DOI：10.19789/j.1004-9398.2023.04.010
文献引用：赵烽君，王珺莹，陈静涛，等.基于多元有序logistic回归模型研究空气质量与居民主观幸福感的关联性：以北京市为例[J].首都师范大学学报（自然科学版），2023，44（4）：59-67. ZHAO F J，WANG J Y，CHEN J T，et al. The association between air quality and residents’ subjective well-being based on an ordered logistic regression model：taking Beijing as an example[J]. Journal of Capital Normal University（Natural Science Edition），2023，44（4）：59-67.

基于多元有序logistic回归模型研究空气质量与居民主观幸福感的关联性：以北京市为例*

赵烽君[1**]，王珺莹[2]，陈静涛[1]，亓孝然[1]，胡望舒[1]，韩　洁[1]，林亚婷[1]，武　迪[1]
（1. 中国人民大学附属中学，北京　100080；2. 美国达特茅斯学院，新罕布什尔州 汉诺威　03755）

摘要：空气质量与个人主观幸福感之间的联系越来越引起人们的重视。本文通过对北京市居民进行个人问卷调查，采用多元有序logistic回归等方法分析空气污染与居民主观幸福感的关联性。研究发现，随着空气污染的加重，居民幸福感指数显著下降，而居民幸福感指数的差异先增加后减小。在空气质量指数（AQI）为>150~200范围内时，所有被访者的居民幸福感指数的差异最大，年龄和戴防霾口罩的积极性是影响这种差异的显著因素。年龄<20岁的居民幸福感指数最高，显著高于年龄≥30岁组（F=10.652，P<0.05）。戴口罩积极性最高组的居民幸福感指数显著低于其他组。年龄和戴口罩积极性可能都反映了居民对空气污染影响健康的担忧，这种担忧可能是其幸福感降低的重要原因。因此，为了减轻对居民幸福感的影响，未来的策略除了减少空气污染外，还应该针对居民的健康担忧提供相关的健康保护政策。

关键词：空气污染；主观幸福感；多元有序logistic回归
中图分类号：X24　　**文献标识码**：A

The association between air quality and residents’ subjective well-being based on an ordered logistic regression model：taking Beijing as an example*

ZHAO Fengjun[1**]，WANG Junying[2]，CHEN Jingtao[1]，QI Xiaoran[1]，HU Wangshu[1]，HAN Jie[1]，LIN Yating[1]，WU Di[1]
（1. The High School Affiliated to Renmin University of China，Beijing　100080；
2. Dartmouth College of the USA，Hanover New Hampshire　03755）

Abstract：The linkage between air pollution and individual subjective well-being（SWB）has attracted increasing attention. This study conducted an individual-specific questionnaire survey in Beijing and used ordered logistic regression to analyze the association between air pollution and individual subjective well-being. It was found that with the aggravation of air pollution，the happiness index of residents decreased significantly. The overall difference of residents’ happiness index increased and

收稿日期：2022-06-01
* 教育部青年专项课题项目（EHA190519）
** 通信作者：zhaofengjun@ruc.edu.cn

then decreased with the increase of air pollution. The largest difference of residents' happiness index was found in the range of AQI>150~200 for all respondents. Age and motivation to wear anti-haze masks were the significant factors affecting this difference. The mean value of resident happiness in the group of age <20 years old was significantly higher than the groups of age≥30 years old(F=10.652, P< 0.05). The happiness index of residents in the group with the highest motivation to wear masks was significantly lower than the other motivation groups. Both age and motivation to wear anti-haze masks may reflect residents' concern about the health effects of air pollution, which may be an important reason for their reduced subjective well-being. Therefore, in order to mitigate the effects of air pollution on residents' well-being, future strategies should provide relevant health protection policies in response to residents' health concerns in addition to reducing the emissions of air pollutants.

Keywords: air pollution; subjective well-being; ordered logistic regression

CLC: X24 **DC**: A

0 引 言

改革开放以来,中国经历了快速的工业化发展和经济增长,自2010年以来成为世界第二大经济体[1-3],同时环境问题也日益引起关注[4-6]。作为世界上最大的能源消费国之一[7],我国尤其受到空气污染的影响[8]。世界卫生组织2022年发布的空气质量数据库中,将2019年全球超过2 000个城市的$PM_{2.5}$质量浓度从高到低排序,中国有23个城市进入了世界前50名[9]。受益于2013和2018年先后颁布的《大气污染防治行动计划》和《打赢蓝天保卫战三年行动计划》,中国的空气质量得到了很大的改善[10-14]。然而,目前中国的空气污染问题仍然需要重视。在2020和2021年,全国有168个重点监测城市的50%以上$PM_{2.5}$质量浓度和约30%的PM_{10}质量浓度超过中国环境空气质量二级标准,其中京津冀及周边地区平均空气污染天数仍然约占全年35%[15-16]。北京市2021年的$PM_{2.5}$年平均质量浓度为33 μg/m^3,仍然高出世界卫生组织的最新标准(5 μg/m^3)的6倍以上[16-17]。因此,研究空气污染对人类影响仍然很重要。

