

放牧对干旱半干旱草原植物群落结构和生态功能的影响

高 露¹, 张圣微^{1,2}, 朱仲元^{1,2}, 徐 冉¹, 张 鹏¹

(1.内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018;

2.内蒙古自治区水资源保护与利用重点实验室, 呼和浩特 010018)

摘 要:放牧是全球草地生态系统最主要的人为干扰因素之一。为了解放牧对草原群落特征和生态功能的影响,以锡林郭勒盟典型草原为研究对象,在 2015—2017 年调查了 26 个不同放牧条件点的地上生物量(Above Ground Biomass, AGB)和群落结构,分析了二者在不同放牧条件和高程下的变化规律,在此基础上结合全球降水测量(Global Precipitation Measurement, GPM)遥感日降水数据,讨论了降水在不同放牧条件下对草地生物量的影响。结果表明:(1)禁牧点植物高度不同高程梯度均存在显著差异,放牧点植物种类 G_3 和 G_1 , G_2 存在显著差异。随高程梯度的增加,植物种类先升高后降低,高程为 860~1 100 m 放牧点植物高度、植物种类和 AGB 要小于禁牧点,而放牧点在较高高程长势较好;(2)无论禁牧还是放牧,植物高度同 AGB 的积累均呈显著正相关且放牧点相关性更大,植物种类与 AGB 的相关性明显低于植物高度与 AGB 的相关性,放牧对 AGB 积累的影响更显著;(3)不同放牧条件改变 AGB 与降水量的关系,但不改变植物种类与降水量的关系,放牧条件下植物种类与降水量的关系与生长期降水量的多少有关。

关键词:典型草原;放牧;群落结构;地上生物量;降水

中图分类号:Q948

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)06-0205-07

Effects of Grazing on Plant Communities and Ecological Functions in Typical Steppe

GAO Lu¹, ZHANG Shengwei^{1,2}, ZHU Zhongyuan^{1,2}, XU Ran¹, ZHANG Peng¹

(1.College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2.Key Laboratory of Protection and Utilization of Water Resources of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010018, China)

Abstract: Grazing is one of the most important human disturbance factors in the global grassland ecosystem. In order to understand the influence of grazing on grassland community characteristics and ecological functions, the typical grassland of Xilingol League was taken as the research site, the above-ground biomass (AGB) and community structure of 26 different grazing conditions were investigated in the period 2015—2017, and the changes of AGB and community structure under different grazing conditions and elevations were analyzed. Based on global precipitation measurement remote sensing daily precipitation data, the impact of precipitation on grassland biomass under different grazing conditions was discussed. The results showed that: (1) there were significant differences in the elevation gradients between the grazing point plants, and there were significant differences in plant species G_3 and G_1 and G_2 at the grazing point; with the increase of elevation gradient, the plant species increased at first and then decreased, the plant height, plant species and AGB of grazing points at the elevation between 860 m and 1 100 m was smaller than that of non-grazing, and the plant growth at grazing point was better at higher elevation; (2) regardless of whether grazing or non-grazing, plant height was significantly positively correlated with AGB accumulation and the correlation at grazing point was more significant, the correlation between plant species and AGB was significantly lower than that of plant height and AGB; grazing had the greater impact on AGB accumulation; (3) different grazing conditions changed the relationship between AGB and precipitation, but did not change the relationship between plant species and precipitation; the relationship between plant species and precipitation under grazing conditions was related to the amount of precipitation in the growing season.

收稿日期:2018-12-19

修回日期:2019-01-13

资助项目:国家自然科学基金(51779116, 51669018);中国科学院“西部之光”青年学者计划

第一作者:高露(1995—),女,内蒙古乌海人,硕士研究生,研究方向为植被生态水文。E-mail:986065746@qq.com

通信作者:张圣微(1979—),男,黑龙江双城人,教授,博士,主要从事生态水文和定量遥感研究。E-mail:zsw_imau@163.com

Keywords: typical steppe; grazing; community structure; above ground biomass; precipitation

草原生态系统是陆地上最重要的生态系统类型之一,放牧通过改变植物群落的内在环境条件、物种组成和多样性等,进而影响着植物群落的结构和功能,因此放牧干扰的生态学作用受到越来越广泛的关注^[1]。放牧导致许多草地生态系统功能发生巨大改变^[2-4]。研究表明在全球范围内 60% 的草原属于放牧或者是过度放牧的草原,而食草动物数量的持续增多是导致过度放牧的最主要原因^[5]。对于典型草原和草甸草原,放牧降低了植物高度,减少了 AGB 和植物种类^[6-7]。放牧对草原植物群落(植物高度,植物种类)和生态系统功能(可用 AGB 反应)的影响^[8-9],同时还受气候条件和地形特征的协同作用^[10-11]。

中国最大的草原——内蒙古草原,近 30 年来由于过度放牧,持续受到严重的沙漠化和盐碱化威胁^[12-13]。锡林郭勒草原,是内蒙古典型草原的最重要组成部分,同时也是我国重要的畜牧业养殖基地和重要的生态屏障,研究其草地生态系统结构和功能对不同影响因素的响应规律对指导合理放牧、维系生态系统功能有重要意义。因此,本文以锡林郭勒盟典型草原为主要研究对象,分析不同高程、不同放牧条件对植物种类、植物高度和 AGB 的影响,以及降水对草

