



刈割对一年生短生草雀麦生长和繁殖的影响

严佳 张博 魏岩

Effects of defoliation on growth and reproduction in the short-lived annual plant *Bromus japonicas*

YAN Jiayue, ZHANG Bo, WEI Yan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0631>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

刈割高度对冬小麦再生及生物量分配的影响

Regrowth and biomass allocation of dual-purpose winter wheat under two clipping heights

草业科学. 2017, 11(10): 2109 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0569>

氮添加对荒漠草原一年生短命植物根系形态特征的影响及其生物量特征关系

Effects of nitrogen addition on the root morphology and biomass characteristics of ephemeral plants in a cold desert

草业科学. 2020, 37(10): 2003 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0128>

光强和刈割处理对柠条幼苗补偿生长的影响

Effects of light intensity and clipping treatment on the compensatory growth of *Caragana korshinskii* seedlings

草业科学. 2017, 11(1): 75 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0113>

$^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射对扁穗雀麦种子萌发及其幼苗生长的影响

Effects of $^{60}\text{Co}-\gamma$ radiation on the seed germination and seedling growth of *Bromus catharticus*

草业科学. 2021, 38(7): 1319 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0131>

水分和养分添加对扭黄茅刈割后补偿作用的影响

Effect of mowing and water and nutrient additions on the compensatory responses of *Heteropogon contortus*

草业科学. 2019, 36(1): 200 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0168>

甘肃马鹿冬季牧场牧草再生性对刈割的短期响应

Short-term effect of mowing winter pastures of Gansu wapiti on forage regeneration

草业科学. 2018, 12(1): 157 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0095>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0631

严佳玥, 张博, 魏岩. 刈割对一年生短生草雀麦生长和繁殖的影响. 草业科学, 2023, 40(5): 1343-1348.

YAN J Y, ZHANG B, WEI Y. Effects of defoliation on growth and reproduction in the short-lived annual plant *Bromus japonicas*. Pratacultural Science, 2023, 40(5): 1343-1348.

刈割对一年生短生草雀麦生长和繁殖的影响

严佳玥, 张 博, 魏 岩

(新疆农业大学草业学院 / 新疆草地资源与生态重点实验室 / 西部干旱荒漠区
草地资源与生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 雀麦 (*Bromus japonicas*) 为一年生短生草, 是准噶尔荒漠早春优质牧草。对雀麦自然种群物候进行观测, 在拔节期设置两个刈割高度, 分别为 2.5 cm (矮, S) 和 7.6 cm (高, T), 研究不同刈割强度对雀麦植物生长和繁殖的影响。结果表明: 1) 刈割降低了植株高度、旗叶长度、生物量和总生物量; T 处理和 S 处理植株的高度分别比对照降低了 28.2% 和 40.1%, 生物量比对照降低了 29.9% 和 60.6%。2) 刈割显著降低了雀麦果穗的长度、小穗的数目、果实数目和果实的重量; 随着刈割强度的增加, 雀麦果穗的长度、果实数目和果实重量显著降低; T 处理和 S 处理果穗的长度分别比对照降低了 29.1% 和 41.6%、果实数目分别降低了 54.5% 和 71.7%。3) 刈割后雀麦的果实重、果实数目、生物量和总生物量的补偿指数均显著小于 1, 补偿生长模式为不足补偿; S 处理的补偿生长能力显著小于 T 处理。研究结果对于揭示短命植物的补偿生长模式以及雀麦资源的合理利用提供科学数据。

关键词: 雀麦; 刈割; 短命植物; 生物量; 种子输出

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2023)05-1343-06

Effects of defoliation on growth and reproduction in the short-lived annual plant *Bromus japonicas*

YAN Jiayue, ZHANG Bo, WEI Yan

(College of Grassland Science, Xinjiang Agricultural University / Xinjiang Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology / Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology of Western Arid Region, Ministry of Education, Urmqi 830052, Xinjiang, China)

