

DOI : 10.13872/j.1000-0275.2016.0064

史常亮, 郭焱, 朱俊峰. 中国粮食生产中化肥过量施用评价及影响因素研究 [J]. 农业现代化研究, 2016, 37(4): 671-679.

Shi C L, Guo Y, Zhu J F. Evaluation of over fertilization in China and its influencing factors[J]. Research of Agricultural Modernization, 2016, 37(4): 671-679.



## 中国粮食生产中化肥过量施用评价及影响因素研究

史常亮, 郭焱, 朱俊峰\*

(中国农业大学经济管理学院, 北京 100083)

**摘要:** 通过大量施用化肥获得高产是当前中国粮食生产中比较普遍的现象。基于 2004-2013 年省级农产品成本收益面板数据, 对我国三种主要粮食作物生产中的化肥过量施用程度进行测算, 并实证分析造成化肥施用过量的原因。结果表明, 目前中国粮食生产中的化肥施用量已经超过了其经济意义上的最优施用量, 无论是小麦、水稻还是玉米均存在过量施肥的现象; 玉米生产中的过量施肥程度平均达到 50.74%; 小麦和水稻生产中的过量施肥程度相对较轻, 分别为 27.26% 和 24.67%。农业劳动力非农转移、自然灾害和上一年粮食价格对农户化肥过量施用具有显著正向影响, 当前“咨询与经营相结合”的农技推广体系也在一定程度上导致了农户对化肥的过量施用; 而适当扩大粮食种植规模则有助于缓解化肥过量施用。为促进化肥减量施用, 除应用技术上的手段外, 还应当重视社会经济的调控作用。例如, 对当前大规模的农业劳动力非农转移进行适当干预; 推进基层农业技术推广机构改革, 改变目前“咨询与经营相结合”的农技推广体系; 发展农业保险, 提高农户的自然风险抵抗能力等。

**关键词:** 化肥; 过量施用; 利润最大化; 影响因素; 粮食作物

中图分类号: F326.11

文献标识码: A

文章编号: 1000-0275 (2016) 04-0671-09

### Evaluation of over fertilization in China and its influencing factors

SHI Chang-liang, GUO Yan, ZHU Jun-feng\*

(College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** It is normal to increase grain production by applying large quantity of fertilizer in China. Based on provincial level cost-benefit survey data of agricultural products from 2004 to 2013, this paper evaluated the over fertilization phenomena in the production of wheat, rice, and corn in China and also empirically analyzed the influencing factors of over fertilization. Results show that from the economic perspective, the fertilization quantity has passed the economic optimal level for all these three crops in China. Among them, corn producers are overusing fertilizer by up to 50.74%, wheat producers by up to 27.26%, and rice producers by up to 24.67%. Migration of rural labors, disaster area ratio, crop prices of previous year and the current extension service system have significant positive influences on the magnitude of over fertilization; while properly expansion of management scale does help to relieve this phenomenon. To decrease fertilizer application, this paper provides the following suggestions: improving fertilizer application technology, moderately intervening agricultural labor force transfer, reforming the current agricultural extension system, and developing and promoting agricultural insurance to increase farmers' risk resistance capacity.

**Key words:** chemical fertilizer; over fertilization; profit-maximization; influencing factors; grain crops

通过大量施用化肥获得高产是当前中国粮食生产中比较普遍的现象。根据国家统计局公布的数据, 自上世纪 80 年代化肥广泛使用以来, 我国农用化肥施用量 (折纯, 下同) 已经由 1980 年的 1 269.4 万 t 增加到 2013 年的 5 911.9 万 t, 占世界总用量的 35%; 每公顷耕地化肥施用量由 1980 年的 127.8 kg 增加到 2013 年的 437.4 kg, 是国际公认化肥施用安

全上限 225 kg/hm<sup>2</sup> 的 1.94 倍。不断增加的化肥施用量和过高的化肥施用强度给环境带来了压力。2010 年《第一次全国污染源普查公报》指出, 农业面源污染已成为中国水体污染的最大来源, 而种植业化肥施用是造成农业面源污染不断加重的重要原因之一<sup>[1]</sup>。

大量研究表明, 目前中国化肥施用量已经超过

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71273262); 粮食公益性行业科研专项 (201513004-2)。

作者简介: 史常亮 (1988-), 男, 甘肃张掖人, 博士研究生, 主要从事农业经济和资源环境研究, E-mail: scl2313@126.com; 通讯作者: 朱俊峰 (1969-), 男, 河南项城人, 教授, 博士生导师, 主要从事农业经济理论与政策研究, E-mail: zhujunf@cau.edu.cn。

收稿日期: 2015-11-02, 接受日期: 2016-04-08

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (71273262); Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201513004-2).

**Corresponding author:** ZHU Jun-feng, E-mail: zhujunf@cau.edu.cn.

**Received** 2 November, 2015; **Accepted** 8 April, 2016

了其经济意义上的最优施用量,但是,已有研究对中国农户化肥过量施用的程度还存在着较大争论。一些学者利用二次肥料效应函数来确定最优施肥量<sup>[2]</sup>,但是肥料效应函数只是一定条件下化肥增产效应的数量关系的反映,并且它将化肥作为粮食生产的唯一投入量,忽略了其他投入要素的作用。也有学者从技术效率的角度,通过计算农户最大可能的化肥减少量来间接反映化肥过量施用的程度<sup>[3-4]</sup>,但最大可能的化肥减少量是以农户达到技术有效为前提的,因此其测算的是一个上限值<sup>[1]</sup>。还有学者基于利润最大化原理,通过令化肥边际产值与化肥价格的比率等于1来确定最优施肥量<sup>[5-7]</sup>,同样存在不同研究间的结果差异很大、数据过于陈旧、调查数据尚不足以代表所在省的投入水平等问题。

