

广东云开山国家级自然保护区人为干扰 对环境土壤理化性质的影响*

区卓贤 汪子雨 洗丽铎 朱铎楠 陈红跃

(华南农业大学 林学与风景园林学院, 广东 广州 510642)

摘要 人为干扰已经成为影响自然保护区自然生态系统的最主要的干扰因素之一。在广东云开山国家级自然保护区选取数量多、影响范围广的受种植、道路、风电以及坟墓等4个干扰类型的土壤为研究对象,研究人为干扰下土壤环境的变化,测定其土壤理化性质特征。结果表明:土壤毛管持水量和毛管持水率呈正相关性,坟墓干扰下样地的毛管持水性最好;土壤总孔隙度变动与土壤容重变动呈现反比例关系。坟墓干扰下的环境土壤稀松、结构性较好,风电干扰下的环境土壤结构性较差,土壤持水性表现较差。全氮和碱解氮这两个指标呈现出一致的趋势,两者总体表现为对照点>干扰点,其中坟墓干扰>种植干扰>风电干扰>道路干扰。有效磷与全磷指标表现出正相关规律,但规律不显著,其中对照点>干扰点。

关键词 自然保护区;人为干扰;土壤理化性质;生态退化

中图分类号: X53 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053(2023)02-0037-09

Effects of Human Disturbance on Soil Physiochemical Properties in Yunkaishan National Nature Reserve, Guangdong Province

OU Zhuoxian WANG Ziyu XIAN Lihua

ZHU Huanan CHEN Hongyue

(College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

Abstract Human disturbance has become one of the most important factors affecting the natural ecosystem of nature reserves. In this study, a large number of soils disturbed by planting, road, wind power, and tomb interference were selected in Guangdong Yunkaishan National Nature Reserve as the research objects. In order to study the changes of soil environment under human disturbance, the soil physiochemical properties were determined. The results showed that: there was a significant positive correlation between soil capillary water holding capacity and capillary water holding rate, and the capillary water holding capacity of the sample plot of tomb disturbance was the best. The change in soil total porosity was inversely proportional to the change in soil bulk density. The environmental soil under the interference of tombs was loose and structurally good, while the environmental soil under the interference of wind power was structurally poor and the soil water holding capacity was poor. The two indicators of total nitrogen and alkali-hydrolyzable nitrogen showed a consistent trend. The overall performance of the two was control point > interference point, in which grave interference > planting interference > wind power interference > road interference. Available phosphorus and total phosphorus index

* 基金项目: 广东省林业局项目 (4400-F220050、4400-F21095)。

第一作者: 区卓贤 (1995—), 男, 主要从事林业调查和规划设计研究, E-mail: 986486867@qq.com。

通信作者: 洗丽铎 (1987—), 女, 实验师, 主要从事园林植物与生态研究, E-mail: xianlihua@scau.edu.cn。

showed a certain degree of positive correlation, but the variation was not obvious, the control point > interference point.

Key words Nature Reserve; human interference; soil physiochemical properties; ecological degradation

人类活动是自然生态系统环境发展的重要推动力^[1-2],而随着人类发展进程的加快,生态系统环境退化和生态危机已是常势^[3]。近年来,由于人类经济社会的发展,人口的急快速增长以及人类活动范围的不断扩大,给生态系统造成了许多负面的干扰,人为干扰也已经成为影响自然生态系统的主要因素之一。人类活动及其对生态系统的干扰影响,是地理学、生态学和自然资源学等多领域的重点探讨课题^[4]。不同方式或不同强度的人类活动所引起的区域生态系统演变不同,其影响程度也有较大的差别。根据HDI评价体系评估来看,2005年以来,全国各级自然保护区的人为干扰强度都呈增加趋势,国家自然保护区增幅最大,达到较低人为干扰强度($HDI_i=21\sim30$),省级自然保护区一直为较低人为干扰强度($HDI_i=21\sim30$),县级自然保护区已处于中度人为干扰强度($HDI_i=31\sim40$)^[5]。土壤物理特性对森林植被的生长发育起着十分关键的作用,土壤的密度和孔隙度的大小影响着土壤的持水和溶解矿质元素性能,也直接影响着植物的扎根情况和根系的吸水能力,进而直接影响土壤肥力状况和植物的生长。

广东云开山国家级自然保护区地处中国广东西南部,保护区粤西第一高峰大田顶的所在地,是粤西乃至华南地区的重要生态屏障,对维系区域生态系统平衡和生物多样性稳定、促进地区社会经济稳定发展具有重要的战略意义。人类不合理的开发利用都会对自然保护区的生态系统产生胁迫,从而加速生态环境的恶化^[6-7]。因此,了解不同人为干扰类型对环境的影响对于提高保护区对环境的保护成效具有重要意义。本研究在对保护区环境的考察基础上,研究森林土壤理化性质,探讨人为干扰对自然保护区土壤退化影响,旨在为广东云开山国家级自然保护区的生态建设提供有针对性的保护工作策略。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

根据《广东云开山国家级自然保护区总

体规划》可知,广东云开山国家级自然保护区位于云开山脉腹地,范围包括了信宜市的甘州区大成学校、钱排、合水,和高州市的深镇、马贵、古丁共6个镇,地理坐标范围为东经 $111^{\circ}08'17''\sim 111^{\circ}23'32''$ 、北纬 $22^{\circ}14'4''\sim 22^{\circ}21'21''$ 之间,总面积为 $12\,538.48\text{ hm}^2$ 。保护区地形以山区地形为主,地形一般是中间高,四周较低,山地一般陡峭,坡度多在 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 左右,境内有粤西的第一山峰大田顶,海拔为 $1\,704\text{ m}$ 。

