

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2018.05.006

# 不同恢复措施对藏北草地群落生产力和多样性影响的研究

全淑萍<sup>1</sup>, 苗彦军<sup>1</sup>, 边步云<sup>1</sup>, 贾书刚<sup>2\*</sup>, 关法春<sup>3\*</sup>, 郭红宝<sup>4</sup>, 杨光宗<sup>4</sup>  
(1. 西藏农牧学院, 西藏 林芝 860000; 2. 广西师范学院北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室/  
广西地表过程与智能模拟重点实验室, 广西 南宁 530001; 3. 吉林省农业科学院农村能源与生态研究所, 吉林 长春 130033;  
4. 那曲市农牧局, 西藏 那曲 852000)

**摘要:**为探索浇水、打孔措施对退化草地恢复过程中群落生物量、多样性的影响,以西藏那曲地区高寒退化草地为研究对象,开展了不同处理下的草地恢复试验。试验设置浇水和浇水打孔 2 种处理。结果表明:浇水处理增加了群落中常见种数目和 Pielou 均匀度指数,提高了群落多样性和稳定性;浇水打孔处理能够有效提高群落植物总密度,其地上生物量、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数均高于其他 2 种处理,且浇水打孔处理 Margalef 物种丰富度显著高于其他 2 种处理( $P<0.05$ ),说明浇水打孔措施更有利于过牧退化草地的恢复。  
**关键词:**退化草地;群落多样性;草地恢复;高寒草甸;藏北高原  
**中图分类号:**Q948      **文献标识码:**A      **文章编号:**1007-0435(2018)05-1078-06

## Effects of Different Restoration Measures on Productivity and Diversity of Grassland Communities in Northern Tibet

TONG Shu-ping<sup>1</sup>, MIAO Yan-jun<sup>1</sup>, BIAN Bu-yun<sup>1</sup>, JIA Shu-gang<sup>2\*</sup>,  
GUAN Fa-chun<sup>3\*</sup>, GUO Hong-bao<sup>4</sup>, YANG Guang-zong<sup>4</sup>  
(1. Tibet Agriculture and Animal Husbandry University, Linzhi, Tibet 860000, China; 2. Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf/Guangxi Key Laboratory of Earth Surface Processes and Intelligent Simulation, Ministry of Education, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi Province 530001, China; 3. Institute of Rural Energy and Ecology, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun, Jilin Province 130033, China; 4. Bureau of agriculture and animal husbandry of Naqu, Naqu, Tibet 852000, China)

**Abstract:** In order to explore the effects of watering and drilling on grassland biomass and species diversity in the restoration of degraded grassland, the alpine degraded grassland in the Naqu area was studied. Two treatments, watering (W) and watering plus puncturing (WP), were conducted. The results showed that the watering treatment increased the number of common species and Pielou evenness index in the community, and improved the community biodiversity. The watering plus drilling treatment could effectively increase above-ground biomass, and the total plant community density, Shannon-Wiener diversity index, Simpson diversity index were higher than those in the other two treatments. The species richness of Margalef was significantly higher than that of the other treatments ( $P<0.05$ ), which was more beneficial to the restoration of overgrazed and degraded grassland.  
**Key words:** Degraded grassland; Community diversity; Grassland restoration; Alpine meadow; Northern Tibetan Plateau

高寒草地是青藏高原主要的土地类型,对气候变化和人为干扰高度敏感<sup>[1]</sup>,是高寒生态系统物种及遗传基因最丰富和最集中的生态系统之一,在全球高寒地区生物多样性保护中具有十分重要的地位<sup>[2]</sup>,目前对其研究多集中在土壤理化性状和气候影响等方面<sup>[3-5]</sup>,关于群落多样性的研究,也多集中在土壤与其

收稿日期:2017-12-03;修回日期:2018-09-18  
基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0502002)资助;西藏科技厅重点项目(XZ201801NA02)资助;西藏高原生态安全联合重点实验室开放基金(STX2018-07)资助。  
作者简介:全淑萍(1991-),女,山东菏泽人,硕士研究生,主要从事农业生态研究,E-mail:13989046652@163.com; \* 通信作者 Author for correspondence,E-mail: jiasg@itpcas.ac.cn;guanfachun@163.com

