

刘 静, 连煜阳. 种植业结构调整对化肥施用量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(11): 2544–2552.

LIU Jing, LIAN Yu-yang. Effect of planting structure adjustment on chemical fertilizer applications in China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2019, 38(11): 2544–2552.

种植业结构调整对化肥施用量的影响

刘 静¹, 连煜阳^{2*}

(1. 中国农业科学院农业经济与发展研究所, 北京 100081; 2. 国家统计局北京调查总队, 北京 100054)

摘 要: 1978年至2015年中国农用化肥施用量持续增长, 2016年首次出现负增长, 但化肥施用强度并未有实质性下降, 单位耕地面积的化肥施用折纯量仍然高达443.53 kg·hm⁻², 极大超过了发达国家为防止化肥对环境造成危害所设置的225 kg·hm⁻²的安全上限。本研究利用1994—2016年26个省份的面板数据, 采用描述性统计分析和计量经济模型, 科学剖析种植业结构调整, 特别是蔬菜、水果面积增加同化肥施用强度增长之间的关系。结果表明, 蔬菜、瓜果等经济作物的种植面积增加是化肥施用强度高、化肥施用量增长的重要原因, 此外, 地区经济发展水平、农作物总面积对农用化肥施用量增加有显著正向影响, 化肥生产价格对化肥施用量有显著负向影响。

关键词: 化肥施用量; 种植业结构; 蔬菜面积; 瓜果面积

中图分类号: X592 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2019)11-2544-09 doi:10.11654/jaes.2019-0477

Effect of planting structure adjustment on chemical fertilizer applications in China

LIU Jing¹, LIAN Yu-yang^{2*}

(1. Institute of Agricultural Economics and Development of CAAS, Beijing 100081, China; 2. Survey Office of the National Bureau of Statistics in Beijing, Beijing 100054, China)

Abstract: Chinese pure chemical fertilizer application (PCFA) has continuously increased from 1978 to 2015. Although there was a negative growth of PCFA for the first time in China in 2016, the use intensity of chemical fertilizers did not substantially decrease, and the per unit cultivated land using PCFAs was still as high as 443.53 kg·hm⁻², which greatly exceeded the safety ceiling of 225 kg·hm⁻² set by developed countries to prevent chemical damage to the environment. This study used data from 26 provinces from 1994 to 2016 to adopt descriptive statistical analysis and econometric models in order to scientifically explore the relationship between the planting structure adjustment in terms of the increase in vegetable and fruit crops and PCFA which quantitatively estimate the coefficient between the increase in vegetable and fruit crops with chemical fertilizer application. The results showed that the main reasons for the considerable increase in PCFA and high chemical fertilizer intensity in China were the planting structure adjustment and the growth ratio of vegetable and fruit harvest areas. In addition, the regional economic development level and total crop harvest area had significant positive impacts on the increase in PCFA, while the chemical fertilizer price had a significantly negative impact on the amount of fertilizer applied.

Keywords: chemical fertilizer application; planting structure; vegetable harvest area; fruit harvest area

收稿日期: 2019-04-29 录用日期: 2019-07-24

作者简介: 刘 静(1974—), 女, 新疆昌吉人, 博士, 研究员, 从事农业资源与环境经济、农村发展、水资源利用等研究。

E-mail: liujing02@caas.cn

*通信作者: 连煜阳 E-mail: lianyuyang2015@126.com

基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFD0201304); 环境保护部委托“农业现代化政策环境风险评估及预警”; 国家重点研发计划政府间国际科技创新合作/港澳台科技创新合作重点专项项目“中泰合作二期适应气候变化的社区水资源管理”(2017YFE0133000)

Project supported: The National Key R&D Program of China (2016YFD0201304); “Agricultural Modernization Policy Environmental Risk Assessment and Early Warning” Entrusted by the Ministry of Environmental Protection; The National Key R&D Program of China Intergovernmental International Science and Technology Innovation Cooperation/Hong Kong, Macao and Taiwan Science and Technology Innovation Cooperation Key Project “China–Thailand Cooperation Phase II Climate Change Management Community Water Management” (2017YFE0133000)

中国(本文统计未包含香港特别行政区、澳门特别行政区、台湾省,下同)农用化肥施用折纯总量从1978年的 8.84×10^6 t持续增长到2015年的 6.02×10^7 t,年均增长率达到4.87%。2016年,化肥施用量首次呈现负增长趋势,总量为 5.98×10^7 t,然而,2016年单位耕地面积的化肥施用折纯量仍然高达 $443.53 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,单位播种面积化肥施用折纯量为 $323 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,极大超过了发达国家为防止化肥对环境造成危害所设置的 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的安全上限^[1]。已有研究表明,全国多个地区、多种主要农作物的化肥施用量已经超过了经济意义上的最优施用量^[2-7],其过量施肥程度达到50%^[8]。长期过量施用化肥导致土壤酸化、板结、结构破坏、微生物的数量和活性降低、水体富营养化、水生生态系统失衡、农业面源污染日益严峻,深入分析研究化肥大量施用的原因,有效促进化肥减量施用已然成为一项亟待解决的现实问题。不论是技术方面还是经济方面,大量研究均表明,农作物化肥利用率低是化肥大量施用的主要原因^[9-17]。部分学者利用Tobit模型、Probit模型、Logit模型、Heckman模型和一般线性模型等计量方法从微观层面分析农户施肥行为^[18-33],结果表明,生产厂家和销售商为追求经济利益,农资市场混乱、化肥销售店指导能力弱、市场监管

