

# 基于 CLUE-S 模型的京津冀城市群 土地利用变化时空模拟

张津 朱文博 吴舒尧 李双成<sup>†</sup>

北京大学城市与环境学院, 北京 100871; <sup>†</sup> 通信作者, E-mail: sclj@pku.edu.cn

**摘要** 针对京津冀城市群协同发展对土地利用的需求, 制定现状延续、粮食安全、保护自然和城市扩展 4 种土地利用策略。使用改进的柯布-道格拉斯效用函数, 量化土地利用策略对各土地利用类型需求的影响, 并利用 CLUE-S 模型模拟不同策略下京津冀城市群土地利用的时空特征。结果表明, 在不同土地利用策略下, 2020 年各类土地利用类型的面积和空间格局与 2010 年有较大不同。现状延续策略以城镇持续扩张为特征, 建设用地增加 2280 km<sup>2</sup>; 粮食安全策略下耕地面积显著增加, 共增加 3611.4 km<sup>2</sup>, 但林地和草地等生态用地面积减少; 保护自然策略以耕地大量减少为代价, 共减少耕地 3082.13 km<sup>2</sup>, 但林地、草地和水域增加 3726.4 km<sup>2</sup>; 在城市扩展策略下, 除建设用地大幅增加(增加 3375 km<sup>2</sup>)外, 其他各类用地都呈现减少态势。在空间格局上, 各策略下土地利用类型的转化有显著的区域特征: 建设用地的增加和耕地的减少高度契合, 往往发生在原有城镇的周边地区; 生态用地的增加多出现在坝上高原以及燕山与太行山山地。在京津冀协同发展战略逐步实施的背景下, 研究结果可以为制定不同偏好的土地利用政策提供参考。

**关键词** 土地利用变化模拟; CLUE-S 模型; 京津冀城市群

**中图分类号** X826

## Simulation of Temporal and Spatial Land Use Changes in Jing-Jin-Ji Urban Agglomeration Using CLUE-S Model

ZHANG Jin, ZHU Wenbo, WU Shuyao, LI Shuangcheng<sup>†</sup>

College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871; <sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: sclj@pku.edu.cn

**Abstract** For the land use demands of Jing-Jin-Ji urban agglomeration cooperative development strategies, four kinds of land use policies, i.e. status quo continuation, food security, nature protection and urban expansion were made. A modified Cobb-Douglas utility function was developed to quantify the influence of different policies on various land use demands, and a CLUE-S model was built to simulate the spatial and temporal evolution of Jing-Jin-Ji land use under different policies. Results show that, compared with year 2010, great changes occur on land use areas and patterns in the year 2020 under different policies. “Status quo continuation” is characterized by the continuous expansion of urban groups, increasing the construction land by 2280 km<sup>2</sup>. “Food Security” significantly increases the arable land by 3611.4 km<sup>2</sup>, while reducing the ecological land including forest and grassland. “Nature protection” greatly reduces the area of arable land by 3082.13 km<sup>2</sup>, while increasing forest, grassland and water area by 3726.4 km<sup>2</sup>. “Urban expansion” substantially increases the construction land by 3375 km<sup>2</sup>, while decreasing other types of land use. Spatially, every land use policy has its significant regional characteristics in land use conversion. The increase of construction land always comes together with the decrease of arable land, which tends to occur in the existing urban surroundings. The increase of ecological land is more often seen in Bashang plateau, Yanshan Mountains as well as Taihang Mountains. This study has great reference value in

designing optimal land use policies, especially in the gradual implementation stage of the Jing-Jin-Ji collaborative development strategies.

**Key words** land use changes simulation; CLUE-S model; Jing-Jin-Ji urban agglomeration

土地利用/覆被是人类社会经济活动与自然生态过程交互和链接的纽带,是表征人类活动对地球陆表自然生态系统影响最直接的信号<sup>[1-4]</sup>。人类通过对自然资源的开发、经营和利用,向生态系统获取大量服务,使土地利用方式发生剧烈改变<sup>[5-6]</sup>。关注不同尺度的人地耦合关系,测量、模拟和解释驱动力与土地利用/覆被变化之间的相互作用,从而预测未来土地利用/覆被的变化,评估生态系统和环境的变化,增进对人类活动造成的生态系统运行状态变化及其社会、经济与政治后果的理解<sup>[7-9]</sup>。土地利用政策直接影响各土地利用类型的需求与转化,特别是在中国,土地产权国有制和集体所有制使得土地利用政策对土地利用方式及其相互转变有重大影响,增大了土地利用时空变化预测的复杂程度。

土地利用/覆被变化模拟一直是地理学的研究热点,已经发展出一系列模拟土地利用空间演变的模型<sup>[10-11]</sup>,包括基于数理方程建立的模型、系统动力学模型、统计分析模型、专家模型、进化模型、细胞自动机模型、综合模型以及基于主体的模型等<sup>[12-13]</sup>。在国内,经常使用的土地利用演变模型有马尔科夫链模型、系统动力学模型、人工神经网络模型和CA模型等<sup>[14]</sup>。CLUE-S (conversion of land use and its effects at small region extent)模型是一种典型的经验统计分析模型,能够清晰地表现土地利用空间变化的驱动因子,在模拟区域尺度土地利用时空动态变化方面具有优势<sup>[15]</sup>。

