

## 旅游干扰对鸡公山国家级自然保护区土壤理化性质的影响

尚晴, 王忠伟, 程露

(黄河水利职业技术学院, 河南 开封 475004)

**摘要:** 采用野外调查和室内分析的方法, 研究了河南鸡公山国家级自然保护区内森林风景区土壤理化特征对不同旅游干扰强度和干扰距离的响应。结果表明, 重度干扰的土壤容重 ( $1.23 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) 显著高于轻度 ( $1.03 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) 和 中度 ( $1.07 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) 干扰的 ( $P<0.05$ ), 而其土壤总孔隙度 (57.5%) 则显著低于轻度 (61.3%) 和 中度 (59.6%) 干扰的 ( $P<0.05$ ); 中度及重度干扰下的土壤全氮含量 ( $1.9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $1.8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 和有机碳含量 ( $19.3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $21.2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 均显著低于轻度干扰的 ( $2.2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $26.8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )。与背景区 (距干扰中心区边缘外 10 m 以上) 相比, 干扰导致缓冲区 (距干扰中心区边缘外 3 ~ 10 m) 的土壤容重和总孔隙度变化随着干扰强度的增加而下降, 而核心区 (位于干扰中心区 0 ~ 1 m) 的土壤容重和总孔隙度的变化随干扰强度的增加而增加。以上研究结果可为森林风景区的规划和科学管理提供参考。

**关键词:** 旅游干扰; 土壤物理性质; 土壤化学性质; 鸡公山国家级自然保护区

中图分类号: S714.2 文献标志码: A 文章编号: 1001-3776(2022)01-0069-07

## Effect of Visitor Trampling on Soil Physio-chemical Properties in Jigongshan National Nature Reserve

SHANG Qing, WANG Zhong-wei, CHENG Lu

(Yellow River Conservancy Technical Institute, Kaifeng 475004, China)

**Abstract:** Core area, buffer area and control were established according to different visitor trampling in Boerdeng Forest Park of Jigongshan National Nature Reserve, Henan province, and soil samples were collected in different area for determination of physio-chemical properties. The results showed that soil bulk density under serious trampling ( $1.23 \text{ g}/\text{cm}^3$ ) was significantly higher than that under light ( $1.03 \text{ g}/\text{cm}^3$ ) and middle ( $1.07 \text{ g}/\text{cm}^3$ ) ones, whereas soil total porosity (57.5%) were lower than that under light (61.3%) and middle (59.6%) ones. Soil total nitrogen ( $1.9 \text{ g}/\text{kg}$  and  $1.8 \text{ g}/\text{kg}$ ) and soil organic carbon ( $19.3 \text{ g}/\text{kg}$  and  $21.2 \text{ g}/\text{kg}$ ) under middle and serious trampling were significantly lower than that under light one ( $2.2 \text{ g}/\text{kg}$  and  $26.8 \text{ g}/\text{kg}$ ). Compared with the control (10 m away from the core area), soil bulk density and soil total porosity decreased with the increased of trampling intensities in the buffer area, however, soil bulk density and soil total porosity had positive relation with elevated with trampling intensities in the core area.

**Key words:** visitor trampling; soil physical property; soil chemical property; Jigongshan National Nature Reserve

在全球范围内, 基于自然资源的旅游活动 (Nature-based Tourism) 已经成为人们旅游休闲的重要形式。森林占陆地生态系统面积的  $1/4$ <sup>[1]</sup>, 因空气质量优良、负氧离子丰富、动植物资源多样等特征而备受游客青睐。森林风景区硬件设施的大幅投入以及游客接待量的大量增加, 一方面有助于地方经济水平的快速提升, 另一方面

收稿日期: 2021-08-17; 修回日期: 2021-11-19

基金项目: 河南省社会科学界联合会调研课题 (SKL-2021-1034)

