

封育和放牧对典型草原地上植被的影响

何晴波, 赵凌平, 白欣, 崔伟

(河南科技大学 动物科技学院, 河南 洛阳 471003)

摘要:封育和放牧是草地生态系统重要的干扰因子。以黄土高原典型草原封育5年草地和放牧地为研究对象,采用野外调查方法,地上植被物种组成、生物量、盖度、密度、地上茎分枝数和物种多样性等,以期揭示封育和放牧干扰对地上植被的影响。结果表明:封育和放牧对地上植被群落结构有显著影响。与放牧地相比,封育措施显著增加了典型草原的地上生物量和总盖度,但显著降低了地上植被密度和地上茎分枝数。封育措施显著提高草地禾草生物量,显著降低非禾草生物量。封育措施降低了禾草和非禾草地上茎分枝数,但非禾草地上茎分枝数下降不显著。封育显著降低了地上植被的物种丰富度、Margalef指数和Shannon-Wiener多样性指数,但对Simpson指数和Pielou指数影响不显著。

关键词:封育; 放牧; 地上生物量; 物种多样性

中图分类号:S812; Q948.15⁺8

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)04-0247-05

Effects of Fencing and Grazing on Aboveground Vegetation

HE Qingbo, ZHAO Lingping, BAI Xin, CUI Wei

(School of Animal Science and Technology, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China)

Abstract: Fencing and grazing are important factors in grassland ecosystem. Based on the investigation data, the influence of fencing and grazing on species composition, biomass, cover, density, shoot numbers and species diversity of aboveground vegetation had been examined in typical steppe on the Loess Plateau. Results showed that fencing and grazing had significant influence on vegetation structure. Compared with grazing, fencing significantly increased total cover and aboveground biomass, but significantly reduced the density of vegetation and shoot numbers. Fencing significantly increased grass biomass of aboveground vegetation, but significantly decreased forb biomass of aboveground vegetation. Fencing significantly reduced grass shoot numbers, but had no significant effects on forb shoot numbers. Fencing and grazing significantly affected species richness, Margalef index and Shannon-Wiener diversity index, but had no significant effect on Simpson index and Pielou index. Compared with grazing, fencing significantly reduced the species richness, Margalef index and Shannon-Wiener diversity index of aboveground vegetation.

Keywords: fencing; grazing; aboveground biomass; species diversity

草原在发展畜牧业、保护生态环境方面具有不可替代的重要作用。草地生态系统可通过它强大的固C和N能力进而影响全球气候变化^[1]。然而由于人口和家畜数量的急剧增加,天然草地不断退化,生产能力下降,严重制约着草地畜牧业的可持续发展,从而进一步影响全球碳循环和气候变化。放牧是草地常见的干扰方式之一,也是影响草地群落的重要因素之一,对塑造草地植物群落的组成和结构有重要意义。它对于草地生态系统而言是一种高度复杂的干扰方式。它通过牲畜的采食、践踏行为和排泄的粪便直接或间接地影响草地的物质生产和能力分配,并且间接地

改变地下生物量和群落结构^[2]。在放牧地,牧草被家畜采食后,茎和叶子出现再生性补偿生长,适当放牧可刺激其快速超量生长,从而获得高额的活物质净积累率。而过度放牧则会造成牧草生产力严重下降,物种多样性降低,病虫害增加,杂草入侵,最终导致草地退化,水土流失。放牧还可以改变草地物种组成,在过度放牧条件下,对放牧敏感的植物逐渐退出草地群落,被一些对放牧不敏感的植物所取代。放牧对草地群落的影响受放牧时间、放牧次数和放牧强度的影响。

过度放牧是导致草原退化的最主要因素^[3-4],而对退化草地进行围栏封育已成为近几年全世界广泛应用

收稿日期:2016-05-24

修回日期:2016-07-06

资助项目:国家自然科学基金(31302013);河南省教育厅科学技术研究重点项目(13A2302812013);河南科技大学博士启动资助项目(09001634)

