

旅游活动对香格里拉景区 土壤重金属污染的影响^①

谭小爱, 王 平, 邹亚萍, 范 雅

云南师范大学 旅游与地理科学学院, 昆明 650500

摘要: 为了解旅游活动对香格里拉景区土壤重金属的影响, 在测定土壤重金属含量的基础上, 结合相关分析解析重金属的来源, 并采用内梅罗综合污染指数法和污染负荷指数法评价了重金属污染特征. 结果表明: ① 研究区混合样中重金属 As, Hg, Cd, Cu, Cr, Pb 和 Zn 的平均含量分别为 10.16, 0.291, 0.52, 38.67, 83.78, 42.26, 130.27 mg/kg, 其中 Cu, Cd, Cr, Pb 和 Zn 的平均含量超过对照样的 13.3%, 44.8%, 10.6%, 15.4% 和 13.9%, Hg, Cd, Cr 以及混合样中的 Cu, Zn 的含量均超过了迪庆州土壤背景值, 各样点 Hg 含量超过背景值 7.45~7.53 倍. ② 土壤重金属的单项污染指数从大至小表现为: Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Cr, As, 最高污染系数污染程度从大至小表现为: Hg, Cd, Cr, Zn, Cu, Pb, As, Hg 为研究区第一污染物. ③ 混合样点的平均综合污染指数和污染负荷指数分别为 2.7(中度污染)和 1.06, 对照样平均综合污染指数和污染负荷指数分别为 1.54(轻污染)和 0.86, 研究区混合样的整体污染程度高于对照样. ④ 研究区重金属 Cu, Cr 和 Zn 的主要污染源可能是旅游活动和生活产生的固体垃圾污染, 如塑料制品、玻璃瓶、泡沫、卫生纸等; 干湿沉降是 Hg 进入土壤的主要途径, 旅游活动加剧了土壤中 Hg 的污染, 导致研究区土壤 Hg 污染最严重.

关键词: 旅游活动; 土壤重金属污染; 香格里拉景区

中图分类号: X53

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2017)06-0121-07

随着旅游业的迅猛发展, 有关旅游地的环境污染和破坏问题也日益突出, 作为对旅游干扰反应最为敏感的环境因子是生态系统的重要组成部分, 土壤对生态系统的稳定和环境健康状况有重要的影响^[1]. 国外研究旅游对景区土壤的影响始于 20 世纪 70 年代^[2], 主要集中在游客践踏对土壤的影响、露营地土壤环境变化和游径建设及使用对土壤的影响 3 个方面^[1]. 国内有关旅游对土壤环境的影响研究始于 20 世纪 90 年代, 研究主要集中在对土壤理化性质和肥力等方面^[3-7]的影响, 王全辉等^[8]、马建华等^[2]、李丽娜等^[9]研究发现旅游活动对景区土壤重金属含量造成了很大影响, 景区土壤重金属污染程度高于参照样^[10]. 目前, 研究旅游活动对香格里拉景区土壤环境的影响, 主要是针对单个景区的土壤理化性质、酶活性及肥力等方面^[4, 11-13], 未见旅游活动对香格里拉县各景区土壤重金属污染的相关研究. 本文选取香格里拉县普达措国家公园和纳帕海自然保护区为研究对象, 深入分析旅游活动对土壤重金属的影响, 旨在丰富旅游活动对高原生态脆弱景区土壤环境的影响理论, 为高原生态脆弱景区旅游环境开发和管护提供科学依据.

① 收稿日期: 2016-06-23

基金项目: 云南省科技计划“云南藏区旅游生态安全及防控技术研究示范”(2010CA010)资助.

作者简介: 谭小爱(1990-), 女, 重庆万州人, 硕士研究生, 主要从事自然地理研究.

通信作者: 王 平, 副教授.

