

# 伊犁河谷山地草甸群落特征和植物多样性 对封育年限的响应

陈茂, 马晓林, 陈路瑶, 巴雅尔塔\*

(伊犁师范大学 资源与生态研究所 生物科学与技术学院, 新疆 伊宁 835000)

**摘要:**本研究以伊犁河谷那拉提山地自然保护区不同封育年限草地为对象,对围栏条件下退化草地自然恢复过程中草地植被群落特征和物种多样性的变化进行初步分析。结果表明:随着封育年限的延长,不同群落特征对封育年限的响应不同,其他平均高度和生物量封育10年显著大于封育4年( $P<0.05$ ),密度封育4年显著大于封育10年( $P<0.05$ ),盖度封育4年与封育10年差异不显著( $P>0.05$ )。草地植物群落由未封育的杂草为主要物种逐步向以禾草为主要物种的方向演进。随着封育时间的延长物种数从放牧地的15种增加到41种后降低到34种。相关性分析表明群落特征与封育时间的相关性:高度 $>$ 生物量 $>$ 盖度 $>$ 物种数 $>$ 密度。通过对这些群落特征进行回归分析发现,高度、密度、盖度、物种数在9.7年、3.9年、6.2年、5.9年达到最大。封育第4年多样性指数和丰富度指数最大,但多样性指数封育4年和封育10年差异不显著( $P>0.05$ ),丰富度指数封育4年和封育10年差异显著( $P<0.05$ ),均匀度指数封育10年最大并且和封育4年差异显著( $P<0.05$ )。综合分析得出,那拉提山地草甸最佳封育时间为6~9年。

**关键词:**山地草甸;封育年限;群落特征;多样性

**中图分类号:**Q948.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1008-9659(2024)01-0057-10

围栏封育能最大限度降低人类活动和家畜活动对草地生态系统的破坏,使草地生态系统在无外界干扰的情况下依靠自身缓和能力进行修复,达到可持续发展<sup>[1]</sup>。封育改变群落物种组成结构,随着封育年限延长,禾本科植物代替杂草植物成为优势种,这种变化与植物生理生态特征的适应性有关<sup>[2]</sup>。由于各地区的环境、气候和植被群落结构有很大不同,将对封育年限有不同的响应情况。对南非、英国、美国的山地草甸进行调查可知,随着封育年限延长,草地群落特征逐渐趋向稳定,长期封育的效果相比4年以内的短期封育来说无太大的提高<sup>[3]</sup>。对青藏高原东北边缘地区高寒草甸封育响应的研究表明,封育使草地植被盖度、高度、出现的频度得到增加,随着封育时间的增加,多样性指数不升反降,3~4年为较佳封育年限<sup>[4-5]</sup>。内蒙古锡林郭勒盟南部半干旱草原在封育第14年植被盖度、密度和多样性最大<sup>[6]</sup>。这些研究在不同季节、不同地区、不同气候、不同地形、不同植被群落结构上进行,反映出草地群落对封育年限有不同的响应。

伊犁河谷天然草地总面积约3.42万 $\text{km}^2$ ,占伊犁河谷总面积的61.42%,草本植物的种类多达235种,是天山山脉地区物种最丰富的地区,伊犁河谷草地在经济功能、农业功能和生态功能上是新疆各草地类型中最高水平代表<sup>[7]</sup>。作为新疆最为重要的陆地生态系统之一,近年来,由于过度放牧,破坏草地群落生态系统结构与功能的稳定性,伊犁河谷草地发展不可持续<sup>[8]</sup>。那拉提山地草甸作为伊犁州退化草原的典型代表之一,主要以两种表现为主:一是有毒植物大量繁殖,家畜误食中毒;二是过度放牧导致高大优良牧草减少,小型密丛形植物增加,占据优质牧草的生长空间,造成牧草产草量下降<sup>[9]</sup>,对伊犁草地资源的保护刻不容缓。本研究为了更好地研究封育对伊犁河谷山地草甸群落的影响,收集不同封育年限下的群落特征参数,研究在

[收稿日期]2023-09-11

[修回日期]2023-09-29

[基金项目]国家大学生创新创业训练计划项目(202110764006;S202210764027);新疆维吾尔自治区普通高校人文社科重点项目(XJEDU08011B02)。

[作者简介]陈茂(1998-),男,重庆荣昌人,硕士研究生,主要从事草地生态学方面研究。

\*[通讯作者]巴雅尔塔(1966-),男,新疆昭苏人,副教授,主要从事生态学教学方面研究。

自然放牧、封育4年、封育10年的条件下山地草甸群落特征和多样性的变化对封育年限的反应,为伊犁河谷草地保护的最好封育年限的确定提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样地自然概况

本实验选择新疆维吾尔自治区伊犁哈萨克自治州新源县那拉提退化草地围栏封育站山地草甸类草原自然保护区(43°16'57"N,83°58'47"E,海拔1800~2100 m)作为样地。该区气候属温凉湿润、半湿润山地气候,年降水量600~800 mm,无霜期为80~110 d,年日照时数2400~2700 h,≥10℃积温低于1000 h。土壤类型为山地黑钙土、灰褐色森林土等,植被类型为禾草和杂类草,主要原生植被有鸭茅(*Dactylis glomerata*)、细叶早熟禾(*Poa pratensis*)、巨序剪股颖(*Agrostis gigantea*)、牛至(*Origanum vulgare*)等。新源县那拉提镇自1989年起建立山地草甸自然保护区,封育群草地至今尚未受到除草、灌溉、施肥等其他人为修复措施的干扰<sup>[10]</sup>。

