

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 20 期 Vol.32 No.20 **2012**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 20 期

2012 年 10 月 (半月刊)

目 次

太湖流域源头溪流氧化亚氮(N_2O)释放特征.....	袁淑方, 王为东 (6279)
闽江河口湿地植物枯落物立枯和倒伏分解主要元素动态.....	曾从盛, 张林海, 王天鹅, 等 (6289)
宁夏荒漠草原小叶锦鸡儿可培养内生细菌多样性及其分布特征.....	代金霞, 王玉炯 (6300)
陕西省栎黄枯叶蛾蛹的空间分布.....	章一巧, 宗世祥, 刘永华, 等 (6308)
模拟喀斯特生境条件下干旱胁迫对青冈栎苗木的影响.....	张中峰, 尤业明, 黄玉清, 等 (6318)
中国井冈山生态系统多样性.....	陈宝明, 林真光, 李 贞, 等 (6326)
鄂西南木林子常绿落叶阔叶混交林恢复过程中优势树种生态位动态.....	汤景明, 艾训儒, 易咏梅, 等 (6334)
不同增温处理对夏蜡梅光合特性和叶绿素荧光参数的影响	徐兴利, 金则新, 何维明, 等 (6343)
模拟长期大风对木本猪毛菜表观特征的影响	南 江, 赵晓英, 余保峰 (6354)
雷竹林土壤和叶片 N、P 化学计量特征对林地覆盖的响应	郭子武, 陈双林, 杨清平, 等 (6361)
利用树木年轮重建赣南地区 1890 年以来 2—3 月份温度的变化	曹受金, 曹福祥, 项文化 (6369)
川西亚高山草甸土壤呼吸的昼夜变化及其季节动态.....	胡宗达, 刘世荣, 史作民, 等 (6376)
火干扰对小兴安岭白桦沼泽和落叶松-苔草沼泽凋落物和土壤碳储量的影响	周文昌, 牟长城, 刘 夏, 等 (6387)
黄土丘陵区三种典型退耕还林地土壤固碳效应差异.....	佟小刚, 韩新辉, 吴发启, 等 (6396)
岩质公路边坡生态恢复土壤特性与植物多样性	潘树林, 辜 彬, 李家祥 (6404)
坡位对东灵山辽东栎林土壤微生物量的影响.....	张 地, 张育新, 曲来叶, 等 (6412)
太湖流域典型入湖港口景观格局对河流水质的影响.....	王 瑛, 张建锋, 陈光才, 等 (6422)
基于多角度基尼系数的江西省资源环境公平性研究	黄和平 (6431)
中国土地利用空间格局动态变化模拟——以规划情景为例	孙晓芳, 岳天祥, 范泽孟 (6440)
世界主要国家耕地动态变化及其影响因素	赵文武 (6452)
不同氮源下好氧反硝化菌 <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 的脱氮特性	肖继波, 江惠霞, 褚淑祎 (6463)
基于生态足迹方法的南京可持续发展研究.....	周 静, 管卫华 (6471)
基于投入产出方法的甘肃省水足迹及虚拟水贸易研究.....	蔡振华, 沈来新, 刘俊国, 等 (6481)
浦江县土壤碱解氮的空间变异与农户 N 投入的关联分析	方 斌, 吴金凤, 倪绍祥 (6489)
长江河口潮间带盐沼植被分布区及邻近光滩鱼类组成特征	童春富 (6501)
深圳湾不同生境湿地大型底栖动物次级生产力的比较研究.....	周福芳, 史秀华, 邱国玉, 等 (6511)
灰斑古毒蛾口腔反吐物诱导沙冬青细胞 Ca^{2+} 内流及 H_2O_2 积累	高海波, 张淑静, 沈应柏 (6520)
濒危物种金斑喙凤蝶的行为特征及其对生境的适应性.....	曾菊平, 周善义, 丁 健, 等 (6527)
细叶榕榕小蜂群落结构及动态变化.....	吴文珊, 张彦杰, 李凤玉, 等 (6535)
专论与综述	
流域生态系统补偿机制研究进展	张志强, 程 莉, 尚海洋, 等 (6543)
可持续消费的内涵及研究进展——产业生态学视角	刘晶茹, 刘瑞权, 姚 亮 (6553)
工业水足迹评价与应用.....	贾 佳, 严 岩, 王辰星, 等 (6558)
矿区生态风险评价研究述评.....	潘雅婧, 王仰麟, 彭 建, 等 (6566)
研究简报	
围封条件下荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物枯落量及其蓄积动态.....	李学斌, 陈 林, 张硕新, 等 (6575)
密度和种植方式对夏玉米酶活性和产量的影响.....	李洪岐, 蔺海明, 梁书荣, 等 (6584)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 312 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-10	

封面图说: 草丛中的朱鹮——朱鹮有着鸟中“东方宝石”之称。洁白的羽毛, 艳红的头冠和黑色的长嘴, 加上细长的双脚, 朱鹮历来被日本皇室视为圣鸟。20 世纪前朱鹮在中国东部、日本、俄罗斯、朝鲜等地曾有较广泛地分布, 由于环境恶化等因素导致种群数量急剧下降, 至 20 世纪 70 年代野外已认为无踪影。1981 年 5 月, 中国鸟类学家经多年考察, 在陕西省洋县重新发现朱鹮种群, 一共只有 7 只, 也是世界上仅存的种群。此后对朱鹮的保护和科学研究做了大量工作, 并于 1989 年在世界首次人工孵化成功。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201110271605

孙晓芳, 岳天祥, 范泽孟. 中国土地利用空间格局动态变化模拟——以规划情景为例. 生态学报, 2012, 32(20): 6440-6451.

Sun X F, Yue T X, Fan Z M. Simulation of the spatial pattern of land use change in China: the case of planned development scenario. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(20): 6440-6451.

中国土地利用空间格局动态变化模拟 ——以规划情景为例

孙晓芳^{1,2}, 岳天祥^{1,*}, 范泽孟¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 土地利用变化研究在环境可持续发展研究领域具有重要的地位, 其空间分布格局的变化影响到生物地球化学循环、气候变化、生物多样性等。采用土地利用动态变化模型 Dyna-CLUE 模拟了在规划情景下中国土地利用变化未来空间分布格局。将土地利用类型分为六大类, 即耕地、草地、林地、建设用地、水域和其它用地。驱动因子包括地形地貌、气候、社会交通等方面, 对动态驱动因子如气温、降水、人口交通等, 考虑了其在未来情景下的发展趋势。基于土地利用类型与驱动因子之间的定量关系和土地利用类型之间的转换规则等, 模拟出至 2020 年中国土地利用分布格局。结果表明, 至 2020 年, 中国东南部、黄淮海平原、四川盆地等地区耕地面积将增加, 东北、西北等农牧交错区、农林交错区和沙漠边缘耕地面积将会呈轻度减少趋势; 林地面积将增加 1417.91 万 hm^2 , 主要发生在中国东北部以及西南部水热条件好的地区; 中国草地在面积上保持稳定, 空间上中东部、东南地区草地面积减少, 内蒙古中部, 青海东部, 四川盆地北缘区和青藏高原等地面积增加; 建设用地增加 531.76 万 hm^2 , 主要发生在中国的东部地区。

关键词: 中国; 土地利用变化; 空间模型; 情景; 降尺度

Simulation of the spatial pattern of land use change in China: the case of planned development scenario

SUN Xiaofang^{1,2}, YUE Tianxiang^{1,*}, FAN Zemeng¹

1 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Land use change is a key subject in the research of sustainable development in environment. The spatial pattern of land use change closely related to earth system functioning, such as climate warming, biogeochemical circle and landscape biodiversity. In order to improve ecological environment and promote social development, a series of land use policies such as afforestation, restoration of degraded grassland and protection of cultivated land had been formulated. These policies will exert a great influence on the spatial pattern of land use in China. However, the land use policies only provide an overview of the land use changes at the national scale but can't give insight into the changes at the regional and landscape scales. In this paper, the Dyna-CLUE model, which is a dynamic, spatially explicit land use change model had been used to simulate the spatial pattern of land use change in China in the coming decades. The planned development scenario was developed, in which the total area for each land use types in the future were defined as required by the land use policies. The Chinese level land use demands were downscaled to land use pattern at 2 km^2 resolution. Six land use types were distinguished which are built-up land, arable land, grassland, forest land, water area and other land. The

