中国生态农业学报(中英文)
Chinese Journal of Eco-Agriculture
中文核心期刊
中国科技核心期刊
中国精品科技期刊
百种中国杰出学术期刊
中国科学引文数据库源刊

基于三阶段DEA模型的农业生产效率及其时空特征研究——以长江经济带为例

崔海洋，卓雯君，虞虎，龙娇，刘玉芳

引用本文:
崔海洋, 卓雯君, 虞虎, 等. 基于三阶段DEA模型的农业生产效率及其时空特征研究——以长江经济带为例[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(7): 1243–1252.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200929

(向下翻页，阅读全文)

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

河北省县域农业绿色发展指标时空变化特征

Temporal and spatial characteristics of agricultural green development indica–tors in counties of Hebei Province

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(8): 1168–1180 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200483

长江经济带农业绿色增长的时空格局及影响因素研究

Spatio–temporal patterns and impact factors of green economic growth of agriculture in the Yangtze River Economic Belt

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(5): 764–774 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190666

长江经济带稻田耕作制度绿色发展探讨

Green development of paddy field farming systems in the Yangtze River Economic Belt

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(1): 1–7 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190500

转换灌溉方式对农户种植决策和经济的影响 ——以河北省张北县为例

Effect of irrigation method on farmers' planting decision and the economy: A case in Zhangbei County, Hebei Province

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(8): 1293–1300 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180796

四川省环境友好型农业生产效率测算及影响因素研究——基于超效率DEA模型和空间面板STIRPAT模型

Measurements and influencing factors of the efficiency of environmentally–friendly agricultural production in Sichuan Province based on SE–DEA and spatial panel STIRPAT models

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(7): 1134–1146 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180857

中国生态农业学报(中英文) 2021 年 7 月 第 29 卷 第 7 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Jul. 2021, 29(7): 1243−1252

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200929

崔海洋, 卓雯君, 虞虎, 龙娇, 刘玉芳. 基于三阶段 DEA 模型的农业生产效率及其时空特征研究——以长江经济带为例[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(7): 1243−1252

CUI H Y, ZHUO W J, YU H, LONG J, LIU Y F. Calculation of agricultural production efficiency based on a three-stage Data Envelopment Analysis model and analysis of the spatial-temporal characteristics: An example from the Yangtze River Economic Belt[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021, 29(7): 1243−1252

基于三阶段 DEA 模型的农业生产效率及其时空特征研究*

——以长江经济带为例

崔海洋[1], 卓雯君[1], 虞 虎[2**], 龙 娇[1], 刘玉芳[3]

(1. 贵州大学经济学院 贵阳 550025; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101; 3. 重庆文理学院 重庆 402160)

摘 要: 为响应长江经济带“大保护”的战略号召和完成国家赋予长江经济带各省市的重大历史任务, 长江经济带正在推进农业产业结构调整、优化投入产出比例, 保障稳定可持续的农业生产。本文基于三阶段 DEA 模型和聚类分析相结合的方法, 以 2008—2018 年的长江经济带为例, 测算其农业生产效率并分析时空特征。研究表明, 外生环境因素对长江经济带农业生产效率的影响显著, 存在明显的时空差异。其中: 1)剔除环境因素后, 长江经济带农业生产效率整体向好, 四川省和江苏省处于效率前沿面, 上海市的农业生产效率值出现明显下降; 2)长江经济带农业生产效率逐年波动发展, 长江中游地区相对上游和下游地区的农业生产效率更具优势, 个别省份的农业生产效率水平与其经济社会发展程度不匹配; 3)劳动力、土地、灌溉等投入要素的增加均会引起农业生产效率的增加, 财政投入力度及人均 GDP 与农业生产效率之间不存在明显的正向相关关系, 受灾面积对农业生产效率有显著负面影响。

关键词: 农业生产效率; 三阶段 DEA; 时空特征; 长江经济带

中图分类号: F323.22; F224 开放科学码(资源服务)标识码(OSID):

Calculation of agricultural production efficiency based on a three-stage Data Envelopment Analysis model and analysis of the spatial-temporal characteristics: An example from the Yangtze River Economic Belt*

CUI Haiyang[1], ZHUO Wenjun[1], YU Hu[2**], LONG Jiao[1], LIU Yufang[3]

(1. School of Economics, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402160, China)

Abstract: In response to the strategic call for the “Great Protection” of the Yangtze River Economic Belt and to fulfill the important historical tasks assigned by the state to the provinces and cities of the area, the Yangtze River Economic Belt is ad-

* 中国科学院战略性先导科技专项(A 类) (XDA23020101)和国家自然科学基金项目(41801129)资助

** 通信作者: 虞虎, 研究方向为旅游可持续发展。E-mail: yuhuashd@126.com
崔海洋, 研究方向为民族学、生态人类学。E-mail: hosanna2004@163.com

收稿日期: 2020-11-19 接受日期: 2021-02-23

* This study was supported by the Strategic Leading Science and Technology Project (Class A) of Chinese Academy of Sciences (XDA23020101) and the National Natural Science Foundation of China (41801129).

** Corresponding author, E-mail: yuhuashd@126.com

Received Nov. 19, 2020; accepted Feb. 23, 2021

justing the agricultural industry structure, optimizing the input-output ratio, and ensuring stable and sustainable agricultural production. Based on the combination of the three-stage Data Envelopment Analysis (DEA) model and cluster analysis, this study examined the Yangtze River Economic Belt from 2008 to 2018 to measure its agricultural production efficiency and to analyze its temporal and spatial characteristics. Studies shown that exogenous environmental factors significantly (P<5%) impact agricultural production efficiency in the Yangtze River Economic Zone, and there were temporal and spatial differences. These include: 1) after excluding environmental factors, the overall agricultural production efficiency of the Yangtze River Economic Zone had improved. Sichuan and Jiangsu Provinces were at the forefront of efficiency, whereas the agricultural production efficiency of Shanghai had obviously declined. 2) The agricultural production efficiency of the Yangtze River Economic Belt varied year by year, with fluctuating development. The middle reaches of the Yangtze River had advanced agricultural production efficiency more than the upstream and downstream regions, and the agricultural production efficiency of the individual provinces did not match their economic and social development. 3) Increases in labor, land, irrigation, and other input factors increased agriculture production efficiency, there was no correlation between fiscal investment per capita gross domestic product (GDP) and agricultural production efficiency. The disaster-affected area had a significant negative impact on agricultural production efficiency.

