

粮食生产中化肥施用对环境的影响分析研究

——以重庆市为例

洪业应^{1,2}

1. 中共重庆市涪陵区委党校, 重庆 涪陵 408000

2. 中共西藏昌都市委党校, 西藏 昌都 854000

摘要: 化肥施肥是保障国家粮食稳产、高产的重要措施,但化肥施用量不断提高也带来了水体、土地等环境污染问题。文章运用计量经济学模型和比较分析法对重庆市1978~2012年的粮食生产中化肥施用对环境的影响进行实证分析。结果表明:单位面积粮食产出的化肥施用边际效益以年均1.5%的速度下降,化肥施用的环境成本则以年均8.40%的速度增长。粮食产量、化肥施用环境成本与化肥施用量存在显著的正相关,即农用化肥施用量每提高1个百分点,粮食产量提高0.11个百分点,环境成本提高1.63个百分点。研究揭示了在欠发达的岩溶山区对于化肥的合理施用和生态环境预警具有重要意义。

关键词: 化肥; 粮食生产; 环境

中图分类号: S143;[S19]

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2016)02-0214-05

The Effect of Fertilization on Grain Output and Environment

——A case of Chongqing City

HONG Ye-ying

1. The Communist Party of China Chongqing Fuling prefectural District School, Fuling 408000, China

2. The Communist Party of China Tibet Changdu prefectural District School, Changdu 854000, China

Abstract: Fertilization is one of the important measures to safeguard national grain high yield but it is found an increasing amount to bring some environmental pollution problems such as water, land. This paper used the econometric model and the empirical analysis to demonstrate the effect of fertilization on the grain production and environment in 1978~2012 in Chongqing City. The results showed that the grain yield per unit area of the fertilizer input marginal benefit declined at an annual rate of 1.5%; environmental cost of fertilizer application increased at an annual rate of 8.40%. There was a strong correlation among grain yield, fertilizer and agricultural chemical fertilizer cost to the environment, namely each one percentage point of agricultural fertilizer increased with 0.11 percentage of grain yield growth and the environmental cost growth 1.63 percentage. Study revealed it was important to use chemical fertilizers and protect an ecological environment in karst mountainous areas.

Keywords: Fertilizer; grain production; environment

相关资料研究表明^[1],化肥的有效施用是粮食增产最主要途径。因此,研究粮食生产中化肥投入情况具有重要的现实意义。学术界对粮食产出与化肥投入之间的关系做了大量研究并取得了重要成果,研究主要集中在:(1)粮食生产中施用化肥的意义研究^[2]。(2)经济发展与农业非点源污染的关系研究^[3-6]。(3)关于施用化肥对环境污染的影响研究^[7-9]。纵观国内外研究成果表明,学术界关于化肥的相关问题研究较多,但是缺乏基于环境约束的视角来探讨粮食增长中化肥投入分析等方面的研究;也缺乏粮食生产过程中的资源环境损失成货币价值计算。化肥施用是保障国家粮食稳产、高产的重要举措;然对化肥施用量不断提高带来的对水体、土地等环境污染问题值得积极关注。因此,文章考虑粮食生产中的化肥环境成本,运用计量经济学统计方法和比较法分析重庆市粮食生产中化肥施用投入的环境成本价值,实证分析重庆市粮食、环境成本与化肥施用量之间的关系,并提出应走科学发展之路,积极转变农业发展方式等几方面的思考与建议。

