

## 浙西南典型森林群落物种多样性与碳汇能力的研究

王柏昌<sup>1</sup>, 卢佳<sup>1</sup>, 毛卫星<sup>1</sup>, 蔡茂<sup>1</sup>, 袁凤玉<sup>2</sup>, 祝雁俊<sup>1</sup>

(1. 国家林业和草原局 华东调查规划院, 浙江 杭州 310019; 2. 河南省林业局, 河南 郑州 450003)

**摘要:**以浙西南庆元县典型森林群落植被——松木林、杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林、阔叶林、针阔混交林和竹林(毛竹 *Phyllostachys edulis*)为研究对象,2020年4—8月,通过对固定样地(137个公益林固定监测小班)的调查,分析和比较不同森林群落植被的物种多样性,并估算其碳储量。结果表明,5种森林群落的物种丰富度( $R$ )和Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )、Pielou均匀度指数( $J$ )均呈显著差异( $P<0.05$ ),物种丰富度表现为阔叶林>针阔混交林>杉木林>松木林>竹林;以自然恢复为主的次生阔叶林和针阔混交林物种多样性、空间结构、系统碳汇能力较强,其平均碳储量分别为 $384.94\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $359.99\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ;杉木林的群落结构物种多样性相对较低但系统碳汇能力较强,其平均碳储量为 $363.20\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ;松木林的群落结构物种多样性相对较低、碳汇能力稍弱,其平均碳储量为 $343.26\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ;人为干扰较大的竹林结构最简单、物种多样性最低、碳汇能力也最弱,其平均碳储量为 $235.17\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。物种丰富度和Shannon-Wiener多样性指数与植被碳储量呈极显著正相关关系( $P<0.01$ ),与森林土壤碳储量无相关关系( $P>0.05$ );物种丰富度及多样性主要通过不同森林植被类型的枯枝落叶的质和量以及根系作用的差异间接影响着森林土壤碳汇能力。

**关键词:**物种多样性;典型群落;空间结构;土壤碳储量;植被碳储量

中图分类号:S718.54 文献标志码:A 文章编号:1001-3776(2023)03-0014-07

## Biodiversity and Carbon Sequestration of Typical Forest Types in Qingyuan County

WANG Bai-chang<sup>1</sup>, LU Ji<sup>1</sup>, MAO Wei-xing<sup>1</sup>, CAI Mao<sup>1</sup>, YUAN Feng-yu<sup>2</sup>, ZHU Yan-jun<sup>1</sup>

(1. East China Inventory and Planning Institute, National Forestry and Grassland Administration, Hangzhou 310019, China;

2. Henan Forestry Administration, Zhengzhou 450003, China)

**Abstract:** Background investigations were conducted on 137 permanent sub compartments in typical forest communities like pine forest, *Cunninghamia lanceolata* forest, broad-leaf forest, mixed forest of coniferous and broad-leaf, *Phyllostachys edulis* stand in Qingyuan county, southwest Zhejiang province. Soil was sampled out of subcompartments, and thickness of soil, of humus and litter was recorded. The results showed that the species richness, Shannon-Wiener diversity index and Pielou evenness index of the five forest communities were significantly different ( $P<0.05$ ). Species richness was ordered by broad-leaf forest> mixed forest of coniferous and broad-leaf > mixed forest> *C. lanceolata* forest> pine forest> bamboo stand. Broad-leaf forest and coniferous and broad-leaf mixed forest had the average carbon storage of  $384.94$  and  $359.99\text{ t/ha}$ . The community structure and species diversity of *C. lanceolata* forest were relatively lower, but the average carbon storage was  $363.20\text{ t/ha}$ . The community structure of pine forest was relatively lower in species diversity with mean carbon storage of  $343.26\text{ t/ha}$ . Bamboo forest with high human disturbance had the simplest structure, the lowest species diversity with mean carbon storage of  $235.17\text{ t/ha}$ .

