

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0601

陈白洁, 王丰毅, 周华坤, 张振华. 不同材料无纺布覆盖对高寒生态修复草种生长特性的影响. 草业科学, 2021, 38(5): 848-858.

CHEN B J, WANG F Y, ZHOU H K, ZHANG Z H. Influence of mulching of different non-woven materials on the growth of alpine ecological restoration grasses. Pratacultural Science, 2021, 38(5): 848-858.

## 不同材料无纺布覆盖对高寒生态修复草种生长特性的影响

陈白洁<sup>1,2</sup>, 王丰毅<sup>3,4</sup>, 周华坤<sup>1</sup>, 张振华<sup>1</sup>

(1. 中国科学院西北高原生物研究所适应与进化重点实验室 / 青海省寒区恢复生态学实验室, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 华贝纳(杭州)毛纺染整有限公司, 浙江 杭州 311100; 4. 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

**摘要:** 通过探讨不同可降解无纺布对高寒地区常用生态修复草种生长特性的影响, 以期能够筛选出在建植不同种类的生态修复草种时适用的无纺布材料。本研究于2019年5月, 选取扁茎早熟禾 (*Poa pratensis*)、冷地早熟禾 (*Poa crgmophila*)、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、星星草 (*Puccinellia tenuiflora*) 和中华羊茅 (*Festuca sinensis*) 共5种常用的高寒生态修复草种, 分别使用5种可降解无纺布(秸秆纤维、麻纤维和3种羊毛纤维)进行覆盖, 监测草种的幼苗顶出、植株生长发育期的株高以及牧草的产量, 并分析牧草品质(粗蛋白、粗脂肪、粗纤维等)。结果表明: 1) 秸秆纤维无纺布抑制了幼苗的顶出和生长, 不适用于本研究中5种草种植初期覆盖; 2) 麻纤维无纺布显著提高了扁茎早熟禾48.81%的植株高度以及中华羊茅16.59%的粗脂肪含量, 却显著降低了垂穗披碱草32.73%的地上生物量以及中华羊茅14.88%的酸性洗涤纤维含量 ( $P < 0.05$ ); 3) 白色厚羊毛纤维无纺布显著提高了5种牧草的植株高度(29.61%~133.70%)、地上生物量(除垂穗披碱草外, 138.97%~1023.24%), 且显著提高了扁茎早熟禾9.11%的粗蛋白含量 ( $P < 0.05$ ); 4) 褐色厚羊毛纤维无纺布显著提高了中华羊茅10.51%的粗蛋白含量 ( $P < 0.05$ ); 5) 白色薄羊毛纤维无纺布显著提高了冷地早熟禾456.97%的地上生物量和垂穗披碱草17.41%的粗脂肪含量 ( $P < 0.05$ )。这对青藏高原“黑土滩”以及工程迹地等环境条件较为恶劣地区的植被恢复具有指导意义。

**关键词:** 高寒草地; 修复草种; 无纺布材料; 幼苗顶出; 株高; 地上生物量

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2021)05-0848-11

### Influence of mulching of different non-woven materials on the growth of alpine ecological restoration grasses

CHEN Baijie<sup>1,2</sup>, WANG Fengyi<sup>3,4</sup>, ZHOU Huakun<sup>1</sup>, ZHANG Zhenhua<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota / Key Laboratory of Restoration Ecology of Cold Area in Qinghai Province, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Science, Xining 810008, Qinghai, China;

2. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China;

3. Huabeina (Hangzhou) wool textile dyeing and finishing Co., Ltd., Hangzhou 311100, Zhejiang, China;

4. East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** This study aimed to explore the effects of different degradable non-woven cloths on the growth of commonly ecological restoration grasses in alpine regions, and to thus select the more suitable non-woven cloth materials for

收稿日期: 2020-11-08 接受日期: 2021-03-10

基金项目: 青海省基础研究计划应用基础研究项目 (2019-ZJ-7007); 青海省重点研发与转化计划项目 (2019-SF-152); 国家重点研发计划 (2016YFC0501802)

第一作者: 陈白洁 (1993-), 女, 安徽蚌埠人, 在读硕士生, 研究方向为退化高寒草地生态系统生态修复。E-mail: chenbj@nwipb.cas.cn

通信作者: 张振华 (1982-), 女, 山东菏泽人, 副研究员, 博士, 研究方向为高寒草地对全球变化及人类活动的响应与适应。

E-mail: zhenhua@nwipb.cas.cn

<http://cykx.lzu.edu.cn>

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

establishing different types of ecological restoration grasses. In May 2019, five commonly used alpine ecological restoration grass species, including *Poa pratensis*, *Poa crgmophila*, *Elymus nutans*, *Puccinellia tenuiflora* and *Festuca sinensis*, were selected, to measure the seedlings out, plant height, forage yield, and analyze forage quality (crude protein, crude fat, crude fiber, etc.) under mulches of five biodegradable non-woven fabrics (straw fiber, hemp fiber, wool fiber). Our results showed that, 1) Brown straw fiber non-woven cloth is not suitable for all alpine ecological restoration grasses selected in this study due to the inhibition of seedlings out and growth; 2) Compared with the control, hemp fiber non-woven fabric significantly increased the plant height of *Poa pratensis* by 48.81% and the crude fat content of *Festuca sinensis* by 16.59%, but significantly reduced the aboveground biomass of *Elymus nutans* by 32.73% and the acid detergent fiber content of *Festuca sinensis* by 14.88%; 3) Compared with the control, white thick wool fiber non-woven cloth significantly increased the plant height of five forage grasses (29.61% ~ 133.70%), the biomass of forage grasses (except *Elymus nutans*, 138.97% ~ 1 023.24%), and the crude protein content of *Poa pratensis* by 9.11%; 4) Compared with the control, brown thick wool fiber non-woven cloth significantly increased the crude protein content of *Festuca sinensis* by 10.51%; 5) Compared with the control, white thin wool fiber non-woven cloth significantly increased the above-ground biomass of *Poa crgmophila* by 456.97% and the crude fat content of *Elymus nutans* by 17.41%. These results will provide a theoretical basis for ecological restoration of regions with harsher environmental conditions such as "black soil beaches" in alpine regions and engineering sites.

