

基于 LMDI 模型的化肥施用量时空特征 与驱动机制分析

胡光伟^{1,2,3}, 刘 洁^{1,2}, 冯 畅³, 冯海丽^{1,2}, 马逸岚^{1,2}, 周 希^{1,2}

(1. 湖南工业大学 农牧业废弃物资源化综合利用湖南省重点实验室, 湖南 株洲 412007;

2. 湖南工业大学 城市与环境学院, 湖南 株洲 412007; 3. 衡阳师范学院 地理与旅游学院, 湖南 衡阳 421002)

摘要:临沂市化肥施用量近年来一直处于下降趋势,但化肥施用强度仍未达到国家和国际标准。基于临沂市 2010—2019 年的面板数据,利用灰色 GM(1,1)模型预测临沂市未来化肥施用强度趋势,评价临沂市化肥施用情况,计算达到国家和国际标准所需年限;采用弹性脱钩模型分析临沂市化肥施用与农业增长关系变化;运用 LMDI 分解模型将临沂市化肥施用分解为规模效应、结构效应、市场效应、效率效应,计算出各效应的贡献值,从而提出临沂市化肥减量驱动机制,为临沂市化肥减量提供理论指导。结果表明:临沂市化肥施用强度到 2027 年达到国家标准,到 2030 年达到国际标准;临沂市弹性脱钩系数近 10 年除 2016—2018 年为扩张性联结外,其他年均已达到绝对脱钩,且各县区大部分已绝对脱钩,说明临沂市及其各县区近年来的农业产值与化肥施用量变化关系较小。对临沂市化肥减量起主要作用的是市场效应(负效应)和效率效应(正效应),而规模效应和结构效应对临沂市化肥减量的影响程度较小。因此,应坚定不移地致力于提高化肥效率、加大农业投入、加强农户施肥培训、改善种植结构。

关键词:化肥施用强度;灰色预测;弹性脱钩;LMDI 分解模型;临沂市

中图分类号:S147.2;X71 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)04-0363-09

化肥作为“粮食的粮食”,可使粮食增产 40%~50%^[1],但过度施肥会造成土壤酸化、次生盐渍化、土壤板结、养分失衡等农业生态环境问题,最终导致耕地质量严重退化,制约农业可持续发展。由于市场和政府失灵等原因,中国农业面源呈现出范围广、治理难度大、随机性强等特点,化肥在农业面源污染中的贡献日益增加,对大气、土壤、水体等农业生态环境造成破坏,威胁农业的可持续发展^[2]。随着农业“两减”目标的提出,农业化肥面源污染的危害程度得到缓解,2016 年首次实现化肥的“零增长”,紧接着的 4 年均实现了持续减量^[3],为中国农业面源的治理做出了巨大贡献。2021 年 3 月,《中国国民经济和社会发展第十四个五年规划纲要》明确提出:“深入实施农药化肥减量行动,推进秸秆综合利用和畜禽粪污资源化利用。”因此,如何在保证粮食充足的基础上,减少化肥施用量是当前农业生产中亟待解决的问题。

中国学者在化肥投入、利用率、影响因素以及

化肥投入与环境之间的关系做了大量探索性的研究^[2,4-6],多数研究集中在全国^[2,4,7]、省域^[1,5,8-9]等较高层面,且针对市域层面的时空演变格局的研究成果较少,对小尺度的驱动机制研究亟待深入探讨。临沂市作为山东省重要的产粮基地,一方面,非农占用耕地逐年增加,人地矛盾突出,另一方面,化肥对粮食增产具有显著作用,如何在确保粮食安全的前提下,减少对化肥的依赖,是化肥减量增效关注的重点领域。本文以临沂市的各区县为研究单元,基于灰色 GM(1,1)与 LMDI 分解模型,分析化肥施用的时空演变格局与驱动机制,以期为临沂市农业生产与化肥减量化提供决策依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区域

临沂市位于山东省东南部,地跨北纬 34°22′~36°13′,东经 117°24′~119°11′,总面积 17 191.2 km²,辖三区九县(图 1)。临沂市是山东省重要的粮油和蔬菜生产之地。2000 年临沂市农业总产值为

收稿日期:2021-12-16

基金项目:教育部人文社科基金(19YJCZH053);湖南省教育厅一般项目(19C0592);湖南省社会科学成果评审委员会课题(XSP20YBC296);株洲市社科研究课题(ZZSK2021043);株洲市科技计划项目。

作者简介:胡光伟(1983—),男,河南固始人,湖南工业大学农牧业废弃物资源化综合利用湖南省重点实验室,副教授,博士,硕士研究生导师,研究方向为湖泊水资源与水环境、农业面源污染;通信作者刘洁(1999—),女,山东莒南人,湖南工业大学城市与环境学院,学生,研究方向为农业面源污染。

1 275 505万元,到2019年农业总产值为4 339 657万元,增长了2.4倍。临沂市近20年粮食产量比较稳定,2019年临沂市粮食总产量为412.7万t,较2000年增长7.55%,年均增长0.38%。据统计,2019年临沂市耕地面积达1 124.25万亩,其中高标准农田83万亩;农田有效灌溉面积为524.865万亩,农田实灌面积为426.67万亩,其中水田实灌面积为80.35万亩,水浇地实灌面积为241.92万亩,菜田实灌面积为426.67万亩。



图1 临沂市行政区划图

1.2 数据来源与指标选取

本文所使用的数据来源于国家统计局网站、《山东统计年鉴》(2011—2020年)、《临沂统计年鉴》(2011—2020年)、《山东农村统计年鉴》(2011—2020年)。参考已有研究成果和相关文献资料,筛选归纳出影响临沂市化肥施用量的3个关键影响因素,即农作物播种面积、粮食产量、农业产值,利用LMDI分解模型将其分解为规模效应、结构效应、市场效应、效率效应,通过计算各个效应的贡献值揭示临沂市化肥减量的主要影响因素并提出相关化肥减量措施。

