

张红亮,赵临轩,马书琪,等.水体农药污染对老年群体的医疗支出的影响分析 [J]. 中国环境科学, 2023,43(6):3203~3210.

Zhang H L, Zhao L X, Ma S Q, et al. The impact of pesticide use on elders' medical expenditure through water pollution [J]. China Environmental Science, 2023,43(6):3203~3210.

水体农药污染对老年群体的医疗支出的影响分析

张红亮,赵临轩,马书琪,吴 健,徐 上^{*}(中国人民大学环境学院,北京 100872)

摘要: 利用 2002~2018 年全国 23 个省、直辖市、自治区的面板数据,通过构建双向固定效应模型,分析了农药污染对本地老年群体的医疗支出的影响,以及农药污染从流域上游扩散到下游对邻近省份老年群体的医疗支出的影响。结果显示,人均农药使用量每增加 1%会使本地老年群体的人均医疗支出提高约 15.26 元,但农药污染的跨省影响总体不显著。该影响存在饮用水来源方面的异质性,特别是当饮用水源为非自来水时,本地人均农药使用量每增加 1%会使本地老年群体的人均医疗支出提高约 179.50 元,并显著影响下游的人均医疗支出。建议地方政府持续推进降低本地农药使用的农业和环境保护政策,着力解决农药污染的省内问题,建设饮用水改造项目改善老年群体饮用水水质。

关键词: 农药污染; 老年人健康; 疾病成本法

中图分类号: X503.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2023)06-3203-08

The impact of pesticide use on elders' medical expenditure through water pollution. ZHANG Hong-liang, ZHAO Lin-xuan, MA Shu-qi, WU Jian, XU Shang^{*} (School of Environment & Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China). *China Environmental Science*, 2023,43(6): 3203~3210

Abstract: With a panel dataset of 23 provinces from 2002 to 2018, a two-way fixed effects estimator was used to evaluate the impacts of pesticide use on local elders' medical expenditure as well as on that of elders located in downstream provinces. According to the results, a 1% increase in local per capita pesticide usage led to an increase of approximately 15.26 yuan in per capita medical expenditure for the local elders, while the effect of local pesticide use for elders located in downstream provinces was statistically insignificant. Heterogeneous effects were observed based on drinking water sources. In particular, a 1% increase in local per capita pesticide use led to an increase of approximately 179.50 yuan on medical expenditure for elders who relied on non-tap water sources. These results suggested that local governments should continue to implement agricultural and environmental policies that reduce local pesticide usage, address pesticide pollution within province, and increase tap water accessibility for elders in rural areas.

Key words: pesticide pollution; elders' health; cost-of-illness approach

中国约 80% 的农药通过污水排放、地表径流、大气沉降等迁移方式最终汇入水环境^[1]。农药大量使用会增加水体中的农药污染浓度,并随水体迁移至下游。虽然不同农药由于理化特性以及施用区域的土壤、气候特征不同,在水体中的浓度时空分布存在差异性,但是总体上,农药使用量与地表径流中的农药浓度之间存在着较强的正向关系^[2-3],特别是环境持久性较高、土壤有机碳吸附常数较低的农药往往具有更高的检出率^[4-5]。

农药使用经污染水体对居民健康造成严重威胁,特别是老年群体,中国正处于老年人口规模大幅度攀升的时期,人口老龄化进程同时伴随医疗卫生服务需求的扩张,使得全社会的医疗负担提高^[6-7]。已有研究对于农药通过残留与喷洒 2 个直接暴露途径对人体健康的影响较为完善^[8-9],而对通过水环境造成的农

药污染研究有待进一步深入^[10-11]。虽然对农药的水体迁移过程已有较多实地监测与模拟研究,但是这些研究更多应用于小范围的迁移分布分析与应急污染事件分析,得出的结论往往存在较大的差异性^[12-15]。

在量化污染的健康损失方面,已有文献大部分集中于空气污染的健康影响^[16-19],而对水污染关注较少,且主要集中于小范围的水污染^[20]、饮用水安全^[21]以及农药污染导致的认知能力影响^[22]。在特定人群的研究方面,已有研究大多考虑全年龄段的人口,少量研究关注幼儿、农民等特定群体^[23-24],缺乏对老年群体健康影响的深入评估。

收稿日期: 2022-11-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(72103198);中国人民大学交叉科学研究院“种子基金”项目;中国人民大学生态文明研究院支持

