

旅游干扰对鄱阳湖国家湿地公园土壤酶活性及水质的影响

李武陵

(石河子大学 政法学院 旅游系, 新疆 石河子 832000)

摘要:采用野外采样调查与实验室分析相结合的方法,对不同旅游干扰强度(High Disturbance, HD; Middle Disturbance, MD; Lower Disturbance, LD)下的湿地公园土壤酶活性及水质进行了研究。结果表明:随旅游干扰强度的增加,土壤蔗糖酶、脱氢酶、脲酶和磷酸酶活性均明显降低,MD,HD与对照达到显著差异水平($p < 0.05$),而LD与对照未达到显著差异水平($p > 0.05$),即轻度旅游干扰对土壤酶活性影响并不大;土壤酶活性垂直分布均表现出明显的“表聚性”,而旅游干扰导致土壤酶活性的“表聚性”趋于消失,并且旅游干扰并没有影响深层(40—60 cm)土壤酶活性;从土壤酶活性的变化幅度来看,土壤蔗糖酶活性和脲酶活性可以作为鄱阳湖湿地公园土壤健康状况的指示指标;随旅游干扰强度的增加,TN,TP, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, BOD_5 , COD_{Cr} 和高锰酸钾指数均明显增加,TP, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 增加幅度较大,对旅游干扰表现较为敏感,其中MD,HD水质中TN,TP, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, BOD_5 , COD_{Cr} 和高锰酸钾指数与对照达到显著差异水平($p < 0.05$),表明了旅游干扰降低了鄱阳湖国家湿地公园水质状况,导致其水质出现轻微的富营养化,但轻度旅游干扰对鄱阳湖水水质影响并不大。相关分析结果显示鄱阳湖国家湿地公园土壤酶活性与水质状况呈显著或极显著正相关,由此表明旅游干扰条件下,土壤水质状况更大程度上依赖于土壤酶活性。

关键词:旅游干扰; 鄱阳湖国家湿地公园; 土壤酶活性; 水质

中图分类号:S154.2; Q938

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)03-0061-06

Impacts of Tourist Disturbance on Soil Enzyme Activity and Water Quality in Poyang Lake National Wetland Park

LI Wuling

(Department of Tourism of Politics and Law College, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

Abstract: The impacts of tourist disturbances (High Disturbance, HD; Middle Disturbance, MD; Lower Disturbance, LD) on soil enzyme activity and water quality in Poyang Lake National Wetland Park were analyzed based on the field investigation and the laboratory analysis. The results showed that the activities of soil urease, sucrase, dehydrogenase and phosphatase significantly decreased with the increase of tourist disturbance in tensities, MD and HD were significantly different from CK ($p < 0.05$), LD was not significant difference with CK ($p > 0.05$), the middle tourist disturbance had no effect on soil enzyme activity. The vertical distribution of soil enzyme activity had obvious surface accumulation, the surface accumulation tended to wear off because of tourist disturbance, and tourism disturbance had no effect on soil enzyme activity in 40—60 cm depth. Soil invertase and urease activities could be used as the indicators of soil health in Poyang Lake Wetland Park because their rangeability was larger. TN, TP, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, BOD_5 , COD_{Cr} and permanganate index significantly increased with the increase of tourist disturbance, TN and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ were sensitive to tourist disturbance. The contents of TN, TP, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, BOD_5 , COD_{Cr} and permanganate index of MD and HD were significant difference with CK ($p < 0.05$), which indicated that tourist disturbance had reduced the water quality of Poyang Lake National Wetland park and led to the light water eutrophication, however, the middle disturbance (MD) had the slight effect on the water quality of Poyang Lake National Wetland park. Correlation analysis indicated that the soil enzyme activity was significantly or extremely significantly positively related to the water quality, which suggested that the soil water quality was more dependent on the soil enzyme activity.

Keywords: tourist disturbance; Poyang Lake National Wetland Park; soil enzyme activity; water quality

