.52	0.72	7.66	0.52	0
玉叶金花 <i>Mussaenda pubescens</i>	茜草科 Rubiaceae	玉叶金花属 <i>Mussaenda</i>	7.51	0	0	0	1.18	0
长刺楸木 <i>Aralia spinifolia</i>	五加科 Araliaceae	楸木属 <i>Aralia</i>	1.40	3.29	0	3.94	0	0
苎麻 <i>Boehmeria nivea</i>	荨麻科 Urticaceae	苎麻属 <i>Boehmeria</i>	2.84	0	0	3	0	0
紫麻 <i>Oreocnide frutescens</i>	荨麻科 Urticaceae	紫麻属 <i>Oreocnide</i>	4.25	0	0	0	0	0
菝葜 <i>Smilax china</i>	菝葜科 Smilacaceae	菝葜属 <i>Smilax</i>	0	1.16	1.66	0	0	0
白花龙 <i>Styrax faberi</i>	安息香科 Styracaceae	安息香属 <i>Styrax</i>	0	1.05	0	2.47	0	0
草珊瑚 <i>Sarcandra glabra</i>	金粟兰科 Chloranthaceae	草珊瑚属 <i>Sarcandra</i>	0	0.45	0	0	0.59	1.41
杜虹花 <i>Callicarpa pedunculata</i>	唇形科 Lamiaceae	紫珠属 <i>Callicarpa</i>	0	1.94	0	0	0	0
多花勾儿茶 <i>Berchemia floribunda</i>	鼠李科 Rhamnaceae	勾儿茶属 <i>Berchemia</i>	0	0.51	0	0	0	0
鹅掌柴 <i>Heptapleurum heptaphyllum</i>	五加科 Araliaceae	鹅掌柴属 <i>Schefflera</i>	0	0.75	0	10.57	1.84	0
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	蕈树科 Altingiaceae	枫香树属 <i>Liquidambar</i>	0	0.66	0	0	0	0
钩藤 <i>Uncaria rhynchophylla</i>	茜草科 Rubiaceae	钩藤属 <i>Uncaria</i>	0	5.47	1.33	0	3.61	0
广东润楠 <i>Machilus kwangtungensis</i>	樟科 Lauraceae	润楠属 <i>Machilus</i>	0	2.18	0.74	0.74	0	0
胡颓子 <i>Elaeagnus pungens</i>	胡颓子科 Elaeagnaceae	胡颓子属 <i>Elaeagnus</i>	0	1.27	0	0	0	0
花椒箭 <i>Zanthoxylum scandens</i>	芸香科 Rutaceae	花椒属 <i>Zanthoxylum</i>	0	0.63	0	0	0	0
华南忍冬 <i>Lonicera confusa</i>	忍冬科 Caprifoliaceae	忍冬属 <i>Lonicera</i>	0	2.32	0	0	0	0
华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	樟科 Lauraceae	润楠属 <i>Machilus</i>	0	4.66	0	0	1.72	4.56
鲫鱼胆 <i>Maesa perlaris</i>	报春花科 Primulaceae	杜茎山属 <i>Maesa</i>	0	8.81	0	0	0	0
尖叶毛柃 <i>Eurya acuminatissima</i>	五列木科 Pentaphylacaceae	柃属 <i>Eurya</i>	0	7.13	0	0	0	0

续表2 Table 2 (continued)

