

# 快速城镇化大都市边缘地区耕地红线划定研究

魏玉强<sup>1,2</sup>, 程倩雯<sup>1,2</sup>, 单金霞<sup>1,2</sup>, 黄秋昊<sup>1,2</sup>

(1. 南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210023; 2. 江苏省地理信息技术重点实验室, 南京 210023)

**摘要:** 划定耕地红线区域可有效减缓快速城镇化大都市边缘地区建设活动对耕地的占用, 是耕地保护的重要手段。以位于快速城镇化大都市边缘地区的常州市新北区为研究对象, 在分析现状耕地特点的基础上, 根据相邻地类之间的适宜性选取拟退耕的耕地和宜垦的农村居民点用地。将不同土地利用类型赋予不同阻力系数, 运用最小累计阻力模型, 计算各地类转化为耕地的累计最小阻力。用标准方差分类法对累计最小阻力值分类, 找出耕地适宜性分区阈值, 并划定耕地空间红线区域。结果表明: 划定的耕地红线区域面积为 299.84 km<sup>2</sup>, 为研究区域总面积的 66.25%。红线范围区域内耕地占耕地总量的 92.50%, 划定的耕地红线区域能起到耕地保护的作用。通过最小累计阻力模型划定出耕地红线保护区域, 对耕地红线内不同土地利用类型采用不同的保护标准, 可以为快速城镇化区域耕地的保护工作提供参考。

**关键词:** 耕地红线; 空间评价; 最小累积阻力模型; 常州市新北区

中图分类号: F301.21

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)01-0080-06

## Study on the Demarcating Method of Farmland Redline in Metropolitan Fringe Area with Rapid Urbanization

WEI Yuqiang<sup>1,2</sup>, CHENG Qianwen<sup>1,2</sup>, SHAN Jinxia<sup>1,2</sup>, HUANG Qiu hao<sup>1,2</sup>

(1. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China; 2. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Geographic Information Science and Technology, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** Demarcating farmland redline is an important means for farmland protection, which can slow down farmland occupation in metropolis fringe areas where massive construction activities frequently take place during urbanization process. Xinbei District in Changzhou City which is located in metropolitan fringe area with rapid urbanization was selected as study area in this research. Based on the analysis of the present farmland status and its characteristics, the returning farmland and reclaim-suitable rural residential land were then selected according to suitability of adjacent land patch. A specific resistance coefficient was then assigned to each land use type, and accumulated minimum resistance for other land use type converted to farmland was calculated using MCR model. Accumulated minimum resistance was classified using standard deviation classification method in order to find a farmland property threshold, which demonstrates the location and shape of farmland redline. The result shows that the demarcated farmland redline region in Xinbei District has an area of 299.84 km<sup>2</sup>, which occupies 66.25% of the whole study area and contains 92.50% of current farmland, shall help to protect most of the farmland. This research shows that MCR model could be used to demarcate farmland redline effectively. Adopting different protection standards within different regions, which split by redline, can provide an important reference for farmland protection.

**Keywords:** farmland redline; spatial evaluation; minimum cumulative resistance model; Xinbei District of Changzhou City

近年来,我国城市化水平不断提高,土地利用/覆被变化愈发显著,特别是在一些快速城市化地区,土地利用变化带来的土地利用矛盾日益突出<sup>[1]</sup>。在土

地利用/覆被变化过程中,大都市边缘地区的耕地与建设用地的矛盾尤为突出。大都市边缘区域作为受城市辐射影响显著的过渡地带,是耕地变化非常剧烈

的地区,也是非农建设用地扩张与耕地资源保护矛盾最为激烈的地区之一<sup>[2]</sup>。耕地被建设用地占用和空间形态破碎导致耕地规模和质量的下降,这引起许多学者的关注和研究。

