

禁牧对伊犁绢蒿种群数量特征及其 构件生物量分配的影响

聂婷婷¹, 董乙强^{1,2,3*}, 杨合龙^{1,2,3}, 安沙舟^{1,2,3}, 崔国盈⁴, 张勇娟⁴

(1 新疆农业大学 草业学院, 乌鲁木齐 830052; 2 新疆草地资源与生态自治区重点实验室, 乌鲁木齐 830052; 3 西部干旱区草地资源与生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830052; 4 乌鲁木齐市林业和草原局, 乌鲁木齐 830092)

摘 要: 该研究于 2020 年 5 月、7 月和 9 月在天山北坡中段试验区的禁牧区(5a)和放牧区分别进行调查采样, 测定分析不同月份禁牧区和放牧区伊犁绢蒿种群数量特征(高度、盖度、密度和生物量)及构件(茎、叶、根)生物量, 以揭示植物种群特征和构件生物量对禁牧的响应规律, 为退化草地的修复治理以及合理利用提供依据。结果表明: (1) 与放牧区相比, 5 月、7 月、9 月禁牧区的伊犁绢蒿种群的高度、盖度和生物量均显著增加($P < 0.05$), 其中高度增幅为 69.90%~95.53%, 盖度增幅为 186.53%~297.82%, 生物量增幅为 86.24%~631.83%。(2) 随着月份的推移, 禁牧区与放牧区伊犁绢蒿单株生物量、茎生物量和叶生物量均呈先降后增的变化趋势, 而根生物量呈增加的趋势; 禁牧改变了植株构件比例, 与放牧区相比, 禁牧区茎、叶的生物量所占单株生物量的比例在 7 月、9 月均显著增加, 而根生物量所占比例显著降低。研究认为, 禁牧有利于地上植被的恢复, 使其构件结构改变, 是恢复退化荒漠草地植物的有效措施。

关键词: 禁牧; 伊犁绢蒿; 构件生物量; 生物量分配

中图分类号: Q948.12; Q948.15⁺4

文献标志码: A

Effects of Grazing Exclusion on the Population Characteristics of *Seriphidium transiliense* and Its Component Biomass Allocation

NIE Tingting¹, DONG Yiqiang^{1,2,3*}, YANG Helong^{1,2,3}, AN Shazhou^{1,2,3},
CUI Guoying⁴, ZHANG Yongjuan⁴

(1 College of Grassland Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2 Xinjiang Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology, Urumqi 830052, China; 3 Key Laboratory of Grassland Ecology and Resources in Western China, Urumqi 830052, China; 4 Urumqi Forestry and Grassland Bureau, Urumqi 830092, China)

Abstract: The study was conducted in May, July and September 2020 in the grazing exclusion plots (5 a) and grazing plots of the experimental area in the middle part of the northern slope of Tianshan Mountains. The quantitative characteristics (height, cover, density and biomass) and component (stem, leaf and root) biomass of *Seriphidium transiliense* in the grazing exclusion plots and grazing plots in different months were measured and analyzed to reveal the characteristics of plant populations and component biomass in response to the grazing exclusion, and to provide a basis for the restoration and rational use of degraded grassland. The results showed that: (1) compared with the grazing plots, the height, coverage and bio-

收稿日期: 2022-05-30; 修改稿收到日期: 2023-03-07

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2020D01B29)

作者简介: 聂婷婷(1996—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事草地资源与生态研究。E-mail: 1783239058@qq.com

* 通信作者: 董乙强, 博士, 硕士研究生导师, 主要从事草地资源与生态研究。E-mail: xjdyq1210@163.com

mass of *S. transiliense* in the grazing exclusion plots increased significantly ($P < 0.05$) in May, July and September, with the increase in height ranging from 69.90% to 95.53%, the coverage ranging from 186.53% to 297.82% and biomass ranging from 86.24% to 631.83%, respectively. (2) As the months progressed, the single plant biomass, stem biomass and leaf biomass of *S. transiliense* showed decreasing and then increasing trend in both the grazing exclusion plots and grazing plots, while root biomass showed an increasing trend. The grazing exclusion changed the proportion of plant components, with the proportion of stem and leaf biomass to plant biomass increasing significantly in July and September, while the proportion of root biomass decreased significantly in the grazing exclusion plots compared to the grazing plots. The study concluded that grazing exclusion facilitates the recovery of above-ground vegetation, which changes its building block structure, and is an effective measure to restore vegetation in degraded desert grasslands.