**Key words:** species diversity; typical forest community; spatial structure ;soil carbon storage; vegetation carbon storage

收稿日期: 2022-12-02; 修回日期: 2023-03-03

作者简介: 王柏昌, 高级工程师, 从事森林资源监测、规划、调查等方面的生产应用及相关研究; E-mail:1282413801@qq.com。

近年来, 国际国内全力应对气候变化、减少碳排放, 而森林资源在促进生态建设、保护生物多样性及碳汇等方面具有不可替代的作用。生物多样性是地球上数以百万计的动物、植物、微生物及其与环境形成的生态复合体, 以及与此相关的各种生态过程<sup>[1]</sup>, 它是地球上人类赖以生存的物质基础, 健康的生态系统有赖于物种的多样性。我国自 2001 年实施森林分类经营, 按经营目的、经营模式分为商品林和公益林; 2004 年, 针对公益林全面实施中央财政森林生态效益补偿基金。因此, 近年来针对公益林群落结构的研究也随之增多<sup>[2-4]</sup>, 且多集中于对公益林生物量、群落结构、生态服务功能等方面的研究, 而对公益林群落物种多样性对碳汇能力的影响方面的研究较少。

浙江省庆元县公益林群落是浙西南典型森林群落, 本文以此为研究对象, 既是对浙西南典型森林群落碳汇能力的研究, 也是对公益林群落研究内容的补充。本次利用公益林固定监测样地实测资料, 分析和比较 5 种森林群落(松木林、杉木林、阔叶林、针阔混交林和竹林)的物种多样性, 探讨了物种多样性与碳汇能力的关系, 为有针对性地开展多样性保护和碳汇能力建设提供依据, 也为公益林建设与保护提供重要的数据支撑。

## 1 研究区概况

研究区域为浙江省庆元县, 位于浙西南, 是浙江省重点林业县之一, 森林覆盖率在 80%以上, 地理位置为 118°49′~119°49′E, 27°25′~27°51′N。该区属亚热带季风气候区, 年平均气温为 17.4℃, 年降水量为 1 760 mm, 无霜期为 245 d。地貌以丘陵山区为主, 最高峰海拔为 1 857 m, 最低海拔为 240 m。境内山地起伏, 山峦重叠, 立体小气候复杂多样。主要土壤类型有红壤、黄壤, 在低山丘陵地段零星分布着一些岩成土。森林植被在全国植被分区中属中亚热带常绿阔叶林北部亚地带——浙闽山丘甜槠 *Castanopsis eyrei*、木荷 *Schima superba* 林区, 地带性植被为亚热带常绿阔叶林。植物类型多样, 乔木树种主要以百山祖冷杉 *Abies beshanzuensis*、杉木 *Cunninghamia lanceolata*、白栎 *Quercus fabri*、马尾松 *Pinus massoniana*、柯 *Lithocarpus glaber*、木荷、毛竹 *Phyllostachys edulis*、甜槠、苦槠 *C. sclerophylla*、青冈 *Qu. glauca*、枹栎 *Qu. serrata* 为优势种, 其中百山祖冷杉特产于庆元百山祖自然保护区西南坡、海拔 1 700 m 的光叶水青冈 *Fagus lucida* 林中, 是我国东南沿海唯一残存至今的冷杉属 *Abies* 植物<sup>[5]</sup>; 灌木树种以菝葜 *Smilax china*、杜鹃 *Rhododendron simsii*、柃木 *Loropetalum chinensis*、柃木 *Eurya japonica*、箬竹 *Indocalamus tessellatus*、美丽胡枝子 *Lespedeza formosa*、六月雪 *Serissa japonica*、水杨梅 *Geum chiloense*、绣线菊 *Spiraea salicifolia* 为优势种; 草本类植物以芒萁 *Dicranopteris pedata*、淡竹叶 *Lophatherum gracile*、蛇莓 *Duchesnea indica*、苎草 *Arthraxon hispidus*、翻白草 *Potentilla discolor* 等<sup>[6]</sup>为多。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源和样地布设