本文以京津冀地区为研究区,构建CLUE-S模型,模拟不同土地利用策略下京津冀城市群的土地利用时空变化,以测度未来土地利用对政策选择的响应,为策略设计与选择提供科学支持。

## 1 土地利用策略的构建

### 1.1 研究区概况

京津冀城市群地理坐标为113°04′—119°53′E, 36°01′—42°37′N,包括北京、天津两个直辖市和河北省11个地级市,该区域土地面积达21.6万km<sup>2</sup>,占我国国土面积的1.9%。研究区内生态系统类型呈现多样性,空间分异较为明显。从东南到西北,海岸滩涂、滨海湿地、农田、城市、灌丛、森林、

森林草原和草原依次更替。其中,西部太行山地区为该区域重要生态屏障,东南平原是主要粮食产区,中部北京市与天津市人口密集,是生态系统服务的主要消费地,生态系统服务的供给和消费空间梯度比较清晰<sup>[16]</sup>。

2015年4月30日,中共中央政治局召开会议,审议通过《京津冀协同发展规划纲要》(简称《纲要》),标志京津冀协同发展顶层设计基本上完成。《纲要》指出,京津冀应建立一体化市场,实现政策互动、资源共享,统一规划产业布局,统一调整生态结构。这要求一方面要缓解北京的大城市病,疏解非首都功能,改善城市生态和环境条件;另一方面要加快推进津冀发展,推进城镇化进程,提高津冀居民收入。

### 1.2 京津冀地区土地利用策略构建

土地利用政策通常是综合考虑区域发展定位和需求的结果。在制定土地利用政策时,要充分考虑区域资源禀赋、比较优势和发展规划等条件。通常,区域土地利用政策要兼顾当地经济发展需要、生态保护需要、粮食生产需要等几个主要方面。

京津冀城市群发展现状呈现多极化特质,以北京和天津为代表的大都市区发展水平较高,接近发达国家城市水平,是人口、资本和技术较为集中的区域,城市用地效益高,但也出现人口过密和环境污染等问题。冀西北地区森林和草地覆被率较高,是生态保护优先区。冀中南平原是主要粮食和经济作物生产基地,拥有大片良田,是我国小麦和玉米的主要产地,也是当地农民主要收入来源。冀东沿海和天津滨海是重要的港口和制造业基地,进一步推进工业和贸易发展是主要任务。同时,环京津贫困带是河北省面临的发展难题,促进当地城镇化发展,保护当地生态安全是区域政策制定的主要着眼点<sup>[17-18]</sup>。

综合区域土地利用政策导向经验,结合京津冀城市群发展优势和面临的问题<sup>[19-20]</sup>,本文设置4种区域土地利用策略偏好:现状延续策略,维持目前土地利用方式;粮食安全策略,重点保护农业用地;保护自然策略,侧重保护和增加绿地;城市扩展策略,促进建设用地扩张。

## 2 CLUE-S 模型原理及其步骤

CLUE-S 模型由荷兰瓦赫宁根大学土地利用变化和影响研究组在 CLUE 模型的基础上开发而成,是根据经验和统计回归方法模拟土地利用变化的模型。自推出以来,CLUE-S 模型广泛应用于区域土地利用格局演变的模拟。模型的假设前提是,某地区土地利用变化受该地区土地利用需求驱动,并且该地区土地利用分布格局总是与土地需求及自然环境和社会经济状况处于动态平衡状态。CLUE-S 模型的理论框架包括非空间分析模块和空间分析模块。非空间分析模块需要计算驱动因子导致的土地利用类型数量变化和不同类型土地需求量总值,这部分使用独立于 CLUE-S 模型之外的数学模型完成;空间分析模块则是将非空间分析模块计算出的各土地利用类型总量分配到具体空间位置上,完成土地利用变化的空间模拟。总体而言,CLUE-S 模型结构由土地策略与限制区域、土地利用类型转换规则、土地需求、土地利用空间转换概率 4 个输入模块和 1 个空间分配模块共 5 个部分组成<sup>[12]</sup>,如图 1 所示。

## 3 CLUE-S 参数设定与模拟

### 3.1 土地利用类型效用、边际替代率与需求

计算土地利用需求时,需要设定参与计算的所有年份各类土地利用需求总量。通常确定土地利用需求量有两种方法:1) 根据历史数据外推出未来年份土地利用数据,主要方法有回归拟合和马尔科夫链预测等;2) 使用模型模拟各类型土地利用需求变化<sup>[21]</sup>。现有的研究大多使用第一种方法,即从统计学角度来推断土地利用需求。这种方法的优点在于简便易操作,并且能够较为准确地推测策略偏好不

