

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 24 期
Vol.30 No.24
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 30 卷 第 24 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

三江平原残存湿地斑块特征及其对物种多样性的影响	施建敏, 马克明, 赵景柱, 等 (6683)
叶片碳同位素对城市大气污染的指示作用	赵德华, 安树青 (6691)
土地利用对崇明岛围垦区土壤有机碳库和土壤呼吸的影响	张容娟, 布乃顺, 崔 军, 等 (6698)
缓/控释复合肥料对土壤氮素库的调控作用	董 燕, 王正银 (6707)
北京海淀公园绿地二氧化碳通量	李 霞, 孙 睿, 李 远, 等 (6715)
三峡库区消落带生态环境脆弱性评价	周永娟, 仇江啸, 王 姣, 等 (6726)
应用碳、氮稳定同位素研究稻田多个物种共存的食物网结构和营养级关系	张 丹, 闵庆文, 成升魁, 等 (6734)
基于弹性系数的江苏省能源生态足迹影响因素分析	杨足膺, 赵 媛, 付伍明 (6741)
中国土地利用多功能性动态的区域分析	甄 霖, 魏云洁, 谢高地, 等 (6749)
遮荫处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响	王云贺, 韩忠明, 韩 梅, 等 (6762)
臭氧胁迫对冬小麦光响应能力及 PS II 光能吸收与利用的影响	郑有飞, 赵 泽, 吴荣军, 等 (6771)
地表覆草和覆膜对西北旱地土壤有机碳氮和生物活性的影响	谢驾阳, 王朝辉, 李生秀 (6781)
喀斯特峰丛洼地旱季土壤水分的空间变化及主要影响因子	彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 等 (6787)
极干旱区深埋潜水蒸发量的测定	李红寿, 汪万福, 张国彬, 等 (6798)
灌木林土壤古菌群落结构对地表野火的快速响应	徐赢华, 张 涛, 李 智, 等 (6804)
稻田免耕和稻草还田对土壤腐殖质和微生物活性的影响	区惠平, 何明菊, 黄 景, 等 (6812)
造纸废水灌溉对黄河三角洲盐碱地土壤酶活性的影响	董丽洁, 陆兆华, 贾 琼, 等 (6821)
神农宫扁角菌蚊幼虫种群分布及其与环境因子的相关性	顾永征, 李学珍, 牛长缨 (6828)
三亚珊瑚礁水域纤毛虫种类组成和数量分布及与环境因子的关系	谭烨辉, 黄良民, 黄小平, 等 (6835)
淞江鲈在中国地理分布的历史变迁及其原因	王金秋, 成 功 (6845)
黄海中南部小黄鱼生物学特征的变化	张国政, 李显森, 金显仕, 等 (6854)
甲基溴消毒对番茄温室土壤食物网的抑制	陈云峰, 曹志平 (6862)
离子树脂法测定森林穿透雨氮素湿沉降通量——以千烟洲人工针叶林为例	盛文萍, 于贵瑞, 方华军, 等 (6872)
乡土植物芦苇对外来入侵植物加拿大一枝黄花的抑制作用	李愈哲, 尹 昕, 魏 维, 等 (6881)
遂渝铁路边坡草本植物多样性季节动态和空间分布特征	王 倩, 艾应伟, 裴 娟, 等 (6892)
古尔班通古特沙漠原生梭梭树干液流及耗水量	孙鹏飞, 周宏飞, 李 彦, 等 (6901)
碟果虫实种子萌发对策及生态适应性	刘有军, 刘世增, 纪永福, 等 (6910)
原始兴安落叶松林生长季净生态系统 CO ₂ 交换及其光响应特征	周丽艳, 贾丙瑞, 曾 伟, 等 (6919)
五种红树植物通气组织对人工非潮汐生境的响应	伍卡兰, 彭逸生, 郑康振, 等 (6927)
亚高寒草甸不同生境植物群落物种多度分布格局的拟合	刘梦雪, 刘佳佳, 杜晓光, 等 (6935)
内蒙古荒漠草原地表反照率变化特征	张 果, 周广胜, 阳伏林 (6943)
中国沙棘克隆生长对灌水强度的响应	李甜江, 李根前, 徐德兵, 等 (6952)
增温与放牧对矮蒿草甸 4 种植物气孔密度和气孔长度的影响	张立荣, 牛海山, 汪诗平, 等 (6961)
基于 ORYZA2000 模型的北京地区早稻适宜播种期分析	薛昌颖, 杨晓光, 陈怀亮, 等 (6970)
专论与综述	
区域生态安全格局研究进展	刘 洋, 蒙古军, 朱利凯 (6980)
植物功能性状与湿地生态系统土壤碳汇功能	王 平, 盛连喜, 燕 红, 等 (6990)
农田水氮关系及其协同管理	王小彬, 代 快, 赵全胜, 等 (7001)
虫害诱导挥发物的生态调控功能	王国昌, 孙晓玲, 董文霞, 等 (7016)
土壤微生物资源管理、应用技术与学科展望	林先贵, 陈瑞蕊, 胡君利 (7029)
问题讨论	
从演化的角度评价北京市经济系统可持续发展趋势	黄茹莉, 徐中民 (7038)
基于植物多样性特征的武汉市城市湖泊湿地植被分类保护和恢复	郑忠明, 宋广莹, 周志翔, 等 (7045)
濒危兰科植物再引入技术及其应用	陈宝玲, 宋希强, 余文刚, 等 (7055)
研究简报	
实验条件下华北落叶松和白杆苗期生长策略的差异比较	张芸香, 李海波, 郭晋平 (7064)
基于源-库互反馈的温室青椒坐果时空动态模拟	马韞韬, 朱晋宇, 胡包钢, 等 (7072)
西双版纳小磨公路及其周边道路对蛇类活动的影响	孙 戈, 张 立 (7079)
温度变化对藻类光合电子传递与光合放氧关系的影响	张 曼, 曾 波, 张 怡, 等 (7087)
黄土区六种植物凋落物与不同形态氮素对土壤微生物量碳氮含量的影响	王春阳, 周建斌, 董燕婕, 等 (7092)
食细菌线虫 <i>Caenorhabditis elegans</i> 的取食偏好性	肖海峰, 焦加国, 胡 锋, 等 (7101)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 424 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 48 * 2010-12

区域生态安全格局研究进展

刘 洋^{1,2}, 蒙古军^{1,2}, 朱利凯²

(1. 北京大学深圳研究生院, 深圳 518055; 2. 教育部地表过程分析与模拟重点实验室; 北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

