

北方风沙区放牧和封育对水土保持植被效益的影响分析

余双武^{1,2}, 郭乾坤¹, 陈雨萱², 杜鹏飞¹, 秦伟¹

(1.中国水利水电科学研究院, 北京 100048; 2.北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

摘要:为了从宏观层面科学认识北方风沙区放牧和封育对草地水土保持生态效益的影响,搜集并筛选了大量文献,从中采集相关数据,采用荟萃分析方法,研究了典型草原和荒漠草原放牧强度、放牧年限和封育年限对植被地上生物量和植被盖度的影响。结果表明:(1)无论是荒漠草原还是典型草原,随着放牧强度增加,植被相对地上生物量和植被盖度均明显下降;(2)放牧年限对植被地上生物量的影响极显著,长期的放牧会使草原植被地上生物量显著降低;(3)随着封育年限的增加,荒漠草原与典型草原的植被地上生物量和植被盖度都明显增加。综上,放牧和封育都是影响北方风沙区植被生态效益的重要因素,应重点关注其对植被水土保持效益的影响,以实现对该区域的水土保持生态效益进行综合分析,为该区做好水土保持工作提供技术支撑。

关键词:北方风沙区;封育;放牧;地上生物量;植被盖度

中图分类号:S157.1; S812

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)04-0047-07

Analysis on Effect of Grazing and Fencing on Efficiency of Soil and Water Conservation of Vegetation in Northern Sandy Region

YU Shuangwu^{1,2}, Guo Qiankun¹, CHEN Yuxuan², DU Pengfei¹, QIN Wei¹

(1.China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China;
2.School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to systematically understand the ecological effects, especially effect of grazing and fencing on soil and water conservation of vegetation in grassland in the northern sandy region, a large number of literature was collected and screened to explore the effects of grazing intensity, grazing period and fencing period on above-ground biomass and vegetation coverage in typical steppe and desert steppe by using meta-analysis. The results indicated that: (1) in both desert steppe and typical steppe, the relative aboveground biomass and relative vegetation coverage decreased substantially with the increase of grazing intensity; (2) the negative effect of grazing period on the relative aboveground biomass was very significant; (3) in both desert steppe and typical steppe, the aboveground biomass and vegetation coverage increased greatly as the fencing period increased. To sum up, grazing and fencing are important factors affecting the ecological benefits of vegetation in the northern sandstorm area. In addition, more attention should be paid to the effects of grazing and fencing on the ecological benefits of soil and water conservation, so as to comprehensively analyze the ecological benefits of soil and water conservation and provide technical support for soil and water conservation in this region.

Keywords: northern sandy region; fencing; grazing; aboveground biomass; vegetation coverage

我国是世界上水土流失最为严重的国家之一,水土流失造成土地退化、环境恶化,引发一系列环境灾害问题^[1]。据 2019 年中国水土保持公报,全国共有水土流失面积 271.08 万 km²,其中水力侵蚀面积 113.47 万 km²,风力侵蚀面积 157.61 万 km²。为切

实减少水土流失危害,我国根据不同区域水土流失的特点,针对性地采取了相关水土保持措施,并取得了较好的成果。如黄土高原地区水土流失呈现出沟道和陡坡耕地侵蚀较为严重的特点,因此实践中多采用退耕还林还草、淤地坝和梯田等针对性措施,并取得

收稿日期:2021-05-07

修回日期:2021-06-15

资助项目:国家重点研发计划“接坝区坡地风水复合侵蚀控制技术研究”(2016YFC0500802)

第一作者:余双武(1993—),男,浙江衢州人,在读硕士,研究方向为水土保持。E-mail:838742890@qq.com

通信作者:郭乾坤(1987—),男,河南商丘人,高级工程师,博士,主要从事水土保持研究工作。E-mail:guoqiankun@iwhr.com

了良好的水土保持效益^[2-3];东北黑土区水土流失以长缓坡耕地侵蚀为主,因此主要采取起垄耕作、地埂植物带等措施,有效地控制了水土流失^[4-5];其他水力侵蚀区的水土保持措施也均基于当地水土流失特点,并取得了较好的成果^[6-7]。

与上述水力侵蚀区相比,北方风沙区自然环境更为恶劣,水土流失形式复杂多样,水力侵蚀与风力侵蚀并存^[8],自然本底生态环境较为脆弱。加之放牧、农耕、城乡建设、矿业开发等人为社会经济活动,使得北方风沙区的水土流失更为严重。因此,明晰北方风沙区水土流失特点,并据此采取针对性的水土保持措施,对指导北方风沙区水土保持实践工作具有重要意义。

