

## 珍稀濒危植物细果秤锤树群落物种组成与生态位分析

方庆<sup>1</sup>, 谭菊荣<sup>2</sup>, 许惠春<sup>1</sup>, 李婷婷<sup>2</sup>, 吴初平<sup>2</sup>, 吴正柱<sup>1</sup>, 袁位高<sup>2</sup>, 姚良锦<sup>2</sup>

(1. 浙江省建德市建德林场, 浙江 建德 311400; 2. 浙江省林业科学研究院 浙江杭州城市森林生态系统国家定位观测研究站, 浙江 杭州 310023)

**摘要:** 【目的】基于群落生态学研究濒危植物细果秤锤树 *Sinojackia microcarpa* 的生境适应性和种间相互关系, 有利于展开细果秤锤树的保护与扩繁。【方法】基于浙江省建德市细果秤锤树典型种群保护样地的群落调查与生境数据, 分析物种组成、生态位特征、优势种种间联结关系。【结果】①细果秤锤树样地内共记录到胸径 $\geq 1$  cm 的木本植物 401 株, 隶属于 35 科 50 属 51 种。样地上层木中重要值 $\geq 1\%$  的物种共 16 种, 重要值排在前 4 位的物种从大到小依次为毛竹 *Phyllostachys edulis*、柏木 *Cupressus funebris*、板栗 *Castanea mollissima* 和细果秤锤树, 这 4 个物种重要值之和为 49.85%。②细果秤锤树与上层木树种樟树 *Cinnamomum camphora*、与下层木树种榿木 *Loropetalum chinensis* 的生态位相似性最高, 且生态重叠值大于 0.5。细果秤锤树与茶 *Camellia sinensis*、榿木、毛花连蕊茶 *Camellia fraterna* 等物种负联结, 表明它们之间存在显著的竞争关系。【结论】个体数量稀少, 生境条件较差, 在资源受限时种间竞争激烈等是细果秤锤树濒临灭绝的关键原因。表 8 参 33

**关键词:** 细果秤锤树; 珍稀濒危物种; 生态位特征; 种间联结关系; 种间竞争

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2022)05-0931-09

## Species composition and niche of *Sinojackia microcarpa*, a rare and endangered plant

FANG Qing<sup>1</sup>, TAN Jurong<sup>2</sup>, XU Huichun<sup>1</sup>, LI Tingting<sup>2</sup>, WU Chuping<sup>2</sup>,  
WU Zhengzhu<sup>1</sup>, YUAN Weigao<sup>2</sup>, YAO Liangjin<sup>2</sup>

(1. Forest Farm of Jiande City, Jiande 311400, Zhejiang, China; 2. Hangzhou National Positioning Observation and Research Station for Urban Forest Ecosystem, Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

**Abstract:** [Objective] The purpose is to study the habitat adaptability and interspecific relationship of the endangered plant *Sinojackia microcarpa* based on population ecology, which is beneficial to its effective protection and propagation. [Method] Based on the community survey and habitat data of typical population of *S. microcarpa* in Jiande, Zhejiang Province, the species composition, niche characteristics, and the linkage between dominant species were analyzed. [Result] (1) A total of 401 woody plants with diameter at breast height (DBH) $\geq 1$  cm were recorded, belonging to 51 species, 50 genera, and 35 families. There were 16 species with an important value $\geq 1\%$  in the upper wood of the sample site, and the top 4 species with an important value ranging from large to small were *Phyllostachys edulis*, *Cupressus funebris*, *Castanea mollissima*, and *S. microcarpa*. The sum of the important values of these 4 species was 49.85%. (2) *S. microcarpa* had the highest niche similarity with the upper wood species such as *Cinnamomum camphora*, as well as the lower wood species such as *Loropetalum chinensis*. The ecological overlap value was greater than 0.5. The negative interspecific

收稿日期: 2022-03-07; 修回日期: 2022-06-22

基金项目: 浙江省省属科研院所专项 (2021F1065-4, 2022F1068-2)

作者简介: 方庆 (ORCID: 0000-0002-6570-2332), 工程师, 从事林木遗传育种研究。E-mail: 2606448594@qq.com。

通信作者: 姚良锦 (ORCID: 0000-0002-0777-9817), 助理研究员, 博士, 从事森林生态与经营研究。

E-mail: lj890caf@163.com

association between *S. microcarpa*, *Camellia sinensis*, *Loropetalum chinensis* and *Camellia fraterna* suggested that there was significant competition between them. [Conclusion] Rare individuals, poor habitat conditions, and fierce interspecific competition when resources are limited are the key reasons for the extinction of *S. microcarpa*. [Ch, 8 tab. 33 ref.]

**Key words:** *Sinojackia microcarpa*; rare and endangered species; niche characteristics; interspecific association; interspecific competition

开展珍稀濒危植物的群落生态学研究有助于野生植物资源的保护、恢复和可持续更新。群落生态学研究一般通过探究物种的分布范围、群落结构及种内与种间联结关系等,揭示群落生活史、适应性、生长趋势等<sup>[1-3]</sup>。物种组成与群落结构在一定程度上展现植物对资源的利用能力和群落的稳定程度<sup>[4]</sup>。汪国海等<sup>[5]</sup>通过研究濒危植物单性木兰 *Kmeria septentrionalis* 的群落结构与空间分布格局,探究其聚集方式和传播途径。濒危物种的生态位宽度与群落总体关联度能够反映物种间的相互关系(竞争或促进作用)及对生境条件的适应状况和资源利用情况等<sup>[6-8]</sup>。刘万德等<sup>[9]</sup>对藤枣 *Eleutharrhena macrocarpa* 的生境特征和种间联结研究发现:藤枣与下层木呈极显著负相关,减少群落内下层木可以促进藤枣群落可持续生长<sup>[3,9-11]</sup>。杨国平等<sup>[12]</sup>通过建立预测景东翅子树 *Pterospermum kingtungense* 群落动态的 Lefkovitch 矩阵模型,探究濒危物种在特定的小生境片段中的分布区间。因此,基于群落生态学的研究方法,有助于全面评估珍稀濒危物种的内外致濒因子,缓解其濒危态势,实现有效的拯救保护<sup>[10-11]</sup>。