### 1.2 实验设计

在实验区退化山地草甸封育群落中,按照封育时间将其划分为夏季放牧地群落、4年封育群落、10年封育群落,即3个区组。在各区组设置间隔≥30 m的3个20 m×20 m采样单元(cell),以钢钉固定采样区边界,每个采样单元设置6个1 m×1 m样方,即一个区组18个样方,共设置54个1 m×1 m样方。在样方内选取相同4株植物并用直尺测量株高,随后计算其平均值作为样方的高度,计算样方内所有相同植物类型总密度的密度,盖度采取目测估计法,按照功能群分为禾草、杂草、豆科,并收集地上生物量的样品一并置入65℃恒温烘干箱烘干12 h后称重。

### 1.3 数据分析

按物种调查的原始数据统计各个样地相对密度、相对盖度、相对频度,对每个样方计算各个物种的重要值。

$$\text{重要值}(IV):IV=(\text{相对盖度}+\text{相对密度}+\text{相对频度})/3 \quad (1)$$

选取以下指数进行多样性分析

Shannon-Wiener 多样性指数

$$H = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

Simpson 多样性指数

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S \left(\frac{N_i}{N}\right)^2 \quad (3)$$

Margalef 丰富度指数

$$D_m = \frac{S-1}{\ln N} \quad (4)$$

Pielou 均匀度指数

$$J = \frac{H}{\ln S} \quad (5)$$

式中, $S$ 为物种数, $N$ 为全部种个数, $N_i$ 为种 $i$ 的个体数, $P_i = \frac{N_i}{N}$ ,使用Excel2016和SPSS25运用单因素方差分析和最小显著差法对不同封育年限下生物群落各指标进行比较,使用Origin2021进行图行绘制,运用Python3.8的seaborn包绘制显著性热力图。

## 2 结果分析

### 2.1 封育年限对群落特征的影响

#### 2.1.1 高度、盖度、密度分析

图1给出那拉提山地草甸自然放牧条件和不同封育年限下植被密度、盖度和高度。由图1可知,植被的

密度呈现先升高后降低的趋势,从自然放牧的 257 株/m<sup>2</sup>增加到封育 4 年 290 株/m<sup>2</sup>,封育 10 年降低到 184 株/m<sup>2</sup>。单因素方差分析与最小显著差法分析检验表明自然放牧和封育 10 年植物的密度存在显著差异( $P < 0.05$ ),自然放牧和封育 4 年差异不显著( $P > 0.05$ ),封育 4 年与封育 10 年存在显著差异( $P < 0.05$ )。整体上看,随着封育年限的增加,植物盖度呈现先增加后降低的变化趋势,在自然放牧、封育 4 年、封育 10 年分别达到 41%、174%、158%,分析检验表明自然放牧与封育 4 年存在显著差异( $P < 0.05$ ),封育 4 年和封育 10 年差异不显著( $P > 0.05$ )。高度随着封育时间的增加而增加,自然放牧到封育 4 年和 10 年,从 5.7cm 增加到 37.4 cm 和 58 cm,自然放牧和封育 4 年存在显著差异( $P < 0.05$ ),封育 4 年和 10 年存在显著差异( $P < 0.05$ )。

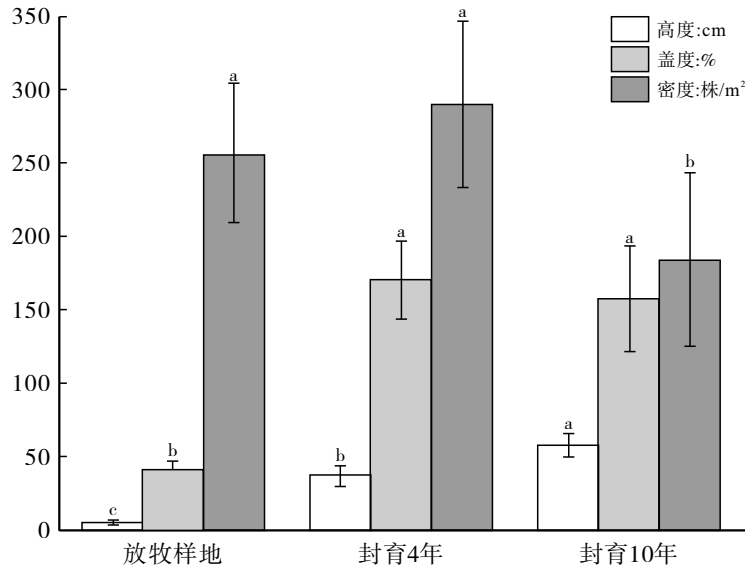


图1 不同封育年限植被密度和盖度分布状况

注:不同小写字母代表不同封育年限差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.1.2 植物群落频度分析

频度作为植物群落的重要特征之一,能表示植物群种类的均匀程度(图2)。根据 Raunkiaer 制定的频度分析表,将出现的植物种类频度划分为 5 个等级,频度 1%~20% 为 A 级,21%~40% 为 B 级,41%~60% 为 C 级,61%~80% 为 D 级,81%~100% 为 E 级。Raunkiaer 频度定律理想情况下物种数为  $A > B > C > D < E$ ,因为罕见种在群落中总是较多,E 级是群落中的优势种和建群种,一般情况下,E 级物种越多群落越均匀<sup>[11]</sup>。由图 2 可知,封育 4 年后 E 级物种数大于自然放牧和封育 10 年物种数,说明封育 4 年群落的均匀度大于封育 10 年。

