

# 旅游干扰对九寨沟冷杉林下枯落物及其土壤水文功能的影响

刘小兰

(四川省绵阳职业技术学院, 四川 绵阳 621000)

**摘要:**在野外调查和室内分析的基础上,研究了旅游干扰对九寨沟冷杉林下枯落物及其土壤水文功能的影响。结果表明:旅游干扰显著降低了九寨沟冷杉林下枯落物厚度、单位面积最大持水量、最大持水率、自然持水率、有效拦蓄率和有效拦蓄量( $p < 0.05$ ),与未干扰区相比较,干扰区枯落物厚度、单位面积最大持水量、最大持水率、自然持水率、有效拦蓄率和有效拦蓄量分别降低了40.48%,29.68%,25.21%,49.96%,38.92%和34.29%;旅游干扰下土壤容重显著增加,总孔隙度、非毛管孔隙度和毛管孔隙度减小,土壤持水能力急剧下降;与未干扰区比较,干扰区土壤最大持水率、单位面积最大持水量、有效持水量和土壤含水量分别下降了9.11%,0.34%,12.91%和8.25%,雨季前期含水量、饱和含水量和有效调蓄水空间下降了41.59%,56.01%和44.50%,相同土层基本呈现未干扰区>干扰区,二者的差距随土层深度的增加而逐渐减小或趋于消失,30 cm土层以下,干扰区土壤—水文指标基本与对照达到一致,由此表明旅游干扰严重破坏了土壤水文调蓄功能,而破坏作用主要集中在0—30 cm土层。相关性分析表明,土壤渗透性能与总孔隙度和非毛管孔隙度均为极显著正相关关系( $p < 0.01$ )。

**关键词:**旅游干扰;九寨沟;枯落物;土壤;水文功能

**中图分类号:**X53;S715

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2015)02-0229-06

## Impacts of Tourist Disturbance on Litter and Soil Hydrology Functions of *Abies fargesii* var. *faxoniana* Forest in Jiuzhaigou, Sichuan

LIU Xiaolan

(Mianyang Occupation Technical College, Mianyang, Sichuan 621000, China)

**Abstract:** In recent years, tourism has developed rapidly in Jiuzhaigou Nature Reserve which has been designated a World Heritage Natural Site. The impacts of tourist disturbance on litter and soil hydrology functions of *Abies fargesii* var. *faxoniana* forest in Jiuzhaigou were analyzed based on the field investigation and the laboratory test. The results showed that tourist disturbance significantly decreased the litter thickness, the maximum capacity of soil moisture, the maximum rate of soil moisture, natural moisture rate, the effective rate of interception and the effective capacity of interception ( $p < 0.05$ ), which decreased by 40.48%, 29.68%, 25.21%, 49.96%, 38.92% and 34.29%, respectively, compared with non-tourist disturbance area (CK). Tourist activities destroyed the soil properties severely, compared with CK, the soil bulk density of tourism disturbance area significantly increased, while soil total porosity, capillary porosity and capillary porosity significantly decreased. In tourist disturbance area, the maximum capacity of soil moisture, the maximum rate of soil moisture, effective capacity of soil moisture and soil moisture decreased by 9.11%, 0.34%, 12.91% and 8.25%, respectively, the soil moisture of early rainy season, saturated water content and the hydrological spaces decreased by 41.59%, 56.01% and 44.50%, respectively. In the same soil layer, all these factors showed the sequence of CK > tourist disturbance area, while the gap of non-tourist disturbance area and tourist disturbance area decreased with increase of soil depth. Below 30 cm soil layer, all these factors of tourist disturbance area reached the agreement with CK, suggesting that tourist disturbance seriously damaged the function of soil hydrology, and this damage mainly occurred in the 0—30 cm soil layer. Correlation analysis showed that soil permeability was significantly positively correlated to soil total porosity and noncapillary porosity ( $p < 0.01$ ).

