

雾霾污染对中国粮食生产影响及其空间分异

袁岳驷¹ 张军伟² 杜建军³ 李蓉丽⁴¹

(1. 湖南科技学院 经济管理学院, 中国湖南 永州 425100;

2. 曲阜师范大学 管理学院, 中国山东 日照 276826;

3. 上海政法学院 政府管理学院, 中国 上海 201701;

4. 湖南师范大学 商学院, 中国湖南 长沙 410081)

【摘要】: 以 2000—2018 年中国 255 个地级及以上城市 $PM_{2.5}$ 浓度数据为样本, 系统考察雾霾污染对粮食生产的影响, 并以空气流动系数和政府环境治理政策作为雾霾污染的内生工具变量, 利用两阶段最小二乘法 (2SLS) 估计雾霾污染对粮食生产的影响。研究表明: ①雾霾污染显著负向影响粮食生产, 且两者之间不存在脱钩关系; ②雾霾污染对东中西部粮食生产的影响存在异质性, 对粮食主产区和非主产区的影响存在异质性; ③我国约有超过 3/4 的粮食生产区域受到雾霾污染的影响, 这无疑会加剧我国农产品充足供给的挑战性; ④雾霾污染在扩散效应和转移效应作用下, 对邻近地区粮食生产带来空间溢出效应。因此, 未来要同时实现治理空气污染和保障粮食安全离不开政府宏观调控作用, 地方政府之间需要加强区域合作, 实现区域间的“协同治理”。

【关键词】: 空气污染 $PM_{2.5}$ 浓度 粮食生产 内生性 空间溢出效应 协同治理

【中图分类号】: F316.11 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2022) 02-0172-09

空气污染尤其是雾霾污染是当今社会关注的热点之一。近年来, 我国空气污染呈现出高频率、大范围、长时间的特征。中国气象局的数据显示, 雾霾污染在相对严重的 2013 年波及全国 25 个省份, 年均雾霾天数达 29.9 天, 较为严重的华北地区多个省份 $PM_{2.5}$ 浓度达到或超过 $500 \mu g/m^3$ 的测量上限。由于国家对空气质量的重视, 雾霾污染相对以前已有所改善, 但依然对交通运输、大众健康、农业生产等方面产生诸多负面影响。雾霾污染较为严重的华北地区同时也是我国重要的农产品生产基地, 雾霾污染是否会影响粮食生产进而威胁我国农产品充足供给? 如果雾霾污染对我国粮食生产呈现显著负面效应, 无疑会大大增加保障我国农产品充足供给形势的严峻性和艰巨性。

本文以 2000—2018 年我国 255 个地级及以上城市面板数据为研究样本, 并利用卫星监测的 $PM_{2.5}$ 浓度表征空气污染程度, 力

作者简介: 袁岳驷 (1974—), 男, 湖南新化人, 博士, 副教授, 研究方向为区域经济与农业经济。E-mail: 562539470@qq.com; 张军伟 (1980—), 男, 山东济宁人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为环境经济地理与粮食

安全。E-mail: zhangjw369@163.com

基金项目: 山东省社会科学规划一般项目 (20CGLJ07); 上海市社会科学规划一般课题 (2019BJB021); 山东省高等学校优秀青年创新团队科技支持计划 (2019RWG009); 湖南省教育厅科学研究创新平台开放基金项目 (20K058); 湖南省财政厅项目 ([2021]22 号); 2022 年度湖南省社会科学成果评审委员会项目 (XSP22YBC443)

