

要素替代视角下的化肥减量机制及驱动因素 ——来自设施蔬菜优势产区的微观实证

张哲晰¹ 康婷² 穆月英^{3*} 徐雪¹

(1. 农业农村部 农村经济研究中心,北京 100810;

2. 农业农村部 信息中心,北京 100125;

3. 中国农业大学 经济管理学院,北京 100083)

摘要 为探索促进农户转变肥料投入行为、加速有机肥替代化肥,基于黄淮海与环渤海设施蔬菜优势产区蔬菜种植户调查数据,立足生产要素替代关系视角,在对农户有机肥替代化肥行为进行理论分析的基础上,运用超越对数生产函数模型、样条模型等对农户有机肥替代化肥的行为现状、驱动因素及异质性进行研究,结果表明:1)农户有机肥产出弹性高出化肥产出弹性44%,有机肥—化肥替代弹性为1.269,表现出较大的替代潜力;2)适度规模集中连片经营、专业化水平提高、使用更高肥效的有机肥、生态环保意识更强有利于推动农户有机肥替代化肥,而当前合作组织服务能力不足、优质优价机制尚未有效形成、有机肥效不稳定等问题则限制了农户替代积极性;3)家庭耕地面积在0.500~0.667 hm²的农户更倾向于用有机肥替代化肥。最后,提出应推动生产连片、适度规模经营,加强对农户有关有机肥知识与科学操作方面的教育和培训,提高有机肥质量与施用效果,鼓励社会化服务组织介入生产环节,建立绿色农产品品牌,实现优质优价的对策建议。

关键词 有机肥; 化肥减量; 替代弹性; 农户异质性

中图分类号 F323.2

文章编号 1007-4333(2022)05-0267-13

文献标志码 A

Mechanism and driving factors of chemical fertilizer reduction from the perspective of factor substitution: A micro-empirical research from the main facility vegetable production area

ZHANG Zhexi¹, KANG Ting², MU Yueying^{3*}, XU Xue¹

(1. Research Center for Rural Economy, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100810, China;

2. Information Center, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China;

3. College of Economics & Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract In order to promote farmers to change their fertilizer input behavior and accelerate the substitution of organic fertilizer for chemical fertilizer, based on the survey data of vegetable growers in the main facility vegetable production areas of Huang-Huai-Hai and Bohai Rim, this study discusses the mechanism of farmers' substitution of chemical fertilizer with organic fertilizer. Translog production function model and spline model are used to analyze the current situation of using organic fertilizer instead of chemical fertilizer, factors affecting the substitution relationship between organic fertilizer and chemical fertilizer, different substitution performance of heterogeneous farmer. The results show that: 1) The output elasticity of organic fertilizer is 44% higher than that of chemical fertilizer, and the substitution elasticity is 1.269. 2) The scale of land is moderate and distributed continuously, the production specialization level of

收稿日期: 2021-07-06

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(18ZDA074); 国家自然科学基金项目(71773121); 国家自然科学基金青年项目(72103109); 现代农业产业技术体系北京市果类蔬菜产业创新团队(BAIC01-2021)

第一作者: 张哲晰, 助理研究员, 主要从事农业经济理论与政策研究, E-mail:cauzzx1991@163.com

通讯作者: 穆月英, 教授, 主要从事农业经济理论与政策研究, E-mail:yueyingmu@cau.edu.cn

farmers is higher, the output effect of organic fertilizer is better, and farmers have stronger awareness of ecological and environmental protection, which is conducive to farmers to replace chemical fertilizer with organic fertilizer. However, at present, the service capacity of cooperative organizations is insufficient, the high quality and good price mechanism has not been effectively formed, and the quality of organic fertilizer is poor, which limits the enthusiasm of farmers to reduce the use of chemical fertilizer. 3) Farmers with family land scale of 0.500–0.667 hm² are more inclined to use organic fertilizer rather than chemical fertilizer. Based on the above results, this study puts forward some suggestions as follows: Promoting continuous production and moderate scale operation; Strengthening the education and providing training for farmers on organic fertilizer knowledge and scientific operation; Stabilizing the source of organic fertilizer, and improving the quality and effect of organic fertilizer; Encouraging social service organizations to intervene in production links; Establishing the brand of green agricultural products and realize high quality and good price.

Keywords organic fertilizer; fertilizer reduction; substitution elasticity; household heterogeneity

《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》明确提出“深入实施可持续发展战略,促进经济社会发展全面绿色转型,建设人与自然和谐共生的现代化”,特别是要“推进化肥农药减量化”。作为农作物的“粮食”,化肥在促进农作物增产、保障农产品供应等方面发挥了重要的作用,但长期大量使用化肥也造成了严重的负面影响^[1-2],威胁着中国农业竞争力与可持续发展。近年来,在政策推动和各方共同努力下,我国化肥使用总量在2016年实现负增长,提前三年达到了化肥使用“零增长”的目标。但实际上,总种植面积下降的表象掩盖了化肥施用强度提高,区域种植结构调整亦造成了局域化肥施用量增加^[3],而经济作物化肥施用强度整体偏高、利用率更低^[4-5],成为“后零增长”时代需要继续探索、突破和推进化肥减量增效的重点领域。尽管我国发布了《开展果菜茶有机肥替代化肥的行动方案》等文件推动有机肥替代化肥,但成效并不明显,农户对有机肥的使用仍存在着意愿高、行动差的特点^[6]。如何促进农户转变肥料投入行为,加速有机肥替代化肥成为各界关注的焦点。随着市场经济的逐步发展,理性农户在生产资料投入的替代行为方面更加符合经济规律,探讨市场化背景下理性农户有机肥对化肥的替代关系影响机制,发掘二者经济替代机理,将从新的视角探索实现化肥减量替代路径。此外,非农产业的发展诱导了农业的去内卷化,农户因农业生产禀赋与能力的不同发生分化^[7],而这种分化将引致其对市场与政策等外部环境的应对差异,这也将反映在农户肥料的利用行为上,需要予以关注。

综上,本研究立足要素替代关系视角,以中国第一大经济作物蔬菜产业为例,探索农户化肥减量替

代的机制及驱动因素,并将农户的异质性特征纳入考虑,关注其在要素替代行为上是否表现出差别及其原因。以期为把握农户有机肥替代化肥行为现状及实现路径提供有益参考,为实现农业高质量发展、推进绿色繁荣提供相关建议。

