

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2019.06.024

不同牧草混播对退化高寒草甸土壤养分及生物量的影响

张 骞¹, 张中华¹, 马 丽¹, 杨晓渊¹, 郭 婧¹, 徐文华¹, 周秉荣²,
邵新庆³, 王 芳¹, 贾永忠⁴, 贺有龙⁵, 金 欣⁶, 周华坤^{1*}

(1. 中国科学院西北高原生物研究所青海省寒区恢复生态学重点实验室, 青海 西宁 810001; 2. 青海省气象科学研究所, 青海 西宁 810001; 3. 中国农业大学动物科技学院, 北京 100193; 4. 循化县积石镇政府农村经济综合服务中心, 青海 海东 810600; 5. 青海省果洛州草原站, 青海 大武 814000; 6. 青海省气象灾害防御技术中心, 青海 西宁 810001)

摘要:适宜的牧草混播对于改善退化高寒草甸及高寒地区畜牧业现状具有重要的现实意义,但不同牧草混播条件下退化高寒草甸土壤养分及生物量变化特征尚不明确。为此,本研究以垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、早熟禾(*Poa pratensis*)、呼伦贝尔苜蓿(*Medicago falcata*)为试验草种,在三江源区重度退化高寒草甸开展为期 3 年的混播试验,探讨不同牧草混播对退化高寒草甸土壤养分及生物量的影响。结果表明:不同牧草混播条件下,草甸土壤有机碳含量与全氮及不同形态氮素含量呈显著正相关($P < 0.05$);草甸土壤养分含量发生显著变化($P < 0.05$),EM(垂穗披碱草+呼伦贝尔苜蓿)混播的土壤养分状况最佳;草甸地上、地下生物量显著增加($P < 0.05$),EM 混播的效果最为显著($P < 0.05$)。综上,在重度退化高寒草甸恢复过程中,如采取人工草地建植手段,建议选择 EM 混播。

关键词:牧草;混播;土壤养分;生物量

中图分类号:S812.2

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2019)06-1659-08

Effects of Mixed Sowing of Different Pasture Grasses on Soil Nutrients and Biomass in Degraded Alpine Meadows

ZHANG Qian¹, ZHANG Zhong-hua¹, MA Li¹, YANG Xiao-yuan¹, GUO Jing¹, XU Wen-hua¹,
ZHOU Bing-rong², SHAO Xin-qing³, WANG Fang¹, JIA Yong-zhong⁴, HE You-long⁵,
JIN Xin⁶, ZHOU Hua-kun^{1*}

(1. Key Laboratory of Cold Regions Restoration Ecology, Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai Province 810001, China; 2. The Qinghai Institute of Meteorological Science, Xining, Qinghai Province 810001, China; 3. College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 4. Rural Economic Comprehensive Service Center of Jishi Town Government of Xunhua County, Haidong, Qinghai Province 810600, China; 5. Qinghai Province guoluo grassland station, Dawu, Qinghai Province 814000, China; 6. Qinghai Province Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Xining, Qinghai Province 810001, China)

Abstract: Appropriate pasture grasses mixed sowing has important practical significance for improving the status of animal husbandry in degraded alpine meadows and alpine regions. However, the characteristics of soil nutrient and biomass in degraded alpine meadow under different pasture grasses mixed sowing conditions are not clear. To this end, in this study, a three-year mixed sowing test in severely degraded alpine meadows in the Three River Source was carried out to explore the effects of different pasture grasses including *Elymus nutans*, *Poa pratensis* and *Medicago falcata* on soil nutrient and biomass in degraded alpine meadows. The results showed that under different pasture grasses mixed sowing conditions, the soil organic carbon content in meadow was significantly positively correlated with total nitrogen and different nitro-

收稿日期:2019-10-17;修回日期:2019-10-30

基金项目:国家重点研发计划课题(2016YFC0501901);国家自然科学基金项目(31672475);中国科学院科技服务网络计划(STS计划)(KFJ-STZ-ZDTP-036, KFJ-STZ-ZDTP-056-2);中科院先导专项(XDA2005010405);青海省创新平台建设专项(2017-ZJ-Y20);青海省自然科学基金面上项目(2019-ZJ-908);青海省重点研发与转化计划(2016-NK-A7-BA-02, 2019-SF-A12);(2017)年度青海三江源生态保护和建设二期工程科研和推广项目(2017-S-1);第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0302)资助

作者简介:张骞(1993-),男,山西临汾人,硕士研究生,主要从事高寒草甸恢复生态学研究, E-mail:1454184425@qq.com; *通信作者 Author for correspondence, E-mail:hkzhou@nwipb.cas.cn

gen forms ($P < 0.05$). The soil nutrient content in meadow was significantly changed ($P < 0.05$). The soil nutrient status of EM (*Elymus nutans* + *Medicago falcata*) mixed sowing was the best; The aboveground and underground biomass of meadow increased significantly ($P < 0.05$), and the effect of EM mixed sowing was the most significant ($P < 0.05$). In summary, in the process of restoration of severely degraded alpine meadows, such as artificial grassland establishment, it is recommended to choose EM mixed sowing.

