

中国北方农牧交错带优化生态-生产范式

叶学华^{1,2}, 梁士楚^{1*}

(1. 中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室, 北京 100039; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 中国北方农牧交错带具有生态、生产双重功能, 在国民经济发展中具有重要战略地位。构建优化生态生产范式是对其进行科学管理的一种有效方式。优化生态-生产范式是应用生态经济学原理与系统科学方法, 以生态恢复与重建为目标, 以多用途资源利用和景观生态设计为核心, 以生物-自然和社会-经济综合分析为基础, 结合现代科学成果和传统农牧业技术的精华而建立起来的结构优化、功能持续、经济可行的农林牧复合经营系统的范例。文章对优化生态生产范式的配置以及配套技术的研究现状进行了综述, 提出在构建优化生态生产范式的过程中应当遵守规模的发展与土地承载能力相适应的原则、限制因子原则、景观异质性与尺度的原则以及生态、经济和社会效益统一的原则。针对目前范式研究中着重经济效益、研究尺度单一、缺乏学科间的综合和集成、效益评价体系不完善等一些问题, 指出了今后范式研究的趋势, 认为今后的研究应重视基础理论和应用技术的研究、对现有范式进行调整和优化、建立统一的评价体系、量化范式适宜程度和优化程度。在基础研究方面应主要集中在主要的农业生态系统对不同人为干扰响应的形式和实质, 研究确定一系列重要的生态经济阈值; 应用技术方面应注重于调整产业结构, 积极发展高科技产业, 提高产投比。对范式实施后的各项生态经济指标进行动态监测, 从而对范式进行适时调整与优化。对不同范式取得的效益进行横向的、定量的研究, 选择出最优的范式。同时, 学科间的融入将成为范式研究中的又一特点。

关键词: 农牧交错带; 优化生态生产范式; 中国北方

A review on the study of optimized eco-productive paradigm in the farming-pastoral zone of North China

YE Yue-Hua^{1,2}, LIANG Shi-Chu^{1*} (1. *Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China*; 2. *The Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12): 2878~2886.

Abstract: The farming-pastoral zone of northern China is a large-scale ecotone, which plays dual role both in the ecological function and biological production. It occupies a strategically important position in the national economy. Constructing the optimized eco-productive paradigm is an effective way to scientifically manage this zone. Optimized eco-productive paradigm means a model of combining ecological management system of grass and agro-forestry with optimum structure, sustainable function as well as economical feasibility. It rests on the synthetically analysis of the living beings-nature and the society-economy, aims at ecological restoration and reconstruction, and regards sustainable use of resources and landscape ecological design as the core. Construction and optimization of the paradigm should apply ecological economics theories and systematic scientific methods as well as combine the modern scientific achievements and the quintessence of traditional farming and animal husbandry technologies. In this paper, the current researches of the patterns and the corresponding technologies of eco-productive paradigm are reviewed. The necessary principles while establishing the eco-productive paradigm should be abided are highlighted, including the principle of the adaptation of developmental scale to land-bearing capacity, the principle of limiting factors, the principle of landscape heterogeneity and multiple scales, and the principle unifying ecological, economic

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000018607); 中国科学院知识创新重大资助项目(KSCX1-08-02)

收稿日期: 2003-10-25; **修订日期:** 2004-04-19

作者简介: 叶学华(1978~), 男, 江西萍乡人, 博士生, 主要从事恢复生态学研究。E-mail: yexuehua@ns.ibcas.ac.cn

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: gxlsc@sina.com

Foundation item: Supported by the State Key Basic Research and Development Plan of China (G2000018607), and CAS grants of China (No. KSCX1-08-02)

Received date: 2003-10-25; **Accepted date:** 2004-04-19

Biography: YE Xue-Hua, Ph. D. candidate, mainly engaged in restore ecology. E-mail: yexuehua@ns.ibcas.ac.cn

and social benefit. At the same time, the following problems should be solved, such as overemphasizing economic benefits, researching on single scale, lacking the synthesis of and integrating with other subjects and the imperfect benefit appraisal system in the former studies of paradigm. Additional studies should pay attention to the theories and technologies, to adjusting and optimizing the existing paradigms, to discovering a unified appraisal system, and quantifying the degree of suitability and optimization of paradigm. The form and essence in which the main agricultural ecosystem responds to different artificial disturbances should be researched. A series of signifying ecological-economical threshold should be studied and ascertained. The study of application technologies should pay attention to adjusting of industrial structure, developing actively high-tech industry and raising the production-devotion ratio. Monitor the changes of eco-economical indexes after carried on the paradigm, and then optimize the paradigm in good time. Prosecute the horizontal, quantitative researches to benefits of different paradigm, and choose out the optimum one. Besides, the cross of subjects should become another trait in the further study of the paradigm.

Key words: farming-pastoral zone; optimized eco-productive paradigm; northern China

文章编号:1000-0933(2004)12-2878-09 中图分类号:S181 文献标识码:A

农牧交错带(farming-pastoral zone)是我国传统农业区域与畜牧业区域交汇和过渡的地带,也是我国东、中部地区的重要生态屏障^[1,2]。在北方,农牧交错带是半湿润农区与干旱、半干旱牧区接壤的过渡地带;在南方,这种过渡多表现为垂直分布形态^[3]。在农业区划上,农牧交错带被定义为种植业和畜牧业产值大体相等的“半农半牧区”;在气候区划上,北方的农牧交错带(除西藏外)同干燥度为 1.5~3.49 的“半干旱区”基本吻合^[4]。早在 20 世纪 50 年代,一些学者,如赵松乔^[5]、周立三等^[6],就已对我国的农牧交错带进行了初步的研究。目前,对农牧交错带的研究涉及到了社会经济、历史、地质、生态、沙漠化成因、治理对策等各个方面^[2,7~15]。

我国北方农牧交错带在历史上大多单行农耕而且是广种薄收,再加上未被利用为农垦的草地又大多超载过牧,因而使整个农牧交错带陷入农牧水平低下、人民生活困苦、生态环境劣化的恶性循环之中^[3]。尽管如此,北方农牧交错带仍然蕴藏着巨大的潜力,有望成为我国最大的草业和畜牧业基地^[16],粮食、畜产品产量和生产水平完全有可能在近期内有很大的提高^[17]。因此,结合当地的各种自然资源条件构建优化生态-生产范式(optimized eco-productive paradigm),合理地利用资源,在维持生态环境条件优良的前提下,提高农牧交错带的生产力水平,达到生态、经济效益双赢的目的,是当前农牧交错带研究的重点之一。