他因素的互作机制上。受高原人力、物力条件的限制及恶劣自然条件的影响,高原退化草地的植被恢复多采用简单易行的措施。如采用封育措施<sup>[6]</sup>来增加草地一年生植物物种数、地面芽植物种数和地上生物量,从而增加群落植物整体生态位重叠值和植物种间竞争;采用返青期休牧<sup>[7]</sup>、减牧和禁牧处理<sup>[8]</sup>,可以显著影响土壤紧实度、湿度和温度,对藏北高原轻度退化和中度退化草地恢复治理有重要的借鉴作用<sup>[9]</sup>。

高寒草地退化状况较为严重,水分是影响土地覆盖与土地利用,决定草地生态系统结构和功能的主要因素<sup>[10]</sup>。由于人力、物力等因素的限制,灌溉、打孔措施因其技术简单、方便,易在青藏高原高寒草地实施,以往相关研究曾报道上述单项技术应用的积极效果<sup>[11-14]</sup>。张璐璐等<sup>[11]</sup>通过高寒矮蒿草甸野外控制试验,表明浇水处理提高了不刈割处理下的分株密度和重度刈割处理下的生物量相对增长率;李志强等<sup>[14]</sup>通过早熟禾草坪打孔试验,表明打孔可以改善草地颜色和整齐度,但对生长速度、分蘖密度、生殖枝数、地下生物量的影响不明显。目前,灌溉、打孔措施同时使用在青藏高原高寒草地的应用鲜有报道。

为探究藏北高寒过牧退化草地群落多样性恢复的实用措施,探索灌溉、打孔等单一有益技术措施应用后的生态效应,本研究在那曲县那曲镇设置对比试验,研究浇水和浇水打孔处理对高寒草地群落结构特征、多样性恢复的影响,以期对藏北退化高寒草地生态系统修复提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区域概况

试验地位于西藏自治区那曲县那曲镇(31.37°N,91.90°E,4 509 m),属高寒气候区,年平均气温 1.9℃,7 月份平均温度 8.6℃,1 月份平均温度 -14.8℃,积温 1 035℃,无绝对无霜期,极端最低气温 -30℃~35℃;年平均降雨量 426.7 mm,多集中于 6—9 月(约占年降雨量的 90%),年平均蒸发量 1 855 mm;年平均相对湿度为 50.3%,生长季节的 6—8 月常伴随“下午风”(风从下午开始刮,几乎每天如此)。植被类型为以高山嵩草为主的高寒草甸植被。土壤为残余母质发育的表潜类型的高寒草甸土,0~20 cm 土层植物根系致密。

### 1.2 试验设计

研究样地为退化程度均一、地势平坦的高寒草

甸,于 2013 年 3 月中旬开始进行围封。试验设置浇水(W)、浇水打孔(WP) 2 个处理,以不进行任何处理的草地为对照(CK),小区面积 20 m<sup>2</sup>(4 m×5 m),3 次重复。浇水打孔处理打孔孔径 1 cm,打孔深度 10 cm,孔间距 10 cm,行间距 10 cm,打孔完毕后,井水充分灌溉。除对照外,所有处理样地在上冻前和草地返青时分别充分透灌 2 次,打孔处理也同期进行,此外不再进行任何管理。

### 1.3 数据采集

2016 年 9 月,在生长季高峰期,进行群落调查。在小区内,随机选取 1 个面积为 50 cm×50 cm 的样方,记录样方内的物种组成,采用网格法(由 100 个面积为 5 cm×5 cm 的网格组成),测量植物群落总盖度、物种分盖度、频度、高度、密度等。调查完毕,将样方内植物齐地面剪下,带回实验室于 105℃条件下杀青 30 min 后,在 80℃下烘干至恒重,测算地上生物量。

植被盖度采用 5 cm×5 cm 网格的样方框进行群落监测,记录每个网格右上角节点处的物种和高度。在 100 个节点中物种 i 出现的次数为 n,则其盖度为  $n/100 \times 100\%$ ,物种 i 的高度为 100 个节点的平均高度;群落总盖度为所有物种盖度之和。

植被密度采用 5 cm×5 cm 网格的样方框进行群落监测,记录每个网格右上角节点处的物种株数 m,则该物种的密度为  $m/0.25 \text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$ ,群落总密度为所有物种密度之和。

