

付伟,李梦柯,罗明灿,等. 我国农业绿色全要素生产率时空演变与区域异质性分析[J]. 江苏农业科学,2023,51(23):227-235.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.23.033

# 我国农业绿色全要素生产率时空演变 与区域异质性分析

付伟<sup>1</sup>,李梦柯<sup>1</sup>,罗明灿<sup>1</sup>,陈建成<sup>2</sup>

(1. 西南林业大学经济管理学院,云南昆明 650224; 2. 北京林业大学经济管理学院,北京 100083)

**摘要:** 目前我国的农业发展面临投入产出效率严重低下的问题,深刻影响生态环境,当下农业发展的关键是寻求一条绿色可持续发展的道路。基于 SBM-GML 指数法测算我国 31 个省份(因香港、澳门、台湾省数据缺失较多,未纳入研究)2001—2020 年的农业绿色全要素生产率,并对其空间相关性进行分析检验。结果表明,我国省域农业绿色全要素生产率呈稳定增长状态,年均增长为 1.5%,增长动力主要依靠技术进步;从省际来看,我国各省份之间的农业绿色全要素生产率发展存在较大差异,粮食主产区的农业绿色全要素生产率指数高于粮食主销区和粮食产销平衡区;我国粮食产区农业绿色全要素生产率的增长存在显著的空间相关性,且呈现明显的集聚特征,热点区由粮食主产区转移到粮食产销平衡区。根据结果分析得出结论并提出不断优化农业产业结构,探索新的农业发展方式;强化农业技术人才支撑;加大农业财政投入力度等相关政策建议,以期提高我国农业绿色全要素生产率,推动农业实现绿色发展。

**关键词:** 农业绿色全要素生产率;SBM 模型;GML 指数;农业碳排放;时空演变;区域异质性分析

**中图分类号:** F323.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2023)23-0227-08

我国目前已经进入高质量发展阶段,必须加快“推动经济发展质量变革、效率变革、动力变革,提高全要素生产率”。改革开放以来,农业随着我国经济的迅猛发展取得较好的成绩,农林牧渔业总产值由 1978 年的 1 397.0 亿元增加至 2021 年的 147 013.4 亿元,年均增长 11.44%。目前,我国面临诸多严重的农业环境污染问题。1991—2020 年,全国化肥施用量和农药使用量显著增加,从 1991 年的 2 805.1 万、765 307 t 分别增长至 2020 年的 5 250.7 万、1 313 303 t,增长幅度分别达到 87%、72%,对农村生态环境造成严重威胁。可见,要加快生态保护和农业高质量发展的步伐,就要发展高质量农业,提升农业绿色全要素生产率是发展的第 1 步,对于我国推动农业生态文明建设,实现可持续发展至关重要。为此,党的二十大报告提出要“加快建设现代化经济体系,着力提高全要素生产率,着力推进城乡融合和区域协调发展,推动经济实现

质的有效提升和量的合理增长”。《中共中央国务院关于实施乡村振兴战略的意见》等文件也明确指出,必须要“做好农业农村生态环境保护工作,打好农业面源污染防治攻坚战,全面推进农业绿色发展”。自 2003 年以来,“中央一号”文件始终高度聚焦“三农”问题,并多次强调应该节约农业资源和保护生态环境,为推动农业高质高效发展,必须将农业从增产导向转变为提质导向。有关农业绿色全要素生产率的研究最初集中在测算方法上。截至目前测算方法主要分为参数法和非参数法,参数法包括超越对数生产函数法、C-D 函数法<sup>[1]</sup>、随机前沿分析法(SFA)<sup>[2]</sup>、数据包络法(DEA)<sup>[3]</sup>等。随着对农业绿色全要素生产率不断深入的研究,学者们采用纳入环境污染要素的非参数法,Chung 等首次使用 Malmquist-Luenberger(ML)生产率指数以及方向性距离函数将污染排放作为非期望产出对瑞典纸浆厂的经济增长进行测度,最终得出合理的全要素生产率<sup>[4]</sup>。刘华军等运用方向距离函数模型(DDF 模型)和 ML 生产率指数,以碳排放视角对我国资源环境约束下的区域全要素生产率进行测算<sup>[5]</sup>。武宵旭等也采用该方法对我国农业的全要素生产率进行测算,并从城镇化视角对其差异性进行研究<sup>[6]</sup>。随着模型的改进,李玲等采用随机块模型(SBM 模型)结合 Luenberger 生产率指数测算

收稿日期:2023-02-22

基金项目:国家自然科学基金(编号:72264035);云南省教育厅科学研究基金(编号:2022Y625)。

作者简介:付伟(1986—),女,山东潍坊人,博士,副教授,主要从事生态经济与可持续发展研究。E-mail:fuweinylnzd@126.com。

通信作者:陈建成,博士,教授,主要从事林业经济管理研究。E-mail:chenjc1963@163.com。

2004—2008 年我国工业部门中 19 个污染密集型产业,发现规模结构和环境规制都对绿色全要素生产率的提高有推动作用<sup>[7]</sup>。纪成君等利用 2011—2016 年我国各省份的数据,采用 SBM-DEA 模型对我国农业绿色全要素生产率的区域差异和收敛性进行分析<sup>[8]</sup>。随着研究的不断深入,学者们从不同角度对农业绿色全要素生产率展开研究,并发现农村金融发展<sup>[9-11]</sup>、环境规制<sup>[12-13]</sup>、新型城镇化<sup>[14-15]</sup>、农产品贸易<sup>[16-18]</sup> 等都对农业绿色全要素生产率的发展产生较大影响。本研究在前人研究成果的基础上,利用 SBM-GML 指数测算中国省域农业绿色全要素生产率,并基于空间相关和热点分析对农业绿色全要素生产率增长的区域差异性进行探究并提出相应对策,以期为我国农业绿色转型、高质量协调发展提供新思路及政策参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究方法

