

连州风电场对周边土壤物理性质的影响*

谢嘉炜 魏 龙 肖石红 蔡 坚
马 青 高常军 吴 琰 易小青

(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 风电场带来的水土流失、生态环境破坏等问题广受关注。文章以华南典型地区风电场为例, 通过样品采集和土壤性质分析, 研究风电场对周边土壤物理性质的影响。结果表明, 风电场对周边土壤粒级组成、容重、持水量、孔隙度等均产生了不同程度的影响。具体如下: 对比在建场地, 2012年建设场地周边苦竹 *Pleioblastus amarus* 林、阔叶林土壤粒级组成变化相对较小, 容重显著升高 ($P<0.05$)、持水量显著降低 ($P<0.05$)、孔隙度显著减小 ($P<0.05$)。其中阔叶林土壤粒级组成距离风电场地越近, 变化越剧烈。多因素方差分析结果显示, 除粉粒含量外的土壤物理性质受到林分类型、距离、建设时间三者主效应及其交互作用的综合影响。因此, 在风电场建设和运营中, 应尽可能减少对土壤性质的破坏, 避免造成水土流失。

关键词 风电场; 土壤物理性质; 连州

中图分类号: S714.2 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2021) 04-0040-06

Impact of Wind Farm in Lianzhou City on the Physical Properties of the Surrounding Soil

XIE Jiawei WEI Long XIAO Shihong CAI Jian
MA Qing GAO Changjun WU Yan YI Xiaoqing

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization / Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract The problems of soil erosion and ecological environment damage caused by wind farms have attracted wide attention. This paper takes wind farms in a typical area of South China as an example, and studies the impact of wind farms on the physical properties of surrounding soils through sample collection and soil property analysis. The results show that the wind farm has different degrees of influence on the surrounding soil particle composition, volume-weight, water-holding capacity and porosity. The details are as follows: comparing the site under construction, in 2012, the changes in the soil particle composition of the *Pleioblastus amarus* forests and broad-leaved forests around the construction site were relatively small, with a significant increase in volume-weight ($P<0.05$), a significant decrease in water-holding capacity ($P<0.05$), and the porosity decreased significantly ($P<0.05$). Among them, the closer the soil particle composition of the secondary forest is to the wind farm, the more dramatic the change. The results of multi-factor analysis of variance showed that the physical properties of soil except for silt content were affected by the main effects of stand type, distance, and construction

* 基金项目: 广东省林业科技创新项目 (2017KJXC038、2019KJXC010), 省级温室气体清单编制项目 (STQH-2021-050)。

第一作者: 谢嘉炜 (1985—), 男, 助理工程师, 主要从事森林营造和抚育更新技术工作, E-mail: ccsperfect@163.com。

通信作者: 魏龙 (1976—), 男, 高级工程师, 主要从事森林生态学研究, E-mail: weilong@sinogaf.cn。

肖石红 (1986—), 女, 助理研究员, 主要从事森林生态学研究, E-mail: shihong114@126.com。

time and their interaction. Therefore, in the construction and operation of wind farms, damage to the nature of the soil should be minimized to avoid soil erosion.

Key words wind farm; soil physical properties; Lianzhou city

随着全球能源的日益短缺,风能发电逐渐成为可再生能源开发和生态环境改善的重要手段^[1]。但风电场建设带来的生态环境破坏等问题^[2]也开始受到人们的广泛关注。过去的研究多集中在风电场造成的辐射污染、光影效应、噪声污染^[3-4]等方面。近几年,一些学者开始研究风电场对土壤及植被的影响。李智兰等^[5]研究发现风电场建设影响了周边扰动区域土壤养分含量,还降低了植被各生长指标。王飞宇等^[6]提出风力发电对草原生态系统也会造成影响,导致植被破坏、水土流失等问题。刘春青等^[7]比较了风电场内、外植被组成和土壤肥力情况,结果显示风电场内植物多样性明显降低、土壤肥力明显下降。土壤是植物营养循环的重要基质,植被生长和水土保持均与土壤物理性质密切相关^[8],研究风电场对周边土壤物理性质的影响对防止土地退化和保证生态环境可持续发展具有重要意义。

