

DOI: 10.5846/stxb201810262313

任康, 郭坤, 郑景明, 周金星. 四种草本植物混播处理在西藏措那湖沙害区植被恢复中的表现. 生态学报, 2020, 40(3): 910-920.

Ren K, Guo K, Zheng J M, Zhou J X. Growth of four herbaceous species in different mixing modes for restoration of desertified grassland around Cuona Lake, Tibet. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(3): 910-920.

四种草本植物混播处理在西藏措那湖沙害区植被恢复中的表现

任 康¹, 郭 坤¹, 郑景明^{1,*}, 周金星²

1 北京林业大学林学院, 北京 100083

2 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083

摘要: 在西藏措那湖沙害区采用不同物种搭配方式和混播比例对红豆草、紫花苜蓿(三得利)、披碱草、高羊茅进行播种,并在播种当年和第二年生长期结束后对生物量等特性进行分析,旨在找到适合在措那湖沙区植被恢复中可应用的适宜草种及最佳的种植方式。结果表明:1)播种当年混播方式对两种禾本科植物披碱草和高羊茅的株高、根长影响不显著,但会使两种豆科植物红豆草和紫花苜蓿的株高增加;2)混播方式对草地单位面积的生物量有明显的增加,豆禾草种混播处理中生物量会随着豆科植物比例的减小而增加,播种当年披碱草单播及披碱草+高羊茅(5:5)的混播处理有较高的生物量,分别为(756.33±96.29) g/m²、(720.25±35.63) g/m²,次年披碱草单播及披碱草+高羊茅(7:3)的处理总生物量最高分别为(832.13±124.71) g/m²、(723.83±57.14) g/m²;3)披碱草+高羊茅 3 个混播比例的处理两年中均表现出较高的盖度,其中播种当年披碱草+高羊茅(5:5)的处理盖度最大为 87%,次年盖度均达到 60%以上;4)在高寒气候下的混播草种实验中,禾本科植物对草地恢复的贡献要明显大于豆科。

关键词: 西藏措那湖沙害区; 植被恢复; 种植方式; 生长特性

Growth of four herbaceous species in different mixing modes for restoration of desertified grassland around Cuona Lake, Tibet

REN Kang¹, GUO Kun¹, ZHENG Jingming^{1,*}, ZHOU Jinxing²

1 Forestry College, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: This paper aimed to find the suitable herbaceous species and their planting modes for grassland restoration in the desertification area in Tibet. We conducted seeding experiments of four herbaceous species, i.e., *Onobrychis viciifolia*, *Medicago sativa*, *Elymus dahuricus*, and *Festuca elata*, with different mixing modes and mixing seed amount ratios in desertified grassland around Cuona Lake, and measured some plant growth indices such as biomass per area for two consecutive years. Results showed that: 1) effects of mixing modes on plant height and root length were not significant in the first year for two gramineous species, i.e., *E. dahuricus* and *F. elata*, however, plant height of two leguminous species, i.e., *O. viciifolia* and *M. sativa*, were significantly higher in mixing-plots than in mono-plots. 2) Mixing modes significantly affected the biomass per area in the sowing plots, with biomass of mixing plots increased with decrease of the leguminous plants ratio. The biomass of the best sowing modes were (151.27±15.26) g/m² (*E. dahuricus* monoculture) and (144.05 ± 7.13) g/m² (*E. dahuricus*+*F. elata*, 5:5) respectively for the first year, while (832.13±124.71) g/m² (*E. dahuricus*

基金项目: 林业公益性行业科研专项经费资助项目(201504401)

收稿日期: 2018-10-26; 网络出版日期: 2019-11-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhengjm@bjfu.edu.cn

monoculture) and (723.83 ± 57.14) g/m² (*E. dahuricus* + *F. elata*, 7:3) for the second year, respectively. 3) Plant coverage for mixing modes of the two gramineous species were consistently high during the two years, with the maximum coverage of 87% occurred in the first year and over 60% in the second year for *E. dahuricus* + *F. elata* (5:5). 4) Gramineous species contributed more biomass per area than leguminous species in grassland restoration under alpine climate.

Key Words: desertificated area of Cuona Lake in Tibet; vegetation restoration; sowing mode; growth indices

植被是陆地生态系统的主体,对生态环境安全起着极其重要的作用,如防风固沙、保持水土等^[1]。然而由于气候变化、过度放牧及工程建设等,青藏高原地区的高寒草甸出现了沙化、退化的问题,需要进行恢复与重建。植被恢复的过程受气候、土壤理化性质、物种多样性现状及恢复区域的地理特征等因素的综合影响^[2],青藏高原高寒风沙化土地植被恢复的关键环节是筛选能够适应特殊生境条件的植物种及采用正确的建植方式^[3]。豆科植物具有较高的生物量和较强的固氮能力,可以有效替代无机氮肥,为草地生态系统输送氮素,因此被广泛用于植被恢复的草场建植中^[4-5]。现有研究表明:红豆草(*Onobrychis vicifolia*)、紫花苜蓿(三得利)(*Medicago sativa*)、披碱草(*Elymus dahuricus*)、高羊茅(*Festuca elata*)都是适宜在高寒地区引种的优质草种^[6-8]。草种播种方式包括单播种植和混播种植两种,混播种植是运用两种或两种以上草种进行播种的种植方式,相比于单播种植,混播种植运用不同草种间各自的优势,不仅能提高种植的成功率,还能通过合理的混播配置提高整体的抗性,并以此来增强人工草地的生态适应性^[8]。研究表明:植物混播比单播可获得较高产量、较好植物质量及较强的防除杂草能力,并且豆禾混播可以提高群体的产量和水分利用效率,例如苜蓿与禾草混播效果好于单播,混播越冬率超过 90%^[9-12]。另外,草种组合方式、播种量也是影响植物混播效果的重要因素^[3, 13-14]。

青藏铁路所经之地—措那湖,湖面海拔 4650 m,该地区具有高寒旱的特点,近年来由于气候变化、放牧等人为因素的影响,湖周地区的沙漠化进度加快^[15]。目前措那湖段铁路沿线设有包括高立式栅栏沙障、PE 网沙障、石方格沙障、PE 网格沙障等阻固隔工程措施^[7, 15],然而工程措施在维护和防沙期限等方面有一定缺陷,使得植被恢复和工程措施相结合更加必要。植被恢复不仅具有多种生态效益和经济效益,还可以有效改良土壤理化特性,使植被恢复良性循环,植物也成为流沙地上重建人工生态系统最主要的角色^[16]。本文以适宜高寒地区种植的 4 种草本植物为研究对象,通过对这 4 种草本植物不同播种处理后生长特性的观察与分析,试图找到适合在措那湖沙区植被恢复中可运用的适宜草种及最佳的种植方式。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

