

DOI: 10.5846/stxb201809172020

吕悦风, 谢丽, 孙华. 基于化肥施用控制的稻田生态补偿标准研究——以南京市溧水区为例. 生态学报, 2019, 39(1): - .

Lü Y F, Xie L, Sun H. Ecological compensation standards for paddy fields based on the control of chemical fertilizer application-Lishui District, Nanjing as an example. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(1): - .

基于化肥施用控制的稻田生态补偿标准研究 ——以南京市溧水区为例

吕悦风, 谢 丽, 孙 华 *

南京农业大学公共管理学院, 南京 210095

摘要: 农田生态补偿作为一种控制化肥用量与面源污染的公共政策工具, 其补偿标准将决定政策内化外部效应的实际效果。本研究以南京市溧水区水稻种植户为对象, 综合运用成本收益法、能值分析法和双边界二分式 CVM 法, 测定基于政府和农户双重视角下的稻田化肥减施生态补偿标准。研究结果表明: 化肥污染环境成本量化视角下南京市水稻种植过程中的折纯化肥投入参考值为 $268.75 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, 相比 2017 年南京市实际化肥用量 $312.48 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{a}$ 仍有约 14% 的下降空间; 绝大多数种植户愿意在接受平均补偿标准为 $882.49 \text{ 元 hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 的前提之下减少化肥投入至参考用量; 受教育程度越高、家中务农人数越多、化肥投入成本越多的稻农更倾向于接受生态补偿, 而种植面积较大的农户以及年长男性种植户对减施化肥持更谨慎的态度。研究结果为南京市农业面源污染防治和稻田生态补偿标准制定提供了一定的理论支撑, 在实际补偿发放过程中, 单一的补偿标准无法保障公平公正, 需建立与作物种植类型、化肥减施成效相挂钩的分级生态补偿制度, 从而激励农户尽可能减少化肥投入。

关键词: 生态补偿; 化肥减施; 能值分析; 双边界二分式 CVM

Ecological compensation standards for paddy fields based on the control of chemical fertilizer application-Lishui District, Nanjing as an example

LÜ Yuefeng, XIE Li, SUN Hua *

College of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract: Ecological compensation is a public policy tool that can be used to cope with excessive fertilizer application and agricultural non-point source pollution; the amount of compensation significantly influences the actual level of policy implementation. This study examined government compensation for a reduction in the amount of fertilizer applied by rice farmers in Nanjing. We used cost income, energy value analysis, and double-boundary contingent valuation methods and constructed a fertilizer reduction compensation standard using the dual perspectives of the government and the farmers.. The results showed that from the perspective of environmental cost quantification resulting from chemical fertilizer pollution, the reference value for application of pure fertilizer to rice cropping systems in Nanjing is $268.75 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, which is still approximately 14% lower than the actual amount of fertilizer applied $312.48 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ in 2017 in Nanjing. The vast majority of growers were willing to reduce the amount of fertilizer to the reference dosage on the premise of accepting an ecological average compensation standard of $882.49 \text{ yuan hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Finally, rice growers with higher education, larger households, and higher fertilizer input costs tended to accept ecological compensation as well as related obligations, whereas older male farmers and those with larger planting areas tended to be more cautious about reducing fertilizer use. Our results provide theoretical support for the prevention and control of agricultural non-point source pollution in Nanjing and the

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201503121); 南京市软科学研究计划项目(2017sr206007)

收稿日期: 2018-09-17; 网络出版日期: 2018-11-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sh@njau.edu.cn

formulation of an ecological compensation standard for paddy fields. In the actual compensation and distribution process, the single compensation standard cannot guarantee fairness and justice and it is necessary to establish a hierarchical ecological compensation system that is linked to the crop planting type and the effects of chemical fertilizer reduction. Farmers should reduce the input of chemical fertilizer as much as possible.

Key Words: ecological compensation; chemical fertilizer reduction; energy value analysis; Double-Bounded Contingent Valuation Methods

大量研究表明,化肥农药的过量使用会造成严重的环境、社会与经济问题^[1-3],且这一部分污染外部性强、参与面广、排放随机^[4],很难用传统排污收费的方式彻底根治。国外很早就开始了有关农田面源污染防治的生态系统服务付费研究(Payment for Environmental Services, PES),试图通过经济、政策、市场等因素的激励作用有效缓解农田面源污染产生的环境外部性^[4-5]。美国先后出台保护性储备计划(Conservation Reserve Program, CRP)和环境质量激励计划(environmental quality incentives program, EQIP),通过资金补贴与技术资助的方式激励农牧民采用更为清洁环保的方式开展农业生产^[6],从而减轻化肥农药对于土壤、空气和水分产生的环境危害;德国通过立法,对水源保护区内实施化肥减施行为的农户进行经济补助^[7];瑞士在农业区内采用政府与农户签订合同的方式,根据农户化肥和农药的减少程度实行分级补偿制度^[8],生态补偿政策已然成为发达国家实现环境友好型农业发展的重要途径。我国对于生态补偿的研究起步较晚^[2],然而近年来随着面源污染问题的日益严重,政府也开始不断加强对于农田生态补偿领域的研究,并于2016年正式出台了《关于健全生态保护补偿机制的意见》,明确提出建立以绿色生态为导向的农田生态补贴制度,有偿激励农户减少化肥投入、施用有机肥料和低毒生物农药^[9-10]。由此可见,构建科学合理的农田生态补偿机制,对于我国减少化肥用量,控制面源污染,实现农业绿色发展具有非常重要的现实意义。

