

旅游干扰对武夷山风景区土壤质量的影响^{*}

李灵^{1,2}, 张玉², 江慧华², 谢妤², 杜洪庆², 周艳³, 张洪江¹

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 福建省绿色化工技术重点实验室, 武夷学院环境与建筑工程系, 福建 武夷山 354300; 3. 福建省武夷山景区管委会, 福建 武夷山 354300)

摘要: 为探讨旅游干扰对武夷山风景区土壤质量综合影响的程度, 2008年以5个核心景点区土壤为研究对象, 采用土壤质量综合指数进行评价, 结果表明: (1) 景点土壤容重比对照点平均增加了43.0%, 而土壤的非毛管孔隙度、毛管孔隙度、总孔隙度、最大持水量、最小持水量及毛管持水量平均下降了31.4%、27.2%、28.7%、26.6%、26.9%及30.8%; (2) 旅游干扰使一些景点的pH下降, 另一些景点的pH增大, 景点土壤有机质、全N、水解N及全P平均下降的比率较大, 分别为46.05%、49.74%、56.71%及42.75%, 全K、速效K和有效P则表现为增大或减少不定的变化趋势; (3) 不同景点土壤质量综合指数表现为: 大红袍(0.601) > 水帘洞(0.382) > 大王峰(0.327) > 一线天(0.264) > 天游峰(0.238)。旅游干扰对武夷山风景区土壤质量已产生了严重的影响, 据此提出了旅游可持续发展的几点建议。

关键词: 旅游活动; 土壤性状; 土壤质量; 武夷山风景区

中图分类号: S153

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)06-0056-07

Effects of Tourist Activities on Soil Quality of Wuyishan Scenery District

LI Ling^{1,2}, ZHANG Yu², JIANG Hui-hua², XIE Yu²,
DU Hong-qing², ZHOU Yan³, ZHANG Hong-jiang¹

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Green Chemical Industry Technology of Fujian Province, Department of Environmental and Architecture Engineering, Wuyi College, Wuyishan, Fujian 354300, China; 3. Administration Committee of Wuyishan Scenery District, Wuyishan, Fujian 354300, China)

Abstract: Topsoil(0–20 cm) properties of five core tourism-spots were studied in Wuyishan Scenery District in 2008. This paper researched effects of tourist activities on soil quality by the integrated soil quality index. The results showed that: (1) The bulk density averagely increases by 43.0%, but the noncapillary porosity, capillary porosity, total porosity, the max-water holding, min-water holding and capillary water-holding of all the samples averagely decrease by 31.4%, 27.2%, 28.7%, 26.6%, 26.9% and 30.8% in comparison with the contrasting spots. (2) Due to the impacts of tourist activities, the pH of soil increases in some samples and decreases in others; the decreased rates of soil organic matters, total nitrogen, available nitrogen and total phosphorus are relatively greater and respectively are 46.05%, 49.74%, 56.71% and 42.75%; the change rates of total potassium, available potassium and available phosphorus have not any significant regular, up or down. (3) The soil quality integrated indexes of different tourism-spots were ranked as follows: big-red robe(0.601) > water curtain cave(0.382) > king peak(0.327) > a line sky(0.264) > tian-you peak(0.238). The soil quality levels of tourism-spots are influenced by the intensity of tourist activities and some suggestions are proposed to realize the sustainable development of tourism.

Key words: tourist activity; soil property; soil quality; Wuyishan Scenery District

^{*} 收稿日期: 2009-06-14

基金项目: 福建省科技厅重点项目(2008F5060); 福建省武夷山景区管委会资助项目(2008-03)

作者简介: 李灵(1973-), 女, 河南南阳人, 在读博士, 讲师, 主要从事土壤与水体生态性评价方面的研究。E-mail: haodou_025@126.com

随着旅游业成为世界第一大产业, 其对生态环境的负面影响已成为当今环境与旅游研究的重点之一^[1]。土壤是旅游区游憩活动直接冲击的主要对象, 因此旅游区土壤质量问题成为目前旅游业与土壤学研究的热点。土壤质量是综合表征土壤维持作物生产能力、保持环境质量及促进动植物健康的能力^[2-3], 也是揭示土壤条件动态最敏感的指标, 因而能体现自然因素及人类活动对土壤的影响^[4]。国外旅游对景区土壤影响的研究始于 20 世纪 70 年代, 我国的起步较晚, 始于 20 世纪 90 年代。国内外的已有研究表明, 旅游活动对土壤有机质与微生物活性^[5-7]、土壤水分与土壤物理性状^[6, 8-10]、土壤养分^[11]、土壤流失^[12-13]及植被覆盖度与生物多样性^[14-15]等方面都产生了严重的影响。

