

编者按

大气细颗粒物(PM2.5)污染是一个全球性的环境问题。尽管我国PM2.5治理已经取得了显著进展,但当前全球范围内PM2.5的健康危害风险却仍居高不下。那么,这些细颗粒物会对健康造成什么危害?引发这些不良健康结

局的关键毒性机制是什么?触发这些毒性机制的具体毒性组分是什么?为解答这些关键科学问题,国家自然科学基金重大研究计划“大气细颗粒物的毒理与健康效应”(以下简称重大研究计划)应运而生。

自2015年起,在重大研究计划支持下,科学家们致力于研究PM2.5的溯源技术、毒性组分与机理,系统总结PM2.5污染的健康影响理论和应对方法,并面向社会公众开展PM2.5危害和防护的科普工作,取得跨越式发展。

见“微”知著,护航健康

——记国家自然科学基金重大研究计划“大气细颗粒物的毒理与健康效应”

■本报记者 甘晓 实习生 李嘉茵

细如微尘,大气细颗粒物(PM_{2.5})悄然无息地穿越空气的每一寸空间。它们小到足以溜过人体自身防线进入鼻腔,穿过呼吸道黏膜直抵肺部深处。它们携带着有害的化学物质,侵入人体各个器官,施展破坏的魔法。

这些微小颗粒究竟如何影响人类健康?为系统、全面地回答这个问题,2015年,国家自然科学基金委员会(以下简称自然科学基金委)启动国家自然科学基金重大研究计划“大气细颗粒物的毒理与健康效应”。

在重大研究计划实施的10年时间里,中国科学家见“微”知著,针对PM_{2.5}这一全球性环境问题,瞄准其健康危害机制这一国际性科学难题取得多项突破。“我们探索出PM_{2.5}健康危害的全链条研究路线,系统揭示了PM_{2.5}对不同疾病终点的影响及毒性机制。”重大研究计划专家组组长、中国科学院院士江桂斌告诉《中国科学报》,“我们的研究紧密围绕PM_{2.5}毒理与健康研究中的关键科学问题,若干新的发现发表在《新英格兰医学杂志》《柳叶刀》《自然》等世界著名学术期刊。在此基础上,我们提出了健康导向的PM_{2.5}精准防控新范式,为未来大气污染的高质量管控提供了科学支撑。”

揭开PM_{2.5}的毒理“黑箱”

早在10多年前,“PM_{2.5}”这个原本晦涩的科学术语,在冬季频繁出现的雾霾天里逐渐具象化,进入了公众视野并广为人知,成为一个全民关注的环境问题。

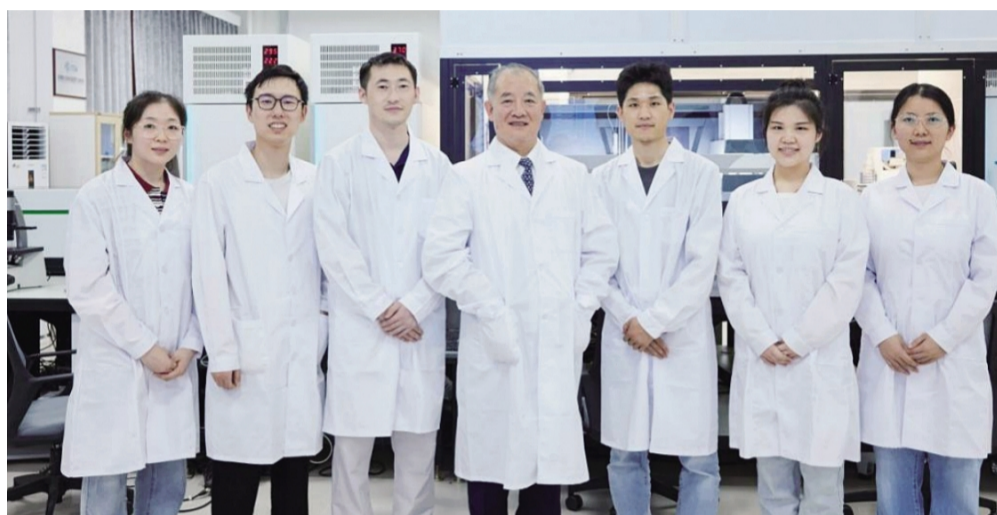
PM_{2.5}指的是空气中直径小于或等于2.5微米的颗粒物,这一尺寸大约是人类头发直径的1/20到1/30。这些微小的颗粒物可以随着呼吸进入肺部,甚至通过血液到达全身。由于其本身含有毒性组分,能与体内分子相互作用! “#\$%&”,()发不同疾病。