对于造成化肥施用过量的原因,已有研究也没有形成一致性的结论。有研究认为,农户对于科学施肥知识和技能的缺乏是造成当前施肥水平过高的主要原因<sup>[8-9]</sup>。一些研究则强调了农户受教育水平对其化肥施用的影响:一方面,在接受了更多的教育之后,农户更容易采纳先进的施肥技术,从而减少化肥施用量<sup>[7]</sup>;但另一方面,也有可能因为受教育程度越高,对化肥作用越容易认可而在生产中更积极施用化肥<sup>[4]</sup>。还有一些研究发现,劳动力非农就业对农户化肥施用量增加具有较强的解释力,其原因一方面在于非农就业降低了农户施用有机肥的可能性<sup>[10]</sup>,农户通过追加化肥投入来替代劳动,使化肥施用量不断增加<sup>[7,11-12]</sup>;另一方面也在于非农就业带来的汇款流入降低了农户购买化肥时的资金约束,使其更有经济能力购买和施用化肥,从而多施肥<sup>[8]</sup>。此外,家庭经营耕地面积也会显著影响农户的化肥施用量。郑鑫<sup>[13]</sup>的研究表明,粮食生产中存在对氮肥施用的规模经济,农户的氮肥施用强度随种植规模的扩大而降低。潘丹<sup>[14]</sup>基于省级层面的研究同样发现,人均耕地面积对化肥施用强度具有显著的负影响。最后,农户对化肥的施用还取决于他们对待风险的态度<sup>[15]</sup>。仇焕广等<sup>[7]</sup>研究表明,农户风险规避程度越高,越倾向于过量施用化肥。张峰等<sup>[16]</sup>研究发现,曾遭受过自然灾害风险的农户,往往更倾向于在耕地上投入更多的化肥。

针对已有研究的不足,本文尝试使用省级层面的农成品成本收益面板数据,首先利用 Cobb-Douglas 生产函数以及利润最大化理论,从经济学角度对小麦、水稻和玉米三种粮食作物的化肥施用情况进行评价;然后建立面板计量模型,对影响化肥过量施用的主要因素进行实证分析,以期为国家

促进化肥减量施用提供现实数据支持和政策支撑。

## 1 研究方法

### 1.1 化肥过量施用经济学评价模型

尽管化肥施用过量的问题已经有不少文献涉及,然而如何定义这种过量,却并没有统一的标准。从经济学角度出发,按照西奥多·舒尔茨的“理性小农”理论,如果农户是有效率的经济单位,那么他在化肥投入上就会遵循边际产值等于市场价格的规律,而不会出现边际产值低于化肥价格的情况。因此,可以通过分析化肥的边际产值与化肥价格的比率是否等于1,来验证农户是否过量施肥。张林秀等<sup>[5]</sup>基于全国农产品成本收益调查数据,运用该方法对小麦、水稻和玉米 1984-2000 年的化肥过量施用情况进行了测算,本文在此基础上采用该方法对这三种粮食作物近十年的化肥施用情况进行评价,其基本步骤为:

首先,构造农业生产函数,以测算化肥的产出弹性。沿用以往文献的普遍做法,本文采用对数线性形式的 Cobb-Douglas 函数来估计中国粮食生产函数,其中包括 3 种传统的要素投入:劳动力、化肥和其他投入:

$$\ln Y_{m,it} = \beta_0 + \beta_1 \ln L_{m,it} + \beta_2 \ln F_{m,it} + \beta_3 \ln O_{m,it} + \beta_4 T + \mu_{m,i} + \varepsilon_{m,it} \quad (1)$$

式中:下标  $m=1, 2, 3$  分别表示小麦、水稻和玉米三种粮食作物,  $i=1, 2, \dots, n$  表示区域个体,  $T=1, 2, \dots, t$  为时间趋势,反映技术变化;因变量  $Y$  为三种作物的每  $1/15 \text{ hm}^2$  主产品产量;自变量包括:劳动投入  $L$ , 用每  $1/15 \text{ hm}^2$  用工(日)表示;化肥投入  $F$ , 用每  $1/15 \text{ hm}^2$  化肥折纯用量表示;其他投入  $O$ , 指除化肥费以外的所有物质与服务费用; $\beta$  为待估计参数向量; $\mu_{m,i}$  为地区虚拟变量,用于反映不可观测的个体效应; $\varepsilon_{m,it}$  为随机扰动项。

其次,计算化肥的边际产值  $\text{VMP}_f$ :

$$\text{VMP}_f = \frac{\beta_2 \times Y}{F} \times P_y \quad (2)$$

并检验化肥边际产值与化肥价格的比率是否为 1, 即检验下式是否成立:

$$\text{VMP}_f/P_f = 1 \quad (3)$$

式中: $\beta_2$  是化肥的产出弹性; $P_y$ 、 $P_f$  分别为三种粮食作物主产品价格和化肥价格。

最后,计算化肥最优施用量  $F'$ 。可通过令  $\text{VMP}_f/P_f=1$  变换得到:

$$F' = \frac{\beta_2 \times Y}{(P_f / P_y)} \quad (4)$$

基于(4)式测算出化肥最优施用量  $F'$  后,可进一步计算每 1/15 hm<sup>2</sup> 化肥过量施用量,等于实际施用量减去最优施用量,则化肥过量施用程度 FPT 可表示为:

$$FPT = (F - F') / F \times 100\% \quad (5)$$

### 1.2 化肥过量施用影响因素模型

从已有文献来看,化肥的过量施用可能与农户的收入水平、受教育程度、家庭劳动力数量、种植规模、增产压力、自然灾害、农技培训情况等有着直接的联系。因此,本文计量模型设定如下:

$$FPT_{m,it} = \alpha_0 + \alpha_1 income_{m,it} + \alpha_2 edu_{m,it} + \alpha_3 trans_{m,it} + \alpha_4 scale_{m,it} + \alpha_5 py_{m,it-1} + \alpha_6 disaster_{m,it} + \alpha_7 atech_{m,it} + \delta_{m,i} + \lambda_t + \omega_{m,it} \quad (6)$$