变情况下土地利用的变化趋势。当策略偏好改变,人为因素在土地利用需求估计中已不可忽视时,简单地根据历史数据的统计模型外推确定未来土地利用需求数量可能会有很大偏差<sup>[22]</sup>。本文设置不同的土地利用策略偏好,并需要得到不同策略偏好下各土地利用类型需求量,因此基于历史数据的统计学模型准确性不佳,需要构建影响土地利用需求量决策的模型。

影响未来土地利用需求量的主要因素一般有:

1) 不同的策略偏好,如粮食安全策略希望有更多农用地,保护自然策略希望保留更多生态用地,城市扩展策略则偏好更大规模的城市范围;2) 现有各土地利用类型的面积,某种土地利用类型的现有面积总量越大,则越偏好将该土地利用类型转变为其他用地。借鉴经济学效用理论,构建土地利用类型组合效用函数,可以恰当地描述不同策略偏好下土地利用类型需求量组合。土地利用类型效用即不同方式下各土地利用类型数量组合带来的满意程度,满意程度越高,则效用越大。

在建立土地利用类型效用模型时,需要设置两个前提假设:1) 不同土地利用类型随面积的增加而边际效用递减;2) 两种土地利用类型之间边际替代率与其他土地利用类型无关。这两个前提假设基本上符合对真实世界的观察。

构建改进的柯布-道格拉斯效用函数:

$$U(x, y) = x^\alpha y^{1-\alpha}.$$

根据柯布-道格拉斯效用函数,很容易得到不同土地利用类型间的边际替代率计算公式:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \cdot \frac{y}{x},$$

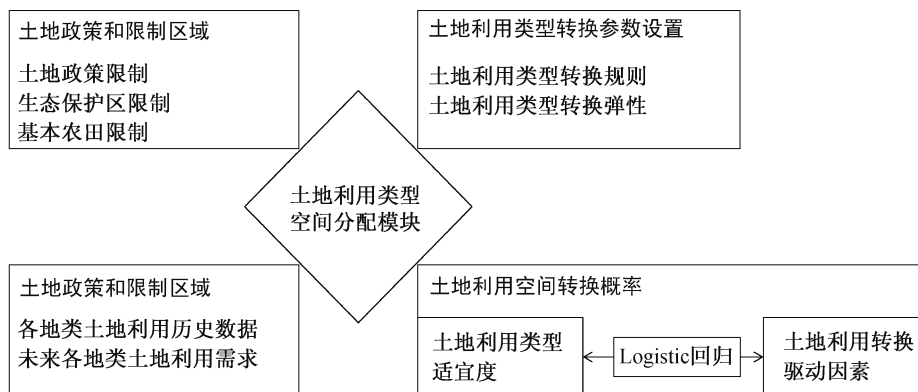


图 1 CLUE-S 的结构

Fig. 1 Structure of CLUE-S model

其中,  $x$  和  $y$  为两种土地利用类型的面积;  $\alpha$  为策略调控因子, 其值根据策略偏好确定;  $U$  为效用值。

不同土地利用类型间的边际替代率主要取决于策略调控因子和相关土地利用类型的现有面积。某一土地利用类型现有面积越大, 则转变为其他用地类型的趋势越大; 策略调控因子越偏向某一土地利用类型, 则其他土地利用类型转变为目标类型的趋势越强。这符合模型建立的理论基础。因此, 确定不同策略偏好下未来各土地利用类型的需求量, 也就是确定策略调控因子的数值。

根据 2005—2010 年的土地利用历史数据, 得到土地利用类型年均转换矩阵, 如表 1 所示。由土地利用类型年均转换矩阵计算出每两种土地利用类型之间的策略调控因子值, 如表 2 所示。得到的策

略调控因子  $\alpha$  为现有策略偏好下的数值, 其他策略偏好下的  $\alpha$  值是在现有策略调控因子值基础上进行一定的调整。鉴于本文的时间尺度较短(不足 10 年), 土地利用空间格局不应有过大的变化, 加上土地空间格局的调整过程需要一定的时间, 因此土地利用空间格局的剧烈变化难以在实际中实现。考虑到以上因素, 不同策略偏好下  $\alpha$  值的调整方案如表 3 所示。使用每种策略偏好下的  $\alpha$  值, 即可推得各年的土地利用需求, 最终得到 2020 年各土地利用类型需求, 如表 4 所示。

### 3.2 土地利用类型空间转换概率

#### 3.2.1 驱动因子的确定

计算各土地利用类型空间转换概率, 需要首先确定影响土地利用类型空间转换的驱动因子。在对

表 1 土地利用类型年均转换矩阵(栅格数)

Table 1 Annual transition matrix of land use types (cell number)

土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
耕地	26945	0	0	9	1	6
林地	0	11023	6	3	0	0
草地	1	0	8678	0	0	0
水域	9	0	2	1453	0	1
建设用地	133	11	19	7	4620	1
未利用地	0	0	0	0	0	496

表 2 现状土地利用类型政策调控因子值

Table 2 Policy regulating factor value of current land use types

土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
耕地	0.99996	0	0	0.99397	0.85368	0.99689
林地	0	0.99991	0.88377	0.95742	0	0
草地	0.24265	0	0.99988	0	0	0
水域	0.32739	0	0.25183	0.99931	0	0.74403
建设用地	0.95922	0.82688	0.91272	0.95795	0.99979	0.90482
未利用地	0	0	0	0	0	0.99796