鄱阳湖是我国最大的淡水湖泊,是具有国际性保护意义的淡水湿地生态系统^[1-4]。鄱阳湖处于长江中下游交接处南岸,承接赣江、抚河、信江、饶河及修水五大河之水,是一个天然吞吐型、季节性湖泊,并且是长江水量的巨大调节器^[1-5]。作为国家级自然保护区的鄱阳湖国家湿地公园,主要以特殊的生态、文化、美学和生物多样性为特色,在对其进行旅游开发时要充分保护生态系统完整性、维护湿地生态过程和生态服务功能^[1-2,6-8]。近年来大量的旅游活动造成了鄱阳湖水文出现异常、水环境质量不断下降、水体富营养化,也进一步加剧冬季枯水期时间提前、水位连续下降等问题^[1,5,9-11]。研究旅游带来的环境影响并且实施相应的预防措施,对鄱阳湖国家湿地公园未来的发展具有重大意义。就目前的研究结果来看,针对旅游活动下鄱阳湖土壤及水质状况的研究尚且较少。鉴于此,本文研究鄱阳湖南矶湿地土壤酶活性及水质状况,探讨旅游干扰条件下土壤酶及水质状况的相关关系,以利于进一步理解旅游干扰的生态影响效应与机制,为鄱阳湖湿地生态系统的管理、保护及可持续开发与利用提供一定的数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区选在江西南矶山自然保护区内(28°52′21″—29°06′46″N,116°10′24″—116°23′50″E),该保护区位于鄱阳湖主湖区南部,总面积为33 300 hm²,地处赣江北支、中支和南支汇入鄱阳湖开放水域冲积形成的三角洲前缘,海拔12~16 m,湖泊仅有20~80 cm深,湖水的pH值7.0~7.6。该区属于亚热带气候,年降水量1 400~1 900 mm,4—6月为雨季,10月至翌年3月为旱季,年平均气温17℃,夏季最高气温40℃,1月份平均气温5℃,最低-4℃。受鄱阳湖季节性周期性水文变化的影响,整个保护区在丰水季节(4—9月)除总面积不足4 km²的南山岛和矶山岛以外,其他湖泊和草洲全被洪水淹没,10月份湖水逐渐消退归入河道和一些碟形洼地,保护区内不同高程洲滩相继出露,整个三角洲地区成为河、湖、洲交错状态,这种特殊的状态使得保护区内出现了大量土壤肥沃、水热条件充裕的洲滩和浅滩。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置及样品采集 2013年8月,在鄱阳湖国家湿地公园南矶山自然保护区内选取了不同的旅游步道附近的5个样地,根据步道级别的不同,将5个样地分为高度干扰(High disturbance, HD, 游人干扰最多,人为干扰痕迹明显,有大量的旅游垃圾和游人踩踏的痕迹)、中度干扰(Middle disturbance, MD, 游人干扰较多,有一些旅游垃圾和游人踩踏的

痕迹)、轻度干扰(Lower disturbance, LD, 游人干扰较少,偶有游人到达,人类干扰的痕迹很少),对照区域选择几乎无游人干扰区域(CK)。每个样地分别在不同旅游干扰类型及对照设置3个采样点(重复),每个采样点用五点取样法分别采集0—20, 20—40, 40—60 cm土样,装入自封袋中,带回实验室测定土壤酶活性,同时在每个采样点附近取对应的水样。

1.2.2 样品的采集和测定 土壤蔗糖酶活性采用3,5-二硝基水杨酸比色法[mg/(g·24h)];脲酶活性采用苯酚钠比色法[mg/(g·24h)];磷酸酶活性测定采用磷酸苯二钠法[mg/(g·24h)];过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法[U/(g·h)];转化酶活性采用分光光度法[mg/(g·24h)];硝酸还原酶活性采用磺胺比色法[mg/(g·24h)]^[12-13]。

水质测定项目包括TN, TP, NH₄⁺-N, BOD₅, COD_{Cr}和高锰酸钾指数;BOD₅采用稀释接种法;COD_{Cr}采用重铬酸钾氧化法;NH₄⁺-N采用纳氏试剂分光光度法;TN采用过硫酸钾—紫外分光光度法;TP采用钼锑抗分光光度法;酸性高锰酸钾法测定高锰酸盐指数^[14]。

1.3 数据处理

利用Excel 2003和SPSS 18.0对数据统计,统计学检验采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著法(LSD), Pearson相关性系数检验土壤酶活性与水质指标的相关性,作图采用Origin 7.5。

