



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

地理探测器与Tobit模型在粤西地区粮食生产效率及影响因子分析中的比较应用

黄馨亿, 任向宁, 马涛, 胡月明, 李波, 张飞扬, 谢健文

引用本文:

黄馨亿, 任向宁, 马涛, 等. 地理探测器与Tobit模型在粤西地区粮食生产效率及影响因子分析中的比较应用[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(6): 818–828.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0482>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于生命周期评估的冬小麦-夏玉米种植系统碳足迹核算——以山东省高密地区为例

朱永昶, 李玉娥, 姜德锋, 邹晓霞

农业资源与环境学报. 2017, 34(5): 473–482 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0180>

健康视角下我国亚热带水田粮食产能关键限制因子识别——以广州市从化区为例

任向宁, 王璐, 胡月明, 杨颢, 谢英凯, 韦泽棉

农业资源与环境学报. 2020, 37(6): 793–804 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0478>

气候变化对西北半干旱区旱作农业的影响及解决途径

王红丽, 张绪成, 魏胜文

农业资源与环境学报. 2015(6): 517–524 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0093>

粮食生产潜力中长期预测的验证

刘书田, 李敬亚, 米长虹, 郑宏艳, 黄治平, 侯彦林, 王农, 蔡彦明, 王铎今

农业资源与环境学报. 2016, 33(3): 297–302 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0193>

粮食生产潜力短期预测的“趋势-波动模型”的验证

米长虹, 刘书田, 郑宏艳, 李敬亚, 黄治平, 侯彦林, 王农, 蔡彦明, 王铎今, 侯显达

农业资源与环境学报. 2016, 33(2): 194–200 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0192>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

黄馨亿, 任向宁, 马涛, 等. 地理探测器与Tobit模型在粤西地区粮食生产效率及影响因子分析中的比较应用[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(6): 818–828.

HUANG Xin-yi, REN Xiang-ning, MA Tao, et al. Comparative application of geographical detector and Tobit model in analysis of grain production efficiency in the western Guangdong region and its influencing factors[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(6): 818–828.



开放科学 OSID

地理探测器与Tobit模型在粤西地区粮食生产效率及影响因子分析中的比较应用

黄馨亿^{1,2}, 任向宁^{1,2}, 马涛³, 胡月明^{1,2,3,4}, 李波^{1,2,4}, 张飞扬^{2,4,5}, 谢健文^{1,2,4*}

(1. 华南农业大学资源环境学院, 广州 510640; 2. 广东省土地利用与整治重点实验室, 广州 510642; 3. 青海大学农牧学院, 西宁 810016; 4. 广东省土地信息工程技术研究中心, 广州 510640; 5. 广州市华南自然资源科学技术研究院, 广州 510642)

摘要:为明晰粤西地区粮食生产效率及其关键影响因子,实现优化资源配置效率和推进粮食生产转型升级,基于1999—2018年粤西地区茂名、阳江、湛江3市粮食生产数据,采用交叉效率DEA模型测算区域粮食生产效率,揭示近20年粮食生产效率的时空变化特征,并利用Tobit模型和地理探测器模型比较分析粮食生产效率的关键影响因子。结果表明:粤西地区粮食生产效率平均值为0.77,其中,茂名市粮食生产效率最高(0.88),阳江市次之(0.78),湛江市最低(0.65)。Tobit模型和地理探测器测算粤西地区粮食生产效率影响力(贡献力)最大的投入因子是农业机械总动力,分别为-1.082和0.942。Tobit模型测得的7个投入因子仅化肥施用量(0.015)与粮食生产效率呈显著正相关,有效灌溉面积、粮食播种面积、农药使用量3个因子与粮食生产效率相关性不显著,农用塑料薄膜使用量、从业人口、农业机械总动力3个因子呈显著负相关。而地理探测器测得所有因子均对粮食生产效率产生显著影响。阳江市投入因子贡献力与粤西地区大致相同,但化肥施用量贡献力高出有效灌溉面积0.008。湛江市与茂名市化肥和农药投入的贡献力仅次于农业机械总动力,有效灌溉面积贡献力均最低。但茂名市粮食播种面积贡献力依次大于从业人口和农用塑料薄膜使用量,湛江市则相反。研究表明,20年来粤西地区粮食生产效率不高,整体呈中等效率水平,粮食生产效率先降后升的变化趋势显著;地理探测器测度结果无不显著因子存在,探测因子影响力比Tobit模型所得结果更稳定且偏误小;农业机械总动力是影响粤西3市粮食生产效率的主导因子,但不同城市粮食生产效率的因子贡献力差异较大,湛江和茂名对化肥、农药等污染较大的生产要素依赖性更强。

关键词:粮食生产;投入产出;交叉效率DEA;Tobit模型;地理探测器;粤西地区

中图分类号:F323;F224 文献标志码:A 文章编号:2095-6819(2020)06-0818-11 doi: 10.13254/j.jare.2020.0482

Comparative application of geographical detector and Tobit model in analysis of grain production efficiency in the western Guangdong region and its influencing factors

HUANG Xin-yi^{1,2}, REN Xiang-ning^{1,2}, MA Tao³, HU Yue-ming^{1,2,3,4}, LI Bo^{1,2,4}, ZHANG Fei-yang^{2,4,5}, XIE Jian-wen^{1,2,4*}

(1. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Land Use and Consolidation, Guangzhou 510642, China; 3. College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, China; 4. Guangdong Province Engineering Research Center for Land Information Technology, Guangzhou 510640, China; 5. South China Academy of Natural Resources Science and Technology, Guangzhou 510642, China)

Abstract: This study aims to clarify the grain production efficiency in western Guangdong and its key influencing factors and to optimize

收稿日期:2020-08-31 录用日期:2020-10-15

作者简介:黄馨亿(1994—),女,重庆人,硕士研究生,从事土地利用与信息技术研究。E-mail: xinyi0709@126.com

*通信作者:谢健文 E-mail: 820934964@qq.com

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD1100103);国家自然科学基金项目(U1901601)

Project supported: National Key Research and Development Project(2018YFD1100103); National Natural Science Foundation of China(U1901601)

