

河北省县域农业机械化水平的 分异格局及其影响因素

唐林楠^{1,2,3,4} 吴彦澎⁴ 刘玉^{1,2,3,4,†} 唐秀美^{1,2,3,4}

1. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097; 2. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097;
3. 农业部农业信息技术重点实验室, 北京 100097; 4. 北京市农林科学院, 北京 100097;
† 通信作者, E-mail: liuyu@nercita.org.cn

摘要 借助TOPSIS模型、空间探索性数据分析和地理加权回归模型等方法, 系统分析河北省县域农业机械化水平的空间特征、关联水平及其影响因素, 以期为因地制宜地推进农业机械化发展提供支撑。结果表明: 1) 2013年河北省县域农业机械化水平在空间上呈现明显的方向性和地形分布差异: 中南部偏东平原地区的农业机械化水平较高, 北部偏西地区次之, 西部丘陵区发展滞后; 2) 县域农业机械化发展水平存在较强的空间自相关特性, 区域趋同性比较明显, 河北南部以高高集聚(HH)类型居多, 北部以低低集聚(LL)类型居多; 3) 与OLS模型相比, GWR模型在揭示农业机械化水平空间非平稳性方面具有优势。在研究所选的自变量中, 地形因子对县域农业机械化的影响较大且均为正向, 耕地经营规模和种植结构对农业机械化水平的影响有正有负, 但整体上为正。建议在高原县域采取适度增加耕地经营规模, 调整作物种植比例等措施提升农业机械化发展水平, 在平原县域通过改变其他经济因素来提高发展水平。

关键词 农业机械化水平; 空间分异格局; 影响因素; 地理加权回归模型; 河北省
中图分类号 F323

Spatial Differentiation and Its Driving Factors of Agricultural Mechanization Level: A Case Study of Hebei Province

TANG Linnan^{1,2,3,4}, WU Yanpeng⁴, LIU Yu^{1,2,3,4,†}, TANG Xiumei^{1,2,3,4}

1. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097; 2. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097; 3. Key Laboratory of Agri-informatics, Ministry of Agriculture, Beijing 100097; 4. Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097;
† Corresponding author, E-mail: liuyu@nercita.org.cn

Abstract This paper made a comprehensive discussion about the spatial differentiation, evolution trend, correlation and driving factors of the regional agricultural mechanization level by using TOPSIS method, trend surface analysis, ESDA and GWR model. The results show that Hebei county's agricultural mechanization level presents obvious spatial directivity and topographical distribution differences in 2013. The agricultural mechanization level develops better in central southeast plain, followed by the northwest plateau, and hilly region relatively worse. There exists a significant spatial autocorrelation characteristic and regional convergence phenomenon. The southern area of Hebei major in HH type, and northern area major in LL type. GWR shows great superiority in explaining the spatial non-stationary of elements, and reveals both positive and negative correlations between farmland scale and plant structure (except for terrain), which is different from OLS result that all the factors are positive. In the future the government can consider such measures as enhancing the cultivated land scale and proportion of planting structure in the plateau area, considering other factors in the plain area to promote

county's agricultural mechanization level.

Key words agricultural mechanization level; spatial differentiation pattern; driving factor; GWR; Hebei Province

农业机械化是衡量一个国家农业现代化程度的重要标志^[1]。现阶段乃至未来一段时间内,积极推进农业机械化是提高农业劳动生产率、促进农民增收增收和实现农业现代化的必由之路^[2-4]。从20世纪50年代初我国推行农业机械化至今,学者们从不同角度研究农业机械化水平的内涵与评价指标^[3, 5]、对农业生产的贡献测度^[6-7]、区域发展差异及阶段划分^[8-9]、对影响因素的识别^[10-12]以及农机化发展方向^[2, 13-14]等。这些研究成果为认识、理解及提升农业机械化水平提供了理论依据和方法借鉴。但是,现有研究比较关注农业机械化水平的影响因素、贡献率测度等,揭示其空间分异特征的研究稍显滞后,在探讨成因机制时也常常忽视空间位置的影响。农业机械化水平是一个动态变化的时空过程,其发展受区域自然本底及社会经济状况的影响^[12],在空间上呈现明显的地域分异特征。如果忽略该特性,则不利于因地制宜地推进农业机械化。因此,揭示农业机械化水平的空间分异特征及其规律,探讨其成因,并针对性地提出农业机械化的发展方向、重点和措施,将是未来农村经济领域亟待探讨的重要课题^[15]。