第一作者:何晴波(1991—),女,河南洛阳人,硕士研究生,主要从事草地生态研究。E-mail:18638801263@163.com

通信作者:赵凌平(1983—),女,河南漯河人,讲师,博士,主要从事草地生态研究。E-mail:zlp19830629@163.com

的草地管理措施^[5-7]。围栏封育主要是通过人为的减少牲畜对草地生态系统的影响,使生态系统在自身的弹性下得以恢复和重建^[8-11]。草地封育后,可直接减少家畜对草地植被的反复啃食和践踏,给草地得以休养生息的机会。同时,还可以减少家畜对土壤结构和土壤水分的干扰,同时可使地上枯落物和根系周转向土壤输入更多的营养^[12],从而间接影响牧草的生长发育。本研究利用云雾山国家自然保护区封育 5 a 草地和放牧地进行试验调查,分析放牧和封育对草地生物量、物种多样性和物种组成等的影响,探讨放牧和封育管理对植被的影响,具有重要的科学理论和生产实践意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区地处黄土高原云雾山国家草原自然保护区(106°21′—106°27′E,36°10′—36°17′N),属于中温带半干旱气候,具有气候干燥,雨量少而集中,蒸发量

大等特征。该区海拔 1 800~2 100 m,年平均降水量 440.5 mm,年平均蒸发量 1 330~1 640 mm,年平均气温为 5℃,≥10℃年积温 2 370~2 882℃,年日照时数为 2 500 h,年太阳总辐射量为 523.35 kJ/cm²,干燥度为 1.5~2.0,无霜期 112~140 d。地带性土壤为黄土母质上发育的淡黑垆土和黄绵土,土质疏松,抗蚀抗冲性差,地下水位深,土壤水补充能力差。主要的建群种有本氏针茅(*Stipa bungeana*)、大针茅(*Stipa grandis*),优势种为百里香(*Thymus mongolicus*)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择 在云雾山自然保护区的试验区选取封育 5 a 草地和放牧地作为试验样地。封育 5 a 草地采用安全网围栏,完全排除了家畜的采食和践踏。放牧地为自然放牧状态,排除了人为刈割,放牧强度为中度放牧(4.6 羊单位/hm²)。封育 5 a 草地和放牧地的基本情况见表 1。

表 1 样地基本情况

样地	经度 E	纬度 N	海拔/m	坡向	坡度/(°)	植被生长特征
放牧地	106°23′3.3″	36°13′10.41″	1942	NE	18.23	群落低矮,单层,杂类草出现较多,出现斑块
封育地	106°53′5.24″	36°04′4.14″	2014	NE	19.42	本氏针茅和大针茅占优势,植株高大,层次明显,枯落物多

1.2.2 地上植被调查方法 2015 年 8 月进行野外地上植被调查。在封育地和放牧地各随机选择 4 个小区,每个小区间隔至少 100 m,然后在每个小区内随机设置 5 个 50 cm×50 cm 的样方,样方间隔至少 10 m,因此每个样地共随机设置 20 个样方用于地上植被调查。在每个样方中详细记录植被总盖度、茎分枝数、种类组成、每种植物的个数,盖度和生物量。

1.2.3 数据处理 地上植被物种的重要值是相对高度、相对盖度和相对多度的平均值。采用丰富度、Margalef 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数来分析物种多样性特征。

(1) Margalef 丰富度指数(R):
$$R = \frac{(S-1)}{\ln(N)}$$

(2) Shannon-Wiener 指数(H):
$$H = -\sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)$$

(3) Simpson 多样性指数(D):
$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

(4) Pielou 均匀度指数(E):
$$E = \frac{H}{\ln(S)}$$

式中: N 为样本中所有物种的个体总数; S 为物种总数; P_i 为物种 i 的个体数占有所有物种个体总数的比例。

采用 Excel 2013 对数据进行预处理,对封育地和放牧地地上植被的密度、地上生物量、总盖度地上茎分枝数和物种多样性之间的差异,采用 t 检验进行分析,用平均值和标准误表示测定结果,以 $p<0.05$ 表示差异显著。以上所有分析均用 SPSS 16.0 统计软件进行。

