

平衡与非平衡生态学在锡林河流域典型 草原放牧系统中的应用

熊小刚, 韩兴国*, 陈全胜, 米湘成

(中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室, 北京 100093)

摘要:为认识放牧系统的复杂性和稳定性,产生了放牧系统的平衡生态学和非平衡生态学原理。放牧系统的平衡生态学原理假定:一旦干扰在系统中发生,系统将偏离平衡态;而当干扰解除后,系统将自动返回原来的状态或新的领域实现平衡。在对内蒙古锡林河流域典型草原放牧系统动态的研究中,来自平衡生态学的 Clements-Duksterhuis 演替理论提供了一个基本的研究框架。尽管已经证实对退化不太严重的典型草原放牧系统,平衡生态学原理是适用的,但是对于这一地区严重退化的放牧系统的动态,它显然并不能给予合理的解释。事实上许多放牧系统动态遵循非平衡生态学原理。在非平衡放牧系统中,稳定的状态是不会实现的,因为在这样的系统中,非生物变量对于植被的动态似乎起着决定性的影响,从而也决定着草食动物的种群动态。状态与过渡模型基于非平衡生态学原理,它能够解释过度放牧下典型草原生态系统的崩溃或灌丛化,因此它适于该地区严重退化的典型草原放牧系统的动态。鉴于内蒙古锡林河流域典型草原放牧系统普遍严重退化的现实,未来该地退化放牧系统的研究应更多地应用非平衡生态学原理,并且严重退化的草原生态系统的恢复试验,特别是灌丛化草原的重建也应置于它的指导之下。

关键词:退化草原; 状态与过渡模型; 灌丛化

Application of the equilibrium and non-equilibrium ecology to the dynamics of the steppe grazing system in Xilin River Basin, Inner Mongolia

XIONG Xiao-Gang, HAN Xing-Guo, CHEN Quan-Sheng, MI Xiang-Cheng (*Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2165~2170.

Abstract: To understand the complexity and stability in grazing systems, the equilibrium and non-equilibrium ecology theory have been developed. The equilibrium ecology theory postulates that, once disturbance has occurred in a system, the system state either returns to its former equilibrium or equilibrates within a new domain of attraction. Clements-Duksterhuis succession theory, from the equilibrium ecology, has provided one basic paradigm for the research on the dynamics of the steppe grazing systems in Xinlin River Basin, Inner Mongolia. Although this theory has been verified to fit for the dynamics of no heavily degraded steppe grazing systems, it could not give the reasonable explanation for the dynamics of heavily degraded steppe grazing systems in this region. Many grazing systems are substantiated to follow the non-equilibrium dynamics. The non-equilibrium ecology theory presumes that a steady state is never achieved, in these systems it would seem that abiotic variables have an overriding influence on vegetation dynamics and hence also on herbivore populations. The State and Transition Models, based on the non-equilibrium ecology theory, could well document the dynamics of the heavily degraded steppe grazing systems, since it could explain the breakdown and the thickening of steppe ecosystems under overgrazing. Considering the widespread occurrence of the heavily degraded steppe, researches in the future should be combined more with the non-equilibrium ecology in Xinlin River Basin, Inner Mongolia. In addition, the restoration of heavily degraded grazing

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000018603);中国科学院知识创新工程资助项目(KSCX2-1-07)

收稿日期:2003-07-10; **修订日期:**2003-11-28

作者简介:熊小刚(1968~),男,甘肃天水人,博士生,助研,主要从事草地恢复生态学研究。E-mail: xiong-cai@sohu.com

* **通讯作者** Author for correspondence. E-mail: xghan@ns.ibcas.ac.cn

Foundation item: The State Basic Research and Development Plan (No. G2000018603) and the Important Directional Item of CAS Knowledge Innovative Project (No. KSCX2-1-07)

Received date: 2003-07-10 **Accepted date:** 2003-11-28

Biography: XIONG Xiao-Gang, Ph. D., Assistant professor, mainly engaged in grassland restoration ecology. E-mail: xiong-cai@sohu.com

system, especially the rehabilitation of thicketization steppe, should be guided by this theory in this region.