研究铁路所经过的措那湖地段海拔 4600 m 以上,处在高原亚寒带半湿润季风气候区,年平均气温 -1.3°C ,最冷月平均气温 -12.9°C ,最热月平均气温 8.0°C ,极端最高气温 24.2°C ,极端最低气温 -41.2°C ,相对湿度 50%,年平均降水量 411 mm,年最大降水量 583.9 mm,年平均蒸发量 1690.7 mm,年最大蒸发量 2116.8 mm,年平均降雪日数 317 d,最大积雪深度 21.0 cm,最大季节冻土深度 281 cm,年日照时数 2847 h。措那湖地段年平均风速 4.12 m/s,月平均风速 ≥ 4.5 m/s 的月份集中在 2—4 月,大风(≥ 8 级)多集中在 10 月至次年 4 月间,年平均大风(≥ 8 级)日数 157 d,冬季和春季大风日数较多,月大风日数最多可达 21 d,并且日最大风速较大,瞬时风速最大可达 38 m/s,这为流沙输送提供了有利的风力条件。

措那湖地区原生植被类型主要为高寒草原和高寒草甸,以草本植物和垫状植物为主。草甸以小嵩草(*Kobresia pygmaea*)为主,伴生种有矮嵩草(*K. humilis*)、粗壮嵩草(*K. robusta*)、羊茅(*Festuca ovina*)、冰川棘豆(*Oxytropis glacialis*)、丛生黄耆(*Astragalus confertus*)、紫花点地梅(*Androsace selago*)、紫花针茅(*Stipa purpurea*)等。由于气候变化和过度放牧等人为原因,高寒草原退化十分明显,沙化严重。

1.2 实验材料

豆科植物:红豆草(*O. vicifolia*)、紫花苜蓿(三得利)(*M. sativa*)

禾本科植物:披碱草(*E. dahuricus*)、高羊茅(*F. elata*)

实验所用草种购买自临夏永安草业公司,4种植物均有质量检测报告,且符合实验要求。

1.3 试验设计

试验地处理和播种于2017年6月下旬进行。播种前先在室内对草种进行千粒重检测,并根据播种样方大小准确称取相应质量的种子装入自封袋,以保证每个播种样方内种子数量基本一致,因环境条件限制,本实验中采用超量播种的方式,种子总量约为1000粒/m²;混播处理中各草种用量根据其单播播种量及混播比例进行计算。最后将四类草种按比例进行单播与混播,共形成红豆草、披碱草、紫花苜蓿、高羊茅、红豆草+披碱草、红豆草+高羊茅、紫花苜蓿+披碱草、紫花苜蓿+高羊茅、披碱草+高羊茅、红豆草+披碱草+高羊茅、紫花苜蓿+披碱草+高羊茅25种播种方式(表1),并将提前称取好的草种在沙害区已有的防沙石方格内进行播种。每个石方格面积为1.5 m×1.5 m,每个处理5个方格,总面积为11.25 m²,播种前对试验地内的沙土进行翻耕并施肥,播种后将地面踩实以增加土壤保肥保墒能力。

表1 草种搭配及播种比例

Table 1 Mixing modes of grass species and corresponding seed amount ratio

序号 Serial number	草种搭配 Plant species	混播比例 Sowing ratio	编码 Code	序号 Serial number	草种搭配 Plant species	混播比例 Sowing ratio	编码 Code
1	红豆草	—	HD	14	紫花苜蓿+高羊茅	7:3	MG1
2	紫花苜蓿	—	MX	15		5:5	MG2
3	披碱草	—	PJ	16		3:7	MG3
4	高羊茅	—	GYM	17	披碱草+高羊茅	7:3	PG1
5	红豆草+披碱草	7:3	HP1	18		5:5	PG2
6		5:5	HP2	19		3:7	PG3
7		3:7	HP3	20	红豆草+披碱草+高羊茅	7:1.5:1.5	HPG1
8	紫花苜蓿+披碱草	7:3	MP1	21		5:2.5:2.5	HPG2
9		5:5	MP2	22		3:3.5:3.5	HPG3
10		3:7	MP3	23	紫花苜蓿+披碱草+	7:1.5:1.5	MPG1
11	红豆草+高羊茅	7:3	HG1	24	高羊茅	5:2.5:2.5	MPG2
12		5:5	HG2	25		3:3.5:3.5	MPG3
13		3:7	HG3				

1.4 调查及取样方法

分别于播种当年和次年生长季结束后,2017年8月25日、2018年8月24日,在每个处理的试验区内随机抽取3个0.2 m×0.2 m的小样方,对每种植物株高、多度和盖度进行测定。其中高度是用钢尺将小样方内半数以上的植株进行绝对高度的测量,取每种草的高度平均值作为该处理下的株高;计算每个样方内每种草的所有株数并取平均值作为该处理下的多度;盖度测定采用网格目测估算法:由三人对每个样方中所放置网格内的盖度进行估计,取3个估值的平均值作为每个小样方的盖度,3个样方盖度的平均值作为该处理下的盖度。植物样品的采集包括地上和地下两部分,将整个小样方内植株连同根系一块用铁锹完整铲出,逐步去除泥土后小心取出整个植株并装入自封袋带回实验室,室内将各处理下的不同植株通过地上部分叶片形态特征按种类区分,并将区分后的植株根系剪下洗净后放入根盘,由于根系较湿,会聚集成团导致软件无法准确分辨,因此扫描前需在根盘内加入适量水,用玻璃棒将根系充分分散开,然后采用Epson Perfection V750扫描仪进行扫描,扫描完成后生成的根系图用WinRHIZO根系分析软件进行分析;并将扫描结束后每个处理内的植物根系和地上部分分开装入信封,烘干测其地上地下部分生物量。

1.5 数据处理及分析方法

对4种植物株高、根长、生物量和根冠比等生长特性进行方差分析,之后进行Duncan多重检验,并用R(3.4.2)、Excel软件完成统计分析及绘图。

2 结果与分析

2.1 不同处理中植物株高与根长

实验结果表明,播种当年红豆草株高在红豆草+披碱草+高羊茅(3:3.5:3.5)的处理中达到了最高的6.00 cm,且比单播时高将近4 cm,另外,红豆草+披碱草+高羊茅(7:1.5:1.5)、红豆草+披碱草+高羊茅(3:3.5:3.5)的处理中株高都显著高于单播处理($P<0.05$);红豆草根长则在单播中表现为最长,且明显长于混播处理红豆草+披碱草+高羊茅(7:1.5:1.5)、红豆草+披碱草+高羊茅(5:2.5:2.5)中的根长($P<0.05$),而其余各混播处理中根长较单播减小但无明显差异($P>0.05$),总体而言,混播处理中红豆草根长趋于减小(图1)。播种第二年,红豆草越冬失败,未发现红豆草的生长迹象。