细果秤锤树 *Sinojackia microcarpa* 为中国特有的极小群落野生植物,多分布在浙江临安、建德等地,处于极度濒危和受胁迫状态<sup>[13-17]</sup>。目前,对秤锤属 *Sinojackia* 的研究相对较多。杨国栋等<sup>[18]</sup>采用生态学理论结合自组织特征映射网络(SOM)方法,划分了野生秤锤树群落的群丛类型。徐惠明等<sup>[19]</sup>分析了狭果秤锤树 *S. rehderiana* 的群落年龄结构,发现该群落具有良好的更新潜力。周赛霞等<sup>[20]</sup>研究发现:受密度制约或种子扩散限制等,狭果秤锤树的空间聚集分布趋势逐渐减弱。秤锤属物种多表现出竞争能力相对较弱,对外界干扰的响应较为显著<sup>[18-19]</sup>。本研究通过对细果秤锤树群落的长期动态监测,分析细果秤锤树群落的物种组成、生态位宽度及其与主要树种的种间关联,揭示细果秤锤树的生境适应性与竞争强度,有助于在就地、迁地保护回归实践中建立适宜的生存环境。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

浙江省建德市属亚热带北缘季风气候,雨量充沛,四季分明,年平均气温为 17.4℃。土壤类型以凝灰岩发育的红壤、黄棕色壤土为主,土层浅薄且质地较为疏松,钱塘江水系中上游,境内以低山丘陵地貌为主。细果秤锤树集中分布于浙江省建德市建德林场乌石滩林区(29°32'56"~29°35'43"N, 119°33'08"~119°34'05"E),主要分布在林区乌石滩、富家坞和灵山顶,海拔为 23~429 m。多生长在岩石裸露率较大的山谷溪沟边的灌丛林中,呈条带状分布,群落生境数年前遭受人为砍伐干扰较严重。

### 1.2 样地设置与调查

细果秤锤树为典型极小群落野生植物,残存数量较少,因适存的小流域生境使得群落呈带状分布,样地设置受限。2020年8—9月,在全面踏查细果秤锤树野生群落的基础上,参照热带森林科学研究中心(CTFS)的样地建设技术规程,建立 0.18 hm<sup>2</sup> 的固定监测样地。使用全站仪在乌石滩、富家坞和灵山顶分别设置 3 个典型样方开展群落调查,共计 9 个 10 m×20 m 样方;在每个样方内设置 3 个 5 m×5 m 的下层木样地以及 3 个 1 m×1 m 的草本层样地。开展树种定位、地形测定(海拔、经纬度、坡向坡位等)、生境因子测定(土壤理化性质等)。

### 1.3 物种重要值计算

本研究计算上层木与下层木的物种重要值。上层木重要值=(相对多度+相对频度+相对显著度)/3;下层木重要值=(相对多度+相对频度)/2;相对多度=(某种植物的数量/样地植物的总数量)×100%;相对频度=(某种植物的频度/样地所有植物物种的频度总和)×100%;相对优势度=(某种植物的胸高断面积之

和/样地所有物种的胸高断面面积之和)×100%。

#### 1.4 生态位特征与种间联结性

物种生态位特征主要采用 Levins 指数、Shannon-Wiener 指数<sup>[21-23]</sup> 反映生态位宽度，Schoener 生态位相似性<sup>[24-25]</sup> 与 Pianka 生态位重叠指数<sup>[26]</sup> 反映生态相似与重叠程度。种间联结分析主要采用总体联结指数<sup>[6, 8]</sup>、卡方检验 ( $\chi^2$ )、联结系数 ( $A_C$ )<sup>[24]</sup> 和 Pearson 相关系数<sup>[8, 22]</sup> 探究物种间关联性。采用 R 4.1.0 中 spaa 包计算生态位宽度、生态位相似性和生态位重叠程度、 $\chi^2$  检验、Pearson 相关系数检验结果。

## 2 结果与分析

### 2.1 细果秤锤树群落野外分布与生境分析

细果秤锤树总计 509 株，其中富家坞分布个体数量最多 (243 株)，灵山顶最少 (71 株)。群落里单丛萌蘖枝干中的最大胸径为 8.10 cm，平均树高为 5.40 m (表 1)。乌石滩、富家坞、灵山顶细果秤锤树群落的胸径变异系数分别为 34%、33% 和 33%，均表现为较低变异性。

细果秤锤树分布在海拔 23~429 m 的区域 (表 2 和表 3)，乌石滩和富家坞受人工干预程度较高，存在人为滥砍及割灌除草等抚育过程。土壤呈较疏松多孔的黏质土，土壤容重为 1.06~1.19 g·cm<sup>-3</sup>，pH 为 4.72~5.79，偏酸性土壤，有效磷和速效钾偏低。细果秤锤树群落土壤有机质、氮、磷、钾及其速效成分中等，土壤养分条件一般。

表 1 细果秤锤树群落资源组成

分布区	数量/ 株	胸径/ cm	树高/ m	胸径变异 系数/%	树高变异 系数/%
乌石滩	195	3.07±1.05	5.00±1.87	34	38
富家坞	243	3.05±1.02	5.40±1.98	33	41
灵山顶	71	2.95±0.98	4.90±2.41	33	54

