

人地作用关系中生态陷阱现象解析

张力小

(北京师范大学环境学院, 北京 100875)

摘要:选择我国北方农牧交错带作为案例对象,分析了该区人地作用关系中生态脆弱的本质与恶性循环链式反应的机理,并用生态陷阱来类比描述人地作用关系中的这一现象过程。指出生态陷阱是特定生态系统属性与相应的人类活动干扰耦合导致人地作用自驱动机制形成,最终导致人地关系不断衰减恶化的现象和过程,本质上是人地作用过程中产生了路径依赖,进入了一种低水平的轨道锁定状态。生态陷阱概念或者研究视角的提出将为生态系统管理、生态建设与恢复提供更加清晰的思路,结合农牧交错带的问题提出了该区生态建设的方向性建议。

关键词:人地关系;农牧交错带;沙漠化;恶性循环;生态陷阱

文章编号:1000-0933(2006)07-2167-07 **中图分类号:**Q143 **文献标识码:**A

Exploration of ecological pitfalls embeded in the human-land interaction

ZHANG Li-Xiao (School of Environmental Sciences, Beijing Normal University, Beijing, 100875, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2167 ~ 2173.

Abstract: The concepts of *ecological vulnerability* and *vicious circle* were often used to describe the characteristic of ecosystem and human-land interaction respectively in past research works. The essence of ecological vulnerability and vicious circle of human-land relationship is still undefined in light of their ecological attribute and dynamic interaction process with regarding to human interference. In this paper, agro-pastoral interweaving belt in north China was adopted as a case object to analyze the transition between cultivation and grazing activity and associated land degradation. The result shows that the invasion of cultivation, positive feedback mechanism between cultivation and grazing and soaring population resulting from marginal agriculture should be responsible for the formation of vicious circle.

The new concept of ecological pitfall was suggested to compare and analyze the interaction process between human exploitation and ecosystem. Ecological pitfall is primarily defined as phenomenon and process that specific ecological attributes resonate with corresponding interference and in turn results in self-driving mechanism of human-land dynamics, leading to continuous degradation and attenuation of ecosystem. The concept of ecological pitfall implicates as follows (1) ecological vulnerability is a relative concept, i.e. relative to interference from human's exploitation of natural resources. It is meaningless without considering outside interference. (2) the process of ecological pitfall mostly start from human's exploitation of nature sources and then result in continuous degradation of ecosystem due to its self-driving mechanism. (3) chain reaction is main characteristic of ecological pitfall and self-driving mechanism is the function of resonance and coupling action of inertia of land use manner, irreversibility of human population in short period and long time demand for ecological rehabilitation. (4) the ecological pitfall is a scale-related concept, and interference of small scale sometime comprise normal structural component of large scale

The essence of ecological pitfall is a path-dependence of human exploiting nature resources and a low level lock-in state of human-land relationship. The new concept would contribute to management of ecosystem, ecological building and rehabilitation. From the point of this view, it is prerequisite to break down the ecological pitfall before we take action to combat desertification.

基金项目:国家科技部重大基础研究计划资助项目(2005CB724204)

收稿日期:2005-11-22; **修订日期:**2006-03-15

作者简介:张力小(1977~),男,山东沂水人,博士,主要从事生态系统管理研究. E-mail: zhanglx@pku.edu.cn

Foundation item: The project was supported by National Basic Research Program of Ministry of Science and Technology of China (No.2005CB724204)

Received date: 2005-11-22; **Accepted date:** 2006-03-15

Biography: ZHANG Li-Xiao, Ph.D., mainly engaged in ecosystem management. E-mail: zhanglx@pku.edu.cn

In order to break down ecological pitfall, external impetus is necessary to pull out from pitfall while regulating its internal structure, involving capital investment from outside, export of population pressure, technology assistance and policy privilege. Here, with respect to the agro-pastoral interweaving belt, some suggestions were put forward on ecological rebuilding in agro-pastoral interweaving belt of north China.