空气污染威胁着人类的生命健康和经济发展[18-20]。根据世卫组织统计,全世界有91%的人口生活在空气污染水平超过世卫组织指导标准的地方[21],2016年全球空气污染造成约420万人因中风、心脏病、呼吸系统疾病而死亡[22]。健康负担也将极大地影响中国的经济,预计到2030和2060年,健康负担将分别耗费中国GDP的2.0%和2.6%[23-24]。以往对空气污染和人类健康的关系的大量研究主要集中在死亡、身体疾病等生理健康方面[25-30],而对于空气污染和心理健康关系的研究[31],尤其是对于居民主观幸福感的研究较少[32]。经济合作与发展组织将主观幸福感定义为"良好的心理状态,包括人们对其生活的各种评价,无论是积极的还是消极的,以及人们对其经历的情感反应"[33]。空气污染与个人主观幸福感之间的联系被认为是联合国可持续发展目标的一个重要组成部分[34]。因此,研究空气污染对心理健康的影响,特别是从主观幸福感的角度来分析空气污染对心理健康的影响很有必要[34]。

现有的关于空气污染和幸福感之间联系的研究,主要依赖于社会综合调查数据中的幸福感数据[34]。比如基于欧洲社会调查数据[35]、美国综合社会调查数据[36]、智利国家社会经济特征调查数据[37]、蒙古国社会幸福感调查数据[32]的研究等都证实空气污染可能降低了居民幸福感。中国的综合社会调查数据[38-39]、多年家庭追踪调查数据[34,40]等也是常用数据。Liu等[38]认为健康在空气污染和居民幸福感之间的关系中起着主要的中介作用;Zhang等[40]表明空气污染对长期生活满意度没有明显影响,但对即时幸福感和心理健康却有明显的负面影响;Zhang等[34]表明空气污染通过对被访者的身体健康水平、体育锻炼行为和肥胖风险变化的影响,对个人主观幸福感产生显著的负面影响。然而在进行社会综合调查时,居民主观幸福感可能受到多种因素影响,如会受到经济因素如收入[39-41]、失业[42]和通货膨胀[43]等,以及社会因素如同伴社会关系[44],和环境因素如噪音[45]、气候[46]和自然灾害[47]等的影响。Song等[39]使用2015年中国综合社会调查中的幸福感数据,与中国各省的雾霾污染数据进

行研究,得出结论是2015年中国居民主观幸福感与雾霾污染呈正相关。这与相对普遍的认为雾霾/空气污染会降低个人的主观幸福感[34-38,40]的结论相悖,主要是因为中国经济相对发达的省份雾霾情况较严重,但居民收入较高,因此主观幸福感高[39]。此外疾病因素会显著影响居民主观幸福感,而疾病的类型、严重程度和成因非常多样,空气污染可能只是某些疾病的部分成因。所以,直接以社会综合调查数据中的居民幸福感做研究,容易受到其他多种因素的干扰,难以直接确定空气污染这一因素对居民的主观幸福感的影响。因此,需要有针对性地进行空气污染对居民幸福感影响的个人问卷调查,以更好地分析空气污染对居民主观幸福感的影响。

本文使用公众相对比较熟悉的空气质量指数(air quality index,AQI)来反映空气污染情况,通过对北京市居民进行个人问卷调查,研究不同空气污染等级对居民主观幸福感的影响。本文针对健康状况相对良好的研究对象,调查包括个人特征变量,如年龄、性别、受教育程度和收入等,还引入是否根据空气质量指数来计划外出活动和戴防霾口罩积极性这2项行为变量,采用多元有序logistic回归的方法分析空气质量与居民主观幸福感影响的关联性。

