

旅游干扰对重庆市黄水国家森林公园枯落物及土壤蓄水能力的影响

张瑾

(重庆第二师范学院 旅游与服务管理学院, 重庆 400065)

摘要: [目的] 探索不同旅游干扰强度对景区枯落物及土壤蓄水能力的影响,为景区管理措施制定和生态环境改善提供一定的参考。[方法] 以重庆市黄水国家森林公园为研究对象,分析非干扰、轻度干扰、中度干扰和重度干扰4个处理条件下景区枯落物及土壤蓄水能力的变化。[结果] 随着旅游干扰强度的增强,景区枯落物及土壤蓄水能力均显著降低,而土壤容重则显著提升($p < 0.05$)。与未干扰相比,重度干扰下景区枯落物总蓄积量、未分解层和半分解层蓄积量分别显著降低55.30%,57.47%和49.19%($p < 0.05$);未分解层枯落物最大持水率、最大拦蓄率、有效拦蓄率、最大持水量、最大拦蓄量及有效拦蓄量分别降低19.83%,24.83%,20.22%及57.89%,56.67%和62.35%,而半分解层则分别降低30.01%,33.21%,37.48%及69.90%,70.94%,72.77%;土壤容重提升97.33%($p < 0.05$),总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、最大持水量、毛管持水量、非毛管持水量、初渗率、稳渗率、平均渗透率和渗透总量分别提升26.57%,8.83%,17.74%,38.64%,42.98%,32.13%,67.01%,65.23%,64.22%和44.01%($p < 0.05$)。[结论] 旅游干扰通过降低景区枯落物尤其是半分解层枯落物和土壤蓄水能力而影响景区生态系统水文调节功能。

关键词: 旅游干扰; 黄水国家森林公园; 枯落物; 土壤; 蓄水能力

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)06-0029-07

中图分类号: S714

文献参数: 张瑾. 旅游干扰对重庆市黄水国家森林公园枯落物及土壤蓄水能力的影响[J]. 水土保持通报, 2020,40(6):29-35. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2020.06.005; Zhang Jin. Effects of tourism disturbance on litter and soil hydrology functions of Huangshui National Forest Park in Chongqing City [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020,40(6):29-35.

Effects of Tourism Disturbance on Litter and Soil Hydrology Functions of Huangshui National Forest Park in Chongqing City

Zhang Jin

(School of Tourism Service and Management, Chongqing University of Education, Chongqing 400065, China)

Abstract: [Objective] The effects of different tourism disturbance intensity on litter and soil water-holding capacity in the scenic area were explored in order to provide some reference for scenic area management measures and ecological environment improvement. [Methods] The Huangshui National Forest Park was selected as experimental object and the changes of litter and soil water-holding capacity were analyzed under four treatments: undisturbed area, light disturbed area, moderate disturbed area and severe disturbed area. [Results] With the increase of tourism disturbance intensity, the litter and soil water-holding capacity were decreased significantly, while the soil bulk density was increased significantly ($p < 0.05$). Compared with undisturbed area, the total accumulation of litter, decomposed litter and semi-decomposed litter were decreased by 55.30%, 57.47% and 49.19% respectively ($p < 0.05$); the maximum water-holding rate, maximum interception rate, effective interception rate, the maximum water-holding capacity, maximum interception capacity and effective interception capacity of undifferentiated litter were decreased significantly by 19.83%, 24.83%, 20.22%, 57.89%, 56.67% and 62.35%, respectively, but the semi-decomposed litter were significantly decreased by

收稿日期:2020-04-03

修回日期:2020-05-02

资助项目:重庆第二师范学院校级科研创新平台(重点)项目“重庆城市居民家庭亲子旅游的行为特征研究”(17PTXM105)

第一作者:张瑾(1980—),女(汉族),重庆市人,硕士,副教授,主要从事旅游景区管理研究。Email:3185887366@qq.com。

30.01%, 33.21%, 37.48%, 69.90%, 70.94% and 72.77%, respectively. The soil bulk density of scenic spot under serve disturbance intensity was significantly increased by 97.33%, while the soil porosity, soil capillary porosity, soil non-capillary porosity, soil maximum water-holding capacity, soil capillary water capacity, soil non-capillary water capacity, soil initial infiltration rate, soil stable infiltration rate, soil average infiltration rate and soil total infiltration were significantly decreased by 26.57%, 8.83%, 17.74%, 38.64%, 42.98%, 32.13%, 67.01%, 65.23%, 64.22% and 44.01% ($p < 0.05$), respectively. [Conclusion] Tourism disturbance decreased the hydrological regulation function of the scenic area ecosystem by reducing the litter, especially the semi-decomposed litter and the soil water-holding capacity.