Key words: human-land interaction; agro-pastoral interweaving belt; desertification; vicious circle; ecological pitfall

人地关系是传统的地理学命题,近些年由于生态环境问题日益严重,其被赋予了更多的涵义和研究内容,研究视野和层面也不断扩展,特别是对于生态系统层面的研究越来越引起学者的关注,因为人地关系是研究最基础的层面。

在研究人类活动与生态系统作用关系时,经常会用“脆弱性”^[1-5]与“恶性循环”^[6-8]等来描述生态系统的特征和人地作用关系。在人类活动对生态系统干扰这对作用关系中,包涵了4个要素,人类活动(设为A)、生态系统(设为B),人类活动对生态系统的干扰($A \rightarrow B$),生态系统对人类活动的影响($B \rightarrow A$)。但是目前对于这4个要素的研究并不平衡。关于人类活动对生态系统影响,无论是从工业生产的污染排放,还是农业开发导致土地退化等,都有大量的研究。同样,生态系统对干扰的响应,无论是从生态系统健康^[9]还是从系统自组织特性^[10]也做了大量的研究,其中对生态系统稳定性研究更是争论不休^[11-13]。但是人类干扰与生态系统相互作用毕竟是同时发生的,所以在对4个要素拆开进行分析的同时,有必要将4个要素放在同一框架下进行分析对比,才有可能理清其中更加复杂、集成的作用关系。更重要的是,A与B之间的关系是相互的,而且是反复的有些甚至形成链式反应的自驱动机制。单要素与单向性的研究,很难彻底理清两者之间的关系,应该从更加宏观、综合的视角来分析两者之间的关系。就人类活动对生态系统的干扰来言,可分为有意识的干扰和无意识的干扰,其中有意识的干扰即人类活动对自然资源的开发利用无疑是当前生态系统退化最主要的作用力。本文选择农牧交错带作为案例对象,分析农、牧业生产方式选择对生态系统的干扰作用与生态环境退化之间复杂的作用关系,并引入生态陷阱这个概念或者说是一种类比的研究视角,试图揭示“生态脆弱性”与“恶性循环”产生的过程与实质。

1 案例对象——农牧交错带

中国北方农牧交错带属于湿润气候向干旱气候、森林向草原区、平原向高原的多重复合过渡地带。按照过渡带理论,它应该是生物多样性丰富、技术交汇、经济发展、市场繁荣的地带。但事实恰好相反。从生态系统角度看,它已经不是两个自然生态系统的过渡带,也不是两个高水平人工生态系统的过渡带。由于农业活动的不断发展,天然森林与草原生态系统都受到了农业生态系统的入侵而成为半人工的生态系统;在生产经营方式上,它不是两种先进生产力的交汇地带,而是传统草地畜牧业与落后雨养农业的交错区^[14]。

农牧交错带的气候条件决定了该区是雨养农业的生态下限和草原畜牧业的生态上限,存在一个农、牧业生态适宜性过渡区间^①。就旱作农业来讲,光、热、水等自然条件虽不完全适宜,但可以达到一定的满足程度,但是就种植业适宜性来说处于极端水平^[15]。由于处于极限条件,农业种植对气候变化非常敏感,例如降雨量降低几十毫米在其他地方的影响可能不大,但是在该区就有可能使农业“跌破”适宜下限导致减产或绝产。但是,大多数草牧场上层是草甸土或栗钙土,水肥条件较好,下层往往是第四纪松散的沉积物^[16],这也往往给农牧民一种错觉,认为土地“肥沃”,可以开垦种植农业。一旦将这种表面的“肥沃”转化为现实的利益,使第四纪松散的沉积物完全暴露,土壤结构变为松散,导致沙漠化的不断发展。

与之相对应,农牧交错带牧草对光热资源的利用远比农作物充分,尽管降水对牧草生长和产草量有一定影响,但相对于种植业来讲,影响较小。因草地植被经过长期对环境的适应,有着极强的生态适应性,对水、热需求节律较易协调,尤其是能在干旱季节减缓生长,利用相对丰裕的秋雨和热量迅速生长形成产量,获得丰

① 张力小,科尔沁沙地农牧业变化与沙漠化关系研究,北京大学博士研究生学位论文,2004

牧被迫转移到固定、半固定沙丘等条件更差的地方。导致如下链式反应关系:①可供放牧的草场面积越来越少;②固定、半固定沙丘的承载力非常低下,很容易被破坏而发生风蚀;③由于农、牧业之间正反馈机制的存在,边缘农业的发展刺激了牲畜头数的增加;④边缘农业的发展同时刺激了人口的增加。