Key words: grazing exclusion; *Seriphidium transiliense*; component biomass; biomass allocation

新疆地处亚欧大陆腹地,地形封闭,受温带大陆性气候的影响,气候干旱少雨,导致荒漠草地分布广泛,其中以伊犁绢蒿(*Seriphidium transiliense*)为优势种的荒漠草地面积为 $114.34 \times 10^4 \text{ hm}^2$,约占全疆荒漠草地总面积的 4.25%^[1-2],在新疆天然草地中占据着十分重要的生态、经济和社会地位。伊犁绢蒿具有耐牧性强、产草量高、适口性好等特点,是新疆荒漠草地中饲用价值最高的牧草之一,蒿类荒漠作为春秋季节牧场,是当地畜牧业发展的重要物质基础^[3]。然而,由于过度放牧和草地管理不善等原因,导致部分伊犁绢蒿荒漠急剧退化,进而产生了一系列生态问题,不仅阻碍植被的生长,对生态系统的功能和生物多样性也造成了严重的威胁^[4]。如董乙强等^[5]研究发现,由于人们超载利用草地资源,导致绢蒿属荒漠群落高度、盖度、生物量和多样性降低。因此,修复改良退化荒漠草地已经成为急需解决的生态问题之一。目前,禁牧被认为是修复退化草地的有效方式之一^[6-7],因其经济有效、简单易操作而被广泛应用到退化草地的恢复实践中。崔雨萱等^[8]研究表明封育增加了蒿类荒漠草地的地上活体生物量、凋落物生物量及地下生物量。董楚珺等^[9]指出禁牧改善了群落植被的生长状况,促进了伊犁绢蒿荒漠草地的恢复。前人关于禁牧对草地影响的研究多集中在草地植物群落特征、土壤特性等方面^[10-12],而植物构件生物量对禁牧的响应研究较少^[13-15],尤其是蒿类荒漠。因此,了解禁牧对伊犁绢蒿构件生物量分配的影响具有重要意义。

植物构件生物量不仅表现了生态系统物质循环和能量流动的功能,对生态系统结构的构建也起了重要作用^[16],其分配是指植物生长和正常发育繁殖中所同化的资源用于根、茎、叶等各类器官的比例^[17],在一定程度上反映出植物对特定环境的选择

适应^[18],同时,它反映了生态系统中的物质循环及能量流动等过程,具有重要的生态学意义^[19]。近年来,国内外学者对不同生态类型植物的生物量分配情况进行了研究,但是由于受到降水量、放牧方式以及草地类型等不同因素的影响,禁牧对于植被种群特征和构件生物量分配情况的研究结果尚存在分歧^[20-21]。如金艳强等^[14]研究表明,禁牧明显降低了稀树灌草丛林下植被的地上、地下生物量比例,而崔猛等^[22]指出,在干旱胁迫下,不同放牧方式对植物地下、地上生物量的影响均不显著。基于以上认识,本研究以伊犁绢蒿荒漠为研究对象,在禁牧区与放牧区伊犁绢蒿种群特征,植物构件生物量及分配情况测定与分析的基础上,阐明植物种群特征和构件生物量对禁牧的响应规律,旨在为退化草地的恢复治理与科学经营管理等方面提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于新疆天山北坡中段呼图壁县($43^{\circ}58'N, 86^{\circ}32'E$,海拔约 978 m)国家级草原固定监测点,地处欧亚大陆腹地,准噶尔盆地南缘,属于温带大陆性干旱气候,夏季炎热,冬季寒冷,年平均温度 $6.7^{\circ}C$,年降水量 167 mm 左右,其中 4~8 月约占 60%。研究区植被是典型的蒿类荒漠,优势种为伊犁绢蒿(*S. transiliense*),伴生种有弯果葫芦巴(*Trigonella hamosa*)、角果毛茛(*Ceratocephalus orthoceras*)、角果藜(*Ceratocarpus arenarius*)以及木地肤(*Kochia prostrata*)等。土壤类型为灰棕荒漠土,且表土有一定裸露及践踏现象,属中度退化草地。

1.2 试验设计

在研究区内选取植被类型、地形地貌等自然条件基本相同的 2 个区域,设置为禁牧区(grazing ex-

clusion plots, GE)和自由放牧区(grazing plots, FG),其内部各设置3个小区,每个小区面积为200 m×200 m,间隔50 m以上。该研究区为传统的春秋牧场,以放牧绵羊为主,放牧强度为0.6~1.0只/hm²^[23]。禁牧区自2015年开始设置围栏,至采样时已禁牧5 a。于2020年5月、7月和9月进行野外植被调查与取样,分别在禁牧区和放牧区内进行取样,样方间隔50 m以上,共计18个样方。

1.3 样品采集与测定方法

调查时记录每个小样方内伊犁绢蒿的自然高度(cm)、密度(株/m²)、盖度(%)及生物量(g/m²)。其中高度采用直接测量法测定,盖度采用针刺法测定,密度采用直接计数法测定,最后齐地面刈割样方内所有伊犁绢蒿,并将其置于信封袋中,带回实验室于105℃杀青30 min后放入烘箱80℃烘至恒重后称测干重。

在禁牧区和放牧区分别随机挖取30棵完整的伊犁绢蒿植株,并带回实验室。将地上部分按茎、叶等分开,再将植株根用清水冲洗干净,各构件于105℃杀青30 min后放入烘箱80℃烘干至恒重,称量并记录伊犁绢蒿各构件的干重。

1.4 数据处理

用Excel 2010对数据进行预整理,利用SPSS 25软件进行二因素方差分析(two-way ANOVA),得到禁牧、月份间动态变化的主效应及两者交互作用,再对交互作用显著的测度指标进行单因素方差分析,最后用Origin 2021绘图。

