

DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).201907064

火烧和施肥对亚高山草甸植物多样性及生物量的影响*

彭凯悦¹, 马向丽¹, 李永进², 尹俊², 任健^{1**}, 代微然^{1**}

(1. 云南农业大学 动物科学技术学院, 云南 昆明 650201;

2. 云南省林业和草原局 草原监督管理站, 云南 昆明 650224)

摘要:【目的】以滇西北亚高山草甸为研究对象, 研究火烧和施肥对草地植物群落特征的影响, 为退化草地的恢复提供理论依据。【方法】设置火烧和施肥两因素, 其中火烧因素设火烧和未火烧 2 个水平, 施肥设 0、30 和 60 g/m² 3 个水平, 所用肥料为氮磷钾复合肥, 采用裂区试验。【结果】火烧和施肥降低了大狼毒 (*Euphorbia jolkinii*) 的优势度和重要值, 改变了亚高山草甸的植物种类及优势种, 提高了植物地上生物量 ($P<0.05$)。另外, 观察到地上生物量的变化与试验因素及经济类群有关, 其中, 火烧+施肥处理显著提高了禾本科植物的地上生物量, 降低了杂类草的生物量 ($P<0.05$), 而施肥则提高了豆科植物的地上生物量 ($P<0.05$)。据 Shannon-Wiener 多样性指数和丰富度指数可知: 火烧倾向于增加植物多样性, 而施肥的作用则相反。上述变化导致群落的相似性发生改变, 例如火烧、火烧+施肥 30 g、火烧+施肥 60 g 与 CK 间的群落相似性系数均低于 50%, 改变了群落的演替方向。【结论】火烧和施肥改变了亚高山草甸的植物种类及优势种, 降低了大狼毒的重要值, 增加了草地地上生物量, 对植物群落物种多样性指数、草地群落均匀度、物种丰富度和群落相似性系数均有一定的影响。

关键词: 亚高山草甸; 物种多样性; 地上生物量; 草地改良

中图分类号: Q 948; S 812.8

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X (2020) 01-0094-08

Effects of Fire and Fertilization on the Species Diversity and Biomass Accumulation of Subalpine Meadows

PENG Kaiyue¹, MA Xiangli¹, LI Yongjin², YIN Jun², REN Jian¹, DAI Weiran¹

(1. Faculty of Animal Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. Yunnan Forestry and Grassland Bureau, Grassland Supervision and Management Station, Kunming 650224, China)

Abstract: [Purpose] In this experiment, the plant community characteristics of the degraded sub-alpine meadows were studied in order to learn the effects of burning and fertilization on grassland rehabilitation. [Method] Factors like fire and fertilization were introduced in the experiment and split design was applied. Of this design, fire included burning treatment and no-burning treatment. For fertilization (NPK compound fertilizer), 0, 30 and 60 g/m² were set. [Result] Fire and fertilization reduced the dominance and important value of *Euphorbia jolkinii* of subalpine meadow, and changed

收稿日期: 2019-07-31

修回日期: 2019-11-13

网络首发时间: 2020-01-14 09:39:17

*基金项目: 云南省教育厅项目 (2019J0149); 云南省重点研发计划项目子课题 (2018BB001)。

作者简介: 彭凯悦 (1993—), 女, 山西长治人, 在读硕士研究生, 主要从事牧草资源开发方面的研究。

E-mail: 1340308498@qq.com

**通信作者 Corresponding authors: 任健 (1971—), 男, 四川彭山人, 博士, 教授, 主要从事草地生态的教学和科研工作。E-mail: renjian172@126.com; 代微然 (1974—), 女, 四川乐山人, 硕士, 助理研究员, 主要从事草地退化研究。E-mail: yau-iced@sohu.com

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20200113.1644.004.html>



the number of plant species and dominant species, furthermore, significantly increased the aboveground biomass ($P<0.05$), however, its changes were related to both experimental factors and economic component. The combination of fire and fertilization significantly increased the aboveground biomass of Gramineae plants ($P<0.05$) while decreased forbs. In contrast, fertilization significantly increased the aboveground biomass of leguminous plants ($P<0.05$). It was observed that burning and fertilization had opposite effects on Shannon-Wiener diversity index and richness index. Burning tended to increase plant species diversity. As a result, plant community structure was changed, which led to community dissimilarity. The similarity coefficient between burning and control reduced to less than 50%, which showed that grassland succession were changed. [**Conclusion**] Fire and fertilization changed the plant species and dominant species of subalpine meadows, reduced the important value of the *E. jolkinii*, and increased the aboveground biomass of the grassland. The plant community species diversity index, grassland community uniformity, species richness and community similarity coefficient were affected to a certain degree.

