

玉龙雪山牦牛坪高山草甸的干扰格局分析

吕曾哲舟¹, 黄晓霞¹, 王琇瑜¹, 和克俭¹, 丁 佼², 孙晓能¹

(1. 云南大学资源环境与地球科学学院, 云南省高校低纬高原大气环境与边界层过程重点实验室, 昆明 650091; 2. 云南省水利厅, 昆明 650021)

摘要: 近几年玉龙雪山生态旅游热升温, 对该区域生态环境和植被资源的影响日趋显著, 研究该区域高山草甸所受干扰对制定该区域的生态保护、可持续发展对策具有重要意义。为明晰人类活动对玉龙雪山高山草甸的影响, 选取该区域典型高山草甸分布区域作为研究区, 分析其草甸退化格局, 通过干扰强度模型量化研究区的干扰格局, 并利用方差分解确定不同干扰对高山草甸退化的贡献率。结果表明: (1) 放牧干扰主要集中在牲畜饮水点附近, 旅游干扰更多作用于景区观景台和寺庙附近, 干扰活动分布与路径体系相吻合, 游径布设和游客行为扩散模式决定了旅游干扰的格局; (2) 草甸退化程度随干扰程度的增加而升高, 干扰强度最大的区域与草甸的重度退化区域重合; (3) 总体上旅游较放牧对草甸退化的贡献作用更大, 但存在空间差异。在玉龙雪山牦牛坪景区, 旅游干扰已逐渐取代放牧干扰成为主要干扰因素, 且路径体系与旅游干扰格局具有较高的吻合度, 对草甸退化格局的影响在逐渐增加。综上, 建议选取使用率高的非正式路径修建为正式路径, 保护和恢复分布在使用率低的非正式路径旁的植被和土壤, 以降低旅游干扰对高山草甸的影响。

关键词: 高山草甸; 干扰量化模型; 方差分解; 路径; 玉龙雪山

玉龙雪山是高山生态旅游日益兴起的区域, 因其能近距离领略雪山风光以及丰富华美的高山草甸等自然景观对海内外游客具有别样吸引力。但是, 旅游的快速发展给当地生态环境的可持续发展带来了困扰, 导致该区域特有的高寒草甸生态系统出现了退化^[1]。玉龙雪山是滇西北地区生物多样性的主要分布区域和横断山系高山植物种类最集中的核心地带^[2], 同时也是滇西北与滇中地区植被分布的重要过渡区域^[3], 故研究该区域高山草甸的干扰格局是制定生态保育措施和可持续旅游发展政策的需要。

许多学者对高山草甸的干扰机理的研究表明^[4-7], 放牧和旅游活动的踩踏作用会对植物和土壤产生直接或间接的干扰和胁迫作用, 进而影响土壤理化性质和植物群落结构、降低生物多样性。关于景观层面的研究, 国内外学者主要通过对研究区各类路径以及路径周边的植被和土壤信息来判定干扰情况或是景观破碎度。如Barros等^[8]研究了路径网络对植物的干扰程度, Pickering等^[9]分析了旅游路径对亚高山草甸功能性状的影响。还有一部分学者主要关注干扰的影响范围, 认为自然状态下游客踩踏干扰主要集中在路径边缘1~3 m范围内^[10-11], 路径干扰影响范围要明显高于路宽很多倍^[12]。目前国内外学者已从干扰机理机制和景观层次方面对高山草甸的影响做了大量研究工作, 但在干扰的空间格局方面, 特

收稿日期: 2019-01-21; 修订日期: 2019-03-27

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31560181)

作者简介: 吕曾哲舟 (1995-), 女, 湖南邵阳人, 硕士, 主要从事自然地理学研究。E-mail: 531239947@qq.com

通讯作者: 黄晓霞 (1978-), 女, 广西柳州人, 博士, 副教授, 主要从事自然地理学和植被生态学研究。

E-mail: huangxx@ynu.edu.cn

别是在干扰程度的识别上还存在困难,目前只有 Wesuls 等^[13]做的放牧对高山草甸干扰强度量化的研究比较突出。由于干扰的作用方式和作用效果不同,并且各干扰源之间会相互影响,选取指标和区分信息比较困难,如何区分干扰的驱动因素以及各因素造成的干扰程度还有待深入研究。

目前国内外关于高山草甸干扰影响的研究多单从旅游角度^[14]或是放牧角度^[15]来进行,对不同干扰源的干扰强度进行统一量化能更客观全面地解释干扰对高山草甸的生态影响。鉴于玉龙雪山高山草甸的生态保育意义重大,同时正面临多种干扰,故而本研究在玉龙雪山景区选取典型高山草甸分布区,通过确定该区域的主要干扰源,及量化干扰源的干扰格局,分析不同干扰源单独作用和复合影响程度,以期为景区旅游管理政策的制定与调整和为高山草甸的保护提供科学依据。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

