

青藏高原高寒草甸退化与修复研究进展

张东佳^{1,2}, 龚成文^{1,2}, 米永伟^{1,2}, 邵武平^{1,2}

(1. 甘肃省农业科学院中药材研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院经济作物与啤酒原料研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 青藏高原高寒草甸受气候变化和人类活动的影响, 发生了严重的退化。从土壤、土壤微生物和植物群落3个方面对近年来青藏高原退化高寒草甸的研究进展进行梳理, 对近年来退化草地修复的研究进展从草地补播、划破草皮、无纺布覆盖、围栏封育、施肥及政策影响等方面进行了综述, 在此基础上对未来的研究方向进行了展望。

关键词: 青藏高原; 高寒草甸; 退化; 修复

中图分类号: S812.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-1463(2022)01-0007-05

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2022.01.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2022.01.002)

Research Progress on Degradation and Restoration of Alpine Meadows on the Qinghai-Tibet Plateau

ZHANG Dongjia^{1,2}, GONG Chengwen^{1,2}, MI Yongwei^{1,2}, SHAO Wuping^{1,2}

(1. Institute of Chinese Medicinal Materials, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Institute of Industrial Crops and Beer Raw Materials, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: The alpine meadow on the Qinghai-Tibet Plateau has been seriously degraded due to climate change and human activities. This article summarizes the research progress of degraded alpine meadow on the Qinghai-Tibet Plateau in recent years from

收稿日期: 2021-11-09; **修订日期:** 2021-12-23

基金项目: 甘肃省2020年草原生态修复治理科技支撑项目“岷县狼渡湿地草原生态修复研究”[甘林草函(2020)72号]; 甘肃省农业科学院重点研发计划“柴胡种子质量提升关键技术研究”(2019GAAS17)。

作者简介: 张东佳(1976—), 男, 甘肃白银人, 副研究员, 研究方向为中药材品种改良与生态种植。Email: zhangdongjia@gsagr.ac.cn。

通信作者: 龚成文(1967—), 男, 甘肃永登人, 副研究员, 研究方向为中药材育种与栽培。Email: gongcw@163.com。

体系, 并加强行业监管, 逐步推进管理规范化和服务标准化。

5.5 探索利益连接机制, 稳定提升农民收入

实施乡村振兴战略, 农民是最重要的主体。休闲农业在引进资本、发展产业时要把农民纳入产业链条, 健全农民分享产业链收益的机制, 稳定农民与各类投资主体之间的利益联结。发展休闲农业之前, 要从情感上让城乡之间深度融合, 激发农户的内生动力, 让农户更积极地投身休闲农业建设, 进而转变农户的思想, 保障农户的利益, 提高村民幸福感和文化自信, 让村民成为传承和发扬民俗文化的主力军。

参考文献:

[1] 经济日报-中国经济网. 2021年农业农村重点工作确定建设一批休闲农业重点县[NOL]. (2021-02-26)[2021-

11-22]. http://www.ce.cn/culture/gd/202102/26/t20210226_36341698.shtml.

[2] 袁明达, 周方. 湖南省湘西州旅游助力乡村振兴的模式及优化路径[J]. 甘肃农业科技, 2021, 52(11): 84-89.

[3] 谢飞, 覃湘芸. 乡村振兴背景下云南乡村旅游可持续发展研究[J]. 甘肃农业科技, 2021, 52(7): 85-88.

[4] 任开荣, 董继刚. 山东省休闲农业资源空间分布及影响因素分析[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(10): 185-191.

[5] 陈波, 朱智文, 王建兵. 甘肃县域和农村发展报告[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2020.

[6] 任开荣, 董继刚. 我国休闲农业资源的空间分布及成因研究[J]. 现代经济探讨, 2016(11): 55-59.

[7] 曾衍德, 胡乐鸣. 中国休闲农业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.

three aspects: soil, soil microorganisms, and plant communities. The research progress on restoration of degraded grassland restoration in recent years has been reviewed in terms of grassland reseeding, cutting turf, non-woven mulching, enclosure, fertilization, and policy impact, providing a prospective design and overall plan for restoring the degraded grassland.

