



## 三江源区不同年限黑土滩人工草地植被特征

李思瑶<sup>1</sup>,施建军<sup>1,2</sup>,汪海波<sup>3</sup>,贺有龙<sup>3</sup>,唐燕青<sup>4</sup>,  
邢云飞<sup>1</sup>,吴建丽<sup>1</sup>,赫苗花<sup>1</sup>,张海蓉<sup>1</sup>

(1. 青海大学畜牧兽医科学院, 西宁 810016; 2. 三江源区高寒草地生态省部共建教育部重点实验室, 西宁 810016; 3. 果洛藏族自治州林业和草原站, 青海果洛 814000; 4. 河南县托业玛乡农牧业技术服务站, 青海河南县 811599)

**摘要** 以三江源区不同建植年限黑土滩人工草地(1、3、7、12、17、21 和 24 龄)及其周边黑土滩(CK)为对象,从植被群落结构、生物量、物种多样性角度,探究三江源区黑土滩人工草地植被变化特征及适宜利用年限,为黑土滩人工草地的合理利用提供理论依据。结果表明:随建植年限增加,人工草地草层的高度和盖度及地上生物量均呈增加趋势,且人工草地比 CK 高;人工草地的禾本科高度、盖度、地上生物量、地下生物量均高于莎草科、豆科和杂类草,CK 样地杂类草高于其他经济类群;各建植年限人工草地优势种和伴生种分别为垂穗披碱草(*Elymus nutans*)和青海冷地早熟禾(*Poa crymophila*),且其重要值均随建植年限增加呈逐渐增加趋势;各经济类群物种多样性指数均呈波动式增加趋势,建植 3 a 人工草地的植物香农维纳指数和均匀度指数最低,分别为 0.66、0.48,建植 21 a 时最高;在植物 NMDS 分析表明,建植 24 a、建植 21 a 和建植 12 a 的人工草地与 CK 样地无重合部分,其植被群落差异度很大。研究得知:建植 21 a 的黑土滩人工草地群落多样性指数显著高于其他建植年限的人工草地,与黑土滩退化草地相似度最小,群落组成相对稳定。

**关键词** 黑土滩人工草地;建植年限;物种多样性;三江源

三江源是中国江河中下游地区以及东南亚周边国家环境建设和区域可持续发展的重要生态屏障<sup>[1]</sup>。但由于青海高寒地区缺氧,生态环境十分脆弱,加上气温变化和人类活动影响,青海高寒草地退化严重,出现大面积次生裸地—“黑土滩”<sup>[2]</sup>。由于高寒区生态环境严苛,从而短期内黑土滩退化草地恢复十分艰难。Li 等<sup>[3-4]</sup>报道,高强度放牧下,21 a 就能形成黑土滩退化草地,其恢复至少需要 50 a 以上。因此,自然恢复“黑土滩”植被难度很大,而通过建植人工或半人工草地是“黑土滩”植被恢复的有效方式之一<sup>[5]</sup>。

以往高寒地区人工草地研究集中于建植方法和恢复措施<sup>[6-7]</sup>、人工草地与天然草地和黑土滩之间的植被组成<sup>[8-9]</sup>、群落生产力和稳定性特征<sup>[10]</sup>、草地土壤养分和土壤微生物群落结构特征等<sup>[11-12]</sup>。研究结果表明,在缺少人工干预措施下黑土滩人工草地在建植 3~5 a 后出现退化现象<sup>[13-14]</sup>;由于过度放牧及管理不当等,人工草地建

植 5~8 a 后出现逆向演替<sup>[15-16]</sup>;合理的人工调控措施可促进和恢复黑土滩退化草地植被群落<sup>[17-18]</sup>。由于人工草地植被和土壤特征随其建植和利用年限不同而差异很大,以往高寒地区人工建植利用年限一般为 15 a 以内,如王长庭等<sup>[19]</sup>研究了建植 14 a 人工草地的植物群落演替和土壤养分特征,张杰雪等<sup>[20]</sup>分析了建植 13 a 人工草地的土壤微生物群落特征;但高寒地区长时间尺度人工草地的植被和土壤特征分析有限,仅有孙华方等<sup>[21]</sup>分析了建植 18 a 人工草地的土壤微生物多样性特征。

本研究以三江源区不同建植年限(长期、中期和短期)黑土滩人工草地及其周边黑土滩为对象,通过对其植物群落和经济类群(禾本科、莎草科、豆科以及杂类草)组成、生物量和多样性进行分析,探究黑土滩植被恢复的适宜人工草地利用年限,为三江源区高寒草地的可持续利用与发展以及生态修复提供可靠的科学依据。

收稿日期:2022-06-28 修回日期:2022-09-13

基金项目:青海省高端创新人才千人计划(2019QHQRJH);第二次青藏科考项目(2019QZKK1002)。

第一作者:李思瑶,女,硕士研究生,从事高寒草地生态研究。E-mail:2272737712@qq.com

通信作者:施建军,男,研究员,主要从事高寒草地生态研究。E-mail:378605242@qq.com

## 1 材料与方

### 1.1 试验样地概况

试验地点位于青海省果洛藏族自治州玛沁县大武镇(34°27′53″N, 100°12′35″E)和达日县建设乡(33°40′32″N, 99°23′3″E)。达日县、玛沁县均属典型高原大陆性气候,植被类型均为高寒草甸,原生植被以高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)为主,平均海拔分别为 4 100 m 和 3 760 m,年均温分别为 -0.3 °C 和 3.5~3.8 °C,土壤类型为高山草甸土。年日照时数为 2 313~2 607 h,年均降水量 423~565 mm,60%的降水集中在 6 月至 9 月;牧草生长期一般为 110~150 d,无绝对霜期。由于气温和恶劣环境导致研究区鼠害泛滥,加之过度放牧等,天然草地退化严重,逐渐形成大面积退化趋势,部分地方形成“黑土滩”。

### 1.2 样地设置

2021 年 7—8 月,分别选取 1997 年、2000 年、2004 年、2009 年、2014 年、2018 年和 2021 年在黑土滩退化草地上建植的垂穗披碱草(*Elymus nutans*)单播草地,黑土滩退化草地选在果洛州玛沁县大武滩建植的人工草地附近,人工草地建植之前的植被与周边“黑土滩”一致。建植草种为果洛州当地草籽繁殖场生产,播量 45 kg·hm<sup>-2</sup>,发芽率为 85%,施肥量 45 kg·hm<sup>-2</sup>(肥料为云南云天化牌磷酸二铵:N≥18.0%,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>≥46.0%)。于建植后第 3 年、第 5 年和第 7 年,对 2000 年和 2004 年建植的人工草地进行追肥与灭杂,各建植年限的人工草地均冬季放牧(每年 11 月至次年 4 月),生长季完全禁牧。以黑土滩退化草地为对照。不同建植年限的人工草地基本情况见表 1。