本文数据来源于庆元县公益林监测样地。2020 年 4—8 月, 按照公益林群落面积权重并依据不同地形、不同海拔高度、不同森林群落类型及结构特征布设公益林固定监测小班 137 个; 在每个固定监测小班内均设置一个固定监测样地, 样地大小统一为 20 m×20 m (水平方向 20 m, 用于林分乔木层资源调查)<sup>[7-8]</sup>, 合计监测样地 137 个, 其中松木林 27 个、杉木林 38 个、阔叶林 43 个、针阔混交林 16 个、毛竹林 13 个。

对监测小班群落本底调查后, 在每个固定监测样地内, 按样地对角线布设 3 个 2 m×2 m 样方(用于下层木和草本资源调查)。同时, 为保持固定样地的自然性不受人因

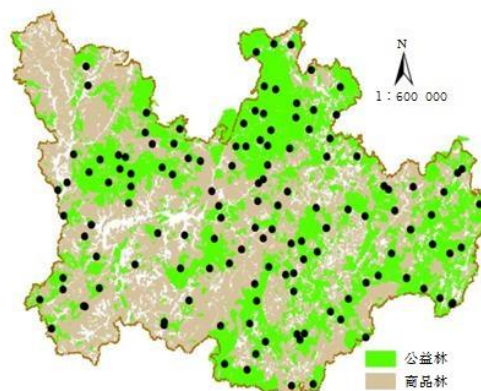


图 1 样地位置及土壤采样点分布图

Fig. 1 sample location and soil sampling sites distribution

素影响,在每个样地外缘挖掘 1 个土壤剖面,记载土壤厚度、腐殖质层厚度和枯枝落叶层厚度,并在土壤 A、B 两层各取 500 g 左右的土壤,作为该样点的土壤样品。样地位置和土壤样品采样点分布见图 1,各森林群落类型基本特征见表 1。

表 1 各森林群落类型的基本特征  
Tab. 1 The characteristics of different forest types

森林类型	样本数/个	海拔/m	土壤厚度/cm	郁闭度	下木层盖度/%	平均胸径/cm	平均树高/m	土壤有机碳含量/(g·kg <sup>-1</sup> )
松木林	27	1 037.5 (506~1 480)	52.4 (10~137)	0.75 (0.4~0.9)	35.1 (3~73)	10.8 (5.0~32.9)	7.1 (2.5~14.2)	40.75 (6.87~135.51)
杉木林	38	1 020.5 (310~1 654)	51.4 (20~104)	0.73 (0.2~0.9)	31.2 (5~64)	11.0 (5.0~43.6)	7.4 (3.0~20.0)	37.81 (15.81~90.05)
阔叶林	43	909.5 (300~1 385)	49.3 (20~85)	0.74 (0.5~0.95)	22.3 (0~86)	8.8 (5.0~58.6)	7.1 (3.0~17.0)	55.57 (30.00~153.83)
针阔混交林	16	988.1 (490~1 417)	45.4 (16~80)	0.78 (0.6~0.9)	23.8 (0~77)	10.1 (5.0~53.0)	7.6 (2.0~22.0)	50.36 (18.67~91.26)
竹林	12	774.4 (400~1 212)	61.3 (10~91)	0.67 (0.5~0.9)	5.3 (0~35)	9.8 (4.0~14.6)	10.2 (4.0~14.6)	31.55 (13.68~66.28)

2.2 物种多样性计算

物种多样性测度方法较多,本文采用 α 多样性的相关指数进行测度,选用物种丰富度( $R$ )、Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )及群落均匀度指数( $J$ )<sup>[9]</sup> 3 个指标,从群落的多样性、均匀度和丰富度 3 个方面全面衡量并比较群落的物种多样性。群落不同层次的丰富度、多样性及均匀度计算公式为:

$$R = S$$
$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$
$$J = H' / \ln S$$