Key words: Pasture grasses; Mixed sowing; Soil nutrient; Biomass

三江源区位于青藏高原腹地,是长江、黄河、澜沧江的源头,其面积的 70% 以上为高寒草甸,具有重要的生态固持功能,是不可替代的生态屏障^[1-3]。但是,由于自身生态环境较为敏感、脆弱,加之近年来气候变化、过度放牧等的影响,该区高寒草甸发生了极为严重的退化现象^[4]。高寒草甸生态系统是在寒冷而湿润的气候条件下,由耐寒的多年生中生草本植物为建群种而形成的一种生态系统类型,广泛分布于青藏高原,是高原畜牧业生产的物质基础^[5]。高寒草甸宝贵的牧草资源不仅对当地畜牧业的发展、民族经济发展具有不可替代的作用,也对高寒地区风沙、水蚀、盐碱、内涝、地下水位变化、土壤侵蚀、土地资源的流失等自然灾害的发生具有一定的屏障作用^[6]。同时,牧草作为畜牧业发展的基础,对于草甸最大载畜率及生态承载力具有决定性的作用^[7]。而高寒草甸退化导致牧草覆盖度及品质的下降,使得三江源区的畜牧业和民族经济发展受到巨大阻碍^[8]。土壤在高寒草甸涵养水源、养分供给等功能中发挥着重要作用,高寒草甸的退化导致土壤生态功能下降,影响草甸生态系统的可持续发展^[9-11]。因此,退化高寒草甸生态系统的恢复对于改善当前现状具有重大意义。

目前,对于三江源区高寒草甸的退化,学者们提出了一系列的恢复措施,如人工草地建植^[12]、施肥^[13]、围栏封育等,其中人工草地建植是恢复措施中效果最直观明显的^[14]。但在人工草地建植过程中也存在许多的问题,如草种的选择、搭配。同时,建植后人工草地的土壤以及生物量状况缺乏研究。因此,为重度退化高寒草甸恢复提供适宜的牧草组合,以及明晰重建后草甸的土壤及生物量状况是十分必要的。垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、早熟禾(*Poa pratensis*)为青藏高原的本土禾本科植物,而且具有耐寒、利用价值高等优点,常被广泛作为建植种用于退化高寒草甸的恢复中^[15-16]。苜蓿作为一种豆科植物,对于禾本科植物种子萌发生长具有促进作用^[17]。有研究表明合理的豆禾比例与种类搭配能显著改善土壤养分的供给^[18]。故本研究采用人工草地建植的方式,选取垂穗披碱草、草地早熟禾、

呼伦贝尔苜蓿(*Medicago falcata*)作为研究草种,通过分析不同牧草混播对退化高寒草甸土壤养分及生物量的影响,筛选对于土壤改良以及提高生物量有优势的牧草组合,以期为重度退化高寒草甸人工草地建植提供技术支撑。同时,也为退化高寒草甸治理模式的构建及高寒区生态恢复^[19]提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样地基本概况

原位试验在三江源高寒草地研究观测站军牧场试验点(青海省果洛州玛沁县军牧场,经纬度 $34^{\circ}22' \sim 34^{\circ}20' N, 100^{\circ}30' \sim 100^{\circ}29' E$,海拔 4 100 m)进行。该区为典型高寒草甸,土壤类型为高山草甸土。2010-2018 年平均年降水量为 514.9 mm,生长期(5-8 月)降水量上升 12.0%。年平均气温为 $0.7^{\circ}C$,1 月为 $2.1^{\circ}C$,7 月为 $19.8^{\circ}C$,年日照小时为 2 493.6 h。属高原大陆性气候,雨热同季。

1.2 试验设计

本试验于 2016 年 1 月-2018 年 12 月在一片相对平坦的重度退化的高寒草甸进行。试验草甸通过围栏进行保护,以排除放牧干扰,同时,协调当地牧民进行鼠害防治,尽可能的避免鼠兔等啮齿动物的干扰。采用随机区组试验设计,选择由青海省牧草良种繁殖场提供的高禾草垂穗披碱草、矮禾草草地早熟禾、豆科牧草呼伦贝尔苜蓿进行配置,共 8 个组合(表 1),3 次重复,每个处理小区为 $3 m \times 3 m$,各小区以及重复之间距离均为 1 m。2016 年 5 月中旬进行播种,牧草播种前对试验样地进行翻耕处理,翻耕方式为农具翻耕,深度为 20~22 cm。选取优质草种均匀混合进行撒播,当年苗期进行 2 次除杂,之后每年返青后进行一次除杂,除杂方式为人工除杂,剔除试验草种以外的杂草。对照组不作任何处理。播种量以青海建植人工草地的地方标准执行(垂穗披碱草播种量为 $3 g \cdot m^{-2}$ 。草地早熟禾播种量为 $0.75 g \cdot m^{-2}$ 。呼伦贝尔苜蓿播种量为 $1.5 g \cdot m^{-2}$)。