说明：胸径和树高数值为平均值±标准差

表 2 细果秤锤树群落生境调查

Table 2 Environmental survey of *S. microcarpa* population

分布区	样地	海拔/m	纬度(N)	经度(E)	坡向	群落特征
乌石滩	P1	58	29°34'16"	119°33'10"	西	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i> -板栗 <i>Castanea mollissima</i> 混交林
	P2	45	29°34'18"	119°33'60"	西	板栗林
	P3	64	29°34'17"	119°33'00"	东北	板栗林
富家坞	P4	58	29°34'57"	119°33'42"	东南	柏木 <i>Cupressus funebris</i> -南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i> 混交林
	P5	95	29°34'57"	119°33'36"	东南	柏木林
	P6	128	29°35'20"	119°33'24"	东	柏木-拟赤杨 <i>Alniphyllum fortunei</i> 混交林
灵山顶	P7	190	29°35'35"	119°33'52"	东北	樟树林
	P8	384	29°35'11"	119°33'11"	东北	毛竹 <i>Phyllostachys edulis</i> 林
	P9	396	29°35'40"	119°33'10"	东北	毛竹林

表 3 细果秤锤树群落的生境因素

Table 3 Habitat factors of *S. microcarpa*

分布区	海拔/m	土壤容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	土壤pH	土壤有机 质/(g·kg <sup>-1</sup> )	土壤总孔 隙度/%	土壤碱解氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	土壤有效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	土壤速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
乌石滩	70±26 a	1.01±0.10 a	5.46±0.20 a	38.84±3.66 a	61.74±3.67 a	103.41±3.08 a	6.23±0.82 a	82.46±3.22 a
富家坞	109±39 a	1.12±0.06 a	5.47±0.43 a	40.76±1.22 a	57.72±2.25 a	97.61±6.90 a	5.79±1.26 a	82.93±6.82 a
灵山顶	370±110 a	1.07±0.09 a	5.23±0.15 a	45.74±3.42 a	59.72±3.44 a	107.71±8.72 a	5.54±1.45 a	95.48±14.02 a
变化范围	23~429	1.00~1.19	4.72~5.79	36.81~48.38	55.20~62.42	91.04~113.67	5.30~7.84	75.69~102.80

说明：数值为平均值±标准差。同列不同小写字母表示同一指标不同分布区之间差异显著 ( $P < 0.05$ )

### 2.2 细果秤锤树群落物种组成

细果秤锤树样地内共记录到胸径 ≥ 1 cm 的木本植物 401 株，隶属于 35 科 50 属 51 种。其中优势科有樟科 Lauraceae (5 属 6 种)、山茶科 Theaceae (3 属 4 种)、壳斗科 Fagaceae (3 属 3 种)、马鞭草科 Verbenaceae (3 属 3 种)、安息香科 Styracaceae (2 属 3 种)、大戟科 Euphorbiaceae (2 属 2 种)、金缕梅科

Hamamelidaceae (2属2种)、漆树科 Anacardiaceae (2属2种)、茜草科 Rubiaceae (2属2种)、榆科 Ulmaceae (2属2种)。樟树的平均胸径最大, 达 30.8 cm, 有 22 株; 平均胸径较大的树种有臭椿 *Ailanthus altissima*、枫香 *Liquidambar formosana*、柏木、南酸枣和毛竹。

样地中重要值 $\geq 1\%$ 的上层木物种共 16 种, 重要值排前 4 位的物种是毛竹、柏木、板栗和细果秤锤树, 这 4 个物种重要值之和为 49.85%, 是群落优势树种(表 4)。下层中阔叶箬竹 *Indocalamus latifolius* 的重要值最高, 为 15.48%; 重要值排前 3 位的物种有水团花 *Adina pilulifera*、毛花连蕊茶 *Camellia fraterna* 和细果秤锤树(表 5)。细果秤锤树在上、下木层中重要值分别为 9.50% 和 4.60%, 是主要建群种之一。

表 4 细果秤锤树群落上层木主要物种的重要值和生态位宽度

Table 4 Important values and niche breadth of the dominant species in upper wood layer of *S. microcarpa* community

编号	物种	重要值/ %	生态位宽度		编号	物种	重要值/ %	生态位宽度	
			Levins 指数	Shannon-Wiener 指数				Levins 指数	Shannon-Wiener 指数
1	毛竹	19.63	1.96	0.68	11	杉木	2.00	1.78	0.63
2	柏木	10.84	2.48	1.00	12	黄檀	1.95	2.29	0.90
3	板栗	9.88	2.80	1.13	13	白花泡桐	1.70	1.00	0.00
4	细果秤锤树	9.50	5.87	1.92	14	盐肤木	1.51	1.00	0.00
5	樟树	8.44	1.82	0.64	15	木油桐	1.27	1.96	0.68
6	南酸枣	2.75	1.83	0.80	16	大叶白纸扇	1.21	2.00	0.69
7	拟赤杨	2.34	1.95	0.68	17	厚壳树	0.99	1.00	0.00
8	枫香	2.32	1.00	0.00	18	臭椿	0.96	1.00	0.00
9	木蜡树	2.18	2.70	1.05	19	欆木	0.88	1.63	0.00
10	棕榈	2.09	2.78	1.06					

说明: 木蜡树 *Toxicodendron sylvestr*; 棕榈 *Trachycarpus fortunei*; 杉木 *Cunninghamia lanceolata*; 黄檀 *Dalbergia hupeana*; 白花泡桐 *Paulownia fortunei*; 盐肤木 *Rhus chinensis*; 木油桐 *Vernicia montana*; 大叶白纸扇 *Mussaenda shikokiana*; 厚壳树 *Ehretia thysiflora*; 欆木 *Loropetalum chinensis*