Keywords: Agricultural production efficiency; Three-stage Date Envelopment Analysis; Temporal and spatial characteristics; Yangtze River Economic Belt

2016 年习总书记在长江经济带发展座谈会上指出: “长江特有的生态系统是我国重要的生态宝库。在今后相当长一段时间内, 要把修复长江生态环境放在压倒性位置, 共抓大保护, 不搞大开发”。这为长江经济带的发展定下了生态优先、绿色发展的总基调。生态建设的主要抓手之一便是农业生产, 关键在于如何从本质上、源头上提高农业生产效率和实施农业减排。我国农业生产一直存在资源消耗量高、生产效率低下的问题, 农业劳动生产效率仅是发达国家平均水平的 2%, 是美国农业生产效率的 1%, 是世界平均水平的 64%[1]。2017—2020 年, 中央一号文件分别从“推进农业供给侧结构性改革” “推进小农户与现代农业有机衔接” “推进高标准农田建设和突破农业关键核心技术”和“加快补齐农业基础设施和公共服务短板”等方面, 强调提高农业生产效率的重要性。长江经济带是我国的农业主产区之一, 上游地区第一产业增长率占全流域农业生产总值的比重较高, 中游地区种植经济作物优势明显, 农副产品加工业较为发达, 下游地区主要发展都市型和外向型农业[2], 地域差异性明显。农业生产在长江经济带大保护格局中具有重要意义, 研究农业生产效率及其时空特征, 摸清农业生产与长江经济带的大保护战略是否匹配, 对于挖掘长江经济带的农业发展潜力, 转变农业发展模式具有重要指导意义。

农业生产效率研究一直是学界关注的重点主题, 从研究范围来看, 国外学者主要在传统数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)基础上展开对不同国家和地区农业生产效率的比较分析, 国内研究大多基于全国、区域或单个省份的分析[3], 对于流域层面的研究较少涉及。从研究时序上来看, Farrell 1957 年首次使用线性规划法测算出了英国农业生产效率的前沿面, 这种测量方法就是传统的 DEA 模型[4]; Moll[5]1988 年认为农业生产效率与经济发展水平直接相关; Ruttan[6]2002 年在对环境变量约束的基础上, 分析了全球的农业生产效率, 并对发达国家农业生产效率的发展路径提出了建设性意见; Chen 等[7]2010 年基于传统 DEA 模型与回归分析, 研究了印度的农业生产效率, 发现劳动主体性别及受教育水平对于农业生产效率提升具有显著影响。国内学者大多采用传统 DEA 模型对农业生产效率开展测度和关联要素研究, 一是侧重于农业生产效率测算与其影响因素、规模收益情况等方面的研究, 探究区域、城市之间差异产生的原因[8-10]; 二是阐释环境变量与科技投入等因素对于农业生产效率的影响机理[11-12]。涉及空间方面, 有学者运用空间统计方法定量研究了我国马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)生产效率的时空变化特征, 发现其空间特征表现为“H-H”的集聚空间格局[13]。有学者通过空间杜宾模型检验农业 R&D 投入对农业全要素生产率的空间溢出效应, 发现我国不同的经济区呈现出不同程度的空间外溢和区域异质性特征[14]。但国内外学者运用传统 DEA 模型对农业生产效率相关变量进行实证分析时, 所使用的单一 CCR 和 BCC 模型的方法并没有考虑外生环境因素的影响, 可能会造成效率值的误差。Fried 等[15]认为, 决策单元(DMU)受到管理无效率(managerial inefficiencies)、环境因素(environmental effects)和统计噪声(statistical noise)的影响, 因此有必要剔除以上 3 种因素来保证效率评估的严谨性。采用三阶段 DEA 方法, 剔除外部环境因素对决策单元的影响, 可以进一步保证效率评估结果的客观性。但是以截面数据作为统计对象的

计量方法容易造成一些农业生产状况良好的省份效率值始终为 1, 而无法获得这些省份农业效率的时间变化趋势。因此, 本文采用三阶段 DEA 与聚类分析相结合的方法, 以长江经济带为例, 对管理无效率、环境变量、统计噪声等外部环境因素进行剔除, 优化农业生产效率的测算分析方法, 使效率值能更真实地反映决策单元的情况, 为农业生产效率研究和投入产出的优化配置提供方法借鉴。

1　研究区概况

长江经济带是指沿长江流域的 11 个省市地区组成的经济区域, 面积约 205 万 km^2, 集聚的人口总量和创造的地区生产总值均占全国 40%以上, 是我国经济中心和活力中心[16]。长江经济带 11 个省市可分为上游地区(云南、贵州、四川和重庆)、中游地区(湖北、江西和湖南)和下游地区(江苏、浙江、安徽和上海)。长江经济带拥有全国近 6%的农业用地和约 1/3 的耕地, 承载了全国超过 1/2 的农业从业人口, 投入了超过全国 40%的农业投资, 产出了全国 43%的农业增加值。近年来, 为响应长江经济带生态安全屏障建设, 沿江省市积极转变农业生产绿色发展方式, 采取一系列措施优化农业生产结构来提升农业生产效率。长江经济带覆盖了长江流域农业主产区与部分华南农业主产区、黄淮海平原农业主产区, 涉及农业主产区的范围广, 在全国农业格局中拥有重要地位, 大多数省份农业科技贡献率平均水平高于全国平均水平, 中下游地区的农业劳动生产率、土地产出率、机械化和设施化程度均相对较高, 农业投资占全国的比重逐年提高, 对全国农业经济的贡献率也逐年上升[17]。2008—2018 年长江经济带地区整体农业生产状况良好, 但也呈现出明显的地区差异。经济带粮食产量在全国占比基本维持在 37.5%, 农林牧渔总产值在全国的比重虽呈明显下降趋势, 但依然保持在 30%以上(图 1)[18]。

