

引用格式:盖美, 杨苒菲, 何亚宁. 东北粮食主产区农业绿色发展水平时空演化及其影响因素[J]. 资源科学, 2022, 44(5): 927-942. [Gai M, Yang Q F, He Y N. Spatiotemporal changes and influencing factors of agricultural green development level in main grain-producing areas in Northeast China[J]. Resources Science, 2022, 44(5): 927-942.] DOI: 10.18402/resci.2022.05.05

东北粮食主产区农业绿色发展水平时空演化及其影响因素

盖 美^{1,2}, 杨苒菲^{1,2}, 何亚宁^{1,2}

(1. 辽宁师范大学海洋可持续发展研究院, 大连 116029; 2. 辽宁省“海洋经济高质量发展”高校协同创新中心, 大连 116029)

摘 要:厘清东北粮食主产区农业绿色发展水平的时空演化特征及影响因素, 可为推进区域农业绿色发展提供参考依据。本文基于2010—2019年中国东北粮食主产区37个地级市数据, 采用可变模糊识别模型、核密度估计模型以及空间杜宾模型对东北粮食主产区农业绿色发展水平进行测度, 并探究其时空演化特征及影响因素。结果表明: ①总体来看, 农业绿色发展水平整体呈上升趋势, 但仍处于中等水平。空间上存在一定的分级现象, 较高水平地级市相对较多, 且主要集中于黑龙江省。②分维度来看, 时间上, 2010—2019年各维度均呈不同程度的上升趋势, 其中农业经济活力增长幅度最大, 达到35.63%; 农业科技创新增长幅度最小, 仅达到0.61%。空间上, 农业科技创新的基尼系数和变异系数呈下降趋势, 其他维度空间异质性显著, 发展不均衡。③经济发展、国际贸易和信息沟通对东北粮食主产区农业绿色发展存在显著的促进作用, 而工业化水平对其存在显著的抑制作用。此外, 人口密度和工业化水平存在显著的空间负溢出效应。最后, 根据研究结论并结合各区域农业绿色发展现状, 针对性地提出了政策建议。

关键词:农业绿色发展; 影响因素; 可变模糊识别模型; 空间杜宾模型; 东北粮食主产区

DOI: 10.18402/resci.2022.05.05

1 引言

东北粮食主产区是保障国家粮食安全的核心区、农业绿色发展的典型区。根据中国农村统计年鉴数据测算, 2010—2019年东北粮食主产区粮食产量增幅达到37.13%; 农业生产总值增幅达到72.18%, 农业发展取得了丰硕的成果。但长期的农业发展体制和机制创新不足, 加以经济转型缓慢、资源禀赋不足等瓶颈约束, 农业发展问题凸显: 根据国家统计局数据显示, 2019年东北粮食主产区化肥施用量708.16万t, 占全国比例13.11%, 然而农用地肥综合利用率才达到39%左右, 农业面源污染严重; 黑土地流失和水资源短缺造成东北粮食主产区农业资源约束加剧; 农产品质量监管不足导致食物

安全风险隐患频发; 农业科技创新水平不足。此外, 自然灾害加剧, 全球气候变化影响加深, 国际农业贸易环境复杂, 也加大了农业绿色发展的风险和不确定性。党的十八大以来, 中央高度重视农业绿色发展, 密集出台一系列纲领性文件和专项行动计划。对于东北粮食主产区来说, 倡导绿色发展, 提升绿色发展质量, 既是解决农业发展与资源环境等突出矛盾的有效途径, 也是东北老工业基地再振兴需解决的重大理论和现实难题。为此, 准确把握农业绿色发展内涵, 科学评价绿色发展水平, 寻求影响机理, 归结提升路径, 对于促进东北粮食主产区农业绿色发展及乡村振兴乃至保障国家粮食安全意义重大。

收稿日期: 2021-10-12, 修订日期: 2022-01-10

基金项目: 辽宁省社会科学规划基金重点项目(L20ATJ001)。

作者简介: 盖美, 女, 辽宁大连人, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为区域经济与可持续发展。E-mail: gaimei71@163.com

通讯作者: 杨苒菲, 女, 四川巴中人, 硕士研究生, 研究方向为产业经济学。E-mail: 1260463010@qq.com

关于农业的研究,国外主要集中于生态农业^[1]、有机农业^[2]、农业可持续^[3]的发展,而关于农业绿色发展^[4]的研究较少且内容分散。随着农业绿色发展上升为中国国家战略,农业绿色发展研究逐渐集中于国内,主要从以下几个方面展开:①理论内涵。农业绿色发展理论起源于绿色发展理论。随着“两山论”等绿色发展理念不断深入,绿色发展成为农业深化改革的方向^[5]。从概念看,狭义角度:基于可持续农业的实践和技术,农业绿色发展是农业体系的绿色化^[6]。广义角度:农业绿色发展是通过合理利用农业资源提高农业效率和生活水平的过程,以制度建设和机制创新为保障^[7],以资源和环境承载力为基础^[8],实现经济、社会、环境协调统一。但农业绿色发展与城镇化、工业化和乡村振兴战略紧密交织,是一个错综复杂的多维问题,农业绿色发展的内涵仍需要丰富。②水平测度。评价尺度方面,已有研究主要基于国家^[9]、省级^[10]或黄河流域^[11]、长江经济带^[12]等特定研究区进行研究,缺乏市级及县域尺度的研究。指标体系方面,随着对农业绿色发展内涵研究的逐渐深入,越来越多学者构建了科学系统的指标体系。周莉^[13]从农业效能、城乡融合、生态节约3个角度评价西藏农业绿色发展水平。查建平^[14]从资源节约、环境友好和高效发展3个方面测度并分析沿黄九省(区)农业绿色发展水平。但已有指标体系架构大多基于经济、生态和社会三大系统或资源节约、生态友好等方面,缺乏有关绿色供给和科技创新的指标。评价方法方面,主要有熵值法^[15]、区间直觉模糊动态模型^[16]、层次分析法^[17]等。③影响因素。涂正革^[18]认为机械水平、生产水平和人力水平是推进农业绿色发展的主要动力。崔宁波^[19]认为环境规制、一产占比和农业补贴政策促进农业绿色发展,而环境污染和自然灾害抑制农业绿色发展。目前农业绿色发展的影响因素研究较少,对影响机理的探讨也相对缺乏,选取因素较为分散,未形成科学的研究体系。④对策建议。已有研究主要从经济生态协调、农业绿色发展意识、面源污染防控和农业科技创新等方面提出对策建议。孙玉平^[20]根据潜山市农业绿色发展现状,提出从区域协调发展、严控面源污染、农产品质量安全和推进农业新旧动能转换方面的发展建议。余永琦^[21]认为推动江西省农业绿色发展应转变传统发

展理念,加快技术创新,建立综合治理机制,强化生态环境保护与修复,实现农业经济与生态协调发展。

总体来看,随着农业绿色发展的推进,学术界在不断探索中取得了优异的成绩,但现有研究仍存在不足。学者们对于东北粮食主产区的研究主要集中于耕地、畜牧业和农业生态,且文献较少,鲜有农业绿色发展水平方面的探究。因此,本文根据东北粮食主产区农业发展现状,在界定农业绿色发展内涵的基础上,从农业经济活力、农业生态环境、农业资源利用、农业绿色供给与农业科技创新五大维度出发,系统构建农业绿色发展水平指标体系。再采用可变模糊识别模型,通过变换参数变化成多个模型,统计测度2010—2019年东北粮食主产区37个地级市农业绿色发展水平,并分析其时空演化特征及五大维度时空分布特点。最后建立空间杜宾模型探究影响农业绿色发展的因素及机理,全面考察其直接效应及空间溢出效应,克服面板数据模型在空间影响差异方面的局限性。综上,本文在已有研究基础上更进一步探究东北粮食主产区农业绿色发展水平及影响因素,以期为东北粮食主产区农业绿色发展水平的提高提出有效建议。

2 研究理论和方法

2.1 农业绿色发展的内涵界定

农业绿色发展作为一种新型发展模式 and 战略路径,其内涵得到不断地拓展和深化。魏琦等^[22]认为农业绿色发展是以尊重自然为前提,以经济、社会和生态效益为目标,依靠各种现代新型技术的应用,积极参与科学合理开发和农业生产的可持续发展过程。韩长赋^[23]表示农业绿色发展的内涵不仅着重于资源节约和环境友好,还强调生态保育及品质提升。李学敏^[24]认为农业绿色发展是指在农业生产过程中,统筹农业发展的经济性、低碳性和安全性的同时,寻求生态、经济和社会等方面的目标共赢,这是绿色发展理念在农业领域的理论延伸和实践拓展,也是新阶段促进中国农业可持续发展的一种形式。