作者简介: 尚晴, 硕士, 讲师, 从事生态旅游研究; E-mail: qingshangsq@163.com。

与旅游活动同步发生的开发、踩踏和垃圾排放等干扰过程对风景区生态环境产生强烈的负面影响<sup>[2-3]</sup>。土壤作为森林生态系统的重要构件,是生物繁衍与多样性维持的基础,相对于地表植物,其对于旅游干扰的反应更为敏感。国内外研究证实,风景区内的旅游活动通常可导致土壤紧实度<sup>[4]</sup>、土壤容重<sup>[4-5]</sup>、土壤有机质和全氮含量<sup>[6-7]</sup>的显著提高以及土壤孔隙度和含水量<sup>[8]</sup>的显著降低。然而,旅游干扰对于部分土壤理化性质的影响仍表现出一定的不确定性。例如,干扰活动可导致土壤 pH 值的提高<sup>[8-9]</sup>或降低<sup>[5]</sup>;也可引起土壤速效钾的增加<sup>[10]</sup>或降低<sup>[9]</sup>。此外,旅游干扰还会导致森林土壤生物指标的变化,如改变微生物群落结构<sup>[11]</sup>和降低土壤酶活性<sup>[8]</sup>,从而间接地影响土壤理化性质。

在以色列 Ramat 公园开展的一项调查发现,旅游活动对公园土壤理化性质(如土壤容重、湿度、pH 值和有机质)的影响依赖于干扰强度的大小,表现为在轻度干扰下变化微弱,而在重度干扰下变化显著<sup>[12]</sup>。Iwara 等研究发现,土壤中交换性阳离子的浓度在重度干扰活动下显著下降<sup>[13]</sup>,进一步调节土壤微生物群落及土壤养分的有效性。在我国四川碧峰峡生态旅游区开展的调查发现,中度干扰显著提高土壤有机质含量和土壤有效磷含量等理化指标,暗示着中度干扰活动对土壤理化特征有一定的积极作用<sup>[14]</sup>。综上所述,尽管针对旅游活动及其生态效应的研究备受关注,但是旅游干扰对风景区土壤系统的影响过程仍面临较大的不确定性。

本研究以鸡公山国家级自然保护区中的波尔登森林公园为例,通过调查不同干扰强度下距干扰中心区域不同距离处的土壤理化指标,以阐明土壤理化特征随干扰强度的变化规律,揭示干扰距离对土壤理化性质的影响,为森林风景区的旅游规划和科学管理提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

研究在河南省信阳市李家寨镇鸡公山国家级自然保护区中的波尔登森林公园(31°51' N, 114°05' E)内实施。该公园海拔为 245 m,年平均降水量为 1 119 mm,年平均温度为 15.2 °C。土壤类型以黄棕壤和黄褐土为主,土壤 pH 值介于 4 ~ 5。公园内以天然次生林为主,植物资源丰富,乔木树种主要有栓皮栎 *Quercus variabilis*、杉木 *Cunninghamia lanceolata*、枫香树 *Liquidambar formosana* 等,灌木树种主要有山胡椒 *Lindera glauca*、胡枝子 *Lespedeza bicolor*、黄荆 *Vitex negundo* 等。波尔登森林公园是鸡公山国家级自然保护区下设的森林生态旅游景区,景区内建有波尔登纪念亭、茗湖、森林游乐园等 20 多个景点,每年接待游客近 10 万人次。

### 1.2 干扰强度设定

在波尔登森林公园内,按照游客聚集时间和活动强度的差异,选择 3 个不同干扰强度的景点作为调查区:①游客步道 风景区内游客步道大多数为 1.5 ~ 2.0 m 宽的土质路面,未进行水泥硬化,步道内无明显的游客聚集,每位游客的停留时间均 < 5 min,将其游客干扰强度定义为轻度;②波尔登纪念亭 亭内均为水泥硬化地面,亭外 2 m 宽环路为土质地面,有明显的游客聚集现象,游客可在围栏和长椅上进行短暂的休息,每位游客的停留时间为 20 ~ 30 min,将其干扰强度定义为中度;③森林游乐园 区域内 90% 地面为土质,游客聚集现象强烈,游客可进行集中玩耍和适当的餐饮活动,每位游客的停留时间均 > 60 min,将其干扰强度定义为重度(图 1)。