由图可看出,播种当年混播处理苜蓿+披碱草+高羊茅(5:2.5:2.5)、苜蓿+披碱草+高羊茅(3:3.5:3.5)中披碱草株高达到了8 cm以上,与其他多组混播处理中披碱草株高之间有显著性差异($P<0.05$),而与披碱草单播无显著差异($P>0.05$);披碱草根长也同样表现为单播时最长,多数混播中根长减小但均值都在16—20 cm之间,各处理间根长差异不显著($P>0.05$)。第二年各处理中披碱草株高均值在16—20 cm之间,较第一年极显著增加($P<0.05$),但各处理间披碱草株高无明显差异,根长与第一年相比差异不显著($P>0.05$)。

紫花苜蓿在苜蓿+高羊茅(5:5)、苜蓿+披碱草+高羊茅(5:2.5:2.5)的处理中株高较高均在2.8 cm左右,且显著高于单播处理;各处理中根长均值都在7—8 cm,根长间无显著差异($P>0.05$)。第二年未发现紫花苜蓿的生长迹象,越冬失败。

播种当年各处理中高羊茅株高均值都在4—6 cm之间,仅高羊茅+披碱草(3:7)、苜蓿+披碱草+高羊茅(5:2.5:2.5)的处理中高羊茅株高显著低于高羊茅+苜蓿(3:7)的处理,其余各处理间株高无明显差异($P>0.05$);高羊茅则在混播时具有最长的根长17.4 cm,混播处理使根长略有增加,但变化不大,根长均值都处于15 cm左右,各处理间均无显著性差异($P>0.05$),说明不同处理方式对于高羊茅的生长情况影响并不显著(图1)。第二年,高羊茅株高较第一年增加了一倍,根长也较第一年有增加。

2.2 不同处理中的生物量及其分配

生物量反映了光合产物的大小,准确测定草地单位面积生物量大小,能表征草地群落的生产力和恢复效果^[17-18]。虽然本次引种的两种豆科植物第二年均未成功越冬,但植株死亡后的残体会分解进入土壤,今后应进一步引种更适合的豆科植物,尤其是本地已有分布的物种,并采用合理措施保证其越冬,以期改善沙化土壤的养分条件。

2.2.1 总生物量

由表2看出,播种当年单播处理中,披碱草、高羊茅的总生物量较大,分别为(756.33±96.29) g/m²和(371.23±52.66) g/m²,第二年披碱草单播总生物量继续增加达到了(832.13±124.71) g/m²,而高羊茅总生物量较第一年有所下降。播种当年红豆草和紫花苜蓿总生物量较小,为(41.75±4.27) g/m²和(199.33±19.65) g/m²,显著低于单播处理中两种禾本科植物($P<0.05$);且单播处理中红豆草和紫花苜蓿之间无显著差异($P>0.05$)。播种当年混播处理中,披碱草+高羊茅(5:5)的总生物量最大,为(720.25±35.63) g/m²,总生物量比高羊茅单播的生物量高出了94%,但与披碱草单播相比生物量要低,且与其他混播组合之间差异性显著($P<0.05$)。总生物量第二高的为红豆草+披碱草+高羊茅(3:3.5:3.5)、紫花苜蓿+披碱草(3:7),分别为(689.08±35.43) g/m²和(566.20±61.45) g/m²,且两者差异不显著($P>0.05$)。总生物量最小的是紫花苜蓿+披碱草(5:5)、红豆草+披碱草(5:5)的处理,分别为(224.11±124.75) g/m²和(183.83±2.11) g/m²,第二年混播处理总生物量在披碱草+高羊茅(7:3)中达到最大的723.83 g/m²。此外,从播种当年2种禾本科和2种豆科植物

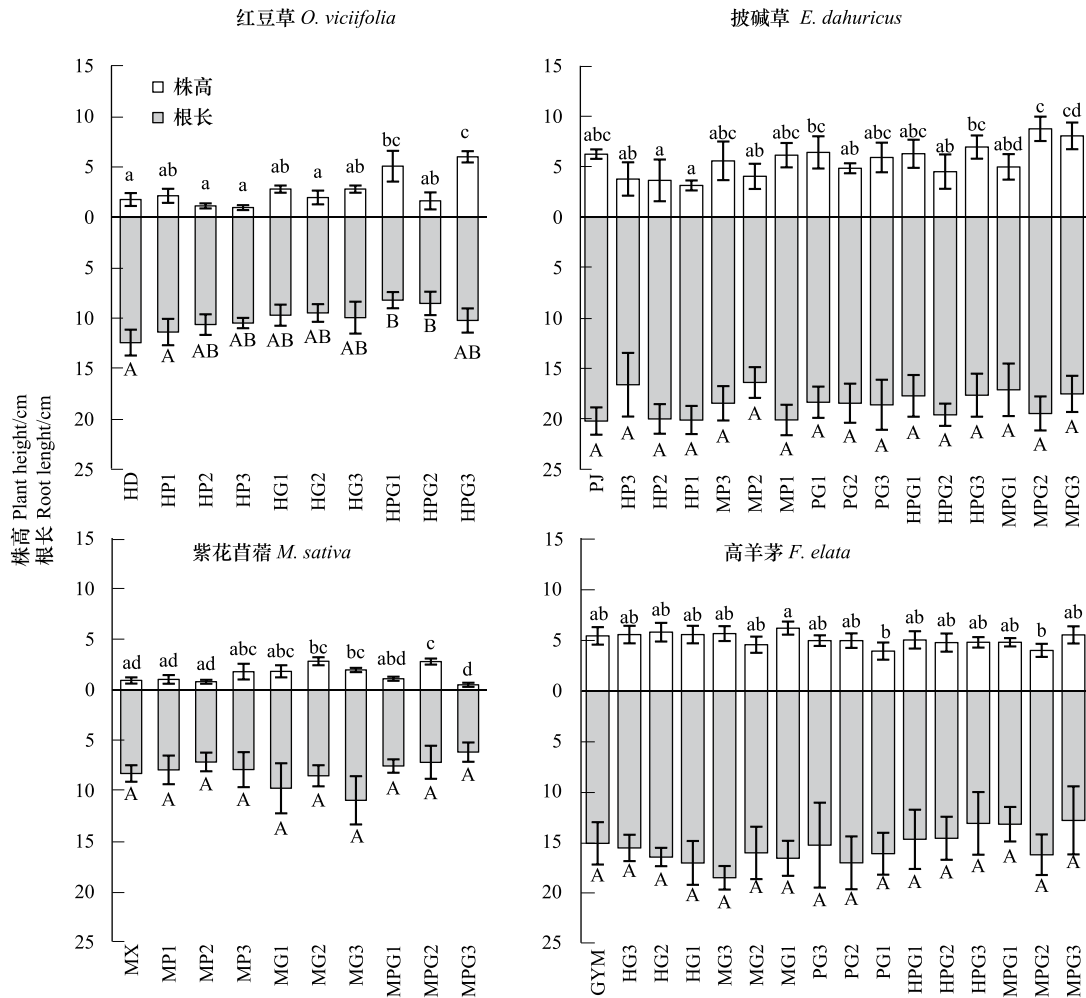


图1 播种当年4种植物在不同处理中的株高、根长

Fig.1 Plant height and root length of four species for different treatments in the first year

