

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

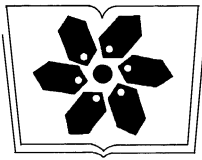
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第10期 Vol.31 No.10 **2011**

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



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 10 期

2011 年 5 月 (半月刊)

目 次

大熊猫取食竹笋期间的昼夜活动节律和强度·····	张晋东, Vanessa HULL, 黄金燕, 等 (2655)
高枝假木贼的胎生萌发特性及其生态适应·····	韩建欣, 魏 岩, 严 成, 等 (2662)
准噶尔盆地典型地段植物群落及其与环境因子的关系 ·····	赵从举, 康慕谊, 雷加强 (2669)
喀斯特山地典型植被恢复过程中表土孢粉与植被的关系·····	郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友, 等 (2678)
青藏高原高寒草甸土壤 CO ₂ 排放对模拟氮沉降的早期响应·····	朱天鸿, 程淑兰, 方华军, 等 (2687)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤水分和植被空间格局·····	邱开阳, 谢应忠, 许冬梅, 等 (2697)
雪灾后粤北山地常绿阔叶林优势树种幼苗更新动态·····	区余端, 苏志尧, 解丹丹, 等 (2708)
四川盆地四种柏木林分类型的水文效应·····	龚固堂, 陈俊华, 黎燕琼, 等 (2716)
平茬对半干旱黄土丘陵区柠条林地土壤水分的影响·····	李耀林, 郭忠升 (2727)
连栽杉木林林下植被生物量动态格局·····	杨 超, 田大伦, 胡日利, 等 (2737)
近 48a 华北区太阳辐射量时空格局的变化特征·····	杨建堂, 刘 勤, 严昌荣, 等 (2748)
中型景观尺度下杨树人工林林分特征对树干病害发生的影响——以河南省清丰县为例·····	王 静, 崔令军, 梁 军, 等 (2757)
耕作措施对冬小麦田杂草生物多样性及产量的影响·····	田欣欣, 薄存瑶, 李 丽, 等 (2768)
官山保护区白颈长尾雉栖息地适宜性评价·····	陈俊豪, 黄晓凤, 鲁长虎, 等 (2776)
花椒园节肢动物群落特征与气象因子的关系·····	高 鑫, 张晓明, 杨 洁, 等 (2788)
沙漠前沿不同植被恢复模式的生态服务功能差异·····	周志强, 黎 明, 侯建国, 等 (2797)
大豆出苗期和苗期对盐胁迫的响应及耐盐指标评价·····	张海波, 崔继哲, 曹甜甜, 等 (2805)
不同耐盐植物根际土壤盐分的动态变化·····	董利苹, 曹 靖, 李先婷, 等 (2813)
短期 NaCl 胁迫对不同小麦品种幼苗 K ⁺ 吸收和 Na ⁺ 、K ⁺ 积累的影响 ·····	王晓冬, 王 成, 马智宏, 等 (2822)
套袋微域环境对富士苹果果皮结构的影响·····	郝燕燕, 赵旗峰, 刘群龙, 等 (2831)
畜禽粪便施用对稻麦轮作土壤质量的影响·····	李江涛, 钟晓兰, 赵其国 (2837)
土霉素胁迫下拟南芥基因组 DNA 甲基化的 MSAP 分析·····	杜亚琼, 王子成, 李 霞 (2846)
甲藻孢囊在长山群岛海域表层沉积物中的分布·····	邵魁双, 巩 宁, 杨 青, 等 (2854)
湖南省城市群生态网络构建与优化 ·····	尹海伟, 孔繁花, 祈 毅, 等 (2863)
基于多智能体与元胞自动机的上海城市扩展动态模拟·····	全 泉, 田光进, 沙默泉 (2875)
城市道路绿化带“微峡谷效应”及其对非机动车道污染物浓度的影响 ···	李 萍, 王 松, 王亚英, 等 (2888)
专论与综述	
北冰洋微型浮游生物分布及其多样性·····	郭超颖, 王桂忠, 张 芳, 等 (2897)
种子微生物生态学研究进展 ·····	邹媛媛, 刘 洋, 王建华, 等 (2906)
条件价值评估的有效性与可靠性改善——理论、方法与应用·····	蔡志坚, 杜丽永, 蒋 瞻 (2915)
问题讨论	
中国生态学期刊现状分析 ·····	刘天星, 孔红梅, 段 靖 (2924)
研究简报	
四季竹耐盐能力的季节性差异·····	顾大彤, 郭子武, 李迎春, 等 (2932)
新疆乌恰泉地震前后泉水细菌群落的变化·····	杨红梅, 欧提库尔·玛合木提, 曾 军, 等 (2940)
两种猎物对南方小花蝽种群增长的影响及其对二斑叶螨的控害潜能 ·····	黄增玉, 黄林茂, 黄寿山 (2947)
学术信息与动态	
全球变化下的国际水文学研究进展: 特点与启示 ——2011 年欧洲地球科学联合会会员大会述评·····	卫 伟, 陈利顶 (2953)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 34 * 2011-05



封面图说: 藏酋猴 (*Macaca thibetana*) 属猴科 (*Cercopithecidae*) 猕猴属 (*Macaca*) 又名四川短尾猴、大青猴, 为我国特有灵长类之一, 被列为国家二级保护野生动物; 近年来, 由于人类活动加剧, 栖息环境恶化, 导致藏酋猴种群数量和分布日趋缩小; 本照片摄于四川卧龙国家级自然保护区 (拍摄时间: 2010 年 3 月)。

彩图提供: 中国科学院生态环境研究中心张晋东博士 E-mail: zhangjd224@163.com

基于多智能体与元胞自动机的上海城市扩展动态模拟

全 泉, 田光进*, 沙默泉

(北京师范大学环境学院, 北京 100875)

摘要: 利用元胞自动机模型和多智能体模型相结合的方法, 在 GIS 技术手段的支持下构建了一个能够兼顾两种模型优点的城市扩展动态模型, 并以上海市为实证对象, 模拟了上海市 2005 年的城市扩展动态, 分别预测了 2010 年和 2020 年上海城市扩展的动态演化结果。在元胞自动机模型中定义城市系统中的各种自然、社会 and 交通等要素, 在智能体模型中定义政府和居民智能体的行为。模型将二者结合起来, 模拟上海中心城区、城郊区及外围区的城市用地扩展模式。对模型模拟的上海 2005 年土地利用状态和实际土地利用状态进行验证, Kappa 系数的平均值达到 0.75 以上, 说明模型具有较高的可信度。对预测出 2010 年和 2020 年上海市土地利用状态分析表明, 城镇用地以向东部和南部扩张最为明显。

关键词: 城市扩展; 多智能体; 元胞自动机; 动态模拟; 上海

Dynamic simulation of Shanghai urban expansion based on multi-agent system and cellular automata models

QUAN Quan, TIAN Guangjin*, SHA Moquan

School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: A dynamic urban expansion model was established by integrating and taking advantages of cellular automata model and multi-agent simulation model. The model first simulated Shanghai urban expansion in 2005 and was tested, then it was used to project the expansion in 2010 and 2020. The data sources were mainly obtained from the Shanghai digital city data (including schools, hospitals, residential, commercial, industrial, parks and green spaces), digital elevation model, and social and economic data. The two parts, cellular automata model (CA) and multi-agent system (MAS), of the established model were integrated in the ArcGIS environment. The multi-agent system was used to overcome the deficiencies of cellular automata model. The influencing factors (such as social, economic, cultural and public policy) were included. The administrative districts of Shanghai were divided into urban center, suburb and periphery areas. The projection of urban land was based on the regression analysis of urban land, population and GDP from 1996 to 2009. The changes of other land use type were calculated and predicted by Markov chain model. The physical, social and transportation factors of urban systems were defined in the cellular automata model, including DEM, slope, and distances to watershed, airports, major road and railway. The conversion probability of urban land was estimated based on “bottom-up” spontaneous conversion. A binary logistic regression analysis was used to estimate the conversion probability of urban land. The behaviors of regional authorities and residents were defined in multi-agent system model, and their different roles in the process of land use conversion were defined according to their own characteristics. Each type of agents has different demands following their own rules of conduction, and each type of agent selected the locations of urban land conversion according to their preferences. The preferences of government agent were calculated by the distances to the locations of government. The preferences of resident agent were calculated by the distances to railway stations, parks, schools and hospitals. The final agreement was achieved by consultation. Urban expansion was determined by the behavior of agents, the interaction between

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41071357)

收稿日期: 2010-07-16; **修订日期:** 2011-02-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tianguangjin@gmail.com

different agents and between agent and environment. Multi-agent system model impacted on the driving factors of urban land conversion. Random factors in the final urban land conversion probability were taken into account at the end. According to the model, the Shanghai urban land in 2005 was simulated and compared with the actual land use status. The Kappa coefficient is above average to 0.75, indicating the model has a high credibility. Finally the land use of Shanghai in 2010 and 2020 were predicted, and the results showed that the urban land of Shanghai will expand eastward and southward in 2020. The findings and forecasting would be useful for city planning and decision making.