式中,  $S$  为物种总数;  $P_i$  为物种  $i$  的个体数占全部个体数的比例。

根据不同类型森林群落层间结构的特点,在计算不同类型森林群落总体多样性指数时,不能对乔木层、下木层、草本层进行简单地加减,需对不同层次的多样性指数进行加权,权重为不同层次植被的相对盖度和叶层的相对厚度之和的均值<sup>[10]</sup>,其计算公式为:

$$W_i = (C_i/C + H_i/H)/2$$

式中,  $W_i$  为第  $i$  层的多样性指数加权参数;  $C_i$  为第  $i$  层的盖度;  $C$  为群落的总盖度;  $H_i$  为第  $i$  层的叶层平均厚度;  $H$  为各层的叶层平均厚度之和。乔木层的叶层(林冠)厚度以实测为准,灌木层按 1/2 计算,草本层按草本层高度 100% 计算<sup>[11]</sup>。

$$\text{群落总体多样性} = \sum_{i=1}^n W_i \times \text{第} i \text{层的多样性}$$

2.3 生物量和碳储量测算

表 2 各主要树种(组)的含碳系数  
Tab. 2 Carbon factor of main tree species (group)

树种(组)	含碳系数	树种(组)	含碳系数	树种(组)	含碳系数
马尾松	0.459 6	栎类	0.500 4	针阔混交林树种	0.497 8
杉木	0.520 1	硬阔类	0.481 4	竹类	0.504 2
柳杉	0.523 5	檫木	0.484 8	灌木	0.500 0
樟	0.491 6	杨树	0.495 6	草本	0.399 8
楠木	0.503 0	软阔类	0.495 6	枯落物	0.496 7

注: 柳杉 *Cryptomeria fortunei*、樟 *Cinnamomum camphora*、楠木 *Phoebe zhennan*、栎类 *Quercus* sp.、檫木 *Sassafras tzumu*、杨树 *Populus* sp.。

生物量测算采用浙江省重点公益林不同树种相容性生物量模型<sup>[12]</sup>。各树种含碳率根据中国森林植被生物量与碳储量评估资料<sup>[13]</sup>, 不同树种含碳系数见表 2。

某一森林群落类型(树种)碳储量=某一森林群落类型(树种)生物量×该森林群落类型(树种)含碳系数

某一森林群落类型土壤有机碳储量=土壤厚度(cm)×土壤容重(g·cm<sup>-3</sup>)×土壤有机碳含量(g·kg<sup>-1</sup>)

2.4 土壤样品处理

样品采集后, 带回实验室, 在室温下风干, 除去砾石和根系后过 2 mm 钢筛, 磨细待测, 土壤有机碳含量用重铬酸钾-外加热法测定<sup>[14-15]</sup>。

2.5 数据分析

数据采用 Microsoft Office Excel 2010 软件进行汇总分析, 采用 SPSS 26.0 软件进行单因素方差分析和多重比较, 并进行相关分析和回归分析。

3 结果与分析

3.1 不同森林群落物种多样性变化

由表 3 表明,不同群落的物种丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数和群落均匀度指数均呈显著差异( $P<0.05$ )。5 种类型森林群落的物种丰富度表现为阔叶林>针阔混交林>杉木林>松木林>竹林; Shannon-Wiener 多样性指数和群落均匀度指数的变化趋势与物种丰富度的变化趋势基本一致, 由大到小依次为阔叶林、针阔混交林、松木林、杉木林、竹林。上述现象应与群落的物种组成、起源和干扰强度有关: 阔叶林和针阔混交林大多都是通过封山育林而形成的次生林, 以天然林为主, 林分受人为干扰少, 物种类型多、丰富度较高, 生物多样性较为复杂; 松木林和杉木林以人工林较多, 乔木层物种较少, 受干扰较多, 群落结构简单, 生物多样性次之; 竹林起源人工为主, 作为当地林农经济收入的重要来源之一, 不论是公益林还是商品林, 人为干扰破坏强度较大, 从而导致林内树种资源较少, 乔木层物种单一, 群落多样性最弱。

表 3 不同森林群落物种丰富度和多样性  
Tab. 3 Richness and  $\alpha$ -diversity of different types of forest

森林群落类型	样本数/个	$R$	$H'$	$J$
松木林	27	14.2±4.8a	1.02±0.37a	0.63±0.19a
杉木林	38	15.2±4.6a	0.97±0.39a	0.61±0.18a
阔叶林	43	23.7±9.0b	1.78±0.55b	0.73±0.15b
针阔混交林	16	19.8±6.3c	1.48±0.38c	0.68±0.12b
竹林	13	11.4±4.1a	0.41±0.39d	0.32±0.19c