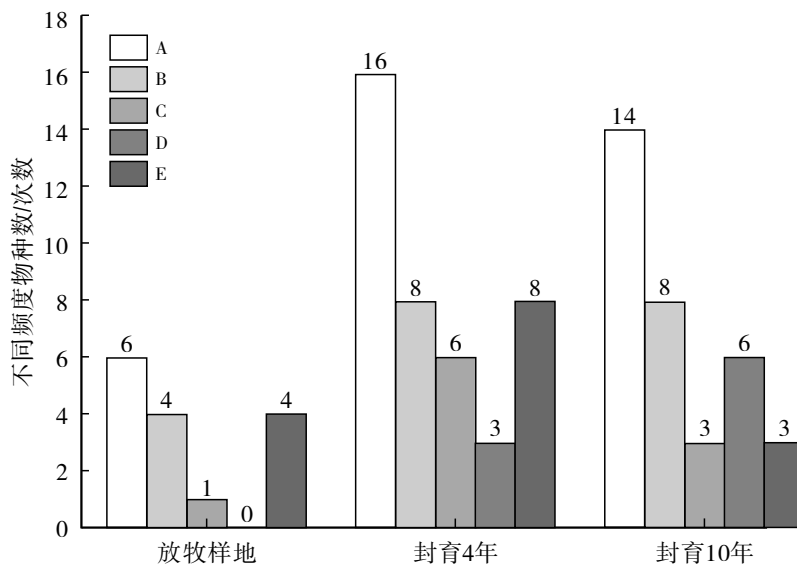


图2 不同封育年限频度分析图

## 2.1.3 封育对植物功能群生物量的影响

表1 不同封育年限生物量

功能群	禾草类 (g/m <sup>2</sup> )	杂草类 (g/m <sup>2</sup> )	豆科类 (g/m <sup>2</sup> )	总生物量 (g/m <sup>2</sup> )
自然放牧比例	58.5±26.0 64.8%	26.1±15.7 28.8%	5.7±2.9 6.4%	90.3±26.4a 100%
封育4年比例	84.1±43.0 31.1%	175.0±53.0 64.7%	11.6±5.8 4.2%	270.6±55.7b 100%
封育10年比例	218.0±54.8 63%	118.5±29.6 33.9%	11.3±6.5 3.1%	347.8±58.1c 100%

注:不同小写字母代表不同封育年限差异显著(P<0.05)。

山地草甸植被群落生物量随着封育年限的延长而增加,植被群落地上生物量呈现增加的趋势(表1),依次为90.3 g/m<sup>2</sup>、270.6 g/m<sup>2</sup>、347.8 g/m<sup>2</sup>。其中禾草的增加最为明显,从自然放牧的58.5 g/m<sup>2</sup>增加到封育10年的218.0 g/m<sup>2</sup>,杂草先从自然放牧的26.1 g/m<sup>2</sup>增加到175.0 g/m<sup>2</sup>后降低到118.5 g/m<sup>2</sup>。通过方差分析检验发现,总生物量自然放牧与封育4年存在显著差异(P<0.05),封育4年与封育10年差异显著(P<0.05),禾草和杂草比例的变化说明禾草类在随着封育年限的延长有较强的竞争力及恢复能力,而杂草类相反。

## 2.1.4 群落种类组成分析

调查植物群落种类组成(表2),自然放牧条件下山地草甸植物群落种有15种,分别属于7个科,其中禾本科和毛茛科各4种,蔷薇科3种,牻牛儿苗科、菊科、车前科、卫矛科均为1种。封育4年后植物群落由41种植物组成,分别属于20个科,其中禾本科和菊科6种,蔷薇科5种,毛茛科4种,唇形科、豆科、伞形科、车前科各2种,牻牛儿苗科、茜草科、列当科、大戟科、杜鹃花科、百合科、紫草科、蓼科、卫矛科、十字花科、沙草科、忍冬科各1种。封育10年后植物群落由34种植物组成,分别属于15个科,其中禾本科7种,毛茛科和菊科各4种,豆科3种,蔷薇科5种,唇形科、伞形科2种,牻牛儿苗科、茜草科、列当科、大戟科、杜鹃花科、百合科、紫草科、蓼科各1种。从表2的重要值和物种名得到自然放牧和不同封育年限物种组成和优势种发生明显变化。自然放牧下建群种为细叶早熟禾(*Poa angustifolia*),优势种为白三叶(*Trifolium repens*)、天山羽衣草(*Alchemilla tianschanica*)、山地蒲公英(*Taraxacum pseudoalpinum*),封育4年下建群种为细叶早熟禾(*Poa angustifolia*),优势种为蓍(*Achillea millifolium*)、天山羽衣草(*Alchemilla tianschanica*)、无芒雀麦(*Bromus japonicus*);封育10年下建群种鸭茅(*Dactylis glomerata*),优势种为箭头唐松草(*Thalictrum simplex*)、藨草(*Phalaris arundinaceae*)、细叶早熟禾(*Poa angustifolia*)。封育4年后物种比自然放牧增加26种,封育10年后物种比自然放牧增加19种,封育10年比封育4年物种数减少7种。自然放牧与封育4年下建群种均为细叶早熟禾(*Poa angustifolia*),自然放牧与封育4年相比,优势种只有天山羽衣草(*Alchemilla tianschanica*),其余发生改变;自然放牧与封育10年相比建群种和优势种都发生改变。优势种从自然放牧下的一种禾本科增加到封育4年和10年下两种禾本科。随着封育年限增加禾本科和豆科优良牧草的物种数明显增加。封育可能影响到植物物种重要值变化,有些物种的重要值明显增加,如箭头唐松草(*Thalictrum simplex*)、藨草(*Phalaris arundinaceae*);有些物种重要值明显减少甚至消失,如白三叶(*Trifolium repens*)。藨草(*Phalaris arundinaceae*)生长需要占据大量水肥,竞争能力强,藨草(*Phalaris arundinaceae*)自然放牧下重要值为0,封育4年、10年下重要值分别为1.54、10.35,由群落不存在物种到伴生种、亚优势种和一些小型杂草的消失以及重要值降低,表明随着封育年限的延长重要值发生变化,草地向以高大植物为主的生态系统发展。