种名 Species	科 Family	属 Genus	重要值 Important value (IV/%)					
			5 a	10 a	15 a	20 a	30 a	60 a
流苏子 <i>Coptosapelta diffusa</i>	茜草科 Rubiaceae	流苏子属 <i>Coptosapelta</i>	0	2.05	0	0	0	0
罗浮柿 <i>Diospyros morrisiana</i>	柿科 Ebenaceae	柿属 <i>Diospyros</i>	0	2.47	0	0	0	0
绿冬青 <i>Ilex viridis</i>	冬青科 Aquifoliaceae	冬青属 <i>Ilex</i>	0	1.86	0	0	0	3.37
马甲菝葜 <i>Smilax lanceifolia</i>	菝葜科 Smilacaceae	菝葜属 <i>Smilax</i>	0	1.18	0	0	0	1.67
毛冬青 <i>Ilex pubescens</i>	冬青科 Aquifoliaceae	冬青属 <i>Ilex</i>	0	2.65	0.59	0	0	19.26
米碎花 <i>Eurya chinensis</i>	五列木科 Pentaphylacaceae	柃属 <i>Eurya</i>	0	0.80	0	0	0	0
米槠 <i>Castanopsis carlesii</i>	壳斗科 Fagaceae	锥属 <i>Castanopsis</i>	0	0.85	0	0	0	0
木防己 <i>Cocculus orbiculatus</i>	防己科 Menispermaceae	木防己属 <i>Cocculus</i>	0	3.32	0.91	0	0.49	0
南烛 <i>Vaccinium bracteatum</i>	杜鹃花科 Ericaceae	越橘属 <i>Vaccinium</i>	0	1.60	0	0	0	0
山鸡椒 <i>Litsea cubeba</i>	樟科 Lauraceae	木姜子属 <i>Litsea</i>	0	2.17	0.91	0	4.36	0
山血丹 <i>Ardisia lindleyana</i>	报春花科 Primulaceae	紫金牛属 <i>Ardisia</i>	0	1.18	0	0	0.49	2.97
深裂锈毛莓 <i>Rubus reflexus</i>	蔷薇科 Rosaceae	悬钩子属 <i>Rubus</i>	0	5.62	11.44	1.09	6.09	0
鼠刺 <i>Itea chinensis</i>	鼠刺科 Iteaceae	鼠刺属 <i>Itea</i>	0	8.21	0	2.63	2.59	4.83
藤黄檀 <i>Dalbergia hancei</i>	豆科 Fabaceae	黄檀属 <i>Dalbergia</i>	0	1.21	0	0	0	0
土茯苓 <i>Smilax glabra</i>	菝葜科 Smilacaceae	菝葜属 <i>Smilax</i>	0	1.23	0.72	0	0	0
显齿蛇葡萄 <i>Ampelopsis grossedentata</i>	葡萄科 Vitaceae	蛇葡萄属 <i>Ampelopsis</i>	0	2.10	0	0	0	0
小果菝葜 <i>Smilax davidiana</i>	菝葜科 Smilacaceae	菝葜属 <i>Smilax</i>	0	0.59	1.30	1.47	1.04	0
小果山龙眼 <i>Helicia cochinchinensis</i>	山龙眼科 Proteaceae	山龙眼属 <i>Helicia</i>	0	0.63	0	0	0	0
银杏 <i>Ginkgo biloba</i>	银杏科 Ginkgoaceae	银杏属 <i>Ginkgo</i>	0	0.48	0	0	0	0
油茶 <i>Camellia oleifera</i>	山茶科 Theaceae	山茶属 <i>Camellia</i>	0	0.83	0	0	0.58	2.24
笔罗子 <i>Meliosma rigida</i>	清风藤科 Sabiaceae	泡花树属 <i>Meliosma</i>	0	0	3.96	0	0	0
杜茎山 <i>Maesa japonica</i>	报春花科 Primulaceae	杜茎山属 <i>Maesa</i>	0	0	8.09	0	3.25	8.49
广东蛇葡萄 <i>Ampelopsis cantoniensis</i>	葡萄科 Vitaceae	蛇葡萄属 <i>Ampelopsis</i>	0	0	2.28	0	0.97	0
红背山麻秆 <i>Alchornea trewioides</i>	大戟科 Euphorbiaceae	山麻秆属 <i>Alchornea</i>	0	0	7.56	3.78	0	0
黄毛槲木 <i>Aralia chinensis</i>	五加科 Araliaceae	槲木属 <i>Aralia</i>	0	0	0.74	0	8.57	0
蜡瓣花 <i>Corylopsis sinensis</i>	金缕梅科 Hamamelidaceae	蜡瓣花属 <i>Corylopsis</i>	0	0	4.16	0	0	0
蕈蕈锥 <i>Castanopsis fissa</i>	壳斗科 Fagaceae	锥属 <i>Castanopsis</i>	0	0	0.81	0	0	0
亮叶猴耳环 <i>Archidendron lucidum</i>	豆科 Fabaceae	猴耳环属 <i>Archidendron</i>	0	0	5.72	0	0	0
密齿酸藤子 <i>Embelia vestita</i>	报春花科 Primulaceae	酸藤子属 <i>Embelia</i>	0	0	1.85	0	1.27	0
木荷 <i>Schima superba</i>	山茶科 Theaceae	木荷属 <i>Schima</i>	0	0	0.84	0	0	2.32
日本杜英 <i>Elaeocarpus japonicus</i>	杜英科 Elaeocarpaceae	杜英属 <i>Elaeocarpus</i>	0	0	1.04	0	0	0
日本五月茶 <i>Antidesma japonicum</i>	叶下珠科 Phyllanthaceae	五月茶属 <i>Antidesma</i>	0	0	0.73	0	0	0
箬竹 <i>Indocalamus tessellatus</i>	禾本科 Poaceae	箬竹属 <i>Indocalamus</i>	0	0	9.29	0	0	0
三花冬青 <i>Ilex triflora</i>	冬青科 Aquifoliaceae	冬青属 <i>Ilex</i>	0	0	4.18	0	0	0
山麻秆 <i>Alchornea davidii</i>	大戟科 Euphorbiaceae	山麻秆属 <i>Alchornea</i>	0	0	1.58	0	0.44	0
少花柏拉木 <i>Blastus pauciflorus</i>	野牡丹科 Melastomataceae	柏拉木属 <i>Blastus</i>	0	0	16.05	0	0	0
心叶毛蕊茶 <i>Camellia cordifolia</i>	山茶科 Theaceae	山茶属 <i>Camellia</i>	0	0	1.14	0	0	0
白筋 <i>Eleutherococcus trifoliatus</i>	五加科 Araliaceae	五加属 <i>Eleutherococcus</i>	0	0	0	8.86	0	0
白檀 <i>Symplocos tanakana</i>	山矾科 Symplocaceae	山矾属 <i>Symplocos</i>	0	0	0	1.01	0	0
博落回 <i>Macleaya cordata</i>	罂粟科 Papaveraceae	博落回属 <i>Macleaya</i>	0	0	0	0.61	0	0
红腺悬钩子 <i>Rubus sumatranus</i>	蔷薇科 Rosaceae	悬钩子属 <i>Rubus</i>	0	0	0	0.78	0	0
厚果崖豆藤 <i>Millettia pachycarpa</i>	豆科 Fabaceae	崖豆藤属 <i>Millettia</i>	0	0	0	4.30	0	0
金丝桃 <i>Hypericum monogynum</i>	金丝桃科 Hypericaceae	金丝桃属 <i>Hypericum</i>	0	0	0	1.50	0	0
空心泡 <i>Rubus rosifolius</i>	蔷薇科 Rosaceae	悬钩子属 <i>Rubus</i>	0	0	0	1.26	0	0
苦楝 <i>Melia azedarach</i>	楝科 Meliaceae	楝属 <i>Melia</i>	0	0	0	0.51	0.58	0
糯米团 <i>Gonostegia hirta</i>	荨麻科 Urticaceae	糯米团属 <i>Gonostegia</i>	0	0	0	3.31	0	0
朴树 <i>Celtis sinensis</i>	大麻科 Cannabaceae	朴属 <i>Celtis</i>	0	0	0	1.34	0	0
山乌柏 <i>Triadica cochinchinensis</i>	大戟科 Euphorbiaceae	乌柏属 <i>Triadica</i>	0	0	0	2.61	0	0
天仙果 <i>Ficus erecta</i>	桑科 Moraceae	榕属 <i>Ficus</i>	0	0	0	2.45	0	0
锈毛铁线莲 <i>Clematis leschenaultiana</i>	毛茛科 Ranunculaceae	铁线莲属 <i>Clematis</i>	0	0	0	4.69	0	0
羊角拗 <i>Strophanthus divaricatus</i>	夹竹桃科 Apocynaceae	羊角拗属 <i>Strophanthus</i>	0	0	0	1.09	0	0
野柿 <i>Diospyros kaki</i>	柿科 Ebenaceae	柿属 <i>Diospyros</i>	0	0	0	1.61	0	0
阴香 <i>Cinnamomum burmanni</i>	樟科 Lauraceae	樟属 <i>Cinnamomum</i>	0	0	0	2.41	0	0
大叶紫珠 <i>Callicarpa macrophylla</i>	唇形科 Lamiaceae	紫珠属 <i>Callicarpa</i>	0	0	0	0	4.99	0
倒卵叶野木瓜 <i>Stauntonia obovata</i>	木通科 Lardizabalaceae	野木瓜属 <i>Stauntonia</i>	0	0	0	0	0.46	0
鸡眼藤 <i>Morinda parvifolia</i>	茜草科 Rubiaceae	巴戟天属 <i>Morinda</i>	0	0	0	0	0.54	0
两面针 <i>Zanthoxylum nitidum</i>	芸香科 Rutaceae	花椒属 <i>Zanthoxylum</i>	0	0	0	0	0.46	0
毛叶轮环藤 <i>Cyclea barbata</i>	防己科 Menispermaceae	轮环藤属 <i>Cyclea</i>	0	0	0	0	0.80	0
三叶木通 <i>Akebia trifoliata</i>	木通科 Lardizabalaceae	木通属 <i>Akebia</i>	0	0	0	0	0.63	0
台湾泡桐 <i>Paulownia kawakamii</i>	泡桐科 Paulowniaceae	泡桐属 <i>Paulownia</i>	0	0	0	0	0.61	0
短梗大参 <i>Macropanax rosthornii</i>	五加科 Araliaceae	大参属 <i>Macropanax</i>	0	0	0	0	0	0.71
峨眉鼠刺 <i>Itea omeiensis</i>	鼠刺科 Iteaceae	鼠刺属 <i>Itea</i>	0	0	0	0	0	1.55
二列叶柃 <i>Eurya distichophylla</i>	五列木科 Pentaphylacaceae	柃属 <i>Eurya</i>	0	0	0	0	0	1.94
勾儿茶 <i>Berchemia sinica</i>	鼠李科 Rhamnaceae	勾儿茶属 <i>Berchemia</i>	0	0	0	0	0	1.47
狗骨柴 <i>Diplospora dubia</i>	茜草科 Rubiaceae	狗骨柴属 <i>Diplospora</i>	0	0	0	0	0	1.48
红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	樟科 Lauraceae	润楠属 <i>Machilus</i>	0	0	0	0	0	4.44
黄樟 <i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	樟科 Lauraceae	樟属 <i>Cinnamomum</i>	0	0	0	0	0	2.27
老鼠矢 <i>Symplocos stellaris</i>	山矾科 Symplocaceae	山矾属 <i>Symplocos</i>	0	0	0	0	0	3.06

续表2 Table 2 (continued)

种名 Species	科 Family	属 Genus	重要值 Important value (IV/%)					
			5 a	10 a	15 a	20 a	30 a	60 a
鹿角杜鹃 <i>Rhododendron latoucheae</i>	杜鹃花科 Ericaceae	杜鹃花属 <i>Rhododendron</i>	0	0	0	0	0	5.16
轮叶木姜子 <i>Litsea verticillata</i>	樟科 Lauraceae	木姜子属 <i>Litsea</i>	0	0	0	0	0	1.07
罗浮买麻藤 <i>Gnetum luofuense</i>	买麻藤科 Gnetaceae	买麻藤属 <i>Gnetum</i>	0	0	0	0	0	0.63
木莓 <i>Rubus swinhoei</i>	蔷薇科 Rosaceae	悬钩子属 <i>Rubus</i>	0	0	0	0	0	0.82
茜树 <i>Aidia cochinchinensis</i>	茜草科 Rubiaceae	茜树属 <i>Aidia</i>	0	0	0	0	0	0.88
日本粗叶木 <i>Lasianthus japonicus</i>	茜草科 Rubiaceae	粗叶木属 <i>Lasianthus</i>	0	0	0	0	0	5.52
锐尖山香圆 <i>Turpinia arguta</i>	省沽油科 Staphyleaceae	山香圆属 <i>Turpinia</i>	0	0	0	0	0	4.69
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	柏科 Cupressaceae	杉木属 <i>Cunninghamia</i>	0	0	0	0	0	2.87
穗序鹅掌柴 <i>Schefflera delavayi</i>	五加科 Araliaceae	鹅掌柴属 <i>Schefflera</i>	0	0	0	0	0	2.84
尾叶那藤 <i>Stauntonia obovatifoliola</i>	木通科 Lardizabalaceae	野木瓜属 <i>Stauntonia</i>	0	0	0	0	0	0.69
窄基红褐铃 <i>Eurya rubiginosa</i>	五列木科 Pentaphylacaceae	铃属 <i>Eurya</i>	0	0	0	0	0	3.80
梔子 <i>Gardenia jasminoides</i>	茜草科 Rubiaceae	梔子属 <i>Gardenia</i>	0	0	0	0	0	0.85

表3 不同林龄杉木林草本层物种组成和重要值
Table 3 Main species composition and important values of the herb layer of understorey vegetation in *Cunninghamia lanceolata* plantations of different stand ages