Keywords: subalpine meadows; species diversity; aboveground biomass; grassland improvement

草地资源为可再生自然资源,是多种植物聚集的集合体^[1],具有涵养水源、调节气候、促进养分循环、保护土壤、维持生物多样性等生态功能^[2],是重要生态保护屏障^[3]。在中国滇西北地区,亚高山草甸是主要草地类型,也是当地百姓生活的物质基础^[4]。近几十年来,由于气候变化、过度放牧和盲目开垦,造成草地植物群落种类多样性减少、种群生境结构单一和生产力明显下降^[5],导致滇西北草地生态系统出现退化。因此,如何提高草地生产力、恢复草地植物多样性和维持草地功能一直是人们关注的问题。

火烧是一种重要的草地管理措施,对维持草地生态系统结构和功能具有重要意义^[6]。在草地管理中,采用的是控制性火烧,火烧程度在管理者的控制范围内,能够避免火灾的发生。研究表明:火烧提高了草地群落的空间异质性^[7],火烧后3~7年内群落结构和功能优于未火烧的草地^[8]。同时,有研究发现:火烧显著降低了多年生禾草的重要值,提高了多年生杂类草的重要值^[9]。就高寒草甸而言,冬季火烧增加了牧草粗蛋白含量、中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)含量,改善了牧草产量和品质,加速了退化草地的恢复^[10]。

在草地管理中,施肥能补充土壤损失的养分^[11]、加速植物生长、促进生物量积累^[12-13]、改善牧草中干物质和可消化粗蛋白等含量^[14],从而提高草地植物的盖度、种群密度及草地生产力、

维护高寒草地生态系统平衡^[15],特别是对饲用价值较高的禾本科、莎草科和豆科植物的影响较大^[16]。不过,草地施肥中存在一个阈值,超过这个阈值就会出现增产减弱的现象^[17],而这个量与草地类型有关,因此确定合理的施肥量非常重要。不少研究发现:在施肥的基础上,结合其他因素取得的效果更好,例如施肥结合禁牧能更好地促进狼毒型退化草地的恢复,改善草地质量^[18]。

目前,中国关于火烧对草原群落影响的研究主要集中在北方草原,对南方草地的研究较少;而中国南北草地类型、草种构成和土壤肥力差异大。在南方退化亚高山草甸的管理中能否引入控制性火烧措施,再结合施肥因素,促进退化草地生产力的恢复,现在仍然不清楚。

为此,本试验以滇西北退化亚高山草甸为研究对象,通过火烧和施肥对植物群落展开研究,旨在探讨火烧和不同施肥量对滇西北亚高山草甸植物群落特征的影响,为亚高山草甸天然草场的合理利用和生物多样性维持提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区域位于云南省迪庆州香格里拉市小中甸镇国家级草原固定监测点(N27°29'00"~27°28'57", E90°52'01"~90°52'16"),海拔3 240 m,地处高寒坝区,属高原气候,年均气温5.8℃,极端最高

气温 26.5 ℃, 极端最低气温 -19.4 ℃, 无霜期 10 d, 年均降水量 849.8 mm^[19]。该区域于 2012 年开始封育, 地势开阔平坦, 植被类型属于亚高山草甸, 主要植物有草地早熟禾 (*Poa pratensis*)、西南委陵菜 (*Potentilla lineata*)、大狼毒 (*Euphorbia jolkini*)、红三叶 (*Trifolium pratense*)、白三叶 (*Trifolium repens*) 和西南鸢尾 (*Iris bulleyana*) 等, pH 为 5.42, 全氮、全磷和全钾含量分别是 7.1、1.58 和 11.9 g/kg。

1.2 试验设计

在试验区选取植被分布均匀、具有代表性的地块作为试验样地。试验包括火烧 (B)、施肥 (F) 2 个因素, 其中火烧包括火烧和未火烧 2 个水平; 施肥量设为 0、30 (F30) 和 60 (F60) g/m² 共 3 个水平; 将未火烧未施肥处理作为对照 CK, 其他处理为 F30、F60、B、B+F30 和 B+F60, 其中每个处理重复 3 次。小区面积 2 m×2 m, 小区间隔 3 m。采用裂区设计, 将试验区分为火烧区和未火烧区 2 个区域, 再在其中设置施肥处理, 火烧区和未火烧区之间间隔 10 m 以上。

2018 年 3 月, 在大部分植物处于枯黄期开展控制性火烧。火烧后, 撒施肥料, 肥料为氮磷钾复合肥 (NPK 之比 17:17:17), 分别按照 0、30 和 60 g/m² 的施肥量一次性施入。试验期间, 不施用农药、不放牧、不人为灌溉, 各个处理之间的田间管理保持一致。

1.3 样地群落结构调查

2018 年 9 月, 植物生长旺盛时期, 草地覆盖率达 80% 以上时, 对各处理 2 m×2 m 的 3 个样方进行群落调查, 采用记名法记录物种丰富度及其个体数, 测定群落总盖度、各物种的分盖度和个体数后, 在各试验小区按对角线法选取 1 个 50 cm×50 cm 的样方, 采用刈割法, 将植物齐地剪下装袋, 带回实验室量置于烘箱内, 105 ℃ 杀青 30 min 后 65 ℃ 烘至恒重, 测定各处理豆科、禾本科和杂类草的干物质现存量。