表 1 样地基本情况

Table 1 Basic information of sample site

样地编号 Serial number of plots	海拔/m Altitude	建植年限/a Cultivated period	经纬度 Longitude and latitude
S1	3 687~3 692	1	N34°26′52″ E100°14′30″
S2	3 809~3 815	3	N34°25′47″ E100°20′8″
S3	3 701~3 705	7	N34°27′53″ E100°12′35″
S4	3 702~3 709	12	N34°28′20″ E100°13′15″
S5	3 704~3 711	17	N34°28′5″ E100°12′45″
S6	3 690~3 701	21	N34°28′3″ E100°12′56″
S7	4 073~4 081	24	N33°40′32″ E99°23′3″
CK	3 692~3 699	黑土滩极度退化草地 Black soil land	N34°27′58″ E100°12′43″

注:S. 样地;CK. 黑土滩极度退化草地。

Note:S. Simpleplot;CK. Black soil land.

### 1.3 测定指标与方法

2021 年 8 月中下旬,在上述各样地内分别随机选取 4 个 50 cm×50 cm 样方,先测定各样方中植物群落和植物种的盖度(目测法测定)、植物种的高度(自然高度,每样方测定 5 株,不足 5 株物种按实际株数测)按功能群(禾本科、莎草科、豆科、杂类草)分开随机采同种植物 10 株取平均值作为经济类群的高度;然后将样方内植物按不同植物种齐地刈割收获,装在样品袋,于 80 °C 恒温烘箱中烘干至恒质量,作为地上生物量。最后在收获地上生物量的各样方内,用直径 7 cm 的根钻采集 0~10 cm、10~20 cm 和 20~30 cm 深度根样,每样方每层采集 5 钻,按同样方同一土层混合成一个根样,作为地下生物量。

### 1.4 数据计算方法

根据植物群落样方调查数据,按重要值(IV)=(相对高度+相对盖度+相对生物量)/3,分别计算各样方植物种重要值;同时,基于样方植物物种数和植物物种重要值,按公式计算 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )、物种丰富度( $R$ )、Pielou 均匀度指数( $E$ )、Simpson 优势度指数( $C$ )。禾本科高度以垂穗披碱草为主要草种进行测定,豆科、莎草科、杂类草的高度、盖度、地上地下生物量均采取平均值作为数据。

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

$$E = H' / \ln S$$

$$C = \sum_{i=1}^s \frac{N_i(N_i-1)}{N(N-1)}$$

$$R = S$$

式中,  $S$  代表物种数目;  $N$  表示群落中所有物种的个体总数;  $P_i$  表示第  $i$  个物种的相对多度。

### 1.5 统计分析

数据采用 Microsoft Excel 2019 处理, 用 SPSS 20.0 软件对不同建植措施下的植被进行单因素方差统计分析, 用最小显著差异法 (LSD) 进行检验, 数据表示形式为“平均数 ± 标准差”。 $P < 0.05$  表示差异显著,  $P < 0.01$  表示差异极显著。利用 Microsoft Excel 2019 和 R studio 进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 草地植物群落优势种和伴生种组成

随着建植年限的增加, 草地群落的优势度随

之发生变化(表 2), 其中垂穗披碱草始终处于优势地位, 且随着建植年限增加呈现波动式增加的趋势。青海冷地早熟禾随着建植年限的增加优势度逐渐增加, 且除了人工建植 1 a 外都处于次优势种地位。人工建植 1 a 的草地杂类草优势度仅次于黑土滩草地。

从功能群组成来看, 禾本科的植株数量随着建植年限的增加而呈现逐渐增加的趋势, 在人工建植 3 a 后, 次优势种西伯利亚蓼逐渐被青海冷地早熟禾代替, 在建植 17 a 时, 米口袋在植物群落组成中逐渐成为第三优势种, 之后又呈减少趋势。在建植 21 a 时落草为第三优势种, 其数量有所上升, 建植 24 a 时线叶苔草数量明显上升, 成为第三优势种, 群落组成逐渐稳定。

表 2 不同建植年限样地植物群落优势种和伴生种组成

Table 2 Composition of dominant species and associated species of plant communities in sample plots of different planting years

样地编号 Serial number of plots	优势种名称 Dominant species	重要值 Importance value	优势度 Advantage degree	伴生种名称 Dominant species	重要值 Importance value	优势度 Advantage degree	伴生种名称 Dominant species	重要值 Importance value	优势度 Advantage degree
S1	垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	0.53	0.278 4	西伯利亚蓼 <i>Polygonum sibiricum</i> Laxm	0.14	0.020 9	鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	0.13	0.015 9
S2	垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	0.48	0.230 9	青海冷地早熟禾 <i>Poa crymophila</i>	0.22	0.047 8	中华羊茅 <i>Fectua sinensis</i>	0.19	0.034 8
S3	垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	0.37	0.138 5	青海冷地早熟禾 <i>Poa crymophila</i>	0.29	0.082 8	鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	0.06	0.003 4
S4	垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	0.28	0.080 0	青海冷地早熟禾 <i>Poa crymophila</i>	0.27	0.073 6	落草 <i>Koeleria macrantha</i> (Ledeb.) Schult.	0.17	0.029 3
S5	垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	0.32	0.104 8	青海冷地早熟禾 <i>Poa crymophila</i>	0.26	0.066 1	米口袋 <i>Gueldenstaedtia verna</i> (Georgi) Boriss	0.06	0.003 6
S6	垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	0.41	0.170 9	青海冷地早熟禾 <i>Poa crymophila</i>	0.24	0.055 7	落草 <i>Koeleria macrantha</i> (Ledeb.) Schult.	0.12	0.013 5
S7	垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	0.37	0.136 5	青海冷地早熟禾 <i>Poa crymophila</i>	0.34	0.116 6	线叶苔草 <i>Carex tristachya</i>	0.07	0.004 7
CK	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	0.21	0.042 2	棘豆 <i>Oxytropis</i> DC	0.08	0.006 3	秦艽 <i>Gentiana macrophylla</i> Pall.	0.13	0.017 4