2 结果与分析

2.1 禁牧与不同月份对伊犁绢蒿群落特征和各构件生物量的影响

二因素方差分析结果(表1)表明:禁牧与不同月份间伊犁绢蒿的群落平均高度、总生物量,以及单株生物量、茎生物量、叶生物量具有极显著的交互作用($P<0.01$)。禁牧对伊犁绢蒿种群平均高度、盖度、密度、生物量,以及单株、各构件生物量和比例均有显著影响($P<0.01$);各月之间除伊犁绢蒿种群盖度、密度外的其他测度指标差异显著($P<0.01$)。

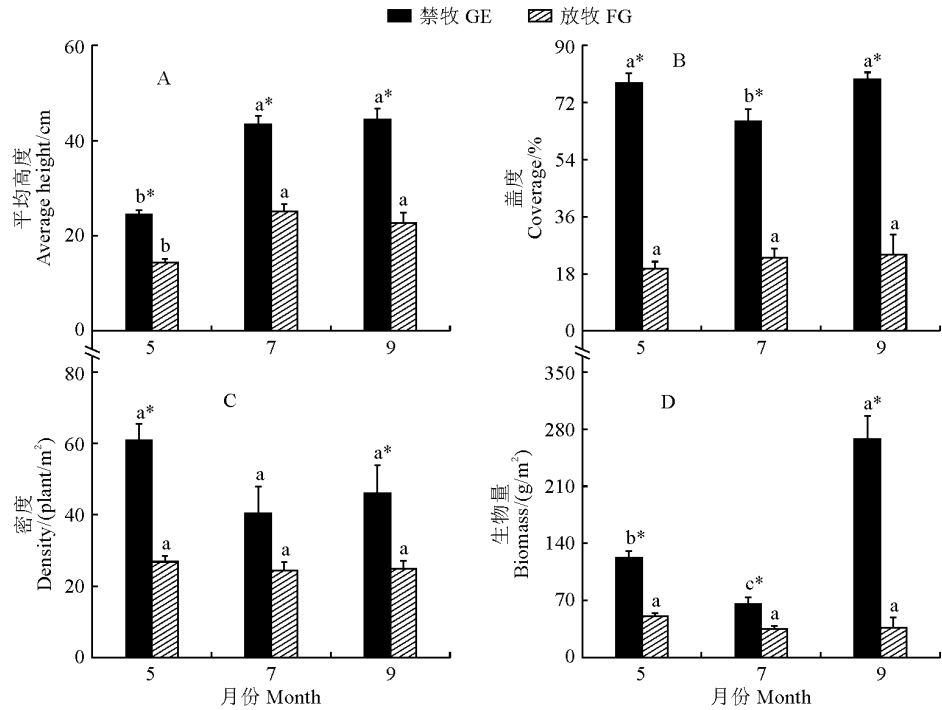
2.2 禁牧对伊犁绢蒿种群数量特征的影响

同一月份下,禁牧区伊犁绢蒿种群平均高度、盖度以及生物量相较于放牧区均有显著增加。其中禁牧区伊犁绢蒿种群高度在5、7、9月分别增加了69.90%、72.60%和95.53%($P<0.05$)(图1,A);盖度在5、7、9月比放牧区分别增加了297.82%、186.58%和230.73%($P<0.05$)(图1,B);禁牧区伊犁绢蒿种群的生物量在9月份最高,为268.29 g/m²,比同月放牧区显著增加631.83%,5月和7月分别显著增加了140.74%和86.24%(图1,D)。禁牧后伊犁绢蒿种群密度呈增加趋势,增幅为66.12%~126.60%,且在5月、9月表现出显著差异($P<0.05$)(图1,C)。

在相同禁牧与放牧条件下,伊犁绢蒿种群平均高度在不同月份之间的动态差异变化趋势一致,其中禁牧区种群平均高度在7月、9月相较于5月显著

表1 禁牧和不同月份对伊犁绢蒿群落特征、各构件生物量影响的二因素方差分析

Table 1 Two-way ANOVA on community characteristics and biomass of each component of <i>Seriphidium transiliense</i> under grazing exclusion and different months									
变量 Variable	禁牧 Grazing exclusion			不同月份 Different months			禁牧×不同月份 Grazing exclusion×Different months		
	df	F	P	df	F	P	df	F	P
平均高度 Average height	2	127.30	0.00	2	85.41	0.00	4	6.35	0.00
盖度 Coverage	2	174.53	0.00	2	1.00	0.37	4	1.67	0.16
密度 Density	2	22.15	0.00	2	2.54	0.08	4	1.48	0.21
总生物量 Biomass	2	110.96	0.00	2	26.07	0.00	4	27.19	0.00
单株生物量 Biomass per plant	2	190.63	0.00	2	54.75	0.00	4	6.55	0.00
茎生物量 Stem biomass	2	181.59	0.00	2	62.83	0.00	4	4.27	0.00
叶生物量 Leaf biomass	2	126.22	0.00	2	88.15	0.00	4	5.21	0.00
根生物量 Root biomass	2	14.48	0.00	2	12.08	0.00	4	2.32	0.06
茎比例 Stem proportion	2	12.99	0.00	2	22.02	0.00	4	1.07	0.38
叶比例 Leaf proportion	2	6.21	0.00	2	38.98	0.00	4	1.14	0.35
根比例 Root proportion	2	19.76	0.00	2	51.99	0.00	4	1.78	0.14



