

# 四川盆地西缘农村居民饮用水健康风险暴露参数的研究

邓 玉<sup>1</sup>, 倪福全<sup>2\*</sup>, 向 璐<sup>1</sup>, 张 莹<sup>1</sup>, 刘小容<sup>1</sup>, 王 威<sup>1</sup>

(1.四川农业大学资源环境学院, 成都 611130; 2.四川农业大学信息与工程技术学院, 四川 雅安 625014)

**摘 要:**采用随机入户调查的方式对位于四川盆地西缘的名山县农村居民饮用水暴露参数进行了研究。结果表明:研究区农村居民儿童、成年男性、成年女性和全体调查者,其体重平均值分别为 30、64、56、57.6 kg, 每日平均饮水率分别为 1.25、2.13、1.92、1.88 L·d<sup>-1</sup>, 皮肤表面积均值分别为 1、1.72、1.57、1.6 m<sup>2</sup>;随着年龄的增长, 3 种暴露参数均表现出先增加, 46~60 岁时达到最大值, 之后缓慢减少的变化趋势;研究区男性、女性的体重和皮肤表面积与美国、澳大利亚、加拿大居民差异较大;男性、女性饮水率与我国北方居民亦有差异, 相比较分别低 37.7%、38.5%。因此, 建议按区域建立我国居民的暴露参数数据库, 以降低健康风险评估结果的非确定性。

**关键词:**暴露参数; 饮水率; 皮肤表面积; 体重; 名山县

**中图分类号:** X820.4    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1672-2043(2013)02-0244-07    doi:10.11654/jaes.2013.02.006

## Research on the Health Risk Assessment Exposure Factors of Rural Residents' Drinking Water in the Western Edge of the Sichuan Basin, China

DENG Yu<sup>1</sup>, NI Fu-quan<sup>2\*</sup>, XIANG Lu<sup>1</sup>, ZHANG Ying<sup>1</sup>, LIU Xiao-rong<sup>1</sup>, WANG Wei<sup>1</sup>

(1.College of Resource and Environment, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2.College of Information and Engineering, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

**Abstract:** Using random sampling method, this study investigated the drinking water exposure characteristics of rural residents in the western edge of the Sichuan Basin, and got 1240 investigators' information. Three groups including male, female and all subjects would be divided to analyze with SPSS17.0 software. The results showed that: age and sex could influence exposure parameters. For children, adult males, adult females and all the investigators, average body weight of these groups were 30 kg, 64 kg, 56 kg, 57.6 kg respectively; average daily drinking water intake rate were 1.25 L·d<sup>-1</sup>, 2.13 L·d<sup>-1</sup>, 1.92 L·d<sup>-1</sup>, 1.88 L·d<sup>-1</sup> respectively; and average skin surface area were 1 m<sup>2</sup>, 1.72 m<sup>2</sup>, 1.57 m<sup>2</sup>, 1.6 m<sup>2</sup> respectively. These three exposure parameters increased with age at first, and reached up to the maximum at the age of 46~60, then gradually decreased. Compared with the residents of US, Australia and Canada, the mean of body weight for male and female in the study area were below 23%~25%, 12%~20.8%, respectively, and average skin surface area were below 12.8%~16.3%, 7.6%~8.3%, respectively. Average daily drinking water intake rate for male and female were lower northern residents of China 37.7%, 38.5%, respectively. Therefore, it's an urgent need for building regional residents exposure factors database in order to reduce uncertainty of health risk assessment.

**Keywords:** exposure factor; daily drinking water intake rate; skin surface area; body weight; Mingshan County

暴露参数是描述人体通过呼吸、经口摄入、经皮肤接触等途径接触到外源物质的数量、速率, 以及人

体基本特征(如体重、预期寿命、皮肤表面积等)的参数, 是评估人体暴露于外源物质剂量的重要因子。污染物的健康风险评估工作必须建立在对暴露参数定量化研究的基础上, 结合剂量-反应关系进行研究。因此, 暴露参数不仅是健康风险评估的重要基础数据, 其准确性还直接影响到评估结果的可靠性。

国外对暴露参数的研究卓有成效, 许多发达国家都颁布了参数手册。美国环保局(USEPA)基于大量的研究和部分全国性大规模调查数据, 发布了暴露

收稿日期: 2012-07-24

基金项目: 国际科技合作计划项目(2012DFG91520); 四川省科技支撑计划项目(2010NZ0105); 四川省教育厅重点科研项目(09ZA063)