补偿标准作为农田生态补偿机制中的决定性因素,直接影响种植农户的参与意愿和减施成效。为此大量学者采用不同方法对此问题展开测算。蔡银莺等运用条件价值评估法计算得到武汉市农户农田生态补偿标准范围为3929—8367元/hm²^[11];刘某承等基于生态系统价值测算了云南哈尼梯田地区农户在不同的化肥、农药施用限制条件下的受偿标准范围为3727—8732元/hm²^[12];张印等结合能值分析理论,测定无锡市农田氮素非点源污染控制的生态补偿标准处于620—7098元/hm²间^[13];王风等通过洱海流域环境友好型肥料应用的实证得出当地最低生态补偿标准为450元/hm²^[14]。此类研究为农田生态补偿标准的制定提供了很好的理论支撑,然而当前研究仍有两部分内容存在进一步探索的空间。一方面大量学者试图将整个农田生态系统作为政策补偿的对象,然而受限于当前学界对于生态补偿内容和范围的界定尚不明确,所聚焦的“生态价值^[11]”或“生态效益”较难量化考核,因此相关研究选取的考核因子各不相同,推导得出的研究结论适用面较窄、实际政策应用性也较差。另一方面,大量研究在计算化肥减施补偿标准时普遍聚焦于农户视角下的补偿金额探讨,与之对应的化肥减施量往往仅用“减施1/4,减施一半,全部用有机肥代替化肥”^[10]等描述性限制条件来笼统概况,考虑到生态补偿作为一种自上而下的惠农政策,政府端也亟需对化肥减施进行合理量化来评价相关污染控制手段的成效^[13]。针对现存研究的两点缺陷,本文聚焦生态补偿中的化肥减施一项,通过成本收益法与能值分析法,结合过量化肥投入对于大气、水体与土壤产生的污染路径与环境影响,从化肥污染环境成本量化的全新视角测算水稻作物理论所需的化肥投入参考值,在此基础上将所得参考值编入南京市溧水区水稻种植户的问卷调研之中,运用双边界二分式CVM调查法测定农户在削减化肥投入至理论值时所预期的化肥减施生态补偿金额,最终构建兼具普适性与科学性的稻田化肥减施生态补偿标准体系,以实现“政府施肥控制”与“农户经济受偿”的有机衔接,从而为农业面源污染防治建言献策。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区域概况

南京市溧水区地处长江下游的经济发达地带,属于宁镇丘陵区,区域内光照、温度、水分等自然资源充沛,

十分适合种植业发展。溧水区耕地面积约 3.2 万公顷,种植作物以水稻、小麦、油菜为主,耕种制度为一年两熟,曾先后获得国家级生态示范区、无公害农产品产地、江苏省优质粮棉生产基地等荣誉称号。另据南京市《关于建立粮食生产功能区和重要农产品生产保护区的实施意见》规划显示,溧水区计划将于 2022 年前在辖区内确定水稻生产功能区 1.87 万公顷(占辖区耕地总面积的 58%),成为南京市最为重要的水稻产区之一。

自 2016 年南京市政府出台《南京市生态保护补偿办法》以来,溧水区生态补偿标准统一确定为 4500 元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$,补偿金额将通过“一卡通”的形式直接发放至土地承包户手中。然而通过实地访谈调研发现,现行的“耕地生态补贴”以土地确权面积作为补贴的唯一发放标准,并未将与农业种植紧密相关的土壤质量、化肥投入、生态保护情况纳入考核体系之中,实际只是国家“三项惠农政策”改革后的另一种换名延续,并未发挥耕地保护政策控制化肥用量、提升环境质量的靶向作用。此外,在大力推进土地流转的社会背景之下,生态补偿直接发放给“土地承包户”而非“实际种植户”,补贴的错位发放不仅有违国家鼓励实际农业生产的政策初衷,还会抑制土地流转、加剧人地固化、诱发一系列的土地纠纷问题^[15]。

为充分发挥生态补偿政策的政策效力,同时有效解决补贴发放在农村基层中产生的纠纷问题,本研究选定水稻典型产区——南京溧水开展研究,通过资料收集与实证调研测算当地化肥减施的生态补偿标准,从而为南京市耕地地力保持与化肥施用控制提供理论依据。

1.2 问卷设计与调查

经过前期的调研培训,项目组于 2017 年 8—9 月前往南京市溧水区晶桥镇、白马镇下辖的 8 个村庄开展“基于生态补偿的农户化肥减施意愿与标准”问卷调查,共发放农户问卷 240 份,回收有效问卷 205 份,问卷有效率为 83.7%。

调查问卷主要由两部分组成。第一部分通过开放性的问题收集受访农户的个人基本信息、家庭社会特征、农业经济状况以及对于化肥减施生态补偿政策的一些了解与反馈。第二部分运用双边界二分式 CVM 法测定农户生态补偿的预期金额,其核心问题在问卷中体现如下:

(1) 政府为控制农田面源污染,鼓励农户将单位面积化肥用量降至政府设定的肥料投入参考值(实际值通过后期计算得出,并由调研人员口述),使用农家肥补充地力来代替化肥投入,同时给予实施农户 ____ 元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ 的化肥减施补助,您是否同意?(化肥减施补助金额从前期确定的投标值中随机选取)

A. 同意(); B. 不同意()

(2) 如果补贴数额(上、下)调一级,变为 ____ 元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ 您是否同意?

