中国农业生态效率的时空演变及驱动因素

冯亚娟，祁 乔，韩家彬
（辽宁工程技术大学 工商管理学院，辽宁 葫芦岛 125105）

摘 要：[目的] 研究农业生态效率的时空演变及驱动因素，为推动生态农业的可持续发展提供理论支持。[方法] 构建超效率 DEA-Malmquist 模型对 2007—2016 年中国农业生态效率值的动态变化进行研究，利用空间自相关模型分析其分布特征，运用灰色关联模型探讨了农业生态效率时空变化的主要驱动因素。[结果] 观测期内，全要素农业生态效率值增长稳定，技术进步是农业生态效率提高的主要原因；农业生态效率空间分布具有全局自相关性，河南、山东等省份表现出“低—低”集聚特征；农业生态效率变化主要受科技支持、农地确权、农业机械密度、农业规模化水平等 10 个因素影响，各因素在不同时期作用存在差异。[结论] 观测期内，农业机械密度代替城市化水平成为主要驱动因素；农业生态效率变化的驱动因素逐渐由宏观环境和政策导向转变为以农业自身发展为导向。

关键词：农业生态效率；驱动因素；超效率 DEA；灰色关联分析
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2018)06-0254-09 **中图分类号**：F323.2

文献参数：冯亚娟，祁乔，韩家彬. 中国农业生态效率的时空演变及驱动因素[J]. 水土保持通报，2018，38(6)：254-262. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2018.06.039. Qi Qiao，Feng Yajuan，Han Jiabin. Spatiotemporal evolution and driving factors of agricultural eco-efficiency in China[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2018，38(6)：254-262.

Spatiotemporal Evolution and Driving Factors of Agricultural Eco-efficiency in China

FENG Yajuan，QI Qiao，HAN Jiabin
（*School of Marketing and Management，Liaoning Technical University，Huludao，Liaoning* 125105，*China*）

Abstract：[Objective] This paper studied the spatiotemporal evolution and driving factors of agricultural eco-efficiency in China in order to provide theoretical support for promoting the sustainable development of eco-efficiency. [Methods] Spatiotemporal evolution and driving factors of agricultural eco-efficiency in China in 2007—2016 were analyzed by using super-efficiency DEA-Malmquist index，spatial autocorrelation model and grey relation model. [Results] During the observation period，the value of total factor agricultural eco-efficiency increased steadily，and technical progress was the main reason for the improvement of agricultural eco-efficiency. The spatial distribution of agricultural eco-efficiency has a national autocorrelation，and some regions such as Shandong Province and He’nan Province show “low-low” agglomeration characteristics. The change of agricultural eco-efficiency is mainly influenced by 10 factors，such as scientific and technological support，land approval，agricultural machinery density and agricultural scale level，etc.，and there are differences in the effects of various factors in the different periods. [Conclusion] During the observation period，agricultural mechanical density replaced urbanization level as the main driving factor. The driving factors of the change of agricultural eco-efficiency are gradually changing from the macro environment and policy orientation to the development of agriculture itself.

Keywords：**agricultural eco-efficiency；driving factors；super-efficiency DEA；grey relation**

收稿日期：2018-07-02 **修回日期**：2018-07-18
资助项目：国家社会科学基金项目“不完全契约视角下土地确权影响农户土地规模经营的机制研究”(18BJL032)
第一作者：冯亚娟(1963—)，女(汉族)，辽宁省阜新市人，硕士，副教授，硕士生导师，主要从事系统管理与评价方面的研究。E-mail：776704660@qq.com。
通讯作者：祁乔(1995—)，男(汉族)，山西省运城市人，硕士研究生，研究方向为系统管理与评价，农村经济。E-mail：1041811313@qq.com。

农业生态效率是指在生态系统可承受的范围内以较少的自然资源消耗和环境代价换取更多数量和更高质量的农产品或农业服务[1]。改革开放以来，依托石油农业的生产模式，中国农业产出水平在不断提高的同时也付出了高昂的资源和环境代价。据 2013 年全国调查数据显示，农化污染的需氧量和氨氮排放量分别占全国的 47.6%和 31.7%，农业生产造成的污染有逐渐成为头号污染源的趋势[2]，农化产品、农业废弃物、生活污水和垃圾的处理不当是造成农业污染的主要原因。在十九大生态文明建设的号召下，研究农业生态效率对于明确农业生产中的问题、缓解农业生产和生态环境之间的矛盾、推动农业可持续发展具有重要意义。目前，国内有关生态农业效率的研究已经取得一定进展。在评价方法上，主要涉及比值法、生命周期评价法、随机前沿分析法、生态足迹分析法、能值分析法和数据包络分析法[1]。在研究层面上，现有文献研究主要立足于农产品层面[3-5]、全国层面[6-7]、城市及区域层面[8-10]。在研究内容上，则主要围绕效率测度[10,12]、时空差异[11-12]、时空演变[13]、影响因素[14-15]等来研究。比较当前研究发现：①就全国层面而言，大多数学者对农业生态效率的测度都是静态的，缺少对农业生态效率动态变化趋势及其原因的剖析；②现有文献对农业生态效率的驱动要素研究较少，虽然洪开荣、王宝义等[15-16]人对影响因素进行了探讨，但在因素选取上缺少对农地确权这一重要政策的考量，且在方法上局限于 Tobit 面板分析，无法厘清驱动因素的主次。基于此，本研究通过构建农业生态效率评价体系，首先利用超效率 DEA-Malmquist 模型对全国 2007—2016 年的农业生态效率进行测度并分析其动态效率及变化原因；其次通过空间自相关模型分析其时空分布特征的变化；最后运用灰色关联分析模型并加入农地确权这一政策因素来探究农业生态效率动态变化的主要驱动因素。

1　研究方法和指标选取

1.1　超效率 DEA 模型

传统 DEA 模型的测算结果在区间(0,1)内，在分析结果出现多个决策单元效率值同时为 1 时无法进一步排序和判断优劣，而 Anderson 对 DEA 模型进行改进[17]，提出超效率 DEA 模型，使其可以对同处于生产前沿面的多个决策单元进行分析比较。因此，本文采用超效率 DEA 来测算中国省际农业生态效率。