1 研究区概况

研究区位于滇西北迪庆州香格里拉县建塘镇,由纳帕海自然保护区和普达措国家公园组成,地处三江褶皱系与扬子准地台的交接地带,为横断山脉与滇中红色高原的转折处^[11],系滇、藏、川三省交界地区的典型旅游地之一,自然生态环境脆弱.地貌类型有高原面、山地、谷地和盆地、冰川等地貌^[14].成土母质有冰碛物、冰水堆积物、坡积物、河积物、残积物、洪积物等.气候为高原寒温带西部型季风性湿润气候,其主要特征是长冬无夏,春秋相连,降水丰富,干湿季分明.植被包括 6 个植被型,11 个植被亚型,34 个群系,49 个群落类型^[14].源远流长的宗教文化和藏族风情、高寒典型代表的多样性物种、丰富的地质遗迹等,使得香格里拉县成为云南省最主要的旅游区之一,而纳帕海自然保护区和普达措国家公园是其主要的代表景区.2011 年香格里拉县接待游客数量达 613.2 万人^[15],2012 年接待游客数量达 757.21 万人^[16].根据实地调查估算,随着香格里拉县景区游客数量增长的同时,旅游活动产生的塑料袋、玻璃、布料、泡沫和石棉瓦等固体垃圾、废弃物也急剧增加,生活垃圾由 2002 年约 50 t/d 上升至 2007 年约 70 t/d,到 2011 年则高达 130 t/d.

2 数据与方法

2.1 野外采样与室内分析

2012 年 5 月,参考王全辉^[8]的土壤野外采集方法进行土壤样品的采集.在普达措国家公园、丛古草原景点和纳帕海自然保护区依拉草原景点(图 1),沿游道两侧,选择旅游活动对地表环境影响较强烈或明显的地段设置土壤样地,在样地附近(垂直距离约 150 m),选择旅游活动影响轻微的地段布设对应的土壤参照样地,每块样地面积为 20×20 m,每个样地内随机选取 10 个点采集表层土壤(0~20 cm)混合样,采用四分法按对角线取 1kg 混合均匀土样,共采集 18 袋土壤样.按照《陆地生态系统土壤观测规范》^[17]中的要求对土壤样品进行风干、制备为 0.149 mm 待测样品,并测定铜、锌、铅、铬、镉、砷和汞的含量.运用 Excel 和 SPSS 软件,对数据进行整理、运算和相关性分析.用 Grapher9 和 GIS10.1 软件绘图.

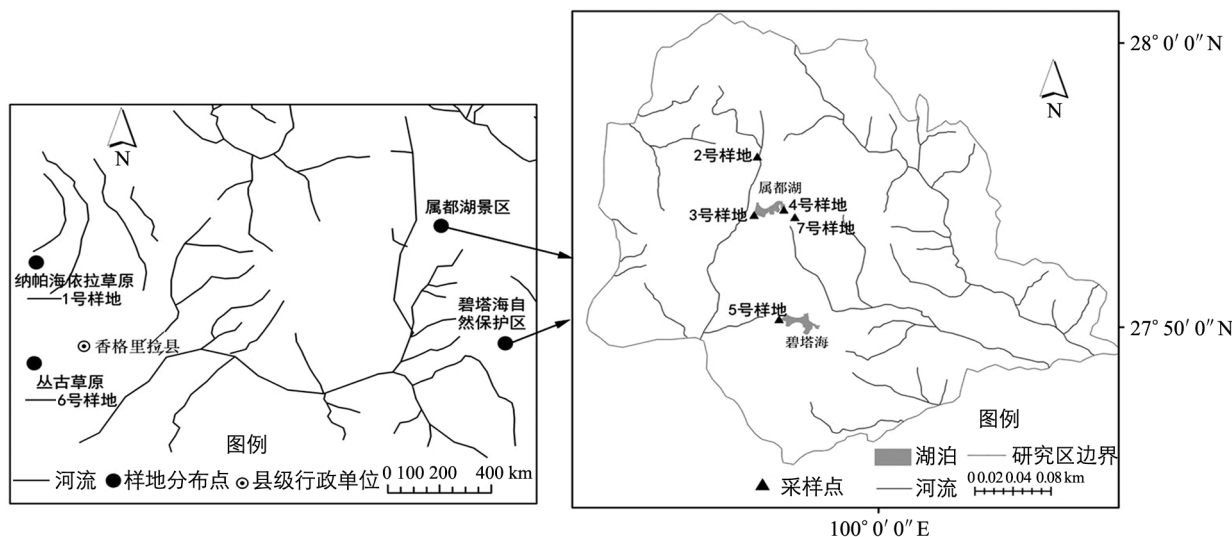


图 1 研究区各样地分布图

2.2 土壤重金属污染评价方法

1) 内梅罗综合污染指数法.用以全面反映土壤中各污染物的平均污染水平,评价土壤环境质量^[18-19].计算公式为

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{P_{i \text{ max}}^2 + P_{i \text{ ave}}^2}{2}}$$