摘要: 如何构建一个安全的区域生态格局, 对土地可持续利用和区域生态安全有重要意义。区域生态安全格局的构建需要多学科的综合、多角度的分析和多种实现手段的结合, 一般从景观格局优化、土地资源优化配置和景观恢复等途径入手, 构建结构合理、功能高效、关系协调的区域生态安全模式。在分析国内外相关研究进展的基础上, 对区域生态安全格局构建在数量优化、空间优化和综合优化等方法进行了总结, 在此基础上提出了构建区域生态安全格局的思路: 区域生态现状评价、情景预案与目标设定、区域生态安全格局设计、方案实施及其效果评价、方案调整与管理。未来区域生态安全格局研究的趋势表现为: 空间优化模型的进一步改进; 区域生态安全标准量化的探索; 注重公众参与机制和不同组织水平利益相关者的协调。

关键词: 区域生态安全格局; 土地利用; 景观格局优化; 空间模型

Progress in the research on regional ecological security pattern

LIU Yang^{1,2}, MENG Jijun^{1,2}, ZHU Likai²

1 Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, China

2 Laboratory for Earth Surface Processes, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract: How to design a safe ecological pattern is significant for sustainable land use and regional ecological security, and it has become an international hot issue. The construction of the ecological security pattern needs the integration of multiple disciplines, perspectives and approaches. The theoretical foundation of the construction involves landscape ecology, disturbance ecology, conservation ecology, restoration ecology, ecological economics, ecological ethics and integrated ecosystem theory, and so on. Generally, various methods are applied to build an ecological security pattern with a reasonable structure, an efficient function and a harmonious relationship, e. g. landscape pattern optimization, optimal allocation of land resources, landscape restoration, and so on. In this paper, through reviewing the previous studies in this field, the approaches of building ecological security pattern are summed up as three categories: quantitative optimization, spatially explicit optimization, and integrative optimization, and then the applicability, advantages and disadvantages, and improvement of different approach are discussed. Quantitative optimization models include system dynamics and optimization techniques such as linear programming, nonlinear programming, multi-objective optimization, dynamic programming, and so on. Generally speaking, quantitative optimization models could optimize the allocation of quantitative structure of land use, but could not make an optimal allocation spatially. Spatially explicit optimization models mainly cover cellular automata and landscape pattern optimization models such as minimum cumulative resistance, Gap analysis, landscape ecological restoration and reconstruction, and so on. Integrative optimization mainly contains CLUE-S model and integrated model. The synthesis of various methods, such as the combination of multi-objective optimization, GIS, BP network, and CA model, is a more desirable approach to build the regional ecological security pattern considering the lack of a full-fledged theory. Taking into consideration the drawbacks and limits of each approach, the general procedures of the construction of the ecological security pattern are proposed: (1) to analyze and evaluate the regional eco-environment

基金项目: 国家自然科学基金项目(40871048); 国家科技支撑计划课题(2006BAD20B07); 科技部基础性工作专项课题(2007FY140800-1) 联合资助

收稿日期: 2009-10-23; **修订日期:** 2010-03-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jijunm@pku.edu.cn.

conditions, including the aspects of land-use dynamics, land suitability assessment, and regional ecological security assessment; (2) to determine the overall objectives through making the prediction and comparison of different scenarios; (3) to design the regional ecological security pattern by choosing appropriate models; (4) to calibrate the aforementioned regional ecological security pattern by implementing the designed scheme, monitoring its effect, and collecting the feedbacks; and (5) to implement the planning program. The ultimate planning program is carried out, and the corresponding management measures should be taken to guarantee the effective implementation and further to ameliorate the regional environment. In the future, priorities should be given to the following aspects: (1) to further improve the spatially explicit optimization model so as to better build regional ecological security pattern both quantitatively and spatially; (2) to gauge the level of regional ecological security and to ensure the quantification of the standard of regional ecological security not only to reflect the aim of ecological security, but also to keep pace with socio-economic development and ecological environment improvement; and (3) to pay more attention to the willingness and interests of the masses and the coordination of the benefits of stakeholders at different levels to ensure that the planning program is more practical and effective.

Key Words: ecological security pattern; land use; landscape pattern optimization; spatially explicit model

近几十年,随着全球人地矛盾的日趋尖锐,生态恶化的趋势总体上还未得到有效遏制,主要表现为土地退化加剧、水生态平衡失调、林草植被破坏以及生物多样性锐减等^[1]。人们越来越重视土地资源的生态效益,利用构建区域生态安全格局来改善区域生态安全状况,是目前国内外研究的热点。欧美学者主要从土地利用优化配置^[2-3]和景观生态规划^[4-5]两种途径进行相关研究,研究领域从森林管理和木材采伐等农业问题转变为土地利用变化、栖息地适宜性及流域水质等问题。我国对区域生态安全格局的研究始于20世纪90年代,许多学者以景观格局优化^[6]、土地利用结构优化^[7]、生态系统敏感性^[8]、生态系统服务价值^[9]、生态系统承载力^[10]、土地资源可持续利用^[11]等为切入点作了大量研究,并在河西走廊^[12]、城市区域^[8]、农牧交错带^[13]、湿地^[14]及其他敏感地区^[15-16]等进行了大量实证研究。近年来,一些学者提出了区域生态安全格局的概念与理论基础^[17]、设计原则与方法^[18],将研究尺度扩展到区域上,力求在宏观层面上谋求社会经济需求与生态安全的平衡。我国的西北干旱区、西南喀斯特地区、黄土高原地区以及农牧交错带,由于干旱缺水、水土流失和强烈的人类活动,生态环境非常脆弱。2008年的南方雪灾和汶川地震引发的生态安全问题更加引起了社会各界对其的广泛关注,如何在灾后地区和生态脆弱区构建安全的生态格局,成为目前研究的热点^[13-14]。本文在总结以往研究工作的基础上,对区域生态安全格局的构建方法进行了梳理,提出了构建区域生态安全格局的思路,并讨论了未来的发展趋势。

1 区域生态安全与生态安全格局

根据美国国际应用系统分析研究所(IASA)的定义,生态安全是指在人的生活、健康、安乐、基本权利、生活保障来源、必要资源、社会次序和人类适应环境变化的能力等方面不受威胁的状态,包括自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全,组成一个复合人工生态安全系统^[19]。生态安全评价是对特定时空范围内生态安全状况的定性或定量的描述,是主体对客体需要之间价值关系的反映^[20]。一般情况下,生态安全评价流程包括评价指标体系的构建,评价标准的确定,生态安全评价模型的构建,以及生态安全表征。