以往的研究主要集中在旅游活动对景区土壤物理性质和化学性质某些方面的研究, 而对土壤质量的综合影响与评价的研究较少, 仅见秦远好等^[16]涉及到。在武夷山景区土壤生态环境研究方面, 何东进^[17]、游秀花^[18-19]侧重于森林景观土壤的理化特性, 而旅游对土壤质量带来的冲击未见报道。本文以武夷山核心景点区为研究对象, 在野外调查、采样和室内分析的基础上, 探明旅游活动对武夷山景区土壤质量的影响程度, 旨在为世界遗产地武夷山风景区旅游资源的管理及控制水土流失的发生和土壤

生态退化提供有利的证据。

1 研究区概况

武夷山国家级风景名胜区(117°35′ - 118°01′ E, 27°35′ - 27°43′ N)地处福建省西北部, 面积约 7 000 hm², 属低山丘陵地域, 是典型的中亚热带湿润季风气候, 年平均温度 18℃, 无霜期 270 d, 年降雨量 2 000 mm, 年蒸发量 1 000 mm, 年平均相对湿度在 80%左右, 年均日照时数 1 911 h, ≥10℃的活动积温 5 666. 4℃。区内独特的丹霞地貌形成于 7 000 万年前新生代的喜马拉雅造山运动, 大部分成土母岩由火山砾岩、红砂岩和页岩组成, 表层多为灰紫色砂粒及砾块, 疏松而透水性强, 为沙质砾土, 土层浅薄, 有机质较贫乏, 是首批国家级重点风景名胜区之一。1999 年被列入“世界文化与自然遗产名录”极大提升了武夷山在国内外的知名度, 旅游接待人数逐年上升, 2004 年首破 300 万大关后, 2005 年、2006 年、2007 年与 2008 年分别达 374 万、近 400 万、543 万和 565 万人次。

本研究以武夷山最近几年来各旅游点的平均游客量为依据, 选择 5 个核心景点天游峰、一线天、水帘洞及大红袍游道和大王峰观景台(中心铺砌石质圆台, 周围土壤为客土, 植被根系裸露, 附近有游客垃圾填埋)作为取样点(表 1)。

表 1 取样点基本情况

取样地点	游客数量/ (万人·a ⁻¹)	海拔/ m	坡向/ 坡度	经度/ 纬度	植被类型
天游峰游道	107.85	309	SW/ 22°	117° 56′ 45.0″ E / 27° 39′ 14.6″ N	马尾松林
一线天游道	77.71	238	SW/ 34°	117° 56′ 19.3″ E / 27° 37′ 42.1″ N	马尾松林
大红袍游道	38.23	212	-	117° 57′ 10.2″ E / 27° 40′ 38.7″ N	常绿阔叶林, 茶园
水帘洞游道	31.08	253	SW/ 18°	117° 58′ 00.9″ E / 27° 40′ 51.9″ N	常绿阔叶林, 茶园
大王峰观景台	11.56	516	-	117° 57′ 45.9″ E / 27° 38′ 56.9″ N	常绿阔叶林

数据来源: 武夷山风景区管理委员会 2008 年统计结果。

2 研究方法

2.1 取样方法

分别在游道两侧边缘各选取 1 个取样点, 在大王峰观景台边缘取 2 个取样点, 与此同时在各样区分别选择无游客踩踏痕迹或有大量枯枝落叶处为对照点并取样, 所有样区均选取 1 个主取样点, 同时以每个主取样点为中心, 再布设 4 个副取样点取其 0- 20 cm 表层土, 每个样区共 5 个样品均匀混合成一个样品。用环刀法测定土壤水分、物理性质和容重, 混合样品取好后, 待风干土样在拣去石砾、植物根系和大于 2 mm 的碎屑后, 在室内通风处风干, 风干后土样再用四分法分出部分样品, 过筛后储藏备用。

2.2 测试方法

土壤容重、孔隙度及水分物理性质采用环刀法, pH 值采用电位法, 有机质采用重铬酸钾氧化-外加加热法, 全氮测定采用硒粉-硫酸铜-硫酸消化凯氏定氮法, 全磷采用氢氧化钠熔融-钼蓝比色法, 全钾采用氢氧化钠熔融-火焰光度法, 水解氮采用碱解扩散法, 有效磷测定采用氟化铵-盐酸浸提法, 速效钾测定采用乙酸铵浸提-火焰光度法, 每个土壤样品进行 3 次平行测定。

2.3 数据分析

数据经 Excel 整理后, 利用 SPSS13.0 软件包对土壤质量因子进行主成分分析, 确定主成分以及各因子的权重。

3 结果与讨论

3.1 旅游干扰对土壤质量的影响

3.1.1 旅游干扰对土壤物理性质的影响 土壤容重的大小在协调土壤环境、调节土壤肥力等方面具有重要作用,是反映土壤质量的重要参数。一般随着旅游干扰强度的增大,土壤的紧实度增加,进一步导致土壤容重的增大^[8]。由表 2 可知,武夷山风景区不同旅游景点天游峰、一线天、大红袍、水帘洞游道及大王峰观景台土壤容重分别比对照增加了 89.02%, 89.02%; 58.72%, 33.03%; 22.64%, 25.47%; 26.17%, 37.38% 和 28.57%, 19.78%, 平均增加率为 43.0%, 其中天游峰游道土壤容重增加的幅度最大,远大于平均增加率;而大王峰观景台土壤容重增加的幅度相对较小,这与以往的研究结果^[8-10]一致。高的土壤容重通常是土壤退化的标志之一^[9],因此高强度旅游干扰下的土壤更容易退化。