作者简介: 邓 玉(1987—), 女, 重庆丰都人, 硕士研究生, 主要从事环境污染化学与生物修复等方面工作。E-mail: xmdengyu@126.com

\* 通信作者: 倪福全 E-mail: nfq1965@163.com

参数手册,确定了全国居民的呼吸、饮水、饮食、皮肤和基本生理指标等暴露参数<sup>[1]</sup>。加拿大<sup>[2]</sup>、日本<sup>[3]</sup>、澳大利亚<sup>[4-5]</sup>等国也在参考 USEPA 的暴露参数手册框架的基础上,根据本国居民的特点编制、发布了适合本国国民的暴露参数手册或指南。目前,我国尚未正式发布与健康风险评估相关的技术导则和有关暴露参数的手册。针对水质污染可能引起的人体健康威胁的现实问题,国内主要采用 USEPA 制定的健康风险评估模型进行人体健康风险评估<sup>[6-7]</sup>,模型中所用参数(如饮水率、体重、寿命等)一般直接引用美国等发达国家已公布的暴露参数数据<sup>[6-9]</sup>。国内对暴露参数的研究起步较晚,虽然没有发布正式的暴露参数手册,但仍有不少相关报道。如:段小丽等<sup>[10-11]</sup>对河南省泌阳县城、乡居民饮水暴露参数(饮水率、皮肤暴露面积等)进行了研究,并将其运用到饮水重金属健康风险评估中;徐鹏等<sup>[12]</sup>以随机入户调查的方式研究了北京、上海居民饮用水消费习惯,结果表明,两市居民冬夏两季的日均饮水率分别为 2.2、1.7 L·d<sup>-1</sup> 和 2、1.8 L·d<sup>-1</sup>,且男性日均饮水率高于女性。

暴露参数的确定具有调查时间长、数据量大、分布面广等特点,且考虑到人种、生活习惯、社会经济状况等因素的差异,所以不同国家暴露参数也有差异;即便是同一国家由于地理、气候、饮食、城乡环境等方面的差异,暴露参数亦不尽相同。因此,在水质健康风险评估研究中直接引用其他国家或地区的暴露参数,可能造成评估结果误差较大、可靠性不足,不能准确评估饮用水对人体健康的威胁,进而影响风险管理和决策的有效性和科学性。基于此,针对四川省雅安市名山县农村居民饮水习惯,结合当地社会经济情况,采用野外随机问卷调查和实际量测等手段,对该县农村居民饮用水暴露参数(包括饮水率、体重、皮肤表面积)进行了初步研究,并与国内外暴露参数进行对比分析,为今后继续深入调查和风险评估工作提供参考和借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

名山县位于四川盆地西南部,隶属四川省雅安市,界于东经 103°02'~103°23',北纬 29°58'~30°16'之间,全县辖 9 镇 11 乡,幅员面积 614.27 km<sup>2</sup>。该县属亚热带季风湿润气候区,多年平均气温 15.4℃;多年平均相对湿度 81%;多年平均降雨量 1 299.4 mm,且主要集中在 6—9 月,占多年平均降雨量的 95%,降雨

量时空分布不均。

长期以来,该县农村居民饮水水源主要是坑塘水、河水、井水、山溪水等,水源分散且水质差。据 2010 年调查资料,全县农村饮水不安全共涉及 20 个乡镇 171 个村的 11.809 1 万人,主要问题是饮用苦咸水、细菌学指标超标、污染水及其他不达标的含硝、铁、锰等严重的地下水。这些不安全因素也是四川省农村饮水不安全的主要诱因<sup>[13]</sup>。该县位于我国西南部,经济欠发达,与欧美等发达国家相比,居民身体素质、饮食习惯、工作环境等方面均有很大差异。另据名山县统计年鉴<sup>[14]</sup>,2010 年末全县总人口 27.3 万人,其中农业人口 24.25 万人,占总人口的 89.81%,属于典型的农业县。全县居民以大米为主食,生活习惯基本一致。目前,该县农村居民供水主要是小型集中式供水和村民自凿水井两种方式。名山县农村居民个人身体条件、生活习惯、农田耕作季节、生产模式和社会经济现状与雅安市其他区县(雨城区、芦山县、宝兴县、荥经县、天全县),以及地处四川盆地西部的其他市县差异不大。因此,能够代表四川盆地西缘地区农村居民的饮水暴露特征。

### 1.2 饮用水暴露参数

饮用水中污染物进入人体主要途径有经口摄入和皮肤接触两种方式,其日均暴露剂量的公式如下<sup>[15]</sup>:

$$\text{经口摄入: } ADD_{\text{oral}} = \frac{C \times IR_{\text{oral}} \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1)$$

$$\text{经皮肤接触: } ADD_{\text{skin}} = \frac{C \times I_{\text{skin}} \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (2)$$

$$I_{\text{skin}} = SA \times PC \times ET \times CF \quad (3)$$

式中:  $C$  为饮用水中污染物的检测浓度,  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $IR_{\text{oral}}$  为饮水率,  $\text{L} \cdot \text{d}^{-1}$ , 即人体日均饮水量;  $I_{\text{skin}}$  为皮肤摄入率,  $\text{L} \cdot \text{d}^{-1}$ , 即人体日均接触水量;  $EF$  为暴露频率,  $\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$ , 表示评估时段内人体摄入评估污染物的年均天数;  $ED$  为暴露历时, 表示人体终生摄入被评污染物的年数;  $BW$  为居民平均体重,  $\text{kg}$ ;  $AT$  为预期寿命,  $\text{d}$ ;  $SA$  为皮肤接触表面积,  $\text{cm}^2$ ;  $PC$  为污染物的皮肤渗透系数,  $\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ ;  $ET$  为暴露时间,  $\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ ;  $CF$  为体积转换因子,  $1 \text{ L} \cdot 1000 \text{ cm}^3$ 。

