

雾霾污染对收入差距影响的再检验

——基于工具变量法

王 燕 余红伟 石大千 张 旭*

摘要:随着经济的发展,空气污染带来的问题逐渐凸显,这会阻碍经济发展,例如扩大收入差距等。空气污染与收入差距之间互为因果的关系会带来内生性问题,但现存有关空气污染与收入差距的研究较少关注其内生性,这可能造成估计结果的偏误。因此本文基于中国2000–2016年地级市PM_{2.5}面板数据,选择较能反映中国收入差距的城乡收入比作为被解释变量,以逆温作为工具变量,对雾霾影响城乡收入差距的作用进行了再检验,并进一步使用中国居民家庭收入调查的个体数据,从健康人力资本角度分析雾霾对城乡收入差距的作用机制。结果显示,雾霾显著地造成了城乡收入差距的扩大,其中城镇居民健康人力资本受雾霾负向影响的程度显著低于农村居民,同时城镇居民健康人力资本对收入影响作用也明显低于农村居民,从而进一步造成了城乡收入差距的扩大。基于以上研究,同时考虑到收入差距会阻碍发展中国家的经济增长,在发展中国家促进经济增长的进程中,必须加大雾霾的治理力度。

关键词:PM_{2.5};收入差距;逆温;健康人力资本

一、引言

改革开放以来,中国经济发展取得了巨大进步,2018年中国GDP已位居世界第二,但随之而来的问题却不容忽视,一方面我国雾霾天气逐年增多(张人禾等,2014),另一方面中国收入差距也逐年扩大(祁毓、卢洪友,2015a)。二者会对国民的健康与国家经济发展带来危害,这些问题如果得不到有效解决将会引起一系列负面连锁反应,极大降低经济增长质量及

*王燕,武汉大学质量发展战略研究院,邮政编码:430072,电子信箱:wangyan2017@whu.edu.cn;余红伟,武汉大学质量发展战略研究院,邮政编码:430072,电子信箱:yuhongwei928@163.com;石大千(通讯作者),武汉大学质量发展战略研究院,邮政编码:430072,电子信箱:sdqmarx@foxmail.com;张旭,中国建设银行博士后工作站,邮政编码:100032,电子信箱:zhangxu.zh@ccb.com。

感谢匿名审稿人的宝贵意见,文责自负。

民众生活的幸福感。

空气污染与收入的相关性研究一直是学界关注的焦点。早期的学者们重点探讨了空气污染与收入水平之间的关系(Bennett et al., 1985; Grossman & Krueger, 1991; Holtz-Eakin & Selden, 1995),较多的学者基本达成了一致性的研究结论,认为空气污染与地区居民收入水平可能存在倒U型的曲线关系(Agras, 1999; Bulte & Soest, 2001; Dinda, 2004; Cole, 2004; 陈华文、刘康兵, 2004; 彭水军、包群, 2006),即库兹涅茨曲线(Grossman & Krueger, 1995)。近年来,学者们逐渐将关注的焦点转移到了污染与收入结构关系的研究(Torras & Boyce, 2004; Bake & Gweisah, 2013; 祁毓、卢洪友, 2015b; 盛鹏飞, 2017),即空气污染与收入差距之间的问题。

现存有关空气污染与收入差距的研究文献,归纳下来总体可以分为两个方面。第一个方面是研究空气污染对收入差距的影响。普遍的研究结论表明,空气污染与收入呈现负向相关关系(Brock & Taylor, 2010; Strazicich & Mark, 2003; Romero-Avila, 2008; Weserlund & Basher, 2008),其作用机制则主要表现在:(1)Zivin和Neidel(2012)认为污染会抑制劳动者的劳动意愿;(2)许多学者认为污染对人体健康会产生负面影响(Katsouyanni et al., 1997; Brook et al., 2004; Pope et al., 2004),从而减少健康人力资本;(3)还有学者认为空气污染会伤害人的认知能力,例如Fonken等(2011)的研究中发现空气污染会损害与认知能力有关的海马神经元。在这些机制的作用下,当不同人群暴露于空气污染的程度不均等时,空气污染就会造成收入差距(Hamilton, 2005),这一结论在发达国家例如美国(Downey et al., 2008)、发展中国家例如乌干达(Jagger, 2012)等均得到了经验支持。第二个方面是研究收入差距对空气污染的影响,不同的学者面对不同的研究对象也获得不尽相同的研究结论。如Boyce等(1994)认为,收入差距会造成政治影响力的不平等,从而通过影响环境政策力度影响空气污染,又如Magnani(2000)认为收入差距会影响最低环境水平的接受程度,造成空气污染加重。其他收入差距对空气污染的作用机制则表现为收入差距通过影响经济增长影响空气污染(李海鹏等, 2006)。

总体而言,现存文献对于空气污染与收入差距的问题进行了较为详实的研究。但是从文献来看,现有研究仍存在一个非常关键的问题需要解决,即空气污染与收入不平等之间的内生性问题。(1)逆向因果。现有研究一方面认为空气污染会通过影响劳动意愿、健康人力资本、认知能力等方面影响收入水平,并在空气污染暴露程度不均等的情况下导致收入差距扩大;另一方面,又认为收入差距的不断扩大又会通过政治影响力不均、空气污染接受水平不均以及经济增长等方面进而造成地区空气污染的进一步恶化。这种相互影响的逻辑显示了空气污染与地区收入不平等之间存在着逆向因果关系。(2)遗漏变量。造成空气污染或导致地区收入不平等的因素非常之多,难以直接在简单的回归模型中将这些重要的影响因素全部考虑之内,特别是一些重要的变量可能存在被遗漏的风险。(3)测度误差。现有研究对于空气污染的度量多为对雾霾等污染排放物含量的度量,对于收入不平等的度量多为人均收入或其比

值,同时一些主要控制变量的测度与数据获取也存在准确性等问题,存在测度误差。对于空气污染与收入差距之间的内生性问题,尽管也有少数学者从模型构建的角度进行了初步的探讨,例如祁毓等(2015)通过面板差分GMM和系统GMM方法来克服内生性,但考虑到变量之间影响可能存在多期滞后性,这种方法并未从根本上解决变量之间互为因果的内生问题。总体而言,现存研究较少对这一问题进行深入地讨论或合理地规避,这样可能造成现有研究结论不一致、不准确甚至错误。

