

## “十二五”期间湘江株洲段水环境健康风险评估

石勇 (湖南省株洲市规划设计院, 湖南株洲 412000)

**摘要** 根据2011—2015年湘江株洲段水质监测资料,对朱亭、枫溪、白石和霞湾4个水质断面的环境健康风险状况进行评价。结果表明:①躯体毒物质的个人年风险大小排列为氟化物、铜、铅、氨氮、汞、氰化物、酚,而基因毒物质的个人年风险大小排序为砷、六价铬、镉;②基因毒物质所产生的健康风险远超过躯体毒物质,基因毒物质为各断面的优先控制污染物,氟化物为躯体毒物质中优先控制污染物;③“十二五”期间,4个断面经由饮水途径所致健康危害的个人年总风险,均超过国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的最大可接受值。该评价结论对于指导湘江株洲段水环境风险管理具有参考价值。

**关键词** 健康风险评估;水环境;湘江

**中图分类号** X820.4 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)13-0052-04

**Water Environmental Health Risk Assessment for Zhuzhou Reach in Xiangjiang River during the Period of the 12th Five-year-plan**  
SHI Yong (Zhuzhou Planning and Design Institute, Zhuzhou, Hunan 412000)

**Abstract** Water environmental health risk assessment for Zhuzhou Reach in Xiangjiang River was conducted based on the water environment health risk analysis model and monitoring date during the years of 2011-2015. The result shows that: ①Ranking of average risk deriving from non-gene toxic substances via drinking water was fluoride, Cu, Pb, NH<sub>3</sub>, Hg, cyanide, hydroxybenzene, and the ranking of average risk due to gene toxic substances via drinking water was As, Cr<sup>6+</sup>, Cd on the whole. ②Health risk for individual person caused by gene toxic substances was far greater than that of non-gene toxic substances. Therefore, gene toxic substances should be afforded prior attention. As for non-gene toxic substances, fluoride was the highest priority pollutant among the 4 controlling sections for water quality in the Zhuzhou Reach of Xiangjiang River. ③Total health risk caused by all pollutants for the 4 sections during the period of the 12th five-year-plan was higher than the value recommended by ICRP. The results can provide important information for water quality management and protection in the Zhuzhou Reach of Xiangjiang River.

**Key words** Health risk assessment; Water environment; Xiangjiang River

湘江株洲段长度89.6 km,流域面积2 055 km<sup>2</sup>,自王十万乡入境向北,流经株洲县和市区,至马家河出境。自20世纪60年代,湘江就成为株洲市区工业废水和城市居民生活污水的受纳水体,而株洲市企业和居民的生活用水大部分取自湘江。为了监控湘江的水质,株洲段设有朱亭(交接断面)、枫溪(对照断面)、白石(控制断面)和霞湾(控制断面)4个例行监测断面,其中朱亭、枫溪和白石断面为省控断面,霞湾断面为国控断面。根据《湖南省株洲市环境质量报告书》(2011—2015年),通过对湘江株洲段4个监控断面水质监测资料进行水环境评价,“十二五”期间的平均污染指数均较“十一五”期间有所下降,但是对人体健康危害的风险程度却难以直观反映出来,目前对“十二五”期间湘江株洲段的水质健康风险研究鲜见报道。笔者根据2011—2015年湘江株洲段水质监测资料,对“十二五”期间该河段的水环境健康风险进行了定量评价和分析,旨在为湘江株洲段水环境风险管理提供决策依据。

## 1 水环境健康风险评估模型

水环境健康风险评估中,对人体健康有害的物质大致可分为放射性物质、化学致癌物和非致癌物,其中放射性物质和化学致癌物为基因毒物质,非致癌物为躯体毒物质。根据上述2类污染物通过饮用途径对人体健康造成危害效应机理不同,可建立不同的风险评估模型<sup>[1-4]</sup>。

**1.1 基因毒物质所致健康危害的风险模型** 放射性污染物在水体中浓度极小,一般检测不出,因此,笔者在进行风险评估

时仅考虑化学致癌物。则基因毒物质(饮用途径)健康危害风险评估模型为<sup>[1-4]</sup>

$$R^c = \sum_{i=1}^k R_{ig}^c \quad (1)$$

$$R_{ig}^c = [1 - \exp(-D_{ig} \cdot Q_{ig})] / 70 \quad (2)$$

$$D_{ig} = 2.2 C_i / 60 \quad (3)$$

式中, $R_{ig}^c$ 、 $D_{ig}$ 分别为基因毒物质*i*对平均个人致癌年风险和单位体重日均暴露剂量[mg/(kg·d)]; $Q_{ig}$ 为基因毒物质*i*的致癌系数[mg/(kg·d)]; $C_i$ 为基因毒物质或躯体毒物质的浓度(mg/L);70、60和2.2分别为评价区域内人平均寿命(a)、成人平均体重(kg)和成人平均每日饮水量(L)。