Keywords: tourism disturbance; Huangshui National Forest Park; litter; soil; water-holding capacity

随着人为干扰的不断加强,水土流失已成为部分陆地生态系统面临的潜在自然生态问题之一,其水文调节功能与水土保持密切相关,因此,开展人为干扰对陆地生态系统水文功能的影响具有重要意义^[1-2]。森林生态系统是陆地生态系统的重要组成部分之一,其水文调节功能主要包括林冠层、枯落物层和土壤层 3 个层面。枯落物是植被与土壤间物质和能量循环的重要媒介,由植被枯枝落叶、果实及种子等凋落物组成,是森林生态系统中不可或缺的重要组成部分^[3]。枯落物层具有截流降水减少地表径流、增强土壤抗蚀力减少土壤流失和减少土壤水分蒸发等作用,是森林生态系统发挥水文调节效应的主要活动层,对维持森林生态系统可持续性具有重要意义^[4-5]。大量研究^[6-7]表明,影响枯落物水文调节功能的因素通常包括枯落物组成、储量、分解程度及持水能力等,蓄积量越大、厚度越厚、分解越彻底,则蓄水性能越好,水文调节能力越强。土壤层是进行水文调节的第 3 个层面,其水文调节能力由土壤容重、孔隙度、土壤结构及土壤渗透性能等因素决定^[8]。近年来,我国社会发展和经济水平的不断提高,旅游行为愈发普遍,旅游人数逐年激增,同时旅游时间又相对比较集中,给旅游景区生态环境带来巨大挑战^[9]。旅游行为对景区的干扰形式主要包括景区旅游车辆碾压、旅游踩踏、旅游垃圾污染、旅游道路及游乐设施修建等,造成景区植被、土壤、水体等遭到严重破坏。目前,关于旅游干扰对景区环境的影响前人^[10-13]进行了大量研究,认为旅游干扰会导致景区植被数量及多样性降低,土壤微环境发生恶化(如容重增大、孔隙度降低、重金属污染、养分含量下降、土壤酶活性降低、土壤微生物数量及多样性降低等)及水体污染等。然而关于旅游干扰对景区枯落物及土壤蓄水能力的影响研究尚不多见,尤其是旅游干扰下山地森林的枯落物分解层和未分解层蓄积量及蓄水能力变化更是未见相关报道。因此,本研究以黄水国家森林公园为研究对象,分析不同旅游干扰强度对枯落物分解层和未分解层蓄积量及蓄水能力、土壤持水能力和渗透性能的影响,以期

为黄水国家森林公园景区管理措施制定和生态环境改善提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

黄水国家森林公园座于重庆市石柱县境内,地理位置为 30°15′38.38″N, E 108°13′56.12″E,东西长 12.15 km,南北宽 7.02 km,总面积 32 441 hm²,可游面积 6 000 hm²,平均海拔 1 600 m,是长江三峡黄金旅游线上惟一的少数民族旅游景区,具有游览观光、科普考察、民生风情体验及娱乐健身等多重功能,于 1998 年被评为国家级森林公园。黄水国家森林公园景区属典型的热带湿润季风气候,景区四季分明,具有动植物资源约 4 500 余种,年平均湿度 83%,平均日照 1 148.8 h,平均无霜期 277 d。2000—2018 年,年平均最低气温为 10.4 ℃,最高气温为 14.8 ℃,年平均最低降雨量为 712.27 mm,年平均最高降雨量为 1 096.85 mm;景区春、夏、秋、冬四季平均气温分别为 10 ℃, 20 ℃, 25 ℃和 5 ℃,平均降雨量分别为 218.51, 382.55, 305.26, 146.54 mm。本研究选取黄水国家森林公园大风堡原始森林景区为研究对象,该区土壤类型为棕壤土, pH 值 7.32,有机质、全氮、全磷及全钾含量分别为 18.63, 8.26, 16.72, 18.63 mg/g; 植被类型为乔冠类型,主要植物有杜鹃(*Rhododendron protistum*)、紫云英(*Astragalus sinicus* L.)、山槐(*Albizia kalkora*)、金合欢(*Vachelia farnesiana*)、五倍子(*Rhus chinensis*)、毛榉(*Zelkova serrata*)、板栗(*Castanea mollissima*)、黄杉(*Pseudotsuga sinensis*)、巴山松(*Pinus tabuliiformis*)和红豆木(*Millettia Laurentii*)等。

1.2 试验样地设置及样品采集

试验于 2018 年 8 月在旅游旺季开始实施,试验地点选择为自然环境条件基本一致的大风堡原始森林景区核心地段。在对游客活动轨迹充分调研的基础上,以距离游览主干线距离远近,划分为 4 个区域:非干扰区(CK),距主干道 50 m 以外,无游客或极少

