

何玉惠,刘新平,胡鸿姣,等.降水和放牧对沙质草地优势植物出苗和存活的影响[J].中国沙漠,2025,45(1):103-111.

降水和放牧对沙质草地优势植物 出苗和存活的影响

何玉惠^{ab}, 刘新平^{ac}, 胡鸿姣^{ac}, 徐远志^{ac}

(中国科学院西北生态环境资源研究院 a.干旱区生态安全与可持续发展重点实验室, b.兰州生态农业试验研究站, c.奈曼沙漠化研究站, 甘肃 兰州 730000)

摘要:放牧干扰严重影响沙质草地植物的生长生存。为明确放牧对植物幼苗的影响是否因降水变化而产生差异,本研究以沙质草地两种优势一年生植物为研究对象,调查了干湿年份放牧对植物出苗和存活的影响。结果表明:同类型放牧样地湿润年份出苗数量显著高于干旱年份,中度放牧在干湿年份均有利于优势禾草植物狗尾草(*Setaria viridis*)出苗,而重度放牧有利于优势杂草植物大果虫实(*Corispermum macrocarpum*)出苗,湿润年份更为显著。干湿年份狗尾草月出苗数呈单峰曲线,而大果虫实在湿润年份出苗数量呈逐月递减趋势。干湿年份狗尾草个体存活数量和幼苗存活率在各放牧样地间没有显著差异,干湿年份大果虫实幼苗存活率随放牧强度增大而降低,但其个体存活数量湿润年份在重度放牧样地较多,而干旱年份在轻度放牧样地较多。

关键词:降水变化;放牧干扰;优势植物;幼苗出苗;存活

文章编号: 1000-694X(2025)01-103-09

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2024.00097

中图分类号: Q948.1

文献标志码: A

0 引言

幼苗阶段是植物生活史的重要阶段,幼苗的生长存活不仅影响种群大小、持久性及遗传多样性,也是植物完成种群更新和发展演替的关键环节,而且关系着生态系统生物多样性保持及系统稳定性维持^[1-3]。幼苗生存对环境因素变化的响应是生态学家重要关注内容^[4-5]。在多种环境因素影响下确保与促进植物幼苗定居存活对植被群落稳定维持和植被演替更新有重要意义^[6-7]。

放牧干扰和降水变化是影响干旱半干旱草地生态系统结构和功能变化的重要因素^[8]。放牧作为世界性的草地利用方式,对草地生态系统植物群落结构、物种多样性和生态功能具有深远的影响^[9-10]。放牧干扰影响植物种子扩散和种子在土层中的分布,并影响周边环境变化,包括光照、水分、养分及土壤其他条件,直接或间接地影响着植物幼苗的生存定居^[11-12]。目前大量研究关注了放牧对土壤种子

库和地上植被生长的影响作用^[8,13-14],有关放牧对幼苗影响的研究较少,且相关研究结论不一致,出现放牧使植物幼苗密度和数量减少^[15]、增加^[16],以及幼苗密度和物种丰富度中度放牧情况下较高^[17]等研究结论。

降水作为干旱半干旱草地生态系统中植物赖以生存发育的重要限制因子,对植物幼苗生存定居具有显著影响^[4,6]。现实中放牧干扰和降水变化常常同时发生并共同影响着植物幼苗的出苗和生存,使结果更为复杂多变,有研究发现一定强度的放牧干扰可以降低干旱对幼苗密度和丰富度的负面影响^[10]。目前,有关降水变化情景下放牧对幼苗影响的研究有限,且研究仅聚焦于早春或生长季某一时间段的幼苗生存状况^[17],缺乏对整个生长季植物幼苗动态的连续观测,有关自然状况不同功能群植物幼苗生存的对比较研究也很少见。

一年生草本植物是干旱半干旱地区植被的主要组成部分,作为先锋植物或建群植物,在恢复草

收稿日期:2024-05-15; 改回日期:2024-10-14

资助项目:内蒙古自治区防沙治沙科技创新重大示范工程“揭榜挂帅”项目(2024JBGS0005);国家自然科学基金项目(41801076);内蒙古自治区科技计划项目(2022YFHH0063)

作者简介:何玉惠(1979—),女,甘肃山丹人,副研究员,主要从事恢复生态学方面的研究。E-mail: ahuihyh@lzb.ac.cn

地生态系统中发挥着重要的生态功能,是研究各类生态问题的首选材料^[18-19]。本研究以不同功能群优势一年生草本植物为例,调查研究降水变化和放牧干扰影响下植物的幼苗数量、密度和生存变化,探讨不同降水条件下放牧对幼苗出苗存活的影响,增进有关半干旱沙质草地植物应对放牧干扰和降水变化的生存对策和适应机制的理解,为人类活动和气候变化背景下草地合理放牧管理和退化草地植被恢复提供依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于科尔沁东南部的内蒙古奈曼旗境内(42°41'N、120°55'E,海拔约360 m),该区域属于典型的温带半干旱大陆性季风气候。年平均降水量为353.2 mm,其中近87%发生在5—9月^[20]。年平均潜在蒸发量为1 935 mm。年平均气温约为6.9℃,无霜期约150天。地形平坦开阔,土壤分类为砂质栗钙土。该区域主要分布的草本植物包括大果虫实(*Corispermum macrocarpum*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、黄蒿(*Artemisia scoparia*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)等^[21]。试验期间两年的生长季平均温度接近,分别为19.0℃和18.9℃,但降雨量相差较大(表1),2019年4—8月的降水量为341.0 mm,比研究区同期长期平均降水量高18.3%。2020年4—8月的降水量为229.2 mm,比平均降水量低20.0%。依据前人划分标准^[21],就生长季降水量而言,前一年属于相对湿润年份,而后一年属于相对干旱年份。