基金项目: 国家杰出青年科学基金 (40825003); 国家重点基础研究发展计划“973 计划” (2010CB950904); 国家自然科学基金重点项目课题 (41023010)

收稿日期: 2011-10-27; 修订日期: 2012-08-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yue@reis.ac.cn

spatial allocation of land uses were simulated based on the location suitability and user-specified decision rules. The driving factors include climatic and economic condition, traffic situation, soil texture, topography and demography. Logistic regression was used to quantify the relation between land use patterns and these driving factors. Climatic factors, traffic and population were defined as dynamic driving factors. In the future, the HadCM3 B2 climatic scenario was adopted to provide climatic data; the spatial pattern of population was simulated by SMPD (surface modeling of population distribution), and the railway and road development plan was made by the government. Other stable driving factors such as topography, soil texture were assumed to remain unchanged in the future 15 years. The performance of the land use change model was validated, showing that this method can simulate the spatial pattern of land use change accurately. The results indicate that the area of cultivated land would keep no less than 120.33 million hectares, however, it would decrease in western region where the land is not suitable for cultivation and would increase in central south China. The forest area would increase by 14.28 million hectares, mainly in northeastern and southwestern China, where the climate is sufficiently hospitable for forest growth. The area of built-up land would increase by 5.3176 million hectares, mainly in eastern and southeastern regions of China which are characterized by high population density and advanced economy. The simulation has the potential to help decision makers and scientists identify the critical regions that need specific consideration. The high spatial resolution of the results enable the assessment of impact of land use change on a large number of environmental indicators, including climate change, carbon sequestration and landscape diversity.

Key Words: China; land use change; spatial model; scenario; downscaling

土地利用变化从根本上改变生态系统结构和功能,对资源、环境和社会产生深远的影响。随着人口增长和经济的发展,人类对自然资源的开发和利用日益增加,促使土地利用变化愈加活跃,由此所引起的气候变化、生物多样性保持、食物供给能力、环境污染等问题成为社会和科学界共同关注的热点问题^[1-5],因此对土地利用变化空间分布格局的模拟显得十分重要。近年来国内外发展了很多土地利用变化空间模型,如 CLUE (Conversion of Land Use and its Effects model)^[6], GEOMOD^[7], SLEUTH^[8], DSL (Dynamics of Land System)^[9]等。Verburg 等利用全球经济模型 GTAP (Global Trade Analysis Project) 和 IMAGE (Integrated Modeling to Assess the Global Environment) 模型估算了欧洲国家尺度上对农田的面积总需求,并基于 CLUE-S (Conversion of Land Use and its Effects at Small regional extent) 模型将该面积总需求扩展到空间尺度^[10]。何春阳等通过综合系统动力学模型和元胞自动机模型,从宏观用地需求总量和微观土地供给相平衡的角度发展了土地利用情景变化动力学模型 (LUSD, Land Use Scenarios Dynamics model),模拟了中国北方 13 省未来 20a 土地利用变化情景^[11]。Deng 等采用土地系统动态模拟系统 DSL 模拟了太仆寺旗在经济、生态和参考 3 种情景下土地利用变化的时空分布模式^[12]。Liu 等采用细胞自控制模型与人工神经网络模型相耦合的方法对珠江三角洲各发展情景下的土地利用格局变化进行了模拟^[13]。梁友嘉等通过集成 SD (System Dynamics model) 模型和 CLUE-S 模型模拟了中国张掖市甘州区在经济加速发展、平稳发展和减速发展 3 种情景下至 2035 年土地利用变化的时空过程^[14]。此外,基于遥感探测数据,目前已建成了大量全球和区域尺度的土地利用变化时空数据集,成为气候变化、生物地球化学模拟等地球系统过程研究的重要数据基础^[15]。以上研究分别在不同时空尺度上模拟了土地利用变化空间格局,从不同方向推动了土地利用变化空间格局模拟研究的发展。

为了缓解生态环境破坏加剧的趋势、保障国家粮食安全,统筹土地资源的开发,我国制定了相关的未来的土地利用总体规划,而仅在全国尺度上分析评估土地利用变化对一系列生态过程的影响显然是不够的,中国的自然环境和社会经济状况在地区间的差距较大,各土地利用类型变化具有明显的地域分异,因此必须将国家尺度的土地利用规划与空间分布相结合,对未来土地利用的空间分布格局进行模拟分析,才能了解土地利用变化的热点区域、评估土地利用系统与陆地生态系统之间的相互作用及土地利用变化对生态、社会经济等的影响。本研究以 Dyna-CLUE (Dynamic Conversion of Land Use and its Effects model) 为例模拟了中国未来土

地利用变化的空间分布格局,实现了国家规划驱动下的土地利用变化过程的空间表现,介绍了所采用的气候、地形地貌和社会经济数据,分析土地利用与各因子之间的关系、模拟结果一方面能够对各地区资源的合理开发利用、生态环境的保护、社会经济的可持续发展和因地制宜调整土地利用格局提供有益建议,另一方面使得土地利用变化对各种环境指示因子如碳收支和生物多样性等的影响评估成为可能。

1 模型与方法

1.1 土地利用模拟方法

研究基于国家对各类型土地利用面积规划数据,采用土地利用动态变化模型对中国未来土地利用变化进行空间模拟分析,研究方案如图 1 所示。Dyna-CLUE 模型是在 CLUE-S 模型^[16-17]的基础上进行了发展改进,是考虑了社会经济驱动因子和生物、物理驱动因子,综合分析土地利用变化的跨尺度动态模型。将“自上而下”和“自下而上”过程相结合,综合了土地利用变化的宏观驱动因素与微观格局演化特征,融合了土地利用的数量变化与空间分布,同时能够全面的考虑多种土地利用变化驱动因子,通过运用系统论处理各土地利用类型间的竞争关系,实现对不同土地利用变化在空间上的直观表达^[6]。

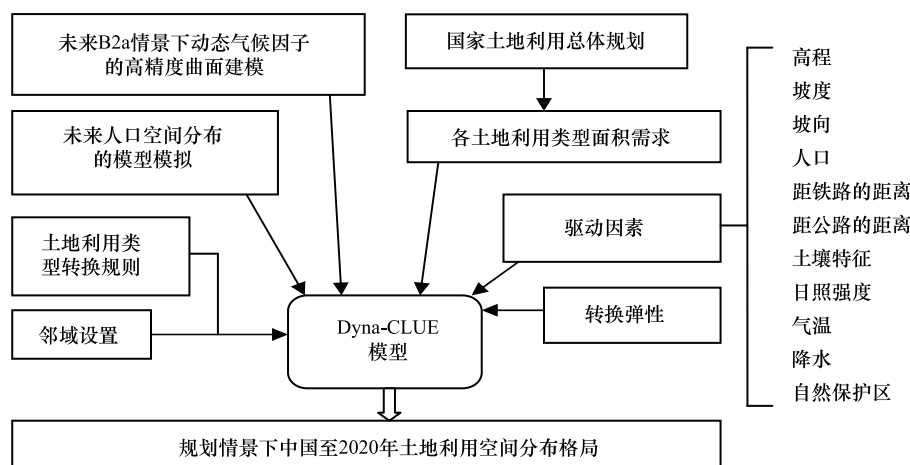


图 1 规划情景下中国土地利用空间分布模拟方法框架

Fig. 1 Flowchart of the simulation of future land use spatial pattern for China under the planned development scenario