Key words: degraded steppe; State and Transition Models; thicketization

文章编号:1000-0933(2004)10-2165-06 中图分类号:Q146,Q948 文献标识码:A

典型草原是温带内陆半干旱气候条件下形成的草地类型,植被组成主要是旱生与广旱生多年生丛生禾草,这类草原可以较好地反映温带草原的特征与面貌^[1]。锡林河流域位于内蒙古高原的中东部,气候为半干旱温带大陆性季风类型,植被属于温带典型草原。放牧是该地半干旱草原的主要利用方式,同时也是植被变化的主要驱动因素之一。半干旱放牧系统位于竞争-胁迫-干扰(CSP)三角形的中心附近^[2],其中竞争、胁迫和干扰三者都是重要的,没有一种因素占据绝对的优势^[3],尽管三者之间的相对平衡可能在不同植物群落中有变化,在试图认识半干旱放牧系统的复杂性和稳定性,产生了两种对立的观点,即放牧系统的平衡生态学和非平衡生态学原理^[4]。

基于平衡生态学原理的 Clements-Dysterhuis 演替观,是过去锡林河流域典型草原放牧系统动态研究的重要基础。但是以前对于锡林河流域放牧系统的研究,主要集中于退化不太严重的草原,这也与当时草原放牧利用的现实是一致的。由于近十多年来草原载畜量的急剧增长,在持续的过度放牧和干旱气候的双重影响下,草原的退化程度日趋加剧,严重退化草原的面积不断扩大,其后果之一就是小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)扩展导致典型草原的灌丛化,这已成为目前整个流域的普遍现象^[5~7]。针对锡林河流域草原当前严重退化和灌丛化的现状,基于平衡原理的 Clements-Duksterhuis 的经典演替观,显然已经难以给予合理解释。因此,迫切需要引进新的非平衡生态学观点,从而促进对锡林河流域草原放牧系统研究,并在新的理论指导下,开展退化草原生态系统的恢复。

为便于讨论,依据对锡林河流域典型草原退化的阶段划分^[8,9],将轻度和中度放牧压力下的草原作为典型草原退化不严重的阶段,而将重度和极度放牧压力下的草原作为典型草原退化严重的阶段。

1 平衡生态学原理适于退化不严重的典型草原放牧系统

放牧系统的平衡生态学原理认为:一旦干扰达到一定域值,系统将偏离平衡态;当干扰解除后,系统将自动返回原来的状态或在新的领域实现平衡。在平衡放牧系统中,放牧强度被认为是影响植物与草食动物动态的主要变量,在平衡放牧系统中,系统的自然驱动力为放牧和火烧,管理水平决定了诸如放牧率、火烧频率等的效应;植物与动物之间的平衡是稳定的,负反馈作用决定了平衡位置^[4]。在平衡系统中,干扰之后植被将返回到一种可预测的稳定状态或顶极。放牧被认为使气候顶极植被到达演替系列前期阶段,通过自然恢复又可以返回到顶极状态^[4]。

通常认为半干旱草原群落演替受植物的生长寿命和定居条件及其相互作用所驱动。由于家畜的啃食往往具有一定的选择性,在放牧条件下,不同的植物种群承受着不同的牧食压力,结果导致不同放牧压力下特定植物种群占据着优势。放牧的增强将改变草本植物组分,由于动物对特定物种利用的偏好性,其中一些种对去叶的耐受性相对较差,这些种便被受偏好性利用影响小或更具抗牧性的物种所代替^[10]。锡林河流域典型草原放牧系统退化过程中,存在放牧抗性不同的优势草本植物的相互替代作用,其原因就在于家畜的对草本植物选择性的取食导致了不同的植被稳定状态的形成^[11,12]。

