

# 雾霾感知风险与公众应对行为的实证分析<sup>①</sup>

徐戈<sup>1,2</sup>, 冯项楠<sup>3\*</sup>, 李宜威<sup>4</sup>, 陈晓红<sup>1,5</sup>, 贾建民<sup>3,4</sup>

- (1. 湖南商学院, 湖南省移动电子商务 2011 协同创新中心, 长沙 410205;  
2. 湖南商学院国际教育学院, 长沙 410205; 3. 西南交通大学经济管理学院, 成都 610031;  
4. 香港中文大学商学院, 中国香港;  
5. 中南大学商学院, 湖南省两型社会与生态文明 2011 协同创新中心, 长沙 410083)

**摘要:** 通过在雾霾严重时期收集的大规模问卷调查数据, 建立了雾霾感知风险等因素与应对行为之间关系的结构方程模型. 分析显示, 对环境信息越敏感、雾霾感知风险越大、对雾霾知识了解越多、雾霾感知可控性越大的公众会采取更多的防护与应对措施, 他们对相关防护产品的购买意愿也越强. 特别是感知风险在环境信息与应对行为以及环境满意度之间起着重要的中介变量作用, 即当雾霾污染引起人们的感知风险时, 会促使他们采取更多的应对行为, 并且对环境满意度评价产生负面影响. 另外, 雾霾感知可控性在雾霾知识熟悉度与应对行为以及环境满意度之间起着部分中介变量的作用.

**关键词:** 雾霾; 空气污染; 感知风险; 应对行为; 环境满意度; 结构方程模型

**中图分类号:** F713.36 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2017)09-0001-14

## 0 引言

近年来全国多地雾霾频发, 且有愈演愈烈趋势, 空气质量问题备受关注. 2016年12月16日-21日, 华北地区出现了连续超过50h的严重污染, PM<sub>2.5</sub>浓度超过500 μg/m<sup>3</sup>, AQI指数频繁“爆表”. 这一轮雾霾持续时间长(甚至持续到了2017年新年过后)、影响范围广、污染程度重, 在全国造成了广泛的影响, 北京、天津、石家庄、成都等20多个城市启动最高级别的重污染天气红色预警, 30多个城市启动橙色预警. 多地航班、高速公路因雾霾天气受阻, 给人们的生活带来了极大的不便. 严重的雾霾污染给公众的身体健康带来了威胁, 使人们的应对行为普遍提升, 对环境问

题也更加重视.

2017年初《人民日报》发文《七问雾霾: 什么时候才能呼吸到洁净空气?》, 文章称“近期频繁袭来的大范围严重雾霾, 不时启动的空气重污染预警, 让京津冀及周边地区的人们心中焦虑.” 2016年12月中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《生态文明建设目标评价考核办法》, 其中的重要亮点是将公众满意度作为政府生态文明建设考核工作的重要指标, 充分体现了政府对公众监督与参与的重视. 在2017年3月的“两会”上, 李克强总理在政府工作报告中指出“加快改善生态环境特别是空气质量, 是人民群众的迫切愿望, 是可持续发展的内在要求. 必须科学施策、标本兼

① 收稿日期: 2017-03-29; 修订日期: 2017-06-12.

基金项目: 国家自然科学基金国际重大合作资助项目(71210003); 国家自然科学基金重点资助项目(71431006; 71490722); 国家自然科学基金青年基金资助项目(71704052); 移动商务智能湖南省重点实验室资助项目(2015TP1002); 四川省科技厅前沿资助项目(2017JY0225); 服务科学与创新四川省重点实验室项目.

通讯作者: 冯项楠(1990—), 男, 河南项城人, 博士, 副教授. Email: fengxiangnan123@gmail.com

治、铁腕治理,努力向人民群众交出合格答卷.坚决打好蓝天保卫战.”

中国社会科学院、中国气象局去年联合发布了《气候变化绿皮书:应对气候变化报告》,报告称,雾霾天气会提高死亡率、使慢性病加剧、呼吸系统及心脏系统疾病恶化,影响生殖能力、改变免疫结构,并使人们产生焦虑和抑郁等心理症状.目前,空气污染已经成为我国城市环境最大的危害之一,给公众的身体健康和生命财产带来了巨大的威胁<sup>[1,2]</sup>.因此,本项研究有助于更好地理解公众对雾霾污染的心理和行为反应,揭示雾霾感知风险的形成机制,以及雾霾感知风险对公众应对行为与环境满意度的影响等,兼具理论价值与现实意义.

本文基于在雾霾严重时期的大规模问卷调查数据,采用结构方程模型的分析方法,探讨影响公众雾霾感知风险、雾霾感知可控性的各种因素(包括环境信息影响和雾霾知识等),以及他们对雾霾应对行为、环境满意度、应对产品购买意愿的影响机制,并建立这些因素之间的结构关系,识别各种中介变量,寻找影响应对行为的主要因素和提升环境满意度的有效途径,并为政府的环境工作和政策提出相关建议.

## 1 文献回顾与研究假设

根据计划行为理论<sup>[3]</sup>,公众的行为和意愿主要由他们对行为后果的理性评价所形成的态度以及感知的行为可控性所决定.过去大量的研究也显示,对环境的态度决定人们的利环境意愿和行为<sup>[4,5]</sup>,而环境态度可以通过人们对环境问题的忧虑和感受到的威胁来体现<sup>[6]</sup>.另外,防护动机理论<sup>[7]</sup>认为人们的防护行为动机来源于对有关事件的威胁性评估和应对效能评估这样的认知过程.基于这些研究,在雾霾污染环境下,公众采取应对行为的动机,应该来自于他们对雾霾威胁性的评价(风险认知),以及采取应对行为的效能评价(感知的可控性).这些评价反映了公众对雾霾污染的基本态度,从而决定他们的应对行为.

### 1.1 空气感知风险及其决定因素

感知风险是关于风险的特征和严重程度的主

观判断,它的形成受到多方面的影响,其中包括易感性、严重性、控制性、延迟性、灾难性、陌生性、知识度等<sup>[8,9]</sup>.在保护动机理论<sup>[7]</sup>中,主要从易感性和严重性两个方面去评价事件的威胁性.在环境行为研究中,也往往从这两个方面来评价对环境问题的感知威胁<sup>[10]</sup>.

在众多环境风险中,公众一般认为大气污染带来的风险较高<sup>[11,12]</sup>.由于呼吸是人类生存的基本需求,人们在日常生活中很难避免空气污染的影响,从而对身体健康造成威胁,特别是直接造成慢性呼吸系统疾病<sup>[13]</sup>.空气中的颗粒污染已成为影响空气质量、气候和人们健康的主要问题<sup>[14,15]</sup>.长期接触污染的空气会大大降低人们的预期寿命<sup>[1]</sup>,影响年轻人的健康发展<sup>[16]</sup>.

过去的研究发现,空气污染物浓度(即,AQI)与空气感知风险有一定联系,但它们之间的相关性并不强<sup>[17-19]</sup>.因此,空气感知风险还受到其它多种因素的影响,特别是心理和社会的各种因素<sup>[20-23]</sup>.在日常生活中,人们往往通过自己对环境的观察<sup>[24]</sup>、感官感受<sup>[19,25]</sup>、健康状况<sup>[19,26,27]</sup>、朋友交流<sup>[28]</sup>、以及媒体报道<sup>[29]</sup>等来获得空气质量的线索,以形成他们对空气状况的风险认知<sup>[30]</sup>.

公众对PM<sub>2.5</sub>信息的信任度也会显著影响他们的风险认知<sup>[31]</sup>.特别是当人们感到对生活环境缺乏掌控时,这种感知的不可控性会增加人们对空气污染的感知风险<sup>[32]</sup>.而过去几年网络媒体的发展促进了人们的信息交流,在很大程度上推动了感知风险的社会放大效应<sup>[33,34]</sup>.

另外,公众对空气的感知风险还与个人特征有关.女性对环境风险的感知水平更高<sup>[35]</sup>;在同一个环境,年轻人更倾向于认为空气质量差<sup>[26]</sup>;受教育水平越高的人更容易感受到空气污染给健康带来的不良影响<sup>[36]</sup>;收入高的群体对空气质量更为关注<sup>[25]</sup>.