Key Words: urban expansion; multi-agent system; cellular automata; dynamic simulation; Shanghai

城市化是人类的生产活动和生活活动随着社会生产力的发展由农村向城市不断转移以及城市空间不断扩大的过程^[1]。一个国家的城市化水平反应了该国的经济发展水平、人口因素、政治体制、地理特征和社会文化因素等基本条件,同时也是政府公共政策的一个显著反映^[2]。由于目前我国大多数地区正处于城市化的中期发展阶段,城市化过程中出现的城市人口增长过快、城市基础设施不足等一系列社会和环境问题值得关注。因此,对城市化过程的机理、特征和规律的研究对解决城市化过程出现的诸多问题具有重要的现实意义。而由于无论何种类型的城市化过程都是以城市土地利用类型的变化和城镇用地面积的扩展为依托,所以对城市土地利用动态模拟更是对研究城市发展与自然环境变化和社会经济发展的关系具有重要意义。

19 世纪以来的研究从不同角度建立了多种模型揭示城市扩展的动态机制,根据不同模型的模拟内容、建模原理和模型自身表达形式,传统城市模型有静态结构模型、系统动力学模型、统计物理学模型、经济规划模型等^[3]。传统的城市模拟模型在城市扩展过程中的时间信息不足、空间信息表达不够完整、城市扩展过程的模拟简单、缺乏随机性等不足。元胞自动机模型和多智能体模型两个“自下而上”的模型充分表达了城市空间的自组织性和人类选择行为结果,为城市模拟开拓了新的途径^[4-6]。

1 研究区概况及数据来源

本研究在理论上的意义在于将元胞自动机模型和多智能体模型结合起来,实现两种模型的优势互补,既遵循人类行为是推进城市发展的根本动力原则,又顾及城市空间发展的自组织性,能更加真实地模拟城市动态变化。从实践意义角度来看,本研究选择中国经济最发达,城市化程度最高的上海市作为研究区,具有代表性,能够为城市规划者做出有利于城市可持续发展的正确决策提供支持。

1.1 研究区及数据

研究区选定中国第一大城市上海市,作为中国大陆的经济、金融、贸易和航运中心,它拥有中国最大的工业基地、最大的外贸港口。上海的行政区划为 18 区 1 县,分别为浦东新区、黄浦区、卢湾区、徐汇区、长宁区、静安区、普陀区、闸北区、虹口区、杨浦区、宝山区、闵行区、嘉定区、金山区、松江区、青浦区、南汇区、奉贤区、崇明县^[7]。

使用的社会经济数据包括从上海市 1990 至 2009 年统计年鉴收集到上海市 19a 的总人口和国内生产总值(GDP)数据,《上海城市总体规划 1999—2020 年》和《2010 年上海市土地利用总体规划》。空间数据包括:利用上海市 1990 年、1995 年、2000 年和 2005 年 4 期遥感影像数据解译出上海市土地利用图,根据实际情况将其分为耕地、林地、草地、水域、城镇用地、农村居民点、其它类型用地,共 7 种土地利用类型^[8-9];上海市数字城市数据,包括学校、医院、居民点、商业、工业、公园、绿地等专题信息;数字高程数据,数字高程数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站。

1.2 上海市分区

由于上海市各县区在城市化水平、经济发展水平、人口数量和素质、土地利用类型结构上存在不可忽视的差异,因此,本文根据上海市实际发展情况并参考《2010 年上海市土地利用总体规划》中的区划将上海市划分为中心城区、城郊区和外围区三大区域(图 1),中心城区包括黄浦区、卢湾区、徐汇区、长宁区、静安区、普陀区、闸北区、虹口区、杨浦区、浦东新区共 11 个区,城郊区包括闵行区、宝山区、嘉定区 3 区,其位置在上海市中

心城区外围,是中心城区的延伸,外围区包括金山区、南汇区、奉贤区、松江区、青浦区、崇明县共5区1县。分别单独在城市模拟模型中运行,通过不同的参数设置以期得到更符合实际情况的模拟和预测结果,同时可以比较处于不同城市发展阶段的城镇化进程特点。

2 基于多智能体与元胞自动机的城市土地利用动态模拟模型

本文设计的城市土地利用动态模拟模型由两大部分组成,即元胞自动机模型和多智能体模型,两个模型最终通过共同的栅格空间实现交互(图2)。

2.1 元胞自动机层的设计

模型运行中,元胞空间内的所有元胞只有两种状态,即“转化成城镇用地”和“未转化成城镇用地”两种状态,使用 3×3 的正方形邻域。获得元胞转化规则的方式是 Binary Logistic 回归方法,通过对经验数据的回归得到每个影响因子的权重,构建具有可靠依据的转化规则,得到在元胞自动机模型中元胞空间内每个栅格向城镇用地转化的概率 $P_{ca}^{[10-12]}$ 。根据前面模型的设定,在模型具体应用到上海市土地利用动态变化模拟的过程中根据科学性、独立性、可得性等原则,选取了表1中12个影响因子。所有影响要素均利用模糊隶属度函数的方法进行归一化,消除量纲影响^[13]。

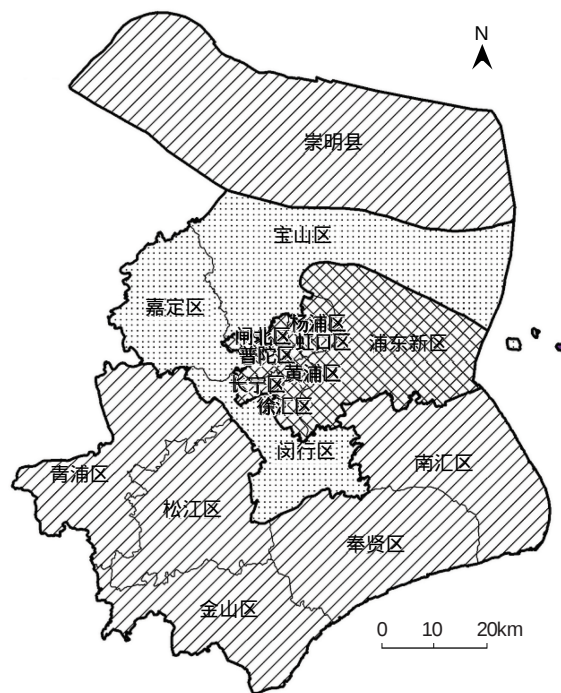


图1 上海市行政区划图

Fig. 1 Administrative Map of Shanghai

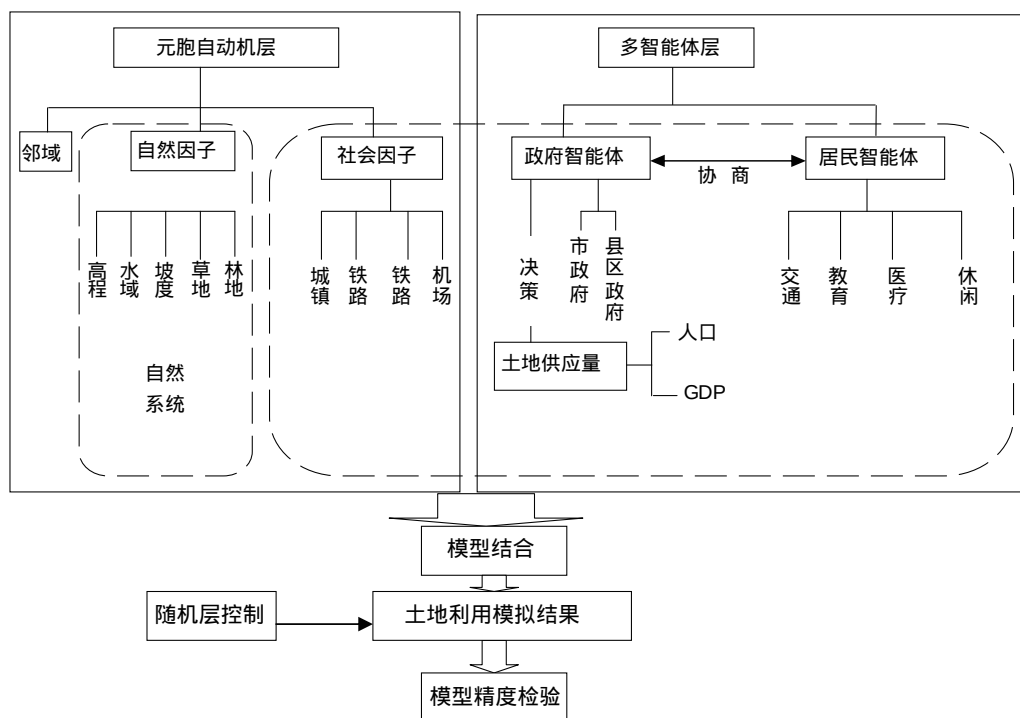


图2 多智能体与元胞自动机相结合的城市土地利用动态模型

Fig. 2 The urban landuse simulation model based on ABM and CA

高程、坡度、到水域的距离、到机场的距离、到公路的距离和到铁路的距离等因子不随时间改变,如图3所

示;到城镇用地的距离、到农村居民点的距离、到耕地的距离、到林地的距离、到草地的距离、城镇邻域等影响因子随时间发生变化,图 4 列出 2005 年上述因子的分布情况。

