

DOI: 10.5846/stxb201906251341

段桂兰, 朱寅健. 旅游干扰对土壤生态系统影响的研究进展. 生态学报, 2019, 39(22): - .

Duan G L, Zhu Y J. Review on the effects of tourism disturbance on soil ecosystem. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(22): - .

旅游干扰对土壤生态系统影响的研究进展

段桂兰¹, 朱寅健^{2,*}

¹ 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085

² 上饶师范学院, 上饶 334001

摘要: 为了解旅游对土壤生态环境的影响, 综述了近 40 年来有关旅游干扰对土壤环境因子、植物、土壤动物和土壤微生物影响的研究进展。旅游干扰致使土壤紧实度、容重、pH、重金属含量升高, 氮(N)、磷(P)、水分、有机质含量降低; 旅游干扰导致地表植物的高度、盖度、多样性、丰富度、均匀度下降, 伴人种植物增多; 游客活动区土壤动物的种类、数量、密度均小于缓冲区和背景区, 土壤线虫、节肢动物对旅游干扰比较敏感; 旅游干扰使土壤酶活性、微生物丰度与多样性显著下降。旅游干扰对土壤生态系统的上述影响与游道、步道等游客活动中心地带的距离呈负相关。将来可构建旅游地生态数据库, 从个体、细胞、分子等微观水平深入探讨旅游干扰对土壤生态系统的胁迫机理, 发展旅游与环境的和谐共生关系, 实现旅游业的可持续发展。

关键词: 旅游干扰; 土壤生态系统; 环境因子; 植物; 土壤动物; 土壤微生物

Review on the effects of tourism disturbance on soil ecosystem

DUAN Guilan¹, ZHU Yinjian^{2,*}

¹ Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

² Shangrao Normal University, Shangrao 334000, China

Abstract: In order to understand the impact of tourism on ecological environment, the research progresses of the impacts of tourism disturbance on soil ecosystem in the past 40 years were reviewed, including the impacts on soil environmental factors, plants, soil fauna, and microbes. Tourism disturbance increased of soil compaction, soil bulk density, pH, and heavy metal contents, while decreased of the content of N, P, water and organic matter. Tourism disturbance decreased the height, coverage, diversity, richness, and evenness of plants, while increased species which are associated with human. The quantities and densities of soil fauna in tourism areas were lower than those in buffer areas and background areas. The soil nematode and arthropod were sensitive to tourism disturbance. Tourism disturbance decreased soil enzyme activity, and also decreased the coverage, diversity, richness, and evenness of soil microbes. In addition, the above effects of tourism disturbance on plants, soil fauna, and soil microbes were negatively correlated with the distance to tourism activity centers, e.g. tourism paths and footpaths. In the future, it is important to build an eco-database of tourism destinations, investigate the stress mechanisms of tourism disturbance on soil ecosystems at the micro-level of individuals, cells, and molecules, so as to construct a harmonious symbiotic relationship between tourism and environment, and realize the sustainable development of tourism.

Key Words: tourism disturbance; soil ecosystem; environmental factors; plants; soil fauna; soil microbes

基金项目: 国家自然科学基金项目(21677157); 江西省社科“十三五”规划基金项目(16WT14)

收稿日期: 2019-06-25; **修订日期:** 2019-08-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhuyinjianjs@163.com

随着国民经济的发展和居民收入的提高,旅游业得到迅速发展,旅游行为已经逐渐具有广泛性和普遍性。据国家统计局报道,2009 至 2018 十年期间,游客人数由 19.02 亿增至 55.40 亿,国内旅游总花费由 10183.7 亿增至 51278.0 亿元;2008 至 2017 十年期间,外国人入境游客由 2610.97 万增至 2916.53 万人,国际旅游外汇收入由 408.43 亿增至 1234.17 亿美元。旅游对全球经济的贡献巨大,旅游业已迅速发展成为世界第一大产业^[1]。旅游发展对生态环境具有强烈的依赖性,旅游地已经成为人类活动与自然过程相互作用最为强烈的地带,旅游活动所引起的生态和环境问题已经引起了广泛的关注。