表1 牧草混播处理及播种量
Table 1 Pasture mixed treatments and seeded rates

标号 Label	混播处理 Mixed treatments	拉丁名 Latin name	播种量 Seeded rates/g · (9m) ⁻²
EPM	垂穗披碱草+草地早熟禾+呼伦贝尔苜蓿	<i>Elymus nutans</i> + <i>Poa pratensis</i> + <i>Medicago falcata</i>	9.00+2.250+4.500
EP	垂穗披碱草+草地早熟禾	<i>Elymus nutans</i> + <i>Poa pratensis</i>	13.500+3.375
EM	垂穗披碱草+呼伦贝尔苜蓿	<i>Elymus nutans</i> + <i>Medicago falcata</i>	13.500+6.750
PM	草地早熟禾+呼伦贝尔苜蓿	<i>Poa pratensis</i> + <i>Medicago falcata</i>	3.375+6.750
CK	对照组 control group	—	—
E	垂穗披碱草	<i>Elymus nutans</i>	27.000
P	草地早熟禾	<i>Poa pratensis</i>	6.750
M	呼伦贝尔苜蓿	<i>Medicago falcata</i>	13.500

注:对照组的处理方式为维持原始的植被及土壤状态,未做任何处理

Note: The control group was treated to maintain the original vegetation and soil status without any treatment

1.3 样品采集

2018年9月中旬进行样品采集。试验样地处理组牧草长势良好,呼伦贝尔苜蓿存在少数死亡情况,但整体存活率较高。在每个处理小区选取能够代表小区牧草整体长势水平的0.5 m×0.5 m样方,刈割样方内地上部分牧草,装入大信封中,带回实验室测定地上生物量。在每个处理小区对角线上均匀选取2个点作为土壤取样点,使用内径5 cm的土钻分别取0~10 cm,10~20 cm,20~30 cm的土壤样品,并将每个处理的2个取样点同层样品混合,装入土样袋中,带回实验室测定土壤养分指标及地下生物量。

1.4 土壤养分指标及生物量测定

土壤养分指标:土壤全氮、全磷、铵态氮、硝态氮、速效磷采用全自动间断化学分析仪(CleverChem 380),土壤速效氮采用碱解扩散法,土壤有机碳采用油浴加热重铬酸钾氧化-容量法。土壤养分指标分别测定0~10 cm,10~20 cm,20~30 cm。本文使用三层土壤养分指标数据的加权平均值。

生物量:将采集的地上部分牧草,105℃杀青30 min,在65℃烘干48 h至恒重后称干重,作为地上生物量。将采集的土壤样品过筛后残留根系,105℃杀青30 min,在65℃烘干48 h至恒重后称干重,作为地下生物量。

1.5 数据处理

采用2013 Excel对数据进行前期处理、隶属函数值的计算,SPSS 20对数据进行因子分析、相关性

分析、显著性分析,Origin 2017进行作图。隶属函数值的计算方法:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}}$$

式中: Z_{ij} 表示土壤养分状况隶属函数平均值, X_{ij} 表示*i*处理*j*指标的测定值, $X_{j\min}$ 表示所有处理中*j*指标的最小值, $X_{j\max}$ 表示所有处理中*j*指标的最大值。

2 结果和分析

2.1 不同牧草混播条件下退化高寒草甸土壤养分指标的相关性及主因子分析

由表2可知,通过不同牧草混播,退化高寒草甸土壤有机碳含量与全氮含量呈极显著正相关($P < 0.01$),与速效氮和硝态氮含量呈显著正相关($P < 0.05$)。土壤全氮含量与速效氮含量呈极显著正相关($P < 0.01$),与硝态氮含量呈显著正相关($P < 0.05$)。土壤硝态氮含量与速效磷含量呈极显著正相关($P < 0.01$)。反映了氮含量显著影响着氮转换,土壤有机碳及速效磷含量与氮循环密切相关。

从表3主因子分析可以看出,3个主因子代表了7个土壤养分指标的94.150%的主要信息。故可选用这3个主因子来作为试验处理结果的分析基础。从表4主因子分析结果可以看出,主因子1的AP,NO 2个指标代表了总指标60.927%的信息。主因子2的NH 1个指标代表了总指标18.199%的信息。主因子3的TP 1个指标代表了总指标15.024%的信息。因此,将AP,NO,NH,TP这4

个土壤指标作为试验处理对土壤养分影响的主要分析指标。

表 2 土壤养分指标相关性分析

Table 2 Correlation analysis of soil nutrient indicators

	SOC	TN	TP	AN	NO	NH	AP
TN	0.921**						
TP	0.181	0.311					
AN	0.803*	0.894**	-0.081				
NO	0.782*	0.744*	0.141	0.649			
NH	0.674	0.591	0.091	0.533	0.212		
AP	0.580	0.655	0.116	0.568	0.844**	-0.106	