不力、农户受教育水平低、农户信息不完全、风险规避程度高等造成农户过量施肥。仅有个别研究关注了种植业结构调整特别是蔬菜、水果面积增加对化肥大量施用的影响^[34-38]。目前对于化肥过量施用研究多涉及三大粮食作物的化肥施用情况,较少涉及蔬菜、水果等经济作物,实践中由于种植业结构调整,蔬菜、水果种植面积增加较快,同粮食作物相比,经济作物的单位面积平均施肥量更大、施肥次数更多,对化肥用量增加贡献更大。本研究将在前人研究基础上,利用26个省1994—2016年的面板数据,采用描述性统计分析和计量经济模型,详细对比分析宏观的种植业结构调整政策对化肥施用量的影响,科学地回答种植业结构调整特别是蔬菜、水果面积增加同化肥大量施用之间的关系。

1 现状分析

1.1 主要农作物化肥用量

如表1所示,粮食作物、油料作物化肥用量较低,不超过 $420 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,蔬菜、棉花、烤烟等作物化肥用量较高,为 $450 \sim 600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,而柑、苹果、甘蔗等作物化肥用量最大,均超过 $825 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,其中柑的化肥用量最高,达到 $1\,059.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,是化肥用量最低的大

表1 2016年主要农作物化肥施用情况($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

Table 1 Application of fertilizer in major crops in 2016($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

农作物 Crop	化肥折纯量 Chemical fertilizer	氮肥折纯量 Nitrogen fertilizer	磷肥折纯量 Phosphate fertilizer	钾肥折纯量 Potassium fertilizer	复混肥折纯量 Compound fertilizer
稻谷	339.45	119.1	7.5	21.6	191.25
小麦	410.25	132	6.75	0.45	271.05
玉米	372.3	126.75	5.4	3.15	236.85
大豆	128.1	16.2	2.85	8.85	100.2
花生	304.5	47.4	17.55	8.55	231.15
油菜籽	238.8	92.7	15.6	2.85	127.5
棉花	530.4	187.65	5.55	16.95	320.4
长绒棉	677.7	184.8	—	11.55	481.2
烤烟	516.45	8.55	27.15	96.45	384.3
晾晒烟	751.05	94.5	40.2	83.1	532.95
甘蔗	959.1	364.05	62.85	107.1	425.25
甜菜	543.75	195	—	9.45	338.85
桑蚕茧	631.2	365.7	14.85	9.45	241.35
苹果	864	185.55	5.25	15.6	657.75
柑	1 059.6	88.5	7.95	11.25	952.05
桔	690.9	75	21.45	2.25	592.05
蔬菜平均	578.7	138.15	25.35	20.1	395.1

注:数据来源为《全国农产品成本收益资料汇编2017》。

Note: Data source is from the *National agricultural product cost income data compilation* in 2017.

豆($128.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)的8.3倍。

1.2 种植业结构调整现状

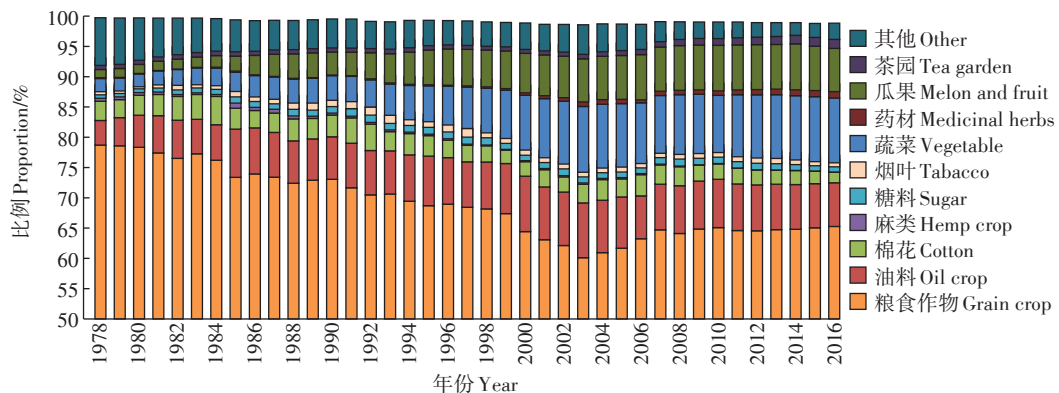
我国种植业大宗农产品分为三大类:一是谷物类,二是经济作物,三是蔬菜水果类。图1是1978—2016年我国种植业结构变化情况(以粮、棉、油、糖、蔬菜、水果等主要农作物所占比重来表示)。

从主要农作物播种面积来看,同粮、棉、油、糖等大宗农产品相比,蔬菜水果类,包括露天蔬菜、设施蔬菜以及各类水果生产发展迅猛。1978年以来,粮食作物播种面积占农作物总面积比例由78.69%下降到65.27%,下降了13.42个百分点,同期,蔬菜、瓜果面积占比分别由1978年的2.17%和1.35%,上升到2016

年的10.70%和7.13%,上升了8.53个和5.78个百分点。2016年水果产量 $2.84 \times 10^8 \text{ t}$,相比2000年的 $6.23 \times 10^7 \text{ t}$,增加了 $2.21 \times 10^8 \text{ t}$,16年间增长了4.55倍;2016年蔬菜产量 $7.98 \times 10^8 \text{ t}$,相比2000年的 $4.45 \times 10^8 \text{ t}$,增加了 $3.53 \times 10^8 \text{ t}$,16年间增幅为79.4%。

1.3 种植业结构调整与化肥施用量变化

由于数据可获得性,本研究利用《中国统计年鉴》数据,分别计算了1979—2016年化肥用量、蔬菜面积、水果面积环比增长率,具体见图2。图2的结果进一步形象地说明了蔬菜、水果面积增加同化肥用量之间的关系,自1989年以来,化肥增长率波动曲线同蔬菜面积、水果面积增长率波动曲线波峰波谷非常一