玉龙雪山(100°04'10"~100°16'30"E, 27°03'20"~27°40'N)位于云南省丽江市西北部,距丽江古城 15 km,是欧亚大陆距赤道最近的雪山,共分布有 19 条现代冰川^[16]。整个景区以冰川地貌、森林和高山草甸、原生纳西村寨和高原水体等景观为特色,主打生态旅游,是具有游憩娱乐,欣赏自然风光,求知寓教,保护生物多样性等多种功能的综合性山岳型景区。景区总面积 396 km²,具备从亚热带、温带至寒带完整的垂直自然景观带。据丽江气象站(距玉龙雪山 17 km)1951-2010 年的数据资料,其年均降水量为 965 mm,年平均气温为 12.7 °C^[17]。研究区牦牛坪(100°13'50"~100°15'05"E, 27°9'40"~27°10'50"N)位于玉龙雪山东北山麓,海拔 3475~3700 m,年均降水量为 1350 mm,年平均气温为 5.5 °C^[18],主要景观为高山草甸牧场,草甸面积 1.6 km²。土壤以高山草甸土为主,植被类型主要包括高山草甸、亚高山草甸和高山杜鹃灌丛^[19]。

玉龙雪山共 3 条索道,活动范围已从海拔 2900 m 的甘海子扩大到海拔 4506 m 雪山上的核心冰川,每年节假日高峰接待的客流量已超出了玉龙雪山的接待能力,并且玉龙雪山的旅游服务深入到了海拔 3800~4000 m 的雪线附近^[20]。1999 年已建有直达牦牛坪高山草甸公园的观光索道,游客人数日趋增多对高山草甸植被的干扰作用日益强烈。

1.2 野外采样

通过野外实地调查确定放牧干扰的中心位置为牲畜饮水点,旅游干扰的中心位置为景区入口或寺庙附近,并记录各点的具体经纬度。以年均载畜量作为年均放牧量的基准值,通过访谈及实地调查确定;对于旅游干扰,以 2006-2016 年景区索道游客平均接待量(表 1)作为研究区的年均游客量的基准值。

2012-2016 年的野外调查显示,研究区内的路径分布格局变化不大。路径数据采用 2016 年最终核定情况,共确定研究区 69 条路径,路径类型分为放牧路径和旅游路径,路面类型主要包括木栈道、碎石路、土路、天然沟等。

实地测量每条路径的路径类型、路面宽度,在垂直于路径的延伸方向上调查每种类型路径两侧的植被和土壤情况,从路径边缘开始向外侧分别在 1 m、5 m、10 m、15 m、20 m 的位置布设样方,在植被退化严重的区域加密样方,一直到未见干扰影响的区域。将未受干扰区域的草甸植物群落作为背景样,分别记录每个样方的生境特征(经纬度位

置、海拔、坡向等),与最近路径的垂直距离,土壤硬度,样方内的群落总盖度、植物种类、分种盖度和平均高度,同时用环刀采集表层0~10 cm土样,回实验室用烘干法测定土壤含水率。

1.3 模型构建与数据处理

1.3.1 草甸退化格局的确定

采用2008年4月(非生长季)和6月份(生长季)分辨率为0.5 m的WORLDVIEW-1遥感影像数据进行解译,确定研究区的路径分布和植被分布的基本格局^[21]。结合2012-2016年的野外调查数据,采用除趋势对应分析(Detrended Correspondence Analysis, DCA)将牦牛坪草甸划分为重度退化、中度退化、轻度退化与未退化4个退化级别,基于每个样方的空间位置及退化级别,校对影像解译结果得到研究区草甸的退化格局。

1.3.2 路径等级及影响范围的确立

采用路径宽度、植被覆盖度、土壤硬度、土壤含水率等指标,运用加权综合法构建路径等级指数(Trail Degree Index, *TDI*)公式。*TDI*数值越低,表明路径等级越低,路径旁植被和土壤的退化程度越低。具体公式如下:

$$TDI = RT \times W_5 \times (RW \times W_1 + VC \times W_2 + SH \times W_3 - SW \times W_4) \quad (1)$$

式中: *RW* 为路径宽度标准化值; *VC* 为植被覆盖度标准化值; *SH* 土壤硬度标准化值; *SW* 为土壤含水率标准化值; *RT* 为路面类型赋值; $W_1 \sim W_5$ 依次为各项因子的权重值。