注:**在 0.01 水平(双侧)上显著相关,*在 0.05 水平(双侧)上显著相关。表中字母 SOC 代表“有机碳”,TN 代表“全氮”,TP 代表“全磷”,AN 代表“速效氮”,AP 代表“速效磷”,NO 代表“硝态氮”,NH 代表“铵态氮”,下同

Note:** Significantly correlated at the 0.01 level (both sides),* significant correlation at the 0.05 level (both sides). The letters SOC in the table represent “Soil organic carbon”,TN stands for “Total nitrogen”,TP stands for “Total phosphorus”,AN stands for “Available nitrogen”,AP stands for “Available phosphorus”,NO stands for “Nitrate nitrogen”,and NH stands for “Ammonium nitrogen”,the same as below

表 3 土壤养分指标主因子分析

Table 3 Main factor analysis of soil nutrient indicators

类别 Category	初始特征值 Initial eigenvalue	方差 Variance/ %	累积 Accumulation/ %
1	4.265	60.927	60.927
2	1.274	18.199	79.126
3	1.052	15.024	94.150
4	0.273	3.899	98.049
5	0.082	1.174	99.222
6	0.054	0.772	99.994
7	0.000	0.006	100.000

注:类别中的编号代表主因子分析所提取的公因子,下同

Note: The number in the category represents the common factor extracted by the principal factor analysis, the same as below

表 4 主因子分析结果

Table 4 Main factor analysis results

类别	AP	NO	TN	NH	SOC	AN	TP
1	0.979	0.905	0.686	-0.075	0.632	0.638	0.074
2	-0.053	0.242	0.672	0.975	0.727	0.663	0.055
3	0.051	0.077	0.214	0.056	0.110	-0.194	0.992

2.2 不同牧草混播对退化高寒草甸土壤养分的影响

不同牧草混播对退化高寒草甸土壤养分的影响显著。由图 1A 可知,EM,EP,PM 处理组的土壤速效磷含量均高于 CK($P<0.05$),其中 EM 处理的土壤速效磷含量最高,且均高于其他各处理($P<0.05$)。EPM,E,P,M 处理组的土壤速效磷含量均高于 CK($P<0.05$),但处理间差异不显著。由图 1B 可知,各处理的土壤铵态氮含量波动较大,但均高于 CK。其中 M 处理的土壤铵态氮含量最高,与 CK 相比提高了约 1.2 倍($P<0.05$)。EPM,EM,P 处理组间的土壤铵态氮含量无显著差异($P<0.05$),但 EPM 处理的土壤铵态氮含量高于 EM,P 处

理组。

由图 1C 可知,EP,EM,PM 处理组的土壤硝态氮含量均高于 CK,其中 EP,EM 处理组显著高于其他各处理($P<0.05$)。EPM,E,P,M 处理组的土壤硝态氮含量均低于 CK($P<0.05$),其中 P 处理的土壤硝态氮含量最低,与各处理差异显著($P<0.05$)。由图 1D 可知,E 处理的土壤全磷含量最高,且显著高于 CK($P<0.05$),其余各处理与 CK 相比均未产生显著差异。

综合图 1 来看,E 处理的土壤全磷含量高于 CK,但土壤速效磷含量低于 CK($P<0.05$)。M 处理的土壤铵态氮含量高于 CK,但土壤硝态氮含量低于 CK($P<0.05$)。