HD: 红豆草 *O. vicifolia*; PJ: 披肩草 *E. dahuricus*; MX: 紫花苜蓿 *M. sativa*; GYM: 高羊茅 *F. elata*; HP: 红豆草+披肩草 *O. vicifolia* + *E. dahuricus*; HG: 红豆草+高羊茅 *O. vicifolia* + *F. elata*; HPG: 红豆草+披肩草+高羊茅 *O. vicifolia* + *E. dahuricus* + *F. elata*; MP: 紫花苜蓿+披肩草 *M. sativa* + *E. dahuricus*; PG: 披肩草+高羊茅 *E. dahuricus* + *F. elata*; MPG: 紫花苜蓿+披肩草+高羊茅 *M. sativa* + *E. dahuricus* + *F. elata*; MG: 紫花苜蓿+高羊茅 *M. sativa* + *F. elata*

的单、混播总生物量比较看,紫花苜蓿+披碱草(5:5)的处理中总生物量虽低于披碱草单播但要高于紫花苜蓿单播的生物量;红豆草+披碱草(5:5)的混播处理也是如此。

2.2.2 地上、地下生物量

由表2可知播种当年各草种地上、地下生物量在单播和混播中差异较大,单播处理中地上生物量由大到小依次为披碱草>高羊茅>紫花苜蓿>红豆草,红豆草和紫花苜蓿的地上生物量分别为(19.50±2.46)、(65.13±11.45) g/m²,明显小于禾本科两种植物(P<0.05);而地下生物量与地上生物量的分配规律则不完全相同,其中紫花苜蓿的地下生物量要高于高羊茅,第二年豆科植物越冬失败,披碱草和高羊茅生长良好且披碱草地上生物量增加明显。混播处理中都表现为地上生物量大于地下生物量,其中播种当年苜蓿+披碱草(3:7),披碱草+高羊茅(5:5),红豆草+披碱草+高羊茅(3:3.5:3.5)这3种方式的地上生物量较大,而地下生物量则在红豆草+高羊茅(3:7),披碱草+高羊茅(5:5)的处理中表现较好,地下生物量均值都在250 g/m²左右。

2.2.3 根冠比

植物的生长和生物量积累是地下地上共同作用完成的^[19],根冠比(地下生物量/地上生物量)反映了植

物地上和地下生长之间的关系以及分配给地下部分的光合产物比例。由表 2 结果可以看出:播种当年单播处理中的两种豆科植物根冠比大于 1,分别为(1.15±0.06)、(2.09±0.31),而两种禾本科植物的根冠比小于 1,分别为(0.56±0.03)、(0.39±0.03);所有混播处理中总体根冠比都小于 1,生长第二年豆科植物死亡,各处理的根冠比都在 0.5 左右且较第一年有减小的趋势。结果也表明豆科植物拥有更大的地下生物量。

表 2 4 种植物单播、混播生物量分配

Table 2 Biomass allocation of four herbage species with mono and mixing plots

播种类型 Sowing mode	地上生物量		地下生物量		根冠比	
	Aboveground biomass/(g/m ²)		Underground biomass/(g/m ²)		Root-shot ratio	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
HD	19.50±2.46	—	22.25±1.88	—	1.15±0.06	—
MX	65.13±11.45	—	134.21±11.11	—	2.09±0.31	—
PJ	484.00±61.91	561.07±71.97	272.33±37.05	271.05±52.92	0.56±0.03	0.48±0.04
GYM	267.42±42.71	204.63±38.05	103.81±10.12	85.07±2.43	0.39±0.03	0.41±0.03
MP1	258.17±22.58	188.53±64.93	200.63±39.91	96.30±56.12	0.79±0.21	0.51±0.02
MP2	162.88±104.07	332.21±46.26	61.23±21.73	164.97±21.47	0.51±0.33	0.49±0.13
MP3	372.29±26.26	437.01±31.79	193.91±35.49	223.10±17.29	0.53±0.01	0.51±0.04
MG1	287.88±34.49	132.94±11.94	172.21±27.71	64.99±7.21	0.60±0.03	0.48±0.08
MG2	243.05±11.06	147.10±11.94	134.41±7.11	74.37±14.32	0.55±0.04	0.50±0.02
MG3	326.79±6.20	158.78±9.18	171.88±16.01	76.30±12.40	0.53±0.04	0.48±0.06
HP1	282.25±14.42	159.74±30.54	138.21±9.14	130.83±40.32	0.49±0.02	0.81±0.03
HP2	104.25±9.19	297.27±37.84	79.58±4.85	167.81±13.03	0.77±0.08	0.56±0.08
HP3	265.17±20.35	317.81±49.30	159.79±9.33	190.57±43.78	0.61±0.06	0.59±0.12
HG1	234.21±21.04	202.08±22.13	210.92±21.38	107.79±22.41	0.91±0.16	0.53±0.04
HG2	291.75±51.64	237.84±3.41	150.67±63.51	110.86±22.55	0.50±0.12	0.46±0.11
HG3	294.88±29.40	231.21±19.08	249.38±32.29	119.98±13.83	0.85±0.14	0.51±0.04
PG1	283.42±44.83	460.32±29.45	173.29±35.33	263.51±29.46	0.61±0.03	0.56±0.05
PG2	464.75±27.50	306.24±45.18	255.50±8.72	157.78±24.59	0.55±0.02	0.51±0.11
PG3	275.75±29.13	263.52±57.03	139.0±10.13	142.02±6.54	0.51±0.02	0.53±0.02
HPG1	368.58±116.08	287.29±44.22	181.33±47.54	139.44±18.18	0.50±0.11	0.48±0.05
HPG2	316.93±14.96	360.32±98.45	101.00±3.54	164.38±58.59	0.32±0.01	0.45±0.06
HPG3	506.17±26.12	486.57±22.62	182.92±17.53	224.95±11.09	0.36±0.03	0.46±0.02
MPG1	189.33±23.77	253.13±21.54	123.75±16.55	99.23±11.88	0.65±0.04	0.39±0.03
MPG2	244.25±9.97	197.22±6.83	151.83±8.00	113.26±13.40	0.62±0.05	0.57±0.04
MPG3	196.38±96.82	297.33±43.55	147.75±2.76	134.84±20.17	0.46±0.02	0.45±0.03