根据路径等级指数 *TDI* 从大到小排列的数据规律,将研究区路径划分为6级, L1 至 L6 级路径的等级依次降低。

选取样方总盖度、平均高度、物种数等群落特征参数和样方距路径距离,进行多元回归分析,建立距路径距离与植被群落特征变化的关系方程(回归方程通过95%的显著性检验)。以路径所在区域的草甸背景样的各项参数均值作为阈值,结合回归方程得到各级路径对周围植被干扰影响的最大距离。确定研究区 L1 至 L6 级路径的干扰距离依次为 21.44 m、17.74 m、14.93 m、12.36 m、10.79 m、9.48 m^[21]。

1.3.3 干扰强度的量化

(1) 放牧干扰强度 (*GrazInt*)^[13]:

$$GrazInt = (SG \times \log Dist_w \times PioProp_w)^{-1} \quad (2)$$

式中: *SG* 为任意点的年均放牧量(按牛单位折算); *Dist_w* 为任意点到饮水点的距离(m); *PioProp_w* 为饮水点半径 1500 m 范围内(饮水点到研究区边界的最远距离为 1500 m)的可达草甸面积所占比例。

表1 2006-2016年玉龙雪山景区索道游客接待量

Table 1 Tourists flow by ropeways in Jade dragon Snow

Mountain during 2006-2016				(10 ⁴ 人次)
年份	冰川公园	云杉坪	牦牛坪	总计
2006	66.22	86.11	16.44	168.77
2007	76.18	76.01	17.77	169.97
2008	69.86	53.89	17.43	141.18
2009	66.83	128.43	8.63	203.89
2010	16.12	168.22	8.95	193.29
2011	89.69	169.59	8.52	267.80
2012	119.70	155.81	8.26	283.76
2013	143.97	142.29	8.53	294.77
2014	157.74	168.46	11.12	337.31
2015	226.11	132.75	10.75	369.62
2016	267.53	125.16	8.34	401.03
总计	1299.95	1406.72	124.74	2831.39
年均	118.18	127.88	11.34	257.40

注:数据来源于丽江玉龙旅游股份有限公司。

(2) 旅游干扰强度 ($TourInt$):

$$TourInt = (ST \times \log Dist_T \times PioProp_T)^{-1} \times (1 - \log \frac{d_i}{D_i}) \quad (3)$$

式中: ST 为任意点的年均游客量 (人次); $Dist_T$ 为任意点到研究区入口的距离 (m); $PioProp_T$ 为研究区入口半径 1200 m 范围内 (研究区入口到最远路径的距离为 1200 m) 的可达草甸面积所占比例; d_i 为到周围游径的最近距离 (m); D_i 为该类型游径的干扰影响距离 (m)。

(3) 复合干扰强度 ($ComInt$):

$$ComInt = (SC \times \log Dist_C \times PioProp_C)^{-1} \times (1 - \log \frac{d_i}{D_i}) \quad (4)$$

式中: SC 为研究区内任意位置的年均踩踏量 (包括游客踩踏和牲畜踩踏); $Dist_C$ 为任意位置到研究区最强干扰中心的距离 (m); $PioProp_C$ 为研究区内最强干扰中心半径 1500 m 范围内可达草甸面积所占比例; d_i 为到周围路径的最近距离 (m); D_i 为该类型路径的干扰影响距离 (m)。

(4) 干扰强度分级

按照干扰强弱程度, 采用自然断点法将干扰级别共划分为 4 级, 从弱到强分别为轻度干扰、中度干扰、重度干扰、极重度干扰。

1.3.4 干扰贡献率的确定

方差分解 (Variation partitioning) 通常用于生态研究中量化两组或两组以上的变量单独及共同解释一组响应变量^[22]。将放牧干扰和旅游干扰作为两组解释变量来解释对牦牛坪各退化级别的高山草甸的干扰贡献程度。首先筛选出具有代表性的贡献因子, 分别对各干扰因子进行 Pearson 相关性检验, 分析结果各因子间在 0.01 水平上显著相关。最终选取路径的平均等级、总条数、总长度和干扰量作为放牧和旅游干扰变量的二级解释变量, 选取各点各退化类型的高山草甸面积作为响应变量。通过 Hellinger 转化^[22], 使得上述变量更符合正态分布和具有稳定方差, 然后运用方差分解得到放牧干扰和旅游干扰变量单独及共同解释高山草甸退化的方差贡献程度。

