

不同石漠化程度草原植被恢复研究*

王齐¹ 师春娟¹ 彭兴燕² 张玉雯¹ 段利武¹

(1. 云南林业职业技术学院, 云南 昆明 650224; 2. 砚山县林业和草原局, 云南 文山 663000)

摘要 喀斯特石漠化区草原生态系统脆弱, 是制约经济社会可持续发展最严重的生态地质环境问题。为研究退化草原的植被恢复技术, 设置不同牧草组合对滇东南峰丛洼地轻度、中度以及重度石漠化样地进行修复对比试验。结果表明: 在轻度石漠化地区采用多年生黑麦草 *Lolium perenne*、鸭茅 *Dactylis glomerata*、木豆 *Cajanus cajan*, 按照 5:2:5 的比例混播; 在中度石漠化地区采用多年生黑麦草、鸭茅、苇状羊茅 *Festuca arundinacea*, 按照 5:5:2 的比例混播; 在重度石漠化地区采用多年生黑麦草、狗牙根 *Cynodon dactylon*、白三叶 *Trifolium repens*, 按照 5:2:5 的比例混播, 3 个月后植被覆盖度、株高生长、植被丰富度和草产量等指标与对照相比均有明显的增长。不同石漠化程度草原经过人工种植, 使石漠化趋势向潜在石漠化转化, 有效减少水土流失量, 植被恢复得到显著改善。人工植被恢复是石漠化草原生态修复的有效途径之一。

关键词 石漠化; 草原; 植被恢复; 生态修复

中图分类号: S728 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2053 (2024) 01-0099-07

Experimental Study on Grassland Vegetation Restoration Technology in Different Degree of Rocky Desertification

WANG Qi¹ SHI Chunjuan¹ PENG Xingyan²
ZHANG Yuwen¹ DUAN Liwu¹

(1. Yunnan Forestry Technological College, Kunming, Yunnan 650224, China;

2. Yanshan County Forestry and Grassland Bureau, Wenshan, Yunnan 663000, China)

Abstract The grassland ecosystem is fragile in the area of karst rocky desertification area, which is the most serious eco-geological environmental problem limiting sustainable economic and social development. The experimental results showed that in areas with mild rocky desertification, *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata*, and *Cajanus cajan* were mixed in a ratio of 5:2:5; In areas of rocky desertification areas, *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata* and *Festuca arundinacea* are mixed in a ratio of 5:5:2; In areas of severe rocky desertification, the experimental plots mixed with *L. perenne*, *Cynodon dactylon*, and *Trifolium repens* in a ratio of 5:2:5. After three months, there was a significant increase in vegetation cover, plant height growth, plant richness and grass yield compared to the control group. Artificial cultivation of grasslands with different degrees of rocky desertification transforms the trend of rocky desertification into potential rocky desertification, effectively reducing soil erosion and significantly improving vegetation restoration. Artificial vegetation restoration is one of

* 基金项目: 云南省林草科技推广示范项目 (202201)。

第一作者: 王齐 (1975—), 男, 教授, 主要从事牧草/草坪草抗逆生理研究, E-mail: 346649584@qq.com。

通信作者: 段利武 (1975—), 男, 高级工程师, 主要从事园艺、花卉、草学研究, E-mail: wangqi3858@126.com。

the effective methods for ecological restoration of rocky desertification grasslands.

Key words rocky desertification; grassland; vegetation restoration; ecological restoration

草原是重要的陆地生态系统,是山水林田湖草生命共同体的重要组成部分^[1],与森林、湿地共同构成了生态安全的绿色生态屏障,肩负保障生态文明建设的重要责任。但西南喀斯特地区石漠化严重且分布范围广^[2]。云南省129个县(市、区)中,有93%的县(市、区)有岩溶分布,其中石漠化土地分布的县(市、区)高达97%,因此,云南省也成了西南岩溶区中石漠化危害程度最深且最难治理的省区之一^[3]。