* 表示同月份禁牧和放牧之间的差异显著 ($P<0.05$);不同小写字母表示禁牧区(放牧区)在不同月份之间的动态差异,下同

图1 禁牧对伊犁绢蒿种群特征的影响

* indicates that there is significant difference between grazing exclusion and grazing in the same month ($P<0.05$); Different normal letters indicate the dynamic differences between different months in the grazing exclusion area (the grazing area); the same as below

Fig. 1 The effect of grazing exclusion on the population quantitative characteristics of *S. transiliense*

增加了 77.34%、81.42%，放牧区显著增加了 74.6%、57.67%；禁牧区植被平均盖度在 7 月相对降低 ($P<0.05$)，但在放牧区差异不显著。此外，禁牧区生物量在不同月份之间的动态差异变化明显，在 9 月高达 268.29 g/m²，比 7 月 (65.32 g/m²) 显著增加了 310.73%。

2.3 禁牧对伊犁绢蒿单株生物量的影响

图 2 显示，在相同月份，伊犁绢蒿单株生物量在禁牧后均显著增加。5 月单株生物量为 40.99 g，7 月单株生物量为 32.85 g，9 月单株生物量为 49.25 g，较放牧区分别显著增加了 56.63%、154.06% 和 133.52% ($P<0.05$)。

伊犁绢蒿单株生物量，禁牧区与放牧区各月间变化亦具有显著差异。5~9 月份禁牧区和放牧区伊犁绢蒿单株生物量都呈先降后升的变化趋势，但在禁牧区单株生物量依次是：9 月>5 月>7 月，放牧区则是：5 月>9 月>7 月 (图 2)。

2.4 禁牧对伊犁绢蒿单株茎生物量及其比例的影响

图 3 显示，禁牧后 5 月、7 月、9 月伊犁绢蒿单株茎的生物量相较于放牧区均显著增加 ($P<0.05$)，增幅为 80.56%~279.60%，其茎生物量占整株生物

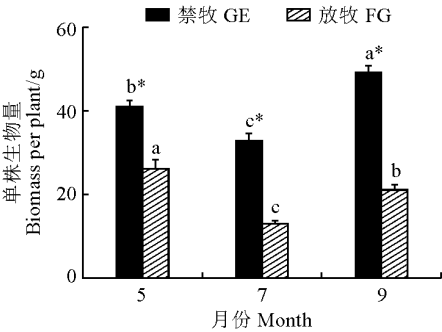


图2 禁牧对伊犁绢蒿单株生物量影响

Fig. 2 Effect of grazing exclusion on single plant biomass of *S. transiliense*

量比例在 7 和 9 月分别提高了 61.73%、25.71% ($P<0.05$)，但在 5 月差异不显著。

禁牧区 7 月茎生物量相较于 5 和 9 月显著降低了 32.66%、38.89% ($P<0.05$)，放牧区茎生物量在 5 月最高，达 12.55 g/株，7 月最低，为 4.02 g/株 ($P<0.05$)。不同月份茎生物量所占整株生物量的比例存在一定的差异性，禁牧区其比例在 7 月和 9 月呈降低趋势且在 7 月达到最低 ($P<0.05$)，而放牧区只有 7 月表现出显著降低趋势，相较 5 月茎比例显著降低了 42.32%。

2.5 禁牧对伊犁绢蒿单株叶生物量及其比例的影响

图4显示,禁牧后5月、7月和9月伊犁绢蒿叶的生物量均显著增加,相较于放牧区分别增加了65.85%、317.32%和249.30%($P<0.05$)。但伊犁绢蒿叶生物量占整株生物量的比例仅在7月和9月表现出显著差异,较放牧区显著增加了57.38%、50.82%($P<0.05$)。

从图4可以看出,虽然禁牧区、放牧区叶生物量在各月份之间存在一定差异,但随着月份的增加,叶生物量及其占整株生物量的比例均呈现先降后升的变化趋势,其中7月禁牧区叶生物量比5月、9月分别减少了48.04%、46.95%。试验区7月份叶生物量占整株生物量比例最低,与禁牧区5月、9月的伊犁绢蒿叶生物量比例显著下降了58.39%、21.43%,与放牧区5月的叶生物量比例显著降低了58.38%。

2.6 禁牧对伊犁绢蒿单株根生物量及其比例的影响

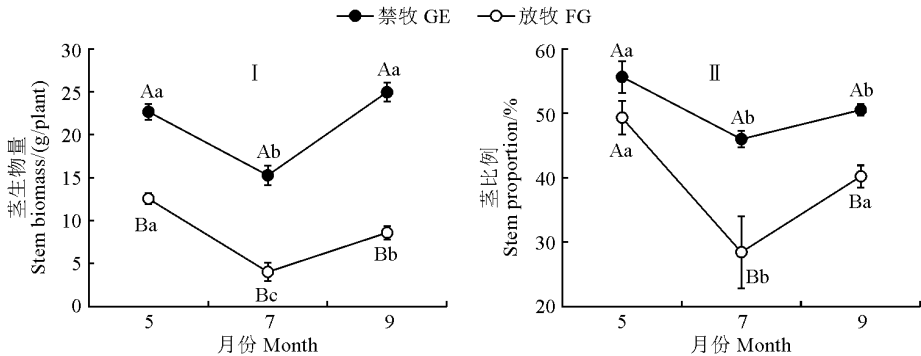
图5显示,禁牧条件下伊犁绢蒿根生物量比放牧区7月、9月分别增加61.10%和48.34%($P<0.05$),但5月份无显著差异。禁牧后,7月、9月伊