**Keywords:** tourist disturbance; Jiuzhaigou; litter; soil; hydrology function

森林通过林冠层、灌草层、枯枝落叶层和土壤层截持和贮存水源,发挥着森林生态系统特有的水文生态功能<sup>[1-3]</sup>。森林枯落物和土壤层持水特征是森林一植被水源涵养功能的重要方面,其水文效应是森林综合功能的体现<sup>[1-3]</sup>,在涵养水源、净化水质、截持降水、防止土壤溅蚀、阻延地表径流、抑制土壤水分蒸发、增强土壤抗冲性能等方面具有重要意义。同时,森林枯落物及土壤层的水文功能是探讨森林水文循环过程的基础和前提<sup>[4-5]</sup>。

近年来基于自然资源的旅游活动(Nature-based Tourism)已成为世界范围内最主要的旅游形式,迅猛发展的旅游业势必会对生态环境产生一定的影响<sup>[6-9]</sup>。随着人类干扰的加剧,旅游活动引起的生态学效应受到广泛的重视,而这些旅游活动大多发生在生物多样性丰富、生态环境良好的自然保护区和森林公园中<sup>[6-7]</sup>。由此可见,揭示旅游活动对生态环境的影响成为对生态系统有效保护的必要前提<sup>[6-9]</sup>。九寨沟已被列入世界自然遗产名录,是我国第一批国家重点风景名胜区和国家级自然保护区,在水源涵养及水质净化方面有着不可替代的作用<sup>[8,10-11]</sup>。20世纪80年代,九寨沟旅游活动迅速发展,游客人数呈指数增长趋势,并且这种趋势仍在延续,揭示旅游活动对九寨沟自然保护区生态环境造成的影响具有重要的意义。本文以九寨沟岷江冷杉(*Abies fargesii* var. *Faxoniana*)为研究对象,对其枯落物层和土壤层水文功能进行详细研究,揭示该区森林枯落物层和土壤层水源涵养功能,并为其生态环境的保护及管理措施的制定提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于四川省阿坝州九寨沟县境内的九寨沟自然保护区原始森林景点(103°46′—104°04′E, 32°51′—33°19′N),海拔3 060 m,温和、降水适中的冷凉干燥的季风型气候,年均气温7.1℃,最高温度30.3℃,最低温度-17.0℃,年降雨量696.6~957.5 mm,积雪期从10月至次年4月,长达8个月之久;植被为原始岷江冷杉林,平均胸径37 cm,林下土壤为棕壤,腐殖质含量极高,林下灌木种类丰富但稀疏,主要有杜鹃(*Rhododendron* spp.)、蔷薇(*Rosa* spp.)、金露梅(*Potentilla fruticosa*)、细枝绣线菊(*Spiraea myrtilloides*)等,草本植物总盖度30%~45%,主要有东方草莓(*Fragaria orientalis*)、酢浆草(*Oxalis corniculata*)、高原露珠草(*Circaea alpina* subsp. *imaicola*)、多种薹草(*Carex* spp.)和蕨类等;地表苔

藓植物发达,优势种主要有大羽藓(*Thuidium cymbifolium*)、塔藓(*Hylocomium splendens*)和锦丝藓(*Actinothuidium hookeri*)等。该区在20世纪90年代被开发为旅游观光景点,90年代末修建了木质栈道,规范了观光路径,其所受旅游的干扰程度随九寨沟旅游人数的增长而不断增长;景点的旅游干扰包括游客践踏、栈道修建与维护以及因游人集中产生的其他间接环境干扰等。原始森林景点是九寨沟内唯一可以近距离观赏植被景观的景点,并且被景区大力宣传,80%~90%的游客会游览这里,干扰强度较大<sup>[8]</sup>。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 2013年9月初,分别选择旅游干扰和未干扰(CK)的线路,在景点的核心地段,沿步行栈道机械布点法设置样方,样方紧贴栈道边缘,各样方间距5 m,同时,在距栈道30 m远的基本未受干扰的区域与干扰样方一一对应布设样方,沿途各设30个样方,样方大小均为1 m×2 m,调查样方内枯落物层厚度及蓄积量,并且按照0—10,10—20,20—30,30—40 cm机械分层取土样。烘干法和浸水法测定土壤的自然含水量、土壤的容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度等各项指标,土壤入渗采用双环刀法<sup>[9,12]</sup>。

