· 环境与职业卫生 ·

中国 1990—2021 年环境因素对慢性呼吸系统疾病负担的长期影响及趋势研究

王磊[1],时雨[1],郑彦玲[2],张利萍[2]

1. 新疆医科大学公共卫生学院,新疆 乌鲁木齐 830017;2. 新疆医科大学医学工程技术学院

摘要:目的 系统评估 1990—2021 年环境因素对中国居民慢性呼吸系统疾病(Chronic respiratory diseases, CRD)疾病负担的影响,为制定针对性的预防策略和临床干预措施提供科学依据。**方法** 基于 2021 年全球疾病负担研究(Global Burden of Disease Study 2021, GBD 2021)数据,本研究采用描述性流行病学方法分析慢性呼吸系统疾病(CRD)疾病负担指标。进一步运用 Joinpoint 回归模型分析疾病负担的时间趋势变化,并构建年龄—时期—队列(Age - Period - Cohort, APC)模型,系统评估环境危险因素对 CRD 疾病负担的影响。**结果** CRD 标化死亡率和标化 DALY 率在此期间均呈下降趋势($P<0.05$)。截止 2021 年,室外颗粒物已成为引起中国慢性呼吸系统疾病负担的首要因素。环境因素对中国 CRD 疾病负担的影响随年龄增长而加剧。队列分析显示,1912—1951 年出生的人群受环境因素影响较大,尤其是室内空气污染和环境颗粒物。**结论** 环境因素对中国居民 CRD 疾病负担的长期影响仍不容忽视,需要进一步加强环境监测,制定并执行更为严格的环境标准,尤其是在控制室外空气污染方面。

关键词:慢性呼吸系统疾病(CRD);疾病负担;环境危险因素;趋势分析

中图分类号:R56 **文献标志码:**A **文章编号:**1003 - 8507(2025)20 - 3686 - 08

DOI:10.20043/j.cnki.MPM.202410254

Study on the long - term impacts and trends of environmental factors on the burden of chronic respiratory diseases, China, 1990 - 2021

WANG Lei*, SHI Yu, ZHENG Yan - ling, ZHANG Li - ping

School of Public Health, Xinjiang Medical University, Urumqi, Xinjiang 830017, China

Abstract: Objective To assess the impact of environmental factors on the chronic respiratory disease (CRD) burden among the Chinese population during 1990—2021, providing scientific evidence for formulating targeted prevention strategies and clinical interventions. **Methods** Based on the data of the Global Burden of Disease Study 2021 (GBD 2021), this study adopted descriptive epidemiological methods to analyze the disease burden indicators of chronic respiratory diseases (CRD). Further, the Joinpoint regression model was used to analyze the temporal trend changes of disease burden, and the Age - Period - Cohort (APC) model was constructed to systematically evaluate the impact of environmental risk factors on the disease burden of CRD. **Results** Both the CRD - standardised mortality rate and the standardised DALY rate showed a decreasing trend over the period ($P<0.05$). As of 2021, outdoor particulate matter has become the primary contributor to the burden of chronic respiratory disease in China. The impact of environmental factors on the disease burden of CRD in China increased with age, with those aged 80 years or older being the most severely affected. Cohort analyses showed that people born in 1912—1951 were more affected by environmental factors, especially indoor air pollution and ambient particulate matter. **Conclusion** The long - term impact of environmental factors on the disease burden of CRD among Chinese residents still cannot be ignored. It is necessary to further strengthen environmental monitoring, formulate and implement stricter environmental standards, especially in controlling outdoor air pollution.

Keywords: Chronic respiratory disease (CRD); Disease burden; Environmental risk factors; Trend analysis

1 前言

慢性呼吸系统疾病(Chronic respiratory diseases, CRD),如慢性阻塞性肺疾病(Chronic Obstructive Pulmonary Disease, COPD)和哮喘等,一直是全球死亡率较高的疾病。世界卫生组织发布的数据显示,截

基金项目:国家自然科学基金资助项目(72163033,72174175),新疆维吾尔自治"十四五"高等学校特色学科 - 公共卫生与预防医学

作者简介:王磊(2001—),男,硕士在读,研究方向:流行病与卫生统计学

通信作者:张利萍,E - mail: zhanglp1219@163.com

止 2017 年,我国慢阻肺死亡率居各国之首,成为居民第三位主要死因[1]。随着我国人口老龄化进程的持续深化,慢性呼吸系统疾病(CRD)的患病率呈显著上升趋势。流行病学数据显示,近年来 CRD 患病人数持续攀升,疾病负担日益加重[2],已成为影响国民健康的重要公共卫生挑战[3]。流行病学研究表明,多种环境暴露因素与慢性呼吸系统疾病(CRD)的发生发展密切相关。尽管中国政府已采取措施改善环境质量,但这些风险依然存在[3-6]。基于世界卫生组织(World Health Organization, WHO)最新流行病学监测数据,CRD 在中国的发病率逐年上升,与空气污染、吸烟及职业暴露等环境因素均密切相关。

已有研究多聚焦于特定区域或短时间跨度的 CRD 疾病负担分析[2,7-8],且环境因素多局限于 $PM_{2.5}$或非适宜温度[9],缺乏对多种环境因素(如极端温度、室内空气污染、臭氧)的系统比较[10]。此外,现有研究多采用单一统计模型,未能区分年龄、时期和队列效应对疾病负担的独立影响[2,7]。本研究基于全球疾病负担(Global Burden of Disease Study 2021, GBD 2021)1990—2021 年纵向数据,整合 Joinpoint 回归分析与年龄—时期—队列(Age - Period - Cohort, APC)模型,深入探讨了该时间段内环境因素对中国慢性呼吸系统疾病负担的影响,识别仍存在的风险,结果可为环境保护与疾病防控部门提供参考。

2　材料与方法

2.1　*数据来源*　数据来源于全球疾病负担(GBD 2021) 1990—2021 年纵向数据(https://ghdx.healthdata.org)。GBD 数据库通过整合中国疾病监测系统、国家死因登记报告系统及环境监测网络数据,采用标准化质量控制流程(如数据填补、异常值校正)确保准确性[8-11]。本研究从中下载整理了 1990—2021 年中国居民慢性呼吸系统疾病相关数据。

