

嵩山景区旅游活动对土壤组成性质 和重金属污染的影响

马建华, 朱玉涛

(河南大学资源与环境研究所, 开封 475004)

摘要:沿嵩山景区登山路线,在嵩阳书院(455m)、老母(715m)、石船(930m)和天爷庙(1490m)采集混合土壤样品,在离景点 200 m 以外的受旅游活动影响微弱的地方采集对照土壤样品。根据我国土壤常规分析方法或国家标准分析方法开展土壤组成、性质和重金属(Cu、Zn、Pb、Ni、Cd 和 Cr)含量分析。与对照样相比,景点土壤具有以下特征:①黏粒含量高,质地偏细,相对紧实、干燥,根系分布少,颜色浅。②CEC 小,盐基饱和度大,pH 高。③有机质含量下降,速效养分减少,肥力衰退。④黏粒部分 CaO 含量高,SiO₂ 含量相对下降,S_{af} 减小,出现“假淋溶风化现象”。⑤土壤重金属含量高于对照样,大部分超过我国棕壤和褐土背景值。土壤 Cu 和 Ni 没有发生污染,其它重金属污染程度的次序为:Zn > Pb > Cd > Cr;不同景点重金属污染程度的次序为:嵩阳书院 > 老母洞 > 天爷庙 > 石船。

关键词:嵩山景区;旅游活动;土壤组成;土壤性质;土壤重金属污染

文章编号:1000-0933(2008)03-0955-11 中图分类号:X53 文献标识码:A

Impacts of tourist activities on components, properties and heavy metal pollution of soils in the Songshan scenic area

MA Jian-Hua, ZHU Yu-Tao

Institute of Natural Resources and Environmental Science, Henan University, Kaifeng 475004, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(3): 0955 ~ 0965.

Abstract: The mixed soil samples were collected at the main tourist sites with different altitude such as Songyang College, Laomu Cave, Stone Ship and Tianye Temple along the mountain-climbing path of the Songshan scenic area, Henan province. At the same time, the control soil samples were collected at the sites 200 m away from the scenic sites, where the impacts of tourist activities on soils are very weak. Total chemical composition of soil clay, physicochemical properties, and the concentration of heavy metals (Cu, Zn, Pb, Ni, Cd and Cr) in soils were measured for the prepared soil samples, using the common methods offered by the Institute of Soil Science, CAS, Nanjing, and the standard methods of China. The results show that tourist activities have a substantial impact on the soils in the Songshan scenic area. Compared with the control soil samples, scenic soil samples have following characteristics: (1) Soil clay contents in the scenic samples are higher, soil textures are heavier, soils are relative solider and more dry, root densities in soil surface layer are smaller, soil colors are lighter than that of in the control samples. (2) Cation exchange capacities (CEC) in the scenic samples are smaller, base saturation percentages (BSP) and pH values are higher than that of in the control samples. (3) Soil organic

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 30570301);河南省重点科技攻关资助项目(0721021500)

收稿日期:2007-05-14; **修订日期:**2008-01-20

作者简介:马建华(1958 ~),男,河南濮阳人,教授,主要从事自然地理学和环境土壤学研究. E-mail: mjh@henu.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30570301); Key Project of Science and Technology of Henan Province (No. 0721021500)

Received date: 2007-05-14; **Accepted date:** 2008-01-20

Biography: MA Jian-Hua, Professor, mainly engaged in physical geography and environmental pedology. E-mail: mjh@henu.edu.cn

matter (SOM) and available nutrients (K,N,P) in the scenic samples are less than that of in the control samples. (4) The concentrations of CaO in clay part of the scenic samples are much higher, the SiO_2 and silica-sesquioxide ratios (Saf) are smaller than that of in the control samples. The “pseudo weathering eluviations” occur in the scenic samples, not in the control samples. (5) The concentrations of most heavy metals in the scenic samples are higher than that of the background values of the brown soils and the cinnamon soils in China, and that of in the control samples. Cu and Ni in the scenic samples were not polluted based on the first reference values for soil pollution specified in the GB15618-1995, but the others were polluted from medium to heavy degrees. The pollution order of the heavy metals in the scenic samples is $\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Cr}$, and the pollution order of the scenic spots studied is Songyang Collage > Laomu Cave > Tianye Temple > Stone Ship.

Key Words: The Songshan scenic area; tourist activity; soil component; soil property; Pollution of soil heavy metals

随着 20 世纪 70 年代全球旅游业的兴起,旅游活动对景区自然环境的影响已成为广泛关注的热点问题之一^[1~4]。在国外,旅游对景区土壤的影响研究始于 20 世纪 70 年代。Settergren、Dale、Liddle、Maning 和 Calais 等学者研究了游客踩踏对景区土壤的影响,指出景区土壤板结、雨水下渗减少^[5~10]。Joy 等提出了旅游活动对土壤-植被系统可能带来的种种冲击,如硬度增大、土壤结构破坏、植被覆盖度下降等^[11]。Sun 和 Douglas 指出,景区游客践踏可使地面径流增加,引起水土流失^[12,13]。Cilimburg 研究发现,景区土壤有机质含量减少,病原体增多,微生物活性降低^[14]。Eden 等人发现,与景区周围未干扰土壤相比,景区土壤含水量下降,硬度增大,有机质含量减少,植物种类及覆盖度明显降低^[15]。Cerman 和 Willian 等的研究也发现,景区植被覆盖度和生物多样性下降^[16,17]。在国内,旅游对景区土壤环境的影响研究始于 20 世纪 90 年代。很多学者以我国不同景区为例,研究了旅游活动对景区土壤和植被的影响,得到的结论与国外研究相似^[18~28]。

可以看出,以往的研究主要集中在旅游活动对景区土壤物理性质和肥力的影响方面,而对土壤化学性质(如土壤的交换性能和吸收性能等)、土壤全量组成和土壤重金属污染的影响研究较少,仅见到朱晓帆等对峨眉山景区某些土壤重金属含量进行过研究^[29]。在嵩山景区旅游环境研究方面,李观虎仅从经济学角度提出了解决嵩山景区旅游环境问题的几点思考,没有具体讨论旅游对景区土壤带来的冲击^[30]。本文选择旅游开发较早的嵩山景区为研究对象,在野外调查、采样和室内分析的基础上,深入开展旅游活动对土壤物理性质、化学性质、黏粒化学组成和重金属污染的影响分析。旨在丰富旅游活动对土壤环境的影响理论,为旅游环境开发与治理提供科学依据。