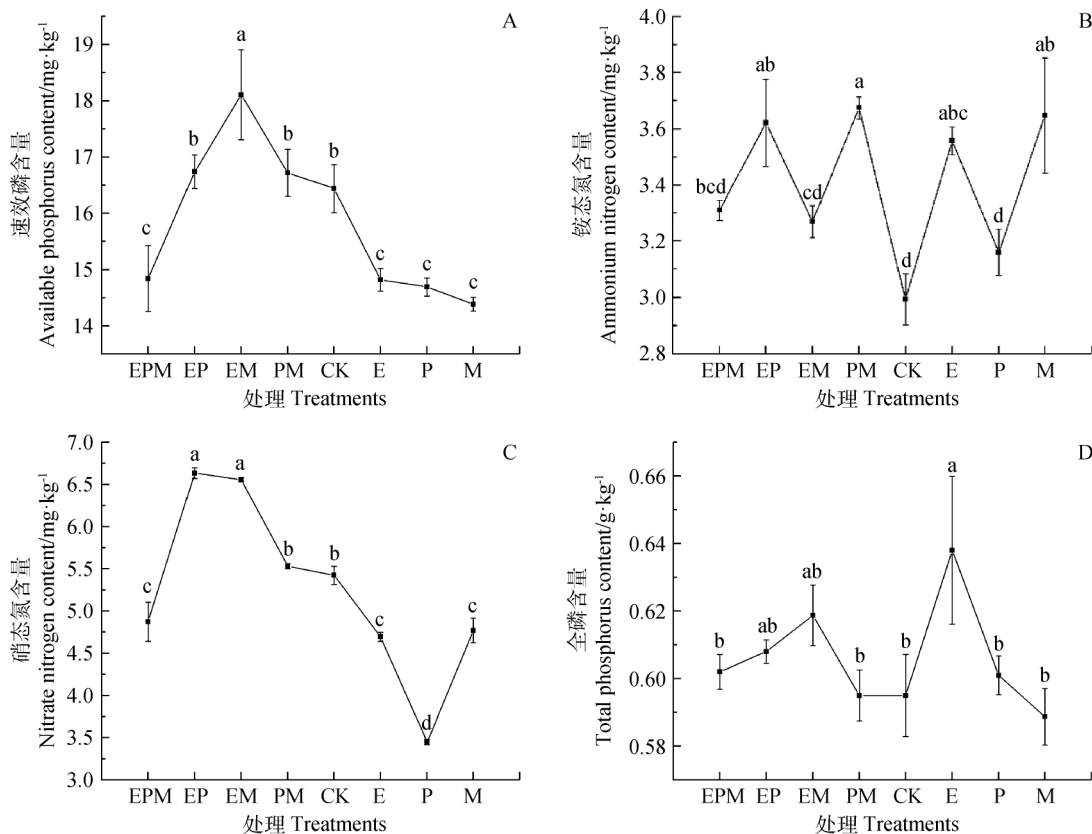


图 1 各处理下土壤速效磷含量(A)、铵态氮含量(B)、硝态氮含量(C)、全磷含量(D)

Fig. 1 Soil available phosphorus content (A) and ammonium nitrogen content (B) and nitrate nitrogen content (C) and total phosphorus content (D) under each treatment

注:图中值为平均值+标准误,不同字母表示同一测定指标在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。图中字母 EPM 代表“垂穗披碱草+草地早熟禾+呼伦贝尔苜蓿”,EP 代表“垂穗披碱草+草地早熟禾”,EM 代表“垂穗披碱草+呼伦贝尔苜蓿”,PM 代表“草地早熟禾+呼伦贝尔苜蓿”,CK 代表“对照组”,E 代表“垂穗披碱草”,P 代表“草地早熟禾”,M 代表“呼伦贝尔苜蓿”,下同

Note: The values in the figure are the mean + standard error, and the different letters indicate that the same measurement index is significantly different at the 0.05 level. The letter EPM stands for "Elymus nutans + Poa pratensis + Medicago falcata", EP stands for "Elymus nutans + Poa pratensis", EM stands for "Elymus nutans + Medicago falcata", PM stands for "Poa pratensis + Medicago falcata", CK stands for "control group", E stands for "Elymus nutans", P stands for "Poa pratensis", and M stands for "Medicago falcata", the same as below

2.3 不同牧草混播条件下退化高寒草甸土壤养分状况的评价

选取不同牧草混播条件下退化高寒草甸土壤的 AP, NO, NH, TP 4 个主因子养分指标,利用隶属函

数法对各指标的相对值进行计算,为不同牧草组合播种处理后土壤养分状况做出综合评价(表 5),得到经不同牧草混播处理后土壤养分状况的排序为 $EM > EP > PM > E > CK > EPM > M > P$ 。

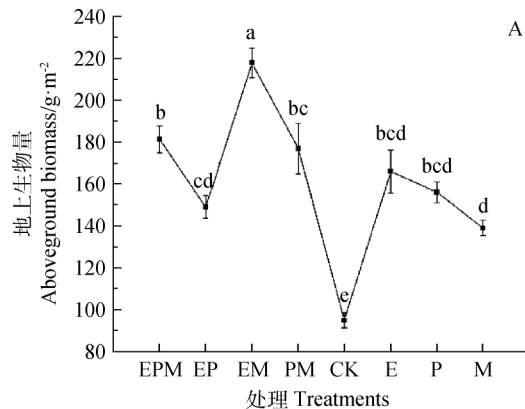
表 5 各处理下主效指标的综合评价及排序

Table 5 Comprehensive evaluation value and ranking of main effect indicators under each treatment

处理 Treatments	速效磷 Available phosphorus	铵态氮 Ammonium nitrogen	硝态氮 Nitrate nitrogen	全磷 Total phosphorus	隶属均值 Mean	排序 Order
EPM	0.236	0.360	0.364	0.395	0.339	6
EP	0.658	0.686	0.815	0.496	0.664	2
EM	0.961	0.318	0.796	0.676	0.688	1
PM	0.653	0.742	0.533	0.277	0.551	3
CK	0.591	0.028	0.505	0.277	0.350	5
E	0.231	0.619	0.319	1.000	0.542	4
P	0.203	0.203	0.001	0.378	0.196	8
M	0.136	0.713	0.338	0.172	0.340	7

2.4 不同牧草混播对退化高寒草甸地上、地下生物量的影响

通过不同牧草混播处理,重度退化草甸的生物量发生了显著的变化。由图 2A 可知,各处理组的地上生物量均显著高于 CK($P < 0.05$)。其中 EM 处理的地上生物量最高,较 CK 提高了约 2.3 倍。M 处理的地上



