

陕西省生态农业绩效评价与分析

蔡洁^{1,2}, 夏显力^{1,2}

(1. 西北农林科技大学 经济管理学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 应用经济中心, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:发展生态农业对于推进农村经济发展,改善生态环境,摆脱贫困问题有重要的推动作用。为了研究陕西省农业绩效的基本情况、演化特征,利用 2000—2013 年陕西省 10 地市面板数据,立足低碳视角,运用基于非期望产出的 SBM-DEA 模型,评价了陕西省 10 地市生态农业绩效的整体情况,通过全局、局部空间自相关分析和区域差异分析剖析了生态农业绩效的演变特征。结果表明:陕西省生态农业的发展过程中,投入要素各变量及非期望产出方面存在大量冗余,尤其是劳动力、化肥和农业面源污染;陕西省各地市生态农业绩效空间集聚性逐渐减弱,区域差异逐渐扩大,陕南、陕北和关中地区的差异明显,陕西省目前面临着农业经济发展和农业生态环境保护两大任务。

关键词:低碳; 生态农业; SBM-DEA 模型; 空间自相关; 区域差异

中图分类号: X81

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)03-0277-06

Assessment and Analysis on Performance of Ecological Agriculture in Shaanxi Province

CAI Jie^{1,2}, XIA Xianli^{1,2}

(1. College of Economics and Management, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Applied Economic Research Center, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The development of eco-agriculture has an important role in promoting rural economic development, improving the ecological environment and getting rid of poverty. In order to study the basic situation and evolution characteristics of agricultural performance in Shaanxi Province, we calculated the efficiency of ecological agriculture with the SBM-DEA model based on the low-carbon perspective in Shaanxi Province. Then global spatial autocorrelation analysis, local spatial autocorrelation analysis and Theil coefficient are used to dissect evolution characteristics about the efficiency of ecological agriculture. In the process of the development of ecological agriculture in Shaanxi Province, large redundant amounts present in the ecological agriculture inputs and the undesirable output, especially agricultural labor force, agricultural fertilizers and agricultural nonpoint source pollution; spatial clustering weakens gradually while regional differences expand progressively, also there is a big difference among southern part of Shaanxi, Guanzhong and northern part of Shaanxi. Therefore, some countermeasures are put forward. Agricultural economic development and agricultural ecological environmental protection are two major tasks of Shaanxi Province.

Keywords: low-carbon; ecological agriculture; SBM-DEA model; spatial autocorrelation; regional differences

气候变化是人类面临的最为严峻的全球环境问题,单位体积大气中 CO₂、N₂O 和 CH₄ 等温室气体浓度的增加是全球气候变暖的主要原因之一。碳排放的主要源头是工业,而农业则是温室气体的主要排放源,全球人为温室气体排放量的 13.5% 来源于农业源温室气体,其中 CO₂ 占温室气体排放量的 75%,减

少农业源温室气体排放对控制全球气候变化有重要作用^[1-2]。当前,中国政府已经提出发展低碳农业,中央一号文件中多次提及农业环境和生态问题^[3]。国内农业碳排放的研究主要集中在 3 方面:低碳农业的内涵、现状、发展模式等^[4-5],农业碳排放量的影响因素、区域差异等^[6-7]和农业碳减排的潜力^[8]。现有的

收稿日期: 2016-05-26

修回日期: 2016-06-15

资助项目:国家重点研发计划子课题“水土流失治理与生态产业耦合机制与协同途径”(2016YFC0501707-03);教育部人文社科项目“政府主导下农地流转对农户福利影响及改进策略研究”(15YJA790068);国家自然科学基金“空间变参数成矿预测信息综合模型研究”(41602336)