Abstract: *Bromus japonicas* is a high-quality forage grass that is typically short-lived and found in the Junggar desert in early spring. This study involved phenological observations based on natural populations. Experimental treatments involved plant clippings at two heights, 2.5 cm (short, S) and 7.6 cm (tall, T) at the jointing stage to study the effects of different defoliation intensities on the growth and reproduction of *B. japonicas*. The results showed: 1) Clipping had decreased the height, length of flag leaf, biomass and total biomass of the plants. Compared with the control, the plant height of T and S treatments decreased by 28.2% and 40.1%, and the biomass decreased by 29.9% and 60.6%, respectively. 2) Defoliation significantly reduced the fruit ear length, number of spikelets, number of fruits and weight of fruits. With the increase of clipping intensity, the length of spikelet, number of fruits and fruit weight decreased significantly. The length of fruit ear in T and S treatments compared to the control were reduced by 29.1% and 41.6%, and the number of fruits was reduced by 54.5% and 71.7%, respectively. 3) The compensation index of fruit weight, fruit number, biomass and total biomass after clipping was significantly less than 1, and the compensation growth pattern of *B. japonicas* was inadequate. The compensatory growth

收稿日期: 2022-08-08 接受日期: 2023-02-22

基金项目: 国家牧草产业技术体系 (CARS34); 国家自然科学基金 (31560113)

第一作者: 严佳玥 (1996-), 女, 新疆乌鲁木齐人, 在读硕士生, 研究方向为草地种质资源与遗传育种。E-mail: yan_jiayue@163.com

通信作者: 张博 (1963-), 男, 甘肃皋兰人, 教授, 硕士, 研究方向为牧草遗传育种。E-mail: xjauzb@126.com

ability of S treatment was significantly lower than that of T treatment. The results provided scientific basis for revealing the compensatory growth pattern of short-lived plants and rational utilization of brome resources.

Keywords: *Bromus japonicas*; clipping; ephemerals; biomass; seed output

Corresponding author: ZHANG Bo E-mail: xjauzb@126.com

放牧是草地的主要利用方式,当植物面对放牧干扰时,常通过繁殖策略的调节适应变化的环境^[1]。刈割对植物的影响既有积极作用,也有消极作用,其结果常取决于刈割方式^[2]、物种^[3]、生育期^[4]、刈割强度^[5]等。已有研究表明,早期刈割对 *Agropyron spicatum* 产量影响很小,而中、后期刈割使其产量显著降低^[4];燕麦 (*Avena sativa*) 在分蘖期和拔节期的轻度刈割使果数和果实重量显著增加,抽穗期的重度刈割均发生不足补偿^[6];而羊草 (*Leymus chinensis*) 草原地上现存生物量与刈割频次呈显著负相关关系^[7]。有关放牧和刈割对植物影响的研究多集中在多年生禾草和一年生植物上,对短命植物生长和繁殖的影响尚未见报道。

短生草(短命植物)主要分布在冬季有积雪、春季有一定降雨的中亚气候型荒漠地带,在我国主要分布于新疆北部荒漠、草原化荒漠与荒漠草地中^[8]。这些植物利用早春雨水和融化的雪水生长发育,并在夏季干热季节来临之前短短的2个月左右时间里迅速完成生活史,整个植株或地上部分死亡,以种子或地下器官休眠渡过对植物生长不利季节的植物类群^[9]。早春短命植物分布较集中的荒漠地区,为四季牧场中的春秋场,尤其在早春季节,其他植物尚未返青前,新萌生的早春短命植物对恢复牲畜冬瘦春乏起着重要作用。