超效率 DEA 模型数学表达式为：

$$\text{Min}\theta$$

$$s.t.\begin{cases}\sum\limits_{i=1,j\neq i}^{n} X_j\lambda_j + S^- = \theta X_0 \\ \sum\limits_{i=1,j\neq i}^{n} Y_j\lambda_j - S^+ = Y_0\end{cases} \tag{1}$$

$$\lambda_j \geqslant 0, j=1,2,\cdots,k-1,k\cdots,n;\ S^- \geqslant 0, S^+ \geqslant 0$$

式中：θ——决策单元的效率值；X——输入变量；Y——输出变量；λ——有效决策单元中的组合比例；S^-，S^+——松弛变量，分别表示输入超量和投入亏量。当 $\theta \geqslant 1$ 时，若 $S^- \geqslant 0$ 且 $S^+ \geqslant 0$，说明该决策单元实现效率最优；当 $\theta < 1$ 时，若 $S^- \neq 0$ 且 $S^+ \neq 0$，那么该决策单元没有达到效率最优，存在改进空间。

1.2　Malmquist 指数

Malmquist 指数(TFP)常用于生产分析，其特点在于从技术变化和技术效率变化的角度去分解生产率的变化。具体数学模型为：

$$\text{TFP} = \left[\frac{D^t(x_{t+1},y_{t+1})}{D^t(x_t,y_t)} \cdot \frac{D^{t+1}(x_{t+1},y_{t+1})}{D^{t+1}(x_t,y_t)}\right]^{\frac{1}{2}} = \frac{D^{t+1}(x_{t+1},y_{t+1})}{D^t(x_t,y_t)} \cdot \left[\frac{D^t(x_{t+1},y_{t+1})}{D^{t+1}(x_{t+1},y_{t+1})} \cdot \frac{D^t(x_t,y_t)}{D^{t+1}(x_t,y_t)}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{2}$$

Malmquist 指数可分解为技术进步(TC)和综合技术效率(EC)，后者又可分解为纯技术效率(PE)和规模效率(SE)，表达式为：

$$\text{TFP} = \text{EC} \cdot \text{TC} = \text{PE} \cdot \text{SE} \cdot \text{TC} \tag{3}$$

其中，综合技术效率(EC)表示技术效率的变化对生产率的贡献度；纯技术效率(PE)表示生产管理水平变化对生产率的影响，小于 1 表示效率降低，反之表示提高；规模效率(SE)表示规模报酬变化引起的效率变化，大于 1 说明生产规模接近最优，反之说明未达到最优规模；技术进步(TC)代表决策单元的生产技术变化程度，大于 1 表示生产技术有所提高，反之表示衰退。

1.3　空间自相关分析

空间自相关是测度空间单元属性聚集程度的一种有效方法[18]。为进一步研究我国农业生态效率的空间分布和集聚状况，本文采用 Global Moran's I 指数和局部自相关来进行分析。其具体公式为：

$$I = \frac{\sum\limits_{i=1}^{n}\sum\limits_{j=1}^{n} W_{ij}(Y_i-\bar{Y})(Y_j-\bar{Y})}{S^2\sum\limits_{i=1}^{n}\sum\limits_{j=1}^{n} W_{ij}} \tag{4}$$

式中：n——研究省份的个数；Y_i，Y_j——i，j 省份的农业生态效率值；W_{ij}——空间权矩阵(相邻为 1，不相邻为 0)；S^2——观测效率值的方差；$\bar{Y}$——效率值的平均值。Moran's I 取值范围为(−1,1)，若小于

0，说明省际农业生态效率具有差异性，数值越小说明差异性越大；大于 0，则农业生态效率存在正自相关性。

1.4 灰色关联分析

灰色关联分析是一种建立在灰色系统理论基础上对系统发展变化态势进行定量描述的方法[19]。其原理在于根据评价对象间几何接近程度来确定评价对象的关联程度。鉴于此，本文选取灰色关联分析法来剖析农业生态效率的驱动因素。评价过程如下：

(1) 确定比较数列 X_{ij} ($i=1,2,3,\cdots,m$) 和参考序列 X_{oj} (1,2,3,…,n)；

对比较序列和参考序列进行初始化处理；

(2) 计算灰色关联度：

$$\delta=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{\min\limits_{i}\min\limits_{j}|X_{oj}'-X_{ij}'|+\mu\max\limits_{i}\max\limits_{j}|X_{oj}'-X_{ij}'|}{|X_{oj}'-X_{ij}'|+\mu\max\limits_{i}\max\limits_{j}|X_{oj}'-X_{ij}'|} \quad (5)$$

式中：X_{ij}'——无量纲化值；δ——灰色关联度；$\min\limits_{i}\min\limits_{j}|X_{oj}'-X_{ij}'|$，$\max\limits_{i}\max\limits_{j}|X_{oj}'-X_{ij}'|$——极差最小值和极差最大值；$\mu$——分辨系数，通常取值 0.5。

为便于分析，参照以往研究[20]，将灰色关联度分为 3 个等级：$0<\delta\leqslant 0.35$ 为弱关联度，$0.35<\delta\leqslant 0.7$ 为中关联度，$0.7<\delta\leqslant 1$ 为强关联度。

1.5 变量选取及数据来源

农业是以土地资源为生产对象的部门，广义的农业包含农林牧副渔五种形式，狭义的农业仅指种植业这一基础农业。本文以狭义农业为研究对象来测度农业生态效率值。农业生态效率测度是一个涉及多投入、多产出的复杂系统。本文指标及变量选取参考德国环境经济核算账户的生态效率指标和以往的研究。在投入变量的选取上，主要从资源消耗和环境成本两方面来考虑，其中，资源消耗以从事农业生产的人力、物力和财力来衡量，环境成本以农业生产投入中会造成污染的物力消耗(主要包括化肥、农药、农膜和燃料)来衡量；在产出变量的选取上，以农业总产值来作为产出指标(表 1)。本文研究对象为中国省际(不含港、澳、台)农业生态效率，采用 2007—2016 年的省际面板数据。其中，环境成本所涉及的指标均来自于《中国农村统计年鉴》，其余指标均摘自于《中国统计年鉴》。