野外实地观察到旅游活动更多集中在景区入口处 1200 m 的范围内, 放牧主要集中在离景区入口的西部和北部区域, 因此以景区入口为中心, 半径 1200 m 以内的区域作为旅游集中区, 以外作为放牧集中区。分别从景区全部区域、旅游集中区、放牧集中区三方面来进行分析, 计算放牧和旅游单独和共同的干扰贡献率。若共同解释部分小于 0, 表示放牧和旅游干扰之间为负相关关系^[23]。

用 ERDAS IMAGINE 9.2 软件进行遥感影像解译与判读, 用 ArcGIS 10.1 软件制作退化分布图和干扰格局图, 用 PASW SPSS Statistics 18 软件进行 Pearson 相关性检验, 用 R 3.0.0 软件中的 vegan 软件包进行方差分解。

2 结果分析

2.1 草甸退化格局

草甸退化分布图 (图 1a) 反映了各退化级别的草甸景观特征差异明显, 未退化草甸面积占研究区总面积的 48.77%, 基本遍布全区, 但呈破碎化的斑块状分布; 轻度退化草

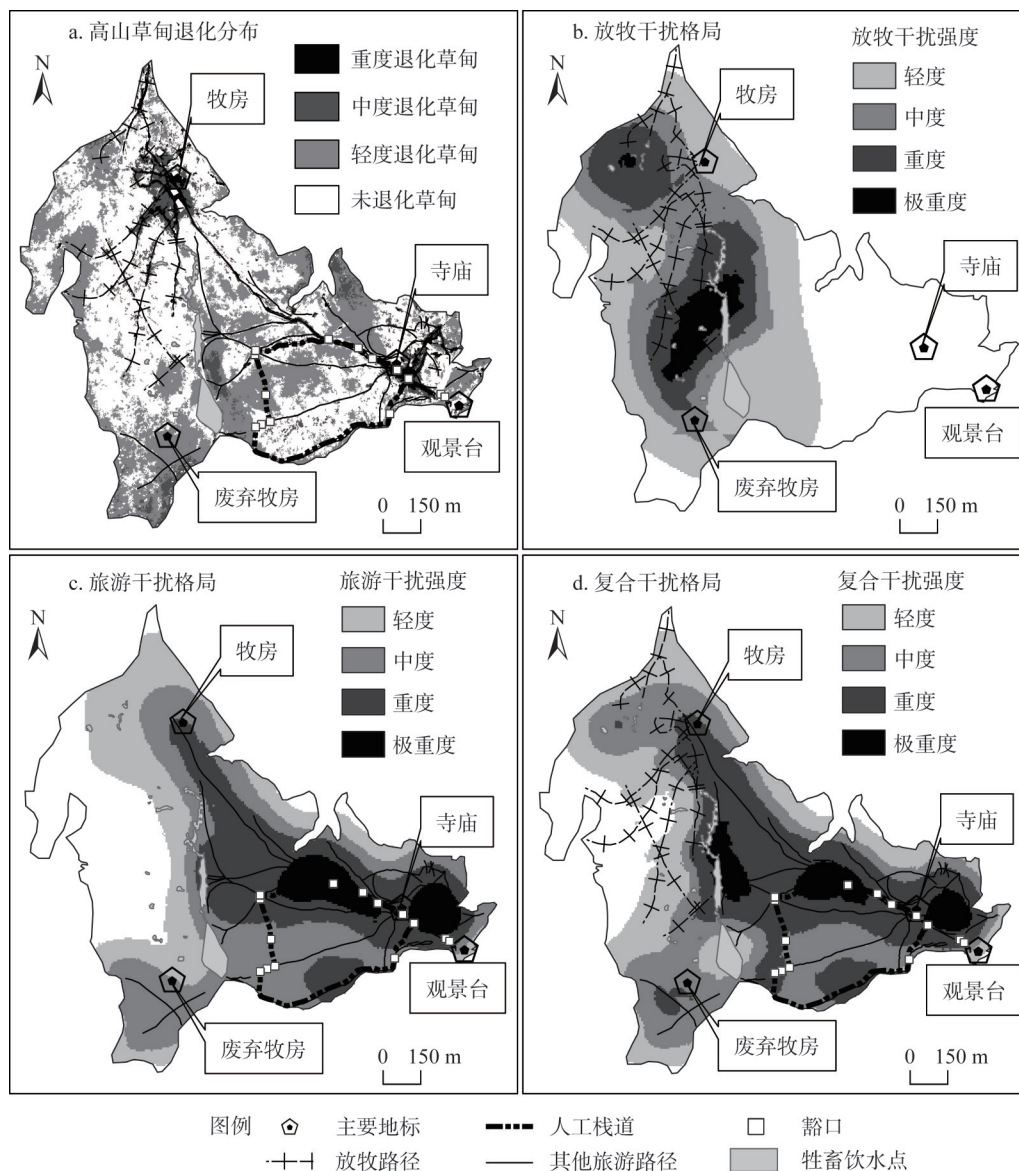


图1 牦牛坪高山草甸退化分布和干扰格局

Fig. 1 Degraded meadows distribution and the disturbance pattern in Yak Meadow Park