游客到达区域,地表覆盖大量枯枝落叶,有大量杂草;轻度干扰区(light disturbance, LD),距主干道 30—50 m,有少数游客到达,地表具有一定的枯落物覆盖和杂草;中度干扰区(moderate disturbance, MD),距主干道 10—30 m,游客活动常涉足到该区域,地表枯落物明显少于轻度干扰区,有少量杂草生长;重度干扰区(severe disturbance, SD),距旅游景点 < 10 m 以内,游客活动较为频繁区域,旅游踩踏及旅游垃圾等人为干扰痕迹极为明显,覆盖少量枯落物,鲜有杂草生长。在每个区域内,延主干道方向设置 5 个试验样地,面积为 3 m × 3 m。

1.3 试验测定指标及方法

在各区域样地内按 S 曲线选取 6 个 30 cm × 30 cm 的小样方,用直尺测量枯落物层厚度。将样方内枯落物按未分解层和半分解层分别取出放入尼龙袋并做好标记带回实验室,称量鲜重 T_1 后,放入清水中浸泡 24 h,取出后将尼龙袋水滴净并称重 T_2 ; 65 °C 烘干至恒重并测定其干重即枯落物蓄积量 T_3 ,采用公式计算自然含水率(%)、最大持水率(%)、最大拦蓄率(%)和有效拦蓄率(%)。

$$\text{自然含水率 } A_0 = (T_1 - T_2) / T_3 \times 100\%$$

$$\text{最大持水率 } A_1 = (T_2 - T_3) / T_3 \times 100\%$$

$$\text{最大拦蓄率 } A_2 = A_1 - A_0$$

$$\text{有效拦蓄率 } A_3 = 0.85 A_1 - A_0$$

$$\text{自然含水量}(\text{t}/\text{hm}^2) = A_0 \cdot T_3$$

$$\text{最大持水量}(\text{t}/\text{hm}^2) = A_1 \cdot T_3$$

$$\text{最大拦蓄量}(\text{t}/\text{hm}^2) = A_2 \cdot T_3$$

$$\text{有效拦蓄量}(\text{t}/\text{hm}^2) = A_3 \cdot T_3$$

在各区域样地内按 S 形曲线选取 6 个点进行土壤取样,取土深度为 30 cm,用于土壤性状及透性能测定。土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度采用环割法测定。

$$\text{土壤最大持水量}(\text{t}/\text{hm}^2) =$$

$$10\,000 \times \text{总孔隙度} \times \text{土层厚度};$$

$$\text{毛管持水量}(\text{t}/\text{hm}^2) =$$

$$10\,000 \times \text{毛管孔隙度} \times \text{土层厚度};$$

$$\text{非毛管持水量}(\text{t}/\text{hm}^2) =$$

$$10\,000 \times \text{非毛管孔隙度} \times \text{土层厚度}。$$

土壤透水性采用双环刀法测定,

$$\text{初渗率}(\text{mm}/\text{min}) = \text{最初渗透量} / \text{入渗时间}$$

其中,本研究最初入渗时间为 2 min;平均渗透速率(mm/min) = 达稳渗时的渗透总量 / 达稳渗时的时间;稳渗率:单位时间内渗透量基本一致时的渗透速率;渗透总量为渗透时间达到 60 min 的渗透量。

1.4 数据处理及统计分析

采用 Excel 2013 对数据进行整理、计算及作图;采用 SPSS 19.0 统计软件进行不同区域数据显著性差异分析。

2 结果与分析

2.1 旅游干扰对大风堡原始森林景区枯落物厚度及蓄积量的影响

枯落物厚度及蓄积量主要取决于植被枝、叶等枯落物的输入和输出,与植被组成、生长发育状况及气候条件密切相关^[14]。由图 1 可知,旅游干扰会对大风堡原始森林景区枯落物厚度、蓄积量及枯落物分解造成明显影响。随着旅游干扰强度的增强,景区枯落物厚度和蓄积量均逐渐下降,半分解层下降幅度明显高于未分解层。

