

Decision Optimization on Non-Agriculturalization of Arable Land Based on Multi-Agent System Model

Rongbao Zheng^{1,2*}, Meizhao Chen³, Yaqi Zhang²

¹The Open Fund of Key Laboratory of Urban Land Resources Monitoring and Simulation, Ministry of Land and Resources, Shenzhen Guangdong

²College of Management, Guangdong University of Technology, Guangzhou Guangdong

³School of Politics and Public Administration, Guangdong University of Foreign Studies, Guangzhou Guangdong
Email: *zhengrongbao@163.com

Received: Apr. 7th, 2018; accepted: Apr. 20th, 2018; published: Apr. 27th, 2018

Abstract

Non-agriculturalization of arable land is a major problem which is concerned by all over the world. Key to solve this problem is to improve its decision level of cultivated land transfer. However, there are a lot of bottlenecks which restrict the application of decision making technique including competition, interaction and complexity between different decision makers. This paper establishes space decisions model based on multi-agents system and particle swarm optimization in time and space. Research shows that: decision-making model of farmland non-agriculturalization considered the factors of government, land development enterprises and farmers, and it not only can rationally allocate the land structure and spatial layout in the process of regional arable land circulation, but also can meet the requirements of regional arable land farmland quality. And the model can achieve the goals of resource conservation and environment-friendly sustainable development.

Keywords

Cultivated Land, Non-Agriculturalization, Decision-Making Optimization, Multi-Agent Systems

多智能体系统支持下的耕地非农化流转决策优化研究

郑荣宝^{1,2*}, 陈美招³, 张雅琪²

¹国土资源部城市土地资源监测与仿真重点实验室, 广东 深圳

*通讯作者。

²广东工业大学管理学院, 广东 广州

³广东外语外贸大学, 政治与公共管理学院, 广东 广州

Email: zhengrongbao@163.com

收稿日期: 2018年4月7日; 录用日期: 2018年4月20日; 发布日期: 2018年4月27日

摘要

耕地非农化是全球十分关注的一个重大问题, 提升其流转的决策水平是解决该问题的有效手段。然而不同主体之间的竞争性、互动性及复杂性, 成为制约耕地非农化流转决策技术推广应用的主要瓶颈。本文拟建立基于决策主体交互影响的耕地非农化流转时空决策模型, 结合多智能体系统(multi-agents system, MAS)、微粒群优化算法(particle swarm optimization, PSO)在时间和空间上对耕地非农化流转进行空间决策研究, 为区域耕地资源有效利用提供技术支持。研究结果表明: 考虑政府、土地开发企业和农户的MASPSO决策模型, 能合理地对区域耕地流转过程中的土地利用结构和空间布局进行合理配置, 不仅能满足区域耕地量的要求, 又能提高耕地质量, 以实现资源节约与环境友好的可持续发展目标。

关键词

耕地, 非农化, 决策优化, 多智能体系统

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

耕地非农化是指耕地转为非农建设用地过程, 其转化过程涉及政府、农户、土地开发企业等复杂主体[1]。目前耕地非农化成为全球十分关注的一个重大问题, 已经受到国内外众多学者的关注, 研究领域主要集中在流转成因(驱动力) [2]-[7]、影响结果(经济增长贡献、粮食安全) [8] [9] [10] [11] [12]、调控措施[13] [14] [15]等方面。目前对于中国耕地非农化的特征、规律以及驱动力等机制的研究已经成熟, 然而对耕地如何合理非农化流转的关键科学问题还没搞清楚, 对耕地非农化合理性的相关研究较少, 对耕地非农化流转决策的关注不足。其主要原因是耕地非农化流转的科学决策过程属于多主体、多目标决策问题, 不同主体之间的竞争性和复杂性使得对其优化决策变得非常困难。

耕地非农化流转决策研究目前仍处于起步阶段, 定性研究多, 定量研究少, 静态方法多, 空间的动态研究方法少。由于影响耕地非农化流转的影响因素和决策主体不断地在空间和时间上进行协调与变化, 这就要求耕地非农化流转决策模型能够更加灵活实用。另外, 在空间决策与优化问题中, 空间信息的处理与空间搜索能力是关键, 常规的 GIS 空间分析功能无法满足其需求, 一般的穷尽搜索方法由于耗时长, 搜索速度慢, 难以胜任复杂空间搜索问题的求解, 这些问题都极大的限制了耕地非农化流转决策优化技术的应用与推广。近年来, 基于多智能体系统的土地利用优化配置与空间模拟已经得到广泛的研究和应用[16] [17], 这为耕地非农化决策研究提供了研究思路与方法。