植被频度采用 50 cm×50 cm 的样方框进行群落监测,物种 i 在样方中出现时,频度记为 1;物种 i 在样方中没有出现时,记为 0。

### 1.4 统计与分析

根据样地调查数据,计算出各样地各物种的重要值,其公式为重要值(IV)=(相对频度+相对密度+相对高度+相对盖度+相对生物量)/5。各物种多样性指数主要包括 Berger-Parker 多度( $P_i$ ),Margalef 物种丰富度指数(DMG),Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ ),Pielou 均匀度指数(E),Simpson 多样性指数(D)和 Sorensen 群落相似性系数(SI)。计算公式如下:

$$\begin{aligned} P_i &= n_i / N; \\ DMG &= (S-1) \times (\ln N)^{-1}; \\ H' &= -\sum P_i \times \ln P_i; \end{aligned}$$

$$E = H/\ln S;$$
$$SI = 2C/(A+B) \times 100\%;$$
$$D = 1 - \sum_{i=1}^s (N_i / N)^2$$

式中： $n_i$  为样地中物种  $i$  的重要值； $N$  为样地所研究物种的重要值之和； $S$  为各样地群落中的总物种数； $A$ 、 $B$  为 2 个不同群落的物种数； $C$  为  $A$ 、 $B$  2 个群落共有的物种数。

物种多度分布采用等级-多度图 (*rank-abundance*) 的方法进行分析<sup>[13]</sup>,  $X$  轴上的物种按重要值从大到小的顺序排列, 多度数据以  $\log_{10}$  在  $Y$  轴表示。

利用 *Excel* 2003 和 *SPSS* 21.0 统计软件对数据进行处理, 并用 *LSD* 法进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 植物群落结构特征

对不同恢复处理的那曲草地进行调查(表 1), 植物种类上, 浇水处理的最多, 有 11 种, 分属 6 个科, 其中菊科最多, 有 3 种, 莎草科、蔷薇科和玄参科各 2 种。其次是对照, 有 9 种, 分属 6 个科, 其中莎草科、蔷薇科和菊科最多, 各 2 种。再次是浇水打孔处理, 有 8 种, 分属 5 个科, 其中莎草科和蔷薇科最多, 各 2 种。浇水打孔处理没有出现玄参科植物。

从植物的种类和数量统计结果来看, 3 种处理

间总密度没有显著性差异, 除雪白委陵菜(*Potentilla nivea* Linn.)、藏西凤毛菊(*Saussurea stoliczkai* C. B. Clarke)、短穗兔耳草(*Lagotis brachystachya* Maxim.)、缘毛紫苑(*Aster souliei* Franch.)、垫状点地梅(*Androsace tapete* Maxim.)、西藏蒲公英(*Taraxacum tibetanum* Hand.-Mazz.)、肉果草(*Lancea tibetica* Hook. f. et Thoms.)外, 不同处理间其他物种的密度没有显著性差异。浇水打孔处理植物的总密度最大, 分别是浇水处理和对照的 1.05 倍和 1.01 倍, 差异不显著( $P>0.05$ ); 高山嵩草(*Kobresia pygmaea* (C. B. Clarke) C. B. Clarke) 在 3 种植物管理方式下, 密度高于其他物种, 其中浇水打孔处理下密度为  $400.00 \text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$ , 分别是浇水、浇水打孔施肥和对照处理的 1.05 倍、1.16 倍和 1.04 倍, 处理间差异不显著( $P>0.05$ ); 不同恢复措施不仅对优势种的数量具有明显影响, 还对一些亚优势种、常见种以及偶见种的数量产生影响。浇水处理与对照相比, 物种数目增加, 出现了西藏蒲公英、肉果草、缘毛紫苑 3 种植物, 短穗兔耳草并未出现; 浇水打孔处理与浇水处理相比下发现, 打孔后, 针茅(*Stipa capillata* Linn.)、高山嵩草、弱小火绒草(*Leontopodium pusillum* (Beauv.) Hand.-Mazz.)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca* Linn.)、垫状点地梅的密度均有不同程度的增加, 但植物种类减少了 5 种, 藏西凤毛菊、西藏蒲公英、肉果草、缘毛紫苑 4 种植物均未在在调查样方中发现。

