

文章编号: 0455-2059(2009)04-0048-06

黄河首曲湿地功能区“黑土滩”退化草甸恢复改良

武高林^{1,2}, 任国华², 刘振恒³, 杨林平³, 班玛才让³

(1. 西北农林科技大学 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

2. 兰州大学 生命科学学院, 兰州 730000;

3. 玛曲县畜牧局 玛曲草原工作站, 甘肃 玛曲 747300)

摘要: 采用样方法研究了首曲湿地功能区“黑土滩”退化草甸改良后 3 a 的群落特征变化, 分析了围栏封育和补播“高寒 1 号”生态组合草种对退化草甸的恢复改良效果. 结果显示: 仅封育 3 a 后, “黑土滩”退化草甸群落的盖度、高度、地上生物量和可食牧草比例均显著提高, 丰富度指数由 0.55 增加到 0.75, 多样性指数由 0.07 增加到了 0.25; 封育后补播“高寒 1 号”生态草种相对于封育前, 使得退化草甸的盖度增加了 56.00%, 高度增加了 11.74 cm, 地上生物量增加了 222.24 g/m², 可食牧草比例增加了 55.98%, 物种数由 5 种/m² 增加到了 15 种/m², 丰富度指数由 0.55 增加到了 3.29, 多样性指数由 0.07 增加到了 1.85, 均匀度指数由 0.06 增加到了 0.27. 相对围栏封育而言, 封育后补播是一种更有效的“黑土滩”退化草甸改良恢复措施. 围栏封育和补播配套实施可以显著改善“黑土滩”退化草地的群落貌相、草地生产力和组分结构状况.

关键词: 补播; 封育; 生物量; 群落结构; “黑土滩”退化草甸; “高寒 1 号”生态草

中图分类号: Q145.2

文献标识码: A

Restoration and improvement of "black soil beach" degraded meadows in Maqu wetland function area of Yellow River

WU Gao-lin^{1,2}, REN Guo-hua², LIU Zhen-heng³, YANG Lin-ping³, BANMA Cai-rang³

(1. Water and Soil Conservation Institute of Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water Resource, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi, China;

2. School of Life Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

3. Maqu Grassland Working Station, Maqu Animal Husbandry Bureau, Maqu 747300, Gansu, China)

Abstract: The community height, cover, aboveground biomass and plant composition and diversity of "black soil beach" degraded meadows which were fenced and reseeded in Maqu wetland function area were monitored for three years. The aim was to study the effects of fencing and reseeded on improvement of "black soil beach" degraded meadows. The results show that fencing significantly improved vegetation cover, height, aboveground biomass and forage (edible grasses) biomass. Richness index and diversity index were increased from 0.55 to 0.75 and from 0.07 to 0.25, respectively for "black soil beach" degraded meadow community. Reseeding of "Alpine No.1" eco-grass mixture also significantly advanced these characteristics and presented a more remarkable improvement than fencing. Increasing extents were presented: cover 56.00%, height 11.74 cm, aboveground biomass 222.24 g/m², forage (edible grasses) biomass percent 55.98%. And, species number, richness index, diversity index and evenness index all showed increase, from 5 species/m² to 15 species/m², from 0.55 to 3.29, from 0.07 to 1.85 and from 0.06 to 0.27, respectively. Reseeding is a more

收稿日期: 2009-01-07; **修回日期:** 2009-05-07

基金项目: 国家天然草原退牧还草工程玛曲县退牧还草试点工程项目(2005, 2006, 2007)

作者简介: 武高林(1981-), 男, 山西文水人, 助理研究员, 博士, e-mail: gaolinwu@gmail.com, 研究方向为草地生态学和植物生态学.

effective improving and restoring measure for “black soil beach” degraded meadow, relative to single fencing. The combined work of fencing and reseeding can be considered as an important improvement and restoration measure of community appearance, productivity and structure for “black soil beach” degraded meadows.

