

施肥和围栏封育对青海湖地区 高寒草原影响的比较研究

I 群落结构及其物种多样性

周国英¹, 陈桂琛¹, 赵以莲², 王顺忠¹, 李伟³, 彭敏¹

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001; 2. 青海省科技厅, 青海 西宁 810001; 3. 青海省三角城种羊场, 青海 刚察 812300)

摘要: 本研究选择青海湖北岸青海省三角城种羊场地区的天然高寒草原为研究对象, 对多年围栏的样地, 在围栏内外采用施N、P肥作为调控措施与围栏内外的天然草原作对照, 旨在寻求退化草地恢复的最佳途径。结果表明, 施肥后优良牧草重要值呈增大趋势, 且围栏内比围栏外增大程度高; 对照区优良牧草的重要值亦是围栏内较围栏外高; 人为调控措施对群落物种丰富度有显著的影响, 施肥群落的植物种类显著降低; 围栏内物种数增高; 施肥和围栏封育都能影响群落的植物种类。

关键词: 青海湖地区; 高寒草原; 群落结构; 物种多样性

中图分类号: S812.8(244) **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-5759(2004)01-0026-06

* 高寒草原在青海集中分布于青南高原西部和北部, 在昆仑山内部山地和祁连山西段高山地带亦有广泛分布^[1]。由于青藏高原海拔高、气候条件恶劣、生态环境严酷, 加之人口和家畜的急剧增加, 使青藏高原的资源、生态和环境问题日趋严峻。长期以来, 对高寒草地生态系统的结构、功能缺乏了解, 忽视了草地资源的科学管理和合理利用, 采取掠夺式经营, 超载放牧, 草畜矛盾日益突出, 生态系统平衡失调, 导致草地生态系统环境恶化, 生产力下降, 严重阻碍了青藏高原草地畜牧业的可持续发展^[2]。对高寒草甸生态系统, 中国科学院海北高寒草甸定位站已做了大量的工作^[3-5, 19], 但对于青藏高原高寒草原进行深入研究的报道并不多见。高寒草原由于其特殊地理和气候条件, 生态系统十分脆弱, 极易破坏, 而难以恢复, 加之人们更多的看重短期经济效益而忽视长远生态效益, 以草原退化为主要标志的生态问题已十分突出^[21]。因此, 深入系统地研究青藏高原高寒草原等可再生资源 and 生态环境的现状、演化趋势以及优化管理模式, 不仅为草地资源的合理利用、保护、环境治理及提高畜牧业经济效益具有重要的现实意义, 而且对研究全球气候变化及其人类活动对生态系统结构功能的影响均具有长远的战略意义。

目前草地生态系统的恢复与重建受到广泛关注^[20]。通过对围栏内外采用施氮、磷肥, 研究了其对高寒草原植物群落的种类组成, 物种多样性变化规律, 以及植物地上、地下生物量的时空分布格局, 揭示人类活动对高寒草地的结构、功能和物种多样性的影响, 进而为高寒退化草地的治理、恢复、重建及草地生产力的提高和持续利用提供科学依据。

1 自然概况

青海湖位于青藏高原东北部, 是我国最大的高原内陆微咸水湖, 介于 36°15' ~ 38°20'N, 97°50' ~ 101°20'E 之间, 四周为高山环绕的封闭式山间内陆盆地。全区有布哈河等 50 余条大小河流分布^[6]。湖区属典型的高原大陆性气候特征, 具有寒冷期长, 太阳辐射强, 气温日差较大, 干旱少雨, 降水比较集中等特点。据刚察县气象观测资料分析, 多年平均气温为 -0.5℃, 极端最高温 25℃, 极端最低温 -31℃, 0℃ 的年积温为 1299℃, 多年平均降水量 370.3 mm, 年蒸发量 607.4 mm, 平均风力大于 8 级, 最大冻土深度 2.88 m, 土壤以栗钙土为主。青海湖地区的植被特征已有较多的报道^[7-11]。

