

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.05.030

基于像元尺度耕地质量局部空间自相关的基本农田划定

刘彦文^{1,2} 刘成武³ 何宗宜¹ 周霞²

(1. 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079; 2. 湖北科技学院资源环境科学与工程学院, 咸宁 437100;
3. 中南民族大学公共管理学院, 武汉 430074)

摘要: 划定永久基本农田保护区是我国农业可持续发展的战略要求, 耕地质量是保护区位置选择的重要依据。以湖北省嘉鱼县为例, 引入植被指数信息, 完善耕地质量综合评价指标体系, 通过网络层次分析法确定指标权重, 结合局部空间自相关分析结果, 分别对基于耕地质量与莫兰指数的基本农田逐像元补划结果进行了分析。研究结果表明, 嘉鱼县耕地综合质量在空间上表现出较强的相关性, 全域和耕地范围的局部自相关系数分别为 0.864 5 和 0.991 6; 基于耕地质量和莫兰指数的划定结果在空间上保持高度的一致性, 两种方法均优先将空间上呈 HH 型聚集的 99.97% 的像元划入了基本农田保护区; 两种方法互为补充, 可以为最终决策提供参考。

关键词: 耕地质量; 局部空间自相关; 像元尺度; 基本农田; 嘉鱼县

中图分类号: F323.21 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2019)05-0260-09

Delineation of Basic Farmland Based on Local Spatial Autocorrelation Analysis of Cultivated Land Quality in Pixel Scale

LIU Yanwen^{1,2} LIU Chengwu³ HE Zongyi¹ ZHOU Xia²

(1. School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2. School of Resources and Environment Science and Engineering,
Hubei University of Science and Technology, Xianning 437100, China

3. School of Public Management, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China)

Abstract: The designation of basic farmland reserves is a strategic requirement for the sustainable development of agriculture of the Chinese government, and it is also a foundation for ensuring national food security and social stability. The quality of cultivated land is an important evidence for the site of protected area, from the perspective of crops themselves, the quality evaluation system should not only consider external factors, but also take internal factors of crops into account. The absorption and utilization results of external conditions of crops in time series were regarded as innovative indicators to break through the traditional evaluation model, therefore, taking Jiayu County, Hubei Province as an example, vegetation index information was introduced to improve the comprehensive quality evaluation system of cultivated land, and then the weight of each evaluation index was calculated by means of analytic network process (ANP). Then local spatial autocorrelation analysis was used, and comparative analysis of the results between the quality of cultivated land and the Moran's index in pixel scale was processed. The result showed that the overall quality of cultivated land in Jiayu County was good and it showed a strong positive correlation in spatial distribution, the local indicators of spatial association (LISA) of the whole county and cultivated land were 0.864 5 and 0.991 6, respectively. Besides, both results of demarcation based on pixel gave priority to the HH type (high-high), 99.97% of pixels were classified as basic farmland. Finally, the former was superior in terms of comprehensive quality, while the latter had good effect on narrow area of the hilly region. The comprehensive quality evaluation system of cultivated land was improved by introducing the information of crops themselves in the pixel scale, which provided a useful reference for the fine delineation of basic farmland.

Key words: farmland quality; local indicators of spatial association; pixel scale; basic farmland; Jiayu County

收稿日期: 2018-11-07 修回日期: 2019-01-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071290)和国家社会科学基金项目(14BGL156)

作者简介: 刘彦文(1979—),男,博士生,湖北科技学院讲师,主要从事 3S 技术及其土地应用研究, E-mail: lhgyanzi@whu.edu.cn

通信作者: 何宗宜(1956—),男,教授,博士生导师,主要从事地图制图学与地理信息工程研究, E-mail: zongyihe@tom.com

0 引言

农田为人类粮食安全提供了保证,划定永久性基本农田将保障中国农业发展的生产基线^[1],我国农田资源的大量流失引起了各级政府的关注^[2],近年来划定了基本农田保护区、粮食生产功能区和重要农产品生产保护区,对优质农田进行永久性保护。基本农田划定是一个复杂的过程^[3],虽2017年完成了全国1.03亿 hm^2 永久基本农田的划定工作,且较以往划定成果质量有明显提升^[4],但由于优质耕地选择标准较难统一,划定成果质量仍有改进空间。为此,需探讨相关划定方法,为实现数量、质量、生态“三位一体”耕地保护新格局,制定后续两区科学合理的划定标准,具有重要意义。

目前研究对象以基本农田、高标准基本农田、永久基本农田等为主;研究内容主要集中在从耕地质量、土地利用、空间布局等出发的农田保护、划定/分区、结果评价等方面;GIS是主要研究方法,也有层次分析法、局部空间自相关、LESA、TOPSIS、熵权法、理想点法等。在制定优质耕地入选为基本农田的标准时,基于耕地质量的评价体系占有较大比重。在评价指标体系中,耕地自然质量、区位条件最为常用^[5-11]。有关学者考虑耕地空间布局与社会发展因素,引入空间形态、社会经济等相应指标对指标体系进行完善^[12-14]。耕地兼有生态服务功能,生态环境与耕地稳定性指标也被相关学者关注^[15-17]。在研究尺度方面,多以市县级为对象,从耕地图斑角度出发进行分析^[18],从栅格网与像元粒度的分析则更加细致^[19-20]。鉴于耕地在空间上分布存在一定的规律性,文献[18,21-23]对基于局部空间自相关的方法进行了研究。

基本农田必定是耕地,但耕地不一定是基本农田,选择优质耕地的标准除了常用的耕地自然条件、区位条件等之外,可加入反映耕地利用情况、作物长势等情况的内因指标。本文以关联反映耕地利用状态与作物自身信息的 $\text{NDVI}_{\max-\min}$ 、 NDVI_{sd} 作为完善耕地质量的综合评价指标。以湖北省嘉鱼县为研究对象,将所有资料归一化至 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 栅格像元尺度,在采用局部自相关分析像元耕地质量综合指标值的基础上,对基本农田进行划定,以期为进一步完善耕地优选为基本农田的指标体系、提升县级基本农田划定综合质量评价至像元级提供相关参考。