**Keywords:** alpine grassland; restoration grasses; non-woven material; seedling; plant height; aboveground biomass

**Corresponding author:** ZHANG Zhenhua E-mail: [zhenhua@nwipb.cas.cn](mailto:zhenhua@nwipb.cas.cn)

植被的恢复与重建是生态恢复的关键。目前, 建植禾本科牧草栽培草地已成为植被恢复的重要措施之一<sup>[1-3]</sup>。近些年来, 研究人员围绕“黑土滩”重建恢复在牧草选育、群落配置、后期管理等方面进行了大量研究<sup>[4-6]</sup>, 为“黑土滩”恢复重建提供了重要的科学依据。但在恢复重建过程中, 选用不同的生态修复草种, 其恢复效果不同。研究表明, 在恢复重建过程中, 扁茎早熟禾 (*Poa pratensis*) 和冷地早熟禾 (*Poa crgmophila*) 能够有效地减少水土流失, 增加植被盖度<sup>[7-8]</sup>, 垂穗披碱草 (*Elymus nutans*) 和中华羊茅 (*Festuca sinensis*) 具有较高的抗旱耐寒性和种子产量, 可用作扩种生产<sup>[8]</sup>, 星星草 (*Puccinellia tenuiflora*) 具有很强的耐盐碱能力, 对改良盐碱土壤具有很好的效果<sup>[9]</sup>。与此同时, 研究人员还发现栽培草地的生态修复效果与草种生长期间的人工管理措施有关<sup>[10-11]</sup>。贺有龙等<sup>[12]</sup>研究表明, 在适当的管理条件下, 对中华羊茅进行单播或者混播均能够维持较高的生物量。李旭谦<sup>[13]</sup>对不同栽培草地就适宜草种、农艺措施以及田间管理等方面做了一份简要的概述, 为提高不同栽培草地的生态恢复效果提供理论依据。然而在生态环境较为恶劣的植被恢复重建区, 气候恶劣、地形地貌复杂、草地土壤贫瘠等因素<sup>[14]</sup>会对牧草种子的萌发出苗造成影响, 进而影响其生活史以及牧草品质等, 导致修复成本及修复难度增

大, 且修复效果不明显<sup>[15]</sup>。

植被修复技术的开发一直是生态修复研究的重点。不同于以往单一的生态修复技术, 研究人员开始综合考虑植被生命周期的播种、幼苗和成熟 3 个阶段, 提出了全局植被重建技术, 包括植物物种优选、土壤基底重构、表土覆盖、播种和维护管理等环节<sup>[5, 15]</sup>。研究表明, 植物种子发芽的阈值与降雨、温度有关, 土壤温度和含水量的时空变化可能制约了植物修复的效果<sup>[16]</sup>。无纺布具有保护幼苗, 使土壤免受风蚀和水蚀, 提高地温和土壤水分利用效率, 以及降低土壤蒸腾等作用, 且具有较高的水气交换能力<sup>[17-18]</sup>, 可以为植物在昼夜温差大且干湿交替频繁的青藏高原, 营造更稳定的环境, 促进植物生长发育, 从而提高植物的产量和品质<sup>[19]</sup>。目前大部分无纺布以塑料为原料, 长期使用会给生态环境造成严重的“白色污染”问题, 且关于不同材料可降解无纺布对高寒生态恢复草种生长特性影响的研究较为缺乏。为此通过研究 5 种可降解无纺布覆盖下 5 种牧草草种的生长发育特征、产量以及品质等, 对无纺布类型和牧草品种的配对应用进行评价, 以筛选出两者间的最适宜搭配模式, 以期在今后栽培草地植被恢复过程中达到更好的生态修复效果, 并为青藏高原环境条件较为恶劣地区的植被恢复提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地点

研究地位于中国科学院西北高原生物研究所青海海北高寒草地生态系统定位站(37°36' N, 101°12' E, 平均海拔 3 250 m)。属于典型高原大陆性气候, 夏季凉爽, 冬季寒冷。年均温为 -1.1 °C, 年均降水量为 480 mm, 其中约 80% 分布在植物的生长季(5月-9月)。土壤类型为草毡寒冻锥形土, 是由古洪积-冲积物、坡积-残积物及古冰水沉积物在当地寒冷干燥的水热条件下受植被改造发育而成<sup>[20]</sup>。草地类型为高寒草甸, 植物群落主要以禾本科以及莎草科为建群种。

### 1.2 试验材料

选用 5 种高寒生态修复牧草草种(表 1), 均由青海省同德牧草良种繁殖场(海拔 3 300~3 500 m<sup>[21]</sup>)提供。无纺布选择常用的麻纤维和秸秆纤维可降解无纺布, 以及华贝纳(杭州)毛纺染整有限公司试制的 3 种羊毛纤维可降解无纺布, 具体参数如表 2 所列。

表 1 供试草种千粒重及播种量  
Table 1 Thousand kernel weight and seeding amount of tested grasses

牧草种类 Grass species	千粒重 Thousand kernel weight/g	播种量 Seeding amount/(g·m <sup>-2</sup> )
扁茎早熟禾 <i>Poa pratensis</i>	0.19	2
冷地早熟禾 <i>Poa crgmophila</i>	0.21	2
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	2.77	4
星星草 <i>Puccinellia tenuiflora</i>	0.13	2
中华羊茅 <i>Festuca sinensis</i>	0.62	3

播种量参考文献 [22-24] 制定。

The seeding amount reference [22-24] was formulated.

表 2 可降解无纺布主要参数

Table 2 Main parameters of the degradable non-woven cloth

无纺布类型 Non-woven cloth type	拉力 Tension/ N	克重 Gram weight/(g·m <sup>-2</sup> )	透光率 Transmittance/ %	颜色 Color
秸秆纤维 Straw fiber	15	70	0	褐 Brown
麻纤维 Hemp fiber	10	40	70	白 White
厚羊毛纤维 Thick wool fiber	10	140	40	白 White
厚羊毛纤维 Thick wool fiber	10	140	0	褐 Brown
薄羊毛纤维 Thin wool fiber	20	40	70	白 White

### 1.3 试验设计

本研究采用随机区组设计, 5 个生态修复牧草草种处理 × 6 种覆膜处理(不覆膜对照与 5 种可降解无纺布) × 5 个重复 = 150 个小区, 每个小区均为长方形, 其面积为 1 m × 2 m = 2 m<sup>2</sup>。于 2019 年 5 月 24 日均匀撒播草种后压实, 再覆盖上无纺布, 无纺布用竹签固定。由于秸秆纤维无纺布材料透气性差, 故用竹签均匀扎孔增加其透气性。

### 1.4 指标测定及方法

#### 1.4.1 顶出数

在幼苗萌发顶峰期, 采用标准样方法, 在每个小区中选取大小为 50 cm × 50 cm 的样方进行计数, 计数过程中未去除无纺布。

#### 1.4.2 植株高度

采用标准样方法, 从幼苗萌发出苗后开始, 在每个小区中选取大小为 50 cm × 50 cm 的样方, 每隔 10 d 随机选取样方中 4~5 株代表性植株, 使用卷尺自植株基部垂直量至植物自然直立状态的冠层最高点, 进行植株高度测量。

#### 1.4.3 地上生物量

于地上生物量顶峰期(8月底), 采用收获法, 在每个小区中随机选取 50 cm × 50 cm 的样方, 对其地上植株部分进行收割, 共计 5 个重复, 收割后立即带回实验室, 65 °C 下烘干至恒重, 计算其地上生物量。

#### 1.4.4 牧草品质测定

将上述烘干后的牧草粉碎过 1 mm 筛, 用于测定牧草品质。粗蛋白测定采用半微量凯氏定氮法; 粗脂肪测定采用和酸性洗涤剂法<sup>[25]</sup>。

### 1.5 数据分析

使用 Excel 2010 进行数据处理。使用 SPSS 24.0 对牧草幼苗顶出、地上生物量以及牧草品质分别进行双因素方差分析, 对牧草植株高度进行重复测量方差分析, 并用 LSD 法 ( $\alpha = 0.05$ ) 比较同种牧草不同无纺布处理下草种幼苗顶出、平均植株高度、地上生物量以及牧草品质的差异显著性。使用 Sigmaplot 12.0 绘图。其中, 在秸秆纤维无纺布处理下, 各牧草幼苗在其萌发顶峰期前几乎没有顶出, 故未作其幼苗顶出的统计分析; 冷地早熟禾在对照和秸秆纤维无纺布处理下收获的地上草样过少, 导致其粗脂肪含量无法测定, 故未作统计分析。