2.3 不同处理中样方总盖度

如图 2 所示,播种当年各处理的草地样方总盖度中,红豆草+高羊茅(5:5)、红豆草+披碱草+高羊茅(3:3.5:3.5)以及披碱草+高羊茅 3 个不同比例的处理中盖度都超过了 70%,尤其是披碱草+高羊茅 7:3 和 5:5

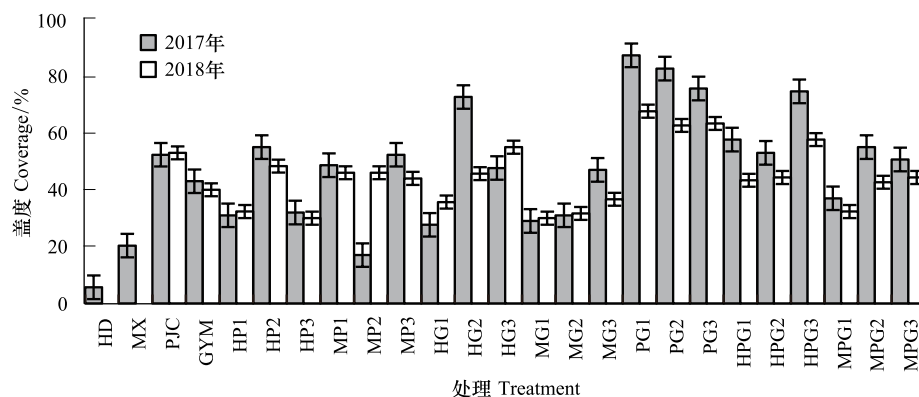


图 2 不同处理中植物总盖度

Fig.2 Plant coverage for different treatments

的处理草地中盖度都在 80% 以上, 而豆科植物单播的盖度则比较低, 仅在 20% 以下。第二年各处理的盖度均有所下降, 仅披碱草+高羊茅 3 个比例的处理草地盖度在 60% 以上, 披碱草单播盖度也较高为 53%。整体而言, 单播处理中, 禾本科的两种植物盖度要高于豆科两种植物, 混播处理较单播有更高的总盖度。

2.4 不同混播比例对植物生长状况的影响

2.4.1 地上、地下生物量

本实验的 7 种混播组合各包括 3 个播种量比例, 各混播方式的地上、地下生物量受播种量影响比较明显,

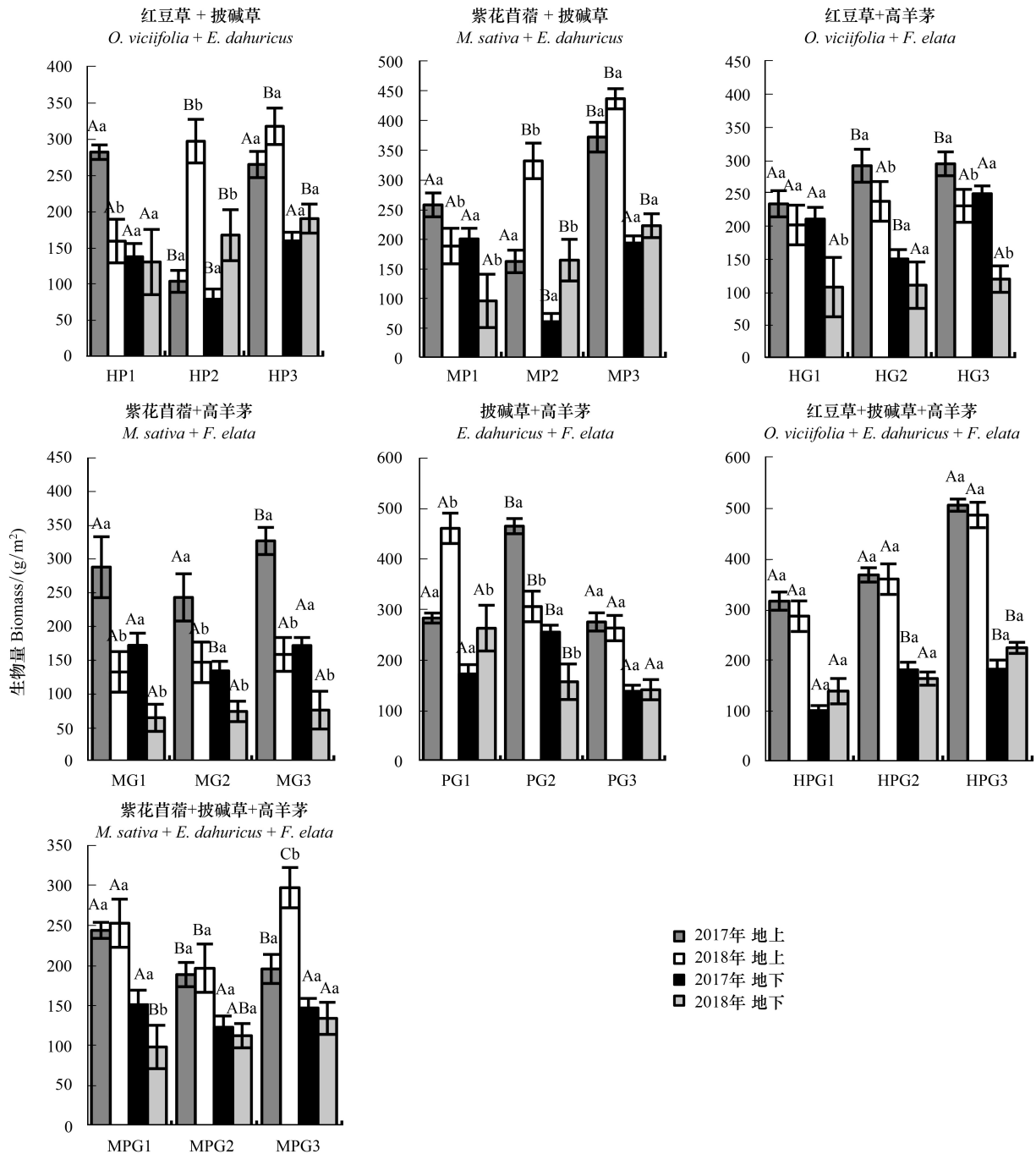


图 3 相同草种不同播种比例的生物量分配

Fig.3 Biomass allocation for different seeding ratio of the same species

不同大写字母表示同一年份不同处理间差异显著, 不同小写字母表示同一处理不同年份之间差异显著 ($P < 0.05$)