2 结果与分析

2.1 封育和放牧对物种组成的影响

在封育地和放牧地共统计到 57 种植物,隶属于 18 个科,其中禾本科、菊科、蔷薇科和豆科占优势。放牧措施增加了草地的物种数,封育地有 38 种物种出现,放牧地有 44 种物种出现。物种披碱草、扁穗冰草、芡蒿、折苞风毛菊、直立点地梅、大苞点地梅、迷果芹、田葛缕子、长柱沙参、细叶沙参、猪毛菜和蓬子菜在仅在封育地出现,未出现在放牧地,而物种远志、细叶角茴香、鳞叶龙胆、达乌里秦艽、白花枝子花、大苞点地梅、黄毛棘豆、多叶棘豆、星毛委陵菜、西山委陵菜、小果黄耆、冷蒿、苦荚菜、中华苦荚菜、糙隐子草和茵陈蒿仅在放牧地出现。在封育地中,本氏针茅和大针茅有着较高的重要值,其次为扁穗冰草、披碱草和铁杆蒿。而在放牧地,本氏针茅的重要值明显下降,茅香、干生苔草、多茎委陵菜和多叶棘豆的重要值明显提高。与放牧地相比,封育地的优势种本氏针茅和大针茅虽然多度没有明显增加,但盖度却明显增加。另外,未在放牧地出现的物种披碱草和扁穗冰草,其盖度和多度在封育地明显增加。可见在不同的干扰措施下,群落物种组成发生明显变化,有着不同的优势种和伴生种(表 2)。

在草地生态系统中,群落的结构与外貌常以优势种种类组成为特征。该区草地经过长期的演替发展,最终以本氏针茅为优势种的群落成为该区的主要群

落。该群落在长期放牧利用下,形成了以大针茅、茅香、百里香、冷蒿、铁杆蒿和多茎委陵菜等物种共同为优势种的群落,结构趋于简化,层次分化不明显,多为单层。在封禁 5 a 草地中,杂类草的地位下降,本氏针茅的优势地位明显提高,形成了以本氏针茅和大针茅为优势种的群落。群落结构复杂,层次分化明显。