表 1 元胞自动机模型中影响因子的选择

Table 1 Impact factors in CA

影响因子 Impact factors	因子类型 Impact factors type	变量 Variables
到城镇用地的距离 Distance to urban land	社会因子 Social factors	X_0
到农村居民点的距离 Distance to rural residential land	社会因子 Social factors	X_1
到耕地的距离 Distance to cropland	社会因子 Social factors	X_2
到林地的距离 Distance to forest land	自然因子 Physical factors	X_3
到草地的距离 Distance to grassland	自然因子 Physical factors	X_4
到水域的距离 Distance to water body	自然因子 Physical factors	X_5
到机场的距离 Distance to airport	社会因子 Social factors	X_6
到铁路的距离 Distance to railway	社会因子 Social factors	X_7
到公路的距离 Distance to road	社会因子 Social factors	X_8
高程 DEM	自然因子 Physical factors	X_9
坡度 Slope	自然因子 Physical factors	X_{10}
城镇邻域 Neighborhood of urban land	邻域因子 Neighborhood factors	X_{11}

2.2 多智能体层的设计

本模型中一共设定了两种类型的智能体。一是居民智能体代表在一个栅格上居住的具有同样家庭情况和行为选择模式的人的组合;二是政府智能体是一个包括市政府和县区政府在内的抽象的整体,起到宏观调控作用。城市模拟系统中智能体的异质性是智能体的主要特性,智能体的行为是推动城市发展和城市土地利用变化的基本动力^[14]。而智能体的行为又是目的驱动型,不同的智能体具有不同的目的,使自己的利益最大化。

2.2.1 居民智能体的空间选择行为

居民智能体是具有寻求更优居住条件的有独立思考能力和行为能力的个体。随着我国住房制度的改革,居民对住宅区位选择行为由过去的被动接受转变为主动选择并对居住环境提出了更高的要求。房价的高低、住宅区位的交通通达性、环境条件是决定城市居民住宅区位选择的客观条件,居民自身的社会、经济、文化等特征、以及对不同住宅区位和环境的偏好也决定着住宅区位选择的过程和结果^[15]。

首先,根据随机效用模型,第 i 个可选居住位置对于第 n 个智能体的效用表示为:

$$U_{in} = \alpha D_{\text{subway}} + \beta D_{\text{school}} + \chi D_{\text{hospital}} + \delta D_{\text{park}} + \varepsilon_{in} \quad (1)$$

式中, U_{in} 表示第 n 个居民智能体对第 i 个可选择居住的空间位置的效用。 D_{subway} 、 D_{school} 、 D_{hospital} 、 D_{park} 是空间位置 i 到地铁的距离、到学校的距离、到医院的距离和到公园的距离(图 5), α 、 β 、 χ 、 δ 分别是第 n 个居民智能体对每个影响因子的偏好系数,不同区域的居民智能体对不同的因子偏好程度不同,式中 $\alpha + \beta + \chi + \delta = 1$ 。 ε_{in} 为随机扰动项。

在经济学中,效用是指商品满足人的欲望的能力,1854 年德国经济学家 H. H. 戈森提出人类满足需求的 3 条定理第一条就是欲望或效用递减定理,即随着物品占有量的增加,人的欲望或物品的效用递减^[16]。在确定居民智能体对各个影响因子偏好系数时遵循以下假设前提:即居民智能体在选择居住地点时对区域内更为稀缺的资源具有更强的偏好。这是因为由于交通资源、医疗资源、教育资源和娱乐设施资源的有限性,当居民智能体对这些资源进行选择比较时,必然更倾向于对更有限的资源产生更大的兴趣,以满足自身居住生存的需要。因此在本模型中,为了在客观基础上量化居民智能体对各影响因子的偏好值,防止主观性过强的干扰,首先分别对各区域内各种资源的稀缺性进行描述,使用地铁密度、学校密度、医院密度和公园密度为指标。然后根据各个因子的密度比例取反比,得到居民智能体对各影响因子的偏好(图 5)。