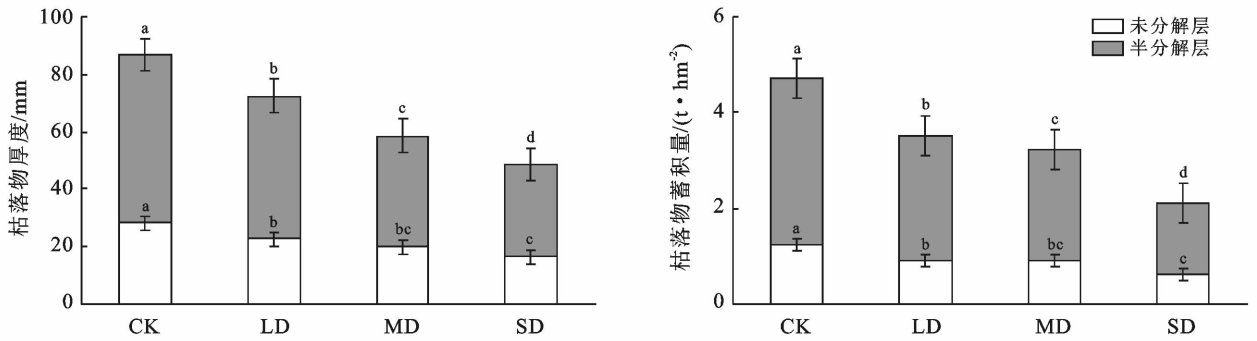
本研究中,4 个试验区的枯落物总厚度、未分解层厚度、半分解层厚度和总蓄积量、未分解层蓄积量、半分解层蓄积量变化范围分别为 48.62~86.83 mm, 16.39~28.21 mm, 32.23~58.62 mm 和 2.11~4.72 t/m², 0.63~1.24 t/m², 1.48~3.48 t/m²。与非干扰区(CK)相比,轻度干扰(LD)、中度干扰(MD)和重度干扰区(SD)的枯落物总厚度分别降低 16.68%, 32.56% 和 44.01%,未分解层厚度分别降低 19.53%, 29.42% 和 41.90%,而半分解层则分别降低 15.30%, 34.07% 和 45.02%,均达到显著差异水平($p < 0.05$)。轻度干扰(LD)、中度干扰(MD)和重度干扰区(SD)的枯落物总蓄积量则分别显著降低 11.44%, 29.03% 和 55.30%,未分解层分别显著降低 6.32%, 27.59% 和 57.47%,半分解层分别显著降低 25.81%, 33.06% 和 49.19% ($p < 0.05$)。由此说明,旅游干扰会显著降低景区枯落物厚度与蓄积量,半分解层下降幅度明显大于未分解层。

2.2 旅游干扰对大风堡原始森林景区枯落物蓄水能力的影响

枯落物层具有结构疏松的优势,可显著增加地表粗糙度,在提高截持雨水、拦蓄径流等方面发挥重要的作用^[15]。由图 2 可知,旅游干扰会严重影响大风堡原始森林景区枯落物蓄水能力。本研究中,景区枯落物最大持水率、最大拦蓄率和有效拦蓄率及最大持水量、最大拦蓄量及有效拦蓄量均随着旅游干扰强度的增强而逐渐降低,且半分解层下降幅度明显大于未分解层。与非干扰区(CK)相比,重度干扰区(SD)的未分解层枯落物最大持水率、最大拦蓄率、有效拦蓄率及最大持水量、最大拦蓄量、有效拦蓄量分别降低 19.83%, 24.83%, 20.22% 及 57.89%, 56.67% 和

62.35%，均达到显著差异水平($p < 0.05$)；而半分解层最大持水率、最大拦蓄率和有效拦蓄率及最大持水量、最大拦蓄量及有效拦蓄量则分别显著降低

30.01%，33.21%，37.48%及69.90%，70.94%，72.77%。由此说明，旅游干扰会显著降低景区枯落物蓄水能力，半分解层的下降幅度明显大于未分解层。



