张宗军，石响，令涛．中国化肥施用强度空间差异的影响因素及实证检验［J］．山西农业大学学报（社会科学版），2022，21（3）：10-19.
ZHANG Zongjun，SHI Xiang，LING Tao. Influencing factors and empirical test of spatial variation of fertilizer application intensity in China［J］. Journal of Shanxi Agricultural University（Social Science Edition），2022，21（3）：10-19.
DOI：10.13842/j.cnki.issn1671-816X.2022.03.002

中国化肥施用强度空间差异的影响因素及实证检验

张宗军，石响，令涛
（兰州财经大学 甘肃金融协同创新中心，甘肃 兰州 730020）

摘 要：化肥减量施用需要从宏观上掌握农户的决策逻辑。选择了12个能反映自然禀赋、投入要素和市场变化的指标，利用1999—2019年30个省级平衡面板数据进行了实证检验，并分北方和南方两大区域做了比较。结果表明：粮食种植面积占比、经营规模、可支配收入、经营性收入占比等因素的提升能有效推进化肥减量施用；但灌溉水平、机械化使用、财政支农、预期生产价格和教育年限等因素却显著刺激了化肥施用；主要宏观因素对两大区域化肥施用量的作用方向完全一致，但南方地区化肥减量施用的任务更加艰巨。为此，提出了实现化肥减施与收入保障有机统一的政策建议。

关键词：化肥施用；绿色生产；空间差异；影响因素
中图分类号：F323.22 **文献标识码：**A 文章编号：1671-816X（2022）03-0010-10

随着科学技术的进步，形形色色的增产手段被运用于农业生产当中，而化肥作为一种物化的技术形式，作为“绿色革命”的标志被广泛使用，不仅有效促进了农作物增产，而且也是使用量最大、使用面最广的增产手段，被人们喻为“粮食的粮食”。化肥使用对农产品产量的提升作用在理论和实践上均达成了普遍共识。然而，与世界水平相比，中国处于严重的化肥施用过度状态，并形成了很大的面源污染①。整体上自改革开放以来，化肥的施用量除1998—2000年间有所放缓外，一直保持较高的增长速度，直至2014年才转为小幅下降趋势。但2018年的施用量仍高达340.77公斤/公顷，是1980年的3.93倍，40年间年平均增长4.49%。其中，氮肥、磷肥、钾肥和复合肥的施用量分别达到了124.50公斤/公顷、43.93公斤/公顷、35.58公斤/公顷和136.76公斤/公顷，分别是1980年的1.95倍、2.35倍、15.08倍和73.53倍②。

如图1所示，不论是世界平均水平，还是不同收入层次国家的平均水平，化肥施用量在1992－2018年期间总体上呈现平缓上升到逐步稳定的趋势。在此期间，世界化肥施用量从92.86公斤/公顷增长到136.82公斤/公顷，增长1.47倍；中等收入国家的化肥施用量从85.91公斤/公顷增长到152.57公斤/公顷，增长1.78倍；高等收入国家的化肥施用量从2002年的125.69公斤/公顷增长到139.58公斤/公顷，增长1.11倍；低收入国家的化肥施用量由于当地的经济发展水平低下和农业发展缓慢等原因一直保持在很低的水平，平均施用量保持在11公斤/公顷左右。而中国2018年单位面积的化肥施用量分别是当年全球平均水平的2.87倍、高等收入国家平均水平的2.82倍、中等收入国家平均水平的2.57倍、低等收入国家平均水平的33.59倍。

中国化肥的长期过度施用，在加重了面源污染、降低了土壤肥力的同时，增加了农业生产碳排放，成为农业绿色生产的主要障碍。而且其价

① 2014年环境保护部和国土资源部联合发布的首个《全国土壤污染状况调查公报》显示，全国土壤总的超标率为16.1%，其中耕地土壤点位超标率为19.4%，在各类土壤中污染最严重。

② 国内数据根据国家统计局网站整理计算所得。

收稿日期：2021-10-08 **修回日期：**2021-12-27
基金项目：国家自然科学基金项目（71963023）；甘肃省高等学校产业支撑计划项目（2020C-28）
作者简介：张宗军，研究方向：农业保险。