2 结果与分析

2.1 旅游干扰对鄱阳湖国家湿地公园土壤酶活性的影响

由图1可知,随着旅游强度的增大,各种土壤酶活性逐渐降低,但降低的幅度略有差异。土壤硝酸还原酶、脲酶、酸性磷酸酶、转化酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性变化范围为1.86~2.25 [mg/(g·min)], 2.56~6.28 [mg/(g·24h)], 3.12~6.59 [mg/(g·24h)], 1.23~5.23 [U/(g·h)], 0.56~2.13 [mg/(g·24h)], 1.98~3.25 [mg/(g·24h)]。与对照相比,LD, MD, HD硝酸还原酶活性分别降低了1.78%, 14.22%, 17.33%;LD, MD, HD脲酶活性分别降低了10.99%, 44.59%, 59.24%;LD, MD, HD酸性磷酸酶活性分别降低了7.13%, 35.67%, 52.66%;LD, MD, HD转化酶活性分别降低了4.02%, 46.85%, 76.48%;LD, MD, HD蔗糖酶活性分别降低了3.31%, 54.46%, 73.71%;LD, MD, HD过氧化氢酶活性分别降低了5.54%, 28.92%, 39.08%。转化酶活性和蔗糖酶活性变化幅度较大,对旅游干扰表现较为敏感,可以作为鄱阳湖湿地公园

土壤健康状况的指示指标;土壤硝酸还原酶、脲酶、酸性磷酸酶、转化酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性均表现为 LD 与对照差异不显著($p>0.05$),MD 与 HD 差

异不显著($p>0.05$),而 LD 和对照显著高于 MD 与 HD($p<0.05$),由此表明了旅游干扰降低了土壤酶活性,但轻度旅游干扰对土壤酶活性影响并不大。

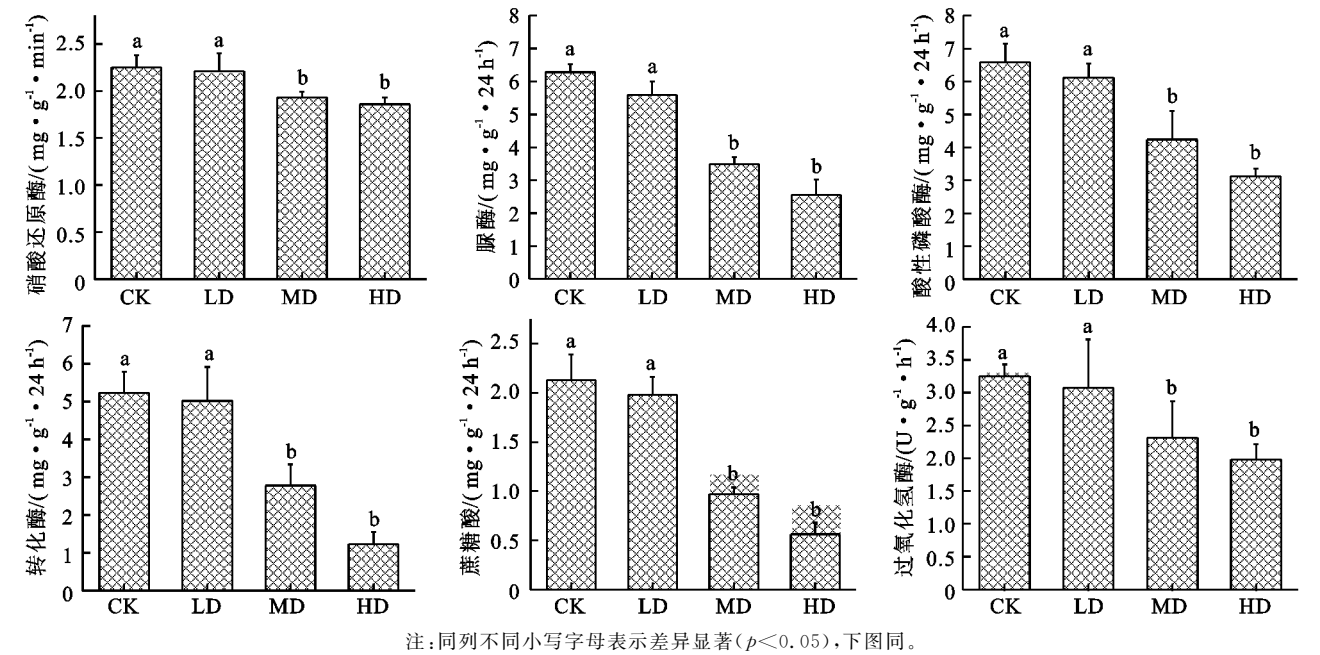


图 1 旅游干扰对鄱阳湖国家湿地公园土壤酶活性的影响

2.2 不同旅游干扰强度下土壤酶活性垂直分布

由图 2 可知,旅游干扰对土壤酶活性垂直分布具有显著影响,随着土层深度的增加,CK,LD,MD,HD 土壤各种酶活性均呈降低趋势,表现出明显的“表聚性”。LD,CK 土壤表层(0—20 cm)以下土壤酶活性急剧降低,并且均显著高于 20—40 cm 土层;在旅游干扰条件下,MD,HD 土壤各种酶活性并没有表现出