原植物群落结构和 AGB 的影响。为明确草原在不同放牧条件下的植物群落特征变化提供支持,为生态放牧提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区为锡林郭勒盟西乌珠穆沁旗(西乌旗)巴拉格尔河流域中度放牧区草原,总面积约 5 659 km²,地处中纬度内陆地区,地势东南高西北低,最低高程 858 m,最高高程 1 903 m(图 1A)。地理坐标东经 116°21′—119°31′,北纬 43°57′—45°23′。属于温带干旱半干旱大陆性气候,雨热同季,降水主要集中在 6—9 月份,但分布不均,根据西乌旗气象站 1956—2013 年气象资料统计,多年平均降水量为 337.3 mm,最多 550 mm,最少 210 mm。如图 1B 所示,西乌旗主要包括典型草原和草甸草原,以典型草原为主,约占总面积的 65%,而草甸草原约占总面积的 11%。代表性优质牧草有大针茅(*Stipa grandis*)、羊草(*Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel.)、克氏针茅(*Stipa krylovii* Roshev)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng)、冷蒿(*Artemisia frigida* Willd.)等^[14]。

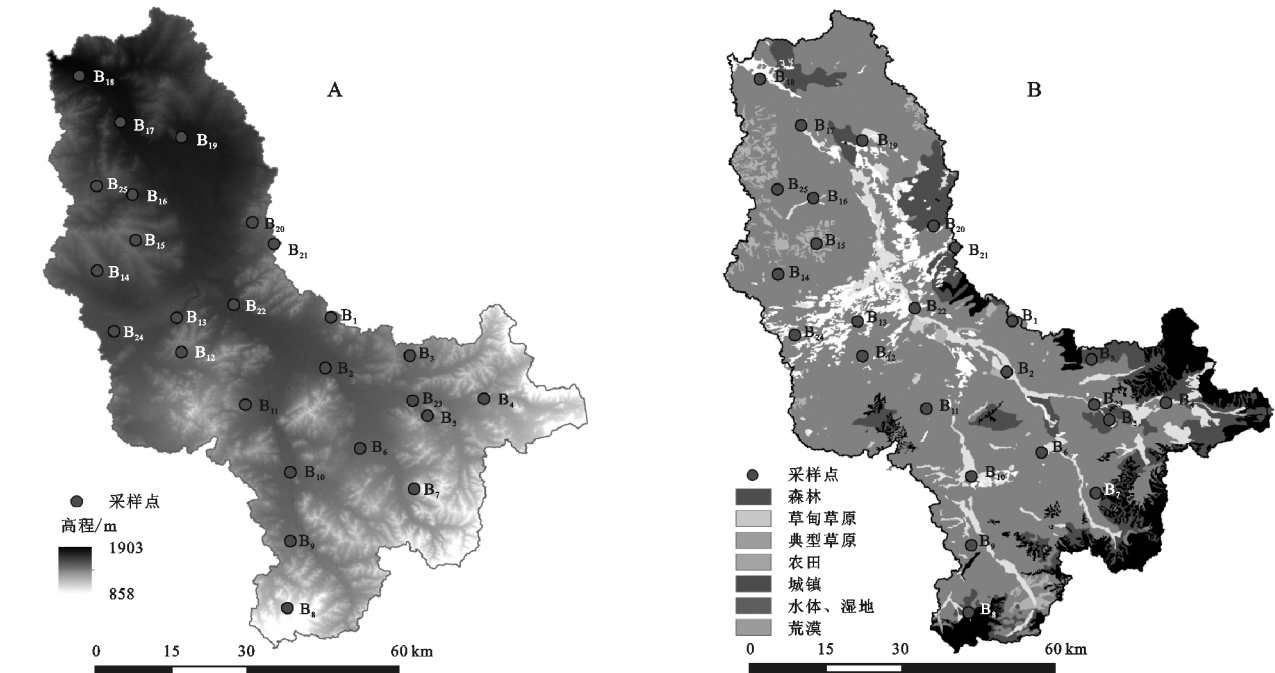


图 1 研究区高程、土地利用类型和取样点位置

1.2 研究方法 & 数据获取

在 2015—2017 年每年 7 月底对研究区不同放牧条件(禁牧和放牧)的 26 个取样点的群落结构(植物高度、植物种类、盖度和各种类株丛数)和 AGB 进行调查,通过 GPS 对调查点进行精准定位,连续 3 年取样点位置误

差控制在 5 m 以内,取样点位置如图 1 所示,在每个取样点通过随机向不同方向抛掷 1 m×1 m 样方框的方法取 3 个样方,每两个样方方向间大致呈 60°。