Key words: reseeding; fencing; biomass; community structure; “black soil beach” degraded meadow; “Alpine No.1” eco-grass

随着全球气候变化和人类活动的加剧,加之草地鼠虫危害问题突出,近年来青藏高原高寒草甸面临着严重的退化问题.以“黑土滩”退化草甸为主的草甸退化现象日趋严重^[1-4].“黑土滩”是指在典型的寒冷阴湿气候特征下的青藏高原地区,草甸或草地植被在自然和人为因素的作用下严重退化,所形成的大面积次生裸地或呈丘岛状的半裸地^[5].其基本特征是:植被稀疏,土壤裸露,以黑色或深灰色土壤为背景,初始盖度为0~50%,大多在30%以下;物种以一年和多年生杂类草为主,高寒草甸的代表性植物——莎草科物种基本消失,生物多样性降至最低.“黑土滩”退化草甸主要是由于全球气候变化和人类的过度放牧干扰等因素造成的^[5].“黑土滩”退化草甸土壤养分条件较好,具备植被自然发育的基础条件,但是,采用以往单一的补播嵩草物种的方法效果不理想,而补播禾草类混合草种是治理黑土滩退化草甸的理想措施^[1].马玉寿等^[4],尚占环等^[6]提出建植人工和半人工草地是恢复与重建“黑土型”退化草甸的主要技术手段.由于“黑土滩”退化草甸属于自然恢复能力较弱的退化类型,因此,对于该类退化草甸的恢复,仅采用围栏封育是不够的,必须辅助以其他人工恢复和管理措施才能取得良好效果^[6].“黑土滩”退化草甸的土壤种子库中保留有数量可观的营养繁殖体,但是由于其草地植被极度稀疏,没有合适的微生境来保证牧草类种子幼苗的萌发、生长和存活^[7].加强干扰以减少“黑土滩”退化草甸次生毒杂草群落稳定趋势,是恢复该类退化草地的重要手段^[8].围栏封育可以显著提高退化草甸群落的盖度^[9-10],从而改善群落微生境,而补播外源种子可以增加该类退化草地群落中的繁殖体来源,因为繁殖体和微生境是退化草地恢复的基础^[7].

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

试验地位于甘肃省甘南州玛曲县曼日玛乡开阔的“黑土滩”退化草甸,地处102°06'E, 33°38'N,海拔高度为3538 m.年均温1.1℃,月均温从1月

份的-10℃到7月份的11.7℃.近年来的平均年降水量约为615 mm,属高寒湿润区.年日照时数约2580 h,年平均霜日大于270 d.主体土壤类型为亚高山草甸土,地带性植被为亚高山草甸.“黑土滩”退化草甸试验区的植被构成以杂类草为主,禾草和莎草科植物偶见,毒草比例较大,总盖度为10%~35%,冷季秃斑地面积占70%左右.鹅绒萎陵菜(*Potentilla anserina*)为主要的优势物种,伴生种有密花香薷(*Elshdtzia densa*)、灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)、艾蒿(*Artemisia tangutica*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、披碱草(*Elymus nutans*)、少量的线叶嵩草(*Kobresia capillifolia*)和小嵩草(*Kobresia pygmaea*)等.

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计

采用“高寒1号”作为试验牧草材料,该草种由北京克劳沃草业技术开发中心提供.“高寒1号”生态组合草种是北美高寒地区应用最成功的生态组合草种之一,是针对中国高寒地区草地改良、生态治理和植被恢复而进行科学配比的牧草草种组合,是高海拔地区草地植被恢复中优秀草种组合,不仅适应性强、草质优、产量高,而且容易形成持续稳定的植物群落.

2005年在试验点选取了100 m×100 m的“黑土滩”退化草甸作为研究区域,是地形开阔的滩地,在试验前进行了围栏封育.在2005年6月底,采用人工划破草皮进行撒播,播种量为30 kg/hm²,补播后用靶子进行了覆土处理2 cm左右.由于该区“黑土滩”退化草甸属于沼泽化湿地边缘,土壤养分含量较高,因此未进行施肥.