1 文献综述

中国化肥施用强度高^[8]、有效利用率低^[8],减量迫在眉睫。近年来,有机肥^[1]、测土配方施肥^[1]、秸秆机械化还田^[9]和标准化生产^[10]等绿色技术逐渐成为替代化肥的重要手段,但由于技术可获得性与资金门槛等方面的限制,有机肥往往是农户化肥替代策略中的首选^[11]。对农户有机肥替代化肥的相关研究中,比较有代表性的有褚彩虹等^[1]基于太湖流域798份问卷,利用联立双变量Probit模型和Probit模型对农户采用商品有机肥和农家肥,以及测土配方施肥技术的研究;杨钰蓉等^[12]基于湖北省154份茶农调研数据,运用二元Logistic模型,考察政策扶持促进农户采纳有机肥效果的研究;黄炎忠等^[6]基于湖北省372个果菜茶种植户样本,依托系数集束化方法探讨阻碍农户有机肥替代化肥技术采纳行为因素的研究等。但是,这些文献普遍存在仅针对有机肥施用本身进行研究的问题,缺乏构建系统性框架从经济学要素替代角度统筹分析化肥和有机肥的替代关系及驱动机理,并且对农户异质性问题未予以足够的关注,方法上也难以反映异质性样本特征对替代行为的非线性影响。黄炎忠等^[11]虽然对既有成果加以改进,利用Heckman两阶段模型分析湖北省372份果菜茶种植户选择不同化肥减量替代技术及对化肥替代程度的影响因素,一定程度上弥补了既有文献对有机肥、化肥分割研究的问

题,但该研究中由农户判断有机肥对化肥的替代程度,主观性较强,有进一步完善的空间。

综上,本研究基于中国黄淮海与环渤海设施蔬菜优势产区农户微观数据,利用超越对数生产函数求解农户有机肥—化肥替代弹性,掌握市场经济环境下理性农户的替代行为,在此基础上,先总体上验证推动农户有机肥替代化肥的机制路径及影响因素,然后将农户规模异质性特征纳入考虑,利用样条回归模型探索不同规模农户在替代行为上表现出的差别及成因,最终提出相关对策建议。

2 理论基础与模型构建

2.1 理论基础和研究假说

2.1.1 有机肥概念界定及可替代性分析

本研究参考宋以玲等^[13]、黄炎忠等^[6]关于有机肥的界定,将有机肥定义为依靠生物的生命活动及其代谢产物,通过堆积、发酵而形成的,为农作物提供营养物质的有机化合物肥料,包括商品有机肥和农家肥。黄炎忠等^[6]指出,商品有机肥在体积、用量、肥效等本质属性上与农家肥区别不大,对技术环境要求一致,故在本研究中,也未区分二者。在可替代性上,农学领域的相关研究已经证实了有机肥替代促进化肥减量的技术可行性^[13-17];马骥^[18]、茹敬贤^[19]也验证了经济意义上粮食生产过程中有机肥施用与化肥施用之间呈负相关关系,也为本研究奠定了扎实的基础。

2.1.2 农户有机肥替代化肥行为机制分析

本研究的理论基础是生产要素间的替代互补关系。根据利润函数最大化的一阶条件,生产要素的边际成本等于其边际产品产值时,农户实现利润最大化的生产经营目标。基于此,根据经济学理论,影响农户生产要素投入行为的因素主要包括三类:一是影响生产要素边际成本的因素,二是影响替代、互补要素边际成本的因素,三是影响边际产品价值的因素。从生产实践看,化肥、有机肥之间有较强的替代性,土地、劳动力等其他要素与化肥、有机肥之间也存在替代、互补关系^[20-21]。本研究侧重分析有机肥对化肥的替代路径,根据以上理论分析,影响有机肥、化肥边际成本的因素,影响有机肥、化肥替代、互补要素边际成本的因素和影响化肥有机肥边际产品价值的因素都会影响农户化肥替代行为。在化肥、

有机肥价格方面,当受到各类组织支持和市场激励,有机肥价格下降或化肥价格上升,农户倾向于用更多的有机肥替代化肥。在劳动力等互补要素方面,有机肥的施用需配合更多的劳动力,当农户具有更充分的劳动力禀赋和更高的专业化水平时,互补要素的数量增加、价格下降,促进其更多施用有机肥。土地的紧约束将会促使农户更多使用化肥;反之,土地约束越松弛,农户越倾向于投入更多有机肥。在产品价值方面,通过生产组织进行“两品一标”^①认证等方式,使用有机肥所生产的绿色、有机蔬菜的价格将高于普通蔬菜价格,为追求利润最大化,农户将更多使用有机肥。基于此,结合对既有文献的梳理,本研究将影响农户有机肥替代化肥行为的驱动机制为3类,分别是农户禀赋与专业化水平、组织支持与市场激励,以及其他控制因素(图1)。

1)农户禀赋与专业化水平。①在土地供给缺乏弹性的约束下,农户需要通过生物化学技术实现“土地节约”,这是农户大量使用化肥的动力之一。而随着耕地规模的增加,会促进农户投入更多的精力进行科学化生产和专业化管理^[9],且更容易实现资源要素的优化配置^[22],还有利于获得耕地质量保护投入的规模经济^[23]。因此,规模经营或将有利于增加农户化肥减量替代的动力。需要注意的是,人均耕地规模过大造成的生产经营粗放化将导致化肥投入过量^[8],且土地过于细碎也不利于农户化肥减量替代^[24]。②有机肥施用具有劳动密集型特征^[1-6],当劳动力不足或价格上涨时,或将导致农户减少施肥次数^[25],使用更加便捷的化肥替代有机肥^[26-27]。③农户专业化生产程度较高有利于提高农户人力资本积累,增加有效劳动供给,这有利于减少化肥投入^[24]。

假说1:农户耕地规模大有利于化肥减量替代,但耕地规模对农户替代行为可能产生非线性影响;农户家庭地块分散不利于有机肥替代化肥;农户家庭农业劳动数量充足有利于有机肥替代化肥;农户专业化生产水平高有利于有机肥替代化肥。

2)组织支持与市场激励。①农民合作社在服务、指导农民生产实践的过程中发挥着日益重要的作用,将通过技术培训与指导、提供农机服务、推广有机肥等生产资料的形式,影响农户替代行

① “两品一标”在现阶段指有有机农产品、绿色食品和地理标志农产品。

为^[1,9,28]。②农户的生产行为愈发符合经济规律,除使用投入产出比更高的要素外,在消费者对农产品质量安全日益重视的背景下,依托于“两品一标”等质量安全认证的“优质优价”机制逐步完善,将对农户生产方式改进形成持续动态经济激励^[29],促进农户采用有机肥。

假说2:农户所在村庄中有蔬菜专业合作社有利于有机肥替代化肥;单位化肥蔬菜产出与单位有机肥蔬菜产出之比越低越有利于有机肥替代化肥;提高蔬菜质量安全能够影响蔬菜收益时有利于有机肥替代化肥。