传统 DEA 模型的缺陷主要表现为不能分解各个要素的效率值和高估效率值,为了弥补这一缺陷,使绿色全要素生产率的测度更加精确,Tone 提出非径向、非角度的 SBM 模型<sup>[19]</sup>。对于农业绿色全要素的分解,本研究采用 Oh 构建的 Global Malmquist-Luenberger(简称 GML)生产率指数来测算我国 31 个省份(因香港、澳门、台湾省数据缺失较多,未纳入研究,下同)的农业绿色全要素生产率(简称 AGTFP)<sup>[20]</sup>,利用 Getis-Ord  $G_i^*$  热点分析工具对我国省域农业绿色全要素生产率增长的热点区和冷点区进行分析,探讨其增长的区域差异性。

1.1.1 SBM 的函数表达式 SBM 的函数表达式为:

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{s_i^x}{x_m^k}}{1 + \frac{1}{N+1} \left( \sum_{n=1}^N \frac{s_n^y}{y_n^k} + \sum_{i=1}^I \frac{s_i^u}{u_i^k} \right)}; \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} x_m^k = \sum_{k=1}^K \lambda_k x_m^k + s_m^x \\ y_n^k = \sum_{k=1}^K \lambda_k y_n^k - s_n^y \\ u_i^k = \sum_{k=1}^K \lambda_k u_i^k + s_i^u \\ s_m^x \geq 0, s_n^y \geq 0, s_i^u \geq 0, \lambda_k \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: $K$  表示样本的决策单元数,个; $M$  表示每个决策单元投入变量; $I$  表示非期望产出变量; $N$  表示期

望产出变量的数量,其中投入向量为  $x$ 、期望产出向量为  $y$ 、非期望产出向量为  $u$ ,类资源投入、期望产出以及非期望产出的松弛变量分别用  $s^x$ 、 $s^y$ 、 $s^u$  表示, $r_k$  表示权重向量。目标函数关于  $s_m^k$ 、 $s_n^y$ 、 $s_i^u$  呈递减趋势,且  $0 \leq \rho^* \leq 1$ 。当且仅当  $\rho^* = 1$  时,称生产单元有效率;当  $\rho^* < 1$  时,说明生产单元无效,存在产出不足或投入过量的情况,则该生产单位需要根据实际尽快做出改进。

### 1.1.2 Global Malmquist-Luenberger 生产率指数

本研究采用 Oh 提出的 Global Malmquist-Luenberger(GML)<sup>[20]</sup> 来测算 AGTFP,其中,将中国各个省份作为 1 个决策单元(DUM), $x$  表示投入要素指标,包括劳动力投入、土地投入、机械投入、化肥投入以及水资源投入; $y$  表示期望产出指标,包括农林牧渔总产值; $u$  表示非期望产出指标,包括农业碳排放。设时期总数为  $T$ ,利用各省份  $t$  期的投入和产出值,参考 Oh<sup>[20]</sup>,GML 指数可定义为公式(3)。

$$GML^{t,t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, u^{t+1}; x^t, y^t, u^t) = \frac{1 + D^G(x^t, y^t, u^t)}{1 + D^G(x^{t+1}, y^{t+1}, u^{t+1})} \quad (3)$$

式中: $GML^{t,t+1}$  的值大于 1,说明 AGTFP 在进步; $GML^{t,t+1}$  的值等于 1,则表明 AGTFP 保持不变; $GML^{t,t+1}$  的值小于 1,则表明 AGTFP 降低。将 GML 指数分解为绿色技术效率指数(GEC)和绿色技术进步指数(GTC),根据 Zofio 的研究成果进一步将绿色技术效率指数(GEC)分解为绿色纯技术效率(GPEC)和绿色规模效率(GSEC)<sup>[21]</sup>。若绿色技术进步大于 1,表示进步;若绿色技术进步小于 1,则表示退步。

$$GML^{t,t+1} = GEC \times GTC = GPEC \times GSEC \times GTC \quad (4)$$

1.1.3 热点分析 利用 ArcGIS 中的 Getis-Ord  $G_i^*$  热点分析工具对中国省域农业绿色全要素生产率增长的热点区和冷点区进行分析。该热点分析工具对每个地区的 Getis-Ord  $G_i^*$  的值进行计算,并将得出的结果分配为  $Z$ 。 $Z$  值为正, $Z$  值数越大,表示高值聚类越强烈(即热点); $Z$  值为负, $Z$  值数越小,表示低值聚类越强烈(即冷点)。Getis-Ord  $G_i^*$  计算方法见公式(5)。

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{\sqrt{\frac{s \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - \left( \sum_{j=1}^n w_{ij} \right)^2}{n-1}}} \quad (5)$$

式中:  $x_j$  表示样本  $j$  的属性值;  $w_{ij}$  表示  $i$  与  $j$  之间的空间权重;  $n$  表示样本总数;  $\bar{X}$  表示平均数;  $s$  表示标准差; 计算出每个单元  $G_i^*$  的值即为  $Z$  的值。本研究用热点区及次热点区表示 AGTFP 的增长较强, 冷点及次冷点区表示该地区 AGTFP 的增长较弱甚至呈负增长。

### 1.2 投入产出指标的选取和数据来源

本研究选取以农林牧渔业为主的广义农业, 构建包含投入变量、期望产出和非期望产出变量的投入产出指标体系, 测算农业绿色全要素生产率指数。

1.2.1 投入产出指标选取 借鉴已有研究成果, 考虑研究区域、数据可得性选取劳动、土地、机械、化肥、水资源、农药和农膜 7 个投入指标。农业产出变量包含期望产出和非期望产出。(1) 期望产出。农

林牧渔总产值为期望产出, 本研究选取 2001—2020 年我国 31 个省份的农林牧渔总产值, 根据我国各省份居民消费价格指数(2001 年为基期)进行折算。(2) 非期望产出。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)报告中指出要把农业碳排放算入非期望产出, 根据李波等的研究方法<sup>[22]</sup>核算碳排放量。本研究主要测算农业生产过程中化肥、农药、农膜、柴油、翻耕、农业灌溉等 6 类直接产生的碳排放。碳排放估算公式为

$$E = \sum E_i = \sum T_i \delta_i \quad (6)$$

式中:  $E$  表示农业的碳排放量;  $E_i$  表示各种碳源的碳排放量;  $T_i$  表示各碳排放源的量;  $\delta_i$  表示各碳排放源的碳排放系数。根据文献整理得到  $\delta_i$  的参考值(表 1)。