生物量最低,较 CK 提高了约 1.5 倍。如图 2B 可知,各处理组的地下生物量均高于 CK($P < 0.05$),其中 EM 处理的地下生物量最高,较 CK 提高了约 2.7 倍。M 处理的地下生物量最低,较 CK 提高了约 1.2 倍。由此可见,地上生物量与地下生物量的各处理组具有同步性,EM 处理的效果最为显著。

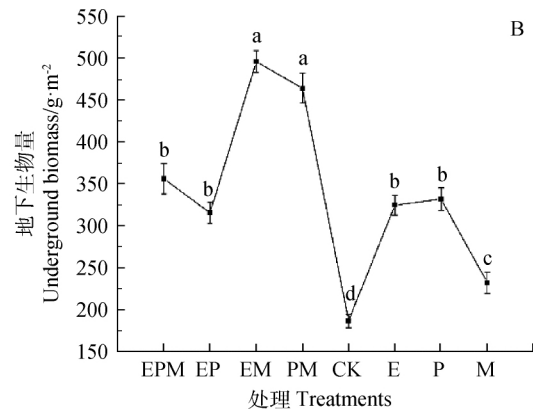


图 2 各处理下地上生物量(A)、地下生物量(B)

Fig. 2 Aboveground biomass (A) and Underground biomass (B) under each treatment

3 讨论

3.1 不同牧草混播对退化高寒草甸土壤养分的影响

土壤养分状况的改善是退化草甸恢复的目标之一,它决定着草甸利用是否可持续^[20]。养分条件的改变,将影响与之相关的土壤生态功能稳定性^[21]。本研究中,不同牧草混播条件下退化高寒草甸土壤有机碳含量与全氮含量呈极显著正相关($P < 0.01$),与硝态氮含量呈显著正相关($P < 0.05$)。这是由于土壤氮素和有机碳之间的耦合效应,一方面土壤氮素含量的变化改变了土壤对 CO_2 的吸收能力,影响着土壤碳的固定,另一方面土壤有机碳含量又对氮素的矿化、固氮及反硝化有重要作用^[22-23]。不同牧草混播条件下退化高寒草甸土壤全氮含量与速效氮含量呈极显著正相关($P < 0.01$),与硝态氮含量呈显著正相关($P < 0.05$)。这是由于土壤全氮含量处于动态变化之中,它在土壤微生物的作用下影响着土壤净氮矿化速率及氮素有效性^[24]。

从单个养分指标分析结果来看,土壤速效磷含量在 EM,EP,PM 处理下均高于 CK,其中 EM 处理的土壤速效磷含量最高。这可能是由于混播导致凋落物量增加,而凋落物是形成腐殖质的重要原料,它会在铁、铝氧化物等胶体表面形成保护膜,减少对磷酸根的吸附,增加了土壤中速效磷的含量^[25-26]。土

壤全磷含量只有在 E 处理下高于 CK($P < 0.05$),而其他各个处理均与 CK 无显著差异。这可能是由于垂穗披碱草的凋落物积累、根系分泌物使得土壤全磷产生了一定程度的富集,而其他各牧草混播的富集效果不明显^[27]。土壤铵态氮和硝态氮主要来源于土壤有机氮的氨化和硝化,是植物能直接吸收利用的生物有效态氮^[28]。本研究通过分析得出,土壤铵态氮含量在各牧草混播条件下的波动较大,但均高于 CK。其中 M 处理的土壤铵态氮含量最高($P < 0.05$)。这可能是由于植物生长期间产生的可矿化氮,促进了氮素的转换过程。同时,由于果洛试验区的土壤大多受氮素转换的限制,而豆科植物的固氮作用可使土壤铵态氮含量提升,故呼伦贝尔苜蓿处理下的铵态氮含量最高^[29-30]。土壤硝态氮含量在各牧草混播条件下既有升高又有减低,其中 2 种牧草混播条件下的土壤硝态氮含量均高于 CK,而 1 种牧草和 3 种牧草混播条件下的土壤硝态氮含量均低于 CK。这说明混播可以促进氮素的硝化作用,但适宜的牧草混播数为 2 种,其中豆禾混播效果更佳^[31]。

从总体土壤养分状况的评价结果来看,2 种牧草混播下的土壤养分状况均高于 CK,而 1 种牧草和 3 种牧草混播条件下的土壤养分状况均低于 CK。其中,EM 处理下的土壤养分状况最佳。这可能是豆禾牧草混播下,不同种类牧草的生态位互补

效应,能更有效地利用有限的资源,同时又有利于调节土壤环境条件,从而提高土壤养分状况^[18,32]。而M处理的土壤养分状况最差,这是由于豆科单播对于土壤养分的利用较单一,不利于退化高寒草甸土壤养分状况的改善^[33]。在豆禾牧草混播体系中豆科牧草将土壤中氮素固定后绝大部分储藏在自身体内,部分转移给禾本科植物,这增强了共生效应和相容性,有利于土壤稳定性及养分状况的提升^[29,34]。