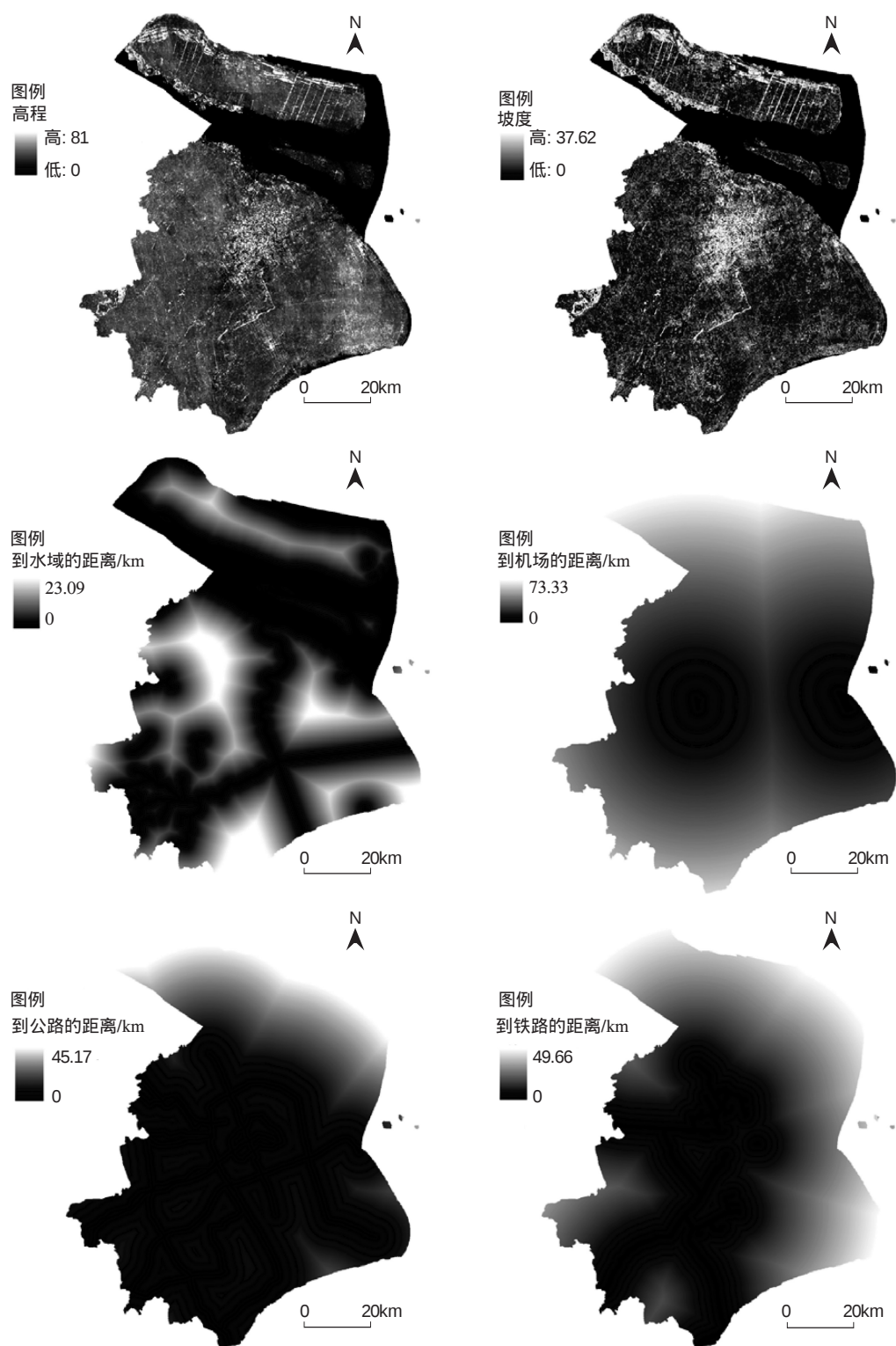


图3 不随时间改变的影响因子分布

Fig. 3 Unchangeable impact factors in CA

$$T_{\text{subway}} = \frac{L}{A} \quad (2)$$

式中, L 代表地铁的长度, A 为区域总面积。

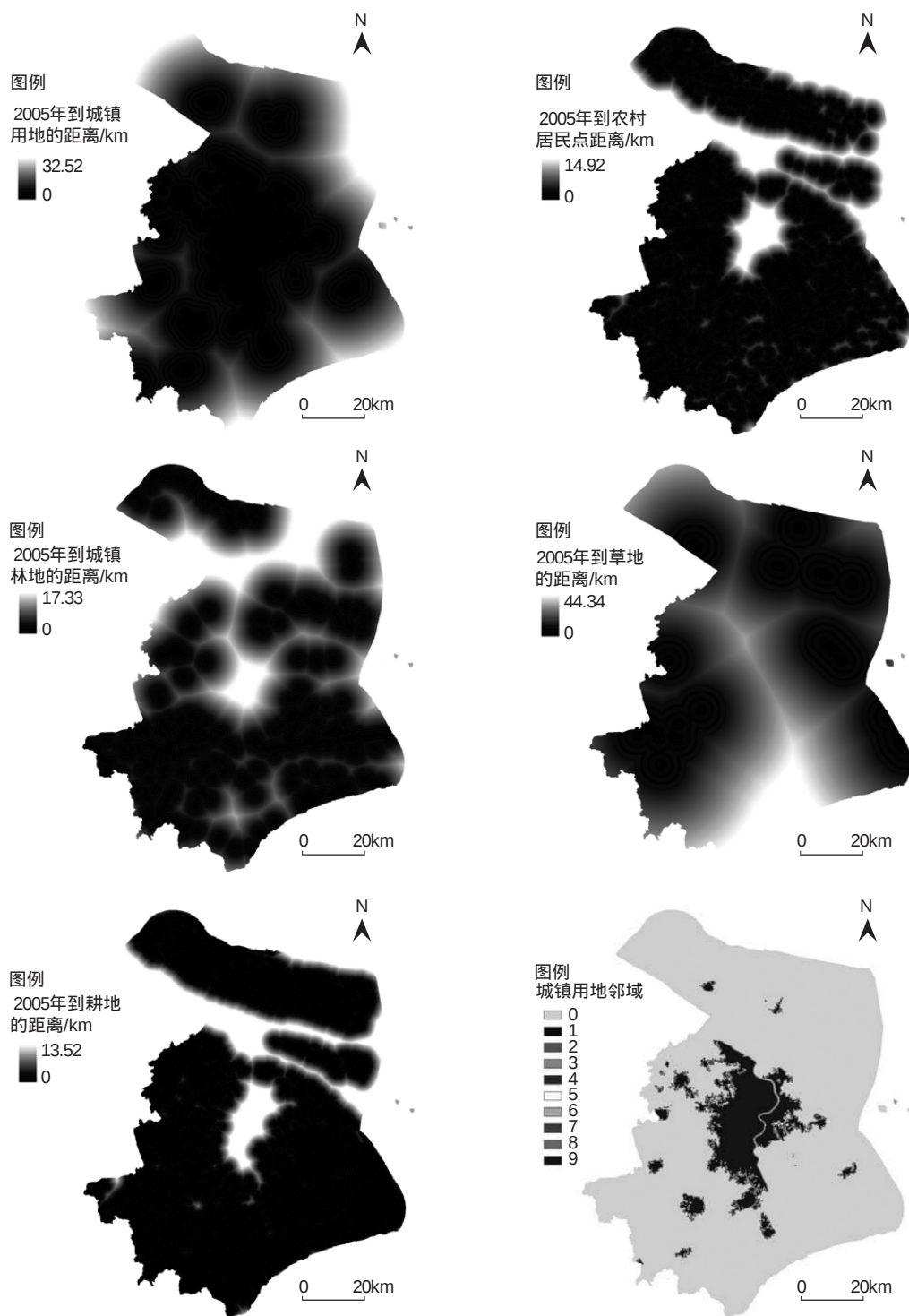


图 4 2005 年到各种土地利用类型的距离及城镇用地邻域图

Fig. 4 Distances to all types of land use and neighborhood of urban land

$$T_{\text{school}} = \frac{N}{A} \quad (3)$$

式中, N 代表学校数量, A 为区域总面积。公园密度和医院密度满足同样的公式。根据资源密度的倒数求出居民智能体对不同资源的偏好。

然后, 根据离散选择模型, 第 n 个居民智能体随机选择居住位置 i 的概率等于对于第 n 个居民智能体来

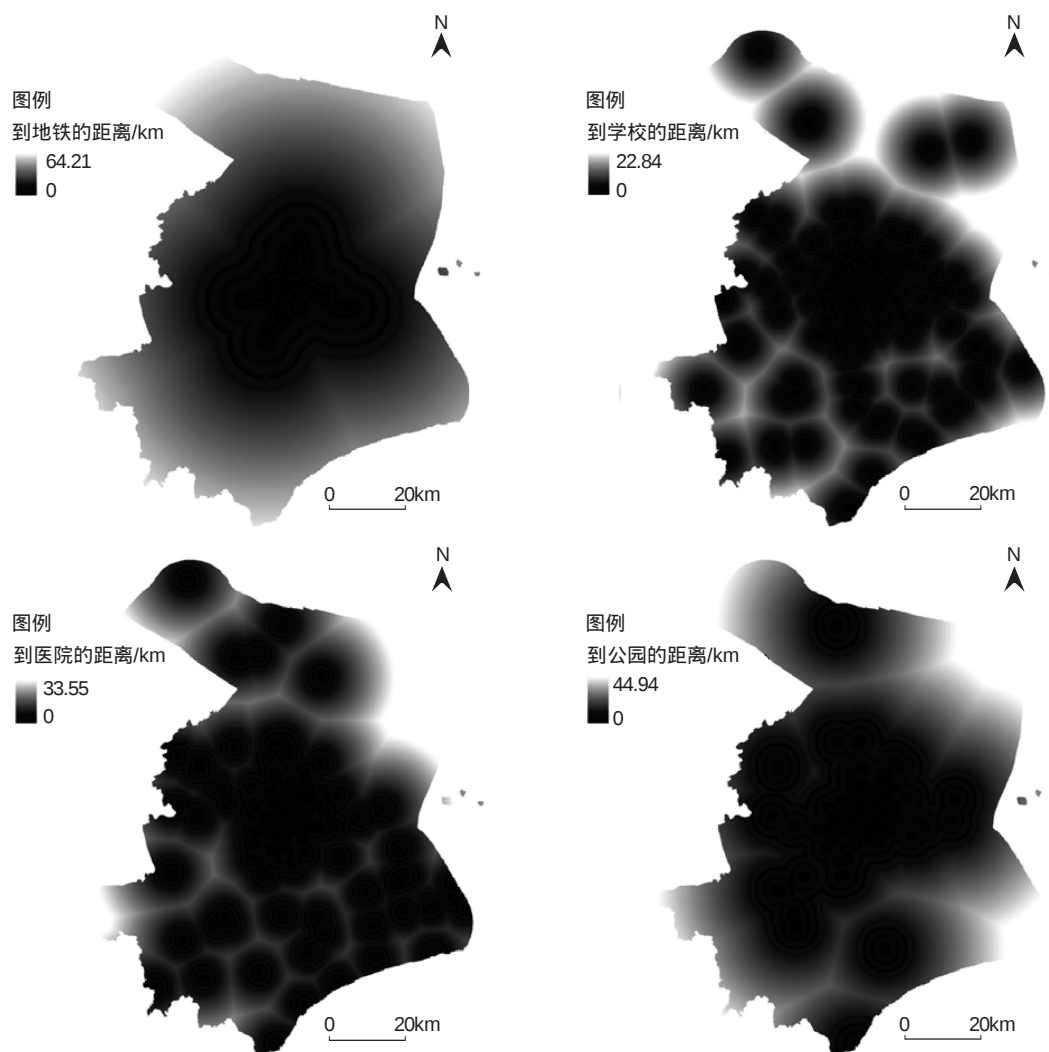


图5 居民智能体的选择决策影响因子

Fig. 5 Impact factors of decision-making of residents

说 i 的效用(吸引力)大于或等于其他任何可选择的 i 的效用概率,即:

$$P_{in} = \Pr(U_{in} \geq U_{i'n}) = \frac{\exp(U_{in})}{\sum_n \exp(U_{in})}, i = 1, 2, \dots, I; i \neq i', n = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