式中:下标  $i$  表示区域个体; $t$  表示时间; $m=1, 2, 3$  对应于小麦、水稻和玉米三种作物; $\alpha$  为待估计参数向量; $\delta_{m,i}$  和  $\lambda_t$  分别表示个体效应和时间效应; $\omega_{m,it}$  为随机扰动项;被解释变量  $FPT_{m,it}$  为基于(5)式测算得出的化肥过量施用百分比;解释变量包括如下影响因素:

1) 农户收入水平 (income)。化肥作为农业生产“必需品”,同时也是农户生产投入中最大的一项成本支出,其施用可能会受到农户收入的限制。本文用剔除物价因素后的农村居民家庭人均纯收入来反映收入对化肥支出的约束。

2) 农民受教育程度 (edu)。受教育程度也是影响农户化肥施用的一个重要变量。本文用农村劳动力人均受教育年限来反映农民受教育程度,它等于各级文化程度人口比重乘以该级受教育年限系数。其中,各级受教育年限系数按照不识字或很少识字、小学、初中、高中、中专、大专及以上依次取值 1、6、9、12、12 和 16 年。

3) 农业劳动力非农转移比例 (trans)。农业劳

动力的数量变化也会对化肥施用水平产生影响。我国目前没有权威性的农业劳动力非农转移比例的直接数据,本文借鉴童玉芬<sup>[17]</sup>的做法,从就业的角度估算中国农村每年转移的农业劳动力比例,等于乡村从业人员数量减去农林牧渔业从业人员数量然后再除以乡村从业人员总量。

4) 种植规模 (scale)。化肥投入存在一定的规模效应,粮食种植规模越大,往往化肥施用量反而越少。本文用户均播种面积来反映农户的规模经营效果,预期其符号为负。

5) 粮食上年价格 (py<sub>t-1</sub>)。农户之所以施用过量化肥,其中最主要的原因是期望获得高产<sup>[5]</sup>。本文用上一年粮食价格来反映增产压力对农户化肥施用的影响,预期其符号为正。

6) 农作物受灾情况 (disaster)。自然灾害所带来的潜在产量损失风险,会对农户化肥投入产生不利影响,预期其符号为正。

7) 农业技术推广情况 (atech)。技术培训对缓解农户过量施肥具有重要作用。在我国,县乡两级农技推广部门是推广体系的主体。参考杨增旭等<sup>[3]</sup>的做法,本文以各省平均每个乡镇的农业技术人员数来反映各省农技推广状况。

### 1.3 样本选取与数据来源

本文研究区间设定为 2004-2013 年。这是考虑到自 2004 年起,国家采取多项措施进一步规范化肥市场,推动化肥价格逐步走向市场化,期间化肥价格大幅上涨;同时启动实施了测土配方施肥补贴项目。这些背景下农户化肥施用行为如何变化值得关注。分析中提到的三种作物分别是小麦、水稻和玉米,其中水稻由于品种多样,包括了早籼稻、中籼稻、晚籼稻和粳稻 4 种,本文选取最具有代表性的粳稻进行分析。在区域个体的选取上,由于我国各地自然条件差异较大,不同作物在各省份的生长分布情况并不相同,本文针对每种作物选取相应的主要种植省份作为研究对象,并参照《中国化肥区

表 1 小麦、水稻、玉米主要种植省份的地区划分  
Table 1 Regional division of main planting provinces of wheat, rice and corn

区域	小麦	水稻 (粳稻)	玉米
东北地区	黑龙江	黑龙江、吉林、辽宁	黑龙江、吉林、辽宁
黄淮海地区	山东、河南、河北	山东、河南、河北	山东、河南、河北
长江中下游地区	江苏、安徽、湖北	江苏、安徽、湖北、浙江	江苏、安徽、湖北
华南地区	-	-	广西
北部高原地区	山西、陕西、内蒙古、宁夏	内蒙古、宁夏	山西、陕西、内蒙古、宁夏
西南地区	四川、云南	云南	四川、重庆、云南、贵州
西北地区	甘肃、新疆	-	甘肃、新疆



划》将全部样本划分为 7 个地区 (表 1)。

本文数据主要来自历年《全国农产品成本收益资料汇编》、《中国统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》和《中国科技统计年鉴》。其中,物质与服务费用和农村居民家庭人均纯收入均为当年价,使用各省相应年份的农业生产资料价格指数和农村居民消费价格指数折算为 2004 年不变价;化肥价格为其混合平均价,等于化肥费除以化肥用量;受灾率为受灾面积与总播种面积之比,在计算时,本文假定自然灾害在各种作物上是均匀分布的。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同作物化肥施用量与效率变化分析