* 责任作者, 助理教授, shangxu@ruc.edu.cn

在跨区域污染研究方面,已有研究主要关注空气污染影响的时空范围^[25]、跨区域水环境治理激励机制^[26]、跨区域水环境治理的可持续性评价^[27]等问题。其中,对水体跨区域污染的研究往往从区域或流域整体视角进行损失评估,关注跨区域治理措施带来的污染物浓度变化,而未对污染治理成本与收益进行分析^[28-29],尤其缺乏农药水体污染对人体健康跨区域影响的量化研究。

本文利用2002~2018年中国23个省、直辖市、自治区的农药使用与老年人健康调查面板数据,采用双向固定效应模型定量分析农药使用通过水体污染的空间范围,并采用65岁以上老年群体医疗支出出来估计农药使用造成的健康损失经济成本,以表征农药使用通过水体污染造成整体环境健康影响并衡量农药水体污染带来的直接经济负担^[30]。

1 数据与研究方法

1.1 研究方法

1.1.1 研究假设 本文通过评估农药使用对居民医疗支出的影响,确定农药污染的边际损害成本。基于此,提出第一条统计假设:

假设一:农药使用造成的污染会影响本地居民

的医疗支出农药在进入到地表径流或地下径流后,可以随着水体在流域内迁移扩散,使农药污染的影响范围扩大到其他省份。因此,下游居民的医疗支出不仅受到本地农药使用的影响,还将受到上游的农药使用的影响。基于以上内容,提出第二条统计假设:

假设二:农药使用造成的污染会影响下游居民的医疗支出

1.1.2 研究思路 农药作为一种现代农业投入,可以提高农作物产出水平、降低产出损失风险。然而,由于农药使用造成负外部性的损失没有被纳入到农民的农业生产决策过程中,农民会选择超过社会最优水平的农药施用量。未被利用的农药经过水体迁移扩散,对暴露于农药污染物的人群产生慢性或急性的健康影响^[31-32]。农药污染影响人体健康的途径包括农药喷洒、农药残留与水环境污染等,其中,农药水环境污染是影响人体健康的主要途径^[12-15,32]。而在估计负外部性成本方面,疾病成本法通过直接估计额外医疗成本、通过发病率变化水平间接估计额外医疗成本等方法估算环境污染带来的直接负外部性损失,因此可以为农药污染控制成本效益分析提供依据^[30]。

基于以上的研究假设与机制分析,提出如下技术路线,如图1所示。

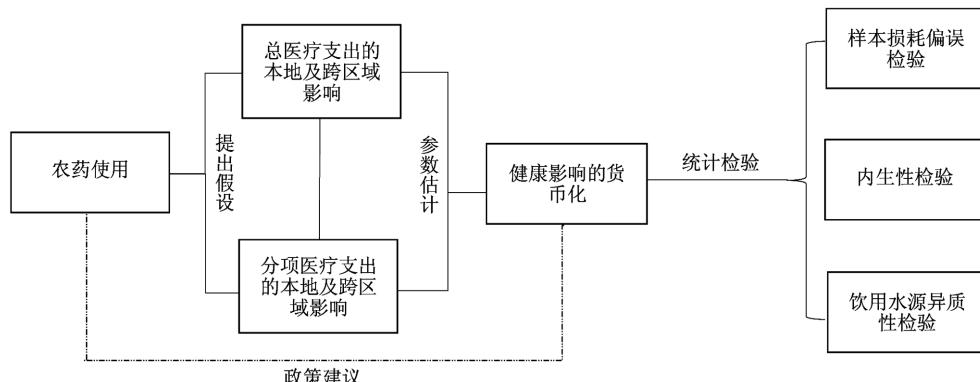


图1 技术路线示意
Fig.1 Technology roadmap

1.2 数据来源

健康影响与医疗支出的数据来源为北京大学开放研究数据平台《中国老年健康与家庭幸福调查(CLHLS-HF)》。该调查从全国23个省、直辖市、自治区的各个区县中,随机抽取一半县市,在1998~2018年间进行了共8次追踪健康调查,累计入户访问11.3万人次,具有较好的随机性、代表性和认可

度^[33-35]。该调查数据包含老年人口家庭结构、经济情况、健康情况、生活与饮食习惯、年医疗支出等方面的信息。由于本文所关注的医疗支出仅在2002年及以后的调查中存在,因此使用2002~2018年共6期追踪数据进行研究。

省级农药使用总量数据来自《中国农村统计年鉴》。为了控制其他环境污染以及宏观经济对老

年群体支出的影响,收集并整理了省级年末常住人口、二氧化硫排放量、实际国内生产总值(GDP)数据,数据来源为《中国统计年鉴》及《中国环境统计年鉴》.