1 研究区与数据来源

1.1 研究区概况

嘉鱼县位于湖北省东南部、长江中游南岸(图1),

地理坐标为 $113^{\circ}39' \sim 114^{\circ}22' \text{E}$, $29^{\circ}48' \sim 30^{\circ}19' \text{N}$ 。县域地处江汉冲积平原,属副热带湿润季风气候,日照充足,雨量充沛,土地肥沃,全县辖8个乡镇1个农场,人均土地 0.28 hm^2 ,人均耕地约 0.09 hm^2 。地势自西南丘岗向东北平原交迭过渡,总体海拔较低,大部分在 $19 \sim 50\text{ m}$ 之间,全县大体形成“一山三水四分田、两分道路与庄园”的地貌格局。

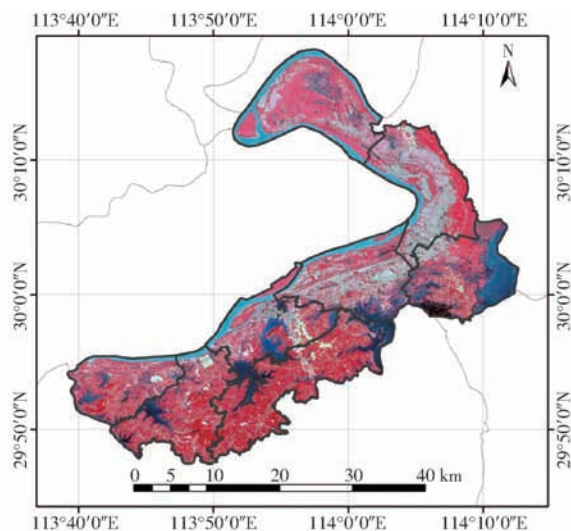


图1 研究区示意图

Fig. 1 Location of study area

1.2 数据来源与处理

数据主要包括国土部门提供的土地利用现状、土地利用规划、基本农田和土地利用分等定级等数据库资料;研究区域土地利用现状、市县乡村四级土地利用意见等调研资料;从地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)下载的研究区自然年内15期Landsat遥感影像,购买研究区GF1影像,研究区社会经济数据以及Google Earth影像数据;通过实地考察与调研进行资料分析判断与综合取舍,与已有相关数据、互联网收集资料等进行交叉验证,以检验数据来源的真实可靠性。将所有数据按照评价指标体系归类,在ArcGIS中将每个指标数据处理为一层栅格数据^[24]。

2 研究方法

2.1 耕地质量综合评价

2.1.1 评价单元与指标体系

县级是基本农田划定的落实单位,评价单元是划定成果构成的基本单元,其尺度与划定成果质量直接相关。在市县级尺度上的评价单元包括耕地图斑^[18,22]、不同尺度栅格单元^[19,24]等,本文以 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 栅格为基本评价单元。

《基本农田划定技术规程(TD/T1032—2011)》是基本农田划定的基本依据,结合区域农用地分等成果、区域基本农田划定细则等,现有指标体系基本

覆盖耕地自然质量、耕地立地条件、耕地利用、社会经济和生态环境条件等基本准则。以农田作物自身为参照,可以将现有指标体系归为外部因素,其反映了外界环境对划定成果的影响。所有的外部因素最终反映在农田自身方面,植被 NDVI 时序数据记录了不同时段作物自身的状况,文献[25-26]对 NDVI 时序数据与耕地利用状况进行了相关研究,同一耕地空间单元如在自然年内 NDVI 发生了变

化,说明对应的土地被实际利用过,NDVI 时序数据的统计变化特征可以辅助完善基本农田划定指标体系。本文选择自然年内像元 NDVI 时序数据中的最大值与最小值之差 $NDVI_{\max-\min}$ 间接反映耕地利用与作物自身的差异,用 NDVI 数据序列的方差 $NDVI_{sd}$ 间接反映耕地利用频率等的差异,并将其归入耕地景观生态条件,最后所建立的耕地质量综合评价指标体系如表 1 所示。

表 1 嘉鱼县耕地质量综合评价指标体系

Tab. 1 Comprehensive quality evaluation system of cultivated land in Jiayu County

准则层	指标层	赋值方法(0~100)	权重
耕地质量条件 Q	土壤有机质含量 Q_1	F_+	0.091
	表层土壤质地 Q_2	$P_R = 100, P_N = 90, P_S = 70$	0.079
	土壤酸碱度 Q_3	$F_{ph} + F_+$	0.042
	自然等指数 Q_4	F_+	0.096
耕地区位条件 L	与主干公路距离 L_1	$E_d + F_-$	0.072
	与农村道路距离 L_2	$E_d + F_-$	0.060
	与城镇建设用地距离 L_3	$E_d + F_-$	0.061
	与农村居民点距离 L_4	$E_d + F_-$	0.054
耕地生产条件 P	灌溉保证率 P_1	$P_1 = 100, P_2 = 90, P_3 = 70, P_4 = 50$	0.082
	排水条件 P_2	$P_1 = 100, P_2 = 90, P_3 = 70$	0.045
	与灌溉水域距离 P_3	$E_d + F_-$	0.054
	与不稳耕地距离 P_4	$E_d + F_+$	0.009
生态景观条件 E	$NDVI_{\max-\min}$ E_1	F_+	0.084
	$NDVI_{sd}$ E_2	F_+	0.050
	像元连片度 E_3	见 2.1.2 节	0.085
	与生态红线距离 E_4	$E_d + F_-$	0.036