河北省的农业资源比较丰富,农业区位优势明显,在京津冀地区农产品安全供应中发挥着关键作用^[16]。新时期,区域协同化、农业结构优化以及率先推进“四化”同步的发展战略^[17-19]对河北省农业机械化发展提出新要求。基于此,本研究尝试构建河北省县域农业机械化水平评价指标体系,系统分析农业机械化水平的空间差异性,并借助地理加权回归模型识别其主要影响因素,以期为促进区域农业现代化发展提供参考。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 农业机械化水平表征指标选取

适宜的评价指标体系是科学、客观和准确评价农业机械化水平的前提。本研究中农业机械化水平指以种植业为主的机械化作业水平,具体指机械耕种、播种、收获等过程中涉及的农业机械作业水平及装备规模等^[20]。根据现有研究^[15, 21-22]以及《河北农村统计年鉴 2014》相关指标的计算内涵^[23],我们在考虑翻耕、播种、收获机械化程度等常用指

标的基础上,辅以村拥有大中型农用拖拉机台数、村拥有小型农用拖拉机台数以及农业机械投入程度等指标,从农业机械化的规模及保障水平两方面综合测度河北省县域农业机械化水平。基于指标独立性原则,我们预先对指标进行共线性检验,结果表明,翻耕机械化程度、播种机械化程度、收获机械化程度、村拥有大中型农用拖拉机台数、村拥有小型农用拖拉机台数以及农业机械投入程度的方差膨胀因子统计量(VIF)分别为1.219, 3.142, 3.377, 1.596, 1.575和1.128。当VIF≤10时,即表明指标间不存在明显的共线性^[24],故采用上述6项指标来表征农业机械化水平。

1.2 TOPSIS 模型

TOPSIS 模型又称逼近理想点排序法,其核心思想是通过测算评价单元与“正理想解”和“负理想解”的接近程度,进行各评价单元的优劣排序。由于该模型能够有效地避免简单加权中的“线性叠加”思想,能更准确地表达数据本身的意义,故广泛应用于企业绩效考核、工程项目决策等领域。本研究借助该方法,计算农业机械化指数 C_i ,用来度量县域农业机械化水平, C_i 值越接近1,农业机械化水平越高。步骤包括指标标准化、权重确定和决策矩阵构造、正(负)理想解确定、评价单元距离正(负)理想解的接近程度测算以及贴近度计算,计算方法及公式参考文献[25-26]。在权重确定过程中,基于主客观赋权法结合的思想^[25],分别借助熵权法和层次分析法计算权重,并取二者均值作为最终权重(表1)。

1.3 空间探索性数据分析方法和地理加权回归模型

空间探索性数据分析方法是以空间关联测度为核心,通过对现象空间分布格局的可视化,揭示地理事物间的空间关联动态^[27],其中全局 Moran's I 和局部 Moran's I 指数^[28]较为常用。地理加权回归模型在传统回归分析的基础上引入空间自相关权重的局部分析模型,其估计的参数随地理空间位置的变化而变化^[29],能够反映参数的空间非平稳性,从而使分析结果可以更客观地反映空间数据的真实特征。因此,本研究通过计算全局 Moran's I 和局

表 1 县域农业机械化水平表征指标及权重
Table 1 Indicators and weights of agricultural mechanization level at county level

表征指标	权重	计算方法	指标效应
翻耕机械化程度	0.215	实际机耕面积/总播种面积	+
播种机械化程度	0.165	实际机播面积/总播种面积	+
收获机械化程度	0.158	实际机收面积/总播种面积	+
村拥有大中型拖拉机台数	0.135	大中型拖拉机台数/村委会个数	+
村拥有小型拖拉机台数	0.181	小型拖拉机台数/村委会个数	+
农业机械投入程度	0.147	农业机械总动力/耕地面积	+

说明: 由于《河北农村统计年鉴 2014》缺乏最新耕地面积统计数据, 本文在具体计算时, 以 2008 年常用耕地面积替代。

部 Moran's I 指数来识别区域农业机械化水平的空间关联性; 采用地理加权回归模型, 揭示县域农业机械化水平的影响因素, 计算方法见文献[27-29]。

1.4 数据来源及处理

本研究重点揭示 2013 年河北省县域农业机械化水平的分异格局及主要影响因素。为了保持空间的连续性, 对部分县市做合并处理, 并将市辖区作为独立的研究单元, 最终确定为 149 个单元。实际机耕面积、实际机播面积、实际机收面积、大中型拖拉机台数、村委会个数、人均 GDP 和农民人均纯收入等数据来自《河北农村统计年鉴 2014》和《河北经济年鉴 2014》, DEM 数据来自中国科学院资源应用环境数据库。