2.2　*环境因素定义*　研究定义的环境因素包括:室外颗粒物污染(以环境 $PM_{2.5}$含量水平衡量);室外臭氧污染(环境 O_3);室内空气污染(以家庭固体燃料使用为代理指标);非适宜温度(高温:日平均温度高于该地点最适温度(即最低发病率温度)的 97.5 百分位数;低温:日平均温度低于该地点最适温度的 2.5 百分位数)[12]。

2.3　*统计学分析*　本研究利用 R 4.3.3 及 GraphPad Prism 9.5 工具绘制疾病负担变化趋势图,可视化及分析 1990—2021 年 CRD 的死亡水平变化,并解析 1990—2021 年 CRD 归因于不同环境因素的负担情况。本研究采用全球疾病负担(GBD)研究推荐的标准化指标评估体系,主要量化指标包括死亡数、标化死亡率和伤残调整寿命年(Disability Adjusted Life Years, DALY)率,分析归因于室内空气污染、室外颗粒物污染、非适宜温度(低温)、室外臭氧污染、非适宜温度(高温)的慢性呼吸系统疾病负担状况。

2.3.1　Joinpoint 回归分析　本研究采用 Joinpoint 5.2.0 软件分析趋势转折点,通过置换检验(Permutation test)确定最优分段数,显著性水平设为 $\alpha = 0.05$,依据贝叶斯信息准则(BIC)评估模型拟合优度[13]。计算年度百分比变化(Annual Percent Change, APC)、平均年度变化百分比(Average Annual Percent Change, AAPC)及其 95% 置信区间(95% *CI*)。

2.3.2　年龄—时期—队列模型(APC)分析　本研究基于 R 的网络分析工具(https://analysistools.cancer.gov/apc/)构建年龄—时期—队列模型,采用内在估计器((Intrinsic Estimator, IE)方法[14]解决线性依赖问题。年龄分组选择 5 年为一时间段(25 ~ 29,30 ~ 34,...,80 + 岁),遵循 GBD 研究标准,确保组内样本量均衡并减少随机波动[12]。由于 GBD 2021 数据特性,25 岁以下人群归因于环境因素的 CRD 死亡及 DALY 负担均为 0,且该群体 CRD 发病多与先天性疾病相关,与环境暴露关联较弱[15]。因此,本研究未纳入 25 岁以下数据,并将 80 岁及以上人群合并为最高年龄组。

2.3.3　疾病负担指标计算　本研究核心指标定义如下:标化死亡率(ASMR):以 WHO 标准人口为参考,按年龄结构调整后每 10 万人口的死亡数,计算公式为:

$$ASMR = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i d_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \times 10^5,$$

其中,w_i 为标准人口年龄组权重,d_i 为实际年龄组死亡率。

伤残调整寿命年(DALY):包括早逝损失寿命年(YLL)和伤残损失寿命年(YLD),计算公式为:

$$DALY = YLL + YLD,$$

标化 DALY 率(ASDR):经年龄调整后的每 10 万人口 DALY 值,计算方法同 ASMR。

3　结　果

3.1　*1990—2021 年不同性别及不同年龄段归因于环境因素的慢性呼吸系统疾病负担状况*　1990—2021 年环境因素所致 CRD 负担呈下降趋势(表 1,图 1)。1990 至 2021 年间,男性群体疾病负担的增长幅度显著高于女性群体及总体人群水平。不同年龄段的变

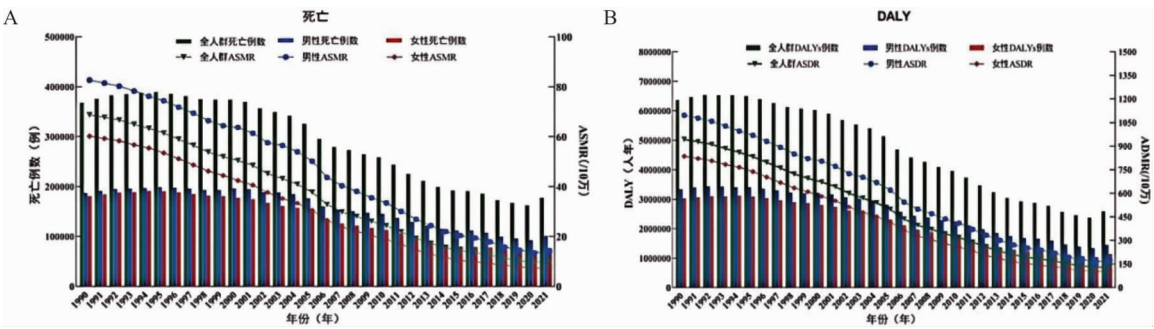
化趋势,各年龄段的死亡人数、DALY 和标准化值在年份间总体上呈下降趋势;80 岁以上人群负担最高(图 2)。1990—1994 年,70 ~ 74 岁年龄段人群 DALY 最高,70 岁以下人群的疾病负担相对平稳。值得注意的是,2020 年和 2021 年的疾病负担有所上升。

表 1 1990 年、2021 年中国归因于环境因素的 CRD 疾病负担

Table 1 The burden of CRD disease attributable to environmental factors in China in 1990 and 2021