<http://www.aed.org.cn>

the efficiency of resource allocation, promoting the transformation and enhancement of grain production. Based on the grain production data of three cities in western Guangdong, from 1999 to 2018, a cross efficiency DEA model was employed to calculate the regional grain production efficiency and reveal almost two decades of temporal and spatial evolution characteristics of the grain production efficiency. The key influencing factors of the grain production efficiency were compared and analyzed by using the Tobit model and geographical detector model. Results showed that the average grain production efficiency in western Guangdong was 0.77; Maoming City exhibited the highest efficiency (0.88), followed by Yangjiang City (0.78) and Zhanjiang City (0.65). The most important input factor (contribution) of the Tobit and geographical detector models was the total power of agricultural machinery (-1.082 and 0.942 , respectively). However, the Tobit model demonstrated that the seven input factors affecting the grain production efficiency were positively correlated only with the amount of chemical fertilizer applied (0.015); that the effective irrigated area, grain sown area, and pesticide use amount were not correlated with the grain production efficiency; and that the remaining factors were negatively correlated. All factors measured by the geographical detector had a significant influence on grain production efficiency. The contribution of input factors in Yangjiang was similar to that in western Guangdong Province, but the contribution of the amount of chemical fertilizer was 0.008 higher than that of the effective irrigation area. The contribution of chemical fertilizer and pesticide input in Zhanjiang and Maoming was second only to the total power of agricultural machinery and the contribution of effective irrigation area was the lowest. However, the contribution of the area in which grain was sown in Maoming was higher than that of the employed population and agricultural plastic film, whereas Zhanjiang showed the opposite trend. In general, the grain production efficiency of western Guangdong during the past 20 years has not been high, and has remained at a medium level. The data demonstrate that grain production efficiency decreases first and then increases significantly. There are no insignificant factors in the measurement results of the geographical detector and the influence of detection factors is more stable and less biased than in the Tobit model. The total power of agricultural machinery is the leading factor affecting the grain production efficiency of the three cities in western Guangdong, but the contribution of the factors in different cities is quite different, Zhanjiang and Maoming are more dependent on the chemical fertilizer and pesticide pollution.

Keywords: grain production; input-output; cross efficiency DEA; Tobit model; geographic detector; western Guangdong

随着新型工业化和城镇化深入推进,区域粮食需求日益增长。在资源与环境双重紧约束下,我国粮食供需长期处于紧平衡状态,粮食生产效率在生产要素的不均衡配置、低效率使用等因素驱动下发生剧烈变化,尤其是南部沿海经济发达地区的粮食安全生产形势日益严峻。粗放式、高污染农业生产要素投入模式已被证实难以为继^[1],基于“美好生活”和“美丽中国”需求构建区域粮食安全保障体系,不仅亟需厘清粮食生产过程中的投入产出效率现状,更需准确识别粮食生产效率提升的关键因子。

近年来,关于粮食生产效率测评模型的研究涵盖了参数与非参数估计两大类方法,分别以随机前沿分析(SFA)和数据包络分析(DEA)为代表^[2-3]。相较前者,DEA模型因其无需主观赋权投入产出指标的优点而被广泛用于评价多投入和多产出效率问题^[4-5]。研究视角主要囊括了农业生产用水^[6]、土地利用变化^[7]、生计水平等^[8],从全域国土空间^[1,9]、区域^[8]和省域^[10]范围内综合得出中国粮食生产效率整体中等偏低且部分丘陵山区粮食生产效率高于平原的普遍特征。已有文献基于单一或全要素视角运用DEA模型考虑农业物质生产要素投入,对正确识别我国粮食生

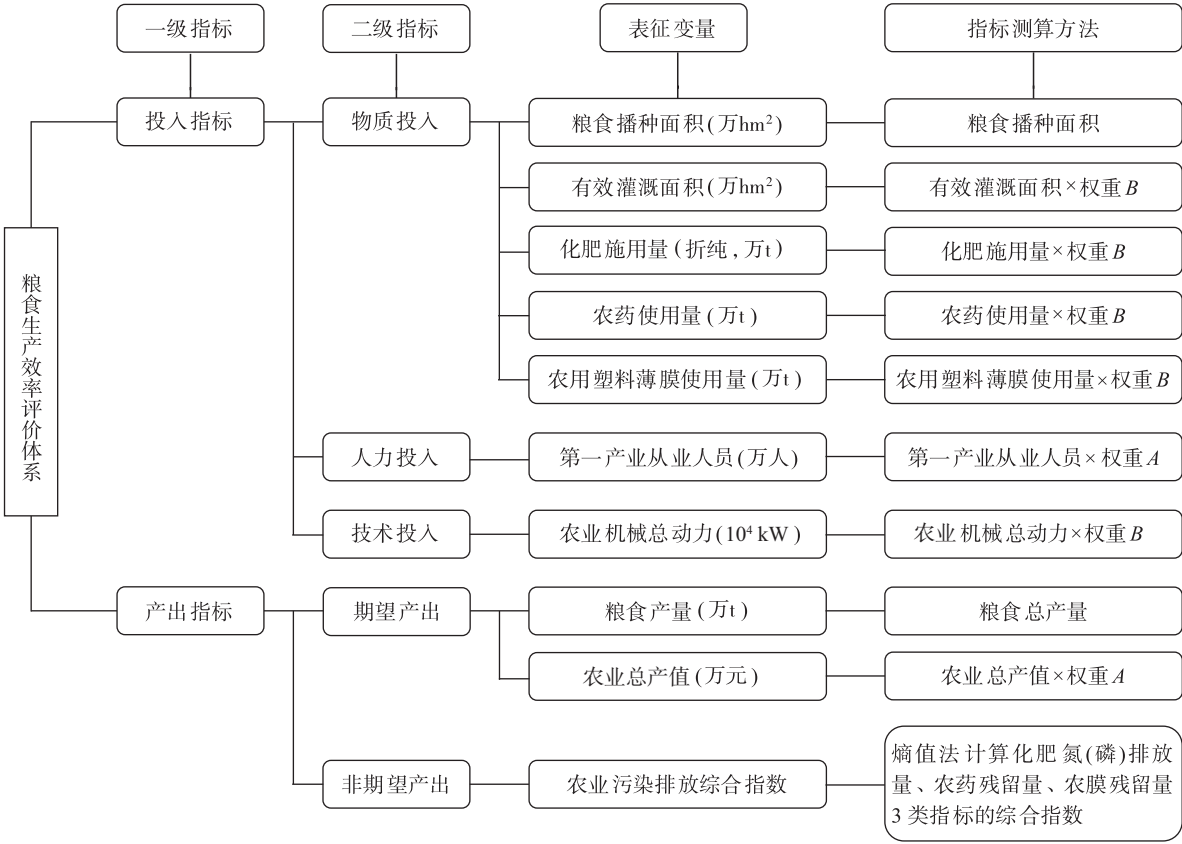
产现状意义重大。但单一DEA模型测评所得效率排序结果差异较大,且存在忽略重要信息的风险^[11]。有学者结合熵权法、层次分析法等进一步提出一系列超效率DEA模型(SBM、EBM),但仍未完全解决DEA模型自评标准不统一、效率结果过于“激进”且无法实现全排序等缺陷^[4,12]。随后,Sexton等^[13]引入“自评+他评”方法,将公共权重交互测评DEA相对效率的矩阵——交叉效率DEA模型带入大家的研究视野。交叉效率DEA所得的多重最优权重效率结果,具有测评标准多重、效率结果有效排序且差距小的优点^[14],更能客观、准确地明晰粮食生产效率现状。为了快速识别粮食生产效率结果中的重要影响因子,许多文献运用DEA-Tobit模型对各类要素进行效率评估和影响因子分析^[10,15]。Tobit模型是一种归并模型,它利用极大似然估计法(MLE)对受限因变量的截尾分布进行估计^[16]。但模型缺失对截断点后方数值的观测,忽略多因子间的差异性,以及固有的多重共线性和内生性问题都会造成计量结果的客观偏误。地理探测器模型突破统计模型的变量处理局限且无需设置过多假设条件的优势,使其广泛应用于社会经济和自然环境等影响机理研究^[17]。同时,利用因子探测器可让自

