

DOI: 10.20103/j.stxb.202302210300

武帅楷, 林茂, 郝杰, 刁华杰, 苏原, 董宽虎, 王常慧. 短期刈割对晋北农牧交错带草地生物量的影响. 生态学报, 2024, 44(19): 8532-8541.

Wu S K, Lin M, Hao J, Diao H J, Su Y, Dong K H, Wang C H. The effect of short-term mowing on grassland biomass in agro-pastoral ecotone of northern Shanxi Province. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(19): 8532-8541.

短期刈割对晋北农牧交错带草地生物量的影响

武帅楷^{1,2,3}, 林茂^{1,2,3}, 郝杰^{1,2,3}, 刁华杰^{1,2,3}, 苏原^{1,2,3}, 董宽虎^{1,2,3}, 王常慧^{1,2,3,*}

1 山西农业大学草业学院, 晋中 030801

2 草地生态保护与乡土草种质创新山西省重点实验室, 晋中 030801

3 山西右玉黄土高原草地生态系统国家定位观测研究站, 朔州 037200

摘要: 刈割是草地的主要管理方式之一, 适度刈割不仅可以提高草地生物量, 而且能够维持草地稳定性和物种多样性。农牧交错带草地受到人类生产生活的多重干扰, 如何合理利用农牧交错带草地是协调生产和生态平衡的瓶颈问题。为研究刈割对农牧交错带草地生物量的影响, 于 2016 年在山西右玉典型农牧交错带草地设置了不同刈割强度试验平台。通过留茬高度 10 cm (LM, Light mowing), 5 cm (MM, Moderate mowing) 和 2 cm (HM, Heavy mowing) 来表征刈割强度, 并设置不刈割处理 (CK, No mowing) 作为对照。研究不同刈割强度对优势物种赖草 (*Leymus secalinus*) 叶片、茎秆的生物量, 群落地上生物量和不同土层 (0—10 cm、10—20 cm 和 20—30 cm) 地下生物量的影响。结果表明: 连续 3 年刈割导致群落地上生物量逐年显著降低 ($P < 0.05$), 但在干旱年份促进了土壤表层 (0—10 cm) 根系生物量的积累。与不刈割相比, 短期轻度刈割和适度刈割显著降低群落地上生物量 ($P < 0.05$), 重度刈割对群落地上生物量影响不显著 ($P > 0.05$), 但对优势种赖草地上生物量有促进作用。刈割主要增加 0—20 cm 土层的地下生物量, 但不同刈割强度对群落地下生物量无显著影响 ($P > 0.05$)。可为农牧交错带畜牧业生产、草地合理利用和生态保护提供科学依据。

关键词: 刈割强度; 刈割年份; 植物群落生物量; 赖草; 右玉县

The effect of short-term mowing on grassland biomass in agro-pastoral ecotone of northern Shanxi Province

WU Shuaikai^{1,2,3}, LIN Mao^{1,2,3}, HAO Jie^{1,2,3}, DIAO Huajie^{1,2,3}, SU Yuan^{1,2,3}, DONG Kuanhu^{1,2,3}, WANG Changhui^{1,2,3,*}

1 College of Grassland Science, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, China

2 Shanxi Key Laboratory of Grassland Ecological Protection and Native Grass Germplasm Innovation, Jinzhong 030801, China

3 Shanxi Youyu Loess Plateau Grassland Ecosystem National Observation and Research Station, Shanxi Agricultural University, Shuozhou 037200, China

Abstract: Mowing is one of the main management methods for grasslands. Moderate mowing not only increase grassland productivity, but also maintain high species diversity and stability of the grassland ecosystem. The grassland in agro-pastoral ecotone is subject to multiple interferences from human production and life. How to coordinate grassland production and ecological balance in agro-pastoral ecotone is an urgent problem that needs to be solved. In order to study the effect of mowing on grassland productivity in agro-pastoral ecotone, an experimental platform with different mowing intensity was set up in the typical agro-pastoral ecotone of Youyu County, Shanxi. Mowing intensities were represented by stubble height of 10 cm (LM, Light mowing), 5 cm (MM, Moderate mowing) and 2 cm (HM, Heavy mowing), and enclosed plots were set as the control (CK, No mowing). We used the "harvest method" to collect and monitor the leaves and shoots biomass of

基金项目: 国家自然科学基金区域创新发展联合基金重点项目 (U22A20576); 国家重点研发计划子课题 (2022YFF1302801); 山西省科技厅平台专项 (202104010910017); 山西农业大学高层次人才引进人才专项 (2021XG008)

收稿日期: 2023-02-21; **网络出版日期:** 2024-07-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: changhui.wang@sxau.edu.cn

dominant species (*Leymus secalinus*), aboveground biomass, and belowground biomass at different soil depths (0—10 cm, 10—20 cm and 20—30 cm) of plant communities under different mowing intensities. The results showed that: Three years of continuous mowing reduced aboveground biomass of the plant community year by year ($P < 0.05$), while also decreasing belowground biomass year by year, but it promoted the accumulation of root biomass on surface of soil (0—10 cm) in drought years. Compared with no mowing, short-term light mowing and moderate mowing significantly reduced aboveground productivity of the community ($P < 0.05$), while heavy mowing had a promotion effect on the biomass of *L. secalinus*, which is an absolute dominant species in the community. Mowing could promote root growth in 0—20 cm soil layer, but different mowing intensities had no significant effect on belowground productivity of community ($P > 0.05$). Mowing increased the root to shoot ratio of plant communities, which first increased and then decreased with increasing mowing intensity, and reached its maximum value during moderate mowing. In drought years, no or light mowing management should be adopted to alleviate the environmental pressure on grassland. In wet years, heavy mowing management should be adopted to obtain higher aboveground biomass. Thereby achieving coordinated development between grassland production and ecology. Our work has found that short-term mowing management can affect the biomass of dominant species, above- and belowground biomass of grassland plant communities in agro-pastoral ecotone of northern Shanxi. This can provide the scientific basis for livestock production, rational utilization and ecological protection of grassland in agro-pastoral ecotone.