3.2 不同牧草混播对退化高寒草甸地上、地下生物量的影响

生物量的增加是恢复直观的判断标准,它决定着草地的承载力^[35-36]。高寒地区的适宜牧草混播对草地生物量的积累和分配有较大的影响,这将有助于理解未来植被恢复和植物间的相互作用^[37]。合理的牧草配置能够充分利用各种资源,促进种间有益作用,提高单位面积牧草产量有利于改善牧草品质^[38]。本研究得出,不同牧草混播后,地上、地下生物量均高于CK,且多种牧草混播的地上、地下生物量普遍高于1种牧草的播种,其中EM处理的地上、地下生物量均最高。导致这一结果的原因可能为重度退化草甸自身的生产力低下,选取的恢复草种对高寒环境有较好的适应能力,其中垂穗披碱草为本土植物,其适应性在三江源大多区域都极强,呼伦贝尔苜蓿其自身的抗寒性及高寒地区适应性在青海省牧草良种繁殖场培育过程中得到了证明,本研究中其生物量高于对照组也说明了其适应于高寒地区的生长,这2种牧草的应用为重度退化高寒草甸的生态修复提供了优质的种子源^[39],从而使得各牧草混播条件下的生物量均高于CK。EPM,EP,PM处理的地上、地下生物量均高于对照组,这可能是由于多种牧草的混播会使群落稳定性增加,初级生产力得到提升^[40]。而1种牧草的播种虽然也高于对照组,但这可能是由于其自身的适应性导致。此外,豆禾牧草的混播由于其资源利用的分化,使得在退化草甸恢复过程中占有很大的优势^[41],因而EM处理对于提升退化草甸生物量的效果最佳。

4 结论

从本研究的研究结果来看,采用人工草地建植方式对三江源区重度退化高寒草甸进行恢复时,建议选择EM(垂穗披碱草+呼伦贝尔苜蓿)进行混播,这样不仅可以保证退化高寒草甸的土壤养分状

况得到改善,同时也可当地畜牧业提供优质的牧草资源。在保证草地资源的可持续利用的前提下,维持草地生态系统的稳定性。

参考文献

- [1] 周华坤,姚步青,于龙. 三江源区高寒草地退化演替与生态恢复[M]. 北京:科学出版社,2016:21
- [2] 孙鸿烈,郑度,姚檀栋,等. 青藏高原国家生态安全屏障保护与建设[J]. 地理学报,2012,67(01):3-12
- [3] 张惠远,王金南,饶胜. 青藏高原区域生态环境保护战略研究[M]. 北京:中国环境科学出版社,2012:17
- [4] 赵志平,吴晓蕾,李果,等. 青海三江源区果洛藏族自治州草地退化成因分析[J]. 生态学报,2013,33(20):6577-6586
- [5] 尹亚丽,王玉琴,李世雄,等. 围封对退化高寒草甸土壤微生物群落多样性及土壤化学计量特征的影响[J]. 应用生态学报,2019,30(01):127-136
- [6] 赵春红,高建恩,徐震. 牧草调控绵沙土坡面侵蚀机理[J]. 应用生态学报,2013,24(01):113-121
- [7] 董瑞兰,贾婉,于光辉. 草地产草量和动物承载力预测模型研究进展[J]. 草地学报,2018,26(05):1043-1051
- [8] 李成阳,薛娴,赖焱敏,等. 青藏高原退化高寒草甸生长季承载力[J]. 中国沙漠,2018,38(06):1330-1338
- [9] Xie H H, Wu Q G, Hu J Y, *et al.* Changes in Soil Physical and Chemical Properties During the Process of Alpine Meadow Degradation along the Eastern Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Eurasian Soil Science*, 2018, 51(12): 1440-1446
- [10] 张生楹,张德罡,柳小妮,等. 东祁连山不同退化程度高寒草甸土壤养分特征研究[J]. 草业科学,2012,29(07):1028-1032
- [11] 周华坤,赵新全,周立,等. 青藏高原高寒草甸的植被退化与土壤退化特征研究[J]. 草业学报,2005(03):31-40
- [12] Zhang X, Liu X Q, Zhang L F, *et al.* Comparison of energy partitioning between artificial pasture and degraded meadow in three-river source region on the Qinghai-Tibetan Plateau: A case study[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2019, 271(07):251-263
- [13] Zong N, Shi P L. Enhanced Community Production rather than Structure Improvement under Nitrogen and Phosphorus Addition in Severely Degraded Alpine Meadows[J]. *Sustainability*, 2019, 11(07):2023-2037
- [14] 施建军,马玉寿,董全民,等. 人工调控对三江源区多年生禾草混播草地生产性能的影响[J]. 草地学报,2018,26(04):907-916
- [15] 周秉荣,韩炳宏,李世雄,等. 青海省多年生栽培牧草气候适宜性研究[J]. 草地学报,2018,26(03):591-601
- [16] 吴晓慧,单熙凯,董世魁,等. 基于改进的 Lotka-Volterra 种间竞争模型预测退化高寒草地人工恢复演替结果[J]. 生态学报,2019,39(09):3187-3198
- [17] 包赛很那,苗彦军,邓时梅,等. 苗期紫花苜蓿株体对不同地区垂穗披碱草种子萌发生长的化感作用[J]. 生态学报,2019,39(04):1475-1483
- [18] 郑伟,加娜尔古丽,唐高溶,等. 混播种类与混播比例对豆禾混