Dyna-CLUE 模型假设土地利用变化受土地利用需求驱动,土地需求、土地利用空间分布格局和该地区自然环境、社会经济状况三者之间处于动态平衡态。模型主要包括 4 个模块,土地需求模块,空降水等气候因间适宜性分析模块,各类型土地利用转换设置模块和空间政策制约模块^[18]。其中空间需求模块中确定每种土地利用类型实际应分配到的面积总量,决定每种土地利用类型整体上的竞争力。空间适宜性模块中,基于土地利用空间格局现状与多种驱动因素所建立的空间相关关系和邻域效应原则对每个栅格上各土地利用类型的适宜性做出评价,在空间上对各土地利用类型进行优化布局,是模型核心部分之一,决定土地利用的空间格局特征。各类型土地利用转化设置模块包括对不同土地利用类型的稳定性进行设置和对土地利用类型之间相互转换的可能性进行设置。空间政策制约模块中,模型设置了土地利用类型间的转换条件,例如自然保护区的森林和草地等不容许转换为耕地和建设用地,从而使得模拟结果更接近实际情况。在 Dyna-CLUE 模型的模拟过程中,综合各土地类型的总需求、空间分布适宜性、土地利用转化规则、限制条件,基于土地利用现状图,对土地利用进行空间分配。首先确定可转换的土地利用模拟单元,按照该单元不同土地利用类型的分布适宜性大小对土地利用变化进行分配,生成最初土地利用图,然后与土地利用需求之间寻求平衡,通过多次迭代直到符合各土地利用类型的面积需求^[10]。

1.2 数据

根据 Dyna-CLUE 模型的结构,进行模拟时需要输入四类数据,即各类型土地利用未来总面积需求数据、地域特征数据、空间政策制约数据和土地利用类型之间转换的参数设置。

其中各类型土地利用未来总面积需求数据基于《全国土地利用总体规划纲要(2006—2020 年)》;该规划制定了未来至 2020 年中国主要土地利用类型(如建设用地、林地、耕地、草地)的发展目标,各土地利用类型未来的面积变化如图 2 所示。由于统计部门数据和土地利用遥感数据^[19]存在一定的偏差,其中,遥感监测获得的 2005 年建设用地、耕地、林地、草地的面积分别是 19 万、179 万、300 万、225 万 km^2 ,而统计部门对应的数据分别是 31 万、122 万、262 万、247 万 km^2 ,因此对数据进行了适当的调整,基于各土地利用类型的空间数据与统计数据的比例,将各土地利用类型未来的规划数据与空间数据相匹配。土地利用规划纲要做出了对 2010 年和 2020 年各土地利用类型的发展规划,2010 年至 2020 年逐年各土地利用类型面积由线性内插得到。以

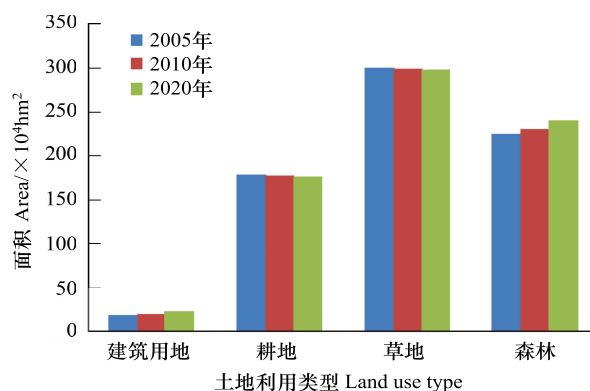


图 2 2005 年至 2020 年土地利用规划中各土地利用类型需求面积变化曲线

Fig. 2 Variation curves of needed area of various types of land in land use planning for 2005—2020

2005 年中国土地利用遥感解译图作为初始基准面数据^[18],根据本研究需要,将原土地利用图中的土地利用类型合并为 6 种:建设用地、耕地、林地、草地、水域和未利用地。各类型土地利用未来总面积需求数据将在总体上控制着全国土地利用变化的总量水平^[20]。

土地利用变化受到许多自然因子和社会因子的影响^[21-22],本研究中将驱动土地利用变化的地域特征因子分为两大类,即非动态驱动因子和动态驱动因子。非动态驱动因子包括高程、坡度、坡向、排水能力等地形地貌数据,土壤厚度、pH 值、土壤质地、土壤有机质含量等土壤因子数据,假定上述非动态驱动因子在未来 20a 不会发生明显的变化。动态驱动因子包括气温、降水等气候因子、公路分布、铁路分布、人口数量等社会经济因子,动态驱动因子在未来时期会发生较为明显的变化,需要提供未来时期的空间数据,从而更好地模拟未来情景下土地利用分布格局。本研究中,未来交通数据来源于《中长期铁路网规划》和中国国家公路网建设发展规划,根据规划图进行数字化得到(图 3,图 4);未来人口采用人口空间分布曲面模型(SMPD, Surface Modeling of Population Distribution)模拟得到^[23-24];根据我国“十一五”中长期发展规划,中国未来发展与区域可持续发展(B2)情景接近,因此本研究选用 B2 情景下的气候数据作为未来驱动土地利用变化的气候因素,GCM(General Circulation Model)的模拟数据是全球尺度上对未来气候情景进行宏观预测分析,结合 DEM(Digital Elevation Model)数据、经纬度、坡向、坡度等系列地形特征数据,构建年平均气温的降尺度模型和年平均降水的降尺度模型的基础上,运用 HASM(高精度高速度曲面建模方法, High Accuracy Surface Modeling)对 HadCM3(the third version of the Hadley center Coupled Model)的全国未来平均气温和平均降水进行高精度曲面模拟^[25-27],得到全国 1 km 分辨率的气候情景数据^[28-29]。

采用 Logistic 逐步回归评价分析各土地利用类型与其驱动因子的关系及其空间表现形式,该方法是土地利用变化研究中的常用方法^[30],以各土地利用类型为因变量,驱动因子为自变量建立二元 Logistic 回归方程,通过土地利用空间分布与驱动因素之间的关系得出各土地利用类型的空间分布概率,对土地利用需求进行空间分配。

空间政策制约模块指根据各地土地利用的实际情况确定土地利用转换中的特殊限制条件,根据国家土地利用规划内容,严格控制各项建设工程征占自然保护区、森林公园,本研究中对中国自然保护区内土地利用类型的转化进行了限制,中国的自然保护区分布如图 5 所示,在保护区内,森林、草地等自然生态系统不会受到干扰和破坏而转变为建设用地和耕地。

土地利用稳定程度即某一土地利用类型转换为其他类型的难度大小,该参数介于 0—1 之间,参数为 0 时可以任意转换为其它类型,参数为 1 时则不会转换为其它类型。本研究中,根据专家经验建设用地、耕地、草

