

# 基于改进 MCR 模型的山区农村居民点空间增长模拟研究

卢德彬<sup>1,2</sup>, 毛婉柳<sup>2</sup>, 禹真<sup>1</sup>, 白彬<sup>1</sup>

(1. 铜仁学院 经济与管理学院, 贵州 铜仁 554300; 2. 华东师范大学 地理科学学院, 上海 200241)

**摘要:**对农村居民点空间增长进行模拟是了解其增长规律的重要方法。以贵州省铜仁市环梵净山旅游经济区为例,运用 GIS 的空间分析功能,计算了农村居民点的综合影响力,并将农村居民点划分为不同的增长类型,赋予相对的增长因子值  $K$ ,最后应用改进的 MCR 模型对农村居民点的空间增长进行了模拟。结果表明:考虑生态障碍约束和农村居民点增长能力差别,能够较好模拟农村居民点的空间增长方向和范围。在土地开发适宜性限制下,适宜程度越高越适宜农村居民点增长。在 0.5%,1%,2%和 3%增长比例下,该区域分别提供了 0.021,0.042,0.084,0.126 km<sup>2</sup> 的建设用地,其中增长面积较大的农村居民点主要集中在城镇周边和河谷。受生态障碍的约束,农村居民点遇见生态障碍没有实现增长,模拟结果体现生态政策调控方向,有利于保护生态环境,但是模型在模拟空间扩展比较有效,在时间增长上的模拟需要结合其他模型。

**关键词:**农村居民点;改进 MCR 模型;土地适宜性;生态障碍;梵净山

中图分类号:F301

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)05-0322-05

## Simulation Study on the Spatial Growth of Rural Settlements in the Mountainous Area Based on Improved MCR Model

LU Debin<sup>1,2</sup>, MAO Wanliu<sup>2</sup>, YU Zhen<sup>1</sup>, BAI Bin<sup>1</sup>

(1. School of Economics and Management, Tongren University, Tongren, Guizhou 554300, China; 2. School of Geographic Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

**Abstract:** It is an important method to understand the growth patterns of the rural settlements by simulating their spatial growth. Illustrated by the example of the Tourist Economic Area around the Fanjingshan Mountain of Tongren, Guizhou Province, this paper used GIS spatial analysis function to calculate the comprehensive influence of the rural settlements and divide the settlements into different types of growth, and give the relative growth factor  $K$  value, and finally simulated the spatial growth using the improved MCR model. The results show that the model can better simulate the spatial growth direction and range of the rural settlements taking the ecological barriers and the different growth ability of the rural settlements into consideration. In the land development suitability of constraint, the higher the suitability degrees are, the more suitable the rural settlements is to grow. Under the growth rates of 0.5%, 1%, 2% and 3%, the region, respectively, 0.021, 0.042, 0.084 and 0.126 square kilometers of lands are provided for construction. And the rural settlement with larger growth area mainly concentrates in the surrounding towns and the river valley. Restricted by the ecological barrier, the rural settlements do not achieve growth when they meet the ecological barrier. The simulation results show that the direction of ecological policy regulation is conducive to the protection of the ecological environment, but the model is more effective in simulating spatial expansion. And simulation on time growth requires the combination of other models.

**Keywords:** rural settlements; improved MCR model; land suitability; ecological barriers; Fanjingshan Mountain

山区地形复杂、气候多变,形成的山地生态系统具有丰富的生物多样性,是人类食物、水、能量来源的重要场所<sup>[1]</sup>。在我国西南山区,山地生态系统脆弱,易受人类社会经济活动的干扰和破坏,特别是随着经

济发展水平的提高和城镇化速度的加快,山区生态系统遭受人类活动的干扰加剧,最重要的体现就是土地覆被的变化。相对于城镇的研究,人们长期对农村居民点的重视不够,导致了农村居民点的研究滞后于城

收稿日期:2015-10-01

修回日期:2015-10-12

资助项目:贵州科学技术资助项目(黔科合 J 字 LKT[2012]07 号,黔科合 J 字 LKT[2012]25 号,黔科合 LH 字[2014]7472)