求从多种实证角度分析空气污染对粮食生产的影响。有助于更加客观地认识空气污染对粮食生产的影响，也可以为国家制定和完善相关政策提供经验证据。

1 文献综述

关于空气污染对农业生产的影响，许多学者通过对比试验或模型模拟分析了气态污染物对农作物产量和质量的影响，如分析 CO_2 、 SO_2 、API 等对农作物的影响^[1,2,3]。关于雾霾污染对农业生产的影响文献较少，虽有文献进行了有益的探讨，但是多以思辨性的讨论为主^[4,5]。关于雾霾污染是否以及如何影响农业生产，学者们没有达成一致的结论。有的学者认为雾霾会影响农作物的光合作用和呼吸作用，从而对农业生产带来负向作用。一方面，雾霾中的颗粒因影响光照的时间和强度而影响光合作用。具体表现在，雾霾严重缩短了农作物受光照的时间，影响了农作物对光的吸收和转化，弱化了光合作用，不利于作物生长^[6]。另一方面，雾霾影响农作物呼吸作用。雾霾增加了空气中颗粒密度，雾霾中的微小颗粒黏附到农作物表面减弱呼吸作用，影响养分的吸收与转换，不利于农作物正常生长^[7,8]。另外，雾霾遇到阴雨天气引发酸沉降，加速土壤有机物质流失，增加农作物病虫害发生的可能性^[9]。更进一步，有学者还具体估算雾霾污染对农业造成的损失。李春华等研究得出，仅北京市 2012 年雾霾污染引起农业直接经济损失达 42 亿元、间接损失达 55 亿元，占农业生产总值的 14%^[10]。有的学者认为雾霾可能对农业生产有正向作用，主要原因：一是雾霾天气可以阻碍地表水分的蒸发，减少地表热量的散失，在寒冷的冬季有保温作用，可以有效降低小麦等越冬农作物冻害的发生率；二是雾霾污染降低了城市吸引力，减缓了城市化进程，农村能够获得更多的劳动力从事农业生产^[11]。还有学者认为雾霾对农业生产的作用不显著，主要原因是：从时间上看，雾霾多集中在秋末和冬季，此时多数农作物已经完成收获；从空间上看，雾霾多出现在城市而非农村，因此雾霾不会对农业生产造成显著影响^[12]。既有研究从不同角度分析了雾霾污染对农业生产的影响，为本文进一步分析提供了研究基础，但仍存在以下不足：首先，我国自 2012 年才开始将 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度数据列入官方日常环境监测范围，由于数据可得性的限制，现有研究多局限于国家层面或省级层面考察雾霾污染对农业生产的影响，且以思辨性分析为主，缺少地级市层面规范的实证研究。如果在分析雾霾污染影响作用时，选择的区域层次过高，很难精细衡量雾霾污染对农业生产的影响，因此分析雾霾污染对农业生产的影响选择低区域更为适宜。基于地级市数据的分析，更能反映雾霾污染对农业生产的影响。其次，农业生产的地域十分广阔，不同区域雾霾污染的程度差异较大，对农业生产的影响也应该不尽相同，选择不同的区域可能得出不同的结论，已有关于雾霾对农业生产影响的研究缺乏异质性分析。最后，已有多数研究忽略了“内生性”问题。玉米、小麦等农作物收获以后的秸秆焚烧是产生雾霾的源泉之一，已有研究忽视了雾霾污染和农业生产之间因“双向因果”关系而产生的内生性问题，可能导致研究结论出现偏误。

2 雾霾污染情况与研究假说

2.1 我国雾霾污染的情况

我国雾霾污染增长的“快速性”和“异质性”构成了雾霾污染变化的基本事实。图 1 展示了 1998—2018 年我国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度年度均值，包括全国均值和分区域均值。近年来，我国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度整体呈现倒 U 型趋势。1998—2008 年为 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度快速增长阶段。1998 年我国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度约为 $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，经过 10 年， $\text{PM}_{2.5}$ 浓度增长了近 1 倍。2009—2015 年 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度先减后增，这段时间浓度处于高位。2016 年以后， $\text{PM}_{2.5}$ 浓度呈现下降趋势。

从空气质量标准看，1998—2004 年期间 $\text{PM}_{2.5}$ 年平均浓度处于 $15\sim 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，根据我国环境保护部发布并于 2016 年开始实施的《环境空气质量标准》，空气质量达到二级标准；2005—2015 年除 2012 年外其余年份均超过 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，空气质量低于二级标准；2016 年以后空气质量在政府有效治理下得到明显改善，空气质量逐步恢复到二级标准。