基于 TOPSIS 模型计算县域农业机械化指数 C_i , 并借助 SPSS19.0 软件的聚类功能划定农业机械化水平级别, 同时在 ArcGIS 10.2 平台上进行空间可视化; 利用地统计模块(Geostatistical Analyst)的趋势分析工具(Trend Analysis Tool), 将 C_i 作为高度属性值(Z 值), 采用三次多项式拟合生成三维透视图, 并旋转至合理的透视角度, 对县域农业机械化水平的分异格局及趋势进行三维通视分析。

2 县域农业机械化水平空间分异格局

2.1 农业机械化水平的分异特征

河北省县域农业机械化指数 C_i 介于 0.116~0.736 之间, 区间值为 0.620, 偏度系数为 -0.609, 峰度系数为 1.403, 变异系数为 0.225, 表明河北省县域农业机械化指数总体上呈左偏态分布, 形态上缺乏对称性, 在空间分布及结构合理性方面存在较大的地域差异。农业机械化指数与正、负理想解的距离在二维空间中相对集中在 0.145~0.347 之间, 说明全省 149 个县域的农业机械化水平变异程度相对较大,

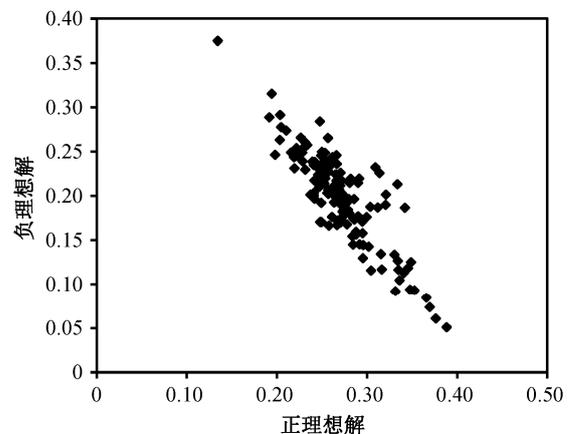
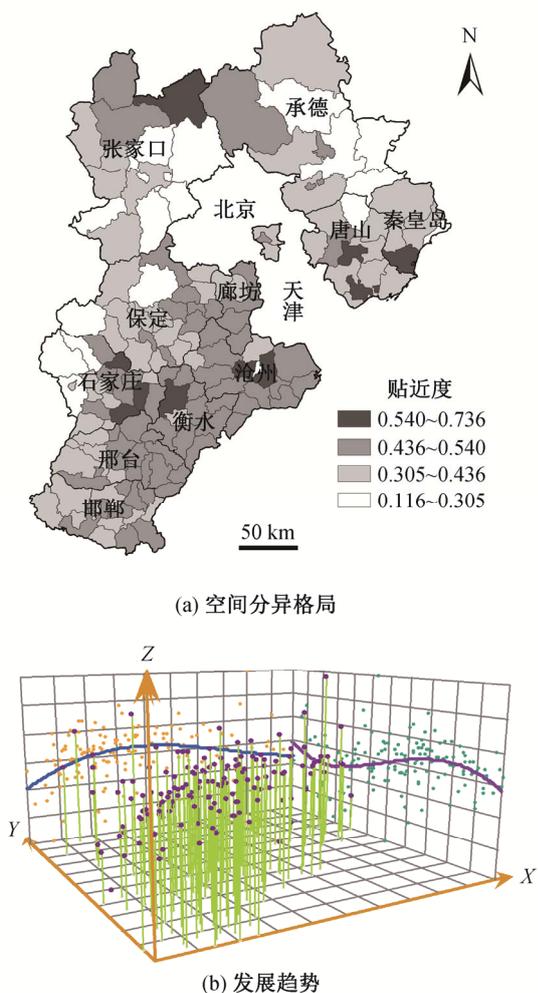


图 1 县域农业机械化指数与正、负理想解的距离的二维空间分布

Fig. 1 Two-dimension spatial distribution of the distance between agricultural mechanization index and the positive and negative ideal solution

且多数县域呈现集簇式分布(图 1)。从各项指标的频率分布特征看, 播种机械化程度指标和收获机械化程度指标偏度系数分别为 -0.982 和 -0.702, 左偏态分布特征明显, 加之权值较大, 在一定程度上反映了农业机械化水平的分布特征。同时, 播种机械化程度、收获机械化程度和村拥有小型农用拖拉机台数与农业机械化指数的 Pearson 值较大, 分别为 0.821, 0.753 和 0.567, 表明县域播种、收获机械化程度越高, 每村拥有小型农用拖拉机台数越多, 农业机械化水平越高。

从图 2(a)可知, 2013 年河北省县域农业机械化水平在空间上呈现明显的方向性和地形分布差异。农业机械化中高水平(0.436~0.540)以及中低水平(0.305~0.436)的县域共计 123 个, 占全省县域总数的 82.6%, 主要分布在河北省南部平原地区。中高水平县域主要分布在河北中南部偏东平原地区, 中低