表2 不同封育年限群落物种组成及重要值

物种	物种	重要值		
		自然放牧	封育4年	封育10年
细叶早熟禾	<i>Poa angustifolia</i>	24.26	13.30	5.63
鸭茅	<i>Dactylis glomerata</i>	1.24	0.75	12.58
无芒雀麦	<i>Bromus japonicus</i>	3.78	7.10	0.38
箭头唐松草	<i>Thalictrum simplex</i>	0.33	5.00	10.35

物种		重要值		
		自然放牧	封育4年	封育10年
天山羽衣草	<i>Alchemilla tianschanica</i>	21.28	9.90	4.04
蓍	<i>Achillea millifolium</i>	0.00	12.9	3.42
蒿草	<i>Phalaris arundinaceae</i>	0.00	1.54	10.35
牛至	<i>Origanum vulgare</i>	0.00	1.39	8.11
草原老鹳草	<i>Geranium pratense</i>	1.61	4.84	5.35
披碱草	<i>Elymus dahuricus</i>	0.00	1.00	5.26
广布野豌豆	<i>Vicia cracca</i>	0.00	0.00	4.56
白喉乌头	<i>Aconitum leucostomum</i>	2.70	0.25	4.21
大叶橐吾	<i>Ligularia macrophylla</i>	0.00	0.27	2.97
毛果蓬子菜	<i>Galium verum L. var. trachycarpum DC.</i>	0.00	2.43	2.91
野草莓	<i>Fragaria vesca</i>	0.00	7.00	2.61
野胡萝卜	<i>Daucus carota</i>	0.00	1.69	2.19
马先蒿	<i>Pedicularis verticillata</i>	0.00	1.42	1.81
山地蒲公英	<i>Taraxacum pseudoalpinum</i>	10.72	2.63	1.77
毛大戟	<i>Euphorbia pilosa</i>	0.00	0.12	1.59
鹿角草	<i>Glossogyne tenuifolia</i>	0.00	0.12	0.00
鹿蹄草	<i>Pyrola calliantha</i>	0.00	4.17	1.33
天山柴胡	<i>Bupleurum tianschanicum</i>	0.00	0.56	1.14
看麦娘	<i>Alopecurus aequalis</i>	2.94	1.96	1.11
橙花飞蓬	<i>Erigeron aurantiacus</i>	0.00	3.03	0.95
巨序剪股颖	<i>Agrostis gigantea</i>	0.00	0.00	0.89
伊犁黄耆	<i>Astragalus iliensis</i>	0.00	0.00	0.84
伊犁郁金香	<i>Tulipa iliensis</i>	0.00	0.24	0.72
新疆棘豆	<i>Oxytropis sinkiangensis</i>	0.00	4.18	0.65
旋果蚊子草	<i>Filipendula ulmaria</i>	0.00	0.16	0.59
红三叶	<i>Trifolium pratense</i>	0.00	0.87	0.53
勿忘我	<i>Myosotis alpestris</i>	0.00	1.18	0.40
红杆酸模	<i>Rumex rechingerianus</i>	0.00	0.36	0.35
准噶尔金莲花	<i>Trollius dschungaricus</i>	0.39	1.05	0.28
梅叶委陵菜	<i>Potentilla fragarioides</i>	0.00	0.33	0.25
白三叶	<i>Trifolium repens</i>	21.81	0.00	0.00
地榆梅	<i>Sanguisorba officinalis</i>	0.41	0.00	0.00
平车前	<i>Plantago depressa</i>	4.13	1.53	0.00
梅花草	<i>Parnassia palustris</i>	0.33	2.20	0.00
黄花苜蓿	<i>Medicago falcate</i>	0.00	0.19	0.00
芥	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	0.00	0.31	0.00
薊	<i>Cirsium japonicum</i>	0.00	0.12	0.00
细叶苔草	<i>Carex rigescens</i>	0.00	1.91	0.00
婆婆纳	<i>Veronica didyma</i>	0.00	0.24	0.00
新疆缬草	<i>Valeriana fedtschenkoi</i>	0.00	0.26	0.00
短柄野芝麻	<i>Lamium album</i>	0.00	0.14	0.00
多花毛茛	<i>Ranunculus polyanthemus</i>	0.44	2.26	0.25

## 2.1.5 群落特征与封育年限的相关性

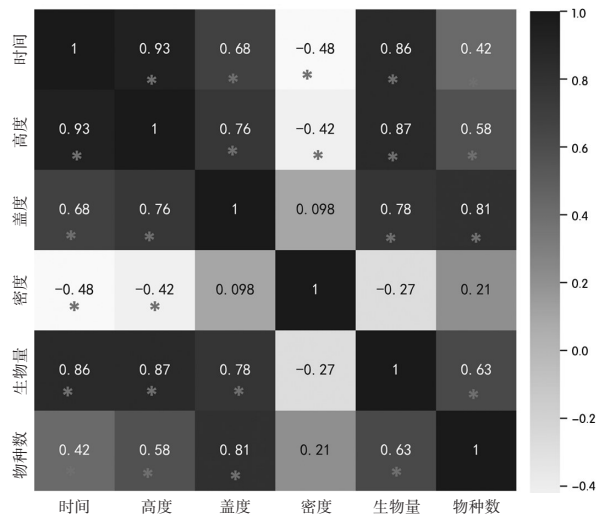


图3 封育年限与群落特征相关性热力分析图

注:\*为 $P < 0.05$ 相关性显著。

由热力分析图(图3)中的相关性可知植物群落特征与封育年限的相关性显著,高度和生物量为0.93和0.86,与封育年限呈显著高度正相关;盖度为0.6,与封育年限呈显著中度正相关;物种数和密度为0.42和-0.48,为显著弱相关并且密度为负相关。群落特征与封育年限的相关性:高度>生物量>盖度>物种数>密度,其中盖度与高度、生物量、物种数的相关性强,可能会导致封育时间超过10年后高度和生物量的变化趋势与盖度相同。

