

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2025.06.014

王建平, 高照明. 荒漠草原旅游开发对土壤有机质及养分含量的影响分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2025, 47(6): 150-161.

荒漠草原旅游开发对土壤有机质及养分含量的影响分析

王建平¹, 高照明²

1. 郑州工程技术学院 管理学院, 郑州 450044; 2. 郑州大学 管理学院, 郑州 450052

摘要: 荒漠草原旅游开发日益增多, 但人类活动可能影响土壤, 尤其是有机质与养分含量, 进而影响草原生态稳定与可持续性。为了分析荒漠草原旅游开发对土壤有机质及养分含量的影响, 以内蒙古京二线以西地区的荒漠草原区域为依托, 测定了土壤中的有机质、氮、磷、钾养分含量。结果表明: 土壤的生物质有机质及胡敏素腐殖质有机质为正相关影响, 碎屑有机质为负相关影响, 土壤的氮养分含量为正相关影响, 磷养分含量为负相关影响, 钾养分含量则未有明显的影响关系。因此, 在荒漠草原的旅游开发中, 需要根据土壤有机质及养分含量的影响关系, 科学合理地规划旅游开发的具体内容。

关键词: 土壤有机质; 土壤养分含量; 荒漠草原旅游开发;
旅游开发; 旅游开发影响; 影响分析

中图分类号: S153

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 1673-9868(2025)06-0150-12

Analysis of the Impact of Desert Grassland Tourism Development on Soil Organic Matter and Nutrient Content

WANG Jianping¹, GAO Zhaoming²

1. School of Management, Zhengzhou College of Engineering and Technology, Zhengzhou 450044, China;

2. School of Management, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China

Abstract: Background With the prosperity of the tourism industry, the development of desert grassland tourism has increased. However, human activities may affect the soil, especially the organic matter and nutrient content, thereby affecting the ecological stability and sustainability of the grassland. Objective To

收稿日期: 2024-06-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41701145); 河南省重点研发与推广专项(科技攻关)项目(242102321147)。

作者简介: 王建平, 硕士, 副教授, 主要从事旅游经济的研究。

通信作者: 高照明, 教授。

explore and analyze the impact of desert grassland tourism development on soil organic matter and nutrient content. Method Based on the desert grassland area in the west of the Beijing Second Line in Inner Mongolia, the content of organic matter, nitrogen, phosphorus, and potassium nutrients in the soil was measured. Result The biomass organic matter and humic matter in soil are positively correlated, while the detrital organic matter is negatively correlated. The nitrogen nutrient content in the soil is positively correlated, the phosphorus nutrient content is negatively correlated, and the potassium nutrient content is not significantly correlated. Conclusion In the development of desert grasslands tourism, it is necessary to scientifically and reasonably plan the specific content of tourism development based on the relationship of impact with soil organic matter and nutrient content.

Key words: soil organic matter; soil nutrient content; development of desert grassland tourism; tourism development; the impact of tourism development; impact analysis

随着全球旅游业的蓬勃发展,荒漠草原作为一种独特的自然景观,其旅游开发价值逐渐得到重视。然而,旅游开发在为当地带来经济收益的同时,也不可避免地对环境产生了影响,特别是对土壤有机质及养分含量的影响,成为旅游开发中不容忽视的问题^[1-2]。土壤是地球表面最重要的自然资源之一,其有机质及养分含量是土壤肥力和生产力的基础。在荒漠草原地区,土壤有机质及养分含量相对较低,旅游开发可能会进一步加剧这一状况,对当地生态环境和农业生产造成不利影响。荒漠草原旅游开发对土壤有机质及养分含量的影响是一个复杂的过程。一方面,旅游活动会对土壤表面造成一定的挤压作用,使得土壤之间的缝隙变小,透气性降低^[3]。这一过程在很大程度上影响土壤中微生物的活动,从而对土壤有机质和养分含量造成影响。此外,游客的废弃物、排泄物等也会对土壤造成污染,进一步降低土壤有机质及养分含量。另一方面,旅游开发促进了当地经济的发展,提高了农牧民的收入水平,使他们有能力投入更多的资金、精力保护和改善土壤环境,如通过植被恢复、水土保持等措施来提高土壤有机质及养分含量。然而,旅游开发对土壤有机质及养分含量的影响不是简单的正负相关关系,而是受到多种因素的共同影响。首先,旅游开发规模和强度是影响土壤环境的重要因素。过度的旅游开发会导致土壤环境的恶化,适度的旅游开发可以在保护生态环境的同时,促进当地经济的发展^[4-5]。其次,旅游开发方式会对土壤环境产生影响。例如,生态旅游和绿色旅游注重生态环境的保护和可持续发展,对土壤环境的影响相对较小;而传统的旅游开发方式则可能会忽视环境保护,对土壤环境造成较大的破坏。此外,当地的气候、地形、植被等自然条件也会对土壤环境产生影响。

为了更加清晰地了解旅游对土壤的影响,部分学者进行了相关研究。文献[6]以希拉穆仁故乡缘旅游点周边荒漠草原为研究对象,探讨了不同旅游扰动模式对植物群落特征、土壤理化性质及生物多样性的影响,发现线性扰动模式的重度干扰对生态系统造成的负面影响最为显著。文献[7]以伏羲山景区为例,揭示了旅游干扰对植物多样性和土壤性质的负面影响,并提出了通过科学旅游管理平衡生物多样性保护与旅游业发展的策略。文献[8]探讨了不同旅游干扰强度对北京松山国家级自然保护区油松林土壤微生物多样性和群落结构的影响,并分析了土壤理化性质和微生境状况对其变化的影响机制。以上研究为本文提供了丰富的理论基础、方法学借鉴和数据分析框架,有助于本文更深入地探讨荒漠草原旅游开发对土壤有机质及养分含量的影响,并提出科学合理的生态保护与旅游开发策略。