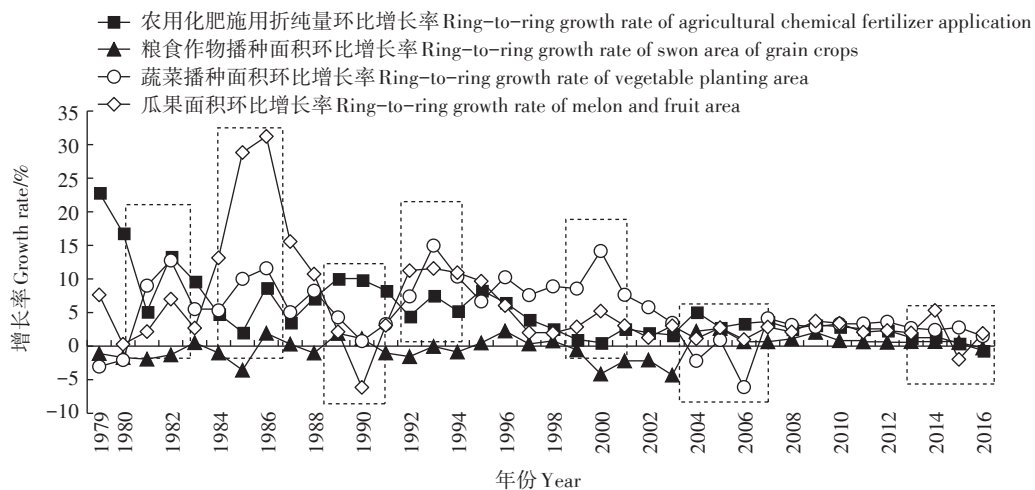


数据来源:国家统计局官网

Data source: National bureau of statistics official network

图1 1978—2016年中国种植业结构变化

Figure 1 Changes in planting structure in China from 1978 to 2016



数据来源:国家统计局官网

Data source: National bureau of statistics official network

图2 1979—2016年中国农用化肥施用折纯量、粮食、蔬菜和瓜果播种面积环比增长率

Figure 2 The ratio growth rate of the Chinese pure chemical fertilizer application, grain, vegetables and melon harvested area from 1979 to 2016

致,当蔬菜和水果增长率增加时,化肥用量增长率也会增加。相比而言,蔬菜增长率曲线波动幅度较大,由于水果基本为多年生作物,其增长率波动明显低于蔬菜。

初步的统计分析结果表明,种植业结构调整特别是蔬菜、水果面积增加是我国化肥用量大幅增长的主要因素,然而已有种植业结构同化肥用量研究多为描述性统计或利用横截面数据进行定量分析,本研究将利用1994—2016年26个省级面板数据,采用计量经济模型,定量测算蔬菜、水果面积增加同化肥用量之间的关系。

2 材料与方法

2.1 数据来源

基于数据可得性和统计口径一致性,本文选取除北京市、天津市、上海市、重庆市、西藏自治区、香港特别行政区、澳门特别行政区及台湾省之外,其他26个省份1994—2016年的数据。数据来源于历年《中国统计年鉴》《省级统计年鉴》《中国农业统计资料》及国家统计局官网。需要说明的是,对于个别缺失数据,为保证数据的完整性,利用已有数据计算出该指标的年均增长率,推算出缺失年份该数值。

2.2 变量选取

本研究将各省区农用化肥施用折纯总量和单位面积化肥施用折纯量作为被解释变量,根据已有研究和观察,将各省地区生产总值、化肥生产价格指数、农作物总面积、粮食作物播种面积、棉花播种面积、油料播种面积、麻类播种面积、糖料播种面积、烟叶播种面积、蔬菜播种面积、药材播种面积、瓜果面积、茶园面积、其他农作物播种面积作为影响农用化肥施用的解释变量。其中,蔬菜、果园、茶园等面积都是本研究重点关注的农业种植结构因素。

为剔除价格因素的影响,所采用的各省地区生产总值以1994年为基期,利用CPI对样本数据进行了指数平减;化肥生产价格指数以各省1994年为基期(即1994年为100);农作物总面积指当年的农作物播种面积与果园面积、瓜类面积、草莓面积、茶园面积之和;瓜果面积指当年的果园面积与瓜类面积、草莓面积之和;茶园面积为实有茶园面积。

2.3 模型设定

此面板数据计量模型中,把农作物总面积与其他作物面积分放在不同的模型中,且采用双对数模型进行对比分析,为此,使用以下模型:

$$y_{ij} = \alpha_0 + \alpha_1 x_{1ij} + \alpha_2 x_{2ij} + \alpha_3 x_{3ij} + \varepsilon_1 \quad (1)$$

$$\ln y_{ij} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln x_{1ij} + \gamma_2 \ln x_{2ij} + \gamma_3 \ln x_{3ij} + \varepsilon_3 \quad (2)$$

$$y_{ij} = \varphi_0 + \varphi_1 x_{1ij} + \varphi_2 x_{2ij} + \varphi_3 x_{4ij} + \varphi_4 x_{5ij} + \varphi_5 x_{6ij} + \varphi_6 x_{7ij} + \varphi_7 x_{8ij} + \varphi_8 x_{9ij} + \varphi_9 x_{10ij} + \varphi_{10} x_{11ij} + \varphi_{11} x_{12ij} + \varphi_{12} x_{13ij} + \varphi_{13} x_{14ij} + \varphi_{14} t + \varepsilon_2 \quad (3)$$

$$\ln y_{ij} = \delta_0 + \delta_1 \ln x_{1ij} + \delta_2 \ln x_{2ij} + \delta_3 \ln x_{4ij} + \delta_4 \ln x_{5ij} + \delta_5 \ln x_{6ij} + \delta_6 \ln x_{7ij} + \delta_7 \ln x_{8ij} + \delta_8 \ln x_{9ij} + \delta_9 \ln x_{10ij} + \delta_{10} \ln x_{11ij} + \delta_{11} \ln x_{12ij} + \delta_{12} \ln x_{13ij} + \delta_{13} \ln x_{14ij} + \delta_{14} t + \varepsilon_4 \quad (4)$$