同其他暴露参数相比,饮水率、体重和皮肤表面积数据较易获取,也是健康风险评估必不可少的重要参数。因此,本文主要针对这 3 个参数进行研究。

### 1.3 调查方法

按照各年龄段人口数量占总人口数量比例和男女各半的原则,在全县 20 个乡镇随机入户调查农村

居民饮水情况。调查采用问卷和实际量测两种方式相结合,调查内容分为被调查者的基本信息(如姓名、家庭住址、性别、年龄、身高、体重等)、饮食及饮水生活习惯两部分。为了获得准确的调查结果,调查员的工作包括两部分:询问每个被调查对象在最近连续2 d的直接饮水率和间接饮水率,然后用500 mL量筒测量;用自带的电子秤称量每个被调查对象的体重。

### 1.3.1 饮水率

研究区农村居民饮水率为直接饮水率与间接饮水率之和。饮水率的具体测量方法如下:

#### (1)直接饮水率

包括白开水、茶水、矿泉水、饮料、凉水、菜汤等。调查员采用体积为500 mL的玻璃量筒对每位被调查者日常饮水容器,如杯子、碗等的容量进行直接测量,并询问被调查者最近连续2 d内每日的饮用量,比如多少杯水、多少碗水、多少瓶纯净水等,据此估算每日平均直接饮水率。

#### (2)间接饮水率

根据当地居民的生活习惯及具有代表性的熟米饭、汤面条、粥等日常饮食,确定各类饮食的含水率。调查时,调查员询问被调查者最近连续2 d内的饮食种类和数量,包括米饭、蔬菜、水果、面食等,并称量每类饮食单位重量,依此估算每日平均间接饮水率。

### 1.3.2 皮肤表面积

皮肤暴露面积是计算皮肤暴露量的必要参数,人体皮肤表面积的确立采用USEPA模型<sup>[6]</sup>由身高和体重进行计算,公式如下:

$$SA=0.023\ 9H^{0.417}BW^{0.517} \quad (4)$$

式中:SA为皮肤表面积,m<sup>2</sup>;H为身高,cm;BW为体重,kg。

### 1.4 数据处理

采用Excel 2003对1300名农村居民的调查问卷和实测资料进行录入、整理。由于整个样本数据的采集时间跨度大,调查地区地理位置相距较远以及调查人员的主观判断差异等原因,可能导致一定的数据误差。因此在对数据进行分析研究之前,先对数据进行验证,其结果是占调查总数的97%即1240名被调查者的数据是合理有效的。利用统计分析软件SPSS17.0对1240名被调查者的数据进行了描述性统计分析,并采用方差分析法对数据差异性进行了比较研究。

## 2 结果与分析

将被调查对象按全体、男性、女性划分为3个组,

每组分为5个年龄段进行调查数据的统计分析,结果见表1。

表1 被调查农村居民年龄分布情况  
Table 1 Distribution of rural residents' age

| 年龄段    | 全体/个       | 男性/个       | 女性/个       |
|--------|------------|------------|------------|
| 0~12岁  | 80(6.5%)   | 41(6.8%)   | 39(6.1%)   |
| 13~17岁 | 42(3.3%)   | 20(3.3%)   | 22(3.4%)   |
| 18~45岁 | 621(50.1%) | 296(49.4%) | 325(50.7%) |
| 46~60岁 | 302(24.4%) | 145(24.3%) | 157(24.5%) |
| 60岁以上  | 195(15.7%) | 97(16.2%)  | 98(15.3%)  |
| 合计     | 1240       | 599        | 641        |

注:括号内数据表示该年龄段占总数的百分比。

由表1可知,3组被调查者中个体数最多的年龄段是18~45岁,分别有621、296个和325个被调查者,在本年龄段上所占比例接近。不同年龄段在同一分类中所占比例与《名山县统计年鉴》<sup>[14]</sup>基本一致,且被调查者的男女比例大致为1:1,说明研究获得的数据能够反映名山县农村居民的实际生活状况,可以利用现有数据进行当地居民饮用水暴露特征的研究。

### 2.1 体重

对被调查农村居民体重进行统计分析,结果见表2。

据表2可知,同性别不同年龄段居民体重存在显著性差异,具有统计学意义( $P<0.05$ ),除男性居民体重在18~45岁与46~60岁差异不显著,女性居民体重在18~45岁与60岁以上差异不显著;同年龄段(除0~12岁)男、女性居民的体重也表现出显著性差异( $P<0.05$ ),说明同年龄段男、女性的体重差别较大。