(b)中紫色圆点为县域农业机械化指数 C_i ，黄色和绿色圆点分别为属性 Z 值在 ZX 面和 YZ 面的投影，灰绿色直线长度表示县域农业机械化指数值，蓝色和紫色曲线分别为农业机械化水平在东西走向和南北走向的投影趋势。X 指正东向，Y 指正北向

图 2 县域农业机械化水平的分异格局及趋势
Fig. 2 Spatial pattern and trend of agricultural mechanization level

水平县域则沿着中高水平县域外围分布，部分零星分布在秦皇岛等滨海地区。相对而言，高水平(0.540~0.736)和低水平(0.116~0.305)县域单元数目较少。高水平县域主要分布在石家庄等平原地区，低水平县域集中分布在北部张家口、承德两市以及西部丘陵地区。

从图 2(b)可知，县域农业机械化指数在东西方向上呈现倒“U”形分布，即由西部阜平县(0.116)、平山县(0.269)等县域逐渐过渡到中部偏东地区的深州市(0.619)、沧县(0.576)等县域，进而到东北部的承德等市。保定、廊坊、沧州等中部偏东地区的县域农业机械化水平最高，分布在倒“U”形谷峰位置

上。县域农业机械化指数在南北方向上形成被拉平的“S”形曲线的变化形态，由北部崇礼县(0.166)、隆化县(0.237)等县域不断向中部集中，达到一定峰值后，随着距离的增加呈下降趋势。综合而言，县域农业机械化水平受农业生产条件的影响，呈现较明显的“中南部偏东平原地区发展领先，北部偏西地区坝上高原次之，西部丘陵带发展相对受限”的分布态势。

2.2 县域农业机械化水平的空间关联性

借助 GeoDA095i 软件，计算得出 2013 年河北省县域农业机械化指数的全局 Moran's I 指数为 0.288，通过 5% 显著性水平的统计性检验，表明全省农业机械化水平存在空间集聚性。以县域农业机械化指数为横坐标，指数空间滞后值为纵坐标，散点横纵坐标的平均值为中心坐标，获取县域农业机械化水平的散点类型，并在 ArcGIS 中将各类型的分布进行空间可视化表达，得到县域农业机械化水平的空间聚集类型分布图(图 3(a))。其中，HH 类型(LL 类型)表示该县域与周边县域农业机械化发展水平呈现同质性关联(发展水平均较高或较低)，空间差异程度较小；HL 类型(LH 类型)表示该区域农业机械化水平较高(低)，而周边较低(高)，空间差异程度较大。HH 类型和 LL 类型县域单元数占全省县域总数的比例较高，分别为 38.26% 和 27.52%，表明农业机械化水平呈现明显的同质关联特征；县域农业机械化水平的空间关联性亦存在明显的南北差异，河北省南部地区以 HH 类型分布居多，北部地区则以 LL 类型分布为主。

在 5% 的显著性水平下绘制 LISA 图(图 3(b))，进一步识别农业机械化水平的局部关联特征。可以看出，显著高高(Sig.HH)单元共计 14 个，集中在沧州、衡水等市；显著低低(Sig.LL)单元共计 14 个，集中位于张家口、承德两市的坝上高原地区；显著高低(Sig.HL)和显著低高(Sig.LH)单元数目相对较少，分别分布在衡水市区和唐山市内。

3 县域农业机械化水平空间分异的成因机制

县域农业机械化水平存在空间自相关性，表明普通最小二乘法(OLS)模型不适用于农业机械化水平分异的成因分析。因此，本文以 2013 年县域农业机械化指数为因变量建立 GWR 模型，采用高斯加