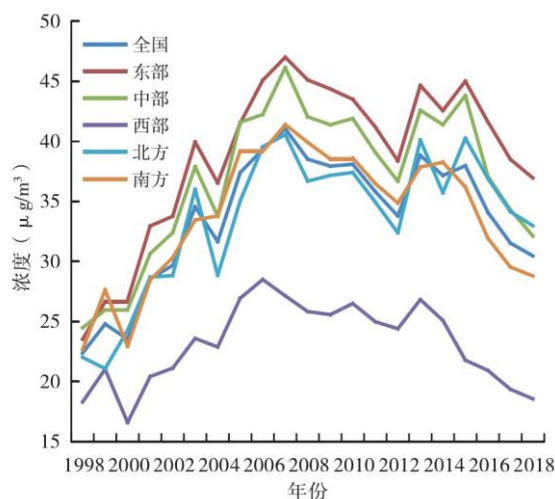


图 1 1998—2018 年 $PM_{2.5}$ 浓度变化

数据来源：哥伦比亚大学社会经济数据和应用中心公布的卫星监测 $PM_{2.5}$ 浓度。

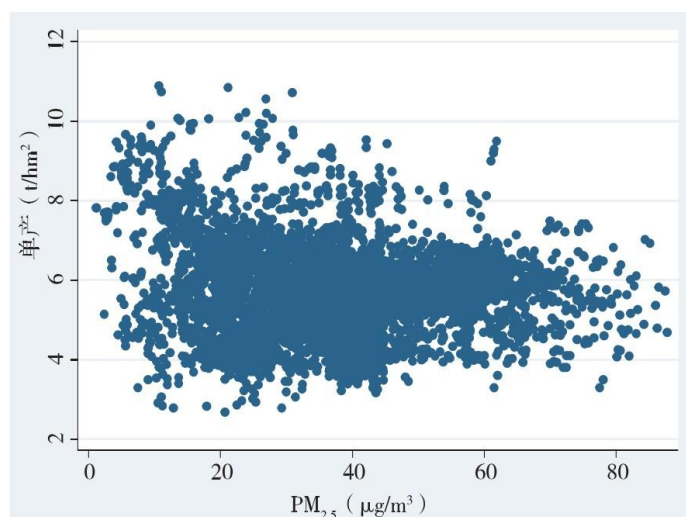


图 2 2000—2018 年粮食单产与 $PM_{2.5}$ 浓度散点图

分区域看，我国 $PM_{2.5}$ 浓度在东中西部差别比较大，呈现明显东高西低的趋势，具有明显的区域异质性：东部地区比中部地区浓度大约高 $2\sim3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，中部地区比西部地区浓度大约高 $5\sim20\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。我国 $PM_{2.5}$ 浓度虽然东部和西部存在较大差别，但南部和北部浓度差别不大，2013 年之前南北部 $PM_{2.5}$ 浓度均呈现波动增长的趋势，2013 年之后呈现波动下降的趋势。

2.2 研究假说

利用散点图进行粮食单产与雾霾污染相关关系的定性分析。以 $PM_{2.5}$ 浓度表示雾霾污染程度，以每公顷粮食产量表示粮食的单位面积产量 (t/hm^2)，图 2 是 2000—2018 年粮食单产与 $PM_{2.5}$ 浓度散点图。从图 2 可以看出，粮食单产随 $PM_{2.5}$ 浓度增加而降低，

粮食单产和雾霾浓度呈负向相关关系。鉴于以上分析，提出本文假说 1。

H1：雾霾污染对我国粮食生产有负面效应。

我国幅员辽阔，各地区雾霾浓度存在较大差别。整体而言，东部和北部地区污染严重、PM_{2.5}浓度较高，南部和西部地区污染较轻、PM_{2.5}浓度较低。我国东部和北部的华北平原、山东半岛、京津冀和辽中南是雾霾污染最为严重的地区。雾霾污染最严重的前 10 位城市多数都来自这些区域，其中以河北省、山东省居多，主要因为这些地区工业在三产中占比较大，加上冬季燃烧煤炭取暖排放大量污染物；我国的华南地区、西南地区和西北地区，由于重工业所占比例较小，雾霾污染相对较轻。总体看，我国雾霾污染呈现东高西低的趋势，区域间浓度差别较为明显。同时，我国农作物种植区域广阔，在污染程度不同的区域均有农作物种植。雾霾对农业生产的影响随着污染程度不同应该存在一定的差异。鉴于以上分析，提出本文假说 2。

H2：雾霾污染对我国粮食生产的影响存在异质性。

根据地理学第一定律，任何事物都存在一定的相关关系，空间越相近的事物相关性越强。雾霾主要成分是集聚的细小颗粒物。这些物质会悬浮在空气中，具有无界性和外溢性的特征，在风力和大气环流的作用下会在不同区域间流动扩散^[13]，相邻区域间雾霾的扩散效应和转移效应将尤为明显。由于资源禀赋的限制，我国农业主产区以地势较为平缓的平原和盆地为主，相对于山地、丘陵和高原等地形，农业主产区更易于雾霾扩散传播。因此，雾霾容易由浓度高的地区向浓度低的地区扩散。雾霾污染不再是单纯的局部污染，雾霾污染对农业生产的影响也不会仅限于本地区，对邻近地区农业生产也不可避免会产生一定的影响。鉴于以上分析，提出本文假说 3。

