

doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20200431

· 三农问题 ·

设施番茄化肥农药综合效益与产业效率研究^{*}

郝利^{1*}, 张卫¹, 姜鹏¹, 赵静娟¹, 李中才²

(1. 北京市农林科学院, 北京 100097; 2. 山东工商学院, 烟台 264005)

摘要 [目的] 通过分析中国设施番茄生产中肥料、农药投入状况与产量效益的关系, 研究设施蔬菜(以设施番茄生产为例)肥料农药施用的综合效益及主要生产要素效率, 评估设施蔬菜减肥减药的经济效益, 为科学开展“双减”工作提供理论依据。[方法] 对设施蔬菜生产的减肥减药效果进行经济评估, 现有文献中还没有成熟的方法和指标。文章采用《全国农产品成本收益资料汇编》中的数据作为研究的基础, 以全国21个省(市、区)设施番茄生产为评价单元; 构建了基于SFA的设施蔬菜要素贡献率计量经济模型, 分析了化肥、农药的技术效率; 提出以“双减产量系数”“双减经济系数”为指标, 评估设施蔬菜化肥农药“双减”经济效益; 同时, 结合设施番茄生产的经济效益, 研究了产业各要素综合变化规律; [结果] 十二五期间(2011—2015年), 中国各省(市、区)之间肥料农药用量差别很大(2015年化肥用量最大相差4.9倍, 农药用量最大相差3.9倍)。化肥用量呈下降态势, 农药使用量呈微增长态势。2015年设施番茄生产的单元技术效率达到很高水平(平均92.90%); 化肥、农药投入技术效率下降, 农家肥投入技术效率提高。[结论] 决策者要分类设定“双减”任务指标, 对于山东、内蒙、辽宁、浙江、宁夏等地区, 其化肥投入水平很高、化肥技术效率较低, 减肥的潜力大, 应该加大推进减肥提效的工作力度。对农药技术效率的分析, 也同样能够得出相似的结论。生产者应根据不同省市各要素投入效率, 合理调配要素投入结构; 肥料农药的供应商应根据决策者、生产者的目标调整和要素效率, 适时调整资源配置的市场规模 and 方向。

关键词 效率 双减评估 化肥 农药 设施番茄

中图分类号:F323.3 文献标识码:A 文章编号:1005-9121[2020]04260-13

0 引言

探寻一个地区、一个行业、一个生产单元的生产增长来源一直以来都是众多经济学者们所关注的核心问题。2010年以来中国蔬菜种植面积从1 899.9万 hm^2 增至2015年的2 168.3万 hm^2 , 增长14.1%, 总产量达到7.6918亿t, 单产达到3.547万 kg/hm^2 , 比2010年提高了3.5%。未来中国蔬菜产业将继续稳定发展, 预计到2020年全国蔬菜总产量将达到7.8780亿t, 2025年蔬菜生产总量将达到7.9832亿t^[1]。蔬菜产业的快速发展一方面来自于生产技术的变迁, 另一方面来自于要素投入效率的增长。而在技术水平一定情况下, 要素结构、数量的变动就会引发资源配置效率的变化, 进而促使产出变化。测度这种效率变化的棘手之处在于构建一个有效的生产函数, 进而探索各主要自变量对产出的影响程度。文章参照已有方法构建实证分析框架来研究设施蔬菜(以设施番茄生产为例)肥料农药施用的综合效益及主要生产要素效率问题。

化肥、农药是促进农业经济增长的重要投入要素, 设施蔬菜化肥、农药的施用强度要远高于粮食作物, 根据《全国农产品成本收益资料汇编2016》数据, 2015年设施番茄化肥费用和农药费用分别为6 560.7元/ hm^2 和3 510.75元/ hm^2 , 而3种粮食作物平均化肥费用和农药费用分别为1 980.45元/ hm^2 和

收稿日期: 2018-09-18

作者简介: 郝利(1969—), 男, 北京人, 研究员、博士。研究方向: 区域经济与农业技术创新。Email: haoli9090990@163.com

* 资助项目: 国家重点研发计划“设施蔬菜化肥农药减施增效技术集成研究与示范”(2016YED0201000)

437.25 元/hm², 相差 3.32 倍和 8.03 倍。同年, 农业农村部(原农业部)制定了《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》和《到 2020 年农药使用量零增长行动方案》。科技部启动了“十三五”重点研发计划“减肥减药”(双减)专项。化肥农药投入量的变化, 必将对蔬菜产业产生不可忽视的影响。从设施蔬菜种类分布来看, 番茄 81 万 hm² 占据首位, 其次是黄瓜 70.07 万 hm², 两者与辣椒、茄子、芹菜等 5 种种植面积占设施蔬菜总面积的 53%。文章试图以设施番茄生产为研究对象, 探索“双减”对其生产的影响。

有关要素效率、单元生产效率的研究方法主要有:(1)柯布—道格拉斯(C-D)生产函数法与索洛余值法(2)数据包络分析法(Data Envelope Analysis, 简称 DEA)(3)随机前沿法(Stochastic Frontier Analysis, 简称 SFA)。以经济计量方法来估计全要素生产率的基础是生产函数的经济计量估计, 而生产函数的计量估计并不是一个单方程的简单回归分析问题, 而是包括生产要素需求的联立方程体系的估计问题(林毅夫、任若愚, 2007)^[2]。傅晓霞、吴利学(2006)^[3]对随机前沿模型的特点、发展、对全要素生产率增长的分解及对中国生产率分析的研究成果进行综述。无论是 SFA 还是 DEA 法, 都是利用面板数据进行测量的, 这里实际上隐含了一个重要的假设是各个地方的生产函数(或生产前沿面)是相同的, 显然这个假设过于严峻(杨旭等, 2017)^[4]。当然每种方法都有其利弊、适用条件和分析目的, 不能简单地认为一种比另一种好, 必须根据具体问题和实际需要做出判断。这些方法或基于这些方法的改进在解释、测算中国经济增长及要素贡献与评价等方面得到广泛的应用(刘伟等, 2003; 魏大海、余玲铮, 2011; 王恕立、胡宗彪, 2012; 董敏杰、梁泳梅, 2013; 李兰冰、刘秉镰, 2015)^[5-9]。

在研究农业生产单元技术效率、要素效率等方面也得到了广泛的应用。Weiming Tian, Guang Hua Wan(2000)^[10]运用前沿生产函数测算了中国水稻、小麦和玉米的技术效率。L. A. Kurkalova, A. Carriquiry(2003)^[11]运用随机前沿生产模型计算了乌克兰集体农场投入的技术效率。王志平(2010)^[12], 刘玉凤(2014)^[13], 王琛、吴敬学(2015)^[14]等学者分别运用随机前沿法分析我国各地区的全要素生产率以及生产效率的区域特征、苜蓿生产优势省(区)的技术效率和全国省级玉米生产的技术效率。喻翠玲(2005)^[15], 钱静斐等(2014)^[16], 李然、风中朝(2010)^[17]分别运用 C-D 生产函数与索洛余值法测算了我国大豆、棉花、油菜生产的要素贡献。左龙飞、穆月英(2013)^[18], 王亚坤、王慧军(2015)^[19]运用数据包络分析方法分别测算了全国 27 个大中城市露地番茄生产的全要素生产效率值, 及我国设施蔬菜生产效率。

