

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

张子龙^{1,2}, 鹿晨昱³, 陈兴鹏^{1,2}, 薛 冰⁴

(1. 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州大学中国西部循环经济研究中心, 甘肃 兰州 730000;
3. 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070; 4. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016)

摘要:以地处黄土高原的庆阳市为例, 基于世界可持续发展工商理事会(WBCSD)对生态效率内涵的界定, 应用数据包络分析(DEA)中的非期望产出SBM模型, 对2001~2011年间该地区农业生态效率的时空演变进行分析, 结果表明: 庆阳市农业生态效率总体上呈现下降趋势, 其空间差异在不断扩大。依据生态效率的空间分布状况, 基本可以将庆阳市分为2种类型: 生态环境较好、水资源较为充沛、农业较为发达的西峰区、合水县、宁县和正宁县的农业生态效率相对较高; 而生态环境较为脆弱、水资源短缺的庆城县、华池县、环县和镇原县的农业生态效率较低, 主要原因在于要素投入比例失调、资源利用率低和非期望产出的过度冗余。基于此对生态效率较低地区的农业投入要素冗余状况进行了分析, 明确农业生态效率改进的方向, 为提高农业生态效率提供参考。

关键词: 陇东黄土高原; 农业; 生态效率; 时空演变; SBM; 庆阳

中图分类号: K902 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2014)04-0472-07

生态效率源自生态学, 是指生态系统中各营养级之间的能量转换效率。生态效率应用于社会经济领域始于20世纪90年代。1990年Schaltegger和Sturm首次提出了生态效率的概念: 即增加的价值与增加的环境影响的比值^[1]。自1992年世界可持续发展工商理事会(WBCSD)的《改变航向: 一个关于发展与环境的全球商业观点》^[2]一书出版后, 生态效率概念得到了社会的广泛认识和接受。随后, 相关研究机构纷纷对生态效率的概念及其评价进行了深入的研究和探讨。尽管不同学者对生态效率概念的具体界定有所不同, 但从广义而言, 生态效率的根本含义是一致的, 即: 某一企业、行业或地区创造单位产品或服务价值所产生的环境影响的大小^[3], 可以看成是“投入/产出”比。1995年, Claude Fussler在《产业与环境》杂志上首次将WBCSD的生态效率概念介绍到中国, 并对如何将其运用到指导产业可持续发展中进行了阐述^[4]。经过十多年的发展, 中国的生态效率研究已经取得了一定的成果^[5]。

现有研究成果表明中国农业污染问题日益突出, 农业污染量占全国总污染量(指工业污染、生活污染及农业污染的总和)的1/3~1/2, 已成为中国重要的环境污染源^[6,7]。无效率的农业生产和过多的农业投入(包括化肥、农药、农膜等)是导致环境污染问题的主要原因。因此, 科学评价某一地区的农业生态效率, 是制定相应对策措施的前提和依据, 对农业实现可持续发展具有重要意义。根据WBCSD对生态效率的界定, 具体到农业领域, 农业生态效率是指单位农业产出所造成的环境压力大小, 这意味着要提高农业生态效率, 必须在保证农产品产量和质量的前提下, 尽可能的降低资源消耗和污染物排放。目前对于中国农业生态效率分析的研究成果较少。在现有的研究中, 由于研究尺度、研究对象和研究目的的不同, 生态效率的计算和评价方法也各有差异, 目前所采用的研究方法可以总结为4类^[8]: 一是对单因素进行评价的比值分析法^[9,10], 该方法应用起来比较方便, 但不利于发现阻碍整体资源潜力充分发挥的限制因

收稿日期: 2013-07-05; **修订日期:** 2013-12-25

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(41301652)、国家自然科学基金项目(41261112)、高等学校博士学科点专项科研基金项目(20120211120026)和兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金(lzujbky-2013-132)资助。

作者简介: 张子龙(1982-), 男, 新疆伊犁人, 博士, 讲师, 主要研究方向: 人地关系与区域可持续发展, 产业生态与循环经济。E-mail: zhangzl@lzu.edu.cn