上述学者们分别从不同视角定义了农业绿色发展内涵,而农业绿色发展是项繁杂的系统化工程,具有丰富内涵。具体来说,农业绿色发展范畴至少涉及农业经济活力、农业生态环境、农业资源

2022年5月

利用、农业绿色供给和农业科技创新5个方面。农业经济活力是关键,其在推动农业绿色发展的同时,也会被农业绿色发展水平所抑制,经济增长、产业结构合理性和财政支持力度的高低都是判定农业经济活力的依据。农业生态环境是基础,它为农业生产提供了绿色基底和物质保障。农业资源利用是前提,通过合理开发和利用农业资源,同步节本降耗和提质增效。农业绿色供给是成果,满足人民对于优质农产品需求的同时,促使农产品生产和供应从注重“数量”向更加注重“质量”为导向的需求转化。农业科技创新是动力,农业与科技融合是科技作为关键投入要素融入农业生产的过程,通过全面推动科技创新,实现农业的内生增长。综上,本文认为,农业绿色发展是农业发展过程中,规避传统农业发展模式的缺陷,以保护生态环境为前提,有效利用农业资源,实行科技创新和技术改革大力发展农业经济,打造绿色优质农产品满足人民需求,推进农业可持续发展的一种绿色模式。

2.2 研究方法

2.2.1 可变模糊识别模型

20世纪90年代,陈守煜在札德模糊集合的基础上提出相对隶属度概念,构建工程模糊集。本文首次将可变模糊识别模型^[25]运用于农业绿色发展水平评价中,该模型与其他方法相比较,能科学、合理地确定样本指标对各级指标标准区间的相对隶属度、相对隶属函数,并且能通过变化参数和模型,组成新模型,分别对同一研究对象取平均值进行评价,提高评价结果的可靠性和准确性。其模型为:

$$V_A(u) = \left(1 + \left(d_g/d_b\right)^a\right)^{-1} \quad (1)$$

式中: $V_A(u)$ 为识别对象 u 对对立基本模糊属性 A 的相对隶属度; a 为优化准则参数, $a=1$ 为最小一乘方准则, $a=2$ 为最小二乘方准则; d_g 为距优距离, d_b 为距劣距离。

$$d_g = \left\{ \sum_{i=1}^m \left[w_i (1 - \mu_A(u)_i) \right]^p \right\}^{1/p} \quad d_b = \left\{ \sum_{i=1}^m \left[w_i (\mu_A(u)_i) \right]^p \right\}^{1/p} \quad (2)$$

式中: w_i 为指标 i 的权重; $\mu_A(u)_i$ 为指标 i 对应的相对隶属度向量; p 为距离参数, $p=1$ 为海明距离, $p=2$ 为欧氏距离。

一般情况下, a 与 p 有 4 种搭配: ① 当

$a=1, p=1$ 时, 为模糊综合评判模型。② 当 $a=1, p=2$ 时, 为理想点模型。③ 当 $a=2, p=1$ 时, 为 *sigmoid* 型函数。④ 当 $a=2, p=2$ 时, 为模糊优选模型。

在此基础上, 采用级别特征值公式, 利用级别变量 (h) 隶属于各等级的相对隶属度信息, 作为可变模糊集理论判断、识别和决策的准则。级别特征值 $H(u)$ 公式如下:

$$H(u) = \sum_{h=1}^c [V_A(u) \times h] \quad (3)$$

最后根据 $H(u)$ 值最终判断东北粮食主产区农业绿色发展水平。

2.2.2 核密度估计法

核密度是用于估计未知密度的量函数, 具有稳健性强、模型依赖性弱等优势, 是时序变化分析的一般工具, 本文用来估计东北粮食主产区农业绿色发展水平值的密度分布。对于 x_1, x_2, \dots, x_n 的核密度估计^[26]表达形式为:

$$f_s(x) = \frac{1}{ns} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x-x_i}{s}\right) \quad (4)$$

式中: x 为农业绿色发展水平的均值; $f_s(x)$ 为核密度估计值; x_i 表示被估计样本; n 为地级市总数; s 为带宽; k 表示加权核函数, 包括高斯核、三角核等类型。

本文选取高斯核函数进行样本估计拟合做图, 剖析东北粮食主产区农业绿色发展水平时序变化特征。

$$Gaussian = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \quad (5)$$

式中: *Gaussian* 为高斯核函数值; t 为估计时间; π 为固定带宽。

2.2.3 空间杜宾模型

首先, 使用莫兰指数 I (Moran's I) 检验东北粮食主产区农业绿色发展是否存在空间效应, 该结果通常介于 $(-1, 1)$, $I > 0$ 表示存在空间正相关; $I < 0$ 表示存在空间负相关; 接近于 0, 则表明相互独立。若存在空间效应, 则利用 Wald Test 与 Likelihood Ratio Test 进一步确定使用哪种模型, 本文经检验最终选择空间杜宾模型探究东北粮食主产区农业绿色发展的影响因素, 并全面考察其直接效应和空间溢出效应。结合农业绿色发展影响因素选取 (图 1), 本文

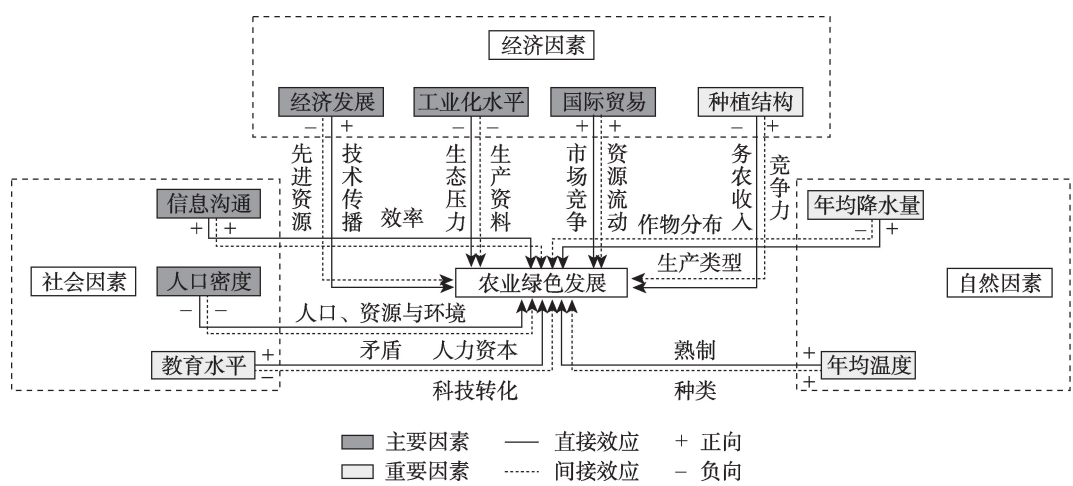


图1 农业绿色发展影响因素

Figure 1 Factors influencing agricultural green development

空间杜宾模型^[27]的形式为:

$$\ln(AGD)=\rho W\ln(AGD)+\beta_1\ln(ED)+\beta_2\ln(IL)+\beta_3\ln(IT)+\beta_4\ln(PS)+\beta_5\ln(IC)+\beta_6\ln(DP)+\beta_7\ln(EL)+\beta_8\ln(AP)+\beta_9\ln(AT)+\eta_1W\ln(ED)+\eta_2W\ln(IL)+\eta_3W\ln(IT)+\eta_4W\ln(PS)+\eta_5W\ln(IC)+\eta_6W\ln(DP)+\eta_7W\ln(EL)+\eta_8W\ln(AP)+\eta_9W\ln(AT)+\alpha_r+\gamma_r\tag{6}$$

式中: AGD 为农业绿色发展水平; ED 、 IL 、 IT 、 PS 、 IC 、 DP 、 EL 、 AP 、 AT 分别为经济发展、工业化水平、国际贸易、种植结构、信息沟通、人口密度、教育水平、年均降水量、年均气温; β_i 为空间自相关系数; ρ 与 η_i 表示回归系数; W 为空间权重矩阵; r 为年份; α_r 和 γ_r 分别为时间固定效应和空间固定效应。