Key Words: mowing intensity; mowing year; plant community biomass; *Leymus secalinus*; Youyu County

草地是我国陆地生态系统的重要组成部分,农牧交错带草地在维持农牧交错带生产和生态平衡方面发挥着重要作用^[1]。刈割是草地的主要管理方式之一,可以通过减少地表凋落物,提高种子的萌发和促进物种更新,进而提升草地的生产与生态功能^[2]。刈割也会通过带走土壤中有效养分,导致土壤逐渐贫瘠,影响土壤微生物群落结构,进一步影响植物的种子繁殖,从而不利于草地生态系统物种多样性的维持和生物量的提高^[3]。因此,不合理的刈割会造成草地植物群落中凋落物持续减少,也会使群落优势种出现超补偿生长,而其它物种则发生欠补偿生长,从而不利于草地的可持续发展^[4]。

草地生物量是衡量草地生态系统结构优劣和功能高低最直接的指标,是草地生态系统中动物、微生物生存以及物质循环的基础,同时草地生物量会影响全球碳循环,是气候变化与草地生态系统之间反馈作用的关键因素^[5]。大量的研究关注刈割对牧区不同类型草地生物量的直接和间接影响,包括刈割时间、强度和频次对植物个体的功能性状(如植株特征^[2]、生物量^[6]、比根长^[7]、养分含量^[8]等)、群落特征(如群落结构^[9]、物种多样性^[10]等)和土壤特征^[11]的影响。Li 等^[12]研究发现长期刈割影响半干旱草地羊草(*Leymus chinensis*)的可塑性和异速生长。Zhao 等^[13]研究发现两年一次的刈割频率可以保持半干旱草地植物群落相对稳定的生物量和功能多样性。Yang 等^[14]研究发现随着刈割留茬高度的降低,植物生物量降低但氮素利用效率提高。王惠玲等^[15]研究了刈割强度对北方农牧交错带草地土壤呼吸的影响。已有的研究大部分关注群落地上生物量,但对群落地下生物量的研究较少,而地下生物量会影响草地植物的生长与繁殖。

本研究选择晋北农牧交错带草地为研究对象,探究不同刈割强度对该地区优势种赖草地上生物量、群落地上生物量以及不同土壤深度地下生物量的影响,阐明刈割与草地生物量的关系,为农牧交错带畜牧业生产、草地生态系统管理和保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

研究地点位于山西省右玉县威远镇,地理位置:39°59' N, 112°19' E, 海拔 1348 m。地处北方农牧交错带核心区域,属温带大陆性季风气候,四季分明,雨热同期,年平均气温 4.6 °C,最冷月为 1 月,最热月为 7 月,无霜期 100—120 d,近 30 年平均降水量 425 mm,70%的降水发生在 7—8 月(图 1)。土壤类型为栗钙土,土壤

pH 值约 9.5。研究区草地生态系统属于温性草地,优势种为赖草 (*Leymus secalinus*),伴生物种包括碱茅 (*Puccinellia tenuiflora*)、碱蒿 (*Artemisia anethifolia*) 和蕨麻 (*Argentina anserina*) 等。

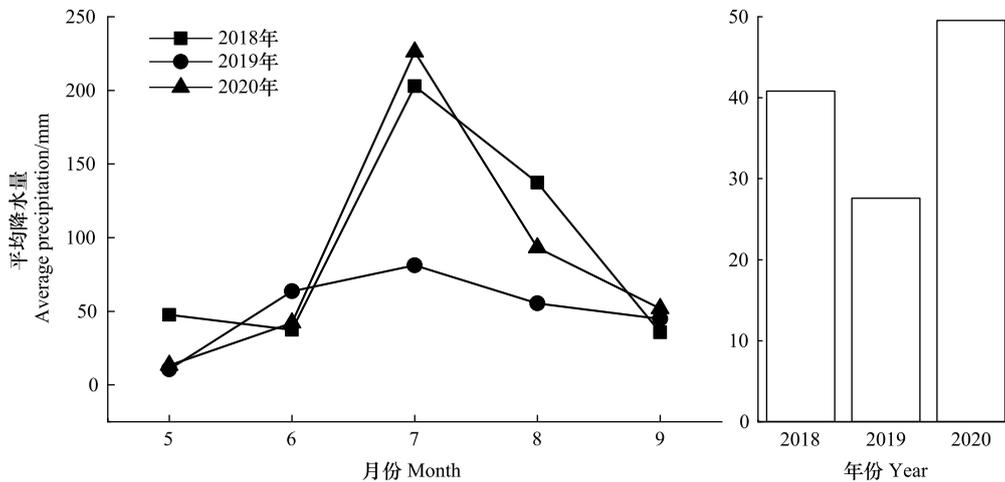


图1 2018—2020 年生长季月平均降水量和年平均降水量

Fig.1 Average monthly precipitation in the growing season and annual average precipitation from 2018 to 2020

1.2 实验设计

本实验在山西右玉黄土高原草地生态系统定位观测研究站 2016 年建立的不同刈割强度试验平台开展。实验样地由 16 个 $2\text{ m} \times 12\text{ m}$ 的小区组成,各小区之间留有 1 m 的缓冲区。采用随机区组设计方法将其分为 4 个区组,每个区组设计 4 个刈割处理:不刈割、轻度刈割(留茬高度 10 cm)、中度刈割(留茬高度 5 cm)和重度刈割(留茬高度 2 cm),分别用 CK、LM、MM、HM 表示。2018—2020 年每年 8 月下旬用割草机进行不同留茬高度的刈割处理,并将割掉的草屑移出处理小区外。

1.3 样品采集与测定

采用样方法测定地上生物量^[16]。每年 8 月中旬刈割处理前,在每个小区随机选取 3 个 $1\text{ m} \times 0.2\text{ m}$ 的样方条,将样方条内的植物分种齐地面剪下,分别装入信封,同时收集凋落物,带回实验室烘干 ($65\text{ }^{\circ}\text{C}$, 48 h) 至恒重,称取地上生物量 (AGB, Aboveground biomass)。而地下生物量 (BGB, Belowground biomass) 主要由优势种赖草根系组成,且主要集中分布在 0—20 cm 土层,约占地下生物量的 80.8%,而 20 cm 以下土壤中根系分布很少,所以选择 0—10 cm、10—20 cm 和 20—30 cm 这 3 个土层。用根钻 ($\varnothing = 7\text{ cm}$) 在收取地上生物量后的样方条内取根系样品,每个土层均取 3 钻,混合装入尼龙网袋,带回实验室用清水洗干净并挑出其中的小石块等杂质,烘干至恒重,称取地下生物量。