1 材料与方法

1.1 区域概况

重庆市地处长江上游三峡库区,是我国西南岩溶山区的典型,其岩溶面积为 $3.28 \times 10^5 \text{ km}^2$,占全

收稿日期:2014-08-20

修回日期:2014-09-13

作者简介:洪业应(1985-),男,讲师,研究方向为人口资源环境经济学. hyeying123@163.com

数字优先出版:2016-04-04 <http://www.cnki.net>

市国土面积的 39.71%；山地和丘陵地貌占全市国土面积的 94.00%，重庆人多地少、山高坡陡，“巴掌田”、“鸡窝地”居多，农业生产条件差，生态环境脆弱等问题仍然十分突出^[10]。在重庆直辖以来，农业取得了长足发展，但也由此带来了农业环境问题的凸显，其中农业非点源污染在相当时期内已成为制约农业循环经济发展的重要因素之一^[11]。2012 年重庆市粮食产量为 11.38×10^6 t，农用化肥施用量达到 96.02×10^4 t，粮食播种面积为 2.26×10^6 hm²，粮食单位面积产量达到 5.04×10^3 kg/hm²，单位面积化肥施用量为 5.04×10^2 kg/hm²。

1.2 材料来源

选取 1978~2012 年重庆市 30 a 来的相关数据做为研究时间段，选取的变量包括：化肥、粮食产量、粮食播种总面积、粮食化肥施用量、粮食每公顷化肥施用量。其中粮食化肥施用量按照农用化肥施用量的 50% 计算获得^[2]，粮食每公顷化肥施用量按照粮食化肥施用量与粮食播种总面积的比值来测算，研究的数据来源于 1986~2013 年《重庆市统计年鉴》。

1.3 试验方法

为探讨变量之间的计量关系，选用回归分析法进行检验。为消除异方差对方程模拟估计结果的影响，将方程两边取对数进行处理。为此，进行模型设计，公式如下^[14]：

$$\text{Ln}y_i = \begin{cases} C_0 + C_1 \text{Ln}x_i + v \\ C_0 + C_1 \text{Ln}x_i + C_2 \text{Ln}x_i^2 + v \end{cases} \quad (1)$$

(1) 式中，Ln y_i 表示粮食产量 (10⁴ t)； C_0 表示常数项； C_i 表示回归方程系数； x_i 表示农用化肥施用量 (10⁴ t)； v 为随机误差项。

2 结果与分析

2.1 化肥投入与粮食产出的关系分析

2.1.1 化肥施用量与粮食产量的关系 改革开放以来，重庆粮食产量一直处在稳步波动提升状态。其中，90% 以上主要是水稻产量。粮食产量从 1978 年的 8.14×10^6 t 增长到 2012 年的 11.38×10^6 t，增加了 3.23×10^6 t，年均增长率为 0.99%；农用化肥施用量从 1978 年的 21.63×10^4 t 增长到 2012 年的 96.02×10^4 t，增加了 74.39×10^4 t，年均增长率为 4.62%，农用化肥施用量年均增长率要远大于粮食产量的年均增长率（表 1）。

表 1 重庆市 1978~2012 年粮食产量与农用化肥施用量情况

Table 1 The grain yield and agricultural chemical fertilization in Chongqing City from 1978 to 2012

年份 Year	粮食播种总面积 (10 ⁴ hm ²)(1) The total areas of grain(10 ⁴ ha)(1)	粮食产量 (10 ⁴ t)(2) Yield(10 ⁴ t)(2)	粮食单位产量 (kg/hm ²)(3) Yield per ha(3)	化肥施用量 (10 ⁴ t)(4) Amount of fertilizer(10 ⁴ t)(4)	粮食化肥施用量 ×50%(10 ⁴ t)(5) Food consumption of fertilizers×50%	每公顷施肥量 (kg/hm ²)(6) Fertilization per ha(5)/(1)×1000(6)	化肥粮食单产投入 产出比率(3)/(6) Ratio of yield and fertilization
1978	317.72	814.71	2564.22	21.63	10.82	34.04	75.33
1980	304.82	835.43	2740.74	29.22	14.61	47.93	57.18
1985	274.85	948.97	3452.69	31.76	15.88	57.78	59.76
1995	287.69	1153.68	4010.22	62.02	31.01	107.79	37.20
1996	288.98	1172.14	4056.08	65.55	32.78	113.41	35.76
1997	288.19	1184.63	4110.58	69.64	34.82	120.82	34.02
1998	290.07	1155.36	3983.10	71.18	35.59	122.70	32.46
1999	286.21	1143.05	3993.69	71.03	35.52	124.09	32.18
2000	277.34	1131.21	4078.78	72.00	36.00	129.80	31.42
2006	215.55	808.40	3750.41	80.54	40.27	186.82	20.07
2007	219.58	1088.01	4954.96	84.32	42.16	192.00	25.81
2008	221.54	1153.20	5205.36	88.14	44.07	198.93	26.17
2009	222.95	1137.20	5100.71	91.17	45.59	204.46	24.95
2010	224.39	1156.13	5152.35	91.82	45.91	204.60	25.18
2011	225.94	1126.90	4987.58	95.58	47.79	211.52	23.58
2012	225.96	1138.54	5038.67	96.02	48.01	212.47	23.71