1.2.2 土壤枯落物储量和持水能力的测定 取回的枯落物自然状态下称重 $w_1$ ,然后将枯落物样品自然状态下装入尼龙袋浸水24 h后取出,静放至无水滴下时称重 $w_2$ ,于75℃下烘干至恒重,冷却后称重 $w_3$ ,计算枯落物储量,自然持水率、最大持水率和最大持水量<sup>[13]</sup>。

1.2.3 枯落物有效拦蓄量的测定 通常采用有效拦蓄量来估算枯落物对降雨的实际拦蓄量,具体计算公式如下<sup>[12]</sup>:

$$P=0.85R_m-R_0$$

$$M=(0.85R_m-R_0)\times W$$

式中: $P$ ——有效拦蓄率(%); $R_m$ ——最大持水率(%); $R_0$ ——自然持水率(%); $M$ ——有效拦蓄量(t/hm<sup>2</sup>); $W$ ——枯落物储量(t/hm<sup>2</sup>)。

1.2.4 土壤持水性能的测定<sup>[9,14]</sup>:

单位面积最大持水量(t/hm<sup>2</sup>)=10000(m<sup>2</sup>)×土壤总孔隙度(%)×土层厚度(m)

有效持水量(t/hm<sup>2</sup>)=10000(m<sup>2</sup>)×土壤非毛管孔隙度(%)×土层厚度(m)

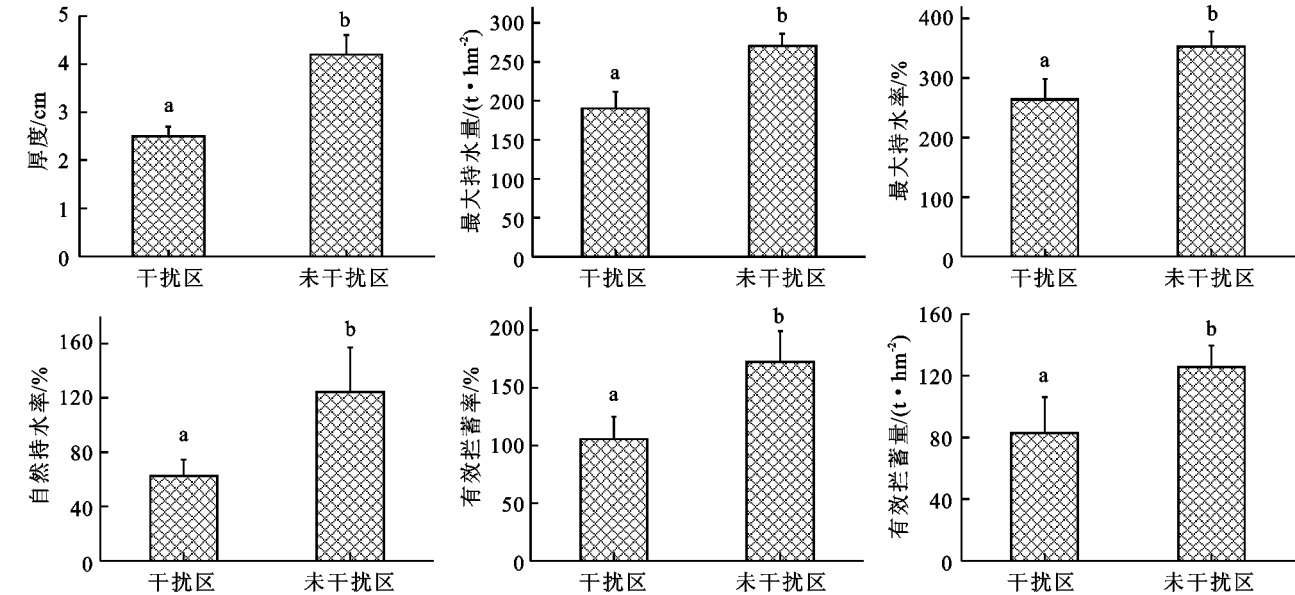
### 1.3 数据处理

Excel 2003 和 SPSS 18.0 数据分析,采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著法(LSD),Pearson 相关性系数检验各指标的的相关性,Origin 8.6 作图。