喀斯特是一种在热带、亚热带湿润、半湿润气候条件下^[4],易受干扰而遭破坏的脆弱生态环境,对环境因素改变反应灵敏,生态稳定性差,生物组成和生产力波动较大,被学术界定为世界上主要的生态环境脆弱地区之一,也面临着贫困与环境恶化的双重难题^[6-7]。同样,喀斯特石漠化区的草原生态也很脆弱,生态保护与植被修复是亟须解决的难题^[8]。多年来,学者对喀斯特石漠化概念及其科学内涵、石漠化现状调查与评价、岩溶生态系统结构、驱动机制和功能,人为干扰、土壤和植被变化、退化生态系统自然恢复、植被恢复与治理模式、喀斯特农业生态系统、石漠化防治对策、喀斯特区域资源开发与生态旅游规划等方面进行了大量研究^[9-12]。但对不同喀斯特地貌——生态经济类型区的石漠化发生的原因、类型、石漠化过程、演替模式、驱动力因子及相应的生态重建技术途径和模式的研究较为缺乏,特殊生境条件使植被恢复过程中小气候、土壤理化特征、土壤微生物特征发生变化,导致的喀斯特石漠化区立地类型及其亚型为植被恢复所提供的潜力不同,影响植被群落的配置^[13]。

本文选择滇东南峰丛洼地石漠化区的砚山县石漠化草原进行植被恢复研究。该地区属于亚热带高原型湿润季风气候,水湿热条件较好,岩溶地貌以岩溶山地为主^[14],草地类以热性灌草丛类和热性草丛类为主^[15-16],研究该立地条件下不同石漠化程度草原植被恢复技术,尤其是人工种草恢复技术措施,可为该立地条件下石漠化草原治理及生态恢复提供指导依据,也为后续的植被重建做前期的基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

砚山县位于云南省东南部,地跨东经103°35'~104°45'、北纬23°18'~23°59'。全县属于北亚热带季风气候,年平均气温在12.5~19℃,冬季气温不低于-7.8℃;夏季高温不超过33.2℃;年均降雨量达到1008mm,降雨虽充足但分配不均,因此形成了四季干湿分明的特点。全县土地总面积3826.57km²,山地面积占56%,丘陵面积占29%,盆地面积占15%。境内为滇东南岩溶丘原地貌,地貌类型多为山地、丘陵及盆地,石漠化较严重^[16]。

根据岩溶地区第三次石漠化监测结果(2019年),砚山县岩溶土地面积19.77万hm²,占全县土地总面积的51.2%,其中石漠化土地7.44万hm²,潜在石漠化土地2.26万hm²。其中,轻度石漠化3.61万hm²,中度石漠化3.64万hm²,重度石漠化0.19万hm²,极重度石漠化0.0054万hm²。砚山县土地石漠化的特点是:以中度石漠化为主,轻度石漠化、重度石漠化次之,极强度石漠化偏少^[18]。本次试验于2022年7月5日开展,试验地位于云南省文山州砚山县石漠化地区,试验地现有植物调查如表1所示。根据熊康宁等^[19]2002年提出的喀斯特石漠化强度分级标准,基岩裸露率(<60%),土被(>30%),坡度(<18°),土被+植被(>50%)的为轻度石漠化;基岩裸露率(60%~80%),土被(10%~30%),坡度(18~25°),土被+植被(20%~50%)的为中度石漠化;基岩裸露率(>80%),土被(<10%),坡度(>25°),土被+植被(<20%)的为重度石漠化。

1.2 试验材料

首先选择耐旱、耐热的灌草植物,而且幼苗期间,既能适应潮湿的土壤生境,也能抵抗短期的干旱土壤的植物;其次选择根系发达,对水分和肥料敏感性强、生命力强、生长迅速,短期内能显著增加地表盖度的植物以及萌芽更新能力强,适宜于中性偏碱性和喜钙质土壤生长的植物。试验采用的草本植物如表2所示。

表 1 石漠化治理试验地植物现状

Tab. 1 Current status of plants in the experimental site for rocky desertification control

