

DOI: 10.20103/j.stxb.202305251112

蒋南林, 邱娟, 石荡, 郭传超, 吴明江, 郑凤, 凌孝波, 刘立强. 基于草本群落、牧道特征对野果林放牧干扰强度的评价. 生态学报, 2024, 44(7): 3060-3071.

Jiang N L, Qiu J, Shi D, Guo C C, Wu M J, Zheng F, Ling X B, Liu L Q. Evaluation of grazing disturbance intensity in wild fruit forests based on herbaceous community and grazing path characteristics. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(7): 3060-3071.

基于草本群落、牧道特征对野果林放牧干扰强度的评价

蒋南林¹, 邱娟², 石荡¹, 郭传超¹, 吴明江¹, 郑凤¹, 凌孝波¹, 刘立强^{1,*}

¹ 新疆农业大学园艺学院, 乌鲁木齐 830052

² 新疆农业大学生命科学学院, 乌鲁木齐 830052

摘要: 客观、综合评价野果林放牧强度对正确认识林牧矛盾, 制定科学合理的放牧制度具有重要意义。目前的研究主要集中在野果林放牧对植被群落特征和物种多样性影响上, 然而野果林放牧活动本身的关注以及放牧强度的量化方法等方面尚不明确。基于此以新疆野果林 6 个典型放牧区为试验地, 分析对比各放牧区的草本群落组成结构、生长特征、物种多样性以及牧道特征, 并筛选出评价放牧干扰强度的主导因子, 对其放牧干扰强度进行定量评价。结果表明: (1) 草本群落特征方面, 杏花沟物种数最多, 且以禾本科种属植物为优势种; 但莫乎儿沟草本密度比杏花沟高 1.26%; 各放牧区物种多样性水平存在显著差异, 与其他放牧区相比, 莫乎儿沟 Shannon-Wiener 多样性、Simpson 优势度指数最高, 分别为 1.92、0.84, 而吾都布拉克沟的 Pielou 均匀度指数最大; (2) 牧道特征方面, 伊勒格代沟的牧道密度显著大于匹里青沟, 分别为 19.23%、14.77%, 而杏花沟的牧道宽度显著大于大西沟; 在牧道分布格局上, 除匹里青沟外, 其他放牧区皆为均匀分布; (3) 相关性分析表明草本群落结构特征、物种多样性水平及牧道特征指标间均存在较好的相关关系, 对其 12 个指标主成分分析筛选出草本群落盖度、生物量、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数以及牧道密度与格局指数可作为评价放牧干扰强度的主导因子, 依据牧压指数判定杏花沟与莫乎儿沟为轻、中度放牧干扰, 大西沟、伊勒戈代沟、吾都布拉克沟与匹里青沟为重度或极度放牧干扰。当前新疆野果林整体受到放牧重度干扰, 急需优化或者制定科学的放牧制度维护野果林的可持续发展。

关键词: 新疆野果林; 草本群落; 牧道特征; 放牧评价; 放牧干扰强度

Evaluation of grazing disturbance intensity in wild fruit forests based on herbaceous community and grazing path characteristics

JIANG Nanlin¹, QIU Juan², SHI Dang¹, GUO Chuanchao¹, WU Mingjiang¹, ZHENG Feng¹, LING Xiaobo¹, LIU Liqiang^{1,*}

¹ College of Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China

² College of life science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China

Abstract: The contradiction between grazing and vegetation resource protection in wild fruit forest area has always been the core issue in the development of local animal husbandry. The objective and comprehensive evaluation of grazing intensity of wild fruit forests are of great significance to correctly understand the contradiction between forest and grazing and to formulate a scientific and reasonable grazing system. The current research mainly focuses on the effects of wild fruit forests grazing on vegetation community characteristics and species diversity. However, the attention of wild fruit forest grazing

基金项目: 第三次新疆综合科学考察项目 (2021xjkk0501); 国家自然科学基金 (31460190); 农业农村部政府购买服务项目 (125A0605)

收稿日期: 2023-05-25; **网络出版日期:** 2024-01-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: llq9989@126.com

activities and the quantitative methods of grazing intensity are still unclear. This study took six typical grazing districts of wild fruit forests in Xinjiang as experimental sites, analyzed and compared the composition structure, growth characteristics, species diversity and grazing-path characteristics of herb communities in each grazing district, screened out the dominant factors for evaluating grazing disturbance intensity, and quantitatively evaluated the grazing disturbance intensity. The results showed that the number of species in Xinghuagou was the largest and Gramineae species were the dominant species. However, the herb density of Mohuergou was 1.26% higher than that of Xinghuagou. There were significant differences in species diversity among grazing districts. Compared with other grazing districts, the Shannon-Wiener and Simpson index of Mohuergou were the highest, which were 1.92 and 0.84, respectively, while the Pielou index of Wudubulakegou was the highest. In terms of the characteristics of grazing-path, the grazing-path density in the Yilegedaigou was significantly higher than that in the Piliqinggou, which was 19.23% and 14.77%, respectively, while grazing-path width in the Xinghuagou was significantly larger than that in the Daxigou. In the distribution pattern of grazing-path, except for Piliqinggou, other grazing districts were evenly distributed. The correlation analysis showed that there was a good correlation between the structural characteristics of herbaceous community, the level of species diversity and the characteristics of grazing-path. The principal component analysis of the 12 indicators screened the herbaceous community coverage, biomass, Shannon-Wiener index, Simpson index, grazing-path density, and Morisita index could be used as the dominant factor to evaluate the intensity of grazing interference. According to the grazing pressure index, Xinghuagou and Mohuergou were judged to be light and intermediate disturbance, while Daxigou, Yilegedaigou, Wudubulakegou and Piliqinggou were severe or extreme disturbance. The results indicated that the wild fruit forest in Xinjiang was seriously disturbed by grazing, and it was urgent to optimize or formulate a scientific grazing system to maintain the sustainable development of wild fruit forest.