Key words: Qinghai-Tibet Plateau; Alpine meadow; Degradation; Restoration

草地作为全球最大的陆地生态系统, 对人类的生产生活和自然生态环境有极其重要的意义。高寒草甸是草地的重要组成部分, 青藏高原东南部地区的高寒草甸占全球 48% 以上, 形成了世界上最大的高寒草甸生态系统^[1]。高寒草甸为人类提供了丰富的水资源, 为牲畜提供了充足的牧草资源。青藏高原高寒草甸储存了大量土壤碳和总氮等养分, 并拥有丰富的生物多样性^[2]。青藏高原气候寒冷、植物生长期短、土壤养分匮乏、风蚀水蚀强烈, 生态环境脆弱, 极易发生退化, 且退化后恢复较为困难^[3]。目前青藏高原仍处于大规模过度放牧状态, 此外还有人类剧烈活动的影响, 加上全球气候变化, 都对高寒草甸的生态系统造成了巨大压力。受这些因素的综合作用, 青藏高原高寒草甸严重退化, 已成为亟待解决的生态问题。我们对近年来青藏高原高寒草甸的退化与修复研究进展进行回顾和剖析, 梳理草地退化状况, 以期探寻适宜的修复方法, 为高寒草甸的修复研究及实践提供参考。

1 退化草甸特征性状

1.1 土壤

草地土壤特征影响退化高寒草甸的修复效果和恢复能力, 也影响草地修复技术和方法的选择, 因此对退化草甸的土壤特征进行分析, 是退化草地修复的基础。土壤侵蚀和草地退化的相互作用, 形成了高寒草地生态系统退化的恶性循环^[4]。土壤侵蚀强度整体呈现以最剧烈区域为中心向四周辐射的趋势, 主要影响因素包括风蚀、水蚀及放牧强度等^[5]。王小燕等^[6]分析了不同退化程度草地高寒草甸土壤的理化性质及酶活性季节变化, 表明退化高寒草甸表现出显著的土壤退化特征, 土壤含水量、有机质含量和土壤脲酶活性呈降低趋势, 而土壤速效磷、速效钾含量和碱性磷酸酶活性呈增加趋势。0~30 cm 土层是高寒沼泽湿地有机碳和总氮主要分布区, 有机碳和总氮呈正相关

关系。冻融丘和丘间的土壤含水量与土壤有机碳、总氮均呈极显著相关关系。有机碳、总氮、有机碳贮量和氮贮量与冻融丘的数量呈极显著负相关关系, 与冻融丘的大小呈极显著正相关关系^[7]。张振华等^[8]研究表明, 随退化程度加剧, 枯落物添加分别显著增加了未退化、轻度退化、中度退化以及重度退化草甸土壤有机碳的累积矿化量, 但同一退化梯度不同枯落物添加对土壤有机碳累积矿化量的影响不存在显著差异。随着培养前土壤有机碳、总氮含量以及 pH 的增加, 土壤有机碳矿化累积量呈先增加后降低的趋势, 而枯落物添加可以改变土壤有机碳矿化累积量对土壤本底碳氮含量以及 pH 的响应程度。

1.2 土壤微生物

土壤微生物变化主要受土壤特性和植被特征的影响, 且土壤特性对微生物的影响最大, 草地退化过程中土壤养分有效性、植物群落组成和植物生物量的变化影响了土壤微环境, 从而改变了土壤微生物群落的组成和多样性, 逐渐形成了与新土壤微环境相适应的土壤微生物群落结构^[9]。优势植物种类的变化和土壤养分含量显著下降引起土壤真菌营养类型的分化, 草地退化降低了腐生营养型真菌丰度, 增加了共生营养型真菌丰度。土壤养分、pH 和水分含量对真菌群落影响相对较小, 对细菌群落影响相对较大。草地退化显著改变了土壤微生物 α 多样性和群落组成, 退化草甸原核生物的 α 多样性显著降低, 真菌多样性增加。对微生物功能的预测分析表明, 草地退化后原核生物中硝化类细菌的相对丰度增加, 真菌中的病原型真菌的相对丰度增加^[10]。丛枝菌根真菌对高寒草地植物多样性和群落结构具有关键调控作用^[11-12]。高寒草地 AM 真菌与植物构建的菌根网络可以通过调节营养元素吸收、分配, 促进植物建植和生长。退化高寒草地中, AM 真菌群落具有高的环境适应性和恢复力, 不仅调控地上植物