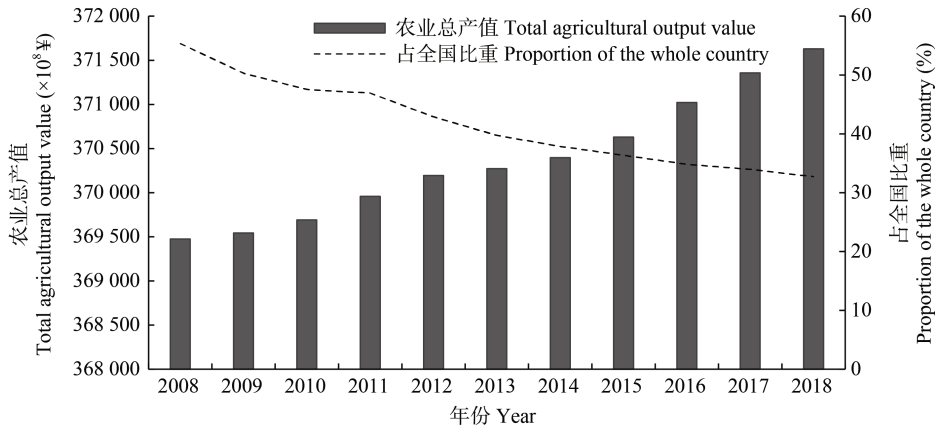

图 1　长江经济带农业生产总值及其占全国比重

Fig. 1　Gross agricultural production value of the Yangtze River Economic Zone and its national proportion

2　研究方法与数据来源

2.1　三阶段 DEA 模型

DEA 方法的特点在于: 1)投入变量和产出变量的权重由数学模型通过数据产生, 不需要事先设定, 也不受人为主观变动的影响; 2)可以评价多个投入变量和产出变量的决策单元(DMU), 并且不需要投入和产出的生产函数形态; 3)具有单位不变性, 即 DMU 的效率不受投入和产出效率的影响; 4)可以进行差异分析、敏感分析和效率分析[16]。DEA 方法与农业生产效率的测算在其核心理念上具有明显的契合, 采用三阶段 DEA 在第 2 阶段剔除环境变量和随机噪声的影响, 使第 3 阶段的原始数据相对于第 1 阶段的原始数据有所修正, 对我国长江经济带 11 个省市的农业生产效率评价得出的结果更加准确。由于篇幅的原因, 本文不再具体给出三阶段 DEA 方法的详尽说明。

操作步骤上, 首先使用原始的投入产出数据测算出初始效率值, 参考已有的运用三阶段 DEA 模型的相关文献[15], 选用规模报酬可变(VRS)下的 BCC 模型对 DMU 进行相对有效性的测算。对于任一 DMU, 投入导向下对偶形式的 BCC 模型可表示为:

$$\text{S.t.}\begin{cases}\min\left[\theta-\varepsilon(\mathrm{e}^T s^- + \mathrm{e}^T s^+)\right]\\ \sum_{j=1}^{n} X_j\lambda_j + S^- = \theta X_0\\ \sum_{j=1}^{n} Y_j\lambda_j + S^+ = Y_0\\ \lambda_j \geqslant 0, S^+ \geqslant 0, S^- \geqslant 0\end{cases} \tag{1}$$

式中: j=1, 2, 3, ⋯, n, 表示决策单元(DMU); X、Y 分别为投入和产出变量; ε 为非阿基米德无穷小量。

DEA-BCC 模型本质上是一个线性规划问题。若 θ=1、S^+=1、S^-=0, 则决策单元为 DEA 有效, 决策单元实现最佳组合和最大产出; 若 θ=1、$S^+\neq0$, 或 $S^+\neq0$ 则 DMU 的弱 DEA 有效; 若 θ>1 则 DMU 的非 DEA 有效, 表明该 DMU 存在一定的效率改进空间。三阶段 DEA 模型可以构造类似 SFA 回归函数, 剔除环境因素和随机因素对长江经济带省份农业生产效率的影响, 以便将所有 DMU 调整于相同的外部环境中, 从而达到清除噪音和方法改善的目标。

2.2 变量选取

按照 DEA 理论, 测算农业生产效率需要投入与产出两项指标。结合已有文献, 投入指标通常选用可直接投入的生产要素[10,13], 产出指标通常选用第一产业总产值[14-15]。在农业生产中, 生产者可以直接掌握的生产要素是土地、劳动力、机械、化肥、灌溉等, 而收入、自然环境和社会环境等外在因素往往会影响农民对这些直接掌控的生产要素的投入效用, 进而影响农业生产效率。针对不同文献研究方向的差别, 所选取农业生产效率的影响因素也有所不同, 选用较多的影响因素主要有财政对农业的投入、人均 GDP、农作物受灾情况等。为保证统计指标的一致性和数据的准确性, 本文共选取 1 个产出指标、5 个投入指标和 3 个环境指标来测算长江经济带各省份的农业生产效率值(表 1)。

1)产出指标。考虑到投入指标中的农业机械总动力和第一产业从业人数均属于广义农业口径, 为保持统计口径一致, 因此选取“农林牧渔总产值”作为产出指标进行测算。

2)投入指标。投入变量的选取原则是投入变量直接影响 DMU 即农业总产值, 参考郭军华等[13]的方法, 选用农业机械总动力投入、农用化肥施用量、第一产业劳动力、农作物播种面积、有效灌溉面积等 5 个投入变量。其中播种面积与劳动力投入分别代表农业土地(自然)资源投入与社会资源投入, 机械、化肥与灌溉投入代表农业技术投入。

表 1 长江经济带农业生产效率相关变量及其统计性描述

Table 1 Variables related to agricultural production efficiency in the Yangtze River Economic Belt and their statistical description

变量类型 Variable type	名称 Name	单位 Unit	符号 Symbolic	均值 Mean	标准差 Standard deviation
产出变量 Output variable	农业总产值 Total agricultural output value	10^8 ¥	OP	3181.44	1864.72
投入变量 Input variable	农业机械总动力 Total power of agricultural machinery	10^4 kW	I1	3188.36	1728.36
	农用化肥施用量 Amount of agricultural fertilizer	10^4 t	I2	192.14	107.74
	第一产业劳动力 Primary industry labor	10^4 peoples	I3	1116.14	562.09
	农作物播种面积 Sown area of crops	10^3 hm^2	I4	4954.79	2780.96
	有效灌溉面积 Effective irrigation area	10^3 hm^2	I5	2127.21	1178.15
环境变量 Environment variable	财政对农业的支持 Financial support for agriculture	10^8 ¥	E1	474.32	251.24
	人均 GDP GDP per capita	¥	E2	46 181.66	20 614.85
	受灾面积 Disaster-affected area	10^3 hm^2	E3	823.50	908.06

3)环境指标。环境变量的选取原则是既对 DMU 有影响, 但又不受其控制。长江流域是我国暴雨和洪涝灾害的多发区, 受灾情况对农业生产效率有直接影响, 故选取农业受灾面积作为农业生产过程中自然环境要素变量; 同时长江经济带也是我国人口最稠密、经济社会最发达的地区之一, 人群收入和农业财政预算水平对农业的影响是无法忽视的, 因此选取人均GDP和农林水事务的财政支出作为农业生产过程中社会经济环境变量。