Key Words: wild fruit forests in Xinjiang; herbaceous community; grazing path characteristics; grazing evaluation; grazing disturbance intensity

放牧干扰评价是近年来评估放牧活动强度的重要内容之一,对植被资源保护、可持续利用和植被恢复重建等具有重要意义^[1-2]。放牧干扰评价法是将特征指标客观赋值或纳入数学模型统一赋值,对放牧干扰强度进行定量分析,在草原生态系统上有较多的研究与应用^[3]。侯扶江等^[4]用路径密度、宽度、深度、土壤容重和路径内植物数量 5 类指标构建践踏综合指数及叠加各因子值,将肃南冬季牧场划分为低、中、高 3 个不同梯度的放牧强度;杨利民等^[5]通过对松嫩平原羊草草地群落的相对密度、相对盖度、相对高度 3 类指标的聚类分析,定量划分为轻牧、中牧、重牧和过牧 4 个放牧强度。相关研究证明了这些方法的可行性与应用价值。在我国很多农林结合区域,利用林下草本层放牧成为发展畜牧牧业的重要组成部分,其产生的资源损耗与生态干扰效应不容小觑。因此,立足森林放牧的实际情况,应用已有的草原放牧干扰评价方法,开展森林放牧干扰的评价研究,探索正确认知森林生态健康状况与科学调控林牧矛盾的理论与方法,对合理利用森林资源具有重要的发展意义。

新疆野果林作为我国重要的天然混牧林区之一,对维持当地生态建设与经济发展具有重要作用^[6]。与典型草原无固定采食路径的放牧方式相比,新疆野果林放牧则是以牧道作为转运家畜,控制家畜采食方向以及采食地点的一种扰动方式(图 1),即放牧家畜由山底沿牧道向上进入林区,沿牧道向两边扩张采食面,形成沿山体横向分布的牧道格局,并且随着放牧强度的增大,致使林下草本植被群落的高度、盖度和生产力降低,群落物种的多样性水平发生变化,林地侵蚀加剧^[7]。此外,处于其中的野生果树天然更新幼株生存受到威胁,林分结构趋向简单化,野果林生态系统功能减弱,进而影响当地的生态安全和社会经济发展^[8-9]。然而,目前国内外有关野果林放牧对植被的群落特征、物种多样性与土壤理化性质等方面的研究较多^[10],但对于野果林放牧活动本身的关注、放牧强度的量化方法及其分级标准等研究还鲜有报道。为此,本文选择新疆野果林分布的主要区域的伊犁河谷为研究地,以 6 个典型放牧区为试验地,调查对比各区的草本群落组成结构、生

长特征、物种多样性以及牧道宽度、数量、密度、分布格局等指标,分析根据这些指标划分放牧干扰强度的主导因子,对其放牧干扰强度进行定量评价,以期新疆野果林建立合理的放牧制度提供科学依据。



图1 野果林放牧景观;家畜沿牧道进入林区啃食植被

Fig.1 Grazing landscape of wild fruit forest ; livestock along the trail into the forest gnawing vegetation

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于新疆伊犁河谷野果林(43°11'41"—44°26'01" N;80°46'19"—83°26'23" E),地处天山山脉中部,海拔900—1600 m的中、低山地带,地势由东向西延伸至开阔平原,有效截留来自西部的湿润气流^[11]。该区年均降水量260—800 mm,春季湿润,4—6月降水丰沛。年均气温10.3℃,年均日照2500 h以上,无霜期145—169 d^[12]。土壤类型为山地黑棕色土,腐殖质较厚,质地结构良好、土壤肥力较高^[13]。野果林植物群落垂直结构分层明显,乔木层主要树种有新疆野苹果(*Malus sieversii*)、新疆野杏(*Prunus armeniaca*)、准噶尔山楂(*Grataegus songarica*)、新疆樱桃李(*Prunus cerasifera*)等,灌木层主要有绣线菊(*Spiraea salicifolia*)、忍冬(*Lonicera japonica*)、黑果小檗(*Berberis atrocarpa*)、锦鸡儿(*Caragana sinica*)、野蔷薇(*Rosa multiflora*)等,草本层种类丰富,是当地农牧民发展畜牧业的主要天然林牧场。该区放牧家畜主要有新疆褐牛、哈萨克马和新疆细毛羊等,自1984年实行“草畜双承包”制度以来,放牧方式由原来的游牧转向为定牧,牧户在林区或旷地以网围栏定居放牧为主,但近些年牲畜业规模持续增长,野果林载畜量显著增加,林区监管措施不到位等,导致部分林区草本群落退化严重。

1.2 样地设置及调查

本试验于2021年6月初依次踏查新源县杏花沟、霍城县大西沟、伊宁县匹里青沟和巩留县莫乎尔沟、伊勒格代沟、吾都布拉克沟的野果林(下文各地区分别简称为杏花沟、大西沟、匹里青沟、莫乎尔沟、伊勒格代沟、吾都布拉克沟),在各区沿山地两侧或单向一侧,从坡底至坡顶自下而上分别设置9块大小为20 m×20 m的样地,共计54块,并记录下样地的经纬度、海拔、坡度、坡向等地形因子,各区基本概况见表1。于2021年和2022年的6月—9月的草本层植物生长旺季,沿每块调查样地的四角及中心设置5个1 m×1 m的草本样方(若样方在牧道上,则向上、下或左、右平移,避开牧道),每月测定样方内植物的种类、高度、密度、盖度以及地上生物量。其中高度为每种植物5株自然高度的平均值;密度为样方内所有植物的株数或丛数;盖度采用垂直照相法观测^[14],将植物像素差比值作为样方盖度值;地上生物量采用齐地刈割法测量各物种鲜重和干重(烘箱75℃烘干)。此外,为全面反映林地内牧道分布格局,在每个样地左、右边界上(以边线为中轴)和中间设置3条长20 m、宽2 m的平行样带,观测样地内样带截取牧道的数量、宽度、长度与面积,并计算出牧道密

度(D)=样带截获牧道面积总和/样带面积×100%,样地牧道密度以三条样带牧道密度的均值表示^[15]。

表 1 野果林各放牧区样地分布范围和地形概况

Table 1 Distribution range and topography of wild fruit forest in each grazing districts

放牧区 Grazing district	经度 Longitude/E	纬度 Latitude/N	海拔 Altitude/m	坡度 Slope gradient/(°)	坡向 Slope aspect/(°)	样地数量 Quadrat number
杏花沟	83°25'55"—83°26'23"	43°32'41"—43°33'13"	1394.9±82.5	32.1±7.2	东南 141.2	9
莫乎尔沟	82°43'00"—82°43'49"	43°11'41"—43°13'25"	1323.8±27.6	28.6±6.7	东南 137.5	9
吾都布拉克沟	82°17'54"—82°18'06"	43°20'41"—43°21'25"	1307.9±27.8	30.8±4.5	东南 134.5	9
匹里青沟	81°31'07"—81°32'56"	44°09'07"—44°11'31"	1131.7±52.3	27.3±9.3	南 200.7	9
伊勒戈代沟	81°05'23"—82°06'42"	43°20'08"—43°21'44"	1346.7±34.4	27.6±8.8	东南 139.2	9
大西沟	80°48'30"—80°46'19"	44°26'01"—44°26'13"	1256.3±44.2	22.9±8.1	西南 203.1	9