甸面积占比为34.98%，主要分布在研究区南部未布设路径的空白区和西北边缘区域；重度退化草甸面积占比为4.12%，主要以景区入口、寺庙以及牧房为中心，沿路径呈放射状分布；中度退化草甸面积占比为8.86%，主要分布于重度退化草甸外围，并在未退化和轻度退化草甸中零星分布。

2.2 放牧和旅游的干扰格局

由放牧干扰格局图(图1b)可知,放牧干扰主要分布在研究区的东部和北部区域,远离景区入口(观景台)。饮水点及其周边区域放牧干扰强烈,放牧干扰格局以此为中

心,向牧房方向扩散,放牧总干扰面积约占研究区面积的50%。

旅游干扰格局图(图1c)显示旅游干扰格局与游径体系空间格局一致,总共有两处

干扰中心。一处是景区入口（观景台）到寺庙这一块区域，另一处是寺庙前方约0.25 km处的人工环形栈道附近。旅游干扰的整体影响面积约占研究区面积的70%，主要集中在牦牛坪的南部区域。

复合干扰格局图（图1d）显示放牧和旅游的复合干扰格局较为复杂，极重度和重度干扰的区域主要集中在景区入口（观景台）、寺庙和饮水点周边区域，它们为干扰中心，干扰强度向外逐渐降低。路径分布的区域均有干扰，路径密度越大，干扰越强烈。

2.3 放牧和旅游干扰的相对贡献率

由表2结果可知，干扰导致的草甸退化，由旅游单独贡献的作用明显高于放牧，说明旅游干扰对草甸退化起主要作用，但放牧干扰的影响也不容忽视。研究区内随着放牧和旅游干扰强度的增加，草甸退化程度增加。

Table 2 Disturbance contribution rate of grazing and tourism to the degraded meadow in each area									
贡献率/%	WL	WM	WH	GL	GM	GH	TL	TM	TH
[a] 放牧单独解释	23.67	32.17	38.74	23.00	39.71	65.65	8.10	9.59	10.97
[b] 旅游单独解释	32.90	36.03	43.57	1.44	1.02	6.24	62.32	63.24	60.53
[c] 共同解释	-16.10	-19.40	-22.38	-2.90	-1.15	-5.61	-9.88	-10.33	-10.45
[a+b+c] 全部解释	40.47	48.79	59.93	21.54	39.58	66.28	60.54	62.50	61.05

注：WL为全部区域轻度退化草甸，WM为全部区域中度退化草甸，WH为全部区域重度退化草甸，GL为放牧集中区轻度退化草甸，GM为放牧集中区中度退化草甸，GH为放牧集中区重度退化草甸，TL为旅游集中区轻度退化草甸，TM为旅游集中区中度退化草甸，TH为旅游集中区重度退化草甸。

从空间分布来看，在放牧集中区域，单纯由放牧干扰导致的草甸退化要明显高于旅游干扰造成的影响，放牧干扰对草甸退化的影响具有明显的梯度特征，作用于重度退化草甸由放牧干扰贡献的作用是旅游干扰的10倍；而在旅游集中区域，单纯由旅游干扰对草甸退化的贡献率要远远大于放牧干扰，旅游干扰对各类型草甸退化的贡献率均高于60%，单独的旅游干扰对草甸退化的贡献率为放牧干扰的6倍。

3 结论与讨论

3.1 结论

牦牛坪最初的功能是高山牧场，放牧干扰的影响长期存在，牲畜长期的集中踩踏会造成植被盖度的下降以及土壤含水量、透水性和透气性的降低，从而导致植物生产力下降，植物物种多样性降低，进一步也会影响植物群落的结构和功能^[24-26]。根据放牧干扰格局图，牦牛坪放牧干扰最严重的区域是在两处牧房中间的饮水点区域。旅游活动和人工路径的修建对牦牛活动和分布造成一定的限制，故放牧干扰主要集中在西部和北部区域。方差分解结果也显示，放牧集中区草甸的退化主因是放牧干扰。

自2007年玉龙雪山景区被评为国家5A级景区后，其生态旅游逐渐升温，旅游干扰程度日益增加。牦牛坪海拔较高，地形起伏较大，这些因素会加大游客体力的消耗，因此，游客会倾向于选择人工环形栈道进行游览，游径体系对游客的行为产生了较大限制。从草甸退化图和旅游干扰强度格局图来看，牦牛坪高山草甸的旅游干扰格局与游径分布体系相一致，游客干扰主要是沿着路径分布^[19]。并且重度退化草甸主要分布在与路