素。二是利用能值^[11]、生态足迹^[12]等分析方法,对农业的环境效率及可持续性进行评价。这类方法是将农业系统中的不同投入和产出转化为同一度量单位,然后构建不同的评价指标对农业生态效率进行评价,评价结果反映的是综合效率,无法从投入要素配置上给出生态效率优化的方向和途径^[9]。三是指标体系法,此方法可以综合反映社会、经济、自然各子系统的发展水平和协调程度,适用于分析较为复杂的对象,但该方法存在指标选取的任意性和指标权重确定的主观性等缺陷^[5,8]。四是模型法,即结合投入和产出数据(包括期望产出和非期望产出),运用数据包络分析法(DEA)^[14-17]或随机前沿生产函数(SFA)^[18,19],分析资源环境约束下的农业技术效率或者农业系统的资源利用效率。由于DEA和SFA属于非参数分析方法,所需指标少,有较高的灵敏度和可靠性,可以对无法价格化以及难以确定权重的指标进行分析,不需要统一指标单位,简化了测量过程,保证了原始信息的完整性,也避免了人为确定权重的主观影响^[5,13],因此在生态效率评价中的应用较为广泛。现有关于农业生态效率分析的少量研究大部分是针对东部沿海、中部地区和全国范围开展的,关于西部地区的研究鲜见,更加缺乏对黄土高原农业生态效率的研究。

黄土高原是中国典型的农牧交错地区和生态环境脆弱区,也是中国旱地农业的中心地带^[20]。该地区具有丰富的耕地资源和光热资源,广泛分布着深厚疏松的黄土和独具特色的生态环境,是小麦、玉米、苹果、烤烟的优良适生区,具有发展现代集约持续农业和实施粮食规模经营的潜在优势,同时也存在着制约这些优势发挥的劣势因素^[21]。资源和环境问题一直是困扰该地区稳定发展的瓶颈,而这一矛盾导致的直接后果是系统生产力水平低下^[22]。庆阳位于甘肃省东部的陇东黄土高原区,是黄土高原的典型代表区,当地水资源缺乏,同时由于自然条件和人类经济活动的原因,生态环境脆弱,资源和环境对区域发展的约束日益严重。在产业结构上,长期以来庆阳的主导产业一直是以农业为主,但农业的生产力水平低下,农业环境污染严重,这对其可持续发展,尤其是农业可持续发展提出了严峻的挑战。本文以庆阳市为例,利用DEA方法中的非期望产出SBM模型,对该地区农业生态效率的时空演变进行分析,旨在

为提高农业生态效率提供参考。

1 研究区概况

庆阳市位于甘肃省东部(106°20'E~108°45'E, 35°15'N~37°10'N),地处鄂尔多斯盆地西南部,属黄土高原沟壑区,是陇东黄土高原的一个主要组成部分,四周高而中间低,故有“陇东盆地”之称。气候类型为温带半干旱的大陆性季风气候,降水量南多北少,总土地面积27 119 km²。全区共辖西峰、庆城、环县、华池、合水、宁县、正宁、镇原七县一区(图1)。地形北高南低,海拔在885~2 082 m之间,中南部为黄土高原沟壑区,北部为黄土丘陵沟壑区,东部为黄土丘陵区。全境有6 667 hm²(10万亩)以上大塬12条,董志塬面积为908.5 hm²,涉及庆城县、宁县、合水县、西峰区4县区的21个乡镇,是世界上面积最大、土层最厚、保存最完整的黄土塬面,堪称“天下黄土第一塬”^[23]。庆阳是中国农耕文化的发祥地之一。庆阳市自然资源总体上可归结为“一黑(煤炭石油天然气资源)一绿(农产品资源)”,但比较丰富的自然资源优势并没有得到充分发挥,并未能转化为地方经济优势,在第二产业中,但由于其中的国家大型企业产值占去了相当大的比重,并未对地方经济形成明显的拉动效应,扣除这部分工业产值后的庆阳市地方工业产值比重就变得相当小^[24],农业在地方经济中所占的比重较大。2011年全市人口为262.06万人,其中城镇人口为65.70万人,乡村人口为196.36万人。全年完成GDP为454.35×10⁸元,三次产业结构比例为12.8:63.4:23.8。城镇居民人均可支配收入14 388元,农村居民人均纯收入3 673元^[25]。