1.3 草本植物群落 α 多样性计算

本研究采用 α 多样性指数度量各放牧区草本植物群落的物种多样性水平^[16-17],即 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Simpson 优势度指数(P)、Pielou 均匀度指数(E)、Margalef 丰富度指数(MA)。草本植物群落中物种的优势度由重要值(P_i)确定^[18]。计算公式如下:

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数: } H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (1)$$

$$\text{Simpson 优势度指数: } P = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2 \quad (2)$$

$$\text{Pielou 均匀度指数: } E = H' / \ln S \quad (3)$$

$$\text{Margalef 丰富度指数: } MA = (S - 1) / \ln N \quad (4)$$

$$\text{重要值: } P_i = (\text{相对密度} + \text{相对高度} + \text{相对盖度}) / 3 \times 100 \quad (5)$$

式中, S 表示草本群落中物种数目; N 表示所有物种个体数总和; P_i 表示物种重要值。

1.4 牧道分布的格局指数计算

牧道属于干扰镶嵌体,采用 Morisita 指数(I_δ)判断牧道分布格局。数据来源于以 1 m 为区段记录的样带所截牧道数目,采用相邻区段合并的方法获得 5 m 尺度的 Morisita 指数^[19]。

$$\text{Morisita 指数: } I_\delta = q \sum n(n-1) / N(N-1) \quad (6)$$

式中, n 为各区段中截取的牧道数目, N 为样地内所有区段截取的牧道数目总和, q 为样地内区段数。 $I_\delta < 1$ 为均匀分布, $I_\delta = 1$ 为随机分布, $I_\delta > 1$ 为聚集分布。

1.5 放牧干扰强度的模型构建

采用加权和法构建放牧干扰强度评价模型。即将多个不同度量单位的评价指标进行权重赋值,然后将转化后的同度量的评价指标进行求和,最后转变为一个综合性指标来进行对比分析的一种评价方法。本研究对样地内草本群落生长特征(盖度、高度、密度、生物量)、物种多样性指数(Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数、Pielou 均匀度指数、Margalef 丰富度指数)以及牧道特征(宽度、数量、密度、格局指数)等 12 个特征因子进行主成分分析,筛选出主导因子作为评价放牧干扰强度指标,通过加权和法评价模型计算出牧压指数(GI),采用 GI 等距分组法将野果林放牧干扰强度划分为 4 个等级(表 2)。模型计算公式如下^[20]:

$$\text{参数标准化: } F_{in} = (X_{imax} - X_{in}) / (X_{imax} - X_{imin}) \quad (7)$$

$$F_{in} = (X_{in} - X_{imin}) / (X_{imax} - X_{imin}) \quad (8)$$

$$\text{权重: } W_i = C_i / \sum_{i=1}^n C_i \quad (9)$$

$$\text{牧压指数: } GI = \sum_{i=1}^n F_{in} \times W_i \quad (10)$$

式中, F_{in} 表示评价指标的原始数据经转化后的标准化参数值; 草本群落均为正相关指标依据公式 7, 牧道均为负相关指标依据公式 8; X_{in} 代表评价指标的实测值, $X_{i\max}$ 和 $X_{i\min}$ 分别代表评价指标 i 的最大值和最小值; C_i 表示评价指标的公因子方差值。

表 2 野果林放牧干扰强度的分级标准

Table 2 Grading standard of grazing disturbance intensity in wild fruit forest

放牧干扰强度等级 Grazing disturbance intensity level	牧压指数 Grazing pressure index	放牧干扰强度等级 Grazing disturbance intensity level	牧压指数 Grazing pressure index
轻度干扰 Light disturbance	0.00—0.25	重度干扰 Severe disturbance	0.50—0.75
中度干扰 Intermediate disturbance	0.25—0.50	极度干扰 Extreme disturbance	0.75—1.00

1.6 数据处理

用于统计分析的数据为 2021 和 2022 年 2 年各放牧区草本与牧道指标的平均数据。运用 SSPS 22.0 软件对各放牧区草本群落生长特征、物种多样性指数以及牧道特征进行单因素方差分析 (One-way ANOVA) 和差异显著性检验 ($\alpha=0.05$), 并对草本群落和牧道特征指标进行相关性分析; 采用主成分分析法提取草本、牧道特征指标的载荷矩阵, 筛选出各成分中的主导因子作为放牧评价指标, 通过加权和法评价模型对各放牧区的放牧干扰强度进行综合评价。利用 Origin 9.1 作图。

2 结果与分析

2.1 放牧干扰下的野果林草本群落特征

2.1.1 草本群落组成与结构

如表 3 所示, 放牧干扰下, 野果林草本群落共调查到 14 科 40 属 41 种, 禾本科 (19.51%)、唇形科 (17.07%)、菊科 (14.63%) 所占的比例大于其他科植物。不同放牧区草本群落的物种数量以及优势种组成上存在差异。物种组成: 依次是杏花沟 (31 种)、莫乎尔沟 (29 种)、吾都布拉克沟 (20 种)、匹里青沟 (19 种)、伊勒格代沟 (23 种)、大西沟 (24 种)。物种重要值: 杏花沟禾本科种属植物的重要值占比 43.67%, 优势物种主要以家畜喜食的狗牙根、鸭茅、短距凤仙花为主, 其重要值占比分别为 10.45%、7.64%、6.88%; 与杏花沟相比, 莫乎尔沟和大西沟禾本科种属植物的重要值占比分别减少为 20.43%、14.47%, 优势种波动较大; 吾都布拉克沟、匹里青沟与伊勒格代沟禾本科种属植物的重要值占比明显下降, 优势种重要值占比最大的均为大麻, 分别为 12.29%、12.72%、12.66%, 且其他家畜不喜食物种灰绿藜、直齿荆芥、鹤虱等的重要值占比升高。

表 3 放牧干扰下野果林不同放牧区草本群落的物种组成及重要值

Table 3 Species composition and importance value of herb communities in different grazing districts of wild fruit forest under grazing disturbance

主要科目 Main family	植物名 Species	植物重要值 Importance value/%					
		杏花沟	莫乎尔沟	吾都布拉克沟	匹里青沟	伊勒戈代沟	大西沟
禾本科 Gramineae	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i> (L.) pers.	10.45	6.09	4.62	5.13	4.42	7.15
	假梯牧草 <i>Phleum phleoides</i> (L.) H. Karst.	6.61	2.04	—	—	—	—
	鸭茅 <i>Dactylis glomerata</i> L.	7.64	3.24	—	—	—	3.71
	羊茅 <i>Festuca ovina</i> L.	6.33	—	3.74	3.89	—	—
	无芒雀麦 <i>Bromus inermis</i> Leyss.	5.81	2.42	—	—	2.43	—
	芨芨草 <i>Neotrinia splendens</i> (Trin.) Nevski	—	—	3.20	—	2.64	3.99
	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> (L.) P. Beauv.	6.83	9.45	10.92	3.84	—	—
	稗 <i>Echinochloa crusgalli</i> (L.) P. Beauv.	—	—	—	11.04	10.11	14.25
唇形科 Labiatae	牛至 <i>Origanum vulgare</i> L.	1.45	2.36	2.81	—	1.19	—
	野薄荷 <i>Mentha haplocalyx</i> Briq.	1.64	1.80	—	—	—	1.16