1.3 研究方法

1.3.1 灰色GM(1,1)预测模型

灰色预测模型(GM)是一种常见的预测方法,其优势是可以根据较少的信息建立数学模型进行预测^[10]。灰色系统GM(1,1)模型是依据系统中已知的多种因素的综合资料,将此资料的时间序列按微分方程拟合去

逼近上述时间序列所描述的动态过程,进而外推,达到预测的目的,这种拟合得到的模型是时间序列的一阶微分方程,因此,简记为GM(1,1)模型^[11]。

1.3.2 LMDI分解模型

LMDI模型是以驱动效应分析的经典因子分解模型,公式具有简洁性、适用于研究连续变化的特征。LMDI分解方法在时间序列分析中应用广泛,具有无残差、易于解释等优势,具体计算公式参考文献^[12-13]。

2 临沂市化肥施用量现状分析和预测

2.1 临沂市化肥施用总体情况

2010—2019年,临沂市农业化肥施用总量呈现出每年减少的趋势(图2)。2010年临沂市农业化肥施用总量为433 898 t(折纯),到2019年临沂市农业化肥施用总量减少至318 267 t,10年间化肥总施用量减少了26.6%。

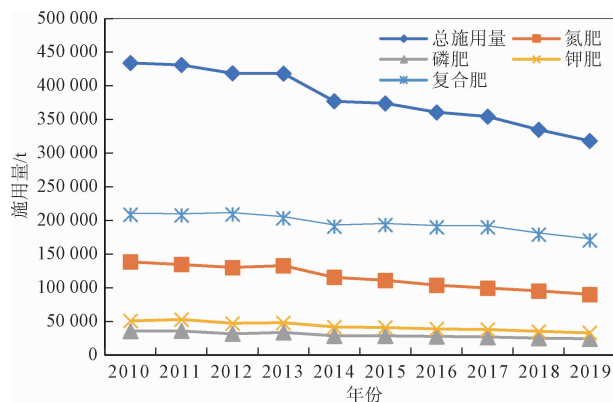


图2 2010—2019年临沂市各农用化肥施用量(折纯量)

2019年临沂市化肥施用量达到了318 267 t,单位播种面积化肥用量(含氮肥、磷肥、钾肥和复合肥折纯后的N, P₂O₅, K₂O养分)达到322 kg/hm²(图3),大大超过国际公认的225 kg/hm²的化肥安全施用上限^[14],高于环保部生态乡镇建设规定的250 kg/hm²化肥施用强度标准^[15]。

由图3(b)可以看出,在临沂市三区九县中只有兰山区和沂南县的化肥施用强度低于国际公认的225 kg/hm²的化肥安全施用上限,临沭县的化肥施用强度符合环保部生态乡镇建设规定的250 kg/hm²的约束性指标,而其他县区远远超过国家和国际公认的标准。

2.2 临沂市化肥施用强度达标预测

2.2.1 临沂市化肥施用强度预测模型

2010—2019年,临沂市化肥施用强度呈现下降趋势,但仍高于国家和国际的标准。根据临沂市

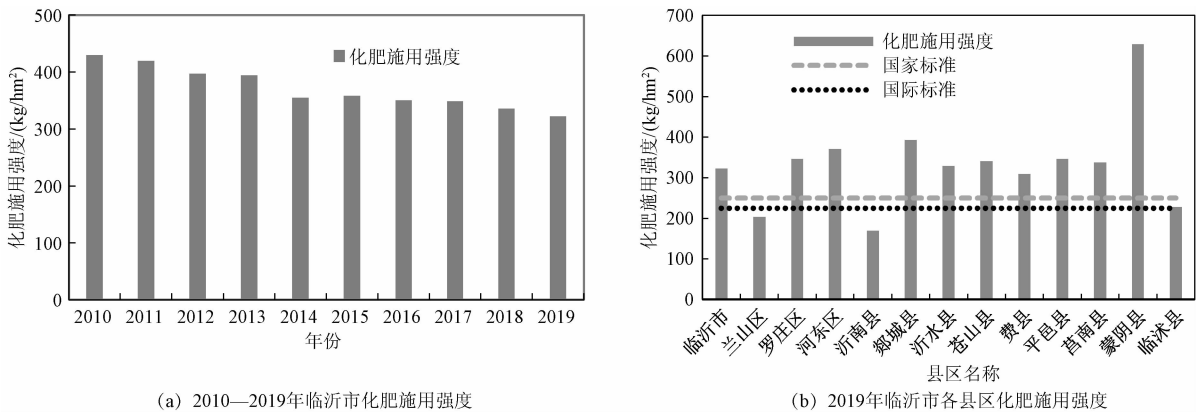


图 3 化肥施用强度

2010—2019 年化肥施用强度构建灰色预测模型,经检验,临沂市化肥施用强度的级比检验值均在标准范围区间内 $[0.834, 1.199]$ [即区间 $\sigma(k) = \frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)}$] 内,意味着本数据适合进行 GM(1,1) 模型构建。

$X^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), x^{(0)}(4), x^{(0)}(5), x^{(0)}(6), x^{(0)}(7), x^{(0)}(8), x^{(0)}(9), x^{(0)}(10)] = (430, 419, 397, 394, 354, 358, 350, 349, 336, 322)$ 。

通过累加构造生成列:

$X^{(1)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), x^{(0)}(4), x^{(0)}(5), x^{(0)}(6), x^{(0)}(7), x^{(0)}(8), x^{(0)}(9), x^{(0)}(10)] = (430, 419, 397, 394, 354, 358, 350, 349, 336, 322)$ 。

