



毛乌素沙地 农业生态系统耦合研究

The Study on Agroecosystem Coupling
in Mu Us Sandland

胡兵辉 廖允成 著



科学出版社
www.sciencep.com

毛乌素沙地农业生态 系统耦合研究

The Study on Agroecosystem Coupling in
Mu Us Sandland

胡兵辉 廖允成 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要针对毛乌素沙地耦合农业生态系统产业布局特点,重点选择毛乌素沙地偏农区的榆阳区与偏牧区的乌审旗作为比较研究对象,在近50年的时间尺度上,在区域、县域和户域研究的空间尺度上,运用区域调研与试验验证相结合、定性分析与定量研究相结合、动态评价与静态分析相结合及归纳与演绎相结合的研究方法,对毛乌素沙地农业生态系统的耦合原理与机制、耦合环境、耦合效应及耦合系统的协调发展状况等进行了深入研究,最后提出了耦合农业生态系统的优化模式体系及其稳健发展的长效机制。其目的是,从全面落实科学发展观的角度,依据可持续发展的思路,借助科学技术进步,持续增进资源生产潜力,以谋求沙漠化地区农牧业与社会经济良性发展的科学路径和策略。

本书参考了大量关于沙漠化地区的论著及农牧业生产和社会经济发展的数据,集科学性和政策性于一体,可为进行防沙治沙的有关科研单位和高等院校的专业技术人员、教师、学生提供科学参考,也可对沙区农牧业决策部门、农业技术推广部门和产业开发部门的领导与业务管理人员提供决策依据。

图书在版编目(CIP)数据

毛乌素沙地农业生态系统耦合研究=The Study on Agroecosystem Coupling in Mu Us Sandland/胡兵辉,廖允成著. —北京:科学出版社,2010
ISBN 978-7-03-029245-2

I. ①毛… II. ①胡…②廖… III. ①毛乌素沙地-农业-生态系统-耦合-研究-中国 IV. ①P942②S181

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 201442 号

责任编辑:李秀伟 刘 晶 李 锋/责任校对:何艳萍

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年10月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2010年10月第一次印刷 印张:14 3/4

印数:1—1 000 字数:295 000

定价:58.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

本书由教育部高等学校科技创新工程重大项目培育
资金项目“毛乌素沙地农业生态系统的调控机理与优化
模式”（项目编号：706054）资助出版，特此感谢！

作者简介

廖允成，男，教授，博士生导师，1969 年生于安徽省六安县。现任西北农林科技大学农学院院长，《西北农业学报》主编，兼任国家自然科学基金委员会第十三届生命科学部专家评审组成员、中国农学会耕作制度分会副理事长、中国作物学会常务理事、中国农学会高新技术农业应用专业委员会常务理事、中国农学会立体农业分会常务理事。长期致力于旱作农田降水资源高效利用、旱区种植制度及保护性耕作的研究与实践，先后承担国家自然科学基金委员会及科技部、教育部、农业部重大课题 10 余项。获国家及省部级科学技术进步奖 5 项，发表论文 50 余篇，主编科学著作 2 部。2007 年入选教育部“新世纪优秀人才支持计划”。

胡兵辉，男，理学博士，1979 年生于陕西省乾县。2003 年 6 月毕业于西北农林科技大学农学院农学专业，并获农学学士学位；2006 年 6 月毕业于西北农林科技大学农学院作物栽培学与耕作学专业，研究方向为农业资源与高效农作制度，并获农学硕士学位；2009 年 6 月毕业于西北农林科技大学资源环境学院生态学专业，研究方向为农业生态，并获理学博士学位。现在西南林业大学环境科学与工程系从事生态系统调控和农业资源优化配置方面的教学、科研工作。曾参与“863”计划节水农业重大专项、国家自然科学基金项目、教育部高等学校科技创新工程重大项目培育资金项目等重大科研项目 6 项，在《自然资源学报》、《生态学报》、《干旱地区农业研究》等学术刊物上发表研究论文 10 余篇，参与撰写《中国旱区农业》著作 1 部。