1　研究区概况

北京是典型的特大城市,面积16 410 km^2。2020年常住人口约2 189万,60岁以上人口占比19.6%,每10万人口拥有的大专及以上受教育人口数约为4万人[48]。2020年北京人均地区生产总值达2.39万美元,机动车保有量为657万辆,能源消费总量达6 762万t标准煤[48]。由于高速的城市化、快速增长的机动车数量和能源消耗等因素,在快速发展的同时,空气污染尤其是$PM_{2.5}$污染,已成为北京最为重要的环境问题之一[49]。近年来北京市空气质量有所改善,但是在2020和2021年,空气质量不达标的天数仍然占全年的20%以上[50-51]。

2　研究方法

2.1　问卷设计与调查

调查时间为北京空气污染相对比较严重的2018年11月1日—20日[52],调查通过网络展开,共收回问卷426份,其中有效问卷424份,合格率为99.53%。本文问卷设计包括3个部分,第1部分是受访者的个人特征情况,包括受访者的年龄、性别、受教育程度和收入等;第2部分是受访者受空气污染影响的行为情况,包括受访者是否根据AQI来计划外出活动,以及戴防霾口罩积极性(即AQI指数在多少以上就会佩戴防霾口罩)等,这部分可以反映受访者对空气污染天气及AQI指数的敏感性;第3部分是受访者评估自己在不同空气污染程度下的幸福感。幸福感指数通过问题:当AQI为某范围内时,将自己的幸福感进行分级,在1~10的等级中选择,其中1表示幸福感最低,10表示幸福感最高,来获取数据。

2.2　数据及方法

本文对个人特征变量和受空气污染影响的行为情况变量都进行赋值(表1)。其中受教育程度变量里,初中毕业及以下组包含高中在读受访者,高中毕业组包含大学在读受访者,专科/大学本科毕业组包含研究生在读受访者。戴口罩积极性由高到低分为4组:积极性1组为AQI≤100时就会戴口罩;积极性2组为100<AQI≤200时会戴口罩;积极性3组为200<AQ1≤300时会戴口罩;积极性4组为AQI>300时才戴口罩,甚至任何时候都不戴口罩。AQI≤500的按每增加50分组,从小到大依次赋值,即AQI在0~50范围内,变量赋值为1;AQI>50~100范围内变量赋值为2;依此类推,AQI>500单独为一组,赋值为11。数据分析采用SPSS 26.0软件,作图采用SigmaPlot 14.0软件。采用F检验分析组间数据的差异是否显著;采用研究幸福感常用的多元有序logistic回归[53]进行多因素分析,所有数据采用双侧检验,P<0.05表示在0.05水平上,结果具有统计显著性。

3　结　果

3.1　样本描述性统计

受访者样本描述性统计如表1所示。样本女性和男性的比例分别为67.2%和32.8%;年龄覆盖范围是12~65岁,其中40~49岁之间的样本比例最高,占38.7%,其次是<20岁的样本,比例为33.0%;受教育程度从中学在读到研究生毕业都有分布,研究生毕业的样本比例最高,为35.4%,其次是专科或大学本科毕业样本,比例为29.5%;月均收入从无收入到>20 000元都有分布,比例最高的是无收入者(学生),约占29.5%,其次是月均收入在10 001~

表1 受访者社会属性变量的赋值、统计描述和多元有序logistic回归分析结果

自变量	类别/分组	赋值	比例/%	β值	P值
性别	女	1	67.2	0.304	0.127
	男	2	32.8	—	—
年龄/岁	<20	1	33.0	0.815	0.312
	20~29	2	4.7	1.618	0.002
	30~39	3	13.0	0.721	0.053
	40~49	4	38.7	0.806	0.010
	≥50	5	10.6	—	—
教育水平	初中毕业及以下	1	24.0	1.106	0.145
	高中毕业	2	11.1	0.568	0.402
	专科/大学本科毕业	3	29.5	−0.077	0.730
	研究生毕业	4	35.4	—	—
月均收入/元	无收入(学生)	0	29.5	−0.598	0.430
	≤3 000	1	8.0	−0.538	0.458
	3 001~6 000	2	5.0	−0.620	0.397
	6 001~10 000	3	15.3	−0.918	0.165
	10 001~20 000	4	20.5	−0.662	0.308
	>20 000	5	19.6	−0.332	0.611
	未填写收入者	6	2.1	—	—
是否根据AQI来计划外出活动	是	1	71.5	−0.064	0.753
	否	2	28.5	—	—
戴防霾口罩积极性(AQI在多少以上开始戴口罩)	≤100	1	21.2	−2.433	<0.001
	>100~200	2	52.6	−1.236	<0.001
	>200~300	3	14.4	−0.590	0.084
	>300	4	11.8	—	—