径垂直方向上的两旁约2~3 m的范围内,与刘儒渊等^[27]的研究结果相吻合。研究区南部区域的轻度退化草甸基本分布在人工栈道周边的区域。

根据景区索道2006-2016年游客接待量数据(表1)显示,到达牦牛坪的游客人数约为玉龙雪山景区总人数的4.4%,年均11.34万人次,日均310人次。牦牛坪“五一”和“十一”期间当日游览最高人数可达1930和1273人次^[1]。牦牛坪的景观是以高山牧场为主题的高山草甸观光,在景区入口处远眺即可欣赏牦牛坪大部分景观。根据旅游干扰强度格局图,此处旅游干扰最强烈,重度退化草甸集中分布。大约三分之一的游客会从观景台下来继续游览,90%的游客会选择沿着环形人工栈道进行简单游览,剩下10%的游客会从游径豁口处踏入草甸进行深度观赏。

牦牛坪在进行旅游开发之前就一直存在放牧干扰,随着后期生态旅游热升温,旅游干扰影响日益增强,两者之间相互影响相互作用。干扰格局图和方差分解结果表明:旅游干扰主要集中在景区入口处,景区内部旅游干扰的影响逐渐下降,但距入口较远的西部和北部区域,仍然保留着非常典型的放牧影响。综合来看旅游干扰已逐步取代放牧干扰占主导地位,是引起各类型草甸退化的主要因素。虽然游客人数占整个景区比例较低,但其累积游客踩踏量和旅游高峰期踩踏量不容忽视,根据黄晓霞^[28]等关于高山草甸抗踩踏能力的研究,500人次的踩踏已达牦牛坪高山草甸植被生态承载力的上限。牦牛坪游客数据显示,旅游踩踏累积量已远远超过其高山草甸可承受的踩踏量。

3.2 讨论

高山草甸是玉龙雪山重要的生态景观,具有自然观赏、知识认知和环境教育等多重生态意义,也对滇西北地区生物多样性的保护具有一定支撑作用。草甸保护工作已刻不容缓,如何降低旅游干扰的影响是今后管理的重点。建议旅游高峰期在草甸可承受的能力范围内进行游客限流。考虑到游客主要在人工栈道上进行游览,其他旅游路径使用率较低,景区可以对非正式路径进行管理,恢复在使用率低的路径旁分布的植被和土壤,选取使用频次高的非人工路径改建为人工栈道,加强对路径豁口的封闭管理,这样能规范游客行为和减少游客体力消耗,也降低了对草甸的干扰程度。对于放牧干扰,建议在放牧重度干扰区进行适当的载畜量的调控,予以草甸自然恢复的时间。

参考文献(References):

- [1] 丁佼,黄晓霞,和克俭.玉龙雪山景区游客分布特征分析.云南地理环境研究,2010,22(4): 71-76. [DING J, HUANG X X, HE K J. The temporal and spatial distribution pattern of visitors in Jade Dragon Snow Mountain. Yunnan Geographic Environment Research, 2010, 22(4): 71-76.]
- [2] 吴之坤,张长芹,黄媛,等.长江上游玉龙雪山植物物种多样性形成的探讨.长江流域资源与环境,2006,15(1): 48-53. [WU Z K, ZHANG C Q, HUANG Y, et al. Analysis on the formation of plant species diversity in the Yulong Mountains, upper reaches of Yangtze River. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2006, 15(1): 48-53.]
- [3] 曲仲湘,朱彦丞.云南丽江玉龙山植被调查专号.云南大学学报:自然科学版,1957,4: 19-130. [QU Z X, ZHU Y C. Vegetation investigation on Jade Dragon Mountain in Lijiang, Yunnan. Journal of Yunnan University, 1957, 4: 19-130.]
- [4] 仁青吉,武高林,任国华.放牧强度对青藏高原东部高寒草甸植物群落特征的影响.草业学报,2009,18(5): 256-261. [REN Q J, WU G L, REN G H. Effect of grazing intensity on characteristics of alpine meadow communities in the eastern Qinghai-Tibetan Plateau. Acta Prataculturae Sinica, 2009, 18(5): 256-261.]
- [5] COLE D N, BUCKLEY R. Impacts of hiking and camping on soils and vegetation: A review. Environmental Impacts of Ecotourism, 2004, Doi: 10.1079/9780851998107.0041.
- [6] BALLANTYNE M, GUDES O, PICKERING C M. Recreational trails are an important cause of fragmentation in endangered urban forests: A case study from Australia. Landscape & Urban Planning, 2014, 130(1): 112-124.