### 2.2 草地植物群落高度和盖度

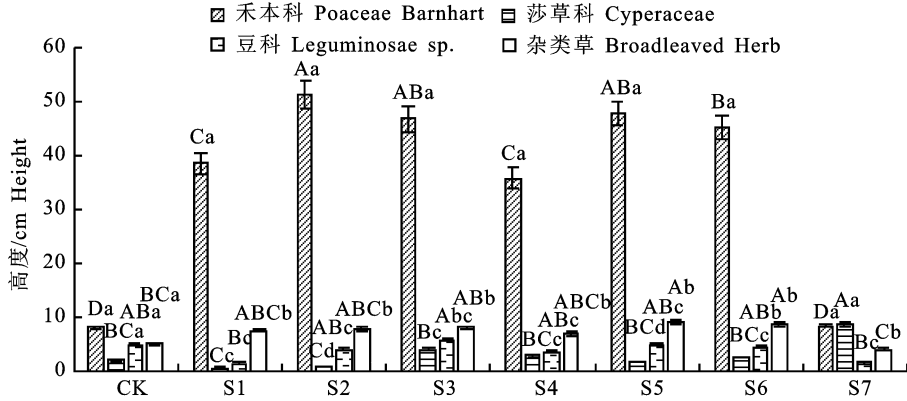
由图 1 可知, 建植 1~21 a 的人工草地中禾本科高度显著高于其他 3 种经济类群 ( $P < 0.05$ ), 黑土滩草地 4 种经济类群高度无显著差异。建植 3 a 的人工草地中禾本科高度显著高于其他建植年限人工草地和黑土滩草地 ( $P < 0.05$ )。建植 1 a 到 3 a 禾本科高度明显上升, 建植 7 a 到 24 a 呈现波动式下降的趋势。建植 24 a 时莎草科植物群落高度显著最高为 8.67 cm ( $P < 0.05$ )。人工草地豆科植物群落高度在各建植年限间无显著性差异, 建植 7 a 豆科植物群落高度最高为 4.69 cm。杂类草高度随着建植年限增加而逐渐增加, 在建植 1 a 时为最低值 3.87

cm, 并且建植 24 a 的人工草地和 CK 样地中杂类草高度显著高于其他建植年限样地 ( $P < 0.05$ )。

由图 2 可知, 建植 3~24 a 植物群落总盖度随着建植年限的增加呈现逐渐减小的趋势, 且建植 1 a、3 a、7 a 植物总盖度显著高于其他年份 ( $P < 0.05$ ), CK 样地植物总盖度显著低于其他年份 ( $P < 0.05$ ), 且建植 21 a 的人工草地相较于建植 17 a 的人工草地群落盖度增加 7.44%。建植 3~24 a 人工草地的禾本科、莎草科、豆科盖度随着建植年限的增加呈现逐渐增加的趋势, 且禾本科、莎草科在建植 21 a 时达到最大值, 分别为 75.67%、9.33%。人工建植 3~24 a 禾本科植物盖度显著高于其他 3 种 ( $P < 0.05$ ), 莎草科盖度

在建植 7~12 a 时呈先增加后降低的趋势,并且建植 21 a 时莎草科盖度显著大于其他建植年限人工草地 ( $P < 0.05$ ),分析其原因可能是人工放牧管理措施不同导致,CK 样地的禾本科和莎草科植被盖度显著低于其他建植年限 ( $P < 0.05$ )。

豆科盖度在建植 17 a 时显著最高,建植 7 a 与建植 21 a 无显著差异,建植 1 a、12 a 与 CK 样地无显著差异。CK 样地杂类草盖度显著最高 ( $P < 0.05$ ),人工草地杂类草盖度在建植 1 a 时为最大值,在建植 12 a 和 21 a 时有显著增高的趋势。



不同大写字母表示相同经济类群不同建植年限间差异显著 ( $P < 0.05$ );不同小写字母表示相同建植年限不同经济类群间差异显著 ( $P < 0.05$ ),下同

Different uppercase letters indicate significant differences between the different planting years in the economic groups ( $P < 0.05$ ), and lowercase letters indicate significant differences between the different economic groups of the same planting years ( $P < 0.05$ ). The same below

图 1 不同建植年限人工草地植物群落高度

Fig. 1 Plant community height of artificial grassland in different years

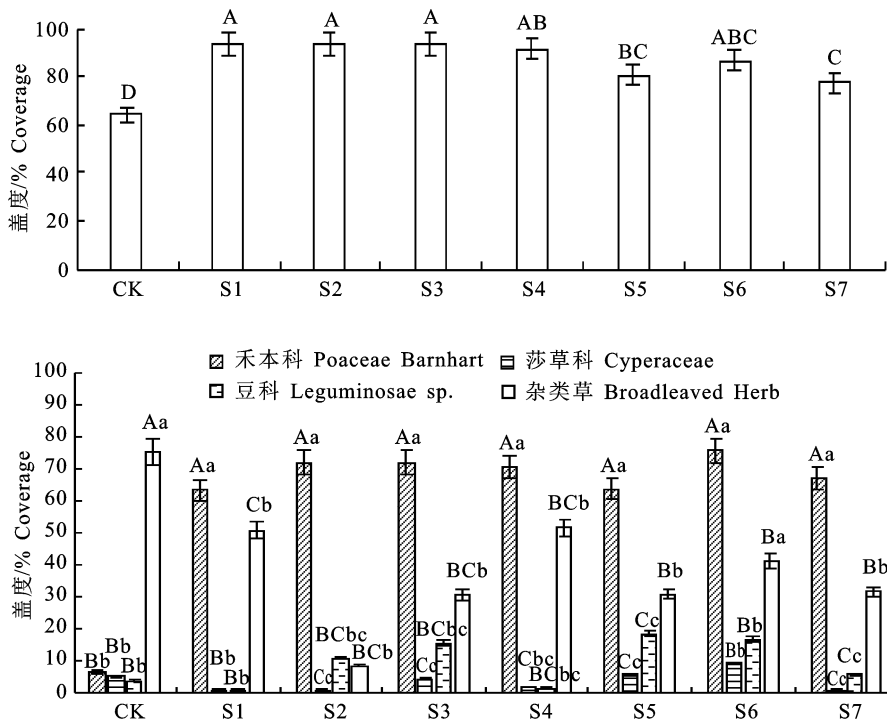


图 2 不同建植年限人工草地植物群落盖度

Fig. 2 Total plant community coverage of artificial grassland in different planting years