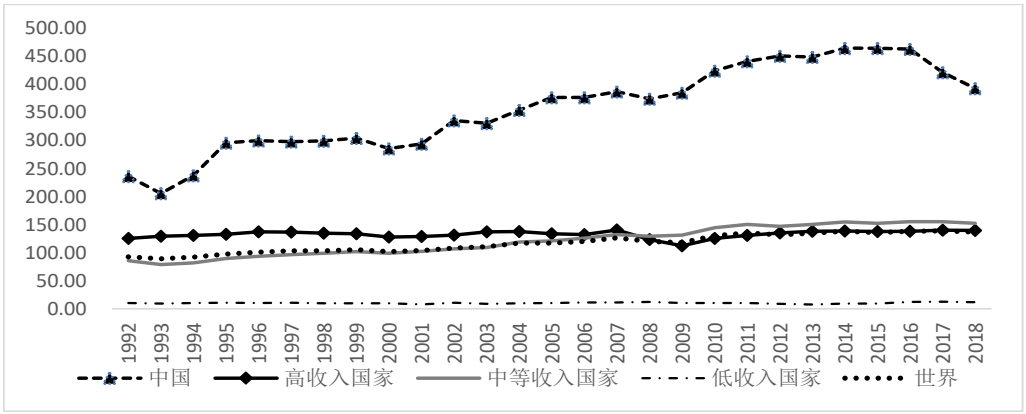


图1　1992－2018年全球及不同收入等级国家化肥施用情况（单位：公斤/公顷）

数据来源：世界银行数据库

格上涨又带来了生产成本的增加，致使近些年来农业收益持续下降，甚至出现了入不敷出的情形。为此，近年来在中央出台的部分文件中提出了化肥减量施用，加强农业面源污染治理，实现农业绿色生产的要求①。而要制定科学合理的化肥减量施用政策，就必须从宏观上梳理和探索影响农户化肥施用的主要因素及其作用机理。

一、化肥施用强度的个体异质视角与空间差异视角

目前，国内外对化肥施用行为的研究主要通过问卷调查的方式从微观角度来分析，根据不同侧重点观察到了一些现象。具体而言，农村劳动力的非农化转移增加了化肥的投入量[1-2]；收入水平越高、耕地的地理位置越近，化学品施用量越高[3]；非农经营性收入占比也影响了化肥的用量，但却存在着截然相反的研究结论[4-5]。教育程度对农户施肥行为的影响比较复杂：一方面，教育程度低的农户不能及时准确地了解化肥的相关知识和标准，更喜欢施用化肥来补充失去的土壤养分[6-7]，因此要解决与氮肥有关的环境退化问题，投入更多的教育指导，可能会更成功[8]；也有部分问卷表明技术培训可显著降低粮食作物的施肥强度，但对经济作物的施肥影响不明显[9]；还有部分调查表明教育水平的提高，增加了其就业的机会，削弱了其“精耕细作”的动力，从而促动了化肥使用量的增加[10-11]。行政法律作为一种强制性约束手段，使用于各个领域，不同国家的实践均表明，环保检测、行政处罚、政府补贴等政策法规的制定与实施，能有效降低农业化学品的用量，促进农业绿色生产[12-14]。除此之外，部分调研表明由于农作物存在潜在的产量损失风险，农户对这一风险的估计越高，则越倾向于通过增加化肥施用量加以规避[15]；农户务农经验的增加可以降低化肥用量[16-17]；规模化经营也可能会降低化肥用量[18-20]；具有干部身份的农户倾向于降低化肥使用量[21]；农户对生态环保认知程度的提升，能增强其利用有机肥替代化肥的积极性[22]；老龄化对农户化肥减量施用具有负面影响[23]。

对于微观个体而言，其行为决策既有相似性的一面，又有异质性的一面。因而，舒尔茨的“理性小农理论”、西蒙的“有限理性理论”、斯科特的“农户风险回避理论”、恰亚诺夫的“农户劳役回避理论”等均在农户决策行为中有其实践的证据。对于中国这样一个国土面积辽阔、农村人口庞大、区域差异显著、生产条件相异、种植品种丰富的农业大国，基于特定区域和小范围问卷调查的研究缺乏一定的普遍性和规律性，不同研究常出现互相矛盾的结论，不利于宏观调控政策的制定。那么众多农户个体在化肥施用行为上的区域性宏观累计是否具有一定的规律性？这种规律性形成的内在原因是什么？这种选择的一致性程度有多大？遗憾的是目前从宏观层面研究

① 农业部于2015年印发了《到2020年化肥使用量零增长行动方案》；中共中央办公厅、国务院办公厅于2017年印发了《关于创新体制机制推进农业绿色发展的意见》；2021年中央1号文要求“持续推进化肥农药减量增效，推进农业绿色发展”。

中国农民化肥施用决策的成果还比较少。

实际上，就国内各地区来看，化肥施用强度在区域之间存在很大的差异性，而且这种差异又具有较强的稳定性。如图2所示，本研究将30个地区按照化肥施用强度划分为高、中、低三个档次，分别设置10个省份。通过各地区1999－2005年、1999－2012年、1999－2019年、2019年四个时期化肥使用量平均值的比较可以看出，各地区化肥施用量在不同时期的档次比较稳定，只有极个别省份的档次发生了变化。

