

风险评估

中国居民邻苯二甲酸二丁酯膳食摄入水平及其风险评估

王彝白纳, 蒋定国, 杨大进, 张磊, 刘兆平, 隋海霞

(国家食品安全风险评估中心 卫生部食品安全风险评估重点实验室, 北京 100021)

摘要:目的 了解我国主要食品中邻苯二甲酸二丁酯(DBP)的含量,评估我国居民经膳食暴露于DBP的水平以及潜在的健康风险。方法 利用2011—2013年收集的24类食品中的DBP含量数据以及2002年中国居民食物消费量调查数据,采用简单分布评估方法,计算我国居民DBP膳食摄入水平,以及不同食物对DBP摄入的贡献率,并与每日可耐受摄入量(TDI,0.01 mg/kg BW)比较,进行风险特征描述。结果 各种食品中DBP的含量范围为0.00~46.50 mg/kg,平均含量为0.11 mg/kg,全人群的膳食DBP平均摄入量为1.21 μ g/kg BW,占TDI的12.08%。全人群高食物消费量人群(P97.5)的DBP摄入量为2.84 μ g/kg BW,占TDI的28.42%。大米、方便面对DBP膳食摄入的贡献率较高,分别为20.30%和15.34%。结论 中国居民膳食DBP摄入的健康风险较低,处于可接受水平。

关键词:邻苯二甲酸二丁酯;食品污染物;膳食暴露;风险评估

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2016)06-0800-05

DOI:10.13590/j.cjfh.2016.06.025

Dietary intake and risk assessment of dibutyl phthalate in Chinese population

WANG Yi-bai-na, JIANG Ding-guo, YANG Da-jin, ZHANG Lei, LIU Zhao-ping, SUI Hai-xia

(Key Laboratory of Food Safety Risk Assessment of Ministry of Health,

China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100021, China)

Abstract: Objective To investigate dibutyl phthalate (DBP) concentration level in food, assess the dietary exposure of DBP among Chinese population and its potential health risks. **Methods** Using simple distribution method to estimate DBP dietary exposure in Chinese population, DBP concentration level of 24 food categories was collected during 2011 to 2013 and the consumption data were taken from China National Nutrition and Health Survey in 2002. Subsequently, the risk was characterized by calculating the exposure and comparing with the tolerable daily intake (TDI, 0.01 mg/kg BW) of DBP. **Results** DBP concentration level in foods was in the range of not detected to 46.50 mg/kg, and the mean was 0.11 mg/kg. The mean dietary intake of DBP in general population was 1.21 μ g/kg BW, accounting for 12.08% of TDI. The dietary intake of DBP high-consuming populations was 2.84 μ g/kg BW, accounting for 28.42% of TDI. The major food contributors to DBP were rice (20.30%) and instant noodles (15.34%) for the general population. **Conclusion** This results suggested that the DBP exposure in Chinese population was considerably lower than the TDI and the health risk caused by DBP at this intake level was quite low.

Key words: Dibutyl phthalate; food contaminants; dietary intake; risk assessment

邻苯二甲酸二丁酯(dibutyl phthalate, DBP)是一种人工合成的邻苯二甲酸酯类物质(phthalic acid esters, PAEs),为无色油状液体,主要作为增塑剂用于软制聚氯乙烯材料,也广泛用于粘合剂制作以及燃料、油漆、化妆品等领域^[1-2]。PAEs是以非共价键

形式与聚合物结合,易于迁移至周围环境中,造成食物或环境的污染^[3-4]。人体可通过呼吸、皮肤接触以及膳食摄入等途径暴露于DBP,其中经膳食摄入是其最主要的暴露途径之一^[5-6]。

近年来,部分PAEs对动物的内分泌干扰作用备受关注。动物试验表明,DBP可以导致大鼠生育率下降、睾丸重量减轻、附睾发育不全、仔鼠出生体重下降等^[1-2,7]。关于人群暴露于DBP的毒理学资料较少,仅有研究认为接触DBP可能导致过敏现象,以及头痛等神经衰弱症状,也可能导致妇女妊娠率下降,其他方面的研究鲜见报道^[8]。

收稿日期:2016-10-29

基金项目:国家自然科学基金(81273081)

