



中国科协学科发展研究系列报告
中国科学技术协会／主编

2016—2017

毒理学 学科发展报告

中国毒理学会 | 编著

REPORT ON ADVANCES IN
TOXICOLOGY

中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS



中国科协学科发展研究系列报告
中国科学技术协会主编



2016—2017

毒理学 学科发展报告

中国毒理学会 | 编著

REPORT ON ADVANCES IN
TOXICOLOGY

中国科学技术出版社
· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

2016—2017 毒理学学科发展报告 / 中国科学技术协会
主编; 中国毒理学会编著. —北京: 中国科学技术出版社,
2018.3

(中国科协学科发展研究系列报告)

ISBN 978-7-5046-7894-2

I. ① 2… II. ① 中… ② 中… III. ① 毒理学—学科发展—研
究报告—中国—2016-2017 IV. ① R99-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 047482 号

策划编辑	吕建华 许 慧
责任编辑	杨 丽
装帧设计	中文天地
责任校对	焦 宁
责任印制	马宇晨

出 版	中国科学技术出版社
发 行	中国科学技术出版社发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街16号
邮 编	100081
发行电话	010-62173865
传 真	010-62179148
网 址	http://www.cspbooks.com.cn

开 本	787mm × 1092mm 1/16
字 数	518千字
印 张	22.5
版 次	2018年3月第1版
印 次	2018年3月第1次印刷
印 刷	北京盛通印刷股份有限公司
书 号	ISBN 978-7-5046-7894-2 / R · 2222
定 价	98.00元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)



2016—2017

毒理学学科发展报告

首席科学家 周平坤 彭双清

专 家 组

组 长 彭双清

成 员 (按姓氏笔画排序)

王 慧	王以美	史志诚	付立杰
刘征涛	刘起展	关 华	孙志伟
孙祖越	苏晓鸥	杨杏芬	李 宁
李 桦	吴永宁	沈建忠	张天宝
张正东	陆 林	陈 雯	陈景元
周平坤	周志俊	郑玉新	赵宇亮
郝卫东	姜岳明	姚 武	海春旭
陶传江	彭双清	彭瑞云	蒋义国
韩 玲	廖明阳		

学术秘书 王会亮



党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央把科技创新摆在国家发展全局的核心位置，高度重视科技事业发展，我国科技事业取得举世瞩目的成就，科技创新水平加速迈向国际第一方阵。我国科技创新正在由跟跑为主转向更多领域并跑、领跑，成为全球瞩目的创新创业热土，新时代新征程对科技创新的战略需求前所未有。掌握学科发展态势和规律，明确学科发展的重点领域和方向，进一步优化科技资源分配，培育具有竞争新优势的战略支点和突破口，筹划学科布局，对我国创新体系建设具有重要意义。

2016年，中国科协组织了化学、昆虫学、心理学等30个全国学会，分别就其学科或领域的发展现状、国内外发展趋势、最新动态等进行了系统梳理，编写了30卷《学科发展报告（2016—2017）》，以及1卷《学科发展报告综合卷（2016—2017）》。从本次出版的学科发展报告可以看出，近两年来我国学科发展取得了长足的进步：我国在量子通信、天文学、超级计算机等领域处于并跑甚至领跑态势，生命科学、脑科学、物理学、数学、先进核能等诸多学科领域研究取得了丰硕成果，面向深海、深地、深空、深蓝领域的重大研究以“顶天立地”之态服务国家重大需求，医学、农业、计算机、电子信息、材料等诸多学科领域也取得长足的进步。

在这些喜人成绩的背后，仍然存在一些制约科技发展的问題，如学科发展前瞻性不强，学科在区域、机构、学科之间发展不平衡，学科平台建设重复、缺少统筹规划与监管，科技创新仍然面临体制机制障碍，学术和人才评价体系不够完善等。因此，迫切需要破除体制机制障碍、突出重大需求和问题导向、完善学科发展布局、加强人才队伍建设，以推动学科持续良性发展。