1.4 数据处理与分析

各土层根系生物量采用公式(1)计算^[17]:

$$RB_i = W_i / \pi (D/2)^2 10^4 \quad (1)$$

式中, RB_i 表示第 i 层的 1 m^2 根系的生物量 (g/m^2); W_i 表示第 i 层每钻的根系重量 (g); D 表示根钻的内径 ($\varnothing = 7\text{ cm}$)。利用 Excel 2016 进行数据整理, SPSS 25.0 进行方差分析、多重比较和 Tukey 检验, Origin 2018 绘制柱形图和折线图, R 软件进行相关性分析和作图。

2 结果

2.1 刈割对群落生物量分布的影响

群落地上生物量年际变化较小,且在不刈割处理时最高,而在刈割时表现为重度刈割处理最高(图 2)。

优势种赖草地上生物量在群落地上生物量中的占比最大(约 46%),其中赖草叶片生物量>赖草茎秆生物量。地下生物量随着刈割年份和土壤深度的增加逐渐减小,0—10 cm 根系生物量占比最大(约 55%),重度刈割时地下生物量占比最大。

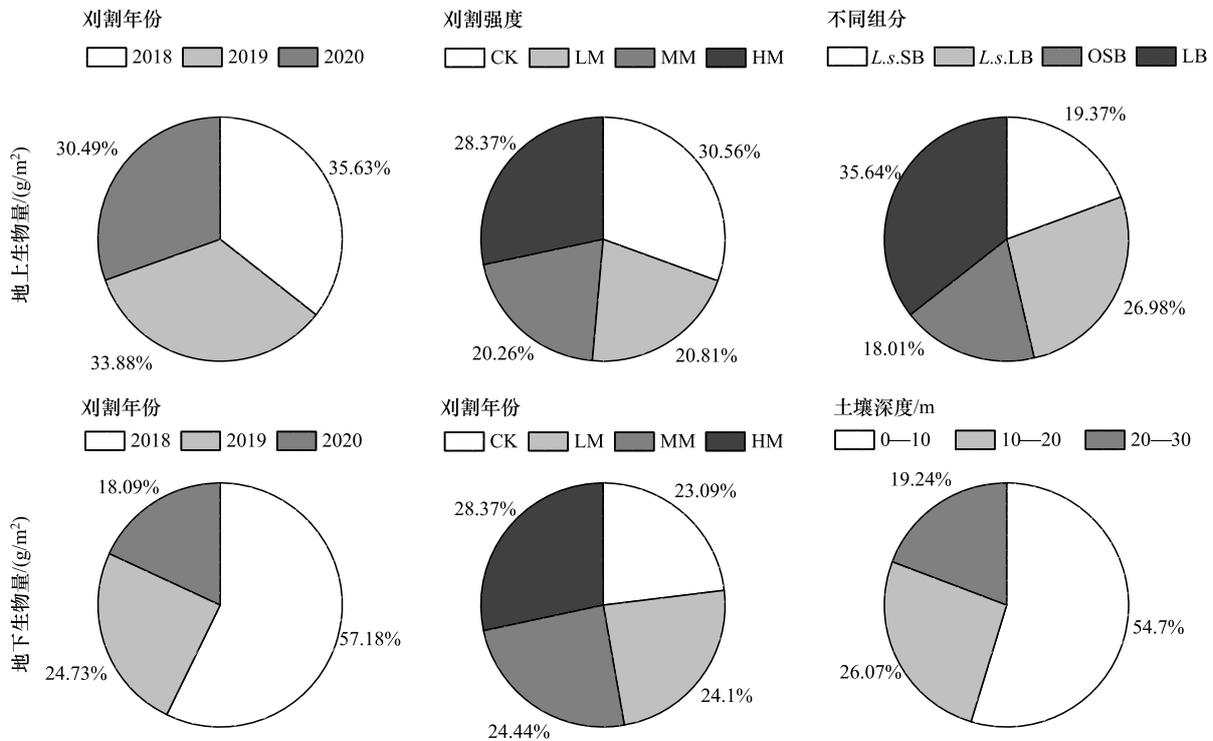


图 2 不同刈割年份和刈割强度对植物生物量的影响

Fig.2 The effects of different mowing years and mowing intensity on plant biomass

L.s.SB: 赖草茎秆生物量 *L. secalinus* shoot biomass; L.s.LB: 赖草叶片生物量 *L. secalinus* leaf biomass; OSB: 其它物种生物量 Other species biomass; LB: 凋落物生物量 Litter biomass; 0—10 cm, 10—20 cm, 20—30 cm: 不同土壤深度的根系生物量 Root biomass at different soil depths; CK: 不刈割 No mowing; LM: 轻度刈割 Light mowing; MM: 中度刈割 Moderate mowing; HM: 重度刈割 Heavy mowing

2.2 不同因素对群落生物量的整体影响

刈割年份和刈割强度显著影响赖草叶片生物量 ($P < 0.05$, 表 1)。刈割强度显著影响地上生物量 ($P < 0.01$) 和凋落物生物量 ($P < 0.001$), 同时刈割强度显著影响凋落物生物量 (LB, Litter biomass) 的年度效应 ($MY \times MI, P < 0.05$)。刈割年份和土壤深度显著影响地下生物量 ($P < 0.001$), 同时土壤深度显著影响地下生物量的年度效应 ($MY \times SD, P < 0.001$)。

2.3 刈割年份对群落生物量的影响

刈割对优势种赖草地上生物量 ($L.s.SB + L.s.LB$, *L. secalinus* shoot biomass + *L. secalinus* leaf biomass) 有促进效应 (图 3), 而对其它物种生物量 (OSB, Other species biomass) 的影响不显著 ($P > 0.05$); 2018—2020 年, 凋落物生物量和地上生物量逐年显著下降 ($P < 0.05$)。刈割对地下生物量没有显著影响, 并且刈割年份之间的差异不显著 ($P > 0.05$)。不同土壤深度根系生物量对刈割年份的响应不同, 2018 年 (丰雨年) 刈割降低了 0—10 cm 和 20—30 cm 土层根系生物量, 2019 年 (干旱年) 增加了 0—10 cm 土层根系生物量, 但降低了 20—30 cm 土层根系生物量, 且这 2 年间差异显著 ($P < 0.05$)。3 年刈割处理均增加了 10—20 cm 土层的根系生物量, 但其增加效应逐年降低。