作者简介:王彝白纳 女 助理研究员 研究方向为食品中化学物的风险评估 E-mail:wangyibaina@cfssa.net.cn

通信作者:隋海霞 女 副研究员 研究方向为食品中化学物的风险评估 E-mail:suihaixia@cfssa.net.cn

为掌握我国主要食品中 PAEs 的含量,为是否需要制定食品中 DBP 的限量标准提供科学依据。国家食品安全风险评估专家委员会 2012 年将《中国居民邻苯二甲酸酯类物质膳食摄入水平及其风险评估》列为风险评估优先项目,本研究仅阐述 DBP 的膳食暴露在中国人群的摄入水平及其潜在的健康风险。

1 材料与方法

1.1 样品来源

本研究于 2011—2013 年,在辽宁、河北、河南、江苏、湖北、上海、浙江、内蒙古、陕西、甘肃、福建、广东、四川、云南等 14 个省份,采用多阶段分层随机抽样法,抽取了 70 个大中小城市,在每个城市中选择 1~3 个超市和市场购买样品,最终共收集到各类食物样品 9 289 份。为避免样品被塑料制品污染,所有样品均采用玻璃容器保存,并依据食物成分分类表,把食物分成 24 类。

1.2 方法

1.2.1 样品分析方法

食物样品中 DBP 的含量检测采用 GB 21911—2008《食品中邻苯二甲酸酯的测定》^[9]中规定的气相色谱-质谱法。根据世界卫生组织(WHO)对食品污染监测数据的处理原则,当未检出数据的样品占总样品量的比例小于 60% 时,所有未检出数据用 1/2 检测限(limit of detection, LOD)替代;当未检出数据的样品占总样品量的比例大于 60% 时,所有未检出数据用 LOD 替代^[10]。

1.2.2 人群 DBP 暴露量计算方法

本研究采用简单分布评估方法,食物的消费量数据来源于 2002 年中国居民营养与健康状况调查,该调查采用连续 3 d 24 h 回顾法,共获得 68 959 名调查对象的膳食消费量。将调查人群根据不同年龄、性别划分为 8 个组,分别对各年龄性别组人群的 DBP 暴露量进行评估。利用每个调查个体对各类食物的消费量以及个体体重数据,结合不同类别食物中 DBP 的含量数据,来计算每个个体每日每公斤体重 DBP 的摄入量,计算公式为:

$$Exp = \sum_{i=1}^n \frac{(F_i \times C_i)}{BW}$$

其中:Exp 为某个体的每日每公斤体重 DBP 摄入量,μg/kg BW;F_i为某个体第 i 种食物的消费量,g/d;C_i为第 i 种食物中 DBP 的含量,是食品中 DBP 含量的平均值,mg/kg;BW 为某个体的体重,kg。

1.2.3 健康指导值的确定

基于不同的动物试验和观察终点,不同的国际

组织和国家针对 DBP 制定了不同的健康指导值,WHO 针对生殖发育毒性,制定的每日可耐受摄入量(TDI 值)为 0.066 mg/kg BW^[11],美国环保局依据成年大鼠死亡率增加这一结果,制定的 TDI 值为 0.1 mg/kg BW^[11],而欧洲食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)针对发育毒性制定的 TDI 值为 0.01 mg/kg BW^[12]。通过检索、分析 DBP 的毒性研究资料,工作组确定生殖毒性和发育毒性是 DBP 最敏感的观察终点。基于在两代生殖毒性试验中建立的 2 mg/kg BW 观察到不良作用的最低剂量(LOAEL)^[10],采用 200 倍不确定系数(考虑到从 LOAEL 推导健康指导值,因此额外采用了 2 倍不确定系数),推导出 TDI 值为 0.01 mg/kg BW,这与 EFSA 确定的 TDI 值一致。

1.3 统计学分析

利用 Excel 和 SPSS 18.0 统计软件,对数据资料进行清理和分析描述。

2 结果与分析

2.1 各类食品中 DBP 的含量

由表 1 可见,各类食品 DBP 平均含量为 0.11 mg/kg,最高可达 46.50 mg/kg。其中,白酒是 DBP 含量最高的食品,平均值为 0.71 mg/kg,中位数为 0.15 mg/kg。方便面油包、植物油和方便面饼等食品中 DBP 含量也较高,平均含量分别为 0.52、0.26 和 0.16 mg/kg。白酒检出率最高,为 63.92% (1 575/2 464),其次为包装熟畜肉,检出率达 53.68% (51/95),叶类蔬菜、果蔬调味料、生畜肉、海鱼、饮料、生禽肉、根茎类蔬菜的检出率均低于 10%,瓜茄果类蔬菜的检出率最低,为 0.00%。