1.4 多样性指数的计算

1.4.1 多样性指数

两个个体数量分布均匀的群落, 物种数越多, 多样性指数越高。多样性指数测定采用 Shannon-Wiener 多样性指数 (H) 和 Simpson 多样性指数 (D) 表示。计算公式为: $H = -\sum P_i \ln P_i$, $D = 1/\sum P_i^2$ 。式中, $P_i = n_i/N$, P_i 代表物种 i 的相对

重要值; N 为所有物种的个体数之和; n_i 为第 i 个物种的个体数^[20-21]。

1.4.2 丰富度指数

丰富度指数^[22]表示一定大小的样方中的物种数目, 不考虑种间个体数量。采用 Margalef 丰富度指数 (Ma) 表示, 计算公式为 $Ma = (S-1)/\ln N$ 。式中, S 为群落中的物种数目; N 为观察到的所有个体总数。

1.4.3 均匀度指数

均匀度指数^[9]是一个群落或生境中全部种的个体数目的分配情况, 它反映了种属组成的均匀程度。采用 Pielou 均匀度指数 (E) 和 Alatalo 均匀度指数 (Ea) 表示, 计算公式为 $E = -(\sum P_i \ln P_i / \ln S)$, $Ea = [(\sum P_i^2)^{-1} - 1] / [\exp(H) - 1]$ 。式中, $P_i = n_i/N$; H 为实际观察的物种多样性指数; S 为群落中的总物种数。

1.4.4 物种重要值

物种重要值^[9]是以综合数值表示植物物种在群落中的相对重要值。采用 N_i 表示, 计算公式为 $N_i = (\text{相对高度} + \text{相对盖度} + \text{相对地上生物量})/3$ 。

1.4.5 群落相似性系数

采用 Sorensen 相似性系数 (C) 表示, 该系数反映了群落的稳定状态。计算公式为 $C = 2j/(a+b)$ 。式中, j 为 2 个群落中所拥有的相同物种数; a 、 b 分别为 2 个群落中的物种总数^[20]。

1.5 数据处理

采用统计学软件 SPSS 19.0 对数据进行双因素方差分析 (Two-way ANOVA), 分析火烧和施肥对亚高山草甸植被的影响。采用 Microsoft Office Excel 2003 和 SigmaPlot 11.0 作图。

2 结果与分析

2.1 火烧和施肥对植物种类的影响

在施肥和火烧试验中, 先后出现了 31 种植物, 属于 14 科 29 属 (表 1), 其中优势种受处理的影响较大。在对照组中, 观察到 15 种植物, 与之相比, 施肥新增了火绒草 (*Leontopodium leontopodioides*)、百脉根 (*Lotus corniculatus*)、洽草 (*Koeleria macrantha*)、发草 (*Deschampsia cespitosa*) 和小花草玉梅 (*Anemone rivularis*) 5 个物种, 但少了绒背蓟 (*Cirsium vlassovianum*)、山黧豆 (*Lathyrus quinquenervius*) 和风轮菜 (*Clinopodium chinense*)。另外, 施肥改变了优势种及其重要

表 1 火烧和施肥下植物种类组成

Tab. 1 Botanic composition of subalpine meadow after burning and fertilization

序号 No.	植物种名 plant family	植物种名 plant species	重要值 importance value					
			CK	F30	F60	B	B+F30	B+F60
1	菊科 Asteraceae	火绒草 <i>Leontopodium leontopodioides</i>	—	0.12	0.15	0.03	0.11	—
2		白莲蒿 <i>Artemisia stechmanniana</i>	0.09	0.05	0.14	—	—	0.29
3		绒背蓟 <i>Cirsium vlassonianum</i>	0.11	—	—	—	—	—
4		兔耳一枝箭 <i>Piloselloides hirsute</i>	0.16	0.14	0.15	—	—	—
5		紫菀 <i>Aster tataricus</i>	0.09	0.04	—	—	—	—
6	豆科 Fabaceae	黄帚橐吾 <i>Ligularia virgaurea</i>	—	—	—	0.33	0.15	0.17
7		红三叶 <i>Trifolium pratense</i>	0.04	0.60	0.54	—	0.11	0.04
8		白三叶 <i>Trifolium repens</i>	0.09	0.51	0.31	—	0.05	0.07
9		百脉根 <i>Lotus corniculatus</i>	—	0.08	0.10	0.21	0.18	0.10
10		山黧豆 <i>Lathyrus quinquenervius</i>	0.01	—	—	—	—	—
11	禾本科 Poaceae	洽草 <i>Koeleria macrantha</i>	—	0.11	0.11	—	0.18	—
12		发草 <i>Deschampsia cespitosa</i>	—	0.03	0.01	—	—	—
13		披碱草 <i>Elymus dahuricus</i>	0.13	0.19	0.22	—	—	—
14		草地早熟禾 <i>Poa pratensis</i>	0.48	0.23	0.46	0.23	0.23	0.95
15		风轮菜 <i>Clinopodium chinense</i>	0.09	—	—	—	—	—
16	唇形科 Lamiaceae	串铃草 <i>Phlomis mongolica</i>	—	—	—	0.42	0.47	0.29
17		夏枯草 <i>Prunella vulgaris</i>	—	—	—	0.01	—	0.01
18	蓼科 Polygonaceae	圆穗蓼 <i>Polygonum macrophyllum</i>	—	—	—	0.10	—	—
19		珠牙蓼 <i>Polygonum viviparum</i>	—	—	—	0.09	—	—
20		尼泊尔酸模 <i>Rumex nepalensis</i>	—	—	—	0.01	—	—
21	灯心草科 Juncaceae	葱状灯心草 <i>Juncus allioides</i>	—	—	—	0.19	0.17	0.15
22		西藏地杨梅 <i>Luzula jilongensis</i>	0.05	0.07	0.08	—	—	—
23	毛茛科 Ranunculaceae	小花草玉梅 <i>Anemone rivularis</i>	—	0.01	0.01	—	—	—
24		云生毛茛 <i>Ranunculus nephelogenes</i>	—	—	—	0.05	—	—
25	蔷薇科 Rosaceae	西南委陵菜 <i>Potentilla lineata</i>	0.59	0.25	0.45	0.11	0.08	0.13
26	萝藦科 Asclepiadaceae	大理白前 <i>Cynanchum forrestii</i>	0.08	0.05	0.06	—	0.04	—
27	鸢尾科 Iridaceae	西南鸢尾 <i>Iris bulleyana</i>	0.16	0.56	0.07	0.53	0.68	0.36
28	玄参科 Scrophulariaceae	长花马先蒿 <i>Pedicularis longiflora</i>	—	—	—	0.17	0.14	0.16
29	大戟科 Euphorbiaceae	大狼毒 <i>Euphorbia jolkini</i>	0.87	0.21	0.57	0.53	0.43	0.28
30	莎草科 Cyperaceae	华扁穗草 <i>Blysmus sinocompressus</i>	—	—	—	0.01	—	—
31	柳叶菜科 Onagraceae	柳叶菜 <i>Epilobium hirsutum</i>	—	—	—	0.01	—	—