通常土壤性质的变化,往往能对地区环境稳定性、生态脆弱性造成影响^[9-11]。华南地区降雨集中且雨量大,而风电场位置一般地势较高,由于风电场带来的周边土壤性质变化,极易造成水土流失,从而广受关注。鉴于此,本文以广东省连州市风电场为研究对象,研究其风电场对周边土壤物理性质的影响,旨在为风电场建设和生态环境改善等方面提供指导。

1 研究区概况

连州市(112°07'~112°47'E, 24°37'~25°12'N)位于广东省清远市西北部,东南毗邻阳山县,西南连接连南县,西北与湖南省蓝山、江华两县相连,北与湖南省临武县交界,东北靠湖南省宜章县境。全市土地总面积2 663.33 km²,属于粤北典型的石灰岩地区,主要以山地为主(占72.2%),地势自西向东呈现“高一低—高一低—高”的格局。属中亚热带季风气候区,一年四季受季风影响。10月至次年3月盛行东北季风,4—9月盛行夏季风,主要是西南风,年平均气温19.7℃,年平均降雨量1 624.9 mm。

连州是广东省风能资源较好的地区之一,拥有优质的风力资源和地理环境,具备规模开发风能的优良条件。连州风电场目前装机总容量为190 mW,共95台风力发电机组,塔筒高70 m,叶片长30 m。于2012年完成建设并投入运行,风机分布于连州市星子镇和大路边镇的高山空旷地带^[12]。

2 研究方法

2.1 样地设置与样品采集

本研究选取连州市星子镇(2012年建)和大路边镇(在建风电场)2种林分类型(以石栎 *Lithocarpus glaber* 为优势种的阔叶林和以苦竹 *Pleioblastus amarus* 为优势种的苦竹林)的土壤为研究对象(表1),于2021年1月对样地进行采样。各选取3台风力发电机组,以其为中心,在其辐射半径内(10、100、200 m)分别布设采样点,用环刀采集每个采样点0~10 cm, 10~20 cm, 20~40 cm土壤样品,每个采样点采3个重复样,带回实验室测定土壤容重和孔隙度等物理性质。

表1 林型信息

Table 1 Forest type information table

林型 Forest type	优势种 Dominant species	胸径/cm DBH	树高/m Height
阔叶林	石栎 <i>Pasania sieboldiana</i> 、 水青冈 <i>Fagus longipetiolata</i> 、 猴欢喜 <i>Sloanea sinensis</i>	3.9	5.3
苦竹林	苦竹 <i>Pleioblastus amarus</i> 、 马尾松 <i>Pinus massoniana</i> 、 光皮桦 <i>Betula luminifera</i>	3.6	5.0

2.2 指标测定与方法

土壤水分及物理性质根据国家标准《森林土壤分析方法》(GB—99)测定^[13-14]:采用环刀法(环刀体积为100 cm³)和浸泡法测定土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度等;土壤颗粒组成采用马尔文2000激光粒度仪测定,土壤颗粒组成根据美国制(US-DA)标准^[15]划分。

土壤水分及物理性质采用以下公式计算:

土壤容重(g/cm³) = 环刀内土壤干质量(g)

/环刀体积 (cm^3)

最大持水量 (%) = (浸泡 12 h 后环刀内湿土重 - 环刀内干土重) / 环刀内干土重 $\times 100\%$

毛管持水量 (%) = (在干沙上放置 2 h 后环刀内湿土重 - 环刀内干土重) / 环刀内干土重 $\times 100\%$

非毛管孔隙度 (%) = (最大持水量 - 毛管持水量) \times 土壤容重

毛管孔隙度 (%) = 毛管持水量 (%) \times 土壤容重

2.3 数据处理

采用方差分析分析不同建设时期、不同植被、不同辐射距离土壤容重、孔隙度、持水性能的变化, 图表制作采用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 统计软件完成。

3 结果与分析

3.1 风电场对周边土壤粒级组成的影响

分析风电场对周边苦竹林土壤粒级组成的影响可知(图1): 对比在建场地, 2012年建设场地周边苦竹林土壤粉粒含量变化相对较小, 距离10、100、200 m时, 变化量分别仅为16.9%、2.7%、3.5%, 而砂粒含量分别变化69.0%、66.7%、55.3%, 黏粒含量分别变化114.1%、81.1%、61.4%, 主要的变化趋势为更多的砂粒向黏粒迁移, 且与风电场地不同距离之间差异不大。