第一作者:蔡洁(1989—),女,山东文登人,博士研究生,研究方向为区域经济与土地管理。E-mail:wh_caijie@126.com

通信作者:夏显力(1973—),男,安徽怀宁人,博士,教授,主要从事土地经济与管理、城镇化与区域经济发展研究。E-mail:xnxxli@163.com

研究主要是从国家层面展开的,对省域范围内农业碳排放方面的研究仍较少。

生态农业最早是由美国土壤学家 W·Albreche 于 20 世纪 70 年代提出,80 年代中国的生态农业得以快速发展^[9]。温铁军^[10]认为农业已经成为面源污染最广泛的行业,农业现代化制度的实施导致石化农业的大规模推进,化肥、农药等的大量使用引发了全方位立体污染、农产品质量安全、食品安全、温室气体等一系列“负外部性”,在农业领域推进生态农业建设既能维护国家环保大局也能保证食品安全,是现阶段最佳的政策选择。李新平^[11]认为中国的生态农业是以传统农业为基础发展起来的,科学地处理了农业、人类与资源环境之间的关系,旨在促进农业经济与生态社会的协调发展。李太平等^[12]认为生态农业强调物质与能量转化的内在平衡,主张合理利用农药和化肥,稻萍鱼共生、茶胶相依和桑基鱼田等模式都是我国农业可持续发展的成功实践。赵其国等^[13]认为生态农业是农业未来发展的重要方向,具有增产、增收、增效和环境保护的功能,在解决食品安全及可持续生产能力方面有不可替代的功能。西部地区自然环境复杂,生态环境脆弱,发展生态农业对于推进农村经济发展,改善生态环境,摆脱贫困问题有重要的推动作用,是解决西部地区三农问题和保护生态环境的根本切入点^[14]。本文使用陕西省 10 个地市的 2000—2013 年相关数据,测算分地级市农业面源污染量和农业净碳汇量,基于非径向、非角度的 SBM-DEA 模型^[15],以线性规划技术为依托,评价陕西省 10 个地市 2000—2013 年的生态农业绩效,分析农业生态效率损失和改善的原因以及空间演变特征与区域差异。

1 变量选取与指标核算

1.1 变量的选取与数据来源

农业系统是一个复杂的开放性人工系统,受到自然规律和生态规律的影响,是社会、经济以及生态的耦合系统。在测算生态农业绩效时应当综合选择变量,充分考虑社会、经济和生态效益。本文基于对生态农业绩效的本质要求及外在特征的理解,兼顾统计数据的可得性、可量化和可靠性原则,构建生态农业绩效评价指标体系。选择可以全面反映生态农业绩效投入/产出的评价指标。

生态农业绩效的投入指标主要考虑土地(农作物播种面积,10³ hm²)、劳动力(农业从业人员,万人)、化肥(化肥使用折纯量,万 t)、机械(农业机械总动力,万 kW);产出指标主要考虑农业总产值(期望产出,亿元)和农业净碳汇(期望产出,万 t)、农业面源污染(非期望产

出,km³)^[16-18]。在非期望产出的选择上,农业面源污染指标主要侧重于对生态效率研究^[19],农业净碳汇主要聚焦于碳排放约束下的生产率研究^[1,20],前者的选择得到广泛认可,后者的选择也符合研究目的。数据主要来自 2001—2014 年《陕西省统计年鉴》,个别缺失数据采用插值法进行补充,农业总产值以 2000 年为基期进行相应调整。农业面源污染、农业净碳汇计算所需的陕西省各市各类化肥施用量(氮肥、磷肥和复合肥),农药,农膜,农业灌溉面积、农用柴油、不同种类的畜禽养殖量(牛、猪、羊和家禽),农作物产量与播种面积(稻谷、小麦、玉米、豆类、油料和蔬菜),乡村人口等数据主要来自历年的《中国农村统计年鉴》、《陕西省统计年鉴》以及各市统计年鉴和农业统计资料。

1.2 农业面源污染排放核算

农业面源污染取决于农田化肥、畜禽养殖、农田固体废弃物和农村生活 4 个方面,利用清单分析法^[21]计算各污染单元的数值,具体计算公式如下:

$$E = \sum_i EU_i \rho_i (1 - \eta_i) C_i (EU_i, S) = \sum_i PE_i (1 - \eta_i) C_i (EU_i, S) \quad (1)$$

式中: E 为农业面源污染排放量,主要包括 COD(化学需氧量)、TP(总磷)、TN(总氮)3 类; EU_i 为单元 i 指标统计数; ρ_i 为单元 i 污染物的产污强度系数; η_i 为表征相关资源利用效率的系数; PE_i 为农业(村)污染的产生量(产污量),即在不考虑资源综合利用和管理因素的情况下,农业生产和农村生活造成的最大潜在污染量,它包括进入水体和不进入水体以及被生态环境自我净化 3 部分; C_i 为单元 i 污染物的排放系数,它由单元 EU_i 和空间特征 S 决定,表征区域环境、降雨、水文和各种管理措施对农业和农村污染的综合影响。在对陕西省及其 11 地市的农业面源污染进行计算时,各产污系数及流失系数根据相关的研究、调查获取^[22]。依据 GB3838—2002 中Ⅲ类水质标准,COD, TN 和 TP 污染物的排放标准分别为 20, 1, 0.2 mg/L, 测算 2000—2013 年陕西省 10 个地级市的农业面源污染,见表 1。

