

风险评估

吉林省主要食品中砷污染状况及居民膳食暴露风险评估

刘思洁,王慧,王博,郭金芝,方赤光

(吉林省疾病预防控制中心,吉林 长春 130062)

摘要:目的 掌握吉林省主要食品中砷污染水平,评估吉林省居民砷暴露风险及对人体潜在的健康危害。方法 2012—2017年吉林省居民主要食品中砷的含量数据来自国家食品风险监测,共11种类别4532份样品。食物消费量的数据来自2012年吉林省居民营养与健康调查。采用确定性评估方法,结合无机砷的原暂定每周可耐受摄入量(PTWI)和暴露边际(MOE),评价吉林省居民膳食中砷暴露情况。结果 11类食品中砷平均含量为0.030 mg/kg,谷物类、蔬菜类和水产类是膳食中砷的主要来源,三者贡献率之和为76.59%,其中谷物类贡献率高达54.44%。10个不同性别-年龄组平均摄入量为0.73~1.31 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,一般人群暴露量MOE均>1。结论 吉林省居民膳食中砷暴露风险总体上是安全的。

关键词:砷;膳食暴露;风险评估;食物;吉林

中图分类号:R155 文献标志码:A 文章编号:1004-8456(2018)06-0645-05

DOI:10.13590/j.cjfh.2018.06.018

**Arsenic contamination in main foods and the dietary exposure
assessment for the population of Jilin Province, China**

LIU Sijie, WANG Hui, WANG Bo, GUO Jinzhi, FANG Chiguang

(Jilin Provincial Centre for Disease Control and Prevention, Jilin Changchun 130062, China)

Abstract: Objective To analyze the arsenic level in main foods, and assess the risk of dietary exposure of inhabitants in Jilin Province. **Methods** Arsenic concentration data were obtained from the national food contamination program during 2012-2017. Food samples ($n = 4532$) were collected from 11 food categories in Jilin Province. Consumption data were derived from Jilin provincial nutrition and health survey in 2012. The provisional tolerable weekly intake (PTWI) and margin of exposure (MOE) were used to estimate dietary arsenic exposure of inhabitants in Jilin Province. **Results** The average concentration of arsenic in 11 categories of food was 0.030 mg/kg. Cereals, vegetables and aquatic products were the main source of dietary arsenic exposure. The contribution rate of the three was 76.59%, of which cereal contributed 54.44%. Dietary arsenic exposure of different age-gender population groups was in the range of 0.73-1.31 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$. The MOE of mean dietary arsenic exposure was above 1. **Conclusion** The status of arsenic exposure of the inhabitants in Jilin Province was safe.

Key words: Arsenic; dietary exposure; risk assessment; food; Jilin

砷是一种普遍存在于岩石、土壤和地下水中的类金属元素^[1]。由于自然界和人为的释放,在食品和饮用水中经常会检测到砷。砷以无机和有机状态存在于环境中,无机状态的砷毒性更强^[2]。美国环境保护署(EPA)和国际癌症研究机构(IARC)均将无机砷及其化合物视为人类I类致癌物^[3]。世界卫生组织/联合国粮农组织食品添加剂联合专家委员会(JECFA)在第72次会议上撤销了无机砷的暂定每周可耐受摄入量(PTWI)15 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,认为现

在没有一个合适的砷暴露健康阈值^[4]。欧洲食品安全局(EFSA)科学委员会建议可将暴露边际(MOE)作为没有健康指导值的化学污染物的风险评估方法^[5],因此,本研究采用MOE法进行砷的风险评估^[6]。虽然砷可通过皮肤、呼吸等途径进入人体,但是膳食和饮水是砷进入人体主要途径^[7]。为了解吉林省居民膳食中砷暴露情况,并掌握其暴露风险,本研究对吉林省居民膳食中砷污染情况进行分析并对其进行风险评估。