图 1 显示了三种粮食作物在 2004-2013 年间的单位面积化肥施用量 (即化肥施用强度) 变化。从中可以看到,考察期间我国三种粮食作物的化肥施用强度都远远高于 225 kg/hm<sup>2</sup> 的化肥施用安全上限,其中水稻化肥施用强度最高,平均达到 377.54 kg/hm<sup>2</sup>;其次为玉米,平均为 332.99 kg/hm<sup>2</sup>;小麦化肥施用强度相对较低,为 326.82 kg/hm<sup>2</sup>。从变化趋势看,尽管年际间有所波动,但与 2004 年相比,2013 年所有作物的化肥施用强度都有明显的增加,其中小麦增长最为显著,年均增长 2.20%;水稻与玉米次之,年均分别增长 1.45% 和 1.70%。以上事实说明,为了达到高的单产,农民在一定程度上必须依赖化肥的高投入;并且近年来这种依赖性有增强的趋势。

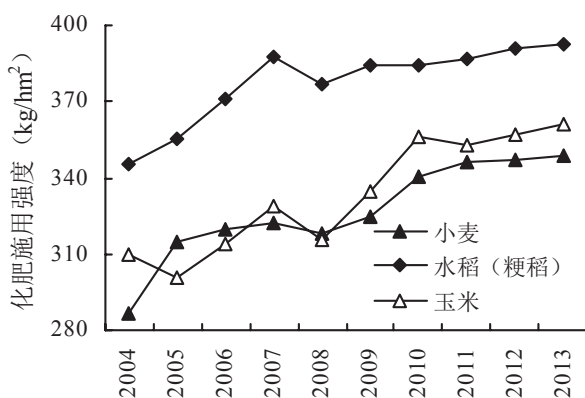


图 1 2004-2013 年不同作物化肥施用强度变动情况

Fig. 1 Variation of fertilization intensity of wheat, rice and corn

在化肥施用量不断增加的同时,化肥效率却在下降。化肥效率是指单位质量的化肥投入所能生产的作物籽粒产量。在不控制其他因素的前提下,化肥效率显示了化肥投入与粮食产出之间的比例关系<sup>[8]</sup>。与 2004 年相比,2013 年三种粮食作物的化肥效率从 19.59 kg/kg 下降至 18.33 kg/kg,下降 6.40%。

其中,小麦化肥效率从 16.29 kg/kg 下降到 14.42 kg/kg,下降了 11.46%;水稻化肥效率从 21.99 kg/kg 下降到 20.77 kg/kg,下降了 5.55%;玉米化肥效率从 20.48 kg/kg 下降到 19.80 kg/kg,下降了 3.29% (图 2)。三种粮食作物化肥效率都有不同程度的下降,意味着在现有条件下,单纯通过增加化肥投入已达不到其应有的效果。这与张利萍等<sup>[9]</sup>利用化肥增产弹性分析得出的结论相一致。

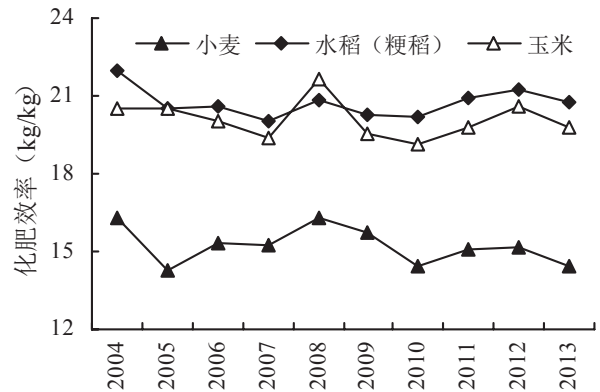


图 2 2004-2013 年不同作物化肥效率变动情况

Fig. 2 Variation of fertilization efficiency of wheat, rice and corn

### 2.2 生产函数估计及化肥过量施用测算

在处理面板数据时,需要首先确定是使用混合 OLS、固定效应还是随机效应模型。为此,对各生产函数分别进行面板设定 F 检验、Breusch-Pagan LM 检验和 Hausman 检验。此外,由于本文采用的是时间较短、地区较多的短面板数据,且不同地区间的差异极大,进行组间异方差的 Modified Wald 检验和组间截面相关的 Pesaran 检验,结果均强烈拒绝原假设,认为存在组间异方差和组间截面相关。因此,本文同时运用可行广义最小二乘法 (FGLS) 和面板校正标准误 (PCSE) 两种方法进行估计,结果见表 2。

从回归结果来看,FGLS 和 PCSE 的估计结果差异较小,说明模型结果对计量方法并不敏感,具有较好的稳健性。当检验所有模型估计化肥的产出弹性时,发现几乎每一种设定、每种作物所估计的弹性都很低,基本都在 0.1 以下。如果取所有估计值的平均数,大约是 0.078 3,略低于张林秀等<sup>[5]</sup>使用 1984-2000 年数据的估计值 0.105 1。这可能是由于其研究所采用的数据时期比本文早,是在总的化肥用量都较低的时期来估计单产和化肥投入之间的关系。

