

施肥干扰对陕北黄土丘陵区 三个典型群落结构组成的影响

陈小燕^{1,4}, 梁宗锁^{1,2,*}, 杜 峰¹, 邵宏波³, 刘国彬¹

(1. 中国科学院水利部水土保持与生态环境研究中心 陕西杨陵 712100 2. 西北农林科技大学 生命科学学院 陕西杨陵 712100 ;
3. 青岛科技大学 山东青岛 266042 4. 中国科学院研究生院 北京 100039)

摘要 在陕北黄土丘陵区,为了加快当地植被的恢复速度,结合当地条件,通过小区施肥实验与野外调查,研究了施肥对不同演替阶段的 3 个典型群落(猪毛蒿 (*Artemisia scoparia*)、长芒草 (*Stipa bungeana*)和铁杆蒿 (*Artemisia sacrorum*))结构组成的影响。结果表明:(1)与对照相比,施肥后 3 个群落中物种的重要值发生改变。猪毛蒿群落中,1 年生植物狗尾草 (*Setaria viridis*)重要值减小,而多年生植物阿尔泰狗娃花 (*Heteropappus altaicus*)、冰草 (*Agropyron cristatum*)等重要值增大,成为群落中的主要物种;长芒草群落,与对照相比,施肥降低了优势种长芒草的重要性,而达乌里胡枝子 (*Lespedeza dahurica*)的重要值明显增大;铁杆蒿群落则随着肥量增加,铁杆蒿的重要值表现为逐渐上升,与对照相比,群落中的伴生种二裂萎陵菜 (*Potentilla bifurca*)、芨蒿 (*Artemisia giraldii*)在处理区的平均重要值有所下降,而演替后期物种达乌里胡枝子的重要值增大。(2)与对照相比,通过施肥,除铁杆蒿群落高肥区密度外,3 个群落的高度、生物量和密度均有显著提高,表现为高度和生物量在高肥区达最大,密度在中肥区达最高。3 个群落相比,演替前期的猪毛蒿群落提高幅度最大,长芒草次之,铁杆蒿最小。(3)施肥改变了 3 个群落的物种多样性。群落类型不同,其变化趋势亦不同。猪毛蒿和铁杆蒿群落 Patrick 丰富度指数在中肥区达最高,随着施肥量的增加, Margalef (Q_{ma})、Shannon-Wiener (Q_{sw})和 Pielou (J)指数产生不同程度的下降,而 Berger-Parker 优势度指数 (I)逐渐增大;长芒草群落则随着施肥量的增加,Patrick 指数、 I_{ma} 、 I_{sw} 和 J 均有不同程度的上升,而优势度指数 I 呈下降趋势。

关键词 黄土丘陵区 施肥 干扰 物种多样性

文章编号:1000-0933(2007)07-3061-11 中图分类号:Q948.15 文献标识码:A

The effect of disturbance on the structure and form of three typical communities in Loess hilly region of the northern of Shaanxi Province

CHEN Xiao-Yan^{1,4}, LIANG Zong-Suo^{1,2,*}, DU Feng¹, SHAO Hong-Bo³, LIU Guo-Bin¹

1 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China

2 The Life Science College of Northwest A&F University, Yangling 712100, China

3 Qingdao Sci-Tech University, Qingdao 266042, China

4 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (7) 3061 ~ 3071.

Abstract: The vegetation restoration was very slow because of water and fertilizer deficiency, which was caused by serious soil erosion on Loess hilly region. So, it was necessary to use artificial disturbance as a way to improve water and nutrient

基金项目:中国科学院西部行动计划资助项目(KZCX2-XB2-05)教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目

收稿日期:2006-11-01;修订日期:2007-06-11

作者简介:陈小燕(1977~)女,河北晋州人,博士,主要从事植被恢复生态学研究。E-mail:Ljchxy@126.com

*通讯作者 Corresponding author. E-mail:Liangzs@ms.iswe.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by western activity program of CAS (No. KZCX2-XB2-05) and the supporting planning study item of the elitists of new century of Ministry of Education

Received date 2006-11-01; **Accepted date** 2007-06-11

Biography: CHEN Xiao-Yan, Ph. D. candidate, mainly engaged in vegetation restoration ecology. E-mail:Ljchxy@126.com

conditions and to accelerate vegetation rehabilitation. Fertilization was one of many ways that artificial disturbance was applied according to the conditions of this area. The influence of fertilization on the structure and form of *Artemisia scoparia*, *Stipa bungeana* and *Artemisia sacrorum* community was studied using a plot experiment in which different amounts of fertilizer were used. The results showed that: (1) Compared with CK, the important values of species in three communities changed after fertilization. In *A. scoparia* community, the important values of annual *Setaria viridis* decreased and became the companion. But the important values of perennial *Heteropappus altaicus* and *Agropyron cristatum* etc increased, and they became the main species in the community; In the *S. bungeana* community, the important values of *S. bungeana* decreased, but the important values of *Lespedeza dahurica* increased significantly, and they became main species in this community; The response of *A. sacrorum* community to fertilization was different, the important values of *A. sacrorum* increased little by little as the amount of fertilizer increased. Compared with CK, the even important values of companion *Potentilla bifurca*, *Artemisia giraldii* decreased in all treatment plots, but that of *Lespedeza dahurica* increased in the late phase. (2) In the *A. sacrorum*, fertilization benefits the height, biomass and density of the plant significantly. However, the density of the plants in *A. sacrorum* did not change when using the highest amount of fertilizer. The height and biomass of plants were the highest in the plot with high fertilizer level among the three communities, but the density was different. The highest density was in the plot with middle fertilizer level. The *A. scoparia* community showed the biggest change in height, biomass and density in earlier phases of succession, *S. bungeana* took the second place, *A. sacrorum* showed the least change. (3) Species diversity was changed with nutrient inputting. Different types of communities had different trends of changing. The results showed that the Patrick richness index was the highest in the plot with intermediate fertilizer level in *A. scoparia* and *A. sacrorum* community. With increasing amounts of the fertilizer, Margalef (I_{Ma}), Shannon-Wiener (I_{SW}) and evenness index decreased in degrees in these two communities, but the dominance index showed the opposite. The Patrick richness index, I_{Ma} , I_{SW} and evenness index increase in *S. bungeana* community, but the dominance index was opposite.

