

农牧交错带研究进展

刘洪来^{1,2}, 王艺萌¹, 窦 潇^{1,2}, 徐敏云^{1,2,3}, 王 堃^{1,2,*}

(1. 中国农业大学动物科学技术学院, 北京 100193; 2. 河北沽源草地生态系统国家野外科学观测研究站, 河北 沽源 076550;

3. 河北农业大学动物科技学院, 河北 保定 071000)

摘要: 农牧交错带是典型的生态脆弱区、贫困区和多民族聚居区, 是我国生态安全的重要屏障。综述了农牧交错带发展的历史演变过程, 分析了当前农牧交错带农牧业生产所面临的主要问题, 建议今后对农牧交错带的研究应集中在以生态学为基础的跨学科研究; 其热点领域应集中在农牧交错带生产力生态学、恢复生态学、界面生态学、放牧生态学, 农牧交错带的健康诊断和价值评估等方面。其中生产力生态学是提高生产效率的保证, 应加强农牧交错带农田草地系统耦合生产方式的研究; 恢复生态学是治理退化农牧交错带的基础; 界面生态学是剖析退化农牧交错带的切入点; 放牧生态学是调控农牧交错带农田草地退化的手段; 健康诊断有助于对农牧交错带进行客观的评价; 价值评估则是对农牧交错带生态系统效益和服务的估算。

关键词: 农牧交错带; 草地生态系统; 农田生态系统; 系统耦合

文章编号: 1000-0933(2009)08-4420-06 中图分类号: S812.2 文献标识码: A

Progress and perspective of agro-pasturage ecotone

LIU Hong-Lai^{1,2}, WANG Yi-Meng¹, DOU Xiao^{1,2}, XU Min-Yun^{1,2,3}, WANG Kun^{1,2,*}

1 College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China

2 GuYuan National Grassland Ecosystem Field Station, Hebei Province 076550, China

3 College of Animal Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(8): 4420 ~ 4425.

Abstract: Agro-pasturage ecotone (APE) is the transitional zone which is characterized by ecological vulnerability, poverty and multi-ethnic groups, and it is also a natural barrier for ecological security. In this paper, we reviewed development history and major problems in APE and proposed that the future work in APE should focus on multi-subjects synthesis centered with ecology. The promising topics might be production ecology, restoration ecology, interface ecology, grazing ecology, health diagnoses and evaluation in APE. Among these topics, productivity ecology is the guarantee of improving the productivity in APE, and thus studies on the coupling of crop and grassland systems should be enhanced; restoration ecology is the base for restoring degraded ecosystems in APE; interface ecology is the cut-in point for analyzing the mechanisms causing the degradation in APE; grazing ecology is the method of regulating the degradation of crop and grassland; diagnoses of the health of APE is benefit to accurate evaluation of the degraded ecosystems in APE; and evaluation for APE is also considered as an estimation on services and benefits of agro-pasturage ecosystems.

Key Words: agro-pasturage ecotone; grassland ecosystem; cropland ecosystem; systematical integration

农牧交错带又称为农牧过渡带、农牧交错区、半农半牧区或生态脆弱带, 是指以草地和农田大面积交错出现的以典型景观为特征的自然群落与人工群落相互镶嵌的生态复合体; 在过渡带内, 种植业和草地畜牧业在空间上交错分布, 在时间上相互重叠, 一种生产经营方式逐步被另一种生产经营方式所替代^[1,2]。农牧交错

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(2006AA10Z250)

收稿日期: 2008-10-05; 修订日期: 2008-12-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangkun@cau.edu.cn

带自东北向西南纵贯中国北部分布,面积已达 12.96 万 km^2 ^[3],阻挡西、北部沙漠向东、南入侵,是中东部地区重要的生态屏障。在自然条件上,该带东南是湿润、半湿润地区,地势相对平坦,海拔较低,环境条件较优越;而以西以北则分布着我国主要的沙漠、高原和山地,地形复杂且降水少、大风日多、沙尘活动强烈,是典型的生态脆弱区^[1,4]。由于受重农轻牧政策导向和长期形成的独特“农业文化”的影响以及“重生产轻生态”的实践观,农牧交错带区域各子系统出现大面积的农田和草地退化现象;农牧交错带退化草地和农田已经被证明是京津地区沙尘暴的源头^[3]。农牧交错带是两类生态系统空间转换的相变区,环境因子、生物类群和社会经济活动等均处于相变的临界区间。在农牧交错带上,生态系统的结构、功能及生态过程相当复杂,对于气候变化和人类干扰均极端敏感^[5]。生态交错带可以作为外界干扰信号的放大器,是研究全球变化重要的预警区^[1]。