注:  $R$ 、 $H'$  和  $J$  数据均为平均值±标准差; 同一列中小写字母不同表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

3.2 森林群落物种多样性空间格局

森林植物群落的空间结构取决于物种的生长型和相同生长型的物种组成的层次<sup>[16]</sup>, 一般可以分为乔木层、下木层和草本层。从表 4 中可以看出, 同一森林群落各层间的物种丰富度和 Shannon-Wiener 多样性指数表现不同, 针叶林、竹林的下木层的物种丰富度和 Shannon-Wiener 多样性指数均明显高于乔木层, 排序为下木层>乔木层>草本层。这表明针叶林下木层已侵入了较多数量的乡土树种, 如枹栎、青冈、木荷、甜槠等, 为针叶林向阔叶林或针阔混交林演替提供了充足的物种保证。阔叶林、针阔混交林下木层的物种丰富度和 Shannon-Wiener 多样性指数均低于乔木层, 其大小排序为乔木层>下木层>草本层, 主要由于阔叶林、针阔混交林乔木层密度分别达到 2 557 株·hm<sup>-2</sup> 和 2 026 株·hm<sup>-2</sup>, 林冠郁闭度高, 林下主要为耐荫树种, 其他树种较难侵入, 下木层物种丰富度较乔木层低。群落均匀度指数关系为: 针叶林、竹林下木层的群落均匀度指数明显高于乔木层的; 阔叶林下木层的群落均匀度指数略高于乔木层的; 针阔混交林的下木层的群落均匀度指数则明显低于乔木层的。这

是因为侵入针叶林、竹林的单位面积各乡土树种种类较多且个体数量差异不大，而针阔混交林、阔叶林本身物种结构更丰富和稳定，下木层其它物种较难侵入，影响了下木层种类和数量。不同森林群落的物种丰富度和 Shannon-Wiener 多样性指数差异明显，表现为阔叶林 > 针阔混交林 > 杉木林 > 松木林 > 竹林，群落均匀度指数表现也类似，这与前文介绍的森林群落变化趋势一致，应与群落的物种组成、起源和干扰强度有关。

表 4 不同森林群落各层物种丰富度和多样性  
Tab. 4 Richness and  $\alpha$ -diversity of different types of forest

森林群落类型		松木林	杉木林	阔叶林	针阔混交林	竹林
郁闭度		0.77	0.72	0.77	0.80	0.67
$R$	乔木层	5.40±3.20Aa	5.30±3.70Aa	14.30±6.9Ba	10.90±3.40Ca	3.20±3.20Aa
	下木层	6.70±3.30Aa	7.20±2.70Ab	7.20±4.00Ab	6.30±3.60Ab	3.60±3.60Ba
	草本层	0.57±0.38Aa	0.57±0.25Ab	0.73±0.22Bb	0.71±0.14Ba	0.29±0.23Ca
$H'$	乔木层	0.93±0.54Aa	0.86±0.56Aa	1.93±0.73Ba	1.66±0.45Ba	0.37±0.48Ca
	下木层	1.46±0.46Ab	1.58±0.43Ab	1.49±0.68Ab	1.31±0.74Aa	0.85±0.73Ba
	草本层	0.63±0.53Ac	0.57±0.42Ac	0.41±0.47Bc	0.53±0.53Ab	0.82±0.67Ca
$J$	乔木层	0.57±0.38Aa	0.57±0.25Ab	0.73±0.22Bb	0.71±0.14Ba	0.29±0.23Ca
	下木层	0.81±0.11Aa	0.81±0.17Aa	0.75±0.27Ab	0.59±0.44Bb	0.76±0.26Aa
	草本层	0.58±0.39Aa	0.53±0.34Ab	0.37±0.38Bc	0.44±0.39Ab	0.51±0.35Aa