1.3 农业净碳汇核算

农业生产净碳汇量主要是由农业生产所引发的碳汇量与碳排放量之间的差额。农业生产过程中的碳汇主要考虑农作物在其生命周期中的碳吸收量,而农业生产过程中的碳排放量主要来自农用物资投入引发的碳排放、农作物种植破坏土壤表层所导致的 N₂O 排放、水稻生产过程中所产生的 CH₄ 等温室气体排放、动物尤其是反刍动物养殖带来的碳排放^[23]。

$$C = \sum_{i=1}^k C_i = \sum_{i=1}^k c_i Y_i (1 - r) / HI_i \quad (2)$$

$$E = \sum E_i = \sum (T_i \delta_i) \quad (3)$$

式(2)为农业生产碳汇量的计算公式,式(3)为农业生产碳排放量。 C 为农作物碳吸收总量; i 为碳源的数量($i>0$); C_i 为某种农作物的碳吸收量; k 为农作物种类数; c_i 为作物通过光合作用合成单位有机质所需吸收的碳; Y_i 为作物的经济产量; r 为作物经济产品部

分的含水量; HI_i 为作物经济系数。 E 为农业生产碳排放总量; E_i 为各类碳源碳排放量; T_i 为各碳排放源的量; δ_i 为各碳排放源的碳排放系数。在此基础上,测算 2000—2013 年陕西省 10 个地级市农业生产的碳汇量和碳排放量,计算出历年的净碳汇量,见表 2。

表 1 2000—2013 年陕西省 10 个地级市农业面源污染 km³

年份	安康市	宝鸡市	汉中市	商洛市	铜川市	渭南市	西安市	咸阳市	延安市	榆林市
2000	0.3187	0.7102	0.6235	0.2986	0.1313	1.3653	0.8643	1.4217	0.3291	0.3344
2001	0.3452	0.7387	0.6104	0.2976	0.1393	1.3239	0.8820	1.4277	0.3283	0.3306
2002	0.3680	0.7421	0.5945	0.2955	0.1496	1.3581	0.9105	1.4763	0.3041	0.2801
2003	0.4000	0.9583	0.6631	0.2877	0.1587	1.4086	0.9238	1.5037	0.3135	0.4005
2004	0.4508	0.8359	0.6169	0.3105	0.1607	1.4613	0.9836	1.3326	0.3338	0.4433
2005	0.4145	0.8457	0.6435	0.3046	0.1790	1.5345	0.9982	1.5833	0.3471	0.4634
2006	0.4190	0.8325	0.6381	0.2949	0.2086	1.5587	1.0278	1.3554	0.3632	0.4262
2007	0.4092	0.8524	0.6275	0.2700	0.1955	1.6158	0.9945	1.4006	0.3758	0.4884
2008	0.4222	0.8660	0.7035	0.2835	0.2104	1.5941	1.0145	1.9349	0.4059	0.5750
2009	0.4512	0.9454	0.7159	0.2941	0.2146	1.7282	1.0506	1.9550	0.4714	0.7403
2010	0.4541	1.0231	0.7293	0.3076	0.2228	2.1747	1.0821	1.9553	0.5306	0.6268
2011	0.5211	1.1068	0.7605	0.3191	0.2353	2.2605	1.0943	3.2220	0.5525	0.6585
2012	0.5806	1.2018	0.7062	0.3184	0.2377	2.5689	1.1494	3.2213	0.6107	0.7030
2013	1.0243	1.2771	1.0412	0.7735	0.2229	1.9128	1.3974	1.5240	0.7357	1.7037

表 2 2000—2013 年陕西省 10 个地级市农业净碳汇 万 t

年份	农业净碳汇									
	安康市	宝鸡市	汉中市	商洛市	铜川市	渭南市	西安市	咸阳市	延安市	榆林市
2000	40.4464	89.2130	79.3344	35.4004	14.7964	133.2814	158.8191	154.7140	5.8262	−11.6379
2001	46.4546	89.8240	68.4768	39.9261	11.7429	117.4092	174.0767	154.8730	10.8058	−16.3590
2002	37.4026	87.6050	63.7752	37.3546	12.6966	131.8261	187.5929	162.2171	17.4443	6.4118
2003	31.7215	73.3619	58.1759	30.9520	12.4500	142.7351	165.7554	164.5063	15.7966	1.5080
2004	36.1729	98.9495	67.6927	29.2939	11.8695	150.1575	194.9568	175.6304	6.9025	1.7366
2005	50.5876	107.2545	73.2860	39.3734	14.3927	157.6524	204.3817	191.7449	32.0126	4.6161
2006	50.2509	121.8143	83.8698	45.3044	14.7359	165.4043	215.3875	202.0451	37.3566	−1.5991
2007	36.7730	107.3738	72.2161	32.1484	11.8129	159.5823	202.1537	182.5679	25.9224	18.5563
2008	43.8082	134.1197	81.9085	40.4265	18.0432	228.0481	233.0986	215.2988	42.2498	26.4512
2009	44.7447	132.1296	90.5703	45.6310	17.4206	196.1941	237.2034	215.6201	42.5435	21.2205
2010	49.0416	138.0752	95.1270	49.4618	20.8272	250.3240	245.1365	229.5374	50.9434	28.1379
2011	40.5143	108.6527	84.4396	35.8745	15.3672	193.9122	206.9246	193.9144	40.9924	15.4624
2012	44.2101	112.6565	90.4884	37.8770	18.0912	204.9591	210.7928	185.8348	47.7692	15.4440
2013	47.7256	113.3718	98.1685	39.6427	18.3199	179.2932	216.6604	184.4332	48.8661	26.9115