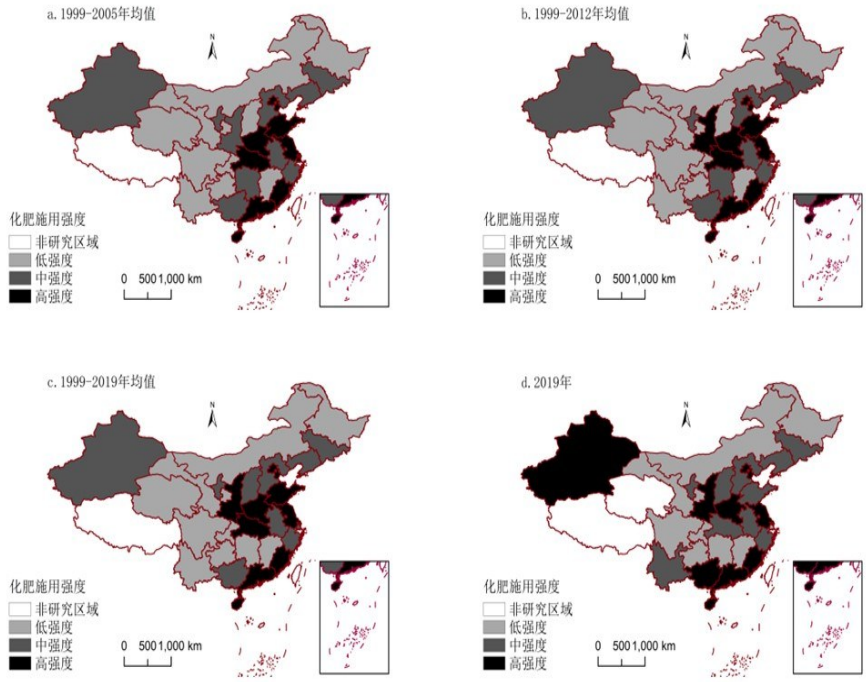


图2 不同时期各省化肥施用强度分布图

由此说明个体农户在化肥施用行为决策上虽然具有一定的异质性，但在区域层面上存在一些因素对化肥施用的影响具有相对的稳定性。区域层面上影响化肥施用强度的因素可以分为三个方面：一是禀赋因素。区域之间由于在气候环境、种植结构、土地规模、灌溉条件、灾害状况等方面存在着先天性不同，这些因素在长期内具有一定的稳定性，也使地区之间农民化肥施用强度保持一种稳定的差异性。二是投入因素。农业生产受到机械、农户资金、财政资金、劳动力等因素的重要影响，这些因素因为改善了农业生产条件和购买化肥的支付能力、提高了土壤和作物对化肥的吸收分解能力，从而影响到化肥施用强度。三是调节因素。农业生产还受到市场价格波动、农业收入的重要性、教育认知等方面的影响，这些因素在一定程度上会影响农民化肥施用的决策。为了探索各地区化肥施用强度差异性的形成因素，本研究利用1999—2019年中国30个省（市、自治区）的平衡面板数据，通过实证来检验这些因素的作用方向和显著性，以及影响程度的大小，为绿色农业政策的实施提供依据，发挥出调控措施的引导效果。

二、变量、模型与数据说明

（一）变量选择

农业面源污染跟工业面源污染相比显著不同的是农业生产本身并不会产生大量污染。农业面源产生的根本原因是为了增加农作物产量，普遍施用大量的化学肥料和抛弃传统的有机肥料，导致土壤中氮、磷、钾严重超标，从而改变土壤元素结构，最终不适宜植物生长。同时由于降水，

土壤中的氮磷钾元素又会随着雨水流入湖泊河流当中，从而进一步增大污染的面积。因此，本研究以化肥施用强度（单位耕地面积的化肥施用量）作为农业绿色生产的被解释变量。

本研究用粮食作物的耕种面积占总耕种面积、有效灌溉面积占总播种面积的比重、人均耕地面积、农业成灾率四个变量反映影响化肥施用的自然禀赋因素；用城镇化率、机械化水平、农民人均可支配收入、人均财政支农资金（农林水务支出/农村人口）四个变量来反映化肥施用的投入性因素；用农民人均受教育年限、农户经营性收入占比、农业生产者价格指数、化肥价格指数四个变量来反映影响化肥施用的调节性因素。

本研究采用中国30个省、市、自治区（不包括港、澳、台和西藏地区）的平衡面板数据，样本时间为1999－2019年，数据来源于《中国农业统计年鉴》《中国统计年鉴》和Wind数据库。数据包含了中国所有的农业种植地区，年度上分析了21世纪以来的变化情况，总体针对性强、覆盖面高，具有良好的代表性。需要说明的是，财政支农资金的统计前后发生过调整，为降低数据误差，该数据在部分年度做了替代计算①；其次，2012年后国家统计局不再披露农村人均纯收入指标数据，转为农村居民人均可支配收入，转化前后统计口径变化甚微，不影响实证检验；第三，北京市、天津市、上海市和重庆市的农业生产资料价格指数、化肥价格指数缺失，本研究分别以其相邻的河北省、江苏省和四川省的相关数据替代。

通过对变量序列数据分析看出，粮食作物单位面积产量与农民人均经营净收入都保持着平稳较快增长，而化肥施用强度则出现先增长后下降的趋势。如表1所示，从所选时期内的变量统计描述看出，各变量的最小值、均值、最大值之间有一定的平衡性，各变量总体形成趋势，可以用来真实反映所研究问题。

表1　数据统计描述

类型	变量	均值	标准差	最小值	最大值	观测值
被解释变量	HF（化肥施用量：公斤/公顷）	343.01	129.28	112.01	799.59	630
禀赋性因素	ZZJG（种植结构：%）	66.30	13.04	35.38	97.08	630
	GG（灌溉水平：%）	41.09	17.30	13.91	123.25	630
	BZMJ（播种面积：亩/人）	3.79	2.27	0.46	15.10	630
	CZL（成灾率：%）	12.94	10.20	0.00	62.31	630
投入性因素	CSH（城市化率：%）	50.10	15.56	14.25	89.61	630
	JXH（机械化水平：千瓦/公顷）	5.47	2.77	1.20	14.16	630
	KZS（农民可支配收入：元/人）	7317.14	5537.76	1357.28	33195.20	630
	CZ（财政支农力度：元/人）	1944.82	2709.31	7.80	20229.07	630
调节性因素	SRJG （收入结构：%）	49.63	17.61	4.22	99.34	630
	JY（受教育年限：年/人）	8.49	1.11	5.44	12.78	630
	JGZS（农业生产价格指数：%）	103.40	7.67	80.30	148.10	630
	HFJZ（化肥价格指数：%）	102.86	8.95	81.00	145.80	630