分析风电场对周边阔叶林土壤粒级组成的影响可知(图2): 对比在建场地, 2012年建设场地周边阔叶林土壤砂粒、粉粒、黏粒含量变化差异不大, 距离10、100、200 m时, 砂粒变化分别为93.5%、52.7%、45.6%, 而粉粒含量分别变化

31.1%、9.2%、0.8%, 黏粒含量分别变化3.1%、13.9%、49.8%, 主要的变化趋势大致为黏粒向砂粒迁移。相对来说, 距离风电场地越近, 变化越剧烈。

3.2 风电场对周边土壤容重、持水量的影响

分析风电场对周边苦竹林土壤容重、持水量的影响可知(图3): 对比在建场地, 2012年建设场地周边苦竹林土壤容重较大不同, 与风电场地距离为10、100 m时, 土壤容重均显著升高 ($P < 0.05$)。对比两者毛管持水量, 在距离为10、100 m时, 2012年建设场地值显著低于在建场地 ($P < 0.05$)。非毛管持水量则为10、100 m时为2012年建设场地值显著低于在建场地 ($P < 0.05$)。在距离相对较远时, 苦竹林土壤容重、持水量的变化均不明显。

分析风电场对周边阔叶林土壤容重、持水量的影响可知(图4): 对比在建场地, 2012年建设场地周边阔叶林土壤容重不同, 与风电场地不同距离时, 土壤容重均显著升高 ($P < 0.05$)。对比两者毛管持水量, 仅在距离为200 m时, 2012年建设场地值显著低于在建场地 ($P < 0.05$), 距离相对较近时, 毛管持水量相对变化不大。非毛管持水量则为10、100、200 m时均为2012年建设场地值显著低于在建场地 ($P < 0.05$)。

3.3 风电场对周边土壤孔隙度的影响

分析风电场对周边苦竹林土壤孔隙度的影响可知(图5): 对比在建场地, 2012年建设场地周边苦竹林土壤容重在风电场地距离仅为100 m时, 非毛管孔隙度显著减小 ($P < 0.05$)。对比两者毛管孔隙度, 在距离为10、200 m时, 2012年建设场地值显著低于在建场地 ($P < 0.05$)。

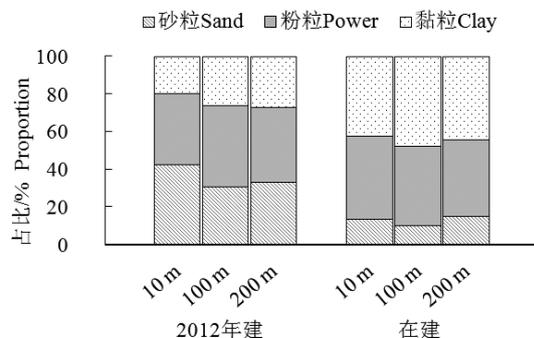


图1 风电场周边苦竹林土壤粒级组成

Fig.1 The soil particle composition of *P. amarus* forest around the wind farm

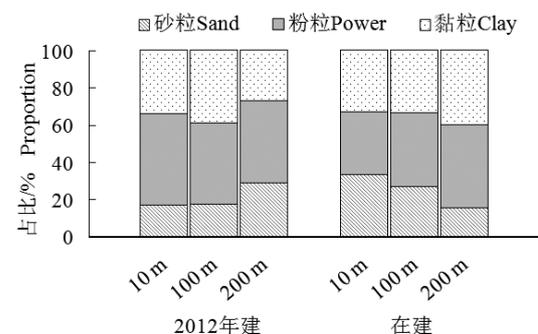


图2 风电场周边阔叶林土壤粒级组成

Fig.2 The soil particle composition broad-leaved forests around the wind farm

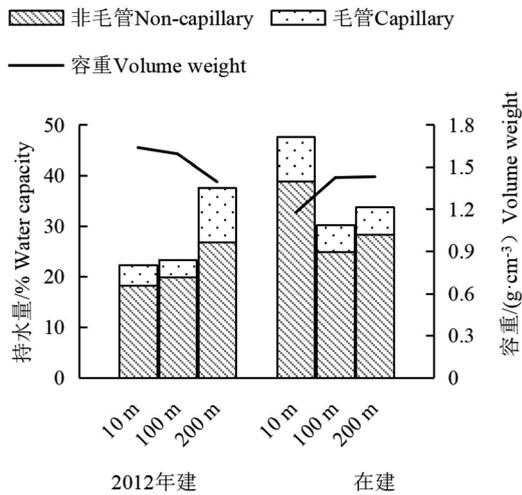


图3 风电场周边苦竹林土壤容重、持水量

Fig.3 The water capacity and volume weight of *P. amarus* forest around the wind farm