近年来，中国科协组织所属全国学会发挥各自优势，聚集全国高质量学术资源和优秀人才队伍，持续开展学科发展研究。从2006年开始，通过每两年对不同的学科（领域）分批次地开展学科发展研究，形成了具有重要学术价值和持久学术影响力的《中国科协学科发展研究系列报告》。截至2015年，中国科协已经先后组织110个全国学会，开展了220次学科发展研究，编辑出版系列学科发展报告220卷，有600余位中国科学院和中国工程院院士、约2万位专家学者参与学科发展研讨，8000余位专家执笔撰写学科发展报告，通过对学科整体发展态势、学术影响、国际合作、人才队伍建设、成果与动态等方面最新进展的梳理和分析，以及子学科领域国内外研究进展、子学科发展趋势与展望等的综述，提出了学科发展趋势和发展策略。因涉及学科众多、内容丰富、信息权威，不仅吸引了国内外科学界的广泛关注，更得到了国家有关决策部门的高度重视，为国家规划科技创新战略布局、制定学科发展路线图提供了重要参考。

十余年来，中国科协学科发展研究及发布已形成规模和特色，逐步形成了稳定的研究、编撰和服务管理团队。2016—2017学科发展报告凝聚了2000位专家的潜心研究成果。在此我衷心感谢各相关学会的大力支持！衷心感谢各学科专家的积极参与！衷心感谢编写组、出版社、秘书处等全体人员的努力与付出！同时希望中国科协及其所属全国学会进一步加强学科发展研究，建立我国学科发展研究支撑体系，为我国科技创新提供有效的决策依据与智力支持！

当今全球科技环境正处于发展、变革和调整的关键时期，科学技术事业从来没有像今天这样肩负着如此重大的社会使命，科学家也从来没有像今天这样肩负着如此重大的社会责任。我们要准确把握世界科技发展新趋势，树立创新自信，把握世界新一轮科技革命和产业变革大势，深入实施创新驱动发展战略，不断增强经济创新力和竞争力，加快建设创新型国家，为实现中华民族伟大复兴的中国梦提供强有力的科技支撑，为建成全面小康社会和创新型国家做出更大的贡献，交出一份无愧于新时代新使命、无愧于党和广大科技工作者的合格答卷！



2018年3月



毒理学旨在研究化学、物理和生物等因素对生物系统和环境生态系统的有害作用及其机制。它既是一门基础学科，也是一门与人类健康、环境安全及社会经济发展密切相关的应用学科，通过制定有关标准、管理方案及预防措施，保障人类健康与生态环境安全，为促进社会和谐和经济可持续发展提供重要的管理决策依据。

近年来，随着工农业生产、新兴科技和社会经济的快速发展，人类生产和生活以及环境中所暴露的各种有害因素显著增加，给人类健康与生态系统带来巨大的威胁，也极大地促进了毒理学的发展。目前，我国毒理学已经涵盖人类健康、环境、工农业和军事等多个领域，形成了工业毒理学、食品毒理学、药物毒理学、环境与生态毒理学等多个分支学科。毒理学学科在整个国民经济与社会发展及国家安全中的重要作用更加凸显，成为保障国民健康和环境安全、应对突发公共卫生事件和灾害、维护国防安全和社会稳定的重要支撑力量。

为了促进毒理学学科的健康发展，更好地为社会经济与人类健康服务，我们组织全国毒理学领域相关分支学科专家，通过近两年的研究，形成了这本学科发展报告。本报告系统概述了近年来我国毒理学发展概况及主要研究进展，对比分析国内外毒理学研究发展趋势，展望我国毒理学发展前景并提出相应的发展对策。报告包括综合报告和食品毒理学、药物依赖、应急毒理学与中毒救治、生化与分子毒理学、饲料毒理学、遗传毒理学、免疫毒理学、生殖毒理学、环境与生态毒理学、分析毒理学、兽医毒理学、放射毒理学、管理毒理学、药物毒理学、纳米毒理学、神经毒理学、毒理学替代法、毒性病理学以及中药毒理学十九个分支学科的专题报告。报告内容系统、全面，