1.3 变量描述

表1展示了主要变量的描述性统计结果.(1)被解释变量:医疗支出为个人层面数据,医疗支出为2021年不变价格;(2)解释变量:本地人均农药使用量和临近省份人均农药使用量为省级层面数据;(3)控制变量:被调查者的年龄、家庭年收入、自我报告健康状况、饮用水水源,以及省级层面的人均实际GDP和人均二氧化硫排放量.人均实际GDP以1978年不变价计算.

表1 变量描述统计

Table 1 Descriptive statistics of variables

变量	样本量	平均值	标准差
年医疗支出(元)	45308	2950.94	8011.90
本地人均农药使用量(kg/人)	154342	1.27	0.60
邻近上游省份人均农药使用量(kg/人)	144013	1.22	1.06
年龄(岁)	154342	93.71	12.91
家庭年收入(元)	59236	17214.67	21266.52
自我报告健康状况	61492	2.59	0.92
饮用水水源	66832	0.04	0.19
人均实际GDP(万元)	154342	0.63	0.35
人均二氧化硫排放量(kg/人)	154342	13.49	6.33

其中,QUOTE Age 33 自我报告健康状况是CLHLS-HF 中收录的有序变量,取值范围为 1~5,其中 1 代表对自我健康状况评价最好,5 则代表最差.饮用水水源划分为自来水和其他来源,自来水取值为 1,其他饮用水来源取值为 0.其他饮用水来源包括井水、河水或湖水、泉水、塘水.

2 结果与讨论

使用双向固定效应模型定量评估农药使用的边际医疗成本,并估计农药使用通过水体污染对居民健康的跨省影响程度.由于 CLHLS-HF 数据仅标明受访者所在的省份,因此,基于中国七大水系中各个省份的上下游流域关系,考虑本地农药使用与上游邻近省份的农药使用对本地个体医疗支出的影响程度.

2.1 模型设定

模型基本设定如下:

$$E_{it} = \beta_1 \text{Pesticide0}_{pt} + \beta_2 \text{Pesticide1}_{pt} + \gamma X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中:下标 i 、 t 、 p 分别代表个体、时间与省份; E_{it} 代表受访者 i 在 t 年的医疗支出的自然对数; Pesticide0_{pt} 、 Pesticide1_{pt} 分别代表本地、最邻近上游省份的人均农药使用量的自然对数; X_{it} 表示个人层面和省级层面的控制变量; μ_i 表示个体固定效应,控制个人层面不随时间变化的特征; λ_t 表示时间固定效应,控制不随个体改变但随时间变化的影响因素; ε_{it} 代表误差项; β_1 、 β_2 、 γ 是待估计系数.

2.2 样本损耗偏误检验

表2 样本损耗偏误检验

Table 2 Tests of attrition bias

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	Sampled More Than Once			
Pesticide0	-0.140 (-1.46)	-0.052 (-0.49)	0.057 (1.09)	0.069 (1.17)
Pesticide1	0.142 (1.54)	-0.077 (-0.74)	0.008 (0.16)	-0.093 (-1.58)
Self-reported health condition		-0.086*** (-10.61)		-0.038*** (-9.61)
GDP		0.167 (1.25)		0.203** (2.53)
Income		-0.047*** (-7.16)		-0.022*** (-6.73)
SO ₂		0.033 (0.44)		0.032 (0.70)
Age		-0.029*** (-46.30)		-0.011*** (-36.72)
Constant	2.217*** (9.10)	5.261*** (11.88)	0.388*** (2.97)	1.666*** (6.72)
Observations	23585	18221	23585	18221
R ²	0.026	0.158	0.024	0.103

注:SO₂、GDP、Income 分别代表人均二氧化硫排放量、人均GDP、家庭总收入的自然对数,Self-reported health condition 代表受访者的自我报告健康状况,Age 代表年龄.表中的所有列均加入了个体固定效应和年度固定效应. ***P<0.01, **P<0.05, *P<0.1, 括号中为变量t值,下同.

在估计模型(1)前,先考察数据中存在的样本损耗问题.原始数据中的总样本量为 154342,完全缺失的样本数量为 86822.在所有变量非完全缺失的样本中,作为因变量的年医疗支出缺失比例为 11.9%.样本损耗出现的主要原因为,追踪调查过程中,受访者由于死亡、住址改变等原因无法继续进行追踪调查.