(备注 1:对:(1)回答“同意”则下调一级投标值,“不同意”则上提一级投标值)

A. 同意(); B. 不同意()

本研究中的投标值即为稻农生态补贴受偿金额。参考 2015 年“三项惠农补贴”改制前溧水区的水稻良种补贴(300 元/ hm^2)与秸秆处理补贴(525 元/ hm^2)等同质性补贴,结合前期预调研与专家咨询的结果,本问卷最终设定的化肥减施补贴投标值共分为 9 档,分别为 75、150、300、525、750、1050、1350、1800、2250 元/ hm^2 。

1.3 样本特征描述

在回收的 205 份有效样本中,受访者男性占比达到 70%,平均年龄为 52.08 岁,文化程度小于初中及以下的样本比例占 51.2%,受访农户的平均劳动力数 1.78 人,户均年收入 4.12 万元,户均耕地面积 3.4 亩。样本情况基本反映了研究区的社会经济现实。

2 理论框架与模型构建

2.1 政府化肥减施考核标准测算

2.1.1 理论框架

根据边际报酬递减规律,对于任何特定的生产要素组合,其产出不会随投入的增加而无限限制的增大,水稻种植过程中的化肥投入也遵循此原理。在水稻生产过程中,随着化肥投入量的不断提高,其水稻产量曲线也

会呈现先增加后减少的抛物线形态^[16],因此可以用二次函数来反映化肥投入与产量之间的关系:

$$Y = a + bX - cX^2 \quad (1)$$

式中, Y 为水稻产量, X 为化肥投入量, a 、 b 、 c 为待定正数;

而水稻产值(V)可由水稻产量(Y)与水稻单价(P)的乘积决定:

$$V = Y \times P \quad (2)$$

在生产过程中,设水稻生产的总成本为 T ,则总利润(W)表示为:

$$W = V - T = (a + bX - cX^2)P - T \quad (3)$$

化肥在提高粮食产量的同时,也会因过量施肥引起诸如土壤酸化、土地板结等一系列的农业生态环境问题,从而产生相应的负外部效应。因此,农户化肥投入成本除自身经济成本之外,也应包含化肥污染产生的外部成本。化肥的边际社会成本(Marginal Social Cost, MSC)将由边际生产成本(Marginal Production Cost, MPC)、边际使用成本(Marginal Use Cost, MUC)和边际外部成本(Marginal External Cost, MEC)三部分组成,表示为:

$$MSC = MPC + MUC + MEC \quad (4)$$

水稻生产过程,施肥利润随化肥投入量的提高而下降,当化肥投入边际利润为0时的施肥量就是合理施肥量或最佳施肥量,合理施肥量可对利润函数进行求导计算而得:

$$W' = V' - T' = (b - 2cX)P - (MPC + MUC + MEC) = 0 \quad (5)$$

$$X_1 = b/2c - (MPC + MUC + MEC)/2cP \quad (6)$$

式中,“ X_1 ”值即为经济学视角下的农户折纯化肥合理投入量,即当农户施肥量处于 X_1 时,能够最大程度的兼顾生态保护与经济效益。政府也应以此为依据,制定相关的折纯化肥投入参考值。

由公式(6)可知, X_1 的求解需要获取 b 、 c 、水稻市场单价 P 以及成本公式中的MPC、MEC与MUC的值。由于现阶段化肥的生产厂商众多并且生产化肥的原料相对来说是可以长期利用、非耗竭性的,因此本研究中假设化肥属于非耗竭性资源,规定其边际使用成本(MUC)为0,通过下文计算可获取文中所需参数,从而确定南京市折纯化肥投入参考值,并在此基础上进一步设计与开展问卷调研,探究农户化肥减施补偿额度。

2.1.2 化肥外部成本测算方法

由于土地利用、农业灌溉、化肥农药等因素对自然资源造成的损耗不断加剧,因此有关生态环境负外部性的核算问题引发了学界的密切关注^[17]。Pretty等从自然资本和人类健康损害二维角度核算认为英国农业的外部性成本达到 2.343×10^9 磅^[18];吴琼等借鉴国际SEEA核算体系以及虚拟治理成本法核算湖州市的环境负债为45.67亿元^[19];何斌等通过能值分析手段和伤残调整生命年评估手段计算得出2010年全国水田、旱地化肥施用环境成本分别为166亿元和333亿元^[20]。与其他方法相比,能值分析法不仅可以分析外源污染的类别与途径,同时能够对各种污染物进行很好的量化,因此本研究借助这一方法估算南京市由于化肥施用引致的环境损失成本,相关测算过程如下所示:

①将化肥施用产生的污染按照污染类型与环境影响进行分类。

②归纳国内水稻种植过程中的氮磷元素转移系数的相关研究成果,选取合理的运移转化比率,计算获取各污染物的影响剂量,相关公式如下:

$$Dose_i = M \times C_{ei} \times (W_c / W_i) \quad (7)$$

式中, $Dose_i$ 表示污染物 i 的产生剂量, M 代表氮素、磷素的折纯量, C_{ei} 表示化肥中氮素、磷素转移系数, W_i 表示N或 P_2O_5 的分子量, W_c 表示所产生含氮或磷污染物的分子量。综合化肥元素运移、转化方面的研究成果^[17,21],汇总各污染物情况于表1。

③利用伤残调整生命年法对各类污染物进行量化,并通过生命损害年累计数(DALY_{*i*})统一评价各类污染物对于人类健康造成的实际影响。

$$DALY_i = C_{di} \times Dose_i \quad (8)$$

式中, C_{di} 表示单位污染物剂量引致的生命损害年数 (a/kg), 取值采用 Eco-indicator 99 的系列评估值^[22], $Dose_i$ 表示污染物 i 的剂量。

表 1 化肥污染影响情况

Table 1 Effect of chemical fertilizer pollution

污染类型 Type of pollution	过程 Process	环境影响 Environmental effect	转移系数/% Transfer coefficient
大气污染 Air pollution	NH ₃ 污染	氮肥挥发产生 NH ₃	呼吸系统受害
	N ₂ O 污染	氮肥在微生物作用下转化为温室气体 N ₂ O	温室效应、臭氧层破坏
	NO _x 污染	氮肥通过微生物的硝化或反硝化作用产生的氮氧化物	臭氧层破坏、呼吸系统受害
土壤污染 Soil pollution	重金属污染	磷肥中产生的重金属镉污染	破坏土壤
	土层污染	氮肥淋失增加地下水中硝酸盐含量	土壤盐渍化
水体污染 Water pollution	NO ₃ ⁻ -N 污染	硝态氮在地表水中富集	富营养化、致癌效应
	NH ₄ ⁺ 污染	铵态氮在地表水中富集	富营养化
	磷酸盐污染	磷酸盐在地表水中富集	富营养化

④将单位劳动力的能值消费数据 (C_m) 与生命损害年累计数 ($DALY_i$) 相乘, 计算得到该污染物能值成本 (E_{mergy_i}), 再把所有污染物能值成本进行加和得到 2016 年南京市化肥施用对环境质量影响的总能值 (U , 单位: sej)。

$$U = \sum_{i=1}^n E_{mergy_i} = (DALY_i \times C_m) \quad (9)$$

本文选用刘建霞^[21]通过劳动力数量和能值的增长量折算而成的 C_m 值, 其 C_m 值为 4.58×10^{16} sej。

⑤在南京市环境影响总能值的基础上, 根据我国能值货币比率数据, 计算南京市化肥施用的综合环境成本。

$$Em_{dollar} = U / C_g \quad (10)$$

式中, Em_{dollar} 表示化肥环境影响的宏观经济价值, U 是化肥环境影响的总能值成本, C_g 是单位宏观经济价值的能值载荷。本文根据李双成基于 1996 年度全国社会经济与能值核算结果得出的单位 GDP 能值载荷 (全部可更新资源与不可更新资源) 1.43×10^{12} sej/元^[21,23], 结合统计年鉴公布的单位 GDP 能耗^[13], 通过能量折算系数^[23]与太阳能值转换率^[24]进行折算, 最终得出 2016 年南京市的 C_g 值为 8.89×10^{11} sej/元。

2.2 农户受偿标准测算模型

条件价值评估法 (Contingent valuation method, CVM) 广泛应用于资源与环境物品的非市场价值评估, 它通过建立假想市场模拟交易行为, 获取人们对有关资源与环境非市场物品变化的偏好并推导其价值^[25]。二分式 CVM 是在普通 CVM 问卷调查的基础之上, 根据受访者对第一次投标的回答情况追加一个较低或较高的投标, 然后根据两次回答情况建立相应的函数关系来推导其平均接受意愿^[26]。考虑到农户减施化肥意味着放弃了自由施用化肥的权利并承担起作物减产的风险, 同时两次问答能更准确的估计农户心中预期, 因此本文采用双边界二分式 CVM 方法分析农户减施化肥至合理施肥量时的受偿意愿与补偿额度。

假设受访者 i 的回答情况符合函数:

$$y = a_0 + bX_i + cT + e \quad (11)$$

式中, y 是虚拟变量, 表达回答结果, $Y=1$ (yes) 和 $Y=0$ (no); T 是投标值; X_i 是影响被调查者意愿金额的经济社会变量; e 是扰动项, α_0, β, c 为参数。