Key Words : Loess hilly region ; fertilization ; disturbance ; species diversity

陕北黄土丘陵区地处森林草原过渡带。该区植被以草地为主,只在阴坡坡底、沟谷、沟道等水分条件较好的地方分布有少数林地。因此,草地对于当地的水土保持发挥着非常重要的作用。多年来,由于人们滥垦滥伐、过度放牧等一些不良举措,加上人们对草地重产出轻投入的掠夺式利用,使草地发生退化,致使生态环境遭到严重破坏,加剧了水土流失。自1999年退耕还林还草工程实施以来,通过封禁及大面积农田退耕撂荒,使当地植被得到了有效恢复,水土流失得到有效控制。但是,该区土壤水分缺乏,土质瘠薄,致使退耕地植被生长缓慢,产量低下,在很大程度上阻碍了生态恢复进程。要使当地植被在退耕和封禁后得到快速恢复,采取人为措施对其进行干扰,寻找加快植被恢复的途径是必要的。

人为干扰植被演替进程和群落结构有多种途径,如放牧、践踏、施肥、火烧等^[1]。其中土壤施肥是一种有效的人为干扰,使土壤中的养分或化学成分发生改变,将其作为一项草地改良措施早已受到了人们的广泛关注。大量研究表明^[2-12],施肥是在各种气候和环境条件下改良和提高草地、林地生产力、提高生态效益和经济效益的重要措施之一。但是这些研究大部分都是针对天然和人工牧草草场进行的。然而,在陕北黄土丘陵区这一特殊复杂且土壤养分比较贫乏的环境条件下来研究施肥干扰对草地群落结构组成的影响还未见过报道。因此,拟通过施肥实验,对该地区3个撂荒典型群落的结构和组成进行系统研究,探讨施肥对当地群落结构功能的影响。为改良和建设草地,寻找更为合理的人工干预途径,以加快当地植被恢复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区及样地群落概况

研究区位于陕北黄土高原丘陵区的安塞县高桥乡,年均日照时数2300~2570h,年均降雨量490.5~

663.3mm,属于干旱半干旱区。干燥度 1.2,年均气温 7.7~10.6℃,无霜期 157d,≥10℃年积温 3170.3℃。土壤为黄土母质上发育的黄绵土为主。凋萎湿度 4.5%,地带性植被为森林草原,研究区植被类型主要以菊科、豆科、禾本科和蔷薇科的一些种为主。先锋植物种为猪毛蒿 (*Artemisia scoparia*),主要建群种有白羊草 (*Bothriochloa ischaemum*)、达乌里胡枝子 (*Lespedeza dahurica*)、长芒草 (*Stipa bungeana*)、铁杆蒿 (*Artemisia sacrorum*)、芨蒿 (*Artemisia giraldii*)和硬质早熟禾 (*Poa sphondylodes*)等。样地群落中猪毛蒿群落主要由优势种猪毛蒿,伴生种二裂萎陵菜 (*Potentilla bifurca*)、狗尾草 (*Setaria viridis*)硬质早熟禾等组成;长芒草群落由优势种长芒草,伴生种铁杆蒿 (*Artemisia sacrorum*)、阿尔泰狗哇花 (*Heteropappus altaicus*)、猪毛蒿等组成;铁杆蒿群落由优势种铁杆蒿、伴生种芨蒿、达乌里胡枝子、无芒隐子草 (*Cleistogenes songorica*)等组成。

1.2 实验设计

因植物群落恢复主要受 N 限制^[13]。在该研究区土壤中 N、P 是植被恢复的限制因子^[14],所以本试验选用 N、P 二元复合肥——(NH₄)₂HPO₄。磷酸氢二铵呈黑色颗粒状物,N 和 P₂O₅含量分别为 17%、43%。选择坡度较为缓和 (<15°)的同一坡位上,植被分布较均匀且具有代表性的处于中前期演替阶段的猪毛蒿(演替前期)、长芒草(中前期)和铁杆蒿(中期)群落^[15,16]作为施肥样地,各样地面积在 600~800m²左右。采用撒施的方法,于 2005 年 5 月植物开始生长后(下雨前后)进行。施肥后,再在上面覆盖上一薄层土,以免肥料被冲走,同时也可保持肥效。施肥量分 0、12、24、48g/m²等 4 个水平(以农作物最高肥量作为参考标准),即对照、低肥区、中肥区和高肥区。每一施肥水平重复 5 次,每样地 20 个小区,3 块群落样地共 60 个小区。小区面积为 2m×2m,按单因素随机区组设计排列,各小区间隔 50cm 作为缓冲带,每小区的四角打木桩做标记。

1.3 野外调查

于 2005 年 9 月初调查各样区,调查方法为样方法。在每个样区沿对角线选取 1m×1m 样方两个。计测每一植株的种类、高度、盖度。同时剪取每一个种的地上部分,称其地上生物量。

1.4 计算公式与方法

密度以每平方米物种的个体数计算,即株/m²,地上生物量以调查样方内所有植物种地上部分的鲜重计算,单位 g/m²。在统计地上部基本特征时,采用了平均值(高度、生物量和密度),有助于全面分析施肥对整个群落的影响。物种多样性指数计算公式形式各异,在本研究中,结合实际情况,再根据张金屯等给出的指数选择顺序^[17]选择了下面几种计算方法。

多样性指数

$$\text{Shannon-Wiener (1949) 指数 } (I_{sw}): \quad I_{sw} = - \sum_{i=1}^s (P_i \ln P_i) \quad P_i = \frac{N_i}{N} \quad (1)$$

丰富度指数

$$\text{Patrick (1949) 指数 } (I_{pa}): \quad I_{pa} = S \quad (2)$$

$$\text{Margalef (1958) 指数 } (I_{Ma}): \quad I_{Ma} = \frac{S-1}{\ln N} \quad (3)$$

均匀度指数

$$\text{Pielou (1975) 均匀度指数 } (J): \quad J = \frac{H}{\ln S} \quad (4)$$

$$\text{Berger-Parker 优势度指数 } (I): \quad I = \frac{N_{\max}}{N} \quad (5)$$

(1)、(3)式中 N_i 为第 i 种的个体数目, N 为样方中所有种的总数;(2)、(3)式中 S 为物种数;(4)式中, I_{sw} 为 Shannon-Wiener 指数, S 为物种数, P_i 为 i 种的相对多度;(5)式中 N_{\max} 为样方中最大种的生物量, N 为样方中所有种生物量总和。

$$\text{重要值计算公式:} \quad IV = \frac{\text{相对高度} + \text{相对多度} + \text{相对生物量}}{300} \times 100$$

