

DOI: 10.19741/j.issn.1673-4831.2019.0487

仇相玮, 胡继连. 我国农药使用量增长的驱动因素分解: 基于种植结构调整的视角[J]. 生态与农村环境学报, 2020, 36(3): 325-333.

QIU Xiang-wei, HU Ji-lian. Decomposition and Calculation of Contribution Factors of Pesticide Use Increase in China: Based on the Perspective of Cropping Structure Adjustment[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2020, 36(3): 325-333.

我国农药使用量增长的驱动因素分解: 基于种植结构调整的视角

仇相玮, 胡继连^① (山东农业大学经济管理学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 将农药使用量增长的驱动因素分解为播种面积、各农作物用药强度和种植结构调整 3 个因素, 利用 2006—2016 年农药使用量及农作物种植结构相关数据, 从全国和区域 2 个层面, 系统测算了这 3 个因素对农药使用总量增长的贡献率, 着重分析了种植结构调整对农药使用总量增长的影响作用。近年来我国农作物种植结构总体呈现高用药农作物种植比例不断增加而中低用药农作物种植比例逐渐减少的变化趋势, 高用药农作物中蔬菜占比增加最明显, 增加 1.38%。西南地区是农业种植结构变化幅度最大的区域, 其高用药农作物种植比例增长 8.54%。从农药使用量增长的驱动因素分解结果来看, 种植结构调整对农药使用量增长的平均贡献率达 50.10%, 在部分年份种植结构调整甚至是促使农药使用量增长的最主要因素。西南、华中和东南地区高用药农作物对中低用药农作物的替代程度较高, 种植结构调整是这 3 个地区农药使用量增长的最主要驱动因素。提出如下农药使用量控制管理的种植结构调整策略: 采用合理的经济手段, 引导农业种植结构向“节约型”方向转变; 加强农药使用区域化治理, 重点调整高强度用药地区农业种植结构, 加大农药减量替代技术的政策支持力度, 提高农户技术采纳率; 完善农药使用总量控制制度建设, 保障农业绿色化发展。

关键词: 农药使用量; 种植结构; 结构调整; 影响因素

中图分类号: X171.1; F304.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2020)03-0325-09

Decomposition and Calculation of Contribution Factors of Pesticide Use Increase in China: Based on the Perspective of Cropping Structure Adjustment. QIU Xiang-wei, HU Ji-lian^① (College of Economics and Management, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract: The contribution factors of increasingly pesticide consumption can be divided into cropping area, pesticide application dosage and cropping structure adjustment. The contribution rates of the three factors to the total growth of pesticide consumption in both national and regional levels have been measured and calculated, respectively. The relationship between pesticide consumption and cropping structure adjustment from 2006 to 2016 have been analyzed. In respect of the cropping structure in China in recent years, there have been an increasing on the proportion of crops with high pesticide application dosage and a decreasing on the proportion of crops with medium and low pesticide application dosage, and vegetables topped the proportion growth of high-dosage crops with 1.38% increase rate. The southwestern region of China achieved the most considerable adjustments in agricultural cropping structure with an 8.54% growth of proportion of high-dosage crops. From the decomposition results of driving factors of pesticide consumption growth, the average contribution rate of cropping structure adjustment reached 50.10%, and stood out as the most crucial factor propelling the pesticide consumption growth in some years. Besides, the southwestern, central and southeastern regions of China all underwent high-level substitution of crops with medium and low pesticide application dosage by high-dosage ones, and cropping structure adjustment played an essential role in elevating pesticide consumption in the three regions. Hence, the cropping structure adjustment is of strategic importance in the control and reduction of pesticide consumption; employ reasonable economic means to guide the agricultural cropping structure's transformation into "pesticide-saving" type; strengthen regional-

收稿日期: 2019-06-28

基金项目: 国家社科基金青年项目(14CGL043); 国家自然科学基金(71603152); 山东省现代产业支持项目(SDAIT-03-010)

① 通信作者 E-mail: jlhu@sdau.edu.cn

ization of pesticide consumption control, and focus on the adjustment of agriculture cropping structure in high-intensity pesticide consumption areas; intensify efforts of policy supports in pesticide reduction and substitution technologies and improve the technology adoption rate of farmers households; enhance the construction of pesticide consumption control system to ensure the green development of agriculture.

Key words: pesticide application dosage; cropping structure; structure adjustment; influential factor

农药是农业生产中重要的生产要素,合理施用农药能够有效控制病虫害发生率,保障农产品产量稳定^[1]。我国是农药生产和使用大国,1991—2014年我国农药使用量连续增加,由76.53万t增至180.69万t,年增长率为5.7%。长期以来,农药的大量使用造成严重的农业面源污染问题^[2]。有研究表明,农业已成为我国最大的面源污染产业^[3]。为此,2015年,农业部开展实施了“到2020年化肥农药使用量零增长行动”,并已初见成效。截至2017年,农药使用量已连续3a减少。但当前我国单位播种面积农药使用量仍远超国际公认的 $7.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的农药使用安全上限,农药使用过量问题仍未真正解决。为此,2019年中央一号文件提出“加大农业面源污染治理力度,开展农业节肥节药行动,实现化肥农药使用量负增长”,进一步控制并减少农药使用量仍是今后我国农业绿色化发展的重中之重。