本文以广东省广州市黄埔区为例, 通过探讨智能体与外部环境间的作用和反馈关系、智能体之间互

动关系等问题, 在多智能体决策框架的基础上, 建立耕地非农化流转的时空决策优化模型, 以提升耕地非农化流转决策的科学性。

2. 研究区域概况

本文以我国经济快速发展地区广州市黄埔区为例(图 1), 黄埔区由 2014 年的旧黄埔区和萝岗区组成, 其位于东经 $113^{\circ}23'29''\sim 113^{\circ}36'2''$, 北纬 $23^{\circ}1'57''\sim 23^{\circ}24'57''$, 地处广州市中部, 珠江口内, 地形南北狭长, 地势北向南逐渐降低。包括 1 个国家级经济技术开发区(广州科学城)和 1 个省级经济技术开发区(中新知识城), 土地总面积约 48417 hm^2 , 下辖 14 个街道、1 个镇, 其中社区居委会 91 个, 街道 15 个, 行政村 48 个, 村民委员会 542 个。

3. 数据来源与模型构建

3.1. 数据来源

研究基础数据包括: 2000 年、2015 年 1:10000 的土地利用变化调查数据, 将每个图班作为数据转换的基本单元, 2015 年 10 m 分辨率 SPOT 遥感影像数据、统计年鉴数据、土壤调查数据等, 所需基础地理信息数据如交通、基础设施数据等来自百度地图。

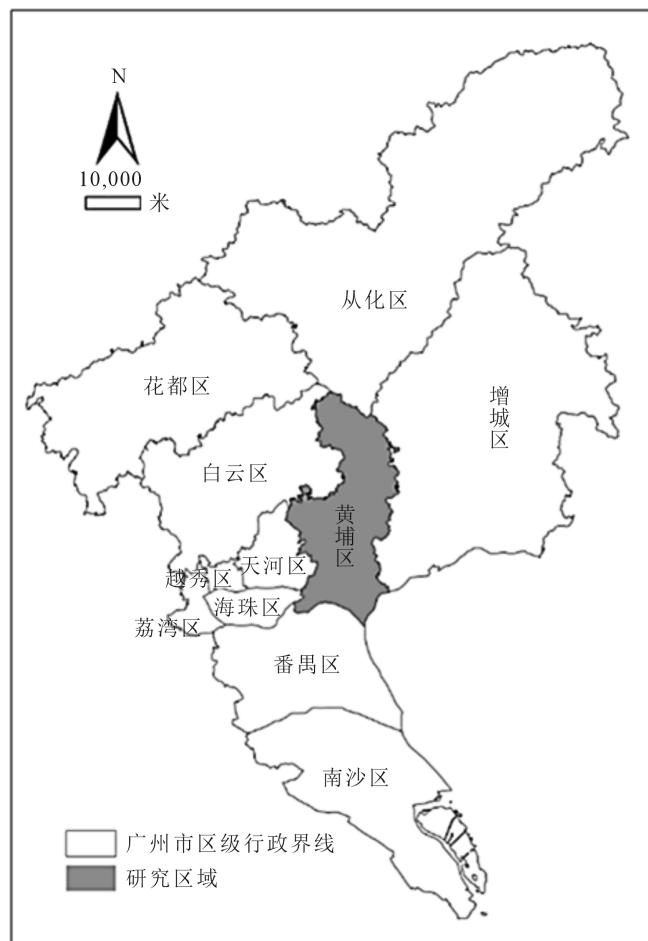


Figure 1. Location of research area
图 1. 研究区位置图

3.2. 模型构建

在进行耕地非农化流转空间决策过程中，不同的决策主体有其各自的活动目标，如对耕地承包经营者而言，他们考虑的是如何从农业生产中获取最大的经济收入，土地开发企业考虑的是如何以最小的投入获取最大的经济报酬，而政府追求的是经济、社会和生态效益三者的最大化。决策主体之间不同的目标追求决定了他们有不同的行为特征，这些行为可以是不同个体之间的直接关系，也可以是许多个体在共同环境下的间接关系。如何将不同利益相关者的决策行为特征以量化的形式确定下来，并形成不同的决策规则，是复杂空间决策模型建立之前要解决的关键问题。