### 1.2 感知风险与应对行为的关系

公众对环境的感知风险在很大程度上影响着他们的各种环境行为.过去的研究发现,如果个体感知到环境污染可能带来的风险和威胁,他们会更加关注环境问题、遵守环境规范、并且更愿意致力于环境保护和解决环境问题<sup>[6,7,37-39]</sup>.有的研究采用结构方程模型方法,建立了健康感知风险

与环境行为之间的关系,以及对政府的信息信任与感知风险之间的关系<sup>[40]</sup>。已有的研究发现,官方公布污染预警和PM<sub>2.5</sub>等环境监测数据并不能即时引发人们的应对行为,而公众对空气污染的切身感知,以及对相应风险的恐惧,才是他们采取防护行为和环保行为的真正驱动因素<sup>[19 41]</sup>。

人们通常会采取相关行动和预防性行为来应对环境风险所带来问题<sup>[42]</sup>。在西方国家,面对空气污染,人们往往采取减少室外业余活动、呆在室内、关闭窗户、清新室内、洗手洗脸等应对措施<sup>[19 43]</sup>。早期的实证研究发现,在空气质量超过国家标准时,人们会减少室外活动,特别是那些有健康问题的人群<sup>[44]</sup>。近来的研究也显示,在有警告发布的空气重污染日子,人们会显著的减少户外活动<sup>[45]</sup>。在中国,为了应对颗粒物PM<sub>2.5</sub>和空气污染,很多人采取户外活动戴口罩、在家使用空气过滤器等措施。一项基于北京市民大众点评网数据的研究显示,PM<sub>2.5</sub>浓度上升会导致人们外出就餐的频率降低以及满意度的降低<sup>[46]</sup>。另外,政府对空气污染也会采取多种控制和应对措施<sup>[47]</sup>,甚至让学校停课、企业停产、道路限行等。

以上的文献分析表明公众的环境应对行为是通过空气质量的感知风险来驱动的,而感知风险的形成取决于人们对环境信息的多种感知途径。在过去的研究中感知风险的这种中介作用并没有被清楚的认识。本项研究具体考虑雾霾的感知风险,主要的研究问题是揭示雾霾感知风险在空气质量信息与应对行为之间所起的中介变量作用。根据以上讨论,本文提出如下假设:

**H1a** 对雾霾感知风险越大的人会有更多的应对行为。

**H1b** 受环境信息影响越大的人会有更多的应对行为。

**H1c** 环境信息通过感知风险这个中介变量,对个人应对行为产生正面影响。

### 1.3 感知风险对环境满意度的影响

我国的经济大大地提高了人们的生活水平,但同时也带来了环境污染等诸多问题,并且对人们的生命健康造成了严重威胁<sup>[1 48]</sup>,特别是对10岁以下的孩子和老年人的影响更大<sup>[2]</sup>。因此,

空气污染会降低人们对生活满意度的评价。反之,空气质量的改善可以给人们带来各种健康利益<sup>[49]</sup>。另外,由于人们通常认为政府对于环境质量负有主要责任,这自然会影响到他们对政府环境工作满意度的评价。

已有的研究表明,不同维度的空气质量水平,如PM<sub>10</sub>和颗粒物<sup>[50 51]</sup>、NO<sub>2</sub><sup>[52]</sup>、SO<sub>2</sub><sup>[53 54]</sup>等浓度指标对人们的主观幸福感都有显著影响。一项根据中国30个城市污染数据的研究显示,SO<sub>2</sub>排放量对主观幸福感有显著的负面影响<sup>[55]</sup>。有研究表明,人们感知的空气质量对他们的生活满意度有正面影响,并在实际空气质量和生活满意度之间起着调节变量的作用<sup>[56]</sup>。本文采用感知风险来表示人们对空气质量的态度,研究感知风险在空气质量信息与环境满意度之间所起的作用。基于以上考虑,提出如下假设:

**H2a** 对雾霾感知风险越大的人会有更低的环境满意度。

**H2b** 受环境信息影响越大的人会有更低的环境满意度。

**H2c** 环境信息通过感知风险这个中介变量,对个人环境满意度产生负面影响。

### 1.4 环境知识与可控性的影响

过去大量的研究均认为,环境知识是环境行为的主要驱动因素之一<sup>[4]</sup>。有关环境问题的知识应该是环境规范以及环境态度形成的重要认知前提条件<sup>[5]</sup>。一些研究甚至认为让人们接受环境知识的教育就会自动的引导他们产生更多的利环境行为<sup>[57]</sup>。研究显示,不仅正确的环境知识水平能够预测人们的环境行为<sup>[58]</sup>,即便自我报告的环境知识水平也能有效的预测环境行为<sup>[59]</sup>。实际上,在感知风险的研究中,知识也是1个重要维度<sup>[8]</sup>。雾霾以及PM<sub>2.5</sub>作为比较新的空气污染源近几年才被我国公众所了解,其形成原因、形成过程以及对健康的影响还有待进一步研究。因此,当前人们对雾霾知识的了解程度还不够,相应的防护措施或行为还比较少<sup>[60]</sup>,这也会影响人们对雾霾感知的可控性。

按照计划行为理论<sup>[3]</sup>,控制观(locus of control)<sup>[61]</sup>或自我效能(self-efficacy)<sup>[62]</sup>是影响行为

或者行为意愿的另一个重要因素<sup>[3]</sup>. 在防护动机理论<sup>[63]</sup>中,可控性与感知风险是人们防护行为的动机来源. 那些相信自己具有充分能力去采取某种行动或者到达某种目的的人会有更多的利环境行为<sup>[4,5]</sup>. 对于雾霾污染,如果人们感知到风险并认为采取应对行为能够达到保护身体健康的目的,他们就应该有相应的行动. 基于防护动机理论,本文采用雾霾感知可控性,来代表人们对雾霾污染控制效能的评价. 显然对雾霾污染感知的可控性会受到雾霾知识的影响,它也会直接影响人们对环境的满意度. 根据这些讨论并结合前面的文献分析,本文提出以下假设:

**H3a** 对雾霾知识熟悉度越大的人会有更多的应对行为.

**H3b** 对雾霾感知可控性越大的人会有更多的应对行为.

**H3c** 雾霾知识熟悉度通过感知风险这个中介变量,对个人应对行为产生正面影响.

**H3d** 雾霾知识熟悉度通过雾霾感知可控性这个中介变量,对个人应对行为产生正面影响.

**H4a** 对雾霾感知可控性越大的人会有更高的环境满意度.

**H4b** 雾霾知识熟悉度通过感知风险这个中

介变量,对环境满意度产生负面影响.

**H4c** 雾霾知识熟悉度通过感知可控性这个中介变量,对环境满意度产生正面影响.

### 1.5 研究框架

以上讨论了有关感知风险的构成以及对环境应对行为、环境满意度的影响,但总体上感知风险在环境行为方面的研究还比较少<sup>[64]</sup>. 到目前为止,还没有雾霾感知风险及其应对行为这方面的系统性研究. 基于防护动机理论<sup>[7]</sup>和计划行为理论<sup>[3]</sup>,本文按照“信息/知识→评价/态度→行为/结果”这样的研究框架展开,并对相关假设进行检验(图1). 根据以上的文献讨论和研究假设,本文的框架把相关因素分成3个层次,雾霾信息和知识可以直接影响应对行为、环境满意度,也可以通过雾霾感知风险和感知可控性这两个中介变量间接影响它们,其直接影响与间接影响的强度大小由实证分析来确定. 本文考虑把防护产品购买意愿放在第3层面,这是因为那些对雾霾采取了应对行为的人才会有这样的意愿. 图1中的评价/态度是基于雾霾感知风险和雾霾感知可控性两个方面来考虑的认知调节中间过程,它们分别对应于防护动机理论的威胁程度评估和应对效能评估,反映了公众应对雾霾正反两方面的态度.

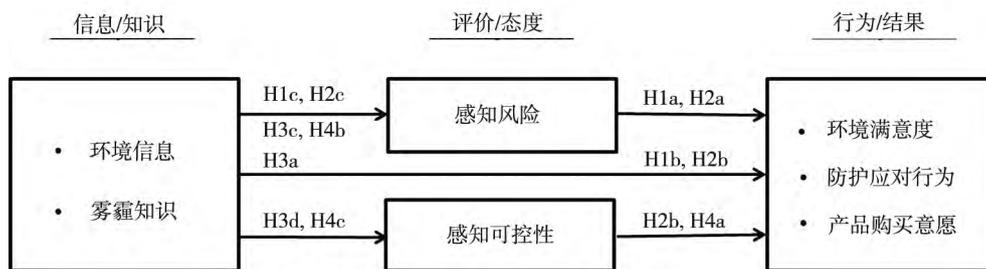


图1 研究框架

Fig. 1 Research framework

本文采用结构方程模型 ( structural equation models , SEM) 对数据进行统计分析和假设检验. 结构方程模型是公认的分析多个潜变量 ( latent variables) 之间,以及潜变量和可观测解释变量 ( covariates) 之间关系最有效的多元统计工具. 结构方程模型不仅可以通过测量方程降低数据维度,解决变量之间的高相关性引起的多重共线性问题,而且可以对提出的假设进行同时性的检验,从而系统地揭示和解释各个变量之间的结构关系. 结构方程

模型已广泛应用于环境行为的研究中<sup>[5,65]</sup>.