数据为基础,收集整理的变量数据共有14个:粮食总产量、粮食播种面积、农作物总播种面积、有效灌溉面积、化肥施用量(折纯)、氮(磷)肥施用量、复合肥含氮(磷)量、农药使用量、农用塑料薄膜使用量、地膜使用量、第一产业从业人员、农业机械总动力、农林牧渔总产值、农业总产值。原始数据均来源于《广东省统计年鉴》,行政区划界线主要由研究区2018年土地利用现状调查成果解译获得,数据处理软件主要为ArcGIS 10.2、MaxDEA Pro 7.6、Stata 15.0和GeoDetector。

1.2.2 指标构建

基于投入产出视角,参考现有粮食生产效率评价指标研究成果,兼顾表征变量的易获性、可测性和指标体系的科学合理性,设置投入、产出2个一级指标下的物质投入、人力投入、技术投入、期望产出、非期望产出共5个二级指标(图2)。结合粮食生产实际的

投入产出情况,物质投入指标选取的5个表征变量包括粮食播种面积、有效灌溉面积、化肥施用量(折纯)、农药使用量和农用塑料薄膜使用量。第一产业从业人员表征人力投入指标,农业机械总动力表征技术投入指标^[15,18]。期望产出主要包括粮食和经济产出,用粮食产量和农业总产值衡量。非期望产出是人类活动产生的副产品,此处指粮食生产过程中对生态环境造成的污染,主要包括化肥氮(磷)排放、农药残留、地膜残留3类农业面源污染。考虑到DEA模型要求产出指标不宜过多,且避免计量单位差别而造成数量级别差异,本研究将农业面源污染指标用熵值法计算出农业污染排放综合指数来表征^[19-20]。为了避免异常值对结果的影响,本研究剔除不显著和共线性因子后建立权重指标A、B,将第一产业从业人员和农业总产值用权重A折算,有效灌溉面积、化肥施用量、农药使



化肥氮(磷)排放量=[氮(磷)肥折纯量+复合肥折纯量×15%]×化肥流失率;农药残留量=农药使用量×农药残留系数;地膜残留量=地膜使用量×地膜残留系数。化肥流失系数、农药残留系数、地膜残留系数分别为0.65、0.5和0.1^[19-20]

Emission load N (P)=[N (P) fertilizer purity + compound fertilizer purity×15%] × fertilizer loss rate; Pesticide residue = pesticide use × pesticide residue coefficient; Plastic film residue = plastic film use × plastic film residue coefficient. The chemical fertilizer loss coefficient, pesticide residue coefficient and plastic film residue coefficient is 0.65, 0.5 and 0.1, respectively^[19-20]

图2 研究区粮食生产效率评价指标体系

Figure 2 Evaluation index system of grain production efficiency in the study area

用量和农业机械总动力用权重 B 折算。非期望产出是负影响,在指标测算中将农业污染排放作为损失,纳入粮食价值进行计算^[15,18]。

$A=(\text{农业总产值}/\text{农林牧渔总产值})\times(\text{粮食播种面积}/\text{农作物总播种面积})$

$B=\text{粮食播种面积}/\text{农作物总播种面积}$

1.3 研究方法

交叉效率 DEA 模型是由 Sexton 等^[13]于 1986 年提出的一种交互自评和他评两种策略获得相对效率的互评体系。交叉效率 DEA 模型区别于经典 DEA 模型的关键是互评环节,每个决策单元都从自身的测评标准去评价其他决策单元的效率,实现任意两个决策单元间的互评。为了消除传统 DEA 模型过度依赖权重的问题,交叉效率 DEA 模型在 CCR 模型获取效率值的基础上,引入交互评价机制。用第 i 个决策单元的最优权重 $w_i = \left\{ \frac{u_i}{v_i} \right\}$ 计算决策单元 j 的效率值,得到矩阵

$$E = \begin{Bmatrix} E_{11} & E_{12} & \cdots & E_{1n} \\ E_{21} & E_{22} & \cdots & E_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ E_{n1} & E_{n2} & \cdots & E_{nn} \end{Bmatrix}。主对角线上是自我评价$$

的决策单元,元素 $E_{ij}(i \neq j)$ 表示第 i 个决策单元对第 j 个决策单元的评价。用第 i 列元素的均值衡量第 i 个决策单元的交叉效率, E_i 越大,交叉效率越高^[21]。其计算公式为:

$$E_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E_{ij} \quad (1)$$

Tobit 模型又称截取回归模型,它运用极大似然估计法(MLE)对因变量进行截取,常被学者用于解决住房需求、耐用品支出、最佳工厂选址等问题^[22]。DEA 模型测算的粮食生产效率值通常是 $[0, 1]$ 之间的受限因变量,因此 Tobit 模型常被国内学者用于分析耕地利用或粮食生产效率影响机理^[15,18,23]。但 Tobit 模型会忽略多因子间的差异性,而且截尾分布特征及其固有的多重共线性和内生性问题还会进一步加剧计量结果的偏误^[16]。

地理探测器模型由王劲峰等^[24]开发,它是从空间异质性视角探测因变量对自变量的解释力(q 值)的一种新型空间统计学方法。地理探测器包含了因子、交互作用、生态和风险 4 个探测器,可同时探测、识别定量和定性驱动因子。与其他传统模型相比,地理探测器模型具有多重共线性免疫、避免自变量与因变量互为因果等优点^[17,25]。因此,在土壤重金属^[26]、耕地生产效率^[27]等空间变异驱动因子分析中,地理探测器模