3)其他控制因素。生态意识是生态行为产生的基础,研究表明户主年龄的增长及受教育程度的提

高有利于增强生态意识、提高知识技术储备,进而提升农户采取生态保护相关措施的概率,减少化肥施用量^[23,30-31]。但是,如果农户形成了错误的认知,可能会误认为环境友好型农业技术不能获利或具有风险^[1]。本研究控制了户主年龄、受教育年限、是否会为了增加蔬菜产出而继续增加化肥投入、对有机肥的认知等反映生态意识和知识储备的因素。此外,还控制了户主性别、蔬菜种植年限、蔬菜生产周期等因素。

假说3:生产周期越短、户主年龄越大、受教育程度越高、蔬菜种植年限越长、生态意识越强且对有机肥施用有正确且充分的认知,分别有利于农户用有机肥替代化肥。

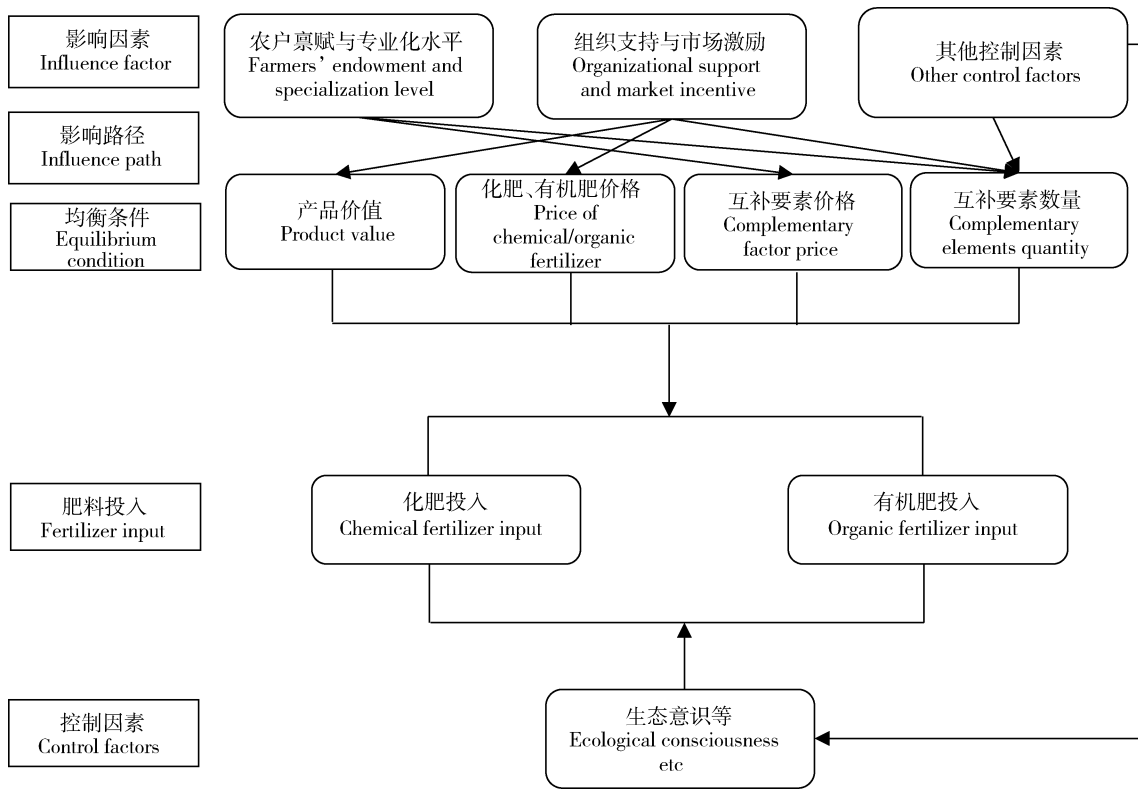


图1 农户有机肥替代化肥行为机制

Fig.1 Mechanism of farmers replacing chemical fertilizer with organic fertilizer

2.2 模型构建

2.2.1 农户有机肥—化肥替代弹性测算

超越对数(Translog)是常见的变弹性生产函数形式,具有能够更灵活体现出要素间替代关系的优势,是本研究准确测得要素替代弹性的基础。本研究以所调查棚当茬果类蔬菜产量(Q)为产出变量。考虑到不同类型投入品的种类繁多且强度不同,对

产出的贡献并不一致,故参考以往文献中的处理方式,用支出金额来衡量各项要素的投入,保证了各投类入品的可比性^[32]。具体的,以土地投入(E)、劳动投入(L)、化肥投入(F)、有机肥投入(O)、其他资本投入(K,包括种苗费、机耕费、农膜费、病虫害防治费、水电费等)为投入变量,设定如下模型形式:

$$\ln Q = \alpha_0 + \alpha_1 \ln E + \alpha_2 \ln L + \alpha_3 \ln F + \alpha_4 \ln O +$$

$$\begin{aligned} & \alpha_5 \ln K + 1/2\alpha_6 \ln E \cdot \ln E + 1/2\alpha_7 \ln L \cdot \ln L + \\ & 1/2\alpha_8 \ln F \cdot \ln F + \\ & 1/2\alpha_9 \ln O \cdot \ln O + 1/2\alpha_{10} \ln K \cdot \ln K + \alpha_{11} \ln E \cdot \ln L + \\ & \alpha_{12} \ln E \cdot \ln F + \alpha_{13} \ln E \cdot \ln O + \alpha_{14} \ln E \cdot \ln K + \\ & \alpha_{15} \ln L \cdot \ln F + \alpha_{16} \ln L \cdot \ln O + \alpha_{17} \ln L \cdot \ln K + \\ & \alpha_{18} \ln F \cdot \ln O + \alpha_{19} \ln F \cdot \ln K + \alpha_{20} \ln O \cdot \ln K \quad (1) \end{aligned}$$

式中：参数中， α_3 、 α_4 分别为化肥和有机肥的要素累积效应； α_8 、 α_9 分别为化肥和有机肥的规模效应，当数值为正，表示化肥、有机肥规模报酬递增，反之，则规模报酬递减； α_{12} 、 α_{15} 、 α_{18} 、 α_{19} 、 α_{13} 、 α_{16} 、 α_{18} 、 α_{20} 分别为化肥和有机肥与其他要素之间的协调效应，当数值为正，表示化肥、有机肥与其他要素之间是同向变化的互补效应，反之，则为反向变化的替代效应。

参考吴舒^[33]和郝枫^[34]的研究，本研究将基于式(1)并利用式(2)和(3)获得化肥与有机肥的产出弹性，即在其他条件保持不变的情况下要素投入增加1%时产出增加的比例，并在此基础上利用式(4)计算有机肥—化肥替代弹性，即在产出不变时当两种要素边际生产率变化1%时两种要素投入比例变化的大小，计算公式如下：