如前所述,受生态适应性的影响,该区旱作农业作物产量低而不稳,不仅没有带来良好的经济效益,反而严重破坏了该区的自然环境,而且由于气候的波动性和脆弱的土壤基质,使那些被开垦的优质草场在气候干旱和土壤肥力下降导致无法再进行农业耕作而被弃耕时,由于原有的植被已被破坏,在植被未恢复前又不适合放牧,只好任其风蚀沙化,而承载力较低的劣质草场也由于不堪过度放牧的重压而被破坏,从而造成了农、牧业的两败俱伤^[21]。由此可见,农业垦殖入侵牧业生态位、农牧之间的正反馈机制以及边缘农业的发展刺激了人口的增加三者共同导致了恶性循环圈的形成。

边缘农业的发展会刺激人口的增加是人地作用关系自我驱动机制形成的关键。首先,农业比牧业更需要劳动力^[22]。该区土地资源相对丰富,劳动力投入是生产的最主要投入方式,特别是在人口素质相对低下的情况下,扩大垦殖面积是弥补其低产且不稳定的重要手段,这必然刺激对人口的需求,导致高出生率和高移民率,形成“人口—耕地—人口”的恶性循环圈。相比较而已,我国长江、黄河流域等传统的农业种植区,虽然农业的发展也会刺激人口的增加,但是,由于土地扩展弹性系数较小,容量约束的刚性就非常强;另一方面,边缘农业的发展可能降低了人口的成本,使人口增加就变成“加双筷子、加个碗”的问题。在调查中也发现牧区人口的成本明显比农区要高,无论是从生活还是教育。

由此可见,尽管该区适宜发展草原畜牧业,但是在人口、贫困、政策等一定的社会外部环境下,草原畜牧业却很难抵制旱作农业生产方式的入侵。而旱作农业一旦入侵,会加速地发展,直到大规模沙漠化发生后才会停止。

2 生态陷阱的理论解析

之所以提出这个概念或者说类比的研究视角,是基于对生态系统“脆弱”和“恶性循环”自驱动机制问题的综合思考。用核物理学上一个例子作类比:核裂变需要中子的激发,当一个中子引起一个铀核裂变后,裂变中放出的中子继续能引起其他铀核裂变,并且能不断继续下去,从而引发链式反应,直至铀-235完全裂变完毕为止。由此可见,如果不存在“裂变材料”,或者即使有“裂变材料”,没有“中子”,这个聚变过程也不会发生。

于是,使用“生态陷阱”这种类比的思路来分析人地作用关系中的恶性循环过程与机制。即使有陷阱的存在,如果没有触及,也就不可能掉下去。生态系统本身无所谓脆弱不脆弱,它的脆弱性是相对于某种或者某些干扰方式而言的。如果没有这种干扰触及,生态系统的演替轨道正常,但是一旦特定人类活动干预导致自驱动机制形成,人与生态系统的作用关系,就如同掉进了陷阱,导致生态系统的退化过程不断得到自我加强,很难跳出恶性循环圈。

使用生态陷阱这个概念来描述生态作用过程,有其重要的前提:首先,生态陷阱是相对于人类活动干预来说的,它反映的是人类活动与自然生态之间一种特殊的作用关系。离开人这个主观坐标,自然生态过程有其演化的条件和规律;其次,人地作用过程中生态陷阱的发生往往是人类活动开启的;再次,生态陷阱表现为作用过程往往是链式反应,这种链式反应的动力主要是生产方式的惯性作用力、人口短时期不可逆变化与生态系统恢复的长期性产生共振效应;最后,在使用生态陷阱这个概念时,一定要注意时间和空间尺度,小尺度上的干扰往往是大尺度上正常现象的结构成分^[23]。

综上所述,生态陷阱可理解为:生态陷阱是指特定生态系统属性与相应的人类活动干扰耦合导致人地作用自驱动机制形成,最终导致人地关系不断衰减恶化的现象和过程,本质上是人地作用过程中产生了“路径依赖(path-dependence)”,进入了一种“锁定(lock-in)”状态^[24,25]。

从汉语字面上看,陷阱既可以是名词也可以用作动词,在用这个词描述生态系统的属性和过程中也用到了两个方面的意思。第一,它表示生态系统的属性,指生态系统的属性可能会诱发某一类或某一种人类干扰活动,而这种干扰可能会突破一定的阈值,导致生态系统出现持续退化。第二,生态过程出现链式反应,人地