备注:粮食化肥施用量按照农用化肥施用量的 50% 计算获得^[7]。Note:The amount of chemical fertilizer calculated according to 50% of fertilization.

2.1.2 化肥施用量与粮食单位面积产量的关系 根据相关资料研究指出^[12]，影响粮食产量的主要表现

为粮食播种面积和粮食单位面积产量等 2 种因素。粮食播种面积从 1978 年的 $3.18 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 下降到 2012 年的 $2.26 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，因此，34 年来粮食产量增加了 $3.23 \times 10^6 \text{ t}$ 主要归功于单位面积产量的提高而增加的结果，其中化肥起了很关键的促进作用。粮食单位面积产量从 1978 年的 $2.56 \times 10^3 \text{ kg/hm}^2$ 增长到 2012 年的 $5.04 \times 10^3 \text{ kg/hm}^2$ ，年均增长率为 2.07%；单位面积化肥施用量从 1978 年的 $0.68 \times 10^2 \text{ kg/hm}^2$ 增长到 2012 年的 $5.04 \times 10^2 \text{ kg/hm}^2$ ，年均增长率为 6.26%；由此可见，单位面积化肥施用量的年均增长率要高于粮食单位面积产量年均增长率的 4.19 个百分点（表 1）。从化肥粮食投入与产出比率来考虑的话，则呈现出逐年显著下降趋势，从 1978 年 75.33 下降到 2012 年 23.71；其中，单位面积粮食产出的化肥投入边际效益以年均 1.5% 的速度下降（表 1）。

2.1.3 化肥施用量与粮食产量关系的计量分析 根据相关研究表明^[13]，影响粮食产量的因素主要包括化肥施用量、粮食播种面积、受灾面积、农用机械总动力、农业劳动力等相关因素。因此，文章通过以历年重庆市粮食产量为因变量，农用化肥施用量、粮食播种面积、受灾面积为自变量做回归分析。通过回归结果显示，粮食播种面积和受灾面积对因变量没有显著性影响，为此，运用 Stepwise 剔除法进行逐步回归分析，主要受化肥施用量的影响。另外，通过表 1 数据显示，重庆市粮食产量以年均 0.99% 的速度增长，而粮食播种面积却呈现逐年下降趋势，从而一定程度上表明了粮食播种面对粮食产量的提高没有多大显著性影响。因此，利用表 1 数据为基础，运用公式（1）进行模拟，最优结果如下：

$$Ln y = 1.78 + 0.11 Ln x$$

(49.88***)(4.51***)

校正 $R^2=0.86$ ， $F=20.35$ ， $DW=1.7854$ 回归标准误差 0.0120，***表示在 1% 的水平上显著，由此可知，检验结果表明，在统计学上具有统计意义。因此，从模拟结果可知，假定其他条件不变的情况下，即农用化肥施用量每提高 1 个百分点，相应粮食产量提高 0.11 个百分点。