从不同的理论角度出发,对生态安全格局(ecological security patterns,简称ESP)的定义存在不同的理解,例如从地理学理论角度出发的土地利用结构优化配置^[21],从景观生态学理论角度出发的景观格局优化^[22]等,这些概念多以单一学科的理论和方法进行分析,而缺乏学科之间的交流和综合。区域生态安全格局的提出弥补了这些不足,其理论基础涉及景观生态学、干扰生态学、保护生态学、恢复生态学、生态经济学、生态伦理学和复合生态系统理论等。它是指针对特定的生态环境问题,以生态、经济、社会效益最优为目标,依靠一定的技术手段,对区域内的各种自然和人文要素进行安排、设计、组合与布局,得到由点、线、面、网组成的多目标、多层次和多类别的空间配置方案,用以维持生态系统结构和过程的完整性,实现土地资源可持续利用,生

态环境问题得到持续改善的区域性空间格局。

生态安全、生态安全评价和区域生态安全格局三者之间有着密切的联系。生态安全评价是对生态安全状况的反映,也为区域生态安全格局提供依据。区域生态安全格局构建则通过发挥人的主观能动作用来主动干预,促进人类——环境耦合系统各要素的优化配置,保证系统健康、稳定和持续的发展,最终实现区域生态安全状况的改善。

2 区域生态安全格局的构建方法综述

2.1 数量优化方法

2.1.1 最优化技术法

最优化方法是从所有可能的方案中搜索出最合理的、达到事先预定的最优目标方案的方法,主要包括了线性规划、非线性规划、多目标规划、动态规划以及图论与网络流等。土地利用数量结构优化属于较典型的多目标规划问题,它是在全面认识区域土地资源现状构成及存在问题的前提下,对土地资源数量结构进行调整,使其达到经济、生态和社会效益的最大化。1984年,加拿大的一个评估小组最早将多目标规划应用到土地利用配置中。随后,多目标规划作为土地利用结构优化强有力的工具得到广泛应用,其主要步骤包括目标函数和约束条件的建立以及多目标优化模型的求解和方案择优。David Makowski^[23]以欧共体农用土地资源面临的最主要的污染问题为导向,以氮流失量最小为规划目标,建立了农业土地利用结构优化模型。Gabriel^[24]等以马里兰州蒙哥马利郡为例,采用多目标优化模型来优化土地利用结构。Sadeghi^[25]等以最小的土壤侵蚀、最大的经济效益为目的,利用多目标线性规划技术,对伊朗克尔曼沙汗省 Brimvand 流域土地利用方式进行优化配置。

最优化技术法在应用时仍有需要改进的地方。首先,对生态效益考量的指标和标准体系还不完善。目前,在数量结构优化中多以经济效益为主导目标,而生态效益尚缺乏系统的量化标准,因此常以森林覆盖率^[26]等作为生态约束条件,以政策规定或地方经验值作为生态指标的量化标准,近几年也有学者提出“碳平衡”^[27]、“生态绿当量”^[28]等约束条件,但对于水土流失、土地退化、水资源安全等这类典型的区域生态问题,仍缺乏有效的约束指标,直接制约着土地利用生态安全格局的科学性和合理性。其次,基于数学规划的格局优化多停留在数量结构的优化上,难以进行格局的空间优化,也使其使用受到一定的限制。空间明晰化的优化模型考虑到空间格局的形成机制能够对各种土地类型需求进行空间分配,提高了优化方案的可操作性,成为土地利用生态安全格局构建的主要趋势之一。

2.1.2 系统动力模型

系统动力学模型(system dynamics, SD)是建立在控制论、系统论和信息论基础上的一种动力学模型,其突出特点是能够反映复杂系统结构、功能与动态行为之间的相互作用关系,通过规划目标与规划因素之间的因果关系建立信息反馈机制,考察系统在不同情景下的变化行为和趋势。已有的研究工作表明,SD模型能够从宏观上反映土地利用系统的复杂行为,可用来模拟不同情景的土地利用。涂小松^[29]运用SD原理探讨了在经济发展优先和生态保护优先两种情景下,江苏省无锡市的土地资源优化配置。杨莉^[30]建立了SD模型,对黔西县土地利用结构数量变化进行仿真模拟。

SD模型考虑了土地系统复杂的因果反馈机制,在模拟土地系统数量结构变化方面具有一定的可靠性,但是这种模型仍存在缺陷和局限性。首先,目前的SD模型仅能够模拟简单的、理想状况的土地利用结构。而土地利用系统是相互独立、相互作用的要素通过物质、能量和信息联系在一起的复杂系统。系统各要素之间具有强烈的非线性相互作用,复杂的反馈机制和显著的时空滞后性、不连续性和阈值。受到系统自身复杂性和研究者认识水平的差异和限制,构建模型时对系统各种要素、过程、因果反馈关系做了很多主观的、理想化的假设,造成模拟的结果往往脱离实际。其次,SD模型缺乏模拟结果的空间表达,它通过建立各要素之间的因果反馈机制对土地利用数量结构进行模拟,而在空间可视化表达方面存在不足。

2.2 空间优化方法

2.2.1 基于生态学理论的景观格局优化模型

景观格局优化模型主要运用生态学理论来设计一些关键的点、线、面或其空间组合,保护和恢复生物多样性,维持生态系统结构和过程的完整性,实现对区域生态环境的有效控制和持续改善^[17]。以景观格局整体优化为核心,Haber^[31]建立了土地利用分异战略 DLU(differentiated land use)战略,Forman^[32]提出了“不可替代格局”和“集聚间有离析”的景观整体模式。国内学者也有针对性地进行了研究。Wei^[33]构建最小阻力模型 MCR 对甘肃省石羊河流域景观格局进行优化配置。关文彬^[34]认为景观生态恢复与重建是区域生态安全格局构建的关键途径。孙立^[35]在景观格局分析的基础上形成北京市自然保护区分布格局“三区二带”的规划理念。刘吉平^[14]基于 GAP 分析提出扩大保护区面积、建立廊道和设立微型保护地块的规划措施。王伟霞^[36]构建了生态源区和生态廊道组成的生态空间安全格局。

景观格局优化从定性到定量、由静态到动态、由单一模型到多种模型综合,但这种模型仍需要进一步完善。首先,景观格局构建的理论基础相对薄弱。由于景观格局优化是在景观格局与过程相互作用方式深入理解的基础上进行的,景观格局与过程相互作用是复杂的过程,造成对景观各组分、不同景观类型、斑块及廊道相互作用方式理解比较困难。目前的认识水平还不足以满足对景观格局优化的理论指导要求。其次,景观格局的生态目标和评价标准难以确定,而这是景观格局优化设计的前提条件。景观安全格局的构建需要确定自然生态过程的一系列阈值和安全层次,提出维护与控制生态过程的关键性时空格局。最后,景观格局优化常在较小尺度上进行,如景观层次、自然保护区等,而在区域尺度上对景观组分的调整存在一定困难。