表 1 农业碳排放碳源、排放系数及来源

碳源	指标	碳排放系数	来源
化肥	化肥当年施用量	0.895 6 kg/kg	美国橡树岭国家实验室
农药	农药当年施用量	4.934 1 kg/kg	美国橡树岭国家实验室
农膜	农膜当年施用量	5.18 kg/kg	南京农业大学农业资源与生态环境研究所
柴油	柴油当年施用量	0.592 7 kg/kg	IPCC
翻耕	农作物播种面积	312.6 kg/hm <sup>2</sup>	中国农业大学生物与技术学院
农业灌溉	有效灌溉面积	20.476 kg/hm <sup>2</sup>	根据 Dubey 等的方法 <sup>[23]</sup> 调整

1.2.2 数据来源 我国农业绿色全要素生产率测算研究样本为我国 31 个省份, 研究时间范围是 2001—2020 年, 指标数据主要来源于 2001—2020

年《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国环境统计年鉴》等以及各个省(市、区)统计年鉴, 水资源数据来自于《中国水资源公报》(表 2)。

表 2 投入、产出变量描述性统计结果

变量类型	变量名称	含义和单位	最小值	最大值	均值	标准差
投入指标	土地	农作物播种面积(千 hm <sup>2</sup> )	88.6	14 910.1	5 181.6	3 670.1
	劳动力	农林牧渔从业人数(万人)	27.0	3 477.7	897.3	687.8
	机械	农业机械总动力(万 kW)	94	13 353	2 816.5	2 712.1
	农药	农药用量(t)	583	173 461	51 043	42 309.7
	化肥	农业化肥施用量(t)	30 000	7 161 000	1 714 115	1 393 530
	农膜	农膜使用量(t)	294	341 192	68 917.3	63 979.2
	水资源	农业用水总量(亿 m <sup>3</sup> )	3.2	561.7	119.6	100.4
产出指标	期望产出	农业总产值(亿元)	52.8	10 190.6	2 438.3	2 177.5
	非期望产出	农业碳排放量(t)	109 570	13 183 238	4 174 881	2 983 278

本研究基于 2001—2020 年我国 31 个省份(因香港、澳门、台湾省数据缺失较多, 未纳入研究)的农业投入产出数据和 SBM - GML 指数, 通过 MaxDEA 8.0 软件对我国农业绿色全要素生产率进

行测算。为研究我国各区域之间的差异, 根据国家发展和改革委员会在《国家粮食安全中长期规划纲要(2008—2020)》的标准划分为粮食主产区、粮食主销区和粮食产销平衡区(表 3)。

表 3 粮食主产区、主销区、产销平衡区划分

地区	省(市、区)
主产区	辽宁省、吉林省、黑龙江省、内蒙古自治区、河北省、山东省、安徽省、江苏省、江西省、河南省、湖南省、四川省、湖北省
主销区	北京市、上海市、天津市、浙江省、海南省、广东省、福建省
产销平衡区	山西省、广西壮族自治区、重庆市、云南省、贵州省、陕西省、甘肃省、青海省、西藏自治区、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区

## 2 农业绿色全要素生产率时空演进及空间相关性分析

基于 2001—2020 年我国 31 个省份的农业投入产出数据,通过 MaxDEA 8.0 软件对我国的 AGTFP 进行测算,从时间和空间 2 个层面进行差异化分析,并将纳入碳排放和不纳入碳排放的结果进行对比,找出两者之间的差异。

### 2.1 我国省域农业绿色全要素生产率的时间演变

2.1.1 总体趋势分析 我国 31 个省域 2001—2020 年的农业绿色全要素生产率的变化情况见表 4,并与未考虑环境约束的全要素生产率进行对比。整体上看,自 2001 年以来,我国省域的农业绿色全要素生产率指数呈波动性增长上升趋势,年均增长 8.62%;具体来看,2001—2002 年我国省域的

AGTFP 小于 1,意味着这一年的农业绿色全要素生产率在退步,而其他年份均大于 1,说明农业绿色全要素生产率在进步。未考虑环境约束下的农业绿色全要素生产率也呈增长趋势,年均增长 7.58%,显著低于考虑环境约束的全要素生产率水平,由此可见,我国省域农业绿色全要素生产率的增长很大程度是以牺牲环境为代价的粗放型增长。在考虑环境约束的情况下,由于技术进步使得农业绿色全要素生产率有所增长,年均增长率达到 1.8%,但技术效率不进反退,年均增长率呈现负数,为 -0.03%。由表 4 测算结果对比可知,无论是否考虑环境约束,大多数年份中技术进步高于技术效率。