3.2.1. 模型智能体及其决策规则

建立基于多智能系统的耕地非农化流转决策优化模型，关键在于如何对各主体 agent 进行合理的定量描述，明确说明各类型 Agent 是如何对外部信息进行有效探测，并对相对应的外部信息做出反应并最终做出的行为选择。在本文中研究中，主要考虑三种类型 Agent 及其行为决策，分别为：政府 Agent、土地开发商 Agent、农户 Agent，其他 Agent 暂不在考虑范围内。

1) 政府 Agent 及其决策规则

在耕地非农化流转决策优化模型中，政府作为一类比较特殊的 Agent，它与其他 Agent 不同的是它不具备空间属性，而是通过在制定土地利用和城市规划，从而在时空上对耕地资源进行合理配置。

政府的规划与调控对耕地非农化过程是一个不可忽略的因素[18]。当土地开发企业向政府申请耕地流转时，政府会根据该地块目前的耕地利用状况和未来规划情况进行对比，给出不同的接受概率。在此分两种情况，第一种情况是该地块符合规划为建设用地时，说明政府接受的可能性较大，在此定为 1；第二种情况是该地块不符合相关规划要求时，一个地块被申请的次数越多，它被政府接受的概率就会增加，这充分体现政府在宏观规划的同时也要考虑公众及开发商的要求。借鉴微粒群优化算法与多智能体的优势，结合 GIS 技术，从满足耕地动态适宜性和周围土地利用约束对耕地非农化影响的角度，计算耕地单元用地非农化概率[19] [20]。其公式表示为：

$$P_{Accept_{ij}^*} = P_{Accept_{ij}} + g \cdot \Delta P_1 + h \cdot \Delta P_2, (i \in [1, n], j \in [1, m]) \quad (1)$$

其中： $P_{Accept_{ij}^*}$ 为该地块 L_{ij} 被政府接受的概率； $P_{Accept_{ij}}$ 为政府原始接受的概率； g 是该地块被申请的次数； ΔP_1 是每申请一次，政府所增加的接受概率； h 是以 L_{ij} 为中心邻域窗口内已经被政府接受的网格数， ΔP_2 是邻域窗口内每增加一个被政府接受的网格，政府所增加的接受概率。

2) 土地开发商 Agent 及其决策规则

土地开发商 Agent 是耕地非农化的主要助力之一，选择土地开发成本最低为出发点，主要考虑因素包括绿地面积(G_r)、交通通达度(T_r)、商服水平(S_e)、教育水平(E_d)和医疗水平(H_e)等方面，土地开发商 Agent 进行选址的公式为：

$$\max = a \times G_r(p_{ij}) + b \times T_r(p_{ij}) + c \times S_e(p_{ij}) + d \times E_d(p_{ij}) + e \times H_e(p_{ij}) \quad (2)$$

式中， \max 为最低成本开发地块， a 、 b 、 c 、 d 、 e 为上述影响因素的权重， $a+b+c+d=1$ 。其中：

$$G_r(p_{ij}) = \begin{cases} 100 & \text{if } L(\text{lucc}(p_{ij})) = 0 \\ G(\text{lucc}(p_{ij})) / L(\text{lucc}(p_{ij})) & \end{cases} \quad (3)$$

式中， $G_r(p_{ij})$ 表示绿地 p_{ij} 状态值， $G(\text{lucc}(p_{ij}))$ 表示邻域内土地利用类型绿地网格数量， $L(\text{lucc}(p_{ij}))$ 表示邻域内建设用地网格数量。

$$T_r(p_{ij}) = a_1 \times B_1 \times e^{-c_1 D_s} + a_2 \times B_2 \times e^{-c_2 D_m} + a_3 \times B_3 \times e^{-c_3 D_c} \quad (4)$$

式中, $T_r(p_{ij})$ 表示交通运输网 p_{ij} 状态值, D_s 、 D_m 、 D_c 表示到地铁、主干道以及普通公路的平均距离; a_1 、 a_2 、 a_3 表示因子权重系数, $a_1 + a_2 + a_3 = 1$; B_1 、 B_2 、 B_3 表示空间加强系数; c_1 、 c_2 、 c_3 表示空间减弱系数。

$$S_e(p_{ij}) = a_1 \times B_1 \times e^{-c_1 D_u} + a_2 \times B_2 \times e^{-c_2 D_r} + a_3 \times B_3 \times e^{-c_3 D_k} \quad (5)$$