考虑到未完全缺失样本平均年龄为 88.56 岁,受访者死亡造成了较为严重的样本损耗,如果样本损耗与解释变量相关,那么可能造成估计偏误问题。

参照已有研究^[22],对模型(1)设定下的样本损耗的随机性进行检验,结果见表 2. 其中,因变量 Sampled Times 为受访者在样本中出现的次数,而 Sampled More Than Once 为二分类变量,当受访者在样本中出现多于一次时取 1,否则取 0. 结果显示,在不同模型设定下,解释变量 Pesticide0、Pesticide1 均没有显著影响受访者在样本中出现的次数以及受访者在样本中是否出现多于一次. 因此,可以认为样本损耗是随机的,而随机的样本损耗并不会带来模型的偏误问题.

2.3 估计结果

由表 3 列(1)~(4)可见,本地农药使用的估计系数在不同的模型设定下均至少在 5% 的显著性水平下显著,而上游农药使用的估计系数均不显著. 在加入控制变量与以年末常住人口作为权重回归后,本地农药使用的估计系数变化较小.

表 3 面板固定效应模型估计结果

Table 3 Coefficient estimates from the panel fixed effects model

变量	(1) 医疗支出	(2) 医疗支出	(3) 医疗支出	(4) 医疗支出
Pesticide0	0.308** (2.479)	0.350*** (2.768)	0.399*** (2.921)	0.517*** (3.504)
Pesticide1	-0.103 (-0.782)	-0.154 (-1.157)	-0.208 (-1.360)	-0.143 (-0.905)
Self-reported health condition		0.294*** (20.89)	0.297*** (19.28)	0.295*** (19.17)
GDP			0.0988 (0.528)	0.206 (1.058)
Income			0.0499*** (3.375)	0.0419*** (3.007)
SO ₂			-0.129* (-1.666)	-0.0538 (-0.670)
Age			-0.000806 (-0.0534)	0.00742 (0.502)
Constant	5.992*** (125.3)	5.285*** (88.15)	4.544*** (3.599)	4.389*** (3.489)
Weight	NO	NO	NO	Population
Observations	42028	38146	33777	33777
R ²	0.182	0.213	0.218	0.807

根据列(4)结果,本地人均农药使用量每提高 1%,

会使得本省老年人口的医疗支出提高 0.517%,即约 15.26 元. 而邻近上游省份的农药使用量不会对本省老年人口的医疗支出产生统计学意义上显著的影响. 同时,根据列(4)控制变量的系数结果可以发现,自我报告健康状况数值的增大,即自我认知健康状况变差会显著提高医疗支出水平. 家庭收入的增加也会显著提高医疗支出,家庭收入上升 1% 将增加医疗支出 0.042%. 同时,二氧化硫浓度、区域人均 GDP、年龄的变化对医疗支出的影响不显著.

2.4 处理解释变量的内生性

为进一步控制不可观测且随时间变化的省级因素造成的遗漏变量偏误,采用工具变量方法验证估计结果的稳健性,分别使用地形起伏度与年份虚拟变量的交互项、地形起伏度与年均日照时数的交互项作为人均农药使用量的工具变量.

工具变量相关性条件满足的原因在于,地形起伏度、年均日照时数与种植农作物的类别、轮作模式有关,农药使用量受到农作物类别与轮作模式的影响,而年份虚拟变量与各年自然条件存在相关性,自然条件对农业生产有影响,进而与农药使用量具有相关性^[36-37]. 同时,地形起伏度、年均日照时数、年份作为自然条件,与公式(1)中的误差项无关,因此工具变量满足外生性假设.

表 4 检验结果显示,在 2 种工具变量设定下,弱工具变量检验结果的 F 值均远大于 10,表明不存在弱工具变量问题.

表 4 工具变量回归结果

Table 4 IV regression results

	(1) 医疗支出	(2) 医疗支出
Pesticide0	1.523*** (4.45)	1.163*** (4.25)
Pesticide1	1.324 (0.71)	0.431 (0.94)
IV	Relief degree * Year dummy	Relief degree * Sunshine duration
Weak identification test	26.47	84.06
Control variables	Yes	Yes
Individual fixed effect	Yes	Yes
Year fixed effect	Yes	Yes
Observations	17896	17896
R ²	0.193	0.211

2 个工具变量的回归结果相近. 具体来说, 地形

起伏度与年份虚拟变量交互项作为工具变量的回归结果表明,本地人均农药使用量每提高 1%,将使本省老年人口的年医疗支出增加 1.523%.地形起伏度与年均日照时数交互项作为工具变量的回归结果表明,本地人均农药使用量每提高 1%,将使本省老年人口的年医疗支出增加 1.163%.同时,2 个工具变量的回归结果均表明邻近上游省份的农药使用量不会对本省老年人口的医疗支出产生统计学意义上显著的影响.