明显的垂直变化规律,也即表层(0—20 cm)土壤各种酶活性与深层土壤基本达到一致;同层相比,基本呈现 $CK>LD>MD>HD$ 规律,局部有所波动,CK,LD,MD,HD 土壤各种酶活性在 40—60 cm 土层基本相等,也即旅游干扰导致土壤酶活性的“表聚性”趋于消失,并且旅游干扰并没有影响深层(40—60 cm)土壤酶活性。

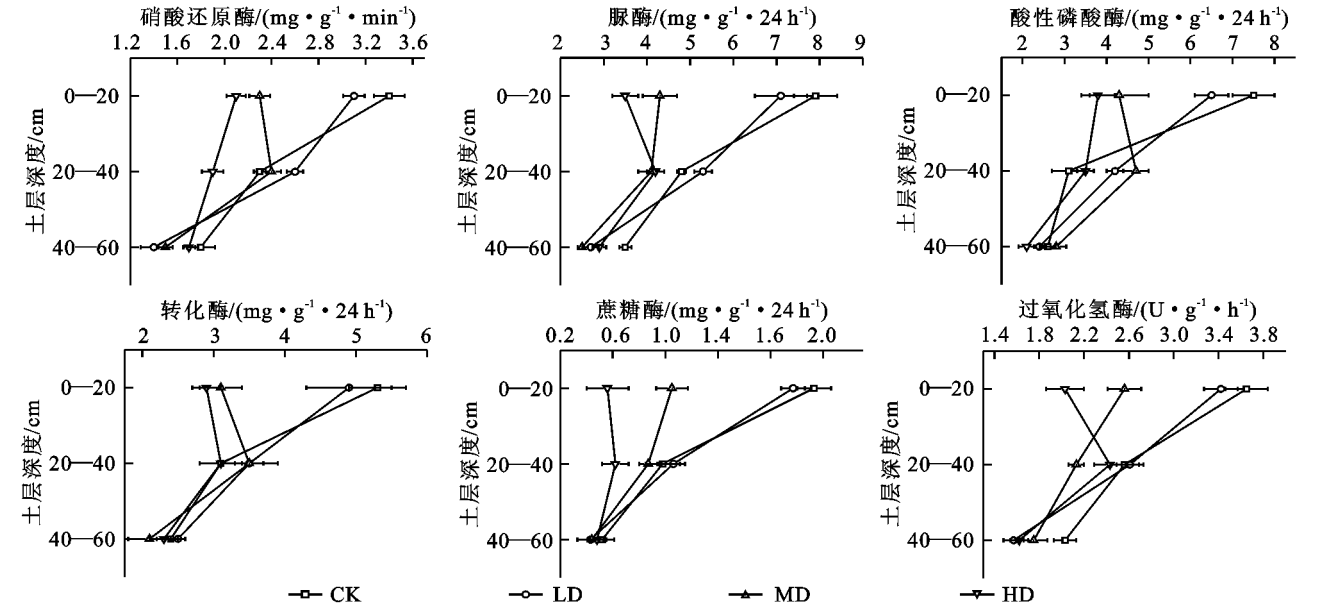


图 2 不同旅游干扰强度下土壤酶活性垂直分布

2.3 旅游干扰对鄱阳湖国家湿地公园水质的影响

由图 3 可知,旅游干扰增加了鄱阳湖水水质 TN, TP, NH_4^+-N , BOD_5 , COD_{Cr} 和高锰酸钾指数浓度,鄱

阳湖水水质 TN, TP, NH_4^+-N , BOD_5 , COD_{Cr} 和高锰酸钾指数浓度变化范围为 3.25~5.53, 0.08~0.32, 1.65~4.56, 56.3~86.7, 92.7~185.3, 4.5~7.3

mg/L;与对照相比,LD,MD,HD 水质 TN 分别降低了 16.31%,57.54%,70.15%;LD,MD,HD 水质 TP 分别降低了 62.50%,250.00%,300.00%;LD,MD,HD 水质 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 分别降低了 29.09%,145.45%,176.36%;LD,MD 和 HD 水质 BOD_5 分别降低了 9.24%,44.23%,54.00%;LD,MD,HD 水质 COD_{Cr} 分别降低了 19.96%,78.86%,99.89%;LD,MD,HD 水质高锰酸钾指数浓度分别降低了 8.89%,53.33%,62.22%;以 TP 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 下降幅度较大,对旅游干