对于把握毒理学学科发展方向，指导学科发展具有十分重要的意义。

通过系统分析我国毒理学学科现状，更加明确了毒理学在保障人类健康与生态环境安全中的作用、地位。为此，我们提出了未来毒理学发展的对策，提出亟待建立并完善我国的毒理学学科体系，以及与之匹配的科技政策支撑和全新的协调机制，以适应我国社会经济发展的新形势，更好地发挥毒理学在国家发展中的科技支撑作用。借鉴国际经验，需要制定具有中国特色并能体现“一带一路”合作发展理念的“国家毒理学规划”，并纳入国家安全科学技术发展总体规划，在政府有关部门的主导下，逐步形成毒理学科学研究、毒理学教育、毒性灾害应急处置、国家中毒控制与信息咨询、毒物与中毒防治技术和法律援助、国家毒物管理咨询服务六大体系。在毒理学教育、人才培养等方面需要贯彻大毒理的理念，建立国家毒理学基础教育和学科人才培养体系，继续巩固毒理学作为预防医学基础学科的地位，同时也要兼顾和强化毒理学跨领域如环境科学、军事医学、农业等的基础和支撑学科地位，关注毒理学研究工作的实用性和社会性，以适应社会发展对毒理学学科和人才的需求。

在项目研究过程中，得到了中国毒理学会各专业委员会的大力支持，课题组专家及编写成员在课题研究和学科发展报告编写过程中付出了辛勤的劳动，凝聚了全国毒理学科技工作者的心血。在此，对长期以来支持我国毒理学学科发展的广大科技工作者致以诚挚的感谢。