工具变量方法所得到的系数估计数值大于固定效应模型的系数估计数值,表明模型(1)的遗漏变量问题在一定程度上低估了农药使用带来的额外健康成本.例如,模型(1)中未考虑居民医疗资源和通勤成本.丰富的医疗资源和较低的通勤成本使得居民更愿意去看病,从而产生较高的医疗支出,而医疗资源丰富的地区往往经济发达、第一产业占比低,具有较低的人均农药使用量.由于医疗资源随年份、省份变化,无法通过双向固定效应方法进行控制,因此遗漏因素与因变量正相关、与解释变量负相关,使得固定效应模型结果被低估.同时,通过省级农药使用量表征个体受到农药污染影响的程度存在测量误差问题,由此产生内生性问题^[38].此外,由异质性产生的局部平均处理效应也可能带来关键变量系数估计结果的增大^[39].

2.5 异质性分析

农药污染可以经水体通过接触、饮用等途径进入人体,因此农药水体污染对人体健康及健康医疗支出的影响可能存在水源层面的异质性.将饮用水水源划分为自来水和其他水源 2 类,分别观察 2 类饮用水水源对老年群体的医疗支出受到农药污染的影响.具体估计结果见表 5 列(1)~(2).其中,Tap water 指饮用水水源为自来水的样本,Others 指其他饮用水水源.

结果显示,对于饮用水水源为自来水的老年群体,本地农药使用的估计系数在 10% 的显著性水平下显著,且系数数值低于表 3 列(4)中使用全样本的回归系数,而上游省份农药使用的估计系数不显著.这表明饮用水水源为自来水的老年群体的医疗支出仅受到本省农药使用量的影响,而不受邻近省份农药使用的影响.本省的人均农药使用量每提高 1%,将会使本省饮

用水源为自来水的老年群体的医疗支出每年提高约 7.93 元.

表 5 面板固定效应模型异质性分析结果

Table 5 Heterogeneity analysis from the panel fixed effects model

变量	(1)	(2)
	医疗支出	医疗支出
Pesticide0	0.248*	6.083**
	(1.65)	(2.41)
Pesticide1	-0.161	5.628***
	(-0.93)	(2.59)
Self-reported health condition	0.288***	0.290*
	(18.06)	(1.79)
GDP	0.214	2.615
	(1.06)	(1.03)
Income	0.072***	0.117
	(4.81)	(0.98)
SO ₂	-0.197**	-1.337
	(-2.04)	(-0.80)
Age	-0.003	0.028
	(-1.03)	(1.16)
Constant	4.350***	5.495
	(8.12)	(0.79)
Sub-sample	Tap water	Others
Observations	963	28066
R ²	0.309	0.188

对于饮用水水源为非自来水的老年群体,本地和临近省份农药使用的估计系数均在 5% 显著性水平下显著.饮用水水源为非自来水的老年群体的医疗支出受到本省与上游省份农药使用量的影响,且本省农药使用量的影响更大.具体来说,本省农药使用量每提高 1%,将会使本省饮用水水源为非自来水的老年人口的年医疗支出增加约 179.50 元;邻近上游省份农药使用量每提高 1%,将会使本省饮用水水源为非自来水的老年人口的年医疗支出增加约 166.08 元.

2.6 分项医疗支出结果分析

进一步利用 CLHLS-HF 数据集中分项医疗支出数据,估计农药使用对受访者的门诊和住院医疗支出的影响.

表 6 列(1)~(2)分别将门诊医疗支出、住院医疗支出作为因变量.结果表明,本地人均农药使用量每提高 1%,会使得本省老年人口的门诊医疗支出提高 0.448%,住院医疗支出提高 0.824%.