2.2.2 元胞自动机

元胞自动机 (cellular automata, CA) 是时间、空间和状态都离散的,空间相互作用及因果关系皆局部的网格动力学模型。CA 模型没有明确的方程形式,而是包含了一系列模型构造规则。CA 模型中的所有元胞是相互离散的,在某一时刻一个元胞只有一个状态,下一时刻状态是上一时刻其领域状态的函数。近年来许多学者尝试运用 CA 模型探讨土地利用格局优化问题。Mathey 等^[37-39]在 CA 的进化算法中整合了时间和空间目标,探索了一种协同演化的 CA 模型。刘小平^[40]利用元胞的“生态位”适宜度来制定概率转换规则,并结合 GIS 进行土地可持续利用规划。杨小雄^[41]则在 CA 模型中加入政策约束、适宜性约束、继承性约束等一系列约束条件来控制模拟过程,并以广西东兴市为例进行土地利用规划布局的仿真研究。王汉花^[42]提出基于多目标线性规划与 CA 模型的土地利用优化配置模型 MOP-CA。

CA 模型自身固有的特点决定了它适合用于时空动态过程的模拟。然而,CA 模型仍有很多不足之处。首先,作为一种自下而上的建模方式,CA 模型主要取决于自身和领域状态的组合,因素过于单一,难以反映影响区域生态安全格局的社会、经济等宏观因素。区域生态安全格局不仅取决于系统本身局部规则的作用,而是各种尺度的多种因素综合作用的结果。微观自组织与宏观影响因素的有效结合,应该在 CA 模型中得到充分重视。其次,定义转化规则的理论基础薄弱。合理的转化规则是 CA 模型成功应用的关键。目前常用 CA 模型与其他方法结合起来定义转化规则,提高模拟性能,如利用神经网络来获得参数和转换规则,利用蒙特卡罗法引入随机干扰因素增加模拟真实性等。最后,空间尺度的选择问题。不同的空间尺度下,由于模型的表现效果以及影响模型的各种外在因素作用程度的差异,系统单元表现的规律也不相同。因此根据研究需要,确定合适的空间分辨率也是一个需要解决的问题。

2.3 综合优化法

综合优化法是将不同的优化模型有机结合起来,寻求解决问题的最优方法,这种模型往往综合了各种模型的优点,又能满足数量结构上的优化,又考虑到空间格局的优化。目前,具有代表性的有 CLUE-S 模型和集成模型。

2.3.1 CLUE-S 模型

CLUE-S 模型是荷兰瓦赫宁根大学 Verburg 等在 CLUE 模型基础上发展起来的,更适于区域尺度的土地利

用变化研究。其基本原理是在综合分析土地利用的空间分布概率适宜图、土地利用变化规则和研究初期土地利用分布现状图的基础上,根据总概率大小对土地利用需求进行空间分配的过程。该模块包括非空间模块(土地利用数量需求预测)和空间模块(土地利用空间分配)。它能够模拟不同情境下的土地利用空间格局,在土地利用规划方面应用颇为广泛。Verburg^[43]集成宏观经济模型 GTAP、综合评估模型 IMAGE 与 CLUE-S 模型对欧洲土地利用进行多尺度的优化配置。陆汝成^[44]应用 CLUE-S、Markov 复合模型及 GIS 技术分别在两种情景对比下对土地利用格局进行时空优化。

尽管 CLUE-S 模型能够从时间^[45]和空间^[46]上对土地利用变化进行多尺度模拟,但是在模拟过程中仍有许多需要改进的地方。首先,模型模拟的情景设定存在困难。CLUE-S 模型中所需要的土地利用数量需求作为外设参数应用到模型中,其客观性和准确性受到限制。其次,该模型忽略了土地利用类型间的相互作用。土地利用变化是由自发性过程、自组织过程和土地利用类型之间的综合竞争作用的结果,CLUE-S 模型未将邻域效应作为影响土地利用格局的驱动力,因而在自组织性过程明显的土地利用变化模拟中显得不足。再次,CLUE-S 模型属于经验模型,预测的准确性受到驱动因子选择的影响。很多难以量化和预见的驱动因子,如政策、产权等人文驱动因子难以包含到模型中,从而对模拟结果的准确性产生影响。

2.3.2 集成模型

不同模型在格局优化方面均存在自身的局限性,综合运用多种模型可以弥补单一模型在某些环节上的不足。何春阳^[47]等人结合 SD 模型与 CA 模型,建立了土地利用情景变化动力学模型 LUSD,模拟中国北方 13 省未来 20a 土地利用变化的情景。邱炳文^[48]结合宏观用地总体需求与微观土地利用适宜性,集成灰色预测模型、多目标决策模型、CA 模型、GIS 技术,建立了土地利用变化预测模型 GCMG。此外,还有一些学者结合 GIS 和水文模型、非点源污染模型等,通过模拟来构建流域生态安全格局。Voinov^[49-52]利用模块化的建模方法,开发了基于过程的 Patuxent 景观生态模型 (PLM) 和 Everglades 景观生态模型 (ELM)。Allan^[53]以保护区水质为目标,应用 GIS 和缓冲区设计方法,建立了小流域土地利用格局优化模型。Seppelt^[54]以控制化肥引起的污染问题为目标,应用 GIS 以及景观空间分异模型在美国南部 HuntingCreek 小流域内设计了土地利用空间配置方案。

不同模型在解决特定问题上的优势使得多种模型的有机综合为土地利用生态安全格局构建提供一条有效实用的研究途径,尤其是计算机技术、GIS 技术、现代数学方法(遗传算法、神经网络、模拟退火等)的快速发展,已经成为格局优化强有力的工具。Aerts 和 Heuvelink^[55]利用模拟退火算法来解决高维的土地利用空间优化问题。Holzkämper^[56]利用 C/C++ 语言和 GA 遗传算法库 GAlib,开发了一个土地利用格局优化软件 LUPolib。徐昔保^[57]耦合 GIS、CA 模型和 GA 遗传算法,构建了两种情景下的土地利用优化模型 ULOM。杨励雅^[58]融合遗传算法、模拟退火算法和动态惩罚函数法,建立了在土地及人口约束下的土地利用形态和交通结构的组合优化模型。