注:AQI为空气质量指数;β值描述自变量与因变量之间的关系强度和方向;P值为描述结果显著性;—为无数据。

20 000元,比例是20.5%。

调查中,71.5%的受访者会根据AQI指数预报来计划外出活动。21.2%的受访者戴防霾口罩的积极性非常高,在AQI≤100时即会戴防霾口罩。52.6%的受访者戴防霾口罩相对比较积极,在AQI指数在>100~200的数值时即会戴防霾口罩。约11.8%的受访者仅在AQI>300时戴防霾口罩,甚至任何时候都不戴防霾口罩。

3.2 居民幸福感指数变化的分析

居民幸福感指数与AQI变化关系见图1,整体上,随着AQI增加,居民幸福感指数均值呈下降趋势。当AQI在0~50时,居民幸福感指数的均值最高,为8.983;而AQI在>300~350时,居民幸福感指数均值已下降到2.670;当AQI>500时,居民幸福感指数均值只有1.892。通过非线性回归分析,居民幸福感指数均值下降趋势呈指数曲线(R^2=0.984 3,P<0.05)。F检验结果显示,在AQI≤350时,不同AQI范围组之间的差异均显著(F=554.449,P<0.05)。当AQI>350时,不同AQI范围组之间的差异不显著,居民幸福感指数整体偏低。

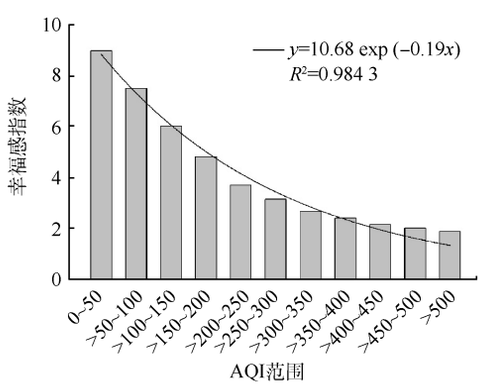


图1 幸福感指数随AQI范围变化的分布

随着AQI增加,居民幸福感指数的差异先增加后减小。AQI在0~50时,所有被访者的居民幸福感指数的标准差最小,为±1.645;AQI在>150~200时,所有被访者的居民幸福感指数的标准差达到最大,为±2.313;AQI在>450~500和AQI>500时,居民幸

福感指数的标准差接近,为±2.063。说明在空气质量较好时,居民普遍感觉幸福感较高,在空气质量非常差时,居民相对普遍地感觉幸福感较低,而在空气质量处于中间情况时,居民幸福感差异较大。

3.3 居民幸福感影响因素的多元有序logistic回归分析

因为AQI在>150~200时,所有被访者的居民幸福指数的标准差最大,因此选用AQI在>150~200的居民幸福指数作为因变量,以个人特征变量性别、年龄、受教育程度、月均收入,和受空气污染影响的行为情况变量,即受访者是否根据AQI来计划外出活动,以及受访者戴防霾口罩积极性等为自变量,进行多元有序logistic回归分析(表1)。样本数为全体有效问卷。

多元有序logistic回归模型的平行线检验中,χ^2=165.249,P>0.05,说明数据满足使用多元有序logistic回归模型的条件。模型拟合度方面,-2倍对数似然值为1 262.511,似然比卡方值为114.283,P<0.05,模型总体显著。Cox & Snell R^2为0.236,Nagelkerke R^2为0.239,说明模型整体拟合效果良好。

从多元有序logistic回归分析的结果来看,年龄和戴防霾口罩的积极性是空气污染天气下居民幸福感的显著影响因素(P<0.05)。空气污染天气下,以年龄≥50岁组为参照,年龄20~29岁组和40~49组居民幸福感显著高于参照组(β>0,P<0.05),但并非所有年龄组的多元有序logistic回归结果都显著。而戴防霾口罩的积极性情况显著影响空气污染天气下的居民幸福感。以积极性4组为参照,积极性1、2组的居民幸福感显著低于参照组(β<0,P<0.05)。年龄和戴口罩积极性这2个显著影响因素可能都反映了居民对空气污染影响健康的担忧,影响了居民主观幸福感。可能是因为年龄较大组和戴防霾口罩积极性最高的组的居民对空气污染影响健康的担忧相对比较严重,因此居民主观幸福感相对较低。性别、教育水平、月均收入和是否根据AQI来计划外出活动对于空气污染天气下居民幸福感指数的影响并不显著。