结合以上分析可知,在研究旅游干扰对生态系统影响的过程中,需确保研究区域的选择具有充分的代表性,并准确量化与分类旅游干扰模式。同时,测量植物群落特征、土壤理化性质以及生物多样性时,应采用可靠的技术和方法,以避免人为误差。在分析影响机制时,应全面考虑各种因素及其交互作用,以确保结论的准确性。此外,提出科学旅游管理策略时,应基于充分的实践验证和长期监测数据,并综合考虑当

地社会、经济和文化因素,以提高策略的有效性和可行性。同时,研究应考虑适当的时间尺度和空间范围,以全面评估旅游干扰对整个生态系统的影响^[9-10]。因此,研究荒漠草原旅游开发对土壤有机质及养分含量的影响具有重要的现实意义和理论价值。通过深入分析旅游开发对土壤环境的影响机制,可以为荒漠草原地区的旅游开发提供科学依据和指导,促进旅游业的可持续发展^[11]。同时,这也有助于提高人们对土壤环境重要性的认识,促进生态环境的保护和修复。基于此,本文将对荒漠草原旅游开发对土壤有机质及养分含量的影响进行深入探讨。通过收集和分析相关数据和资料,结合实地考察和实验研究,揭示旅游开发对土壤环境的影响,为荒漠草原地区的旅游开发和生态环境保护提供参考。

1 研究区概况

1.1 地形地貌

本研究以内蒙古京二线以西地区荒漠草原区域为依托,分析当地旅游开发对土壤有机质以及养分含量的影响。测试地区位于荒漠草原南北部之间,含有若干径流较小的沟谷。该地区属堆积地形,堆积物包含风沙以及沉积物等^[12]。荒漠草原中部则受古地理的影响,属构造剥蚀地形。

该荒漠草原地形较为开阔,整体地势呈南高北低的趋势,高程在 1 485~1 762 m 的范围内,平均海拔 1 577 m。受水文、地理以及气候等因素的影响,荒漠草原的中部为高平原、南部与北部均为低缓丘陵,且整体呈现为向北倾斜的趋势,局部地区伴有沙地等地貌,如图 1 所示。

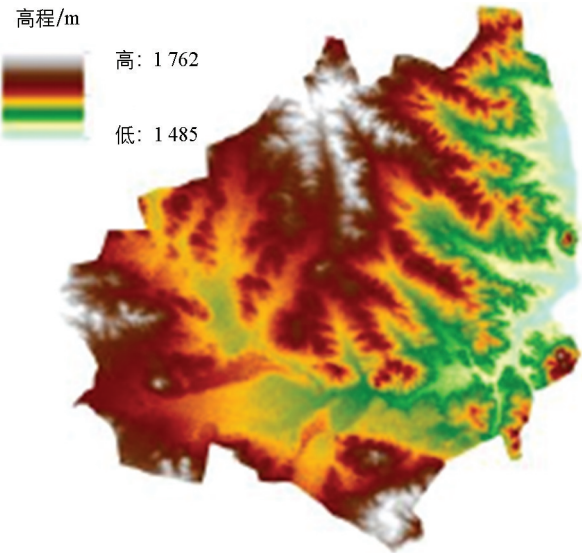


图 1 荒漠草原研究区域地势图

如图 1 所示的荒漠草原研究区域整体占地面积约为 1 152 km²,南北跨度约为 32 km,东西跨度约为 36 km。其中,可利用的草场面积约为总研究区域的 41%。

1.2 气候特征

该荒漠草原研究区域属于典型的温带干旱大陆性气候,冬季较冷、夏季较热,呈现出年温差较大的特点。根据当地的历史气象数据分析,该地区的气候特征如表 1 所示。

表 1 荒漠草原研究区气候特征

项目	气候特征	项目	气候特征
年极端最高气温	38.6 ℃	主要降水期	6 至 8 月
年极端最低气温	−37.9 ℃	最长连续降水天数	6 d
1 月平均气温	−15.6 ℃	最长连续未降水天数	62 d
7 月平均气温	18.4 ℃	最大日降水量	105.6 mm
历年平均气温	2.7 ℃	区域平均相对湿度	49.3 %
平均无霜期天数	185 d	年平均蒸发量	2 543.5 mm
土壤冻结期	11 月中旬	常年风向	偏西风
土壤解冻期	次年 3 月上旬	年平均风速	4.3 m/s
年平均降水量	304.6 mm	最大风速	28.7 m/s

如表 1 所示,研究区域无论是气温还是降水的年际波动均比较大,在夏季是优良旅游避暑地,在冬

季则不适宜旅游活动。本研究将针对这一特性，模拟荒漠草原的旅游开发情况。

1.3 植被特征

研究区域的荒漠草原受到温带气候的影响，基本为多年生草本植物的植被类型。根据植物的功能群类型，本研究将研究区的植被划分为一二年生草本、灌木和半灌木、多年生杂类草、多年生禾草 4 个群落，分别如表 2 所示。

表 2 荒漠草原研究区植被特征

功能群类型	植被物种	光合型	Margalef 丰富度指数	Pielou 均匀度指数
一二年生草本	猪毛菜	C ₄	2.97	0.89
	点地梅	C ₃		
灌木和半灌木	冷蒿	C ₃	3.30	0.83
	木地肤	C ₄		
多年生杂类草	草芸香	C ₃	2.62	0.84
	达乌里龙胆	C ₃		
	细叶葱	C ₃		
	二裂委陵菜	C ₃		
多年生禾草	冰草	C ₃	3.33	0.88
	糙隐子草	C ₄		
	羊草	C ₃		
	短花针茅	C ₃		
	克氏针茅	C ₃		

如表 2 所示，研究区域的荒漠草原植被多为 C₃ 光合型、少数为 C₄ 光合型的植被，两者的主要生长时间均为 6 至 9 月份^[13-14]。通过光合作用将碳固定为有机物质，并通过根系活动将养分归还给土壤。其中，C₃ 植物在温和的气候条件下具有较高的光合效率，而 C₄ 植物则能在干旱或高温环境下维持较高的光合速率。植被的多样性和不同类型植物的光合作用特性共同影响了土壤的有机质及养分含量，使得土壤能够保持一定的肥力和生态功能^[15-16]。这种植被特征对于荒漠草原生态系统的稳定性和可持续发展具有重要意义。