2.3 Pearson 相关性检验

Pearson 相关性检验是用于评价变量之间是否具有线性相关的经典方法。郭军华等[13]认为投入变量与产出变量之间存在正向相关, 即投入变量往往与产出变量呈现同向变动, 可以采用Pearson相关系数检验方法来验证假设。因此本文通过使用 Pearson 相关系数和显著性检验, 来验证农业投入产出变量之间显著性关系。利用 SPSS 25.0 软件检验相关性程度如表 2 所示。

分析表 2 可知, 长江经济带的农业总产值与农业投入指标的相关系数都呈现出明显的正相关, 并且全部通过 P<5%置信水平上的双尾检验, 因此符合产出指标和投入指标之间“同向性”的假设。从表 2 进一步得出农业机械总动力投入、农用化肥施用量和有效灌溉面积投入对农业总产值的影响相对较大, 相关系数分别为 0.754、0.793 和 0.809; 而农作物播种面积和第一产业劳动力的投入对农业总产值的影响相对较小, 相关系数分别为 0.296 和 0.547。

表 2　2008—2018 年长江经济带省市的农业产出与投入的 Pearson 相关系数检验

Table 2　Pearson correlation coefficient test of agricultural output and input in provinces and cities of the Yangtze River Economic Belt from 2008 to 2018

	OP	I1	I2	I3	I4	I5
OP	1.000					
I1	0.754***	1.000				
I2	0.793**	0.832***	1.000			
I3	0.547***	0.663***	0.725***	1.000		
I4	0.296***	0.692***	0.639***	0.518***	1.000	
I5	0.809***	0.925***	0.885***	0.592***	0.581***	1.000

OP、I1-I5 为表 1 中的投入及产出变量。*和**表示 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平显著相关。OP and I1-I5 are the input and output variables shown in the table 1. * and ** represent significant correlations at $P<0.05$ and $P<0.01$ levels, respectively.

2.4　数据来源

本文所用的投入、产出以及效率影响因素数据均来源于 2008—2018 年历年中国农村统计年鉴、中国农业年鉴、长江经济带 11 省(市)统计年鉴和各省市农业农村局公报等。

3　结果与分析

3.1　长江经济带农业生产效率

3.1.1　基于一阶段 DEA-BCC 的农业生产效率

将长江经济带 11 个省份农业生产的产出与投入的原始数据导入到 DEA 运算的 Deap 2.1 软件中，结果见表 3。从表中可知，长江经济带大部分地区的农业生产效率较高，且相对稳定。上海、四川、浙江、江苏的农业生产效率居于前列，其中上海和四川的农业生产效率值一直都是 1，在不考虑环境因素情况下，处在农业生产效率的随机前沿位置。云南、江西和重庆的农业生产效率在研究期内整体呈波动上升趋势；湖北的农业生产效率相对较高，但有轻微的下降趋势；湖南的农业生产效率近几年跌幅相对较大；安徽与贵州的农业生产效率处在较低水平，且近几年没有明显提升。总体来说，长江经济带的农业生产效率普遍较高，已接近有效状态，如何协调和带动生产效率较低的地区，实现整体效率的进一步提升，是长江经济带今后需要面临的关键问题。当然，由于外生环境变量的存在可能会导致表 3 的数据失真，需要在传统的 DEA-BCC 模型的基础上剔除环境变量等因素的影响。

3.1.2　二阶段似 SFA 前沿回归调整结果

为了有效剔除外生环境变量对农业效率值的影响，需要明确环境变量对农业生产效率的影响程度。因此，在第 2 阶段似 SFA 前沿回归模型中使用第 1 阶段的 DEA-BCC 模型中投入要素的松弛量(Slacks)作为被解释变量，外生环境变量(人均 GDP、受灾面积与财政对农业的支持)作为解释变量进行回归分析。如果系数大于 0，则表明增加环境变量的投入同时也会提高农业投入变量的松弛量，不利于提高农业生产效率；如果系数小于 0，则表明增加外生环境变量的投入会减少农业投入变量的冗余，说明增加投入对农业生产效率的提高具有促进作用。运用 Frontier 4.1 软件进行数据分析，具体的似 SFA 前沿回归结果如表 4 所示。

表 3　一阶段 DEA-BCC 模型下的 2008—2018 年长江经济带的农业生产效率

Table 3　Agricultural production efficiencies of provinces (cities) of the Yangtze River Economic Belt Region from 2008 to 2018 based on the one-stage DEA-BCC model

省(市) Province (city)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	均值 Mean
安徽 Anhui	0.557	0.519	0.560	0.552	0.561	0.468	0.503	0.508	0.509	0.502	0.474	0.512
贵州 Guizhou	0.620	0.563	0.554	0.518	0.572	0.526	0.514	0.494	0.494	0.518	0.535	0.537
江西 Jiangxi	0.723	0.664	0.676	0.665	0.644	0.646	0.702	0.741	0.804	0.820	0.752	0.712
湖南 Hunan	0.759	0.819	0.896	0.892	0.821	0.787	0.813	0.440	0.482	0.533	0.638	0.716
云南 Yunnan	0.706	0.747	0.703	0.620	0.754	0.829	0.822	0.792	0.723	0.717	0.914	0.757
湖北 Hubei	0.933	0.935	0.981	0.994	0.969	0.995	1.000	0.868	0.906	0.920	0.898	0.945
重庆 Chongqing	0.899	0.929	0.932	0.963	0.942	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.970
江苏 Jiangsu	0.869	0.869	0.964	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.973
浙江 Zhejiang	1.000	0.960	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.996
四川 Sichuan	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
上海 Shanghai	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

表 4 长江经济带的农业生产效率二阶段似 SFA 前沿回归调整结果

Table 4 SFA forward regression adjustment results in two-stage of agricultural production efficiency in the Yangtze River Economic Belt

环境变量 Environment variable	松弛变量 Slack variable				
	I1	I2	I3	I4	I5
E1	–0.171	–0.001	0.034**	–0.133	–0.013
E2	0.001**	0.001*	0.000	0.214*	0.000
E3	0.0561	0.008	–0.0084**	–0.0046**	0.0474
C	–163.570*	–8.870***	25.910**	–195.410**	–92.770*
LR test	72.45	45.45	42.89	85.35	83.96
Prob>chi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
log likelihood	–998.98	–611.87	–851.67	–1088.88	–929.67

E1-E3、I1-I5 见表 1 中的环境变量和投入变量。*、**和***表示 $P<0.1$、$P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平显著相关。E1-E3 and I1-I5 are the environmental and output variables shown in the table 1. *, ** and *** represent significant correlations at $P<0.1$, $P<0.05$ and $P<0.01$ levels, respectively.