也有众多学者在肥料要素效率等方面开展了诸多有益的研究。William M Liefert(2005)^[20]研究认为俄罗斯从计划经济向市场经济转型期间, 农业物质投入尤其是化肥投入的效率在下降。杨增旭, 韩洪云(2011)^[21]用随机生产函数测算了我国小麦和玉米化肥施用的技术效率。李静, 李晶瑜(2011)^[22]使用随机前沿生产函数, 度量了我国粮食主产区 3 种粮食作物的化肥利用效率。曹芳萍, 沈小波(2012)^[23]基于随机生产边界分析方法, 对 1991—2009 年我国 30 个省(市、区)粮食生产部门全要素化肥效率进行了研究。史常亮等(2015)^[24]运用基于随机前沿方法的单一投入技术效率测度模型, 对 1998—2013 年全国 15 个小麦主产省的化肥投入效率进行测算。

基于随机前沿法的蔬菜农药施用效率测算结果表明, 减少农药施用的潜力非常大(Zhang, 2005)^[25]; 采用 DEA 分析不同区域农户的农药施用效率比较分析结果表明, 我国投入农药要素的总体转化效率普遍偏低, 不同区域农户在施用农药的技术效率方面差异明显, 且呈现出由东部沿海向周围递减的趋势, 因此增加了农产品的安全风险(王建华等, 2015)^[26]。Jean-Philippe Boussemart, Hervé Leleu, Oluwaseun Ojo(2016)^[27]研究不同剂量水平农药的作物耕作体系成本优势, 以探求更加环保的产出最大化方法。更多关于农药研究集中于利用二元 Logistic 模型分析农户用药行为意愿, 如米建伟、黄季焜等(2012), 李世杰等(2013), 吴雪莲等(2016)^[28-30]。

基于农业生产成本收益与综合经济效益指标是研究生产效益的主要方法。王明利(2003)^[31]测算了 1979—2001 年我国粳稻的成本收益情况; 杨金深(2006)^[32]研究绿色苹果与常规苹果在成本结构、产出结构、成本收益、生产效率及要素密集度等方面的差异; 彭克强(2009)^[33]依据稻谷、小麦、玉米在 1984—

2007 年的可比成本收益数据, 分别对各自平均实际收益与其主要影响因素之间的关系展开协整分析; 马晓河 (2011)^[34] 分析了 1998—2009 年 3 种粮食 (稻谷、小麦和玉米)、大豆、两种油料 (花生和油菜籽)、棉花、糖料、蔬菜等 6 类农产品的成本收益情况; 李首涵等 (2015)^[35] 采用了成本利润率和工日报酬两个经济指标来比较分析产业效益、农业生产项目效益和劳动工日报酬对中国粮食生产比较效益的影响。

已有研究主要集中于生产单元效率或要素技术效率的研究, 或是分析一个生产单元的技术效率, 或是从经济效益指标上分析产业效率, 无论在研究方法还是有关结论建议都具有非常重要的意义。但综合运用经济指标与技术效率计量模型开展研究, 进而得出有价值的结论与政策启示的并不多见。该文的贡献即在于, 一是构建了基于 SFA 的设施蔬菜要素贡献率计量经济模型, 进而分析化肥、农药的技术效率; 二是从综合经济效益指标分析入手, 研究其产业变化规律; 三是将两者结合进行分析如何更好地开展“双减”工作, 进而为农业绿色发展提供有力的理论与现实依据。

该文的后续结构安排是: 先是数据来源与现有肥料农药施用状况的事实分析; 之后是对设施番茄产量、利润等指标进行综合分析, 提出双减经济评估的主要指标; 第三是构建 SFA 计量模型, 并进行实证分析; 第四是对前述分析进行综合研判并得出政策启示。

1 设施番茄肥料农药施用现实

1.1 数据来源与替代转换

文中采用的数据主要来自国家发展和改革委员会价格司编写、中国统计出版社出版的《全国农产品成本收益资料汇编》(下文简称“资料汇编”), 数据年份是 2011—2015 年^①, 涵盖全国 21 个设施蔬菜生产的省份。

由于在各种统计资料中, 都没有设施番茄生产中农家肥、农药的用量数据, 而在“资料汇编”中有农家肥费用、农药费用的数据, 在变量分析中可以用其费用数据来替代农家肥、农药的用量数据。费用数据要除去物价指数的变化转换为替代用量的数据, 文中统一采用 2011 年 = 100 的价格指数^②, 统一进行转换后再进行分析。

2015 年是实施设施双减项目的起点年, 也就是原点和本底。通过对设施番茄肥料、农药利用情况的分析评估, 可以全面了解分析设施蔬菜的本底状况, 也可了解近几年肥料农药的使用效果。为下一步深入研究打好基础。文中的相关性分析和 K 均值聚类分析采用的是 SPSS19.0 软件, SFA 模型分析采用的是 Frontier4.1 软件。

1.2 2011—2015 年设施番茄肥料施用状况

如图 1 所示, 每公顷化肥用量 (折纯量, 下同) 差距较大。2015 年, 全国 21 省 (市、区) 设施番茄化肥平均用量是 768.9kg/hm²。河南、湖北、吉林 3 省化肥用量最多, 分别是 1 103.25、1 021.2 和 985.2kg/hm²; 青海、北京和内蒙古化肥用量最少, 分别是 225、396.3、397.8kg/hm²。用量最多的河南省是用量最少青海省的 4.9 倍。

对 2011—2015 年全国 21 省 (市、区) 设施番茄化肥用量每年的平均值进行 T 检验, 以 2015 年平均值为检验值, 结果如表 1 所示, P 值是 0.033, 小于显著水平 0.05, 具有显著性。因此, 就全国总体而言, 各省 5 年来的化肥用量普遍下降, 其中, 北京、内蒙古、黑龙江、浙江、安徽、河南、青海等地区各年度化肥用量均比 2015 年高, 其他各地区个别年度的化肥用量比 2015 年低。

如果以化肥施用费用为分类依据, 按 5 类进行 K 均值聚类分析, 第一类地区共 6 个 (吉林、江苏、上海、四川、陕西、青海); 第二类地区 2 个 (天津、黑龙江), 化肥用量最低; 第三类地区 4 个 (河北、

① 该数据现在已经更新, 该文分析只采用“十二五”期间的数据, 以便在论述过程中方便与其他阐述对接。
② 农药费用价格指数和农家肥费用价格指数分别采用《中华人民共和国国家统计局》公布的化学农药生产资料价格指数、其他农业生产资料 (除种子) 价格指数。

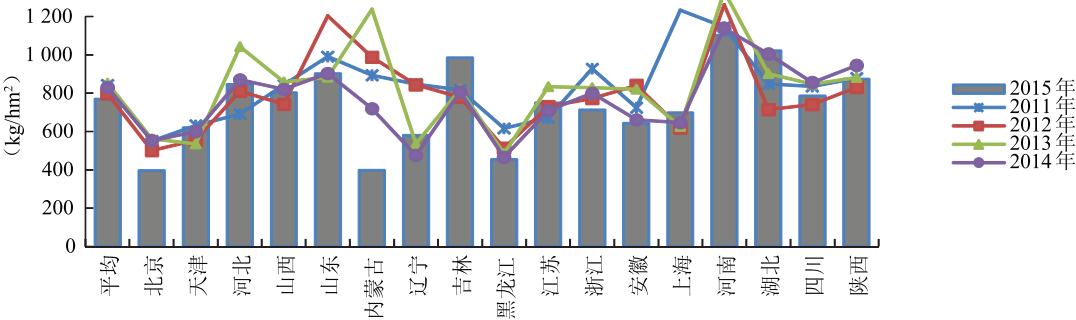


图 1 2011—2015 年设施番茄每公顷化肥折纯用量

表 1 2011—2015 年度化肥每年平均用量单个样本检验

检验值 = 768.9					
T	Df	Sig.（双侧）	均值差值	差分的 95% 置信区间	
				下限	上限
3.207	4	0.033	3.336 0	0.447 8	6.224 2