注: $P_i = C$ 表示将 P 指标对应变量 i 赋值为 C , E_d 指欧氏距离。

2.1.2 评价指标赋值方法

对于距离连续型变量,首先运用 ArcGIS 中 Euclidean Distance 计算县域内每个像元到对应目标的距离,然后视距离指标与优选基本农田准则的正负相关性,将所有值都归一化在 $[0, 100]$ 以内。对于常规离散型指标, Q_1 、 Q_4 赋值计算公式为

$$F_+ = 100(X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

$$F_- = 100(X_{\max} - X_i) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

Q_2 、 P_1 、 P_2 参考《农用地质量分等规程》及已有文献如表 1 赋值, pH 值的赋值计算公式为^[27]

$$F_{ph}(x) =$$

$$\begin{cases} 0.1 & (x \leq a_1) \\ 0.1 + 0.9[0.5 + 0.5\sin(\pi/(a_2 - a_1)(x - (a_2 + a_1)/2))] & (a_1 < x \leq a_2) \\ 1.0 & (a_2 < x \leq a_3) \\ \text{Abs}(0.1 - 0.9(0.5 - 0.5\sin(\pi/(a_4 - a_3)(x - (a_3 + a_4)/2)))) & (a_3 < x \leq a_4) \\ 0.1 & (x > a_4) \end{cases} \quad (3)$$

其中 $a_1 \sim a_4$ 分别为 5.0、6.5、7.5 和 8.5, $\text{Abs}(\cdot)$ 为取绝对值函数。

像元连片度计算,针对每个像元,运用 Queen 空间关系邻接规则,判断其周边 8 个相邻方向上是否有基本农田像元,每发现一个相邻的基本农田像元,其像元连片度增加 1。单个像元的连片度最小为 0、最大为 8,数值越大,像元连片度越好。优先保留原有基本农田中的高等级耕地、集中连片耕地,要求划定后基本农田集中连片程度有所提高^[28]。以耕地图斑为基本单元进行研究划定时着重关注图斑的连片性,由于图斑的平均尺度一般相对像元(约 900 m^2)而言较大,划定精度不及像元尺度,所以本文以像元为基础,逐像元计算其连片程度,最后再运用式(1)将像元连片程度进行归一化。

2.1.3 网络层次分析法确定指标权重

耕地质量综合评价指标部分相互独立、部分存在关联,网络层次分析法(ANP)不但具有层次分析法(AHP)递阶式层次结构,而且还具有内部依赖性和反馈性的层次结构^[29]。采用 ANP 与专家打分法相结合的方式确定指标权重。依据 ANP 各指标权重求解过程,首先对指标关联情况进行分析,并构建判断矩阵;其次,将专家评分结果输入 SuperDecision

软件进行一致性检验,对不满足一致性检验的结果进行调整并反馈给专家再次征求意见;最后,输入评分结果、求解超级矩阵计算指标权重(表1)。

2.1.4 像元耕地质量综合分值计算

像元是本文的基本评价单元,采用多因素综合评价法对评价单元进行综合质量评分,分值越高耕地质量越好^[18],像元综合分值计算公式为

$$Z_i = \sum_{j=1}^n w_j g_{stan}(Z_{ij}) \quad (4)$$

式中 Z_i ——第 i 个像元的耕地质量综合得分

w_j ——第 j 个指标的权重

Z_{ij} ——第 i 个像元第 j 个指标的初始值

$g_{stan}(\cdot)$ ——标准化函数,保证像元在每个指标的得分都在 $[0,100]$ 之间

2.2 局部空间自相关分析

近年来,很多学者基于耕地质量指数采用局部空间自相关方法对耕地合理利用进行了相关研究^[21-23,30-31]。局部空间自相关指标(LISA)可以揭示空间参考单元与其邻近单元属性特征值之间的相似性或相关性,运用 LISA 指标中最常用的局部莫兰指数(Local Moran's I)和 Moran 散点图对耕地质量在空间上的聚集、异质或随机的分布特征进行研究,局部莫兰指数计算式为

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (5)$$

其中 $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (6)$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7)$$

式中 I_i ——单元 i 的局部莫兰指数

w_{ij} ——单元 i 与 j 之间的空间权重

n ——与单元 i 相邻接的空间单元数量

x_i, x_j ——单元 i, j 的耕地质量指数

\bar{x} ——变量平均值

σ^2 ——方差

空间权重矩阵是进行局部莫兰指数计算的关键,不同邻接规则得到的空间权重矩阵不同,Rook、Queen 是最常用的邻接规则。耕地的连片性在中心像元周边 8 个方向上均有体现,本文选择一阶 Queen 邻接规则构建空间权重矩阵。局部莫兰指数高值表明有相似变量值的面积单元在空间集聚,低值表明不相似变量值的面积单元在空间集聚,Moran 散点图将空间单元的集聚形式分 4 个象限进行可视化。第 1、3 象限分别为 HH 与 LL 正相关型,各自表示高值与高值、低值与低值集聚,第 2、4 象限分别为 LH、HL 负相关型,空间异质性主要区别是高值包含

低值异常和低值包含高值异常。

2.3 耕地利用与像元 NDVI 时序数据关联分析

NDVI 时序数据在反映植被生长季节性和年内特征方面具有良好的可信性^[32],文献[25-26]利用其对耕地、休耕地进行了相关研究,并取得了良好效果。同一像元由于自然年内不同种植季数的差异(如一年一季、一年两季、一年多季等)会在 NDVI 时序数据中有不同取值,NDVI 时序曲线峰值个数及其方差、最大最小值及其极差等都与耕地利用状况相关联。理论上曲线形态与种植收割相对应,裸地从作物种植开始到其生长最旺盛,从成熟到收获,对应曲线的不同取值,曲线方差越小说明耕地种植利用越平稳。极值和极差可反映一个种植收割期内不同作物间的横向生长状况。利用 $NDVI_{max-min}$ 、 $NDVI_{sd}$ 指标关联分析耕地利用状况,其计算公式为

$$NDVI_{max-min} = \max(NDVI_{series}) - \min(NDVI_{series}) \quad (8)$$

$$NDVI_{sd} = SD(NDVI_{series}) \quad (9)$$

式中 $NDVI_{series}$ ——NDVI 时序数据序列

其中, $\max(\cdot)$ 、 $\min(\cdot)$ 、 $SD(\cdot)$ 分别为针对 NDVI 时序序列取最大值、最小值和方差函数,数据越密集效果越好。

