

耕地保护对生态系统水源涵养功能的影响 ——以武汉市为例

柯新利, 普鵬鹏, 杨柏寒, 郑伟伟

(华中农业大学 公共管理学院, 武汉 430070)

摘要:耕地保护是我国粮食安全的根本保障。然而,在快速城市化背景下,耕地保护导致生态用地加速流失造成对生态系统服务功能的影响往往被忽略。以武汉市为例,采用模型模拟的方法,利用基于元胞自动机的土地利用变化模型——LANDSCAPE模型设定严格、适度耕地保护情景,进而基于InVEST模型定量评估耕地保护对生态系统水源涵养功能的影响,为科学认识耕地保护政策的实施对生态系统服务功能的影响提供新的视角。结果表明:(1)严格、适度耕地保护情景下武汉市2020年生态系统水源涵养功能存在显著差异。相较于适度耕地保护情景,严格耕地保护情景下,位于武汉市东北地区的低水源涵养区分布范围明显增多,高水源涵养区分布明显较少;(2)在水源涵养总量方面,严格耕地保护情景下的水源涵养总量为 $4.33 \times 10^8 \text{ m}^3$,适度耕地保护情景下的水源涵养量为 $4.58 \times 10^8 \text{ m}^3$,两者差异显著。(3)严格、适度耕地保护情景中草地、林地、水体等生态用水的水源涵养总量分别为 $1.06 \times 10^8 \text{ m}^3$, $1.27 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。其中林地水源涵养量最高,水体、草地次之。

关键词:耕地保护; 武汉; 水源涵养; LANDSCAPE模型; InVEST模型

中图分类号:S727.21

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)01-0391-06

Impacts of Cultivated Land Protection on Water Retention Function of Ecosystem —A Case Study in Wuhan

KE Xinli, PU Kunpeng, YANG Bohan, ZHENG Weiwei

(College of Public Administration, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Cultivated land protection policy is the fundamental guarantee of food security in China. However, under the background of rapid urbanization, the impact of cultivated land protection on ecosystem services through the way of ecological land occupation is often neglected. We take Wuhan City as an example, the impact of cultivated land protection on water retention function of ecosystem is evaluated by model simulation method. LANDSCAPE, a land use optimization model based on cellular automata model, is used to set up the scenarios of strict cultivated land protection and moderate cultivated land protection, respectively. The land use/land cover scenarios are simulated in 2020, and the InVEST model of ecosystem service function evaluation is compared about water conservation function of the spatial pattern and quantitative assessment in Wuhan under different scenarios, which provides the basis for scientifically understanding the effect of cultivated land protection policy. It concludes that, first, there is a significant spatial difference of water retention function of Wuhan in 2020 under the condition of strict cultivated land protection and moderate cultivated land protection. Under the situation of strict cultivated land protection, the distribution range of low water retention area in northeastern part of Wuhan is much more than that of the moderate cultivated land policy, however, the distribution of high water retention area in the strict cultivated land protection situation is less; second, the total amount of water retention under the protection of strict cultivated land is $4.33 \times 10^8 \text{ m}^3$, and $4.58 \times 10^8 \text{ m}^3$ in the moderate cultivated land, there is a significant difference; third, the water retention amounts of the ecological lands are $1.06 \times 10^8 \text{ m}^3$ and $1.27 \times 10^8 \text{ m}^3$ in the scenario of strict cultivated land protection and moderate cultivated land protection, respectively. The water retention amount of forest

收稿日期:2017-02-12

修回日期:2017-03-16

资助项目:国家社会科学基金“基于生产力总量平衡的耕地区域布局优化及补偿机制研究”(13CGL092);国家自然科学基金“城镇用地扩张与耕地功能演变的时空耦合机理研究——以武汉市为例”(41371113);国家自然科学基金“城市群城镇用地扩张多尺度耦合机理研究”(41101098);教育部人文社会科学研究青年资助项目“基于布局优化的耕地保护区域补偿机制研究”(13YJC630136)

第一作者:柯新利(1977—),男,湖北天门人,教授,博士,主要研究方向:土地资源优化配置。E-mail:kexl@mail.hzau.edu.cn

land is the highest, followed by wetland and grassland.