收稿日期:2018-09-07

作者简介:刘思洁 女 主任技师 研究方向为食品安全风险监测与评估 E-mail:0928lsj@163.com

通信作者:方赤光 男 主任技师 研究方向为食品安全风险监测与评估 E-mail:fangcdc@163.com

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 砷含量数据来源

2012—2017年吉林省砷含量数据来自国家食

品风险监测。监测的食品类别主要包括水果类、蔬菜类、谷物类、水产类、豆类、肉类、调味品、酒类、饮料类、蛋类和乳制品等。样品严格按照《国家食品污染物和有害因素监测手册》^[8]的随机抽样原则,选择了吉林省的63个县市区(批发市场和餐饮店、零售店、大中型超市、食杂店)随机采集食物样品,按照GB/T 5009.11—2014《食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定》^[9]进行检测。

1.1.2 膳食消费量数据来源

从2012年吉林省营养与健康调查中得到膳食消费量数据^[10]。该调查根据随机抽样原则,对吉林省540户的1253个居民进行了3d24h的膳食问卷调查以及家庭调味品称重调查:调查户回忆其24h内所有的进食情况,包括其在家和外出所吃的食物,调查人员需要连续3d入户调查,对于12岁以下儿童则需要成人协助其回忆进食情况。主要调味品消费量调查采用称重记录法^[11]。

1.2 方法

1.2.1 食品中砷含量的评价方法

按照GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》^[12]来判定食品样品中砷的超标情况。

1.2.2 不同类别食品 and 不同性别-年龄组居民膳食暴露计算

膳食暴露计算公式为:

$$EXP = \sum \frac{\text{食物消费量} \times \text{化学物浓度}}{\text{体重}}$$

其中,EXP为每日砷暴露量,μg/kg BW。体重为不同年龄段人群的平均体重,kg。化学物浓度为某种类别食品的平均浓度,食物消费量为平均消费量及各个百分位点消费量。人群高端暴露量根据国家食品安全风险评估中心点评估高端暴露模型,由三种高暴露食物的高暴露量与全人群其他食物平均暴露量相加得到^[13]。每周暴露量由每日暴露量乘

以7d获得。

某类食品的贡献率计算公式为:某类食品的膳食贡献率(%) = 某类食品中砷的暴露量 ÷ 各类食品暴露量之和 × 100%。

1.2.3 膳食暴露评估方法

本研究采用无机砷原来的PTWI 15 μg/kg BW和MOE法共同对吉林省居民膳食中砷的暴露风险进行评估。

PTWI评估方法:先计算目标人群每日砷暴露量再折算成每周砷暴露量,用得到的每周砷暴露量与原PTWI比较。暴露量超过PTWI提示健康风险较高。

MOE评估方法:根据JECFA报告,无机砷导致人类肺癌为毒性效应终点的基准剂量的下限(BDML_{0.5})为3~5 μg/kg BW^[4],保守估计,取3 μg/kg BW为BDML_{0.5}的值。MOE计算公式为:BDML_{0.5}/每日暴露量,当MOE > 1时,认为砷暴露风险是较低的,反之则认为其风险需要关注。

1.2.4 数据处理

本研究中对样品含量小于检出限(LOD)的结果均按照1/2LOD计算砷的含量。由于无机砷的毒性强,国际上以无机砷为依据对砷进行安全评价,食品中无机砷大约占总砷70%左右^[4],从保守性的角度,本研究将总砷作为无机砷来进行评价。

2 结果

2.1 吉林省食品中砷污染状况

吉林省不同类别食品中砷含量水平差异较大,其中谷物类砷含量最高(0.095 mg/kg),其次为水产类(0.073 mg/kg),比11类食物平均含量(0.030 mg/kg)高2~3倍,饮料类砷含量最低,见表1。根据GB 2762—2017的限量标准^[12]评价食品中砷的污染情况,谷物类有2份超标样品,蔬菜类有3份超标样品,总超标率为0.11%(5/4532)。