表 1 不同处理下各物种的种类及密度

Table 1 Plant species and density under different treatments

种名 Species	植株密度 Density/株·m <sup>-2</sup>		
	浇水 W	浇水+打孔 WP	对照 CK
针茅 <i>Stipa capillata</i> Linn.	58.667±0.040 <sup>a</sup>	66.667±0.096 <sup>a</sup>	114.667±0.102 <sup>a</sup>
弱小火绒草 <i>Leontopodium pusillum</i>	8.000±0.017 <sup>a</sup>	40.000±0.066 <sup>a</sup>	5.333±0.008 <sup>a</sup>
雪白委陵菜 <i>Potentilla nivea</i> Linn.	48.000±0.066 <sup>a</sup>	20.000±0.005 <sup>a</sup>	18.667±0.014 <sup>a</sup>
二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i> Linn.	13.333±0.010 <sup>a</sup>	52.000±0.105 <sup>a</sup>	33.333±0.023 <sup>a</sup>
藏西凤毛菊 <i>Saussurea stoliczkai</i>	5.333±0.010 <sup>a</sup>	—	4.000±0.011 <sup>a</sup>
白尖苔草 <i>Carex oxyleuca</i>	17.333±0.031 <sup>a</sup>	5.333±0.018 <sup>a</sup>	6.667±0.011 <sup>a</sup>
短穗兔耳草 <i>Lagotis brachystachya</i> Maxim.	—	—	2.667±0.007
高山嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i>	381.333±0.035 <sup>a</sup>	400.000±0.049 <sup>a</sup>	385.333±0.120 <sup>a</sup>
小叶棘豆 <i>Oxytropis microphyllum</i>	21.333±0.030 <sup>a</sup>	5.333±0.008 <sup>a</sup>	12.000±0.025 <sup>a</sup>
缘毛紫苑 <i>Aster souliei</i> Franch.	5.333±0.013	—	—
垫状点地梅 <i>Androsace tapete</i> Maxim.	—	1.333±0.004	—
西藏蒲公英 <i>Taraxacum tibetanum</i>	1.333±0.005	—	—
肉果草 <i>Lancea tibetica</i>	2.667±0.010	—	—
合计	562.667±139.733 <sup>a</sup>	590.667±75.295 <sup>a</sup>	582.667±90.185 <sup>a</sup>

注:各行内不同小写字母表示在 0.05 概率水平上处理间差异显著。“—”表示该处理未出现此项,下同  
Note:Different lowercase letters in same row indicate significant difference between treatments at the 0.05 level. The “—”indicates that this item was not available in this treatment,the same as below

2.2 植物生物量

浇水打孔处理的总生物量高于其他 2 种,差异不显著(表 2, $P>0.05$ );浇水和浇水打孔处理的雪白委陵菜、小蒿草的物种生物量均高于对照,差异不显著( $P>0.05$ );浇水处理的针茅生物量明显高于对照,处理间差异显著( $P<0.05$ )。

表 2 不同处理方式下植物生物量的影响  
Table 2 Above-ground biomass under different treatments

种名 Species	植物生物量 Above-ground biomass/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$		
	浇水 W	浇水+打孔 WP	对照 CK
针茅 <i>Stipa capillata</i> Linn.	0.914±0.068 <sup>a</sup>	1.764±0.448 <sup>a</sup>	4.021±0.668 <sup>b</sup>
弱小火绒草 <i>Leontopodium pusillum</i>	0.255±0.110 <sup>a</sup>	2.584±0.505 <sup>a</sup>	0.921±0.216 <sup>a</sup>
雪白委陵菜 <i>Potentilla nivea</i> Linn.	3.886±0.682 <sup>a</sup>	2.906±0.572 <sup>a</sup>	2.741±0.412 <sup>a</sup>
二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i> Linn.	0.959±0.112 <sup>a</sup>	4.489±1.456 <sup>a</sup>	1.819±0.381 <sup>a</sup>
藏西凤毛菊 <i>Saussurea stoliczkae</i>	0.540±0.125 <sup>a</sup>	0.040±0.018 <sup>a</sup>	0.564±0.244 <sup>a</sup>
白尖苔草 <i>Carex oxyleuca</i>	0.367±0.105 <sup>a</sup>	0.038±0.005 <sup>a</sup>	0.178±0.036 <sup>a</sup>
短穗兔耳草 <i>Lagotis brachystachya</i> Maxim.	—	—	0.057±0.025 <sup>a</sup>
高山嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i>	8.093±0.577 <sup>a</sup>	8.989±0.065 <sup>a</sup>	6.477±1.710 <sup>a</sup>
小叶棘豆 <i>Oxytropis microphyllum</i>	1.618±0.245 <sup>a</sup>	1.340±0.302 <sup>a</sup>	2.062±0.561 <sup>a</sup>
缘毛紫苑 <i>Aster souliei</i> Franch.	0.479±0.080 <sup>a</sup>	0.159±0.065 <sup>a</sup>	0.250±0.108 <sup>a</sup>
垫状点地梅 <i>Androsace tapete</i> Maxim.	—	0.527±0.228	—
西藏蒲公英 <i>Taraxacum tibetanum</i>	—	—	0.334±0.145
肉果草 <i>Lancea tibetica</i>	0.447±0.193	—	—
合计	17.558±0.976 <sup>a</sup>	22.837±0.978 <sup>a</sup>	19.424±2.178 <sup>a</sup>