2013年,国际*+研究机构(IARC)发-报告称“大气污染是/*+的O导性环境12。”在《柳叶刀》上发表的一项研究对3了不同污染45对健康的影响,同6揭示由空气污染7成的危害89: ;体污染、<=污染、>污染等。

长期?毒理学研究的江桂斌@AB:“毒理学是研究C毒物D对\$%影响的一E科学。这里的C毒物D不F是G毒H物,I可能是J K环境中的污染物,3如PM_{2.5}。”

L在毒理学的视M,N们对这些问题进行O了深入PQ。PM_{2.5}R含ST?它如何通过呼吸、UVW物进入身体?它会7成X些Y期或Z长期的健康危害?多[\量是]全的?

科研人员^_,自20世^30年A以来,



开发效应导向的PM_{2.5}毒性组分识别平台的科研团队合影。受访者供图

大气污染对人体健康的影响逐渐成为全球关注。(早期研究O8bc于def Wgef Wge化物为O的污染物)发的呼吸系统疾病与h血管系统疾病。同时,科研人员i发现,PM_{2.5}具有j著kl于mn大气污染物的o性,p原有的研究qr难以s得PM_{2.5}与疾病t间1u关系的科学vw。

x前PM_{2.5}污染的y成机理z基本{|},.-!w.O”#控制\$术等%&!有国际m'可以() ,*+ ,在毒理W健康效应%&的-./为有O。“大气细颗粒物的毒性组分不)、毒性机制不)、健康危害不)、1我们无法实现对大气污染的精准控制,’(有效23人民健康。”江桂斌表示。

为揭4 PM_{2.5}如何影响健康的“56”,2015年,重大研究计划启动。

m过深入7研,科研人员89出:个; h科学问题,R<“n=k&大气细颗粒物的毒性组分及>>?研究@法学”“大气细颗粒物毒性组分的\$物化学效应与毒理学机制”,以及“大气细颗粒物的人A健康危害评估”。

N们相B,对这些科学问题的研究有CD}大气细颗粒物的毒理与健康效应,EF/“疾病响应”FG毒理机制@HG毒性组分。I GI头精准控制的全链条研究路线。

走向全球的新范式

在J J过K的2024年,L TMN“OP”是Q多人的R身ST。近年来,我国“L天2UV”取得的成效有WXY,PM_{2.5}污染; Z[现逐年下\的]^, _随t^ \$的健康ab*相对有O。

江桂斌W同O]-为,在高; Z环境2c支撑高质量发展的新de,PM_{2.5}防控应x“质量达f导向”g向“健康导向”。N表示,“由于我们过K对PM_{2.5}的健康危害- .不系统、不全面,h能Ci j k子一l mD以期\ n PM_{2.5}的o体污染; Z。”

在重大研究计划支M下,中国科学家不pqr,取得了s越式发展。t u,研究@法学上取得]著进展。v实环境中PM_{2.5}组分。l、微\$物分H,wl、毒理x=, E、示y,z O病学以及效应导向的。l等新\$术,新@法得到长足发展。江桂斌指出,“这些@法[然4发难]大, _]于v实环境PM_{2.5}W\$物质质,~了Q多!统@法难以@”的\$术难题。

在重大研究计划支M下,相关研究成u为全球大气污染# \$%了“中国&”。中国科学家O导的一项多中h研究t(s得了“PM_{2.5}污染>?的\量效应)线”,直*+成世界U \$组,(WHO)-《2021.全球空气质量指/》中PM_{2.5}O1基准2' 25微~/F @米\到15微~/F @米。

与此同时,“全球空气污染与健康3作研究45”随t EF/来。这项由67大学公X U \$学院89: ; <%=的研究吸)了来自全球40个国家W地k的77个研究>? @A。对此,《新英格兰医学杂志》发表评B称,“这是/为[见的由中国学Z O导,多国研究人员3作,具有全球视野的研究”。

在公X健康效应@面,一系C研究成u1科学家对于PM_{2.5}对不同疾病影响的- . D@系统。

2020年,科研人员t(在E通人A血液W

F腔G液中发现HI性:细颗粒物,为颗粒物的全I健康影响提供了重8科学vw,相关研究成u在《自然-通J》上发表。知名毒理学家、K国L约MRNo大学89OoPQR多No评S.T研究成u回答了“一个科学界长期UB-V(未”的问题”。