1.4 土壤特征

在实验开始前，本研究对研究区域的初始土壤特征进行了测定。该研究区域主要为栗钙土的土壤类型，呈现出轻微砾质化的特征，质地多为砂壤土、轻壤土，整体养分含量较低^[17]。具体的土壤特征参数如表 3 所示。

表 3 荒漠草原研究区土壤特征

项目	土壤特征	项目	土壤特征
土壤上层厚度	35 cm	年平均土壤温度	18.70~20.07 ℃
土壤下层厚度(钙积层)	30 cm	含水量	9.27 %~10.35 %
有机碳含量	11.2~22.63 g/kg	容质量	1.31~1.47 g/cm ³
全氮含量	1~2.7 g/kg	pH	7.46~8.10
全磷含量	0.2~0.4 g/kg	蒸散	3.77 mm/d
全钾含量	15~25 g/kg		

在本次测定中可以发现, 研究区域土壤的有机质和养分含量均呈现逐渐减少的趋势, 且腐殖质积累作用和钙化作用较强烈。首先, 土壤的有机碳含量在 11.2~22.63 g/kg 之间, 显示出该区域土壤有机质的含量相对较低。这可能是荒漠草原的气候条件较为干燥, 植被覆盖度有限, 导致有机物质的输入量较少^[18-19]。同时, 由于土壤质地多为沙壤土和轻壤土, 这些土壤类型的保水保肥能力相对较弱, 也可能进一步限制了有机质的积累。

其次, 土壤的全氮、全磷和全钾含量分别在 1~2.7 g/kg、0.2~0.4 g/kg 和 15~25 g/kg 的范围内, 这些数值相对较低, 表明土壤中的养分含量有限。这可能是该地区气候条件、植被类型以及土壤本身特性综合作用的结果。在干旱的荒漠草原环境中, 养分的循环和再利用可能受到限制, 同时土壤中的养分也可能通过淋溶、挥发等途径损失。

此外, 土壤的腐殖质积累作用和钙化作用较强烈。腐殖质是土壤有机质的主要组成部分, 但由于研究区域的气候和土壤条件, 腐殖质的积累可能受到限制。而钙化作用则可能导致土壤中的钙离子浓度增加, 从而影响土壤的结构和性质。这种作用可能会进一步降低土壤的保水保肥能力, 使得有机质和养分的含量更加有限。

综上所述, 研究区域的栗钙土中有机质及养分含量相对较低, 这主要是由于干旱的气候条件、有限的植被覆盖以及土壤本身的特性所导致的。这种土壤特性可能会对荒漠草原生态系统的稳定性和可持续性产生一定的影响。

2 研究方法

2.1 样方设置

在研究区范围内, 划定多个大小一致的样方作为本研究的实验区域^[20]。具体的样方设置如图 2 所示。

如图 2 所示, 本研究设计在一块样地内设置 4 个样方, 其中, 样方 1、2、3 分别作为研究土壤有机质和土壤养分含量的研究区域, 样方 4 则作为相应的对照组。

2.2 旅游开发

根据荒漠草原地貌的实际旅游开发规划并基于关注程度理论设置本次实验的旅游开发参数。将划分的研究样地分为 3 个类型的研究样区, 分别为背景区、缓冲区以及活动区^[21]。为各区域设置游憩活动的敏感度参数。敏感度参数计算方法为:

$$\alpha = \frac{n}{N} \times 100\%$$

(1)

式中: α 表示敏感水平, N 表示区域的总旅游人次, n 表示测试地区的旅游人次。

将敏感水平划分为 3 个类型(表 4)。

表 4 研究样区敏感水平

敏感水平类型	敏感度/%	敏感水平类型	敏感度/%
背景区	[0, 35)	活动区	[65, 90)
缓冲区	[35, 65)		

根据这一参数, 设置本研究中荒漠草原研究区域的旅游开发程度。在本研究中, 将前 3 个样方分别施加背景区、缓冲区以及活动区的敏感水平影响, 样方 4 则与样方 3 设置相同的旅游开发参数。

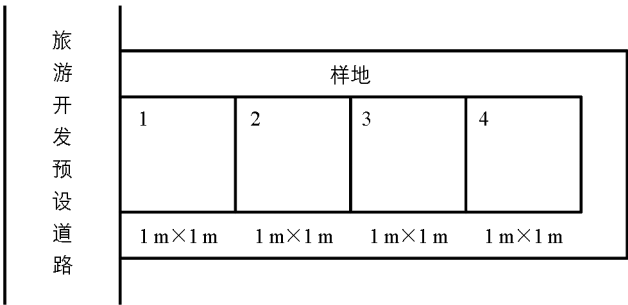


图 2 样方设置示意图

2.3 测定方法

2.3.1 有机质组分测定

在划定的实验区域样方中，以等量、随机的原则，使用土钻等工具采集各个样区的土壤样品。采用镊子剔除土壤样品中的动物尸体、植物残根等杂质，并在 25 ℃ 的恒温条件下，将土壤样品平铺在垫有干净白纸的木板上使其自然风干^[22-23]。完成风干后，将干燥的土壤使用研磨棒进行磨细处理，并使用土壤筛过筛，去除样品中不符合要求的土壤颗粒。

采用浸提液测定的方法对处理后的土壤样品进行有机质组分的测定^[24]。本研究采用焦磷酸钠和氢氧化钠混合制备土壤浸提液，两者配比为 1.3 : 1。利用制备好的浸提液，通过振荡和离心机的处理，将土壤样品中腐殖酸胡敏素分离，具体的步骤如图 3 所示。