3.4 年龄、戴防霾口罩积极性对空气污染天气下居民幸福感的影响

根据多元有序logistic回归分析的结果来看,年龄和戴防霾口罩的积极性是空气污染天气下居民幸福感的显著影响因素,因此对年龄因素和戴防霾口罩积极性因素进行进一步分析。

随AQI指数的增加,所有年龄组的居民幸福感指数都呈下降趋势(图2),其中年龄<20岁的居民幸福感指数下降得最慢,在所有AQI等级范围内,年龄<20岁的居民幸福感指数都高于其他年龄组;随AQI的增加,年龄≥50岁的居民幸福感指数下降最快;到AQI>250时,年龄≥30岁的3个年龄组的居民幸福感指数差别不大,下降速度都减缓,都处在相对较低的水平。

在AQI指数>150~200范围内,F检验结果显示,年龄<20岁的居民幸福感均值最高,与之相比,年龄30~39岁、40~49岁和年龄≥50岁的居民幸福感显著降低(F=10.652,P<0.05,表2)。年龄≥50岁的居民幸福感均值最低。整体上随着年龄的增加,居民幸福感指数大致呈下降趋势,见表2。

随AQI的增加,所有不同戴防霾口罩积极性组的居民幸福感指数都呈下降趋势,其中积极性最高的组(积极性1组)下降得最快,并在AQI指数升高(>50)后,居民幸福感一直低于其他积极性组;随AQI指数的增加,积极性最低的组(积极性4组)的

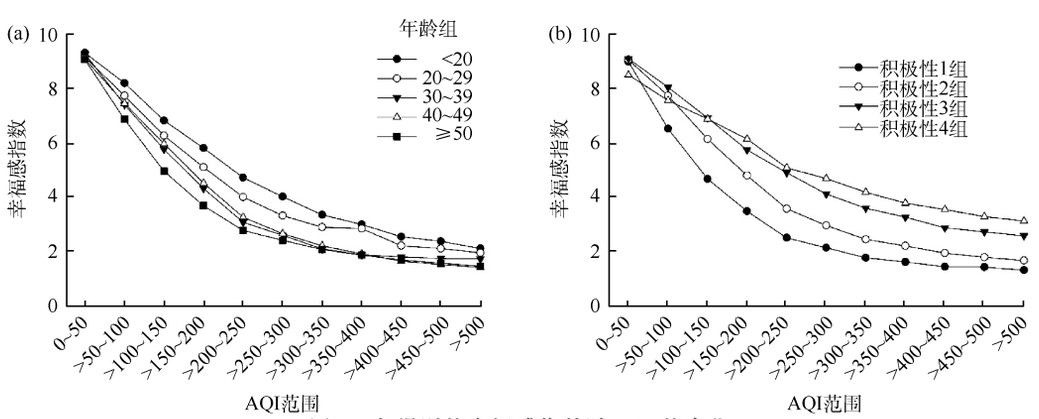


图2　各组别的幸福感指数随AQI的变化

(a)年龄;(b)戴防霾口罩积极性

表2 基于*F*检验的不同年龄组的居民幸福感指数差异

年龄组	比较年龄组	平均值差异	*P*值
<20	20~29	0.500	0.345
	30~39	1.445	<0.001
	40~49	1.188	<0.001
	≥50	2.078	<0.001
20~29	30~39	0.945	0.103
	40~49	0.688	0.190
	≥50	1.578	0.008
30~39	40~49	−0.258	0.456
	≥50	0.632	0.156
40~49	≥50	0.890	0.017

居民幸福感指数下降得最慢。

在AQI指数>150~200范围内,*F*检验结果显示,积极性1组的居民幸福感指数显著低于其他组(F=21.451,P<0.05,表3)。整体上随着戴防霾口罩积极性的降低,居民幸福感指数呈上升趋势,见表3。

表3 基于*F*检验的不同戴防霾口罩积极性组的居民幸福感指数差异

积极性组	比较积极性组	平均值差异	*P*值
1	2	−1.316	<0.001
	3	−2.260	<0.001
	4	−2.662	<0.001
2	3	−0.944	0.003
	4	−1.346	<0.001
3	4	−0.402	0.330

4 讨 论

相对于利用综合调查中的幸福感数据的研究[32,34-40]来说,本文更有针对性地评估空气污染在个人层面上对居民主观幸福感的影响,因此避免了一些其他因素的干扰,有利于更好地分析空气污染对居民主观幸福感影响的内在机制。比如在许多研究中发现影响比较显著的是收入等因素[36,39-40]。而本文中,收入因素影响并不显著,可见在有针对性的个人层面调查不同空气污染等级对幸福感影响时,不同收入的居民的主观感受差异并不大。性别、受教育程度等因素在这种情况下影响也不显著。