表1 试验年份生长季降水量(mm)

Table 1 Precipitation during the growing season from April to August in two experimental years (mm)

年份	4月	5月	6月	7月	8月	总量
2019	6.2	72.0	59.8	61.6	141.4	341.0
2020	3.0	92.6	43.6	30.6	59.4	229.2

1.2 研究方法

2019年4月初在邻近中国科学院奈曼沙漠化研究站的地段选取放牧沙质草地作为研究样地,根据前人文献^[22-23]将放牧强度设置为3个梯度,分别为轻

度放牧(大约2头羊·hm²)、中度放牧(大约4头羊·hm²)、重度放牧(大约6头羊·hm²),各放牧样地均属于公共自由放牧牧场,执行当地的季节性禁牧政策,仅在秋冬季放牧。在每种放牧强度下,分别选取3个100 m×100 m的样地,在每个样地内随机设置5个1 m×1 m的样方,在样方对角线上设置成对的两个0.5 m×0.5 m的小样方,用于两种优势一年生植物——狗尾草和大果虫实出苗数量和出苗动态的调查观测,每类放牧样地设置30个小样方。依据该区域植物4月初开始萌发出苗、8月中旬达到植物生长旺盛期的植物生长节律,试验持续的两年期间,每年4月初至8月中旬,每15天左右对各小样方内的植物出苗生存情况进行观测,在成对小样方中,其中一个样方用拔除法记录幼苗的出苗数量,每次记录样方内两种植物幼苗的出苗数量后,在尽量不扰动土壤的情况下将已出苗的幼苗轻轻拔除,并将每月两次(月中和月末)观测到的出苗数量加和后得到当月的植物出苗数量;另一个样方用于固定观测植物幼苗及个体的存活情况,分物种记录样方内两种植物的个体存活数量,对比不同放牧样地两种植物季末的个体存活情况,并用样方内季末最终个体存活数量除以观测期间出苗峰值时样方内的幼苗总数计算得出幼苗的相对存活率^[24],以此对比样地间的幼苗存活率差异。

1.3 数据分析

采用双因素方差分析检验放牧强度和降水变化对两种植物幼苗出苗数量、季末个体存活数量和幼苗存活率的影响。采用单因素方差分析检验同一年份两种植物的月出苗数量在不同放牧强度间的差异,用Tukey法进行多重比较检验。分析过程中必要时对相关数据进行平方根和反正弦变换以满足正态性和方差齐次的假设。使用SPSS 22.0和Origin 22.0进行数据分析和绘图。

2 结果与分析

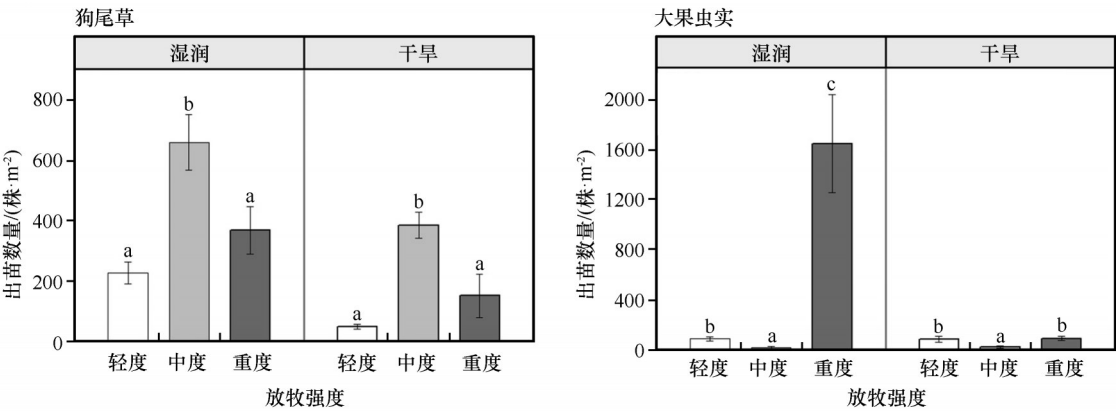
2.1 出苗数量

降水变化和放牧强度明显影响着两种优势一年生植物的年出苗总量。双因素方差分析表明(表2),年际降水变化和放牧强度对两种优势一年生植物的年出苗数量均存在显著影响,但二者交互作用仅对优势杂草植物大果虫实的年出苗数量有显著

表 2 放牧和降水(干湿年份)对优势物种出苗数量影响的双因素分析

因子	狗尾草		大果虫实	
	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
降水	19.445	0.000	15.744	0.000
放牧强度	19.985	0.000	17.356	0.000
降水×放牧强度	0.301	0.741	15.712	0.000

影响($P<0.001$),对优势禾草植物狗尾草的年出苗数量影响并没有达到显著水平($P>0.05$)。



注:不同小写字母表示出苗数量在同一年份不同放牧强度下差异显著, $P<0.05$

图 1 干湿年份两种优势植物出苗数量随放牧强度的变化

Fig.1 Changes of total seedling emergence number of two dominant plants with grazing intensities in wet and dry year