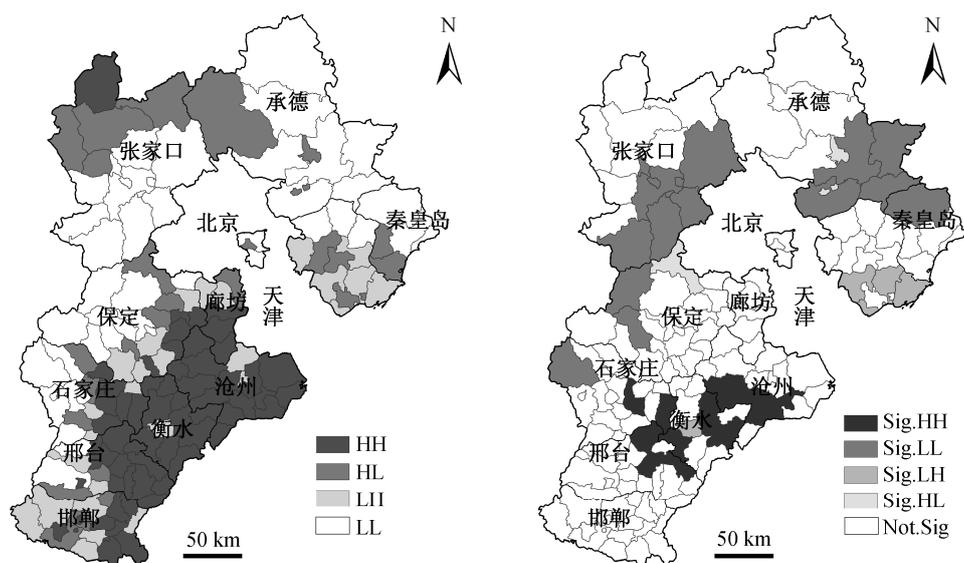


图3 2013年县域农业机械化水平空间集聚类型图及LISA空间集聚图

Fig. 3 The spatial agglomeration type map and LISA cluster map for agricultural mechanization level in 2013

权模型和“Optimization to Minimize AICc”的带宽方法进行局域估计。参考相关文献并综合考虑地区发展实际情况、指标可获取性等因素，初步选取人均GDP、农民人均纯收入、耕地经营规模、农村劳动力富裕程度、劳动力质量、种植结构、产业结构、农林牧渔从业人员比重以及地形条件等9项指标作为自变量。为了避免指标多重共线性的影响，预先将指标标准化，并借助逐步回归筛选有效因子，最终确定种植结构(三大主要粮食作物占全年农作物播种面积比重(%))、耕地经营规模(户均耕地面积

($\text{hm}^2/\text{户}$)和地形条件(坡度 15° 以下土地面积比重(%))为参选因子。同时，与OLS模型进行对比，以期全面反映各因素对县域农业机械化水平的影响程度。

3.1 GWR与OLS回归模型比较

通常而言， R^2 和 R_{adj}^2 是对定量评估模型性能的有效参数，其值在0~1范围内变化，值越大表示拟合效果越好。与OLS模型相比，地理加权回归模型的 R^2 达到0.536，说明模型所选变量能够解释区域农业机械化水平分异的50%以上，解释力提高了10个百分点(表2)。从表3可知，GWR模型中农业机

表2 县域农业机械化水平的OLS和GWR模型估计结果

Table 2 OLS and GWR model estimation results of county agricultural mechanization level

变量	OLS模型中的标准化回归系数	GWR模型中的回归系数				
		最小值	1/4分位数	中位数	3/4分位数	最大值
截距	—	0.039	0.109	0.135	0.169	0.299
种植结构	0.202***	-0.046	0.097	0.136	0.183	0.286
耕地经营规模	0.245***	-0.067	0.090	0.113	0.141	0.331
地形条件	0.258***	0.088	0.131	0.173	0.216	0.259
局部 R^2		0.145~0.708				
R^2	0.436	0.536				
R_{adj}^2	0.425	0.460				
AICc	-211.045	-352.480				

注: *** $p < 0.001$ 。

表 3 GWR 和 OLS 的空间自相关分析结果
Table 3 Spatial autocorrelation analysis results of the GWR and OLS model

参数	C	估计值		残差	
		GWR	OLS	GWR	OLS
Moran's <i>I</i>	0.288	0.581	0.628	-0.051	-0.019
<i>P</i>	0	0	0	0.407	0.811
<i>z</i>	5.707	11.122	11.969	-0.828	-0.239
<i>E(I)</i>	-0.007	-0.007	-0.007	-0.007	-0.007

机械化指数与估计值的Moran's *I* 指数差异比 OLS 模型的小, 且残差不存在空间自相关。这个结果说明 GWR 模型可以比 OLS 模型更好地解释县域农业机械化指数与影响因素变量的空间异质性, 但农业机械化水平的拟合效果尚有较大提升空间。

GWR 模型是局部模型, 每个样本数据点都有一组局部的参数估计。GWR 模型下, 河北省各县各控制变量的参数估计结果和回归系数均不相同, 说明地理空间不平稳性的存在。从图 4 可知, 模型决定系数 R^2 在 0.146~0.708 之间变化, 整体上呈现“西高东低, 中部地区相对均衡”的分异格局。张家口、保定和石家庄市所辖县域的 R^2 较高且以保定为中心, 表明这些地区能较好地被模拟; 承德、唐山、廊坊、沧州、秦皇岛等市县域 R^2 较低, 尤其是承德、沧州市大部分县域的 R^2 不足 0.2, 表明这些区域的拟合优度较差, 县域农业机械化水平还受模型外其他因素的影响。