鉴于此,本文对雾霾污染影响收入差距进行了再检验,试图解决上述内生性问题。我们考虑运用工具变量的方法进行研究。雾霾是空气污染的重要指标,一个地区的经济活动会向大气排放微小尘粒、烟粒或盐粒,例如工厂排放等,这些悬浮物质在大气中的集合体就是雾霾。雾霾受人类经济活动影响,但其形成也与自然气候相关,考虑到自然气候往往是长期形成的,一般具有稳定性,因此某一地区的经济活动通常被认为不会受到自然气候的冲击性影响。如果可以找到一个与雾霾的形成直接相关,但不影响经济活动的自然气候变量作为工具变量,就可以解决由内生性造成的估计不准确等问题。逆温可能就是这样一种自然气候,它与雾霾的成因有直接关系,在一般情况,地面气温会高于半空,因此空气中的微小颗粒会随着气流上升并在半空散开。但若上升的暖空气遇到逆温层时,就不能上升而造成微小颗粒累积,形成雾霾。逆温层是大气的一种自然现象,几乎与人类活动无关,但一个地区如果出现了逆温,该地区的雾霾会难以消散(Weber et al., 2007; 张人禾等, 2014),逆温会像玻璃罩一样将雾霾笼罩在这个地区,因此逆温现象越多的地区雾霾也会越严重。由于逆温这种自然气候具有外生于经济活动、又与雾霾直接相关的特征,因此已有经济学者开始将其作为空气污染的工具变量(Arceo et al., 2016; Fu et al., 2017; Chen et al., 2017)。

本文的亮点是将逆温作为雾霾的工具变量来进行雾霾对收入差距的影响效应的再检验,并将检验结果与已有研究进行比较。此外,基于已有的有关健康与收入的研究(张芬、邹薇, 2010; 王弟海, 2012),本文所作出的边际贡献是进一步从健康人力资本角度分析雾霾影响收入差距的作用机制。本文剩余的内容结构安排如下:第二部分为模型的设定与机制分析;第三部分为变量测度与数据来源;第四部分为影响效应估计;第五部分为作用机制分析;第六部分总结结论并提出相关政策建议。

二、模型设定及机制分析

本文分别构建地级市层面与个体层面的分析模型,从地区层面进行雾霾对收入差距影响大小的再检验,并进一步从个体层面验证健康人力资本这一雾霾影响收入差距的作用机制。

(一)地区层面的模型设定

在考虑影响收入差距的各种因素后,地区层面的模型设定及变量解释如下:

$$IR_{it} = \alpha + \beta_1 AP_{it} + \beta_2 CR_{it} + \beta_3 EDU_{it} + \beta_4 SCI_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中 IR 为收入差距, AP 为雾霾, CR 为城市化水平, EDU 和 SCI 分别为教育投入、科技投入。下标 i 、 t 分别为地级市与年份, α 和 ε 为常数项及误差项。

先前有关收入差距的研究中多用基尼系数(Kennedy et al., 1996; Barro, 2000)、库兹涅茨比率(Kuznets, 1955)等来衡量收入差距。这些指标所基于的地区范围为省级、国家级别,难于深入到更为具体的城市级别;另一方面,对于中国收入差距问题,许多学者都认同中国的收入差距主要来源于城乡收入的不均(林毅夫、刘明兴, 2003; 陆铭等, 2005)。因此,本文选择中国地级市的城乡收入比作为衡量城乡收入差距的变量,以此探究空气污染对收入差距的影响。这虽然不能完全反映空气污染与收入差距的一般规律,但可以部分反映空气污染对收入差距带来的影响,进而可以在未来的研究中总结归纳二者的一般规律。

(二)个体层面的机制分析及模型设定

大量研究表明雾霾会显著降低个体健康水平(Katsouyanni et al., 1997; Brook et al., 2004; Pope et al., 2004),从而导致个体收入水平的下降(Victor et al., 2008; Celeste et al., 2009),因此本文重点从健康人力资本角度来探究雾霾对城乡收入差距的作用机制。对比城市居民与农村居民的特征,可以发现由于农村居民和城市居民的工作性质有差别,因此雾霾对城市居民收入与农村居民收入的影响也相应有差别,这是雾霾影响城乡收入差距的重要机制。进一步分析,一方面,农村居民的工作大多是暴露在空气中的户外农业工作,城市居民则多为室内工作,当出现雾霾天气时,农村居民的健康受到雾霾侵害的可能性要高于城市居民;另一方面,农村居民大多从事重体力的农业劳动,健康对维持其收入的重要性往往高于从事轻体力劳动的城市人口。在这双重影响下,面对空气污染,农村居民不仅面临更高水平的健康人力资本受损风险,当健康人力资本受损时,还要面临大于城市居民的收入下降幅度。所以,雾霾污染会加剧城乡收入差距。

雾霾污染对城乡收入差距的微观影响机制具体如下图1,雾霾增加会同时引起城市、农村居民健康人力资本的下降,而健康人力资本的下降会同时引起城市、农村居民收入的下降。假设雾霾对健康人力资本以及健康人力资本对收入的影响均是简单的线性关系,雾霾对城市与农村居民健康人力资本的影响系数分别为 A 、 a ;健康人力资本对城市与农村居民收入的影响系数分别为 B 、 b ,则单位雾霾的增加引起城市居民收入下降的系数为 $A \times B$,引起农村居民收入下降的系数为 $a \times b$ 。前文已经分析过由于农村居民户外工作较多,健康更易受雾霾影响的特征,则有 $A < a$;同时农村居民从事更多的体力劳动,健康对其收入的影响更大,则有 $B < b$ 。因此有 $A \times B < a \times b$,说明单位雾霾的上升所引起的城市居民收入下降小于农村居民。因此雾霾会造成城乡居民收入的非等比例变化,从而加剧城乡收入差距。