2.2 出苗动态

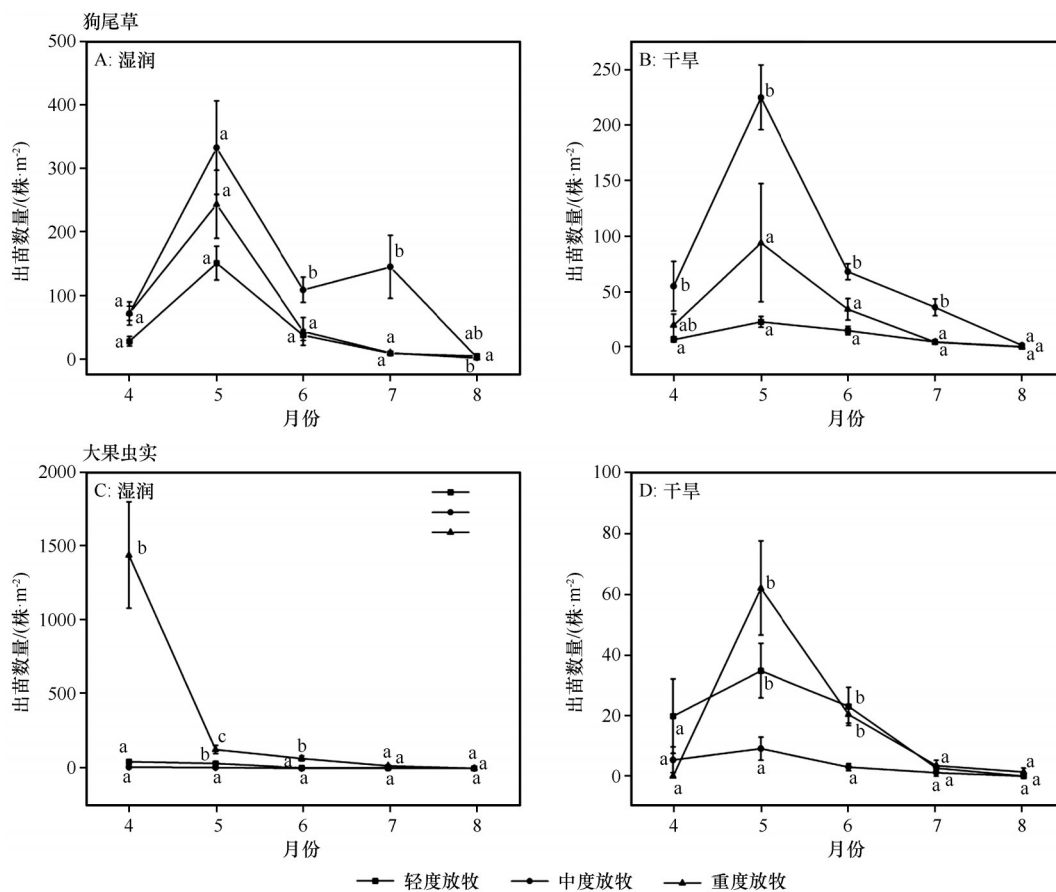
干湿年份轻度和重度放牧样地优势禾草植物狗尾草4—8月的月出苗动态变化趋势相似(图2),表现为单峰曲线,5月出现出苗高峰,中度放牧样地狗尾草月出苗动态在干旱年份呈现单峰曲线,但在湿润年份表现出双峰曲线的变化特征,7月出现第二次出苗高峰。各类放牧样地干湿年份各月出苗量总体表现为中度放牧>重度放牧>轻度放牧,湿润年份6月和7月样地间出苗量差异显著($P<0.05$),而干旱年份除8月外各月样地间出苗量均存在显著差异($P<0.05$)。

干旱年份各放牧样地优势杂草植物的月出苗动态与狗尾草类似,表现为先增加后减少的变化趋势,出苗高峰出现在5月。然而,湿润年份各放牧样地大果虫实月出苗数量从4月到8月逐渐减少,尤其是重度放牧样地大量幼苗集中在4月出苗(图2)。

无论湿润年份还是干旱年份优势禾草植物狗尾草的年出苗数量随放牧强度的增大呈先增加后减小的变化趋势,中度放牧样地出苗数量显著高于轻度和重度放牧样地,同类型放牧样地湿润年份出苗数量明显高于干旱年份,轻度、中度、重度放牧样地湿润年份出苗数量分别是干旱年份的4.7、1.7、2.4倍(图1)。优势杂草植物大果虫实的出苗数量在干旱和湿润年份均为随放牧强度增大先减少后增加,轻度和重度放牧样地出苗量显著高于中度放牧样地。尤其是湿润年份重度放牧样地出苗数量成倍增加,是轻度放牧的19.5倍,并显著高于中度放牧样地。

干湿年份优势杂草植物大果虫实月出苗量均表现为重度放牧>轻度放牧>中度放牧样地,湿润年份4—6月样地间出苗数量差异显著($P<0.05$),干旱年份仅5—6月出苗量有显著差异($P<0.05$)。

