

混播对退化草地植物群落生长及物种多样性的影响

张道百¹, 景美玲^{1*}, 秦金萍², 牛永昆¹, 马玉寿²

¹青海民族大学生态环境与资源学院, 青海 西宁

²青海大学畜牧兽医科学院, 青海 西宁

收稿日期: 2024年10月8日; 录用日期: 2024年11月4日; 发布日期: 2024年11月12日

摘要

青海高寒地区建植人工草地有助于“黑土滩”的快速恢复, 为了明确单、双子叶植物混播对退化草地修复的作用, 在青藏高原三江源区高寒草甸极度退化区域种植单播青海草地早熟禾人工草地(AZ)、单播蕨麻人工草地(AE)及混播青海草地早熟禾 + 蕨麻人工草地(AH), 以天然草地(NP)为对照, 试验采用野外群落调查和取样测定的方法, 对4种草地群落类型进行研究分析。结果表明: 1) 3种人工草地均能明显改变天然草地的物种组成和草地群落, 增加播种植物的重要值; 2) AH人工草地能增加群落整体株高, 大幅度提高群落植被盖度、土壤含水率及植被地上、地下生物量; 3) 3种人工草地显著降低天然草地的群落物种多样性, 其中混播草地对其降低影响较小。由此可见, 青海草地早熟禾与蕨麻混播对退化草地植物群落的生长及物种多样性具有积极的影响, 这为高寒地区退化草地的生态快速恢复提供了一定的参考依据。

关键词

人工草地, 物种多样性, 生物量, 高寒草甸, 青海草地早熟禾, 蕨麻

Effects of Mixed Sowing on Degraded Grassland Plant Community Growth and Species Diversity

Daobai Zhang¹, Meiling Jing^{1*}, Jinping Qin², Yongkun Niu¹, Yushou Ma²

¹College of Ecological Environment and Resources, Qinghai Minzu University, Xining Qinghai

²Academy of Animal Science and Veterinary, Qinghai University, Xining Qinghai

Received: Oct. 8th, 2024; accepted: Nov. 4th, 2024; published: Nov. 12th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 张道百, 景美玲, 秦金萍, 牛永昆, 马玉寿. 混播对退化草地植物群落生长及物种多样性的影响[J]. 世界生态学, 2024, 13(4): 514-523. DOI: 10.12677/ije.2024.134066

Abstract

The establishment of artificial grassland in the alpine area of Qinghai is conducive to the rapid recovery of "black soil beach". In order to clarify the effects of mixed sowing of mono-dicotyledons on the restoration of degraded grassland, we selected one natural pasture (NP) as a comparison and three different adjacent artificial seeding regimes, namely *P. pratensis* L.cv. Qinghai (AZ), *P. anserine* (AE) and *P. pratensis* L.cv. Qinghai + *Potentilla anserine* (AH), to establish artificial grasslands for experimental comparison in the extremely degraded area of alpine meadows in the Sanjiangyuan area of the Qinghai-Xizang Plateau, and the experiments adopted the methods of field community surveys and sample determination. The four types of grassland communities were studied and analyzed. The results showed that: 1) The three kinds of artificial grassland plants can significantly alter species composition of natural pasture and community and increase the important value of seed plants. 2) AH artificial grassland can increase the whole plant height of community and substantially increase community vegetation coverage, soil moisture content and vegetation on the ground and underground biomass. 3) The three kinds of artificial grassland plants significantly reduced the species diversity of natural grassland community, and mixed grassland had little effect on the decrease. It can be concluded that mixed sowing of *P. pratensis* L.cv. Qinghai + *Potentilla anserine* has positive effects on the growth and species diversity of degraded grassland, which provides a certain reference basis for the rapid ecological recovery of degraded grassland in alpine regions.

Keywords

Artificial Grassland, Species Diversity, Biomass, Alpine Meadow, *Poa pratensis* L.cv. Qinghai, *Potentilla anserine*