型得到广泛应用。

2 结果与分析

2.1 粤西地区粮食生产效率交叉评价

为了清晰直观表达粤西地区粮食生产效率变化差异,本研究构建粤西地区 1999—2018 年的交叉效率 DEA 模型测算粤西地区整体及阳江、湛江、茂名 3 市的粮食生产效率,并将粮食生产效率结果划分为 5 组效率区间:低效率 ≤ 0.60 ; $0.60 <$ 中低效率 ≤ 0.70 ; $0.70 <$ 中等效率 ≤ 0.80 ; $0.80 <$ 中高效率 ≤ 0.90 ; $0.90 <$ 高效率 ≤ 100 。由表 1 和图 3 可以发现:综合 20 年粮食生产效率均值来看,3 市均值为 0.77,整体上呈中等效率水平。其中,阳江、湛江和茂名 3 市 20 年粮食生产效率均值依次排序为茂名(0.88) > 阳江(0.78) > 湛江(0.65)。粤西地区粮食生产效率整体上呈先降后升的变化趋势,波动,幅度较小,约为 4%。1999—2008 年波动降幅达 18%,2008 年出现最低值拐点(0.68)后反弹上升,近 5 年粮食生产综合效率提升显著。阳江市粮食生产效率变化趋势大致与粤西地区整体变化

表 1 粤西地区 3 市粮食生产效率的交叉效率分析

Table 1 Cross efficiency analysis of grain production efficiency in western Guangdong

年份 Year	阳江 Yangjiang	湛江 Zhanjiang	茂名 Maoming	均值 Average	排序 Ranking
1999	0.86	0.68	0.96	0.83	1
2000	0.84	0.65	0.91	0.80	2
2001	0.79	0.62	0.88	0.76	12
2002	0.75	0.61	0.87	0.74	15
2003	0.76	0.65	0.88	0.76	12
2004	0.77	0.67	0.87	0.77	10
2005	0.75	0.68	0.86	0.76	12
2006	0.69	0.62	0.76	0.69	19
2007	0.70	0.61	0.81	0.71	18
2008	0.67	0.58	0.78	0.68	20
2009	0.72	0.64	0.84	0.73	17
2010	0.72	0.66	0.85	0.74	15
2011	0.79	0.70	0.85	0.78	7
2012	0.83	0.71	0.87	0.80	2
2013	0.78	0.68	0.84	0.77	10
2014	0.81	0.62	0.92	0.78	7
2015	0.81	0.62	0.92	0.78	7
2016	0.82	0.63	0.95	0.80	2
2017	0.83	0.64	0.93	0.80	2
2018	0.83	0.63	0.95	0.80	2
均值 Average	0.78	0.65	0.88	0.77	10

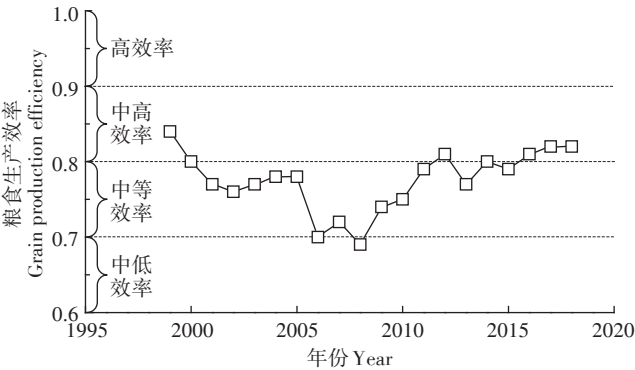


图3 粤西地区粮食生产效率变化趋势

Figure 3 Trend chart of grain production efficiency in western Guangdong

趋势相同,1999—2008年10年间粮食生产效率呈中等效率水平波动,降幅约为22%,最低值出现在2008年(0.67),2010年后开始稳定上升并恢复至中高效率水平。湛江市粮食生产效率常年处于中低效率水平波动状态,1999—2008年波动降幅为15%,并出现低效率年份(2008年0.58),之后粮食生产效率上升趋势不显著。茂名市粮食生产效率整体处于中高效率水平,1999—2008年波动下降19%,最低值出现在2006年(0.76),2006年之后粮食生产效率波动上升,尤其是2014—2018年粮食生产效率达到高效率水平。粤西地区粮食生产效率水平整体不高,20年间无高效率和低效率年份存在,中高效率年份仅有1999年(0.83),中等效率的年份占比最高(85%);中低效率年份仅有2006年(0.69)和2008年(0.68)。但是,粤西地区内各市粮食生产效率水平差异较大。阳江市粮食生产处于中等效率的年份占比最高(50%),中高

效率年份占40%,剩余10%是中低效率年份(2006和2008年)。湛江市粮食生产效率较低,中低效率水平年份占90%,2008年(0.58)为低效率年份,2012年(0.71)为中等效率年份。茂名市粮食生产效率水平较高,中高效率年份占比最高(55%),高效率年份占35%,中等效率年份仅占10%(2006年和2008年)。

2.2 基于Tobit模型对粤西地区粮食生产效率的影响因子分析

本研究选取粮食生产效率指标中的7个投入因子数据作标准化处理,以保障Tobit模型测得回归结果的稳健性。根据回归模型结果(表2),Log likelihood值为107.675,通过1%显著性水平检验,Tobit模型整体显著。由表2可以发现,影响粮食生产效率的关键因子主要为化肥施用量、第一产业从业人口、农用塑料薄膜使用量、农业机械总动力4个因子,影响力大小排序依次为:农业机械总动力>化肥施用量>第一产业从业人口>农用塑料薄膜使用量。7个因子中仅有化肥施用量呈显著正相关,回归系数为0.015,且通过5%显著性水平检验,说明每增加1%化肥施用比例,粮食生产效率会提高0.015。农用塑料薄膜使用量、第一产业从业人口、农业机械总动力3个因子对粮食生产效率具有显著负相关,3个因子在1%水平显著,在其他条件不变的情况下,农用塑料薄膜、从业人口和机械总动力每增加1%投入,粮食生产效率将分别下降0.001、0.009和1.082。粮食播种面积、有效灌溉面积和农药使用量3个投入因子虽与粮食生产效率相关性不显著,但均表现出正向性影响,影响力大小排序为:有效灌溉面积>粮食播种面积>农药使用量(表2)。

表2 Tobit模型的影响因子分析结果

Table 2 Impact factor analysis results of Tobit model

影响因子 Impact factor	估计系数 Coefficient	标准误差 Standard error	Z值 Z score	P值 P value
粮食播种面积 Area of grain sown	0.009	0.007	1.32	0.194
有效灌溉面积 Effective irrigation area	0.010	0.006	1.67	0.101
化肥施用量(折纯) Consumption of chemical fertilizers(Purity)	0.015**	0.007	2.32	0.024
农药使用量 Pesticide use	0.003	0.178	0.02	0.985
农用塑料薄膜使用量 Agricultural plastic film use	-0.001***	0.001	-3.65	0.001
第一产业从业人口 Working population of primary industry	-0.009***	0.002	-3.82	<0.001
农业机械总动力 Total power of agricultural machinery	-1.082***	0.266	-4.06	<0.001
Cons	1.008	0.079	12.83	<0.001
Log likelihood	107.675	—	—	—

注:**和***分别表示5%和1%统计水平影响显著。
Note:** and *** indicate significant effect at 5% and 1% of statistics level, respectively.