1.2 样点建立

根据卫星影像图片,在人类活动范围内,对遭受人为干扰严重的生态环境进行详细调研,发现退化严重的生态环境大多分布于交通道路、种植园、坟墓以及风力发电机周边,结合保护区管理处提供的资料,本研究选择了道路干扰、种植干扰、坟墓干扰以及风电干扰这4个人为干扰类型下的生态环境作为研究对象。

样点的设置从干扰类型以及环境退化程度两个角度出发,在4个人为干扰类型下的生态环境中初步筛选出30个保护区内覆盖试验区、缓冲区以及核心区的干扰点,根据初步确定的30个干扰点,基于干扰范围广、干扰强度高以及环境退化程度高的生态环境,每个干扰类型下筛选出3个干扰点,总共选择了12个干扰点,在每个干扰点内选择人为干扰情况最为严重的区域设置样地。

为了能够更直白对比出人为干扰对生态环境的退化影响,为对应的干扰点设置对照点。为确保对照点与干扰点的海拔、坡度、坡向等不受人为干扰影响的环境因素处于一个不会对研究指标影响的范围内,确保对照点的植物群落、土壤环境等易受人为干扰影响的环境因素与干扰点原始的环境因素一致,结合保护区提供的环境历史资料以及前期调研结果,在干扰点周边未受人为干扰的生态环境中选择对应合适的对照点,在对照点内设置样地并在对照点内调研采集相应的研究指标数据,最大程度保证干扰点与对照点的环境差异的影响因素来自人为干扰。

干扰点以及相应的对照点共24个,样点的布设如表1。

表 1 样点布设情况
Table 1 Sample Point Layout

序号 Number	干扰点名称 Interference Point Name	海拔 / m Elevation	经纬度 Longitude and Latitude	退化程度 Degree of Degradation	坡度 / ° Gradient	坡向 Slope Aspect	坡位 Slope Position
1	道路干扰—干扰点 1	700	E111°18'21", N22°18'36" ~ E11°18'01", N22°17'56"	高	—	—	—
2	道路干扰—干扰点 2	950	E111°16'51", N22°17'34" ~ E111°16'23", 22°17'20"	高	—	—	—
3	道路干扰—干扰点 3	978	E111°16'16", N22°17'19" ~ E111°15'23", 22°16'43"	高	—	—	—
4	道路干扰—对照点 1	694	E111°17'53", N22°18'05"	无	—	—	—
5	道路干扰—对照点 2	962	E111°16'39", N22°17'26"	无	—	—	—
6	道路干扰—对照点 3	983	E111°15'46", N22°17'03"	无	—	—	—
7	坟墓干扰—干扰点 1	1 489	E111°14'40", N22°20'01"	高	15	南	中
8	坟墓干扰—干扰点 2	1 490	E111°14'35", N22°20'04"	高	33	西南	中
9	坟墓干扰—干扰点 3	1 123	E111°16'08", N22°18'22"	高	6	南	中
10	坟墓干扰—对照点 1	1 485	E111°14'35", N22°19'59"	无	15	南	中
11	坟墓干扰—对照点 2	1 486	E111°14'31", N22°20'03"	无	30	西南	中
12	坟墓干扰—对照点 3	1 132	E111°16'04", N22°18'19"	无	5	南	中
13	风电干扰—干扰点 1	1 376	E111°15'26", N22°19'26"	高	13	西南	上
14	风电干扰—干扰点 2	1 567	E111°14'51", N22°19'40"	高	7	东南	上
15	风电干扰—干扰点 3	1 584	E111°14'45", N22°19'51"	高	7	西南	上
16	风电干扰—对照点 1	1 358	E111°15'17", N22°19'27"	无	15	西南	上
17	风电干扰—对照点 2	1 560	E111°14'48", N22°19'37"	无	7	东南	上
18	风电干扰—对照点 3	1 530	E111°14'46", N22°19'55"	无	6	西南	上
19	种植干扰—干扰点 1	930	E111°17'01", N22°17'57"	高	35	东南	下
20	种植干扰—干扰点 2	796	E111°17'08", N22°17'47"	高	32	南	中
21	种植干扰—干扰点 3	1 042	E111°15'06", N22°16'28"	高	15	东南	下
22	种植干扰—对照点 1	957	E111°16'53", N22°17'58"	无	20	南	下
23	种植干扰—对照点 2	800	E111°17'14", N22°17'54"	无	28	南	中
24	种植干扰—对照点 3	1 040	E111°15'09", N22°16'23"	无	18	东南	下

注：表中横线表示无数据。

Note: Horizontal lines in the table indicate no data.

1.3 土壤理化性质测定

在样地范围内取表面 0~20 cm 土层深度的容重，每个样地各取 3 次重复，从 0~20 cm 层厚的土样中收集，并将其混合成 1kg 的样品，用清洁的密封容器装好，贴上标签，带回实验室测定。使用烘干法测定土壤自然含水量；用环刀法测定土壤容重、土壤毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度等指标^[8]。pH 值测定采用 1:2.5 土水比浸提酸度计法；有机质测定采用重铬酸钾外加热容量法；全氮使用凯氏定氮法进行测定；全磷采用 NaOH 熔融 - 钼锑抗比色法；碱解氮使用碱解蒸馏法进行测定；有效磷采用 Olsen 法进行测定；速效钾则是使用乙酸铵浸提 - 火焰光度计法进行测定^[9]。

1.4 数据统计方法

运用软件 Microsoft Excel 2010 对数据进行统计处理。用 SPSS 24 软件进行单因素方差分析以及 Duncan 多重比较法分析，比较不同样地间同一测定指标的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 土壤物理性质比较