## 2 样本数据与探索性分析

### 2.1 问卷设计与数据收集

根据以上的文献讨论和研究假设,本文的雾霾调查问卷设计是基于图1的研究框架,考虑了7个方面的潜变量以及人口统计变量,涉及51个具体题项(见表1). 这些潜变量包括雾霾感知风

险、环境信息影响、雾霾知识熟悉度、雾霾感知可控性、环境满意度、雾霾应对行为以及产品购买意愿。各潜变量测度题项的设计参考了过去有关空气污染感知风险和应对行为的测度题项<sup>[43]</sup>以及环境行为测度题项<sup>[66]</sup>,并结合我国的实际情况,考虑了当前公众对雾霾关注的重点以及采取的各种防护措施。例如,雾霾感知风险主要从严重性、易感性以及相关性等几个方面去评价<sup>[7,9]</sup>,包括

对个人健康的威胁、对家人健康的威胁、对生活工作的影响、本地雾霾严重程度以及对本地发展的影响。雾霾应对行为包括外出戴口罩等、衣着防护、室内开空气净化器、强化个人卫生、减少外出、减少户外运动、服用药品或保健品、外出旅游及劝说他人采取防护措施等。

调查问卷中还包括性别、年龄、教育程度、家庭收入及健康状况等自我报告的人口统计变量。

表 1 问卷包含的潜变量与相关题项及可靠性检验

Table 1 Latent variables and their related items and reliability estimations in the questionnaire

因子/潜变量	测量题项简要描述	题项数目	克朗巴哈系数
雾霾感知风险	Q1.1 本地雾霾严重程度、Q1.2 雾霾对您身体健康威胁、Q1.3 雾霾对生活工作负面影响、Q1.4 雾霾对您家人身体健康威胁、Q1.5 雾霾对本地发展负面影响	5	0.923
环境信息影响	Q2.1 政府公布的 PM25 和 AQI、Q2.2 周围环境观察和感受、Q2.3 身体健康影响的感受、Q2.4 心理状态影响的感受、Q2.5 戴口罩的人数、Q2.6 与朋友和同事交流、Q2.7 新闻媒体报道、Q2.8 社交媒体信息	8	0.841
雾霾知识熟悉度	Q3.1 雾霾构成主要成分、Q3.2 雾霾源头和成因、Q3.3 雾霾检测方法、Q3.4 雾霾对身体健康影响、Q3.5 雾霾预防措施及效果、Q3.6 雾霾总体知识了解	6	0.876
雾霾感知可控性	Q4.1 雾霾源头可控性、Q4.2 雾霾过程可控性、Q4.3 雾霾影响范围可控性、Q4.4 雾霾危害可控性、Q4.5 雾霾防止效果可控性、Q4.6 雾霾总体可控性	6	0.915
环境满意度	Q5.1 对政府治理雾霾工作的满意度、Q5.2 对空气质量信息公开化的满意度、Q5.3 对政府生态环境建设工作的满意度、Q5.4 对生活与居住环境的满意度、Q5.5 对生活质量的满意度、Q5.6 对本地生态环境的满意度	6	0.924
雾霾应对行为	Q6.1 外出时戴口罩等、Q6.2 外出时注意衣着防护、Q6.3 在室内开空气净化器、Q6.4 强化个人卫生、Q6.5 减少外出时间或次数、Q6.6 减少户外运动、Q6.7 服用防雾霾药品或保健品、Q6.8 选择封闭式代步工具、Q6.9 尽量离开本地如外出旅游等、Q6.10 劝说他人采取防护措施	10	0.858
产品购买意愿	Q7.1 室内健身器材购买意愿、Q7.2 室内植物购买意愿、Q7.3 雾霾险购买意愿、Q7.4 抗雾霾个人护理产品购买意愿、Q7.5 抗雾霾药品和食品购买意愿、Q7.6 口罩等雾霾防护设备购买意愿、Q7.7 空气净化器购买意愿、Q7.8 家庭新风系统购买意愿、Q7.9 进口罐装新鲜空气购买意愿、Q7.10 海外旅游购买意愿	10	0.873

注: 雾霾感知风险的是从 1(完全没有威胁)到 7(非常大的威胁)的刻度;其余的题项都是使用从 1 到 5 的主观评价刻度。

2016 年 12 月 19 日~2016 年 12 月 21 日期间,正值华北地区遭受大面积严重雾霾污染,通过微信朋友圈广泛邀请各行各业的朋友参与雾霾感知风险与应对行为的调查,集中收集问卷 3 539 份,样本来自全国 200 多个城市。

本次调查数据来自不同人群,其中公司职员占 32.3%、学生占 18.9%、科教文化人员占 17.3%、国家机关干部占 6.4%、个体从业者占 4.4%、服务业人员占 2.7%;男性占 46.9%、女性占 53.1%;各年龄段,20 岁~29 岁占 34.5%、30 岁~39 岁占

32.7%、40 岁~49 岁占 21.9%、50 岁~59 岁占 7.1%;文化程度,高中及以下毕业占 3.2%、大专毕业占 7.7%、大学本科毕业占 41.6%、研究生毕业占 47.1%;各家庭收入层次,5 万元以下占 11.9%、5 万元~10 万元占 22.2%、10 万元~20 万元占 30.0%、20 万元~50 万元占 23.3%、50 万元~100 万元占 9.1%、100 万元以上占 3.6%。总体来看,样本主要来自于受过良好教育的中产阶级。

## 2.2 探索性因子分析与相关分析

为了验证问卷设计的正确性,在采用结构方

程模型分析之前,首先进行探索性因子分析. 取样足够度的 KMO 值为 0.917(显著大与 0.5), Bartlett 的球形度检验的  $p$  值接近为 0,说明问卷的结构效度良好. 采用具有 Kaiser 标准化的正交旋转方法(由于因子之间有相关性),获得 10 个因子,其方差贡献率达 66.18%,除了雾霾应对行为和产品购买意愿两个因子的测度有些分散以外,其余的 5 个因子的测量题项构成与问卷设计考虑的潜变量完全一致. 当限制提取 7 个因子时,所有的因子的构成题项与问卷设计完全一致. 当然,在结构方程模型分析时还要进行二阶验证性因子分析. 可靠性分析显示,7 个因子的克隆巴哈系数(Cronbach's Alpha)信度值都大于 0.84(表 1),表明这些因子的测量题项具有较好的内部一致

性. 另外,问卷全部测量题项的 Cronbach's Alpha 值为 0.890,说明整体问卷具有较高的内部一致性.

表 2 提供了各个因子(潜变量)之间的相关系数以及显著性水平. 可见大部分潜变量之间都是显著相关的,特别是导致雾霾感知风险的环境信息影响,两者之间有最大的相关性;雾霾应对行为与防护产品购买意愿之间也有很强的相关性;另外,雾霾感知风险与环境满意度之间存在强负相关关系. 公众对雾霾感知风险越强,他们采取的应对行为和措施就越多,对环境的满意度就越低. 因此,潜变量之间相关性分析为本文的假设提供了初步的支持. 进一步还需要把所有的潜变量和控制变量放进结构方程模型中,对假设进行同时性和系统性检验.

表 2 潜变量的均值及相关矩阵

Table 2 Mean values and correlation matrix of the latent variables

潜变量	雾霾感知风险	环境信息影响	雾霾知识熟悉度	雾霾感知可控性	环境满意度	雾霾应对行为	产品购买意愿
均值	6.1	4.09	3.37	3.05	2.21	3.12	3.25
标准差	1.25	0.68	0.75	1.02	0.88	0.81	0.8
雾霾感知风险	—						
环境信息影响	0.586**	—					
雾霾知识熟悉度	0.217**	0.210**	—				
雾霾感知可控性	0.016	0.038*	0.160**	—			
环境满意度	-0.483**	-0.346**	-0.059**	0.155**	—		
雾霾应对行为	0.322**	0.336**	0.376**	0.123**	-0.159**	—	
产品购买意愿	0.179**	0.237**	0.222**	0.092**	-0.049**	0.524**	—

注: \*、\*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平(双侧)上显著相关.