2.3 基于地理探测器模型对粤西地区粮食生产效率的影响因子分析

不同地区粮食生产投入量存在空间差异,因子探测器既能探测粤西地区粮食生产效率(Y)的空间分异性,也能探测各影响因子(X)对粮食生产效率空间分异性的解释力(q 值)。设粮食生产效率为 Y ,粮食播种面积、有效灌溉面积、化肥施用量、农药使用量、农用塑料薄膜使用量、第一产业从业人口、农业机械总动力分别为 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 、 X_7 ,将研究区内不同地区的原始投入因子数据作降维和变换处理后,分别将 X 、 Y 导入地理探测器, q 值越大表示自变量 X 对因变量 Y 的解释力(贡献力)越强,反之则越弱。经地理探测器因子探测,7个因子均通过显著性水平检验,由结果(表3)可知,不同因子的贡献力 q 平均值为0.490,7个因子贡献力从大到小依次排列为: $X_7>X_1>X_6>X_2>X_3>X_4>X_5$,即农业机械总动力(0.942)>粮食播种面积(0.661)>第一产业从业人口(0.617)>有效灌溉面积(0.587)>化肥施用量(0.235)>农药使用量(0.198)>农用塑料薄膜使用量(0.188)。影响粮食生产效率的第一主导因素是技术投入,农业机械总动力的影响力是农用塑料薄膜使用量的5倍,农用塑料薄膜使用量的影响力最低。

2.4 Tobit模型和地理探测器模型影响因子分析结果比较

通过Tobit模型和地理探测器模型分析各投入因子对粮食生产效率的影响力度,可以发现,两种模型计算结果存在较大差异,整体上呈现以下特点:Tobit模型与地理探测器模型测度所得的对粮食生产效率影响最大因子的结果相同,均为农业机械总动力。Tobit模型测算粮食生产效率影响因子得出粮食播种面积、有效灌溉面积和农药使用量3个影响因子与粮食生产均呈正相关,但影响不显著。粮食生产效率在一定程度上受粮食播种面积的影响^[2],显然,Tobit模型判定粮食播种面积对粮食生产效率影响不显著的

结果不符合生产实际。地理探测器模型测算各影响因子贡献力(q 值)均差异显著。Tobit模型与地理探测器模型测算结果的差异很有可能是随机效应Tobit模型无法反映个体和时期差异,而本研究不能将时间序列和地区以虚拟变量的形式剔除,进而加剧估计结果的偏误。地理探测器模型对多重共线性免疫,能避免自变量与因变量互为因果的内生性问题,并且从异质性视角探究各投入因子的空间分异特征,从运算结果可以得出,相比于Tobit模型,地理探测器模型在变量处理和参评因素方面更具优越性,因子探测结果偏误较低、有效性更高。

2.5 地理探测器模型对粤西3市粮食生产效率影响因子分析

通过两种模型对粤西地区粮食生产效率影响因子的对比分析可以发现,地理探测器模型所得结果更加客观可靠。因此,采用地理探测器模型进一步对粤西3市粮食生产效率影响因子进行分析,以利于因地制宜地为区域优化资源配置和利用效率,以及提升粮食生产效率提供针对性建议。阳江市粮食生产效率的因子贡献力(q 值)为0.103~0.829,平均值为0.426,其中农业机械总动力>粮食播种面积>第一产业从业人口>化肥施用量>有效灌溉面积>农药使用量>农用塑料薄膜使用量;湛江市粮食生产效率因子贡献力(q 值)为0.103~0.836,平均值为0.346,农业机械总动力>化肥施用量>农药使用量>第一产业从业人口>农用塑料薄膜使用量>粮食播种面积>有效灌溉面积;茂名市粮食生产效率因子贡献力(q 值)为0.423~0.938,平均值为0.688,农业机械总动力>化肥施用量>农药使用量>粮食播种面积>第一产业从业人口>农用塑料薄膜使用量>有效灌溉面积(表3)。

3 讨论

农业资源配置效率与粮食生产效率存在内在联系,广东省农业资源配置效率区域不平衡,粮食生产

表3 基于地理探测器模型的粤西地区粮食生产效率因子探测结果(q)

Table 3 Factor detection results of production efficiency in the western Guangdong on the basis of geographic detector model (q)

区域 Region	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
粤西 Western Guangdong	0.661	0.587	0.235	0.198	0.188	0.617	0.942
阳江 Yangjiang	0.751	0.206	0.214	0.136	0.103	0.746	0.829
湛江 Zhanjiang	0.198	0.103	0.380	0.374	0.261	0.268	0.836
茂名 Maoming	0.692	0.423	0.839	0.711	0.523	0.688	0.938

注: X_1 ~ X_7 为影响因子。

Note: X_1 ~ X_7 is impact factor.

效率水平整体不高^[28]。1999—2018年,粤西地区粮食生产效率整体呈中等效率水平(0.77),表现为先降后升的变化趋势,这可能是由于我国在21世纪初进入了第4次农业结构调整时期,沿海经济发达地区推进以市场为导向,降低种植业内部粮食作物占比,1999—2008年广东省整体上出现粮食播种面积和粮食总产量连年减少的局面,粤西地区尤其是湛江等地大力提升经济类作物比例,粮食生产效率下降趋势显著^[29-30]。而2008年出现最低值拐点后反弹上升,极大程度得益于粤西地区调整资源配置结构,优化粮食作物品种和品质结构^[31]。