旅游干扰包括旅游者踩踏、植物攀折、动物猎杀、交通工具碾压、燃油泄漏、污水与尾气排放、噪声喧哗、旅游设施建设以及垃圾丢弃等行为。旅游干扰对旅游景区的生态环境能产生显著影响,上世纪 20 年代,加州红杉公园过度旅游开发对植被产生不良影响,引起了美国学者的关注,开启了这一领域研究的先河^[2];30 至 40 年代,西方学者们进一步研究论述了旅游对步道、游道周边土壤、植被的影响^[3-5];50 至 60 年代,学者们开始关注旅游承载力,利用定性定量相结合的科学方法分析了旅游活动对生态系统的影响^[6-8];70 年代,相关研究更加完善,并且开启了旅游地环境质量改善措施等问题的探讨^[9];80 年代至今,随着“生态旅游”概念提出,生态学理论用于研究旅游地的规划,形成了旅游环境管理技术与监测体系,强调旅游和环境的共生关系^[10-11]。我国在该领域的研究起步较晚,直至上世纪 80 年代,国内著名旅游地如苏州、京津地区、张家界等地的环境问题开始引起我国学者的关注并开始开展相关研究^[12-14]。90 年代以后,随着旅游业的快速发展,旅游引起的生态环境问题日益成为我国相关学者研究的焦点和热点。

土壤是地球表层系统的重要组成部分,是连接岩石圈、生物圈、大气圈和水圈的纽带。土壤生态系统是土壤中生物与非生物通过能量转换和物质循环构成的相互作用整体,包括:生产者(植物)、消费者(动物)、分解者(微生物)、以及参与物质循环的水、气、固体物质等环境因子。旅游干扰对土壤生态系统的影响是旅游对生态环境影响最直接的途径,也是旅游和环境的共生关系的重要研究内容。

1 旅游干扰对土壤环境因子的影响

土壤环境因子包括土壤理化性质、水、气、固体物质及参与物质循环的元素,包括营养元素与污染物。大量研究表明在游憩活动的冲击下,旅游地区土壤的孔隙度、含水量、粘粒、有机质、全氮和碱解氮含量发生显著变化^[15-16]。通过对重庆缙云山的调查,发现以上因子分别比对照降低 22.79%,42.03%,40.31%,39.76%,37.99%和 30.87%,而土壤 pH 值和容重平均增加 6.59%和 56.64%^[17]。近年来,大量工作系统地研究了旅游干扰对山岳型旅游地(如黄山、泰山、峨眉山、张家界、嵩山等)土壤环境因子的影响^[18-28](表 1),结果发现,游客的踩踏、旅游交通工具的碾压提高了土壤的紧实度,增加了土壤的容重,降低了土壤地表植被的覆盖度,还导致有机质下降、pH 提高(以红壤为主的山地如武夷山、明月山除外)、全氮、全磷和速效钾减少(以红壤为主的山地如武夷山、明月山除外)。旅游地由于燃油泄漏、污水与尾气排放、垃圾丢弃导致土壤重金属超标。例如,陈伟华等^[29]调查婺源景区土壤时发现土壤铜(Cu)、镉(Cd)浓度较高,潜在生态危害较大;谭小爱^[30]等研究了旅游活动对香格里拉景区生态环境影响,结果表明旅游产生的固体垃圾是土壤重金属 Cu、铬(Cr)和锌(Zn)的主要来源,干湿沉降是土壤 Hg 污染的主要来源。

2 旅游干扰对植物的影响

植物在土壤生态系统中具有重要作用,是动物和微生物的营养源,是生态系统中不可或缺的生产者。此外,植物还是很多景区重要的观赏性旅游资源,如井冈山的红杜鹃、黄山的迎客松、西双版纳的热带雨林等。旅游活动对景区植被的影响显著,主要是由于以下旅游行为的影响:(1)游客的踩踏、交通工具的碾压、汽车尾气的污染,(2)游客对鲜花、真菌的采摘,(3)驴友们伐木烧烤,搭建帐篷,或者行为不慎,引起火灾,(4)垃圾堆放等导致生态污染影响植物生境,(5)游客与车辆的进入影响种子扩散和植物运动规律。

表 1 旅游干扰导致土壤环境因子的变化

Table 1 The impacts of tourism disturbance on soil properties

	祁连山 Qilian Shan	峨眉山 Emei Shan	长白山 Changbai Shan	黄山 Huang Shan	泰山 Tai Shan	嵩山 Song Shan	武夷山 Wuyi Shan	明月山 Mingyue Shan	九华山 Jiuhua Shan	张家界 Zhang Jia jie	白云山 Baiyun Shan
有机质 Organics	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
水分 Water	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
紧实度 Compactness	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
pH	↑	↑	↑	↑	↑	↑	变化小	变化小	-	变化小	↑
容重 Bulk density	↑	↑	↑	↑	↑	↑	-	↑	↑	↑	↑
阳离子交换量 CEC	-	-	-	-	-	↓	↓	-	-	-	-
氮含量 N content	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	-	-	↓
磷含量 P content	↓	↓	↓	↓	↓	↓	变化小	变化小	-	-	↓
钾含量 K content	↓	↓	变化小	变化小	↓	↓	变化小	变化小	-	-	-