注：数据为平均值±标准差。同列中大写字母不同，表示同一层次不同森林群落类型间差异显著( $P<0.05$ )；小写字母不同，表示同一类型森林群落不同层次间差异显著( $P<0.05$ )。

3.3 不同森林群落碳汇能力评价

由表 5 可知，5 种群落单位面积平均碳储量从大到小顺序依次为针阔混交林（384.94 t·hm<sup>-2</sup>）> 杉木林（363.20 t·hm<sup>-2</sup>）> 阔叶林（359.99 t·hm<sup>-2</sup>）> 松木林（343.26 t·hm<sup>-2</sup>）> 竹林（235.17 t·hm<sup>-2</sup>），不同群落碳汇能力的分布规律与物种丰富度和多样性指数规律不同。在 5 种群落的碳储量构成中，乔木层占 9.58%~13.48%，下木层占 0.61%~4.85%，草本层占 1.01%~2.02%，森林土壤占 78.29%~84.82%。森林土壤在森林生态系统总碳储量中占极大比例，在森林生态系统碳循环中具有重要的地位和作用。经测算，5 种群落乔木层的平均碳密度为 41.68 t·hm<sup>-2</sup>，高于中国森林乔木层平均碳密度（37.28 t·hm<sup>-2</sup>）<sup>[17]</sup>。

表 5 单位面积森林碳储量分布特征  
Tab. 5 Distribution characteristics of unit area forest carbon storage unit area

森林群落类型	总碳储量 / (t·hm <sup>2</sup> )	植被						森林土壤	
		乔木层		下木层		草本层			
		碳储量 / (t·hm <sup>2</sup> )	占总碳 储量/%	碳储量 / (t·hm <sup>2</sup> )	占总碳 储量/%	碳储量 / (t·hm <sup>2</sup> )	占总碳 储量/%	碳储量 / (t·hm <sup>2</sup> )	占总碳 储量/%
松木林	343.26	44.19	12.87	14.99	4.37	4.78	1.39	279.30	81.37
杉木林	363.20	34.79	9.58	17.02	4.69	5.72	1.57	305.67	84.16
阔叶林	359.99	48.53	13.48	17.45	4.85	3.62	1.01	290.39	80.67
针阔混交林	384.94	43.07	11.19	16.66	4.33	7.79	2.02	317.42	82.46
竹林	235.17	31.50	13.39	1.43	0.61	2.78	1.18	199.46	84.82

3.4 物种多样性与碳汇能力的关系

本研究通过物种丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数及均匀度指数对碳储量进行均值-方差及回归分析，结果表明森林群落总体物种丰富度和 Shannon-Wiener 多样性指数与植被碳储量呈极显著正相关关系 ( $P<0.01$ )，但并不是简单的线性相关关系 (图 2)，其较好拟合关系分别为幂指数和二项式曲线，但群落均匀度指数与植被碳储量的关系不显著 ( $P>0.05$ )；森林土壤碳储量与物种丰富度和 Shannon-Wiener 多样性指数、群落均匀度指数相关关系不显著 ( $P>0.05$ )，主要是森林土壤碳储量的变化主要取决于植被凋落物归还量和碳在土壤中的积累与释放过程<sup>[18]</sup>，森林土壤碳储量不仅与某个环境因子有关，还受到诸多因素的交互影响，其他生态过程 (生