续表

主要科目 Main family	植物名 Species	植物重要值 Importance value/%					
		杏花沟	莫乎尔沟	吾都布拉克沟	匹里青沟	伊勒格代沟	大西沟
菊科 Compositae	鼠尾草 <i>Salvia japonica</i> Thunb.	2.39	1.79	—	—	—	—
	益母草 <i>Leonurus artemisia</i> Houtt.	2.93	—	0.96	—	1.17	—
	草原糙苏 <i>Phlomis pratensis</i> Kar. & Kir.	1.27	2.62	1.69	1.51	—	2.59
	直齿荆芥 <i>Nepeta pannonica</i> L.	—	2.81	6.12	10.15	5.37	4.76
	全叶青兰 <i>Dracocephalum integrifolium</i> Bge.	0.84	0.96	—	—	—	—
	蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i> Hand.-Mazz.	1.55	3.08	4.86	2.93	7.02	3.66
	大蓟 <i>Cirsium japonicum</i> Fisch. ex DC.	—	3.44	—	1.67	—	1.72
	牛蒡 <i>Arctium lappa</i> L.	1.15	—	1.41	—	1.22	2.61
	三裂叶豚草 <i>Ambrosia trifida</i> L.	4.54	6.70	—	3.53	—	—
	野艾蒿 <i>Artemisia lavandulifolia</i> DC.	0.68	1.16	—	—	—	—
豆科 Leguminosae	鹤虱 <i>Lappula myosotis</i> Moench.	—	—	—	7.84	5.99	4.64
	红车轴草 <i>Trifolium pratense</i> L.	1.08	1.47	0.63	1.51	0.84	0.43
	白车轴草 <i>Trifolium repens</i> L.	1.31	3.65	4.11	5.52	5.02	7.23
	苦豆子 <i>Sophora alopecuroides</i> L.	2.13	2.61	4.72	—	—	3.62
	驴食草 <i>Onobrychis viciifolia</i> Scop.	1.77	—	—	—	1.85	—
十字花科	甘草 <i>Glycyrrhiza uralensis</i> Fisch.	—	2.69	6.07	—	—	4.19
Brassicaceae	团扇芥 <i>Berteroa incana</i> DC.	—	—	7.56	8.84	5.22	—
	菥蓂 <i>Thlaspi arvense</i> L.	1.16	—	—	—	—	0.19
	新疆大蒜芥 <i>Sisymbrium loeselii</i> L.	0.78	—	—	—	1.56	0.13
桔梗科	聚花风铃草 <i>Campanula glomerata</i> L.	0.47	—	—	—	1.91	—
Campanulaceae	新疆党参	1.36	3.09	—	—	1.37	—
	<i>Codonopsis clematidea</i> (Schrenk) C. B. Cl.	—	—	—	—	—	—
伞形科 Apiaceae	宽叶羊角芹 <i>Aegopodium latifolium</i> Turcz.	—	3.59	—	—	1.35	—
	野胡萝卜 <i>Daucus carota</i> L.	3.48	2.41	—	—	—	—
蔷薇科 Rosaceae	野草莓 <i>Fragaria vesca</i> L.	—	4.21	3.71	2.26	—	4.86
	龙芽草 <i>Agrimonia pilosa</i> Ledeb.	4.45	1.08	8.03	3.93	—	6.78
牻牛儿苗科	蓝花老鹳草	1.61	—	3.08	1.75	1.49	2.14
Geraniaceae	<i>Geranium pseudosibiricum</i> J. Mayer	—	—	—	—	—	—
藜科 Chenopodiaceae	灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i> L.	3.96	3.05	9.04	7.60	11.19	—
凤仙花科	短距凤仙花	6.88	5.74	—	—	10.45	6.32
Balsaminaceae	<i>Impatiens brachycentra</i> Kar. & Kir.	—	—	—	—	—	—
桑科 Moraceae	大麻 <i>Cannabis sativa</i> L.	5.66	8.63	12.72	12.29	12.66	7.32
鸢尾科 Iridaceae	喜盐鸢尾 <i>Iris halophila</i> Pall.	—	3.66	—	—	—	2.79
荨麻科 Urticaceae	荨麻 <i>Urtica fissa</i> E. Pritz.	1.79	4.16	—	4.77	3.53	3.76
物种总数	—	31	29	20	19	23	24
Total number of species	—	31	29	20	19	23	24

2.1.2 草本群落生长特征

如图 2 所示,野果林不同放牧区的草本群落生长受干扰程度不同。其中,杏花沟和莫乎尔沟草本群落的盖度、密度均显著高于其他放牧区,其盖度最大是杏花沟,为 77.24%,比最低的匹里青沟高 93.29%,其密度最大是莫乎尔沟,为 29.04 株/m²,比最低的匹里青沟高 75.38%,伊勒格代沟与大西沟之间草本的盖度、密度均无显著差异。草本群落的高度和生物量的变化规律基本一致,杏花沟草本群落的高度、生物量均显著大于其他放牧区,分别为 33.28 cm、236.57 g/m²,其高度比最小的大西沟高 89.92%,其生物量比最小的匹里青沟高 93.40%,而吾都布拉克沟、匹里青沟、伊勒格代沟、大西沟之间的高度及生物量均无显著差异。