从表 4 可以看出, 3 个环境变量对 5 种投入松弛变量大部分都能通过 $P<10\%$的显著性检验, 说明外部环境因素对我国长江经济带 11 个省市地区的农业生产投入变量之间存在明显相关。

1)财政对农业的支持(E1)。财政对农业的支持力度在农业机械总动力(I1)、农用化肥施用量(I2)、农作物播种面积(I4)和有效灌溉面积(I5)的回归系数均为负值, 对第一产业劳动力(I3)投入松驰量为正, 且通过 $P<10\%$的显著性检验, 说明随着财政对农业的投入力度增加, 除劳动力以外的农业生产投入要素反倒呈现负增长, 对农业生产效率产生负面影响。这一结论与理论预期不符, 即农业的财政支出与农业生产率之间并非是同向变动的, 过量的支农补贴和扶持政策容易增加农民的依赖心理; 农业生产过度依靠高密度资金和要素的投入, 会导致土地肥力和劳动效率的下降, 这或与资金结构、资源分配不合理有关[16], 部分地区的财政支农政策仍需完善。

2)人均 GDP(E2)。人均 GDP 在农业机械总动力(I1)、农用化肥施用量(I2)和农作物播种面积(I4)的回归结果显著为正, 说明农村收入水平的整体提升对于农业劳动力掌握先进的生产技术、提升农业生产效率有正向影响。这一结论和理论预期一致, 主要是由于经济发展水平较高的地方, 道路交通、水利灌溉、能源供给、资源环境等基础设施建设相对较为完善, 有利于农业现代化的发展, 经济发展水平高的地方科技水平、机械化水平、农业信息化水平、专业化及集约化水平也较高, 验证了经济水平和市场信息的流通也密切相关, 在一定程度上能够提高农业生产效率[19]。

3)受灾面积(E3)。受灾面积在 $P<5\%$的显著水平与农业劳动力(I3)和农作物播种面积(I4)的回归系数为负值, 说明受灾面积的增加会造成农业从事人口和农作物播种面积显著过剩, 与实际情况相符。但受灾面积对农业机械总动力(I1)、农用化肥施用量(I2)和有效灌溉面积(I5)等投入变量的影响程度没有通过显著性检验, 说明自然灾害会对农业生产效率产生负面影响, 自然灾害的增加会导致从农人口和农作物面积的减少, 而其他投入变量为了弥补受灾状况下的产值亏空, 也会不同程度地增加投入[20]。

由于环境变量对我国长江经济带的农业生产效率存在显著影响, 因此, 有必要调整原始的农业生产要素投入, 通过剔除环境变量对农业生产效率的外生性影响, 来进一步考察我国长江经济带地区的真实农业生产效率。

3.1.3 三阶段拟合调整 DEA-BCC 的农业生产效率

通过似 SFA 前沿回归对外生环境变量进行剔除得到拟合调整的数据值, 对调整后的投入量和原始的产出量再次进行 DEA-BCC 测算, 得到我国长江经济带 11 个省市的实际生产效率值(表 5)。

综合来看, 四川省剔除外生环境变量前后的农业生产效率均为 1, 江苏省在调整后达到效率最佳状态, 浙江和湖北的效率值出现轻微波动, 但不影响其农业生产效率的随机前沿位置。原因在于这些省份优越的自然与经济资源禀赋, 便于扩展其区域内农业生产的类型和聚集程度。如四川省善于利用自身生态环境和地形地貌优势, 打造出一系列现代田园综合体, 并设计和规划了现代化的农业产业体系及产品布局, 创建出大凉山桑蚕茧产区等 50 个省级特色农产品优势产区, 涵盖了特色粮经作物、特色园艺产品、特色林产品、特色畜牧产品和特色水产品等 5 大类特色农产品[21]。上海市在剔除外生环境变量后, 农业的生产效率出现显著下降, 这或与上海市高速发展的城镇化进程和紧张的人地关系有关[22]。江西、安徽、湖南和云南等地区, 剔除外生

表 5　2008—2018 年三阶段 DEA-BCC 调整后长江经济带各省市的农业生产效率值

Table 5　Agricultural production efficiencies of provinces (cities) of the Yangtze River Economic Belt from 2008 to 2018 based on the three-stage DEA-BCC model

地区 Area	省(市) Province (city)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	均值 Mean
上游 Upstream	云南 Yunnan	0.734	0.802	0.759	0.632	0.826	0.858	0.926	0.908	0.876	0.830	0.965	0.829
	四川 Sichuan	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	贵州 Guizhou	0.646	0.535	0.724	0.679	0.571	0.643	0.634	0.444	0.502	0.527	0.583	0.590
	重庆 Chongqing	0.805	0.856	0.824	0.814	0.804	0.896	0.864	0.878	0.905	1.000	1.000	0.877
中游 Midstream	湖北 Hubei	0.989	0.988	0.979	0.949	0.981	1.000	1.000	0.972	1.000	1.000	1.000	0.987
	湖南 Hunan	0.961	0.997	1.000	0.999	1.000	0.996	0.970	0.572	0.650	0.797	0.766	0.883
	江西 Jiangxi	0.982	0.872	0.856	0.807	0.836	0.943	0.962	0.796	0.951	0.843	0.910	0.887
下游 Down-stream	江苏 Jiangsu	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	安徽 Anhui	0.814	0.894	0.755	0.767	0.731	0.750	0.741	0.704	0.752	0.752	0.691	0.759
	浙江 Zhejiang	1.000	0.983	1.000	1.000	0.956	1.000	1.000	0.927	0.832	0.864	0.956	0.956
	上海 Shanghai	0.480	0.240	1.000	1.000	0.660	1.000	0.460	0.515	0.680	0.130	0.230	0.581