设 yy_i, yn_i, ny_i, nn_i 可表示第 i 个受访者的回答情况, 其取值因受访者回答不同而异, 若受访者回答为“是-是”, 则 $yy_i=1, yn_i=ny_i=nn_i=0$, 其他回答时, 取值情况依次类推。令受访者回答“是-是”、“是-否”、“否-是”、“否-否”。

是”、“否-否”的概率分别为“ P_{yy} 、 P_{yn} 、 P_{ny} 、 P_{nn} ”,则根据上述条件,可构建相应的对数似然函数^[25-26]:

$$\ln L = \sum_{i=1}^n (yy_i P_{yy} + yn_i P_{yn} + ny_i P_{ny} + nn_i P_{nn}) \quad (12)$$

通过对数似然估计,可以推导出相应的 WTA 值,具体公式如下:

$$WTP_{mean} = \int_0^{T_{max}} \frac{dT}{1 + \exp(-\alpha_0 - \beta \bar{X} - cT)} \quad (13)$$

式中, $\bar{x}$ 为影响受访者支付意愿各变量的平均值; β 是除投标量外其他影响因素变量的回归系数; T 为设定的投标值; c 为投标值变量的系数。

3 实证结果与分析

3.1 政府化肥减施考核标准计算

3.1.1 化肥施用外部成本测算

根据前文公式(7)——(10),可得南京市化肥施用的环境影响成本,详见表 2。

表 2 南京市化肥施用的环境成本估算结果

Table 2 Environmental cost estimates for chemical fertilizer application in Nanjing

污染类型 Type of pollution	大气污染 Air pollution			土壤污染 Soil pollution		水体污染 Water pollution		
	NH ₃ 污染	N ₂ O 污染	NO _x 污染	硝酸盐	镉污染	硝态氮	铵态氮	磷酸盐
影响剂量 Influence dose /t	2285.6	396.3	510.9	4879.2	47.9	7050.4	2081.2	817.8
单位污染物剂量引致的生命损害年数 Life damage years of per pollutant dose / (kg/a)	5.10×10 ⁻⁵	4.00×10 ⁻⁶	6.79×10 ⁻⁵	4.90×10 ⁻⁵	6.09×10 ⁻⁴	3.05×10 ⁻⁵	1.67×10 ⁻⁵	3.60×10 ⁻⁶
生命损害年累计数 cumulative years of life damage /a	116.57	1.59	34.69	239.08	29.19	215.04	34.76	2.94
总太阳能值 Total solar energy/sej	5.34×10 ¹⁸	7.26×10 ¹⁶	1.59×10 ¹⁸	1.09×10 ¹⁹	1.34×10 ¹⁸	9.85×10 ¹⁸	1.59×10 ¹⁸	1.35×10 ¹⁷
环境成本 environmental costs/yuan	6.01×10 ⁶	8.17×10 ⁴	1.79×10 ⁶	1.23×10 ⁷	1.50×10 ⁶	1.11×10 ⁷	1.79×10 ⁶	1.5×10 ⁵
单位化肥环境成本 Unit chemical fertilizer environmental cost (yuan / kg)	0.16	0.00	0.05	0.33	0.24	0.29	0.05	0.02

资料来源:南京市统计年鉴及作者计算

南京市化肥施用的环境成本共计 3.51×10⁷元,化肥投入对环境产生的污染影响主要体现在土壤(占 39.81%)与水体(占 37.51%)中,南京市单位化肥环境外部成本为 1.14 元/kg。

3.1.2 化肥—水稻产量拟合函数

对南京市 2009—2017 年度的水稻播种面积单产(kg/hm²)与单位面积化肥折纯用量(kg/hm²)进行拟合分析(详见图 1),发现水稻播种面积单产与化肥单位面积投入之间高度相关,拟合函数可写作 $y = -0.0526x^2 + 30.213x + 4386.6$, $R^2 = 0.858$ 。由此可以得出当水稻产量 y 到达最高点时,所对应的单位面积化肥折纯用量 $x = 287.20\text{kg/hm}^2$ 。

3.1.3 化肥合理用量计算

结合实地农户调研及中国化肥网相关信息,2017 年度南京市中晚籼稻收购价在 133—137 元/50 kg,稻谷售价平均为 2.7 元/kg。此外,45% (15—15—15) 复合肥价格稳定在 2100—2200 元/吨,复合肥磷酸二铵(64%)市场价在 2500—2550 元/吨,过磷酸钙(18%)市场价为 700—850 元/吨,综合计算得折纯化肥价格约

为 4.1 元/kg。

根据公式(6),将计算得到 $b=30.213$ 、 $c=-0.0526$ 、 $P=2.7$ 、 $MPC=4.1$ 以及 $MEC=1.14$ 等值代入公式,可得经济学视角下南京市水稻农户折纯化肥合理投入量为 $268.75\text{ kg hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$,横向对比江苏省农科院、江苏省土肥站的相关实证研究可知^[27-28],江苏地区水稻亩产目标 600、650、700 kg 时每百千克籼稻的需氮量在 1.7—1.9 kg 不等,折合每公顷纯氮用量 153—199.5 kg。考虑到区域内水稻平均单产小于 9000 kg/hm^2 ,对应的氮素需求更少,加之苏南地区化肥施用以氮肥为主,因此本研究结论具有一定的科学性,可以为南京市水稻作物理论所需化肥投入量的计算提供参考依据。2017 年度南京市化肥实际平均投入量为 $312.4\text{ kg hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$,距离计算得到的参考值尚有 $43.73\text{ kg hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$ (约 14%)的削减空间。