（二）模型构建

基于上述变量的选择，本研究采用了静态面板数据模型，对化肥施用强度的宏观影响因素进行回归检验。本研究的目标并非考察化肥施用量的增长状况，因此，对所有变量均不取对数，按照原序列进行检验。由此，本研究设定如下的回归模型：

$$HF_{it}=\beta_0+\sum a_j BF_{it}+\sum b_j TR_{it}+\sum c_j TJ_{it}+\gamma_i+\delta_t+\varepsilon_{it}$$

模型中i代表地区，t代表时间，β_0表示常数项，a_j、b_j、c_j表示回归系数；HF_{it}表示为第i个地区第t年的化肥单位面积施用折纯量；BF_{it}表示为第i个地区第t年的禀赋性因素；TR_{it}分别表示第i个地区第t年的投入性因素；TJ_{it}表示为第i个地

① 因1999—2006年尚未披露农林水务的财政支出指标，所以1999—2002年的财政支农资金用财政支援农村生产支出和财政农业综合开发支出之和来代替，2003—2006年数据用财政农业支出与财政林业支出之和来代替。

区第t年的调节性因素；γ_i和δ_t分别表示个体和时间效应，ε_{it}为误差项。

三、实证检验与结果分析

（一）单位根检验与协整检验

实证检验之前要对模型中的各个序列进行平稳性检验，常用的方法就是单位根检验，具体有LLC检验、PP检验、IPS检验、ADF检验等四种方法，检验结果如表2所示。本研究发现部分变量原序列不平稳，对原序列做一阶差分后继续检验，发现除个别序列在5%和10%的显著性水平上平稳外，其他序列均在1%的显著性水平上平稳，说明各变量之间是一阶单整的。在此基础上对变量进行协整检验，结果如表3所示，显示各变量序列之间存在协整关系。由此，确保了后续面板回归的有效性。

表2 变量单位根检验

变量	LLC		PP		IPS		ADF	
	观测值	P值	观测值	P值	观测值	P值	观测值	P值
△HF	−1.5219	0.0640	574.9579	0.0000	−4.5219	0.0000	109.5942	0.0001
△HFJZ	−3.3097	0.0005	1771.6510	0.0000	−9.8076	0.0000	126.5826	0.0000
△JXH	−0.5726	0.0834	569.4139	0.0000	−3.8720	0.0001	73.7829	0.0088
△CZ	2.3802	0.0913	398.1827	0.0000	−5.5137	0.0000	173.6709	0.0000
△BZMJ	−3.4193	0.0003	559.8677	0.0000	−5.9722	0.0000	93.3157	0.0038
△KZS	0.1211	0.0482	303.0042	0.0000	−2.1404	0.0162	63.0397	0.0693
△ZZJG	−4.5783	0.0000	467.2571	0.0000	−5.8075	0.0000	165.6494	0.0000
△CSH	16.7033	0.0000	1462.2480	0.0000	−8.4783	0.0000	141.2987	0.0000
△GG	−0.2006	0.0205	485.3201	0.0000	−3.1571	0.0008	78.6862	0.0532
△SRJG	−28.6415	0.0000	538.4469	0.0000	−10.9092	0.0000	70.5299	0.0660
△CZL	−9.3462	0.0000	1636.5140	0.0000	−13.5831	0.0000	170.1570	0.0000
△JGZS	−6.2700	0.0000	1676.1360	0.0000	−14.7728	0.0000	224.0908	0.0000
△JY	3.0644	0.0989	897.3671	0.0000	−7.2288	0.0000	171.4184	0.0000

注：△为一阶差分后的情形

表3 面板协整检验

	检验类别	观测值	P值
pedroni检验	panels 截距项	8.4453	0
	panels 趋势项	9.7942	0
	same 截距项	−7.6897	0
	same 趋势项	−8.7865	0

（二）实证检验与结果分析

实证检验的结果如表4所示，四种情形下的回归系数与显著性均有一定的差异，需要选择最优模型。F统计量用于检验所有的个体效应在整体上的显著性，F统计量值越大、P值越小则说明固定效应模型比混合OLS模型更可取，化肥施用强度检验的F值为99.02，P值为0，选择固定效应模型。LM统计量用来选择混合OLS模型和随机模型，本次化肥施用强度检验的LM值分别为2439.39，P值为0，拒绝了混合OLS模型。固定效应和随机效应各有优点，随机效应节省了自由度，样本数据在时间和截面上变化均较大时，随机效应模型能更明确地描述误差来源；固定效应模型则很容易分析任意截面数据所对应的因变量与全部截面数据所对应的应变量均值的差异程度。用Hausman检验来在这两种模型中进行选择，化肥施用强度检验的chi2值为40.55，P值为0，由此应拒绝原假设，进行固定效应模型估计。固定效应模型只能反映随时间变化的变量的信息，不随时间变化的变量信息会被自动遗漏，加入时间虚拟变量检验的结果表明在模型中不包括时间效应，最终选择固定效应模型。