群落建植和多样性,同时AM真菌建植也增加了代谢产物-球囊霉素相关土壤蛋白产生,进而协同改善地下土壤微生态系统,为退化高寒草地早期植被恢复塑造土壤生境^[13]。

1.3 植物群落

随着高寒草甸退化程度的加剧,其植物群落的地上和地下生物量均呈先稳定后降低的趋势,在轻度退化阶段达到最大值,重度和严重退化阶段显著降低;严重退化阶段物种多样性指数均显著降低;群落生物量、物种多样性与土壤养分呈正相关关系,与土壤容重呈负相关关系^[14]。随着退化程度加剧,草地的盖度、高度和地上植物生物量均显著下降。地上生物量在不同功能群的分配发生显著变化,物种逐步从以禾草类为优势转变为以杂类草为优势的群落;地下生物量显著下降,深层土壤根系生物量占比增加。随着退化加剧群落结构发生颠覆性变化,地上和地下生物量同步出现严重衰退。

2 修复措施

2.1 草地补播

草地补播是在不破坏或少破坏原有草地植被的前提下修复退化草地的有效措施之一,补播能有效恢复退化草地植被和土壤,改善草地生态环境,且投资较少见效较快。退化草地补播的研究内容包括适宜草种的筛选、补播量和补播时期的确定。科学合理的补播技术能增加退化草地植被覆盖度,减少裸地面积,并提高草地生产力和土壤养分含量^[15]。不同牧草的适应性各不相同,适宜草种的筛选对退化草地补播修复有重要意义。如三江源区“黑土山”种植牧草,阳坡适宜的草种为同德老芒麦、同德短芒披碱草、同德无芒披碱草、垂穗披碱草、麦宾草、青海冷地早熟禾、青海草地早熟禾等,阴坡适宜的草种为青海草地早熟禾、同德小花碱茅、垂穗披碱草、同德无芒披碱草、同德老芒麦、麦宾草和同德短芒披碱草等^[16]。

2.2 划破草皮

天然草地经过多年的演替和人类活动的影响,土壤与根系形成坚实的草皮,致使土壤通透性降

低,引起草地土壤呼吸的改变,从而使草产量降低^[17]。划破草皮是草地改良的有效措施之一,是在最小限度破坏天然植被的条件下,利用机械划破手段对草皮絮结层进行划缝处理^[18],以达到改善土壤通透性、间接提高土壤养分的目的^[19]。划破草皮措施对控制鼠害及草原植被恢复均有明显效果,且划破草皮补播与自然封育对退化草地的修复效果优于人工种草^[20]。

2.3 无纺布覆盖

无纺布是近年广泛使用的草坪建植及作物育苗的覆盖材料,能保持土壤水分墒情,减小土壤温湿度波动,为种子萌发提供所需的水热条件。同时无纺布还易降解,覆盖后对草地扰动少,有较好的应用前景。无纺布覆盖能显著提升植被地上生物量、盖度、物种分盖度、含水量以及碳、氮积累,且对缓坡地植被地上生物量、物种分盖度和及土壤水分的促进幅度更大,认为无纺布覆盖适宜于水热条件相对较差的缓坡退化草地治理^[21]。不同无纺布对各种牧草的生长发育及品质有不同影响,白色厚羊毛纤维无纺布能显著提高除垂穗披碱草外的牧草的植株高度和地上生物量,且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显著提高了中华羊茅的粗蛋白含量;白色薄羊毛纤维无纺布显著提高了冷地早熟禾的地上生物量和垂穗披碱草的粗脂肪含量^[22]。

2.4 围栏封育

围栏封育是一种有效的退化草地修复措施,围栏封育可以快速恢复植被,提高植被盖度、增加物种丰富度,显著提升退化草地生产力。封育能增加群落盖度,随着封育年限的增加群落盖度先增加后降低,而封育措施对群落密度没有显著性影响。封育显著增加了植被地上生物量、地下生物量以及禾草生物量。封育措施可以提升植物多样性,随着封育年限的增加,多样性指数和丰富度指数呈现先增加后降低的变化趋势^[23]。围封后群落中优良牧草优势地位显著提高,毒害草优势地位下降。草地地上生物量、密度、盖度、物种多样性和均匀度显著增加,生态优势度显著下降^[24]。长期围封还可改善土壤状况,提高土壤肥

力水平,使土壤容重和pH降低,土壤含水量、有机质、速效氮、全氮、全磷及磷酸酶活性、蔗糖酶活性提高^[25]。

2.5 施肥

多数陆地生态系统的生产力都受到氮的限制,退化草地由于过度放牧或刈割将大量的氮带出系统,导致氮的限制作用进一步加剧,在退化草地上施用氮肥,可以缓解氮限制作用,加速退化草地的恢复^[26]。长期氮、磷添加可增加植物群落的地上生物量,但以植物多样性丧失以及群落组成、结构发生改变为代价;植物群落生物量稳定性未发生显著的改变,但由于物种多样性的丧失在长期养分添加的后期较为明显,植物群落生物量的稳定性依然存在降低的风险。施用无机肥可增加牧草的地上生物量,提高人工草地生产力,施用无机肥和生物菌肥都可提高微生物的生物量。