土壤孔隙度影响土壤与大气之间水和气体的交换以及植物体对土壤中水分和养分的吸收^[20],土壤孔隙的大小、数量及分布是结构性能的综合反映,也是评价土壤结构的重要指标^[21]。一般游客踩踏使土壤板结,孔隙度下降,土壤总孔隙度下降的比率表现为一线天(45.38%, 33.26%)> 大红袍(27.62%, 32.09%)> 大王峰(31.14%, 30.64%)> 天游峰(20.35%, 32.41%)> 水帘洞(17.08%, 16.83%);

毛管孔隙度下降的比率大小顺序为: 一线天(53.03%, 31.97%)> 大王峰(31.14%, 34.79%)> 大红袍(27.57%, 34.34%)> 天游峰(13.68%, 29.9%)> 水帘洞(7.33%, 8.42%); 非毛管孔隙度下降的比率表现为: 水帘洞(42.38%, 38.66%)> 天游峰(37.31%, 38.81%)> 一线天(24.4%, 36.8%)> 大红袍(27.84%, 23.20%)> 大王峰(29.97%, 14.77%), 其中总孔隙度与毛管孔隙度平均下降 28.7% 与 27.2%, 而非毛管孔隙度平均下降率最大,为 31.4%, 高强度的践踏使土壤的大孔隙急剧减少,一定程度上增加了土壤中的毛管孔隙,结果使景点土壤大孔隙度减少的比率大于毛管孔隙度及总孔隙度的,表明旅游活动对土壤大孔隙的影响最为明显。

水分是土壤养分的载体,土壤持水能力受土壤质地、地形特征、植被类型及土壤结构变化等多种因素的影响^[22-23]。随着旅游践踏强度的递增,土壤压实,土壤颗粒紧密,使土壤孔隙度减少,同时土壤的持水能力也随之下降。武夷山景点土壤最大持水量、最小持水量及毛管持水量平均下降率分别为 26.6%、26.9% 及 30.8%, 下降的比率总体上以天游峰的最大,而大红袍的最小。总体看来,武夷山风景区旅游活动对土壤的物理性质产生了很大的影响。景点土壤紧实使植物根系分布数量减少,土壤的疏松性、通气性和透水性变差,导致土壤物理性状进一步恶化。这与罗姍等^[24]的研究结果一致。

表 2 土壤物理性状指标的平均含量

取样点 位置	容重/ (g·cm ⁻³)	非毛管 孔隙/%	毛管孔隙/ %	总孔隙度/ %	最大持 水量/%	最小持 水量/%	毛管持 水量/%
天游峰 1	1.55/89.02	6.30/- 37.31	22.03/- 13.68	28.33/- 20.35	18.22/- 35.09	8.38/- 52.96	14.17/- 33.60
天游峰 2	1.55/89.02	6.15/- 38.81	17.89/- 29.90	24.04/- 32.41	16.77/- 40.26	6.42/- 64.00	11.52/- 46.02
对照	0.82	10.05	25.52	35.57	28.07	17.82	21.34
一线天 1	1.73/58.72	9.45/- 24.40	16.10/- 53.03	25.55/- 45.38	24.74/- 42.18	14.83/- 43.80	19.29/- 38.48
一线天 2	1.45/33.03	7.90/- 36.80	23.32/- 31.97	31.22/- 33.26	28.38/- 33.68	18.01/- 31.73	22.94/- 26.83
对照	1.09	12.5	34.28	46.78	42.79	26.38	31.35
大红袍 1	1.3/22.64	7.00/- 27.84	27.82/- 27.57	34.82/- 27.62	34.46/- 10.07	22.99/- 13.21	25.08/- 18.01
大红袍 2	1.33/25.47	7.45/- 23.20	25.22/- 34.34	32.67/- 32.09	32.42/- 15.40	23.32/- 11.97	23.34/- 23.71
对照	1.06	9.70	38.41	48.11	38.32	26.49	30.59
水帘洞 1	1.35/26.17	7.75/- 42.38	32.35/- 7.33	40.10/- 17.08	29.77/- 24.02	21.37/- 21.66	20.02/- 29.23
水帘洞 2	1.47/37.38	8.25/- 38.66	31.97/- 8.42	40.22/- 16.83	27.36/- 30.17	18.04/- 33.87	21.75/- 23.12
对照	1.07	13.45	34.91	48.36	39.18	27.28	28.29
大王峰 1	1.17/28.57	6.45/- 29.97	24.20/- 31.44	30.65/- 31.14	20.67/- 16.25	10.58/- 19.79	19.45/18.24
大王峰 2	1.09/19.78	7.85/- 14.77	23.02/- 34.79	30.87/- 30.64	19.37/- 21.52	11.2/- 15.09	14.45/- 12.16
对照	0.91	9.21	35.3	44.51	24.68	13.19	16.45