## 2 结果

### 2.1 不同无纺布覆盖对生态修复草种幼苗顶出情况的影响

无纺布处理、牧草品种及二者交互作用均对幼苗顶出数量具有显著影响 ( $P < 0.05$ ) (表 3)。野外观测发现, 秸秆纤维无纺布严重抑制了 5 种牧草幼苗的穿透顶出 (图 1)。在不揭除无纺布的情况下, 与对照相比, 褐色厚羊毛纤维无纺布显著抑制了扁茎早熟禾、垂穗披碱草和星星草的幼苗顶出数量 ( $P < 0.05$ ), 分别减少了 55.29%、40.17% 和 60.21%; 白色薄羊毛纤维无纺布显著抑制了星星草的幼苗顶出

表 3 无纺布处理、牧草品种对牧草幼苗顶出的影响  
Table 3 Effects of non-woven cloth and grass species on seedling

来源 Source	自由度 <i>df</i>	幼苗顶出数 No. of seedlings out	
		<i>F</i>	<i>P</i>
N	4	33.45	< 0.001
G	4	13.16	< 0.001
N × G	16	1.96	0.032

N, 无纺布处理; G, 牧草品种; 下表同。

N, non-woven cloth treatment; G, grasses species; this is applicable for the following tables as well.

数量 ( $P < 0.05$ ), 减少了 37.31%; 而麻纤维无纺布和白色厚羊毛纤维无纺布对 5 种生态修复草种的幼苗顶出均没有显著影响 ( $P > 0.05$ )。

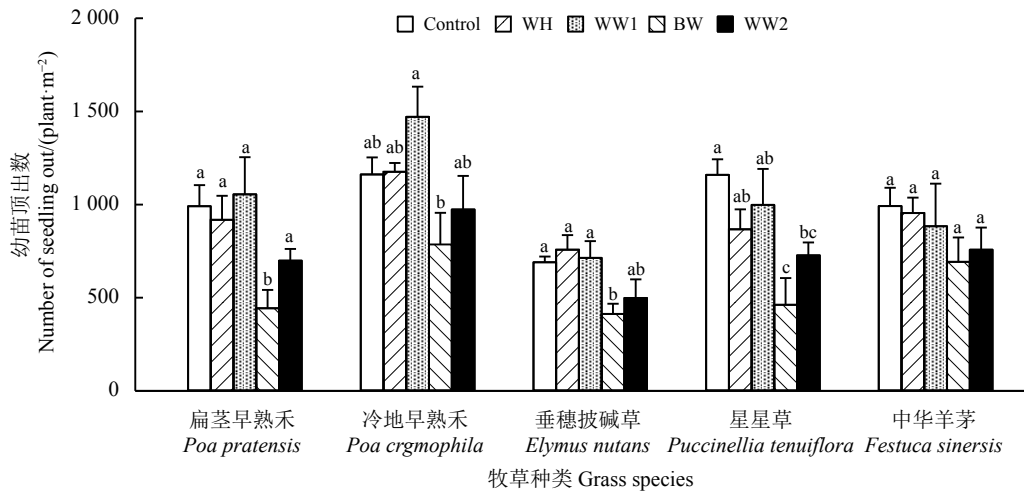


图 1 不同无纺布覆盖对 5 种生态修复草种幼苗顶出情况影响

Figure 1 Effects of different non-woven coverings on seeding of five ecological restoration grasses

不同小写字母表示同种牧草不同无纺布处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ); Control, 不覆膜; BS, 秸秆纤维无纺布覆盖; WH, 麻纤维无纺布覆盖; WW1, 白色厚羊毛无纺布覆盖; BW, 褐色厚羊毛无纺布覆盖; WW2, 白色薄羊毛纤维无纺布覆盖。秸秆纤维处理下无幼苗顶出, 故未做统计; 下图同。

Different lowercase letters indicate significant differences between different non-woven cloth for the same grasses at the 0.05 level; Control: no film; BS: straw fiber non-woven cloth; WH: hemp fiber non-woven cloth; WW1: white thick wool non-woven cloth; BW: brown thick wool non-woven cloth; WW2: white thin wool fiber non-woven cloth. No seedlings were topped out under the straw fiber treatment, so no statistics were made; this is applicable for the following figures as well.

### 2.2 不同无纺布覆盖对生态修复草种植株生长高度的影响

无纺布处理、牧草品种且二者间的交互作用均对牧草植株高度有显著影响, 且随时间变化显著 ( $P < 0.05$ ) (表 4)。8 月下旬以后不同无纺布处理对牧草植株生长高度的影响存在明显差异 (图 2)。与对照相比, 麻纤维无纺布、白色厚羊毛纤维无纺布和白色薄羊毛纤维无纺布均显著提高了扁茎早熟禾的植株高度 ( $P < 0.05$ ), 分别提高了 48.81%、68.06% 和

表 4 无纺布处理、牧草品种对牧草植株高度的影响  
Table 4 Effects of non-woven cloth and grasses species on plant height

来源 Source	自由度 <i>df</i>	株高 Height	
		<i>F</i>	<i>P</i>
N	5	59.017	< 0.001
G	4	320.828	< 0.001
日期 Date	6	355.978	< 0.001
N × G	20	7.197	< 0.001
N × G × 日期 Date	120	3.442	< 0.001