1.2.2 调查方法

在2005年补播前,对试验区随机抽取10个样方(0.5 m×0.5 m)进行植被本底调查,补播后的第2年(2006),第3年(2007),第4年(2008)年的7月中旬采用同样的方法分别再次进行植被调查.调查项目包括植物种类、平均高度、盖度、多度以及地上生物量.根据草地群落组种对家畜采食的可利用性,把群落中的物种分为2个大功能群:牧草类功能群(主要包括禾草类、莎草的可食牧草类物

种)和杂草类功能群(主要包括动物不采食的杂草类和毒草类物种),并按功能团分类采取地上部分带回实验室,在80℃下烘24h用万分之一天平称量干重.多样性指数(R)、丰富度指数(H)和均匀度指数(E)的计算公式如下:

Margalef 丰富度指数:

$$R = (S - N) / \ln N;$$

Shannon—Wiener 多样性指数:

$$H = - \sum P_i (\ln P_i);$$

Pielou 均匀度指数:

$$E = H / \ln S.$$

其中: S 为每个样地的总物种数; N 为每个样方中的全部物种的总个体数; P_i 为第 i 个物种的个体数占样方中全部物种个体数的比例.

1.2.3 数据分析

采用SPSS 13.0对数据进行方差分析.并通过单因子方差分析比较补播后3a和补播前的草甸平均植被高度、盖度、物种数、地上生物量、丰富度指数、多样性指数、均匀度指数和牧草类物种生物量的变化.

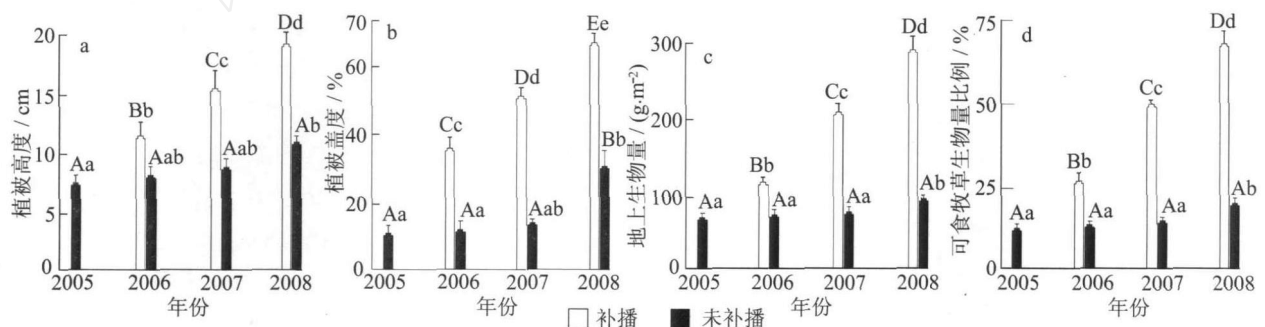
2 结果与分析

2.1 围栏封育对“黑土滩”退化草甸的高度、盖度和地上生物量的影响

围栏封育2a后,其高度、盖度、地上生物量和可食牧草生物量比例与围封前差异均不显著($P > 0.05$).而到第3年,“黑土滩”退化草甸植被的平均高度、盖度、地上生物量和可食牧草生物量比例与封育前相比差异均达到显著水平($P < 0.05$)(图1).围栏封育3a就可以在在一定程度上提高“黑土滩”退化草甸的植被高度、盖度、地上生物量和可食牧草比例等貌相特征.

2.2 围栏封育对“黑土滩”退化草甸群落多样性的影响

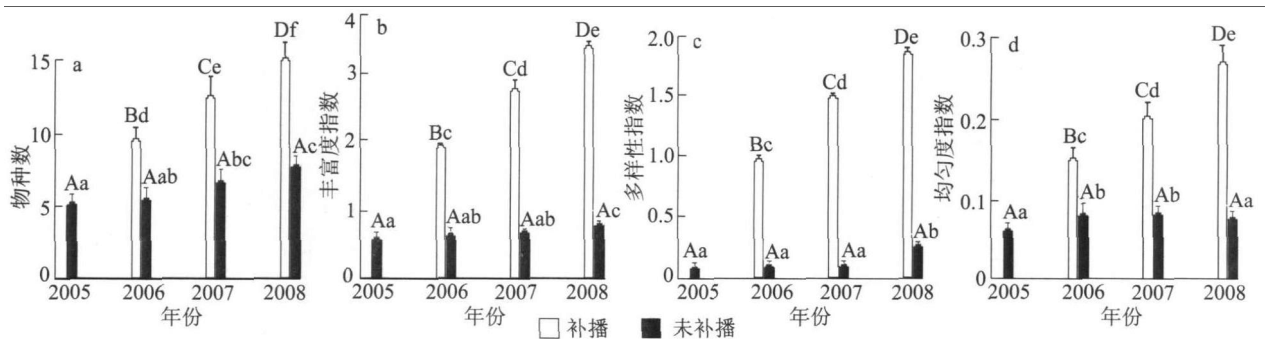
围栏封育3a后,“黑土滩”退化草甸群落物种数、丰富度指数和多样性指数均呈现显著($P < 0.05$)的增加,而均匀度指数之间差异不显著(图2).结果表明:围栏封育3a可以在一定程度上提高“黑土滩”退化草甸群落的物种数、丰富度指数和多样性指数,而对群落的均匀性指数无显著影响.