2 结果与分析

2.1 旅游干扰对九寨沟冷杉林下枯落物储量和持水性的影响

由图 1 可知,旅游干扰对枯落物储量和持水性的影响较为明显,干扰区枯落物厚度、最大持水量、



注:不同小写字母表示差异显著( $p<0.05$ )。下同。

图 1 旅游干扰对九寨沟冷杉林下枯落物储量和持水性的影响

2.2 旅游干扰对九寨沟冷杉林下土壤物理性质的影响

土壤容重、总孔隙度、非毛管孔隙度和毛管孔隙度是反映土壤物理性质的重要参数,它们直接影响着土壤持水和通气性能,旅游干扰会引起土壤物理性质的差异,造成土壤持水能力的不同<sup>[9,14-16]</sup>。通过对干扰区和未干扰区土壤物理性质指标计算可知(图 2),干扰区土壤容重、总孔隙度、非毛管孔隙度和毛管孔隙度变动范围分别为 0.95~1.45 g/cm<sup>3</sup>,44.3%~47.3%,25.1%~26.5%和 20.13%~20.49%,未干扰区土壤容重、总孔隙度、非毛管孔隙度和毛管孔隙度变动范围分别为 0.86~1.10 g/cm<sup>3</sup>,51.6%~64.2%,31.1%~40.2%和 21.05%~23.14%。干扰区土壤容重变动的趋势随着土层深度的增加而降低,土壤总孔隙度、非毛管孔隙度和毛管孔隙度随土层深度的增加而增加,局部有所波动,未干扰区土壤容重随着土层深度的增加呈先增加后降低趋势,土壤总孔隙度、非毛管孔隙度和毛管孔隙度随土层深度的增加而降低;同层相比,土壤容重呈现出干扰区>未干扰区,而土壤总孔隙度、非毛管孔隙度和毛管孔隙度却呈现未干扰区>干扰区,并且二者的差距随土层深度的增加而降低,30 cm 土层以下,干扰区土壤容重、总孔隙度、非毛管孔隙度和毛管孔隙度基本与未干扰区达到一致。

2.3 旅游干扰对九寨沟冷杉林下土壤蓄水功能的影响

旅游干扰会引起土壤蓄水功能的改变,干扰区和未干扰区土壤蓄水指标具有有较大差异(表 1),干扰区土壤最大持水率、单位面积最大持水量、有效持水量和土壤含水量变动范围分别为 49.28%~61.74%,956.32~1 307.14 t/hm<sup>2</sup>,86.78~287.42 t/hm<sup>2</sup>和 9.28%~12.07%,未干扰区土壤最大持水率、单位面积最大持水量、有效持水量和土壤含水量变动范围分别为 51.28%~63.45%,667.52~1 256.76 t/hm<sup>2</sup>,172.45~312.75 t/hm<sup>2</sup>和 10.97%~12.38%。干扰区土壤最大持水率、有效持水量和土壤含水量显著低于未干扰区( $p<0.05$ ),单位面积最大持水量与未干扰区并没有达到显著差异水平( $p>0.05$ ),与未干扰区相比,干扰区土壤最大持水率、单位面积最大持水量、有效持水量和土壤含水量分别下降了 9.11%,0.34%,12.91%和 8.25%;干扰区土壤最大持水率和土壤含水量随土层深度的增加呈先增加后降低趋势,单位面积最大持水量和有效持水量随土层深度的增加呈“V”字型变化;未干扰区土壤最大持水率和土壤含水量随土层深度的增加而降低,单位面积最大持水量和有效持水量随土层深度的增加而增加,局部有所波动;同层相比,土壤最大持水率、单位面积最大持水量、有效持水量和土壤含水量基本呈现出未干扰区>