2 农业生态效率评价

2.1 农业生态效率测度

本文基于超效率 DEA 模型，运用 MaxDEA1.0 软件对 2007—2016 年我国农业生态效率进行了测度，并计算了观测期内各省农业生态效率均值和各分区农业生态效率均值(表 2)。

表 1 农业生态效率评价指标

一级指标	类型	二级指标	变量及说明
投入指标	人力消耗	人力投入	农业人口(万人)
	物力消耗	土地投入	农作物总播种面积(10^3 hm^2)
		能源投入	农村总用电量(10^8 kW·h)
		灌溉投入	有效灌溉面积(10^3 hm^2)
		机械投入	农业机械总动力(10^4 kW)
	财力消耗	财力投入	农业投资(10^8 元)
	环境成本	化肥投入	化肥施用量(10^4 t)
		农药投入	农药使用量(10^4 t)
		农膜投入	农膜使用量(10^4 t)
		燃料投入	柴油使用量(10^4 t)
产出指标	农业发展	农业产出	农业总产值(10^8 元)

从全国层面上看，2007—2016 年农业生态效率的分布区间为[0.52，0.94]，整体上升态势平稳。自 2011年起农业生态效率值就处于平均水平 0.72 以上，至 2016 年效率值达 0.94，已接近相对有效。说明整体上，我国农业生态效率不断上升，生态农业建设已取得一定进展，这与党十八大提出生态文明建设后，各地在农业生产和环境保护方面做出的努力息息相关。从区域层面上看，2007—2016 年，东、中、西部的农业生态效率均值分别为 0.75，0.63 和 0.76，东西部地区差异较小且明显高于中部地区，整体呈现出西部高、东部次之、中部较低的空间分布格局。这一点与王宝义的研究结论相一致。从各分区农业生态效率值的变动趋势上来看，东部地区的增幅最大，观测期内效率值翻了 1 倍，至 2016 年达到相对有效，说明东部地区在推进集约农业和绿色农业上已初见成效；西部地区着力于特色农业的发展，其效率值增幅也较为平稳，观测期内增幅达 70.2%，至 2016 年效率值达到 0.97，接近相对有效；对于中部地区，2007—2012 年间保持着较快的增长速度，但 2013 年开始，增幅明显缩减，年平均增长率仅 2%，效率值也明显低于全国平均水平。从增速上看，观测期内东、中、西部的年均增长率分别为 6.9%，5.8%和 5.5%，虽然西部地区 2007 年农业生态效率值较高，但东部地区凭借着独特的区位优势保持着较高的年均增长率，率先处于效率前沿面，同时也说明虽然西部地区自然条件恶劣，仍在农业生产和环境保护上做了长期努力。

表 2　2007－2016 年中国省际农业生态效率

地 区	农业生态效率										均值	排名
	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年		
北京	0.62	0.66	0.70	0.79	0.85	0.88	0.95	0.93	1.02	1.13	0.84	7
天津	0.47	0.50	0.54	0.65	0.69	0.75	0.84	0.90	0.96	0.99	0.70	18
河北	0.40	0.42	0.46	0.58	0.64	0.71	0.79	0.79	0.80	0.82	0.62	26
山西	0.23	0.26	0.37	0.45	0.50	0.52	0.57	0.60	0.59	0.59	0.45	31
内蒙古	0.61	0.65	0.59	0.65	0.74	0.76	0.83	0.87	0.85	0.87	0.73	14
辽宁	0.42	0.45	0.44	0.53	0.63	0.74	0.81	0.84	1.02	0.93	0.65	21
吉林	0.52	0.56	0.55	0.59	0.65	0.68	0.74	0.74	0.75	0.67	0.64	24
黑龙江	0.67	0.59	0.57	0.58	0.71	0.84	0.99	1.05	1.00	1.00	0.78	10
上海	0.85	0.93	0.95	0.96	1.03	1.06	1.04	1.03	0.99	0.98	0.98	3
江苏	0.42	0.47	0.51	0.61	0.70	0.79	0.84	0.89	0.99	1.03	0.69	20
浙江	0.51	0.55	0.58	0.69	0.76	0.80	0.86	0.90	0.93	1.09	0.75	13
安徽	0.39	0.44	0.45	0.50	0.52	0.54	0.57	0.60	0.60	0.63	0.52	29
福建	0.47	0.50	0.52	0.60	0.68	0.74	0.80	0.87	0.91	1.15	0.70	19
江西	0.40	0.44	0.43	0.44	0.48	0.51	0.56	0.57	0.65	0.72	0.51	30
山东	0.42	0.47	0.55	0.60	0.64	0.66	0.76	0.81	0.86	0.83	0.64	23
河南	0.43	0.48	0.51	0.63	0.63	0.68	0.70	0.76	0.80	0.80	0.63	25
湖北	0.52	0.60	0.61	0.73	0.84	0.91	0.94	0.94	0.93	1.08	0.79	9
湖南	0.57	0.62	0.65	0.77	0.86	0.91	0.88	0.87	0.95	1.04	0.80	8
广东	0.59	0.62	0.59	0.64	0.71	0.76	0.82	0.86	0.90	1.24	0.75	12
广西	0.82	0.85	0.79	0.90	0.99	0.98	1.01	0.99	1.00	1.07	0.94	4
海南	0.87	0.95	0.97	1.01	1.02	1.00	0.95	0.88	0.96	1.27	0.98	2
重庆	0.44	0.49	0.51	0.57	0.65	0.71	0.75	0.79	0.83	0.94	0.65	22
四川	0.50	0.57	0.59	0.64	0.71	0.75	0.77	0.81	0.88	0.97	0.71	17
贵州	0.56	0.64	0.66	0.62	0.58	0.68	0.70	0.82	0.99	1.29	0.73	16
云南	0.45	0.48	0.50	0.49	0.55	0.62	0.68	0.71	0.70	0.72	0.58	28
西藏	1.11	1.14	1.09	1.00	1.00	1.03	1.00	1.04	1.04	0.81	1.02	1
陕西	0.50	0.61	0.51	0.66	0.77	0.84	0.90	0.98	0.99	1.17	0.76	11
甘肃	0.38	0.43	0.46	0.57	0.62	0.67	0.73	0.76	0.80	0.84	0.60	27
青海	0.75	0.82	0.60	0.76	0.82	0.88	1.02	1.00	0.91	1.05	0.85	6
宁夏	0.43	0.50	0.59	0.73	0.78	0.81	0.85	0.89	1.01	1.00	0.73	15
新疆	0.67	0.60	0.64	0.94	0.91	1.00	1.01	0.97	0.96	1.08	0.86	5
东部地区	0.53	0.57	0.60	0.68	0.75	0.80	0.85	0.88	0.94	1.03	0.75	—
中部地区	0.45	0.48	0.51	0.57	0.63	0.68	0.73	0.75	0.77	0.79	0.63	—
西部地区	0.57	0.62	0.61	0.69	0.75	0.80	0.84	0.88	0.91	0.97	0.76	—
全国均值	0.52	0.57	0.60	0.66	0.72	0.77	0.82	0.89	0.88	0.94	0.72	—