粮食生产效率及其影响因素具有显著的空间异质性^[1]。Tobit模型本质是受限因变量模型,在评价空间性质的影响因子时,不能充分反映各异质性因子的变化规律与粮食生产效率之间的复杂关系,因此其评价结果通常不显著;地理探测器模型充分克服空间分异性分析缺陷,模型更加稳定,结果更加客观。各影响因子中,农业机械总动力对粤西及3市粮食生产效率贡献力最高,这主要由于粤西地区大部分耕地分布于滨海冲积平原和台地上,耕地集中程度较高。粤西地区农业机械化程度超过60%,阳江与茂名农机服务市场也日趋成熟,种植户获取生产机械化服务更加便利,将粮食生产环节外包给专业化的服务组织进行机械化作业可以实现粮食生产过程中的分工经济,分工经济更利于提升生产效率,间接反映了机械化程度对粮食生产效率具有显著促进作用^[32-33]。耕地面积和粮食种植面积是稳定和提高粮食生产的基本条件^[2],本研究经地理探测器识别得出粤西地区仅湛江市粮食播种面积对粮食生产效率的贡献力较低(0.198),在阳江和茂名两市粮食播种面积均属于高贡献力因子,粮食生产效率也相对较高,这一研究结果与其他学者研究所得结论基本一致^[18]。此外,湛江市粮食生产效率偏低(0.65),而粮食播种面积对粮食生产效率的贡献力仅为0.198,这可能是由于光、热、水资源条件利于粮食、糖料、油料作物种植,但种植经济作物比较利益更高,加之农业结构调整,2012—2018年耕地减少率虽为4.18%,但园地增加率为18.42%^[34],尤其是粮食播种面积大幅缩减,2018年粮食播种面积不足农作物播种面积的50%。同时,湛江有效灌溉面积对粮食生产效率的贡献力最低(0.103),这可能是由于雷州半岛河川径流不大、地势平坦不利蓄水灌溉、现有水库工程设施陈旧等导致工程性缺水问题较为严重^[35],农业用水问题在一定程度上阻碍粮食生产效

率的提高。研究结果和实际生产情况相互佐证了地理探测器结果的合理性。

Tobit模型中化肥施用量、农药使用量、农用塑料薄膜使用量分别与粮食生产效率呈显著正相关、相关性不显著和显著负相关。而地理探测器模型识别出的对粤西地区整体粮食生产效率影响力较低的因子分别为化肥施用量、农药使用量和农用塑料薄膜使用量,这与闫岩等^[18]、张欣等^[23]的研究结果一致。但是,粤西地区自2008年以来,总氮、总磷等农业面源污染物的排放强度较广东省其他地区显著增加,尤其是湛江市和茂名市农业种植业结构调整,以传统粮食作物为主的种植结构向经济作物和其他作物转变,化肥、农药、农用薄膜2018年每公顷耕地使用量增加约42 kg^[36]。化肥等物质生产要素的加大投入在一定程度上可以提高粮食生产效率,但已有研究证明化肥投入对粮食产量的弹性系数呈“倒U型”变化趋势^[37],生产要素过度投入所产生的农业面源污染也同样不容忽视。

4 结语

4.1 结论

本研究运用交叉效率DEA模型对粤西地区粮食生产效率进行测算,并用Tobit模型和地理探测器模型分别对影响粮食生产效率的关键因子进行测度,得出如下结论:

(1) 1999—2018年,粤西地区粮食生产效率不高,整体上呈中等效率水平(0.77),其中,茂名市粮食生产效率最高(0.88),阳江市次之(0.78),湛江市最低(0.65)。粤西地区粮食生产效率先降后升的变化趋势十分显著,主要表现为1999—2008年,粮食生产效率连年下降,2008年跌至中低效率水平(0.68),在出现最低值拐点后反弹上升。3市粮食生产效率变化趋势大致与粤西地区整体变化趋势相同。

(2) 总的来说,地理探测器测度结果无不显著因子存在,测度因子贡献力比Tobit模型所得结果更稳定且偏误小。Tobit模型测得7个影响粮食生产效率的投入因子,其中仅化肥施用量与粮食生产效率呈显著正相关,有效灌溉面积、粮食播种面积、农药使用量3个因子与粮食生产效率相关性不显著,其余因子呈显著负相关;而地理探测器测得所有因子均对粮食生产效率产生显著影响。

(3) 农业机械总动力是影响粤西3市粮食生产效率的主导因子,但不同城市粮食生产效率的因子

贡献力差异较大。阳江市各投入因子贡献力与粤西地区大致相同。湛江市与茂名市粮食生产效率对化肥、农药等要素依赖较大,两市有效灌溉面积贡献力均最低。

4.2 政策建议

提升粮食生产效率利于维护区域粮食安全,在追求“美好生活”和建设“美丽中国”需求下,更加需要在提升粮食生产效率的同时,协调处理与要素配置、利用效率间的关系,实现节本增效的最终目的。因此,建议未来粤西地区可以采取以下措施:

(1)在保证粮食安全生产的前提下实施差别化绿色农业发展管理模式,引导农户将高投入生产转变为精准生产,走粮食增产和农业污染减排的可持续发展道路,如粮食生产效率较高但对高污染生产要素依赖较大的茂名市可推广测土配方精准施肥技术和生物防治病虫害技术,在提高肥料利用效率和减轻农药依赖的同时,从源头遏制农业面源污染产生。

(2)以广东省高标准农田建设、耕地提质改造(旱改水)等工程项目为契机,完善农业基础设施建设,如水资源匮乏的湛江市可因地制宜开展农田生态沟渠、排水集蓄回用设施和水库加固、扩容工程等,解决农业用水问题,并且进一步推广节水灌溉及水肥一体化等现代先进农业技术,高效利用水资源。

(3)综合提升粮食生产效率必须以政府为主导,构建现代农业生产体系。粤西各市政府应建立长效支农政策,通过政策倾斜引导粮食生产。如大力扶持具有资源禀赋优势的粮食生产集聚区和特色农产品优势区,形成农业产业集群,充分发挥农业生产要素集聚优势,紧密耦合物质、人力、技术三方面生产要素,获取规模效益、专业化效益和技术溢出效益。特别是粤西3市在国家级、省级商品粮基地和现代粮食产业园建设中,政府可在稳妥推进农村承包地流转的基础上,鼓励农户发展农业适度规模经营,实现粮食规模效率生产。同时,政府积极引导科研院所创新粮食增产技术和农技推广模式,定向组建以“院(省级农科院)企结合”为代表的全产业链、专业化专家服务团队,利用“三农”服务人才的专业优势,迅速凝聚、转化和推广农业科技要素,提升人力要素和技术要素配置、利用效率,推进粮食生产向高产、优质、高效、生态和安全转型升级,最终实现粮食产业现代化生产。

参考文献:

[1] 伍国勇, 张启楠, 张凡凡. 中国粮食生产效率测度及其空间溢出效

应[J]. 经济地理, 2019, 39(9):207-212.

WU Guo-yong, ZHANG Qi-nan, ZHANG Fan-fan. Research on grain production efficiency and its spatial spillover effects in China[J]. *Economic Geography*, 2019, 39(9):207-212.