2.2 粮食产量化肥投入对环境成本的影响分析

2.2.1 化肥施用情况与环境污染的关系 据相关资料^[14-16]，中国粮食生产中化肥施用，不仅存在施用总量过量问题的同时，还存在化肥利用效率较低的情况。如果仅从粮食生产的化肥投入引起的污染效果来考察的话，1985~2012 年，重庆市氮肥流失量从 $4.27 \times 10^4 \text{ t}$ 增长到 $17.45 \times 10^4 \text{ t}$ ，年均流失增长量达到 5.56%；磷肥流失量从 $0.497 \times 10^4 \text{ t}$ 增长到 $6.90 \times 10^4 \text{ t}$ ，年均流失增长量达到 10.71%（图 1）。

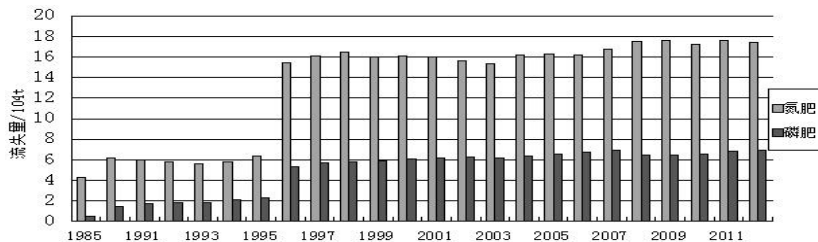


图 1 重庆市 1985~2012 年粮食化肥施用量中氮肥、磷肥流失情况
Fig.1 Loss amount of N and P in Chongqing City from of 1978 to 2012

2.2.2 粮食生产中化肥施用对环境成本估算 为了研究粮食生产中化肥施用的环境成本与化肥施用量之间的统计关系，因此需要测算估计粮食生产中化肥施用的环境成本。根据学者赖力等^[18]，Pretty 等^[19]测算公式方法，来估算重庆市化肥施用量的农业环境损失价值，其具体测算方法如下：

2.2.2.1 对化肥施用情况的污染进行分类，从而对各种可能存在的污染物的产生的途径和污染方式进行归纳。

2.2.2.2 对化肥施用情况的营养物质流向、污染产生物的影响剂量等方面进行分析。

$$Dose_i = M \times C_{ei} \times (W_e / W_f) \tag{2}$$

式中， $Dose_i$ 表示污染物 i 的产生剂量（单位：t）； M 表示氮肥或磷肥的施用折纯量（单位：t）；

1 注：粮食化肥施用量按照农用化肥施用量的 50% 计算获得，氮肥按照 70% 流失量计算，磷肥按照 75% 流失量计算^[17]

W_e/W_f 表示营养元素的流转系数; W_e 表示产生污染物的相对分子质量; W_f 表示 N 或磷肥的相对分子质量。

2.2.2.3 对于大气、水体和土壤等污染因素的环境质量影响, 选用伤残调整生命年法, 从而测算化肥施用带来污染物所引起对人类健康的影响。

$$DALY_i = C_{di} \times Dose_i \tag{3}$$

式中, $DALY_i$ 表示某种污染所产生而引起的生命损害年累计数, $Dose_i$ 表示污染物 i 的剂量, C_{di} 表示单位污染剂量而引起的生命损害年数 (单位: a/kg)。

2.2.2.4 根据国内外关于单位劳动力的能值消费数据乘以生命损害年累计数, 从而来测算化肥施用对环境质量影响的能值。

$$U = \sum_{i=1}^n Emergy_i = \sum_{i=1}^n DALY_i \times C_m \tag{4}$$

式中, U 表示化肥对环境影响的总能值成本 (单位: sej); $Emergy_i$ 表示污染物 i 的能值成本; C_m 表示单位劳动力的年能值消费量, $DALY_i$ 表示某种污染造成的生命损害年累计数。