“CEC” Cation Exchange Capacity, 阳离子交换量, “↓”表示降低或减少, “↑”表示升高或增加, “-”表示未调查

2.1 国内有关旅游干扰对植物影响的研究进展

上世纪 80 年代以来,国内学者开展了大量有关旅游行为对植物影响的研究,特别是对山岳型旅游地(如世界遗产黄山、武夷山等,四大佛教名山与五岳等)的植被进行了较为系统的研究^[19-20,28,31-34](表 2)。另外,国内学者也开展了大量的有关旅游对植物群落的形成、发育和变化、演替和演化的影响。主要研究结果包括如下几个方面:(1)旅游对植物群落结构和外貌变化有显著影响,郑伟等^[35]研究表明,随着干扰强度的增加,植被由不耐旅游干扰的物种演变为耐旅游干扰的物种为主,群落的 α 多样性降低、功能群重要值向少数物种集中,当旅游对植物的影响超过了群落的自我恢复能力,群落性质将会明显改变^[36]。另外,旅游行为导致植物群落层片结构改变,耐荫喜湿的乡土植物减少或局部消失,而喜旱耐扰动的则相反,外来植物种群和伴人植物种群侵入^[37]。(2)旅游对植物群落结构的演替有显著影响,且这种影响随植物种类的不同而不同。例如,管东生等^[38]研究发现旅游干扰使广州城市公园植物群落演替缓慢或停止,乔木与灌木种数、总个体数、多样性指数、均匀度均显著低于自然森林群落;并且,与乔木和灌木相比,旅游对草本层植物的组成、多样性、高度影响最大,其次为灌木层,影响最小的是乔木层^[31]。(3)游客对植物的破坏行为,以及旅游导致的植物生境破坏也能对植物的植物群落结构产生显著影响。例如,石强等^[39]研究发现公园接待区树木受游客的刻画行为影响,直径低于非活动区 32.3%—57.1%,叶片中二氧化硫及氟化物高于非活动区 1.6—16 倍。(4)旅游能对植物的扩散模式产生影响,进而影响旅游区域内植物的群落结构,例如,刘炳亮等^[40]以兴凯湖自然保护区为研究对象探讨旅游行为对植物扩散模式的影响,结果认为旅游行为影响了植物的扩散模式,在游客活动带动物扩散物种、风扩散物种均显著弱于非活动带。以上各种旅游对植物群落结构的影响与旅游强度、游道、步道等活动中心的距离及游客的行为密切相关。例如,张桂萍等^[41]发现与游道越接近植物种群数量越少,优势种的盖度、密度、高度降低,物种丰富度和物种多样性指数降低。

表 2 旅游干扰对植被的影响

Table 2 The impacts of tourism disturbance on Plants

	五台山	峨眉山	武功山	黄山	泰山	长白山	白云山	武夷山	太白山
多样性 Diversity	↓	-	↓	↑	↓	-	↓	↓	↓
高度 Height	-	-	↓	↓	↓	↓	-	-	↓
盖度 Coverage	-	-	↓	↓	↓	↓	↓	-	↓
丰富度 Richness	-	↓	-	-	↓	-	↓	↓	-
均匀度 Evenness	-	↓	-	-	-	-	-	↓	↓
优势度 Dominance	↓	↓	↓	-	↓	-	↓	↓	↓
伴人种 Accompanying species	↑	-	↑	-	-	-	-	↑	↑
密度 Density	-	-	↓	-	-	-	-	-	-

“↓”表示降低或减少,“↑”表示升高或增加,“-”表示未调查

2.2 国际有关旅游干扰对植物影响的研究进展

在国际上,旅游干扰对植物的影响也有广泛的研究。Habibullah^[42]等通过对 106 个国家的样本调查,分析了受威胁的植物种类数量与旅游业之间的联系,结果表明国际旅游人数是增加濒危植物物种数量的重要因子,他们发现在加那利群岛和西班牙大陆分别有 41 和 40 种植物被列为受旅游和娱乐威胁的物种,主要威胁包括践踏(61 种)、植物采集(59 种)、旅游基础设施的维护/建设(43 种)和由于旅游景点城市化而造成的栖息地退化(13 种)等。Rankin^[43]研究发现,在澳大利亚政府列为极度濒危或濒危的 659 种维管植物中,42% 的维管植物被列为旅游威胁物种,这比被列为受气候变化威胁的比例(26%)要高,接近被列为受火灾威胁的比例(47%)。旅游行为也能对植物扩散模式产生显著影响,研究发现,在受旅游干扰的地点会生长大量非本地植物,这是由于车辆、设备、游客的衣服和粪便引进了非本地种子,并在旅游目的地传播^[44]。