1 嵩山景区概况

嵩山(中岳)位于河南省中部,东西绵延 60 km,属秦岭向东延伸的余脉之一。嵩山以其秀丽的自然风光、繁多的历史人文景观和珍贵的地质遗迹闻名于世,是旅游观光、休闲度假和科学研究的重要景区。目前,景区内全国和河南省重点文物保护单位各 13 处,郑州市重点文物保护单位 127 处。1982 年嵩山被国务院公布

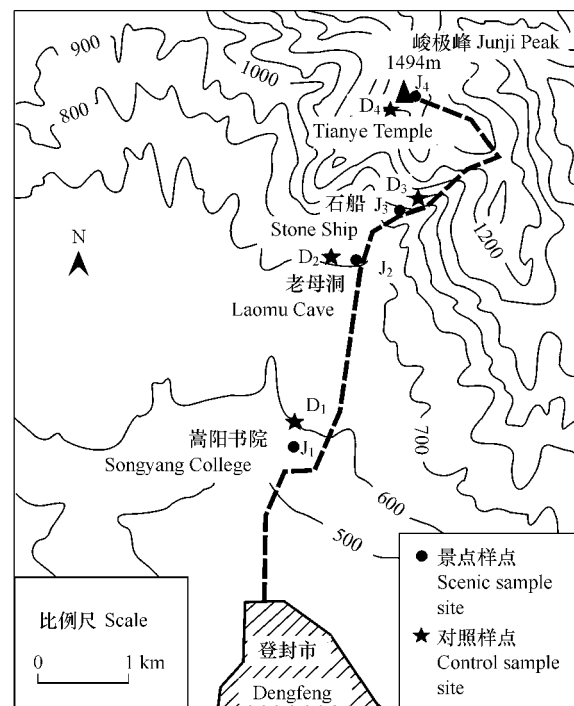


图1 嵩山景区位置及采样点分布图

Fig. 1 Position of the Songshan scenic area and distribution of sample sites

为第一批国家重点风景名胜区,2001 年被国土资源部命名为首批国家地质公园,2004 年被联合国教科文组织确定为世界地质公园。据统计,1978 年嵩山风景名胜区共接待中外游客 3.1 万人次,到 2004 年已高达 238 万人次,2005 年则突破 400 万人次。

嵩山风景名胜区由太室山景区和少室山景区等组成。太室山景区位于太室山南坡,是传统上的嵩山风景区(以下简称嵩山景区)。嵩山景区垂直高差在 1000 m 以上,最高峰为峻极峰(海拔 1494 m)。从嵩山南麓至峻极峰依次分布着嵩阳书院、老母洞、逍遥亭、石船、嵩阳运动遗迹、聚仙亭、天爷庙等景点(图 1)。海拔 1000 m 以上为断块中山山地,坡度在 50~60°之间,岩性是元古界的中粗粒石英岩,土层浅薄,植被覆盖度低;500~1000 m 为低山丘陵,岩性是深度变质的片麻岩和片岩,坡度多在 30°以下,土层较厚,植被覆盖度大。嵩山景区属温带大陆性季风气候,垂直变化明显。海拔 1200 m 以下属于暖温带,以上属于中温带。据登封市气象站(海拔 370.7 m)观测,年平均气温 14.2℃,年降水量 563 mm。据嵩山气象站(海拔 1178.4 m)观测,上述气象指标分别为 9.5℃和 824.7 mm。植被和土壤的垂直地带性也十分明显,自山麓到山顶依次出现褐土性土或潮褐土-灌丛或农作物带(海拔 600 m 以下)、淋溶褐土-针阔混交林带(海拔 600~900 m)、棕壤-落叶阔叶林带(海拔 900 m 以上)^[31]。

2 材料与方法

2.1 样品采集

2005 年 7 月,沿嵩山景区旅游登山路线,根据旅游活动状况的不同布设景点土壤样品采集点,在景点附近旅游活动微弱的地方布设对照土壤采集点。景点样点(用 J 表示)选择在嵩阳书院、老母洞、石船和天爷庙,各景点样采集地点的旅游活动状况见表 1。在每个景点的花坛中或草坪中,随机采集土壤表层(0~15 cm)样 30 个,将其充分混合,按“四分法”进行缩分,最后保留 1 kg 左右的混合样品。各个对照样(用 D 表示)均离开其景点 200 m 以外,也按照上述方法采集混合土壤样品,其中 D₁、D₂、D₃和 D₄分别是 J₁、J₂、J₃和 J₄的对照样。

表 1 嵩山景区景点样采集地点及其旅游活动状况

Table 1 Location of the scenic samples and the tourist activities in the Songshan scenic area

编号 Code	采样地点 Location of sample site	海拔高度 Height above sea level (m)	汽车通达性 Motor vehicle arriving	游客相对数量 Relative quantity of tourists	烧香情况 Joss sticks burning	土壤利用 Soil use
J ₁	嵩阳书院 Songyang college	455	门前有水泥公路和大停车场, 汽车数量多 Cement highway and large parking lot in front the door, more motor vehicles	+ + + +	无 Nothing	花坛 Parterre
J ₂	老母洞 Laomu cave	715	门前有简易公路通达和小停 车场,汽车数量少 Simply-built highway and small parking lot in front the door, less motor vehicles	+ + +	频繁 Frequency	草坪 Lawn
J ₃	石船 Stone ship	930	汽车不能到达 No motor vehicle	+ +	无 Nothing	花坛 Parterre
J ₄	天爷庙 Tianye temple	1490	汽车不能到达 No motor vehicle	+	频繁 Frequency	草坪 Lawn