在样方框内随机选取同种植株 5~10 株,测定其营养枝和生殖枝高度。不足 5 株时,则全部测定,最终取 3

个样方的平均高度作为该取样点的植物高度。AGB 测定是通过将样方框内的所有植物按不同种类齐根剪下,分别装入信封,用电子天平(精度为 0.01 g)及时称其鲜重,然后烘箱烘干(65℃恒温烘 48 h)称重,将不同物种干重求和作为该样方的 AGB,3 个样方取平均作为该取样点的 AGB。植物种类统计,通过人工辨认样方内的全部植物种类,并统计植物种类数,作为此样方的植物种类数,取 3 个样方平均值作为该取样点的植物种类数。

GPM 是一款先进的全球气象遥感卫星,能够更加精准地捕捉微量降水(<0.5 mm/h)且对瞬时降水估计更加准确,对生态、水文,灾害,气象等研究具有重要意义^[15]。GPM 数据是通过美国航空航天局 NASA (<https://pmm.nasa.gov/>)下载的日降水数据并用 ENVI 5.3 读取、处理分析,由于 3 a 植被调查时间为每年的 7 月底—8 月初且该研究区降水主要集中月份为 4—9 月份,因此只选取每年的 4—7 月的降水数据。

2 结果与分析

2.1 不同放牧条件对群落结构和 AGB 的影响规律

通过对不同年份和放牧条件下植物群落结构和 AGB 特征进行统计分析,由表 1—2 可知,不同放牧条件(G)的植物高度、AGB 和植物种类均有显著性差异,不同年份(Y)的 AGB 和植物种类均有极显著差异,而植物高度无显著性差异。禁牧点 2016 年植物高度和植物种类达到最大,为(15.5±7.6) cm 和(14±8)种/m²;AGB 在 2015 年达到最大,为(130.5±110.4) g/m²。放牧点植物高度和 AGB 在 2015 年达到最大,为(12.7±4.0) cm 和(105.2±50.0) g/m²,植物种类最少。禁牧点 2015—2017 年植物群落结构和 AGB 均大于该年放牧点。

表 1 不同年份和放牧条件下植物群落结构和 AGB 特征

放牧 条件	年份	植物 高度/cm	AGB/ (g·m ⁻²)	植物种类/ (种·m ⁻²)
禁牧	2015	14.6±9.6	130.5±110.4	7±2
	2016	15.5±7.6	110.9±42.2	14±8
	2017	11.8±2.3	64.9±15.1	13±4
放牧	2015	12.7±4.0	105.2±50.0	8±3
	2016	10.2±5.4	59.7±28.9	10±2
	2017	10.7±3.5	50.8±26.2	10±2

注:数据为平均值±标准差。

2.2 不同放牧条件对植物高度的影响

在不同高程上,降水、气温及土壤类型等差异明显,将禁牧和放牧取样点按照 3 个高程梯度进行分类,分析其植物高度、AGB 和植物种类随高程梯度的年内和年际变化特征。由图 2 可见,随着高程梯度的升高,禁牧点植物高度、AGB 及植物种类总趋势均具

有相似的先升高后降低的变化趋势,但 2015 年的植物种类具有先降低后升高的变化趋势。放牧点植物高度具有先升高后降低的变化趋势,但 2015 年植物高度随着高程的增高而增高;AGB 及植物种类均随着高程梯度的升高而升高。

表 2 多元方差分析结果

项目	自由度	植物高度	AGB	植物种类
		Sig.		
不同年份(Y)	2	0.35	0.001**	0.002**
不同放牧条件(G)	1	0.044*	0.019*	0.037*
Y*G	2	0.433	0.468	0.092

注:*代表 0.01<p<0.05 差异性显著,**代表 p<0.01 差异性极显著。

由表 3 可知,禁牧点不同高程梯度 G₁、G₂、G₃ 植物高度均存在显著差异,放牧点不同高程梯度 G₃ 和 G₂、G₁ 植物种类存在显著差异。禁牧点植物高度和 AGB 在 2015 年 G₂ 高程梯度达到最大,植物种类在 2016 年 G₂ 高程梯度达到最大。放牧点植物高度和 AGB 在 2015 年 G₃ 高程梯度达到最大,植物种类在 2016 年 G₃ 高程梯度达到最大。禁牧点植物高度最小值在 2015 年 G₁ 高程梯度,AGB 最小值在 2017 年 G₁ 高程梯度,植物种类最小值在 2016 年 G₁ 高程梯度。放牧点植物高度和 AGB 最小值在 2016 年 G₁ 高程梯度,植物种类最小值在 2015 年 G₁ 高程梯度。