2 生态农业绩效的测算结果与分析

2.1 生态农业绩效的测算

鉴于 DEA 模型可以处理多投入、多产出的问题,在数据处理方面具有可以客观赋权、消除量纲等优势,大多数学者采用 DEA 模型评价生态效率。但是传统的 DEA 模型在评价生态效率时没有考虑投入和产出的松弛问题,且可能会由于径向及角度的选择而带来生态效率的测算偏差^[18]。而 SBM-DEA 是基于规模报酬不变且投入导向的 DEA 模型,能够解决径向、角度

的 DEA 方法由于投入要素“拥挤”或“松弛”而导致的评价结果不准确的问题^[24],SBM-DEA 模型的表达式见式(1)—(2)。SBM-DEA 模型将 S_n^x, S_m^y, S_i^r 代入目标函数中,可以直接提取冗余造成的非效率因素;同时还可以解决含有非期望产出条件下的效率测算问题。

$$\min \rho = \frac{1 - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{S_n^x}{x_{n0}}}{1 + \frac{1}{M+1} \left(\sum_{m=1}^M \frac{S_m^y}{y_{m0}} + \sum_{i=1}^I \frac{S_i^r}{u_{i0}} \right)}$$

(4)

$$\left\{\begin{array}{ll}\sum_{k=1}^k z_k x_{nk} + S_n^k = x_{n0} & n=1,2,\cdots,N \\ \sum_{k=1}^k z_k y_{mk} - S_m^y = y_{m0} & m=1,2,\cdots,M \\ \sum_{k=1}^k z_k u_{ik} + S_i^u = u_{i0} & i=1,2,\cdots,I \\ \sum_{k=1}^K z_k = 1; & z_k \geq 0; S_n^x \geq 0; S_m^y \geq 0; S_i^u \geq 0\end{array}\right.$$

(5)

式中： ρ 表示生态效率； S_n^x, S_m^y, S_i^u 分别表示投入、期望产出的不足、非期望产出的过剩（冗余）； x_{n0}, y_{m0}, u_{i0} 分别表示决策单元的投入、期望产出和非期望产出值

表 3 2000—2013 年陕西省生态农业绩效测算结果

年份	DMU									
	安康市	宝鸡市	汉中市	商洛市	铜川市	渭南市	西安市	咸阳市	延安市	榆林市
2000	1.0000	0.7796	1.0000	0.8552	0.6928	0.5761	1.0000	1.0000	1.0000	0.2819
2001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.4650	1.0000	1.0000	1.0000	0.3906
2002	1.0000	0.6401	1.0000	1.0000	0.5472	0.5508	1.0000	1.0000	1.0000	0.2548
2003	1.0000	0.5695	1.0000	1.0000	0.5092	0.5651	1.0000	1.0000	1.0000	0.0582
2004	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.4450	0.5168	1.0000	1.0000	1.0000	0.0544
2005	1.0000	1.0000	1.0000	0.7083	0.4140	0.4705	1.0000	1.0000	1.0000	0.1194
2006	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.3804	0.4691	1.0000	1.0000	1.0000	0.3558
2007	0.5872	1.0000	1.0000	0.5784	0.3642	0.4751	1.0000	1.0000	1.0000	0.2962
2008	1.0000	1.0000	1.0000	0.9333	0.4872	0.6099	1.0000	1.0000	1.0000	0.4033
2009	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.4652	0.5153	1.0000	1.0000	1.0000	0.3023
2010	0.7579	1.0000	1.0000	1.0000	0.5346	0.5376	1.0000	1.0000	1.0000	0.4340
2011	0.5590	1.0000	1.0000	1.0000	0.5226	0.5219	1.0000	1.0000	1.0000	0.2764
2012	0.4893	0.6196	1.0000	1.0000	0.5303	0.4998	1.0000	1.0000	1.0000	0.2604
2013	0.4736	0.6352	1.0000	1.0000	0.5799	0.5237	1.0000	1.0000	1.0000	0.3351