利用上面估计得到的化肥产出弹性,计算出化肥的边际产值以及与化肥价格的比率,进而检验这

表 2 生产函数回归结果  
Table 2 Estimation results of the production function

变量	小麦		水稻（粳稻）		玉米	
	PCSE 估计	FGLS 估计	PCSE 估计	FGLS 估计	PCSE 估计	FGLS 估计
log( 劳动投入 )	-0.067 9 (-1.06)	-0.055 2** (-2.01)	0.031 9 (0.58)	0.013 5 (0.40)	0.237 6*** (2.79)	0.280 5*** (4.64)
log( 化肥投入 )	0.109 1* (1.84)	0.119 9* (1.91)	0.040 3 (0.63)	0.076 2* (1.65)	0.050 9 (0.63)	0.071 7* (1.98)
log( 其他投入 )	0.078 2 (0.57)	0.024 6 (0.42)	0.103 8** (1.97)	0.087 9*** (2.64)	0.087 1* (1.68)	0.089 9** (2.32)
时间趋势	0.002 7 (0.51)	0.002 9* (1.80)	0.010 5** (2.52)	0.008 3*** (3.04)	0.022 9*** (4.35)	0.024 5*** (5.92)
常数项	5.054 8*** (7.28)	5.363 1*** (15.25)	5.352 2*** (16.80)	5.432 7*** (32.47)	4.887 1*** (13.79)	4.294 4*** (16.01)
固定省份	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
R <sup>2</sup>	0.877 5	-	0.806 1	-	0.835 8	-
样本数	150		130		200	
F 检验	13.94***		11.04***		22.43***	
BP-LM 检验	128.74***		50.00***		299.59***	
Hausman 检验	12.10**		10.86**		17.44***	
组间异方差检验	680.55***		903.34***		4 628.06***	
组间截面相关检验	5.012***		1.911*		3.989***	
组内自相关检验	0.223		1.614		0.074	

注：括号内数值为 z 统计量；\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平上显著。

个比率是否为 1 来验证农民是否在过量施肥。若小于 1，则意味着农户额外增加的一单位化肥支出高于其带来的产品产值，即化肥施用是过量的。从表 3、表 4 中可以看到，三种粮食作物化肥边际产值与化肥价格的比率介于 0.49 到 0.75 之间，均小于 1，并且检验这个比率与 1 不同的 t 统计量在 1% 显著性水平上显著。这意味着，农户无论是在小麦、玉米和水稻生产上，均存在过量施用化肥的现象。由于最优化肥施用量是使这个比率等于 1，因此利用估计的化肥边际产值和给定的化肥价格，我们可以求出最优施肥量，进而可以计算出三种粮食作物的化肥过量施用程度。从表 3 的最后一行中可以看到，三种粮食作物中，玉米生产中的过量施肥程度最为严重，达到 50.74%；小麦和水稻相对较轻，但也分别达到了 27.26% 和 24.67%。结合表 2 可知，玉米化肥过量施用程度最高是由于玉米的化肥边际产值要低于小麦和水稻，这与张林秀等<sup>[5]</sup>的分析结论一致。由于经济学最佳施肥量通常比农学最佳施肥量低，但高于环境学最佳施肥量<sup>[6]</sup>，因此上述结果虽然不能直接说明化肥施用在农学意义上是否过量，但至少从生态环境角度看是过量的。

表 5 显示了不同地区化肥过量施用程度的差异。可以看到：①玉米生产中的化肥过量施用程度在不同省份间的差异较小，另行计算的各省份总平均变

表 3 三种粮食作物的化肥产出弹性和化肥过量施用程度  
Table 3 Output elasticity of fertilizer and the ration of over fertilization of wheat, rice and corn

项目	小麦	水稻（粳稻）	玉米
化肥产出弹性	0.119 9	0.076 2	0.071 7
z 统计量	1.91	1.65	1.98
化肥边际产值与化肥价格比率	0.727 4	0.753 3	0.492 6
化肥过量施用百分比 (%)	27.26	24.67	50.74

注：化肥产出弹性和 z 统计量由表 2 中的 FGLS 估计得出。

表 4 对三种粮食作物化肥施用过量与否的自助法检验结果  
Table 4 Bootstrapping test of over fertilization of wheat, rice and corn

项目	小麦	水稻（粳稻）	玉米
预测值	0.708 3	0.724 7	0.490 7
95% 置信区间	[0.441 8, 0.974 8]	[0.352 4, 1.096 9]	[0.301 2, 0.680 3]
t 统计量	5.21	3.82	5.07
概率 P 值	0.000	0.000	0.000

注：种子数设为 10101，bootstrap 重复次数为 100 次。

异系数仅为 0.20，说明各省都普遍偏高。结合地区分布看，华南地区的广西壮族自治区化肥过量施用程度最高，达到 60.88%，主要原因是该地区的玉米单产水平偏低（低于平均值 21.51%），但化肥施用量却与平均水平相当，化肥效率低下。同样的例子还有西南地区 and 长江中下游地区。②水稻生产中的化肥过量施用程度在不同省份间的差异非常显著，相应的总平均变异系数高达 0.77。具体来看，黄淮海地

区的化肥过量施用程度最高, 达到 31.47%, 这与该地区化肥投入本身就很高 (高出平均值 25.03%) 有关。另外一个可能原因是这些地区的经济相对发达, 工业化程度高, 农民非农就业机会较多, 农民从事农业生产的机会成本高。为了集中精力从事非农活动, 农民倾向于增施化肥来减少对农业生产的劳动投入。这同样可以解释为什么长江中下游地区的单产水平低但化肥施用量却偏高。③小麦生产中的化

肥过量施用程度在不同省份间的差异也比较显著, 相应的总平均变异系数为 0.58。其中, 北部高原地区化肥过量施用程度偏高, 达到 35.25%, 原因同样与该地区的化肥效率低下有关。而黄淮海地区和长江中下游地区的化肥过量施用程度也高, 除了这些地区化肥投入本身就很高以外, 作为小麦生产中心的粮食增产压力大、农民非农就业机会多也可能是原因之一。

表 5 不同地区粮食单产、化肥实际投入及过量施用情况

Table 5 Yields, actual fertilizer application and the ration of over fertilization in different crops and regions