构造数据矩阵 B 和数据向量 Y 为

$$B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ -z^{(1)}(4) & 1 \\ -z^{(1)}(5) & 1 \\ -z^{(1)}(6) & 1 \\ -z^{(1)}(7) & 1 \\ -z^{(1)}(8) & 1 \\ -z^{(1)}(9) & 1 \\ -z^{(1)}(10) & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.5[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -0.5[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ -0.5[x^{(1)}(3) + x^{(1)}(4)] & 1 \\ -0.5[x^{(1)}(4) + x^{(1)}(5)] & 1 \\ -0.5[x^{(1)}(5) + x^{(1)}(6)] & 1 \\ -0.5[x^{(1)}(6) + x^{(1)}(7)] & 1 \\ -0.5[x^{(1)}(7) + x^{(1)}(8)] & 1 \\ -0.5[x^{(1)}(8) + x^{(1)}(9)] & 1 \\ -0.5[x^{(1)}(9) + x^{(1)}(10)] & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -639.5 & 1 \\ -1\,047.5 & 1 \\ -1\,443.0 & 1 \\ -1\,817.0 & 1 \\ -2\,173.0 & 1 \\ -2\,527.0 & 1 \\ -2\,876.5 & 1 \\ -3\,219.0 & 1 \\ -3\,548.0 & 1 \end{bmatrix}。$$

$Y_N = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), x^{(0)}(4), x^{(0)}(5), x^{(0)}(6), x^{(0)}(7), x^{(0)}(8), x^{(0)}(9), x^{(0)}(10)]^T = (430, 419, 397, 394, 354, 358, 350, 349, 336, 322)$ 。

将 B, Y_N 代入辨识算式 $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N$, 经过计算得

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} 0.030\,765\,588 \\ 430.275\,953\,728 \end{bmatrix},$$

$a = 0.030\,765\,588, b = 430.275\,953\,728,$
 $\frac{b}{a} = 13\,985.624\,060\,150。$

最终得到临沂市化肥施用强度预测模型为

$$\hat{X}^{(0)}(k) = 423.528\,394\,8e^{-0.030\,765\,588t},$$

$t = 1, 2, \dots, n \tag{1}$

式中, t 为第 t 年, 2010 为第 1 年, 2011 年为第 2 年, 依此类推。

2.2.2 临沂市化肥施用强度预测模型的检验

经计算可知, 化肥施用量的平均相对误差为 0.031 469 455, 后验差比值 C 为 0.246 507 24 < 0.35, 表明模型的精度较高, 预测结果准确科学。因此可以利用所构建的模型对临沂市化肥施用强度进行中长期的预测。

2.2.3 临沂市化肥施用强度达标年份预测

根据式(1)对临沂市 2020—2030 年化肥施用强度进行预测(图 4)。由图 4 可以看出, 临沂市化肥施用强度将在 2027 年达到国家生态乡镇建设规定的化肥施用强度(小于 250 kg/hm²)的约束性指标, 在 2030 年达到国际公认的 225 kg/hm² 的化肥施用上限, 因此临沂市化肥减量的工作任务任重而道远。

3 临沂市化肥减量的影响因素分析

3.1 弹性脱钩模型

针对临沂市化肥施用现状, 通过弹性脱钩方程揭示临沂市化肥投入与农业产值增长的关系, 使用完全

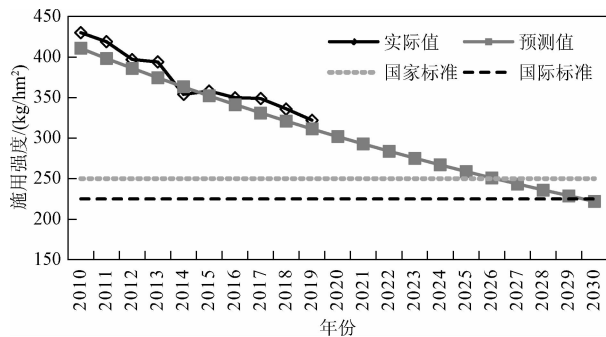


图 4 2010—2030 年临沂市化肥施用强度预测

因素分解模型和 LMDI 分解模型分解出影响临沂市化肥施用量的主要因素,进而提出其化肥减量的驱动机制。临沂市化肥施用与农业增长的关系为

$$D_{C,A} = \frac{\Delta C'}{\Delta A'} = \left(\frac{\Delta C}{C}\right) / \left(\frac{\Delta A}{A}\right) \tag{2}$$

式中: $D_{C,A}$ 表示化肥投入相对于农业产值的弹性,即农业产值每变化一个百分点时引发化肥投入发生的变化速度; $\Delta C'$ 为评价时期内化肥投入的变化值 ΔC 与基期化肥投入 C 的比值,表示评价时期内化肥投入的变化速度; $\Delta A'$ 为评价时期内农业产值的变化值 ΔA 与基期农业产值 A 的比值,表示评价时期内农业产值的变化速度。

根据 Tapio 等对弹性脱钩系数的解释,鉴于临沂市 2010—2019 年农业产值保持增长态势,即 $\Delta A' > 0$,将脱钩弹性系数划分为:①绝对脱钩状态,即化肥投入的变化值为负($\Delta C' < 0$),与农业产值变化方向相反,化肥投入的减少不会导致农业产值的降低,即 $D_{C,A} < 0$;②相对脱钩状态,即尽管化肥投入仍然保持增长,但是增加的幅度远低于农业产值的增长幅度,即 $0 < D_{C,A} < 0.8$;③扩张性联结,即化肥投入与农业产值的增长幅度大致相同,即 $0.8 < D_{C,A} < 1.2$;④扩张性负脱钩状态,即化肥投入的增长幅度远高于农业产值增长幅度,即 $D_{C,A} > 1.2$ 。