## 2.1.6 山地草甸群落特征与封育年限的回归分析

封育能使退化的草地生态系统得到恢复,有效改善过度放牧导致的群落特征降低,提高群落特征具体数值。但是封育到一定时间后群落特征逐渐稳定,有些群落特征还出现下降的趋势,因此封育时间不是越长越好,针对植被的高度、密度、盖度、物种组成数、生物量这些群落特征的统计分析,使群落的不同特征在合适的封育年限达到最大值,根据各类群落特征参数构建回归方程。对封育年限与植被平均高度、盖度、物种数和生物量进行回归分析发现,植被平均高度随封育年限延长而增加,存在线性回归关系(图4),生物量( $y_b=24.68x+120.89$ ,  $R^2=0.837$ )表明随封育年限延长,至少在封育10年内平均高度随着时间增加呈直线关系。但从群落盖度、生物量、密度和物种组成数来看,随着封育年限延长,这些特征参数呈一元二次曲线关系,对这些特征参数构建函数,计算出最大值就可以得到最合适的封育年限,对植物群落的高度( $y_h=-0.47x^2+9.16x+5.62$ ,  $R^2=0.92$ )、密度( $y_d=-2.58x^2+18.8x+257.556$ ,  $R^2=0.411$ )、盖度( $y_c=-3.59x^2+47.67x+41$ ,  $R^2=0.85$ )和物种种类组成数( $y_s=-0.347x^2+4.068x+6.389$ ,  $R^2=0.86$ )进行函数分析发现,植物群落的高度、密度、盖度,物种种类组成数符合二次方程。通过对二次方程求最大值得到 $x$ 为9.7、3.9、6.2、5.9时为函数的最大值,综上所述通过群落特征构建得到那拉提山地草甸最佳封育年限为6~8年最为合适。

## 2.2 封育对群落多样性的影响

从图5可以看出多样性指数和均匀度指数随着封育年限增加呈增加趋势,丰富度指数先增加后降低,均匀度指数在封育第10年达到最大,Pielou均匀指数为0.88,封育第4年Shannon-Wiener多样性指数、Simpson多样性指数和Margalef丰富度指数最大,分别为2.26、0.85、2.8。方差分析发现Shannon-Wiener多样性指数和Simpson多样性指数在自然放牧与封育4年下存在显著差异( $P < 0.05$ ),封育4年与封育10年下差异不显著( $P > 0.05$ )。Margalef丰富度指数表明在自然放牧与封育4年下存在显著差异( $P < 0.05$ ),在封育4年与封育10年下存在显著差异( $P < 0.05$ )。Pielou均匀度指数在自然放牧与封育4年下存在显著差异( $P < 0.05$ ),在封育4年与封育10年下差异不显著( $P > 0.05$ )。