2.3 群落内多度等级

由图 1 可知,各种不同处理下植物种群的等级-多度分布情况。浇水处理的优势种单一,趋势线开始下降较快,但相对多度在 1%~10%的常见种相比对照处理较多,趋势线下降得较慢;对照的优势种和亚优势种均较为突出,趋势线开始下降较为缓慢,相对多度在 1%~10%的常见种和小于 1%的偶见种较多,趋势线下降较慢。上述结果表明,上冻前及返青期浇水处理对偶见种的出现产生影响。浇水打孔处理的优势种单一,趋势线开始下降较快,相对多度在 1%~10%的常见种和小于 1%的偶见种较多,相对多度在 1%~10%范围内趋势线下降较慢。结果表明,打孔对优势种影响不大,但有利于偶见种的出现。

2.4 群落多样性

相对于对照,其他 2 种恢复措施植物群落的物

种数、密度、高度、盖度均有相应的改变,致使群落结构发生变化。总体上,除了 Margalef 物种丰富度指数,其他 3 种指数的浇水和浇水打孔处理与对照相比都没有显著性改变;浇水打孔处理 Margalef 物种丰富度指数是浇水的 1.42 倍,处理间差异显著( $P<0.05$ )(表 3)。

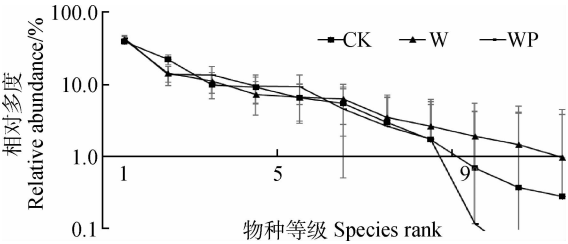


图 1 不同处理方式下植物等级及多度分布图  
Fig. 1 Rank and abundance of plants under different treatments

表 3 不同处理下群落多样性指数  
Table 3 Biodiversity indices of plant community under different treatments

多样性指数/Biodiversity indices	浇水处理 W	浇水+打孔处理 WP	对照处理 CK
Shannon-Wiener 多样性指数 $H'$	0.765±0.089 <sup>a</sup>	0.835±0.083 <sup>a</sup>	0.767±0.071 <sup>a</sup>
Pielou 均匀度指数 E	0.466±0.046 <sup>a</sup>	0.378±0.092 <sup>a</sup>	0.406±0.048 <sup>a</sup>
Margalef 物种丰富度指数 DMG	0.784±0.017 <sup>b</sup>	1.116±0.309 <sup>a</sup>	0.890±0.091 <sup>b</sup>
Simpson 多样性指数 D	0.246±0.035 <sup>a</sup>	0.278±0.035 <sup>a</sup>	0.250±0.021 <sup>a</sup>

3 讨论

3.1 不同措施对植物群落结构的影响

水分胁迫影响植株器官生长,降低叶面积和叶绿素含量,导致光合产物减少,一系列生理代谢功能减弱<sup>[15]</sup>,是影响西藏高寒草地生态系统的关键生态因子<sup>[16-17]</sup>。浇水直接加大土壤中植物可利用的有效水分比例,并通过影响根际微生物等活动间接地影响植物对养分的吸收、运输和利用<sup>[18-19]</sup>。与对照相比,浇水和浇水打孔处理使植物群落结构更加复杂,植物种类更多,Pielou 均匀度指数更大,进而促进群落多样性的恢复。