3.1.1 化肥投入与农业增长的脱钩关系

以 2 年为一个管制周期,将 2010—2019 年划分为 5 个时期(表 1),按照脱钩弹性方程,分析临沂市及各县区化肥投入与农业增长的脱钩状态。空间分布格局如图 5 所示。

表 1 2010—2019 年临沂市弹性脱钩系数

年份	$\Delta C'$	$\Delta A'$	$D_{C,A}$	脱钩状态
2010—2012	-0.03	0.10	-0.36	绝对脱钩
2012—2014	-0.10	0.16	-0.62	绝对脱钩
2014—2016	-0.04	0.07	-0.64	绝对脱钩
2016—2018	-0.07	-0.08	0.95	扩张性联结
2018—2019	-0.05	0.10	-0.51	绝对脱钩

3.1.2 化肥投入与农业增长的脱钩结果分析

从计算结果来看,临沂市 2010—2019 年主要处于绝对脱钩状态,仅 2016—2018 年处于扩张性联结状态。从空间分布格局来看,虽然各时期每个县区的脱钩状态不尽相同,但整体来说,临沂市各县区都朝着绝对脱钩的方向发展。其中,2010—2012 年,兰山区和罗庄区处于扩张性负脱钩状态;河东区处于扩张性联结状态;郯城县、兰陵县、莒南县、蒙阴县处于相对脱钩状态;沂南县、沂水县、费县、平邑县、临沭县处于绝对脱钩状态,表明临沂市的个别县区农业产值的增长仍依赖于化肥的投入。2012—2014 年,除了沂水县和蒙阴县为相对脱钩状态,其他县区均为绝对脱钩状态。表明临沂市大部分县区农业已不再过度依赖化肥投入。2014—2016 年,除郯城县外各县区均实现了绝对脱钩。2016—2018 年,临沂市的脱钩状态从绝对脱钩转变为扩张性联结,其中河东区的弹性脱钩系数最大,达到了 2.96,处于扩张性负脱钩状态;罗庄区、沂南县、郯城县、沂水县、兰陵县、费县、平邑县 7 个县区处于相对脱钩状态;兰山区、莒南县、蒙阴县、临沭县处于绝对脱钩状态。2018—2019 年,除临沭县外其他各县区均为绝对脱钩状态。

虽然近 10 年临沂市各县区的弹性脱钩系数处于波动之中,但是总体是朝着绝对脱钩状态方向发展,表明化肥减量行动的实施效果显著,农业产值的增长对化肥的依赖程度越来越低。

3.2 LMDI 分解模型

LMDI 模型是用以驱动效应分析的经典因子分解模型,公式间接,可以较好地用于解释不同时期内的变化情况。

$$C_t = S_t \cdot \frac{F_t}{S_t} \cdot \frac{A_t}{F_t} \cdot \frac{C_t}{A_t} = S_t \cdot P_t \cdot Y_t \cdot E_t \tag{3}$$

式中: C_t 表示 t 时期的化肥施用量; S_t 表示 t 时期的农作物播种面积; F_t 为 t 时期的粮食产量; A_t 为 t 时期的农业产值;化肥施用量被表征为农作物播种面积(S)、单位面积粮食产量(P)、单位粮食产值(Y)、单位产值化肥施用量(E)的函数。

与之相对应的:

农作物播种面积(S),在其他条件不变的情况下,随着农作物播种面积的增大,只有保证增加适当的化肥投入,才能保证粮食增产和农业产值提高,因此将其看作“规模效应”。

单位面积粮食产量($P=F/S$),即粮食单产,在其他条件不变的情况下,若要使得粮食单产提高,

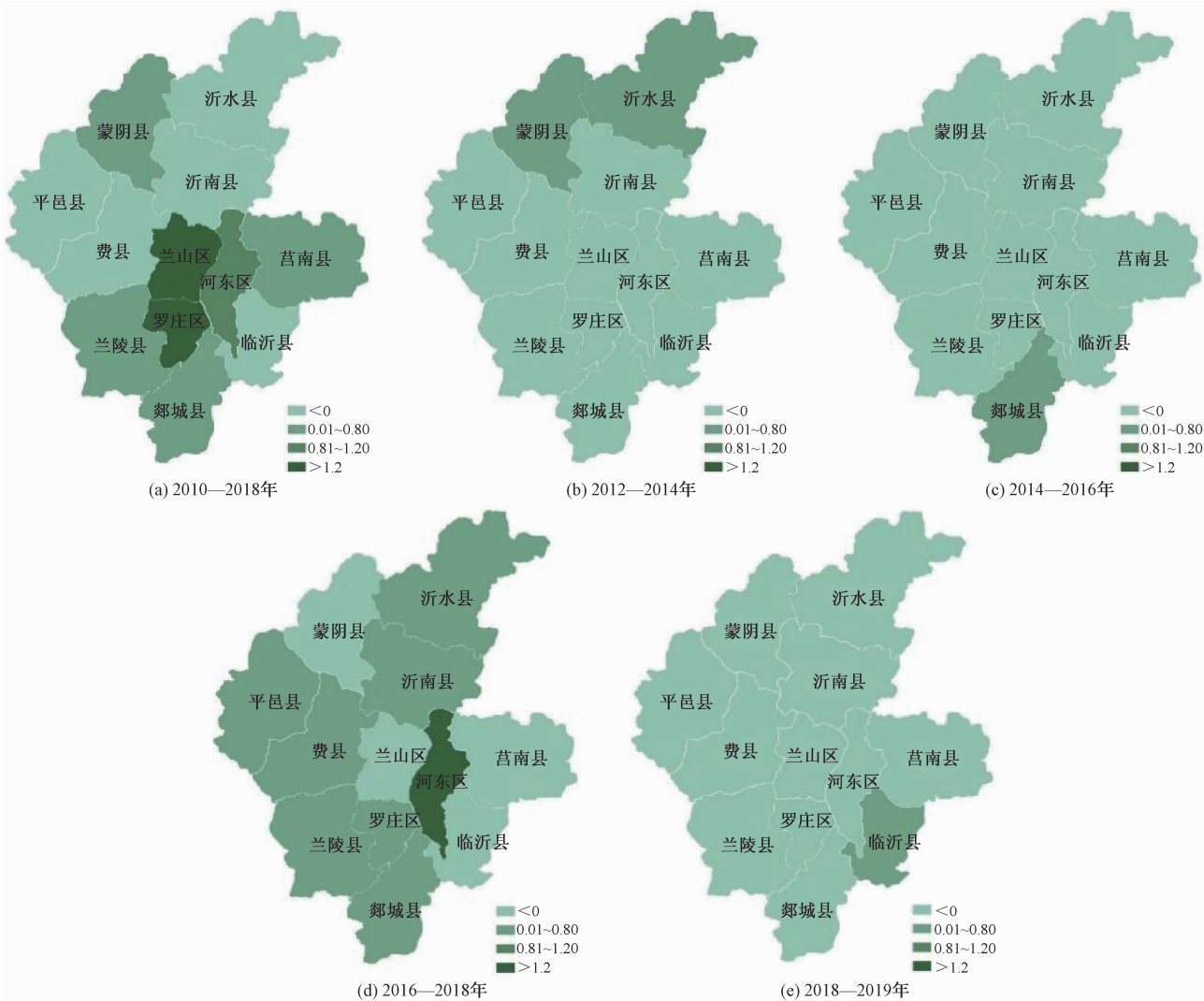


图 5 2010—2019 年临沂市弹性脱钩系数的空间格局

需合理安排不同粮食作物的种植结构以及不同粮食合理施用不同化肥及配比,因此将其视为“结构效应”。

单位粮食产值($Y=A/F$),即粮食价格,当年粮食的市场价格将会通过影响农户,间接影响化肥施用量,因此将其看作“市场效应”。

单位产值化肥施用量($E=C/A$),体现了化肥投入的产值效率,在其他条件不变的情况下,化肥效率越高,化肥施用量越少,因此将其称为“效率效应”。

因此, t 期与基期的化肥施用变动可以分解为

$$\begin{aligned} \Delta C_t &= C_t - C_0 = \frac{C_t - C_0}{\ln(C_t/C_0)} \ln \frac{C_t}{C_0} = \\ &= \frac{C_t - C_0}{\ln(C_t/C_0)} \cdot \ln \left(\frac{S_t}{S_0} \cdot \frac{P_t}{P_0} \cdot \frac{Y_t}{Y_0} \cdot \frac{E_t}{E_0} \right) = \\ &= \frac{C_t - C_0}{\ln(C_t/C_0)} \cdot \ln \frac{S_t}{S_0} + \frac{C_t - C_0}{\ln(C_t/C_0)} \cdot \ln \frac{P_t}{P_0} + \end{aligned}$$

$$\frac{C_t - C_0}{\ln(C_t/C_0)} \cdot \ln \frac{Y_t}{Y_0} + \frac{C_t - C_0}{\ln(C_t/C_0)} \cdot \ln \frac{E_t}{E_0} \quad (4)$$

又

$$\Delta C_t = C_t - C_0 = \Delta C_t^M + \Delta C_t^P + \Delta C_t^Y + \Delta C_t^E \quad (5)$$

因此农作物播种面积(规模效应)引发的化肥施用变化情况表示为

$$\Delta C_t^S = \frac{C_t - C_0}{\ln(C_t/C_0)} \cdot \ln \frac{S_t}{S_0} \quad (6)$$

粮食单产(结构效应)引发的化肥施用变化情况表示为

$$\Delta C_t^P = \frac{C_t - C_0}{\ln(C_t/C_0)} \cdot \ln \frac{P_t}{P_0} \quad (7)$$

单位粮食产值(市场效应)引发的化肥施用变化情况表示为

$$\Delta C_t^Y = \frac{C_t - C_0}{\ln(C_t/C_0)} \cdot \ln \frac{Y_t}{Y_0} \quad (8)$$

单位产值化肥施用量(效率效应)引发的化肥

施用变化情况表示为

$$\Delta C_t^E = \frac{C_t - C_0}{\ln(C_t/C_0)} \cdot \ln \frac{E_t}{E_0} \tag{9}$$