犁绢蒿根系生物量所占比例比放牧区分别降低了37.96%、36.92%($P<0.05$)。

由图5可知,禁牧区根生物量随着时间的推移呈现上升趋势且在9月达到最大值(14.30 g/株),较5月显著增加了75.68%,而放牧区根生物量在各月份间无明显差异。禁牧区与放牧区伊犁绢蒿根系生物量占整株比例在3个月内的变化趋势一致,7月根比例达最高,9月次之,5月最低。与5月份相比,7月禁牧区根系生物量比例显著增加了96.19%,放牧区显著增加了132.35%。

2.7 相关性分析

由表2可以看出,5月、7月在禁牧与放牧条件下伊犁绢蒿各构件生物量无明显相关性,但5月份时除禁牧区伊犁绢蒿茎生物量与放牧区茎、叶生物量,禁牧区根生物量与放牧区茎生物量呈正相关关系外,其他构件生物量均呈负相关关系;7月份时禁牧区伊犁绢蒿根生物量与放牧区茎、叶、根生物量呈负相关关系,而茎、叶生物量与放牧区茎、叶、根生物量均呈正相关关系。9月份时,禁牧区伊犁绢蒿根生物



不同大写字母表示同月份禁牧和放牧之间的差异显著($P<0.05$);不同小写字母表示禁牧区(放牧区)不同月份之间的动态差异;下同

图3 禁牧对伊犁绢蒿茎生物量及比例的影响

Different capital letters indicate significant differences between grazing exclusion and grazing in the same month ($P < 0.05$); Different normal letters indicate the dynamic differences between different months in the grazing exclusion area (the grazing area); the same as below

Fig. 3 Effect of grazing exclusion on stem biomass and proportion of *S. transiliense*

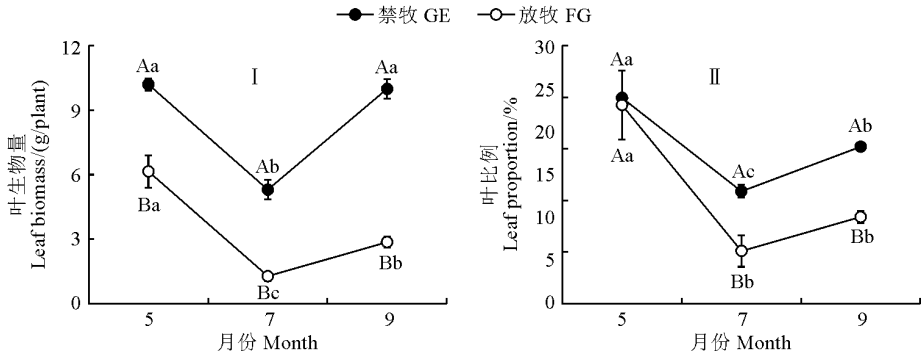


图4 禁牧对伊犁绢蒿单株叶生物量及其比例的影响

Fig. 4 Effect of grazing exclusion on single plant leaf biomass and its proportion of *S. transiliense*

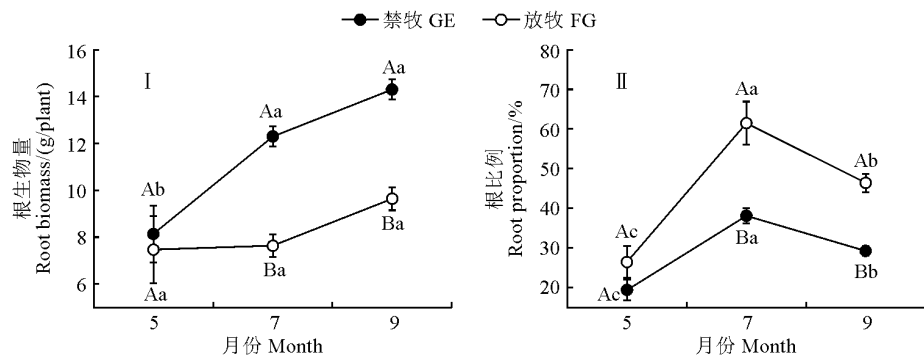


图 5 禁牧对伊犁绢蒿单株根生物量及其比例的影响

Fig. 5 Effect of grazing exclusion on root biomass per plant and its proportion of *S. transiliense*

表 2 不同月份禁牧与放牧条件下伊犁绢蒿
各构件生物量分配关系

Table 2 Relationship between biomass distribution of
component of *Seriphidium transiliense* under
different grazing conditions in different months