表1 吉林省食品中砷的污染情况

Table 1 Pollution status of arsenic in foods in Jilin Province, China

食品种类	样品份数	检出率/%	均值/(mg/kg)	最大值/(mg/kg)	P50/(mg/kg)	P90/(mg/kg)	P95/(mg/kg)	P97.5/(mg/kg)
蔬菜类	1274	30.69(391/1274)	0.018	0.620	0.005	0.060	0.070	0.079
水果类	337	10.39(35/337)	0.028	0.460	0.025	0.030	0.070	0.162
水产类	478	71.34(341/478)	0.073	2.190	0.042	0.100	0.180	0.481
谷物类	1134	89.95(1020/1134)	0.095	0.820	0.084	0.150	0.380	0.420
肉类	556	34.35(191/556)	0.026	0.450	0.005	0.070	0.090	0.111
乳制品	236	12.71(30/236)	0.013	0.098	0.005	0.040	0.070	0.074
蛋类	180	13.89(25/180)	0.010	0.140	0.005	0.030	0.050	0.090
豆类	167	73.05(122/167)	0.029	0.168	0.032	0.050	0.060	0.060
酒类	57	12.28(7/57)	0.007	0.045	0.005	0.010	0.020	0.024
调味品	43	6.98(3/43)	0.009	0.082	0.005	0.010	0.070	0.076
饮料类	70	0.00(0/70)	ND	ND	ND	ND	ND	ND

注:ND表示未检出;表中数据为对未检出值赋值后的结果

2.2 不同种类食品砷暴露及来源

根据不同种类食品中砷的含量(表1)与居民消费量的数据(表2)以及各个年龄段平均体重(表3),计算吉林省居民不同种类食品中砷的暴露量与贡献率,结果见表2与图1。由消费量数据可看出吉林省消费最高的为蔬菜类(331.35 g/d),其次为

谷物类(307.09 g/d)。由于谷物类的砷含量和消费量都较高,故其砷平均暴露量在所有食品类别中最高。吉林省居民膳食中砷主要来源是谷物类、蔬菜类和水产类,三者贡献率之和为76.59%,其中谷物类贡献率高达54.44%(图1),即吉林省居民膳食中砷来源一半以上都是谷物类。

表2 吉林省居民不同种类食品中消费量和砷的暴露量

Table 2 Consumption and arsenic exposure of different types of food of residents in Jilin Province

食品种类	消费量/(g/d)					暴露量/($\mu\text{g}/\text{kg BW}$)				
	均值	P50	P90	P95	P97.5	均值	P50	P90	P95	P97.5
蔬菜类	331.35	287.49	587.78	734.61	914.74	0.096	0.083	0.170	0.213	0.265
水果类	159.33	132.46	300.00	381.53	478.81	0.070	0.059	0.133	0.169	0.212
水产类	80.54	66.67	144.22	198.93	213.14	0.093	0.077	0.166	0.229	0.246
谷物类	307.09	250.94	521.35	678.03	892.23	0.464	0.379	0.788	1.025	1.349
肉类	68.46	50.65	137.88	176.05	227.46	0.028	0.021	0.056	0.071	0.092
乳制品	117.95	83.33	224.26	304.25	313.73	0.024	0.017	0.045	0.061	0.063
蛋类	47.60	39.14	91.68	107.14	135.28	0.007	0.006	0.014	0.016	0.021
豆类	93.39	71.98	185.60	219.62	299.38	0.044	0.034	0.087	0.102	0.140
酒类	226.16	166.67	588.05	757.83	808.44	0.024	0.017	0.062	0.079	0.085
调味品	15.76	9.62	34.28	54.67	83.33	0.002	0.001	0.005	0.008	0.012
饮料类	106.90	70.23	271.07	386.66	476.00	0.001	0.001	0.002	0.003	0.004

表3 吉林省居民各年龄段平均体重(kg)

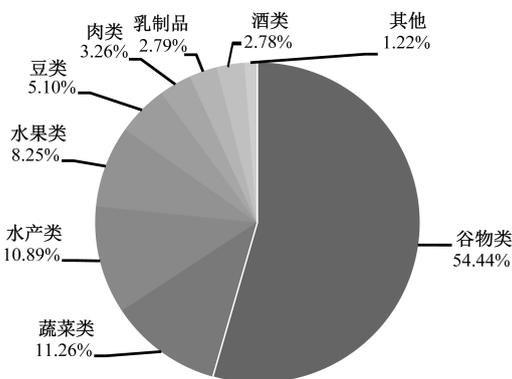
Table 3 Average weight of each age group in Jilin Province

