

# 我国粮食生产中的化肥过量施用研究

李子涵 (中国农业科学院农业经济与发展研究所, 北京 100081)

**摘要** 基于2000~2014年我国粮食生产投入数据,建立C-D生产函数,根据利润最大化理论,即边际收益等于边际成本,测算了我国四大粮食作物生产中的化肥过量施用量。结果表明,稻谷、小麦和玉米生产中均存在不同程度的化肥过量施用,在此基础上提出我国应该加大农技推广宣传、大力推广测土配方施肥技术,引导农民科学、合理的施用化肥和农药,注意施肥施药的时机。同时,应调整化肥产品结构,大力发展有机肥。

**关键词** 粮食;化肥;过量

中图分类号 S-9 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)16-245-03

## Analysis of Fertilizer Overuse during Crop Production in China

LI Zi-han (Institute of Agricultural Economics and Development, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081)

**Abstract** Based on crop production input data from 2000 to 2014, fertilizer overuse in crop production was estimated by constructing Cobb-Douglas production function under profit maximization framework. It was indicated that fertilizers used in rice, wheat and corn were excessive. Thus, China should increase agricultural technology promotion, promote soil testing and formula technology, guide farmers to the scientifically and rationally apply fertilizer and pesticides, and adjust the structure of chemical fertilizer.

**Key words** Crop; Fertilizer; Overuse

1978年以来,我国的粮食产量从30 476.50万t上涨到2014年的60 702.61万t,上涨幅度近100%。特别是从2003年以来,实现了11年的连续增收,成为享誉国内外的“十一连收”。同时,粮食单产也从1978年的2 527.34 kg/hm<sup>2</sup>提高到2014年的5 385.13 kg/hm<sup>2</sup>,增幅达113%。值得注意的是,农业生产中的化肥施用量(折纯量)也在增加,从884.00万t增加至5 995.94万t,涨幅高达578%,远远超过了粮食产量及单产的增幅。

化肥投入是现代农业生产中的重要组成部分<sup>[1]</sup>。化肥施用量的大幅增加在我国农业的迅速发展过程中起到了非常重要的作用,促进了我国粮食生产产量及单产的快速增长,但是不可避免地,也带来了严重的环境污染问题<sup>[2]</sup>,以及生态环境破坏和温室气体排放增加等负面影响<sup>[3]</sup>。其中,氮肥的大量施用会导致地表水富营养化、地下水硝酸盐富集和酸雨形成等<sup>[4]</sup>。林源等<sup>[1]</sup>测算了华北平原小麦种植户的化肥施用的经济水平,张林秀等<sup>[6]</sup>在利润最大化框架下测算了玉米、小麦和水稻生产中的化肥施用的过量程度。已有的研究表明,目前我国化肥的施用量已经超过了经济意义上的最优施用量,我国农户化肥施用过量现象非常普遍,过量施用化肥导致农业增产效应下降,因此化肥的利用率较低<sup>[7-8]</sup>。笔者将利用我国四大粮食作物的投入产出数据,通过构建柯布道格拉斯(Cobb-Douglas)生产函数,分析我国四大粮食作物的化肥过量施用问题。

## 1 数据来源与模型构建

笔者分析所用的数据源自2001~2014年的《中国农产品成本收益资料汇编》,包括稻谷、小麦、玉米和马铃薯四大粮食作物的生产投入数据及单产数据。

首先,笔者建立柯布道格拉斯生产函数(C-D)测算化肥的产出弹性,然后,基于该结果计算出化肥的最优投入量

及过量施用量。

笔者构建C-D生产函数,以测算化肥的产出弹性,具体如下:

$$yield = a fertilizer^{\beta_1} labor^{\beta_2} pesticide^{\beta_3} machine^{\beta_4} irrigation^{\beta_5} seed^{\beta_6} \quad (1)$$

式(1)中,因变量 $yield$ 代表每公顷的粮食产量,自变量包括生产要素投入量,如化肥投入( $fertilizer$ ),劳动力投入( $labor$ ),农药投入( $pesticide$ ),机械投入( $machine$ ),灌溉投入( $irrigation$ )和种子投入( $seed$ )。 $\beta_1$ 即是化肥投入的产出弹性。

将公式(1)两边取对数,可将公式(1)线性化为:

$$\log(yield) = \alpha_0 + \beta_1 \log(fertilizer) + \beta_2 \log(labor) + \beta_3 \log(pesticide) + \beta_4 \log(machine) + \beta_5 \log(irrigation) + \beta_6 \log(seed) \quad (2)$$