本试验选择了青海湖北岸青海省三角城种羊场地区的退化高寒草原——紫花针茅+草地早熟禾(*Stipa purpurea*+*Poa pratensis*)草原为对象, 样地于 1993 年 7 月围栏, 面积 47.5 hm²。于 2000 年 6 月中旬将尿素(宁夏

* 收稿日期: 2002-12-30

基金项目: 国家科委中西部专项“江河源主要生态区生态恢复研究与示范”项目(99J-106-02)。

作者简介: 周国英(1974-), 男, 青海乐都人, 在职硕士研究生。E-mail: guoyingzhou941125@hotmail.com

产,含氮量 46%)和磷酸二铵(美国产,有效磷含量 53%;总氮含量 21%)均匀撒于试验区(施肥时刚好下中雨)。围栏内外施肥区分为围栏内施 N 区、施 P 区、对照区,围栏外施 N 区、施 P 区、对照区,面积均为 50 m × 100 m,施肥量均为 100 kg/hm²。

2 方法和取样

2.1 野外取样

于 2002 年 8 月植物生长高峰期,选择植物生长均匀、微地形差异较小、面积较大的群落,在围栏内外施肥区和对照区分别取样。每一取样与样带垂直的方向上置 50 m 的测绳作为基线,然后以 5 m 为间隔,以左右相间的形式取 1 m × 1 m 的小样方,每一取样点共取 10 个样方。样方调查记录种群的物候期、高度和盖度以及海拔等环境因子。同时,进行地上、地下生物量测定,地上生物量测定采用 25 cm × 25 cm 齐地面剪割,分禾草类、莎草类、豆科类和杂草类 4 类,5 个重复;地下生物量取样面积采用 25 cm × 25 cm,分为 0~ 10 cm、10~ 20 cm、20~ 30 cm 三层挖取土样,用流水轻轻冲洗干净,5 个重复。将地上、地下生物量分别称取鲜重后,带回室内在 65 °C 恒温箱内烘干至恒重,生物量以烘干重计。

2.2 数据处理

在室内准确鉴定植物标本。物种多样性、丰富度及均匀度指数的计测见如下公式:

$$\text{丰富度指数(Richness index): } R_0 = S$$

多样性指数(Diversity index)

$$\text{Shannon-Weaver 指数: } H = - \sum (P_i \ln P_i)^{[12]}$$

$$\text{Hill 指数: } D_1 = e^H \quad [13]$$

$$\text{均匀度指数(Evenness index): } E_1 = H / \ln(S)^{[14]}$$

其中, S 为群落中的总种数; $P_i = N_i / N$ (N 为群落中全部种的总个体数,由于个体数对于草本植物统计较为困难,因此采用各种的重要值代替个体数进行计算; N_i 为各个种的重要值)。

群落相似性系数

$$\text{Sørensen 指数: } IS_s = 2C / (A + B)^{[14]}$$

其中, C 为 A 群落和 B 群落共有种数; A 为 A 群落的种数; B 为 B 群落的种数。

3 结果和分析

3.1 植物群落特征比较

围栏内主要以紫花针茅+草地早熟禾+青海苔草+猪毛蒿(*Stipa purpurea*+*Poa pratensis*+*Carex ivanovae*+*Artemisia scoparia*)为主的群落类型,围栏内施氮肥区、施磷肥区和对照区的植物群落分别由 14~ 18, 11~ 14, 14~ 17 种植物组成,平均值为 16.4, 12.7, 15.3; 围栏外主要以猪毛蒿+草地早熟禾+紫花针茅+青海苔草为主的群落类型。围栏外施氮肥区、施磷肥区和对照区的植物群落分别由 13~ 17, 11~ 13, 9~ 15 种植物组成,平均值为 15.1, 12.4, 12.0。整个围栏内平均物种数为 14.8, 围栏外平均物种数为 13.2 种,围栏内物种数较围栏外增加 12.4%, 围栏后植物群落的种类组成有所增加,幅度较小。但是围栏内外植物群落种群的重要值发生了显著变化。