1 农牧交错带研究的发展历史

第一阶段(20 世纪 50 ~ 60 年代),关于农牧交错带的研究始于 1953 年,赵松乔先生在进行察北、察盟、锡盟等地的经济地理调查时提出“农牧交错带”这一概念,当时的提法是“农牧交错过渡地带”,所指区域从外域到已有的集约农业地带向北递变为粗放农业区、定牧区、定牧游牧过渡区以至游牧区,年降水量 400mm 上下;从而定性地给出了农牧交错带的定义,即集约农业地带向游牧区的过渡带,范围的界定以年降水量 400mm 为重要指标^[6]。1959 年,赵先生对川滇农牧交错地区农牧业地理调查后,将农牧交错带的认识范围从北方延伸到西南地区,从而首次将我国农牧交错带的范围完整地勾勒出来,即从内蒙古高原东南缘,经辽西、冀北、晋陕北部和宁夏中部,在甘青交界处转而南北走向,经川西、滇西北,包括南、北两段。随后一些科学工作者相继进行了内蒙古农牧业生产配置研究(1958 年)、甘青农牧交错地区农业区划(1958 年)以及川西滇北地区农业地理研究(1966 年)等工作;他们对农牧交错带的生产方式及自然地理条件等做了详尽调查;为我国农牧交错带的研究提供了翔实的基础性资料^[7-9]。

第二阶段(20 世纪 70 ~ 80 年代),20 世纪 70 年代,我国开始进行大范围的自然资源调查和农业区划工作;如 1981 年进行了“中国农业区划”和“种植业制度区划”,1988 年李世奎等人所做作的“农业气候区划”^[10],以及程鸿的“青藏高原农业地域分异”^[9],中国科学院内蒙宁夏考察队的“内蒙古自治区及其东西毗邻地区气候与农牧业的关系”^[8]等,这些工作都对农牧交错带作了调查和研究。这些研究使农牧交错带的认识和理解更为深入,并从经济地理与农业区划、农业气候区划的角度定性到半定量地给出了农牧交错带的范围^[3]。这一时期的研究已注意到农牧交错带内存在较严重的荒漠化、水土流失和草地退化等生态问题,并试图探索和明确农牧交错带合理、有效的发展方向。

第三阶段(20 世纪 90 年代 ~ 今),20 世纪近 40 年的研究主要集中在经济地理学、农学等方面,未能对农牧交错带的生态作用有足够的认识;20 世纪 90 年代,在全球范围内掀起一股生态研究和可持续发展研究的热潮。农牧交错带作为我国一条典型的生态脆弱带和重要的生态屏障带,其生态环境的好坏不仅是该区域经济社会发展的基础和保障,更关系到黄河、长江中下游经济发达地区的生态安全;其日益恶化的生态环境受到了政府和理论界的重视,对农牧交错带生态环境和可持续发展方式的研究成为这一时期研究的主题。如张兰生等从历史时期以来环境演变的角度探讨了农牧交错带形成和演变的机理^[11],吴贵蜀认为农牧交错带是一个独特而重要的产业界面^[12]。一些生物学者也从“景观边界”角度对农牧交错带的物质能量流动进行了一定的研究;更多的研究则集中在土壤侵蚀、土地生产力退化、生态环境恶化状况等方面^[13]。不同学者对农牧交错带所具有的生态实质达到了共识:即农业和牧业两个区域生态系统相互过渡过程中,系统主体行为和结构特征发生“突发转换”的空间域,它具有独特的、由农牧两个相邻系统相互作用程度所决定的一系列特性^[14]。2006 年,陈全功、张剑等以 GIS 为平台,依据《中国草业开发与生态建设专家系统》提供的数据库并对 9 个相关参数进行计算,最终模拟并做出了“基于 GIS 的中国农牧交错带的地理分布图”^[15],从而定量地解决了困扰中国地学界多年的农牧交错带地理分布的相关难题。这一时期的研究方向呈多元化趋势,其它学科的介入使这些研究更全面、深入而系统;初步形成了以生态学为中心的基础性、跨多学科性研究,将农牧交错带作为一个整体的、全面而系统的、以生态学为中心的基础性研究^[13]。