[2] 杨勇, 邓祥征, 李志慧, 等. 2000—2015年华北平原土地利用变化对粮食生产效率的影响[J]. 地理研究, 2017, 36(11):2171-2183.

YANG Yong, DENG Xiang-zheng, LI Zhi-hui, et al. Impact of land use change on grain production efficiency in North China Plain during 2000—2015[J]. *Geographical Research*, 2017, 36(11):2171-2183.

[3] 王嫚嫚, 刘颖, 鞠昊, 等. 土地细碎化、耕地地力对粮食生产效率的影响——基于江汉平原354个水稻种植户的研究[J]. 资源科学, 2017, 39(8):1488-1496.

WANG Man-man, LIU Ying, KUAI Hao, et al. The effects of land fragmentation and land quality on the technical efficiency of grain production based on 354 rice planters on the Jiangnan Plain[J]. *Resources Science*, 2017, 39(8):1488-1496.

[4] 彭艳玲, 晏国耀, 马昕娅, 等. 基于能值与改进DEA-EBM模型的“青贮玉米+养殖”种养结合模式产出效率评估研究——以四川省“粮改饲”青贮玉米示范区为例[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(12):68-76.

PENG Yan-ling, YAN Guo-yao, MA Xin-ya, et al. Efficiency evaluation of "silage maize + breeding" integrated mode based on emergy analysis and adjusted DEA-EBM method: Empirical evidence from Sichuan Province[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2019, 33(12):68-76.

[5] 张秋月, 吕文靖. 基于DEA模型的青岛市休闲农业效率评价——以青岛市休闲农业与乡村旅游示范点为例[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(12):284-288.

ZHANG Qiu-yue, LÜ Wen-jing. Evaluation of leisure agriculture efficiency in Qingdao City based on DEA model: Take leisure agriculture and rural tourism demonstration sites of Qingdao City as examples[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, 39(12):284-288.

[6] 谭忠听, 郭翔宇. 基于超效率DEA模型的中国粮食生产用水效率评价[J]. 农业机械学报, 2019, 50(8):280-288.

TAN Zhong-tin, GUO Xiang-yu. Evaluation and analysis of Chinese grain production water use efficiency based on super-efficiency DEA model[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2019, 50(8):280-288.

[7] 刘成武, 黄利民. 农地边际化过程中农户土地利用行为变化及其对粮食生产的影响[J]. 地理研究, 2015, 34(12):2268-2282.

LIU Cheng-wu, HUANG Li-min. The changes of farmers' behavior in land use and its impacts on the food production during the process of marginalization of arable land[J]. *Geographical Research*, 2015, 34(12):2268-2282.

[8] 邵雅静, 员学锋, 杨悦, 等. 黄土丘陵区农户生计资本对农业生产效率的影响研究——基于1314份农户调查样本数据[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(7):8-15.

SHAO Ya-jing, YUAN Xue-feng, YANG Yue, et al. Impact of farmers' livelihood capital characteristics on agricultural production efficiency in loess hilly region[J]. *Journal of Arid Land Resources and Envi-*

- ronment, 2020, 34(7):8-15.
- [9] 杨锦英, 韩晓娜, 方行明. 中国粮食生产效率实证研究[J]. 经济学动态, 2013(6):47-53.
- YANG Jin-ying, HAN Xiao-na, FANG Xing-ming. Empirical study on grain production efficiency in China[J]. *Economic Perspectives*, 2013(6):47-53.
- [10] 薛龙, 刘旗. 基于DEA-Tobit模型的河南省粮食生产效率分析[J]. 河南农业大学学报, 2012(6):700-704.
- XUE Long, LIU Qi. Efficiency analysis of grain production in Henan Province based on DEA-Tobit model[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2012(6):700-704.
- [11] 薛晖, 郑中华, 谢启伟. 基于多种DEA模型和Gini准则的效率评价方法——兼对我国高校运营绩效的评价[J]. 中国管理科学, 2014, 22(4):98-104.
- XUE Hui, ZHENG Zhong-hua, XIE Qi-wei. An approach on the performance evaluation problems based on multiple DEA models and Gini criteria: Evaluation the performance of universities in China[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2014, 22(4):98-104.
- [12] Soleimani-damaneh M, Zarepisheh M. Shannon's entropy for combining the efficiency results of different DEA models: Method and application[J]. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36(3):5146-5150.
- [13] Sexton T R, Silkman R H, Hogan A J. Data envelopment analysis: Critique and extensions[J]. *New Directions for Program Evaluation*, 1986(32):73-105.
- [14] 刘妍璐, 马赞甫. DEA交叉效率评价下的层次分析模型[J]. 统计与决策, 2020, 36(3):171-174.
- LIU Yan-jun, MA Zan-fu. A hierarchical analysis model under DEA crossover efficiency evaluation[J]. *Statistics & Decision*, 2020, 36(3):171-174.
- [15] 田红宇, 祝志勇. 中国粮食生产效率及影响因素分析——基于DEA-Tobit两步法研究[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(12):161-168.
- TIAN Hong-yu, ZHU Zhi-yong. Analysis of food production efficiency and its influencing factors in China: Verification based on malmquist-DEA and Tobit model[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, 39(12):161-168.
- [16] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. *European Journal of Operational Research*, 1978, 2(6):429-444.
- [17] 刘玉, 任艳敏, 潘瑜春. 黄淮海地区县域粮食生产空间分异格局及其影响因素探测[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2020, 56(2):315-323.
- LIU Yu, REN Yan-min, PAN Yu-chun. Spatial differentiation pattern and influence factor detection of county level grain production in Huang-Huai-Hai region[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2020, 56(2):315-323.
- [18] 闫岩, 栾敬东, 宋浩楠, 等. 安徽省粮食生产效率及影响因素研究——基于2003—2017年市级面板数据的分析[J]. 辽宁工业大学学报(社会科学版), 2019, 21(3):25-28.
- YAN Yan, LUAN Jing-dong, SONG Hao-nan, et al. Study on grain production efficiency and influencing factors in Anhui Province: Based on the analysis of municipal panel data from 2003 to 2017[J]. *Journal of Liaoning University of Technology (Social Science Edition)*, 2019, 21(3):25-28.
- [19] 方永丽, 曾小龙. 中国省际农业生态效率评价及其改进路径分[J/OL]. 农业资源与环境学报: 1-10. (2020-05-11). <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0148>.
- FANG Yong-li, ZENG Xiao-long. Evaluation and improvement of agricultural eco-efficiency in China[J/OL]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*: 1-10. (2020-05-11). <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0148>.
- [20] 卢新海, 杨喜, 陈泽秀. 中国城市土地绿色利用效率测度及其时空演变特征[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(8):83-91.
- LU Xin-hai, YANG Xi, CHEN Ze-xiu. Measurement and temporal-spatial evolution characteristics of urban land green use efficiency in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(8):83-91.
- [21] 彭育威, 吴守宪, 徐小湛. 利用MATLAB进行DEA交叉评价分析[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2004(5):553-556.
- PENG Yu-wei, WU Shou-xian, XU Xiao-zhan. DEA cross-evaluation analysis with MATLAB[J]. *Journal of Southwest University for Nationalities (Natural Science Edition)*, 2004(5):553-556.
- [22] 周华林, 李雪松. Tobit模型估计方法与应用[J]. 经济学动态, 2012(5):105-119.
- ZHOU Hua-lin, LI Xue-song. Tobit model estimation method and its application[J]. *Economic Perspectives*, 2012(5):105-119.
- [23] 张欣, 梁腾飞, 梁栋栋. 基于DEA-Tobit两步法的安徽省耕地利用效率及其影响因素研究[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2020, 43(3):270-276.
- ZHANG Xin, LIANG Teng-fei, LIANG Dong-dong. Study on land use efficiency and its influencing factors in Anhui Province based on DEA-Tobit two-step method[J]. *Journal of Anhui Normal University (Natural Science)*, 2020, 43(3):270-276.
- [24] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1):116-134.
- WANG Jin-feng, XU Cheng-dong. Geodetector: Principle and perspective[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1):116-134.
- [25] 辛龙, 孙慧, 王慧, 等. 基于地理探测器的绿色经济效率时空分异及驱动力研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(9):128-138.
- XIN Long, SUN Hui, WANG Hui, et al. Research on the spatial-temporal differentiation and driving force of green efficiency based on the geographic detector model[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(9):128-138.
- [26] 王信凯, 张艳霞, 黄标, 等. 长江三角洲典型城市农田土壤重金属累积特征与来源[J/OL]. 土壤学报: 1-11. (2020-05-06). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1119.P.20200501.1633.002.html>.
- WANG Xin-kai, ZHANG Yan-xia, HUANG Biao, et al. Accumulation and sources of heavy metals in agricultural soil in a city typical of the Yangtze River Delta, China[J/OL]. *Acta Pedologica Sinica*: 1-11. (2020-05-06). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1119.P.20200501.1633.002.html>.
- [27] 刘海龙, 王虎, 谢亚林, 等. 集中连片特困区耕地生态效率的时空