种名 Species	科 Family	属 Genus	重要值 Important value (IV/%)					
			5 a	10 a	15 a	20 a	30 a	60 a
半边旗 <i>Pteris semipinnata</i>	凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨属 <i>Pteris</i>	5.67	2.30	0	0	0.70	0
弓果黍 <i>Cyrtococcum patens</i>	禾本科 Poaceae	弓果黍属 <i>Cyrtococcum</i>	1.81	0	0	0	0	0
海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	海金沙科 Lygodiaceae	海金沙属 <i>Lygodium</i>	13.14	0	0	0	0	0
华南毛蕨 <i>Cyclosorus parasiticus</i>	金星蕨科 Thelypteridaceae	毛蕨属 <i>Cyclosorus</i>	6.41	9.64	1.95	9.24	8.90	0
黄鹌菜 <i>Youngia japonica</i>	菊科 Asteraceae	黄鹌菜属 <i>Youngia</i>	2.08	0	0	1	0	0
假臭草 <i>Praxelis clematidea</i>	菊科 Asteraceae	假臭草属 <i>Praxelis</i>	3.81	0	0	0	0	0
绞股蓝 <i>Gynostemma pentaphyllum</i>	葫芦科 Cucurbitaceae	绞股蓝属 <i>Gynostemma</i>	0.58	0	0	0	0	0
金毛狗 <i>Cibotium barometz</i>	金毛狗科 Cibotiaceae	金毛狗属 <i>Cibotium</i>	2.40	2.77	1.54	4.09	16.72	0
类芦 <i>Neyraudia reynaudiana</i>	禾本科 Poaceae	类芦属 <i>Neyraudia</i>	10.83	0	0	0	0	0
芒萁 <i>Dicranopteris pedata</i>	里白科 Gleicheniaceae	乌蕨属 <i>Dicranopteris</i>	0.49	4.63	0	7.19	0	0
毛果珍珠茅 <i>Scleria levis</i>	莎草科 Cyperaceae	珍珠茅属 <i>Scleria</i>	0.87	0	0	0	0	0
求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	禾本科 Poaceae	求米草属 <i>Oplismenus</i>	1.92	0	0	1.01	0	0
扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellulatum</i>	凤尾蕨科 Pteridaceae	铁线蕨属 <i>Adiantum</i>	1.30	0	0	0	0.89	0
十字萼草 <i>Carex cruciata</i>	莎草科 Cyperaceae	萼草属 <i>Carex</i>	5.93	0	0	0.77	0	0
团叶鳞始蕨 <i>Lindsaea orbiculata</i>	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	鳞始蕨属 <i>Lindsaea</i>	2.47	0.93	0	0	0	0
乌蕨 <i>Odontosoria chinensis</i>	鳞始蕨科 Lindsaeaceae	乌蕨属 <i>Odontosoria</i>	2.77	5.35	0	0	1.47	0
乌毛蕨 <i>Blechnum orientale</i>	乌毛蕨科 Blechnaceae	乌毛蕨属 <i>Blechnum</i>	21.78	7.06	2.95	2.32	17.61	1.18
显齿蛇葡萄 <i>Ampelopsis grossedentata</i>	葡萄科 Vitaceae	蛇葡萄属 <i>Ampelopsis</i>	0.56	0	0	0	0	0
小蓬草 <i>Erigeron canadensis</i>	菊科 Asteraceae	飞蓬属 <i>Erigeron</i>	2.93	0	0	3.10	0	0
鸭跖草 <i>Commelina communis</i>	鸭跖草科 Commelinaceae	鸭跖草属 <i>Commelina</i>	1.24	0	0	0	0	0
紫斑蝴蝶草 <i>Torenia fordii</i>	母草科 Linderniaceae	蝴蝶草属 <i>Torenia</i>	4.37	0	0	0	0	0
棕叶狗尾草 <i>Setaria palmifolia</i>	禾本科 Poaceae	狗尾草属 <i>Setaria</i>	3.45	0	1.47	0	2.66	0
酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	酢浆草科 Oxalidaceae	酢浆草属 <i>Oxalis</i>	3.18	0	0	26.37	0	0
边缘鳞盖蕨 <i>Microlepia marginata</i>	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	鳞盖蕨属 <i>Microlepia</i>	0	13.95	9.87	0	16.62	0
垂穗石松 <i>Lycopodium cernuum</i>	石松科 Lycopodiaceae	石松属 <i>Lycopodium</i>	0	1.14	0	0	0	0
东风草 <i>Blumea megacephala</i>	菊科 Asteraceae	艾纳香属 <i>Blumea</i>	0	1.39	0	5.23	4.14	0
狗脊 <i>Woodwardia japonica</i>	乌毛蕨科 Blechnaceae	狗脊属 <i>Woodwardia</i>	0	34.88	15.66	0	9.99	20.71
黑莎草 <i>Gahnia tristis</i>	莎草科 Cyperaceae	黑莎草属 <i>Gahnia</i>	0	1.88	2.85	3.07	1.63	0
空心泡 <i>Rubus rosifolius</i>	蔷薇科 Rosaceae	悬钩子属 <i>Rubus</i>	0	1.17	0.58	0	0	0
乌莓 <i>Cayratia japonica</i>	葡萄科 Vitaceae	乌莓属 <i>Cayratia</i>	0	1.69	0	2.50	0.58	0
五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	禾本科 Poaceae	芒属 <i>Miscanthus</i>	0	7.58	0	0	0	0
小黑桫欏 <i>Gymnosphaera metteniana</i>	桫欏科 Cyatheaceae	黑桫欏属 <i>Gymnosphaera</i>	0	0.75	0	0	0	0
小叶海金沙 <i>Lygodium microphyllum</i>	海金沙科 Lygodiaceae	海金沙属 <i>Lygodium</i>	0	2.88	0	0	1.45	0
对马耳蕨 <i>Polystichum tsussimense</i>	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	耳蕨属 <i>Polystichum</i>	0	0	6.07	0	0	0
黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i>	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨属 <i>Dryopteris</i>	0	0	1.28	0	0	0
火炭母 <i>Persicaria chinensis</i>	蓼科 Polygonaceae	蓼属 <i>Persicaria</i>	0	0	3.57	1.02	0	0
姬蕨 <i>Hypolepis punctata</i>	碗蕨科 Dennstaedtiaceae	姬蕨属 <i>Hypolepis</i>	0	0	1.04	0	0	0
毛柄短肠蕨 <i>Diplazium dilatatum</i>	蹄盖蕨科 Athyriaceae	双盖蕨属 <i>Diplazium</i>	0	0	22.10	16.17	6.11	0
深绿卷柏 <i>Selaginella doederleinii</i>	卷柏科 Selaginellaceae	卷柏属 <i>Selaginella</i>	0	0	26.38	0	0	0
肾蕨 <i>Nephrolepis cordifolia</i>	肾蕨科 Nephrolepidaceae	肾蕨属 <i>Nephrolepis</i>	0	0	1.86	0	3.11	0
条穗萼草 <i>Carex nemostachys</i>	莎草科 Cyperaceae	萼草属 <i>Carex</i>	0	0	0.84	0	1.72	0
风轮菜 <i>Clinopodium chinense</i>	唇形科 Lamiaceae	风轮菜属 <i>Clinopodium</i>	0	0	0	2.86	0	0
韩信草 <i>Scutellaria indica</i>	唇形科 Lamiaceae	黄芩属 <i>Scutellaria</i>	0	0	0	3.79	0	0
虎舌红 <i>Ardisia mamillata</i>	报春花科 Primulaceae	紫金牛属 <i>Ardisia</i>	0	0	0	0.47	0	0
华山姜 <i>Alpinia oblongifolia</i>	姜科 Zingiberaceae	山姜属 <i>Alpinia</i>	0	0	0	0.46	0.61	0
见血青 <i>Liparis nervosa</i>	兰科 Orchidaceae	羊耳蒜属 <i>Liparis</i>	0	0	0	0.48	0	0
楼梯草 <i>Elatostema involucreatum</i>	荨麻科 Urticaceae	楼梯草属 <i>Elatostema</i>	0	0	0	0.65	0	0
蔓生莠竹 <i>Microstegium fasciculatum</i>	禾本科 Poaceae	莠竹属 <i>Microstegium</i>	0	0	0	1.08	0	0

续表3 Table 3 (continued)