2.2 不同年龄组人群 DBP 膳食摄入水平

由表 2 可见,全人群经膳食途径摄入的 DBP 平均值为 1.21 μg/kg BW,占 TDI 的 12.08%,且膳食 DBP 摄入量呈现随年龄增长而降低的趋势,2~6 岁由于相对于体重的食物消费量较高而使 DBP 摄入水平较高,平均为 2.32 μg/kg BW,占 TDI 的 23.18%。各年龄组中男性和女性膳食 DBP 摄入量基本相当,未见明显差异。高食物消费量人群(P97.5)的 DBP 摄入量范围为 1.73~4.15 μg/kg BW。我国人群膳食 DBP 摄入量最高值为 18.55 μg/kg BW,其中超过 TDI 的人数为 19 人,占全人群的 0.03% (19/68 959)。

2.3 不同类别食物对 DBP 摄入的贡献率

经统计分析发现,对一般人群而言,大米是我国居民 DBP 膳食摄入贡献率最大的一种食物,贡献率为 20.30%,除此之外,对膳食 DBP 暴露贡献率超

表1 各类食品中 DBP 的含量分析
Table 1 DBP concentration level in food

食物类别	样品数 /份	检出数 /份	检出率 /%	DBP 含量/(mg/kg)						
				最低	平均	P50	P90	P95	P97.5	最高
白酒	2 464	1 575	63.92	0.01	0.71	0.15	1.69	3.20	5.01	27.70
包装熟畜肉	95	51	53.68	0.01	0.05	0.03	0.13	0.16	0.26	0.35
大米	104	15	14.42	0.03	0.05	0.03	0.10	0.10	0.10	0.10
淡水鱼	107	20	18.69	0.00	0.04	0.03	0.10	0.10	0.10	0.12
蛋类	99	21	21.21	0.00	0.04	0.03	0.07	0.09	0.13	0.28
方便面面饼	463	111	23.97	0.01	0.16	0.06	0.39	0.73	0.96	3.70
方便面油包	138	29	21.01	0.01	0.52	0.10	0.98	2.99	5.95	7.51
根茎类蔬菜	138	2	1.45	0.02	0.05	0.03	0.10	0.10	0.10	0.25
瓜茄果类蔬菜	24	0	0.00	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
果冻	47	16	34.04	0.02	0.09	0.05	0.16	0.21	0.54	0.61
果蔬调味料	41	4	9.76	0.01	0.06	0.05	0.10	0.14	0.15	0.30
海鱼	46	4	8.70	0.03	0.04	0.03	0.04	0.07	0.09	0.10
黄酒	176	62	35.23	0.02	0.11	0.05	0.18	0.32	0.64	2.03
面粉	77	13	16.88	0.03	0.05	0.03	0.09	0.10	0.18	0.40
生畜肉	125	12	9.60	0.02	0.03	0.03	0.05	0.05	0.07	0.09
生禽肉	80	4	5.00	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.09
水果	107	26	24.30	0.00	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.11
虾类	102	23	22.55	0.02	0.06	0.03	0.22	0.27	0.28	0.33
叶类蔬菜	246	24	9.76	0.03	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.13
液态乳	250	80	32.00	0.01	0.05	0.03	0.10	0.15	0.22	0.30
饮料	613	39	6.36	0.00	0.06	0.05	0.10	0.20	0.20	3.00
饮用水	161	41	25.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03
婴儿辅助食品	386	41	10.62	0.01	0.06	0.05	0.10	0.20	0.24	1.22
婴儿配方奶粉	321	90	28.04	0.01	0.10	0.05	0.22	0.31	0.44	2.95
植物油	2 879	796	27.65	0.01	0.26	0.05	0.42	0.92	1.80	46.50
合计	9 289	3 099	33.36	0.00	0.11	—	—	—	—	46.50

注：—表示该项不统计；表中含量数据为将未检出数据赋值后的数据；方便面面饼和方便面油包均属于方便品类

表2 我国不同性别-年龄组居民膳食 DBP 摄入量
Table 2 Dietary intake of DBP in different age-sex groups