注: / 后数值为与对照相比的变化率(%), 正值表示增加, 负值表示减少, 下同。

3.1.2 旅游干扰对土壤 pH 及肥力的影响 由表 3 可以看出, 与对照相比土壤 pH 下降的为天游峰(10.28%, 15.68%)、一线天(8.43%, 11.57)和大王峰(11.65%, 7.02%), 这与已有的研究结果^[25]相一

致, 土壤 pH 比对照相增大的为大红袍 (12. 97%, 15. 97) 与水帘洞 (4. 81%, 1. 46%), 该结果与有些学者的结论^[7-8, 11, 16]一致。游客踩踏, 地面植被遭到破坏, 水土流失加重, 土壤有机质含量下降, 致使土壤有机酸含量减少, 在一定程度上使 pH 上升^[7, 24]; 同时由于景点土壤中游客垃圾成分的侵入, 使土壤的 pH 发生改变^[8]。天游峰和一线天游道坡度较大, 冲刷带走了一部分有机酸和无机酸使土壤 pH 增大, 另一方面由于大量游客喝过的酸饮料汁液溅洒到土壤里, 使土壤的 pH 下降, 可能后者影响的程度大于前者, 结果其土壤 pH 低于对照。大王峰观景台虽然游客数量较少, 但是游客集中休息的地方, 一方面可能是客土本身的 pH 低于对照(外源性土壤, 成分一般比较复杂), 另一方面也可能受到大量游客垃圾如塑料袋、易拉罐、塑料瓶等的影响, 使大王峰观景台土壤 pH 低于对照。水帘洞游道两侧为茶园, 增施石灰为了改变土壤酸性的农事活动中, 石灰可能进入游道两侧土壤; 大红袍游道附近茶园的经营及 2006– 2007 年间修建阁楼及亭台过程中一些碱性建筑材料(如石灰和水泥等) 可能散落到景区; 同时由于有机质的减少等原因导致大红袍和水帘洞景点土壤的 pH 大于对照。景点土壤酸碱变化的复杂性反映了旅游活动导致土壤环境变化的复杂性。

土壤肥力指标中, 与对照相比, 有机质、全 N、水解 N 及全 P 平均下降的比率较大, 分别为 46. 05%、49. 74%、56. 71% 和 42. 75%, 全 K、速效 K 和有效 P 表现为增大或减小不定的变化趋势(表 3)。其中有机质下降的比率表现为: 天游峰 (72. 26%,

59. 40%) > 大王峰 (57. 83%, 53. 89%) > 一线天 (51. 56%, 54. 11%) > 水帘洞 (44. 89%, 32. 42%) > 大红袍 (13. 78%, 30. 32%)。土壤有机质是土壤质量状况的重要指标之一, 其含量与地被物的积累和分解作用的相对强度有关^[26], 景区土壤受旅游活动影响, 地面植被破坏强烈, 枯枝落叶归还量下降, 有机质来源减少; 可降解的垃圾进入土壤后, 会使土壤内有害病原体增多, 微生物活动减少; 土壤水分减少, 有机质分解加速等可能是景点土壤有机质含量急剧下降的主要原因。

土壤全 N 量的消长与土壤有机质含量的变化一样且表层土壤中 80% ~ 97% 的氮来源于有机质的分解^[27], 全 N 下降的比率为: 天游峰 (90. 38%, 77. 56%) > 一线天 (53. 17%, 48. 83%) > 大红袍 (40. 98%, 39. 34%) > 水帘洞 (43. 51%, 35. 11%) > 大王峰 (39. 81%, 28. 70%), 水解 N 下降的比率为: 天游峰 (88. 75%, 78. 22%) > 一线天 (68. 36%, 64. 63%) > 水帘洞 (56. 86%, 44. 07%) > 大王峰 (50. 23%, 37. 26%) > 大红袍 (33. 19%, 45. 49%)。

与对照相比, 景点土壤中 P、K 含量的变化(表 3) 说明土壤中 P 和 K 对旅游活动干扰缺乏响应, 这与秦远好等^[16]的研究结论一致。即使同一景点游道两侧土壤变化趋势不一样, 如大王峰的有效 P 及天游峰和一线天的速效 K。但大红袍景点有效 P 及速效 K 与对照相比增加的比率均较大, 该游道附近有慧苑寺院, 寺民的烧火做饭和取暖产生大量的草木灰及燃烧后的香灰和零星分布菜田施用的肥料进入土壤可能是造成以上结果的主要原因。