打孔是草地改良的一种常用且有效的物理措施,具有疏松土壤、改善土壤通气性和透水性、促进有机物和枯草层分解<sup>[14,20]</sup>、切断根茎和匍匐茎、刺激新茎生长、加快返青进程<sup>[21-22]</sup>、有效拦截地面径流和坡面流、增强养分吸收、促进土壤微生物活动及土壤有机质积累的作用<sup>[14,23-24]</sup>。此外,打孔后形成的地面孔洞将成为植物种子和枯草、牛粪等有机碎屑的天然捕捉器,起到丰富种子库、改善地下水肥环境的作用<sup>[20]</sup>。从本试验等级多度分析结果来看,打孔因素更有利于偶见种的出现,这对系统多样性特征影响较大。因此当打孔因素加入后,浇水打孔处理群落总密度、生物量、Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 物种丰富度指数和 Simpson 多样性指数均高于浇水处理,说明打孔进行了有效地蓄水,改善了深层土壤水分状况,满足了偶见种生长发育的需要,进而总物种数得到增加,物种丰富度、生物量提高,从而对提高草地生物多样性具有更为积极的促进作用。

3.2 不同措施对植物群落生物量以及多样性的影响

地上生物量是生态系统净初级生产力的表现形式,反映了群落植物总体的干物质生产与消耗之间的平衡<sup>[25-26]</sup>,是判断草地状况和生产潜力的重要依据<sup>[27]</sup>。与其他相比,浇水打孔处理增加了植物群落的地上生物量,群落总生物量分别是浇水处理和对照的 1.30 倍、1.18 倍,差异并不显著( $P>0.05$ )。高寒草地虽然土壤有机质丰富,但其矿化率低,物质流动进程缓慢,可利用养分缺乏<sup>[14]</sup>,即使进行浇水打孔处理后截留下的有机碎屑物,其在短期内的分解量也比较有限,不能完全满足植物生长需要,对植物生长的促进作用是有限度的。

浇水和打孔措施对 Pielou 均匀度指数的影响是相反的,而对净初级生产力的促进作用是一致的。浇水处理的 Pielou 均匀度指数高于浇水打孔处理和对照,说明打孔措施降低了 Pielou 均匀度,差异不显著( $P>0.05$ );另外,浇水打孔处理的 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 物种丰富度指数、Simpson 多样性指数和生物量均高于于浇水处理和对照,表明浇水对于常见种的生长发育发挥了作用,而打孔措施满足了偶见种生长发育的需要,进而总物种数得到增加,物种丰富度提高,说明浇水和打孔措施叠加后不仅增加了群落物种多样性,而且还提高了群落净初级生产力。

有研究表明,群落中的物种数越丰富,其结构越稳定<sup>[28]</sup>。浇水打孔处理 Margalef 物种丰富度指数是浇水处理的 1.42 倍,处理间差异显著( $P<0.05$ ),说明浇水和打孔措施叠加后可以一定程度上提高群落净初级生产力、促进植被的恢复、增加群落的稳定性。

4 结论

浇水处理增加了群落中常见种数目和 Pielou 均匀度指数,提高了群落多样性和稳定性;浇水打孔处理能够有效提高群落植物总密度,其地上生物量、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数均高于其他 2 种处理,且浇水打孔处理下,Margalef 物种丰富度显著高于其他 2 种处理( $P<0.05$ ),说明浇水打孔措施更有利于过牧退化草地的恢复。

参考文献

[1] Ma W H, He J S, Yang Y H. Environmental factors covary with plant diversity productivity relationships among Chinese grassland sites[J]. Global Ecology and Biogeography, 2010, 19 (2): 233-243

[2] 马生林. 保护青藏高原生物多样性刻不容缓[C]//全国生物多样性保护及外来有害物种防治交流研讨会论文集. 上海: 中国环境科学学会, 2013: 76-78