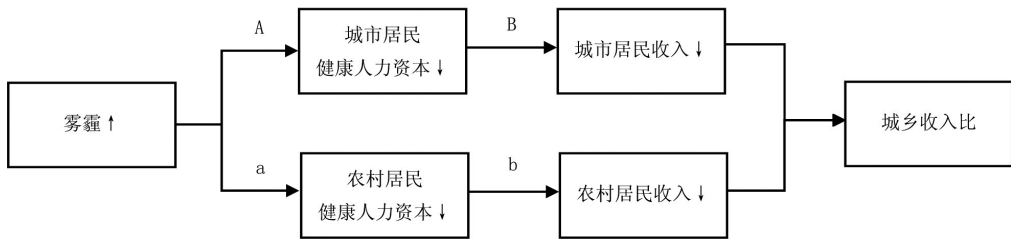


图1 雾霾对城乡收入差距影响机制图

根据雾霾对城乡收入差距影响的机制图,个体层面的分析模型需要分两个阶段建立模型,第一阶段是雾霾对健康人力资本的影响在城乡之间的区别,第二阶段是健康人力资本对收入的影响在城乡之间的区别,这样可以根据两个阶段的结果综合分析雾霾对城乡收入差距的影响机制,因此个体层面的机制模型设定如下:

$$HC_{ij} = \alpha + \beta_1 AP_i + \beta_3 C_{ij} + \beta_2 AP_i \times C_{ij} + \beta_4 Z_{ij} + \varepsilon_j \quad (2)$$

$$I_{ij} = \alpha + \beta_1 HC_{ij} + \beta_3 C_{ij} + \beta_2 HC_{ij} \times C_{ij} + \beta_4 Z_{ij} + \varepsilon_j \quad (3)$$

式(2)为分析模型第一阶段,其中 HC 为被解释变量健康人力资本, AP 为雾霾, C 为城乡类型, $AP \times C$ 表示雾霾与城乡类型的交互项,引入雾霾与城乡类型的交互项可以更清楚地看到城市居民与农村居民的健康人力资本受到雾霾影响时的差别;式(3)为分析模型第二阶段,其中 I 为被解释变量居民收入,选取这一变量是为了更方便观察城市居民与农村居民收入变动情况, $HC \times C$ 则表示健康人力资本与城乡类型的交互项,引入这一交互项是为了分析健康人力资本变动带来城市居民与农村居民收入的变动的差异; Z 为个体特征控制变量的综合项,有大量研究表明教育水平不仅会影响收入(Krugman, 1979),也会影响健康(Grossman, 1972),性别、年龄也同样为影响健康与收入的重要因素,因此式(2)和式(3)中均引入教育水平、性别、年龄作为个体特征控制变量。下标 i 、 j 分别表示区县及个体, α 和 ε 为常数项及误差项。

三、变量测度与数据来源

(一)地区层面的变量与数据来源

地区层面的变量包括收入差距、雾霾、逆温以及城市化水平、教育投入、科技投入等控制变量,具体变量测度及数据来源如下:

1. 收入差距

本文运用城乡收入比来衡量城乡收入差距,其计算公式为:城市居民人均可支配收入/农村居民人均可支配收入,该指标的优点是可以衡量城乡居民收入是否等比例变化,能够更直观地反映城乡收入情况,城乡收入比越大,说明城乡收入差距情况越严重。城市居民人均可

支配收入、农村居民人均可支配收入^①来源于各地级市统计年鉴。

2. 雾霾

本文选取PM_{2.5}作为解释变量雾霾污染的衡量指标。PM_{2.5}来源于NASA官网的空气污染遥感数据,具体做法为选取2000–2016年中国地区经度0.5°纬度0.625°每日PM_{2.5}的栅格数据,将距离区县经纬度最近的点所代表的的数据匹配至区县,得到区县PM_{2.5}的每日数据,再取地级市内区县均值得到地级市PM_{2.5}每日数据,最后将地级市PM_{2.5}每日数据求年平均值,获得全国280个地级市的数据构建面板模型。

3. 逆温

逆温与雾霾数据的来源一致,工具变量逆温的数据来源于NASA官网空气温度遥感数据。具体做法为选取2000–2016年中国地区经度0.5°纬度0.625°每日离地面最近的第一层、第二层和第三层空气温度的栅格数据,将距离区县经纬度最近的点所代表的的数据匹配至区县。根据空气温度数据建立逆温0–1变量,如果第二层空气温度高于第一层空气温度,则这一天为1,否则为0;为方便稳健性检验,将第三层空气温度高于第二层空气温度作为稳健性检验的逆温变量。根据逆温虚拟变量统计某一区县一年内出现逆温的天数,得到区县级别的逆温连续变量。根据区县逆温变量,取地级市内所有区县的逆温均值,得到地级市逆温的连续变量。

由于我国海拔高度差距过大,有些地区近地面的海拔高度,在其他地区处于地壳内部,因此,对于缺失值作以下处理:NASA空气温度数据特点为气压1000百帕时的空气温度为第一层数据,975百帕时为第二层,以此类推;但考虑到海拔因素,有些地区海拔较高,前三层空气的海拔高度低于地面海拔,这部分数据有缺失值,因此在处理数据时,如果有缺失值,就将后一层温度数据填补至前一层,如果后一层依旧缺失,则继续用此方法填补,直至前三层数据无缺失。

4. 控制变量

造成城乡收入差距的主要因素是城乡二元结构(Lewis, 1954),因此选取城市化水平作为控制变量。考虑到教育和科技是影响收入的重要因素(Krugman, 1979; Angrist & Krueger, 1991; Card, 2001; Jensen, 2010),因此同时将教育投入与科技投入纳入模型作为控制变量。衡量控制变量城市化水平的指标为城市化率,其计算公式为:城市常住人口数/全市常住总人口数。衡量控制变量教育投入以及科技投入的指标为地级市的教育投资和科技投资。城市常住人口数、常住人口总数、教育投资以及科技投资数据来源于各地级市的统计年鉴。

(二)个体层面的变量与数据来源

考虑到数据的可得性,本文仅选取2013年全国分区县抽样的31038个受访者的个体截面数据进行分析,并将数据与个体所在区县2013年雾霾与逆温数据匹配。尽管只选取截面数据进行研究,但由于样本量足够大,可以充分验证雾霾对城乡收入差距影响的作用机制。