表 3 土壤 pH 及养分元素的平均含量

监测点 位置	pH	有机质/ (g · kg ⁻¹)	全 N/ (g · kg ⁻¹)	全 P/ (g · kg ⁻¹)	全 K/ (g · kg ⁻¹)	水解 N/ (mg · kg ⁻¹)	有效 P/ (mg · kg ⁻¹)	速效 K/ (mg · kg ⁻¹)
天游峰 1	5. 15/– 10. 28	6. 40/– 72. 26	0. 15/– 90. 38	0. 09/– 43. 75	12. 3/14. 95	10. 13/– 88. 75	0. 98/– 5. 93	34. 18/ 16. 93
天游峰 2	4. 84/– 15. 68	9. 367/– 59. 40	0. 35/– 77. 56	0. 09/– 43. 75	13. 6/27. 10	19. 62/– 78. 22	0. 96/– 8. 23	20. 55/– 29. 70
对照	5. 74	23. 07	1. 56	0. 16	10. 7	90. 09	1. 05	29. 23
一线天 1	4. 67/– 8. 43	12. 54/– 51. 56	0. 54/– 53. 17	0. 061/– 61. 88	9. 69/– 18. 57	19. 48/– 68. 36	1. 39/27. 10	55. 02/ 13. 05
一线天 2	4. 51/– 11. 57	11. 88/– 54. 11	0. 59/– 48. 83	0. 098/– 38. 75	10. 9/– 8. 40	21. 77/– 64. 63	1. 25/14. 32	44. 55/– 8. 47
对照	5. 1	25. 89	1. 153	0. 16	11. 9	61. 55	1. 10	48. 67
大红袍 1	5. 66/12. 97	17. 65/– 13. 78	1. 08/– 40. 98	0. 14/– 39. 13	13. 2/– 12. 00	43. 72/– 33. 19	2. 19/55. 40	92. 25/ 18. 22
大红袍 2	5. 81/15. 97	16. 31/– 20. 32	1. 11/– 39. 34	0. 18/– 21. 74	12. 9/– 14. 00	35. 67/– 45. 49	4. 53/221. 80	107/ 37. 13
对照	5. 01	20. 47	1. 83	0. 23	15	65. 44	1. 41	78. 03
水帘洞 1	5. 01/4. 81	10. 03/– 44. 89	0. 74/– 43. 51	0. 14/– 63. 16	12. 7/9. 96	42. 22/– 56. 86	1. 35/– 93. 9	37. 23/– 71. 62
水帘洞 2	4. 85/1. 46	12. 3/– 32. 42	0. 85/– 35. 11	0. 11/– 71. 05	12. 2/5. 63	54. 75/– 44. 07	1. 61/– 92. 70	95. 37/– 27. 31
对照	4. 78	18. 2	1. 31	0. 38	11. 55	97. 87	22. 1	131. 2
大王峰 1	4. 78/– 11. 65	9. 60/– 57. 83	0. 65/– 39. 81	0. 16/– 24. 53	8. 7/– 18. 69	42. 26/– 50. 23	0. 71/– 33. 80	30. 33/– 73. 23
大王峰 2	5. 03/– 7. 02	10. 5/– 53. 89	0. 77/– 28. 70	0. 17/– 19. 81	9. 3/– 13. 08	53. 26/– 37. 26	1. 2/12. 36	106/– 6. 44
对照	5. 41	22. 77	1. 08	0. 212	10. 7	84. 90	1. 07	113. 3

3.2 土壤质量的综合评价

土壤质量的高低表现在环境质量、肥力质量和健康质量^[28], 本文主要采用土壤质量综合指数(Integrated Soil Quality Index, 简称 ISQI) 评价法^[29]评价武夷山风景区不同旅游景点土壤的肥力质量。由于不同研究者对不同指标重要性认识的不同, 选取土壤肥力质量指标各异, 本研究选取与土壤肥力质量关系较密切的土壤属性因子: 土壤密度、pH 值、有机碳、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾等, 运用多元统计分析, 对不同景点的土壤质量进行综合评价, 反应旅游活动过程中土壤质量的变化及旅游干扰与土壤质量之间的相互关系。

3.2.1 评价指标隶属度的计算 在土壤质量评价中, 实测数据是每项指标的具体数值, 无法进行运算和比较, 需要进行标准化处理。目前采用较多的方法是连续性的隶属度函数评价法^[26], 并根据主成分

因子负荷值的正负性确定隶属度函数分布的升降性。主成分因子负荷量为正值的因子采用升型分布函数式(1)计算, 为负值的因子采用降型分布函数式(2)计算。

$$Q_i = (x_i - x_{imin}) / (x_{imax} - x_{imin}) \tag{1}$$

$$Q_i = (x_{imin} - x_i) / (x_{imax} - x_{imin}) \tag{2}$$

式中: Q_i ——各土壤肥力因子的隶属度值; x_i ——第 i 项土壤肥力因子值; x_{imax} 和 x_{imin} ——第 i 项土壤肥力因子的最大值和最小值。