雀麦 (*Bromus japonicas*) 为一年生短命植物,当年完成其生活周期、整个植株干枯死亡,来年春季种子萌生形成新个体。雀麦在新疆分布于平原绿洲和山地草原带,常形成单一种群,是准噶尔荒漠早春优质牧草。那么,刈割对雀麦有何影响?其补偿生长模式如何?为此,本试验以刈割雀麦地上部分模拟放牧啃食,拟在定量揭示不同刈割强度对该植物生长和繁殖的影响,对于揭示短命植物的补偿生长模式与进化机制具有重要意义,同时也为荒漠区雀麦资源的合理利用提供科学资料。

1 材料和方法

1.1 研究地点

试验地位于乌鲁木齐荒漠(43°81' N, 87°33' E),地处准噶尔南缘,属中温带荒漠区,春秋季节较湿润,夏季干旱,热量充足,冬季漫长而寒冷。年降水量 288 mm,蒸发量 2731 mm;年均气温 5.3 °C,年均日较差大于 11 °C,最大超过 20 °C;≥5 °C 初日温度出现在 3 月下旬,≥10 °C 初日温度出现在 4 月下旬^[10]。

1.2 试验设计

刈割时期的选择:2021 年物候观测数据表明,雀麦生活周期短,仅 90 d 左右(3 月中旬出苗,6 月中旬果熟)、生长发育节律快,处于拔节早期的雀麦有分蘖 4~5 个,植株的绝对高度为 11.5 cm,基生叶 4~5 片,茎生叶 3~4 片,茎基到生长点的高度为 2.16 cm,有 2 个节间,小穗处于 1 次枝梗分化期;拔节之后有 5~6 个节间、穗位较高,拔节抽穗时,分蘖苗(2~3 叶)已枯黄,刈割后植株不再进行生长和生殖。因此,选择拔节早期刈割。2022 年继续观测雀麦自然种群的物候,在拔节早期(5 月 9 日)选择高度、叶片数长势一致的植株进行挂牌定株,每个刈割处理 50 株,共 150 株。用于株高、叶数、果实数、生物量等收获指标的统计。

刈割高度设计:参考 Hempy-Mayer 和 Pyke^[11] 选择两个刈割高度,分别为矮(S) 2.5 cm 和高(T) 7.6 cm,不刈割为对照(CK);7.6 cm 的较高修剪高度来控制雀麦的生长,较矮的 2.5 cm 被认为是牛羊的合理放牧高度。为减少边际效应对处理的影响,以相同的强度刈割周围的植株。

1.3 指标测定及方法

定株刈割的部分带回实验室。在果实成熟期(6 月 18 日),以单株为单位收获地上、地下部分,地上部分测量植株高度、叶长、果穗长、小穗长、小穗数、果实数;测定果实、地上部分、地下部分生物量。生物量均在 65 °C 烘箱中 12 h 后,电子天平(0.1 mg)称重。

1.4 数据分析

采用 SPSS 17.0 软件统计分析,用平均值±标准误差表示结果。统计计算茎生叶的完整度、总生物量和补偿指数。叶完整度=叶的长度/(同节位对照叶的长度×叶减小系数)×100,叶减小系数以旗叶标定(即刈割处理下旗叶长度与对照旗叶长度的比值);总生物量=刈割部分生物量+现存生物量;补偿指数(compensation index, CI)为刈割处理与对照的生物量或穗重比值,CI>1 为超补偿,CI=1 为等量补偿,CI<1 为不足补偿^[1,12]。分别对不同刈割高度处理进行单因子方差分析(ANOVA),Excel 2016 制图。

2 结果与分析

2.1 不同刈割高度下雀麦的生长

与对照相比,拔节早期刈割显著降低了植株的高度、旗叶的长度、生物量和总生物量(图 1)($P<0.05$)。随着刈割强度的增加,植株的高度、生物量和总生物量也显著降低,但对旗叶的长度无显著影

响。与对照相比,T 处理和 S 处理植株的高度分别降低了 28.2% 和 40.1%,生物量分别降低了 29.9% 和 60.6%,总生物量分别降低了 27.7% 和 54.8%。