根据利润最大化理论,农户获得收益最大化的条件是边际收益等于边际成本,此时,化肥对粮食产量的边际收益应等于化肥价格与粮食产出的价格的比值。即:

$$\frac{\partial yield}{\partial fertilizer} = \frac{P_{fertilizer}}{P_{crop}} \quad (3)$$

同时,基于公式(2)测算化肥对粮食产量的边际效应为:

$$\frac{\partial yield}{\partial fertilizer} = \beta_1 \times \frac{yield}{fertilizer} \quad (4)$$

利用利润最大化的式(3)和式(4),可得出单位面积化肥的最优施用量,即:

$$fertilizer_{optimal} = \frac{\beta_1 \times yield}{(P_{fertilizer}/P_{crop})} \quad (5)$$

最后,基于式(5)在计算出每公顷化肥最优施用量后,可进一步测算每公顷化肥的过量施用量。即:

$$fertilizer_{overuse} = fertilizer_{actual} - fertilizer_{optimal} \quad (6)$$

表1是上述式(1)~(6)中的变量定义与统计描述。可以看到,四种粮食作物的平均产量为10 503 kg/hm<sup>2</sup>,其中马铃薯产量最高,为23 488 kg/hm<sup>2</sup>,小麦的产量最低,仅为

5 214 kg/hm<sup>2</sup>。就农业生产的投入来看,四种作物的化肥平均施用量为 1 595 元/hm<sup>2</sup>,施用量最高的是马铃薯,为 1 889 元/hm<sup>2</sup>,稻谷的化肥施用量最低,为 1 448 元/hm<sup>2</sup>;在劳动力投入上,小麦最低,马铃薯最高,这是由于我国小麦的机械化程度较高,马铃薯生产的机械化程度较低;就机械投入来看,稻谷的机械投入最高,马铃薯最低;稻谷的农药投入

最高,玉米最低;灌溉投入中,小麦最高,马铃薯最低,这是由于马铃薯是耐旱作物,通常种植在自然环境较差的地区;马铃薯的种子投入最高,稻谷的投入最低。由此可以看出,马铃薯生产的灌溉与机械投入较低于其他三种粮食作物,但是化肥与劳动力投入要高于其他三种粮食作物。

表 1 模型变量定义与描述性

Table 1 Definition and description of model variable

	粮食作物 Grain crop	稻谷 Paddy	小麦 Wheat	玉米 Corn	马铃薯 Potato
单产 Unit yield	10 503.45(520.55)	6 748.95(22.75)	5 214(53.52)	6 562.5(41.45)	23 488.2(242.13)
化肥 Fertilizer	1 595.25(38.87)	1 447.5(28.27)	1 558.95(37.55)	1 485.9(31.11)	1 888.5(51.34)
劳动力 Labor force	3 825.2(141.44)	3 901.5(125.63)	2 642.85(92.69)	3 448.2(125.06)	5 348.25(161.62)
农药 Pesticide	239.4(13.21)	524.55(12.87)	157.35(4.29)	135.15(3.79)	140.25(4.51)
机械投入 Mechanical input	903.75(41.01)	1 215(52.85)	1 105.5(33.33)	699.75(31.27)	594.9(30.31)
灌溉投入 Irrigation input	253.5(6.75)	302.1(1.65)	350.85(7.07)	183.6(3.31)	177.3(4.64)
种子投入 Seed input	958.05(59.25)	443.85(14.39)	583.65(13.86)	492(13.95)	2 312.4(50.04)

注:括号内是标准差。除单产的单位是 kg/hm<sup>2</sup> 外,生产投入的单位均为元/hm<sup>2</sup>。

Note:Data in the brackets were standard deviation. Unit of yield per unit was kg/hm<sup>2</sup>;and the unit of production input was yuan/hm<sup>2</sup>.