2.1.2 区域分析 我国粮食主产区、主销区、产销平衡区农业绿色全要素生产率时间演进趋势见图 1。由图 1 可知,从区域分布来看,粮食主产区、主销

表 4 2001—2020 年我国农业 GTFP 变化指数

年份	未考虑环境约束 (ATFP)				全要素生产率指数 (TFP)	考虑环境约束 (AGTFP)				
	纯技术效率指数 (PEC)	规模效率指数 (SEC)	技术效率指数 (EC)	技术进步指数 (TC)		GPEC	GSEC	GEC	GTC	GML
2001—2002	1.045 4	1.060 2	1.073 3	0.947 2	0.991 4	1.064 1	1.113 2	1.131 8	0.932 2	0.991 0
2002—2003	1.013 3	1.067 6	1.068 6	1.059 0	1.096 1	1.020 3	1.095 4	1.089 3	1.083 2	1.102 3
2003—2004	1.011 9	1.060 3	1.072 1	1.079 9	1.144 1	1.010 8	1.105 9	1.114 7	1.065 6	1.152 2
2004—2005	0.994 3	1.007 4	0.992 0	1.081 9	1.035 9	1.002 1	1.009 6	0.984 5	1.135 8	1.039 2
2005—2006	0.976 7	1.050 9	1.020 5	1.025 3	1.043 3	0.971 5	1.081 0	1.035 7	1.017 9	1.046 5
2006—2007	1.048 1	1.088 3	1.132 1	0.997 5	1.107 5	1.086 4	1.119 6	1.195 3	0.974 0	1.116 0
2007—2008	1.006 4	0.979 8	0.986 2	1.161 3	1.141 4	1.007 2	0.978 3	0.985 2	1.181 1	1.154 2
2008—2009	1.022 4	1.023 7	1.041 9	1.037 9	1.074 7	1.025 1	1.045 6	1.062 1	1.065 0	1.104 4
2009—2010	1.008 1	1.038 3	1.048 9	1.078 9	1.098 2	1.017 0	1.069 6	1.091 0	1.086 3	1.108 0
2010—2011	0.969 9	1.005 8	0.972 1	1.182 3	1.136 8	0.955 4	1.022 9	0.969 9	1.219 3	1.153 3
2011—2012	0.987 3	0.975 6	0.962 7	1.121 6	1.078 2	0.987 1	0.968 4	0.955 4	1.144 3	1.089 8
2012—2013	1.013 1	0.976 5	0.983 6	1.098 6	1.079 6	1.018 6	0.972 4	0.978 2	1.118 3	1.091 6
2013—2014	0.988 9	0.989 3	0.968 5	1.101 4	1.054 9	0.990 1	0.997 4	0.962 4	1.137 2	1.065 7
2014—2015	0.998 4	1.039 1	1.034 3	1.019 4	1.044 9	1.005 0	1.059 6	1.055 5	1.020 8	1.053 0
2015—2016	0.969 7	1.003 8	0.971 2	1.121 5	1.084 5	0.961 6	1.008 3	0.965 7	1.147 9	1.097 9
2016—2017	0.998 2	1.048 2	1.046 2	0.975 9	1.003 5	1.000 5	1.076 6	1.076 4	0.974 5	1.007 2
2017—2018	1.009 2	0.961 8	0.965 2	1.153 3	1.096 8	1.018 1	0.947 9	0.952 2	1.217 1	1.117 9
2018—2019	1.002 6	0.991 9	0.993 9	1.184 7	1.162 8	1.004 2	0.994 3	0.997 6	1.245 6	1.208 0
2019—2020	1.035 5	1.005 7	1.040 4	1.213 1	1.233 8	1.040 3	1.021 1	1.060 4	1.303 9	1.321 0

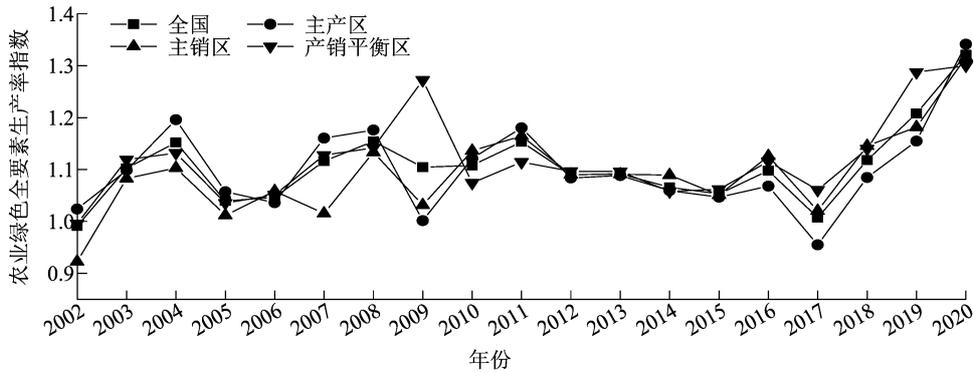


图1 我国农业绿色全要素生产率时间演进趋势

区、产销平衡区的农业绿色全要素生产率从2002年的1.023 9、0.922 7、0.995 6分别增长到2020年的1.341 4、1.316 1、1.300 1,年均增长率分别为1.43%、1.89%、1.41%。根据上述分析可知,无论全国还是各区域的农业绿色全要素生产率指数均呈现出增长趋势,这得益于我国近些年对环境污染的治理和环境保护的推动。进一步研究发现,粮食主产区的AGTFP最低,粮食产销平衡区最高,这主要是因为粮食产销平衡区的较为注重农业的绿色发展,近些年来国家相关政策的倾向,各省份的对口支援给这些省份带来了丰富的农业相关技术资源,这些地区气候适宜且水资源丰富,得天独厚的自然条件以及稳定的农业从业人口条件支撑农业的高质量发展;而粮食主产区经济发展缓慢,人口众多,过度追求经济效益导致生态环境较差,土地贫瘠,可持续发理念落后,农业相关技术人才匮乏,无力支撑农业现代化的快速稳定发展;粮食主销区经济发展水平较高,随着工业化和城镇化的加快,耕地减少,农民种粮积极性较低,一些地区出现粮食生产“副业化”,进而导致农业绿色全要素生产率指数增长较慢。

2.1.3 省际分析 由表5可知,我国省际之间AGTFP存在差异。从AGTFP测算结果来看,2001—2002年海南省AGTFP最低,为0.211,而山西省AGTFP最高,为1.132 3,两者相差81%,且35%的地区AGTFP为退步状态;2019—2020年北京市AGTFP最低,仅为0.972 7,而河南省AGTFP最高,为2.288 6,两者相差135%,2020年97%的地区AGTFP实现质的增长。综上可知,位于我国粮食主产区的各个省份的农业绿色全要素生产率指数较高,与之相反,粮食产销平衡区和主销区的省份的农业绿色全要素生产率指数较低,说明主产区较