按男性、女性和全体被调查农村居民进行体重统计,年龄段在0~12岁(儿童)、13~17岁(青少年)的体重呈偏态分布,其余年龄段均呈正态分布;且0~12岁居民平均体重最低,其余各组人群平均体重是0~12岁居民的1.55~2.37倍,成人和全年龄段居民平均体重是0~12岁的1.74~2.37倍。除0~12岁外,各年龄段内男性体重的平均值、最大值、最小值、中位数均高于女性。成年男性、成年女性和全体居民的体重众数均为60 kg,说明该地区居民体重为60 kg的人最多。按男性、女性、全体3组人群划分,不同年龄段体重统计结果分别是:儿童为27、31、30 kg,成人为64、56、59.5 kg,全年龄段为61、54、57.6 kg。排除个体差异,总体上人群体重呈现出随着年龄的增长先增(到45~60岁达最大值)后减的规律。



表 2 被调查农村居民体重统计分析(kg)

Table 2 The statistical results of rural residents' weight(kg)

| 被调查居民      | 年龄段     | 最小值 | 最大值 | 均值±标准差     | 中位数  | 众数 |
|------------|---------|-----|-----|------------|------|----|
| 男性(n=599)  | 0~12 岁  | 10  | 70  | 27±13.70dD | 25   | 36 |
|            | 13~17 岁 | 35  | 85  | 52 ±9.92cC | 51   | 60 |
|            | 18~45 岁 | 45  | 115 | 64±8.84aA* | 64   | 60 |
|            | 46~60 岁 | 50  | 90  | 64±7.55aA* | 63   | 65 |
|            | 60 岁以上  | 40  | 85  | 61±9.31bB* | 60   | 60 |
|            | 成人      | 40  | 115 | 64±8.60    | 62.9 | 60 |
|            | 全年龄段    | 10  | 115 | 61±11.83   | 61   | 6  |
| 女性(n=641)  | 0~12 岁  | 5   | 60  | 31±11.30dD | 30   | 35 |
|            | 13~17 岁 | 30  | 82  | 48±7.91cC  | 48   | 45 |
|            | 18~45 岁 | 22  | 80  | 55±7.87bAB | 55   | 60 |
|            | 46~60 岁 | 36  | 82  | 58±7.82aA  | 60   | 60 |
|            | 60 岁以上  | 35  | 80  | 54±9.09bB  | 52   | 50 |
|            | 成人      | 36  | 82  | 56±8.20    | 55   | 60 |
|            | 全年龄段    | 5   | 82  | 54±8.21    | 55   | 60 |
| 全体(n=1240) | 0~12 岁  | 10  | 70  | 30±13.05   | 29   | 35 |
|            | 13~17 岁 | 30  | 85  | 50±9.03    | 48   | 45 |
|            | 18~45 岁 | 22  | 115 | 60±9.46    | 60   | 60 |
|            | 46~60 岁 | 36  | 90  | 61±8.21    | 60   | 60 |
|            | 60 岁以上  | 35  | 85  | 57±9.84    | 56   | 50 |
|            | 成人      | 36  | 115 | 59.5±9.20  | 60   | 60 |
|            | 全年龄段    | 10  | 115 | 57.6±11.47 | 60   | 60 |

注:大、小写相同字母分别表示男女居民不同年龄段体重在 0.01、0.05 水平上差异不显著;\* 表示男性与女性居民同年龄段体重在 0.05 水平上显著差异。差异性分析不包括成人、全年龄段,下同。

## 2.2 饮水率

对被调查农村居民饮水率进行统计分析,结果见表 3。

根据表 3,居民无论男性还是女性,饮水率在不同年龄段人群均表现出显著性差异( $P<0.05$ ),除男性饮水率在 18~45 岁与 46~60 岁、60 岁以上差异不显著,女性饮水率在 18~45 岁与 46~60 岁、13~17 岁与 60 岁以上差异不显著,说明饮水率与年龄有关;说明饮水率与年龄有关;除 0~12 岁、13~17 岁,其余各年龄段的男、女性居民饮水率也表现出显著性差异( $P<0.05$ )。13~17 岁年龄段居民饮水率是 0~12 岁的 1.17~1.32 倍,18~45 岁和 46~60 岁年龄段居民饮水率是 13~17 岁的约 1.25 倍、60 岁以上的约 1.1 倍。除 0~12 岁外,各年龄段内男性饮水率的最小值与女性比较接近,但是两者的最大值和中位数相差较大,男性比女性高 0.28~0.6  $L\cdot d^{-1}$ ;且女性居民饮水率为 1  $L\cdot d^{-1}$  的人数最多,全年龄段被调查者饮水率为 1.5  $L\cdot d^{-1}$  的人数最多。在不同年龄段上,男性的平均饮水率高于女性 3.3%~16.7%;而成人和全年龄段,男性的平均饮水率分别高于女性 10.93%、10.6%。这可能