序

在当今世界人类面临的诸多问题中，土地荒漠化已成为最为紧迫的环境与社会经济问题之一。联合国公布的数字显示，不当的人类活动及气候变化，导致占全球土地面积 41% 的受荒漠化威胁地区土地不断退化，荒漠化面积仍在扩大。在我国，荒漠化主要包括沙质荒漠化、水蚀引起的水土流失、土壤盐渍化和冻融荒漠化 4 种类型，而其中面积最大的是沙质荒漠化，即通称的沙漠化。中国沙漠化土地面积大，分布范围广，是世界上受沙漠化严重影响的国家之一。

党中央、国务院历来高度重视防沙治沙工作及沙区经济社会发展。胡锦涛总书记曾指出，植树造林、防风固沙是“功在当代、利在千秋”的大事，一定要科学规划，加大投入，全民动员，年复一年地抓下去，为子孙后代多留一片绿荫。新中国成立以来，我国先后启动实施了“三北”防护林体系建设工程、全国防沙治沙工程、京津风沙源治理工程、退耕还林工程、退牧还草工程等一批重点生态建设工程，并相继出台了《全国生态环境建设规划》、《中华人民共和国防沙治沙法》、《全国防沙治沙规划》、《关于进一步加强防沙治沙工作的决定》等一系列政策法规，尤其是 2007 年 3 月 26 日全国防沙治沙法大会在北京召开，进一步明确了新时期防沙治沙的指导思想、奋斗目标、战略重点和政策措施，为调动社会各方面力量及推进防沙治沙又好又快发展提供了良好的制度保障。近年来，全国各类工程年均治理沙化土地 190 多万 hm^2 ，已有 20% 的沙化土地得到不同程度的治理，但至今我国仍有荒漠化土地 263.6 万 km^2 。而且，不利的气候因素，特别是干旱对加速荒漠化和土地沙化的影响不可低估。防沙治沙形势依然十分严峻。

毛乌素沙地是我国四大沙地之一，涉及内蒙古、陕西、宁夏三省（自治区）的 13 个县（市、旗、区），位于鄂尔多斯高原向陕北高原过渡地带，沙地面积约 4 万 km^2 。它是我国重要的农牧业结合地区，也是防止北方沙漠东侵南进的有力生态屏障。截至目前，毛乌素沙地治理已取得初步成效，一些措施得以顺利推行。但还应当看到，由于毛乌素沙地处于风蚀水蚀交错、生态环境极为脆弱的典型半干旱地区，加之人口压力不断增加，以及治理过程中生态效益与经济效益结合不够等原因，该区域虽然呈整体逆转趋势，但局部恶化的现实依然存在。在诸如如何通过发展人工草地实现农牧业紧密结合、如何通过有限水资源高效利用实现生态效益与经济效益协调增长等关键问题上，还有许多工作需要系统深入展开。可以说，该地区沙漠化治理工作依然艰巨，任重而道远。

在这一背景下，很高兴得知胡兵辉博士、廖允成教授撰写的《毛乌素沙地农

业生态系统耦合研究》一书即将出版，说明年轻一代科技人员已经融入到我国防沙治沙的艰巨事业当中，这使老一辈同行倍感欣慰。同时，这部著作以作者的科学试验和调查研究工作为基础，综合了近年来国内外发表、出版的论著，运用系统研究方法和有关学科知识加以总结，实为一部内容充实、有一定特色的研究性著作。该著作有针对性地从构建系统优化模式体系及其持续发展的支撑体系等方面提出了耦合农业生态系统稳健发展的长效机制，尤其在毛乌素沙地农业生态系统耦合、资源定量等方面提出了一些新的认识和独到的见解，对指导沙地农牧业的可持续发展具有重要的学术价值和实际应用价值，对于其他沙漠化地区的研究也有一定的指导意义。

总之，这是一部针对性强、理论上有一定深度、实践应用广泛、政策驱动明显的专著。我相信，该书的出版将有助于促进学术界对防沙治沙科技问题作进一步深入思考，并将在推动毛乌素沙地及全国防沙治沙工作的有效实施和科学管理方面发挥应有作用。