表 4 生态农业绩效投入和产出的损失 %

地区	投入冗余率				产出冗余率		
	土地	劳动力	化肥	机械	农业面源污染	农业总产值	净碳汇
铜川市	−38.75	−32.09	−42.93	−35.04	−39.07	0.03	0.10
宝鸡市	−12.34	−2.25	−13.46	−5.90	−12.34	0.65	0.00
渭南市	−28.48	−36.55	−40.15	−38.90	−35.69	0.00	0.00
榆林市	−63.95	−28.07	−16.59	−57.39	−19.39	71.42	589.41
安康市	−17.47	−13.81	−6.40	−11.62	−9.02	0.00	3.94
商洛市	−11.58	−6.14	−1.40	−4.12	−2.39	0.00	0.00

(1) 从投入角度来看：榆林、铜川在土地上的改善程度较大，这些地区土地集约利用程度和市场化程度较低，导致土地资源的利用效率不高，出现土地投入过剩的情况；铜川、渭南的劳动力冗余率较高，这些地区农业劳动力转移的速率相对缓慢，农业从业人员数目相对较多（包含了大多数的兼业农民），造成了劳动力投入过剩；铜川和渭南的化肥存在较高的冗余，降低化肥的投入和提高化肥的利用率对改善生态效率有重要作用；渭南、榆林在机械投入方面的冗余率

的向量； z_k 表示权重。

本文以 DEA-SOLVER PRO 5.0 软件为计算平台，采用基于规模报酬不变且投入导向的 SBM-DEA 模型对陕西省各地市 2000—2013 年的生态农业绩效进行测算，测算结果见表 3。

2.2 生态农业绩效损失与改善分析

在 SBM-DEA 模型中，当生态农业绩效小于 1 时，松弛变量的大小表明了生态农业绩效损失的原因。本文将 2000—2013 年陕西省 10 个地级市各投入和农业面源污染的松弛变量除以对应的投入值、农业面源污染值得到相应的冗余率，将农业总产值和净碳汇的松弛变量除以相应的农业总产值和净碳汇值得到农业产出不足率，计算结果见表 4。

较高，有较大的改善潜力。

(2) 从非期望产出角度来看：铜川、渭南和榆林有很高的减排空间，近年来，这些地区的农业产业化程度和集约化程度不断提高，禽畜养殖业迅速发展，导致农业面源污染排放量逐年增加，农业面源污染冗余增加。

(3) 从期望产出角度来看：榆林的农业总产值、净碳汇产出存在严重不足，这是榆林生态农业绩效损失的重要原因之一。

3 生态农业绩效的演变特征分析

3.1 生态农业绩效的全局空间自相关分析

利用 OpenGeoDa 软件计算 2000—2013 年陕西省生态农业绩效全局自相关系数(Global Moran's I)。从表 5 中可以看出,陕西省生态农业绩效在

2000—2013 年,空间自相关性系数整体上呈现先上升后下降的态势,即从 2000 年的-0.020 5 增加到 2005 年的 0.035 6,之后又下降到 2013 年的-0.338 3。这表明 Global Moran's I 在样本期间有小幅波动,但生态农业绩效整体上呈现出“离散—集聚—离散”的变化趋势。

表 5 全局空间自相关

年份	Global Moran's I	标准差	ρ 值	年份	Global Moran's I	标准差	ρ 值
2000	-0.0205	0.1247	0.741	2007	-0.073	0.1419	0.601
2001	-0.0505	0.1272	0.667	2008	0.0153	0.1298	0.142
2002	-0.2239	0.1943	0.278	2009	0.0179	0.129	0.144
2003	-0.0496	0.124	0.683	2010	-0.116	0.135	0.493
2004	0.0193	0.1189	0.125	2011	-0.1728	0.137	0.346
2005	0.0356	0.124	0.115	2012	-0.3106	0.1361	0.046
2006	0.0094	0.1295	0.143	2013	-0.3383	0.1350	0.019

3.2 生态农业绩效的局部空间自相关分析

为进一步揭示陕西省各地级市生态农业绩效局部空间特征,根据 Global Moran's I 指数的时段特征,选取 2002 年、2013 年两个时间段为研究截面,利用 OpenGeoDa 软件获得陕西省生态农业绩效的 Moran's I 散点分布情况(表 6)。在表 6 中,第Ⅰ象限为“高一高”集聚区,表示高生态农业绩效的地级市被高生态农业绩效的地级市包围;第Ⅱ象限为“低—高”集聚区,表示低生态农业绩效的地级市被高生态农业绩效的地级市包围;第Ⅲ象限

为“低—低”集聚区,表示低生态农业绩效的地级市被低生态农业绩效的地级市包围;第Ⅳ象限为“高一低”集聚区,表示高生态农业绩效的地级市被低生态农业绩效的地级市包围。第Ⅰ、Ⅲ象限表现为空间正相关性,第Ⅱ、Ⅳ象限表现为空间负相关性。从表 6 中可以明显看出生态农业绩效落入空间正相关类型区的比例由 2002 年的 40%降低到 2013 年的 20%,表明陕西省生态农业绩效空间集聚性逐渐减弱(异质性增强),即生态农业绩效的区域整体差异在扩大。

