深圳铁岗–石岩市级湿地自然保护区典型次生林物种多样性与土壤化学性质*

肖石红[1] 张卫强[1] 黄钰辉[1] 蔡 坚[1] 高常军[1]
孙红斌[2] 王佐霖[2]
（1. 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；
2. 广东省深圳市野生动物救护中心，广东 深圳 518040）

摘要 以深圳市铁岗 – 石岩市级湿地自然保护区4个典型次生林固定样地为研究对象，对其物种多样性进行调查，用常规分析方法测定土壤的主要化学性质。研究结果显示：（1）调查样地中共有39科67属89种植物，以海南蒲桃（*Syzygium hainanense*）、阴香（*Cinnamomum burmannii*）、木荷（*Schima superba*）和樟（*Cinnamomum camphora*）等为主要数量优势种；（2）不同样地物种丰富度指数和Shannnon-Wiener多样性指数排序分别为乔木层＞灌木层＞草本层和灌木层＞乔木层＞草本层，乔木层Simpson优势度指数高于灌木层和草本层；灌木层Pielou均匀度指数高于乔木层和草本层；（3）土壤pH值为4.28~4.51，EC为0.031~0.062 ms/cm，有机质和全氮含量分别为12.37~39.56 g/kg和0.50~1.47 g/kg，全磷含量为0.35~0.39 g/kg，全钾含量为14.63~37.17 g/kg，碱解氮含量为39.19~140.36 mg/kg，有效磷含量为0.94~8.90 mg/kg，速效钾含量为35.15~97.03 mg/kg；（4）4个样地物种多样性指数和土壤化学性质之间不存显著相关关系。研究结果显示，土壤氮、磷、钾含量是影响铁岗—石岩自然保护区植被分布的主要因素。

关键词 物种多样性；土壤化学性质；铁岗—石岩；相关性分析
中图分类号：S714 **文献标志码**：A **文章编号**：2096-2053（2020）04-0035-06

Species Diversity and Soil Chemical Properties of Typical Secondary Forest in Tiegang-Shiyan Natural Reserve in Shenzhen

XIAO Shihong[1] ZHANG Weiqiang[1] HUANG Yuhui[1] CAI Jian[1]
GAO Changjun[1] SUN Hongbin[2] WANG Zuolin[2]
(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization / Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China; 2. Shenzhen Wildlife Rescue Center, Shenzhen, Guangdong 518040, China)

Abstract Based on information from four typical secondary forest plots (30 m × 30 m) in Tiegang-Shiyan Natural Reserve in Shenzhen, the species diversity, and the main chemical properties of the forest soil were studied. The results showed 39 families, 67 genera and 89 species are living in the forests, dominated by *Syzygium hainanense*, *Cinnamomum burmannii*, *Schima superba*, and *Cinnamomum camphora*. According to importance of species in tree layer, the surveying plots in the reserve were divided into 4 types, *Syzygium hainanense-Castanopsis carlesii* forest, *Cinnamomum burmannii* forest, *Schima superba* forest and *Cinnamomum camphora-Castanopsis fissa* forest. Species richness index and the Shannnon-Wiener diversity index varied with forest types

* **基金项目**：深圳市野生动物救护中心项目“市级自然保护区生态监测”；广东省林业科技创新项目（2019KJCX010）；广东省生态公益林省统筹项目“珠三角城市森林生态效益监测与评估”。
第一作者：肖石红（1986—），女，助理研究员，主要从事森林生态和森林经理工作，E-mail：shihong114@126.com。
通信作者：蔡坚（1973—），男，正高级工程师，主要从事森林生态和森林培育工作，E-mail：caijian@sinogaf.cn。

in the orders of arbor layer > shrub layer > herb layer and shrub layer > arbor layer > herb layer, respectively. Simpson dominance index was higher in arbor layer than in shrub layer and herb layer. The Pielou evenness index was higher in shrub layer than in tree layer and herb layer. Soil was generally acidic with pH of 4.28-4.51 and electronic conductivity of 0.031-0.062 ms/cm. Soil organic matter varied from 12.37-39.56 g/kg with total nitrogen, total phosphorus, and total potassium ranges of 0.50-1.47 g/kg, 0.35-0.39 g/kg, and 14.63 -37.17 g/kg, respectively. The content of hydrolyzable nitrogen, available phosphorus and available potassium were 39.19-140.36 mg/kg, 0.94-8.90 mg/kg and 35.15-97.03 mg/kg, respectively. The species richness index was highly correlated with soil chemical properties. However, there were no significant correlations between Shannon-Wiener diversity index, Simpson dominance index, Pielou evenness index and soil chemical properties. The results of this research indicated that the content of nitrogen, phosphorus and potassium is the major actor to influence the distribution of the vegetation.