扰表现较为敏感。鄱阳湖水质 TN, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, BOD_5 和高锰酸钾指数均表现为 LD 与对照差异不显著($p>0.05$),MD,HD 差异不显著($p>0.05$),而 LD 和对照显著低于 MD 与 HD($p<0.05$);TP 浓度 CK,LD 显著低于 MD,HD($p<0.05$),而 MD,HD 未达到差异显著水平($p>0.05$), COD_{Cr} 浓度 CK,LD 显著低于对照($p<0.05$),由此表明了旅游干扰降低了鄱阳湖国家湿地公园水质状况,导致其水质出现轻微的富营养化,但轻度旅游干扰对鄱阳湖水质影响并不大。

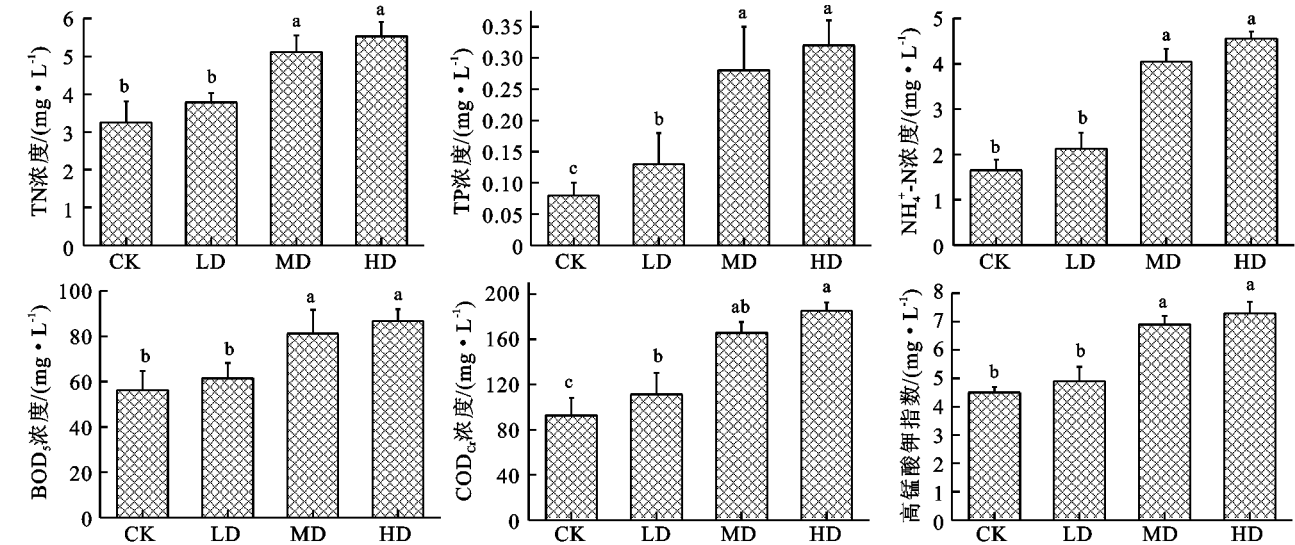


图 3 旅游干扰对鄱阳湖国家湿地公园水质的影响

2.4 土壤酶活性与水质之间相关性

由表 1 可知,土壤硝酸还原酶活性与 TN,TP, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和高锰酸钾指数呈极显著正相关($p<0.01$),与 BOD_5 呈显著正相关($p<0.05$);脲酶活性与 TN 和高锰酸钾指数呈极显著正相关($p<0.01$),与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 COD_{Cr} 呈显著正相关($p<0.05$);酸性磷酸酶活性与 TN,TP, BOD_5 和高锰酸钾指数呈极显著正相关($p<0.01$),与 COD_{Cr} 呈显著正相关($p<0.05$);转化酶与 TN,TP, BOD_5 和高锰酸钾指数呈极

显著正相关($p<0.01$),与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 呈显著正相关($p<0.05$);蔗糖酶与 TP, BOD_5 , COD_{Cr} 和高锰酸钾指数呈极显著正相关($p<0.01$),与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 呈显著正相关($p<0.05$);过氧化氢酶与 TN,TP, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, COD_{Cr} 和高锰酸钾指数呈极显著正相关($p<0.01$),与 BOD_5 呈显著正相关($p<0.05$)。旅游干扰下土壤酶活性与水质状况基本呈显著或极显著正相关,由此表明旅游干扰条件下,土壤水质状况更大程度上依赖于土壤酶活性。