式中, $S_e(p_{ij})$ 表示商服 p_{ij} 状态值, D_u 、 D_r 、 D_k 表示到超市、百货商店和集市的平均距离。

$$E_d(p_{ij}) = a_1 \times B_1 \times e^{-c_1 D_v} + a_2 \times B_2 \times e^{-c_2 D_h} + a_3 \times B_3 \times e^{-c_3 D_l} \quad (6)$$

式中, $E_d(p_{ij})$ 表示教育水平 p_{ij} 状态值, D_v 、 D_h 、 D_l 表示到大学、高中和小学的平均距离。

$$H_e(p_{ij}) = a_1 \times B_1 \times e^{-c_1 D_n} + a_2 \times B_2 \times e^{-c_2 D_g} + a_3 \times B_3 \times e^{-c_3 D_i} \quad (7)$$

式中, $H_e(p_{ij})$ 表示医疗水平 p_{ij} 状态值, D_n 、 D_g 、 D_i 表示医院、卫生站和药店的平均距离。

3) 农户 Agent 及其决策规则

农户 Agent 及决策行为。影响农户决策的因素有家庭人口、经济状况、耕地质量、耕种习惯以及外部的制度与政策等因素, 其中农户从耕地所获取的经济效益是影响农户进行耕地非农流转意愿的主导因素。在农户经济中我们可以构建家庭收入与支出函数, 并通过效益与时间模拟的耦合, 可以解释农户在何时进行耕地非农化流转时的效益最大, 具体的公式如下:

$$W_{jrT/u} - C_{jrT/u} - \sum_{t=0}^{\infty} A_{juT} \delta^{T+1} > 0 \quad (8)$$

$$W_{jrT/u} - C_{jrT/u} - A_{juT} > \delta (W_{jrT+1/u} - C_{jrT+1/u}) \quad (9)$$

式中: $W_{jrT/u}$ 为在时间 t 地块 j 在状态 r 下未来回报的现值; $C_{jrT/u}$ 为在时间 t 内地块 j 从状态 u 转化到状态 r 的费用; A_{juT} 为耕地未改变用途时的回报; δ 为贴现率。该公式表明农户在时间 $T + 1$ 下得到的回报大于在 T 时段得到的回报, 那么农户将会在时间 $T + 1$ 时存在进行耕地非农化流转的意愿。

4) 耕地非农化流转多智能体系统综合决策

就某个耕地单元而言, 耕地非农化是政府、开发商、农户等多个 Agent 共同决策的结果, 是在宏观智能体与微观智能体的共同作用下实现的, 采用加权求和模型, 该耕地单元在二者影响下的非农化概率可以表示为:

$$P = (\theta C_{x,y}^{macro} + (1-\theta) C_{x,y}^{micro}) \quad \forall \theta \in [0,1] \quad (10)$$

式中, θ 为权重参数; P 表示耕地单元 (x, y) 在宏观智能体与微观智能体的共同作用下的耕地非农化概率; $C_{x,y}^{macro}$ 表示耕地单元 (x, y) 在宏观智能体作用下的非农化流转概率; $C_{x,y}^{micro}$ 是在微观智能体共同作用下耕地非农化概率, 借鉴离散选择模型, 得到其求解公式为:

$$C_{x,y}^{micro} = \sum_{j=1}^L W_j P_{x,y}^j \quad (11)$$

式中, j 为微观智能体编号; L 为微观智能体个数, 如核心利益相关者为农户、土地开发企业和政府, 则 $L = 3$; $P_{x,y}^j$ 为微观智能体 j 对单元 (x, y) 的耕地非农化流转期望概率; W_j 为微观智能体 j 所占的权重。在模型中, P 值的高低决定了耕地单元非农化的顺序。

依据上述设定 Agent 决策规则, 得到耕地非农化流转多智能体综合决策规则:

$$P_x^t = \begin{cases} \exp(\alpha(R_x^t / R_{\max}^t - 1)) \cdots R_x^t \neq 0 \\ 0 \cdots R_x^t = 0 \end{cases} \quad (12)$$