式中: P_i 表示第 i 种污染的单项污染指数; C_i 为第 i 种污染物的实测值; S_i 为第 i 种污染物的评价标准, 本文选用适合于自然保护区土壤环境的一级标准^[20]为评价依据; $P_i \leq 1.0$, 表示土壤未受污染, $1.0 < P_i \leq 2.0$ 为轻污染, $2.0 < P_i \leq 3.0$ 为中污染, $P_i > 3.0$ 为重污染^[21]. $P_{\text{综}}$ 为某样点(或某区域)所有元素的内梅罗综合污染指数; $P_{i \text{ max}}$ 为某样点土壤重金属最大单项污染指数; $P_{i \text{ ave}}$ 为某样点所有重金属单项污染平均值. 一般将土壤重金属污染状况分为 5 个等级, $P_{\text{综}} \leq 0.7$ 为安全级, $0.7 < P_{\text{综}} \leq 1.0$ 为警戒级, $1.0 < P_{\text{综}} \leq 2.0$ 为轻污染, $2.0 < P_{\text{综}} \leq 3.0$ 为中污染, $P_{\text{综}} \geq 3.0$ 为重污染^[19].

2) 污染负荷指数法. 用以评价区域所包含多种重金属成分共同构成, 反映各个重金属对污染的贡献程度以及重金属在时间、空间上的变化趋势^[22]. 计算公式为

$$CF_i = \frac{C_i}{S_i} \qquad PL_i = \sqrt[n]{CF_1 * CF_2 * CF_3 * \cdots * CF_n}$$

式中: CF_i 表示元素 i 的最高污染系数, C_i 表示元素 i 的实测值, S_i 表示元素 i 的背景值, 本文选用云南省迪庆州的土壤元素背景值; PL_i 为某一点的污染负荷指数, n 表示元素的个数; $Plizone$ 表示评价区域污染负荷指数, m 表示采样点的个数. 污染负荷指数一般分为 4 个等级, $PL_i < 1.0$ 为无污染, $1.0 \leq PL_i < 2.0$ 为中度污染, $2.0 \leq PL_i < 3.0$ 为强污染, $PL_i \geq 3.0$ 为极强污染^[22].

2.3 统计与分析方法

采用相关性分析的多元统计方法对数据进行处理, 以解析重金属的主要来源.

3 结果与讨论

3.1 旅游活动对土壤重金属影响

3.1.1 旅游活动对土壤重金属含量特征的影响

除 H7-01、D1 和 D6 外, 研究区其余样点的土壤 As 含量均低于云南省迪庆州土壤元素背景值(图 2); 混合样和对照样中的 Hg 含量均超过了背景值的 7.45~7.53 倍; H1, H7-01 和 H7-02 的 Cd 含量明显超过对照样和背景值, 其余各点的混合样和对照样与背景值的差异很小; 除 H2, H4, D3, D4 和 D7 的 Cu 含量低于背景值外, 其余样点的 Cu 含量均超过背景值; 除 4 号样地混合样和对照样的 Cr 含量低于背景值, 其余样点 Cr 含量均高于背景值; H4, H5 和 D5 的 Pb 含量高于背景值, 其余样点均低于背景值; H4, D4 和 D5 的 Zn 含量低于背景值, 其余样点均高于背景值. 综上, 研究区各样点均出现了不同重金属元素超标的情况, 这说明旅游活动导致研究区各景点土壤重金属含量出现了不同程度的增长.

