

## 乳阳林场杉木林物种多样性分析\*

李超荣<sup>1</sup> 高艳芳<sup>2</sup> 刘志发<sup>1</sup> 谢威<sup>2,4</sup>  
连辉明<sup>3</sup> 安伟莉<sup>2,5</sup> 邱文霞<sup>6</sup> 殷祚云<sup>2</sup>

(1. 广东南岭国家级自然保护区管理局, 广东 乳源 521727; 2. 仲恺农业工程学院, 广东 广州 510225; 3. 广东省林业科学研究院/广东省森林培育与保护利用重点实验室, 广东 广州 510520; 4. 台山红岭种子园, 广东 江门 529233; 5. 中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650; 6. 广东尚善环境建设有限公司, 广东 韶关 512005)

**摘要** 粤北有大面积的杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林划归生态公益林, 亟待进行本土化林分改造。基于广东省乳阳林场 3 个小班调查数据, 分析林班群落演替规律及土壤养分现状, 供粤北杉木人工林近自然化林分改造参考。结果表明: (1) 林班整体物种丰富度为 68 种; 林班整体乔木层 Shannon-Wiener 多样性和均匀性指数分别是 2.4~3.5、0.6~0.8; 林班整体乔木层 Simpson 多样性和均匀性指数分别是 0.5~0.8、0.6~0.9。(2) 就木本层和灌-草层而言, 各物种多样性指数和均匀度指数较相近, 且 3 个小班共有种为 5 种, 以杉木、牡荆 *Vitex negundo* var. *cannabifolia*、盐肤木 *Rhus chinensis* 占优。(3) 土壤 pH 值处于 4.5~6.5 之间, 均呈弱酸性。3 个小班土壤有机质、全磷、全钾、有效磷含量差异显著。在保留原有优势树种的基础上, 辅施有机肥, 引入乡土阔叶树种并仿造天然林进行更新改造, 有利于快速形成稳定可持续的近自然林。

**关键词** 乳阳; 杉木林; 物种多样性

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2021) 04-0122-07

## Species Diversity Analysis of Chinese Fir Forest in Ruyang Forest Farm

LI Chaorong<sup>1</sup> GAO Yanfang<sup>2</sup> LIU Zhifa<sup>1</sup> XIE Wei<sup>2,4</sup>  
LIAN Huiming<sup>3</sup> AN Weili<sup>2,5</sup> QIU Wenxia<sup>6</sup> YIN Zuoyun<sup>2</sup>

(1. Guangdong Nanling National Nature Reserve, Ruyuan, Guangdong 512727 China; 2. Zhongkai College of Agricultural Engineering, Guangzhou, Guangdong 510225, China; 3. Guangdong Academy of Forestry/Guangdong Province Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization, Guangzhou, Guangdong 510520 China; 4. Taishan Hongling Seed Orchard, Jiangmen, Guangdong 529223, China; 5. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510650, China; 6. Guangdong Shangshan Environmental Construction Co., Ltd, Shaoguan, Guangdong 512005, China)

**Abstract** A large area of *Cunninghamia lanceolata* forests in northern Guangdong are classified as ecological public welfare forest, which needs to be transformed locally. Based on the survey data of 3 forest region compartments in Ruyang Forest Farm, Guangdong province. The succession law of forest community and the status of soil nutrients were analyzed, which could be used as a reference for the near naturalization of *C. lanceolata* forest. The results showed that (1) The species richness of compartment was 68, the  $D_{SW}$ ,  $E_{SW}$  of tree layer were 2.4-3.5, 0.6-0.8, the  $D_{Sim}$  and  $E_{Sim}$  of tree layer were 0.5-0.8, 0.6-0.9, respectively. (2) For woody layer and shrub-grass layer, the diversity index and evenness index of each species were similar, and there were 5

\* 基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (2020B020215001), 广东省教育厅省级重大项目 (2016KZDXM002)。