式中, P_x^t 表示 t 时点 x 单元耕地非农化概率; R_{\max}^t 表示 t 时点参与运算的耕地非农化适宜性的最大值; α 表示离散参数; R_x^t 表示 x 单元在政府、开发商和农户多个 Agent 共同作用下的耕地非农化流转适宜性分值, 计算公式如下:

$$R_x^t = k \sum_{j=1}^L w_j {}^t P_x^j \quad (13)$$

式中, j 表示 Agent 的编号; L 表示 Agent 的个数; 即政府 Agent、开发商 Agent 和农户 Agent; ${}^t P_x^j$ 表示 t 时点 x 单元期望流转概率; w_j 表示 Agent j 在的权重; k 表示耕地非农化限制因子, 取值规则如公式(12):

$$k = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad (14)$$

式中, 0 表示如果 x 单元的耕地类型为水田、旱地、水浇地; 1 表示如果 x 单元的耕地非农化为其他类型建设用地等。

3.2.2. 目标函数及约束条件

选择 4 个耕地非农化流通过程中的优化目标, 即最小化地块开发费用、土地利用的适宜性、最大配置环境兼容性、资源节约型和环境友好型[18], 模型的目标函数与约束性条件如公式(13)~(16):

1) 最小化地块开发费用(I_1)。主要通过实现耕地非农化后在经济方面以低成本高收益为主的优化配置。

$$\min I_1 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (I + B + R)_{ij} \quad (13)$$

式中, I 、 R 和 B 分别表示耕地 (i, j) 单元转变为工业、居住和商业类 (i', j') 的最小成本。

2) 宜耕后备土地资源的适宜性(I_2)。是指其他类型的土地转化为耕地的适宜性。

$$\max I_2 = \sum_{k=1}^K W_k \cdot S_k \quad (14)$$

式中, W_k 表示其他类型土地转变为耕地的经济产出系数, S_k 表示其他类型土地流转为耕地的面积。

3) 环境友好型(I_3)。指耕地非农化对生态环境友好度和生态服务功能的影响。因而该目标以对生态环境的兼容性的总价值为优化对象。

$$\min I_3 = \sum_{k=1}^K P_k \cdot S_k \quad (15)$$

式中, P_k 表示单位面积耕地非农化流转提供的生态服务功能价值系数。

4) 资源节约型(I_4)。

$$I_4 = S_e \cdot c \geq S \cdot r \quad (16)$$

式中, S_e 为耕地可流转最大面积, c 为转换系数, r 为区域优化过程中需保障的耕地面积。

3.2.3. 模型算法

为提高耕地非农化流转决策的精度与效率, 本文采用多智能体系统(MAS)和微粒群优化算法(PSO)进

行运算,选择该模型的主要原因是:微粒群优化算法作为多目标智能优化算法,具有开放性大、效率高、问题优化求解能力强等特点,但缺乏微观主体决策过程,难以反映微观空间演变规律,通过与多智能体系统算法的结合可以有效克服优化算法的缺陷,并获得最优的方案选择和结果。

以 2015 年土地利用变更数据作为基础数据源,以 2020 年为目标年。将该区域土地利用现状图,栅格化为 $10 \times 10 \text{ m}$ 的网格,其空间布局包括耕地、园地、林地、城镇建设用地、交通用地、水域和其他未利用地。耕地流转为其他类型建设用地的环境兼容性为 0,保留耕地属性的环境兼容性为 1。耕地网格数为 325,743、园地网格数为 586,392、林地网格数为 1,613,117、城镇建设用地网格数为 1,644,208、交通用地 257,713、水域 383,275、其他未利用地 31,252。测试要求为根据本文中提出的决策规则及约束条件,对耕地非农化流转配置方案进行空间决策优化,优化后耕地网格数不得低于 280,000、城镇建设用地网格数最高达到 1,676,136 和林地覆盖不得低于 1,676,136,依据测试要求,共有 82,589 个网格需要重新分配。

4. 结果与分析

模型参数取值如下:邻域合作概率和竞争概率均为 0.85,最小误差值为 0.0000001,学习因子取值 1.22,常数因子为 0.77,迭代次数为 10 次,搜索半径为 0.2,研究为各个 Agent 设置相同的优势度,取值为 1,对耕地非农化流转过过程的多个目标进行优化,计算获得全局最优解作为判断依据。模型运算初期,全局最优解主要集中在四个目标值的较低水平,随着模型迭代次数的增加,非支配解的各个目标逐步提升,最终达到收敛状态。整个运算过程是在黄埔区《基于多智能体的耕地非农化流转决策支持系统》中运行,经最后检验,kappa 系数达到 0.8035,超过 0.75 的一致性检验水平,表明此次运行结果良好。最终运算结果如表 1 所示:

通过 2015 年土地利用现状图与优化配置结果图进行对比(图 2),耕地由原来 2256 个斑块通过优化配置后减少为 1963 个斑块,城镇建设用地斑块从 3031 个斑块减少到 2744 个斑块,两者的空间紧凑度在优化后获得了不同程度的提高。

将 2015 年土地利用现状图与优化结果进行叠加对比,进一步分析耕地流向及空间分布格局。表 2 中显示发生变化的用地主要为耕地、城镇建设用地和交通用地,分别占变化总量的 50.54% (47,104)、32.71% (30,485)和 13.99% (13,036),林地、水域和其他用地未发生转变。具体来看,耕地流转过程中,约 22.60% 由于退耕还林政策调整为林地,约 58.94% 由于城市扩张转变为城镇建设用地,约 27.67% 由于完善城市交通网而转变为交通用地。同时,为落实耕地占补平衡政策,通过建设用地整理复垦,约占城镇建设用地的 35.25% 的 10,747 个单元网格调整为耕地。

Table 1. Operation optimization results of different models of cultivated land conversion

表 1. 耕地非农化流转运行优化结果

地类	2015 年现状		MASPSO 模型	
	单元数	比例	单元数	比例
耕地	325,743	6.73%	280,469	5.79%
园地	586,392	12.11%	588,962	12.16%
林地	1,613,117	33.32%	1,612,371	33.30%
城镇建设用地	1,644,208	33.96%	1,676,493	34.63%
交通用地	257,713	5.32%	271,749	5.61%
水域	383,275	7.92%	381,483	7.88%
其他用地	31,252	0.65%	30,173	0.62%