月份 Month	禁牧区 GE	放牧区 FG		
		茎 Stem	叶 Leaf	根 Root
5 月 May	茎 Stem	0.435	0.226	-0.126
	叶 Leaf	-0.042	-0.205	-0.159
	根 Root	0.587	-0.078	-0.533
7 月 July	茎 Stem	0.136	0.136	0.511
	叶 Leaf	0.524	0.525	0.306
	根 Root	-0.487	-0.486	-0.322
9 月 September	茎 Stem	0.504	0.504	0.251
	叶 Leaf	0.503	0.503	0.251
	根 Root	0.665 *	0.666 *	-0.322

量与放牧区茎、叶生物量呈显著正相关关系,而与根生物量呈负相关关系。

3 讨论

3.1 伊犁绢蒿种群数量特征对禁牧的响应

禁牧减少了家畜的践踏、采食等对草地的影响,促使草地植物恢复。草地群落中优势物种的数量特征可以很好地反映恢复效果,如董乙强等^[24]试验结果表明,伊犁绢蒿种群高度、盖度生物量随着放牧强度的增加呈现显著降低的趋势。赵盼盼等^[25]指出,围栏封育显著提高了沙芦草种群的高度、丛幅、盖度以及株丛生物量。这与本试验结论基本一致,禁牧后伊犁绢蒿种群的高度、密度、盖度及生物量均显著提高,这表明禁牧后因外界干扰的消除和生态环境的改善,有益于植物的生长与恢复,使得草地的恢复力和生产力显著提高。

本研究发现,放牧区除伊犁绢蒿高度在 7 月、9 月显著增加外,其盖度、密度和生物量在 3 个取样期均无显著差异。而禁牧区伊犁绢蒿种群盖度、密度、生物量随着时间的推移均呈现先降低后增加的趋势,且其平均高度、盖度及生物量在月份间均表现出不同程度的差异性,并均在 7 月份达最低值。造成这种现象的原因可是 7 月份蒿类荒漠高温少雨,对伊犁绢蒿的生长发育有阻碍作用,使得植株的盖度、密度和生物量降低。但总体来说禁牧区伊犁绢蒿种群高度、盖度、密度以及生物量均高于放牧区,可能是禁牧改善了草地生态环境,使伊犁绢蒿更容易定居存活,因此种群盖度、密度、生物量增加,而放牧区伊犁绢蒿被家畜采食、遗弃,导致自身营养扩繁能力降低,因此高度、盖度、密度、生物量相对较低。

3.2 禁牧对伊犁绢蒿构件生物量及其分配的影响

作为反映植物与环境相互作用的重要指标,生物量是植物对环境适应能力及生长发育规律的体现,个体及构件生物量又是生态系统获取能量的能力体现^[26]。宫柯等^[27]研究表明,不同生境下无芒雀麦的构件生物量及其分配存在差异,地上构件生物量大于地下构件生物量且茎生物量及其分配差异最大。赵盼盼等^[25]发现围封后围栏内沙芦草种群生物量分配比发生了不同程度的变化,其中穗、叶及根的生物量显著提高。本试验发现放牧减少了伊犁绢蒿地上生物量,使根生物量占整株比例增加,禁牧则相反。造成这种现象的原因可能是:荒漠环境恶劣,伊犁绢蒿生长受水、养分等资源的限制,将更多的生物量分配到根来获取更多的资源。而禁牧区伊犁绢蒿盖度、密度均增加,使种间竞争激烈,为了获取更多的光资源,则叶片、茎被分到了更多的生物量。此外,张桥英等^[28]提出,温度增加有利于植物生物量的积累,且植物更倾向于将生物量分配到地上部分,特别是对茎的投入。本试验发现,禁牧区与

放牧区 5 月份伊犁绢蒿茎比例、叶比例均最大,根比例最小,7 月时反之,说明了伊犁绢蒿为适应环境改变了生存策略,5 月温度升温时加大对地上部分的投入,7 月天气炎热时,为了躲避高温日灼、吸收水分,加大对地下根系的投入,这是植物种群对不同环境做出不同资源分配的反应。

总的来说,禁牧会增加伊犁绢蒿种群地上、地下生物量且改变其构件比例,增加了茎、叶的比例,降低了根的比例,表明禁牧一定程度上改善了荒漠草地的环境,是恢复退化草地的有效措施。

4 结 论

本研究的目的是了解禁牧对退化的蒿类荒漠草

地植被的影响,调查了禁牧区和放牧区植物在不同月份(5 月、7 月、9 月)的数量特征及其构件比例。研究结果发现,禁牧有效地提高了荒漠植被群落的平均高度、盖度、密度及生物量,表明伊犁绢蒿在消除了家畜等外在因素的干扰下,能够得到恢复。另外,禁牧处理后,无论是单株生物量还是伊犁绢蒿各构件生物量均表现出显著的增加趋势($P < 0.05$),但各构件所占植株比例的变化不一致,其中茎、叶比例在 7 月和 9 月显著提升,但根所占比例在 3 个月中均有所下降。总之,禁牧是恢复和维持植物种群生长能力和群落中地位的重要措施,并对退化草地的恢复有积极影响。

参考文献:

- [1] 新疆维吾尔自治区畜牧厅. 新疆草地资源及其利用[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1993.
- [2] 哈里·阿力腾别克, 崔雨萱, 刘慧霞, 等. 短期封育对伊犁绢蒿荒漠草地土壤氮及其粒径组成的影响[J]. 草地学报, 2022, **30**(1): 134-143.
HALI Alitengbieke, CUI Y X, LIU H X, *et al.* Effects of short-term grazing exclusion on oil nitrogen and particle size composition of *Seriphidium transiliense* desert grassland[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2022, **30**(1): 134-143.
- [3] 董乙强, 安沙舟, 孙宗玖, 等. 禁牧年限对退化伊犁绢蒿荒漠土壤有机碳库和微生物碳、氮的影响[J]. 新疆农业科学, 2017, **54**(5): 961-968.
DONG Y Q, AN S Z, SUN Z J, *et al.* Effects of grazing exclusion times on soil organic carbon storage and microbial biomass carbon and nitrogen in degraded *Seriphidium transiliense* desert[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2017, **54**(5): 961-968.
- [4] SHAO H Y, SUN X F, WANG H X, *et al.* A method to the impact assessment of the returning grazing land to grassland project on regional eco-environmental vulnerability[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2016, **56**: 155-167.
- [5] 董乙强, 安沙舟, 孙宗玖, 等. 禁牧对中度退化伊犁绢蒿荒漠植被特征的影响[J]. 中国草地学报, 2016, **38**(1): 93-99.
DONG Y Q, AN S Z, SUN Z J, *et al.* Effects of grazing exclusion on vegetation characteristics in moderately degraded desert grasslands of *Seriphidium transiliense* [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2016, **38**(1): 93-99.
- [6] XU B, LI B, QI F, *et al.* Effects of grazing exclusion on the grassland ecosystems of mountain meadows and temperate typical steppe in a mountain-basin system in Central Asia's arid regions, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **630**: 254-263.
- [7] WANG X, YANG X G, WANG L, *et al.* A six-year grazing exclusion changed plant species diversity of a *Stipa breviflora* desert steppe community, Northern China[J]. *PeerJ*, 2018, **6**: e4359.
- [8] 崔雨萱, 孙宗玖, 刘慧霞, 等. 短期封育对蒿类荒漠草地现存生物量及植物群落多样性的影响[J]. 草业学报, 2020, **29**(12): 17-26.
CUI Y X, SUN Z J, LIU H X, *et al.* Effects of short-term grazing exclusion on standing biomass and plant community diversity in sagebrush desert [J]. *Acta Prataculture Sinica*, 2020, **29**(12): 17-26.
- [9] 董楚珺, 董乙强, 安沙舟, 等. 禁牧后伊犁绢蒿荒漠植被特征年际动态变化[J]. 中国草地学报, 2022, **44**(3): 29-38.
DONG C J, DONG Y Q, AN S Z, *et al.* Interannual dynamic changes of vegetation characteristics of *Seriphidium transiliense* in desert grassland after grazing prohibition[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2022, **44**(3): 29-38.
- [10] 阿斯太肯·居力海提, 董乙强, 李靖, 等. 禁牧对不同气候区蒿类荒漠植被和土壤养分及化学计量特征的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2021, **35**(11): 157-164.
ASITAIKEN Julihaiti, DONG Y Q, LI J, *et al.* Effects of grazing exclusion on nutrition and stoichiometry characteristics of *Artemisia* desert vegetation and soil[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2021, **35**(11): 157-164.
- [11] 靳茜, 董乙强, 安沙舟. 禁牧对博乐绢蒿种群和荒漠群落特征的影响[J]. 新疆农业科学, 2018, **55**(4): 746-753.
JIN X, DONG Y Q, AN S Z. Effects of grazing exclusion on population and desert community characteristics of *Seriphidium borotalalense* [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2018, **55**(4): 746-753.
- [12] 阿依谢姆·约麦尔, 董乙强, 安沙舟, 等. 短期围封对伊犁绢蒿荒漠群落特征及植被多样性的影响[J]. 新疆农业科学, 2018, **55**(1): 175-182.
AYIXIEMU Yuemaier, DONG Y Q, AN S Z, *et al.* Effects of short-term enclosure on community characteristics of *Se-*

seriphidium transiliense desert and diversity in Yili[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2018, **55**(1): 175-182.

[13] 江沙沙, 孙宗玖, 崔雨萱, 等. 伊犁绢蒿(*Seriphidium transiliense*)个体功能性状对短期禁牧的可塑性响应[J]. 干旱区研究, 2019, **36**(6): 1 528-1 536.

JIANG S S, SUN Z J, CUI Y X, *et al.* Response of short-term grazing exclusion to individual functional traits of *Seriphidium transiliense*[J]. *Arid Zone Research*, 2019, **36**(6): 1 528-1 536.

[14] 金艳强, 李 敬, 刘运通, 等. 围封对元江稀树灌草丛林下植被物种组成及生物量分配的影响[J]. 生态学杂志, 2017, **36**(2): 343-348.

JIN Y Q, LI J, LIU Y T, *et al.* Effects of enclosure on species diversity and biomass allocation of understory vegetation of Savanna ecosystem in Yuanjiang dry-hot valley, Yunnan, Southwest China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, **36**(2): 343-348.

[15] 孙宗玖, 安沙舟, 许 鹏. [J]. 草地学报, 2007, **15**(5): 454-459.

SUN Z J, AN S Z, XU P. Studies on dynamic characteristics of *Seriphidium transiliense* modules[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2007, **15**(5): 454-459.

