

不同施肥处理对退化高寒草甸植被群落特征及牧草营养价值的影响

达朝玲¹, 李亚娟^{1*}, 胡蕊梅¹, 鱼小军¹, 徐长林¹, 史志嵩², 徐晶晶²

(1. 甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃省草业工程实验室, 中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省林业科技推广站, 甘肃 兰州 730046)

摘要:【目的】明确氮磷肥配施微生物菌肥对退化高寒草甸的修复效果以及施用菌肥后化肥减量的可行性, 筛选祁连山高寒草甸恢复的适宜施肥方案。【方法】在东祁连山典型中度退化高寒草甸设置不施肥(CK)、施氮磷复合肥 600 kg/hm²(PM)、施菌肥 75 kg/hm²(BM)、氮磷复合肥 600 kg/hm²+菌肥 75 kg/hm²(P I BM)、氮磷复合肥 450 kg/hm²+菌肥 75 kg/hm²(P II BM)、氮磷复合肥 300 kg/hm²+菌肥 75 kg/hm²(P III BM) 6个施肥处理。采用田间小区试验方法, 对不同施肥处理的植被群落特征及植物种生产性能进行研究。【结果】相比不施肥, 施用氮磷肥以及氮磷肥配施菌肥可以有效提高退化高寒草甸植物群落平均高度及地上生物量, 其中P I BM、P II BM处理的地上生物量分别较CK提高了1.37和1.35倍。同时氮磷肥以及氮磷肥配施菌肥提高了植物群落结构的多样性和稳定性, 提升群落中禾本科(Poaceae)、豆科(Fabaceae)等可食性牧草优势度。本研究条件下, 氮磷肥配施菌肥明显降低了植物中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的含量, 并有效提升了扁蓿豆(*Medicago ruthenica*)、麻花苣(*Gentiana straminea*)的粗蛋白含量。【结论】氮磷复合肥 450 kg/hm²+菌肥 75 kg/hm²对退化高寒草地植被群落特征改善及营养价值的提高有明显作用。

关键词:高寒草甸; 草地退化; 菌肥; 氮磷复合肥; 植被特征; 营养价值

中图分类号:S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2025)02-0083-08

DOI:10.13817/j.cnki.cycp.2025.02.009



祁连山区地处甘肃、青海省的交界处, 是我国重点生态系统服务功能区和重要的生态安全屏障, 其独特的地理位置和气候条件导致生境脆弱, 易受破坏^[1]。草地生态系统是祁连山区主要的生态系统之一^[2]。近几十年来, 祁连山区生态系统保护与综合治理问题日益突出, 草地生态系统环境持续恶化, 草地退化严重, 生产力日趋下降^[3], 其修复工作是我国生态保护中倍

受重视的科学问题^[4]。

目前, 我国对草地生态系统的研究也已取得很多成果。科研人员采用围栏封育、灭杀害鼠害虫、补种播种等措施进行草地的恢复和重建, 但从时间和空间尺度上看, 效果不明显, 有的草地甚至再次出现退化现象^[5]。修复退化高寒草地不仅需要控制草地能量的过度流失, 还要明确添加外源物质补给土壤养分^[6], 大量研究显示, 施肥可改善退化草地状况, 快速促进植被生长, 是退化高寒草甸恢复的有效手段之一^[7]。

化肥的大量使用能在短时间内快速的促进牧草的生长, 但长期施用会造成土壤理化性状恶化, 土壤酸化、土壤板结程度加重, 禾本科优势草种类型减少等恶劣影响^[9]。而通过开发新的肥源替代或部分替代化肥成为新的研究趋势^[8]。在此背景下, 菌肥作为一种功能性微生物肥料, 具有无毒害、无污染、低投入和

收稿日期:2023-04-05; **修回日期:**2023-04-24

基金资助:甘肃省草原生态修复治理科技支撑项目(2021); 甘肃省自然科学基金(20JR5RA036)

作者简介:达朝玲(1997-), 女, 甘肃兰州人, 硕士研究生。

E-mail: 1454249073@qq.com

*通信作者, 研究方向为草地土壤化学。

E-mail: lij@gsau.edu.cn

高产出的优点^[9]。菌肥在退化高寒草甸改良中通过改变土壤微生物生物量和群落结构来达到改善土壤理化性质的目的^[10-11]。有研究表明合理施用菌肥能显著提升退化草地生产力,在天然草地施撒1.3%的微生物菌液,能使牧草产量提高55%^[12]。因此,增加菌肥可以有效提高土壤肥力,进而改善植物对土壤养分的利用。因此通过施用化肥配施菌肥来改善土壤结构和理化性质,进而达到化肥减量增效,这对于提高草地生产力,降低化肥施用量有重要意义。