式中:被解释变量为1994—2016年除北京市、天津市、上海市、重庆市和西藏自治区外*i*省在*j*时期的农用化肥施用折纯量 y_{ij} ,解释变量包括地区生产总值 x_{1ij} 、化肥生产价格指数 x_{2ij} 、农作物总面积 x_{3ij} 、粮食作物播种面积 x_{4ij} 、棉花播种面积 x_{5ij} 、油料播种面积 x_{6ij} 、麻类播种面积 x_{7ij} 、糖料播种面积 x_{8ij} 、烟叶播种面积 x_{9ij} 、蔬菜播种面积 x_{10ij} 、药材播种面积 x_{11ij} 、瓜果面积 x_{12ij} 、茶园面积 x_{13ij} 、其他农作物播种面积 x_{14ij} , t 为时间趋势变量, i 代表省份, j 表示年度, α_0 、 φ_0 、 γ_0 、 δ_0 表示常数项, $\alpha_1 \sim \alpha_3$ 、 $\varphi_1 \sim \varphi_{14}$ 、 $\gamma_0 \sim \gamma_3$ 、 $\delta_0 \sim \delta_{14}$ 表示各解释变量的估计系数, ε_1 、 ε_2 、 ε_3 、 ε_4 是随机扰动项,假设与模型中的其他解释变量不相关。

$$w_{ij} = \beta_0 + \beta_1 x_{1ij} + \beta_2 x_{2ij} + \beta_3 z_{1ij} + \beta_4 z_{2ij} + \beta_5 z_{3ij} + \beta_6 z_{4ij} + \beta_7 z_{5ij} + \beta_8 z_{6ij} + \beta_9 z_{7ij} + \beta_{10} z_{8ij} + \beta_{11} z_{9ij} + \beta_{12} z_{10ij} + \beta_{13} z_{11ij} + \beta_{14} t + \varepsilon_5 \quad (5)$$

为进一步观察蔬菜播种面积、瓜果面积对化肥施用量的贡献程度,式(5)中将单位面积农用化肥施用折纯量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-1}$) w_{ij} 作为被解释变量。此时,解释变量为地区生产总值 x_{1ij} 、化肥生产价格指数 x_{2ij} 、各类主要农作物播种面积占农作物总面积的比例(%) $z_{1ij} \sim z_{11ij}$ 。

2.4 模型检验

模型中, $n=26$,而 $T=23$, n 大 T 小,故这是一个短面板^[39],且为平衡面板。模型运行中,首先进行了Hausman检验,判断使用固定效应还是随机效应模型;其次进行了组间异方差检验、组内自相关检验和组间同期相关检验,对于三种情形同时存在的情况,使用更为全面的FGLS估计处理;最后,把OLS+聚类稳健标准误、固定效应或随机效应、全面FGLS三种方法的估计结果进行对比,选择较好的模型结果进行分析。

3 结果与讨论

3.1 描述性分析

各变量的描述性统计如表2所示。农用化肥施

表2 变量描述性统计
Table 2 Descriptive statistics of variables

变量 Variables	单位 Unit	观察值 Observation	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	最小值 Minimum	最大值 Maximum
农用化肥施用折纯量	10 ⁴ t	598	183.00	127.41	6.10	716.09
地区生产总值	亿元	598	12 080.69	15 508.58	133.97	96 188.10
化肥生产价格指数	—	598	83.96	11.29	52.29	129.28
农作物总面积	10 ³ hm ²	598	6 395.01	3 416.49	472.20	15 397.38
粮食作物播种面积	10 ³ hm ²	598	4 068.67	2 501.29	244.70	11 804.70
棉花播种面积	10 ³ hm ²	598	182.24	327.95	0.00	1 953.30
油料播种面积	10 ³ hm ²	598	512.24	417.56	29.52	1 624.80
麻类播种面积	10 ³ hm ²	598	8.79	16.80	0	128.80
糖料播种面积	10 ³ hm ²	598	68.77	168.42	0	1 128.02
烟叶播种面积	10 ³ hm ²	598	53.45	92.28	0	570.57
蔬菜播种面积	10 ³ hm ²	598	613.64	459.98	10.11	2 027.13
药材播种面积	10 ³ hm ²	598	39.55	44.37	0.45	290.50
瓜果面积	10 ³ hm ²	598	463.13	340.30	4.57	1 366.08
茶园面积	10 ³ hm ²	598	61.86	86.13	0	439.80
其他农作物播种面积	10 ³ hm ²	598	244.83	206.45	10.00	996.70

注:数据来源为通过计算整理得出,结果保留两位小数。
Note: Data source is calculated and arranged, the result is retained two decimal.