### 1.3 干扰距离设定

在每种干扰强度调查区内,按照距离干扰中心区的远近,分别布置 3 个采样区,依次定义为干扰核心区、

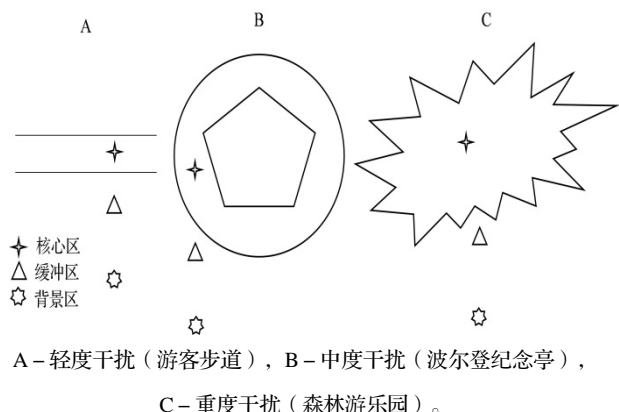


图 1 干扰强度及干扰距离样点设定示意图  
Figure 1 Location of sampling plots under different trampling intensities and their distances

缓冲区和背景区(图1)。核心区位于调查区的中心区域(0~1 m)(游客步道以土质路面中心为核心区;纪念亭以亭外土质环路为核心区;游乐园以中心区域的土质地面为核心区),此区域受游客踩踏和景区管理作业干扰强烈,地面无乔、灌、草植物的生长,无凋落物层,土壤硬实。缓冲区是距离中心区边缘之外3~10 m的区域,在一定程度上受到游客(采摘及拍照等)及景区管理活动(打扫卫生及设施维护)的影响,生长有乔、灌木,地表凋落物丰富。背景区是中心区边缘之外10 m以上的区域,受到游客及景区管理活动影响微小,植被及土壤状况均保持自然状态。

#### 1.4 土壤样品采集与测定

在每种干扰强度下的不同干扰距离区域上分别采集土壤样品。核心区样点的选取方法:沿着游客步道方向,在步道上每隔5 m取1个样点,共取4个样点;在纪念亭外的土质环路上,每隔2 m取1个样点,共取4个样点;游乐园在中心区域附近每隔5 m取1个样点共取4个样点。缓冲区和背景区样点的选取方法:分别在每个干扰区域内,每隔5 m取1个样点,共取4个样点。样点土壤采集方法:在每个样点上,利用环刀分别采集表层0~10 cm的土壤,共计3种干扰强度×3种干扰距离×4个重复=36个样品。将采集的土壤样品带回实验室。在环刀采集原状土壤的同时,用直径5 cm的土壤钻分别在4个样点采集1个0~10 cm的土壤样品(共36个),带回实验室。

土壤理化性质的测定:用环刀法测定每个样品的土壤容重,并根据测定结果计算土壤总孔隙度,土壤总孔隙度(%)=(1-土壤容重/土壤比重)×100%,式中,土壤比重取其经验平均值,为2.65 g·cm<sup>-3</sup>。