- 演变特征及影响因素分析——以吕梁山区为例[J]. 水土保持研究, 2020, 27(2):323-329.
- LIU Hai-long, WANG Hu, XIE Ya-lin, et al. Analysis for spatial and temporal evolution features and influencing factors of ecological efficiency of cultivated land in the concentrated contiguous destitute area: A case study of Lylang Mountain area[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2020, 27(2):323-329.
- [28] 姚凤民, 朱美金. 广东农业资源配置效率评价及其优化[J]. 地方财政研究, 2019(8):89-98,112.
- YAO Feng-min, ZHU Mei-jin. Evaluation and optimization of agricultural resource allocation efficiency in Guangdong Province[J]. *Sub National Fiscal Research*, 2019(8):89-98, 112.
- [29] 吴晨. 2003—2014年广东农业生产效率的测算与分解——基于DEA的分析方法[J]. 仲恺农业工程学院学报, 2016, 29(1):61-66.
- WU Chen. Messurement and analysis of the agricultural productivity in Guangdong(2003—2014): Based on DEA[J]. *Journal of Zhongkai University of Agriculture and Engineering*, 2016, 29(1):61-66.
- [30] 辛焕平, 刘丽辉. 广东粮食生产与农业结构调整的协调性分析[J]. 佛山科学技术学院学报(社会科学版), 2018, 36(1):63-70.
- XIN Huan-ping, LIU Li-hui. Coordination analysis on Guangdong grain production and agricultural structure adjustment[J]. *Journal of Foshan University(Social Science Edition)*, 2018, 36(1):63-70.
- [31] 姚凤民, 朱美金, 查梓琰. 广东农业科技创新效率研究——基于超效率DEA模型和Malmquist指数法[J]. 科技和产业, 2019, 19(9):83-89.
- YAO Feng-min, ZHU Mei-jin, ZHA Zi-yan. Research on the efficiency of agricultural science and technology innovation in Guangdong Province: Based on super efficient DEA model and Malmquist index method[J]. *Science Technology and Industry*, 2019, 19(9):83-89.
- [32] 潘经韬, 李平, 陈池波, 等. 农业机械化服务对玉米生产效率的影响——基于2004—2017年玉米主产区面板数据的实证分析[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(6):210-215.
- PAN Jing-tao, LI Ping, CHEN Chi-bo, et al. Impact of agricultural mechanization services on corn production efficiency: An empirical analysis based on panel data of main corn production areas from 2004 to 2017[J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2020, 41(6):210-215.
- [33] 刘强, 杨万江, 孟华兵. 农业生产性服务对我国粮食生产成本效率的影响分析——以水稻产业为例[J]. 农业现代化研究, 2017, 38(1):8-14.
- LIU Qiang, YANG Wan-jiang, MENG Hua-bing. Impact of agricultural production services on grain cost efficiency in China: A case study of rice industry[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2017, 38(1):8-14.
- [34] 陈士银, 马智宇. 基于农地内部流转绩效的农业结构调整研究——以湛江市为例[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(14):241-243, 247.
- CHEN Shi-yin, MA Zhi-yu. Research on agricultural structure adjustment based on agricultural land internal transfer performance: Taking Zhanjiang as illustration[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2020, 48(14):241-243, 247.
- [35] 张胜华. 雷州半岛地表水与地下水联合利用浅析[J]. 广西水利水电, 2016(1):1-5.
- ZHANG Sheng-hua. Conjunctive use of surface water and groundwater on Leizhou Peninsula[J]. *Guangxi Water Resources & Hydropower Engineering*, 2016(1):1-5.
- [36] 林兰稳, 朱立安, 曾清苹. 广东省农业面源污染时空变化及其防控对策[J]. 生态环境学报, 2020, 29(6):1245-1250.
- LIN Lan-wen, ZHU Li-an, ZENG Qing-ping. Spaial and temporal changes of agricultural non-point source pollution in Guangdong Province and it's prevention and control measures[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2020, 29(6):1245-1250.
- [37] 麻坤, 刁钢. 化肥对中国粮食产量变化贡献率的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(4):1113-1120.
- MA Kun, DIAO Gang. Research on the contribution rate of fertilizer to grain yield in China[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2018, 24(4):1113-1120.