Key words species diversity; soil chemical properties; Tiegang-Shiyan; correlation analysis

森林土壤和森林植被是森林生态系统重要组成部分，它们是参与森林生态系统物质循环、能量流动和信息交换的关键环节[1]。森林土壤作为植物生长的参与者和重要载体，为群落内植物提供生长所必须的养分和水分，对植物群落结构和功能具有十分重要的影响[2]。土壤化学性质对植被的组成和结构变化有着至关重要的作用，直接影响着森林生态系统的生产力水平[3-4]，土壤条件的差异能改善植物的萌发和生根条件，影响森林生态系统的演替和更新[5]。同时，植被的群落组成、结构和物种多样性变化又反过来影响土壤的形成、性状、发育和土壤的有效性[6]，因为在植被演替过程中，植物凋落物和根系分泌物的改变能直接影响投入土壤的有机质数量[7]，而有机质则通过影响微生物的活性来影响土壤的代谢过程[8]。本研究拟选取深圳铁岗—石岩市级自然保护区典型次生林，在分析土壤主要化学性质的基础上，调查其物种组成及物种多样性，并探讨植物多样性与土壤化学性质的相互关系，以期为保护区的生态恢复和生物多样性保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

铁岗–石岩自然保护区位于深圳市宝安区、光明新区和南山区交界，东邻羊台山森林公园，西接凤凰山森林公园，南面毗邻南山郊野公园。保护区面积约为52.88 km^2，地理位置东经113°51′~113°56′，北纬22°35′~22°43′，由铁岗水库、石岩水库及周边山体组成，属南亚热带季风区。保护区内铁岗水库和石岩水库是深圳宝安区最重要的两座供水水库，其中，铁岗水库总库容6 840 × 10^4 m^3，水面面积约5.2 km^2，集雨面积64 km^2；石岩水库总库容3 120 × 10^4 m^3，水面面积约2.98 km^2，集雨面积44 km^2。深圳铁岗—石岩自然保护区因靠近人类居住区域，受到人为干扰和破坏较为严重[9]，其植被类型可大致分为：天然林、人工次生林、人工林和果林、绿地（草地、菜地）。从分布面积来看，其植被主要以人工次生林和人工林为主，两者围绕水库周边，土壤主要是由花岗岩母质发育而成的赤红壤。

1.2 样地设置和多样性分析

根据保护区植物种类和植物群落类型的复杂程度，于2017年8—10月在保护区内设置4个30 m × 30 m固定样地。对乔木层树种进行每木检尺，记录样地内胸径≥ 5 cm的树种名称、胸径、树高和冠幅等，调查灌木层和草本层种类、株树、平均高度和平均盖度等，并计算乔木植物重要值，采用多样性指数进行群落多样性分析。样地基本情况见表1。

乔木树种的重要值IV（%）=（相对多度 + 相对频度 + 相对优势度）/3

物种多样性指标采用物种丰富度（S）、Shannon-Wiener多样性指数（H'）、Simpson优势度指数（D）和Pielou均匀度指数（J），相关计算公式如下：

物种丰富度（S）= 物种数

Shannnon-Wiener多样性指数：

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} \frac{N_i}{N} \ln\left(\frac{N_i}{N}\right)$$

表 1 铁岗 – 石岩自然保护区标准样地基本情况

Table 1 Basic information of the sample plots in Tiegang–Shiyan Natural Reserve

样地编号 Plot No.	乔木层平均胸径 /cm Mean DBH of tree layer	乔木层平均树高 /m Average tree height of tree layer	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 /m Altitude	郁闭度 /% Canopy density	坡向 Aspect	坡度 Slope
1	7.63	6.10	22°36′58″	113°52′15″	159	90	北坡	22°
2	7.55	6.35	22°36′57″	113°52′11″	186	85	北坡	18°
3	6.85	5.76	22°36′56″	113°52′07	180	90	西南坡	20°
4	7.78	5.76	22°36′50″	113°52′12	149	95	西南坡	25°