表 1 土壤酶活性与水质之间相关性

项 目	硝酸还原酶	脲酶	酸性磷酸酶	转化酶	蔗糖酶	过氧化氢酶
TN	0.523**	0.714**	0.668**	0.842**	0.315	0.546**
TP	0.612**	0.321	0.514**	0.759**	0.568**	0.723**
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	0.712**	0.423*	0.321	0.446*	0.423*	0.235
BOD_5	0.413*	0.357	0.556**	0.598**	0.713**	0.421*
COD_{Cr}	0.102	0.498*	0.478*	0.275	0.756**	0.654**
高锰酸钾指数	0.654**	0.674**	0.713**	0.812**	0.624**	0.817**

注:**表示相关性在 0.01 水平上显著(双尾);*表示相关性在 0.05 水平上显著(双尾)。

3 结论与讨论

本研究表明鄱阳湖国家湿地公园土壤酶活性受旅游干扰影响较为明显,土壤酶活性随着旅游干扰强

度的增加而逐渐减小,主要是由于旅游践踏导致土壤有机质含量减少,并且加剧了土壤养分的流失,进而引起土壤微生物活性及酶活性的降低^[15-17],土壤酶活性的降低、游客的践踏行为和部分垃圾使得鄱阳湖国

家湿地公园水质状况更加恶劣,在此背景下,旅游活动对鄱阳湖国家湿地公园土壤及水质的影响形成了恶性循环。研究表明,不同强度的旅游干扰对土壤酶活性造成的影响程度不同,蔗糖酶活性是表征土壤碳素循环和土壤微生物代谢活性的重要酶,能够反映土壤有机碳累积与分解转化规律^[15,18],旅游干扰降低了土壤蔗糖酶活性,说明土壤中有有机物质的转化随干扰强度的增加而降低,植物的凋落物、根系的分泌物和衰亡的根降低了土壤有机物和土壤蔗糖酶转化的底物;土壤脱氢酶活性作为微生物氧化还原系统的指标,能较好地表征土壤中微生物的氧化能力^[19-21],旅游干扰抑制了微生物的生长和繁殖,从而一定程度上降低了脱氢酶活性及其来源;脲酶活性可用以指示土壤氮素循环及其相关的土壤活性,磷酸酶作为土壤中最活跃的一类酶^[15-17,22],能够促进有机磷化合物的水解和提高土壤磷元素的有效性。旅游干扰降低了土壤脲酶和磷酸酶活性;相比较而言,转化酶活性和蔗糖酶活性变化幅度较大,对旅游干扰表现较为敏感,可以作为鄱阳湖湿地公园土壤健康状况的指示指标;土壤硝酸还原酶、脲酶、酸性磷酸酶、转化酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性均表现为 LD 与对照差异不显著($p>0.05$),MD 与 HD 差异不显著($p>0.05$),而 LD 和对照显著高于 MD 与 HD($p<0.05$),由此表明了旅游干扰降低了土壤酶活性,但轻度旅游干扰对土壤酶活性影响并不大。

旅游干扰增加了鄱阳湖国家湿地公园水质 TN, TP, NH_4^+-N , BOD_5 , COD_{Cr} 和高锰酸钾指数浓度,旅游干扰对水质的影响主要依赖于植被和土壤微生物的变化^[5,23-24],重度旅游干扰下植被生长较为缓慢,而轻度干扰和对照区湿地植被大量生长和繁殖,有助于湿地植被根区微生物等的繁殖,对水质中 TN, TP, NH_4^+-N , BOD_5 , COD_{Cr} 和高锰酸钾指数的净化作用较为明显,因此,水质中 TN, TP, NH_4^+-N , BOD_5 , COD_{Cr} 和高锰酸钾指数较低;旅游干扰主要通过氨的挥发、硝化、反硝化过程、介质的吸附、微生物固氮和氮的迁移转化影响水质中的 N 循环,对 NH_4^+-N 的影响主要是通过好氧微生物的降解,P 的影响主要以吸附为主^[25-27],随旅游强度的增加,湿地植物的吸收作用、土壤物理化学作用及微生物降解均显著下降,好氧、兼性和厌氧微生物生境受到严重破坏,抑制了微生物的生长和繁殖,水质状况表现为轻微的富营养化。TN, NH_4^+-N , BOD_5 和锰酸钾指数均表现为 LD 与对照差异不显著($p>0.05$),LD 和对照显著低于 MD 与 HD($p<0.05$);TP 浓度 CK 和 LD 显著低于 MD 和 HD($p<0.05$), COD_{Cr} 浓度 CK 和 LD 显著低