石漠化程度 Degree of rocky desertification	盖度/% Coverage	物种 Species	有无入侵植物 Invasive plants
轻度	56.2	白茅 <i>Imperata cylindrica</i> 、 其他杂灌草	无
中度	55.5	白茅、其他杂灌草	无
重度	48.4	白茅、其他杂灌草	无

1.3 试验方法

轻度、中度以及重度石漠化区样地面积均为 10 m×10 m。试验设置 3 种草种组合, 分别为多年生黑麦草+鸭茅+木豆、多年生黑麦草+鸭茅+苇状羊茅以及多年生黑麦草+狗牙根+白三叶。多年生黑麦草+鸭茅+木豆的组合按照 5:2:5 的比例, 综合播种量为 0.04 kg·m⁻²。多年生黑麦草播种量为 0.017 kg·m⁻²、鸭茅 0.006 kg·m⁻²、木豆 0.017 kg·m⁻²。雨季前实施“块状整地+灌草混播+覆盖保墒”; 多年生黑麦草+鸭茅+苇状羊茅的草种组合, 按照 5:5:2 的比例, 综合播种量为

表 2 石漠化治理试验植物信息

Tab. 2 Plant information in rocky desertification control experiment

科 Family	种 Species	生活型 Living form	拉丁名 Latin name	形态特征 ^[20] Morphological character	生态习性 Ecological characteristics
禾本科	多年生黑麦草	多年生草本植物	<i>Lolium perenne</i>	丛生, 根茎短, 茎直立。叶边缘粗糙, 深绿色, 具光泽, 幼时折叠。叶鞘光滑, 叶舌短而不明显。穗状花序, 无芒或近无芒。	喜凉爽湿润气候。适宜土壤 pH 为 6~7。在昼夜温度为 12~27 °C 时再生能力强。耐湿, 但在排水不良或地下水位过高时不利于黑麦草生长。
	鸭茅		<i>Dactylis glomerat</i>	疏丛型, 根系发达。茎基部扁平、光滑。幼叶折叠式, 横切面成“y”形。圆锥花序, 小穗密集, 偏生序轴一侧, 状如鸡足, 顶有短芒。	喜温暖湿润气候和肥沃土壤, 耐旱、耐贫瘠能力强于多年生黑麦草, 大致与苇状羊茅相当。耐阴性强, 但耐热性一般。
	苇状羊茅		<i>Festuca arundinacea</i>	疏丛型, 植株较粗壮, 秆直立, 平滑无毛。叶片扁平, 边缘内卷, 上面粗糙, 下面平滑。圆锥花序, 小穗绿色带紫色, 成熟后呈麦秆黄色。	喜肥沃土壤, 在潮湿、黏重的土壤上生长最繁茂, 最适的 pH 5.7~6.0。耐湿、耐寒、耐旱、耐热, 并耐酸、耐盐碱。
	狗牙根		<i>Cynodon dactylon</i>	低矮草本, 具根茎。茎秆坚韧, 下部茎匍匐生长, 节上常生不定根。叶片线形, 通常两面无毛。穗状花序 2~6 枚; 小穗含 1 朵小花; 花药淡紫色。	喜湿润, 耐贫瘠、耐践踏、耐刈割, 适应范围极广泛。全世界温暖地区均有分布。
豆科	木豆	多年生草本植物	<i>Cajanus cajan</i>	直立小灌木。多分枝, 小枝纵棱, 被柔毛。叶互生, 三出羽状复叶; 叶柄上具浅沟, 下具细纵棱, 略被短柔毛; 小叶纸质, 披针形至椭圆形, 两面均有毛, 下有黄色腺点; 总状花序, 顶部或近顶部或腋生。	属短日照植物, 喜温暖环境, 耐旱、耐瘠薄, 不耐湿热和霜冻, 最适宜温度为 18~34 °C。速生性强、适应性广, 对土壤要求不严, 适宜生长土壤 pH 5.0~7.5。
	白三叶		<i>Trifolium repens</i>	植株光滑, 根系浅。主茎短。掌状三出复叶, 小叶倒卵形或心形, 叶片有“V”形白斑, 边缘有细齿。总状花序头状, 花冠白色, 偶呈粉红色。	喜温暖湿润气候, 生长最适温度 20~25 °C。耐热、耐寒能力强于红三叶 <i>trifolium pratense</i> 和杂三叶 <i>Trifolium hybridum</i> 。具有一定耐阳性, 可在林下种植。对土壤要求不严, 适宜土壤 pH 值 6~7。