雀麦成熟时茎生叶 6 片,基生叶 3~4 片,5 月 9 日刈割对基生叶和旗叶的完整度无影响(表 1),但旗叶的长度显著变短(图 1)。刈割处理下茎生倒 3 和倒 4 叶全部缺失。随着刈割强度的增加,茎生叶的完整度显著降低,T 处理倒 5 叶不完整,而 S 处理倒 2、5、6 叶均不完整。

2.2 不同刈割高度下雀麦的繁殖

刈割显著降低了雀麦果穗的长度、小穗的数目、果实数目和果实的重量。随着刈割强度的增加,雀麦果穗的长度、果实重量显著降低;T 处理和 S 处理单株小穗数目无差异,但 S 处理植株的果实数目显著减少。T 处理和 S 处理果穗的长度分别比对照降低了 29.1% 和 41.6%,小穗的数目都降低了 38.6%,果实数目分别降低了 54.5% 和 71.7%,果实总重量分别降低了 51.2% 和 77.4%(图 2)。

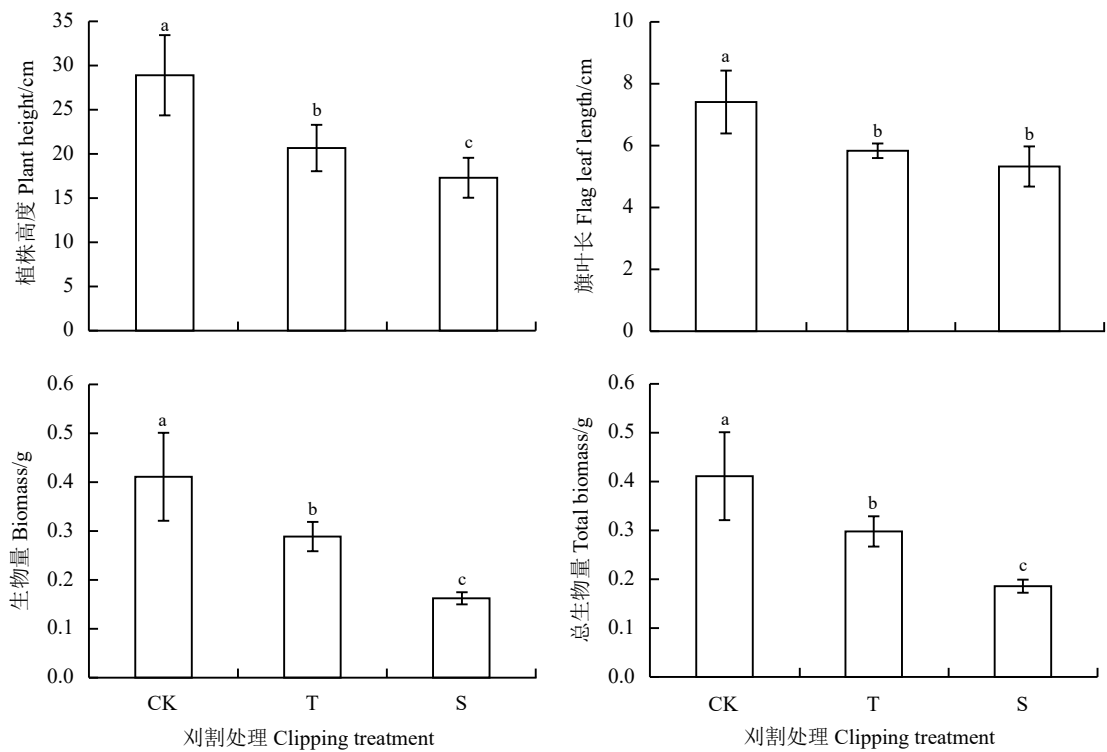


图 1 刈割对雀麦植株生长的影响

Figure 1 Effect of different clipping treatments on *Bromus japonicus*

不同小写字母表示不同刈割高度处理间差异显著($P<0.05$); T、S 和 CK 分别表示刈割高度为 7.6 和 2.5 cm 以及不刈割。下同。
Different lowercase letters indicate significant differences among different clipping height treatments at the 0.05 level; T, S, and CK indicate the height of clipping were 7.6 and 2.5 cm, and not clipping. This is applicable for the following figures and tables as well.