3 结果与分析

3.1 耕地综合质量指标处理结果与分析

本文像元面积约 900 m²,与耕地图斑相比其单元面积较小且均一,同时与研究区人均耕地 866 m² 也最为接近。基本农田的划定要求上图入库、落实到户,像元尺度可在更细粒度上落实基本农田的保护范围与保护责任。将评价耕地质量所需的 16 个指标在 ArcGIS 中各自处理成一幅 30 m × 30 m 的栅格数据,统一采用 WGS-1984-UTM-Zone-49N 投影坐标,并采用 Snap Raster 保证不同指标层单元匹配对齐。全县范围内所有指标进行归一化处理,范围在 $[0,100]$ 之间,结果如图 2 所示,运用式(4)可得各像元耕地质量综合指数。

由图 2 可知,数值离散型指标(如 Q_1 、 Q_2)由于原始评价基于耕地图斑而赋值,其局部区域内取值较为集中,除了边界更替处对像元区分有贡献之外,同质区域内部对像元区分无贡献。对于数值连续型指标(如 L_1 、 E_4),以像元为单元计算距离,可以在图斑内部进一步细化距离权重对划定结果的影响。相比以图斑为单元计算图斑质心与目标之间的距离、图斑内部处处同值而言,基于像元的分析可以使划定结果更趋合理,本文有 7 个指标与距离相关,占总指标的 43.75%。

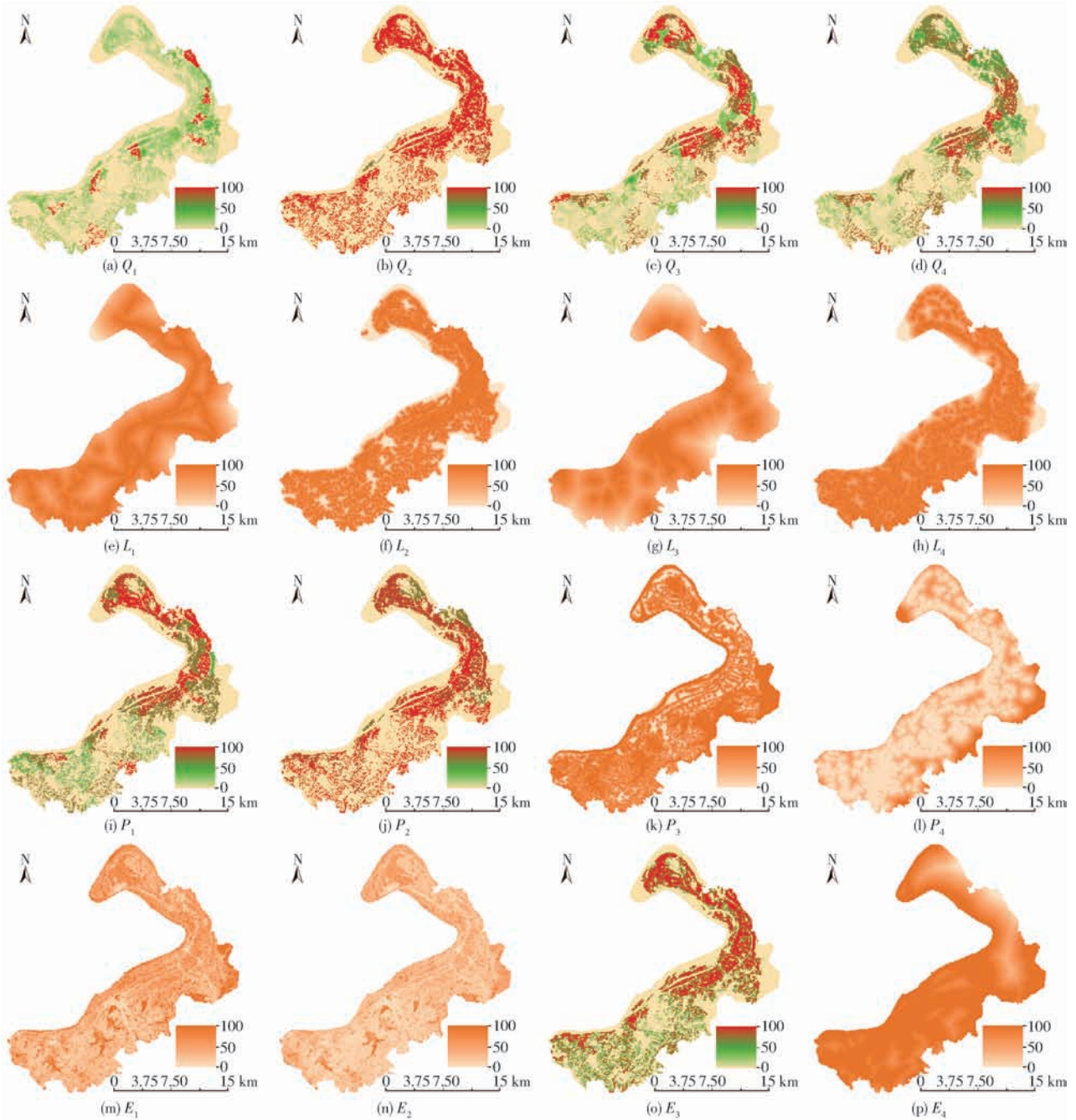


图2 像元尺度耕地质量评价指标栅格图

Fig.2 Raster maps of farmland quality evaluation indexes at pixel scale

3.2 局部空间自相关结果与分析

采用 GeoDa 与 ArcGIS 软件进行局部空间自相关分析与制图,首先将像元转为矢量点,并将像元耕地综合质量增加到点属性,其次将 GeoDa 计算结果保存到点属性中,最后将矢量点带属性转为与已有指标同样的栅格进行可视化分析。

全县耕地质量局部空间自相关指数为 0.864 5,由于耕地像元与非耕地像元的耕地综合质量评价得分呈两级分化趋势,所以 Moran 散点图(图 3a)呈两个团聚状,综合得分对耕地与非耕地具有良好的区分度。就耕地像元而言,其耕地质量局部空间自相关指数为 0.991 6,其空间聚集程度较全县更加明显