本研究以祁连山东段中度高寒退化草甸为研究对象,以不施肥为对照设置施氮磷肥、施菌肥和3种不同的氮磷肥减量配施菌肥处理,通过测定天然退化高寒草甸植物群落特征及牧草营养价值,来探讨化肥减量配施菌肥对草地植物群落及生产性能的影响,以期祁连山高寒退化草甸合理施肥修复提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 样地自然概况

研究区设在甘肃农业大学草原试验站,位于甘肃省武威市天祝藏族自治县抓喜秀龙乡中度退化高寒草甸,地理位置(N 37°10'16.97"、E 102°47'17.31")。该区域平均海拔2 960 m,地形为峡谷地带,西高东低,气候寒冷潮湿,昼夜温差较大,太阳辐射强。年均蒸发量1 592 mm,年降水量416 mm,多为地形雨,无绝对无霜期。植物生长期四至五个月,植被类型为高寒草甸,以莎草科(Gyperaceae)、禾本科(Poaceae)植物为主,混有其他杂类草。

1.2 试验设计

试验为随机区组设计(表1),选择生境条件一致,地势平坦,密度均匀且避开群落边缘的地块划定为试验小区,共设置6个处理,每个处理3个重复,共计18个小区。每个小区面积为2 m×5 m,小区之间设置0.5 m的缓冲带。试验所需氮磷复合肥为磷酸二铵(N 18%,P₂O₅46%),购于兰州市沙井驿农资市场;菌肥是含有溶磷菌、固氮菌及促生菌的复合菌肥,由甘肃农业大学草业学院微生物团队提供。施肥于2022年6月进行,施肥方式为:先将氮磷复合肥按施肥量均匀撒施于各小区地表,后将菌剂兑无菌水后用撒壶均匀喷施于各小区(菌剂与水的比例为1:5),选择阴天

到小雨天气喷施以确保菌肥肥效,不施肥的对照撒施等量无菌水。

表1 施肥处理
Table 1 Fertilization treatments

处理	施肥方案
CK	不施肥
PM	氮磷复合肥 600 kg·hm ⁻²
BM	菌肥 75 kg·hm ⁻²
P I BM	氮磷复合肥 600 kg·hm ⁻² +菌肥 75 kg·hm ⁻²
P II BM	氮磷复合肥 450 kg·hm ⁻² +菌肥 75 kg·hm ⁻²
P III BM	氮磷复合肥 300 kg·hm ⁻² +菌肥 75 kg·hm ⁻²

1.3 研究方法

1.3.1 样品采集 于2022年8月底进行植被调查,在每个试验地小区内随机选取一个样方,样方面积为0.5 m×0.5 m。记录每个样方内的植物种类株数、株高及各物种的多度、频度、高度、盖度、生物量,然后将样方中植物分种并齐地面剪下,装入信封后带回实验室称其鲜干重后烘干剪碎并使用研钵将其研磨成粉末,测定酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维和粗蛋白含量。

1.3.2 测定方法 地上生物量的测定:将样方内的植物按照不同植物种齐地面刈割分别剪下后称量鲜重,将其装入标记并已称量净重的信封中带回实验室,恒温干燥箱内105℃杀青30 min,然后调低温度到65℃烘干至恒重称量植物干重。

植株高度的测定:每个小区内按照不同植物种随机选取10个植株,测量从地面至最高点的自然高度。

样方内总盖度及各物种分盖度采用点刺法:将直径2 mm的测针垂直穿过草层,测针所接触的植物体样本为样点样本,记录测针所接触的植物名称及每种植物的次数,一次测定移动5 cm进行下一次测定^[13]。

植被群落结构及多样性的测定:优势度采用所有样方中同一种植物的相对盖度、相对生物量及相对高度指标计算;多样性分析采用Simpson指数(D)、Shannon-Wiener指数(H)、Pielou均匀度指数(E)和Margalef丰富度指数^[14-17],计算公式如下:

优势度=(相对盖度+相对生物量+相对高度)/3

$$D = 1 - \sum P_i^2$$
$$H = - \sum_{i=1}^S P_i (\ln P_i) E = \frac{H}{\ln S}$$

$$M = \frac{(S-1)}{\ln N}$$

式中: P_i 代表群落中第 i 种生物的生物量占群落总生物量的比例, S 为群落中的总物种数。

1.3.3 植物营养价值的测定 粗蛋白(CP)采用凯氏定氮法,酸性洗涤纤维(ADF)和中性洗涤纤维(NDF)采用 VanSoest 氏法^[18]。

1.4 数据分析

采用 Excel 2016 对数据进行整理,并使用 SPSS 19.0 对数据进行单因素方差(One-way ANOVA)分析和 Duncan 法多重比较检验,显著性水平设为 $P < 0.05$,数据结果用“平均值±标准差”表示。利用 SPSS 19.0 对植物群落特征与土壤理化性质进行 Pearson 相关性分析,显著水平为 $P < 0.05$ 。本研究中对不同施肥处理下植物营养相关指标与草地植物群落特征相关指标进行 Pearson 相关分析。用 Excel 2016 制图。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对地上植被生长的影响

2.1.1 生物量 群落地上生物量在不同处理下的变化如图 1 所示。各施肥处理下植物群落地上生物量较 CK 均有显著提升($P < 0.05$),且 PM 处理的地上生物量为最大值。P I BM、P II BM、P III BM 处理下生物量干重、鲜重较 CK 均有显著增长($P < 0.05$),但 3 个处理彼此间无显著差异,其中 P I BM、P II BM 处理的地上生物量分别较 CK 增长了 1.37 和 1.35 倍。施菌肥后植物群落地上生物量较 CK 有显著提升,增长了 50.40%。整体看来,与不施肥的对照相比,各施肥处理对植物群落地上生物量均有显著影响。

2.1.2 植物群落平均高度 与 CK 相比,施肥对植物群落平均高度有显著性影响($P < 0.05$)(图 3)。各施肥处理下植物群落高度均显著高于 CK($P < 0.05$),且 P I BM 处理下植物群落平均高度最高。

2.2 不同施肥处理对退化高寒草甸地上植被群落特征的影响

2.2.1 物种组成和优势度 施肥处理后各样地相较于不施肥处理,矮生嵩草(*Kobresia humilis*)、扁蓿豆(*Medicago ruthenica*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、麻花苳(*Gentiana straminea*)等优势度皆呈增加趋势。

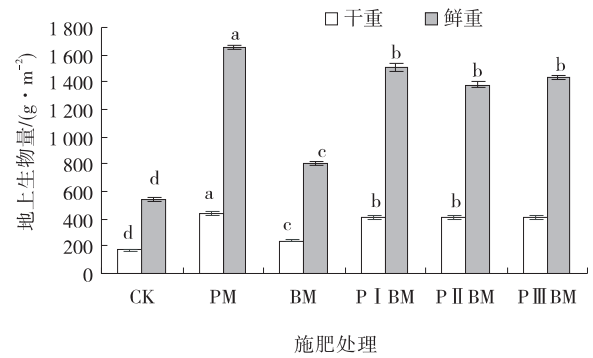


图 1 不同施肥处理下生物量鲜重和干重

Fig. 1 Biomass (dry and fresh weight) under different fertilization treatments

注:不同字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$),下同。

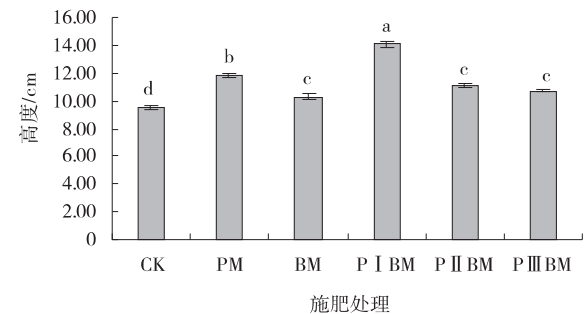


图 2 不同施肥处理下植物群落平均高度

Fig. 2 The average height of plant communities under different fertilization treatments

PM、BM、PIBM、PIIBM、P III BM 处理下矮生嵩草优势度最大,分别为:71.9、54.9、69.4、79.4、64.4,较 CK 分别增长了 73.67%、32.61%、67.63%、91.79%、55.56%。PM 处理下,优势度较大的植物种为球花蒿(*Artemisia smithi*)和早熟禾(*Poa sp.*),较 CK 分别增长了 1.67 倍、2.55 倍;BM 处理下优势度较大的植物种为球花蒿,较 CK 分别增长了 28.29%;PIBM 处理下优势度较大的植物种为扁蓿豆和麻花苳,分别为:27.4、12.7,较 CK 分别增长了 36.00%、38.56%;P II BM 处理下优势度较大的是扁蓿豆、早熟禾,分别较 CK 增长了 86.91%、1.63 倍;P III BM 处理下优势度较大的植物种扁蓿豆和麻花苳,分别为:44.2、20.9,较 CK 分别增长了 60.73%、11.44%。施氮磷复合肥、施菌肥及氮磷复合肥配施菌肥的五种处理下垂穗披碱草优势度均较不施肥处理有所增长(表 2)。