2.6 政策影响

为了保护草原生态环境,促进牧区经济发展和草地可持续利用,我国出台了一系列草原生态奖补政策,这些政策对于草地保护和利用有深远的影响。马海丽等^[27]对青海西藏牧区多个县域的植被指数数据进行量化分析,探寻草原生态保护补助奖励政策对青藏高原草地植被状况的影响效果。结果表明草原生态补奖政策对草地植被的影响呈现明显的空间异质性,对草地状况好的县的影响大于草地状况差的县,对青海省的影响大于西藏自治区,对牧区县的影响大于半牧区县。草原生态补奖政策对草地保护是有效的,但其有效性也会因其他社会经济和气候因素的影响而降低或中和。

3 小结与展望

青藏高原在国家生态安全、食物安全和弘扬中华草原生态文明中具有突出的战略地位。气候变化和人类活动等诸多因素威胁着脆弱的高寒生态系统的可持续发展,气温升高引起的区域的暖干化是导致高寒草地生态系统退化格局形成的主要原因,过度放牧和人类不合理的开发是导致长江黄河源区高寒草地退化加剧的

重要因素。

近年来对退化草地的性状特征研究主要集中在草地土壤理化性质、土壤微生物及植物群落的变化,三者之间的相互的作用也引起了很多学者的关注。退化草地生物量与土壤性质之间相互作用、相互影响,在中度退化阶段改变植物群落组成和土壤性质,减少土壤养分流失,提高植物群落结构稳定性以及增加植物群落多样性,将有利于退化高寒草甸的恢复。高寒草地退化过程中,植物、土壤和土壤微生物之间相互作用,相互影响,草地退化直接影响了地表植物的分布,随之对土壤特性和土壤微生物造成影响,反之土壤微生物的改变又引起了土壤特性的改变,进而影响草地植被特征变化^[28]。这些研究使人们对青藏高原高寒草甸的退化有了更深刻的认识,未来有必要对这些相互作用的机理进行深入探究,为退化草地的修复提供坚实的理论基础。

气候变化是引起青藏高原高寒草甸退化的首要因素,而人类的干预对退化草地修复有积极意义^[29],补播、划破草皮、围封、施肥等都是被实践证明的行之有效的修复方法。这些方法有不同的适应性和局限性,未来的研究和实践应综合或组合使用这些方法,以提升其适应性和修复效果。

此外,有关草原草场的部分政策法规实施后的效果尚不能令人满意。有学者认为草场承包到户制度从生态、生产、生活等方面将整体性的草原牧场和集体性的部落组织切割为碎片,使得畜牧生产的时空组织机制难以与自然生态周期相契合,破坏了游牧生活“夏游冬驻”的时空交错节奏与草地生态恢复和牲畜生长繁育的自然循环周期之间的和谐同步,从而诱发并加剧草场退化的风险与草地沙化灾害^[30]。因此,对草原生态保护相关政策的实施后效果进行科学评价,对于后续政策的制定和完善都有积极意义。

参考文献:

- [1] LIN L, LI Y K, XU X L, et al. Predicting parameters of degradation succession processes of Tibetan Kobresia