人群分组	样品数 /份	膳食 DBP 摄入量/($\mu\text{g}/\text{kg BW}$)							占 TDI 百 分比/%
		最低	平均	P50	P90	P95	P97.5	最高	
2~6岁	3 992	0.60	2.32	2.19	3.26	3.67	4.15	10.78	23.18
7~12岁	7 000	0.38	1.69	1.61	2.40	2.69	2.13	5.90	16.91
13~17岁男	2 432	0.26	1.24	1.18	1.73	1.93	2.03	3.90	12.37
13~17岁女	2 141	0.35	1.15	1.09	1.60	1.79	2.87	4.58	11.45
18~59岁男	20 194	0.20	1.14	0.99	1.63	2.15	1.77	18.55	11.38
18~59岁女	23 204	0.24	1.02	0.97	1.41	1.58	2.89	6.03	10.16
≥ 60 岁男	5 027	0.17	1.08	0.93	1.54	2.04	1.73	11.46	10.81
≥ 60 岁女	4 969	0.21	0.96	0.91	1.34	1.52	1.73	6.31	9.59
全人群	68 959	0.17	1.21	1.05	1.92	2.38	2.84	18.55	12.08
成人饮白酒者	2 800	0.56	2.35	1.91	3.95	5.08	6.50	18.55	23.53

过5%以上的食品还有方便面(15.34%)、植物油(13.45%)、面粉(12.81%)、叶类蔬菜(8.33%)以及根茎类蔬菜(5.83%)，详见图1。DBP含量较高的白酒和黄酒，因其消费量低，对膳食DBP摄入的贡献率仅为4.54%和0.32%。而对成人饮白酒者而言，对膳食DBP摄入贡献率最高的食品是白酒，达57.29%，远高于其他类别食品，其次是大米，为10.65%。对膳食DBP暴露贡献率超过5%以上的食品还有植物油(6.49%)和方便面(5.86%)，见图2。

3 讨论

3.1 与国内外研究结果比较

本研究基于全国食品DBP污染整体水平的膳食摄入评估结果显示，全人群的膳食DBP平均摄入量为 $1.21 \mu\text{g}/\text{kg BW}$ ，占TDI的12.08%，高食物消费量人群(P97.5)膳食DBP摄入量为 $2.84 \mu\text{g}/\text{kg BW}$ ，占TDI的28.42%。本研究全人群经膳食暴露的DBP水平比GUO等^[13]的研究结果($0.703 \mu\text{g}/\text{kg BW}$)高，分析可能的原因是GUO等研究是在哈尔滨和上海两地采集样品，共采集了9类共78份食品样品，而本研

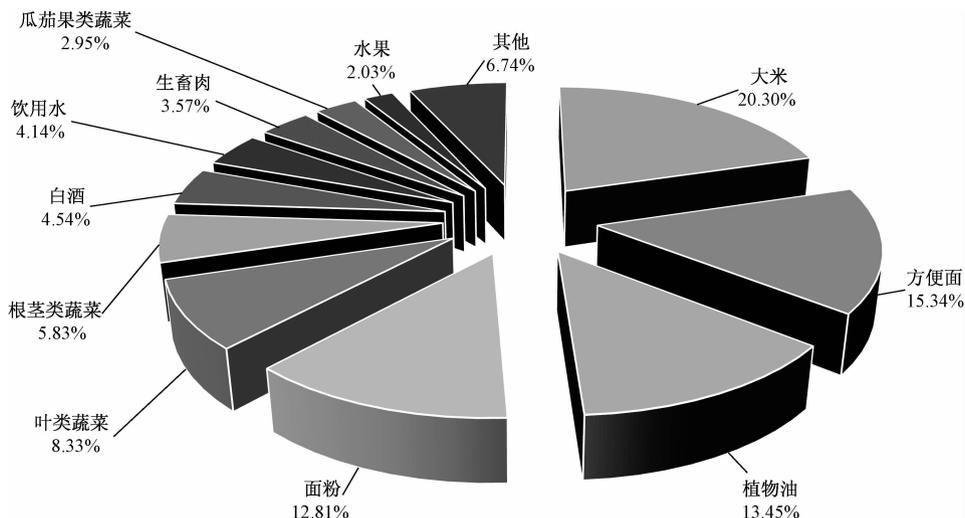


图1 各类食物对全人群膳食 DBP 摄入的贡献率

Figure 1 Contribution of dietary intake of DBP in different foods of the general population