H3：雾霾污染对我国粮食生产的影响存在空间溢出效应。

3 模型设定与变量选择

3.1 模型选择

3.1.1 基准模型

本文在基准回归中采用如下模型：

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \beta_4 x_{4i} + \beta_5 x_{5i} + \beta_6 x_{6i} + \beta_7 x_{7i} + \beta_8 x_{8i} + \varepsilon_i \quad (1)$$

式中：被解释变量 y 为地级及以上城市的粮食单位面积产量； x_1 是各个城市雾霾污染程度，用 PM_{2.5} 的浓度表示，为本文的核心解释变量，其系数的正负有待进一步实证检验； $x_2 \sim x_8$ 为控制变量，其中 $x_2 \sim x_5$ 为资源禀赋控制变量，包括单位播种面积土地上农业资本、农业技术、农村劳动力投入量以及粮田的灌溉比例， $x_6 \sim x_8$ 为农业外部因素控制变量，包括各城市单位播种面积土地上财政支农数量以及各城市的地理区位和城市地形地貌。

3.1.2 工具变量模型

在分析雾霾污染对粮食生产的影响时，核心解释变量雾霾污染的内生性问题需要考虑。内生性问题主要是由“双向因果关系”和“遗漏变量”引起的。双向因果关系表现在，过去相当长时期，农民为提高农时效率，粮食收获以后选择秸秆焚烧，这是

雾霾产生的源泉之一^[14]，雾霾和粮食生产之间存在“双向因果”关系会产生内生性偏误问题。结合数据的可得性，本文选用以下两类工具变量来缓解雾霾污染的内生性：一类是能够控制雾霾在不同区域间溢出效应的空气流动系数；另一类是衡量地方政府治理污染力度的环境治理政策。

本文选用空气流动系数作为雾霾污染的工具变量主要基于以下考量：①参考陈诗一的研究^[15]，空气流动系数与雾霾污染呈反向关系，满足工具变量与解释变量存在相关性的假设。②空气流动系数主要由当地的自然地理条件和气象条件决定，暂无文献表明该系数与粮食单产存在相关关系，即满足与被解释变量无关的假设。③雾霾具有较强的流动性，雾霾污染具有明显溢出效应。选用空气流动系数作为雾霾污染的工具变量，能够有效控制变量的空间溢出效应。参考陈诗一和 Hering 等的研究^[15,16]，采用以下公式构建空气流动系数： $Vent = Wind \cdot Bound$ ，其中 $Vent$ 表示空气流动系数， $Wind$ 表示风速， $Bound$ 表示大气边界层高度。 $Wind$ 和 $Bound$ 原始数据来自 ECMWF 所发布的经纬度栅格气象数据。

本文还选用政府工作报告中出现的环境治理政策作为工具变量主要基于以下考量：①雾霾污染与政府环境治理政策存在相关性。为了缓解环境压力，各地政府出台了许多环境治理政策。一般来说，空气污染越严重的地区，地方政府环保的压力越大，出台相关政策的力度和频率也越大。②政府的报告一般发生在公历年的年初，而农业生产依据农历年的农时分布于四季，粮食产量不会影响政府工作报告，从而可以有效缓解“反向因果”引发的内生性问题。③本文选取省级层面政府工作报告中环境治理数据，其他的数据来自地级市层面。在当前行政体系下，地市级政府（下级）较难影响省级政府（上级）的政策，而省级政府却容易影响地市级政府的决策，这有利于缓解“反向因果”引发的内生性问题。虽然省级数据可以缓解内生性，但也淡化了地级市层面环境政策的差异性。基于以上分析，本文构建如下 2SLS 模型，其中， Z_1 和 Z_2 为空气流动系数和环境治理政策两个工具变量。

$$\begin{aligned} x_{it} &= \alpha + \alpha_1 Z_1 + \alpha_2 Z_2 + \mu_i \\ y_i &= \beta_0 + \beta_1 x_{it} + \beta_2 x_{2t} + \beta_3 x_{3t} + \beta_4 x_{4t} + \beta_5 x_{5t} + \beta_6 x_{6t} + \beta_7 x_{7t} + \beta_8 x_{8t} + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (2)$$

3.2 变量选择

本文参考国内外相关研究文献^[17, 18, 19, 20]，结合数据可得性，选择粮食单位面积产量作为被解释变量。核心解释变量为雾霾污染，用 $PM_{2.5}$ 浓度来表示；控制变量主要是影响粮食单位面积产量的资源禀赋变量和农业外部因素变量。