注:依据国家统计局对东、中、西部地区的划分,东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南 11 个省(市);中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南 8 个省;西部地区包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆 12 个省(市、自治区)。

从分省层面上看,2007 年仅有西藏处于有效前沿面,2016 年时处于有效前沿面的为 15 省,我国生态农业建设效果显著。其中,农业生态效率排名比较靠前的有西藏、海南和上海,其均值分别为 1.02,0.98 和 0.98,值得注意的是,农业生态效率较高省份并不局限于东部发达地区,西部欠发达省份也较多,这说明经济基础和地缘优势并不直接决定生态农业的建设,主要还在于自身的重视和发展;排名比较靠后的有山西、江西和安徽,其效率均值分别为 0.45,0.51 和 0.52,中部地区的生态农业发展形势依然严峻。

2.2　农业生态效率 Malmquist 指数分解

2.2.1　*各省份农业生态效率分解*　对农业生态效率的变化趋势进一步分析,结果详见表 3。观测期内,除西藏外其余各省份的全要素农业生态效率增长率都大于 1,年均增长率 7.9%,这表明整体上全国农业生态效率是动态增长的。但就全要素效率的分解情况

来看，除了技术进步保持年均 8.6%的增长速度以外，其余指标均处于下降状态，其中技术效率下降 0.7%，纯技术效率下降 0.4%，规模效率下降 0.2%。由此可见，2007—2016 年间，技术进步是农业生态效率提高的主要影响因素，技术效率、纯技术效率和规模效率对农业生态效率的贡献程度有所减弱。

表 3 2007－2016 年中国省际农业生态效率 Malmquist 指数及分解

省 份	技术效率	技术进步	纯技术效率	规模效率	全要素生产率
北京	1.000	1.089	1.000	1.000	1.089
天津	0.999	1.089	1.000	0.999	1.088
河北	0.981	1.109	0.993	0.988	1.087
山西	1.006	1.109	1.001	1.005	1.115
内蒙古	0.984	1.075	0.987	0.997	1.058
辽宁	0.997	1.102	0.996	1.000	1.098
吉林	0.959	1.100	0.961	0.998	1.054
黑龙江	1.000	1.083	1.000	1.000	1.083
上海	1.000	1.013	1.000	1.000	1.013
江苏	1.000	1.105	1.000	1.000	1.105
浙江	1.000	1.087	1.000	1.000	1.087
安徽	0.978	1.109	0.981	0.996	1.084
福建	1.000	1.100	1.000	1.000	1.100
江西	0.986	1.107	0.986	0.999	1.091
山东	0.979	1.084	1.000	0.979	1.061
河南	0.976	1.109	1.000	0.976	1.082
湖北	1.000	1.091	1.000	1.000	1.091
湖南	1.000	1.091	1.000	1.000	1.091
广东	1.000	1.068	1.000	1.000	1.068
广西	1.000	1.053	1.000	1.000	1.053
海南	1.000	1.070	1.000	1.000	1.070
重庆	0.993	1.118	0.995	0.997	1.110
四川	0.997	1.100	1.000	0.997	1.097
贵州	1.000	1.132	1.000	1.000	1.132
云南	0.976	1.085	0.988	0.988	1.060
西藏	1.000	0.940	1.000	1.000	0.940
陕西	1.000	1.121	1.000	1.000	1.121
甘肃	0.988	1.112	0.985	1.003	1.098
青海	1.009	1.067	1.002	1.006	1.076
宁夏	1.000	1.094	1.000	1.000	1.094
新疆	1.000	1.075	1.000	1.000	1.075
东部地区	0.996	1.083	0.999	0.997	1.078
中部地区	0.988	1.100	0.991	0.997	1.086
西部地区	0.996	1.080	0.996	0.999	1.075
全国均值	0.993	1.086	0.996	0.998	1.079

从技术进步来看，除西藏外其余各省份的技术进步均实现增长，年均增长 8.6%，说明各省都能认识到技术进步在现代农业、生态农业中发挥的作用并做出努力取得成效，而西藏地区由于长期缺乏技术积累，技术进步发展受阻，成为全要素效率增长的瓶颈；从纯技术效率来看，大于 1 的省份有 2 个，等于 1 的有 20 个，小于 1 的有 9 个，说明大部分省份的生态农业生产管理水平在观测期内对全要素生产率的贡献保持不变，山西和青海的组织和生产水平略有增长但幅度不大，整体上我国的生态农业生产水平有待提高；从规模效率来看，有 11 个省小于 1，2 个省大于 1，18 个省等于 1，说明 64.5%的省份的生态农业规模接近最优，其余省份的生产规模则尚未达到最优，生态农业要素投入结构与生产规模不相匹配，规模效率对全要素农业生态效率的提高产生制约作用。