表4的实证结果表明，在宏观层面上存在一些因素可以有效推进化肥的减量施用。（1）粮食种植面积比例每提高1%，化肥施用强度降低1.018公斤，说明粮食作物对化肥的需要比经济作物低，表明中国经济作物种植面积的扩大是化肥施用强度提高的重要原因[24]。（2）人均种植面积的扩大显现出明显的规模经济效应，有效地降

表4 化肥施用强度影响因素回归结果

变量	(1) OLS	(2) FE	(3) RE	(4) FE_TW
种植结构	−1.739***	−1.018***	−1.052***	−1.908***
(ZZJG)	(−4.85)	(−2.94)	(−3.09)	(−5.19)
灌溉	−0.198	2.717***	2.446***	2.895***
(GG)	(−0.63)	(7.83)	(7.35)	(8.46)
播种面积	−19.96***	−6.548***	−6.295***	−7.200***
(BZMJ)	(−8.95)	(−2.79)	(−2.85)	(−3.03)
成灾率	−1.670***	−0.167	−0.194	−0.208
(CZL)	(−3.59)	(−0.75)	(−0.84)	(−0.94)
城市化	−0.474	0.771	−0.566	−2.077***
(CSH)	(−0.72)	(1.30)	(−0.91)	(−2.65)
机械化	12.310***	14.700***	14.640***	9.094***
(JXH)	(6.79)	(7.79)	(7.96)	(4.41)
可支配收入	0.0039***	−0.0052***	−0.0047***	−0.0059***
(KZS)	(2.64)	(−5.27)	(−4.79)	(−3.92)
财政支农	−0.0093***	0.0042***	0.0036**	0.0029**
(CZ)	(−3.79)	(2.88)	(2.43)	(2.06)
收入结构	2.770***	−2.829***	−2.531***	−1.771***
(SRJG)	(6.28)	(−6.76)	(−6.33)	(−3.71)
教育	62.270***	14.660**	18.150***	0.0578
(JY)	(7.66)	(2.19)	(2.70)	(0.01)
生产价格指数	−0.163	0.639**	0.628**	0.368
(JGZS（−1）)	(−0.30)	(2.52)	(2.42)	(1.14)
化肥价格指数	−0.210	−0.237	−0.242	−0.226
(HFJZ)	(−0.46)	(−1.21)	(−1.20)	(−0.48)
截距项	−179.800**	273.700***	245.800***	577.800***
	(−2.36)	(3.74)	(3.53)	(4.86)
N	600	600	600	600
R−sq	0.517	0.630		0.676
F检验值［P值］		F（30，630）= 99.02 ［0.0000］		
LM检验值［P值］		Chi2（01）= 2439.39 ［0.0000］		
Hausman检验值［P值］		Chi2（10）= 40.55 ［0.0000］		

低了化肥的施用强度，经营规模每增加1亩，化肥施用强度降低6.548公斤。(3) 传统经济理论表明，收入的提升会刺激消费增长，本研究的实证却发现农民可支配收入的增长与化肥的施用强度存在显著的负相关关系，收入每增加1000元，化肥投入降低5.2公斤。现实原因一是1999—2019年期间农民可支配收入增长远高于化肥施用量增长速度，2019年农民可支配收入、化肥施用强度分别是1999年的6.91倍、1.28倍，农民通过化肥增收的依赖性和边际效应在不断降低；二是化肥对农户来讲不仅是一种消费品，更是一种投入成本，投入的强度需要考虑预期的收益，而1999—2019年期间内全国两大油料作物（花生、油菜籽）和三大粮食作物（小麦、稻谷和玉米）的收益（产值与成本之差）一直处于波动徘徊状态，甚至两大油料作物从2013年开始、三大粮食作物从2015年开始出现了入不敷出的情形，农民的农业收入无法获得提升削弱了其化肥投入的激励。(4) 随着财政支农投入的增加，尤其是十八大以来更是不断提高国家财政支出中涉农资金的比例，大大改善了农业生产条件、提高了农业科技赋能、提升了农业抗灾能力，增强了农户预期目标产量的保障性，因而减弱了农民对化肥增产的依赖性。实证结果表现为人均支农财政资金每