2.2 样品制备与试验方法

在实验室,先把土壤样品风干,拣出大块石子。然后将样品磨碎,全部通过 2 mm 尼龙筛。接着将 2 mm 样品充分混合,用四分法分成两份,一份用作土壤物理性质分析,另一份进一步研磨,使之全部通过 1 mm 尼龙筛,供土壤养分和化学性质测定。最后,将 1 mm 样品充分混合,从中多点取样约 5 g,用玛瑙研钵研磨,使之全部通过 0.149 mm 尼龙筛,供土壤有机质和重金属含量测定。

土壤黏粒化学组成分析采用碱熔法制备待测液。土壤重金属含量测定采用盐酸-硝酸-氢氟酸-高氯酸消解体系制备待测液。颜色鉴定用芒塞尔土壤标准比色卡法^[32]。土壤机械组成用吸管法, pH 用电位计法, CEC 用 NH_4OAc (pH = 7) 交换法, SOM 用重铬酸钾容量法, 碱解氮用碱解扩散吸收法, 速效磷用 NaHCO_3 浸提-钼锑抗比色法, 速效钾用 NH_4OAc 浸提的火焰光度法。 SiO_2 含量用重量法, Al_2O_3 含量用氟化钾取代的 EDTA 容量法, TiO_2 含量用过氧化氢比色法, Fe_2O_3 、 MnO_2 、 CaO 和 MgO 含量用原子吸收光谱法, K_2O 和 Na_2O 含量用火焰光度法^[33]。土壤 Cu、Zn、Cr 和 Ni 含量用 AAS 法, Pb 和 Cd 含量用 GF-AAS 法。使用的仪器主要有 AA-6601F 型原子吸收分光光度计、6400 型火焰光度计、754 型紫外-可见分光光度计、pHS-3B 型精密 pH 计和 PD 型颗粒分析仪等。在测定过程中, 所有样品均由空白样、二次平行样和加标回收率进行质量控制。

3 结果与讨论

3.1 旅游活动对土壤物理性质的影响

嵩山景区景点样和对照样的物理性状见表 2。由表 2 可以看出, 景点样和对照样的物理性状差异明显。除 J_4 和 D_4 外, 景点样的黏粒含量大多高于其相似高度的对照样, 质地相对较重。这与冯学刚等人的研究结果相一致^[19]。景点样黏粒含量平均为 $47.88 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 土壤质地均为壤土; 而对照样黏粒含量平均为 $36.20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 除 D_4 为壤土外, 其余均为砂壤土。这主要是在旅游景点建设过程中, 将棕壤和褐土下部的黏化层翻动混合造成的。景点土壤的紧实度以“紧”为主, 根系极少, 土壤相对干燥; 而对照土壤的紧实度均为“松”, 根系较多, 含水量相对较大。这与多数研究的结果也是一致的^[5~10, 15, 19~22, 25]。其原因主要是游客长期踩踏, 植被破坏, 土壤蒸发增强, 水分下渗减少的缘故。由于景点土壤失去了自然植被的保护, 有机质归还量大大减少, 再加上水分含量低, 有机质氧化分解强烈, 以及棕壤和褐土棕色黏化层被翻动混合, 所以土壤颜色都比相似高度的对照土壤淡一些。景点土壤干态颜色以浅淡黄色为主, 而对照样土壤以浊黄橙为主, 颜色较暗。

表 2 嵩山景区景点样与对照样土壤物理性质比较

Table 2 Soil physical characters of the scenic samples and the control samples in the Songshan scenic area

样品 Sample	编号 Code	紧实度 Hardness	水分状况 Moisture	植物根系 Plant root	土壤颜色(干态) Soil color (dry)	砂粒 Sand ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	粉粒 Silt ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	黏粒 Clay ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	质地 Texture
景点样品	J_1	松 Loose	稍干 Dry	少 A few	5Y7/4(淡黄 Light yellow)	706.51	248.30	45.19	壤土 Loam
Scenic	J_2	紧 Hard	稍干 Dry	极少 Few	5Y8/4(浅淡黄 Shallow light yellow)	741.25	211.54	47.22	壤土 Loam
sample	J_3	紧 Hard	稍干 Dry	极少 Few	5Y8/4(浅淡黄 Shallow light yellow)	655.17	292.10	52.73	壤土 Loam
	J_4	紧 Hard	稍干 Dry	极少 Few	5Y8/3(浅淡黄 Shallow light yellow)	521.21	432.41	46.38	壤土 Loam
对照样品	D_1	松 Loose	润 Moist	多 Many	10YR 6/3(浊黄橙 Thick yellow-orange)	725.49	229.76	44.75	砂壤土 Sandy loam
Control	D_2	松 Loose	润 Moist	多 Many	2.5Y 7/2(灰黄 Grey-yellow)	690.55	279.35	30.10	砂壤土 Sandy loam
sample	D_3	松 Loose	润 Moist	多 Many	10YR 6/3(浊黄橙 Thick yellow-orange)	639.89	341.94	17.87	砂壤土 Sandy loam
	D_4	松 Loose	润 Moist	多 Many	10YR 6/3(浊黄橙 Thick yellow-orange)	553.51	394.42	52.07	壤土 Loam

3.2 旅游活动对土壤化学性质的影响

嵩山景区景点样和对照样土壤化学性质的比较见表 3。由表 3 可以看出, 景点样的 pH 均大于相似高度的对照样, 且随着海拔高度的增加, 两者的差别幅度逐渐增大。从 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 来看, 景点样平均为 7.33, 呈中性; 对照样平均为 5.79, 呈酸性。这一结论与文献^[20, 23]和文献^[25]中的结论相一致, 而与文献^[19]中的结论相反。为了慎重起见, 作者又开展了土壤阳离子交换性能的测定。从试验结果看(表 3), 景点样的阳离子交换

量(CEC)均小于相似高度的对照样,而盐基饱和度(BSP)远大于其对照样。景点样 CEC 和 BSP 的平均值分别为 $9.78 \text{ cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 269.22% ,而对照样分别为 $20.50 \text{ cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 61.35% 。这就进一步验证了本项结论的正确性。

表3 嵩山景区景点样和对照样土壤化学性质和养分状况

Table 3 Soil chemical characters and nutrients of the scenic samples and the control samples in the Songshan scenic area