农药使用量持续增长的原因何在?虽然气候变化、耕作方式及病虫害抗药性增强等因素会对农药使用量增长造成一定影响,但本质上农药使用量增长是农作物播种面积扩大和单位播种面积用药量增加共同作用的结果。其中,单位播种面积用药量增加来源于两个方面:一是各农作物单位播种面积用药量增加;二是高用药农作物在农作物种植结构中的占比提高。由于不同农作物间病虫害发生率存在差异,因此部分农作物单位面积需药量要高于其他农作物。当这些高用药农作物种植比例增加时,即使各农作物单位播种面积用药量保持不变,农作物整体单位面积加权平均用药量也会增加。因此,除去农作物播种面积扩大和各农作物单位播种面积用药量增长的因素外,农业种植结构调整也是导致我国农药使用量增长的不可忽视的重要因素。

目前学术界对于农药使用量增长的原因分析,主要从微观农户视角出发,探究农户农药过量施用行为及其影响因素。农户是施用农药的行为主体,由于农户过量施用农药,导致农作物单位播种面积使用量不断增长。有学者利用损害控制模型对农户农药施用效率进行测算,从而证明了农户确实存在过量施药行为^[4-5];还有一些学者分析了农户过

量施药行为的影响因素,结果表明农户农药认知^[6-7]、农户风险偏好^[8]、农户技术信息能力^[9-10]、农业技术培训^[11-12]以及政府不同激励政策^[13]等因素对农户农药施用行为有显著影响。上述研究对于如何从微观农户层面实现农药减量控害目标具有重要的指导意义。如前文所述,农业种植结构调整也是导致我国农药使用量增长的不可忽视的重要因素,但目前尚鲜有相关研究对其进行深入分析。

那么,近年来我国农业种植结构发生了怎样的变化?这种种植结构变化对全国农药使用量增长的推动作用有多大?今后应如何调整农业种植结构,以降低总体的加权平均用药量,从而进一步控制并减少我国农药使用总量?为回答上述问题,笔者将从分析全国及各区域农药使用量和种植结构变化入手,从全国和区域2个层面探究分析种植结构调整对农药使用量增长的推动作用,以期为今后制定农药减量和种植结构调整政策提供有益参考。

1 我国农药使用量与农作物种植结构变化

1.1 我国农药使用量变化及其地区差异

1.1.1 我国农药使用总体变化情况

随着农业生产的快速发展,我国农药使用量也迅速增长,2006—2016年全国农药使用总量由153.71万t增长到174.05万t,增长13.23%,年均增长率达1.3%;农药使用强度由 $9.79\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 增长到 $10.44\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,年均增长率为0.64%。其中,2012年全国农药使用强度达到最高值 $11.05\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,2014年全国农药使用量达到最高值180.69万t。自2015年颁布实施了一系列农药“减量增效”政策以来,农药使用总量和农药使用强度均有所下降。但是,目前我国农药使用强度仍是世界平均水平的2.5~5倍^[14],远远高于国际公认的 $7.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的农药使用安全上限。

1.1.2 我国不同区域农药使用变化情况

根据我国农作物的区域种植特点,将全国31个省(区、市)^①分成以下6大区域:华北地区,包括北京、天津、河北、山西、山东、河南;东北地区,包括内

^① 港、澳、台地区和南沙群岛海域均属于我国领土范围,但目前尚未有其农药使用量的相关统计数据,故暂未予以讨论。

蒙古、辽宁、吉林、黑龙江;东南地区,包括上海、江苏、浙江、福建、海南、广东;华中地区,包括江西、湖北、湖南、安徽;西南地区,包括广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏;西北地区,包括陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆。

从空间分布来看,由于各地区的土壤情况、农作物播种面积、农药使用方式和农业种植结构等自然条件和农业生产方式存在较大差异,因此各地区农药使用量和农药使用强度也有较明显的差别(表1)。从农药使用总量来看,2016年华中地区是农药使用量最高的区域,达到43.40万,其次是华北和东南地区,分别达到39.43万和33.26万t。从农药使用强度来看,2016年全国平均农药使用强度为 $10.44 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,东南和华中地区农药使用强度超

过全国平均水平,分别为 18.25 和 $13.96 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。华北地区农药使用强度略低于全国平均水平,东北、西南和西北地区农药使用强度较低。统计资料显示,东南地区的广东、福建、海南用药强度(a)达到极高强度用药水平($a > 22.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),华北地区的北京和东南地区的浙江用药强度达到重度用药水平($17.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} < a \leq 22.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),甘肃、辽宁、山东、湖北、湖南、江西、广西用药强度属于中度用药水平($12.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} < a \leq 17.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),吉林、河北、山西、河南、安徽、江苏和云南的用药强度属于轻度用药水平($7.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} < a \leq 12.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),低于全国平均用药水平,但仍高于国际安全用药水平^①。

表1 2006—2016年全国不同区域农药使用情况及变化

Table 1 Pesticide consumption and changes in different regions of China from 2006 to 2016

地区	农药使用量				农药使用强度			
	2006年/ 万t	2016年/ 万t	增长率/ %	贡献率/ %	2006年/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	2016年/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	增长量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	增长率/ %
华北	39.53	39.43	-0.25	-0.46	10.30	10.24	-0.06	-0.58
东北	15.54	22.96	47.75	36.50	6.09	7.63	1.54	25.29
东南	34.45	33.26	-3.45	-5.81	18.17	18.25	0.08	0.44
华中	41.43	43.40	4.76	9.65	13.84	13.96	0.12	0.87
西南	17.69	23.47	32.67	28.42	5.74	7.22	1.48	25.78
西北	5.10	11.52	125.88	31.57	3.80	7.10	3.30	86.84
全国	153.74	174.04	13.20	100.00	9.79	10.44	0.65	6.64