Keywords: cultivated land protection; Wuhan; water retention; LANDSCAPE model; InVEST model

近 50 年来,人类活动对生态系统的影响比历史上任何一个时期更广泛,全球性和区域性的生态危机日益严峻,生态系统的服务功能衰退剧烈,直接威胁着人类社会的可持续发展^[1]。尤其是快速城市化扩张对生态系统服务功能造成了极大的影响,如耕地、草地、水域等生态用地被建设用地大量侵占,城市生态系统服务功能急剧下降^[2]。然而,我国人口基数大,耕地资源少是长期不变的基本国情。在城市化进程中,满足耕地数量需求,提高耕地质量,稳定粮食产量,从而保障国家粮食安全一直是众多学者以及国家政策关注的问题^[3-5]。为此,改革开放以来,我国制定了一系列严格的耕地保护政策,比如耕地占补平衡政策,划定十八亿亩耕地保护“红线”等。但现有情况下,为保持耕地总量不变,城市周边的优质耕地资源被不断占用,补充质量较低的边际土地^[6],城市湖泊、绿草地等城市生态用地逐渐萎缩^[7]。在耕地保护与快速城市化耦合作用下,生态问题频现^[8-10]。

生态系统水源涵养功能是生态系统内多个水文过程及其水文效应的综合表现,也常被认为是拦蓄降水或调节河川径流量的重要功能^[11]。已有众多研究表现土地利用变化对生态系统水源涵养功能具有重要的影响^[12-14]。而我国是处于快速城镇化阶段的人口大国,在城镇化和耕地保护的双重压力下,土地利用变化对水源涵养功能的影响十分剧烈。因此,迫切需要厘清快速城镇化阶段,耕地保护政策对生态系统水源涵养功能的影响,为土地资源的合理保护和利用提供支撑。

目前生态系统服务功能的评估可分为价值量和物质质量评估两类^[15-16]。由于大多数生态系统服务具有非竞争性和非排他性,各服务功能之间相互交织,因此很难对其单独量化^[17-18]。目前存在许多关于评估生态系统服务的方法与模型,谢高地等^[19]基于 Costanza 等^[20]提出的生态系统服务功能价值评估体系的基础上,提出新的生态系统服务功能评估单价体系。美国科罗拉多州立大学与美国地质勘探局合作开发 SoIVES(Social Values for Ecosystem Services)模型用于评估生态系统服务功能社会价值^[21],该模型可用于量化和评估生物多样性、休闲和美学等生态系统服务功能的社会价值。然而,这些评估体系以及方法均偏重于生态系统服务功能价值测算,存在空间表达能力较弱等局限性^[22]。InVEST 模型(The Integrate Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs tool)由斯坦福大学、世界自然基金会、大自然保护协会等相关

机构联合开发生态系统与服务权衡模型,该模型具有适宜不同区域尺度,较好融合生态过程以及空间化显示效果好等特点,模型能够基于不同土地利用情景下对生态系统价值及服务进行很好地评估和分析^[23]。

武汉市为典型城镇化城市,2015 年城镇化率达到 79.3%^[24]。耕地保护和快速城镇化耦合作用对武汉市生态系统服务功能产生了巨大的压力,水土流失、洪涝等生态灾害频发^[25]。本文以武汉市为案例区,采用基于 CA 的土地利用变化模型——LANDSCAPE 模型,开展武汉市土地利用变化情景模拟,利用 InVEST 模型水源涵养模块测算严格、适度耕地保护情景下武汉市 2020 年的水源涵养功能,定量分析严格、适度耕地保护政策对生态系统水源涵养功能的影响。

1 研究方法

1.1 总体研究方案

本文基于 LANDSCAPE 模型设定土地利用变化模拟情景,以快速城镇化地区武汉市为案例区,设定严格耕地保护情景与适度耕地保护情景,进而采用 InVEST 水源涵养模型分别测算两种情景下武汉市 2020 年的水源涵养功能,从而分析严格、适度耕地保护政策对生态系统水源涵养功能的影响。总体有两个步骤:土地利用变化情景模拟和生态系统水源涵养功能评估。首先,以武汉市 2005 年土地利用图为基础,用 LANDSCAPE 模型模拟武汉市 2013 年土地利用空间布局,与 2013 年现状图对比,进行模型校准,用校准后的模型分别模拟武汉市 2020 年严格耕地保护与适度耕地保护的土地利用情景。其次,采用 InVEST 水源涵养模型测算两种情景下 2020 年武汉市的水源涵养功能,并分析耕地保护政策对武汉市水源涵养功能的影响,为科学认识耕地保护政策的实施对生态系统服务功能的影响提供新视角。

1.2 LANDSCAPE 模型

元胞自动机(Cellular Automata,CA)具有强大的空间建模能力与运算能力,可以模拟复杂的地理时空变化^[26-29]。LANDSCAPE 模型是基于 CA 的土地系统模拟与优化模型,能够解释和模拟交互级联过程和土地利用变化之间竞争^[30]。LANDSCAPE 模型主要通过分层分配策略和分类转换概率实现多种土地利用变化的模拟。