2.4 刈割强度对群落生物量影响

不同刈割强度均会降低地上生物量 (图 4), 轻度刈割和中度刈割均显著降低了地上生物量 ($P < 0.05$), 而

重度刈割的影响较小。重度刈割对赖草地上生物量有一定的促进作用,尤其是增加了赖草叶片生物量,但作用不显著($P>0.05$)。不同刈割强度均会增加地下生物量,且主要增加 0—10 cm 和 10—20 cm 这 2 个土层的根系生物量,但降低了 20—30 cm 土层的根系生物量,重度刈割对地下生物量的促进作用更大,但作用不显著($P>0.05$)。

表 1 刈割年份、刈割强度、土壤深度及其交互作用对生物量的影响

Table 1 Effects of mowing year, mowing intensity, soil depth and their interaction on biomass

因素 Factors	L.s.SB			L.s.LB			OSB		
	F	df1	df2	F	df1	df2	F	df1	df2
刈割年份 Mowing Year (MY)	2.15	2	46	16.21 ***	2	46	1.97	2	46
刈割强度 Mowing intensity (MI)	2.01	3	45	4.29 *	3	45	1.09	3	45
土壤深度 Soil depth (SD)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MY×MI	0.54	6	2070	1.07	6	2070	0.52	6	2070
MY×SD	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MI×SD	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MY×MI×SD	—	—	—	—	—	—	—	—	—

因素 Factors	LB			AGB			BGB		
	F	df1	df2	F	df1	df2	F	df1	df2
刈割年份 Mowing Year(MY)	1.09	2	46	1.08	2	46	92.36 ***	2	142
刈割强度 Mowing intensity(MI)	7.81 ***	3	45	5.80 **	3	45	1.52	3	141
土壤深度 Soil depth(SD)	—	—	—	—	—	—	74.72 ***	2	142
MY×MI	2.63 *	6	2070	0.69	6	2070	0.42	6	20022
MY×SD	—	—	—	—	—	—	19.55 ***	4	20164
MI×SD	—	—	—	—	—	—	1.18	6	20022
MY×MI×SD	—	—	—	—	—	—	1.05	12	2843124

L.s.SB: 赖草茎秆生物量 *L. secalinus* shoot biomass; L.s.LB: 赖草叶片生物量 *L. secalinus* leaf biomass; OSB: 其它物种生物量 Other species biomass; LB: 凋落物生物量 Litter biomass; AGB: 地上生物量 Aboveground biomass; BGB: 地下生物量 Belowground biomass; *, **, *** 分别表示差异显著性 $P<0.05$, $P<0.01$, $P<0.001$

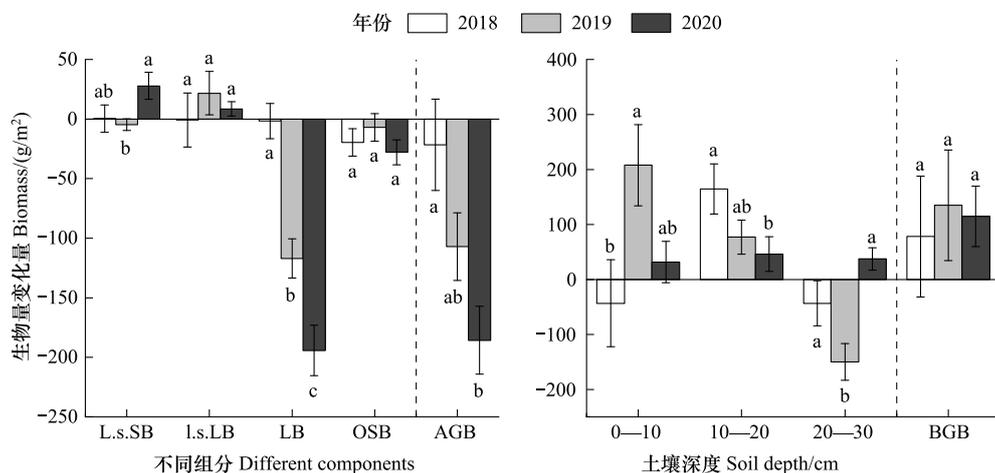


图 3 刈割年份对地上和地下生物量的影响 ($n = 12$)

Fig.3 Effects of different mowing years on above- and belowground biomass

AGB: 地上生物量 Aboveground biomass; BGB: 地下生物量 Belowground biomass; 不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)

2.5 刈割强度对各组分生物量比值的影响

赖草叶片生物量: 茎秆生物量的比值随着刈割强度的增加有先降低后升高的趋势 ($P>0.05$, 图 5)。刈割

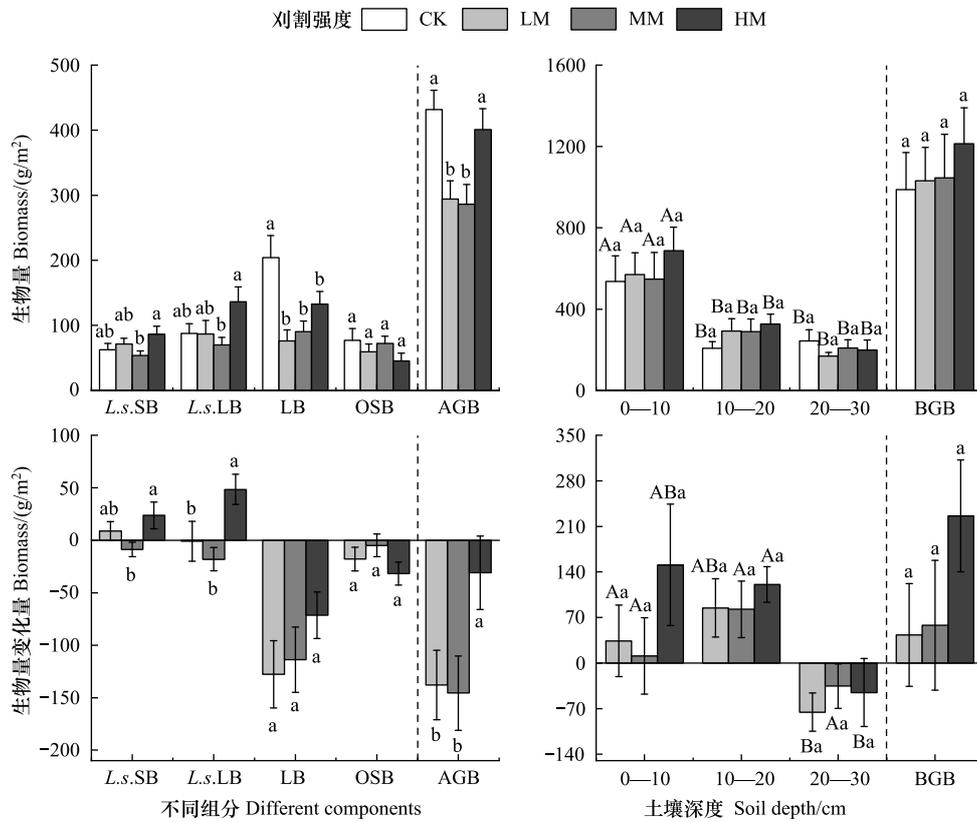


图 4 不同刈割强度对群落地上和地下生物量的影响 (n = 12)