为保护生态环境,学者们对旅游地的耐践踏植物和敏感植物进行调查研究,结果表明植物群落的内在特性是决定植被对践踏干扰响应的最重要因素,适温维管植物能耐受人为践踏^[45]。对旅游行为敏感的植物会从受干扰的地区衰退或消失,因此,旅游地需要远离敏感的植被,构建生态数据库,保持长期监测,开展生态系统恢复的长期管理^[46-47]。

3 旅游干扰对土壤动物的影响

土壤动物作为生态系统物质循环中的重要消费者和分解者,在营养循环过程中发挥着重要作用,越来越受到人们的重视。旅游行为能显著影响土壤的理化性质(如空隙度、水分、pH 值、有机质等)(表 1),也能显著改变土壤上生长的植物的群落结构(表 2),进而通过改变土壤动物的栖息地和营养组成来影响土壤动物的种群结构、数量、组成、丰富度、均匀度、密度、生物量。土壤线虫是土壤生态系统的重要组成部分,因为,土壤中线虫的数量丰富、种类多样,食性多样,对有机物的分解、养分转化和能量传递起到关键的作用^[48],典型对应分析(CCA)表明土壤线虫功能类群的分布能显著影响土壤的养分状况^[49]。因此,土壤线虫的群落结构与土壤性质是相互作用的。在旅游场地,践踏行为较普遍,从而导致土壤容重增大,减少土壤含水率及土壤养分供应,最终对土壤线虫、节肢动物的生长发育产生显著影响^[50-51],导致土壤动物的个体密度及各种功能类群的个体密度都下降^[52]。另外,旅游干扰可使土壤的凋落物积累量减少,从而是土壤有机质降低,进而导致土壤线虫丰度与多样性下降,以及功能群落结构发生改变^[53]。旅游干扰也可使土壤中污染物的浓度增加,Nagy 等^[54]的研究也表明随着土壤中铬、硒浓度的提高,敏感的杂食性和掠食性线虫的比例明显下降,线虫多样性曲线明显下降。旅游行为也能改变土壤大型动物的物种组成,叶岳等^[55]研究表明旅游能显著增加捕食型动物的数量。旅游行对土壤中型动物的物种组成也有重要影响,张丽梅^[52]研究发现不同干扰区间中型土壤动物类群数量差异显著($p < 0.05$),土壤动物的种类、数量、密度均为活动区<缓冲区<背景区,中型土壤动物的类群数量及垂直方向上对旅游踩踏的响应均十分显著。而且,旅游对土壤动物的干扰与游客的数量、强度、旅游方式以及与游道、步道的距离显著相关。例如,晋秀龙等^[56]也发现离步游道越近水平方向上大型土壤动物的类群和数量越少,垂直方向上的表聚性也越弱。

4 旅游干扰对土壤微生物的影响

微生物也是土壤生态系统的重要组成部分,在土壤中进行氧化、硝化、氨化、固氮、硫化等过程,既是土壤动植物的分解者,又能为动植物提供重要的营养,因此,土壤微生物群落的变化可以揭示土壤生态环境的演变。

土壤酶及土壤微生物是土壤生态系统代谢的一类重要动力。人为踩踏等旅游行为能导致土壤结构发生退化,对多种土壤性状都有显著影响,如土壤紧实度增加、pH 提高、有机质降低、氮磷钾营养元素含量降低及污染物浓度提高(表 1)。这些土壤性状的变化能显著地影响了土壤微生物的群落结构,段青倩等^[57]、汪洪旭^[58]、王帅等^[59]表明,旅游活动能导致微生物丰富度与多样性下降,而且,这种对微生物的影响遵循如下顺

序:细菌>放线菌>真菌。另外,旅游行为对微生物的影响与旅游强度、与游道的距离、表层土壤的深度相关,对土壤 0-5cm 层的微生物影响最显著,对 5-15cm 层的较显著。土壤微生物群落结构的改变将进一步导致土壤的酶活性降低、土壤呼吸减弱^[60-62]、代谢反应等发生相应的变化^[60-64]。例如,杨丽等^[65]发现土壤氨氧化作用受旅游干扰后显著降低,而对土壤反硝化作用的影响则相反,这与 Treweek^[64]等的研究结果一致,他们通过模拟动物践踏的试验证明践踏能够显著促进土壤反硝化菌的生长,并增加氧化亚氮排放。另外,不同的土壤微生物对土壤性状变化的响应是不同的,Yang 等^[48]研究表明,土壤速效磷、速效氮、全氮和全磷的下降可能是引起土壤微生物丰富度下降的主要因素,而张丽梅^[52]认为土壤真菌分布的主要因子受土壤有机质和土壤总氮的影响,放线菌分布受土壤有效磷,土壤有机质和土壤总磷的限制,而细菌分布主要受土壤总磷和 pH 的影响。另外,旅游导致土壤 pH 值增加,从而使土壤酸细菌的丰度下降^[66];此外,人为活动的增加还可给土壤带来病原菌,刘静等^[67]研究认为,旅游行为导致病原指示菌大肠杆菌的丰度显著增加。