第一作者: 李超荣 (1976—), 男, 高级工程师, 主要从事自然保护区生态保护与研究工作, E-mail: li5232007@126.com。

通信作者: 殷祚云 (1966—), 男, 教授, 主要从事生态学、林学和生物统计学研究, E-mail: yinzuoyun@163.com。

连辉明 (1973—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事森林培育研究工作, E-mail: 284177320@qq.com。

species in the 3 classes, with *C. lanceolata*, *Vitex negundo* var. *cannabifolia* and *Rhus chinensis* dominant. (3)The pH values of soil of the study forest region compartments ranged from 4.5 to 6.5, and they were all weakly acidic. The contents of organic matter, total P, total K and available P were significantly different among the three forest region compartments. On the basis of retaining the original dominant tree species, applying organic fertilizer, introducing local broad-leaved tree species and imitating natural forest for regeneration and transformation. It is conducive to the rapid formation of stable and sustainable near natural forest.

**Key words** Ruyang; *Cunninghamia lanceolata* forest; diversity of species

物种多样性是生物多样性在植物层次上的表现, 是基于群落中物种和个体数量及其分布均匀性的统计量<sup>[1]</sup>。物种多样性调查是针对林地林木情况的摸底调查, 摸清区域内林木资源与多样性情况, 对营林、生态环境和可持续发展问题都具有深远而重要的意义<sup>[2]</sup>。植物多样性保护是森林可持续经营的重要内容<sup>[3]</sup>, 是营林研究的主要课题, 也是未来长期发展的任务和目标。

退耕还林时期, 我国大规模进行人工林的营造, 过分强调大型乔木树种, 未重视林分的多层次结构, 及维持生态系统功能、实现可持续发展的作用, 致使人工林群落物种多样性较少<sup>[4]</sup>, 抗干扰和干扰后系统恢复能力低, 最终出现生态功能低下等问题<sup>[5-6]</sup>。粤北山区的森林是广东省天然的生态屏障, 截至 2017 年底省级生态公益林面积 163.97 万  $\text{hm}^2$ , 占全省的 36%; 国有林场 100 个, 其中省属林场 9 个。尽管粤北森林面积大幅增加、公益林占有率也相应提高, 但新的生态问题也随之显现, 大范围的石漠化致使植被多样性及土壤肥力低下, 水土流失严重<sup>[7]</sup>。高度集约、经济导向的单一树种栽种等不合理的林场经营和耕作措施使得粤北森林的质量及生态功能进一步下降<sup>[8]</sup>, 为此对生态公益林的本土化改造随着森林可持续经营问题的逐步显现而备受关注。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

广东省乳阳林场位于韶关市西北部, 为广东最北端, 南岭山脉的中心地段, 东经  $112^{\circ}51'54''\sim 113^{\circ}07'48''$ , 北纬  $24^{\circ}47'30''\sim 25^{\circ}00'50''$ 。乳阳林场地处典型的亚热带温湿气候, 又兼具山地气候的特点, 年平均气温  $17.7^{\circ}\text{C}$ , 最高温度为  $34.4^{\circ}\text{C}$ , 最低温度  $-3.4^{\circ}\text{C}$ , 冬季霜期最长可达 100 天, 年均通常有 10 天左右的降雪期。水量充沛, 年平均降雨量为 1 705 mm, 多集中在 3-8 月, 年相对湿

度 84%。成土母岩有花岗岩、砂页岩、变质岩及石灰岩等。海拔 900 m 以下, 分布着山地红壤, 土层深厚、质地稍粘, 样地概况见表 1。

表 1 小班概况

Table 1 Overview of the sample plot

小班 Forest regioncom- partments	海拔 /m Elevation	坡向 Aspect	坡度 Slope	郁闭度 /% Canopy density
8	$508.3 \pm 6.3$	西坡	$19.5^{\circ} \pm 0.0$	20.0
9	$497.3 \pm 5.2$	西坡	$21.0^{\circ} \pm 0.0$	30.0
10	$486.6 \pm 3.4$	西坡	$27.6^{\circ} \pm 0.0$	40.0

注: 平均值  $\pm$  标准差。Note: the values were average  $\pm$  SD.