就月出苗比例而言,除湿润年份的中度放牧样地,其他样地干湿年份90%以上的狗尾草在4—6月间出苗,其中5月出苗最为集中,45%以上的幼苗在此期间出苗(图3)。干旱年份,4—6月出苗比例随放牧强度呈增加趋势。湿润年份6月出苗比例随放牧强度减少,8月只有轻度放牧样地仍有一定比例的幼苗出苗,中重度放牧样地很少有幼苗出苗。对于优势杂草植物大果虫实而言,湿润年份4月出苗比例随放牧强度增大而增加,重度放牧样地4月出苗比例达到85.6%,而干旱年份4月很少有幼苗出现,大量幼苗在5月出苗,出苗比例占71.2%,而且8月仍有少量的幼苗出苗(图3)。



注: 不同小写字母表示出苗数量在同一月份不同放牧强度下差异显著, $P < 0.05$

图2 干湿年份两种优势植物在不同放牧强度下的出苗动态

Fig.2 Seedling dynamics of two dominant plants in wet and dry year with grazing

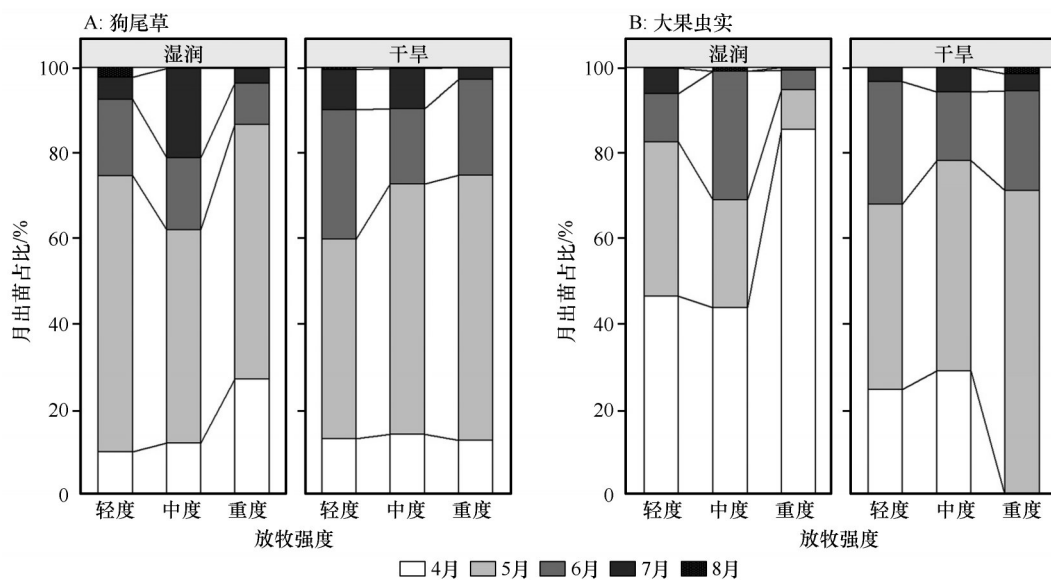


图3 干湿年份两种优势植物的月出苗比例

Fig.3 The proportion of monthly seedling emergence in wet and dry year with grazing

2.3 个体存活

双因素方差分析表明(表3),降水对狗尾草和

大果虫实的个体存活数量有着极显著($P < 0.001$)的影响,且对大果虫实的幼苗相对存活率有显著影响($P < 0.05$);放牧强度对大果虫实的个体存活数量和

表 3 放牧和降水对两种优势植物个体存活影响的双因素分析

Table 3 Results of two-way ANOVA on the effects of grazing and rainfall changes on plant survival of two dominance plants

指标		降水		放牧强度		降水×放牧强度	
		<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
个体存活数量	狗尾草	13.372	0.000	2.352	0.102	0.904	0.409
	大果虫实	14.500	0.000	20.710	0.000	19.617	0.000
幼苗存活率	狗尾草	1.311	0.274	0.983	0.402	0.239	0.791
	大果虫实	4.849	0.048	7.311	0.008	1.828	0.203

相对存活率均有极显著的影响($P<0.01$),但对狗尾草没有显著影响($P>0.05$);降水与放牧的交互作用对大果虫实个体存活数量也存在极显著的影响($P<0.001$),但对狗尾草的影响也没有达到显著水平。

湿润年份,不同放牧样地间狗尾草个体存活数量和幼苗存活率没有形成显著差异($P>0.05$),而大果虫实季末存活个体数量在放牧样地间差异显著,其中重度放牧样地存活个体数量显著高于轻中度放

牧样地($P<0.05$),前者平均个体存活数量可达后者的 7~12 倍,而幼苗存活率却呈现随放牧强度增大显著降低的趋势(图 4)。干旱年份,中度放牧虽然有助于狗尾草植株存活数量的提高,但各样地间个体存活情况仍没有显著差异($P>0.05$),而大果虫实个体存活数量和幼苗存活率在各类放牧样地间差异显著($P<0.05$),其中轻度放牧样地存活数量最多、存活率最高,总体呈现随放牧强度增加下降的趋势($P>0.05$)。