表 3 各策略偏好下政策调控因子值

Table 3 Policy regulating factor value under different strategies

策略偏好	策略内涵	$\alpha$ 值调整方案
现状延续	维持目前土地利用方式, 保持现有城市扩展速率和环境管制措施不变	使用历史数据计算得到 $\alpha$
粮食安全	重点保护农业用地, 严格控制农用地向其他用地转变	在 $\alpha$ 基础上, 其他土地利用类型向耕地转变策略因子值增加 10%
保护自然	偏好增加自然绿地(林地、草地、湿地), 扩大生态保护区	在 $\alpha$ 基础上, 其他土地利用类型向林地和草地转变策略因子值增加 10%
城市扩展	增加建筑用地面积, 加快建筑用地增长速率, 促进建设用地扩张	在 $\alpha$ 基础上, 其他土地利用类型向建筑用地转变策略因子值增加 10%



表 4 2020 年各土地利用类型需求(m<sup>2</sup>)  
Table 4 Demand of land use types in 2020 (m<sup>2</sup>)

土地利用类型	现状延续	粮食安全	保护自然	城市扩展
耕地	10582800	11111940	10442587	10560900
林地	4408000	4302172	4628400	4386100
草地	3428400	3322572	3599820	3406500
水域	576400	470572	605220	554500
建设用地	2190000	2084172	2049787	2299500
未利用地	184000	78172	43787	162100

京津冀地区土地利用类型转换进行驱动力分析的基础上, 兼顾数据的可获得性, 选取 6 个因子(表 5)作为土地利用空间转换驱动因子<sup>[23-28]</sup>, 其中人口密度和人均 GDP 为动态因子, 其值随时间而改变; 年均降水量和土壤有机碳含量虽然也随时间而改变, 但其变化规律现阶段难以确定, 因而选择历史数据的均值代替未来值, 即将其作为静态因子处理。这样做虽然绝对数值会有偏差, 但可保障相对数值大体上准确, 也可避免人为盲目估测带来的误差。

确定驱动因子后, 采用 SPSS 软件中的 Binary Logistic 逐步回归分析方法, 对模拟初期的土地利用类型空间格局与驱动因子之间的关系进行统计分析, 对每一栅格可能出现某一土地利用类型的概率进行诊断。

### 3.2.2 Logistic 回归分析

以土地利用类型为因变量, 各驱动因子为自变量, 通过 SPSS 软件中的逐步回归程序, 从若干驱动因子中选出与因变量相关的因素, 那些对因变量解释力不强的驱动因子会在逐步回归过程中剔除。利用 CLUE-S 自带的 calculate probability map 工具, 将栅格数据转换成可被 SPSS 软件识别的数据, 导入 SPSS 中, 得到各土地利用类型空间转换概率

与驱动因子间的 Logistic 回归结果(表 6)。采用 ROC 方法, 对 Logistic 回归结果进行显著性检验, 结果如表 7 所示。一般而言, 如果 ROC 值大于 0.7, 可认为回归结果确定的驱动因子具有较好的解释能力。从表 7 可以看出, 各土地利用类型的 ROC 值均在 0.7 以上, 拟合度较好, 其中有 4 个土地利用类型的 ROC 值超过 0.8, 具有非常好的拟合度。ROC 检验结果说明对京津冀城市群土地利用驱动因子的选取是恰当的, 得到的回归方程结果(即空间转换概率值)可靠。

## 3.3 土地利用类型的转换规则和转换弹性

### 3.3.1 转换规则

转换规则指在一定的情景模式下, 各土地利用类型之间相互转移的可能性矩阵, 是一个  $n \times n$  的 0-1 矩阵( $n$  表示土地利用类型数), 矩阵内数值取 0 或 1。“1”表示两种土地利用类型间可以转换, “0”表示不可以转换。本文根据京津冀城市土地利用策略规则与历史数据, 通过邻域分析, 进行土地利用转换规则的判定。在土地利用历史数据中, 每种土地利用类型均有转变为其他类型的先例, 因此判断各用地类型之间均具有相互转化的潜力。转化规则矩阵如表 8 所示。

表 5 驱动因子信息  
Table 5 Information of driving forces

驱动因子	选择依据	因子性质	数据来源和获取方法
坡度(°)	地形坡度对土地利用类型起到限制作用	静态	在 GIS 平台上, 利用 DEM 数据, 使用 Surface Analysis 下的 Slope 获取坡度图
高程(DEM)(m)	高程对土地利用类型起到限制作用	静态	中国数字高程(DEM)空间分布数据
土壤有机碳含量(%)	土壤有机碳含量与农用地的相关性很强	静态	中国土壤数据库
年均降水量(mm)	年均降水量对土地利用类型有重要影响	静态	在 GIS 平台上, 由气象台站数据插值得到
人口密度(千人/km <sup>2</sup> )	人口密度对土地利用方式有直接的影响	动态	全国人口空间分布公里网格数据。2015—2020 年的数值由历史数据外推得到
人均 GDP(千人/km <sup>2</sup> )	人均 GDP 体现区域经济水平, 间接影响土地利用状况	动态	全国人均 GDP 空间分布公里网格数据。2015—2020 年的数值由历史数据外推得到