根据历年《中国农村统计年鉴》整理计算得到。

从时间序列来看,农药使用总量和农药使用强度的增长速度也存在明显的地区差异性(表1)。在农药使用总量的增长速度方面,西北、东北、西南和华中地区农药使用量呈正增长,其中西北、东北、西南地区农药使用量增长率超过全国增长率,增长率分别为125.88%、47.75%和32.67%,是全国农药使用量增长的主要贡献区域,贡献率分别为31.57%、36.50%和28.42%,华中地区增长率较低,为4.76%;华北和东南地区农药使用量呈负增长,分别下降0.25%和3.45%;其对全国农药使用量增长的贡献分别为-0.46%和-5.81%。在农药使用强度的增长速度方面,除华北地区外,其他地区农药使用强度均有所增强,其中,西北、西南和东北地区农药使用强度增长率超过全国增长率,分别为86.84%、25.78%和25.29%,尤其是甘肃省,其农药使用强度增长率达到184.17%,是全国平均增长率的27.74倍,极高强度用药地区海南省农药使用强度增长率也较高,达到57.70%,是全国平均增长率的8.69倍。

总体来看,华中、华北和东南地区是农药使用量和农药使用强度较大的3个地区,近年来其农药使用增长速度逐渐放缓;西南、西北和东北地区农药使用量和农药使用强度相对较小,但近年来农药使用量和农药使用强度均有大幅增长,是全国农药使用量增长的主要贡献地区。

1.2 我国农作物种植结构变化及其地区差异

1.2.1 我国农作物种植结构总体变化情况

农作物农药使用强度(以下简称用药强度)指某农作物单位播种面积农药使用量。不同农作物病虫害发生率不同,其农药使用强度往往存在显著差异。为便于考察农作物种植结构调整方向及其对农药使用量变化的影响,选取2006—2016年种植面积较大、种植比例较高的部分农作物为代表(粮食作物选取水稻、玉米、小麦、大豆,经济作物选取棉花、甘蔗、油菜、甜菜、蔬菜、苹果和柑桔),上述农作物播种面积之和占农作物总播种面积的80%以

① 根据《中国农村统计年鉴》相关数据统计得出。

上,基本能够代表农作物种植情况。一般来讲,茶的单位播种面积农药使用量较大,也应予以重点研究,但由于播种面积较小且相关数据缺失,故暂不讨论。

根据各农作物用药强度差异,将其划分为高用药农作物、中用药农作物和低用药农作物 3 类,具体划分方法:分别求取各农作物平均用药强度,以国际公认的 $7.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 农药使用安全上限作为参考标准,若某农作物的平均用药强度远高于该标准,且超过该参考标准的 20%,则将该农作物界定为高用药农作物;若某农作物用药强度与该参考标准相近,且相差幅度在该参考标准的 20% 以内,则将该农作物界定为中用药农作物;若某农作物用药强度远低于该标准,且低于该参考标准的 20%,则将该农作物界定为低用药农作物。根据《中国农村统计年鉴》《全国农产品成本收益资料汇编》以及我国农药价格指数等相关统计数据,经整理计算得出我国主要农作物平均用药强度,结合上述划分标准,将柑桔 ($93.76 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、苹果 ($38.16 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、蔬菜 ($27.38 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 和棉花 ($11.35 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 界定为高用药农作物,将甘蔗 ($10.06 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、烟草 ($9.30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 和水稻 ($8.57 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 界定为中用药农作物;将小麦 ($3.50 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、玉米 ($2.79 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、大豆 ($2.71 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、油菜 ($2.43 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 和甜菜 ($1.85 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 界定为低用药农作物。

2006—2016 年全国及不同地区农作物种植结构变化及各高用药农作物种植比例变化见表 2。种植结构指不同作物播种面积占总播种面积的比例,统计数据显示:2006—2016 年我国农作物总播种面积呈增长趋势,累计增长 $1\,365 \text{ 万 hm}^2$,增幅为 10.67%。在市场机制作用下,农业种植结构发生了较大变化:高用药农作物总播种面积增加 438.9 万 hm^2 ,在种植结构中所占比例提高 1.75 个百分点;中用药农作物总播种面积扩大 150.7 万 hm^2 ,在种植结构中的占比下降 1.33 个百分点;低用药农作物总播种面积减少 775.4 万 hm^2 ,在种植结构中的占比减少 0.41 个百分点。高用药农作物中,蔬菜和水果播种面积占农作物总播种面积的比例明显增加,分别增加 1.38 和 1.12 个百分点;棉花种植比例在 2011 年之前有微小波动,2011 年之后一直呈递减趋势,到 2016 年棉花播种面积减少 247.1 万 hm^2 ,种植比例下降 1.55 个百分点,下降幅度较大。可见,在市场经济导向作用下,越来越多的土地被用来种植经济效益较高的蔬菜、水果等作物,而这些农作物的农药

需求量更高。因此,近年来我国农作物种植结构呈现高用药农作物种植比例明显增加而中低用药农作物种植比例逐渐减少的变化趋势。

表 2 2006—2016 年全国农作物种植结构变化

Table 2 Changes in cropping structure in China from 2006 to 2016

作物用药类型	2006 年占比/%	2012 年占比/%	2016 年占比/%	比例变化/百分点
低用药作物	55.57	55.07	55.16	-0.41
中用药作物	21.16	19.69	19.83	-1.33
高用药作物	23.26	25.25	25.01	1.75
高用药棉花	3.58	3.18	2.03	-1.55
高用药蔬菜	12.05	13.82	13.43	1.38
高用药水果	6.69	8.24	7.81	1.12