[16] 罗永开, 方精云, 胡会峰. 山西芦芽山 14 种常见灌木生物量模型及生物量分配[J]. 植物生态学报, 2017, **41**(1): 115-125.

LUO Y K, FANG J Y, HU H F. Biomass estimation models and allocation patterns of 14 shrub species in Mountain Luya, Shanxi, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2017, **41**(1): 115-125.

[17] 肖 遥, 陶 冶, 张元明. 古尔班通古特沙漠 4 种荒漠草本植物不同生长期的生物量分配与叶片化学计量特征[J]. 植物生态学报, 2014, **38**(9): 929-940.

XIAO Y, TAO Y, ZHANG Y M. Biomass allocation and leaf stoichiometric characteristics in four desert herbaceous plants during different growth periods in the Gurbantünggüt Desert, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2014, **38**(9): 929-940.

[18] 张文辉, 李 红, 李景侠, 等. 秦岭独叶草种群个体和构件生物量动态研究[J]. 应用生态学报, 2003, **14**(4): 530-534.

ZHANG W H, LI H, LI J X, *et al.* Individual and modular biomass dynamics of *Kingdonia uniflora* population in Qinling Mountain[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, **14**(4): 530-534.

[19] 王 蕙, 王 辉, 罗永忠, 等. 围封沙质天然草地植物的构件和个体生物量比较研究[J]. 草业学报, 2015, **24**(9): 206-215.

WANG H, WANG H, LUO Y Z, *et al.* A comparative study of plant biomass in a native grassland enclosure[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, **24**(9): 206-215.

[20] 张彩霞, 赵文勤, 党寒利, 等. 准噶尔盆地南缘不同坡向对短命植物生物量分配和化学计量特征的影响[J]. 西北植物学报, 2021, **41**(1): 151-158.

ZHANG C X, ZHAO W Q, DANG H L, *et al.* Effects of different slope aspect on biomass allocation and stoichiometry of ephemeral plants in the southern margin of Junggar Basin[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2021, **41**(1): 151-158.

[21] 王悦骅, 宋晓辉, 王占文, 等. 短花针茅荒漠草原植物地上地下生物量对载畜率和降水的响应[J]. 西北植物学报, 2018, **38**(8): 1 526-1 533.

WANG Y H, SONG X H, WANG Z W, *et al.* Responses of plant above and underground productivity of *Stipa breviflora* desert steppe to stocking rates and precipitation[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2018, **38**(8): 1 526-1 533.

[22] 崔 猛, 冯媛媛, 王新宇, 等. 不同放牧方式对松嫩草地下、地上生物量及其分配比例的影响[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2021, **53**(4): 144-150.

CUI M, FENG Y Y, WANG X Y, *et al.* Effects of different grazing regimes on below/aboveground biomass and allocation in Songnen Plain, China[J]. *Journal of Northeast Normal University* (Natural Science Edition), 2021, **53**(4): 144-150.

[23] DONG Y Q, SUN Z J, AN S Z, *et al.* Community structure and carbon and nitrogen storage of sagebrush desert under grazing exclusion in Northwest China[J]. *Journal of Arid Land*, 2020, **12**(2): 239-251.

[24] 董乙强, 孙宗玖, 安沙舟, 等. 放牧强度对伊犁绢蒿种群特征及其群落多样性的影响[J]. 草地学报, 2016, **24**(1): 22-27.

DONG Y Q, SUN Z J, AN S Z, *et al.* Effect of grazing intensity on population characteristics and community diversity of *Seriphidium transiliense*[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2016, **24**(1): 22-27.

[25] 赵盼盼, 邵文山, 靳长青, 等. 围封对荒漠草原沙芦草种群构件生物量分配特性的影响[J]. 生态环境学报, 2017, **26**(12): 2 024-2 029.

ZHAO P P, SHAO W S, JIN C Q, *et al.* Effects of enclosure on biomass allocation characteristics of *Agropyron monogolicum* population in desert steppe[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2017, **26**(12): 2 024-2 029.

[26] 王万林, 穆 晨, 赵永卫, 等. 新疆荒漠草地现状及改良对策与建议[J]. 草食家畜, 2017,(6): 43-47.

WANG W L, MU C, ZHAO Y W, *et al.* Modified strategy and suggest on situation of Xinjiang desert grassland[J]. *Grass-Feeding Livestock*, 2017,(6): 43-47.

[27] 宫 珂, 靳瑰丽, 王玉祥, 等. 新疆天山北坡不同地区的野生无芒雀麦构件生物量[J]. 生态学杂志, 2020, **39**(8): 2 629-2 635.

GONG K, JIN G L, WANG Y X, *et al.* Modular biomass of *Bromus inermis* in different areas on the northern slope of Tianshan Mountain[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, **39**(8): 2 629-2 635.

[28] 张桥英, 彭少麟. 增温对入侵植物马缨丹生物量分配和异速生长的影响[J]. 生态学报, 2018, **38**(18): 6 670-6 676.

ZHANG Q Y, PENG S L. Effects of warming on the biomass allocation and allometric growth of the invasive shrub *Lantana camara*[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(18): 6 670-6 676.