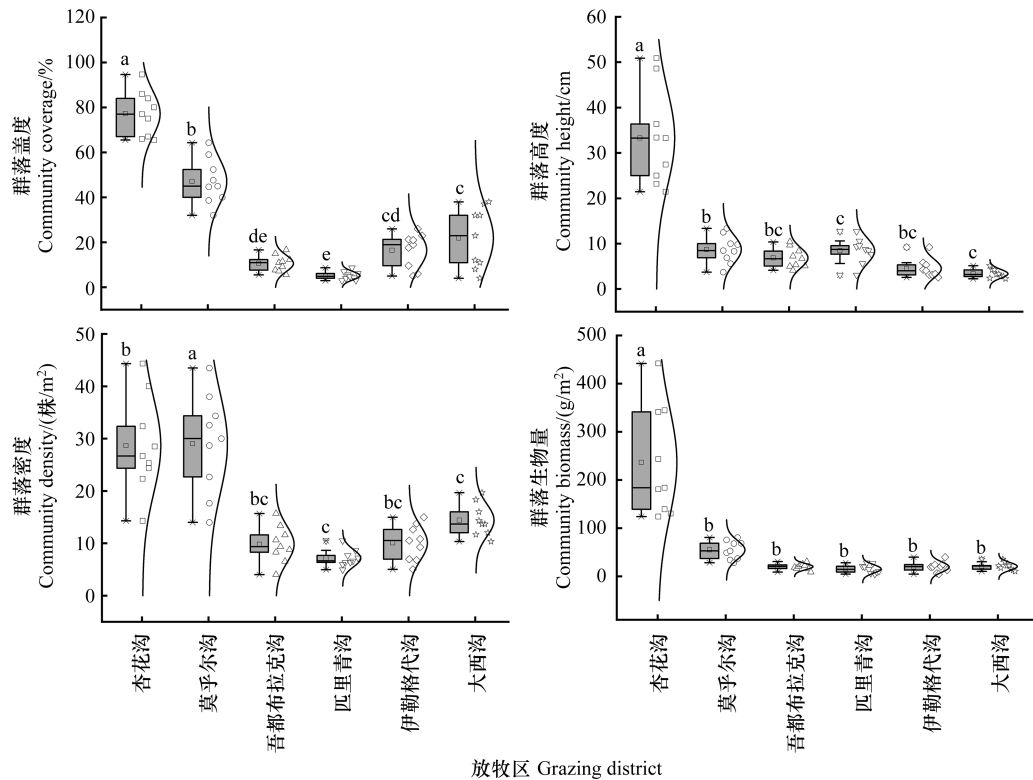


图2 放牧干扰下野果林不同放牧区草本群落的生长特征

Fig.2 Growth characteristics of herbaceous communities in different grazing districts of wild fruit forest under grazing disturbance
不同小写字母表示不同放牧区各草本群落生长特征指标差异显著 ($P<0.05$)

2.1.3 草本群落物种多样性

如表4所示,放牧干扰下,杏花沟草本群落物种的 Margalef 丰富度指数最大,为 1.45,与吾都布拉克沟、匹里青沟、伊勒格代沟和大西沟存在显著差异;莫乎尔沟的 Shannon-Wiener 多样性和 Simpson 优势度指数均最大,比杏花沟分别高 1.56%、1.19%,但这两区之间无显著差异;而在 Pielou 均匀度指数上,吾都布拉克沟、匹里青沟、大西沟显著高于杏花沟、伊勒格代沟。

表4 放牧干扰下野果林不同放牧区草本群落的物种多样性

Table 4 Species diversity of herbaceous communities in different grazing districts of wild fruit forest under grazing disturbance

放牧区 Grazing district	Margalef 丰富度指数 Margalef index	Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener index	Simpson 优势度指数 Simpson index	Pielou 均匀度指数 Pielou index
杏花沟	1.45±0.24a	1.89±0.17a	0.83±0.03ab	0.94±0.02b
莫乎尔沟	1.43±0.25a	1.92±0.13a	0.84±0.02a	0.96±0.02ab
吾都布拉克沟	0.96±0.15b	1.43±0.09b	0.75±0.01c	0.98±0.02a
匹里青沟	0.83±0.18b	1.48±0.19b	0.76±0.04c	0.97±0.02a
伊勒戈代沟	0.96±0.02b	1.72±0.11a	0.80±0.01b	0.81±0.01c
大西沟	0.98±0.15b	1.46±0.11b	0.75±0.03c	0.97±0.02a

表中数据代表平均值±标准误;同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)

2.2 放牧干扰下的野果林牧道特征

2.2.1 牧道分布数量及密度

如表5所示,野果林不同放牧区的牧道密度由大到小依次为伊勒格代沟、吾都布拉克沟、莫乎尔沟、匹里青沟、大西沟、杏花沟,分别为 19.23%、17.25%、16.49%、14.77%、10.49%、8.51%,总体牧道密度为 14.46%。其

中,在牧道宽度上,匹里青沟的最大,为 45.55 cm,比伊勒格代沟高 15.98%,杏花沟最小,为 28.72 cm。牧道数量的变化规律与牧道密度相似,杏花沟和大西沟显著低于莫乎尔、吾都布拉克沟,而伊勒格代显著高于匹里青沟。

表 5 放牧干扰下野果林不同放牧区的牧道数量及密度

Table 5 The number and density of pastures in different grazing districts of wild fruit forest under grazing disturbance

放牧区 Grazing district	牧道宽度 Grazing-path width/cm			牧道数量 Grazing-path number/bands			牧道密度 Grazing-path density/%
	最小 Min	最大 Max	平均 Mean	最小 Min	最大 Max	平均 Mean	
杏花沟	21.67	35.67	28.72±4.72d	11.00	26.00	17.43±5.35c	8.51±2.77c
莫乎尔沟	28.94	37.84	33.75±3.05cd	25.00	34.00	29.33±3.83a	16.49±2.20ab
吾都布拉克沟	38.06	41.7	39.98±1.83b	24.00	30.00	26.00±3.46ab	17.25±1.54ab
匹里青沟	44.23	48.06	45.55±2.17a	17.00	21.00	19.67±2.31bc	14.77±0.57b
伊勒格代沟	35.13	40.29	38.27±2.76bc	25.00	39.00	30.67±7.37a	19.23±3.21a
大西沟	28.98	36.83	34.25±3.43c	12.00	23.00	18.16±4.17c	10.49±3.11c

表中数据代表平均值±标准误;同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)

2.2.2 牧道分布格局

如图 3 所示,放牧干扰下,野果林牧道格局指数范围为 0.71—1.86,不同放牧区的牧道分布格局存在显著差异。其中,匹里青沟的牧道格局指数大于 1,说明该区牧道呈现聚集分布;其他放牧区的牧道格局指数均小于 1,为均匀分布。从阈值上可以看出,吾都布拉克沟、伊勒格代沟和大西沟牧道格局指数的最大阈值大于 1,说明该 3 个放牧区的牧道分布格局的整体指向性并不完全一致。