2.2.4 评价结果判断标准

结合东北粮食主产区农业绿色发展现状和相关研究^[28,29]中可变模糊识别模型级别特征值判断标准,将东北粮食主产区农业绿色发展水平分为5个等级,评判标准见表1。

表1 农业绿色发展水平评价标准

Table 1 Criteria for evaluating agricultural green development level		
等级	农业绿色发展水平评价等级	取值范围
1级	低水平	[0.0, 2.0)
2级	较低水平	[2.0, 2.5)
3级	中等水平	[2.5, 3.0)
4级	较高水平	[3.0, 3.5)
5级	高水平	[3.5, 5.0)

3 指标体系构建、影响因素选取和数据来源

3.1 指标体系构建

基于国内外学者的研究经验,及对农业绿色发展内涵的把握,依据科学性、综合性和可操作性等原则设计农业绿色发展指标体系(表2),包括1个目标层、5个系统层、13个要素层和34个指标层。

农业绿色发展水平的评价指标主要从农业经济活力、农业生态环境、农业资源利用、农业绿色供给和农业科技创新5个方面中选取。①农业经济活力是农业经济灵活转变的能力,经济增长、结构合理性和财政支持是农业经济活力体现的重要因素,因此选取人均农业生产总值、单位面积农业产值、农民人均可支配收入和人均农业固定资产投资来表征农业经济增长,产业结构调整指数和农业经济贡献水平来表征产业结构合理性,农业财政支持力度和人均农业财政支出表征财政支持水平;②农业生态环境要素层反映了保障农业发展情境下的环境现状及解决措施,选取农药施用强度、农膜使用强度和化肥施用强度来表征农业面源污染,森林覆盖率、水土治理面积和湿地保护率表征生态建设和修复,农业面源污染防治投入力度、废水排放达标率和农村垃圾无害化处理率表征污染防治程度;③农业资源利用包含水土农机等消耗,其中选取耕地保有率和人均耕地面积表征耕地资源利用,农业灌溉用水量和人均水资源表征水资源利用,单位播种

2022年5月

表2 农业绿色发展水平评价指标体系

Table 2 Evaluation indicator system of agricultural green development level

目标层	系统层	要素层	指标层	指标内涵	属性
农业绿色发展	农业经济活力	经济增长	人均农业生产总值/(元/人)	农业产值/农业总人口	+
			单位面积农业产值/(元/hm ²)	农业产值/主要农作物播种面积	+
			农民人均可支配收入/(元/人)	—	+
			人均农业固定资产投资/(元/人)	农业固定资产投资额/农业总人口	+
		经济结构	产业结构调整指数/%	(1-农业产值/农林牧渔业总产值)×100	+
			农业经济贡献水平/%	(农业产值/地区GDP)×100	+
		财政支持	农业财政支持力度/%	(财政支农总额/地方财政支出)×100	+
			人均农业财政支出/(元/人)	财政支农总额/农业总人口	+
	农业生态环境	面源污染	农药施用强度/(t/hm ²)	农药施用量/主要农作物播种面积	-
			农膜使用强度/(t/hm ²)	农膜施用量/主要农作物播种面积	-
			化肥施用强度/(t/hm ²)	化肥施用量/主要农作物播种面积	-
		生态建设	森林覆盖率/%	—	+
			水土治理面积/hm ²	—	+
			湿地保护率/%	(湿地保护面积/湿地总面积)×100	+
		污染治理	农业面源污染防治投入力度/%	(农业环保投入经费/地方财政支出)×100	+
			废水排放达标率/%	(废水排放达标量/废水排放量)×100	+
			农村垃圾无害化处理率/%	—	+
	农业资源利用	耕地资源	耕地保有率/%	(本年末耕地总面积/上年末耕地总面积)×100	+
			人均耕地面积/(m ² /人)	耕地面积/农业总人口	+
		水资源	农业灌溉用水量/亿m ³	—	+
			人均水资源/(m ³ /人)	水资源总量/总人口	+
		其他消耗	单位播种面积农机总动力/(kw/hm ²)	农机总动力/主要农作物播种面积	+
			农业劳动生产率/(万元/人)	农林牧渔业总产值/农林牧渔业从业人员	+
	农业绿色供给	绿色产出	绿色食品认证数量/个	—	+
			绿色食品企业认证数量/个	—	+
			有机产品认证数量/个	—	+
			农产品地理标志认证数量/个	—	+
		粮食供给	粮食产量增长率/%	((本年粮食产量/上一年粮食产量)-1)×100	+
			—	—	—
	农业科技创新	创新投入	农业R&D人员/人	—	+
			农业科技投入状况/%	(农业科技财政支出/地区财政支出)×100	+
			农业R&D内部经费/万元	—	+
		创新成效	机械化水平/(kw/hm ²)	机械总动力/耕地面积	+
			水利化水平/%	(有效灌溉面积/耕地面积)×100	+
			农村用电量增长率/%	((本年农村用电量/上一年农村用电量)-1)×100	+

注:鉴于化肥、农药、农膜、节水灌溉等主要涉及种植业部门,本文中的农业产值特指小农业(即种植业)产值。

面积农机总动力和劳动生产率分别表征能源消耗和人力消耗;④农业绿色供给从农产品绿色产出和粮食供给方面探究粮食安全背景下农产品绿色供给水平,用绿色食品认证数量、有机食品认证数量、绿色食品企业认证数量、农产品地理标志认证数量和粮食产量增长率表征;⑤农业科技创新不仅能提

高资源产出,还是控制生态破坏和环境污染的关键,农业科技创新包含投入和产出两方面,因此选取农业R&D人员、农业R&D内部经费和农业科技投入状况表征农业科技的创新投入,机械化水平、水利化水平和农村用电量增长率表征农业科技的创新成效。

3.2 影响因素选取

综合典型区域具体案例和现象测度以及绿色发展框架研究中对农业绿色发展最优决策成因的筛选,从经济、社会和自然3个维度选取影响因素并剖析农业绿色发展的影响机理(图1)。

(1)经济因素。①经济发展(*ED*)选取人均GDP来表征,地区经济发展程度越高,各种先进资源会在此集聚,越能为农业绿色发展提供便利的交通网络和广阔的消费市场^[30]。②工业化水平(*IL*)选取工业产值占GDP比重来表征,工业化水平提高,人民生活基础物质保障能力会随农资产品有效供给增加而提升,先进加工技术也逐渐延伸农业绿色产业链的有力支撑^[31]。③国际贸易(*IT*)选取进出口贸易占GDP比例来表征,农产品国际贸易通过资本、生产等要素流通,逐步提高农产品的国际竞争力和扩大农村经济市场,有利于推进地区农业绿色发展^[32]。④种植结构(*PS*)选取粮食播种面积占总播种面积比例来表征,农作物种植地理集聚现象逐渐凸显,种植结构差异会表现出不同的盈利能力与经济效益,会对农业绿色发展的空间格局产生影响^[33]。

(2)社会因素。①信息沟通(*IC*)选取人均邮电业务量来表征,信息沟通成本是产业空间集聚的重要影响因素,网络信息技术发达能加快农业信息的传递,从而降低通信成本^[34]。②人口密度(*DP*)选取单位区域国土面积的人口数量来表征,人口高度聚集会对地区生态环境和资源利用施压,造成区域内人口、资源与环境矛盾尖锐化,不利于形成良好的农业生产环境^[35]。③教育水平(*EL*)选取高校在校人数来表征,劳动力受教育水平越高,接纳新技术和农业知识的能力越强,就越能提升农业技术效率,加速农业绿色发展进程^[36]。

(3)自然因素。自然地理选取年均降水量(*AP*)

和年均气温(*AT*)来表征,水和气温是影响农业生产最为基础的影响因素,资源禀赋条件越优,农业绿色发展态势越好^[37,38]。

3.3 数据来源及处理

本文对东北粮食主产区37个地级市2010—2019年的农业绿色发展水平进行测算研究。指标所需原始数据来源于《中国城市统计年鉴》《黑龙江省统计年鉴》《吉林省统计年鉴》《辽宁省统计年鉴》《内蒙古自治区统计年鉴》、各地级市国民经济与社会发展统计公报、各地级市年鉴、各省自然资源公报、中国绿色食品网等公开的统计数据 and 资料,个别数据部分年限缺失,根据实际情况用多重插补法进行填补处理。

4 结果与分析

4.1 东北粮食主产区农业绿色发展综合水平分析

4.1.1 农业绿色发展时间演化

将东北粮食主产区农业绿色发展指标体系数据(2010—2019年)及分级标准代入可变模糊识别公式,计算得到农业绿色发展综合水平值。

根据表3,东北粮食主产区农业绿色发展水平整体处于上升趋势,由2010年的2.632上升到2019年的3.084,年均增长率为1.717%。总体来看,东北粮食主产区2010—2019年农业绿色发展的综合评价值为2.853,处于中等发展水平。