重要值(Importance value)是以相对频度和相对盖度 2 项指数的综合来表示群落中不同种群的相对重要性。它是一个比较客观的数值,能较充分地显示出不同植物种群在群落中的地位和作用^[15]。表 1 显示了不同调控措施下群落的主要植物种类的重要值及其变化特征。在施肥条件下禾本科牧草(包括草地早熟禾、紫花针茅、短花针茅、扁穗冰草、赖草、垂穗披碱草、恰草)的重要值围栏内均大于围栏外 $IA_P > OA_P$, $IA_N > OA_N$, $IC > OC$; 其中以围栏内施磷肥区的重要值最大为 48.22, 以围栏外对照区的重要值最小为 29.36; 在施肥条件下莎草科牧草(包括青海苔草和大花嵩草)的重要值围栏内均大于围栏外 $IA_P > OA_P$, $IA_N > OA_N$, $IC > OC$; 杂类草(包括阿尔泰狗哇花、异叶青兰、狼毒、多裂委陵菜、楔叶委陵菜、蒲公英等双子叶植物)的重要值的趋势是 $IA_P < OA_P$, $IA_N < OA_N$, $IC < OC$, 围栏内 $IC > IA_P > IA_N$, 围栏外 $OAN > OC > OA_P$ 。可见通过施肥优良牧草重要值有增大趋势,且

表 1 不同调控策略下植物群落重要值变化

Table 1 Changes of importance value of plant communities under different control strategies

植物种类 Plant species	围栏内对照 IC	围栏外对照 OC	围栏内施N 肥区 IAN	围栏外施N 肥区 OAN	围栏内施P 肥区 IAP	围栏外施P 肥区 OAP
<i>Stipa purpurea</i>	5.59	11.67	8.98	9.84	20.33	11.53
<i>Stipa breviflora</i>	5.89	-	5.72	5.52	-	-
<i>Poa pratensis</i>	7.60	14.07	21.10	16.69	17.01	16.50
<i>Carex ivanovae</i>	11.69	12.04	9.28	9.29	8.34	10.56
<i>Leymus secalinus</i>	1.90	-	3.87	4.76	4.83	2.19
<i>Kobresia macrantha</i>	3.77	-	3.41	3.67	-	-
<i>Agropyron cristatum</i>	2.07	3.62	4.01	8.24	3.97	-
<i>Elymus nutans</i>	-	-	1.04	-	2.08	-
<i>Koeleria cristata</i>	-	-	-	0.39	-	-
<i>Artemisia scoparia</i>	12.91	12.27	9.59	11.99	7.61	12.88
<i>Allium</i> spp.	-	-	0.31	0.33	-	-
<i>Plantago depressa</i>	2.19	0.88	-	-	-	1.37
<i>Potentilla bifurca</i>	-	1.44	-	0.33	-	0.47
<i>Taraxacum</i> spp.	-	-	-	0.69	-	-
<i>Heteropappus altaicus</i>	7.67	7.05	6.83	4.92	-	6.60
<i>Bupleurum</i> spp.	4.13	4.76	2.83	2.99	2.27	4.31
<i>Potentilla</i> spp.	4.59	4.05	4.62	4.04	4.55	4.50
<i>Potentilla multifida</i>	4.92	5.82	3.78	3.21	3.79	5.69
<i>Artemisia stragalus</i> spp.	14.69	7.43	-	-	6.23	6.68
<i>Pedicularis kansuensis</i>	-	2.62	-	-	5.23	-
<i>Thymopsis lanceolata</i>	1.46	0.49	-	1.49	3.29	0.90
<i>Iris potaninii</i>	1.47	1.82	2.07	2.22	1.88	3.35
<i>Stellera chamaejasme</i>	0.27	4.42	0.37	1.62	2.07	0.47
<i>Pedicularis alaschanica</i>	2.05	-	3.65	3.51	-	-
<i>Oxytropis</i> spp.	-	-	4.38	4.41	-	-
<i>Gentiana squarrosa</i>	-	1.06	-	-	0.41	-
<i>Draconcephalum heterophyllum</i>	4.45	4.57	3.83	4.49	5.27	7.05
<i>Gentiana</i> spp.	0.69	-	-	-	-	-
<i>Ajania</i> spp.	-	-	-	-	0.43	-
<i>Neoturularia humilis</i>	-	-	0.34	0.33	1.24	-