样品 Sample	编号 Code	pH		有机质 SOM ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效养分 Available nutrients ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)			阳离子交换量 CEC ($\text{cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$)	盐基饱和度 BSP (%)
		H ₂ O	KCl		碱解 N Alkali-hydrolyzable nitrogen	速效 P Available phosphorus	速效 K Available potassium		
景点样品	J ₁	7.18	6.14	20.38	11.35	2.76	232.28	7.78	374.78
Scenic	J ₂	7.31	6.25	16.53	14.00	1.55	110.85	9.49	276.34
sample	J ₃	7.45	6.43	13.72	24.28	2.15	236.39	7.85	287.78
	J ₄	7.36	6.32	18.46	27.98	0.81	179.50	14.02	137.96
平均 Average		7.33	6.29	17.27	19.40	1.81	189.76	9.78	269.22
标准差 SD		0.11	0.12	2.84	7.99	0.83	58.63	2.93	97.92
变异系数 Cv (%)		1.54	1.94	16.46	41.17	45.87	30.90	29.96	36.37
对照样品	D ₁	6.31	5.96	20.53	29.00	4.58	195.58	18.97	62.67
Control	D ₂	5.82	4.60	29.12	42.00	7.16	117.09	22.65	50.35
sample	D ₃	5.45	4.26	35.70	52.56	7.16	307.79	18.02	65.33
	D ₄	5.56	4.23	29.05	80.26	1.23	276.83	22.34	67.03
平均 Average		5.79	4.76	28.60	50.96	5.03	224.32	20.50	61.35
标准差 SD		0.38	0.82	6.22	21.78	2.81	85.73	2.35	7.55
变异系数 Cv (%)		6.62	17.13	21.74	42.75	55.87	38.22	11.44	12.30

出现上述现象的原因是多方面的。首先,嵩山旅游修建活动比较频繁,一些碱性建筑材料(如石灰和水泥等)散落到景区,使土壤 pH 上升。按照盐基饱和度理论,在缺乏钙质的土壤中,用 NH_4OAc ($\text{pH} = 7$) 交换法测定的盐基饱和度不会超过 100%,而在本项研究中,景点样的盐基饱和度都超过了 100%。这充分说明,景点样中含有大量的碱性石灰颗粒。CEC 仅仅是指土壤胶体上吸附的阳离子总量,而在景区土壤 CEC 测定过程中,除土壤胶体上吸附的 Ca^{2+} 被交换出来外,土壤中的石灰颗粒也溶出部分 Ca^{2+} ,从而导致盐基饱和度超过 100%。例如,J₄的交换性 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的含量分别为 0.34、0.47、14.91 和 2.28 $\text{cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$,仅 Ca^{2+} 含量一项就超过了它的 CEC ($14.02 \text{ cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$),从而使其盐基饱和度达到 137.96%。其次,景区香客烧香后残留的香灰中,以及常住人口排放的生活炉灰中富含大量的盐基离子,它们的散落和堆放也可使景区土壤 BSP 和 pH 升高。第三,由于景区地面植被遭到破坏,土壤板结,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,也会在一定程度上促使 pH 上升。由表 3 还可以看出,景点样的 pH 变化不大,pH (H₂O) 和 pH (KCl) 的变异系数仅仅分别为 0.11% 和 0.12%。对照表 1 可以得出如下结论:虽然影响各样点 pH 的因素有差别,但旅游设施建设对土壤酸碱度的影响是共性的,因此碱性建筑材料散落是景区土壤 pH 上升的主要原因。与此相反,对照样 pH 随海拔高度上升递减幅度较大,pH (H₂O) 和 pH (KCl) 的变异系数分别为 6.62% 和 17.13%,远远超过景点样。这是因为对照样几乎不受旅游活动的影响,植被覆盖度大,随着海拔高度上升,降水量增加,土壤淋溶作用增强,土壤 pH 呈递减趋势,所以从嵩阳书院到天爷庙景点样与对照样之间的 pH 差别幅度呈递增趋势。就 pH (H₂O) 来说,J₁ 高出 D₁ 0.87, J₄ 高出 D₄ 1.80。

3.3 旅游活动对土壤肥力的影响

除 J₁ 和 D₁ 的有机质含量相当外,其余景点样的有机质含量均小于其相似高度的对照样(表 3)。景点样有机质平均含量为 $17.27 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,对照样有机质平均含量为 $28.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。这是因为景区土壤受旅游活动影响强烈,地面植被遭到破坏,枯枝落叶归还量减少,有机质积累下降;土壤水分减少,有机质矿化过程加速的缘故。与土壤有机质相似,景点样的碱解氮和速效磷含量都低于相似高度的景点样;除 J₁ 的速效钾含量高于 D₁

外,其它景点样的速效钾含量也明显低于其相似高度的对照样(表3)。例如,景点样的碱解氮平均含量仅相当于对照样的 38.07%,速效磷平均含量仅相当于对照样的 35.38%。景区土壤有机质含量低、土壤板结、水分下渗困难,土壤有效养分供应少且随水土流失严重,故景区土壤速效养分含量低于对照区。这一结论与很多学者的研究结果也是相一致的^[14,15,19~21,23]。J₁的速效钾含量高于 D₁的原因,可能是嵩阳书院在历史上学生众多,烧饭和取暖产生大量草木灰并施入土壤造成的。