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

青藏高原地区气候环境较为恶劣、生态系统十分脆弱[1], 在自然环境和人为等因素的影响下, 部分高寒草甸严重退化, 致使生态功能降低, 为治理和恢复带来了较大难度[2][3]。为此, 加强高寒地区黑土滩退化草地修复的研究对退化草地资源恢复具有重要意义[4]。建植人工草地是恢复黑土滩最有效的方法, 且已广泛应用[3], 而优质高产的牧草建植人工混播草地, 调控种间竞争与互利作用的相对大小, 使混播草地具有和保持混播优势是目前草业工作者研究的主要方向之一[5]。青海草地早熟禾(*Poa pratensis* L.cv. Qinghai)是高寒地区野生驯化牧草新品种, 在青藏高原地区建植黑土滩人工草地具有较大潜力, 并得到广泛研究[6]-[9]。蕨麻(*Potentilla anserine*)是多年生双子叶的匍匐茎植物[10], 具有较强的适应性和无性繁殖能力, 对植物群落的生长及生境特征具有明显影响, 且能降低高寒草甸退化程度, 对退化草甸有着无可替代的作用[11][12]。为此, 采用高寒地区乡土驯化草种青海草地早熟禾与蕨麻, 研究不同种植方式下人工草地高寒草甸植被群落生物量及物种多样性的影响, 以期三江源区人工混播草地建植提供依据, 也为不同种植管理模式下人工草地植被变化的生态学意义提供参考。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

试验地点位于青海省果洛州甘德县江千乡(N34°09'24", E100°26'25"), 海拔 3777 m, 属高原寒冷气候

类型, 年均气温 -1.4°C , 最冷月 1 月的平均气温为 -12.6°C , 最热月 7 月的平均气温为 9.1°C , 牧草生长季为 156 d 左右, 无绝对霜期。年均降水量 514.6 mm, 多集中在 6~8 月, 年均相对湿度 61%。土壤以高山草甸土为主, 土壤发育年轻, 土层浅薄。

2.2. 研究方法

1) 样地选取。本研究于 2021 年 7 月开展。研究区域高寒草原主要用于冬春季自然放牧, 选取该天然草地(natural pasture, NP)作为对照; 设置单播青海草地早熟禾人工草地(AZ)、单播蕨麻人工草地(AE)、青海草地早熟禾-蕨麻混播人工草地(AH), 共计 4 种草地类型(表 1), 分别记为 NP、AZ、AE 和 AH。以上所选人工草地均于 2019 年 6 月建植, 为 3 龄草, 单播青海草地早熟禾播种量为 3 g/m^2 , 单播蕨麻播种量为 22 g/m^2 , 混播草地青海草地早熟禾为 1.5 g/m^2 、蕨麻为 11 g/m^2 。其中, AZ 人工草地采用撒播, 播种深度不深于 1 cm, 覆土并镇压; AE 采用条播, 行间距和株间距均为 15 cm, 播种深度为 4~5 cm; AH 中先条播蕨麻, 播种深度为 5~7 cm, 行间距和株间距均为 20 cm, 然后撒播青海草地早熟禾, 播种深度不深于 1 cm, 覆土, 镇压。施肥磷酸二铵 $200\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 播深 2 cm。每年 6 月份追肥尿素 $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。样地位置较为接近, 从而保证环境因子的尽可能相近。人工草地是在极度退化的天然草地翻耕的基础上建植。每个处理设置 3 个重复样地, 每个重复面积为 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ 。

Table 1. Condition of different sites

表 1. 不同样地状况

样地	经纬度	海拔/m	种植物种	物种类型
NP	N34°09'24", E100°26'25"	3895		多年生与一年生
AZ	N34°09'10", E100°26'09"	3779	青海草地早熟禾	多年生, 单子叶
AE	N34°09'16", E100°26'15"	3778	蕨麻	多年生, 双子叶
AH	N34°09'18", E100°26'19"	3777	蕨麻 + 青海草地早熟禾	多年生, 单双子叶

注: NP 为天然草地; AZ 为单播青海草地早熟禾人工草地; AE 为单播蕨麻人工草地; AH 为青海草地早熟禾与蕨麻混播人工草地。

2) 群落调查。2021 年 7 月 30 号在 4 种群落类型中各选取地势较为一致, 具有代表性的 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 的样地, 每个样地内随机选取 5 个 $0.5\text{ m}\times 0.5\text{ m}$ 的样方, 分别进行群落学调查, 调查内容包括群落总盖度、物种盖度、植物种类、在小区内随机测量 5 个同种植物的株高, 计算其平均值。

3) 生物量测定。将每个样方里的植物分别齐地面刈割, 现场分种称取鲜重, 并分别装入信封, 带回实验室在 105°C 下杀青 30 min 后转到 75°C 烘至恒重并测定其干重。地下生物量采用直径 6 cm 的根钻测定地下生物量, 在上述剪去地上植被的所有样方内沿对角线取 3 钻土, 每钻分别取 0~30 cm 的带根土壤, 然后用铁筛将根在水中清洗干净, 并在 80°C 的烘箱内烘 24 h 至恒重, 称重, 取均值。