Simpson 优势度指数：$D=1-\sum_{i=1}^{S}\left(\frac{N_i}{N}\right)^2$

Pielou 均匀度指数：$E=\frac{H'}{\ln(S)}$

式中，S 为群落中物种种数；N 为群落中所有物种的个体总数；N_i 为第 i 个种的个体数量。

1.3 土壤取样和测定

沿 4 个固定监测样地对角线设置 5 个土壤取样点（尽量避开倒木和林窗，离乔木树干至少 2 m），每个采样点分 3 层（0~10 cm、10~20 cm 和 20~40 cm）采样，各剖面采 3 个重复，将同一样地同一层次土壤等质量混合，去除杂物和细根，用对角二分法去除多余土壤，装入自封袋，带回实验室供化学性质测定。

土壤化学性质采用常规方法测定 [10]：pH 值测定采用电位法（土水质量比 1:2.5），电导率（EC）采用电导率仪测定（土水质量比为 1:5），有机质测定采用重铬酸钾氧化法，全氮测定采用半微量凯氏定氮法，全磷和有效磷采用钼锑抗比色法测定，全钾和速效钾采用光度法测定，碱解氮采用碱解—扩散法测定。

1.4 数据统计与分析

运用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析和相关分析，运用 Excel 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同样地物种组成

调查样地中共有维管植物 89 种，隶属于 39 科 67 属，包括蕨类植物 3 科 3 属 4 种，被子植物 36 科 64 属 85 种。群落组成的主要优势科有：大戟科（Euphorbiaceae，8 属 10 种），桃金娘科（Myrtaceae，4 属 7 种）和茜草科（Rubiaceae，6 属 6 种。）乔木层是群落主要成分，占据了群落的主要空间，物种数量占优势的科有樟科（Lauraceae）、五加科（Araliaceae）和椴树科（Tiliaceae）等；灌木层主要是一些乔木树种的幼苗；草本层主要有沿阶草（*Ophiopogon bodinieri*）、凤尾蕨（*Pteris cretica*）和鳞盖蕨（*Microlepia speluncae*）等构成。

表 2 为 4 个样地群落乔木层优势树种及其重要值，样地 1 以海南蒲桃（*Syzygium hainanense*）、米槠（*Castanopsis carlesii*）和阴香（*Cinnamomum burmannii*）为主要优势种；样地 2 以阴香（*C. burmannii*）为绝对优势种，重要值为 63.29%；样地 3 以木荷（*Schima superba*）、鹅掌柴（*Schefflera heptaphylla*）和樟（*Cinnamomum camphora*）为主要优势种；样地 4 以樟（*C. camphora*）、黧蒴（*Castanopsis fissa*）和海南蒲桃（*S. hainanense*）为主要优势种。

2.2 物种多样性分析

由表 3 可知，4 个样地群落乔木层、灌木层和草本层丰富度指数分别为 23~38、11~16 和 2~6，其排列顺序为乔木层 > 灌木层 > 草本层；Shannon-Wiener 多样性指数排列顺序为灌木层 > 乔木层 > 草本层，乔木层和灌木层表现为样地 4 较高，草本层则样地 1 较高；Simpson 优势度指数表现为乔木层明显高于灌木层和草本层；Pielou 均匀度指数则表现为灌木层明显高于乔木层和草本层，样地 2 乔木层 Pielou 均匀度指数最低，但草本层最高。由于林地郁闭度大，草本层光照不足，因此物种较为单一，乔木层和灌木层物种相对丰富，但大型乔木种类较少。

2.3 土壤化学性质分析

从表 4 中可以看出，铁岗—石岩自然保护区植被监测样地 pH 值为 4.28~4.51，属酸性土壤，EC 为 0.031~0.062 ms/cm，各样地不同层次土壤 pH 值和 EC 差异不显著；土壤有机质和全氮含量分别为 12.37~39.56 g/kg 和 0.50~1.47 g/kg，样地 1 和样地 4 不同层次土壤有机质和全氮含量无显著

表2 铁岗–石岩自然保护区不同样地群落乔木层优势树种及重要值

Table 2 The dominant tree species and important values of different sample plots from tree layer species in Tiegang–Shiyan Natural Reserve