土壤含水率采用烘干法测定,土壤有机碳含量采用重铬酸钾氧化外加法测定,土壤全氮含量采用凯氏定氮法测定<sup>[13]</sup>。

#### 1.5 数据分析

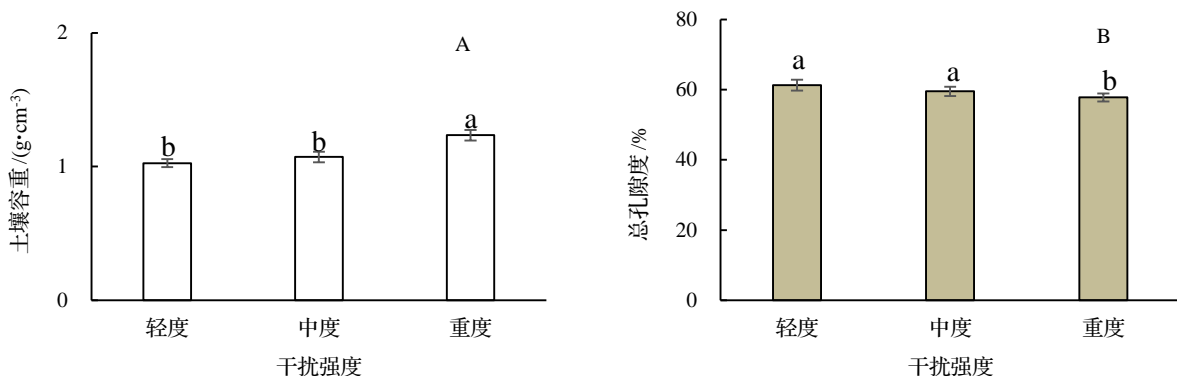
采用正态性检验和方差齐性检验确定数据分布状态后,利用单因素方差分析检验土壤理化指标在不同干扰强度以及不同干扰距离之间的统计显著性;分析干扰核心区和缓冲区土壤理化特征相对于背景区的变化及其在不同干扰强度下的差异。

数据统计分析在SPSS 19.0中完成,图表制作在Microsoft Excel 2010中完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同干扰强度对土壤理化性质的影响

由不同干扰强度下土壤容重和总孔隙度的比较结果显示(图2),重度干扰下的土壤容重(1.23 g·cm<sup>-3</sup>)显著高于轻度(1.03 g·cm<sup>-3</sup>)和中度(1.07 g·cm<sup>-3</sup>)干扰的( $P < 0.05$ );而重度干扰的土壤总孔隙度(57.8%)则显著低于轻度(61.3%)和中度(59.6%)干扰的( $P < 0.05$ )。



注:标记不同小写字母表示不同干扰强度在0.05水平下达到显著差异,下同。

图2 不同干扰强度对土壤容重(A)和总孔隙度(B)的影响(平均值±标准误, n=12)

Figure 2 Effect of different trampling intensities on soil bulk density (A) and total porosity (B)

由不同干扰强度下土壤含水率、全氮含量和有机碳含量的比较结果显示(图3),轻度干扰和中度干扰下的土壤含水率(18.0%和16.6%)之间无显著差异( $P > 0.05$ ),但二者均显著高于重度干扰的(16.6%)( $P < 0.05$ );土壤全氮含量随着干扰强度的增加而逐渐下降,轻度干扰的土壤全氮含量( $2.2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )显著高于中度和重度干扰土壤的全氮含量( $1.9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $1.8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )( $P < 0.05$ );中度和重度干扰下土壤有机碳含量( $19.3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $21.2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )之间无显著差异,但是二者均显著低于轻度干扰的土壤有机碳含量( $26.8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )( $P < 0.05$ )。