表5 我国省域农业绿色全要素生产率增长指数

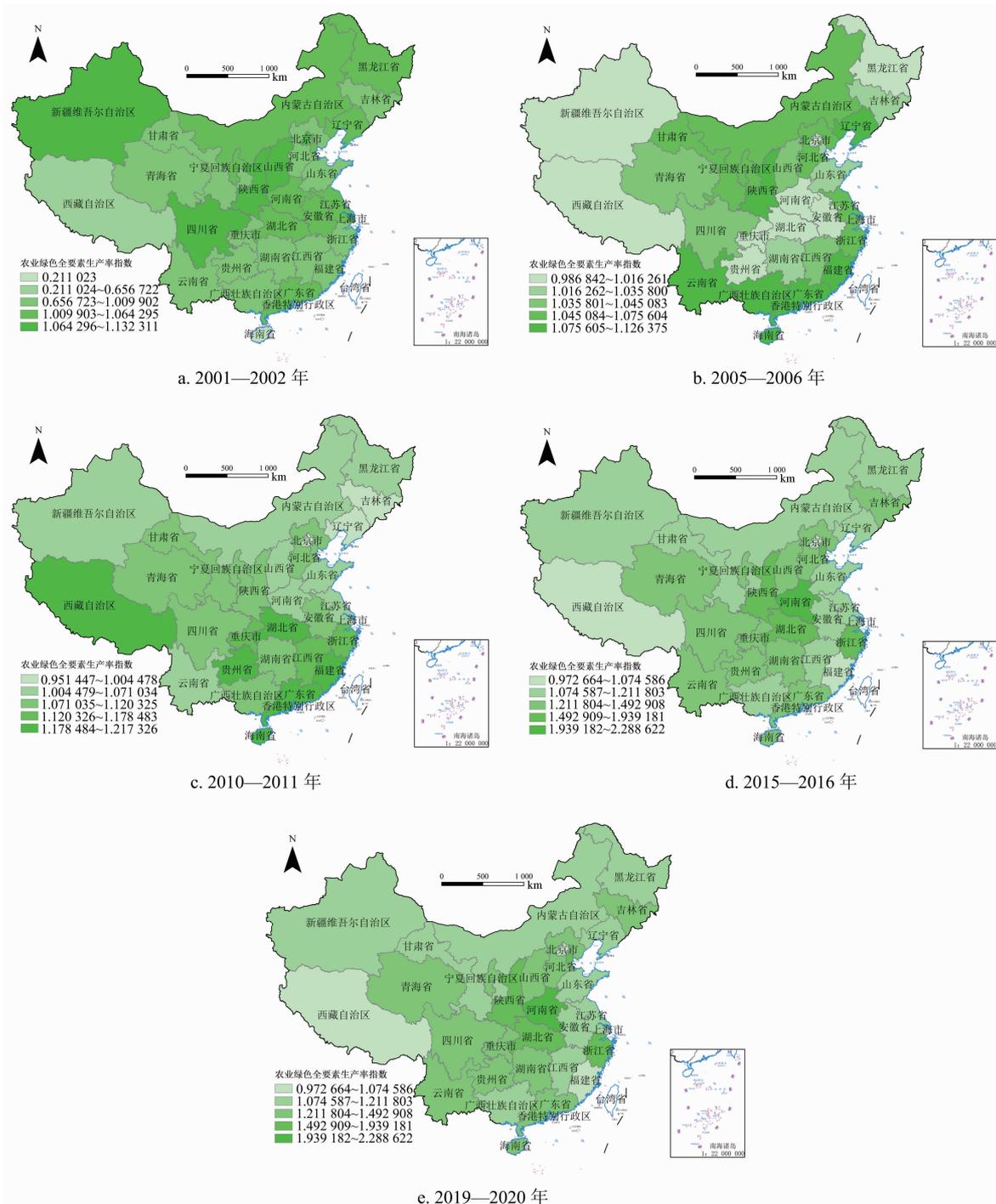
省份	农业绿色全要素生产率增长指数					均值
	2001—2002年	2005—2006年	2010—2011年	2015—2016年	2019—2020年	
北京	1.110 8	1.016 3	1.165 5	1.004 5	0.972 7	1.079 3
天津	1.048 0	1.035 8	1.093 8	1.120 3	1.830 3	1.097 6
河北	0.993 5	1.064 0	1.156 4	1.082 9	1.254 3	1.087 8
山西	1.132 3	1.041 8	1.076 5	1.056 0	1.249 0	1.100 0
内蒙古	1.025 1	1.071 7	1.206 0	1.034 8	1.190 5	1.070 4
辽宁	1.038 2	1.087 8	1.202 7	0.988 5	1.137 7	1.077 3
吉林	1.005 7	1.033 6	1.167 3	0.951 4	1.255 6	1.065 7
黑龙江	1.050 4	0.986 8	1.225 1	1.041 7	1.120 5	1.096 7
上海	1.107 8	1.029 5	1.124 0	0.990 1	1.074 6	1.050 7
江苏	1.027 9	1.057 2	1.241 9	1.054 7	1.145 8	1.080 9
浙江	0.992 4	1.069 7	1.195 9	1.153 7	1.713 3	1.097 9
安徽	1.052 7	1.008 8	1.150 9	1.081 2	1.211 8	1.077 1
福建	0.971 7	1.084 6	1.206 3	1.205 5	1.059 3	1.088 9
江西	0.970 2	1.045 1	1.137 4	1.178 5	1.171 8	1.075 5
山东	0.952 0	1.032 1	1.153 2	1.017 9	1.128 6	1.094 7
河南	1.039 9	1.003 3	1.083 0	1.061 0	2.288 6	1.119 5
湖北	1.064 3	1.009 7	1.212 0	1.192 8	1.939 2	1.124 2
湖南	0.999 6	1.031 0	1.199 0	1.095 4	1.295 7	1.087 8
广东	1.017 0	1.088 5	1.176 0	1.189 2	1.287 3	1.089 0
广西	0.997 6	1.126 4	1.204 2	1.083 4	1.120 1	1.084 3
海南	0.211 0	1.084 1	1.190 4	1.217 3	1.275 4	1.018 5
重庆	1.008 4	1.009 1	1.168 3	1.177 0	1.336 7	1.100 4
四川	1.091 3	1.039 0	1.208 7	1.102 8	1.298 2	1.094 3
贵州	0.965 4	0.995 3	1.115 1	1.209 4	1.391 8	1.119 0
云南	1.009 9	1.102 5	1.234 5	1.071 0	1.305 8	1.096 1
西藏	0.656 7	1.002 6	1.015 0	1.211 9	1.019 4	1.123 7
陕西	1.075 6	1.102 5	1.230 7	1.107 8	1.677 8	1.115 3
甘肃	1.000 2	1.059 2	1.021 6	1.114 7	1.156 0	1.074 8
青海	0.978 2	1.042 6	1.043 0	1.103 0	1.492 9	1.101 8
宁夏	1.038 3	1.075 6	1.153 3	1.109 8	1.351 0	1.108 1
新疆	1.088 9	1.004 9	0.995 9	1.028 1	1.200 5	1.089 9