研究区混合样中重金属 As, Hg, Cd, Cu, Cr, Pb 和 Zn 的平均含量分别为 10.16, 0.291, 0.52, 38.67, 83.78, 42.26, 130.27 mg/kg, 对照样的平均含量为 13.38, 0.269, 0.11, 29.04, 79.41, 27.93, 93.53 mg/kg, 除了 As 和 Hg 外, 混合样中 Cu, Cd, Cr, Pb 和 Zn 的平均含量超过对照样的 13.3%, 44.8%, 10.6%, 15.4% 和 13.9%. 其中 1 号和 4 号样地混合样 As 和 Hg 含量均低于对照样, 5 号样地混合样 Hg, Cr 和 Zn 的含量明显低于对照样, 6 号样地对照样的 As, Cu, Cr 含量明显高于混合样, 7-01 号样地对照样的 Hg 含量高于混合样. 造成 1 号、4 号、5 号、6 号和 7-01 号样地混合样和对照样中某些重金属元素含量异常的主要原因是 1 号和 4 号样地混合样地有季节性的积水, 在淹水还原条件下土壤中的 Hg 和 As 发生了迁移和转化; 5 号样地位于碧塔海海尾, 是西线骑马观光路线的终点, 而对照样植被比混合样好, 受到动物践踏、啃食以及动物粪便的影响更大, 土壤污染更严重; 6 号的对照样地靠近生活区, 周围有大量的旅游和生活垃圾, 导致土壤受重金属污染严重; 7-01 号参照样地植被为长苞冷杉林, 混合样地为稀疏草甸, 林地土壤中腐殖质含量较多, Hg 是亲腐殖质的^[22], 且土壤中腐殖质的含量与 Pb 的浓度呈正相关^[23], 导致对照样的 Hg 和 Pb 含量更高. 总之, 旅游活动和放牧干扰强烈的地方, 土壤重金属含量更高.

3.2 土壤重金属污染评价及比较

3.2.1 内梅罗综合污染指数评价

研究区土壤重金属的单项污染指数从大到小依次表现为: Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Cr, As(表 1), 其中 Cd,

Cu,Cr,Pb 和 Zn 的单项污染程度均表现为混合样高于对照样. Hg 的单项污染指数均超过 1, 其中 H6 的单项污染指数最大为 3.6, 属于重污染, 其余样点均属于轻污染至中污染; 除 H7 为轻污染、D6 为中污染外, 其余样点均未受 As 污染; 除样地 1,4,6 外, 其余样地 As 的单项污染指数均表现为混合样高于对照样; 除样点 H1, H7-02 为重污染、H7-01 为中污染外, 其余样点均未受 Cd 污染. 除了样地 3,5,6, 其余样点 Cd 的污染程度均表现为混合样高于对照样, 混合样的污染指数为对照样的 4~20 倍. 除 2 号、4 号样地以及样点 D7 未受 Cu 污染外, 其余样点均受到 Cu 的污染. 除 H1、D6 和 5 号、7-02 为轻度污染外, 其余样点均未受 Cr 污染. Pb 的污染程度表现为: H5 为重污染, H1,H2,H4,D4-01,D5 和 D7-01 为轻污染, 其余样点未受污染. 除 4 号样地、D3、D6 和 D7 未受 Zn 污染外, 其余各样点为中等至轻污染.

从内梅罗综合污染指数看, 样点 H7-02 污染程度最严重, 其次是 H1 和 H5, 综合污染指数均大于 3, 为重污染, H6 为中污染, 其余混合样点为轻污染. 除样点 D3 和 D4-01 为警戒级外, 其余对照样点均为轻污染至中污染. 除 2 号和 4-02 号样地外, 其余样地混合样的污染程度高于对照样. 混合样点的平均综合污染指数为 2.7, 为中度污染; 对照样平均综合污染指数为 1.54, 属于轻污染. 说明混合样受污染程度高于对照样, 也说明受旅游活动等干扰越大, 土壤重金属的污染程度更严重.