综上所述,由于不同模型在解决特定问题上同时具有优势和局限性,同时,区域生态安全格局构建要综合考虑经济、社会、生态系统的协调发展,是涉及多学科、多尺度、多层次的综合性问题。因而在目前缺乏成熟完善的理论指导情况下,多种模型的有机综合为区域生态安全格局构建提供了一条有效的研究途径。

3 区域生态安全格局构建的基本思路

目前,国内已有许多学者对区域生态安全格局设计方法进行了研究和探索^[59-61],本文在适宜性分析与生态安全评价的基础上,通过数量结构与空间结构的双重优化,以及情景预案比较的研究,将区域生态安全格局构建方法整合为如下几个步骤(图 1)。

(1) 区域生态现状分析

从土地利用变化特征、土地适宜性以及区域生态安全状况等 3 个方面对区域生态现状进行分析。根据地图代数方法,建立土地利用转移矩阵,在此基础上分析该区域的土地利用变化特征。按照 FAO 土地适宜性评价方法,根据区域气候、地形以及土壤有机质等限制因子作为参评因子,将该区域分为 3 个适宜类(宜耕地、

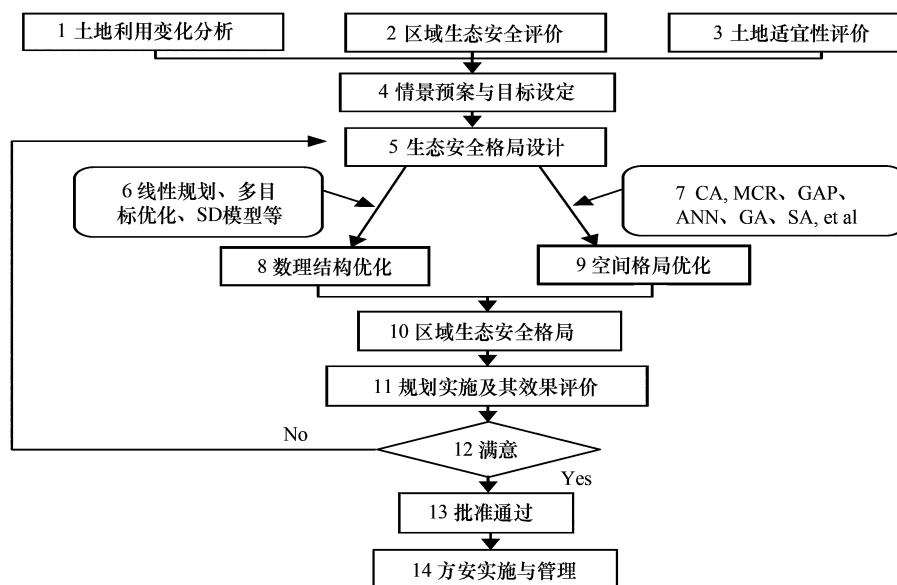


图1 区域生态安全格局的构建流程

Fig. 1 Framework of regional ecological security pattern construction

宜林地和宜草地)和4个适宜等级(高度适宜、中度适宜、临界适宜和不适宜)。基于“压力-状态-相应”模型,针对区域生态问题,构建区域生态安全评价指标体系、量化方法、评价模型,确定安全阈值,对研究区进行生态安全评价。在区域生态现状分析的基础上,识别生态系统中的脆弱敏感区和存在的主要功能问题,辨识区域尺度上影响生态安全格局的关键组分,分析自然或人为干扰的来源、频率、强度等特征,得到土地利用适宜性评价图、生态安全评价等级图、生态环境敏感性分析图或生态风险空间分布图等,为构建生态安全空间格局提供数据支持和目标导向。

(2) 情景预案与目标设定

结合区域未来发展目标,从区域尺度上提出生态恢复和安全格局设计的初步方案,如保护重要生态功能区、恢复与重建生态敏感和脆弱区、控制干扰源等;设计多种情景预案,对未来干扰变化下的区域生态安全水平进行预测,对各预案可能导致的生态安全状况进行比较,在此基础上确定规划目标,如经济效益目标、生态安全目标、生态系统服务功能目标、土壤侵蚀控制目标等,平衡生态保护与社会经济发展的各种矛盾。

(3) 区域生态安全格局设计

根据研究区数据类型、质量,在技术允许的条件下,采用综合集成优化法设计区域生态安全格局。首先,基于上一步设定的区域生态安全目标,采用多目标规划等最优化技术对土地利用数量结构进行优化调整;其次,采用CA模型、MCR模型等空间直观模型,以及神经网络、遗传算法等仿生学优化算法,结合GIS的空间分析和制图功能,对土地利用进行空间优化配置。这样在数量和空间的双重优化下,构建生态安全下的区域土地利用格局。此外,在方案设计过程中,应主动控制自然与人为干扰的影响,顺应一些原有景观格局,防止格局中一些关键部位被破坏,同时恢复和改善受不利干扰造成生态系统受损的关键部位。

(4) 方案实施及其效果评价

对设计的方案进行实施,动态监测方案的实施效果,并对监测结果进行评价,包括生态安全评价、景观生态评价等,找出实施结果与最初目标之间的差异,将获取的信息反馈到最初的设计中,作为方案调整的依据。

(5) 方案调整与管理

对区域生态安全格局方案进行调整,直到达到预定的安全目标。从政府管理、政策制定与公众参与的角度,提出区域生态安全格局管理方案,根据社会经济的发展 and 区域生态安全的新问题,动态调整生态安全层次、建模技术和设计方案,不断优化区域生态安全格局。

4 结语

总的来说,区域生态安全格局的构建经历了定性到定量、静态到动态、刚性条件约束到弹性条件最优、数量配置到空间演变的过程。从研究方法来看,主要集中在土地利用优化配置和景观生态规划上,现已逐渐走向交叉融合。景观生态规划侧重于诊断干扰来源与胁迫因子,从景观尺度上进行关键控制因子的规划,如自然保护区廊道的设计等,或在小尺度上为特定目标(如物种保护)进行景观格局优化。而土地利用优化配置侧重在区域或流域尺度上,在土地适宜性分析和土地利用限制条件分析的基础上,从宏观线性规划着手进行土地利用结构优化配置。从研究重点来看,以往多关注数量结构的生态优化,如林地覆盖率、坡耕地比例、农林牧用地比例等,现在逐渐转移到土地利用空间格局对生态过程的影响,如地表径流、水土流失、生物迁移、干扰传播等。从研究目的来看,区域生态安全格局逐渐从物种保护、土地利用配置转移到灾后重建、脆弱性地区以及整个区域的生态可持续发展上。未来研究的重点可以从以下几个方面着手:

(1) 区域生态安全格局构建的模型有待进一步改进

区域土地利用优化配置,不仅要求土地利用数量结构的优化,也要保证土地利用结构空间布局趋于优化。而空间格局的优化是以往土地利用优化配置中的薄弱环节。目前的空间格局优化模型或多或少都有需要改进的地方,如在应用 CA 模型时如何制定合适的转换规则,如何体现微观自组织与宏观影响因素的结合;应用 CLUE-S 模型时如何保证情景设定的合理性,如何将难以量化的人文、社会、生态因子纳入到模型中;应用最小阻力模型 MCR 时如何界定阻力值等。另外,区域生态安全格局涉及的因素多难度大,既有小尺度生态过程研究,又有区域内多系统的综合性研究,既有生态学研究,也涉及社会经济研究,如何将多个模型有机集成起来,使之既解决理论和方法问题,又切实可行,是未来研究的重点。

(2) 区域生态安全标准的量化仍需继续探索

区域生态安全格局的生态安全标准量化问题仍是一项具有探索性的工作。对于土地利用优化配置来说,如何通过目标函数或约束条件的设定体现生态安全的目标仍是今后的研究重点。对于景观格局优化来说,如何在深入理解景观格局、过程与功能相互关系的基础上,确定自然生态过程的一系列阈值和安全层次也有待进一步讨论。区域生态安全研究的对象具有特定性和针对性,不同区域或者同一区域不同时代其标准也有不同,需要对区域生态安全现状进行综合定位,有针对性地提出生态安全目标。同时,随着社会经济的发展,区域生态安全也会出现新的问题,生态安全标准也需要重新确定,以修改原来的目标或设计方案。

(3) 加强公众参与的力度,协调各利益相关者的矛盾

区域生态安全格局设计的实施将遇到很多现实困难,不同组织水平利益相关者之间会出现利益冲突。一些公众忽视长期生态环境效益,只注重短期社会经济效益,其观念的落后会阻碍方案的实施。另外,从政府决策制定与执行的角度来说,可能存在单纯地追求政绩,而忽视公众生态居住环境的现象。因此,应当建立一个信息共享、知识传递和知识交流的平台,如社会调查、专家咨询会、座谈会、论坛会、听证会等,通过参与监督、参与管理与参与反馈,把利益相关者纳入协同竞争的范畴之内,使区域生态安全格局构建更加人性化、操作性更强。

References:

- [1] Fu B J, Chen L D, Ma K M, Wang Y L. The Principles and Applications of Landscape Ecology. Beijing: Science Press, 2001.
- [2] Reshmidevi T V, Eldho T I, Jana R. A GIS-integrated fuzzy rule-based inference system for land suitability evaluation in agricultural watersheds. *Agricultural Systems*, 2009, 101(1/2): 101-109.
- [3] Nidumolu U B, Keulen H V, Lubbers M, Mapfumo A. Combining interactive multiple goal linear programming with an inter-stakeholder communication matrix to generate land use options. *Environmental Modelling & Software*, 2007, 22(1): 73-83.
- [4] Bolliger J, Lischke H, Green D G. Simulating the spatial and temporal dynamics of landscapes using generic and complex models. *Ecological Complexity*, 2005, 2(2): 107-116.
- [5] Schröder B, Seppelt R. Analysis of pattern process interactions based on landscape models-Overview, general concepts, and methodological issues. *Ecological Modelling*, 2006, 199(4): 505-516.

- [6] Feng S H, Sha R. On ancient village scenery field theory and scenery safety pattern. *Geography and Geo-Information Science*, 2006, 22(5): 91-94.
- [7] Zheng Q Y, Zhou S L, Ren K. An eco-efficiency measurement method of land use structure optimization: A case study in Jiangning District of Nanjing City. *Resource Science*, 2009, 31(4): 634-640.
- [8] Li Z Y, Yang G S, Dong Y W. Establishing the ecological security pattern in rapidly developing regions — a case in the AYRAP. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(1): 106-113.
- [9] Liu Z S, Li S J. Optimization of land use structures based on ecosystem services value — A case study in Wanzhou, Chongqing. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009, 18(7): 646-651.
- [10] Chen X. Spatial pattern modelling of ecological security assessment in a region. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(1): 21-28.
- [11] Fang S B, Xiao D N, An S Q. Regional eco-security pattern in urban area based on land use analysis: A case study in Lanzhou. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(12): 2284-2290.
- [12] Meng J J, Wu X Q. Research on the landscape spatial pattern of Suzhou in the Middle Western Hexi Corridor. *Arid Land Geography*, 2004, 27(2): 179-185.
- [13] Hao R M, Hai C X, Lei J. Affection of farmland landscape pattern to land ecological environment security in the farming stock-raising — For example Huhhot City. *Arid Land Geography*, 2006, 29(5): 700-704.
- [14] Liu J P, Lu X G, Yang Q, Wang H X. Wetland landscape ecological security patterns analysis and plan in Northeast of Sanjiang Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1083-1090.
- [15] Baldwin R F, Trombulak S C, Baldwin E D. Assessing risk of large-scale habitat conversion in lightly settled landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 91(4): 219-225.
- [16] Opdam P, Steingröver E, Rooij S. Ecological networks: A spatial concept for multi-actor planning of sustainable landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 75(3/4): 322-332.
- [17] Ma K M, Fu B J, Li X Y, Guan W B. The concept and theoretical basis of the regional pattern of ecological security. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 761-768.
- [18] Li X Y, Ma K M, Fu B J, Niu S K. The regional pattern for ecological security (RPES): designing principles and methods. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5): 1055-1062.
- [19] Xiao D N, Chen W B, Guo F L. On the basic concepts and contents of ecological security. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(3): 354-358.
- [20] Wang C H, Tian D X, Liu Y H. The contrary researches on the Chinese and foreign ecological security assessment. *Ecological Economy*, 2008, 7(4): 44-49.
- [21] Zhang H B, Liu L M. Main progress and prospects of land resource ecological security research. *Progress in Geography*, 2006, 25(5): 77-85.
- [22] Han W Q, Chang Y, Hu Y M, Li X Z, Bu R C. Research advance in landscape pattern optimization. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(12): 1487-1492.
- [23] Makowski D, Hendrix E M T, van Ittersum M K, Rossing W A H. A framework to study nearly optimal solutions of linear programming models developed for agricultural land use exploration. *Ecological Modelling*, 2000, 1(131): 65-77.
- [24] Gabriel S A, Faria J A, Moglen G E. A multi-objective optimization approach to smart growth in land development. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2006, 40(3): 212-248.
- [25] Sadeghi S H R, Jalili Kh, Nikkani D. Land use optimization in watershed scale. *Land Use Policy*, 2009, 26(2): 186-193.
- [26] Wang X H, Yu S, Huang G H. Land allocation based on integrated GIS-optimization modeling at a watershed level. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 66(2): 61-74.
- [27] Tang J, Mao Z L, Wang C Y, Xu X M, Han W Z. Regional land use structure optimization based on carbon balance: A case study in Tongyu County, Jilin Province. *Resource Science*, 2009, 31(1): 130-135.
- [28] Liu Y F, Ming D P, Yang J Y. Optimization of land use structure based on ecological green equivalent. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2002, 27(5): 493-498.
- [29] Tu X S, Pu L J, Yan X, Zhu M. Analysis of optimal allocation of land resources and soil quality regulation using system dynamics. *Research of Environmental Sciences*, 2009, 22(2): 221-226.
- [30] Yang L, He T B, Lin C H, Yuan C J, Tong Q Q. Structure optimization of land utilization based on System Dynamics in Qianxi County. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2009, 28(1): 24-27.
- [31] Haber W. *Using Landscape Ecology in Planning and Management*. New York: Springer-Verlag, 1990.
- [32] Forman R T T. *Land Mosaics: the Ecology of Landscape and Regions*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [33] Wei W, Zhao J, Wang X F, Zhou Z Y, Li H L. Landscape pattern MACRS analysis and the optimal utilization of Shiyang River Basin based on RS and GIS approach. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(4): 216-221.
- [34] Guan W B, Xie C H, Ma K M, Niu J Z, Zhao Y T, Wang X L. A vital method for constructing regional ecological security pattern: landscape