Fig.4 Effect of different mowing intensity on plant community above- and belowground biomass

对优势种生物量(DsB, Dominant species biomass) : 群落地上生物量的比值有促进作用,其中轻度刈割和重度刈割显著增加了优势种生物量 : 地上生物量的比值 ($P < 0.05$), 而中度刈割影响不显著 ($P > 0.05$)。地下生物量 : 地上生物量的比值、地下生物量 : 优势种生物量的比值均随着刈割强度的增加有先增加后降低的趋势 ($P > 0.05$)。

2.6 刈割强度影响不同组分生物量的相关关系

群落地上生物量在不刈割时与赖草茎秆生物量、凋落物生物量呈显著正相关 ($P < 0.01$), 在轻度刈割时与赖草叶片生物量、凋落物生物量呈显著正相关 ($P < 0.01$, 图 6), 在中度刈割时与赖草叶片生物量、其它物种生物量、凋落物生物量呈显著正相关 ($P < 0.05$), 而在重度刈割时与赖草茎秆生物量呈显著正相关 ($P < 0.05$)。地下生物量在不刈割时与赖草叶片生物量、3 个土层 (0—10 cm、10—20 cm 和 20—30 cm) 根系生物量间呈显著正相关 ($P < 0.05$), 在轻度刈割时与凋落物生物量、不同土壤深度根系生物量呈现显著正相关 ($P < 0.05$), 在中度刈割时与不同土壤深度根系生物量呈现显著正相关 ($P < 0.01$), 而在重度刈割时与赖草叶片生物量、0—10 cm 和 10—20 cm 根系生物量间呈显著正相关 ($P < 0.01$)。

3 讨论

3.1 刈割影响植物地上、地下生物量及其不同器官的比例

研究区草地植物群落地上生物量主要由优势种赖草地上生物量和凋落物生物量组成,其中优势种生物量占比最大,刈割会减少群落地上生物量,不刈割处理的地上生物量最大,而中度刈割最小,这与高贝^[18]以及孙宇等^[19]的研究结果相似。与不刈割相比,轻度刈割和重度刈割对赖草茎秆和叶片的生物量均有一定的促进作用。刈割干扰下,植物会对生长、维持和生殖等方面进行养分权衡,从而形成新的生物量分配格局,群落中

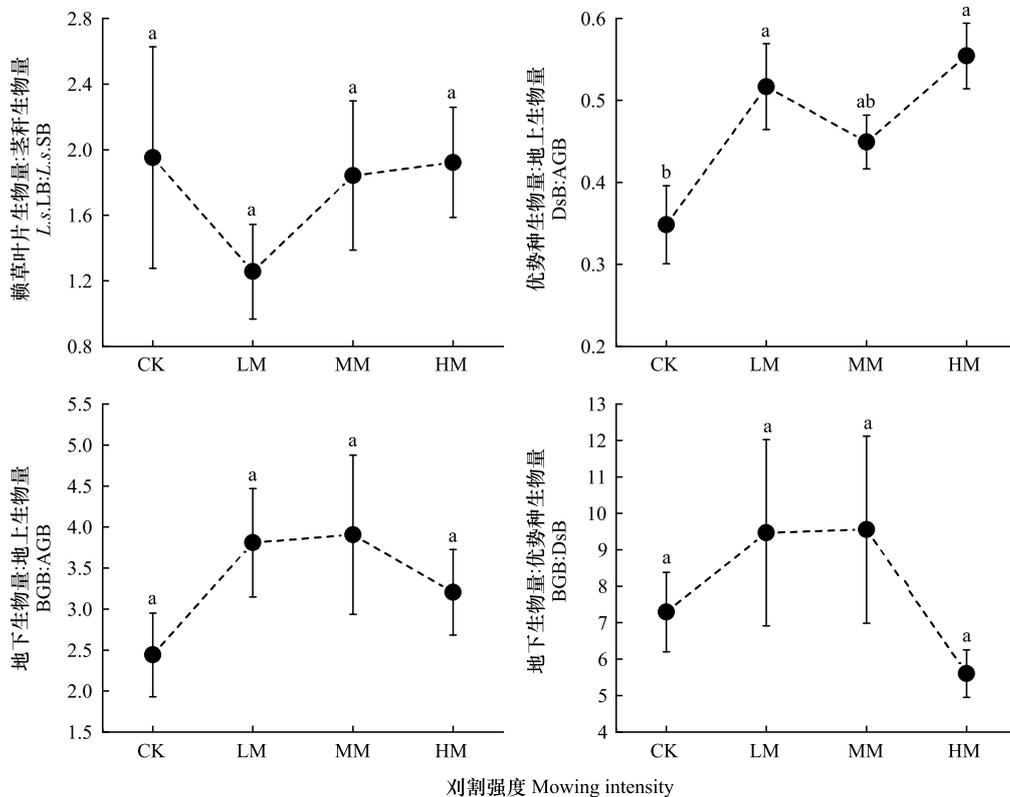


图5 不同刈割强度对群落生物量比值的影响 ($n=12$)

Fig.5 Effect of different mowing intensity on biomass ratio of community

优势种刈割后的补偿生长对稳定群落结构、功能及刈割后的恢复发挥了重要作用^[20]。研究中赖草作为绝对优势种,属于根茎型禾草,而刈割会促进根茎型禾草的无性繁殖,进而增加群落地上生物量^[21]。同时赖草属于群落顶层物种,而在重度刈割下,顶层和中间物种的超补偿生长是群落超补偿生长的主要原因^[22]。而且重度刈割时群落冠层密度降低,既有利于底层植物的生长,又可以促进新叶片的形成,增加群落光合作用,使得群落地上部分相对生长速率最快,进而促进群落超补偿生长,所以养分充足时重度刈割更有利于发挥草地的补偿潜力,提高草地整体生物量^[17]。同时重度刈割时翌年春季土壤增温快,牧草返青期更早,这样更有利于地上生物量的增加^[22]。相对而言,轻度刈割时牧草的再生能力更强,但有一定的限度,轻度刈割和重度刈割的优势种生物量与群落地上生物量的比值均高于不刈割处理,说明这2种刈割处理在一定程度上可以促进赖草刈割后的再生长,同时促进赖草翌年地上部分生长。已有研究发现糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)^[23]和针茅(*Stipa capillata*)^[24]经过刈割处理,翌年返青后也会表现出相似的结果。