比例变化指 2016 年占比与 2006 年占比之差。

1.2.2 我国各地区种植结构变化及其地区差异

分区域来看,我国不同地区农作物种植结构调整在调整方向和调整程度上存在较大差异(表 3)。东南、华中、西南和西北地区种植结构调整与全国种植结构调整相似,表现为高用药作物种植比例增加,低用药作物和中用药作物种植比例减少。其中,西南地区高用药作物种植比例增幅最大,高达 8.54%,该地区高用药农作物中蔬菜和水果种植比例均有较大提高,分别上升 3.74 和 2.70 百分点。西北、东南和华中地区高用药作物种植比例也分别增加 7.36、3.55 和 2.00 百分点,并且增长幅度均高于全国平均水平。西北地区各高用药农作物水果、蔬菜的种植比例有较大提高,分别提高 4.03 和 2.53 百分点;在全国棉花播种面积大幅缩减的背景下,西北地区棉花种植比例略有增加,增加 0.42 百分点。华中和东南地区高用药农作物中蔬菜种植比例增长最大,分别增长 1.88 和 3.42 百分点。这 4 个地区所表现出的高用药作物对中低用药作物的种植替代,无疑将对全国农作物种植结构调整走势产生十分重要的影响。

与全国种植结构变化不同,华北和东北地区种植结构表现为高用药作物种植比例减少,中用药作物或低用药作物种植比例增加的变化趋势。其中,华北地区高用药作物种植比例减少幅度较大,减少 3.80 百分点,这主要源于近年来华北地区大幅缩减了高用药作物棉花的种植面积,棉花种植比例下降 4.42 百分点。结合表 1 可以看出,华北地区农药使用总量和农药使用强度分别下降 0.25% 和 0.58%,高用药作物种植比例降低无疑是极为重要的影响因素。东北地区各高用药农作物(棉花、蔬菜和水果)种植比例均有所下降,其中,蔬菜种植比例减少

幅度较大,减少 0.98 百分点。东北地区高用药作物种植比例虽然减少 1.13 百分点,但同时低用药农作物种植比例也减少 0.89 百分点,这在一定程度上抵

消了高用药作物种植比例减少起到的农药减量效果。可见,种植结构调整不是东北地区农药使用量变化的主要驱动因素。

表 3 2006—2016 年不同地区农作物种植结构变化

Table 3 Changes in cropping structure in different regions of China from 2006 to 2016

作物用药类型	华北				东北				东南			
	2006年占比/%	2012年占比/%	2016年占比/%	比例变化	2006年占比/%	2012年占比/%	2016年占比/%	比例变化	2006年占比/%	2012年占比/%	2016年占比/%	比例变化
低用药作物	70.41	70.71	74.31	3.90	77.68	74.72	76.79	-0.89	29.30	27.02	28.58	-0.72
中用药作物	2.69	2.97	2.60	-0.09	15.04	16.16	17.07	2.03	35.58	34.54	32.76	-2.82
高用药作物	26.90	26.33	23.10	-3.80	7.28	7.12	6.15	-1.13	35.11	38.44	38.66	3.55
高用药棉花	6.70	4.57	2.28	-4.42	0.02	0.02	0.00	-0.02	1.88	1.10	0.38	-1.50
高用药蔬菜	13.26	14.53	13.63	0.37	5.17	5.01	4.19	-0.98	20.02	23.94	23.44	3.42
高用药水果	6.81	7.22	6.81	0.00	2.08	2.09	1.95	-0.13	11.27	13.40	12.11	0.84
作物用药类型	华中				西南				西北			
	2006年占比/%	2012年占比/%	2016年占比/%	比例变化	2006年占比/%	2012年占比/%	2016年占比/%	比例变化	2006年占比/%	2012年占比/%	2016年占比/%	比例变化
低用药作物	39.17	39.26	38.59	-0.58	49.58	44.64	45.12	-4.46	64.18	55.15	57.61	-6.57
中用药作物	40.24	38.84	38.82	-1.42	29.40	28.67	25.32	-4.08	2.71	2.32	1.92	-0.79
高用药作物	20.59	21.90	22.59	2.00	21.02	26.69	29.56	8.54	33.11	42.53	40.47	7.36
高用药棉花	3.60	3.64	1.82	-1.78	0.10	0.07	0.04	-0.06	11.14	12.93	11.56	0.42
高用药蔬菜	11.65	13.14	13.53	1.88	12.71	17.29	16.45	3.74	7.41	9.95	9.94	2.53
高用药水果	3.99	4.12	4.85	0.86	6.40	9.33	9.10	2.70	14.01	19.64	18.04	4.03

根据历年《中国农村统计年鉴》整理计算得到。比例变化指 2016 年占比与 2006 年占比之差,单位为百分点。

综合以上分析可以看出,2006—2016 年全国及大部分地区农作物种植结构都呈现明显的高用药作物替代中低用药作物的变化趋势。这种种植替代导致农作物整体单位面积加权平均用药量不断增加。因而种植结构调整也是促使农药使用总量增加的重要因素。

2 农作物种植结构调整对农药使用量变化的影响测度

2.1 结构调整对农药使用量变化影响的测度方法

将农作物农药使用总量变化的驱动因素分解为 3 个部分:(1)农作物总播种面积变化;(2)各农作物用药强度变化;(3)农作物种植结构调整。其中,各农作物用药强度变化指排除了种植结构调整因素后的各农作物单位播种面积农药使用量的变化,即对不同农作物而言的单位播种面积农药使用量变化,区别于用农药使用总量除以播种面积得出的加权平均用药强度。当农业种植结构中高用药作物种植比例上升而中低用药作物种植比例下降时,即使各农作物单位播种面积用药量不变,相比于无种植结构调整情形,农作物整体单位面积加权平均用药量也会增加。因此,要测算种植结构调整对农药使用的影响,必须以无种植结构调整(保持各农作物种植比例不变)情形与之对照,具体测算

思路及方法如下:

农作物农药使用总量(Q_t)可以表示为各农作物播种面积($r_{i,t}$)与其单位播种面积用药量($y_{i,t}$)的乘积之和:

$$Q_t = \sum r_{i,t} y_{i,t} \quad (1)$$

式(1)中, i 为不同种类农作物; t 为时间年度。如果保持种植结构不变,即保持各农作物播种面积比例不变,那么,无种植结构调整情形下第 $t+1$ 期农药使用总量为

$$Q_{t+1}' = \sum r_{i,t+1}' y_{i,t+1} \quad (2)$$

并且满足条件:

$$\frac{r_{i,t+1}'}{r_{i,t}} = \frac{R_{t+1}}{R_t} = \alpha_{i,t} \quad (3)$$

式(2)~(3)中, R_t 与 R_{t+1} 分别为第 t 和 $t+1$ 期农作物总播种面积; $r_{i,t+1}'$ 为无种植结构调整情形下 i 作物第 $t+1$ 期播种面积; $\alpha_{i,t}$ 为无种植结构调整情形下农作物总播种面积和各农作物播种面积增长率。

农作物农药使用总量(Q_t)还可以表示为农作物总种植面积(R_t)与农作物整体单位面积加权平均用药量(Y_t)的乘积:

$$Q_t = R_t Y_t = R_t \sum f_{i,t} y_{i,t} \quad (4)$$

式(4)中, $f_{i,t}$ 为 i 作物在第 t 期的种植比例。因而,无种植结构调整情形下第 $t+1$ 期农药使用总量为

$$Q_{t+1}' = R_{t+1} Y_{t+1}' = \alpha_{i,t} R_t \sum f_{i,t} y_{i,t+1} \quad (5)$$

式(5)中, Y_{t+1}' 为无种植结构调整情形下第 $t+1$ 期农作物整体加权平均用药量。当种植结构不变时, 前后 2 期农药使用总量变化为

$$\frac{Q_{t+1}'}{Q_t} = \frac{\alpha_{i,t} R_t \sum f_{i,t} y_{i,t+1}}{R_t \sum f_{i,t} y_{i,t}}$$

令 $\beta_{i,t} = \frac{\sum f_{i,t} y_{i,t+1}}{\sum f_{i,t} y_{i,t}}$, $\beta_{i,t}$ 实际为无种植结构调整情形下农作物整体单位播种面积加权平均用药量变化, 故:

$$\frac{Q_{t+1}'}{Q_t} = \alpha_{i,t} \beta_{i,t} \quad (6)$$

将式(6)变形且两边取对数可得:

$$\ln \frac{Q_{t+1}'}{Q_t} = \ln \frac{Q_{t+1}}{Q_t} - \ln \frac{Q_{t+1}'}{Q_t} = \ln \frac{Q_{t+1}}{Q_t} - \ln \alpha_{i,t} - \ln \beta_{i,t}$$

因此, 要得出因种植结构调整而导致的农作物农药使用总量的变化率可用实际有种植结构调整情形下农药使用总量变化率减去因农作物总播种面积和各农作物单位播种面积用药量变化所导致的农药使用总量的变化部分。将农作物总播种面积变化、种植结构调整和各农作物单位播种面积农药使用量变化这 3 个因素分别导致的农药使用量变化占总的农药使用量变化的比例定义为其对农药使用量变化的贡献率。其中, 农作物总播种面积变

化对农药使用总量变化的贡献率($\psi_{R,t}$)为

$$\psi_{R,t} = \ln \alpha_{i,t} / \ln \frac{Q_{t+1}}{Q_t}$$

种植结构调整对农药使用总量变化的贡献率($\psi_{A,t}$)为

$$\psi_{A,t} = 1 - \ln (\alpha_{i,t} \beta_{i,t}) / \ln \frac{Q_{t+1}}{Q_t}$$

各农作物单位播种面积农药使用量变化对农药使用总量变化的贡献率($\psi_{y,t}$)为

$$\psi_{y,t} = 1 - \psi_{R,t} - \psi_{A,t}$$

各因素贡献率值的正负代表其作用效果与农药使用量的变动方向是否相一致。如果为正值, 说明该因素的作用效果与农药使用总量的变动方向相一致; 如果为负值, 说明该因素的作用效果与农药使用总量的变动方向相反。各因素贡献率绝对值的大小代表其对农药使用量变化的作用程度。某因素贡献率的绝对值越大, 说明其对农药使用量变化的作用程度越大。

2.2 结构调整对农药使用量变化影响测度的结果分析

根据以上测算思路和方法, 分别从全国和区域 2 个层面测算种植结构调整对农药使用量变化的贡献。

(1) 种植结构调整对全国农药使用量变化的贡献

播种面积、各农作物用药强度和种植结构调整 3 个因素对农药使用量变化贡献的分解结果见表 4。

表 4 2006—2016 年农作物种植结构调整对我国农药使用量变化贡献率

Table 4 Contribution rate of cropping structure adjustment to changes in pesticide consumption in China from 2006 to 2016