2.2.2 植被群落物种多样性特征 PM 处理下 Shannon—Wiener 指数最高,显著高于 CK 和其他施肥处理($P < 0.05$)。PM 处理下 Pielou 均匀度指数最高,

表2 不同施肥处理下高寒草甸群落物种组成和优势度变化

Table 2 Plant species composition and dominance of alpine meadow communities under different fertilization treatments

种名	优势度						%
	CK	PM	BM	P I BM	P II BM	P III BM	
矮生嵩草 <i>Kobresia humilis</i>	41.4	71.9	54.9	69.4	79.4	64.4	
扁蓿豆 <i>Medicago ruthenica</i>	27.5	26.7	21.1	27.4	51.4	44.2	
冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	14.3	15.3	8.5	3.0	3.0	19.3	
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	1.0	15.8	10.7	26.2	32.1	29.4	
多茎委陵菜 <i>Potentilla multicaulis</i>	7.2	0.0	0.9	3.6	<0.5	16.2	
多枝黄芪 <i>Astragalus polycladus</i>	2.1	0.0	1.0	6.2	3.6	6.3	
二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	4.5	3.4	5.1	7.1	6.2	5.0	
翻白委陵菜 <i>Potentilla discolor</i>	0.5	0.5	3.9	0.9	7.2	6.9	
高山紫菀 <i>Aster alpinus</i>	6.3	4.1	4.7	10.2	0.9	6.6	
黄花棘豆 <i>Oxytropis ochrocephala</i>	4.3	1.0	13.2	11.2	0.0	0.0	
高山韭 <i>Allium sikkimense</i>	5.1	6.5	8.9	10.0	10.2	4.9	
麻花艽 <i>Gentiana straminea</i>	23.6	19.6	23.1	12.7	11.2	20.9	
平车前 <i>Plantago depressa</i>	1.9	9.5	0.0	7.9	<0.5	4.7	
蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	3.7	0.0	<0.5	0.0	10.0	1.9	
球花蒿 <i>Artemisia smithi</i>	25.1	67.2	32.2	26.3	12.7	19.5	
高山唐松草 <i>Thalictrum alpinum</i>	19.2	10.3	5.4	8.0	0.0	2.8	
早熟禾 <i>Poa</i> sp.	10.0	35.5	14.5	5.8	26.3	7.1	
针茅 <i>Stipa capillata</i>	10.4	23.2	14.3	19.9	8.7	13.4	
乳白香青 <i>Anaphalis lactea</i>	0.0	2.6	4.4	8.7	7.9	0.0	

为0.88,且显著高于CK,其它施肥处理下均匀度指数较CK无显著性差异($P<0.05$)。PM处理下Margalef丰富度最高,显著高于CK和其它施肥处理($P<0.05$)。PM处理下Simpson指数均显著高于CK($P<0.05$),BM、P I M、P II BM及P III BM处理与CK无显著差异。

表3 不同施肥处理下物种多样性

Table 3 Species diversity under different fertilization treatments

施肥处理	Shannon—Wiener 指数	Pielou 均匀度指数	Margalef 丰富度指数	Simpson 指数
CK	2.09±0.04 ^c	0.82±0.01 ^b	1.76±0.16 ^b	0.40±0.01 ^{bc}
PM	2.84±0.05 ^a	0.88±0.02 ^a	2.14±0.24 ^a	0.51±0.01 ^a
BM	2.59±0.04 ^b	0.84±0.02 ^{ab}	1.86±0.24 ^b	0.37±0.02 ^{bc}
P I BM	1.99±0.05 ^c	0.83±0.01 ^b	1.54±0.13 ^c	0.30±0.01 ^c
P II BM	1.94±0.06 ^c	0.86±0.04 ^b	1.83±0.2 ^{8b}	0.46±0.01 ^{ab}
P III BM	2.48±0.30 ^b	0.85±0.01 ^b	1.59±0.14 ^c	0.35±0.01 ^c