根据东北粮食主产区农业绿色发展水平综合得分,选取2010、2015及2019年,运用Eviews11.0软件得出东北粮食主产区农业绿色发展水平时间演变特征的核密度估计结果(图2),具有以下特征:从位置上,2010—2019年的核密度曲线呈现明显向右平移,且2个阶段的右移幅度均匀,说明东北粮食主产区农业绿色发展综合水平稳步提升。从形状上,3个年份呈现“三峰-双峰-单峰”的演变态势,说明

表3 2010—2019年东北粮食主产区农业绿色发展水平

Table 3 Agricultural green development level in major grain-producing areas in Northeast China, 2010-2019

	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	多年均值
$\alpha=1, p=1$	2.794	2.842	2.893	2.922	2.937	2.949	3.003	3.016	3.076	3.118	2.955
$\alpha=1, p=2$	2.846	2.900	2.949	2.981	2.998	3.016	3.073	3.092	3.172	3.230	3.026
$\alpha=2, p=1$	2.400	2.477	2.562	2.614	2.638	2.656	2.738	2.752	2.845	2.902	2.658
$\alpha=2, p=2$	2.488	2.575	2.656	2.709	2.736	2.764	2.851	2.874	3.000	3.086	2.774
均值	2.632	2.699	2.765	2.807	2.827	2.846	2.916	2.934	3.023	3.084	2.853

2022年5月

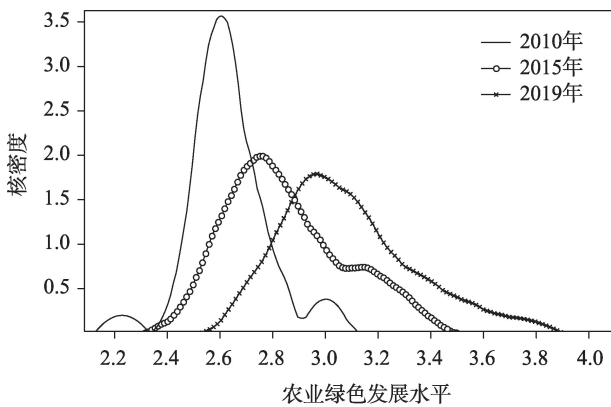


图2 2010、2015和2019年东北粮食主产区农业绿色发展水平核密度分布

Figure 2 Kernel density distribution of agricultural green development level in major grain-producing areas in Northeast China, 2010, 2015, and 2019

2010—2019年各地级市农业绿色发展水平初期呈现多极分化现象,中期两极分化减弱,后期两极分化不明显的动态变化过程。从峰度上,2010—2019年农业绿色发展呈现出尖峰至宽峰的演变趋势,2010年呈尖峰分布且峰顶核密度值高,说明研究区发展水平中值分布较为集中;直到2015年、2019年,整体呈现宽峰分布,峰顶的核密度值明显下降,波峰对应水平得分逐步提升,表明东北粮食主产区高水平地级市数量呈增加趋势,整体农业绿色发展水平向好。

4.1.2 农业绿色发展空间演化

选取2010、2015、2019年研究区农业绿色发展

的评价结果,基于水平评价标准(表1),运用 Arc-GIS10.7软件进行空间可视化,结果如图3。

东北粮食主产区农业绿色发展水平空间格局呈现南低北高的集聚特点。以吉林省北部为界南北分异明显,吉林省北部以北地区农业绿色发展水平高于吉林省南部以南地区;其次,东北粮食主产区农业绿色发展水平较高水平及高水平的地级市主要集中于黑龙江省;内蒙古自治区东部、辽宁省、吉林省农业绿色发展整体水平虽依次低于黑龙江省,但均处于较高水平或高水平;总体来看,东北粮食主产区农业绿色发展高水平地级市较少,中等水平及较高水平地级市占大多数,亟需进一步协调推动;研究期内东北粮食主产区农业绿色发展水平空间分异显著,基尼系数和变异系数均呈上升趋势。具体空间演化结果如表4所示。

(1)高水平地级市。自从2016年中央1号文件《关于落实发展新理念加快农业现代化实现全面小康目标的若干意见》正式提出推动农业绿色发展,各地区积极响应国家政策大力发展,但由于政策推行初期,农业绿色发展模式还处于调整阶段,截至2019年东北粮食主产区高水平地级市只有佳木斯市和黑河市。两者的演化类型均为中等-较高-高,且属于黑龙江省。佳木斯市地处三江平原腹地,自然资源丰富且绿色基底优越,较强的农业经济实力以及科技支撑使其农业绿色发展水平逐步提升。黑河市近年来充分挖掘生态资源优势,全面创建农

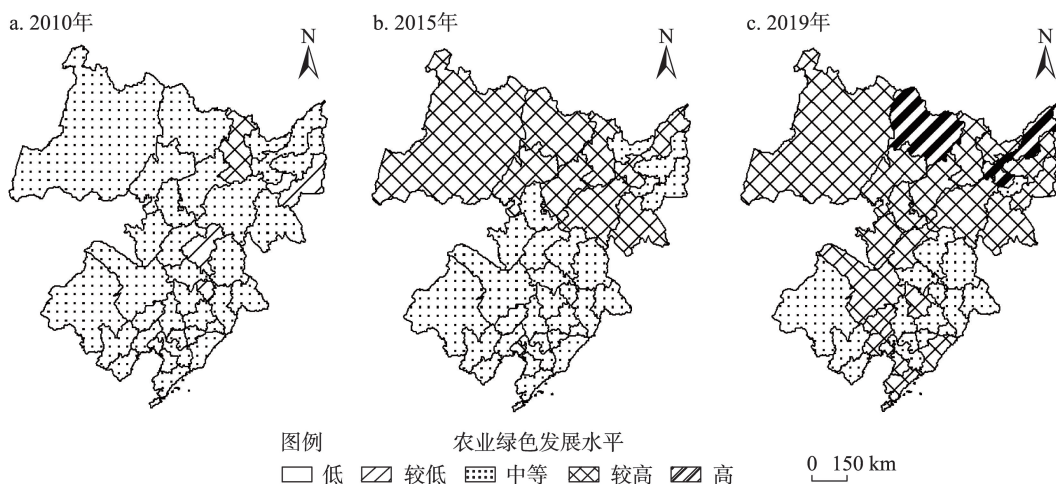


图3 2010、2015和2019年东北粮食主产区农业绿色发展水平

Figure 3 Agricultural green development level in major grain-producing areas in Northeast China, 2010, 2015, and 2019

表4 2010、2015和2019年东北粮食主产区农业绿色发展水平演化类型

Table 4 Evolutionary type of agricultural green development level in the main grain-producing areas in Northeast China, 2010, 2015, and 2019

演化类型	城市	省份	演化类型	城市	省份
中等-较高-高	佳木斯	黑龙江省		铁岭	辽宁省
	黑河	黑龙江省		丹东	辽宁省
较高-较高-较高	伊春	黑龙江省	较低-中等-较高	鸡西	黑龙江省
中等-较高-较高	绥化	黑龙江省	中等-中等-中等	朝阳	辽宁省
	呼伦贝尔	内蒙古自治区		本溪	辽宁省
	齐齐哈尔	黑龙江省		四平	吉林省
	哈尔滨	黑龙江省		赤峰	内蒙古自治区
	牡丹江	黑龙江省		沈阳	辽宁省
	盘锦	辽宁省		白山	吉林省
中等-中等-较高	双鸭山	黑龙江省		抚顺	辽宁省
	鹤岗	黑龙江省		葫芦岛	辽宁省
	大连	辽宁省		鞍山	辽宁省
	白城	吉林省		吉林	吉林省
	通辽	内蒙古自治区		辽阳	辽宁省
	阜新	辽宁省		通化	吉林省
	大庆	黑龙江省	较低-中等-中等	长春	吉林省
	锦州	辽宁省		七台河	黑龙江省
	松原	吉林省		辽源	吉林省
	营口	辽宁省			