化肥产出弹性：

$$\eta_F = \partial \ln Q / \partial \ln F = \alpha_3 + \alpha_8 \ln F + \alpha_{12} \ln E + \alpha_{15} \ln L + \alpha_{18} \ln O + \alpha_{19} \ln K \quad (2)$$

有机肥产出弹性：

$$\eta_O = \partial \ln Q / \partial \ln O = \alpha_4 + \alpha_9 \ln O + \alpha_{13} \ln E + \alpha_{16} \ln L + \alpha_{18} \ln F + \alpha_{20} \ln K \quad (3)$$

有机肥—化肥替代弹性：

$$\sigma_{FO} = \left(1 + 2 \left(\alpha_{18} - \frac{\eta_O \alpha_8}{\eta_F} - \frac{\eta_F \alpha_9}{\eta_O} \right) (\eta_F + \eta_O)^{-1} \right)^{-1} \quad (4)$$

式(4)中： σ_{FO} 的值域为 $[0, +\infty)$ ，取值越大，表明有机肥对化肥的替代性越强。以 $\sigma_{FO} = 1$ 为界，当 $\sigma_{FO} > 1$ 时，意味着替代关系较强，当 $\sigma_{FO} < 1$ 时，意味着替代关系较弱。

2.2.2 农户有机肥替代化肥的影响因素分析

根据前述理论分析，构建农户有机肥替代化肥驱动因素方程。以有机肥—化肥替代弹性为因变量，以农户家庭劳动力数(Lab)，农户家庭耕地面积(Land)，农户家庭地块数(Num)，农户专业化生产水平(Spec)，农户所在村庄是否有蔬菜专业合作社

(Coop)，单位化肥蔬菜产出与单位有机肥蔬菜产出比(Rat)，农户是否感知到提高蔬菜质量安全能够影响收益(Mar)，户主性别(Gen)，户主年龄(Age)，户主受教育年限(Edu)，户主蔬菜种植年限(Vyear)，农户是否会为了增加蔬菜产出而继续增加化肥投入(Ati)，农户认为是否了解生物肥料(Ack)，当茬果类菜生长周期(Day)为自变量，设定如下模型形式。

$$\begin{aligned} \sigma_{FO} = & \beta_0 + \beta_1 \text{Lab} + \beta_2 \ln \text{Land} + \beta_3 \text{Num} + \\ & \beta_4 \ln \text{Spec} + \beta_5 \text{Coop} + \beta_6 \text{Rat} + \beta_7 \text{Mar} + \\ & \beta_8 \text{Gen} + \beta_9 \text{Age} + \beta_{10} \text{Edu} + \beta_{11} \text{Vyear} + \\ & \beta_{12} \text{Ati} + \beta_{13} \text{Ack} + \beta_{14} \text{Day} \quad (5) \end{aligned}$$

2.2.3 不同规模农户^①有机肥替代化肥的异质性分析

本研究以经营规模表征农户异质性并检验其对农户有机肥替代化肥行为的差别影响。结合第三次全国农业普查数据，“经营耕地10亩(0.67 hm²)以下的农户有2.1亿户，这是个小规模甚至超小规模的经营格局”^②，并综合调研样本分布特征，本研究选择0.167 hm²以下、0.167~0.333 hm²、0.333~0.500 hm²、0.500~0.667 hm²和0.667 hm²以上作为划分标准。较之设置类别虚拟变量损耗自由度，并且所得结果间接通过显示其他规模范围相对于某一范围对因变量的影响，样条模型具有能够在尽量减少样本损失的情况下获得被解释变量与解释变量分位数之间关系的准确结果的优势，克服不适当的线性假设问题，直接独立反映不同规模对有机肥—化肥替代关系的影响，更有效地满足本研究需要。

3 数据来源与结果解析

3.1 数据来源和变量说明

本研究所用数据来自课题组于2017年4月—2018年7月间于黄淮海与环渤海设施蔬菜优势产区中山东、河北、北京、天津和辽宁5省(市)开展的两轮调查。课题组首先采用分层抽样方法对5省(市)蔬菜主产区进行抽样，随后，对主产区中以黄瓜、番茄、青椒和茄子等大路果类蔬菜为主要生产品种的专业村及专业村中蔬菜种植户展开随机抽样。

① 资料来源：https://www.sohu.com/a/298484958_120045031

② 家庭耕地面积大，一方面表明农户资金实力雄厚足以支付流转成本，另一方面展现了农户有能力进行规模经营，虽不排除农户所在村土地资源丰富导致户均耕地面积较大的现象，但以面积为标准对农户分化情况进行划分具有一定合理性。

此次调研共覆盖了22个县(市、区)、69个乡镇,156个村,回收农户调查问卷1260份,获得有效问卷959份。

表1为主要变量设置及情况说明,包括蔬菜生产情况、农户禀赋与专业化水平、组织支持与市场激

励,以及其他控制变量四个部分。从蔬菜生产情况来看,农户肥料投入约占总资本投入的40%,其中,化肥投入均值接近有机肥投入均值的1.5倍。从农户禀赋与专业化水平来看,农户家庭劳动力数主要集中在2~3人,平均经营4个地块0.67 hm²左右,

表1 变量设置及解释

Table 1 Variable setting and explanation

类别 Category	变量名称 Variable name	说明 Description	均值 Mean	标准差 SD
蔬菜生产情况 Vegetable production	蔬菜产出 Q , (kg/棚)	棚蔬菜产量	9 987.26	11 013.76
	土地投入 E , (hm ² /棚)	棚耕地面积	0.075	0.004
	劳动投入 L , (工/棚)	棚劳动投入	211.33	192.16
	化肥投入 F , (元/棚)	棚化肥投入	2 154.74	3 142.66
	有机肥投入 O , (元/棚)	棚有机肥投入	1 475.96	1 569.31
	其它资本投入 K , (元/棚)	棚其它资本投入	4 458.19	3 200.64
农户禀赋与专业化水平 Farmers' Endowment and specialization level	家庭劳动力数 Lab , 人	农户家庭劳动力数	2.42	0.95
	家庭耕地面积 $Land$, hm ²	农户家庭耕地面积	0.70	0.98
	家庭地块数 Num , 块	农户家庭地块数	3.75	4.88
	专业化生产水平 $Spec$	农户家庭菜地面积占耕地面积比	0.71	0.32
组织支持与市场激励 Organizational support and market incentive	是否有合作社 $Coop$	农户所在村庄是否有蔬菜专业合作社(无=0,有=1)	0.38	0.48
	收益率比 Rat	单位化肥蔬菜产出与单位有机肥蔬菜产出比	84.87	379.77
	市场监督 Mar	农户是否感知到提高蔬菜质量安全能够影响收益(否=0,是=1)	0.80	0.40
其他 Others	户主性别 Gen	户主性别(女=0,男=1)	0.91	0.28
	户主年龄 Age , 岁	户主年龄	51.69	8.79
	户主受教育年限 Edu	户主受教育年限	8.59	2.28
	户主蔬菜种植年限 $Vyear$	户主蔬菜种植年限	17.65	8.74
	生态意识 Ati	是否会为增加蔬菜产出继续增加化肥投入(不会=0,会=1)	0.61	0.49
	有机肥认知 Ack	自认为对有机肥的认知(不了解=0,了解=1)	0.67	0.47
	生产周期 Day , d	当茬果类菜生长周期	189.74	86.01

注:劳动投入计算公式为:家庭蔬菜生产劳动力数×当茬本棚果菜生产周期/地块数+当茬本棚果菜生产雇工数。

Note: Labor input=Number of family vegetable production labor×Production cycle of vegetables (this greenhouse)/Number of family land+Number of employees (this greenhouse).