3.4 旅游活动对土壤黏粒化学组成的影响

景区土壤和对照土壤黏粒化学组成存在着明显的差异。具体表现为景点样 CaO、Al₂O₃ 和 Na₂O 含量大多高于其相似高度的对照样,而 SiO₂、Fe₂O₃ 和 MgO 含量低于其对照样,其中以 SiO₂ 和 CaO 的差别最为明显(表4)。景点样 SiO₂ 含量平均为 499.16 g·kg⁻¹,而对照样为 551.78 g·kg⁻¹;景点样 CaO 平均含量为 54.81 g·kg⁻¹,而对照样平均含量为 21.89 g·kg⁻¹。景区土壤中 CaO 的富积,无疑是在景点建设过程中大量石灰和水泥散落造成的。景点样的硅铝率(Sa)、硅铁率(Sf)和硅铝铁率(Saf)都小于相似高度的对照样。景点样的 Saf 值平均为 2.51,而对照样为 2.86。按照土壤矿物质风化理论,土体淋溶作用越强烈,盐基含量越少,酸度越大,越有利于土壤脱硅富铝化作用的进行,风化程度越高,Saf 就越小。可是,景点样的 Saf 虽然小于对照样,但其 CaO 和 Na₂O 的含量却高于对照样,pH 也比对照样高很多,似乎与上述土壤形成和发育理论相矛盾。仔细分析后发现,由于旅游活动给景区土壤带来了大量的富含钙的物质,从而打破了自然土壤的形成过程,使景区土壤 SiO₂ 含量相对减少,Saf 下降。因此,景点样 Saf 小于对照样并不能说明景点土壤淋溶作用强于对照样,更不能说明景点土壤的风化程度高于对照样。这是嵩山景点土壤特有的一种现象,可称其为“假淋溶风化现象”。

表4 嵩山景区景点样和对照样土壤黏粒化学组成

Table 4 Total chemical composition of soil clay in the scenic samples and the control samples in the Songshan scenic area

样品 Sample	编号 Code	土壤黏粒化学组成 Chemical composition of soil clay (g·kg ⁻¹)							Sa	Sf	Saf
		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃			
景点样品	J ₁	491.23	97.15	80.04	41.52	33.19	5.18	246.39	3.38	13.43	2.71
Scenic	J ₂	493.64	98.87	42.59	33.47	30.13	4.26	292.74	2.87	13.27	2.36
sample	J ₃	500.39	99.38	58.53	16.59	34.47	6.17	280.14	3.03	13.45	2.48
	J ₄	511.36	101.13	38.09	24.56	22.40	10.48	287.90	3.02	13.52	2.47
平均 Average		499.16	99.13	54.81	29.04	30.05	6.52	276.79	3.08	13.42	2.51
标准差 SD		9.01	1.64	18.97	10.81	5.41	2.75	20.92	0.22	0.11	0.15
变异系数 Cv (%)		1.81	1.65	34.60	37.22	18.02	42.18	7.56	7.03	0.79	5.87
对照样品	D ₁	562.48	106.93	24.41	44.91	29.63	3.26	270.04	3.53	13.99	2.83
Control	D ₂	542.80	94.05	19.94	30.01	34.13	3.87	284.85	3.24	15.34	2.68
sample	D ₃	574.05	104.13	29.87	34.02	33.64	1.81	251.34	3.89	14.72	3.07
	D ₄	527.79	101.29	13.33	40.85	28.02	4.14	251.02	3.58	13.97	2.84
平均 Average		551.78	101.60	21.89	37.45	31.36	3.27	264.31	3.56	14.51	2.86
标准差 SD		20.55	5.53	7.00	6.69	3.00	1.04	16.33	0.27	0.66	0.16
变异系数 Cv (%)		3.72	5.45	31.99	17.87	9.57	31.82	6.18	7.48	4.53	5.64

3.5 旅游活动对土壤重金属污染的影响

3.5.1 土壤重金属含量特征

除极个别样点(J₃的 Zn 和 J₂的 Cr)外,景点样的 Cu、Zn、Pb、Cd 和 Cr 含量均明显高于其相似高度的对照样,两类样点的 Ni 含量无明显差异(表5)。除 Ni 外,景点样和对照样重金属平均含量的比较见图2。景点样中的 Cu、Zn、Pb、Cd 和 Cr 平均含量分别超过对照样平均含量的 74.53%、55.44%、47.33%、27.66% 和 5.60%。这一结果表明,由于旅游活动的影响,已经导致嵩山景区土壤重金属含量上升。土壤重金属的可能来源有以下几个方面:① 景区机动车辆排放的含有重金属的废气和烟尘降落到景区。② 游客鞋底携带物质

及其磨损,游客丢弃的含有重金属的垃圾(塑料、电池等)。^③ 旅游修建活动散落到景区的建筑材料和建筑垃圾。^④ 景区香客燃烧的香灰中可能含有多种重金属。

与我国棕壤和褐土元素背景值(棕壤:Cu 为 $22.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、Zn 为 $68.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、Pb 为 $25.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、Cd 为 $0.092 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、Cr 为 $64.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;褐土:Cu 为 $24.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、Zn 为 $74.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、Pb 为 $21.34 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、Cd 为 $0.100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、Cr 为 $64.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[34]相比,除景点样和对照样的 Cu 和 Ni 与背景值相当外,其余重金属均不同程度地超过背景值,尤其是 Cd 和 Zn 远高于背景值。为什么对照样多种重金属含量超过背景值?是否分析误差造成的?为此,在郑州市郊区采集了 3 个土壤对比样,与嵩山景点样及其对照样同时开展重金属含量测定。研究表明,郑州市郊区土壤中 Cu、Cd 和 Ni 含量与嵩山景区对照样无明显差异,而嵩山景区对照样的 Zn、Cr 和 Pb 平均含量明显高于郑州郊区样品,特别是 Zn 的平均含量相当于郑州郊区的 4.82 倍。这说明嵩山景区某些重金属含量偏高并非是分析误差造成的,而与嵩山地质背景的元素丰度有关。

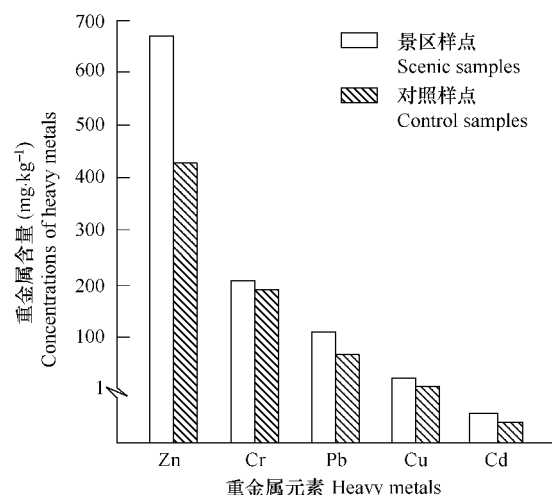


图2 嵩山景区景点样和对照样土壤重金属平均含量

Fig. 2 Average concentrations of the heavy metals in the scenic samples and the control samples in the Songshan scenic area