从区域层面上看，中部地区的全要素农业生态效率增长率最高，为 8.6%，高于东西部地区的 7.8%、7.5%，但与东西部地区不同的是中部地区的增长率主要由技术进步带动，其余环节相对薄弱，而东西部地区则相对较为均衡，在注重技术进步的同时兼顾了资源消耗和农业生产。

2.2.2 *各年份农业生态效率分解* 为进一步考察各指标随时间的变化，本文运用 Malmquist 指数对各年份的农业生态效率值进行了分解，结果详见表 4。2007—2016 年间，全要素农业生态效率增长率呈倒 V 形变化趋势，2009—2010 年有一个显著增长点，增幅 8.1%，随后 2010—2015 年间增长率开始下降，值得注意的是，至 2016 年，纯技术效率和规模效率增长率对全要素生产率的贡献达到最低值。这说明，观测期内，虽然农业生态效率一直稳步增长，但是其增长率的变动幅度较大，内部增长结构的变动也比较剧烈，且近年来有倒退趋势，说明出技术进步不能长期作为农业生态效率提高的主导因素，随着时间的推移，应该更多的将生态农业发展的重点转移到农业自身组织管理水平和生产水平的提高上。

表 4 中国 2007－2016 年各年份农业生态效率 Malmquist 指数及分解

年 份	技术效率	技术进步	纯技术效率	规模效率	全要素生产率
2007—2008	0.998	1.085	0.995	1.002	1.082
2008—2009	1.005	1.057	1.006	0.999	1.063
2009—2010	0.999	1.15	0.995	1.004	1.149
2010—2011	0.994	1.111	0.995	0.999	1.104
2011—2012	0.995	1.096	0.999	0.996	1.091
2012—2013	1.011	1.074	1.009	1.002	1.086
2013—2014	0.998	1.067	1.001	0.997	1.065
2014—2015	0.973	1.062	0.982	0.991	1.034
2015—2016	0.971	1.074	0.982	0.989	1.043
均 值	0.993	1.086	0.996	0.998	1.079

2.3　农业生态效率的空间格局演化特征

本文以 31 个省为空间分析单元,利用 GeoDa095 软件对 2007,2016 年全国农业生态效率的全局 Moran's I 指数进行计算,以此来检验其空间自相关性和集群状况。通过计算,2007—2016 年省际农业生态效率的全局 Moran's I 指数由 0.14 下降到 0.11,且均在 5%的显著性水平上通过检验,说明全国省际农业生态效率呈现出空间自相关性,且高(低)效率相邻省份呈现出集聚模式,但随着时间的推移,空间自相关性和集聚性有所减弱。

在假设显著性水平 $p=0.05$,序列为 99,分析我国的各省份的农业生态效率集聚状况(图 1),其中,不同灰度代表着不同的相关类型和集聚模式。2007 年,山东、陕西、河南等地呈现出低低相关,西藏呈现出高高相关(正局部自相关);云南省呈现出低高相关、内蒙古地区表现为高低相关(负局部自相关)。至 2016 年,随着全国农业生态效率值的提高,局部自相关主要表现为山东、河南、辽宁等地低低相关,其他地区的相关性不在明显。由此可见,我国的农业生态效率空间分布具有低效率集聚的特点,其他效率的集聚效应不显著。