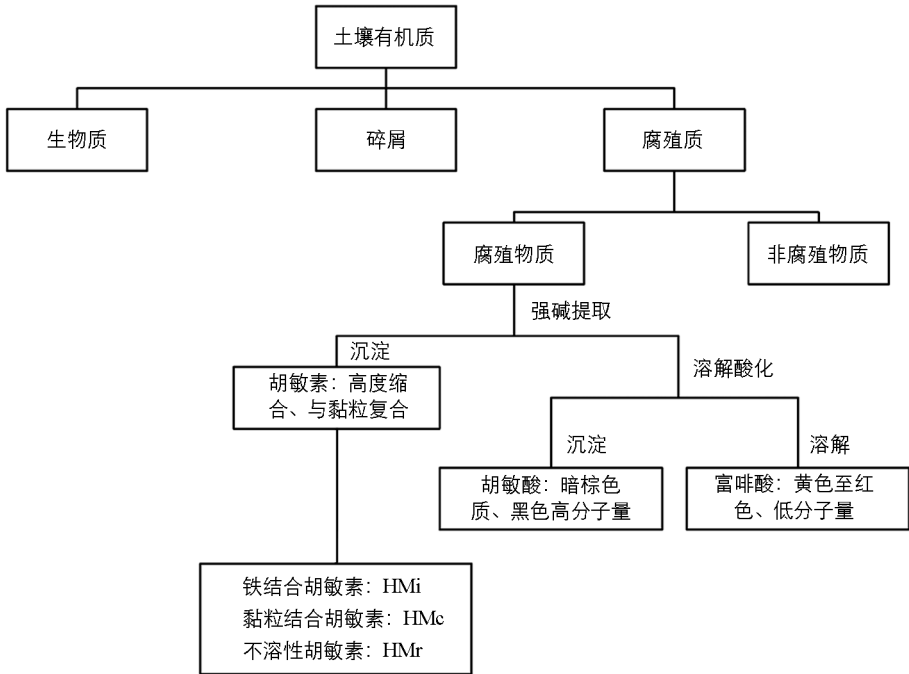


图 3 土壤有机质组分测定示意图

如图 3 所示，采用强碱提取、溶解酸化等处理，通过沉淀分离出不同的胡敏素，包括 HMi、HMc 以及 HMr 等成分。

分离出土壤的胡敏素后，本研究采用高光谱反演的方法对土壤有机质进行测定。采用近红外光谱仪对分离出的生物质、碎屑以及胡敏素腐殖质进行光谱测定，并设置波长范围为 400~2 500 nm。采用 Savitzky-Golay 平滑滤波方法对一阶导数光谱消除背景噪声^[25]，得到最终的土壤有机质光谱数据。

2.3.2 养分含量测定

采用凯氏定氮法测定土壤样品中的氮养分含量。采用上海望海环境科技有限公司生产的全自动凯氏定氮仪作为反应容器。采用高精度的电子天平采集经过干燥及研磨处理后的土壤样品，每个样品的重量均为 0.5 g，上下误差不超过 0.005 g。将称取后的土壤样品放置在全自动凯氏定氮仪中的消煮管中，并添加 750 μL 的蒸馏水将土壤样品浸湿。待土壤完全湿润后，在消煮管中加入 1 g 催化剂。选用的催化剂为 K₂SO₄ : CuSO₄ : Se。使用搅拌棒将催化剂与土壤样品搅匀，再加入 5 mL 的浓硫酸溶液，进行时长为 1.5 h 的消煮处理。当土壤样品呈现微绿的灰白色后即消解完全，将其冷却蒸馏以待后续分析。

采用酸溶—钼锑抗比色法测定土壤样品中的磷养分含量。以相同的方法称取 0.5 g 土壤样品，放置在全自动凯氏定氮仪的消煮管中。加入 8 mL 的浓硫酸作为主试剂，并用滴管加入 10 滴的 72 %次氯酸溶液

作为催化剂。设置初步消解的时长为 45 min，待冷却后，加入 4 mL 氢氧化钠溶液以及两滴二硝基酚指示剂，静置 30 min 后，加入蒸馏水将消煮管中的样品定容至 50 mL，再次进行 60 min 的二次消解处理。完成消解后，将其冷却蒸馏以待后续分析。

采用酸溶解方法测定土壤样品中的钾养分含量。在聚四氟乙烯坩埚中加入 5 g 的土壤样品，并使用中性的醋酸铵浸取天平中残留的土样。在坩埚中加入 5 mL 氢氟酸溶液以及 2.5 mL 的高氯酸溶液，通过与钾离子的交换，在坩埚中进行硝化反应。待反应结束后，过滤坩埚中的溶液至不含有固体杂质，以待后续分析。