2.3 不同施肥处理对牧草营养物质含量的影响

2.3.1 CP含量 本试验选取研究地区4种优势物种(扁蓿豆、矮生嵩草、垂穗披碱草、麻花艽)进行测定。不同施肥处理下植物CP含量的变化也不同,扁蓿豆各处理下CP含量显著高于CK($P<0.05$),矮生嵩草在各施肥处理后CP含量均显著低于CK;PM处理下垂穗披碱草CP含量最高,但各处理间与CK无显著差异;BM、P I BM、P III BM处理下麻花艽的CP含量均

显著高于CK($P<0.05$),较CK分别增长了27.09%、22.69%、28.45%(图3)。

2.3.2 纤维素含量 扁蓿豆NDF于PM、BM、P I BM、P II BM处理下显著低于CK($P<0.05$),其中PM处理下扁蓿豆NDF含量较CK降低了31.94%;矮生嵩草NDF含量于BM、P II BM处理下显著低于CK($P<0.05$);垂穗披碱草在各施肥处理下的NDF含量

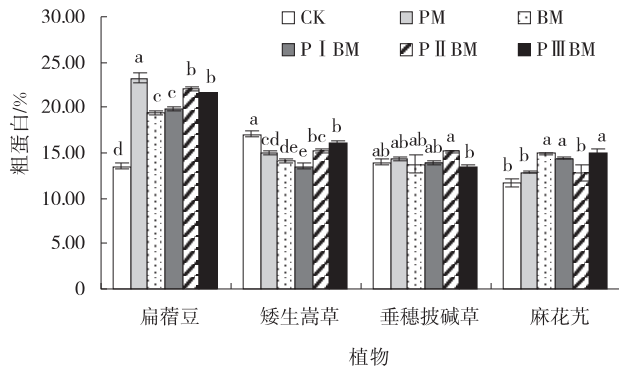
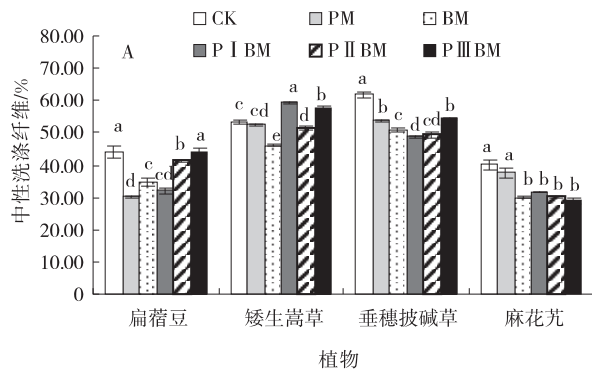


图 3 不同施肥处理下植物粗蛋白含量

Fig. 3 Plant crude protein content under different fertilization treatments



均显著低于CK($P<0.05$);麻花苣在BM、P I BM、P II BM、P III BM处理下的NDF含量均显著低于CK($P<0.05$)(图4-A)。

各施肥处理下扁蓿豆ADF含量均显著低于不施肥的对照($P<0.05$),其中PM处理下最低;除PIBM处理外,其它施肥处理下的矮生嵩草ADF含量均显著低于不施肥的对照($P<0.05$);各施肥处理下的垂穗披碱草ADF含量均显著低于CK($P<0.05$),且P III BM处理下最低;麻花苣在P III BM处理下的ADF含量显著低于CK($P<0.05$)(图4-B)。

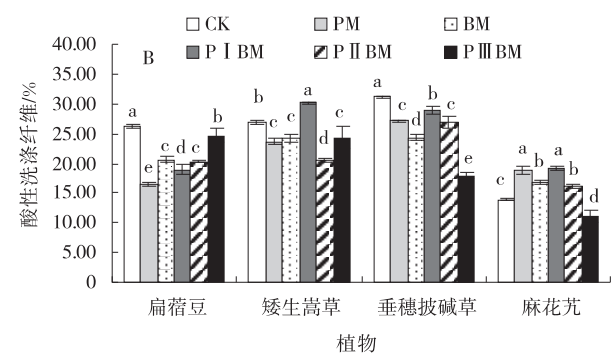


图 4 不同施肥处理下植物纤维含量

Fig. 4 Plant fiber content under different fertilization treatments

2.4 牧草营养特征与植被特征的相关性分析

CP与植被群落平均高度、群落地上生物量干鲜重呈显著正相关($P<0.05$),CP与ADF呈显著负相关($P<0.05$)。CP与植被物种多样性相关不显著。

3 讨论

3.1 不同施肥处理对植物群落特征的影响

植物地上生物量作为生态系统结构和功能的基

表 4 营养指标与植物群落结构的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of nutritional indicators and plant community structure