表 6 Logistic 回归结果  
Table 6 Results of Logistic regression

土地利用类型	常数	土壤有机碳含量	坡度	高程(DEM)	年均降水量	人口	人均 GDP
耕地	6.66312		-0.39366	-0.00161	-0.00991	-0.00024	-0.00006
林地	-9.60672		0.27058	0.00204	0.01261	-0.00216	-0.00011
草地	-3.69565	0.06816	0.07389	0.00107	0.00266	-0.00141	
水域	-3.27567	-1.52989	-0.32513	-0.00041	0.00297	-0.00109	
建设用地	-3.05184	-0.35497	-0.45405	-0.00104	0.00230	0.00041	0.00012
未利用地	-8.20948	-0.20309	-0.87807	0.00244	0.00687	-0.00054	

表 7 ROC 检验结果  
Table 7 Results of ROC test

土地利用类型	ROC
耕地	0.826
林地	0.893
草地	0.752
水域	0.767
建设用地	0.852
未利用地	0.828

### 3.3.2 转换弹性系数

转换弹性系数是形容每种土地利用类型发生改变难易程度的参数,用[0, 1]之间的值表示,越接近 1,表示该土地利用类型越难以向其他类型转变,而其他类型越容易向该土地利用类型转变;越接近 0,表示越容易向其他土地利用类型转变,而其他土地利用类型越难以向该土地利用类型转变。在实际操作中,可以通过反复试验而取得合适的转换弹性系数。分析 2005—2010 年土地利用历史数据可知,未利用地最容易转化为其他用地,建设用地、林地和草地也可以在一定的条件下转化为其他类型用地,耕地因受国家保护而为不易转变的土地利用类

表 8 土地利用类型间转换规则  
Table 8 Transition rules among the different land use types

土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
耕地	1	1	1	1	1	1
林地	1	1	1	1	1	1
草地	1	1	1	1	1	1
水域	1	1	1	1	1	1
建设用地	1	1	1	1	1	1
未利用地	1	1	1	1	1	1

型,水域的转化难度最大。经反复的模型试验,对比不同系数对应的模拟结果,选取模拟结果最优时的转化弹性系数。各土地利用类型的转换弹性系数见表 9。

表 9 各土地利用类型转换弹性系数  
Table 9 Elasticity coefficients of land use types

土地利用类型	转换弹性系数
耕地	0.7
林地	0.4
草地	0.5
水域	0.9
建设用地	0.2
未利用地	0

## 4 不同策略偏好下土地利用类型模拟结果

将以上数据和参数输入 CLUE-S 模型,在现状延续策略偏好下,使用 2005 年京津冀土地利用及其相关统计数据模拟 2010 年京津冀土地利用空间分布,并验证模型精度。将模拟结果在 ArcGIS 中转换成 Grid 格式,显示模拟结果。土地利用模拟结果和实际分布见图 2。

计算模拟结果的 kappa 值,得到一致性 kappa 值为 95.9%,达到精度要求。保持参数不变,再模拟不同策略偏好下 2020 年土地利用情况,结果如图 3 所示。2020 年各情景下各土地利用类型面积及占比见表 10。