3.3 数据描述性统计

本文 $PM_{2.5}$ 浓度数据来自哥伦比亚大学社会经济数据和应用中心公布的卫星监测数据。粮食产量、播种面积、农村劳动力数量、灌溉面积、农业机械总动力等 2000—2013 年原始数据主要来自 2001—2014 年《中国区域经济统计年鉴》；由于 2014 年以后不再出版《中国区域经济统计年鉴》，2014—2018 年数据来自 2015—2019 年《中国县域统计年鉴》以及各地市统计年鉴和统计公报，部分缺失数据采用差值法补齐。第二产业占 GDP 的比重数据来自《中国城市统计年鉴》。

4 假说检验与估计结果讨论

4.1 基准模型结果

本部分依次将核心解释变量和控制变量加入到模型中进行分析，报告了基准模型回归的结果。第（1）列报告了仅考虑核心解释变量对粮食单产的影响，回归结果表明雾霾污染对粮食单产有显著负向影响。第（2）列报告了加入资源禀赋变量以后雾霾

污染对粮食单产的影响，回归结果表明雾霾污染对粮食单产影响为负。第（3）列报告了加入资源禀赋变量和外部因素变量以后雾霾污染对粮食单产的影响，回归结果依然表明雾霾污染对粮食单产有明显负向作用，而且雾霾浓度增加 1%，粮食单产下降 0.0325%。上述分析表明雾霾污染会显著抑制粮食单产，这也验证了假说 1。

为进一步考察雾霾污染对粮食生产的影响是否存在非线性关系，第（4）～（6）列将 $PM_{2.5}$ 平方项引入模型。回归结果表明，雾霾污染的二次项系数为正，但不显著。这说明雾霾污染对粮食生产存在负向单调影响，不存在 U 型关系，也可说明当前两者之间不存在脱钩关系。鉴于当前我国许多城市处于工业化上升阶段，短时间实现雾霾的彻底治理还很困难，因此要实现雾霾治理和粮食安全的双重目标任重道远。鉴于雾霾污染对粮食生产影响的非线性关系不显著，本文下面基于线性模型考察雾霾污染对粮食生产的影响。

结合上述分析可以得出，雾霾污染显著负向影响农业生产。雾霾污染对农作物影响可能的原因主要有以下两方面。

①雾霾污染对农作物的直接影响。雾霾会影响农作物的光合作用和呼吸作用。雾霾中富含大量气溶胶微颗粒，气溶胶通过改变太阳光有效辐射的数量和质量，降低农作物的光合作用，影响有机物合成，进而影响农作物的生长^[5]。雾霾中含有较高浓度的细微颗粒，这些细微颗粒停留在农作物表面堵塞气孔，进而影响农作物的呼吸作用^[4]。另外，雾霾颗粒还可能进入农作物体内微生物系统，进而破坏微生物的生存和繁殖能力，影响生物的多样性和生态链的完整性，可能激活农作物的病原体引发病虫害，造成农作物减产^[22]。

②雾霾污染对农作物的间接影响。雾霾污染了农作物赖以生存的水资源和土地资源，受到污染的土地和水会影响农作物生长。雾霾中含有大量的氮氧化物、 SO_2 、重金属等颗粒，氮氧化物进入水体，造成水体富营养化，提高水中微生物的死亡率，破坏生态子系统，影响生物的多样性和生态链的完整性，增加农作物遭遇病原体和病虫害的风险。当遇到雨雪天气时，酸化的水蒸气沉降到地表，容易引致土壤酸化、植物细胞活性酶降低等问题，进而降低土壤生产力，造成农作物减产^[23]。雾霾中的重金属物质会改变土壤的成分和结构，降低土壤生产力，造成农作物减产，甚至还可能通过食物链影响到人体健康。雾霾对农作物的这种间接效应也可以解释有些农作物如玉米虽然生长在雾霾较少的季节，但雾霾已经污染了当地的水土资源，依然会对该农作物产生负向作用。

雾霾减少了劳动供给时间和供给强度，进而影响农业生产。一方面，随着人们对雾霾危害认知增强，农民会减少雾霾天气劳作的的时间，农田的管理水平下降，进而影响农业生产^[19]。另一方面，雾霾污染还可能影响人体健康，如诱发呼吸道疾病、损伤暴露空气中的皮肤和眼睛，让人产生不适的感觉。结果导致劳动力注意力不集中、反应迟缓，不能持续高强度地供给劳动，降低了劳动生产率，进而影响农业产出。