(1) 分层分配策略。根据影响土地利用变化的主要驱动力,在模型中将土地利用类型划分成主动地

类与被动地类。主动型地类是指其变化直接受人类活动驱动的地类,如城市建设用地、耕地等;被动型地类的变化并不直接受人类活动驱动,而是由主动型地类的变化驱动,如湿地、草地等。LANDSCAPE 模型根据主动型地类的活跃程度逐地类落实其空间位置。

如一般而言,在快速城市化地区,城镇建设用地具有最强的竞争能力,其次是农村建设用地和耕地。因而在 LANDSCAPE 模型中首先根据城镇建设用地的转换概率进行城镇建设用地的空间布局,接着进行农村建设用地的和耕地的空间布局。而诸如湿地、草地、林地的被动型地类则在主动型地类空间布局的过程中被动完成布局。

(2) 转换概率。LANDSCAPE 模型在每一地类空间布局的基本依据是该地类的转换概率。该模型的转换概率由土地利用适应性和阻抗两个因素决定。

$$TTP_{lu} = P_{lu} - R_u \quad (1)$$

式中: TTP_{lu} 为位置 l 转换成土地利用类型 u 的总潜力; P_{lu} 为位置 l 转变为土地利用类型 u 的适应性,其取决于该位置的社会经济特征和生物物理特性以及约束条件和邻域效应; R_u 为当前的土地利用类型 u 转换成其他地类的阻抗。其中 P_{lu} 的计算公式为:

$$P_{lu} = (1 + (-\ln \gamma)^a) \times P_{gu} \times \text{Con}(C_{lu}) \times \Omega_{lu} \quad (2)$$

$$\text{WaterRetention} = \min\left(1, \frac{249}{\text{Velocity}}\right) \cdot \min\left(1, \frac{0.9 \cdot \text{TI}}{3}\right) \cdot \min\left(1, \frac{\text{Kast}}{300}\right) \times Y_{jx} \quad (3)$$

式中: WaterRetention 为每一个栅格单元的年水源涵养量; Velocity 为流速系数^[36]; Kast 为土壤饱和导水率 (cm/d), 利用 NeuroTheta 软件计算所得; TI 为地形指数, 由 DEM 计算所得, 无量纲。其中 TI 的计算公式为:

$$\text{TI} = \lg\left(\frac{\text{Drainage_Area}}{\text{Soil_Depth} \cdot \text{Percent_Slope}}\right) \quad (4)$$

式中: Drainage_Area 为集水区单元数量; Soil_Depth 为土层深度 (mm); Percent_Slope 为百分比坡度。

$$Y_{jx} = \left(1 - \frac{\text{AET}_{xj}}{P_x}\right) \times P_x \quad (5)$$

式中: Y_{jx} 为第 j 种土地利用类型栅格 x 的年产水量; AET_{xj} 为第 j 种土地利用类型栅格单元 x 的年均蒸散发量 (mm); P_x 为栅格单元 x 的年均降雨量。本文中, $j=1$ 为耕地, $j=2$ 为林地, $j=3$ 为草地, $j=4$ 为河流, $j=5$ 为水体, $j=6$ 为城市建设用地, $j=7$ 为农村居民点。

利用 Budyko 公式计算式(5)中的 $\frac{\text{AET}_{xj}}{P_x}$:

$$\frac{\text{AET}_{xj}}{P_x} = \frac{1 + \omega_x R_{xj}}{1 + \omega_x R_{xj} + \frac{1}{R_{xj}}} \quad (6)$$

式中: R_{xj} 为第 j 种土地利用类型栅格单元 x 的

式中: γ 为 $(0, 1)$ 范围内的随机数; α 为控制随机数影响大小的参数, 其取值范围是 $1 \sim 10$ 之间的整数; P_{gu} 表示该位置的社会经济特征和生物物理特性(如坡度、海拔及与道路之间的距离), 可以通过专家知识、统计分析 & 计量经济分析等方法确定适应性 & 交通区位、地形特征等驱动力之间的关系, 本文采用支持向量机(SVM)方法计算 P_{gu} ; $\text{Con}(C_{lu})$ 为每个元胞单元的约束值, 其中 0 表示该元胞不可发生转化, 1 表示该元胞可以发生转化; Ω_{lu} 为邻域转化概率^[31]。