中国毒理学会

2018年1月



序 / 韩启德

前言 / 中国毒理学会

综合报告

毒理学学科研究现状与发展对策 / 003

一、引言 / 003

二、我国学科发展现状 / 004

三、国内外学科发展比较 / 034

四、学科展望与发展对策 / 041

参考文献 / 049

专题报告

食品毒理学发展研究 / 057

药物依赖发展研究 / 068

应急毒理学与中毒救治发展研究 / 079

生化与分子毒理学发展研究 / 093

饲料毒理学发展研究 / 101

遗传毒理学发展研究 / 113

免疫毒理学发展研究 / 129

生殖毒理学发展研究 / 146

环境与生态毒理学发展研究 / 162

分析毒理学发展研究 / 176

兽医毒理学发展研究 / 184

放射毒理学发展研究 / 195

管理毒理学发展研究 / 212

药物毒理学发展研究 / 227

纳米毒理学发展研究 / 238

神经毒理学发展研究 / 252

毒理学替代法发展研究 / 267

毒性病理学发展研究 / 282

中药毒理学发展研究 / 296

ABSTRACTS

Comprehensive Report

Advances in Toxicology Science / 313

Reports on Special Topics

Advances in Food Toxicology / 320

Advances in Drug Dependence / 321

Advances in Emergency Toxicology / 322

Advances in Biochemical and Molecular Toxicology / 323

Advances in Feed Toxicology / 325

Advances in Genetic Toxicology / 326

Advances in Immune Toxicology / 327

Advances in Reproductive Toxicology / 328

Advances in Environmental and Ecological Toxicology / 330

Advances in Analytic Toxicology / 331

Advances in Veterinary Toxicology / 332

Advances in Radiation Toxicology / 333

Advances in Regulatory Toxicology / 333

Advances in Pharmaceutical Toxicology / 335

Advances in Nanotoxicology / 336

Advances in Neurotoxicology / 337

Advances in Toxicological Alternatives and Translational Toxicology / 338

Advances in Toxicologic Pathology / 340

Advances in Traditional Chinese Medicine Toxicology / 342

索引 / 344



综合报告

毒理学学科研究现状与发展对策

一、引言

毒理学旨在研究化学、物理和生物等因素对生物系统和环境生态系统的有害作用及其机制，评估和预测这些因素对人体健康和环境系统的危害，为制定有关标准、管理方案及预防措施提供科学依据。毒理学既是一门基础学科，也是一门与人类健康、环境安全及社会经济发展密切相关的应用学科。毒理学综合应用实验观察、临床观察和流行病学调查等方法，研究分析外源性物质的暴露、代谢转化、毒性作用及其机制，保障人类健康与生态环境安全，为促进社会和谐和经济可持续发展提供重要的科技支撑和管理决策依据。近年来，随着工农业生产、新兴科技和社会经济的快速发展，人类生产和生活以及环境中所暴露的各种有害因素出现显著增加。以化学物为例，目前 CAS（化学文摘服务社）收录登记的化学物质已经超过 1.3 亿种，平均每天新登记的化学物质达数千种。常用的化学物质达十万种，这些大量的化学物质可以多种形式存在于人类生产和生活及生态环境中，如工业原料、日用化学品、食品添加剂、药物、产品副产物和空气污染物等，可能对人类健康和环境系统产生多种有害作用。这些现实需求都极大地促进了毒理学学科的发展。随着细胞生物学、生物化学与分子生物学、系统生物学和转化医学等学科与新兴技术的发展，以及毒理学与化学、物理学、数学、材料科学和计算机科学等学科交叉融合，深刻影响并促进了现代毒理学的发展，产生了毒理基因组学、毒理蛋白质组学、计算毒理学以及转化毒理学等新的毒理学学科发展方向。2007 年，美国国家研究委员会（National Research Council, NRC）发表了一份在毒理学领域具有里程碑意义的报告，即《21 世纪毒性测试：愿景与策略》（*Toxicity Testing in the 21st Century: A Vision and A Strategy*，简称 TT21C）。该报告阐述了当前主要基于动物实验的毒理学研究与风险评估方法所面临的挑战，指出 21 世纪毒理学发展的重点将由整体动物试验转向基于人类细胞、细胞系和（或）细胞组分以及计

算毒理学等非动物测试方法的重大变革。

我国现代毒理学发展起步较晚,自20世纪90年代进入快速发展阶段。特别是近年来,随着国内人们对公共卫生需求的增加以及“组学”等生命科学理论与技术的发展,毒理学基础研究及相关技术的发展与应用越来越受到政府和民众的关注和重视。目前,我国毒理学的发展已经涵盖了人类健康、环境、工农业和军事等多个领域,形成了工业毒理学、食品毒理学、药物毒理学、环境与生态毒理学等多个分支学科。毒理学学科在整个国民经济与社会发展及国家安全中的重要作用更加突显,成为保障国民健康和环境安全、应对突发公共卫生事件和灾害、促进经济可持续发展,以及维护国防安全和社会稳定的重要支撑力量。毒理学研究成果呈现迅速增长,研究水平和质量稳步提升。有统计数据表明,我国毒理学工作者发表的毒理学SCI论文占全部毒理学研究论文的10%~20%,充分体现出我国毒理学研究发展的良好势头,为国际毒理学的发展与人类健康保障做出了我们的贡献。

二、我国学科发展现状

(一) 学科建设概况

毒理学主要探讨环境因素(尤其是化学物)与生物机体有害的交互作用,其发展与生命科学发展同步。生命科学的新理论、新技术可以推动毒理学的发展,毒物也成为生命科学打开健康奥秘的工具与钥匙,环境因素对人体健康的影响又促进了毒理学科建设的发展步伐。毒理学同时具有基础与应用学科的功能。