于对照($p<0.05$),由此表明了旅游干扰降低了鄱阳湖水质,但轻度旅游干扰对鄱阳湖水质影响并不大。此外,在影响各类污染物的过程中微生物是主要承担者,旅游干扰严重影响了微生物酶活性,从而导致人工湿地对各指标的影响效果降低,相关分析结果显示旅游干扰区域土壤酶活性与水质状况基本呈显著或极显著正相关,由此表明旅游干扰条件下,土壤水质状况更大程度上依赖于土壤酶活性。

旅游干扰对土壤酶活性和水质的影响与特定干扰类型有很大关系,而旅游干扰影响土壤酶活性和水质的原因究竟与干扰类型有关还是与其他因素有关尚有待于进一步探讨。本研究中,与整个鄱阳湖国家湿地公园景区比较,研究区域范围尺度较小,就目前旅游生态影响研究结果看,旅游干扰主要在较小的时空尺度上表现较为显著,仍然缺乏长期效应,这种小尺度的短期效应是否能对整个土壤—水质生态系统造成明显影响在短期内无法明确,未来我们应在较大时空尺度上长期定点研究旅游干扰对生态环境的影响及其影响机制。

参考文献:

- [1] 崔丽娟. 鄱阳湖湿地生态系统服务功能价值评估研究[J]. 生态学杂志, 2004, 23(4): 47-51.
- [2] 祝建霞. 鄱阳湖国家湿地公园旅游环境影响评价研究[D]. 南昌: 江西财经大学, 2010.
- [3] 胡振鹏, 葛刚, 刘成林, 等. 鄱阳湖湿地植物生态系统结构及湖水位对其影响研究[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(6): 597-605.
- [4] 刘成林, 谭胤静, 林联盛, 等. 鄱阳湖水位变化对候鸟栖息地的影响[J]. 湖泊科学, 2011, 23(1): 129-135.
- [5] 陆建忠, 陈晓玲, 李辉, 等. 基于 GIS/RS 和 USLE 鄱阳湖流域土壤侵蚀变化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 337-344.
- [6] 吕咏, 陈克林. 国内外湿地保护与利用案例分析及其对镜湖国家湿地公园生态旅游的启示[J]. 湿地科学, 2007, 4(4): 268-273.
- [7] Lindeque M, Archibald T J. Seasonal wetlands in Owambo and Etosha National Park[J]. Madoqua, 1991, 17(2): 129-133.
- [8] Wang L L, Lu L, Dai J S. The herbaceous plant diversity dynamics under different disturbance and its flora in the conservation area of Taiping Lake National Wetland Park[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(8): 1306-1319.
- [9] 林波, 刘燕芳, 夏雨, 等. 鄱阳湖水质污染对湿地生态系统生态功能的影响[J]. 地质灾害与环境保护, 2004, 15(3): 21-25.
- [10] 万金保, 闫伟伟. 鄱阳湖水质富营养化评价方法应用及

- 探讨[J]. 江西师范大学学报:自然科学版, 2007, 31(2):210-214.
- [11] 李荣昉, 张颖. 鄱阳湖水质时空变化及其影响因素分析[J]. 水资源保护, 2012, 27(6):9-13.
- [12] 周礼恺, 张志明. 土壤酶活性的测定方法[J]. 土壤通报, 1980, 5(1):37-38.
- [13] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京:气象出版社, 2006.
- [14] Huang L, Gao X, Liu M, et al. Correlation among soil microorganisms, soil enzyme activities, and removal rates of pollutants in three constructed wetlands purifying micro-polluted river water[J]. Ecological Engineering, 2012, 46:98-106.
- [15] 谭周进, 肖启明, 杨海君, 等. 旅游对张家界国家森林公园土壤酶及微生物作用强度的影响[J]. 自然资源学报, 2006, 21(1):133-138.
- [16] 王芸, 韩宾, 史忠强, 等. 保护性耕作对土壤微生物特性及酶活性的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4):120-123.
- [17] 杨海君, 肖启明, 谭周进, 等. 放牧对张家界索溪峪景区土壤酶活性及微生物作用强度的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4):913-917.
- [18] 唐玉姝, 慈恩, 颜廷梅, 等. 太湖地区长期定位试验稻麦两季土壤酶活性与土壤肥力关系[J]. 土壤学报, 2008, 45(5):1000-1006.
- [19] 滕应, 黄昌勇. 重金属污染土壤的微生物生态效应及其修复研究进展[J]. 土壤与环境, 2002, 11(1):85-89.
- [20] 杨海君, 肖启明, 谭周进, 等. 放牧对张家界索溪峪景区土壤酶活性及微生物作用强度的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4):913-917.
- [21] 陈苏, 孙丽娜, 晁雷, 等. 基于土壤酶活性变化的铅污染土壤修复基准[J]. 生态环境学报, 2010, 19(7):1659-1662.
- [22] 王俊华, 尹睿, 张华勇, 等. 长期定位施肥对农田土壤酶活性及其相关因素的影响[J]. 生态环境, 2007, 16(1):191-196.
- [23] 王晶, 包维楷, 何丙辉, 等. 旅游活动对九寨沟地表径流氮磷流失的影响研究[J]. 生态环境, 2006, 15(2):284-288.
- [24] 赵美风, 席建超, 葛全胜. 六盘山生态旅游区水质变化对人类旅游活动干扰的动态响应[J]. 资源科学, 2011, 33(9):1815-1821.
- [25] Kerr Y H, Waldeufel P, Wigneron J P, et al. The smos mission: New tool for monitoring key elements of the global water cycle[J]. Proceedings of the IEEE, 2010, 98(5):666-687.
- [26] Hoek J P. Towards a climate neutral water cycle[J]. Journal of Water and Climate Change, 2012, 3(3):163-170.
- [27] Rozos E, Makropoulos C. Source to tap urban water cycle modelling [J]. Environmental Modelling & Software, 2013, 41:139-150.