之间的耦合作用关系使干扰与生态系统的演替方向不容易改变。

之所以提出生态陷阱这个概念,是基于一种类比的思路,对人地作用关系中“脆弱性”与“恶性循环”的进行综合的过程解析,希望从更加直观、更加形象的理解人地关系持续恶化的原因,并在类比的基础上找到解决问题的宏观思路,对生态系统管理与生态恢复提供启示。这个定义是根据本文研究的案例对象给定的,至于生态陷阱这种现象是否具有普适性,其更加准确的内涵与外延是什么,有待进一步研究。

3 对生态系统管理与生态恢复的启示

由生态陷阱的视角可知,一旦选择了某一资源利用方式,惯性力量就可能驱使其对这一路径产生依赖。这一路径的既定方向会在以后的发展中得到自我强化,从而在相当程度上决定其现在和未来的选择。虽然关于生态陷阱的界定与分析可能不够全面与准确,但是选择生态陷阱这个概念或者说这种研究的视角,使在分析案例对象复杂的作用关系时,却更加容易理清思路或者容易找到合适的切入点,可为生态系统管理与生态恢复一些启示。

生态陷阱分析强调了对人地作用关系中要素属性的重视,也就是要发现“陷阱”,防止进入“陷阱”,这包括了两层含义,(1)生态系统的属性;(2)作用方式的选择。同样以草原为例,地表结皮层是指地表经过多年的成草作用、降水作用及自然压实作用等,而形成的一层厚约 5~10cm 的地表层。因其富含植物根系纤维、腐殖质和因降雨、风力而沉淀的矿物质和黏土,所以粘性、胶结性、团粒结构、通透性和土壤肥力等理化性质均较好。地表结皮层不仅可为植被和作物的再生产提供有效养分,更重要的是,它如同一层厚厚的“地毯”铺压在深厚的伏沙之上,常年保护着地表免遭风蚀和水蚀^[26]。因此,地表结皮层堪称北方草原的“保护神”。传统的游牧活动很少破坏地表结皮层。这是因为,除了山羊之外,大多牲畜并不毁坏植被根系。草原上草类繁多,但并非都是牧草。在适口性强的牧草生长丰茂时,那些口感差或者有毒的草类,牲畜是不会轻易吞食的。而当优质牧草供应不足时,尽管草场依然草木丛生,牧民也会“逐水草而居”,卷起蒙古包迁徙他方。所以,传统游牧业一般不会从根本上大面积地破坏地表结皮层,也就不易造成土地的沙漠化。粗放性农业则不然。只要在沙质草原上进行粗放性农业开发,无论古今,无论是用原始的石犁还是用现代的拖拉机,都必然彻底破坏地表结皮层。农牧交错带下面的伏沙往往厚达数十米,如果地表结皮层丧失,地表下巨厚的伏沙就会完全裸露,“暗沙”就立即变成“明沙”,随时都会遭到风蚀和风积,并以加速度的速率扩展。所以,在草原这种特定的生态系统上,游牧业这种利用方式与草原生态之间建立了一种相对和谐的作用关系,这也是几千年草原畜牧业持续发展的主要原因,但是一旦旱作垦殖农业入侵,必然出现上述农牧业的两败俱伤,导致农牧交错带生态陷阱作用过程的产生。

由此可见,在进行资源利用与管理的时候,必须对所面对的生态系统属性进行分析,找出人地作用关系可能出现路径依赖的关键点,避免进入锁定状态。遗憾的是,当前在急于应对环境问题、追求创新的同时,却忽视了对所研究生态系统基础性的调查与分类研究。“我国不同类型草地的总面积约 4 亿 hm^2 ,约占陆地总面积 40%,其中北方天然草原约 3.13 亿 hm^2 ,占我国草地总面积 78%”,这些被频繁引用的数据大多已是 20 多年前的数据了,我国较大规模的草原调查基本上是在 20 世纪 80 年代初期实施的。