2.3 野果林放牧干扰强度综合评价

2.3.1 草本群落和牧道特征的相关关系

如表 6 所示,野果林草本群落和牧道特征各指标之间的紧密相关。其中,草本群落的盖度、密度、高度以及生物量之间均呈极显著正相关关系;草本群落 Simpson 优势度、Margalef 丰富度指数与 Shannon-Wiener 多样性指数呈极显著正相关关系,但 Pielou 均匀度指数与其他指标相关性不显著;牧道宽度与草本群落的盖度、密度、高度以及生物量呈极显著负相关关系;而牧道数量与草本群落高度、生物量呈现显著负相关;牧道密度与草本高度、草本生物量、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数、Margalef 丰富度指数均呈现显著负相关;而牧道格局指数除了与草本盖度呈显著负相关关系外,与其他指标均无显著相关性。

2.3.2 草本群落和牧道特征的主成分分析

对反映草本群落与牧道特征的指标进行主成分分析(表 7),提取初始特征值大于 1 的主成分累积方差贡献率为 77.63%,对野果林放牧干扰强度有较好的解释作用。其中第 1 成分中起主要作用的指标是草本群落盖度(0.850)与生物量(0.823),可归结为草本生长因子;第 2 成分中起主要作用的指标是草本群落的 Shannon-Wiener 多样性指数(0.713)与 Simpson 优势度指数(0.755),可归结为草本多样性因子;第 3 成分中牧道密度(0.613)与格局指数(0.712)的载荷值最大,可归结为牧道分布特征因子。

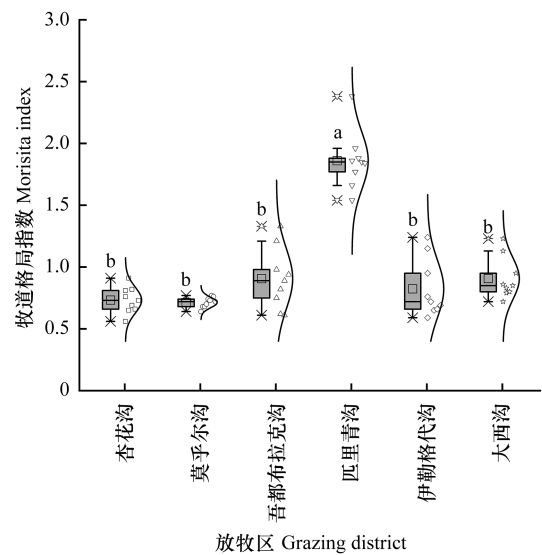


图 3 放牧干扰下野果林不同放牧区的牧道格局指数

Fig.3 Morisita index of different grazing districts of wild fruit forest under grazing disturbance

不同小写字母表示不同放牧区牧道格局指数差异显著 ($P<0.05$)

表 6 草本群落与牧道特征指标的相关性分析

Table 6 Correlation analysis between herb community and characteristic indexes of grazing path

特征指标 Characteristic factor	草本 盖度 Coverage	草本 密度	草本 高度	草本 生物量	Shannon- Wiener 多样性指数	Simpson 优势度 指数	Pielou 均匀度 指数	Margalef 丰富度 指数	牧道 宽度	牧道 数量	牧道 密度
草本密度 Density	0.748 **										
草本高度 Height	0.836 **	0.568 **									
草本生物量 Biomass	0.845 **	0.629 **	0.936 **								
Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener index	0.274	0.527 **	0.277	0.259							
Simpson 优势度指数 Simpson index	0.188	0.438 *	0.235	0.209	0.987 **						
Pielou 均匀度指数 Pielou index	0.124	0.128	0.066	0.052	-0.314	-0.354					
Margalef 丰富度指数 Margalef index	0.218	0.424 *	0.256	0.209	0.901 **	0.891 **	-0.092				
牧道宽度 Grazing-path width	-0.753 **	-0.554 **	-0.583 **	-0.579 **	-0.141	-0.068	0.012	-0.066			
牧道数量 Grazing-path number	-0.300	-0.007	-0.394 *	-0.379 *	0.215	0.224	-0.357	0.129	0.199		
牧道密度 Grazing-path density	-0.291	-0.304	-0.392 *	-0.415 *	-0.383 *	-0.388 *	-0.047	-0.429 *	0.166	0.515 **	
牧道格局指数 Morisita index	-0.387 *	-0.291	-0.123	-0.166	-0.246	-0.217	0.236	-0.068	0.546 **	-0.169	-0.075

* , $P<0.05$; ** , $P<0.01$

表 7 野果林草本与牧道特征指标的主成分分析

Table 7 Principal component analysis of herb and pasture characteristics in wild fruit forest

特征指标 Characteristic factor	PC1	PC2	PC3
草本盖度 Coverage	0.850	-0.401	-0.198
草本密度 Density	0.812	-0.025	-0.124
草本高度 Height	0.818	-0.383	0.063
草本生物量 Biomass	0.823	-0.401	0.029
Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener index	0.677	0.713	0.094
Simpson 优势度指数 Simpson index	0.619	0.755	0.128
Pielou 均匀度指数 Pielou index	-0.044	-0.504	0.370
Margalef 丰富度指数 Margalef index	0.608	0.649	0.299
牧道宽度 Grazing-path width	-0.662	0.373	0.453
牧道数量 Grazing-path number	-0.224	0.625	-0.530
牧道密度 Grazing-path density	-0.546	0.005	-0.613
牧道格局指数 Morisita index	-0.372	-0.073	0.721
初始特征值 Initial eigenvalue	4.866	2.758	1.692
方差贡献率 Variance contribution rate /%	40.550	22.983	14.101
累积方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/%	40.550	63.532	77.633

2.3.3 放牧干扰强度划分及评价

将上述各成分中起主要作用的 6 个指标作为野果林放牧干扰强度的评价指标。采用加权和法评价法 (见 1.5), 得知各放牧区的牧压指数 (表 8)。杏花沟的牧压指数最小, 为 0.15, 放牧干扰强度处于轻度干扰阶段; 莫乎尔沟牧压指数为 0.32, 放牧干扰强度处于中度干扰阶段; 伊勒格代沟、大西沟牧压指数分别为 0.62、0.71; 均处于重度干扰阶段; 吾都布拉克沟与匹里青沟牧压指数均大于 0.79, 处于极度干扰阶段。综合分析, 当前新疆野果林整体的放牧干扰严重。

表 8 野果林牧压指数与放牧干扰强度

Table 8 Grazing pressure index and grazing disturbance intensity of wild fruit forest

放牧区 Grazing district	牧压指数 Grazing pressure index	放牧干扰强度 Intensity of grazing disturbance	放牧区 Grazing district	牧压指数 Grazing pressure index	放牧干扰强度 Intensity of grazing disturbance
杏花沟	0.15	轻度干扰	匹里青沟	0.80	极度干扰
莫乎尔沟	0.32	中度干扰	伊勒戈代沟	0.62	重度干扰
吾都布拉克沟	0.79	极度干扰	大西沟	0.71	重度干扰