北方风沙区草地分布广泛,面积较大,草地是畜牧区发展的基础,在维持当地生态平衡中扮演着极为重要的角色,畜牧业是草地主要的土地扰动形式,过度放牧会降低植被覆盖度,同时也使土壤表层的机械结构遭到破坏,从而引发水土流失问题。相应地,封育和轮牧也成为北方风沙区草地水土保持工作的主要生态措施。因此,明晰不同放牧强度和放牧年限对草地退化的影响,探索不同封育方式的水土保持生态效益,对于采取合理的草地保护措施,指导北方风沙区的水土保持工作,具有十分重要的意义。然而,目前有关放牧和封育对草地生态影响的研究很少,且这些有限的研究中,也存在着研究区域分散、研究对象不尽一致等问题。如在研究区域上,吕朋等^[9]的研究区为科尔沁沙地沙质草地,而刘娜等^[10]的研究区为内蒙古荒漠草原,丛日慧等^[11]的研究区为内蒙古锡林郭勒的典型草原;研究对象上,张晓娜等^[12]为草地土壤,而宋晓辉等^[13]为草原植被;此外还存在研究指标不尽一致^[14-16]的问题,最终导致研究结果可比性差^[10,17-19]。综上可知,基于目前已有研究,尚无法从整体层面掌握放牧和封育对北方风沙区水土保持植被效益的影响。

基于上述问题,本研究选择草地这一北方风沙区最重要的植被类型作为研究对象,在搜集大量文献的基础上,采用荟萃分析的方法对放牧和封育对水土保持植被效益的影响进行分析和总结,以期对北方风沙区草地保护和水土流失治理提供科学支撑,更好地指导北方风沙区水土保持实践工作。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

北方风沙区位于我国西、北部,包括大兴安岭以西、阴山—祁连山—阿尔金山—昆仑山以北的广大地区,地理坐标为 34.33°—49.18°N,73.50°—119.98°E,

总面积约 239 万 km²,涉及新疆、甘肃、内蒙古和河北 4 省(自治区)共 145 个县(市、区、旗),地处我国二级地形阶梯,大部分地区属于干旱气候区,大风及沙尘暴频发,降雨以暴雨为主,土壤较为贫瘠,土质疏松,易发生土壤侵蚀现象^[8,20]。北方风沙区土地面积约 239 万 km²^[8],其中其他土地利用 127.75 万 km²,占全区总面积的 53.41%,草地面积 91.52 万 km²,占全区总面积的 38.25%。可见,北方风沙区人为扰动的土地利用类型主要为草地。

北方风沙区草地主要包括荒漠草原和典型草原两类,其中荒漠草原指温性强旱生丛生禾草和小半灌木为主的草地,主要分布在乌兰察布及以西地区等温带干旱气候区,受水分条件限制,草种的丰富程度、高度、盖度和生产力一般较低;典型草原是指温性旱生多年生丛生禾草为主的草地,主要集中在锡林浩特及以东地区,牧草种类较为丰富,草层组成均匀,是我国北方草原畜牧业生产基地的主体。两种草原类型面积相当,在空间分布、自然特征和利用方式上均有较明显的差别,因而本文将分别对典型草原和荒漠草原进行分析讨论。

1.2 研究方法

1.2.1 文献的检索与筛选 本研究以中国知网为主要文献数据库,以“放牧”“封育”“草原”“放牧强度”和“放牧率”等作为关键词检索已公开发表的论文、著作和报告等相关文献。检索完成后,对得到的文献根据以下条件进行再次筛选:(1) 试验区位于北方风沙区范围内;(2) 放牧相关试验必须设有试验组和禁牧对照组,各试验组须有采用的放牧强度;(3) 封育试验有明确封育年限;(4) 文献中的数据至少包含生物量、盖度、植株高度、密度、多样性指数等植被相关指标之一。最终获得已发表论文 51 篇^[9-19,21-60],其中有 43 篇文献包含植被地上生物量数据,33 篇包含植被盖度,34 篇包含植被高度,20 篇包含密度,30 篇包含多样性指数,包含枯落物量、群落重要值、群落均匀度和生态优势度的论文数量分别为 13 篇、5 篇、6 篇和 4 篇,说明地上生物量、植被盖度、植被高度等指标相关研究较为丰富。

本研究最终选用的文献共 38 篇,这些文献的研究区分布见图 1。所有样本中,绝大多数在北方风沙区内部,少数几个位于北方风沙区周边的呼伦贝尔地区和科尔沁地区,自然条件与北方风沙区相似,可一并纳入分析。