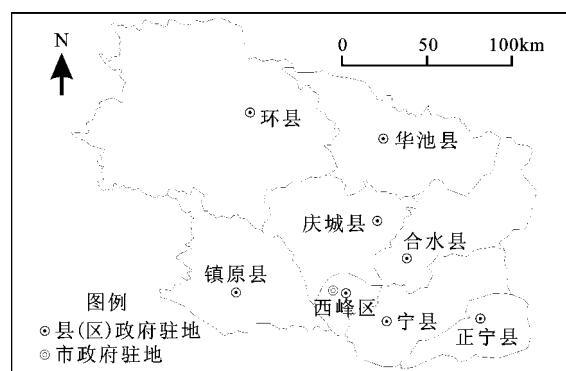


图1 庆阳市行政区划

Fig.1 Administrative map of Qingyang City

2 研究方法 with 指标体系构建

2.1 研究方法

DEA 是由美国运筹学家 Charnes 和 Copper 提出的对决策单元(DMU)进行相对效率评价的模型方法^[26]。应用 DEA 模型进行生态效率评价的主要思想不仅要求投入要素尽可能地缩减,还要最大限度的减少非期望产出(Undesired Output)。包含有非期望产出的 DEA 模型基本上分为径向、角度、非径向、非角度的 DEA 度量方法。由于 Tone 提出的非径向、非角度的 SBM 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^[5],因此,本文选择该模型,模型的具体形式受文章篇幅限制,在此不再赘述,详情参阅文献[27]、[28],这里只给出模型输出结果的含义。

为了综合判断研究区域农业生态效率的相对有效性,本文使用 SBM-CRS(规模报酬不变 SBM 模型)来评价研究区农业生态效率的相对有效性,该模型得到的是规模报酬不变的生产前沿面效率值,反映的是技术效率(Technological Efficiency, TE)。SBM-CRS 模型得出的技术效率又可以进一步分解为纯技术效率(Pure Technological Efficiency, PTE)和规模效率(Scale Efficiency, SE),即: $TE=PTE \times SE$ 。而 PTE 可以利用 SBM-VRS(规模报酬可变的 SBM 模型)模型计算得到。因此,规模效率 $SE=TE/PTE$ 。关于规模收益情况(RTS),本文采用 COOPER 等学者提出的判断标准^[29]。

2.2 指标体系构建

本研究根据 WBCSD 推行的生态效率评估标准,参阅了国内外最新有关生态效率评价的研究文献^[5,26],并结合数据的可获得性,构建评价指标体系(表 1)。在以往的研究中,部分学者在确定产出指标时,同时选择了农产品产量和农业总产值,但实际上,农业总产值就是以货币表现的农、林、牧、渔业全部产品的总量,所反映的是一定时期内农业生产总规模和总成果,同时选择农业总产值和农产品产量存在重复计算的问题。因此,本文仅选择农业总产值作为期望产出指标。对于非期望产出指标,本文选取农业面源污染,该指标利用清单分析法来确定,由于该方法是以综合调查为基础,较为准确

和方便,目前已被学者广泛采用。由于陇东黄土高原农业以种植业为主,因此本文确定化肥、农药和农用塑料薄膜为产污单元,核算的农业面源污染主要有总氮、总磷和废旧地膜(白色污染)^①。

表 1 庆阳市农业生态效率评价指标体系

Table 1 Index system for evaluation of agricultural eco-efficiency of Qingyang

类型	指标名称	指标代码
投入	播种面积(hm ²)	I ₁
	从事农业生产的劳动力数量(万人)	I ₂
	农业用水量(10 ⁴ t)	I ₃
	化肥施用量(10 ⁴ t)	I ₄
	农膜使用量(t)	I ₅
	机械总动力(10 ⁴ t)	I ₆
	农业生产用电(10 ⁴ t)	I ₇
产出	农业总产值(万元)	O
非期望产出	农业面源污染(t)	O(Bad)