3 讨论与结论

3.1 野果林草本群落特征反映放牧干扰强度的作用

放牧是森林草本植被最主要的利用方式,亦是影响草本群落结构与功能的关键因素之一^[21]。新疆野果林作为当地牧民常态化放牧的主要林地草场,对其合理的利用开发才能维持生产与生态资源可持续发展。以往研究表明,不同放牧强度干扰会导致草本群落的高度、密度、盖度以及生物量等呈现出显著差异^[22]。本文研究结果与此相似。这是因为随着放牧强度的增加,家畜对草本植被枝叶的采食强度增大,植物体内营养物质的积累减少,导致植株矮小化,生产力下降^[23]。此外,从群落中的优势类群(优势种)来看,各放牧程度的干扰区同样存在一定差异,这可能与放牧家畜的选择性采食有关^[24]。在放牧过程中,家畜往往会优先选择适口性较好的禾本科植物进行取食,降低了其重要值,并且在植被条件可优先满足适口取食的需求下,大麻、灰绿藜、直齿荆芥等适口性较差的植物,将得以留存或者只是在缺少草食的情况下受到较轻干扰,从而逐渐获得放牧干扰形成的空间和光照的资源优势^[25],利于其生长发育。由此可见,野果林不同放牧区的草本群落特征变化,在一定程度上反映了各干扰区内的放牧强度,并对野果林生态系统的更迭产生影响。

3.2 野果林牧道特征反映放牧干扰强度的作用

牧道是放牧家畜采食过程中反复践踏所形成的微小地貌形态,也是衡量放牧强度和研究家畜与植被层面互动效应的重要指标^[26]。目前国内外关于放牧对牧道特征的影响研究较为罕见。刘金鑫等^[27]研究发现,高强度牧区的牧道密度显著高于低强度牧区;Hiltbrunner 等^[28]研究表明,不同放牧强度下,草场的表层土壤容重、牧道坡度以及牧道宽度存在较大差异,与本研究牧道变化特征结果相符。通常情况下,牧道的形成是放牧家畜为适应采食环境选择出的最优结果。家畜为了减小能量支出并获得采食的最大净能,往往会沿牧道进入林区并向两侧扩散采食范围,会寻找到下个草本量满足需求与体位舒适的地形,成为长期采食地点,并随着家畜的啃食力度和踩踏强度增加,导致植被盖度减小,土壤裸露面积和容重增大,进而形成新的牧道,改变了牧道的分布特征^[29]。这也进一步验证了野果林各放牧区的牧道分布密度与放牧强度紧密相关,并导致其牧道分布密度存在显著差异。而不同放牧区的牧道分布格局,除匹里青沟外,其他干扰区均无显著差异,其原因可能与放牧区地形、载畜量、植被类型、饮水地点以及放牧生境等有关^[30-31],这些方面需要纳入今后关于野果林放牧干扰强度评价体系的研究中进行全面分析。

3.3 基于草本群落和牧道特征综合评价野果林放牧干扰强度的效果

建立科学合理的放牧干扰强度评价体系,是科学认知野果林生态系统结构和功能的基础。以往关于放牧干扰强度的评价研究主要针对于草原生态系统,如 Dara 等^[32]根据物种组成、总植被覆盖率、裸露地面和植被高度对哈萨克斯坦北部草原的放牧强度进行了评估;王梦佳等^[33]通过 Landsat 遥感数据计算草地植被净初级生产力的变化对呼伦贝尔草甸草原放牧强度进行评价。而在草本与牧道相互交织的野果林生态系统中,牧道的分割导致植被出现斑块景观,同时改变了植被空间异质性^[34]。此外,与草原放牧不同,放牧家畜沿牧道进行的取食行为具有明显的边际效应,即植被距离牧道越近其干扰越显著^[35]。这说明野果林放牧是由牧道与草本植被空间异质性相互作用机制的结果。为此,本研究将草本与牧道综合指标纳入野果林的放牧评价体系中,在调查野果林放牧概况与草本层群落结构和牧道特征的基础上,采用相关性和主成分分析筛选出 6 个特

征指标可作为放牧干扰强度的评价因子,涵盖放牧干扰下的野果林草本群落结构特征、多样性水平以及牧道分布特征等方面,通过加权和法构建的放牧干扰强度综合评价体系,综合反映出野果林整体放牧程度,并将其分为4个等级,其中,与其他放牧区相比较,杏花沟与莫乎儿沟草本群落与牧道特征综合指标较优,放牧强度评价结果为轻、中度放牧干扰,这与野果林放牧干扰的实际情况基本相符,且较为客观、合理。

3.4 保护建议

野果林林区放牧与植被资源保护的矛盾,一直都是当地畜牧业发展中核心问题,但近年来,随着畜牧业发展规模不断扩大,野果林林下植被退化严重,生物多样性降低,处于其中的林木天然更新幼株生存受到威胁,造成种群延续障碍,严重破坏森林群落结构其生态系统的稳定性,为维护野果林植被资源与畜牧业经济的可持续发展,基于本研究结果,提出以下保护建议:(1)针对轻、中度干扰区,应实施“精准控牧”,对草本植被退化严重、牧道分布密集区域,进行重点监管;(2)针对重度干扰区,应采取植被生长季禁牧制度,同时,严格把控林区内的家畜数量,限制放牧家畜对同一牧道的使用频次;(3)针对极度干扰区,应建立保护区,禁止一切放牧活动干扰,必要时,适当的进行人为干预保护;(4)加强野果林牧民和管理人员的宣传教育,提高保护意识。

参考文献 (References):