居民智能体对某一位置的选择概率总和为:

$$P_i = \sum P_{in} \quad (5)$$

2.2.2 政府智能体的行为

本模型中政府智能体不仅具有社会属性同时也具有空间属性,所以政府智能体的行为分成两大部分。首先,在空间上来说,政府智能体总是趋向于发展政府所在地及其周边的经济,在中国往往政府大楼周边的土地转化为城镇用地的速度要快于其他地方。因此本模型选取到市政府和到县区政府距离作为政府智能体选择行为的要素。同时,由政府编制的土地利用规划也会作为政府智能体选择行为的参考。其次,在土地供应量的控制上,政府作为城市发展的规划者和最终决策者,应该尽量使其辖区范围内的土地资源达到最大的效益^[17]。

上海市政府位于黄浦区,县区政府共 18 个,分布于各个区县中(图 6)。

和居民智能体一样,政府智能体同样使用随机效用模型和离散选择模型进行城镇用地扩展的空间位置选择,与居民智能体不同的是本模型中的政府智能体只考虑到市政府所在地的距离和到各县区政府所在地的距离两个因子。这两个因子同样是逆序因子,标准化方式与居民智能体中描述相同。

首先,根据随机效用模型,第 i 个可选发展为城镇用地的位置对于政府智能体的效用表示为:

$$U_i = \alpha D_{\text{city-gov}} + \beta D_{\text{area-gov}} + \varepsilon_i \quad (6)$$

式中, U_{in} 表示政府智能体对第 i 个可扩展为城镇用地的空间位置的效用。 $D_{\text{city-gov}}$ 和 $D_{\text{area-gov}}$ 是空间位置 i 到市政府所在地的位置和到县区政府所在地的位置(图 7), α 、 β 分别指政府智能体对各个影响因子的偏好系数,不同区域的政府智能体对不同的因子偏好程度不同, ε_i 为随机扰动项。

然后,根据离散选择模型,政府智能体随机选择发展为城镇用地的位置 i 的概率等于对于政府智能体来说 i 的效用(吸引力)大于或等于其他任何可选择的 i 的效用概率,即:

$$P_i = \Pr(U_i \geq U_{i'}) \quad i = 1, 2, \dots, I; i \neq i' \quad (7)$$

由于城市的扩张总是会占用城市周边的农业用地,政府智能体在决策过程中除了要保证城市的发展还要考虑到城市粮食的供应和优质耕地的保护,兼顾城市居民和农村居民的利益。关键是要将城镇用地的扩张面积同当年的人口经济发展结合起来,只有城镇用地的扩张速度和人口增长相适应,才能达到既不浪费优质耕地,又能满足城市发展需求的目标。在本模型中利用城镇用地、人口和 GDP 的历史数据对这三者进行相关分析,通过得出的结论驱动政府智能体的土地供应量做出合理的决策。最后,在模型最后决定每个像元是否转化为城镇用地时,政府智能体需要根据自身决策选择,同

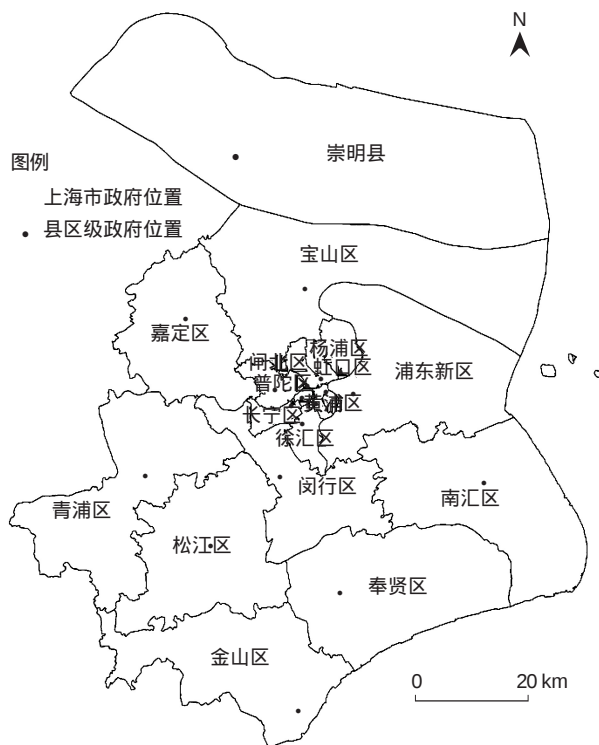


图 6 上海市各级政府所在地

Fig. 6 Locations of governments at all levels in Shanghai

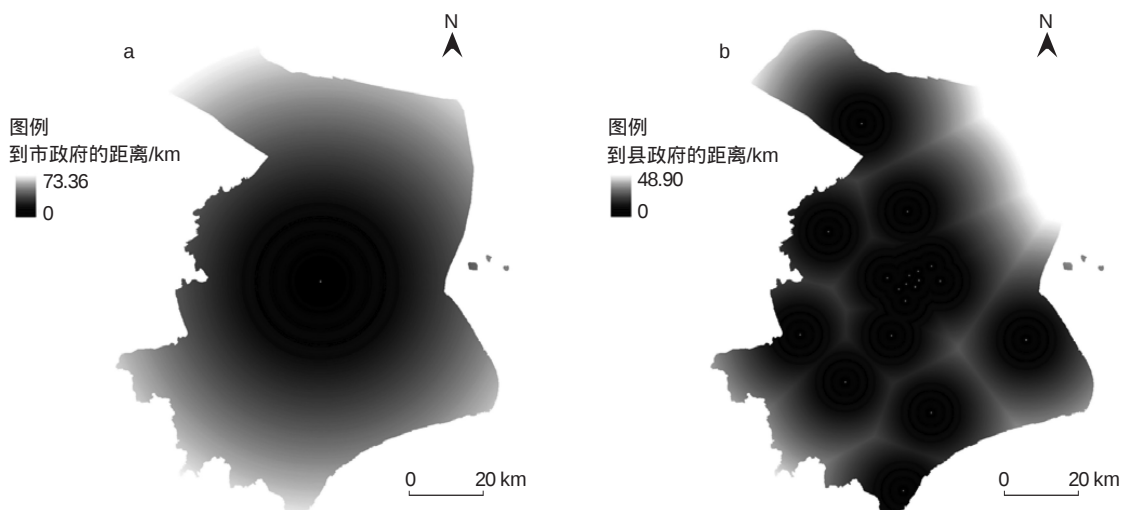


图 7 到各级政府的距离

Fig7 Distances to governments at all levels

时结合模型中的居民智能体行为,通过协商决定最终的决策 P_{abm} 。

$$P_{abm} = P_{resident} + P_{gov} \quad (8)$$

式中, $P_{resident}$ 为居民智能体的选择概率, P_{gov} 为政府智能体的选择概率。

居民智能体通过选择确定想要居住的空间位置,选择某一位置的居民越多,则某一位置转换为城镇用地的概率越大。同时政府智能体也根据居民智能体的选择调整自身选择位置,两类智能体的行为起到互相协同的作用,最终共同决定智能体模型中的转换概率。

2.3 元胞自动机层与多智能体模型的结合

利用 ArcGIS 中的 Create Random Raster 命令生成一个以上海市为边界的随机栅格数据集,设置栅格值在 0—1 之间均匀分布,并将每个栅格值作为 P_{random} 计入到模型中去,作为随机因素调控城镇用地动态转化的结果。

经过上述两个模型独立计算,并结合随机层的控制作用,最终得到位置 ij 最终转换为城镇用地的概率为:

$$P_{ij} = P_{abm} \times P_{ca} + P_{random} \quad (9)$$

其中,

$$P_{abm} = P_{residents} + P_{gov}$$

式中, $P_{residents}$ 是居民智能体的选择概率, P_{gov} 是政府智能体的选择概率, P_{abm} 是多智能体系统的最终选择概率; P_{ca} 是元胞自动机层栅格 ij 转换的概率。 P_{random} 是随机层的控制概率。通过上述概率的相乘,加上随机层的调节,最终得到空间位置 ij 转换为城镇用地的概率 P_{ij} 。