表 4 给出了土壤质量主成分分析的结果, 第 1, 2 主成分的累计贡献率达到 77. 659% , 可以综合反映出原来所有土壤质量要素的绝大部分信息。第 1, 2 主成分的负荷值见表 5。由表 5 可知, 第一主成分中容重及第二主成分中全 P 和水解 N 的负荷为负值, 采用降型分布函数式(2)计算隶属度值, 其他因子采用升型分布函数式(1)计算隶属度值, 结果见表 6。

表 4 土壤质量因子的主成分贡献率

主成分	1	2	3	4	5	6	7	8	9
特征根	4. 920	2. 609	0. 905	0. 526	0. 322	0. 173	0. 079	0. 004	0. 001
贡献率	54. 672	22. 987	10. 056	5. 849	3. 581	1. 919	0. 883	0. 048	0. 007
累计贡献率	54. 672	77. 659	87. 714	93. 563	97. 144	99. 062	99. 945	99. 993	100. 000

表 5 土壤质量指标的负荷量

土壤质量指标	pH	容重	有机质	全 N	全 P	全 K	水解 N	有效 P	速效 K
第一主成分的负荷	0. 760	- 0. 619	0. 776	0. 946	0. 805	0. 166	0. 707	0. 761	0. 841
第二主成分的负荷	0. 409	0. 683	0. 336	0. 002	- 0. 417	0. 760	- 0. 532	0. 516	0. 021

表 6 土壤质量指标的隶属度值

pH		容重		有机质		全 N		全 P		全 K		水解 N		有效 P		速效 K	
iv	⊕	iv	⊕	iv	⊕	iv	⊕	iv	⊕	iv	⊕	iv	⊕	iv	⊕	iv	⊕
0. 49	0. 49	0. 28	0. 72	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 24	0. 76	0. 74	0. 74	0. 00	1. 00	0. 07	0. 07	0. 16	0. 16
0. 25	0. 25	0. 28	0. 72	0. 26	0. 26	0. 21	0. 21	0. 24	0. 76	1. 00	1. 00	0. 21	0. 79	0. 07	0. 07	0. 00	0. 00
0. 12	0. 12	0. 00	1. 00	0. 55	0. 55	0. 41	0. 41	0. 00	1. 00	0. 20	0. 20	0. 21	0. 79	0. 18	0. 18	0. 40	0. 40
0. 00	0. 00	0. 44	0. 56	0. 49	0. 49	0. 46	0. 46	0. 31	0. 69	0. 45	0. 45	0. 26	0. 74	0. 14	0. 14	0. 28	0. 28
0. 89	0. 89	0. 67	0. 33	1. 00	1. 00	0. 97	0. 97	0. 66	0. 34	0. 92	0. 92	0. 75	0. 25	0. 39	0. 39	0. 84	0. 84
1. 00	1. 00	0. 63	0. 38	0. 88	0. 88	1. 00	1. 00	1. 00	0. 00	0. 86	0. 86	0. 57	0. 43	1. 00	1. 00	1. 01	1. 01
0. 39	0. 39	0. 59	0. 41	0. 32	0. 32	0. 62	0. 62	0. 66	0. 34	0. 82	0. 82	0. 72	0. 28	0. 17	0. 17	0. 20	0. 20
0. 26	0. 26	0. 41	0. 59	0. 52	0. 52	0. 73	0. 73	0. 41	0. 59	0. 71	0. 71	1. 00	0. 00	0. 24	0. 24	0. 88	0. 88
0. 21	0. 21	0. 88	0. 13	0. 29	0. 29	0. 52	0. 52	0. 83	0. 17	0. 00	0. 00	0. 72	0. 28	0. 00	0. 00	0. 11	0. 11
0. 40	0. 40	1. 00	0. 00	0. 36	0. 36	0. 65	0. 65	0. 92	0. 08	0. 12	0. 12	0. 97	0. 03	0. 13	0. 13	1. 00	1. 00

注: iv 为主成分 1 的土壤质量指标隶属度值, ⊕为主成分 2 的土壤质量指标隶属度值。

3.2.2 土壤质量指标权重的确定 由于土壤各个肥力因子对土壤综合质量指数的重要性与贡献不同, 所以通常用权重系数来表示各个因子的重要性。本研究利用各因子主成分的贡献率及因子负荷量, 计算各土壤质量指标在土壤质量中的作用大小, 确定各因子的权重^[16]。

$$W_i = C_i / \sum_{i=1}^n C_i \tag{3}$$

式中: W_i ——土壤质量的指标权重; C_i ——第 i 个土壤肥力因子的因子负荷量。

3. 2. 3 土壤质量综合指标值及评价 不同土地利用方式的土壤综合质量指数(ISQI) 的计算采用土壤肥力综合指数公式^[26], 对各个土壤因子的指标值

采用加乘法进行合成,各土地利用土壤综合质量指数值($ISQI$)的计算公式为

$$ISQI = \sum_{i=1}^n W_i \times C_i \tag{4}$$

$ISQI$ 值越大,土壤质量越高;相反,土壤质量越差。主成分 1、2 的土壤质量综合指标 $ISQI_1$ 、 $ISQI_2$ 及第 1、2 主成分一同考虑,根据它们的贡献率得出土壤质量综合指数 $ISQI$ 。考虑到同一景点的两个取样点旅游活动及环境条件的相似性,因此取两个