4.2 工具变量模型结果

两阶段最小二乘法回归的结果为第一阶段回归结果，可以看出无论是选择环境词汇频数还是选择环境词汇频率作指标，政府的环境治理都会明显影响雾霾浓度。第一阶段 F 检验值明显大于 10 这一经验值，因此可以排除存在“弱工具变量”问题。

两阶段最小二乘法（2SLS）第二阶段回归的结果，其中，第（1）列为选用环境词汇频数作为工具变量的结果，第（2）列为选用环境词汇频率作为工具变量的结果，第（3）列为选用空气流动系数作为工具变量的结果，第（4）列为选用环境词汇频数和空气流动系数作为工具变量的结果，第（5）列为选用环境词汇频率和空气流动系数作为工具变量的结果。采用工具变量回归结果表明，雾霾污染显著影响了粮食生产，且在工具变量模型中雾霾估计系数绝对值大于基准模型中估计系数绝对值，说明潜在的内生性问题容易低估雾霾对粮食生产的负面影响。同时，本部分的研究结果也显示了政府在治理雾霾污染和保障粮食安全两方面重要作用，这也意味着未来要同时实现治理空气污染和保障粮食安全离不开政府宏观调控作用。

4.3 稳健性检验

为了确保研究结论的可靠性,本部分采用三种方式对模型回归结果进行稳健性检验。①为使研究样本数据具有可比性,减少异常值的干扰,剔除了地级市以上的样本,仅保留地级市样本。②本部分将 $PM_{2.5}$ 浓度的滞后一期作为替换工具变量引入模型。③将 $PM_{2.5}$ 浓度数值取对数化处理,代入模型进行敏感性分析,以进一步检验模型的稳健性。

第(1)列报告了不包含地级以上城市、仅包含地级市样本回归结果,可以看出雾霾对粮食生产有显著负向影响,且在1%水平上显著。第(2)列报告了以 $PM_{2.5}$ 浓度滞后一期代替 $PM_{2.5}$ 浓度当期回归的结果,可以看出雾霾对粮食生产有显著负向影响,且在1%水平上显著。第(3)列报告了将 $PM_{2.5}$ 浓度数值取对数化处理,代入模型进行敏感性分析。回归结果表明,雾霾污染对粮食生产的负面作用依然存在,且在统计上显著,说明雾霾污染对粮食生产的负面影响作用是稳健的。

5 进一步讨论:异质性与空间溢出效应

5.1 异质性

我国幅员辽阔,雾霾浓度差别较大,同时农业生产也遍布各个地区。不同地区雾霾污染对农业生产的影响是否一致,是否存在区域异质性?本部分从不同地理区位和不同粮食功能区两个视角进一步对雾霾污染影响农业生产的异质性进行探讨。

5.1.1 东中西部地区分析

我国雾霾污染较为严重的地区,主要分布在东部工业较为发达的省份。为检验雾霾浓度对粮食生产影响的异质性,本部分以我国东、中、西部3个地区构建子样本进行回归报告了回归结果。第(1)列报告了雾霾浓度较高的东部地区、第(2)列报告了浓度中等的中部地区、第(3)列报告了雾霾浓度较低的西部地区雾霾对粮食单产的影响。可以看出,东部和中部地区雾霾污染对我国粮食生产有显著负向抑制效应,但西部地区雾霾对粮食单产的影响不明显,东、中、西部具有明显的区域异质性。可能的原因是,我国东中部地区雾霾浓度较高,雾霾中富含的大量微颗粒已经影响了农作物的光合作用和呼吸作用;同时东中部经济发达地区的农民健康意识相对较强,雾霾严重时他们减少了劳作时间,最终影响了农业产出。而西部地区雾霾浓度偏低,未对农业生产构成明显威胁。

5.1.2 粮食主产区、平衡区与主销区分析

我国地域辽阔,粮食主产区、平衡区与主销区在资源禀赋、农业投入等方面存在不均衡性。为检验雾霾污染在不同功能区对粮食生产的异质性,本部分以粮食主产区、平衡区与主销区三个不同的功能区构建子样本进行回归,报告了回归结果。第(1)列报告了主产区、第(2)列报告了平衡区、第(3)列报告了主销区的回归结果。可以看出,雾霾污染对我国粮食主产区和主销区均有显著负向抑制作用,对粮食平衡区抑制作用不显著,雾霾污染对不同功能区的影响存在区域异质性。可能的解释是,我国粮食平衡区的11个省(自治区、直辖市)多数处于西北或西南高原山区,这些地区雾霾浓度较低,未对农业生产造成显著影响;而粮食主产区13个省(自治区)处于东部、东北和中部,粮食主销区7个省(直辖市)处于东部沿海雾霾浓度较高的区域,这些地区的雾霾已对粮食生产造成显著负向影响。