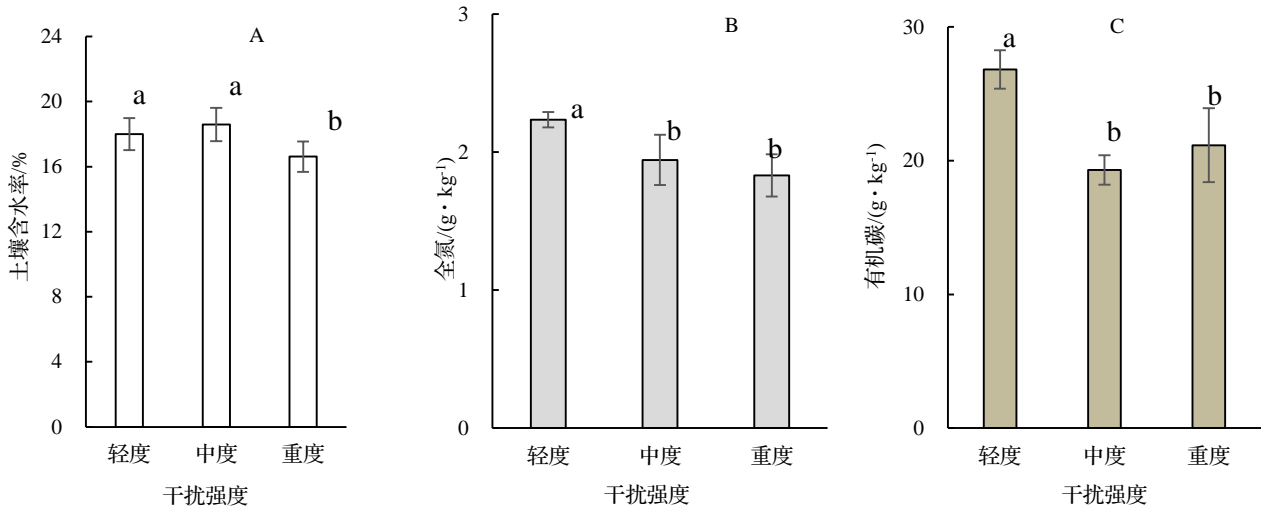


图3 不同干扰强度对土壤含水率(A)、全氮含量(B)和有机碳含量(C)的影响(平均值±标准误, n=12)

Figure 3 Effect of different trampling intensities on content of soil moisture content (A), total nitrogen (B) and organic carbon (C)

## 2.2 不同干扰距离对土壤理化性质的影响

将不同干扰强度的同一类干扰距离样点的平均值进行比较,如图4和图5。由图4和图5可知,不同干扰距离样点的土壤理化性质之间均存在显著差异( $P < 0.05$ )。干扰核心区的土壤容重( $1.29 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )显著高于缓冲区的( $1.07 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )和背景区的( $0.97 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ );而缓冲区的土壤容重显著高于背景区的( $P < 0.05$ )。核心区的土壤总孔隙度(52.5%)显著低于缓冲区和背景区的(60.7%和65.4%),同时,缓冲区的土壤总孔隙度显著低于背景区的( $P < 0.05$ )。

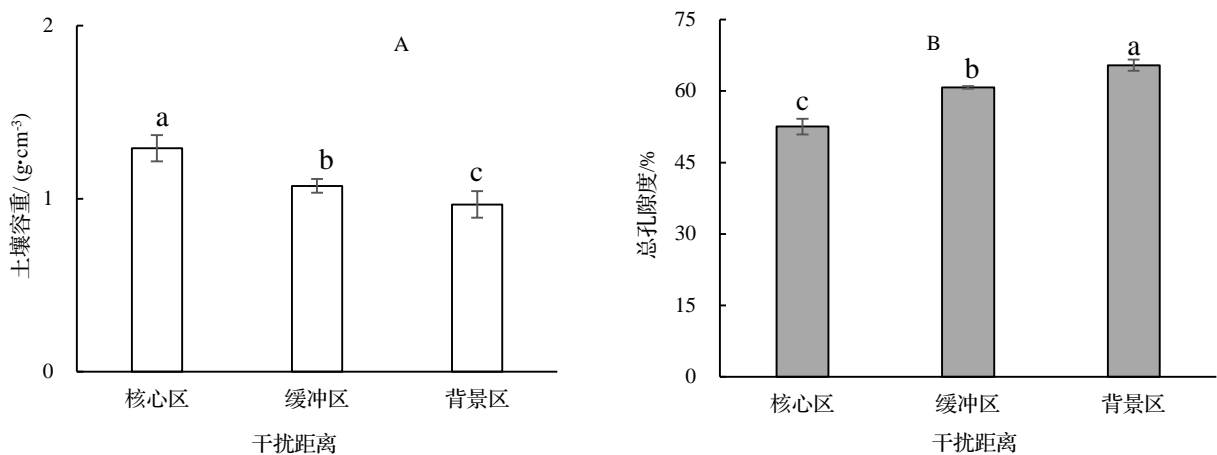


图4 不同干扰距离对土壤容重(A)与总孔隙度(B)的影响(平均值±标准误, n=3)