注:CK:对照; LD:轻度干扰; MD:中度干扰; SD:重度干扰; 图中同列不同小写字母表示差异达到显著水平($p < 0.05$)。下同。

图1 旅游干扰对大风堡原始森林景区枯落物厚度及蓄积量的影响

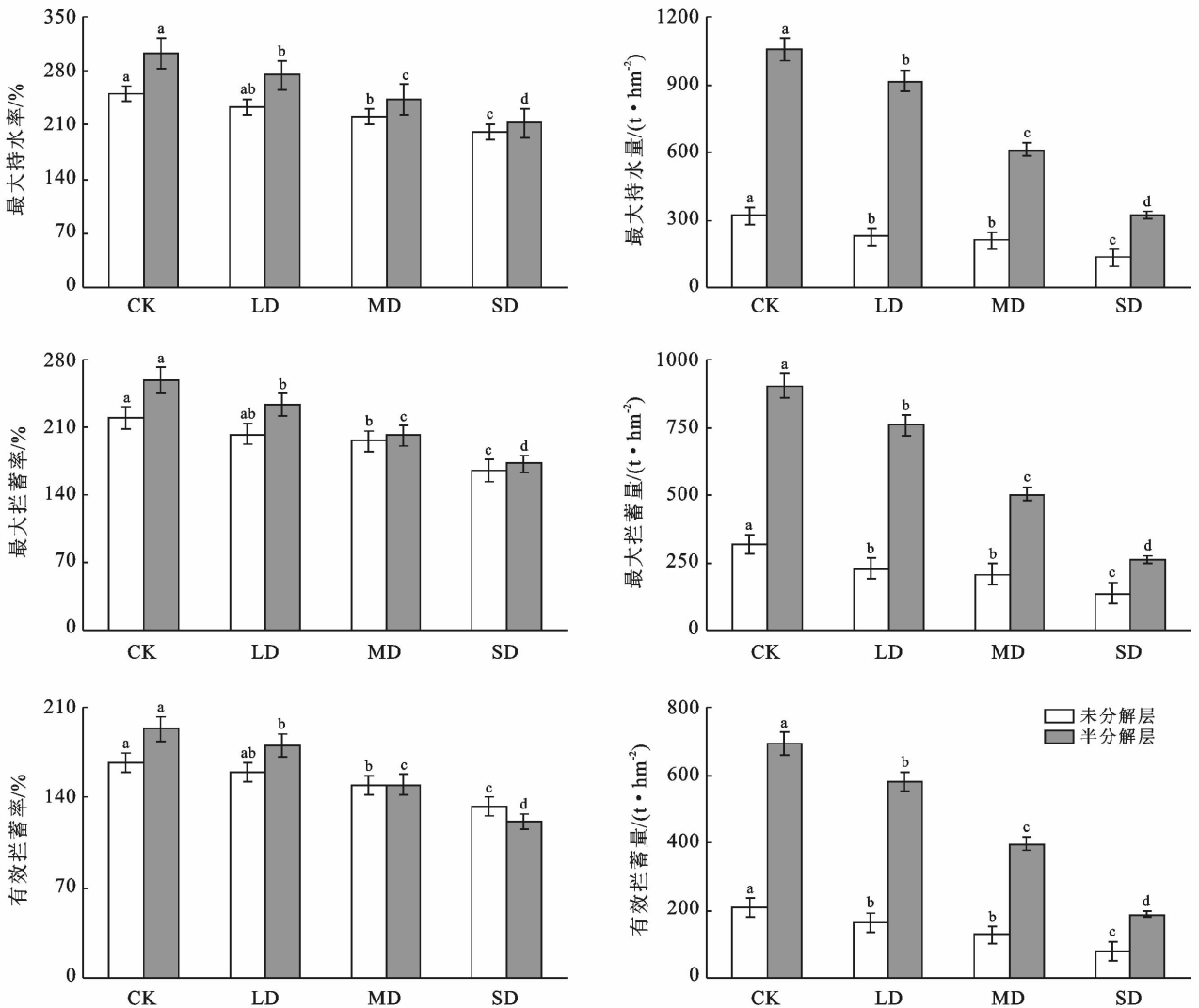


图2 旅游干扰对大风堡原始森林景区枯落物蓄水能力的影响

2.3 旅游干扰对大风堡原始森林景区土壤蓄水能力的影响

土壤容重和孔隙度是衡量土壤紧实状况的重

要指标,与土壤持水性能强弱密切相关^[16]。由表1可知,旅游干扰会对大风堡原始森林景区土壤蓄水能力造成明显影响。随着旅游干扰强度的增强,景区

土壤容重逐渐升高,总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、最大持水量、毛管持水量和非毛管持水量均逐渐降低。本研究中,土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、最大持水量、毛管持水量和非毛管持水量变化范围分别为 $0.75 \sim 1.48 \text{ g/cm}^3$, $42.18\% \sim 68.75\%$, $18.66\% \sim 27.49\%$, $23.52\% \sim 41.26\%$, $843.74 \sim 1\ 375.12 \text{ t/m}^2$, $470.52 \sim 825.24 \text{ t/m}^2$,

$373.21 \sim 549.87 \text{ t/m}^2$ 。与非干扰区(CK)相比,重度干扰区(SD)土壤容重提升 97.33% ,总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、最大持水量、毛管持水量和非毛管持水量分别提升 26.57% , 8.83% , 17.74% , 38.64% , 42.98% 和 32.13% ,均达到显著差异水平($p < 0.05$)。由此说明,旅游干扰会显著降低景区土壤蓄水能力。

表 1 旅游干扰对大风堡原始森林景区土壤蓄水能力的影响

干扰强度	容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	总孔隙度/ %	毛管孔隙度/ %	非毛管孔隙度/ %	最大持水量/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	毛管持水量/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	非毛管持水量/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)
对照(CK)	0.75 ^a	68.75 ^a	27.49 ^a	41.26 ^a	1 375.12 ^a	825.24 ^a	549.87 ^a
轻度干扰(LD)	0.86 ^b	62.26 ^b	24.51 ^b	37.75 ^b	1 245.33 ^b	755.08 ^b	490.25 ^b
中度干扰(MD)	1.22 ^c	53.83 ^c	22.50 ^c	31.33 ^d	1 076.78 ^c	626.65 ^c	450.13 ^c
重度干扰(SD)	1.48 ^d	42.18 ^d	18.66 ^d	23.52 ^d	843.74 ^d	470.52 ^d	373.21 ^d