根据 Tukey's 检验,不同小写字母标记的值之间差异显著($P < 0.05$),不同大写字母标记的值之间差异极显著($P < 0.01$)

图 1 补播和未补播高寒草甸的植被高度、盖度、地上生物量和可食牧草生物量比例的年际间变化

Fig. 1 Variation of vegetation height, cover, aboveground biomass and forage (edible grasses) biomass percent in reseeded and unseeded alpine meadows



根据 Tukey's 检验,不同小写字母标记的值之间差异显著($P < 0.05$),不同大写字母标记的值之间差异极显著($P < 0.01$)

图 2 补播和未补播高寒草甸的物种数、丰富度指数、多样性指数和均匀度指数的年际间变化

Fig. 2 Variation of species numbers, richness index, diversity index and evenness index in reseeded and unseeded alpine meadows

2.3 补播“高寒1号”生态草对“黑土滩”退化草甸的高度、盖度和地上生物量的影响

补播与未补播草地相比,补播后“黑土滩”退化草甸植被的平均高度、盖度、地上生物量和可食牧草生物量比例比未补播草甸均表现出极显著($P < 0.01$)的增加(图1)。结果表明:补播“高寒1号”生态组合草种比单一的围栏封育措施更能显著提高“黑土滩”退化草甸的植被高度、盖度、地上生物量和可食牧草比例。

2.4 补播“高寒1号”生态草对“黑土滩”退化草甸群落多样性的影响

补播“高寒1号”生态组合草种后,“黑土滩”退化草甸的物种数、丰富度指数、多样性指数和均匀度指数均表现出了极显著($P < 0.01$)增加(图2)。结果表明:补播“高寒1号”生态组合草种比单一的围栏封育措施更能显著提高“黑土滩”退化草甸植被的物种数、丰富度、多样性和均匀度。相对封育而言,补播是一种更有效地改良和恢复“黑土滩”退化草甸的措施。

3 讨论

3.1 围栏封育对退化草甸的影响

在退化高寒草甸的恢复方面,被广泛采用的主要退牧还草工程措施就是围栏封育和补播,并取得了一定的生态效益和经济效益^[11]。围栏封育可以显著提高退化草甸群落的高度、盖度和地上生物量等^[12-14]。由于高寒草甸退化除了受气候因素的影响外,过度的放牧干扰是主要的人为因素^[5-6,15],而围栏封育将放牧干扰减小到了最低程度,可以使草甸群落得到修生养息的机会,直接改善了其高度、盖度和地上生物量等^[9,12-13]。另外,围栏封育也可以改善退化草甸的群落结构和保持群落的物种多样性。本文结果表明:对于“黑土滩”退化草甸的短期围栏可以在一定程度上提高其物种多样性和丰富度。由于围栏封育改善了群落的微生境,使一些物种的幼苗成功更新和补充,从而提高了其群落的物种多样性和丰富度^[16]。长期的围栏封育可以显著增加可食牧草的竞争能力^[17]及其在群落中的比例和丰富度^[10,18],会导致草地枯枝落叶层的加厚,阻止群落中部分物种幼苗的更新和生长^[19],导致一些物种更新补充的失败,进而降低群落的物种多样性和均匀度。Klein等^[19]指出放牧能够降低由于气候变暖而导致的高寒草甸的物种多样性散失,放牧作为草地生态系统的—个主要组成部分,必然有其合理的