增加1000元，化肥施用强度显著降低4.2公斤。

然而，实证结果也发现部分宏观因素阻碍了化肥的减量施用：（1）灌溉水平的提高有助于化肥被土壤和作物充分吸收进而增加其施用量，灌溉率每提高1%，化肥施用强度增加2.717公斤。（2）机械化水平的提高对化肥施用强度产生了显著的提升作用，而且这种作用程度非常大，机械化投入每增加1千瓦时，化肥施用强度增加14.7公斤。这充分印证了机械化投入会提高土壤对化肥的吸收与分解能力，从而增加了施用强度。（3）农民收入结构与农民化肥施用强度呈显著的负相关关系，农民经营性收入占比每降低1%，化肥施用强度提高2.829公斤。1999年中国农村居民经营性收入占可支配收入的比重高达65.53%，2019年已经降低至35.97%，说明随着农民经营性收入占可支配收入的比重不断降低，农民对农业生产收益的依赖性大大降低，对土地的爱惜和照顾程度日益减弱，因此在化肥的施用上随意性更大。（4）农产品预期价格对农民的施肥行为具有显著的激励作用，预期价格指数每提高1，化肥施用强度增加0.639公斤。这意味着良好的预期收益提高了农民农业生产的积极性，促进了化肥生产要素的投入力度。（5）现有研究成果在教育培训对农户施肥行为的影响研究上产生了相互矛盾的结论，本研究的检验表明受教育年限每增加1年，化肥施用强度显著提高14.66公斤。事实上出现相矛盾的研究结果关键在于对教育培训的定位上不同：从普及教育和学历教育角度看，教育年限的增加使从事农业生产的劳动力减少，从事农业生产的经验积累降低，使其在中国经验性耕作特征显著的农业生产中不易掌握化肥的用量，比较容易过量施用；而具有针对性和专业性的教育培训，能使农户掌握科学的施肥技术，了解化肥过量施用的负面作用，使农户在生产中把握合理的化肥施用量，起到减量不减效的作用。

（三）稳健性检验与化肥施用行为宏观一致性分析

稳健性检验用来确定实证结果是否会随着参数设定变化而变化，目前为止关于如何进行稳健性检验还没有一个统一的标准，只能根据研究视角和目标的不同选择适合的方法。为进一步验证模型的稳健性，采取调整样本期间的方式。对化肥施用问题，在理论上已经较早地提出了其过量施用的现象，但在政策上一直采取宽容的态度，没有引起足够的重视。党的十八大把生态文明建设作为“五位一体”总布局当中的一个重要部分之后，农业面源污染问题才受重视。随着两个“零增长”方案的推出，各级政府将其作为农业农村的重点工作大力贯彻推进，因而自2015年开始国内化肥施用强度逐步下降。考虑到这一重大政策对农民行为的影响，将实证检验的样本期间调整为1999－2014年再此进行回归。通过对比分析表明模型在调整前后各解释变量对被解释变量的作用方向、显著性和回归系数变化很小。

为进一步说明化肥施用决策在宏观层面上具有一定的规律性和稳定性，按照中国传统南北划分界线，分别对南、北两大区域进行检验发现：两大区域10个宏观因素对化肥施用量的作用方向完全一致。因此，在国家层面可以制定指导性的法律法规和实施方案，通过宏观调控的手段推进化肥施用强度的逐步下降。检验结果还显示，在影响化肥施用显著的各个变量中，除机械化变量外，其他变量对南方地区化肥施用量的影响程度大幅度高于北方地区，意味着南方地区化肥减量施用的任务更加困难和艰巨。由此可见，结合稳健性检验结果，本研究的实证检验可以为宏观政策和方案的制定提供一定的理论依据。

四、化肥减量施用的政策激励

通过宏观面板数据的实证检验表明，粮食种植面积比例每提高1%，化肥施用强度降低1.018公斤；经营规模每增加1亩，化肥施用强度降低6.548公斤；可支配收入每增加1000元，化肥投入降低5.2公斤；农民经营性收入占比每提高1%，化肥施用强度降低2.829公斤。但是，机械化投入每增加1千瓦时，化肥施用强度增加14.7公斤；灌溉率每提高1%，化肥施用强度增加2.717公斤；人均支农财政资金每增加1000元，化肥施用强度显著提高4.2公斤；农产品预期价格指数每提高1，化肥施用强度增加0.639公斤；受教育年限每增加1年，化肥施用强度显著提高14.66公斤。结合中国农业生产的特殊国情，要实现农民经营净收入的不断增加、农产品产量的稳步提高和农业绿色生产的逐步推进，需要在经

表5 稳健性检验与分区域检验结果

变量	北方地区 FE	南方地区 FE	稳健性 FE
种植结构	−0.203	−2.834***	−0.131***
（ZZJG）	（−0.33）	（−8.10）	（−3.67）
灌溉	1.178***	2.724***	0.162***
（GG）	（2.66）	（5.56）	（4.31）
播种面积	−5.271**	−70.380***	−0.558*
（BZMJ）	（−2.08）	（−9.11）	（−1.90）
城市化	0.382	5.056***	0.228***
（CSH）	（0.42）	（5.66）	（3.07）
机械化	16.960***	13.920***	1.839***
（JXH）	（6.99）	（5.77）	（7.24）
可支配收入	−0.0020	−0.0063***	−0.0003**
（KZS）	（−1.14）	（−5.82）	（−1.99）
财政支农	0.0059**	−0.0041**	0.0007***
（CZ）	（2.59）	（−2.24）	（2.84）
收入结构	−1.362**	−1.830***	−0.153***
（SRJG）	（−2.13）	（−4.26）	（−3.61）
教育	16.780*	8.780	−0.224
（JY）	（1.69）	（1.36）	（−0.36）
生产价格指数	0.472	0.375	0.005
（JGZS（−1））	（1.42）	（1.31）	（0.22）
化肥价格指数	−0.290	−0.234	0.065
（HFJZ）	（−0.99）	（−1.27）	（1.47）
成灾率	0.168	−0.394	0.008
（CZL）	（0.55）	（−1.54）	（0.43）
截距项	92.50	377.8***	20.080**
	（0.75）	（5.85）	（2.58）
N	300	300	450
R−sq	0.624	0.839	0.441
F检验值［P值］	49.30［0.0000］	202.11 ［0.0000］	54.88 ［0.0000］
LM检验值［P值］	687.80［0.0000］	1173.80［0.0000］	882.35［0.0000］
Hausman检验值［P值］	34.94［0.0001］	65.47 ［0.0000］	71.74 ［0.0000］