2.1.1 土壤自然含水量、土壤容重 土壤自然含水量的大小与土壤的蓄水能力存在紧密的关系。由图 1 可以看出，道路干扰与种植干扰下的干扰点与对照点的土壤自然含水量有差异但是并不显著，坟墓干扰与风电干扰下的干扰点与对照点的土壤自然含水量存在显著差异。道路干扰、坟墓

干扰与风电干扰之间存在显著差异；坟墓干扰与种植干扰之间存在差异但并不显著；风电干扰与种植干扰之间存在差异但并不显著。道路干扰分别与风电干扰和种植干扰之间存在显著差异；坟墓干扰分别与风电干扰和种植之间存在显著差异；道路干扰与坟墓干扰之间存在差异但并不显著；风电干扰与种植干扰之间存在差异但并不显著。

土壤容重的高低体现的是土壤的质地、结构和有机质含量等综合物理状况的好坏。由图1可以看出，道路干扰与坟墓干扰下的干扰点与对照点的土壤容重之间存在差异但并不显著，风电干扰与种植干扰下的干扰点与对照点的土壤容重之间存在显著差异。种植干扰分别与道路干扰和坟墓干扰之间存在显著差异；道路干扰、坟墓干扰与风电干扰之间存在差异但并不显著。道路干扰与种植干扰下的干扰点在土壤自然含水量指标上表现最差，在土壤容重指标上表现最好；不同人为干扰类型的对照点之间，种植干扰与风电干扰的对照点在土壤自然含水量指标上表现最好，在土壤容重指标上表现最差。

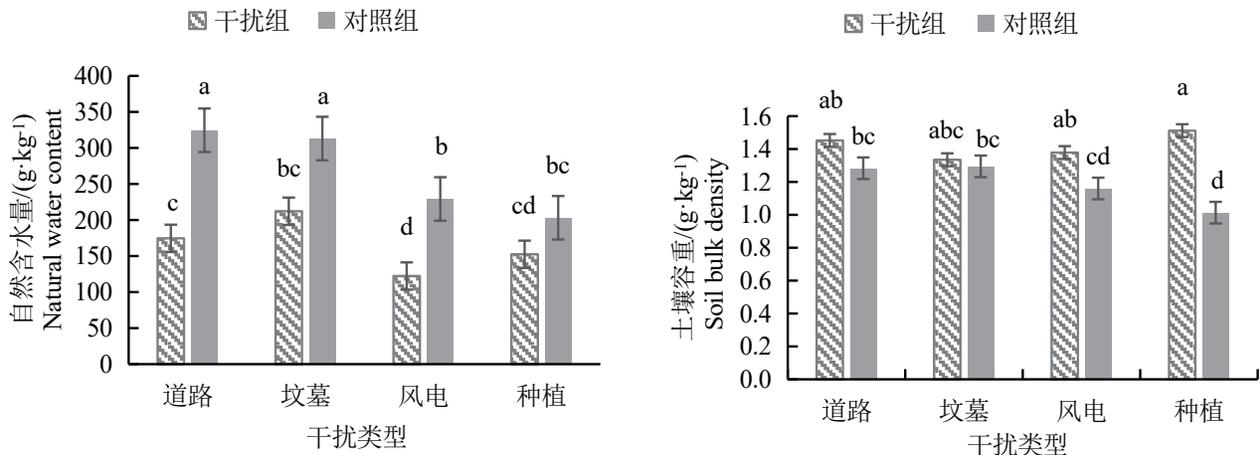
2.1.2 土壤毛管持水量、土壤毛管持水率 由图2可以看出，道路干扰、风电干扰与种植干扰下的干扰点与对照点的土壤毛管持水量之间存在显著差异，坟墓干扰下的干扰点与对照点的土壤毛管持水量之间存在差异但并不显著。不同干扰点的土壤毛管持水量之间存在差异但并不显著。

由图2可以看出，坟墓干扰、风电干扰与种

植干扰下的干扰点与对照点的土壤毛管持水率之间存在显著差异，道路干扰下的干扰点与对照点的土壤毛管持水率之间存在差异但并不显著。道路干扰与其他人为干扰下的土壤毛管持水率之间存在显著差异；坟墓干扰、风电干扰与种植干扰下的干扰点的土壤毛管持水率之间存在差异但并不显著。土壤毛管持水率指标的变化与土壤毛管持水量基本一致，说明土壤毛管持水量与毛管持水率结果具有一致性。

2.1.3 土壤总孔隙度、土壤毛管孔隙度、土壤非毛管孔隙度 土壤总孔隙度是土壤的孔隙容积占土体容积的百分比，而土壤毛管孔隙的大小、总量和分布状况，影响到土壤的通气性能、透水性能，也是直接决定了土壤的保持水分能力的主要原因。由图3可以看出，风电干扰与种植干扰下的干扰点与对照点的土壤总孔隙度之间存在显著差异，道路干扰与坟墓干扰下的干扰点与对照点的土壤总孔隙度之间存在差异但并不显著。种植干扰分别与道路干扰和坟墓干扰存在显著差异；道路干扰、坟墓干扰与风电干扰之间存在差异但并不显著；种植干扰与风电干扰之间存在差异但并不显著。

由图3可以看出，道路干扰、风电干扰与种植干扰下的干扰点与对照点的土壤毛管孔隙度之间存在显著差异；坟墓干扰下的干扰点与对照点的土壤毛管孔隙度之间存在差异但并不显著。不同人为干扰类型下的对照点的土壤毛管孔隙度之