### 3 结构方程模型与结果分析

#### 3.1 结构方程模型与估计方法

在探索性分析的基础上,本文进一步采用结构方程模型对问卷数据进行整体性分析,以详尽验证所提出的假设,并揭示变量之间的系统关系. 结构方程模型包括测量方程和结构方程两个部分.

基于问卷调查数据,将第  $i$  个个体的  $p$  维的观测指示变量记做  $y_i = (y_{i1}, \dots, y_{ip})^T$ , 则本项研究采用的结构方程模型的测量方程有如下形式:

$$y_i = \mu + \Lambda \omega_i + \epsilon_i, i = 1, \dots, n, \quad (1)$$

其中  $\omega_i = (\omega_{i1}, \dots, \omega_{iq})^T$  为关于第  $i$  个个体的  $q$  维的潜变量,一般有  $p > q$ ; 参数向量  $\mu$  代表  $p$  维的截距项; 参数矩阵  $\Lambda$  是  $p \times q$  维度非重叠结构的

观测指示因子载荷矩阵: 向量  $\epsilon_i$  表示  $p$  维的正态随机误差项. 根据问卷设计以及探索性分析的结果,问卷中有  $p = 51$  个观测指标变量(即表 1 中的问卷题项),对应于  $q = 7$  个潜变量. 本文共收集了  $n = 3539$  份有效问卷.

结构方程部分将潜变量  $\omega_i = (\omega_{i1}, \dots, \omega_{iq})^T$  进一步细分为  $q_1$  个潜因变量  $\eta_i = (\eta_{i1}, \dots, \eta_{iq_1})^T$  和  $q_2$  个解释潜变量  $\xi_i = (\xi_{i1}, \dots, \xi_{iq_2})^T$ . 因此,  $\omega_i = (\eta_i^T, \xi_i^T)^T$  并且  $q = q_1 + q_2$ . 进一步,假设解释潜变量  $\xi_i$  服从多元正态分布  $N(0, \Phi)$ , 其中  $\Phi$  是个既量化了解释潜变量本身的方差大小,又量化了解释潜变量之间的相关性的协方差矩阵. 而潜因变量之间的关系则由以下结构方程刻画

$$\eta_i = B x_i + \Pi \eta_i + \Gamma \xi_i + \delta_i, i = 1, \dots, n \quad (2)$$

其中向量  $x_i$  是  $r$  维的控制变量;  $B$  是描述控制变量对于潜因变量影响的  $q_1 \times r$  维的控制变量系数矩阵;  $\Pi$  是量化多个潜因变量之间关系的  $q_1 \times q_1$  维的系数矩阵;  $\Gamma$  是量化潜因变量和解释潜变量之间关系的  $q_1 \times q_2$  维的系数矩阵; 向量  $\delta_i$  是  $q_1$  维的正态随机误差项. 为保证模型识别,  $\Pi$  需要满足  $(I - \Pi)$  可逆, 其中  $I$  是单位矩阵. 本文共识别出了  $q_1 = 5$  个潜因变量和  $q_2 = 2$  个解释潜变量,  $r = 5$  个控制变量. 这 5 个控制变量分别为“性别 ( $x_{i1}$ )”, “年龄 ( $x_{i2}$ )”, “健康状态 ( $x_{i3}$ )”, “文化程度 ( $x_{i4}$ )”, 和“家庭收入 ( $x_{i5}$ )”. 两个解释潜变量分别为环境信息影响 ( $\xi_1$ ) 和雾霾知识熟悉度 ( $\xi_2$ ). 在 5 个潜因变量中, “雾霾感知风险 ( $\eta_1$ )” 和 “雾霾感知可控 ( $\eta_2$ )” 对潜因变量“雾霾应对行为 ( $\eta_3$ )”, “环境满意度”及“产品购买意愿”的影响是本文关注的重点, 同时, 也关注“雾霾应对行为”进一步对“环境满意度 ( $\eta_4$ )” 和“产品购买意愿 ( $\eta_5$ )”的影响, 所以将  $\Pi$  设定为以下形式

$$\Pi = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \pi_{31} & \pi_{32} & 0 & 0 & 0 \\ \pi_{41} & \pi_{42} & \pi_{43} & 0 & 0 \\ \pi_{51} & \pi_{52} & \pi_{53} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

其中  $\pi$  为未知的系数, 需要在模型中估计. 为了便于解释, 而且考虑到“雾霾应对行为”, “环境满意度”及“产品购买意愿”是本文最终的因变量, 所以只研究控制变量对它们的影响, 即将  $\Pi$  矩阵中首两行元素固定为 0, 其他元素设为未知. 此外,  $\Gamma$  和  $\Phi$  的所有元素均设为未知, 需要一并在模型中估计.

根据模型假设和所收集数据, 采用先进的贝叶斯统计方法<sup>[67]</sup>进行参数估计, 其优点在于: ①它是抽样估计的方法, 可以不依赖于大样本, 因此可以给出更加稳定的估计结果; ②可将环境行为领域内的有关专业知识, 例如感知风险的中介作用等, 通过先验参数引入到模型的估计中, 进而提高模型估计的准确性; ③贝叶斯方法具有良好的计算理论和工具支持, 可提供便捷高效的计算途径; ④贝叶斯方法还能给出潜在变量的精确数值估计, 这在传统分析中很难做到.

根据 Song 和 Lee<sup>[67]</sup>, 采用 WinBUGS<sup>[68]</sup> 软件进行贝叶斯分析. 其统计推断步骤总结如下: 首先, 为未知参数设置先验分布, 并为先验分布预设超参数 (hyperparameters). 先验分布代表对参数估计值的预期. 由于已知的雾霾风险定量分析还比较少, 这里先验分布都设置为无信息先验, 主要由数据来驱动参数的最终估计; 第二步是由 WinBUGS 软件根据模型设置, 数据录入, 以及先验信息, 得出各个参数的条件后验分布, 并通过 MCMC 方法依照各个后验分布依次对参数进行重复抽样; 第三步是对算法的收敛性进行检测, 并获取收敛后的重复抽样结果从而得到各参数的后验分布估计. 经过不同初值的收敛性检测, 本文忽略前 10 000 次抽样, 并收集之后的 10 000 次重复抽样结果 (已收敛), 以此来统计推断.

统计推断中的重要问题是检验模型的拟合优度 (goodness-of-fit). 由于本文采用了比较新颖的贝叶斯统计方法, 传统结构方程模型的拟合优度检验方法已经不再适用. 因此, 借鉴了 Meng<sup>[69]</sup> 提出的贝叶斯模型诊断统计量, 即后验预测  $p$  值 (posterior predictive  $p$ -value, PP  $p$ -value) 来检验所提出的结构方程模型对数据的拟合优度. 当 PP  $p$ -value 处于 0.5 附近时, 表示模型对数据的拟合度较好. 通过计算, 本文提出的结构方程模型对于数据拟合得到的 PP  $p$ -value 为 0.572, 表明总体拟合度较好.

### 3.2 结构方程模型的结果分析

模型重要参数的估计结果展示在表 3 中. 结构方程部分中的显著参数特别用 \* 符号标记出来, 并且, 根据这些显著参数, 图 2 总结了控制变量和解释潜变量对潜因变量的显著影响大小, 以及各潜因变量之间的显著影响关系. 结构方程模型的估计结果讨论如下.

1) 通过观察表 3 的 1 列 ~ 4 列可知, 测量方程中的所有因子载荷均高度显著, 确认了潜变量的测度和估计是合理且有效的.

2) 由表 3 和图 2 所示, 雾霾感知风险 ( $\eta_1$ ) 既受到个体感受的环境信息影响 ( $\xi_1$ ), 也受到雾霾知识熟悉度 ( $\xi_2$ ) 的影响, 且均为正相关. 因此, 来自环境信息的影响越大, 对于雾霾知识越熟悉, 则个体对雾霾风险的感知越强烈.