## 2 回归结果与讨论

**2.1 对生产函数的回归结果** 笔者利用四种粮食作物的生产数据,采用普通最小二乘回归(OLS)对公式(2)进行了估计。估计结果如表 2 所示。第一列是对四种粮食作物进行的回归结果,第二至五列是分别对稻谷、小麦、玉米和马铃薯进行的回归结果。

结果表明,除对马铃薯进行估计的 R<sup>2</sup> 值较小外,其他模型估计的 R<sup>2</sup> 均较高,表明模型总体的拟合度较好。具体来看,就四种粮食作物的分析结果来看,化肥对粮食单产具有正向影响,即增加化肥施用量可以提高粮食产量,且化肥投入每增加 1%,粮食产出将提高 0.13%。此外,农药投入及种子投入也是影响粮食产量的重要因素,这两个变量显著且系数

为正,表明农药施用量及种子投入增加将有助于粮食产量的提高。相比之下,机械投入对粮食产量具有显著负向影响。

就稻谷生产而言,化肥对稻谷产量的提高并没有显著影响,劳动力投入和机械投入对稻谷产量的提高具有显著正向影响,而种子投入对稻谷产量的影响显著为负。就小麦生产来看,化肥对小麦的产量提高作用不显著,但是机械投入则可以显著提高小麦产量,同时,种子投入对小麦产量的影响也是显著为负。对玉米生产来说,化肥可以显著提高单位产出,且化肥投入增加 1%,玉米产量可以提高 0.37%。就马铃薯生产而言,化肥对马铃薯产量提高的作用同样不显著,但是灌溉投入却可以显著提高马铃薯产量,同时,种子投入对马铃薯产量提高的作用依然是负的。

表 2 C-D 生产函数回归结果

Table 2 Regression result of C-D production function

自变量 Independent variable	粮食作物 Grain crop	稻谷 Paddy	小麦 Wheat	玉米 Corn	马铃薯 Potato
劳动力 Labor force	0.155(0.107)	0.185** (0.070)	0.296(0.269)	0.034(0.072)	0.472(0.272)
化肥 Fertilizer	0.125(0.150)	0.065(0.081)	0.177(0.602)	0.371* (0.186)	0.135(0.208)
农药 Pesticide	0.255*** (0.055)	-0.129(0.087)	-0.305(0.434)	0.139(0.333)	0.091(0.092)
机械投入 Mechanical input	-0.497*** (0.069)	0.310** (0.122)	0.945** (0.299)	-0.265(0.211)	-0.182(0.097)
灌溉投入 Irrigation input	-0.072(0.092)	-0.145(0.122)	0.145(0.186)	0.136(0.116)	0.374** (0.121)
种子投入 Seed input	0.625*** (0.062)	-0.461** (0.156)	-1.146* (0.593)	0.152(0.133)	-0.593* (0.252)
常数 Constant	3.984*** (0.504)	5.928*** (0.430)	4.235** (1.595)	3.992*** (0.725)	6.416*** (0.910)
可决系数 Coefficient of determination	0.92	0.88	0.90	0.91	0.50

注:括号内是标准差。\*\*\*, \*\* 和 \* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的统计水平下通过了显著性检验。

Note:Data in the brackets were standard deviation. \*\*\*, \*\*, and \* indicated passing the significant test at 1%, 5% and 10% levels, respectively.

**2.2 化肥过量施用的测算结果** 表 3 报告的是根据四种粮食作物平均的化肥对产量的产出弹性(0.125)计算的化肥过量施用的测算结果。进一步地,结合数据中化肥对粮食产量的边际效应、化肥价格及粮食销售价格,基于式(5)和(6),计算出了化肥最优施用量以及化肥过量施用量。表 3 是各种粮食作物的化肥施用指标。

可以看到,平均来看,粮食作物的化肥的实际施用量略低于最优施用量,二者之差为 18 kg/hm<sup>2</sup>。具体来看,稻谷的化肥实际施用量比最优施用量低 24 kg/hm<sup>2</sup>,小麦的化肥实际施用量高于最优施用量 104 kg/hm<sup>2</sup>,玉米的化肥实际施用量也比最优施用量高,约为 54 kg/hm<sup>2</sup>,而马铃薯的化肥实际施用量比最优施用量低 204 kg/hm<sup>2</sup>。也就是说,我国小麦和

表 3 四种粮食作物化肥实际施用量、最优施用量与过量施用量情况

Table 3 The actual application amount, the optimal application amount, and overuse application amount of fertilizers of four grain crops

	实际施用量 Actual application amount	最优施用量 The optimal application amount	化肥过量施用量 Overuse application amount	最大值 The maximum value	最小值 The minimum value
四种粮食平均 Average of four grain crops	339.75	357.45	-17.55	134.40	-358.80
稻谷 Paddy	315.00	339.15	-24.15	45.00	-116.55
小麦 Wheat	340.80	236.55	104.10	134.40	26.25
玉米 Corn	318.30	264.60	53.70	103.65	-10.20
马铃薯 Potato	384.00	589.20	-204.00	-27.30	-358.80