表 2 封育地和放牧地的植被物种组成

科	物种	重要值			盖度		多度	
		生活型	封育地	放牧地	封育地	放牧地	封育地	放牧地
禾本科	本氏针茅 <i>Stipa bungeana</i>	多年生	8. 8	2. 69	39	7	5	5
	大针茅 <i>Stipa grandis</i>	多年生	7. 19	7. 49	26	10	3	2
	赖草 <i>Leymus secalinus</i>	多年生	3. 13	1. 89	4	2	3	2
	茅香 <i>Hierochloe odorata</i>	多年生	2. 62	6. 95	3	6	5	31
	硬质早熟禾 <i>Poa sphondylodes</i>	多年生	1. 75	2. 07	3	4	1	3
	散穗早熟禾 <i>Poa subfastigiata</i>	多年生	2. 85	2. 78	8	5	3	6
	披碱草 <i>Elymus dahuricus</i>	多年生	4. 54	—	11	—	6	—
	扁穗冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	多年生	6. 27	—	15	—	11	—
	糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	多年生	—	1. 23	—	3	—	3
	猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	一年生	1. 52	2. 78	2	5	2	6
	铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	灌木	5. 57	4. 81	24	20	5	3
	茵陈蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	一年生	—	2. 38	—	5	—	7
	火绒草 <i>Leontopodium leontopodiaoides</i>	多年生	2. 04	2. 33	7	7	2	4
	翼茎凤毛菊 <i>Saussurea alata</i>	多年生	1. 99	1. 77	5	2	2	1
	阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	多年生	4. 47	3. 44	9	9	8	8
菊科	飞廉 <i>Carduus nutans</i>	多年生	1. 11	0. 95	2	1	1	1
	甘菊 <i>Chrysanthemum lavanduli folium</i>	多年生	4	2. 86	10	7	7	7
	北方还阳参 <i>Crepis crocea</i>	多年生	2. 83	1. 27	5	2	7	2
	茼蒿 <i>Artemisia giraldii</i>	多年生	1. 83	—	5	—	3	—
	折苞凤毛菊 <i>Saussurea recurvata</i>	多年生	2. 25	—	10	—	2	—
	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	多年生	—	0. 71	—	1	—	1
	中华苦蕒菜 <i>Ixeris chinensis</i>	多年生	—	1. 57	—	2	—	6
	苦蕒菜 <i>Ixeris denticulata</i>	一年生	—	0. 86	—	2	—	1
	苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	一年生	—	0. 91	—	1	—	2
	二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	多年生	2. 75	1. 31	7	2	4	3
	多茎委陵菜 <i>Potentilla multicaulis</i>	多年生	1. 83	4. 08	6	10	1	11
	委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>	多年生	—	1. 67	—	4	—	2
	伏毛山梅草 <i>Sibbaldia adpressa</i>	多年生	—	0. 95	—	1	—	1
	星毛委陵菜 <i>Potentilla acaulis</i>	多年生	—	2. 79	—	8	—	7
	西山委陵菜 <i>Potentilla sischanensis</i>	多年生	—	1	—	1	—	2
蔷薇科	青海苜蓿 <i>Medicago archiducis-nicolai</i>	多年生	1. 79	3. 05	3	8	3	8
	黄毛棘豆 <i>Oxytropis ochranthd</i>	多年生	—	1. 1	—	2	—	2
	多叶棘豆 <i>Oxytropis myriophylla</i>	多年生	—	3. 04	—	8	—	7
	小果黄耆 <i>Astragalus tataricus</i>	多年生	—	1. 96	—	2	—	6
	直立点地梅 <i>Androsace erecta</i>	一年生	1. 56	—	3	—	2	—
报春花科	西藏点地梅 <i>Androsace mariae</i>	多年生	1. 01	—	2	—	2	—
	大苞点地梅 <i>Androsace maxima</i>	一年生	—	1. 75	—	4	—	5
	百里香 <i>Thymus mongolicus</i>	灌木	2. 87	3. 16	11	13	3	4
唇形科	多毛并头黄芩 <i>Scutellaria scordi folia</i>	多年生	1. 56	0. 79	2	2	2	2
	白花枝子花 <i>Dracocephalum heterophyllum</i>	多年生	—	1. 81	—	3	—	2
	柴胡 <i>Bupleurum chinense</i>	多年生	0. 92	1. 77	2	2	1	3
伞形科	迷果芹 <i>Sphallerocarpus gracilis</i>	多年生	1. 51	—	2	—	2	—
	田葛缕子 <i>Carum buriaticum</i>	多年生	3. 11	—	6	—	3	—
堇菜科	裂叶堇菜 <i>Viola dissecta</i>	多年生	1. 39	1. 1	4	2	2	3
	紫花地丁 <i>Viola philippica</i>	多年生	0. 63	1. 06	1	2	1	3
桔梗科	长柱沙参 <i>Adenophora stenanthina</i>	多年生	1. 59	—	2	—	2	—
	细叶沙参 <i>Adenophora paniculata</i>	多年生	1. 69	—	2	—	1	—
龙胆科	达乌里秦艽 <i>Gentiana dahurica</i>	多年生	—	2. 87	—	10	—	3
	鳞叶龙胆 <i>Gentiana squarrosa</i>	一年生	—	1. 04	—	3	—	2
藜科	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	一年生	1. 31	—	1	—	1	—
百合科	野韭 <i>Allium ramosum</i>	多年生	1. 55	1. 37	1	1	1	2
茜草科	蓬子菜 <i>Galium verum</i>	多年生	2. 62	—	6	—	5	—
瑞香科	狼毒 <i>Stellera chamaejasme</i>	多年生	1. 55	1. 21	1	2	1	3
莎草科	干生苔草 <i>Carex aridula</i>	多年生	3. 2	6. 43	6	12	6	23
十字花科	虬果芥 <i>Torularia humilis</i>	多年生	0. 79	—	1	—	1	—
罂粟科	细叶茛菪茴香 <i>Hypecoum erectum</i>	一年生	—	1. 74	—	3	—	6
远志科	远志 <i>Polygala tenuifolia</i>	多年生	—	1. 23	—	2	—	3

2.2 封育和放牧对地上植被特征的影响

封育和放牧管理措施对黄土高原典型草原地上植被的密度、地上生物量、总盖度和地上茎分枝数均有显著影响($p < 0.05$)。与放牧地相比,封育5 a 草

地显著增加了典型草原的地上生物量和总盖度,增长率分别为56.8%和9.6%。但封育5 a 草地显著降低了地上植被密度和地上茎分枝数,下降率分别为35.1%,25.3%,10.5%和21.7%(图1)。