表 1 刈割对雀麦茎生叶完整度的影响
Table 1 Effect of different clipping treatments on leaf integrity of *Bromus japonicas*

处理 Treatment	旗叶 Flag leaf	倒2叶 Top 2nd leaf	倒3叶 Top 3rd leaf	倒4叶 Top 4th leaf	倒5叶 Top 5th leaf	倒6叶 Top 6th leaf
CK	100 ± 0a	100 ± 0a	100 ± 0a	100 ± 0a	100 ± 0a	100 ± 0a
T	100 ± 0a	100 ± 0a	0b	0b	65 ± 12b	100 ± 0a
S	100 ± 0a	65 ± 32b	0b	0b	19 ± 23c	76 ± 34b

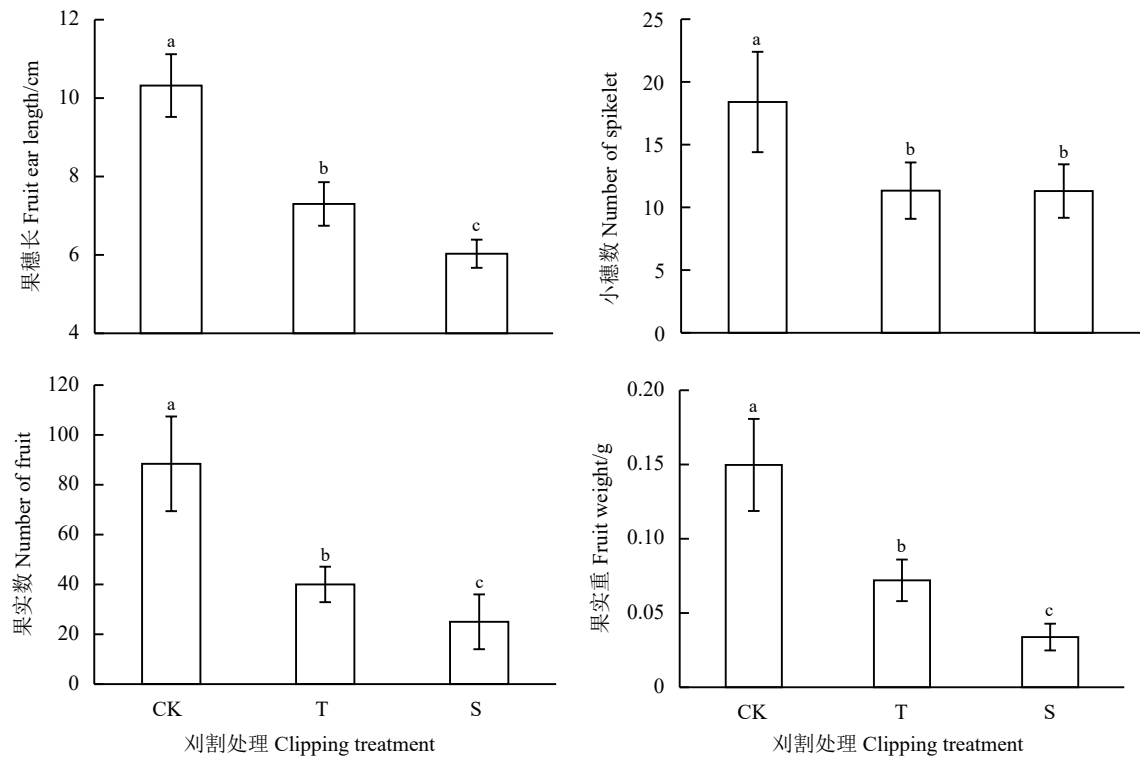


图 2 刈割对雀麦繁殖的影响
Figure 2 Effect of different clipping treatments on the rate reproduction of *Bromus japonicas* number of fruits, fruit weight