第一作者:卢德彬(1987—),男,贵州荔波人,博士研究生,讲师,主要从事城市生态系统模拟与规划研究。E-mail:sooluo@163.com

镇的研究<sup>[2]</sup>。由于对农村居民点研究的不足,在理论上缺乏对其发展的指导,使得农村居民点在很长一段时间处于混乱、无序的发展状态<sup>[3]</sup>,大量的土地资源被低效利用,得不到合理的配置。因此,从数量上严格控制、在空间分布上合理调整的农村居民点的空间布局将是保护耕地面积、缓解用地矛盾、改善农村生活生产条件、保护山地生态系统的生物多样性和生态环境的有效途径。

目前,关于农村居民点的研究主要集中在时空变化、驱动力、尺度特征、选址和布局适宜性等方面<sup>[4-9]</sup>。也有部分学者从景观生态学的角度,采用最小生态累积阻力值(MCR)模型,评价农村居民点的景观生态安全格局,对农村居民点布局进行优化<sup>[10]</sup>,而关于农村居民点增长模拟研究较为少见,仅有部分学者运用 CA-Markov 模型、SLEUTH 模型和多智能体等方法<sup>[11-13]</sup>,采用中、小比例尺数据对农村居民点增长进行模拟,由于数据比例尺较小,很难在操作层面实施,而且,在进行农村居民点增长模拟时忽略了农村居民点增长能力的差异和生态障碍对增长的约束。在农村居民点增长过程中,尽管同为农村居民点,但由于自然条件和区位的差异,不同类型的农村居民点其增长能力明显不同<sup>[14]</sup>,在研究的时候,需要进行考虑。另外,在增长过程中,会遇到依据国家或地区政策法规确定的绝对保护区域,如自然保护区、森林公园等,这些保护区域构成农村居民点增长的刚性约束,这些都将对农村居民点增长的模拟结果产生重要的影响。因此,要进一步指导农村居民点的发展,需要更精细的定量研究。经过全国第一次和第二次土地调查,我国大部分地区已获得 1:10 000 比例尺为主的土地利用现状数据,该数据已成为土地利用规划和资源管理的基础数据,为进行中小尺度和大比例尺研究提供了数据保障。本文以贵州省铜仁市环梵净山旅游经济区为研究区域,包括江口县、印江县和松桃县 3 个行政县,基于 ArcGIS 软件平台和铜仁市 2009 年第二次全国土地利用调查现状数据,数据比例尺为 1:10 000,运用改进型的 MCR 模型对该地区农村居民点增长进行模拟,以期为该区域农村居民点发展科学决策提供理论支撑。

# 1 研究区概况与数据来源

## 1.1 研究区概况

环梵净山旅游经济区包括印江土家族苗族自治县、松桃苗族自治县和江口县 3 个县,位于贵州省铜仁市,东临湖南省,北接重庆市,西临遵义市,南与碧江区接壤,距省会贵阳市 244.48 km,地理位置为东经 108°

18'0"—109°23'34",北纬 27°28'21"—28°30'10"。地貌以中低山山原峡谷和低山丘陵为主,高差为 283~2 558 m,地势中间高四周低,地形复杂,区域属中亚热带温暖湿润季风气候,气候宜人。水资源比较丰富,以梵净山为分水岭分为乌江水系和沅江水系,有乌江和锦江两大河流。森林资源和生物资源富集,生态环境良好,主要自然植被为常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、暖性针叶林、针阔叶混交林、竹林、灌丛和灌草丛等类型,森林覆盖率较高。核心区武陵主峰梵净山为国家级自然保护区。农村居民点总数为 23 046 个,面积 14 342.78 hm<sup>2</sup>,其中印江县 7 753 个居民点,面积 5 395.34 hm<sup>2</sup>;松桃县 11 199 个居民点,共 6 724.16 hm<sup>2</sup>;江口县 4 094 个居民点,2 223.28 hm<sup>2</sup>,农村居民点多沿交通干线和河流分布于山间河谷地带,分布散乱。近年来,随着旅游业的发展,农村居民点无序扩展现象比较严重,特别是梵净山自然保护区周边区域,对保护区生态环境保护带来一定压力。

## 1.2 数据来源

本文研究数据来自铜仁市国土局 2009 年度江口县、印江县和松桃县全国第二次土地利用调查成果库,比例尺为 1:10 000,经过 GIS 软件从数据库中提取,并转换为 SHP 矢量文件,将数据进行空间拼接后采用高斯克吕格 3°分带投影方式,坐标系为 Xian 80 坐标系。DEM 和 Landsat 遥感影像数据从地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)获取。NDVI 由 Landsat 影像计算获得。