3.2 农户生态补偿经济标准测定

3.2.1 农户 CVM 接受意愿分布

根据双边界二分式 CVM 的原理,对农户二次投标方案进行后期整理后得到 7 个投标方案,详见表 3。

表 3 化肥减施补偿投标值样本及回答形式分布

Table 3 Descriptive statistics of ecological compensation bid sample and the distribution of the answer form								
方案编号 Project number	初始投标额度 Initial BID/ (yuan/hm ²)	较低投标额度 Lower BID/ (yuan/hm ²)	较高投标额度 Higher BID/ (yuan/hm ²)	频数(比率) Frequency (ratio)				合计 Total
				支持-支持 Maintain support	支持-反对 support firstly and then oppose	反对-支持 Oppose firstly and then suppose	反对-反对 Maintain oppose	
1	150	75	300	4(13.3)	8(26.6)	8(26.6)	10(33.3)	30(100)
2	300	300	525	6(20.0)	7(23.3)	9(30.0)	8(26.6)	30(100)
3	525	525	750	8(26.6)	3(10)	12(40)	7(23.3)	30(100)
4	750	750	1050	11(37.9)	4(13.8)	8(27.6)	6(20.7)	29(100)
5	1050	1050	1350	18(64.3)	5(17.9)	1(3.6)	4(14.3)	28(100)
6	1350	1350	1800	17(60.7)	3(10.7)	5(17.9)	3(10.7)	28(100)
7	1800	1800	2250	20(69.0)	4(13.8)	1(3.5)	4(13.8)	29(100)

最低生态补偿投标值 75 元/hm² 的接受频率为 13.33% ,最高投标值 2250 元/hm² 的接受频率为 86.2%。投标值设计范围基本涵盖了绝大多数受访者的接受意愿,整体设计合理。

3.2.2 农户农田生态补偿受偿额度的影响因素

将农户个人特征变量及主要社会经济特征变量纳入回归模型,利用 SPSS 软件,可得双边界 CVM 模型参数估计(表 4)。

模型整体拟合良好,可以较好的反映调查地区水稻农户的受偿意愿。在双边界二分式 CVM 模型中,显著影响农户化肥减施额度的因素包括受访者的性别、年龄、农户耕地面积、受教育程度、年收入、化肥施用成本及环境认知情况。

农户耕地面积是影响最为显著的因子,在 1% 水平上显著,且系数为负数。表明农户经营的耕地面积越大,其接受化肥减施补偿的可能越小。这是因为农户耕地面积越大,其以农业为主要收入来源的可能性越大,对农地的依赖性就越强,对待化肥减施的态度也就相对谨慎,不愿意承担因化肥减施而造成的作物产量下降的风险。

农户年龄与性别的系数均为负数,分别在 5% 与 10% 的水平上显著,表明年长男性的农户接受化肥减施

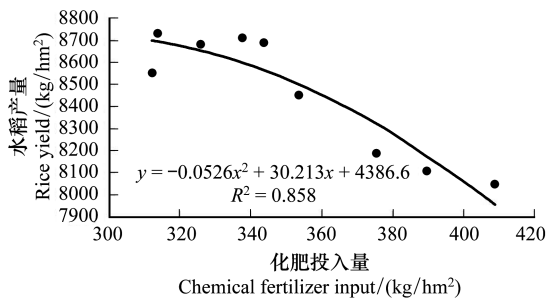


图 1 南京市水稻产量与化肥投入量拟合曲线

Fig. 1 Relationship between fertilizer input and rice yield in Nanjing region

补偿的可能性更小,其对应的预期补偿标准更高。这可能是由于男性受访者和年长受访者更多的从事实际农业生产,受制于“大水大肥”和“撒施表施”的传统施肥习惯,他们普遍愿意依靠感觉、凭借经验进行施肥,不愿意随意改变长期以来形成的施肥量。

表 4 双边界二分式 CVM 法下的 logit 回归结果

Table 4 Logit regression results under Double-Bounded Contingent Valuation Method

解释变量 Explanatory variables	回归系数 Regression coefficient	显著水平 Significant level	发生比率 Odds ratio
投标值(T)	0.011	0.040 **	1.011
性别(Sex)	-0.743	0.061 *	0.476
年龄(Age)	-0.546	0.015 **	0.579
受教育程度(Edu)	0.625	0.028 **	1.868
务农人数(Hum)	0.512	0.076 *	1.668
是否为村干部(Cad)	-0.534	0.469	0.586
年收入(Inc)	0.121	0.568	1.128
农户耕地面积(Area)	-0.462	0.008 ***	0.630
化肥施用成本(Cost)	0.497	0.045 *	1.643
化肥对环境影响认知情况(Atti)	0.573	0.198	1.774
常量(Constant)	0.989	0.524	2.688
样本数(Sample number)		205	
对数似然值(Log likelihood)	212.447	卡方	48.059
Cox & Snell R ²	0.209	Nagelkerke R ²	0.291