操作在 Excel 及 DPS6.55 版软件下进行 ,Origin7.5 作图 ,LSD 法进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 3 个群落不同施肥梯度下群落结构变化

2.1.1 3 个群落不同施肥梯度下物种重要值的变化

重要值 (important values) 是以综合数值表示植物物种在群落中的相对重要性的一个参数。施肥干扰后, 3 个群落中各物种重要值发生变化。

由于各群落伴生种较多, 表 1 仅列出了在各群落当中起重要作用的几个主要物种 (按重要值排列的前五种植物)。由表 1 可知, 在猪毛蒿 (*A. scoparia*) 群落, 与 CK 相比, 施肥后优势种猪毛蒿的重要值下降, 但各施肥处理相比, 随着肥量增加, 其重要值又表现为上升。这是因为在当地, 猪毛蒿是演替先锋种, 喜资源丰富的环境^[6]。随着施肥量的增大, 植株生长越加旺盛, 生物量增加, 从而使重要值增大。由表中可看出, 施肥使多年生植物的生态位宽度增加, 重要值增大; 1 年生植物则相反, 如表 1, 施肥后在群落中占有重要地位的 1 年生植物狗尾草 (*S. viridis*) 的重要值减小, 不再是群落中的主要物种, 成为伴生种或偶见种, 而阿尔泰狗哇花 (*H. altaicus*)、冰草 (*Agropyron cristatum*)、老鹳草 (*Geranium wilfordii*) 等多年生植物的重要值增大, 成为群落中的主要物种, 在群落中的作用逐渐增强。所以, 从某种程度上讲, 在陕北黄土丘陵区, 施肥这一干扰手段可加速群落中种的演化, 进而加快演替进程。

表 1 3 种群落不同处理区主要植物种重要值

Table 1 The important values of main species in different plots in three kinds of communities

物种* Species	不同群落类型施肥处理区 (g/m ²) Fertilizing treatment plots in the different communities											
	猪毛蒿群落 <i>Artemisia scoparia</i> community				长芒草群落 <i>Stipa bungeana</i> community				铁杆蒿群落 <i>Artemisia sacrorum</i> community			
	0 (CK)	12	24	48	0 (CK)	12	24	48	0 (CK)	12	24	48
1	-	-	0.11	-	0.12	-	-	0.09	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	0.09	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	0.23	0.26	0.21	0.18	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	0.17	0.18	0.12	-	0.15	0.17	0.18
6	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	0.24	0.05	0.06	0.08	0.06	-	-	-	0.04	0.05	0.04	-
8	-	-	-	-	-	-	0.06	-	-	-	-	-
9	-	-	-	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	-	-	0.07
11	-	0.04	-	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	0.07	-	0.05	0.09
14	0.06	-	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	0.07	-	0.07	0.10	0.31	0.35	0.37	0.40
16	0.13	0.17	0.10	-	-	0.07	-	-	-	0.05	0.07	-
17	0.68	0.55	0.59	0.62	0.20	0.18	0.15	0.15	0.16	0.17	0.15	0.12

* 1 阿尔泰狗哇花 *Heteropappus altaicus*; 2 白羊草 *Bothriochloa ischaemum*; 3 冰草 *Agropyron cristatum*; 4 长芒草 *Stipa bungeana*; 5 达乌里胡枝子 *Lespedeza dahurica*; 6 狗尾草 *Setaria viridis*; 7 二裂委陵菜 *Potentilla bifurca*; 8 华隐子草 *Cleistogenes chinensis*; 9 老鹳草 *Geranium wilfordii*; 10 茭蒿 *Artemisia giraldii*; 11 苦卖菜 *Sonchus arvensis*; 12 蒲公英 *Taraxacum sinicum*; 13 无芒隐子草 *Cleistogenes songorica*; 14 山苦卖 *Ixeris chinensis*; 15 铁杆蒿 *Artemisia sacrorum*; 16 硬质早熟禾 *Poa sphondylodes*; 17 猪毛蒿 *Artemisia scoparia*; “-”表示此物种不是该处理区的主要种 “-” represent this species those are not main species in this plot

对于长芒草 (*S. bungeana*) 群落, 与 CK 相比, 施肥降低了优势种长芒草的重要值, 而演替后期物种达乌里胡枝子 (*L. dahurica*) 的重要值增大, 成为群落中的主要物种, 表明该群落结构特征和物种多样性发生变化, 其

它物种的出现降低了优势种在群落中的重要性,铁杆蒿 (*A. sacrorum*) 群落对施肥的反应则随着施肥量的增加,重要值表现为逐渐上升,表明铁杆蒿对资源的竞争优势非常强,施肥后使本来长相就比较高大的铁杆蒿加剧生长,增强了其在群落当中优势种的地位。铁杆蒿群落与对照相比,伴生种二裂萎陵菜 (*P. bifurca*)、茭蒿 (*A. giraldii*) 在处理区的平均重要值有所下降,而演替后期物种达乌里胡枝子的重要值增大,由原来的伴生种成为群落中的主要物种。因此,为加快当地植被恢复,施肥确实是一种有效干预手段。从表 1 中也可看出,3 个群落中各个处理区都出现了猪毛蒿,且起着相当重要的地位。充分表明在当地猪毛蒿是个生态位很宽的广布种,适应性很强;同时也反映出了在当地条件下植被演替进程较缓慢,到了演替中期,初期的先锋种仍然占有较重要的地位。

2.1.2 不同施肥处理对 3 个群落地上部特征的影响

(1) 不同处理对 3 个群落高度的影响

由图 1 可知,施肥明显提高 3 个群落的平均高度。与对照 (CK) 相比,猪毛蒿、长芒草和铁杆蒿群落均表现为高肥区的平均高度提高幅度最大,分别达 73%、75% 和 41%。3 个群落各处理区的高度平均值分别比 CK 增加了 66%、72% 和 27%。以上可知,铁杆蒿群落高度增加幅度较小。经显著性检验,猪毛蒿和长芒草群落 3 个施肥处理区比对照明显增高,均达极显著水平 (见图); 而铁杆蒿群落的平均高度只在中肥和高肥区与 CK 间达极显著差异,而低肥区与对照之间差异不显著。可见,低肥就可以明显改变猪毛蒿和长芒草群落的高度,而对铁杆蒿群落来说,需达到中肥水平,群落的高度才能明显提高。表明在高度这一地上部特征上,演替中期群落比演替前期群落对肥料反应较迟钝。