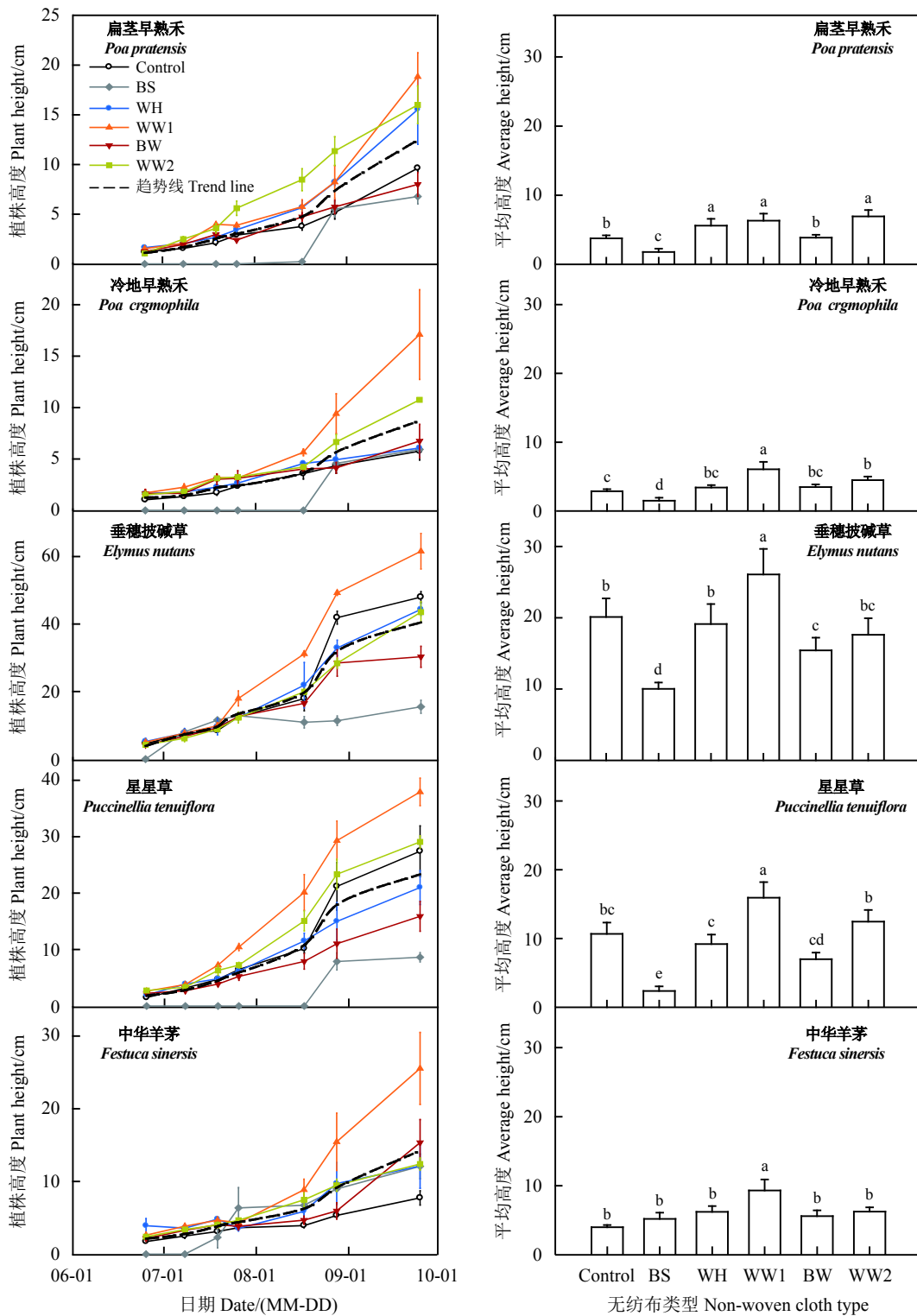


图 2 不同无纺布覆盖对 5 种生态修复牧草植株高度的影响

Figure 2 Effects of different non-woven coverings on the plant height of five ecological restoration grasses

实线表示牧草株高在无纺布铺设下随时间的变化情况，虚线表示其整体生长曲线，由各时间段不同无纺布覆盖下植株高度的均值计算得出。

The solid line represents the change over time of the forage plant height under the non-woven fabric laying, and the dashed line represents the overall growth curve, calculated from the average value of the plant height under different non-woven fabric coverage in each time period.



84.19%; 褐色厚羊毛纤维无纺布对扁茎早熟禾的植株高度没有显著影响 ( $P > 0.05$ ); 白色厚羊毛纤维无纺布和白色薄羊毛纤维无纺布均显著提高了冷地早熟禾的植株高度 ( $P < 0.05$ ), 分别提高了 110.53% 和 55.54%; 白色厚羊毛纤维无纺布显著提高了垂穗披碱草、星星草以及中华羊茅的植株高度, 分别提高了 29.61%、49.43% 和 133.70%, 而褐色厚羊毛纤维无纺布显著降低了垂穗披碱草的植株高度 ( $P < 0.05$ ), 降低了 23.26%。

### 2.3 不同无纺布覆盖对生态修复草种地上生物量的影响

无纺布处理、牧草品种及二者的交互作用均对牧草地上生物量有显著影响 ( $P < 0.05$ ) (表 5)。与对照相比, 白色厚羊毛纤维无纺布显著提高了扁茎早熟禾、冷地早熟禾、星星草以及中华羊茅的地上生物量 ( $P < 0.05$ ), 分别增加了 395.14%、1023.24%、138.97% 和 917.42% (图 3); 麻纤维无纺布显著降低了垂穗披碱草的地上生物量 ( $P < 0.05$ ), 减少了

32.73%, 而对其他 4 种生态修复草种地上生物量没有显著影响 ( $P > 0.05$ ); 褐色厚羊毛纤维无纺布显著降低了垂穗披碱草和星星草的地上生物量 ( $P < 0.05$ ), 分别减少了 49.21% 和 66.46%; 白色薄羊毛纤维无纺布显著增加了扁茎早熟禾和冷地早熟禾的地上生物量 ( $P < 0.05$ ), 分别增加了 258.70% 和 456.97%, 却显著降低了垂穗披碱草的地上生物量 ( $P < 0.05$ ), 减少了 32.71%。

### 2.4 不同无纺布覆盖对不同生态修复草种牧草品质的影响

牧草品种对粗蛋白含量有显著影响, 无纺布处理和牧草品种间的交互作用对粗脂肪含量有显著影响, 无纺布处理、牧草品种对牧草酸性洗涤纤维含量均有显著影响 (表 5) ( $P < 0.05$ )。如图 4 所示, 与对照相比, 秸秆纤维无纺布和白色厚羊毛纤维无纺布处理下, 扁茎早熟禾的粗蛋白含量分别显著提高了 7.38% 和 9.11%, 冷地早熟禾却分别显著降低了 15.14% 和 19.18% ( $P < 0.05$ ); 麻纤维无纺布处理下,

表 5 无纺布处理和牧草品种对牧草地上生物量、牧草品质的影响

Table 5 Effects of non-woven cloth and grass species on the aboveground biomass, and forage quality of grasses

来源 Source	自由度 df	地上生物量 Aboveground biomass		粗蛋白含量 Crude protein content		粗脂肪含量 Ether extract content		中性洗涤纤维含量 Neutral detergent fiber content		酸性洗涤纤维含量 Acid detergent fiber content	
		F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
N	5	22.49	<0.001	0.57	0.725	2.08	0.113	1.23	0.334	3.20	0.029
G	4	76.05	<0.001	5.39	0.003	2.66	0.063	2.78	0.052	13.05	<0.001
N × G	20	7.07	<0.001	1.46	0.123	2.68	0.003	0.71	0.798	0.54	0.939