2.2.2.5 根据中国各年份的能值货币比率数据, 折算化肥施用的综合环境成本。

$$Emdollar = U / C_g \tag{5}$$

式中 $Emdollar$ 表示化肥对环境影响的宏观经济价值 (单位: ¥); U 表示化肥对环境影响的总能值成本 (单位: sej); C_g 表示单位宏观经济价值的能值载荷, 即一国或地区单位内使用的能值与 GDP 比 (单位: sej/¥)。以表 1 和图 1 数据为基础, 利用公式 (2) ~ (5) 进行估算 (表 2)。

表 2 重庆市 1978~2012 年化肥施用的环境成本估算值

Table 2 The estimation for environmental cost of fertilization in Chongqing city from of 1978 to 2012

年份 Year	损失价值/亿元 The value of the loss / billion yuan	年份 Year	损失价值/亿元 The value of the loss / billion yuan	年份 Year	损失价值/亿元 The value of the loss / billion yuan
1978	0.43	1992	1.06	2004	2.49
1980	0.50	1994	1.23	2006	3.15
1984	0.64	1996	1.51	2008	4.24
1986	0.76	1998	1.73	2010	5.42
1988	0.80	2000	1.88	2012	6.16
1990	0.92	2002	2.04		

结果分析表明, 重庆市粮食化肥施用的环境成本估算价值不断提高 (表 2)。从 1978 年的 0.43 亿元提高到 2012 年的 6.16 亿元, 增长了 5.63 亿元, 年均增长率达到 8.40%, 其增速远远高于粮食及农用化肥施用的增长速度。2012 年, 重庆市粮食化肥施用的环境成本估算为 6.16 亿元, 占当年农业增加值。因此, 考察了重庆市粮食生产过程中的资源环境损失成本这一因素情况, 以便农业等相关部门采取措施降低粮食生产中的环境成本。

2.2.3 粮食生产中化肥施用与化肥施用环境成本关系的计量分析 化肥施用的环境成本主要由化肥施用量来决定的。其中, y_i 表示化肥施用的环境成本 (亿元), x_i 表示农用化肥施用量 (10^4t)。因此, 利用表 1 和表 2 数据为基础, 选用公式 (1) 进行模拟, 最优结果如下:

$$Lny = -6.14 + 1.63 Lnx$$

(-10.29***) (11.05***)

校正 $R^2=0.88$, $F=122.17$, $DW=2.18$ 回归标准误差0.1594, ***表示在1%的水平上显著, 由此可知, 检验结果表明, 在统计学上具有统计意义。因此, 从模拟结果可知, 假定其他条件不变的情况下, 农用化肥施用量每提高1个百分点, 相应化肥施用的环境成本提高1.63个百分点。另外, 重庆直辖市以前, 即1978~1996年, 农用化肥施用量年均增长率达到6.74%, 化肥施用的环境成本年均增长率为7.67%; 1997~2012年农用化肥施用量年均增长率达到2.32%, 化肥施用的环境成本年均增长率为9.87%。通过重庆市直辖前后两个时间段比较来看, 尽管农用化肥施用量的增长速度在下降, 但是化

肥施用的环境成本增长却在加速。

3 结论与建议

3.1 结论

34 a 以来重庆市粮食产量与农用化肥施用量存在较强的相关性,即农用化肥施用量每提高 1 个百分点,相应地粮食产量则提高 0.11 个百分点;粮食生产中化肥施用与化肥施用环境成本之间存在显著的正相关,农用化肥施用量每提高 1 个百分点,相应地化肥施用的环境成本提高 1.63 个百分点。重庆市耕地面积在历年减少的情况下,粮食单位面积产量以年均 2.07% 的速度增长;农用化肥施用量以 4.62% 的速度增长,单位面积化肥施用量以年均 6.26% 的速度增长;化肥粮食投入与产出则呈现出逐年下降趋势,从 1978 年 75.33 下降到 2012 年 23.71,其中,单位面积粮食产出的化肥投入边际效益以年均 1.5% 的速度下降;化肥施用的环境成本以年均 8.40% 的速度增长。