功能和存在价值。围栏年限对草地群落的生产力和结构改善也有显著影响,超过一定年限的围栏会对草地演替产生负面的影响^[9]。根据中度干扰理论,适当的围栏封育作为中度干扰是退化草地恢复的一种积极措施,而超过一定年限的围栏封育则可被认为是一种过度的干扰,势必会导致草地向另外一种形式的退化模式发展。因此,围栏封育对于退化草地的植被更新和恢复有重要作用,而合理的放牧可以考虑作为草地生态系统管理的一个必要措施,与围栏封育配合实施。适当的封育对退化草地的改善是积极的,但不能完全禁止放牧,因为长期的围栏封育会对草地群落演替造成一定的负面影响。

3.2 补播对退化草甸的影响

草地补播是在不破坏或少破坏原生植被的情况下,播种一些适应当地自然条件、有价值的优良牧草,以增加草群中优良牧草成分比例和草地的覆盖度,达到改善草地群落结构、提高草地生产力和改善牧草品质的目的。在围栏封育的基础上,翻耕草地,补播外源牧草种子,是改善和恢复“黑土滩”退化草甸群落和提高其草地生产力的重要措施^[1-4,6-7,15]。由于“黑土滩”退化草甸属于严重退化的草甸群落,缺乏可利用的繁殖体和供繁殖体生长发育的适宜微生境,使退化草地恢复受到很大限制。退化草地的成功恢复主要依赖于种子和母株无性繁殖幼苗的有效建植^[7]。对于草地植被,较稳定群落的成体植株和幼苗的空间格局基本一致^[8]。因此,要改善草地群落结构,从种子到幼苗的更新补充是关键问题,草地群落经历外部干扰能够影响草地群落物种间的相互作用以及现有的空间格局发生变化而形成新的空间格局^[20]。高寒草甸在过渡的放牧压力下,部分种子被家畜和昆虫采食,导致了种子源的减少,进而影响群落的种子幼苗更新和群落结构组成^[21]。退化高寒草甸经过多年封育和补播后表现出了逐步向原生植被方向演替的趋势^[18]。因此,补播既是增加草地群落外源种子库的一个重要途径,也是退化植被向原生植被演替的一个干扰驱动力。由于玛曲高寒湿地区的“黑土滩”退化草甸是由蒿草为主的沼泽化草甸和沼泽化湿地退化而成,因此,“黑土滩”退化草甸具有较好的土壤养分条件,为改良和恢复创造了良好的土壤基质条件^[1]。相对于其他高寒退化草地类型,该区的“黑土滩”退化草甸具有更大的恢复潜力和条件。因此,补播合适的外源繁殖体来提高草地群落中的种子库来源,同时实施围栏

封育工程,为退化草甸恢复提供繁殖体与微生境是“黑土滩”退化草甸恢复的一个合理配套措施。

3.3 补播草种的选择

补播成功的主要因素之一即是补播牧草种子的选择,确保补播草种具有较强的适应能力和竞争力^[22-23]。披碱草(*Elymus nutans*)、老芒麦(*Elymus sibiricus*)、草地早熟禾(*Poa pratensis*)、中华羊茅(*Festuca sinensis*)、高羊茅(*Festuca arundinacea*)、星星草(*Puccinellia tenuiflora*)等是改良高寒地区“黑土滩”退化草地的优良草种^[4, 24]。但是,补播单一物种未能达到理想的效果,而补播禾草类混合草种是治理“黑土滩”退化草地的理想措施^[1]。本试验所采用的“高寒1号”生态组合草种是由达乌里披碱草(*Dahurian Wildrye*)、细茎冰草(*Agropyron trachy-caulum* cv. *Slender*)、匍匐紫羊茅(*Creeping Fescue rubra*)、扁穗冰草(*Crested wheatgrass*)、无芒雀麦(*Bromus inermis leys*)和高山雀麦(*Mountain brome*)按照地上匍匐茎、地下根茎与强大须根的结合,上繁草与下繁草的结合,早期成长型与中晚期成长型结合的原则和一定的比例配比组成。在补播过程中,应充分考虑各草种的时间、空间、营养生态位差异,选择最佳补播物种可使补播成功并有效改良退化草地的群落结构。该组合草种具有极抗寒、耐旱、耐瘠的生物学特性,在高寒地区退化草地恢复和放牧草场的建立及水土保持等方面具有较高的推广应用潜力。另外,适当的补播豆科牧草,也可以增加退化草甸的地上净最大营养生产力,改善营养品质^[25]。同时,补播深度、补播技术和时间等的选择也是决定补播改良退化草地效果的一些重要因素^[26]。