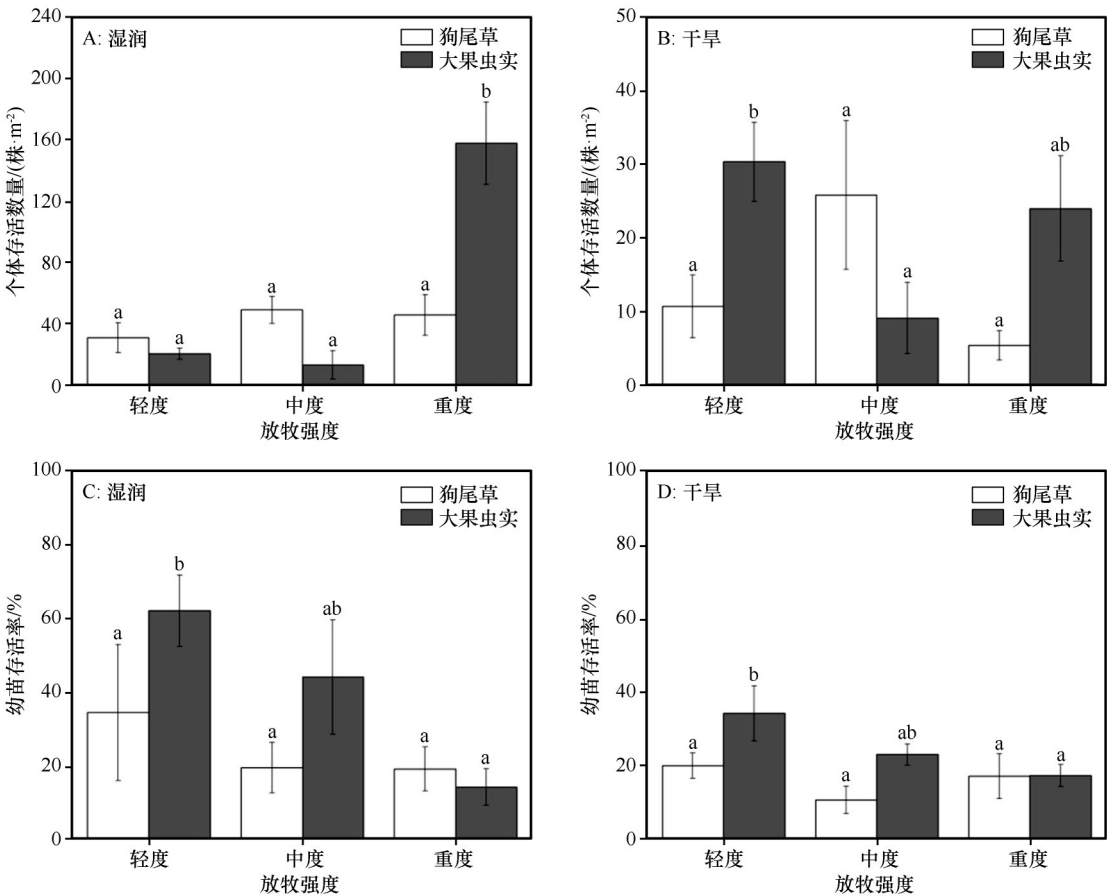


图 4 干湿年份两种植物存活情况随放牧强度的变化

Fig.4 Changes of plant survival with grazing in wet and dry year

3 讨论

3.1 降水和放牧对出苗数量的影响

放牧干扰和降水变化极大地影响着草地植被的生长和生存。本研究结果表明,降水变化和放牧干扰以及二者的交互作用明显影响着两种优势一年生植物的年出苗数量。与干旱年份相比,两种植物出苗数量在湿润年份均呈倍数增加,表明在研究区域降水变化仍是影响植物出苗的关键因子,不同放牧样地降水增加均能够显著提高植物的出苗数量,有效促进土壤种子库中种子的萌发出苗。这与前人有关干旱和半干旱地区,降雨和水分是限制种子发芽和幼苗出苗最重要环境因素的结论一致^[25-26]。

尽管降水和放牧对两种植物出苗均具有显著影响,但两种功能类型植物出苗数量在干湿年份响应放牧干扰的变化趋势存在差异。放牧主要通过家畜采食、践踏等作用影响草地土壤和植被变化,其中放牧践踏一方面通过增加土壤紧实度、降低土壤透水透气性及对土壤性状的改变间接影响植物萌发出苗和生长;另一方面,适度放牧践踏又会造成表层种子埋实,形成适宜萌发的条件,从而促进植物幼苗出苗和生存^[16,22,27]。本研究中优势禾草植物狗尾草出苗数量在干旱和湿润年份均在中度放牧情况下最多,符合中度放牧促进植物生长的理论^[28],说明适度的放牧干扰有利于优势禾草植物狗尾草种子萌发出苗,过度放牧则使出苗数量降低。一方面,土壤种子库大小是出苗数量多少的前提条件,而一定程度的放牧有利于提高研究区域狗尾草的土壤种子库密度^[29],但进一步的放牧又使其土壤种子库密度降低;另一方面,由于一定程度的沙埋和土壤覆盖有利于狗尾草种子萌发出苗^[30],而秋冬放牧过程中牲畜践踏对表层种子的埋实作用,形成了种子适宜萌发的条件,尤其中度放牧情况牲畜通过践踏对土壤的扰动,使土壤表层狗尾草种子进入适宜萌发出苗的土层,形成出苗数量由轻度放牧样地到中度放牧样地大幅增加的标志,然而重度放牧情况下过度的践踏又可能造成部分种子失去活力或进入不易萌发出苗的土层,重度放牧情况牲畜对植物地上部分的选择性采食还会减少种子来源^[16,22],继而造成样地出苗数量减少。然而,对于优势杂草植物大果虫实来说,重度放牧样地出苗数量