### 2.3 草地植物群落生物量

由图 3 可知,建植 3~21 a 禾本科、莎草科、豆科的地上生物量均随着建植年限的增加而呈现波动式增加的趋势,建植 24 a 的人工草地各功能群的地上生物量均有所下降。建植 12 a、24 a 人工草地和 CK 样地的禾本科地上生物量显著低于建植 21 a、17 a、12 a、7 a 和 3 a ( $P < 0.05$ )。在同一建植年限间禾本科的地上生物量显著高于其他功能群 ( $P < 0.05$ )。各年限间莎草科无显著变

化。建植 24 a、12 a、1 a 和 CK 样地的豆科地上生物量显著低于建植 21 a、17 a、7 a 和 3 a,相较于 CK 样地,豆科地上生物量分别显著增加 128.72%、647.87%、1 592.55%、425.53% ( $P < 0.05$ )。杂类草地上生物量随着建植年限的增加而逐渐减少。CK 样地杂类草地上生物量显著高于其他建植年限的人工草地,其中建植 3 a 的人工草地地上生物量有显著下降的趋势 ( $P < 0.05$ )。

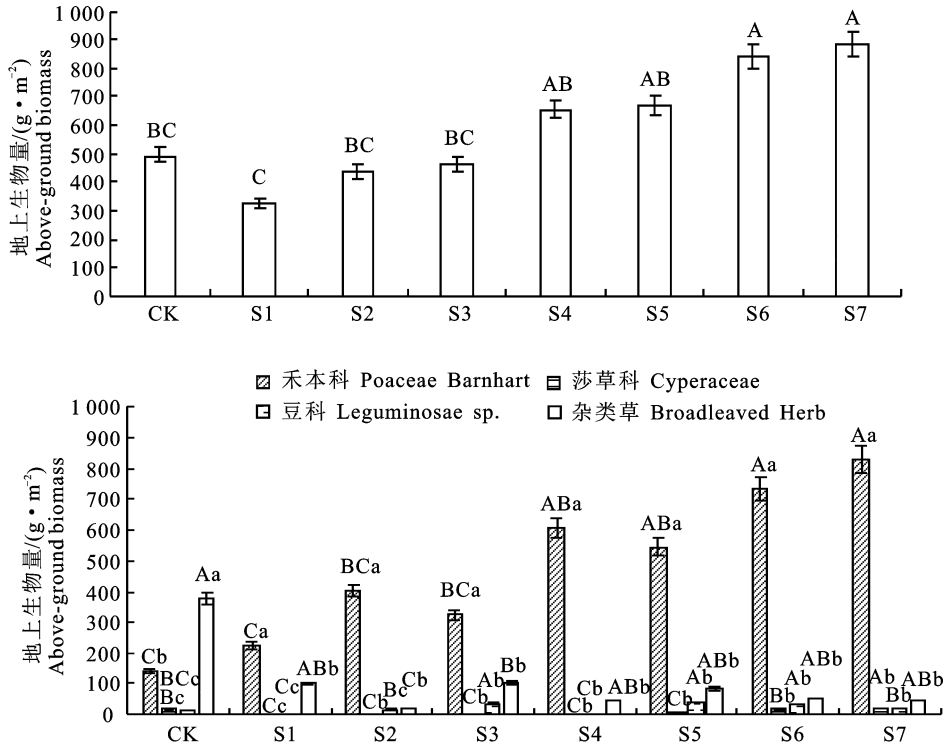


图 3 不同建植年限人工草地地上生物量

Fig. 3 Total aboveground biomass of artificial grassland in different planting years

由图 4 可知,黑土滩人工草地的各土层地下生物量均随着建植年限的增加而逐渐增加。建植 1 a 的人工草地 0~10 cm、10~20 cm 地下生物量较 CK 样地分别减小 19.31%、25.41%。CK 样地各土层地下生物量均显著高于其他建植年限的人工草地 ( $P < 0.05$ ),且除建植 1 a 的人工草地外,其他建植年限的人工草地地下生物量均无显著性差异。各年限的人工草地 0~10 cm 地下生物量显著高于 10~20 cm、20~30 cm 的地下生物量 ( $P < 0.05$ ),建植 17 a 和建植 24 a 的人工草地 10~20 cm 地下生物量分别显著高于 20~30 cm 地下生物量 93.41%、119.44% ( $P < 0.05$ )。CK 样地各土层地下生物量之间并无显著差异。

### 2.4 草地植物群落物种和功能群多样性

人工草地禾本科、莎草科和豆科重要值均随着建植年限的增加呈现波动式上升的趋势,而 CK 样地杂类草重要值显著高于其他 3 种功能群 ( $P < 0.05$ )。物种丰富度、香农-维纳指数和均匀度指数均随着建植年限的增加呈现先增加后减小的趋势。建植 3 a 的人工草地香农-维纳指数和均匀度指数最低,在建植 7 a 后各项多样性指数显著增加,在人工建植 12 a 时禾本科香农-维纳指数达到最高值,在之后的 5 a 内有显著性下降的趋势,建植 21 a 时又有所升高。莎草科和豆科群落多样性指数随着建植年限增加逐渐升高又减小,与植被群落总体趋势一致。禾本科均匀度指数在建植 7 a 时达到峰值为 0.98。莎草科和豆

科在建植 12 a、3 a 时达到最大值,分别为 0.95、0.91。黑土滩退化草地均匀度指数和香农-维纳

指数较高,原因是杂类草占优势地位,其数量与种类都较为一致。

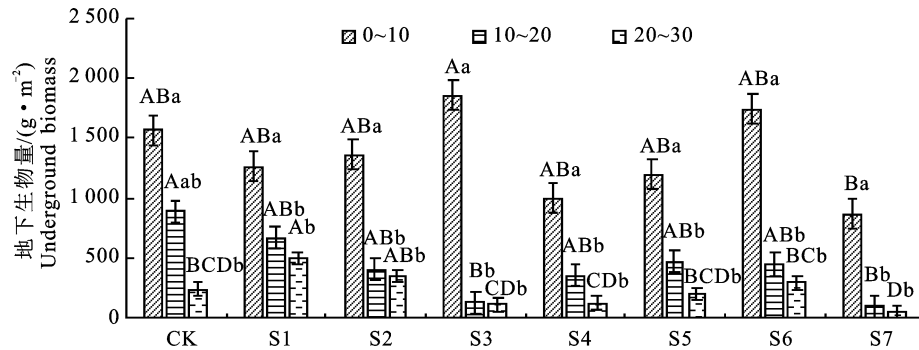


图 4 不同建植年限人工草地地下生物量

Fig. 4 Underground biomass of artificial grassland in different planting years

表 3 不同建植年限人工草地植物群落物种多样性

Table 3 Changes of plant community diversity characteristics of artificial grassland in different planting years