居民对空气污染影响健康的担忧,可能是其主观幸福感降低的重要原因。本文表明年龄会显著影响空气污染和居民主观幸福感的关系,但是与前人的研究有一些差异。Liu等[38]的研究发现空气污染情况下年龄与幸福感之间存在U型曲线关系,年轻人和老年人幸福感相对较高,中年人的幸福感最低。而本文结果显示,年轻人幸福感高,这与U型曲线是符合的,但是老年段幸福感偏低,这与U型曲线是不符合的。可能因为老年人更担心空气污染影响健康,导致老年人的主观幸福感受空气污染影响较大。这也是本文剥离掉其他因素,有针对性地调查空气污染与居民主观幸福感关系的意义。更明显的是,本文首次发现,居民戴防霾口罩积极性非常显著地影响了空气污染对居民主观幸福感的影响。戴防霾口罩积极性不同反映了居民对空气污染影响健康的担忧程度不同。戴防霾口罩积极性较高的居民,是对自身健康非常关注的人群,也是最担心空气污染影响自身健康的人群,所以随着空气污染的加重,戴防霾口罩积极性最高的人群的主观幸福感下降最快。因此从年龄和戴防霾口罩积极性这2个因素分析,都说明居民对空气污染影响健康的担忧可能是主观幸福感降低的重要原因。这与前人研究认为空气污染影响健康而降低居民幸福感[38],空气污染降低了体育锻炼、增加了肥胖的风险而导致居民主观幸福感降低[34],以及在户外工作或有幼儿的人对空气污染更敏感[40]等结论,有内在的一致性。也与前人研究认为空气污染对身体健康的负面影响会进一步增加受访者的焦虑和抑郁情绪,从而对个体主观幸福感造成明显的负面影响的结论相一致[31]。

本文认为居民对空气污染影响健康的担忧可能是其主观幸福感降低的重要原因,为系统分析空气污染对居民主观幸福感影响的内在机制提供一定的参考。但是目前研究空气污染如何影响个体主观幸福感的文献较少[34],而心理健康和主观幸福感本身受多种因素影响,并且因素之间也不相互独立,因此对于更充分的内在机制分析,尚需要未来通过更多的方法和引入更多因素,比如职业、家庭情况等,进行进一步地详细研究。

5 结论与建议

本文通过对北京市居民进行个人问卷调查,采用多元有序logistic回归等方法,分析空气污染与居民主观幸福感的关联性,研究结果可能为实施有效的健康保护政策提供参考,以减轻空气污染对居民幸福感的影响。随着AQI增加,居民幸福感指数显

著下降,并且幸福感指数的差异先增加后减小。在AQI指数>150~200时所有被访者的居民幸福感指数的差异最大,而年龄和戴防霾口罩的积极性是影响这种差异的显著因素。年龄<20岁的居民幸福感均值最高,除了与年龄20~29岁组差异不显著以外,显著高于年龄≥30岁的各年龄组。戴口罩积极性最高组的居民幸福感指数显著低于其他组。年龄和戴口罩积极性可能都反映了居民对空气污染影响健康的担忧,这种担忧可能是其主观幸福感降低的重要原因。

因此,为了减轻空气污染对居民幸福感的影响,除了直接减轻污染排放等相关措施以外,还应该采取措施降低居民对空气污染影响健康的担忧。比如助力家庭空气质量改善,增加有新风系统的室内运动场所,加强防霾口罩对身体保护效应研究及研究结果科普,提高老年人对空气污染的防护能力等相关措施。而在改善家庭空气和室内运动场所空气过程中,加入医疗级别的空气净化装置等措施,不仅可以减少空气污染引起的居民担忧,也可以减少新冠疫情或流感等引起的居民担忧,对提高居民的主观幸福感可能有较大帮助。

参 考 文 献

[1] World Bank. World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files[EB/OL].[2022-02-30]. https://data. worldbank. org/indicator/NY. GDP. MKTP.CD?locations%C2%BCCN.

[2] WEN F H, MIN F, ZHANG Y J, et al. Crude oil price shocks, monetary policy, and China's economy[J]. International Journal of Finance & Economics, 2019, 24(2):812-827.