业绿色发展示范区,通过加速完善产业链、做强生态绿色优势和提高综合生产能力,农业经济全面发展,同时生产效益稳定增长。

(2)较高水平地级市。该水平演化类型分为4种:①较高-较高-较高,这种演化类型只有伊春市。伊春市是典型的林农交错的地区,森林覆盖率保持在80%以上,面源污染较低,其农业生态环境水平位于前列。近年来,伊春市农业受种植结构调整和灾害性天气的影响下,粮食产量稍有下降,致使常规种植业发展缓慢,但通过发展特色种植业和加大科技创新投入,农业机械化水平在研究期内年均增长2.71%,土地产出率一直保持在较高水平,使得种植业总体绿色发展平稳。②中等-较高-较高,该演化类型的地级市主要分布于内蒙古自治区东部、黑龙江省东南部和辽宁省南部,都具备各自的特色农业产业链和产业规模,“十二五”期间,通过加强面源污染防治力度、夯实农业基础设施建设等措施,农业绿色发展成果显著,但农业科技创新转化率较低,多数农民依旧采用传统种植方式,农产品科技含量不高。③中等-中等-较高,该演化类型的

地级市主要分布于黑龙江省北部、吉林省东南部、辽宁省东南部和内蒙古自治区东部,“十三五”期间,各地级市积极融入国家粮食安全产业带建设,政府引导和带动绿色有机农业发展,但由于农业产业化普遍还未达到较高水平,土地分散经营程度高,农业发展规模受限。④较低-中等-较高,该演化类型只有鸡西市。“十二五”初期,鸡西市农业陷入发展困境,存在种植结构单一、废水排放处理率低、绿色产品供给不足等问题,致使其农业绿色发展水平处于较低阶段。“十三五”以来,鸡西市通过不断加大农业园区建设力度,推动优质品牌农产品全国销售,以科技创新赋能现代农业,2019年农民人均可支配收入达到19700元,废水排放处理率提高至95%左右,农业绿色发展成果显著。

(3)中等水平地级市。该水平演化类型分为2种:①中等-中等-中等,这种演化类型的地级市各农业发展均位于中上游水平,但在推动农业绿色发展的过程中,资源过度消耗和绿色供给不足问题未得到有效解决,产业融合成效较低,导致农业绿色发展水平提升缓慢。②较低-中等-中等,该演化类

2022年5月

型的地级市在研究期内,通过摆脱模式遵循,以绿色变革完善农业市场,提升农产品价值链,优化种植结构,农业绿色发展水平有所提升,但水土流失严重、劳动生产效率低和农业机械化水平不高等问题未得到明显改善,以致农业绿色发展水平处于中下游,整体偏低。

4.2 五大维度农业绿色发展水平分析

4.2.1 农业绿色发展分维度时间演化

基于农业绿色发展水平评价指标体系中5个维度,测算并绘制2010—2019年维度农业绿色发展水平折线图(图4)。如图4所示,5个维度均呈正相关,以不同程度波动上升。其中,农业生态环境一直处于领先地位,增长率为9.30%。究其缘由,东北粮食主产区土壤肥沃,自然条件优越,利于作物生产,但仍存在水土流失严重、森林采育失调、面源污染严重等生态问题。研究期内,通过严控面源污染和加强生态保护,化肥、农药、农膜使用强度降低,森林覆盖率和水土治理面积增加,废水排放达标率和垃圾无害化处理率提升,使得东北粮食主产区农业生态环境得到改善。农业资源利用和农业绿色供给处于良好上升趋势,增长率分别达到5.94%、25.87%。近几年,东北粮食主产区着力推进绿色、有机农产品基地建设,绿色食品认证数量、农产品地理标志认证数量等指标增长迅速,绿色农产品供

给量增加,但农业资源有效利用水平提升并不显著,还需严格落实耕地保护条例,大规模推进农田水利基础建设,提高资源利用效率。农业经济活力增长幅度最大,达到35.63%。研究期内,国家扶持力度加大,全面深化改革释放农业经济活力,积极推进现代化农业和绿色品牌建设,鼓励农业固定资产投资,提高农民可支配收入,促使农业经济效益提高。农业科技创新水平时间演化呈“V”字型分布,整体呈增长态势,大致分为两个阶段,第一阶段为2010—2015年,农业科技创新水平逐渐降低,年均降低1.36%,2015年达到最小值为2.48;第二个阶段为2016—2019年,期间农业科技创新水平逐年递增,年均增长0.22%。2010—2019年农业科技创新整体增长幅度最小,仅达到0.61%。究其原因,“十二五”时期,东北粮食主产区农业科技创新能力不足,缺乏技术储备和高层次科技创新人才,难以实现重大技术突破,严重制约了农业科技创新发展。“十三五”时期,随着科技人员在农业生产各环节的科学研究,技术推广体系日趋完善,农业科技创新水平也逐步提高。

4.2.2 农业绿色发展分维度空间演化

选取2010、2019年东北粮食主产区农业绿色发展分维度的评价结果,运用ArcGIS 10.7软件进行空间可视化,进一步探究五大维度的空间演化特征(图5)。

①农业经济活力方面,2010—2019年高水平地级市数目明显增加,集中分布于黑龙江省和内蒙古自治区东部;各地级市农业经济活力差异增大,基尼系数和变异系数分别增长33.03%、35.22%,空间异质性显著。②农业生态环境方面,各地级市存在不同程度地改善或恶化,但均处于中等及以上水平;各地级市差异明显,基尼系数和变异系数分别增长16.00%、19.28%,空间异质性显著。③农业资源利用方面,研究期内无高水平地级市,较高水平和中等水平地级市数量占比较小,较低水平和低水平地级市仍占绝大部分,整体农业资源利用水平不理想;各地级市差异增大,基尼系数和变异系数分别增长24.89%、24.02%,空间异质性显著。④农业绿色供给方面,研究期内各地级市得到不同程度的

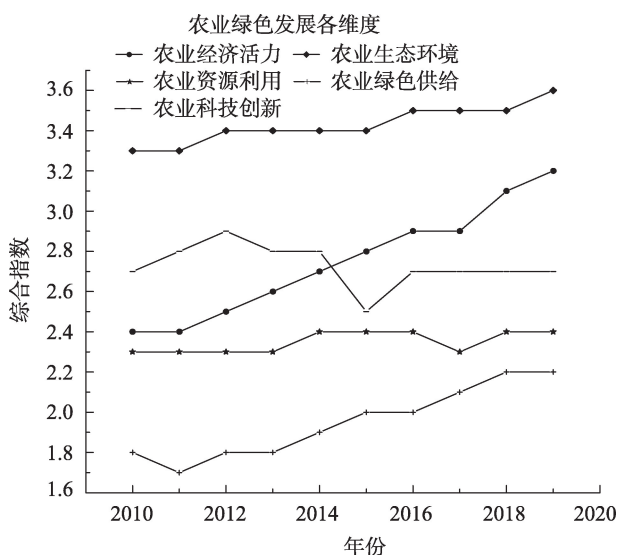


图4 2010—2019年农业绿色发展分维度时间演化

Figure 4 Temporal changes of agricultural green development subsystems, 2010-2019



图5 2010—2019年农业绿色发展分维度空间演化

Figure 5 Spatial evolution of agricultural green development subsystems, 2010-2019

提升;但空间异质性显著且差异增大,基尼系数和变异系数均呈上升趋势。⑤农业科技创新方面,各地级市存在不同程度地上升或下降;2010—2019年,基尼系数和变异系数分别从0.089和0.158降至0.088和0.156,区域异质性减弱。

分区域来看:①黑龙江省农业经济虽居前位,但很大程度上是以资源过度消耗和农业要素投入大量增加为代价,目前面临黑土地退化、养分失衡及生态环境脆弱等问题;农业科技投入不足和资金短缺是抑制黑龙江省农业科技创新发展的主要因素。②吉林省由于绿色食品基地规模优势还未形成,产品结构不够合理,绿色农产品销售种类与居民消费需求匹配度不高;新型技术研发一般由政府

或科技人员主导,较少考虑农民的接受能力和市场需求,导致市场需求与科技成果脱节。③辽宁省由于绿色食品的宣传力度不到位,普通老百姓的消费观念跟不上,且绿色食品技术生产体系和监管体系还未成熟,农业绿色供给仍处于较低水平;水资源总量不足且空间分布不均,加深了农业生产与资源环境之间的矛盾。④内蒙古自治区东部缺乏具体服务农业生产的科技创新人才和技术,且资金不到位,拖慢发展进度;由于投入不足,区域农田基础设施建设不完善,导致耕地沙化,土壤供水供肥能力降低,农业资源利用水平较低。总体来说,各区域农业资源利用、农业绿色供给和农业科技创新水平仍存在不足,亟需改进提升。