完成土壤样品的处理后，同样采用高光谱的方法测定样品中的养分含量，得到土壤氮、磷、钾 3 种养分含量的光谱数据。

3 荒漠草原旅游开发对土壤有机质影响分析

3.1 对土壤胡敏素腐殖质的影响

在旅游开发影响下，土壤有机质的光谱数据如图 4—6 所示，其中 PCC 是皮尔逊相关系数。

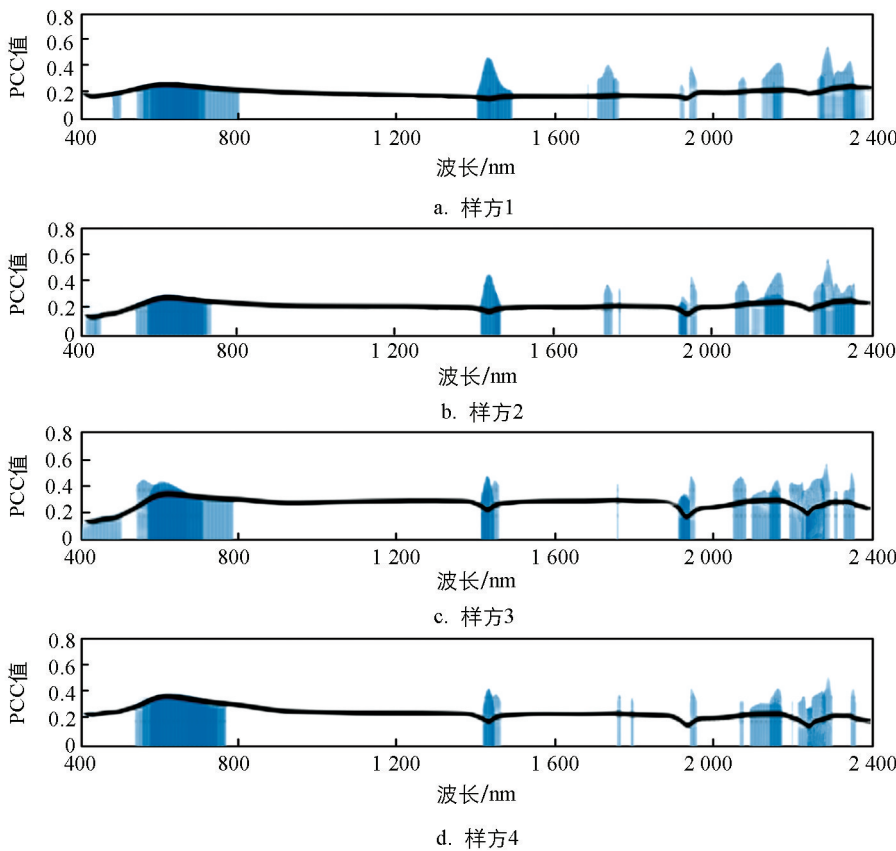


图 4 土壤生物物质有机质光谱

由图 4 可以看出，在不同的样方中，土壤生物物质有机质在长波长段表现出了不同的 PCC 值。其中，样方 1 的光谱反应更大，特征波段的范围比样方 2、3 更为广泛。由图 5 可以看出，土壤碎屑有机质在旅游开发敏感水平的影响下，与生物物质有机质有着相反的反应，随着敏感水平的提升，土壤碎屑有机质的含量反而有所上升，对于光谱的反应范围变大，相应的特征波段也大幅度增加。由图 6 可以看出，土壤的胡敏素腐殖质有机质与生物物质有机质的反应相似，随着旅游开发程度的敏感水平的提升，土壤胡敏素腐殖质有机质与高光谱之间的响应关系变弱，辐射特征减少。