不同混播方式对播种量的响应有所不同(图3)。其中,红豆草和披碱草的混播处理中,与播种当年相比,第二年草地的地上地下生物量在红豆草比例为50%和30%时均有增加,播种当年红豆草比例为50%时样方内地上地下及总生物量均显著低于其他两种比例的混播处理($P<0.05$),第二年红豆草死亡,生物量随着披碱草比例的增加而增加;苜蓿和披碱草的混播处理中,播种第二年苜蓿70%+披碱草30%的处理中草地生物量有减小,且播种当年同样表现为在苜蓿播种比例为50%时,总生物量及地下生物量显著低于其余两种比例的混播处理($P<0.05$),地上生物量则表现为:苜蓿比例为70%和50%时显著低于比例为30%的混播处理($P<0.05$),且生长第二年地上生物量也随着苜蓿比例最少而增加;红豆草与高羊茅的混播处理中,和第一年相比地上地下生物量都有减小的趋势,且地下生物量下降更明显;苜蓿和高羊茅的混播处理中,地上地下生物量也同样表现出下降的趋势并且下降程度较大;披碱草与高羊茅的混播处理中,播种当年表现为播种比例5:5时地上地下生物量均要高于另外两种比例的混播处理($P<0.05$),且总生物量达到了 720.25 g/m^2 ,第二年生物量则在披碱草+高羊茅(7:3)的处理中达到最大,且地上地下生物量均较第一年显著增高($P<0.05$);红豆草、披碱草和高羊茅3种植物的混播处理中,生物量变化幅度较小,但两年中都表现有相同的趋势即:随着红豆草比例的减小生物量在不断增加;苜蓿、披碱草和高羊茅的混播处理中,在播种当年豆禾比5:5时生物量低于另外两个比例,第二年在苜蓿比例最小的处理中地上生物量增加明显,地下生物量在3个处理中变化较小。

总体上看,当豆科植物的播种比例较小时,其所在的处理生物量总体要高于其他比例混播处理中的生物量,而披碱草+高羊茅的混播处理播种当年为生物量在5:5时达到最大,次年在7:3时最大,且生物量高于所有其他混播处理,因而禾本科对混播草地的相对总产草量具有更重要的贡献。

2.4.2 盖度

播种当年红豆草和披碱草的混播处理中(图4),混播比例为5:5时,盖度达到最大为55%,显著高于另外两种比例的混播处理($P<0.05$);第二年盖度有减小但和第一年表现出相同的趋势。苜蓿和披碱草的混播处理中(图4),播种当年苜蓿和披碱草比例为5:5时盖度仅为17%,显著低于另外两种比例混播处理的草地盖度($P<0.05$);第二年3种比例的草地盖度基本相同无较大差异。红豆草与高羊茅的混播处理中(图4),随红豆草比例的变化各处理间盖度也显著不同($P<0.05$),且当红豆草比例为50%时盖度达到最大接近73%,而红豆草比例最高时盖度则最小,第二年盖度比第一年略有增加且随红豆草比例的减少盖度逐渐增加。播种当年苜蓿与高羊茅的混播处理中(图4),随着高羊茅比例的增加盖度也在逐渐增加,且当高羊茅比例最大时盖度显著高于另外两种比例的混播($P<0.05$),第二年3种比例的盖度间差异性消失且盖度都在30%左右;两年间披碱草与高羊茅的混播处理(图4)均表现出较大的盖度,播种当年随着披碱草比例的下降盖度有一定的降低,但盖度最低也达到了75%,次年3种比例的盖度都较第一年下降但也都在60%以上。红豆草、披碱草和高羊茅的混播处理中(图4),两年都表现为当红豆草比例最小时盖度达到最大且第一年盖度达到了76%,明显高于另外两种比例混播的盖度($P<0.05$)。苜蓿、披碱草和高羊茅的混播处理(图4)结果则与红豆草略有不同,播种当年豆禾比为5:5时盖度最大,苜蓿比例最高时盖度最小且明显小于另外两种混播的盖度($P<0.05$),第二年盖度则随着苜蓿比例的减小而增加。

3 讨论与结论

3.1 讨论

混播方式对植物的地上高度和地下根系长度都有影响,但豆科和禾本科植物的响应方式不同。植株高度决定了植物能否获得足够的光照,并直接影响光合作用和产量^[20],根长则是根系形态的重要指标,其影响到根系养分和水分的吸收,是根系生长发育的重要特征^[21-22]。一方面,禾本科和豆科植物混播时,混播中的豆科植物高度高于单播豆科植物高度,而混播处理对禾本科植物的高度以及植物根长影响较小,混播促使红豆草、紫花苜蓿植株长高,这与陈积山等人的研究结果一致^[23]。产生此现象可能是因为禾本科的披碱草和高羊茅都具有发达的地下根茎且根茎上具有潜伏芽,有很强的无性更新能力,并能很好地适应当地高寒但生长季