区域	小麦			水稻 (粳稻)			玉米		
	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	化肥投入 (kg/hm <sup>2</sup> )	过量比率 (%)	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	化肥投入 (kg/hm <sup>2</sup> )	过量比率 (%)	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	化肥投入 (kg/hm <sup>2</sup> )	过量比率 (%)
东北	3 951.03	168.00	0.75	7 722.59	311.22	16.95	6 808.46	309.98	53.99
黄淮海	6 104.24	389.99	28.83	8 052.49	472.09	38.93	6 731.50	301.36	47.92
长江中下游	5 414.57	326.81	29.24	7 292.78	357.15	27.35	6 003.93	336.62	53.65
华南	-	-	-	-	-	-	5 245.20	338.57	60.88
北部高原	4 812.44	387.88	35.25	8 275.90	381.99	17.43	7 196.91	341.66	47.56
西南	3 140.00	185.06	20.15	8 650.53	365.49	8.82	5 641.85	322.93	50.16
西北	5 262.13	331.13	26.35	-	-	-	9 205.34	409.52	48.24
均值	4 970.76	326.82	27.26	7 822.94	377.54	24.67	6 682.13	332.99	50.74
标准差	1 089.58	93.70	15.75	874.15	89.60	18.99	1 263.54	58.22	9.99
变异系数	0.219 2	0.286 7	0.577 8	0.111 7	0.237 3	0.769 7	0.189 1	0.174 8	0.196 8

### 2.3 化肥过量施用影响因素分析

从以上的分析可知, 由于某种原因, 当前农户施用的化肥已经远远超过利润最大化的点。接下来进一步确定是什么原因造成了农户对化肥的过量施用。同样采用 PCSE 和 FGLS 两种方法同时对式 (6) 进行估计, 结果见表 6。从表中可以看出, 各因素对不同作物化肥过量施用程度的影响存在较大差异。

1) 农业劳动力非农转移比例在水稻和玉米估计中显著, 但在小麦估计中不显著, 不过所有的模型中系数的符号都是正的, 说明农业劳动力非农转移在一定程度上导致了农户对化肥的过量施用。这与以往研究中劳动力非农转移促使农户在粮食生产中投入更多化肥的观点是一致的。

2) 反映农户种植规模的户均播种面积在三个模型中的系数符号均为负, 且至少在 5% 水平上显著, 符合理论预期, 证实了化肥投入规模效应的存在性。这是因为, 一方面, 种植规模越大, 农户各种投入要素的配置灵活度越高, 就越可能接近最佳配置点; 另一方面, 种植规模的扩大, 意味着农户兼业化行为的减少和对农业经营依赖性的增强, 为了获取更大的农业收益, 农户也会更加注重对化肥的合理施用。

3) 反映农村农技推广状况的乡镇农技人数除

了在玉米估计中通过了显著性水平检验外, 其余的系数都不显著, 但所有模型的系数都是正数, 与杨增旭等<sup>[3]</sup>的研究结论相一致。之所以出现这种结果, 与始于 20 世纪 80 年代中期的农技推广体系改革有一定的关系。这场以减少农技推广经费和鼓励自我创收为特点的改革, 对我国基层农技推广体系和机构造成了较大程度的冲击。在“自求生存”和“市场经济”的推动下, 部分农技人员离开原先的推广岗位转而从从事卖化肥、农药等商业经营活动<sup>[20]</sup>, 农户不仅很少或很难从农技推广人员那里得到科学施肥相关的信息; 相反, 由于推广的内容往往多是如何让农户多购买化肥, 无形中促使了农户过量施用化肥。

4) 在所有的模型中, 粮食上年价格的系数都显著, 而且符号为正, 说明上一年粮食价格对本期化肥施用具有显著的正向影响, 这符合理论预期。根据蛛网模型理论, 农户主要根据前一期的产品价格信息对本期生产投入进行决策。因此, 上一年的粮食价格越高, 农户要求增加产出的愿望就越强烈, 就越有可能在当期增施化肥以获得高产。

5) 农作物受灾情况也是本文所主要关注的一个变量, 分析发现, 在三种粮食作物估计中, 受灾率的系数都显著, 而且是正数, 与预期相符, 说明为了规避自然灾害带来的减产风险, 农户倾向于增



表6 化肥过量施用影响因素估计结果  
Table 6 Determinants of over fertilization of wheat, rice and corn

变量	小麦		水稻(粳稻)		玉米	
	PCSE 估计	FGLS 估计	PCSE 估计	FGLS 估计	PCSE 估计	FGLS 估计
农户人均纯收入	-0.0011 (-0.48)	-0.0020 (-1.25)	-0.0058 (-0.36)	-0.0048 (-0.59)	0.0050 (1.06)	0.0055 (0.59)
农民受教育程度	-0.4535 (-0.17)	-0.4931 (-0.25)	5.3570 (0.85)	3.1819 (1.13)	-6.0321 (-0.15)	-7.9873 (-0.25)
劳动力非农转移比例	0.4323 (0.65)	0.1122 (0.68)	1.0328*** (4.60)	0.7130*** (3.45)	0.2820*** (2.86)	0.1049*** (3.60)
户均播种面积	-2.7084** (-2.04)	-2.7520** (-2.28)	-2.3411** (-2.54)	-2.8784*** (-4.25)	-0.8812** (-2.16)	-0.7454** (-2.36)
粮食上年价格	18.1854* (1.75)	13.7610** (2.20)	17.9576** (2.12)	14.8134** (2.50)	8.2249 (0.89)	7.5531* (1.78)
受灾率	0.1004 (1.05)	0.1189* (1.81)	0.0262*** (3.57)	0.0313*** (3.73)	0.0764* (1.88)	0.0575** (2.11)
乡镇农技人数	0.0393 (0.22)	0.0101 (0.10)	0.2668 (1.58)	0.0095 (0.05)	0.0218** (2.17)	0.0245*** (2.82)
常数项	-31.4156 (-1.29)	-25.9685 (-1.34)	-75.7351** (-2.49)	-40.3975 (-1.54)	-31.4978 (-1.17)	-39.8047 (-1.58)
固定年份	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
固定省份	No	No	No	No	Yes	Yes
R <sup>2</sup>	0.6072	-	0.6283	-	0.7160	-
样本数	150		130		200	
F 检验	4.17***		9.27***		7.55***	
BP 检验	20.58***		50.21***		81.01***	
Hausman 检验	9.56		8.73		15.01*	
组间异方差检验	1755.22***		307.97***		755.27***	
组间截面相关检验	0.903		1.060		0.207	
组内自相关检验	3.409*		5.931**		5.605**	