注: 以上草种均为引进种。

Note: The above grass species are all introduced species.

0.04 kg · m⁻²，多年生黑麦草播种量为 0.017 kg · m⁻²、鸭茅 0.017 kg · m⁻²、苇状羊茅 0.006 kg · m⁻²。雨季前实施“块状整地+补播草种+覆盖保墒”；多年生黑麦草+狗牙根+白三叶的草种组合，按照 5 : 2 : 5 的比例，多年生黑麦草播种量为 0.017 kg · m⁻²、狗牙根 0.006 kg · m⁻²、白三叶 0.017 kg · m⁻²。雨季前实施“块状整地+补播草种+覆盖保墒”。每个处理 3 次重复。对照试验地面积为 10 m×10 m，不进行任何播种，3 次重复。

1.4 种植方法

1.4.1 块状整地 于雨季来临前完成块状翻耕整地，保留全部乔木、灌木及藤本植物，翻地深 20 cm（具体视裸露岩石下的土层状况），锄尽白茅的根状茎及其他所有杂草，鉴于石漠化地段基岩裸露度不一，挖坑时见缝插针整地，对于土层厚度不足 20 cm 的地块，进行人工客土补填^[17]，所有枯枝落叶及清理的杂草作为播后覆盖物备用。

1.4.2 施基肥 于整地作业同期进行。施入有机肥 1.5 kg · m⁻²、复合肥 100 g · m⁻²，翻地疏松表土，与表土拌匀。

1.4.3 种植 在准备好的地块上按照比例分别均匀地撒种，避免出现密集或稀疏的现象；撒完种后，可以用铁耙轻轻地将种子埋在土壤里，然后用木棒等工具将土壤压实，使种子与土壤紧密结合，最后用无纺布覆盖后及时浇水，土壤要始终保持湿润状态，不能让土壤干燥、脱水，否则刚发芽的种子很容易被晒死。

1.5 苗期管理

1.5.1 覆盖保墒 播种草籽或补植灌木以后，及时用无纺布或者秸秆等覆盖物进行完全覆盖，覆盖达到 100%，达到增温保墒的效果，促进种子的萌发和防止水分的蒸发。

1.5.2 浇水 石漠化立地条件差、水分严重亏缺。播种草籽或补植灌木以后要根据天气状况适时浇水，确保种子及时出苗。为确保经济成本，播种草籽或补植灌木的时间在当年雨季来临前（5 月底）。

1.5.3 割草促萌 样地种植的灌木及草本植物生长到 30 cm 左右进行一次修剪作业，一方面可以促进草的分蘖繁殖，另一方面对于定植的灌木也有透光通气作用，合理调节草灌结构，促进互促生长。

1.5.4 除杂保优 对于草地上的侵占性杂草，如

紫茎泽兰 *Ageratina adenophora*、飞机草 *Chromolaena odorata* 等进行人工拔除，减少对优良草种的营养竞争力，促进目的草种和灌木的生长。

1.6 项目测定

2022 年 10 月，随机选择样地，对样地内植株进行测量。用目测的方法确定其生长势，用样方法取样测定修复与未修复（CK）样地内植物种类、平均植被综合盖度（%）、草群平均高度（cm）、草产量（鲜质量和干质量）等指标的测定方法根据《全国草原监测技术操作手册》^[21] 进行测定。地表径流量、土壤流失量等指标根据 GB/T 41222-2021 国家标准^[22] 进行测定。