生态陷阱的视角也很清晰地给出了解决问题的思路:打破生态陷阱的自驱动机制需要借助外力的干预,在系统内部的自我调整虽然会一定程度上改善组织结构关系,但不能迫使人地系统离开低水平锁定轨道而产生跃迁,如同电子轨道从低水平到高水平跃迁需要吸收能量一样。同样以农牧交错带为例,自然、家庭和社会环境条件的临界性、过渡性所决定的“可以种植农业,但不能大力发展农业,适宜发展草原畜牧业,却仍旧需要存在旱作农业”,有利于“生态压力”的存在却对“生态压力”抵抗能力很弱的自矛盾性是农牧交错带人地系统进入“生态陷阱”的根本原因,而一旦陷入,却很难走出这个“陷阱”。如当前在我国北方普遍实施的退耕还草、围封禁牧,虽然局部地区的生态环境得到了一定的改善,但是在人口压力、牲畜压力得不到释放的情况下,只能转移到别的地区,导致别的地区更为严重的草地退化,如同“拆了东墙补西墙”一样,很难获得显著效果。因此,从这个意义上讲,打破“生态陷阱”是进行生态建设与沙漠化综合防治的关键和基础。显然,而为了摆脱陷

阱的制约与困扰,除了不断调整其内部组织结构外,还需要外部的推动力,将其拉出“陷阱”,这种外部的推动力就是外部资金的输入、人口压力的输出、科技进步以及国家的政策扶持等。耗散结构指出,一个开放系统,当它与外界不断地交换物质、能量和信息,当外界条件达到一定阈值时,系统可能从原有的混乱状态转变为一种在时间上、或空间上、或功能上的有序状态,把所形成这种新的有序结构,称作“耗散结构(dissipative structure)”。也就是说,要建立远离平衡态的耗散结构必须输入一定量的负熵,促使系统发生跃迁^[27]。可见,耗散结构与生态陷阱在分析人地作用关系上有异曲同工之妙。当然,打破当前生态陷阱需要多大的外力、外力输入的方式以及如何高效利用一定的作用力而摆脱低水平轨道锁定都将是重要而紧迫的研究命题。

4 结论

通过上述分析可知,在人地作用关系中或者说在人类开发利用自然资源过程中,生态系统的特有属性往往与特定的作用方式产生耦合关系,而最终导致生态系统不断退化,它的本质是一种路径依赖,产生了状态锁定。生态陷阱这种方法或者视角,给予生态系统的管理提出了很清晰的思路:关注生态系统的基本属性,避免在资源开发利用时出现生态陷阱;一旦出现生态陷阱,不能在系统内部修修补补,应该跳出系统内部解决问题的思路局限,借助外面的作用力或者“能量”,帮助系统打破低水平的路径锁定,在这方面耗散结构理论能够提供强有力的理论支持。就农牧交错带而言,解决当前生态陷阱的问题,必须解决好四大问题即人口的转移与出路、反贫困、土地利用方向的调整、制度的规范与完善。据此,农牧交错带的生态建设策略应实现 5 个转变,即由“人进沙退”向“退耕和退人”转变,由挑战“农业的临界”向挑战“牧业的临界”转变,由积极治理向积极保护转变,由治沙向“治人”的转变,生产方式由粗放向集约化转变。

References:

- [1] Fraser E D G, Mabey W, Slaymaker O. Mutual vulnerability, mutual dependence: The reflexive relation between human society and the environment. *Global Environmental Change*, 2003, 13: 137 ~ 144.
- [2] Sole R V, Montoya J M. Complexity and fragility in ecological networks. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 2001, 268: 2039 ~ 2045.
- [3] Fraser E D G. Social vulnerability and ecological fragility: building bridges between social and natural sciences using the Irish Potato Famine as a case study. *Conservation Ecology*, 2003, 7(2): 9.
- [4] Guo L Y, Liu Y S, Ren Z Y. Analysis of the landscape changes and its driving mechanism in vulnerable ecological area: a case study of Yulin City. *Resources Science*, 2005, 27(2): 128 ~ 133.
- [5] Shi M J, Wang T. An application of bio-economic household model to analysis to man-land relationship behavior in ecologically fragile land of China. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(1): 165 ~ 174.
- [6] Koninga N, Smalingb E. Environmental crisis or 'lie of the land'? The debate on soil degradation in Africa. *Land Use Policy*, 2005, 22: 3 ~ 11.
- [7] Liu G B, Xu M X, Hu W Y. Health assessment of a small watershed on the loess plateau. 12th ISCO Conference Beijing 2002, available on: <http://www.tucson.ars.ag.gov/isco/isco12/VolumeIV/HealthAssessment.pdf>.
- [8] Li X L, Zhang F M, Hao J M. Research on building eco-environment in loess hilly-gully area. *Research of Soil and Water Conservation*, 2002, 9(3): 146 ~ 148, 151.
- [9] Costanza R. Toward an operational definition of ecosystem health. In: *Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management*. Washington, D C: Island Press, 1992. 239 ~ 256.
- [10] Odum H T. Self-organization, Transformity, and Information. *Science*, 1988, 242: 1132 ~ 1139.
- [11] Pimm S L. The complexity and stability of ecosystems. *Nature*, 1984, 307: 321 ~ 326.
- [12] May R M. Will a large complex system be stable? *Nature*, 1972, 238: 413 ~ 414.
- [13] McCann K S. The diversity-stability debate. *Nature*, 2000, 405: 218 ~ 233.
- [14] Zhao H L, Zhao X Y, Zhang T H, Wu W. Desertification and ecological rehabilitation in Kerqin Sandy Land. Beijing: Ocean Press, 2003.
- [15] Breman H. Opportunities and constraints for sustainable development in semi-arid Africa. Netherlands: The United Nations University, 1995.
- [16] Liu X M, Zhao H L, Zhao A F. Aeolian environment and vegetation of Horqin Sandy Land. Beijing: Science Press, 1996.
- [17] Ren J Z. Process and prospect of agro-ecosystem development in grassland area. *Acta Agrestia Sinica*, 2001, 10(spe.): 36 ~ 44.
- [18] Ci L J. Mechanism of desertification and sustainable strategies to combat desertification in China. *Quaternary Sciences*, 1998, 2: 97 ~ 107.
- [19] Powell J M, Fernández-Rivera S, Hiernaux P, Turner M D. Nutrient cycling in integrated rangeland/cropland systems of the Sahel. *Agricultural Systems*,

1996,52(2/3): 143 ~ 170.

- [20] Thornton P K, Herrero M. Integrated crop livestock simulation models for scenario analysis and impact assessment. *Agricultural Systems*, 2001, 70: 581 ~ 602.
- [21] Jiang S. Sustainable utilization of grassland resources in China. *Acta Agrestia Sinica*, 1997, 5(2): 73 ~ 79.
- [22] Mace, R. Transitions between cultivation and pastoralism in Sub-Saharan Africa. *Current Anthropology*, 1993, 34(4): 363 ~ 382.
- [23] Wu J G, Loucks O L. From balance-of-nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology. *Quarterly Review of Biology*, 1995, 70: 439 ~ 466.
- [24] Arthur W B. Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical events. *The Economic Journal*, 1989, 99: 116 ~ 131.
- [25] North D C. *Institutions Institutional Change and Economic Performance*. Cambridge MA, Cambridge University Press, 1990.
- [26] Rosentreter R, Eldridge D J. Monitoring rangeland health: using a biological soil crust stability index. *USDA Forest service proceeding RMRS-P-31*, 2004, 74 ~ 76.
- [27] Prigogine I. Time, structure, and fluctuations. *Science*, 1978, 201: 777 ~ 785.

参考文献:

- [4] 郭丽英, 刘彦随, 任志远. 生态脆弱区土地利用格局变化及其驱动机制分析——以陕西榆林市为例. *资源科学*, 2005, 27(2): 128 ~ 133.
- [5] 石敏俊, 王涛. 中国生态脆弱带人地关系行为机制模型及应用. *地理学报*, 2005, 60(1): 165 ~ 174.
- [8] 李旭霖, 张复明, 郝晋民. 黄土丘陵沟壑区生态环境建设探讨. *水土保持研究*, 2002, 9(3): 146 ~ 148, 151.
- [14] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 吴薇. 科尔沁沙地沙漠化过程及其恢复机理. 北京: 海洋出版社, 2003.
- [16] 刘新民, 赵哈林, 赵爱芬. 科尔沁沙地的风沙环境与植被. 北京: 科学出版社, 1996.
- [17] 任继周. 草地农业生态系统发展过程与展望. *草业学报*, 2001, 10(专辑): 36 ~ 44.
- [18] 慈龙骏. 我国荒漠化发生机理与防治对策. *第四纪研究*, 1998, 2: 97 ~ 107.
- [21] 姜恕. 中国草地资源的可持续利用. *草地学报*, 1997, 5(2): 73 ~ 79.