其中约70%的耕地用于蔬菜种植,表现出较高的专业化水平。从组织支持与市场激励来看,约有不到一半的样本农户所在村庄有蔬菜专业合作社,平均而言,单位化肥投入的蔬菜产出高于单位有机肥投入的蔬菜产出可能是抑制农户有机肥替代化肥的最主要障碍,绝大部分农户能够感知到提高蔬菜质量安全会影响收益。其他控制变量显示,农户大多具有丰富的蔬菜种植经验,约60%的农户会为了增加蔬菜产出而继续增加化肥投入,67%的农户认为自

己了解有机肥,作物平均生产周期约为6个月。

3.2 农户有机肥—化肥替代弹性分析

表2为超越对数生产函数模型估计结果,表3为化肥、有机肥产出弹性及其结构分解,以及有机肥—化肥替代弹性计算结果。可知,化肥的产出弹性为0.075,将其分解可知,化肥的累积效应最大,表现出规模报酬递增特征,并与其他要素存在替代效应;有机肥的产出弹性为0.108,将其分解可知,有机肥的累积效应为负,呈现出规模报酬递增特征,

表2 超越对数生产函数模型估计结果

Table 2 Estimation results of translog production function model

变量 Variable	系数 Coefficient	标准误 Standard error
土地投入 E	-1.085	0.918
劳动投入 L	-0.269	0.330
化肥投入 F	0.238 *	0.129
有机肥投入 O	-0.135	0.180
其它资本投入 K	0.336	0.746
土地投入的平方 E^2	-0.221 **	0.097
劳动投入的平方 L^2	0.028	0.022
化肥投入的平方 F^2	0.006	0.004
有机肥投入的平方 O^2	0.015 ***	0.005
其它资本投入的平方 K^2	0.004	0.047
土地投入×劳动投入 $E \times L$	-0.101	0.066
土地投入×化肥投入 $E \times F$	0.018	0.026
土地投入×有机肥投入 $E \times O$	-0.055 *	0.030
土地投入×其它资本投入 $E \times K$	0.264 **	0.107
劳动投入×化肥投入 $L \times F$	-0.000 1	0.012
劳动投入×有机肥投入 $L \times O$	0.004	0.015
劳动投入×其它资本投入 $L \times K$	0.025	0.045
化肥投入×有机肥投入 $F \times O$	0.012	0.011
化肥投入×其它资本投入 $F \times K$	-0.039 **	0.016
有机肥投入×其它资本投入 $O \times K$	-0.007	0.024
常数项 Constants	5.628 *	3.236

注:***、**、*分别表示估计结果在1%、5%、10%的统计水平上显著。下同。

Note: ***, ** and * represent significance levels of 1%, 5% and 10%, respectively. The same below.

表3 弹性测算结果

Table 3 Elasticity measurement results

变量 Variable	产出弹性 Output elasticity	结构分解 Structural decomposition			要素替代弹性 Elasticity of Substitution
		要素累积效应 Factor cumulative effect	规模效应与自身投入 Scale effect and self investment	协调效应与其他投入 Coordination effect and other inputs	
化肥投入 F	0.075	0.238	0.079	-0.241	1.269
有机肥投入 O	0.108	-0.135	0.200	0.044	

注:化肥、有机肥的要素累积效应分别为 α_3 、 α_4 ;化肥、有机肥规模效应与自身投入分别为 $\alpha_8 \ln F$ 、 $\alpha_9 \ln O$;协调效应与其他投入分别为 $\alpha_{12} \ln E + \alpha_{15} \ln L + \alpha_{18} \ln O + \alpha_{19} \ln K$ 、 $\alpha_{13} \ln E + \alpha_{16} \ln L + \alpha_{18} \ln F + \alpha_{20} \ln K$ 。

Note: Factor cumulative effect of chemical fertilizer and organic fertilizer are α_3 and α_4 ; Scale effect and self-investment of chemical fertilizer and organic fertilizer are $\alpha_8 \ln F$ and $\alpha_9 \ln O$; Coordination effect and other inputs are $\alpha_{12} \ln E + \alpha_{15} \ln L + \alpha_{18} \ln O + \alpha_{19} \ln K$ and $\alpha_{13} \ln E + \alpha_{16} \ln L + \alpha_{18} \ln F + \alpha_{20} \ln K$.

与其他要素存在互补效应,其中累积效应为负,可能是因农户有机肥投入呈下降状态影响所致。总体看,有机肥产出弹性高出化肥44%,其可能的原因是化肥长期大量施用超过最优量造成边际效应递减,而加入有机肥配施则有利于改善土壤质量^[16],提高作物的产量。在此基础上计算得出有机肥—化肥替代弹性为1.269,表明有机肥对化肥的替代性较强,有望进一步挖掘农户运用有机肥替代化肥的潜力。

3.3 农户有机肥替代化肥的影响因素分析

3.3.1 农户禀赋与专业化水平对农户有机肥替代化肥的影响

如表4所示,家庭耕地面积通过了10%水平的显著性检验,促进农户有机肥替代化肥。家庭耕地面积扩大使农户更专注于农业生产,并获得绿色技术采用的规模经济,提高农户有机肥替代化肥的积极性。家庭地块数量在1%的显著性水平上抑制农户有机肥对化肥的替代。设施蔬菜生产以温室/大棚为基本单元,而温室/大棚也分布于农户分散的地块,这意味着农户面临着来自设施的隔离和地块分散的双重压力。因此,鼓励规模经营不仅意味着温室/大棚面积的适度扩大,也应鼓励农户通过流转、互换等方式将大棚尽可能集中,降低运输成本。但在扩大温室/大棚面积或加速耕地集中连片时也要考虑土地成本,机械和劳动力的配套,否则或将使人财、人地关系恶化,造成生产经营粗放化、降低农户耕地保护积极性^[1,8]。专业化水平的提高有利于激励农户有机肥替代化肥,农户生产专业化程度越高,田间管理能力越强,对蔬菜生产的依赖性也越大,为获取更高经济效益,农户施肥将更加科学合理。家