玉米生产中的化肥存在过量施用的现象。

表 4 报告的是根据四种粮食作物各自的化肥对产量的产出弹性计算的化肥过量施用的测算结果。表 4 是四种粮食作物的化肥施用指标。可以看到,稻谷的化肥实际施用量比最优施用量高 117 kg/hm<sup>2</sup>,小麦的化肥实际施用量略低于

最优施用量,约 14 kg/hm<sup>2</sup>,玉米的化肥实际施用量比最优施用量低 496 kg/hm<sup>2</sup>,而马铃薯的化肥实际施用量比最优施用量低 302 kg/hm<sup>2</sup>。同样地,可以发现,稻谷生产的化肥施用存在过量现象。

表 4 四种粮食作物化肥实际施用量、最优施用量与过量施用量情况

Table 4 The actual application amount, the optimal application amount, and overuse application amount of fertilizers of four grain crops

	实际施用量 Actual application amount	最优施用量 The optimal application amount	化肥过量施用量 Overuse application amount	最大值 The maximum value	最小值 The minimum value
稻谷 Paddy	315.0	197.85	117.00	155.10	69.00
小麦 Wheat	340.8	354.90	-14.1	42.00	-110.70
玉米 Corn	318.3	815.85	-497.55	-314.55	-791.25
马铃薯 Potato	385.2	687.45	-302.25	-96.90	-489.15

### 3 结论与政策建议

通过建立柯布道格拉斯生产函数,在利润最大化理论框架下,利用《全国农产品成本收益资料汇编》中我国四大粮食作物的生产投入及产出数据,测算了我国四大粮食作物生产中的化肥最优施用量,并计算了化肥过量施用量。研究发现,就四大粮食作物平均来看,我国粮食生产中的化肥实际施用量已经接近最优施用量,如果继续增加化肥施用量,将不利于农户的产出及收入增加;就不同粮食作物来看,我国小麦和玉米生产中的化肥存在过量施用的现象,小麦的化肥施用量约为 7 kg/hm<sup>2</sup>,而玉米约为 3.6 kg/hm<sup>2</sup>。基于四大粮食作物各自的产出弹性系数计算的化肥最优施用量及过量施用量的结果来看,我国稻谷生产中的化肥施用存在过量现象,其值约为 7.8 kg/hm<sup>2</sup>。

化肥在促进粮食和农业生产发展中发挥了不可替代的作用,但目前我国的粮食生产中也存在化肥过量施用、盲目施用等问题,尽管基于两种回归结果计算得到的化肥过量施用量数值不尽相同,但是可以看到,我国粮食生产中存在着化肥过量施用现象。2015 年,农业部出台了化肥农药使用量零增长行动方案,其宗旨是到 2020 年,我国主要农作物的化肥农药使用量实现零增长。因此,可以适当减少稻谷、小麦和玉米生产中的化肥投入,这样不仅可以提高农户的农业产出及种植收入,也可以减少对环境的污染及温室气体排放。

基于上述分析结果,结合我国实际情况,提出以下政策建议:首先,应该加大农技推广宣传,开展农技培训和咨询服

务,积极推广科学施肥,提高农民科学施肥意识,并将先进的施肥技术及时进行推广。其次,应大力推广测土配方施肥技术,提高农民科学施肥的技能。再次,引导农民科学、合理的施用化肥和农药,注意施肥施药的时机,以提高施肥施药的精准性和利用率,更好地促进农业增收。同时,应调整化肥产品结构,大力发展有机肥,鼓励农民使用绿肥、农家肥来培肥地力。甚至可以在适合的地区推广减耕或免耕技术,减少农业生产中的化肥使用。

### 参考文献

- [1] 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.
- [2] HUANG J, ROZELLE S. Technological change: Rediscovering the engine of productivity growth in China's agricultural economy[J]. Journal of development economics, 1996, 49(2):337-369.
- [3] 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.
- [4] ZHU Z, CHEN D. Nitrogen fertilizer use in China-contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies[J]. Nutrient cycling in agroecosystems, 2002, 63(2/3):117-127.
- [5] 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.
- [6] 张林秀,黄季焜,乔方彬. 农民化肥使用水平的经济评价和分析[M]//朱兆良. 中国农业面源污染控制对策. 北京:中国环境科学出版社,2006:81-100.
- [7] 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):165-175.
- [8] 冯志文. 化肥面源污染的评估及其对策分析[D]. 扬州:扬州大学,2010.
- [9] 杜亚静,牛路阳. 农药化肥政策中的收益成本分析[J]. 安徽农学通报,2006,12(7):8-9.