注：括号内数值为回归系数的 z 统计量；\*\*\*、\*\*、\* 分别代表 1%、5% 和 10% 的显著性水平。

加化肥的施用量。这与风险规避程度越高的农户越倾向于过量施用化肥的观点一致。

在所有回归模型中，农民受教育程度均未通过显著性检验，且其系数符号在不同作物估计中有正有负，因此无法确定提高农民受教育水平是否会降低化肥过量施用。此外，农户收入水平对化肥过量施用也没有显著影响，这可能与当前农户几乎不存在对购买化肥的资金约束有关<sup>[13]</sup>。

### 3 结论

本文使用 2004-2013 年省级农产品成本收益面板数据，基于利润最大化原理，从经济学角度对小麦、玉米、水稻生产中的化肥施用情况进行评价。结果发现：

1) 目前，我国三种粮食作物的化肥施用强度都已远远超过 225 kg/hm<sup>2</sup> 的化肥施用安全上限。其中，水稻化肥施用强度最高，平均达 377.54 kg/hm<sup>2</sup>；其次为玉米，平均为 332.99 kg/hm<sup>2</sup>；小麦化肥施用

强度相对较低，为 326.82 kg/hm<sup>2</sup>。

2) 在化肥施用强度不断增加的同时，三种粮食作物的化肥效率却在下降。与 2004 年相比，2013 年三种粮食作物的平均化肥效率从 19.59 kg/kg 下降至 18.33 kg/kg，下降 6.40%。其中，小麦化肥效率下降幅度最大，下降 11.46%；其次是水稻和玉米，分别下降了 5.55% 和 3.29%。

3) 生产函数回归结果表明，小麦、水稻、玉米的化肥产出弹性分别为 0.119 9、0.076 2 和 0.071 7，这么低的弹性值意味着，当前我国粮食生产单纯依靠化肥来实现增产的空间已非常有限。进一步，通过检验化肥边际产值与化肥价格的比率是否小于 1，发现三种粮食作物在经济上都存在不同程度的化肥过量施用。其中，玉米生产中的过量施肥程度最为严重，达到 50.74%，且不同省份间的差异较小；小麦和水稻生产中的过量施肥程度相对较轻，分别为 27.26% 和 24.67%，但不同省份间的差异比较显著。

4) 对化肥过量施用影响因素的计量结果显示，

目前我国化肥施用过量,部分原因是由于劳动力非农转移增加了农业生产劳动力投入的机会成本,农户倾向于增施化肥以替代劳动;除此之外,当前“咨询与经营相结合”的农技推广体系、粮食增产的压力和规避自然灾害风险带来的减产损失也在某种程度上诱使了农户过量施用化肥。最后,由于化肥投入存在一定的规模效应,适当扩大粮食种植规模,对于缓解化肥过量施用具有积极作用。

#### 4 政策启示

一是对农业劳动力的非农转移进行有效干预。本文分析结论表明,化肥的过量施用与农村地区劳动力非农转移的增加正相关。因此,为促进化肥减量施用,政府就应该对那些劳动力转移程度高的农户和地区提供技术支持。例如,加强对留在农村的农户科学施肥知识和技能的培训;鼓励企业开发、生产节约劳动投入、肥料效果显著的有机肥料;积极引导土地向种粮大户和农民专业合作组织流转,促进农村土地适度规模经营等,以尽可能地避免或减轻劳动力非农转移对化肥过量施用的促进作用。

二是推进基层农业技术推广机构改革,完善现行农技推广体系。一方面,要改变目前“咨询与经营相结合”的农技推广体系,将农技推广与商业活动严格分离,消除农技推广部门直接开展以销售化肥、农药来创收的现象;另一方面,要提高基层农技推广工作者的人才地位,撤消其兼负的农资销售任务,使其能够集中精力搞好农业科技的推广工作,鼓励和支持乡镇农技人员开展化肥新品种、施肥新技术的研究试验和推广,加强对农民施肥技术的指导、服务和帮助。

三是发展农业保险,提高农户的自然风险抵抗能力。农户的过量施肥行为在一定程度上可以说是其在缺乏适当的风险规避措施情况下面对自然灾害风险的理性选择。因而,建立、健全农业保险体系,降低农业生产的不确定性,对农户进行风险规避知识培训,提高其风险管理能力,对促进化肥减量施用,从而减少农业面源污染、改善农业生态环境、降低农业生产成本都将起到积极作用。这对广大小规模经营农户而言,尤为重要。

#### 参考文献:

[1] 史常亮,朱俊峰,栾江.农户化肥施用技术效率及其影响因素分析——基于4省水稻种植户的调查数据[J].农林经济管理学报,2015,14(3):234-242.  
Shi C L, Zhu J F, Luan J. Fertilizing technical efficiency and its determinants: Based on rice farmers' data in four provinces[J]. Journal of Agro-Forestry Economics and Management, 2015,