1.3 InVEST 模型

InVEST(The Integrate Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs tool)模型为生态系统服务功能权衡得失评估和综合估价模型, 其最大的优点是能够基于 GIS 平台将量化的生态系统服务功能以地图的形式表现出来^[32-33]。InVEST 产水量模块是评估水源涵养量的基础模块, 主要依据水循环原理, 综合考虑植物蒸腾、地表蒸发、降水、土层深度和根系深度等参数计算得出每一个栅格上的产水量, 并在此基础上对产水量进行修正从而得出每一个栅格单元的水源涵养量。该模型已广泛应用于美国的加利福尼亚州、明尼苏达州、内华达山脉、夏威夷群岛、坦桑尼亚弧形山脉区以及印度尼西亚^[34]。具体计算公式为^[35]:

Budyko 干燥指数, 无量纲; ω_x 为修正植被年可利用水量与降雨量的比值, 无量纲。

$$R_{xj} = \frac{k \times \text{ET}_0}{P_x}, k = \min\left(1, \frac{\text{LAI}}{3}\right) \quad (7)$$

式中: k 为蒸散系数, 由植被叶面积指数 LAI 计算获得; ET_0 为潜在蒸散量, 是指在一定气象条件下水分供应不受限制时, 大片均匀的自然表面通过蒸腾和蒸发作用所散失的水分, 计算方式为基于修正的 Hargreaves 公式:

$$\text{ET}_0 = 0.0013 \times 0.408 \times \text{RA} \times (T_{\text{avg}} + 17) \times (\text{TD} - 0.0123P)^{0.76} \quad (8)$$

式中: RA 为太阳大气顶层辐射 [$\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]; TD 为日最高均值和日最低温均值的差值 ($^{\circ}\text{C}$); T_{avg} 为日最低温均值与日最高温均值的平均值 ($^{\circ}\text{C}$)。

$$\omega_x = Z \frac{\text{AWC}_x}{P_x} \quad (9)$$

式中: Z 为 zhang 系数, 是捕获局部降水模式和水文地质特征的典型的经验常数, 其值在 $1 \sim 10$ 之间, 降水主要集中于夏季或分布较均匀的时间时, 其值接近于 1, 降水主要集中于冬季时, 其值接近于 10, 本研究据模型测试经验选取默认值; AWC_x 为单元 x 的植被有效含水量, 可由公式(10)获取。

$$AWC_x = \min(\text{Rest, Layer, Depth, Root, Depth}) \cdot PWAC_x$$
$$(10)$$

式中: Rest, Layer, Depth 为植被生根深度; Root, Depth 为根限制层深度; $PWAC_x$ 为植物可利用水量, 可利用土壤质地计算, 公式如下:

$$PWAC_x = 54.509 - 0.132\text{sand} - 0.003(\text{sand})^2 -$$
$$0.055\text{silt} - 0.006(\text{silt})^2 - 0.738\text{clay} +$$
$$0.07(\text{clay})^2 - 2.688\text{OM} + 0.501(\text{OM})^2$$
$$(11)$$

式中: sand 为土壤砂粒含量(%); silt 为土壤粉粒含量(%); clay 为土壤黏粒含量(%); OM 为土壤有机

质含量(%).

1.4 情景设定

本文的主要目的是对比严格、适度耕地保护政策对生态系统水源涵养功能的影响。因此, 本文设定了两种土地利用情景: 严格耕地保护情景与适度耕地保护情景(表 1)。

(1) 严格耕地保护情景: 在满足武汉市城市建设用地需求的前提下, 2020 年耕地面积严格执行耕地占补平衡政策, 与 2013 年耕地面积保持一致, 为 470,616 hm^2 。

(2) 适度耕地保护情景: 在城市扩张的过程中保证武汉市 2020 年耕地保有量不低于一定的水平。

表 1 土地利用情景的参数设定

	项目	耕地	林地	草地	河流	水体	城市建设用地	农村建设用地
适度耕地保护情景	需求/ km^2 (2020)	—	—	—	—	—	910	443
	阻抗	1.1	1.05	1	1	1	1.2	1.15
严格耕地保护情景	需求/ km^2 (2020)	4706	—	—	—	—	910	443
	阻抗	1.1	1.05	1	1	1	1.2	1.15

2 研究区域与数据来源

2.1 研究区域

武汉地处江汉平原东部、长江中游, 中部六省唯一的副省级城市, 也是国家中心城市。下辖 13 个行政区, 其中七个主城区及六个远城区, 另外设有三个国家级开发区, 分别为武汉经济技术开发区、东湖新技术开发区和武汉临空港经济技术开发区。全市总面积 8 494.41 km^2 , 2015 年常住人口 1 060.77 万, 城镇化率 79.3%^[37]。全市地形以平原为主, 兼有少量岗地与低山丘陵, 耕地资源丰富, 耕地利用方式多样。武汉市作为典型城镇化城市, 在快速城镇化和耕地保护的双重压力下, 土地利用变化剧烈, 生态系统服务功能受到较大的影响。