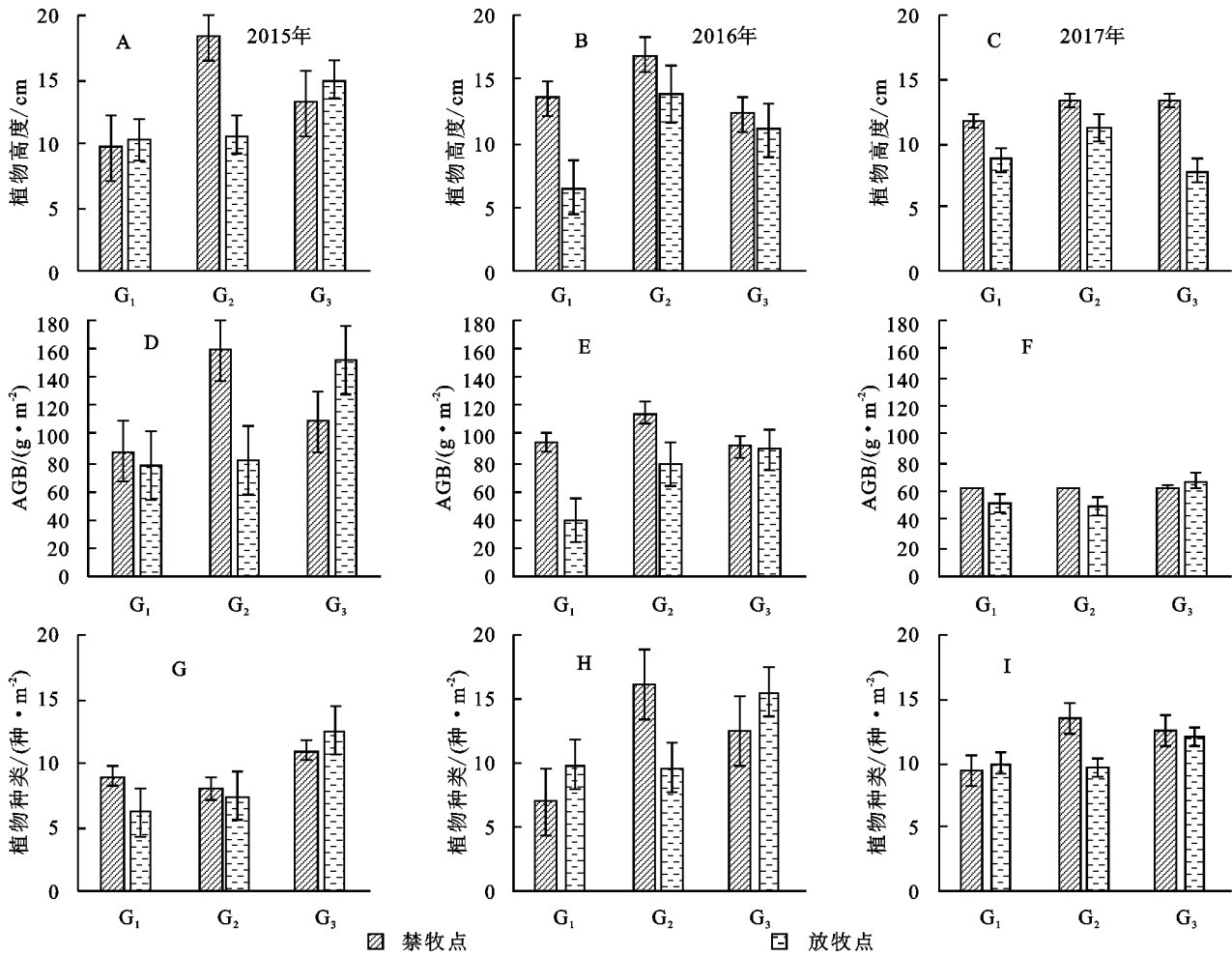
由植物高度、AGB 和植物种类的变化趋势来看,在禁牧条件下中等高程梯度 G₂ 植物长势较好,在放牧条件下最高高程梯度 G₃ 植物长势较好。无论禁牧还是放牧,最低高程梯度 G₃ 植物长势较差。且在 G₁ 和 G₂ 高程梯度下,禁牧点植物高度、种类和 AGB 要大于放牧点。

2.3 不同放牧条件下降水对植物群落结构和 AGB 的影响

降水是草原水分重要的补给源,搜集不同放牧条件 2015—2017 年生长长期降水量,分析植物高度、AGB 和植物种类随降水量的变化特征尤为重要。

如图 3 所示,2015—2017 年高程由高到低排列的放牧点 4—7 月降水量高于高程由高到低排列的禁牧点,无论禁牧还是放牧,2015 年降水量大于 2017 年降水量大于 2016 年降水量。2015 年降水量相比 2016 年约多 59.3 mm。

由图 4 可见,在不同放牧条件和降水的影响下,禁牧点植物高度、种类和 AGB 大于放牧点,2015 年、2016 年禁牧条件下,植物高度随降水量的增加先增大后减小,且植物高度最大值在降水量为 100~200 mm。2015—2017 年植物高度和 AGB 随降水量的变化趋势一致。



注:横坐标表示 2015—2017 年禁牧放牧调查点分别按高程梯度由低到高排列,G₁,G₂,G₃ 分别表示高程梯度:860~980 m,980~1 100 m,1 100~1 900 m。各高程梯度内调查点数分别为 8,14,4 个,共 26 个调查点。

图 2 2015—2017 年禁牧放牧条件下植物高度,AGB 和植物种类对比

表 3 不同高程梯度和放牧条件植物群落结构和 AGB 特征				
放牧条件	高程 梯度	植物 高度/cm	AGB/ (g·m ⁻²)	植物种类/ (种·m ⁻²)
禁牧	G ₁	11.6±2.0b	82.1±17.1a	9±1a
	G ₂	16.1±2.6a	113.2±49.7a	13±4a
	G ₃	12.9±0.6ab	88.7±24.2a	12±1a
放牧	G ₁	8.5±1.9a	56.8±20.2a	9±2b
	G ₂	11.9±1.7a	70.7±18.7a	9±1b
	G ₃	11.3±3.5a	103.7±45.4a	13±2a