种名 Species	科 Family	属 Genus	重要值 Important value (IV/%)					
			5 a	10 a	15 a	20 a	30 a	60 a
糯米团 <i>Gonostegia hirta</i>	荨麻科 Urticaceae	糯米团属 <i>Gonostegia</i>	0	0	0	0.73	0	0
七星莲 <i>Viola diffusa</i>	堇菜科 Violaceae	堇菜属 <i>Viola</i>	0	0	0	2.32	0	3.83
茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	茜草科 Rubiaceae	茜草属 <i>Rubia</i>	0	0	0	0.67	0	0
匙叶鼠麴草 <i>Gnaphalium pensylvanicum</i>	菊科 Asteraceae	湿鼠曲草属 <i>Gnaphalium</i>	0	0	0	0.59	0	0
星宿菜 <i>Lysimachia fortunei</i>	报春花科 Primulaceae	珍珠菜属 <i>Lysimachia</i>	0	0	0	0.59	0	0
锈毛铁线莲 <i>Clematis leschenaultiana</i>	毛茛科 Ranunculaceae	铁线莲属 <i>Clematis</i>	0	0	0	0.78	0	0
长萼堇菜 <i>Viola inconspicua</i>	堇菜科 Violaceae	堇菜属 <i>Viola</i>	0	0	0	0.63	0	0
红马蹄草 <i>Hydrocotyle nepalensis</i>	五加科 Araliaceae	天胡荽属 <i>Hydrocotyle</i>	0	0	0	0.84	0	0
贯众 <i>Cyrtomium fortunei</i>	鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	贯众属 <i>Cyrtomium</i>	0	0	0	0	3.30	0
老鼠拉冬瓜 <i>Zehneria japonica</i>	葫芦科 Cucurbitaceae	马兜儿属 <i>Zehneria</i>	0	0	0	0	1.79	0
中华里白 <i>Diplazium chinense</i>	里白科 Gleicheniaceae	里白属 <i>Diplazium</i>	0	0	0	0	0	23.04
花茎薹草 <i>Carex scaposa</i>	莎草科 Cyperaceae	薹草属 <i>Carex</i>	0	0	0	0	0	18.46
瘤足蕨 <i>Plagiogyria adnata</i>	瘤足蕨科 Plagiogyriaceae	瘤足蕨属 <i>Plagiogyria</i>	0	0	0	0	0	32.78

perlarius)、鼠刺 (*Itea chinensis*) 和尖叶毛茛 (*Eurya acuminatissima*)，草本层为狗脊 (*Woodwardia japonica*)、边缘鳞盖蕨 (*Microlepia marginata*) 和华南毛蕨 (*Cyclosorus parasiticus*)。15年林龄杉木林中灌木层植被优势种为少花柏拉木 (*Blastus pauciflorus*)、深裂锈毛莓 (*Rubus reflexus*) 和箬竹 (*Indocalamus tessellatus*)，草本层为深绿卷柏 (*Selaginella doederleinii*)、毛柄短肠蕨 (*Diplazium dilatatum*) 和狗脊。20年林龄杉木林中，灌木层植被优势种为鹅掌柴 (*Heptapleurum heptaphyllum*)、白花悬钩子 (*Rubus leucanthus*) 和白筋 (*Eleutherococcus trifolius*)，草本层为酢浆草 (*Oxalis corniculata*)、毛柄短肠蕨和华南毛蕨。30年林龄杉木林中灌木层植被优势种为白花悬钩子、黄毛櫟木 (*Aralia chinensis*) 和山莓 (*Rubus corchorifolius*)，草本层为乌毛蕨、金毛狗 (*Cibotium barometz*) 和边缘鳞盖蕨。60年林龄杉木林中灌木层植被优势种为毛冬青 (*Ilex pubescens*)、杜茎山 (*Maesa japonica*) 和日本粗叶木 (*Lasianthus japonicus*)，草本层为瘤足蕨 (*Plagiogyria adnata*)、中华里白 (*Diplazium chinense*) 和狗脊。此外，6个林龄杉木林的林下植被灌木层植被的相对重要值离散程度相对稳定，草本层植被的相对重要值离散程度较大 (图1, 表2, 3)。

2.2 杉木人工林林下药用植物入药部位和功效分析

杉木人工林林下药用植物中，从入药部位来看全株 (全草) 入药的有74种，占比19.47%；根入药的有95种，占比25.00%；茎入药的有41种，占比10.79%；叶入药的有83种，占比21.84%；花入药的有16种，占比4.21%；果实入药的有29种，占比7.63%；其他部位入药的有42种，占比11.05% (表4)。

杉木人工林林下药用植物中，具有解表功效的有139种，占比14.34%；清热功效的有31种，占比3.2%；泻下的有105种，占比10.84%；祛风湿的有65种，占比6.71%；利水渗湿的有5种，占比0.52%；温里的有15种，占比1.55%；理气的有42种，占比4.33%；化湿的有27种，占比2.79%；消食的有142种，占比14.65%；活血化瘀功效的有56种，占比5.78%；止血功效的有36种，占比3.72%；化痰止咳平喘的有1种，占比0.10%；安神功效的有6种，占比0.62%；开窍功效的有25种，占比2.58%；平肝息风的有17种，占比1.75%；补虚的有12种，占比1.25%；收涩功效的有28种，占比2.89%；杀虫止痒功效的有109种，占比11.25%；拔毒生肌的有92种，占比9.49%；具有其他功效的有139种，占比14.34% (表5)。

2.3 不同林龄杉木人工林林下药用植物α多样性特征

杉木人工林林下植被和药用植物R随林龄变化异同，杉木

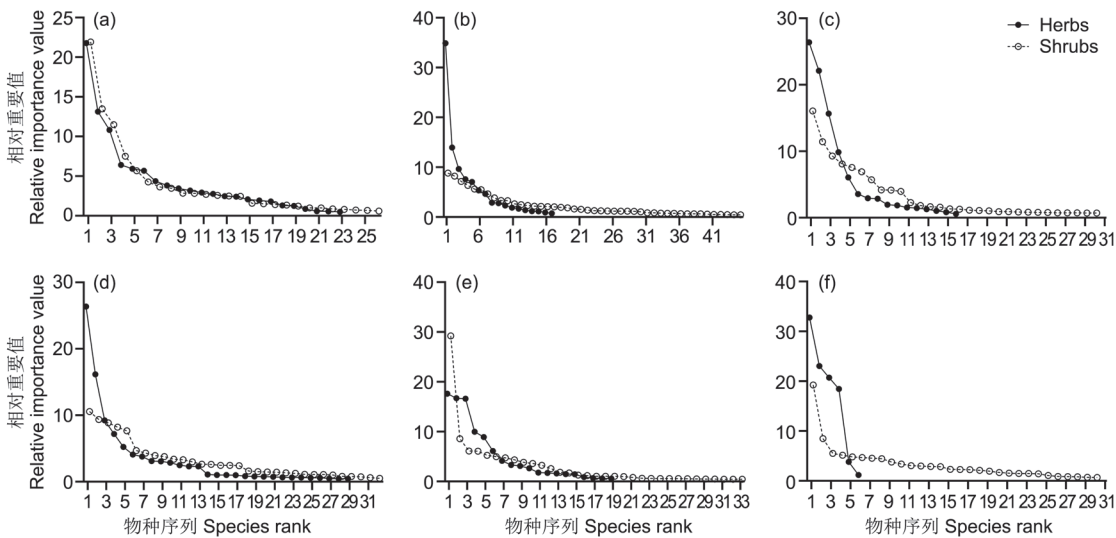


图1 不同林龄杉木林的物种序列与相对重要值的关系。a: 5年; b: 10年; c: 15年; d: 20年; e: 30年; f: 60年。
Fig. 1 Relationship between species rank and relative importance values of *Cunninghamia lanceolata* plantations at different stand ages. a: 5-year-old stand; b: 10-year-old stand; c: 15-year-old stand; d: 20-year-old stand; e: 30-year-old stand; f: 60-year-old stand.

表4 杉木人工林林下药用植物的药用部位统计

Table 4 Statistics on the medicinal parts of medicinal plants of understorey vegetation in in *Cunninghamia lanceolata* plantations

药用部位 Medicinal part	种数 No. of species	比例 Proportion (P/%)
全株 (全草) The whole plant	74	19.47
根 Root	95	25.00
茎 Stem	41	10.79
叶 Leaf	83	21.84
花 Flower	16	4.21
果实 Fruit	29	7.63
其他 Other	42	11.05

按照药用植物药用部位重复统计植物种数。
Repeated counts of plant species according to the medicinal parts of the medicinal plant.

表5 杉木人工林林下药用植物的药用功效统计

Table 5 Statistics on the medicinal efficacy of medicinal plants of understorey vegetation in *Cunninghamia lanceolata* plantations

药用功效 Medicinal effect	种数 No. of species	比例 Proportion (P/%)
解表 Diaphoresis relieving superficies	139	14.34
清热 Clearing away heat	31	3.20
泻下 Purgation	105	10.84
祛风湿 Dispel wind-damp	65	6.71
利水渗湿 Clearing damp and promoting diuresis	5	0.52
温里 Warm the interior	15	1.55
理气 Regulating vital energy	42	4.33
化湿 Resolving wetness	27	2.79
消食 Promoting digestion	142	14.65
活血化痰 Promoting blood circulation to remove blood stasis	56	5.78
止血 Hemostasis	36	3.72
化痰止咳平喘 Phlegm-eliminating cough-relieving and asthma-relieving	1	0.10
安神 Mental concentration	6	0.62
开窍 Resuscitation	25	2.58
平肝息风 Calming liver to stop endogenous wind	17	1.75
补虚 Restoring vital energy	12	1.24
收涩 Inducing astringency	28	2.89
杀虫止痒 Killing parasites to relieve itching	109	11.25
拔毒生肌 Removing toxic substance and promoting granulation	92	9.49
其他 Others	139	14.34

按照药用植物功效重复统计植物种数。
Repeated counts of plant species according to medicinal plant efficacy.