表 6 2002 年、2013 年陕西省生态农业绩效 Moran 散点分布

年份	第Ⅰ象限 (高一高集聚)	第Ⅱ象限 (低—高集聚)	第Ⅲ象限 (低—低集聚)	第Ⅳ象限 (高一低集聚)
2002	安康、汉中、西安	宝鸡、铜川、渭南	榆林	咸阳、延安、商洛
2013	汉中、西安	宝鸡、榆林、安康、渭南、铜川	—	咸阳、商洛、延安

3.3 生态农业绩效区域差异分析

从 2000—2013 年陕西省生态农业绩效的测算结果可以看出,陕西省 10 地市的生态农业绩效表现出明显的地区差异。准确测算陕西省生态农业绩效的区域差异对于促进其农业与生态环境持续、稳定发展有重要意义,对进一步分析生态农业绩效的影响因素起着基础性的作用。本文采用 Theil 系数计算陕西省区域生态农业绩效的差异。

Theil 系数最早是为研究国家之间的收入差距提出的,由于 Theil 系数将区域总差异分解为组内差异和组间差异,后来被广泛应用于区域差异变动研究。设研究总样本含 n 个地区,分为 k 个组,第 i 组含有 n_i 个地区, $n=n_1+n_2+\cdots+n_k$ 。

$$T_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \ln\left(\frac{\bar{I}_i}{I_{ij}}\right) \tag{5}$$

$$T_w = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{n} \cdot T_i \tag{6}$$

$$T_B = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{n} \ln\left(\frac{\bar{I}}{\bar{I}_i}\right) \tag{7}$$

$$T = T_w + T_B \tag{8}$$

式中: \bar{I}_i 为第 i 组指标 I 的平均值; I_{ij} 为第 i 个样本中第 j 个地区的指标值; T_i 为第 i 组指标 Theil 系数; \bar{I} 为总样本指标的平均值; T_w 为组内指标的差异; T_B 为组间指标的差异; T 为总的区域差异^[25]。

图 1 可以看出,陕北地区的生态农业绩效区域内呈现先上升后下降的趋势,Theil 系数增幅较大,从 2001 年的 0.106 6 上升到 2005 年的 0.482 4,随后降低到 2010 年的 0.084 7,说明受到相应的农业发展政策和农业现代化等方面的影响,2005—2013 年陕北各地市的生态农业绩效的内部差异逐渐减小;陕南地区的生态农业绩效在 2009—2013 年内部差异日益突出,但差异程度不明显。关中地区生态农业绩效的内部差异呈现缓慢上升后下降的趋势,Theil 系数从 2000 年的 0.022 4 上升到 2007

年的 0.086 8, 又降低到 2013 年的 0.033 5。3 个区域中, 陕北地区的 Theil 系数最大, 均值可达到 0.270 6, 表明陕北地区的生态农业绩效差异最大; 陕南地区的 Theil 系数均值最小, 仅为 0.014 1, 表明陕南地区的生态农业绩效内部的差异在 3 个区域中最小。

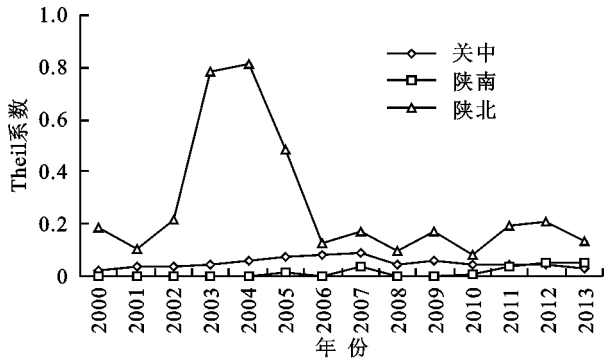


图1 2000—2013年 Theil 系数变化趋势

从图2中可以看出, 陕西省生态农业绩效的 Theil 系数整体上呈现先上升后下降的趋势, 组内差异明显高于组间差异, 陕西省生态农业绩效差异逐渐扩大。陕西省生态农业绩效的组内差异和组间差异都呈现先上升后下降的趋势, 2000—2006 年生态农业绩效的组内差异的贡献率大约是组间差异贡献率的 4~10 倍, 2013 年组内差异的贡献率和组间差异贡献率差距迅速发生波动性变化, 2013 年组内差异的贡献率是组间差异贡献率的 23.56 倍, 而 2007 年生态农业绩效的组内差异贡献率是组间差异贡献率的 44.25 倍。