地下生物量随着土壤深度增加而逐渐减小。刈割强度对地下生物量的影响较小,但与不刈割相比,数值上表现为重度刈割的地下生物量最大,可见刈割对植物群落地下生物量有一定的促进作用,这与王晓芬^[25]的研究结果一致。这可能由于牧草在刈割后会将更多的化合物转移到根系,增加地下生物量分配量^[26],且地下生物量的增加程度远大于地上生物量^[20]。短期重度刈割会增加0—20 cm 土层根系生物量,研究区群落地下生物量主要由赖草根生物量贡献,赖草根主要分布在0—20 cm 土层中,而刈割主要促进植物根系的横向生长^[27]。重度刈割时根茎型禾草会采取相对保守的氮素分配和生长策略,即增加氮素在茎基部和根茎中的存储,这种相对保守的资源分配策略更有利于其种群延续^[28]。短期刈割处理时,土壤中仍有一定的养分积累,根系是植物吸收水分和养分的重要器官,重度刈割时植物吸收的养分主要用于储存而不是再生^[8],这样根系吸收的营养无需更多的供应给地上部分,而是积累在根系中,促进表层根系生物量的增加^[29]。当然,随

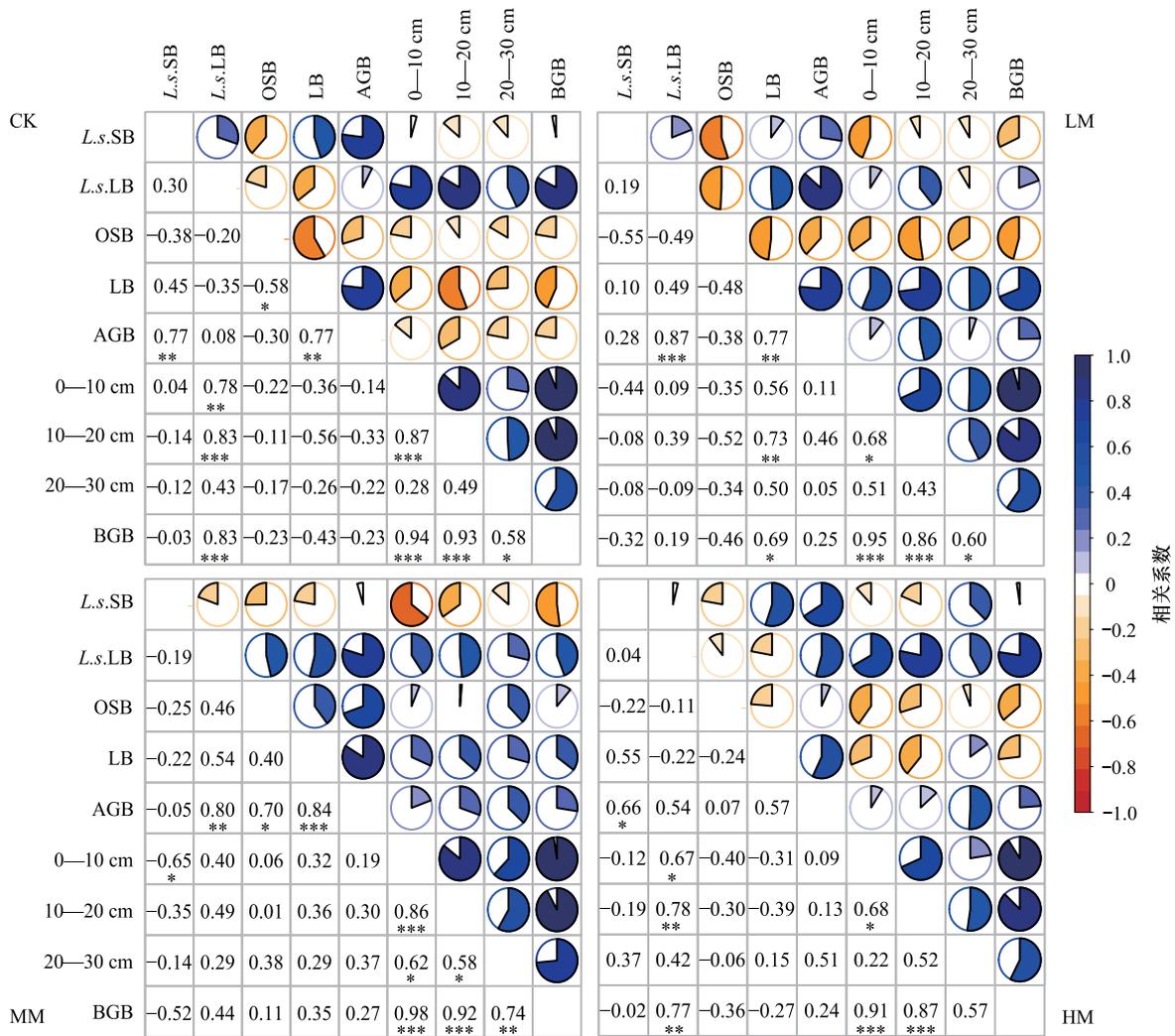


图 6 不同刈割强度各组分生物量间的相关关系

Fig.6 Pearson correlation among biomass in different mowing intensity

着刈割年份的增加,土壤中积累养分的减少,这种超补偿生长行为更有可能发生在中度刈割区域。

3.2 刈割影响植物群落地上、地下生物量对年际降水的响应

降水是影响植物生长和群落生物量的重要环境因子,而生长季降水量对植物群落生物量有显著的正效应^[30]。在连续3年的刈割实验中,2019年的生长季月平均降水量和年平均降水量均明显低于2018年和2020年,是典型的干旱年份(图1),研究区降水呈现干湿交替的规律。2018—2020年,地上生物量逐年减小,这可能因为2019年降水较少,直接影响植物生长,而且刈割后植物难以快速补偿生长^[31],导致地上生物量大幅度降低。而由于2019年凋落物归还减少和干旱的遗留效应^[32],导致2020年的地上生物量进一步降低。Sala等^[33]研究发现干旱不仅会使得当年的群落生物量降低,而且干旱遗留效应还会影响下一年的群落生物量。白杨等^[34]研究发现刈割导致锡林郭勒典型草原羊草群落地上生物量逐年下降。刈割处理下,丰雨年(2018年、2020年)和干旱年(2019年)优势种赖草地上生物量的年际差异不显著($P>0.05$),这可能因为赖草为多年生根茎型禾草,耐胁迫能力较强^[35],而赖草的这种耐刈割性对维持研究区草地生态系统稳定性有一定积极作用。