中国工程院院士

山仑

2010年7月

前 言

毛乌素沙地是我国十二大沙漠和沙地之一，分布于内蒙古鄂尔多斯、陕北榆林和宁夏东北部，具有固定、半固定沙丘向黄土丘陵过渡的地貌特征，兼具风蚀和水土流失的特点，该区主要的气象灾害有干旱、霜冻、冰雹、大风和暴雨。区内地表水和地下水较为丰富，正常条件下，沙地植物（作物）生长良好，沙地的中部、东南部有不少湖盆滩地和河谷阶地，是沙地重要的农牧业基地。其农业水资源虽较相邻的库布齐、腾格里沙漠为好，却不及浑善达克和科尔沁沙地，但因沙地纬度偏南，热量条件明显优于上述地区，且水热资源匹配较好，具有一定的农牧业发展条件。

毛乌素沙地原本水草丰美，气候宜人，一代天骄成吉思汗曾多次往返于这里，并亲自认定为他久居之地，最后长眠于此。由于秦、汉、唐、清等各朝代大面积垦荒，使毛乌素沙地及其周边本属农牧交错带的大面积宜牧地区变为农田。新中国成立后，该地区又先后经历三次开荒围地，且随着人口的迅速膨胀，滥垦、滥采、滥伐、超载过牧日盛，加之气候和人为因素互相作用，生态环境日益恶化，最终使鄂尔多斯高原形成了毛乌素沙地和库布齐沙漠，到 20 世纪 70 年代中期达到了顶点，出现了两大沙漠的“握手”地带，加上腾格里沙漠东阔南进，大有形成三大沙区连为一体的恶性局面。严峻的生态环境现状，掀起了当地人们保护生态、维护家园的运动。清朝、民国期间的反放垦运动，先后坚持斗争了 80 多年。20 世纪 50 年代，当地政府就明文规定“禁止开荒”，鼓励广大干部群众植树造林，并陆续建立国营林场、治沙站，出现了地方性治沙造林种草先进集体。当时的伊克昭盟（现鄂尔多斯市）就提出“种树、种草、基本田”，将有条件耕种的土地作为基本农田，其他广种薄收的土地都退出来种树、种草，恢复植被，同时制定了第一个攻水治沙规划，明确了“以牧为主”的方针，把“禁止开荒”提上了政府的议事日程。党的十一届三中全会后开始大规模治理毛乌素沙地，全面实施农村土地家庭联产承包责任制，将大面积的沙化土地退耕还林还草，并且严禁开荒，实行畜草双承包，把草场包括沙化草场划分到牧户，生产由不合理的社会经济活动（滥垦、滥采、滥伐、超载过牧）转变为“水、草、林、料、机”五配套的小草库伦建设，积极实施“三种五小”（种树、种草、种柠条、小水利、小草库伦、小流域治理、小经济林、小农机具）来规范生产，禁止滥垦、滥采、滥伐，实行薪炭配送和薪炭林补贴政策，地方政府严格贯彻“谁造、谁管、谁有、可以继承”的国家政策，而国家陆续实施的“三北”防护林、水土

流失治理、退耕还林还草等重大工程,极大地加快了治理步伐,并且逐年增加投资。进入 21 世纪,党中央、国务院把生态建设作为西部大开发的战略重点之一,采取包括加大投资在内的一系列重大措施,为毛乌素沙地的防沙治沙、生态建设事业提供了前所未有的历史机遇。草牧场全面实行“禁、休、轮、限”(封闭禁牧、定期休牧、划区轮牧、以草定畜限牧),牲畜实行舍饲、半舍饲。此外,部分企业进入治沙业,充分利用沙漠资源开发新产业,如沙柳、甘草、沙棘等沙产业和饲草料加工等草产业,有力地推动了防沙、治沙、管沙、用沙的防治沙漠化工作的落实和生态建设的发展,也极大地调动了广大农牧民植树、种草的积极性,深刻地论证了钱学森沙产业理论的科学性和适用性。从此,毛乌素沙地单纯的防沙治沙发展到了沙产业、草产业、林产业的新阶段,形成生态产业化、产业生态化格局,成为沙区群众脱贫致富、开拓新的生存发展空间的重要途径。