IAN: Applying N fertilizer inside fence; IC: Inside fence control; OAN: Applying N fertilizer outside fence; OC: Outside fence control; IAP: Applying P fertilizer inside fence; OAP: Applying P fertilizer outside fence 下同。The same below.

围栏内较围栏外增大更快; 围栏内优良牧草重要值增大较围栏外对照区多, 围栏内重要值增大的种数占所有种数的 21.2%; 围栏内杂类草重要值减小的种数较围栏外对照区多, 说明通过施肥优良牧草的适应性和竞争能力加强, 占据了较好的生态位, 而其他物种在生态位的竞争中处于劣势。通过比较发现围栏内的所有样方中优良牧草禾本科植物的重要值大于围栏外, 而围栏外的杂类草的重要值大于围栏内。

3.2 植物群落多样性分析

不同放牧强度已导致了群落植物物种丰富度的变化, 不同调控策略下的植物物种多样性指数、丰富度指数和均匀度指数如表 2 所示。

表 2 不同调控策略下植物群落丰富度指数多样性指数和均匀度指数变化

Table 2 Change of richness, diversity and evenness index of plant communities under different control strategies

样地 Plot	丰富度指数	物种多样性指数		均匀度指数
	Richness index (R_0)	Diversity index (H')	(D_1)	Evenness index (E_1)
OC	20	2.694	14.792	0.899
IC	23	2.755	15.718	0.879
OAP	17	2.531	12.563	0.893
IAP	19	2.584	13.255	0.878
OAN	18	2.602	13.492	0.900
IAN	21	2.741	15.502	0.900

物种丰富度指数 R_0 围栏内均大于围栏外 $IAP > OAP, IAN > OAN, IC > OC$; 多样性指数中 Shannon-Weaver 指数 H' 和 Hill 指数 D_1 和丰富度指数具有同样的趋势。

围栏外与围栏内群落物种丰富度的平均值分别为 18.3 和 21, 围栏内的物种丰富度高于围栏外。进一步分析可以发现, 群落物种丰富度掩盖了物种多样性的一些重要的差异。对群落组成和结构分析表明, 围栏内群落优良牧草(禾本科和莎草科植物)的组成比例 IC 为 33.33%, IAN 为 42.11%, IAP 为 36.36%; 杂类草(双子叶植物)组成比例 IC 为 63.64%, IAN 为 57.89%, IAP 为 66.67%。与围栏内群落相比, 围栏外优良禾本科

牧草和杂类草的组成比例发生了不同程度的变化, 围栏外优良禾本科牧草的组成比例 OC 为 22.22%, OAP 为 35%, OAN 为 25%; 杂类草组成比例 OC 为 77.78%, OAN 为 65%, OAP 为 75%。这表明人为调控措施对群落物种丰富度有显著的影响。

物种丰富度简明表达了植物群落物种多样性的一个侧面, 但它未能反映群落物种相对多度的信息。Shannon-Weaver 指数是群落物种数及其个体数和分布均匀程度的综合指标。表 2 同时给出了群落的 Shannon-Weaver 指数 H' 和 Hill 指数 D_1 。可以看出, 该地区群落的 Shannon-Weaver 指数均介于 2~3 之间, Hill 指数介于 10~16 之间。从表 2 可以看出, Shannon-Weaver 指数变化不显著。OAP、OAN、OC 均属于围栏外草场, 由于过度放牧导致群落的丰富度和物种多样性指数皆较低; 而围栏内属于冬春草场, 所受干扰较小, 故群落的丰富度和物种多样性指数皆较高。就围栏内而言, IC 的物种多样性大于 IAN 和 IAP; 围栏外 OC 的物种多样性大于 OAP 和 OAN。这一结论也验证了张大勇的结论^[16], 即对被施肥群落来说, 这意味着其物种库大小将显著下降。