*, **, *** 分别表示达到 10%、5%、1% 的统计显著性水平

受教育程度、务农人数以及化肥投入成本的系数均为正数且在 5% 水平或 10% 水平上显著。说明文化程度越高的农户,越愿意接受新生事物,对化肥减施保护生态环境的认可度与接受程度越高,其接受投标的可能性也就越大;同时农业生产过程中投入资本、人力(化肥费用、务农人数)越高的农户,也更倾向于接受生态补偿,将其自身资源转向非农行业。

3.2.3 化肥减施补偿额度测定

结合前述的模型结果与解释变量,水稻种植户补偿额度计算模型为:

$$\text{Logit } P = \ln \left[\frac{P}{1-P} \right] = 0.989 + 0.011T - 0.743\text{Sex} - 0.546\text{Age} + 0.625\text{Edu} + 0.512\text{Hum} - 0.462\text{Area} + 0.497\text{Cost}$$

将回归系数和各解释变量的平均值代入公式,计算得到南京市水稻种植户的化肥减施补贴标准值为:

$$\int_0^{150} \frac{dT}{1 + \exp(-0.011T - 0.3628)} = \frac{1}{0.011} \times \ln \frac{1 + \exp(0.3628 - 0.011 * 150)}{1 + \exp(0.3628)} = 882.49$$

基于双边界二分式 CVM 模型测算得到补偿平均值为 882.49 元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$,这可以作为南京市水稻农户减施化肥至规定标准时获得的生态补偿金额。综合考虑时间、区位以及肥料类型产生的相关影响,本研究测定的补偿标准与 2009 年度基于江苏宜兴地区氮肥控制的污染补偿标准^[13] 620.0 元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ 较为接近,可见本文提出的补偿标准相对合理,能够为苏南以及太湖流域的化肥减施和生态补偿工作提供理论支撑。

4 结论与讨论

4.1 讨论

自 2015 年农业“三项补贴”改革调整以来,以支持耕地地力保护与粮食适度规模经营为主要目标的“农业支持保护补贴”现已成为我国财政支农的最主要手段。以化肥减施为管控目标的生态补偿一方面紧扣国家保护耕地地力的政策导向,另一方面能够将补贴发放金额与农户实际行为挂钩,有助于地方政府更好的对支农财政进行量化分配与管理。因其“公平合理”和“便于操作”的政策特点,可以预见生态补偿未来必将在

我国财政支农体系中发挥更为重要的作用。为此,本研究通过建立基于政府和农户双重视角的生态补偿标准,为区域农业绿色发展与面源污染防治提供了一定的理论依据。

美中不足的是,本研究得到的生态补偿金额是一个固定的标准。鉴于农业生产的复杂性以及农户间资源禀赋上存在的巨大差异,每位种植农户面临的化肥减施数额与难度都不尽相同,“一刀切”式的统一补偿标准将使得化肥减施成效低于平均水准的农户被过度补偿,而化肥减施成效高于平均水平的农户则会因获得补偿不足,继而丧失坚持减施化肥的动力。为进一步提升政策激励作用,引导农户尽可能采取清洁环保的种植方式,唯有建立与作物种植类型和化肥减施成效二者相挂钩的多级补偿机制,根据种植农户实际的减施成效给予其相对应的补偿标准。这也是化肥减施补偿政策在未来深入改进和完善的重要方向。

4.2 结论

本研究结合南京市统计年鉴数据以及溧水区 205 个水稻农户的调研数据,通过能值分析法以及双边界二分式 CVM 调查法,构建基于政府和农户双重视角下的稻田化肥减施生态补偿标准,研究结论如下所示:

(1)南京市化肥施用的环境外部成本总计 3.51×10^7 元,单位化肥施用环境成本为 1.14 元/kg,化肥投入对环境产生的污染影响主要体现在土壤(占 39.81%)与水体(占 37.51%)中。

(2)化肥污染环境成本量化视角下的南京市水稻种植过程中理想的折纯化肥投入参考值为 $268.75 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 距离 2017 年度南京市水稻种植实际的折纯化肥用量 $312.48 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 仍存有约 $43.73 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ (约 14%) 的减施空间。

(3)农户双边界 CVM 问卷调查反馈结果显示,86.2% 的农户愿意在接受 75—2250

元 $\text{hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 不等的生态补偿的前提下减少化肥投入至建议化肥参考用量,农户减施化肥的平均受偿标准值为 $882.49 \text{ 元 hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 。

(4)“受教育程度”、“务农人数”以及“化肥投入成本”三个因素显著正向激励农户接受生态补偿,同时“耕地面积”、“年龄”、“男性农户”等因素则与农户受偿意愿呈显著负相关。

参考文献 (References):