庭劳动力数并未对农户有机肥替代化肥产生显著影响,可能是因为农户在生产过程中仍更倾向用资本密集型技术来替代劳动密集型技术,抑或是劳动力数量多的农户家庭负担更重,降低了为引入新技术而投入资金的积极性^[35]。

3.3.2 组织支持与市场激励对农户有机肥替代化肥的影响

如表4所示,收益率比通过了1%水平的显著性检验,对农户有机肥替代化肥产生负向影响。当化肥单位蔬菜产出明显高于单位有机肥蔬菜产出时,农户用有机肥替代化肥的积极性降低。是否有合作社并未对农户有机肥替代化肥表现出明显的影响,可能的原因是部分合作社存在“空壳”倾向、服务能力不足,或是合作社受经济利益诱导,服务项目更多集中于经济见效快的服务所致。市场监督变量未通过显著性检验,这是因为只有足够的溢价报酬才能刺激农户开展绿色生产,而蔬菜质量安全特征属于经验品,消费者即便在长期购买的情况下也无法有效判断,阻碍了“优质优价”的形成,致使农户有机肥替代化肥动力不足。

3.3.3 生态意识等控制因素对农户有机肥替代化肥的影响

由表4可知,年龄越大的农民更能够敏锐感知到当地农业生态环境退化情况,出于可持续生产考虑,用有机肥替代化肥的动机更强烈。户主对有机肥的认知在10%的显著性水平上负向作用于其替代行为,可能的原因是农民对有机肥是否了解的自我评价与实际存在偏差。在调研过程中,很多农民反映其使用的农家肥和商品有机肥是利用动植

物残体或人畜排泄物堆积发酵而成,肥料中存在病菌,影响作物的生长,降低收益,这使农户对有机肥产生抵触心理。此外,生产周期显著抑制农户替代

行为,由于有机肥属于劳动密集型生产要素,生产周期越长意味着可能增加施肥次数,因此,农户更愿意采用使用便利的化肥。

表4 农户有机肥替代化肥影响因素方程估计结果

Table 4 Estimation results of influencing factors equation of organic fertilizer substitution for chemical fertilizer by farmers

变量 Variable	系数 Coefficient	标准误 Standard error
家庭劳动力数 Lab	-0.006	0.016 0
家庭耕地面积 Land	0.034 *	0.021 0
家庭地块数 Num	-0.012 ***	0.003 0
专业化生产水平 Spec	0.057 **	0.023 0
是否有合作社 Coop	0.023	0.036 0
收益率比 Rat	-0.044 ***	0.017 0
市场监督 Mar	0.005	0.029 0
户主性别 Gen	-0.131	0.092 0
户主年龄 Age	0.004 **	0.002 0
户主受教育年限 Edu	-0.005	0.009 0
户主蔬菜种植年限 Vyear	-0.001	0.002 0
生态意识 Ati	-0.007	0.031 0
有机肥认知 Ack	-0.066 *	0.038 0
生产周期 Day	-0.001 **	0.000 2
常数项 Constants	0.277	0.187 0

3.4 不同规模农户有机肥替代化肥的异质性分析

表5重点反映出不同规模农户有机肥替代化肥的差异化特征,当农户家庭耕地面积在0.500~0.667 hm²时,农户更倾向于用有机肥替代化肥,其他范围则并未对农户替代行为产生显著影响,这意味着,该范围可能是在农户家庭现有资源禀赋,如劳动力、机械设备、技术水平、资金条件下,能够为农户提供替代可能性的适合区间。尽管未通过显著性检验,其他规模对农户有机肥—化肥替代弹性主要呈负向影响,或意味着规模过小不利于农户投入更多精力进行科学管理、难以获得规模经济,而规模过大则可能促使农户更多地使用搬运便利的化肥,粗放经营。表5中的其他主要结果与表4一致,故不

赘述。

4 结论与政策启示

本研究基于黄淮海与环渤海设施蔬菜优势产区蔬菜种植户调研数据,对农户有机肥替代化肥行为进行理论分析,并运用超越对数生产函数模型、样条模型等实证检验农户有机肥替代化肥的行为现状、影响替代关系的驱动因素、不同规模下替代行为的差别效果,研究表明:1)农户有机肥产出弹性比化肥产出弹性高44%,有机肥—化肥替代弹性为1.269,表现出较大的替代潜力,仍需继续大力倡导农户使用有机肥。2)适度规模集中连片经营、专业化水平提高、使用更高肥效的有机肥、生态环保意识更强有

表5 农户有机肥替代化肥行为样条模型估计结果
Table 5 Spline model estimation of farmers' behavior of organic fertilizer replacing chemical fertilizer

变量 Variable	系数 Coefficient	标准误 Standard error
家庭耕地面积(<0.167 hm ²) Land	0.220	0.155
家庭耕地面积(0.167~0.333 hm ²) Land	-0.069	0.117
家庭耕地面积(>0.333~0.500 hm ²) Land	-0.097	0.164
家庭耕地面积(>0.500~0.667 hm ²) Land	0.344 *	0.203
家庭耕地面积(>0.667 hm ²) Land	-0.011	0.054
家庭劳动力数 Lab	-0.007	0.016
家庭地块数 Num	-0.011 ***	0.004
专业化生产水平 Spec	0.051 *	0.029
是否有合作社 Coop	0.017	0.032
收益率比 Rat	-0.043 ***	0.007
市场监督 Mar	0.003	0.038
户主性别 Gen	-0.132 **	0.056
户主年龄 Age	0.004 *	0.002
户主受教育年限 Edu	-0.005	0.007
户主蔬菜种植年限 Vyear	-0.002	0.002
生态意识 Ati	-0.008	0.031
有机肥认知 Ack	-0.067 *	0.035
生产周期 Day	-0.001 **	0.000
常数项 Constants	0.167	0.183

利于推动农户有机肥替代化肥。合作组织服务能力不足、优质优价机制尚未有效形成、有机肥效不稳定等问题则限制了农户替代积极性。3)家庭耕地面积在0.500~0.667 hm²的农户更倾向于用有机肥替代化肥,规模过小的农户使用有机肥的动力及经济激励不足,规模过大的农户或将由于人财地关系恶化导致粗放经营。

根据以上研究结论,得到一些政策启示:一是推动生产连片、适度规模经营,为农户有机肥施用提供合理配套条件,实现规模经济。二是依托田间学校、农技推广站、土肥站、新型经营主体示范等方式,加强对农户,特别是专业小农户有关有机肥知识与科学操作方面的教育和培训。三是规范有机肥市场,