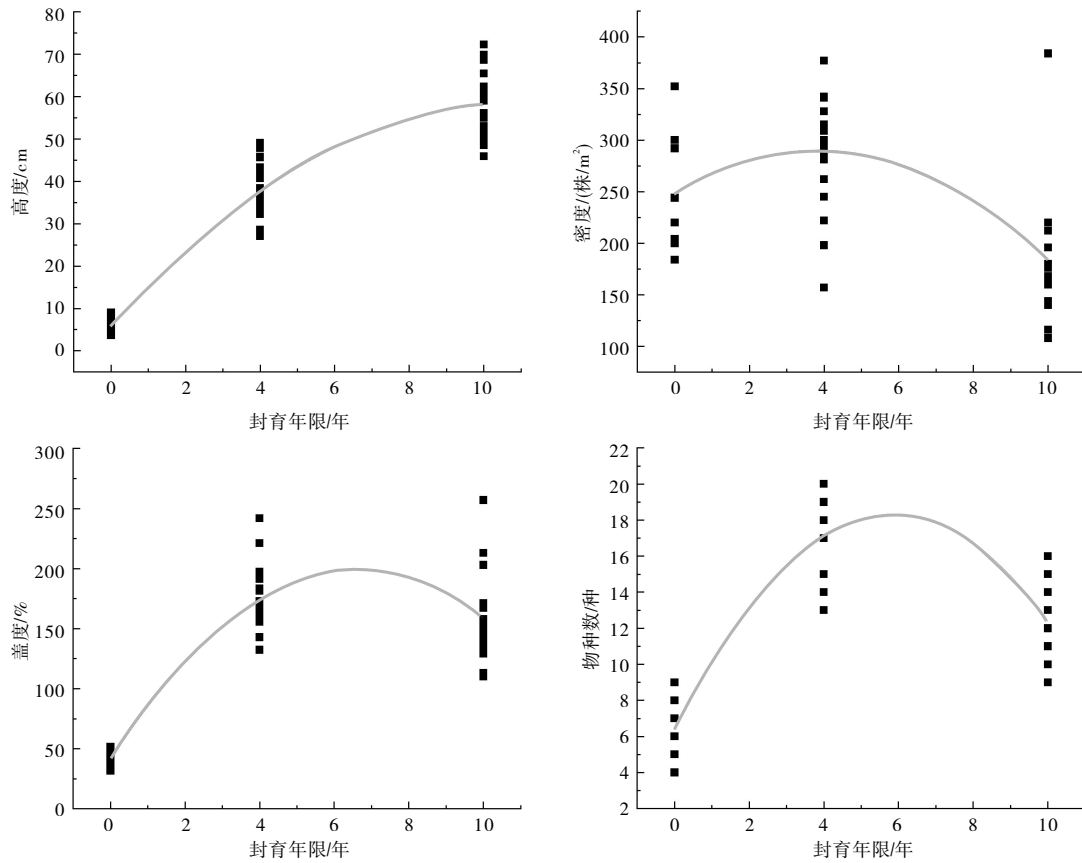


图4 封育年限与高度、密度、盖度、物种数之间的关系

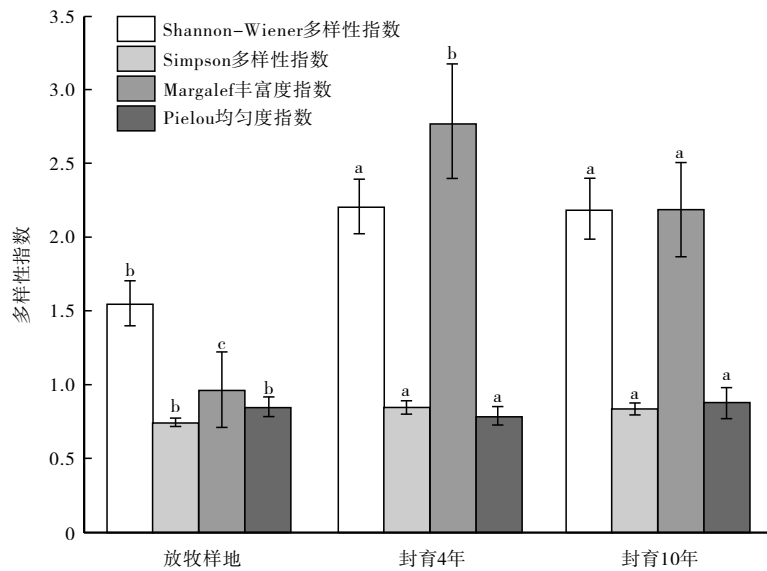


图5 自然放牧与不同封育年限物种多样性指数对比

注:不同小写字母代表不同封育年限差异显著( $P < 0.05$ )。

### 3 讨论

新源县那拉提山地草甸保护区由于特殊的地理位置和气候,以及近年来旅游开发和传统畜牧业发展导致大部分草场出现不同程度的退化,生态环境破坏日趋严重。通过研究围栏封育年限对山地草甸草地植被群落结构的影响发现,不论是地上生物量、植被密度、盖度,还是物种组成及群落物种多样性,围栏封育均能够起到恢复作用,但对封育年限的讨论尤为激烈。

### 3.1 不同封育年限植物群落特征变化因素

不同的封育时间对植被群落特征的影响不同,在4年封育下物种数和盖度优于10年封育。黄东月等人研究发现短期封育能有效减少人为和家畜干扰,提高土壤的水分、有机质含量,环境差异性能为不同生态习性的物种提供生存空间,使物种数不断增加,封育也为植物的种子提供保护,使其免受家畜的采食,使植物能够顺利完成种子繁衍<sup>[12]</sup>。随着封育时间的增加,在西北地区干燥低温的环境下,植物的枯落物和腐质大量堆积,分解缓慢,不利于植物利用,导致土壤含水量降低,从而导致植物生存空间缩小,更加重视对光能的利用,而低矮植物对草地空间资源及光能的利用能力低,不利于低矮植物的生长<sup>[13]</sup>。随着封育时间的延长,竞争能力更强的高大禾草成为群落的主要物种,植物群落的高度随着时间延长而增加,这与本研究中物种高度封育10年优于4年的结论一致。一般情况下杂草类植被具有较宽的叶片,大多处在第二生长层,随封育时间延长,杂草类植物会因具有较厚的覆盖物而不能得到充足的光照,进而失去竞争力。因为叶片较窄,高度高,获得光照大于杂草类,有利于禾草生长,导致群落以细长叶片的禾草为主要外观,群落的盖度出现下降<sup>[14-15]</sup>。封育10年总生物量大于封育4年,这与张义等人的研究是一致的<sup>[16]</sup>,余潇等人的研究表示由于该地处于半干旱气候和山地气候,掉落物的堆积,降水难以进入土壤,随封育年限延长,土壤含水量下降,禾草种子萌发形成幼苗很少,禾草主要依靠分蘖繁殖,导致禾草株丛大型化,禾草生物量显著提高<sup>[17]</sup>。该研究与本研究同处西北山地,气候较为一致,这可能是导致禾草在封育第10年大量增加的原因。封育10年后群落以禾草为优势种,在测量禾草密度时以丛为密度单位,而不是按株计算,禾草分蘖生长占据有限生存空间,导致杂草物种减少或消失,密度必然出现下降。

### 3.2 不同封育年限植物多样性变化因素

作为维持草地生态系统稳定和生产力基础之一的物种多样性<sup>[18]</sup>,有关封育与物种多样性关系的研究较多,由于影响多样性的因子繁多并且复杂,研究结果也有较大差异。国内学者认为对退化山地草甸长期封育会减少物种多样性<sup>[19-20]</sup>。而国外对南澳大利亚低矮灌丛植被的研究表明长期封育对植物多样性有良好的影响<sup>[21]</sup>。Cardinale认为不仅封育时间能影响植物多样性,植物组成,生长的环境以及草地退化程度都能影响植物多样性<sup>[22]</sup>。在封育措施保护下导致不同的封育时间土壤的水分、板结程度、微量元素的含量有所不同,罗亚勇等人的研究表明在土壤含水量、全N、全P呈与多样性显著正相关<sup>[23]</sup>。刘晓琴的研究中封育时间延长后土壤的含水量下降<sup>[24]</sup>。闫成才等人的研究中封育13年后土壤含水量、全N、速效P都出现了下降<sup>[25]</sup>。可见封育时间与土壤理化性质并不呈正相关。本研究中封育后的多样性指数、丰富度指数并没有随着封育时间延长而增加,封育5年条件下的指数大于封育10年下,除了封育导致的土壤变化情况外,自然放牧状态下,由于家畜的采食,抑制早熟禾(*Poa angustifolia*)、鸭茅(*Dactylis glomerata*)、野豌豆(*Vicia cracca*)等高营养适口的禾草和豆科的生长,不适口杂草类植物和毒类杂草在自然放牧状态下受到的抑制比较小,封育后消除了家畜的干扰,有利于植物的生长,体型较小的杂草在封育开始时竞争能力强,因此小型杂草大量繁殖,而且对土壤种子库起到保护作用,所以多样性指数和丰富度指数在封育早期达到最大<sup>[26-27]</sup>。随着群落内物种达到一定数量后,对资源的利用达到平衡,种间资源竞争平稳,群落趋于稳定<sup>[28]</sup>,群落中的优势种的地位提升,优势种竞争力继续增强,群落中的劣势种或偶见种逐渐减少甚至消失,物种丰富度和多样性降低。可见植物多样性变化是多种因素导致的,其中既有土壤等外因也有植物生理特性,封育年限只是其中一项。