1. 毒理学教育

(1) 大学本科教育。我国的毒理学教育是20世纪50年代由工业卫生发展起来的,高校老一辈毒理学教育人才主要来自劳动卫生与职业病学、营养与食品卫生学和环境卫生学等背景的专家。目前,仍然活跃在高校毒理学教育领域的领军人才主要来自1977—1987年入学的大学生。课程的设置主要在医学院校预防医学专业本科生(超过100所高校)开设“毒理学基础”课程。大多省属以上医学院校设有毒理学系或教研室,也有些院校(如西安交通大学医学院、昆明医科大学、广州医科大学等)仅设毒理学科教师。毒理学教学方法多样化,从近年来发表的本科生毒理学教育教学改革论文来看,在CNKI数据库搜索“毒理学教学”有17593条记录。探讨的内容有教学方法改革、案例库建设、教材建设、MOOC、PBL教学、实验教学、双语教学等。毒理学教学教材建设也得到了丰富发展,目前本科毒理学教学一般采用有以下几种教材:国家卫生和计划生育委员会“十二五”“十三五”规划教材《毒理学基础》(人民卫生出版社,王心如主编,2012;孙志伟主编,2017)、《毒理学教程》(周宗灿主编,第3版,北京大学医学出版社,2006)、《基础毒理学》(周志俊主编,第2版,人民卫生出版社,2012)和《毒理学基础》《毒理学》(姜岳明主编,第1/2版,人民卫生出版社,2012/2017)。

(2) 研究生教育。27所高校或科研院所卫生毒理学博士/硕士点一级学科覆盖,其中“985”单位(双一流)10所,“211”学校有17所,包括北京大学、东南大学、复旦大学、广西医科大学、哈尔滨医科大学、华中科技大学、吉林大学、南方医科大学、南京医科大学、清华大学(含北京协和医学院)、山东大学、山西医科大学、上海交通大学、首都医科大学、四川大学、苏州大学、天津医科大学、浙江大学、郑州大学、中国疾病预防控制中心、中国医科大学、中南大学、中山大学、军事科学院军事医学研究院、海军军医大学、陆军军医大学、空军军医大学。37所高校卫生毒理学硕士点一级学科覆盖,包括安徽医科大学、北京市科学技术研究院、大连医科大学、福建医科大学、广东药学院、广州医科大学、贵州医科大学、河北联合大学、河北医科大学、湖南农业大学、济南大学、暨南大学、江南大学、解放军医学院、昆明医科大学、兰州大学、辽宁医学院、南昌大学、南华大学、南通大学、内蒙古科技大学、宁波大学、宁夏医科大学、青岛大学、厦门大学、天津中医药大学、同济大学、潍坊医学院、武汉大学、武汉科技大学、西安交通大学、新疆医科大学、徐州医学院、扬州大学、浙江省医学科学研究所、中国人民大学、重庆医科大学。两所高校有卫生毒理学硕士点,包括延边大学和遵义医学院。

上述高校或科研院所卫生毒理学硕士生/博士生研究方向涵盖环境毒理学、食品毒理学、工业毒理学、临床毒理学、药物毒理学、法医毒理学、分析毒理学、军事毒理学等方向,每年毕业研究生数百名,为疾病预防控制、卫生监督、药物安全评价、卫生行政管理、药监局、环保局、高等院校和科研院所等部门输送了大量高水平毒理学科科研技术人才。此外,毒理学在其他非学位点的学科门类或学科类别中,作为专业发展方向,培养毒理学人才,如环境科学与工程、生态学的环境毒理学、生态毒理学,药学的药物毒理学,动物医学、基础兽医学、预防兽医学的兽医毒理学与毒理学。

随着我国研究生教育规模扩大,毒理学研究生教育出现了多元化方向发展的需求和趋势。首先,除了公共卫生学与预防医学专业外,毒理学研究方向也渗透到药物、动植物、环境科学、食品等专业中,学科交叉不断产生新的需求,也对毒理学研究生的培养提出更新的要求。其次,在毒理学研究生的培养中,学术人员的交流也日益扩大。再次,近年来,毒理学研究生教育出现了注重发展学生综合素质和创新能力的趋势。我国环境污染加剧,纳米材料、转基因生物制品等新型外源物质逐渐增加,食品安全问题突出,对毒理学评估和风险管理提出更多更高的需求。生命科学在新理论和新技术上有了突飞猛进的发展,如基因芯片或DNA微阵列等的生物芯片技术、转基因和knockout技术、报告基因技术、基因或蛋白质差异表达检测技术、蛋白质组技术平台、代谢组技术平台等在毒理学研究中得到应用,成为毒理学研究的重要手段。毒理学专业的研究生课程设置的实践技能的教学,也逐渐增加了新的知识,以适应毒理学研究的需求。