“10年前,大家O8关注PM_{2.5}与上呼吸道疾病的关系。如W,我们z m系统X理了PM_{2.5}>?与Y性Z[\3],Zh病,h^ _动,-知能ab,cdef 3g,早^,hi等不j结l的\量效应)线。”江桂斌^_,“基于\量效应)线,我们提出了针对不同k &W人A的PM_{2.5}管控kl 2, y成了健康导向的防控@m。”

x前,在重大研究计划支M的研究中,通过效应导向分Hno揭示部分不j健康结l的毒性机制W关键毒性组分,并提出“毒性组分)导的PM污染精准防控”z成为国际大气健康研究的X.。

跨学科交叉合作与攻关

在指导专家组p来,重大研究计划取得q多学科突破,r不4多个%&专家学Z的st 3作。

w了@,在重大研究计划u O期间X发-7(指/ ,T理:过500项vw。这些vwxy了化学、地学、公XU \$、医学、大气科学、毒理学、\$%科学等%&的专家学Z,y成了s学科st 3作与z关的科研x式。

{ |学科分-p,地学、医学、!理、B息W)等%&的项W! :过了全部项W的1/3。

江桂斌指出,多学科st 3k动了“大气细颗粒物毒理与健康效应”研究的深入发展,s学科>?的组E与3作+进了新P路、新\$术的` \$与应,提高了研究效! W成u质量。

“如,科研人员(|自O研发的全球t #“高通量多”能成组毒理学系统”,4发出专E的\$点 %@法, '效应出发,在毒性机制指导下,l出&发关键疾病=的毒性组分。

这项研究r不4 \$物B息、分子作以及效应导向等多学科@法的st。”如,针对PM_{2.5}发的c' hi等-知3g,科研人员t u EF PM_{2.5}实时>?小(x =, 进一)*取\$物B息学+e揭示“多,-相关通路.#”可能是c' hi O为发\$的重8 \$物过&。进一)研究表/ , O基化3物是PM_{2.5}中)发hi的关键毒性组分。

1,2,3结3化学指4分HW大! w分H,科研人员对这些化3物的具体” l 56进O了7细@H,为未来实现健康导向下的精

准I头管控提供了8w。

此H,个体>? -与公XU \$人A? C的学科st应/于PM_{2.5}组分\量效应)线研究@基于地学W环境%&的“同: 2大! w”与公XU \$%&的“健康大! w”st,能;应/于3@H大气细颗粒I的健康\$%。

重大研究计划在学术自由的前提下,<分=784展“有组,的科研”,并进O了q多有b实>。

“如,2021年,我国? @A-(/ DB尘天气。x年8C,重大研究计划发-指/ ,DF重点支M项W,)导科研人员“针对1新出现的环境问题,探索E F天气(如B尘等)下细颗粒物毒性效应的GH”。

普及健康知识

在重大研究计划支M下,项W科学家在科学E及@面4展了I有成效的)作。

项Wu O期间,N们多(组,专4或分会4学术s z J动,4展O题科E,不K吸) D多L年人M @人研究? N。以全国环境化学大会为”, O@人! ' 2017年的5000 P人Q@到2023年的RS人。

面对面的sz i有各类科E TU。《新污染物环境与健康VWW#理对n》(k动高质量发展,实现人与自然WXX \$)《新污染物#理Y面Z的问题》[[科学家!]进了相关管理部E、地@] ^、中小学等4Y, -44动人的TU - PM_{2.5}%&的知,带上了” nZW” ab。

2021年,江桂斌?作了题为《环境污染与健康》的科E报告,线上c众:过242 S人(。这d江桂斌S到ef,同时,NDS T到作为科学家的gh。

江桂斌指出,“PM_{2.5})发的健康i j,是全人类X同面Z的kl mV,不分国界、noW地&。”1此,1D多” ab了@这一问题的前p科学研究成u,成为O与T重大研究计划科学家的X.