### 2.3 细果秤锤树群落生态位宽度

细果秤锤树具有最大的生态位宽度, Levins 的生态位宽度指数及 Shannon-Wiener 的生态位宽度指数在上层木中分别为 5.87% 和 1.92%(表 5), 板栗、棕榈、木蜡树与柏木的生态位宽度依次降低。细果秤锤树在上层木林层与下层木林层中生态位宽度差异不明显, 说明细果秤锤树的种对竞争具有一定优势, 在所调查的小流域生境中具有较强的适应能力, 分布幅度较广。

### 2.4 细果秤锤树群落生态位相似性与重叠程度

细果秤锤树群落上层木物种生态位相似性和生态位重叠值最大均为盐肤木-臭椿(表 6)。细果秤锤树与上层优势树种樟树生态相似性值最高(0.62), 白花泡桐次之(0.59)。生态位宽度较大的柏木和黄檀的生态位相似性达 0.65, 而生态位宽度较窄的枫香和臭椿的生态位相似性为 0, 说明生态位相似性与生态位宽度有一定关联。生态位重叠值在 0.8~1.0 的种对有杉木-盐肤木和南酸枣-枫香, 大于 0.5 的种对有 39 对(占 20.53%), 其中生态位重叠值小于 0.1 的种对共有 90 对(占 47.37%)。上层木树种间生态位重叠值总体偏低, 对资源利用的策略存在差异。细果秤锤树与樟树(0.62)和黄檀(0.59)具有较大的生态位重叠, 存在较大的生态和资源利用相似性。

下层木物种生态位相似性为 0~0.96, 生态位重叠为 0~0.10, 最大值种对均为海金子 *Pittosporum illioides*-紫麻 *Oreocnide frutescens*。细果秤锤树与下层优势树种欆木生态相似性值最高(0.86); 与水团花(0.51)和茶 *Camellia sinensis*(0.48)具有较大生态重叠(表 7)。下层木主要物种生态位重叠平均值为 0.23, 且多数种对的生态位重叠在其平均值附近, 表明下层木主要物种的竞争关系相对稳定。

### 2.5 细果秤锤树群落联结性与 Pearson 相关分析

细果秤锤树群落上层木 12 个优势种间总体联结性方差比率为 1.23, 大于 1, 即种间存在一定程度正联结; 其显著检验统计量为 11.05, 高于  $\chi^2$  分布临界值, 表明上层木群落间总体上呈显著的正联结关

表 5 细果秤锤树群落下层木主要物种的重要值和生态位宽度值

Table 5 Important value and niche breadth of the dominant species in lower wood layer of *S. microcarpa* community

编号	物种	重要值/%	生态位宽度		编号	物种	重要值/%	生态位宽度	
			Levins 指数	Shannon-Wiener 指数				Levins 指数	Shannon-Wiener 指数
1	阔叶箬竹	15.48	1.98	0.84	9	短柄枹栎	2.41	1.84	0.65
2	水团花	8.45	3.43	1.30	10	紫麻	2.30	1.08	0.16
3	细果秤锤树	4.60	6.82	2.00	11	木荷	1.86	1.00	0.00
4	毛花连蕊茶	4.58	4.95	1.77	12	华箬竹	1.63	1.00	0.00
5	茶	4.44	4.09	1.73	13	杉木	1.59	1.28	0.38
6	欏木	3.05	4.39	1.60	14	海金子	1.58	1.92	0.74
7	窄基红褐柃	2.98	1.00	0.00	15	黄檀	1.54	2.81	1.06
8	杭州榆	2.69	1.00	0.00	16	朱砂根	1.45	3.90	1.57

说明：窄基红褐柃 *Eurya rubiginosa* var. *attenuata*；杭州榆 *Ulmus changii*；短柄枹栎 *Quercus glandulifera*；木荷 *Schima superba*；华箬竹 *Sasa sinica*；朱砂根 *Ardisia crenata*

表 6 细果秤锤树群落上层木主要优势种间的生态位相似性比例和生态位重叠指数

Table 6 Niche similarity and niche overlap of dominant plant species in *S. microcarpa* community in the upper wood layer

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1		0	0	0.06	0	0	0.14	0	0	0.27	0.58	0	0.07	0.42	0	0	0	0.42	0
2	0		0.04	0.34	0	0.23	0.41	0.45	0.26	0.43	0	0.52	0	0	0.19	0.74	0.19	0	0.55
3	0	0.02		0.35	0.15	0.41	0.04	0.04	0	0.04	0	0.04	0.52	0	0.04	0.04	0.04	0	0
4	0.09	0.54	0.47		0.42	0.43	0.18	0.15	0.13	0.25	0.20	0.21	0.38	0.04	0.02	0.21	0.16	0.04	0.19
5	0	0	0.11	0.62		0.40	0	0	0	0	0.42	0	0.34	0	0	0	0.52	0	0
6	0	0.15	0.49	0.48	0.68		0.23	0.23	0.09	0.14	0.40	0.14	0.27	0	0.14	0.14	0.54	0	0
7	0.12	0.46	0.01	0.33	0	0.22		0.57	0.71	0.29	0.14	0.15	0	0.14	0.15	0.15	0.15	0.14	0
8	0	0.49	0.05	0.22	0	0.32	0.72		0.42	0.49	0	0.58	0	0	0.58	0.42	0.48	0	0
9	0	0.41	0	0.32	0	0.17	0.96	0.59		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0.27	0.58	0.05	0.25	0	0.22	0.24	0.65	0		0.27	0.73	0	0.27	0.49	0.66	0.48	0.27	0.24
11	0.64	0	0	0.32	0.62	0.54	0.12	0	0	0.28		0	0.07	0.38	0	0	0.42	0.38	0
12	0	0.65	0.06	0.24	0	0.25	0.18	0.73	0	0.89	0		0	0	0.68	0.75	0.48	0	0.32
13	0.09	0	0.63	0.59	0.30	0.39	0	0	0	0	0.04	0		0	0	0	0	0	0
14	0.59	0	0	0.09	0	0	0.19	0	0	0.45	0.63	0	0		0	0	0	1.00	0
15	0	0.30	0.06	0.04	0	0.27	0.20	0.81	0	0.80	0	0.90	0	0		0.42	0.48	0	0
16	0	0.87	0.04	0.40	0	0.16	0.12	0.48	0	0.79	0	0.88	0	0	0.59		0.42	0	0.58
17	0	0.20	0.04	0.28	0.66	0.75	0.13	0.55	0	0.54	0.52	0.61	0	0	0.67	0.40		0	0
18	0.59	0	0	0.09	0	0	0.19	0	0	0.45	0.63	0	0	1.00	0	0	0		0
19	0	0.86	0	0.46	0	0	0	0	0	0.39	0	0.43	0	0	0	0.80	0	0	