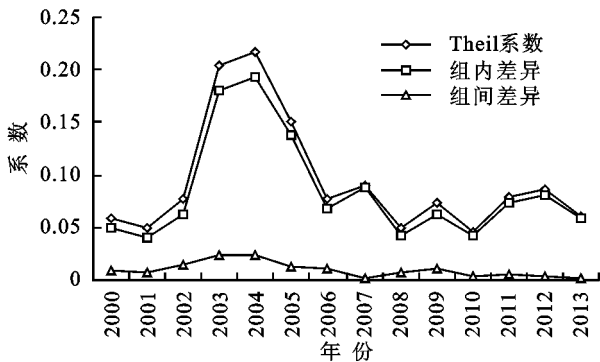


图2 生态农业绩效 Theil 系数分解

4 结论

基于陕西省 2000—2013 年 10 地市的基础统计数据, 运用清单列表分析法以 GB3838—2002 中Ⅲ类水质标准计算出陕西省 10 地市农业面源污染、利用碳汇算法得到各地市农业净碳汇量, 根据 SBM-DEA 模型计算出陕西省生态农业绩效, 求得陕西省生态农业绩效时空演变特征和区域差异, 得到以下结论: (1) 陕西省生态农业绩效在 2000—2013 年呈现空间集聚性逐渐减弱(异质性增强)的态势, 生态农业绩效的区域整体差异在扩大。 (2) 陕西省生态农业绩效的 Theil 系数整体上

呈现先上升后下降的趋势, 组内差异明显高于组间差异, 陕西省生态农业绩效差异逐渐扩大; 陕北地区、陕北和关中地区的生态农业绩效差异明显, 陕北地区的差异最大, 陕南地区的差异最小。

实证研究结果显示陕西省的生态农业绩效总体水平较低、区域差异明显, 面临着农业经济发展和农业生态环境保护的两大任务。同时, 具有在建立“资源节约、环境友好型”的两型农业方面存在较大的潜力。为此, 陕西省应在以下几方面加强建设: (1) 政策层面。在对农业生态进行全价值评估的基础上, 建立科学合理的农业生态补偿标准, 引导各地市走低资源消耗、低环境污染的农业持续发展道路, 提高生态农业绩效。 (2) 技术层面。合理调整种植业结构, 实现粮食作物与经济作物播种面积达到最优配比状态; 采用测土施肥、水肥一体化等措施, 控制氮肥和磷肥的使用量, 减少因化肥流失等造成的 TN 和 TP 的排放; 在扩大农业机械使用规模的基础上, 重点是提高农业机械使用效率; 降低农业生产中的碳排放量。 (3) 经营主体层面。加大对经营者的培训力度, 及时监测并发布农业生产过程中病虫害、水肥需求等信息, 引导各经营主体合理投入农业生产要素, 提高要素空间配置效率, 促进区域生态农业绩效的提高。

参考文献:

- [1] 吴贤荣, 张俊飏, 田云, 等. 中国省域农业碳排放: 测算, 效率变动及影响因素研究[J]. 资源科学, 2014, 36(1): 129-138.
- [2] 董红敏, 李玉娥, 陶秀萍, 等. 中国农业源温室气体排放与减排技术对策[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 269-273.
- [3] 刘应元, 冯中朝, 李鹏, 等. 中国生态农业绩效评价与区域差异[J]. 经济地理, 2014, 34(3): 24-29.
- [4] 许广月. 中国低碳农业发展研究[J]. 经济学家, 2010(10): 72-78.
- [5] 郑恒, 李跃. 低碳农业发展模式探析[J]. 农业经济问题, 2011(6): 26-29.
- [6] 李波, 张俊飏, 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.
- [7] 高鸣, 宋洪远. 中国农业碳排放绩效的空间收敛与分异: 基于 Malmquist-luenberger 指数与空间计量的实证分析[J]. 经济地理, 2015, 35(4): 142-148.
- [8] 吴贤荣, 张俊飏, 程琳琳, 等. 中国省域农业碳减排潜力及其空间关联特征: 基于空间权重矩阵的空间 Durbin 模型[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(6): 53-61.
- [9] 骆世明, 陈聿华, 严斧. 农业生态学[M]. 长沙: 湖南科技出版社, 1998: 400-431.
- [10] 温铁军. 新农村建设中的生态农业与环保农村[J]. 环境保护, 2007(1): 25-27.