产销平衡区和主销区更利于发展绿色农业。

### 2.2 我国省域农业绿色全要素生产率的空间演变

利用 ArcGIS 绘制我国农业绿色全要素生产率空间演进图,本研究选取中国省域 2001—2002 年、2005—2006 年、2010—2011 年、2015—2016 年、2019—2020 年的 AGTFP 进行对比,结果见图 2。由图 2 可知,我国各省份 AGTFP 总体上上升良好,其

中粮食主产区的辽宁省、吉林省、黑龙江省、内蒙古自治区、河北省、山东省、安徽省、江苏省、江西省、河南省、湖南省、四川省和湖北省发展变化最明显,说明这些地区较重视农业绿色发展;产销平衡区的山西省、广西壮族自治区、重庆市、云南省、贵州省、陕西省、甘肃省、青海省、西藏自治区、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区整体发展较缓慢,没有明



该图基于自然资源部标准地图服务网站 GS(2020)4630 号的标准地图制作,底图无修改

图2 我国省域农业绿色全要素生产率动态演进

显改善,这些地区的农业发展多依赖于传统的发展模式,发展较落后,导致农业绿色全要素生产率指数增长较慢。

### 2.3 我国省域农业绿色全要素生产率的空间相关性分析

利用 Moran's I 指数和 Getis - Ord  $G_i^*$  热点分别从全局空间自相关和局部自相关分析我国农业绿色全要素生产率的增长是否存在空间相关性,探究其区域之间发展的联系。

**2.3.1 全局空间自相关分析** 利用 Stata17 软件基于 Global Moran's I 对我国 AGTFP 的空间相关性进行分析,探究其是否存有空间依赖性。由表 6 可知, Moran's I 指数在 2002 年、2005 年、2009 年、2010 年、2012 年、2013 年、2015 年、2020 年小于 0,其余年份都大于 0,仅有 2003 年、2004 年、2007 年、2011 年、2012 年、2013 年、2016 年、2017 年、2018 年、2019 年通过 0.10 水平显著性检验,其余年份的 Moran's I 指数没有通过显著性检验,接受了原假设,但依然可得我国农业绿色全要素生产率增长存在一定的空间相关性。部分年份 Moran's I 指数没有通过显著性检验,可能受资源禀赋条件差异和空间溢出效应的影响。由于各地区农业发展方向不同,各地区会按照自身的优势条件进行农业生产,导致较大差异,使得即使空间上接壤的地区相关性也不显著。

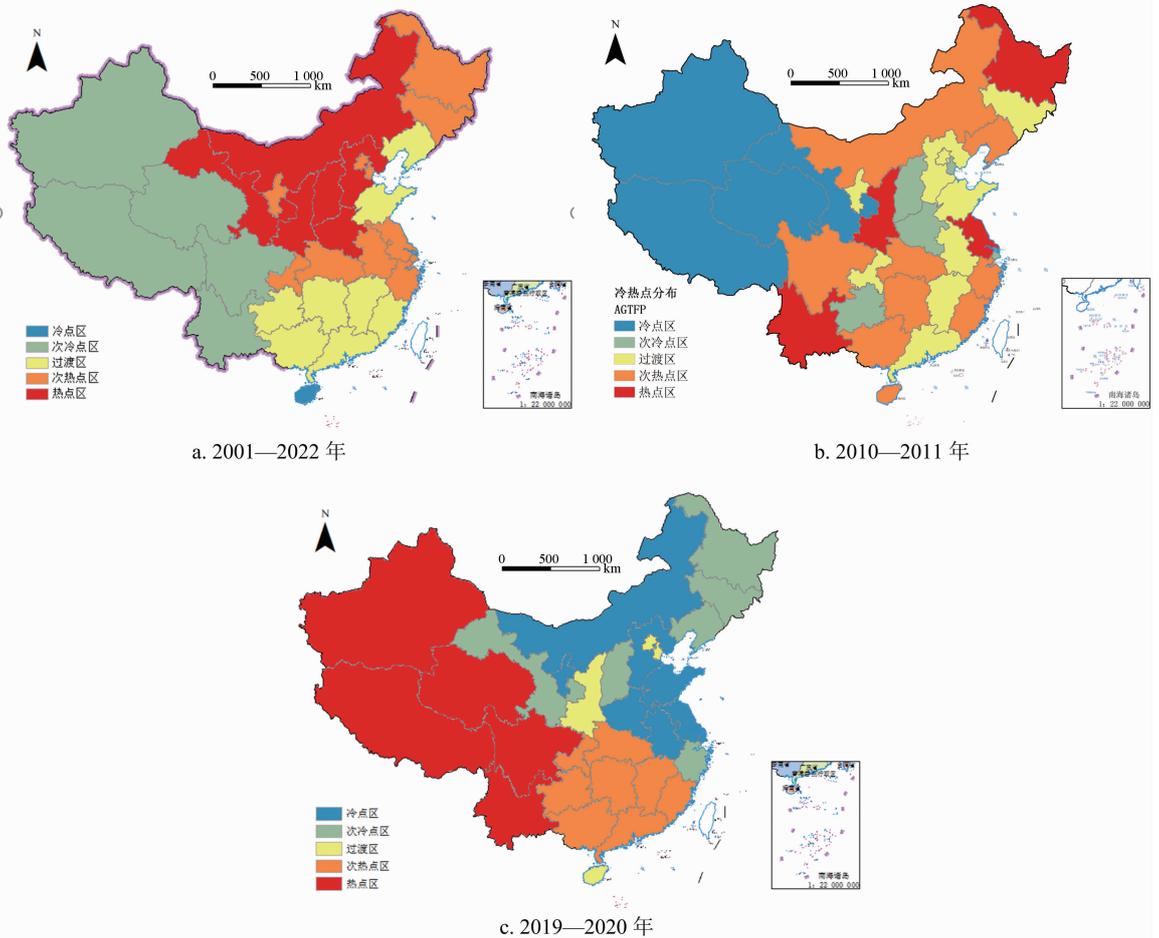
**2.3.2 局部自相关分析** 采用 Getis - Ord  $G_i^*$  热点分析探究 2001—2002、2010—2011、2019—2020 年我国省域 AGTFP 增长的局部相关性,其中热点区和次热点区表示我国省域 AGTFP 增长幅度较大,冷点区和次冷点区表示增长幅度较小甚至增长为负,通过冷热点分析探究我国省域 AGTFP 增长局部空间上存在的联系。由图 3 可知,我国省域 AGTFP 增长呈现明显的地域集聚现象,热点区逐年减少,冷点区逐年增加,2001—2020 年冷热点分布转移变化较大。2001—2002 年的冷点区只有海南省,次冷点区主要分布西藏自治区,这些地区的共同特征是地理位置偏远,是传统的农业大省(区),农业发展的基础设施建设落后,无法支撑 AGTFP 的高效增长;2010—2011 年冷点区向产销平衡区转移,主要分布在新疆维吾尔自治区、甘肃省、青海省、西藏自治区,次冷点主要分布在河南省、山西省和贵州省,主要是因为这些地区粮食生产任务重,在农业生产过程中无法较好平衡经济效益和生态效益;2019—2020 年冷点区整体向主产区和主销区转移,主要分