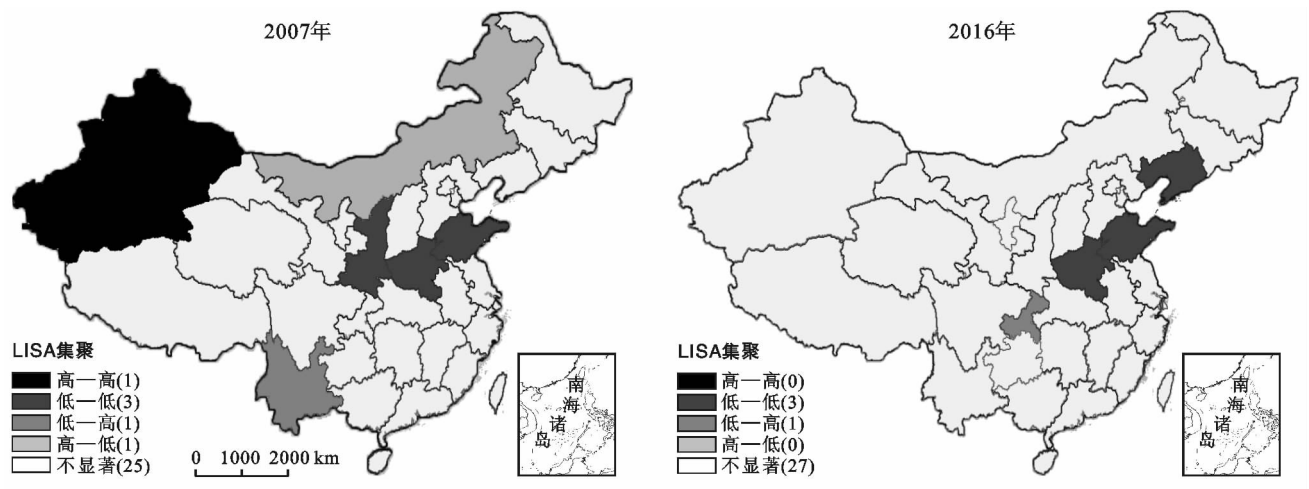


图 1　中国 2007,2016 年 LISA 空间集聚地图

3　农业生态效率驱动因素分析

3.1　驱动因素选取

根据已有研究,本文从宏观环境、政策支持、农业发展 3 个方面选取以下驱动因素(表 5):①产业结构。反映产业调整与升级对农业生态效率的驱动作用。②城市化水平。城市化进程的推进使城市文明向农村扩散,提高农民生态农业意识,减轻农业污染。③科技支持。用以反映科技支持对生态农业建设的驱动作用。④城乡差距。城乡差距的扩大或缩小会影响农村居民的收入期望,进而影响农业生产中农化产品的投入和使用。该指标反映收入不平等对生态农业发展的驱动作用。⑤财政支农。财政支农会增加农民收入,同时会促进农民加大在农业生产中的投入。该指标反映政府支农对农业生态效率的驱动作用。⑥农地确权。2013 年我国开展农村土地确权工作,该工作的推进能不断调动农民的生产积极性,但是否能以此带动生态农业发展有待检验。鉴于农地确权不是一蹴而成,而是以试点省份逐渐推进的,故引入虚拟变量,对试点省份赋值为 1,非试点省份赋值为 0。⑦农业机械密度。农业机械化程度的提高对提高农业生产效率有推动作用。⑧农业生产力。反映当地农业人力、技术、资本投入对生态农业的驱动作用。⑨农业规模化水平。不同规模水平对生态农业的影响不同,小规模作业有利于精耕细作,而大规模作业则利于实现规模经济。⑩农业市场化程度。农业市场化程度体现农业对农民收入的贡献程度,反映地区农业技术效率和资本配置水平对生态农业的驱动作用。

3.2　驱动因素分析

分别以 2007 年、2016 年的省际农业生态效率值为参考序列,以上述 10 个驱动因素为比较序列,计算各驱动因素与农业生态效率值的关联度,结果详见表 6。2007 和 2016 年个关联度均在 0.6 以上,说明假设所选因素均对农业生态效率有重要影响。但在不同时期,各驱动要素的重要程度有所不同,在 2007 年表现为:城市化水平>农业生产能力>农业市场化程度>农地确权>科技支持>财政支农>产业结构>城乡差距>农业规模化水平>农业机械密度;在 2016 年表现为:农业机械密度>科技支持>农地确权>农业规模化水平>产业结构>农业生产能力>农业市场化程度>城乡差距>财政支农>城市化水平。由此可见,中国农业生态效率的动态变化主要是由这 10 种驱动因素相互作用的引起的,并在不同时期呈现出不同的特征。对此,从宏观环境、政策支持、农业发展的视角做进一步分析。

表 5 驱动因素的描述及说明

类 型	解释变量	定 义	变量类型
宏观环境	产业结构	第二产业产值/地方生产总值	连续变量
	城市化水平	城镇人口比重	连续变量
	科技支持	科学技术与发展的经费投入强度	连续变量
	城乡差距	乡村居民纯收入/城市居民纯收入	连续变量
政策支持	财政支农	农林水事务/地方财政支出	连续变量
	农地确权	农地确权试点省份:是=1;不是=0	虚拟变量
农业发展	农业机械密度	农业机械总动力/农作物播种面积	连续变量
	农业生产能力	农业 GDP/农业总人口	连续变量
	农业规模化水平	农村人均耕地面积(hm^2/人)	连续变量
	农业市场化程度	农民经营性纯收入/农民纯收入	连续变量

表 6 2007,2016 年驱动因素与农业生态效率的灰色关联度

驱动因素	2007 年		变动情况	2016 年	
	灰色关联度	关联等级		灰色关联度	关联等级
产业结构	0.733	强	↓	0.714	强
城市化水平	0.767	强	↓	0.623	中
科技支持	0.739	强	↑	0.802	强
城乡差距	0.730	强	↓	0.649	中
财政支农	0.736	强	↓	0.634	中
农地确权	0.748	强	↑	0.782	强
农业机械密度	0.686	中	↑	0.843	强
农业生产能力	0.761	强	↓	0.702	强
农业规模化水平	0.713	强	↑	0.745	强
农业市场化程度	0.752	强	↓	0.697	中

注:由于我国农村土地确权政策始于 2013 年,在此之前不存在关联性,因此农地确权在表 4 中 2007 年的部分采用 2015 年的关联结果,图 2 同。

3.2.1 宏观环境 观测期内,除科技支持外,产业结构、城市化水平和城乡差距对农业生态效率的驱动作用有所减弱,城市化水平、城乡差距的关联等级下降。其中,产业结构的灰色关联度虽然由 0.73 下降到 0.71,但仍保持着较强的影响力,一方面其调整和升级对生态农业建设有重要驱动作用,另一方面我国农业发展仍未能摆脱“石油农业”的困境;城市化水平从 2007 年的 45.9%上升到 2016 年的 57.5%,但关联等级却下降,说明城市化进程的推进虽然使得城市文明向农村扩散,同时却也使人力和资本向城市集中,使其对生态农业的驱动作用减弱;科技支持的灰色关联度由 0.74 上升到 0.8,对生态农业发展的作用不断凸显,成为第二驱动力,说明科技支持在推动产业结构调整、区域可持续发展的同时也为生态农业发展提供技术支持;城乡差距的关联等级也下降,一方面在于近年来农村居民进城务工人员增多,另一方面通过加大农化产品的使用来增加收入,导致城乡差距对农业生态效率提高的驱动力减弱。

3.2.2 政策支持 观测期内,财政支农的关联等级下降,土地确权与农业生态效率的关联度上升。财政支农虽然增加了农民收入,但财政支农支出结构不合理,农化产品补贴倾向于农化产品等问题使得农业发展长期依赖石油农业的模式,反而对提高农业生态效率产生了不利影响,驱动力减弱;农村土地确权政策在 2015 年试点省份是 13 个,2016 增长到 22 个,灰色关联度由 0.75 上升到 0.78,表现出较强的驱动力,说明各项土地权利的明晰不仅盘活了农村生产要素和解放了农村生产力,也借此推动了生态农业的发展。