林林下植被灌木层R最大值出现在10年的林龄,草本层出现在20年的林龄,分别为22.33和14.33(图2)。林下药用植物在灌木层R最大值出现在10年林龄(16.00)和20年林龄(16.00),而草本层则出现在20年林龄(8.67)。

药用植物的R和H'随林龄的恢复轨迹类似,无显著线性趋势变化。此外,不同林龄杉木人工林林下植被和药用植物的灌木层R、H'和E均高于草本层,但D低于草本层(图2、3)。杉木林林下植被草本层和草本层药用植物的D最大值在60年林龄,其值分别为0.27和0.71;而H'的最大值分别出现在5年林龄(2.30)和30年林龄(1.79);E的最大值分别出现在5年林龄(0.87)、30年林龄(0.87)、60年林龄(0.87)和5年林龄(0.87)、30年林龄(0.87)(图2、3)。林下植被灌木层和灌木层药用植物的D最大值分别出现在5年林龄(0.14)和15年林龄(0.23);H'的最大值分别出现在10年林龄(2.87)和20年林龄(2.59);林下植被灌木层E的最大值分别出现在20年林龄(0.93)、60年林龄(0.93)和灌木层药用植物20年林龄(0.93)。

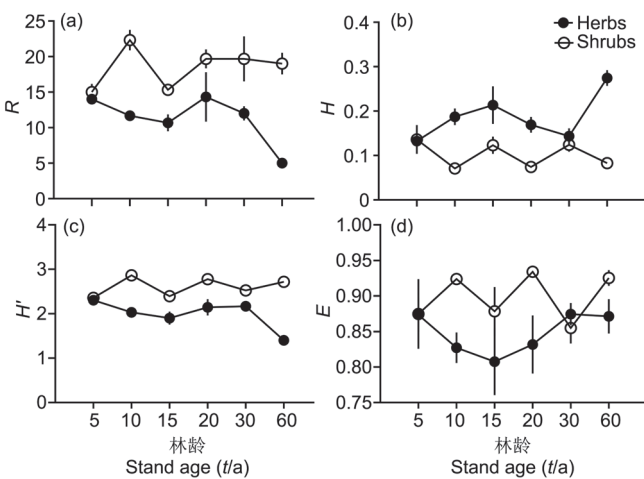


图2 不同林龄杉木林林下植被α多样性指数。R: 物种丰富度; D: Simpson优势度指数; H': Shannon-Wiener多样性指数; E: Pielou优势度指数。

Fig. 2 Understorey α diversity indices of understorey vegetation in *Cunninghamia lanceolata* plantations of different stand ages. R: Species richness; D: Simpson dominance index; H': Shannon-Wiener diversity index; E: Pielou dominance index.

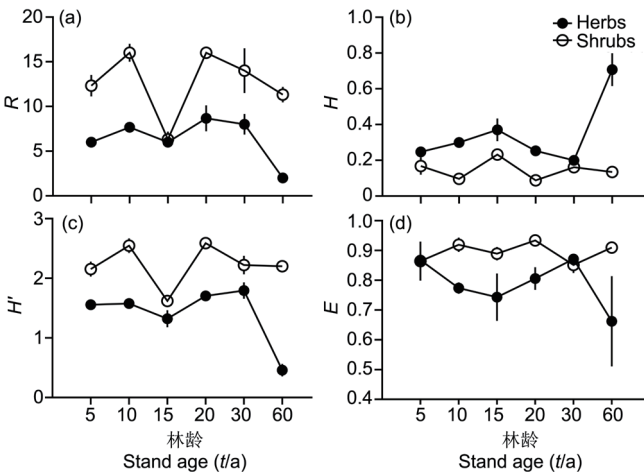


图3 不同林龄杉木林药用植物α多样性指数。R: 物种丰富度; D: Simpson优势度指数; H': Shannon-Wiener多样性指数; E: Pielou优势度指数。

Fig. 3 Medicinal plant α diversity indices of understorey vegetation in *Cunninghamia lanceolata* plantations of different stand ages. R: Species richness; D: Simpson dominance index; H': Shannon-Wiener diversity index; E: Pielou dominance index.

2.4 不同林龄杉木人工林林下药用植物β多样性特征

不同林龄林下植被物种相似度的差异较大,相较于林下植被草本层和灌木层,药用植物草本层和灌木层植被的J和MH更高。例如,杉木林林下植被草本层中10年林龄和30年林龄的J值为0.44(近相似),15年林龄和30年林龄的J为0.4(近相似);草本层5年林龄和30年林龄的MH为0.25(近相似),10年林龄和15年林龄的MH为0.3(近相似),10年林龄和30年林龄的MH为0.53(相似),15年林龄和30年林龄的MH为0.3(近相似)(表6、7)。不同林龄杉木林林下草本层药用植物的群落均具有较高的相似性(J除林龄10年和30年的相似性为0.47,其余均高于0.5),林龄5年和30年的MH为0.34(近相似),10年和15年为0.27(近相似),5年和30年为0.34(近相似),10年和30年为0.49(近相似),10年和60年为0.27(近相似)(表6、7)。林下植被灌木层10年和30年的J为

0.26 (近相似), 15年和30年为0.28 (近相似), 其余林龄间均没有群落相似性 (小于0.25), 20年和30年的MH为0.29 (近相似) (表6、7). 林下灌木层药用植物10年和30年的J为0.25 (近相似), 15年和30年为0.31 (近相似), 林龄5年和20年的MH为0.25 (近相似), 20年和30年为0.33 (近相似), 15年和60年为0.25 (近相似) (表6、7).

不同林龄杉木人工林林下植被灌木层和草本层随林龄间隔J减小 ($R_s^2 = 0.404$, $P < 0.05$; $R_h^2 = 0.291$, $P < 0.05$), 药用植物灌木层随林龄间隔J减小 ($R_s^2 = 0.361$, $P < 0.05$), 而草本层增加 ($R_h^2 = 0.270$, $P < 0.05$) (图4).

不同林龄杉木人工林林下植被灌木层和草本层的J和MH呈显著正相关关系 ($R^2 = 0.702$, $P < 0.001$; $R^2 = 0.868$, $P <$

0.001), 药用植物草本层的J和MH呈显著负相关关系 ($R^2 = 0.590$, $P < 0.001$) (图5).

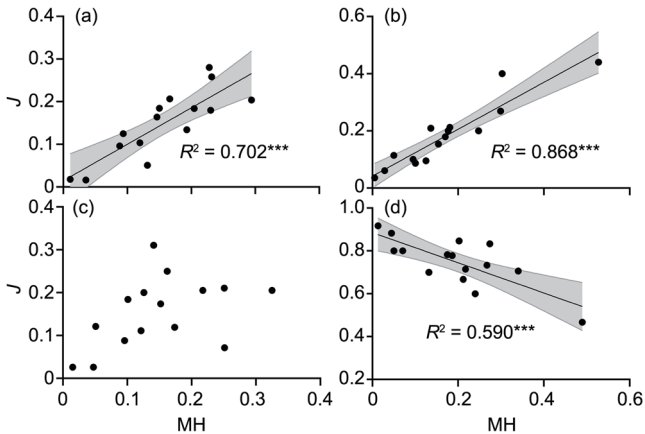


图5 不同林龄杉木人工林林下植被Jaccard相似性指数和Morisita-Horn相似性指数的相关关系. a为林下植被灌木; b为林下植被草本; c为药用植物灌木; d为药用植物草本. MH: Morisita-Horn相似性指数; J: Jaccard相似性指数.

Fig. 5 Correlation between Jaccard similarity index and Morisita-Horn similarity index for understory vegetation of *Cunninghamia lanceolata* plantations at different stand ages. a: Shrub layer of understory vegetation; b: Herb layer of understory vegetation; c: Shrub layer of understory medicinal plants; d: Herb layer of understory medicinal plants. MH: Morisita-Horn similarity index; J: Jaccard similarity index.

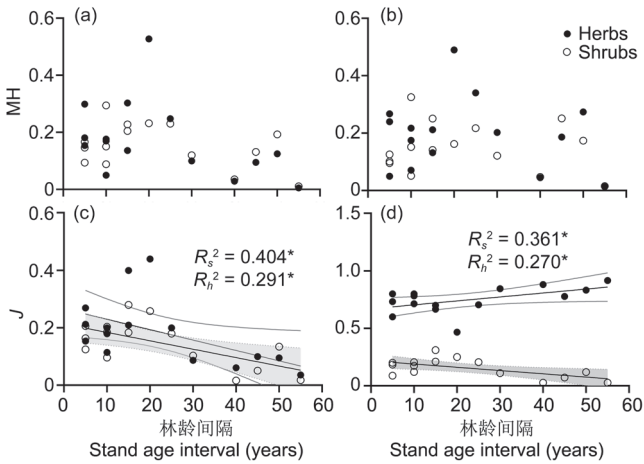


图4 杉木人工林林下植被不同林龄间隔的Jaccard和Morisita-Horn相似性指数. a和c为林下植被; b和d为药用植被. MH: Morisita-Horn相似性指数; J: Jaccard相似性指数.