2022年5月

4.3 农业绿色发展的影响因素

农业绿色发展空间分布以及关联性研究证明,东北粮食主产区各地级市农业绿色发展之间存在空间交互行为,具有显著的空间集聚和空间异质性。结合东北粮食主产区农业绿色发展现状,剖析绿色发展所面临的外部环境,引入空间杜宾模型探究多要素对农业绿色发展水平的影响程度及其空间溢出效应,可为东北粮食主产区农业绿色发展精准化和合理化调节提供建议。

4.3.1 空间杜宾模型估计结果

根据估计结果,Wald 检验与 LR 检验拒绝将空间杜宾模型简化,Hausman 检验拒绝随机效应模型与固定效应模型之间无差别的零假设,故选用固定效应空间杜宾模型分析农业绿色发展的影响因素。由表5可得, R^2 值和 ρ 值分别为0.554、0.397,表明该模型拟合效果较好,并且东北粮食主产区农业绿色发展存在空间溢出效应,具体分析如下:

①经济发展(ED)直接影响系数显著为正,空间滞后系数为负且不显著。其原因在于随着经济水平的提高,农业综合产能更加稳固,并通过科技创新加速推动农业发展模式转变,对农业绿色发展水平提升起到拉动作用;邻市经济发展程度高,其资源占有率和劳动报酬也相对较高,会吸引本地农业科技人才前往,导致本市的人力资源流失,不利于其农业绿色发展。②工业化水平(IL)直接影响系数显著为负,空间滞后系数显著为负。其原因在于作为老工业基地,东北地区的工业基础优势为农业发

展提供了充足的生产资料,但工业发展占用耕地现象频出,导致土地资源紧张,且资源损耗和环境污染造成农业生产环境局部恶化;工业化发展会大量招揽农业剩余劳动力,促使劳动力转移非农产业并向城市聚集,邻市工业化程度越高,相邻城市间人力资源竞争越激烈。③国际贸易(IT)直接影响系数显著为正,空间滞后系数为正但不显著。其原因在于农产品国际贸易会带来技术溢出正效应,促进农业生产结构调整优化,加速农业资源流动,提高农业综合生产能力和农产品国际竞争力,进而增加农业经济效益;地区在消化国内市场的同时也在竞争国外市场,邻市农产品国际竞争力越高,越能带动本地农产品的竞争力提升,但由于各市农产品国际贸易相对均衡发展导致溢出效应并不显著。④信息沟通(IC)直接影响系数显著为正,空间滞后系数为正但不显著。其原因在于互联网时代到来伴随着信息传播力度的显著提高和传播渠道的多样化,通过手机、网络等媒介,高效地传播农业生产信息,大幅提高农业生产效率;邻市信息沟通力越强,本市的农业信息获取度也越高,但由于地区间获取信息来源差别不大导致溢出效应并不显著。⑤人口密度(DP)直接影响系数为负但不显著,空间滞后系数显著为负。其原因在于人口高密度集中会对区域生态环境和资源消耗施加压力,导致生活和生产空间扩大,生态空间缩小,不利于推进农业绿色发展;人口高度集聚意味着劳动力充沛和农产品需求上升,但由于城市资源有限,往往从周围地区获取

表5 空间杜宾模型估计结果

Tab. 5 Estimation results of the spatial Durbin model

	变量	回归系数	t 值	滞后变量	回归系数	t 值	其他检验方式	检验值
经济因素	ED	0.036***	3.91	WED	-0.020	-1.05	R^2	0.554
	IL	-0.128***	-9.65	WIL	-0.012**	-2.51	ρ	0.397***
	IT	0.007***	2.92	WIT	0.002	0.48	$\log L$	620.09
	PS	-0.028	-0.83	WPS	0.076	0.92	Hausman	64.25***
社会因素	IC	0.007**	2.28	WIC	0.000	0.06		
	DP	-0.057	-0.62	WDP	-0.427**	-2.24		
	EL	0.003	1.43	WEL	-0.005	-0.85		
自然因素	AP	0.002	0.19	WAP	-0.019	-1.00		
	AT	0.004	0.29	WAT	0.002	0.12		

注:***、**、*、分别表示通过1%,5%,10%水平下的显著性检验。

资源,一定程度上会加重邻市生态和资源压力。

4.3.2 空间杜宾模型的效应分解

由于存在空间溢出效应,各因素的系数无法单独解释为对东北粮食主产区农业绿色发展的影响,因此进行偏微分分解,以便更好地解释各个影响因素的直接效应、间接效应,以及对东北粮食主产区农业绿色发展水平的总效应(表6)。

直接效应来看,经济发展(*ED*)、国际贸易(*IT*)和信息沟通(*IC*)的弹性系数为正,且通过显著性检验。其中经济发展的弹性系数最大,为0.036,且通过1%水平下的显著性检验,主要由于经济发展相对于国际贸易、信息沟通更具有直接影响力,能更加充分地调动生产要素和提供资金支持,因而成为促进地区农业绿色发展的主要因素。工业化水平(*IL*)的弹性系数为负,为-0.133,且通过1%水平下的显著性检验,主要因为工业化发展导致经济发展与资源环境矛盾日趋显著,农业生态环境遭到严重破坏,因而成为抑制地区农业绿色发展的主要因素;间接效应来看,人口密度(*DP*)和工业化水平(*IL*)弹性系数为负,分别通过了5%和10%水平下的显著性检验。工业化往往局限在一定的地域范围内,受运输成本和地理因素限制,对邻近城市农业绿色发展所造成的影响相对较小;总效应来看,工业化水平(*IL*)和人口密度(*DP*)的弹性系数显著为负,分别通过了1%和5%水平下的显著性检验,说明工业化水平和人口密度对研究区农业绿色发展具有显著抑制作用。未来应提高人们的绿色发展意

识,促进工业化与现代农业的协调并进,构建以工促农的长效机制,并发挥人力资源优势,加强农村实用人才队伍建设,推动农业绿色发展进程。国际贸易(*IT*)的弹性系数为正,为0.014,且通过5%水平下的显著性检验,说明国际贸易对研究区农业绿色发展具有显著促进作用。东北粮食主产区与朝鲜、俄罗斯、蒙古相邻,具有一定区位优势,可以通过国际贸易将国外新型农业技术和生产设施引进国内,也可以将本地优质农产品推向国际市场,提高地区农业经济效益,进而推动农业绿色发展。此外,由于经济发展、种植结构、信息沟通、教育水平、年均降水量和年均温度对区域农业绿色发展水平的总体影响力不高,导致总效应均未通过显著性检验。

5 结论和讨论

5.1 结论

本文基于2010—2019年中国东北粮食主产区37个地级市数据,采用可变模糊识别模型、核密度估计模型以及空间杜宾模型对东北粮食主产区农业绿色发展水平进行测度,并探究其时空演化特征及影响因素,以期对东北粮食主产区农业绿色发展水平的提高提出有效建议。主要结论如下:

(1)从农业绿色发展水平总体来看。时间分布方面,东北粮食主产区农业绿色发展水平整体处于上升趋势,由2010年的2.632上升到2019年的3.084,年均增长率为1.717%,整体处于中等水平。空间分布方面,研究期内东北粮食主产区农业绿色发展水平空间分异显著,较高水平地级市相对较

表6 全样本空间杜宾模型的效应分解

Table 6 Decomposition of effect model in full sample space

变量		直接效应		间接效应		总效应	
		回归系数	<i>t</i> 值	回归系数	<i>t</i> 值	回归系数	<i>t</i> 值
经济因素	<i>ED</i>	0.036***	3.61	-0.007	-0.23	0.029	0.84
	<i>IL</i>	-0.133***	-9.87	-0.063*	-1.79	-0.196***	-4.91
	<i>IT</i>	0.007***	3.43	0.007	1.27	0.014**	2.48
	<i>PS</i>	-0.018	-0.53	0.100	0.80	0.081	0.59
社会因素	<i>IC</i>	0.008**	2.50	0.005	0.56	0.012	1.43
	<i>DP</i>	-0.105	-1.14	-0.695**	-2.26	-0.800**	-2.32
	<i>EL</i>	0.003	1.14	-0.006	0.67	-0.003	-0.31
自然因素	<i>AP</i>	0.001	0.05	-0.029	-1.05	-0.028	-1.03
	<i>AT</i>	0.003	0.27	0.009	0.30	0.012	0.37