表 2 刈割处理与对照之间植物各指标的补偿指数
Table 2 Compensation index of *Bromus japonicas* between CK and the different clipping treatments

刈割/对照 Clipping/control	果实重 Fruit weight	果实数 No. of fruit	生物量 Biomass	总生物量 Total biomass
S/CK	0.226 ± 0.071c	0.284 ± 0.023c	0.395 ± 0.027c	0.452 ± 0.026c
T/CK	0.481 ± 0.214b	0.452 ± 0.076b	0.702 ± 0.030b	0.725 ± 0.029b
CK/CK	1.000 ± 0.000a	1.000 ± 0.000a	1.000 ± 0.000a	1.000 ± 0.000a

2.3 不同刈割高度下雀麦的补偿生长

刈割后雀麦的果实重、果实数目、生物量和总生物量的补偿指数均显著小于 1，为不足补偿；并且随着刈割强度的增加，和 S 处理的补偿指数显著小于 T 处理 (表 2)。

3 讨论与结论

植物具有构件生长以及产生适应环境变化结

构的能力，为植物提供了行为潜力；其生长和分生组织有关。在植物个体中，分生组织的数量、位置、分布和发育顺序、发育时间决定了植物的生长和整体结构^[13]。刈割或放牧啃食对植物地上部分的破坏较大，直接影响植物的生长^[14-16]，本研究，雀麦拔节早期的 T 和 S 两个高度刈割均对茎生叶的损伤较大，T 处理倒 5 叶不完整，而 S 处理倒 2、5、6 叶均不完整，虽然两个刈割高度均未伤及旗

叶,但旗叶的长度显著变短;叶的损伤直接影响植物雀麦的生长,拔节早期的T和S两个高度刈割均显著抑制植株的生长,并且随着刈割强度的增加,植株的高度、生物量和总生物量也显著降低。主要原因是拔节早期雀麦的茎顶端生长点位置较低,刈割对顶芽几无损伤,未能去除顶端优势,但刈割损伤了植物的叶片,降低了植株的光合面积,导致生物量显著减低。

放牧和刈割也影响植物的繁殖,尤其是种子的输出。繁殖输出常受植株个体大小的影响,较大植株可产生更多的花、果实和种子或产生较重的种子^[17-19]。不同的植物、不同时期、不同的刈割强度对繁殖输出影响不同。随着放牧强度增加,高寒草甸垂穗披碱草的繁殖输出降低,适合度减小^[20]。在拔节早期刈割显著降低了雀麦果穗的长度、小穗数和果实数和果实重量;并且随着刈割强度的增加,降低的趋势逐渐增加。刈割时小穗处于一次枝梗分化期,茎生叶的减少,直接影响小穗的分化发育及籽粒的生长,同时刈割导致植株个体变小;因此茎生叶片的损伤和植株个体的减小是雀麦繁殖输出降低的主要原因。在拔节之后抽穗期进行刈割处理,抽出的穗被刈割后,植株均不再生长而干枯,因为雀麦的生育期短、发育节律快,抽穗之后茎基部的分蘖苗已枯黄而失去生长和拔节的能力。种子是一年生植物唯一的更新器官,雀麦刈割后减少了种子的输出数目,降低了后代的适合度;但是在拔节早