现有耕地研究主要包括耕地数量<sup>[3-4]</sup>、质量<sup>[5-6]</sup>、集约利用<sup>[7-8]</sup>、驱动力<sup>[9]</sup>等多个方面。现有研究多从纵向方面进行分析,很少考虑耕地与周围地类的关系。如对耕地质量进行研究时,分析评价单元为耕地地块,通过构建指标评价体系,运用地图叠加法和逻辑规则组合法进行耕地评价。这类方法仅考虑了地块单元的纵向叠加效应,而忽视了其水平扩展效应<sup>[10]</sup>。为更好保护耕地,本文尝试对水平扩展的耕地适宜性进行分析,采用最小累计阻力模型进行耕地适宜性分区评价,并划定耕地红线区域。最小累计阻力模型依据土地利用类型构建阻力面,从而计算“源”、“汇”之间的累计阻力值,阻力越小则越有利于耕地的集中连片管理。

因此,本文运用相邻地类之间的相互适宜性关系分析,判断耕地和农村居民点与相邻地块单元的土地利用类型的适宜性,因地制宜开展土地整理复垦开发,有效补充耕地资源,增加耕地集中连片度。本文以位于长江三角洲发达地区的常州市新北区为例进行分析,引用最小阻力模型对耕地红线划定分区进行探讨,以期对其他快速城镇化大都市边缘区的耕地保护提供参考和借鉴。

## 1 研究区概况

常州市新北区位于常州市北部,北濒长江,与泰州市隔江相望,东与江阴市相邻,西与扬中市、丹阳市接壤,南接常州市老城区,下辖3街道6镇。新北区地势平坦,区域内水网密布,河流纵横。四季分明,年均气温16.2℃。2012年新北区土地总面积为452.60 km<sup>2</sup>,耕地面积165.63 km<sup>2</sup>,占全区土地总面积的36.60%。新北区地处长江三角洲快速城市化地区,位于常州市大都市边缘区域。经济快速发展对土地资源尤其是耕地资源需求量大,新北区耕地连片度差,耕地斑块分散破碎,容易被建设用地占用,耕地保护形势严峻。

## 2 研究数据与划定方法

耕地红线划定流程如下:首先分析现状耕地特点,对耕地与周围地类的适宜性评价选择出适宜整理复垦的农村居民点用地,对农村居民点用地与周围地类相互关系分析预测拟退耕的现有耕地地块;其次,选择“源”面并构建阻力面生成阻力值;最后,运用最小累计阻力模型生成最小累计阻力值并根据耕地邻近区域内地块转化为耕地的难易程度,并划定耕地保

护红线区域范围。

### 2.1 数据来源与处理

本文数据主要包括:2012年新北区1:1万土地利用变更数据,用于提取耕地等各种土地利用类型。最小累计阻力模型所需要数据均为栅格图层,因此本文中的土地利用变更数据转换成统一的10 m×10 m的栅格数据。新北区30 m空间分辨率DEM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(<http://www.gscloud.cn>),主要用于计算新北区地形的坡度和坡向以排除坡度>25°的耕地斑块。经分析,新北区无坡度>25°的耕地分布。

### 2.2 相邻地类适宜性关系

相邻地类适宜性是指某用地斑块与周围其他用地斑块的一致程度,如果某用地斑块被相邻其他用地斑块包围,则其相邻用地斑块的适宜性差。若某A类型用地斑块周长为C,与其相邻的B类型用地斑块公共边界为X,令X/C=K。则K值越大,此A类型用地斑块被B类型用地斑块包围程度越大。本文用K值表示用地斑块之间的适宜性程度。一般认为,若某块小面积农村居民点用地被耕地包围或农村居民点用地斑块零碎分布,此类型的农村居民点用地与周边耕地适宜性差。这类农村居民点用地复垦为耕地的难度较小,可划为宜垦的农村居民点用地。一般认为,若某块耕地被建设用地所包围,即使其条件再优越,也不适宜划入到耕地红线区域内,这主要是因为耕地相邻土地利用类型在一定程度上限制了其农耕用途的可持续性<sup>[11]</sup>,此类型的耕地可以划为拟退耕耕地。新北区农村居民点等建设用地散布分布在耕地斑块之间,通过土地复垦补充耕地可提高耕地集中区域的耕地连片度。新北区有少量现状耕地布局在城镇中心被建设用地包围,形态破碎易于被建设活动占用,此类耕地不宜划入耕地红线区域内。