实践证明,在毛乌素沙地发挥各方面积极性的同时,走综合治理的道路才符合自然规律。改革防沙治沙投资管理体制是进行综合防治、提高投资效益和防沙治沙效率、落实科学发展观的关键,而发展沙草产业是核心技术措施,必须坚持“多采光、少用水、新技术、高效益”的沙草产业技术路线,积极采取减少人口、生态移民、围封转移、发展沙草产业、变革生产经营方式,以及完善法律、法规、政策、制度、管理等综合措施;从“防、治、用、管”沙出发,因地制宜,明确防沙治沙不能没有林,但不能全靠林,这样经济效益、生态效益、社会效益才能同步实现;加强统一规划、统筹协调、集中力量、整合资源、兴利除害,这样才能充分调动沙区群众及社会各方面参与防沙治沙的积极性。同时,在政府投资上,改无偿投资为无偿与有偿相结合,用政府投资引导社会投入,形成政府治理与产业拉动、社会群众参与相结合,项目管理与分地区综合治理相结合的投融资机制。应该看到,在“先易后难、先急后缓”治理原则的指导下,毛乌素沙地一些条件相对较好、治理相对容易的沙化土地已经或初步得到治理。随着防沙治沙工作的推进,需要治理的沙化土地的立地条件越来越差,难度越来越大,单位面积所需投资越来越高。此外,导致沙化扩展的人为因素依然存在,在经济利益驱动下,破坏沙区植被的现象还不能得到完全制止,滥樵采、滥开垦、滥放牧、滥采挖、滥用水等问题仍没有得到根本解决。再加上一些地方对防沙治沙工作认识不到位,措施不力,执法不严,边治理边破坏的现象依然存在。不利的气候背景,特别是干旱对加速土地沙化的影响亦不可低估。故应充分认识到毛乌素沙地防沙治沙任务的紧迫性、艰巨性、长期性和复杂性。

毛乌素沙地农业生态系统主要是由农田、草地、林地组成的复合生态系统。长期以来,由于自然和人为因素影响,农业生态系统问题普遍存在,原有农林牧之间的资源互补优势潜力不仅未能发挥出应有的效应,而且系统长期处于低而不稳的状态。在沙地东南部主要以雨养旱作和灌溉农业为主,农业生态系统问题主

要有：土地承载力低下，人口严重超载，粮食短缺压力日益增大，粮食生产在种植业中比重较大；特色产业开发力度不够，精深加工措施跟不上，规模效益低下；有些地方退耕还林还草政策不到位，毁林毁草开垦种粮现象时有发生；耕地利用率低，农田水利设施落后，农业水资源浪费严重；农作物种类单一，品种更新换代迟缓，种植技术落后；用地与养地没有很好结合，局部土地沙化现象没有得到有效的遏制等。畜牧业是沙地中北部的主导产业，农业生态系统问题主要有：局部采用粗放式经营方式，破坏草场，草地退化；大多牲畜品种老化，疾病防控能力弱；草畜矛盾突出，生态环境恶化，草地承载力下降，草场数量减少；人口过快增长，人均收入低；自然灾害频繁，生产性基础设施条件简陋，防灾减灾能力低下等。可见，毛乌素沙地农业生态系统的科学研究具有鲜明的现实意义和理论意义，这也正是我们撰写本书的目的所在。