在锡林河流域典型草原放牧系统动态研究中,基于平衡生态学原理的一个重要理论构架是:放牧利用中的草原生态系统均处于放牧压力和系统向顶级恢复演替力之间的动态平衡之中。在大气候一致的区域内,牧压对植物群落施加的影响可以超越不同地段其他环境因子的影响,成为控制植物群落特征的主导因子^[8]。对于锡林河流域典型草原生态系统代表性的两种类型,牧压梯度上的大针茅(*Stipa grandis*)草原系列和羊草(*Aneurolepidium chinense*)草原系列的分异和趋同研究表明:大针茅系列和羊草系列上的植物群落明显地表现出 4 个相对的牧压分异类型:无牧或轻牧阶段,中牧阶段,重牧阶段和过牧阶段^[8,13]。在放牧减轻或排除的情况下,以上 4 种相对稳定的退化群落类型可以恢复到接近原生状态的顶极群落类型。这也被退化草原围栏围封试验所证明,因为处于过牧阶段的退化草原的恢复过程中,也出现了与放牧演替相对应的四种相对稳定的群落类型^[14,15]。因此,空间上存在的与放牧压力相平衡的相对稳定的退化草原群落,与时间上恢复的植物群落之间存在着一定的对应性^[8,13,14]。

依据对锡林河流域草原退化的阶段划分^[8,9],以上植被放牧演替的 4 个阶段,对应于草原退化的前两个阶段:即轻度退化和中度退化阶段,处于这两个阶段的退化草原群落,由于仍然保留有典型草原植被的植物物种,植物物种丰富度未发生变化,残存的植物种群具有空间拓植能力;同时,由于土壤的退化滞后于植被退化,土壤中相对过剩资源得以保留,为退化草原的恢复性演替奠定了基础^[13,14]。

因此,具有长期放牧史的锡林河流域,当典型草原处于不严重退化阶段,平衡生态学原理能够对退化不严重的典型草原放牧系统的植被动态给予合理解释,是典型草原放牧系统研究的生态学理论基础。

2 平衡生态学原理不适于退化严重的典型草原放牧系统

内蒙古锡林河流域典型草原处于严重退化阶段时,不仅植被初级生产力和盖度大大下降,而且植被的优势种组成也发生了

明显的变化。群落中的优势种由羊草和大针茅等高大多年生禾草,逐渐转变为小禾草和杂类草,如糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、寸草苔(*Carex duriuscula*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)或星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)等^[8,9,13];严重退化草原中原植被的原生种多度显著下降,植物种类组成单一化。与此同时,土壤养分和理化性状、水文循环系统、近地表的小气候状况等都相应地会发生显著改变^[15~18]。地表覆盖减少,局部有裸地出现,土壤中的有机质和含氮量等下降,表层土壤中的粗粒增多,甚至表现出明显的沙化或盐碱化现象^[8,9]。如果维持高的放牧压力,则以冷蒿为优势种的退化草原群落(与过度放牧阶段群落相对应)则可能进一步退化为以星毛委陵菜为优势种的群落类型^[19]。

锡林河流域典型草原放牧系统处于严重退化的情况下,系统中的植物繁殖体和土壤资源状况都发生了质的变化,此时仅仅通过排除放牧,不足以恢复严重退化的生态系统,而只有通过施肥、添加种子等改良措施,以重建草原生态系统的结构,才可能实现系统的正常功能。显然,严重退化的锡林河流域典型草原放牧系统,其状态已经超出了平衡原理的适用范围,因此需要引进新的非平衡生态学原理,才能更好地开展对严重退化的典型草原放牧系统动态的研究,促进退化草原生态系统的恢复与重建。