^①2013年以前官方仅统计农村居民纯收入,因此本文2013年以前为农村居民纯收入。

本文所选截面数据来源于2013年中国居民家庭收入调查(CHIP),选取居民人均收入加1后的对数来作为衡量被解释变量居民收入的指标,其系数表明单位解释变量的变化引起收入变化的百分数,消除了城乡收入绝对值差距的影响,方便判断收入的变动比率。选取因病误工天数作为衡量健康人力资本的指标,需要说明的是,为了方便分析,设定这一指标为因病误工天数的负值,误工天数越多,其负值越小,说明越不健康,则健康人力资本越小。选取区县级别的PM_{2.5}作为衡量解释变量雾霾的指标,选取区县级别的逆温作为工具变量。将调查的城市居民标记为1,调查的农村居民标记为0,以此建立城乡类型的0-1虚拟变量。选取受教育年数、性别、年龄作为控制变量的指标。

(三)各变量及测度的描述统计

表1 变量指标说明及描述性统计

	变量名称	变量说明	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
地区层面的变量与数据							
被解释变量	城乡收入差距	城乡收入比(城市居民人均可支配收入/农村居民人均可支配收入)	4,905	2.6430	1.0474	0.1312	28.666
解释变量	雾霾	地级市PM _{2.5} 年平均值(1 μg/m ³)	4,905	31.367	17.463	0.8289	90.856
工具变量	逆温	第一、二层地级市逆温天数年均值	4,905	67.830	37.425	0	175.83
		第二、三层地级市逆温天数年均值	4,905	72.340	37.540	0	186.50
控制变量	城市化水平	城市化率(城市人口数/全市总人口数)	4,905	0.3447	0.3067	0.0332	1
	教育投入	教育投资(亿元)	4,905	32.061	57.061	0.004	887.38
	科技投入	科技投资(亿元)	4,905	4.6061	18.461	0.001	403.52
个体层面的变量与数据							
被解释变量	居民收入	居民年人均收入的对数	31,038	10.017	0.8606	0	14.403
	健康人力资本	因病误工天数的负值	31,038	-6.3020	31.398	-365	0
解释变量	雾霾	区县PM _{2.5} 年均值	31,038	61.791	23.451	15.9	157.30
	城乡类型	0-1变量,1表示城市,0表示农村	31,038	0.3373	0.4728	0	1
工具变量	逆温	区县年逆温天数	31,038	87.986	32.502	1	191
控制变量	教育水平	受正规教育的年数	31,038	3.4107	1.8912	0	19
	性别	0-1变量,1表示男性,0表示女性	31,038	0.5130	0.4998	0	1
	年龄	年龄	31,038	38.399	20.078	0	104

表1为地区层面以及个体层面变量的描述性统计,城乡收入差距的均值为2.64,说明中国目前城市居民收入约为农村居民的2.64倍,存在城乡收入差距的情况。个体层面数据中,健康人力资本选取的指标为因病误工天数的负值,且存在居民因病全年无法工作以及全年没有误工的现象,因此最小值为-365,最大值为0。居民收入所取数据为居民人均收入加1后的对数,因此最小值为0,最大值为14.403。

四、影响效应估计

(一)基准回归

表2为模型的OLS回归,其中(1)为不加控制变量的固定效应面板回归,(2)为不加控制变量的随机效应面板回归,根据Hausman检验的结果,模型拒绝随机效应优于固定效应的原假设,因此模型的估计要选用地区固定效应面板回归进行估计,由于本文已经使用完全外生且随机的逆温作为工具变量,从根本上解决了互为因果、遗漏变量、不可识别或过度识别等内生性问题,因此无需再关注因遗漏变量而产生的随时间变化而变化的不可观测因素,所以本文不采用同时固定地区与时间的双向固定效应面板模型,仅选择固定地区的个体固定效应面板模型。(3)、(4)和(5)分别将城市化率、教育投资、科技投资引入模型作为控制变量。(6)将解释变量与三个控制变量同时引入模型,可以看到PM_{2.5}对城乡收入比有显著正向影响,PM_{2.5}每增加1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 会导致城乡收入比上升3.6%,说明PM_{2.5}浓度越高,城乡收入差距越严重。这与先前盛鹏飞(2017)等的研究结果基本一致。对于城市化率值得注意的是,城市化率对城乡收入差距的影响不显著,甚至出现符号逆转,明显违背了城乡二元结构中劳动力转移带来的影响。推测有两个原因,一是农产品与工业品的“剪刀差”导致农村居民收入增速远低于城市居民;二

表2 PM_{2.5}与城乡收入差距的基准回归结果

变量	(1) 城乡收入比	(2) 城乡收入比	(3) 城乡收入比	(4) 城乡收入比	(5) 城乡收入比	(6) 城乡收入比
PM _{2.5}	0.0260*** (0.00168)	0.00926*** (0.00159)	0.0253*** (0.00166)	0.0362*** (0.00182)	0.0359*** (0.00181)	0.0361*** (0.00182)
城市化率			-0.0209 (0.198)			0.319 (0.235)
教育投资				-0.000132 (0.000326)		-0.000844* (0.000445)
科技投资					0.00174*** (0.000774)	0.00370*** (0.00135)
常数	1.813*** (0.0538)	2.389*** (0.0809)	1.659*** (0.0814)	1.253*** (0.0641)	1.253*** (0.0641)	1.157*** (0.0965)
城市固定效应	YES	-	YES	YES	YES	YES
Hausman 检验	196.19*** [0.000]		-	-	-	-
样本量	4,905	4,905	4,230	3,997	3,995	3,992
调整后的 R ²	0.037	0.037	0.040	0.068	0.068	0.069
地级市数量	280	280	280	280	280	280

注:***、**、*分别表示在1%、5%和10%水平上显著;小括号内为相应的标准误。下表同。

是中国的土地政策难以让农村土地形成规模,即使转移大量农村劳动力,其收入上涨也低于城市居民。教育投资可以缓解城乡收入差距,教育投入增加,城乡收入比会下降;科技投资会加剧城乡收入差距,这是因为科技投入主要为城市地区,农村地区的科技投入较少。