### 2.3 耕地红线划定方法

2.3.1 最小累计阻力模型 最小累计阻力模型是指从源地经过不同阻力的景观类型所累积耗费的最小费用或者克服阻力做的最小的功<sup>[12]</sup>。它最早由Knaapen等<sup>[12]</sup>于1992年提出,经国内俞孔坚等<sup>[13]</sup>的修改,用下式表示:

$$MCR = f_{\min} \sum_{j=n}^{i=m} D_{ij} R_i$$

式中:MCR——最小累计阻力值; $f$ ——一个最小累计阻力与土地类型变化的正相关关系,是一个单调增长函数; $\min$ ——被评价的斑块单元对不同的“源”取累计阻力最小值; $\sum$ ——单元*i*与源*j*之间穿越所有单元距离和阻力的累计; $D_{ij}$ ——斑块单元从源*j*到

斑块单元  $i$  的空间距离; $R_i$ ——斑块单元  $i$  转化为“源”的阻力系数<sup>[14]</sup>。

2.3.2 源地的识别 “源”是事物或者事件向外扩散的起点和基地,具有内部同质性和向四周扩张或吸引的能力<sup>[15]</sup>。在耕地适宜性评价过程中,源地是集中连片面积较大的耕地。本文选取 2012 年现状耕地斑块合并后面积超过 10 hm<sup>2</sup> 且空间上集聚的地块作为源地。

2.3.3 阻力面构建 本文将不同的土地利用类型赋予不同的阻力系数来构建阻力面。土地的空间异质性使得耕地在不同方向吸引其他地类转化为耕地的过程中受到的阻力不同。一般认为园地容易转化为耕地,而公路用地和建制镇建设用地等很难转化为耕地。在耕地保护方面,阻力系数就是其他土地利用类型转化为耕地时的难易程度或者适宜程度,它是一个相对概念并不是绝对值。其他土地利用类型转化为耕地的难度越大,此种土地利用类型越不适宜划入耕地红线,其阻力系数越大;反之,则阻力系数越小。

参考刘孝富<sup>[14]</sup>、陈燕飞<sup>[15]</sup>等的阻力系数设定方

法,设置阻力系数。在模型计算过程中,将“源”所在的栅格赋阻力系数为 1,表示其转化为耕地的阻力最小。不同连片度的耕地,其阻力系数不同。将源地之外的耕地根据其规模采用自然断点法分 3 级并局部微调后赋给不同的阻力系数(表 1)。城市和建制镇等用地转化为耕地的阻力最大,本文将其阻力系数设置为最高值 100。园地的耕作层基本没有遭到破坏,易于转化为耕地;通过地类适宜性评价可以选择出宜垦的农村居民点用地,这类土地可以通过复垦转化为耕地;设施农用地、农村道路、小型坑塘水面等其他农用地,转化为耕地阻力较小;面积较大的坑塘水面,转化为耕地的阻力相比小型坑塘水面大;通过分析新北区坑塘水面现状,一般认为,当坑塘水面面积小于 0.3 hm<sup>2</sup> 时,坑塘水面不会影响耕地的集中连片度,转化为耕地的阻力相对较小。将林地、牧草地、河流水面、湖泊水面视为生态用地类。国家推进生态文明建设生态用地被严格保护,转化为耕地的阻力很大。将新北区土地利用类型重分类,分类后组成标准及所赋值阻力系数如表 1 所示。