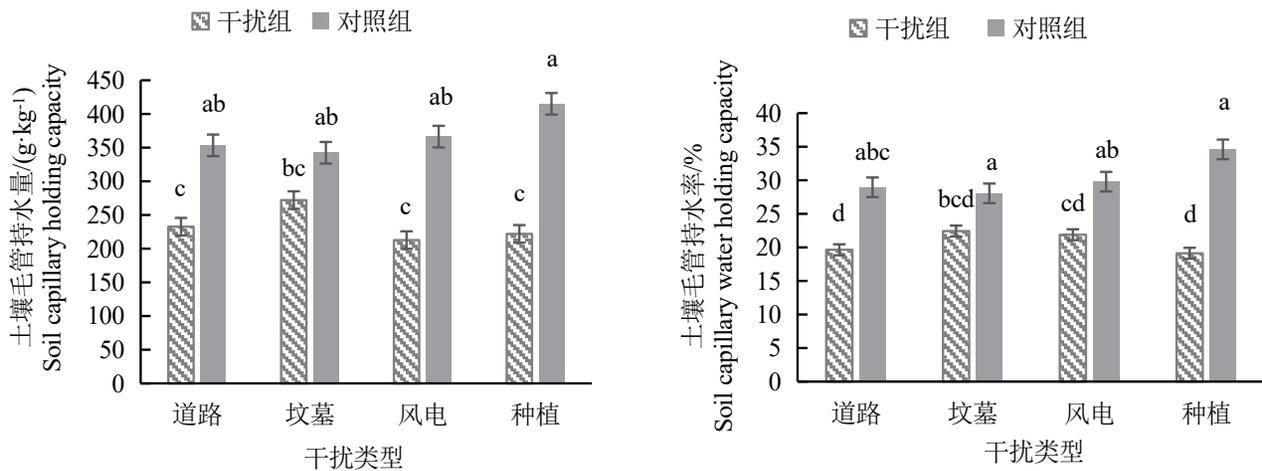


注：图为均值 ± 标准误差；图中各系列内的不同字母代表差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: The datas are mean ± standard error; the different letters in each seviees represent significant differences ($P < 0.05$).

图1 不同人为干扰下土壤自然含水量与土壤容重比较

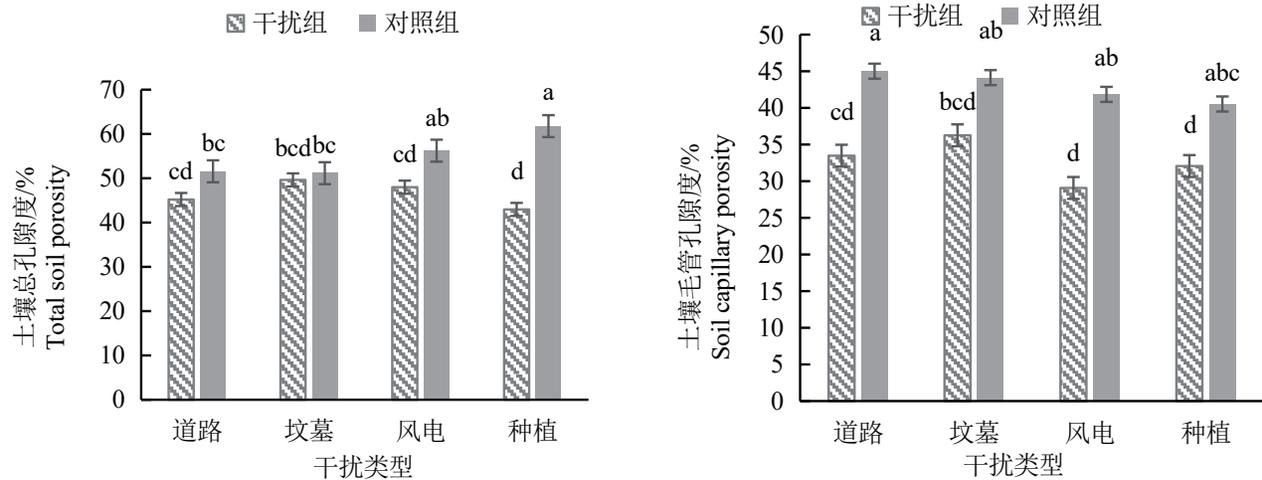
Fig. 1 Comparison of natural soil water content and soil bulk density under different human disturbances



注：图为均值 ± 标准误差；图中各系列内的不同字母代表差异显著 ($P < 0.05$)。
 Note: The datas are mean ± standard error; the different letters in each seivies represent significant differences ($P < 0.05$).

图 2 不同人为干扰下土壤毛细管持水量与土壤毛细管持水率比较

Fig. 2 Comparison of soil capillary water holding capacity and soil capillary water holding rate under different human interference disturbance



注：图为均值 ± 标准误差；图中各系列内的不同字母代表差异显著 ($P < 0.05$)。
 Note: The datas are mean ± standard error; the different letters in each seivies represent significant differences ($P < 0.05$).

图 3 不同人为干扰下土壤总孔隙度与土壤毛细管孔隙度比较

Fig. 3 Comparison of soil total porosity and soil capillary porosity under different human disturbances

间存在差异但并不显著。由图 4 可以看出，种植干扰下的干扰点与对照点的土壤非毛细管孔隙度之间存在显著差异；道路干扰、坟墓干扰与风电干扰下的干扰点与对照点的土壤非毛细管孔隙度之间存在差异但并不显著。种植干扰与风电干扰下的干扰点的土壤非毛细管孔隙度之间存在显著差异。不同人为干扰下的对照点的土壤非毛细管孔隙度之间，种植干扰、道路干扰与坟墓干扰下的对照点

的土壤非毛细管孔隙度之间存在显著差异。

2.1.4 土壤通气孔隙度 土壤通气孔隙度是指在一定水势或含水量的条件下，单位土壤总容积中空气所占的孔隙容积。由图 4 可以看出，坟墓干扰与种植干扰下的干扰点与对照点的土壤通气孔隙度之间存在显著差异，道路干扰与风电干扰下的干扰点与对照点的土壤通气孔隙度之间存在差异但并不显著。不同人为干扰下的干扰点的土壤通