(二)工具变量回归

使用工具变量可以解决PM_{2.5}与城乡收入差距之间的内生性问题,从而使估计结果具备一致性并减少估计结果的偏误。表3是2SLS回归第二阶段的估计结果,对比表2中的(6)和表3中的(5),可以看出使用工具变量后的2SLS回归,PM_{2.5}会显著扩大城乡收入比,但使用工具变量后,PM_{2.5}每增加1μg/m³,城乡收入比上升约8.0%。该数值系数是本文基准回归模型中PM_{2.5}对城乡收入比影响系数的2.2倍,而比学者盛鹏飞(2017)的研究结果(0.56%)高了13倍。这表明如果不使用工具变量,模型会远远低估PM_{2.5}对城乡收入差距的影响;这同样说明本文所使用的地级市面板数据更有效,而用省际面板数据会由于省内差异平均化而低估估计结果。城市化率符号转为负,但仍然不显著。教育投资与科技投资的影响系数及显著性也与基准回归一致,但系数均有所上升。上述情况说明,PM_{2.5}确实会加剧城乡收入差距,但如果不使用工具变量,直接引入PM_{2.5}进行回归,则会造成模型影响系数整体都被低估,因此本文使用工具变量估计PM_{2.5}对城乡收入差距的影响是非常必要的,使用完全外生的逆温作为PM_{2.5}的工具变

表3 2SLS第二阶段估计结果

变量	(1) 城乡收入比	(2) 城乡收入比	(3) 城乡收入比	(4) 城乡收入比	(5) 城乡收入比
PM _{2.5}	0.0494*** (0.0125)	0.0478*** (0.0126)	0.0833*** (0.0212)	0.0963*** (0.0275)	0.0795*** (0.0207)
城市化率		-0.487 (0.316)			-0.0503 (0.312)
教育投资			-0.000996* (0.000514)		-0.00171*** (0.000625)
科技投资				4.39e-05 (0.00139)	0.00492*** (0.00168)
城市固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
Kleibergen-Paaprk LM 统计值	58.645***	55.768***	30.164***	20.351***	30.607***
Cragg-Donald Wald F 统计值	68.426***	61.314***	35.354***	23.511***	36.086***
Kleibergen-Paaprk Wald F 统计值	59.460***	56.614***	30.635***	20.540***	31.025***
Hansen J 统计值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
样本量	4,760	4,760	4,760	4,760	4,760
调整后的 R ²	0.007	0.009	0.046	0.121	0.027
地级市数量	280	280	280	280	280

量具备一定的创新性,不仅解决内生性问题,还解决解释变量与控制变量之间的相关性,从而使模型的估计结果更加准确。

我们对逆温作为工具变量进行有效性分析。通过 Kleibergen–Paap 不可识别检验的检验结果 LM 统计量可知,该结果值较大,可以拒绝工具变量不可识别的原假设;而对工具变量进行 Cragg–Donald 和 Kleibergen–Paap rk Wald 弱工具变量检验,检验结果显示,模型的 F 统计量均超过了 20,因此拒绝弱工具变量的原假设;Hansen 检验统计值为 0,说明工具变量和矩条件个数相等,不存在过度识别问题。上述四个检验结果可以证明工具变量既不存在不可识别或无法识别问题,也不存在过度识别问题,即工具变量恰好被识别,说明逆温可以有效作为工具变量被引入模型。

我们进一步对工具变量的外生性即排他性约束进行讨论。Nunn 和 Wantchekon(2009)认为虽然工具变量(IV)不具有很强的外生性,但是只要 IV 对于被解释变量的直接影响不那么大,即使这时的 IV 不完全满足排他性约束,但也不会使内生变量系数的符号和显著性发生变化,结果仍然是可靠的。根据 Nunn 和 Wantchekon(2009)的思路,我们将逆温与解释变量 $PM_{2.5}$ 一同放入模型中对城乡收入比进行回归。表 4 的结果显示,逆温系数不仅全部不再显著,而且系数整体降低了一个数量级趋近于 0,表明逆温对城乡收入差距并不存在显著的直接影响作用。因此本文可以认为逆温作为工具变量的外生性是有效的。

表 4 工具变量对城乡收入比的直接回归结果

变量	(1) 城乡收入比	(2) 城乡收入比	(3) 城乡收入比	(4) 城乡收入比	(5) 城乡收入比
逆温	0.00188 (0.00128)	0.00182 (0.00131)	0.00261 (0.00141)	0.00270 (0.00141)	0.00243 (0.00129)
$PM_{2.5}$	0.0256*** (0.00198)	0.0250*** (0.00203)	0.0358*** (0.00222)	0.0356*** (0.00220)	0.0357*** (0.00222)
城市化率		-0.0100 (0.244)			0.311 (0.270)
教育投资			2.04e-06 (0.000365)		-0.000679 (0.000489)
科技投资				0.00195 (0.00142)	0.00347* (0.00186)
常数	1.692*** (0.105)	1.531*** (0.134)	1.068*** (0.119)	1.062*** (0.118)	0.988*** (0.143)
城市固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
样本量	4,760	4,760	4,760	4,760	4,760
调整后的 R^2	0.037	0.040	0.069	0.069	0.070
地级市数量	280	280	280	280	280

(三)稳健性检验

本文通过使用第二、三层空气温度数据建立新的逆温变量、剔除副省级城市、剔除省会级以上城市,来进行工具变量的稳健性检验。

表5为2SLS第二阶段稳健性检验估计结果,主要用于检验使用工具变量后模型的稳健性。其中(1)为原模型2SLS第二阶段估计结果,(2)为使用第二、三层空气温度数据的2SLS第二阶段估计结果,(3)为剔除四个直辖市后的2SLS第二阶段估计结果,(4)为剔除省会级以上城市的2SLS第二阶段估计结果。可以看出Kleibergen-Paap rk LM统计值、Cragg-Donald Wald F统计值、Kleibergen-Paap rk Wald F统计值和Hansen J统计值依旧表明逆温作为工具变量不存在不可识别、弱工具变量和过度识别等问题。