干扰区,并且二者的差距随土层深度的增加而降低,30 cm 土层以下,干扰区土壤最大持水率、单位面积

最大持水量、有效持水量和土壤含水量基本与未干扰区达到一致。

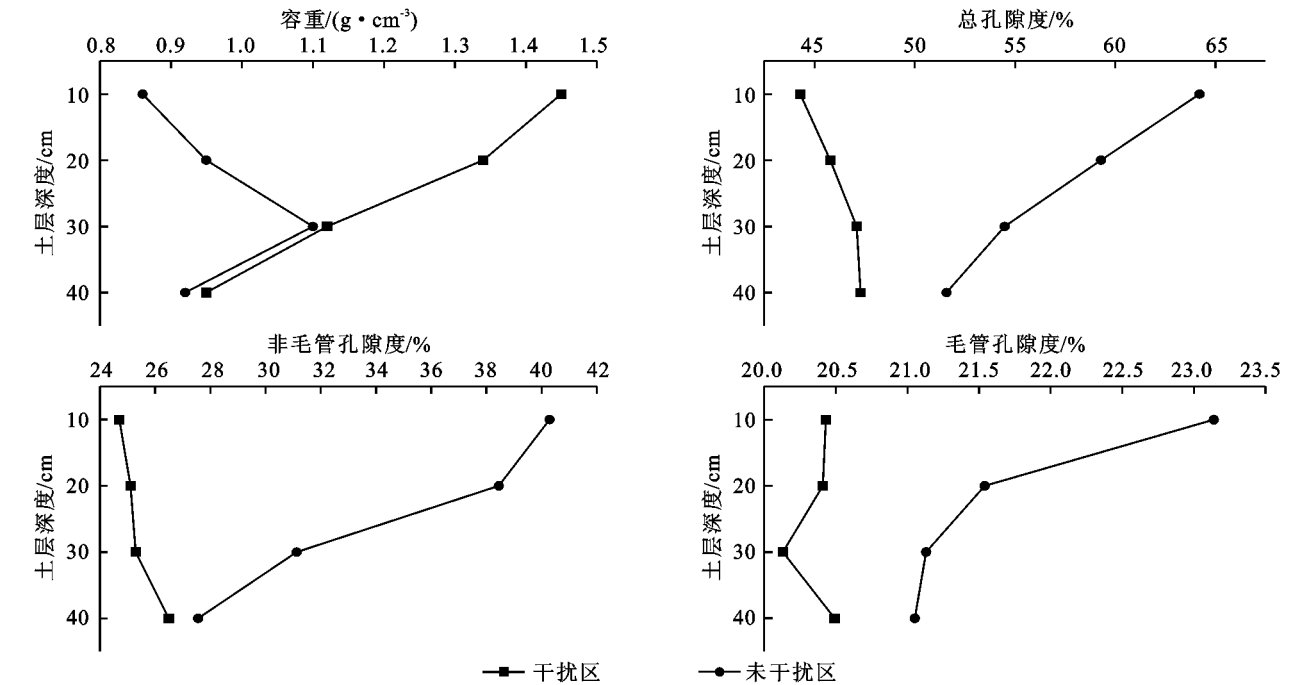


图 2 旅游干扰对九寨沟冷杉林下土壤物理性质的影响

表 1 旅游干扰对九寨沟冷杉林下土壤蓄水功能的影响

	土层 深度/cm	最大 持水率/%	单位面积最大持水量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	有效持水量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	土壤 含水量/%
干扰区	0—10	58.21	854.78	142.12	10.23
	10—20	61.74	956.32	86.78	11.56
	20—30	57.36	1102.52	256.38	12.07
	30—40	49.28	1307.14	287.42	9.28
	0—40	56.65b	4220.76a	772.70b	10.79b
未干扰区	0—10	75.18	667.52	172.45	12.38
	10—20	63.45	912.78	103.78	12.14
	20—30	59.41	1298.23	298.26	11.56
	30—40	51.28	1356.76	312.75	10.97
	0—40	62.33a	4235.29a	887.24a	11.76a

**2.4 旅游干扰对九寨沟冷杉林下土壤渗透性能的影响**  
土壤渗透性是表征土壤对降水和地表径流的就地入渗和吸收能力,是土壤水文调节功能极为重要的特征参数之一,渗透率越大,土壤的水文调节能力越强<sup>[9,14]</sup>。表 2 为九寨沟土壤入渗能力与土壤孔隙状况相关性分析结果,结果显示土壤渗透性能与总孔隙度和非毛管孔隙度均为极显著正相关关系,土壤初渗速率与总孔隙度相关系数( $R^2$ )为 0.982( $p<0.01$ ),非毛管孔隙度相关系数( $R^2$ )与 0.994( $p<0.01$ ),土壤稳渗速率与总孔隙度相关系数( $R^2$ )为 0.965( $p<0.01$ ),非毛管孔隙度相关系数( $R^2$ )与 0.986( $p<0.01$ )。其中,非毛管孔隙状况对土壤渗透性的影响更为显著。图 3 为旅游干扰下土壤入渗能力测定结