(图 3b)。

由图 3c、3d 可知,像元耕地质量空间关联集聚效果明显,在空间上,全县范围的 HH 型主要分布在东北平原区,包括牌洲湾镇、潘家湾镇、渡普镇,以及新街镇的大部分范围,该区交通便利、自然条件优越,是典型的水稻蔬菜基地^[33],LL 型在长江、斧头湖等水域区最为明显,县域西南部以丘陵岗地为主,长江沿线南门湖村、官洲村等 HH 相对明显外,主体区内其余类型交替相间,集聚规律不明显。由图 3d 可知,正相关类型与耕地质量关联情况更为明显,尤其体现在交通便利、地势平坦、土质肥沃的省道 S102 两侧,但牌洲湾镇北部及其与潘家湾镇连接处

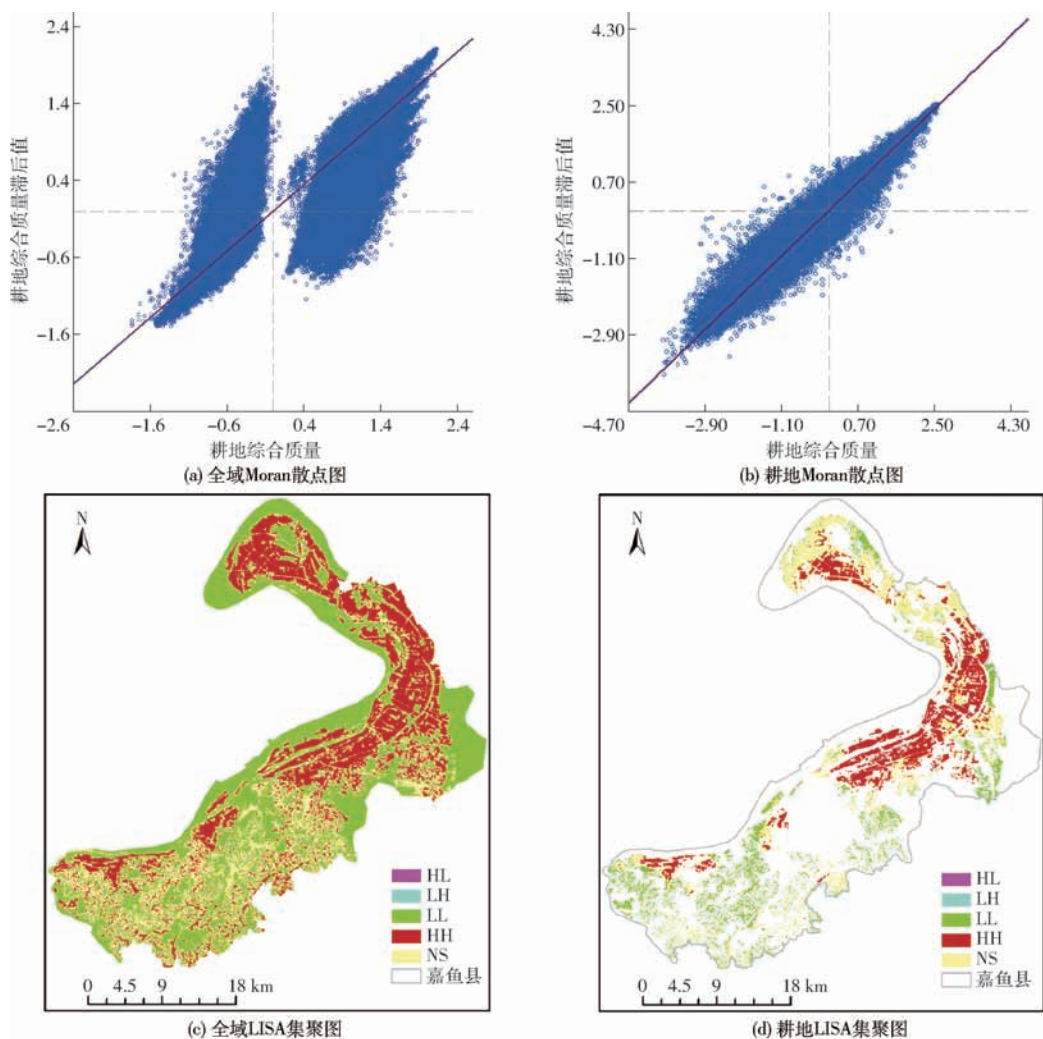


图3 像元耕地质量空间关联分析

Fig. 3 Spatial correlation analysis of farmland quality in pixel scale

相关性不明显,可能受洪涝灾害及近年来新起的呃湖工业园区的影响等所致。中部空白处是县城所在地,其西侧南门湖村是唯一保留的大面积耕地区,其HH型尤为明显。负相关类型集中体现在官桥镇、高铁岭镇以及陆溪镇的大部分耕地中,该区较东北部耕地分布较为零星、地势错落起伏、林地比重较大,像元耕地综合质量较低,LL型聚集与此相对应。

由表2可知,在全县范围内HH与LL正相关类型占72.5%,负相关类型共占1%,且其中90%主要分布在HH型周边、并与其形成了良好的连片分布。在耕地范围内,正相关类型占59.3%,说明耕地质量在空间上集聚特征明显。无显著相关的区域占比40.7%, P_1 、 E_3 与 Q_1 、 Q_3 等因子在此处高低值交替相间,空间关联错综复杂。对耕地范围内全县集聚情况分析可知,HH型与耕地重合度为81.3%,说明即使在耕地范围未知的情况下,若优先利用HH型进行基本农田划定,也可达到较好的效果,这对于利用遥感反演信息客观进行基本划定提供了良好的依据。

表2 局部空间自相关结果分析

Tab. 2 Analysis of local spatial autocorrelation results

类型	全县		耕地		联合分析	
	像元数	比例/%	像元数	比例/%	像元数	比例/%
HH型	318 946	28.2	115 153	32.9	285 216	81.3
LL型	501 582	44.3	92 645	26.4	0	0
LH型	9 963	0.9	78	0	0	0
HL型	1 193	0.1	100	0	463	0.1
NS型	300 595	26.5	142 678	40.7	64 975	18.6
总计	1 132 279	100	350 654	100	350 654	100