注:数据为平均值±标准差,同列不同小写字母表示不同高程梯度和放牧条件之间在 0.05 水平上存在显著差异。

2015 年和 2017 年不同放牧条件下,植物种类随降水量的变化趋势一致。2015 年放牧条件下植物种类和植物高度随降水量变化趋势相似。但 2016—2017 年相反,禁牧点则反之。

2.4 不同放牧条件下植物高度和植物种类同 AGB 的相关性分析

将禁牧和放牧取样点的高程分别按由高到低排列,分析 2015—2017 年植物高度和植物种类同 AGB 的相关性,可以知道植物高度和植物种类对 AGB 的影响程度。

由图 5 可见,无论禁牧还是放牧条件下,2015 年、2016 年、2017 年植物高度同 AGB 显著相关性,其中 2016 年植物高度同 AGB 的相关性的拟合程度最高,其 R² 值分别为 0.56,0.74;2017 年植物高度同 AGB 的相关性的拟合程度最低,其 R² 值分别为 0.25,0.47。2015—2017 年放牧条件下植物高度同 AGB 相关性的拟合程度均明显高于同年禁牧条件下。无论是禁牧还是放牧的条件下,植物高度与 AGB 呈正相关关系。植物高度影响着 AGB 的积累,放牧点植物 AGB 的积累与植物高度相关关系更为密切。

植物种类同 AGB 的相关性的拟合程度普遍低于植物高度同 AGB 的相关性的拟合程度。禁牧条件下 2016 年植物种类同 AGB 显著相关,其 R² 值为 0.46;放牧条件下 2015 年植物种类同 AGB 显著相关,其 R² 值为 0.52。2016 年和 2017 年禁牧条件下植物种类同 AGB 相关性的拟合程度均明显高于同年放牧条件下。2015 年禁牧条件下植物种类同 AGB 相关性的拟合程度明显低于 2016 年、2017 年,但放牧条件下却明显高于 2016 年、2017 年。