纵观表 2 均匀度指数 $IC < OC, IAP < OAP$, 但 $IAN = OAN$, 且变化幅度很小, 说明围栏内外群落的均匀程度基本一致, 这也与原来就是同一片草地的不同处理的事实相符。

3.3 不同调控策略下群落物种的相似性比较

物种相似性是指群丛间或样地间植物组成的相似程度或相异程度, 它是群落分析的重要基础^[15]。不同调控策略下群落物种相似性比较见表 3。

表 3 不同调控策略下群落物种相似性比较

Table 3 Comparison of species similarity in plant communities under different control strategies

样地 Plot	围栏外对照 OC	围栏内对照 IC	围栏外施 P 肥区 OAP	围栏内施 P 肥区 IAP	围栏外施 N 肥区 OAN	围栏内施 N 肥区 IAN
OC	0					
IC	0.696	0				
OAP	0.500	0.390	0			
IAP	0.432	0.372	0.395	0		
OAN	0.472	0.372	0.447	0.400	0	
IAN	0.375	0.435	0.390	0.395	0.372	0

可以看出, 不同调控策略下群落的群落相似性系数(Sørensen 指数)在 0.372~0.696 之间, 变化范围较大。其中, 围栏外对照区和围栏内对照区的相似性程度最高, 它们没有受到施肥的干扰, 由于大多数植物种具有较强的

耐牧性,故围栏外物种减小的幅度较小,因而它们的相似性系数最高。围栏外施氮肥区和围栏内施氮肥区、围栏内对照和围栏内施磷肥区、围栏内对照和围栏外施氮肥区的相似性程度最低。可见施肥和围栏封育都能或多或少的改变群落的植物种类。

4 小结

4.1 通过施肥优良牧草的适应性和竞争能力加强,占据了较好的生态位,而其他物种在生态位的竞争中处于劣势,通过比较发现围栏内的所有样方中优良牧草禾本科植物的重要值大于围栏外,而围栏外的杂类草的重要值大于围栏内。

4.2 随着围栏时间的增加,由于该地属于冬春草场在植物生长季围栏内所受干扰较小,植物种类变化不大,群落结构也较为稳定;而围栏外受人为干扰较大,群落结构趋于简单,物种也在减少,但由于大多数植物种具有较强的耐牧性^[16],故物种数减少的幅度较小。同时,本研究也验证了汪诗平和李永宏^[17,18]的结论,即连续多年的放牧不足以导致物种个数的差异,但却改变了各物种在群落中的均匀度和重要性。单纯就围栏内或围栏外而论,施肥会降低物种多样性,可见围栏封育和施肥对高寒草原均有影响。

4.3 从群落相似性角度来看,不同调控策略下群落的群落相似性系数($S_{Petersen}$ 指数)在0.372~0.696之间,变化范围较大。其中,围栏外对照区和围栏内对照区的相似性程度最高。