每个因素的贡献值与化肥施用量变化的比值，即为各效应的贡献率，即

$$V_S = \frac{\Delta C_S}{\Delta C} \tag{10}$$

$$V_P = \frac{\Delta C_P}{\Delta C} \tag{11}$$

$$V_Y = \frac{\Delta C_Y}{\Delta C} \tag{12}$$

$$V_E = \frac{\Delta C_E}{\Delta C} \tag{13}$$

3.2.1 驱动效应时间分解结果

运用LMDI模型，以一年为周期，逐年计算规

模效应、结构效应、市场效应、效率效应对临沂市化肥施用量的贡献值，结果如图 6、表 2 所示。

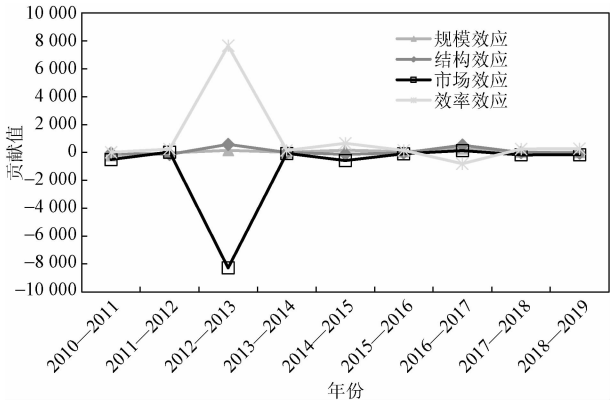


图 6 2010—2019 年临沂市化肥施用强度驱动效应的贡献值

表 2 2010—2019 年临沂市化肥施用强度变化的驱动效应分解

时期	年份	化肥施用量变化	规模效应	结构效应	市场效应	效率效应
“十二五”	2010—2011	—293 0	—2.186 9	—0.510 3	—5.048 1	0.101 1
	2011—2012	—122 23	—0.241 2	—1.393 6	0.252 2	2.382 6
	2012—2013	—705	1.454 3	5.788 3	—82.729 4	76.486 8
	2013—2014	—409 63	0.186 0	0.021 7	—0.675 6	1.467 9
	2014—2015	—310 6	1.588 3	—1.305 0	—5.776 8	6.493 5
	累积变动	—599 27	0.800 5	2.601 0	—93.977 6	86.932 0
	平均值	—119 85	0.160 1	0.520 2	—18.795 5	17.386 4
“十三五”	2015—2016	—132 82	0.598 3	—0.293 3	—0.856 6	1.551 6
	2016—2017	—640 2	2.544 7	5.227 6	1.357 5	—8.129 7
	2017—2018	—193 79	0.329 8	—0.064 3	—1.784 4	2.519 0
	2018—2019	—166 41	0.184 9	—0.352 4	—1.645 4	2.812 9
	累积变动	—557 04	3.657 7	4.517 5	—2.928 9	—1.246 3
	平均值	—139 26	0.914 4	1.129 4	—0.732 2	—0.311 6
2010—2019 累积变动		—115 631	4.458 2	7.118 6	—96.906 6	85.685 7
2010—2019 平均值		—128 48	0.495 4	0.791 0	—10.767 4	9.520 6

1)规模效应。规模效应(农作物播种面积)对临沂市化肥减量总贡献率较低，除 2010—2011，2011—2012 两年间为负效应，其余年间均为正效应，即农作物播种面积的减少对化肥减量起到了正向作用，且波动较小，由于在中国耕地抛荒被明令严禁，近年来农作物播种面积下降速度减缓，所以规模效应对临沂市化肥减量的影响也逐渐减弱。

2)结构效应。结构效应(粮食单产)对化肥减量的贡献呈现出“负-正-负”循环波动的趋势，但波动幅度较小，对临沂市的化肥减量起到了促进作用。一方面表明临沂市农作物种植结构趋于稳定，因而对粮食单产的影响趋于稳定；另一方面，虽然结构效应的贡献值较小，但仍表现出促进作用，即

不同粮食作物种植结构的调整也促进着化肥减量，粮食单产的波动通过农户的主观意愿间接作用于化肥施用量，两者相互作用，即化肥施用量越高，粮食单产越高，农户则将继续通过施加化肥以促进粮食增产，随着化肥施用量的提高粮食单产不再增加或变化不大，则农户将适度减少化肥施用以减少种植成本。

3)市场效应。市场效应(粮食价格)对化肥减量的负效应较为明显，仅 2011—2012、2016—2017 两年间为正效应，是化肥减量的最大阻力。2012—2013 年市场效应表现出了强烈的波动性，近年来波动较小。说明粮食价格在临沂市化肥减量中起到重要作用，可通过市场进行调控。

4)效率效应。效率效应(单位产值化肥施用

量)对临沂市化肥减量的贡献最大,与临沂市化肥施用量变化趋势基本一致,是临沂市化肥减量的主要推力。单位产值化肥施用量越少,其效率效应越高,化肥施用量越少。

3.2.2 驱动效应空间分解结果

运用 LMDI 模型,以一年为周期,逐年计算规模效应、结构效应、市场效应、效率效应对临沂市各县区化肥施用量的贡献值,结果如图 7 所示。

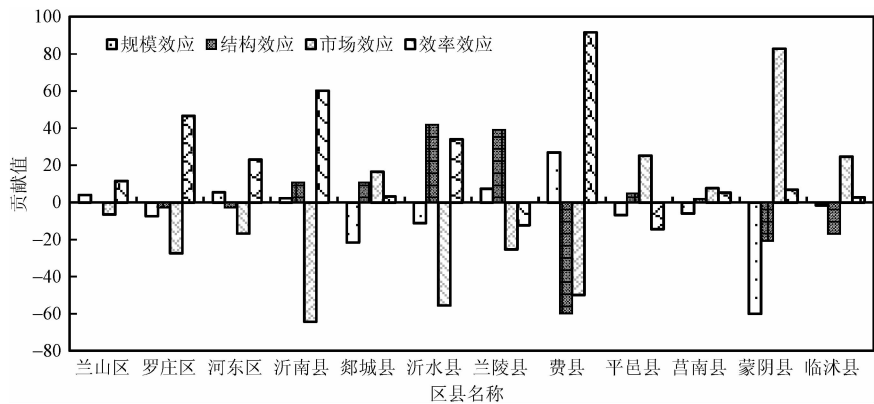


图 7 2010—2019 年临沂市各县区化肥减量驱动效应的贡献值

1) 规模效应的空间格局。各县区化肥减量规模效应的贡献值除费县具有明显的正效应和蒙阴县具有明显的负效应其他县区普遍较低。说明近 10 年来,费县和蒙阴县的农作物播种面积变化波动较大,其他县区的农作物播种面积变化幅度相对平缓,且临沂市各县区在控制农用地方面取得明显成效。