样地编号 Serial number of plots	物种丰富度 Species richness	香农-维纳指数 Shannon-Wiener index	均匀度指数 Pielou evenness index
CK	20.00 ± 0.81 c	0.95 ± 0.15 ab	0.69 ± 0.11 ab
S1	5.67 ± 0.47 f	0.76 ± 0.03 bc	0.55 ± 0.02 bc
S2	9.00 ± 0.00 f	0.66 ± 0.09 c	0.48 ± 0.07 c
S3	12.33 ± 1.24 ef	0.93 ± 0.18 ab	0.67 ± 0.13 ab
S4	17.67 ± 2.62 de	0.83 ± 0.00 abc	0.60 ± 0.00 abc
S5	18.33 ± 2.05 cd	1.00 ± 0.06 a	0.72 ± 0.04 a
S6	24.00 ± 2.45 b	0.96 ± 0.10 ab	0.69 ± 0.07 ab
S7	28.00 ± 1.63 a	0.94 ± 0.02 ab	0.68 ± 0.01 ab

注:不同小写字母表示不同建植年限间人工草地植物群落多样性差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercase letters indicate that there are significant differences of plant community diversity of artificial grassland between different planting years ( $P < 0.05$ ).

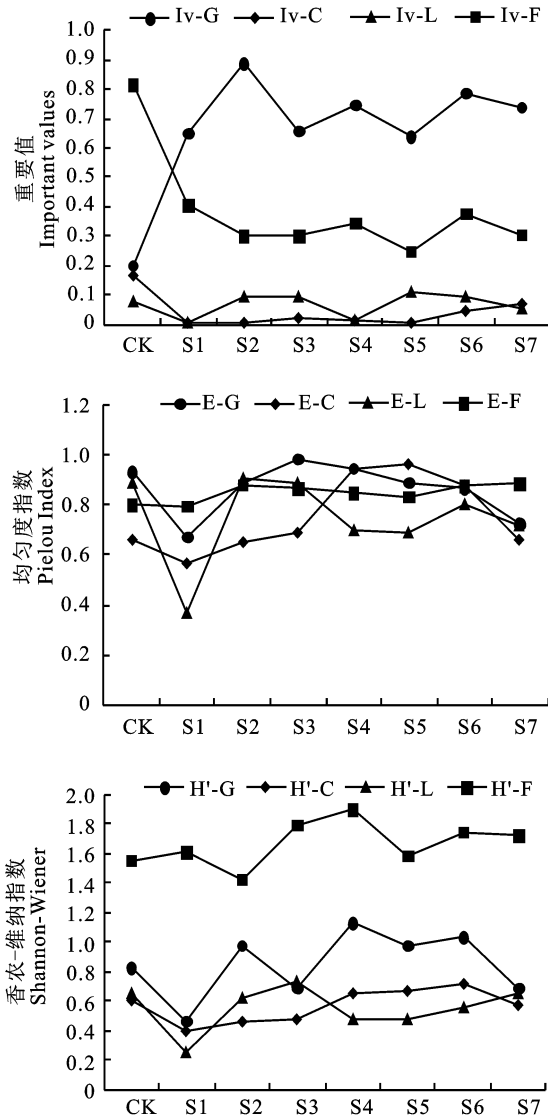
## 2.5 植被群落 NMDS 分析

对不同建植年限间人工草地的植被群落进行其 stress 值小于 0.2 说明 NMDS 分析在本研究中可行。如图 6 所示,人工草地植被群落与极度退化的黑土滩草地重合部分很少,说明人工草地植被群落与黑土滩草地的植被群落相似度很小,其中建植 24 a、建植 21 a 和建植 12 a 的人工草地与 CK 样地并无重合部分,说明之间并无共同的植被群落,差异度很大。人工草地各样地的样点之间距离较近且存在许多相互重叠的部分,表明各建植年限间人工草地相似性很高且物种较为丰富。

## 3 讨论

青藏高原高寒草甸由于受独特的气候、地理等因素作用,生态系统结构相对简单,易受环境和人为因素的扰动而发生草地退化<sup>[22]</sup>,因此探讨时

间因素对三江源区黑土滩人工草地植被特征的影响十分有必要。三江源区黑土滩退化草地与不同建植年限间人工草地植物群落的高度、盖度、地上地下生物量以及物种多样性指数之间都存在着显著性差异。植物群落的高度随着建植年限的增加而呈现逐渐升高又降低的趋势,这与郝红敏等<sup>[23]</sup>研究一致。不同建植年限人工草地中禾本科的盖度逐渐下降,莎草科、豆科和杂类草盖度随着建植年限的增加逐渐增大,原因可能是多年生禾本科植物在群落演替初期占据优势地位从而抑制毒杂草生长,植株矮小的莎草科、豆科更有利于吸收利用光照和土壤中的养分进行生长,盖度也随之增加,而建植年限较长的人工草地中禾本科在种植后可能未经过人工干预调节而导致杂类草扩增,使得其盖度和生物量随着建植年限的增加而逐渐增长<sup>[24]</sup>。随着演替的进行,以禾本科、莎草科为



Iv-G. 禾本科植物重要值; Iv-C. 莎草科植物重要值; Iv-L. 豆科植物重要值; Iv-F. 杂类草植物重要值; H'-G. 禾本科植物香农-维纳指数; H'-C. 莎草科植物香农-维纳指数; H'-L. 豆科植物香农-维纳指数; H'-F. 杂类草植物香农-维纳指数; E-G. 禾本科植物均匀度指数; E-C. 莎草科植物均匀度指数; E-L. 豆科植物均匀度指数; E-F. 杂类草植物均匀度指数

Iv-g. Important value of gramineous plants; Iv-C. Important value of Cyperaceae; Iv-l. Important value of legumes; Iv-f. Important value of miscellaneous grass plants; H'-G. Shannon Wiener index of gramineous plants; H'-C. Shannon Wiener index of cyperaceae; H'-L. Shannon Wiener index of legumes; H'-F. Shannon Wiener index of miscellaneous grass; E-G. Evenness index of gramineous plants; E-C. Evenness index of cyperaceae plants; E-L. Evenness index of legumes; E-F. Evenness index of miscellaneous grass