短期刈割主要通过增加0—20 cm土层根系生物量来增加群落地下生物量,但不同刈割年份间差异不显著,这与鲍雅静等^[36]的研究结果相近,但刘锐^[37]对锡林郭勒草甸草原群落生物量研究却发现地下生物量整

体上呈现逐年下降的趋势。可见刈割对群落地下生物量的影响可能与刈割草地的类型、环境因子、刈割方式、功能群特征等有很大关系^[38]。2018年(丰雨年)刈割降低了0—10 cm 土层根系生物量,但2019年(干旱年)则增加了0—10 cm 土层根系生物量。这可能存在以下2个原因:一是因为在干旱年降水量较少,不足以下渗到土壤深层,而研究区植物群落绝对优势种为赖草,其根茎主要分布在0—20 cm 的土层中,在干旱胁迫下,赖草选择将更多的根茎分布在土壤表层(0—10 cm),以此在降雨时吸收更多的水分^[39]。二是因为2018年是丰雨年,在8月中旬刈割后还会有一个月左右的生长期,而且主要补偿生长土壤表层根系生物量,而2019年是干旱年,降雨量的减少主要影响植物地上部分的生长,根系吸收的养分无需更多地转移到地上部分,进而有利于植物根系的生长和营养物质的积累^[40],所以表现为根系生物量增加。同理,由于2019年养分归还减少和刈割后根系补偿生长减弱,导致2020年(丰雨年)植物群落的地上生物量和地下生物量均会进一步降低。

3.3 对研究区草地管理的建议

研究区处于农牧交错带,同时受到土壤盐渍化的影响^[1]。试验中发现不刈割处理的小区中优势种赖草长势好,但密度低,而且下层植物种类非常少,这可能是由于地表积累了较厚的枯落物层,阻碍了赖草分蘖,更阻碍了上层植物的定植、萌发和生长^[21]。短期刈割对优势种生物量和群落地下生物量有一定的促进作用,刈割虽然减少了凋落物对土壤养分的补充,但短期刈割时植物可以利用土壤中现存的营养进行生长。预测随着刈割时间的增加,当土壤中营养减少到一定量时,可能会出现生物量降低的现象^[2]。而且短期不同强度刈割处理并没有显著影响草地植物丰富度。所以建议在研究区早期草地管理过程中,要科学地进行刈割管理。根据草地的地形地势、覆盖度、退化程度和建群种等条件,选择合适的刈割方式(时间、频率、强度等),以提高草地的生物量并保证生态系统的稳定性^[41]。建议在以多年生根茎类禾草为主的草地,可以适当增加刈割强度或者刈割频率,同时持续进行人工养分添加,以期在短期内获取较高牧草产量。而且需要结合年降水量等因素适当调整刈割方式,如在干旱年份要减少刈割,以保证生态系统翌年的能量供应。这样通过合理的刈割管理,可以获取更多的牧草产量,同时又可保证草地生态系统可持续发展。笔者团队将对该地区草地生态系统持续进行深入研究,为农牧交错带盐渍化草地生态系统的保护与可持续利用提供科学依据。

4 结论

短期刈割主要通过减少凋落物生物量降低农牧交错带草地地上生物量,通过促进0—20 cm 土层根系生长提高草地地下生物量。短期重度刈割能显著提高优势种赖草生物量在群落地上生物量中的比例,但刈割的长期效应需要在更长的时间尺度上进行深入研究,同时要考虑降水等自然因素。建议研究区进行草地管理时需优化刈割方式,在干旱年份宜采用轻度或不刈割,以缓解草地所受环境压力,丰雨年份宜采用重度刈割,以获得更高的生物量,而长期刈割时应适当施肥,进而实现草地生产和生态协调发展。

参考文献(References):

- [1] 徐小惠,刁华杰,覃楚仪,郝杰,申颜,董宽虎,王常慧. 华北盐渍化草地土壤净氮矿化速率对不同水平氮添加的响应. 植物生态学报, 2021, 45(1): 85-95.
- [2] 章家恩,刘文高,陈景青,施耀才,蔡燕飞. 不同刈割强度对牧草地上部和地下部生长性状的影响. 应用生态学报, 2005, 16(9): 1740-1744.
- [3] Ilmarinen K, Mikola J, Nissinen K, Vestberg M. Role of soil organisms in the maintenance of species-rich seminatural grasslands through mowing. *Restoration Ecology*, 2009, 17(1): 78-88.
- [4] Adler P B, HilleRisLambers J. The influence of climate and species composition on the population dynamics of ten prairie forbs. *Ecology*, 2008, 89(11): 3049-3060.
- [5] Scurlock J M O, Johnson K, Olson R J. Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements. *Global Change Biology*, 2002, 8(8): 736-753.
- [6] 孙霞,丁妮,贾宏涛,杜俊龙,金俊香. 刈割对天山北坡草甸草原生物量的影响. 水土保持通报, 2015, 35(5): 195-198,204.
- [7] Thorne M A, Frank D A. The effects of clipping and soil moisture on leaf and root morphology and root respiration in two temperate and two tropical grasses. *Plant Ecology*, 2009, 200(2): 205-215.