(3) 在职培训教育。近年来,中国毒理学会每年举办“现代毒理学基础与进展”继续教育高级研修班,培训人员来自企业、高校、科研院所及政府管理相关部门。26个专

业委员会每年都有相应的学术研讨会及继续教育培训，培训内容涵盖毒理学领域的各个方面。公共卫生硕士（MPH）是根据2002年国务院学位委员会批准设置的一个新的专业学位，其目的是培养高层次卫生管理与疾病预防应用型人才。我国有招生资格的院校从2002年的22所增加到2011年的43所。以每所学校每年招收10人计，共培养在职MPH约4000人，估计2016—2017年培养了1000多人。

2. 人才队伍建设

我国毒理学科大多隶属于公共卫生学院或预防医学系，承担本科生、研究生毒理学基础、药物毒理学、环境毒理学、食品毒理学、生态毒理学、临床毒理学、现代毒理学、放射毒理学等课程。从最近调查的40所医学院校来看，有80%（32所）医学院校设置了毒理学系或教研室，有8所毒理学与劳动卫生与环境卫生、营养与食品卫生、卫生化学等学科合并设置。其中毒理学博士点17个，硕士点30个，教育部重点实验室1个，省级重点学科或实验室11个。专职教师队伍人数250人，最多的学校有教师16人，平均6.25人。我国医学院校毒理学学科具备了一支高素质、高水平的师资队伍。其他调查显示，全国有公共卫生与预防医学本科专业的高校101所，全国医药院校中具有毒理学专职教师630余人，高级职称人数190多人。其次，农业院校开设食品毒理学课程，综合大学开设环境毒理学、生态毒理学课程，药科院校开设药物毒理学课程，也有专职的师资队伍，估计国内专职从事毒理学教学的师资队伍达1000人以上。其次，省级或直辖市疾病预防控制中心、职防院都设有独立的毒理学科，估计人数在近1000人以上，承担高校预防医学及其他专业的毒理学实践教学任务，是一支不容忽视的重要毒理学师资补充队伍。

近年来，毒理学科建设更加完善，中国毒理学会所属工业毒理、食品毒理、药物依赖、临床毒理、生化与分子毒理、饲料毒理、遗传毒理、免疫毒理、生殖毒理、环境与生态毒理、生物毒素毒理、分析毒理、兽医毒理、军事毒理、放射毒理、毒理学史、管理毒理、应急毒理与中毒救治、药物毒理与安全性评价、毒理学研究质量保证、神经毒理、纳米毒理、毒理学替代法与转化毒理学、中药与天然药物毒理、毒性病理学、计算毒理学、毒理学教育等26个专业委员会，拥有13000多名会员，是全球最大的毒理学会组织，表明中国毒理学会的学科发展建设已达到一个较高的水平。

3. 学术论文与研究成果

随着我国对毒理学科的大力支持，毒理学基础研究水平不断提高。从Pubmed检索发现，我国毒理学论文发表从2000年至2016年呈上升趋势，2016年论文发表近3万篇，2017年截至目前约2万篇，其中2016年至2017年论文发表数约占全球的20%。2017年9月15日，科睿唯安（原汤森路透）最新公布的数据，*Pharmacology & Toxicology*有43所高校入围，其中综合类院校19所，7所院校进入前100名，他们是北京大学、中国药科大学、浙江大学、沈阳药科大学、复旦大学、上海交通大学、北京协和医学院。有3所院校进入千分之一（国际一流学科），即北京大学、中国药科大学、浙江大学。我国科技