- [1] 胡晓阳,王兆锋,张德铨,宫殿清. 青藏高原放牧强度空间化方法与应用. 地理学报, 2022, 77(3): 547-558.
- [2] 王晓,张克斌,王岩,程中秋,苏鹏飞,顾岚. 生态位理论在天然草场群落演替及健康状况评价中的应用. 草地学报, 2011, 19(6): 904-909.
- [3] Sun Y X, Liu S L, Shi F N, An Y, Li M Q, Liu Y X. Spatio-temporal variations and coupling of human activity intensity and ecosystem services based on the four-quadrant model on the Qinghai-Tibet Plateau. Science of the Total Environment, 2020, 743: 140721.
- [4] 侯扶江,任继周. 甘肃马鹿冬季放牧践踏作用及其对土壤理化性质影响的评价. 生态学报, 2003, 23(3): 486-495.
- [5] 杨利民,韩梅,李建东. 松嫩平原主要草地群落放牧退化演替阶段的划分. 草地学报, 1996, 4(4): 281-287.
- [6] 林培钧,崔乃然. 天山野果林资源: 伊犁野果林综合研究. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [7] Han G, Cheong E, Park W, Kim S. Impact of the disturbances for forest grazing on flora composition in a natural forest. Forests, 2021, 12(7): 872.
- [8] 冯琳骄,褚佳瑶,孟雨欣,周龙,陆彪. 不同居群天山樱桃土壤种子库与幼苗更新特征. 中南林业科技大学学报, 2022, 42(12): 91-97.
- [9] 黄伶俐,胡刚,庞庆玲,张贝,何业涌,胡聪,徐超昊,张忠华. 放牧对中国亚热带喀斯特山地灌丛物种组成与群落结构的影响. 植物生态学报, 2022, 46(11): 1350-1363.
- [10] 周龙,方紫妍,李林瑜,阿克拜尔·毛拉,陆彪. 放牧对西天山野果林下物种多样性及土壤的影响. 中国农学通报, 2021, 37(28): 35-42.
- [11] 崔大方,廖文波,羊海军,张宏达. 中国伊犁天山野果林区系表征地理成分及区系发生的研究. 林业科学研究, 2006, 19(5): 555-560.
- [12] 田中平,庄丽,李建贵,程模香. 伊犁河谷北坡野果林木本植物种间关系及环境解释. 生物多样性, 2011, 19(3): 335-342, 396.
- [13] 方紫妍,李林瑜,阿克拜尔·毛拉,周龙,陆彪. 新疆西天山土壤生境质量与野果林群落特征的相关性分析. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2019, 48(4): 453-458.
- [14] 随金明,宋乃平,薛毅,陈娟,陈晓莹,吴婷,李敏岚. 基于照相法的荒漠草原植被覆盖度测定方法. 中国草地学报, 2019, 41(2): 58-64.
- [15] 郑江坤,宫渊波,刘金鑫,刘剑波. 岷江上游山地牧道对林下草本群落分布特征的影响. 草业学报, 2015, 24(2): 1-10.
- [16] Michaels J, Batzer E, Harrison S, Eviner V T. Grazing affects vegetation diversity and heterogeneity in California vernal pools. Ecology, 2021, 102(4): e03295.
- [17] 吴昊,杜奎,李万通,曹悦,孔付萍,赵冬. 空心莲子草入侵对豫南草本植物群落多样性及稳定性的影响. 草业科学, 2019, 36(2): 382-393.
- [18] 张忠华,胡刚,刘立斌,程安云,胡聪,吴洋洋,倪健. 黔中北亚热带喀斯特次生林动态监测样地: 物种组成与群落结构. 生态学报, 2022, 42(2): 742-754.
- [19] 刘金鑫,宫渊波,郑江坤,张兴华,姜广争,岳艳杰,左琴,刘牧. 岷江上游山地牧道与锥花小檗种群特征的关系. 应用生态学报, 2013, 24(1): 63-70.
- [20] 杨其享,刘立强,秦伟,刁永强,赵忠晶,乌仁其米格,张博. 新疆野杏种群结构特征与健康评价. 生态学杂志, 2022, 41(1): 9-17.

- [21] 段新宇, 钱芮, 黄学文, 徐网谷, 王智, 吴红慧, 高英志. 大兴安岭森林草原过渡带典型植物群落动态变化特征. 生态学报, 2022, 42(20): 8374-8384.
- [22] 郝建锋, 周润惠, 姚小兰, 喻静, 陈聪琳, 向琳, 王姚瑶, 苏天成, 齐锦秋. 二代野猪放牧对夹金山针阔混交林物种多样性与土壤理化性质的影响. 植物生态学报, 2022, 46(2): 197-207.
- [23] 赵利萌, 张卫青, 徐新影, 李金霞, 田乾, 于红博, 李晓佳, 春风. 克氏针茅草原植物群落特征与物种生态位对放牧强度的响应. 中国草地学报, 2023, 45(4): 11-21.
- [24] 王姝文, 李文怀, 李艳龙, 严慧, 李永宏. 放牧家畜类型对内蒙古典型草原植物多样性和群落结构的影响. 植物生态学报, 2022, 46(8): 941-950.
- [25] Zhang R Y, Wang Z W, Han G D, Schellenberg M P, Wu Q, Gu C. Grazing induced changes in plant diversity is a critical factor controlling grassland productivity in the Desert Steppe, Northern China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018, 265: 73-83.
- [26] Garcia F, Carrère P, Soussana J F, Baumont R. Characterisation by fractal analysis of foraging paths of ewes grazing heterogeneous swards. *Applied Animal Behaviour Science*, 2005, 93(1/2): 19-37.
- [27] 刘金鑫, 宫渊波, 左琴, 陈林武, 房建佳, 刘珊珊. 山地牧道与植被空间异质性研究评述. 草业学报, 2012, 21(1): 254-261.
- [28] Hiltbrunner D, Schulze S, Hagedorn F, Schmidt M W I, Zimmermann S. Cattle trampling alters soil properties and changes soil microbial communities in a Swiss sub-alpine pasture. *Geoderma*, 2012, 170: 369-377.
- [29] Ganskopp D, Cruz R, Johnson D E. Least-effort pathways? : a GIS analysis of livestock trails in rugged terrain. *Applied Animal Behaviour Science*, 2000, 68(3): 179-190.
- [30] Ide Y, Miyashige T, Sato S, Shijimaya K. Grazing in secondary forest developed on abandoned field in southwestern Japan, 1: Characteristics of cattle tracks formed in secondary forest. *Journal of the Japan Grassland Society*, 2001, 47(2): 134-138.
- [31] 陈星, 赵联军, 胡茜茜, 罗春平, 梁春平, 蒋仕伟, 梁磊, 郑维超, 官天培. 基于地形的牲畜空间利用特征及干扰评价——以王朗国家级自然保护区为例. 生物多样性, 2019, 27(6): 630-637.
- [32] Dara A, Baumann M, Freitag M, Hlzel N, Kuemmerle T. Annual Landsat time series reveal post-Soviet changes in grazing pressure. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 239(15): 111667.
- [33] 王梦佳, 孙睿, 刘喆, 辛晓平, 刘刚, 张蕾, 乔晨. 基于遥感数据的呼伦贝尔草原放牧强度研究. 草业学报, 2017, 26(6): 28-36.
- [34] Hirata M. Quantifying spatial heterogeneity in herbage mass and consumption in pastures. *Journal of Range Management*, 2006, 53(3): 315-321.
- [35] Palmer S C F, Hester A J, Elston D A, Gordon I J, Hartley S E. The perils of having tasty neighbors: grazing impacts of large herbivores at vegetation boundaries. *Ecology*, 2003, 84(11): 2877-2890.