气孔隙度之间, 风电干扰与道路干扰下的干扰点的土壤通气孔隙度之间存在显著差异; 种植干扰下的干扰点的土壤通气孔隙度分别与道路干扰以及坟墓干扰下的干扰点的土壤通气孔隙度之间存在显著差异。不同人为干扰下的对照点的土壤通气孔隙度之间, 风电干扰下的对照点的土壤通气孔隙度分别与道路干扰、坟墓干扰下的对照点的土壤通气孔隙度存在显著差异。

2.2 土壤化学性质比较

2.2.1 土壤 pH 值 由图 5 可以看出, 不同干扰下的干扰点与对照点的土壤 pH 值之间存在差异但并不显著; 不同干扰下的干扰点的土壤 pH 值之间存在差异但并不显著; 不同干扰下的对照点的土壤酸碱度之间存在差异但并不显著。

2.2.2 土壤有机质 土壤有机质包括了土壤中的各种动、植物残体, 微生物及其分解和合成的各种有机物质在内的以各种形式存在于土壤中的所有碳质有机物。由图 5 可以看出, 不同人为干扰下的干扰点与对照点的土壤有机质含量之间存在显著差异。不同人为干扰下的对照点的土壤有机质含量之间, 风电干扰与其他类型人为干扰下的对照点存在显著差异。

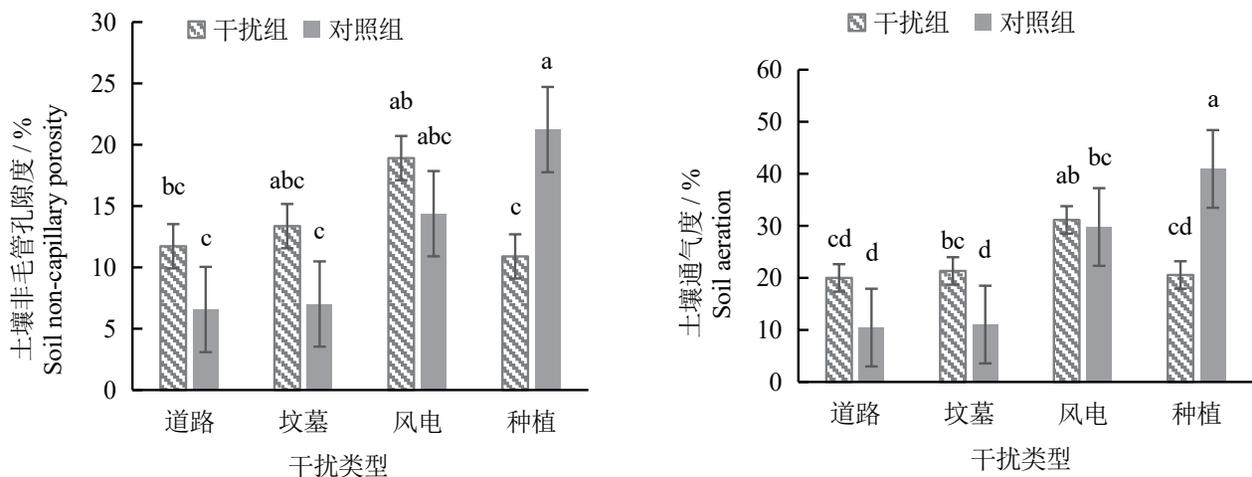
2.2.3 全氮、碱解氮 土壤全氮含量处于动态变化之中, 土壤中氮的积累和消耗程度决定了全氮的含量, 尤其是取决于土壤有机质的生物积累和水解作用。由图 6 可以看出, 道路干扰与风电干扰下的干扰点与对照点的土壤全氮含量之间存在

显著差异。不同人为干扰下的对照点的土壤全氮含量之间, 风电干扰下的对照点的土壤全氮含量与其他类型的人为干扰下的对照点之间存在显著差异。

由图 6 可以看出, 道路干扰、坟墓干扰与风电干扰下的干扰点与对照点的土壤碱解氮含量之间存在显著差异, 种植干扰下的干扰点与对照点的土壤碱解氮含量之间存在差异但并不显著。不同人为干扰下的对照点的土壤碱解氮含量之间, 风电干扰下的对照点的土壤碱解氮含量分别与种植干扰以及道路干扰下的对照点的土壤碱解氮含量之间存在显著差异。碱解氮指标与全氮指标的表现趋势一致。

2.2.4 土壤全磷、有效磷 土壤中的磷素大部分是以迟效性状态存在, 土壤全磷含量并不能作为土壤磷素供应的指标。由图 7 可以看出, 不同人为干扰下的干扰点与对照点的土壤全磷含量之间存在差异但并不显著; 各个干扰点的土壤全磷含量之间存在差异但并不显著; 各个对照点的土壤全磷含量之间存在差异但并不显著。

有效磷是土壤中被植物吸收利用的磷的总称, 它包括全部水溶性磷、部分吸附态磷和微溶性的无机磷和易矿化的有机磷等, 是土壤磷素供应的重要指标之一。由图 7 可以看出, 不同人为干扰下的干扰点与对照点的土壤有效磷含量之间存在显著差异。不同人为干扰下的干扰点的土壤有效磷含量之间, 种植干扰下的干扰点的土壤有