年龄	男性	女性
2~6岁	26	23
7~17岁	46	42
18~65岁	67	60
66岁以上	67	60
全人群	63	57

2.3 不同性别-年龄组居民膳食中砷暴露水平

各年龄组居民膳食中砷的日均暴露量范围,男性年龄组0.50~1.31 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,占原PTWI的23.33%~61.13%;女性年龄组为0.73~1.10 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,占原PTWI的34.07%~51.33%;全人群为0.85 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,占原PTWI的39.67%。2~6岁年龄组人群砷平均暴露量最高,为1.16 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,MOE为2.59。各性别-年龄组居民平均膳食中砷暴露的MOE均大于1,见表4。各性别年龄组居民平均膳食中砷暴露的MOE均大于1,见表4。全人群高端暴露量(P95)为

1.28 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,MOE为2.34,其中7~17岁年龄组达到2.85 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,MOE接近1。



注:其他类包括蛋类、调味品和饮料类贡献率分别为0.85%、0.27%和0.10%

图1 吉林省居民全人群不同食品的贡献率

Figure 1 Contribution of dietary exposure to arsenic in different foods of the overall population in Jilin Province

表4 吉林省居民不同性别-年龄组砷暴露水平

Table 4 Average exposure level of arsenic in diet of different age-gender groups in Jilin Province

年龄	人数	暴露量/($\mu\text{g}/\text{kg BW}$)		原PTWI/%		MOE	
		均值	P95	均值	P95	均值	P95
2~6岁	87	1.16	2.05	54.13	95.67	2.59	1.46
7~17岁男	253	1.14	3.14	53.20	146.53	2.63	0.95
7~17岁女	197	1.10	3.04	51.33	141.87	2.73	0.99
18~65岁男	2 612	0.86	1.72	40.13	80.27	3.49	1.74
18~65岁女	3 578	0.80	1.60	37.33	74.67	3.75	1.88
66岁以上男	639	0.50	1.01	23.33	47.13	6.00	2.96
66岁以上女	604	0.78	1.41	36.40	65.80	3.85	2.13
全人群	7 970	0.85	1.28	39.67	59.73	3.52	2.34

3 讨论

研究^[13]表明,不同食品类别中砷含量有所不同。本研究表明吉林省各类食品中砷平均含量为0.030 mg/kg,其中谷物类中砷平均含量最高(0.095 mg/kg),其次为水产类(0.073 mg/kg),蔬菜类有3份超标样品,谷物类有2份超标样品,总超标率为0.11%。2017年广西主要食品污染状况表明,总砷平均含量为0.094 0 mg/kg,总砷平均含量较高的为海洋甲壳类(0.578 mg/kg)、海水鱼类(0.525 mg/kg)、软体动物类(0.501 mg/kg)食品,无机砷平均含量最高的为大米(0.072 mg/kg)^[14]。2013—2015年陕西省调查的谷物、蔬菜、水产品、水果、肉类、乳制品和蛋类食品中,总砷平均含量为0.038 mg/kg,其中水产品(0.067 mg/kg)、蔬菜类(0.027 mg/kg)和谷物类(0.026 mg/kg)总砷平均含量最高^[15]。2013年青岛市食品中总砷污染情况表明,在鲜活海产品、蔬菜、生牛乳和生畜肉中,总砷含量最高的为鲜活海产品类(0.575 mg/kg)^[16]。本研究结果与上述国内其他省市研究结果基本一致,其中吉林省谷物类砷污染水平略高。