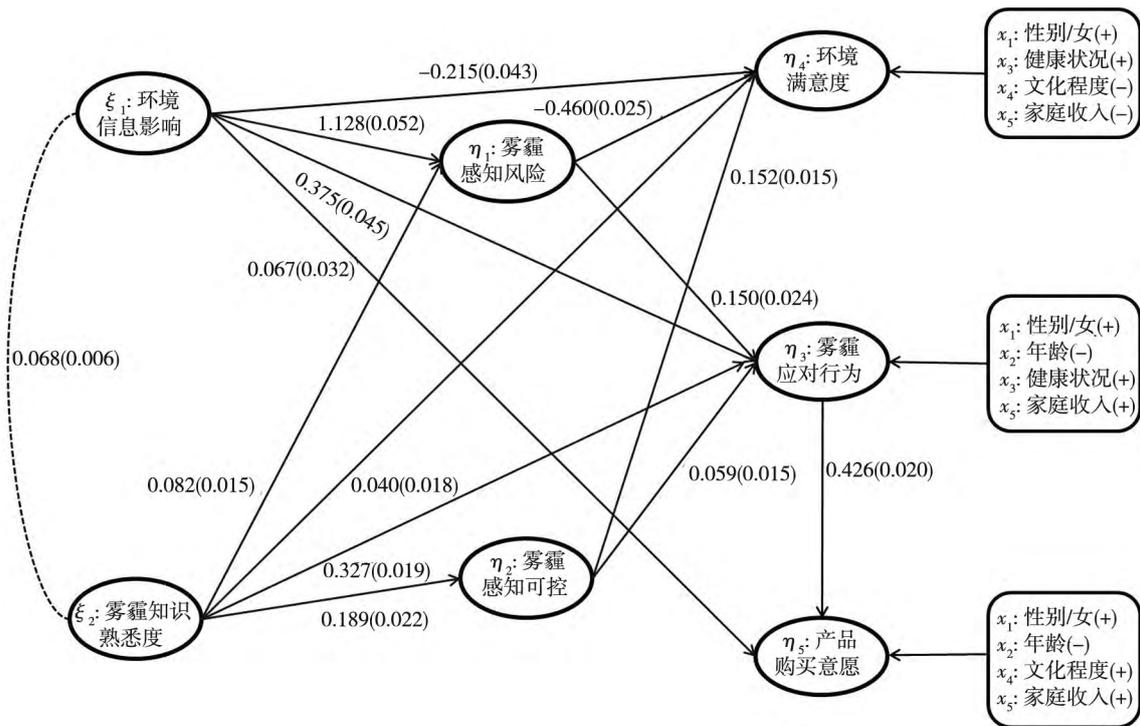
表3 结构方程模型中主要参数的估计结果

Table 3 Estimation results of the structural equation modeling

问卷 题项	测量方程 参数	估计值	标准 误差	结构方程 参数 <sup>①</sup>	估计值	标准 误差	解释潜变量 相关性	估计值	标准 误差
Q1.2	$\lambda_{1.2}$	1.172	0.022	$\gamma_{11}$	1.128***	0.052	$\varphi_{11}$	0.180	0.013
Q1.3	$\lambda_{1.3}$	1.219	0.021	$\gamma_{12}$	0.082***	0.015	$\varphi_{12}$	0.068	0.006
Q1.4	$\lambda_{1.4}$	1.197	0.023	$\gamma_{21}$	0.015	0.037	$\varphi_{22}$	0.541	0.021
Q1.5	$\lambda_{1.5}$	1.124	0.021	$\gamma_{22}$	0.189***	0.021			
Q4.2	$\lambda_{2.7}$	1.021	0.016	$b_{31}$	0.085***	0.012			
Q4.3	$\lambda_{2.8}$	1.006	0.018	$b_{32}$	-0.050***	0.013			
Q4.4	$\lambda_{2.9}$	0.860	0.019	$b_{33}$	0.030***	0.011			
Q4.5	$\lambda_{2.10}$	0.934	0.018	$b_{34}$	0.003	0.013			
Q4.6	$\lambda_{2.11}$	1.040	0.017	$b_{35}$	0.084***	0.014			
Q6.2	$\lambda_{3.13}$	0.953	0.023	$\pi_{31}$	0.150***	0.024			
Q6.3	$\lambda_{3.14}$	0.863	0.025	$\pi_{32}$	0.059***	0.015			
Q6.4	$\lambda_{3.15}$	0.788	0.024	$\gamma_{31}$	0.375***	0.045			
Q6.5	$\lambda_{3.16}$	0.837	0.024	$\gamma_{32}$	0.327***	0.019			
Q6.6	$\lambda_{3.17}$	0.778	0.023	$b_{41}$	0.027**	0.013			
Q6.7	$\lambda_{3.18}$	0.704	0.026	$b_{42}$	-0.008	0.012			
Q6.8	$\lambda_{3.19}$	0.748	0.025	$b_{43}$	0.077***	0.011			
Q6.9	$\lambda_{3.20}$	0.710	0.022	$b_{44}$	-0.034***	0.013			
Q6.10	$\lambda_{3.21}$	0.970	0.025	$b_{45}$	-0.037***	0.012			
Q5.2	$\lambda_{4.23}$	0.859	0.019	$\pi_{41}$	-0.460***	0.025			
Q5.3	$\lambda_{4.24}$	1.011	0.021	$\pi_{42}$	0.152***	0.015			
Q5.4	$\lambda_{4.25}$	1.186	0.022	$\pi_{43}$	-0.015	0.021			
Q5.5	$\lambda_{4.26}$	1.133	0.020	$\gamma_{41}$	-0.215***	0.043			
Q5.6	$\lambda_{4.27}$	1.167	0.021	$\gamma_{42}$	0.040**	0.019			
Q7.2	$\lambda_{5.29}$	0.941	0.035	$b_{51}$	0.078***	0.009			
Q7.3	$\lambda_{5.30}$	1.040	0.036	$b_{52}$	-0.063***	0.010			
Q7.4	$\lambda_{5.31}$	1.264	0.038	$b_{53}$	0.015	0.010			
Q7.5	$\lambda_{5.32}$	1.207	0.040	$b_{54}$	0.030***	0.009			
Q7.6	$\lambda_{5.33}$	1.222	0.041	$b_{55}$	0.061***	0.011			
Q7.7	$\lambda_{5.34}$	1.369	0.038	$\pi_{51}$	-0.028	0.018			
Q7.8	$\lambda_{5.35}$	1.351	0.040	$\pi_{52}$	0.011	0.011			
Q7.9	$\lambda_{5.36}$	0.923	0.034	$\pi_{53}$	0.426***	0.020			
Q7.10	$\lambda_{5.37}$	1.000	0.035	$\gamma_{51}$	0.067**	0.032			
Q2.2	$\lambda_{6.39}$	1.462	0.062	$\gamma_{52}$	0.012	0.014			
Q2.3	$\lambda_{6.40}$	1.526	0.065						
Q2.4	$\lambda_{6.41}$	1.586	0.063						
Q2.5	$\lambda_{6.42}$	1.509	0.071						
Q2.6	$\lambda_{6.43}$	1.845	0.060						
Q2.7	$\lambda_{6.44}$	1.458	0.067						
Q2.8	$\lambda_{6.45}$	1.686	0.071						
Q3.2	$\lambda_{7.47}$	1.012	0.023						
Q3.3	$\lambda_{7.48}$	0.975	0.025						
Q3.4	$\lambda_{7.49}$	0.873	0.023						
Q3.5	$\lambda_{7.50}$	0.963	0.024						
Q3.6	$\lambda_{7.51}$	1.212	0.023						

注:\*\*\*、\*\* 分别表示在1%、5%的置信水平下的显著性。

① 为了识别因子载荷矩阵  $\Lambda$  中的参数  $\lambda$ ，需要把各潜变量的其中1个题项指标设定为固定载荷1，因此在参数  $\lambda$  的估计中本文设定每个潜变量的第1个题项指标为1。



注: 各条边的系数是变量之间影响大小的强度值, 括号中为相应的标准误差; 图中圆框表示不可观测的潜变量, 方框表示控制变量; 图中忽略了所有潜变量的测量指标, 表 3 提供了这些指标的影响强度值  $\lambda$ 。

图 2 雾霾感知风险与应对行为结构方程模型路径图

Fig. 2 Path diagram of the structural equation modeling

3) 雾霾感知可控 ( $\eta_2$ ) 只受到个体对雾霾知识熟悉度 ( $\xi_2$ ) 的正面影响. 个体对雾霾知识越熟悉将有助于提高他们对雾霾的感知可控性.