分类	死亡例数(例 95% *UI*)	ASMR(/10 万 95% *UI*)	DALY(人年 95% *UI*)	ASDR(/10 万 95% *UI*)
全人群				
1990 年	367 772(279 212 ~ 450 337)	68.75(52.20 ~ 84.22)	6 359 520(4 885 275 ~ 7 797 651)	943.53(723.83 ~ 1 149.08)
2021 年	177 446(102 150 ~ 303 817)	10.07(5.78 ~ 17.13)	2 584 536(1 512 516 ~ 4 431 580)	134.09(78.22 ~ 229.46)
男性				
1990 年	186 998(139 033 ~ 238 222)	82.66(62.75 ~ 103.05)	3 334 785(2 467 606 ~ 4 273 106)	1 096.22(825.85 ~ 1 377.76)
2021 年	100 537(56 502 ~ 173 537)	14.03(7.93 ~ 23.93)	1 449 409(812 022 ~ 2 508 028)	172.30(97.56 ~ 296.24)
女性				
1990 年	180 773(122 605 ~ 229 000)	60.19(41.91 ~ 76.12)	3 024 735(2 090 229 ~ 3 836 152)	835.64(582.94 ~ 1 051.95)
2021 年	76 909(39 876 ~ 134 387)	14.03(7.93 ~ 23.93)	1 135 127(623 770 ~ 1 975 769)	107.25(58.47 ~ 187.23)

注:ASMR 为年龄标化死亡率、DALY 为伤残调整寿命年、ASDR 为年龄标化伤残调整寿命年率。



注:A 不同性别的死亡例数和 ASMR 变化趋势;B 不同性别的 DALY 和 ASDR 变化趋势。

图 1 不同性别的疾病负担变化趋势

Fig. 1 Trends in disease burden by gender

3.2 1990—2021 年中国归因于不同环境因素的慢性呼吸系统疾病负担状况 在过去三十年中,室外颗粒物污染对慢性呼吸系统疾病(CRD)的影响明显下降;室外臭氧污染对 CRD 的影响也呈现出波动趋势,标准化死亡率和 DALY 先上升后下降再上升;非适宜温度条件对 CRD 的影响分为夏季高温和冬季低温,其中低温的影响最为显著;而室内空气污染对 CRD 的影响显著下降(图 3)。

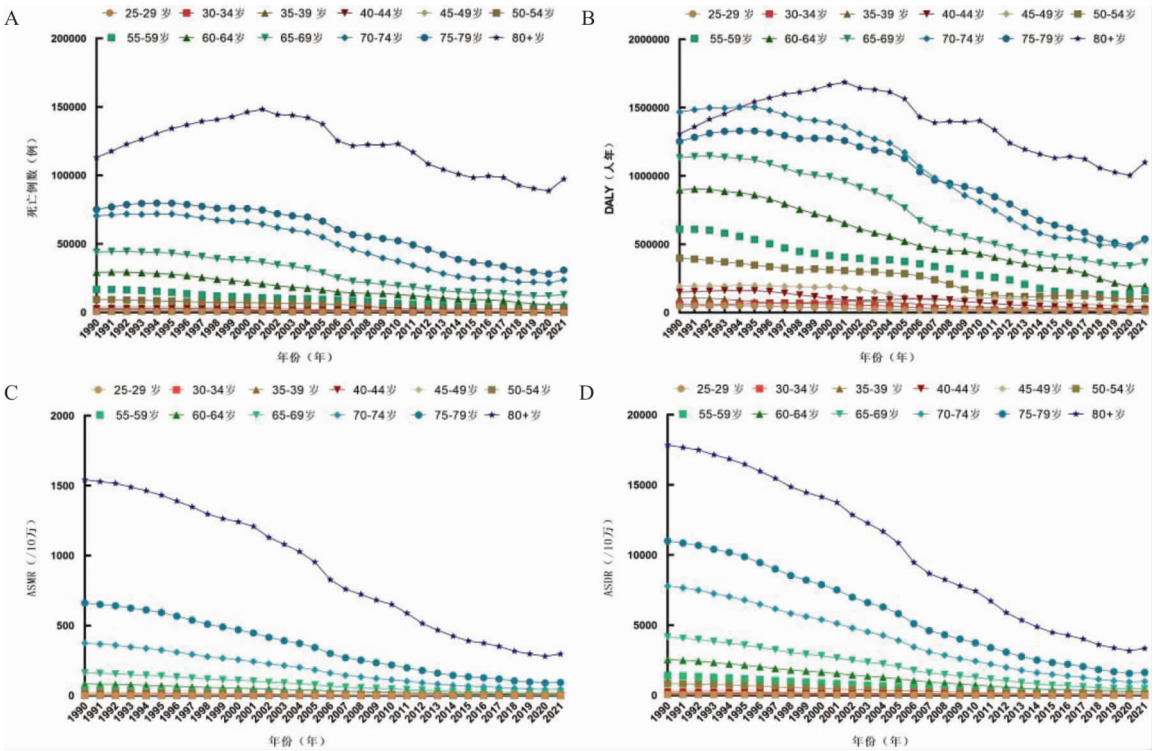
3.3 基于 Joinpoint 模型的不同性别 CRD 发病趋势分析 连接点回归分析结果显示,环境因素导致的 CRD 的 ASMR 和 ASDR 总体呈下降趋势,男性下降速度最慢。1990—1993 年,全人群、男性和女性的 APC 最大,全人群的 ASMR 和 ASDR 分别为 - 1.98(- 2.58 ~ - 1.37)和 - 2.23(- 2.87 ~ - 1.58)。2014—2021 年相较于 2010—2013 年,下降趋势缓慢了 3.86%(表 2)。

在不同环境风险因素的 AAPC 值中,非适宜温度(高温)的 AAPC 值最大,室外臭氧污染的 AAPC 值仅次于非适宜温度(高温);其中,室内固体燃料导致的空气污染下降速度最快(表 3)。

3.4 年龄—时期—队列效应模型分析 年龄—时期—队列(APC)模型结果显示,CRD 的死亡率和伤残调整生命年(DALY)率的年龄效应值普遍随着年龄增加而上升(图 4)。归因于环境颗粒物的年龄效应值高于其他环境因素,并且增加幅度更大;其中,80 岁及以上组的年龄效应值显著高于其他组,由于非适宜温度(高温)造成的疾病负担的年龄效应值最低,且变化趋势最为平稳;室内空气污染导致的死亡率随着年龄增长呈上升趋势,但其 DALY 率未显示出明显的年龄差异。