此H,科E pq《大气细颗粒与人体健康》于2024年3C出。Tq以通r st的语u^ _了PM_{2.5}污染与人体健康的关系,R<“PM_{2.5}!会V血@Cs通wx D”“大气细颗粒物yz在XC作{ D' | T } -C雾! ” D等# \$。

“中国的“质量达f”到世界的“健康导向”,在重大研究计划支M下,中国科学家们O%&9,Ar k动着中国W全球大气#理的进&。

面向未来,指导专家组-为,PM_{2.5}的研究'(8进一)深化,不8k动>?评估等\$术*+, k动健康导向的毒性组分控制\$术研究,D 8, N@=研究成u的) ng化,1科学研究v” -于大气污染防控W人类健康。

全球PM_{2.5}流行病学研究 助力健康政策调整

大气细颗粒物(PM_{2.5}){ -为是影响全球公X健康的O8污染物t一。在国家自然科学基金重大研究计划“大气细颗粒物的毒理与健康效应”(以下简称重大研究计划)支M下,研究>? 4展了一项基于全球t大*、24个国家的652个+, 12-人.的多中h z O病学研究,揭示了PM_{2.5}的\量效应)线。

67大学公XU \$学院89: ; <告诉《中国科学报》,这项研究t(系统性分H了PM_{2.5}>?与/民O1!的关系,提供了全球视M的科学vw。研究!发现了不同国家间PM_{2.5}健康影响2. j著,=7了地K o.性@” @m的38性。d研究>? S到自4的是,6(全球,这项研究为世界U \$组,(WHO)56全球空气质量基准2提供了关键支撑,+其- PM_{2.5}的O1基准2' 25微~/F @米\ n至15微~/F @米。相关研究! w多(/)于WHO全球空气质量指(\的56)作中。

w了@,在重大研究计划的支M下,研究>?基于我国272个+, 4-/民的人A? C系统表]了我国PM_{2.5}污染健康危害O],t(在高时空分q视M下@H了我国本<化的PM_{2.5}\量效应)线。由T)线可知,随着PM_{2.5}污染; Z \n,健康效B Q@, _是在PM_{2.5}7 | n于50微~/F @米t 2其

H化的8! 逐渐H9: ; ; <着进一) \n其污染; Z, as的健康效B-进一) Q@。

此H,中O=>医院? @院士、中国医学科学院AH医院B<V院士/ /医科大学CDE院士等>>通过我国大人A? C系统研究了PM_{2.5}与多n疾病不j健康结l(如FG肺、早^) t间的具体>? F应关系。

: ; < ^ _ ,在人A; Z D} PM_{2.5}的健康危害,可以指导我们提出健康导向的PM_{2.5}污染防控n o, (下一de我国的PM_{2.5}防控o, -质量达f向健康导向g H。3如,2022年,我国56了G内空气质量f准,- PM_{2.5}f准由75微~/F @米\至50微~/F @米, j著提*空气质量Wf。上H研究成u为此提供了I实的科学8w。

此H,研究>? I' 人A? C研究视M4展了不同健康干_的研究,3如系统@H了+, 人AWJ K人A.v !统#LW) M#L人A等PM_{2.5}>? F应关系的H化) a。

面向未来,研究>?期NMN制FD精准的地KofnoW健康防c O施, @=对PM_{2.5}长期F性影响的理@与应对能r, |r全球实现健康导向的污染防控W,为\ n,健康效B Q@, _是在PM_{2.5}7 | n于50微~/F @米t 2其

PM_{2.5}毒理学机制研究 获重要进展

在国家自然科学基金重大研究计划“大气细颗粒物的毒理与健康效应”(以下简称重大研究计划)支M下,我国科学家在PM_{2.5}毒理学机制研究@面取得了重8突破,全面揭示了大气细颗粒物对健康的; h危害机制。

重大研究计划.成项W“大气细颗粒物的\$物化学效应与毒理学机制”由/ /医科大科研>? O1.科研人员向《中国科学报》^_,围绕PM_{2.5}z O病学研究提供的不j健康结l终点, N们bc PM_{2.5}毒性机制,在@法上实现了一项突破。

研究>? 4发了一系C2新\$术Wx =。3如,t(, E了基于v实环境颗粒>?的\$物S知x =, 34体内>? x =, y成了早期% %效应评估的新@法9同)研发了针对PM_{2.5}毒性效应的体内H原: 5 \$术,破@了全球在e化应6W呼吸系统毒性表] %&的; h \$术难题94发了@H PM_{2.5}对病毒影响的动7成8@法9通过\$物3D } 9,干细A.v !统#LW) M#L人A等PM_{2.5}>? F应关系的H化) a。

面向未来,研究>?期NMN制FD精准的地KofnoW健康防c O施, @=对PM_{2.5}长期F性影响的理@与应对能r, |r全球实现健康导向的污染防控W,为\ n,健康效B Q@, _是在PM_{2.5}7 | n于50微~/F @米t 2其