3 非平衡生态学原理适于严重退化的典型草原放牧系统的研究

放牧系统的非平衡生态学原理认为:放牧系统中植物群落的组成是由随机性事件决定的,其中非生物变量(其中最显著的是降雨量以及其季节分配和强度)对植物动态有着决定性的影响,进而影响到草食动物种群的变化。在非平衡系统中,水分的有效性为系统的主要驱动因素。“事件-驱动”,即非生物事件(如降水)和生物事件(如放牧)的随机性及偶然性(contingency),决定着植被动态,植物和动物种群波动范围大,系统呈现出明显的非平衡特征;此时,由于系统的复杂性增加,人们对系统的管理和控制能力相对较弱。状态与过渡模型基于非平衡生态学原理,它描述了植被借助“事件-驱动”所处的各种可交替(alternate)状态,其中引起植被状态转变的变量包括:气候变化、放牧、或灌丛清除等。在非平衡放牧系统中,植被状态之间的转变并不总是可以逆转的^[20],因为其中一些转变涉及了系统中物种的丧失,促进和竞争作用的相对强弱,或诸如理化性质如土壤渗透或养分状况的变化^[21]。

与基于平衡理论的传统演替模型相比,状态与过渡模型为放牧系统植被动态的解释提供了更为合适的一种概念框架^[20~24]。在状态与过渡模型中,植被占据着一个特定的地点,其状态是可被确认的、相对稳定的物种组合;状态之间的转化由自然和管理事件所激发,这种方式具有灵活性和循环性,并且在演替过程中,植被对气候和其他非生物性干扰的响应是随机的^[25]。Fridel^[22]认为环境变化是非连续的,在可替代的新物种的组合状态之间存在阈值。阈值的实例在有关干旱和半干旱植物群落生态学的文献中已有记载^[22,26,27]。阈值具有两个重要性质:一是它作为两种状态之间的时间和空间分界;二是在无显著的能量输入情况下,在管理的时间尺度范围内,跨越该分界的起始转变是不能逆转的。状态的定义很大程度是探索性(heuristic)的,不同状态之间转化机制的提出一般也是假设性而非实证性的。植被状态之间的转化将依赖于物种生活史特征、繁殖体(propagule)的有效性、土壤变化程度以及气候状况之间的复杂相互作用等^[25]。

在半干旱放牧系统中,跨越阈值的两种转变是能够被确认的^[22]。其中之一是,当土壤侵蚀超过其形成时发生的变化时,土壤物理、化学性质改变是难以逆转的。锡林河流域典型草原处于重度和极度退化阶段,由于此时地表出现裸露,土壤理化性质的变化跨越了土壤退化的阈值,结果导致草原放牧系统结构和功能的彻底改变,生态系统最终可能趋于崩溃。这种情况下,仅仅简单通过对放牧的排除是难以使严重退化的生态系统恢复到最初状态的。此时,施肥、添加种子等就成为重建草原生态系统原有的结构、实现其正常功能的必要改良措施。

我国内蒙古锡林河流域的草原土壤具有沙化的气候动力条件和物质基础。典型草原的土壤为栗钙土,质地多为壤沙或沙壤,因此当草原植被由于过度放牧而遭破坏时,土壤由于受到风力和水流的侵蚀而退化,其最明显的表现为土壤的沙化^[16,17]。锡林河流域土地的沙化属于沙地-草地型,其主要特征是沙地和草地之间存在相互入侵过程。

草原植被退化是导致草地土壤沙化的主要因素^[27],而灌丛化则是草原植被严重退化的主要特征之一。小叶锦鸡儿多分布于沙质土壤中,草原的灌丛化多与重牧引起的土壤沙化有关^[13,28]。从景观水平到区域水平,重度放牧下锡林河流域典型草原严重退化的一个显著特征是:伴随着草地的退化和土壤的退化,草原植被出现明显的灌丛化趋势,以小叶锦鸡儿为优势种的灌丛化草原成为该流域草原生态系统退化的景观标志^[5,6]。平衡生态学原理对此无法给予合理的解释,这主要是因为,尽管放牧是引起草原退化的重要原因,但是以木本灌木植物占据优势地位的灌丛化草原生态系统一旦形成,仅仅简单的排除或减轻家畜的放牧,难以使草原自然恢复到原来的草本植物占据优势的状态^[7]。