环境变量后的农业生产效率均有所提高，主要原因在于这些省份近年来不断借力乡村振兴的政策机遇，加之近些年的自然灾害相对较少，通过科学引导农业生产合作社、家庭农场、种养殖大户和农业龙头企业等新型农业经营主体在大环境向好的背景下的改革创新，大力推进农业产业化战略，以促进农村三大产业的融合发展，提高农业生产效率和践行“两山精神”[23]。不论调整前还是调整后的贵州省农业生产效率均处于效率低位，主要原因是由于贵州属于喀斯特地貌地区，农业单位产出的投入比例较高，研究期内的农业产出增加值占地区生产总值比重在15%上下浮动，这或与农作物受灾率较高、农业技术程度较低等因素密切相关[24]。

为了更加直观观察环境因素对农业生产效率的影响，把调整前后长江经济带 11 个省市的生产效率值通过图 2 显示出来，以此来对比在剥离了外生环境变量后农业生产效率发生的变化程度。图 2 中实线圈表示长江经济带省市 2008—2018 年的农业生产效率原始状态下的均值，虚线圈则表示剥离外生环境变量后的长江经济带省市 2008—2018 年的农业生产效率均值。

从图 2 可以更加直观地看出，贵州、湖北、江苏、四川和浙江地区在调整前后的变动并不明显，云南、安徽、湖南、江西等地都有不同程度地提高，其中安徽省在剔除环境变量后增幅明显，而上海市和重庆市的农业效率值在调整后出现下降，其中上海市在剔除环境变量后跌幅明显。从中可知，对农业生产效率进行剔除外部环境影响的测度是很必要的，如果忽视外部环境而进行单一效率评价则会导致结果的失真。

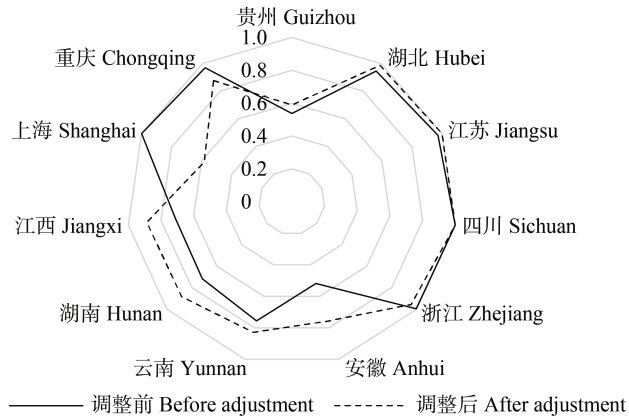

图 2　长江经济带各省(市)调整前与调整后的农业生产效率

Fig. 2　Agricultural production efficiencies of provinces (cities) of the Yangtze River Economic Belt before and after adjustment

3.2　农业生产效率时空特征分析

3.2.1　时间演化特征

从图 3 可知，2008—2018 年长江经济带农业生产效率均值呈波动发展状态。2008—2010 年农业生产效率均值波动上升，2010—2012 年出现下降现象，2012—2013 年效率均值明显著提升，2013—2015 年又急转向下，2015—2018 年呈缓慢回调状态。上游省份相对稳定，农业生产效率均值在 0.8 至 0.9 间平缓波动；中游与下游省份的年份起伏相对比较明显。但上中下游的走势与全流域整体效率值的走势基本一致，农业生产效率值的波动既与我国当时的经济发展状况、发展方式的变革有关，也与产业结构调整升级的总体要求有关，同时与各个地区的区位条件、政策执行效果、资源禀赋和经济发展水平等有关[11]。

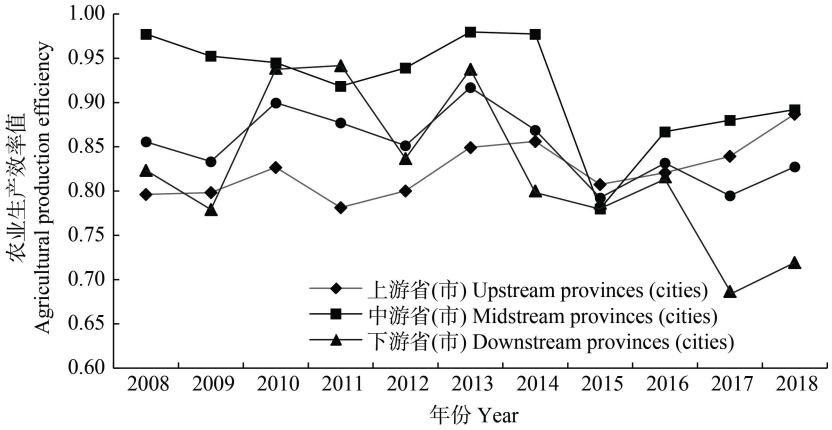

图 3 2008—2018 年长江经济带上中下游省市农业生产效率均值趋势

Fig. 3 Trends of average agricultural production efficiencies in the upper, middle and lower reaches of the Yangtze River Economic Belt from 2008 to 2018

3.2.2 空间演化特征

由图 3 发现，长江经济带中游地区的农业生产效率均值最高，下游地区次之，上游地区相对较低。为了更加直观地反映长江经济带农业生产效率的空间特征，借助于 SPSS 25 软件对长江经济带 11 个省市的第 1 阶段农业生产效率值和调整后的第 3 阶段农业生产效率值分别进行系统聚类分析。将长江经济带 11 个省市地区划分为第Ⅰ类地区(效率值=1)、第Ⅱ类地区(0.85≤效率值<1)、第Ⅲ类地区(0.7≤效率值<0.85)和第Ⅳ类地区(效率值<0.7)(表 6)。

表 6 剔除环境变量后长江经济带农业生产效率聚类分析结果比较

Table 6 Comparison of cluster analysis results of agricultural production efficiencies in the Yangtze River Economic Belt after excluding environmental variables

地区分类 Area class	第 1 阶段 The first stage	第 3 阶段 The third stage
Ⅰ	四川、上海 Sichuan, Shanghai	四川、江苏 Sichuan, Jiangsu
Ⅱ	湖北、重庆、江苏、浙江 Hubei, Chongqing, Jiangsu, Zhejiang	重庆、湖南、江西、浙江、湖北 Chongqing, Hunan, Jiangxi, Zhejiang, Hubei
Ⅲ	云南、江西、湖南 Yunnan, Jiangxi, Hunan	云南、安徽 Yunnan, Anhui
Ⅳ	安徽、贵州 Anhui, Guizhou	贵州、上海 Guizhou, Shanghai