优化生态-生产范式是应用生态经济学原理与系统科学方法,以生态恢复与重建为目标,以多用途资源利用和景观生态设计为核心,以生物-自然和社会-经济综合分析为基础,结合现代科学成果和传统农牧业技术的精华而建立起来的结构优化、功能持续、经济可行的农林牧复合经营系统的范例。它是对我国北方农牧交错带进行科学管理的一种有效方式。

1 农牧交错带的概念及范围

1.1 农牧交错带概念的提出

国内最早提出农牧交错带这一术语的是赵松乔,当时的提法是“农牧过渡地带”,定性地定义为集约农业向游牧牧区的过渡带^[1]。1959 年,他又对川滇农牧交错地区进行地理调查,从而将农牧交错带的认识范围从北方延伸到了西南地区^[18]。

另外也有较多的学者从人文历史方面对农牧交错带进行解释,认为农牧交错带是传统农耕文化与游牧文化相碰撞的地带^[19~22];也有的学者认为历史上的中国北方农牧交错带代表了一种军事性界线(fortification line)^[23]。

1.2 农牧交错带范围的界定

我国农牧交错带从内蒙古高原东南边缘,经辽西、冀北、晋陕北部和宁夏中部,在甘青交界处转成南北走向,经川西、滇西北,分为南、北两段^[24]。

对于北方农牧交错带的分布和界定,国内已有很多研究报道^[24~26]。然而,对于北方农牧交错带的分布和面积,目前仍然存在着不同的认识,但对于它的位置界定基本上认为是大致沿北方 400mm 降水等值线走向,主要分布于内蒙古、辽宁、吉林、河北、山西、宁夏等省、区内。

南方农牧交错带(赵松乔^[18]称为川滇农牧交错带)主要位于青藏高原向四川盆地和云贵高原过渡地带的川西、滇西北地区,它在形成、演变和特征等方面都与北方农牧交错带有很大区别^[1]。南方农牧交错带降水相对比较充沛,年均降水量可达 700~900mm,但带内平均海拔高且高差巨大,因而热量不足是带内农牧业发展的主要限制因素^[1]。

1.3 农牧交错带的基本特征

李博^[27]等认为,我国农牧交错带起源于欧亚大草原,由于东北、西南走向的大、小兴安岭及华北山地和内蒙古高原等地貌和季风气候的影响,东西走向的欧亚大草原东段到我国后折向西南,这种森林草原带在大尺度(千年以上)气候变迁以及人类活

动的干预下,逐渐演变为农牧交错带,其本质属性是草原生态系统。

农牧交错带的生态实质是农业和牧业的两个区域生态系统的相互过渡过程中,系统主体行为和结构特征发生“突发转换”的空间域^[3]。不同的系统在耦合情况下,系统的功能和效能可能成倍乃至数十倍的放大^[28]。因而农牧交错带具有独特的、由农牧两个生态系统相互作用程度所决定的一系列特征^[16]。

我国北方农牧交错带虽然具有生态学、地理学等方面“过渡带”的若干属性,但又显然不具备典型的群落过渡带的一些典型特征,例如:它的物种多样性不是很丰富,而是相当贫乏;生态系统类型渐变和交织远明显于突变等^[29]。历史上的中国北方农牧交错带代表了一种军事性界线^[23],其生态、经济和社会方面的独特含义为世界仅有^[30]。

程序^[29]认为,北方农牧交错带的独特性可归结为:(1)是一种中国独特的历史、人文条件下,在气候、土壤等自然条件均不宜从事农耕活动的原生草原植被上,因外来人口剧增和大规模强行垦荒而人为演替而成的特殊生态-社会-经济系统;(2)由于水分和土壤肥力等因素的制约,该地带的光温生产潜力同实际的初级生产力之间存在很大的差距,加上若干经济-社会因子的影响,这种差距更达到了难以接受的程度;(3)适应性差的农作物强行取代了最能适应干旱和半干旱的顶级植物群落,因而农作物生产力低下,尤其是严重不稳产,进而助长了广种薄收和滥垦的势头,形成人口-开垦-生态条件恶化-再开垦的恶性循环;(4)具有不同生态系统间过渡带的优势条件,但因人们采取了违背生态经济原则的农业经营方针,反而导致系统相悖、功能受损。

2 北方农牧交错带优化生态-生产范式的概念及其生态学原则

2.1 农牧交错带优化生态-生产范式概念的提出

位于我国东北-西南向对角线位置的农牧交错带的特点是农业产业上的牧业过渡和牧业产业上的农业过渡,其人口相对于牧区来说较多,而相对于农区来说又较少。这一地带各种生态环境参数在时间上波动幅度较大,在空间上变化梯度较大。农牧交错带作为东部农区的生态屏障与风沙过滤带,其最基本的系统就是天然草地和复合的农(林)牧系统,后者是以农业方式经营的人工草地、饲料地结合乔灌防护带为基础的舍饲和育肥为主的畜牧业基地,其空间结构特征是按景观或成分配置的带状或镶嵌状的土地利用格局^[31]。在这一地带,原来有的单纯用农业办法管理,有的用牧业办法管理,还有的用林业的办法管理,都没有找到农牧交错带管理的普遍适应的科学方法。

张新时^[32]在对西部草地建设的研究中,提出了既是在生态上健全可靠的,又是在经济和生产上合理可行的优化生态-生产范式这一生态管理系统的概念,其中所谓“优化”是指农林草(牧)系统的科学合理、高效优质、持续稳定、协调有序;“生态”是指生态系统的结构、食物链关系、生物地球化学循环与生物地球物理过程;“生产”是指生产力与产业的形成;“范式”是指生态管理系统、区域性景观格局与功能带组成配置的范例。如内蒙古草原范式:围栏轮牧放牧场-刈草地-人工草地-育肥带;鄂尔多斯高原沙地“三圈”范式:滩地绿洲高效复合农业圈-软梁台地径流(集雨)林灌草圈-硬梁/流沙地灌草防护圈;荒漠山地-盆地范式:山地-绿洲-绿洲/荒漠过渡带-荒漠系统(mountain-oasis-oasis/desert ecotone-desert system, MOEDS)^[31]。唐海萍、张新时^[33]还提出中国农牧交错带优化生态生产范式体系构建的一般程序,给出了交错区内 3 个范式点的剖面图并建立了范式的初步框架。

在农牧交错带构建优化生态-生产范式以达到生态、经济效益双赢,得到广泛的承认。在中国农业部 2002 年推出的十大生态农业模式中就有 3 个是应用于农牧交错带的:北方“四位一体”生态模式及其配套技术、草地生态恢复与持续利用生态模式及配套技术和生态畜牧业生产模式及配套技术^[34]。