参 考 文 献

- [1] 李希来,黄葆宁. “黑土滩”退化草地补种禾草和高草试验初报[J]. 青海畜牧兽医杂志, 1996, 26(4): 9-11.
- [2] 马玉寿,郎百宁. 建立草业系统恢复青藏高原“黑土型”退化草地植被[J]. 草业科学, 1998, 15(1): 5-9.
- [3] 马玉寿,郎百宁,王启基. “黑土型”退化草地研究工作的回顾与展望[J]. 草业科学, 1999, 16(2): 5-8.
- [4] 马玉寿,郎百宁,李青云,等. 江河源区高寒草甸退化草地恢复与重建技术研究[J]. 草业科学, 2002, 19(9): 1-5.
- [5] 尚占环,龙瑞军. 青藏高原“黑土型”退化草地成因与恢复[J]. 生态学杂志, 2005, 24(6): 652-656.
- [6] 尚占环,龙瑞军,马玉寿. 江河源区“黑土滩”退化草地特征、危害及治理思路探讨[J]. 中国草地学报, 2006, 28(1): 69-74.
- [7] 张荣,陈亚明,孙国钧,等. 繁殖体与微生境在退化草地恢复中的作用[J]. 生态学报, 2004, 24(5): 972-977.
- [8] 尚占环,龙瑞军,马玉寿,等. 青藏高原“黑土滩”次生毒杂草群落成体植株与幼苗空间异质性及相似性分析[J]. 植物生态学报, 2008, 32(5): 1157-1165.
- [9] 贾晓妮,程积民,万惠娥. 云雾山本氏针茅草地群落恢复演替过程中的物种多样性变化动态[J]. 草业学报, 2008, 17(4): 12-18.
- [10] 周华坤,周立,刘伟,等. 封育措施对退化与未退化矮嵩草草甸的影响[J]. 中国草地, 2003, 25(5): 15-22.
- [11] 赵成章,贾亮红. 黄河源区退牧还草工程生态绩效与问题[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2009, 45(1): 37-41.
- [12] 李希来. 高寒草甸封育一年后的植物量变化[J]. 青海草业, 1992, 3(1): 20-24.
- [13] 李青云,董全民. 围栏封育对高寒草甸退化植被的作用[J]. 青海草业, 2002, 11(3): 1-2.
- [14] 周华坤,周立,赵新全,等. 围栏封育对轻牧与重牧金露梅灌丛的影响[J]. 草地学报, 2004, 12(2): 140-144.
- [15] 武高林,杜国祯. 青藏高原退化高寒草地生态系统恢复和可持续发展探讨[J]. 自然杂志, 2007, 29(3): 159-164.
- [16] 周国英,陈桂琛,赵以莲,等. 施肥和围栏封育对青海湖地区高寒草原影响的比较研究——群落结构及其物种多样性[J]. 草业学报, 2004, 13(1): 26-31.
- [17] DISTEL R A, BOO R M. Vegetation states and transitions in temperate semiarid rangelands of Argentina[M]//WEST N E. Rangelands in a Sustainable Biosphere. Denver: Society for Range Management, 1996: 117-118.
- [18] 王发刚,王文颖,陈志,等. 土地利用变化对高寒草甸植物群落结构及物种多样性的影响[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2007, 43(3): 58-63.
- [19] KLEIN J A, HARTE J, ZHAO Xin-quan. Experimental warming causes large and rapid species loss, dampened by simulated grazing, on the Tibetan Plateau[J]. Ecology Letters, 2004, 7(12): 1170-1179.