# 2 研究方法

## 2.1 农村居民点等级评价方法

参考相关研究<sup>[15-17]</sup>,结合环梵净山旅游经济区的实际特点,本文选取坡度、高程、现状规模、距建制镇距离、距水域距离和道路通达度作为影响因子,通过以下模型计算农村居民点影响力,依据自然断点法将农村居民点划为不同的增长类型。

$$C_j = \sum_{i=1}^n S_i M_i \tag{1}$$

式中: $S_i$  是指标  $i$  的分值; $M_i$  是指标  $i$  的权重; $C_j$  是居民点  $j$  的影响力大小。

## 2.2 农村居民点增长模拟模型

与社会经济因素的不确定性相比,环境生态因素对于农村居民点扩展的约束是相对恒定的。因此,在研究农村居民点增长的时候促使我们从生态约束的角度建立扩展阻力模型。以往很多文献基于荷兰生态学家 Knaapen 等<sup>[18]</sup>提出的最小累计阻力模型, $[MCR = f \min(\sum_{j=n}^{i=m} D_{ij} R_i)]$ 来建立阻力面,而实际上,

尽管作为同一类源点,其扩展能力由于区位条件、内部结构、开发程度等因素的差异,扩展能力存在很大的差别,因此,叶玉瑶等<sup>[14]</sup>在 MCR 模型的基础上引入不同等级源的相对阻力因子  $K_j$ ,构建新的生态阻力面模型  $MCR'$ ,其计算公式如下:

$$MCR' = f \min \left( \sum_{j=n}^{i=m} D_{ij} R_i K_j \right) \quad (2)$$

式中: $MCR$  和  $MCR'$  都表示最小累计阻力面值; $f$  为一个未知的负函数,表示最小累积阻力与生态适宜性的负相关关系; $D_{ij}$  为从源  $j$  到空间某一点所穿越的某景观基面  $i$  的空间距离; $R_i$  是景观  $i$  对该源点运动的阻力系数。尽管  $f$  是一个未知的函数,但是  $D_{ij} R_i$  的累加值可以视为源点克服基面特性差异,到空间某一点的某一路径的相对易达性衡量指标。 $K_j$  表示源所属的等级的相对阻力因子,农村居民点影响力越大,增长能力越强,其相对阻力因子就越小。源的选取和阻力面体系的构建是  $MCR'$  模型建立的关键,本研究选择农村居民点作为源,土地开发适宜性作为阻力值确定的依据。

3 结果与分析

3.1 源的分级

本文参考相关文献<sup>[3,15]</sup>和研究区域的实际情况,确定坡度、高程、现状规模、距建制镇距离、距水域距离和道路距离的权重分别为 0.2,0.1,0.2,0.1,0.2,0.2。运用 ArcGIS 软件的距离计算和统计分析工具,获取了各农村居民点的指标值,并采用极差方法对指标值进行标准化,根据公式(1),计算得到环梵净山旅游经济区农村居民点的综合影响力,本文将农村居民点扩展能力划分三级扩展源,利用自然断点法,将得分为 4.055 6~5.357 7 的划定为中心农村居民点,得分 3.449 8~4.055 5 的划定二级扩展源,得分 1.995 7~3.449 7 的划定三级扩展源,级别越高扩展能力越强,源等级空间分布如图 1 所示。

从图 1 可以看出,环梵净山地区一级农村居民点主要分布在河谷地区,二级主要分布在比一级农村居民点离水域和道路稍远的,坡度相对平缓的山丘山,三级主要分布在偏僻的高山地区。农村居民点分布受地形和水源影响较大。各个等级相对阻力因子  $K$ ,一级扩展源赋值为 0.5,二级扩展源赋值为 0.7,三级扩展源赋值为 0.9,相对阻力因子依次增大表明农村居民点的增长能力逐渐减弱。

3.2 土地开发适宜性评价

土地开发适宜性反映了特定区域对农村居民点增长的适宜程度<sup>[19]</sup>。一般评价土地开发适宜性是基于指标选择后,确定权重,加权叠加,最终得出不同程

度的土地开发适宜分布栅格图。实际上,对于特殊区域,例如自然保护区、水域和地质灾害区,在分析之前,就已经确定不适合用于建设用地的开发建设,此类区域一旦划定,则对农村居民点的增长构成了刚性的约束。因此,本文在评价土地开发适宜性时,将此区域单独提取评价。在环梵净山旅游经济区,将梵净山自然保护区和对水域进行缓冲 15 m 作为农村居民点增长的生态障碍,此区域禁止农村居民点开发建设。