表5 嵩山景区景点样和对照样土壤重金属含量

Table 5 Heavy metal concentration in the scenic samples and the control samples in the Songshan scenic area

样品 Sample	编号 Code	重金属含量 Concentrations of heavy metals ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)					
		Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	Ni
景点样品 Scenic sample	J ₁	26.15	812.53	123.09	0.57	153.32	19.01
	J ₂	30.57	797.14	110.32	0.61	119.41	20.14
	J ₃	34.13	360.62	105.55	0.55	272.13	33.93
	J ₄	17.15	699.83	116.39	0.68	286.65	21.23
平均 Average	27.0	667.53	113.84	0.60	207.88	23.58	
标准差 SD	7.33	210.60	7.60	0.06	83.94	6.96	
变异系数 Cv (%)	27.16	31.55	6.67	9.52	40.38	29.52	
对照样品 Control sample	D ₁	17.60	653.32	97.06	0.41	137.44	18.03
	D ₂	16.34	163.01	85.26	0.58	272.48	20.81
	D ₃	12.43	467.21	65.36	0.41	257.96	48.01
	D ₄	15.52	434.26	61.38	0.48	119.54	20.84
平均 Average	15.47	429.45	77.27	0.47	196.86	26.92	
标准差 SD	2.20	202.12	16.83	0.08	79.50	14.12	
变异系数 Cv (%)	14.23	47.06	21.78	17.11	40.39	52.45	

3.5.2 土壤重金属污染评价

采用内梅罗指数法对土壤重金属污染程度开展评价^[35]。首先求出每个样点各个重金属元素的污染分指数(I),然后计算各样点所有重金属的综合污染指数(IP)。土壤重金属 IP 的计算公式为:

$$IP_j = \{1/2[\text{average}(C_{ji}/C_{0i})^2 + \max(C_{ji}/C_{0i})^2]\}^{1/2}$$

式中, IP_j 为第 j 采样点土壤重金属综合污染指数, C_{ji} 为第 j 采样点第 i 种土壤重金属实测含量, C_{0i} 为第 i 种重金属评价标准, C_{ji}/C_{0i} 即为第 j 采样点第 i 种重金属污染物的污染分指数(I_{ji})。

由于嵩山景区是国家级风景名胜,故选择国家土壤环境质量一级标准(GB15618-1995)进行评价^[36]。

上述6种重金属元素的一级标准值分别为: $\text{Ni} \leq 40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\text{Pb} \leq 35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\text{Cr} \leq 90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\text{Zn} \leq 100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\text{Cu} \leq 35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\text{Cd} \leq 0.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。土壤重金属污染分指数的分级标准为: $I_i \leq 1$ 为无污染, $1 < I_i \leq 2$ 为轻污染, $2 < I_i \leq 3$ 为中污染, $I_i > 3$ 为重污染^[37]。土壤重金属综合污染指数的分级标准为: $IPI \leq 0.7$ 为安全, $0.7 < IPI \leq 1$ 为警戒线, $1 < IPI \leq 2$ 为轻污染, $2 < IPI \leq 3$ 为中污染, $IPI > 3$ 为重污染^[35]。

经计算,不管是景点样还是对照样,除大部分样品的 I_{Cu} 和 I_{Ni} 小于1外,其它重金属的污染分指数都大于1,其中 Zn 的污染最为严重(表6)。例如, J_1 的 I_{Zn} 为 8.13, 与之相似高度的 D_1 的 I_{Zn} 也高达 6.53, 属于非常严重的重度污染。土壤铅、镉和铬的污染也达到轻度至重度污染。重金属污染程度的次序为 $\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Cr}$ 。但是,旅游活动对景区土壤重金属污染的影响仍相当明显,除 J_2 的 I_{Cr} 和 J_3 的 I_{Zn} 外,景点样土壤重金属污染分指数都高于相似高度的对照样。

表6 嵩山景区景点样和对照样土壤重金属污染分指数

Table 6 Single pollution indexes of heavy metals in the scenic samples and the control samples in the Songshan scenic area

样品 Sample	编号 Code	ICu	IZn	IPb	ICd	ICr	INi
景点样品 Scenic sample	J_1	0.75	8.13	3.52	2.85	1.70	0.45
	J_2	0.87	7.97	3.15	3.05	1.33	0.52
	J_3	0.98	3.61	3.02	2.75	3.04	1.20
	J_4	0.49	7.00	3.33	3.40	3.19	0.52
平均 Average		0.77	6.68	3.26	3.01	2.32	0.67
标准差 SD		0.21	2.11	0.22	0.29	0.94	0.35
变异系数 Cv (%)		27.24	31.52	6.69	9.52	40.52	52.52
对照样品 Control sample	D_1	0.50	6.53	2.77	2.05	1.53	0.48
	D_2	0.47	1.63	2.44	2.90	3.03	0.50
	D_3	0.36	4.67	1.87	2.05	2.87	0.85
	D_4	0.44	4.34	1.75	2.40	1.33	0.53
平均 Average		0.44	4.29	2.21	2.35	2.19	0.59
标准差 SD		0.06	2.02	0.48	0.40	0.88	0.17
变异系数 Cv (%)		13.61	47.06	21.78	17.11	40.36	29.58