5 旅游干扰对生态环境的其他影响

旅游不仅对土壤生态系统产生影响,还可对生物、水、大气等圈层产生显著影响,而且这些影响是相互关联的。大量研究成果表明,旅游干扰对野生动物也产生影响^[68-72],自然土地转为旅游用地导致生物栖息地破坏,旅游形成的噪音及游客行为可能对动物产生惊吓,破坏动物喂养和筑巢,干扰其捕食、产卵和生长发育等。由于旅游开发,植被与水资源减少,致使地表粉尘量增加,旅游汽车尾气与扬尘、锅炉排放的废气、饭店油烟、庙宇烧香、烧烤等等旅游行为对旅游接待区的大气质量可能造成严重的污染^[20]。旅游区水上娱乐活动、人工养殖、基础设施运转等因素对旅游区的水质也可能产生不可忽视的影响^[66,73-74]。因此,旅游活动所引起的生态和环境问题应该给予广泛的关注与研究,积极开展旅游地生态系统恢复的长期管理,构建旅游与环境的和谐共生关系。

6 问题与展望

随着国内、国外旅游业的迅猛发展,旅游行为对生态环境的影响日益广泛和深入,尤其是对土壤生态系统的影响已成为人们关注的焦点和研究的热点。当前的研究取得了一定的成果,尤其是旅游踩踏行为对植被和土壤理化性质影响的研究,对生态旅游的规划具有参考借鉴作用,但仍有许多问题需要人们进一步思考和解决。

1)拓展旅游行为对土壤生态系统影响研究的宽度和深度。当前有关旅游行为对景区植物和土壤理化性质的研究较多,但对土壤动物(尤其中小型动物)和土壤微生物的影响尚缺乏深入研究,系统地开展旅游地植物、动物与微生物对旅游干扰协同响应的研究更是少见。而且,无论是对植物、还是土壤微生物的研究尚停留在界、门水平上,缺乏纲、目、科、属、种与个体、细胞等水平上的系统研究。另外,目前的研究几乎都是旅游地某一个时间点或短时段的,尚缺乏中时段和长时段的研究。在旅游行为中,研究较多的是游客的踩踏行为,其他干扰研究较少。

2)加强旅游行为对土壤生态系统影响的机制研究。当前研究较多的是游客的踩踏行为导致土壤容重、水分、pH 值、N、P、K 的含量变化及其对土壤生态系统的影响,较少涉及旅游行为对土壤生态系统影响机制的研究。而且,当前的研究方法主要是传统的观察法、数理统计和简单的化学分析法,较少涉及分子生物学、分子生态学、遗传学等领域研究方法的运用。将来可从细胞显微结构变化、功能基因克隆与表达、蛋白质组和转录组等方面开展深入的探讨,不断阐明旅游干扰对土壤生态系统中植物、动物和微生物的胁迫机理。

3)加强研发旅游行为对土壤生态系统破坏的防范和修复技术。目前国内外已经开展有关因旅游破坏的土壤生态系统修复方面的研究^[46,75-76],但相关研究还不够系统完整,将来可在以下几个方面开展研究工作:构建旅游地生态数据库,合理开发旅游,防范旅游行为对土壤生态系统破坏;同时,针对不同的旅游干扰,结合物理、化学、生物、农艺手段对已破坏生态环境进行修复,研发出有效的修复技术;开展旅游生态环境的长期管

理,构建旅游与环境的和谐共生关系,促进旅游业的可持续发展。

参考文献 (References):