较多,尤其是湿润年份重度放牧样地出苗数量是其他样地的几十倍之多,一方面由于放牧践踏引起的较大深度的种子埋深有利于大果虫实出苗率提高^[31],另一方面,试验观测发现重度放牧过程动物足迹使土壤表面形成许多小的“洼地”,大果虫实扁圆形的种子在风力作用下大量集聚在这里,且这些“洼地”积聚雨水和有机物,为种子萌发提供良好微环境条件^[32],温度适宜情况下,丰富的种子来源叠加良好的微环境,使大量种子聚焦萌发出苗,最终形成重度放牧样地大果虫实出苗数量大幅增加的现象。这与前人在欧洲放牧沙地生态系统中的研究结论相似,相关研究中也表明放牧过程一定程度羊践踏能够促进多种植物的幼苗出苗^[16]。

3.2 降水和放牧对出苗动态的影响

种子萌发出苗是植物生活史的关键环节,并且萌发和出苗的时机决定着后期幼苗生存面临的环境及植物能否定居存活^[33-34]。从两种优势植物的出苗动态来看,干湿年份及不同放牧强度下优势禾草植物狗尾草的出苗动态趋势相似,高峰均出现在5月,当月出苗量达到年出苗量的45%以上,说明虽然降水变化和放牧干扰使狗尾草出苗数量产生明显变化,却没有对出苗动态产生明显的影响,也印证了狗尾草分布广泛、对环境适应性强、种子分批萌发出苗的特点^[35]。值得一提的是湿润年份中度放牧样地7月狗尾草出现第2次出苗高峰,可能是中度放牧样地土壤种子库密度较高,湿润年份7月大量降雨唤醒和促进了土壤深层土壤种子库中种子的萌发和出苗。这也进一步说明狗尾草属于典型的分蘖型植物,通过依赖降水或其他各种环境要素分摊风险,以提高幼苗的生存机率^[36]。

与狗尾草完全不同,降水变化明显改变了优势杂草植物大果虫实的出苗动态,干旱年份其出苗动态与狗尾草相似,先增后减,但湿润年份大果虫实在4月大量出苗,之后逐月递减,尤其重度放牧样地85.6%的幼苗集中在4月出苗,说明降水变化在一定程度上调控着杂草植物幼苗出苗对放牧干扰的响应。干旱条件下,植物出苗更谨慎,呈分批式出苗,以避免干旱情况下幼苗大量死亡影响种群更新;而湿润条件下,具有机会主义冒险型的萌发出苗对策^[18,37],尤其是重度放牧造成大量种子集聚的情况下,一旦水分温度等条件适宜就会呈现爆发式

的萌发出苗,这种机会主义萌发出苗模式极有可能导致后期环境恶劣时幼苗的大量死亡,具有很高的风险性^[34,36]。

3.3 降水和放牧对幼苗存活定居的影响

幼苗的存活定居关系着种群更新和群落演替。降水变化仅对狗尾草个体存活数量有显著影响,但对幼苗相对存活率的影响并没有达到显著水平,而且放牧干扰对狗尾草个体存活数量和幼苗存活率也没有形成显著影响,说明虽然狗尾草个体存活数量在一定程度上受到降水多少的限制和调节,但狗尾草幼苗存活定居对外界干扰有较强的适应性,这可能也是狗尾草分布广泛,在各类生境中均能很好地生长存活的原因^[30,35],而形成狗尾草最终个体存活数量在干湿年份的差异原因可能是受到出苗数量在干湿年份间差异的影响。与狗尾草不同,优势杂草植物大果虫实的个体存活数量和幼苗存活率均受到降水变化和放牧干扰的显著影响,其中湿润年份重度放牧样地个体存活较多,干旱年份轻度放牧样地个体存活较多,其变化与幼苗出苗数量一致,这意味着不同降水年份采取适当的放牧干扰可以促进优势杂草植物大果虫实出苗数量和存活个体数量的增加,但同时也可以看出,除外界环境因素的影响外,出苗数量仍是影响大果虫实个体最终存活定居数量的重要因素。

干旱半干旱生境中,环境水分状况是一年生植物幼苗存活的重要限制因素^[19],而且由于存在更强的负密度效应,与湿润情况相比,干旱情况会使植物幼苗存活率降低^[38]。本研究结果也表明降水显著影响着大果虫实的幼苗存活率,且放牧干扰对大果虫实幼苗存活率的影响在不同降水情况下表现一致,干湿年份均呈现随放牧强度增大而显著降低的变化趋势,造成这种变化的原因首先可能是由于植物幼苗生长和定居受到各类土壤环境因子和资源限制因子的影响作用,而放牧梯度下土壤环境的逐步退化导致幼苗存活所需要的养分等资源限制,从而使幼苗存活率随放牧强度降低^[39-40]。此外,负密度制约效应表明较多的幼苗邻体会显著降低幼苗存活率^[41],本研究中出苗前期大果虫实大批量出苗,尤其是重度放牧样地远高于其他样地的出苗量,使幼苗邻体间的竞争加大,造成种群内密度调节,从而造成了幼苗存活率的显著降低。

综上所述,植物幼苗的存活定居与降水、放牧

以及幼苗数量均存在一定的关系,而且不同类型植物对各种因素的响应并不相同。因此,在草地放牧管理过程中,应当区分不同植物类群和降水变化情况有针对性进行适度的放牧干扰,通过促进植物的出苗更新及生存定居,有效提升退化草地的植被恢复水平。本研究仅对降水和放牧影响下优势植物幼苗的生存定居进行了初步讨论,但半干旱沙质草地生境脆弱,水分受限,影响植物幼苗生存的环境因子众多,未来还需要进一步结合各类环境因子的分析,深入探讨植物幼苗更新和群落变化趋势及影响因子。