%

年份	农药使用量		播种面积		加权平均用药量		各作物用药强度		种植结构调整	
	增长率	贡献率	增长率	贡献率	增长率	贡献率	增长率	贡献率	增长率	贡献率
2007/2006	5.58	0.86	15.85	4.69	84.15	3.25	58.33	1.44	25.82	
2008/2007	3.05	1.83	60.32	1.21	39.68	1.17	38.30	0.04	1.38	
2009/2008	2.19	1.50	68.81	0.68	31.19	0.92	42.15	-0.24	-10.96	
2010/2009	2.89	1.30	45.30	1.58	54.70	0.71	24.48	0.87	30.21	
2011/2010	1.64	1.00	61.29	0.63	38.71	-0.29	-17.45	0.92	56.16	
2012/2011	1.05	0.70	66.48	0.35	33.52	-0.38	-36.47	0.74	69.98	
2013/2012	-0.22	0.74	-329.83	-0.96	429.83	-1.28	570.28	0.31	-140.45	
2014/2013	0.28	0.50	177.74	-0.22	-77.74	-0.76	-273.32	0.55	195.59	
2015/2014	-1.32	0.56	-42.01	-1.88	142.01	-2.13	161.01	-0.25	-19.00	
2016/2015	-2.41	0.17	-6.79	-2.58	106.79	-3.36	139.18	0.78	-32.39	
各年平均	1.27	0.92	11.72	0.35	88.28	-0.21	70.65	0.57	50.10	
2016/2006	13.20	6.13	46.44	3.51	53.56	2.56	19.41	4.51	34.15	

每年数据均以上一年为基期, 当年为报告期计算得到。各年平均指 2006—2016 年每年增长率和贡献率的平均值。2016/2006 指以 2006 年为基期, 2016 年为报告期计算得出的 10 a 间整体的增长率和贡献率。

2006—2016 年种植结构调整对农药使用量增

长起到了极大的促进作用。种植结构调整对农药

使用量增长的贡献率范围在 1.38%~195.59% 之间,平均贡献率达到 50.10%。如果将这 10 a 的农药使用量变化看作一个整体,2006—2016 年农药使用量共增长 13.20%,其中农作物播种面积扩大、各作物用药强度增加和种植结构调整分别推动农药使用量增长 6.13%、2.56% 和 4.51%,对农药使用量增长的贡献率分别为 46.44%、19.41% 和 34.15%。在部分年份,如 2012、2014 和 2016 年,种植结构调整的贡献率甚至比农作物播种面积扩大和各作物用药强度增加的贡献率都大。可见,种植结构调整不仅是导致农药使用量增长的重要驱动因素,在部分年份甚至是主导因素。

值得注意的是,2013 年以后(除 2014 年外)农药使用量开始呈负增长趋势,各农作物用药强度对农药使用量减少的贡献率为正值,而种植结构调整和播种面积扩大对农药使用量减少的贡献率为负值,这表明各农作物用药强度大幅降低是近年来农药使用量减少的主要原因,而种植结构调整和播种面积扩大仍对农药使用量增长起到促进作用;并且,从时间序列来看,播种面积对农药使用量增长的贡献率逐步小于种植结构调整的贡献率,到 2016 年,种植结构调整成为农药使用量增长的主要驱动因素,其贡献率是播种面积的 4.8 倍。各农作物用药强度降低对农药使用量减少的贡献率在 139.18%~570.28% 之间,作用效果显著,说明农业部制定的相关农药“减量增效”政策得到了有效实施,精准施药技术及病虫害绿色防控技术等节药技术的推广应用,使得我国农药利用率有了一定程度

的提高,对减少我国农药使用量做出了重要贡献。

综合以上分析可以看出,农作物种植结构调整、高用药农作物对低用药农作物的种植替代,是农药使用量增长的重要驱动因素,在部分年份(如 2012、2014 和 2016 年)甚至是促使农药使用量增长的最主要驱动因素。因此,调整农业生产结构,严格控制高用药农作物的种植面积,对高用药农作物进行种植替代,是今后进一步减少农药使用量的一个重要途径。

(2) 种植结构调整对分地区农药使用量变化的贡献

由于全国各地农作物种植结构调整在调整方向和调整程度上差异较大,导致种植结构调整对各地区农药使用量变化的贡献存在着较大不同(表 5)。种植结构调整对 6 大地区农药使用量变化的贡献范围在 12.39%~591.67% 之间。具体来看,由于东南、华中、西南和西北地区种植结构调整形式与全国种植结构调整形式相似,表现为高用药农作物对中低用药农作物的种植替代,因此,这 4 个地区种植结构调整具有促进地区农药使用量增长的作用。其中,西南和华中地区高用药农作物对中低用药农作物的替代程度较高,种植结构调整对这 2 个地区农药使用量增长的贡献率也较大,分别为 74.01% 和 98.65%,分别是这 2 个地区播种面积扩大贡献率的 2.82 倍和 1.65 倍。东南地区农药使用量呈负增长,种植结构调整对农药使用量减少的贡献是各农作物用药强度降低贡献率的 1.53 倍。

表 5 2006—2016 年我国不同地区种植结构调整对农药使用量变化贡献率测算

Table 5 Calculation of contribution rate of cropping structure adjustment to changes in pesticide consumption in different regions of China from 2006 to 2016

地区	农药使用量			播种面积		加权平均用药量		各作物用药强度		种植结构调整	
	增长量/t	占比/%	增长率/%	增长率/%	贡献率/%	增长率/%	贡献率/%	增长率/%	贡献率/%	增长率/%	贡献率/%
华北	-935	22.66	-0.24	0.41	-189.10	-0.64	289.10	10.18	-302.57	-10.86	591.67
东北	74 219	13.19	47.77	17.92	64.30	25.31	35.70	22.97	48.09	-5.92	-12.39
东南	-11 811	19.11	-3.43	-3.83	388.87	0.41	-288.87	3.91	-113.97	6.00	-174.90
华中	19 617	24.93	4.73	3.87	59.80	0.83	40.20	-2.77	-58.46	4.67	98.65
西南	57 787	13.49	32.66	5.38	26.20	25.89	73.80	-0.07	-0.21	24.17	74.01
西北	64 204	6.62	125.83	20.92	24.87	86.77	75.13	69.75	55.43	24.79	19.70
全国	203 081	100.00	13.23	6.13	51.60	6.69	48.40	1.89	14.25	4.52	34.15