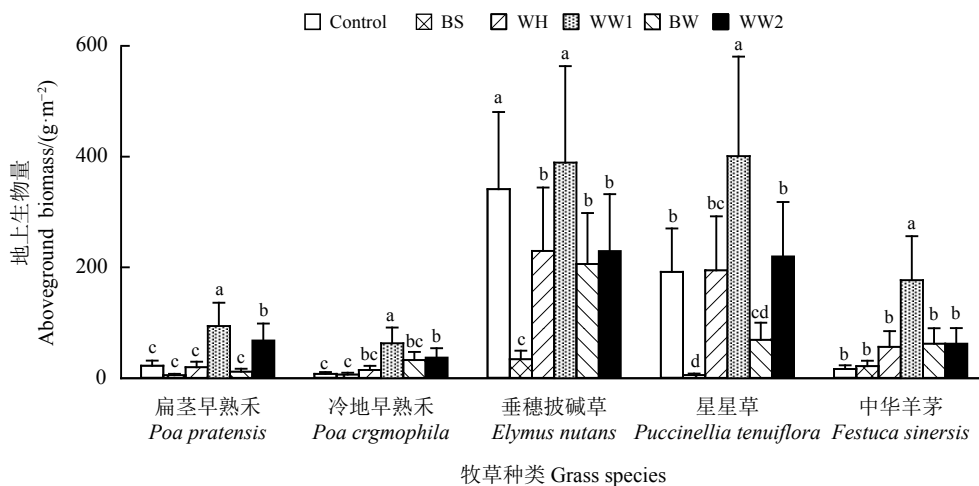


图 3 不同无纺布覆盖对 5 种生态修复草种地上生物量的影响

Figure 3 Effects of different non-woven coverings on the aboveground biomass of five ecological restoration grasses

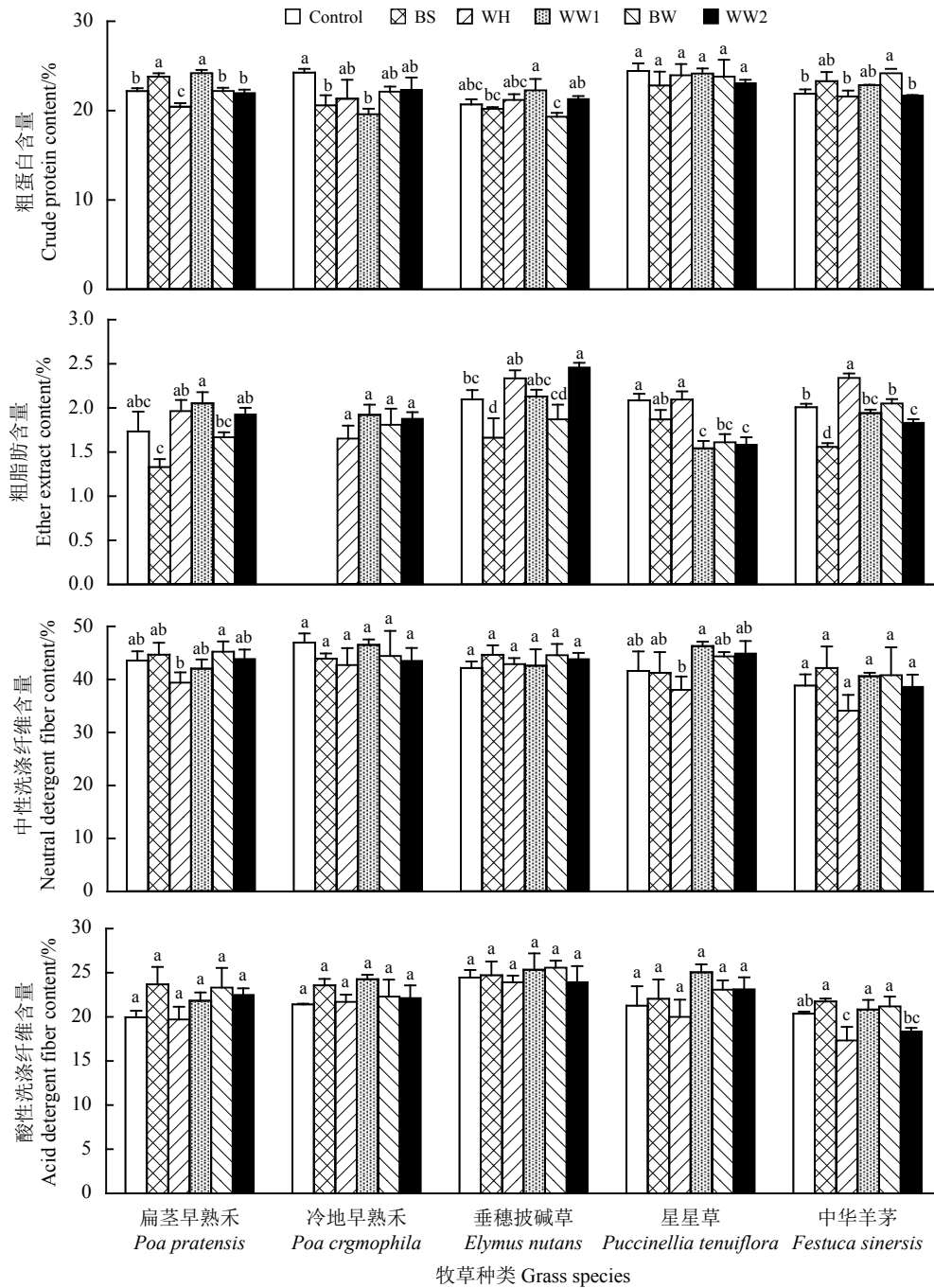


图4 不同无纺布覆盖对5种生态修复草种牧草品质的影响

Figure 4 Effects of different non-woven coverings on forage quality of five ecological restoration grasses

扁茎早熟禾的粗蛋白含量显著降低了7.83% ( $P < 0.05$ ); 褐色厚羊毛纤维无纺布处理下, 中华羊茅的粗蛋白含量显著增加了10.51% ( $P < 0.05$ )。与对照相比, 秸秆纤维无纺布处理下, 垂穗披碱草和中华羊茅粗脂肪含量分别显著降低了20.66%和22.38% ( $P < 0.05$ ); 麻纤维无纺布处理下, 中华羊茅的粗脂肪含量显著提高了16.59% ( $P < 0.05$ ); 白色厚羊毛纤维无纺布和褐色厚羊毛纤维无纺布分别显著降低了

星星草26.02%和22.71%的粗脂肪含量 ( $P < 0.05$ ); 白色薄羊毛纤维无纺布处理下, 垂穗披碱草的粗脂肪含量显著提高了17.41% ( $P < 0.05$ ), 星星草的粗脂肪含量显著降低了23.99% ( $P < 0.05$ ), 中华羊茅的粗脂肪含量显著降低了8.68% ( $P < 0.05$ )。从纤维含量方面来看, 与对照相比, 5种无纺布均未对5种生态修复草种的中性洗涤纤维含量产生显著影响 ( $P > 0.05$ ); 麻纤维无纺布处理下, 中华羊茅的酸性洗涤