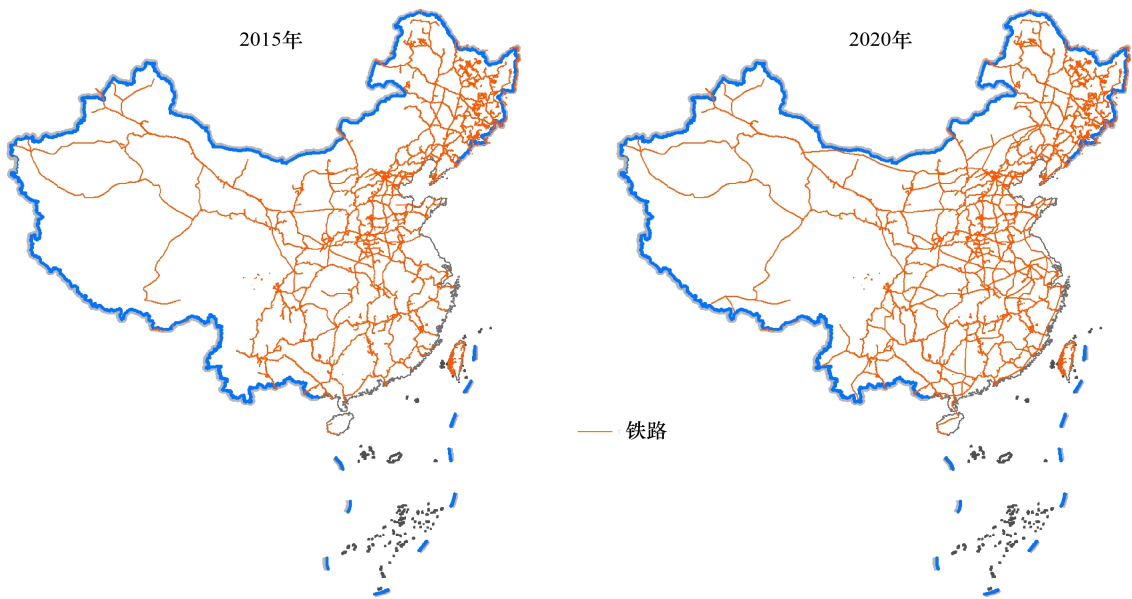


图3 中国未来主要铁路分布图

Fig. 3 Spatial distribution of railway in China in 2015 and 2020

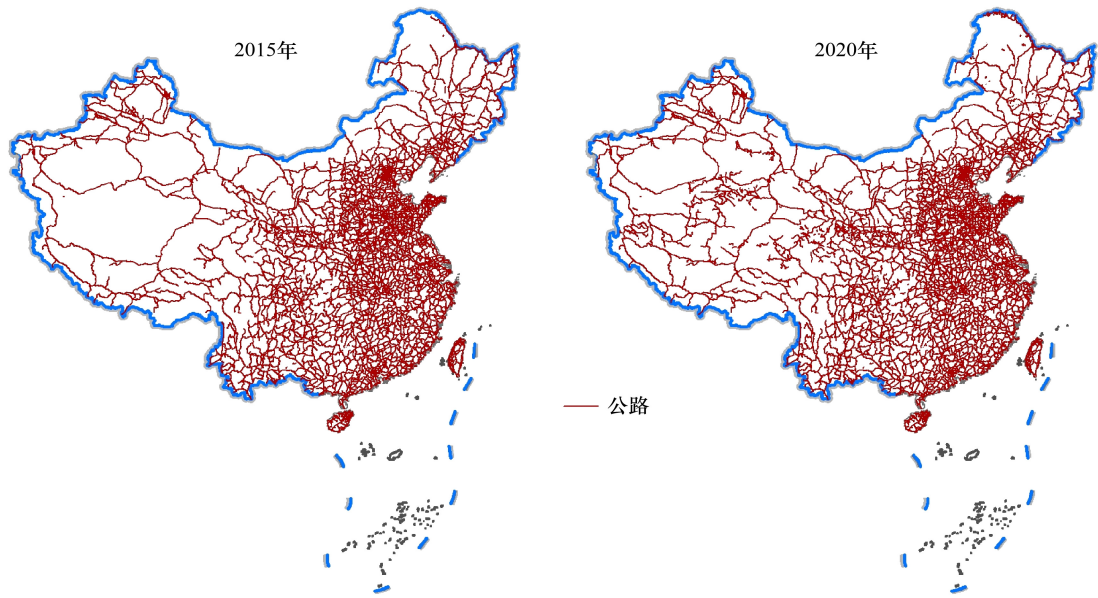


图4 中国未来主要公路分布图

Fig. 4 Spatial distribution of road in China in 2015 and 2020

地、林地、水域的稳定程度分别设置为0.9、0.7、0.6、0.9、0.9。各土地利用类型之间转移规则为,允许建设用地转移为耕地,不允许其转移为林地和草地;允许耕地转移为建设用地、草地、林地和未利用地;自然保护区外允许草地转移为耕地、建设用地,而不能转移为林地;自然保护区外林地可以转移为建设用地、耕地、草地和未利用地,未利用地可以转移为建设用地、耕地和草地,在降雨量大于250 mm的地区,未利用地可以转移为林地^[31-32]。上述各土地利用类型之间的转移规则是依据专家经验和文献资料所制定,只是体现了各类型之间相互转化的可能性,而各类型之间是否会发生转移还要根据局地土地利用的适宜性来判定。

1.3 土地利用模型验证

利用1985年的土地利用空间分布图作为基准年数据,采用Dyna-CLUE模型预测出2000年的土地利用

分布格局,应用 2000 年真实的土地利用遥感解译图与模型预测的 2000 年土地利用图进行 Kappa 指数分析^[33-34],其中 1985 至 2000 年间的土地利用面积数据采取线性插值法获得。分析结果表明位置 Kappa 系数值为 0.86,具有较高的一致性。说明模型具有较好的空间预测能力。面积 Kappa 系数值为 0.99,这是因为各土地利用类型面积的需求值是作为已知参数输入的。

1.4 土地利用动态度模型

为了分析各土地利用类型的空间格局的变化,采用土地利用动态度模型对土地利用变化速率的区域差异进行分析^[20,35]:

$$S = \sum_{ij}^n (\Delta S_{i-j} / S_i) \times (1/t)$$

式中, S_i 为模拟开始时间第 i 类土地利用类型总面积,本研究指栅格单元面积; ΔS_{i-j} 为模拟开始至模拟结束时段内第 i 类土地利用类型转换为其他类土地利用类型面积总和; t 为土地利用变化时间段, S 为与 t 时段对应的研究区土地利用变化速率。该模型用于单一土地利用类型变化速率的度量^[20]。根据 10 km 网格内主导转换类型的变化最大的类型确定为该栅格的变化类型,形成主导转换土地利用动态类型图。

2 结果和分析

2.1 各土地利用类型空间分布适宜性

土地利用类型和各驱动因子进行 Logistic 回归的结果用 ROC (Receiver Operating Characteristic) 来检验^[36],ROC 的值在 0.5 至 1.0 之间,其值越接近 1.0,表明回归方程对土地利用分布格局的解释能力越强,由表 1 可知,各土地利用类型的 ROC 值均在 0.8 以上,说明本研究所选的驱动因素对中国土地利用空间分布判别效果较好。根据 Logistic 回归结果得到土地利用分布的适宜性图(图 6)。适宜发展耕地的地区分布在中、东部气候湿润、地势平坦、人口相对集中、自然条件较为优越的地区。林地适宜分布区为我国东北区、中亚热带湿润区和南亚热带湿润区。草地分布的适宜区为青藏高原区、新疆西北部地区及内蒙古地区。建设用地的适宜区集中在东部人口密集区,与耕地的适宜区有一定的交集,因此在土地利用规划过程中要进行科学配置,提高土地利用效率,既要保障必要的设施用地,又要控制建设用地的低效扩张,控制其对耕地的占用。

表 1 各土地利用类型 Logistic 逐步回归结果的 ROC 值

Table 1 The ROC values for logistic regression for different land use types

土地利用类型 Land use type	ROC 值 ROC value
建设用地 Built-up	0.884
草地 Grassland	0.802
林地 Forest	0.875
耕地 Arable land	0.864
水域 Water area	0.848

2.2 中国土地利用时空格局变化模拟结果

2005 年和规划情景下 2020 年中国土地利用分布格局如图 7 所示,总体而言,中国土地利用分布状况不会发生很大的变化,这是因为各土地利用类型的分布格局是在长期历史发展过程中形成的,与中国的自然地