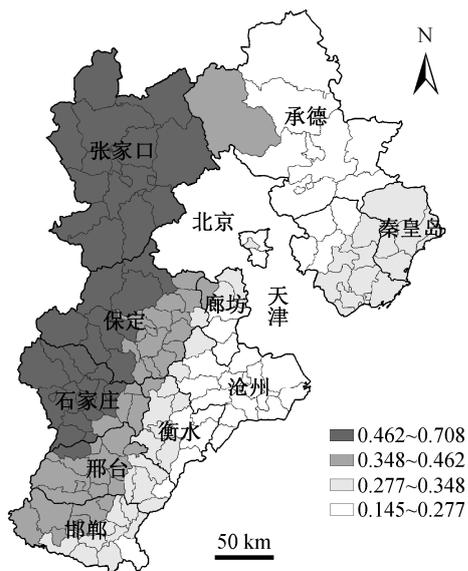


图 4 GWR 模型拟合系数 R^2 的空间分布图
Fig. 4 Spatial distribution map of R^2 in the GWR model

3.2 关键影响因子的格局分析

从表 3 可知, 自变量对县域农业机械化水平的影响大小依次为: 地形条件>耕地经营规模>种植结构, 总体上均为正向促进作用。结合图 5, 进一步分析局部农业机械化水平的影响因子。

地形条件对全省均为正向促进作用, 在空间上以涞水-定兴-容城-孟村-沧县为分界线, 分界线以北地区的回归系数从西向东逐渐升高, 分界线以南地区的回归系数以石家庄全市、衡水和邢台部分县为中心逐渐向外, 并呈环状减弱的分布态势(图 5(a))。地形条件对秦皇岛、石家庄和邢台市等所辖县域的影响最大, 回归系数介于 0.214~0.259 之间, 表明在不考虑其他因素的作用下, 当坡度 15° 以下土地面积的比例增加一个百分点, 县域农业机械化水平会相应提升 21.4~25.9 个百分点。地形因子对张家口坝上高原区以及廊坊、沧州部分地级市交界县域的影响相对较弱。究其原因, 张家口市内多数县域的地形条件复杂, 地势起伏度大, 不利于农业机械化发展, 未来需要考虑其他因素, 以促进农业机械化发展; 廊坊市和沧州市等所辖部分县域的地形相对平坦, 农业机械化水平已处于较高水平, 地形条件仍有一定的促进作用, 但提升空间有限。

改革开放以来, 河北省的耕地经营主要以家庭为单位。每户农民拥有耕地越多(即耕地经营规模越大), 家庭添置农机具的欲望越强, 从而促进了农业机械化发展。从图 5(b)可知, 耕地经营规模的回归系数介于 -0.067~0.331 之间, 表明耕地经营规模对农业机械化水平的影响有正有负。负值区域集中在承德市内, 这些县域山地面积较大, 农业机械化程度相对较低, 耕地经营规模的增加会加大农民投入成本, 从而不利于推行农业机械化, 因此单凭增加耕地经营规模, 难以显著提高农业机械化水平, 还需考虑其他因素的影响; 其余县域耕地经营规模的影响则为正面效应, 并表现出河北西部地区