表 1 不同土地利用类型阻力系数

重分类土地利用类型		阻力系数	具体地类组成标准
耕地	源地	1	规模较大布局集中耕地,本文确定的源地
	1 级	5	特点为具有一定规模且布局集中的耕地
	2 级	10	特点为规模相对二级减少布局分散
	3 级	15	远离耕地集中区或者面积较小的耕地斑块
园地		20	园地
宜垦地类		30	通过计算确定的宜垦的农村居民点用地
其他农用地类		40	设施农用地、农村道路、农田水利用地、田坎、小型坑塘水面
大型坑塘水面		60	面积超过 0.3 hm <sup>2</sup> 的坑塘水面
规模较大村庄		60	排除宜垦地外的农村居民点用地
生态用地类		70	林地、牧草地、其他土地
拟退耕耕地		90	通过计算和分析确定的拟退耕耕地
城镇用地类		100	城镇用地、采矿用地、交通水利用地等

3 结果与分析

3.1 耕地现状评价

2012 年新北区耕地总面积为 167.01 km<sup>2</sup>,主要分布在春江镇、罗溪镇、孟河镇和西夏墅镇,占新北区耕地总面积的 86.32%;薛家镇和新桥镇也有少量耕地和外围镇耕地集中毗连。新北区仍有少量耕地零散分布在城市和建制镇的核心区域。

新北区耕地形态较破碎。耕地共有 1.04 万个斑块,其中:面积小于 1 hm<sup>2</sup> 的斑块数量占总斑块数量的 66.44%,其面积仅占耕地总面积的 11.58%。耕地斑块面积差异悬殊,最大单个斑块面积为 59.16

hm<sup>2</sup>,平均斑块面积为 1.60 hm<sup>2</sup>。新北区平均耕地斑块形状指数为 1.48,斑块形状不规则。耕地斑块破碎化区域主要布局在城镇建设用地周边和道路两侧。耕地斑块形状不规则的原因主要是农村居民点用地、坑塘水面等块状要素和农村道路、河流等条状要素分布在成片耕地中,呈现不规则的形态导致耕地形状指数高。

3.2 耕地变动区域分析

3.2.1 宜垦的农村居民点用地分析 结合新北区实际情况,2012 年新北区农村户均人口为 3.1 人<sup>[16]</sup>,农村人均居民点面积为 154 m<sup>2</sup>。一般认为,小于 4 户或者是超过 4 户小于 15 户但被耕地包围的农村居民

点用地适宜复垦为耕地。

经分析选取后,新北区宜垦的农村居民点用地面积为 466.28 hm<sup>2</sup>,占新北区耕地总面积的 11.60%。宜垦的农村居民点用地平均斑块面积为 0.11 hm<sup>2</sup>,复垦难度小,可操作性较高。结合新北区农村居民点用地复垦增加耕地经验,预计可新增耕地 373.03 hm<sup>2</sup>。宜垦的农村居民点用地在空间布局上多分布在较大农村居民点用地边缘,经过复垦后可以使农村居民点用地集约度提高,同时耕地的整体连片度增加。利用核密度分析法分析,新北区宜垦的农村居民点主要分布在春江镇、罗溪镇和西夏墅镇的交界处(图 1)。