### 3.3 长期封育下有害草的繁殖

白喉乌头和唐松草作为有害毒草,封育10年相比,自然放牧和封育4年条件下不仅没有消失,而且在群落中优势度还出现上升,有毒杂草的繁殖也是当下伊犁河谷地区面临的严重问题之一<sup>[29-30]</sup>。唐松草(*Thalictrum simplex*)和白喉乌头(*Aconitum leucostomum*)在封育10年后重要值提高,白喉乌头(*Aconitum leucostomum*)等有毒草的繁殖出现在封育4年是因为长期的超载放牧导致草原毒害草增生,但封育10年后重要值下降后一度增加。一些学者认为封育能有效防止毒草的蔓延<sup>[31-32]</sup>,从其他学者对白喉乌头(*Aconitum leucostomum*)和唐松草(*Thalictrum simplex*)生长和繁殖特征的研究可以得出出现此类情况的原因:白喉乌头和唐松草的生活史类似于禾草,并且返青早、生长快。在土壤20~30cm地方的种子库最大,能避免家畜的践踏,抗化学与生物除草剂的能力强,适合生长在干旱少雨地区,竞争能力强于蒲公英(*Taraxacum pseudoalpinum*)和羽衣草(*Alchemilla tianschanica*)等小型草类<sup>[33-35]</sup>,唐松草和白喉头高度和叶面积优于其他杂草类,获得的光能强于



其他杂草,在长期封育后成为优势种杂草。加上封育10年土壤的变化可能适合白喉乌头和唐松草的生长,并且文章研究样地未进行除草、喷洒农药等人为活动,封育防止了家畜对幼苗的践踏,将这几结合起来,可能是导致长期封育下毒害杂草优势度不降反增的原因。

#### 4 结论

文章通过对植被群落的特征和多样性具体值和方差分析植物群落的密度、盖度、物种数、Shannon-Wiener多样性指数、Simpson多样性指数和Margalef丰富度指数得到封育4年优于封育10年的效果,通过高度、生物量、Pielou均匀指数的分析得出封育10年优于封育4年。通过相关性热力图的分析发现,盖度与其他群落特征有中强度正相关并且根据群落特征构建的曲线方程中盖度在超过6年后出现下降,其他群落特征超过10年后可能也会出现相似情况。Pielou均匀指数和体现群落均匀性的植物种出现频度、Simpson多样性指数出现矛盾,这需要对更长的封育时间植物群落进行研究。通过重要值的变化,草地植物群落随着封育时间的延长从未封育的杂草为主要物种逐步向以禾草为主要物种的方向演进后趋于稳定,群落的多样性和丰富度出现下降。综上,长期封育不适合对那拉提山地草甸的保护,封育时间控制在6~9年最佳。

#### 参考文献:

- [1] 张雅娴,樊江文,李愈哲,等. 短期围栏封育后再利用对草地植物群落的影响[J]. 生态学报,2023,43(08):3295-3306.
- [2] 姜安静,董乙强,阿斯太肯·居力海提,等. 围栏封育对温性荒漠和温性草原草地植物群落特征的影响[J]. 新疆农业大学学报,2021,44(06):448-454.
- [3] WESTOBY M, WALKER B W, NOY-MEIR I. Opportunistic Management for Rangelands Not at Equilibrium[J]. Journal of Range Management, 1989, 42(04):266-274.
- [4] 苗福泓,郭雅婧,缪鹏飞,等. 青藏高原东北边缘地区高寒草甸群落特征对封育的响应[J]. 草业学报,2012,21(03):11-16.
- [5] 詹天宇. 青藏高原高寒草地生态系统对放牧和围栏封育的响应研究[D]. 成都:成都理工大学,2021.
- [6] 单贵莲,徐柱,宁发,等. 围封年限对典型草原群落结构及物种多样性的影响[J]. 草业学报,2008,17(06):1-8.
- [7] 克力干拜. 伊犁州直草地资源及其改良建设的探讨[J]. 草业科学,2007,(09):29-33.
- [8] 李建伟,罗志娜,张生楹,等. 围栏封育对伊犁河谷中山带退化草地改良效果研究[J]. 中国草食动物科学,2017,37(05):6.
- [9] 史志诚,王亚洲. 中国西部草地重要有毒植物研究的新进展[C]//中国草学会. 我国2003年草原病虫鼠害发生与防治情况以及2004年发生趋势预测与防治对策研讨会论文集.《中国生物防治》编辑部,2004:4.
- [10] 范天文,闫凯,靳瑰丽. 伊犁河谷天然草地退化现状及修复措施[J]. 草业科学,2008,(03):22-25.
- [11] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海:华东师范大学出版社,2001.
- [12] 黄东月,毕玉芬,殷振华. 封育条件下云南退化山地草甸物种多样性的研究[J]. 云南农业大学学报,2009,24(01):8-11.
- [13] 左万庆,王玉辉,王风玉,等. 围栏封育措施对退化羊草草原植物群落特征影响研究[J]. 草业学报,2009,18(03):12-19.
- [14] 李艳龙,石椿珺,王昊,等. 放牧强度对内蒙古典型草原群落结构和家畜生产性能的影响[J]. 草地学报,2023,31(03):844-851.
- [15] 王卫,冉华荣,安沙舟,等. 那拉提山地草甸合理放牧强度研究[J]. 新疆农业科学,2018,55(03):556-563.
- [16] 张义,苏纪帅,程积民. 长期封育演替下典型草原植物群落生产力与多样性关系[J]. 植物生态学报,2022,46(02):12.
- [17] 于潇,刘金银,于应文. 封育对兰州北部荒漠化草原植被构成及物种多样性的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学版),2022,(04):37.
- [18] 宋明华,刘丽萍,陈锦,等. 草地生态系统生物和功能多样性及其优化管理[J]. 生态环境学报,2018,27(06):10.
- [19] 马玉寿,郎百宁,王启基. “黑土型”退化草地研究工作的回顾与展望[J]. 草业科学,1999,(02):5-9.
- [20] 周华坤,周立,赵新全,等. 江河源区“黑土滩”型退化草场的形成过程与综合治理[J]. 生态学杂志,2003,(05):51-55.
- [21] MEISSNER R A, FACELLI J M. Effects of Sheep Exclusion on the Soil Seed Bank and Annual Vegetation in Chenopod Shrublands of South Australia[J]. Journal of Arid Environments, 1999,42(02):117-128.
- [22] CARDINALE, BRADLEY J, WRIGHTT, et al. Impacts of Plant Diversity on Biomass Production Increase Through Time Because of Species Complementarity[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007, 104(46):123-128.
- [23] 罗亚勇,孟庆涛,张静辉,等. 青藏高原东缘高寒草甸退化过程中植物群落物种多样性、生产力与土壤特性的关系[J]. 冰川冻土,2014,36(05):1298-1305.