1.7 数据分析

试验数据采用 WPS Office 软件对原始数据进行分析及归纳整理，采用 SPSS 22 软件进行单因素方差分析，Duncan's 法进行多重比较。结果以“平均值±标准误”表示， $P < 0.05$ 表示在 0.05 水平差异显著。

2 结果与分析

2.1 植被生长

从植被生长情况来看，轻度石漠化区多年生黑麦草+鸭茅+木豆=5 : 2 : 5 的组合生长表现良好，平均植被综合盖度和草群平均高度分别达到 94.7%、67.2 cm，均显著高于 CK 组（ $P < 0.05$ ）。中度石漠化区多年生黑麦草+鸭茅+苇状羊茅=5 : 5 : 2 的平均植被综合盖度和草群平均高度分别达到 91.4%、58.0 cm，均显著高于 CK 组（ $P < 0.05$ ）。重度石漠化区多年生黑麦草+狗牙根+白三叶=5 : 2 : 5 的组合平均植被综合盖度和草群平均高度分别达到 76.0%、51.7 cm，均显著高于 CK 组（ $P < 0.05$ ），如表 3。

综合种植草种的生长状况，不同石漠化区植被覆盖率从 48.4% 提高到 94.0% 以上，牧草高度由 40.8 cm 提高到 67.0 cm 以上，表明人工种植牧草可促进石漠化草地的生态恢复，在增加植物综合盖度的同时，也增加了牧草生物量。

2.2 植被丰富度

在样地调查中发现，原生石漠化区当地茅草较多，茅草为当地的优势植被，还有许多杂草种类。据样地测定，试验样地内植物种类数量平均有 12 种，对照样地内平均有 7 种，草本植物种类增加了 2 种，占到植物种类的 16.6%。

表 3 砚山县石漠化治理试验区植被生长比较

Tab. 3 Comparison of vegetation growth in the experimental area of rocky desertification control in Yanshan county

石漠化程度 Degree of rocky desertification	处理 Treatment	植物综合盖度/% Plant comprehensive coverage	草群高度/cm Grass height
轻度	CK	56.2±3.5c	48.6±4.9c
	多年生黑麦草+鸭茅+木豆	94.7±3.6a	67.2±2.3a
	多年生黑麦草+鸭茅+苇状羊茅	81.3±1.2b	60.3±0.6b
	多年生黑麦草+狗牙根+白三叶	80.1±2.0b	58.1±1.0b
中度	CK	55.5±2.3c	40.9±2.2c
	多年生黑麦草+鸭茅+木豆	83.7±2.7b	51.1±1.0b
	多年生黑麦草+鸭茅+苇状羊茅	91.4±2.7a	58.3±0.4a
	多年生黑麦草+狗牙根+白三叶	81.3±1.5b	52.3±2.5b
重度	CK	48.4±3.3d	40.8±0.8c
	多年生黑麦草+鸭茅+木豆	62.2±2.0c	46.3±1.5b
	多年生黑麦草+鸭茅+苇状羊茅	68.3±1.5b	48.6±1.2ab
	多年生黑麦草+狗牙根+白三叶	76.0±3.6a	51.7±3.6a

注: 同一程度石漠化治理不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters of the same degree of rocky desertification control show significant differences at the 0.05 level.

2.3 草产量

经过人工草地建植, 样地取样测量, 轻度石漠化区多年生黑麦草+鸭茅+木豆=5:2:5 的组合样地内的草本平均鲜质量和平均干质量分别为 11 826.11, 5 676.54 kg·hm⁻², 显著高于 CK 样地草本平均鲜质量和平均干质量 ($P<0.05$), 鲜质量和干质量分别增长了 287% 和 257%。

中度石漠化区多年生黑麦草+鸭茅+苇状羊茅=5:2:5 的组合样地内的草本平均鲜质量和平均干

质量分别为 9 798.13, 4 703.72 kg·hm⁻², 显著高于 CK 样地草本的平均鲜质量和平均干质量 ($P<0.05$), 鲜质量和干质量分别增长了 280% 和 251%。