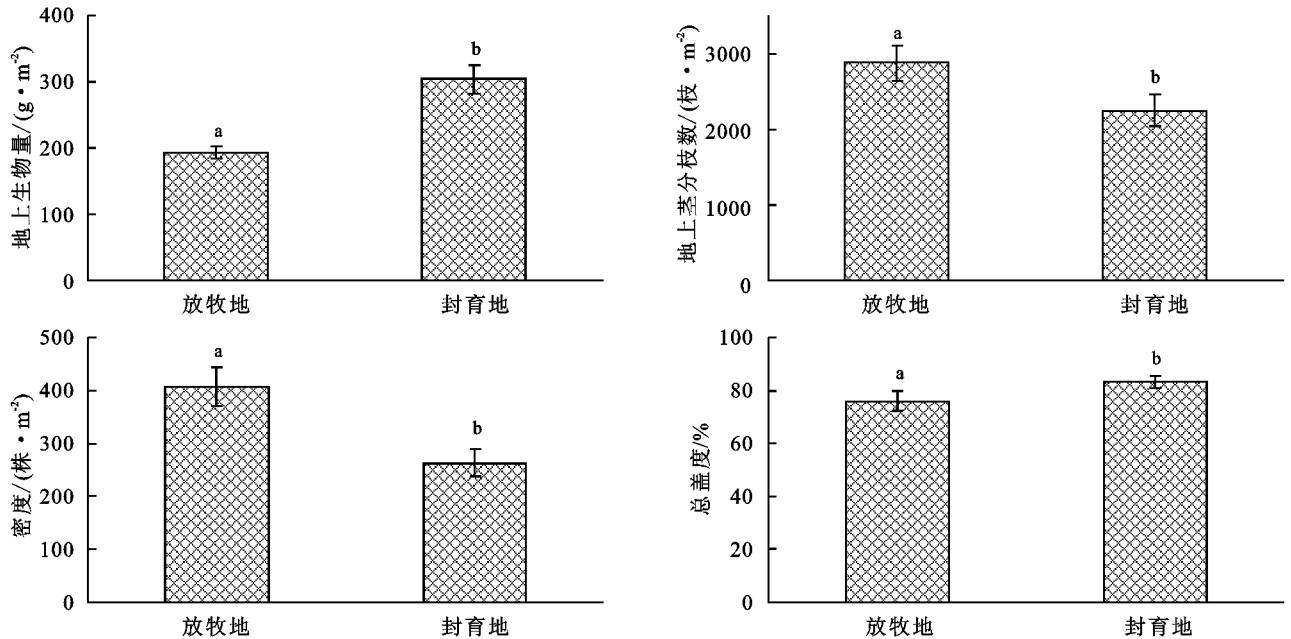


图1 封育和放牧措施下地上植被特征变化

2.3 封育和放牧对禾草和非禾草地上生物量和茎分枝数的影响

封育和放牧管理措施对禾草生物量和非禾草生物量影响显著($p < 0.05$)。与放牧相比,封育措施显著提高草地禾草生物量,显著降低非禾草生物量(图2)。

封育和放牧管理措施对禾草生物量地上茎分枝数影响显著($p < 0.05$),对非禾草地上茎分枝数影响不显著($p > 0.05$)。与放牧相比,封育措施降低禾草和非禾草地上茎分枝数,但非禾草地上茎分枝数下降不显著(图3)。