### 1.2 调查与测定

于 2019 年 11 月, 在广东省乳阳林场溪头工区 IV 林班 8、9、10 小班 (代号 1、2、3), 属 10 年生杉木 *Cunninghamia lanceolata* 次生林, 各小班设置  $20\text{ m} \times 20\text{ m}$  样方 1 个。以调查小班物种组成, 并测量地径、胸径、高度、冠幅以及胸高以下分叉枝条数等多项生长指标, 供后期数据分析。土壤 pH 值、有机质、全氮<sup>[9]</sup>、速效氮<sup>[9]</sup>、全磷<sup>[10]</sup>、速效磷<sup>[10]</sup>、全钾<sup>[11]</sup>、速效钾<sup>[11]</sup> 等肥力指标严格遵照国家林业行业标准进行检测。

### 1.3 分析方法

采用上述样方植物数据, 通过 Excel 2010 (Microsoft Corporation, 2010)、SPSS 23.0 (IBM SPSS Statistics, 2015) 对实验数据进行整理统计; 运用 Origin 2019b 做图, 计算物种丰富度  $S$  (小班内物种总数)、多度  $N$  (小班内个体总株数), 而基于信息论的 Shannon-Wiener 物种多样性 (Diversity) 和均匀性 (均匀度, Evenness, Equitability) 指数、基于概率论的 Simpson 物种多样性和均匀性指数<sup>[12-13]</sup> 的计算公式如下<sup>[14-15]</sup>。

$$D_{sw} = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i \dots \dots \dots (1)$$

$$E_{sw} = \frac{D_{sw}}{\log_2 S} \dots\dots\dots(2)$$

$$D_{Sim} = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2 \dots\dots\dots(3)$$

$$E_{Sim} = \frac{D_{Sim}}{1 - 1/S} \dots\dots\dots(4)$$

式(1)~(4)中,  $D_{sw}$ 、 $E_{sw}$  分别表示 Shannon-Wiener 多样性和均匀性指数,  $D_{Sim}$ 、 $E_{Sim}$  分别为 Simpson 多样性和均匀性指数;  $S$  为小班中植物总数,  $p_i$  是指第  $i$  个物种多度 (个体数) 占所有物种总多度的比例<sup>[16]</sup>。

重要值是一个相对客观的数值, 能充分地显示出不同物种在小班中的地位和作用, 可以通过重要值的大小以确定小班优势种。计算方法引用殷祚云<sup>[17]</sup>的观点, 并稍作修改。综合相对多度 (Relative abundance, RA%)、相对盖度 (Relative coverage, RC%)、相对显著度 (Relative dominance, RD%) 等数量指标表示不同物种在小班中的相对重要值。其中 IAD% 代表木本层不同物种重要值, ICD% 代表灌 - 草层不同物种重要值。

$$IAD\% = (RA\% + RD\%) / 2$$

$$ICD\% = (RA\% + RC\%) / 2$$

## 2 结果与分析

### 2.1 植物种类组成

3 个小班均以杉木占绝对优势 (表 2), 小班 1 中, 杉木为优势树种, 其次牡荊 *Vitex negundo* var. *cannabifolia* 和盐肤木 *Rhus chinensis* 等一些阔叶树种较多; 在小班 2 中, 以杉木和盐肤木占优势, 其次是少花海桐 *Pittosporum pauciflorum*、芒草 *Miscanthus sinensis*、南岭黄檀 *Dalbergia assamica*、牡荊; 在小班 3 中, 仍是杉木和牡荊占优势, 其

次是柘 *Maclura tricuspidata*、构树 *Broussonetia papyrifera*。灌 - 草层植物的物种丰富度较低, 但植物种类丰富。

### 2.2 小班物种多样性比较

基于木本层和灌 - 草层调查数据, 以分析水平结构及垂直结构下的 Shannon-Wiener 多样性和均匀性指数, Simpson 多样性和均匀性指数  $E_{Sim}$ , 如图 1~3 所示, 该小班乔木层 Shannon-Wiener/Simpson 多样性指数分别为 2.4~3.5/0.6~0.8。此外, Shannon-Wiener、Simpson 均匀性指数分别表现为 0.5~0.8、0.6~0.9, 乔木层物种分布情况较为单一。就灌 - 草层而言, Shannon-Wiener/Simpson 多样性指数分别为 2.4~3.6/0.7~0.9; Shannon-Wiener/Simpson 均匀性指数分别为 0.7~0.9/0.8~0.9。林班整体 Shannon-Wiener/Simpson 多样性指数分别是 3.8~4.2/0.7~0.8; Shannon-Wiener/Simpson 均匀性指数分别为 0.7~0.8/0.8~0.9。