- [7] 张桂萍, 张峰, 茹文明. 旅游干扰对历山亚高山草甸植物多样性的影响. 生态学报, 2008, 28(1): 407-415. [ZHANG G P, ZHANG F, RU W M. Effects of disturbance by tourism on plant diversity in Lishan subalpine meadow, Shanxi province. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1): 407-415.]
- [8] BARROS A, MARINA P C. How networks of informal trails cause landscape level damage to vegetation. *Environmental Management*, 2017, 60(1): 57-68.
- [9] PICKERING C M, BARROS A. Using functional traits to assess the resistance of subalpine grassland to trampling by mountain biking and hiking. *Journal of Environmental Management*, 2015, 164: 129-136.
- [10] 席建超, 胡传东, 武国柱, 等. 六盘山生态旅游区旅游步道对人类践踏干扰的响应研究. 自然资源学报, 2008, 23(2): 274-284. [XI J C, HU C D, WU G Z, et al. Response of Liupan Mountain ecological tourism trail to human trampling disturbance. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(2): 274-284.]
- [11] 秦远好, 谢德体, 王壮. 旅游活动对自然保护区游憩地带植物的影响. 西南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(10): 105-112. [QIN Y H, XIE D T, WANG Z. Impacts of tourist activities on the vegetation of the recreation areas in natural reserves. *Journal of Southwest University*, 2008, 30(10): 105-112.]
- [12] FORMAN R T T, DEBLINGER R D. The ecological road-effect zone of a massachusetts (U.S.A.) suburban highway. *Conservation Biology*, 2000, 14(1): 36-46.
- [13] WESULS D, OLDELAND J, DRAY S. Disentangling plant trait responses to livestock grazing from spatio-temporal variation: The partial RLQ approach. *Journal of Vegetation Science*, 2012, 23(1): 98-113.
- [14] 郑伟, 朱进忠, 潘存德. 旅游干扰对喀纳斯景区草地土壤—植被系统的影响. 中国草地学报, 2009, 31(1): 109-115. [ZHENG W, ZHU J Z, PAN C D. Effects of tourism disturbance on soil-plant system in Kanasi Scenic Area. *Chinese Journal of Grassland*, 2009, 31(1): 109-115.]
- [15] 江源, 章昇平, 杨艳刚, 等. 放牧对五台山高山、亚高山草甸植被—土壤系统耦合的影响. 生态学报, 2010, 30(4): 837-846. [JIANG Y, ZHANG Y P, YANG Y G, et al. Impacts of grazing on the system coupling between vegetation and soil in the alpine and subalpine meadows of Wutai Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(4): 837-846.]
- [16] 杜建括, 辛惠娟, 何元庆, 等. 玉龙雪山现代季风温冰川对气候变化的响应. 地理科学, 2013, 33(7): 890-896. [DU J K, XIN H J, HE Y Q, et al. Response of modern monsoon temperate glacier to climate change in Yulong Mountain. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(7): 890-896.]
- [17] 辛惠娟, 何元庆, 张涛, 等. 青藏高原东南缘丽江玉龙雪山气候变化特征及其对冰川变化的影响. 地球科学进展, 2013, 28(11): 1257-1268. [XIN H J, HE Y Q, ZHANG T, et al. The features of climate variation and glacier response in Mt. Yulong, Southeastern Tibetan Plateau. *Advances in Earth Science*, 2013, 28(11): 1257-1268.]
- [18] 刘庆, 吴彦, 吴宁. 玉龙雪山自然保护区丽江云杉林林窗特征研究. 应用生态学报, 2003, 14(6): 845-848. [LIU Q, WU Y, WU N. Forest gap characteristic in a coniferous-Picea likiangensis forest in the Yulong Snow Mountain Natural Reserve, Yunnan province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(6): 845-848.]
- [19] 盛芝露, 黄晓霞, 蔡兴元, 等. 玉龙雪山牦牛坪景区路径沿线的植被及土壤特征分析. 草业学报, 2016, 25(2): 1-9. [SHENG Z L, HUANG X X, CAI X Y, et al. Analysis of vegetation and soil characteristics alongside trails in Yak Meadow Park, Jade Dragon Mountain. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 25(2): 1-9.]
- [20] 杨少华, 薛润光, 陈翠, 等. 滇西北玉龙雪山生物多样性现状及其保护对策. 西南农业学报, 2008, 21(3): 863-869. [YANG S H, XUE R G, CHEN C, et al. Status quo of biodiversity and protective countermeasures in the Yulong Mountains, Northwest Yunnan. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2008, 21(3): 863-869.]
- [21] 丁佼. 玉龙雪山牦牛坪游径干扰下的草甸退化格局分析. 昆明: 云南大学, 2013. [DING J. The analysis of the spatial pattern of vegetation degradation under trail disturbance in Yak Meadow Park, Mt. Jade Dragon. Kunming: Yunnan University, 2013.]
- [22] BORCARD D, GILLET F, LEGENDRE P, 等. 数量生态学: R 语言的应用. 北京: 高等教育出版社, 2014. [BORCARD D, GILLET F, LEGENDRE P, et al. *Numerical Ecology with R*. Beijing: China Higher Education Press, 2014.]
- [23] HORAK J, PAVLICEK J. Tree level indicators of species composition of saproxylic beetles in old-growth mountainous spruce-beech forest through variation partitioning. *Journal of Insect Conservation*, 2013, 17(5): 1003-1009.
- [24] ENRIQUEZ A S, CHIMNER R A, CREMONA M V. Long-term grazing negatively affects nitrogen dynamics in Northern Patagonian wet meadows. *Journal of Arid Environments*, 2014, 109(5): 1-5.
- [25] 任继周. 放牧, 草原生态系统存在的基本方式: 兼论放牧的转型. 自然资源学报, 2012, 27(8): 1259-1275. [REN J Z. Grazing, the basic form of grassland ecosystem and its transformation. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(8): 1259-1275.]