表 7 土壤质量指标的权重

土壤质量因子	pH	容重	有机质	全 N	全 P	全 K	水解 N	有效 P	速效 K
第一主成分的权重	0.119	0.097	0.122	0.148	0.126	0.026	0.111	0.119	0.132
第二主成分的权重	0.111	0.186	0.091	0.001	0.113	0.207	0.145	0.140	0.006

表 8 土壤质量综合指数($ISQI$)

旅游景点	天游峰		一线天		大红袍		水帘洞		大王峰	
	天游峰 1	天游峰 2	一线天 1	一线天 2	大红袍 1	大红袍 2	水帘洞 1	水帘洞 2	大王峰 1	大王峰 2
$ISQI_1$	0.164	0.208	0.245	0.304	0.784	0.899	0.465	0.568	0.422	0.659
$ISQI_2$	0.583	0.603	0.546	0.449	0.577	0.649	0.423	0.439	0.135	0.140
$ISQI$	0.224	0.252	0.259	0.269	0.561	0.641	0.352	0.412	0.262	0.392
均值	0.238		0.264		0.601		0.382		0.327	

大红袍景点的土壤质量明显高于水帘洞和大王峰的,与地形条件如坡度等其它环境条件有关。大红袍景点的平均旅游人数虽然大于水帘洞和大王峰的,但其游道地形平坦,两侧有树荫遮阳及少量的枯枝落叶,气候湿润,水分易于续存和有机质分解缓慢且沿途自然景观较为简单,游客滞留时间短,使土壤保持了相对较高的土壤质量。而水帘洞游道坡度较大,在旅游高峰期相对平缓的地段架有高倍望远镜供游客瞭望远处的“船棺之谜”,因此冲刷和践踏的双重作用是其土壤质量下降。大王峰观景台由于海拔较高,游客垃圾不便于及时运出景区且每年覆盖大量的客土保护裸露的地段和植物根系,因此垃圾的填埋及客土的混杂可能改变了原有土壤的理化性质使土壤质量下降。

4 结论与建议

(1) 旅游干扰使土壤结构呈恶化的趋势,其中对土壤容重的影响大于对土壤孔隙度和持水性能的影响,土壤孔隙度以大孔隙减小的最为明显;对化学性质的影响比对土壤容重的影响更显著,土壤有机质、全 N、水解 N 平均下降的比率均大于土壤容重增加的比率,全 K、速效 K 和有效 P 与旅游活动的关系不明显,土壤肥力下降。作为南方的山地红壤区,土壤生态环境脆弱,一旦破坏后很难恢复。因此建议武夷山风景区制定合理的旅游环境容量、采取适当分流游客的措施,提高旅游者的环保意识,从而减少

样点 $ISQI$ 的平均值作为该景点最终的土壤质量综合指数(表 8)。

结果表明不同旅游景点土壤的综合质量指数表现为:大红袍(0.601) > 水帘洞(0.382) > 大王峰(0.327) > 一线天(0.264) > 天游峰(0.238)。天游峰景点土壤综合质量指数(0.238)最小,其次为一线天的,表明高强度的旅游践踏极易造成土壤水分和养分的流失,降低土壤质量。

旅游干扰的强度和范围,防止土壤生态环境的进一步恶化。

(2) 旅游垃圾、客土混杂等使天游峰、一线天和大王峰游道土壤的 pH 下降,而景点建设、农事活动及游客践踏导致水土流失的发生等使大红袍与水帘洞游道土壤的 pH 增大。因此垃圾的处理尽可能运出景区或在旅游旺季适当增加清洁工数量提高垃圾处理能力;必要时在游人集中休息的区域如大王峰观景台或一线天攀岩(植物根系裸露)处铺撒干树皮等方法保护裸露的土壤,减少土壤性状的改变,维护土壤生态系统的平衡,实现旅游区土壤资源的可持续利用。

(3) 土壤质量随着旅游干扰强度的增大呈明显下降的趋势,土壤的综合质量指数表现为:大红袍 > 水帘洞 > 大王峰 > 一线天 > 天游峰,天游峰与一线天游道土壤的 $ISQI$ 最小,除受到旅游活动的影响外,还与该景点游道的坡度较大等有关,因此建议在旅游干扰强度和游道坡度均较大的后天游及一线天可采取铺装石质游道、设置标志牌,减少旅游旺季游客随意践踏及水土流失的发生,修复和维护旅游活动对土壤生态系统的破坏,提高土壤质量。

随着武夷山双世遗知名度的不断提高,旅游人数的逐年上升对土壤环境的负面效应将越来越大。研究表明,武夷山风景区旅游活动过程中游客践踏、枯落物清除、游客垃圾、香灰散落、客土混杂、景点建设、农事活动等对景区土壤质量已造成了显著影响。因