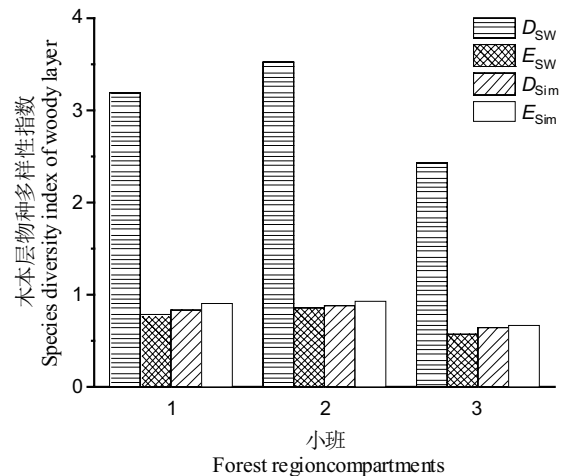


图 1 乳阳林场杉木林小班木本层物种多样性  
Fig. 1 Species diversity in woody layer of *Cunninghamia lanceolata* forest region compartments in Ruyang forest farm

表 2 小班主要植物种类组成

Table 2 Composition of main plant species in the forest region compartments

小班 Forest region compartments	乔木层树种 Tree layer species	灌 - 草层植物 Shrub herb layer plant
1	油茶 <i>Camellia oleifera</i> 、盐肤木 <i>Rhus chinensis</i> 、杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> 、牡荊 <i>Vitex negundo</i> var. <i>cannabifolia</i> 、柘 <i>Maclura tricuspidata</i> 等	芒草 <i>Miscanthus sinensis</i> 、毛蕨 <i>Cyclosorus interruptus</i> 、小果蔷薇 <i>Rosa cymosa</i> 、海金沙 <i>Lygodium japonicum</i> 、悬钩子 <i>Rubus corchorifolius</i> 、构树等
2	盐肤木、杉木、南岭黄檀 <i>Dalbergia assamica</i> 、牡荊等	芒草、黑莎草 <i>Gahnia tristis</i> 、木贼 <i>Equisetum hyemale</i> 、高粱泡 <i>Rubus lambertianus</i> 、密花豆 <i>Spatholobus suberectus</i> 、算盘子 <i>Glochidion puberum</i> 、华南忍冬 <i>Lonicera confusa</i> 等
3	杉木、牡荊、柘、构树 <i>Broussonetia papyrifera</i> 等	密花豆、芒草、东风草 <i>Blumea megacephala</i> 、败酱 <i>Patrinia scabiosifolia</i> 、毛蕨 <i>Cyclosorus interruptus</i> 、柃木 <i>Eurya japonica</i> 、空心泡 <i>Rubus rosifolius</i> 等