样地1 Plot 1		样地2 Plot 2		样地3 Plot 3		样地4 Plot 4	
种名 species	IV/%	种名 species	IV/%	种名 species	IV/%	种名 species	IV/%
海南蒲桃 *Syzygium hainanense*	39.66	阴香 *C. burmannii*	63.29	木荷 *S. superba*	30.67	樟 *C. camphora*	35.19
米槠 *Castanopsis carlesii*	39.18	鹅掌柴 *S. heptaphylla*	33.43	鹅掌柴 *S. heptaphylla*	26.31	黧蒴 *Castanopsis fissa*	34.25
阴香 *Cinnamomum burmannii*	32.98	白楸 *Mallotus paniculatus*	33.33	樟 *Cinnamomum camphora*	25.53	海南蒲桃 *S. hainanens*	31.40
醉香含笑 *Michelia macclurei*	29.23	海南蒲桃 *S. hainanense*	26.77	枫香树 *Liquidambar formosana*	22.74	米槠 *C. carlesii*	13.19
油桐 *Vernicia fordii*	26.55	尖叶杨桐 *Adinandra bockiana*	22.12	阴香 *C. burmannii*	20.05	枫香树 *Liquidambar formosana*	12.76
鹅掌柴 *Schefflera heptaphylla*	25.74	木荷 *Schima superba*	17.43	豺皮樟 *Litsea rotundifolia*	16.34	银柴 *Aporosa dioica*	11.75
黄樟 *Cinnamomum parthenoxylon*	21.74	麻楝 *Chukrasia tabularis*	15.08	潺槁木姜子 *Litsea glutinosa*	14.82	豺皮樟 *L. rotundifolia*	11.24
黧蒴 *Castanopsis fissa*	10.38	蒲桃 *Syzygium jambos*	11.76	黄牛木 *Cratoxylum cochinchinense*	11.82	水团花 *Adina pilulifera*	10.60
红鳞蒲桃 *Syzygium hancei*	9.65	盐肤木 *Rhus chinensis*	8.33	破布叶 *Microcos paniculata*	11.50	鹅掌柴 *S. heptaphylla*	9.68
梅叶冬青 *Ilex asprella*	8.05	大叶相思 *Acacia auriculiformis*	6.26	梅叶冬青 *I. asprella*	9.72	红鳞蒲桃 *S. hancei*	7.76

表3 铁岗–石岩自然保护区不同样地物种多样性指数

Table 3 Species diversity index of four different sampling plots in Tiegang–Shiyan Natural Reserve

样地编号 Plot No.	乔木层 Tree layer				灌木层 Shrub layer				草本层 Herb layer			
	S	*H′*	*D*	*J*	*S*	*H′*	*D*	*J*	*S*	*H′*	*D*	*J*
1	23	2.752 4	0.919 5	0.877 8	11	3.144 8	0.405 0	1.311 5	6	1.667 2	0.781 3	0.930 6
2	27	2.581 0	0.883 4	0.783 1	16	3.681 5	0.765 6	1.327 8	3	1.098 6	0.666 7	1.000 0
3	35	2.946 7	0.927 5	0.828 8	11	3.239 9	0.438 0	1.351 2	2	0.686 0	0.562 4	0.989 7
4	38	3.159 8	0.941 2	0.868 6	16	3.854 8	0.707 0	1.390 3	3	0.900 3	0.531 3	0.819 4

差异，样地2中0~10 cm土壤有机质和全氮含量均显著高于10~20 cm和20~40 cm（P<0.05），样地3中0~10 cm和10~20 cm则显著高于20~40 cm土壤（P<0.05）；土壤全磷含量为0.35~0.39 g/kg，全钾含量为14.63~37.17 g/kg，不同样地各层次土壤全磷和全钾含量差异均未达到显著水平；各样地土壤碱解氮含量为39.19~140.36 mg/kg，样地1各层次土壤碱解氮含量差异不显著，样地2中0~10 cm土壤碱解氮含量显著高于10~20 cm和20~40 cm（P<0.05），样地3中则为0~10 cm和10~20 cm显著高于20~40 cm（P<0.05），0~10 cm土壤碱解氮含量在样地4中显著高于10~20 cm（P<0.05）；土壤有效磷含量为0.94~8.90 mg/kg，样地1各层次土壤有效磷含量差异不显著，其他样地各层次差异达到显著水平（P<0.05）；4个样地土壤速效钾含量为35.15~97.03 mg/kg，随着深度的增加，速效钾含量呈减小趋势，样地2各层次土壤差异不显著，其他样地各层次差异达到显著水平（P<0.05）。