2 农牧交错带存在的问题

农牧交错带横跨 13 个省区,作为粮食和乳类制品生产基地,近几十年来解决了上亿人口的温饱问题;但由于全球气候变化的影响,气温显著升高,降水随地区不同而有不同趋势,变率在加大,由此引起自然环境和生态系统的不可持续性,生态功能萎缩,不能支撑该地区的社会功能和经济功能,造成经济贫困和人口过度膨胀等诸多问题,主要表现见表 1^[16~18]。

农牧交错带地处夏季风尾间区,对降水变化十分敏感,是一条生态脆弱带;它随着气候的变化不断发生空间地带的摆动,尤其是在干旱年份,当降水条件低于旱作农业需水下限时,导致农业生产能力大幅降低,大面积农田被迫弃耕或休耕,在风力作用下裸露地表迅速风蚀而导致沙漠化扩展;湖泊萎缩、草场退化、林带上移等;生态过渡带因为其内有许多物种受气候条件所限处于它们分布的边界,较小的外界扰动即可导致系统崩溃^[18],因而可以更早地监测到全球气候变化。

表 1 农牧交错带的主要生态与社会问题^[16~18]

Table 1 Major eco-environmental and social problems occurring in the agro-pastoral ecotone

自然环境与生态问题 Natural environmental and ecological problems	主要表现 Major phenomena
1. 气候因子时空异质性与多变性 Climatic heterogeneously and changeably	降水分配不均、多暴雨;干燥多风、风力强劲;易遭受干旱及风蚀和水蚀的破坏
2. 自然灾害对系统的危害性 Harmfulness of natural disaster to the system	旱灾、霜冻害、冰雹、风灾、沙尘暴、雪暴、等
3. 土壤基质的不稳定性与贫瘠性 Instability and infertility of soil matrix	土质结构疏松,易遭受风蚀和水蚀破坏;土壤贫瘠,生产力水平低下
4. 植被的非均质性与波动性 Heterogeneity and fluctuating of vegetation	植被类型单一、景观单调,植被易受外界因子的干扰,波动性较大
5. 土地利用结构的不合理性 Unreasonably soil use pattern	土地利用结构动态变化较大;受降水因素的制约,草地和耕地之间频繁转换;沙漠化也是草地减少的原因
6. 地貌景观的多元性与镶嵌性 Plural and mosaic landscape	地貌结构独特,有盐碱化草地、草原带沙地、丘陵山地、黄土高原等地有固定沙丘、半固定沙丘、流动沙丘、风积、冲积平原等,这些地貌单元本身形成镶嵌的斑块结构,又与村落、城镇、农田等形成镶嵌的斑块结构
社会与经济问题 Social and economic problems	
7. 经济基础和结构的不协调性 Unharmoniously economic basement and stucture	农、牧业基础落后,第一、二生产力水平低而不稳
8. 经济活动的不合理性 Unreasonably economic activity	滥垦、滥伐、滥樵、滥挖、过度放牧,掠夺性地利用自然资源,造成生态系统恶性循环;产业结构与资源环境承载力不相适应
9. 承受灾害能力低 Low capability of enduring natural disaster	经济实力有限、基础设施差,抗灾救灾成本高
10. 教育与人口素质问题 Education and population quality	文化落后、教育水平低,人口素质低等阻碍该地区社会经济发展

3 农牧交错带研究展望

农田、草地退化是我国农牧交错带所面临的突出问题。在 21 世纪初期,我国的农牧交错带研究将围绕解决农田、草地退化这一核心问题展开深入的研究。其热点领域应集中在农牧交错带生产力生态学、恢复生态学、界面生态学、放牧生态学,农牧交错带的健康诊断和价值评估等方面。其中生产力生态学是提高农牧交错带生产效率的保证;恢复生态学是治理退化农牧交错带的基础;界面生态学是剖析退化农牧交错带的切入点;放牧生态学是调控退化农牧交错带的手段;健康诊断有助于对农牧交错带进行客观的评价;价值评估则是对农牧交错带生态系统效益和服务的估算。