期T和S两个高度刈割后雀麦仍有44.5%和28.3%果实(种子)输出,因此,作为准噶尔荒漠早春优质牧草,在拔节早期可以进行适度放牧。

不同类型的植物对刈割和放牧的响应不同,有的表现为总生物量的增加(超补偿生长),有的表现为总生物量的减少(不足补偿)^[1,21]。已有研究表明早期轻度刈割有利于垂穗披碱草的补偿作用^[12],主要是由于刈割促进了茎基分蘖的发育,所以密度调节是多年生禾草生长应对刈割干扰的重要调节机制。本研究中,拔节早期两个刈割强度均显著降低了雀麦的果实重、果实数目、生物量和总生物量,生长模式表现为不足补偿。由于雀麦为一年生短生育期草,生长发育节奏快,早期刈割叶片收到损伤,野外观察雀麦拔节后进入生殖生长,很少再进行分蘖,因此生育期短是雀麦刈割后表现为不足补偿生长的主要限制因素。需要强调的是本研究结果是在准噶尔绿洲自然种群中进行获得的,未进行人工浇水和施肥。有研究表明浇水和施肥能显著增加植物的补偿高度、分株密度、补偿地上生物量^[22-23]。那么在刈割时,进行人工浇水和施肥是否对短生草雀麦的补偿生长模式产生影响还有待深入研究。

拔节期刈割处理试验研究表明刈割显著降低了雀麦的生物量和种子输出。同时高刈割下种子的输出数目显著高于低刈割。因此,在准噶尔荒漠地区,拔节早期进行高刈割或适度放牧,既能在早春为牲畜提供新鲜饲草,又能实现雀麦种群的繁衍更新。

参考文献 References:

- [1] BALSLEY A J. Dose herbivory benefit plants? A review of the evidence. *American Naturalist*, 1986, 127: 870-892.
- [2] 杨允菲, 祝廷成. 羊草种群种子生产的初步研究. *植物生态学与地植物学学报*, 1989, 13(1): 73-78.
YANG Y F, ZHU T C. A preliminary study of seed production of *Aneurolepidium chinense* population. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica*, 1989, 13(1): 73-78.
- [3] 张晓娜, 哈达朝鲁, 潘庆民. 刈割干扰下内蒙古草原两种丛生禾草繁殖策略的适应性调节. *植物生态学报*, 2010, 34(3): 253-262.
ZHANG X N, Hadachaolu, PAN Q M. Adaptive regulation in reproductive strategy of two bunchgrasses under mowing disturbance in Inner Mongolia grassland. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(3): 253-262.
- [4] KENNETT G A, LACEY J R, BUTT C A, OLSONRUTZ K M, HAERKAMP M R. Effects of defoliation shading and competition spotted knapweed and bluebunch wheatgrass. *Journal of Range Management*, 1992, 45(4): 363-369.
- [5] KHAIR M J, SHATNAWI E L, GHOSHEH H, SHANNAG H, KHALIL I E. Defoliation time and intensity of wall barley in the Mediterranean rangeland. *Journal of Range Management*, 1999, 52(3): 258-262.
- [6] 雷抒情, 汪海洋, 杜国祯, 潘声旺. 刈割后两种不同体型植物的补偿式样对比研究. *植物生态学报*, 2005, 29(5): 740-747.
LEI S Q, WANG H Y, DU G Z, PAN S W. Compensatory growth responses of two plants with different growth forms after