2.4 物种多样性与土壤化学性质相关分析

4个样地物种多样性指数和土壤化学性质的Pearson相关分析（表5）表明：土壤全氮和碱解氮含量与物种丰富度指数呈现极显著正相关关系（P<0.01），有效磷和速效钾含量与物种丰富度指数呈显著正相关（P<0.05），表明物种丰富度指数与土壤化学性质相关性较大。Shannon-Wiener多

表 4 铁岗 – 石岩自然保护区不同样地土壤化学性质

Table 4 Soil chemical properties of different sampling plots in Tiegang–Shiyan Natural Reserve

样地编号 Plot No.	深度 /cm Depth	pH 值 pH value	EC/（ms · cm^{-1}）Available potassium	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}）Hydrolyzable nitrogen	有效磷 /（mg · kg^{-1}）Available phosphorus	速效钾 /（mg · kg^{-1}）Available potassium
	0~10	4.51 ± 0.34a	0.062 ± 0.036a	33.86 ± 18.94a	1.24 ± 0.66a	0.39 ± 0.02a	27.67 ± 1.62a	108.85 ± 46.27a	7.50 ± 4.83a	97.03 ± 10.19a
1	10~20	4.47 ± 0.25a	0.046 ± 0.019a	28.79 ± 10.94a	1.05 ± 0.36a	0.39 ± 0.03a	26.90 ± 2.14a	87.39 ± 31.99a	5.89 ± 4.02a	66.57 ± 15.20b
	20~40	4.43 ± 0.12a	0.047 ± 0.014a	18.34 ± 7.23a	0.69 ± 0.20a	0.35 ± 0.03a	25.48 ± 4.01a	61.65 ± 17.22a	2.79 ± 2.21a	63.79 ± 22.23b
	0~10	4.39 ± 0.13a	0.043 ± 0.020a	34.42 ± 11.47a	1.21 ± 0.29a	0.35 ± 0.06a	31.84 ± 8.20a	106.99 ± 26.38a	3.73 ± 1.63a	57.69 ± 30.78a
2	10~20	4.41 ± 0.08a	0.031 ± 0.005a	21.55 ± 6.05b	0.81 ± 0.22b	0.36 ± 0.06a	35.61 ± 7.23a	71.66 ± 23.52b	2.21 ± 0.85a	46.11 ± 19.17a
	20~40	4.45 ± 0.05a	0.035 ± 0.006a	12.37 ± 2.81b	0.50 ± 0.12b	0.36 ± 0.08a	37.17 ± 6.63a	39.19 ± 11.45b	0.99 ± 0.38b	35.15 ± 12.62a
	0~10	4.33 ± 0.25a	0.049 ± 0.018a	39.56 ± 4.78a	1.47 ± 0.16a	0.35 ± 0.01a	14.63 ± 2.00a	140.36 ± 16.61a	3.80 ± 0.79a	74.89 ± 15.10a
3	10~20	4.32 ± 0.27a	0.050 ± 0.021a	34.28 ± 4.74a	1.24 ± 0.12a	0.36 ± 0.02a	15.78 ± 1.21a	113.28 ± 20.87a	2.24 ± 0.98b	62.51 ± 16.90ab
	20~40	4.34 ± 0.16a	0.045 ± 0.010a	22.79 ± 7.03b	0.74 ± 0.21b	0.35 ± 0.01a	15.97 ± 1.64a	65.65 ± 28.78b	0.94 ± 0.37c	49.28 ± 15.88a
	0~10	4.28 ± 0.06a	0.053 ± 0.012a	30.09 ± 6.99a	1.17 ± 0.26a	0.37 ± 0.01a	25.35 ± 3.54a	109.13 ± 16.71a	8.90 ± 3.85a	88.28 ± 22.92a
4	10~20	4.31 ± 0.10a	0.046 ± 0.011a	17.22 ± 9.10a	0.67 ± 0.34a	0.37 ± 0.04a	29.22 ± 6.90a	61.36 ± 25.46b	2.60 ± 0.37b	62.95 ± 12.20b
	20~40	4.28 ± 0.08a	0.050 ± 0.010a	20.15 ± 9.61a	0.76 ± 0.41a	0.35 ± 0.02a	26.24 ± 3.44a	74.38 ± 29.16ab	3.44 ± 1.65b	61.57 ± 6.93b

注：表内数据为平均值 ± 标准差，同列数字后不同小写字母表示土层之间差异显著（P<0.05）。

Note: values in the table are given as mean ± SD, different lowercase letters in the same column mean significant difference between treatments at 0.05 level.