用折纯量(被解释变量),26个省23年中每年每个省份平均施肥量为 1.83×10^6 t,其中施肥量最大值为 7.16×10^6 t,最小值为 6.10×10^4 t,标准差达到 1.27×10^6 t,说明不同省份化肥施用量差别较大。蔬菜播种面积(解释变量),26个省23年中每年每个省份平均蔬菜播种面积为 6.14×10^5 hm²,其中播种面积最大值为 2.03×10^6 hm²,最小值为 1.01×10^4 hm²,标准差高达 4.60×10^5 hm²,说明不同省份蔬菜播种面积差别巨大。

3.2 回归结果分析

表3为计量模型回归结果。其中,模型(1)和模型(2)中只考虑地区发展水平、化肥生产价格和农作物总面积对农作物化肥施用总量影响,模型(1)是基础数据OLS回归,模型(2)是双对数回归。为了科学定量测算出种植业结构调整对化肥施用量的影响,测算不同农作物播种面积扩大对化肥施用量的贡献,将模型(3)和模型(4)中的解释变量农作物总面积替换成了粮食、棉花、油料、麻类、糖料、烟叶、蔬菜、药材、瓜果、茶叶、其他农作物等的面积,保留了地区发展水平、化肥生产价格两个解释变量,模型(3)和模型(4)分别是基础数据、双对数的可行广义最小二乘回归。

由表3可以看出,不论采取哪种模型,除棉花、麻类、糖料、烟叶、茶园面积外,解释变量的系数符号一致,说明模型选择以及系数均能反映实际情况。特别

值得注意的是,同其他农作物相比,本文最关注的蔬菜、瓜果面积系数在模型中均为正,且在1%的置信水平上显著,表明蔬菜、瓜果面积增加对化肥施用量有积极显著影响。地区生产发展水平提高对农用化肥施用量增加有显著积极影响,4个模型中该变量都是在10%及以上的置信水平上显著。化肥生产价格指数对化肥用量有较显著负面影响,4个模型中化肥价格指数系数均为负,显而易见,化肥价格越高,化肥用量越少。

依据模型检验识别,采用FGLS估计双对数模型(4)系数解释能力最强。由模型4结果可以看出,其他条件不变时,蔬菜面积每增长1个百分点,相应化肥总量增长16.1个百分点,瓜果面积每增长1个百分点,化肥总施用量增加5.32个百分点。自1994年以来,全国蔬菜种植面积和瓜果面积分别增长了150个和86个百分点,蔬菜水果面积的大幅度增长,对化肥施用量迅速增长贡献巨大。此外,在其他条件不变情况下,各省地区国内生产总值每增加1个百分点,该省农用化肥总用量增加13.7%。这可以从收入预算和劳动力价格角度解释,一般而言,地区发展水平越高,农户越有钱,购买化肥受收入预算约束越小。此外,地区发展水平越高,农户外出打工机会越多,农户就更倾向于使用化肥替代劳动。在其他条件不变情况下,化肥价格每升高1个百分点,化肥总施用量降

表3 种植业结构调整对化肥施用影响模型回归结果1

Table 3 The regression result I of the influence model of crop structure adjustment effect on fertilizer use

	(1)原变量 Original variables	(2)变量取对数 The logarithm of variables	(3)原变量 Original variables	(4)变量取对数 The logarithm of variables
化肥施用总量为被解释变量				
地区生产总值	0.002 07*** (0.000 366)	0.184*** (0.022 9)	0.000 079 3* (0.000 041 2)	0.137*** (0.006 91)
化肥生产价格指数	-0.751** (0.336)	-0.413* (0.210)	-0.046 6*** (0.006 72)	-0.023 3*** (0.004 89)
农作物总面积	0.029 7*** (0.003 93)	0.950*** (0.082 5)		
粮食作物播种面积			0.015 8*** (0.000 313)	0.340*** (0.010 0)
棉花播种面积			-0.001 45 (0.001 87)	
油料播种面积			0.013 8*** (0.001 88)	0.043 7*** (0.004 04)
麻类播种面积			-0.490*** (0.026 5)	
糖料播种面积			0.070 1*** (0.002 70)	
烟叶播种面积			0.032 0*** (0.003 96)	
蔬菜播种面积			0.064 1*** (0.001 75)	0.161*** (0.006 55)
药材播种面积			-0.019 0*** (0.006 42)	-0.020 6*** (0.001 43)
瓜果面积			0.054 7*** (0.001 81)	0.053 2*** (0.003 58)
茶园面积			-0.069 0*** (0.004 59)	
其他农作物播种面积			0.027 9*** (0.001 81)	0.018 7*** (0.002 76)
时间趋势变量 <i>t</i>			2.113*** (0.079 3)	0.002 23** (0.000 975)
常数项	31.10 (24.90)	-2.983** (1.120)	101.8*** (9.745)	-0.148 (0.112)
<i>N</i>	598	598	598	598
<i>R</i> ²	0.824	0.923		

注:括号中数字为标准误差;*表示在10%统计水平上显著,**表示在5%统计水平上显著,***表示在1%统计水平上显著;由于几个省份的棉花、麻类、糖料、烟叶和茶园面积为0,取对数后存在缺失值,故去除这五个变量。下同。

Note:The number in parentheses is the standard error;* indicates significant at 10% statistical level,** indicates significant at 5% statistical level,*** indicates significant at 1% statistical level;Due to the fact that the area of cotton,hemp,sugar,tobacco,and tea gardens in several provinces is 0,there are missing values after taking logarithms,so these five variables are removed. The same below.