注:以上指标数据均来自参考文献[25]。

3 实证分析

3.1 庆阳市农业生态效率的时空演变分析

以庆阳市 8 个县区的农业生产系统为 DMU,利用软件 DEA SOLVER Pro 5.0 分别计算 2001~2011 年各 DMU 的生态效率,分析结果见表 2。

图 2 是庆阳市农业生态效率(TE)均值和变异系数的年际变化。庆阳市农业生态效率均值基本呈波动下降的趋势,从 2001 年的 0.955 下降到 2011 年的 0.797。生态效率变异系数的变化趋势表明庆阳市农业生态效率的空间差异整体上呈现逐渐扩大的趋势,但具有较为明显的波动性。到 2010 年空间差异达到最大,变异系数值为 0.459,到研究期末,区域差异有所减小。总体而言,庆阳市农业生态效率有所下降,而空间差异有所扩大。

由表 2 可知,2001~2011 年,西峰区、合水县和正宁县这 3 个县区农业生态效率均表现为相对 DEA 有效,TE 值均为 1。纯技术效率和规模效率在研究期内也表现为同样的状态,规模效益表现为规模报酬不变,这表明 2001~2011 年这 3 个县区在农业生产过程中各项投入要素配置合理,且得到了充分利用。其余 4 个县区的生态效率值均在 2009 年以后表现为非 DEA 有效,到 2011 年,环县的生态效率值最低(TE 值为 0.418),其次为镇原县

① 关于污染物的排放系数主要参考第一次全国污染源普查领导小组办公室颁布的《全国第一次污染源普查手册》中的《农业污染源肥料流失系数手册》、《农田地膜残留系数手册》和《农药流失系数手册》。

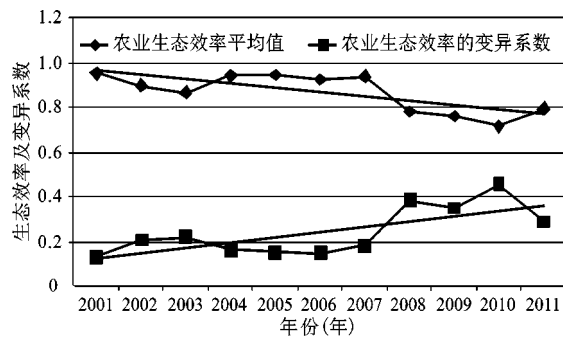


图2 庆阳市农业生态效率平均值及变异系数年际变化

Fig.2 The average and variation coefficient of agricultural eco-efficiency in Qingyang (2001-2011)

(0.662)、华池县(0.596)和庆城县(0.700)。

庆城县的农业生态效率在2001~2008年表现为相对DEA有效($TE=1$),但自2009年以后则表现为非DEA有效,TE值先降后升,纯技术效率保持同样的变化趋势,而规模效率逐年降低,虽然规模收益表现为规模报酬递增,但递增的速率有所降低,投入要素存在冗余的情况。

环县和华池县的农业生态效率在2001~2007年表现为相对DEA有效,自2008年之后则均表现

为非DEA有效。2008~2011年,环县的TE值由0.352上升到0.418,纯技术效率有所下降(PTE值由0.475下降到0.428),而规模效率有所上升,规模收益表现为规模报酬递增;华池县TE值虽然也表现出波动上升趋势,但PE值变化主要是规模效率变化引起的,规模收益表现为规模报酬递增。

宁县的农业生态效率在2001~2003年表现为非DEA有效,TE值由0.638上升到0.701,PTE值由0.735上升到1,而SE却从0.868下降到0.701,由此可见,前2a纯技术效率与规模效率共同决定了宁县农业生态效率的非有效性,而到了2003年,规模效率成为了唯一决定因素;2004~2005年,TE值为1,农业生态效率表现为相对DEA有效;但到2006年又表现为非DEA有效($TE=0.750$),引起这一现象的唯一原因是规模效率的非有效性($SE < 1$);自2008年以后一直表现出相对DEA有效。在非有效的4a中,都表现出了规模效益递减的状态,表明农业产出的增加小于要素投入的增加。