Fig. 4 Jaccard and Morisita-Horn similarity indices of different forest age intervals for understory vegetation of *Cunninghamia lanceolata* plantations. Understory vegetation (a, c) and understory medicinal plant (b, d). MH: Morisita-Horn similarity index; J: Jaccard similarity index.

3 讨论

研究发现近自然经营的杉木人工林林下植被共有植物74科131属和178种, 其中, 药用植物有58科86属105种, 表现为林下物种较多, 群落结构较为复杂, 高于毛亦杨等 (2021) 研究的红锥人工林林下植被物种丰富度^[7], 一方面研究区域地处粤北地区, 森林种质资源丰富, 受人为活动的影响较低; 另一方面可能是由于针叶林林下具有较大的光斑, 林下植被的光

表6 不同林龄杉木人工林林下植被Jaccard相似性指数

Table 6 Jaccard similarity index of understory vegetation in *Cunninghamia lanceolata* plantations of different stand ages

林龄 Age	灌木层 Shrubs layer						草本层 Herbs layer					
	5 a	10 a	15 a	20 a	30 a	60 a	5 a	10 a	15 a	20 a	30 a	60 a
5 a	-	0.16	0.10	0.18	0.18	0.02	-	0.21	0.11	0.21	0.20	0.04
10 a	0.20	-	0.21	0.18	0.26	0.13	0.60	-	0.27	0.18	0.44	0.10
15 a	0.12	0.18	-	0.13	0.28	0.05	0.80	0.73	-	0.15	0.40	0.10
20 a	0.21	0.17	0.09	-	0.20	0.02	0.70	0.71	0.80	-	0.20	0.06
30 a	0.21	0.25	0.31	0.21	-	0.10	0.71	0.47	0.67	0.78	-	0.09
60 a	0.03	0.12	0.07	0.03	0.11	-	0.92	0.83	0.78	0.88	0.85	-

上三角为林下植被, 下三角为药用植物.

The upper triangle is the understory, while the lower triangle is the medicinal plant.

表7 不同林龄杉木人工林林下植被Morisita-Horn相似性指数

Table 7 Morisita-Horn similarity index of understory vegetation in *Cunninghamia lanceolata* plantations of different stand ages

林龄 Age	灌木层 Shrubs layer						草本层 Herbs layer					
	5 a	10 a	15 a	20 a	30 a	60 a	5 a	10 a	15 a	20 a	30 a	60 a
5 a	-	0.15	0.09	0.20	0.23	0.01	-	0.18	0.05	0.14	0.25	0.01
10 a	0.13	-	0.17	0.15	0.23	0.19	0.23	-	0.30	0.17	0.53	0.13
15 a	0.05	0.1	-	0.09	0.23	0.13	0.07	0.27	-	0.15	0.30	0.09
20 a	0.25	0.15	0.1	-	0.29	0.04	0.13	0.22	0.05	-	0.18	0.03
30 a	0.22	0.16	0.14	0.33	-	0.12	0.34	0.49	0.21	0.17	-	0.10
60 a	0.02	0.17	0.25	0.05	0.12	-	0.13	0.27	0.19	0.04	0.2	-

上三角为林下植被, 下三角为药用植物.

The upper triangle is the understory, while the lower triangle is the medicinal plant.

资源优于阔叶乔木树种^[6]。研究发现随着林龄增加,杉木人工林林下植被 R 没有呈现显著增加或降低的趋势,但在演替后期呈现相对稳定的趋势,这与张勇强等(2020)研究的杉木人工林^[37]和毛亦杨等(2021)研究的红锥人工林^[7]林下植被恢复趋势一致。本研究发现表明近自然经营管理后,杉木人工林林下植被尤其是药用植物迅速增加,林下植被有助于促进人工林下养分循环和能量流动,是森林发展生态效益的重要纽带^[38-39]。因此,合理地利用这些林下植被将有利于该地区杉木人工林的管理以及群落结构的恢复,有助于最大限度地利用森林资源。

全球约有9千种药用植物受到威胁,早期研究表明较高的药用植物密度和多样性与森林再生下较高的树木多样性有关^[41]。肖美娟等(2022)发现相较药用植物,非药用植物在演替过程中具有更大的竞争优势^[9]。本研究发现近自然经营的杉木人工林随着恢复时间的增加,林下植被和药用植物 R 、 H' 、 D 、 E 无显著线性变化趋势,这与康秀琴等(2019)^[40]和毛亦杨等(2021)^[7]的研究结果类似。林下植被多数为耐阴植物^[6-7],林分郁闭度较大时灌木层和草本层物种的盖度越低。由于人工林早期郁闭度较小和早期抚育工作,以光和土壤养分为代表的林下资源环境促使高养分需求和不耐荫的物种快速占据早期优势,具体表现为物种多样性在人工林初期呈现逐渐上升的趋势^[6, 42-44]。研究发现不同林龄杉木人工林林下植被灌木层物种多丰富度最大值出现在10年的林龄,草本层出现在20年的林龄,林下植被灌木层药用植物 R 最大值出现在10年和20年的林龄,草本层出现在20年的林龄。林下植被灌木层的 R 呈现先上升再下降,随后缓慢上升和趋于稳定的趋势,而草本层的 R 呈现先下降后升高再下降的趋势。然而,随着林分发育和越来越多的物种的入侵林下资源,表现为林下植被物种多样性增加,然而,由于灌木层植被的生长会加剧草本层植被的光资源的进一步紧缺,因此恢复中期物种多样性指数开始出现先降后升的情况^[6-7]。随着恢复的进行,乔木层郁闭导致到达林下的光照资源越来越少,林地立地条件趋于稳定后,早期建立的不耐荫的和养分需求较大的树种开始退化^[6, 45-47]。最后,林分自疏效应导致林上郁闭度降低^[6-7],林地出现大量的光斑(光资源增强),资源异质性得到增强和改善增强,林下开始重新出现一些喜光的灌木和草本物种^[6, 48-49],例如鹿角杜鹃(*Rhododendron latoucheae*) (表2)和(七星莲*Viola diffusa*) (表3),林下植被群落走向相对稳定状态^[6, 45-47]。

研究发现近自然经营的杉木人工林初期各层次的药用植物多样性远高于非药用植物,随着林龄增加,灌木和草本层的药用植物多样性变化不大,而非药用植物多样性均升高,灌木层和草本层的非药用植物多样性甚至超过药用植物(图2, 3)。

例如,停止人为扰动后,国家二级保护植物同时也是珍贵药用植物金毛狗的重要值从5年林龄到30年林龄(除20年林龄)逐渐增加,谭许脉等(2022)^[24]也在杉木人工林的研究中发现金毛狗等珍稀保护植物。综上,近自然经营的杉木人工林可以培育较多药用植物,然而药用植物多样性并不是随林龄线性增加,但随着林龄增加会维持一个相对稳定的状态^[6-7]。因此,有必要对珍稀濒危药用植物进行动态监测,并采取保护措施,以提高药用植物的丰富度和多样性。建议就地保护,避免人为因素造成生境的进一步分割和片段化,以维护野生植物和药用植物生境的完整性和稳定性。

研究发现不同林龄杉木林林下植被的物种相似度存在较大的差异,林下灌木层植被的 J 和 MH 均高于草本层植被。这可能与植被的不同生活型有关,例如林下灌木层植被多为多年生植物深根植物(木本),生长周期相对较长,而林下草本层植被多为一年生浅根植物,生长周期相对较短^[6-7, 41]。杉木林林龄对林下灌木层和草本层植被的 J 和 MH 无显著影响,尽管演替后期杉木林林下植被 R 呈现相对稳定的趋势,但杉木林林下植被的恢复先是蕨类植物和一年生植物占据优势,停止人为扰动后逐渐出现高等植物和多年生植物。研究发现林下植被和草本药用植物的 J 和 MH 呈显著正相关,而林下灌木药用植物的 J 和 MH 无显著相关性,这表明林下植被和草本药用植物的个体周转和物种周转更同步,药用植物的占比相对维持一个较为稳定的状态,从 β 多样性的角度也验证了林下物种多样性在恢复过程中与林龄呈现非线性关系^[6-7, 16]。肖美娟等(2022)也发现鼎湖山不同演替阶段森林、不同层次之间的药用植物相似性及非药用植物的 β 相似性均存在一定差异^[9]。由于林下植被物种多样性通常是多因子作用的结果,除与树种组成、立地条件、林分密度和郁闭度等有关^[6],还与土壤养分和微生物等相关,因此,林下植被物种多样性及其影响因子的关系有待今后进一步研究。