图5 不同建植年限人工草地各经济类群植被多样性指数  
Fig. 5 Vegetation diversity index of economic groups of artificial grassland with different planting years

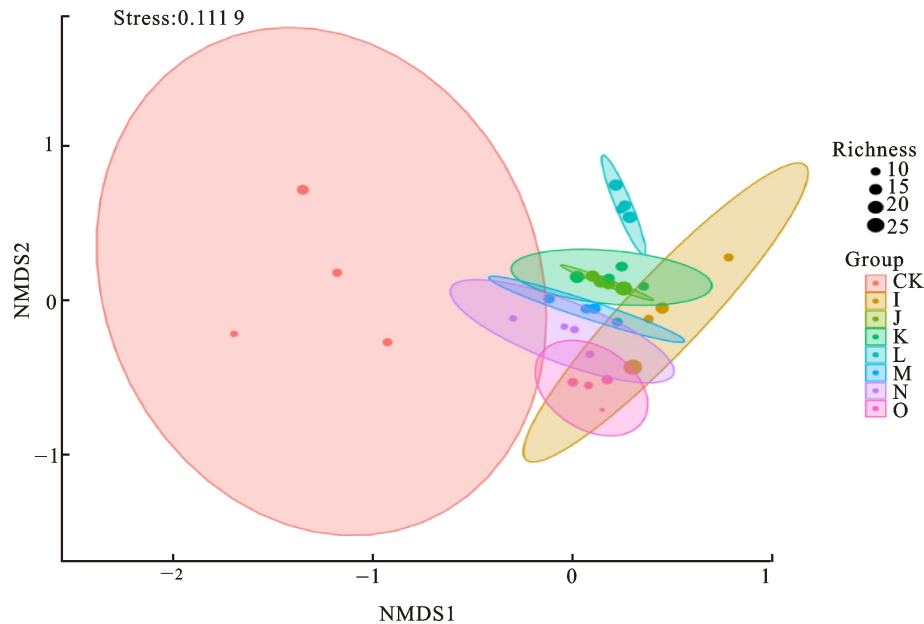
主的优良牧草慢慢影响并逐渐取代杂类草在植物群落中的主导地位,促进草地群落结构组成以禾本科、莎草科植物为主,促进了生态恢复的进程,这与前人<sup>[25]</sup>研究结果相吻合。

草地群落生物多样性丰富程度对于草地生态系统的可持续利用和生产力的维持起着关键作用。建植人工草地对植物群落多样性的影响:时间梯度上的植物群落物种多样性变化在一定程度上可以反映出植被的演替变化<sup>[26]</sup>。不同建植年限草地植物群落的种类组成存在着一定差异,与黑土滩极度退化草地差异极显著,结果表明通过建植人工草地的方式恢复植被,随着建植年限的增加其物种多样性指数和植被群落的物种数量呈现逐渐增加的趋势,这与张耀生等<sup>[27]</sup>的研究结果具有一致性。本研究发现,黑土滩草地的物种丰富度较高,原因在于黑土滩草地的毒杂草种类较多导致其物种丰富度高于其他建植年限的人工草地。人工草地植物群落的物种丰富度、香农-维纳指数和均匀度指数均随着建植年限的增加呈现波动式上升的趋势,即先逐渐增加后又减小再增加的阶段性趋势变化,各经济类群也与整体的物种多样性变化趋势相一致,这与王长庭等<sup>[28]</sup>、罗少辉等<sup>[29]</sup>研究一致。群落的变化过程则可以从这种阶段式波动中很好地反映出来,即可以解释为:优势种在植被群落变化的更替过程中可表达为原有优势种及其伴生种群落的优势地位下降,新优势种及其伴生种群落逐渐占据优势地位,群落内各组成的优势地位相当,群落又达到一种较高的均匀程度,下一个转变过程开始,相关的指标开始出现阶段性的波动,直至达到相对最稳定<sup>[30]</sup>。

本研究结果表明,在建植 21 a 时与黑土滩退化草地群落相似度最小,差异度最高,两样地间并无共同植被物种,植被群落的经济类群之间的均匀度指数差异有减小趋势,各多样性指数波动趋势较小,表明植物群落组成趋于稳定,可以通过建植人工草地的方式恢复黑土滩型退化草地,且在人工草地建植 21 a 时效果最好,本研究中建植 3 a 人工草地与黑土滩极度退化草地的植被群落组成重合部分较多,且群落多样性指数有显著下降趋势,说明与黑土滩退化草地差异性指数较小,相似度较高,存在衰退现象。

#### 4 结论

对于恢复三江源区黑土滩退化草地,建植人



CK. 极度退化黑土滩草地;I. 建植 24 a 人工草地;J. 建植 21 a 人工草地;K. 建植 17 a 人工草地;L. 建植 12 a 人工草地;M. 建植 7 a 人工草地;N. 建植 3 a 人工草地;O. 建植 1 a 人工草地

CK. Represents extremely degraded black soil land grassland;I,J,K L,M,N,O represent artificial grassland for 24 a,21 a,17 a,12 a,7 a,3 a,1 a, respectively.

图 6 不同建植年限间人工草地 NMDS 分析

Fig. 6 NMS analysis of artificial grassland in different planting years

工草地年限的延长可以更好地促进其生态的修复。在本研究中,人工建植 1~3 a 植被高度、盖度及生物量显著上升,3~7 a 出现退化现象。人工建植 7 a 时样地的物种多样性指数较高,是杂类草拓殖的强烈阶段,是生产性能下降但生态多样性增加的关键阶段,应在人工草地建植 3 a 至 7 a 之间加强人工干预措施,提高其生产力。人工建植 7~21 a 物种多样性指数逐渐上升,人工建植 24 a 时又显著下降。建植 21 a 后的人工草地与黑土滩极度退化草地差异性最大,相似度最低,群落多样性指数较高且植被群落组成较为稳定。

#### 参考文献 Reference:

- [1] 董锁成,周长进,王海英. “三江源”地区主要生态环境问题与对策[J]. 自然资源学报,2002,17(6):713-720.  
DONG S CH, ZHOU CH J, WANG H Y. Main eco-environmental problems and countermeasures in the “three rivers source” area[J]. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(6):713-720.
- [2] 曹广民,龙瑞军. 三江源区“黑土滩”型退化草地自然恢复的瓶颈及解决途径[J]. 草地学报,2009,17(1):4-9.  
CAO G M, LONG R J. Bottlenecks and solutions of natural restoration of “black soil beach” degraded grassland in the

source area of three rivers[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2009, 17(1):4-9.