低2.3个百分点。农作物总面积对化肥用量有积极显著影响,农作物总面积越大,化肥施用量越高,在农作物总面积的2个模型中,该变量系数为正,且均在1%的置信水平上显著。

比较值得注意的是,粮食作物播种面积系数在2个模型中均为正,在1%的置信水平上显著,且其弹性高达0.34,远高于蔬菜和瓜果。表明其他条件不变时,粮食播种面积每增长1个百分点,相应化肥总量增长34个百分点,但是自1994年以来,粮食作物播种面积仅增长了3个百分点,其对化肥施用总量增长贡献远低于蔬菜和水果。

模型计算结果再一次证明,上世纪90年代中期以来化肥施用量增长的绝大部分贡献来自于种植业结构调整引起的蔬菜、水果面积大幅度增加,和之前的统计分析结果完全吻合。

表4中,模型(5)为普通混合回归,模型(6)为固定效应模型,模型(7)为FGLS估计,模型识别结果表明,模型(7)系数更有解释力。模型(7)中,地区生产

总值、化肥生产价格指数及麻类、糖料、烟叶、蔬菜、药材、瓜果、茶园面积占比的估计系数均在1%统计水平上显著。

化肥生产价格指数的系数依然为负,化肥价格越高,单位面积施用量越少;粮食作物、麻类、药材播种面积及茶园面积占比的系数为负,说明粮食作物、麻类、药材播种面积和茶园面积占比越大,单位面积化肥用量会相应减少;糖料、蔬菜和瓜果面积占比的系数为正,这三种经济作物播种面积占比越大,化肥单位面积用量越大。模型(7)再次证明蔬菜、水果面积增加促进了化肥用量的增加。

4 结论与对策

4.1 结论

我国种植业结构调整带来的直接后果是以粮食为代表的作物播种面积在农作物总播种面积中占比不断下降,同时,以蔬菜、水果为代表的经济作物种植面积占比不断增加,而蔬菜、水果种植面积增加导致

表4 种植业结构调整对化肥施用影响模型回归结果2

Table 4 The regression result II of the influence model of crop structure adjustment effect on fertilizer use

	(5)普通混合回归OLS	(6)固定效应FE	(7)FGLS估计FGLS
单位面积化肥施用量为被解释变量			
地区生产总值	0.000 661(0.000 439)	0.000 717(0.000 474)	-0.000 441*** (0.000 081 9)
化肥生产价格指数	-0.255(0.219)	-0.069 4(0.152)	-0.109*** (0.023 7)
粮食作物播种面积占比	-15.89** (6.114)	3.734(4.524)	-0.053 8(0.343)
棉花播种面积占比	-12.41* (6.308)	3.852(5.466)	1.081*** (0.405)
油料播种面积占比	-17.01*** (5.955)	1.946(4.356)	-0.287 (0.375)
麻类播种面积占比	-49.65(37.73)	-40.04** (19.31)	-6.797*** (2.560)
糖料播种面积占比	-15.54** (5.784)	6.972(5.837)	2.966*** (0.405)
烟叶播种面积占比	-16.53* (9.203)	2.529(5.555)	1.356*** (0.448)
蔬菜播种面积占比	-7.736(7.014)	12.23** (5.766)	3.435*** (0.435)
药材播种面积占比	-22.06* (11.00)	3.240(6.629)	-5.841*** (0.663)
瓜果面积占比	-15.54** (6.419)	10.90* (5.610)	2.698*** (0.413)
茶园面积占比	-19.46*** (6.161)	-7.817(6.874)	-10.18*** (0.842)
其他农作物播种面积占比	-26.31*** (6.467)	4.989(4.726)	-0.517(0.392)
时间趋势变量 t			5.006*** (0.159)
常数项	1 835.3*** (599.2)	-212.9(447.2)	249.9*** (34.99)
N	598	598	598
R^2	0.650	0.584	

单位面积化肥用量不断增加。20世纪90年代中期以来化肥总施用量增加绝大部分贡献,来自于种植业结构调整引起蔬菜、水果面积的大幅度增加。

4.2 对策

农业是与自然资源最为紧密相关的产业,农业生产过程中包括化肥、农药、农膜等物质投入必然会对外部资源环境产生直接影响。不同农作物需要不同的物质要素特别是农用化学要素投入,同粮、棉、油、糖等主要农作物相比,蔬菜、水果生产过程中需要更多的化肥投入,种植业结构调整特别是蔬菜、水果面积增大是导致化肥大量使用的主要原因,这必然会带来潜在的环境风险。因此,农业部门出台政策时,应充分考虑政策潜在环境风险,注重农业资源集约使用、环境污染有效控制和农业生态系统保护,形成生态、经济和社会效益相统一的良性循环农业生产体系。

实现化肥“零增长”目标,首先应注重蔬菜、瓜果等经济作物的化肥减施增效工作,具体应从稳定经济作物种植面积和降低经济作物施肥强度两个方面着手。种植面积方面,应保证粮田面积,避免蔬果等经济作物种植面积持续大幅度增长;施肥强度方面,关键在于严把质量关,一要将农产品质量与价格挂钩,以此突出质量的重要性,使农户不再盲目地为追求产

量而滥施化肥;二要加大对农产品质量的监督管理力度,明确农产品质量标准;三要加强对菜农、果农的施肥技术培训,增强农户的环保意识;四要逐步引导消费者转变消费观念,选择更安全的农产品。此外,地区发展水平提高时,注重增加化肥科技投入,提升化肥产品质量,取消化肥补贴,减少化肥施用量。

致谢:

感谢中国农业科学院农业经济与发展研究所陆秋臻、刘莉对本研究所作的贡献。

参考文献:

[1] 汪翔,张锋. 中国农业化肥投入现状与地区差异性分析[J]. 江西农业学报, 2011, 23(12):169-173.
WANG Xiang, ZHANG Feng. Analysis on present situation and regional disparity of agricultural chemical fertilizer input in China[J]. *Acta Agriculture Jiangxi*, 2011, 23(12):169-173.