- [24] 刘晓琴,张翔,张立锋,等. 封育年限对高寒草甸群落组分和物种多样性的影响[J]. 生态学报,2016,36(16):5150-5162.
- [25] 闫成才,王域,杨志峰,等. 围栏封育对天山南坡中段草甸草原植物多样性和土壤理化性质的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医,2021,(13):91-96.
- [26] 毛绍娟,吴启华,祝景彬,等. 藏北高寒草原群落维持性能对封育年限的响应[J]. 草业学报,2015,24(01):21-30.
- [27] 周国英,陈桂琛,徐文华,等. 围栏封育对青海湖地区芨芨草草原生物量的影响[J]. 干旱区地理,2010,33(03):434-441.
- [28] 聂莹莹,陈金强,辛晓平,等. 呼伦贝尔草甸草原区主要植物种群生态位特征与物种多样性对封育年限响应[J]. 草业学报,2021,30(10):15-25.
- [29] 李璇,林峻. 新疆草原毒害草监测与防治技术[J]. 新疆林业,2022,(02):37-41.
- [30] 黄菊英,崔东,刘淑琪,等. 伊犁草原白喉乌头根和叶生态化学计量特征[J]. 草原与草坪,2023,43(04):27-35.
- [31] 陈净彤,安沙舟,王卫,等. 不同防除措施对那拉提草地群落的影响[J]. 新疆农业科学,2012,49(07):1334-1341.
- [32] 方玉平,常静,马龙. 新源县防除草原白喉乌头毒害草的措施和成效[J]. 农家参谋,2021,(04):189-190.
- [33] 罗开雷. 白喉乌头生物学特性及其防除的研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2006.
- [34] 王显瑞,安沙舟,张鲜花. 白喉乌头种群生长动态初步研究[J]. 草业科学,2010,27(06):32-37.
- [35] 李琳. 小兴安岭唐松草物候观测[J]. 中国林副特产,2020,(03):81-82.

## The Response of Community Characteristics and Plant Diversity to Enclosure Years in the Nalati Mountain Meadow

CHEN Mao, MA Xiao-lin, CHEN Lu-yao, BAYAERTA\*

(College of Biological Science and Technology, Institute of Resources and Ecology, Yili Normal University, Yining, Xinjiang, 835000, China)

**Abstract:** A preliminary analysis was conducted on the changes in grassland vegetation community characteristics and species diversity during the natural restoration process of degraded grasslands under enclosure conditions in the Nalati Mountain Nature Reserve of the YILI River Valley. The results showed that as the closure period extended, the response of different community characteristics to the closure period varied. The average height and biomass of other community characteristics were significantly higher after 10 years of closure than after 4 years ( $P < 0.05$ ), and the density was significantly higher after 4 years of closure than after 10 years ( $P < 0.05$ ). The difference in coverage between 4 years of closure and 10 years was not significant ( $P > 0.05$ ). The grassland plant community has gradually evolved from uncultivated weeds as the main species to grasses as the main species. With the extension of enclosure time, the number of species increased from 15 to 41 in grazing areas and then decreased to 34. The correlation analysis shows that the correlation between community characteristics and enclosure time is height>biomass>coverage>species number>density. Through regression analysis of these community characteristics, height, density, coverage, and species number reached their maximum in 9.7, 3.9, 6.2, and 5.9 years. The diversity index and richness index were the highest in the fourth year of enclosure, but the difference in diversity index between 4 and 10 years was not significant ( $P > 0.05$ ). The difference in richness index between 4 years and 10 years of closure was significant ( $P < 0.05$ ), and the evenness index was the highest in 10 years of closure and the difference was significant ( $P < 0.05$ ). Based on comprehensive analysis, the optimal enclosure time for Nalati Mountain Meadows is 6~9 years.

**Keywords:** Mountain meadow; Number of years of confinement; Community characteristics; Diversity