纤维含量显著降低了 14.88% ( $P < 0.05$ ), 而对其他牧草的酸性洗涤纤维含量没有显著影响 ( $P > 0.05$ )。

### 3 讨论

植物种子的萌发及幼苗生长特性影响该植物能否在某一特定生境中成功定植<sup>[26-27]</sup>。唐伟<sup>[28]</sup>的研究表明, 全期覆膜处理改善了歪头菜 (*Vicia unijuga*) 草地的土壤温度和水分条件, 提高了其出苗率、幼苗生长速度和建植效果。本研究发现, 透气性差、透光率差的秸秆纤维无纺布不利于 5 种生态修复草种的幼苗初期生长, 虽然在铺设时对其进行过扎孔处理, 但在雨水冲刷以及强烈紫外线照射下, 导致所扎孔洞重新闭合, 致使 5 种草种幼苗不能顺利穿透顶出, 进而影响建植初期牧草生长。麻纤维无纺布和白色厚羊毛纤维无纺布对 5 种生态修复草种的幼苗顶出没有显著影响, 但在覆盖过程中, 无需人工揭除, 可减少恢复成本。进一步分析发现, 麻纤维无纺布和白色薄羊毛纤维无纺布均显著增高了根茎型牧草扁茎早熟禾的植株高度, 白色厚羊毛纤维无纺布显著增高了 5 种生态修复草种的植株高度, 这可能是因为地膜覆盖不仅可以改善土壤水热条件, 而且可以提高植物对土壤水分的利用效率<sup>[29-30]</sup>, 从而促进牧草生长发育。但在本研究中, 褐色厚羊毛纤维无纺布显著降低了垂穗披碱草和星星草的植株高度, 这主要是因为该无纺布较厚且在牧草生长过程中降解缓慢, 而垂穗披碱草和星星草的草质较为柔软, 很容易受到无纺布的阻碍, 导致其植株未能正常伸展。

本研究发现, 覆盖白色厚羊毛纤维无纺布显著提高了扁茎早熟禾、冷地早熟禾、星星草和中华羊茅地上生物量, 这主要是因为无纺布覆盖可使土壤昼夜温差减少<sup>[31-32]</sup>, 营造了稳定的生长环境, 从而提高了牧草的产量。这与景媛媛<sup>[33]</sup>的研究结果一致。白色薄羊毛纤维无纺布的覆盖显著提高了扁茎早熟禾和冷地早熟禾地上生物量, 主要是由于白色薄

羊毛纤维无纺布覆盖改善了土壤的水热条件<sup>[34]</sup>, 促进了两种根茎型早熟禾的生长发育。覆盖 5 种无纺布材料均不会显著提高垂穗披碱草的地上生物量, 甚至会降低其地上生物量, 这主要与其前期的幼苗顶出以及植株高度有关<sup>[28]</sup>。

提高牧草品质的主要途径包括提高牧草粗蛋白和粗脂肪含量, 降低纤维素含量<sup>[35-36]</sup>。粗蛋白是牧草品质的重要体现, 是反映牧草营养价值高低的重要指标<sup>[37-38]</sup>。本研究发现, 白色厚羊毛纤维无纺布能显著提高扁茎早熟禾的粗蛋白含量, 褐色厚羊毛纤维无纺布能显著提高中华羊茅的粗蛋白含量, 可能与无纺布覆盖下其地上生物量以及土壤养分含量的改变有关<sup>[39-40]</sup>, 深层机理需要进一步研究分析。粗脂肪是储存能量并给牛、羊等动物提供能源的重要营养元素之一<sup>[41]</sup>。本研究中, 白色薄羊毛纤维无纺布可通过提高垂穗披碱草的粗脂肪含量进而对牧草品质产生影响。牧草纤维素含量越高, 营养价值越低, 中性洗涤纤维含量高则采食量减少, 酸性洗涤纤维含量高则消化率降低<sup>[42]</sup>。本研究中, 不同无纺布对 5 种生态修复草种中性洗涤纤维含量没有显著影响, 麻纤维无纺布可显著降低中华羊茅的酸性洗涤纤维含量, 从而提高该牧草的营养价值。

### 4 结论

综上所述, 麻纤维无纺布或白色厚羊毛纤维无纺布均可提高扁茎早熟禾的植株高度, 后者还可提高扁茎早熟禾的粗蛋白含量; 白色厚羊毛纤维无纺布或白色薄羊毛纤维无纺布可提高冷地早熟禾的地上生物量, 但前者会降低冷地早熟禾的粗蛋白含量; 白色厚羊毛纤维无纺布可显著提高垂穗披碱草的植株高度, 还可显著提高中华羊茅、星星草的植株高度和地上生物量。因此, 今后对栽培草地进行覆膜处理时, 需要根据生态修复牧草的品种来选择与之相适应的无纺布材料进行覆盖, 以提高其生态修复的效果。

### 参考文献 References:

- [1] 孙华方, 李希来, 金立群, 张静, 李清德. 黄河源区人工草地植被群落和土壤养分变化. 水土保持通报, 2019, 39(3): 25-30, 38. SUN H F, LI X L, JIN L Q, ZHANG J, LI Q D. Variation of vegetation community and soil nutrients of artificial grassland in source area of Yellow River. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(3): 25-30, 38.
- [2] 周华坤, 赵新全, 赵亮, 韩发, 古松. 高山草甸垂穗披碱草人工草地群落特征及稳定性研究. 中国草地学报, 2007(2): 13-25.