3.2 建议

重庆地处长江上游三峡库区,其生态战略地位十分重要。近年来,大量化肥的施用对粮食产量增长起着关键性的作用,但同时也带来了土壤质量及环境问题的产生。一是加快推进农业节能减排。加快低碳技术研发应用,控制农业领域温室气体排放。积极引导广大农民应用节约型农业技术和节能型农业装备,推进农业废弃物无害化、资源化、资源化利用,走农业资源保护性利用之路;二是重庆处于三峡库区上游,其化肥的大量不合理的施用,一定程度上会对生态的污染产生危害,因此,建议结合实际加快构建农业生态补偿机制,引导农业产业化发展,逐步转向生态园区等形式的方向发展;三是加大对农业科技创新投入,进一步加大力度推广测土配方施肥技术的同时,运用新技术提高肥料的利用效率,科学施用农膜和农药,从而一定程度上提高化肥等肥料的利用效率来减少对环境的危害程度,因此,在重庆“五大功能区”划分的机遇背景下,需要结合区域特色将农业环保产业纳入到市财政补贴的硬性支农指标体系中,从而建立科学、可行、实用的考核指标体系。

参考文献

- [1] 房丽萍,孟 军.化肥施用对中国粮食产量的贡献率分析[J].中国农学通报,2013,29(17):156-160
- [2] 朱兆良,诺 斯,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,2006:257-373
- [3] Antler JM, Heidebrink G. environment and development:Theory and international evidence[J]. Economic development and culture chang, 1995(3):603-625
- [4] Mcconnell KE. Income and the demand for environmental quality[J]. Environment and development economics, 1997(2):383-399
- [5] 李海鹏,张俊飏.中国农业面源污染与经济发展关系的实证研究[J].长江流域资源与环境,2009(6):586-590
- [6] 洪业应.农业经济与化肥投入的协调发展研究——基于重庆市 1996~2010 年时间序列数据分析[J].广东农业科学,2013(7):227-229
- [7] Mulla DJ, Page AL, Gange TJ. Cadmium accumulation and bioavailty in soils from long-term phosphorus fertilization[J]. Environ Qual, 1980(9):408-411
- [8] 周生贤.在全国土壤污染状况调查工作视频会议上的讲话[J].中国环境监测,2006(2):30-32
- [9] 向安平,周 燕,燕惠民,等.湿地水稻生产外部成本的主要成因案例研究[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2006(2):32-36
- [10] 洪业应.农业非点源污染与经济增长关系的实证研究——基于环境裤子涅茨曲线检验[J].长江科学院院报,2014(1):33-37
- [11] 杨志敏,陈玉成,魏世强,等.重庆市农业面源污染影响因子的系统分析[J].农业环境科学学报,2009,28(5):999-1004
- [12] 段学军.长江流域粮食产量影响因素灰色关联分析[J].农业系统科学与综合研究,2000(1):30-34
- [13] 魏津瑜,陈 锐,刘曰波.影响我国粮食产量的因素分析及对策研究[J].中国农机化,2008(5):56-59
- [14] 洪业应,安和平.基于粮食安全与化肥投入的协调发展研究[J].农业现代化研究,2011,32(5):577-580
- [15] 曾 靖,常春华,王雅鹏.基于粮食安全的我国化肥投入研究[J].农业经济问题,2010(5):66-70
- [16] 黄国勤,王兴祥,钱海燕,等.施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J].生态环境,2004,13(4):656-660
- [17] 高祥照,马文奇,杜 森,等.我国施肥中存在问题的分析[J].土壤通报,2001(6):258-261
- [18] 赖 力,黄贤金,王 辉,等.中国化肥施用的环境成本估算[J].土壤学报,2009(1):63-69
- [19] Pretty JN, Brett C, Gee D, *et al.* An assessment of the total external costs of Uk agriculture[J]. Agriculture Systems, 2000(65):113-116