1.2.2 数据的采集 从已筛选的论文中采集生物量、植被盖度、高度、密度和多样性指数等植被指标数据以及放牧强度、放牧年限和封育年限等试验设计相关数据。

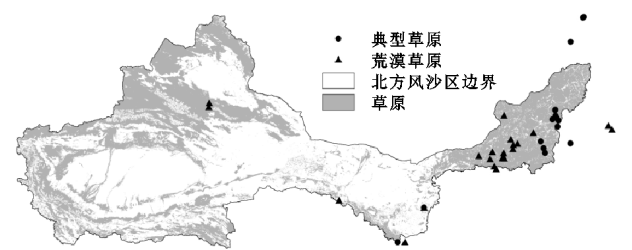


图 1 研究区样本分布

根据采集得到的样本数量及各指标的代表性,最终选择植被地上生物量和植被盖度作为本次研究的指标,用以体现放牧和封育对草地植被指标的影响。考虑到不同文献对植被地上生物量的描述不尽一致,本研究将样地内的所有植株地上部分的总干重作为植被地上生物量的表征指标,单位为 g/m^2 。部分文献中植被地上生物量数据为鲜重,应根据牧草干鲜比系数进行鲜重和干重的换算。本研究在综合考虑已

表 1 放牧强度等级划分标准

草原类型	放牧强度等级	文献中放牧强度范围/ (羊单位 $\cdot\text{hm}^{-2}$)	本研究制定的分级标准/ (羊单位 $\cdot\text{hm}^{-2}$)	制定依据
典型草原	轻牧	0.75~2.25	<2.5	所有文献中,没有放牧强度在 2.25~2.71 与 3.75~4 的试验,因此将 <2.5 的划为轻牧, ≥ 4 的划为重牧
	中牧	2.71~3.75	2.5~4	
	重牧	4~14.55	≥ 4	
荒漠草原	轻牧	0.375~0.58	<0.6	文献中有 80%以上的轻牧试验分布范围在 0.4~0.6,只有一个试验将 0.4 划为中牧,因此将 0.6 以下划为轻牧;所有中牧试验中,有 65%以上放牧强度在 0.8~1,而重牧只有 23%,因此将 0.6~1 划为中牧
	中牧	0.4~0.94	0.6~1	
	重牧	0.8~2.73	≥ 1	

1.2.4 数据的整理与分析 考虑到北方风沙区面积广阔,上述文献中的研究区地理位置往往相距较远,气候、水分、土壤等存在明显差异,这就导致不同文献间生物量、植被盖度等数据绝对值的可比性较差。因此,需对地上生物量和植被盖度数据进行标准化处理,标准化处理方法参见下列公式:

$$R = \frac{T}{B}$$

式中: T 为某放牧强度下实际观测的植被盖度(%)或生物量(g/m^2); B 为该试验禁牧对照组实际观测的植被盖度(%)或生物量(g/m^2); R 为该放牧强度下的植被相对盖度或相对生物量。

为分析放牧强度对典型草原和荒漠草原植被效益的影响,将采集的放牧试验中相对生物量数据按放牧强度大小排列,以放牧强度为横轴,做出散点图,进行 Pearson 相关性分析,检验其显著性水平,做回归分析,探究放牧强度与植被相对生物量的关系;由于植被相对盖度数据相对较少,因此根据制定的放牧强度等级划分标准(表 1),分别计算典型草原和荒漠草原轻、中和重 3 级放牧强度下平均相对盖度,作柱状图,进行 Spearman 相关性分析并检验其显著性水平,分析放牧强度对植被盖度的影响。

有文献的研究成果后,参考来强等^[61]提出的不同草地类型牧草的干鲜比系数,选择 0.477 作为植被地上生物量鲜重和干重的折算系数,并以此为基础计算植被地上生物量。

1.2.3 放牧强度的划分 由于自然禀赋的差异,典型草原和荒漠草原不同放牧强度的区分不尽一致,即使在同一类型区,不同文献对放牧强度的划分也有所不同。为便于在宏观尺度上统一对比,本研究综合考虑已有文献的放牧强度等级划分标准,分别制定了荒漠草原和典型草原的放牧强度等级划分标准(表 1),放牧强度数据单位统一采用“羊单位/ hm^2 ”。由于北方风沙区放牧牲畜主要为牛和羊,对于本研究中涉及畜种为牛的数篇文章,根据我国农业部颁布的《NY/T635—2015 天然草地合理载畜量的计算》标准,应进行标准家畜单位折算系数的换算,折算系数按 1 牛=6 羊单位。

为分析放牧年限对典型草原和荒漠草原植被效益的影响,对不同放牧强度下放牧年限与植被相对生物量进行 Pearson 相关性分析并检验其显著性水平;同时,由于植被相对盖度数据较少,本研究未开展放牧年限对植被相对盖度影响的研究。

为分析封育措施对植被效益的影响,分别对封育试验中得到的植被地上生物量和植被盖度与封育年限进行 Pearson 相关性分析,检验其显著性水平,并做回归分析,以研究封育年限对植被地上生物量和植被盖度的影响。