[3] SONG X G, ZHOU Y X, JIA W. How do economic openness and R&D investment affect green economic growth? —Evidence from China [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2019(146):405-415.

[4] 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.

[5] FANG D L, CHEN B, HUBACEK K, et al. Clean air for some: unintended spillover effects of regional air pollution policies[J]. Science Advances, 2019, 5(4): eaav4707.

[6] TAN Q X, GE B Z, XU X B, et al. Increasing impacts of the relative contributions of regional transport on air pollution in Beijing: observational evidence [J]. Environmental Pollution, 2022(292):118407.

[7] SHI X P, SUN S Z. Energy price, regulatory price distortion and economic growth: a case study of China [J]. Energy Economics, 2017(63):261-271.

[8] XIE R, WEI D H, HAN F, et al. The effect of traffic density on smog pollution: evidence from Chinese cities [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2019(144):421-427.

[9] World Health Organization. Ambient (outdoor) air quality database, by country and city[EB/OL].[2022-03-20]. https://www. who. int/data/gho/data/themes/air-pollution/who-air-quality-database.

[10] ZHANG Q, ZHENG Y X, TONG D, et al. Drivers of improved $PM_{2.5}$ air quality in China from 2013 to 2017 [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2019, 116(49):24463-24469.

[11] GAO M, LIU Z R, ZHENG B, et al. China's emission control strategies have suppressed unfavorable influences of climate on wintertime $PM_{2.5}$ concentrations in Beijing since 2002[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2020, 20(3):1497-1505.

[12] TAO M H, WANG L L, CHEN L F, et al. Reversal of aerosol properties in eastern China with rapid decline of anthropogenic emissions[J]. Remote Sensing, 2020, 12(3):523.

[13] HAN X, CAI J Z, ZHANG M G, et al. Numerical simulation of interannual variation in transboundary contributions from Chinese emissions to $PM_{2.5}$ mass burden in South Korea[J]. Atmospheric Environment, 2021(256):118440.

[14] ZHU J, CHEN L, LIAO H. Multi-pollutant air pollution and associated health risks in China from 2014 to 2020 [J]. Atmospheric Environment, 2022(268):118829.

[15] 生态环境保护部.中国生态环境状况公报2020[EB/OL].[2022-03-30].https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/.

[16] 生态环境保护部.中国生态环境状况公报2021[EB/OL].[2022-03-30].https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/.

[17] World Health Organization. WHO global air quality guidelines. Particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide: executive summary [EB/OL]. [2022-03-30]. https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228.

[18] MI Z F, WEI Y M, WANG B, et al. Socioeconomic impact assessment of China's CO_2 emissions peak prior

to 2030[J]. Journal of Cleaner Production, 2017(142): 2227-2236.

[19] YAZDI S K, KHANALIZADEH B. Air pollution, economic growth and health care expenditure [J]. Ekonomska Istrazivanja-Economic Research, 2017, 30(1): 1181-1190.

[20] LIU J Y, WOODWARD R T, ZHANG Y J. Has carbon emissions trading reduced $PM_{2.5}$ in China? [J] Environmental Science & Technology(ES&T), 2021, 55(10): 6631-6643.

[21] Global Health Observatory. Air pollution data portal[EB/OL]. [2022-04-07]. https://www.who.int/data/gho/data/themes/air-pollution.

[22] World Health Organization. World health statistics 2022 report-monitoring health for the SDGs[EB/OL]. [2022-04-07]. https://www.who.int/data/gho/publications/world-health-statistics.

[23] Organisation for Economic Co-operation and Development. The economic consequences of outdoor air pollution[M]. Paris: OECD Publishing, 2016.

[24] XIE Y, DAI H C, ZHANG Y X, et al. Comparison of health and economic impacts of $PM_{2.5}$ and ozone pollution in China[J]. Environment International, 2019(130): 104881.

[25] EZZATI M. Indoor air pollution and health in developing countries[J]. The Lancet, 2005, 366(9480): 104-106.

[26] GALLAGHER P, LAZARUS W, SHAPOURI H, et al. Cardiovascular disease-risk benefits of clean fuel technology and policy: a statistical analysis[J]. Energy Policy, 2010, 38(2): 1210-1222.

[27] MORETTI E, NEIDELL M. Pollution, health, and avoidance behavior: evidence from the ports of Los Angeles[J]. Journal of Human Resources, 2011, 46(1): 154-175.

[28] BEATTY T K M, SHIMSHACK J P. Air pollution and children's respiratory health: a cohort analysis [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2014, 67(1): 39-57.