华北和东北地区种植结构调整形式与全国种植结构调整形式相反,表现为高用药作物种植比例下降,而中低用药作物种植比例上升。因此,这 2 个地区种植结构调整起到了减少农药使用量的作用。尤其是华北地区,由于华北地区高用药作物棉花播

种面积大幅缩减,高用药农作物种植比例下降幅度较大,结构调整对该地区农药使用量减少的贡献率高达 591.67%,完全抵消了因播种面积扩大和各作物用药强度增加对农药使用量的增加作用,使农药使用量总体表现出减少趋势。东北地区同样减少

了高用药农作物种植比例,但由于低用药农作物种植比例也有同等幅度的下降,因此,种植结构调整对东北地区农药使用量增长的贡献率较低,仅为-12.39%。但是,这也在一定程度上抵消了播种面积扩大和各农作物自身用药强度升高对农药使用量增长的作用效果。如果高用药农作物种植比例没有下降,东北地区农药使用量增长幅度将更大。

整体来看,种植结构调整对全国及大部分地区农药使用总量变化起到了极大的推动作用,这种作用在西南、华中和华北地区尤为显著:种植结构调整、高用药农作物占比提高是西南和华中地区农药使用量增长的主因;棉花播种面积大幅缩减导致高用药农作物种植比例降低是华北地区农药使用量下降的主因。

3 结论与启示

3.1 主要研究结论

将农药使用总量增长的驱动因素分解为农作物播种面积、各农作物用药强度和种植结构调整3个部分,利用2006—2016年农药使用量及农作物种植结构相关数据,从全国和区域2个层面系统测算了这3个因素对农药使用量增长的影响程度,着重分析了种植结构调整对农药使用量增长的影响作用,主要研究结论如下:

(1)从时间序列来看,2006—2016年我国农药使用总量和农药使用强度总体呈上升趋势。自2015年颁布实施了一系列农药“减量增效”政策以来,农药使用总量和农药使用强度均略微有所下降。分区域来看,华中、华北和东南地区是全国农药使用量及农药使用强度较高的区域,其中,东南地区的广东、福建、海南3个省份用药强度超过 $22.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,达到极高强度用药水平;东北、西北和西南地区农药使用量和农药使用强度相对较小,但近年来农药使用增长速度超过全国平均水平,是全国农药使用总量增长的主要贡献区域,贡献率分别为36.50%、31.57%和28.42%。

(2)从区域上来看,全国及大部分地区农作物种植结构总体呈现高用药农作物种植比例不断增加而中低用药农作物种植比例逐渐减少的变化趋势,高用药农作物中蔬菜种植比例增加最为明显,增加1.38%。不同地区农作物种植结构调整在调整方向和调整程度上存在较大差异。东南、华中、西南和西北地区种植结构调整与全国种植结构调整相似,高用药作物在农作物种植结构中的占比不断提高。其中,西南地区种植结构调整幅度最大,高用药作

物种植比例增长8.54%。华北和东北地区种植结构调整方向与全国种植结构调整方向相反,表现出高用药作物种植比例减少而中低用药作物种植比例增加的变化趋势,其中,华北地区高用药作物种植比例减少幅度较大,减少3.80个百分点。

(3)从农药使用量增长的驱动因素分解结果来看,农作物种植结构调整、高用药农作物对低用药农作物的种植替代,对全国及大部分地区农药使用量增长起到了极大的推动作用。10a间种植结构调整对农药使用量增长的平均贡献率达到50.10%,在部分年份种植结构调整甚至是促使农药使用量增长的最主要因素。分区域来看,西南、华中、西北和华北地区种植结构调整幅度较大,种植结构调整对这4个地区农药使用量变化的推动作用也最显著:种植结构调整、高用药农作物占比提高是西南、华中和东南地区农药使用量增长的主因;棉花播种面积大幅缩减,导致高用药农作物种植比例降低是华北地区农药使用量下降的主因,完全抵消了因播种面积扩大和各作物自身用药强度增强对农药使用量的增加作用,使农药使用量总体表现出减少趋势。可见,农作物种植结构调整是导致我国农药使用量变化不可忽视的重要因素。

3.2 政策建议

基于以上研究结论,提出如下农药使用总量控制管理的种植结构调整策略:

(1)采用合理的经济手段,引导农业种植结构向“节药型”方向转变。已有研究表明,政府政策对农户调整农作物种植结构具有显著影响^[15]。一方面,应提高对高收益低用药优质品种补贴力度,降低农户对低用品种的采纳成本;另一方面,鉴于农户减少种植高用药作物有助于缓解农业面源污染,是一种正外部性行为,因此,应该制定合理的补偿政策对进行种植结构调整的农户给予一定的经济补偿。对高用药作物密集种植区实施轮作补助政策,或通过直接经济补偿方式激励农户用低用品种替代原高用品种,在保障农户收益的同时,促使农业种植结构向“节药型”结构转变。也可利用国际农产品市场,适度增加蔬菜、水果等高用药农产品的进口,调剂与平衡国内农产品供需,利用市场机制引导国内种植结构转变。

(2)加强农药使用区域化治理,重点调整高强度用药地区农业种植结构。东南、华北和华中等高污染高用药水平地区,尤其是像东南地区的广东、福建、海南3个极高强度用药省份,是亟需调整种植结构、加强农药使用量控制管理的重点区域。将种

种植结构调整与区域农业产业布局优化相结合:一方面,在果菜茶等高用药农作物优势产区,积极推广应用抗病优质新品种;另一方面,对果菜茶等高用药农产品低质低效产区,建议适度调减高用药农作物种植面积,根据当地资源禀赋状况,引进并大力推广适宜种植的高附加值低用药的作物新品种,在打造地方特色优势农产品品牌的同时,解决当地农业面源污染问题。