济激励政策和工程技术支持方面双管齐下。

第一，提高化肥利用率，发挥减量不减效的作用。据农业农村部测算，2019年中国三大粮食作物化肥利用率为39.2%，虽然比2015年的35.2%提高了4个百分点，但与目前发达国家粮食作物50%～65%的氮肥利用率仍然低10～25个百分点。因此，需要政府部门在开展农业绿色生产宣传、增强农民环保认知的同时，更要大力组织针对性、专业性的农技培训，从实践中让农户掌握科学施肥的技术要领。农技部门要根据不同地区、不同土壤条件、不同作物需求，制定施肥标准和指南，推进精准施肥。由此，通过改变以往粗放式的生产习惯，提高化肥的利用率，达到减量不减效的效果。

第二，优化财政支农资金的使用结构与效率，为农业生产改革提供激励。多年来各级政府不断强化对“三农”事项的财政投入，不论是资金数额还是占整个财政收入的比重都有了很大的提升，但财政支农资金的使用效果却不尽人意。政府不仅要做支农资金的投入者，更应该是其管理者。一是调整财政资金的使用结构，增加在水利工程、灌溉技术、农业科技、防灾抗灾、农业保险等项目的资金投入，充分发挥这些项目的长效作用和撬动功能；同时降低各种直接农业补贴

资金，避免其作为经济收入被农民直接消费，而无法发挥放大效应和溢出效应。二是深入推进涉农资金统筹整合使用的步伐，集合资金重点突破，提高涉农资金的使用效率，降低涉农资金使用中的寻租、浪费、腐败等现象。三是在土地确权基础上进一步建立耕地流转的制度保障体系，加强农村基础设施建设投入，增强机械设备管理和操作的可能性，提高农业规模化经营水平。

第三，加强农业科技投入，抵消因化肥减量造成的产量损失。截至2019年中国粮食总产量实现“十五连增”，但随着国内经济进入新常态，财政和个人农业资金投入提升空间不断缩小，城镇化发展使耕地面积和农村劳动力数量还会不断降低。未来较长时期内农业物化生产要素的投入将接近上限，这促使政府必须将农业增产方式逐渐转变为依靠科技创新拉动。需要加强优良种子研发，在提高单产的同时增强抵御自然灾害的能力；深化施肥技术研究，提高化肥利用率；推广新型栽培种植技术，提升农业种植的科学化、精准化和规模化；普及节水灌溉技术，打破国内农业“靠天吃饭”的硬约束；完善转基因技术，趋利避害做到量和质双突破。最终实现中国农业由平面化向立体化、由机械化向智慧化、由常规化向生态化的转变。

第四，严格把控农产品价格，进一步稳定优化种植结构。中国农民面临着农业生产成本和农产品价格的双重挤压，频繁发生投入与产出不平衡的现象，并诱发了种植结构的波动，因此，健全农产品价格监测系统显得格外必要。加强农产品价格的监测力度，一方面通过政府干预减小通货膨胀给农产品价格带来的负面影响，减轻市场波动对农民劳动成果的侵蚀；另一方面通过行政监管强化对人为操纵市场、制造农产品尤其是经济作物价格异常波动等侵害农户利益的行为进行严厉打击和惩处。通过加快新型经营主体的培育、提高专业合作社的运行效率、完善社会服务体系，引导经济作物的种植向专业化和规模化发展。在此基础上将部分农业直接补贴与土地面源污染检测结果相挂钩，推动化肥减量施用。

第五，推进绿色农业保险发展，达到环境治理与保障农民收入的有机统一。一般的农业保险可以有效降低农业生产过程中的不确定性，弥补农民受灾损失，保障农民收益。但面对中国面源污染的严峻形势，必须降低化肥施用量，这也势必影响到农民的投入决策和经济收益。因此，需要在农业保险产品的设计当中补偿农民因减少化肥而产生的经济利益损失，在农业保险的保费补贴上将绿色生产激励的要素纳入其中，将部分农业直接补贴转化为农业保险的绿色保费补贴。以此，使农业保险更好地发挥绿色兴农作用，推动乡村振兴战略的实施。

参 考 文 献

[1] Lamb R L . Fertilizer Use, Risk, and Off-Farm Labor Markets in the Semi-Arid Tropics of India[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2011, 85(2): 359-371.

[2] Vandersypen K , Verbist B , Keita A C T , et al. Linking Performance and Collective Action—the Case of the Office du Niger Irrigation Scheme in Mali[J]. Water Resources Management, 2009, 23(1): 153-168.