4) 土壤含水量测定。采用土钻法取样, 用烘干法测定, 取表层土壤, 即 0~10 cm, 每个样地取样 4 个, 置于铝盒中。用天平称量湿重 M_1 , 放在 105°C 的烘箱内烘至恒重, 待冷却后称得土样干重 M_2 , 计算含水量公式为: $M\% = (M_1 - M_2) / M_2 \times 100\%$ 。

5) 物种多样性计算。计算公式如下[13]:

Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H = \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (1)$$

式中: $P_i = n_i/N$, $n_i =$ 种 i 的个体数, $N =$ 样本总体个数, S 为物种数。

Pielou 均匀度指数:

$$E = H/\ln S \quad (2)$$

式中: S 为物种数。

Simpson 优势度指数:

$$D = 1 - \sum P_i^2 \quad (3)$$

式中: $P_i = n_i/N$, n_i = 种 i 的个体数。

物种重要值 = (相对盖度 + 相对高度 + 相对生物量)/3 × 100%

物种丰富度指数 = 物种数 = S

6) 混播草地对天然草地的影响程度。具体计算方法如下, 参照官惠玲等[14]的计算方法。

$$I = (I_A - I_P)/I_P \times 100\% \quad (4)$$

式中: I 为测算的混播草地对天然草地的影响程度; I_A 为各类人工草地群落的生物量或多样性指数; I_P 为天然草地群落测定的生物量或多样性指数。

2.3. 数据分析

试验数据采用 SPSS 23.0 软件进行统计分析、单因子方差分析和独立样本 t 检验, 差异显著性运用 Duncan 检验法进行多重比较。

3. 结果与分析

3.1. 群落特征

如表 2 所示, 4 种群落中 NP 物种数共有 22 种, AZ 和 AE 物种数分别为 4 种和 5 种, AH 物种数相对于单播人工草地略有增多, 共有 8 种。AH 混播群落中中华羊茅(*Festuca sinensis*)和落草(*Koeleria cristata*)的重要值显著高于 NP ($P < 0.05$)。不同群落中, 西伯利亚蓼(*Polygonum sibiricum*)的重要值 AE 最大, 并且显著高于其他 3 种样地($P < 0.05$), AZ 次之, 但显著高于其他 2 种样地($P < 0.05$)。AE 群落云生毛茛(*Ranunculus longicaulis*)的重要值显著高于其他群落($P < 0.05$)。4 种群落植被的盖度中 AH 最大, 为 96.33%, 并且显著高于其他 3 种样地($P < 0.05$), AE 次之, 但显著高于其他 2 种样地($P < 0.05$)。可见, 青海草地早熟禾与蕨麻混播可显著提高植被盖度。

Table 2. Community characteristics and species composition of sites

表 2. 样地群落特征及物种组成

物种	重要值			
	NP	AZ	AE	AH
青海草地早熟禾 <i>P. pratensis</i> cv. Qinghai		87.26 ± 0.41**		47.17 ± 0.83
蕨麻 <i>P. anserina</i>	5.06 ± 1.41 ^c		63.49 ± 0.84 ^a	26.02 ± 0.95 ^b
中华羊茅 <i>F. sinensis</i>	1.41 ± 1.41			6.99 ± 0.39*
落草 <i>K. cristata</i>	1.85 ± 1.85			5.52 ± 0.12*
冷地早熟禾 <i>Poa crymophila</i>	4.51			
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	10.09			
草地早熟禾 <i>P. pratensis</i>	6.85			