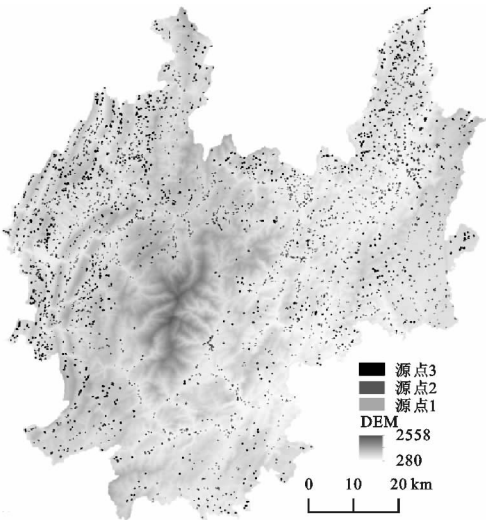


图 1 源等级空间分布

在确定生态障碍基础上,本文参照相关文献<sup>[10,14,20-21]</sup>和结合研究区域的实际情况选取了高程、坡度、植被覆盖度(NDVI)、土地利用、距水源距离、距公路距离和距城镇距离 7 个指标,综合考虑了自然和社会经济属性,构建评价环梵净山区域农村居民点土地开发建设的适宜性指标体系。每个指标采取 5 级分类进行标准化处理,分别用 1,3,5,7,9 表示,一般情况下,地形坡度越陡峻,植被覆盖度越高,生态敏感性越强,生态重要性越高,越不适宜农村居民点建设,而距离水源、公路和城镇越近越适合农村居民点建设。除此之外,不同土地利用类型适宜程度也不相同,具体见表 1。

在 ArcGIS 软件中,利用栅格计算器,将各指标进行叠加,得到环梵净山旅游经济区土地开发适宜分析结果。最后,将上述土地开发适宜分析结果和生态障碍相结合,得到环梵净山旅游经济区土地开发适宜性综合评价结果,见图 2。从图 2 可以看出,环梵净山自然保护区,土地开发适宜性程度较高的主要分布在道路两旁和地形较平坦,海拔较低的河谷,说明了地形、水源和道路通达性对环梵净山农村居民点分布有重要影响。

3.3 农村居民点增长模拟

农村居民点增长模拟,采用公式(2)进行模拟。

首先,利用 ArcGIS 空间分析中的 Cost Distance 模块分别计算出不同增长源的最小累积阻力值面,并借鉴生态学的最小限制因子定律,采取极值方法叠加不同增长源的最小累积阻力值面,最终建立农村居民点增长最小累积阻力值面,见图 3。

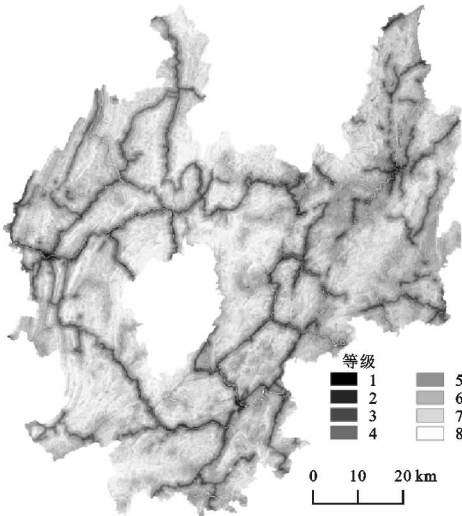


图 2 环梵净山旅游经济区土地适宜性综合评价结果

从图 4 可以看出,农村居民点增长首先占用原有建成区的临近空间,其所受的最小累积阻力值较小,随着农村居民点增长强度和面积的增大,向外围空间扩散,最小累积阻力值呈现不断增大变化的趋势,并在很大程度上受基面异质性的影响,遇地形或生态要素阻碍时,阻力迅速增加,遇生态障碍时,阻力发生突变。环梵净山地形复杂,生态脆弱性较高,土地开发利用强度不宜过高,对比参考其他区域和本地的实际情况,本文假设近期农村居民点增长量在原先面积的基础上,不超过区域总面积的 3%,并选取不同增长强度,分别为 0.5%,1%,2%和 3%不同增长比例进行定量模拟,见图4,反映了不同增长强度下农村居民点增长用地边界与空间形态。