表5 2SLS第二阶段估计结果

变量	(1) 城乡收入比	(2) 城乡收入比	(3) 城乡收入比	(4) 城乡收入比
PM _{2.5}	0.0795*** (0.0207)	0.0821*** (0.0189)	0.0804*** (0.0200)	0.0856*** (0.0240)
控制变量	YES	YES	YES	YES
城市固定效应	YES	YES	YES	YES
使用第一、二层逆温数据	YES			
使用第二、三层逆温数据		YES		
剔除直辖市			YES	
剔除省会及以上城市				YES
Kleibergen-Paap rk LM 统计值	30.607***	38.605***	33.679***	24.975***
Cragg-Donald Wald F 统计值	36.086***	43.442***	39.532***	28.706***
Kleibergen-Paap rk Wald F 统计值	31.025***	39.800***	34.369***	25.303***
Hansen J 统计值	0.000	0.000	0.000	0.000
样本量	4,760	4,760	4,692	4216
调整后的 R ²	0.027	0.039	0.032	0.060
地级市数量	280	280	276	248

五、作用机制分析

本文进一步对图1所示的机制进行实证检验。表6是PM_{2.5}对收入差距影响机制的2SLS第二阶段估计结果,(1)为使用工具变量后,PM_{2.5}与居民城乡类型对健康人力资本的影响及其交互效应的估计结果,结果显示PM_{2.5}对健康人力资本负向显著,且PM_{2.5}与城乡类型的交互项

正向显著,这表明 $PM_{2.5}$ 每上升 $1 \mu g/m^3$,农村居民健康人力资本会下降7.34%,而城市居民健康人力资本仅下降4.3%,这说明尽管无论是城市居民还是农村居民的健康人力资本都会受 $PM_{2.5}$ 的损害,但 $PM_{2.5}$ 对城市居民健康人力资本的影响比农村居民健康人力资本的影响低,约低41.42%;值得注意的是城市居民健康人力资本本身就显著高于农村居民健康人力资本,教育水平更高的居民健康人力资本也更高,性别对健康人力资本无显著影响,年龄越大的居民健康人力资本越低。表6(2)为健康人力资本与城乡类型对居民收入的影响及其交互效应的估计结果,结果显示健康人力资本对收入正向显著,收入和健康人力资本与城乡类型交互项负向显著,这表明居民健康人力资本每下降1个单位,农村居民收入会下降0.438%,而城市居民收入只下降0.272%,这说明城市居民的收入受健康人力资本的影响比农村居民低,约低37.90%。城市居民收入比农村居民收入高23.8%,教育每增加1年,收入上升11.3%;男性收入比女性收入高31.2%;年龄每增大1岁,收入下降0.533%,值得注意的是城市居民健康人力资本本身就显著高于农村居民健康人力资本;教育水平更高的居民健康人力资本也更高,性别对健康人力资本无显著影响,年龄越大的居民健康人力资本越低。

表6 $PM_{2.5}$ 对收入差距影响机制的2SLS第二阶段估计结果

变量	(1) 2SLS 第二阶段 健康人力资本	(2) OLS 收入
$PM_{2.5}$	-0.0734*** (0.0133)	
$PM_{2.5}$ 与城乡类型交互项	0.0304*** (0.00578)	
健康人力资本		0.00438*** (0.000478)
健康人力资本与城乡类型交互项		-0.00166** (0.000737)
城乡类型	2.336*** (0.357)	0.238*** (0.0117)
教育水平	0.953*** (0.0796)	0.113*** (0.00286)
性别	-0.272 (0.343)	0.312*** (0.0101)
年龄	-0.225*** (0.0117)	-0.00533*** (0.000495)

续表6 PM_{2.5}对收入差距影响机制的2SLS第二阶段估计结果

变量	(1) 2SLS 第二阶段 健康人力资本	(2) OLS 收入
常数	3.868*** (1.050)	10.13*** (0.0287)
地区固定效应	YES	YES
Kleibergen-Paap rk LM 统计值	4223.306***	-
Cragg-Donald Wald F 统计值	3722.237***	-
Kleibergen-Paap rk Wald F 统计值	3509.077***	-
Hansen J 统计值	0.000	-
样本量	31,038	31,038
调整后的 R ²	0.027	0.160

表6的检验结果验证了PM_{2.5}影响城乡收入差距的作用机制,农村居民收入对健康人力资本以及农村居民健康人力资本对PM_{2.5}的反映都更加敏感。PM_{2.5}浓度上升时,农村居民收入下降水平大于城市居民,城乡收入差距加剧;PM_{2.5}浓度下降时,农村居民收入上升大于城市居民,考虑到城市居民收入本身高于农村居民,农村居民上升幅度大于城市居民就意味着城乡收入差距得到缓解。

六、结论与建议

本文通过使用工具变量对雾霾对收入差距的影响效应再检验,并从健康人力资本的角度探究了雾霾对收入差距的作用机制。研究结果验证了雾霾会加剧收入差距,这与已有研究结果基本一致,但使用工具变量后的模型估计值显示,雾霾对收入差距的影响效应实际值大于先前研究的估计,这说明先前的研究低估了雾霾对收入差距的影响效应,因此所选取的工具变量是较为有效的。本文关于雾霾污染对收入差距的影响机制分析表明,一方面,雾霾对收入差距的影响效应是通过减少健康人力资本实现的,雾霾对不同暴露人群的影响具有差异性,从而导致不同人群健康人力资本受到的损害具有差异性;另一方面,不同人群的健康人力资本对收入的影响也具有差异性,这两种差异性共同造成了雾霾加剧收入差距这一情况。特别是对于城乡收入差距,农村居民更多从事户外活动,更容易暴露在雾霾天气中,其健康人力资本受到的损害就更大;同时农村居民更多从事体力劳动,健康人力资本的下降对其收入的损害更严重,因此雾霾会加剧中国目前已经较为严重的城乡收入差距。