注:表中同列不同小写字母表示差异达到显著水平($p < 0.05$)。下同。

2.4 旅游干扰对大风堡原始森林景区土壤渗透能力的影响

土壤渗透性是衡量土壤水文调节功能的重要参数,渗透性越强则水文调节能力越强^[17]。由图 3 可知,随着旅游干扰强度的增强,大风堡原始森林景区土壤初渗率、稳渗率逐渐降低。本研究中,景区土壤初渗率、稳渗率、平均渗透率和渗透总量变化范围分别为 $2.26 \sim 6.85 \text{ mm/min}$, $1.78 \sim 5.12 \text{ mm/min}$, $1.95 \sim 5.45$

mm/min 和 $48.62 \sim 86.83 \text{ ml/cm}^2$ 。与非干扰区(CK)相比,轻度干扰(LD)、中度干扰(MD)和重度干扰区(SD)土壤初渗率分别显著降低 16.06% , 38.39% 和 67.01% ($p < 0.05$),稳渗率分别显著降低 20.90% , 44.14% 和 65.23% ($p < 0.05$),平均渗透率分别显著降低 16.88% , 42.94% 和 64.22% ($p < 0.05$),渗透总量分别降低 16.68% , 32.56% 和 44.01% ($p < 0.05$)。由此说明,旅游干扰会显著降低土壤渗透调节能力。