表 2 2015 年化肥投入费用 K 均值聚类成员分布情况

聚类别	1	2	3	4	5
聚类中心（元/hm ² ）	4 824.15	3 060.30	7 208.40	6 162.30	8 785.80
化肥投入	次少	最少	次高	次次高	最高
省份	吉林、江苏、上海、 四川、陕西、青海	天津、黑龙江	河北、安徽、湖北、 甘肃	北京、山西、河南、 新疆	山东、内蒙、辽宁、 浙江、宁夏

安徽、湖北、甘肃)；第四类地区 4 个(北京、山西、河南、新疆)；第五类地区 5 个(山东、内蒙、辽宁、浙江、宁夏)，化肥用量最高。如表 2 所示。

图 2 是 2011—2015 年各地农家肥使用情况，2015 年施用农家肥最多的是青海，其次是北京和山西；农家肥使用最少的是湖北，其次是上海和浙江。

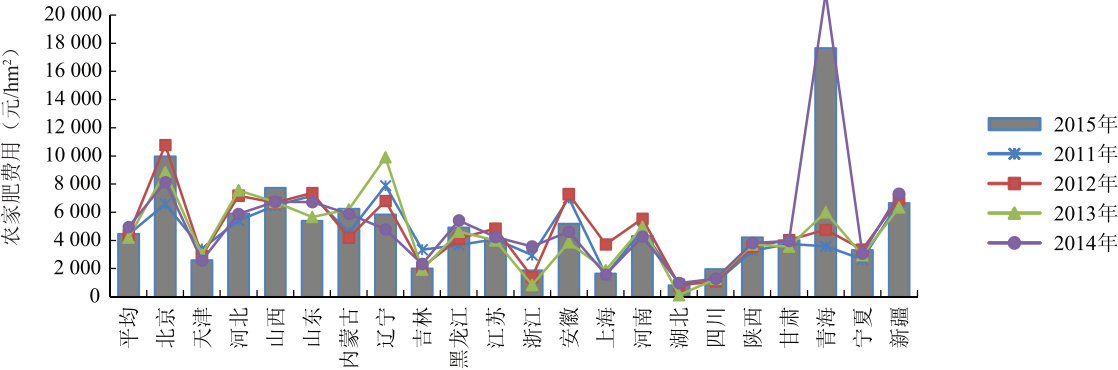


图 2 2011—2015 年设施番茄每公顷农家肥费用

从不同年度间比较看，北京、山西、内蒙古、四川、陕西、甘肃、宁夏农家肥使用量总体上成逐年递增，山东、上海农家肥用量有下降的趋势，天津、河南变化不明显，其他地区农家肥用量在个别年份下降。

将 2015 年化肥、农家肥施用情况进行比较并进行相关性分析如图 3、表 3 所示。虽然，化肥与农家肥费用相关系数为 -0.075，显著性为 0.748，大于 0.05，相关不显著；农家肥用量多的青海、北京，其

化肥用量相对较少；农家肥用量少的省份化肥用量较多。

1.3 2011—2015 年设施番茄化学农药施用状况

用调整后的费用（代用量）数据进行分析，如图 4 所示，这 5 年全国设施番茄农药平均费用为3 192.45 元/hm²。2012 年农药费用最高为 3 447.15 元/hm²，最低年份是 2011 年，为 3 127.95 元/hm²。最高和最低年份用药费用相差 9.2%。总的趋势是农药使用量没有减少，反而略增。农药用量总体下降的地区是北京、内蒙古、黑龙江、河南、青海，其中北京减少了 28.1%，内蒙古减少了 9.8%，黑龙江减少了 20.1%，河南减少了 16.9%，青海减少了 32.5%。农药用量总体增加的省份有河北、浙江，河北省增加了 24.8%，浙江增加了 33.1%。其他地区年度间互有增减。

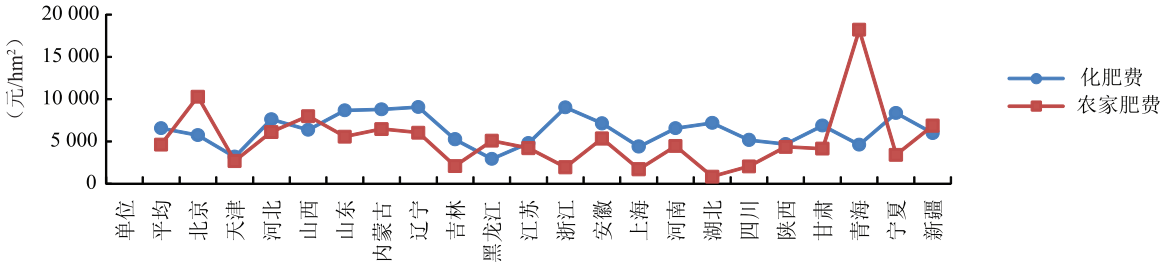


图 3 2011—2015 年设施番茄化肥与农家肥费用趋势比较

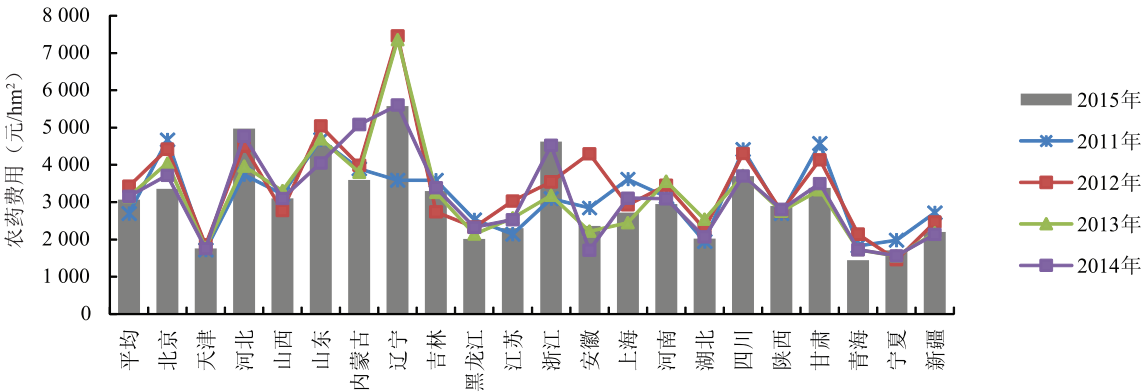


图 4 2011—2015 年设施番茄化学农药施用情况

2015 年农药用量最多的地区分别为辽宁、河北、浙江，用量最少的地区分别为青海、宁夏、天津。把 2015 年各省市农药平均费用数据进行 T 检验。以当年农药费用均值 3 073.2 元/hm² 作为检验值，呈现统计学差异极显著性，省际间化学农药的施用具有极显著的差异。用量最多的辽宁和最少的青海相差近 3.9 倍，如表 4 所示。