2.2 优化生态-生产范式的生态学原则

根据不同的生态和经济条件以及要求达到的不同目的,在农牧交错带优化生态-生产范式的构建过程中,所遵循的具体生态经济学原则也必然有所不同。

Odum^[35]提出充分利用碎屑食物链原理,即牺牲“可口性”以“换取”高的生物质能产量,而后再通过微生物及生化途径生产食品,用农业、生活废弃物养殖淡水鱼类,实施水土保持和耕作等设想,作为有可能达到的生态、经济目标的“折衷”,是“双赢”战略的良好范例。这为人们考虑北方农牧交错带的治理和开发提供了启发:人工种植应选择真正能适应北方农牧交错带温带干旱条件作物,以期获得高的生物质能产量,再转化为那些可食性好的食物及高附加值产品,从而可以达到此区治理开发过程中生态经济社会效益的协调统一,这也是构建优化生态-生产范式的基本原则。

生物多样性和景观异质性是进行农牧交错带优化生态-生产范式构建所应遵循的另一条基本原则。优化生态-生产范式不仅仅要求有高的生态经济效益,还要求具有较高的稳定性和抗逆性。而一般来讲,生态系统的持久性和抵抗性是随复杂性的增加而增加,恢复性在复杂性较低的阶段随复杂性的增加而增加,超过一定的复杂性后,随复杂性的增加而降低。必须注意的是多样性应该是建立在动植物共生、附生、寄生竞争等关系基础上的^[36]。景观空间异质性是自然界最普遍的特征,对农牧交错地区景观空间异质性的分析将促进人文、自然和生态过程对生态系统作用的正确理解,从而进一步研究物流和能流在生态系统中的变化,最终建立起适宜的优化生态-生产范式。空间异质性在各尺度景观内有不同表现,同一景观区内景观指数也有明显差异^[37]。因而在优化生态-生产范式的构建中应注重尺度的选择。

在实践中得出的是构建优化生态-生产范式所应遵循的具有针对性的原则。如:赵焯、史培军^[38]在对内蒙古鄂尔多斯高原土地生产力的研究中指出,提高该地区的生产力必需遵循牲畜头数的发展与草场载畜能力相适应的原则,要坚持土地开发、治理和受益相统一的原则。张新时^[39]在全面分析了毛乌素沙地生态过渡带的自然环境、植被的现状和历史变迁过程以及环境与植物之间的动态关系的基础上提出了该地区草地建设的原则,其中包括:水分平衡原则;半固定沙丘持续发展原则;网带状种植原则;景观与生物多样性原则;灌木优势的原则;防护、经营、利用并重的原则;天然放牧草地、半人工草地与人工草地相结合的原则;牧(草)林农工复合系统的原则等八项优化生态-生产范式的构建原则。孔正红、张新时^[40]在构建黄土丘陵沟壑区小流域优化生态-生产范式时提出了水分平衡和高效利用原则、农林牧复合系统原则和区位优势原则等。

综合上述的研究,在构建北方农牧交错带的优化生态-生产范式过程中,所必需遵循的生态学原则主要有:

(1)规模的发展与土地承载力相适应的原则 对当地的自然环境和资源状况及其分异进行综合的分析,了解区域的土地生产能力和承载能力,构建的优化生态-生产范式必须在土地所能承载的范围之内。基于降水量变化而产生的土地生产力的波动变化韵律是构建优化生态-生产范式所必须考虑的因子^[38]。对北方农牧交错带土地承载力的研究是优化生态-生产范式构建的前提。

(2)限制因子原则 由于生态因子的非等价性,影响优化生态-生产范式的效益的因子有很多,但其中总有一个或几个因子起着决定性的限制作用,例如北方农牧交错带中水分因子^[41,42]。这些因子就是范式构建成功与否的限制因子。而且当第一限制因子得以克服之后,另一个因子则有可能成为限制因子。因此,这些因子往往是我们在范式的构建过程中应首先考虑的。当然,生态因子作用所具有的综合性和不可替代性和互补性决定了在优化生态生产范式研究中不仅要注重第一限制因子问题的解决,对各种生态因子也要进行综合的考虑。

(3)景观异质性和尺度的原则 自然系统内在的异质性已成为生态学家的共识,异质性存在于许多时空尺度上的生态学现象之中^[37,43]。考虑不同地区(如典型草原、黄土高原丘陵、沙化草地,低山丘陵)承载力和生态、生产需求,构建主要涉及农林畜牧业的优化生态-生产范式;对不同地区范式时空优化配置的动态进行分析,把握构建范式的尺度及不同的尺度上相应范式的特点是优化范式构建的基本要求。

(4)生态、经济及社会效益统一的原则 范式的建立归根结蒂是为了满足人民生存与持久发展的需要。要达到这一目的,追求生态、经济和社会效益的高度和谐统一是必由之路。在构建时要以生态环境保护为前提,以市场为导向,以生产者自身需求的满足为基本目标,通过加强优化生态-生产范式的科学性和系统性实现三大效益的这种统一。这也是优化生态-生产范式所固有的属性所决定的。

3 我国北方农牧交错带优化生态-生产范式及其配套技术的研究现状

3.1 北方农牧交错带优化生态-生产范式的配置

受经济条件的制约,还不可能像发达国家那样投入大量的财力去改善生态环境,在实现生态效益的同时也应注重经济效益的提高。没有经济效益的生态环境建设一般很难为广大农牧民所接受。只有把二者结合好,生态环境的保护才能成为农牧民在生产过程中自觉行为。正是出于这种考虑,才注重于优化生态-生产范式的建立,以期通过一定的范式达到生态、经济效益双赢的局面。

在长期对农牧交错带改良的研究和实践过程中,研究人员提出了许多优化生态-生产范式的配置方案,并加以实施。如赤峰“农牧相结合,综合开发”的范式,西部草原牧区“引种入牧,草业先行,建设养畜,规模经营”的范式,乌盟地区“进一、退二、还三”(进一单位稳产高产田,退二单位非宜农耕地,还林、还草、还牧)的范式,都是内蒙古地区在发展生态农牧业的实践中涌现的^[44]。

在科尔沁沙地进行的生态生产范式有两种类型,一类是规模相对较大的林-草-牧复合系统生产范式,它的构成主要包括防风林带、固沙林及阻沙林带、疏林草场和饲料林几个部分;另一类是相对规模较小但生态经济效益更高的“家庭牧场”复合生态系统生产范式。这两种范式取得了较大的成功,对该区的生态环境建设和农牧民的增收都起到了较大的作用^[45,46]。

吕汝健^[47]在对宁夏中部干旱带的生态恢复与重建时提出在风沙干旱区采取自然保护区范式、“输血”式的退耕还牧范式、育养分离的季节性畜牧范式和建立多级循环生态经济范式;在黄土丘陵干旱、半干旱区采取以改变小地形为主的工程治理范式和以恢复天然植被为主的治理范式;而在绿洲区生态建设中适用立体开发范式、“三圈”范式及人工开发沙漠绿洲范式。