图 5 中国自然保护区分布图

Fig. 5 Spatial distribution of natural reserve in China

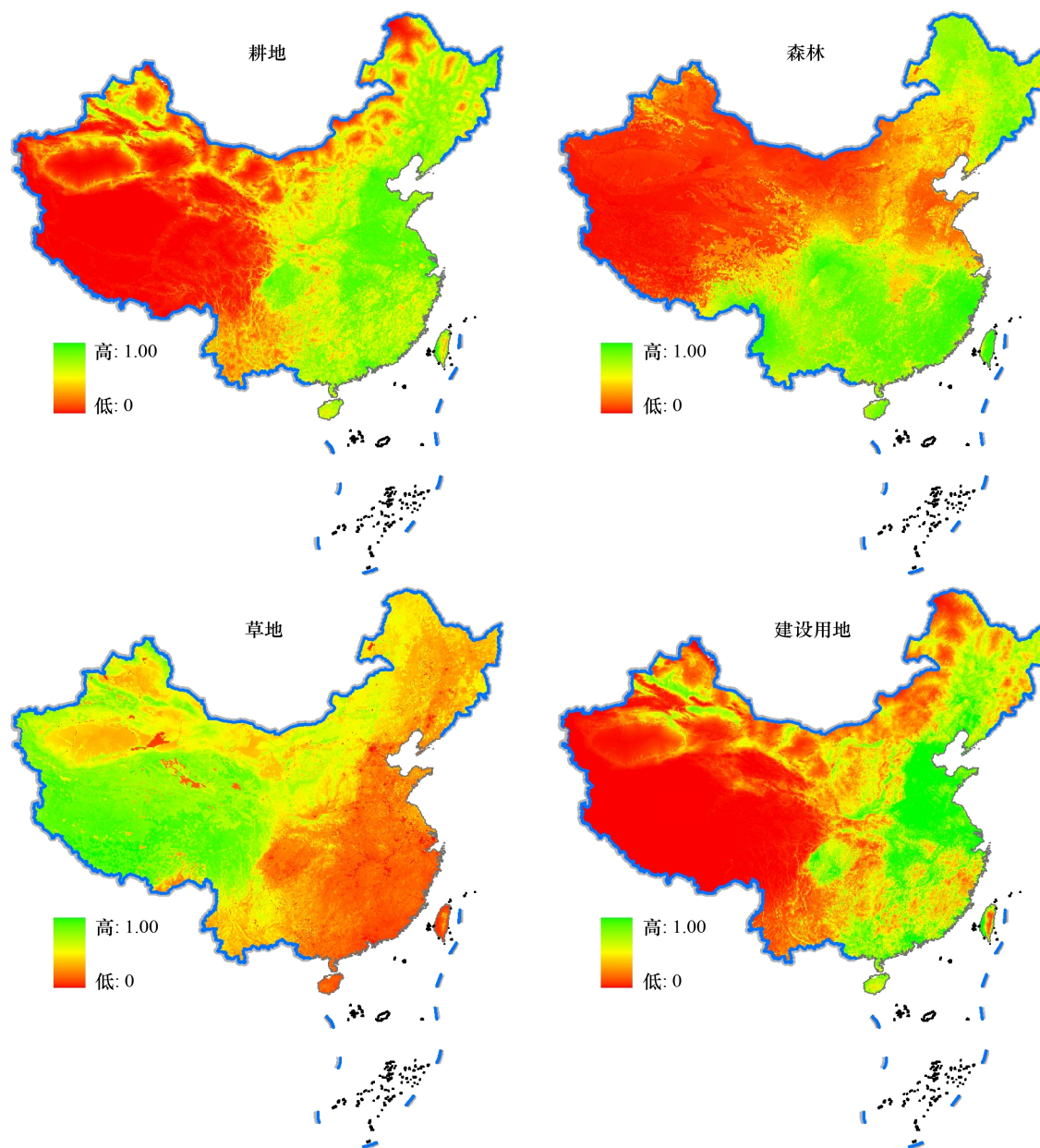


图6 各土地利用类型的分布概率图

Fig. 6 Probability maps for cultivated land, forest, grassland and built-up land in China

理环境相适应,不会在较短的预测期内有大的变动,但是通过土地利用动态模型的计算结果(图8),能够较为直观清晰的分析判断2005年至2020年中国土地利用空间分布格局的变化,有利于对土地利用变化及其影响作进一步的分析研究。

根据土地利用规划,为了保障国家粮食安全和生态安全,耕地保护将得到强化,阻止优质耕地的减少,提高耕地质量,全国耕地在2020年不低于 12.03hm^2 (图2)。由Dyna-CLUE模型模拟的土地利用变化空间分布格局可知(图8),中国东南部、黄淮海平原、四川盆地等地区耕地面积将增加,东北、西北等农牧交错区、农林交错区和沙漠边缘耕地面积将会呈轻度减少趋势,因此,一些质量较差的非宜农地趋向于减少、东部及南部土壤肥沃、农业生产力较高的高质量耕地面积增加。这与中国耕地规划的意图是相符合的,即从数量和质量(产能)两方面实现耕地保护目标,增强耕地管护。

森林生态系统在气候调节、水土保持、环境保护等方面具有重要的作用,因此,中国土地利用规划提出要

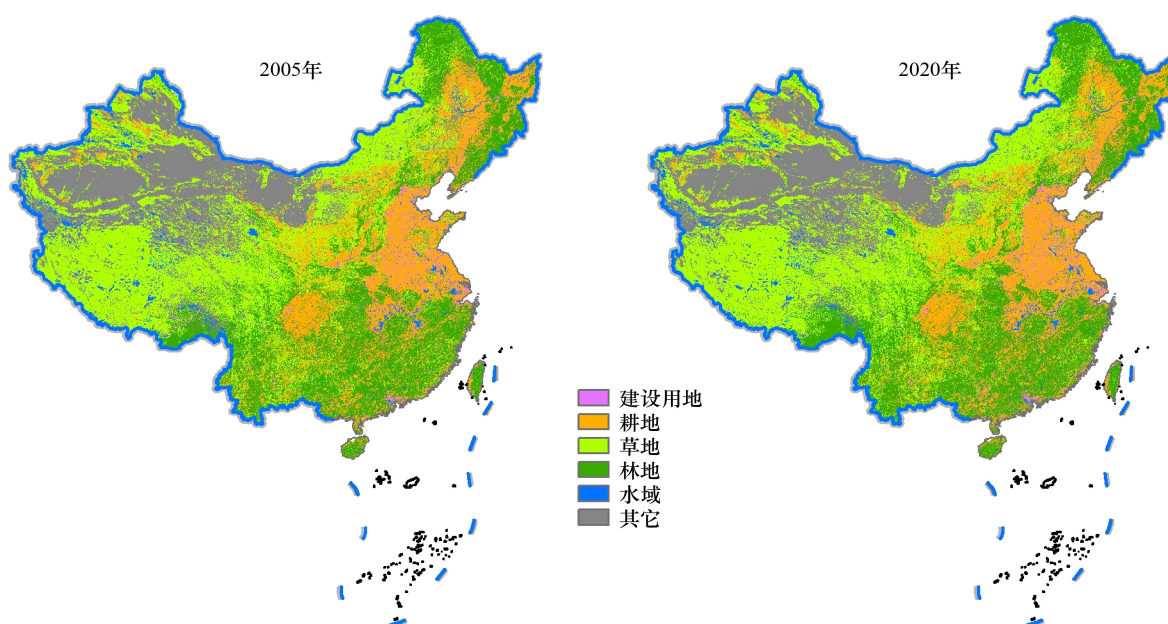


图7 2005年和规划情境下2020年中国土地利用分布格局

Fig. 7 The spatial pattern of land use of China under planned development scenario

充分利用宜林荒山荒坡造林,扩大有林地面积,到2020年,林地面积增加1417.91万 hm^2 。根据模拟的结果,增加的林地主要分布在中国东北部以及西南部水热条件好的地区(图8),近几十年来,我国东北林区采伐率高,林业用地面积缩小十分迅速,面临严重的森林资源危机,未来要实施合理采伐政策,重建受损林地,增加该区森林面积。西南地区森林成熟林、过熟林比重高,森林自然枯损严重,另外火灾、毁林开荒也普遍存在,提高对该区森林资源管理水平能够增加该地区的森林面积。模拟结果展现了林地面积增加时的最优分布格局,有助于对植树造林的选址和用地进行科学的控制和引导,提高造林的生态效益。如果仅以森林总面积的增加为目的,不充分考虑林地分布的适宜性和合理性,则具有盲目性,例如在适宜草原分布的地区植树会导致下层土酸化,原生植被受到破坏,反而不利于水土保持。

根据国家土地利用总体规划,全国草地总面积至2020年与2005年基本保持不变。空间上根据模拟结果表现为我国中东部、东南地区草地面积减少,内蒙古中部,青海东部,四川盆地北缘区和青藏高原等地面积增加(图8)。

我国处于城镇化工业化快速发展阶段,建设用地需求量将保持增加趋势,到2020年,建设用地面积将增加531.76万 hm^2 ,主要发生在中国东部地区。东南沿海、京津塘地区、黄淮海平原等地建设用地扩张显著(图8)。