- 播草地浅层土壤养分的影响[J]. 草业科学, 2015, 32(03): 329-339
- [19] 尚占环,董全民,施建军,等. 青藏高原“黑土滩”退化草地及其生态恢复近 10 年研究进展——兼论三江源生态恢复问题[J]. 草地学报, 2018, 26(01): 1-21
- [20] Wang C T, Wang G X, Liu W, *et al.* Effects of establishing an artificial grassland on vegetation characteristics and soil quality in a degraded meadow[J]. *Israel Journal of Ecology & Evolution*, 2013, 59(03): 141-153
- [21] Moreno J L, Torres I F, Garcia C, *et al.* Land use shapes the resistance of the soil microbial community and the C cycling response to drought in a semi-arid area[J]. *Science of The Total Environment*, 2019, 648(09): 1018-1030
- [22] 苟照君,李英年,刘峰贵,等. 黄河上游高寒草地土壤全氮含量分布特征及其影响因素[J]. 生态学杂志, 2019, 38(09): 2585-2594
- [23] 蒋婧,王沫竹,宋明华,等. 牧草种类与耕作时间对拉萨牧草种植地土壤不同组分有机碳的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(02): 424-433
- [24] Li Z, Tian D, Wang B, *et al.* Microbes drive global soil nitrogen mineralization and availability[J]. *Global Change Biology*, 2019, 25(03): 1078-1088
- [25] 关正翻,娜尔克孜,朱亚琼,等. 不同混播方式下燕麦+箭筈豌豆混播草地的生产性能及土壤养分特征[J]. 草业科学, 2019, 36(03): 772-784
- [26] 张强强,景亚平,杨雪,等. 塔尔巴克台山东段山区豆禾混播草地的土壤理化性质[J]. 草业科学, 2014, 31(08): 1523-1527
- [27] 苟桃吉,高明,王子芳,等. 三种牧草对三峡库区旱坡地氮磷养分流失的影响[J]. 草业学报, 2017, 26(04): 53-62
- [28] Christodoulou E, Agapiou A, Anastopoulos I, *et al.* The effects of different soil nutrient management schemes in nitrogen cycling[J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 243(05): 168-176
- [29] 芦奕晓,牟乐,杨惠敏. 豆科与禾本科牧草混播改良土壤的研究进展[J]. 中国草地学报, 2019, 41(01): 94-100
- [30] 朱亚琼,关正翻,郑伟,等. 混播种类和群体结构对豆禾牧草混播系统氮素利用效率的影响[J]. 草业学报, 2018, 27(10): 1-14
- [31] 刘文辉,张英俊,师尚礼,等. 高寒区施肥和豆科混播水平对燕麦人工草地土壤酶活性的影响[J]. 草业学报, 2017, 26(01): 23-33
- [32] 王平,周道玮,张宝田. 禾-豆混播草地种间竞争与共存[J]. 生态学报, 2009, 29(05): 2560-2567
- [33] 张晓红,徐炳成,李凤民. 黄土塬区三种豆科牧草的土壤养分剖面分布特征与平衡[J]. 中国生态农业学报, 2008(04): 810-817
- [34] Vicca S, Stocker B D, Reed S, *et al.* Using research networks to create the comprehensive datasets needed to assess nutrient availability as a key determinant of terrestrial carbon cycling[J]. *Environmental Research Letters*, 2018, 13(12): 125006
- [35] Van Eekeren N, Bos M, De W J, *et al.* Effect of individual grass species and grass species mixtures on soil quality as related to root biomass and grass yield[J]. *Applied Soil Ecology*, 2010, 45(03): 275-283
- [36] 杜玉娥,刘宝康,郭正刚. 基于 MODIS 的青藏高原牧草生长季草地生物量动态[J]. 草业科学, 2011, 28(06): 1117-1123
- [37] Chen F, Xia H, Qin X. Effect of mixture sowing on biomass allocation in the artificially-planted pastures, Southeastern Tibet-an[J]. *Journal of Mountain Science*, 2019, 16(01): 54-63
- [38] 祁军,郑伟,张鲜花,等. 不同豆禾混播模式的草地生产性能[J]. 草业科学, 2016, 33(01): 116-128
- [39] 陈乐乐,施建军,王彦龙,等. 高寒地区禾本科牧草生产力适应性评价[J]. 草地学报, 2015, 23(05): 1073-1079
- [40] 郑伟,加娜尔古丽,唐高溶,等. 不同混播方式下豆禾混播草地群落稳定性的测度与比较[J]. 草业学报, 2015, 24(03): 155-167
- [41] 朱亚琼,郑伟,王祥,等. 混播方式对豆禾混播草地植物根系构型特征的影响[J]. 草业学报, 2018, 27(01): 73-85

(责任编辑 闵芝智)