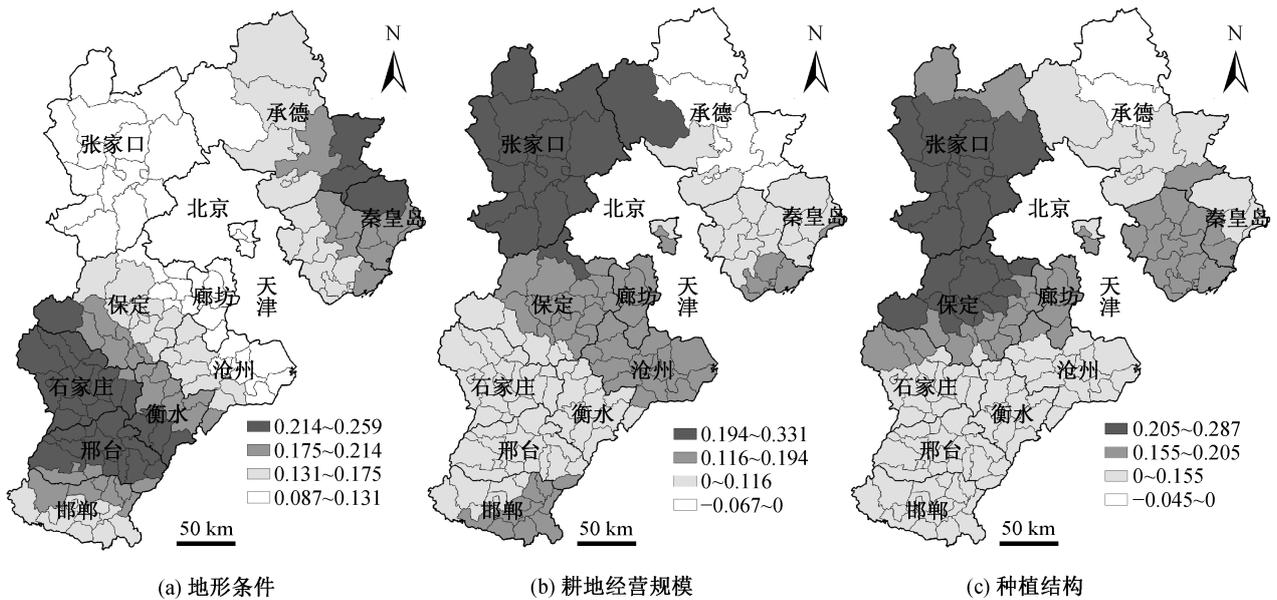


图5 GWR模型各自变量回归系数的空间分布图

Fig. 5 Distribution maps for the regression coefficients of independent variables in the GWR model

从南向北逐渐升高,东部地区则呈现与之相反的变化情况。具体来看,张家口地区的回归系数最高,这些县域户均耕地经营规模较大,从而对区域农业机械化发展有极大的促进作用;平原县域,尤其是石家庄、衡水、邢台等市辖县域,耕地经营规模对农业机械化的影响相对较小,相关原因有待进一步分析。

种植结构的影响格局大体上与耕地经营规模相似,除围场满族自治县和隆化县外,县域农业机械化水平的影响均为正向(图5(c))。对张家口、保定等市所辖县域的影响最大,系数介于0.205~0.287之间,表明种植结构是促进这些县域农业机械化发展的重要因素;邢台、衡水、秦皇岛等市辖县域的影响系数多数较小,介于0~0.155之间。究其原因,国家和地方政府非常重视玉米、小麦等主要粮食作物的机械化研发与推广,加之大多数平原县域的地形相对平坦,使得以小麦、玉米等作物为主的县域农业机械化水平相对较高,通过增加小麦、玉米、水稻等作物种植比例来促进区域农业机械化发展的作用较弱^[30-31]。

4 结论与讨论

本研究借助TOPSIS方法、空间探索性数据分析法以及地理加权回归模型等方法,深入探讨2013

年河北省县域农业机械化水平的空间特征、关联特性及影响因素。结果表明:1)2013年,河北省县域农业机械化水平呈现中南部偏东平原地区发展领先,北部偏西地区次之,西部丘陵区相对受限的发展态势,方向性和地形分布差异明显;2)县域农业机械化发展存在较强的空间自相关特性,区域趋同性较为明显,南部以HH类型居多,北部以LL类型居多,未来有必要加强对滦南、滦水等县的监督,以提升当地的农业机械化水平;3)GWR模型在揭示要素的空间非平稳性方面有一定的适用性。总体而言,入选变量对农业机械化发展有积极促进作用,并按强度大小表现为地形条件>耕地经营规模>种植结构。在局部非平稳性方面,除地形条件对全省农业机械化发展呈现正面影响外,耕地经营规模和种植结构的影响则有正有负,但正向影响较强。建议未来推行农业机械化时,高原县域采取适度增加耕地经营规模、调整作物种植比例等措施,平原县域则采取改善经济条件或其他措施。

值得指出的是,与OLS模型相比,GWR模型在解释区域农业机械化水平的影响因素方面具有一定优势,但模型解释力仍有较大的提升空间。究其原因,本研究所选变量是以表征整个农业背景下的机械化变化情况为主,因变量则以反映种植业机械化程度为主,由于数据可获取性原因,导致难以从中

剥离出专门反映种植业机械化的指标,从而在一定程度上造成解释力度的偏颇;另一方面,农业机械化发展深受社会与经济因素、农业生产、宏观政策等多方面因素的交互影响^[32]。入选 GWR 模型的变量仅能反映农业生产投入及自然条件对农业机械化水平的影响,对社会经济要素、政策等的影响尚未提及。对指标的精确筛选以及影响因素的多维分析将是后续研究的重要方向。