(3) 加大对农药减量替代技术的政策支持力度,提高农户技术采纳率。高效施药技术和绿色防控技术等农药减量替代技术能够提高农药利用率,显著降低农户施药强度。政府应加大对高效精准施药技术和绿色防控技术的政策支持力度:一是开展相关技术培训,提高农户技术认知度和采纳意愿;二是增加技术设备购置补贴,降低农户技术采纳成本,激励高用药作物种植户采纳农药减施技术,引导农民提质增收。

(4) 完善农药使用总量控制制度建设,保障农业绿色化发展。农药使用量“零增长”目标得以提前3 a实现,离不开一系列农药减量增效政策的有效实施,今后若要进一步实现农药使用“负增长”,应完善农药使用相关法规及政策措施,如规定单位播种面积农药使用上限和农药使用规范,约束农户过量施用农药行为;健全农药监管体制,重点加强对高用药农作物的监测监管;建立农村耕地农药用量监测体系,减少农药的过度使用。

参考文献:

- [1] NTOW W J, GIJZEN H J, KELDERMAN P, *et al.* Farmer Perceptions and Pesticide Use Practices in Vegetable Production in Ghana[J]. *Pest Management Science*, 2006, 62(4): 356-365.
- [2] REMBIAŁKOWSKA E. Quality of Plant Products From Organic Agriculture[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2007, 87(15): 2757-2762.
- [3] 杜江, 罗珺. 我国农业面源污染的经济成因透析[J]. *中国农业资源与区划*, 2013, 34(4): 22-27, 42. [DU Jiang, LUO Jun. Insight to the Economic Reasons of Agricultural Non-point Source Pollution in China[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2013, 34(4): 22-27, 42.]
- [4] 周曙东, 张宗毅. 农户农药施药效率测算、影响因素及其与农药生产率关系研究: 对农药损失控制生产函数的改进[J]. *农业技术经济*, 2013(3): 4-14.
- [5] 姜健, 周静, 孙若愚. 菜农过量施用农药行为分析: 以辽宁省蔬菜种植户为例[J]. *农业技术经济*, 2017(11): 16-25.
- [6] 麻丽平, 霍学喜. 农户农药认知与农药施用行为调查研究[J]. *西北农林科技大学学报(社会科学版)*, 2015, 15(5): 65-71, 76. [MA Li-ping, HUO Xue-xi. Farmers' Pesticide Perception and Pesticide Use Behavior[J]. *Journal of Northwest A & F University (Social Science Edition)*, 2015, 15(5): 65-71, 76.]
- [7] 童霞, 高申荣, 吴林海. 农户对农药残留认知及其行为意愿影响: 基于全国五省 986 个农户的调查数据[J]. *农业经济问题*, 2014, 12(1): 79-87. [TONG Xia, GAO Shen-rong, WU Lin-hai. Farmers' Perception of Pesticide Residues and Their Willingness to Act: Survey Data Based on 986 Farmers in Five Provinces Across the Country[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2014, 12(1): 79-87.]
- [8] 黄季焜, 齐亮, 陈瑞剑. 技术信息知识、风险偏好与农民施用农药[J]. *管理世界*, 2008(5): 71-76.
- [9] 王绪龙, 周静. 信息能力、认知与菜农使用农药行为转变: 基于山东省菜农数据的实证检验[J]. *农业技术经济*, 2016(5): 22-31.
- [10] 王建华, 马玉婷, 刘茁, 等. 农业生产者农药施用行为选择逻辑及其影响因素[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(8): 153-161. [WANG Jian-hua, MA Yu-ting, LIU Zhuo, *et al.* Behavior Choice Logic and Influencing Factors of Agricultural Producers' Pesticide Application[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(8): 153-161.]
- [11] 应瑞瑶, 徐斌. 农作物病虫害专业化防治服务对农药施用强度的影响[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(8): 90-97. [YING Rui-yao, XU Bin. Effects of Regional Pest Control Adoption on Pesticides Application[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(8): 90-97.]
- [12] 朱淀, 孔霞, 顾建平. 农户过量施用农药的非理性均衡: 来自中国苏南地区农户的证据[J]. *中国农村经济*, 2014(8): 17-29, 41.
- [13] 黄祖辉, 钟颖琦, 王晓莉. 不同政策对农户农药施用行为的影响[J]. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(8): 148-155. [HUANG Zu-hui, ZHONG Ying-qi, WANG Xiao-li. Study on the Impacts of Government Policy on Farmers' Pesticide Application Behavior[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(8): 148-155.]
- [14] 于伟, 张鹏. 中国农药施用与农业经济增长脱钩状态: 时空特征与影响因素[J]. *中国农业资源与区划*, 2018, 39(12): 88-95. [YU Wei, ZHANG Peng. Analysis of Spatiotemporal Characteristics and Influencing Factors Between Pesticide Application and Agricultural Economic Growth in China[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, 39(12): 88-95.]
- [15] 刘珍环, 杨鹏, 吴文斌, 等. 近 30 年中国农作物种植结构时空变化分析[J]. *地理学报*, 2016, 71(5): 840-851. [LIU Zhen-huan, YANG Peng, WU Wen-bin, *et al.* Spatio-temporal Changes in Chinese Crop Patterns Over the Past Three Decades[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(5): 840-851.]

作者简介: 仇相玮(1990—), 女, 山东泰安人, 博士生, 研究方向为资源与环境经济。E-mail: qxw9090@163.com

(责任编辑: 李祥敏)