2022年5月

多,且主要集中于黑龙江省,基尼系数和变异系数均呈上升趋势。

(2)分维度来看。时间分布方面,2010—2019年5个维度均呈正相关,以不同程度波动上升。其中,农业生态环境一直处于领先地位,增长率为9.30%。农业资源利用和农业绿色供给处于良好上升趋势,增长率分别达到5.94%、25.87%。农业经济活力增长幅度最大,达到35.63%。农业科技创新增长幅度最小,仅达到0.61%。空间分布上,农业科技创新的变异系数和呈基尼系数下降趋势,其他维度空间异质性显著,地级市间发展水平差异明显,各维度发展不均衡。

(3)空间杜宾模型检验与估计结果表明:直接效应方面,经济发展、国际贸易和信息沟通对地区农业绿色发展具有显著促进作用,工业化水平对其具有显著抑制作用;间接效应方面,工业化水平和人口密度具有显著空间负溢出效应;总的来看,国际贸易对地区农业绿色发展具有显著促进作用,工业化水平和人口密度对其具有显著抑制作用。

5.2 讨论

根据研究结果,东北粮食主产区农业绿色发展水平存在显著的空间分异形态和空间溢出现象,因此在制定和实施农业绿色发展相关规制政策时需注意以下方面:

(1)创新体制机制,推动农业绿色发展。加强农业绿色发展资金保障和监管,落实生态保护补偿政策。抓好绿色技术防控,提高化肥利用率和农膜回收率,制定法规政策控制工业污水排放量,提高污水处理率。落实稳数量、提质量、保生态的耕地保护举措,同步实施高标准农田建设与高效节水灌溉统筹规划。大力培育绿色品牌,加大对绿色食品产品的安全监管,提升地理标志产品的市场认知度,深挖潜力促进粮食稳产增产。实施“藏粮于技”战略,构建科技创新体系,完善“一主多元”基层农技推广体系,加快农业绿色发展科技创新联盟发展。

(2)助推农业现代化,加快东北全面振兴。黑龙江省应加强黑土地保护,集成推广节水技术,增加科技创新投入,加强建设高端智能农机产业园区,发展高端智能农机装备产业集群,推进农机农

艺深度融合。吉林省需统筹中东西部地区优势和资源禀赋,合理规划产业布局,调整绿色农产品结构,支持优质农产品品牌打造,完善农业技术中介体系,加强技术供给和需求关系。辽宁省应立足生态优势,加大绿色食品宣传力度,高效利用天上水,严格控制开发地下水,节约利用地表水。内蒙古自治区东部应坚持绿色理念,推动农业与食品加工、生产服务业和互联网融合发展,大量引进创新人才,将科技与农业充分融合,完善农田基础设施,提倡农业节水。

此外,本文依旧存在不足之处:①本文主要以狭义农业(种植业)为研究对象,并未将林业、畜牧业和渔业纳入到农业绿色发展研究范围中,需进一步完善与探索。②农业污染防治层中,农膜回收率、农药包装物回收率、秸秆综合利用率等农业污染防治指标虽考虑到了,但由于地级市数据缺乏,无法实现。为了在数据可获取条件下更加科学全面的表征,本文将农业环境保护财政支出占比替代农业面源污染防治投入力度、生活垃圾无害化处理率代替农村垃圾无害化处理率;此外,存在个别年份数据缺失,本文根据实际情况用多重插补法进行填补和处理。可以看出,指标缺失和替代可能会影响整体测度结果,因此对于关键指标的选取还有待加强。

参考文献(References):

- [1] Wezel A, Soldat V. A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline of agroecology[J]. International Journal of Agricultural Sustainability, 2009, 7(1): 3-18.
- [2] Seufert V, Ramankutty N, Foley J A. Comparing the yields of organic and conventional agriculture[J]. Nature, 2012, 485(7397): 229-232.
- [3] Pretty J N. Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences, 2008, 363(1491): 447-465.
- [4] Dakora F D, Shen J B, Zhang F S, et al. Exploring solutions for sustainable agriculture with “green” and “development” tags in Africa[J]. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, 2020, 7(4): 363-365.
- [5] 李福夺, 杨鹏, 尹昌斌. 我国农业绿色发展的基本理论与研究展望[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(10): 1-7. [Li F D, Yang P,

- Yin C B. The historical evolution and modern constitution of theory of agricultural green development in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2020, 41(10): 1-7.]
- [6] 赵会杰, 于法稳. 基于熵值法的粮食主产区农业绿色发展水平评价[J]. 改革, 2019, (11): 136-146. [Zhao H J, Yu F W. Evaluation of agricultural green development level in main grain producing areas based on entropy method[J]. Reform, 2019, (11): 136-146.]
- [7] 孙炜琳, 王瑞波, 姜茜, 等. 农业绿色发展的内涵与评价研究[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(4): 14-21. [Sun W L, Wang R B, Jiang Q, et al. Study on connotation and evaluation of the agricultural green development[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(4): 14-21.]
- [8] 吴红, 陈俊红, 赵姜. 京津冀农业绿色发展成效、问题及对策[J]. 北方园艺, 2020, (17): 166-171. [Wu H, Chen J H, Zhao J. Achievements, problems and countermeasures of agricultural green development in Beijing, Tianjin and Hebei[J]. Northern Horticulture, 2020, (17): 166-171.]
- [9] 张建杰, 崔石磊, 马林, 等. 中国农业绿色发展指标体系的构建与例证[J]. 中国生态农业学报, 2020, 28(8): 1113-1126. [Zhang J J, Cui S L, Ma L, et al. Construction of a green development index system for agricultural in China and examples[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(8): 1113-1126.]
- [10] 金赛美. 中国省际农业绿色发展水平及区域差异评价[J]. 求索, 2019, (2): 89-95. [Jin S M. Evaluation on the level of agricultural green development and regional difference among provinces in China[J]. Seeker, 2019, (2): 89-95.]
- [11] 周柯, 张丽荣. 黄河流域农业绿色发展与农业技术人才耦合协调分析[J]. 区域经济评论, 2021, (5): 145-152. [Zhou K, Zhang L R. Coupling coordination analysis between agricultural green development and agricultural technical talents in the Yellow River Basin[J]. Regional Economic Review, 2021, (5): 145-152.]
- [12] 何可, 李凡略, 张俊飏, 等. 长江经济带农业绿色发展水平及区域差异分析[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(3): 43-51. [He K, Li F L, Zhang J B, et al. Green development levels and regional differences of agriculture in the Yangtze River Economic Belt[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2021, 40(3): 43-51.]
- [13] 周莉. 乡村振兴背景下西藏农业绿色发展研究[J]. 西北民族研究, 2019, (3): 116-127. [Zhou L. Study on the green development of agriculture in Tibet under the background of rural revitalization [J]. Journal of Northwestern Ethnic Studies, 2019, (3): 116-127.]
- [14] 查建平, 周霞, 周玉玺. 黄河流域农业绿色发展水平综合评价分析[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(1): 18-28. [Zha J P, Zhou X, Zhou Y X. Evaluation of agricultural green development level in the Yellow River[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022, 43(1): 18-28.]
- [15] 崔宁波, 巴雪真. 黑龙江省农业绿色发展水平评价[J]. 北方园艺, 2021, (8): 157-163. [Cui N B, Ba X Z. Evaluation of agricultural green development level in Heilongjiang Province[J]. Northern Horticulture, 2021, (8): 157-163.]
- [16] 靖培星, 赵伟峰, 郑谦, 等. 安徽省农业绿色发展水平动态预测及路径研究[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(10): 51-56. [Jing P X, Zhao W F, Zheng Q, et al. Study on dynamic prediction and path of green development level of agriculture in Anhui Province[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(10): 51-56.]
- [17] 黄少坚, 冯世艳. 农业绿色发展指标设计及水平测度[J]. 生态经济, 2021, 37(5): 125-131. [Huang S J, Feng S Y. Index design and level measurement of agricultural green development[J]. Ecological Economy, 2021, 37(5): 125-131.]
- [18] 涂正革, 甘天琦. 中国农业绿色发展的区域差异及动力研究[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版), 2019, 72(3): 165-178. [Tu Z G, Gan T Q. Study on regional difference and dynamic mechanism of agricultural green development in China[J]. Wuhan University Journal (Philosophy & Social Science), 2019, 72(3): 165-178.]
- [19] 崔宁波, 李世玉. 粮食主产区农业绿色发展的影响因素、质量测度与动力分析: 基于绿色全要素生产率视角[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(3): 621-630. [Cui N B, Sheng S Y. Influencing factors, quality measurement and dynamic analysis of agricultural green development in major grain producing areas from the perspective of green total factor productivity[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2022, 39(3): 621-630.]
- [20] 孙玉平. 潜山市农业绿色发展现状及建议[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(20): 15,39. [Sun Y P. Current situation and suggestions of agricultural green development in Qianshan[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2021, 27(20): 15,39.]
- [21] 余永琦, 王长松, 彭柳林, 等. 基于熵权TOPSIS模型的农业绿色发展水平评价与障碍因素分析: 以江西省为例[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(2): 187-196. [Yu Y Q, Wang C S, Peng L L, et al. Evaluation of agricultural green development level and analysis of obstacle factors based on entropy weight TOPSIS model: A case study of Jiangxi[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022, 43(2): 187-196.]
- [22] 魏琦, 张斌, 金书秦. 中国农业绿色发展指数构建及区域比较研究[J]. 农业经济问题, 2018, (11): 11-20. [Wei Q, Zhang B, Jin S Q. A study on construction and regional comparison of agricultural green development index in China[J]. Issues in Agricultural Economy, 2018, (11): 11-20.]
- [23] 韩长赋. 大力推进农业绿色发展[J]. 农村实用技术, 2018, (3): 12-13. [Han C F. Vigorously promote the green development of agriculture[J]. Rural Practical Technology, 2018, (3): 12-13.]