表 1 土地开发适宜性评价指标体系		
指标	等级	赋值
高程	<380 m	1
	380~580 m	3
	580~980 m	5
	980~1480 m	7
	>1480 m	9
坡度	<5°	1
	5°~10°	3
	10°~15°	5
	15°~25°	7
	>25°	9
NDVI	<0.1	1
	0.1~0.3	3
	0.3~0.5	5
	0.5~0.7	7
	>0.7	9
土地利用类型	建设用地	1
	未利用地/草地	3
	林地	5
	耕地	7
	水域	9
距水源距离	<200 m	1
	200~400 m	3
	400~1000 m	5
	1000~2000 m	7
	>2000 m	9
距公路距离	<90 m	1
	90~250 m	3
	250~500 m	5
	500~1000 m	7
	>1000 m	9
距城镇距离	<500 m	1
	500~1000 m	3
	1000~2000 m	5
	2000~4000 m	7
	>4000 m	9

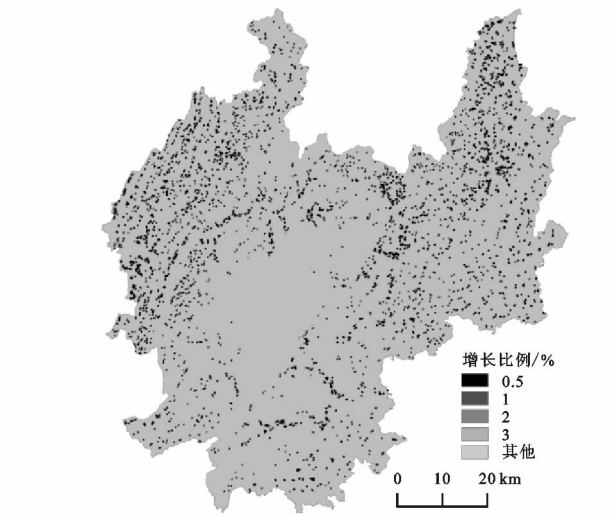


图 3 农村居民点增长最小累积阻力值面

图 4 不同增长比例下农村居民点增长模拟

在土地开发适宜性限制下,适宜程度越高越适宜农村居民点增长。在 0.5%,1%,2%和 3% 增长情况下,分别提供了 0.021,0.042,0.084,0.126 km<sup>2</sup> 的建设用地,增长面积较大的农村居民点主要集中在城镇周边和河谷。由于考虑了生态障碍,部分农村居民点源的等级虽然高,扩展能力强,但发展空间受生态障碍的约束,面积没有增长。见图 5 标示的位于梵净山自然保护区范围内的 1—3 农村居民点,在源等级划分中,该农村居民点属于中心农村居民点,扩展能力强,但因位于自然保护区内,受生态和政策的限制,模拟时没有实现面积增长,4 处农村居民点位于自然保护区河对岸,受河流的限制,该处农村居民点侧向增长,而 5 处农村居民点因不受生态障碍的约束,呈现围绕原有农村居民点向四周增长。从模拟效果来看,考虑了源的等级和生态障碍模拟结果更加符合实际并体现生态保护的要求。对于环梵净山自然保护区地形条件复杂,生态脆弱的区域,在农村居民点增长过程中,更应注重对生态的保护。