[2] 庄钠. 引入环境成本的化肥最经济投入量研究[D]. 南京:南京农业大学, 2012.
ZHUANG Na. A study on the best investment amount of chemical fertilizer introducing the environment cost[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.

[3] 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 Yuan, MA Ji. Calculation of the economic level of fertilizer application in grain production of farmers: A case of wheat growers in the

- North China Plain[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2013 (1): 25-31.
- [4] Luan H, Qiu H G. Fertilizer overuse in China: Empirical evidence from farmers in four provinces[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2013, 14(1): 193-196.
- [5] 李子涵. 我国粮食生产中的化肥过量施用研究[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(16): 245-247.
- LI Zi-han. Analysis of fertilizer overuse during crop production in China[J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2016, 44(16): 245-247.
- [6] 史常亮, 朱俊峰. 我国粮食生产中化肥投入的经济评价和分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2016, 30(9): 57-63.
- SHI Chang-liang, ZHU Jun-feng. Economic evaluation and analysis of chemical fertilizer inputs in Chinese grain production[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, 30(9): 57-63.
- [7] 张云华, 彭超, 张琛. 氮元素施用与农户粮食生产效率: 来自全国农村固定观察点数据的证据[J]. *管理世界*, 2019, 35(4): 109-119.
- ZHANG Yun-hua, PENG Chao, ZHANG Chen. Nitrogen application and farmers' food production efficiency: Evidence from national fixed observation point data in rural areas[J]. *Management World*, 2019, 35(4): 109-119.
- [8] 张林秀, 黄季焜, 乔方彬, 等. 农民化肥使用水平的经济评价和分析[M]//朱兆良, David Norse, 孙波. 中国农业面源污染控制对策(中英文). 北京: 中国环境科学出版社, 2006: 81-100.
- ZHANG Lin-xiu, HUANG Ji-kun, QIAO Fang-bin, et al. Economic evaluation and analysis of farmers' use of chemical fertilizer[M]//ZHU Zhao-liang, David Norse, SUN Bo. Policy for reducing non-point pollution from crop production in China. Beijing: China Environmental Science Press, 2006: 81-100.
- [9] 朱兆良, 金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(2): 259-273.
- ZHU Zhao-liang, JIN Ji-yun. Fertilizer use and food security in China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2013, 19(2): 259-273.
- [10] 徐明岗, 李冬初, 李菊梅, 等. 化肥有机肥配施对水稻养分吸收和产量的影响[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(10): 3133-3139.
- XU Ming-gang, LI Dong-chu, LI Ju-mei, et al. Effects of organic manure application combined with chemical fertilizers on nutrients absorption and yield of rice in human of China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(10): 3133-3139.
- [11] 张福锁, 王兴仁, 王敬国. 提高作物养分资源利用效率的生物学途径[J]. *北京农业大学学报*, 1995, 21(增刊): 104-110.
- ZHANG Fu-suo, WANG Xing-ren, WANG Jing-guo. Biological strategies of efficiently use for nutrient resources by crops[J]. *ACTA Agriculture Universities Pekinensis*, 1995, 21(Suppl): 104-110.
- [12] 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[J]. *农业技术经济*, 2015(11): 69-78.
- SHI Chang-liang, ZHU Jun-feng, LUAN Jiang. Analysis on the efficiency of wheat fertilizer input and its influencing factors in China[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2015(11): 69-78.
- [13] 周芳, 金书秦. 产出率视角下的农业化肥利用效率国际比较[J]. *世界农业*, 2016(4): 35-44.
- ZHOU Fang, JIN Shu-qin. International comparison of agricultural fertilizer utilization efficiency from the perspective of output rate[J]. *World Agriculture*, 2016(4): 35-44.
- [14] 巩前文. 农用化肥使用效率与农户施肥行为研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007.
- GONG Qian-wen. A study on efficiency in the use of agricultural fertilizers and farmers behavior of fertilization based on Hubei Province[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007.
- [15] 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(1): 140-147.
- YANG Zeng-xu, HAN Hong-yun. Technical efficiency of fertilizer and its influencing factors: Based on wheat and corn empirical study[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2011(1): 140-147.
- [16] 李晶瑜. 中国粮食生产的化肥利用效率及决定因素研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.
- LI Jing-yu. Fertilizer using efficiency of China's grain production and its determining factors[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012.
- [17] 刘德伟, 李强, 宋孝航. 中国粮食生产化肥施用效率分析——基于随机前沿生产函数[J]. *资源开发与市场*, 2017, 33(4): 401-407.
- LIU De-wei, LI Qiang, SONG Xiao-hang. Analysis on fertilizer application efficiency of grain production in China: Based on stochastic frontier function[J]. *Resource Development & Market*, 2017, 33(4): 401-407.
- [18] Yan X, Jin J Y, Liang M Z. Grain crop fertilization status and factors influencing farmers' decision making on fertilizer use: China case study[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2016, 17(10): 2394-2398, 2440.
- [19] 马骥, 张卫峰. 农户施肥决策的影响因素[N]. *中国县域经济报*, 2007-04-16(011).
- MA Ji, ZHANG Wei-feng. The influencing factors of farmers' fertilization decision[N]. *Chinese County Economic Newspaper*, 2007-04-16(011).
- [20] 纪月清, 张惠, 陆五一, 等. 差异化、信息不完全与农户化肥过量施用[J]. *农业技术经济*, 2016(2): 14-22.