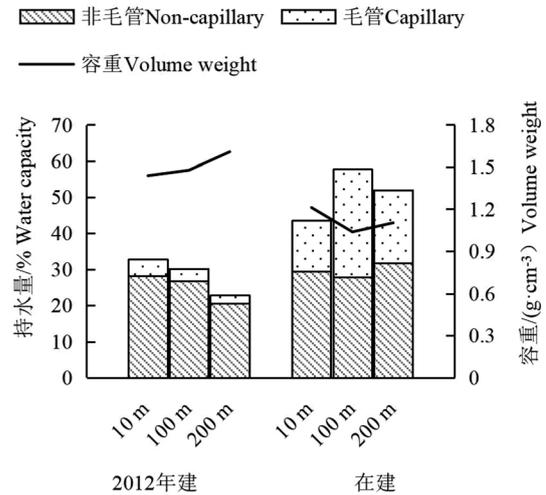


图4 风电场周边阔叶林土壤容重、持水量

Fig.4 The water capacity and volume weight of broad-leaved forests around the wind farm

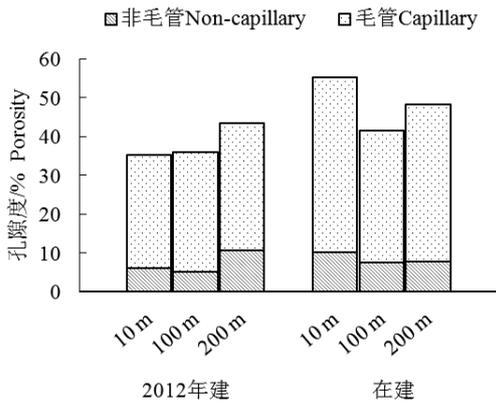


图5 风电场周边苦竹林土壤孔隙度

Fig.5 The soil porosity of *P. amarus* forest around the wind farm

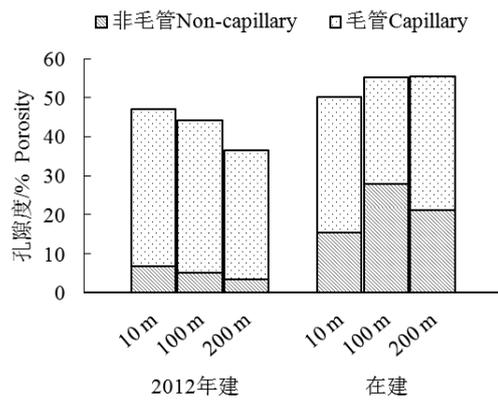


图6 风电场周边阔叶林土壤孔隙度

Fig.6 The soil porosity broad-leaved forests around the wind farm

分析风电场对周边苦竹林土壤孔隙度的影响(图6)可知:对比在建场地,2012年建设场地周边苦竹林土壤容重在风电场地不同距离时均为非毛管孔隙度显著减小($P<0.05$)。毛管孔隙度中保存的水是提供给植物最有效的水分^[16],对比两者毛管孔隙度,在距离为10、100m时,2012年建设场地值显著高于在建场地($P<0.05$),距离为200m时则变化不大。

3.4 风电场周边不同林分类型、不同距离、不同建设时间林地土壤物理性质差异

对风电场周边不同林分类型、不同距离、不同建设时间林地土壤多种物理性质进行多因素方差分析,结果显示(图7、表2),除粉粒含量外的土壤物理性质受到林分类型、距离、建设时间三者主效应及其交互作用的综合影响。具体为,

建设时间因素能够显著影响除粉粒含量、毛管孔隙度外的其他土壤物理性质($P<0.05$),时间与林分类型的交互作用能够显著影响除毛管持水量外的其他土壤物理性质($P<0.05$),时间、林分类型、距离三者交互作用能够显著影响除黏粒含量外的其他土壤物理性质($P<0.05$)。对于林分类型、与风电场地距离、建设时间等多种因素而言,时间、时间与林分类型的交互作用为最主要的差异贡献来源,其中时间因素对于黏粒含量、容重、毛管持水量、非毛管持水量、非毛管孔隙度的差异贡献大于30%,时间与林分类型的交互作用因素对于砂粒含量、粉粒含量、黏粒含量、非毛管持水量、毛管孔隙度、非毛管孔隙度的差异贡献大于30%,其他因素对于差异贡献均小于30%。各项土壤物理性质中,组内差异贡献相对较小,