Figure 4 Effect of trampling distances on soil bulk density (A) and total porosity (B)

核心区的土壤含水率(14.1%)显著低于缓冲区(17.8%)和背景区(21.3%)的,缓冲区的土壤含水率显著低于背景区的( $P < 0.05$ )。核心区和缓冲区的土壤全氮含量( $1.8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $1.9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )之间无显著差异,但二

者均显著低于背景区的 ( $2.2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) ( $P < 0.05$ , 图 5)。核心区的土壤有机碳含量 ( $20.7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 与缓冲区之间无显著差异, 但是显著低于背景区和 ( $25.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) ( $P < 0.05$ )。

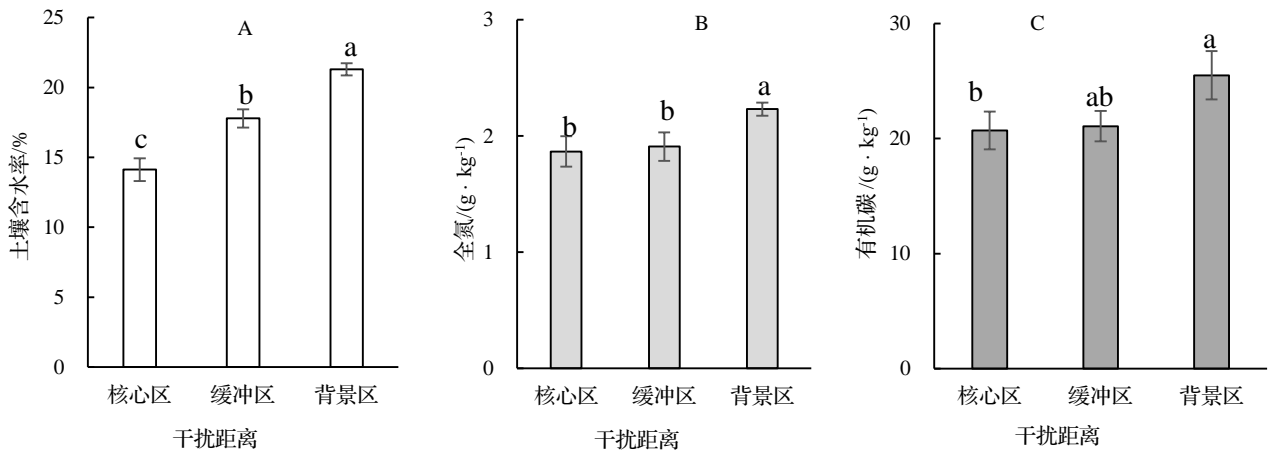


图 5 不同干扰距离对土壤含水率 (A)、全氮含量 (B) 和有机碳含量 (C) 的影响 (平均值±标准误, n=3)

Figure 5 Effect of different trampling distances on content of soil moisture(A), total nitrogen (B) and soil organic carbon (C)

### 2.3 不同干扰距离区域土壤理化性质随干扰强度的变化

对不同干扰强度区域土壤的理化性质的分析发现, 就土壤总孔隙度和土壤容重而言, 缓冲区与背景区之间的差异显著低于核心区与背景区之间的差异 ( $P < 0.05$ ); 缓冲区与背景区之间的差异随着干扰强度的增加而下降; 核心区与背景区之间的差异则在重度干扰下达到最大 (图 6)。