本书是在胡兵辉博士学位论文《毛乌素沙地农业生态系统耦合及其时序测度》的基础上，经过进一步补充、完善形成的。其主要针对毛乌素沙地农业生态系统问题，根据系统区域产业布局特点，重点选择偏农区的榆阳区与偏牧区的乌审旗作为比较研究对象，在近 50 年的时间尺度上，在区域、县域和户域研究的尺度上，运用区域调研与试验验证相结合、定性分析与定量研究相结合、动态评价与静态分析相结合及归纳与演绎相结合的研究方法，对毛乌素沙地农业生态系统的耦合原理与机制、耦合环境、耦合效应及耦合系统的协调发展状况等进行了深入研究，最后提出了耦合农业生态系统的优化模式体系及其稳健发展的长效机制。总体上，本书划分为 10 章：第 1 章是引言；第 2 章主要针对毛乌素沙地农业生态系统的生态环境特征，分析了农业生态系统耦合的形成机制，提出了其理想耦合格局；第 3~5 章，主要从耦合系统的外部环境（系统的气候特征及其功能定量研究、系统的土地沙漠化状况及其因子定量研究）与内部环境（系统内部的宏观农业产业结构特征和微域农田水分结构特征）两个方面进行定量分析与评价，这为探求耦合系统的耦合效应（生态、经济和社会效应）提供了良好的研究环境和基础；第 6~8 章，首先研究耦合系统的生态效应，即探查重大生态工程（退耕还林还草工程）的人为干扰对农业生态系统服务功能的影响，再研究耦合系统的动态经济效应，即耦合系统的生产力演变及其系统耦合状况，然后从县域典型农、牧户单元生态经济系统的研究层面对耦合系统的静态生态经济效应进行了全面、具体的评价；第 9 章主要研究了耦合系统 SEREn（社会、经济、资源、环境子系统）的协调发展状况，即各个子系统相互耦合的综合效应，这就是耦合系统社会效应的反映，也是耦合系统总体协调发展状况的评价；第 10 章在紧密联系农业生态系统耦合机理、特征、效应和协调发展状况的基础上，有针对性地构建耦合农业生态系统优化模式体系及其支撑体系等方面提出了系统稳健发展的长效机制。

本书出版得到了教育部高等学校科技创新工程重大项目培育资金项目“毛乌素沙地农业生态系统的调控机理与优化模式”（项目编号：706054）的资助。如果说我们这几年的研究实践对毛乌素沙地农牧业发展起到一定推动作用的话，那么首先要感谢各级科研管理部门，正是他们敏锐、及时的科研立项，才使我们的研究思路得以在实践中检验、实施。中国工程院院士、著名旱地农业与作物抗旱生理学家山仑研究员在百忙中为本书作序，著名旱农学家、西北农林科技大学教授王立祥对本书内容提出了建设性意见，著名水土保持与荒漠化防治专家、西南林业大学教授王克勤对本书出版提出了宝贵建议。在书稿付梓出版之际，谨向长期支持、关心我们工作及本书出版的西北农林科技大学、西南林业大学、榆林学院等教学科研单位，以及教育部、鄂尔多斯市乌审旗、榆林市榆阳区等行政管理部门的专家、师长、领导和同事等致以诚挚的谢意。

诚然，由于毛乌素沙地特殊的生态地理地位，这里历来就是学术界研究和讨论的热点区域。进行毛乌素沙地农业生态系统耦合的研究还属于首次，非常富有挑战性，加上作者水平有限，研究资料时空跨度大，缺陷和纰漏之处在所难免，敬请广大读者及同仁批评指正。我们愿与学术界仁人志士协同努力，深入学习实践科学发展观，不断充实和完善毛乌素沙地农业生态系统耦合研究的科学理论和技术体系，为毛乌素沙地及其相似逆境农业生态系统农牧业的可持续发展贡献力量。