3.1 生产力生态学

自从荷兰瓦格宁根学派的创始人 DeWit 在 20 世纪 60 年代发现植物同化率同水分蒸散有直接关系以来,作物生态学在光温生产潜力、层次分析法以及人口承载力等方面取得多方面的进展。当前,生产力机理模型

又成为生产力生态研究的热点^[19]。针对我国农牧交错带的现实,除了在水分效率和生产力方面继续深入研究之外,还应着重从理论上研究系统耦合对释放催化、位差、多稳定及管理 4 项潜势、以大幅度提高和放大大多子系统的农业生态系统生产力的机理;以及建立农牧交错带生产力动力学模型,深入探讨各类生产力的形成机理以及转化和相互关系,更好地解释和预测农牧交错带的演变规律和发展趋势^[20]。

农田草地系统耦合将成为我国农牧交错带地区家庭承包责任制农业的主要生产方式;农田草地系统耦合生产模式的管理核心是减少农田和草地系统营养物质的外流损失,关键技术有草田轮作技术、农田作物秸秆再利用技术、家畜宿营技术、全日放牧技术等^[21]。

3.2 恢复生态学

由于超负荷地利用农牧交错带,导致各种功能低下的草地和农田大面积出现,使草地畜牧业的可持续发展能力下降,恢复生态学的研究有望提供逆转这一趋势的理论和科学技术方法。农牧交错带的恢复生态学应研究主要类型农田、草地生态系统对不同的人为干扰响应的模式和实质;特别要把弱干预性植被恢复途径作为重点。研究退化农牧交错带的生态恢复不仅要重视那些看得见的对象,也要关注那些看不见的生态学过程,这有助于深入了解农牧交错带复合生态系统中各组织层次间的相互关系,它们是一个有机的整体。退化农牧交错带的恢复应遵循生态系统的非加和原理,将 3R 工程(恢复、重建和改建)的方方面面结合起来,采取相应的策略^[22]。研究确定一系列至关重要的生态-经济阈值,例如最低允许的动态植被覆盖度阈值,最大允许的水土流失和风蚀量阈值等,以适合中国的实际国情^[20]。

3.3 界面生态学

如何剖析农牧交错带的草地、农田退化?切入点是界面。马世骏教授指出,生态界面是一物质薄层,是相邻系统之间物质交换、能量流动、信息传递的传导系统^[23]。

农牧交错带的生态界面既是生态功能的密集区,又是压力的敏感区,主要包括农/牧、森林/草地、草地/荒漠、荒漠/绿洲等交错区界面。农牧交错带自身包涵根/土、土/气、叶冠/大气、植物/动物(草/畜)4 个主要界面,是农田、草地生态系统与环境之间进行能量流动、物质交换、信息传递的第一发生地,既是关卡,又是闸门,维持和调节着农牧交错带的平衡。这些界面上能量流动与物质循环最频繁,植被对环境的反应最敏感,生物调节最强烈,环境胁迫最易发生,人与自然的矛盾最突出^[24]。界面是生态系统与外界连通的中介,在正常情况下,界面根据生态系统本身的需要调控生态系统的输入与输出,传递系统内外的信息。农牧交错带不同子系统之间实现产品交换,相互补充也相互干扰,进而衍发为系统耦合。系统耦合带来系统进化,产生新的结构和功能,而系统界面上同质因素是发生系统耦合和系统外延性得以实现的基础;系统耦合可以通过多途径大幅度提高农牧交错带生产力水平。探讨农牧交错带各种界面的特点、结构、格局、相邻生态系统之间的耦合过程与机理、能量和物质流通与人为活动的耦合、界面过程对环境变异与人为干扰的反馈机制等对农牧交错带的理论和实践具有重要的意义。