续表

紫花针茅 <i>Stipa purpurea</i>	4.00			
褐穗苔草 <i>Carex brunnescens</i>	9.20			
矮生嵩草 <i>Kobresia humilis</i>	4.55			
高山嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i>	3.10			
西伯利亚蓼 <i>P. sibiricum</i>	3.66 ± 0.53 ^c	7.52 ± 0.59 ^b	11.06 ± 0.81 ^a	3.46 ± 0.02 ^c
云生毛茛 <i>R. longicaulis</i>	4.65 ± 0.81 ^b	3.94 ± 0.12 ^b	9.77 ± 0.19 ^a	5.00 ± 0.17 ^b
细叶亚菊 <i>Ajanía tenuifolia</i>	2.50 ± 0.29 ^b		6.44 ± 0.19 ^a	2.17 ± 0.08 ^b
青海大蓟 <i>Lamiophlomis rotata</i>		0.92 ± 0.92		3.66 ± 0.31 [*]
青海刺参 <i>Morina kokonorica</i> Hao			9.24	
狗娃花 <i>Heteropappus hispidus</i>	7.54			
紫菀 <i>Aster tataricus</i>	11.34			
秦艽 <i>Gentiana straminea</i>	5.16			
地锦 <i>Parthenocissus tricuspidata</i>	0.93			
甘肃马先蒿 <i>Pedicularis kansuensis</i>	4.31			
肉果草 <i>Lancea tibetica</i>	2.17			
独一味 <i>Lamiophlomis rotata</i>	4.70			
矮火绒草 <i>Leonto podium nanum</i>	1.94			
婆婆纳 <i>Veronica didyma</i>	1.46			
物种数	22 ± 1.53 ^a	4 ± 0.00 ^c	5 ± 0.58 ^c	8 ± 0.58 ^b
盖度%	86.00 ± 1.00 ^b ^c	83.67 ± 1.86 ^c	89.67 ± 0.88 ^b	96.33 ± 0.88 ^a

注：同行不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)，相同字母表示差异不显著($P > 0.05$)。*表示两者间 t 检验显著($P < 0.05$)，**表示两者间 t 检验极显著($P < 0.01$)。下同。

3.2. 群落植被株高的影响

如表 3 所示，AZ 和 AH 两者的群落高度均显著高于 NP 和 AE 群落株高($P < 0.05$)。AH 中的青海草地早熟禾植株高度为 72.07 cm，显著高于 AZ 的株高($P < 0.05$)。AH 群落的蕨麻株高为 12.37 cm，显著高于 AE 和 NP ($P < 0.05$)，AE 次之，但显著高于 NP。AH 群落中西伯利亚蓼、云生毛茛、细叶亚菊等杂类草的株高均显著高于其他群落。可见单子叶植物与双子叶植物混播可以显著增加植物的株高，促进植被群落的生长。

Table 3. Plant height in different communities

表 3. 不同群落植被株高

物种	株高			
	NP	AZ	AE	AH
群落高度	6.43 ± 0.09 ^b	25.31 ± 1.39 ^a	6.56 ± 0.05 ^b	23.25 ± 0.64 ^a
青海草地早熟禾 <i>P. pratensis</i> cv. Qinghai		63.5 ± 2.06		72.07 ± 1.51 [*]
蕨麻 <i>P. anserina</i>	5.00 ± 0.58 ^c		8.17 ± 0.44 ^b	12.37 ± 0.65 ^a

续表

西伯利亚蓼 <i>P. sibiricum</i>	3.67 ± 0.44^d	11.20 ± 0.76^b	8.07 ± 0.18^c	13.33 ± 0.33^a
云生毛茛 <i>Ranunculus longicaulis</i>	5.67 ± 0.88^b	7.17 ± 0.44^b	7.87 ± 0.13^b	15.40 ± 2.09^a
细叶亚菊 <i>A. tenuifolia</i>	4.00 ± 0.29^b		4.53 ± 0.27^b	8.00 ± 0.70^a

3.3. 群落生物量差异

1) 地上生物量

由图 1 可知, 4 种群落植被的地上生物量中 A 的地上生物量最高, 为 243.01 g/m^2 , 显著高于其他群落的地上生物量 ($P < 0.05$)。而 AZ 地上生物量次之, 为 192.69 g/m^2 。AZ 与 NP 均显著高于 AE (70.56 g/m^2)。可见混播可以显著增加地上生物量。

2) 地下生物量

由图 2 可知, 4 种群落植被地下生物量中混播群落 AH 的地下生物量最高, 为 839.97 g/m^2 , 显著高于 ($P < 0.05$) 其他 3 种群落的地下生物量。而 AE 的地下生物量次之, 为 672.11 g/m^2 。可见单子叶植物与双子叶植物混播可以显著增加地下生物量。