2 结果与分析

2.1 放牧强度对植被的影响

对荒漠草原而言,相对生物量随放牧强度的增加而显著减少(图 2)。由图 2 可以看出,随着放牧强度的增加,植被地上相对生物量呈现十分明显的下降,当放牧强度为重度时(大于 1 羊单位/ hm^2),相对生物量已低于 0.4,当放牧强度达到 3.49 羊单位/ hm^2 时,植被地上生物量将接近 0;由图 3 可以看出,荒漠草原植被相对盖度在轻牧和中牧时处于较高水平,相对盖度值分别为 0.82,0.80,而在重牧条件下则显著降低为 0.49,这说明轻度与中度放牧对荒漠草原植被

盖度的影响较小,而重度放牧会对植被造成相当严重的破坏。此外,相关性检验结果显示,荒漠草原放牧强度对相对生物量的影响极显著($p<0.01$)。以上结果共同说明了放牧强度是影响荒漠草原植被效益的重要因素,在荒漠草原进行放牧时应格外注意放牧强度的控制。

与荒漠草原相似,随着放牧强度的增加,典型草原相对生物量也呈下降的趋势,但是下降趋势较荒漠草原更为缓和(图 2);另外,典型草原植被相对盖度也是在轻牧时最高,重牧时最低(图 3)。与荒漠草原不同的是,典型草原相对盖度一直处于较高水平,轻牧时高达 0.95,在中牧时明显下降,为 0.83,重牧时下降至 0.8 左右。这说明轻度放牧对典型草原植被盖度的影响较小,中度以上的放牧会导致植被盖度有较为明显的下降,但植被覆盖整体仍维持在较好水平。相关性检验结果显示,放牧强度对典型草原相对生物量的影响不显著($p>0.05$)。整体而言,放牧强度对典型草原植被效益的影响较小。典型草原水热条件较好,适宜植物生长,植被盖度、生物量初始水平和生产力水平较高,出现上述结果可能是因为目前收集的文献中试验的放牧强度绝大多数处于典型草原生产力可承受范围之内。由此可见,与典型草原相比,荒漠草原植被效益受放牧强度的影响更为明显。

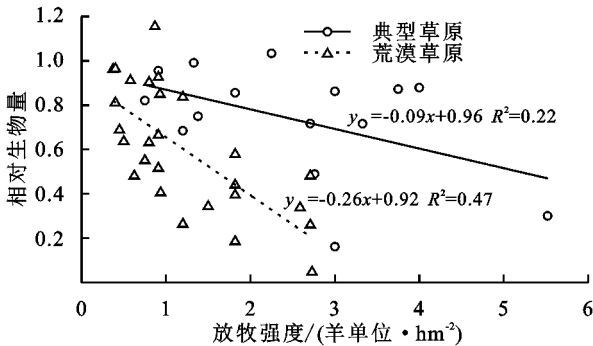


图 2 放牧强度与生物量的关系

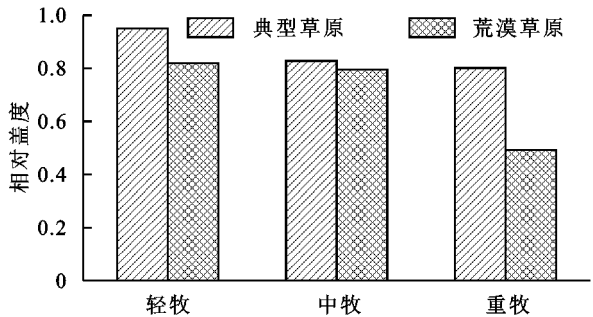


图 3 不同放牧强度下的植被相对盖度

2.2 放牧年限与植被生物量变化的关系

随着放牧年限的增加,荒漠草原和典型草原的相对生物量均呈现出显著下降的趋势(图 4)。根据图 4

趋势线推算,保持现有放牧强度不变,典型草原和荒漠草原分别在放牧 18 a 和 22 a 后,植被地上生物量将接近 0;此外,相关性检验结果表明,放牧年限对典型草原和荒漠草原的相对生物量影响均极显著($p<0.01$),这说明放牧年限是影响典型草原和荒漠草原植被效益的重要因子,长期放牧会对草原植被造成显著破坏,这也反映出了划区轮牧等措施的重要性。

从不同放牧强度上看,轻牧条件下,荒漠草原和典型草原相对地上生物量随放牧年限的增加有所减小,但变化相对较小;中牧和重牧条件下,荒漠草原和典型草原相对地上生物量随放牧年限的增加则呈现出较为明显的下降,其中重牧的变化更为明显,这也说明,中牧和重牧是造成植被地上生物量下降的主要原因。