说明：编号所代表物种见表4。对角线下方为生态位相似性，对角线上方为生态位重叠值

系。下层木 12 个优势种间总体联结性方差比率为 0.58，小于 1，即种间存在一定程度负联结；其显著检验统计量为 5.19，介于  $\chi^2$  分布临界值之间，即下层木 12 个优势种间呈不显著负联结关系。

$\chi^2$  检验主要反映不同种对之间联结的显著度。联结系数检验结果显示：上层和下层各 12 个优势木中，正、负联结种对数相接近。细果秤锤树群落上层木中正、负联结的种对分别为 27 和 28 个(各占种对数的 40.91% 和 42.42%)，正负关联比为 0.96:1.00。种对间总体显著率为 12.12%，种间联结较松散，无联结的种对占 16.67%，细果秤锤树与其他种之间都不存在联结性。下层木种对联结显著度的分布大致与上层木相似，正负关联比 0.83:1.00。细果秤锤树与水团花呈显著正联结关系。细果秤锤树-阔叶箬竹、细果秤锤树-茶、细果秤锤树-欏木、细果秤锤树-窄基红褐柃表现出极显著负关联(表 8)。

表7 细果秤锤树群落下层木主要优势种间的生态位相似性比例和生态位重叠指数

Table 7 Niche similarity and niche overlap of dominant plant species in *S. microcarpa* community in the lower wood layer

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		0.09	0.32	0.21	0.16	0.20	0.34	0.02	0.25	0	0	0.09	0.09	0	0	0
2	0.04		0.51	0.43	0.53	0.52	0.29	0.46	0	0	0.13	0.56	0.19	0	0	0
3	0.30	0.65		0.36	0.48	0.63	0.33	0.38	0.23	0.01	0.10	0.07	0	0.01	0	0
4	0.34	0.58	0.38		0.59	0.53	0.46	0.54	0	0.08	0.39	0.24	0.11	0.11	0.17	0.08
5	0.18	0.58	0.53	0.64		0.55	0.27	0.47	0	0.34	0.19	0.21	0.11	0.34	0.06	0
6	0.19	0.65	0.86	0.52	0.62		0.44	0.34	0.04	0.04	0.24	0.13	0.13	0.07	0.09	0.12
7	0.31	0.27	0.32	0.47	0.21	0.36		0.14	0.34	0	0.39	0.29	0.24	0.04	0.17	0.16
8	0.02	0.56	0.47	0.75	0.48	0.41	0.15		0	0.05	0.18	0.17	0	0.06	0.03	0.01
9	0.35	0	0.41	0	0	0.09	0.70	0		0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0.02	0.20	0.75	0.07	0	0.08	0		0.01	0	0	0.96	0	0
11	0	0.12	0.03	0.41	0.10	0.29	0.44	0.10	0	0.01		0.11	0	0.05	0.22	0.64
12	0.06	0.77	0.12	0.44	0.32	0.12	0.33	0.24	0	0	0.14		0.35	0	0	0
13	0.13	0.35	0	0.29	0.23	0.26	0.50	0.01	0	0	0	0.48		0	0	0
14	0	0	0.02	0.21	0.75	0.08	0.01	0.08	0	1.00	0.05	0	0		0	0.04
15	0	0	0	0.45	0.13	0.19	0.35	0.05	0	0	0.32	0	0	0		0
16	0	0	0	0.21	0	0.24	0.33	0.02	0	0	0.93	0	0	0.04	0	

说明：编号所代表物种见表5。对角线下方为生态位相似性，对角线上方为生态位重叠值

上层木中总体显著率为19.70%(极显著正关联13个,  $P < 0.01$ ), 不显著( $P > 0.05$ )正关联25个, 占37.88%; 不显著负关联28个, 占比42.42%。细果秤锤树与其他树种为无联结关系, 整个细果秤锤树群落处于优势发展趋势(表8)。下层木中总体显著率为0, 不显著正关联31个, 占46.97%; 不显著负关联35个, 占53.03%。细果秤锤树与水团花、毛花连蕊茶、杭州榆、短柄枹栎呈不显著正关联, 与阔叶箬竹、茶、欏木、窄基红褐枹呈不显著负关联。

表8 细果秤锤树群落12个优势种 $\chi^2$ 检验、联结系数( $A_C$ )及Pearson相关检验结果

Table 8 Result of  $\chi^2$  test, association coefficient ( $A_C$ ) and Pearson correlation coefficient of the 12 dominant species in *S. microcarpa* community