2022年5月

- [24] 李学敏, 巩前文. 新中国成立以来农业绿色发展支持政策演变及优化进路[J]. 世界农业, 2020, (4): 40–50. [Li X M, Gong Q W. Evolution and optimization of agricultural green development support policy from 1949 to 2019[J]. World Agriculture, 2020, (4): 40–50.]
- [25] 陈守煜. 工程可变模糊集理论与模型: 模糊水文水资源学数学基础[J]. 大连理工大学学报, 2005, (2): 308–312. [Chen S Y. Theory and model of engineering variable fuzzy set: Mathematical basis for fuzzy hydrology and water resources[J]. Journal of Dalian University of Technology, 2005, (2): 308–312.]
- [26] 许瑶, 纪建悦, 许玉洁. 中国养殖海域利用效率空间非均衡格局及成因[J]. 资源科学, 2020, 42(11): 2158–2169. [Xu Y, Ji J Y, Xu Y J. Spatial disequilibrium of mariculture areas utilization efficiency in China and causes[J]. Resources Science, 2020, 42(11): 2158–2169.]
- [27] 王萍萍, 韩一军, 张益. 中国农业化肥施用技术效率演变特征及影响因素[J]. 资源科学, 2020, 42(9): 1764–1776. [Wang P P, Han Y J, Zhang Y. Characteristics of change and influencing factors of the technical efficiency of chemical fertilizer use for agricultural production in China[J]. Resources Science, 2020, 42(9): 1764–1776.]
- [28] 陆志强, 李吉鹏, 章耕耘, 等. 基于可变模糊评价模型的东山湾生态系统健康评价[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4907–4919. [Lu Z Q, Li J P, Zhang G Y, et al. Ecosystem health assessment based on variable fuzzy evaluation model in Dongshan Bay, Fujian, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(14): 4907–4919.]
- [29] 王泽宇, 卢函, 孙才志, 等. 中国海洋经济系统稳定性评价与空间分异[J]. 资源科学, 2017, 39(3): 566–576. [Wang Z Y, Lu H, Sun C Z, et al. Assessment and spatial differentiation of China's marine economic system stability[J]. Resources Science, 2017, 39(3): 566–576.]
- [30] 郭付友, 吕晓, 于伟, 等. 山东省绿色发展水平绩效评价与驱动机制: 基于17地市面板数据[J]. 地理科学, 2020, 40(2): 200–210. [Guo F Y, Lv X, Yu W, et al. Performance evaluation and driving mechanism of green development in Shandong Province: Based on panel data of 17 cities[J]. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(2): 200–210.]
- [31] 王岱, 蔺雪芹, 刘旭, 等. 北京市县域都市农业可持续发展水平动态分异与提升路径[J]. 地理研究, 2014, 33(9): 1706–1715. [Wang D, Lin X Q, Liu X, et al. Dynamic variation assessment and improvement strategies of urban agricultural sustainable development in Beijing at the county level[J]. Geographical Research, 2014, 33(9): 1706–1715.]
- [32] 程钰, 王晶晶, 王亚平, 等. 中国绿色发展时空演变轨迹与影响机理研究[J]. 地理研究, 2019, 38(11): 2745–2765. [Cheng Y, Wang J J, Wang Y P, et al. A comparative research of the spatio-temporal evolution track and influence mechanism of green development in China[J]. Geographical Research, 2019, 38(11): 2745–2765.]
- [33] 魏素豪, 李晶, 李泽怡, 等. 中国农业竞争力时空格局演化及其影响因素[J]. 地理学报, 2020, 75(6): 1287–1300. [Wei S H, Li J, Li Z Y, et al. Spatio-temporal evolution and its influencing factors of China's agricultural competitiveness[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(6): 1287–1300.]
- [34] 刘涛, 李继霞, 霍静娟. 中国农业高质量发展的时空格局与影响因素[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(10): 1–8. [Liu T, Li J X, Huo J J. Spatio-temporal pattern and influencing factors of high-quality agricultural development in China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2020, 34(10): 1–8.]
- [35] 王若梅, 马海良, 王锦. 基于水-土要素匹配视角的农业碳排放时空分异及影响因素: 以长江经济带为例[J]. 资源科学, 2019, 41(8): 1450–1461. [Wang R M, Ma H L, Wang J. Spatial and temporal differences of agricultural carbon emissions and impact factors of the Yangtze River Economic Belt based on a water-land perspective[J]. Resources Science, 2019, 41(8): 1450–1461.]
- [36] 张宁, 陆文聪. 中国农村劳动力素质对农业效率影响的实证分析[J]. 农业技术经济, 2006, (2): 74–80. [Zhang N, Lu W C. An empirical analysis of the influence of Rural Labor quality on agricultural efficiency in China[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2006, (2): 74–80.]
- [37] 黄修杰. 农业高质量发展的空间分异与影响因素: 以广东省为例[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(4): 699–708. [Huang X J. Spatial differentiation patterns and influencing factors agricultural high-quality development: A case study of Guangdong Province [J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2021, 38(4): 699–708.]
- [38] 郭付友, 佟连军, 仇方道, 等. 黄河流域生态经济走廊绿色发展时空分异特征与影响因素识别[J]. 地理学报, 2021, 76(3): 726–739. [Guo F Y, Tong L J, Qiu F D, et al. Spatio-temporal differentiation characteristics and influencing factors of green development in the eco-economic corridor of the Yellow River Basin[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(3): 726–739.]

Spatiotemporal changes and influencing factors of agricultural green development level in main grain-producing areas in Northeast China

GAI Mei^{1,2}, YANG Qingfei^{1,2}, HE Yaning^{1,2}

(1. Institute of Marine Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China; 2. University Collaborative Innovation Center of Marine Economy High-Quality Development of Liaoning Province, Dalian 116029, China)

Abstract: Clarifying the spatial and temporal change characteristics and factors that influence the level of agricultural green development in the main grain-producing regions of Northeast China can provide a reference basis for promoting regional agricultural green development. Based on the data of 37 cities in the main grain-producing areas in Northeast China from 2010 to 2019, this study used variable fuzzy recognition model, kernel density estimation model, and spatial Durbin model to measure the level of agricultural green development in the region. The temporal and spatial change characteristics and influencing factors were also explored. The results show that: (1) Temporally, the agricultural green development level showed an overall upward trend, but it is still at a medium development level. Spatially, there is a certain differentiation across the region. There are many cities with relatively high-level development, and they are mainly found in Heilongjiang Province. (2) Each dimension of agricultural green development has shown an upward trend to varying degrees from 2010 to 2019, among them, agricultural economic vitality grew the most, reaching 35.63%; agricultural science and technology innovation grew the least, reaching only 0.61%. The Gini index and coefficient of variation of agricultural technological innovation across the region showed a downward trend, the spatial heterogeneity of other dimensions is significant, and the development is uneven across space. (3) There is a significant contribution of economic development, international trade and information communication to the agricultural green development in the main grain-producing regions of Northeast China, while there is a significant inhibitory effect of industrialization level. In addition, there is a significant negative spatial spillover effect of population density and industrialization level. Finally, based on the research findings and combined with the current situation of agricultural green development in each subregion, targeted policy recommendations were proposed.

Key words: agricultural green development; influencing factors; variable fuzzy recognition model; spatial Durbin model; main grain-producing areas in Northeast China