按照基于平衡生态学原理的状态与过渡模型,在半干旱放牧系统中,由草本植物占据优势向木本植物占据优势的变化是另外一种能够确认的阈值跨越^[22]。Archer等^[30]对得克萨斯州南部稀树草原灌丛化的研究,为植被状态转变的生态阈值的存在提供了具有说服力的证据。显然,如果内蒙古锡林河流域的典型草原向灌丛化草原转变过程中,存在着这种生态阈值,则能够对重度放牧下草原的退化给予解释。原来以多年生草本植物为优势种的草原生态系统一旦跨越这一阈值,系统将到达一个以木本灌木小叶锦鸡儿为优势种的新状态^[7]。此时,植被组成的主要生活型由草本转变为木本灌木,即使排除放牧,灌丛化的趋势是难

以逆转的。因此,基于非平衡生态学原理的状态与过渡模型,能够为锡林河流域典型草原的灌丛化研究提供一种重要的理论框架。

4 总结

作为对随机事件的影响,放牧系统的植被组成的变化被概念化为可预测的序列与不可预测两种方式。大多数放牧系统位于平衡和非平衡这两个极端之间或包含二者的组合^[21]。内蒙古锡林河流域的典型草原放牧系统的动态也包含了二者的组合。锡林河流域典型草原放牧系统动态可以用以下的模式图来表示(图 1),图 1 中的实线箭头表示了了在放牧压力下草原群落退化的方向,而虚线箭头表示了了在放牧压力减轻或排除后草原群落自发演替恢复的方向。阈值是系统两个状态之间时空上的分界,并且在一定的时间尺度上,跨越该分界的变化一旦被启动将是不能逆转的。生态阈值在放牧系统中的出现既可以在植被变化上,也可以在土壤的变化上。基于非平衡生态学的状态与过渡模型的观点,当草原处于重度放牧下,如果草原灌丛化的趋势比较微弱,一旦土壤发生严重的侵蚀,跨越了其变化的生态阈值(阈值 1),这时土壤理化性质的改变无法逆转,最终可能会导致草原群落结构的解体,以及相应生态系统功能的丧失;相反,在重度放牧下,草原退化的同时,如果灌丛化的趋势强烈,跨越了草原灌丛化的生态阈值(阈值 2),植被演替由草本植物的优势地位逐渐被木本灌木所取代,则最终将形成以小叶锦鸡儿为优势种的新的灌丛化草原群落。

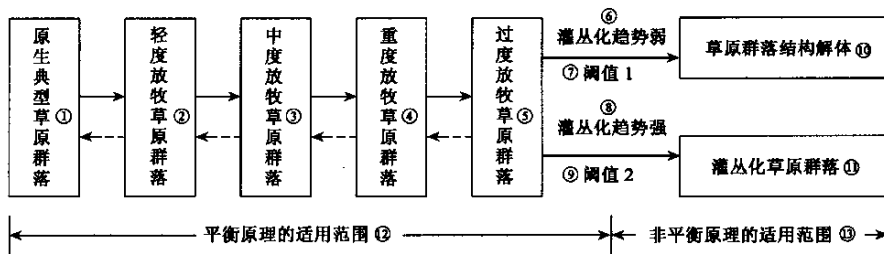


图 1 锡林河流域典型草原放牧系统动态的概念模式图

Fig. 1 The dynamics paradigm of the steppe grazing system of Xilin River Basin

① Pristine steppe community; ② Steppe community under the relatively light grazing; ③ Steppe community under the medium grazing; ④ Steppe community under the relatively heavy grazing; ⑤ Steppe community under overgrazing; ⑥ Weak thickening of steppe; ⑦ Threshold 1; ⑧ Strong thickening of steppe; ⑨ Threshold 2; ⑩ Breakdown of steppe community structure; ⑪ Formation of thickening-steppe community; ⑫ Applicability of the equilibrium ecology theory; ⑬ Applicability of the non-equilibrium ecology theory