4 结论

近自然经营的杉木人工林林下植被共发现74科131属和178种,其中蕴含大量的野生药用植物(58科86属105种)资源,停止人为扰动后药用植物多样性随着恢复时间会维持一个相对稳定的状态。结合人工林野生药用植物的恢复趋势,可以根据林龄适当进行野生药材资源的保护性开发,例如野生抚育、仿野生栽培等合理开发模式科学的加大中药资源开发力度。此外,本研究建议在未来的造林过程中明确造林目标,综合考虑经济价值和药用植物保护的生态价值,有助于最大限度地利用和保护森林资源。

参考文献 [References]

- 1 马克平, 黄建辉, 于顺利, 陈灵芝. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II 丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995, 15 (3): 268-277 [Ma KP, Huang JH, Yu SL, Chen LZ. Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China: II. Species richness, evenness and species diversities [J]. *Acta Ecol Sin*, 1995, 15 (3): 268-277]
- 2 吴安驰, 邓湘雯, 任小丽, 项文化, 张黎, 葛蓉, 牛忠恩, 何洪林, 何立杰. 中国典型森林生态系统乔木层群落物种多样性的空间分布格局及其影响因素[J]. 生态学报, 2018, 38 (21): 7727-7738 [Wu AC, Deng XW, Ren XL, Xiang WH, Zhang L, Ge R, Niu ZG, He HL, He LJ. Biogeographic patterns and influencing factors of the species diversity of tree layer community in typical forest ecosystems in China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2018, 38 (21): 7727-7738]
- 3 陈圣宾, 欧阳志云, 徐卫华, 肖隼. Beta多样性研究进展[J]. 生物多样性, 2010, 18 (4): 323-335 [Chen SB, Ouyang ZY, Xu WH, Xiao Y. A review of beta diversity studies [J]. *Biodiv Sci*, 2010, 18 (4): 323-335]
- 4 Bartels SF, Chen HYH. Interactions between overstorey and

- understory vegetation along an overstorey compositional gradient [J]. *J Veg Sci*, 2013, **24** (3): 543-552
- 5 Liu TY, Lin KC, Vadeboncoeur MA, Chen MZ, Huang MY, Lin TC. Understory plant community and light availability in conifer plantations and natural hardwood forests in Taiwan [J]. *Appl Veg Sci*, 2015, **18** (4): 591-602
 - 6 苏香萍. 亚热带杉木林和天然次生林林下植被研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2020 [Su XP. The study of understory vegetation of Chinese fir plantations and natural secondary forests in subtropical forest [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2020]
 - 7 毛亦杨, 陈富强, 郭勇, 刘菊秀, 蒋芬, 李旭. 不同林龄红锥人工林林下植被物种多样性恢复动态[J]. 应用与环境生物学报, 2021, **27** (4): 930-937 [Mao YY, Chen FQ, Guo Y, Liu JX, Jiang F, Li X. Restoration dynamics of understory species diversity in *Castanopsis hystrix* plantations at different ages [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2021, **27** (4): 930-937]
 - 8 张惠源, 赵润怀, 袁昌齐, 孙传奇, 张志英. 我国的中药资源种类[J]. 中国中药杂志, 1995, **20** (7): 387-390 [Zhang HY, Zhao RH, Yuan CQ, Shun CQ, Zhang ZY. Chinese traditional medicine resources in China [J]. *China J Chin Mat Med*, 1995, **20** (7): 387-390]
 - 9 肖美娟, 刘旭军, 冯慧芳, 曾庆圣, 刘世忠, 刘菊秀. 鼎湖山自然保护区不同演替阶段森林的药用植物多样性[J]. 应用与环境生物学报, 2022, **29** (3): 608-616 [Xiao MJ, Liu XJ, Feng HF, Zeng QS, Liu SZ, Liu JX (2022). Diversity of medicinal plants in forests at different succession stages in Dinghushan Nature Reserve [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2022, **29** (3): 608-616]
 - 10 Khanum R, Mumtaz AS, Kumar S. Predicting impacts of climate change on medicinal asclepiads of Pakistan using Maxent modeling [J]. *Acta Oecol*, 2013, **49**: 23-31
 - 11 Zhang ZJ, He JS, Li JS, Tang ZY. Distribution and conservation of threatened plants in China [J]. *Biol Conserv*, 2015, **192**: 454-460
 - 12 Chi XL, Zhang ZJ, Xu XT, Zhang XB, Zhao ZP, Liu YM, Wang QG, Wang H, Li Y, Yang G. Threatened medicinal plants in China: Distributions and conservation priorities [J]. *Biol Conserv*, 2017, **210**: 89-95
 - 13 杨淑萍, 成晶晶, 阎平, 姜洁, 马占仓. 塔里木盆地西南山区药用植物资源调查及其多样性分析[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2020, **38** (1): 69-74 [Yang SP, Cheng JJ, Yan P, Jiang J, Ma ZC. Investigation of the medicinal plant resources and diversity characteristics in the southwestern mountain area of Tarim Basin [J]. *J Shihezi Univ (Nat Sci)*, 2020, **38** (1): 69-74]
 - 14 Benayas JMR, Newton AC, Diaz A, Bullock JM. Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis [J]. *Science*, 2009, **325** (5944): 1121-1124
 - 15 Moreno-Mateos D, BarbierEB, JonesPC, Jones HP, Aronson J, Lopez-Lopez JA, McCrackin ML, Meli P, Montoya D, Benayas JMR. Anthropogenic ecosystem disturbance and the recovery debt [J]. *Nat Commun*, 2017, **8**: 14163
 - 16 Steffan-Dewenter I, Kessler M, Barkmann J, Bos MM, Buchori D, Erasmi S, Faust H, Gerold G, Gradstein SR. Trade-offs between income, biodiversity, and ecosystem functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification[J]. *PNAS*, 2007, **104** (2): 4973-4978
 - 17 陈春如, 安伟莉, 高艳芳, 朱光汉, 张朝明, 刘日钦, 张家栋, 何波祥, 梁东成, 殷祚云. 粤北不同密度杉木林下植被的物种多样性比较[J]. 林业与环境科学, 2020, **36** (5): 73-78 [Chen CR, An WL, Gao YF, Zhu GH, Zhang CM, Liu RQ, Zhang JD, He BX, Liang DC, Yin ZY. Comparison of species diversity of understory vegetation of *Cunninghamia lanceolata* with different densities in Northern Guangdong [J]. *For Environ Sci*, 2020, **36** (5): 73-78]
 - 18 陈日升, 康文星, 周玉泉, 田大伦, 项文化. 杉木人工林养分循环随林龄变化的特征[J]. 植物生态学报, 2018, **42** (2): 173-184 [Chen RS, Kang WX, Zhou YQ, Tian DL, Xiang WH. Changes in nutrient cycling with age in a *Cunninghamia lanceolata* plantation forest [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2018, **42** (2): 173-184]
 - 19 蒋宗培, 籍焯, 刘雨晖, 陈辉, 沈宝贵, 苏素霞, 李丽红, 陈德叶, 沈彩霞, 刘小飞. 老龄杉木人工林林下植被组成与多样性特征[J]. 亚热带资源与环境学报, 2020, **15** (3): 32-38 [Jiang ZK, Ji Y, Liu YH, Chen H, Shen BG, Su SX, Li LH, Chen DY, Shen CX, Liu XF. Composition and diversity of understory vegetation of 50 year old Chinese fir plantation [J]. *J Subtrop Res Environ*, 2020, **15** (3): 32-38]
 - 20 路锦, 伍丽华, 郑宏, 张筱, 费裕翀, 曹世江, 季春杉, 曹光球. 不同林下植被管理措施对杉木大径材林分土壤真菌群落结构的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2021, **27** (4): 938-948 [Lu J, Wu LH, Zheng H, Zhang X, Fei YC, Cao SJ, Ji CS, Cao GQ. Differential influence of undergrowth vegetation management measures on the soil fungal community structure of a large-diameter timber plantation of *Cunninghamia lanceolata* [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2021, **27** (4): 938-948]
 - 21 赵苏亚, 王瑞辉, 刘凯利, 董凯丽, 龚映匀, 张斌, 周钰淮. 抚育间伐对不同年龄杉木人工林生长及林下植被多样性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, **40** (12): 34-43, 82 [Zhao SY, Wang RH, Liu KL, Dong KL, Gong YY, Zhang B, Zhou YH. Effects of thinning on growth and understory vegetation diversity of Chinese fir plantation at different ages [J]. *J Cen S Univ For Technol*, 2020, **40** (12): 34-43, 82]
 - 22 张利荣, 李惠通, 郑立津, 陈丽敏, 刘雨辉, 刘爱琴. 不同林龄杉木人工林的林下植被与土壤理化特性[J]. 亚热带农业研究, 2021, **17** (3): 165-172 [Zhang LR, Li HT, Zheng LJ, Chen LM, Liu YH, Liu AQ. Undergrowth vegetation of Chinese fir plantations of different ages and soil physical and chemical properties [J]. *Subtrop Agric Res*, 2021, **17** (3): 165-172]
 - 23 李萌, 陈永康, 徐浩成, 尤业明, 温远光, 朱宏光, 蔡道雄, 黄雪蔓. 不同间伐强度对南亚热带杉木人工林林下植物功能群的影响[J]. 生态学报, 2020, **40** (14): 4985-4993 [Li M, Chen YK, Xu HC, You YM, Wen YG, Zhu HG, Cai DX, Huang XM. Effects of different thinning intensities on undergrowth plant functional groups in subtropical *Cunninghamia lanceolata* plantations [J]. *Acta Ecol Sin*, 2020, **40** (14): 4985-4993]
 - 24 谭许脉, 张文, 肖纳, 莫雪青, 高冠女, 尤业明, 明安刚, 黄雪蔓. 杉木林改造成乡土阔叶林对林下植物物种组成和多样性的影响[J]. 生态学报, 2022, **42** (7): 2931-2942 [Tan X M, Zhang W, XiaoN, Mo X Q, GaoG N, You Y M, Ming A G, Huang X M. Effects of understory plant species composition and diversity under transforming Chinese fir into precious indigenous broadleaf plantations[J]. *Acta Ecol Sin*, 2022, **42** (7): 2931-2942]
 - 25 Li X, Liu Y, Wu GP, Lie ZY, Sheng H, Luis CRA, Muhammad SK, Liu XJ, Zhou SYD, Wu T, Xu WF, Liu JX. Mixed plantations do not necessarily provide higher ecosystem multifunctionality than monoculture plantations [J]. *Sci Total Environ*, 2024, **914**: 170156
 - 26 郭勇, 刘岳, 范国强, 陈富强, 刘菊秀, 唐旭利, 李旭. 南亚热带红锥人工林生物量分配与碳氮磷积累特征[J]. 安徽农业大学学报, 2023, **50** (2): 199-205 [Guo Y, Liu Y, Fan GQ, Cheng FQ, Liu JX, Tang XL, Li X. Characteristics of biomass allocation and carbon, nitrogen and phosphorus accumulation in the south subtropical *Castanopsis hystrix* plantation [J]. *J Anhui Agric Univ*, 2023, **50** (2): 199-205]