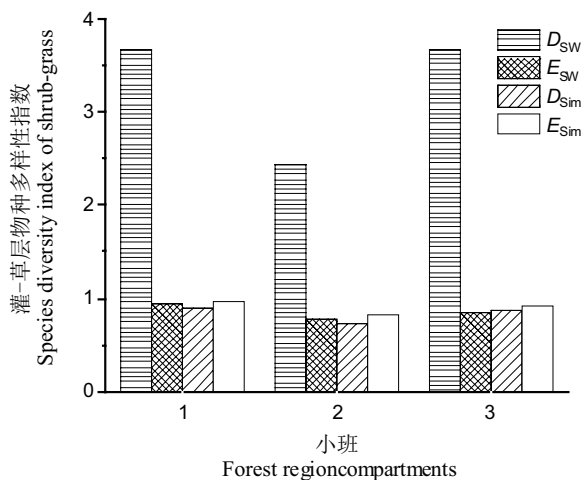


图2 乳阳林场杉木林小班灌-草层物种多样性

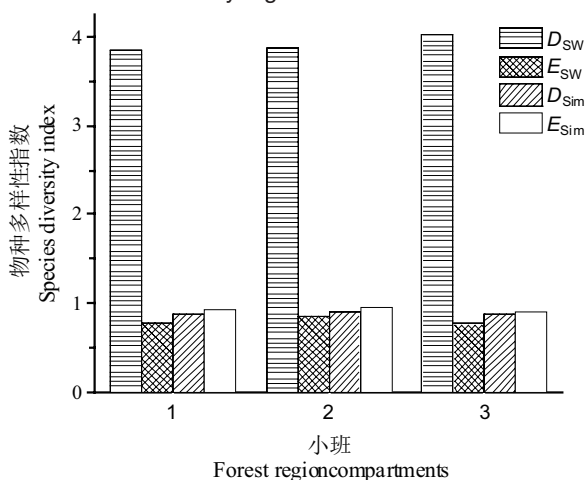
Fig. 2 Species diversity of shrub-grass layer of *Cunninghamia lanceolata* forest region compartments in Ruyang forest farm

图3 乳阳林场杉木林小班物种多样性

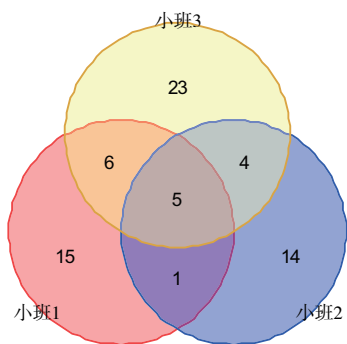
Fig. 3 Species diversity of *Cunninghamia lanceolata* forest region compartments in Ruyang forest farm

图4 物种分布 Venn

Fig. 4 Venn diagram of species distribution

### 2.3 物种相似性比较

据图4所示, 虽处相同生境, 但3个小班共

有种仅5种, 分别为杉木、牡荆、柘、盐肤木、漆树。造成这种情况的原因可能是在种植杉木前, 原林地为马尾松次生林, 保留有不同的土壤种子库, 因而演替为差异较小的小班。

### 2.4 小班中物种重要值分析

小班不同冠层植物取重要值 $\geq 5\%$ , 如表3~5所示。木本层中有7种植物重要值大于5%, 其中以杉木、牡荆、盐肤木等物种为小班植物群落的主要代表植物。灌-草层中, 有9种植物重要值于5%以上, 分别是黑果菝葜、黑莎草、华南忍冬、芒草、毛蕨、密花豆、木贼、山菅兰、油茶。

### 2.5 土壤养分分析

土壤的含氮量反映了土壤氮素的总贮量和氮循环的状况, 速效氮作为植物可以直接吸收固定的氮, 是衡量土壤肥力的重要指标之一。小班全氮含量为 $4.3 \sim 6.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 各小班全氮含量差异显著 ( $P < 0.05$ ), 表现为小班3全氮含量显著高于1、2小班; 林班土壤碱解氮含量为 $0.35 \sim 0.37 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 各小班无显著性差异。

磷是生态环境的重要因素, 其迁移、富集过程都是以土壤为介质。小班全磷含量为 $0.42 \sim 0.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 各小班间具显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 且小班3显著高于小班2, 小班2显著高于小班1; 速效磷含量则表现为 $0.5 \sim 1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 其中小班2显著高于小班1, 小班1显著高于小班3。

土壤钾元素也是林木生长的重要化学元素, 能够提高林木抗病力和耐寒性<sup>[18]</sup>。各小班全钾含量为 $13.5 \sim 16.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 各小班具显著性差异, 小班1显著高于小班3, 小班3显著高于小班2。各小班速效钾含量为 $23.5 \sim 26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 各小班间无显著差异。

林班pH值处于4.5~6.5之间, 均呈弱酸性。且3个小班pH值具显著性差异, 小班2显著高于小班3; 土壤有机质是植物吸取营养的主要来源之一, 能改善土壤的物理特性。林班有机质含量在 $30.7 \sim 38.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 各小班有机质含量表现出显著性差异, 小班3显著高于小班1, 且小班2表现为最低。