3 个处理区相比,随着施肥量的增加,铁杆蒿群落的平均高度逐渐增大,即高肥区 > 中肥区 > 低肥区。经显著性检验,各处理间达显著差异,猪毛蒿和长芒草群落的平均高度并非随着施肥量的增加而增大,而是在中肥区高度有所下降,即两群落高度由大到小的顺序依次是高肥区 > 低肥区 > 中肥区,与他人研究结果不一致^[8]。经显著性检验,猪毛蒿群落中肥区的高度与低肥和高肥区相比显著降低,而长芒草群落 3 处理间相比变化不明显,进一步表明猪毛蒿群落的高度对施肥量的变化比长芒草群落反应更灵敏。

(2) 不同处理对 3 个群落生物量的影响

由图 2 可看出,施肥显著提高了 3 个群落的平均生物量。与对照相比,猪毛蒿、长芒草和铁杆蒿群落均表现为高肥区的平均生物量提高幅度最大 (分别达 78%、68% 和 64%)。3 个群落各处理区的生物量平均值分别比对照增加了 64%、65% 和 51%。且随着施肥量的增加,3 个群落生物量均呈逐渐增大趋势,即高肥区 > 中肥区 > 低肥区 > CK。表明随着施肥量的增加,草地群落的初级生产力呈上升趋势。由分析表明,铁杆蒿群落

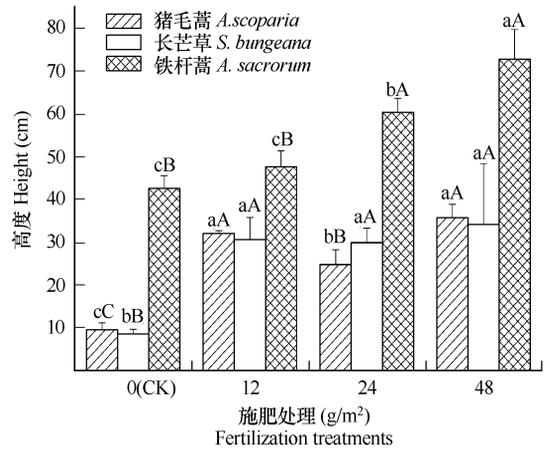


图 1 不同处理对 3 个群落高度的影响

Fig. 1 The effect of fertilization on the height of three kinds of communities

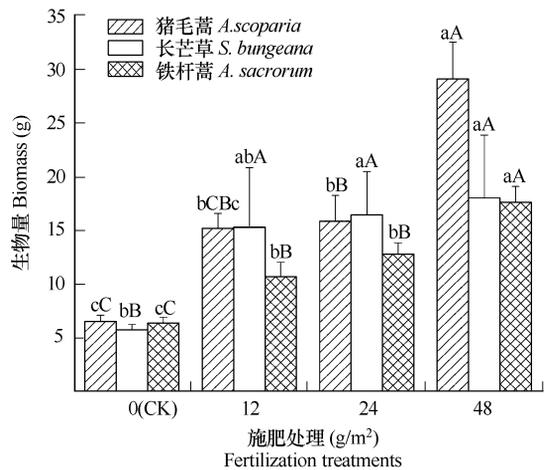


图 2 不同处理对 3 个群落生物量的影响

Fig. 2 The effect of fertilization on the biomass of three kinds of communities

生物量增加幅度最小。经显著性检验,猪毛蒿和长芒草群落的高肥和中肥区生物量与对照相比均达极显著差异,而低肥区与对照之间差异不明显;铁杆蒿群落高、中、低肥区生物量与对照相比差异均达极显著水平。表明中、高肥区的施肥量均能显著提高各群落的初级生产力。

3 个处理区相比,猪毛蒿和铁杆蒿群落的高肥区与中、低肥区生物量差异达极显著;长芒草群落各处理区差异不明显,说明对生物量这一特征来说,低肥量就可以使长芒草群落生物量显著提高,以后再随着施肥量增加,生物量增加幅度较小。因此,从经济效益出发,要增加长芒草群落生物量,施少量肥料更经济。

(3) 不同处理对 3 个群落密度的影响

由图 3 可看出,与对照相比,施肥使猪毛蒿和长芒草群落的密度增加,且随施肥量不同,增加幅度不一样,中肥区增加幅度最大(分别为 60%、68%)。各施肥区的平均密度比对照区均有明显提高(分别比 CK 提高了 52%、62%)。经显著性检验,各施肥区密度与 CK 差异均达极显著水平。但铁杆蒿群落与上面两群落有所不同,与对照相比,高肥区的密度反而低于对照(比 CK 降低 10%,显著性检验未达显著水平),但低肥和中肥区密度均有不同程度增大,中肥区增加幅度最大(达 24%)。以上可知,施肥更容易提高演替前期群落的密度。经显著性检验,中肥区与 CK 间相比,差异达显著水平。主要是因为高肥区为植株生长提供了更加丰富的土壤养分,群落中的优势种铁杆蒿的竞争力较强,使植株生长更加旺盛,株丛加大,对群落中其它植物的遮荫作用增强,削弱了其它植物竞争光、温、水、肥和空间

的能力,抑制了小植株的生长和其它物种的出现,甚至使群落中一些长势较弱的小植株发生死亡。因此使高肥区密度下降,甚至低于对照。同时,由图中也可看出,4 个处理相比,3 个群落均表现为中肥区密度最大。由此可知,要增大群落的密度,中肥区的肥量最佳。

3 个处理区相比较,猪毛蒿和长芒草群落的密度由大到小顺序依次是中肥区 > 高肥区 > 低肥区;铁杆蒿群落则为中肥区 > 低肥区 > 高肥区。显著性检验,猪毛蒿群落中肥区与高、低肥区相比分别达显著差异;长芒草群落中、高肥区密度与低肥区密度差异分别达极显著水平;铁杆蒿群落则是中、低肥区的密度均显著高于高肥区。由此可知,中肥区的肥量可显著提高猪毛蒿、长芒草和铁杆蒿群落的密度。如猪毛蒿群落除优势种猪毛蒿的密度增加外,还出现了一些新物种,如冰草(*A. cristatum*)、山苦荬(*I. chinensis*)等;长芒草群落除优势种长芒草的密度增加外,新出现的伴生种也增多,如达乌里胡枝子、白羊草(*B. ischaemum*)等;铁杆蒿群落除优势种铁杆蒿密度增加外,新出现的伴生种有无芒隐子草(*C. songorica*)、硬质早熟禾(*P. sphondylodes*)等。