样性指数、Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数与土壤化学性质之间不存在明显的相关关系。

3 结论与讨论

本研究结果显示，深圳铁岗—石岩市级湿地自然保护区调查样地内共有维管植物 39 科 67 属 89 种，森林植被以热带、亚热带的代表性科属为主，其中以樟科、五加科和椴树科的数量优势最明显，其物种多样性明显低于深圳大鹏半岛市级保护区的纯叶假蚊母树（*Distyliopsis tutcheri*）群落（47 科 75 属 106 种）[11]，造成二者差异的主要原因为大鹏半岛自然保护区受到的非自然因素干扰较少，能较好地保存南亚热带常绿阔叶林资源，而铁岗—石岩湿地自然保护区靠近居民生活区，受到较多的人为干扰。群落垂直结构分层明显，乔木层占据了群落的主要空间，灌木层为主要乔木树种的幼苗，草本层则以蕨类植物和藤本植物居多。重要值分析表明，4 个样地乔木层分别以海南蒲桃、阴香、木荷和樟重要值最高，但除样地 2 以外，其他样地优势种不明显，各主要优势种互相竞争，使得群落处于较稳定状态，阴香在样地 2 中的重要值最大，可成为该样地的优势种或建群种，表明其生态适应性在该样地较强。

从物种多样性来看，4 个样地群落物种丰富度均表现为乔木层 > 灌木层 > 草本层，Shannon-Wiener 多样性指数排列顺序为灌木层 > 乔木层 > 草本层，物种分层现象较为明显，样地 4 乔木层物种丰富度明显高于其他 3 个样地，但其草

表 5 铁岗 – 石岩自然保护区植物多样性与土壤化学性质相关分析

Table 5 Correlation analysis of diversity index and soil chemical properties in Tiegang–Shiyan Natural Reserve

指标 Index	pH	EC	有机质 Organic matter	全氮 Total nitrogen	全磷 Total phosphorus	全钾 total potassium	碱解氮 Hydrolyzable nitrogen	有效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium
S	–0.173	0.335	0.701	0.761**	0.174	–0.109	0.773**	0.670*	0.646*
H′	–0.009	0.053	0.415	0.473	0.471	0.075	0.450	0.395	0.375
D	0.062	0.187	0.292	0.342	–0.063	0.172	0.364	0.419	0.450
J	0.049	–0.351	–0.236	–0.234	0.353	0.092	–0.270	–0.276	–0.294

注：* 差异达到显著水平（P<0.05），** 差异达到极显著水平（P<0.01）

Note: * indicate that there is a significant difference at 0.05 level (P < 0.05), ** indicate that there is a significant difference at 0.01 level (P < 0.01).

本层物种单一，可能由于该样地郁闭度大，抑制了喜阳草本植物的生长，不利于林下物种的更新，而样地1则出现相反的规律。乔木层Simpson优势度指数明显高于灌木层和草本层，而Pielou均匀度指数则为灌木层明显高于乔木层和草本层，说明乔木层物种优势度较为明显，整体来看，样地2乔木层优势度高于其他样地。

深圳铁岗—石岩市级湿地自然保护区的4个固定调查样地土壤pH值均呈酸性（4.28~4.51），主要是由于研究区处于南亚热带季风区，常年高温多雨，土壤中矿物质和有机质的化学风化、分解以及淋溶作用都较强[12]，并且各样地不同土壤层次之间pH值差异不显著。EC是评估土壤肥力的一个综合性指标[13]，4个样地土壤EC为0.031~0.062 ms/cm，不同样地之间EC差异也不显著。土壤有机质与土壤矿物质作为林木营养物质的主要来源，是土壤固相部分的重要组分，能直接影响和改变土壤物理、化学和生物学特性，也是衡量土壤健康的重要指标之一[1,14-15]。土壤氮素通常来源于土壤有机质，本研究中4个样地表层（0~10 cm）土壤有机质、全氮和碱解氮含量均高于10~20 cm和20~40 cm土壤，具有明显的表聚效应。各样地不同层次土壤全磷和全钾含量变化不明显，而有效磷和速效钾含量则随着深度的增加呈下降的趋势，根据全国第二次土壤普查养分分级标准，研究区各样地土壤磷素含量极为缺乏，主要原因为研究区雨水充沛，许多化合物被淋洗，但由于土壤是由花岗岩母质发育而成的赤红壤，使得土壤中钾素含量处于较高水平。