表6 分项医疗支出回归结果

Table 6 Coefficient estimates of inpatient and outpatient medical expenses

变量	(1) 门诊医疗支出	(2) 住院医疗支出
Pesticide0	0.448* (1.646)	0.824*** (2.780)
Pesticide1	0.177 (0.490)	0.00435 (0.0105)
Self-reported health condition	0.437 (0.915)	-0.372 (-0.585)
GDP	0.0402* (1.684)	0.0579** (2.380)
Income	0.157*** (5.859)	0.299*** (12.49)
SO ₂	-0.00147 (-0.121)	0.0671 (1.066)
Age	0.0575 (0.634)	-1.065* (-1.764)
Constant	6.234*** (5.637)	-5.279 (-0.934)
Observations	14636	20178
R ²	0.076	0.122

2.7 建议

为保护老年人口健康、降低养老负担,地方政府应继续通过各种措施减少省内农药使用、降低农药污染。2015年,农业农村部提出《到2020年农药使用量零增长行动方案》^[40]。至2019年,中国农药使用量相比2015年下降了12.34%^[41],结合结果进行估算,方案的实施使得全国老年人口医疗负担降低497.14亿元。

政府应当进一步投资建设饮用水改造项目,改善老年群体的饮用水水质,并着重关注改善农村地区饮用水水质。2022年,中国农村人口老龄化程度总体高于城市^[42],且农村地区自来水普及率为84%,农村地区在饮用水改造方面仍然有进步空间^[43]。

2.8 讨论

本文使用CLHLS-HF调查数据集,针对农药使用及水体污染对老年群体医疗支出的影响进行了研究,并通过各种统计检验方法检验结果的稳健性。但是,受限于调查问卷指标设计的详细程度、覆盖范围以及数据质量,所得出的相关结论可能存在一定的局限性。特别是考虑到目前仍然缺乏覆盖全国范围的老年群体健康情况调查数据,难以通过不同数据集对研究结果进行对比验证。在未来的研究中

将继续深入研究该问题,提高调查和数据的质量,进一步探究农药使用及水体污染影响的作用路径和机理。

3 结论

3.1 农药使用上升增加了老年群体医疗支出。根据CLHLS-HF调查数据,本地人均农药使用量每提高1%,将会使本省老年人口的人均医疗支出提高约15.26元。从全国总体来看,饮用非自来水的老年群体会比饮用自来水的老年群体受到更大的农药污染影响。

3.2 农药使用对老年群体医疗支出的跨省影响存在异质性。虽然在总体上,临近上游省份的农药使用不会对下游省份老年群体的医疗支出产生经济与统计学意义上的显著影响,但是对于饮用水源为非自来水的老年群体,其医疗支出显著受到上游省份农药使用量的影响。

参考文献:

- [1] Sun B, Zhang L, Yang L, et al. Agricultural nonpoint source pollution in China: causes and mitigation measures [J]. Ambio, 2012, 41(4): 370–379.
- [2] Centanni M, De Girolamo A M, Romano G, et al. A review of modeling pesticides in freshwaters: current status, progress achieved and desirable improvements [J]. Environmental pollution, 2019, 316: 120553.
- [3] Jayasiri M, Yadav S, Dayawansa N D K, et al. Spatio-temporal analysis of water quality for pesticides and other agricultural pollutants in Deduru Oya river basin of Sri Lanka [J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 330: 129897.
- [4] 刘维屏,季瑾.农药在土壤—水环境中归宿的主要支配因素——吸附和脱附[J].中国环境科学,1996,(1):25–30.
Liu W P, Ji J. One of the most important factors affecting the fate of pesticide in soil–water environmental: sorption and desorption [J]. China Environmental Science, 1996,(1):25–30.
- [5] Gilevska T, Masbou J, Baumlin B, et al. Do pesticides degrade in surface water receiving runoff from agricultural catchments? combining passive samplers (POCIS) and compound-specific isotope analysis [J]. Science of the Total Environment, 2022, 842: 156735.
- [6] 刘国恩,蔡春光,李林.中国老人医疗保障与医疗服务需求的实证分析 [J].经济研究,2011,46(3):95–107,118.
Liu G W, Cai C G, Li L. Medical insurance and medical care demand for the elderly in China [J]. Economic Research Journal, 2011, 46(3): 95–107, 118.
- [7] 王晓峰,冯园园.人口老龄化对医疗卫生服务利用及医疗卫生费用的影响——基于CHARLS面板数据的研究 [J].人口与发展,2022, 28(2):34–47.