3 模型的应用

3.1 元胞自动机中的回归结果

上述 Logistic 回归过程中,各因子的回归系数的置信度都大于 95% (即 $\alpha \leq 0.05$),均可进入回归方程。根据表 2 回归结果可以看出,不同的影响因子对于不同的分区呈现出的影响作用也不尽相同,如到机场的距离因子,对于中心城区来说,距离机场越远城镇用地的转化概率越大,而对于城郊区和外围城区来说,距离机场越近,城镇用地发展的概率越大。这一现象可以从城市发展不同阶段的需要来解释,中心城区作为已经发展比较成熟和完善的地区,基础设施良好,居民对环境要求高,而靠近机场虽然对交通有一定积极因素,但是因为离机场越近噪声污染等环境污染越严重,因此中心城区的扩张与距机场的距离成正比,即机场是对中心城区的扩张起到副作用。反正,对于正处于蓄势待发或蓬勃发展的城郊区和外围区来说,机场作为一项重要的交通方式,是与外界,尤其是国外密切联系的方便手段,因此机场的位置对这两个区域的城镇土地利用扩张起到积极的作用。而同一个影响因子在不同的时间段对于城镇用地的转化也可能起到不同的作用,如到铁路的距离,对于中心城区,在 1995 到 2000 年间属于距离越远发展越快,而到了 2000 至 2005 年间,情况正好相反,距离铁路越近发展越快,形成这种现象的原因可能是多方面的,但是在回归计算中需要尊重客观数据,通过合理分析利用回归系数,以便得到最接近真实的模拟效果。

3.2 居民智能体的选择偏好

根据表 3 可以看出,中心城区和城郊区居民对各因子的偏好顺序由大到小都是到地铁的距离、到公园的距离、到医院的距离、到学校的距离。外围城区居民的偏好顺序是到公园的距离、到医院的距离、到学校的距离。

3.3 政府智能体的土地供应量和空间选择

利用 1996—2009 年人口数据和年份进行线性回归分析,得到以下公式:

$$\text{Population} = 42.713\text{Year} - 83868 \quad (10)$$

式中, Population 代表上海市的总人口数,单位为万人, Year 代表年份,此公式的相关性 $R^2 = 0.9807$,说明人口增长和年份的增加有着极大的相关性(此公式仅对 1996—2020 年计算有效),因此可以利用此公式预测 2010 年和 2020 年上海市人口总数。

表 2 元胞自动机层中逻辑斯蒂回归结果

Table 2 The results of Binary Logistic Regression in CA

影响因子 Impact factors	1995—2000 年回归结果 Regression result 1995—2000			2000 年—2005 年回归结果 Regression result in 2000—2005		
	中心城区 Urban centers	城郊区 Suburb	外围城区 Periphery	中心城区 Urban centers	城郊区 Suburb	外围城区 Periphery
X_0	-77.198	-89.035	-68.918	-41.311	-62.357	-3.207
X_1	-0.740	8.011	15.796	-0.536	-4.128	-1.426
X_2	-320.155	-450.215	-66.689	-169.857	-238.321	0.812
X_3	3.190	0.308	0.909	0.118	-0.722	-1.494
X_4	3.538	2.300	-3.818	-7.569	2.444	-2.891
X_5	4.279	-2.553	-1.310	2.304	-2.175	0.310
X_6	4.126	-4.472	-3.366	1.214	-6.140	0.483
X_7	11.305	5.977	-5.646	-12.095	-3.162	5.476
X_8	-2.674	-3.908	4.172	2.967	-3.348	-5.706
X_9	-3.530	10.039	-1.571	1.673	5.938	2.478
X_{10}	15.034	-3.752	12.562	10.597	-4.522	-6.914
X_{11}	0.868	0.904	-2.090	-1.350	-1.243	9.113
常量 Constant	-12.427	-2.088	-2.451	2.508	3.089	-5.307

表 3 不同区域的居民智能体对各影响因子的偏好

Table 3 The preferences of residents in different regions to each factor

不同区域的居民智能体 Resident agents in the different regions	偏好值 Preferences			
	到地铁的距离 Distance to railway	到学校的距离 Distance to school	到医院的距离 Distance to hospital	到公园的距离 Distance to garden
中心城区 Urban center	0.358	0.098	0.199	0.345
城郊区 Suburb	0.751	0.039	0.061	0.149
外围区 Periphery	0.000	0.122	0.195	0.683

利用 1990—2005 年的上海市城镇土地利用面积和总人口数进行相关性分析,得到公式:

$$\text{Urban}=0.6078\text{Population}-173.43 \tag{11}$$

式中,Urban 代表城镇用地面积,单位是 km²,Populaiton 表示上海市总人口,单位为万人,此公式的相关性 R² = 0.7546,说明城镇用地面积和总人口之间存在一定的线性相关性,可以用此公式预测 2010 年和 2020 年上海市城镇用地面积的需求量。

根据公式 10,预测 2010 年和 2020 年上海市总人口将分别达到 1985.13 万人和 2412.26 万人,代入公式 11,则 2010 年和 2020 年上海市城镇用地的需求量将达到 1033.13km²和 1292.74km²。根据数据可知 2005 年上海市城镇面积为 913.90km²,所以到 2010 年,上海市需要新增城镇用地 119.23km²,到 2020 年需要再比 2010 年增加 259.61km²城镇用地才能满足不断增加的人口需要。

由于政府智能体的城市发展政策具有空间上的宏观性和时间上的连续性,所以可以根据其以往分配新增城镇用地的比例应用到预测中去,也是马尔科夫链模型的一种应用形式。根据中心城区、城郊区和外围城区 3 个区 2000 年至 2005 年新增城镇用地占总新增城镇用地面积的比例,将上述预测的城镇用地增长量分配到各个城区,具体如表 4。

政府智能体作为决定城镇扩张的主要决策者,其偏好可以利用已有的城镇用地的分布上。历史数据是对政府智能体行为的最好表征和说明,而作为制定政策会充分考虑连贯性和持续性的政府智能体来说,对未来城镇用地的扩张方向的选择具有较强的稳定性。使用 Binary Logistic 方法,根据 2005 年城镇用地分布求出政府智能体对不同影响因子的偏好。表 5 是分别求出的中心城区、城郊区和外围城区的政府智能体对不同影响

因子的偏好。

表 4 2010 年和 2020 年上海市三区新增城镇用地预测

Table 4 The new urban land area forecast of the three regions in Shanghai in 2010 and 2020

时间 Time	城镇用地增加量 Urban land increment/km ²			
	合计 Total	中心城区 Urban center	城郊区 Suburb	外围城区 Periphery
2000—2005 年	136.06	22.59	67.99	45.48
2000—2005 年比例 Percentage in 2000—2005	1.00	0.17	0.50	0.33
2005—2010 年	119.23	19.80	59.58	39.85
2010—2020 年	259.61	43.10	129.73	86.78

表 5 政府智能体在不同区域对各影响因子的偏好

Table 5 The preferences of government in different regions for each factor

不同区域 Different regions	偏好值 Preferences	
	到市政府的距离 Distance to municipal government	到县区政府距离 Distance to governments of districts and counties
中心城区 Urban center	0.003	0.997
城郊区 Suburb	0.491	0.508
边缘区 Periphery	0.271	0.729

3.4 2005 年模拟结果及检验

模型构建好以后,需要对模拟的结果进行检验(图 8)。预测结果的验证方法一般有逐点对比和整体对比两种方法^[18]。逐点检验就是将模拟结果和实际情况叠加,逐点对比其精度;整体对比是指用一些表达整个空间格局情况的指数对模拟结果进行评估^[19]。本研究选择了 Kappa 系数定量地反映模型运行的模拟结果^[20],公式表达为:

$$Kappa = (P_o - P_c) / (P_p - P_c) \quad (12)$$

式中, P_o 为正确模拟的比例; P_c 是随机情况下期望的模拟比例; P_p 表示理想分类情况下正确模拟的比例。不同的 Kappa 系数,表明不同程度的一致性。

对模拟结果进行 Kappa 系数检验得到中心城区、城郊区和外围区的 Kappa 值分别为 0.759、0.795、0.780。表明利用元胞自动机与多智能体结合的模型模拟的上海市城市土地利用动态演化比较准确,有较强的可信度(图 8)。

3.5 上海市 2010 年、2020 年城市土地利用动态预测

从图 9 和图 10 对 2020 年上海市土地利用预测与 2005 年土地利用现状图对比可以看出,城镇用地主向东部、西部、南部、北部都有扩张,以向东部和南部扩张最为明显,同时呈现出城市中心和县区中心多中心同时扩张的特点。到 2020 年,浦东新区的城镇用地将和其他中心城区的城镇用地连成一片,而松江、奉贤两区的城镇用地也逐渐与中心城区融合,成为一体化区域。而宝山区中城镇用地呈现沿江发展态势,和中心城区、嘉定区的距离逐渐缩小。其他城郊区和外围区呈现出中心扩展态势。