检验方法	检验结果	数值范围	上层木		下层木		检验方法	检验结果	数值范围	上层木		下层木			
			种对数	占比/%	种对数	占比/%				种对数	占比/%	种对数	占比/%		
$\chi^2$	正相关	$P \leq 0.01$	0	0	0	0	$A_C$	负相关	$-0.2 \leq A_C < 0$	2	3.03	2	3.03		
		$0.01 < P \leq 0.05$	2	3.03	7	10.61			$-0.6 \leq A_C < -0.2$	3	4.54	3	4.54		
		$P > 0.05$	25	37.88	22	33.33			$A_C \leq -0.6$	23	34.85	30	45.46		
	无关联	$\chi^2 = 0$	11	16.67	2	3.03		Pearson 相关检验	正相关	$P \leq 0.01$	13	19.70	0	0	
		负相关	$0.01 < P \leq 0.05$	6	9.09	5				7.58	$0.01 < P \leq 0.05$	0	0	0	0
			$P > 0.05$	22	33.33	30				45.45	$P > 0.05$	25	37.88	31	46.97
$A_C$	正相关	$A_C \geq 0.6$	9	13.64	20	30.30	无关联		$0 < P < 0.20$	0	0	0	0		
		$0.2 \leq A_C < 0.6$	8	12.12	2	3.03			$P \leq 0.01$	0	0	0	0		
	$0 < A_C < 0.2$	8	12.12	7	10.61	负相关			$0.01 < P \leq 0.05$	0	0	0	0		
	无关联	$A_C = 0$	13	19.70	2			3.03	$P > 0.05$	28	42.42	35	53.03		

### 3 讨论

#### 3.1 物种组成与群落结构

建德市野生细果秤锤树群落动态监测样地内树种组成相对简单, 细果秤锤树多生长在次生常绿阔叶林和针阔混交林中, 群落优势树种主要为毛竹、柏木、板栗和细果秤锤树。这与秤锤属调查样地内的物种组成及数量相类似<sup>[13, 15-16]</sup>。调查发现: 细果秤锤树群落中缺乏小径级个体或幼苗, 这可能是因为秤锤

属的种子萌发困难或遭受了人为的抚育等干扰，影响了幼苗的更新<sup>[13-14]</sup>。细果秤锤树是小流域生境群落中的优势种，早期生长喜较为荫蔽的环境，群落中高大上层木树种如樟树、毛竹、柏木等可在其幼苗更新时期起到遮光作用，以保护幼苗不受高温、强光照影响。在细果秤锤树生长后期，对光照需求增强，可间伐上层木，对高度接近细果秤锤树的树种进行一定程度的抚育，降低群落郁闭度<sup>[12, 16-17]</sup>。

### 3.2 生态位宽度与生态位重叠程度

生态位宽度作为植物群落的环境适应力和资源利用能力的衡量性指标，值越大，反映物种适应能力越强，在群落中更具优势<sup>[22, 27]</sup>。细果秤锤树在群落物种中重要值排在第 4 位，但生态位宽度却排在首位。可能是其喜光、耐贫瘠、喜微酸性土壤等生长特性有利于细果秤锤树在小溪流水域附近广泛分布。细果秤锤树的生态位宽度较大还可能与本研究的样地设置有关。本研究以细果秤锤树生长的位置为核心展开设置并调查，且呈聚集分布均匀的群落使得其占较大资源位或较大资源量，与极小群落植物圆叶玉兰 *Magnolia sinensis*<sup>[28]</sup>、小花木兰 *Oyama sieboldii*<sup>[29]</sup>、缙云秋海棠 *Begonia jinyunensis*<sup>[30]</sup> 在所处群落中生态位宽度均较大这一研究结果相同，表明在该分布点的研究区域生境条件下，生态位宽度大小与细果秤锤树致濒机制无必然联系。研究中有一些物种的生态位宽度大小排序与其重要值大小排序不同，如樟树、南酸枣等，这说明生态位宽度和重要值在物种之间的表现方式略有不同且并无显著关联性。

生态位相似性特征反映种间资源利用的相似程度，重叠值特征衡量生态位相似的树种在特定空间环境下资源利用的差异性，两者结合衡量种间资源竞争程度<sup>[31-33]</sup>。细果秤锤树与上层优势树种樟树和黄檀的生态相似性与生态重叠性均最高。可能是因为樟树、黄檀是对环境适应性广泛的泛化种，也可能是适合调查区域环境的特化种，因此出现与细果秤锤树较高的生态位重叠值，也表明这些种对间生态学特性比较一致，或者对生境的要求比较相似<sup>[8]</sup>。一般来说，当多个物种同时具有较大的生态位宽度时，它们之间存在较高生态位重叠的可能性更大<sup>[21]</sup>。但是，具有较大生态位宽度的物种也可能与较小生态位宽度的物种间存在较大的生态位重叠<sup>[21, 31]</sup>。这是因为细果秤锤树与水团花、毛花连蕊茶为中生植物，在资源有限的条件下，它们对资源环境的竞争比较大，且对资源的利用和需求相近<sup>[32]</sup>，因此，它们之间的联系也更为紧密，具有较高的生态位重叠<sup>[22, 26]</sup>。且细果秤锤树所在群落中物种之间的生态位重叠程度总体偏低，说明细果秤锤树群落中大多物种对资源利用的相似程度降低，物种之间竞争较弱，生态位可通过产生分化来降低种间竞争使得物种间在群落的结构与功能上互补且稳定<sup>[7, 22]</sup>。本研究发现：细果秤锤树群落大部分种对间的相关性比较弱，表明物种联结性较弱。种间负联结关系占主导，但大部分优势种对间关联性比较低，说明样地中的不同物种间不存在紧密的相互关系，缺乏竞争或相互促进的趋势，物种间具有独立性，受外界的干扰较小<sup>[30]</sup>。