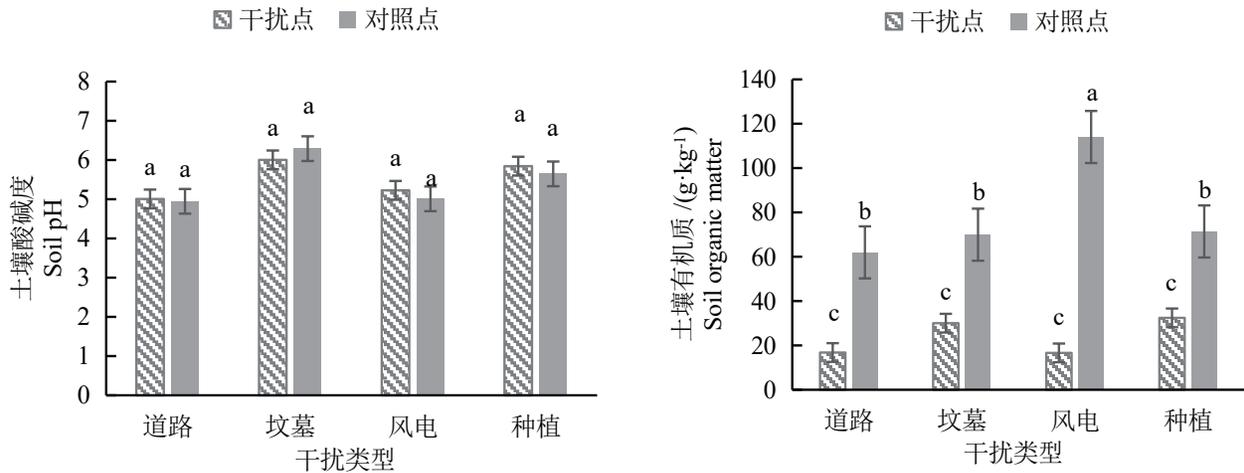


注: 图为均值 \pm 标准误差; 图中各系列内的不同字母代表之间的差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: The datas are mean \pm standard error; the different letters in each series represent significant differences ($P < 0.05$).

图 4 不同人为干扰下土壤非毛管孔隙度与土壤通气孔隙度比较

Fig. 4 Comparison of soil non-capillary porosity and soil aeration porosity under different anthropogenic interference

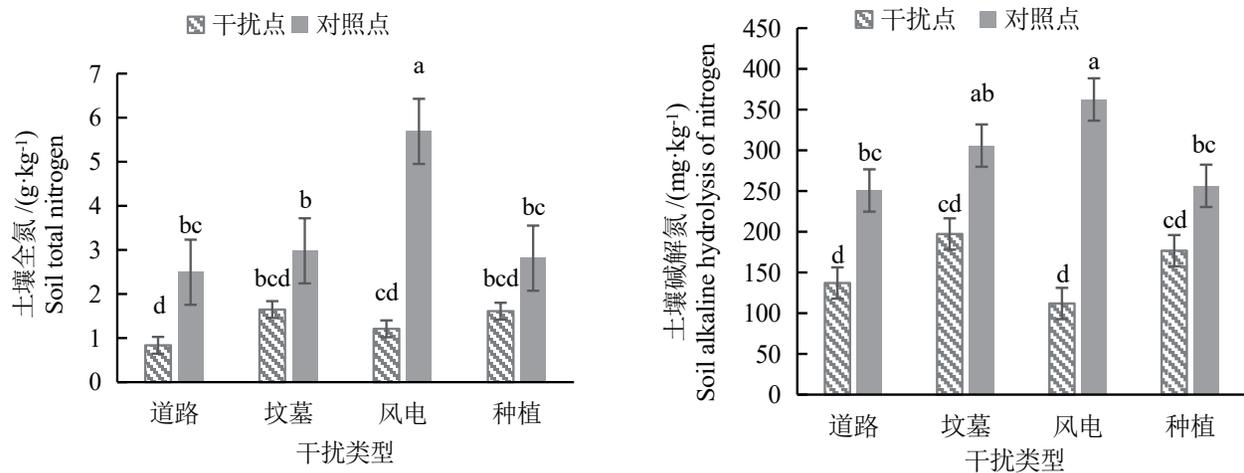


注：图为均值 ± 标准误差；图中各系列内的不同字母代表差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: The datas are mean ± standard error; the different letters in each seviees represent significant differences ($P < 0.05$).

图 5 不同人为干扰下土壤酸碱度与土壤有机质比较

Fig. 5 Comparison of soil pH and soil organic matter under different human disturbances



注：图为均值 ± 标准误差；图中各系列内的不同字母代表差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: The datas are mean ± standard error; the different letters in each seviees represent significant differences ($P < 0.05$).

图 6 不同人为干扰下土壤全氮与土壤碱解氮比较

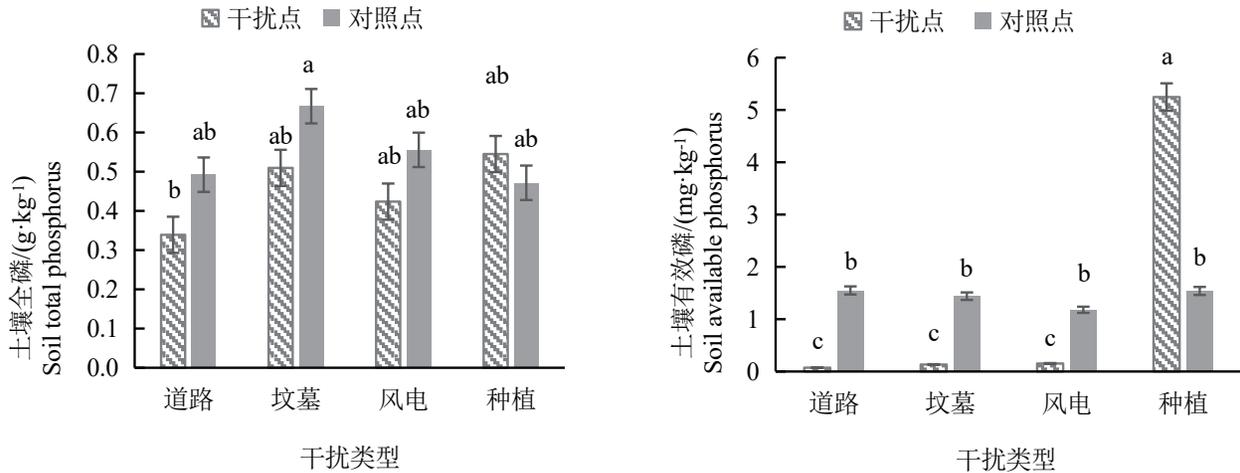
Fig. 6 Comparison of soil total nitrogen and soil alkaline hydrolyzable nitrogen under different human interference