2.2 数据来源

(1) 地形数据。主要包括 DEM 和坡度, 数据分辨率为 90 m \times 90 m, 采用 ArcGIS 10.2 空间分析工具 slope 生成坡度数据集, 并将其重采样到 100 m 分辨率;

(2) 武汉市交通数据集。包括武汉市各类交通用地数据, 采用 ArcGIS 中“Euclidean Distance”工具对原始交通数据进行栅格运算, 分别得到距国道、省道、铁路、高速公路、主干道和次干道的栅格距离, 用以计算位置可达性。

(3) 土地利用数据集。包括武汉市 2005 年和 2013 年的土地利用数据, 2005 年土地利用数据来源于中国科学院资源环境中心, 2013 年土地利用数据采用 Landsat OLI 遥感影像数据解译, 两期数据均分为耕地、林地、草地、城市建设用地、农村居民点、河流

和水体七大类, 并重采样至 100 m 空间分辨率。

(4) 多年降雨量数据。来自中国气象科学数据共享服务网, 此数据为文本类型, 由湖北省及其周边省市 39 个气象站点年降水数据经过计算后, 采用 Kriging 插值法并结合 ArcGIS 10.2 空间分析工具得出武汉市年均降雨量。

(6) 潜在蒸散量。根据日最高温、日最低温以及太阳大气顶层辐射, 采用修正的 Hargreaves 公式求取^[38]。

(7) 植物可利用水含量。采用周文佐测算植物可利用水含量的公式, 以武汉市土壤质地数据(来源于全国第二次土壤普查)为基础数据, 计算所得^[39]。

(8) 土层深度。此数据为栅格类型, 来源于国际土壤参考资料和信息中心, 基于 ArcGIS 10.2 空间分析平台, 将其重采样到 100 m 分辨率。

3 结果与分析

3.1 耕地保护对武汉市土地利用变化影响的情景模拟

以武汉市 2013 年土地利用数据为基点, 采用 LANDSCAPE 模型设定土地利用模拟情景, 得到 2020 年严格、适度耕地保护情景土地利用空间格局。严格耕地保护情景下, 武汉市城市扩张严格执行耕地总量动态不变, 与 2013 年耕地面积保持一致, 为 470,616 hm^2 。适度耕地保护情景下, 城市扩张适度控制耕地保有量, 即保证 2020 年武汉市耕地面积不低于一定的数量。通过对比两种情景下的土地利用空间格局发现(附图 12): 适度耕地保护情景下武汉市西北地区大部分以及西南地区的零星林地多于严格耕地保护情景, 尤其是位于西北部的林区, 这主要

是由于武汉市严格落实耕地保护政策,保证耕地总量不变占用生态用地造成的。此外,在草地方面,适度耕地保护情景下,位于武汉市东北地区零星多于严格

耕地保护情景下。另一方面,严格、适度耕地耕地保护两种情景下,生态用地的数量分别为 244,676 hm² 和 268,808 hm²,两者之间相差 9.9%(表 2)。

表 2 严格、适度耕地保护情景各土地利用类型数量对比

土地利用类型	耕地	林地	草地	河流	水体	城市建设用地	农村居民点
严格耕地保护情景面积/hm ²	470617	66253	10556	30396	137471	91013	44300
适度耕地保护情景面积/hm ²	446498	76601	12338	30396	149473	91000	44300

3.2 耕地保护对武汉市生态系统水源涵养功能的影响评估

根据 InVEST 模型的运行原理,结合前人的研究^[40]对原始数据进行空间化处理,制备模型所需参数变量:以 ArGIS 10.2 为空间处理平台,本文采用 Kriging 插值法得到武汉市多年平均降雨量(P_x);依据土壤质地数据并结合相关参考文献获取植物可利用水量(PWAC_x)^[39];潜在蒸散发量是由修正的 Hargreaves 公式计算获得^[38];土层深度数据来自于国际土壤参考资料和信息中心,此数据为栅格类型;zhang 系数是表征降水特征的常数,适用于降水次数多且具有明显季节变化的区域,对于总量相等的区域,降水次数越多,zhang 系数值越大,本文采用默认值 5,测

算得到不同情景下武汉市生态系统水源涵养功能的空间分布见附图 13。对比两种情景下水源涵养量的空间布局发现,水源涵养量高值区主要集中在武汉市西北部的国有林区,但在适度耕地保护情景下,该区域的水源涵养量分布零星多于严格耕地保护情景。

