

田头山市级自然保护区次生林与人工林植物多样性-土壤养分相关性研究*

赵 晴¹ 甘先华² 刘梦芸² 陈晓生¹
杨 浪¹ 李一凡² 黄芳芳¹ 张卫强²

(1. 深圳市自然保护区管理中心, 广东 深圳 518035; 2. 广东省森林培育与保护利用重点实验室 / 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520)

摘要 以深圳市田头山市级自然保护区次生林和人工林的植物多样性特征与土壤养分特征及其相关性为研究目标。结果表明: 田头山市级自然保护区次生林的土壤养分储量均显著高于人工林, 但次生林植被的优势度指数(D)和均匀度指数(E)显著低于人工林。Pearson 相关性分析表明土壤有效磷含量与乔木层均匀度指数(E)显著负相关, 与灌木层的多样性指数(H')、优势度指数(S)、均匀度指数(E)均显著负相关, 其余土壤养分与植物多样性指数无显著相关性。综上可知, 次生林土壤肥力佳且植被优势种特征明显, 植被灌木层植被受土壤有效磷含量的影响最大。

关键词 深圳; 森林经营; 植物-土壤反馈

中图分类号: S722.5 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2022) 02-0102-04

Correlation on Plant Diversity and Soil Nutrients in Secondary Forest and Artificial Forest in Tiantoushan Nature Reserve

ZHAO Qin¹ GAN Xianhua² LIU Mengyun² CHEN Xiaosheng¹
YANG Lang¹ LI Yifan² HUANG Fangfang² ZHANG Weiqiang²

(1. Administration Center of Nature Reserves in Shenzhen, Shenzhen, Guangdong 518035, China; Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract This paper analyzed the relationships between soil nutrients and plant diversity index in secondary forest and artificial forest in Tiantoushan nature reserve. The results showed the soil nutrients concentration in secondary forest were significantly higher than in artificial forest, but the Simpson dominance index and Pielou evenness index in secondary forest were significantly lower than in artificial forest. Moreover, the AP were negatively correlated with Pielou evenness index in tree layer, and negatively correlated with Shannon-Wiener diversity index, Simpson dominance index, and Pielou evenness index in shrub layer in Tiantoushan nature reserve. Thus, this paper indicated that the secondary forest in Tiantoushan nature reserve have richer soil nutrients and more obvious dominant species than in artificial forest, and the shrub layer was most affected by AP.

Key words Shenzhen; forest management; plant-soil feedback

基金项目: 深圳市自然保护区管理中心项目“市级自然保护区生态监测”, 东江源水资源维持的森林植被优化关键技术研究(2021KJXC003)。

第一作者: 赵晴(1984—), 女, 高级工程师, 主要从事自然保护区规划建设管理, 以及自然保护区和城市林业生态研究, E-mail: 9129323@qq.com。

通信作者: 刘梦芸(1987—), 女, 助理研究员, 主要研究方向为森林土壤生态系统功能, E-mail: 568888254@qq.com。

森林生态系统中的植物和土壤二者相互制约, 为森林的发展发挥着重要的作用^[1]。土壤基于其性状的差异, 通过改善植物的立地条件进而影响林下植被的更新和演替^[2], 而森林群落结构及多样性的差异又通过根系养分的输入影响着土壤的养分有效性^[3]。但是, 植物多样性与土壤养分有效性的相关性较为复杂。基于不同功能群植物对土壤养分变化的响应不同, 物种多样性可能随着土壤养分的增加而降低, 也可能先增加后降低, 或二者没有相关性^[4]。

目前, 更多的研究关注于人工林的植物多样性指数和土壤养分指标值的相关性分析^[5-7], 而次生林的相关性报道较少^[8-10]。因此, 次生林植物多样性与土壤养分的相互关系尚待进一步揭示, 尤其是植物多样性与土壤养分的相关性在不同林型之间的异同点也有待比较。

本研究通过对深圳市田头山市级自然保护区的次生林和人工林的植物多样性指数特征和土壤养分特征及其相关性的研究, 揭示不同森林恢复过程中的植物多样性与土壤养分的相关性, 找出驱动不同林型植物多样性差异的关键土壤因子, 为林业经营管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

深圳田头山自然保护区于2013年2月获市政府批复建立, 位于深圳东部坪山新区, 距离深圳市中心32 km。保护区地理位置为东经114°18'~114°27', 北纬22°38'~22°43'^[11]。保护区成土母岩为花岗岩, 土壤以红壤和赤红壤为主, 多呈酸性。田头山自然保护区的土地利用以林地为主(比例超过90%)^[12], 代表植被类型为亚热带常绿阔叶林。