从地理区位看,我国粮食生产主要集中在东中部地区。以2020年为例,东部和中部地区粮食播种面积达13.45亿亩(1亩约为667m²),占全国粮食总播种面积的76.82%;产量为5336.5亿kg,占全国粮食总产量的79.71%。结合实证结果可知,雾霾污染显著影响我国东中部地区粮食生产。综上分析,雾霾污染会对我国3/4以上粮食区域产生影响,这无疑将加大保障我国粮食安全以及农产品充足供给的挑战性。

从粮食功能区看,我国粮食生产主要集中在主产区。以2020年为例,主产区粮食播种面积达13.21亿亩,占全国粮食总播种面积的79.42%;产量为5259.7亿kg,占全国粮食总产量的78.56%。主产区和主销售粮食播种总面积达13.93亿亩,占全国粮食总播种面积的79.55%;两个功能区总产量为5546.8亿kg,占全国粮食总产量的82.85%。结合实证结果可知,按照我国粮食功能区划分区域,和按照地理位置划分区域得到相似的结论:雾霾污染对我国3/4以上粮食生产区域造成显著负向影响,对我国粮食安全构成不可忽视的威胁。

5.2 空间溢出效应

雾霾污染会影响区域内的粮食生产在前文已经得到证实。雾霾污染是否会影响邻近区域的粮食生产,即雾霾对粮食生产的影响是否存在空间溢出效应?本部分利用可以控制内生性问题的空间广义系统矩估计(SGMM)来分析雾霾的溢出效应。SGMM作为控制内生性问题的方法之一,即使不寻找模型以外的工具变量,也能从模型内变量的时间变化趋势中选择合适的工具变量^[24]。SGMM模型还可以进一步利用Sargan检验判断工具变量的合理性。

通过分别计算2000—2018年PM_{2.5}和粮食单产的全域Moran's I指数,结果显示在地理距离矩阵、空间邻接矩阵和经济距离矩阵下Moran's I指数均大于0,显著性水平分别达到5%、5%和10%,说明在研究PM_{2.5}对粮食生产的影响时,应该考虑雾霾在邻近区域间的空间溢出效应。报告了加入空间效应以后回归的结果,其中第(1)列为地理距离矩阵回归的结果,第(2)列为空间邻接矩阵回归的结果,第(3)列为经济距离矩阵回归的结果。可以看出,雾霾系数的绝对值与2SLS结果较为接近,比基准模型中大,说明内生性问题会影响估计结果的准确性,这也间接验证了采用空间SGMM的合理性。Sargan检验统计量不显著,说明模型不存在过度识别问题;Wald检验结果显著,检验表明模型的拟合效果较为理想。报告的结果表明,雾霾污染不仅对区域内的粮食生产有负向效应,由于空气的流动性,雾霾对邻近区域粮食生产也会产生抑制作用。可能的解释是,由于邻近地区在地形等资源禀赋方面存在相似性^[21],加上在大气等自然力作用下,雾霾污染具有较强的空间关联性^[13],因此在雾霾浓度较高的区域,雾霾污染还会产生空间溢出效应,对邻近区域产生负向影响。本部分的研究结果也显示要实现治理雾霾污染保障农产品充足供给的目标,需要加强地方政府之间的区域合作,实现区域间的“协同治理”。

6 结论与启示

本文以2000—2018年我国255个地级及以上城市PM_{2.5}浓度数据为样本,分析空气污染对粮食生产的影响;并且以空气流动系数和政府环境治理政策作为空气污染工具变量,利用广义两阶段最小二乘(2SLS)和空间SGMM等方法估计了空气污染对粮食生产的影响,保障了结论的可靠性。得出如下主要结论:①雾霾污染显著负向影响粮食生产,且两者之间不存在脱钩关系。②雾霾污染对农业的影响在东中西部不同区域存在异质性,在东部和中部地区有明显负向作用,在西部地区影响作用不明显;在不同粮食功能区也存在异质性,在主产区和主销区有明显负向作用,在平衡区影响作用不明显。③根据东中西部和功能区划分,我国有超过3/4的粮食生产区域受到雾霾污染的影响,有超过79%的粮食产量受到雾霾污染的影响,这无疑会加大保障我国粮食等重要农产品充足供给的挑战性。④空气污染在扩散效应和转移效应作用下,对邻近地区粮食生产的影响存在空间溢出效应。