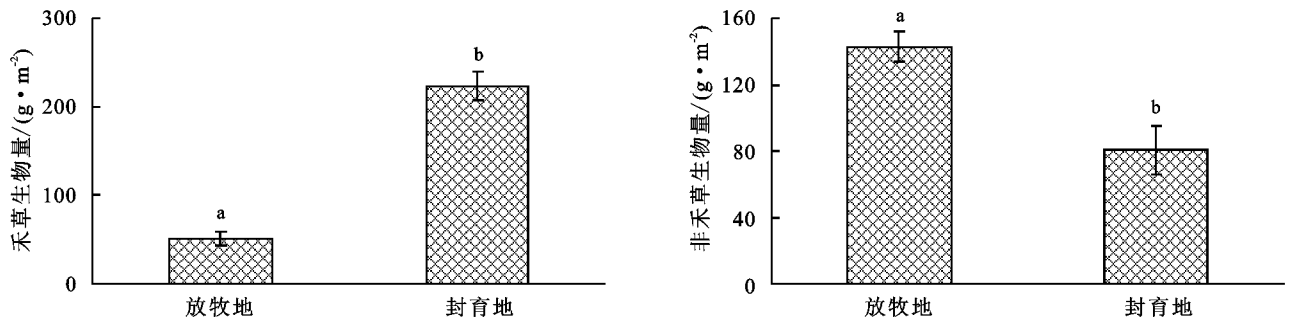


图2 封育和放牧措施下禾草和非禾草生物量的变化

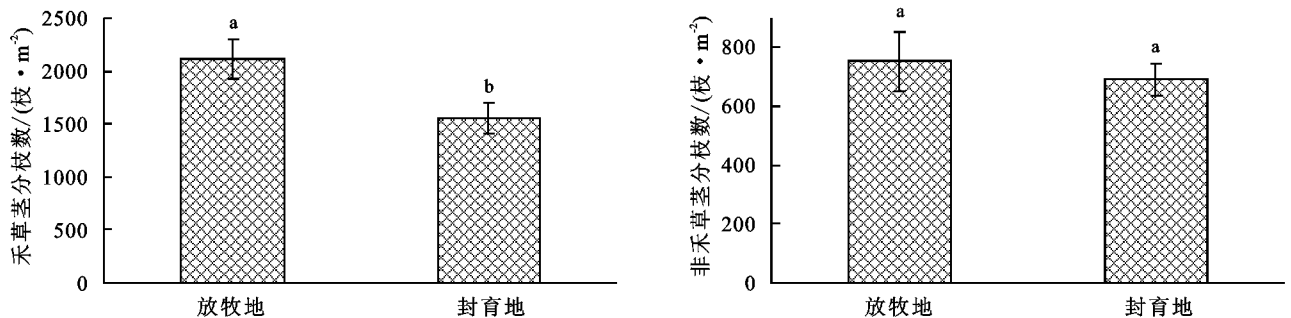


图3 封育和放牧措施下禾草和非禾草地上茎分枝数变化

2.4 封育和放牧对地上植被物种多样性的影响

封育和放牧措施显著影响物种丰富度、Margalef 丰

富度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数($p < 0.05$),而对 Simpson 指数和 Pielou 均匀性指数无显著影响($p >$

0.05)。与放牧地相比,封育显著降低了地上植被的物种丰富度、Margalef 指数和 Shannon-Wiener 多样性指数。尽管封育和放牧对 Simpson 指数和 Pielou 指数影响不显著,但二者在封育 5 a 草地均呈下降趋势(表 3)。

表 3 封育和放牧措施下物种多样性变化

样地	丰富度	Margalef index	Simpson index	Pielou index	Shannon-Wiener index
放牧地	16.6±0.9a	3.391±0.174a	0.847±0.014a	0.826±0.017a	2.285±0.064a
封育地	12.4±0.4b	2.557±0.097b	0.822±0.013a	0.817±0.064a	2.044±0.040b

3 讨论与结论

本文调查发现,该区以禾本科、菊科、蔷薇科和豆科为主,多年生草本占绝对优势。封育和放牧管理措施对草地的物种组成具有明显的影响^[13]。与放牧地相比,封育地优势种和常见种发生了明显变化,即从大针茅、茅香、干生苔草、多茎委陵菜和多叶棘豆变为本氏针茅和大针茅。优势种本氏针茅和大针茅具有较强竞争能力和繁殖能力,对其他伴生种的萌发、生长造成较大的阻碍,因此其重要值和盖度在封育地明显增加。另外,在黄土高原典型草原,一些植物仅仅出现在放牧地,说明放牧为这些植物出现的提供了机会。放牧降低了优势种的优势地位,降低了植物高度、盖度,给其他物种提供了更多的机会存活;放牧践踏所致的空白生态位增加,为土壤种子库种子萌发提供了条件;放牧时家畜粪便带来的种子,也会增加新物种。而有些物种仅仅出现在封育 5 a 草地,说明封育措施保护了这些物种在草地中出现。