果,结果表明,随着土层深度的增加,土壤非毛管孔隙状况迅速恶化,干扰区土壤入渗速率大幅度下降,土壤入渗速率变化范围为 0.35~1.10 mm/min,未干扰区土壤入渗速率变化范围为 2.25~2.54 mm/min,相同土层土壤入渗速率均表现为未干扰区>干扰区。

表 2 土壤入渗速率与孔隙状况的相关性

参数	初渗 速率	稳渗 速率	总孔 隙度	非毛管 孔隙度
初渗速率	1.000			
稳渗速率	—	1.000		
总孔隙度	0.982**	0.965**	1.000	
非毛管孔隙度	0.994**	0.986**	—	1.000

注: \*\* 相关性在 0.01 水平上显著(双尾), \* 相关性在 0.05 水平上显著(双尾)。

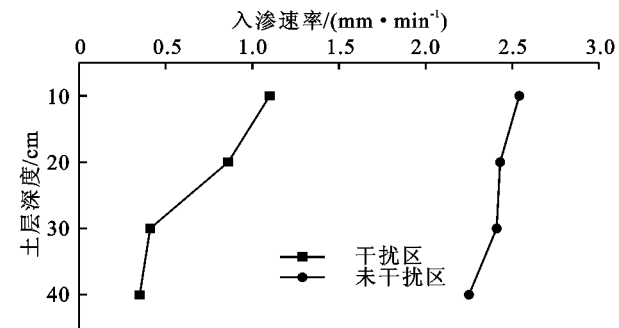


图 3 旅游干扰对九寨沟冷杉林下土壤渗透性能的影响

2.5 旅游干扰对九寨沟冷杉林下土壤水文调节功能的影响

土壤水文调节功能与雨季前期土壤含水量密切相关,雨季前期土壤含水量的多少以及饱和持水量的大小决定了湿地土壤水调蓄空间,因此,饱和含水量与雨季前期土壤含水量差值是体现湿地土壤有效调蓄潜在能力的一个重要指标<sup>[9,14,17-18]</sup>。表 3 为九寨沟冷杉林下土壤雨季前期自然含水量和饱和含水量的测定结果以及二者差值所得土壤有效调蓄水空间。由表可知,干扰区雨季前期含水量、饱和含水量和有效调蓄水空间均显著低于未干扰区( $p<0.05$ ),其中雨季前期含水量、饱和含水量和有效调蓄水空间分别比未干扰下降了 41.59%,56.01%和 44.50%;干扰区雨季前期含水量、饱和含水量和有效调蓄水空间随土层深度的增加而增加,局部有所波动,未干扰区雨季前期含水量、饱和含水量和有效调蓄水空间随土层深度的增加而降低;同层相比,基本呈现出未干扰区 $>$ 干扰区,并且二者的差距随土层深度的增加而降低,30 cm 土层以下,干扰区雨季前期含水量、饱和含水量和有效调蓄水空间基本与未干扰区达到一致;在未干扰区深层土壤有效调蓄水空间均小于 0—30 cm 土层,但在干扰区却相反,表明旅游干扰严重破坏了 0—30 cm 土壤的水文调节功能。

表 3 旅游干扰对九寨沟冷杉林下土壤水文调节功能的影响

区域	土层深度/cm	雨季前期含水量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	饱和含水量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	有效调蓄水空间/ (g·kg <sup>-1</sup> )
干扰区	0—10	153	597	538
	10—20	198	638	624
	20—30	265	825	753
	30—40	382	998	789
	0—40	250b	765b	826b
未干扰区	0—10	490	2563	1756
	10—20	435	1987	1423
	20—30	403	1352	795
	30—40	385	1054	539
	0—40	428a	1739a	1128a