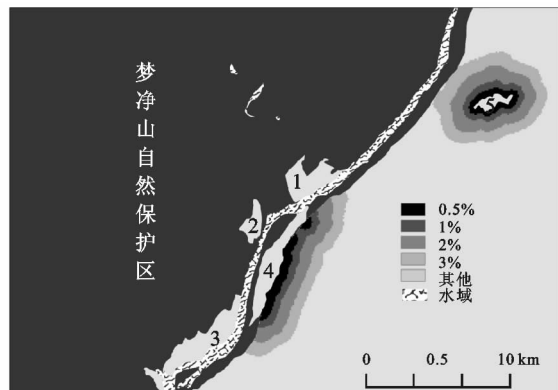


图 5 生态障碍约束下农村居民点增长类型

## 4 结论

近年来,随着环梵净山地区旅游经济的快速发展,区位条件优越和距离景区较近的农村居民点,为发展乡村旅游和收入的提高,出现了快速发展的现象。为了避免农村居民点无序增长,对生态环境和对风景名胜造成破坏,本文基于全国第二次土地调查数据,利用改进 MCR 模型,并把土地开发适宜性作为阻力依据,在考虑源等级和生态障碍的情况下,对环梵净山自然保护区的农村居民点增长进行模拟。结果表明,改进 MCR 模型能够用于农村居民点的空间增长模拟,模拟结果反映了农村居民点增长的空间运动趋势。从农村居民点增长的规模与强度控制来看,由于考虑了源等级和生态障碍约束,模拟结果更加符合实际,并体现政策调控方向,本文揭示了农村居民点在土地开发适宜性限制下增长的规模和空间形态,为区域科学调

控农村居民点和制定相关政策提供了理论支撑。

虽然改进 MCR 模型能够模拟农村居民点空间增长趋势和规模,但在实际的增长过程中,具有增长能力的农村居民的的增长是随时间的推进,逐步占领周边可占领的区域,而改进的 MCR 模型无法模拟农村居民点增长时首先占领的区域。因此,该模型在模拟农村居民点克服增长阻力,实现向外扩展的空间运动趋势和划定建设用地边界比较有效,在模拟时间上的增长需要结合其他的模型。

### 参考文献:

- [1] Tovar C, Seijmonsbergen A C, Duivenvoorden J F. Monitoring land use and land cover change in mountain regions: An example in the Jalca grasslands of the Peruvian Andes [J]. Landscape & Urban Planning, 2013, 112(112): 40-49.
- [2] 宋伟,陈百明,姜广辉. 中国农村居民点整理潜力研究综述[J]. 经济地理, 2010, 30(11): 1871-1877.
- [3] 张颖,徐辉. 基于 MCR 模型的农村居民点布局适宜性分区及优化模式研究:以南京市六合区金牛湖街道为例[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(11): 1485-1492.
- [4] 关小克,张凤荣,刘春兵,等. 平谷区农村居民点用地的时空特征及优化布局研究[J]. 资源科学, 2013, 35(3): 108-114.
- [5] 赵冰雪,夏敏,符海月. 农村居民点动态演变及驱动机制研究:以江苏省宜兴市为例[J]. 地域研究与开发, 2015, 34(1): 150-154.
- [6] 沈陈华. 丹阳市农村居民点空间分布尺度特征及影响因素分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 261-268.
- [7] 刘晓清,毕如田,高艳. 基于 GIS 的半山丘陵区农村居民点空间布局及优化分析:以山西省襄垣县为例[J]. 经济地理, 2011, 31(5): 822-826.
- [8] 邹利林,王占岐,王建英. 山区农村居民点空间布局与优化[J]. 中国土地科学, 2012, 26(9): 71-77.
- [9] 秦天天,齐伟,李云强,等. 基于生态位的山地农村居民点适宜度评价[J]. 生态学报, 2012, 32(16): 5175-5183.
- [10] 文博,刘友兆,夏敏. 基于景观安全格局的农村居民点用地布局优化[J]. 农业工程学报, 2014, 30(8): 181-191.
- [11] 姜广辉,张凤荣,孔祥斌. 北京山区农村居民点整理用地转换方向模拟[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 214-221.
- [12] 郝凤明,贺红土,胡远满,等. 营口市城市及村镇聚落增长与土地利用变化的模拟预测[J]. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1529-1536.
- [13] 张云鹏,孙燕,陈振杰. 基于多智能体的土地利用变化模拟[J]. 农业工程学报, 2013, 29(4): 255-265.
- [14] 叶玉瑶,苏泳娴,张虹鸥,等. 生态阻力面模型构建及其在城市扩展模拟中的应用[J]. 地理学报, 2014, 69(4): 485-496.