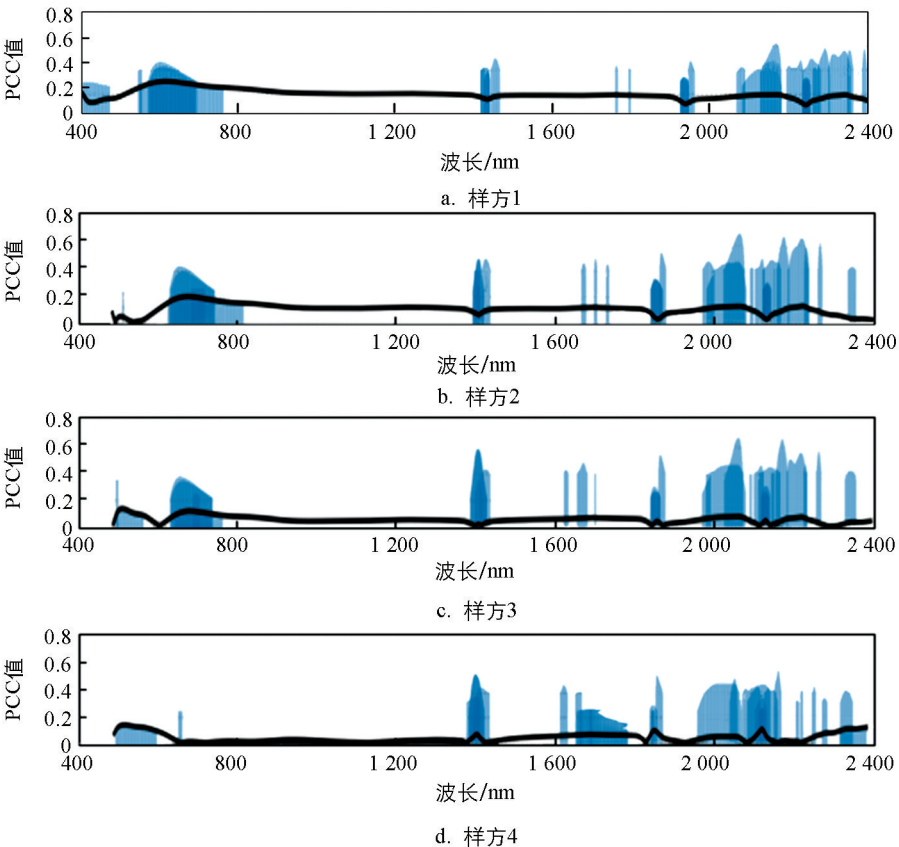


图 5 土壤碎屑有机质光谱

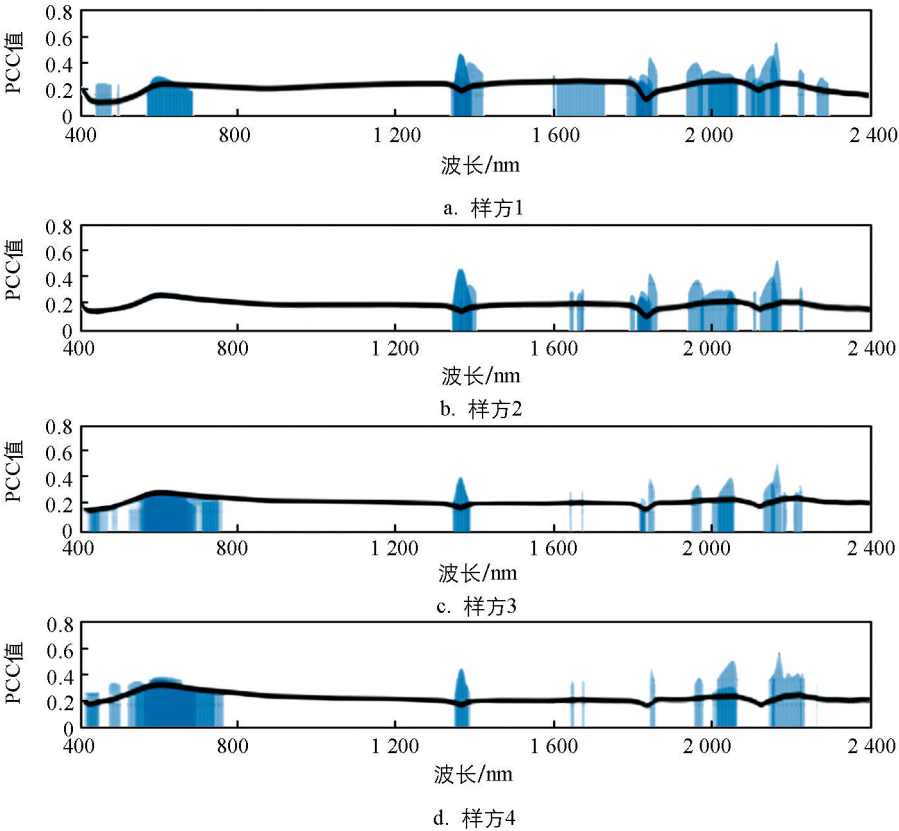


图 6 土壤胡敏素腐殖质有机质光谱

综合上述的结果分析可知，在旅游开发的影响下，随着敏感水平的提升，荒漠草原土壤中的生物质有机质和胡敏素腐殖质有机质的含量均呈现逐渐下降的趋势，碎屑有机质的含量则为相反的关系。由此可见，旅游开发对于荒漠草原土壤中的生物质有机质和胡敏素腐殖质有机质存在负相关的影响，对于土壤碎屑有机质则存在正相关的影响。

3.2 对土壤养分含量的影响

在旅游开发影响下，土壤养分含量的光谱数据如图 7—9 所示。

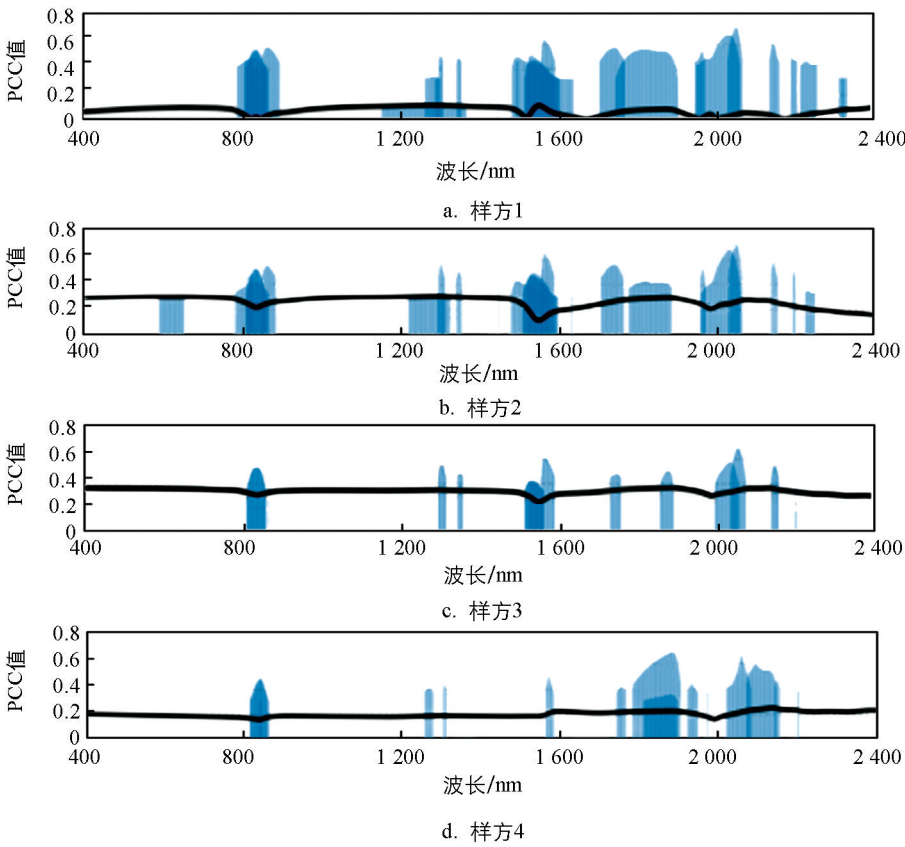


图 7 土壤氮养分含量光谱

由图 7 可以看出，荒漠草原土壤中的氮养分含量随着旅游开发敏感水平的提升，其光谱特征波段呈现上升的趋势。由图 8 可以看出，与氮养分含量相反，随着旅游开发敏感水平的提升，土壤样品中的磷养分含量光谱反映的特征波段逐渐变多。由图 9 可以看出，土壤样品中的钾养分含量未呈现出较大的变化，样方 1—4 的光谱特征波段较为相似，PCC 值也比较接近。

综合上述的结果分析可知，在旅游开发的影响下，随着敏感水平的提升，荒漠草原土壤中的氮养分含量以及磷养分含量分别为正、负相关的影响关系，钾养分含量则未受到较大的影响。

4 讨论与结论

4.1 讨论

本研究以内蒙古京二线以西地区的荒漠草原为例，深入探讨了旅游开发对土壤有机质及养分含量的具体影响，研究结果揭示了几个重要的生态关系。

首先，生物质有机质与胡敏素腐殖质有机质之间的正相关关系表明，在旅游开发过程中，若能有效保护植被覆盖和减少土壤侵蚀，将有助于促进土壤有机质的积累，特别是稳定态的胡敏素腐殖质的形成，这对于维持土壤肥力和提高生态系统稳定性具有重要意义。