14(3): 234-242.  
[2] 向平安,周燕,郑华,等.符合经济生态效益的农田化肥施用量[J].应用生态学报,2006,17(11):2059-2063.  
Xiang P A, Zhou Y, Zheng H, et al. Optimal chemical fertilizer application rate accorded with local economic and ecological benefits[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(11): 2059-2063.  
[3] 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[J].中国农业大学学报,2011,16(1):140-147.  
Yang Z X, Han H Y. Technical efficiency of fertilizer and its influencing factors: Based on wheat and corn empirical study[J]. Journal of China Agricultural University, 2011, 16(1): 140-147.  
[4] 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[J].农业现代化研究,2011,32(5):565-568.  
Li J, Li J Y. Fertilizer using efficiency of China's grain production and its determining factors[J]. Research of Agricultural Modernization, 2011, 32(5): 565-568.  
[5] 张林秀,黄季焜,方乔彬,等.农民化肥使用水平的经济评价和分析[C]//朱兆良,David Norse,孙波.中国农业面源污染控制对策[M].北京:中国环境科学出版社,2006:81-100.  
Zhang L X, Huang J K, Fang Q B. Economic assess and analyze of farmers' fertilization[C]//Zhu Z L, David Norse, Sun B. Policy for reducing non-point pollution from crop production in China[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2006: 81-100.  
[6] 林源,马骥.农户粮食生产中化肥施用的经济水平测算——以华北平原小麦种植户为例[J].农业技术经济,2013(1):25-31.  
Lin Y, Ma J. Calculating the economic levels of chemical fertilizer application in grain production: Case of wheat growers in Northern China plain[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2013(1): 25-31.  
[7] 仇焕广,栾昊,李瑾,等.风险规避对农户化肥过量施用行为的影响[J].中国农村经济,2014(3):85-96.  
Qiu H G, Luan H, Li J, et al. The impacts of risk aversion on farmer's households' behavior of overusing chemical fertilizers[J]. Chinese Rural Economy, 2014(3): 85-96.  
[8] 何浩然,张林秀,李强.农民施肥行为及农业面源污染研究[J].农业技术经济,2006(6):2-10.  
He H R, Zhang L X, Li Q. Rational fertilization and reduction of large-scale farmland pollution by rationalized fertilizer usage[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2006(6): 2-10.  
[9] Huang J, Hu R, Cao J, et al. Training programs and in-the-field guidance to reduce China's overuse of fertilizer without hurting profitability[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 63(5): 165-167.  
[10] 钟大洋,黄贤金,王柏源.非农业就业对农户施用有机肥的影响[J].中国土地科学,2011,25(11):67-73.  
Zhong T Y, Huang X J, Wang B Y. Impact of off-farm employment on the rural household's decision of using organic fertilizer[J]. China Land Science, 2011, 25(11): 67-73.  
[11] Ebenstein A, Zhang J, McMillan M S, et al. Chemical fertilizer and migration in China[R]. NBER Working Paper, No.17245, 2011.  
[12] 胡浩,杨泳冰.要素替代视角下农户化肥施用研究——基于全国农村固定观察点农户数据[J].农业技术经济,2015(3):84-91.  
Hu H, Yang Y B. Study on farmer's application of chemical



- fertilizer from the perspective of factor substitution: Based on the household data of national rural fixed observation point[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2015(3): 84-91.
- [13] 郑鑫. 丹江口库区农户氮肥施用强度的影响因素分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(5): 75-79.
- Zheng X. Influencing factors on the farmers' nitrogenous fertilizer use in Danjiangkou reservoir area[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2010, 20(5): 75-79.
- [14] 潘丹. 中国化肥消费强度变化驱动效应时空差异与影响因素解析[J]. *经济地理*, 2014, 34(3): 121-126.
- Pan D. The spatial-temporal difference of driving effects for fertilizer use intensity change and its determinants in China[J]. *Economic Geography*, 2014, 34(3): 121-126.
- [15] Paudel K P, Lohr L, Martin N R. Effect of risk perspective on fertilizer choice by sharecroppers[J]. *Agricultural Systems*, 2000, 66(2): 115-128.
- [16] 张锋, 胡浩. 农户化肥投入行为与面源污染问题研究[J]. *江西农业学报*, 2012, 24(1): 183-186.
- Zhang F, Hu H. Study on farmer's chemical fertilizer input behavior and non-point source pollution[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2012, 24(1): 183-186.
- [17] 童玉芬. 中国农村劳动力非农化转移规模估算及其变动过程分析[J]. *人口研究*, 2010(5): 68-75.
- Tong Y F. Dynamics of non-agricultural transfer of rural labor force in China[J]. *Population Research*, 2010(5): 68-75.
- [18] 李红莉, 张卫峰, 张福锁, 等. 中国主要粮食作物化肥施用量与效率变化分析[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(5): 1136-1143.
- Li H L, Zhang W F, Zhang F S, et al. Chemical fertilizer use and efficiency change of main grain crops in China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(5): 1136-1143.
- [19] 张利庠, 彭辉, 靳兴初. 不同阶段化肥施用量对我国粮食产量的影响分析——基于1952—2006年30个省份的面板数据[J]. *农业技术经济*, 2008(4): 85-94.
- Zhang L Y, Peng H, Jin X C. Analysis on the impact of agricultural fertilizer application on China's grain output at different stages: Based on panel data for 30 provinces in 1952-2006[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2008(4): 85-94.
- [20] 朱兆良, 孙波, 杨林章, 等. 我国农业面源污染的控制政策和措施[J]. *科技导报*, 2005, 23(4): 47-51.
- Zhu Z L, Sun B, Yang L Z, et al. Policy and Countermeasures to control non-point pollution of agriculture in China[J]. *Science & Technology Review*, 2005, 23(4): 47-51.

(责任编辑: 王育花)