- [3] LI X L, GAO J, BRIERLEY G, *et al.* Rangeland degradation on the Qinghai-Tibet plateau: implications for rehabilitation[J]. *Land Degradation & Development*, 2013, 24: 72-80.
- [4] LI X L, PERRYLW G, BRIERLEY G, *et al.* Restoration prospects for Heitutan degraded grassland in the Sanjiangyuan[J]. *Journal of Mountain Science*, 2013, 10(4):68.
- [5] 尚占环,董世魁,周华坤,等. 退化草地生态恢复研究案例综合分析:年限、效果和方法[J]. 生态学报,2017,37(24):8148-8160.  
SHANG ZH H, DONG SH K, ZHOU H K, *et al.* Case study on ecological restoration of degraded grassland: years, effects and methods[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(24):8148-8160.
- [6] 张蕊,王媛,马丽娜,等. 三江源区退化人工草地、“黑土滩”和天然草地植物群落物种多样性[J]. 草地学报,2014,22(6):1171-1178.  
ZHANG R, WANG Y, MA L N, *et al.* Species diversity of degraded artificial grassland, “black soil beach” and natural grassland plant communities in the source area of three rivers[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2014, 22(6):1171-1178.
- [7] 李媛媛,董世魁,李小艳,等. 围栏封育对黄河源区退化高寒草地植被组成及生物量的影响[J]. 草地学报,2012,20(2):275-279,286.



- LI Y Y, DONG SH K, LI X Y, *et al.* Effects of enclosure on vegetation composition and biomass of Degraded Alpine Grassland in the source area of the Yellow River[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2012, 20(2): 275-279, 286.
- [8] 马玉寿, 周华坤, 邵新庆, 等. 三江源区退化高寒生态系统恢复技术与示范[J]. 生态学报, 2016, 36(22): 7078-7082.
- MA Y SH, ZHOU H K, SHAO X Q, *et al.* Restoration technology and demonstration of Degraded Alpine Ecosystem in the source area of three rivers[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(22): 7078-7082.
- [9] 郭军乐, 郑建宗, 李春宁. 不同退化状态高寒草甸人工恢复与自然恢复比较[J]. 陕西林业科技, 2008(4): 1-5, 68.
- GUO J L, ZHENG J Z, LI CH N. Comparison between artificial restoration and natural restoration of alpine meadow in different degraded states[J]. *Shaanxi Forest Science and Technology*, 2008(4): 1-5, 68.
- [10] 李里, 刘伟. 退化草地植物功能群和物种丰富度与群落生产力关系的研究[J]. 草地学报, 2011, 19(6): 917-921, 999.
- LI L, LIU W. Study on the relationship between plant functional groups, species richness and community productivity in degraded grassland[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2011, 19(6): 917-921, 999.
- [11] SU X K, WU Y, DONG S K, *et al.* Effects of grassland degradation and re-vegetation on carbon and nitrogen storage in the soils of the headwater area nature reserve on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *China Journal of Mountain Science*, 2015, 12(3): 582-591.
- [12] 王学霞, 董魁魁, 李媛媛, 等. 三江源区草地退化与人工恢复对土壤理化性状的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(4): 113-117, 122.
- WANG X X, DONG SH K, LI Y Y, *et al.* Effects of grassland degradation and artificial restoration on soil physical and chemical properties in the source area of three rivers[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, 26(4): 113-117, 122.
- [13] DONG S K, LI J P, LI X Y, *et al.* Application of design theory for restoring the “black beach” degraded rangeland at the headwater areas of the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *African Journal of Agricultural Research*, 2010, 5(25): 3542-2552.
- [14] 王守顺, 于健龙. 围栏封育+人工补播措施对“黑土滩”退化草地生物量的影响[J]. 青海草业, 2018, 27(1): 11-13, 10.
- WANG SH SH, YU J L. Effects of enclosure and artificial supplementary sowing on biomass of degraded grassland in “black soil beach”[J]. *Qinghai Grassland Industry*, 2018, 27(1): 11-13, 10.
- [15] 李希来. 青藏高原“黑土滩”形成的自然因素与生物学机制[J]. 草业科学, 2002(1): 20-22.
- LI X L. Natural factors and biological mechanism of the formation of “black soil beach” on the Qinghai Tibet Plateau[J]. *Pratacultural Science*, 2002(1): 20-22.
- [16] WANG C T, CAO G M, WANG Q L, *et al.* Characteristics of cultivated grassland plant communities with different establishment duration and their relationships with soil properties in the source region of Three Rivers in Chinese[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(11): 2426.
- [17] SHANNON E S, KATHRYN A Y, JONATHAN A N. Species patch size at seeding affects diversity and productivity responses in establishing grasslands[J]. *Journal of Ecology*, 2016, 104(2): 479-486.
- [18] 董全民, 马玉寿, 赵新全. 江河源区“黑土型”退化栽培草地管理技术研究[J]. 草业科学, 2007(8): 9-15.
- DONG Q M, MA Y SH, ZHAO X Q. Study on management technology of “black soil type” degraded cultivated grassland in the source area of rivers and rivers[J]. *Pratacultural Science Grassland Science*, 2007(8): 9-15.
- [19] 王长庭, 龙瑞军, 王启兰, 等. 三江源区不同建植年代人工草地群落演替与土壤养分变化[J]. 应用与环境生物学报, 2009, 15(6): 737-744.
- WANG CH T, LONG R J, WANG Q L, *et al.* Community succession and soil nutrient changes of artificial grassland in different planting years in the source area of three rivers[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2009, 15(6): 737-744.
- [20] 张杰雪, 王占青, 全小龙, 等. 高寒地区人工草地土壤微生物群落对不同种植方式和年限的响应[J]. 草地学报, 2021, 29(2): 271-280.
- ZHANG J X, WANG ZH Q, QUAN X L, *et al.* Response of soil microbial community of artificial grassland to different planting methods and years in alpine area[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2021, 29(2): 271-280.
- [21] 孙华方, 李希来, 金立群, 等. 黄河源人工草地土壤微生物多样性对建植年限的响应[J]. 草业学报, 2021, 30(2): 46-58.
- SUN H F, LI X L, JIN L Q, *et al.* Response of soil microbial diversity to planting years of artificial grassland in the source of the Yellow River[J]. *Acta Pratacultural Sinica*, 2021, 30(2): 46-58.
- [22] 刘育红, 魏卫东, 杨元武, 等. 高寒草甸退化草地植被与土壤因子关系冗余分析[J]. 西北农业学报, 2018, 27(4): 480-490.
- LIU Y H, WEI W D, YANG Y W, *et al.* Redundancy analysis of the relationship between degraded grassland vegetation and soil factors in alpine meadow[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2018, 27(4): 480-490.
- [23] 郝红敏, 刘玉, 王冬, 等. 典型草原开垦弃耕后不同年限群落植物多样性和空间结构特征[J]. 草地学报, 2016, 24(4): 749-754.
- HAO H M, LIU Y, WANG D, *et al.* Plant diversity and spatial structure characteristics of communities in different years after reclamation and abandonment of typical grassland[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2016, 24(4): 749-754.