之所以选择 2020 年作为模拟年份,主要原因是考虑到需要保持统计因子外推的可信度,因此不能选择时间尺度较长的土地利用变化格局进行预

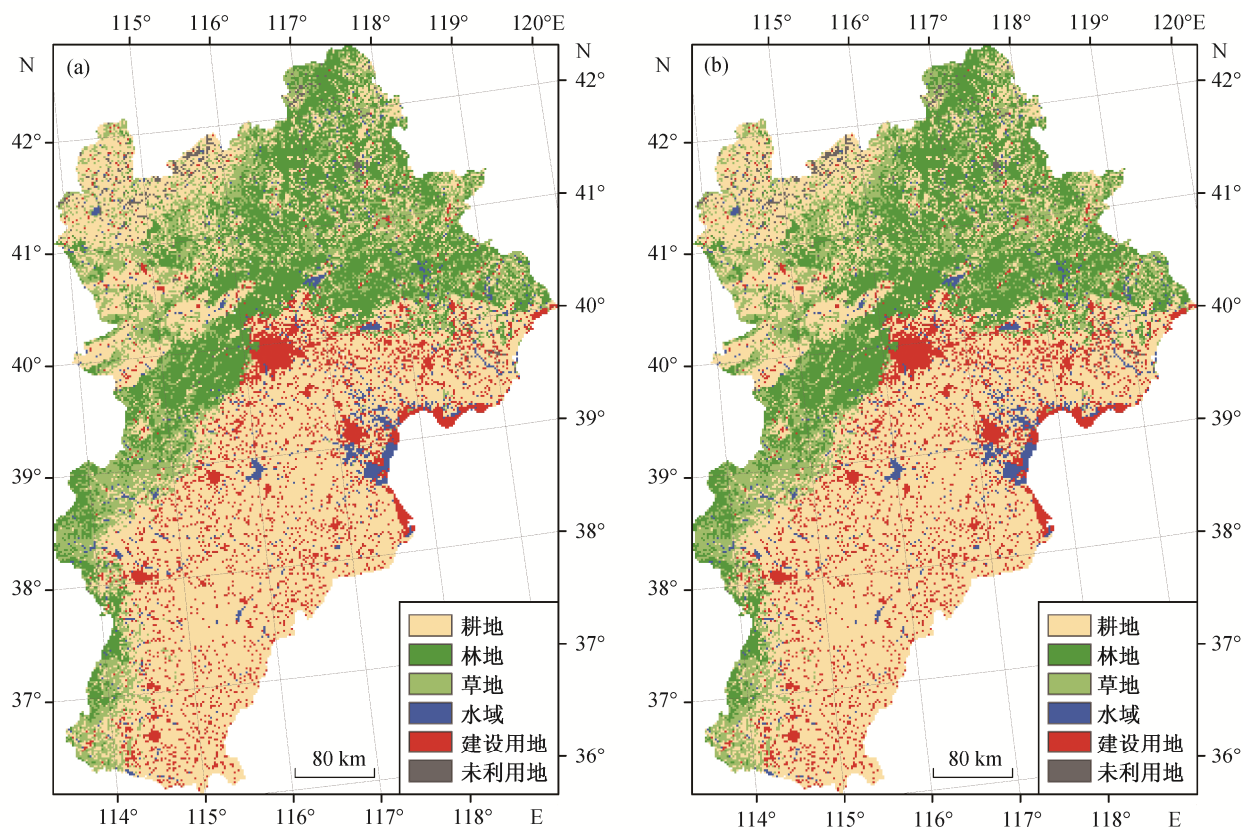


图 2 2010 年土地利用分布模拟结果(a)与实际分布(b)  
Fig. 2 Land use simulating spatial pattern (a) and real spatial pattern (b)

表 10 2020 年各策略情境下各土地利用类型面积及占比  
Table 10 Land use area of different strategy scenarios in 2020

土地利用类型	现状延续		粮食安全		保护自然		城市扩展	
	面积/km <sup>2</sup>	占比/%	面积/km <sup>2</sup>	占比/%	面积/km <sup>2</sup>	占比/%	面积/km <sup>2</sup>	占比/%
耕地	105828	49	111119	52	104426	49	105609	49
林地	44080	21	43022	20	46284	22	43861	20
草地	34284	16	33226	16	35998	17	34065	16
水域	5764	3	4706	2	6052	3	5545	3
建设用地	21900	10	20842	10	20498	9	22995	11
未利用地	1840	1	782	0	438	0	1621	1

测。从 2020 年土地利用模拟结果(图 3)可以看出,不同策略背景下土地利用格局基本上保持一致,局部地区有差异,符合对该时间尺度土地利用变化的一般认知。不同策略下 2020 年各土地利用类型面积较 2010 年的变化量如表 11 所示。

从表 11 可知,在不同策略下,与 2010 年相比,2020 年各土地利用类型面积的数量和空间格局有较大不同。在现状延续策略下,城镇持续扩张,建设用地增加 2280 km<sup>2</sup>,城镇增长呈现外延式特征,

即增加部分多数位于原有城镇的外围,耕地减少显著,共计减少 1680 km<sup>2</sup>,可见建设用地的增加部分多来自占用耕地,其他类型土地变化量较小。在粮食安全策略下,耕地增加 3611.4 km<sup>2</sup>,建设用地增加 1222 km<sup>2</sup>,各类生态用地(林地、草地和水域)以及未利用地减少显著,共计减少 4832 km<sup>2</sup>,显著减少的区域主要位于坝上高原的西部和燕山与太行山山地。保护自然策略以减少大量耕地为代价,共计减少 3082.13 km<sup>2</sup>,林地、草地和水域