刘富铀等^[48]在内蒙古多伦县进行了农牧产业结构的优化和调整,在北部沙带建起 2.7 万 hm^2 的封育林区和自然保护区,中沙带形成草种繁育地和林果基地,南沙带以工程造林、封育治沙、水保治理为重点,进行山、水、田、林、路综合治理。

张新时、史培军等^[49]经过考察、分析和研究,初步提出在边际生态系统的动力学模型和生态安全条件下土地格局的优化理论的基础上建立既能满足生态恢复的要求,又能解决生产问题的典型区域的 5 种优化生态-生产范式,包括:鄂尔多斯的“三圈”范式,黄河峡谷砒砂岩类型的生态-生产范式,锡林郭勒的“三带”范式,华北山间盆地生态-生产范式,科尔沁沙地生态-生产范

式。到目前为止,已有两种生态-生产范式在生产上进行推广。其中“三圈”范式为:滩地草、林、农复合系统范式,软梁地半人工草地复合范式,硬梁地天然草地放牧系统范式。

3.2 优化生态-生产范式配套技术的研究

目前优化生态-生产范式配套技术的研究主要集中在以下几个方面。

3.2.1 节水技术的研究 北方农牧交错带基本上都处于半干旱区,水分往往是生产力的限制因子^[41,42]。这就要求在有限的水资源条件下,通过采用先进的工程技术、适宜的农业技术和用水管理等综合技术措施,充分提高农业水资源利用率和水的生产效率及效益。针对我国北方的特点,适宜采用的节水技术有渠道防渗技术、低压管道输水技术、喷微灌技术、劣质水利用技术及农业节水管理技术等^[50]。

3.2.2 适合当地生态条件的优良品种的引入 经过千百年的进化和适应,本地物种在生态上最能适应本地的生态环境,但在生产性能上并不一定就是最好的物种^[51]。经过 40 多年的不断努力,我国目前已有了一大批适合于不同地区自然条件的优良作物品种,这些物种的引入能更充分地利用自然资源,产生更大的效益,尤其是经济上的效益。如在内蒙古多伦县引种示范成功的油葵优良品种辐射到邻近旗县共 330 hm²,1998 年经济效益达 670 万元^[52]。康慕谊、董世魁等将我国北方农牧交错带划分为七个不同的生态区域,对各区中适宜生长和分布的乡土种和外来种按其生态习性分别进行甄别选择,为农牧交错带植被恢复与重建提供物种上的支持^[46]。

3.2.3 测土施肥技术 要取得高的效益,土壤的肥力是基本的保障。在农牧交错带,由于草场载畜量高,改良土壤的一些科技措施未能得以普及,土壤养分短期输出太多,没有能得到足够的补充,造成土壤养分贫瘠,肥力逐年下降。对于这个弊端,虽然可一定程度上通过先进的管理措施和栽培技术予以改善,但土壤肥力的快速提高依靠这些手段是不够的,还必须借助于投入。测土施肥研究,可以保持土壤养分的平衡,避免施肥可能造成的环境问题,是快速提高土壤肥力的有效措施^[53~55]。

另外,对范式化栽培技术、牧草保鲜与饲草料加工技术并且进行技术培训与推广,也是建立优化生态-生产范式所必须的配套技术,对这些技术的研究是范式成功取得高的三大效益的保障^[51,52]。

3.3 北方农牧交错带优化生态-生产范式的效益研究

农牧交错带的优化生态-生产范式效益主要表现在:(1)生态效益,包括提高光能利用率、合理利用地力、充分利用水资源、提高生态空间利用率、改善土壤、提高抗灾能力、保持水土以及改善小气候和大气环境质量等方面;(2)经济效益,主要有一地多用、一年多收、高的产投比、高的经济纯收入等;(3)社会效益,表现在利于商品化生产、利于农牧民增收、利于典型示范和技术普及、增加生态经济型防护林体系建设的造血功能和自我发展能力等方面^[45,56,57]。

优化生态-生产范式的实施能有效地改善生态环境。如乌兰敖都地区经过近 10 余年的综合治理,20 倍范围内降低风速 30%~39%,蒸发量减少 10%~20%,土壤肥力得到极大提高,其中含 N 量提高了 188.6%^[58]。在毛乌素沙地一个科技户采用家庭牧场的生态生产范式仅用 4 年时间有效治理流动沙地近 41 hm²^[59]。

在经济效益方面,毛乌素沙地的牧民科技户阿拉腾宝一家从 1983 年开始建设家庭牧场,到 1987 年已种乔木 4653 株,营造灌木林 8 hm²,播种牧草 7 hm²,全年经济收入 16156 元,人均收入 2692 元,5a 间增长了 7 倍多,迅速脱贫致富^[59]。

从 1996 年开始,中国科学院在内蒙古多伦县的新民二组、牛心山二组进行了规范区生态生产范式的实施。到 1997 年,新民二组综合试验区在耕地面积少了近 67hm² 的情况下,粮食总产量增加了 1.83 万 kg,平均单产增长了 1 倍,饲草贮量增长了 1 倍,全村农民人均收入增长了 246 元;牛心山二组 1998 年各业总收入比 1996 年增长 14.85 万元,增幅 23.9%,年递增 14.6%。在取得了显著经济效益的同时,还优化了生态结构系统,改善了生态环境,树立了样板,取得很大的生态、社会效益^[60~65]。

争取尽可能大的生态、经济、社会三大效益是建立生态生产范式的目的。而对生态生产范式效益的研究,其目的也就是对不同自然和社会经济条件下,不同结构的范式所取得的生态经济社会效益进行评价比较,从而可以有针对性地进行范式结构和管理方式优化,为建立最优结构范式和选择最优经营管理措施提供依据。在进行效益研究的时候,必须注意到范式的生态社会效益的滞后性、范式的区域性和动态性以及综合性^[62]。

4 我国北方农牧交错带优化生态-生产范式研究的主要问题和发展趋势

4.1 研究中存在的主要问题

在农牧交错带优化生态-生产范式的研究方面,虽然历年的研究给农牧交错带的环境治理和生产发展提供了大量的科学依据,但总体来看还存在一定的缺陷。

4.1.1 在经济发展与生态环境改善的问题上,以往的范式更为强调经济效益而把生态、社会效益放在第 2 位。这是在目前农牧交错带经济基础相对薄弱的前提下采取的方式,对当地的经济做出了一定的贡献,但也在一定程度上忽视了范式的生态和社会效益,从而也使得以生态学为中心的基础性研究相对较少,在范式的构建过程中不能将农牧交错带作为一个整体,全面系统地研究。范式的研究成果针对性强而很难上升到理论的层次,难以得出普遍性、理论性的研究成果。Odum^[35]提出,对景