注: “—”. 物种未在样地出现; CK. 对照; F30. 施肥 30 g; F60. 施肥 60 g; B. 火烧; B+F30. 火烧+施肥 30 g; B+F60. 火烧+ 施肥 60 g; 下同。

Note: “—”. species did not appear in the plots; CK. control; F30. fertilization 30 g; F60. fertilization 60 g; B. burning; B+F30. burning + fertilization 30 g; B+F60. burning + fertilization 60 g; the same as below.

值, 例如施肥 30 g 时, 重要值最高的是红三叶 (*Trifolium pratense*) 和白三叶 (*T. repens*); 施肥 60 g 时, 重要值最高的为大狼毒 (*Euphorbia jolkini*)、红三叶和草地早熟禾。

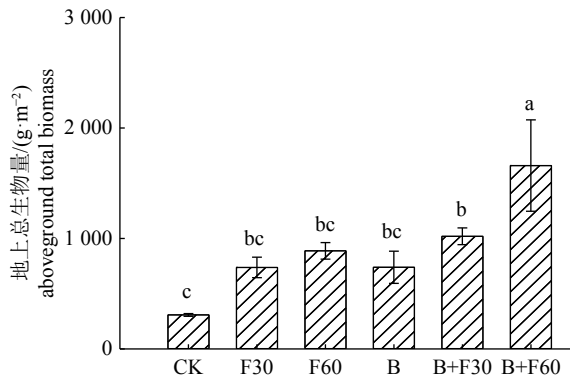
同样, 火烧对牧草的种类及优势种都产生了一定的影响。火烧后出现了火绒草、黄帚橐吾 (*Ligularia virgaurea*)、百脉根、串铃草 (*Phlomis mongolica*)、夏枯草 (*Prunella vulgaris*)、圆穗蓼 (*Polygonum macrophyllum*)、珠牙蓼 (*Polygonum*

viviparum)、尼泊尔酸模 (*Rumex nepalensis*)、葱状灯心草 (*Juncus allioides*)、云生毛茛 (*Ranunculus nephelogenes*)、长花马先蒿 (*Pedicularis longiflora*)、华扁穗草 (*Blysmus sinocompressus*) 和柳叶菜 (*Epilobium hirsutum*) 等 13 种植物, 但少了绒背蓟、兔耳一枝箭 (*Piloselloides hirsute*)、紫菀 (*Aster tataricus*)、山黧豆、披碱草 (*Elymus dahuricus*)、风轮菜和西藏地杨梅 (*Luzula jilongensis*) 和小花草玉梅 8 个物种。在火烧处理中, 大狼毒和

西南鸢尾 (*Iris bulleyana*) 的重要值最高; 火烧+施肥 30 g 中重要值最高为西南鸢尾, 其次为串铃草和大狼毒; 火烧+施肥 60 g 中优质牧草草地早熟禾的重要值最高, 其次为西南鸢尾和串铃草。