膳食暴露风险评估显示,吉林省全人群膳食中砷平均暴露量为0.85 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,MOE为3.52,高消费人群砷平均暴露量为1.28 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,MOE为2.34;7~17岁男性年龄组高消费人群砷平均暴露量为3.14 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,女性年龄组高消费人群砷平均暴露量为3.04 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$,MOE接近于1,表明7~17岁年龄组砷暴露风险比其他年龄组高。2014年EFSA研究报告指出除水产品外其他类食品总砷转换无机砷的转化系数为70%^[1],由于本研究利用总砷替代无机砷的含量进行评估,7~17岁年龄组MOE值接近1,但是暴露风险也在可接受范围之内。本研究全人群MOE高于广西MOE(2.88)。与全世界总砷平均暴露量比较,高于美国(0.39 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$)、澳大利亚(0.50 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$)、新西兰(0.7 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$)。与其他高粮食摄入和水污染严重国家比较,低于日本(3.82 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$)、孟加拉国(0.91 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$)、智利(2.18 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$)^[4]的总砷平均暴露量。虽然吉林省居民膳食中砷暴露量与一些发达国家相比略高,但是低于一些水污染较严重的国家,吉林省居民膳食中砷暴露风险总体上是安全的。

本研究发现谷物类是吉林省居民膳食中砷暴露的主要来源,贡献率高达54.44%,其次是蔬菜类和水产类,贡献率分别为11.26%和10.89%。水产类虽然总砷含量高但是消费量低,而且水产类中以砷糖、砷甜菜碱等无毒的有机砷形态存在,无机砷

的含量相对低^[17],所以水产品相对危害低。然而,谷物类和蔬菜类的无机砷占总砷的比例很大^[18],所以本研究所评估的总砷暴露量有一定的参考价值。谷物类和蔬菜中砷的污染主要来源于土壤、水和空气,建议有关部门应该对环境中的砷污染进行严控。吉林省是谷物大省,居民主要以谷物为主食,所以谷物中砷污染要格外重视。

本次研究存在一定的不确定性,主要包括以下4点。第一,此次评估用的是2012年吉林省营养健康调查的食物消费量数据,随着时间的改变吉林省居民的消费结构可能发生了改变。第二,由于受仪器条件等因素限制,没有开展对无机砷的检测,此次采用的是总砷替代无机砷做评估会造成一定的高估,但也保证了评估结果的充分保守性。第三,本次评估包含了大多数食品类别,但是仍没有包括所有食品,这会造成略微的低估。第四,本次主要对居民膳食做了评估,但是没有考虑饮水、皮肤和呼吸等途径,特别是饮水来源的砷暴露,对于饮用水中砷浓度相对较高的地区需要特别关注饮水来源的砷暴露。针对上述不确定性需要进一步开展相关研究工作。

参考文献

- [1] European Food Safety Authority (EFSA). Dietary exposure to inorganic arsenic in the European population [J]. The EFSA Journal, 2014,12(3):3597.
- [2] JARAEA, WINTERC K. Dietary exposure to total and inorganic arsenic in the United States,2006-2008 [J]. International Journal of Food Contamination,2014,1(1):3.
- [3] IARC. A review of human carcinogens: arsenic, metals, fibres, and dusts (monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans) [M]. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer,2012:41-93.
- [4] Joint FAO/WHO Expert Committee. Food additives summary and conclusion, JECFA/72/SC [R]. 2011.
- [5] EFSA Scientific Committee. Guidance of the Scientific Committee on a request from EFSA on the use of the benchmark dose approach in risk assessment [J]. The EFSA Journal, 2009, 1150: 1-72.
- [6] 金英良,张亚非,刘沛,等. 个体暴露边际在铅膳食暴露健康风险评估中的应用 [J]. 中国卫生统计, 2014, 31(6): 943-945.
- [7] ABDUL K S M, JAYASINGHE S S, EDIRIWEERA P S, et al. Arsenic and human health effects: a review [J] Environ Toxicol Pharmacol, 2015, 40(3): 828-846.
- [8] 国家食品安全风险评估中心. 国家食品污染和有害因素风险监测工作手册 [M]. 2017.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定: GB/T 5009.11—2014 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [10] 白光大, 方赤光, 黄彪, 等. 2010—2012年吉林省居民营养状