## 3 结论与讨论

此次研究的林班属单层人工纯林, 造林模式、树种的选择单一, 森林结构不合理, 生态保护功能较为低下。杉木低效林的出现, 造成大面积森

表 3 小班 1 主要物种重要值  
Table 3 Forest regioncompartment 1 species important value %

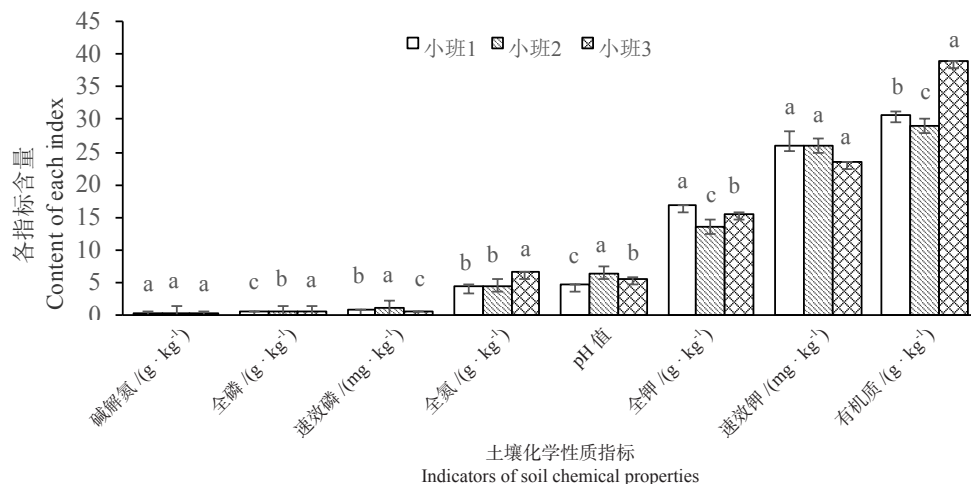
小班 1 Forest regioncompartment 1	种名 Specific name	相对显著度 Relative prominence	相对盖度 Relative coverage	相对多度 Relative abundance	重要值 Important value
乔木层	杉木	45.44	/	25.23	35.33
	油茶	14.41	/	16.22	15.31
	牡荆	8.57	/	21.62	15.10
	檫木	11.89	/	2.70	7.29
	盐肤木	8.24	/	4.50	6.37
灌草层	油茶	/	53.05	4.35	28.70
	黑莎草	/	7.29	21.74	14.52
	毛蕨	/	3.32	8.70	6.01

表 4 小班 2 主要物种重要值  
Table 4 Forest regioncompartment 2 species important value %

小班 2 Forest regioncompartment 2	种名 Specific name	相对显著度 Relative prominence	相对盖度 Relative coverage	相对多度 Relative abundance	重要值 Important value
乔木层	杉木	24.52	/	23.33	23.92
	盐肤木	21.60	/	15.00	18.30
	岭南黄檀	10.47	/	10.00	10.24
	少花海桐	8.02	/	10.00	9.01
	牡荆	3.75	/	10.00	6.88
	黑莎草	/	11.29	46.51	28.90
灌草层	芒草	/	36.98	16.28	26.63
	木贼	/	9.18	11.63	10.40
	密花豆	/	15.38	4.65	10.01
	华南忍冬	/	15.08	4.65	9.87

表 5 小班 3 主要物种重要值  
Table5 Forest regioncompartment 3 species important value %

小班 3 Forest regioncompartment 3	种名 Specific name	相对显著度 Relative prominence	相对盖度 Relative coverage	相对多度 Relative abundance	重要值 Important value
乔木层	杉木	91.24	/	57.41	74.32
	牡荆	2.27	/	14.81	8.54
	芒草	5.43	/	30.28	17.85
灌草层	黑果拔莢	/	13.49	5.50	9.50
	油茶	/	17.98	0.92	9.45
	毛蕨	/	10.86	6.42	8.64
	山菅兰	/	8.99	5.50	7.25



注：不同字母表示不同小班间差异性显著  $P < 0.05$ 。

Note: different letters indicate significant differences between different small region compartments ( $P < 0.05$ ).