2.2 火烧和施肥对地上总生物量的影响

火烧和施肥对草地的地上总生物量产生了显著的影响 ($P<0.05$), 且地上总生物量随着施肥量的增加而增加。例如在未烧区, 施肥 30、60 g 处理中地上总生物量较 CK 分别提高了 140%, 189%。不过, 火烧后施肥的效果更明显, 2 种施肥处理则较对照分别提高了 231% 和 440%。可见, 施肥对地上总生物量的影响与火烧存在一定相关性。试验表明: 二者之间具有累积效应, 火烧+施肥 60 g 处理中, 地上总生物量高达 1 660 g/m², 显著高于其他处理 ($P<0.05$) (图 1)。



注: CK. 对照; F30. 施肥 30 g; F60. 施肥 60 g; B. 火烧; B+F30. 火烧+施肥 30 g; B+F60. 火烧+施肥 60 g; 不同的小写字母表示处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著; 下同。

Note: CK. control; F30. fertilization 30 g; F60. fertilization 60 g; B. burning; B+F30. burning + fertilization 30 g; B+F60. burning + fertilization 60 g; Different lowercase letters denote statistically significant differences between treatments ($P<0.05$), according to Student-Newman-keuls multiple range test; the same as below.

图 1 火烧和施肥对地上总生物量的影响

Fig. 1 Effects of burning and fertilization on the above-ground total biomass of subalpine meadow

亚高山草甸植被的不同经济类群受火烧和施肥的影响不同 (图 2)。在没有火烧的情况下, 施肥对禾本科牧草地上生物量的影响不显著 ($P>0.05$), 相反, 火烧后施肥的效果明显, 尤其是火烧+施肥 60 g 处理中禾本科植物的地上生物量显著升高 ($P<0.05$)。对于豆科植物来说, 火烧的影响不显著 ($P>0.05$), 而施肥的效果明显, 尤其施肥 60 g 显著提高了豆科植物的地上生物量 ($P<0.05$)。就杂类草而言, 与 CK 相比, 施肥 60 g、

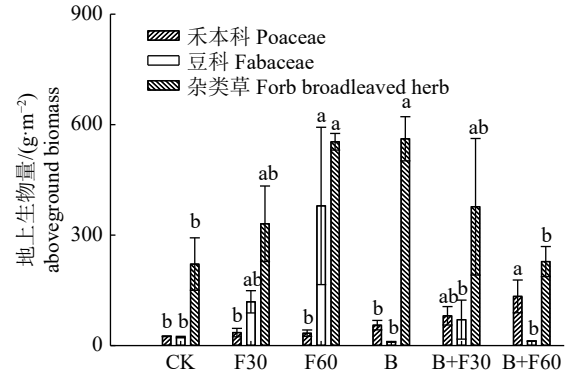


图 2 火烧和施肥对不同经济类型植被地上生物量的影响

Fig. 2 Effects of burning and fertilization on the above-ground biomass of different economic vegetation of subalpine meadow

火烧均显著提高了地上生物量 ($P<0.05$), 而火烧后施肥的效果不明显 ($P>0.05$)。

2.3 火烧和施肥对植物群落物种多样性的影响

2.3.1 火烧和施肥对物种多样性指数的影响

火烧和施肥对 Shannon-Wiener 多样性指数的影响相反, 其中火烧倾向于增加植物多样性, 施肥则倾向于降低植物多样性 (图 3)。从 Simpson 多样性指数的变化来看, 火烧和施肥的影响不显著 ($P>0.05$)。

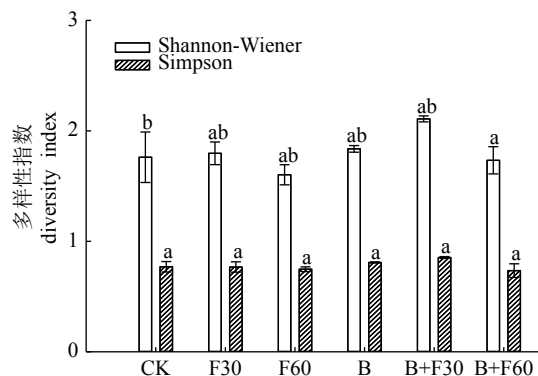


图 3 火烧和施肥对亚高山草甸多样性指数的影响

Fig. 3 Effects of burning and fertilization on the diversity indexes of subalpine meadow

2.3.2 火烧和施肥对群落均匀度的影响

火烧和施肥使群落 Pielou 均匀度指数在 1.07~1.41 之间变化, Alatalo 均匀度指数在 0.64~0.8 之间 (图 4)。其中火烧+施肥 30 g 处理的 Pielou 均匀度指数和 Alatalo 均匀度指数均最高, 但各处理间均无显著差异 ($P>0.05$), 说明火烧和施肥对草地群落均匀度没有显著影响。

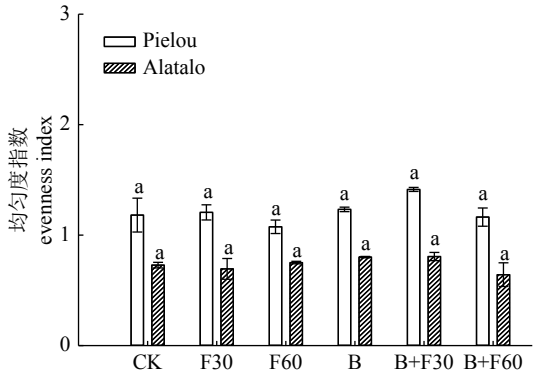


图 4 火烧和施肥对群落均匀度指数的影响
Fig. 4 Effects of burning and fertilization on the community uniformity indexes of sub-alpine meadow