比较封育地和放牧地地上植被特征的变化对研究草地生态系统的可持续发展和自我恢复机制具有重要的意义^[14]。本研究表明封育不仅没有提高植物密度和地上茎分枝数,反而显著降低了植被密度和地上茎分枝数,主要是因为草地围封后,优势种本氏针茅和大针茅植株生长高大,个体在空间上占有明显优势,与其他植物竞争激烈,严重阻碍了其他植物在空间、光照、养分等资源上的竞争,因此限制了植物密度和地上茎分枝数的增加。反而,放牧草地因为家畜的啃食和践踏消除了优势种的竞争优势,优势种植株矮小,占据空间小,种间竞争小,给予了其他植物更多资源,所以有利于植被密度和地上茎分枝数的增加。

封育措施显著提高了地上生物量和禾草生物量,而显著降低了非禾草生物量。可见在封育地,地上生物量的增加主要是由禾草生物量的显著增加引起的,即优势草本大针茅、本氏针茅和扁穗冰草生物量的显著增加。一方面是因为封禁完全排除了家畜和野生动物的采食,减少了叶片的损失,植物光合作用面积大于放牧地,使地上生物量积累较多。另一方面是封育措施提高了 C、N 等土壤有效养分,促进了牧草的

生长发育和分蘖,也使生物量增多。

本研究表明封育措施显著降低了地上植被的物种丰富度、Margalef 指数和 Shannon-Wiener 多样性指数。可见在该区,封育措施不仅没有提高地上植被的物种多样性,反而显著降低了地上植被的物种多样性。这与朱丽^[15]研究结果一致。他指出对玛曲沙质次生裸地植物群落实行围栏封育,群落的物种丰富度、均匀度和植物多样性均显著低于放牧地。目前关于封禁和放牧对草地物种多样性的影响目前任未得出同一结论。这些研究结论的不一致主要与由草地类型、封育时间长短和放牧强度等因素引起,所以研究背景的不同,封育对物种多样性的影响结果很难一致。

综上所述,封育和放牧对黄土高原典型草原地上群落结构和物种组成有明显影响。封育和放牧对地上植被的影响主要作用于优势种本氏针茅和大针茅,即影响了群落种间的竞争关系。与放牧相比,封育措施正向作用于本氏针茅和大针茅,显著增加了典型草原的地上生物量和总盖度,而降低了群落地上茎分枝数和物种多样性。

参考文献:

[1] Wright A L, Hons F M, Rouquette F M. Long-term management impacts on soil carbon and nitrogen dynamics of grazed bermudagrass pastures[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004,36(11):1809-1816.

[2] 董晓玉,傅华,李旭东,等. 放牧与围封对黄土高原典型草原植物生物量及其碳氮磷贮量的影响[J]. 草业学报, 2010,19(2):175-182.

[3] 中国科学院内蒙古宁夏自然资源综合考察队. 内蒙古植被[M]. 北京:科学出版社,1985.

[4] 中国植被编辑委员会. 中国植被[M]. 北京:科学出版社,1980.

[5] Smith R S, Shiel R S, Millward D, et al. The interactive effects of management on the productivity and plant community structure of an upland meadow: an 8-year field trial[J]. Journal of Applied Ecology, 2000,37(6): 1029-1043.

[6] Shrestha G, Stahl P D. Carbon accumulation and storage in semi-arid sagebrush steppe: Effects of long-term grazing exclusion [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2008,125(1):173-181.