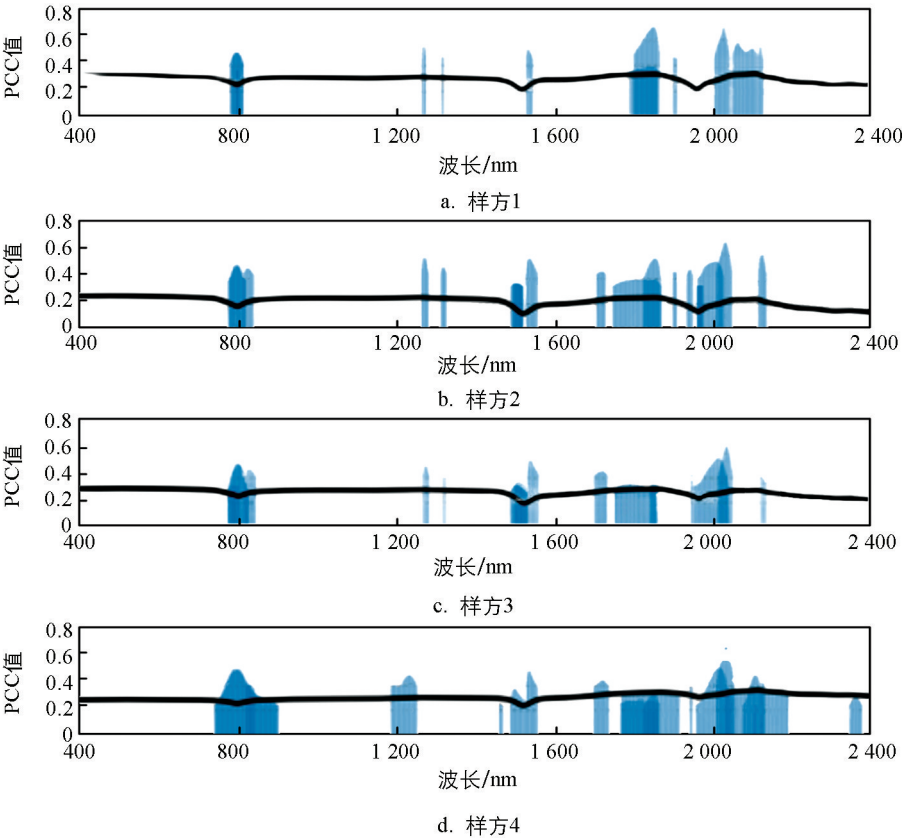


图 8 土壤磷养分含量光谱

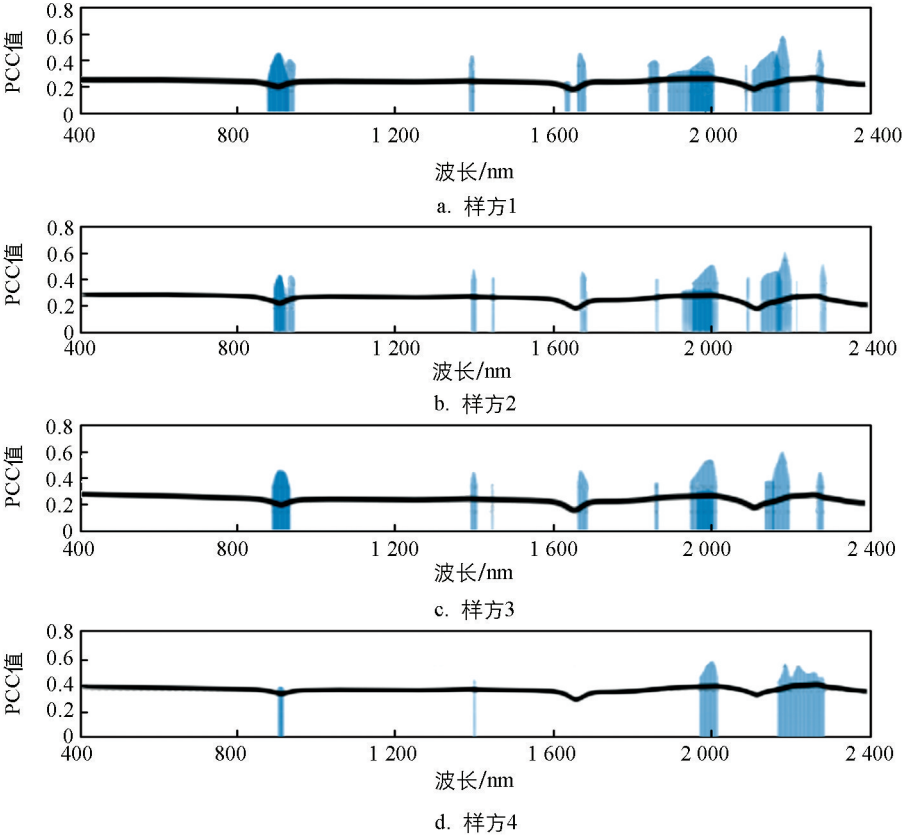


图 9 土壤钾养分含量光谱

其次, 碎屑有机质与土壤有机质含量之间的负相关关系则提示我们, 旅游活动如游客践踏、车辆行驶等可能会加剧土壤表面的物理破坏, 导致植物残体等碎屑有机质的快速分解和流失, 进而减少土壤中的有机质含量。这一发现强调了旅游开发需采取必要的土壤保护措施, 如设置游客步道、限制车辆进入等, 以减少对土壤的直接破坏。

最后, 需关注土壤养分含量的变化。氮养分含量的正相关影响可能源于旅游开发带来的土壤扰动促进了微生物活动和氮素循环, 但也需警惕这种变化可能导致的氮素流失和环境污染问题。磷养分含量的负相关影响则反映了旅游活动可能对土壤磷素资源的消耗以及磷素在土壤中的固定和流失过程。而钾养分含量未表现出明显影响关系, 可能与该地区土壤钾素本底含量较高或旅游开发对钾素循环的直接影响较小有关。

综上所述, 本研究的结果强调了荒漠草原旅游开发过程中土壤保护的重要性。在追求旅游经济效益的同时, 必须充分考虑对土壤生态系统的潜在影响, 采取科学合理的规划和管理措施, 以实现旅游开发与生态保护的和谐共生。