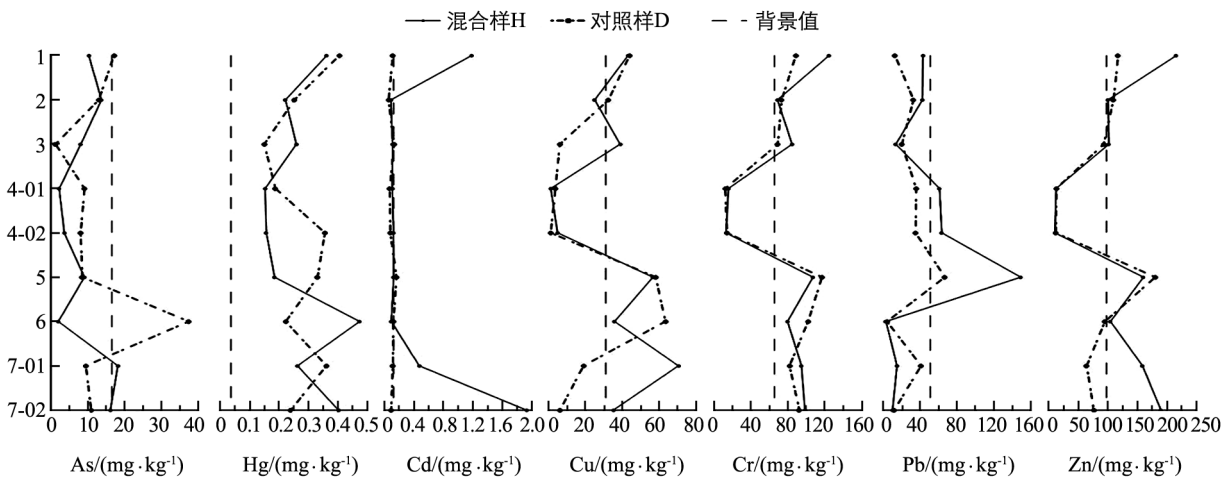


图 2 各样地混合样和对照样土壤重金属含量

3.2.2 污染负荷指数评价

研究区最高污染系数污染程度从大到小依次表现为: Hg,Cd,Cr,Zn,Cu,Pb,As(表 1). 各样点 Hg 的最高污染系数均大于 3, 为极强污染; 除 D6 为强污染, H7-01,D1 为中度污染外, 其余各样点的 As 均无污染; H1,H7 为极强污染, H5,D3,D5 为中度污染, 其余样点均未受 Cd 污染; H7-01,D6 为强污染, H3, H4,D3,D4 和 D7 未受 Cu 污染, 其余样点均为中度污染; 除 4 号样地的 Cr 为无污染外, 其余各样点均为中度污染; 除 H5 为强污染, H4,D5 为中度污染外, 其余各样点 Pb 均为无污染; 除 4 号样地和 D3,D6,D7 为无污染, H1 为强污染外, 其余各样点的 Zn 均为中度污染.

从污染负荷指数看, 混合样点的污染程度从大到小依次表现为: H1,H7-02,H7-01,H5,H2,H3,H6, H4; H1 污染程度最严重, 为强污染; H4 和 H6 为无污染; 其余混合样点为中度污染. 除 D3,D4,D7 无污染外, 其余各对照样点均为中度污染. 除 4-01 号、5 号和 6 号的对照样污染程度高于混合样外, 其余各样地的混合样污染程度更严重. 研究区混合样污染负荷指数为 1.06, 对照样污染负荷指数为 0.86, 说明研究区混合样的整体污染程度高于对照样, 也说明旅游干扰强度越大, 景区土壤重金属污染越严重.

3.2.3 不同评价方法结果比较

土壤重金属的单项污染指数从大至小依次表现为: Hg,Cd,Pb,Zn,Cu,Cr,As, 从内梅罗综合污染指数评价结果看, 研究区的污染程度为警戒级至重污染, H7-02 污染程度最严重, 其次是 H1 和 H5; 最高污染系数从大至小依次表现为: Hg,Cd,Cr,Zn,Cu,Pb,As; 污染负荷指数的评价结果为: 各样点的污染程度为

强污染至无污染, H1 污染程度最严重, 其次是 H7-02. 2 种评价结果显示: Hg、Pb 和 Cr 的评价结果差异较大, 内梅罗污染指数评价结果的污染程度高于污染负荷指数. 一是由于两种评价方法选取的背景值的差异, 二是由于内梅罗综合污染指数突出了高浓度污染物对土壤环境质量的影响^[22], 其评价结果受到最大值的影响很大. 另外, 由于污染程度评价标准不同也导致 2 种结果不同.