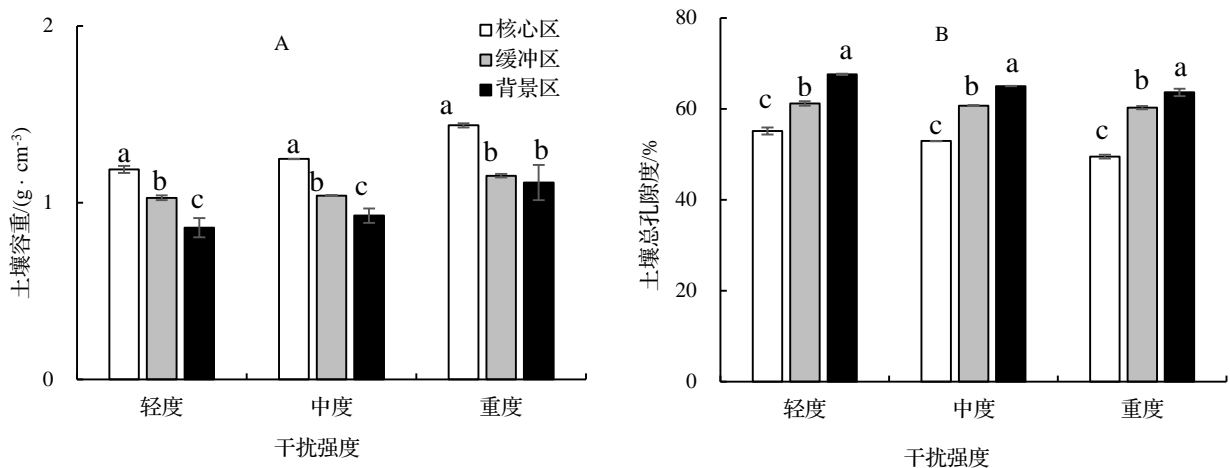


图 6 不同干扰强度下各干扰距离之间的土壤容重 (A) 和总孔隙度 (B) 差异比较 (平均值±标准误, n=4)

Figure 6 Comparison on soil bulk density (A) and soil porosity (B) among different disturbance distances under different disturbance intensities

## 3 讨论

### 3.1 干扰强度对土壤理化特征的影响

本研究发现, 旅游干扰对土壤物理指标如土壤容重、总孔隙度和含水率的影响因干扰强度而异, 仅在重度干扰下表现为差异显著 ( $P < 0.05$ )。这与张淑花等在黑龙江二龙山的研究结果相一致, 后者研究也发现, 重度干扰显著增加土壤容重, 并降低土壤总孔隙度和含水率<sup>[16]</sup>。这表明土壤总孔隙度和含水率对轻度的踩踏具有一定的抗性, 其原因可能有两方面, 首先, 土壤自身的团粒组成对外界干扰有一定的抵抗能力, 并且冬季短暂的冻融过程有助于土壤表层结构的恢复<sup>[17]</sup>; 其次, 植物根系的贯穿作用及土壤动物 (如蚯蚓 *Lumbricus* sp. 等)

活动有助于短期干扰下土壤物理特征的恢复。然而,在游客活动强烈的重度干扰下,土壤自身结构及植物和动物活动难以抵消旅游活动的干扰。与土壤物理性质不同的是,土壤化学指标如土壤有机碳含量和全氮含量在中度干扰下就表现为显著的下降,这意味着,土壤化学性质相比物理性质更容易受到干扰活动的影响。这与孙飞达等在若尔盖草原上的研究结果相近。后者的研究发现,与背景区样地相比,轻度干扰就能导致土壤全氮和有机碳含量的显著下降<sup>[17]</sup>。首先,土壤化学性质受到母质及植物器官凋落物输入的影响,游客活动及景区常规管理都会降低地面植物凋落物的输入量<sup>[18]</sup>;其次,土壤微生物活动在干扰下可能会降低,从而降低对凋落物的分解作用<sup>[19]</sup>。因此,土壤化学性质比物理性质对干扰的响应更为敏感,这意味着旅游活动可能会加剧森林土壤中碳、氮的损失。