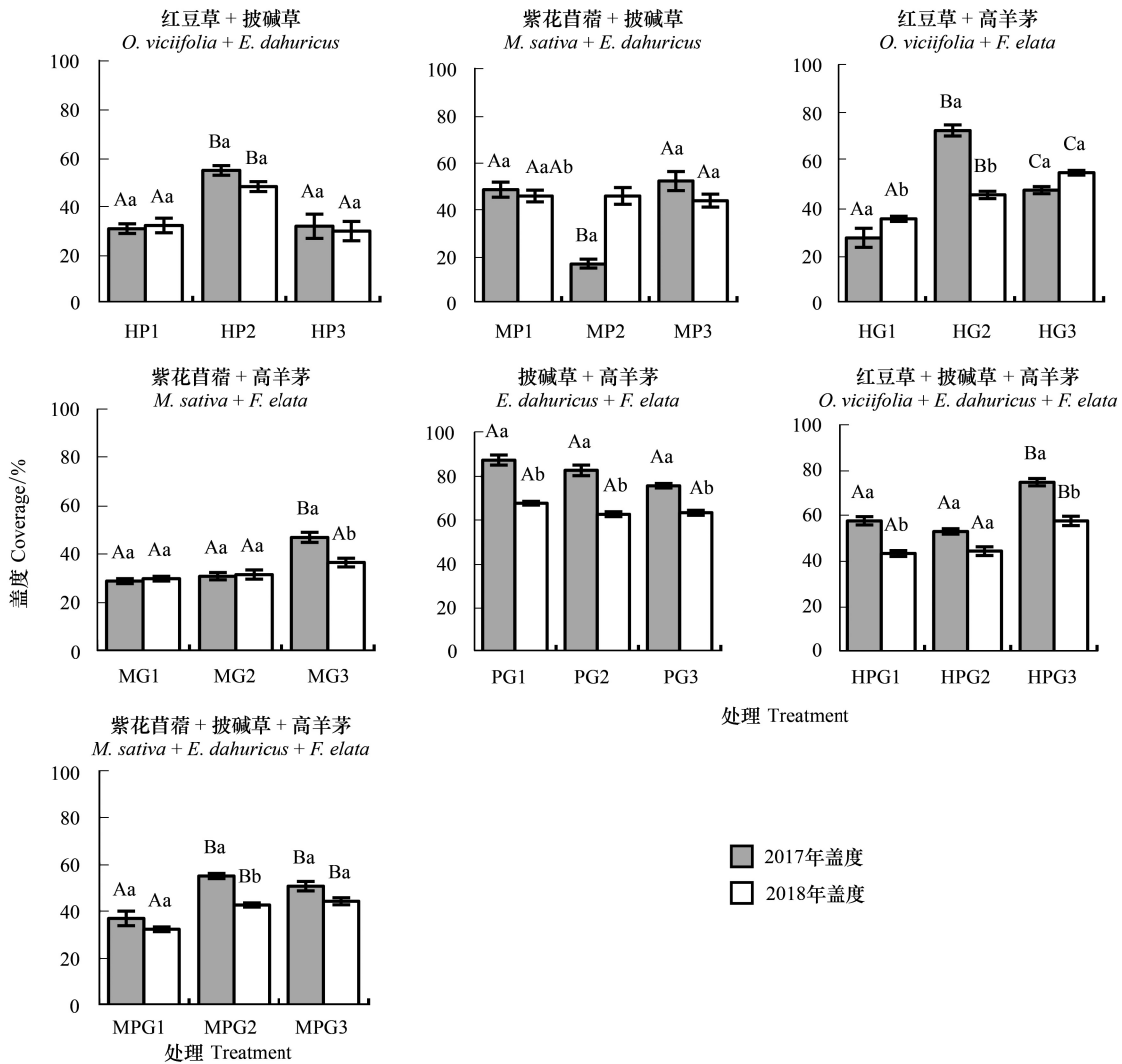


图 4 相同草种不同播种比例的植物盖度

Fig.4 Plant coverage of the same species with different seed amount ratio during sowing

不同大写字母表示同一年份不同处理间差异显著,不同小写字母表示同一处理不同年份之间差异显著 ($P < 0.05$)

水分充足的气候条件^[24-27]。另一方面,豆科的红豆草和紫花苜蓿在混播处理中株高都呈增高趋势,原因可能是红豆草和紫花苜蓿都仅具直根系,在混播中两种植物主要通过增加植株高度来获取光资源,以此来弥补根系对资源竞争力弱的劣势^[28];而禾本科的植物高度则受单混播影响不大,这与宝音陶格涛在研究无芒雀麦 (*Bromus inermis* Leyss.)与苜蓿混播试验中得出的结论相似^[29]。

混播比例等因素也对混播草地产量、质量和群落稳定性有一定影响^[30]。本实验中,随着植物播种比例的变化,相同物种不同混播比例实验单元其单位面积生物量、盖度等也有不同程度的差异,说明混播组合中植物的播种比例对草地的生长特性影响较大。从本试验看,当豆科植物的播种比例较小时,其所在的处理生物量总体要高于其他比例的混播处理中草地样方内生物量(图3),因而禾本科对混播草地的相对总产草量具有更重要的贡献。这与王平等^[31]对禾豆混播的研究、舒思敏等^[32]关于扁穗牛鞭草 (*Hemarthria compressa*)与紫花苜蓿不同混播比例的研究、马海天才和周寿荣^[33]对豆科禾本科植物混播比例的研究以及包桂荣^[14]关于不同混播比例对豆科与禾本科植物生长发育的影响研究结果相似:都是禾本科植物对产量的贡献大于豆科,当豆科在混播中比例较小时,草地生长状况更好。这可能是因为试验地在生长期降水充足造成的,因为豆科植物相对而言更喜好相对干燥的环境,而本试验生长季在该地区是降水较多的雨季,这对豆科植物的生长可能

有较大影响。

植物生长过程中,地下根系除了具有固定支持植物躯体,调节植物生长发育,储存营养物质,供给地上部分水分需求等基本功能外,对于地上生物量的形成和植物生长发育也起着重要的作用,其生长发育状况直接影响着地上生物量^[34-37]。草地地下生物量与地上生物量的比值(根冠比)反映了分配给地下部的光合产物比例,是群落或生态系统的重要参数之一^[38]。本实验结果表明:播种当年除单播处理中的红豆草和紫花苜蓿两种豆科植物根冠比大于1以外,其余处理中植物的根冠比都小于1(表2),说明豆科的红豆草和紫花苜蓿在生长过程中将更多的能量分配给地下部分,其他处理中地上部分分配的干物质量则更多一些。这可能是因为豆科植物相对生长缓慢,更多的物质存储于根部,而禾本科在进入生长期后地上部分快速生长,更多的光合产物向地上部分转移;第二年豆科植物越冬失败,而披碱草与高羊茅各处理根冠比都较第一年有减小,说明禾本科在第二年地上部分分配的生物量更多,可能是因为披碱草和高羊茅在第二年已经抽穗结实进入了繁殖期,植物体本身将更多的能量用于枝干和果实的生长。

3.2 结论

措那湖沙区进行的草地重建试验表明:(1)豆禾植物混播有利于提高豆科植物高度及草地生物量;(2)豆科植物在高寒地区引种和建植的方式需进一步研究以提高豆科越冬率,本实验中采用的三得利紫花苜蓿和红豆草未能正常越冬;(3)植被恢复中混播方式会影响地上、地下生物量的分配;(4)本实验选取的4种牧草中披碱草和高羊茅更适宜措那湖沙害区的气候条件。

参考文献(References):