图 1 表示了锡林河流域典型草原放牧系统动态中,平衡生态学原理和非平衡生态学原理各自的适用范围。平衡原理适用于典型草原退化不严重的阶段,即轻度和中度退化阶段的群落类型;而非平衡原理适于典型草原严重退化的阶段,即重度和极度退化阶段。

内蒙古锡林河流域严重退化的草原生态系统更多地显示了非平衡性质,例如环境因素特别是降水量对于植被组成和初级生产力影响加大,饲草产量的年际波动性增大,不确定性增强等。之所以出现这种情况,其原因是多方面的。植被组成上的原因是:多年生禾草植物在严重啃食下自我恢复能力和生长减弱,退化植被中小叶锦鸡儿灌丛化加强^[8,15],1、2年生植物成分的可能大大增加^[15]。土壤退化上的原因是:由于随着草地植被退化,地表层和土壤对于水分的存留能力大大下降和水分利用效率的下降,通过地表的直接蒸发增强,草原生境的盐碱化^[8,9]、旱生化趋势加强^[31],多年生草本植物在生长季节受到周期性干旱胁迫的增强;另外,草地小环境状况恶化^[18]。植被-土壤相互作用使得生态系统对于各种干扰的承受力下降,所有这些变化使得地上初级生产力更多受降水量的直接影响,放牧系统显示出更多的非平衡性质。

因此,考虑到锡林河流域草原生态系统长期过牧下普遍严重退化的现实,以及恢复严重退化草原生态系统实践需要,认为未来该地退化放牧系统的研究应当置于非平衡生态学原理之下。当典型草原处于严重退化的阶段,通过简单的排除放牧干扰并不能恢复原来的生态系统,而如何通过人为的措施进行生态系统结构的重建,以尽快恢复系统正常的基本功能则是恢复生态学研究的重点内容。

References:

- [1] Li B, Yong S P & Li Z H. Vegetation in basin of Xi-lin River and its utility. *Research of Grassland Ecosystem*(vol. 3). Beijing: Sciences Press, 1998. 83.
- [2] Grime J P. *Plant Strategies and Vegetation Processes*. John Wiley & Sons, New York, 1979.