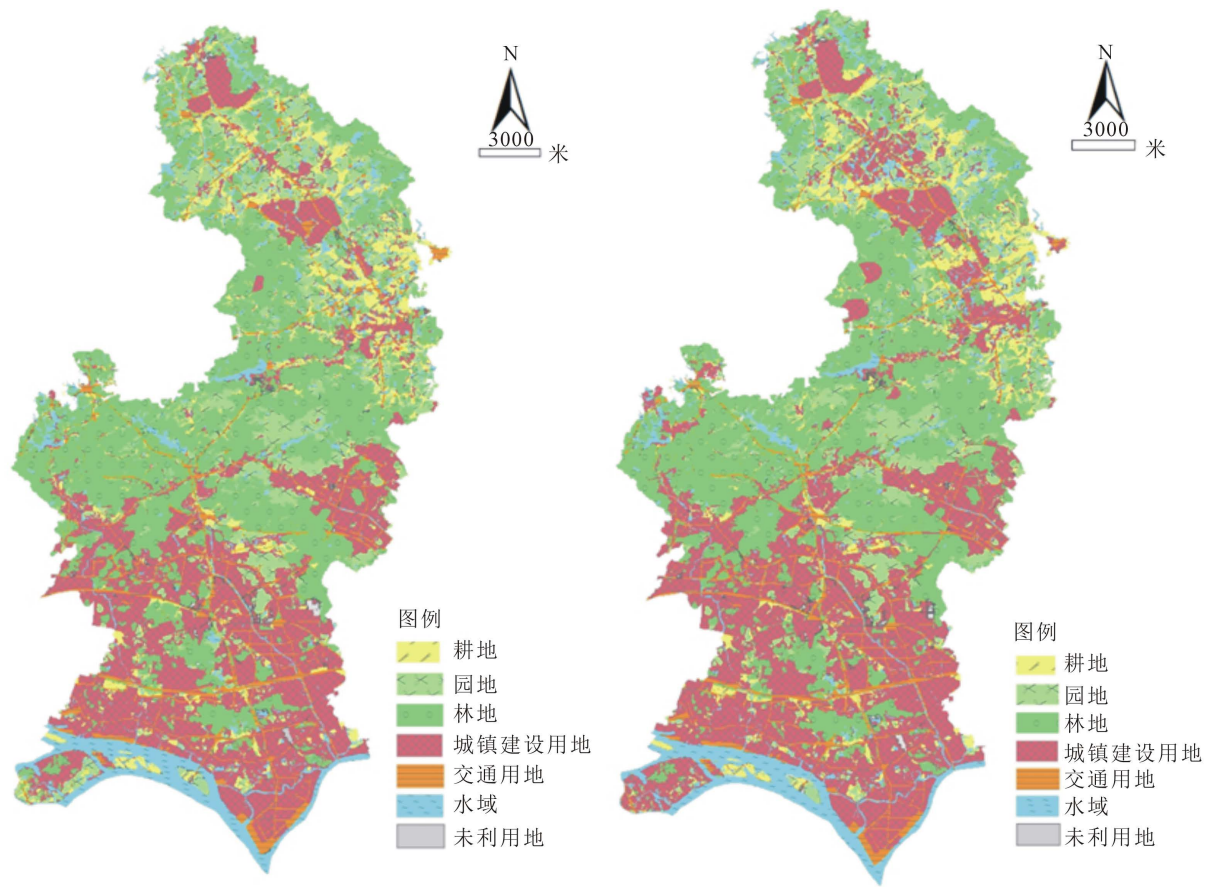


Figure 2. Actual land of area in 2015 and optimized configuration results in 2020
图 2. 2015 年现状图与 2020 年耕地流转结果图

Table 2. Transition matrix of farmland
表 2. 耕地转换矩阵

地类	耕地	园地	林地	城镇建设用地	交通用地	水域	其他用地	总计	转换率
耕地	-	0	1,647	27,765	8692	0	0	47,104	14.46%
园地	0	-	728	1551	291	0	0	2570	0.44%
林地	0	0	-	0	0	0	0	0	0
城镇建设用地	10,747	503	10,054	-	9181	0	0	30,485	1.85%
交通用地	4864	0	0	8172	-	0	0	13,036	5.06%
水域	0	0	0	0	0	-	0	0	0
其他用地	0	0	0	0	0	0	-	0	0
总计	15,611	503	21,429	37,488	18,164	0	0	93,195	1.92%

在耕地转换过程中，位于中部和北部坡地或者土地质量较差的耕地被转为其他用途，而土地质量较好的单元则优先被补充为耕地。耕地总面积虽有所减少了，但是耕地质量有明显的提高(见表 3)。在资源节约和环境友好目标的指导下，新增耕地主要集中在黄埔区九龙镇北部地区，该地区为广州市主要高标准基本农田建设区，考虑到高标准基本农田的集中连片性，该区域范围内新增耕地占 85.63%。经过优化

Table 3. Changes of arable land quality
表 3. 耕地质量变化分析

耕地质量等级	现状数量	现状比例	减少数量	增加数量	结果数量	结果比例
I	239,915	15.35%	178	4991	241,228	86.01%
II	49,999	15.35%	20,325	5113	30,787	10.98%
III	31,785	9.76%	23,163	643	8454	3.01%
IV	2745	0.84%	2745	0	0	0
V	1299	0.40%	1299	0	0	0

后耕地等级质量上升了两个等别,从 I-V 等变为 I-III 等,且 I 等的耕地数量占到所有耕地面积的 86.01%,大幅度提高了优质耕地数量;而新增城镇建设用地主要集中在黄埔区中部、九龙镇南部地区,主要原因在于中部地区和九龙镇南部地区相对地势平坦,非城镇化区域范围随着政府“北进政策”,城镇建设用地逐渐趋于集中布局,提高了土地资源的集约利用,避免了优质农田的过渡占用。

5. 结论与讨论

1) 耕地资源非农化流转决策优化是以实现社会、经济和生态效益最大化为目标,合理安排耕地非农效率,最终实现生态系统平衡和土地资源可持续利用。本文以区域耕地非农化流转决策为研究目标,在宏观层面上考虑到影响耕地非农化的主要制定主体和执行主体,在微观层面上涉及农户主体行为特征,最终在地理空间上实现耕地资源优化配置,证明了本文的实用性。

2) 将 2020 年与 2015 年耕地非农化优化前后空间格局进行对比,发现 MASPSO 模型运行的结果中建设用地呈现出集中连片的空间布局,零星的土地利用斑块大幅度减少,土地利用的空间集聚度明显提高,土地利用空间格局得以优化,耕地质量得到有效提升,从而进一步证明了 MASPSO 模型进行耕地非农化流转决策的可行性与优越性。