表 6 我国省域农业绿色全要素生产率增长 Moran's I 指数

年份	<i>I</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
2002	-0.004	0.381	0.352
2003	0.121	1.367	0.086
2004	0.141	1.540	0.062
2005	-0.009	0.233	0.408
2006	0.100	1.146	0.126
2007	0.114	1.317	0.094
2008	0.043	0.672	0.251
2009	-0.069	-0.804	0.211
2010	-0.059	-0.377	0.353
2011	0.222	2.217	0.013
2012	-0.186	-1.331	0.092
2013	-0.185	-1.323	0.093
2014	0.051	0.790	0.215
2015	-0.031	0.020	0.492
2016	0.298	2.842	0.002
2017	0.215	2.205	0.014
2018	0.455	4.185	0.000
2019	0.152	2.104	0.018
2020	-0.007	0.243	0.404

布于北京市、上海市、福建省和西藏自治区,大部分地区 AGTFP 增长进入次冷点状态。主要是由于我国经济快速发展,进一步迈入城镇化时期,同时意味着耕地资源逐步减少以及劳动力也逐渐流失,从而导致 AGTFP 增长变缓。自 2003 年国家发布“中央一号”文件以来,我国聚焦“三农”问题,各地区农业发展逐步迈向低碳排放的道路。

2001—2002 年 AGTFP 的增长热点区主要分布在产销平衡区,主要包含新疆维吾尔自治区、北京市、陕西省、山西省、四川省,而次热点区主要分布在主产区,主要是因为大部分地区自然资源丰富,非传统农业大省,农业还在初始开发阶段,农业生产所造成的污染和排放较少,AGTFP 增长态势良好。2010—2011 年热点区逐渐减少,主要分布在黑龙江省、陕西省、江苏省、云南省,受农业相关政策影响,各地区开始重视农业的绿色发展,AGTFP 增长整体速度放缓。2019—2020 年热点区域明显减少,只剩下河南省,次热点区只剩下天津市、陕西省、湖北省、浙江省。这些地区大多拥有较好的经济条件,借助资源和政策优势农业发展实现质的飞跃,从而带动 AGTFP 快速增长。与 2001—2002 年相比,2019—2020 年热点和次热点区面积不断减少,说明农业绿色的发展越来越受重视,各省份也



a. 2001—2022 年

b. 2010—2011 年

c. 2019—2020 年

该图基于自然资源部标准地图服务网站 GS(2020)4630 号标准地图制作，底图无修改

图3 我国省域农业绿色全要素生产率增长冷热点

开始积极寻求农业的转型之路,各个地区利用自身资源条件优势,大力发展低碳绿色农业,有效减少农业碳排放,进一步推动 AGTFP 稳定增长。

### 3 结论与政策建议

本研究基于 SBM - GML 生产率指数对我国省域 2001—2020 年 AGTFP 进行测算,将我国 31 个省(市、区)划分为粮食主产区、主销区和产销平衡区。从农业碳排放角度分析农业发展情况,并从时间和空间 2 个层面分析其差异化,最后通过 Moran's I 指数和 Getis - Ord  $G_i^*$  热点分析从全局自相关和局部自相关验证我国农业绿色全要素生产率的空间相关性,根据分析结果得出结论并提出相关建议。

#### 3.1 结论

第一,我国省域之间农业发展水平差距较大。农业发展投入的资料、消耗的能源省域之间年增长率相差较大,农业碳排放增长率逐年上升,大部分地区为了达到农业经济持续增长的目的,做出破坏