相较于前人已有的丰富的有关空气污染与收入的研究,本文的边际贡献主要是通过选取

较为合适的工具变量解决模型的内生性问题,并试探性地从健康人力资本的角度探究了雾霾对城乡收入差距的作用机制。但是本文由于数据可获得性的限制,难以计算地级市层面的更为一般性的衡量收入差距的变量数据,例如基尼系数等,因此采用了城乡收入差距作为收入差距的变量,尽管中国的收入差距主要来源于城乡收入差距(林毅夫、刘明兴,2003),但是这一变量选择仍有一定的局限性。特别是在进行机制的分析时,作用机制主要针对城乡人群差异,但对不同的人群划分可能存在异质影响,我们还未更加细致的分析,因此还没有得到更具一般性的作用机制。后期的研究将会从两方面建立更具有一般性的解释模型,一是要搜集更细致的地级市的收入数据来计算更具有一般性的衡量收入差距的指标,例如基尼系数等;二是在作用机制层面运用该多种人群划分方法进行作用机制再验证,对异质性进行分析,并总结归纳出更具一般性的作用机制。

根据库兹涅茨曲线,人们认为收入差距以及环境污染会随着经济增长先上升后下降,中国过去的一些经济政策也基于这一研究,对可以带来经济增长的污染也采取较为宽松的治理。但是以上研究结果表明,如果不对环境污染采取有效的治理,中国收入差距的情况会更加严重。考虑到收入差距不仅会阻碍发展中国家的经济增长(Barro,2000),还可能造成一些社会不稳定因素,因此在发展经济的同时还要关注环境污染的治理。例如不再引入污染较高的外资投资,关停污染较大的工厂,提高企业排污的相关税费等,转变企业生产观念,从而杜绝“先污染,再治理”的现象发生。

参考文献:

- [1] 陈华文,刘康兵. 经济增长与环境质量:关于环境库兹涅茨曲线的经验分析[J]. 复旦学报(社会科学版),2004,(2):87-94.
- [2] 李海鹏,叶慧,张俊飏. 中国收入差距与环境质量关系的实证检验——基于对环境库兹涅茨曲线的扩展[J]. 中国人口·资源与环境,2006,16(2):46-50.
- [3] 林毅夫,刘明兴. 中国的经济增长收敛与收入分配[J]. 世界经济,2003,(8):3-14.
- [4] 陆铭,陈钊,万广华. 因患寡而患不均——中国的收入差距、投资、教育和增长的相互影响[J]. 经济研究,2005,(12):4-14.
- [5] 彭水军,包群. 经济增长与环境污染——环境库兹涅茨曲线假说的中国检验[J]. 财经问题研究,2006,(8):3-17.
- [6] 祁毓,卢洪友. 污染、健康与不平等——跨越“环境健康贫困”陷阱[J]. 管理世界,2015a(9):32-51.
- [7] 祁毓,卢洪友. “环境贫困陷阱”发生机理与中国环境拐点[J]. 中国人口·资源与环境,2015b,(10):71-78.
- [8] 祁毓,卢洪友,张宁川. 环境质量、健康人力资本与经济增长[J]. 财贸经济,2015,36(6):124-135.
- [9] 盛鹏飞. 环境污染与城乡收入差距:作用机制与基于中国经济事实的检验[J]. 中国人口·资源与环境,2017,27(10):56-63.
- [10] 王弟海. 健康人力资本、经济增长和贫困陷阱[J]. 经济研究,2012,(6):143-155.
- [11] 张芬,邹薇. 健康、经济增长与收入不平等研究新进展[J]. 经济学动态,2010,(3):98-102.
- [12] 张人禾,李强,张若楠. 2013年1月中国东部持续性强雾霾天气产生的气象条件分析[J]. 中国科学:地

球科学, 2014, 44(1): 27.

[13] Agrab, J. A Dynamic Approach to the Environmental Kuznets Curve Hypothesis[J]. *Ecological Economics*, 1999, 28(2): 267–277.

[14] Angrist, J. D. and A. B. Krueger. Does Compulsory School Attendance Affect Schooling and Earnings?[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1991, 106(4): 979–1014.

[15] Arceo, E., R. Hanna, and P. Oliva. Does the Effect of Pollution on Infant Mortality Differ between Developing and Developed Countries? Evidence from Mexico City[J]. *Economic Journal*, 2016, 126(591): 257–280.

[16] Bake, J. and G. Gweisah. Does Income Inequality Harm the Environment? Empirical Evidence from the United States[J]. *Energy Policy*, 2013, 62(5): 1434–1437.

[17] Barro, R. J. Inequality and Growth in a Panel of Countries[J]. *Journal of Economic Growth*, 2000, 5(1): 5–32.

[18] Bennett, B. G., J. G. Kretzschmar, G. G. Skland, et al. Urban Air Pollution Worldwide[J]. *Environmental Science & Technology*, 1985, 19(4): 298–304.

[19] Boyce, J. K. Inequality as a Cause of Environmental Degradation[J]. *Published Studies*, 1994, 11(3): 169–178.

[20] Brock, W. A. and M. S. Taylor. The Green Solow Model[J]. *Journal of Economic Growth*, 2010, 15(2): 127–153.

[21] Brook, D. R. Air Pollution and Cardiovascular Disease: A Statement for Healthcare Professionals from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association[J]. *Circulation*, 2004, 109(21): 2655–2671.

[22] Bulte, E. H. and D. P. V. Soest. Environmental Degradation in Developing Countries: Households and the (Reverse) Environmental Kuznets Curve[J]. *Journal of Development Economics*, 2001, 65(1): 225–235.

[23] Card, D. Estimating the Return to Schooling: Progress on Some Persistent Econometric Problems[J]. *Econometrica*, 2001, 69(5): 1127–1160.

[24] Celeste, R. K., P. Nadanovsky, A. P. D. Leon, and J. Fritzell. The Individual and Contextual Pathways Between Oral Health and Income Inequality in Brazilian Adolescents and Adults[J]. *Social Science & Medicine*, 2009, 69(10): 1468–1475.

[25] Chen, S., P. Oliva, and P. Zhand. The Effect of Air Pollution on Migration: Evidence from China[R]. 2017.

[26] Cole, M. A. Trade, the Pollution Haven Hypothesis and the Environmental Kuznets Curve: Examining the Linkages[J]. *Ecological Economics*, 2004, 48(1): 71–81.

[27] Dinda, S. Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey[J]. *Ecological Economics*, 2004, 49(4): 431–455.