- ZHOU H K, ZHAO X Q, ZHAO L, HAN F, GU S. The community characteristics and stability of the *Elymus nutans* artificial grassland in Alpine Meadow. *Chinese Journal of Grassland*, 2007(2): 13-25.
- [3] WANG C T, WANG X G, LIU W, WANG Y, HU L, MA L. Effects of establishing an artificial grassland on vegetation characteristics and soil quality in a degraded meadow. *Israel Journal of Ecology & Evolution*, 2013, 59(3): 141-153.
- [4] 武胜男, 张曦, 高晓霞, 许驭丹, 吴晓慧, 单席凯, 刘世梁, 董全民, 董世魁, 温璐. 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. *生态学报*, 2019, 39(7): 2444-2453.
- WU S N, ZHANG X, GAO X X, XU Y D, WU X H, SHAN X K, LIU S L, DONG Q M, DONG S K, WEN L. Succession dynamics of a plant community of degraded alpine meadow during the human-induced restoration process in the Three Rivers Source region. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(7): 2444-2453.
- [5] 尚占环, 董全民, 施建军, 周华坤, 董世魁, 邵新庆, 李世雄, 王彦龙, 马玉寿, 丁路明, 曹广民, 龙瑞军. 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. *草地学报*, 2018, 26(1): 1-21.
- SHANG Z H, DONG Q M, SHI J J, ZHOU H K, DONG S K, SHAO X Q, LI S X, WANG Y L, MA Y S, DING L M, CAO G M, LONG R J. Research progress in recent ten years of ecological restoration for "Black Soil Land" degraded grassland on Tibetan Plateau: Concurrently discuss of ecological restoration in Sangjiangyuan Region. *Acta Agrestia Sinica*, 2018, 26(1): 1-21.
- [6] 马玉寿, 张自和, 董全民, 施建军, 王彦龙, 盛丽. 恢复生态学在“黑土型”退化草地植被改建中的应用. *甘肃农业大学学报*, 2007(2): 91-97.
- MA Y S, ZHANG Z H, DONG Q M, SHI J J, WANG Y L, SHENG L. Application of restoration ecology in "black soil type" degraded grassland rebuilding. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2007(2): 91-97.
- [7] 伍磊, 周青平, 刘文辉, 颜红波, 雷生春, 梁国玲, 贾志峰. 人工草地建植过程中青海扁茎早熟禾根系变化特征. *草地学报*, 2011, 19(2): 231-236.
- WU L, ZHOU Q P, LIU W H, YAN H B, LEI S C, LIANG G L, JIA Z F. Variation of root system of *Poa pratensis* var. *anceps* Gaud. cv. Qinghai during pasture establishment. *Acta Agrestia Sinica*, 2011, 19(2): 231-236.
- [8] 杨林平, 苏宝兰, 杨文英. 黄河首曲高寒草甸退化草地(黑土滩)恢复重建优良适宜牧草筛选试验. *甘肃畜牧兽医*, 2016, 46(11): 96-98.
- YANG L P, SU B L, YANG W Y. Screening experiment of excellent suitable forage for restoration and reconstruction of degraded grassland (Black Soil Type) in the first meander of the Yellow River. *Gansu Animal Husbandry and Veterinary*, 2016, 46(11): 96-98.
- [9] 丁海荣, 洪立州, 王茂文, 杨智青. 星星草耐盐生理机制及改良盐碱土壤研究进展. *安徽农学通报*, 2007(16): 58-59.
- DING H R, HONG L Z, WANG M W, YANG Z Q. Research progress on the physiological mechanism of *Puccinellia tenuiflora* salt tolerance and improvement of saline-alkali soil. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2007(16): 58-59.
- [10] 张江华, 王葵颖, 徐友宁, 陈华清, 乔冈. 矿采对高寒草地的影响及植被恢复技术. *地质通报*, 2018, 37(12): 2260-2263.
- ZHANG J H, WANG K Y, XU Y N, CHEN H Q, QIAO G. A study of the effect of mine exploitation on alpine grassland and its vegetation restoration technology. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(12): 2260-2263.
- [11] 贺金生, 卜海燕, 胡小文, 冯彦皓, 李守丽, 朱剑霄, 刘国华, 王彦荣, 南志标. 退化高寒草地的近自然恢复: 理论基础与技术途径. *科学通报*, 2020, 65(34): 3898-3908.
- HE J S, BU H Y, HU X W, FENG Y H, LI S L, ZHU J X, LIU G H, WANG Y R, NAN Z B. Close-to-nature restoration of degraded alpine grasslands: Theoretical basis and technical approach. *Chinese Science Bulletin*, 2020, 65(34): 3898-3908.
- [12] 贺有龙, 汪海波, 祁彪. “黑土滩”中华羊茅栽培草地生产力动态. *草业科学*, 2014, 31(1): 200-204.
- HE Y L, WANG H B, QI B. Productivity dynamic of *Festuca sinensis* pasture built on "bare soil land" degraded meadow during 5 years on Tibetan plateau. *Pratacultural Science*, 2014, 31(1): 200-204.
- [13] 李旭谦. 青海省“黑土滩”退化草地治理模式. *青海农技推广*, 2019(1): 58-59.
- LI X Q. "Black soil beach" degraded grassland management model in Qinghai Province. *Qinghai Agro-Technology Extension*, 2019(1): 58-59.
- [14] 才仁旦周. 黑土滩治理过程中存在的问题及解决对策. *中国畜牧兽医文摘*, 2018, 34(4): 43.
- Cairendanzhou. Problems and countermeasures in the treatment of black soil beach. *Chinese Abstracts of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2018, 34(4): 43.
- [15] MERINO-MARTÍN L, COMMANDER L, MAO Z, STEVENS J C, MILLER B P, GOLOS P J, MAYENCE C E, KINGSLEY

- DIXON. Overcoming topsoil deficits in restoration of semiarid lands: Designing hydrologically favourable soil covers for seedling emergence. *Ecological Engineering*, 2017(105): 102-117.
- [16] SLUITER I R K, SLUITER K R. On the ecology, distribution and conservation status of *Vittadinia blackii* (Asteraceae) in Australia. *Cunninghamia A Journal of Plant Ecology for Eastern Australia*, 2011, 12(1): 1-5.
- [17] 景媛媛, 贺翔, 徐长林, 鱼小军. 覆膜种植方式对东祁连山区苜蓿草地土壤温度和水分的影响. *草地学报*, 2018, 26(2): 321-329.  
JING Y Y, HE X, XU C L, YU X J. Effects of different Film-Mulching planting patterns on soil temperature and water moisture of alfalfa grassland in Eastern Qilian Mountain Area. *Acta Agrestia Sinica*, 2018, 26(2): 321-329.
- [18] 王俊, 李凤民, 宋秋华, 李世清. 地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响. *应用生态学报*, 2003, 14(2): 205-210.  
WANG J, LI F M, SONG Q H, LI S Q. Effects of plastic film mulching on soil temperature and moisture and on yield formation of spring wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(2): 205-210.
- [19] 魏莹莹, 刘伟, 王晓, 段文娟, 周洁, 刘峰, 张钦德. 地膜覆盖垄式栽培对黄芩品质及土壤环境的影响. *作物杂志*, 2015(2): 134-139.  
WEI Y Y, LIU W, WANG X, DUAN W J, ZHOU J, LIU F, ZHANG Q D. The influence of covering plastic mulch on active component content in *Scutellaria georgi* and environment of soil. *Crops*, 2015(2): 134-139.
- [20] 李英年, 赵新全, 曹广民, 赵亮, 王勤学. 海北高寒草甸生态系统定位站气候、植被生产力背景的分析. *高原气象*, 2004(4): 558-567.  
LI Y N, ZHAO X Q, CAO G M, ZHAO L, WANG Q X. Analysis on the climate and vegetation productivity background of Haibei alpine meadow ecosystem positioning station. *Plateau Meteorology*, 2004(4): 558-567.
- [21] 李林霞, 王薇娟. 青海省牧草良种繁殖场人工草地地下害虫调查. *青海草业*, 2016, 25(4): 20-22.  
LI L X, WANG W J. Investigation of underground pest of artificial grassland in the qinghai provincial forage seed breeding farm. *Qinghai Prataculture*, 2016, 25(4): 20-22.
- [22] 陈乐乐, 施建军, 王彦龙, 马玉寿, 董全民, 侯宪宽. 高寒地区禾本科牧草生产力适应性评价. *草地学报*, 2015, 23(5): 1073-1079.  
CHEN L L, SHI J J, WANG Y L, MA Y S, DONG Q M, HOU X K. Evaluation of productivity and adaptability of gramineae forage in alpine area. *Acta Agrestia Sinica*, 2015, 23(5): 1073-1079.
- [23] 李世雄, 董全民, 马玉寿, 王彦龙, 施建军, 孙小弟, 盛丽. 放牧型黑土滩人工草地建植与利用技术规范. *青海畜牧兽医杂志*, 2012, 42(1): 13-14.  
LI S X, DONG Q M, MA Y S, WANG Y L, SHI J J, SUN X D, SHENG L. Technical regulation of establishment and utilization for the grazing-type black soil cultivated grassland. *Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2012, 42(1): 13-14.
- [24] 施建军, 董全民, 马玉寿, 王彦龙, 李世雄, 盛丽, 孙小弟. 生态型黑土滩人工草地建植及利用技术规范. *青海畜牧兽医杂志*, 2012, 42(1): 15.  
SHI J J, DONG Q M, MA Y S, WANG Y L, LI S X, SHENG L, SUN X D. Technical specification of establishment and utilization of ecotype artificial grassland in Black-soil-beach. *Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2012, 42(1): 15.
- [25] 张春林, 韩向敏, 郎侠, 王彩莲. 青藏高原东北缘不同草地类型牧草营养品质动态. *草业科学*, 2019, 36(3): 763-771.  
ZHANG C L, HAN X M, LANG X, WANG C L. Forage nutrition from different grassland types at different growth stages on the northeast margin of the Qinghai-Tibet Plateau. *Pratacultural Science*, 2019, 36(3): 763-771.
- [26] LIU K, BASKIN J M, BASKIN C C, DU G Z. Very fast-germinating seeds of desert species are cryptoviparous-like. *Seed Science Research*, 2013, 23(3): 163-167.
- [27] 黄振英, 曹敏, 刘志民, 王雷. 种子生态学: 种子在群落中的作用. *植物生态学报*, 2012, 36(8): 705-707.  
HUANG Z Y, CAO M, LIU Z M, WANG L. Seed ecology: Roles of seeds in communities. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2012, 36(8): 705-707.
- [28] 唐伟. 地膜或秸秆覆盖对甘南地区歪头菜 (*Vicia unijuga*) 生长和发育的影响. 兰州: 兰州大学博士学位论文, 2019.  
TANG W. Effect of plastic-film and straw mulch on growth and development of *Vicia unijuga* at Gannan region. PhD Thesis. Lanzhou: Lanzhou University, 2019.
- [29] 庞晓攀, 张静, 刘慧霞, 宋锐, 贾婷婷, 肖玉. 地膜覆盖对盐碱地紫花苜蓿生长性状及产量的影响. *草业科学*, 2015, 32(9): 1482-1488.  
PANG X P, ZHANG J, LIU H X, SONG R, JIA T T, XIAO Y. Effects of plastic-film mulch on growth traits and yield of alfalfa (*Medicago sativa*) in saline-alkaline fields. *Pratacultural Science*, 2015, 32(9): 1482-1488.