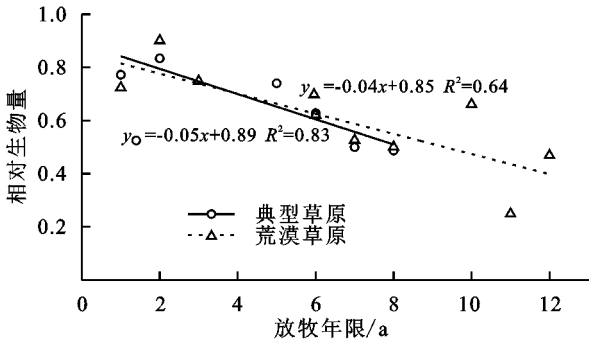


图 4 平均放牧强度水平下放牧年限与生物量的关系

2.3 封育对植被的影响

无论是典型草原还是荒漠草原,随着封育年限的增加,植被地上生物量和植被盖度均呈现出明显的上升趋势(图 5—6);相关性分析结果表明,封育年限对荒漠草原与典型草原植被地上生物量的影响不显著($p>0.05$),但是对植被盖度影响显著($p<0.05$)。由此可见,封育年限是影响草原植被效益的一个重要因素,封育措施对草原植被的恢复有着积极作用。

由图 5—6 还可看出,典型草原植被地上生物量和植被盖度的增加趋势较荒漠草原更缓和,这可能是由于典型草原的植被地上生物量和植被盖度初始水平较荒漠草原更高,随着封育年限的增加,典型草原地上生物量和植被盖度更早接近饱和状态。虽然荒漠草原地上生物量与植被盖度增加趋势都更显著,但是其整体水平更低,并且在长期封育之后仍然低于典型草原,这可能是受到了荒漠草原更不利于植被生长的气候条件的限制,更为干旱的水分条件,导致了荒漠草原相对较低的植被盖度与生产力水平。

3 讨论

天然草地植被的生长主要受气候条件、土壤性状

等环境因子的限制,但是环境因子对同一块草地而言是相对恒定的,所以,放牧活动和封育措施是影响草原植被特征的重要因素,已有大量研究结果证实了这一点^[62-65]。放牧和封育对草原植被的影响首先表现在地上生物量和植被盖度上,地上生物量和植被盖度都是反映草原水土保持植被效益的重要指标。关于放牧和封育对地上生物量与植被盖度的影响,目前已有的一些研究认为,随着放牧强度的增加植被地上生物量和植被盖度均会减少,放牧年限与地上生物量呈极显著负相关;封育措施下,随着时间的推移,植被地上生物量与植被盖度均显著增长^[18,24,48,50]。这些研究对于认识北方风沙区放牧和封育对植被效益的影响是十分重要的,但这些研究相对较为分散,研究区尺度相对较小,无法得到北方风沙区统一性、普遍性的规律。本研究针对北方风沙区这一较大的区域,基于大量文献,对放牧强度、放牧年限和封育年限对草地地上生物量与植被盖度的影响进行了荟萃分析,得到了相对宏观尺度上的一般性结论,较好地反映了北方风沙区放牧与封育对草原水土保持植被效益的影响。

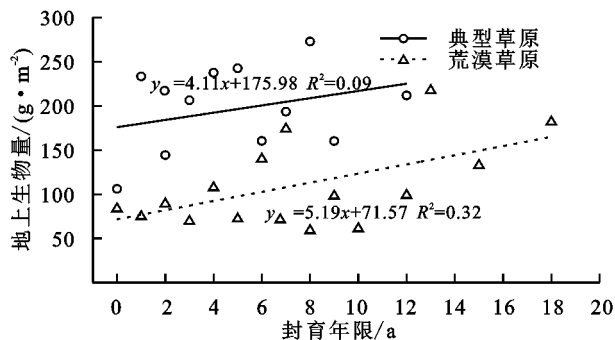


图5 封育年限与植被地上生物量的关系

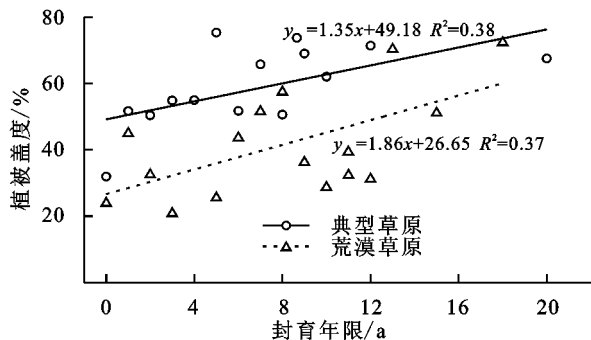


图6 封育年限与植被盖度的关系

除了植被地上生物量和植被盖度,一些学者还通过许多其他指标反映了放牧与封育对草原植被的影响。例如,刘振国等^[39]以植物密度、种群密度和植物群落多样性为指标,研究了不同放牧强度对植被的影响;黄琛等^[48]研究了放牧强度与植物群落高度的关系,以反映放牧对植被效益的影响;吕朋等^[9]则把凋落物量和地下生物量作为研究指标;左万庆等^[25]的