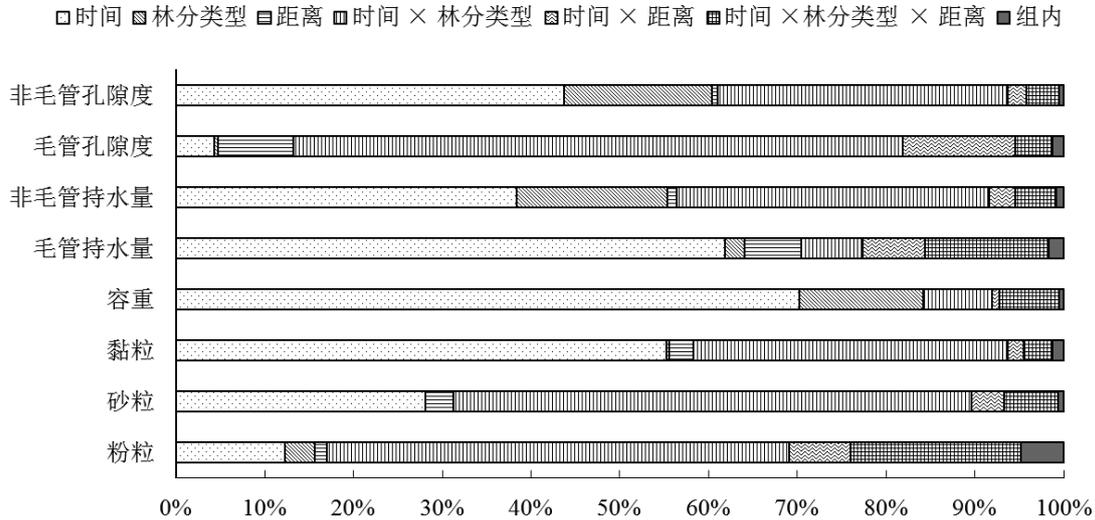


图7 风电场周边不同林分类型、不同距离、不同建设时间林地土壤物理性质差异来源

Fig.7 Sources of differences in soil physical properties of different forest types, distances, and construction times around wind farms

表2 不同因素对风电场周边土壤物理性质影响显著度

Table 2 Significance of the influence of different factors on the physical properties of the soil around the wind farm

属性 Property	时间 Time	林分类型 Forest types	距离 Distance	时间 × 林分类型 Time × Forest types	时间 × 距离 Time × Distance	时间 × 林分类型 × 距离 Time × Forest types × Distance
砂粒	<0.001	0.863	0.022	<0.001	0.013	<0.001
粉粒	0.124	0.408	0.763	0.003	0.255	0.013
黏粒	<0.001	0.629	0.140	<0.001	0.267	0.066
容重	<0.001	<0.001	0.819	0.001	0.253	<0.001
毛管持水量	<0.001	0.271	0.040	0.058	0.031	<0.001
非毛管持水量	<0.001	<0.001	0.319	<0.001	0.053	0.004
非毛管孔隙度	<0.001	<0.001	0.398	<0.001	0.044	0.002
毛管孔隙度	0.078	0.571	0.005	<0.001	0.001	0.025

注：表中加粗为此列因素对该行属性产生显著影响 ($P < 0.05$)。

Note: the factors in this column in bold in the table have a significant impact on the attributes of the row ($P < 0.05$).

粉粒含量为 4.8%，其他均低于 1.5%。

4 结论与讨论

本研究结果显示，风电场对周边土壤粒级组成、容重、持水量、孔隙度等均产生了不同程度的影响。这是因为风电场建设中机械践踏和碾压直接破坏了土壤的物理结构^[17]，运营期间各项沉重的风电设备进一步压实土壤，导致土壤容重增加。另外压实效应对土壤造成的一系列扰动，也会降低土壤团聚体的稳定性^[18]，导致土壤质地、持水量、孔隙度等发生变化。土壤和植被具有互