- [30] DONG Q G, YANG Y C, YU K, FENG H. Effects of straw mulching and plastic film mulching on improving soil organic carbon and nitrogen fractions, crop yield and water use efficiency in the Loess Plateau, China. *Agricultural Water Management*, 2018(201): 133-143.
- [31] MICHAEL G, WHITNEE A, SHAWN A, JONATHAN D, DAVID M. Turfgrass cover sources vary in temperature, light and moisture penetration, and weight. *International Turfgrass Society Research Journal*, 2017, 13(1): 297-304.
- [32] 郑旭霞, 毛宇骁, 吴嘉璠, 余继忠. 盛夏覆盖对幼龄茶园土壤温湿度和杂草生长的影响. *土壤*, 2016, 48(5): 918-923.  
ZHENG X X, MAO Y X, WU J F, YU J Z. Effects of different mulching materials on soil temperature, moisture and weed growth in new tea gardens during mid-summer. *Soils*, 2016, 48(5): 918-923.
- [33] 景媛媛. 不同覆膜种植方式对天祝高寒区土壤水热、杂草和甘农1号杂花苜蓿生长的影响. 兰州: 甘肃农业大学硕士学位论文, 2015.  
JING Y Y. The effects of different film planting patterns on water-heat condition, weeds and Gannong No. 1 alfalfa growth in Tianzhu. Master Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2015.
- [34] 王安, 常庆涛, 赵艳, 孙剑霞, 蒋莹, 吴薇. 不同类型地膜对土壤温湿度、杂草抑制及芋头生长发育的影响. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*, 2020, 41(5): 101-105, 124.  
WANG A, CHANG Q T, ZHAO Y, SUN J X, JIANG Y, WU W. Effects of different membranes on soil temperature and humidity, weed suppression and growth of taro. *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)*, 2020, 41(5): 101-105, 124.
- [35] 余苗, 王卉, 问鑫, 高凤仙. 牧草品质的主要评价指标及其影响因素. *中国饲料*, 2013(13): 1-3, 7.  
YU M, WANG H, WEN X, GAO F X. The main evaluation and influencing factors of forage quality. *China Feed*, 2013(13): 1-3, 7.
- [36] 郑凯, 顾洪如, 沈益新, 丁成龙. 牧草品质评价体系及品质育种的研究进展. *草业科学*, 2006, 23(5): 57-61.  
ZHENG K, GU H R, SHEN Y X, DING C L. Evaluation system of forage quality and research advances in forage quality breeding. *Pratacultural Science*, 2006, 23(5): 57-61.
- [37] 段新慧, 钟声, 李乔仙, 高月娥, 黄梅芬, 杨国荣. 鸭茅种质资源营养价值评价. *养殖与饲料*, 2013(6): 38-42.  
DUAN X H, ZHONG S, LI Q X, GAO Y E, HUANG M F, YANG G R. Evaluation of nutritional value of *Dactylis germplasm* resources. *Animals Breeding and Feed*, 2013(6): 38-42.
- [38] 康健, 匡彦蓓, 盛捷. 10种作物秸秆的营养品质分析. *草业科学*, 2014, 31(10): 1951-1956.  
KANG J, KUANG Y B, SHENG J. Analysis of nutritive value of 10 forages straw. *Pratacultural Science*, 2014, 31(10): 1951-1956.
- [39] 石岳, 马殷雷, 马文红, 梁存柱, 赵新全, 方精云, 贺金生. 中国草地的产草量和牧草品质: 格局及其与环境因子之间的关系. *科学通报*, 2013, 58(3): 226-239.  
SHI Y, MA Y L, MA W H, LIANG C Z, ZHAO X Q, FANG J Y, HE J S. Forage yield and quality of grassland in China: Pattern and its relationship with environmental factors. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(3): 226-239.
- [40] 刘泽. 不同施肥处理对甘南高寒草地牧草产量及质量的影响研究. 北京: 北京林业大学硕士学位论文, 2019.  
LIU Z. Effects of different fertilization treatments on the forage yield and quality of alpine grassland in Gannan. Master Thesis. Beijing: Beijing Forestry University, 2019.
- [41] 闫慧颖, 李春喜, 叶培麟, 毛德虎, 李荣. 种植密度和施肥水平对青海旱地覆膜种植甜高粱草产量及品质的影响. *草业科学*, 2017, 34(12): 2512-2520.  
YAN H Y, LI C X, YE P L, MAO D H, LI R. Effects of different planting densities and fertilization levels on yield and quality of sweet Sorghum grown under covering film mulching in the dry land of Qinghai. *Pratacultural Science*, 2017, 34(12): 2512-2520.
- [42] 付萍, 张榕, 耿小丽, 杨浩, 孟祥君, 周栋昌. 甘肃省二阴地区红豆草生产性能和营养品质评价. *中国草食动物科学*, 2020, 40(2): 78-80.  
FU P, ZHANG R, GENG X L, YANG H, MENG X J, ZHOU D C. Evaluation of the production performance and nutritional quality of red bean grass in Eryin area of Gansu Province. *Chinese Herbivore Science*, 2020, 40(2): 78-80.

(执行编辑 苟燕妮)