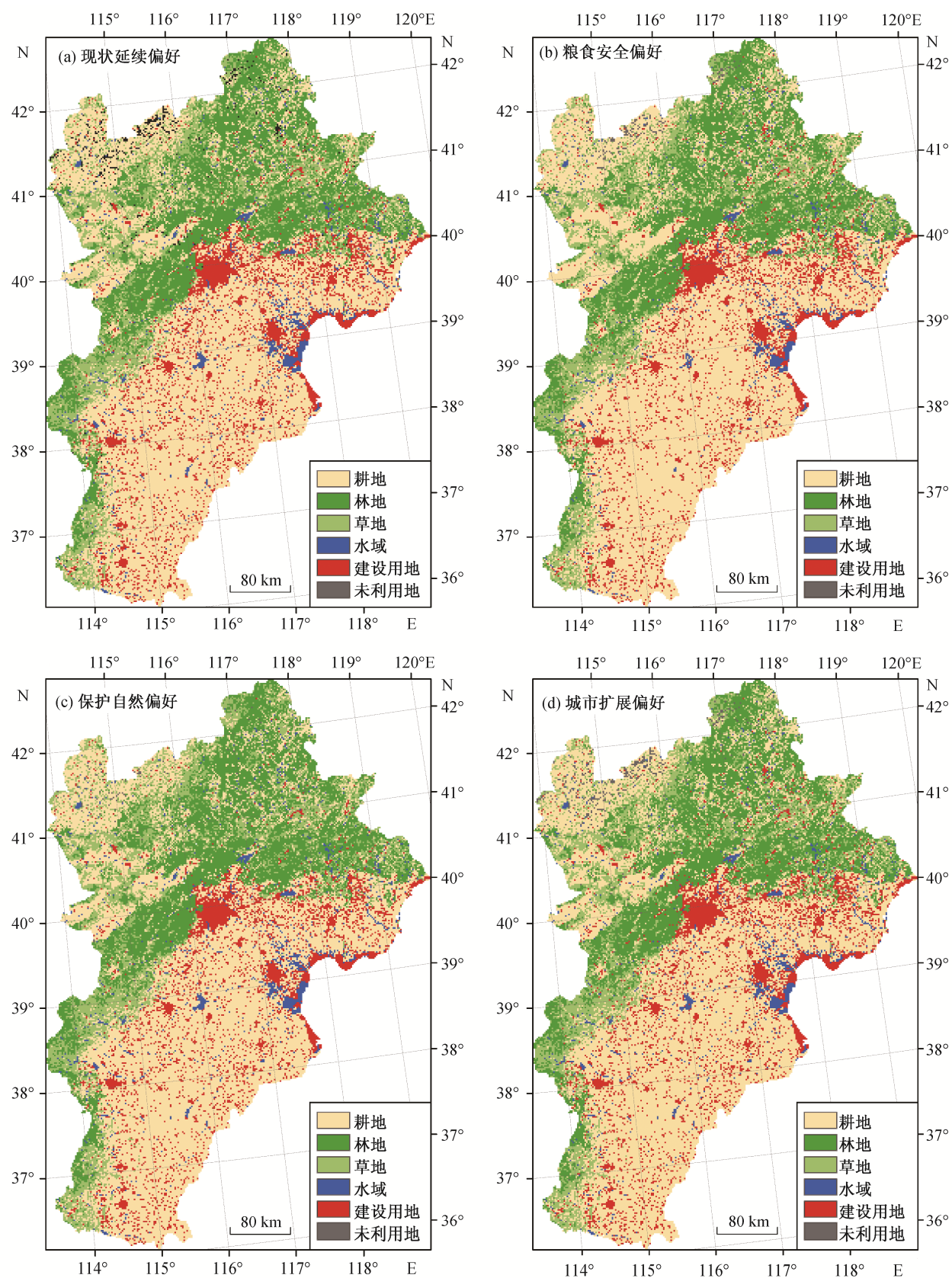


图 3 2020 年不同策略下土地利用状况  
Fig. 3 Land use spatial pattern under different strategies in 2020

表 11 不同策略下各土地利用类型面积较 2010 年变化量(km<sup>2</sup>)  
Table 11 Land use change amount compared with 2010 under different strategies (km<sup>2</sup>)

土地利用类型	现状延续	粮食安全	保护自然	城市扩展
耕地	-1680	3611	-3082	-1899
林地	-40	-1098	2164	-259
草地	-360	-1418	1354	-579
水域	-80	-1138	208	-299
建设用地	2280	1222	878	3375
未利用地	-120	-1178	-1522	-339

相应地增加 3726.4 km<sup>2</sup>, 生态用地的增加量也有部分来自未利用地的转化; 在空间上, 耕地减少和生态用地增加多出现在坝上高原和燕山与太行山山地。在城市扩展策略下, 除建设用地大幅度增加 3375 km<sup>2</sup> 外, 其他各类用地都呈现减少态势, 其中耕地减少最多, 共计 1899 km<sup>2</sup>; 在空间上, 建设用地增加与耕地减少的空间位置高度重合, 多位于原有城镇的周围, 说明城镇化进程会严重侵占耕地。

## 5 结论

本文设置现状延续、粮食安全、保护自然和城市扩展 4 种土地利用策略, 模拟了不同策略偏好情境下 2020 年京津冀城市群土地利用变化格局, 主要结论如下。

1) 改进的柯布-道格拉斯效用函数提供了一种量化土地利用策略对各土地利用类型需求影响的方式, 能够将土地利用策略偏好因素定量地纳入各土地利用类型需求计算。借鉴经济学模型, 将土地利用需求机理模型化, 拓展了以往依靠数据外推或土地利用类型转移矩阵计算未来土地利用需求的方法。

2) 使用 4 种土地利用策略, 基本上能够覆盖京津冀地区土地利用规划发展需求。使用 CLUE-S 模型和社会经济因素, 能够较可靠地模拟京津冀地区土地利用类型的时空变化, 并预测不同策略下未来土地利用变化的方向。