表 1 各样点重金属污染评价结果

采样 编号	单项危害指数和综合危害指数								最高污染系数和污染负荷指数							
	$P_{(As)}$	$P_{(Hg)}$	$P_{(Cd)}$	$P_{(Cu)}$	$P_{(Cr)}$	$P_{(Pb)}$	$P_{(Zn)}$	$P_{综}$	$CF_{(As)}$	$CF_{(Hg)}$	$CF_{(Cd)}$	$CF_{(Cu)}$	$CF_{(Cr)}$	$CF_{(Pb)}$	$CF_{(Zn)}$	PL_i
H1	0.69	2.41	5.92	1.23	1.38	1.22	2.16	4.45	0.62	9.81	9.55	1.39	1.91	0.84	2.22	2.25
H2	0.92	1.48	0.44	0.71	0.76	1.21	1.00	1.24	0.83	6.02	0.71	0.81	1.05	0.83	1.03	1.14
H3	0.54	1.73	0.55	1.11	0.94	0.38	1.02	1.38	0.49	7.02	0.89	1.25	1.29	0.26	1.04	1.04
H4-01	0.15	1.02	0.54	0.03	0.17	1.74	0.12	1.29	0.14	4.15	0.86	0.03	0.23	1.20	0.12	0.34
H4-02	0.24	1.05	0.61	0.14	0.14	1.81	0.10	1.35	0.22	4.25	0.98	0.15	0.19	1.25	0.10	0.45
H5	0.61	1.23	0.63	1.62	1.19	4.26	1.60	3.22	0.55	5.01	1.01	1.83	1.64	2.94	1.64	1.70
H6	0.13	3.16	0.47	1.02	0.88	0.08	1.04	2.34	0.12	12.85	0.75	1.16	1.22	0.05	1.07	0.71
H7-01	1.21	1.75	2.36	2.01	1.05	0.42	1.59	1.97	1.09	7.13	3.81	2.28	1.45	0.29	1.63	1.73
H7-02	1.08	2.68	9.65	1.00	1.09	0.28	1.90	7.05	0.97	10.89	15.56	1.13	1.51	0.19	1.95	1.95
D1	1.14	2.70	0.57	1.25	0.98	0.36	1.17	2.08	1.03	10.98	0.91	1.42	1.36	0.25	1.20	1.29
D2	0.87	1.68	0.29	0.93	0.81	0.93	1.10	1.36	0.78	6.83	0.46	1.05	1.12	0.64	1.12	1.11
D3	0.09	1.00	0.65	0.17	0.77	0.57	0.93	0.82	0.08	4.07	1.04	0.19	1.06	0.39	0.95	0.59
D4-01	0.61	1.25	0.37	0.10	0.13	1.01	0.12	0.96	0.55	5.09	0.60	0.12	0.18	0.70	0.13	0.44
D4-02	0.54	2.37	0.41	0.03	0.15	1.00	0.11	1.74	0.49	9.65	0.65	0.03	0.21	0.69	0.12	0.40
D5	0.57	2.21	0.81	1.66	1.30	1.91	1.81	1.87	0.51	8.97	1.31	1.88	1.79	1.31	1.85	1.75
D6	2.50	1.49	0.61	1.81	1.13	0.11	0.95	1.97	2.26	6.04	0.98	2.05	1.56	0.07	0.97	1.17
D7-01	0.63	2.41	0.57	0.54	0.91	1.17	0.64	1.84	0.57	9.78	0.92	0.61	1.25	0.80	0.66	1.11
D7-02	0.73	1.60	0.47	0.17	1.03	0.33	0.76	1.24	0.66	6.50	0.75	0.20	1.42	0.23	0.78	0.77

3.3 土壤重金属的来源

研究区各样点均受到了不同重金属元素的污染, 其中 Hg 污染最为严重; 混合样污染程度高于对照样, 样点 H7-02 和 H1 污染最严重. 主要是由于干湿沉降是 Hg 进入土壤的主要途径^[24], 旅游活动加剧了土壤中 Hg 的污染. H7 位于属都湖公路旁, H1 位于纳帕海湖滨, 旅游人数较多, 受到的干扰程度更大.

对研究区重金属含量进行两两相关分析, 结果显示(表 2), Cu-As、Cd-Zn 之间具有显著正相关关系, Cu-Cr、Cu-Zn、Cr-Zn 之间具有极显著正相关关系. 土壤重金属元素之间的显著正相关性说明在重金属元素沉积的过程中, 这些重金属元素经历了相同的积蓄、运移情况变化趋势, 还可以说明重金属的来源可能相同, 也说明在自然条件下重金属元素之间具有极其密切的伴生性^[25]. 说明研究区重金属元素 Cu、Cr、Zn 可能属于同一污染来源, 可能主要来源旅游活动和生活产生的固体垃圾污染, 如塑料制品、玻璃瓶、泡沫、卫生纸等.