图5 林班土壤化学性质分析

Fig. 5 Analysis of soil chemical properties of forest region compartments

林资源的浪费和森林资源质量的降低，在一定程度上反映了广东省林地生产情况的衰竭，阻碍林业的健康发展，对低质生态公益林进行可持续经营，同时进行提质增效改造已是势在必行。在林地改造前对其小班结构、物种组成情况和土壤状况进行详细的摸底考察可为后期的林分改造提供重大参考。

乳阳林场杉木次生林植物种类较为丰富，部分群落保留了较为完整的演替序列，但整体群落结构仍不完整，杉木、盐肤木、牡荆为演替先锋类群。本研究中，林班物种多样性指数  $D_{sw}$ ,  $E_{sw}$ ,  $D_{sim}$ ,  $E_{sim}$  分别表现为 3.92、0.80、0.89、0.92。其中多样性指数较王立竹等<sup>[19]</sup>研究的杉木纯林物种多样性低，但较黄冬梅等<sup>[20]</sup>研究的杉木纯林高。对于木本层和灌~草层而言，各物种多样性指数和均匀度指数较相近，但3个小班共有种仅5种，造成这种情况的原因可能是在种植杉木前，原林地为马尾松次生林小班，保留有不同的土壤种子库，因而演替为物种组成差异较小的小班。林下植被作为森林生态系统的重要组成部分，在维护森林的多样性、生态功能稳定性、持续生产力等方面具有独特的功能和作用<sup>[21]</sup>。何慧敏等<sup>[22]</sup>认为对于待改造林地而言，可通过近自然化乔灌草混播方式，以低成本的方式有效提高林下植物多样性和稳定性。姜俊等<sup>[23]</sup>指出近自然化改造后灌木层和草本层的丰富度、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和均匀度指数均高于未改造纯林。

可通过间伐乔木以调整林分结构，为灌草层保留充分的生存空间。植物物种多样性的提高也可以有效减少林分病虫害的发生，增加系统的稳定性<sup>[24-25]</sup>。方怡然等<sup>[26]</sup>指出保留林下灌木和草本植物，继而套种阔叶树种改造林分，有利于植被演替，群落结构趋向复杂化、稳定化。此外，在树种搭配方面，应尽量选择乡土树种，如在粤北地区生长较快，保持水肥能力较强的红荷木 *Schima wallichii*、醉香含笑 *Michelia macclurei*、金叶含笑 *Michelia foveolata* 等阔叶树种<sup>[27]</sup>，可培育多品种珍贵用材林，还能提高群落物种多样性。基于详细摸底考查结果，可以对杉木进行适当的透光疏伐，以促进本地树种如牡荆、柘、盐肤木的生长，再辅之以引回种植当地演替中后期树种，从而促进杉木人工林向本地常绿阔叶林的顺行演替。

林班土壤养分表现良好，各小班全氮、全磷、有机质均表现为含量差异显著，且小班3含量为最高，与小班物种多样性呈正相关；速效磷含量和pH值则表现为小班2最高。3个小班全钾含量具显著性差异，小班1显著高于小班3，小班3显著高于小班2。但各小班速效钾含量间无显著差异。根据地力养分高低，精准补施N、P、K肥，再通过多施有机肥，少除杂草杂木等生态措施，充分促进微生物和土壤生物的分解活动，提高土壤的保肥性和缓冲性，改良土壤肥力，为后续的林分改造提供良好的立地条件。有效提高林场空间的利用率，建成稳定、优质的生态公益林，形