4) 雾霾应对行为 ( $\eta_3$ ) 与性别 ( $x_1$ )、年龄 ( $x_2$ )、健康状况 ( $x_3$ )、家庭收入 ( $x_5$ )、环境信息 ( $\xi_1$ )、雾霾知识熟悉度 ( $\xi_2$ )、雾霾感知风险 ( $\eta_1$ )、以及雾霾感知可控 ( $\eta_2$ ) 都有直接关系. 具体而言, 女性、年轻、健康状况良好、家庭收入较高的个体会倾向于有更多的雾霾应对行为. 来自环境信息的影响越大, 雾霾知识越熟悉, 雾霾感知风险越大, 雾霾感知可控性越高的个体越倾向于有更多的应对行为. 还发现, 雾霾感知风险和雾霾感知可控同时作为两个重要的中介变量来影响雾霾应对行为. 环境信息和雾霾知识熟悉度会通过这两个中介变量间接影响雾霾应对行为. 因此, 假设 H1a、H1b、H1c、H3a、H3b、H3c、H3d 获得支持.

5) 环境满意度 ( $\eta_4$ ) 与性别 ( $x_1$ )、健康状况 ( $x_3$ )、文化程度 ( $x_4$ )、家庭收入 ( $x_5$ )、环境信息 ( $\xi_1$ )、雾霾知识熟悉度 ( $\xi_2$ )、雾霾感知风险 ( $\eta_1$ )、以及雾霾感知可控 ( $\eta_2$ ) 都直接相关. 结果显示, 女性、健康程度较高、文化程度较低、家庭收入较

低的个体倾向于具有较高的环境满意度. 这个结论说明文化程度较高的群体及收入阶层较高的家庭对于政府的监督更加严格, 以及对良好环境的需求更加迫切. 分析结果显示, 那些受环境信息影响大、感知雾霾风险大、雾霾感知可控性越低的个体对环境满意度的评价更低. 如果个体雾霾知识比较熟悉, 以及对雾霾感知可控性比较高, 其环境满意度也会更高. 值得注意的是, 来自雾霾感知风险和外部环境信息对于环境满意度的负向影响 ( $\pi_{41} = -0.460$ ,  $\gamma_{41} = -0.215$ ) 是十分强烈的, 远大于其他因素对于环境满意度的正向影响, 说明现阶段民众对于雾霾的厌恶感十分强烈, 严重地影响了他们对于环境的满意度. 结果显示, 雾霾感知风险以及感知可控性是两个重要的中介变量, 即环境信息和雾霾知识会通过感知风险和感知可控性来间接影响民众对于环境的满意度. 因此, 假设 H2a、H2b、H2c、H4a、H4b、H4c 获得确认.

6) 防护产品购买意愿 ( $\eta_5$ ) 与性别 ( $x_1$ )、年龄 ( $x_2$ )、文化程度 ( $x_4$ )、家庭收入 ( $x_5$ )、环境信息 ( $\xi_1$ )、雾霾应对行为 ( $\eta_3$ ) 这些因素直接相关. 具体而言, 女性、年轻、文化程度较高、以及家庭年收

入较高的个体倾向于购买更多的雾霾防护产品. 分析显示, 防护产品的购买意愿主要是通过雾霾应对行为的需要来驱动的. 另外, 环境信息对产品购买意愿也有一定的直接影响作用. 当然, 其它因素, 包括雾霾感知风险、雾霾感知可控、以及雾霾知识熟悉度, 会通过雾霾应对行为这个中介变量来间接影响防护产品购买意愿.

### 3.3 结构方程模型的敏感性分析

为探讨各种可能的模型结构关系(  $I$ 和 $II$  ), 特别是验证雾霾感知风险和感知可控性的中介作用, 这里进一步对所提出的结构方程模型进行敏感性分析( sensitivity analysis ), 从而确认模型的合理性. 这里主要考虑微调两个中介变量的结构来检测所提出模型的有效性. 具体对以下 4 个模型进行比较.

**模型 1** 现有模型( 图 2 ), 即同时考虑雾霾感知风险和雾霾感知可控作为两个中介变量.

**模型 2** 不将雾霾感知风险作为中介变量, 而只保留雾霾感知可控作为中介变量. 即将  $II$  的结构设为

$$II = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \pi_{32} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \pi_{42} & \pi_{43} & 0 & 0 \\ 0 & \pi_{52} & \pi_{53} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

**模型 3** 不将雾霾感知可控作为中介变量, 而仅保留雾霾感知风险作为中介变量. 即将  $II$  的结构设为

$$II = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \pi_{31} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \pi_{41} & 0 & \pi_{43} & 0 & 0 \\ \pi_{51} & 0 & \pi_{53} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

**模型 4** 不将雾霾感知可控和雾霾感知风险作为中介变量. 即将  $II$  的结构设为

$$II = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pi_{43} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pi_{53} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

为了比较以上这些模型, 需考虑适用于多元贝

叶斯模型比较的统计量. 本文采用由 Spiegelhalter 等<sup>[70]</sup> 提出的 deviance information criterion ( DIC ) 来进行模型比较. DIC 是广泛应用于贝叶斯模型比较的统计量<sup>[67]</sup>, 它与 AIC 和 BIC 类似, 都是试图对数据拟合度和模型复杂度进行权衡, 其值越小模型较优.

经过 WinBUGS 程序计算, 所比较的 4 个模型的 DIC 指标值分列如下

模型 1 DIC = 391 511 ( 最小)

模型 2 DIC = 391 729

模型 3 DIC = 391 681

模型 4 DIC = 391 745

因此按照 DIC 统计量, 本文提出的结构方程模型是最优选择, 同时也验证了雾霾感知风险和雾霾感知可控性作为中介变量的合理性. 另外可以看到, 模型 2 和模型 3 这两个仅保留其中一个中介变量的模型, 也都优于没有中介变量的模型 4.

## 4 结束语

雾霾污染是目前政府和公众最关注的环境问题之一. 本文采用结构方程模型的分析方法, 研究了雾霾感知风险与公众应对行为、环境满意度之间的关系. 分析显示, 公众对雾霾的感知风险主要来源于对各种环境信息的主观感受以及社会影响, 包括与朋友和同事的交流、自己的心理感受、微信和微博等社交媒体的信息等, 因此雾霾信息的影响可能被放大, 从而引起公众偏高的感知风险. 虽然公众对雾霾的感知风险与实际 AQI 和 PM2.5 水平存在一定的正相关关系( 相关系数分别为 0.361 和 0.316 ), 但是感知风险并不完全由 AQI 或 PM2.5 的水平来决定. 另外, 分析显示, 公众对雾霾知识的熟悉程度越高( 例如雾霾对身体健康的影响等 ), 他们感知的风险就越大. 这说明公众对雾霾的感知风险既可能受到非理性因素的影响, 也来自于理性的考虑.

面对雾霾污染的威胁, 公众往往采取各种应对行为来减少自身对雾霾的暴露程度, 例如外出戴口罩、室内开空气净化器等. 调查分析显示, 面对雾霾污染, 绝大多数人都会采取一定的防护与应对措施, 其中对环境信息越敏感、雾霾感知风险

越大、对雾霾知识了解程度越高、雾霾感知可控性越大的公众会采取相对更多的防护与应对措施,他们对相关防护和健康产品的购买意愿也越强。结构方程模型分析显示,感知风险在雾霾信息影响与应对行为之间起着中介变量的作用,即当雾霾信息使人们产生感知风险时,他们才会采取相应的应对行为。另外,雾霾感知可控性也在雾霾知识熟悉度与应对行为之间起着中介变量的作用,即雾霾知识的了解有助于提升雾霾的感知可控性,从而使人们有更多的应对行为。

雾霾污染已经严重影响到公众对生活环境的满意度以及对政府环境工作的满意度。分析结果显示,对雾霾污染感知的风险越高、对环境信息敏感性越强、感知的可控性越差,公众对生态环境、生活环境以及生活质量的总体满意度就越低,对政府在雾霾治理、生态环境建设等方面工作的总体满意度评价也越低。特别是,雾霾感知风险在环境信息影响与环境满意度之间起着中介变量的作用,即环境信息会通过增强感知风险导致公众对政府的应对能力和控制能力产生质疑,从而降低对政府环境工作的满意度。另外,雾霾知识会直接或者间接通过感知可控性对环境满意度评价产生正面影响,但也会通过感知风险这个中介变量对环境满意度评价产生负面影响,因此最终的正面影响有限。总体上,雾霾知识的普及有利于提高公众对雾霾的感知可控性,从而增加人们的应对行为以及对环境的满意度。