3.2.3 农业发展 观测期内,农业机械密度、农业规模化水平对农业生态效率的驱动作用增强,农业生产力和农业市场化的驱动作用减弱。其中,农业机械密度与农业生态效率由 2007 年的 0.69 上升到 2016 年的 0.84,一跃成为第一驱动力,集中体现了农业基础设施改善、生产技术普及对提高农业生态效率的影响;农业生产能力的提高一方面能提高农民的收入期望,另一方面为农业生态效率的提高提供良好的基础,虽然关联程度下降,但仍保持着较强的驱动力;农业规模化的优势不仅表现在规模经济效益,还在于由此引发的农业生产方式、种植结构的变革,对生态农业的发展有深远的影响;农业市场化关联等级下降,农产品的附加值相对较低,市场化的推进会加大农业生产中农化产品的使用,亦不利于现代化农业生产方式的推广。

为考察驱动要素地域性变动情况,做进一步区分(图 2)。对于东部地区,除城市化水平、财政支农、农业生产力和农业市场化程度外,其余驱动因素与农业生态效率的灰色关联度均上升,农业机械密度代替农业生产力成为主要驱动力;对于中部地区,农地确权、农业机械密度、农业生产力、农业规模化水平与农业生态效率的关联程度有所增强,其余要素驱动力减弱,农业机械密度代替科技支持成为主要驱动力;对于西部地区,城市化水平、城乡差距和财政支农驱动作用衰减比较明显,其余要素变化平稳,至 2016 年,产业结构、科技支持、农业机械密度成为主要驱动力。

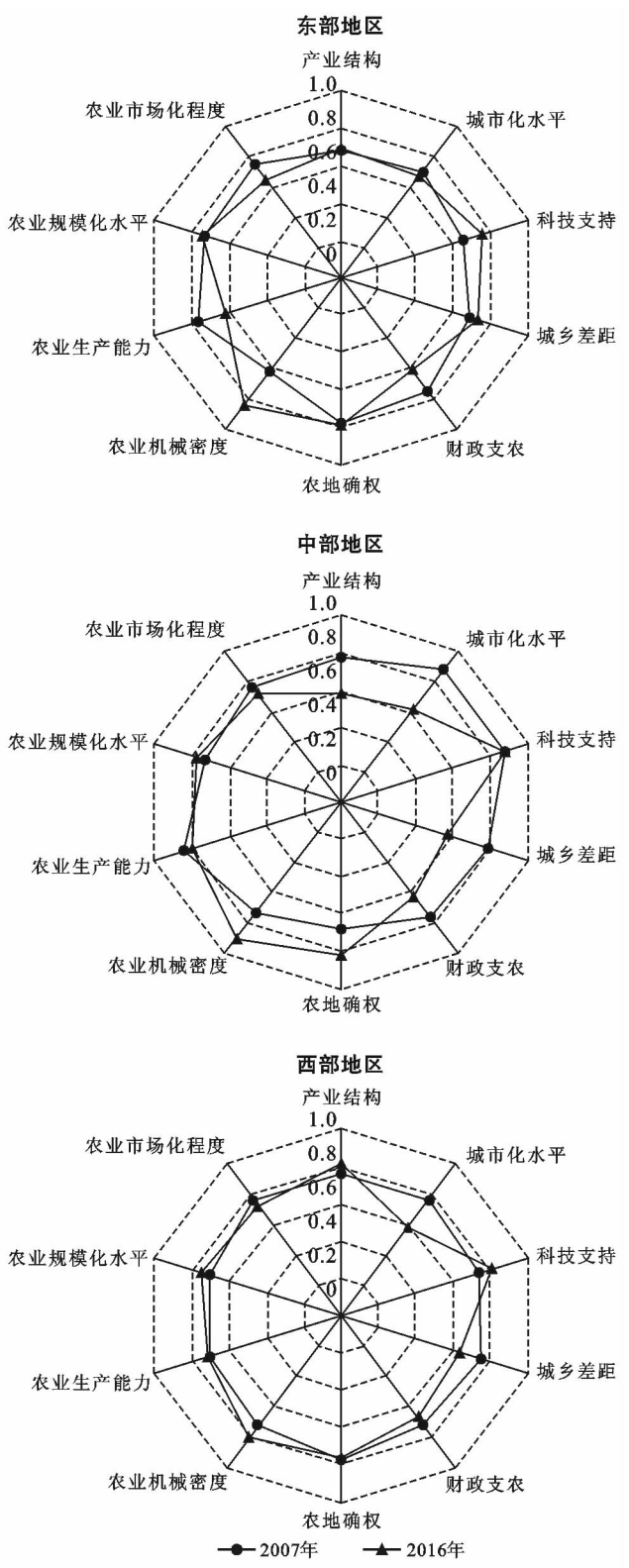


图 2　中国各区域驱动因素与农业生态效率的灰色关联度

4　讨论与结论

从效率值测度结果上看,全国层面上,2007 中国农业生态效率均值为 0.52,继而增势平稳,至 2016 年时达到 0.94,但观测期内效率均值仅为 0.72,整体上未能实现效率有效,农业发展主体上仍依赖石油农业的发展模式,改进空间较大;区域层面上,东西部农业生态效率差异较小且明显高于中部,中部地区生态农业发展态势严峻。因此,农业发展一方面要改善现有的农业要素投入结构,减少化肥、农药等农化产品的补贴和投入,加强环保型农资补贴;另一方面要转变农业经营方式,依托现代农业生产技术,提高农业的组织生产和管理水平,逐渐摆脱对"石油农业"的依赖,走生态、集约、经济的农业发展道路。

从时空演变趋势上看,Malmquist 指数分解结果表明,观测期内全要素农业生态效率增长率呈倒 V 形变化趋势,年增长率 7.9%。其中,科技进步是农业生态效率提高的主导因素,纯技术效率和规模效率的衰退成为生态农业发展的瓶颈。空间自相关检验显示,2007—2016 年中国农业生态效率的 Moran's I 值由 0.14 下降到 0.11,全局空间自相关性和空间集聚性减弱,局部地区低效率值集聚特征较为明显。对此,各省区应注重改善农业生产的要素投入结构,促进资源的合理配置,着力提高规模效益。除此之外,政府应引导东部等高效率区的生产要素向中部低效率区扩散,逐步改善低效率区的生态农业发展现状。