注: $P < 0.05$, 在95%置信度时统计结果; NS型表示非显著型。

3.3 基于像元局部相关性的基本农田划定结果与分析

局部空间自相关值 Moran's I 反映了中心像元与周边像元的相关程度,其在 $[-1, 1]$ 之间,越靠近1表示中心像元属性与周边像元同质属性正相关性越强,反之,越靠近-1表示其负相关越强,等于0时表示规律性较弱,呈空间随机分布状态。依据其相关关系,相关学者按HH型、LL型、LH型和HL型从宏观层面定性对耕地利用进行了人为划分区块并

分析建设时序的研究,如呈空间扩散效应的HH型为高质量耕地图斑被同样高质量图斑所包围,所以应优先划定、区域内禁止非农建设。本文从像元微观层面出发,利用相关属性值由大到小循环迭代依次选入单个像元,并将划定结果与空间集聚情况进行联合分析,具体实现过程利用Python完成。

全县划定任务为304 843个像元单位,由于在全县范围内土地利用类型复杂、质量评定指标多样,局部空间自相关莫兰指数理论上存在非耕地高于耕地的情况(如部分水域),所以,选择以下两种方法进行划定,方法1是在全县范围内按前述计算的像元耕地综合质量得分,由高到低依次选入像元确定划定区域;方法2是在耕地范围内按莫兰指数由大到小顺序依次选入像元确定划定区域,结果如图4所示,对比分析如表3所示。由图4a可知,不管是利用全县范围内耕地质量还是耕地范围内莫兰指数,其划定结果都保持了高度的一致性,二者重合像元数为259 040个,占划定任务的85.0%。结合耕地质量评价数据与Google高分影像叠置分析,基于耕地质量的划定,其优势主要在于划入的像元是现有指标下耕地区内质量最优的区域,且与二者共有

部分的连片性保持较好,基本在其周围分布,但其对丘陵区陇形地带等效果欠佳。基于莫兰指数的划定结果对县域西南部丘陵岗地区存在的条形、陇形相对碎片耕地的区域划定效果占优,但整体而言连片性不及前者。

由图4b与表3可知,两种方法都优先将空间上呈HH型聚集的99.97%像元划入了保护范围,这是划定成果的重点保护区域,区域内应该禁止非农建设^[21]。HH型中未划入的29个像元虽然耕地质量较好,但大部分呈独立像元形式存在,小部分仅一边与HH相连,极大地影响了片块景观布局形态,在相关项目占用耕地时,可以考虑优先利用。两种方法的差异主要在于对LL型和NS型的处理上,基于耕地综合质量的划定优先将质量得分较高但指数得分低、在空间上呈NS型聚集的部分划入,其主要分布在牌洲湾镇北部、暇湖工业园周边、渡普镇与斧头湖连接处等。基于莫兰指数的划定则优先考虑了指数得分,与前者差异在于质量得分相对前者较低,在空间上呈LL型。此部分主要分布在陆溪镇西部、高铁岭镇东侧,后者明显可见丘陵岗地内陇形耕地轮廓特征。由于基本农田的划定是一个复杂多层次



图4 划定结果

Fig. 4 Graph of demarcation results

表3 划定结果转移分析矩阵

Tab. 3 Analysis matrix of demarcation results

类型	LISA 像元	莫兰指数/耕地质量重合部分		莫兰指数独立部分		耕地质量独立部分		比例/%
		像元	比例/%	像元	比例/%	像元	比例/%	
HH型	115 153	115 124	32.9	0	0	29	0	32.9
LL型	92 645	46 958	13.4	45 661	13.0	26	0	26.4
LH型	78	0	0	0	0	78	0	0
HL型	100	0	0	0	0	100	0	0
NS型	142 670	96 958	27.7	142	0	45 570	13.0	40.7
小计	350 646	259 040	74.0	45 803	13.0	45 803	13.0	100

的过程^[34],二者差异部分也体现出了各自的优势,前者在片块连接性方面相对较好,后者在丘陵岗地区划定较为接近现实,二者空间上的直观分布,为最终决策提供了良好参考。

4 结论

(1)在县级空间尺度内耕地综合质量涉及距离类指标时,一般基于像元的评价较以耕地图斑为单元的评价更具良好的区分性,划入的基本农田理论上更趋合理,对人均、户均基本农田保护责任的落实也更加精确。但基于像元的相关分析涉及数据量较大,对运算资源的要求也相对较高。

(2)湖北省嘉鱼县耕地综合质量在空间上表现出较强的空间相关性,全域和耕地范围的局部空间

自相关指数分别为0.8645和0.9916。基于基本农田包含于耕地的先验知识,运用后者的划定更趋合理,其HH正相关类型主要集中在潘家湾镇、渡普镇等东北平原主导区,LL负相关类型主要集中在官桥镇、高铁岭镇等西南部丘陵地带,且分布较为零星。

(3)基于耕地质量与莫兰指数的划定结果在空间上保持了高度的一致性,两种方法都优先将空间上呈HH型聚集的99.97%的像元划入了保护区,前者在综合质量方面占优,但对丘陵区陇形地带等划定效果不及后者。基于像元的分析对于嘉鱼县的划定更为合理,NDVI等指标间接关联了土地利用状态与农作物自身信息,对耕地质量综合评价体系的完善有益。