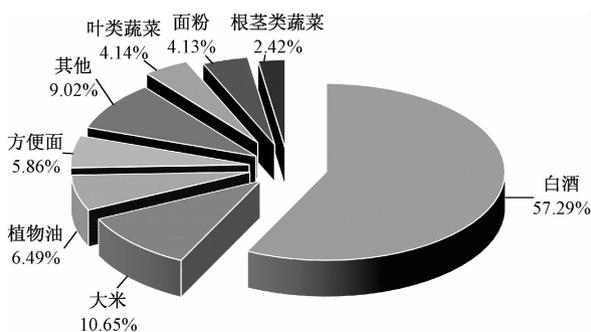


图2 各类食物对成人饮白酒者膳食 DBP 摄入的贡献率
Figure 2 Contribution of dietary intake of DBP in different foods of the adult drinkers

究在 14 个省份采样,样品共分为 24 类,采样区域更广,涉及食物类别更多。CAO 等^[14]采用系统综述的研究方法,分析了中国人群尿液中 DBP 的总暴露水平,认为普通人群每日 DBP 的平均暴露水平为 3.02 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,并且该研究还对尿液中 DBP 的来源进行了溯源分析,认为膳食来源是 DBP 暴露的主要来源,占整体暴露水平的 67.2%。

我国全人群 DBP 的平均摄入量与加拿大 1994 年基于市场菜篮子研究计算的摄入量相似^[15],也与丹麦基于双份饭研究计算的 DBP 摄入量相近,均在 1 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ 左右^[16]。但无论是全人群 DBP 的平均摄入量还是高食物消费量人群膳食摄入量,均高于英国基于总膳食研究的 DBP 摄入量,英国成年居民经膳食暴露 DBP 的 97.5 百分位水平为 0.2 ~ 0.3 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ ^[17]。产生这一现象的可能原因是两个国家居民膳食消费模式不同,以及食物中 DBP 的含量不同,其次可能的原因是在英国的研究中关注的是经过冲洗以及烹调后可食状态的食物,而食品在诸如油炸和煮等加工过程中, DBP 的水平会发生

变化^[3]。

英国的一项研究检测了自市场购买的 261 种食品中 DBP 的含量,认为 DBP 平均含量最高的食品是油和脂肪性食品,含量达 0.10 mg/kg ,该研究并未分析酒类中 DBP 的含量^[18],而本研究也发现,白酒、方便面油包以及植物油中 DBP 的含量较高。本研究还发现,对普通人群而言,大米、方便面以及油类是膳食暴露 DBP 的主要贡献者,而英国总膳食研究结果表明,饮料、杂粮和面包是 DBP 膳食摄入的主要贡献食品,分别占总摄入量的 30%、23% 和 17%,而丹麦的研究结果则显示根茎类作物和叶类作物分别占膳食 DBP 摄入量的 83% 和 13%^[19]。

3.2 不确定性分析

本研究存在一定的局限性:第一,膳食消费量数据是 2002 年的调查结果,可能已无法全面反映当前人群食物消费水平;其次,该研究仅涉及 24 类食品,未能包括所有含 DBP 的食品类别,可能会低估 DBP 的膳食摄入水平;此外,本研究仅考虑膳食来源的 DBP 暴露,未涉及其他暴露途径,不能全面评价 DBP 的健康风险。

综上所述,本次评估表明我国居民目前的膳食 DBP 摄入对人群健康造成的风险较低,处于可接受水平,但成人饮酒者的膳食 DBP 摄入量较高,存在一定的健康风险,需予以关注。

参考文献

[1] World Health Organization. Environmental health criteria 189. di-n-butyl phthalate [R]. Geneva: WHO, 1997.
[2] Thompson C J, Ross S M, Gaido K W. Di (n-butyl) phthalate impairs cholesterol transport and steroidogenesis in the fetal rat testis through a rapid and reversible mechanism [J]. Endocrinology, 2004, 145 (3) : 1227-1237.