为了实现空气污染治理和保障粮食安全的双重目标,政府要制定和执行更加科学有效的环境保护政策来改善空气质量,降低PM_{2.5}浓度,减少空气污染对农业生产的负面效应。政府在治理空气污染和保障粮食安全两方面有重要宏观调控作用,尤其需要加强地方政府之间的区域合作,实现区域间的“协同治理”。同时,空气污染治理是一个长期过程,在短期内不能彻底消除的情况下,农业技术部门研发和推广抗逆性强的农作物品种是应对空气污染的有效举措之一。

参考文献:

[1]Agrawal M, Singh B, Rajput M, et al. Effect of air pollution on peri-urban agriculture: A case study[J]. Environmental Pollution, 2003, 126(3): 323-329.

-
- [2]Debaje S B,Kakade A D,Jeyakumar S J.Air pollution effect of O_3 on crop yield in rural India[J].Journal of Hazardous Materials,2010,183(3):773-779.
- [3]Ahmad M N,Buker P,Khalid S,et al.Effects of ozone on crops in north-west Pakistan[J].Environmental Pollution,2013,174:244-249.
- [4]吕孟雨,李晓煜,董福双,等.雾霾天气对农作物的影响因素研究[J].绿色科技,2016(21):43-44.
- [5]马娟娟,孔繁涛,周向阳,等.雾霾对农业生产及农产品流通影响的研究进展[J].中国农业科技导报,2017(12):7-13.
- [6]Bergin M.The influence of aerosols on plant growth[R].Honolulu:Georgia Institute of Technology,2002.
- [7]Schwartz S E.The white house effect-shortwave radiative forcing of climate by anthropogenic aerosols:An overview[J].Journal of Aerosol Science,1996,27(3):359-382.
- [8]曹洪玉,颜忠诚.雾霾对农作物的影响[J].生物学通报,2015,50(9):10-12.
- [9]Yu Y C,Ding A F.Effects of simulated acid rain on dissolution and transformation of aluminum in acid soils[J].Soil and Environmental Sciences,2001,10(2):87-90.
- [10]李春华,赵隽宇.北京市雾霾灾害农业损失引起的部门间接经济损失评估[J].中国农学通报,2017(10):118-124.
- [11]Beach B,Hanlon W W.Coal smoke and mortality in an early industrial economy[J].Economic Journal,2017,128(4):2652-2675.
- [12]Singh J,Giri R K.Inter-Annual Variation of Fog,Mist,Haze and Smoke at Amritsar and Its Impact on Agricultural Production[M].Berlin Heidelberg:Springer,2011.
- [13]邵帅,李欣,曹建华.中国的城市化推进与雾霾治理[J].经济研究,2019,54(2):150-167.
- [14]徐辉.新常态下新型职业农民培育机理:一个理论分析框架[J].农业经济问题,2016,37(8):9-15.
- [15]陈诗一,陈登科.雾霾污染、政府治理与经济高质量发展[J].经济研究,2018,53(2):20-34.
- [16]Hering L,Poncet S.Environmental policy and exports:Evidence from Chinese cities[J].Journal of Environmental Economics and Management,2014,68(2):296-318.
- [17]Gao Y,Zhao D Y,Yu L L,et al.Influence of a new agricultural technology extension mode on farmers' technology adoption behavior in China[J].Journal of Rural Studies,2020,76:173-183.
- [18]张军伟,费建翔,徐永辰.金融支持对绿色农业发展的激励效应[J].中南财经政法大学学报,2020(6):91-98.
- [19]尹世久,李锐,吴林海,等.中国食品安全发展报告 2018[M].北京:北京大学出版社,2018.

-
- [20]杜建军, 谢家平, 刘博敏. 中国农业产业集聚与农业劳动生产率——基于 275 个城市数据的经验研究[J]. 财经研究, 2020, 46(6):49-63.
- [21]张军伟, 张锦华, 吴方卫. 粮食生产中化肥投入的影响因素研究——基于 Durbin 模型的分析[J]. 经济地理, 2018, 38(11):176-184.
- [22]刘鸿志. 雾霾影响及其近期治理措施分析[J]. 环境保护, 2013, 523(15):30-32.
- [23]Roderick M L, Farquhar G D, Berry S L, et al. On the direct effect of clouds and atmospheric particles on the productivity and structure of vegetation[J]. *Oecologia*, 2001, 129:21-30.
- [24]Elhorst J P. Matlab software for spatial panels[J]. *International Regional Science Review*, 2012(35):1-17.