4 结论

放牧干扰强烈影响着沙质草地一年生植物的出苗数量、出苗动态和个体存活情况,但这种影响随降水变化和植物功能类群的不同而变化。湿润年份,中度放牧促进优势禾草植物狗尾草的出苗,而重度放牧使优势杂草植物大果虫实的出苗数量显著增加。降水增加仅使不同放牧强度样地优势禾草植物狗尾草的出苗数量增多,并未对其出苗进程和动态趋势产生明显的影响,但降水增加不仅影响优势杂草植物的出苗数量,也使其出苗峰值提前,出苗动态趋势发生变化。降水变化和放牧干扰没有对狗尾草的幼苗存活率产生显著影响,但大果虫实的个体存活数量和幼苗存活率受到降水变化与放牧干扰的显著影响。因此,草地管理过程中有必要根据降水变化和植物类群差异,采取有针对性的放牧管理措施,通过提高植物幼苗的出苗数量和个体存活数量,维持种群更新,进而促进退化草地的植被恢复。

参考文献:

- [1] 何维明,钟章成.植物繁殖对策的概念及其研究内容[J].生物学报,1997,16(6):2-4.
- [2] James J J, Svejcar T J, Rinella M J. Demographic processes limiting seedling recruitment in arid grassland restoration[J]. Journal of Applied Ecology, 2011, 48(4): 961-969.
- [3] Bernareggi G, Carbognani M, Mondoni A, et al. Seed dormancy and germination changes of snowbed species under climate warming: the role of pre-and post-dispersal temperatures[J]. Annals of Botany, 2016, 118(3): 529-539.
- [4] 李秋艳,赵文智.5种荒漠植物幼苗对模拟降水量变化的响应[J].冰川冻土,2006(3):414-420.
- [5] 杨畅,朱文琰,许明圆,等.不同放牧强度对高寒草甸植物实