1992—2021 年中国因环境因素造成的 CRD 疾病负担的时期效应呈下降趋势。1992—2006 年期间,室内空气污染导致的 CRD 疾病负担在所有环境因素中最高,2007—2021 年期间显著改善,疾病负担降至最低;与此相反,非适宜温度(高温)从 2006 年前的最低水平上升至现今的最高水平,但 2012—2021 年的下降趋势并不显著。

观察队列效应分析结果可以发现,1912—1996 年



注：A 不同年龄段的死亡例数变化趋势；B 不同年龄段的 DALY 变化趋势；C 不同年龄段的死亡率变化趋势；D 不同年龄段的 DALY 率变化趋势）。

图 2　年龄分层的疾病负担变化趋势

Fig. 2　Trends in disease burden by age group

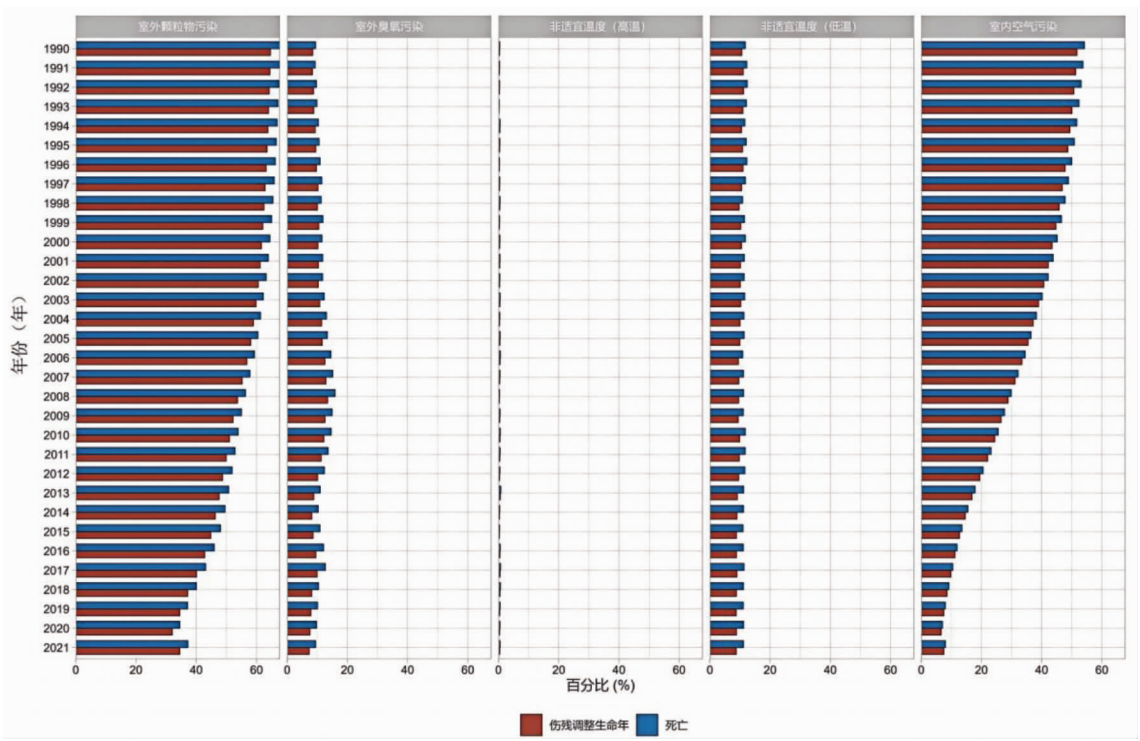


图 3　不同风险因素归因百分比

Fig. 3　Percentage attribution of different risk factors

表 2 1990—2021 年中国分性别归因于环境因素 CRD 的 ASMR、ASDR 变化情况

Table 2 Changes in ASMR and ASDR attributable to environmental factors by gender in China from 1990 to 2021

变量	全人群		男性	
	年份	APC[a](95% *CI*)	年份	APC[a](95% *CI*)
ASMR 全因素				
AAPC	1990—2021	−6.260(−6.922 ~ −5.593)[a]	1990—2021	−5.947(−6.162 ~ −5.742)[a]
Trend 1	1990—1993	−1.982(−2.587 ~ −1.374)[a]	1990—1994	−2.130(−2.640 ~ 1.617)[a]
Trend 2	1994—2000	−3.928(−4.308 ~ −3.546)[a]	1995—2003	−3.524(−3.866 ~ −3.180)[a]
Trend 3	2001—2003	−5.158(−7.910 ~ −2.325)[a]	2004—2021	−8.284(−8.596 ~ −7.791)[a]
Trend 4	2004—2006	−10.069(−13.286 ~ −6.734)[a]		
Trend 5	2007—2009	−6.563(−10.720 ~ −2.213)[a]		
Trend 6	2010—2013	−10.816(−13.288 ~ −8.274)[a]		
Trend 7	2014—2021	−6.953(−8.083 ~ −5.809)[a]		
ASDR 全因素				
AAPC	1990—2021	−6.180(−6.979 ~ −5.374)[a]	1990—2021	−6.181(−6.362 ~ 5.999)[a]
Trend 1	1990—1993	−2.227(−2.874 ~ −1.575)[a]	1990—1993	−2.216(−2.813 ~ 1.615)[a]
Trend 2	1994—2000	−4.236(−4.655 ~ −3.815)[a]	1994—2003	−3.951(−4.199 ~ −3.703)[a]
Trend 3	2001—2003	−5.728(−8.786 ~ −2.567)[a]	2004—2021	−8.365(−8.646 ~ −8.084)[a]
Trend 4	2004—2018	−8.745(−9.017 ~ −8.472)[a]		
Trend 5	2019—2021	−1.726(−13.681 ~ 11.885)		
Trend 6				
Trend 7				