以上可知,高肥均显著提高了 3 个群落的高度和生物量,使植株长势更旺,形成较大的株丛,对其它物种产生遮荫作用,抑制了群落当中其它物种的生长,因此,使高肥区密度下降。

2.2 施肥对 3 个群落物种多样性的影响

物种多样性指数是植物群落结构的重要参数,它能客观的反映群落内物种组成的变化。因此选择了丰富度指数、多样性指数、均匀度指数和优势度指数来计算施肥对群落物种组成的影响。计算得知,3 个群落在施肥处理后,在物种组成上发生了明显的变化。并且,不同处理区变化不同(图 4 ~ 图 7)。

2.2.1 3 种群落不同处理区 Patrick 丰富度指数的变化

Patrick 丰富度指数是以样方内物种数来表示群落丰富度的,与其它几种多样性指数不同,没有考虑样方内所有种的总数。因此,对其在 3 种群落内的变化单独进行了比较(见图 4)。由图 4 可明显看出,在中肥区,

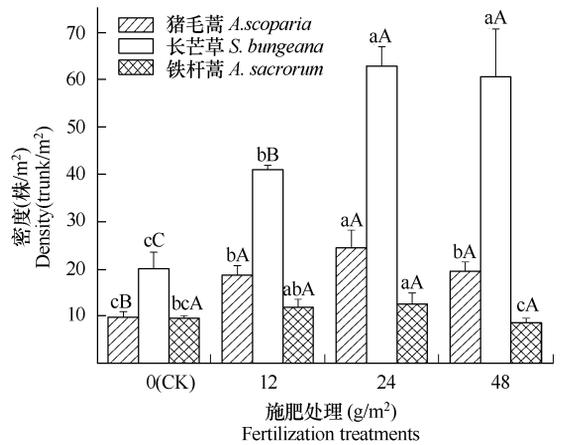


图 3 不同处理对 3 个群落密度的影响

Fig. 3 The effect of fertilization on the density of three kinds of communities

猪毛蒿和铁杆蒿群落 Patrick 丰富度指数达最高 , 与他人的研究结果相一致 [18-20] ; 而长芒草群落则相反 , 随着施肥量的增加 , Patrick 指数逐渐上升。长芒草群落之所以与其它两种群落变化趋势有所不同 , 主要是因为长芒草随着肥量的增加 , 高度和生物量的变化不明显 , 对群落内其它种的遮光性不强 , 伴生种的光合有效性得到保持 , 使更多的新物种保留下来 , 增加了该群落内的物种丰富度 , 猪毛蒿和铁杆蒿则相反 , 施肥后 , 高度达 70 ~ 80cm , 对于其它物种 , 极大程度上产生遮光作用 , 竞争优势超过其它物种。对其它伴生种的生长产生了抑制作用 , 使 Patrick 指数下降。

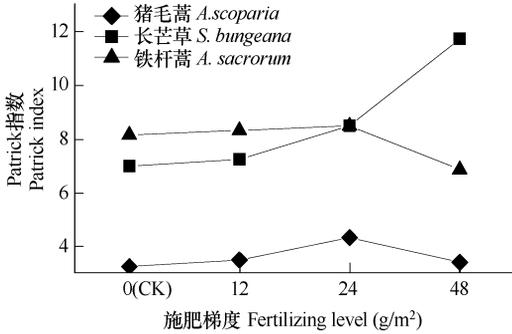


图 4 3 种群落不同施肥梯度 Patrick 指数

Fig. 4 The Patrick index of three kinds of communities along fertilizing gradient

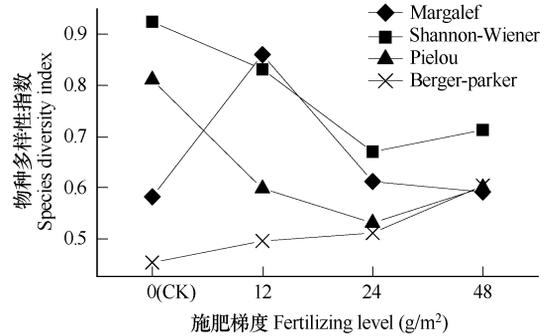


图 5 猪毛蒿群落不同施肥梯度物种多样性指数

Fig. 5 The species diversity index of *A. scoparia* community along fertilizing gradient

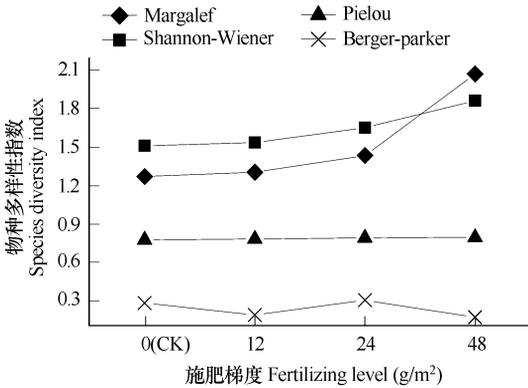


图 6 长芒草群落不同施肥梯度物种多样性指数

Fig. 6 The species diversity index of *S. bungeana* community along fertilizing gradient

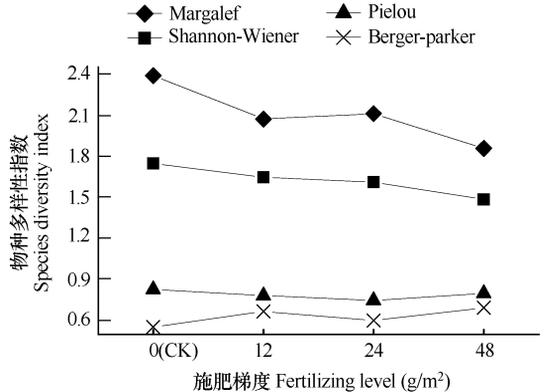


图 7 铁杆蒿群落不同施肥梯度物种多样性指数

Fig. 7 The species diversity index of *A. sacrorum* community along fertilizing gradient

2.2.2 3 种群落不同处理区物种多样性指数的变化

选择 Margalef 丰富度指数 (I_{Ma})、Shannon-Wiener 多样性指数 (I_{sw})、Pielou 均匀度指数 (J) 和 Berger-Parker 优势度指数 (I) 作为测度指标。这几种多样性指数都与 N (样方内所有种的总数) 有关。