效磷含量与其他人为干扰下的干扰点的土壤有效磷含量之间存在显著差异。有效磷与全磷指标表现出一定程度的正相关规律。

2.2.5 土壤全钾、速效钾 土壤全钾是土壤中含有的全部钾，包括交换性钾、非交换性钾、水溶性钾和结构态钾等，全钾仅反映了土壤钾素的总储量，其中 90%~98% 在相当长时间内是无效的，因此需要结合速效钾指标分析。由图 8 可以看出，风电干扰下的干扰点与对照点的土壤全钾含量之间存在显著差异，其余人为干扰类型下的干扰点与对照点之间存在差异但并不显著。不同人为干

扰类型下的干扰点的土壤全钾含量之间，风电干扰与道路干扰下的干扰点的土壤全钾含量之间存在显著差异。

速效钾是土壤中易被作物吸收利用的钾素，是表征土壤钾素供应状况的重要指标之一，它包括土壤溶液钾及土壤交换性钾。由图 8 可以看出，不同人为干扰类型下的干扰点与对照点的土壤速效钾含量指标存在显著差异。不同人为干扰类型下的干扰点的土壤速效钾含量之间，道路干扰与风电干扰下的干扰点的土壤速效钾含量之间存在差异但并不显著，坟墓干扰、种植干扰与其余人

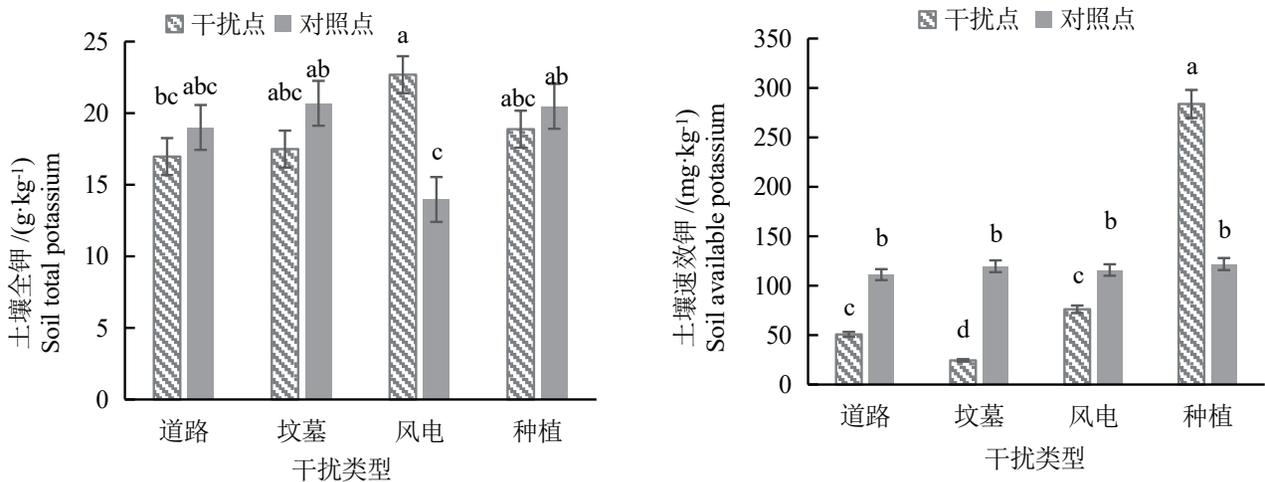


注：图为均值 ± 标准误差；图中各系列内的不同字母代表差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: The datas are mean ± standard error; the different letters in each series represent significant differences ($P < 0.05$).

图7 不同人为干扰下土壤全磷与土壤有效磷比较

Fig. 7 Comparison of soil total phosphorus and soil available phosphorus under different human interference



注：图为均值 ± 标准误差；图中各系列内的不同字母代表之间的差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: The datas are mean ± standard error; the different letters in each series represent significant differences ($P < 0.05$).

图8 不同人为干扰下土壤全钾与土壤速效钾比较

Fig. 8 Comparison of soil total potassium and soil available potassium under different human interference

为干扰类型下的干扰点的土壤速效钾含量之间存在显著差异。

3 结论与讨论

在土壤物理性质方面，土壤毛管持水量和毛管持水率呈现明显的正相关性，毛管持水量高的样地，毛管持水量也表现好；总体表现来说，对照点 > 干扰点；从干扰点的角度来看，坟墓干扰下的样地的毛管持水性最好，其余人为干扰类型下的样地的毛管持水性表现最差。土壤总孔隙度变动与土壤容重变动呈现不显著的反比例关系。

总孔隙度变动与土壤容重之间的变化规律符合郭业先^[10]等研究中容重越大通气性越小的规律。总体来说，对照点的样地在土壤物理性质上的表现最好，干扰点的样地表现较差。坟墓干扰的样地土壤总孔隙度、土壤毛管孔隙度最高、土壤通气孔隙度也较高、土壤非毛管孔隙度较小，土壤容重较小，说明土壤稀松、结构性较好；风电干扰下的干扰点的样地土壤总孔隙度和土壤通气孔隙度虽然偏高，但土壤非毛管孔隙度高，毛管孔隙度小，说明土壤结构性较差，土壤持水性表现较差，符合谢嘉炜^[11]等研究中风电场周边土壤容重