- [8] 郑聪聪, 王永静, 孙昊, 王新宇, 高英志. 盐碱条件下刈割干扰对羊草的氮素分配策略及补偿生长的影响. 应用生态学报, 2017, 28(7): 2222-2230.
- [9] 张峰, 郑佳华, 赵萌莉, 陈大岭, 杨阳, 乔莽璐. 刈割留茬高度对大针茅草原群落结构及稳定性的影响. 应用生态学报, 2020, 31(5): 1551-1559.
- [10] Grime J P, Mackey J M L, Hillier S H, Read D J. Floristic diversity in a model system using experimental microcosms. Nature, 1987, 328(6129): 420-422.
- [11] 崔乐乐. 不同刈割强度对北方农牧交错带草地生态系统土壤呼吸的影响[D]. 晋中: 山西农业大学, 2019.
- [12] Li X L, Hou X Y, Ren W B, Baoyin T, Liu Z Y, Badgery W, Li Y Q, Wu X H, Xu H M. Long-term effects of mowing on plasticity and allometry of *Leymus chinensis* in a temperate semi-arid grassland, China. Journal of Arid Land, 2016, 8(6): 899-909.
- [13] Zhao T Q, Zhang F, Suo R Z, Gu C, Chen D L, Yang T, Zhao M L. Biennial mowing maintains the biomass and functional diversity of semi-arid grassland. Sustainability, 2020, 12(4): 1507.
- [14] Yang Z P, Minggagud H, Baoyin T, Li F Y. Plant production decreases whereas nutrients concentration increases in response to the decrease of mowing stubble height. Journal of Environmental Management, 2020, 253: 109745.
- [15] 王惠玲, 刁华杰, 崔乐乐, 薄元超, 刘夏琳, 任雨佳, 郝杰, 李扬, 申颜, 王常慧, 董宽虎. 北方农牧交错带典型草地土壤呼吸及其组分对刈割强度的响应. 草地学报, 2020, 28(5): 1403-1411.
- [16] Redjadj C, Duparc A, Lavorel S, Grigulis K, Bonenfant C, Maillard D, Saïd S, Loison A. Estimating herbaceous plant biomass in mountain grasslands; a comparative study using three different methods. Alpine Botany, 2012, 122(1): 57-63.
- [17] 李小坤, 鲁剑巍, 陈防. 牧草施肥研究进展. 草业学报, 2008, 17(2): 136-142.
- [18] 高贝. 氮素添加和刈割对草甸草原地上净初级生产力时间和空间稳定性的影响[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2022.
- [19] 孙宇, 张峰, 郑佳华, 赵天启, 赵萌莉, 张彬. 刈割留茬高度对大针茅草原物种多样性及地上生物量的影响. 草地学报, 2021, 29(8): 1859-1864.
- [20] Liu Y S, Pan Q M, Liu H D, Bai Y F, Simmons M, Dittert K, Han X G. Plant responses following grazing removal at different stocking rates in an Inner Mongolia grassland ecosystem. Plant and Soil, 2011, 340(1): 199-213.
- [21] 白天晓, 刘安娜, 郝匕台, 宝音陶格涛, 杨兆平, 包青海, 仲延凯, 呼格吉勒图. 刈割制度下羊草草原地上生物量的动态变化机制. 中国草地学报, 2017, 39(6): 65-71.
- [22] 王丽华, 刘尉, 王金牛, 干友民, 吴彦. 不同刈割强度下草地群落、层片及物种的补偿性生长. 草业学报, 2015, 24(6): 35-42.
- [23] 李红, 郭继勋, 徐爱春, 薛丰刚, 李萌. 不同割草频次对松嫩平原羊草草地生产量的影响. 东北师大学报(自然科学版), 2000, 32(3): 53-57.
- [24] Baoyin T, Li F Y, Minggagud H, Bao Q H, Zhong Y K. Mowing succession of species composition is determined by plant growth forms, not photosynthetic pathways in *Leymus chinensis* grassland of Inner Mongolia. Landscape Ecology, 2015, 30(9): 1795-1803.
- [25] 王晓芬. 光照、施肥及刈割对青藏高原三种牧草生长的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2008.
- [26] 韩龙, 郭彦军, 韩建国, 郭芸江, 唐华. 不同刈割强度下羊草草甸草原生物量与植物群落多样性研究. 草业学报, 2010, 19(3): 70-75.
- [27] 郭正刚, 刘慧霞, 王彦荣. 刈割对紫花苜蓿根系生长影响的初步分析. 西北植物学报, 2004, (2): 215-220.
- [28] 王永静. 不同盐碱刈割条件下羊草的氮素分配策略及补偿生长[D]. 长春: 东北师范大学, 2017.
- [29] Zhao W, Chen S P, Han X G, Lin G H. Effects of long-term grazing on the morphological and functional traits of *Leymus chinensis* in the semiarid grassland of Inner Mongolia, China. Ecological Research, 2009, 24: 99-108.
- [30] Knapp A K, Ciais P, Smith M D. Reconciling inconsistencies in precipitation-productivity relationships: implications for climate change. New Phytologist, 2017, 214(1): 41-47.
- [31] Sun J, Ma B B, Lu X Y. Grazing enhances soil nutrient effects: trade-offs between aboveground and belowground biomass in alpine grasslands of the Tibetan Plateau. Land Degradation & Development, 2018, 29(2): 337-348.
- [32] 何峰, 李向林, 万里强. 生长季降水量和刈割强度对羊草群落地上生物量的影响. 草业科学, 2009, 26(4): 28-32.
- [33] Sala O E, Gherardi L A, Reichmann L, Jobbágy E, Peters D. Legacies of precipitation fluctuations on primary production: theory and data synthesis. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2012, 367(1606): 3135-3144.
- [34] 白杨. 刈割、施肥对锡林郭勒典型草原羊草群落地上生物量的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2020.
- [35] 鲍雅静, 曹明, 李政海, 郭鹏, 张靖, 秦洁. 羊草与大针茅根系构型对水分梯度响应的比较研究. 生态学报, 2019, 39(3): 1063-1070.
- [36] 鲍雅静, 李政海, 仲延凯, 杨持. 不同频次刈割对内蒙古羊草草原群落能量固定与分配规律的影响. 草业学报, 2004, 13(5): 46-52.
- [37] 刘锐. 不同刈割时间对锡林郭勒草甸草原群落及稳定性的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2022.
- [38] Gadgil M, Bossert W H. Life historical consequences of natural selection. The American Naturalist, 1970, 104: 1-24.
- [39] Schmid B, Bazzaz F A. Clonal integration and population structure in perennials: effects of severing rhizome connections. Ecology, 1987, 68(6): 2016-2022.
- [40] 白永飞, 许志信. 降水量的季节分配对羊草草原群落地上部生物量影响的数学模型. 草业学报, 1997, 6(2): 1-6.
- [41] 闫瑞瑞, 张宇, 辛晓平, 卫智军, 乌仁其其格, 郭美兰. 刈割干扰对羊草草甸草原植物功能群及多样性的影响. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2573-2583.