参 考 文 献

- [1] CHENG Qianwen, JIANG Penghui, CAI Lingyan, et al. Delineation of a permanent basic farmland protection area around a city centre: case study of Changzhou City, China[J]. *Land Use Policy*, 2017, 60: 73–89.
- [2] LIU Xiaoping, LI Xia, TAN Zhangzhi, et al. Zoning farmland protection under spatial constraints by integrating remote sensing, GIS and artificial immune systems[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2011, 25(11): 1829–1848.
- [3] XIA Nan, WANG Yajun, XU Hao, et al. Demarcation of prime farmland protection areas around a metropolis based on high-resolution satellite imagery[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 37634.
- [4] 佚名. 中华人民共和国自然资源部永久基本农田划定成果新闻发布会[N]. http://www.mlr.gov.cn/wszb/2017/yjnt/jiabin/index_1205.htm, 2017.
- [5] 吴飞,濮励杰,许艳,等. 耕地入选基本农田评价与决策[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(12): 270–277.
WU Fei, PU Lijie, XU Yan, et al. Evaluation and decision-making for selecting cultivated land into prime farmland[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(12): 270–277. (in Chinese)
- [6] 张丹丹,张安明,张引,等. 基于GIS技术的基本农田划定研究——以重庆市黔江区金溪镇为例[J]. *中国农业资源与区划*, 2012, 33(6): 51–56.
ZHANG Dandan, ZHANG Anming, ZHANG Yin, et al. Research on the designation of basic farmland based on GIS[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2012, 33(6): 51–56. (in Chinese)
- [7] 汤思阳,雷国平,张慧,等. 基于耕地质量评价的基本农田划定方法[J]. *水土保持研究*, 2013, 20(1): 173–176.
TANG Siyang, LEI Guoping, ZHANG Hui, et al. Method of basic farmland demarcation based on the quality of cultivated land evaluation[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2013, 20(1): 173–176. (in Chinese)
- [8] 王晓燕,田永中,高凡,等. 基于GIS的永久性基本农田划定技术方法探讨——以重庆市涪陵区清溪镇为例[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2013, 38(3): 127–133.
WANG Xiaoyan, TIAN Yongzhong, GAO Fan, et al. On designation of the permanent basic farmland based on GIS with Qingxi Town of Fuling County, Chongqing as an example[J]. *Journal of Southwest China Normal University(Natural Science Edition)*, 2013, 38(3): 127–133. (in Chinese)
- [9] 刘霏珈,吴克宁,赵华甫,等. 基于耕地综合质量的基本农田布局优化——以河南省温县为例[J]. *中国土地科学*, 2015, 29(2): 54–59.
LIU Peijia, WU Kening, ZHAO Huaifu, et al. Spatial allocation optimization of prime farmland based on cultivated land comprehensive quality: a case study of Wen County, Henan Province[J]. *China Land Sciences*, 2015, 29(2): 54–59. (in Chinese)
- [10] 杨建宇,徐凡,刘光成,等. 基于TOPSIS算法的永久基本农田划定方法[J/OL]. *农业机械学报*, 2017, 48(8): 133–139.
YANG Jianyu, XU Fan, LIU Guangcheng, et al. Demarcation method of permanent prime cultivated land based on TOPSIS[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(8): 133–139. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170814&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.08.014. (in Chinese)
- [11] 钱凤魁,王卫雯,张靖野,等. 近30a基本农田领域研究态势的可视化分析[J]. *自然资源学报*, 2017, 32(12): 2160–2170.
QIAN Fengkui, WANG Weiwen, ZHANG Jingye, et al. Visual analysis of research situation in the basic farmland field from

- 1986 to 2015[J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(12): 2160–2170. (in Chinese)
- [12] 侯淑涛,王语檬,张琪,等. 基于耕地质量评价的县域基本农田分区研究[J]. *东北农业大学学报*, 2014, 45(10): 107–113.
HOU Shutao, WANG Yumeng, ZHANG Qi, et al. Based on the cultivated land quality evaluation of county partition research of basic farmland[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2014, 45(10): 107–113. (in Chinese)
- [13] 李婷,林爱文,高云,等. 高标准基本农田建设分区研究——以湖北省赤壁市为例[J]. *江苏农业科学*, 2015, 43(2): 396–399.
LI Ting, LIN Aiwen, GAO Yun, et al. Research on construction partition of high-standard prime farmland: a case study in Chibi City[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2015, 43(2): 396–399. (in Chinese)
- [14] 杨成乐,张永福,雷亚君,等. 基于耕地质量综合评价的耕地选入基本农田分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2017, 35(6): 252–260.
YANG Chengle, ZHANG Yongfu, LEI Yajun, et al. Basic cultivated land selection based on comprehensive evaluation of cultivated land quality[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2017, 35(6): 252–260. (in Chinese)
- [15] 慕正隆,石培基,刘春芳,等. 基于形态优化和边界识别的基本农田保护区研究[J]. *资源科学*, 2018, 40(1): 22–31.
MU Zhenglong, SHI Peiji, LIU Chunfang, et al. Basic farmland protection area based on morphological optimization and boundary identification[J]. *Resources Science*, 2018, 40(1): 22–31. (in Chinese)
- [16] 张雅芹,闫弘文,赵贤锋,等. 半岛丘陵区城市周边永久基本农田划定研究——以山东省海阳市为例[J]. *中国生态农业学报*, 2018, 26(7): 1080–1088.
ZHANG Yaqin, YAN Hongwen, ZHAO Xianfeng, et al. Permanent prime farmland demarcation in city periphery in peninsula hill areas: a case of Haiyang City in Shandong Province[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2018, 26(7): 1080–1088. (in Chinese)
- [17] 姜广辉,张瑞娟,张翠玉,等. 基于空间集聚格局和边界修正的基本农田保护区划定方法[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(23): 222–229.
JIANG Guanghui, ZHANG Ruijuan, ZHANG Cuiyu, et al. Approach of land use zone for capital farmland protection based on spatial agglomeration pattern and boundaries modification[J]. *Transactions of the CSAE*, 2015, 31(23): 222–229. (in Chinese)
- [18] 熊昌盛,谭荣,岳文泽. 基于局部空间自相关的高标准基本农田建设分区[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(22): 276–284.
XIONG Changsheng, TAN Rong, YUE Wenze. Zoning of high standard farmland construction based on local indicators of spatial association[J]. *Transactions of the CSAE*, 2015, 31(22): 276–284. (in Chinese)
- [19] 李超,杜昭阳,陈召亚,等. 基于栅格数据的高标准基本农田综合评价及建设时序研究——以河北省卢龙县为例[J]. *农业现代化研究*, 2015, 36(1): 111–117.
LI Chao, DU Zhaoyang, CHEN Zhaoya, et al. Evaluating and planning of high quality basic farmland construction based on raster data: a case study of Lulong County, Hebei Province[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2015, 36(1): 111–117. (in Chinese)
- [20] 李凯,赵华甫,吴克宁. 基于GIS网格技术的城镇周边永久基本农田划定研究——以江苏宜兴市为例[J]. *中国农业资源与区划*, 2017, 38(5): 21–30.
LI Kai, ZHAO Huafu, WU Kening. Permanent prime farmland demarcation around the urban areas based on GIS grid[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2017, 38(5): 21–30. (in Chinese)
- [21] 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.
WEI Shichuan, XIONG Changsheng, LUAN Qiaolin, et al. Protection zoning of arable land quality index based on local spatial autocorrelation[J]. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(18): 249–256. (in Chinese)
- [22] 杨建宇,杜贞容,杜振博,等. 基于耕地质量评价和局部空间自相关的高标准农田划定[J/OL]. *农业机械学报*, 2017, 48(6): 109–115.
YANG Jianyu, DU Zhenrong, DU Zhenbo, et al. Well-facilitated capital farmland assignment based on land quality evaluation and LISA[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(6): 109–115. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170614&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.06.014. (in Chinese)
- [23] 陈黎黎,宋戈,邹朝晖,等. 基于改进局部空间自相关分析的萝北县耕地保护分区[J]. *资源科学*, 2016, 38(10): 1871–1882.
CHEN Lili, SONG Ge, ZOU Chaohui, et al. Zoning of protected cultivated land based on improved local indicators of spatial association[J]. *Resources Science*, 2016, 38(10): 1871–1882. (in Chinese)
- [24] ZHANG Ran, LI Jing, DU Qingyun, et al. Basic farmland zoning and protection under spatial constraints with a particle swarm optimisation multiobjective decision model: a case study of Yicheng, China[J]. *Environment & Planning B Planning & Design*, 2015, 42(6): 1098–1123.