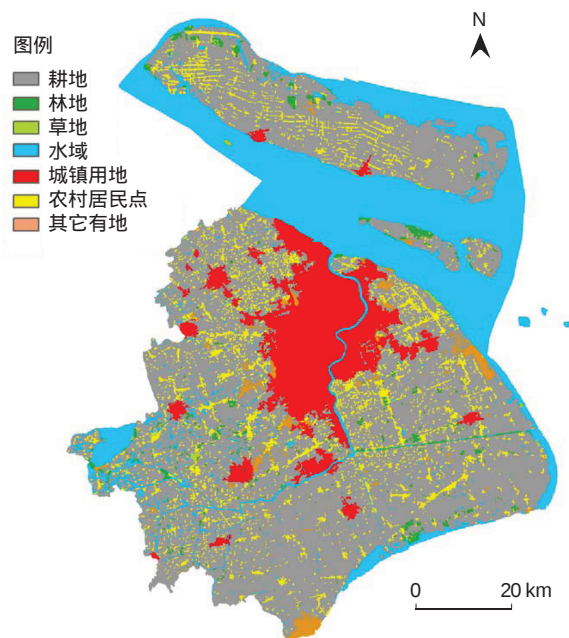


图 8 上海市 2005 年土地利用模拟结果

Fig. 8 Landuse simailaiton of Shanghai in 2005

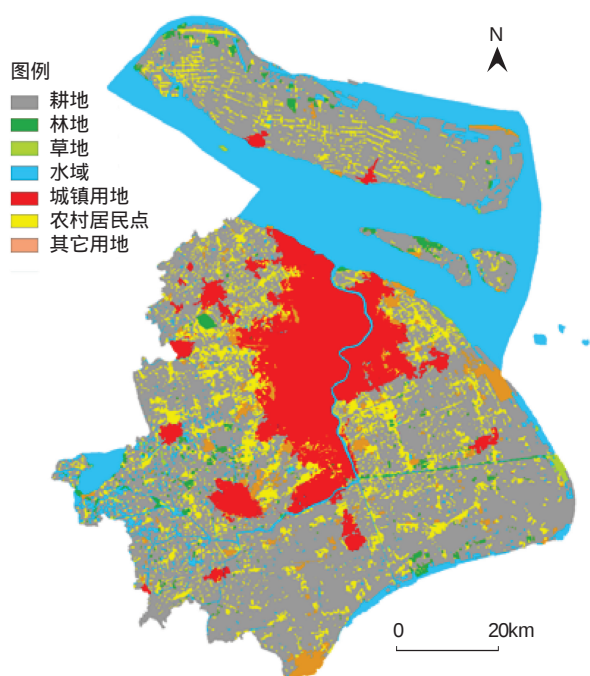


图9 上海市2010年土地利用预测图

Fig. 9 Landuse prediction of Shanghai in 2010

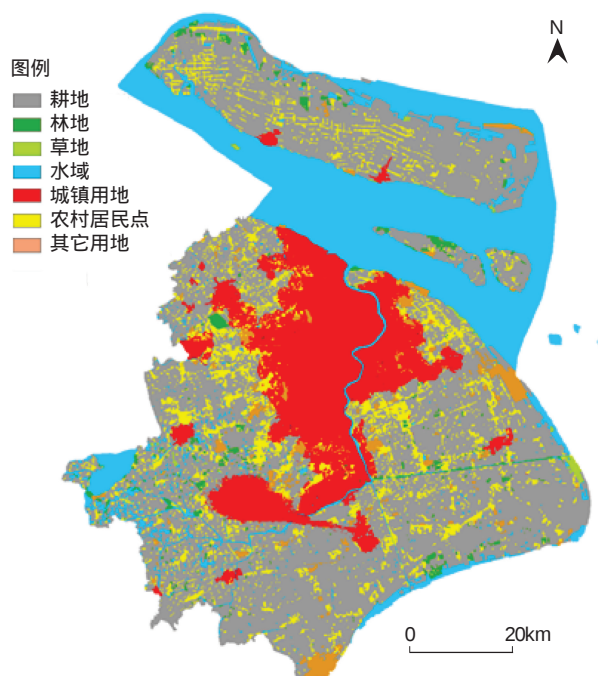


图10 上海市2020年土地利用预测图

Fig. 10 Landuse prediction of Shanghai in 2020

4 讨论与结论

本文将元胞自动机和多智能体模型相结合,构建了一个兼具两个模型特点的城市土地利用动态演化模拟模型,通过GIS技术手段,对上海市进行了实证研究。(1)通过 Binary Logistic 回归方法分析了包括自然因子和社会因子的11个影响因子对城镇土地利用动态的影响,并通过时间序列和空间分区进行了比较,得到在不同的城市发展阶段或同一城市的不同空间位置上相同的影响因子有可能发挥不同的作用,应该尽量通过客观数据反映其中的真实内在关系。(2)将元胞自动机模型和多智能体模型相结合,既利用了其“自下而上”的自组织发展规律形成整体变化的特点,又能通过居民智能体的选择行为和政府智能体的宏观控制行为起到关键的决策作用,综合考虑两个模型的概率做出最后的抉择。(3)根据上海市土地利用规划和现实情况将上海市分为中心城区、城郊区和外围区,单独计算各个影响因子在其区域内的影响作用,并单独分析各个区内的智能体对不同资源的偏好程度,分别将其代入模型计算,得到了更为精确的模拟和预测结果。(4)对上海市2010年和2020年的土地利用状态进行了预测,由于对2005年的模拟结果精度平均值大于0.75,本结果对于上海市未来土地利用变化的预测具有较高可信性,可以为土地利用决策者提供一定判定依据。

本模型设定了居民智能体和政府智能体两类,很多对模型具有重要影响的因子没有纳入到模型中来,比如房价,是居民智能体在选择居住位置的重要因素。政府智能体的规划作用体现较弱,因为城镇用地的转化和城市扩张受政府规划行为很大影响,政府智能体的行为设定有待提高。

References:

- [1] Shen J G. The fundamental laws governing world urbanization. *Urban Studies*, 2000, 7(1): 6-11.
- [2] Li J W, Ji X H. International comparison of Chinese urbanization. *Urban Studies*, 2004, 11(3): 1-10.
- [3] Tian G J, Wang J, Quan Q. Temporal and Spatial Patterns of Urbanization in China. Beijing: Science Press, 2009: 38-47.
- [4] Couclelis H. Cellular worlds: a framework for modeling micro-macro dynamics. *Environment and Planning A*, 1985, 17: 585-596.
- [5] Zhou C H, Sun Z L, Xie Y C. Geographic Study of Cellular Automata. Beijing: Science Press, 1999: 21-45.
- [6] Benenson I. Multi-agent simulations of residential dynamics in the city. *Computers, Environment and Urban Systems*, 1998, 22(1): 25-42.

- [7] National Bureau of Statistics. Shanghai statistical annual in 1989—2008. Beijing: National Bureau of Statistics, 1989-2008.
- [8] Liu J Y, Liu M L, Zhuang D F, Zhang Z X, Deng X Z. China's recent land use change in spatial pattern analysis. Science in China(Series D), 2002, 32(12): 1031-1040.
- [9] Tian G J, Zhuang D F, Liu J Y. The temporal-spatial characteristics of rural residential land in China in the 1990s. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(5): 651-658.
- [10] Wang J C, Guo Z G. Logistic Regression Model — Methods and Applications. Beijing: Higher Education Press, 2001: 23-23.
- [11] Wu F L. SimLand: a prototype to simulate land conversion through the integrated GIS and CA with AHP-derived transition rules. International Journal of Geographical Information Science, 1998, 12(1): 63-82.
- [12] Li X, Ye J A. Constrained cellular automata for modelling sustainable urban forms. Acta Geographica Sinica, 1999, 54(4): 289-298.
- [13] Li X, Ye J A, Liu X P, Yang Q A. Geographical Simulation Systems: Cellular and Multi-agent System. Beijing: Science Press, 2007: 212-223.
- [14] Benenson I, Torrens P M. Geosimulation: Automata-based Modeling of Urban Phenomena. London: John Wiley & Sons, 2004.
- [15] Zhang W Z. An analysis of the factors that influence the urban residential location selection. Progress in Geography, 2001, 20(3): 268-275.
- [16] Herman G. Exchange Rules of Human Conduct and Human Development//Wang X S. Beijing: Commercial Press, 1997: 9-9.
- [17] Liu X P, Li X, Ai B, Tao H Y, Wu S K, Yiu T. Multi-agent systems for simulating and planning land use development. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(10): 1101-1112.
- [18] Liu M L, Chen P. A prototype of urban simulation model based on the theories and methodologies of cellular automata (CA) and multi-Agent system (MAS). Scientia Geographica Sinica, 2006, 26(3): 292-298.
- [19] Wu F L. Calibration of stochastic cellular automata: the application to rural-urban land conversions. International Journal of Geographical Information Science, 2002, 16(8): 795-818.
- [20] Potius R G. Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2000, 66(8): 1011-1016.