1.2 土壤样品采集与分析

在土壤监测样地内, 按照林业行业标准《森林生态系统长期定位观测方法》(LY/T 1952-2011)采集0~20 cm土壤样本^[13]。采集的样本去除植物根系、碎石等杂物后在通风处风干, 磨碎后过2 mm筛以测定土壤pH值、土壤全碳、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾^[14]。

1.3 植物多样性调查

按照国家标准“森林生态系统长期定位观测方法”(GB/T33027-2016)执行^[15]。2020年10月

在田头山市级自然保护区次生林和人工林分别建立4个25 m×25 m的样地。在各样地内调查胸径1.0 cm以上所有木本植物, 并在调查样方内设置5 m×5 m和1 m×1 m的小样方用以调查灌木和草本。各样地的坡向、坡度、坡位、海拔等环境因子也被同时测定。植物多样性分别按如下公式进行计算。

(1) 物种丰富度指数(S)以样方中物种的数目表示物种丰富度。

(2) Simpson 优势度指数(D)

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S \sum p_i^2$$

(3) Shannon-Wiener 指数(H')

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

(4) Pielou 均匀度指数(E)

$$E = (- \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i) / \ln s$$

公式中 S 为物种总数; P_i 为属于种 i 的个体在全部个体中的比例^[16]。

1.4 数据分析

首先, 使用 one-way ANOVA 分别检验田头山自然保护区次生林和自然林土壤理化性质和植物多样性指数之间的差异, 并用 Tukey HSD 法检验均值差异显著性。对于在不同林型之间差异显著的土壤养分和植被多样性指数, 再用 Pearson 相关分析法分析其相关性。

2 结果与分析

2.1 人工林和次生林的土壤养分特征

由表1可知, 田头山自然保护区人工林和次生林的土壤pH和全钾含量差异不显著。人工林的土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、有效磷、速效钾等6项土壤肥力指标均显著低于次生林(表1)。

2.2 人工林和次生林植被多样性指数差异及其与土壤因子的相关性

由表2可知田头山市级自然保护区的次生林和人工林的乔、灌、草层的丰富度指数均没有显著差异, 但人工林植被乔木层和灌木层的 Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指均

显著高于次生林, 且人工林灌木层的 Shan-

表 1 田头山自然保护区人工林和次生林土壤理化性质特征
Table 1 The soil characteristics of secondary forest and artificial forest in Tiantoushan nature reserve

林型 Forest types	pH	有机质 / (g · kg ⁻¹) Organic matter	全氮 /(g · kg ⁻¹) Total nitrogen	全磷 /(g · kg ⁻¹) Total phosphorus	全钾 /(g · kg ⁻¹) Total potassium	碱解氮 / (mg · kg ⁻¹) Alkalize nitrogen	有效磷 /(mg · kg ⁻¹) Available phosphorus	速效钾 /(mg · kg ⁻¹) Available potassium
人工林 Artificial forest	4.41 ± 0.10a	27.54 ± 6.41b	1.10 ± 0.25b	0.21 ± 0.04b	9.48 ± 2.88a	77.86 ± 15.52b	0.88 ± 0.34b	28.47 ± 9.08b
次生林 Secondary forest	4.48 ± 0.30a	33.39 ± 11.18a	1.56 ± 0.54a	0.31 ± 0.13a	12.23 ± 4.69a	107.34 ± 33.36a	1.65 ± 1.01a	37.30 ± 14.78a

注：不同字母表示显著差异， $P < 0.05$ 。
Note: different letters indicated significant difference, $P < 0.05$.

表 2 田头山自然保护区人工林和次生林植被多样性指数
Table 2 The plant diversity indices of secondary forest and artificial forest in Tiantoushan nature reserve

类型 Type	林型 Forest types	丰富度指数 Richness	香农 - 维纳指数 Shannon-Wiener	优势度指数 Simpson	均匀度指数 Pielou
乔木层 Tree layer	次生林 secondary forest	25.67 ± 3.18a	2.29 ± 0.03a	0.82 ± 0.01b	0.71 ± 0.02b
	人工林 artificial forest	20.25 ± 2.10a	2.64 ± 0.13a	0.90 ± 0.01a	0.88 ± 0.01a
灌木层 Shrub layer	次生林 secondary forest	23.7 ± 0.88a	2.20 ± 0.18b	0.78 ± 0.06b	0.67 ± 0.07b
	人工林 artificial forest	31.2 ± 2.87a	2.91 ± 0.07a	0.92 ± 0.01a	0.85 ± 0.01a
草本层 Herb layer	次生林 secondary forest	30.0 ± 2.52a	2.33 ± 0.30a	0.79 ± 0.08a	0.68 ± 0.07a
	人工林 artificial forest	33.5 ± 4.01a	2.75 ± 0.12a	0.89 ± 0.01a	0.79 ± 0.03a

注：不同字母表示显著差异， $P < 0.05$ 。Note: different letters indicated significant difference, $P < 0.05$.