3.4 放牧生态学

草畜界面,即草畜关系的研究,是放牧生态学的核心;家畜是农田草地系统耦合生产的纽带。超负荷放牧导致农牧交错带草地退化一直是草地学家关注的问题,过度放牧已被公认是引起草地退化的主要原因,因此研究草地生态系统中草畜关系的放牧生态学将成为草地管理学和草地生态学研究的重要领域。

解决草畜平衡和草地退化问题,传统上是用以草定畜。放牧过重导致草地退化,放牧过轻既造成资源的浪费,也会引起草地退化;中度放牧的草地,植物的均匀度和物种的多样性指数较高;为此,20 世纪 90 年代前后兴起了优化放牧理论和组织流动与转化理论两个学说^[25]。我国农牧交错带区域本身比较复杂,涉及多个生态系统包含土壤、植物、动物和微生物等多要素;但是土壤、植物和微生物由于地域关系多互为异质。农田系统和草地系统只有通过家畜这一同质元素发生耦合(家畜本身是一个系统,但在这里将其看做一个元素);草地农田系统耦合生产的关键是如何利用家畜进行调节;管理核心是减少农田和草地系统营养物质的外流损失,避免外来物质和能源的输入,节约成本。当前我国农牧交错带的放牧生态学研究应主要集中在草、畜间的

正负反馈调节机制、各类家畜在不同草地类型中的放牧行为生态、放牧生态理论指导下的农田草地耦合管理模式等基础与应用基础研究。

3.5 农牧交错带的健康诊断

长期超负荷的利用使农牧交错带的“健康”受到损害,农牧交错带患上了生态系统苦恼综合症。开展农牧交错带“诊断”,判断其“健康”状况,以便“对症下药”。1999 年 8 月在美国早开的“国际生态系统健康大会”讨论了生态系统的健康诊断,采用美国生态学家 Costanza 和 Rapport 等人提出的活力、组织力和恢复力的评价体系(VOR 体系)^[26]。借助 VOR 体系,可以把农牧交错带系统诊断为 4 个时期:健康、警戒、不健康和崩溃,找出预警指标或阈值,采取相应的建设措施加“治疗”,使其得以早日康复,进入更佳状态。

农牧交错带的退化是一个多因素、多层次的相互作用和综合胁迫的生态过程,评定农牧交错带的健康状况关系到恢复或治理的途径,一直是草地工作者探索的重要领域。当前的研究只是停留在定性阶段,现在的评价指标体系和方法尚不能满足实际的需求;今后应该对农牧交错带的退化等级进行精确的、可操作的定量刻画,以期恢复提供理论指导。

3.6 农牧交错带的服务价值及生态经济学

近年来,生态学发展的两项重大动向是能值理论和自然(生态系统)服务价值理论的提出。这两个理论都力图解决用常规经济学无法赋值的资源、生态系统的全部价值,特别是无形服务价值的重要意义及量化问题;从而突破了认为资源和生态系统服务价值是天生的、可以不付代价使用的传统观念^[27,28]。正如讨论“成本外摊”概念最终引发了新学科——环境经济学的产生一样,对生态系统服务价值概念的探讨必将使真正意义的生态经济学日臻成熟。当今的经济理论忽视了自然和环境的作用,要获得可持续发展,就有必要把自然这个概念整合到经济学中,特别是把自然因素归并到生产函数之中。

畜牧学将草地当作生产资料;生态学将草地看作是生态屏障。在我国,农牧交错带既是一些人们赖以生存和经济活动的基础,又是涵养水源、遏止沙漠化的重要绿色屏障,人们已开始认识到农牧交错带对防风固沙等生态系统服务的重要性,作为一个复合生态系统,从宏观生态学的角度来看,农牧交错带提供三重巨大的生态系统服务价值:(1)商品价值:主要是畜产品及其他产品的价值;(2)公益价值:主要是调节气候、抗御干扰、保持水土、控制侵蚀、降解污染、促进养分循环、传粉播种和病虫害的生物防治等;(3)服务价值:主要是保健康复、生态旅游、休闲娱乐、自然美的感受、基因库、科研价值等。只有阐明这些价值机制,才会激励起对其保护的动机;也才可能从国家宏观调控的角度,解决草地改良和建设投入极其严重不足的老大难问题。同时,也将有利于认识整个农牧交错带内各复杂子系统的能流、物流、信息流及价值流的相互关系和定量转化关系。