若以农药费用为分类依据，进行 K 均值聚类分析，依然分为 5 类，如表 5 所示。第一类包含 6 个地区（北京、山西、内蒙古、吉林、四川、甘肃）；第二类也包含 6 个地区（天津、黑龙江、湖北、青海、宁夏、新疆），农药用量最少；第三类包含 1 个省（辽宁）；第四类包含 5 个地区（江苏、安徽、上海、河南、陕西）；第 5 类地区包含 3 个（河北、山东、浙江），农药用量最高。

表 4 2015 年度各地区农药费用单个样本检验

	检验值 = 3 073.2				差分的 99% 置信区间	
	t	df	Sig. (双侧)	均值差值	下限	上限
2015 年农药费用	0.000	20	1.000	-0.003 3	-46.985 1	46.978 4

表 5 2015 年化学农药投入费用 K 均值聚类分析成员分布情况

聚类别	1	2	3	4	5
聚类中心 (元/hm ²)	3 603.45	1 967.4	5 899.5	2 801.1	4 980.3
农药投入	次次高	最少	最高	次少	次高
地区	北京、山西、内蒙古、吉林、四川、甘肃	天津、黑龙江、湖北、青海、宁夏、新疆	辽宁	江苏、安徽、上海、河南、陕西	河北、山东、浙江

2 设施番茄综合效益指标分析

上文分析了肥料、农药投入的变动情况，那么随着投入要素变化，产出是怎样的呢？研究从静态和动态两个维度分析产出的变化，静态分析是以单位面积产量、单位面积产值、单位面积净利润、成本利润率^①4 个指标来分析 2015 年的总体产出状况；动态分析是以双减经济系数、双减产量系数两个指标分析 2011—2015 年随着化肥、农药使用量变化其产出的变化情况。

2.1 静态分析

如图 5，2015 年设施番茄产量由高到低的顺序依次为新疆、内蒙古、山西、浙江、北京、黑龙江、辽宁、甘肃、四川、河北、吉林、河南、宁夏、青海、湖北、上海、天津、安徽、陕西、江苏、山东。最高产量为 9.952 1 万 kg/hm²，最低产量为 6.196 4 万 kg/hm²。产值最高的是辽宁 28.677 1 万元/hm²，其次是河北 24.511 5 万元/hm²、新疆 24.298 5 万元/hm²；最低的是浙江 11.646 9 万元/hm²，湖北 13.723 4 万元/hm²、安徽 15.108 4 万元/hm²。产值的高低与产品价格有很大关系，辽宁的番茄当年每公斤卖到 3.47 元，而浙江的番茄只卖到每公斤 1.37 元，相差 2.53 倍。

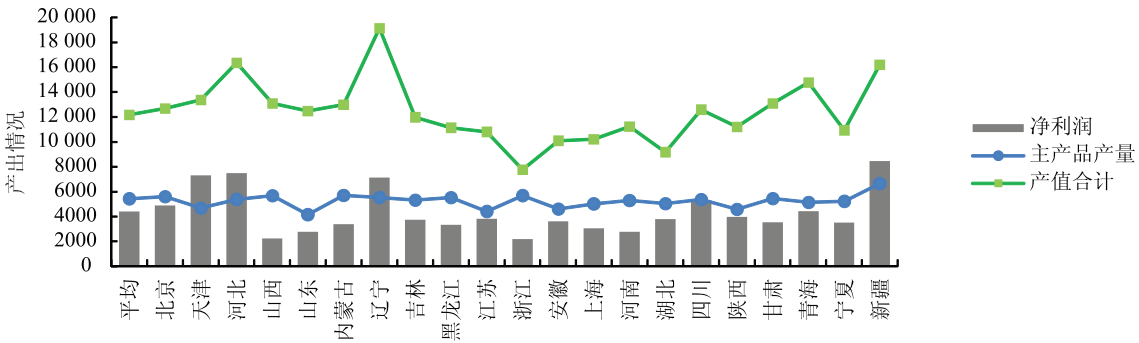


图 5 2015 年各地区设施产出情况

2015 年全国设施番茄生产的平均利润是 6.602 1 万元/hm²；利润最高的是新疆为 12.679 8 万元/hm²，其次是河北 11.216 0 万元/hm²、天津 10.939 1 万元/hm²；利润最低的省份是浙江为 3.282 1 万元/hm²，其次是山西、山东，分别为 3.355 9 万元/hm²、4.158 0 万元/hm²。最高利润和最低利润相差 3.86 倍。

图 6 是 2015 年我国各地的设施番茄成本利润率由高到低顺序，反映设施番茄生产中所消耗全部资源的净回报率状况。设施番茄平均成本利润率为 56.66%，最好的是天津（化肥、农药的用量最少），其次

① 成本利润率 = 净利润 ÷ 总成本 × 100%。

是新疆和河北；最差的是山西，其次是山东和河南。

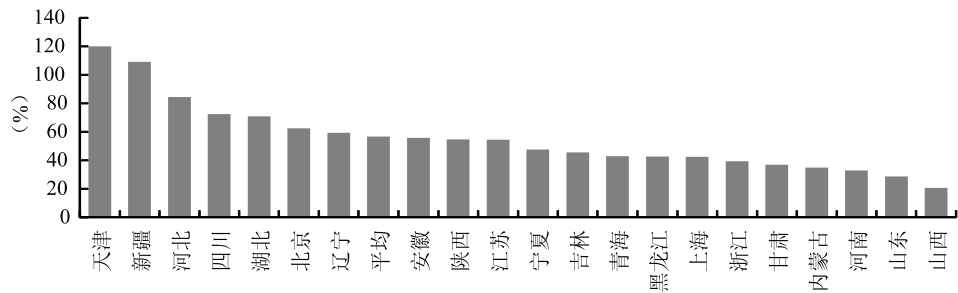


图 6 2015 年我国各地的设施番茄生产的成本利润率

在总成本不变的情况下，将产量、利润、化肥费、农药费、农家肥费进行偏相关分析，结果如表 6 所示。主产品产量与化肥、农药、农家肥的相关系数分别是 0.086、0.032、0.056，净利润与化肥费、农药费、农家肥费的相关系数分别是 -0.148、0.071、0.111，均不呈现显著性。而化肥费与农药费的相关系数为 0.568，而且呈现极显著水平 ($0.009 < 0.01$)，说明化肥用量越多，农药用量也越多。而农家肥费与农药费呈负相关 -0.485，且具有一定的显著性 ($0.030 < 0.05$)，说明农家肥的使用能够减少病虫害的发生，减少了农药的使用。可见减少化肥、增加农家肥施用能够提高番茄抗病虫性，进而也能进一步减少化学农药的使用，对确保质量安全具有重要的意义。

表 6 偏相关性分析结果

控制变量			主产品产量 (kg)	净利润 (元)	化肥费 (元)	农药费 (元)	农家肥费 (元)
总成本（元）	主产品产量（kg）	相关性	1.000	0.297	0.086	0.032	0.056
		显著性（双侧）	0	0.203	0.717	0.893	0.814
		Df	0	18	18	18	18
净利润（元）	净利润（元）	相关性	0.297	1.000	-0.148	0.071	0.111
		显著性（双侧）	0.203	0	0.533	0.767	0.641
		Df	18	0	18	18	18
化肥费（元）	化肥费（元）	相关性	0.086	-0.148	1.000	0.568	-0.284
		显著性（双侧）	0.717	0.533	0	0.009***	0.225
		df	18	18	0	18	18
农药费（元）	农药费（元）	相关性	0.032	0.071	0.568	1.000	-0.485
		显著性（双侧）	0.893	0.767	0.009***	0	0.030**
		Df	18	18	18	0	18
农家肥费（元）	农家肥费（元）	相关性	0.056	0.111	-0.284	-0.485	1.000
		显著性（双侧）	0.814	0.641	0.225	0.030**	0
		Df	18	18	18	18	0