[29] HADLEY M B, VEDANTHAN R, FUSTER V. Air pollution and cardiovascular disease: a window of opportunity [J]. Nature Reviews Cardiology, 2018, 15(4): 193-194.

[30] PRABHAKARAN D, JEEMON P, SHARMA M, et al. The changing patterns of cardiovascular diseases and their risk factors in the states of India: the global burden of disease study 1990-2016 [J]. The Lancet Global Health, 2018, 6(12): e1339-e1351.

[31] CHEN S, OLIVA P, ZHANG P. Air pollution and mental health: evidence from China [J]. National Bureau of Economic Research, 2018: 24686.

[32] SANDUIJAV C, FERREIRA S, FILIPSKI M, et al. Air pollution and happiness: evidence from the coldest capital in the world[J]. Ecological Economics, 2021, 187: 107085.

[33] Organisation for Economic Co-operation and Development. OECD guidelines on measuring subjective well-being [M]. Paris: OECD Publishing, 2013.

[34] ZHANG G L, REN Y Y, YU Y N, et al. The impact of air pollution on individual subjective well-being: evidence from China[J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 336: 130413.

[35] ORRU K, ORRU H, MAASIKMETS M, et al. Well-being and environmental quality: does pollution affect life satisfaction?[J] Quality of Life Research, 2016, 25(3): 699-705.

[36] LEVINSON A. Valuing public goods using happiness data: the case of air quality [J]. Journal of Public Economics, 2012, 96(9/10): 869-880.

[37] AHUMADA G, ITURRA V. If the air was cleaner, would we be happier? An economic assessment of the effects of air pollution on individual subjective well-being in Chile[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 289: 125152.

[38] LIU Y, ZHU K, LI R. Air pollution impairs subjective happiness by damaging their health [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(19): 10319.

[39] SONG Y, ZHOU A, ZHANG M, et al. Assessing the effects of haze pollution on subjective well-being based on Chinese General Social Survey [J]. Journal of Cleaner Production, 2019(235): 574-582.

[40] ZHANG X, ZHANG X, CHEN X. Happiness in the air: how does a dirty sky affect mental health and subjective well-being? [J] Journal of Environmental Economics and Management, 2017(85): 81-94.

[41] EASTERLIN R A. Does economic growth improve the human lot? some empirical evidence [M]//DAVID P, REDER M. Nations and households in economic growth: essays in honor of moses abramovitz. New York: Academic Press, 1974: 89-125.

[42] CLARK A, OSWALD A. Unhappiness and unemployment[J]. Economic Journal, 1994, 104(424): 648-659.

[43] DI TELLA R, MACCULLOCH R J, OSWALD A J.

Preferences over inflation and unemployment: evidence from surveys of happiness [J]. American Economic Review, 2001, 91(1): 335-341.

[44] BURTON P, PHIPPS S. Economic resources, relative socioeconomic position and social relationships: correlates of the happiness of young Canadian teens[J]. Child Indicators Research, 2008, 1(4): 350-371.

[45] VAN PRAAG B, BAARSMA B. Using happiness surveys to value intangibles: the case of airport noise[J]. Economic Journal, 2005, 115(500): 224-246.

[46] REHDANZ K, MADDISON D. Climate and happiness [J]. Ecological Economics, 2005, 52(1): 111-125.

[47] LUECHINGER S. Valuing air quality using the life satisfaction approach[J]. Economic Journal, 2009, 119 (536): 482-515.

[48] 北京市统计局，国家统计局北京调查总队.北京统计年鉴2021[M].北京：中国统计出版社，2021：34-177.

[49] PANG N N, GAO J, ZHU G H, et al. Impact of clean air action on the $PM_{2.5}$ pollution in Beijing, China: insights gained from two heating seasons measurements [J]. Chemosphere, 2021, 263: 127991.

[50] 北京市生态环境局.2020北京市生态环境状况公报[EB/OL].[2022-04-17].http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/sthjlyzwg/1718880/1718881/1718882/10985106/index.html.

[51] 北京市生态环境局.2021北京市生态环境状况公报[EB/OL].[2022-04-11].http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/sthjlyzwg/1718880/1718881/1718882/325831146/index.html.

[52] 中国生态环境部.中国生态环境状况公报2018[EB/OL].[2022-05-05].https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/.

[53] 邱红，张凌云.中国青年人教育程度异质性及其对主观幸福感的影响[J].人口学刊，2021(6)：85-93.

（责任编辑：李拓宇）