- [13] 李茉,姜瑶,郭萍,等. 考虑不同层次利益主体的灌溉水资源优化配置[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(5): 199–207.
LI Mo, JIANG Yao, GUO Ping, et al. Irrigation water optimal allocation considering stakeholders of different levels [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(5): 199–207. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170525&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.05.025. (in Chinese)
- [14] GUO P, WANG X, ZHU H, et al. Inexact fuzzy chance-constrained nonlinear programming approach for crop water allocation under precipitation variation and sustainable development[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2014, 140(9): 5014003.
- [15] 张先起,梁川. 基于熵权的模糊物元模型在水质综合评价中的应用[J]. 水利学报, 2005, 36(9): 1057–1061.
ZHANG Xianqi, LIANG Chuan. Application of fuzzy matter-element model based on coefficients of entropy in comprehensive evaluation of water quality[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(9): 1057–1061. (in Chinese)
- [16] SHANG S, MAO X. Application of a simulation based optimization model for winter wheat irrigation scheduling in North China [J]. Agricultural Water Management, 2006, 85(3): 314–322.
- [17] 霍军军,尚松浩. 基于模拟技术及遗传算法的作物灌溉制度优化方法[J]. 农业工程学报, 2007, 23(4): 23–28.
HUO Junjun, SHANG Songhao. Optimization method for crop irrigation scheduling based on simulation technique and genetic algorithms [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(4): 23–28. (in Chinese)
- [18] SAFAVI H, DARZI F, MARINO M. Simulation-optimization modeling of conjunctive use of surface water and groundwater [J]. Water Resources Management, 2010, 24(10): 1965–1988.
- [19] NOORY H, van der ZEE S, LIAGHAT A, et al. Distributed agro-hydrological modeling with SWAP to improve water and salt management of the Voshmgir Irrigation and Drainage Network in Northern Iran [J]. Agricultural Water Management, 2011, 98(6): 1062–1070.
- [20] BOULOS P, WU Z, ORR C, et al. Optimal pump operation of water distribution systems using genetic algorithms [Z]. Denver: American Water Works Association, 2001.
- [21] 侍翰生,程吉林,方红远,等. 基于动态规划与模拟退火算法的河-湖-梯级泵站系统水资源优化配置研究[J]. 水利学报, 2013, 44(1): 91–96.
SHI Hansheng, CHENG Jilin, FANG Hongyuan, et al. Research on optimal water resources allocation of river-lake-pumping stations system by dynamic programming and simulated annealing approach [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(1): 91–96. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 268 页)

- [25] MAXWELL S, SYLVESTER K. Identification of “ever-cropped” land (1984–2010) using Landsat annual maximum NDVI image composites: Southwestern Kansas case study[J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 121: 186–195.
- [26] ESTEL S, KUEMMERLE T, ALCÁNTARA C, et al. Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series[J]. Remote Sensing of Environment, 2015, 163: 312–325.
- [27] 聂艳. 耕地质量评价的模型方法与信息系统集成及应用研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2005.  
NIE Yan. Research on models, methods and information system integration and application of cropland quality evaluation[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- [28] 中华人民共和国国土资源部. 基本农田划定技术规程(TD/T1032—2011)[S]. 2011.
- [29] 孙铭忆. 层次分析法(AHP)与网络层次分析法(ANP)的比较[J]. 中外企业家, 2014(10): 67–68.
- [30] 郭敏,李淑杰. 基于局部空间自相关的耕地质量空间集聚性和保护分区——以吉林省九台市为例[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(3): 206–210.
- [31] 杨建宇,张欣,徐凡,等. 基于TOPSIS和局部空间自相关的永久基本农田划定方法[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(4): 172–180.  
YANG Jianyu, ZHANG Xin, XU Fan, et al. Designation method of permanent basic farmland based on TOPSIS and local spatial autocorrelation[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(4): 172–180. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20180420&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20180420&flag=1). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2018.04.020. (in Chinese)
- [32] HUETE A, DIDAN K, MIURA T, et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83(1): 195–213.
- [33] 耿协洲. 嘉鱼县蔬菜产业发展的现状、问题及对策[J]. 长江蔬菜, 2014(16): 70–74.  
GENG Xiezhou. Current situation, problems and solutions for vegetable industry development in Jiayu County [J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2014(16): 70–74. (in Chinese)
- [34] HE Jianhua, GUAN Xiaodong. Modeling approach for farmland preservation zoning considering spatial heterogeneity: a case study of E-Zhou City, China[J]. Sustainability, 2016, 8(10): 1052.