- 况调查报告[M]. 吉林:吉林大学出版社,2016.
- [11] 王博,王慧,刘思洁. 吉林省居民膳食汞暴露评估[J]. 食品安全质量检测学报,2017,8(12):4908-4913.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中污染物限量:GB 2762—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [13] 张磊,刘爱东,刘兆平,等. 食品化学物高端暴露膳食模型的建立[J]. 中华预防医学杂志,2013,47(6):565-568.
- [14] 蒋玉艳,蒙浩洋,陈晖,等. 广西主要食品中砷污染及居民膳食暴露风险评估[J]. 中国食品卫生杂志,2017,29(6):745-749.
- [15] 王彩霞,胡佳薇,程国霞,等. 2013—2015年陕西居民日常膳食总砷暴露量评估及健康风险评价[J]. 卫生研究,2017,46(1):132-135.
- [16] 石学香,王本利,陈曦,等. 青岛市食品中铅、镉、总汞、总砷元素污染情况调查[J]. 中国卫生检验杂志,2013,23(10):2335-2337.
- [17] 黄家钿,周碧红,石予白,等. 浙江省部分沿海地区海产品中铅、砷、镉、汞的污染调查[J]. 中国卫生检验杂志,2015,25(16):2786-2788.
- [18] SEO M N, LEE S G, EOM S Y, et al. Estimation of total and inorganic arsenic intake from the diet in Korean adults[J]. Arch Environ Contam Toxicol, DOI 10. 1007/s00244-015-0257-1.

《中国辐射卫生》杂志 2019 年征稿征订启事

《中国辐射卫生》杂志创刊于 1992 年,由中华人民共和国国家卫生和委员会主管,中华预防医学会、山东省医学科学院放射医学研究所共同主办,国内公开发行。本刊是中国科技核心期刊,2004 版中文核心期刊。中国知网(CNKI)全文收录。

所设栏目有:辐射剂量与防护/论著、放射生物学/论著、放射化学/论著、辐射健康/论著、医疗照射/论著、辐射监测/论著、辐射环境/论著、辐射安全/论著、诊断与治疗/论著、监督与管理/论著、综述等。

刊发周期:审稿通过后四个月内刊出。对具有创新性的优秀论文开通绿色通道,加急审稿、优先发表。

欢迎投稿、欢迎订阅。

在线投稿:http://www.zgfsws.com 或发邮件:REDI@chinajournal.net.cn

订阅:由济南报刊发行局发行,邮发代号为 24-094。双月刊,每期定价 20 元,全年 120 元。可汇款到编辑部订阅过刊(免费邮寄、挂号加收 5 元)。

地址:山东省济南市经十路 18877 号 中国辐射卫生杂志 编辑部

电话:0531-82919955 **传真:**0531-82952689 **邮政编码:**250062

E-mail:REDI@chinajournal.net.cn **QQ 群:**572900989

《中国消毒学杂志》2019 年征稿征订启事

《中国消毒学杂志》于 1984 年创刊,是消毒学理论与应用性刊物,是国内外公开发行的国家级学术期刊。本刊为中国科技论文统计源期刊(科技核心期刊)、中国自然科学核心期刊、中国医药卫生核心期刊、中文生物医药核心期刊和美国化学文摘(CA)收录期刊。

本刊专业报道消毒与灭菌相关理论研究与应用成果,注重科学性、实用性与针对性,是我国消毒学相关研究学术交流的良好平台。本刊设置论著、综述和实践研究等栏目,适合从事公共卫生、临床医学、微生物学、化学等相关领域的研究人员以及从事环境、食品、制药、兽医等专业领域的研发人员、技术人员投稿和阅读。本刊对于原创性、基金课题类的优质稿件给予加急处理、优先发表。

《中国消毒学杂志》为月刊,每月 15 日出版。统一刊号:ISSN 1001-7658,CN 11-2672/R。2019 年每期订价 15 元,全年 180 元。广大读者可通过当地邮局订阅,国内邮发代号 82-328,国外代号 MO4174。欢迎订阅投稿!

联系电话:010-66948537,66948363 **传真:**010-66948747

投稿网址:http://manu63.magtech.com.cn/zgxdx

电子信箱:xd948537@126.com **QQ 群:**642674042

联系地址:北京市丰台区东大街 20 号《中国消毒学杂志》编辑部 邮政编码:100071