表 2 土壤重金属含量相关性分析

	As	Hg	Cd	Cu	Cr	Pb	Zn
As	1						
Hg	0.01	1					
Cd	0.13	0.41	1				
Cu	0.546 *	0.30	0.17	1			
Cr	0.33	0.46	0.36	0.710 **	1		
Pb	-0.27	-0.35	-0.15	0.12	0.04	1	
Zn	0.17	0.46	0.620 *	0.699 **	0.863 **	0.13	1

注: * 在 $p < 0.05$ 水平(双侧)上显著相关; * * 在 $p < 0.01$ 水平(双侧)上显著相关.

4 结 论

1) 旅游活动已经导致研究区各景点的土壤重金属含量出现了不同程度的增长. 研究区混合样中重金属 As, Hg, Cd, Cu, Cr, Pb 和 Zn 的平均含量分别为 10.16, 0.291, 0.52, 38.67, 83.78, 42.26, 130.27 mg/kg, 对照样的平均含量为 13.38, 0.269, 0.11, 29.04, 79.41, 27.93, 93.53 mg/kg, 混合样中 Cu, Cd, Cr, Pb 和 Zn 的平均含量超过对照样的 13.3%, 44.8%, 10.6%, 15.4% 和 13.9%, 旅游活动导致研究区土壤中 Hg, Cd, Cr 以及混合土样中的 Cu, Zn 的含量均超过了迪庆州土壤背景值, 其中各样点中 Hg 含量超过背景值 7.45~7.53 倍.

2) 旅游干扰强度越大, 景区土壤重金属污染越严重. 土壤重金属的单项污染指数从大到小依次表现为: Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Cr, As; 旅游活动导致研究区土壤受到 Hg 污染, 大多数样点受到了 Cu, Pb, Zn 的污染, 少数样点还受 As, Cd 污染; 大多数样点混合样受到的 Cd, Cu, Cr, Pb 和 Zn 的污染程度高于对照样. 从内梅罗综合污染指数看, 样点 H7-02 污染程度最严重, 其次是 H1 和 H5, 均为重污染; 混合样点的平均综合污染指数为 2.7, 为中度污染; 对照样平均综合污染指数为 1.54, 属于轻污染. 研究区最高污染系数污染程度从高至低依次表现为: Hg, Cd, Cr, Zn, Cu, Pb, As. 从污染负荷指数看, 混合样点的污染程度从高至低依次表现为: H1, H7-02, H7-01, H5, H2, H3, H6, H4; H1 污染程度最严重, 为强污染; H4 和 H6 为无污染; 其余混合样点为中度污染. 混合样污染负荷指数为 1.06, 高于对照样污染负荷指数的 0.86.

3) 研究区各样点均受到了不同重金属元素的污染, 其中 Hg 污染最为严重, 主要是由于干湿沉降是 Hg 进入土壤的主要途径, 旅游活动加剧了土壤中 Hg 的污染. 研究区重金属 Cu, Cr 和 Zn 的主要污染源可能是旅游活动和生活产生的固体垃圾污染.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 蒋高明, 黄晓银. 旅游和城市化对避暑山庄土壤、植物的影响 [J]. 环境科学, 1990(11): 35—39.
- [4] 王金亮, 王 平, 鲁 芬, 等. 碧塔海景区旅游活动对湿地生态环境影响研究 [J]. 地理科学进展, 2004, 23(5): 101—108.
- [5] 陆 林, 巩 劼, 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.
- [6] 晋秀龙, 陆 林, 巩 劼, 等. 旅游活动对九华山风景区土壤的冲击影响 [J]. 自然资源学报, 2009, 24(11): 1881—1892.
- [7] 罗 珊, 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.
- [8] 王全辉, 董元杰, 刘春生, 等. 旅游活动对泰山景区土壤质量的影响 [J]. 土壤学报, 2012, 49(2): 398—402.
- [9] 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 [J]. 宜春学院学报(自然科学版), 2011, 33(12): 118—119.
- [10] 李 灵, 梁彦兰, 江慧华. 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 [J]. 广东农业科学, 2012(19): 171—181.
- [11] 田 昆, 贝荣塔, 常凤来, 等. 香格里拉大峡谷土壤特性及其人为活动影响研究 [J]. 土壤, 2004, 36(2): 204—207.
- [12] 陈 颀, 杨桂华. 旅游者践踏对生态旅游景区土壤影响定量研究—以香格里拉碧塔海生态旅游景区为例 [J]. 地理科学, 2004, 24(3): 371—375.
- [13] 肖德荣, 田 昆, 张利权. 滇西北高原纳帕海湿地植物多样性与土壤肥力的关系 [J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3116—3124.
- [14] 西南林学院, 云南省林业局. 云南碧塔海自然保护区综合科学考察报告 [R/OL]. (2015-03-27) [2016-01-05]. <http://book.koyfz.cn/14158/3182002821>. 2002, 8—13, 23—25.
- [15] 和丽忠. 香格里拉年鉴 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2012, 263.
- [16] 和丽忠. 香格里拉年鉴 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2013, 259.