镇原县的农业生态效率仅在2001年表现出相对DEA有效,其余年份均表现为非DEA有效。2002~2011年,TE值总体上呈现上升趋势,但波动

表2 2001~2011年庆阳市农业生态效率评价结果表

Table 2 Results of agricultural eco-efficiency evaluation of Qingyang City during 2001-2011

年份 (年)	西峰区				庆城县				环县				华池县			
	TE	PTE	SE	RTS	TE	PTE	SE	RTS	TE	PTE	SE	RTS	TE	PTE	SE	RTS
2001	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变
2002	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变
2003	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	0.741	1.000	0.741	递增
2004	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变
2005	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变
2006	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变
2007	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变
2008	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	0.352	0.475	0.741	递增	0.462	1.000	0.462	递增
2009	1.000	1.000	1.000	不变	0.682	0.686	0.994	递增	0.333	0.357	0.934	递增	0.556	1.000	0.556	递增
2010	1.000	1.000	1.000	不变	0.651	0.667	0.976	递增	0.344	0.373	0.921	递增	0.192	1.000	0.192	递增
2011	1.000	1.000	1.000	不变	0.700	0.729	0.960	递增	0.418	0.428	0.978	递增	0.596	1.000	0.596	递增
年份	合水县				正宁县				宁县				镇原县			
	TE	PTE	SE	RTS	TE	PTE	SE	RTS	TE	PTE	SE	RTS	TE	PTE	SE	RTS
2001	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	0.638	0.735	0.868	递减	1.000	1.000	1.000	不变
2002	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	0.592	0.642	0.923	递减	0.595	1.000	0.595	递减
2003	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	0.701	1.000	0.701	递减	0.509	1.000	0.509	递减
2004	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	0.567	1.000	0.567	递减
2005	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	0.589	1.000	0.589	递减
2006	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	0.750	1.000	0.750	递减	0.661	1.000	0.661	递减
2007	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	0.513	1.000	0.513	递减
2008	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	0.446	0.462	0.965	递减
2009	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	0.538	0.538	0.999	递增
2010	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	0.564	0.565	0.999	递增
2011	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	1.000	1.000	1.000	不变	0.662	1.000	0.662	递减

较大。其中,在2002~2007年间,PTE值为1,而SE的值均小于1,且规模收益一直呈现规模报酬递减的状态,这意味着农业生态效率在此阶段表现为非DEA有效的主要原因在于投入要素的冗余导致的规模效率的低下;在2008~2010年,PTE和SE的值均小于1,但SE的值大于PTE,规模收益表现出规模报酬递增的状态;到2011年,PTE值又恢复到1的水平,但SE的值大幅度降低,规模收益也恢复到规模报酬递减的状态,意味着镇原县农业产出的增加小于农业投入的增加。

3.2 庆阳市农业系统的投入冗余分析

对于非DEA有效的DUM单元,即该DUM单元处于非生产前沿面,说明其投入产出配置未能达到最优,考察其投入要素的冗余状况就能明确农业生态效率改进的方向。根据这一原理,结合庆阳市农业生态效率的时空变化情况,对2011年未达到DEA有效的4个县在现有产出水平下投入指标的冗余率进行对比分析,进而提出这4个县向生产前沿面转化的调整幅度和方向,结果见图3。由此可知,这4个县的农业总产值的冗余率为零,而投入要素和农业面源污染均存在不同程度的冗余,表明导致这4个县生态效率低下的原因不在于期望产出不足,而在于要素投入和非期望产出2个方面,资源消耗过多且要素配比不合理,以及由此引起的污染物排放是这些区域生态效率较低的主要原因。