References:

- [1] Cheng X. Frontier issue of modern ecology in the study of ecotone between agriculture and animal husbandry. *Resources Science*, 1999, 21(5): 1—9.
- [2] Zhao H L, Zhao X Y, Zhang T H, *et al.* Boundary line on agro-pasture zigzag zone in north china and its problems on eco-environment. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(5): 739—748.
- [3] Han J G, Sun Q Z, Ma C H. *Ecotone sustainable development of agriculture and animal husbandry technology*. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [4] Liu J H, Gao J X, Han Y W, *et al.* Strategy and Countermeasure for Sustainable Development Northern Agriculture-pasturage Ecotone. *China Development*, 2008, 8(6): 89—95.
- [5] Liu H L, Zhang W H, Wang K, *et al.* Edge influence of soil moisture at farmland-grassland boundary in agriculture-pasturage ecotone of Northern China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(3): 659—664.
- [6] Zhao S Q. An economic geological survey on agro-pastoral transition. *Journal of Geographical Science*, 1953, 19(1): 43—60.
- [7] Zhou L S, Wu C J, Zhao S Q. Preliminary study on agro-pastoral regionalization in Gansu and Qinghai. Beijing: Science Press, 1958.
- [8] Chinese Academy of Sciences. Relationship between climate, agriculture and animal husbandry in Inner Mongolia Autonomous Region. Beijing: Science Press, 1976.
- [9] Cheng H, Huang M. *Agriculture geography in west Sichuan and north Yunnan*. Beijing: Science Press, 1966.
- [10] Li S K. Agroclimatic regionalization of China. *Journal of Natural Resources*, 1987, 2(1): 71—83.
- [11] Zhang L S, Fang X Q, Ren B Y. Environmental changes in the north China farming-grazing transition zone. *Earth science frontiers*, 1997, 4(1):

127—136.

- [12] Wu S G. Research Advance on the Farming-grazing Transitional Zone in China. *Journal of Sichuan Normal University (Natural Science)*, 2003, 26(1): 108—111.
- [13] Liu S Q. Holocene environmental evolution in the transitional agriculture-animal husbandry zone of north China and global change. *Journal of Beijing Normal University (natural science)*, 1994, 30(4): 504—510.
- [14] Zhang J C, Chu X L, Chen Q G. Advances in defining the boundary of farming-grazing transition zone in China. *Pratacultural Science*, 2008, 25(3): 78—85.
- [15] Chen Q G, Zhang J, Yang L N. GIS description of the Chinese ecotone between farming and animal husbandry. *Journal of Lanzhou University (natural sciences)*, 2007, 43(5): 24—28.
- [16] Chen J H, Wei B G, Su D X. *Tratagem and countermeasures of sustainable development in agro-pasturage ecotone*. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [17] Chen Y F, Tang H. Desertification in north China: background, anthropogenic impacts and failures in combating it. *Land Degradation and Development*, 2005, 16(3): 367—376.
- [18] Liu L D, Gao Y B. Eco-environmental construction and functional integration of the farmland-pastoral ecotones in the northern part of China. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(2): 174—182.
- [19] Gretchen C D. Restoring Value to the World's Degraded Lands. *Science*, 1995, 269(5222): 350—354.
- [20] Zhao S D, Luo T X. Approaches to the regional scale bio-productivity of terrestrial ecosystems. *Resources Science*, 1998, 20(1): 23—35.
- [21] Zhang Y J. Integration of crop and pasture systems. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, 12(6): 10—18.
- [22] Liang C Z, Zhu T C, Wang D L, *et al.* perspectives in researches on grassland ecology for the early 21st century in China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(6): 743—748.
- [23] Ma S J. Appraisal of development tendency of ecology. *Advance Ecology*, 1988, 5(1): 1—2.
- [24] Han S J, Liao L P, Jiang F Q. Considerations on forest interface ecology. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(5): 538—542.
- [25] Xia J X. Grazing ecology and its application in pasture management. *Grassland of China*, 1993(4): 64—70.
- [26] Rapport D J, Castanza R, McMichael A J. Assessing ecosystem health. *Trends in Ecology and Evolution*, 1998, 13(10): 397—402.
- [27] Jin L, Yao Y F, Zhang W J. Review on the ecosystem services evaluation of grassland reserve. *Grassland and Turf*, 2008, 130(5): 70—74.
- [28] Zhao T Q, Ou Yang Z Y, Jia L Q, *et al.* Ecosystem services and their valuation of China grassland. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6): 1101—1111.