3) 耕地非农化流转决策优化是一个多目标的复杂决策过程,本文结合了“资源节约”和“环境友好”政策对耕地非农化流转决策进行了常规化指标优化,侧重考虑了政府、开发商和农户 Agent 的空间决策行为,但与基期有较大的差异,这表明研究区的耕地非农化流转存在明显的不合理性,需要相关部门实际工作中进一步改进。

基金项目

国家自然科学基金项目(批准号:41001054);教育部人文社会科学(批准号:13YJJCZH016、13YJA840009、14YJA630053);国土资源部城市土地资源监测与仿真重点实验室开放基金资助课题(批准号:KF-2016-02-003)项目资助。

参考文献

- [1] 蔡银莺,张安录.武汉市耕地资源非农化过程的时空变化特征分析[J].中国人口·资源与环境,2004,14(6):115-119.
- [2] 蔡运龙,霍雅勤.耕地非农化的供给驱动[J].中国土地,2002,1(7):20-22.
- [3] 刘旭华,王劲峰,刘明亮,等.中国耕地变化驱动力分区研究[J].中国科学 D 辑(地球科学),2005,35(11):1087-1095.
- [4] 杨志荣,吴次芳.制度收益与发展收益对农地非农化进程的影响差异及其对政策调整的启示[J].中国土地科学,2008,22(2):3-9.

- [5] 邹健, 龙花楼. 改革开放以来中国耕地利用与粮食生产安全格局变动研究[J]. 自然资源学报, 2009, 24(8): 1366-1376.
- [6] 苑韶峰, 杨丽霞, 杨桂山, 等. 耕地非农化的社会经济驱动因素异质性研究—基于 STIRPAT 和 GWR 模型的实证分析[J]. 经济地理, 2013, 33(5): 137-142.
- [7] 马才学, 赵利利, 柯新利. 湖北省耕地非农化压力的时空演变格局[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(1): 71-78.
- [8] 曲福田, 吴丽梅. 经济增长与耕地非农化的库兹涅茨曲线[J]. 资源科学, 2004, 26(9): 61-66.
- [9] 王大伟, 刘彦随, 卢艳霞. 农业结构调整对全国粮食安全的影响分析—以粮食生产主产区为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2005, 15(2): 65-68.
- [10] 谭荣, 曲福田. 中国耕地非农化对经济增长贡献的地区差异分析[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(3): 277-281.
- [11] 张基凯, 吴群, 黄秀欣. 耕地非农化对经济增长贡献的区域差异研究—基于山东省 17 个地级市面板数据的分析[J]. 资源科学, 2010, 32(5): 959-969.
- [12] 许恒周, 金晶. 耕地非农化与区域经济增长的因果关系和耦合协调性分析—基于中国省际面板数据的实证研究[J]. 公共管理学报, 2011, 8(3): 64-72.
- [13] 曲福田, 陈江龙, 陈雯. 农地非农化经济驱动机制的理论分析与实证研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(2): 231-241.
- [14] 方方, 刘彦随. 传统平原农业人口非农化对耕地利用方式的影响[J]. 人文地理, 2013, 1(1): 100-104.
- [15] 韩翰, 王士君, 王永超. 城市化与土地资源利用的协调度及优化配置研究—以辽宁沿海经济带为例[J]. 资源开发与市场, 2016(10): 1166-1171.
- [16] 袁满, 刘耀林. 基于多智能体遗传算法的土地利用优化配置[J]. 农业工程学报, 2014, 30(1): 191-199.
- [17] 张鸿辉, 曾永年, 谭荣, 等. 多智能体区域土地利用优化配置模型及其应用[J]. 地理学报, 2011, 66(7): 972-984.
- [18] Barredo, J.I., Kasanko, M., McCormick, M., et al. (2003) Modeling Dynamic Spatial Processes: Simulation of Urban Future Scenarios through Cellular Automata. *Landscape and Urban Planning*, **64**, 145-160. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00218-9](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00218-9)
- [19] Yeh, A.G.O. and Li, X. (1998) Sustainable Land Development Model for Rapid Growth Areas Using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, **12**, 169-189. <https://doi.org/10.1080/136588198241941>
- [20] Chen, Y.M., Li, X., Liu, X.P., et al. (2010) An Agent-Based Model for Optimal Land Allocation (Agent LA) with a Contiguity Constraint. *International Journal of Geographical Information Science*, **24**, 1269-1288. <https://doi.org/10.1080/13658810903401024>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2169-2556, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ass@hanspub.org