由图 5 可知 , 猪毛蒿群落 , 与对照相比 I_{sw} 和 J 都产生不同程度的下降 ; I_{Ma} 由 CK 到低肥区呈现出上升 , 但随着施肥量的增加又逐渐降低 ; I 却表现为逐渐增大。表明在该群落内随着施肥量的增加 , 虽出现了新的物种 , 但对肥料敏感的优势种猪毛蒿的竞争优势削弱了新物种对群落结构组成的影响。相关分析表明 I_{Ma} 和 I_{sw} 之间呈显著正相关 ($p < 0.05$) , 相关系数为 0.90 ; I_{Ma} 和 I_{sw} 与优势度指数 I 之间呈负相关关系 , 但不显著 ($p > 0.05$) , 相关系数分别为 -0.2、-0.7 ; I_{Ma} 和 I_{sw} 与 Pielou 均匀度指数 J 之间呈显著正相关 ($p < 0.05$)。

长芒草群落不同施肥处理区物种多样性指数变化与猪毛蒿群落不同。由图 6 可知 , 随着施肥量的增加 ,

I_{Ma} 、 I_{sw} 明显上升; J 变化不是太明显, 优势度指数 I 却呈下降趋势。相关分析表明, I_{Ma} 和 I_{sw} 之间呈极显著正相关 ($p < 0.01$) 相关系数为 0.98; I_{Ma} 和 I_{sw} 与优势度指数 I 之间呈负相关关系, 但不显著 ($p > 0.05$), 相关系数分别为 -0.57、-0.46; I_{Ma} 和 I_{sw} 与 Pielou 均匀度指数之间呈正相关, 但不显著 ($p > 0.05$)。

可见, 与猪毛蒿群落相反, 施肥为该群落中除优势种以外的其它物种创造了条件, 使这些植物获得生长, 提高了长芒草群落的物种多样性, 使优势度指数降低。

由图 7 可知, 铁杆蒿群落不同处理区物种多样性指数的变化趋势与猪毛蒿群落相似, 即与 CK 相比, 随着施肥量的增加, I_{Ma} 、 I_{sw} 和 J 都有所下降, 但前两者变化明显, 后者变化不明显, 而优势度指数 I 却有所上升。相关分析得知, I_{Ma} 和 I_{sw} 之间呈极显著正相关 ($p < 0.01$), 相关系数为 0.97; I_{Ma} 与优势度指数 I 之间呈极显著负相关, 相关系数为 -0.94; J 与优势度指数 I 也呈一定程度负相关, 相关系数为 -0.83; I_{Ma} 和 I_{sw} 与 Pielou 均匀度指数之间呈正相关 ($p > 0.05$), 相关系数分别为 0.41、0.37。与猪毛蒿群落相似, 该群落的优势种铁杆蒿对资源的竞争力很强, 施肥促进其生长, 盖度增大, 遮荫作用增强。并且, 随着施肥量的增加, 这种抑制作用逐渐加大, 以致阻碍了其它伴生种的出现。因此, 随着肥量加大, 物种多样性指数呈递减趋势, 优势度指数却呈现上升。

以上分析可知, 在该区, 群落类型不同, 物种多样性指数变化趋势也不一致。优势种的类别与物种多样性的变化有着密切关系。如猪毛蒿和铁杆蒿群落, 其优势种是同一科属的植物, 两者物种多样性变化趋势相同, 而长芒草群落的物种多样性变化则不同。

3 讨论

以上分析可知, 干扰对草地生态系统影响的直接体现就是改变了草地的微生态环境和植物的群落结构^[9, 21~24]。施肥作为一种干扰手段, 通过改变当地贫瘠土壤中的有效资源, 可以改变植物地上、地下的竞争强度, 进而引起植物群落结构组成的变化。但不同的干扰类型、强度、频度和时间, 必然会使植物群落结构发生不同的变化, 对植被恢复产生不同程度的影响^[21]。程积民等^[25]研究表明施肥因改善了土壤的营养状况, 使百里香 (*Thymus mongolicus*) 群落中的建群种百里香和长芒草种间竞争更为剧烈, 从施肥后的第 2 年开始建群种发生变化, 百里香被长芒草代替, 因此认为施肥后大大加快了植被演替进程。本实验中施肥后 3 个群落中物种的重要值发生了变化, 对于演替初期的猪毛蒿群落来说, 施肥使该群落的 1 年生植物狗尾草重要值减小, 而多年生植物阿尔泰狗娃花、冰草等重要值增大, 成为群落中的主要物种, 长芒草和铁杆蒿群落, 与对照相比, 演替后期物种达乌里胡枝子的重要值增大。因此, 在该区通过施肥, 也可加速植被的演化, 进而加快植被演替进程。

由结果分析可知, 施肥改变了群落的物种多样性, 且群落类型不同, 变化趋势亦不同。猪毛蒿和铁杆蒿群落的变化趋势表现为在中肥区 Patrick 丰富度指数达最高, 与中度干扰假说的第二个基本定论相符^[1], 与他人的研究结果相一致^[22, 26~29], 如 Foster B L^[26]、Goldberg D E^[30]等研究了施肥对物种多样性的影响, 结果表明施肥使植物群落物种组成贫乏, 群落结构趋于简单, 物种多样性减少。江小蕾^[28]也曾报道了施肥对高寒草甸天然草地植物多样性的影响, 结果表明施肥后由于土壤养分增加, 疏丛型禾草垂穗披碱草 (*Elymus nutans*) 生长旺盛, 抑制了其他植物的生长, 使草地植物群落物种多样性减少, 均匀度降至最低。本研究中长芒草群落因其群落优势种的生长特性与其它两群落不同, 使研究结果发生变化, 与中度干扰假说不符合。进一步证实了中度干扰假说中因干扰对象本身的性质不同, 对同一干扰系列的响应而有所差异的说法^[1]。对多样性指数之间进行相关分析表明: 优势度与丰富度和多样性指数所反映的趋势是相反的。所以通常认为: 优势不明显的群落丰富度、物种多样性及均匀度较大, 具单优或寡优势种群落的丰富度、物种多样性及均匀度较小^[30]。

分析可知, 在陕北黄土丘陵区这一水肥均缺乏的地区进行施肥, 确实对几种群落生长产生很大的影响。由于受当地水分条件的限制, 与其它地区相比, 初级生产力增长还是较缓慢。与对照相比, 3 个群落中生物量增长最高达 78%。程积民等^[4]曾报道了天然草地施肥后生物量与对照相比, 最高增长了 4.13 倍。戎郁萍等^[6]研究表明, 施肥量最高时的产草量比对照增加了 123.86%。邱波等^[18]研究表明, 在甘南高寒草甸地区,