廖允成

2010年4月

目 录

序

前言

第 1 章 引言	1
1.1 有关概念的进一步澄清	1
1.1.1 土地荒漠化与沙漠化有关概念的剖析	1
1.1.2 土地沙漠化的分布特点	3
1.1.3 沙漠与沙地的分布特点及其属性异同	5
1.1.4 “毛乌素沙地”学术称呼的统一化问题	8
1.2 生态系统耦合的研究概况	9
1.2.1 生态系统耦合理论的研究	9
1.2.2 生态系统耦合的研究方法	11
1.2.3 生态系统耦合模式与效益的研究	13
1.2.4 生态系统耦合研究的发展趋势	14
1.3 毛乌素沙地农业生态系统的研究历程	15
1.3.1 基础积累研究阶段	16
1.3.2 整治开发研究阶段	17
1.4 毛乌素沙地农业生态系统研究存在的主要问题及思考	18
1.4.1 系统耦合机理研究的空白	18
1.4.2 系统沙漠化相关因子的定量研究不足	19
1.4.3 系统相关资源的定量评价及其试验验证不足	19
1.4.4 系统不同时空尺度耦合效应研究的缺失	20
1.4.5 系统 SEREn 协调发展时序演变状况的研究空白	21
1.4.6 系统稳健发展的优化模式集成与示范研究尚需加强	21
1.5 研究思路与方法	22
1.5.1 研究思路	22
1.5.2 研究方法	22
第 2 章 农业生态系统及其耦合的诊断与分析	25
2.1 毛乌素沙地农业生态系统的诊断与分析	25
2.1.1 地理位置及资源	25
2.1.2 系统的过渡性	29

2.1.3	系统资源环境本底的脆弱性	29
2.1.4	系统社会经济条件的脆弱性	31
2.1.5	系统自然灾害的频发性	33
2.2	毛乌素沙地农业生态系统耦合的诊断与分析	34
2.2.1	农业生态系统耦合的基本原理与机制	35
2.2.2	农业生态系统耦合的潜力	37
2.2.3	农业生态系统耦合的基本类型	37
2.2.4	毛乌素沙地农业生态系统的耦合条件	38
2.2.5	毛乌素沙地农业生态系统耦合的实现过程	39
2.2.6	毛乌素沙地农业生态系统耦合的理想格局	43
2.2.7	毛乌素沙地农业生态系统耦合的现实意义	45
2.3	本章小结	46
第3章	耦合农业生态系统的气候特征及其功能定量	49
3.1	毛乌素沙地耦合农业生态系统的气候特征	49
3.1.1	气温走高与光照充裕	49
3.1.2	降水与蒸发同向缓慢趋减	50
3.2	毛乌素沙地耦合农业生态系统气候功能的定量	52
3.2.1	研究区概况及研究方法	53
3.2.2	评价指标的选取及其权重确定	53
3.2.3	草地畜牧业系统气候要素隶属函数的建立	55
3.2.4	草地畜牧业系统的气候指数	57
3.2.5	草地畜牧业系统气候功能综合评价数学模型的建立	57
3.2.6	毛乌素沙地东南缘草地畜牧业系统气候功能综合评价	58
3.2.7	毛乌素沙地东南缘草地畜牧业系统气候功能多层次评价	59
3.2.8	毛乌素沙地东南缘草地畜牧业系统气候功能定量评价的结果与分析	61
3.3	本章小结	62
第4章	耦合农业生态系统的土地沙漠化及其因子定量	63
4.1	毛乌素沙地耦合农业生态系统的土地沙漠化	63
4.1.1	土地沙漠化状况	63
4.1.2	土地沙漠化成因	65
4.2	毛乌素沙地耦合农业生态系统土地沙漠化因子定量	67
4.2.1	偏农区榆阳区与偏牧区乌审旗概况	67
4.2.2	土地沙漠化因子筛选	68
4.2.3	土地沙漠化因子的定量分析模型	69
4.2.4	土地沙漠化因子影响系数的对比变化	75