观、土地深思熟虑的合理分区利用以及经济目标和生态环境目标间的折衷可能是解决经济和生态目标的冲突性及其所造成后果的两大基本途径。优化生态生产范式正是通过景观生态设计,优化北方农牧交错带的结构和配置,达到土地的可持续利用和高效利用,可以很好的协调范式的生态、经济和社会效益。

4.1.2 研究尺度单一 对于小流域尺度上的研究比较多,而在更大尺度上进行的研究相对较少,对于不同尺度之间转换关系的研究更是缺乏^[1]。我国的农牧交错带是横贯整个亚欧大陆沿纬度延伸的农牧交错带东段的一部分,由于青藏高原的阻挡而在我国西南转而南北走向,并且是整个交错带不可分割的组成部分。生态学的研究应该采取多尺度的观点,对我国农牧交错带的研究需要放到更高层系统、更大尺度上去全面认识其共性并进行整体的规划,并对各种尺度间的转换机制进行深入的探讨。

4.1.3 缺乏学科间的综合和集成 历年的研究多集中于地理、农学和环境 3 个方面,近年对生态学的研究比较多,但仍缺乏物理、化学、工程学、系统学、社会学、经济学等学科的介入^[1]。这也很大程度上限制了优化生态-生产范式的实用性和理论性。

4.1.4 范式取得的效益的评价体系不完善 对范式所取得的生态、经济和社会效益的评价多是直观的整体评价或是不同年份各因子的纵向比较,对不同范式之间的横向比较分析相对较少。

从 21 世纪以来,我国开始全面实施西部大开发战略,并将西部生态环境建设作为西部开发的根本和切入点,这是农牧交错地带进行生态环境建设的大好机遇。但由于本区脆弱的地质基础、多变的气候条件、独特的民族文化背景和生活方式的不利影响,构建适宜的优化生态-生产范式,进行生态和恢复与重建仍有漫长的道路要走。

4.2 优化生态-生产范式的研究趋势

目前,适宜的优化生态-生产范式对于农牧交错带的生态保护与治理和当地经济发展具有很大的作用已经得到确认,关键在于范式的完善、组套配套技术的发展、样板的树立和范式的推广应用进而发挥范式的生态、经济和社会效益。2001 年张新时院士组织的科学考察组对内蒙古、吉林两省的草原区与农牧交错带生态环境状况进行了深入细致的考察,提出了研究区生态-生产基地建设战略由“小面积搞生态,大面积搞生产”,调整为“大面积搞生态,小面积搞生产”的土地利用模式。这对于我国北方农牧交错带优化生态-生产范式的建设指出了一个发展方向^[49]。

4.2.1 在今后的优化生态-生产范式构建研究中要加强基础理论和应用技术两在领域的研究工作。在基础科学方面应着重研究主要农业生态系统类型对不同人为干扰响应的形式和实质,特别要把弱干预性植被恢复作为重点。还要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(侵蚀模数)阈值以及最大载畜量等,以适应中国的实际国情。此外,还应深入研究自然生态恢复需时间较长的原因以及加速恢复受损生态系统的依据^[61~63]。

在应用技术方面的研究主要应集中于:调整产业结构,增加经济作物和其它高值作物的比重,以提高投入产出比,增加农牧民收入,调动农村集体经济组织和农牧民投入的积极性;发展“绿色”产品的精细加工业,实行集约化、规模化、产业化的生产治理范式,推动区域经济增长;大力推广节水灌溉,探讨增加水源的新途径,提高有限水资源的利用率;依靠科技力量,加快农业科技成果转化,积极发展高科技产业,加快科技推广工作,增加科技储备,设立专项科研基金,解决环境治理中重大难题。

4.2.2 对现有的生产范式进行适时调整和优化是今后研究中的一个重点。在本底调查的基础上,对范式实施后的各种指标(包括各种生态环境、经济系数等)的变化动态监测,对所获得的数据进行纵向的比较分析,再针对范式所要达到的目标进行优化调整;对不同范式所产生的效益进行分析和比较,在多种范式中选择最优的范式进行辐射推广。

4.2.3 范式优化程度评价体系的建立。目前国内对各种范式取得的效益的研究多表现为定性的评价或者是各种因子的纵向比较,这在一定程度上可以反映出范式对于生态环境、社会经济所做出的贡献,但不能反映出这种范式的适宜程度,也不利于各种范式之间的优化程度的比较和最优范式的选择。因而,建立统一的评价体系,量化范式的适宜程度和优化程度是今后研究中的热点。

另外,优化生态-生产范式的建立并不仅仅是生态学的原理和方法就可以解决的问题,它还涉及到了生物学、土壤学、水文学、气象学、农学、林学、畜牧学、系统学、力学、工程与技术学、环境学、地学、经济学、社会伦理学等学科,甚至还涉及到了美学。因而在范式的设计与建立过程中应特别重视多种学科知识的融合,注重各学科先进的理论与技术的应用。多学科的融入将成为优化生态-生产范式研究的一大趋势^[1,30]。

References:

- [1] Wu G S. Research advance on the farming-grazing transitional zone in China. *Journal of Sichuan Normal University(Natural Science)*, 2003, 26(1):108~110.
- [2] Pan Z H, An P L, Zheng D W, et al. Eco-systematical structure change and its impacts on ecological degradation in the northern ecotone. *Journal of China Agriculture University*, 2002, 7(5):50~53.
- [3] Cheng X. Frontier issue of modern ecology in the study of ecotone between agriculture and animal husbandry. *Resources Science*, 1999, 21(5):1~8.
- [4] Sun H, Shi Y L, et al. *Natural resources and regional development of agriculture in China*. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1994.