从重金属综合污染指数来看,除石船景点的 IPI 略小于其对照样外,其余景点的 IPI 均大于相似高度的对照点(图3)。这无疑是旅游活动干扰的结果。嵩阳书院土壤重金属的污染最为严重(IPI 高达 6.10),其次是老母洞(5.98)和天爷庙(5.38),石船景点的 IPI 最小(3.05)。各景点土壤重金属综合污染的差别与其旅游活动有关。从表1可见,嵩阳书院位于山麓,人类活动频繁且历史悠久(建于公元484年),游客数量多;虽然目前没有烧香拜佛现象,但有水泥公路通达,大门外即为停车场。所以,嵩山书院重金属污染主要是游客丢弃物长期积累和大量的汽车尾气污染造成的,污染程度最为严重。老母洞建于唐代,有石子公路通达,门外有简易停车场;虽然游客不是太多,但香火旺盛,云雾缭绕的烟气和香灰污染严重。所以,老母洞土壤重金属污染是游客丢弃物、燃香和汽车尾气联合作用的结果,污染也较为严重。天爷庙位于山顶,汽车不能到达,游客数量虽少,但烧香拜佛者比例大,游客丢弃物和燃香是主要污染源,污染程度相对较轻。石船是旅游登山途中的休息场所,汽车不能到达,也无焚香现象,游客丢弃物是主要污染源,污染程度最轻。除老母洞的对照样为中度污染外(IPI 为 2.43),其它景点对照样的 IPI 都大于3,为重度污染。石船景点的 IPI 小于其对照样的原因主要是由于对照样高含量 Zn 的贡献(表6)。

4 结论

综上所述,嵩山景区旅游活动(游客践踏、植被清除、香客香灰散落、生活垃圾遗弃、景点建设,交通车辆废气排放等等)已经对景区土壤组成、性质和重金属污染造成了显著影响。与对照样相比,景点土壤具有以下特征:(1)黏粒含量高,质地偏细,相对紧实、干燥,根系分布少,颜色浅。(2)CEC 小,盐基饱和度大,pH 高

出 1~2 个单位。(3)有机质含量下降,速效养分减少,肥力衰退。(4)富含 CaO ,使 SiO_2 含量相对下降, Saf 减小,出现“假淋溶风化现象”。(5)6 种重金属的含量均高于对照样。除 Cu 和 Ni 外,其余重金属不同程度地超过我国棕壤和褐土元素背景值。除土壤 Cu 和 Ni 没有发生污染外,其余重金属达到中度和重度污染。不同重金属污染程度的次序为: $\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Cr}$ 。除石船景点的重金属综合污染指数略小于其对照样,为中度污染外;其余景点的重金属综合污染指数均大于其对照样,发生重度污染。不同景点重金属污染程度的次序为:嵩阳书院 > 老母洞 > 天爷庙 > 石船。

随着嵩山景区知名度的不断提高,未来旅游人数会越来越多,对土壤环境的负向冲击必将越来越大,应引起旅游和环境保护部门的高度重视。今后要加强景区环境管理,探讨景区土壤修复的理论与方法。

References:

- [1] Wall G, Wright C. The environmental impact of outdoor recreation. Waterloo: University of Waterloo, 1997. 28—150.
- [2] Liu X B, Bao J G. Development of the researches on the environmental impacts on tourist development. Geographical Research, 1996, 15(4): 91—98.
- [3] Li Z, Bao J G. The impact of tourist development on the vegetation cover of Mount Danxia, Guangdong. Acta Geographica Sinica, 1998, 53(6): 54—561.
- [4] Lu Y T, Xiao C. Study on the quality of the ecological environments for tourists and swallow in swallow cavern, Jianshui. Geographica Sinica, 1998, 53(6): 198—203.
- [5] Settergren C D, Cole D M. Research effects on soil and vegetation in the Missouri Ozarks. Journal of Forestry, 1970, 69(3): 231—233.
- [6] Dale D, Weaver T. Trampling effects on vegetation of the trail corridor of North Rocjey Mountain forest. Journal of Applied Ecology, 1974, 11: 767—772.
- [7] Liddle M J. Theoretical relationship between the primary productivity of vegetation and its ability to tolerate trampling. Biological Conservation, 1975, 8: 251—255.
- [8] Liddle M J, Smith G P. A survey of tracks and paths in a sand dune ecosystem(I. Soils & II. Vegetation). Journal of Applied Ecology, 1975, 12(8): 251—255.
- [9] Maning P R. Impacts of recreation on riparian soils and vegetation. Water Resources Bulletin, 1979, 15: 30—43.
- [10] Calais S S, Kirkpatrick J B. Impact of trampling on natural ecosystems in the Cradle-Mountain-Lake ST. Clair National Park. Australian Geographer, 1986, 17: 6—15.
- [11] Joy T, Greg O H. Human impact on the ecosystem. Edinburgh: Oliver and Boyol, 1981. 175—189.
- [12] Sun D, Walsh D. Review of studies on environmental impacts of recreation and tourism in Australia. Journal of Environmental Management, 1998, 53: 323—338.
- [13] Douglas M C. Recreational impacts on erosion and runoff in a central Arizona riparian area. Journal of Soil and Water Conservation, 1998, 53(1): 38—42.
- [14] Gilimburg A. Wildland recreation and human waste: a review of problems, practices and concerns. Environment Management, 1999, 125(6): 587—592.
- [15] Eden T, Richard J R. Impacts of experimentally applied mountain biking and hiking on vegetation and soil of a deciduous forest. Environmental Management, 2001, 27(3): 397—409.
- [16] German F. Agency for nature conservation, biodiversity and tourism. Berlin: Spring-Verlag, 1997. 1—135.

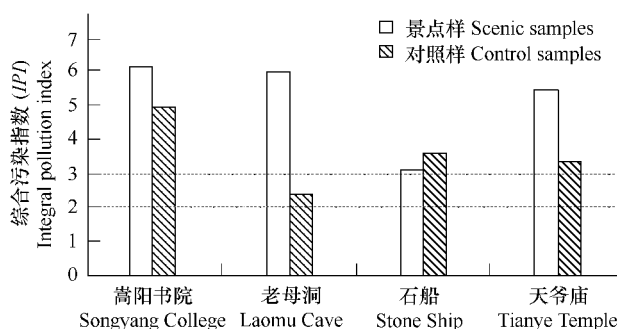


图3 嵩山景区景点与对照点土壤重金属综合污染指数
Fig. 3 Integral pollution indexes of soil heavy metals in the scenic samples and the control samples in the Songsshan scenic area