变量	女性	
	年份	APC[a](95% *CI*)
ASMR 全因素		
AAPC	1990—2021	−6.551(−7.311 ~ −5.784)[a]
Trend 1	1990—1994	−2.225(−2.880 ~ −1.566)[a]
Trend 2	1995—2003	−5.051(−5.372 ~ −4.730)[a]
Trend 3	2004—2006	−11.247(−14.530 ~ −7.838)[a]
Trend 4	2007—2009	−7.391(−11.457 ~ −3.139)[a]
Trend 5	2010—2013	−11.788(−14.160 ~ −9.350)[a]
Trend 6	2014—2018	−7.615(−9.592 ~ −5.593)[a]
Trend 7	2019—2021	−1.748(−8.873 ~ 5.934)
ASDR 全因素		
AAPC	1990—2021	−6.485(−7.206 ~ −5.758)[a]
Trend 1	1990—1993	−2.080(−2.966 ~ −1.187)[a]
Trend 2	1994—2000	−4.642(−5.104 ~ −4.177)[a]
Trend 3	2001—2003	−6.745(−9666 ~ −3.730)[a]
Trend 4	2004—2010	−9.132(−9.766 ~ −8.494)[a]
Trend 5	2011—2013	−10.618(−15.294 ~ −5.683)[a]
Trend 6	2014—2018	−7.817(−9.679 ~ −5.916)[a]
Trend 7	2019—2021	−1.884(−8.718 ~ 5.461)

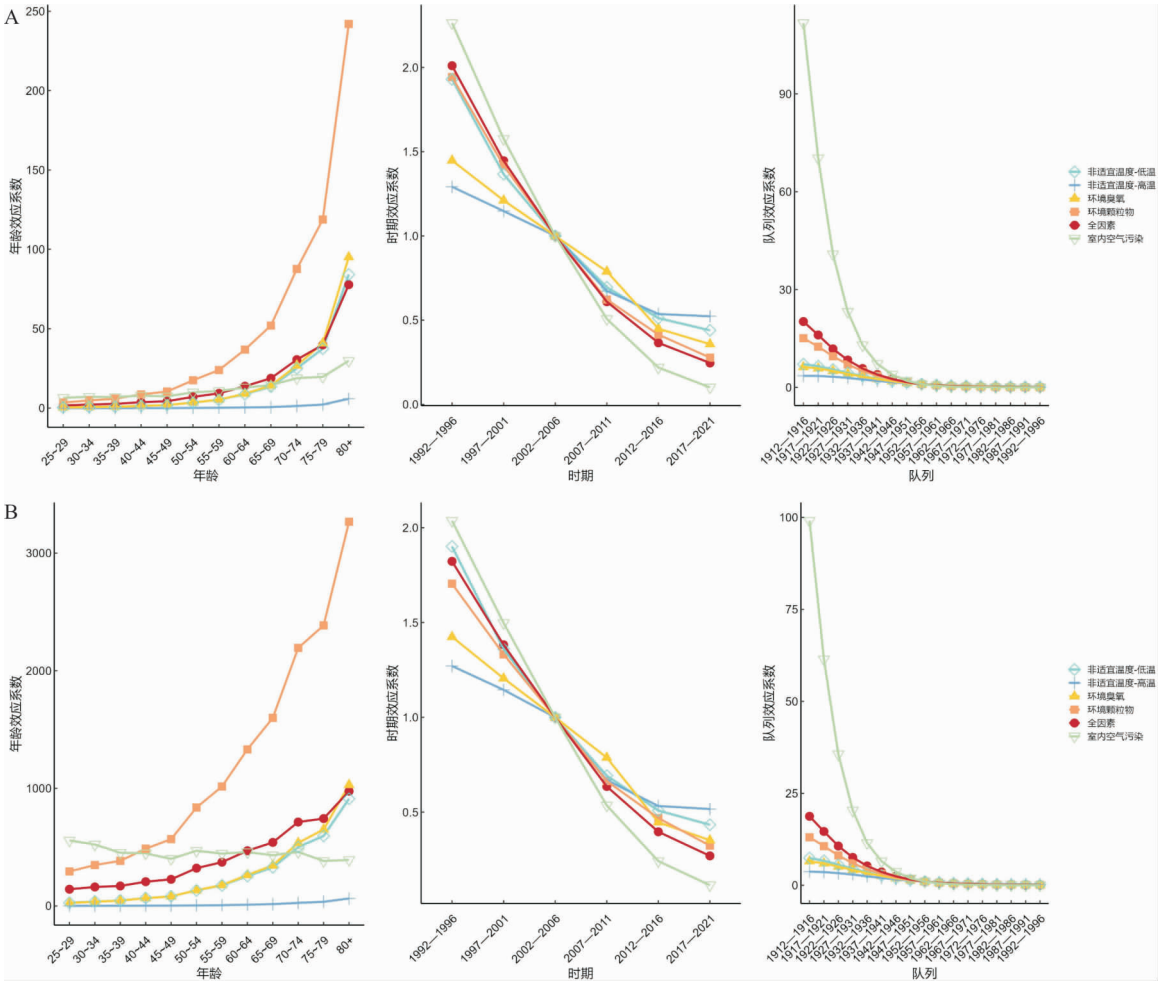
注：a：$P<0.05$。

表 3 1990—2021 年中国不同环境因素下 CRD 的 ASMR、ASDR 变化情况

Table 3 Changes in ASMR and ASDR of CRD under different environmental factors in China from 1990 to 2021