施肥最多时地上生物量约是不施肥时的 2~3 倍。在该区增长速度虽没有这么快,但也充分表明当地植被还有较大的生产潜力,只要采取不同的经营管理措施,草地的生物量、覆盖度均可得到显著提高。除对减少地表径流,防止水土流失,起到非常重要的作用外,也为当地畜牧业发展奠定基础。

由于人为干扰可以自行控制,生态学家高度重视人为干扰的作用,以此来调控植被恢复。本文只是对演替初期和中期的 3 个群落进行了研究得出以上结论,至于施肥对其它群落类型结构组成有什么样的影响还有待于进一步研究。

4 结论

高度、密度、生物量和重要值都是植物群落结构的重要参数,不同的施肥强度会引起植物群落结构相应的变化。综合以上结果分析与讨论,得出如下结论:

(1)通过对处于演替过程中的 3 个典型群落施肥,群落中物种的重要值发生了变化。在该区通过施肥,可加速植被的演化,进而加快植被演替进程。将施肥作为一种有效人工干预手段,促进当地植被的恢复是可行的。

(2)施肥明显改善了植株生长状况,显著提高了植株的长势(高度、生物量)和密度(铁杆蒿群落高肥区密度例外)。中肥区的施肥量更有利于优势种及其它一些伴生种的出现,因此,要加大群落的密度,中肥区的肥量最佳,并非是施肥越多,密度越大。3 个群落相比,处于演替前期的群落比后期群落对肥料反应更敏感,即施肥后猪毛蒿群落的增加幅度最大,长芒草次之,铁杆蒿最小。因此,在该区将施肥这一干扰方式用在演替前期的群落效果更明显。

(3)施肥使 3 个群落的物种多样性发生了改变。群落类型不同,其变化趋势亦不同。猪毛蒿和铁杆蒿群落表现为在中肥区 Patrick 丰富度指数达最高,随着施肥量的增加 I_{Ma} 、 I_{sw} 和 J 都产生不同程度的下降,而 I 逐渐增大。长芒草群落与其它两群落不同,即随着施肥量的增加,Patrick 指数、 I_{Ma} 、 I_{sw} 和 J 都产生不同程度的上升,优势度指数 I 却下降,表明优势种的种类与物种多样性的变化有着密切关系。

总之,将施肥这一简便易行的干扰手段应用在陕北黄土丘陵区这一特殊地区,无论是对生态、经济和社会效益,都存在有很大的应用潜力。因此,建议在黄土高原退耕地恢复中,有条件区域,尤其是处于演替前期的群落,可以通过施肥改变群落结构,加快植被恢复进程,提高荒草地质量。

Reference :

- [1] Mao Z H, Zhu J J. Effects of disturbances on species composition and diversity of plant communities. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (8) : 2695 - 2701.
- [2] Shao H B, Liang Z S, Shao M A. Adaptation of higher plant to environment and stress signal transduction. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (7) : 1772 - 1781.
- [3] Shao H B, Chu L Y. Plant molecular biology in china : opportunities and challenges. *Plant Mol Biol Rep*, 2005, 23 (4) : 348 - 358.
- [4] Cheng J M, Jia H Y, Peng X L. Study on the biomass structure of fertilized grassland communities. *Acta Prataculturae Sinica*, 1997, 6 (2) : 22 - 27.
- [5] Shen J L, Tan G, Qiao H L *et al.* Study on the effect of grassland improvement on Alpine degraded grassland vegetation. *China Grassland*, 2000, 22 (5) : 49 - 54.
- [6] Rong Y P, Han J G, Wang P, *et al.* Effects of Nitrogen application and cutting on improvement of degraded grassland. *Acta Agrestia Sinica*, 1999, 7 (2) : 157 - 164.
- [7] De K J, Zhou Q P, Xu C T. Influence of different nitrogen amount on the feeding-grass production of natural grassland. *J Qinghai Xumushouyi*, 2001, 31 (3) : 12 - 13.
- [8] Sun T J, Han J G, Zhao S Q, *et al.* The effect of fertilizer on seed yield and yield components of *Psathyrostachys juncea*. *Grassland of China*, 2005, 27 (2) : 16 - 21.
- [9] Qi F L, Yuan Y J, Cao J G, *et al.* Study on fertilizer in the grassland of low yield in dene. *Grassland of China*, 1998, (1) : 24 - 28.
- [10] Ji Y J. The study general situation of fertilizing in Alpine grassland in Qing Hai Province. *Grassland Science*, 2002, 19 (5) : 14 - 18.