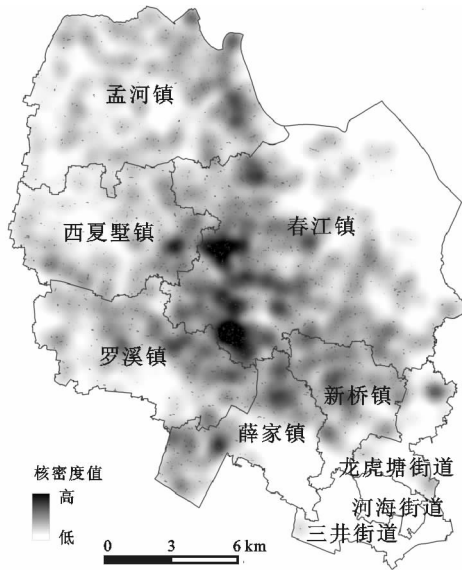


图 1 新北区宜垦的农村居民点用地核密度

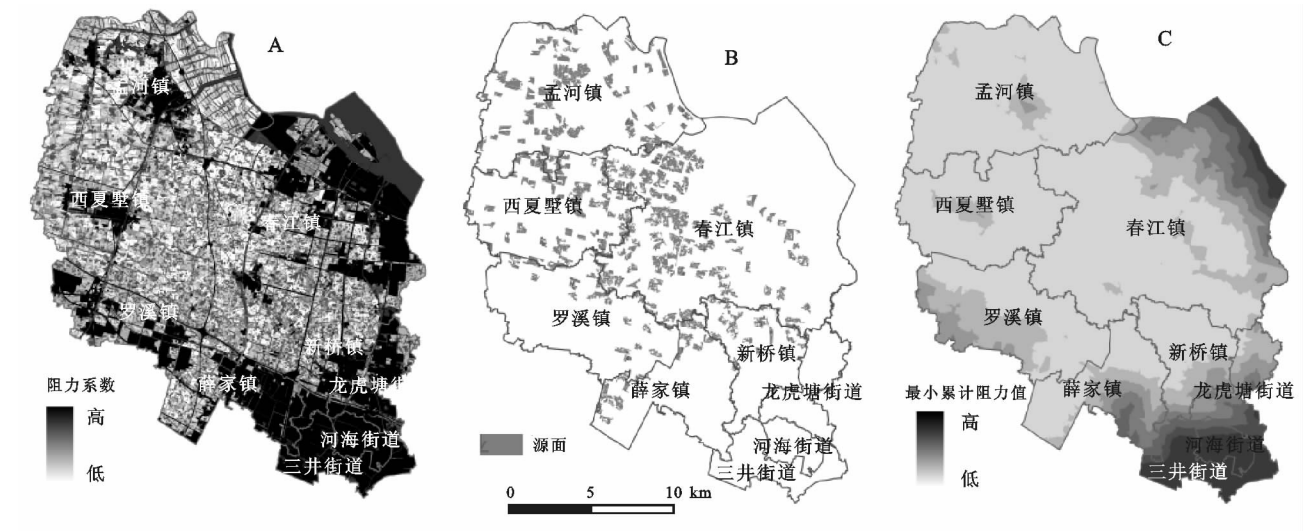


图 2 新北区最小累计阻力值分析

3.3.2 最小累计阻力阈值确定 最小累计阻力模型在空间上是一种连续的概念,每一个像元或者图斑都有其对应的阻力值,而耕地保护分区则是一种整体上分割而在局部上连续的一种分布格局<sup>[17]</sup>。将计算出的最小累计阻力利用标准方差法<sup>[18]</sup>进行分类,每类之间间隔为 1/2 方差,并建立最小累计阻力值方差分

3.2.2 拟退耕地块预测 新北区部分现状耕地布局在建设用地内部,此类型耕地空间上分布比较分散。结合新北区耕地现状,本文将被建设用地包围并且面积小于 1 hm<sup>2</sup> 的耕地斑块和单块面积不足 0.05 hm<sup>2</sup> 的耕地斑块作为拟退耕耕地。分布于中心城区的耕地难以发挥其耕地的功能,本文将河海街道、三井街道、龙虎塘街道等分布在建设用地核心区内的耕地亦作为拟退耕耕地。新北区拟退耕耕地面积为 256.34 hm<sup>2</sup>,占现状耕地总面积的 1.53%。除位于中心城区的拟退耕斑块外,其他拟退耕耕地斑块均较小且分散。拟退耕耕地布局在建成区和道路两侧。位于建成区内的拟退耕地形状多不规则,而布局在道路两侧的多成条状,其形成原因是建设用地的扩展对耕地的切割所致。