- grasslands[J]. *Solid Earth*, 2015, 6(4): 1237-1246.
- [2] 邢学刚, 颜长珍, 逯军峰, 等. 青海高寒草甸退化演替中的植被指数[J]. *中国沙漠*, 2021, 41(3): 203-213.
- [3] 赵慧霞, 吴绍洪, 姜鲁光. 生态阈值研究进展[J]. *生态学报*, 2007, 27(1): 338-345.
- [4] PAN, W J, SONG, et al. Impact of grassland degradation on soil phytolith carbon sequestration in Inner Mongolian steppe of China[J]. *GEODERMA*, 2017, 308: 86-92.
- [5] 秦海蓉, 陈长成, 胡月明, 等. 青海省高寒草地土壤侵蚀强度及其空间分布特点[J]. *草地学报*, 2021, 29(Z1): 104-112.
- [6] 王小燕, 姚宝辉, 张彩军, 等. 甘南“黑土滩”型退化草甸土壤理化特性及酶活性季节变化[J]. *草地学报*, 2021, 29(2): 220-227.
- [7] 林春英. 基于土壤碳氮的黄河源高寒沼泽湿地退化过程与机理研究[D]. 西宁: 青海大学, 2021.
- [8] 张振华, 刘振杰, 陈白洁, 等. 枯落物添加对三江源区退化高寒草甸土壤碳矿化的影响[J]. *草地学报*, 2021, 29(Z1): 156-164.
- [9] ZHANG Y, DONG S, GAO Q, et al. Soil bacterial and fungal diversity differently correlated with soil biochemistry in alpine grassland ecosystems in response to environmental changes[J]. *Sci Rep*, 2017, 7: 43077.
- [10] 王英成. 三江源区退化高寒草甸土壤微生物多样性及空间变化规律研究[D]. 西宁: 青海大学, 2021.
- [11] WEI X, SHI Y, QIN F, et al. Effects of experimental warming, precipitation increase and their interaction on AM fungal community in an alpine grassland of the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *European Journal of Soil Biology*, 2021, 102: 103272.
- [12] 王新军, 陈学平, 陈济丁, 等. 丛枝菌根真菌在青藏高原路域植被恢复中的应用[J]. *交通运输研究*, 2021, 7(2): 115-121.
- [13] 温杨雪, 赵博, 罗巧玉, 等. 青藏高原高寒草地AM真菌分布及其对近自然恢复的生态作用[J]. *菌物学报*, 2021, 40(10): 2562-2578.
- [14] 李成阳, 张文娟, 赖焱敏, 等. 黄河源区不同退化程度高寒草原群落生产力、物种多样性和土壤特性及其关系研究[J]. *生态学报*, 2021, 41(11): 4541-4551.
- [15] 田伟涛, 李超锋. 补播对退化草地植物群落特征和土壤养分影响的研究进展[J]. *草食家畜*, 2021(5): 50-54.
- [16] 谢乐乐. 三江源区“黑土山”退化草地栽培草种适应性评价[D]. 西宁: 青海大学, 2021.
- [17] 谢文栋, 旦久罗布, 何世丞, 等. 藏北高寒草地植被退化及其治理对策研究[J]. *中国畜禽种业*, 2019, 15(8): 9-11.
- [18] 李雪萍, 李建宏, 李敏权. 天然草地退化综合修复技术规程[J]. *甘肃农业科技*, 2020(11): 88-91.
- [19] 万秀莲, 张卫国. 划破草皮对高寒草甸植物多样性和生产力的影响[J]. *西北植物学报*, 2006, 26(2): 377-383.
- [20] 钟小山, 杨廷勇, 姚建民, 等. 不同措施对鼠害草地治理效果比较[J]. *草学*, 2020(5): 57-60.
- [21] 高志香, 梁德飞, 李宏林, 等. 无纺布对不同坡度高寒退化草甸地上植被和土壤理化特征的影响[J]. *生态科学*, 2021, 40(5): 8-15.
- [22] 陈白洁, 王丰毅, 周华坤, 等. 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[J]. *草业科学*, 2021, 38(5): 848-858.
- [23] 聂莹莹, 辛晓平, 徐丽君, 等. 封育措施对呼伦贝尔草甸草原区草地生产力的影响[J/OL]. *中国农业资源与区划*: 1-10 [2021-11-19]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20211020.1129.019.html>.
- [24] 田新春. 禁牧和休牧对草地生物多样性的影响及其推进措施[J]. *甘肃农业科技*, 2021, 52(10): 79-84.
- [25] 邓汉文. 长期围封对退化草原植被、土壤理化及土壤微生物特征的影响[D]. 烟台: 鲁东大学, 2021.
- [26] 吕亚香, 戚智彦, 刘伟, 等. 早春和夏季氮磷添加对内蒙古典型草原退化群落碳交换的影响[J]. *植物生态学报*, 2021, 45(4): 334-344.
- [27] 马海丽, 林慧龙, 熊潇雨, 等. 草原生态补奖政策对青藏高原草地植被状况的影响分析[J]. *草地学报*, 2021, 29(3): 545-554.
- [28] 李海云. 祁连山高寒草地退化过程中“植被-土壤-微生物”互作关系[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2019.
- [29] WANG Z, ZHANG Y, YANG Y, et al. Quantitative assess the driving forces on the grassland degradation in the Qinghai Tibet Plateau, in China[J]. *Ecological Informatics*, 2016, 33: 32-44.
- [30] 汤芸, 张原. 高寒湿地草原沙化灾害的自然人文肇因与应对机制——若尔盖辖曼牧民沙害防治的人类学考察[J]. *西南民族大学学报(人文社科版)*, 2015, 36(10): 7-12.