- [1] Ballantyne M, Pickering C M. Tourism and recreation: a common threat to IUCN red-listed vascular plants in Europe. *Biodiversity and Conservation*, 2013, 22(13/14): 3027-3044.
- [2] Meinecke E P. A Report on the Effect of Excessive Tourist Travel on the California Redwood Parks. Sacramento, CA: California State Printing Office, 1928.
- [3] Bates G H. The vegetation of footpaths, sidewalks, cart-tracks and gateways. *Journal of Ecology*, 1935, 23(2): 470-487.
- [4] Bates G H. Life forms of pasture plants in relation to treading. *Journal of Ecology*, 1938, 26(2): 452-455.
- [5] Lutz H J. Soil conditions of picnic grounds in public forest parks. *Journal of Forestry*, 1945, 43(2): 121-127.
- [6] Perry R L. Standardized wear index for turfgrasses. *Southern California Turfgrass Culture*, 1958, 8: 30-31.
- [7] Dotzenko A D, Papamichos N T, Romine D S. Effects of recreational use of soil and moisture conditions in rocky Mountain National Park. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1967, 22: 196-197.
- [8] Naito T. Changes of alpine vegetation in Mt. Hakkoda due to human treading. *Ecological Review*, 1969, 17: 171-176.
- [9] Cole D N. Estimating the susceptibility of wildland vegetation to trailside alteration. *Journal of Applied Ecology*, 1978, 15(1): 281-286.
- [10] Cole D N. Managing ecological impacts at wilderness campsites: an evaluation of techniques. *Journal of Forestry*, 1981, 79(2): 86-89.
- [11] Cole D N. Wilderness Campsite Monitoring Methods: A Sourcebook. General Technical Report INT-259. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, 1989.
- [12] 赵红红. 苏州旅游环境容量问题初探. *城市规划*, 1983, (3): 46-53.
- [13] 宋力夫, 杨冠雄, 郭来喜. 京津地区旅游环境的演变. *环境科学学报*, 1985, 5(3): 255-265.
- [14] 王资荣, 郝小波. 张家界国家森林公园环境质量变化及对策研究. *中国环境科学*, 1988, 8(4): 23-30.
- [15] Gheza G, Assini S, Marini L, Nascimbene J. Impact of an invasive herbivore and human trampling on lichen-rich dry grasslands: Soil-dependent response of multiple taxa. *Science of the Total Environment*, 2018, 639: 633-639.
- [16] Özcan M, Gökbulak F, Hizal A. Exlosure effects on recovery of selected soil properties in a mixed broadleaf forest recreation site. *Land Degradation & Development*, 2013, 24(3): 266-276.
- [17] 秦远好, 谢德体, 王壮. 旅游活动对自然保护区游憩地带植物的影响. *西南大学学报: 自然科学版*, 2008, 30(10): 105-112.
- [18] 马剑, 刘贤德, 何晓玲, 金铭, 牛赟, 敬文茂, 赵维俊, 王荣新. 旅游干扰对祁连山风景区土壤性质的影响. *土壤*, 2016, 48(5): 924-930.
- [19] 倪珊珊, 彭琳, 高越. 旅游干扰对峨眉山风景区土壤及植被的影响. *中国农业资源与区划*, 2016, 37(3): 93-96.
- [20] 李茜. 旅游干扰对长白山景区土壤性质及植被群落的影响. *山东农业大学学报: 自然科学版*, 2015, 46(1): 74-77.
- [21] 陆林, 巩劼, 晋秀龙. 旅游干扰对黄山风景区土壤的影响. *地理研究*, 2011, 30(2): 209-223.
- [22] 王全辉, 董元杰, 刘春生, 邱现奎, 胡国庆, 王艳华, 张秀玮. 旅游活动对泰山景区土壤质量的影响. *土壤学报*, 2012, 49(2): 398-402.
- [23] 马建华, 朱玉涛. 嵩山景区旅游活动对土壤组成和性质的影响. *土壤学报*, 2009, 46(1): 164-168.
- [24] 李灵, 梁彦兰, 江慧华, 黄丽燕, 周艳, 俞建安. 旅游干扰对武夷山风景区土壤重金属污染和土壤性质的影响. *广东农业科学*, 2012, 39(19): 171-174, 181-181.
- [25] 李丽娜. 明月山景区旅游活动对土壤成分和重金属污染的影响. *宜春学院学报*, 2011, 33(12): 118-119.
- [26] 晋秀龙, 陆林, 巩劼, 覃逸明. 旅游活动对九华山风景区土壤的冲击影响. *自然资源学报*, 2009, 24(11): 1881-1892.
- [27] 石强, 雷相东, 谢红政. 旅游干扰对张家界国家森林公园土壤的影响研究. *四川林业科技*, 2002, 23(3): 28-33.
- [28] 管东生, 林卫强, 陈玉娟. 旅游干扰对白云山土壤和植被的影响. *环境科学*, 1999, 20(6): 6-9.
- [29] 陈伟华, 李萍. 婺源景区旅游公路两侧重金属污染情况分析. *公路*, 2018, (1): 140-145.
- [30] 谭小爱, 王平, 邹亚萍, 范雅. 旅游活动对香格里拉景区土壤重金属污染的影响. *西南大学学报: 自然科学版*, 2017, 39(6): 121-127.
- [31] 巩劼, 陆林, 晋秀龙, 南伟, 刘飞. 黄山风景区旅游干扰对植物群落及其土壤性质的影响. *生态学报*, 2009, 29(5): 2239-2251.
- [32] 罗俊杰. 游客踩踏干扰对武功山山地草甸的影响[D]. 南昌: 江西农业大学, 2015.
- [33] 游巍斌, 何东进, 詹仕华, 洪伟, 巫丽芸, 王英姿, 陈炳容, 俞建安, 范圣锋. 武夷山风景名胜旅游影响及植被景观特征与地理因子的相关分析. *四川农业大学学报*, 2011, 29(1): 35-39, 68-68.
- [34] 张昌贵. 旅游开发对太白山森林公园植物多样性与群落结构影响的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [35] 郑伟, 朱进忠, 潘存德. 旅游干扰对喀纳斯景区草地植物多样性的影响. *草地学报*, 2008, 16(6): 624-629, 635-635.
- [36] 武俊智, 上官铁梁, 张婕, 李晋川, 曹天文, 岳建英. 旅游干扰对马仑亚高山草甸植物物种多样性的影响. *山地学报*, 2007, 25(5): 534-540.