2.2 动态分析

以双减产量系数、双减经济系数为指标分析化肥农药投入变化对产出的影响。双减产量系数是产量与化肥费用、农药费用之和的比值，双减经济系数是净利润与化肥费用、农药费用之和的比值，能直接简便地反映化肥和农药施用状况变化时，其经济效益的变化情况。

如图 7 是 2015 年的情况，总体看双减经济系数和双减产量系数的趋势基本一致。双减经济系数平均值为 6.56，排名由高到低的次序为天津 21.69、新疆 15.26、青海 10.86、黑龙江 9.82、河北 8.71、四川 8.71、江苏 7.87、北京 7.86、陕西 7.64、辽宁 7.13、吉林 6.42、上海 6.27、湖北 6.09、安徽 5.61、宁夏 5.18、甘肃 5.06、河南 4.30、内蒙古 4.01、山西 3.48、山东 3.09、浙江 2.36。值越高，说明化肥、农药减施的经济效益越好。

双减产量系数平均值为 8.05，排名由高到低依次为黑龙江 16.31、天津 13.95、青海 12.57、新疆

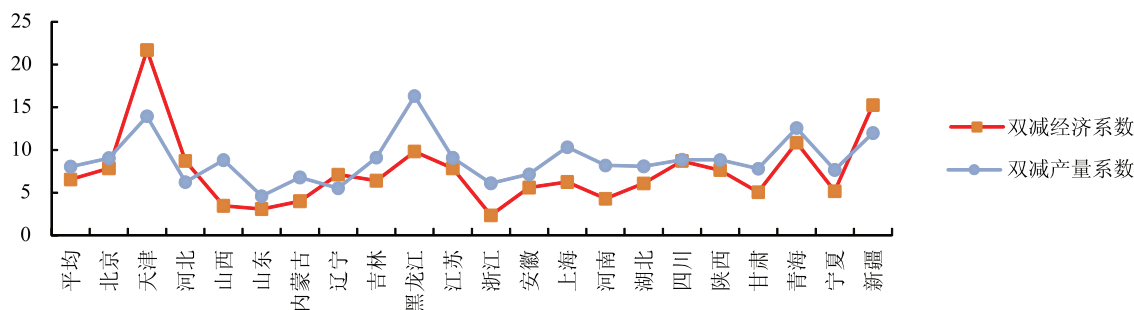


图7 2015年我国各地设施番茄双减经济系数和产量系数

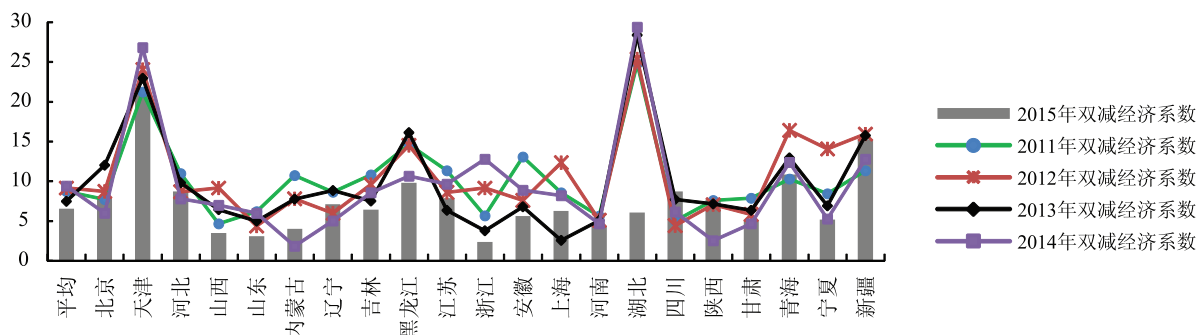


图8 2011—2015年我国各地设施番茄双减经济系数

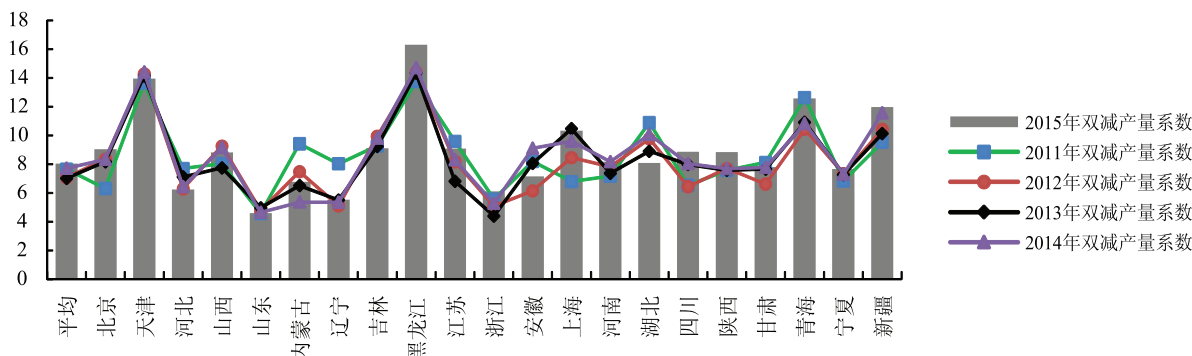


图9 2011—2015年我国各地设施番茄双减产量系数

11.98、上海10.32、吉林9.11、江苏9.09、北京9.04、四川8.86、陕西8.84、山西8.81、河南8.19、湖北8.09、甘肃7.81、宁夏7.67、安徽7.16、内蒙古6.79、河北6.25、浙江6.11、辽宁5.53、山东4.60。值越高，说明化肥农药减施的产量效果越好。

如图8，2011—2015年我国各地设施番茄双减经济系数平均值是下降的，均值是8.27，最高是9.41（2014年），最低是6.56。各省市的情况基本也多是呈现下降趋势，只有四川、陕西、新疆3省略有提高。可见这5年设施番茄施用化肥、农药的经济效益总体是下降的。

如图9，2011—2015年设施番茄双减产量系数略有增加，平均值为7.51，最低为7.02（2013年），最高为8.05（2015年）。与2015年相比，双减产量系数都增加的地区是北京、黑龙江、四川、陕西、新疆。仅有吉林、湖北两省的双减产量系数下降了。可见这5年化肥农药对产量的影响是正向的。从这5年来双减经济系数下降、产量系数略增的状况（比如黑龙江、山西等地）分析，生产者应该提高成本核算及市场竞争意识，更加紧密地与市场对接，以提高番茄生产的经济效益。

3 基于 SFA 的要素效率函数模型构建与实证分析

为深入分析肥料农药的投入效率，该研究基于随机前沿生产函数分析的思想方法构建计量模型，以测算肥料农药在设施番茄生产中的技术效率。

3.1 模型构建及推导

对解释变量的选取是模型构建的关键步骤，该文根据研究对象及生产实践，构建基本生产函数 $Y=f(F, M, C, O, L, \cdots)$ 。把影响产量的直接变量依重要性强弱次排序为：化肥费、农药费、农家肥费、人工成本、种子费、农膜费、机械作业费、排灌费、燃料动力费、技术服务费、工具材料费等；再按照一次项、二次项、交互项的次序依次进入模型，当出现多重共线性（单元效率值接近 0.99）时停止。则其超越对数生产函数构建为：