与男女性劳动强度的差异有关,通常男性做体力活较多,大部分时间为田间活动,因此生理代谢需水量相对于女性要大一些。将被调查者分为男性、女性、全体 3 类人群,不同年龄段饮水率统计结果分别是:儿童为 1.27、1.23、1.25  $L\cdot d^{-1}$ , 成人为 2.13、1.92、1.95  $L\cdot d^{-1}$ ,全年龄段分别为 2.07、1.87、1.88  $L\cdot d^{-1}$ 。整体而言,随着年龄增长,居民饮水率呈现出先逐渐增加,在 46~60 岁达到最大值,随后减少的变化趋势,这可能与人体自身生长发育、新陈代谢、日常生活等因素有关。

## 2.3 皮肤表面积

对被调查农村居民皮肤表面积进行统计分析,结果见表 4。

由表 4 可知:男性、女性居民皮肤表面积在各年龄段差异性显著( $P<0.05$ ),除男性居民皮肤表面积在 18~45 岁与 46~60 岁差异不显著,女性居民皮肤表面积在 18~45 岁与 60 岁以上差异不显著;不同性别居民,在 18~45 岁、45~60 岁及 60 岁以上年龄段的皮肤表面积差异性显著( $P<0.05$ )。

不论男性、女性还是全体被调查者,年龄段在 0~

表 3 被调查农村居民饮水率统计分析(单位:L·d<sup>-1</sup>)

Table 3 The statistical results of rural residents' drinking water intake rate(unit:L·d<sup>-1</sup>)

| 被调查居民      | 年龄段     | 最小值  | 最大值  | 均值±标准差         | 中位数  | 众数   |
|------------|---------|------|------|----------------|------|------|
| 男性(n=599)  | 0~12 岁  | 0.30 | 2.00 | 1.27±0.46dC    | 1.40 | 1.50 |
|            | 13~17 岁 | 0.50 | 2.88 | 1.68±0.59cC*   | 1.75 | 1.15 |
|            | 18~45 岁 | 0.63 | 3.53 | 2.11±0.64abAB* | 2.10 | 2.30 |
|            | 46~60 岁 | 0.70 | 3.66 | 2.24±0.62aA*   | 2.21 | 1.50 |
|            | 60 岁以上  | 0.75 | 3.50 | 2±0.61bB*      | 2.00 | 2.00 |
|            | 成人      | 0.63 | 3.66 | 2.13±0.63      | 2.11 | 2.50 |
|            | 全年龄段    | 0.30 | 3.66 | 2.07±0.65      | 2.09 | 1.50 |
| 女性(n=641)  | 0~12 岁  | 0.35 | 2.25 | 1.23±0.57cBC   | 1.25 | 1.25 |
|            | 13~17 岁 | 0.68 | 2.40 | 1.44±0.48BC    | 1.47 | 1.00 |
|            | 18~45 岁 | 0.60 | 3.20 | 1.87±0.58aA    | 1.74 | 1.00 |
|            | 46~60 岁 | 0.50 | 3.15 | 1.95±0.56ab    | 1.75 | 1.50 |
|            | 60 岁以上  | 0.60 | 3.00 | 1.71±0.57bB    | 1.40 | 1.00 |
|            | 成人      | 0.50 | 3.20 | 1.92±0.59      | 1.70 | 1.00 |
|            | 全年龄段    | 0.35 | 3.20 | 1.87±0.58      | 1.70 | 1.00 |
| 全体(n=1240) | 0~12 岁  | 0.30 | 3.00 | 1.25±0.57      | 1.32 | 1.10 |
|            | 13~17 岁 | 0.50 | 3.25 | 1.58±0.69      | 1.60 | 1.00 |
|            | 18~45 岁 | 0.60 | 3.53 | 1.93±0.63      | 1.93 | 2.50 |
|            | 46~60 岁 | 0.50 | 3.66 | 2.00±0.64      | 2.00 | 1.50 |
|            | 60 岁以上  | 0.60 | 3.50 | 1.76±0.64      | 1.72 | 2.00 |
|            | 成人      | 0.50 | 3.66 | 1.95±0.64      | 1.91 | 1.50 |
|            | 全年龄段    | 0.30 | 3.66 | 1.88±0.66      | 1.85 | 1.50 |

注:大、小写相同字母分别表示男女居民不同年龄段饮水率在 0.01、0.05 水平上差异不显著;\* 表示男性与女性居民同年龄段饮水率在 0.05 水平上显著差异。

12 岁、13~17 岁的饮水率均呈偏态分布,其余年龄段为正态分布;0~12 岁儿童平均皮肤表面积最小,其余各组人群平均皮肤表面积大致是 0~12 岁儿童的 1.36~1.93 倍,成人、全年龄段居民平均皮肤表面积是儿童的 1.22~1.37 倍;除 0~12 岁外,各年龄段男性皮肤表面积的最小值、最大值、中位数和众数均高于女性。各年龄段上,男性皮肤表面积的平均值高于女性 5.5%~10.82%。男性在成人和全年龄段的皮肤表面积分别高于女性 9.55%和 10.53%。按男性、女性、全体 3 种人群划分,不同年龄段平均皮肤表面积统计结果分别是:儿童为 0.9、1.06、1 m<sup>2</sup>, 成人为 1.72、1.57、1.65 m<sup>2</sup>, 全年龄段分别为 1.68、1.52、1.6 m<sup>2</sup>。总体上,居民平均皮肤表面积随着年龄的增加,呈现出先逐渐增加,在 46~60 岁达到最大值,随后缓慢减少的变化规律。