- Wang X F, Feng Y Y. The Influence of population aging on utilization of medical services and medical service cost—a research based on the CHARLS panel data [J]. Population and Development, 2022, 28(2):34–47.
- [8] Rola A C, Pingali P L. Pesticides, rice productivity, and farmers' health: an economic assessment [M]. IRRI CABI, 1993.
- [9] Huang J, Qiao F, Zhang L, et al. Farm pesticides, rice production, and human health in China [M]. EEPSEA, Singapore, SG, 2001.
- [10] 孙肖瑜,王 静,金永堂.我国水环境农药污染现状及健康影响研究进展 [J]. 环境与健康杂志, 2009,26(7):649–652.
- Sun X Y, Wang J, Jin Y T. Advances in research on pesticide pollution to the aquatic environment and health impact in China [J]. Journal of Environment and Health, 2009,26(7):649–652.
- [11] Ding G, Bao Y. Revisiting pesticide exposure and children's health: focus on China [J]. Science of the total environment, 2014,472:289–295.
- [12] 胡雄星,夏德祥,韩中豪,等.苏州河水及沉积物中有机氯农药的分布与归宿 [J]. 中国环境科学, 2005,(1):125–129.
- Hu X X, Xia D X, Han Z H, et al. Distribution characteristics and fate of organochlorine pesticide in water-sediment of Suzhou River [J]. China Environmental Science, 2005,(1):125–129.
- [13] 邵 阳,杨国胜,刘伟华,等.北京地区地表水中OCPs和PCBs的污染分析 [J]. 中国环境科学, 2016,36(9):2606–2613.
- Shao Y, Yang G S, Liu W H, et al. The study of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in surface water around Beijing [J]. China Environmental Science, 2016,36(9):2606–2613.
- [14] 王建伟,张彩香,潘真真,等.江汉平原地下水中有毒农药的分布特征及影响因素 [J]. 中国环境科学, 2016,36(10):3089–3098.
- Wang J W, Zhang C X, Pan Z Z, et al. Distribution characteristics and influencing factors of organophosphorus pesticides in Jianghan plain groundwater [J]. China Environmental Science, 2016,36(10):3089–3098.
- [15] 刘 静,路 凤,杨延钊,等.南四湖农业面源污染现状及控制措施 [J]. 中国人口·资源与环境, 2011,21(S1):292–295.
- Liu J, Lu F, Yang Y Z, et al. Current status and control measures of agricultural non-point source pollution in Nansi Lake watershed [J]. China Population, Resources and Environment, 2011,21(S1):292–295.
- [16] Dickie M, Gerking S. Benefits of reduced morbidity from air pollution control: a survey [J]. Studies in Environmental Science, 1989,36:105–122.
- Zmirou D, Deloraine A, Balducci F, et al. Health effects costs of particulate air pollution [J]. Journal of occupational and environmental medicine, 1999:847–856.
- [18] Quah E, Boon T L. The economic cost of particulate air pollution on health in Singapore [J]. Journal of Asian Economics, 2003,14(1):73–90.
- [19] Zhu B, Pang R, Chevallier J, et al. Including intangible costs into the cost-of-illness approach: a method refinement illustrated based on the PM_{2.5} economic burden in China [J]. The European Journal of Health Economics, 2019,20(4):501–511.
- [20] Dwight R H, Fernandez L M, Baker D B, et al. Estimating the economic burden from illnesses associated with recreational coastal water pollution—a case study in Orange County, California [J]. Journal of environmental management, 2005,76(2):95–103.
- [21] Ali G, Bashir M K, Abbas S, et al. Drinking-water efficiency, cost of illness, and peri-urban society: an economic household analysis [J]. Plos one, 2021,16(9):e0257509.
- [22] Lai W. Pesticide use and health outcomes: Evidence from agricultural water pollution in China [J]. Journal of environmental economics and management, 2017,86:93–120.
- [23] Liu J, Schelar E. Pesticide exposure and child neurodevelopment: summary and implications [J]. Workplace health & safety, 2012,60(5):235–242.
- [24] Ntzani E E, Ntritis G C M, Evangelou E, et al. Literature review on epidemiological studies linking exposure to pesticides and health effects [J]. EFSA Supporting Publications, 2013,10(10):497E.
- [25] Fu S, Viard V B, Zhang P. Trans-boundary air pollution spillovers: physical transport and economic costs by distance [J]. Journal of Development Economics, 2022,155:102808.
- [26] Wang Q, Fu Q, Shi Z, et al. Transboundary water pollution and promotion incentives in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 261:121120.
- [27] Talukder B, Hipel K W. Diagnosis of sustainability of trans-boundary water governance in the Great Lakes basin [J]. World Development, 2020,129:104855.
- [28] Yu X. Transboundary water pollution management: lessons learned from river basin management in China, Europe and the Netherlands [J]. Utrecht Law Review, 2011,7(1):188–203.
- [29] Lu J. Can the central environmental protection inspection reduce transboundary pollution? Evidence from river water quality data in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2022,332:130030.
- [30] Jo C. Cost-of-illness studies: concepts, scopes, and methods [J]. Clinical and Molecular Hepatology, 2014,20(4):327–337.
- [31] Jeyaratnam J. Acute pesticide poisoning: a major global health problem [J]. World health statistics quarterly 1990;43 (3):139–144.
- [32] Alavanja M C R, Hoppin J A, Kamel F. Health effects of chronic pesticide exposure: cancer and neurotoxicity [J]. Annual review of public health, 2004,25:155–197.
- [33] Li L W, Zhang J, Liang J. Health among the oldest-old in China: which living arrangements make a difference? [J]. Social science & medicine, 2009,68(2):220–227.
- [34] Gu D, Zhang Z, Zeng Y. Access to healthcare services makes a difference in healthy longevity among older Chinese adults [J]. Social science & medicine, 2009,68(2):210–219.
- [35] Peng R, Ling L, He Q. Self-rated health status transition and long-term care need, of the oldest Chinese [J]. Health Policy, 2010,97(2/3):259–266.
- [36] 闫慧敏,刘纪远,曹明奎.中国农田生产力变化的空间格局及地形控制作用 [J]. 地理学报, 2007,(2):171–180.
- Yan H M, Liu J Y, Cao M K. Spatial pattern and topographic control of China's agricultural productivity variability [J]. Acta Geographica Sinica, 2007,(2):171–180.
- [37] 吴 见,王帅帅,谭 靖.基于安徽省土地利用变化的地形梯度效应分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2016,25(2):239–248.
- Wu J, Wang S S, Tan J. Analysis on land use terrain gradient pattern changes in Anhui province [J]. Resources and Environment in the