3 结论和讨论

本文对中国规划情景下土地利用变化的空间分布格局进行了模型分析,根据各土地利用类型分布的空间适宜性将国家尺度的土地利用规划降尺度到栅格尺度。Dyna-CLUE模型同时考虑了自然环境、社会、经济、政策等多种因子与土地利用之间的相互作用,形成了土地适宜性,在此基础上对一定区域内的土地利用类型进行空间优化布局,模拟结果为因地制宜调整各类用地布局、遵循生态规律制定相应的土地开发政策提供有宜的参考和依据。同时有利于决策者和科研工作者发现土地利用变化的热点和关键区域,对气候变化、生态修复、碳循环等研究提供重要的数据基础。例如根据土地利用变化空间格局模拟结果,结合不同时段农田土地利用分类面积数据计算中国光温生产潜力及其变化,可以估算出土地利用变化对中国农田光温生产潜力的影响^[37-38];土地利用变化是引起碳源、汇变化的主要原因之一,结合土地利用变化空间格局可以估算植被碳储量和土壤碳储量的变化^[39-43];根据土地利用格局所提取的各土地类型的面积和连通性可以估测土地利

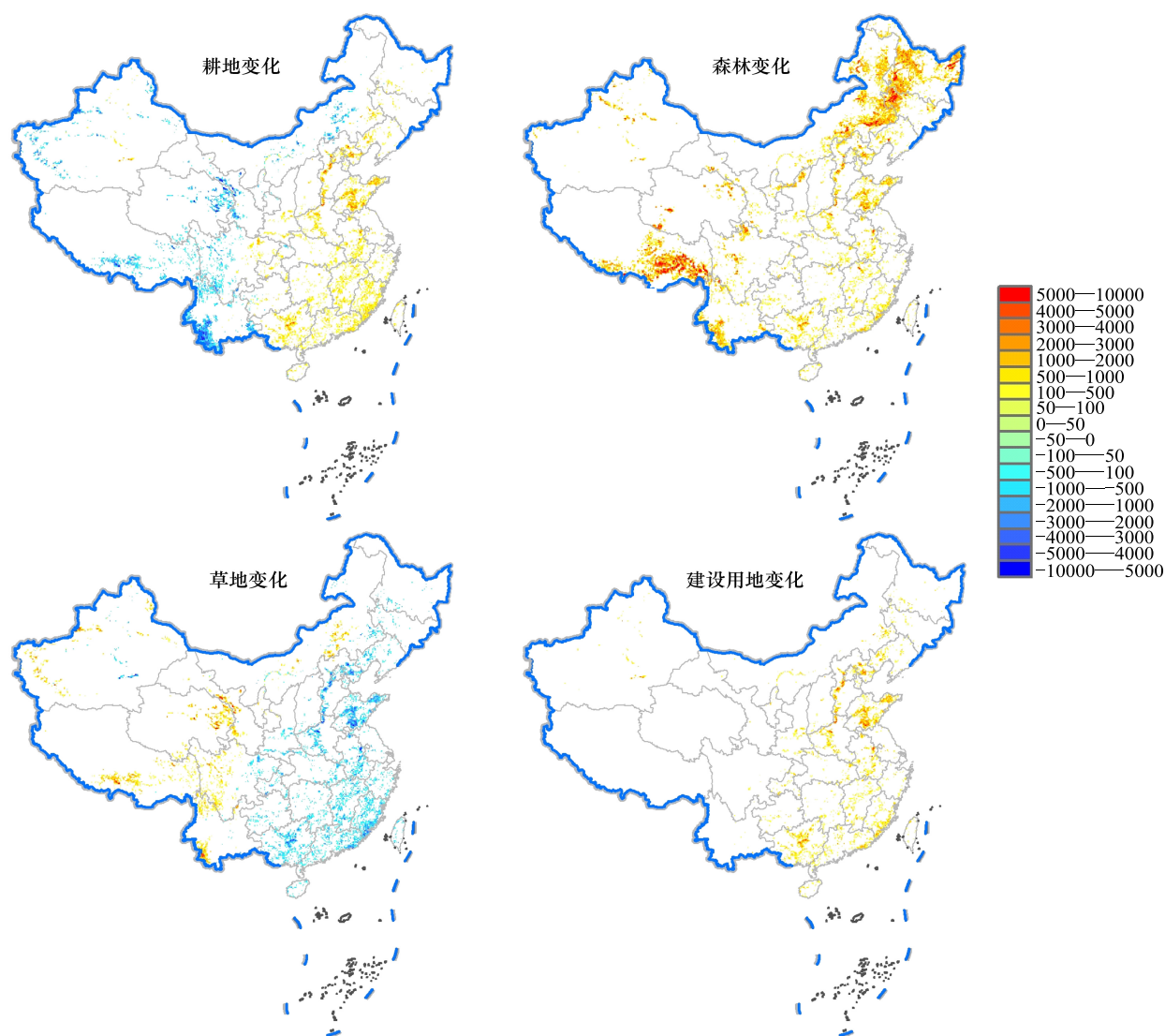


图8 2005—2020年间主要土地利用类型变化

Fig. 8 Land use change area of main types from 2005 to 2020

数值表明 10 km×10 km 栅格内,其净变化面积(hm²),即根据变化图斑汇总的此类型增加面积与减少面积的差

用类型对生物多样性分布的影响^[44];土地利用变化通过生物地球物理作用和生物地球化学作用对气候变化产生重要影响^[45-48],对土地利用变化空间格局的模拟能够使得对未来气候变化的预测更加精确,增强应对全球气候变化能力;另外,结合土地利用变化的空间格局以及水文模型如 L-THIA (Long-Term Hydrological Impact Assessment) 可模拟不同土地利用情景对地表径流的影响^[49];等等。在以后的研究中,拟结合其它相关数据源和数学模型,在本研究结果的基础上,模拟不同情景下中国土地利用变化对关键生态环境因子的影响效应。

本文的预测建立在一些假设的基础上,因此模拟结果只是对未来土地利用变化的一种可能性展示,具有很大的不确定性,并不能代表未来土地利用的实际变化。这是因为,首先,模型假设土地利用变化和驱动因子的关系在短期内保持不变,进而通过现存的土地格局与驱动因子的相关关系预测未来土地变化的空间分布;其次,模型中的参数如土地利用转换规则和各土地利用类型的稳定强度是根据专家经验来设定,也具有一定程度的不确定性;本文是基于规划情景进行的模拟,模拟结果是否接近未来实际也取决于规划目标是否能够顺利实现。因此本研究的结果仅说明了未来土地利用变化空间分布的可能趋势。

References:

- [1] Foley J A, DeFries R, Asner G P, Barford C, Bonan G, Carpenter S R, Chapin F S, Coe M T, Daily G C, Gibbs H K, Helkowski J H, Holloway T, Howard E A, Kucharik C J, Monfreda C, Patz J A, Prentice I C, Ramankutty N, Snyder P K. Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574.
- [2] Houghton R A, Goodale C L. Effects of land-use change on the carbon balance of terrestrial ecosystems. *Ecosystems and Land Use Change*, 2004, 153: 85-98.
- [3] Shi J, Cui L L. Soil carbon change and its affecting factors following afforestation in China. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 98(2): 75-85.
- [4] Turner B L II, Lambin E F, Reenberg A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(52): 20666-20671.
- [5] Falcucci A, Maiorano L, Boitani L. Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation. *Landscape Ecology*, 2007, 22(4): 617-631.
- [6] Verburg P H, Overmars K P. Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model. *Landscape Ecology*, 2009, 24(9): 1167-1181.
- [7] Pontius R G, Jr, Cornell J D, Hall C A S. Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: application and validation with Costa Rica. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2001, 85(1/3): 191-203.
- [8] Goldstein N C, Candau J T, Clarke K C. Approaches to simulating the "March of Bricks and Mortar". *Computers, Environment and Urban Systems*, 2004, 28(1/2): 125-147.
- [9] Deng X Z. *Dynamic Simulation of Land Use System*. Beijing: China Land Press, 2008.
- [10] Verburg P H, Eickhout B, van Meijl H. A multi-scale, multi-model approach for analyzing the future dynamics of European land use. *Annals of Regional Science*, 2008, 42(1): 57-77.
- [11] He C Y, Shi P J, Chen J, Li X B, Pan Y Z, Li J, Li Y C, Li J G. Developing land use scenario dynamics model by the integration of system dynamics model and cellular automata model. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2005, 48(11): 1979-1989.
- [12] Deng X, Su H, Zhan J. Integration of multiple data sources to simulate the dynamics of land systems. *Sensors*, 2008, 8(2): 620-634.
- [13] Liu X P, Li X, Shi X, Zhang X H, Chen Y M. Simulating land-use dynamics under planning policies by integrating artificial immune systems with cellular automata. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(5): 783-802.
- [14] Liang Y J, Xu Z M, Zhong F L. Land use scenario analyses by based on system dynamic model and CLUE-S model at regional scale: a case study of Ganzhou district of Zhangye city. *Geographical Research*, 2011, 30(3): 564-576.
- [15] Liu J, Deng X. Progress of the research methodologies on the temporal and spatial process of LUCC. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55(14): 1354-1362.
- [16] Castella J C, Verburg P H. Combination of process-oriented and pattern-oriented models of land-use change in a mountain area of Vietnam. *Ecological Modelling*, 2007, 202(3/4): 410-420.
- [17] Verburg P H, Soepboer W, Veldkamp A, Limpiada R, Espaldon V, Mastura S S A. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model. *Environmental Management*, 2002, 30(3): 391-405.
- [18] Verburg P H, Schulp C J E, Witte N, Veldkamp A. Downscaling of land use change scenarios to assess the dynamics of European landscapes. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2006, 114(1): 39-56.
- [19] Liu J Y, Zhuang D F, Luo D, Xiao X. Land-cover classification of China: integrated analysis of AVHRR imagery and geophysical data. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(12): 2485-2500.
- [20] Liu J Y, Zhang Z X, Xu X L, Kuang W H, Zhou W C, Zhang S W, Li R D, Yan C Z, Yu D S, Wu S X, Jiang N. Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the early 21st century. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(12): 1411-1420.
- [21] Bürgi M, Hersperger A M, Schneeberger N. Driving forces of landscape change-current and new directions. *Landscape Ecology*, 2004, 19(8): 857-868.
- [22] Lambin E F, Turner B L, Geist H J, Agbola S B, Angelsen A, Bruce J W, Coomes O T, Dirzo R, Fischer G, Folke C, George P S, Homewood K, Imbernon J, Leemans R, Li X B, Moran E F, Mortimore M, Ramakrishnan P S, Richards J F, Skånes H, Steffen W, Stone G D, Svedin U, Veldkamp T A, Vogel C, Xu J C. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 2001, 11(4): 261-269.
- [23] Yue T X, Wang Y A, Liu J Y, Chen S P, Qiu D S, Deng X Z, Liu M L, Tian Y Z, Su B P. Surface modelling of human population distribution in China. *Ecological Modelling*, 2005, 181(4): 461-478.

- [24] Yue T X, Wang Y A, Liu J Y, Chen S P, Tian Y Z, Su B P. SMPD scenarios of spatial distribution of human population in China. *Population and Environment*, 2005, 26(3): 207-228.
- [25] Yue T X, Du Z P, Song D J, Gong Y. A new method of surface modeling and its application to DEM construction. *Geomorphology*, 2007, 91(1/2): 161-172.
- [26] Yue T X, Fan Z M, Chen C F, Sun X F, Li B L. Surface modelling of global terrestrial ecosystems under three climate change scenarios. *Ecological Modelling*, 2011, 222(14): 2342-2361.
- [27] Yue T X, Du Z P. The comparison of errors between high accuracy surface modeling and traditional models. *Progress in Natural Resource*, 2006, 16(8): 986-991.
- [28] Fan Z M, Yue T X, Chen C F, Sun X F. Spatial change trends of temperature and precipitation in China. *Journal of Geo-Information Science*, 2011, 13(4): 526-533.
- [29] Fan Z M, Yue T X, Song Y J. Changing trends of temperature and precipitation based on YUE-HASM method. *Geographical Research*, 2009, 28(3): 643-652.
- [30] Serneels S, Lambin E F. Proximate causes of land-use change in Narok District, Kenya: a spatial statistical model. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2001, 85(1/3): 65-81.
- [31] Yue T X, Fan Z M, Liu J Y. Scenarios of land cover in China. *Global and Planetary Change*, 2007, 55(4): 317-342.
- [32] Yue T X, Fan Z M, Liu J Y, Wei B X. Scenarios of major terrestrial ecosystems in China. *Ecological Modelling*, 2006, 199(3): 363-376.
- [33] Pontius R G Jr. Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2000, 66(8): 1011-1016.
- [34] 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.
- [35] Liu J Y, Liu M L, Zhuang D F, Zhang Z X, Deng X Z. Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995—2000. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2003, 46(4): 373-384.
- [36] Pontius R G Jr, Schneider L C. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2001, 85(1/3): 239-248.
- [37] Liu J Y, Liu M L, Tian H Q, Zhuang D F, Zhang Z X, Zhang W, Tang X M, Deng X Z. Spatial and temporal patterns of China's cropland during 1990—2000: an analysis based on Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 98(4): 442-456.
- [38] Yan H M, Liu J Y, Huang H Q, Tao B, Cao M K. Assessing the consequence of land use change on agricultural productivity in China. *Global and Planetary Change*, 2009, 67(1/2): 13-19.
- [39] Wu H B, Guo Z T, Peng C H. Land use induced changes of organic carbon storage in soils of China. *Global Change Biology*, 2003, 9(3): 305-315.
- [40] Tappeiner U, Tasser E, Leitinger G, Cernusca A, Tappeiner G. Effects of historical and likely future scenarios of land use on above-and belowground vegetation carbon stocks of an alpine valley. *Ecosystems*, 2008, 11(8): 1383-1400.
- [41] Levy P E, Friend A D, White A, Cannell M G R. The influence of land use change on global-scale fluxes of carbon from terrestrial ecosystems. *Climatic Change*, 2004, 67(2/3): 185-209.
- [42] Chen L D, Gong J, Fu B J, Huang Z L, Huang Y L, Gui L D. Effect of land use conversion on soil organic carbon sequestration in the Loess Hilly area, Loess Plateau of China. *Ecological Research*, 2007, 22(4): 641-648.
- [43] Ge Q S, Dai J H, He F N, Pan Y, Wang M M. Land use changes and their relations with carbon cycles over the past 300 a in China. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2008, 51(6): 871-884.
- [44] Reidsma P, Tekelenburg T, van den Berg M, Alkemade R. Impacts of land-use change on biodiversity: an assessment of agricultural biodiversity in the European Union. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2006, 114(1): 86-102.
- [45] Betts R A, Falloon P D, Goldewijk K K, Ramankutty N. Biogeophysical effects of land use on climate: model simulations of radiative forcing and large-scale temperature change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2007, 142(2/4): 216-233.
- [46] Liu J Y, Shao Q Q, Yan X D, Fan J W, Deng X Z, Zhan J Y, Gao X J, Huang L, Xu X L, Hu Y F, Wang J B, Kuang W H. An overview of the progress and research framework on the effects of land use change upon global climate. *Advances in Earth Science*, 2011, 26(10): 1015-1022.
- [47] Gao X J, Luo Y, Lin W T, Zhao Z C, Giorgi F. Simulation of effects of land use change on climate in China by a regional climate model. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, 20(4): 583-592.
- [48] Feddema J J, Oleson K W, Bonan G B, Mearns L O, Buja L E, Meehl G A, Washington W M. The importance of land-cover change in simulating future climates. *Science*, 2005, 310(5754): 1674-1678.
- [49] Chen Y, Xu Y P, Yin Y X. Simulation of the hydrologic response to land-use and land-cover changes scenarios: a case study of Xitiaoxi basin.

Journal of Natural Resources, 2009, 24(2): 351-359.