致谢:本论文的完成过程中得到青海省三角城种羊场的大力帮助,标本鉴定得到卢学峰博士、卢生莲研究员的帮助,特此致谢。

参考文献

- [1] 周兴民,王质彬,杜庆 青海植被[M]. 西宁:青海人民出版社,1986:66-67.
- [2] 王启基,周兴民,沈镇西,等 不同调控策略下退化草地植物群落结构及其多样性分析[A]. 高寒草甸生态系统(第4集)[C]. 北京:科学出版社,1995:269-279.
- [3] 周兴民 中国嵩草草甸[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [4] 夏武平,周兴民,刘季科,等 高寒草甸地区的生物群落[A]. 高寒草甸生态系统(第3集)[C]. 北京:科学出版社,1991.
- [5] 周兴民,张松林 矮嵩草草甸在封育条件下群落结构和生物量变化的初步观察[J]. 高原生物学集刊,1986,(5):1-6.
- [6] 中国科学院兰州地质研究所 青海湖综合考察报告[M]. 北京:科学出版社,1980.
- [7] 陈桂琛,彭敏 青海湖地区植被及其分布规律[J]. 植物生态学与地植物学报,1993,17(1):71-81.
- [8] 彭敏,陈桂琛 青海湖地区植被演变趋势的研究[J]. 植物生态学与地植物学报,1993,17(3):217-223.
- [9] 淮虎银,周立华 青海湖湖盆南岸植物群落的生态优势度与海拔梯度[J]. 西北植物学报,1995,15(3):240-243.
- [10] 刘庆,周立华 青海湖北岸植物群落与环境因子关系的初步研究[J]. 植物学报,1996,38(11):887-894.
- [11] 刘庆,周立华 青海湖北岸环境梯度上植物群落的生物量与物种多样性及其相互关系[J]. 西北植物学报,2000,20(2):259-267.
- [12] Pielou E C. Ecological Diversity[M]. Wiley, New York, 1975.
- [13] Hill M O, Bunce R G H, Shaw M W. Indicator species analysis, a divisive polythetic method of classification, and its application to a survey of native pinewoods in Scotland[J]. Journal of Ecology, 1975, 63: 579-613.
- [14] 王伯荪 植物群落学[M]. 北京:高等教育出版社,1987:44-55,90-120.
- [15] 张大勇,姜新华 群落内物种多样性发生与维持的一个假说[J]. 生物多样性,1997,5(3):161-167.
- [16] 汪诗平,李永宏 内蒙古典型草原退化机理的研究[J]. 应用生态学报,1999,10(4):437-441.
- [17] 汪诗平,李永宏,王艳芬,等 不同放牧率下冷蒿小禾草草原放牧演替规律与数量分析[J]. 草地学报,1998,6(4):299-305.
- [18] 李永宏 放牧空间梯度上和恢复演替时间梯度上羊草草原的群落特征及其对应性[A]. 草原生态系统研究(第4集)[C]. 北京:科学出版社,1992:1-7.
- [19] 王文颖,王启基 高寒嵩草草甸退化生态系统植物群落结构特征及物种多样性分析[J]. 草业学报,2001,10(3):8-14.
- [20] 张自和,郭正刚,吴素琴 西部高寒地区草业面临的问题与可持续发展[J]. 草业学报,2002,11(3):29-33.
- [21] 戎郁萍,韩建国,王培 不同草地恢复方式对新麦草草地土壤和植被的影响[J]. 草业学报,2002,11(1):17-23.

Comparative research on the influence of chemical fertilizer application and enclosure on alpine steppes in the Qinghai Lake area

I Structure and species diversity of the plant community

ZHOU Guo-ying¹, CHEN Gui-chen¹, ZHAO Yi-lian², WANG Shun-zhong¹, LI Wei³, PENG Min¹

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Science, Xining 810001, China;

2. Science and Technology Department of Qinghai Province, Xining 810001, China; 3. Sanjiao

City Sheep Breeding Grassland Area of Qinghai Province, Gangcha 812300, China)

Abstract: A study was conducted at the Sanjiao City Sheep Breeding Grassland Area of the Qinghai Province, which is located on natural alpine grassland on the north bank of Qinghai Lake. Nitrogen and phosphorous chemical fertilizers were applied to some of the alpine steppe, and area permanently enclosed in fences and that not enclosed was compared, to find the best approach to restore degraded grassland. After application of fertilizer, the importance value of excellent pasture showed an increasing trend, and the increase was greater within the fenced area than without. The natural alpine steppe showed the same trend with greater importance value of excellent pasture within fenced areas than that without. Man-imposed control strategies showed significant effects on the species richness of the plant communities. Plant communities with chemical fertilizer applied showed significant loss of species, and the number of species within the fenced area increased. Thus, it can be seen that both chemical fertilizer application and fencing can affect the species of plant communities.

Key words: Qinghai Lake area; alpine steppe; plant community structure; species diversity