- [5] Zhao S Q. The northern Chahaer, Chahaer and Xilingol leagues—eco-geographical investigation of an ecotone between agriculture and animal husbandry. *Acta Geographica Sinica*, 1953, **19**(1): 43~60.
- [6] Zhou L S, et al. *A primary study of agricultural regionalization in ecotone between agriculture and animal husbandry in Ganshu and Qinghai Province*. Beijing: Science Press, 1955.
- [7] Zhou T R, Zhang L S, et al. The evolution and predict of Holocene environment in ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China. Beijing: Geology Press, 1992.
- [8] Gao Y, Li Y B. Desertification and social economic in Yikezhao league in Inner Mongolia. *Journal of Desert Research*, 1988, **18**(1): 172~174.
- [9] Wang S C. Fastly development and causes of desertification in west Liao River basin of Inner Mongolia during the later 10 century. *Journal of Desert Research*, 2000, **20**(2): 238~242.
- [10] Zhang D F, Li F Q. Mechanism of formation of fragile eco-geo-environment of agro-pastoral zigzag zone in northern China. *Rural Eco-Environment*, 2000, **16**(4): 58~60.
- [11] Zhu Z D, Liu S. The methods of desert control in ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China. *Bulletin of Lanzhou Institute of Desert Research, Chinese Academy of Science*(No. 3), Beijing: Science Press, 1980. 1~18.
- [12] Peng K S, Shao M A. Sustainable development on restoring rebuilding the ecological environment in agricultural and pastoral crisscross area. *Journal of Luoyang Agricultural College*, 2001, **21**(4): 245~248.
- [13] Qi Y, Wang Y M, Wang J H. The landscape structure and heterogeneity of the west part of ecotone between agriculture and animal husbandry. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(11): 2006~2014.
- [14] Li Z J, Liu D W, Wei Q. The scientific and technological uphold of the ecosystem restoring in ecotone between agriculture and animal husbandry. *Inner Mongolia Science and Technology and Economic*, 2001, **4**: 2~5.
- [15] Xu X B, Feng Z, Jiao J, et al. Studies on development model of agriculture and animal husbandry mixed zone. *Heilongjiang Agriculture Science*, 1998, **4**: 17~20.
- [16] Chen C D, ed. *Sustainable development and ecology*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1993.
- [17] Liu G S, Wang Z Y, eds. *The collection of thesis about sustainable development of ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1999.
- [18] Zhao S Q. *Data of geographical investigation in ecotone between agriculture and animal husbandry in Sichuan and Yunnan Province*. Beijing: Science Press, 1959.
- [19] Wu Y J. The world of agriculture and of animal husbandry in the world history. *Yunnan Social Science*, 1983, **12**(1): 47~57.
- [20] Pan Y J. Geographical explain of the clash between agriculture and animal husbandry in Chinese history. *Journal of Qiqihar Teachers' College*(Social Science), 1994, **15**(1): 84~86.
- [21] Tong E Z. The distinguishing of development trace between the northern China and the south China. *Chinese Social Science*, 1994, **23**(5): 609~615.
- [22] Guo S B. *Agricultural geography in the history of Sichuan Province*. Chengdu: Sichuan People's Publishing House, 1993.
- [23] Waldron A. *The Great Wall of China: From History to Myth*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 37~50.
- [24] Zhao H L, Zhao X Y, Zhang P H, et al. Boundary line on agro-pasture zigzag zone in north China and it's problems on eco-environment. *Advance in Earth Sciences*, 2002, **17**(5): 739~747.
- [25] Wang J A, Xu X, Liu P F. Landuse and land carrying capacity in ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China. *Resources Science*, 1999, **21**(5): 19~24.
- [26] Li S K, Wang S L. A study on the climate boundary of agriculture and animal husbandry in the semi-arid region in northern China. In: *The natural resource association of China, et al. eds. Studies on the natural resource in arid and semi-arid region in China*. Beijing: Science Press, 1988. 108~123.
- [27] Li B, et al. Steppe and savanna. In: Wu Z Y. *The Chinese terrestrial ecosystems*. Beijing: Science Press, 1980.
- [28] Ren J Z, Wan C G. System coupling and desert-oasis agro-ecosystem. *Acta Prataculture Sinica*, 1994. 9.
- [29] Cheng X. Unique ecosystem characters and ecological principles for development in the ecotones between agriculture and pasture in northern China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, **13**(11): 1503~1506.
- [30] National Research Council(USA). *Grassland and Grassland Sciences in Northern China*. National Academy press, 1992. 183~197.
- [31] Zhang X S. Eco-economic Functions of the grassland and its patterns. *Science Technical Review*, 2000, **146**(8): 3~7.
- [32] Zhang X S. Ecological restoration and sustainable agricultural paradigm of Mountain-Oasis-Ecotone-Desert system in the north of the Tianshan Mountains. *Acta Botanica Sinica*, 2001, **43**(12): 1294~1299.
- [33] Tang H P, Zhang X S. Establishment of optimized eco-productive paradigm in the farming-pastoral zone of northern China. *Acta Botanica sinica*, 2003, **45**(10): 1166~1173.
- [34] Shi X J. Ten eco-agricultural models recommended by the institute of agriculture. *Journal of countryside*, 2002~12~Second: 6.
- [35] Odum E P. *Basic Ecology*. New York: Saunders College Publishing, 1983. 487~498.
- [36] Jie Z Y, Li Y, Wan G K, et al. Theory analysis on soil erosion of level terrace. *Soil and Water Consevation in China*, 1986, (3): 29~30.
- [37] Dong M. Clonal growth in plants in relation to resource heterogeity; Foraging behavior. *Acta Botanica Sinica*, 1996, **38**(10): 828~835.
- [38] Zhao Y, Shi P J. Research on the land productivity in Ordos Plateau, Inner Mongolia. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1989, **3**(3): 64~70.
- [39] Zhang X S. Principles and optimal models for development of Maowusu Sandy grassland. *Acta Phytocologica Sinica*, 1994, **18**(1): 1~16.
- [40] Kong Z H, Zhang X S, Zhu G J. Eco-economic background of hilly-gullied loess region and optimized eco-productive paradigm of small watersheds. *Acta Botanica sinica*, 2003, **45**(10): 1174~1185.
- [41] Gao Q, Dong X J, Liang N. A study on the optimal vegetation coverage for sandy grassland in northern China based on soil water budget. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, **16**(1): 33~39.
- [42] Wang F, Liang R J, Yang X L, et al. A study of ecological water requirements in northwest China I. theoretical analysis. *Journal of Natural Resources*, 2002, **17**(1): 1~8.
- [43] Milne B T. Heterogeneity as a Multiscale Characteristic of Landscapes. In: Kolasa J. and Picket S. T. eds. *Ecological Heterogeneity*.