变量	全人群 AAPC[a](95% *CI*)	男性 AAPC[a](95% *CI*)	女性 AAPC[a](95% *CI*)
ASMR			
室外颗粒物污染	−5.587(−6.073 ~ −5.098)[a]	−5.141(−5.762 ~ −4.515)[a]	−6.032(−6.444 ~ −5.618)[a]
室外臭氧污染	−3.734(−4.317 ~ −3.147)[a]	−3.338(−4.190 ~ −2.479)[a]	−4.241(−4.853 ~ −3.625)[a]
非适宜温度(高温)	−2.929(−3.729 ~ −2.122)[a]	−2.142(−2.966 ~ −1.312)[a]	−3.810(−4.607 ~ −3.007)[a]
非适宜温度(低温)	−4.032(−5.220 ~ −2.828)[a]	−3.666(−4.567 ~ −2.575)[a]	−4.363(−5.457 ~ −3.256)[a]
室内空气污染	−9.510(−10.125 ~ −8.890)[a]	−9.402(−10.020 ~ −8.779)[a]	−9.635(−10.888 ~ −8.364)[a]
ASDR			
室外颗粒物污染	−5.547(−5.948 ~ −5.144)[a]	−5.296(−5.801 ~ −4.788)[a]	−5.799(−6.050 ~ −5.548)[a]
室外臭氧污染	−4.091(−4.664 ~ −3.515)[a]	−3.780(−4.519 ~ −3.035)[a]	−4.596(−5.201 ~ −3.987)[a]
非适宜温度(高温)	−3.225(−4.018 ~ −2.426)[a]	−2.502(−3.308 ~ −1.690)[a]	−4.120(−4.918 ~ −3.316)[a]
非适宜温度(低温)	−4.368(−5.540 ~ −3.183)[a]	−4.047(−4.931 ~ −3.153)[a]	−4.680(−5.740 ~ −3.608)[a]
室内空气污染	−9.464(−10.300 ~ −8.620)[a]	−9.519(−10.437 ~ −8.591)[a]	−9.391(−10.121 ~ −8.655)[a]

注：a：$P<0.05$。



注：A 死亡率（ASMR）的年龄—时期—队列效应分解；B 伤残调整寿命年率（ASDR）的年龄—时期—队列效应分解。

图 4　1990—2021 年中国不同环境因素下 CRD 的年龄—时期—队列模型分析

Fig. 4　Age – period – cohort model analysis of CRD in China under different environmental factors from 1990 to 2021

因环境因素造成的 CRD 疾病负担呈长期下降趋势。1912—1951 年出生的队列受环境因素影响较大，尤其是室内空气污染和环境颗粒物；其中，1912—1916 年出生的队列效应系数最高。

4　讨　论

本研究基于 GBD 2021 数据，系统、全面地阐述了慢性呼吸系统疾病与不同环境因素相关的疾病负担，以及 1990—2021 年中国的 CRD 疾病负担变化趋势及年龄—时期—队列效应，评估 1990—2021 年中国家庭空气污染和空气污染物所致 CRD 死亡率和 DALY 的变化趋势，并采用综合方法比较各危险因素之间差异。

研究显示，1990—2021 年中国居民 CRD 的标化死亡率和标化 DALY 率持续下降，与既往研究结论一致[16-18]。经济水平提升带动生活条件改善与医疗技术进步，为患者提供更有效治疗，显著提高生存率，是推动这一趋势的主要原因[2]。同时，环境危险因素引发的 CRD 死亡率和 DALY 亦显著降低，得益于全国性空气污染治理行动。过去三十年，室外颗粒物污染对 CRD 的影响明显减弱，印证空气质量改善政策成效显著[19]。政府通过强化排放标准、推广清洁能源、完善环境监测体系，以及倡导健康生活方式、建设“无烟”环境等措施，降低颗粒物浓度，为减轻 CRD 疾病负担筑牢根基[20-21]。

室外颗粒物、臭氧、室内空气污染和非适宜温度（低温、高温）是慢性呼吸系统疾病的主要环境危险因素[22-24]。2021 年量化分析表明，室外颗粒物、臭氧污染及极端温度显著加剧 CRD 负担，而室内空气污染治理成效显著，彰显政府干预措施的积极作用[6, 25]。室外颗粒物在 CRD 疾病负担中的归因占比远超其他因素，且较 2019、2020 年呈上升趋势。这提示政府需持续强化空气质量管控，制定更严格的标准与排放限制，以有效降低室外颗粒物浓度，进一步减轻环境因素对 CRD 的健康威胁。

通过 Joinpoint 回归模型与 APC 模型分析 1990—2021 年中国居民慢性呼吸系统疾病（CRD）疾病负担发现：各类环境因素所致 CRD 负担的 AAPC 下降速

率呈室内空气污染 > 室外颗粒物污染 > 非适宜温度(低温) > 室外臭氧污染 > 非适宜温度(高温)的排序,其中室内空气污染改善最为显著,但室外颗粒物污染仍是待解决的公共卫生问题。性别差异分析显示男性 CRD 疾病负担风险更高且改善速率较慢,这可能与职业暴露、吸烟率及生理差异相关,需进一步探索机制以制定针对性干预策略。时间趋势分析表明,社会经济发展与环境政策对 CRD 负担变化影响显著,尽管室外颗粒物污染近年有所改善,但对 CRD 的健康威胁仍需通过强化交通、工业等重点领域的空气质量监管加以应对。

本研究的局限性在于数据的可获得性和模型的假设条件,包括:① 数据可获得性:GBD 数据库中部分环境因素(如臭氧)的监测数据可能低估早期影响;② 模型假设:APC 模型假设年龄、时期和队列效应相互独立,但实际可能存在交互作用,未来需引入交互项验证;③ 未涵盖新兴污染物:如微塑料、挥发性有机物等未被纳入 GBD 风险因素清单,可能遗漏潜在风险。

综上所述,环境因素对中国居民 CRD 疾病负担的影响依旧显著,政府必须持续监测和改进环境政策。通过针对高龄人群(80 岁及以上)及特定出生队列(1912—1951 年)的精准干预措施,可进一步降低 CRD 疾病负担。建议对高龄群体加强环境暴露监测,对早期队列人群实施代际健康干预计划。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] 李薇,黄可,潘君,等.“三大国家级项目”共筑中国慢性阻塞性肺疾病防治长城[J].中国临床医生杂志,2022,50(7):753 - 754.
Li W, Huang K, Pan J, et al. “Three National - Level Projects” jointly build a great wall for the prevention and treatment of chronic obstructive pulmonary disease in China[J]. Chinese Journal of Clinical Doctors, 2022, 50(7): 753 - 754. (In Chinese)

[2] 龙政,刘威,齐金蕾,等.1990—2019 年中国慢性呼吸系统疾病死亡情况及变化趋势[J].中华流行病学杂志,2022,43(1):14 - 21.
Long Z, Liu W, Qi JL, et al. Mortality from chronic respiratory diseases in China, 1990 - 2019: trends and changes[J]. Chinese Journal of Epidemiology, 2022, 43(1): 14 - 21. (In Chinese)