2.3.3 火烧和施肥对物种丰富度指数的影响

物种丰富度指数是反映了群落中物种的多少, 火烧和施肥对它的影响不同 (图 5)。与 CK 相比, 没有火烧时, 物种丰富度随着施肥量的增加而降低, 施肥 60 g 达到最低 (2.44)。火烧后物种丰富度增加, 达到最高值 2.74, 但火烧+施肥后出现下降的趋势, 在火烧+施肥 60 g 时达到最低值, 为 2.19。不同处理群落丰富度指数为火烧>CK>施肥 30 g>施肥 60 g>火烧+施肥 30 g>火烧+施肥 60 g, 说明施肥会降低物种丰富度。

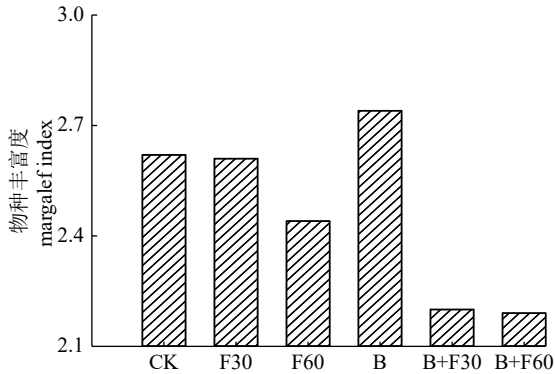


图 5 火烧和施肥对亚高山草甸物种丰富度的影响
Fig. 5 Effects of burning and fertilization on the species richness of sub-alpine meadow

2.3.4 火烧和施肥对植物群落相似性系数的影响

从群落相似性系数来看 (表 2), 施肥 30 g 和施肥 60 g 后, 植物群落与 CK 的相似度均分别为 74.1% 和 66.7%, 说明施肥的影响较小。相比而言, 火烧后, 各个处理与对照相比, 相似系数均不到 50%, 说明火烧较大地改变了群落结构, 不同程度降低了群落相似性。

表 2 火烧和施肥对亚高山草甸群落相似性系数的影响
Tab. 2 Effects of burning and fertilization on the community similarity coefficient of sub-alpine meadow %

项目 item	F30	F60	B	B+F30	B+F60
CK	74.1	66.7	25.8	41.4	42.9
F30		76.9	40.0	57.1	66.7
F60			26.7	50.0	51.9
B				68.8	64.5
B+F30					89.7

3 讨论

火烧和施肥是植物生态系统结构和功能变化的主要驱动力, 逐渐引入到草地的管理中。火烧对草地植物和群落的影响是复杂的, 有的植物的生长受到了促进, 有的植物生长发育受到了抑制^[23]。有研究表明: 火烧和施肥作用于草地时, 改善了植物的分布格局, 加速了返青, 改良牧草生长状况^[24]。

从亚高山草甸物种重要值以及功能群来看, 火烧和施肥均降低了大狼毒的重要值, 尤其是施肥 30 g 时效果最为明显, 原因是施肥促进了其他植物的生长, 削弱了大狼毒的长势。另外, CURTIS 等^[25]研究表明: 火烧会降低草地早熟禾的竞争能力, 我们的研究结论与之相似。不过, 火烧之后, 施肥 60 g 极大地提高了草地早熟禾在群落中的重要值, 可能是与禾本科牧草对肥料需要较大有关。张璐璐等^[26]研究表明: 施肥会增加禾本科植物的重要值, 从而促进退化草地的正向演替。就红三叶、白三叶等豆科植物而言, 施肥 60 和 30 g 对其重要值均有不同程度的促生长作用; 相反, 火烧降低了其重要值, 即便火烧后开展施肥效果也不明显。我们认为这与红三叶、白三叶返青时间早有关, 开展火烧时植株处于返青之中, 火烧对其生长反而不利。

生物量是评价生态系统结构和功能的基本数据, 在高寒草地上施肥可以改善土壤的肥力状况, 进而影响草地地上生物量^[27]。短期内施肥是提高草地生产力的有效手段^[28]。本试验发现: 火烧和施肥均显著提高了亚高山草甸植物的地上生物量, 且提高程度与施肥量成正比。这是由于火烧去除了土壤表面的枯落层, 降低了枯落物的遮阴作用, 使得地表能更多地吸收太阳光, 促进喜

阳植物生长,且枯落物中的养分以灰分的形式下渗到土壤中,使得土壤中全效养分和速效养分增加,为植株提供了良好的生长环境。同时,施肥为植被的生长提供了充足的养分,使产草量上升,这进一步证实了王朔林等^[24]和李政海等^[29]的研究结论。可见,火结合施肥措施有利于退化亚高山草甸植被的恢复,建议在生产中应用。