## 4 结论

细果秤锤树群落中物种组成较为简单，群落结构相对单一，细果秤锤树群落幼树较少，更新相对较差。细果秤锤树生态位宽度最大，在时空上占据着优势地位，属于稍耐阴、耐贫瘠、适应力较强的植物，能更好利用资源和空间。调查样地中多数树种生态位重叠度较高，大部分物种间的竞争较强，对资源利用的相似程度高。树种间不存在较显著的种间相关联结，植物种间缺乏较强的相互依赖或竞争趋势。本研究明确了细果秤锤树生存的独特环境结构和群落间相互关系，对维持其野生群落的幼苗更新和群落规模增长具有重要作用。

## 5 参考文献

- [1] PIMM S L, JENKINS C N, ABELL R, *et al.* The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection[J/OL]. *Science*, 2014, **344**(6187): 1246752[2022-02-10]. doi: 10.1126/science.1246752.
- [2] 邱英雄. 中国特有濒危植物明党参的保护生物学研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.  
QIU Yingxiong. *Study on Conservation Biology of Endangered Changium smyrnioides Endemic to China*[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2003.
- [3] 吴成贡, 蒋昌顺. 濒危植物保护生物学技术研究进展[J]. 华南热带农业大学学报, 2006, **12**(3): 49 - 51.  
WU Chengong, JIANG Changshun. Research progress on techniques of conservation biology of endangered plants [J]. *J*

- South China Univ Trop Agric*, 2006, **12**(3): 49 – 51.
- [4] 姚良锦, 姚兰, 易咏梅, 等. 湖北七姊妹山亚热带常绿阔叶混交林的物种组成和群落结构[J]. 生物多样性, 2017, **25**(3): 275 – 284.  
YAO Liangjin, YAO Lan, YI Yongmei, *et al.* Species composition and community structure of a 6-ha subtropical evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest dynamics plot in the Qizime Mountains, Hubei Province [J]. *Biodiversity Sci*, 2017, **25**(3): 275 – 284.
- [5] 汪国海, 潘扬, 覃国乐, 等. 喀斯特生境中濒危植物单性木兰种群结构及空间分布格局研究[J]. 林业科学研究, 2021, **34**(3): 81 – 87.  
WANG Guohai, PAN Yang, QIN Guole, *et al.* Population structure and spatial distribution pattern of *Kmeria septentrionalis* an endangered species, in karst habitat [J]. *For Res*, 2021, **34**(3): 81 – 87.
- [6] 李丘霖, 宗秀虹, 邓洪平, 等. 赤水桫欏群落乔木层优势物种生态位与种间联结性研究[J]. 西北植物学报, 2017, **37**(7): 174 – 180.  
LI Qiulin, ZONG Xiuhong, DENG Hongping, *et al.* Niche and interspecific association of dominant species in tree layer of Chishui *Alsophila spinulosa* community [J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 2017, **37**(7): 174 – 180.
- [7] 梁士楚, 李铭红. 生态学[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2015.  
LIANG Shichu, LI Minghong. *Ecology*[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2015.
- [8] LEVINE J M, HILLERISLAMBERS J. The importance of niches for the maintenance of species diversity [J]. *Nature*, 2009, **461**(7261): 254 – 257.
- [9] 刘万德, 苏建荣, 徐崇华, 等. 濒危植物藤枣的生境与种群结构特征[J]. 林业科学研究, 2017, **30**(1): 137 – 144.  
LIU Wandu, SU Jianrong, XU Chonghua, *et al.* Habitat and population structure characteristics of *Eleutharrhena macrocarpa* [J]. *For Res*, 2017, **30**(1): 137 – 144.
- [10] OMELKO A, UKHVATKINA O, ZHMERENETSKY A, *et al.* From young to adult trees: how spatial patterns of plants with different life strategies change during age development in an old-growth Korean pine-broadleaved forest [J]. *For Ecol Manage*, 2018, **411**: 46 – 66.
- [11] 李帅锋, 郎学东, 黄小波, 等. 藤枣生境地木本植物种间关联性与群落稳定性[J]. 生物多样性, 2020, **28**(3): 350 – 357.  
LI Shuaifeng, LANG Xuedong, HUANG Xiaobo, *et al.* Interspecific association of woody plant species and community stability in the *Eleutharrhena macrocarpa* habitat [J]. *Biodiversity Sci*, 2020, **28**(3): 350 – 357.
- [12] 杨国平, 吴涛, 耿云芬, 等. 生境片断化对濒危植物景东翅子树种群结构与动态的影响[J]. 生物多样性, 2021, **29**(4): 449 – 455.  
YANG Guoping, WU Tao, GENG Yunfen, *et al.* Effects of habitat fragmentation on population structure and dynamics of the endangered plant *Pterospermum kingtungense* [J]. *Biodiversity Sci*, 2021, **29**(4): 449 – 455.
- [13] 钟泰林. 珍稀濒危植物细果秤锤树保护生物学研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2017.  
ZHONG Tailin. *Study on the Conservation Biology of the Rare and Endangered Sinojackia macrocarpa (Styracaceae)*[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2017.
- [14] 孙卫邦, 刘德团, 张品. 极小种群野生植物保护研究进展与未来工作的思考[J]. 广西植物, 2021, **41**(10): 1605 – 1617.  
SUN Weibang, LIU Detuan, ZHANG Pin. Conservation research of plant species with extremely small populations (PSESP): progress and future direction [J]. *Guihaia*, 2021, **41**(10): 1605 – 1617.
- [15] 胡长贵. 细果秤锤树调查初报[J]. 安徽林业科技, 2018, **44**(5): 54 – 55.  
HU Changgui. Preliminary survey report on *Sinojackia macrocarpa* [J]. *Anhui For Sci Technol*, 2018, **44**(5): 54 – 55.
- [16] 姚小洪. 秤锤树属与长果安息香属植物的保育遗传学研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006.  
YAO Xiaohong. *Studies on Conservation Genetics of Sinojackia Hu and Changiostyrax C. T. Chen*[D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2006.
- [17] 苏小菱, 马丹丹, 李根有, 等. 浙江省珍稀濒危植物细果秤锤树的种群数量监测报告[J]. 浙江林学院学报, 2009, **26**(1): 142 – 144.  
SU Xiaoling, MA Dandan, LI Genyou, *et al.* Population quantity surveillance of the rare and endangered plant in Zhejiang Province: *Sinojackia macrocarpa* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, **26**(1): 142 – 144.
- [18] 杨国栋, 季芯悦, 陈林, 等. 基于 SOM 的野生秤锤树群落的空间分布和环境解释[J]. 生物多样性, 2018, **26**(12):