公众普遍认为,政府应当承担环境管理工作的主要责任。对公众感知风险及雾霾应对行为方

面的探讨,有助于政府和相关组织更好地了解目前公众对于雾霾风险的认知状况及其变化规律,提高政府和社会应对雾霾灾害的能力。对此,本文提出以下政策建议:一是增强环境危机的应对能力,提升政府满意度。雾霾污染已成为全国性的环境危机问题。理性的环境风险感知能有效帮助公众保持一定的敏感性,降低自身暴露性,提高应对能力,从而更好地规避雾霾风险。近年来,政府部门对京津冀及周边地区重污染天气过程进行了准确的预测和预警,从而可以及时启动应急方案。这些工作增加了民众对雾霾可控性的感受,有利于防护的心理准备,从而减少雾霾对人们的感知威胁。二是与公众有效沟通,掌控雾霾信息传播渠道。由于环境信息来源多元化且存在多种测量手段,各方发布的信息与政府部门公布的信息存在一定出入,从而造成了公众的疑虑。信息是公众面对公共危机事件决策判断的主要依据。因此,应尽快完善政府权威信息发布制度及传播渠道建设,保证公众获取雾霾信息的权利。另外,要着力推动雾霾知识普及,使公众全面了解雾霾的本质、产生原因、潜在危害及防治手段等相关知识,培养公众良好的环境行为,提升公众的应对能力。三是建立雾霾治理公众参与制度,提升公众环境责任意识。雾霾的治理需要政府、非政府组织、企业以及公众共同参与和协同治理。特别是,公众既是雾霾治理成果的需求者,也是雾霾治理过程的推动者。树立公众积极参与雾霾治理的主体意识,对激发公众采取实质性行动保护环境,改变生活方式开展低碳生活具有重要意义。

#### 参考文献:

- [1]Chen Y, Ebenstein A, Greenstone M, et al. Evidence on the impact of sustained exposure to air pollution on life expectancy from China's Huai River policy [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, 110(32): 12936 - 12941.
- [2]He G, Fan M, Zhou M. The effect of air pollution on mortality in China: Evidence from the 2008 Beijing Olympic Games [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2016, 79(C): 18 - 39.
- [3]Ajzen I. The theory of planned behavior [J]. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 1991, 50(2): 179 - 211.
- [4]Hines J, Hungerford H R, Tomera A N. Analysis and synthesis of research on responsible environmental behavior: A meta-analysis [J]. *Journal of Environmental Education*, 1987, 18(2): 1 - 8.
- [5]Bamberg S, Möser G. Twenty years after Hines, Hungerford, and Tomera: A new meta-analysis of psycho-social determinants of pro-environmental behavior [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2007, 27(1): 14 - 25.
- [6]Oreg S, Katz-Gerro T. Predicting pro-environmental behavior cross-nationally: National values and the theory of planned behavior [J]. *Environment and Behavior*, 2006, 38(4): 462 - 483.
- [7]Rogers R W. Cognitive and physiological processes in fear appeals and attitude change: A revised theory of protection moti-

- vation [J]. *Social Psychophysiology*, 1983: 153 – 176.
- [8] Slovic P. Perception of risk [J]. *Science*, 1987, 236(4799): 280 – 285.
- [9] Schwing R C, Albers W A. *Societal Risk Assessment: How Safe is Safe Enough?* [M]. New York: Plenum Press, 1980.
- [10] Axelrod L J, Lehman D R. Responding to environmental concerns: What factors guide individual action? [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 1993, 13(2): 149 – 159.
- [11] Yu X. Is environment ‘a city thing’ in China? Rural-urban differences in environmental attitudes [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2014, 38: 39 – 48.
- [12] Xu G, Feng X, Li Y, et al. Environmental risk perception and its influence on well-being [J]. *Chinese Management Studies*, 2017, 11(1): 35 – 50.
- [13] Guan W, Zheng X, Chung K F, et al. Impact of air pollution on the burden of chronic respiratory diseases in china: Time for urgent action [J]. *The Lancet*, 2016, 388(10054): 1939 – 1951.
- [14] Huang R, Zhang Y, Bozzetti C, et al. High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China [J]. *Nature*, 2014, 514(7521): 218 – 222.
- [15] Guo S, Hu M, Zamora M L, et al. Elucidating severe urban haze formation in China [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2014, 111(49): 17373 – 17378.
- [16] Gauderman W J, Avol E, Gilliland F, et al. The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age [J]. *The New England Journal of Medicine*, 2004, 351(11): 1057 – 1067.
- [17] Nikolopoulou M, Kleissl J, Linden P F, et al. Pedestrians’ perception of environmental stimuli through field surveys: Focus on particulate pollution [J]. *Science of the Total Environment*, 2011, 409(13): 2493 – 2502.
- [18] Kim M H, Yi O H, Kim H. The role of differences in individual and community attributes in perceived air quality [J]. *Science of the Total Environment*, 2012, 425: 20 – 26.
- [19] Johnson B B. Experience with urban air pollution in Paterson, New Jersey and implications for air pollution communication [J]. *Risk Analysis*, 2012, 32(1): 39 – 53.
- [20] Chattopadhyay P K, Som B, Mukhopadhyay P. Air pollution and health hazards in human subjects: Physiological and self-report indices [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 1995, 15(4): 327 – 331.
- [21] Zeidner M, Shechter M. Psychological responses to air pollution: Some personality and demographic correlates [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 1988, 8(3): 191 – 208.
- [22] Meertens R, Swaen G. Psychological factors in air pollution epidemiology [J]. *Air Pollution Epidemiology Report Series*, 1997, 8: 105 – 112.
- [23] Elliott S J, Cole D C, Krueger P, et al. The power of perception: Health risk attributed to air pollution in an urban industrial neighbourhood [J]. *Risk Analysis*, 1999, 19(4): 621 – 634.
- [24] Forsberg B, Stjernberg N, Wall S. People can detect poor air quality well below guideline concentrations: A prevalence study of annoyance reactions and air pollution from traffic [J]. *Occupational and Environmental Medicine*, 1997, 54(1): 44 – 48.
- [25] Howel D, Moffatt S, Prince H, et al. Urban air quality in North-East England: Exploring the influences on local views and perceptions [J]. *Risk Analysis*, 2002, 22(1): 121 – 130.
- [26] Bickerstaff K, Walker G. Public understandings of air pollution: The “localization” of environmental risk [J]. *Global Environmental Change*, 2001, 11(2): 133 – 145.
- [27] Day R J. Traffic-related air pollution and perceived health risk: Lay assessment of an everyday hazard [J]. *Health, Risk & Society*, 2006, 8(3): 305 – 322.
- [28] Gooch G D. Environmental concern and the Swedish Press: A case study of the effects of newspaper reporting, personal experience and social interaction on the public’s perception of environmental risks [J]. *European Journal of Communication*, 1996, 11(1): 107 – 127.
- [29] Wahlberg A A F, Sjoberg L. Risk perception and the media [J]. *Journal of Risk Research*, 2000, 3(1): 31 – 50.
- [30] 朱可珺, 徐建华. 城市大气污染的风险认知研究评述与展望 [J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2014, 50(5): 969 – 978.  
Zhu Kejun, Xu Jianhua. Review of risk perception on urban air pollution [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2014, 50(5): 969 – 978. (in Chinese)
- [31] 曾贤刚, 许志华, 虞慧怡. 基于信息源信任度的 PM2.5 健康风险认知研究 [J]. *中国环境科学*, 2015, 35(10): 3157 – 3165.  
Zeng Xiangang, Xu Zhihua, Yu Huiyi. Health risk perception to PM2.5 based on the credibility of information sources [J]. *China Environmental Science*, 2015, 35(10): 3157 – 3165. (in Chinese)
- [32] Bickerstaff K, Walker G. The place(s) of matter: Matter out of place: Public understandings of air pollution [J]. *Progress in Human Geography*, 2003, 27(1): 45 – 67.