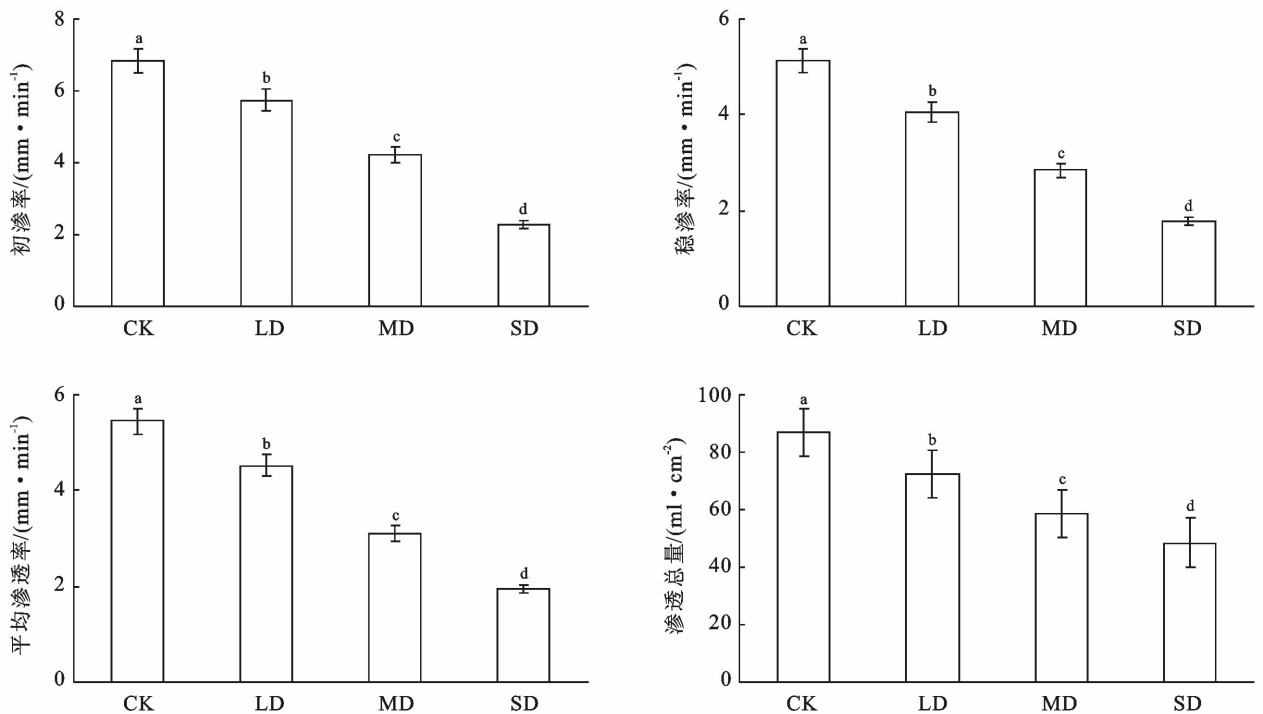


图 3 旅游干扰对大风堡原始森林景区土壤渗透能力的影响

3 讨论

枯落物层是森林生态系统发挥水文调节效应的主要活动层,枯落物蓄积量与林型、林龄、林分密度、人为活动、分解速度及光温水肥等外界环境条件密切相关^[14]。本研究中,景区枯落物厚度和蓄积量均随着旅游干扰强度的增强而逐渐降低,且半分解层下降幅度明显高于未分解层。本结果与刘小兰等^[18]对九寨沟冷杉林和李学斌等^[19]对荒漠草原的结果较为一致,其原因主要包括:①旅游干扰会显著降低景区植被数量及多样性^[10],进而造成枯落物减少;②旅游干扰会显著降低土壤养分含量^[10],造成植被生长受抑,枯落物生物量减少;③旅游干扰时常会将部分凋落物带出森林系统,造成枯落物蓄积量减少。而旅游干扰造成枯落物半分解层下降幅度明显高于未分解层的根本原因是枯落物分解速率的降低,主要由两方面因素造成:一方面,微生物是枯落物分解和养分转化的主要参与者,而旅游干扰会显著降低土壤微生物数量和群落多样性,从而造成枯落物分解速率降低^[20-21];另一方面,水分对枯落物分解具有明显的促进作用^[20],旅游干扰导致的土壤持水量降低也是造成枯落物分解速率降低的主要原因之一。

枯落物蓄水能力由枯落物质地、组成、分解程度、厚度、蓄积量等因素决定^[22]。张建利等^[5]研究表明,随着干扰强度的增强,杜鹃林枯落物持水能力逐渐降低,且分解越彻底持水量越高;宫殷婷等^[6]研究表明,不同林分的枯落物总蓄积量和总持水量存在差异,华北落叶松林枯落物总蓄积量和总持水量均最大,而黑桦枯落物总蓄积量和白杆林枯落物总持水量分别达到最低;刘凯等^[14]研究表明,高寒区白桦林林分密度为 900 株/hm² 时,枯落物厚度、蓄积量、最大持水量及有效拦蓄量均达到最大,水源涵养效果最佳。本研究结果表明,随着旅游干扰强度的增强,枯落物最大持水率、最大拦蓄率、有效拦蓄率及最大持水量、最大拦蓄量、有效拦蓄量均逐渐降低,且半分解层最大持水量、最大拦蓄量、有效拦蓄量明显高于未分解层。本研究结果与张建利等^[5]、宫殷婷等^[6]和刘凯等^[14]研究结果较为一致,其原因主要包括:①旅游干扰会显著降低植被多样性、降低枯落物多样性,造成枯落物质地和组成差异^[10],可能导致最大持水率和自然含水率差异下降,进而降低最大拦蓄率和有效拦蓄率;②旅游干扰引起的土壤微生物数量、多样性和土壤持水量降低导致的枯落物分解程度差异也可能是引起最大持水率、最大拦蓄率和有效拦蓄率下降的原因之一^[20-21];③旅游干扰导致的枯落物蓄积量下降,

尤其是半分解层蓄积量下降也是导致最大持水量、最大拦蓄量、有效拦蓄量下降的主要原因。

容重和孔隙度是表征土壤松紧度和贮水能力的重要指标^[23]。本研究中,随着旅游干扰强度的增强,景区土壤容重逐渐升高,总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、最大持水量、毛管持水量及非毛管持水量则均逐渐降低。本结果与刘小兰等^[18]对九寨沟冷杉林土壤及尤晋杰等^[23]对天然次生灌丛土壤研究结果一致,其原因主要包括 3 个方面:①旅游车辆碾压、人为踩踏等干扰对土壤表层结构造成破坏,导致土壤压实、孔隙度降低,从而降低土壤持水能力^[18];②旅游干扰造成的枯落物蓄积量降低^[18],导致截流降水能力、发生地表径流,造成土壤表层结构破坏,降低持水能力^[4-5];③旅游干扰导致的土壤有机碳含量降低会进一步破坏土壤团粒结构^[24],进一步对景区土壤造成破坏,降低土壤持水能力。

土壤渗透能力主要由容重和孔隙度决定,入渗特征与孔隙度成正相关,而与容重则呈反相关^[25]。本研究中,随着旅游干扰强度的增强,景区土壤初渗率、稳渗率、平均渗透率和渗透总量均逐渐降低。旅游干扰导致的土壤表层枯落物蓄积量及分解程度降低、土壤容重加大、孔隙度降低是导致土壤渗透性能降低的主要原因;此外,人为踩踏及土壤有机碳含量降低导致的土壤团粒结构破坏也是造成土壤渗透性能下降的关键成因。

4 结论

旅游干扰会显著降低景区水文条件功能,原因主要包括两个方面:①旅游干扰会明显降低黄水国家森林公园大风堡原始森林景区枯落物厚度、蓄积量和蓄水能力,且下降幅度随旅游干扰强度增强而逐渐增大,其中,半分解层枯落物受影响程度明显高于未分解层;②随着旅游干扰强度的增强,大风堡原始森林景区土壤容重逐渐增加,孔隙度、蓄水能力及渗透能力均逐渐降低。

[参 考 文 献]

- [1] 李志明,魏智华. 不同森林经营方式下幼林地水土流失对降雨增强的响应[J]. 亚热带资源与环境学报, 2019, 14(3):15-22.
- [2] 杜轶,郭青霞,郭汉清,等. 汾河上游不同土地利用方式对坡地水土流失的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(4): 44-51.
- [3] Bruijnzeel L A. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2004, 104(1):185-228.