重度石漠化区多年生黑麦草+狗牙根+白三叶=5:2:5 的组合样地内的草本平均鲜质量和平均干质量分别为 4 744.44, 2 227.98 kg·hm⁻², 显著高于 CK 样地草本的平均鲜质量和平均干质量 ($P<0.05$), 鲜质量和干质量分别增长了 387% 和 341%, 如表 4 所示。

表 4 砚山县石漠化治理地草产量

Tab. 4 Grass yield of rocky desertification control in Yanshan county

石漠化程度 Degree of rocky desertification	处理 Treatment	鲜质量/(kg·hm ⁻²) Fresh weight	干质量/(kg·hm ⁻²) Dry mass
轻度	CK	3 053.54±91.82c	1 587.02±55.22d
	多年生黑麦草+鸭茅+木豆	11 826.11±964.53a	5 676.54±218.13a
	多年生黑麦草+鸭茅+苇状羊茅	9 759.33±486.17b	4 376.32±90.63b
	多年生黑麦草+狗牙根+白三叶	9 392.67±652.84b	3 876.12±37.16c
中度	CK	2 573.88±157.75c	1 338.03±56.45d
	多年生黑麦草+鸭茅+木豆	8 798.91±88.49b	3 763.33±43.33b
	多年生黑麦草+鸭茅+苇状羊茅	9 798.13±88.49a	4 703.72±96.94a
	多年生黑麦草+狗牙根+白三叶	8 698.64±88.49b	3 464.33±29.63c
重度	CK	973.52±13.23c	505.66±9.07c
	多年生黑麦草+鸭茅+木豆	3 640.67±79.9b	1 127.38±85.04b
	多年生黑麦草+鸭茅+苇状羊茅	3 744.53±77.57b	960.33±20.22b
	多年生黑麦草+狗牙根+白三叶	4 744.44±77.57a	2 227.98±97.29a

注: 同一程度石漠化治理不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters of the same degree of rocky desertification control show significant differences at the 0.05 level.

2.4 石漠化和水土流失

在种植试验区内通过草地建植,轻度、中度及重度石漠化地区植被综合盖度分别由 56.2%、55.5%、48.4% 提高到 94.7%、91.4%、76.0%,石漠化草原已变为潜在石漠化草原。据试验统计,试验样地草地与耕地相比,地表径流量平均减少 11 595 kg·hm⁻²,土壤流失量平均减少 525 kg·hm⁻²,增加蓄水量 14.89 万 m³,减少土壤流失 0.68 万 t,水土流失得到有效治理,草地石漠化趋势得到有效遏制。

3 讨论与结论

综合相关文献与试验研究,对不同石漠化程度地区利用草种进行播种建植草地进行生态修复,从植被生长上来看,人工草地在石漠化退化草地的治理中产生了显著成效^[23]。在不同石漠化程度地区,采用人工种植混合牧草的样地中,牧草的综合植被覆盖度和草群高度显著增加。其中,在轻度石漠化地区,利用多年生黑麦草+鸭茅+木豆的草种组合播种建植草地,使植被综合盖度和草群高度显著高于对照组,首先木豆是具有独特的生物学特性和优良品质的豆科植物,在水土保持、土壤改良和石漠化治理等方面均具有独特功效^[24],鸭茅在轻度石漠化地区调节土壤水分上效果更明显^[25]。在中度石漠化地区,多年生黑麦草+鸭茅+苇状羊茅的草种组合播种建植草地,使植被综合盖度和草群高度显著高于对照组,可能由于多年生黑麦草为人工草地的优势草种,此外苇状羊茅有较强的适应性和抗旱性,在石山地生长较快^[26],是建立高产人工草地新兴的优良草种^[27]。