- [17] Willian E H, David N C. Wildland recreation: ecology and management. 2nd. New York: John Wiley and Sons, 1998. 83 — 185.
- [18] Jiang G M, Huang Y X. The effects of tourism and urbanization on soil and plants at Summer Villa, Chengde City. *Environmental Science*, 1990, 11(1): 35 — 39.
- [19] Feng X G, Bao H S. Preliminary research on tourist activity influence upon the soil and cover plant of scenic spot. *Journal of Natural Resources*, 1999, 14(1): 75 — 78.
- [20] Guan D S, Lin W Q, Chen Y J. The effects of tourist disturbance on soil and vegetation in Baiyun Mountain. *Environmental Science*, 1999, 20(6): 6 — 9.
- [21] Guan D S, Ding J, Wang L. The impact of tourism and environmental pollution on plants and soil of forests in urban parks of Guangzhou. *China Environmental Science*, 2000, 20(3): 277 — 280.
- [22] Wang X L, Pu Z J, Sun X, *et al.* Environmental impacts of tourism on Changbaishan Biosphere Reserve, National China. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18(3): 46 — 53.
- [23] Song X J, Zhao T R, Zheng X W, *et al.* Study on effects of developing touristy for Songshan Conservation Area. *Environmental Science*, 1997, 18(3): 57 — 59.
- [24] Cui F J. Protection and management of tourism scene. Beijing: Tourism Press of China, 2001. 1 — 120.
- [25] Wang Z J, Cai J, Zhang Q X. Preliminary research on the impacts of tourist activities on soils in Yunmeng Mountain National Forest Park. *Forest Science and Technology of Hebei*, 2003, (5): 12 — 15.
- [26] Shi Q. The impact of tourism on soils in Zhangjiajie World Geopark. *Journal of Forestry Research*, 2006, 17(2): 167 — 170.
- [27] Tan Z J, Xiao Q M, Yang H J, *et al.* Studies on the effect of grazing on soil microflora and activities in Zhangjiajie Suoxiyu scene. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(6): 885 — 890.
- [28] Tan Z J, Xiao Q M, Yang H J, *et al.* Studies on the effect of recreational activities on soil enzyme and microbial activities in Zhangjiajie National Forest Park. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(1): 133 — 138.
- [29] Zhu X F, Jiang W J, Zhu L X, *et al.* Study on the environmental actuality of Omei Mountain. *Sichuan Environment*, 1997, 16(2): 9 — 17.
- [30] Li G H. Economic analysis on the tourist problem in Songshan scenic area. *Environmental Science Trends*, 2005, (2): 30 — 32.
- [31] Ma J H. Songshan physical geography and the practice for students. Beijing: Science Press, 2006. 134 — 160.
- [32] Institute of Soil Science, CAS, Nanjing, Institute of Optical Machinery, CAS, Xian. Standard Cards of Chinese Soil Colors. Nanjing: Nanjing Press, 1989. 5 — 15.
- [33] Institute of Soil Science, CAS, Nanjing. Physical and chemical analysis of Soils. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978. 273 — 287.
- [34] Central Station of Environmental Monitoring of China. The background values of soil elements in China. Beijing: Environmental Science Press of China, 1990. 93 — 256.
- [35] Zhang W P. The Technical specification for soil environment monitoring (HJ/T 166-2004). Beijing: Environmental Science Press of China, 2004. 16.
- [36] State Environmental Protection Administration of China. Environmental quality standard for soils (GB15618-1995). Beijing: Environmental Science Press of China, 1995. 2.
- [37] Li T J. Environmental pedology. Beijing: Higher Education Press, 1995. 131 — 135.

参考文献:

- [2] 刘晓冰, 保继刚. 旅游开发的环境影响研究进展. *地理研究*, 1996, 15(4): 91 ~ 98.
- [3] 李贞, 保继刚. 旅游资源开发对丹霞山植物的影响. *地理学报*, 1998, 53(6): 554 ~ 561.
- [4] 卢云亭, 肖诚. 云南建水燕子洞游客和雨燕生态环境的研究. *地理学报*, 1998, 53(S): 198 ~ 203.
- [18] 蒋高明, 黄银晓. 旅游和城市化对承德避暑山庄土壤、植被的影响. *环境科学*, 1990, 11(1): 35 ~ 39.
- [19] 冯学刚, 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. *自然资源学报*, 1999, 14(1): 75 ~ 78.
- [20] 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.

- [21] 管东生,丁键,王琳. 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.
- [22] 王宪礼,朴正吉,孙祥,等. 长白山生物圈保护区旅游的环境影响研究. 生态学杂志,1999,18(3):46~53.
- [23] 宋秀杰,赵彤润,郑希伟,等. 松山自然保护区旅游开发的环境影响研究. 环境科学,1997,18(3):57~59.
- [24] 崔凤军. 风景旅游区的保护与管理. 北京:中国旅游出版社,2001. 1~120.
- [25] 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. 河北林业科技,2003,(5):12~15.
- [27] 谭周进,肖启明,杨海君,等. 放牧对张家界索峪溪景区土壤微生物区系及活度的影响. 自然资源学报,2005,20(6):885~890.
- [28] 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其微生物作用强度的影响. 自然资源学报,2006,21(1):133~138.
- [29] 朱晓帆,蒋文举,朱联锡,等. 峨眉山环境现状研究. 四川环境,1997,16(2):9~17.
- [30] 李观虎. 嵩山风景区旅游环境问题的经济学分析. 环境科学动态,2005,(2):30~32.
- [31] 马建华. 嵩山自然地理及其实习. 北京:科学出版社,2006. 134~160.
- [32] 中国科学院南京土壤研究所,中国科学院西安光学精密机械研究所. 中国标准土壤色卡. 南京:南京出版社,1989. 5~15.
- [33] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海:上海科学技术出版社,1978. 273~287.
- [34] 国家环境保护局. 中国土壤元素背景值. 北京:中国环境科学出版社,1990. 93~256.
- [35] 张维平. 土壤环境监测技术规范(HJ/T 16-2004). 北京:中国环境科学出版社,2004. 16.
- [36] 国家环境保护总局. 土壤环境质量标准(GB15618-1995). 北京:中国环境科学出版社,1995. 2.
- [37] 李天杰. 土壤环境学. 北京:高等教育出版社,1995. 131~135.