- [24] 王超,王晓丽,施建军,等. 黄河源区不同建植年限黑土滩栽培草地植物群落变化特征[J]. 草业科学, 2020, 37(12):2422-2430.  
WANG CH, WANG X L, SHI J J, *et al.* Changes of plant community in black soil beach cultivated grassland with different planting years in the source area of the Yellow River[J]. *Pratacultural Science*, 2020, 37(12): 2422-2430.
- [25] 左万庆,王玉辉,王风玉,等. 围栏封育措施对退化羊草草原植物群落特征影响研究[J]. 草业学报, 2009, 18(3):12-19.  
ZUO W Q, WANG Y H, WANG F Y, *et al.* Effects of enclosure measures on plant community characteristics of degraded *Leymus chinensis* grassland[J]. *Acta Prataculturalae Sinica*, 2009, 18(3):12-19.
- [26] 徐彩琳,李自珍. 干旱荒漠区人工植物群落演替模式及其生态学机制研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(9):1451-1456.  
XU C L, LI Z ZH. Study on succession model and ecological mechanism of artificial plant community in arid desert area[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(9):1451-1456.
- [27] 张耀生,赵新全,黄德清. 青藏高寒牧区多年生人工草地持续利用的研究[J]. 草业学报, 2003, 12(3):22-27.  
ZHANG Y SH, ZHAO X Q, HUANG D Q. Study on sustainable utilization of perennial artificial grassland in alpine pastoral area of Qinghai Tibet[J]. *Acta Prataculturalae Sinica*, 2003, 12(3):22-27.
- [28] 王长庭,曹广民,王启兰,等. 三江源地区不同建植期栽培草地植被特征及其与土壤特征的关系[J]. 应用生态学报, 2007(11):2426-2431.  
WANG CH T, CAO G M, WANG Q L, *et al.* Characteristics of cultivated grassland plant communities with different establishment duration and their relationships with soil properties in the source region of three rivers in China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007(11): 2426-2431.
- [29] 罗少辉,李林栖,马玉寿,等. 不同生长年限青海草地早熟禾栽培草地植被群落特征[J]. 草学, 2018(5):24-29.  
LUO SH H, LI L Q, MA Y SH, *et al.* Vegetation community of *Poa pratensis* L. cv. Qinghai cultivated grassland with different growth years[J]. *Journal of Grassland and Forage Science*, 2018(5):24-29.
- [30] 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.  
WU SH N, ZHANG X, GAO X X, *et al.* Succession dynamics of artificially restored plant communities in “black soil beach” degraded grassland in the source area of three rivers[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(7):2444-2453.

## Vegetation Characteristics of Black Soil Land Artificial Grassland of Different Years in Source Area of Three Rivers

LI Siyao<sup>1</sup>, SHI Jianjun<sup>1,2</sup>, WANG Haibo<sup>3</sup>, HE Youlong<sup>3</sup>, TANG Yanqing<sup>4</sup>,  
XING Yunfei<sup>1</sup>, WU Jianli<sup>1</sup>, HE Miaohua<sup>1</sup> and ZHANG Hairong<sup>1</sup>

(1. Qinghai Academy of Animal and Veterinary Science, Xining 810016, China; 2. Key Laboratory of the Alpine Grassland Ecology of the Ministry of Education and the Qinghai Province, Xining 810016, China; 3. Forestry and Grassland Station of Guoluo Tibetan Autonomous Prefecture, Guoluo Qinghai 814000, China; 4. Tuoyema Township Agricultural and Animal Husbandry Technology Service Station, Henan County Qinghai 811599, China)

**Abstract** The black soil land artificial grasslands (1, 3, 7, 12, 17, 21, 24 years old) and its surrounding black soil lands (CK) in the source area of three rivers were selected as the research objects, and the vegetation community structure, biomass and species composition were investigated to clarify its vegetation characteristics and suitable utilization years for black soil land artificial grassland in the source area of the three rivers, so as to provide a theoretical basis for the rational utilization of black soil land artificial grassland. The results showed that: With the increase of planted years, the height, coverage and aboveground biomass of artificial grassland communities all show a rising trend, which were higher than that of CK; in plant economic groups of Poaceae, the height, coverage, aboveground biomass and belowground biomass of artificial grassland were higher than that of Cyperaceae, Leguminosae and weeds, and weeds in CK plots were higher than other economic groups. The dominant species and associated species of artificial grassland in each period were *Elymus nutans* and *Poa crymophila*, and their important values increased gradually with the increase of establishment years; the species diversity index of all economic groups showed a fluctuating and rising trend; the Shannon Wiener index and evenness index of artificial grassland planted for 3 years were the lowest, which were 0.66 and 0.48 respectively, and it was the highest for 21 years. In the NMDS analysis of plants, there was no overlap between the artificial grassland for 24 years, 21 years and 12 years and CK plot, and their vegetation communities were very different. The results showed that the community diversity index of black soil land artificial grassland planted for 21 years was significantly higher than that of artificial grassland for other years, and the similarity with degraded black soil land grassland was the smallest, and the community composition was relatively stable.

**Key words** Black soil land artificial grassland; Years of establishment; Species diversity; Source area of three rivers

**Received** 2022-06-28

**Returned** 2022-09-13

**Foundation item** Qinghai Province's thousand plan for high-end innovation talent (No. 2019QHQRJH); the second scientific investigation project of Qinghai-Tibetan Plateau (No. 2019QZKK1002).

**First author** LI Siyao, female, master student. Research area: ecology of alpine grassland. E-mail: 2272737712@qq.com

**Corresponding author** SHI Jianjun, male, research fellow. Research area: ecology of alpine grassland. E-mail: 378605242@qq.com

(责任编辑:顾玉兰 Responsible editor: GU Yulan)