参考文献:

- [1] 沈建国. 世界城市化的基本规律. 城市发展研究, 2000, 7(1): 6-11.
- [2] 李京文, 吉星华. 中国城市化水平之国际比较. 城市发展研究, 2004, 11(3): 1-10.
- [3] 田光进, 王健, 全泉. 中国城镇化过程时空模式. 北京: 科学出版社, 2009: 38-47.
- [5] 周成虎, 孙战利, 谢一春. 地理元胞自动机研究. 北京: 科学出版社, 1999: 21-45.
- [7] 国家统计局. 1989—2008 年上海统计年鉴. 北京: 国家统计局, 1989-2008.
- [8] 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 张增祥, 邓祥征. 中国近期土地利用变化的空间格局分析. 中国科学 D 辑, 2002, 32(12): 1031-1040.
- [9] 田光进, 庄大方, 刘纪远. 近 10 年来中国农村居民点用地时空特征. 地理学报, 2003, 58(5): 651-658.
- [10] 王济川, 郭志刚. Logistic 回归模型——方法与应用. 北京: 高等教育出版社, 2001: 23-23.
- [12] 黎夏, 叶嘉安. 约束性单元自动演化 CA 模型及可持续城市发展形态的模拟. 地理学报, 1999, 54(4): 289-298.
- [13] 黎夏, 叶嘉安, 刘小平, 杨青生. 地理模拟系统: 元胞自动机与多智能体. 北京: 科学出版社, 2007: 212-223.
- [15] 张文忠. 城市居民住宅区位选择的因子分析. 地理科学进展, 2001, 20(3): 268-275.
- [16] 赫尔曼·海因里希·戈森. 人类交换规律与人类行为准则的发展//王秀山, 译. 北京: 商务印书馆, 1997: 9-9.
- [17] 刘小平, 黎夏, 艾彬, 陶海燕, 伍少坤, 刘涛. 基于多智能体的土地利用模拟与规划模型. 地理学报, 2006, 61(10): 1101-1112.
- [18] 刘妙龙, 陈鹏. 基于细胞自动机与多主体系统理论的城市模拟原型模型. 地理科学, 2006, 26(3): 292-298.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 10 May, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Circadian activity pattern of giant pandas during the bamboo growing season	ZHANG Jindong, Vanessa HULL, HUANG Jinyan, et al (2655)
The vivipary characteristic of <i>Anabasis elatior</i> and its ecological adaptation	HAN Jianxin, WEI Yan, YAN Cheng, et al (2662)
Relationships between plant community characteristics and environmental factors in the typical profiles from Dzungaria Basin	ZHAO Congju, KANG Muyi, LEI Jiaqiang (2669)
The relationship between pollen assemblage in topsoil and vegetation in karst mountain during different restoration period of typical vegetation community	HAO Xiudong, OUYANG Xuhong, XIE Shiyong, et al (2678)
Early responses of soil CO ₂ emission to simulating atmospheric nitrogen deposition in an alpine meadow on the Qinghai Tibetan Plateau	ZHU Tianhong, CHENG Shulan, FANG Huajun, et al (2687)
Spatial pattern of soil moisture and vegetation attributes along the critical area of desertification in Southern Mu Us Sandy Land	QIU Kaiyang, XIE Yingzhong, XU Dongmei, et al (2697)
Dynamics of dominant tree seedlings in montane evergreen broadleaved forest following a snow disaster in North Guangdong	OU Yudian, SU Zhiyao, XIE Dandan, et al (2708)
A comparative analysis of the hydrological effects of the four cypress stand types in Sichuan Basin	GONG Gutang, CHEN Junhua, LI Yanqiong, et al (2716)
Effect of cutting management on soil moisture in semi-arid Loess Hilly region	LI Yaolin, GUO Zhongsheng (2727)
Dynamics of understory vegetation biomass in successive rotations of Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) plantations	YANG Chao, TIAN Dalun, HU Yueli, et al (2737)
Spatial and temporal variation of solar radiation in recent 48 years in North China	YANG Jianying, LIU Qin, YAN Changrong, et al (2748)
Impact of stand features of short-rotation poplar plantations on canker disease incidence at a mesoscale landscape: a case study in Qingfeng County, Henan Province, China	WANG Jing, CUI Lingjun, LIANG Jun, et al (2757)
Effects of different soil tillage systems on weed biodiversity and wheat yield in winter wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) field	TIAN Xinxin, BO Cunyao, LI Li, et al (2768)
Habitat suitability evaluation of Elliot's pheasant (<i>Syrnaticus ellioti</i>) in Guanshan Nature Reserve	CHEN Junhao, HUANG Xiaofeng, LU Changhu, et al (2776)
Relationships between arthropod community characteristic and meteorological factors in <i>Zanthoxylum bungeanum</i> gardens	GAO Xin, ZHANG Xiaoming, YANG Jie, et al (2788)
The differences of ecosystem services between vegetation restoration models at desert front	ZHOU Zhiqiang, LI Ming, HOU Jianguo, et al (2797)
Response to salt stresses and assessment of salt tolerability of soybean varieties in emergence and seedling stages	ZHANG Haibo, CUI Jizhe, CAO Tiantian, et al (2805)
Dynamic change of salt contents in rhizosphere soil of salt-tolerant plants	DONG Liping, CAO Jing, LI Xianting, et al (2813)
Effect of short-term salt stress on the absorption of K ⁺ and accumulation of Na ⁺ , K ⁺ in seedlings of different wheat varieties	WANG Xiaodong, WANG Cheng, MA Zhihong, et al (2822)
Effects of the micro-environment inside fruit bags on the structure of fruit peel in 'Fuji' apple	HAO Yanyan, ZHAO Qifeng, LIU Qunlong, et al (2831)
Enhancement of soil quality in a rice-wheat rotation after long-term application of poultry litter and livestock manure	LI Jiangtao, ZHONG Xiaolan, ZHAO Qiguo (2837)
MSAP analysis of DNA methylation in <i>Arabidopsis</i> (<i>Arabidopsis thaliana</i>) under Oxytetracycline Stress	DU Yaqiong, WANG Zicheng, LI Xia (2846)
Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from Changshan Archipelago in the North Yellow Sea	SHAO Kuishuang, GONG Ning, YANG Qing, et al (2854)
Developing and optimizing ecological networks in urban agglomeration of Hunan Province, China	YIN Haiwei, KONG Fanhua, QI Yi, et al (2863)
Dynamic simulation of Shanghai urban expansion based on multi-agent system and cellular automata models	QUAN Quan, TIAN Guangjin, SHA Moquan (2875)
"Micro-canyon effect" of city road green belt and its effect on the pollutant concentration above roads for non-motorized vehicles	LI Ping, WANG Song, WANG Yaying, et al (2888)
Review and Monograph	
The abundance and diversity of nanoplankton in Arctic Ocean	GUO Chaoying, WANG Guizhong, ZHANG Fang, et al (2897)
Advances in plant seed-associated microbial ecology	ZOU Yuanyuan, LIU Yang, WANG Jianhua, et al (2906)
Improving validity and reliability of contingent valuation method through reducing biases and errors: theory, method and application	CAI Zhijian, DU Liyong, JIANG Zhan (2915)
Discussion	
The analysis of Chinese ecological academic journals	LIU Tianxing, KONG Hongmei, DUAN Jing (2924)
Scientific Note	
Seasonal variations in salt tolerance of <i>Oligostachyum lubricum</i>	GU Daxing, GUO Ziwu, LI Yingchun, et al (2932)
Variation of a spring bacterial community from Wuqia Sinter in Xinjiang during the pre- and post-earthquake period	YANG Hongmei, OTKUR Mahmut, ZENG Jun, et al (2940)
Comparison of the effect of two prey species on the population growth of <i>Orius similis</i> Zheng and the implications for the control of <i>Tetranychus urticae</i> Koch	HUANG Zengyu, HUANG Linmao, HUANG Shoushan (2947)

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 31 卷 第 10 期 (2011 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 10 2011

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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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