- 27 Li X, Luis CRA, Luo JC, Liu Y, Wu T, Lie ZY, Liu XJ, Cheng Y, Jiang F, Liu JX. Carbon storage capacity of *Castanopsis hystrix* plantations at different stand-ages in South China [J]. *Sci Total Environ*, 2023, **894**: 164974
- 28 Li X, Luis CRA, Wu DH, Lie ZY, Xu WF, Tang XL, Liu JX. Carbon sequestration and storage capacity of Chinese fir at different stand ages [J]. *Sci Total Environ*, 2023, **904**: 166962
- 29 方精云, 沈泽昊, 唐志尧, 王志恒. “中国山地植物物种多样性调查计划”及若干技术规范[J]. 生物多样性, 2004, **12** (1): 5-9 [Fang JY, Shen ZH, Tang ZR, Wang ZH. The protocol for the survey plan for plant species diversity of China's mountains [J]. *Biodiv Sci*, 2004, **12** (1): 5-9]
- 30 张晓龙, 周继华, 蔡文涛, 管天玉, 高楠楠, 杜会, 姜联合, 米利明, 杨大文, 丛振涛, 郑元润. 水分梯度下黑河流域荒漠植物群落多样性特征[J]. 生态学报, 2017, **37** (14): 4627-4635 [Zhang XL, Zhou JH, Cai WT, Guan TY, Gao NN, Du H, Jiang LH, Lai LM, Yang DW, Cong ZT, Zheng YR. Diversity characteristics of plant communities in the arid desert of the Heihe basin under different moisture gradients [J]. *Acta Ecol Sin*, 2017, **37** (14): 4627-4635]
- 31 陈富强, 郭勇, 黄明智, 冯蔚, 叶秋慧, 刘菊秀, 李旭. 不同恢复年限红锥人工林群落结构特征及经营策略[J]. 安徽农业大学学报, 2022, **49** (1): 48-55 [Cheng FQ, Guo Y, Huang MZ, Ye QH, Liu JX, Li X. Community structure characteristics and management strategies of *Castanopsis hystrix* plantation with different restoration years [J]. *J Anhui Agric Univ*, 2022, **49** (1): 48-55]
- 32 Qian H, Ricklefs RE. A latitudinal gradient in large-scale beta diversity for vascular plants in North America [J]. *Ecol Lett*, 2007, **10** (8): 737-744
- 33 Gomzález-Megías A, Menendez R, Roy D, Brereton T, Thomas CD. Changes in the composition of British butterfly assemblages over two decades [J]. *Glob Chang Biol*, 2008, **14**: 1464-1474
- 34 Magurran AE. Measuring Biological Diversity [M]. Malden: Blackwell Publishing, 2004
- 35 高学敏. 中药学[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2007 [Gao XM. Science of Chinese Pharmacology [M]. Beijing: Chinese Medicine Press, 2007]
- 36 叶华谷, 邹滨, 曾飞燕. 中国药用植物[M]. 北京: 化学工业出版社, 2017 [Ye HG, Zhou B, Zeng FY. Chinese Medicinal Plants [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2017]
- 37 叶华谷, 曾飞燕, 叶育石. 华南药用植物[M]. 广州: 华中科技大学出版社, 2013 [Ye HG, Zeng FY, Ye YS. Medicinal plants of South China [M]. Guangzhou: Huazhong University of Science & Technology Press, 2013]
- 38 张勇强, 李智超, 厚凌宇, 宋立国, 杨洪国, 孙启武. 林分密度对杉木人工林下物种多样性和土壤养分的影响[J]. 土壤学报, 2020, **57** (1): 239-250 [Zhang YQ, Li ZC, Hou LY, Song LG, Yang HG, Sun QW. Effects of stand density on understory species diversity and soil nutrients in Chinese fir plantation [J]. *Acta Pedol Sin*, 2020, **57** (1): 239-250]
- 39 Gilliam FS. The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems [J]. *BioScience*, 2007, **57** (10): 845-858
- 40 Nilsson MC, Wardle DA. Understory vegetation as a forest ecosystem driver: Evidence from the northern swedish boreal forest [J]. *Front Ecol Environ*, 2005, **3** (8): 421-428
- 41 康秀琴, 魏小丛, 李颜斐, 黄雅奇, 吴安驰, 温红芳, 邓湘雯. 湘西南喀斯特石漠化地区植物多样性研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, **39** (1): 100-107 [Kang XQ, Wei XC, Li YF, Huang YQ, Wu AC, Wen HF, Deng XW. Study on species diversity of plant communities in karst rocky desertification ecosystem of southwestern Hunan [J]. *J Cen S Univ For Technol*, 2019, **39** (1): 100-107]
- 42 Adnan M, Hoelscher D. Diversity of medicinal plants among different forest-use types of the Pakistani Himalaya [J]. *Econ Bot*, 2012, **66** (4): 344-56
- 43 Hart SA, Chen HYH. Understory vegetation dynamics of north American boreal forests [J]. *Crit Rev Plant Sci*, 2006, **25** (4): 381-397
- 44 Howard LF, Lee TD. Temporal patterns of vascular plant diversity in southeastern new Hampshire forests [J]. *For Ecol Manag*, 2003, **185** (1): 5-20
- 45 Grandpré LD, Gagnon D, Bergeron Y. Changes in the understory of Canadian southern boreal forest after fire [J]. *J Veg Sci*, 2010, **4** (6): 803-810
- 46 Bartels SF, Chen HYH. Is understory plant species diversity driven by resource quantity or resource heterogeneity [J]. *Ecology*, 2010, **91** (7): 1931-1938
- 47 Reich PB, Frelich LE, Voldseth RA, Bakken P, Adair EC. Understory diversity in southern boreal forests is regulated by productivity and its indirect impacts on resource availability and heterogeneity [J]. *J Ecol*, 2012, **100** (2): 539-545
- 48 Zhang Y, Chen HYH, Taylor AR. Positive species diversity and above-ground biomass relationships are ubiquitous across forest strata despite interference from overstorey trees [J]. *Funct Ecol*, 2017, **31** (2): 419-426
- 49 Chen HYH, Popadiouk RV. Dynamics of North American boreal mixedwoods [J]. *Environ Rev*, 2002, **10** (3): 137-166