(下转第 59 页)

- [10] MAY R M. Host-parasitoid system in patchy environments: a phenomenological model[J]. *Anim Ecol*, 1978, 47: 833-843.
- [11] XU Cai-lin, MARK S B. Dynamic complexities in a mutual interference host-parasitoid model[J]. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2005, 24: 175-182.
- [12] KAITALA V, YLIKARJULA J, HEINO M. Dynamic complexities in host-parasitoid interaction[J]. *J Theor Biol*, 1999, 197: 331-341.
- [13] TANG San-yi, CHEN Lan-sun. Chaos in functional response host-parasitoid ecosystem models[J]. *Chaos Solitons & Fractals*, 2002, 13: 875-884.
- [14] GREBOGI C, OTT E, YORKE J A. Crises, sudden changes in chaotic attractors and chaotic transients[J]. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 1983, 7: 181-200.
- [15] HASTINGS A, HIGGINS K. Persistence of transients in spatially structured ecological models[J]. *Science*, 1994, 263: 1131-1136.
- [16] TINEO A. Permanence of a large class of periodic predator-prey systems[J]. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 2000, 241: 83-91.
- [17] LI Xue-zhi, TANG Chun-lei, JI Xin-hua. The criteria for globally stable equilibrium in n -dimensional Lotka-Volterra systems[J]. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 1999, 240: 600-606.
- [18] LÜ Song-juan, ZHAO Min. The dynamic complexity of a host-parasitoid model with a lower bound for the host[J]. *Chaos Solitons & Fractals*, 2009, 36(4): 911-919.
- [19] ZHU Li-li, ZHAO Min. Dynamic complexity of a host-parasitoid ecological model with the Hassell growth function for the host[J]. *Chaos Solitons & Fractals*, 2009, 39(3): 1259-1269.
- [20] ROHANI P, MIRAMONTES O. Immigration and the persistence of chaos in population Models[J]. *J Theor Biol*, 1995, 175: 203-206.
- [21] GREBOGI C, YORK J A. The impact of chaos on science and society[M]. 杨立, 刘巨斌译. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2001.
- [22] ELLNER S, TURCHIN P. Chaos in a noisy world: new methods and evidence from time-series analysis[J]. *The American Naturalist*, 1995, 145(3): 343-375.
- [23] 刘华, 刘志广, 高猛, 等. 有色环境噪音下空间种群的一致性与灭绝[J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2008, 44(4): 99-102.
- [24] XU Cai-lin, LI Zi-zhen. Effect of diffusion and spatially varying predation risk on the dynamics and equilibrium density of a predator-prey system[J]. *J Theor Biol*, 2002, 219: 73-82.
- [25] GAKKHAR S, NAJI R K. Chaos in seasonally perturbed ratio-dependent prey-predator system[J]. *Chaos Solitons & Fractals*, 2003, 15: 107-118.

(上接第52页)

- [20] 刘振国, 李镇清. 不同放牧强度下冷蒿(*Artemisia frigida*)种群小尺度空间格局[J]. *生态学报*, 2004, 24(2): 227-234.
- [21] HOWE H F, ZORN A B, SULLIVAN A, et al. Massive and distinctive effects of meadow voles on grassland vegetation[J]. *Ecology*, 2006, 87(12): 3007-3013.
- [22] MUELLER J P, CHAMBLEE D S. Sod-seeding ladino clover and alfalfa as influence by seed placement seeding date and grass suppression[J]. *Agronomy Journal*, 1984, 76: 284-289.
- [23] HU F D, JONES R J. Competition in pots between two tropical legumes (*Stylosanthes hamata* and *S. scabra*) and two tropical grasses (*Urochloa mosambicensis* and *Bothriochloa pertusa*) at two phosphorus fertiliser levels[J]. *Tropical Grasslands*, 2001, 35: 34-42.
- [24] 施建军, 马玉寿, 董全民, 等. “黑土型”退化草地优良牧草筛选试验[J]. *草地学报*, 2007, 15(6): 543-549.
- [25] 陈亚明. 退化嵩草型高山草地补播豆科牧草的研究[J]. *草业学报*, 1999, 8(2): 71-75.
- [26] 阎志坚, 王育青, 安渊. 北方半干旱区弃耕地草场补播技术[J]. *中国草地*, 1999, 21(5): 19-24.