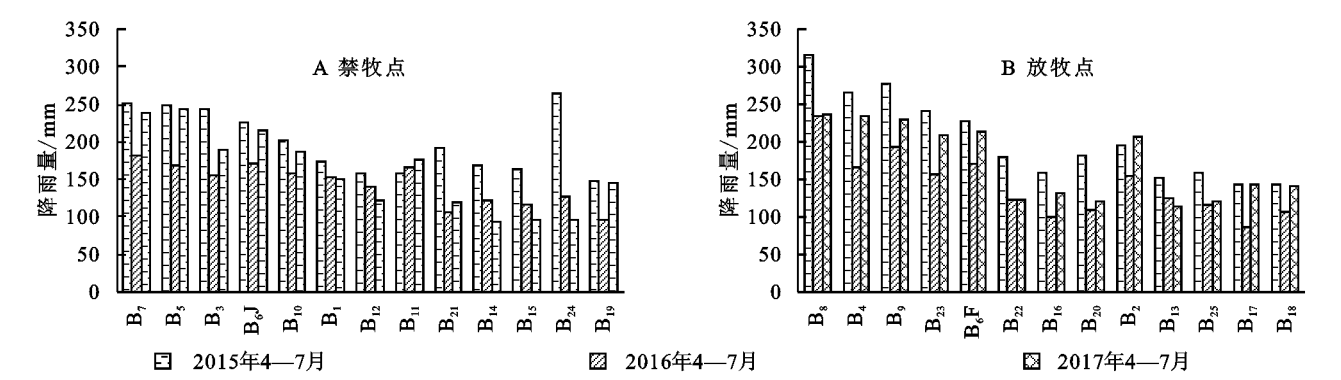


图 3 2015—2017 年不同放牧条件下各调查点 4—7 月降水量

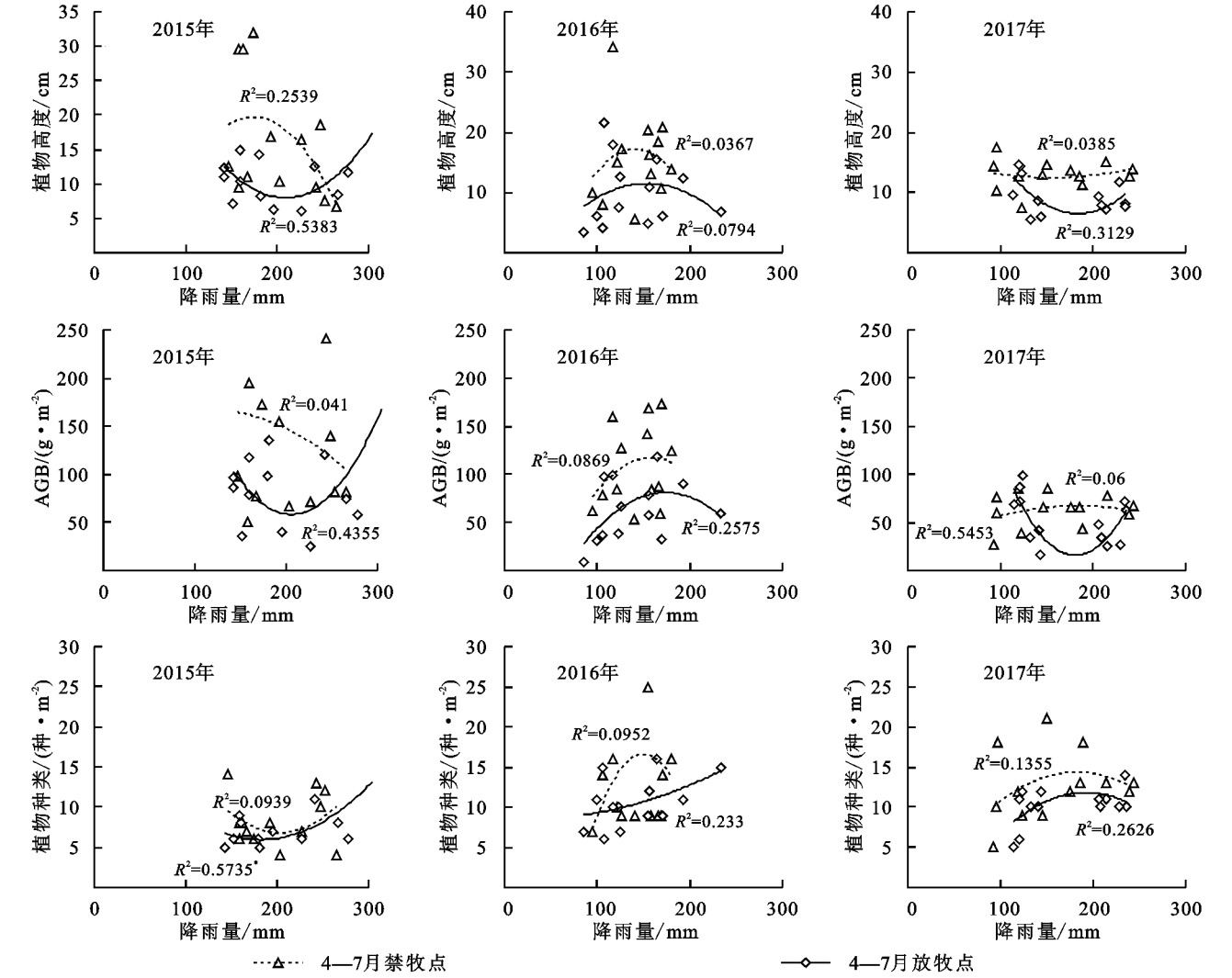


图 4 2015—2017 年不同放牧条件下植物群落特征和 AGB 同生长季降水量关系

3 讨论

3.1 高程对植物群落结构和 AGB 的影响

在高程为 860~1 100 m,放牧对草原植物群落组成和生态系统功能产生破坏性影响。由表 3 可见,不同高程梯度的植物高度和植物种类存在显著差异,禁牧点植物高度不同高程梯度均存在显著差异,放牧点植物种类 G₃ 和 G₁,G₂ 存在显著差异。不同高程的变化会产生显著的温度、降水和生物多样性等差异,

禁牧点无牲畜破坏影响,因此不同高程梯度植物高度差异性显著,而放牧点牲畜方便在相对较低处觅食,形成较高的放牧强度,与较低高程梯度差异性显著,过度放牧会导致产草量下降,加剧草地退化、沙化、盐碱化的发展,因此牲畜应在不同高程梯度觅食,减少集中放牧现象。由图 2 可知,随高程梯度的增加,植物种类先升高后降低,贺金生等^[16]认为随海拔的升高物种多样性先升高后降低,这与我们的结果一致。由此可见,不同高程也是影响植物群落结构和 AGB