- [11] Wang H Y , Du G Z , Ren J J. The impacts of population density and fertilization on compensatory responses of *Eiymus Nutans* to mowing. *Acta Phytocologica Sinica* ,2003 ,27 (4) :477 — 483.
- [12] Cheng J M , Jia H E , Peng X L. Studies on Grass Mowing and Grazing in Fertilized Grassland. *Grassland of China* ,1997 , (3) :7 — 11.
- [13] Huberty L E , Gross K L , Miller C J. Effects of nitrogen addition on successional dynamics and species diversity in Michigan Old - Fields. *The Journal of Ecology* ,1998 ,86 (5) :794 — 803.
- [14] Zhao H B , Liu G B , Hou X L. The nutrient cycle characteristics of main vegetation types on the Loess golly region. *Acta Prataculturae Sinica* ,2006 ,15 (3) :63 — 69.
- [15] Tang L , Liang Z S , Du F , *et al.* Vegetation succession of arable old land after being abandoned in Loess Plateau hilly region & ascertaining dominant native herbage in the process , analyzing their chemical nutrient composition. *Acta Ecologica Sinica* ,2006 ,26 (4) :1165 — 1175.
- [16] Du F , Shan L , Chen X Y , *et al.* Studies on the vegetation Succession of Abandoned farmland in the loess hilly region of Northern Shaanxi succession series after being abandoned. *Acta Agrestia Sinica* ,2005 ,13 (4) :328 — 333.
- [17] Zhang J T. The selective principle of diversity index. In : XU G J ed. *Quantitive Ecology*. Beijing : Science Press ,2004 :96 — 97.
- [18] Qiu B , Luo Y J , Du G Z. The effect of fertilizer gradients on vegetation characteristics in alpine meadow. *Acta Prataculturae Sinica* ,2004 ,13 (6) :65 — 68.
- [19] Li Y G , Qiang G M , Gao L M. Impacts of human disturbance on *Ulmus pumila*-Motte-Veldt in hunshandak sandland. *Acta Phytocologica Sinica* ,2003 ,27 (6) :829 — 834.
- [20] Thomas S C , Halpern C B , Falk D A , *et al.* Plant diversity in managed forests : understory responses to thinning and fertilization. *Ecological Applications* ,1999 ,9 (3) :864 — 879.
- [21] Chen L D , Fu B J. The type , characteristics and ecological significance of disturbance. *Acta Ecologica Sinica* ,2000 ,20 (4) :581 — 586.
- [22] Luo Y J , Zhou J J , Wang H Y , *et al.* The relation of nutrients and plant species diversity in an alpine meadow. *Journal of Lanzhou University (Natural Science)* ,2004 ,40 (2) :84 — 91.
- [23] Zhang B T , Yang Y F. Dynamics of communities on the restoring process of flooded disturbance in *Leymus chinensis* meadow of the Songnen plain in China. *Acta Prataculturae Sinica* ,2003 ,12 (2) :30 — 35.
- [24] Liu X H , Yang S Y. Effects of irrigation and fertilizer on soil and water quality. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)* ,2004 ,30 (5) :482 — 487.
- [25] Cheng J M , Jia H Y , Peng X L. Study on Vegetation Community Structure and its succession on fertilization grassland. *Research of Soil and Water Conservation* ,1996 ,3 (4) :124 — 128.
- [26] Foster B L , Gross K L. Species richness in a successional grassland : effects of nitrogen enrichment and plant litter. *Ecology* ,1998 ,79 (8) :2593 — 2602.
- [27] Jiang X L , Zhang W G , Yang Z Y. The influence of disturbance on community structure and plant diversity of alpine meadow. *Acta Botanica Boreali Occidentalia Sinica* ,2003 ,23 (9) :1479 — 1485.
- [28] Chen Y M , Li Z Z , Du G Z. Effects of fertilization on plant diversity and economic herbage groups in alpine meadow. *Acta Botanica Boreali Occidentalia Sinica* ,2004 ,24 (3) :425 — 429.
- [29] Gough L. Osenberg C W. Gross K L. Fertilization effects on species density and primary productivity in several herbaceous plant communities. *Oikos* ,2000 ,89 (3) :428 — 439.
- [30] Goldberg D E , Miller T E. Effects of different resource addition on species diversity in a annualplant community. *Ecology* ,1990 ,71 (1) :213 — 225.

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. *生态学报* 2006 26 (8) 2695 ~ 2701.
- [4] 程积民 贾恒义 彭祥林. 施肥草地群落生物量结构的研究. *草业学报* ,1997 6 (2) 22 ~ 27.
- [5] 沈景林 谭刚 乔海龙 等. 草地改良对高寒退化草地植被影响的研究. *中国草地* 2000 22 (5) :49 ~ 54.
- [6] 戎郁萍 韩建国 王培 等. 施氮与株丛切割对退化新麦草草地的改良效果. *草地学报* ,1999 7 (2) :157 ~ 164.
- [7] 德科加 周青平 徐成体. 不同施氮量对天然草场牧草产量的影响. *青海畜牧兽医杂志* 2001 31 (3) :12 ~ 13.
- [8] 孙铁军 韩建国 赵守强 等. 施肥对新麦草种子产量及产量组分的影响. *中国草地* 2005 27 (2) :16 ~ 21.
- [9] 齐凤林 袁勇军 曹建国等. 沙地低产草地施肥试验研究. *中国草地* ,1998 ,(1) 24 ~ 28.

- [10] 纪亚君. 青海高寒草地施肥的研究概况. 草业科学 2002, 19 (5): 14 ~ 18.
- [11] 王海洋, 杜国桢, 任金吉. 种群密度与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.
- [12] 程积民, 贾恒义, 彭祥林. 施肥草地刈割和放牧利用的研究. 中国草地, 1997, (3): 7 ~ 11.
- [14] 赵护兵, 刘国彬, 侯喜禄. 黄土丘陵区流域主要植被类型养分循环特征. 草业学报 2006, 15 (3): 63 ~ 69.
- [15] 唐龙, 梁宗锁, 杜峰, 等. 陕北黄土高原丘陵区撂荒演替及其过程中主要乡土牧草的确定与评价. 生态学报 2006, 26 (4): 1165 ~ 1175.
- [16] 杜峰, 山仑, 陈小燕, 等. 陕北黄土丘陵区撂荒演替研究——撂荒演替序列. 草地学报 2005, 13 (4): 328 ~ 333.
- [17] 张金屯. 多样性指数的选择原则. 见: 许根俊主编. 数量生态学. 北京: 科学出版社 2004. 96 ~ 97.
- [18] 邱波, 罗燕江, 杜国桢. 施肥梯度对甘南高寒草甸植被特征的影响. 草业学报 2004, 13 (6): 65 ~ 68.
- [19] 李永庚, 蒋高明, 高雷明. 人为干扰对浑善达克沙地榆树疏林的影响. 植物生态学报 2003, 27 (6): 829 ~ 834.
- [21] 陈利顶, 傅伯杰. 干扰的类型、特征及其生态学意义. 生态学报 2000, 20 (4): 581 ~ 586.
- [22] 罗燕江, 周九菊, 王海洋, 等. 高寒草甸植物多样性与营养的关系. 兰州大学学报 (自然科学版) 2004, 40 (2): 84 ~ 91.
- [23] 张宝田, 杨允菲. 松嫩平原羊草草地水淹干扰恢复过程的群落动态. 草业学报 2003, 12 (2): 30 ~ 35.
- [24] 刘向华, 杨树英. 施肥和灌溉对土壤和水质的影响. 湖南农业大学学报 (自然科学版) 2004, 30 (5): 482 ~ 487.
- [25] 程积民, 贾恒义, 彭祥林. 施肥草地植被群落结构和演替的研究. 水土保持研究, 1996, 3 (4): 124 ~ 128.
- [27] 江小蕾, 张卫国, 杨振宇. 不同干扰类型对高寒草甸群落结构和植物多样性的影响. 西北植物学报 2003, 23 (9): 1479 ~ 1485.
- [28] 陈亚明, 李自珍, 杜国桢. 施肥对高寒草甸植物多样性和经济类群的影响. 西北植物学报 2004, 24 (3): 425 ~ 429.