[3] 《慢性阻塞性肺疾病免疫调节治疗专家共识》撰写组.慢性阻塞性肺疾病免疫调节治疗专家共识[J].中国全科医学,2022,25(24):2947 - 2959.
Expert Consensus on Immunomodulatory Therapy for Chronic Obstructive Pulmonary Disease. Expert consensus on immunomodulatory therapy for chronic obstructive pulmonary disease[J]. Chinese General Practice, 2022, 25(24): 2947 - 2959. (In Chinese)

[4] 佚名.《健康中国行动—慢性呼吸系统疾病防治行动实施方案(2024—2030 年)》解读[J].中国农村卫生,2024,16(8):4.
Anonym. Interpretation of the implementation plan for the prevention and control of chronic respiratory diseases under the healthy China initiative (2024 - 2030)[J]. Chinese Rural Health, 2024, 16(8): 4. (In Chinese)

[5] 薛涛,刘俊,张强,等.2013—2017 年中国 PM2.5 污染的快速改善及其健康效益[J].中国科学(地球科学),2020,50(4):439 - 452.
Xue T, Liu J, Zhang Q, et al. Rapid improvement in PM2.5 pollution in China from 2013 to 2017 and its health benefits[J]. Science China (Earth Sciences), 2020, 50(4): 439 - 452. (In Chinese)

[6] 我国大气细颗粒物污染的急性健康风险及防治建议专家共识编写组,中华预防医学会环境卫生分会,中华医学会公共卫生分会.我国大气细颗粒物污染的急性健康风险及防治建议[J].中华医学杂志,2022,102(18):1341 - 1350.
Expert Consensus Group on the Acute Health Risks and Prevention and Control Recommendations for Fine Particulate Matter Pollution in China, Environmental Health Branch of the Chinese Preventive Medicine Association, Public Health Branch of the Chinese Medical Association. Acute health risks and prevention and control recommendations for fine particulate matter pollution in China[J]. Chinese Medical Journal, 2022, 102(18): 1341 - 1350. (In Chinese)

[7] 盛百合,张馨予,杨洪喜,等.中国居民 1990 - 2019 年心血管疾病和慢性呼吸系统疾病负担变化趋势及预测分析[J].中国公共卫生,2024,40(4):477 - 483.
Sheng BH, Zhang XY, Yang HX, et al. Trends and projections in the burden of cardiovascular diseases and chronic respiratory diseases among Chinese residents from 1990 to 2019[J]. Chinese Journal of Public Health, 2024, 40(4): 477 - 483. (In Chinese)

[8] Ferrari AJ, Santomauro DF, Aali A, et al. Global incidence, prevalence, years lived with disability (YLDs), disability - adjusted life - years (DALYs), and healthy Life expectancy (HALE) for 371 diseases and injuries in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1990 - 2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021[J]. Lancet, 2024, 403(10440): 2133 - 2161.

[9] Murray CJL, Aravkin AY, Zheng P, et al. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990 - 2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019[J]. The Lancet, 2020, 396(10258): 1223 - 1249.

[10] Collaborators G2D. Global age - sex - specific fertility, mortality, healthy Life expectancy (HALE), and population estimates in 204 countries and territories, 1950 - 2019: a comprehensive demographic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019[J]. Lancet, 2020, 396(10258): 1160 - 1203.

[11] Murray C, Abbafati C, Abbas KM, et al. Five insights from the Global Burden of Disease Study 2019[J]. Lancet, 2020, 396(10258): 1135 - 1159.

[12] Anonym. A systematic analysis for the global burden of disease study 2021[J]. Lancet, 2024, 403(10440): 2162 - 2203.

[13] Kim HJ, Fay MP, Yu BI, et al. Comparability of segmented line regression models[J]. Biometrics, 2004, 60(4): 1005 - 1014.

[14] 刘雪晗.年龄 - 时期 - 队列分析中内生估计量的适用性评估及 Bayesian 模型的构建与应用研究[D].武汉:华中科技大学,2022.

(下转第 3711 页)

Luo X, Yang L, Shen XG, et al. Current status, Source analysis, and health risk assessment of heavy metal pollution in vegetable soil in Tongliang District, Chongqing[J/OL]. Environmental Science, 1 – 13 [2025 – 09 – 01]. https://doi. org/10. 13227/j. hjkx. 202407282. (In Chinese)

[15] 曲林博,席海洋,齐鹏,等. 黑河中下游重金属污染物空间分布特征及污染源解析[J/OL]. 环境科学学报,1 – 10 [2025 – 09 – 01]. https://doi. org/10. 13671/j. hjkxxb. 2024. 0509.
Qu LB, Xi HY, Qi P, et al. Spatial distribution and pollution source analysis of heavy metal pollutants in the middle and lower reaches of Heihe River[J/OL]. Journal of environmental science, 1 – 10 [2025 – 09 – 01]. https://doi. org/10. 13671/j. hjkxxb. 2024. 0509. (In Chinese)

[16] 吴永宁,赵云峰,李敬光. 第五次中国总膳食研究[M]. 北京:科学出版社,2018.
Wu YN, Zhao YF, Li JG. The fifth total diet study in China[M]. Beijing: Science Press, 2018. (In Chinese)

[17] 孙庆华,杜宗豪,杜艳君,等. 环境健康风险评估方法第五讲风险特征(续四)[J]. 环境与健康杂志,2015,32(7):640 – 642.
Sun QH, Du ZH, Du YJ, et al. Environmental health risk assessment methods lecture 5: risk characteristics (continued 4)[J]. Journal of Environment and Health, 2015, 32(7): 640 – 642. (In Chinese)

[18] 环境保护部. 中国人群暴露参数手册[M]. 北京:中国环境出版社,2013.
Ministry of Environmental Protection. Chinese population exposure parameter manual[M]. Beijing: China Environment Press, 2013. (In Chinese)