施肥对草地植物多样性的影响结论不一,有研究认为施肥会降低草地植物群落多样性^[30],导致高寒草甸物种丰富度、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数均显著降低^[31]。相反,有学者认为,施肥会提高物种数量和多样性^[27],特别是施用有机肥和氮、磷、钾肥可以使退化高寒草甸的物种多样性和草地生产力增加^[32]。这可能与群落的演替阶段有关,在退化严重的草地,施肥量与生物多样性指数呈正相关^[33],但随着演替的进一步发展,随着物种多样性的增加而出现种间及种内竞争的问题,可能在不同程度上会反过来抑制物种多样性的增加。

本研究认为:火烧和施肥均能提高亚高山草甸的 Shannon-Wiener 物种多样性指数,但对 Simpson 物种多样性指数、Pielou 均匀度指数以及 Alatalo 均匀度指数差异均不显著。其中火烧、火烧+施肥 30 g 和施肥 30 g 的 Shannon-Wiener 物种多样性指数高于 CK,而施肥 60 g、火烧+施肥 60 g 的 Shannon-Wiener 物种多样性指数却比 CK 低。出现这种现象可能是试验地为中度退化草地,施肥量为 30 g/m²,植物之间的竞争现象不明显,而当施肥量增加到 60 g/m²时,种间或种内竞争越发严重,从而降低了 Shannon-Wiener 物种多样性指数。

从植物丰富度来看,施肥和火烧的影响不同。一些研究表明施肥会降低植物丰富度^[30],本试验结果与这个结论相一致。不过,我们进一步分析发现:物种多样性降低的原因是植物在更新中新出现的物种数量低于消失的物种数量。例如:与 CK 相比,施肥出现了火绒草、百脉根、洽草、发草和小花草玉梅,但少了绒背蓟、山黧豆和风轮菜 3 个物种。试验中,火烧增加了物种丰富度,即火烧后新出现的植物种类大于消失的数量,归结于火烧清除了地表的枯草,为更多的喜光植物提供了生长空间,从而增加了植物的丰富度。火烧和施肥中物种的更迭导致群落相似性

的改变,尤其是火烧后的改变更明显。

植物丰富度、物种多样性的改变将影响群落相似性。试验中,火烧增加了物种多样性和丰富度,改变了群落结构,不同程度降低了群落相似性,有利于改变草地退化演替。

4 结论

(1) 火烧和施肥改变了亚高山草甸的植物种类及优势种,降低了大狼毒在草地群落中的重要值。

(2) 火烧和施肥增加了草地地上生物量,其中禾本科牧草效果明显,有效降低了杂类草的地上生物量,对于豆科植物而言,施肥效果明显。

(3) 从草地群落多样性上看,火烧增加了 Shannon-Wiener 多样性指数,而施肥的作用相反;同时,火烧与施肥对 Simpson 多样性指数、草地群落均匀度影响均不显著。因此,施肥对群落相似性系数产生的影响较小,相比,火烧对群落相似性的影响较大。

[参考文献]

- [1] 屈兴乐,方江平.不同修复年限退化草地植物群落的物种多样性和稳定性[J].高原农业,2018(3):220. DOI: 10.19707/j.cnki.jpa.2018.03.001.
- [2] 王德利,王岭.草地管理概念的新释义[J].科学通报,2019,64(11):1106.
- [3] 杨元武,李希来,周旭辉,等.高寒草甸植物群落退化与土壤环境特征的关系研究[J].草地学报,2016,24(6):1211. DOI: 10.11733/j.issn.1007-0435.2016.06.009.
- [4] 刘兴元,冯琦胜.藏北高寒草地生态系统服务价值评估[J].环境科学学报,2012,32(12):3152. DOI: 10.13671/j.hjkxxb.2012.12.031.
- [5] 张靖乾,张卫国,江小雷.刈割频次对高寒草甸群落特征和初级生产力的影响[J].草地学报,2008,24(5):491. DOI: 10.11733/j.issn.1007-0435.2008.05.012.
- [6] AUGUSTINE D J, BREWER P, BLUMENTHAL D M, et al. Prescribed fire, soil inorganic nitrogen dynamics, and plant responses in a semiarid grassland[J]. Journal of Arid Environments, 2014, 104: 59. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2014.01.022.
- [7] 何晴波,赵凌平,谭世图,等.云雾山典型草原群落空间异质性对不同干扰方式的响应[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,46(9):9. DOI: 10.13207/j.cnki.jnwafu.2018.09.002.
- [8] 井光花.黄土高原半干旱区草地群落结构和功能对管理措施的响应特征[D].北京:中国科学院,2017.
- [9] 赵凌平,魏楠,谭世图,等.冬季火烧对黄土高原典型草原群落特征及土壤特征的影响[J].草地学报,2018,26(3):576. DOI: 10.11733/j.issn.1007-0435.2018.03.008.