[3] 张建贵, 蒋永梅, 姚拓, 等. 不同管理措施对高寒草甸土壤微生物氮素生理群数量影响研究[J]. 草业学报, 2017, 26(8): 65-73

[4] 钟芳, 柴晓虹, 王国基, 等. 植被恢复方式对黄土丘陵区土壤理化性质及微生物特性的影响[J]. 中国沙漠, 2014, 34(4): 1064-1072

[5] 蒋永梅, 姚拓, 李建宏, 等. 不同管理措施对高寒草甸土壤微生物量的影响研究[J]. 草业学报, 2016, 25(12): 35-43

[6] 魏斌, 陆妮, 李佳琪, 等. 封育对高寒草甸植物群落构成及生态位特征的影响[J]. 西北植物学报, 2017, 37(5): 0983-0991

[7] 马玉寿,李世雄,王彦龙,等. 返青期休牧对退化高寒草甸植被的影响[J]. 草地学报,2017,25(2):290-295

[8] 林丽. 高寒草甸不同演替状态下植物、土壤对放牧强度的响应与适应[D]. 兰州:甘肃农业大学,2017

[9] 周华坤,周立,赵新全,等. 江河源区“黑土滩”型退化草场的形成过程与综合治理[J]. 生态学杂志,2003,22(5):51-55

[10] 余成群,武俊喜,关法春. 西藏高寒退化草地草浆地膜覆盖的保水作用研究[J]. 草业学报,2013,22(2):318-321

[11] 张璐璐,周晓松,李英年,等. 刈割、施肥和浇水对矮嵩草补偿生长的影响[J]. 植物生态学报,2011,35(6):641-652

[12] 李燕. 高寒草甸对刈割、施肥和浇水发生响应的最优植物性状集和功能型[D]. 西安:陕西师范大学,2013

[13] 李艳. 刈割、施肥对高寒草甸土壤、植物 N、P 化学计量特征的影响[D]. 西安:陕西师范大学,2014

[14] 李志强,韩建国,陈怀,等. 打孔和施肥处理对草地早熟禾草坪质量的影响[J]. 草业学报,2000,17(6):71-80

[15] 刘祖贵,陈金平,段爱旺,等. 不同土壤水分处理对夏玉米叶片光合等生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(1):90-95

[16] 吴建国,吕佳佳. 气候变化对青藏高原高寒草甸适宜气候分布范围的潜在影响[J]. 草地学报,2009,17(6):699-705

[17] 周华坤,周立,赵新全. 青藏高原高寒草甸生态系统稳定性研究[J]. 科学通报,2006,51(1):63-69

[18] 范燕敏,孙宗玖,武红旗,等. 封育对山地草地植被及土壤特性的影响[J]. 草业科学,2009,26(3):79-82

[19] 李媛媛,董世魁,李小艳,等. 围栏封育对黄河源区退化高寒草地植被组成及生物量的影响[J]. 草地学报,2012,20(2):275-279

[20] 刘晓波,杨春华,徐耀华,等. 打孔对草坪枯草层及坪床土壤微生物活性和有机质含量的影响[J]. 草地学报,2013,21(1):174-179

[21] 宋桂龙,韩烈保. 养护管理对足球场草坪运动质量影响的研究进展[J]. 草业科学,2003,20(9):67-70

[22] 鲁朝辉. 暖季型草坪的科学养护管理技术[J]. 四川草原,2002(3):42-46

[23] 刘劲松. 关于草坪打孔机与对草坪生长的影响[J]. 内蒙古林业调查设计,2003,26(2):59-60

[24] 杨兆平,欧阳华,宋明华,等. 青藏高原多年冻土区高寒植被物种多样性和地上生物量[J]. 生态学杂志,2010,29(4):617-623.

[25] 张俊刚. 不同改良措施对退化草地群落和土壤特征的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2016

[26] 武建双,李晓佳,沈振西,等. 藏北高寒草地样带物种多样性沿降水梯度的分布格局[J]. 草地学报,2012,21(3):17-25

[27] 王军峰,沙志鹏,关法春,等. 移栽措施对西藏退化草地生物量和植物多样性的影响[J]. 中国农业大学学报,2015,20(1):103-109

[28] 王明君,韩国栋,崔国文,等. 放牧强度对草甸草原生产力和多样性的影响[J]. 生态学杂志,2010,29(5):862-868

(责任编辑 郭建鑫)