表 3 田头山自然保护区土壤养分与植物多样性指数的 Pearson 相关性分析
Table 3 The Pearson correlation analysis of soil nutrients and plant diversity indices in Tiantoushan nature reserve

类型 Type	项目 Item	有机质 /(g · kg ⁻¹) Organic matter	全氮 /(g · kg ⁻¹) Total nitrogen	全磷 /(g · kg ⁻¹) Total phosphorus	碱解氮 /(mg · kg ⁻¹) Alkalize nitrogen	有效磷 /(mg · kg ⁻¹) Available phosphorus	速效钾 /(mg · kg ⁻¹) Available potassium
乔木层 Tree layer	优势度指数 Simpson	-0.42	-0.64	-0.62	-0.62	-0.66	-0.56
	均匀度指数 Pielou	-0.30	-0.56	-0.64	-0.59	-0.83*	-0.55
	多样性指数 Shannon-Wiener	-0.04	-0.36	-0.50	-0.41	-0.83*	-0.50
灌木层 Shrub layer	优势度指数 Simpson	0.11	-0.22	-0.50	-0.32	-0.90**	-0.40
	均匀度指数 Pielou	0.12	-0.32	-0.56	-0.56	-0.91**	-0.46

注：* 表示 $P < 0.05$ 。Note: * indicated $P < 0.05$.

non-Wiener 多样性指数也显著高于次生林。由表 3 可知，土壤有效磷含量与乔木层的 Pielou 均匀度指数、灌木层的 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数、Pielou 均匀度指数均显著负相关。其它土壤因子与乔木层和灌木层的多样性指数没有显著相关性。

3 结论与讨论

与以往的研究结果类似^[17]，本研究显示田头山市级自然保护区次生林和人工林土壤 pH 和土壤全钾含量差异不显著，次生林土壤其他养分含量显著高于人工林（表 1）。土壤 pH 值是生物、母质和气候等共同作用的结果^[17]。田头山市级自然保护区次生林和人工林土壤母质和气候环境差异不大，

因此在土壤酸碱性上没有显著差异。钾具有较高的生物地球化学循环效率，可能是导致全钾含量在不同林型之间差异不显著的主要原因^[18]。在一定尺度范围内，植被类型是导致土壤养分变化的关键因子^[19]，因为树种基于其性状的差异对土壤养分的效应是不同的^[20]。人类频繁活动的干扰或改变了成土过程的方向和土壤熟化的过程，从而破坏了土壤性质导致了人工林土壤肥力的衰退^[17]。

大量的研究表明，物种数量、分布均匀程度能够较为全面地反映物种的群落分布^[22-23]。本研究发现，田头山自然保护区次生林和人工林的植被多样性指数主要区别在于 Pielou 均匀度指数（表 2）。在反映群落类型和结构上，均匀度小的群落比均匀度大的群落其优势种在多样性指数接近时更为

明显, 优势种的明显性随均匀度的递减而递增^[23]。由此可见, 田头山市级自然保护区次生林植被优势种比人工林植被的更明显。对于特定的森林生态系统, 植被是影响土壤资源异质性的主要驱动因子。植物与土壤之间息息相关, 既对土壤异质性有影响, 又对土壤的异质性作出响应^[24-25]。森林苗木的更新对环境变化比较敏感^[26]。本研究发现, 土壤有效磷含量与植被 Pielou 均匀度指数显著负相关(表 3), 可能是因为磷元素限制了某些植物的生长, 抑制了部分物种聚集的趋势。

但是, 在本研究中植物多样性指数和土壤养分指标只代表了植被 - 土壤系统的部分指标类型^[27], 其它与植物生长相关的性状指标以及影响土壤养分可利用性的微生物指标也会对二者的相关性产生影响^[28]。在未来的研究中, 需要从植被养分输入到土壤养分周转的过程中探究其协变性, 进一步阐明森林经营过程中植物 - 土壤的反馈机制, 为林业经营管理提供理论依据。