研究指标还包括物种生态优势度、群落均匀度和物种丰富度。本研究在数据采集阶段也对上述指标进行过采集,但由于满足要求的已发表文献较少,因此无法完成综合分析,最终仅选择了地上生物量与植被盖度作为植被效益表征指标;放牧与封育除了会对草原植被产生影响,还会改变土壤养分、水分含量和土壤理化性质等,因此研究不同放牧强度和封育措施对草地土壤性质的影响也是十分重要的,但目前有关北方风沙区放牧与封育土壤效益的研究十分缺乏,成果也少见报道^[21,31-32,36]。因此,目前尚不能对放牧和封育对植被和土壤的影响进行全面的分析,后续应针对性地开展相关研究,以进一步增加对相关科学问题的理解,并得到一般性的结论。

本研究认为,随着封育年限的增加,地上生物量和植被盖度均呈现明显的增加趋势,这与多数学者的研究结论是一致的。然而,杨合龙等^[28]的研究认为草原植被地上生物量与植被盖度随封育年限的变化呈先降低后升高再降低的趋势,两项指标均在6a时达到最大值,单贵莲等^[26]也持类似观点,这可能是因为封育一段时间后草原地上生物量达到饱和状态,优良草种强势的群落竞争能力显现,使得其他草种出现消退现象,从而导致地上生物量出现降低的趋势;而左万庆等^[25]的研究则认为植被地上生物量随封育时间的变化不断降低,只在个别年份有略微升高的趋势,这可能是因为封育措施增加了地表枯落物,降低了植物对光和空间资源的利用,抑制了植物的再生和幼苗的形成^[29],从而导致了植被地上生物量减少。这些研究与本文基于大量文献分析的结果有一定的差异之处,这可能与本研究中大部分站点的封育年限普遍较低有关。因此,后续应继续加强封育年限与植被地上生物量和植被盖度相关关系试验研究,以期得到更具公认力的研究成果。

综合来看,放牧和封育对北方风沙区植被效益,乃至水土保持效益影响的研究在深度和广度都仍有较大的空间,后续仍需加强相关试验研究,以期进一步增加对相关科学问题的理解,并在此基础上实现对该区域的水土保持生态效益进行综合分析。

4 结论

(1) 随着放牧强度的增加,荒漠草原和典型草原的相对地上生物量和植被盖度均呈现明显的下降;典型草原地上生物量随放牧强度增加而下降的趋势较荒漠草原更缓和;荒漠草原植被相对盖度在轻牧和中

牧条件下处于较高水平,在重牧条件下会显著降低,而典型草原植被相对盖度一直处于较高水平。

(2) 无论是荒漠草原还是典型草原,放牧年限均能显著影响植被地上生物量,随着放牧年限的增加,荒漠草原和典型草原相对地上生物量均呈下降趋势,这种趋势在轻牧条件下最缓和,在中牧条件下较明显,在重牧条件下最明显。

(3) 随着封育年限的增加,荒漠草原与典型草原的植被地上生物量和植被盖度都明显增加,荒漠草原地上生物量和植被盖度的这种增加趋势较典型草原更明显。

参考文献:

- [1] 孙习稳,李晓妹.水土流失是我国最严重的公害[J].国土与自然资源研究,2002(4):36-38.
- [2] 邓景成,高鹏,穆兴民,等.黄土高原退耕还林工程对生态环境的影响及对策建议[J].水土保持研究,2017,24(5):63-68.
- [3] 王瑞.杭锦旗乌点补拉小流域坝系工程效益分析[J].山东工业技术,2017(16):103.
- [4] 许晓鸿,隋媛媛,张瑜,等.黑土区不同耕作措施的水土保持效益[J].中国水土保持科学,2013,11(3):12-16.
- [5] 陈雪,蔡强国,王学强.典型黑土区坡耕地水土保持措施适宜性分析[J].中国水土保持科学,2008,6(5):44-49.
- [6] 莫明浩,方少文,杨洁,等.红壤小流域水土治理模式及其环境效益分析[J].江苏农业科学,2017,45(7):284-286.
- [7] 魏飒,郭永晨,侯克.北方土石山区坡改梯工程建设技术标准与示范[J].中国水土保持,2015(4):28-30.
- [8] 王白春,许林军,朱莉莉,等.北方风沙区水土保持三级区划分成果浅析[J].中国水土保持,2015(12):28-31.
- [9] 吕朋,左小安,张婧,等.放牧强度对科尔沁沙地沙质草地植被的影响[J].中国沙漠,2016,36(1):34-39.
- [10] 刘娜,白可喻,杨云卉,等.放牧对内蒙古荒漠草原草地植被及土壤养分的影响[J].草业科学,2018,35(6):1323-1331.
- [11] 丛日慧,刘思齐,朱羚,等.短期放牧下典型草原草畜生产和转化效率研究[J].中国草地学报,2017,39(6):47-53.
- [12] 张晓娜,蒙仲举,杨振奇.不同封育措施下希拉穆仁荒漠草原土壤质量评价[J].土壤通报,2018,49(4):788-793.
- [13] 宋晓辉,王悦骅,王占文,等.不同放牧强度对短花针茅荒漠草原地上生物量和枯落物量的影响[J].草原与草业,2019,31(2):52-58.
- [14] 刘佳慧,张韬.放牧扰动对锡林郭勒典型草原植被特征及土壤养分的影响[J].生态环境学报,2017,26(12):2016-2023.
- [15] 蒙旭辉,李向林,辛晓平,等.不同放牧强度下羊草草甸草原群落特征及多样性分析[J].草地学报,2009,17(2):239-244.
- [16] 周丽艳,王明玖,韩国栋.不同强度放牧对贝加尔针茅草原群落和土壤理化性质的影响[J].干旱区资源与环境,2005,19(7):182-187.
- [17] 宋洁,王凤歌,温璐,等.放牧对温带典型草原植物物种多样性及土壤养分的影响[J].草地学报,2019,27(6):1694-1701.
- [18] 刘铁军,杨劼,郭建英,等.围封对荒漠草原植物群落与土壤养分变化的影响[J].中国草地学报,2019,41(5):86-93.
- [19] 荣浩,何京丽,张欣,等.荒漠草原不同植被恢复模式地上生物量与土壤水分的关系[J].草原与草坪,2018,38(5):71-76.
- [20] 王永胜,许永利,王久生,等.北方风沙区典型区域水土保持措施布局及防治策略[J].中国水土保持,2018(5):36-41.
- [21] 孙海燕,万书波,李林,等.放牧对荒漠草原土壤养分及微生物量的影响[J].水土保持通报,2015,35(2):82-88.
- [22] 刘文学,卫智军,吕世杰,等.放牧对短花针茅荒漠草原植物多样性的影响[J].生态学报,2017,37(10):3394-3402.
- [23] 杨静,孙宗玖,巴德木其其格,等.封育对草地植被功能群多样性及土壤养分特征的影响[J].中国草地学报,2018,40(4):102-110.
- [24] 聂莹莹,王国庆,彭芳华,等.围栏封育对呼伦贝尔草甸草原群落特征的影响[J].中国草地学报,2016,38(1):87-92.
- [25] 左万庆,王玉辉,王凤玉,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.
- [26] 单贵莲,徐柱,宁发,等.围封年限对典型草原植被与土壤特征的影响[J].草业学报,2009,18(2):3-10.
- [27] 王合云.不同放牧强度对短花针茅荒漠草原植物群落及土壤的影响[D].山东泰安:山东农业大学,2016.
- [28] 杨合龙,孙宗玖,陈玉萍.封育年限对伊犁绢蒿荒漠群落特征及草场质量的影响[J].草地学报,2015,23(2):252-257.
- [29] 朱新萍,贾宏涛,蒋平安,等.长期围栏封育对中天山草地植物群落特征及多样性的影响[J].草业科学,2012,29(6):989-992.
- [30] 刘忠宽,汪诗平,陈佐忠,等.不同放牧强度草原休牧后土壤养分和植物群落变化特征[J].生态学报,2006,26(6):2048-2056.
- [31] 通乐嘎,赵斌,吴玲敏.放牧对内蒙古荒漠草原土壤理化性质和有机碳组分的影响[J].生态环境学报,2018,27(9):1602-1609.
- [32] 王合云,董智,郭建英,等.不同放牧强度对大针茅草原土壤全土及轻组碳氮储量的影响[J].水土保持学报,