(上接第60页)

参考文献:

- [1] 姜凌, 李佩成, 胡安焱, 等. 干旱区绿洲土壤盐渍化分析评价[J]. 干旱区地理, 2009, 32(2):234-239.
- [2] 王水献, 董新光, 杜卫东. 新疆阿瓦提灌区土壤盐渍化现状及特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(5):170-175.
- [3] 刘庆生, 刘高焕, 励惠国. 辽河三角洲土壤盐渍化现状及特征分析[J]. 土壤学报, 2004, 41(2):190-195.
- [4] Keiffer C H, Ungar I A. Germination and establishment of halophytes on brine-affected soils[J]. Journal of Applied Ecology, 2002, 39(3):402-415.
- [5] 陈双生. 4种作物对河西走廊盐渍化土壤的改良效果[J]. 甘肃农业科技, 2008(7):21-23.
- [6] 张建锋. 盐碱地的生态修复研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(4):74-78.
- [7] 章英才, 张晋宁. 白茎盐生草叶片结构与盐生环境关系的研究[J]. 宁夏农学院学报, 2002, 23(1):30-32.
- [8] 于晓, 严成, 魏岩. 盐生草(*Halogeton glomeratus*)二型种子的休眠与萌发[J]. 生态学报, 2009, 29(3):1616-1621.
- [9] 王文, 张德罡. 白茎盐生草对盐碱土壤的改良效果[J]. 草业科学, 2011, 28(6):902-904.
- [10] 刘景双, 朱颜明, 黄锡畴, 等. 长白山岳桦林化学元素生物地球化学分析[J]. 地理科学, 1998, 18(5):457-462.
- [11] 付秋萍, 张江辉, 王全九, 等. 塔里木盆地土壤盐分变化特征分析[J]. 自然科学进展, 2007, 17(8):1091-1097.
- [12] 李彬, 王志春, 梁正伟, 等. 苏打碱化土壤盐分离子与相关性分析[J]. 土壤通报, 2007, 38(4):653-656.
- [13] 王勇辉, 王艳丽, 海米提·依米提, 等. 博尔塔拉河下游河岸带土壤盐分特征分析[J]. 水土保持研究, 2012, 19(5):139-142.
- [14] 郭全恩, 王益权, 郭天文, 等. 半干旱盐渍化地区果园土壤盐分离子相关性研究[J]. 土壤, 2009, 41(4):664-669.
- [15] 张鸣, 张力, 石晓妮, 等. 民勤绿洲盐生草生境土壤盐分特征及离子组成[J]. 水土保持通报, 2014, 34(6):231-235.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [17] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社, 1993.
- [18] 朱祖祥. 土壤学(下册)[M]. 北京:农业出版社, 1984.
- [19] 廖小妹, 张炼辉, 李丽容, 等. 珍珠豆型花生品种性状相关与偏相关分析[J]. 中国油料作物学报, 1989(1):29-31.
- [20] 严丽坤. 相关系数与偏相关系数在相关分析中的应用[J]. 云南财贸学院学报, 2003, 19(3):78-80.