- [1] 余亮亮,蔡银莺. 基于农户受偿意愿的农田生态补偿——以湖北省京山县为例. 应用生态学报, 2015, 26(1): 215-223.
- [2] 史常亮,朱俊峰,栾江. 农户化肥施用技术效率及其影响因素分析——基于 4 省水稻种植户的调查数据. 农林经济管理学报, 2015, 14(3): 234-242.
- [3] 崔艳智,高阳,赵桂慎. 农田面源污染差别化生态补偿研究进展. 农业环境科学学报, 2017, 36(7): 1232-1241.
- [4] 裴永辉,尹昌斌,程磊磊. 农业面源污染控制的生态补偿机制研究. 安徽农业科学, 2009, 37(30): 14842-14844.
- [5] 贺思源,郭继. 主体功能区划背景下生态补偿制度的构建和完善. 特区经济, 2006, (11): 194-195.
- [6] 李琪,王兴杰,王爱萍,刘晓雯,徐庚. 农牧业生态补偿的国际比较及其借鉴. 干旱区资源与环境, 2018, 32(6): 1-10.
- [7] Link J, Graeff S, Batchelor W D, Claupein W. Evaluating the economic and environmental impact of environmental compensation payment policy under uniform and variable-rate nitrogen management. Agricultural Systems, 2006, 91(1/2): 135-153.
- [8] Herzog F, Dreier S, Hofer G, Marfurt C, Schüpbach B, Spiess M, Walter T. Effect of ecological compensation areas on floristic and breeding bird diversity in Swiss agricultural landscapes. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2005, 108(3): 189-204.
- [9] 耿翔燕,葛颜祥,张化楠. 基于重置成本的流域生态补偿标准研究——以小清河流域为例. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(1): 140-147.
- [10] 蔡银莺,张安录. 基于农户受偿意愿的农田生态补偿额度测算——以武汉市的调查为实证. 自然资源学报, 2011, 26(2): 177-189.
- [11] 杨欣,张晶晶,高欣,蔡银莺,张安录. 基于农户发展受限视角的江夏区基本农田生态补偿标准测算. 资源科学, 2017, 39(6): 1194-1201.
- [12] 刘某承,伦飞,张灿强,李文华. 传统地区稻田生态补偿标准的确定——以云南哈尼梯田为例. 中国生态农业学报, 2012, 20(6): 703-709.
- [13] 张印,周羽辰,孙华. 农田氮素非点源污染控制的生态补偿标准——以江苏省宜兴市为例. 生态学报, 2012, 32(23): 7327-7335.
- [14] 王凤,高尚宾,社会英,倪喜云,杨怀钦. 农业生态补偿标准核算——以洱海流域环境友好型肥料应用为例. 农业环境与发展, 2011, 28(4): 115-118.
- [15] 吕悦风,陈会广. 农业补贴政策及其对土地流转的影响研究. 农业现代化研究, 2015, 36(3): 362-367.

- [16] 向平安, 周燕, 郑华, 燕惠民, 黄璜, 黄清云. 符合经济生态效益的农田化肥施用量. 应用生态学报, 2006, 17(11): 2059-2063.
- [17] 赖力, 黄贤金, 王辉, 董元华, 肖思思. 中国化肥施用的环境成本估算. 土壤学报, 2009, 46(1): 63-69.
- [18] Pretty J N, Brett C, Gee D, Hine R E, Mason C F, Morison J I L, Raven H, Rayment M D, van der Bijl G. An assessment of the total external costs of UK agriculture. *Agricultural Systems*, 2000, 65(2): 113-136.
- [19] 吴琼, 马国霞, 高阳, 潘韬. 自然资源资产负债表编制中的环境成本核算及实证研究——以湖州市为例. 资源科学, 2018, 40(5): 936-945.
- [20] 何斌, 郑华, 黄璜, 郑华斌, 陈灿. 中国不同耕地类型化肥施用环境成本估算——以水田与旱地为例. 作物研究, 2016, 30(3): 288-294.
- [21] 刘建霞, 徐卫华, 黄璜, 郑华斌, 贺慧, 姚林, 陈灿. 中国夏秋粮生产化肥施用环境成本估算. 中国农业大学学报, 2015, 20(6): 225-232.
- [22] Goedkoop M, Spriensma R. *The Eco-indicator 99: A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment*. The Netherlands: Pré Consultants, 2000.
- [23] 李双成, 傅小锋, 郑度. 中国经济持续发展水平的能值分析. 自然资源学报, 2001, 16(4): 297-304.
- [24] 王宏燕, 曹志平. 农业生态学. 北京: 化学工业出版社, 2008: 44-46.
- [25] 喻永红. 基于 CVM 法的农户保持退耕还林的接受意愿研究——以重庆万州为例. 干旱区资源与环境, 2015, 29(4): 65-70.
- [26] 唐建, 沈田华, 彭珏. 基于双边界二分式 CVM 法的耕地生态价值评价——以重庆市为例. 资源科学, 2013, 35(1): 207-215.
- [27] 宁运旺, 张辉, 张永春. 江苏省水稻种植行为的南北差异及其对化肥投入的影响——以苏州、盐城为例. 江苏农业学报, 2018, 34(3): 533-539.
- [28] 王华为, 朱金兰. 泰州市主要土壤类型水稻小麦施肥参数及适宜施氮量研究. 中国农业信息, 2015(22): 151-154.