	高度	干重	鲜重	Shannon— Wiener 指数	Pielou 均 匀度指数	Margalef 丰 富度指数	Simpson 指数	ADF	NDF	CP
高度	1.000									
干重	0.935**	1.000								
鲜重	0.910*	0.992**	1.000							
香农威纳指数	0.060	0.120	0.185	1.000						
均匀度指数	-0.358	-0.401	-0.385	0.601	1.000					
物种丰富度	0.122	0.027	0.072	0.614	0.774	1.000				
辛普森指数	0.244	0.173	0.177	0.366	0.712	0.897*	1.000			
ADF	-0.522	-0.467	-0.413	-0.485	-0.260	-0.183	-0.267	1.000		
NDF	-0.445	-0.283	-0.327	-0.417	0.180	-0.205	0.117	0.218	1.000	
CP	0.878*	0.843*	0.813*	0.394	-0.057	0.203	0.292	-0.850*	-0.412	1.000

础草地植物群落最重要的特征之一,可反映草地植被对不同施肥处理的响应及退化草地的恢复效果^[19-20]。本研究中,各施肥处理后的群落地上生物量均显著高于不施肥对照,其中施氮磷复合肥效果最好,3个减量氮磷复合肥配施菌肥处理中P I BM的地上生物量最高,这说明氮磷复合肥配施菌肥对提高草地生产力有一定作用。同时,施菌肥后群落地上生物量与CK相比,其增长幅度为各处理中最小。这可能与施肥量、施肥持续时间相关,也可能是植物类群的不同引起的对施肥响应的差异^[12]。综上所述,施氮磷复合肥和氮磷复合肥配施菌肥均可显著增加天然草地植物地上生物量,菌肥可提升草地植物地上生物量。

草地植被高度体现着植物对光能量的利用程度,同时是植物在生长过程中的重要指标^[21],可以较为直观地体现群落特征及生态系统恢复效果^[22]。本研究中的施肥处理后的样地植物群落高度均较不施肥对照有显著增加,这在一定程度上说明,养分亏缺造成植物群落高度降低,施肥可以显著促进植物群落的高度增长^[23]。施肥虽然没有明显改变草地生物群落的种类,但改变了各植物种所占的比例。本试验结果表明施氮磷复合肥和氮磷复合肥配施菌肥后,群落禾本科植物优势度明显升高,使垂穗披碱草、早熟禾等所占比例有所提高;这与施肥后可促进草地禾本科类植物的生长,提高该类植物优势度的结论一致^[24]。不施肥的样地内麻花苳优势度较大,施肥处理后,其优势度有不同程度的降低,而禾本科、豆科和莎草科优势度都有明显增加,这可能是因为施肥后植物竞争能力改变,禾本科、豆科、莎草科类等牧草占比增加,草地群落组成受到影响,影响了群落种间关系。

物种多样性是草原群落的重要评估指标,可以反映群落内各物种对资源的利用能力和其适应生境的能力^[25],有研究认为施肥可以增加植物物种多样性^[26]。PM、BM处理下Shannon—Wiener指数显著高于CK,PM处理下Pielou均匀度指数、Margalef丰富度指数及Simpson指数较不施肥的对照有显著增加,BM处理下均匀度、丰富度指数较CK有所增加但不显著。这与上述研究结果一致。

3.2 不同施肥处理对植物营养价值的影响

CP和粗纤维含量通常作为评价牧草营养品质的重要指标,CP含量越高其营养价值就越高,NDF和

ADF含量越高,牧草的适口性及牲畜的消化率就越差^[27]。施肥可以通过提高牧草CP含量,降低粗纤维含量,进而提高牧草品质^[28]。本研究中各施肥处理下扁蓿豆CP含量均显著高于CK,BM、P I BM、P III BM处理下麻花苳CP含量显著高于CK,PM、P II BM处理下垂穗披碱草CP含量有所增加但不显著。这与施肥后天然草地牧草CP含量显著高于不施肥研究结果一致^[29]。但施肥对矮生嵩草CP含量无提升作用,这可能是不同物种对肥效的响应差异所致。本研究中P II BM施肥处理后扁蓿豆、麻花苳、垂穗披碱草CP含量较CK有所增加,并且NDF和ADF含量均降低。徐鑫磊等^[30]对呼伦贝尔草甸草原牧草品质研究也表明,施肥处理可以提高牧草CP含量,降低牧草中ADF和NDF含量。本研究条件下,植物生物量、高度与CP呈显著正相关,表明高寒草甸植物生长状况和生产力也是营养品质的重要保证^[31]。