- [3] McIvor J G. Distribution and abundance of plant species in pastures and rangeland. In: *Proceedings of the 17th International Grassland Congress*, 1993, 285~290.
- [4] Tainton N M, Morris C D and Hardy M B. Complexity and stability in grazing systems. In: J Hodgson & A W Illius, eds. *The Ecology and Management of Grazing Systems*. CAB international Wallingford Oxon OX108DE UK, 1996. 275~300.
- [5] T Ch, Yang J Y, Yong W Y, et al. Spatial pattern of steppe degradation in Xinlin River Basin of Inner Mongolia. *Journal of Natural Resources*, 2002, **17**(5):571~578.
- [6] Han N Y, Jiang G M and Li W J. Dynamics of grassland degradation in Xilingol Biosphere Reserve. In: Han N Y, Jiang G M and Li W J, eds. *Management of the degraded ecosystems in Xilingol Biosphere Reserve*. Beijing: Tsinghua University Press, 2002. 13~22.
- [7] Xiong X G, Han X G, Bai Y F, et al. Increased distribution of *Caragana microphylla* in rangelands and its causes and consequences in Xilin River Basin. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, **12**(3): 57~62.
- [8] Li Y H. Divergence and Convergence of *Aneurolepidium chinense* grassland and *Stipa grandis* grassland under grazing pressure in valley of Xi-lin River. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1988, **12**(3): 189~196.
- [9] Wang S P. The restoring improvement and utility of the degraded grasslands. In: Chen Z Z, Wang S P, et al. eds. *Chinese Typical Grassland Ecosystems*. Beijing: Sciences Press, 2000. 307~319.
- [10] Brisk D D. Strategies of plant survival in grazed systems: a functional interpretation. In: J Hodgson & A W Illius, eds. *The Ecology and Management of Grazing Systems*. CAB international Wallingford Oxon OX108DE UK, 1996. 37~68.
- [11] Li Y H and Wang S P. Vegetative reproduction strategies of plant populations to livestock grazing. In: *Research of Grassland Ecosystem* (vol. 5). Beijing: Sciences Press, 1997. 23~31.
- [12] Wang S P. Influences of livestock grazing on the plant species and its diversity. In: Chen Z Z, Wang S P, et al. eds. *Chinese Typical Grassland Ecosystem*. Beijing: Sciences Press, 2000. 125~142.
- [13] Li Y H. Community Characteristics and its parallelisms of *Aneurolepidium chinense* grassland under grazing spatial gradient and restoring succession temporal gradient. *Research of Grassland Ecosystems* (vol. 4). Beijing: Sciences Press, 1992. 1~7.
- [14] Wang W, Liang C Z, Hao D Y, et al. Research on the restoring succession of the degenerated grassland in Inner Mongolia I. Basic characteristics and driving force for restoration of the degenerated grassland. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, **20**(5): 449~459.
- [15] Wang W, Liu Z L, Hao D Y, et al. Research on the restoring succession of the degenerated grassland in Inner Mongolia II. Analysis of the restoring processes. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, **20**(5): 460~471.
- [16] Li S L, Jia S H and Chen Y J. Research on the degeneration of grassland soils and its assessment index. *Bulletin of Soil*, 1997, **6**: 241~328.
- [17] Li S L, Chen Y J, Guan S Y, et al. Research on the relationship between soil degradation and grassland degeneration. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2002, **16**(1): 92~85.
- [18] Liu Z L, Wang W, Hao D Y, et al. Discuss on the mechanisms of the restoration and generation of grassland in Inner-mongolia. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2002, **16**(1): 92~85.
- [19] Wang S P, Li Y H, Wang Y F, et al. Research on the succession of *Artemissisa frigida*-*Cleistogenes squarrosa* grassland under different grazing rates. *Acta Agrestia Sinica*, 1998, **4**: 299~305.
- [20] Westoby M, Walker B & Noy-Meir I. Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *Journal of Range Management*, 1989, **2**: 266~274.
- [21] Milton S J, Dean W R, du Plessis M A, et al. A conceptual model of arid rangeland degradation. *BioScience*, 1994, **44**(2): 70~76.
- [22] Fridel M H. Range condition assessment and concept of thresholds: a viewpoint. *J. Range Manage.*, 1991, **44**(5): 422~426.
- [23] Archer S, Scifres C J, Bassham C R, et al. Autogenic succession in a subtropical savanna: conversion of grassland to thorn woodland. *Ecological Monographs*, 1988, **58**: 111~127.
- [24] George M R, Brow J R & Clawson W J. Application of non-equilibrium ecology to management of Mediterranean grasslands. *J. Range Manage.*, 1992, **45**: 436~440.
- [25] Archer S. Assessing and interpreting grass-woody plant dynamics. In: J Hodgson & A W Illius, eds. *The Ecology and Management of Grazing Systems*. CAB international Wallingford Oxon OX108DE UK, 1996. 101~136.
- [26] Archer S & Smeins F E. Ecosystem-level processes. In: R K Heitschmidt and J W Stuth, eds. *Grazing Management: An Ecological Perspective*. Timberline Press. Portland. O R, 1991. 109~139.
- [27] Zhang G P, Liu J Y, Zhang Z X, et al. Remote sensing based analysis of the distribution pattern and dynamic changes of sandy land in China 万方数据. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **22**(9): 1500~1506.
- [28] Li Y H. Grazing dynamics of the species diversity in *Aneurolepidium chinense* steppe and *Stipa grandis* steppe. *Acta Botanica Sinica*,

1993, **35**(11):877~884.