从驱动因素分析看,产业结构、城市化水平、科技支持、城乡差距、财政支农、农地确权、农业机械密度、农业生产能力、农业规模化水平和农业市场化程度均在不同时期对农业生态效率产生不同程度的驱动力;2016 年科技支持和农业机械密度代替 2007 年时的城市化水平和农业生产能力成为农业生态效率的主要驱动因素;整体上,中国农业生态效率的增长逐渐由宏观环境和政策导向转变为以农业自身发展为导向。因此,生态农业的发展应切实从农业自身入手。首先,发挥科技进步这一重要驱动力的作用,重视农业生态科技研发,培养现代农业人才,做好农业技术的普及工作。其次,明确土地权利归属,推广现代化农业生产方式,将科技成果与现代耕作方式相结合,推动生态农业的发展模式和管理创新。最后,不同分区的驱动因素也有所不同,应因地制宜,把握区域农业发展的主导因素,引导农业向生态化方向转变。

总之,本文采用 Malmquist 模型和空间自相关模型对农业生态效率的时空演变进行研究,并通过灰色关联法识别并厘清不同时期农业生态效率变动的主要驱动力,对已有文献进行了补充。但研究视角仅着眼于农业生态循环系统本身,而影响农业生态发展的因素往往隶属于多个复杂系统,如社会系统、经济系统等,导致分析结果具有一定的局限性,这一点将在未来的研究中进行完善。

[参 考 文 献]

[1] 聂弯,于法稳.农业生态效率研究进展分析[J].中国生态农业学报,2017,25(9):1371-1380.

[2] 崔晓,张屹山.中国农业环境效率与环境全要素生产率分析[J].中国农村经济,2014(8):4-16.

[3] 吴小庆,徐阳春,陆根法.农业生态效率评价:以盆栽水稻实验为例[J].生态学报,2009,29(5):2481-2488.

[4] 税伟,陈毅萍,苏正安,等.基于能值的专业化茶叶种植农业生态系统分析:以福建省安溪县为例[J].中国生态农业学报,2016,24(12):1703-1713.

[5] 钟方雷,杨肖,郭爱君.基于LCA和DEA法相结合的干旱区绿洲农业生态经济效率研究:以张掖市制种玉米为例[J].生态经济,2017,33(11):122-127.

[6] 潘丹,应瑞瑶.中国农业生态效率评价方法与实证:基于非期望产出的SBM模型分析[J].生态学报,2013,33(12):3837-3845.

[7] 王迪,王明新,钱中平,等.基于超效率SBM和BRT的农业生态文明建设效率分析[J].中国农业资源与区划,2017,38(11):94-101.

[8] 黄娟,刘玥.三峡库区农业生态效率测度及其影响因素分析[J].统计与决策,2018(7):123-127.

[9] 张子龙,鹿晨昱,陈兴鹏,等.陇东黄土高原农业生态效率的时空演变分析:以庆阳市为例[J].地理科学,2014,34(4):472-478.

[10] 吴小庆,王亚平,何丽梅,等.基于AHP和DEA模型的农业生态效率评价:以无锡市为例[J].长江流域资源与环境,2012,21(6):714-719.

[11] 胡卫卫,于水,马智源,等.基于DEA-Malmquist模型的江苏省农业生态效率时空差异分析[J].水土保持通报,2018,38(2):297-302.

[12] 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.

[13] 王宝义,张卫国.中国农业生态效率测度及时空差异研究[J].中国人口·资源与环境,2016,26(6):11-19.

[14] 郑德凤,郝帅,孙才志.基于DEA-ESDA的农业生态效率评价及时空分异研究[J].地理科学,2018,38(3):419-427.

[15] 洪开荣,陈诚,丰超,等.农业生态效率的时空差异及影响因素[J].华南农业大学学报:社会科学版,2016,15(2):31-41.

[16] 王宝义,张卫国.中国农业生态效率的省际差异和影响因素:基于1996—2015年31个省份的面板数据分析[J].中国农村经济,2018(1):46-62.

[17] Anderson D. Energy efficiency and the economists: The case for a policy based on economic principles[J]. Annual Review of Energy and the Environment, 1995, 20(1):495-511.

[18] Getis A, Ord J K. The analysis of spatial association by use of distance statistics[J]. Geographical Analysis, 1992,24(3):189-206.

[19] 刘贤赵,张安定,李嘉竹.地理学数学方法[M].北京:科学出版社,2009.

[20] 范建刚.1983—2004年陕西粮食产量与主要投入要素的灰色关联分析[J].干旱地区农业研究,2007,25(3):209-212.

(上接第253页)

[51] 黄艳霞.广西崩岗侵蚀的现、成因及治理模式[J].中国水土保持,2007(2):3-4.

[52] 谢炎敏.福建省长汀县崩岗生物治理模式的生态环境效应分析[J].亚热带水土保持,2017,29(2):13-15,34.

[53] 李旭义,查轩,刘先尧.南方红壤区崩岗侵蚀治理模式探讨[J].太原师范学院学报:自然科学版,2008,7(3):106-110.

[54] 肖胜生,杨洁,方少文,等.南方红壤丘陵区崩岗不同防治模式探讨[J].长江科学院院报,2014,31(1):18-22.

[55] 黄生裕,刘星塔.麻竹治理崩岗(沟)的栽培技术[J].中国水土保持,1995(12):22-23.

[56] 白俞,熊平生,谢世友.赣南红壤崩岗侵蚀区生态退化及其修复研究[J].热带地理,1997,17(4):405-411.

[57] 吕联合.福建省泉州市崩岗侵蚀现状及防治成效[J].亚热带水土保持,2011,23(4):47-49.

[58] 吴菲,李典云,夏栋,等.中国南方花岗岩崩岗综合治理模式研究[J].湖北农业科学,2016(16):4081-4084,4106.

[59] 陈志彪,陈志强,杨满根.南方红壤水土流失治理技术示范[J].中国科技成果,2016(20):80-81.

[60] 史志华,杨洁,李忠武,等.南方红壤低山丘陵区水土流失综合治理[J].水土保持学报,2018,32(1):6-9.