参考文献:

- [9] 邓祥征. 土地系统动态模拟. 北京: 中国大地出版社, 2008.
- [11] 何春阳, 史培军, 陈晋, 潘耀忠, 李晓兵, 李京, 李月臣, 李景刚. 基于系统动力学模型和元胞自动机模型的土地利用情景模型研究. 中国科学(D 辑): 地球科学, 2005, 35(5): 464-473.
- [14] 梁友嘉, 徐中民, 钟方雷. 基于 sd 和 clue-S 模型的张掖市甘州区土地利用情景分析. 地理研究, 2011, 30(3): 564-576.
- [20] 刘纪远, 张增祥, 徐新良, 匡文慧, 周万村, 张树文, 李仁东, 颜长珍, 于东升, 吴世新, 江南. 21 世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析. 地理学报, 2009, 64(12): 1411-1420.
- [27] 岳天祥, 杜正平. 高精度曲面建模与经典模型的误差比较分析. 自然科学进展, 2006, 16(8): 986-991.
- [28] 范泽孟, 岳天祥, 陈传法, 孙晓芳. 中国气温与降水的时空变化趋势分析. 地球信息科学学报, 2011, 13(4): 526-533.
- [29] 范泽孟, 岳天祥, 宋印军. 基于 yue-Hasm 方法的气温与降水时空变化趋势. 地理研究, 2009, 28(3): 643-652.
- [34] 刘淼, 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] 刘纪远, 邵全琴, 延晓冬, 樊江文, 邓祥征, 战金艳, 高学杰, 黄麟, 徐新良, 胡云峰, 王军邦, 匡文慧. 土地利用变化对全球气候影响的研究进展与方法初探. 地球科学进展, 2011, 26(10): 1015-1022.
- [47] 高学杰, 张冬峰, 陈仲新, Pal JS, Giorgi F. 中国当代土地利用对区域气候影响的数值模拟. 中国科学(D 辑): 地球科学, 2007, 37(3): 397-404.
- [49] 陈莹, 许有鹏, 尹义星. 基于土地利用/覆被情景分析的长期水文效应研究——以西苕溪流域为例. 自然资源学报, 2009, 24(2): 351-359.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 20 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Characteristics of nitrous oxide (N ₂ O) emission from a headstream in the upper Taihu Lake Basin	YUAN Shufang, WANG Weidong (6279)
Nutrient dynamics of the litters during standing and sediment surface decay in the Min River estuarine marsh	ZENG Congsheng, ZHANG Linhai, WANG Tian'e, et al (6289)
Diversity and distribution of endophytic bacteria isolated from <i>Caragana microphylla</i> grown in desert grassland in Ningxia	DAI Jinxia, WANG Yujiong (6300)
Spatial distribution of <i>Trabala vishnou gigantina</i> Yang pupae in Shaanxi Province, China	ZHANG Yiqiao, ZONG Shixiang, LIU Yonghua, et al (6308)
Effects of drought stress on <i>Cyclobalanopsis glauca</i> seedlings under simulating karst environment condition	ZHANG Zhongfeng, YOU Yeming, HUANG Yuqing, et al (6318)
Ecosystem diversity in Jinggangshan area, China	CHEN Baoming, LIN Zhengguang, LI Zhen, et al (6326)
Niche dynamics during restoration process for the dominant tree species in montane mixed evergreen and deciduous broadleaved forests at Mulinzi of southwest Hubei	TANG Jingming, AI Xuenru, YI Yongmei, et al (6334)
Effects of different day/night warming on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> seedlings	XU Xingli, JIN Zexin, HE Weiming, et al (6343)
The effect of simulated chronic high wind on the phenotype of <i>Salsola arbuscula</i>	NAN Jiang, ZHAO Xiaoying, YU Baofeng (6354)
Responses of N and P stoichiometry on mulching management in the stand of <i>Phyllostachys praecox</i>	GUO Ziwu, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (6361)
Tree-ring-based reconstruction of the temperature variations in February and March since 1890 AD in southern Jiangxi Province, China	CAO Shoujin, CAO Fuxiang, XIANG Wenhua (6369)
Diel variations and seasonal dynamics of soil respirations in subalpine meadow in western Sichuan Province, China	HU Zongda, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (6376)
Effects of fire disturbance on litter mass and soil carbon storage of <i>Betula platyphylla</i> and <i>Larix gmelinii</i> - <i>Carex schmidtii</i> swamps in the Xiaoxing'an Mountains of Northeast China	ZHOU Wenchang, MU Changcheng, LIU Xia, et al (6387)
Variance analysis of soil carbon sequestration under three typical forest lands converted from farmland in a Loess Hilly Area	TONG Xiaogang, HAN Xinhui, WU Faqi, et al (6396)
Soil-property and plant diversity of highway rocky slopes	PAN Shulin, GU Bin, LI Jiaxiang (6404)
Effects of slope position on soil microbial biomass of <i>Quercus liaotungensis</i> forest in Dongling Mountain	ZHANG Di, ZHANG Yuxin, QU Laiye, et al (6412)
Responses of water quality to landscape pattern in Taihu watershed: case study of 3 typical streams in Yixing	WANG Ying, ZHANG Jianfeng, CHEN Guangcai, et al (6422)
Study on the fairness of resource-environment system of Jiangxi Province based on different methods of Gini coefficient	HUANG Heping (6431)
Simulation of the spatial pattern of land use change in China: the case of planned development scenario	SUN Xiaofang, YUE Tianxiang, FAN Zemeng (6440)
Arable land change dynamics and their driving forces for the major countries of the world	ZHAO Wenwu (6452)
Denitrification characteristics of an aerobic denitrifying bacterium <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 using different sources of nitrogen	XIAO Jibo, JIANG Huixia, CHU Shuyi (6463)
Study on sustainable development in nanjing based on ecological footprint model	ZHOU Jing, GUAN Weihua (6471)
Applying input-output analysis method for calculation of water footprint and virtual water trade in Gansu Province	CAI Zhenhua, SHEN Laixin, LIU Junguo, et al (6481)
Correlation analysis of spatial variability of Soil available nitrogen and household nitrogen inputs at Pujiang County	FANG Bin, WU Jinfeng, NI Shaoxiang (6489)
Characteristics of the fish assemblages in the intertidal salt marsh zone and adjacent mudflat in the Yangtze Estuary	TONG Chunfu (6501)
A comparison study on the secondary production of macrobenthos in different wetland habitats in Shenzhen Bay	ZHOU Fufang, SHI Xiuhua, QIU Guoyu, et al (6511)
Regurgitant from <i>Orgyia ericae</i> Germar induces calcium influx and accumulation of hydrogen peroxide in <i>Ammopiptanthus mongolicus</i> (Maxim. ex Kom.) Cheng f. cells	GAO Haibo, ZHANG Shujing, SHEN Yingbai (6520)
Behavior characteristics and habitat adaptabilities of the endangered butterfly <i>Teinopalpus aureus</i> in Mount Dayao	ZENG Juping, ZHOU Shanyi, DING Jian, et al (6527)
Community structure and dynamics of fig wasps in syconia of <i>Ficus microcarpa</i> Linn. f. in Fuzhou	WU Wenshan, ZHANG Yanjie, LI Fengyu, et al (6535)
Review and Monograph	
Review and trend of eco-compensation mechanism on river basin	ZHANG Zhiqiang, CHENG Li, SHANG Haiyang, et al (6543)
Definition and research progress of sustainable consumption: from industrial ecology view	LIU Jingru, LIU Ruiquan, YAO Liang (6553)
The estimation and application of the water footprint in industrial processes	JIA Jia, YAN Yan, WANG Chenxing, et al (6558)
Research progress in ecological risk assessment of mining area	PAN Yajing, WANG Yanglin, PENG Jian, et al (6566)
Scientific Note	
Litter amount and its dynamic change of four typical plant community under the fenced condition in desert steppe	LI Xuebin, CHEN Lin, ZHANG Shuoxin, et al (6575)
Effects of planting densities and modes on activities of some enzymes and yield in summer maize	LI Hongqi, LIN Haiming, LIANG Shurong, et al (6584)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 32 卷 第 20 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 20 (October, 2012)

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:1000717	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