的重要因素之一。本文高程梯度可能受到研究区高程的限制,导致植物群落结构和 AGB 分布格局有一定的局限性。因此在开展高程梯度对植物群落结构

和 AGB 的分布格局研究时,应尽量考虑不同高程区间,以使得得到更为详实的植物群落结构和地上生物量高程梯度格局。

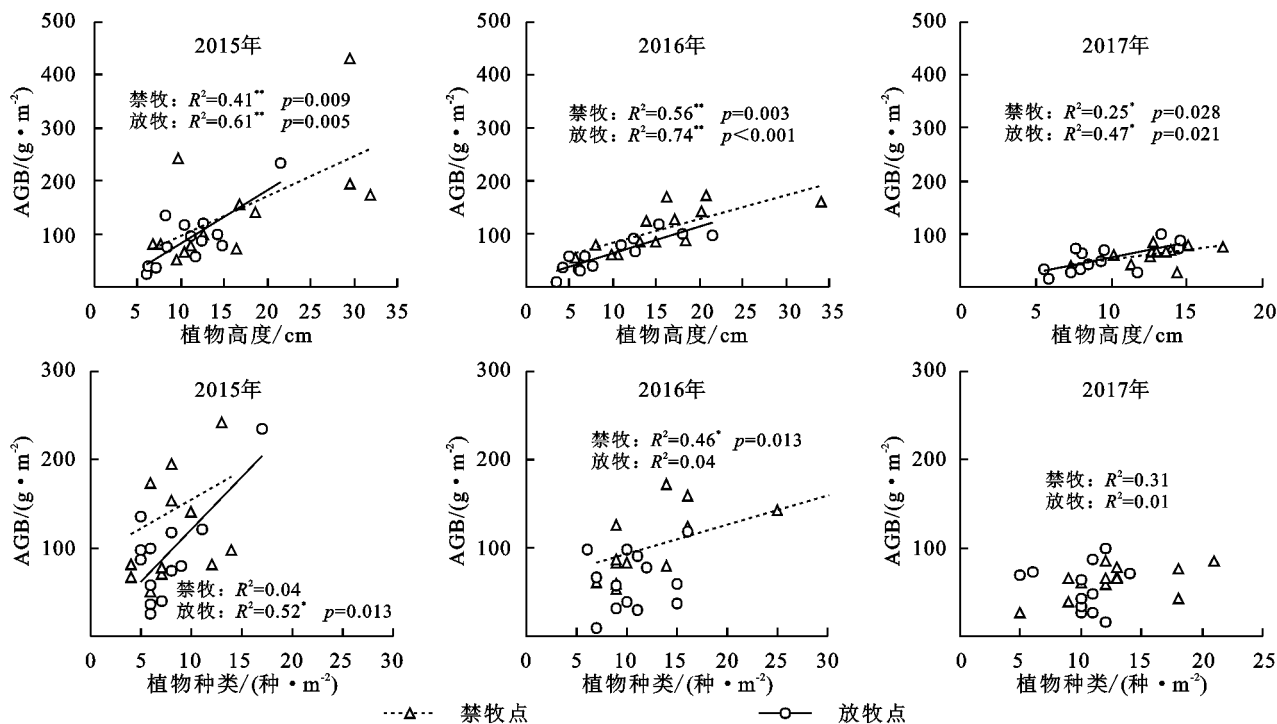


图 5 2015—2017 年不同放牧条件下植物高度和植物种类同 AGB 相关性分析

3.2 放牧对植物高度与 AGB 关系的影响

由表 1 和表 2 可见,不同放牧条件的植物高度、植物种类和 AGB 有显著性差异,放牧点植物高度、植物种类和 AGB 要小于禁牧点。汪诗平等^[17]认为放牧对草原的影响最直接最明显的变化就是草地高度的变化,王国宏等^[18]认为放牧减小了植物光合作用的面积,导致营养物质的生产和积累下降。从而使放牧点的植物群落结构和 AGB 小于禁牧点。放牧是影响草地枯落物蓄积量的一个主要因素,家畜采食会使枯落物量减少^[19],由图 5 可知,无论禁牧还是放牧,植物高度同 AGB 的积累均呈显著正相关且放牧点相关性更大,由表 2 可知,不同年份的 AGB 具有显著性差异,枯落物蓄积量及其季节动态受累积年限、所处的水热条件等影响^[20-21],王永明等^[22]认为温带典型草原围封样地枯落物产量均显著高于对应的放牧样地,植物高度与 AGB 的决定系数 2016 年>2015 年>2017 年,且放牧大于禁牧,可能是由于水热、土壤养分及人为因素等条件使放牧点植物高度与 AGB 的积累呈显著正相关且大于禁牧点的相关性。

3.3 降水对植物群落特性和 AGB 的影响

生长季降水量 2015 年>2017 年>2016 年,由图 4 可知,植物高度和 AGB 随降水量的变化趋势一致。禁牧条件下,2015—2017 年植物高度随降水量的增加先增大后减小,呈单峰型。2015 年、2017 年不同放

牧条件下,植物种类随降水量的变化趋势一致,这与 Su 等^[23]研究结果一致,但放牧条件下植物种类随降水量的关系由生长期降水量较多的 2015 年的单峰型,变为生长期降水量较少的 2016 年的线型,这与 Su 等^[23]研究结果相反。这种差异可以用搜集降水数据的方法不同来解释 Su 等利用多个气象站的月降水数据,用多元回归的方法推算调查点的月降水数据,并调查了连续 3 年的植物种类用 GPM 分析处理生长期逐日降水数据(两个连续相对干燥年和一个相对潮湿年)。在我们的研究中,我们利用日降水数据求和得出月降水数据,但 2016 年相对干燥,因此,草原经历了一个相对于旱年之后,植物种类发生了变化。由图 4 可知,放牧影响了 AGB 与生长期降水量的关系形式,即不同放牧条件 2015 年、2017 年 AGB 与生长期降水量的关系由线性变为单峰型,表明放牧可能改变 AGB 与降水的关系,这与 Bai 等^[24]研究结果一致。尽管我们未澄清具体的降水量与植物群落结构和 AGB 的关系式,但我们的研究结果有力证明了在内蒙古草原降水量与植物群落结构和 AGB 的关系是相互影响的。