成兼顾发展与保护的新态势。

**致谢:** 本研究在野外调查和资料收集中得到了广东省乳阳林场工作人员刘日钦、张家栋; 广东省林业科学研究院的蔡汉兴、邹家通、洪佳颖以及广东尚善环境建设有限公司的陆立婕、朱冠华、仲恺农业工程学院的郑晓松等人大力支持, 谨此表示衷心感谢!

### 参考文献

- [1] 赵耀, 王百田. 晋西黄土区不同林地植物多样性研究[J]. 北京林业大学学报, 2018, 40(9): 45-54.
- [2] 邓三龙. 抓好种质资源调查巩固林业发展根基[J]. 林业与生态, 2015(5): 4-6.
- [3] 刘红炎, 陈东莉, 柳杰, 等. 华北落叶松人工林不同间伐水平下林下植物多样性研究: 以山西关帝山龙兴林场为例[J]. 林业资源管理, 2017(1): 50-56.
- [4] 曲红, 王百田, 王棣, 等. 黄土区不同配置人工林物种多样性研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 843-848.
- [5] 袁王俊, 卢训令, 张维瑞, 等. 不同植被类型植物物种多样性[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4651-4657.
- [6] 周择福, 王延平, 张光灿. 五台山林区典型人工林群落物种多样性研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(2): 321-327.
- [7] 胡淑仪. 对粤北生态屏障保护的思考[J]. 中南林业调查规划, 2019, 38(2): 23-25; 40.
- [8] 邓厚银. 粤北生态公益林区杉木林与其它典型林分生态功能比较研究[D]. 南宁: 广西大学, 2019.
- [9] 中国林业科学研究院林业研究所. LY/T 1228-2015 森林土壤氮的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [10] 中国林业科学研究院林业研究所. LY/T 1232-2015 森林土壤磷的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [11] 中国林业科学研究院林业研究所. LY/T 1234-2015 森林土壤钾的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [12] 连辉明, 曾令海, 何波祥, 等. 热带次生林经营引入物种选择[J]. 广东林业科技, 2008, 24(4): 75-81.
- [13] YIN Z Y, REN H, ZHANG Q M, et al. Species abundance in a forest community in South China: a case of Poisson lognormal distribution[J]. *Journey of Integrative Plant Biology*, 2005, 47(7): 801-810.
- [14] Krebs C J. *Ecology: the Experimental Analysis of Distribution and Abundance* (5th ed) [M]. San Francisco, CA: Benjamin Cummings, 2001.
- [15] 殷祚云. 植物群落中物种的多度与分布格局模拟[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 广州: 华南植物园, 2005.
- [16] 殷祚云, 曾令海, 连辉明, 等. 次生林中物种引入与当地物种多样性关系研究[J]. 广东林业科技, 2014, 30(6): 19-23.
- [17] 殷祚云. 常绿阔叶林中种群在群落中地位各测度指标间相关关系初探[J]. 中山大学研究生学刊(自然科学版), 1997(3): 21-27.
- [18] 杨起帆. 杉木二代林轮作速生树种尾巨桉和黑木相思 9 a 后的土壤养分变化特征[D]. 福州: 福建农林大学, 2017.
- [19] 王立竹, 于晓鹏, 管杰然, 等. 浙江缙云县公益林群落植物多样性及生物量动态分析[J]. 生态科学, 2018, 37(4): 147-153.
- [20] 黄冬梅. 杉木纯林与混交林林下植物多样性比较[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(1): 13-16.
- [21] 黎耀凡. 营林措施对桂南地区桉树工业原料林林下植物物种多样性的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2013.
- [22] 何慧敏, 杨月娟, 黄春霖, 等. 边坡近自然化复绿之几种乡土植物种子混播效果初探[C]// 海峡两岸技港澳青年科学家论坛——琼港澳台环南海生物多样性及国家公园建设试点研讨会论文集. 海南: 海南省科学技术协会, 2018.
- [23] 姜俊, 刘宪钊, 贾宏炎, 等. 杉木人工林近自然化改造对林下植被多样性和土壤理化性质的影响[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(5): 170-177.
- [24] 王丽娟, 王孝安, 原志坚, 等. 抚育对黄土高原人工油松林林下植被的影响[J]. 生态环境学报, 2017, 26(8): 1301-1309.
- [25] 原志坚. 抚育对黄土高原油松人工林林下植被生物多样性的影响[D]. 西安: 陕西师范大学, 2018.
- [26] 方怡然, 李洁, 薛立. 不同林分改造模式对加勒比松林林下植物多样性和土壤物理性质的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(6): 109-114.
- [27] 黄继丰, 冯学周, 莫罗坚, 等. 粤北10种乡土阔叶树种生长及根际养分比较[J]. 广东林业科技, 2006, 26(3): 17-21.