探索推进有机肥生产国家标准,提高与改善有机肥质量与效果,让农户用上放心、有效的有机肥,并对有机肥施用给予适当补贴,提高农民施用有机肥的积极性。四是借助社会化服务体系引入现代生产要素替代化肥,降低农户因在农资市场上信息不对称和劳动力限制等所造成的过量使用化肥情况。五是进一步推行产地合格证制度,建立绿色农产品品牌,通过优质优价促进化肥减量替代。

参考文献 References

- [1] 褚彩虹,冯淑怡,张蔚文.农户采用环境友好型农业技术行为的实证分析:以有机肥与测土配方施肥技术为例[J].中国农村

- 经济, 2012(3): 68-77
- Chu C H, Feng S Y, Zhang W W. An empirical analysis of farmer's households' behaviour in adopting environmental friendly agricultural techniques: Taking techniques of manure and soil testing and fertilizer recommendation as examples[J]. *Chinese Rural Economy*, 2012(3): 68-77 (in Chinese)
- [2] 张灿强, 王莉, 华春林, 金书秦, 刘鹏涛. 中国主要粮食生产的化肥削减潜力及其碳减排效应[J]. 资源科学, 2016, 38(4): 790-797
- Zhang C Q, Wang L, Hua C L, Jin S Q, Liu P T. Potentialities of fertilizer reduction for grain produce and effects on carbon emissions[J]. *Resources Science*, 2016, 38(4): 790-797 (in Chinese)
- [3] 刘莉, 刘静. 基于种植结构调整视角的化肥减施对策研究[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(1): 17-25
- Liu L, Liu J. Study on the path of chemical fertilizer reduction from the perspective of planting structure adjustment [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(1): 17-25 (in Chinese)
- [4] 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, 35(10): 120-132
- Gao J J, Peng C, Shi Q H. Study on the high chemical fertilizers consumption and fertilization behavior of small rural household in China: Discovery from 1995—2016 national fixed point survey data [J]. *Management World*, 2019, 35(10): 120-132 (in Chinese)
- [5] 罗斯炫, 何可, 张俊飏. 增产加剧污染: 基于粮食主产区政策的经验研究 [J]. 中国农村经济, 2020(1): 108-131
- Luo S X, He K, Zhang J B. The more grain production, the more fertilizers pollution: Empirical evidence from major grain-producing areas in China [J]. *Chinese Rural Economy*, 2020(1): 108-131 (in Chinese)
- [6] 黄炎忠, 罗小锋, 刘迪, 余威震, 唐林. 农户有机肥替代化肥技术采纳的影响因素: 对高意愿低行为的现象解释 [J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(3): 632-641
- Huang Y Z, Luo X F, Liu D, Yu W Z, Tang L. Factors affecting farmers' adoption of organic fertilizer instead of chemical fertilizer: Explaining the phenomenon of farmers' little behavior with strong willingness [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(3): 632-641 (in Chinese)
- [7] 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(2): 81-99
- Zhang L, Luo B L. Agricultural chemical reduction: The logic and evidence based on farmland operation scale of households [J]. *Chinese Rural Economy*, 2020(2): 81-99 (in Chinese)
- [8] 纪龙, 徐春春, 李凤博, 方福平. 农地经营对水稻化肥减量投入的影响 [J]. 资源科学, 2018, 40(12): 2401-2413
- Ji L, Xu C C, Li F B, Fang F P. Impact of farmland management on fertilizer reduction in rice production [J]. *Resources Science*, 2018, 40(12): 2401-2413 (in Chinese)
- [9] 蔡颖萍, 杜志雄. 家庭农场生产行为的生态自觉性及其影响因素分析: 基于全国家庭农场监测数据的实证检验 [J]. 中国农村经济, 2016(12): 33-45
- Cai Y P, Du Z X. An analysis of ecological consciousness of family farm production behavior and its influencing factors: An empirical test based on survey data of family farms in China [J]. *Chinese Rural Economy*, 2016(12): 33-45 (in Chinese)
- [10] 马兴栋, 霍学喜. 苹果标准化生产、规制效果及改进建议: 基于山东、陕西、甘肃 3 省 11 县 960 个苹果种植户的调查分析 [J]. 农业经济问题, 2019(3): 37-48
- Ma X D, Huo X X. Apple standardized production and improving recommendations: Based on Shandong, Shaanxi and Gansu 960 apple growers' field investigation in China [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2019(3): 37-48 (in Chinese)
- [11] 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, 19(1): 77-87
- Huang Y Z, Luo X F. Reduction and substitution of fertilizers: Farmer's technical strategy choice and influencing factors [J]. *Journal of South China Agricultural University: Social Science Edition*, 2020, 19(1): 77-87 (in Chinese)
- [12] 杨钰蓉, 罗小锋. 减量替代政策对农户有机肥替代技术模式采纳的影响: 基于湖北省茶叶种植户调查数据的实证分析 [J]. 农业技术经济, 2018(10): 77-85
- Yang Y R, Luo X F. The impact of reduction and replacement policy on farmers' willingness to adopt the organic fertilizer substitution technology mode [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2018(10): 77-85 (in Chinese)
- [13] 宋以玲, 于建, 陈士更, 肖承泽, 李玉环, 苏秀荣, 丁方军. 化肥减量配施生物有机肥对油菜生长及土壤微生物和酶活性影响 [J]. 水土保持学报, 2018, 32(1): 352-360
- Song Y L, Yu J, Chen S G, Xiao C Z, Li Y H, Su X R, Ding F J. Effects of reduced chemical fertilizer with application of bio-organic fertilizer on rape growth, microorganism and enzymes activities in soil [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, 32(1): 352-360 (in Chinese)
- [14] 王玉龙. 有机肥替代化肥对作物产量和土壤肥力的影响 [J]. 现代农业科技, 2019(12): 172, 176
- Wang Y L. Effect of organic fertilizer instead of chemical fertilizer on crop yield and soil fertility [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2019(12): 172, 176 (in Chinese)