- ecological restoration and rehabilitation. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(1): 64-73.
- [35] Sun L, Li J Q. Spatial distribution and concept of "three zones/two corridors" of nature reserves in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(12): 6379-6384.
- [36] Wang W X, Zhang L, Dong Y W, Huang W Y. On ecological security pattern based on regional development along the Yangtze river: taking Jiujiang as an example. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009, 18(2): 186-191.
- [37] Mathey A H, Krcmar E, Vertinsky I. Re-evaluating our approach to forest management planning: a complex journey. *The Forestry Chronicle*, 2005, 81: 359-364.
- [38] Mathey A H, Krcmar E, Tait D, Vertinsky I, Innes J. Forest planning using co-evolutionary cellular automata. *Forest Ecology and Management*, 2007, 239(1/3): 45-56.
- [39] Mathey A H, Krcmar E, Tait D, Dragicevic S, Vertinsky I. An object-oriented cellular automata model for forest planning problems. *Ecological Modelling*, 2008, 212(3/4): 359-371.
- [40] Liu X P, Li X, Peng X J. Niche based cellular automata for sustainable land use planning. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2391-2402.
- [41] Yang X X, Liu Y L, Wang X H, Duan T. Land utility planning layout model based on constrained conditions cellular automata. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007, 32(12): 1164-1167.
- [42] Wang H H, Liu Y F. Optimal allocation of land resources based on MOP-CA. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2009, 34(2): 174-177.
- [43] Verburg P H, Eickhout B, Meijl H V. A multi-scale, multi-model approach for analyzing the future dynamics of European land use. *The Annals of Regional Science*, 2008, 42(1): 57-77.
- [44] Lu R C, Huang X J, Zuo T H, Xiao S S, Zhao X F, Zhang X Y. Land use scenarios simulation based on CLUE-S and Markov composite model-A case study of Taihu Lake Rim in Jiangsu Province. *Scientia Geographica Sinica*, 2009, 29(4): 577-581.
- [45] Liu M, Hu Y M, Chang Y, He H S, Bu R C. Analysis of temporal predicting abilities for the CLUE-S land use model. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(11): 6110-6119.
- [46] Sheng S, Liu M S, Xu C, Yu W, Chen H. Application of CLUE-S model in simulating land use changes in Nanjing metropolitan region. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(2): 235-239.
- [47] He C Y, Shi P J, Li J G, Pan Y Z, Chen J. Scenarios simulation land use change in the northern China by system dynamic model. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(4): 599-607.
- [48] Qiu B W, Chen C C. Land use change simulation model based on MCDM and CA and its application. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(2): 165-174.
- [49] Voinov A, Costanza R, Fitz C, Maxwell T. Patuxent landscape model: 1. hydrological model development. *Water Resources*, 2007, 34(2): 163-170.
- [50] Voinov A, Costanza R, Fitz C, Maxwell T. Patuxent landscape model: 2. model development-nutrients, plants, and detritus. *Water Resources*, 2007, 34(3): 268-276.
- [51] Voinov A, Costanza R, Maxwell T, Vladich H. Patuxent landscape model: 3. model calibration. *Water Resources*, 2007, 34(4): 372-384.
- [52] Voinov A, Costanza R, Maxwell T, Vladich H. Patuxent landscape model: 4. model application. *Water Resources*, 2007, 34(5): 501-510.
- [53] Allan I, Peterson J. Spatial modeling in decision support for land-use planning: a demonstration from the Lal Lal catchment, Victoria, Australia. *Australian Geographical Studies*, 2002, 40(1): 84-92.
- [54] Seppelt R, Voinov A. Optimization methodology for land use patterns using spatially explicit landscape models. *Ecological Modelling*, 2002, 151(2/3): 125-142.
- [55] Aerts C J H, Heuvelink G B M. Using simulated annealing for resource allocation. *International Journal of Geographical Information Science*, 2002, 16(6): 571-587.
- [56] Holzkämper A, Seppelt R. A generic tool for optimising land-use patterns and landscape structures. *Environmental Modelling & Software*, 2007, 22(12): 1801-1804.
- [57] Xu X B, Yang G S, Zhang J M. Urban land use optimization in Lanzhou, China. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2009, 34(7): 878-881.
- [58] Yang L Y, Shao C F, Nie W. Hybrid genetic algorithm for integrated optimization of urban land use pattern and transportation structure. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2008, 42(6): 896-899.
- [59] Yue S F, Di L, Dou X C, Bai Y X, Shu Y H. Construction of regional eco-security through rehabilitation of vegetation in Northwest China. *Pratacultural Science*, 2005, 22(6): 11-15.
- [60] Chen L D, lu Y H, Tian H Y, Shi Q. Principles and methodology for ecological rehabilitation and security pattern design in key project construction. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(3): 674-680.
- [61] Zhang X G, Wu Y. Based on ecological security pattern of mountain urban rebuilding after earthquake disaster. *New Architecture*, 2008, (6): 44-47.