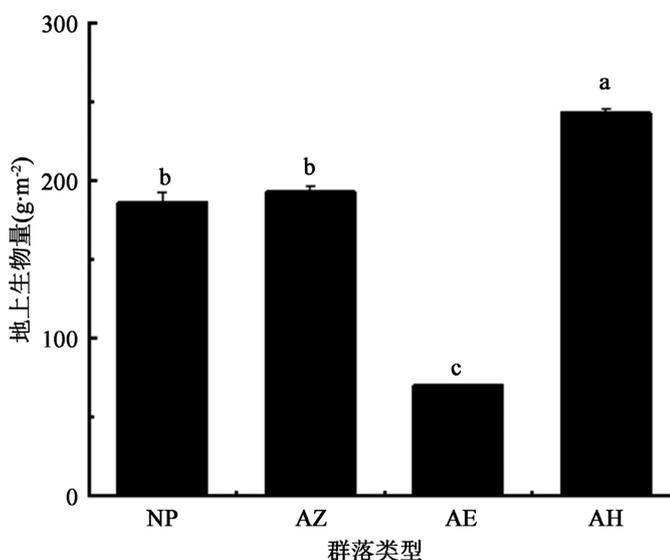


Figure 1. Aboveground biomass in different community types

图 1. 不同群落类型地上生物量

3.4. 土壤含水率

由图 3 可知, 4 种样地植被土壤的含水率存在一定差异, 其中混播群落 AH 的土壤含水率最高, 为 28.53%, 并且显著高于 ($P < 0.05$) 其他 3 种样地, AZ 样地土壤含水率次之, 为 26.36%。由此可见, 单子叶植物与双子叶植物混播可以显著提高土壤含水率。

3.5. 群落多样性

物种的多样性及均匀度越高, 反映群落越稳定[15]。由表 4 可知, 4 个群落的 Shannon-Wiener 和 Simpson 指数均有较大差异。NP 群落最大, 分别为 2.623 和 0.921, 显著高于 AZ、AE 和 AH ($P < 0.05$)。AH 群落的 Shannon-Wiener 和 Simpson 指数次之, 为 1.520 和 0.696, 并且显著高于 AZ 和 AE ($P < 0.05$)。

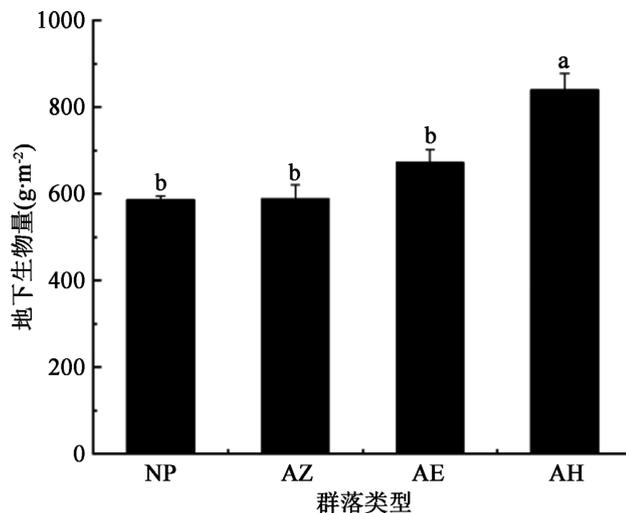


Figure 2. Belowground biomass in different community types
图 2. 不同群落类型地下生物量

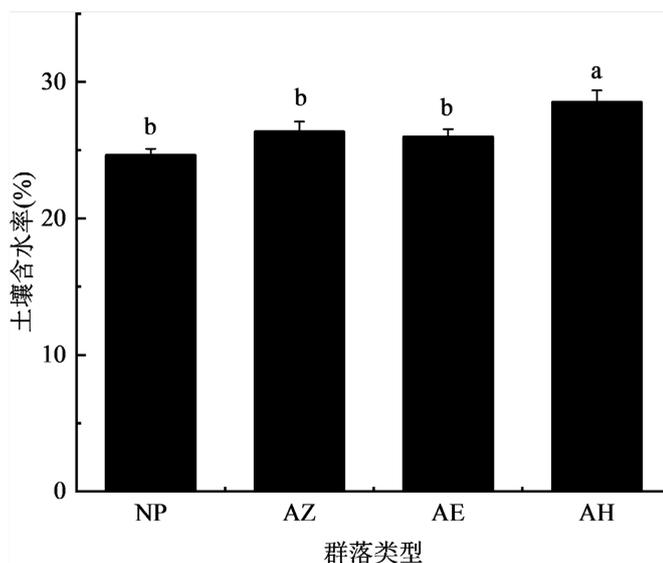


Figure 3. Soil water content in different community types
图 3. 不同群落类型土壤含水率

Table 4. Community species diversity in different grasslands

表 4. 不同草地群落物种多样性

处理	多样性指数 Shannon-Wiener	均匀度指数 Pielou	生态优势度指数 Simpson
NP	2.623 ± 0.055 ^a	0.933 ± 0.019 ^a	0.921 ± 0.004 ^a
AZ	0.470 ± 0.028 ^d	0.395 ± 0.009 ^c	0.225 ± 0.008 ^d
AE	1.155 ± 0.015 ^c	0.718 ± 0.010 ^b	0.562 ± 0.009 ^c
AH	1.520 ± 0.008 ^b	0.731 ± 0.004 ^b	0.696 ± 0.004 ^b