由表 6 可知，长江经济带农业生产效率在剔除环境影响的前后差异显著，上海市由第Ⅰ类地区降至第Ⅳ类地区，江苏、湖南、江西和安徽等地区均有提升，其他省份没有明显变化；在剔除了环境变量和随机因素的影响之后，四川和江苏位列第Ⅰ类地区，处于农业生产效率的随机前沿面；其次是重庆、湖南、江西、浙江和湖北等 5 个省份位列第Ⅱ类地区，说明这些省份不考虑环境因素和随机因素的影响下，农业生产效率已经达到了相对最优水平，在农业发展过程中有效地兼顾了资源利用和环境保护。而从第Ⅲ和第Ⅳ类省份来看，云南省和贵州省在剥离环境因素和随机干扰的同质环境后依然处于相对较后的位置，且没有明显变化，安徽省在调整后出现上升，而上海市从效率前沿面直接跳转至第Ⅳ类地区，表明其农业生产效率与环境变量之间可能存在负相关，导致农业生产效率因为环境变量或者随机干扰的影响处于一个较低的水平。结合图 2 进一步分析第 3 阶段效率值可以发现，四川、重庆地区虽处于长江经济带的上游地区，但其农业生产效率一直处于随机前沿地位，而上海市和安徽省的农业效率值受环境影响波动较大，剔除环境变量后的效率值与其经济发展水平不匹配。同时，每个地区都有相应的省份，其农业生产效率处在随机前沿面上，在各个地区起到了农业生产的“标杆”作用[25]，如上游地区的四川省，中游地区的湖北省和下游地区的江苏省。

4 结论与建议

4.1 结论

1)长江经济带的农业总产值与农业投入之间有明显的正相关，机械、化肥和灌溉投入对农业总产值的影响相对较大，外生环境因素对农业生产效率也存在显著影响，剔除相关环境变量在技术层面上有较大价值。其中，受灾面积可以降低农业投入的

效用, 对农业生产效率有直接负面影响; 增加农业财政投入可以加速农业产业结构升级, 激励农业技术创新, 对农业生产效率产生积极影响, 但也容易造成农业机械总动力、农用化肥施用量、农作物播种面积和有效灌溉面积等投入要素的过量投入和不合理消耗, 从而产生负面效应; 人均 GDP 的提升对农业现代化和产业化建设起到了较好的反哺和促进作用, 但也容易造成第一产业劳动力的过量转移。长江经济带各省市的农业生产效率在剔除环境变量后明显变化, 四川省和江苏省成为农业生产效率最高的省份, 处在随机效率的前沿, 重庆、湖南、江西、浙江和湖北等地的农业生产效率整体向好, 且相对稳定, 上海市的农业生产效率值在调整后出现明显的下降, 而安徽、云南和贵州省依然处在长江经济带整体农业效率的弱势地位。

2)从调整后农业生产效率的时空特征来看, 长江经济带的农业生产效率与年份和区位因素密不可分; 从效率平均值来看, 长江经济带农业效率值在阶段内呈现内波浪状起伏态势, 在 2010—2013 年均出现不同层度的小高峰, 在 2017 年出现效率低谷, 原因在于不同时期农业生产的自然和社会环境发生了较大变化。长江中游省市较上游和下游省市的农业效率有明显优势, 但就整体发展态势而言, 上游的云南、贵州近年来在我国扶贫攻坚战略和区域交通网络优化引导的商贸流通作用下, 农业技术水平及生产效率正在稳步提升, 与地区整体间的差距也正在逐步缩小。个别省份的农业生产效率与其经济社会发展存在不匹配, 其中, 上海市和安徽省农业生产效率与长三角地区的经济发展水平严重脱节。

4.2　建议

习总书记强调“长江经济带不是独立单元, 11 个省份要全面协调协作, 发展的每一步都要稳扎稳打, 做到兵马未动粮草先行”。从长江经济带各省市农业生产效率的均值来看(表 5), 四川省可以继续严格执行长江经济带生态环境问题整改工作, 在保证第一产业效率不下降的前提下, 进一步推进现代化农业建设, 从农业大省转向农业强省, 有效供给绿色安全农产品、大力发展优质专用农产品、积极发展特色个性农产品、探索开发功能农产品, 持续建设一系列“川”字号品牌。云南和贵州省更应该率先组织建立多省间流域农业补偿机制, 避免因盲目提高农业要素投入而造成的衍生性生态环境问题, 进一步系统梳理农业生产效率与生态环境间的关联性, 筑牢长江上游生态屏障和粮食红线, 抓住绿色农产品的发展机遇。结合全国供需特点及长江流域农业生产效率的综合分析认为, 发展区域特色农产品、高端农产品, 是现阶段云贵地区农业发展实现“弯道超车”的有效方式。同时, 云南、贵州、重庆和安徽等农业效率上升空间较大的省份, 更需要注重以增加“含绿量”来提高“含金量”, 不断加强对外生环境因素的把控程度和创新农业生产发展方式, 通过集约化生产、智能化控制、精细化调节、科学化管理、数据化分析和扁平化经营等一系列现代化手段, 加速向农业发展高级阶段转型。通过现代信息技术与农业生产、经营、管理和服务全产业链的“生态融合”和“基因重组”, 彻底升级传统的农业产业链, 调整产业结构, 提高效率。2008—2018 年, 上海、江苏和浙江的突发性环境事件占整个长江经济带突发环境事件总数的 80%以上, 即使江苏和浙江省处于农业生产效率的前沿面, 但整体上长三角地区潜在的农业生产风险依然很高, 直接影响到长三角地区的整体环境安全。上海地区尤其需要注意外生环境因素及其城市资源环境承载力对农业效率的影响, 在高速城镇化的过程中要保持高效农业发展的基本定位, 作为长江经济带的龙头城市, 需要与苏浙皖 3 省形成全方位、立体化的协同机制, 强化农业生产污染源严格把控与农产品质量安全追溯, 正确处理国际环境对外向型农业发展的威胁, 整合长三角农业科创资源, 实现跨区域有效转移与农业效率的高效转化, 为长江经济带农业一体化及可持续发展注入新动能。

参考文献 References

[1] 秦清芝, 杨雪英. 挖掘乡村综合价值促进城乡融合发展[J]. 人民论坛, 2019, (34): 76–77
QIN Q Z, YANG X Y. Exploring the comprehensive value of rural areas to promote the integrated development of urban and rural areas[J]. People’s Tribune, 2019, (34): 76–77