作效应，土壤性质的改变可能与风电场造成的生物多样性、植被盖度的破坏^[19]也息息相关。还有研究指出风电设备在日常维护中制造的油污会对土壤和植被造成污染^[20]。在风电场建设和运营中，应充分考虑土体的稳定性，减少二次扰动，降低对土壤性质的破坏。

风电场产生的电磁辐射、光影效应、噪音污染等都是对自然生态系统的干扰，尤其会对局部生态环境产生不利影响。本研究发现，距离风电场地越近，阔叶林土壤粒级组成、容重、变化越剧烈。土壤稳定性受植物地下根系分布的影响，

风电场建设加大了周边区域的生境破碎化程度^[21],可能改变了根系在土壤中原来的数量和空间分布位置。对风电场周边遭破坏后地面裸露的土壤应及时进行植被恢复,尽可能减小对地下部分根系的负面影响,完整的根系系统能够有效固着土壤、减少水土流失。

本研究发现,风电建设对不同林分均有影响,但影响程度不同。说明不同林分对风电场干扰的承受能力有所不同,这与不同林分本身的生物学特性及林分结构有关。因此可将周边区域林分类型、林分结构完整性、生态系统耐受力等考虑进风电场选址中。应特别注意加大环保投入,避免造成大面积的植被破坏和生态环境退化。

参考文献

- [1] 李国庆, 李晓兵. 风电场对环境的影响研究进展[J]. 地理科学进展, 2016, 35(8): 1017-1026.
- [2] 陈健冬. 风电场对生态环境的影响及生态恢复措施研究[J]. 节能与环保, 2021(2): 40-41.
- [3] 吉新磊, 杨红, 丁骏, 等. 近海风电场水下打桩辐射噪声特性测量分析[J]. 海洋科学, 2018, 42(3): 11-16.
- [4] 刘伟. 风力发电对环境的影响研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2014.
- [5] 李智兰. 风电场建设对周边扰动区域土壤养分和植被的影响[J]. 水土保持研究, 2015, 22(4): 61-66.
- [6] 王飞宇, 白志峰, 李秋萍, 等. 风力发电对内蒙古草原生态影响及对策[J]. 北方环境, 2011, 23(10): 90-91.
- [7] 刘春青, 张韬, 汪超, 等. 风电场内外植被组成和土壤肥力质量的比较[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2020, 41(2): 30-36.
- [8] 宋文玲. 风电场工程对盐城自然保护区的累积生态影响研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2011.
- [9] 谭琳, 肖丽娜, 江瑶, 等. 森林土壤重金属空间分布特征及污染评价: 以华南沿海地区为例[J]. 林业与环境科学, 2021, 37(1): 116-121.
- [10] 郑妍, 江瑶, 孙冬晓, 等. 华南沿海地区林地土壤养分空间异质性研究[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(6): 110-114.
- [11] 曾美玲, 张中瑞, 李小川, 等. 云浮市油茶适生区土壤中微量元素分析[J]. 林业与环境科学, 2017, 33(6): 98-103.
- [12] 蔡国威, 袁倩敏, 梁健超, 等. 广东连州风电场鸟类多样性及其对风机的响应[J/OL]. 四川动物: 1-10[2021-07-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1193.Q.20210619.1450.002.html>.
- [13] 国家标准局. GB—99森林土壤分析方法: 第三册[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999: 1-22.
- [14] 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.
- [15] 杨志勇, 陈新闯, 郭建英, 等. 乌兰布和沙漠不同土地利用类型粒度特征分析[J]. 中国水土保持, 2015(7): 50-53; 73.
- [16] 杨玥, 方建波, 刘小玲, 等. 广东流溪河5种林分的枯落物与土壤持水性[J]. 林业与环境科学, 2018, 34(2): 90-95.
- [17] 王志强. 不同类型区风电场工程建设中水土流失特征及防治措施研究[J]. 地下水, 2021, 43(1): 211-213.
- [18] 赵珍伟. 山西北部风电场建设对地表植被的影响研究[J]. 环境科学与管理, 2021, 46(5): 160-164.
- [19] 王希平, 张韬, 刘佳慧, 等. 辉腾锡勒风电场局域环境植被特征分析研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2013(4): 70-75.
- [20] 赵大庆. 风力发电场的主要环境问题[J]. 环境保护科学, 2005(3): 66-67.
- [21] 孙凯. 山地风电场水土流失特点及防治对策[J]. 科技创新与应用, 2021, 11(17): 99-101.