从植被丰富度来看,在不同石漠化程度地区,采用不同混播牧草组合可以明显增加样地草本植物种类。这可能由于在草地农业系统中限制植物生长的主要养分为氮素,而豆-禾混播系统中,由于禾草比豆科植物对于土壤中的无机氮有更强的竞争能力,迫使豆科植物加快共生固氮^[28],从而豆-禾的草种组合可以促进植物生长,增加草地生物多样性。

从草产量上看,在不同石漠化程度地区,混播的人工草地可以显著提高样地草的平均干质量和平均鲜质量,与刘皓栋等^[29]、崔阁英等^[30]以及郭孝等^[31]的研究结果一致。这是由于混播草地的植被覆盖度和植被高度均有增加,因此直接提

高了石漠化地区的草地的鲜质量和干质量^[32]。

从水土流失方面来看,在石漠化地区进行的人工种植草地,显著降低地表径流量以及土壤流失量,这是由于人工草地的建植有助于石漠化地区的物种丰富度、盖度以及生物多样性的增加^[33],植被覆盖度增加则会正向影响植被的蓄水量,这与池永宽等^[34]和刘静文等^[35]的研究结果一致。

从石漠化治理过程来看,在恢复早期阶段,群落组成以喜光先锋植物占优势,群落高度低、盖度小,先锋植物能适应早期群落环境,迅速萌芽生长,恢复潜力高。恢复过程中,优良牧草(狗牙根和白三叶)能较充分地利用岩溶生境中各类小生境资源,如石面、石缝、石沟等,而这往往又是人工造林所不能及的,反映出这些植物在对资源利用上更合理、充分,利用禾本科和豆科组合优良牧草进行石漠化治理,能有效地覆盖石面石缝,使得石漠化山地资源利用最大化。

根据石漠化区域生产经营模式功能性要求,遵循“适草则草、适地适草”的原则,优先选择乡土优良草种,适当引进生态适应性强的草种,建立“乡土草种+引进草种”组合的植物群落结构(乡土草种为主,引进草种为辅),构建石漠化草原生态功能系统是生态修复的有效途径之一;对比试验结果证明植被覆盖度、株高生长、生物多样性和草产量等指标均有大幅度的增长;石漠化趋势向潜在石漠化转化,水土流失量明显减少,对石漠化区草原植被恢复与开发利用具有可行性。

参考文献

- [1] 郝天象,杨萌,于贵瑞. 统筹草地生态系统五库功能构建国家生态安全屏障[J]. 中国科学基金,2023(4):603-612.
- [2] 彭旭东,戴全厚. 西南石漠化区地表侵蚀/地下漏失的侵蚀环境特征[J]. 中国水土保持科学,2023,21(4):150-158.
- [3] 国家林业局. 中国石漠化状况公报[N]. 中国绿色时报,2012-06-18. 第003版.
- [4] 郑全胜,查钱慧,冯汉华,等. 广东石漠化综合治理模式[J]. 林业与环境科学,2022(S1):17-21.
- [5] 罗旭玲,王世杰,白晓永,等. 西南喀斯特地区石漠化时空演变过程分析[J]. 生态学报,2021,41(2):680-693.
- [6] 万军. 贵州省喀斯特地区土地退化与生态重建研究进展[J]. 地球科学进展,2003(18):447-453.