物地球化学循环、生物多样性等) 及人类活动也有重要影响。

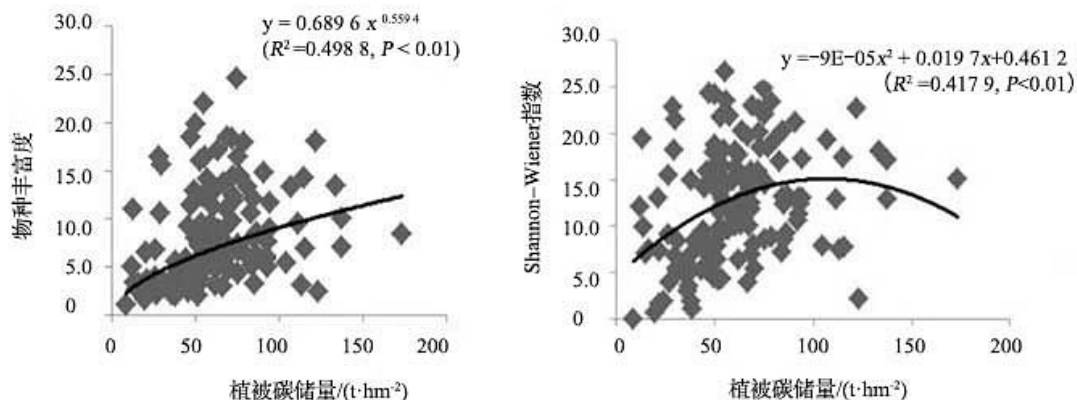


图2 森林群落植被碳储量与物种丰富度、Shannon-Wiener 指数的相关性

Fig. 2 Correlation between Vegetation carbon deposits and species richness, Shannon-Wiener index of non-commercial forest

## 4 结论与讨论

(1) 不同森林群落内的物种多样性及空间分布特征主要受某一种群数量在群落内的分布状况和植物种类多少的影响。本研究中 5 种森林群落的物种丰富度和 Shannon-Wiener 多样性指数、群落均匀度指数均呈显著差异 ( $P<0.05$ ), 其中物种丰富度表现为阔叶林>针阔混交林>杉木林>松木林>竹林, 不同群落 Shannon-Wiener 多样性指数和均匀度指数的变化趋势基本一致, 由大到小依次为阔叶林、针阔混交林、松木林、杉木林、竹林。

(2) 实测数据分析表明, 森林土壤碳储量占森林生态系统总碳储量的 80% 左右, 在森林生态系统碳循环中具有重要的地位和作用。5 种森林类型碳储量空间分布由大到小依次为土壤层、乔木层、下木层、草本层, 这与方晰等<sup>[19]</sup>、康冰等<sup>[20]</sup>的研究结果相似。森林土壤在整个森林生态系统中的碳储量是最多的, 保持森林土壤完整的自然生产力或自然力的再生产是建设稳定的森林系统和提高森林碳汇的基础。

(3) 森林群落的物种丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数与植被碳储量均呈极显著正相关关系 ( $P<0.01$ ), 但并不是简单的线性相关关系, 其较好拟合关系分别为幂指数和二项式曲线; 但群落均匀度指数与植被碳储量的关系不显著 ( $P>0.05$ )。而目前关于多样性和碳储量之间的关系研究较少, 主要基于多样性和生产力之间的关系, 存在 3 种主要观点, 但也尚无定论: 第 1 种是“冗余种”假说, 即生态系统中并不是所有种都在生态过程中发挥了作用, 有些种是冗余的, 损失一些物种不会降低他们生产物质的能力<sup>[21]</sup>, 因此物种多样性与生产力不呈相关关系; 第 2 种观点认为生产力与多样性之间的关系是线性关系, 即在生产力增加时多样性也在增加<sup>[22]</sup>; 第 3 种观点认为生产力和多样性呈钟形的曲线关系<sup>[23]</sup>, 即多样性在低水平时随生产力增加而增加, 在生产力为中等水平时其多样性最大, 但最终在达到足够高的生产力时反而下降。本文结论与第 2 种和第 3 种观点相类似。

(4) 森林土壤碳储量与物种丰富度和 Shannon-Wiener 多样性指数、群落均匀度指数的相关关系不明显 ( $P>0.05$ )。不同林分组成成分、群落结构以及生物量的不同, 导致森林小环境的差异, 并间接影响着土壤生物生态化学过程, 最终导致土壤有机碳积累及释放的差异<sup>[24]</sup>。这种结果证明了物种丰富度及多样性主要通过不同森林植被类型的枯枝落叶的质和量以及根系作用的差异, 间接影响着森林土壤碳汇能力。此外研究尺度也是影响物种丰富度、多样性与植被碳储量之间关系的主要因素, 同一类型群落的丰富度、多样性与植被碳储量相关关系不明显, 但扩大至整个研究空间范围后, 却表现显著的相关关系。