[3] Purkait M K , Maiti A , Dasgupta S , et al. Removal of congo red using activated carbon and its regeneration.[J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 145(1-2): 287-295.

[4] Brauw A D , Rozelle S . Migration and household investment in rural China[J]. China Economic Review, 2008, 19(2): 320-335.

[5] 尚杰，尹晓宇. 中国化肥面源污染现状及其减量化研究[J]. 生态经济，2016(5)：196-199.

[6] Nazarian M , Ajili A A , Akbari M , et al. Knowledge, attitude and environmental safety behaviors of vegetable growers in use of pesticides in south west of Iran.[J]. International Journal of Agronomy & Plant Production, 2013, 4(8): 1844-1854.

[7] Chikwendu L, Jenkwe E D, Eleazu E I, et al. Spatial Appraisal of Problems and Prospects of Fertilizer Use for Agriculture on the Environment in Mbieri, Mbaitoli Local Government Area, Imo State Nigeria[J]. Review of Environment and Earth Sciences, 2017, 4(2): 42-50.

[8] Stuart D , Denny R C H , Houser M , et al. Farmer selection of sources of information for nitrogen management in the US Midwest: Implications for environmental programs[J]. Land Use Policy the International Journal Covering All Aspects of Land Use, 2018, 70(1): 289-297.

[9] 高晶晶，彭超，史清华. 中国化肥高用量与小农户的

施肥行为研究——基于1995—2016年全国农村固定观察点数据的发现[J]. 管理世界，2019（10）：120-132.
[10] Nkamleu G B，Adesina A A. Determinants of chemical input use in peri-urban lowland systems：bivariate probit analysis in Cameroon[J]. Agricultural Systems，2000，63（2）：111-121.
[11] Hunde D，Asfaw Z，Kelbessa E. Use and management of ethnoveterinary medicinal plants by indigenous people of 'Boosat'，Welenchita area[J]. Ethiopian Journal of Biological Sciences，2004，3（2）：113-132.
[12] Hubbell B J，Marra M C，Carlson G A. Estimating the Demand for a New Technology：Bt Cotton and Insecticide Policies[J]. American Journal of Agricultural Economics，2000，82（1）：118-132.
[13] Jaraite J，KažukauskasAndrius. The effect of mandatory agro-environmental policy on farm environmental performance[J]. Journal of Agricultural Economics，2012，63（3）：139-146.
[14] Pandey Chitra，Diwan Hema. Integrated approach for managing fertilizer intensification linked environmental issues[J]. Management of Environmental Quality，2018，29（2）：324-347.
[15] 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.
[16] 田云，张俊飚，何可，等. 农户农业低碳生产行为及其影响因素分析——以化肥施用和农药使用为例[J]. 中国农村观察，2015（4）：61-70.
[17] Denkyirah E K，Okoffo E D，Adu D T，et al. Modeling Ghanaian cocoa farmers' decision to use pesticide and frequency of application：the case of Brong Ahafo Region[J]. Springerplus，2016，5（1）：1113.
[18] 诸培新，苏敏，颜杰. 转入农地经营规模及稳定性对农户化肥投入的影响——以江苏四县（市）水稻生产为例[J]. 南京农业大学学报（社会科学版），2017（4）：85-94.
[19] 纪龙，徐春春，李凤博，等. 农地经营对水稻化肥减量投入的影响[J]. 资源科学，2018（12）：2401-2413.
[20] 张露，罗必良. 农业减量化：农户经营的规模逻辑及其证据[J]. 中国农村经济，2020（1）：81-99.
[21] 黎孔清，马豆豆. 生态脆弱区农户化肥减量投入行为及决策机制研究——以山西省4县421户农户为例[J]. 南京农业大学学报（社会科学版），2018（5）：138-145.
[22] 黄炎忠，罗小锋. 化肥减量替代：农户的策略选择及影响因素[J]. 华南农业大学学报（社会科学版），2020（1）：77-87.
[23] 杜维娜，陈瑶. 老龄化、社会资本与农户化肥减量施用行为[J]. 中国农业资源与区划，2021（3）：131-140.
[24] 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（11）：2544-2552.

Influencing factors and empirical test of spatial variation of fertilizer application intensity in China

ZHANG Zongjun，SHI Xiang，LING Tao

（*Lanzhou University of Finance and Economics*，*Lanzhou* 730020，*China*）

Abstract：It is necessary to master farmers' decision-making logic of chemical fertilizer application from a macro perspective. The article selects twelve variables and divides into three categories：endowment factor，input factor，and adjustment factor. Then it conducts empirical tests using balanced panel data of 30 provinces（cities，autonomous regions）from 1999 to 2019，and makes a comparison between the northern and southern regions. The results show that the proportion of grain cultivation，operation scale，disposable income and ratio of operating income significantly promote the reduction of fertilizer application. However，the irrigation level，mechanized use，expected production price，financial support and years of education significantly stimulate the increase of fertilizer application. The effect direction of the main macro factors on the amount of chemical fertilizer application in the two regions is completely consistent，and the task of reducing the amount of chemical fertilizer application in the south regions is more difficult and arduous. Therefore，some policy suggestions are put forward to realize the organic unification of environmental governance and income security.

Keywords：Fertilizer application；Green production；Spatial variation；Influence factors

（编辑：程俐萍）