参考文献

- [1] 王金武,鞠金艳,王金峰. 黑龙江省种植业机械化发展情况分析. 农业工程学报, 2010, 26(12): 168-172
- [2] 刘立平. 河南省农业产业结构调整与农业机械化灰色关联分析. 农机化研究, 2014(7): 39-41
- [3] 余友泰. 试论农业机械化的发展规律和中国式的农机化道路. 农业工程学报, 1986, 2(4): 1-11
- [4] 卢秉福, 韩卫平, 朱明. 农业机械化发展水平评价方法比较. 农业工程学报, 2015, 31(16): 46-49
- [5] 杨敏丽. 新阶段我国农业机械化发展态势分析. 中国农机化, 2008(1): 12-17
- [6] 桑胜, 周静. 农业机械化对种植业经济增长贡献的实证分析: 以辽宁省为例. 农机化研究, 2009(4): 34-37
- [7] 高连兴, 刘凤丽, 吕子湖, 等. 东北农业机械化特点及其对种植业纯收益的贡献率. 农业工程学报, 2001, 17(6): 56-59
- [8] 张宗毅, 曹光乔, 易中懿. “十二五”农业机械化发展区域划分研究. 中国农业资源与区划, 2011, 32(4): 50-55
- [9] 张宗毅, 曹光乔. “十五”期间中国农机化效率及其地区差异. 农业工程学报, 2008, 24(7): 284-289
- [10] 彭代慧, 祝诗平. 影响我国农业机械化发展的因素及对策. 农机化研究, 2007(7): 66-68
- [11] 卢秉福, 张祖立, 朱明, 等. 农业机械化发展关键影响因素的辨识与分析. 农业工程学报, 2008, 24(11): 114-117
- [12] 文会鹏. 制约种植业机械化水平的几个因素. 农业现代化研究, 1987(4): 51-54
- [13] 冯启高, 毛罕平. 我国农业机械化发展现状及对策. 农机化研究, 2010(2): 245-248
- [14] 杨敏丽, 白人朴. 我国新型农业机械化道路的内涵与基本特征. 农机化研究, 2006(1): 5-8
- [15] 杨敏丽, 白人朴. 我国农业(种植业)机械化发展的区域不平衡性研究. 农业工程学报, 2000, 16(4): 68-72
- [16] 王树涛, 李新旺, 门明新, 等. 基于改进灰色关联度法的河北省粮食波动影响因素研究. 中国农业科学, 2011, 44(1): 176-184
- [17] 蒋黎, 江晶. 京津冀都市农业的发展现状与战略选择. 农业经济与管理, 2014(5): 32-39
- [18] 孙芳, 刘明河, 刘立波. 京津冀农业协同发展区域比较优势分析. 中国农业资源与区划, 2015, 36(1): 63-70
- [19] 龙冬平, 李同昇, 苗园园, 等. 中国农业现代化发展水平空间分异及类型. 地理学报, 2014, 69(2): 213-226
- [20] 段亚莉, 何万丽, 黄耀明, 等. 中国农业机械化发展区域差异性研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(6): 210-216
- [21] 王攀, 陈建, 曹中华, 等. 基于 GA-BP 神经网络的农业机械化综合水平预测模型. 农机化研究, 2016(3): 75-79
- [22] 周晶, 陈玉萍, 阮冬燕. 地形条件对农业机械化发展区域不平衡的影响: 基于湖北省县级面板数据的实证分析. 中国农村经济, 2013(9): 63-77
- [23] 河北省统计局. 河北农村统计年鉴 2014. 北京: 中国统计出版社, 2014: 604-605
- [24] 陈彦光. 地理数学方法: 基础及应用. 北京: 科学出版社, 2010
- [25] 杜挺, 谢贤健, 梁海艳, 等. 基于熵权 TOPSIS 和 GIS 的重庆市县域经济综合评价及空间分析. 经济地理, 2014, 34(6): 40-47
- [26] 朱珠, 张琳, 叶晓雯, 等. 基于 TOPSIS 方法的土地利用综合效益评价. 经济地理, 2012, 32(10): 139-144
- [27] 姜世国, 滕骏华, 王法辉. 基于 GIS 的数量方法与应用. 北京: 商务印书馆, 2009
- [28] 陈阳, 李伟芳, 马仁锋, 等. 浙江省乡村性空间分异及其影响因素分析. 经济地理, 2014, 34(12): 133-139
- [29] Jaimes N B P, Sendra J, Delgado M G, et al. Exploring the driving forces behind deforestation in the state of Mexico using geographically weighted regression. Applied Geography, 2010, 30(4): 576-591
- [30] 梁书民. 中国农业种植结构及演化的空间分布和原因分析. 中国农业资源与区划, 2006, 27(2): 29-34
- [31] 杨敏丽, 李世武, 恽竹恬. 区域农业机械化发展问题研究. 中国农机化, 2010, 39(1): 8-13
- [32] 吴雪峰, 卢秉福, 韩卫平. 黑龙江省农业机械化发展主要影响因素分析. 中国农学通报, 2012, 28(32): 188-191