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln F + \beta_2 \ln M + \beta_3 \ln C + \beta_4 \ln O + \beta_5 \ln L + \beta_6 (\ln F)^2 + \beta_7 (\ln M)^2 + \beta_8 (\ln C)^2 + \beta_9 (\ln Olm)^2 + \beta_{10} (\ln L)^2 + (v - u)$$

其中， Y （Yield）代表设施番茄主产品的每公顷产量， F （Fertilizer）代表每公顷化肥的投入费用， M （farm Manure）代表每公顷农家肥的投入费用， C （Chemical pesticide）代表每公顷农药的投入费用， O （Other material cost）代表除了化肥费、农家肥费、农药费之外的每公顷其他物质费用， L （Labor cost）代表每公顷投入的人工成本。 β 为待估参数； v 表示生产中不可控因素； u 为无效率项。

为得到化肥的投入效率 EF，假设不存在无效率项，即令 $u=0$ ，保持 $M、C、O、L$ 不变，则单元生产将处于前沿面上，此时的主产品产出设定为 Y^c ，化肥投入为 f^c ，基本生产函数 $Y^c=f(f^c, M, C, O, L)$ 。则有：

$$\ln Y^c = \beta_0 + \beta_1 \ln f^c + \beta_2 \ln M + \beta_3 \ln C + \beta_4 \ln O + \beta_5 \ln L + \beta_6 (\ln f^c)^2 + \beta_7 (\ln M)^2 + \beta_8 (\ln C)^2 + \beta_9 (\ln Olm)^2 + \beta_{10} (\ln L)^2 + v$$

$\ln Y = \ln Y^c$ ，二式相减并整理后得到：

$$\beta_6 (\ln f^c - \ln F)^2 + (\beta_1 + 2\beta_6 \ln F) (\ln f^c - \ln F) + u = 0$$

$$\text{令 } \theta_F = \beta_1 + 2\beta_6 \ln F,$$

$$\text{化学肥料的技术效率 } E_F = \exp [(-\theta_F + \sqrt{-4u})/2\beta_6]$$

$$\text{农家肥的技术效率 } E_M = \exp [(-\theta_M + \sqrt{-4u})/2\beta_7]$$

$$\text{化学农药的技术效率 } E_c = \exp [(-\theta_c + \sqrt{-4u})/2\beta_8]$$

3.2 实证结果分析

在农业生产实践中，要素效率的变化在短时间内是不明显的，该文采用 2011 年和 2015 年“资料汇编”中的数据进行计量分析，运用 Frontier 4.1 软件，采用极大似然估计，结果如表 7 所示。

模型中 2011 年参数的统计显著性明显高于 2015 年，其中总体方差 δ^2 和参数 γ 均在 1% 水平上极显著，说明设施番茄生产中存在技术无效率的情况，可以采用随机前沿方法进一步分析要素投入的技术效率。 γ 值为 0.996 5，即在影响设施番茄产量的因素中，有 99.65% 是可以由模型中投入要素的效率来解释的，只有 0.35% 是由无法控制的随机因素引起的。根据模型进一步计算得到全国各地设施番茄生产的单元技术效率和肥料农药的技术效率，如表 8 所示。

2011—2015 年全国 21 个地区设施番茄生产的平均技术效率从 83.16% 增加到了 92.90%，增长了 9.7%。2015 年，新疆设施番茄生产的技术效率最高为 98.14%，江苏省的最低为 77.65%。陕西、河南的技术效率增长很快，分别增长 19.7%、19.1%；江苏、山东技术效率下降的较多，分别下降 4.5%。

2011—2015 年全国 21 地区设施番茄生产的平均化肥投入技术效率从 59.95% 下降到 42.57%，下降 17.38%；2015 年天津的技术效率最高为 82.19%，山东最低为 17.91%。同期，农家肥的技术效率从 39.40% 增加到了 94.96%，增长 55.56%；2015 年新疆为最高值 98.79%，江苏、山东的技术效率略低为

83.24%、84.56%，其余各地农家肥的技术效率均超过了 90% 以上。化学农药的平均技术效率从 66.00% 下降到 43.37%，下降 22.63%；2015 年新疆的农药效率最高为 84.46%，辽宁的最低为 21.26%。

把 2015 年化肥、农药投入技术效率按照 5 组进行 K 均值聚类分析，结果如表 9、表 10 所示。将表 9 与表 2 数据对比可以发现化肥投入最少的天津、黑龙江，其化肥投入的技术效率最高，而化肥投入最高的山东、内蒙、辽宁、浙江、宁夏，其化肥投入的技术效率最小或次小，其他地区也呈现相应的规律。

将表 10 与表 5 对比发现农药投入最高的辽宁，其技术效率最低；农药投入最少的天津、黑龙江、湖北、青海、宁夏、新疆，其技术效率最高或次高，其他地区情况也呈现相应的规律。从要素技术效率的视角看，减少化肥、农药用量、进一步提高技术效率，尚有很大的空间。

表 7 函数 $Y=f(F, M, C, O, L)$ 的随机前沿参数估计结果

变量	系数估计值		标准误	
	2011 年	2015 年	2011 年	2015 年
常数项	13.587 0	4.401 8	20.111 2	25.840 0
化肥	7.458 7 *	2.150 9	4.196 8	2.803 8
农家肥	1.740 2 **	-0.178 3	0.650 2	0.532 0
化学农药	-0.679 7	1.618 2	1.955 2	1.938 0
其他费用	-2.256 9	0.995 1	4.069 7	2.541 4
劳动用工	-5.317 0	-2.381 4	5.547 1	5.499 2
化肥二次项	-0.616 3 *	-0.182 6	0.348 4	0.237 5
农家肥二次项	-0.147 8 **	0.014 0	0.060 5	0.046 6
农药二次项	0.080 2	-0.151 8	0.183 3	0.181 2
其他二次项	0.145 5	-0.052 4	0.271 1	0.164 7
劳动二次项	0.313 6	0.136 8	0.354 3	0.332 7
δ^2	0.023 1 ***	0.015 0 **	0.006 2	0.008 1
Γ	0.996 5 ***	0.825 8 ***	0.015 4	0.248 0
对数似然函数 (Log likelihood function)	22.422 1		23.691 2	

*、**、*** 表示分别在 10%、5%、1% 水平上显著

表 8 2011 年、2015 年各地设施番茄部分要素投入技术效率 %

地区	单元技术效率		化肥投入技术效率		农家肥技术效率		农药投入技术效率	
	2011	2015	2011	2015	2011	2015	2011	2015
北京	81.76	90.08	39.83	44.20	25.15	93.85	67.36	37.50
天津	92.28	95.58	91.08	82.19	66.50	96.52	80.13	78.84
河北	79.38	95.75	55.87	39.31	28.66	97.16	60.92	27.64
山西	89.11	93.35	65.19	45.11	34.01	95.73	77.88	47.94
内蒙古	98.67	96.37	90.98	31.76	83.97	97.60	97.40	47.58
辽宁	89.22	94.18	65.85	27.70	26.33	96.08	78.83	21.26
吉林	91.45	94.82	84.45	60.04	64.90	95.67	83.14	48.32
黑龙江	97.24	93.43	96.04	77.73	82.20	95.43	93.80	67.42
上海	98.82	93.68	68.34	65.44	96.86	94.45	97.64	55.59
江苏	82.11	77.65	66.71	34.50	40.27	83.24	59.00	34.17
浙江	90.72	94.68	37.68	28.40	66.45	95.48	80.84	29.68
安徽	85.60	88.74	50.03	32.33	26.74	92.15	69.83	49.64
山东	82.84	78.29	27.85	17.91	23.62	84.56	69.23	16.84
河南	74.97	94.10	49.09	44.98	28.02	95.79	50.62	52.51
湖北	89.08	93.21	76.77	38.00	81.02	92.80	73.52	66.67
四川	92.54	95.54	78.29	63.35	85.99	96.26	86.16	43.53
陕西	66.93	86.61	46.68	46.95	29.48	90.24	33.22	38.04
甘肃	96.62	92.96	65.57	40.08	78.76	94.90	93.75	42.48
青海	93.25	92.31	89.56	59.57	67.70	95.67	83.03	73.58
宁夏	97.72	90.43	39.34	27.46	90.19	92.75	94.38	64.45
新疆	99.53	98.14	69.58	64.87	60.74	98.79	98.98	84.46
平均值	83.16	92.90	59.95	42.57	39.40	94.96	66.00	43.37