(3) 由基尼系数和洛伦兹不对称系数可知:年降水量减少,年内降雨分布不均匀性逐渐增强,且降水量较小的月份所占比例较大;基尼系数与洛伦兹不对称系数的年代际变幅不大,基本趋于不变,在20世纪70年代洛伦兹不对称系数最大,为0.96接近于1。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis. Summary for policymakers[R]. New York, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [2] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptations[R]. New York, USA: Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2012.
- [3] Kosaka Y, Xie S P. Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling[J]. Nature, 2013, 501(7467): 403-407.
- [4] 段安民,肖志祥,吴国雄. 1979—2014 年全球变暖背景下青藏高原气候变化特征[J]. 气候变化研究进展, 2016, 12(5): 374-381.
- [5] 张存杰,高学杰,赵红岩. 全球气候变暖对西北地区秋季降水的影响[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 57-164.
- [6] 张可慧. 全球气候变暖对京津冀地区极端天气气候事件的影响及防灾减灾对策[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(10): 122-125.
- [7] 翟盘茂,邹旭凯. 1951—2003 年中国气温和降水变化及其对干旱的影响[J]. 气候变化研究进展, 2005, 1(1): 16-18.
- [8] 何艳芬,张晓. 陕西省 1980—2006 年气候变化时空特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(11): 59-63.
- [9] 李平华,胡小晖,程燕. 陕西关中地区水文气候状况对全球变暖的响应问题探讨[J]. 灾害学, 2002, 17(2): 37-41.
- [10] 白爱娟,方建刚. 近 50a 陕西省冬季气候变化特征及其与北半球大气环流的关系[J]. 气象科学, 2003, 23(2): 176-184.
- [11] 王文艳,张丽萍,吴东平,等. 近 19 年干旱半干旱过渡区气温降雨变化特征分析[J]. 环境科学与技术, 2012 (S1): 57-61.
- [12] 李小丽,敖天其,黎小东. 古蔺县近 50 年来降水序列趋势分析[J]. 水土保持研究, 2016, 23(6): 140-144.
- [13] 冯新灵,冯自立,罗隆诚,等. 青藏高原冷暖气候变化趋势的 R/S 分析及 Hurst 指数试验研究[J]. 干旱区地理, 2008, 31(2): 175-181.
- [14] 史婉丽,杨勤科,李小芳,等. 基于洛伦兹曲线的陕北黄土高原降雨分布不均匀性分析[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(4): 172-177.
- [15] 徐万玲,朱卫红,张健,等. 基于洛伦兹曲线的图们江干流区间径流分布不均匀性分析[J]. 水土保持通报, 2015, 35(1): 128-132.
- [16] 张晶,封志明,杨艳昭. 洛伦兹曲线及其在中国耕地,粮食,人口时空演变格局研究中的应用[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(11): 63-67.
- [17] 边静,何多兴,田永中,等. 基于信息熵与空间洛伦兹曲线的土地利用空间结构分析:以重庆市合川区为例[J]. 水土保持研究, 2011, 18(5): 201-204.
- [18] Marull J, Pino J, Tello E, et al. Social metabolism, landscape change and land-use planning in the Barcelona Metropolitan Region[J]. Land Use Policy, 2010, 27 (2): 497-510.
- [19] Tang J, Wang X. Analysis of the land use structure changes based on Lorenz curves[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009, 151(1/4): 175-180.
- [20] Xu L, Zhou H, Du L, et al. Precipitation trends and variability from 1950 to 2000 in arid lands of Central Asia[J]. Journal of Arid Land, 2015, 7(4): 514-526.

(上接第 251 页)

- [7] Wu G L, Du G Z, Liu Z H, et al. Effect of fencing and grazing on a Kobresia-dominated meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Plant and Soil, 2009, 319(1/2): 115-126.
- [8] Middleton N, Thomas D. World Atlas of Desertification [M]. London: Hodder Arnold Publication, 1997.
- [9] Meissner R A, Facelli J M. Effects of sheep exclusion on the soil seed bank and annual vegetation in chenopod shrublands of South Australia[J]. Journal of Arid Environments, 1999, 42(2): 117-128.
- [10] 李永宏. 内蒙古典型草原地带退化草原的恢复动态[J]. 生物多样性, 1995, 3(3): 125-130.
- [11] 杨晓晖,张克斌,侯瑞萍. 封育措施对半干旱草场植被群落特征及地上生物量的影响[J]. 生态环境, 2005, 14 (5): 730-734.
- [12] 闫玉春,闫瑞瑞,杨桂霞,等. 围封对草地影响研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 5039-5046.
- [13] Fırlınoğlu H K, Seefeldt S S, Sahin B. The effects of long-term grazing exclusions on range plants in the Central Anatolian Region of Turkey[J]. Environmental Management, 2007, 39(3): 326-337.
- [14] 周国英,陈桂琛,徐文华,等. 围栏封育对青海湖地区芨芨草草原生物量的影响[J]. 干旱区地理, 2010, 33(3): 434-441.
- [15] 朱丽,李广宇,王芳,等. 围栏封育对草地生物多样性的影响[J]. 草业与畜牧, 2012(5): 1-3.