- [10] 邹小艳, 罗彩云, 赵亮, 等. 冬季火烧对高寒草甸牧草产量及品质的影响[J]. 草原与草坪, 2016, 36(5): 95. DOI: 10.13817/j.cnki.cyyyp.2016.05.016.
- [11] 王娟, 焦婷, 聂中南, 等. 不同施肥处理对高寒草地地上生物量及植物群落特征的影响[J]. 草原与草坪, 2017, 37(3): 91. DOI: 10.13817/j.cnki.cyyyp.2017.03.016.
- [12] 郑丽娜, 邢旗, 樊俊梅, 等. 施肥对科尔沁地区退化打草场的影响[J]. 草原与草业, 2018, 30(3): 55. DOI: 10.3969/j.issn.2095-5952.2018.03.013.
- [13] 刘文辉, 刘勇, 马祥, 等. 高寒区施肥和混播对燕麦人工草地生物碳储量影响的研究[J]. 草地学报, 2018, 26(5): 1150. DOI: 10.11733/j.issn.1007-0435.2018.05.017.
- [14] 姜哲浩, 康文娟, 柳小妮, 等. 施肥和补播对高寒草甸草原载畜能力的影响[J]. 草原与草坪, 2018, 38(6): 68. DOI: 10.13817/j.cnki.cyyyp.2018.06.009.
- [15] 彭艳, 赵津仪, 莽杨丹, 等. 退化高寒草地生态恢复的研究进展[J]. 高原农业, 2018, 2(3): 313. DOI: 10.19707/j.cnki.jpa.2018.03.016.
- [16] 王玲, 施建军, 尚占环, 等. 磷肥对环青海湖高寒草原植物群落特征的影响[J]. 草业科学, 2019, 36(5): 1224. DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0372.
- [17] 邱波, 罗燕江, 杜国祯. 施肥梯度对甘南高寒草甸植被特征的影响[J]. 草业学报, 2004, 13(6): 65. DOI: 10.3321/j.issn:1004-5759.2004.06.011.
- [18] 王宏生, 鲍根生, 王玉琴, 等. 不同草地管理措施对狼毒型退化草地植物生产力的影响[J]. 草业科学, 2018, 35(11): 2561. DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0202.
- [19] 任健, 李永进, 欧阳青, 等. 短期封育和施用牛粪对亚高山草甸植物群落组成及生物量的影响[J]. 草地学报, 2016, 24(6): 1197. DOI: 10.11733/j.issn.1007-0435.2016.06.007.
- [20] 章家恩. 生态学常用实验研究方法与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [21] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法: α 多样性的测度方法 (下)[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231. DOI: 10.3321/j.issn:1005-0094.1994.04.009.
- [22] 戚春林, 谢贵水, 李剑碧. 海南岛马缨丹入侵群落的物种组成与多样性[J]. 热带生物学报, 2013, 4(4): 347. DOI: 10.15886/j.cnki.rdswwb.2013.04.004.
- [23] 刘昊, 赵宁, 曹喆, 等. 干扰对草地植被与土壤的影响之研究进展[J]. 中国农学通报, 2008, 24(5): 8.
- [24] 王朔林, 王改兰, 赵旭, 等. 长期施肥对栗褐土有机碳含量及其组分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 104. DOI: 10.11674/zwyf.2015.0111.
- [25] CURTIS J T, PARTCH M L. Effect of fire on the competition between blue grass and certain prairie plants[J]. American Midland Naturalist, 1948, 39(2): 437. DOI: 10.2307/2421594.
- [26] 张璐璐, 王孝安, 朱志红, 等. 模拟放牧强度与施肥对青藏高原高寒草甸群落特征和物种多样性的影响[J]. 生态环境学报, 2018, 27(3): 406.
- [27] 权国玲. 人工施肥对天然羊草草原土壤与植物群落的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [28] 仁青吉, 罗燕江, 王海洋, 等. 青藏高原典型高寒草甸退化草地的恢复--施肥刈割对草地质量的影响[J]. 草业学报, 2004, 13(2): 43. DOI: 10.3321/j.issn:1004-5759.2004.02.007.
- [29] 李政海, 鲍雅静, 张靖, 等. 内蒙古草原退化状况及驱动因素对比分析——以锡林郭勒草原与呼伦贝尔草原为研究区域[J]. 大连民族学院学报, 2015, 17(1): 1. DOI: 10.13744/j.cnki.cn21-1431/g4.2015.01.001.
- [30] 江小蕾, 张卫国, 杨振宇, 等. 不同干扰类型对高寒草甸群落结构和植物多样性的影响[J]. 西北植物学报, 2003, 23(9): 1479. DOI: 10.3321/j.issn:1000-4025.2003.09.001.
- [31] 陈亚明, 李自珍, 杜国祯. 施肥对高寒草甸植物多样性和经济类群的影响[J]. 西北植物学报, 2004, 24(3): 424. DOI: 10.3321/j.issn:1000-4025.2004.03.009.
- [32] 陈文业, 戚登臣, 李广宇, 等. 施肥对甘南高寒草甸退化草地植物群落多样性和生产力的影响[J]. 中国农业大学学报, 2009, 14(6): 31. DOI: 10.3321/j.issn:1007-4333.2009.06.006.
- [33] 陈子萱. 人工扰动对玛曲高寒沙化草地植物多样性和生产力的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2008.

责任编辑: 何承刚