2) 结构效应的空间格局。临沂市各县区化肥减量结构效应的贡献值总体较低,除沂水县和兰陵县表现出明显的正效应,费县表现出明显的负效应。

3) 市场效应的空间格局。临沂市各县区化肥减量市场效应较规模效应和结构效应的贡献值较大,其中较为明显的是,沂南县、沂水县和费县表现出明显的负效应,蒙阴县表现出明显的正效应,说明市场效应在临沂市各县区化肥减量的过程中发挥着重要作用。为临沂市各县区制定相关政策和市场调控具有重要指导意义。

4) 效率效应的空间格局。效率效应对临沂市各县区化肥减量的贡献最为明显,且表现出明显的正效应,最突出的当属罗庄区、沂南县、沂水县和费县,平邑县表现出负效应但贡献值较小。说明,效率效应对临沂市各县区化肥减量的贡献值最大,与临沂市总体概况保持一致。

4 临沂市化肥减量的驱动机制分析

基于前文弹性脱钩方程得出临沂市化肥减量的管制效果显著,基于 LMDI 分解模型将临沂市化肥减量的驱动因素分解为规模效应、结构效应、市

场效应、效率效应,并通过计算得出市场效应和效率效应的贡献值最大。为加快临沂市达到国家生态乡镇建设规定的化肥施用强度(小于 250 kg/hm²)的约束性指标和国际公认的 225 kg/hm² 的化肥施用上限的时间,提出以下对策建议。

4.1 提高化肥效率

由前文 LMDI 分解模型得出临沂市化肥施用量变化贡献值最大的是效率效应,且为正效应。山东省是重要的粮食主产区,而临沂市是山东面积最大的城市,在保证粮食产量的基础上,合理施用化肥、提高化肥利用率对临沂市粮食安全具有重要意义,也是临沂市化肥减量的根本措施。化肥生产制造时,测土配方,因地制宜的制造适宜本地特定土壤特定农作物的化肥,并提出建议施用剂量,提高化肥利用率;化肥施用前,政府积极推进测土配方施肥和相关培训,为农户合理使用化肥提供理论指导;化肥施用时,农户依据化肥施用说明和当地土壤条件合理施用化肥,合理灌溉,使化肥发挥最大效用,避免多次大水漫灌造成化肥流失,有机肥和无机肥配合使用,提高化肥利用率,保证粮食产量,减少化肥施用量。

史常亮等^[16]研究表明,农户在化肥使用上存在较高的技术无效率,在保持土地、劳动力等其他要素投入数量不变的情况下,约 52.51% 的化肥投入量可以减少且不影响产出。通过提高农户对化肥的使用和管理水平完全可以做到化肥减量而作物不减产。

有机肥和化肥配合使用,推进秸秆还田,增加

土壤有机质,进而增加土壤自身肥力,减少化肥施用量,从而提高化肥利用率。

4.2 加大农业投入

由LMDI分解模型得出市场效应的贡献值较大,且为负效应。根据计算结果显示,粮食价格的提高对临沂市化肥减量起到了阻碍作用,说明随着粮食价格的提高,农户的收入增加,于是间接地增加了化肥投入。充分发挥市场调控粮食价格的作用将有利于临沂市化肥减量。但是随着临沂市经济水平逐年提高,物价随之上涨,在发挥市场调控作用的同时,应加大对农户种植的补贴,以维持农户正常生产生活收入和生产性支出。

因此可通过达到化肥减量标准对农户进行农业补贴,增加其可支配收入,促使其积极主动学习寻找科学合理施肥的方法和技术,从而在保障粮食安全的基础上减少化肥施用量。通过统计数据、实地走访调查等方式,对科学合理施用化肥的村、镇、县(区)建立示范区,对其进行表扬、公示及嘉奖,特别是对化肥减量增效特别突出的农户落实到户予以鼓励补偿,发挥模范作用,使农户自觉科学合理施肥。加大农业投入,给予农户一定的种植补贴,使农户不必单纯靠加大化肥投入来提高农作物产量,而有更多的资金去考虑化肥减量增效;加大农业投入,使科研人员加大投入研究绿色化肥,使N、P元素利用最大化;加大农业投入,使知识分子回归农田对农户进行施肥培训,加大宣传教育,从思想上改变农户施肥行为。

4.3 加强农户施肥培训

化肥施用通过作用于粮食产量间接作用于农业产值,而弹性脱钩方程结果显示,临沂市农业产值变化与化肥施用量变化已基本绝对脱钩,且LMDI分解结果表明虽然粮食单产对化肥施用量变化有一定贡献率但整体波动不大,因此通过增加化肥施用而促进粮食增产的方法已不再适用于临沂市现况,对农户科学施肥的培训显得尤为重要。

4.4 改善种植结构

虽然LMDI结果显示,结构效应对临沂市化肥施用量影响不大,但因地制宜地改善种植结构百利无一害,加快种植业调整,将成为控制临沂市化肥用量的重要途径,调减非优势区作物种植面积,构建生态友好型耕作制度,在生态脆弱地区开展休耕,综合运用国家农业资源和农业市场,保障短缺农产品供给等种植业结构优化措施,是推动化肥减量直接有效的方式。

5 结论

采用2010—2019年临沂市农业面板数据,基于灰色GM(1,1)预测模型对临沂市化肥施用强度进行评价和预测,结果表明时间维度上,临沂市化肥施用量和化肥施用强度虽然一直呈现下降趋势,但是化肥施用强度远没有达到国际和国家标准,据预测数据显示,临沂市在2027年化肥施用强度达到国家生态乡镇建设规定的约束性指标,在2030年才能达到小于国际化肥施用安全上限;空间维度上,临沂市2019年三区九县中只有兰山区、沂南县和临沭县低于国际公认的化肥施用强度上限,仅兰山区和沂南县达到国家化肥施用强度的约束性指标。