[2] 李裕瑞, 杨乾龙, 曹智. 长江经济带农业发展的现状特征与模式转型[J]. 地理科学进展, 2015, 34(11): 1458–1469
LI Y R, YANG Q L, CAO Z. Current status and pattern transformation of agricultural development in the Yangtze River Economic Belt[J]. Progress in Geography, 2015, 34(11): 1458–1469

[3] 华德亚, 汤龙. 产业结构与就业结构协调性及地区趋同研究[J]. 统计与决策, 2019, 35(9): 145–149
HUA D Y, TANG L. Research on the coordination of industrial structure and employment structure and regional convergence[J]. Statistics & Decision, 2019, 35(9): 145–149

[4] FARRELL M J. The measurement of productive efficiency[J]. Journal of the Royal Statistical Society Series A: General, 1957, 120(3): 253

[5] MOLL P. The intercountry agricultural production function and productivity differences among countries: Comment[J]. Journal of Development Economics, 1988, 28(1): 121–124

[6] RUTTAN V W. Productivity growth in world agriculture: sources and constraints[J]. Journal of Economic Perspectives, 2002, 16(4): 161–184

[7] CHEN S E, BHAGOWALIA P, SHIVELY G. Input choices in agriculture: Is there a gender bias?[J]. World Development, 2011, 39(4): 561–568

[8] 赵蕾, 王怀明. 中国农业生产率的增长及收敛性分析[J]. 农业技术经济, 2007, (2): 93–98
ZHAO L, WANG H M. Analysis on the growth and convergence of China's agricultural productivity[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2007, (2): 93–98

[9] 熊崇俊. 中国农业生产效率评价研究[J]. 农业经济, 2008, (11): 3–5
XIONG C J. Research on China's agricultural production efficiency evaluation[J]. Agricultural Economy, 2008, (11): 3–5

[10] 高强, 丁慧媛, 李宪宝. 沿海地区农业生产效率及变动趋势研究[J]. 财经问题研究, 2011, (12): 10–15
GAO Q, DING H Y, LI X B. Research on agricultural production efficiency and its changing trend in coastal areas[J]. Research on Financial and Economic Issues, 2011, (12): 10–15

[11] 任世鑫, 谢志祥, 杨洋, 等. 基于超效率 DEA 的中原经济区农业生产效率研究[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2016, 50(2): 282–287
REN S X, XIE Z X, YANG Y, et al. Study on agricultural production efficiency based on super-efficiency DEA model in Central Plains Economic Region[J]. Journal of Central China Normal University: Natural Sciences, 2016, 50(2): 282–287

[12] 焦源. 山东省农业生产效率评价研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(12): 105–110
JIAO Y. Evaluation research of agricultural production efficiency in Shandong Province[J]. China Population, Resources and Environment, 2013, 23(12): 105–110

[13] 郭军华, 倪明, 李帮义. 基于三阶段 DEA 模型的农业生产效率研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2010, 27(12): 27–38
GUO J H, NI M, LI B Y. Research on agricultural production efficiency based on three-stage DEA model[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2010, 27(12): 27–38

[14] 陈鸣, 邓荣荣. 农业 R&D 投入与农业全要素生产率——一个空间溢出视角的解释与证据[J]. 江西财经大学学报, 2020, (2): 86–97
CHEN M, DENG R R. Agricultural R & D input and agricultural total factor productivity: an explanation and evidence from the perspective of spatial spillover[J]. Journal of Jiangxi University of Finance and Economics, 2020, (2): 86–97

[15] FRIED H O, LOVELL C A K, SCHMIDT S S, et al. Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment analysis[J]. Journal of Productivity Analysis, 2002, 17(1/2): 157–174

[16] 叶文忠, 刘俞希. 长江经济带农业生产效率及其影响因素研究[J]. 华东经济管理, 2018, 32(3): 83–88
YE W Z, LIU Y X. Agricultural productivity and influential factors in the Yangtze River economic belt[J]. East China Economic Management, 2018, 32(3): 83–88

[17] 王振, 周海旺, 王晓娟. 长江经济带发展报告(2017—2018)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2018
WANG Z, ZHOU H W, WANG X J. Report on the Development of the Yangtze River Economic Belt: 2017−2018[M]. Beijing: Social Sciences Literature Publishing House, 2008

[18] 吴传清. 黄金水道——长江经济带[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2019
WU C Q. Golden Waterway — Yangtze River Economic Belt[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2008

[19] 陈卫平. 中国农业生产率增长、技术进步与效率变化: 1990—2003 年[J]. 中国农村观察, 2006, (1): 18–23
CHEN W P. Productivity growth, technical progress and efficiency change in Chinese agriculture: 1990−2003[J]. China Rural Survey, 2006, (1): 18–23

[20] 李谷成. 技术效率、技术进步与中国农业生产率增长[J]. 经济评论, 2009, (1): 60–68
LI G C. Technical efficiency, technological progress and China's agricultural productivity growth[J]. Economic Review, 2009, (1): 60–68

[21] 周锦, 赵正玉. 乡村振兴战略背景下的文化建设路径研究[J]. 农村经济, 2018, (9): 9–15
ZHOU J, ZHAO Z Y. Research on the path of cultural construction under the background of rural revitalization strategy[J]. Rural Economy, 2018, (9): 9–15

[22] 宫少颖, 汤进华, 吴永兴. 上海市农业产业结构及竞争力的区域差异分析[J]. 上海农业学报, 2012, 28(4): 110–114
GONG S Y, TANG J H, WU Y X. Analysis on the regional differences in Shanghai agricultural structure and competitiveness[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2012, 28(4): 110–114

[23] 张凡凡, 张启楠, 李福夺, 等. 基于三阶段 DEA-Windows 的主产区粮食生产效率评价[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(5): 158–165
ZHANG F F, ZHANG Q N, LI F D, et al. Evaluation of grain production efficiency in the main production area based on the three stage DEA-Windows[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(5): 158–165

[24] 胡海, 庄天慧. 共生理论视域下农村产业融合发展: 共生机制、现实困境与推进策略[J]. 农业经济问题, 2020, 41(8): 68–76
HU H, ZHUANG T H. On the integration development of rural industry from the perspective of symbiosis theory: symbiosis mechanism practical dilemma and promotion strategy[J]. Issues in Agricultural Economy, 2020, 41(8): 68–76

[25] 程翠云, 任景明, 王如松. 我国农业生态效率的时空差异[J]. 生态学报, 2014, 34(1): 142–148
CHENG C Y, REN J M, WANG R S. Spatial-temporal distribution of agricultural eco-efficiency in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(1): 142–148