文献参考

- [1] 吕倩, 康文斯, 郭茂金, 等. 柏木人工林目标树经营初期对林下植物多样性及土壤理化性质的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2019, 25 (5): 1036-1043.
- [2] 崔宁洁, 张丹桔, 刘洋, 等. 不同林龄马尾松人工林林下植物多样性与土壤理化性质[J]. 生态学杂志, 2014, 33 (10): 2610-2617.
- [3] BLOOR JMG, BARDGETT RD. Stability of above-ground and belowground processes to extreme drought in model grass-landecosystems: interactions with plant species diversity and soil nitrogen availability [J]. Persp Plant Ecol Evol Syst, 2012, 14 (3): 193-204.
- [4] 王长庭, 龙瑞军, 刘伟, 等. 高寒草甸不同群落类型土壤碳分布与物种多样性、生物量关系[J]. 资源科学, 2010, 32(10): 2022-2029.
- [5] 宋霞, 邓子超, 董辉, 等. 广东化州3种不同林龄人工林植物多样性研究[J]. 林业与环境科学, 2021, 32(4): 108-116.
- [6] STARK C, CONDRON L M, STEWART A, et al. Effects of past and current crop management on soil microbial biomass and activity[J]. Biology and Fertility of Soils, 2007, 43(5): 531-540.
- [7] 张丹桔, 张健, 杨万勤, 等. 一个年龄序列巨桉人工林植物和土壤生物多样性[J]. 生态学报, 2013, 33(13): 3947-3962.
- [8] 王凯博, 陈美玲, 秦娟, 等. 子午岭植被自然演替中植物多样性变化及其与土壤理化性质的关系[J]. 西北植物学报, 2007, 27(10): 2089-2096.
- [9] 王莉莉, 张喜. 土壤有机质含量对黔南喀斯特次生林土壤理化指标与植物多样性的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2014, 22(5): 463-470.
- [10] 李媛媛, 周运超, 邹军, 等. 黔中石灰岩地区典型灌木林土壤酶活性与植物物种多样性研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 245-249.
- [11] 赵晴, 刘莉娜, 陈丹, 等. 深圳田头山市级自然保护区的植物资源调查[J]. 绿色科技, 2016(14): 4-7.
- [12] 谭琳, 刘梦芸, 甘先华, 等. 深圳市级自然保护区土壤化学计量特征与植物多样性的相关性[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(6): 20-25.
- [13] 国家林业局. 森林生态系统长期定位观测方法: LY/T 1952-2011[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] 国家林业局. 森林生态系统长期定位观测方法: GB/T 33027-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [16] 陈芙蓉, 程积民, 刘伟, 等. 不同干扰对黄土区典型草原物种多样性和生物量的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(9): 2856-2866.
- [17] 李红丽. 东北东部山区主要针、阔叶人工纯林土壤肥力研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2021.
- [18] BINKLEY DAN. Forest Nutrition Management[M]. New York, NY: John Wiley and Sons, 1986.
- [19] AYRES E, STELTZER H, BERG S, et al. Tree species traits influence soil physical, chemical, and biological properties in high elevation forest [J]. Plos one, 2009, 4(6): e5964.
- [20] 张海鑫, 曾全超, 安韶山, 等. 子午岭典型植被凋落叶 - 土壤养分与酶活性特征[J]. 生态学报, 2018, 38(7): 2262-2270.
- [21] 陈永乐, 张志山, 赵洋, 等. 人工固沙区土壤碳分布及其与土壤属性的关系[J]. 中国沙漠, 2017, 37(2): 296-304.
- [22] 彭华, 纪雄辉, 吴家梅, 等. 不同稻草还田模式下双季稻土壤有机碳及碳库管理指数研究[J]. 生态环境学报, 2015, 25(4): 563-568.
- [23] 彭少麟, 王伯荪. 鼎湖山森林群落分析[J]. 生态科学, 1983(1): 11-17.
- [24] 董秀群, 王百田, 武中鹏, 等. 晋西黄土区三种林地土壤养分随林分生长的变化[J]. 林业科学研究, 2018, 31(2): 69-76.
- [25] 黄小, 姚兰, 王进, 等. 土壤养分对不同生活型植物叶功能性状的影响[J]. 西北植物学报, 2018, 38(12): 2293-2302.
- [26] 朱教君, 张金鑫. 关于人工林可持续经营的思考[J]. 科学, 2016, 68(4): 37-40.
- [27] 喻理飞, 朱守谦, 叶镜中, 等. 退化喀斯特森林自然恢复过程中群落动态研究[J]. 林业科学, 2002, 38(1): 1-7.
- [28] MIDGLEY GF. Biodiversity and ecosystem function[J]. Science, 2012, 335(6065): 174-175.