在水源涵养总量方面,适度耕地保护情景下的水源涵养总量为 $4.58\times10^8\text{ m}^3$,严格耕地保护情景下水源涵养总量为 $4.33\times10^8\text{ m}^3$,两者之间的差异为 5.5%,差异性显著。其中,严格耕地保护情景下,林地、草地、水体、河流等生态用地的水源涵养量为 $1.06\times10^8\text{ m}^3$,而适度耕地扩情景下,生态用地的水源涵养量为 $1.27\times10^8\text{ m}^3$ 。两种情景下,林地的水源涵养量最多,水体、草地次之(表 3)。

表 3 严格、适度耕地保护情景各地类水源涵养量对比

土地利用类型	耕地	林地	草地	河流	水体	城市建设用地	农村居民点	总量
严格耕地保护情景水源涵养量/ 10^8 m^3	2.63	0.64	0.06	0.06	0.30	0.28	0.36	4.33
适度耕地保护情景水源涵养量/ 10^8 m^3	2.63	0.75	0.07	0.07	0.38	0.31	0.37	4.58

为了更加直观地分析严格、适度耕地保护情景下武汉市 2020 年的水源涵养情况,运用 ArGIS 10.2 平台空间分析工具中自然断点法对两种情景下水源涵养功能进行重分类,结果见附图 14。可见,在两种不同情景下水源涵养量主要集中于中等水源涵养区;在高水源涵养区方面,严格、适度耕地保护情景所占面积分别为 $9.5\times10^4\text{ hm}^2$, $1.05\times10^5\text{ hm}^2$ (表 4),适度耕地保护情景多于严格耕地保护情景。

表 4 严格、适度耕地保护情景水源涵养量分级面积对比

水源涵养量 分级	低水源 涵养区	中等水源 涵养区	高水源 涵养区
严格耕地保护情景水源 涵养分区/ 10^5 hm^2	2.37	4.42	0.95
适度耕地保护情景水 源涵养分区/ 10^5 hm^2	2.31	4.39	1.05

4 结论与讨论

本文综合采用 LANDSCAPE 模型和 InVEST 模型对武汉市 2020 年严格、适度耕地保护情景对生态系统水源涵养功能的影响进行了定量评估,分析两

种情景下水源涵养功能的差异。结果表明:相较于适度耕地保护情景,在严格耕地保护情景下,林地、草地、水体等生态用地面积被侵占较多,水源涵养总量、生态用地水源涵养量相对下降。具体而言:

(1) 两种情景下的武汉市水源涵养功能无论是在空间还是在数量方面都有显著的差异。在空间方面,严格耕地保护情景下,位于武汉市东北地区的低水源涵养区分布范围明显多于适度耕地保护情景;在数量方面,武汉市 2020 年适度耕地保护情景下水源涵养总量为 $4.58\times10^8\text{ m}^3$,严格耕地保护情景下的水源涵养总量为 $4.33\times10^8\text{ m}^3$,两者之间差异为 5.5%,差异性显著。(2) 严格、适度耕地耕地保护情景下,生态用地的数量分别为 244,676 和 268,808 hm²,两者相差 9.9%,生态用地水源涵养量分别为 $1.06\times10^8\text{ m}^3$, $1.27\times10^8\text{ m}^3$ 。

然而,由于耕地保护政策涉及社会、经济、人为决策以及政策落实等诸多因素,本文从保护耕地总量不变的视角,分析严格、适度耕地保护政策情景下对生态系统水源涵养功能的影响,难免会有一定的局限性。在进一步的研究中,需要结合社会经济发展需求

和耕地保护的开展耕地保护政策评估,以期获得更为客观、现实的认识。

参考文献:

- [1] 戴晓苏. IPCC 第二工作组第四次评估报告的基本结论[J]. 气象软科学, 2008(1):155-163.
- [2] Kreuter U P, Harris H G, Matlock M D, et al. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas[J]. Ecological economics, 2001,39(3):333-346.
- [3] Chen J. Rapid urbanization in China: a real challenge to soil protection and food security[J]. Catena, 2007, 69(1):1-15.
- [4] Xu Z, Xu J, Deng X, et al. Grain for green versus grain: conflict between food security and conservation set-aside in China[J]. World Development, 2006, 34(1):130-148.
- [5] 柯新利, 邓祥征, 刘成武. 基于分区异步元胞自动机模型的耕地利用布局优化: 以武汉城市圈为例[J]. 地理科学进展, 2011, 29(11):1442-1450.
- [6] 李秀彬. 中国近 20 年来耕地面积的变化及其政策启示[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4):329-333.
- [7] Yang B, Ke X. Analysis on urban lake change during rapid urbanization using a synergistic approach: A case study of Wuhan, China[J]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2015, 89:127-135.
- [8] 彭少麟, 周凯, 叶有华, 等. 城市热岛效应研究进展[J]. 生态环境学报, 2005, 14(4):574-579.
- [9] 汤江龙, 刘友兆, 李娟. 城市化进程中城乡结合部土地利用规划问题的探讨[J]. 东华理工大学学报: 社会科学版, 2004, 23(4):25-29.
- [10] 叶斌, 盛代林, 门小瑜. 城市内涝的成因及其对策[J]. 水利经济, 2010, 28(4):62-65.
- [11] 白杨, 初东, 田良, 等. 武汉城市圈的水源涵养功能重要性评价研究[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(2):233-241.
- [12] Tianhong L, Wenkai L, Zhenghan Q. Variations in ecosystem service value in response to land use changes in Shenzhen[J]. Ecological economics, 2010, 69(7):1427-1435.
- [13] Kosmas C, Gerontidis S, Marathianou M. The effect of land use change on soils and vegetation over various lithological formations on Lesbos(Greece)[J]. Catena, 2000, 40(1):51-68.
- [14] 潘竟虎. 近 15 年来长江源区土地利用变化及其生态环境效应[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(3):310-315.
- [15] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱, 等. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5):635-640.
- [16] Boumans R, Costanza R, Farley J, et al. Modeling the dynamics of the integrated earth system and the value of global ecosystem services using the GUMBO model[J]. Ecological Economics, 2002, 41(3):529-560.
- [17] Nelson E, Mendoza G, Regetz J, et al. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales[J]. Frontiers in Ecology & the Environment, 2009, 7(1):4-11.
- [18] 白杨, 郑华, 庄长伟, 等. 白洋淀流域生态系统服务评估及其调控[J]. 生态学报, 2013, 33(3):711-717.
- [19] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5):911-919.
- [20] Costanza R, D'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630):253-260.
- [21] 黄从红, 杨军, 张文娟. 生态系统服务功能评估模型研究进展[J]. 生态学杂志, 2013, 32(12):3360-3367.
- [22] Brown G, Brabyn L. The extrapolation of social landscape values to a national level in New Zealand using landscape character classification[J]. Applied Geography, 2012, 35(1/2):84-94.
- [23] 孙传淳, 甄霖, 王超, 等. 基于 InVEST 模型的鄱阳湖湿地生物多样性情景分析[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(7):1119-1125.
- [24] 赵渺希, 李欣建, 王慧芹. 中国城镇化进程与建设用地消耗的趋势初探[J]. 中国人口·资源与环境, 2016(S1):405-409.
- [25] 马才学, 孟芬, 赵利利. 1990—2005 年武汉市土地利用时空变化及其政策驱动因素分析[J]. 水土保持研究, 2015, 22(2):117-122.
- [26] 周成虎. 地理元胞自动机研究[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [27] 黎夏, 叶嘉安. 知识发现及地理元胞自动机[J]. 中国科学: 地球科学, 2004, 34(9):865-872.
- [28] 柯新利, 邓祥征, 何书金. 地理元胞自动机模型的尺度敏感性及其原因[J]. 地理研究, 2010, 29(5):863-872.
- [29] 柯新利, 边馥蓉. 基于 C5.0 决策树算法的元胞自动机土地利用变化模拟模型[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(4):403-409.
- [30] 柯新利, 郑伟伟, 杨柏寒. 权衡城市扩张、耕地保护与生态保育的土地利用布局优化: 以武汉市为例[J]. 地理与地理信息科学, 2016, 32(5):9-13.
- [31] Ke X, Qi L, Zeng C. A partitioned and asynchronous cellular automata model for urban growth simulation[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2016, 30(4):1-23.
- [32] 杨园园, 戴尔阜, 付华. 基于 InVEST 模型的生态系统服务功能价值评估研究框架[J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2012, 33(3):41-47.
- [33] 周彬, 余新晓, 陈丽华, 等. 基于 InVEST 模型的北京山区土壤侵蚀模拟[J]. 水土保持研究, 2010, 17(6):9-13.
- [34] 唐尧, 祝炜平, 张慧, 等. InVEST 模型原理及其应用研究进展[J]. 生态科学, 2015, 34(3):204-208.