- New York: Springer, 1991. 69~84.
- [44] Liu M Z. Ameliorating the eco-environment and developing the high-quantity and high-efficiency agriculture and animal husbandry. In: Liu Gong-she, Wang Zhi-yuang, eds. *The collection of thesis about sustainable development of ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1999. 1~3.
- [45] Li W H, Lai S D, eds. *Agroforestry in China*. Beijing: Science Press, 1994.
- [46] Kang M Y, Dong S K, Huang X X, et al. Ecological regionalization of suitable trees, shrubs and herbage for vegetation restoration in the farming-pastoral zone of northern China. *Acta Botanica Sinica*, 2003, **45**(10): 1157~1165.
- [47] Lu R J. Studies on the rebuilding models and ecological restoring in arid region in middle NingXia Province. *Social Sciences in Ningxia*, 2003, **3**: 55~56.
- [48] Liu F Y, Wu Y H. On the model of economy development in the agro-pastoral ecotone in the northern China——research on preventing & controlling ring desertification and developing the economy of farming and pastoral areas in Duolun county. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry(Social Science Edition)*, 2003, **3**(2): 132~137.
- [49] Li D Q. Diagnoses of grassland and the farming-pastoral zone. *Science and Technology Daily*, 2002-03-19.
- [50] Wu P T, Feng H, Niu W Q, et al. Present situation and main research points of water-saving agricultural technique development in northern China. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2003, **22**(1): 26~31.
- [51] Li Q F, Li F S. Acclimatization and sustainable development of animal husbandry in steppe. In: Liu Gong-she, Wang Zhi-yuang, eds. *The collection of thesis about sustainable development of ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1999. 105~108.
- [52] Liu G S, Wang Z Y, Zhang T H, et al. Research review on technologies of sustainable development of agriculture and animal husbandry in Dolun country. In: Liu Gong-she, Wang Zhi-yuang, eds. *The collection of thesis about sustainable development of ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1999. 21~24.
- [53] Wu L C, Hu Y L. Advances in research on theories and methods of forest calculated fertilization. *Journal of Central South Forestry University*, 1998, **18**(2): 56~61.
- [54] The institute of agriculture, The national science committee, et al. *Formulate Fertilization*. Beijing: Agricultural Press, 1991. 20~22, 42~80.
- [55] Zhou M Z. *The measure of soil fertility and fertilizer*. Beijing: Agricultural Press, 1988. 399~428.
- [56] Lu Y L. Benefits analysis on the stereoscopic management model of forest-agricultural complex ecosystem in the northern loess plateau of Wei River. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2002, **11**(3): 112~115.
- [57] Wu Q X, Yang W Z. *Sustainable development and vegetation building in loess plateau*. Beijing: Science Press, 1998. 19~199.
- [58] Zhu T Y, Kong F Z, et al. A primary study on the effects of protective forest in. Wlun Aodu. *Studies on integrated management of drought and blown sand in east Inner Mongolia(the second volume)*. Beijing: Science Press, 1990.
- [59] Qi L. Discussion on the development strategy of household pastures in the Maowusu Sands. In: *Collected papers of the Maowusu Sands exploitation and control research center*. Huerhaote: Inner Mongolia University Press, 1992. 185~188.
- [60] Zhao C L, Zhan L. Studies on the management pattern in the study region about the sustainable development of agriculture and animal husbandry in Dolun country. In: Liu Gong-she, Wang Zhi-yuang, eds. *The collection of thesis about sustainable development of ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1999. 64~70.
- [61] Zhao S D, Luo T X. Approaches to the regional scale bio-productivity of terrestrial ecosystems. *Resources Science*, 1998, **20**(1): 23~34.
- [62] Lin Z P. Analyzing on the effect of land use change on eco-environment in the ecotone between agriculture and animal husbandry in northeast China—a case study of Zhenlai county. *Songliao Journal(Natural Science Edition)*, 2001, **1**: 1~5.
- [63] Zhao G J, Liu Y H, et al. *Studies on the comprehensive harness and the restoration technologies of eco-environment(the second volume)*. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1995.
- [64] Bai Y F, Bao Y T G T, Wang Q B, et al. A primarily study on the exemplary experiment area of sustainable development in ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China. In: Liu Gong-she, Wang Zhi-yuang, eds. *The collection of thesis about sustainable development of ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1999. 116~120.
- [65] Zhao R Y, Li Y H, Gao Y, et al. An experimental study on high-product and high-efficient agriculture and animal husbandry in second group of Nuixing Mountain in Dolun country. In: Liu Gong-she, Wang Zhi-yuang, eds. *The collection of thesis about sustainable development of ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1999. 60~63.
- [66] Peng K S. Analyzing on the difficulties of eco-environment building and the special station of the ecotone between agriculture and animal husbandry in northeast China. *Scientific Management Research*, 2002, **20**(6): 31~34.

参考文献:

- [1] 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): 108~110.
- [2] 潘志华, 安萍莉, 郑大玮, 等. 农牧交错带生态系统结构变化及其对系统退化的影响. 中国农业大学学报, 2002, **7**(5): 50~53.
- [3] 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): 1~8.
- [4] 孙颌, 石玉林, 等. 中国农业自然资源与区域发展. 南京: 江苏科技出版社, 1994.
- [5] 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.
- [6] 周立三, 等. 甘青农牧交错地区农业区划初步研究. 北京: 科学出版社, 1955.
- [7] 周廷儒, 张兰生, 等. 中国北方农牧交错带全新世环境演变及预测. 北京: 地质出版社, 1992.
- [8] 高永, 李玉保. 内蒙古伊克昭盟沙漠化与社会经济. 中国沙漠, 1988, **18**(1): 172~174.
- [9] 王守春. 10世纪末西辽河流域沙漠化的突进及其原因. 中国沙漠, 2000, **20**(2): 238~242.
- [10] 张殿发, 李凤全. 我国北方农牧交错带脆弱地质生态环境形成机制探讨. 农村生态环境, 2000, **16**(4): 58~60.
- [11] 朱震达, 刘恕. 中国北部农牧交错区沙漠化治理的途径. 中国科学院兰州沙漠研究所集刊第3号, 北京: 科学出版社, 1980, 1~18.
- [12] 彭珂珊, 邵明安. 农牧交错区生态环境恢复与重建的可持续发展思路. 洛阳农业高等专科学校学报, 2001, **21**(4): 245~248.