4.2 结论

本研究通过实证分析, 揭示了荒漠草原旅游开发对土壤有机质及养分含量的复杂影响。结果表明, 旅游开发对土壤生物有机质和胡敏素腐殖质有机质具有正面促进作用, 但对碎屑有机质则表现出负面影响; 土壤氮养分含量因旅游活动而有所增加, 但磷养分含量则有所减少, 而钾养分含量未受显著影响。基于这些发现, 可以得出以下结论: 在荒漠草原的旅游开发中, 必须高度重视土壤生态系统的保护, 科学规划旅游活动的内容和范围, 采取有效措施减少旅游活动对土壤的负面影响。具体而言, 应加强对游客行为的引导和管理, 限制对土壤的直接破坏; 加强土壤监测和评估工作, 及时发现并解决土壤退化问题; 积极探索和推广生态旅游模式, 实现旅游开发与生态保护的良性循环。

参考文献:

[1] 牧仁, 孙非, 李新乐, 等. 乌兰布和沙漠不同演替阶段白刺灌丛沙堆土壤养分分布与富集特征 [J]. 水土保持研究, 2024, 31(3): 195-203.

[2] 全民, 杜昕鹏, 毕银丽. 露天矿排土场接种 AMF 对 3 种植物根系发育与土壤团聚体稳定性的影响 [J]. 水土保持研究, 2024, 31(3): 187-194.

[3] 宋世杰, 彭芮思, 左靖, 等. 陕北煤矿区采动地裂缝对土壤抗蚀性的影响规律研究 [J]. 煤炭科学技术, 2024, 52(2): 378-393.

[4] 牛一迪, 蔡体久. 大兴安岭北部次生林演替过程中物种多样性的变化及其影响因子 [J]. 植物生态学报, 2024, 48(3): 349-363.

[5] 王玮莹, 彭金榜, 朱婉雪, 等. 基于无人机遥感的盐渍化土壤有机质反演方法研究 [J]. 地球信息科学学报, 2024, 26(3): 736-752.

[6] 宁璐, 崔向新, 刘艳萍, 等. 两种旅游扰动模式对荒漠草原植被及土壤的影响研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2023, 37(2): 120-127.

[7] 程杰晟. 植物多样性和土壤性质受旅游干扰的影响——以伏羲山景区为案例 [J]. 分子植物育种, 2023, 21(14): 4788-4793.

[8] 冯可, 刘冬梅, 张琦, 等. 旅游干扰对松山油松林土壤微生物多样性及群落结构的影响 [J]. 植物生态学报, 2023, 47(4): 584-596.

[9] 徐丽霞. 自然保护区植物群落结构和功能受旅游干扰的影响 [J]. 分子植物育种, 2023, 21(24): 8255-8259.

[10] 郭子良, 刘欣艳, 张曼胤, 等. 大九湖湿地游步道两侧草本植物群落对旅游干扰的响应 [J]. 生态科学, 2022, 41(6): 82-91.

[11] 李鸿, 史东梅, 盘礼东. 生物炭与化肥配施对紫色土坡耕地侵蚀性耕层土壤水分及入渗特性的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(4): 121-132.

[12] 张永亮, 汪泓, 肖玖军, 等. 基于高光谱的山区耕地土壤有机质含量估测 [J]. 江苏农业学报, 2024, 40(1): 112-120.

[13] 王明涛, 苗彦军, 赵玉红, 等. 林芝市河谷地带不同人工草地建植对土壤养分含量的影响 [J]. 中国草地学报, 2023, 45(10): 144-150.

[14] 张明辉, 尹昀洲, 王珂, 等. 水曲柳人工林空间结构特征对土壤养分含量的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2023, 45(9): 73-82.

[15] 王丹枫, 孙当歌, 朱韦光, 等. 湿地水鸟栖息对土壤磷和植物群落特征的影响 [J]. 热带亚热带植物学报, 2023, 31(4): 465-472.

[16] 李祖婵, 玄锦, 王秋雪, 等. 闽江福州河段江心洲异质土壤生境湿地植物群落的物种多样性特征 [J]. 植物资源与环境学报, 2023, 32(1): 10-18.

[17] 高浩然, 周勇, 刘甲康, 等. 基于信息熵的耕地土壤养分与环境影响因子空间相关性研究 [J]. 水土保持通报, 2021, 41(6): 226-236.

[18] 孙涛, 冯晓敏, 高新昊, 等. 多样化种植对土壤团聚体组成及其有机碳和全氮含量的影响 [J]. 中国农业科学, 2023, 56(15): 2929-2940.

[19] 李佳珍, 董文旭, 陈拓, 等. 增温施肥对农田土壤有机碳和全氮含量及 $\delta_{13}\text{C}$ 、 $\delta_{15}\text{N}$ 值的影响 [J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(5): 842-850.

[20] 王学寅, 黄益灵, 全斌斌, 等. 浙江省瑞安市耕作层土壤养分元素有效态含量空间变异特征及其影响因素 [J]. 现代地质, 2022, 36(3): 963-971.

[21] 裴星星. 旅游开发对乡村生态环境的影响及应对策略研究——兼评文章《西南地区旅游经济对生态环境影响的实证研究》[J]. 生态经济, 2022, 38(11): 230-231.

[22] 曾婷, 邹君, 郑梦秋, 等. 旅游开发对传统村落活态性的影响研究——以永州市勾蓝瑶寨为例 [J]. 资源开发与市场, 2022, 38(12): 1529-1536.

[23] 罗澜, 席源, 华仲臣, 等. 河南省典型土壤类型及土地利用方式对土壤活性有机质及碳库管理指数的影响 [J]. 中国水土保持科学(中英文), 2023, 21(5): 29-37.

[24] 于汀汀, 朱云, 郭琳. 溴酚蓝作酸碱指示剂分光光度法测定土壤中有效磷 [J]. 岩矿测试, 2023, 42(1): 213-219.

[25] 陈朗. 海南吊罗山国家森林公园植物群落及土壤性质受旅游开发的影响 [J]. 分子植物育种, 2022, 20(2): 590-595.

责任编辑 张枸
崔玉洁