- JI Yue-qing, ZHANG Hui, LU Wu-yi, et al. Differentiation, incomplete information and excessive application of fertilizer to farmers[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2016(2): 14-22.
- [21] 茹敬贤. 农户施肥行为及影响因素分析[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- RU Jing-xian. Analysis of farmers' fertilization behavior and influencing factors[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.
- [22] 马小勇. 中国农户的风险规避行为分析——以陕西为例[J]. *中国软科学*, 2006(2): 22-30.
- MA Xiao-yong. Risk avoiding behavior of Chinese farmers: An empirical study in Shaanxi[J]. *China Soft Science*, 2006(2): 22-30.
- [23] 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 Huan-guang, LUAN Hao, LI Jin, et al. The effect of risk aversion on the excessive fertilizer application behavior of farmers[J]. *Chinese Rural Economy*, 2014(3): 85-96.
- [24] 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 Hao-ran, ZHANG Lin-xiu, LI Qiang. Study on farmers' fertilization behavior and agricultural non-point source pollution[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2006(6):2-10.
- [25] 颜璐. 农户施肥行为及影响因素的理论分析与实证研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2013.
- YAN Lu. Theoretical and empirical analysis of farmers' fertilizer application behavior and influencing factors: A case study of farmer survey in the southern part of Xinjiang[D]. Urumchi: Xinjiang Agricultural University, 2013.
- [26] 张福锁. 测土配方实施多年 化肥用量为啥还增[J]. 农家顾问, 2012(5):4-6.
- ZHANG Fu-suo. Why does the amount of chemical fertilizer increase with the implementation of soil testing formula implementing for many years[J]. *Farmhouse Advisor*, 2012(5):4-6.
- [27] 黄文芳. 农业化肥污染的政策成因及对策分析[J]. 生态环境学报, 2011, 20(1):193-198.
- HUANG Wen-fang. Analysis of the policy causes of pollution from agriculture fertilizers and its countermeasures[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20(1):193-198.
- [28] 葛继红, 周曙东. 要素市场扭曲是否激发了农业面源污染——以化肥为例[J]. 农业经济问题, 2012(3):92-98, 112.
- GE Ji-hong, ZHOU Shu-dong. Whether factor market distortions stimulate agricultural non-point source pollution: With chemical fertilizer as an example[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2012(3):92-98, 112.
- [29] 于伟咏, 漆雁斌, 余华. 农资补贴对化肥面源污染效应的实证研究——基于省级面板数据[J]. 农村经济, 2017(2):89-94.
- YU Wei-yong, QI Yan-bin, YU Hua. An empirical study on the effect of agricultural subsidy on fertilizer surface pollution: Based on provincial panel data[J]. *Rural Economy*, 2017(2):89-94.
- [30] 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 Hao, YANG Yong-bing. Study on the fertilizer application of farmers from the perspective of factor substitution: Based on farmers' data in rural fixed observation points in China[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2015(3):84-91.
- [31] 史常亮, 李赞, 朱俊峰. 劳动力转移、化肥过度使用与面源污染[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(5):169-180.
- SHI Chang-liang, LI Yun, ZHU Jun-feng. Rural labor transfer, excessive fertilizer use and agricultural non-point source pollution[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2016, 21(5):169-180.
- [32] Ebenstein A, Zhang J, McMillan M S, et al. Chemical fertilizer and migration in China[M]. Massachusetts, USA: National Bureau of Economic Research, Cambridge, 2011:17245.
- [33] 黄季焜, 胡瑞法, 智华勇. 基层农业技术推广体系30年发展与改革:政策评估和建议[J]. 农业技术经济, 2009(1):4-11.
- HUANG Ji-kun, HU Rui-fa, ZHI Hua-yong. 30 years development and reform of agricultural technology extension system at the grass-roots level: Policy evaluation and suggestion[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2009(1):4-11.
- [34] 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 Li-xiang, PENG Hui, JIN Xing-chu. Analysis of the effects of chemical fertilizer application on Grain Yield in China at different stages: Based on the panel data of 1952 provinces in 30 provinces in 2006[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2008(4):85-94.
- [35] 张卫峰, 季玥秀, 马骥, 等. 中国化肥消费需求影响因素及走势分析 II 种植结构[J]. 资源科学, 2008, 30(1):31-36.
- ZHANG Wei-feng, JI Yue-xiu, MA Ji, et al. Driving forces of fertilizer consumption in China (II Planting structure) [J]. *Resource Science*, 2008, 30(1):31-36.
- [36] 栾江, 仇焕广, 井月, 等. 我国化肥施用量持续增长的原因分解及趋势预测[J]. 自然资源学报, 2013, 28(11):1869-1878.
- LUAN Jiang, QIU Huan-guang, JING Yue, et al. Decomposition of factors contributed to the increase of China's chemical fertilizer use and projections for future fertilizer use in China[J]. *Journal of Natural Resource*, 2013, 28(11):1869-1878.
- [37] Abler D. Why do farmers in China use so much fertilizer?[C]. Chongqing: Chinese Economists Society 2015 Annual Conference.
- [38] 王善高, 田旭, 周应恒. 中国农业化肥施用量增长原因分解及其削减潜力分析[J]. 生态经济, 2019, 35(3):115-121.
- WANG Shan-gao, TIAN Xu, ZHOU Ying-heng. Analysis on the reasons for increase of agricultural chemical fertilizer in China and the potential of reducing it[J]. *Ecological Economy*, 2019, 35(3):115-121.
- [39] 陈强. 高级计量经济学及Stata应用[M]. 二版. 北京:高等教育出版社, 2014:272-283.
- CHEN Qiang. Advanced econometrics and Stata applications[M]. 2nd Edition. Beijing: Higher Education Press, 2014:272-283.