4 结论

(1) 禁牧点植物高度不同高程梯度均存在显著差异,放牧点植物种类 G_3 和 G_1, G_2 存在显著差异。随高程

梯度的增加,植物种类先升高后降低,在较低高程禁牧点植物长势较好,在较高高程放牧点植物长势较好。

(2) 无论禁牧还是放牧,植物高度同 AGB 的积累均呈显著正相关且放牧点相关性更大,植物种类与 AGB 的相关性明显低于植物高度与 AGB 的相关性,放牧对 AGB 积累的影响更大。

(3) 不同放牧条件改变 AGB 与降水量的关系,但不改变植物种类与降水量的关系,但放牧条件下植物种类与降水量的关系与生长期降水量的多少有关。

参考文献:

- [1] 毛志宏,朱教君.干扰对植物群落物种组成及多样性的影响[J].生态学报,2006,26(8):2695-2701.
- [2] Nautiyal M C, Nautiyal B P, Prakash V. Effect of grazing and climatic changes on alpine vegetation of Tunganath, Garhwal Himalaya, India[J]. Environmentalist, 2004, 24(2):125-134.
- [3] Diaz S, Lavorel S, McIntyre S, et al. Plant trait responses to grazing: a global synthesis [J]. Global Change Biology, 2007, 13(2):313-341.
- [4] Wan H, Bai Y, Hooper D U, et al. Selective grazing and seasonal precipitation play key roles in shaping plant community structure of semi-arid grasslands[J]. Landscape Ecology, 2015,30(9):1767-1782.
- [5] Yagil Osem, Avi Perevolotsky, Jaime Kigel. Grazing effect on diversity of annual plant communities in a semi-arid rangeland: interactions with small-scale spatial and temporal variation in primary productivity [J]. Journal of Ecology, 2002,90(6):936-946.
- [6] Schönbach P, Wan H, Gierus M, et al. Grassland responses to grazing: effects of grazing intensity and management system in an Inner Mongolian steppe ecosystem [J]. Plant & Soil, 2011,340(1/2):103-115.
- [7] Mouldi Gamoun. Grazing intensity effects on the vegetation in desert rangelands of Southern Tunisia[J]. Journal of Arid Land, 2014,6(3):324-333.
- [8] Hector A, Bell T, Connolly J, et al. Biodiversity, Ecosystem Functioning, and Human Wellbeing: An Ecological and Economic Perspective[M]. New York: Oxford University Press, 2009.
- [9] Wu J. Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes [J]. Landscape Ecology, 2013,28(6):999-1023.
- [10] Luo G, Han Q, Zhou D, et al. Moderate grazing can promote aboveground primary production of grassland under water stress[J]. Ecological Complexity, 2012, 11(3):126-136.
- [11] Dangal S R S, Tian H, Lu C, et al. Synergistic effects of climate change and grazing on net primary production of Mongolian grasslands[J]. Ecosphere, 2016,7(5),DOI:10.1002/ecs2.1274.
- [12] Cui X, Wang Y, Niu H, et al. Effect of long-term grazing on soil organic carbon content in semiarid steppes in Inner Mongolia[J]. Ecological Research, 2005, 20(5): 519-527.
- [13] Qian T, Bagan H, Kinoshita T, et al. Spatial-temporal analyses of surface coal mining dominated land degradation in Holingol, Inner Mongolia[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations & Remote Sensing, 2014,7(5):1675-1687.
- [14] 郭克贞,史海滨,苏佩凤,等.锡林郭勒草原生态需水初步研究[J].中国农村水利水电,2004(8):82-85.
- [15] 唐国强,龙笛,万玮,等.全球水遥感技术及其应用研究的综述与展望[J].中国科学:技术科学,2015,45(10): 1013-1023.
- [16] 贺金生,陈伟烈.陆地植物群落物种多样性的梯度变化特征[J].生态学报,1997,17(1):91-99.
- [17] 汪诗平,王艳芬.不同放牧率下糙隐子草种群补偿性生长的研究[J].植物学报,2001,43(4):413-418.
- [18] 王国宏,任继周.河西山地绿洲荒漠植物群落多样性研究.Ⅱ放牧振动下草地多样性的变化特征[J].草业学报,2002,11(1):31-37.
- [19] 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.
- [20] 李学斌,陈林,田真,等.荒漠草原典型植物群落枯落物蓄积量及其持水性能[J].水土保持学报,2011,25(6): 144-147.
- [21] 赵鸿雁,吴钦孝,刘国彬.黄土高原人工油松林枯枝落叶层的水土保持功能研究[J].林业科学,2003,39(1): 168-172.
- [22] 王永明,王忠武,韩国栋,等.典型草原不同放牧强度凋落物的持水能力[J].干旱区资源与环境,2007,21(9): 155-159.
- [23] Su R, Cheng J, Chen D, et al. Effects of grazing on spatiotemporal variations in community structure and ecosystem function on the grasslands of Inner Mongolia, China[J]. Scientific Reports, 2017, 40(7): 1-10.
- [24] Bai Y, Wu J, Clark C M, et al. Grazing alters ecosystem functioning and C : N : P stoichiometry of grasslands along a regional precipitation gradient[J]. Journal of Applied Ecology, 2012, 49(6):1204-1215.