- [7] 马文翰. 贵州喀斯特脆弱生态环境的可持续发展[J]. 贵州师范大学学报, 2003(21): 75-77.
- [8] 古星. 喀斯特石漠化治理混农林植物群落结构优化配置与水土流失阻控技术研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2023.
- [9] 任海. 喀斯特山地生态系统石漠化过程及其恢复研究综述[J]. 热带地理, 2005(3): 195-200.
- [10] 苏维词. 贵州喀斯特山地石漠化及防治对策[J]. 长江流域资源与环境, 1995, 4(2): 177-182.
- [11] 蓝安军. 喀斯特石漠化过程、演化特征与人地矛盾分析[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2002(1): 40-45.
- [12] 储小院, 刘绍娟, 孙鸿雁. 云南省岩溶地区石漠化现状、成因及防治对策[J]. 林业建设, 2012(2): 11-16.
- [13] 周玮, 高渐飞. 喀斯特石漠化区植被恢复研究综述[J]. 绿色科技, 2013(7): 4-7.
- [14] 任晓东. 云南省岩溶区草原石漠化治理工程成效监测与分析[J]. 绿色科技, 2020(6): 75-79.
- [15] 吴宁, 李世成, 任晓东, 等. 云南石漠化[M]. 北京: 中国林业出版社, 2019.
- [16] 陈志辉, 徐旌, 张卓亚. 文山州石漠化状况及成因分析[J]. 林业调查规划, 2008, 33(1): 70-73, 77.
- [17] 陈忠. 砚山县第三次石漠化监测治理成效及建议[J]. 林业调查规划, 2018, 43(4): 104-108.
- [18] 吴易雄, 陶抵辉, 邓沛怡. 利用藤本植物治理石漠化的成效、存在的问题与对策[J]. 南方林业科学, 2015, 43(2): 50-55.
- [19] 熊康宁, 陈永毕, 陈起伟. 点石成金: 贵州石漠化防治技术与模式[M]. 贵阳: 贵州科学技术出版社, 2011.
- [20] 黄必志, 钟声. 云南常见饲用植物[M]. 云南: 云南科技出版社, 2016.
- [21] 农业部草原监理中心. 全国草原监测技术操作手册[M]. [出版单位不详] 2007.
- [22] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 土壤质量农田地表径流检测方法: GB/T 41222-2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [23] 唐兴成, 龙华映, 张进义, 等. 云南省巧家县石漠化区不同治理措施草地植被特征研究[J]. 草业科学, 2010, 27(1): 31-36.
- [24] 邹荣灿, 来楷迪, 李云, 等. 木豆的研究现状及在六盘水石漠化地区的应用前景[J]. 环境保护与循环经济, 2019, 39(5): 36-41.
- [25] 魏强. 石漠化生态治理区不同生草治理模式对土壤螨类群落结构的影响[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2022.
- [26] 李俊龙, 王槐三. 多花黑麦草×苇状羊茅属间杂种及其后代抗旱耐热性的研究[J]. 中国草地, 1996(1): 39-41.
- [27] 张帆, 李小梅, 宋鑫, 等. 5个苇状羊茅品种在川中丘陵地区生产性能综合评价[J]. 草地学报, 2018, 26(1): 99-104.
- [28] 池永宽, 熊康宁, 张锦华, 等. 喀斯特石漠化地区三种豆科牧草光合与蒸腾特性的研究[J]. 中国草地学报, 2014, 36(4): 116-120.
- [29] 杨策, 张玉雪, 张鹤, 等. 牧草混播生态系统功能研究进展[J]. 草业学报, 2022, 31(9): 206-219.
- [30] 刘皓栋, 田启会, 刘根新, 等. 混作组合对高寒牧区牧草生物量分配模式的影响[J]. 草学, 2023(3): 46-52.
- [31] 崔阁英, 董明玉, 唐兴成, 等. 云南省巧家县石漠化区不同治理措施下草地生产力动态监测研究[J]. 草业与畜牧, 2011(6): 1-7.
- [32] 郭孝, 胡华锋, 沈永恕等. 三种多年生牧草混播草地生长特点和生产性能的分析[C]//中国草学会. 中国草学会2013学术年会论文集. 郑州牧业工程高等专科学校畜牧工程系, 2013.
- [33] 唐兴成, 龙华映, 张进义, 等. 云南省巧家县石漠化区不同治理措施草地植被特征研究[J]. 草业科学, 2010, 27(1): 31-36.
- [34] 池永宽. 喀斯特石漠化草地建植与生态畜牧业模式及技术研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2020.
- [35] 刘静文, 周祥. 人工草地在开发建设项目水土保持措施中的应用[J]. 中国水土保持, 2016(11): 36-37.