参考文献:

- [1] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 王仰麟. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2001.
- [6] 冯淑华, 沙润. 古村落场理论及景观安全格局探讨. 地理与地理信息科学, 2006, 22(5): 91-94.
- [7] 郑群英, 周生路, 任奎. 土地利用结构优化生态效益考量方法研究——以南京江宁区为例. 资源科学, 2009, 31(4): 634-640.
- [8] 李宗尧, 杨桂山, 董雅文. 经济快速发展地区生态安全格局的构建——以安徽沿江地区为例. 自然资源学报, 2007, 22(1): 106-113.
- [9] 刘兆顺, 李淑杰. 基于生态系统服务价值的土地利用结构优化——以重庆万州为例. 长江流域资源与环境, 2009, 18(7): 646-651.
- [10] 陈星. 区域生态安全空间格局评价模型的研究. 北京林业大学学报, 2008, 30(1): 21-28.
- [11] 方淑波, 肖笃宁, 安树青. 基于土地利用分析的兰州市城市区域生态安全格局研究. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2284-2290.
- [12] 蒙古军, 吴秀芹. 河西走廊中西段肃州区景观空间格局研究. 干旱区地理, 2004, 27(2): 79-185.
- [13] 郝润梅, 海春兴, 雷军. 农牧交错带农田景观格局对土地生态环境安全的影响——以呼和浩特市为例. 干旱区地理, 2006, 29(5): 700-704.
- [14] 刘吉平, 吕宪国, 杨青, 王海霞. 三江平原东北部湿地生态安全格局设计. 生态学报, 2009, 29(3): 1083-1090.
- [17] 马克明, 傅伯杰, 黎晓亚, 关文彬. 区域生态安全格局: 概念与理论基础. 生态学报, 2004, 24(4): 761-768.
- [18] 黎晓亚, 马克明, 傅伯杰, 牛树奎. 区域生态安全格局: 设计原则与方法. 生态学报, 2004, 24(5): 1055-1062.
- [19] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念与研究方法. 应用生态学报, 2002, 13(3): 354-358.
- [20] 汪朝辉, 田定湘, 刘艳华. 中外生态安全评价对比研究. 生态经济, 2008, 7(4): 44-49.
- [21] 张虹波, 刘黎明. 土地资源生态安全研究进展与展望. 地理科学进展, 2006, 25(5): 77-85.
- [22] 韩文权, 常禹, 胡远满, 李秀珍, 布仁仓. 景观格局优化研究进展. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1487-1492.
- [23] 张惠远, 王仰麟. 土地资源利用的景观生态优化方法. 地学前缘, 2000, 7(8)增: 112-120.
- [27] 汤洁, 毛子龙, 王晨野, 徐小明, 韩维崢. 基于碳平衡的区域土地利用结构优化——以吉林省通榆县为例. 资源科学, 2009, 31(1): 130-135.
- [28] 刘艳芳, 明冬萍, 杨建宇. 基于生态绿当量的土地利用结构优化. 武汉大学学报·信息科学版, 2002, 27(5): 493-498.
- [29] 涂小松, 濮励杰, 严祥, 朱明. 土地资源优化配置与土壤质量调控的系统动力学分析. 环境科学研究, 2009, 22(2): 221-226.
- [30] 杨莉, 何腾兵, 林昌虎, 袁成军, 童倩倩. 基于系统动力学的黔西县土地利用结构优化研究. 山地农业生物学报, 2009, 28(1): 24-27.
- [34] 关文彬, 谢春华, 马克明, 牛健植, 赵玉涛, 汪西林. 景观生态恢复与重建是区域生态安全格局构建的关键途径. 生态学报, 2003, 23(1): 64-73.
- [35] 孙立, 李俊清. 北京市自然保护区空间布局与三区二带理念. 生态学报, 2008, 28(12): 6379-6384.
- [36] 王伟霞, 张磊, 董雅文, 黄文钰. 基于沿江开发建设的生态安全格局研究——以九江市为例. 长江流域资源与环境, 2009, 18(2): 186-191.
- [40] 刘小平, 黎夏, 彭晓鹏. “生态位”元胞自动机在土地可持续规划模型中的应用. 生态学报, 2007, 27(6): 2391-2402.
- [41] 杨小雄, 刘耀林, 王晓红, 段滔. 基于约束条件的元胞自动机土地利用规划布局模型. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(12): 1164-1167.
- [42] 王汉花, 刘艳芳. 基于 MOP-CA 整合模型的土地利用优化研究. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(2): 174-177.
- [44] 陆汝成, 黄贤金, 左天惠, 肖思思, 赵小凤, 张兴榆. 基于 CLUE-S 和 Markov 复合模型的土地利用情景模拟研究——以江苏省环太湖地区为例. 地理科学, 2009, 29(4): 577-581.
- [45] 刘森, 胡远满, 常禹, 贺红土, 布仁仓. 土地利用模型时间尺度预测能力分析——以 CLUE-S 模型为例. 生态学报, 2009, 29(11): 6110-6119.
- [46] 盛晟, 刘茂松, 徐驰, 郁文, 陈虹. CLUE-S 模型在南京市土地利用变化研究中的应用. 生态学杂志, 2008, 27(2): 235-239.
- [47] 何春阳, 史培军, 李景刚, 潘耀忠, 陈晋. 中国北方未来土地利用变化情景模拟. 地理学报, 2004, 59(4): 599-607.
- [48] 邱炳文, 陈崇成. 基于多目标决策和 CA 模型的土地利用变化预测模型及其应用. 地理学报, 2008, 63(2): 166-174.
- [57] 徐昔保, 杨桂山, 张建明. 兰州市城市土地利用优化研究. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(7): 878-881.
- [58] 杨励雅, 邵春福, 聂伟. 基于混合遗传算法的城市土地利用形态与交通结构的组合优化. 上海交通大学学报, 2008, 42(6): 896-899.
- [59] 岳淑芳, 邸利, 窦学诚, 白云祥, 舒永宏. 退耕还林还草是西北地区生态安全格局构建的主要途径. 草业科学, 2005, 22(6): 11-15.
- [60] 陈利顶, 吕一河, 田惠颖, 施茜. 重大工程建设中生态安全格局构建基本原则和方法. 应用生态学报, 2007, 18(3): 674-680.
- [61] 张兴国, 吴勇. 基于生态安全格局的灾后山地城乡规划重建. 新建筑, 2008, (6): 44-47.

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 24 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 24 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元