AE 为 1.155 和 0.562, 显著高于 AZ (0.470、0.225)。4 个群落的 Pielou 指数也存在较大差异, 其中 NP 群落最大, 为 0.933, 显著高于 AZ、AE 和 AH ($P < 0.05$), AH 群落的 Pielou 指数次之, 为 0.731, 并且与

AE 均显著高于 AZ ($P < 0.05$), AZ 的 Pielou 指数最低, 为 0.395。

3.6. 不同人工草地对天然草地群落生物量及多样性影响的差异

由图 4 可知, 样地中除 AE 相比于天然草地的总生物量有所降低外, 其他 2 种人工草地的种植能整体上提高总生物量。其中, AH 群落对天然草地地上、地下和总生物量的影响均显著高于 AE 和 AZ 群落 ($P < 0.05$)。AE 对天然草地地上生物量的影响显著小于其他 2 种人工草地 ($P < 0.05$)。

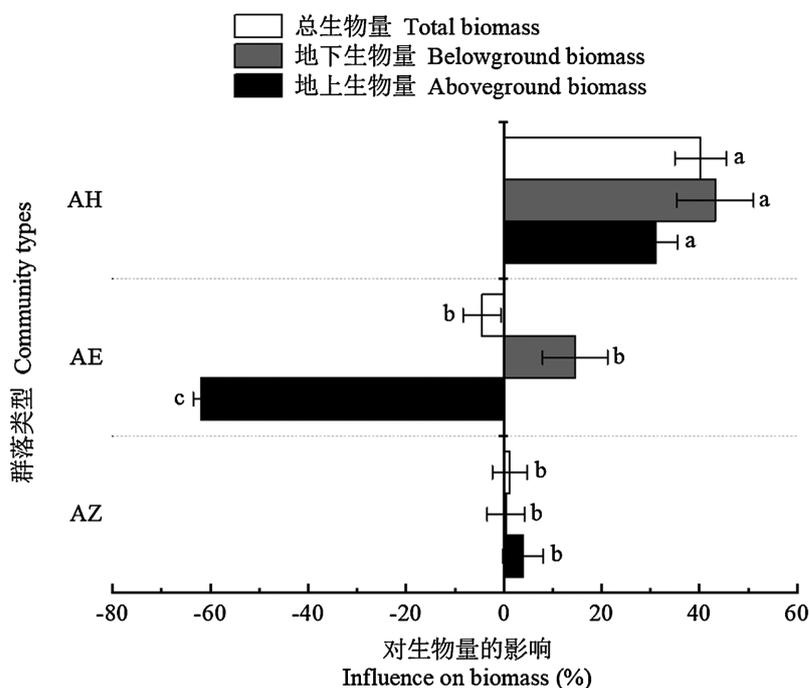


Figure 4. Effects of different artificial grasslands on community biomass
图 4. 不同人工草地对群落生物量的影响

相反, 由图 5 可知, 3 种人工草地的种植均降低了天然草地的物种多样性。其中, 3 种样地群落的 Shannon-Wiener 均有显著影响 ($P < 0.05$), 其中 AZ 降低最大, 其次是 AE, AH 降低最小。AZ 对 Pielou 指数的影响显著小于其他 2 种人工草地 ($P < 0.05$)。3 种样地群落的 Simpson 指数的影响也存在一定差异, 均显著降低 NP 的 Simpson 指数影响 ($P < 0.05$), 其降低程度排序为 AE > AZ > AH。