- [1] 周鑫,田丽慧,张登山,吴汪洋,张明远,张佩. 青海湖沙区不同植被防风固沙效益研究. 干旱区资源与环境, 2018, 32(8): 180-185.
- [2] 杨富裕,张蕴薇,苗彦军,魏学红. 藏北高寒退化草地植被恢复过程的障碍因子初探. 水土保持通报, 2003, 23(4): 17-20.
- [3] 沈渭寿,李海东,林乃峰,张涛,袁磊,孙明,孙俊,纪迪. 雅鲁藏布江高寒河谷流动沙地适生植物种筛选和恢复效果. 生态学报, 2012, 32(17): 5609-5618.
- [4] 宋鑫. 黄土高原半干旱地区撂荒地引入豆科植物后不同景观位置土壤碳氮磷的特征[D]. 兰州:兰州大学, 2018.
- [5] 周冀琼. 补播苜蓿对退化草地生产力和多样性的影响[D]. 北京:中国农业大学, 2017.
- [6] 陆光平,聂斌. 垂穗披碱草利用价值评价. 草业科学, 2002, 19(9): 13-15.
- [7] 王锡来,蒋育华. 青藏铁路错那湖地段沙害成因及治理//中国西部地区铁路治沙学术研讨会论文集. 宁夏:甘肃省铁道学会, 2007: 3-3.
- [8] 董世魁,马金星,蒲小鹏,张起荣,潘臻武. 高寒地区多年生禾草引种生态适应性及混播组合筛选研究. 草原与草坪, 2003, 5(1): 38-41, 48-48.
- [9] Albayrak S, Türk M. Changes in the forage yield and quality of legume-grass mixtures throughout a vegetation period. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2014, 37: 139-147.
- [10] 郭孝. 三种牧草不同组合播种效果的研究. 草业科学, 1998, 15(5): 17-20.
- [11] 张会丽,朱林,许兴. 宁夏中部半干旱带不同灌溉量下的禾豆混播效果. 草业科学, 2017, 34(4): 777-787.
- [12] 申晓慧,姜成,李如来,李建东,张华,郑海燕,郭伟,孙力,冯鹏. 3种紫花苜蓿与草地羊茅单、混播越冬期根系生理变化及抗寒性. 草业科学, 2016, 33(2): 268-275.
- [13] 袁福锦,黄梅芬,廖祥龙,吴文荣,余梅,李友,薛世明,王馨,李继中. 滇西北高寒地区牧草混播组合的筛选. 草业科学, 2015, 32(12): 2078-2082.
- [14] 包桂荣,白长寿,姚锦秋,刘嘉庆. 不同混播比例对两种牧草生长发育的影响. 内蒙古民族大学学报:自然科学版, 2007, 22(6): 648-650.
- [15] 杨印海,蒋富强,王锡来,李勇,薛春晓,程建军. 青藏铁路错那湖段沙害防治措施研究. 中国沙漠, 2010, 30(6): 1256-1262.
- [16] 李少华,张立恒,王学全,陈新均,高琪. 高寒灌木固沙区土壤性状与植被生长特征的相关分析. 干旱区研究, 2017, 34(6): 1331-1337.
- [17] 方昭,张少康,刘海威,焦峰,张军. 黄土丘陵区草本群落生物量空间分布格局及其影响因素. 草业学报, 2018, 27(2): 26-35.
- [18] 郑绍伟,唐敏,邹俊辉,慕长龙. 灌木群落及生物量研究综述. 成都大学学报:自然科学版, 2007, 26(3): 189-192.
- [19] 吕富成,王孙高,王小丹. 藏东南高寒地区人工草地建植初期生物量研究. 四川师范大学学报:自然科学版, 2017, 40(3): 385-391.
- [20] 杨春华,李向林,张新全,何峰,马啸. 扁穗牛鞭草+红三叶混播草地生物量及种间竞争的动态研究. 四川农业大学学报, 2006, 24(1): 32-36.

- [21] Fort F, Volaire F, Guilioni L, Barkaoui K, Navas M L, Roumet C. Root traits are related to plant water - use among rangeland Mediterranean species. *Functional Ecology*, 2017, 31(9): 1700-1709.
- [22] 李帅, 赵国靖, 徐伟洲, 高志娟, 吴爱姣, 徐炳成. 白羊草根系形态特征对土壤水分阶段变化的响应. *草业学报*, 2016, 25(2): 169-177.
- [23] 陈积山, 朱瑞芬, 高超, 邸桂俐, 张月学. 苜蓿和无芒雀麦混播草地种间竞争研究. *草地学报*, 2013, 21(6): 1157-1161.
- [24] 马春晖, 韩建国, 张玲. 高寒牧区一年生牧草种间竞争的动态研究. *草业科学*, 2001, 18(1): 22-24.
- [25] 吴妹菊. 紫花苜蓿与无芒雀麦、扁穗冰草混播效果研究. *中国草地学报*, 2010, 32(2): 15-18, 46-46.
- [26] 朱亚琼, 郑伟, 王祥, 关正翻, 刘美君. 混播方式对无芒雀麦+红豆草混播草地植物生长效率及混播效应的影响. *草业科学*, 2017, 34(11): 2335-2346.
- [27] 李兴华, 张存厚, 韩芳, 娜日苏. 内蒙古典型草原羊草生长高度研究. *中国草地学报*, 2007, 29(6): 98-102.
- [28] Mendoza R, García I, Depalma D, López C F. Competition and growth of a grass-legume mixture fertilised with nitrogen and phosphorus: effect on nutrient acquisition, root morphology and symbiosis with soil microorganisms. *Crop and Pasture Science*, 2016, 67(6): 629-640.
- [29] 宝音陶格涛. 无芒雀麦与苜蓿混播试验. *草地学报*, 2001, 9(1): 73-76.
- [30] 张仁平, 于磊, 鲁为华. 混播比例和刈割期对混播草地产量及品质影响的研究. *草业科学*, 2009, 26(5): 139-143.
- [31] 王平, 周道玮, 张宝田. 禾-豆混播草地种间竞争与共存. *生态学报*, 2009, 29(5): 2560-2567.
- [32] 舒思敏, 傅鲜桃, 杨春华, 陈灵鸷, 何凌斐. 扁穗牛鞭草与紫花苜蓿不同混播比例草地生产特性评价. *四川农业大学学报*, 2011, 29(1): 114-118.
- [33] 马海天才, 周寿荣. 豆科禾本科牧草混播比例的研究. *四川草原*, 1992, (3): 13-15, 36-36.
- [34] 王敏, 苏永中, 杨荣, 杨晓. 黑河中游荒漠草地地上和地下生物量的分配格局. *植物生态学报*, 2013, 37(3): 209-219.
- [35] 丁红, 张智猛, 戴良香, 宋文武, 康涛, 慈敦伟. 不同抗旱性花生品种的根系形态发育及其对干旱胁迫的响应. *生态学报*, 2013, 33(17): 5169-5176.
- [36] 杨婷婷, 高永, 吴新宏, 李鹏, 石红霄. 小针茅草原植被地下与地上生物量季节动态及根冠比变化规律. *干旱区研究*, 2013, 30(1): 109-114.
- [37] 王根绪, 胡宏昌, 王一博, 陈琳. 青藏高原多年冻土区典型高寒草地生物量对气候变化的响应. *冰川冻土*, 2007, 29(5): 671-679.
- [38] 朱宝文, 周华坤, 徐有绪, 李英年, 唐凯. 青海湖北岸草甸草原牧草生物量季节动态研究. *草业科学*, 2008, 25(12): 62-66.