注：此处平均值不是各省（市、区）要素投入技术效率的加权平均数，而是根据各省（市、区）要素投入费用数据，由同一模型计算得到的效率值

表 9 2015 年化肥投入技术效率 K 均值聚类成员分布情况

聚类别	1	2	3	4	5
聚类中心（%）	17.9	80.0	30.4	42.7	62.7
化肥效率	最小	最高	次小	次次高	次高
地区	山东	天津、黑龙江	内蒙、辽宁、浙江、江苏、安徽、宁夏	北京、河北、山西、河南、湖北、陕西、甘肃	吉林、上海、四川、青海、新疆

表 10 2015 年化学农药投入技术效率 K 均值聚类成员分布情况

聚类别	1	2	3	4	5
聚类中心（%）	33.4	81.7	68.0	48.4	19.1
农药效率	次小	最高	次高	次次高	最小
地区	北京、河北、江苏、浙江、陕西	天津、新疆	黑龙江、湖北、青海、宁夏	山西、内蒙、吉林、上海、安徽、河南、四川、甘肃	辽宁、山东

4 结论与政策含义

该文从设施番茄生产的综合效益指标及要素技术效率相结合的视角，研究肥料、农药投入与产量效益的关系。表明“十二五”期间全国 21 省（市、）设施番茄化肥用量整体呈下降态势，各地区之间用量差距很大（2015 年相差 4.9 倍）；而化学农药的使用量年度间互有增减或呈现微增长趋势，各地区之间用量差距也很大（2015 年相差 3.9 倍）。K 均值聚类分析结果显示，肥料、农药用量分布情况与生产中基于土壤类型、气候因素、地理条件的自然区划（如按照环渤海、东北寒区、黄淮区、西北旱区、长江与华南区）并不一致，而与设施番茄生产管理水平、预期产量等人为因素的分布情况更趋一致。要求我们在设定“双减”任务指标、推进设施蔬菜化肥农药“零增长”工作中，要区别对待、分类指导，确保各项工作科学有效展开。比如，天津、黑龙江化肥投入数量最少，而技术效率又达到最高水平，减肥的潜力小，如果再继续加大推进“减肥”力度，可能会引起负面效应；而对于山东、内蒙、辽宁、浙江、宁夏，其化肥投入水平很高、化肥技术效率较低，减肥的潜力大，就应该加大推进减肥提效的工作力度。同样的措施也适用于化学农药的减量化工作。

管理部门的决策者关于“双减”任务指标的设定，又进一步影响着生产者的行为，直接关系着肥料、农药市场资源的配置以及相关金融产品的跟进。根据文中分析结果，各地区有关部门应及时引导市场，合理配置肥料农药资源，既保障生产者能及时获取生产资料，又不至于引起市场价格过大的波动。如辽宁、河北、山东、浙江化学农药用量已经达到很高的水平，其技术效率又很低，减施潜力大，就应想尽各种有力措施、加大减药工作力度，确保将农药用量降到科学合理的水平。并及时释放市场信号，引导市场调减农药配置数量。而对于农药用量较少、技术效率较高的天津、黑龙江、湖北、青海、宁夏、新疆，减施潜力小，就应审慎思考、稳步推进。在引导市场资源配置时就应分情况做好加、减法。同样的措施也适用于化肥资源的市场配置。

该文提出以“双减产量系数”“双减经济系数”为指标来研究双减的经济效果，既简洁又直观，为化肥农药“双减”经济评估工作提供了一个全新的视角。产量系数略增、经济系数下降，说明在设施蔬菜生产中生产者要不断提高成本核算意识、市场竞争意识、品牌意识，切实提高设施生产的利润率，这样才能达到节本降耗、既增产又增效的效果。湖北、山西、山东、吉林、浙江，就应通过各种途径加大对生产者的培训、宣传和产业化组织等工作，着力建设好产业经营体系，切实提高其经营水平。化肥、农药投入技术效率下降，农家肥投入技术效率增，也从另一个视角为减少化肥、农药用量、增加农家肥用量提供了理论依据。而肥料、农药投入的技术效率又与肥料、农药用量分析恰好耦合，两者可以很好的印证。施用

农家肥的抗病机理需要自然科学家进行深入研究,以期能够得到更有意义的科学发现。

考察各省(市、区)设施番茄生产单元技术效率,均已达到很高的效率水平(平均92.90%),受不可控因素影响很小(0.35%)。如果要进一步提高生产水平,其潜力应着眼于农业科技的进步,以提升整体单元的生产前沿面。新疆、内蒙古、河北、天津、四川等地应通过多种方式加大蔬菜生产技术推广力度,进一步提高生产技术水平。对于技术效率较低的江苏、山东,应主要从改变要素投入结构的角度推进工作,以达到同等投入产出增长的目的。对于陕西、河南等技术效率增长较快的地区,应深入分析和总结其经验模式,为其他地区的生产者提供有效的借鉴。同时,文中的分析结果为生产者决策提供了有效的科学依据。