基本能够满足居民出行需求;经济水平一般,高海拔、低交通便捷性成为居民点布局的限制性因素。

(4) 不适宜分布区:杨陵区居民点不适宜分布区的面积为 6.28 km²,仅占杨陵区面积的 4.80%,其中居民点布局的面积为 0.27 km²,占居民点总面积的 1.38%。不适宜布局区域面积较小,布局的居民点面积也较少。主要分布在杨陵区三阶平原的海波陡升的边缘地带,坡度较大,基础设施难以布设,交通不便,不利于居民的生产生活,不适合居民点的布局。

4 结论

本文以陕西省杨陵区为研究对象,从新型城镇居民点布局现状评价出发,以 ZY3 遥感影像为基础,运用 ENVI5.2 遥感影像处理软件进行数据预处理,提取出杨陵区居民点的空间位置等信息。以此为基础,构建合理科学的居民点用地适宜性评价指标体系和权重,分别采用单因子和多因子综合两种方法进行研究,以 ArcGIS 9.3 平台实现居民点适宜性等级的空间位置展布。研究成果表明:随着高程的增大杨陵区居民点分布面积呈递减趋势,其中 440~520 m 高程分布带居民点分布比重最大为 83.84%;杨陵区的地形起伏不大,居民点集中在坡度 7°以内;居民点聚集在杨陵主城区周围,道路对居民点的分布影响尤为明显。综合多因素分析,杨陵区居民点布局较适宜,超过 70%的居民点布局在高适宜、中适宜区,仅有 1.38%的居民点布局在不适宜区域内,但布局在最适宜区域的居民点数量占比仅为 1.42%。这一结论对于后续的居民点整理等工作提供了参考依据。

参考文献:

- [1] 王婧,李裕瑞.中国县域城镇化发展格局及其影响因素:基于 2000 年,2010 年全国人口普查分县数据[J].地理学报,2016,71(4):621-636.
- [2] 国家统计局.2016 年国民经济实现“十三五”良好开局[EB/OL]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201701/t20170120_1455942.html,2017-1-20.
- [3] 郭月婷,廖和平,徐建刚.三峡库区农村居民点用地适宜性评价[J].农业工程学报,2012,28(5):252-259.
- [4] 马恩朴,李同昇,卫倩茹.中国半城市化地区乡村聚落空间格局演化机制探索:以西安市南郊大学城康杜村为例[J].地理科学进展,2016,35(7):816-828.
- [5] 石诗源,张小林.江苏省农村居民点用地现状分析与整理潜力测算[J].中国土地科学,2009,23(9):52-58.
- [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] 文博,刘友兆,夏敏,等.基于灰靶模型的宜兴市农村居民点布局适宜性评价及分类调控研究[J].地域研究与开发,2016,35(5):153-157.
- [8] 张道龙.基于 GIS 技术的长兴县农村居民点用地适宜性评价[D].天津:天津大学,2013.
- [9] 贺贤华,杨昕,毛熙彦,等.基于加权 Voronoi 多边形的山区农村居民点优化布局:以重庆市崇龛镇与石龙镇为例[J].中国农业资源与区划,2016,37(1):80-89.
- [10] 魏玉强.面向生态安全的农村居民点布局优化研究:以常州市武进区嘉泽镇为例[D].南京:南京大学,2016.
- [11] 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.
- [12] 鄯瑞卿,刘富民,刘洪,等.吉林省磐石市农村居民点用地空间布局优化模式研究[J].水土保持研究,2013,20(1):197-201.
- [13] 双文元,郝晋珉,余述琼,等.基于压力论的农村居民点用地适宜性评价与空间格局优化模式[J].中国农业大学学报,2013,18(5):146-155.
- [14] 曲衍波,张凤荣,姜广辉,等.基于生态位的农村居民点用地适宜性评价与分区调控[J].农业工程学报,2010,26(11):290-296.
- [15] 卢晓明.基于生态位的农村居民点用地适宜性评价与整理模式研究:以仪征市为例[D].南京:南京农业大学,2014.

(上接第 396 页)

- [35] 包玉斌,李婷,柳辉,等.基于 InVEST 模型的陕北黄土高原水源涵养功能时空变化[J].地理研究,2016,35(4):664-676.
- [36] 傅斌,徐佩,王玉宽,等.都江堰市水源涵养功能空间格局[J].生态学报,2013,33(3):789-797.
- [37] 戴德艺,饶映雪,刘殿锋,等.1989—2015 年武汉市城市格局时空演变分析[J].长江流域资源与环境,2016,25(10):1545-1554.
- [38] Droogers P, Allen R G. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions[J]. Irrigation and Drainage Systems, 2002,16(1):33-45.
- [39] 周文佐.基于 GIS 的我国主要土壤类型土壤有效含水量研究[D].南京:南京农业大学,2003.
- [40] 张微微,李晶.关中—天水经济区农田生态系统涵养水源价值量时空变化[C]//全国地理学研究生学术年会,2012:52-57.