3.3 耕地红线边界确定

3.3.1 最小累计阻力表面计算 参照表 1 将新北区土地利用斑块重新分类并赋予不同阻力系数值的矢量数据转化为栅格数据即可以得到图 2A 所示的阻力系数空间分布图。研究区内阻力低值占主导类型,低值区域集中连片;阻力高值区域主要分布在新北区中心城区和各镇的镇中心区域;部分高值区域成条带状嵌入在低值区域内。将源地矢量图(图 2B)和阻力面栅格图输入到 ArcGIS 下的 cost-distance 模块,计算新北区每个栅格到源地的最小累计阻力值,得到如图 2C 所示的最小累计阻力分布图,最小累计阻力值基于标准方差法分成 8 类。

类与类别的栅格数目之间的对应关系(图 3)。从图 3 中可以看出,从 C<sub>1</sub> 到 C<sub>2</sub> 的过程中有一个突变的过程,栅格数量差别特别巨大,说明这里的最小累计阻力值产生了突变,C<sub>1</sub> 类型栅格数目占到总栅格数目的 66.25%,超过总数目的一半以上;C<sub>2</sub> 和 C<sub>3</sub> 栅格数量差距也较大,只是相比 C<sub>1</sub> 与 C<sub>2</sub> 的差距

小;从  $C_3$  到  $C_7$ , 栅格数目变化不明显;在  $C_7$  到  $C_8$  过程中, 栅格数量略有增长。因此本文将  $C_1$  对应的最小累计阻力值作为分割耕地红线区域的阈值, 其阈值为 23 580。

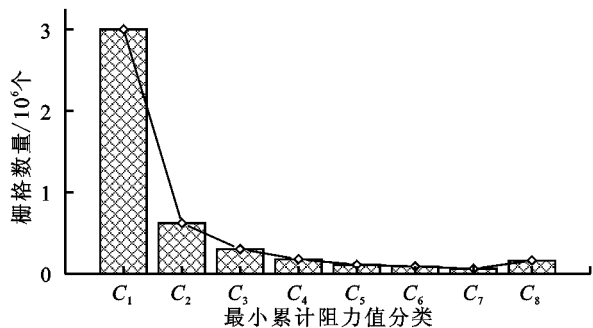
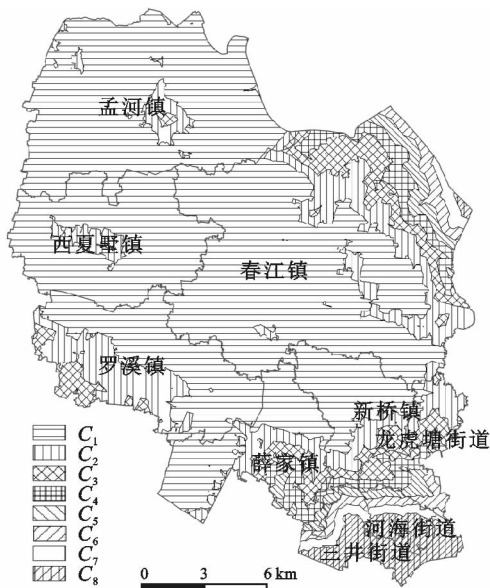


图3 栅格数量与像元值对应关系

3.3.3 耕地红线区域保护 根据确定的耕地红线区域划定阈值, 可以将耕地红线区域在空间上确定(图4)。划定耕地红线是为了确定耕地在空间上的保护区域, 划定的耕地红线区域面积为 299.84 km<sup>2</sup>, 为区域总面积的 66.25%, 主要分布在孟河镇、西夏墅镇、春江镇、罗溪镇等。耕地红线区域主要是耕地的集中区域, 耕地形态较好、连片度高、单块耕地斑块较大。红线区域内部现状耕地面积为 153.20 km<sup>2</sup>, 占耕地总面积的 92.50%。划定的耕地红线能起到对耕地的保护作用。耕地红线区域范围内, 包括耕地、农村居民点用地、坑塘水面、建制镇和园地等。其中区域内耕地占耕地红线区域总面积的 51.10%, 农村居民点用地和坑塘水面分别占 11.83% 和 11.20%。