参考文献

- [1] 农业部市场预警专家委员会. 中国农业展望报告(2016—2025). 北京: 中国农业科学技术出版社, 2016.
- [2] 林毅夫, 任若恩. 东亚经济增长模式相关争论的再探讨. 经济研究, 2007 (8): 4—12.
- [3] 傅晓霞, 吴利学. 随机生产前沿方法的发展及其在中国的应用. 南开经济研究, 2006 (2): 130—141.
- [4] 杨旭, 田艳慧, 郝翌, 等. 测算我国技术进步率及其经济增长贡献率的新方法. 数量经济技术经济研究, 2017 (7): 57—72.
- [5] 刘伟, 黄丽, 金玲. 我国经济增长中各要素贡献率的实证分析. 统计与决策, 2003 (7): 67—68.
- [6] 魏大海, 余玲铮. 中国全要素生产率变动的再测算与适用性研究——基于数据包络分析与随机前沿分析方法的比较. 华中农业大学学报(社会科学版), 2011 (3): 76—83.
- [7] 王恕立, 胡宗彪. 中国服务业分行业生产率变迁及异质性考察. 经济研究, 2012 (4): 15—27.
- [8] 董敏杰, 梁泳梅. 1978—2010年的中国经济增长来源: 一个非参数分解框架. 经济研究, 2013 (5): 17—32.
- [9] 李兰冰, 刘秉镰. 中国区域经济增长绩效、源泉与演化: 基于要素分解视角. 经济研究, 2015 (8): 58—72.
- [10] Tian W M, Wan G H. Technical efficiency and its determinants in China's grain production. Journal of Productivity Analysis, 2000, 13 (2): 159—174.
- [11] Kurkalova L A, Carriquiry A. Input-and output-oriented technical efficiency of ukrainian collective farms, 1989—1992: Bayesian analysis of a stochastic production frontier model. Journal of Productivity Analysis, 2003, 20 (2): 191—211.
- [12] 王志平. 生产效率的区域特征与生产率增长的分解——基于主成分分析与随机前沿超越对数生产函数的方法. 数量经济技术经济研究, 2010 (1): 33—43.
- [13] 刘玉凤, 王明利, 石自忠, 等. 我国苜蓿产业技术效率及科技进步贡献分析. 草业科学, 2014, 31 (10): 1990—1997.
- [14] 王琛, 吴敬学. 我国玉米产业生产技术效率与其影响因素研究——基于2001—2011年的省级面板数据. 中国农业资源与区划, 2015, 36 (4): 23—32.
- [15] 喻翠玲, 冯中朝, 李应生. 我国大豆产出增长的要素贡献率测度与分析. 中国农村经济, 2005 (9): 67—70.
- [16] 钱静斐, 李宁辉, 郭静利. 我国棉花产出增长的要素投入贡献率测度与分析. 中国农业科技导报, 2014, 16 (2): 160.
- [17] 李然, 冯中朝. 中国油菜单产增长要素贡献率分析. 中国油料作物学报, 2010, 32 (1): 152—155.
- [18] 左飞龙, 穆月英. 我国露地番茄生产效率的区域比较分析. 中国农业资源与区划, 2013, 34 (4): 64—68.
- [19] 王亚坤, 王慧军. 我国设施蔬菜生产效率研究. 中国农业科技导报, 2015, 17 (2): 159—166.
- [20] William M L. The allocative efficiency of material input use in Russian agriculture. Comparative Economic Studies, 2005, 47 (1): 214—223.
- [21] 杨增旭, 韩洪云. 化肥施用技术效率及影响因素——基于小麦和玉米的实证分析. 中国农业大学学报, 2011, 16 (1): 140—147.
- [22] 李静, 李晶瑜. 中国粮食生产的化肥利用效率及决定因素研究. 农业现代化研究, 2011, 32 (5): 565—568.
- [23] 曹芳萍, 沈小波. 我国粮食生产全要素化肥效率研究. 价格理论与实践, 2012 (2): 26—27.
- [24] 史常亮, 朱俊峰, 栾江. 我国小麦化肥投入效率及其影响因素分析——基于全国15个小麦主产省的实证. 农业技术经济, 2015 (11): 69—78.
- [25] Zhang T, Xue, B D. Environmental efficiency analysis of China's vegetable production. Biomedical and Environmental Sciences, 2005, 18 (1): 21—30.
- [26] 王建华, 刘苗, 王思瑶. 农药转化效率的考察: 25个省区的测度与比较. 农村经济, 2015 (2): 86—91.
- [27] Jean-Philippe Boussemart, Hervé Leleu, Oluwaseun Ojo. Exploring cost dominance in crop farming systems between high and low pesticide use. Journal of Productivity Analysis, 2016, 45 (2): 197—214.
- [28] 米建伟, 黄季焜, 陈瑞剑, 等. 风险规避与中国棉农的农药施用行为. 中国农村经济, 2012 (7): 60—71.
- [29] 李世杰, 朱雪兰, 洪潇伟, 等. 农户认知、农药补贴与农户安全农产品生产用药意愿——基于对海南省冬季瓜菜种植农户的问卷调查. 中国农村观察, 2013 (5): 55—69.

- [30] 吴雪莲, 张俊飏, 何可. 农户高效农药喷雾技术采纳意愿——影响因素及其差异性分析. 中国农业大学学报, 2016, 21 (4): 137-148.
- [31] 王明利. 我国粳稻生产成本收益分析. 农业技术经济, 2003 (2): 36-42.
- [32] 杨金深, 徐国良, 智健飞. 绿色苹果生产的投入产出与经济效益分析. 中国农村经济, 2006 (11): 35-41.
- [33] 彭克强. 中国粮食生产收益及其影响因素的协整分析——以 1984—2007 年稻谷、小麦、玉米为例. 中国农村经济, 2009 (6): 13-26.
- [34] 马晓河. 中国农业收益与生产成本变动的结构分析. 中国农村经济, 2011 (5): 4-11.
- [35] 李首涵, 何秀荣, 杨树果. 中国粮食生产比较效益低吗?. 中国农村经济, 2015 (5): 36-43.

STUDY ON THE COMPREHENSIVE BENEFITS AND INDUSTRIAL EFFICIENCY OF CHEMICAL FERTILIZER AND PESTICIDE IN GREENHOUSE TOMATO*

Hao Li^{1*}, Zhang Wei¹, Jiang Peng¹, Zhao Jingjuan¹, Li Zhongcai²

(1. Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China;

2. Shandong Institute of Business and Technology, Yantai, Shandong 264005, China)

Abstract Through the analysis of the relationship between the input of fertilizer and pesticide and the output benefit in the production of greenhouse tomato in China, this research study on the comprehensive benefit and main production factor efficiency of fertilizer and pesticide application in greenhouse vegetables (i. e. greenhouse tomato production), evaluate the economic effect of green vegetable by reducing fertilizer and pesticide, so as to provide theoretical basis for scientific 'double reduction' task. There were no mature methods and indicators in the existing literature for economic evaluation of the effect of reducing fertilizer and pesticide in greenhouse vegetable production. In this research, the data of "national agricultural product cost-benefit data collection" was used as the basis of the study, and the greenhouse tomato production of 21 provinces and cities in China was taken as the evaluation unit; Based on SFA, the econometric model of factor contribution rate of facility vegetables was built, and the technical efficiency of chemical fertilizer and pesticide was analyzed; evaluation of the economic effect of 'double reduction' of chemical fertilizer and pesticide in greenhouse vegetables, based on 'double reduction yield coefficient' and 'double reduction economic coefficient' as indicators; meantime, combined with the economic benefits of greenhouse tomato production, the law of comprehensive changes of industrial elements was studied; The results were showed as follows. During the 12th Five Year Plan period (2011-2015), the amount of fertilizer and pesticide used in various provinces and cities of China varied greatly (In 2015, the maximum difference between the use of chemical fertilizer and pesticide was 4.9 times and 3.9 times, respectively). The amount of chemical fertilizer decreased and the amount of pesticide increased slightly. In 2015, the unit technical efficiency of facility tomato production reached an extremely high level (average 92.90%). The technical efficiency of fertilizer and pesticide input decreased, and the technical efficiency of farmyard manure input increased. Policymakers should set up "double reduction" task indicators by classification. The investment of chemical fertilizer is extremely high, low efficiency of chemical fertilizer technology, and great potential for reduce fertilizer use, for Shandong, Inner Mongolia, Liaoning, Zhejiang, Ningxia and other provinces. So they should strengthen the work of reducing fertilizer use and improving efficiency. According to the input efficiency of various factors in different provinces and cities, producers should reasonably allocate the input structure of factors, and focus on the progress of agricultural science and technology to improve the frontier of unit production; Market allocation of fertilizer and pesticide resources should be adjusted according to the goals of policymakers and producers.

Keywords efficiency; double reduction evaluation; fertilizer; pesticide; greenhouse tomato