参考文献:

- [1] 程序. 农牧交错带研究中的现代生态学前沿问题. *资源科学*, 1999, 21(5): 1~9.
- [2] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 北方农牧交错带的地理界定及其生态问题. *地球科学进展*, 2002, (17)5: 739~748.
- [3] 韩建国, 孙启忠, 马春晖. 农牧交错带农牧业可持续发展技术. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [4] 刘军会, 高吉喜, 韩永伟, 等. 北方农牧交错带可持续发展战略与对策. *中国发展*, 2008, (8)2: 89~94.
- [5] 刘洪来, 张卫华, 王堃, 等. 华北农牧交错带农田-草地界面土壤水分影响域分析. *应用生态学报*, 2009(20), 3: 659~664.
- [6] 赵松乔. 察北、察盟及锡盟——一个农牧过渡地区经济地理调查. *地理学报*, 1953, 19(1): 43~60.
- [7] 周立三, 吴传钧, 赵松乔. 甘青农牧交错地区农业区划初步研究. 北京: 科学出版社, 1958.
- [8] 中国科学院内蒙古宁夏综合考察队. 内蒙古自治区及其东西部毗邻气候和农牧业的关系. 北京: 科学出版社, 1976.
- [9] 程鸿, 黄勉. 川西滇北地区农业地理. 北京: 科学出版社, 1966.
- [10] 李世奎. 中国农业气候区划. *自然资源学报*, 1987, 2(1): 71~83.
- [11] 张兰生, 方修琦, 任国玉. 我国北方农牧交错带的环境演变. *地学前缘(中国地质大学, 北京)*, 1997, 4(1): 127~136.
- [12] 吴贵蜀. 农牧交错带的研究现状及进展. *四川师范大学学报(自然科学版)*, 2003, (26) 1: 108~111.
- [13] 刘清泗. 中国北方农牧交错带全新世环境演变与全球变化. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 1994, 30(4): 504~510.
- [14] 张建春, 储少林, 陈全功. 中国农牧交错带界定的现状及进展. *草业科学*, 2008, (25)3: 78~85.
- [15] 陈全功, 张剑, 杨丽娜. 基于 GIS 的中国农牧交错带的计算和模拟. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2007, 43(5): 24~28.
- [16] 陈建华, 魏百刚, 苏大学. 农牧交错带可持续发展战略与对策. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [17] 刘林德, 高玉葆. 论中国北方农牧交错带的生态环境建设与系统功能整合. *地球科学进展*, 2002, 17(2): 174~182.
- [18] 赵士洞, 罗天祥. 区域尺度陆地生态系统生物生产力研究方法. *资源科学*, 1998, 20(1) 23~35.
- [19] 张英俊. 农田草地系统耦合生产分析. *草业学报*, 2003, (12)6: 10~18.
- [20] 梁存柱, 祝廷成, 王德利, 等. 21 世纪初我国草地生态学研究展望. *应用生态学报*, 2002, 13(6): 743~746.
- [21] 马世骏. 生态学发展趋势评价. *生态学进展*, 1988, 5(1): 1~2.
- [22] 韩士杰, 廖利平, 姜凤岐. 关于森林界面生态学的思考. *应用生态学报*, 1998, 9(5): 538~542.
- [23] 夏景新. 放牧生态学和牧场管理. *中国草地*, 1993, 4: 64~70.
- [24] 金良, 姚云峰, 张文娟. 对草地类自然保护区生态系统服务价值评估的思考. *草原与草坪*, 2008, (130)5: 70~74.
- [25] 赵同谦, 欧阳志云, 贾良清, 等. 中国草地生态系统服务功能间接价值评价. *生态学报*, 2004, 24(6): 1101~1111.