4.2.5 土地沙漠化人为因子、自然因子及其综合影响系数的变化分析	76
4.3 本章小结	77
第5章 耦合农业生态系统的结构特征及其分析	79
5.1 毛乌素沙地耦合农业生态系统微域土壤水分结构	79
5.1.1 沙地土壤水分结构试验的布置	80
5.1.2 沙地农田水分的测定方法	80
5.1.3 沙地农田水分平衡结构的计算方法	81
5.1.4 沙地农田水分结构的日变化	82
5.1.5 沙地农田水分结构的周年变化	84
5.1.6 沙地农田水分结构的垂直变化	87
5.1.7 沙地农田储水量的结构变化	89
5.1.8 沙地农田水分的平衡结构	90
5.2 毛乌素沙地耦合农业生态系统宏观农业产业结构	91
5.2.1 评价指数及方法	91
5.2.2 研究区选择	92
5.2.3 榆阳区与乌审旗县域耦合农业生态系统结构的组分优势度	93
5.2.4 榆阳区与乌审旗县域耦合农业生态系统结构优势度	95
5.2.5 榆阳区与乌审旗县域耦合农业生态系统稳定性	96
5.3 本章小结	96
第6章 干扰(退耕还林还草工程)对耦合农业生态系统服务的影响	99
6.1 研究区选择及数据说明	100
6.1.1 研究区概况	100
6.1.2 数据说明	100
6.2 生态系统服务的研究方法	101
6.2.1 土地利用变化	101
6.2.2 生态系统服务	101
6.3 县级土地利用变化及其生态系统服务效应	102
6.3.1 县级土地利用结构变化	102
6.3.2 县级土地利用的动态变化	103
6.3.3 县级生态系统服务价值的构成变化	104
6.3.4 县级生态系统服务价值的动态演变	106
6.4 乡(镇)级土地利用变化及其生态系统服务效应	108
6.4.1 乡(镇)级土地利用变化及其构成	108
6.4.2 乡(镇)级生态系统服务价值的变化	110
6.4.3 乡(镇)级生态系统服务价值的空间分布	111

6.5 本章小结	114
第7章 耦合农业生态系统生产力的演变与耦合状况	116
7.1 数据来源与研究方法	116
7.1.1 数据来源	116
7.1.2 能量与能值的研究方法	117
7.1.3 农牧系统耦合度	117
7.2 毛乌素沙地耦合农业生态系统生产力演变及分析	119
7.2.1 典型县域农牧耦合系统初级生产的能值产出演变与比较分析	119
7.2.2 典型县域农牧耦合系统次级生产的能值产出演变与比较分析	120
7.3 毛乌素沙地农业生态系统耦合状况的演变规律	123
7.4 毛乌素沙地耦合农业生态系统生产力发展建议	125
7.4.1 榆阳区农牧耦合系统生产力稳健发展的建议	125
7.4.2 乌审旗农牧耦合系统生产力持续增进的建议	126
7.5 本章小结	127
第8章 耦合农业生态系统内农牧户单元生态经济系统分析	130
8.1 研究区概况	130
8.2 能值分析理论	131
8.3 能值分析流程	132
8.4 有关能值的计算方法	137
8.5 毛乌素沙地县域典型农、牧户单元生态经济系统能值投入、产出的 对比分析	138
8.5.1 能值投入结构的对比分析	139
8.5.2 能值产出结构的对比分析	140
8.6 毛乌素沙地县域典型农、牧户单元生态经济系统能值综合指标的 对比分析	141
8.6.1 净能值产出率	141
8.6.2 能值投资率	141
8.6.3 环境负荷力	142
8.6.4 能值功率密度	142
8.6.5 单位面积生产力	143
8.6.6 人均能值用量和人均能值占有量	143
8.6.7 系统生产优势度和稳定性指数	143
8.6.8 系统可持续性指数	144
8.7 毛乌素沙地县域典型农、牧户单元生态经济系统发展策略选择	144
8.7.1 基于能值分析的偏牧区牧户生态经济系统产业模式优化及发展策略	145