- [37] 朱珠, 包维楷, 庞学勇, 闫晓丽, 李玉武. 旅游干扰对九寨沟冷杉林下植物种类组成及多样性的影响. 生物多样性, 2006, 14(4): 284-291.
- [38] 管东生, 丁键, 王林. 旅游和环境污染对广州城市公园森林植物和土壤的影响. 中国环境科学, 2000, 20(3): 277-280.
- [39] 石强, 钟林生, 汪晓菲. 旅游活动对张家界国家森林公园植物的影响. 植物生态学报, 2004, 28(1): 107-113.
- [40] 刘炳亮. 自然保护区旅游开发对不同扩散模式植物多样性的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
- [41] 张桂萍, 张峰, 茹文明. 旅游干扰对历山亚高山草甸植物多样性的影响. 生态学报, 2008, 28(1): 407-415.
- [42] Habibullah M S, Din B H, Chong C W, Radam A. A cross-country analysis on the impact of tourism on threatened plant species. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2016, 224: 14-19.
- [43] Rankin B L, Ballantyne M, Pickering C M. Tourism and recreation listed as a threat for a wide diversity of vascular plants: A continental scale review. *Journal of Environmental Management*, 2015, 154: 293-298.
- [44] Barros A, Pickering C M. Non-native plant invasion in relation to tourism use of aconcagua park, Argentina, the highest protected area in the southern hemisphere. *Mountain Research and Development*, 2014, 34(1): 13-26.
- [45] Pinna M S, Bacchetta G, Cogoni D, Fenu G. Is vegetation an indicator for evaluating the impact of tourism on the conservation status of Mediterranean coastal dunes? *Science of the Total Environment*, 2019, 674: 255-263.
- [46] Le Roy M, Sawtschuk J, Bioret F, Gallet S. Toward a social-ecological approach to ecological restoration: a look back at three decades of maritime clifftop restoration. *Restoration Ecology*, 2019, 27(1): 228-238.
- [47] Korpilo S, Virtanen T, Saukkonen T, Lehvävirta S. More than A to B: Understanding and managing visitor spatial behaviour in urban forests using public participation GIS. *Journal of Environmental Management*, 2018, 207: 124-133.
- [48] Yang H Y, Liu C Z, Liu Y M, Xing Z S. Impact of human trampling on biological soil crusts determined by soil microbial biomass, enzyme activities and nematode communities in a desert ecosystem. *European Journal of Soil Biology*, 2018, 87: 61-71.
- [49] Steenwerth K L, Jackson L E, Calderón F J, Stromberg M R, Scow K M. Soil microbial community composition and land use history in cultivated and grassland ecosystems of coastal California. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(11): 1599-1611.
- [50] Vreeken-Buijs M J, Hassink J, Brussaard L. Relationships of soil microarthropod biomass with organic matter and pore size distribution in soils under different land use. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30(1): 97-106.
- [51] van Klink R, Schrama M, Nolte S, Bakker J P, WallisDeVries M F, Berg M P. Defoliation and soil compaction jointly drive large-herbivore grazing effects on plants and soil arthropods on clay soil. *Ecosystems*, 2015, 18(4): 671-685.
- [52] 张丽梅. 药泉山土壤动物和土壤微生物群落对旅游踩踏的响应[D]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2016.
- [53] Wall J W, Skene K R, Neilson R. Nematode community and trophic structure along a sand dune succession. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, 35(4): 293-301.
- [54] Nagy P, Bakonyi G, Bongers T, Kádár I, Fábrián M, Kiss I. Effects of microelements on soil nematode assemblages seven years after contaminating an agricultural field. *Science of the Total Environment*, 2004, 320(2/3): 131-143.
- [55] 叶岳, 姜玉霞. 旅游干扰对土壤动物群落结构与功能类群的影响——以黑石顶、九龙湖、北岭山为例. 肇庆学院学报, 2017, 38(5): 52-57.
- [56] 晋秀龙, 陆林, 巩劼, 王立龙. 旅游活动对九华山风景区大型土壤动物群落影响. 地理研究, 2011, 30(1): 103-114.
- [57] 段青倩, 樊文华, 吴艳军, 武智晖, 刘霞霞, 王坤. 旅游活动对五台山土壤微生物数量及微生物量碳、氮的影响. 山西农业科学, 2014, 42(11): 1192-1196.
- [58] 汪洪旭. 旅游干扰对九宫山景区土壤养分、微生物群落结构及酶活性的影响. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2014, 45(5): 735-740.
- [59] 王帅, 盛晓磊, 张雷, 韩霁昌, 骆云中, 谢德体. 川东低山丘陵区农业旅游活动对土壤微生物群落结构的影响. 土壤通报, 2017, 48(1): 101-109.
- [60] Yang J L, Zhang G L. Formation, characteristics and eco-environmental implications of urban soils-A review. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2015, 61(S1): 30-46.
- [61] Tejado P, Benayas J, Cajiao D, Albertos B, Lara F, Perterra L R, Andrés-Abellán M, Wic C, Lución M J, Enríquez N, Justel A, Reck G K. Assessing environmental conditions of Antarctic footpaths to support management decisions. *Journal of Environmental Management*, 2016, 177: 320-330.
- [62] Ayodeji O J, Oluyisola O O, Fawibe A M. Assessment of the level and impacts of anthropogenic activities in ecotourism sites using soil bacteria prevalence and abundance: Awba dam as a case study. *International Journal of Research*, 2016, 6(7): 23-36.
- [63] Steven B, Belnap J, Kuske C R. Chronic physical disturbance substantially alters the response of biological soil crusts to a wetting pulse, as characterized by metatranscriptomic sequencing. *Frontiers in Microbiology*, 2018, 9: 2382.
- [64] Treweek G, Di H J, Cameron K C, Podolyan A. Simulated animal trampling of a free-draining stony soil stimulated denitrifier growth and increased