4 结论

施用氮磷肥以及氮磷肥配施菌肥可以有效提高退化高寒草甸植物群落平均高度及地上生物量、植物群落结构的多样性和稳定性,同时提升群落中禾本科、豆科等可食性牧草优势度。本研究条件下,PM、P II BM处理下扁蓿豆、垂穗披碱草、矮生嵩草的优势度明显增加;P II BM处理下扁蓿豆、垂穗披碱草、麻花苳的CP含量得到有效增加;P II BM、P III BM处理下矮生嵩草、垂穗披碱草、麻花苳的NDF和ADF显著降低,P II BM处理下扁蓿豆NDF和ADF显著降低。因此,氮磷复合肥450 kg/hm²+菌肥75 kg/hm²可以有效改善退化高寒草甸植物群落生长状况及营养价值。

参考文献:

- [1] 王晓芬,马源,张格非,等. 高寒草甸退化阶段植物群落多样性与系统多功能性的联系[J]. 草地学报,2021,29(5): 1053—1060.
- [2] 王琼琳. 基于InVEST模型的祁连山东部主要生态系统服务功能评价[D]. 北京:北京林业大学,2021.
- [3] 马亚春,张洁,高亚敏,等. 祁连山不同退化草地土壤养分变化特征及质量综合评价[J]. 草地学报,2022,30(7): 1621—1629.
- [4] 武高林,杜国祯. 青藏高原退化高寒草地生态系统恢复和可持续发展探讨[J]. 自然杂志,2007,29(3):159—164.

- [5] 张冉,杨蔚,王文,等. 补播对退化高寒草甸牧草养分及土壤理化性质的影响[J]. 草业科学, 2022, 39(6): 1059—1068.
- [6] 谢文栋,旦久罗布,何世丞,等. 藏北高寒草地植被退化及其治理对策研究[J]. 中国畜禽种业, 2019, 15(8): 9—11.
- [7] 古琛,贾志清,杜波波,等. 中国退化草地生态修复措施综述与展望[J]. 生态环境学报, 2022, 31(7): 1465—1475.
- [8] 李琦,冯影,张建贵,等. 不同剂型促生菌肥与化肥配施对紫花苜蓿生产性能及营养品质的影响[J]. 草原与草坪, 2020, 40(1): 74—79.
- [9] 葛均青,于贤昌,王竹红. 生物菌肥效应及其应用展望[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(3): 87—88.
- [10] 马源,杨洁,张德罡,等. 高寒草甸退化对祁连山土壤微生物生物量和氮矿化速率的影响[J]. 生态学报, 2020, 40(8): 2680—2690.
- [11] 任卓然,邵新庆,李金升,等. 微生物菌肥对退化高寒草甸地上生物量和土壤理化性质的影响[J]. 草地学报, 2021, 29(10): 2265—2273.
- [12] 张万通,李超群,于露,等. 植物根际促生菌菌肥在高寒草甸替代化肥效应研究[J]. 草地学报, 2021, 29(7): 1423—1429.
- [13] 任继周. 草业科学研究方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [14] Shannon C, Weaver W. The mathematical theory of communication [D]. Urbana—USA: University of Illinois Press, 1949.
- [15] Pielou E C. Ecological Diversity[J]. New York: Wiley, 1975.
- [16] Simpson E H. Measurements of diversity [J]. Nature, 1949(163): 688.
- [17] Margalef R. Information theory in ecology [J]. General Systematics, 1958, 3, 36—71.
- [18] Van Soest P J, Robertson J B, Lewis B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarchpolycarbohydrates in relation to animal nutrition [J]. Journal of Dairy Science, 1991, 74(10): 3583—3597.
- [19] 周国英,陈桂琛,徐文华,等. 围栏封育对青海湖地区芨芨草原生物量的影响[J]. 干旱区地理, 2010, 33(3): 434—441.
- [20] 宣文婷,赵一军,李艺妆,等. 青藏高原东北缘不同利用率高寒草甸植被构成及种间关联[J]. 草业科学, 2022, 39(4): 625—633.
- [21] Hooper D U, Vitousek P M. The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes [J]. Science, 1997, 277(5330): 1302—1305.
- [22] 辛小娟. 氮、磷添加对亚高山草甸地上/地下生物量分配及植物功能群组成的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2011.
- [23] 王婷,杨思维,花蕊,等. 高寒草原植物功能群组成对退化程度的响应[J]. 生态学报, 2020, 40(7): 2225—2233.
- [24] 姚静,陈金强,辛晓平,等. 复合微生物肥料对羊草草原植物群落物种多样性和生物量的影响[J]. 草业学报, 2017, 26(10): 108—117.
- [25] Gill J S, Sale P, Peries R R, *et al.* Changes in soil physical properties and crop root growth in dense sodic subsoil following incorporation of organic amendments [J]. Field Crops Research, 2009, 114(1): 137—146. 26.
- [26] Wang C, Long R, Wang Q, *et al.* Fertilization and litter effects on the functional group biomass, species diversity of plants, microbial biomass, and enzyme activity of two alpine meadow communities [J]. Plant and soil. 2010, 331(1—2): 377—389.
- [27] 林豪,陈奕彤,褚璟怡等. 内蒙古温性草原不同径级芨芨草生物量与营养特征分析[J]. 中国草地学报, 2023, 45(1): 62—67.
- [28] 胡冬雪,王建丽,潘多锋,等. 施氮肥对羊草栽培草地生产性能及品质的影响[J]. 中国草地学报, 2017, 39(1): 35—41.
- [29] 张娇娇,刘培培,李小刚,等. 施肥和刈割对高寒天然草场牧草产量及营养品质的影响[J]. 草地学报, 2017, 25(4): 885—887.
- [30] 徐鑫磊,宋彦涛,赵京东,等. 施肥和刈割对呼伦贝尔草甸草原牧草品质的影响及其与植物多样性的关系[J]. 草业学报, 2021, 30(7): 1—10.
- [31] 余苗,王卉,问鑫,等. 牧草品质的主要评价指标及其影响因素[J]. 中国饲料, 2013(13): 1—3, 7.