- Yangtze Basin, 2016,25(2):239–248.
- [38] Deryugina T, Heutel G, Miller N H, et al. The mortality and medical costs of air pollution: evidence from changes in wind direction [J]. American Economic Review, 2019,109(12):4178–4219.
- [39] Jiang W. Have instrumental variables brought us closer to the truth [J]. The Review of Corporate Finance Studies, 2017,6(2):127–140.
- [40] 中国农业农村部.农业部关于印发《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》和《到 2020 年农药使用量零增长行动方案》的通知 [Z]. 2015. http://www.zzys.moa.gov.cn/gzdt/201503/t20150318_6309945.htm
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Notice from the ministry of agriculture on issuing "the action plan for zero growth in chemical fertilizer use by 2020" and "the action plan for zero growth in pesticide use by 2020" [Z]. 2015. http://www.zzys.moa.gov.cn/gzdt/201503/t20150318_6309945.htm
- [41] 中国农业农村部.农业现代化辉煌五年系列宣传之二十六:化肥农药使用量零增长行动取得明显成效 [Z]. 2021. http://www.ghs.moa.gov.cn/ghgl/202107/t20210716_6372084.htm
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Glorious five years of agricultural modernization series promotion part 26: achieving significant results in the action of zero
- growth in chemical fertilizer and pesticide use [Z]. 2021. http://www.ghs.moa.gov.cn/ghgl/202107/t20210716_6372084.htm.
- [42] 人民日报.国家统计局:60 岁及以上人口比重达 18.7% 老龄化进程明显加快 [Z]. 2021. <http://finance.people.com.cn/n1/2021/0511/c1004-32100026.html>.
People's Daily. National Bureau of Statistics: Proportion of population aged 60 and above reaches 18.7%, aging process accelerates significantly [Z]. 2021. <http://finance.people.com.cn/n1/2021/0511/c1004-32100026.html>.
- [43] 中国政府网.农村集中供水率和自来水普及率分别达 89% 和 84% 农民生活环境卫生状况明显改善 [Z]. 2022. http://www.gov.cn/xinwen/2022-04/15/content_5685320.htm.
The State Council of the People's Republic of China. The rural centralized water supply rate and tap water coverage rate have reached 89% and 84% respectively, indicating a significant improvement in the living environment and sanitation of rural residents [Z]. 2022. http://www.gov.cn/xinwen/2022-04/15/content_5685320.htm.

作者简介: 张红亮(1986-),男,安徽淮南人,助理教授,博士,主要从事资源与环境经济学研究.发表论文 10 篇. zhanghl08@ruc.edu.cn.