由图3可知,在2011年,水资源投入要素存在

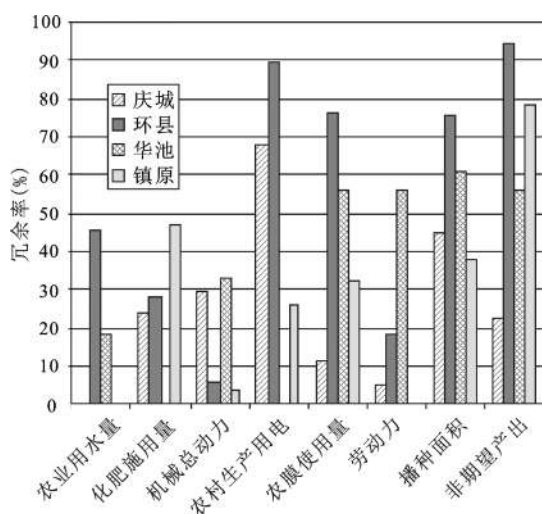


图3 2011年庆城、环县、华池和镇原县农业投入/产出要素冗余程度

Fig.3 Redundancy of agricultural inputs and outputs of Qingcheng, Huanxian, Huachi and Zhenyuan County in 2011

冗余情况的县区包括环县和华池,环县的农业用水量的冗余率(45.48%)高于华池(18.28%),而这2个县正好是庆阳市干旱程度较高的地区^[30],说明庆阳相对干旱的地区农业水资源的利用效率不高,需要加强节水型农业的建设力度。

化肥投入要素存在冗余情况的县区包括庆城、环县和镇原,其中镇原的化肥施用量的冗余率最高,达到46.82%,庆城和环县的冗余率分别为23.52%和27.96%,该现象与这3个县的土壤自身肥力不高有明显关系,特别是环县和镇原。农膜投入要素方面,4个县均存在不同程度的冗余,其中,冗余程度最高的是环县,农膜使用量的冗余率达到了76.17%,华池次之,冗余率为56.04%,镇原的冗余率达到26.05%,相对前两者较低,庆城的冗余率最低(6.76%),农膜投入的冗余程度普遍高于农业用水,这与庆阳推行全膜双垄沟播技术,发展设施农业密切相关。农膜(且大部分农膜较薄,不易回收)和化肥的过渡投入是造成庆阳农业面源污染的主要原因之一。

机械总动力冗余程度从高到低排序分别是华池(32.84%)、庆城(29.22%)、环县(5.49%)和镇原(3.47%);农村生产用电的冗余程度最高的是环县,冗余率达到89.62%,该结果产生的主要原因是环县干旱缺水,需要大量的电力保证农业灌溉用水的供给。其次是庆城,冗余率达到67.58%,镇原相对较低,冗余率达26.05%,华池不存在农业用电冗余的情况;劳动力的冗余程度最高的是华池(56.02%),相对较低的是环县(18.46%)和庆城(5.35%),而镇原不存在劳动力要素冗余的情况。土地投入(播种面积)方面,4个县的冗余程度普遍较高,冗余率自高到低的排序为环县(75.24%)、华池(61.17%)、庆城(44.81%)和镇原(37.79%),说明耕地的利用效率普遍较低,存在过度投入的现象。

非期望产出方面,冗余程度普遍偏高,特别是环县、华池和镇原3个县,非期望产出的冗余率分别达到了94.00%、77.95%和56.17%,庆城的非期望产出冗余程度相对较低,冗余率为22.73%。这也进一步表明,非期望产出是影响这4个县生态效率低下的主要原因之一。

就4个县自身而言,虽然非期望产出的冗余情况普遍对其生态效率的影响程度较大,但不同投入要素对不同地区的影响不同。庆城县冗余程度较高的要素包括:电力、耕地、机械总动力和化肥;

环县冗余程度较高的要素包括:电力、农膜、耕地、水资源和化肥;华池县冗余程度较高的要素包括:耕地、农膜、劳动力和机械总动力;镇原冗余程度较高的要素包括化肥、耕地、农膜和电力。

以上分析表明,庆阳市2008~2011年农业系统未达到DEA有效的4个地区在遵循生态农业发展的要求、资源投入有效配置方面,尚存在不足之处,导致资源利用效率降低,环境污染物排放过多,农业经济效益也随之下降,可通过适当调整非有效决策单元的投入、产出数量和比例结构等措施,来改进其有效性。

4 结 论

本文利用包含有非期望产出的非径向、非角度的SBM模型,分析了庆阳市8个县区农业生态效率的时空演变轨迹,并对农业生态效率相对较低的4个地区农业投入、产出要素的冗余情况进行了分析,基于此,明确了生态效率的改进方向,得出以下结论:

1) 庆阳市农业生态效率呈现下降趋势,生态效率相对有效的区域由2001年的7个降低到2011年的4个,且农业生态效率的空间差异在逐渐扩大。根据农业生态效率的空间分布,基本可以将庆阳市各县区分为2种类型:生态环境较好、水资源较为充沛、农业较为发达的西峰区、合水县、宁县和正宁县(前3个县是董志塬的重要组成部分)的农业生态效率相对较高,而生态环境较为脆弱、水资源短缺的庆城县、华池县、环县和镇原县的农业生态效率相对较低。

2) 就农业生态效率较低的地区而言,造成效率低下的原因在于资源投入结构不尽合理、投入产出比例失调,以及非期望产出的过度冗余。不同类型的地区,农业生态系统的要素冗余情况不同,那么生态效率提高的途径也不同。对于土壤肥力较差的地区(环县、镇原和庆城),化肥的冗余程度很高,这些地区应该通过推广测土配方、生物农药、生物有机肥等农业技术等进一步降低化肥的投入量;对于水资源短缺的地区(环县和华池),农业用水和农膜的冗余程度很高,这些地区需要加强节水型农业的建设力度,虽然目前采用的双垄沟播技术可以提高水资源的利用效率,但是使用过薄的农膜不利于回收利用,反而加重了农业生产所造成的白色污染,因此这些地区还应该出台政策鼓

励农民使用可回收的农膜,减轻白色污染;这4个地区土地投入的冗余程度均保持在较高的水平,说明耕地存在过度投入的现象,耕地的利用效率不高,这也与土壤肥力不高有着直接的关系。

3) 庆阳要从总体上遏制生态效率下降的趋势,必须以庆城县、华池县、环县和镇原县为重点,根据目前的要素投入结构和冗余情况,从绿色、可持续发展理念出发,针对冗余程度较高的要素,将对这些投入要素的有效控制作为生态效率有效改进的方向,注重资源的高效利用和污染物排放量的控制,实现资源节约、污染减排和农业增长三者协调发展,避免因资源不合理配置和过度消耗及其所导致的污染物过度排放影响农业高效、可持续发展。

参考文献:

- [1] 吕 彬, 杨建新. 生态效率方法研究进展与应用[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3898~3906.
- [2] Schmidheiny S. Changing course: A Global business perspective on development and the environment[M]. Cambridge (MA): MIT Press, 1992.
- [3] WBCSD. Measuring eco-efficiency—A guide to reporting company performance [R]. Geneva : WBCSD, 2001.
- [4] Fussler C. 工业生态效率的发展[J]. 产业与环境, 1995, 17(4): 71~74.
- [5] 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.
- [6] 吕振宇, 牛灵安, 郝晋珉, 等. 中国农业生态环境面临的问题与改善对策[J]. 中国农学通报, 2009, 25(4): 218~224.
- [7] 刘桂平, 周永春, 方 炎, 等. 我国农业污染的现状与应对建议[J]. 国际技术经济研究, 2006, 9(4): 17~21.
- [8] 靳 京, 吴绍洪, 戴尔阜. 农业资源利用效率评价方法及其比较[J]. 资源科学, 2005, 27(1): 146~152.
- [9] 谢高地, 齐文虎, 章予舒, 等. 主要农业资源利用效率研究[J]. 资源科学, 1998, 20(5): 7~11.
- [10] 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.
- [11] 朱玉林, 李明杰, 龙雨孜, 等. 基于能值分析的环洞庭湖区农业生态系统结构功能和效率[J]. 生态学杂志, 2012, 31(12): 3086~3093.
- [12] 林永钦, 熊 雪, 傅 春. 鄱阳湖生态经济区农业循环经济发展综合评价[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(12): 1532~1536.
- [13] 佟连军, 宋亚楠, 韩瑞玲, 等. 辽宁沿海经济带工业环境效率分析[J]. 地理科学, 2012, 32(3): 294~300.
- [14] 梁流涛, 曲福田, 冯淑怡. 基于环境污染约束视角的农业技术效率测度[J]. 自然资源学报, 2012, 27(9): 1580~1589.
- [15] 秦 钟, 王建武, 章家恩, 等. 广东省农业循环经济发展的DEA分析与有效性评价[J]. 自然资源学报, 2010, 25(6): 904~913.
- [16] 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.
- [17] 刘 渝, 杜 江, 张俊飏. 湖北省农业水资源利用效率评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2007, **17**(6): 60~65.
- [18] 刘 璨, 于法稳, 任鸿昌等. 平原林业生态效率测算与分析——以江苏省淮安市为例[J]. 中国农村经济, 2004, **6**: 47~53.
- [19] 王学渊, 赵连阁. 中国农业用水效率及影响因素——基于1997~2006年省区面板数据的SFA分析[J]. 农业经济问题, 2008, **3**: 10~19.
- [20] 肖国举, 王 静. 黄土高原集水农业研究进展[J]. 生态学报, 2003, **23**(5): 1003~1011.
- [21] 廖允成, 王立祥, 温晓霞. 黄土高原农业地域资源优势利用与产业化探讨[J]. 自然资源学报, 2000, **15**(1): 51~55.
- [22] 董孝斌, 高旺盛, 严茂超. 黄土高原典型流域农业生态系统生产力的能值分析——以安塞县纸坊沟流域为例[J]. 地理学报, 2004, **59**(2): 223~229.
- [23] 张智全, 于爱忠, 罗珠珠, 等. 甘肃省庆阳市生态足迹和生态承载力动态研究[J]. 草业学报, 2010, **19**(4): 187~193.
- [24] 方创琳, 曹光中. 庆阳市新世纪经济可持续发展战略研究[J]. 中国沙漠, 2004, **24**(1): 51~55.
- [25] 庆阳市统计局. 庆阳统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2002~2012.
- [26] 魏权龄. 数据包络分析(DEA) [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 2~35.
- [27] 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.
- [28] 宋马林, 曹秀芬, 吴 杰. 一个新的考虑非期望产出的非径向——双目标DEA模型[J]. 管理科学, 2011, **24**(4): 113~120.
- [29] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis [J]. European Journal of Operational Research, 2001, **130**: 498-509.
- [30] 张调风, 张 勃, 王小敏, 等. 基于综合气象干旱指数(CI)的干旱时空格局分析——以甘肃省黄土高原区为例[J]. 生态环境学报, 2012, **21**(1): 13~20.

Spatio-temporal Evolution of Agricultural Eco-efficiency in Loess Plateau of East Gansu Province: A Case Study of Qingyang City

ZHANG Zi-long^{1,2}, LU Chen-yu³, CHEN Xing-peng^{1,2}, XUE Bing⁴

(1. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China; 2. Institute for Circular Economy in Western China, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China; 3. College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 4. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, Liaoning 110016, China)

Abstract: Based on the definition of ecological efficiency raised by World Business Council for sustainable development (WBCSD), the article applied undesired-output SBM model of Data Envelopment Analysis (DEA) to analyze the spatio-temporal evolution of agricultural eco-efficiency in Loess Plateau of East Gansu Province in 2001-2011. The results indicated that: the agricultural ecological-efficiency in Qingyang City is declining overall, and the spatial discrepancy of eco-efficiency is enlarging. According to the spatial distribution of eco-efficiency, Qingyang can be divided into two regions: 1) The high agricultural eco-efficiency region includes Xifeng, Heshui, Ningxian, Zhengning county which possess good ecological environment, abundant water resource and developed agriculture. 2) The low agricultural eco-efficiency region includes Qingcheng, Huachi, Huanxian, Zhenyuan county which have fragile ecological condition and the scarce water resource. The reasons for inducing low eco-efficiency are disproportional factor inputs, low efficiency of resources utilization and excessive redundancy of undesired outputs. Furthermore, the article analyzed the redundancy of elements of agricultural input in the regions where have lower ecological efficiency in order to put forward the way to improve the ecological efficiency.

Key words: Loess Plateau of East Gansu Province; agriculture; ecological efficiency; spatio-temporal evolution; SBM; Qingyang City