### 3.2 干扰距离对土壤理化特征的影响

本研究发现,与背景区相比,旅游干扰导致土壤容重与总孔隙度的变化在核心区和缓冲区具有不同的趋势。具体表现为,旅游活动导致核心区土壤容重和总孔隙度变化随干扰强度的增加而增加;然而,旅游活动导致的缓冲区土壤容重和总孔隙度变化随干扰强度的增加而降低。根据调查,核心区的游客聚集数量和活动强度随着干扰强度的增加均呈增加趋势,因此对土壤物理性质(容重和总孔隙度)的负面影响趋于增加。缓冲区与核心区有一定的距离,相比于设施不全的轻度干扰(游客步道)和中度(波尔登纪念亭)干扰景点,本研究中的重度干扰景点(游乐园)集合了娱乐、休闲和餐饮等设施,游客活动范围相对集中,加之长途跋涉劳累,游客很少再到缓冲区域内活动,因此,就形成了干扰对缓冲区部分物理指标的影响较弱的现象,这表明游客干扰对土壤理化特征的影响受干扰距离的影响。

## 4 结论

通过对河南鸡公山国家级自然保护区中波尔登森林公园不同干扰强度和干扰距离区域的土壤理化特征的分析表明,土壤物理特征如土壤容重和总孔隙度仅在重度干扰下发生显著变化,然而,土壤化学特征如土壤有机碳和全氮含量则在中度和重度干扰下均表现为显著的下降。本研究结果表明,森林土壤的物理和化学特征对旅游活动干扰的响应敏感性存在差异,这与不同指标的形成和产生过程有关。此外,森林土壤理化特征对干扰的响应程度还受干扰距离的影响,干扰核心区土壤理化性质更易于发生变化。因此,在评价基于自然资源的风景区旅游活动与生态环境状况时,需要同时考虑干扰强度和干扰距离的差异性影响,这也是景区管理部门在考量接待能力和环境承载能力时要权衡的。

### 参考文献:

- [1] 张帅帅,崔耀平,傅声雷,等.中国森林面积变化及其温室气体储量模拟研究[J].生态学报,2020,40(4):17-26.
- [2] 李鹏,濮励杰,章锦河.旅游活动对土壤环境影响的国内研究进展[J].地理科学进展,2012,31(8):1097-1105.
- [3] XIANG Y, MENG J, YOU N, et al. Spatio-temporal analysis of anthropogenic disturbances on landscape pattern of tourist destinations: a case study in the Li River Basin, China[J]. Sci Rep, 2019, 9: 19285.
- [4] SUJETOVIENĖ G, BARANAUSKIENĖ T. Impact of visitors on soil and vegetation characteristics in urban parks of Central Lithuania[J]. Environ Res Engin Manag, 2016, 72(3):51-58.
- [5] 朱芳,白卓灵,陈耿,等.旅游活动对武当山风景区生态环境的影响[J].林业资源管理,2015(3):89-95.
- [6] 陆林,巩劫,晋秀龙.旅游干扰对黄山风景区土壤的影响[J].地理研究,2011,30(2):209-223.
- [7] 张晓芹,孙磊,张强.旅游干扰对济南千佛山风景区土壤部分生态因子的影响[J].水土保持学报,2015,29(4):332-336.
- [8] 王舒甜,张金池,郑丹扬,等.钟山风景区土壤环境对人为踩踏扰动的响应[J].林业科学,2017,53(8):9-16.
- [9] 肖艳,林华,陈其兵,等.游憩活动对王朗自然保护区土壤环境的影响[J].成都大学学报(自然科学版),2016,35(3):289-295.
- [10] 李灵,张玉,江慧华,等.旅游干扰对武夷山风景区土壤质量的影响[J].水土保持研究,2009,16(6):56-62.
- [11] SHERMAN C, UNC A, DONIGER T, et al. The effect of human trampling activity on a soil microbial community at the Oulanka Natural