- [13] 祁元,王一谋,王建华. 农牧交错带西段景观结构和空间异质性分析. 生态学报,2002,22(11):2006~2014.
- [14] 李增建,刘东维,文奇. 农牧交错带生态系统恢复的科技支撑. 内蒙古科技与经济,2001,4:2~5.
- [15] 许显滨,冯振,矫江,等. 农牧交错带农业可持续发展范式的研究. 黑龙江农业科学,1998,4:17~20.
- [16] 李博. 持续草地畜牧业的发展. 见:陈昌笃主编. 持续发展与生态学. 北京:中国科技出版社,1993.
- [17] 刘公社,等. 北方农牧交错带可持继发展研究论文集. 北京:中国科学技术出版社,1999.
- [18] 赵松乔. 川滇农牧交错带地区农牧业地理调查资料. 北京:科学出版社,1959.
- [19] 吴于廑. 世界历史上的游牧世界与农耕世界. 云南社会科学,1983,12(1):47~57.
- [20] 潘玉君. 中国历史上农牧冲突的地理解释. 齐齐哈尔师范学院学报(哲社版),1994,15(1):84~86.
- [21] 童恩正. 中国北方与南方古代文明发展轨迹之异同. 中国社会科学,1994,23(5):609~615.
- [22] 郭声波. 四川历史农业地理. 成都:四川人民出版社,1993.
- [24] 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):739~747.
- [25] 王静爱,徐霞,刘培芳. 中国北方农牧交错带土地利用与人口负荷研究. 资源科学,1999,21(5):19~24.
- [26] 李世奎,王石立. 中国北部干旱地区农牧气候界线探讨. 见:中国自然资源协会等编. 中国干旱半干旱地区自然资源研究. 北京:科学出版社,1988. 108~123.
- [27] 李博等. 草原与稀树草原. 见:吴征镒主编. 中国植被. 北京:科学出版社,1980.
- [28] 任继周,万长贵. 系统耦合与荒漠-绿洲草地农业系统. 草业学报,1994,9.
- [29] 程序. 中国北方农牧交错带生态系统的独特性及其治理开发的生态学原则. 应用生态学报,2002,13(11):1503~1506.
- [31] 张新时. 草地的生态经济功能及其范式. 科技导报,2000,146(8):3~7.
- [32] 张新时. 天山北部山地-绿洲-过渡带-荒漠系统的生态建设与可持续农业范式. 植物学报,2001,43(12):1294~1299.
- [33] 唐海萍,张新时. 中国北方农牧交错带优化生态-生产范式体系构建. 植物学报,2003,45(10):1166~1173.
- [34] 师晓京. 农业部推出十大生态农业模式. 农村百事通,2002~12~乙:6.
- [36] 揭曾佑,李艳,王规凯,等. 水平梯田土壤侵蚀作用的理论分析. 中国水土保持,1986,(3):29~30.
- [37] 董鸣. 资源异质性环境中的植物克隆生长:觅食行为. 植物学报,1996,38(10):828~835.
- [38] 赵焯,史培军. 内蒙古鄂尔多斯高原土地生产力的研究. 干旱区资源与环境,1989,3(3):64~70.
- [39] 张新时. 毛乌素沙地的生态背景及其草地建设原则与优化范式. 植物生态学报,1994,18(1):1~16.
- [40] 孔正红,张新时,朱桂杰. 黄土丘陵沟壑区生态-经济背景以及小流域优化生态-生产范式. 植物学报,2003,45(10):1174~1185.
- [41] 高琼,董学军,梁宁. 基于土壤水分平衡的沙地草地最优植被覆盖率的研究. 生态学报,1996,16(1):33~39.
- [42] 王芳,梁瑞驹,杨小柳,等. 中国西北地区生态需水研究 I. 干旱半干旱地区生态需水理论分析. 自然资源学报,2002,17(1):1~8.
- [44] 刘明祖. 改善生态环境,发展高质高效农牧业. 见:刘公社,王志远主编. 北方农牧交错带可持续发展研究论文集. 北京:中国科学技术出版社,1999. 1~3.
- [45] 李文华,赖世登主编. 中国农林复合经营. 北京:科学出版社,1994.
- [46] 康慕谊,董世魁,黄晓霞,等. 北方农牧交错带植被重建中适宜乔、灌、草种的生态区划. 植物学报,2003,45(10):1157~1165.
- [47] 吕汝健. 宁夏中部干旱带生态恢复与重建范式研究. 宁夏社会科学,2003,3:55~56.
- [48] 刘富铀,吴育华. 中国北方农牧交错带经济发展范式探讨——多伦县防治沙漠化和发展农牧区经济调查. 西北农林大学学报(社会科学版),2003,3(2):132~137.
- [49] 李大庆. 脉草地与农牧交错带. 科技日报,2002年3月19日.
- [50] 吴普特,冯浩,牛文全,等. 我国北方地区节水农业技术水平及评价. 灌溉排水学报,2003,22(1):26~31.
- [51] 李青丰,李福生. 引种入牧与草地畜牧业的可持续发展. 见:刘公社,王志远主编. 北方农牧交错带可持续发展研究论文集. 北京:中国科学技术出版社,1999. 105~108.
- [52] 刘公社,王志远,张铁汉,等. 多伦县农牧业持续发展技术研究进展. 见:刘公社,王志远主编. 北方农牧交错带可持续发展研究论文集. 北京:中国科学技术出版社,1999. 21~24.
- [53] 吴立潮,胡曰利. 林木计量施肥研究动态. 中南林学院学报,1998,18(2):56~61.
- [54] 农业部、国家科委等. 配方施肥. 北京:农业出版社,1991. 20~22,42~80.
- [55] 周鸣铮. 土壤肥力测定与测土施肥. 北京:农业出版社,1988. 399~428.
- [56] 吕月玲. 渭北黄土高原农林复合生态系统立体经营范式效益分析. 西北农业学报,2002,11(3):112~115.
- [57] 吴钦孝,杨文治. 黄土高原植被建设与持续发展. 北京:科学出版社,1998. 19~199.
- [58] 朱廷耀,孔繁智,等. 乌兰敖都防护林防护效应的初步研究. 内蒙古东部地区风沙干旱综合治理研究,第2集. 北京:科学出版社,1990.
- [59] 其劳. 毛乌素沙地家庭牧场发展战略探讨. 见:毛乌素沙地开发整治研究中心研究文集. 呼和浩特:内蒙古大学出版社,1992. 185~188.
- [60] 赵春兰,张利. 多伦县农牧业可持续发展综合试验示范项目区管理范式探讨. 见:刘公社,王志远主编. 北方农牧交错带可持续发展研究论文集. 北京:中国科学技术出版社,1999. 64~70.
- [61] 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):23~34.
- [62] 林彰平. 东北农牧交错带土地利用变化的生态环境效应分析-以镇赉县为例. 松辽学报(自然科学版),2001,1:1~5.
- [63] 赵桂九,刘燕华,等. 生态环境综合治理和恢复技术研究(第2集). 北京:北京科学技术出版社,1995.
- [64] 白永飞,宝音陶格涛,王其兵,等. 北方农牧交错带农牧业可持续发展试验示范区初步研究. 见:刘公社,王志远主编. 北方农牧交错带可持续发展研究论文集. 北京:中国科学技术出版社,1999. 116~120.
- [65] 赵若莹,李艳华,高玉,等. 多伦县牛心山二组高产高效农牧林试验示范研究与探讨. 见:刘公社,王志远主编. 北方农牧交错带可持续发展研究论文集. 北京:中国科学技术出版社,1999. 60~63.
- [66] 彭珂珊. 浅析农牧交错区特殊地位与生态环境建设难点. 科学管理研究,2002,20(6):31~34.