- [33] Chung I J. Social amplification of risk in the internet environment [J]. *Risk Analysis*, 2011, 31(12): 1883–1896.
- [34] Liu L X, He P, Zhang B, et al. Red and green: Public perception and air quality information in urban China [J]. *Environment*, 2012, 54(3): 44–49.
- [35] Slovic P. Trust, emotion, sex, politics, and science: Surveying the risk-assessment battlefield [J]. *Risk Analysis*, 1999, 19(4): 689–701.
- [36] Badland H M, Duncan M J. Perceptions of air pollution during the work-related commute by adults in Queensland, Australia [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, 43(36): 5791–5795.
- [37] Baldassare M, Katz C. The personal threat of environmental problems as predictor of environmental practices [J]. *Environment & Behavior*, 1992, 24(5): 602–616.
- [38] Fritsche I, Jonas E, Kayser D N, et al. Existential threat and compliance with pro-environmental norms [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2010, 30(1): 67–79.
- [39] O'Connor R E, Bord R J, Fisher A. Risk perceptions, general environmental beliefs, and willingness to address climate change [J]. *Risk Analysis*, 1999, 19(3): 461–471.
- [40] Séguin C, Pelletier L G, Hunsley J. Predicting environmental behaviors: The influence of self-determined motivation and information about perceived environmental health risks [J]. *Journal of Applied Social Psychology*, 1999, 29(8): 1582–1604.
- [41] Semenza J C, Wilson D J, Parra J, et al. Public perception and behavior change in relationship to hot weather and air pollution [J]. *Environmental Research*, 2008, 107(3): 401–411.
- [42] DeDominicis S, Fornara F, Cancellieri U G, et al. We are at risk, and so what? Place attachment, environmental risk perceptions and preventive coping behaviours [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2015, 43: 66–78.
- [43] Deguen S, Segala C, Pedrono G, et al. A new air quality perception scale for global assessment of air pollution health effects [J]. *Risk Analysis*, 2012, 32(12): 2043–2054.
- [44] Bresnahan B W, Dickie M, Gerking S. Averting behavior and urban air pollution [J]. *Land Economics*, 1997, 73(3): 340–357.
- [45] Noonan D S. Smoggy with a chance of altruism: The effects of ozone alerts on outdoor recreation and driving in Atlanta [J]. *Policy Studies Journal*, 2014, 42(1): 122–145.
- [46] 郑思齐, 张晓楠, 宋志达, 等. 空气污染对城市居民户外活动的影响机制: 利用点评网外出就餐数据的实证研究 [J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2016, 56(1): 89–96.  
Zheng Siqi, Zhang Xiaonan, Song Zhida, et al. Influence of air pollution on urban residents' outdoor activity: Empirical study based on dining-out data from the Dianping website [J]. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*, 2016, 56(1): 89–96. (in Chinese)
- [47] Zhang H, Wang S, Hao J, et al. Air pollution and control action in Beijing [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112: 1519–1527.
- [48] Ebenstein A, Fan M, Greenstone M, et al. Growth, pollution, and life expectancy: China from 1991–2012 [J]. *American Economic Review*, 2015, 105(5): 226–231.
- [49] Li D, Ren S, Chen X. China emissions: Alter energy markets [J]. *Nature*, 2015, 527(7576): 38.
- [50] Ferreira S, Moro M. On the use of subjective well-being data for environmental valuation [J]. *Environmental and Resource Economics*, 2010, 46(3): 49–273.
- [51] Levinson A. Valuing public goods using happiness data: The case of air quality [J]. *Journal of Public Economics*, 2012, 96(9): 869–880.
- [52] MacKerron G, Mourato S. Life satisfaction and air quality in London [J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(5): 1441–1453.
- [53] Luechinger S. Valuing air quality using the life satisfaction approach [J]. *The Economic Journal*, 2009, 119(536): 482–515.
- [54] Ferreira S, Akay A, Brereton F, et al. Life satisfaction and air quality in Europe [J]. *Ecological Economics*, 2013, 88: 1–10.
- [55] Smyth R, Mishra V, Qian X. The environment and well-being in urban China [J]. *Ecological Economics*, 2008, 68(1): 547–555.
- [56] Liao P S, Shaw D, Lin Y M. Environmental quality and life satisfaction: Subjective versus objective measures of air quality [J]. *Social Indicators Research*, 2015, 124(2): 599–616.
- [57] Burgess J, Harrison C, Filius P. Environmental communication and the cultural politics of environmental citizenship [J]. *Environment and Planning A*, 1998, 30(8): 1445–1460.
- [58] Levine D S, Strube M J. Environmental attitudes, knowledge, intentions and behaviors among college students [J]. *Journal of Social Psychology*, 2012, 152(3): 308–326.
- [59] Fielding K S, Head B W. Determinants of young Australians' environmental actions: The role of responsibility attributions, locus of control, knowledge and attitudes [J]. *Environmental Education Research*, 2012, 18(2): 171–186.

- [60]钱旭君,贺天锋,沈月平. 宁波市城区居民雾霾知识及防护现状调查[J]. 中国健康教育,2016,32(1):73-83.  
Qian Xujun, He Tianfeng, Shen Yueping. Investigation on knowledge of haze and health defense among residents in urban area, Ningbo[J]. Chinese Journal of Health Education, 2016, 32(1): 73-83. (in Chinese)
- [61]Rotter J B. Internal versus external control of reinforcement: A case history of a variable[J]. American Psychologist, 1990, 45(4): 489-493.
- [62]Bandura A. Self-efficacy mechanism in human agency[J]. American Psychologist, 1982, 37(2): 122-147.
- [63]Maddux J E, Rogers R W. Protection motivation and self-efficacy: A revised theory of fear appeals and attitude change[J]. Journal of Experimental Social Psychology, 1983, 19(5): 469-479.
- [64]Clayton S, Devine-Wright P, Stern P C, et al. Psychological research and global climate change[J]. Nature Climate Change, 2015, 5(7): 640-646.
- [65]陈晓红,徐戈,冯项楠,等. 公众对于“两型社会”建设的态度-意愿-行为分析[J]. 管理世界,2016,(12):90-102.  
Chen Xiaohong, Xu Ge, Feng Xiangnan, et al. Public attitude-will-behavior analysis on the development of resource-conserving and environment-friendly society[J]. Management World, 2016, (12): 90-102. (in Chinese)
- [66]Markle G L. Pro-environmental behavior: Does it matter how it's measured? Development and validation of the pro-environmental behavior scale PEBS[J]. Human Ecology, 2013, 41(6): 905-914.
- [67]Song X Y, Lee S Y. Basic and Advanced Bayesian Structural Equation Modeling: With Applications in the Medical and Behavioral Sciences[M]. London: Wiley, 2012.
- [68]Spiegelhalter D J, Thomas A, Best N G, et al. WinBUGS User Manual: Version 1.4[M]. Cambridge, UK: MRC Biostatistics Unit, 2003.
- [69]Meng X L. Posterior predictive p-values[J]. Annals of Statistics, 1994, 22(3): 1142-1160.
- [70]Spiegelhalter D J, Best N G, Carlin B P, et al. Bayesian measures of model complexity and fit[J]. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology), 2002, 64(4): 583-639.

## Empirical study on the perceived risk of smog and public coping behavior

XU Ge<sup>1,2</sup>, FENG Xiang-nan<sup>3\*</sup>, LI Yi-wei<sup>4</sup>, CHEN Xiao-hong<sup>1,5</sup>, JIA Jian-min<sup>3,4</sup>

1. Hunan University of Commerce, Mobile E-business 2011 Collaborative Innovation Center of Hunan Province, Changsha 410205, China;
2. School of International Education, Hunan University of Commerce, Changsha 410205, China;
3. School of Economics and Management, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;
4. Business School, The Chinese University of Hong Kong, Hong Kong, China;
5. School of Business, Central South University, Resource-conserving & Environment-friendly Society and Ecological Civilization 2011 Collaborative Innovation Center of Hunan Province, Changsha 410083, China

**Abstract:** A structural equation model has been developed to study the perceived risk of smog, related factors and coping behaviors, based on the data collected from a large-scale questionnaire survey during the recent serious smog time. Results show that individuals who are more sensitive to environmental information, who have a higher level of perceived risk and more knowledge about smog, and who perceive more controllability, will be more likely to have protective and coping behavior, and more willing to purchase health protection products. In particular, perceived risk plays as a strong mediation role between environmental information and coping behaviors as well as environment satisfaction. In other words, when smog pollution arouses public perceived risk, they will take more coping behaviors and will give a worse evaluation of the environment. In addition, the perceived controllability of smog plays a partial mediation role between the familiarity of smog knowledge and coping behaviors, and between the familiarity of smog knowledge and environment satisfaction.

**Key words:** smog; air pollution; perceived risk; coping behavior; environment satisfaction; structural equation modeling