- 1268 – 1276.
- YANG Guodong, JI Xinyue, CHEN Lin, *et al.* Spatial distribution and environmental interpretation of wild *Sinojackia xylocarpa* communities based on self-organizing map (SOM) [J]. *Biodiversity Sci*, 2018, **26**(12): 1268 – 1276.
- [19] 徐惠明, 谢国文, 王业磷, 等. 狭果秤锤树种群年龄结构和空间分布格局研究[J]. 广东农业科学, 2016, **43**(8): 51 – 57.
- XU Huiming, XIE Guowen, WANG Yelin, *et al.* Study on age structure and spatial distribution pattern of *Sinojackia rehderiana* population [J]. *Guangdong Agric Sci*, 2016, **43**(8): 51 – 57.
- [20] 周赛霞, 高浦新, 潘福兴, 等. 狭果秤锤树自然种群分布格局[J]. 浙江农林大学学报, 2020, **37**(2): 220 – 227.
- ZHOU Saixia, GAO Puxin, PAN Fuxing, *et al.* Natural population distribution pattern of *Sinojackia rehderiana* in an evergreen broadleaf forest [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2020, **37**(2): 220 – 227.
- [21] 白晓航, 张金屯. 小五台山森林群落优势种的生态位分析[J]. 应用生态学报, 2017, **28**(12): 3815 – 3826.
- BAI Xiaohang, ZHANG Jintun. Niche analysis of dominant species of forest community in Xiaowutai Mountain, China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2017, **28**(12): 3815 – 3826.
- [22] 刘润红, 陈乐, 涂洪润, 等. 桂林岩溶石山青冈群落下层木主要物种生态位与种间联结[J]. 生态学报, 2020, **40**(6): 2057 – 2071.
- LIU Runhong, CHEN Le, TU Hongrun, *et al.* Niche and interspecific association of main species in shrub layer of *Cyclobalanopsis glauca* community in karst hills of Guilin [J]. *Acta Ecol Sin*, 2020, **40**(6): 2057 – 2071.
- [23] LEVINS R. *Evolution in Changing Environments: Some Theoretical Explorations*[M]. Princeton: Princeton University Press, 1968.
- [24] SCHLUTER D. A variance test for detecting species associations, with some example applications [J]. *Ecology*, 1984, **65**(3): 998 – 1005.
- [25] PIANKA E R. The structure of lizard communities [J]. *Ann Rev Ecol Syst*, 1973, **4**: 53 – 74.
- [26] 金山, 武帅楷. 太行山南段油松林火烧迹地优势草本生态位及种间关系[J]. 北京林业大学学报, 2021, **43**(4): 35 – 46.
- JIN Shan, WU Shuaikai. Niche and interspecific association of dominant species in herb layer of burned *Pinus tabuliformis* forest in the southern Taihang Mountain of northern China [J]. *J Beijing For Univ*, 2021, **43**(4): 35 – 46.
- [27] 吴丹婷, 吴初平, 盛卫星, 等. 浙江建德楠木天然林群落种间联结动态[J]. 浙江农林大学学报, 2021, **38**(4): 671 – 681.
- WU Dangting, WU Chuping, SHENG Weixing, *et al.* Interspecific association dynamics of Nanmu natural forest in Jiande, Zhejiang Province [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2021, **38**(4): 671 – 681.
- [28] BIASE A D, ANTONINI G, MANCINI E, *et al.* Discordant patterns in the genetic, ecological, and morphological diversification of a recently radiated phytophagous beetle clade (Coleoptera: Nitidulidae: Meligethinae) [J]. *Rend Lincei*, 2012, **23**(2): 207 – 215.
- [29] 王立龙, 王广林, 黄永杰, 等. 黄山濒危植物小花木兰生态位与年龄结构研究[J]. 生态学报, 2006, **26**(6): 1862 – 1871.
- WANG Lilong, WANG Guanglin, HUANG Yongjie, *et al.* Age structure and niche of the endangered *Magnolia sieboldii* in Huangshan Mountain [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26**(6): 1862 – 1871.
- [30] 张腾, 郑秋敏, 王玉玲, 等. 缙云秋海棠与主要伴生物种的种间关联性研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2019, **44**(9): 52 – 59.
- ZHANG Teng, ZHENG Qiumin, WANG Yulin, *et al.* On interspecific association for *Begonia jinyunensis* and its major associated species [J]. *J Southwest China Norm Univ Nat Sci Ed*, 2019, **44**(9): 52 – 59.
- [31] SU Songjin, LIU Jinfu, HE Zhongsheng, *et al.* Ecological species groups and interspecific association of dominant tree species in Daiyun Mountain National Nature Reserve [J]. *J Mount Sci*, 2015, **12**(3): 637 – 646.
- [32] ROUSSET O, LEPART J. Positive and negative interactions at different life stages of a colonizing species (*Quercus humilis*) [J]. *J Ecol*, 2000, **88**(3): 401 – 412.
- [33] BROOKER R W, MAESTRE F T, CALLAWAY R M, *et al.* Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future [J]. *J Ecol*, 2010, **96**(1): 18 – 34.