3) 不同土地利用策略下京津冀土地利用时空演变模拟结果显示, 现状延续策略下建设用地有较大幅度的增加, 但相应地, 耕地面积减少较多; 粮食安全策略显著地增加耕地面积, 但减少林地、草地等生态用地面积; 保护自然策略增加生态用地, 但较大幅度地缩减耕地面积; 城市扩展策略大幅度增加建设用地, 但减少耕地的面积。由于不同策略会使土地利用方式产生分异, 因此应充分考虑不同

土地利用方式的协同, 选择适宜的区域土地利用策略。

## 参考文献

- [1] Mooney H A, Duraiappah A, Larigauderie A. Evolution of natural and social science interactions in global change research programs. PNAS, 2013, 110 (Suppl 1): 3665-3672
- [2] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局. 地理学报, 2014, 69(1): 3-14
- [3] Turner II B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land-use and land-cover change science/research plan. IGBP Report No. 35 and HDP Report No. 7. Stockholm: IGBP, 1995
- [4] Blumstein M, Thompson J R. Land-use impacts on the quantity and configuration of ecosystem service provisioning in Massachusetts, USA. Journal of Applied Ecology, 2015, 52(8): 1009-1019
- [5] 唐华俊, 吴文斌, 杨鹏, 等. 土地利用/覆被变化 (LUCC) 模型研究进展. 地理学报, 2009, 64(4): 456-468
- [6] Thompson J R, Lambert K F, Foster D R et al. The consequences of four land-use scenarios for forest ecosystems and the services they provide. Ecosphere, 2016, 7(10): e1069
- [7] 刘纪远, 邓祥征. LUCC 时空过程研究的方法进展. 科学通报, 2009, 54(21): 3251-3258
- [8] Ghavami S M, Taleai M, Arentze T, et al. Socially rational agents in spatial land use planning: a heuristic proposal based negotiation mechanism. Computers Environment and Urban Systems, 2016, 60(11): 67-78
- [9] Foley J A, DeFries R, Asner G P, et al. Global consequences of land use. Science, 2005, 309(7): 570-574
- [10] 黎夏, 叶嘉安. 基于神经网络的单元自动机 CA 及

- 真实和优化的城市模拟. 地理学报, 2002, 57(2): 159–166
- [11] 刘小平, 黎夏, 艾彬, 等. 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
- [12] Verburg P H, de Koning G, Kok K, et al. A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use. *Ecol Model*, 1999, 116(1): 45–61
- [13] Parker D C, Manson S M, Janssen M A, et al. Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review. *Annals of the Association of American Geographers*, 2003, 93(2): 314–337
- [14] Cai Z C, Tsuruta H, Gao M, et al. Options for mitigating methane emission from a permanently flooded rice field. *Global Change Biol*, 2003, 9(1): 37–45
- [15] 张津, 李双成, 王阳. 深圳市城市扩展预测与分区评价. 北京大学学报(自然科学版), 2014, 50(2): 379–387
- [16] 李双成. 生态系统服务地理学. 北京: 科学出版社, 2014
- [17] 马程, 李双成, 刘金龙, 等. 基于 SOFM 网络的京津冀地区生态系统服务分区. 地理科学进展, 2013, 32(9): 1383–1393
- [18] 刘金龙, 马程, 王阳, 等. 基于径向基函数网络的京津冀地区生态系统服务脆弱性评估. 北京大学学报(自然科学版), 2013, 49(6): 1040–1046
- [19] 方创琳, 宋吉涛, 张蔷, 等. 中国城市群结构体系的组成与空间分异格局. 地理学报, 2005, 60(5): 827–840
- [20] 封志明, 刘登伟. 京津冀地区水资源供需平衡及其水资源承载力. 自然资源学报, 2006, 21(5): 689–699
- [21] Coelho C G C, Abreu C G, Ramos R M, et al. MASE-BDI: agent-based simulator for environmental land change with efficient and parallel auto-tuning. *Applied Intelligence*, 2016, 45(10): 904–922
- [22] Ornetsmuller C, Verburg P H, Heinimann A, et al. Scenarios of land system change in the Lao PDR: transitions in response to alternative demands on goods and services provided by the land. *Applied Geography*, 2016, 75(10): 1–11
- [23] 何丹, 金凤君, 周璟. 基于 Logistic-CA-Markov 的土地利用景观格局变化——以京津冀都市圈为例. 地理科学, 2011, 31(8): 902–910
- [24] 周小萍, 陈百明, 王秀芬. 区域农业土地可持续利用的空间尺度效应分析——以京津冀地区为例. 经济地理, 2006, 26(1): 100–105
- [25] 李平, 李秀彬, 刘学军. 我国现阶段土地利用变化驱动力的宏观分析. 地理研究, 2001, 20(2): 129–138
- [26] 摆万奇, 赵士洞. 土地利用变化驱动力系统分析. 资源科学, 2001, 23(3): 39–41
- [27] 刘纪远, 张增祥, 徐新良, 等. 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
- [28] 朱会义, 何书金, 张明. 环渤海地区土地利用变化的驱动力分析. 地理研究, 2001, 20(6): 669–678