3 讨论

本研究结果与美国<sup>[1]</sup>、加拿大<sup>[2,17-18]</sup>、澳大利亚<sup>[4-5]</sup>、日本(不含饮水率)<sup>[9]</sup>等国的暴露参数及我国部分报道

成果<sup>[10-11,19]</sup>的对比见图 1。

由图 1 可知,该地区居民的体重、皮肤表面积与美国、澳大利亚、加拿大等国同类成果差异较大,后者成年男性、成年女性体重分别高于前者 23%~25%、12%~20.8%,皮肤表面积分别高 12.8%~16.3%、7.6%~8.3%;就饮水率而言,美国、澳大利亚、加拿大的成人推荐值均为 2 L·d<sup>-1</sup>,研究区成人饮水率为 1.95 L·d<sup>-1</sup>,两者基本一致。产生差异的主要原因是由于我国居民与美国、澳大利亚、加拿大等发达国家在人种、社会经济水平和生活习惯等方面存在明显差异。因此,直接将这些国家的暴露参数用于我国的健康风险评估工作中,必然引起评估结果失真。该研究结果与日本暴露参数相比,体重差异不大,皮肤表面积也大致相同。研究区居民的体重与王宗爽等<sup>[10]</sup>研究成果的差异不大,皮肤表面积也基本一致;与段小丽等<sup>[10-11]</sup>的研究结果差异较大,男性、女性饮水率和皮肤表面积分别高于该研究结果 37.7%、38.5%和 4.2%、7.2%,这与我国南、北方居民的个体差异、生活习惯等方面的差异有直接关系。

表 4 被调查农村居民皮肤表面积统计分析( $\text{m}^2$ )Table 4 The statistical results of rural residents' skin surface area( $\text{m}^2$ )

| 被调查居民          | 年龄段     | 最小值  | 最大值  | 均值 $\pm$ 标准差              | 中位数  | 众数   |
|----------------|---------|------|------|---------------------------|------|------|
| 男性( $n=599$ )  | 0~12 岁  | 0.43 | 1.53 | $0.90\pm 0.31\text{dD}$   | 0.84 | 0.83 |
|                | 13~17 岁 | 1.20 | 2.02 | $1.53\pm 0.17\text{cC}$   | 1.53 | 1.50 |
|                | 18~45 岁 | 0.64 | 2.37 | $1.74\pm 0.15\text{aA}^*$ | 1.73 | 1.76 |
|                | 46~60 岁 | 1.52 | 2.08 | $1.73\pm 0.11\text{aA}^*$ | 1.72 | 1.76 |
|                | 60 岁以上  | 1.34 | 2.04 | $1.67\pm 0.14\text{bB}^*$ | 1.66 | 1.60 |
|                | 成人      | 1.20 | 2.37 | $1.72\pm 0.14$            | 1.72 | 1.76 |
|                | 全年龄段    | 0.43 | 2.37 | $1.68\pm 0.23$            | 1.70 | 1.76 |
| 女性( $n=641$ )  | 0~12 岁  | 0.50 | 1.67 | $1.06\pm 0.127\text{dC}$  | 1.08 | 0.93 |
|                | 13~17 岁 | 1.14 | 1.86 | $1.45\pm 0.13\text{cB}$   | 1.45 | 1.43 |
|                | 18~45 岁 | 1.00 | 2.15 | $1.57\pm 0.13\text{aA}$   | 1.56 | 1.50 |
|                | 46~60 岁 | 0.96 | 1.96 | $1.59\pm 0.15\text{aA}$   | 1.60 | 1.60 |
|                | 60 岁以上  | 1.18 | 1.94 | $1.52\pm 0.14\text{bB}$   | 1.50 | 1.48 |
|                | 成人      | 1.18 | 2.15 | $1.57\pm 0.14$            | 1.57 | 1.60 |
|                | 全年龄段    | 0.56 | 2.15 | $1.52\pm 0.09$            | 1.55 | 1.60 |
| 全体( $n=1240$ ) | 0~12 岁  | 0.43 | 1.67 | $1.00\pm 0.3$             | 1.04 | 0.60 |
|                | 13~17 岁 | 1.14 | 2.02 | $1.49\pm 0.15$            | 1.48 | 1.42 |
|                | 18~45 岁 | 0.64 | 2.37 | $1.65\pm 0.16$            | 1.65 | 1.76 |
|                | 46~60 岁 | 0.56 | 2.08 | $1.66\pm 0.15$            | 1.66 | 1.60 |
|                | 60 岁以上  | 1.18 | 2.04 | $1.59\pm 0.16$            | 1.60 | 1.60 |
|                | 成人      | 1.18 | 2.37 | $1.65\pm 0.16$            | 1.65 | 1.60 |
|                | 全年龄段    | 0.43 | 2.37 | $1.60\pm 0.22$            | 1.63 | 1.60 |