对物种多样性和土壤化学性质进行相关分析，表明土壤全氮和碱解氮含量与物种丰富度指数呈现极显著正相关关系（$P<0.01$），有效磷和速效钾含量与物种丰富度指数呈显著正相关（$P<0.05$），表明土壤氮、磷、钾等养分元素可能是影响植被分布的因素之一[16]。Shannon-Wiener多样性指数、Simpson优势度指数和Pielou均匀度指数与土壤化学性质均无显著相关性。整体来说，深圳铁岗 - 石岩市级湿地自然保护区天然次生林群落植被组成较为单一，同时土壤化学性质的变化也是一个漫长的过程，当其受到自然或非自然干扰时，土壤肥力也会相应发生改变。因此，为提高土壤肥力，增强森林生态系统服务功能，开展物种多样性和土壤肥力长期监测也是今后研究的重点。

参考文献

[1] 魏强, 凌雷, 柴春山, 等. 甘肃兴隆山森林演替过程中的土壤理化性质[J]. 生态学报, 2012, 32(15): 4700-4713.

[2] TRUMBORE S E, CZIMCZIK C I. An uncertain future for soil carbon.[J]. Science, 2008, 321(5895): 1455-1456.

[3] SCHMIDT M, VELDKAMP E, CORRE M D. Tree species diversity effects on productivity, soil nutrient availability and nutrient response efficiency in a temperate deciduous forest[J]. Forest Ecology and Management, 2015, 338: 114-123.

[4] XU Z H, WARD S, CHEN C R, et al. Soil carbon and nutrient pools, microbial properties and gross nitrogen transformations in adjacent natural forest and hoop pine plantations of subtropical Australia[J]. Journal of Soils and Sediments, 2008, 8(2): 99-105.

[5] HOLMES P M. Shrubland restoration following woody alien invasion and mining: effects of topsoil depth, seed source, and fertilizer addition[J]. Restoration Ecology, 2010, 9(1): 71-84.

[6] Hedwall P O, Skoglund J, Linder S. Interactions with successional stage and nutrient status determines the life-form-specific effects of increased soil temperature on boreal forest floor vegetation[J]. Ecology and Evolution, 2015, 5(4): 948-960.

[7] JIA G M, CAO J, WANG C Y, et al. Microbial biomass and nutrients in soil at the different stages of secondary forest succession in Ziwulin, northwest China[J]. Forest Ecology and Management, 2005, 217(1): 117-125.

[8] 邓小军, 曹继钊, 宋贤冲, 等. 猫儿山自然保护区3种森林类型土壤养分垂直分布特征[J]. 生态科学, 2014, 33(6): 1129-1134.

[9] 王佐霖, 尹玉柱. 深圳市铁岗-石岩湿地自然保护区生态质量评价[J]. 南方农业, 2015, 9(21): 1-3.

[10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.

[11] 刘海军, 郭强, 张信坚, 等. 深圳大鹏半岛自然保护区钝叶假蚊母树群落特征[J]. 生态科学, 2018, 37(2): 184-192.

[12] 郭治兴, 王静, 柴敏, 等. 近30年来广东省土壤pH值的时空变化[J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 425-430.

[13] 刘永贤, 熊柳梅, 韦彩会, 等. 广西典型土壤上不同林分的土壤肥力分析与综合评价[J]. 生态学报, 2014, 34(18): 5229-5233.

[14] 于法展, 尤海梅, 李保杰, 等. 苏北地区代表性森林土壤理化特性的比较研究[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(2): 87-90.

[15] 尹辉, 李晖, 蒋忠诚, 等. 广西果化岩溶区土壤电导率的空间异质性[J]. 中国沙漠, 2014(3): 786-794.

[16] FUNK D W, NOEL L E, FREEDMAN A H . Environmental gradients, plant distribution, and species richness in arctic salt marsh near Prudhoe Bay, Alaska[J]. Wetlands Ecology and Management, 2004, 12(3): 215-233.