- clipping. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2005, 29(5): 740-747.
- [7] 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.
BAO Y J, LI Z H, ZHONG Y K, YANG C. The effects of different frequency mowing on energy fixation and allocation of *Leymus chinensis* steppe community in Xilinguole, NeiMonggol. *Acta Prataculturae Sinica*, 2004, 13(5): 46-52.
- [8] 中华人民共和国农业部畜牧兽医司, 全国畜牧兽医总站. 中国草地资源. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
Department of Animal Husbandry and Veterinary, Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, National Animal Husbandry and Veterinary Station. Grassland Resources in China. Beijing: Science and Technology Press of China, 1996.
- [9] 毛祖美. 早春短命植物区系特点. *干旱区研究*, 1992, 9(1): 11-12.
MAO Z M. Floristic characteristics of early spring ephemeral. *Arid Zone Research*, 1992, 9(1): 11-12.
- [10] 胡汝骥. 中国天山自然地理. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
HU R J. Physical Geography of Tianshan Mountains in China. Beijing: China Environmental Science Press. 2004.
- [11] HEMPY-MAYER K, PYKE D A. Defoliation effects on *Bromus tectorum* seed production: Implications for grazing. *Rangeland Ecology & Management*, 2008, 61(1): 116-123.
- [12] 王海洋, 杜国桢, 任金吉. 种群密度和施肥对垂穗披碱草刈割后补偿作用的影响. *植物生态学报*, 2003, 27(4): 477-483.
WANG H Y, DU G Z, REN J J. The impacts of population density and fertilization on compensatory responses of *Elymus nutans* to mowing. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2003, 27(4): 477-483.
- [13] SILVERTOWN J, CHARLESWORTH D. Introduction to Plant Population Biology. Oxford: Blackwell Publishing, 2001.
- [14] CHEN X D, ZHAO B, CHEN L, WANG R, JI C H. Defoliation enhances green forage performance but inhibits grainy yield in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Experimental Agriculture*, 2016, 52(3): 391-404.
- [15] SEYMOUR M, ENGLAND J M, MALIK R, ROGERS D, SUTHERLAND A, RANDELL A. Effect of timing and height of defoliation on the grainy yield of barley, wheat, oats and canola in western Australia. *Crop & Pasture Science*, 2015, 66: 287-300.
- [16] 廖伟彪, 南志标, 张美玲. 刈割对禾草生长的影响. *中国草地学报*, 2008, 30(5): 95-105.
LIAO W B, NAN Z B, ZHANG M L. Effects of cutting on grass growth. *Chinese Journal of Grassland*, 2008, 30(5): 95-105.
- [17] KING D, ROUGHGARDEN J. Energy allocation patterns of the California grassland annuals *Plantago erecta* and *Clarkia rubicunda*. *Ecology*, 1983, 64: 16-24.
- [18] THOMPSON B K, WEINER J, WARWICK S I. Size-dependent reproductive output in agricultural weeds. *Canadian Journal of Botany*, 1991, 69: 442-446.
- [19] SUSKO D J, LOVETT-DOUST L. Plant-size and fruit-position effects on reproductive allocation in *Alliaria petiolate* (Brassicaceae). *Canadian Journal of Botany*, 2000, 78: 1398-1407.
- [20] 刘建秀, 朱志红, 郑伟. 高寒草甸放牧扰动与两种植物的反应研究. *西北植物学报*, 2005, 25(10): 2043-2047.
LIU J X, ZHU Z H, ZHENG W. Responses of two plant species to grazing practice in alpine and cold meadow under grazing and grazing-suspension. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25(10): 2043-2047.
- [21] PAIGE K N, WHITHAM T C. Overcompensation in response to mammalian herbivory: The advantage of being eaten. *American Naturalist*, 1987, 129: 407-416.
- [22] 张璐璐, 周晓松, 李英年, 袁芙蓉, 樊瑞俭, 朱志红. 刈割、施肥和浇水对矮嵩草补偿生长的影响. *植物生态学报*, 2011, 35(6): 641-652.
ZHANG L L, ZHOU X S, LI Y N, YUAN F R, FAN R J, ZHU ZH. Effects of clipping, fertilizing and watering on compensatory growth of *Kobresia humilis*. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(6): 641-652.
- [23] 孙毅, 闫帮国, 何光熊, 张梦寅, 和润莲, 史亮涛. 水分和养分添加对扭黄茅刈割后补偿作用的影响. *草业科学*, 2019, 36(1): 200-209.
SUN Y, YAN B G, HE G X, ZHANG M Y, HE R L, SHI L T. Effect of mowing and water and nutrient additions on the compensatory responses of *Heteropogon contortus*. *Pratacultural Science*, 2019, 36(1): 200-209.

(责任编辑 苟燕妮)