- 359-362.
- [4] 贾继增,丁寿康,李月华,等. 中国小麦的主要矮秆基因及矮源的研究[J]. 中国农业科学,1992,25(1):1-5.
- [5] Worland A J, Korzun V, Roder M S, et al. Genetic analysis of the dwarfing gene *Rht8* in wheat[J]. Part II. The distribution and adaptive significance of allelic variants at the *Rht8* locus of wheat as revealed by microsatellite screening [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1998,96(8):1110-1120.
- [6] Mathews K L, Chapman S C, Trethowan R, et al. Global adaptation of spring bread and durum wheat lines near-isogenic for major reduced height genes [J]. Crop Science,2006,46(2):603-613.
- [7] Sun Y, Wang X, Wang N, et al. Changes in the yield and associated photosynthetic traits of dry-land winter wheat (*Triticum aestivum* L.) from the 1940s to the 2010s in Shaanxi Province of China[J]. Field Crops Research,2014,167:1-10.
- [8] Gale M D, Youssefian S. Dwarfing genes for wheat// Russell G E. Progress in Plant Breeding[M]. London: Butterworths and Co. ,1985.
- [9] 唐娜,姜莹,何蓓如,等. 赤霉素敏感性不同矮秆基因对小麦胚芽鞘长度和株高的效应[J]. 中国农业科学,2009,42(11):3774-3784.
- [10] Gasperini D, Greenland A, Hedden P, et al. Genetic and physiological analysis of *Rht8* in bread wheat: an alternative source of semi-dwarfism with a reduced sensitivity to brassinosteroids [J]. Journal of experimental botany,2012,63(12):4419-4436.
- [11] Ellis M H, Rebetzke G J, Azanza F, et al. Molecular mapping of gibberellin-responsive dwarfing genes in bread wheat [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2005,111(3):423-430.
- [12] Rebetzke G J, Ellis M H, Bonnett D G, et al. The *Rht13* dwarfing gene reduces peduncle length and plant height to increase grain number and yield of wheat[J]. Field Crops Research,2011,124(3):323-331.
- [13] Rebetzke G J, Ellis M H, Bonnett D G, et al. Height reduction and agronomic performance for selected gibberellin-responsive dwarfing genes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Field Crops Research, 2012,126:87-96.
- [14] Richards R A. The effect of dwarfing genes in spring wheat in dry environments. I: Agronomic characteristics [J]. Crop and Pasture Science, 1992,43(3):517-527.
- [15] Ehdaie B, Waines J G. Growth and transpiration efficiency of near-isogenic lines for height in a spring wheat[J]. Crop Science,1994,34(6):1443-1451.
- [16] Wang Y, Chen L, Du Y, et al. Genetic effect of dwarfing gene *Rht13* compared with *Rht-D1b* on plant height and some agronomic traits in common wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Field Crops Research, 2014,162:39-47.
- [17] 李杏普,兰素缺,张京慧,等. *Rht8*,*Rht10* 和 *Rht12* 矮秆基因对产量构成因子的影响[J]. 华北农学报,2009,24(Z2):72-75.
- [18] Rebetzke G J, Richards R A, Fischer V M, et al. Breeding long coleoptile, reduced height wheats [J]. Euphytica,1999,106(2):159-168.
- [19] Rebetzke G J, Richards R A. Gibberellic acid-sensitive dwarfing genes reduce plant height to increase kernel number and grain yield of wheat [J]. Australian Journal of Agricultural Research,2000,51(2):235-246.
- [20] 张学品,冯伟森,吴少辉,等. 干旱胁迫对不同冬小麦品种水分利用效率及产量性状的影响[J]. 河南农业科学,2012,41(8):21-25,33.

~~~~~

(上接第 326 页)

- [15] 谢作轮,赵锐锋,姜朋辉,等. 黄土丘陵沟壑区农村居民点空间重构:以榆中县为例[J]. 地理研究,2014,33(5):937-947.
- [16] 徐保根,赵建强,薛继斌,等. 村级土地规划中的农村居民点用地方式适宜性评价[J]. 中国土地科学,2012,26(1):27-31.
- [17] 孔雪松,刘耀林,邓宣凯,等. 村镇农村居民点用地适宜性评价与整治分区规划[J]. 农业工程学报,2012,28(18):215-222.
- [18] Knaapen J P, Scheffer M, Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning[J]. Landscape and Urban Planning, 1992,23(1):1-16.
- [19] 李平星,樊杰. 区域尺度城镇扩张的情景模拟与生态效应:以广西西江经济带为例[J]. 生态学报,2014,34(24):7376-7384.
- [20] 齐增湘,廖建军,徐卫华,等. 基于 GIS 的秦岭山区聚落地适宜性评价[J]. 生态学报,2015,35(4):1274-1283.
- [21] 周锐,王新军,苏海龙,等. 基于生态安全格局的城市增长边界划定:以平顶山新区为例[J]. 城市规划学刊,2014(4):57-63.