(2) 建立了阿克苏河流域的月均径流模拟模型。校准期和验证期模拟结果均低于实测值,但总体上与实测数据径流趋势保持一致。验证期模拟值和实测值的相对误差 R_E 小于 8%, 相关系数 R^2 和效率系数 NS 均大于 0.8, 表明模型在阿克苏河流域径流模拟适用性较好。

(3) 冰雪融水是阿克苏河流域径流的重要组成部分。以降雨作为径流主要补给时段的模拟效果优于以冰雪融水作为主要补给的时段, 主要是由于径流的模拟结果会受地形的影响而产生误差, 但总体上模型的拟合效果良好。

(4) 气温是影响阿克苏河流域径流变化的重要因素。气温与径流量呈反比, 径流量随着气温的升高而有所减小, 随着气温的降低而有所增大。不同气温下, 径流量差异显著, 气温变化对夏季高温季节融雪径流量的变化影响最大。

参考文献:

- [1] 陈亚宁, 崔旺诚, 李卫红, 等. 塔里木河的水资源利用与生态保护[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 215-177.
- [2] 朱凯. 新疆阿克苏河流域径流演变规律及预测研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2012.
- [3] 李慧, 雷晓云, 等. 基于 SWAT 模型的山区冰雪融水河流的日径流模拟研究[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(3): 105-107.
- [4] Berhara S, Panda R K. Evaluation of management alter-

natives for an agricultural watershed in a sub-humid subtropical region using a physical process based model [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2006, 113(1/4): 62-72.

- [5] 庞靖鹏, 刘昌明, 徐宗学. 密云水库流域土地利用变化对产流和产沙的影响[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2010, 46(3): 290-299.
- [6] Chanasyk D S, Mapfumo E, Willms W. Quantification and simulation of surface runoff from fescue grassland watersheds[J]. Agricultural Water Management, 2003, 59(2): 137-153.
- [7] 赖正清, 李硕, 李呈罡, 等. SWAT 模型在黑河中上游的改进与应用[J]. 自然资源学报, 2013, 28(8): 1404-1413.
- [8] 刘新华, 徐海量, 凌红波, 等. 阿克苏河源流区径流量与降水量丰枯变化和相关性研究[J]. 冰川冻土, 2013, 35(3): 741-750.
- [9] 周德成, 罗格平, 尹昌应, 等. 近 50a 阿克苏河流域土地利用/覆被变化过程[J]. 2010, 32(2): 275-284.
- [10] 郑宁. 基于 SWAT 模型博阳河上游流域径流模拟及其气候变化响应[D]. 南昌: 南昌大学, 2011.
- [11] 库路巴依, 胡林金, 陈建江, 等. 基于 SWAT 模型的叶尔羌河山区融雪径流模拟[J]. 人民黄河, 2015, 37(4): 29-32.
- [12] 孙瑞, 张雪芹. 基于 SWAT 模型的流域径流模拟研究进展[J]. 水文, 2010, 30(3): 28-32.
- [13] 陈岩. 基于 GIS 和 SWAT 模型的母猪河流域径流模拟[D]. 北京: 中国矿业大学, 2014.

(上接第 282 页)

- [11] 李新平. 中国生态农业的理论基础和研究动态[J]. 农业现代化研究, 2000, 21(6): 341-345.
- [12] 李太平, 桑闰生, 马万明. 论生态农业的发展[J]. 中国农史, 2011, 30(2): 122-128.
- [13] 赵其国, 黄国勤, 钱海燕. 生态农业与食品安全[J]. 土壤学报, 2007, 44(6): 1127-1134.
- [14] 杨铭. 国外生态农业的发展趋势对我国西部农业发展的启示[J]. 世界地理研究, 2003, 12(4): 71-77.
- [15] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.
- [16] 陈卫平. 中国农业生产率增长、技术进步与效率变化: 1990—2003[J]. 中国农村观察, 2006(1): 19-23.
- [17] 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(12): 27-38.
- [18] 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.

- [19] 李谷成. 中国农业的绿色生产率革命: 1978—2008 年[J]. 经济学, 2014(1): 537-557.
- [20] 钱丽, 肖仁桥, 陈忠卫. 碳排放约束下中国省际农业生产效率及其影响因素研究[J]. 经济理论与经济管理, 2013(9): 100-112.
- [21] 姜峰, 崔春红. 基于清单分析的江苏省农业面源污染时空特征及源解析[J]. 安徽农业大学学报, 2012, 39(6): 961-967.
- [22] 陈敏鹏, 陈吉宁, 赖斯芸. 中国农业和农村污染的清单分析与空间特征识别[J]. 中国环境科学, 2006, 26(6): 751-755.
- [23] 田云, 张俊飏. 中国农业生产净碳效应分异研究[J]. 自然资源学报, 2013, 28(8): 1298-1309.
- [24] 尹科, 王如松, 周传斌, 等. 国内外生态效率核算方法及其应用研究述评[J]. 生态学报, 2012, 32(11): 3595-3605.
- [25] 潘兴侠. 我国区域生态效率评价, 影响因素及收敛性研究[M]. 南昌: 南昌大学, 2014.