环境、过度消耗资源的举措。想要提升农业绿色全要素生产率水平,就要转变农业发展模式,走低碳可持续发道路。

第二,我国农业绿色全要素生产率指数呈波动缓慢增长态势,考虑碳排放因素的 AGTFP 水平高于不考虑碳排放因素的 ATFP。无论是否考虑碳排放约束,技术进步指数在大多数年份中都略高于技术效率指数,说明农业全要素生产率指数的提高主要依靠技术进步。从时空演化趋势来看,我国农业绿色全要素生产率呈“M”形增长,整体增长速度缓慢,受政策影响,产销平衡区和主产区波动较大。省域之间的农业绿色全要素生产率指数差距较大,经济发展缓慢的粮食主产区发展较为稳定,而经济发达的粮食主销区受城镇化和发展空间限制因素影响,导致这些地区的农业投入占比较小,农业的发展不受重视,生产率较低。

第三,我国省域 AGTFP 存在空间相关性。由于各省份农业发展的资源禀赋优势有所不同,导致部

分年份的空间相关性没有通过显著性检验,但受多方面因素影响,局部区域即使空间上不接壤,也存在空间相关性。

### 3.2 政策建议

综上,对我国提升农业绿色全要素生产率提出以下几点建议。

第一,不断优化农业产业结构,探索新的农业发展方式。土地、劳动力、资本等生产要素是推动农业进步与发展不可或缺的重要部分,同时,这些生产资料如农药、化肥、农膜、柴油等大范围过度使用带来了严重的环境问题,破坏了生态平衡。因此,我国急需转变农业发展方式,优化产业结构,走高效、低碳、高质量的农业发展道路。

第二,强化农业技术人才支撑。我国的农业技术人才是匮乏的,东部和中部经济发达地区在农业技术人才引进方面存在较强优势,而西部地区相对较弱,农业技术水平有待提升。要助力高校人才培养,提高农业科研投入,着力培养适应现代化发展的新型农业技术人才。针对农业从业人员定期开展专项培训,培养符合农业需求的新型人才。

第三,加大农业财政投入力度。为了保障农业的稳定发展,必须要对抗风险能力弱的农业经营主体采取支持性的财政政策,对农业发展提供财政支持。针对不同地区,有倾向性地因地制宜提供财政扶持,提高地区的农业发展水平,以达到农业的区域协调发展。提高对农业经营者的财政补贴力度,完善支农惠农政策。加大财政对大型农用机械设备等农业生产基础设施建设的支持力度,以提高当地农业生产的技术水平,促进农业绿色高效发展。

### 参考文献:

[1] Solow R M. Technical change and the aggregate production function [J]. *The Review of Economics and Statistics*, 1957, 39(3): 312.

[2] Abler D G, Pick D. NAFTA, agriculture, and the environment in Mexico [J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 1993, 75(3): 794 - 798.

[3] 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.

[4] Chung Y H, Färe R, Grosskopf S. Productivity and undesirable outputs; a directional distance function approach [J]. *Journal of Environmental Management*, 1997, 51(3): 229 - 240.

[5] 刘华军,杨 骞. 资源环境约束下中国 TFP 增长的空间差异和影响因素 [J]. *管理科学*, 2014, 27(5): 133 - 144.

[6] 武宵旭,葛鹏飞,徐璋勇. 城镇化与农业全要素生产率提升: 异质性与空间效应 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(5): 149 - 156.

[7] 李 玲,陶 锋. 污染密集型产业的绿色全要素生产率及影响因素——基于 SBM 方向性距离函数的实证分析 [J]. *经济学家*, 2011(12): 32 - 39.

[8] 纪成君,夏怀明. 我国农业绿色全要素生产率的区域差异与收敛性分析 [J]. *中国农业资源与区划*, 2020, 41(12): 136 - 143.

[9] 梁 俊,龙少波. 农业绿色全要素生产率增长及其影响因素 [J]. *华南农业大学学报(社会科学版)*, 2015, 14(3): 1 - 12.

[10] 李健旋. 农村金融发展与农业绿色全要素生产率提升研究 [J]. *管理评论*, 2021, 33(3): 84 - 95.

[11] 张翱翔,邓荣荣. 数字普惠金融对农业绿色全要素生产率的影响及空间溢出效应 [J]. *武汉金融*, 2022(1): 65 - 74.

[12] 马国群,谭砚文. 环境规制对农业绿色全要素生产率的影响研究——基于面板门槛模型的分析 [J]. *农业技术经济*, 2021(5): 77 - 92.

[13] 徐永慧,尹朝静. 环境规制下中国农业绿色全要素生产率的测算 [J]. *统计与决策*, 2021, 37(18): 50 - 54.

[14] 郭海红,张在旭. 新型城镇化对农业绿色全要素生产率的门槛效应 [J]. *湖南师范大学社会科学学报*, 2019, 48(2): 55 - 63.

[15] 刘战伟. 新型城镇化提升了中国农业绿色全要素生产率吗? ——基于空间溢出效应及门槛特征 [J]. *科技管理研究*, 2021, 41(12): 201 - 208.

[16] 李晓龙,冉光和. 农产品贸易提升了农业绿色全要素生产率吗? ——基于农村金融发展视角的分析 [J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2021, 23(4): 82 - 92.

[17] 陈 芳,杨梅君. 农产品国际贸易对中国农业绿色全要素生产率的影响 [J]. *华南农业大学学报(社会科学版)*, 2021, 20(5): 94 - 104.

[18] 陈燕翎,庄佩芬,彭建平. 贸易开放对农业经济高质量发展的影响——基于农业绿色全要素生产率的视角 [J]. *生态经济*, 2021, 37(12): 105 - 114.

[19] Tone K. A slacks - based measure of efficiency in data envelopment analysis [J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 498 - 509.

[20] Oh D H. A global Malmquist - Luenberger productivity index [J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2010, 34(3): 183 - 197.

[21] Zofio J L. Malmquist productivity index decompositions: a unifying framework [J]. *Applied Economics*, 2007, 39(18): 2371 - 2387.

[22] 李 波,张俊彪,李海鹏. 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(8): 80 - 86.

[23] Dubey A, Lal R. Carbon footprint and sustainability of agricultural production systems in punjab, India, and Ohio, USA [J]. *Journal of Crop Improvement*, 2009, 23(4): 332 - 350.