Effects of different fertilization treatments on vegetation community characteristics and nutritional value of degraded alpine meadows

DA Zhao-ling¹, LI Ya-juan^{1*}, HU Rui-mei¹, YU Xiao-jun¹, XU Chang-lin¹, SHI Zhi-he², XU Jing-jing²

(1. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory for Grassland Ecosystem, Ministry of Education, Grassland Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China; 2. Forestry Technology Extension Station of Gansu Province, Lanzhou, Gansu Province 730046, China)

Abstract: 【Objective】 Fertilization is an important measure for the prevention and restoration of degraded alpine grassland. 【Method】 There are six fertilization treatments were set up, including no fertilization (CK), nitrogen and phosphorus compound fertilizer 600 kg/hm² (PM), microbial fertilizer 75 kg/hm² (BM), nitrogen and phosphorus compound fertilizer 600 kg/hm²+microbial fertilizer 75 kg/hm² (PIBM), nitrogen and phosphorus compound fertilizer 450 kg/hm²+microbial fertilizer 75 kg/hm² (PIIBM), nitrogen and phosphorus compound fertilizer 300 kg/hm²+microbial fertilizer 75 kg/hm² (PIIIBM), in order to clarify the restoration effect of nitrogen and phosphorus fertilizer combined with microbial fertilizer on degraded alpine meadows, and feasibility of fertilizer reduction after the application of microbial fertilizer, to screen the suitable fertilization scheme for the restoration of alpine meadows in the Qilian Mountains, and plant community characteristics and nutritional value of different fertilization treatment on by field community fertilization experimental method were studied. 【Result】 The characteristics of vegetation communities and the production performance of plant species under different fertilization treatments were studied by field community experimental method, and the following conclusions were obtained: Compared with no fertilization, the application of nitrogen and phosphorus fertilizer and nitrogen and phosphorus fertilizer combined with microbial fertilizer can effectively increase the average height and aboveground biomass of plant communities in degraded alpine meadows, and PIBM、PIIBM treated aboveground biomass increased by 1.37 and 1.35 times compared with CK. It also can improve the diversity and stability of plant community structure, and improve the dominance of edible forages such as grasses and legumes in the community. Under the conditions of this study, the content of NDF and ADF in plants was significantly reduced by nitrogen and phosphorus fertilizer and microbial fertilizer, and the CP content of *Medicago ruthenica* and *Gentiana straminea* was effectively increased. 【Conclusion】 Nitrogen and phosphorus compound fertilizer 450 kg/hm²+microbial fertilizer 75 kg/hm² had a significant effect on the improvement of vegetation community characteristics and nutritional value in degraded alpine grassland.

Key words: alpine meadow; grassland degradation; microbial fertilizer; nitrogen and phosphorus compound fertilizer; vegetation characteristics; nutritional value

(责任编辑:康宇坤)