- 2015,29(6):101-106.
- [33] 许宏斌.不同放牧强度对呼伦贝尔草甸草原群落特征及群落生物量分布的影响[D].呼和浩特:内蒙古大学,2018.
- [34] 乌鲁木山·布仁巴依尔.不同放牧强度对克氏针茅典型草原土壤、植被的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.
- [35] 冯秀,李元恒,李芳,等.典型草原合理放牧强度阈值研究[J].中国草地学报,2019,41(5):120-127.
- [36] 魏伯平,赵生国,焦婷.放牧对温性荒漠草原植物群落及草地土壤肥力的影响[J].草地学报,2012,20(5):855-862.
- [37] 裴世芳.放牧和围封对阿拉善荒漠草地土壤和植被的影响[D].兰州:兰州大学,2007.
- [38] 刘凤婵.内蒙古正镶白旗退化典型草原封育效应[D].山东泰安:山东农业大学,2013.
- [39] 刘振国,李镇清.退化草原冷蒿群落 13 年不同放牧强度后的植物多样性[J].生态学报,2006,26(2):475-482.
- [40] 李中林.围栏封育和刘割对坝上草原植物多样性、生态位及种间关联的影响[D].安徽芜湖:安徽师范大学,2015.
- [41] 聂莹莹.围栏封育下草甸草原植被动态研究[D].黑龙江大庆:黑龙江八一农垦大学,2017.
- [42] 傅华,陈亚明,周志宇,等.阿拉善荒漠草地恢复初期植被与土壤环境的变化[J].中国沙漠,2003,23(6):661-664.
- [43] 张晓娜.不同封育措施对希拉穆仁荒漠草原植被与土壤的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2018.
- [44] 王蕙,王辉,黄蓉,等.不同封育管理对沙质草地土壤与植被特征的影响[J].草业学报,2012,21(6):15-22.
- [45] 王梅,李新,赵燕.草原围栏效果观测试验报告[J].甘肃畜牧兽医,2018,48(3):71-72.
- [46] 姚国征,高永,杨婷婷,等.放牧对小针茅荒漠草原枯落物及植被生产力的影响[J].干旱区资源与环境,2016,30(10):93-97.
- [47] 马少薇,郭建英,李锦荣,等.放牧强度对短花针茅群落特征及冠层截留的影响[J].中国草地学报,2016,38(5):66-70.
- [48] 黄琛,张宇,赵萌莉,等.放牧强度对荒漠草原植被特征的影响[J].草业科学,2013,30(11):1814-1818.
- [49] 孙世贤,卫智军,吕世杰,等.放牧强度季节调控下荒漠草原植物群落与功能群特征[J].生态学杂志,2013,32(10):2703-2710.
- [50] 瞿王龙,裴世芳,周志刚,等.放牧与围封对阿拉善荒漠草地土壤有机碳和植被特征的影响[J].甘肃林业科技,2004,29(2):4-6.
- [51] 阿穆拉,邢旗,梁东亮,等.封育措施对荒漠草原退化植被恢复的影响[J].草原与草业,2014,26(3):28-33.
- [52] 吕朋,左小安,岳喜元,等.科尔沁沙地封育过程中植被特征的动态变化[J].生态学杂志,2018,37(10):2880-2888.
- [53] 刘振国.内蒙古退化草原对不同类型干扰的响应研究[D].北京:中国科学院研究生院,2006.
- [54] 殷桂涛,董婉珍.不同放牧强度对草地植被群落特征的影响[J].草食家畜,2016(1):45-50.
- [55] 杜宝红,高翠萍,哈达朝鲁.不同放牧强度对锡林郭勒典型草原生产力及碳储量的影响[J].水土保持研究,2018,25(1):139-146.
- [56] 王炜琛.不同放牧强度对呼伦贝尔草甸草原群落特征及水分利用效率的影响[D].呼和浩特:内蒙古大学,2018.
- [57] 王明君,韩国栋,崔国文,等.放牧强度对草甸草原生产力和多样性的影响[J].生态学杂志,2010,29(5):862-868.
- [58] 荣浩,何京丽,张欣,等.草地不同恢复时限水分动态与生产力的关系[J].江苏水利,2018(9):6-10.
- [59] 周文萍,向丹,胡亚军,等.长期围封对不同放牧强度下草地植物和 AM 真菌群落恢复的影响[J].生态学报,2013,33(11):3383-3393.
- [60] 李建伟,罗志娜,张生楹,等.围栏封育对伊犁河谷中山带退化草地改良效果研究[J].中国草食动物科学,2017,37(5):36-40.
- [61] 来强,李青丰,莫日根敖其尔,等.草地牧草含水量测定暨干鲜比估测方法研究[J].内蒙古草业,2008(3):4-7.
- [62] 李金花,李镇清,任继周.放牧对草原植物的影响[J].草业学报,2002,11(1):4-11.
- [63] 李永宏,汪诗平.放牧对草原植物的影响[J].中国草地,1999,21(3):11-19.
- [64] 刘雪明,聂学敏.围栏封育对高寒草地植被数量特征的影响[J].草业科学,2012,29(1):112-116.
- [65] 郑翠玲,曹子龙,王贤,等.围栏封育在呼伦贝尔沙化草地植被恢复中的作用[J].中国水土保持科学,2005,3(3):78-81.