显著升高、持水量显著降低、孔隙度显著减小的研究结果。土壤孔隙与土壤通气、持水性之间的变化规律符合 Badalucco 等^[12] 研究中土壤的孔隙状况(大小、数量和分布)与土壤通气、透水性之间的变化规律。土壤物理性质数据对比结果没有显示出张庆费等^[13] 研究的浙江天童森林公园植物群落演替对土壤物理性质的影响结果表明土壤含水量、土壤最大持水量、毛管持水量和最小持水量在群落演替中有显著的增长趋势。李民义^[14], 张晓霞^[15] 等在晋西黄土区所探讨的对不同土地利用方式以及不同时间尺度的变化导致的土壤物理性质的变化; Lan 等^[16] 对天津滨海区域的不同城市绿地研究中的土壤物理性质变化规律, 可能的原因是并没有对样地土壤理化性质进行长时间的追踪监测。但是土壤物理性质数据对比总体表现符合 Jing 等^[17] 研究中良好的土壤结构应具有适当的孔隙分布, 从而协调土壤中的水、肥、气、热, 为作物生长创造良好的环境条件的研究成果。

在土壤化学性质方面, 全氮和碱解氮两个指标呈现出一致的趋势, 两个指标总体表现为对照点 > 干扰点; 干扰点中的总体表现为, 坟墓干扰 > 种植干扰 > 风电干扰 > 道路干扰。有效磷与全磷指标表现出一定程度的正相关规律, 但规律不明显。在两个指标的总体表现上, 对照点 > 干扰点。样地中土壤物理性质和化学性质之间的关系缺乏显著规律性, 没有表现出杨晓娟^[18] 研究的土壤含水量与土壤全氮、全磷、有效磷等指标呈显著负相关, 与土壤有机质、全钾含量成显著正相关的规律, 可能的原因是不同干扰类型对土壤养分的影响程度差异很大。种植干扰的干扰点样地的有效磷含量远高于其他样地是种植园工人定期施肥导致。在成向荣^[19], 刘乐等^[20] 的研究中不同林分对土壤物理性质的影响也不尽相同; 而不同的抚育方式和强度也间接影响着土壤的物理性质, 因此对照点的差异表现需要后续加入考虑不同林分的影响继续研究。

参考文献

- [1] VITOUSEK P M, MOONEY H A, LUBCHENCO J, et al. Human domination of earth's ecosystems[J]. *Science*, 1997, 277(5325): 494-499.
- [2] BARNOSKY A D, HADLY E A, BASCOMPTE J, et al. Approaching a state shift in earth's biosphere[J]. *Nature*, 2012, 486(7401): 52-58.
- [3] FOLEY J A, RARMANKUTTY N, BRAUMAN K A, et al. Solutions for a cultivated planet[J]. *Nature*, 2011, 478(7369): 337-342.
- [4] 孙永光, 赵冬至, 高阳, 等. 海岸带人类活动强度遥感定量评估方法研究: 以广西北海为例[J]. *海洋环境科学*, 2014, 33(3): 407-411.
- [5] 周建国, 李新旺, 胡金明, 等. 怒江流域云南段生物多样性保护地人为干扰分析[J]. *热带地理*, 2018, 38(4): 465-474.
- [6] 陈美球, 蔡海生, 黄靓. 鄱阳湖区生态环境自然脆弱性综合评价[J]. *中国生态农业学报*, 2005(4): 181-183.
- [7] 柯周荣. 东莞市银瓶山森林公园蝴蝶谷的生态化营建[J]. *林业勘查设计*, 2019, 48(4): 53-56.
- [8] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [10] 郭业先, 柳军, 杨绍伟, 等. 广宁红花油茶林土壤理化性质、植物养分初步研究[J]. *林业与环境科学*, 2020, 36(6): 52-57.
- [11] 谢嘉炜, 魏龙, 肖石红, 等. 连州风电场对周边土壤物理性质的影响[J]. *林业与环境科学*, 2021, 37(4): 40-45.
- [12] BADALUCCO L, DE CESARE F, GREGO S, et al. Do physical properties of soil affect chloroform efficiency in lysing microbial biomass?[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1997, 29(7): 1135-1142.
- [13] 张庆费, 由文辉, 宋永昌. 浙江天童植物群落演替对土壤化学性质的影响[J]. *应用生态学报*, 1999(1): 21-24.
- [14] 李民义, 张建军, 王春香, 等. 晋西黄土区不同土地利用方式对土壤物理性质的影响[J]. *水土保持学报*, 2013, 27(3): 125-130.
- [15] 张晓霞, 杨宗儒, 查同刚, 等. 晋西黄土区退耕还林 22 年后林地土壤物理性质的变化[J]. *生态学报*, 2017, 37(2): 416-424.
- [16] LAN T, GUO S, HAN J, et al. Evaluation of physical properties of typical urban green space soils in Binhai Area, Tianjin, China[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019, 44: 126430.
- [17] JING Z, WANG J, WANG R, et al. Using multi-fractal analysis to characterize the variability of soil physical properties in subsided land in coal-mined area[J]. *Geoderma*, 2020, 361: 114054.
- [18] 杨晓娟. 东北长白山系低山丘陵区不同林分土壤肥力质量研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
- [19] 成向荣, 冯利, 虞木奎, 等. 间伐对生态公益林冠层结构及土壤养分的影响[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(2): 355-359.
- [20] 刘乐, 王新杰, 王廷蓉, 等. 皆伐与不同迹地清理方式对杉木林土壤物理性质的影响[J]. *中南林业科技大学学报*, 2016, 36(7): 55-59.