[17] 欧阳竹, 孙 波, 刘 健, 等. 陆地生态系统土壤观测规范 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007, 139—169.

[18] 高 清, 顾优丽, 龚梦丹, 等. 杭州市和睦湿地农田土壤重金属污染评价及关联特征研究 [J]. 湿地科学与管理, 2014, 10(2): 48—52.

[19] 党丽娜, 杨 勇. 武汉市土壤重金属空间分布特征及污染评价 [J]. 华中农业大学学报, 2015, 34(6): 66—72.

[20] 夏国洪. 土壤环境质量标准详解 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996, 5—6, 84—85.

[21] 李天杰. 土壤环境学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1995, 131—135.

[22] 范拴喜. 土壤重金属污染与控制 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011, 69, 159—160.

[23] 张乃明, 段永蕙, 毛昆明. 土壤环境保护 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002, 115.

[24] 成杭新, 庄广民, 赵传冬, 等. 北京市土壤 Hg 污染的区域生态地球化学评价 [J]. 地学前缘, 2008, 15(5): 126—145.

[25] 陈雪龙, 齐艳萍, 吴海燕, 等. 大庆龙凤湿地土壤重金属空间分布特征 [J]. 水土保持研究, 2013, 20(4): 141—144.

Impact of Tourist Activities on Heavy Metal Pollution of Soil in the Shangri-La Scenic Area

TAN Xiao-ai, WANG Ping, ZOU Ya-ping, FAN Ya

College of Tourism and Geography Science, Yunnan Normal University, Kunming Yunnan 650500, China

Abstract: In order to reveal the impact of tourist activities on heavy metal pollution of soil in the Shangri-La scenic area, we determined the heavy metal contents of soil samples. Then, we combined correlation analysis with the Nemerow multi-factor index method and pollution load index to track the sources of pollution and to evaluate the characteristics of heavy metal pollution. The results showed that the average contents of As, Hg, Cd, Cu, Cr, Pb and Zn of the mixed soil samples in the Shangri-La scenic area were 10.16, 0.291, 0.52, 38.67, 83.78, 42.26 and 130.27 mg/kg, respectively and that the average contents of Cu, Cd, Cr, Pb and Zn in the mixed samples were 13.3%, 44.8%, 10.6%, 15.4% and 13.9% higher than in the control samples. Besides, the contents of Cd, Hg and Cr of each sample and the contents of Cu and Zn of the mixed samples in the study area were higher than the background values of these elements in the soil of Diqing Prefecture, and Hg content of the soil collected at various sampling sites exceeded the background value by 7.45~7.53 times. Single pollution index for the performance of heavy metals was in the order of Hg>Cd>Pb>Zn>Cu>Cr>As. The Nemerow multi-factor index of the mixed samples was 2.7, which belongs to “moderate pollution”, and their pollution load index was 1.06, while those of the control samples were 1.54 (light pollution) and 0.86, respectively, indicating that the composite samples of the study area represented a more serious degree of contamination than the control samples. The main sources of the heavy metals Cu, Cr, and Zn in the study area may be solid waste generated by tourist activities and domestic refuse, such as plastics, glass, foam and toilet paper. Dry and wet deposition was the main pathway of Hg into the soil. Tourist activities intensified Hg contamination of the soil.

Key words: tourist activity; heavy metal pollution of soil; Shangri-La scenic area

责任编辑 汤振金