注:大、小写字母相同分别表示男女居民不同年龄段皮肤表面积在 0.01、0.05 水平上差异不显著;\* 表示男性与女性居民同年龄段皮肤表面积在 0.05 水平上显著差异。

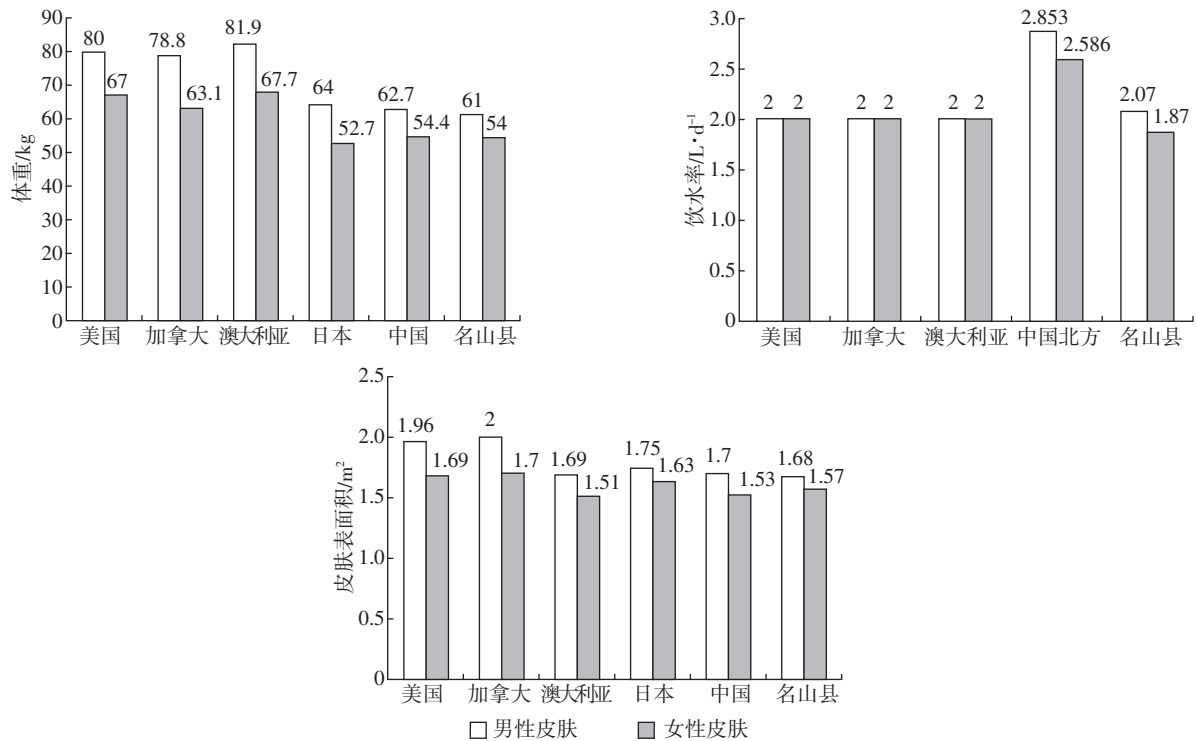


图 1 饮用水相关暴露参数对比

Figure 1 Comparison of exposure factors associated with drinking water

## 4 结论

(1)成年男性、成年女性的体重分别为 64、56 kg, 饮水率为 2.13、1.92 L·d<sup>-1</sup>, 皮肤表面积为 1.72、1.57 m<sup>2</sup>;男性、女性全年龄段的体重是 61、54 kg, 饮水率是 2.07、1.87 L·d<sup>-1</sup>, 皮肤表面积为 1.68、1.52 m<sup>2</sup>。可见男性、女性暴露参数差异较大。因此, 建议在开展健康风险评估工作时按男性、女性分别进行。3 个暴露参数均随年龄的增加, 呈现出先逐渐增加, 在 46~60 岁达到最大值, 随后缓慢减少的变化趋势。

(2)研究区被调查居民按儿童(0~12 岁)、成人、全年龄段划分, 其体重、饮水率、皮肤表面积分别为 30、59.5、57.6 kg, 1.25、1.95、1.88 L·d<sup>-1</sup>, 1、1.65、1.6 m<sup>2</sup>。这些数据的获得为今后在该地区进一步开展健康风险评估工作提供了可靠的科学依据。

(3)研究区男性、女性的体重和皮肤表面积与美国、澳大利亚、加拿大有较大的差异性, 研究区男性、女性居民的饮水率和皮肤表面积与我国北方居民相比, 差异亦较大。如果直接将这些参数应用于研究区居民饮用水健康风险评估工作中, 会使评估结果误差较大。针对我国南、北方居民饮用水暴露特征的差异性, 有必要分区建立起适合我国居民的暴露参数数据库。