- [26] NIU K, ZHANG S, ZHAO B, et al. Linking grazing response of species abundance to functional traits in the Tibetan alpine meadow. *Plant and Soil*, 2010, 330(1-2): 215-223.
- [27] 刘儒渊, 曾家琳. 登山步道游憩冲击之长期监测: 以玉山国家公园塔塔加步道为例. *资源科学*, 2006, 28(3): 120-127. [LIU R Y, ZENG J L. Long-term research and its monitoring of trail impacts: A case study of Tataka Trail, Yushan National Park, Taiwan. *Resources Science*, 2006, 28(3): 120-127.]
- [28] 黄晓霞, 张勇, 和克俭, 等. 高寒草甸对旅游踩踏的抗干扰响应能力. *草业学报*, 2014, 23(2): 333-339. [HUANG X X, ZHANG Y, HE K J, et al. Tolerance of alpine meadows to human trampling. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014, 23(2): 333-339.]

Disturbance pattern of alpine meadow in Yak Meadow Park, Jade Dragon Mountain

LYUZENG Zhe-zhou¹, HUANG Xiao-xia¹, WANG Xiu-yu¹,
HE Ke-jian¹, DING Jiao², SUN Xiao-neng¹

(1. School of Resource Environment and Earth Science, Key Laboratory of Atmospheric Environment and Processes in the Boundary Layer over the Low-latitude Plateau Region, Yunnan University, Kunming 650091, China; 2. Department of Water Resources of Yunnan Province, Kunming 650021, China)

Abstract: Eco-tourism in Mt. Jade Dragon heated up these years, which had an impact on the environment and vegetation resources in the region. Understanding the ecosystem degradation under disturbance is vital to policy making for ecological protection and sustainable development. In order to clarify the anthropic influence on the alpine meadow ecosystem, the typical alpine meadow area in Mt. Jade Dragon was selected as the study area; with field investigation and sampling during 2012-2016, we analyzed the degradation pattern of alpine meadow, and confirmed grazing and tourism as the key drivers for meadow degradation. The disturbance model was built to quantize disturbance intensity, and variation partitioning was used to determine the contribution of grazing and tourism to meadow degradation in the study area. The results showed that: (1) Half of the study area was disturbed by yak grazing and 70% area by tourism, and the grazing center mainly concentrated near livestock drinking points, while tourist noised around Viewing Deck and the Temple. We found that grazing and tourist activities matched with the trail system, the trail layout and tourists behavior mode account for the disturbance pattern. (2) Meadow degraded with the increase of disturbance intensity, the severe meadow degradation region overlapped with the highest disturbance intensity area. (3) Although there are grazing center area and tourist focus area, tourism, instead of grazing, has become the main disturbance driver in the study area. On the whole, tourism contributed more to the meadow degradation, and the future will remain so. Therefore, to reduce the impact of tourism on alpine meadows in Mt. Jade Dragon, informal trails of high frequency use can be fixed to formal artificial trail, vegetation and soil along the low usage informal trails can be recovered or regenerated.

Keywords: alpine meadow; disturbance quantization model; variation partitioning; trail; Mt. Jade Dragon