8.7.2 基于能值分析的偏农区农户生态经济系统产业模式优化及发展策略	145
8.8 本章小结	146
第9章 耦合农业生态系统 SEREn 协调发展的时序测度	149
9.1 耦合农业生态系统 SEREn 协调性理论体系	149
9.1.1 SEREn 构成理论	149
9.1.2 SEREn 协调机制理论	150
9.2 耦合农业生态系统 SEREn 协调发展测度模型构建	152
9.2.1 SE 系统发展度与 REn 系统承载力评价模型	152
9.2.2 SEREn 协调度	153
9.2.3 SE 与 REn 协调发展的测度模型	154
9.2.4 SE 与 REn 协调发展基本类型的综合判定法则	154
9.3 毛乌素沙地耦合农业生态系统 SE 与 REn 协调发展的时序测度	156
9.3.1 SEREn 协调发展测度的指标体系设计	156
9.3.2 SEREn 协调发展测度的指标权重	156
9.3.3 SEREn 协调发展测度的指标功效系数	156
9.3.4 系统发展度与承载力的时序演变	158
9.3.5 系统 SE 与 REn 协调发展度的动态演变	162
9.3.6 系统 SE 与 REn 协调发展演变状况的综合判定	162
9.4 本章小结	164
第10章 耦合农业生态系统优化模式及其稳健机制	166
10.1 毛乌素沙地耦合农业生态系统缺陷	166
10.1.1 耦合系统缺陷的内部特征	166
10.1.2 耦合系统缺陷的外部特征	169
10.2 毛乌素沙地耦合农业生态系统优化模式体系构建	171
10.2.1 防护型生态结构的构建	171
10.2.2 节水型种植结构的构建	174
10.2.3 稳定型畜牧结构的构建	178
10.2.4 效益型农业产业结构的构建	179
10.3 毛乌素沙地耦合农业生态系统稳健发展的长效机制	188
10.3.1 政策支持体系	189
10.3.2 法规制度支撑体系	193
10.3.3 资金保障体系	194
10.3.4 技术服务支撑体系	195
10.4 本章小结	196
参考文献	198
附表	209

第1章 引言

1.1 有关概念的进一步澄清

1.1.1 土地荒漠化与沙漠化有关概念的剖析

根据1994年10月在巴黎签署的《联合国关于在发生严重干旱和/或荒漠化的国家特别是在非洲防治荒漠化的公约》中的定义,“荒漠化”(desertification)是指包括气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的土地退化(张永民和赵士洞,2008;李慧卿,2004;卢琦等,2001;吴波,2001;李星,2000)。“土地退化”是指由于使用土地或由于一种营力或数种营力结合致使干旱、半干旱和亚湿润干旱地区雨浇地、水浇地或草原、森林的生物或经济生产力的复杂性下降或丧失,其中包括风蚀和水蚀造成的土壤物质流失,土壤的物理、化学和生物特性或经济特性退化以及自然植被长期丧失(霍艾迪等,2007;慈龙骏和杨晓晖,2004;高志海等,2004;崔向慧等,2003;董光荣等,1999)。这一概念已被学术界认可,也成为人们对荒漠化理解与判断的依据。

根据我国“土地退化”的主要形式,我国的荒漠化主要由沙漠化(sandy desertification)、水土流失(water erosion)和盐渍化(salinization)三部分组成,其中沙漠化是我国北方广大地区主要的土地退化形式(王涛,2003;王涛和朱震达,2003)。沙漠化即沙质荒漠化,也就是风蚀荒漠化,指人类不合理的经济活动,叠加以空气动力为主的自然营力所造成的土地退化过程,干旱多风和沙源丰富的沙质地表是产生风蚀沙漠化的条件和物质基础(杨持等,2004;段怡春等,2002;夏训诚和樊胜岳,2000;朱俊凤和朱震达,1999;赵松龄,1996)。特别是干旱和大风在时间上同步的情况下,人为活动造成植被的破坏为沙漠化的发生提供了可能,如我国北方半干旱农牧交错区、草原区和旱作农业区、干旱区绿洲外围和部分绿洲区、青藏高原风沙区等(王涛等,2006,1999;王涛和赵哈林,2005;王涛和朱震达,2001a,2001b;王涛,2000)。

就沙漠化概念而言,我国著名的沙漠科学家朱震达等认为,沙漠化是在干旱、半干旱和部分半湿润地区,由于过度人为活动与资源环境不相协调所产生的一种以风沙活动为主要标志的土地退化过程(朱震达和陈广庭,1994;朱震达和王涛,1992a,1992b,1991,1990;朱震达等,1989;朱震达和刘恕,1981);荒漠化专家董光荣(2002)认为,沙漠化是原非沙漠地区出现以风沙活动为主要