利 这些新\$术、新x =,科学家揭示了PM_{2.5}毒性新\$点,深化了对细颗粒物毒性机制的理@。3如,在?+与@A化通路@面,科研>?发现了肺部? +相关的

NADH BCD以及与hE @A化相关的重8通路。在F性Gx性肺疾病@面,研究发 现PM_{2.5}>?会j著下7HH体中的o F环RNA,这一f志物是F性Gx性肺疾病的重8o)。

在hl血管@面,研究揭示PM_{2.5}>?可通过hE能量重J W线粒体自K作, ,导&hE @A化94发现PM_{2.5}可6J下LI - M体 - N上OP,QHRM内分HJ动基础通路,这是PM_{2.5}健康危害的新机制t一发现PM_{2.5}通过血气P3进入血液系统2,能;影响血S、血细;及血小T的y成W”能。科研人员I通过基1组,U V组,a W组等多组学研究@法探索了PM_{2.5}导&h血管疾病的全链条机制。

同时,研究o 3了医学与\$ %科学成u,为PM_{2.5}研究提供了D多机制2新。”如,X Y大学89 Z [>? \ F了多,-相关通路在PM_{2.5}影响中的关键作,]其是在。l O为H化相关3物@面。科研人员在mn毒理学AOP(不j结l通路)qr基础上,2新性地' 效应直* 出发D计毒理评估x =, 揭示hi O为与PM_{2.5}毒性机制精准关^。

重大研究计划支M的一系C研究u为F性疾病的_防提供了科学8w,有Ck动环境污染与医学研究深| 3。

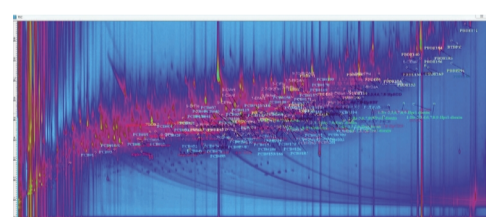
新研究揭示 PM_{2.5}中关键毒性组分

在国家自然科学基金重大研究计划“大气细颗粒物的毒理与健康效应”(以下简称重大研究计划)支M下,4展的一系C新研究,系统揭示了大气细颗粒物(PM_{2.5})的关键毒性组分,来I及人体内>? a,为未来毒性组分)导的I头精准控制提供了支撑。

中国科学院\$ 7环境研究中h研究员bc向《中国科学报》^_,准、. l PM_{2.5}中的关键毒性组分{-为是d到健康导向下精准管控的“e鼻子”,然(T %&一直面Z重mV。

为破@这一难题,在重大研究计划支M下,科学家' f个A | D计研究路线。一@面, '不j健康结l出发,在毒性机制g动下提出效应导向分Hno, XY大学89Z [>? W中国科学院\$ 7环境研究中h研究员) gh等基于自O研发的高通量多)能成组毒理学Z I等4展了系C研究。3如,揭示了PM_{2.5}中O基化3物是导&hi O为的关键毒性组分。j一@面,中国科学院\$ 7环境研究中h研究员kl ,高mn等直* PM_{2.5}出发,基于op -高分q质p的高通量r \$向<=@法. l出18类359 n未知的关键毒性组分,实现了对s / PM,中大于10000 n有机动7 H化的同时-。

此H,重大研究计划科研>? 基于同: 2示y \$术、分子指4o)、



PM_{2.5}中未知污染物被发现。 研究团队供图

大! wW机器学; 等4发了PM_{2.5}中关键毒性组分的精准wl @法,并系统研究了PM_{2.5}中t uv dw、多u x,y az { ,O基化3物等关键毒性组分的)来I与56o),为未来毒性组分)导PM_{2.5}精准防控提供了重8科学支撑。

在PM_{2.5}人体内>? @面, !统关于PM_{2.5}进入人体的- . O8基于x式动物得出。在重大研究计划的支M下,研究>?揭4 PM_{2.5}人体>?的“56”,t(在人体内发现了y | W组成6杂的HI : 细颗粒物,如含) ,含- ,含 颗粒,并通过同: 2 \$术! y, \ -其O8来I于H部高” # \$ I。

D为重8的是,研究揭示了颗粒物对P3的破坏作。o l是在血I P3Ta时,细颗粒物可能进入大I ,进一) @GrM系统疾病的发展。%此t H,颗粒物在血液、&、(表等多n人体部:的高) |分-,提示其对健康VW具有全身性系统性影响。