4. 讨论

退化草地人工恢复措施中植物混播是一种较好的恢复方式, 由于混播模式的不同, 造成许多指标的研究结果差异较大[16]。青海草地早熟禾与蕨麻, 两者为不同科植物, 形态差异较大, 草地早熟禾呈直立状, 蕨麻呈垫状匍匐地面, 加之混播可以充分地利用光、肥、气、热等自然资源, 导致其种间竞争力存在明显差异, 两种植物混播均在高度、盖度乃至土壤水分上具有明显优势, 本研究中混播群落的地上与地下生物量、土壤含水量均显著高于天然草地以及其他单播群落, 这与王京等[17]的研究结果相似。本研究与李文等[18]、刘启宇等[5]的研究结果相似, 混播处理生物量显著高于单播处理, 混播有增产效果。但候宪宽[19]对于早熟禾单播、混播模式(禾草 + 禾草)的研究结果不同, 研究显示, 单播草地的地上生物量高于混播草地, 与本研究结果相反, 分析原因可能是本研究所采用的是单子叶与双子叶植物混播, 在生理、形态等特征差异较大, 在生长过程中可能存在互补关系, 能最大化资源合理利用, 青海草地早熟禾

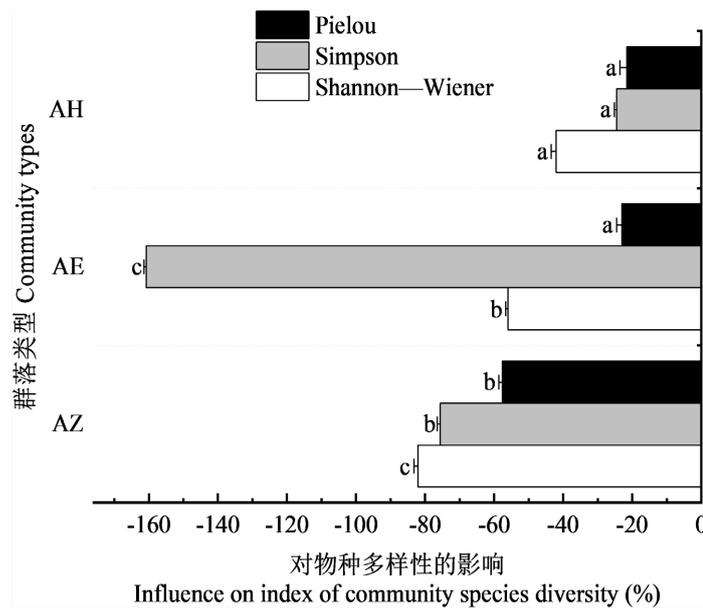


Figure 5. Effects of different artificial grasslands on community species diversity
图 5. 不同人工草地对群落物种多样性的影响

与蕨麻之间可能在生长上存在一定的促进作用。

不同植物种间竞争力存在明显差异，种间竞争影响种群数量[20] [21]。混播对高寒草地的物种丰富度有较大的影响。本研究中，3种人工草地的物种数、多样性指数、均匀度指数、生态优势度指数大小排序均为 AH>AE>AZ，可见混播可以增加植物物种数和多样性。可能在混播人工草地群落演替过程中，主要种的优势地位发生替代变化程度，外来杂草的入侵以及空间、养分的竞争明显，物种多样性和均匀性随着自然演替而增大[22]，混播能更好地发挥各物种不同的适应性，丰富物种多样性，提高草地的生态稳定性，延长草地寿命[23]，祁军等[24]的研究结果也表明，豆禾草混播可以提高群落物种多样性。单播群落中物种多样性较少，只有个别杂类草，分析这是由于两种草均是多年生植物，具有发达的地下根茎，无性繁殖能力强，随着人工草地的自然演化，根茎侵占能力不断增加，导致其他物种较少。两者混播群落中物种数比单播群落物种数较多，而官惠玲等[14]的研究结果显示，不同单播单子叶植物人工草地的群落多样性相对于混播群落较多，分析可能由于本研究的混播选取的材料两者形态特征差异较大，存在有一部分未被利用的空间，可能有利于其他植物的生长。

5. 结论

在青藏高原三江源区高寒草甸极度退化区，单播青海草地早熟禾、单播蕨麻及混播青海草地早熟禾 + 蕨麻均能明显增加播种植物的重要值，改变草地物种组成。混播青海草地早熟禾 + 蕨麻能显著增加群落株高、盖度、地上与地下生物量及土壤含水率，且物种多样性显著高于单播群落。青海草地早熟禾 + 蕨麻混播有助于促进植物生长，快速恢复退化草地。

基金项目

青海省科学技术厅项目(2019-ZJ-987Q)。

参考文献

[1] Mu, C., Abbott, B.W., Norris, A.J., Mu, M., Fan, C., Chen, X., *et al.* (2020) The Status and Stability of Permafrost Carbon