从上述四方面可以看出, 在森林经营和公益林建设实践上应尽量保持现有森林现状或恢复森林植被来尽可能发挥森林碳汇的能力; 加强封育, 促进自然演替, 增加阔叶林与混交林群落, 或对立地条件较好地段, 实施阔叶化改造、林下补植、人工促进更新等措施, 将充分发挥林地生产潜力, 提升物种丰富度和多样性, 增加植

被碳储量, 有效提高物种生物产量和森林生态效能; 对于现有森林植被, 尽量减少经营和降低经营强度, 尤其避免破坏森林土壤层, 将是保护森林土壤碳储量最有效的手段。

#### 参考文献:

- [1] 钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理与方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 01-11.
- [2] 江波. 浙江省生态公益林群落结构特征及其调控研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
- [3] 周文春, 张超. 基于 InVEST 模型的莲都区公益林生态系统服务功能研究[J]. 华东森林经理, 2019(001): 75-80.
- [4] 叶诺楠, 沈娜娉, 商天其, 等. 浙江瑞安公益林群落结构及其与环境的相关性[J]. 植物学报, 2017, 52(4): 496-510.
- [5] 金水虎, 俞建. 浙江产国家重点保护野生植物(第一批)的分布与保护现状[J]. 浙江林业科技, 2002, 22(2): 48-53.
- [6] 沈桦, 吴晨光, 吴承焕. 庆元县乡土地被植物资源调查分析[J]. 现代农业科技, 2008(23): 109-110.
- [7] 张华柳, 伊力塔, 余树全, 等. 嵊州市公益林生物量及生态效益价值评价[J]. 林业资源管理, 2011(1): 78-85.
- [8] 伊力塔, 严晓素, 余树全, 等. 浙江省不同森林类型林分健康指标体系[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2012, 36(1): 145-148.
- [9] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 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.
- [10] 郭正刚. 白龙江上游地区森林植物群落物种多样性的研究[J]. 植物生态学报, 2003, 27(3): 399-395.
- [11] 高贤明. 秦岭太白山弃耕地植物群落演替的生态学研究[J]. 生态学报, 1997, 17(6): 61-62.
- [12] 李士生, 袁位高. 公益林监测研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011: 55-60.
- [13] 李海奎, 雷渊才. 中国森林植被生物量和碳储量评估[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010: 38-53.
- [14] 林大仪. 土壤学实验指导[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 42-168.
- [15] 中科院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987: 62-136.
- [16] 方晰, 田大伦, 项文化. 速生阶段杉木人工林碳素密度、贮量和分布[J]. 林业科学, 2002, 38(3): 14-19.
- [17] 李奇, 朱建华, 冯源, 等. 中国森林乔木林碳储量及其固碳潜力预测[J]. 气候变化研究进展, 2018, 14(3): 287-294.
- [18] 吕超群, 孙书存. 陆地生态系统碳密度格局研究概述[J]. 植物生态学报, 2004, 28(5): 692-703.
- [19] 方晰, 田大伦, 项文化. 不同密度湿地松人工林中碳的积累与分配[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20(4): 374-379.
- [20] 康冰, 刘世荣, 张广军, 等. 广西大青山南亚热带马尾松、杉木混交林生态系统碳素积累和分配特征[J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1320-1329.
- [21] LAWTON J H, BROW V K. Redundancy in ecosystems[C]. Schulze E D, Money H A. Biodiversity and Ecosystem Function: Ecological Studies Analysis and Synthesis, 1993.
- [22] 尚占环, 姚爱兴, 龙瑞军. 干旱区山地植物群落物种多样性与生产力关系分析[J]. 干旱区研究, 2005, 22(1): 75-76.
- [23] 陈生云, 刘文杰, 叶柏生, 等. 疏勒河上游地区植被物种多样性和生物量及其与环境因子的关系[J]. 草业学报, 2011, 20(3): 75-77.
- [24] 欧阳学军, 周国逸, 魏识广, 等. 南亚热带森林植被恢复演替序列的土壤有机碳氮矿化[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1688-1694.