[19] 李玲,谭力,段丽萍,等. 食品重金属污染来源的研究进展[J]. 食品与发酵工业,2016,42(4):238 – 243.
Li L, Tan L, Duan LP, et al. Progress of the sources of heavy metal pollution in food[J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(4): 238 – 243. (In Chinese)

[20] 骆善彩,张雯,陈国才,等. 淮安市 2020 – 2022 年 PM2.5 中重金属污染的来源解析和健康风险评估[J]. 现代预防医学,2024,51(11):1962 – 1967.
Luo SC, Zhang W, Chen GC, et al. Source analysis and health risk assessment of heavy metal pollution in PM2.5 in Huai'an city from 2020 to 2022[J]. Modern Preventive Medicine, 2024, 51(11): 1962 – 1967. (In Chinese)

[21] 薛鲁燕,蔡葵,王秀娟,等. 山东省青岛地区栽培食用菌中铅,镉,汞,砷含量测定及健康风险分析[J]. 农产品质量与安全,2024,(4):36 – 39, 46.
Xue LY, Cai K, Wang XJ, et al. Determination and health risk analysis of lead, cadmium, mercury, and arsenic content in cultivated edible fungi in Qingdao, Shandong Province[J]. Quality and Safety of Agricultural Products, 2024, (4): 36 – 39, 46. (In Chinese)

收稿日期:2025-02-06

(上接第 3692 页)

Liu XH. Assessment of the applicability of endogenous estimates in age – period – cohort analysis and research on the construction and application of Bayesian models[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2022. (In Chinese)

[15] Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, et al. Estimates and 25 – year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015[J]. The Lancet, 2017, 389(10082): 1907 – 1918.

[16] 刘硕. 2012—2020 年青岛市慢性呼吸系统疾病死亡情况及空间流行特征[D]. 青岛:青岛大学,2023.
Liu S. Mortality and spatial epidemiological characteristics of chronic respiratory diseases in Qingdao City, 2012 – 2020[D]. Qingdao: Qingdao University, 2023. (In Chinese)

[17] 毋丹丹,赵国栋,崔彩岩,等. 2014 – 2020 年西安市慢性呼吸系统疾病过早死亡及潜在减寿变化趋势分析[J]. 中国卫生统计,2023,40(4):555 – 558, 562.
Wu DD, Zhao GD, Cui CY, et al. Analysis of trends in premature mortality and potential years of life lost due to chronic respiratory diseases in Xi'an city from 2014 to 2020[J]. Chinese Journal of Health Statistics, 2023, 40(4): 555 – 558. (In Chinese)

[18] 朱瑶,颜玮,赵军,等. 2015 – 2021 年江西省慢性呼吸系统疾病死亡情况及变化趋势[J]. 环境卫生学杂志,2023,13(8):624 – 628, 634.
Zhu Y, Yan W, Zhao J, et al. Mortality from chronic respiratory diseases in Jiangxi Province, 2015 – 2021, and trends[J]. Journal of Environmental Health, 2023, 13(8): 624 – 628, 634. (In Chinese)

[19] Yin P, Brauer M, Cohen AJ, et al. The effect of air pollution on deaths, disease burden, and Life expectancy across China and its provinces, 1990 – 2017: an analysis for the Global Burden of Disease Study 2017[J]. Lancet Planetary Health, 2020, 4(9): e386 – e398.

[20] 雷晶,张虞,朱静,等. 我国环境监测标准体系发展现状、问题及建议[J]. 环境保护,2018,46(22):37 – 39.
Lei J, Zhang Y, Zhu J, et al. Current status, issues, and recommendations for the development of China's environmental monitoring standards system[J]. Environmental Protection, 2018, 46(22): 37 – 39. (In Chinese)

[21] 宛琪,吴繁,邓志珊,等. 大力推进慢性阻塞性肺疾病早期社区综合防治[J]. 中国临床新医学,2025,18(1):1 – 5.
Wan Q, Wu F, Deng ZS, et al. Vigorously promoting early community – based comprehensive prevention and treatment of chronic obstructive pulmonary disease[J]. Chinese Journal of New Clinical Medicine, 2025, 18(1): 1 – 5. (In Chinese)

[22] 徐文超,周孟孟,丁梦珂,等. 1990—2019 年江苏省慢性呼吸系统疾病的疾病负担和危险因素分析[J]. 中华预防医学杂志,2023,57(8):1141 – 1146.
Xu WC, Zhou MM, Ding MK, et al. Analysis ofthe disease burden and risk factors of chronic respiratory diseases in Jiangsu Province from 1990 to 2019[J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2023, 57(8): 1141 – 1146. (In Chinese)

[23] 李晓晨,曹小佩,郭铭洲,等. 1990—2017 年慢性呼吸系统疾病死亡率和伤残调整寿命年变化趋势及其危险因素:2017 年全球疾病负担研究分析[J]. 英国医学杂志中文版,2020,23(7):382 – 389.
Li XC, Cao XP, Guo MZ, et al. Trends in mortality and disability – adjusted life years for chronic respiratory diseases and their risk factors from 1990 to 2017: Analysis from the 2017 global burden of disease study[J]. Chinese Journal of the British Medical Journal, 2020, 23(7): 382 – 389. (In Chinese)

[24] 苏鑫,范雯怡,徐昕晔,等. 中国居民癌症等四大慢病危险因素及归因疾病负担分析[J]. 中国癌症防治杂志,2024,16(4):442 – 447.
Su X, Fan WY, Xu XY, et al. Analysis of risk factors for four major chronic diseases, including cancer, and their attributable disease burden among Chinese residents[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Control, 2024, 16(4): 442 – 447. (In Chinese)

[25] 陈金花,卢军. 室内空气污染治理的研究进展[J]. 重庆建筑大学学报,2007,29(6):108 – 112.
Chen JH, Lu J. On indoor air pollution and indoor air quality control[J]. Journalof Chongqing Jianzhu University, 2007, 29(6): 108 – 112. (In Chinese)

收稿日期:2024-10-17