3 讨论与结论

枯落物的蓄积量受林型、分解速度、本身的厚度和性质等多种因子的影响<sup>[14,17-20]</sup>,由于九寨沟冷杉林分郁闭度较大,所以枯落物厚度及蓄积量较大,干扰区受游客的影响,枯落物厚度及蓄积量较小。枯落物的持水能力多用干物质最大持水量和最大持水率来表示,最大持水量的大小可反映水容量的大小,最大持水率反映了枯落物吸水率的大小。本研究表明干扰区枯落物厚度、最大持水量、最大持水率、自然持水率、有效拦蓄率和有效拦蓄量均显著低于未干扰区( $p<0.05$ ),说明九寨沟冷杉林下枯落物的蓄积量及枯落物的组成成分均对持水能力产生影响,并且旅游干扰严重降低了林下枯落物蓄积量及其蓄水功能。

旅游干扰使土壤变得紧实,含水量减少,孔隙度变小,土壤更容易退化,这与大量学者研究结果一致<sup>[8-9,21-22]</sup>。土壤的蓄水能力与土壤容重和孔隙度状况密切相关,土壤容重越小,孔隙度越大,蓄水能力越大,土壤孔隙度也影响着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,是评价土壤结构的重要指标<sup>[8-9,21-22]</sup>。由图 2 可知,干扰区土壤容重变动的趋势随着土层深度的增加而降低,土壤总孔隙度随土层深度的增加而增加,局部有所波动,未干扰区则呈相反趋势,显示出极强的蓄水能力,并且二者的差距随土层深度的增加而降低,30 cm 土层以下,在旅游干扰作用下 0—30 cm 土壤容重和孔隙度变化显著,对 30 cm 以下土壤容重和总孔隙度的作用微弱,这说明旅游干扰显著降低了土壤物理性质,而对土壤—水文的影响主要集中在 0—30 cm 土层。土壤非毛管孔隙能较快容纳降水并及时下渗,对其水文调蓄功能和地表径流的均化调节具有极为重要的决定作用,一般将土壤非毛管孔隙持水量(又叫有效持水量)作为评价林地土壤水源涵养能力的重要指标<sup>[9,14]</sup>。本研究中,未干扰区具有较高的非毛管孔隙,表明九寨沟冷杉林下土壤具有较好的贮蓄水分和调节水分能力,而旅游干扰下土壤非毛管孔隙急剧降低,由此表明了旅游干扰显著降低了九寨沟冷杉林下土壤的贮蓄水分和调节水分能力。

干扰区土壤最大持水率、有效持水量和土壤含水量显著低于未干扰区( $p<0.05$ ),单位面积最大持水量与未干扰区并没有达到显著差异水平( $p>0.05$ ),干扰区土壤最大持水率、最大持水量、有效持水量和土壤含水量较未干扰区分别下降了 9.11%,0.34%,12.91%和 8.25%;同层相比,土壤最大持水率、单位面积最大持水量、有效持水量和土壤含水量基本呈现

出未干扰区>干扰区,并且二者的差距随土层深度的增加而降低,30 cm 土层以下,干扰区土壤最大持水率、最大持水量、有效持水量和土壤含水量基本与未干扰区达到一致,由此表明,旅游干扰对0—30 cm 土层结构破坏作用较大,导致土壤蓄水能力显著下降。

旅游践踏干扰导致土壤有机质减少,土壤水分含量降低,同时,旅游践踏破坏了表层土壤,加速了土壤有机质分解,促进了矿化作用,一方面不利于土壤良好结构形成,土壤容重增加,孔隙度减小;另一方面也破坏了土壤胶体状况,降低了土壤的吸附作用,土壤蓄水功能减弱<sup>[8-9,20-22]</sup>。在未干扰区,土壤枯落物量积累,土壤孔隙状况良好,较高的土壤孔隙度不仅有利于纵向水分渗透,而且有利于水分的横向运移,缩短了渗透时间,增强了土壤渗透性能;在旅游干扰作用下,土壤枯落物量下降,土体极易松散,土壤孔隙易堵塞,干扰区土壤入渗速率大幅度下降,土壤入渗速率变化范围为0.35~1.10 mm/min,未干扰区土壤入渗速率变化范围为2.25~2.54 mm/min,相同土层土壤入渗速率均表现为未干扰区>干扰区,一旦遇上突发性降雨或者降雨脉动事件,干扰区土壤初渗速率较低,稳渗时间变短,土壤水调蓄功能退化显著。