## 参考文献:

- [1] USEPA. Exposure factors handbook[S]. Washington DC:US EPA, EPA/600/R-09/052A, 2009.
- [2] Sudbury Area Risk Assessment volume II, Appendix B:model assumptions, equations, algorithms and a worked example. [http://www.sudburysoilsstudy.com/EN/media/Volume\\_II\\_021408](http://www.sudburysoilsstudy.com/EN/media/Volume_II_021408), 2008.
- [3] National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST). Japanese exposure factors handbook. [http://unit.aist.go.jp/riss/crm/exposurefactors/english\\_summary.html](http://unit.aist.go.jp/riss/crm/exposurefactors/english_summary.html).
- [4] The enHealth Council. Environmental health risk assessment:Guide-lines for assessing human health risks from environmental hazards[EB/OL]. <http://enhealth.nph.gov.au/council/pubs/pubs.htm>
- [5] The enHealth Council. Australian exposure factor guidance[EB/OL]. [http://www.health.gov.au/internet/main/publicshing.nsf/Content/FAC004DCE7F63EF1CA25784000206980/\\$File/AEFG.pdf](http://www.health.gov.au/internet/main/publicshing.nsf/Content/FAC004DCE7F63EF1CA25784000206980/$File/AEFG.pdf).
- [6] 王东红, 原盛广, 马梅, 等. 饮用水中有毒污染物的筛查和健康风险评估[J]. 环境科学学报, 2007, 27(12):1937-1943.  
WANG Dong-hong, YUAN Sheng-guang, MA Mei, et al. Full screening analysis and primary risk assessment of drinking water[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(12):1937-1943.
- [7] HU Ke-lin, HUANG Yuang-fang, LI Hong, et al. Spatial variability of shallow groundwater level, electrical conductivity and nitrate concentration, and risk assessment of nitrate contamination in North China Plain [J]. *Environment International*, 2005, 31(6):896-903.
- [8] 倪福全, 刘国东, 杨尚川, 等. 四川盆地西缘农村水源地下水水质健康风险评估[J]. 自然科学进展, 2009, 19(11):1281-1287.  
NI Fu-quan, LIU Guo-dong, YANG Shang-chuan, et al. Health risk assessment associated with rural drinking water resources of the west edge of Sichuan Basin[J]. *Progress in Natural Science*, 2009, 19(11):1281-1287.
- [9] CHAI Li-yuan, WANG Zhen-xing, Wang Yun-yan, et al. Ingestion risks of metals in groundwater based on TIN model and dose-response assessment:A case study in the Xiangjiang watershed, central-south China[J]. *The Science of the Total Environment*, 2010, 408(16):3118-3124.
- [10] 段小丽, 张文杰, 王宗爽, 等. 我国北方某地区居民涉水活动的皮肤暴露参数[J]. 环境科学研究, 2010, 23(1):55-61.  
DUAN Xiao-li, ZHANG Wen-jie, WANG Zong-shuang, et al. Water-related activity and dermal exposure factors of people in typical areas of Northern China[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2010, 23(1):55-61.
- [11] 段小丽, 王宗爽, 王贝贝, 等. 我国北方某地区居民饮水暴露参数研究[J]. 环境科学研究, 2010, 23(9):1216-1220.  
DUAN Xiao-li, WANG Zong-shuang, WANG Bei-bei, et al. Drinking water-related exposure factors in a typical area of Northern China[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2010, 23(9):1216-1220.
- [12] XU Peng, Huang Sheng-biao, Wang Zi-jia, et al. Water consumption habit in general population of Shanghai and Beijing, China[J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2008, 3(3):224-230.
- [13] 朱鸿斌, 孙莉, 李俊康, 等. 四川省农村饮用水不安全状况调查[J]. 环境与健康杂志, 2006, 23(4):367-368.  
ZHU Hong-bin, SUN Li, LI Jun-kang, et al. Rural drinking water unsafety survey of Sichuan Province[J]. *Journal of Environment and Health*, 2006, 23(4):367-368.
- [14] 名山县政府, 名山县统计年鉴[M]. 成都:四川大学出版社, 2010.  
Government of Mingshan County. Statistical yearbook of Mingshan County[M]. Chengdu:Sichuan University Press, 2010.
- [15] USEPA. EPA/540/1-89/002. Risk assessment guidance for superfund Volume I human health evaluation manual(Part A)[S]. Washington DC:USEPA, 1989.
- [16] USEPA. Development of statistical distributions or ranges of standard factors used in exposure assessments[EB/OL]. EPA/600/S8-85/010, 1985.
- [17] Burmaster D E. Lognormal distributions for skin area as a function of body weight[J]. *Risk Analysis*, 1998, 18(1):27-32.
- [18] Richardson, G M. Compendium of Canadian human exposure factor for risk assessment [M]. Ottawa:O'Connor Associates Environmental Inc, 1997.
- [19] 王宗爽, 段小丽, 刘平, 等. 环境健康风险评估中我国居民暴露参数讨论[J]. 环境科学研究, 2009, 22(10):1164-1170.  
WANG Zong-shuan, DUAN Xiao-li, LIU Ping, et al. Human exposure factors of Chinese people in environmental health risk assessment[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2009, 22(10):1164-1170.