- on the Tibetan Plateau. *Earth-Science Reviews*, **211**, Article ID: 103433. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103433>
- [2] Miehe, G., Schleuss, P., Seeber, E., Babel, W., Biermann, T., Braendle, M., *et al.* (2019) The Kobresia Pygmaea Ecosystem of the Tibetan Highlands—Origin, Functioning and Degradation of the World’s Largest Pastoral Alpine Ecosystem. *Science of the Total Environment*, **648**, 754-771. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.164>
- [3] 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(1): 1-21.
- [4] 武胜男, 张曦, 高晓霞, 等. 三江源区“黑土滩”型退化草地人工恢复植物群落的演替动态[J]. 生态学报, 2019, 39(7): 2444-2453.
- [5] 刘启宇, 云岚, 陈逸凡, 等. 苜蓿-禾草混播草地牧草产量及种间竞争关系的动态研究[J]. 草业学报, 2022, 31(3): 181-191.
- [6] 闵星星, 马玉寿, 李世雄, 等. 施肥种类对青海草地早熟禾草地土壤呼吸的影响[J]. 草地学报, 2014, 22(4): 757-761.
- [7] 侯宪宽, 董全民, 施建军, 等. 青海草地早熟禾单播人工草地群落结构特征及土壤理化性质研究[J]. 中国草地学报, 2015, 37(1): 65-69+120.
- [8] 景美玲, 王彦龙, 马玉寿, 等. 祁连山区青海草地早熟禾的丰产栽培技术[J]. 西北农业学报, 2019, 28(1): 31-40.
- [9] 景美玲, 王彦龙, 马玉寿, 等. 播期对青海草地早熟禾生长特性的影响[J]. 西北农业学报, 2018, 27(12): 1754-1762.
- [10] Eriksson, O. (1988) Ramet Behaviour and Population Growth in the Clonal Herb *Potentilla Anserina*. *The Journal of Ecology*, **76**, 522-536. <https://doi.org/10.2307/2260610>
- [11] 周华坤, 赵新全, 周立, 等. 高寒草甸退化对鹅绒委陵菜克隆生长特征的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(2): 508-520.
- [12] 杨晶. 放牧和高原鼯鼠扰动对鹅绒委陵菜繁殖特征的影响[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 甘肃农业大学, 2021.
- [13] 郭忠玲, 马元丹, 郑金萍, 等. 长白山落叶阔叶混交林的物种多样性、种群空间分布格局及种间关联性研究[J]. 应用生态学报, 2004(11): 2013-2018.
- [14] 官惠玲, 樊江文, 李愈哲. 不同人工草地对青藏高原温性草原群落生物量组成及物种多样性的影响[J]. 草业学报, 2019, 28(9): 192-201.
- [15] Tilman, D. and Downing, J.A. (1994) Biodiversity and Stability in Grasslands. *Nature*, **367**, 363-365. <https://doi.org/10.1038/367363a0>
- [16] 马妍琪. 高寒地区一年生禾本科-豆科人工草地混播模式及产量形成机制研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2019.
- [17] 王京, 高志娟, 舒佳礼, 等. 黄土丘陵区白羊草与达乌里胡枝子混播草地生产力与土壤水分利用研究[J]. 西北农业学报, 2016, 25(2): 173-181.
- [18] 李文, 魏廷虎, 永措巴占, 等. 混播比例对三江源人工草地植被和土壤养分特征的影响[J]. 草业学报, 2021, 30(12): 39-48.
- [19] 侯宪宽. 不同类型人工高寒草地的土壤和植被变化特征研究[D]: [硕士学位论文]. 西宁: 青海大学, 2015.
- [20] 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(3): 155-167.
- [21] Biligetu, B., Jefferson, P.G., Muri, R. and Schellenberg, M.P. (2014) Late Summer Forage Yield, Nutritive Value, Compatibility of Warm and Cool-Season Grasses Seeded with Legumes in Western Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, **94**, 1139-1148. <https://doi.org/10.4141/cjps2013-269>
- [22] 郭文霞. 多年生禾本科混播人工草地的群落演替研究[J]. 现代农业科技, 2021(4): 193-196.
- [23] 赵俊权. 18 种引进优良牧草混播草地生产力和群落稳定性及可持续利用研究[D]: [博士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2007.
- [24] 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, 10(1): 116-128.