[28] Downey, L., S. Dubois, B. Hawkins, et al. Environmental Inequality in Metropolitan America[J]. *Organization & Environment*, 2008, 21(3): 270–294.

[29] Fonken, L. K., X. Xu, Z. M. Weil, et al. Air Pollution Impairs Cognition, Provokes Depressive-like Behaviors and Alters Hippocampal Cytokine Expression and Morphology[J]. *Molecular Psychiatry*, 2011, 16(10): 987.

[30] Fu, S., V. B. Viard, and P. Zhang. Air Pollution and Manufacturing Firm Productivity: Nationwide Estimates for China[R]. 2017.

[31] Grossman, G. M. and A. B. Krueger. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement[J]. *Social Science Electronic Publishing*, 1991, 8(2): 223–250.

[32] Grossman, G. M. and A. B. Krueger. Economic Growth and the Environment[R]. 1995.

[33] Grossman, M. On the Concept of Health Capital and the Demand for Health[J]. *Journal of Political Economy*, 1972, 80: 223–255.

- [34] Hamilton, J. T. Regulation Through Revelation: The Origin, Politics, and Impacts of the Toxics Release Inventory Program[R]. 2005.
- [35] Holtz-Eakin, D. and M. T. Selden. Stoking the Fires? CO₂ Emissions and Economic Growth[J]. *Journal of Public Economics*, 1995, 57(1): 85–101.
- [36] Jagger, P. Environmental Income, Rural Livelihoods, and Income Inequality in Western Uganda[J]. *International Tree Crops Journal*, 2012, 21(2): 70–84.
- [37] Jensen, R. The (Perceived) Returns to Education and the Demand for Schooling[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 2010, 125(2): 515–548.
- [38] Katsouyanni, K., G. Touloumi, C. Spix, et al. Short-term Effects of Ambient Sulphur Dioxide and Particulate Matter on Mortality in 12 European Cities: Results from Time Series Data from the APHEA Project[J]. *BMJ*, 1997, 314(7095): 1658–1663.
- [39] Kennedy, B. P. Income Distribution and Mortality: Cross-sectional Ecological Study of the Robin Hood Index in the United States[J]. *BMJ*, 1996, 312(7037): 1004–1007.
- [40] Krugman, R. P. A Model of Innovation, Technology Transfer, and the World Distribution of Income[J]. *Journal of Political Economy*, 1979, 87: 253–266.
- [41] Kuznets, S. Economic Growth and Income Inequality[J]. *American Economic Review*, 1955, 45(1): 1–28.
- [42] Lewis, A. W. Economic Development with Unlimited Supply of Labour[J]. *Manchester School of Economics and Social Studies*, 1954, 22, 139–191.
- [43] Magnani, E. The Environmental Kuznets Curve, Environmental Protection Policy and Income Distribution [J]. *Ecological Economics*, 2000, 32: 431–443.
- [44] Nunn, N. and L. Wantchekon. The Slave Trade and the Origins of Mistrust in Africa[R]. 2009.
- [45] Pope, C. A., R. T. Burnett, G. D. Thurston, et al. Cardiovascular Mortality and Long-term Exposure to Particulate Air Pollution: Epidemiological Evidence of General Pathophysiological Pathways of Disease[J]. *Circulation*, 2004, 109(1): 71–77.
- [46] Romero-Avila, D. Convergence in Carbon Dioxide Emissions Among Industrialised Countries Revisited[J]. *Energy Economics*, 2008, 30(5): 2265–2282.
- [47] Strazicich, P. D. Mark. Are CO Emission Levels Converging Among Industrial Countries?[J]. *Environmental & Resource Economics*, 2003, 24(3): 263–271.
- [48] Torras, M. and J. K. Boyce. Income, Inequality, and Pollution: A Reassessment of the Environmental Kuznets Curve[J]. *Ecological Economics*, 2004, 25(2): 147–160.
- [49] Victor, C. G., L. Adair, C. Fall, et al. Maternal and Child Undernutrition: Consequences for Adult Health and Human Capital[J]. *Lancet*, 2008, 371(9609): 340–357.
- [50] Weber, R. J., A. P. Sullivan, R. E. Peltier, et al. A Study of Secondary Organic Aerosol Formation in the Anthropogenic-influenced Southeastern United States[J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2007, 112(13): 1–13.
- [51] Wesrerlund, J. and S. A. Basher. Testing for Convergence in Carbon Dioxide Emissions Using a Century of Panel Data[J]. *Environmental & Resource Economics*, 2008, 40(1): 109–120.
- [52] Zivin, J. G. and M. Neidell. The Impact of Pollution on Worker Productivity[J]. *American Economic Review*, 2012, 102(7): 3652–3673.

Re-estimation of the Impact of Haze on Income Inequality: By Using Instrumental Variable

Wang Yan^a, Yu Hongwei^a, Shi Daqian^a and Zhang Xu^b

(a: Institute of Quality Development Strategy of Wuhan University;

b: Postdoctoral Workstation of China Construction Bank)

Abstract: With the development of economy, the problems caused by air pollution become increasingly prominent, which will hinder the economic development, such as widening the income gap and so on. Mutual causality relationship between air pollution and income inequality leads to endogenous problems, but existing researches on air pollution and income inequality pay less attention to endogeneity between them, which may lead to bias in estimation results. Therefore, this paper uses cross-city PM_{2.5} data in China during 2000–2016, selects the income ratio between urban and rural that can better reflect China's income gap as the explanatory variable and uses the instrumental variable of inversion temperature to re-examine the effect of haze on urban–rural income inequality. Furthermore, this paper also analyzes the mechanism of the effect of haze on the urban–rural income gap from the perspective of health human capital by using the survey data of China Household Income Project. The results show that haze has significantly expanded the urban–rural income gap, and haze has significant less impact on health of urban residents than rural residents. At the same time, the effect of urban residents' health human capital on income is also significantly less than that of rural residents, both of which have led to an increase income gap between urban and rural. Based on the above research, and considering that income gap will hinder the economic growth of developing countries, haze management must be intensified in the process of promoting economic growth in developing countries.

Keywords: PM_{2.5}; Income Inequality; Temperature Inversion; Health Human Capital

JEL Classification: Q57

(责任编辑:卢 玲)