- 生苗更新的影响[J].草业科学,2022,39(9):1869-1879.
- [6] 温都日呼,王铁娟,张颖娟,等.沙埋与水分对科尔沁沙地主要固沙植物出苗的影响[J].生态学报,2015,35(9):2985-2992.
- [7] 赵丹丹,魏继平,马红媛,等.不同退化阶段松嫩草地土壤对羊草种子萌发和幼苗生长的影响[J].土壤与作物,2018,7(4):423-431.
- [8] 刘欣蕊,崔媛媛,王忠武,等.放牧和模拟降水对短花针茅荒漠草原植物功能群多样性的影响[J].草地学报,2023,31(3):868-875.
- [9] Bardgett R D, Wardle D A. Herbivore-mediated linkages between aboveground and belowground communities [J]. Ecology, 2003, 84(9): 2258-2268.
- [10] Wang D B, Wang X Y, Wu Y, et al. Grazing buffers the effect of climate change on the species diversity of seedlings in an alpine meadow on the Tibetan Plateau [J]. Ecology and Evolution, 2019, 9(3): 1119-1126.
- [11] Sangtarash M H, Qaderi M M, Chinnappa C C, et al. Differential sensitivity of canola (*Brassica napus*) seedlings to ultraviolet-b radiation, water stress and abscisic acid [J]. Environmental and Experimental Botany, 2009, 66(2): 212-219.
- [12] 卫智军,刘文亭,吕世杰,等.荒漠草地短花针茅种群年龄对放牧调控的响应机制[J].生态环境学报,2016,25(12):1922-1928.
- [13] 赵丽娅,李兆华,赵锦慧,等.科尔沁沙质草地放牧和围封条件下的土壤种子库[J].植物生态学报,2006,30(4):617-623.
- [14] Zhao H L, Zhang T H, Zhao X Y, et al. Effects of sheep grazing and precipitation patterns on sandy grassland vegetation in Inner Mongolia, China [J]. Environmental Science and Development, 2011, 4: 68-75.
- [15] Gallacher D J, Hill J P. Effects of camel grazing on density and species diversity of seedling emergence in the Dubai (UAE) inland desert [J]. Journal of Arid Environments, 2008, 72(5): 853-860.
- [16] Eichberg C, Donath T W. Sheep trampling on surface-lying seeds improves seedling recruitment in open sand ecosystems [J]. Restoration Ecology, 2018, 26: S211-S219.
- [17] Wang Y C, Chu L, Daryanto S, et al. The impact of grazing on seedling patterns in degraded sparse-elm grassland [J]. Land Degradation & Development, 2018, 29(8): 2330-2337.
- [18] 李雪华,李晓兰,蒋德明,等.干旱半干旱荒漠地区一年生植物研究综述[J].生态学杂志,2006,25(7):851-856.
- [19] 李辛,赵文智.雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)种子萌发和幼苗生长对盐碱胁迫的响应[J].中国沙漠,2018,38(2):300-306.
- [20] Liu X P, He Y H, Sun S S, et al. Restoration of sand-stabilizing vegetation reduces deep percolation of precipitation in semi-arid sandy lands, northern China [J]. Catena, 2022, 208: 1-13.
- [21] Zhao H L, Okuro T, Zhou R L, et al. Effects of grazing and climate change on species diversity in sandy grassland, Inner Mongolia, China [J]. Sciences in Cold and Arid Regions, 2009, 1(1): 30-38.
- [22] 侯扶江,杨中艺.放牧对草地的作用[J].生态学报,2006,26(1):244-264.
- [23] 赵哈林,大黑俊哉,李玉霖,等.科尔沁沙质草地植物群落的放牧退化及其自然恢复过程[J].中国沙漠,2009,29(2):229-235.
- [24] He Y H, Liu X P, Wang M M, et al. Grazing alters seedling emergence number, dynamics, and diversity of herbaceous plants in a semiarid sandy grassland [J]. Ecological Research, 2023, 38(1): 154-166.
- [25] Singh P, Ibrahim H M, Flury M, et al. Critical water potentials for germination of wheat cultivars in the dryland northwest USA [J]. Seed Science Research, 2013, 23(3): 189-198.
- [26] 贺宇,丁国栋,汪晓峰,等.水分和沙埋对4种沙生植物种子萌发和出苗的影响[J].中国沙漠,2013,33(6):1711-1716.
- [27] Yavuz T, Karadag Y. The effect of fertilization and grazing applications on root length and root biomass of some rangeland grasses [J]. Turkish Journal of Field Crops, 2015, 20(1): 38-42.
- [28] 罗天相,刘莎.中度放牧干扰对草地生物多样性影响的思考[J].安徽农业科学,2007(21):6567-6568.
- [29] Zuo X A, Zhao X Y, Zhao H, et al. Spatial heterogeneity of soil seed banks in sandy grasslands under fencing and grazing in Horqin Sandland, northern China [J]. Polish Journal of Ecology, 2013, 61(2): 221-231.
- [30] 宋冰,王国华,缙倩倩,等.沙埋对河西走廊荒漠绿洲过渡带一年生草本植物的影响[J].中国沙漠,2021,41(3):185-194.
- [31] 罗亚勇,赵学勇,黄迎新,等.三种一年生藜科沙生植物出苗对沙埋深度和水分条件的响应[J].草业学报,2009,18(2):122-129.
- [32] Kiss R, Deák B, Tóthmérész B, et al. Establishment gaps in species-poor grasslands: artificial biodiversity hotspots to support the colonization of target species [J]. Restoration Ecology, 2021, 29: 1-12.
- [33] 王姣,赵晓英,原慧.达坂城荒漠霸王在自然条件下萌发的出苗动态[J].新疆师范大学学报(自然科学版),2016,35(2):34-38.
- [34] 迪力夏旦木·塔什买买提,刘会良.荒漠一年生植物异时萌发研究进展[J].植物生态学报,2023,47(12):1611-1628.
- [35] 何玉惠,赵哈林,刘新平,等.沙地恢复过程中两种一年生植物种子萌发和幼苗种群动态研究[J].中国沙漠,2010,30(6):1331-1335.
- [36] 刘志民,李雪华,李荣平,等.科尔沁沙地15种禾本科植物种子萌发特性比较[J].应用生态学报,2003(9):1416-1420.
- [37] 王桔红,杜国祯,崔现亮,等.青藏高原东缘61种常见木本植物种子萌发特性及其与生活史的关联[J].植物生态学报,2009,33(1):171-179.
- [38] Engelbrecht B M J, Kursar T A, Tyree M T. Drought effects on seedling survival in a tropical moist forest [J]. Trees-Structure and Function, 2005, 19(3): 312-321.
- [39] 詹瑾,李玉霖,韩丹,等.放牧对浑善达克沙地丘间低地植被群落及土壤的影响[J].中国沙漠,2019,39(6):184-191.
- [40] 刘露,赵文强,梁婷,等.植物-土壤反馈对西南亚高山森林4

种草本植物种子萌发和幼苗生长的影响[J].生态学杂志, 2024, 43(7): 2001–2009.

[41] 刘帅, 廖嘉星, 肖翠, 等. 长白山次生针阔混交林乔木幼苗存活的影响因素分析[J]. 植物生态学报, 2016, 40(7): 711–722.

The impact of grazing and precipitation on the emergence and survival of dominant plants in sandy grassland

He Yuhui^{ab}, Liu Xinping^{ac}, Hu Hongjiao^{ac}, Xu Yuanzhi^{ac}

(a. Key Laboratory of Ecological Safety and Sustainable Development in Arid Lands / b. Lanzhou Ecological Agriculture Experimental Research Station / c. Naiman Desertification Research Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Grazing seriously affects the growth and survival of plants in sandy grassland. To clarify whether the impact of grazing on plant seedlings varies with rainfall changes, our study investigated the effects of grazing on seedling emergence and survival of two dominant annual plants in dry and wet years in semi-arid sandy grasslands. The results showed that moderate grazing was beneficial for seedling emergence of the dominant grass plant *Setaria viridis* in both dry and wet years, while heavy grazing promoted the seedling emergence of the dominant forb plant *Corispermum macrocarpum*, especially in wet years. Whether in dry or wet years, the monthly emergence of *S. viridis* increased firstly, and then decreased, with peaking in May. However, the seedling emergence of *C. macrocarpum* decreased with time in wet years. There was no significant difference in individual survival and seedling survival rate of *S. viridis* among grazing intensities in both dry and wet years. While the seedling survival rate of *C. macrocarpum* decreased with grazing in both dry and wet years. However, the individuals of *C. macrocarpum* survived more in heavy grazed plots in wet years, and the individuals survived more in light grazed plots in dry years.

Key words: rainfall changes; grazing disturbance; dominant plants; seedling emergence; individual survival