- [29] Archer S. Have southern Texas savannas been converted to woodlands in recent history? *American Naturalist*, 1989, **134**:545~561.
- [30] Laycock W A. Stable states and thresholds of range condition in North American rangelands: a viewpoint. *Journal of Range Management*, 1991, **44**: 427~433.
- [31] Tong W Y, Chen Y J and Li S L. Effect of vegetation Destruction by pasturing on soil moisture of typical grassland. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2000, **14**(4):55~60.

参考文献:

- [1] 李博,雍世鹏,李忠厚. 锡林河流域植被及其利用. 草原生态系统研究,第3集. 北京:科学出版社,1988. 84~183.
- [5] 仝川,杨景荣,雍伟义,等. 锡林河流域草原植被退化空间格局分析. 自然资源学报,2002, **17**(5):571~578.
- [6] 韩念勇,蒋高明,李文军. 锡林郭勒生物圈保护区草原退化的现状与成因. 见:锡林郭勒生物圈保护区退化生态系统管理. 北京:清华大学出版社,2002. 13~22.
- [7] 熊小刚,韩兴国,白永飞,等. 锡林河流域草原小叶锦鸡儿分布增加的趋势、原因和结局. 草业学报,2003, **12**(3):27~62.
- [8] 李永宏. 锡林河流域内蒙古羊草草原和大针茅草原在放牧影响下的分异和趋同. 植物生态学于地植物学学报,1988, **12**(3):189~196.
- [9] 汪诗平. 退化草地的恢复改良与利用. 见:陈佐忠,汪诗平等主编. 见:中国典型草原生态系统. 北京:科学出版社,2000. 307~319.
- [11] 李永宏,汪诗平. 草原植物对家畜放牧的营养繁殖对策初探. 草原生态系统研究,第5集. 北京:科学出版社,1997. 23~31.
- [12] 汪诗平. 放牧对草原植物及其多样性的影响. 陈佐忠,汪诗平等主编. 见:中国典型草原生态系统. 北京:科学出版社,2000. 125~142.
- [13] 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. 草原生态系统研究,第4集. 北京:科学出版社,1992. 1~7.
- [14] 王炜,梁存柱,郝敦元,等. 内蒙古草原退化群落恢复演替的研究 I. 退化草原的基本特征与恢复演替动力. 植物生态学报,1996, **20**(5): 449~459.
- [15] 王炜,刘钟龄,郝敦元,等. 锡林河流域草原退化群落恢复演替的研究 II. 恢复演替时间进程的分析. 植物生态学报,1996, **20**(5)460~471.
- [16] 李绍良,贾树海,陈佑君. 锡林河流域草原土壤退化过程及其评价指标的研究. 土壤通报,1997, **6**:241~328.
- [17] 李绍良,陈有君,关世英,等. 土壤退化与草地退化关系的研究. 干旱区资源与环境,2002, **16**(1):92~85.
- [18] 刘钟龄,王炜,郝敦元,等. 内蒙古典型草原退化与恢复机理的探讨. 干旱区资源与环境,2002, **16**(1):84~90.
- [19] 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的研究. 草地学报,1998, **4**:299~305.
- [27] 张国平,刘纪远,张增祥,等. 1995~2000年中国沙地空间格局变化的遥感研究. 生态学报,2002, **22**(9): 1500~1506.
- [28] 李永宏. 放牧影响下羊草草原和大针茅草原植物多样性的变化. 植物学报,1993, **35**(11):77~884.
- [31] 佟乌云,陈佑军,李绍良. 放牧破坏地表植被对典型草原地区土壤湿度的影响. 干旱区资源与环境,2000, **14**(4):55~60.