注:  $C_1$  为耕地红线区域。

图4 新北区耕地红线区域分布

耕地红线区域内部地类包括耕地和较容易转化为耕地的园地、其他农用地、农村居民点和坑塘水面等地类, 这些地类划入到耕地红线内有利于区域景观

格局的稳定。耕地红线区域划定后, 红线内部的不同地类要根据实际采取不同管理措施。对耕地红线区域内部现状耕地, 要执行严格的耕地保护政策; 对于区域内部的农村居民点用地, 根据其所处位置和规模判断保留还是复垦, 并通过复垦提高耕地连片度和建设用地集约度; 坑塘可以为耕地提供灌溉水源, 因此红线区域内部的坑塘保持现状有利于提高耕地产量。大面积连片坑塘水面可以作为生态用地美化环境, 提高人们的生活质量。

最小累计阻力值较高的区域分布在中心城区和春江镇北部的长江生态区。中心城区距离耕地集中连片区域较远, 长江沿岸区域是重要的生态用地区并且远离源地区域, 不易变为耕地从而形成阻力高值区域。位于高值区域内部的零碎耕地, 将其变更开发为生态用地或者是公园等城市绿地, 有利于城市生态环境质量的提高。

## 4 结论与讨论

(1) 耕地红线的划定是为了更好地保护耕地资源。通过最小累计阻力模型可选出耕地集中连片区域来进行保护。相比于其他方法, 此方法划定的区域是一个连片范围, 而不是将耕地红线细分到具体的地块。在划定过程中考虑了耕地水平扩展效应, 分析其他土地利用类型转化为耕地的适宜性程度, 方法上可行适用。

(2) 通过对现状耕地分析可知: 新北区耕地主要分布在新北区春江镇等镇, 耕地形态破碎、平均斑块形状指数为 1.48。耕地斑块面积差异大且细小斑块多。耕地形态破碎原因主要是道路、农村居民点等建设用地和河流对耕地的切割造成。新北区宜垦的农村居民点用地面积为 466.28 hm<sup>2</sup>, 宜垦的农村居民点空间集聚高密度区位于春江镇、西夏墅镇和罗溪镇交界处。拟退耕耕地仅占现状耕地面积的 1.53%, 主要布局在道路两侧和建设用地集中区域。

(3) 将现状土地利用变更数据重分类, 选择出源地。根据不同土地利用类型转为耕地的难易程度, 设置不同的相对阻力系数。通过分类确定耕地红线区域范围, 耕地红线区域面积为区域总面积的 66.15%, 高于现状耕地在研究区内的比例。划定耕地红线区域后对红线内部的各现状地类采用不同管理措施。耕地红线区域划定结果可为土地利用总体规划时建设用地与耕地的合理布局提供参考依据。

(4) 确定耕地红线区域需要综合考虑规划、耕地利用现状、经济社会发展等因素。本文运用最小累计阻力模型考虑了水平方向其他地类转化为耕地的适宜性, 在阻力系数设置方面, 人为主观因素较大, 进一

步研究要结合专家打分综合取得分。对于社会经济因素对耕地的布局影响和规划对空间安排考虑不足,这有待后期研究中进一步深入探讨。

参考文献:

- [1] 罗鼎,月卿,邵晓梅,等. 土地利用空间优化配置研究进展与展望[J]. 地理科学进展,2009,28(5):791-797.
- [2] 唐常春,陈烈,魏成. 大都市边缘区域耕地数量变化的时空特征及动力机制:以广州市花都区为例[J]. 资源科学,2006,28(5):43-49.
- [3] 杨建云. 基于 EKC 模型的河南省工业化、城镇化水平与耕地面积关系研究[J]. 水土保持研究,2013,20(2):213-216.
- [4] 谭术魁,张红霞. 基于数量视角的耕地保护政策绩效评价[J]. 中国人口·资源与环境,2010,20(4):153-158.
- [5] 韦仕川,熊昌盛,栾乔林,等. 基于耕地质量指数局部空间自相关的耕地保护分区[J]. 农业工程学报,2014,30(18):249-256.
- [6] 郭洪峰,韩蕾,许月卿,等. 云南省陆良县耕地等级变化及其影响因素研究[J]. 资源科学,2014,36(10):2075-2083.
- [7] 龙冬冬,赵宏波,宋戈,等. 河南省耕地集约利用时空变化特征研究[J]. 水土保持研究,2012,19(4):223-228.
- [8] 杨佳惠,雷国平,张健. 煤炭资源枯竭型城市鸡西市耕地集约利用评价[J]. 水土保持研究,2013,20(2):250-253.
- [9] 王瑞发,夏非,张永战. 青岛市近 10 年来耕地变化及其驱动力分析[J]. 水土保持研究,2013,20(2):108-114.
- [10] 杨绪红,金晓斌,郭贝贝,等. 基于最小费用距离模型的高标准基本农田建设区划定方法[J]. 南京大学学报:自然科学,2014,50(2):202-210.
- [11] 董秀茹,尤明英,王秋兵. 基于土地评价的基本农田划定方法[J]. 农业工程学报,2011,27(4):336-339.
- [12] Knaapen J P, Scheffer M, Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning [J]. Landscape and Urban Planning,1992,1(23):1-16.
- [13] Yu K J. Land scape ecological security patterns in biological conservation [J]. Acta Ecologica Sinica,1999,1(19):8-15.
- [14] 刘孝富,舒俭民,张林波. 最小累积阻力模型在城市土地生态适宜性评价中的应用:以厦门为例[J]. 生态学报,2010,30(2):421-428.
- [15] 陈燕飞,杜鹏飞. 基于最小累积阻力模型的城市用地扩展分析[C]//中国城市规划协会和谐城市规划:2007中国城市规划年会论文集. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,2007.
- [16] 常州市统计局,国家统计局常州调查队. 常州统计年鉴[Z]. 北京:中国统计出版社,2013.
- [17] 李纪宏,刘雪华. 基于最小费用距离模型的自然保护区功能分区[J]. 自然资源学报,2006,21(2):217-224.
- [18] 俞孔坚,黄刚,李迪华,等. 景观网络的构建与组织:石花洞风景名胜景区景观生态规划探讨[J]. 城市规划学刊,2005(3):76-81.



(上接第 79 页)

- [14] 陈海滨,孙长忠,安锋,等. 黄土高原沟壑区林地土壤水分特征的研究( I ):土壤水分的垂直变化和季节变化特征[J]. 西北林学院学报,2003,18(4):13-16.
- [15] 舒维花,蒋齐,王占军,等. 宁夏盐池沙地不同密度人工柠条林土壤水分时空变化分析[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(12):172-176.
- [16] 朱宝文,郑有飞,陈晓光. 高寒针茅草原植物生长季土壤水分动态变化规律[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(3):96-100.
- [17] 包志刚,陈晓燕,田有亮,等. 大青山不同植被下的土壤水分动态[J]. 内蒙古农业大学学报,2009,30(1):124-126.
- [18] 孔亮,蒙宽宏,陈宇,等. 黑龙江省东部山地灌木林土壤水分动态变化[J]. 东北林业大学学报,2005,33(5):44-46.
- [19] 王晶,朱清科,刘中奇,等. 黄土丘陵区不同林地土壤水分动态变化[J]. 水土保持研究,2011,18(1):220-223.
- [20] 刘强,王军,李艳红,等. 红松人工林生态系统土壤含水率变化规律[J]. 东北林业大学学报,2011,39(2):60-63.
- [21] 王孟本,李洪建. 晋西北黄土区人工林土壤水分动态的定量研究[J]. 生态学报,1995,15(2):178-184.
- [22] 梁超,郝文芳,袁丁. 黄土丘陵区不同植被群落土壤水分研究[J]. 水土保持研究,2011,18(2):103-106.
- [23] 王礼先. 水土保持学[M]. 北京:中国林业出版社,1995.