- [4] Wang Chao, Zhao Chuanyan, Xu Zhonglin, et al. Effect of vegetation on soil water retention and storage in a semi-arid alpine forest catchment [J]. *Journal of Arid Land*, 2013, 5(2):207-2019.
- [5] 张建利,王加国,李苇洁,等. 贵州百里杜鹃自然保护区杜鹃林枯落物储量及持水功能[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(3):167-173.
- [6] 官殿婷. 百花山5种典型林分枯落物蓄积量及持水特征[J]. *林业资源管理*, 2019(3):113-117, 146.
- [7] 蒲嘉霖,刘亮. 亚热带森林凋落物分解特征及水文效应[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(6):165-170.
- [8] 吕刚,刘雅卓,李叶鑫,等. 海州露天煤矿排土场植被恢复的土壤水文效应评价[J]. *生态环境学报*, 2017, 26(1):67-72.
- [9] 王维. 长江经济带旅游—经济—生态环境协调发展评价及其影响因素研究[J]. *首都师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 39(5):81-88.
- [10] 孙飞达,朱灿,李飞,等. 旅游干扰对高寒草地植物多样性和土壤生化特性的影响[J]. *草业科学*, 2018, 35(11):2541-2549.
- [11] 李灵,梁彦兰,江慧华,等. 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):171-174, 181.
- [12] 罗庆华,童芳,陶水秀,等. 旅游干扰对张家界大鲵生境及水质的影响[J]. *应用生态学报*, 2019, 30(6):2101-2108.
- [13] 李森森,马大龙,臧淑英,等. 不同干扰方式下松江湿地土壤微生物群落结构和功能特征[J]. *生态学报*, 2018, 38(22):7979-7989.
- [14] 刘凯,贺康宁,王先棒. 青海高寒区不同密度白桦林枯落物水文效应[J]. 2018, 40(1):89-97.
- [15] 周巧稚,毕华兴,孔凌霄,等. 晋西黄土区不同密度刺槐林枯落物层水文生态功能研究[J]. 2018, 32(4):115-121.
- [16] 王修康,戚兴超,刘艳丽,等. 泰山山前平原3种土地利用方式下土壤结构特征及其对土壤持水性的影响[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(1):63-74.
- [17] 曾江敏,何丙辉,李天阳,等. 喀斯特槽谷区不同林草恢复模式下土壤入渗特征[J]. *水土保持学报*, 2019, 33(4):58-64.
- [18] 刘小兰. 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[J]. *水土保持研究*, 2015, 22(2):229-234.
- [19] 李学斌,陈林,樊瑞霞,等. 围封条件下荒漠草原4种典型植物群落枯落物输入对土壤理化性质的影响[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2015, 41(1):101-110.
- [20] 陈婷,郗敏,孔范龙,等. 枯落物分解及其影响因素[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(7):1927-1935.
- [21] 刘光荣. 旅游干扰对庐山风景区微生物多样性的影响[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2015, 46(2):274-279.
- [22] 张祎,李鹏,刘晓君,等. 黄土丘陵区不同植被类型枯落物持水效能研究[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(5):100-105.
- [23] 尤誉杰,王懿祥,张华锋,等. 不同人为干扰措施对天然次生灌丛土壤肥力及蓄水能力的影响[J]. *生态学报*, 2018, 38(3):1097-1105.
- [24] 魏亚伟,苏以荣,陈香碧,等. 人为干扰对喀斯特土壤团聚体及其有机碳稳定性的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(4):971-978.
- [25] 陈永华,叶权平,张文辉,等. 不同间伐强度下桥山麻栎林土壤渗透特性[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(1):113-117.

(上接第28页)

- [18] 朱智勇,解建仓,李占斌,等. 坡面径流侵蚀产沙机理试验研究[J]. *水土保持学报*, 2011, 25(5):1-7.
- [19] 张会茹,郑粉莉. 不同降雨强度下地面坡度对红壤坡面土壤侵蚀过程的影响[J]. *水土保持学报*, 2011, 25(3):40-43.
- [20] 李朝霞,王天巍,史志华,等. 降雨过程中红壤表土结构变化与侵蚀产沙关系[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(1):1-4, 9.
- [21] 孙佳佳,于东升,史学正,等. 植被叶面积指数与覆盖度定量表征红壤区土壤侵蚀关系的对比研究[J]. *土壤学报*, 2010, 47(6):1060-1066.
- [22] 林杰,张金池,顾哲衍,等. 基于叶面积指数的植被覆盖管理措施因子C的遥感定量估算[J]. *林业科学*, 2013, 49(2):86-92.
- [23] 马波,刘雨鑫,吴发启. 植大豆对坡耕地径流侵蚀产沙的影响[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(4):32-36.