依据目前旅游发展的势态,九寨沟风景区游客量还将持续增长,其资源开发利用强度将进一步加大,旅游干扰强度和影响的空间范围也将随之扩大,势必导致生态影响效应进一步增加。从本次试验结果来看,旅游干扰对九寨沟风景区土壤—水文产生了一定的负面效应,因此必须采取有效的方法和措施来减轻旅游对环境的负面影响,建议制定合理旅游环境容量、采取适当分流游客措施、提高旅游者环保意识,防止土壤生态环境的进一步恶化,维护土壤水文生态系统的平衡。

#### 参考文献:

- [1] Bruijnzeel L A. Hydrological functions of tropical forests; not seeing the soil for the trees[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004, 104(1): 185-228.
- [2] Chang M. Forest hydrology: an introduction to water and forests[M]. CRC Press, 2012.
- [3] Brooks K N, Ffolliott P F, Magner J A. Hydrology and the management of watersheds[M]. John Wiley & Sons, 2012.
- [4] Biao Z, Wenhua L, Gaodi X, et al. Water conservation of forest ecosystem in Beijing and its value[J]. *Ecological Economics*, 2010, 69(7): 1416-1426.
- [5] Han C H, Zhao Y S, Xin Y, et al. Water-Holding Characteristics of Litter Layers of Main Forest Types in the Upstream Small Watershed of Ashi River[J]. *Forest Research*, 2012, 25(2): 212-217.
- [6] Tyrvainen L, Uusitalo M, Silvennoinen H, et al. Towards sustainable growth in nature-based tourism destinations: Clients' views of land use options in Finnish Lapland[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 122: 1-15.
- [7] Karanth K K, DeFries R. Nature - based tourism in Indian protected areas: New challenges for park management[J]. *Conservation Letters*, 2011, 4(2): 137-149.
- [8] 朱珠, 包维楷, 庞学勇, 等. 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[J]. *生物多样性*, 2006, 14(4): 284-291.
- [9] 张昆, 田昆, 吕宪国, 等. 旅游干扰对纳帕海湖滨草甸湿地土壤水文调蓄功能的影响[J]. *水科学进展*, 2009, 20(6): 800-805.
- [10] 唐文跃, 张捷, 罗浩, 等. 九寨沟自然观光地旅游者地方感特征分析[J]. *地理学报*, 2007, 62(6): 599-608.
- [11] 章锦河, 张捷, 梁玥琳, 等. 九寨沟旅游生态足迹与生态补偿分析[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(5): 735-744.
- [12] 徐洪亮, 满秀玲, 盛后财. 大兴安岭不同类型落叶松天然林水源涵养功能研究[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(4): 92-96.
- [13] 李红振, 李凤日, 贾炜玮, 等. 大兴安岭不同类型白桦落叶松混交林枯落物水源涵养功能[J]. *东北林业大学学报*, 2014, 42(6): 43-46.
- [14] 赵丽, 王建国, 车明中, 等. 内蒙古扎兰屯市典型森林枯落物, 土壤水源涵养功能研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2014, 28(5): 91-96.
- [15] 张希彪, 上官周平. 人为干扰对黄土高原子午岭油松人工林土壤物理性质的影响[J]. *生态学报*, 2006, 26(11): 3685-3695.
- [16] 黄宇, 汪思龙, 冯宗炜, 等. 不同人工林生态系统林地土壤质量评价[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(12): 2199-2205.
- [17] 鲁绍伟, 陈波, 潘青华, 等. 北京山地不同海拔人工油松林枯落物及其土壤水文效应[J]. *水土保持研究*, 2013, 20(6): 54-58.
- [18] 陈波, 孟成生, 赵耀新, 等. 冀北山地不同海拔华北落叶松人工林枯落物和土壤水文效应[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(3): 216-221.
- [19] 张振明, 余新晓, 牛健植, 等. 不同林分枯落物层的水文生态功能[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(3): 139-143.
- [20] 李灵, 张玉, 江慧华, 等. 旅游干扰对武夷山风景区土壤质量的影响[J]. *水土保持研究*, 2009, 16(6): 56-62.
- [21] 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.
- [22] 巩劼, 陆林, 晋秀龙, 等. 黄山风景区旅游干扰对植物群落及其土壤性质的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(5): 2239-2251.