此建议合理规划,采取一定措施,防止土壤生态环境的逆行演替,真正实现经济发展与环境保护的双赢。

参考文献:

- [1] Lu Y T, Xiao C. Study on the quality of the ecological environments for tourists and swallow in swallow cavern, Jianshui[J]. *Geographica Sinica*, 1998, 53(6): 198-203.
- [2] Doran J W, Michael R Z. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality[J]. *Applied Soil Ecology*, 2000, 15(1): 3-11.
- [3] 刘占锋, 傅伯杰, 刘国华, 等. 土壤质量与土壤质量指标及其评价[J]. *生态学报*, 2006, 26(3): 901-913.
- [4] 颜雄, 张杨珠, 刘晶. 土壤肥力质量评价的研究进展[J]. *湖南农业科学*, 2008(5): 82-85.
- [5] Cilimborg A. Wildland recreation and human waste: A review of problems, practices and concerns[J]. *Environment Management*, 1999, 125(6): 587-592.
- [6] Eden T, Richard J R. Impacts of experimentally applied mountain biking and hiking on vegetation and soil of a deciduous forest[J]. *Environmental Management*, 2001, 27(3): 397-409.
- [7] 马建华, 朱玉涛. 嵩山景区旅游活动对土壤组成性质和重金属污染的影响[J]. *生态学报*, 2008, 28(3): 955-965.
- [8] 王忠君, 蔡君, 张启翔. 旅游活动对云蒙山国家森林公园土壤影响的初步研究[J]. *河北林业科技*, 2003(5): 12-15.
- [9] Lowery B, Swan J. Physical properties of selected soils by erosion class [J]. *Soil Water Conserv*, 1995, 50: 306-311.
- [10] Joy T, Greg O H. Human impact on the ecosystem [M]. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1981: 175-189.
- [11] 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[J]. *环境科学*, 1999, 20(6): 69.
- [12] Sun D, Walsh D. Review of studies on environmental impacts of recreation and tourism in Australia[J]. *Journal of Environmental Management*, 1998, 53: 323-338.
- [13] Douglas M C. Recreational impacts on erosion and runoff in a central Arizona riparian area[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1998, 53(1): 38-42.
- [14] Cerman F. Agency for nature conservation, biodiversity and tourism[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1997.
- [15] Willian E H, David N C. Wildland recreation: ecology and management(2nd) [M]. New York: John Wiley and Sons, 1998.
- [16] 秦远好, 谢德体, 魏朝富, 等. 土壤生态环境对游憩活动冲击的响应研究[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(3): 64-65.
- [17] 何东进, 洪伟, 胡海清, 等. 武夷山风景区森林景观土壤物理性质异质性及其分形特征[J]. *林业科学*, 2005, 41(5): 175-179.
- [18] 游秀花, 蒋尔可. 不同森林类型土壤化学性质的比较研究[J]. *江西农业大学学报*, 2005, 27(3): 357-360.
- [19] 游秀花. 马尾松天然林不同演替阶段土壤理化性质的变化[J]. *福建林学院学报*, 2005, 25(2): 121-124.
- [20] 尹刚强, 田大伦, 方晰, 等. 不同土地利用方式对湘中丘陵区土壤质量的影响[J]. *林业科学*, 2008, 44(8): 9-15.
- [21] 庞学勇, 包维楷, 张咏梅, 等. 岷江柏林下土壤物理性质及其地理空间差异[J]. *应用与环境生物学报*, 2004, 10(5): 596-601.
- [22] Chen C R, Condron L M, Davis M R, et al. Seasonal changes in soil phosphorus and associated microbial properties under adjacent grassland and forest in New Zealand[J]. *Forest Ecology and Management*, 2003, 177: 539-557.
- [23] Fu B J, Wang J, Chen L D, et al. The effects of land use on soil moisture variation in the Danangou catchment of the Loess Plateau, China[J]. *Catena*, 2003, 54: 197-213.
- [24] 罗姗, 张昆, 彭涛, 等. 旅游活动对高原湿地纳帕海土壤理化性质的影响研究[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(6): 2391-2393.
- [25] 冯学钢, 包浩生. 旅游活动对风景区地被植物: 土壤环境影响的初步研究[J]. *自然资源学报*, 1999, 14(1): 75-78.
- [26] 樊后保, 李燕燕, 黄玉梓, 等. 马尾松纯林改造成针阔混交林后土壤化学性质的变化[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(4): 77-81.
- [27] Ros M C, Garcia T, Hernandez M. Short-Term Effects of Human Trampling on Vegetation and Soil Microbial Activity[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2004, 35(11/12): 1591-1603.
- [28] 颜雄, 张杨珠, 刘晶. 土壤肥力质量评价的研究进展[J]. *湖南农业科学*, 2008(5): 82-85.
- [29] 张庆贵, 宋永昌, 由文辉. 浙江天童植物群落次生演替与土壤肥力的关系[J]. *生态学报*, 1999, 19(2): 174-178.