- [3] Fierens T, Servaes K, Van Holderbeke M, et al. Analysis of phthalates in food products and packaging materials sold on the Belgian market [J]. *Food Chem Toxicol*, 2012, 50 (7): 2575-2583.
- [4] Schettler T. Human exposure to phthalates via consumer products [J]. *Int J Androl*, 2006, 29(1):134-139.
- [5] Dickson-Spillmann M, Siegrist M, Keller C, et al. Phthalate exposure through food and consumers' risk perception of chemicals in food [J]. *Risk Anal*, 2009, 29(8):1170-1181.
- [6] 张蕴晖, 林玲, 阚海东, 等. 邻苯二甲酸二丁酯的人群综合暴露评估 [J]. *中国环境科学*, 2007, 27(5):651-656.
- [7] Lee K Y, Shibutani M, Takagi H, et al. Diverse developmental toxicity of di-n-butyl phthalate in both sexes of rat offspring after maternal exposure during the period from late gestation through lactation [J]. *Toxicology*, 2004, 203(1/3):221-238.
- [8] 孙桂英, 侯士福. 车间空气中邻苯二甲酸二丁酯浓度对作业工人健康状况调查分析 [J]. *江苏环境科技*, 1994(4):34-36.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 21911—2008 食品中邻苯二甲酸酯的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [10] 王绪卿, 吴永宁, 陈君石. 食品污染监测低水平数据处理问题 [J]. *中国预防医学杂志*, 2002, 36(4):278-279.
- [11] United States Environmental Protection Agency. Dibutyl phthalate (CASRN 84-74-2) [EB/OL]. [2016-11-02]. https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0038_summary.pdf#nameddest=cancerol.
- [12] EFSA. Opinion of the scientific panel on food additives flavourings, processing aids and material in contact with food (AFC) on a request from the commission related to di-butylphthalate (DBP) for use in food contact materials [J]. *EFSA Journal*, 2005, 3(9):47-72.
- [13] GUO Y, ZHANG Z F, LIU L Y, et al. Occurrence and profiles of phthalates in foodstuffs from China and their implications for human exposure [J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60 (27): 6913-6919.
- [14] CAO Y, LIU J G, LIU Y, et al. An integrated exposure assessment of phthalates for the general population in China based on both exposure scenario and biomonitoring estimation approaches [J]. *Regul Toxicol Pharmacol*, 2016, 74:34-41.
- [15] Canadian Environmental Protection Act. Priority substances list assessment report [EB/OL]. [2016-11-02]. http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/contaminants/psl2-lsp2/butylbenzylphthalate/butylbenzylphthalate-eng.pdf.
- [16] Petersen J H, Breindahl T. Plasticizers in total diet samples, baby food and infant formulae [J]. *Food Addit Contam*, 2000, 17(2):133-141.
- [17] Committee on Toxicity. Cot statement on dietary exposure to phthalates-data from the total diet study (TDS) [EB/OL]. [2016-11-02]. <http://cot.food.gov.uk/pdfs/cotstatementphthalates201104.pdf>.
- [18] The Food and Environment Research Agency. Determination of phthalates in foods and establishing methodology to distinguish their source [EB/OL]. [2016-11-02]. <https://www.food.gov.uk/sites/default/files/phthalates-report.pdf>.
- [19] The Danish Veterinary and Food Administration. Human exposure to selected phthalates in Denmark [R]. Denmark: DVFA, 2003:15.

全球健康促进大会将首次在中国举行

第九届全球健康促进大会将于2016年11月21~24日在中国上海举行。全球健康促进大会是健康促进领域最高级别的会议。本届大会由国家卫生计生委和世界卫生组织共同主办,上海市人民政府承办。来自世界卫生组织各成员国负责健康促进工作的代表,联合国有关机构负责人,部分国家卫生和相关部门部长、健康城市市长,国际健康促进和可持续发展等领域专家学者将参会这一盛会。

大会的主题为:“可持续发展中的健康促进”。大会会期3天半,与会代表将围绕“健康城市”“跨部门行动”“社会动员”“健康素养”等主题进行研讨,旨在运用健康促进的理论与实践实现联合国2030可持续发展目标,为健康促进在21世纪的发展注入新的活力。本届大会将发表《上海宣言》,指导下一阶段全球健康促进工作,推动健康促进的理论和实践,提升健康在联合国2030可持续发展目标中的地位 and 作用。会议期间将举办“健康城市市长论坛”,呼吁市长在建设健康城市、实现可持续发展目标中发挥关键作用。

今年是“十三五”规划开局之年,也是推进“健康中国”建设的起航之年,又恰逢首届全球健康促进大会召开30周年。在这样一个关键时刻,由中国举办第九届全球健康促进大会,既是开启全球健康促进新征程、全面实施联合国2030年可持续发展目标的重要起点,也是我们向世界展示中国成就、分享中国经验,加快推进健康中国建设的重要契机。大会第三天是“中国国家日”,将通过论坛、展览展示、现场考察形式向全世界展示中国卫生与健康事业发展成就。