通过计算临沂市及其各县区农业产值与化肥施用量变化的弹性脱钩系数,到2019年底,临沂市及其各县区除临沭县处于相对脱钩,其他均已完成绝对脱钩。说明近年来,临沂市化肥施用量对农业产值的影响基本不大。

通过LMDI分解模型结果显示对临沂市化肥施用量贡献率最大的是效率效应和市场效应,进而提出提高化肥效率、加大农业投入、加强农户施肥培训、改善种植结构的减量驱动措施。

参考文献

- [1] 经阳,叶长盛. 江西省县域农业化肥施用差异及其驱动机制[J]. 农业现代化研究, 2015, 36(4): 657-665.
- [2] 付浩然,李婷玉,曹寒冰,等. 我国化肥减量增效的驱动因素探究[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(3): 561-580.
- [3] 刘钦普,濮励杰. 中国粮食主产区化肥施用时空特征及生态经济合理性分析[J]. 农业工程学报, 2019, 35(23): 142-150.
- [4] 石文香,陈盛伟. 中国化肥面源污染排放驱动因素分解与EKC检验[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(5): 1-7.
- [5] 谷新辉,周桂明,王军. 江西省农业经济发展与农业面源污染的EKC实证检验[J]. 宜春学院学报, 2020, 42(11): 56-62.
- [6] 李太平,张锋,胡浩. 中国化肥面源污染EKC验证及其驱动因素[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(11): 118-123.
- [7] 揭昌亮,王金龙,庞一楠. 中国农业增长与化肥面源污染: 环境库兹涅茨曲线存在吗? [J]. 农村经济, 2018(11): 110-117.
- [8] 王意杰. 河南省农业面源污染现状及治理对策研究[J]. 农业与技术, 2021, 41(10): 104-107.
- [9] 姜剑,张化楠. 山东省苹果种植户化肥减施意愿影响因素分析[J]. 科技和产业, 2021, 21(9): 143-148.
- [10] 田梓辰,刘森. 基于改进灰色GM(1,1)模型的GDP预测实证[J]. 统计与决策, 2018, 34(11): 83-85.
- [11] 张振华. 基于灰色GM(1,1)模型的城市人口老龄化预测[J]. 统计与决策, 2015, 31(19): 76-79.

[12] 谢文宝,陈彤,刘国勇. 新疆农业面源污染与农业经济增长的关系:基于脱钩模型和 LMDI 模型的实证分析[J]. 资源与产业,2018,20(1):68-75.

[13] 杨建辉. 农业经济增长的农业化学化效应及时空格局变化:以山东省为例[J]. 经济地理,2017,37(3):182-187.

[14] 刘钦普,孙景荣,濮励杰. 中国及欧美主要国家化肥施用强度与综合效率比较研究[J]. 农业工程学报,2020,36(14):9-16.

[15] 刘钦普. 中国化肥面源污染环境风险时空变化[J]. 农业环境科学学报,2017,36(7):1247-1253.

[16] 史常亮,张益,郭焱,等. 耕地细碎化对农户化肥使用效率的影响[J]. 自然资源学报,2019,34(12):2687-2700.

Analysis of Spatial-temporal Characteristics and Driving Mechanisms in Fertilizer Application Based on LMDI Model

HU Guangwei^{1,2,3}, LIU Jie^{1,2}, FENG Chang³, FENG Haili^{1,2}, MA Yilan^{1,2}, ZHOU Xi^{1,2}

(1. Hunan Provincial Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Agricultural and Animal Husbandry Waste Resources, Hunan University of Technology,Zhuzhou Hunan 412007,China; 2. School of Urban and Environmental Sciences, Hunan University of Technology,Zhuzhou Hunan 412007,China; 3. College of Geography and Tourism, Hengyang Normal University,Hengyang Hunan 421002,China)

Abstract: The application amount of chemical fertilizer in Linyi City has been in a downward trend in recent years, but the application intensity of chemical fertilizer has not reached the national and international standards. Based on the panel data of Linyi City from 2010 to 2019, the grey GM (1,1) model was used to predict the future trend of chemical fertilizer application intensity in Linyi City, the application of chemical fertilizer in Linyi City and the years required to meet national and international standards were calculated; The elastic decoupling model was used to analyze the relationship between chemical fertilizer application and agricultural growth in Linyi City. The LMDI decomposition model is used to decompose the chemical fertilizer application in Linyi City into scale effect, structure effect, market effect and efficiency effect, calculate the contribution value of each effect, and put forward the driving mechanism of chemical fertilizer reduction in Linyi City, so as to provide theoretical guidance for chemical fertilizer reduction in Linyi City. The results show that the application intensity of chemical fertilizer in Linyi city will reach the national standard by 2027 and the international standard by 2030. The elastic decoupling coefficient of Linyi City has reached absolute decoupling in recent ten years, except for the expansionary connection from 2016 to 2018, and most counties and districts have been absolutely decoupled, indicating that the agricultural output value of Linyi City and its counties and districts has little relationship with the change of chemical fertilizer application in recent years. The main effects of fertilizer reduction in Linyi are market effect (negative effect) and efficiency effect (positive effect), while scale effect and structure effect have little impact on fertilizer reduction in Linyi. Therefore, unswervingly strive to improve the efficiency of chemical fertilizer, increase agricultural investment, farmers' fertilization training and improve the planting structure are necessary.

Keywords: fertilizer application intensity;grey forecast;elastic decoupling;LMDI decomposition model;Linyi City