- nitrous oxide emissions. *Soil Use and Management*, 2016, 32(3): 455-464.
- [65] 杨丽. 旅游活动下罗浮山格木种群和土壤性质的变化. *西南农业学报*, 2016, 29(7): 1672-1677.
- [66] Sherman C, Unc A, Doniger T, Ehrlich R, Steinberger Y. The effect of human trampling activity on a soil microbial community at the Oulanka Natural Reserve, Finland. *Applied Soil Ecology*, 2019, 135: 104-112.
- [67] 刘静, 徐峥静茹, 彭培好, 潘欣. 旅游踩踏对鸡冠山森林公园土壤微生物数量及酶活性的影响. *江苏农业科学*, 2016, 44(2): 398-402.
- [68] Beckline M, Sun Y J. Assessing the effectiveness of urban nature reserves on biodiversity conservation. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 2014, 2(6): 130-134.
- [69] Dimobe K, Goetze D, Ouédraogo A, Forkuor G, Wala K, Porembski S, Thiombiano A. Spatio-temporal dynamics in land use and habitat fragmentation within a protected area dedicated to tourism in a Sudanian savanna of west Africa. *Journal of Landscape Ecology*, 2017, 10(1): 75-95.
- [70] Grace M K, Smith D J, Noss R F. Reducing the threat of wildlife-vehicle collisions during peak tourism periods using a Roadside Animal Detection System. *Accident Analysis & Prevention*, 2017, 109: 55-61.
- [71] Kabii F, Wandaka J K M. Wildlife watching and tourism: effect of two-way radio communication on wildlife in Kenya. *Journal of Natural Sciences Research*, 2018, 8(6): 85-90.
- [72] Belkayah N. Identifying and assessing visitor impacts and attitudes: a case study in the Kure mountains national park. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2015, 24(9): 3044-3056.
- [73] 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. *资源科学*, 2011, 33(9): 1815-1821.
- [74] 林媚珍, 纪少婷, 赵俊磊, 方碧真, 谢国文. 白云山风景区环境质量的综合评价. *生态科学*, 2015, 34(2): 42-50.
- [75] 李浩燕. 石林景区生态化建设研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2016.
- [76] 陈海鹰. 自然保护区旅游生态补偿运作机理与实现路径研究[D]. 昆明: 云南大学, 2016.