- [15] 陈爱萍, 沈鑫, 沈家禾. 不同比例有机肥替代化肥对小麦产量的影响[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(7): 32-34
Chen A P, Shen X, Shen J H. Effect of different proportion of organic fertilizer instead of chemical fertilizer on wheat yield [J]. *Hubei Agricultural Science*, 2019, 58(7): 32-34 (in Chinese)
- [16] 赵跃, 黄楠, 刘继培, 周婕, 李飒, 李桐. 生物有机肥替代化肥对番茄产量和品质及土壤养分的影响[J]. 中国农技推广, 2019, 35(2): 57-59
Zhao Y, Huang N, Liu J P, Zhou J, Li S, Li T. Effects of bio organic fertilizer instead of chemical fertilizer on tomato yield, quality and soil nutrients[J]. *China Agricultural Technology Extension*, 2019, 35(2): 57-59 (in Chinese)
- [17] 孙雅杰, 吴文良, 刘原庆, 孟凡乔. 有机肥和化肥对盆栽番茄氮素利用以及损失的影响[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(4): 37-46
Sun Y J, Wu W L, Liu Y Q, Meng F Q. Effects of organic and mineral fertilizers on nitrogen utilization and losses[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(4): 37-46 (in Chinese)
- [18] 马骥. 农户粮食作物化肥施用量及其影响因素分析:以华北平原为例[J]. 农业技术经济, 2006(6): 36-42
Ma J. Analysis on the application amount of chemical fertilizer and its influencing factors of farmers' grain crops: Taking North China Plain as an example [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2006(6): 36-42 (in Chinese)
- [19] 茹敬贤. 农户施肥行为及影响因素分析:以河南新乡县为例[D]. 杭州:浙江大学, 2008
Ru J X. Analysis on the fertilization behavior and influencing factors of farmers: Taking Xinxiang County of Henan Province as an example[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008 (in Chinese)
- [20] 康婷, 穆月英, 侯玲玲. 农产品质量安全生产技术对要素替代弹性的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(21): 280-288
Kang T, Mu Y Y, Hou L L. Effect of agricultural products safety production technologies on elasticity of substitution[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(21): 280-288 (in Chinese)
- [21] 向云, 祁春节, 王伟新. 柑橘生产的要素替代关系及增长路径研究:基于主产区面板数据的实证分析[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(7): 200-209
Xiang Y, Qi C J, Wang W X. Key factor substitution and growth path of citrus production: An empirical analysis based on the panel data of main production area[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(7): 200-209 (in Chinese)
- [22] 郑微微, 何在中, 徐雪高. 江苏主要粮食生产中化肥过量施用评价及影响因素研究[J]. 农业现代化研究, 2017, 38(4): 666-672
Zheng W W, He Z Z, Xu X G. Evaluation of over fertilization in main grain crops in Jiangsu and its influencing factors[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2017, 38(4): 666-672 (in Chinese)
- [23] 杨志海, 王雅鹏, 麦尔旦·吐尔孙. 农户耕地质量保护性投入行为及其影响因素分析:基于兼业分化视角[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(12): 105-112
Yang Z H, Wang Y P, Maierdan T. Farm households' input behavior of land conservation and its driving factors: From a perspective of farm household differentiation [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(12): 105-112 (in Chinese)
- [24] 梁志会, 张露, 刘勇, 张俊飏. 农业分工有利于化肥减量施用吗:基于江汉平原水稻种植户的实证[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(1): 150-159
Liang Z H, Zhang L, Liu Y, Zhang J B. Is the agricultural division of labor conducive to the reduction of fertilizer input: Empirical evidence from rice production households in Jianghan Plain [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(1): 150-159 (in Chinese)
- [25] 郑旭媛, 王芳, 应端瑞. 农户禀赋约束、技术属性与农业技术选择偏向:基于不完全要素市场条件下的农户技术采用分析框架[J]. 中国农村经济, 2018(3): 105-122
Zheng X Y, Wang F, Ying R Y. Farmers' endowment constraints, technical properties and agricultural technology selection preferences: An analytical framework of farmers' technology adoption under an incomplete factor market [J]. *Chinese Rural Economy*, 2018(3): 105-122 (in Chinese)
- [26] 巩前文, 穆向丽, 田志宏. 农户过量施肥风险认知及规避能力的影响因素分析:基于江汉平原284个农户的问卷调查[J]. 中国农村经济, 2010(10): 66-76
Gong Q W, Mu X L, Tian Z H. An analysis of farmer's households' perception on risk of excessive fertilization and ability of risk aversion: Based on questionnaires to 284 farmer's households in Jianghan Plain of Hubei Province [J]. *Chinese Rural Economy*, 2010(10): 66-76 (in Chinese)
- [27] 尹峻, 党敬洪, 孙小霞. 价格与替代效应对农业生产中化肥施用的影响:以玉米和圆白菜为例[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(5): 209-220
Yin J, Dang J Q, Sun X X. Effect of price and substitution on fertilizer use in agricultural production: An empirical analysis of corn and cabbage [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2020, 25(5): 209-220 (in Chinese)
- [28] 耿飙, 罗良国. 农户减少化肥用量和采用有机肥的意愿研究:基于洱海流域上游面源污染防控的视角[J]. 中国农业资源与

- 区划, 2018, 39(4): 74-82
- Geng B, Luo L G. Farmers' willingness to reduce fertilizer input and adopt organic fertilizer: Based on the perspective of non-point source pollution prevention and control in the upper reaches of Erhai Watershed [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, 39(4): 74-82 (in Chinese)
- [29] 李晗, 陆迁. 产品质量认证能否提高农户技术效率: 基于山东、河北典型蔬菜种植区的证据[J]. *中国农村经济*, 2020(5): 128-144
- Li H, Lu Q. Can product quality certification improve farmers' technological efficiency[J]. *Chinese Rural Economy*, 2020(5): 128-144 (in Chinese)
- [30] 孔凡斌, 钟海燕, 潘丹. 小农户土壤保护行为分析: 以施肥为例[J]. *农业技术经济*, 2019(1): 100-110
- Kong F B, Zhong H Y, Pan D. Analysis of soil conservation behavior among small-scale farmers: A case study of fertilization[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2019 (1): 100-110 (in Chinese)
- [31] 王昕, 陆迁. 农户生态行为影响因素的实证分析[J]. *华中农业大学学报: 社会科学版*, 2011(3): 43-46
- Wang X, Lu Q. Empirical analysis on determinants of peasant households' eco-actions[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2011 (3): 43-46 (in Chinese)
- [32] 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 C L, Zhu J F. 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 (in Chinese)
- [33] 吴舒. 蔬菜供给、地区结构及供给效应研究: 以北京市为例[D]. 北京: 中国农业大学, 2017
- Wu S. Vegetable supply, regional structure and the effect of supply: A case study of Beijing [D]. Beijing: China Agricultural University, 2017 (in Chinese)
- [34] 郝枫. 超越对数函数要素替代弹性公式修正与估计方法比较[J]. *数量经济技术经济研究*, 2015, 32(4): 88-105, 122
- Hao F. Formula correction and estimation methods comparison on elasticity of substitution within translog functions [J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2015, 32(4): 88-105, 122 (in Chinese)
- [35] Irawan E. Adoption model of falcataria-based farm forestry: A duration analysis approach[J]. *Jurnal Ekonomi Pembangunan: Kajian Masalah Ekonomi dan Pembangunan*, 2016, 17(1): 28-36

责任编辑: 王岩