**1.2 躯体毒物质对健康危害的风险模型** 躯体毒物质(饮用途径)健康危害风险评估模型为<sup>[1-4]</sup>

$$R^n = \sum_{i=1}^l R_{ig}^n \quad (4)$$

$$R_{ig}^n = (D_{ig} \times 10^{-6} / RfD_{ig}) / 70 \quad (5)$$

式中, $R_{ig}^n$ 、 $D_{ig}$ 分别为躯体毒物质*i*的平均个人致癌年风险(a<sup>-1</sup>)和单位体重日均暴露剂量[mg/(kg·d)]; $RfD_{ig}$ 为躯体毒物质*i*的参考剂量[mg/(kg·d)]。

**1.3 水环境健康风险评估总体模型** 在一般水体中,特别是湘江株洲段为沿线居民生活饮用水水源地,各有毒物质浓度均很低,根据目前国内有关文献<sup>[3-10]</sup>的研究,可假定各有毒物质对人体健康的毒性作用为相加关系,则该研究中水环境总的健康危害风险 $R_{总风险}$ 可表示为

$$R_{总风险} = R^c + R^n \quad (6)$$

式(6)为水环境健康风险评估总体模型。

## 2 湘江株洲段水质健康风险评估

**2.1 水质基本资料** 该研究收集了“十二五”期间湘江株洲

段的朱亭、枫溪、白石和霞湾 4 个断面 5 年的水质监测资料,并选取了危害人体健康的 10 种主要污染物质:六价铬、

镉、氨氮、铜、铅、汞、氟化物、酚和氰化物,以 1 年内多次采样的平均值作为该年的平均值,结果见表 1。

表 1 湘江株洲段水质监测数据(部分)

Table 1 Partial monitoring data for water quality in the Zhuzhou Reach of Xiangjiang River

mg/L

断面 Sections	年份 Year	六价铬 Hexavalent chromium	镉 Cadmium	砷 Arsenic	氨氮 Ammonia nitrogen	铜 Copper	铅 Lead	汞 Mercury	氟化物 Fluoride	酚 Phenol	氰化物 Cyanide
朱亭 Zhuting	2011	0.002 00	0.000 58	0.005 30	0.510 00	0.001 10	0.000 21	0.000 02	0.360 00	0.001 00	0.002 00
	2012	0.002 00	0.000 37	0.004 50	0.310 00	0.003 00	0.000 35	0.000 02	0.320 00	0.001 00	0.001 00
	2013	0.002 00	0.000 34	0.009 00	0.310 00	0.003 50	0.000 42	0.000 01	0.320 00	0.000 70	0.001 00
	2014	0.002 00	0.000 28	0.006 90	0.250 00	0.002 30	0.000 30	0.000 01	0.330 00	0.000 60	0.001 00
	2015	0.002 00	0.000 25	0.006 90	0.170 00	0.002 30	0.000 33	0.000 01	0.300 00	0.000 60	0.001 00
枫溪 Fengxi	2011	0.002 00	0.000 57	0.005 60	0.460 00	0.001 70	0.000 21	0.000 02	0.370 00	0.001 00	0.001 00
	2012	0.002 00	0.000 40	0.005 40	0.280 00	0.004 40	0.000 46	0.000 01	0.320 00	0.001 00	0.001 00
	2013	0.002 00	0.000 44	0.006 00	0.250 00	0.003 10	0.000 46	0.000 01	0.320 00	0.000 60	0.001 00
	2014	0.002 00	0.000 32	0.006 40	0.290 00	0.002 40	0.000 25	0.000 01	0.320 00	0.000 50	0.001 00
	2015	0.002 00	0.000 23	0.006 40	0.168 00	0.002 20	0.000 33	0.000 01	0.330 00	0.000 50	0.001 00
白石 Baishi	2011	0.002 00	0.000 83	0.009 40	0.450 00	0.002 20	0.000 51	0.000 02	0.380 00	0.001 00	0.001 00
	2012	0.002 00	0.000 44	0.005 70	0.250 00	0.004 50	0.000 49	0.000 01	0.320 00	0.001 00	0.001 00
	2013	0.002 00	0.000 46	0.008 50	0.260 00	0.004 30	0.000 50	0.000 01	0.320 00	0.000 70	0.001 00
	2014	0.002 00	0.000 38	0.007 20	0.260 00	0.003 00	0.000 44	0.000 01	0.330 00	0.000 60	0.001 00
	2015	0.002 00	0.000 31	0.009 60	0.161 00	0.002 70	0.000 45	0.000 01	0.320 00	0.000 70	0.001 00
霞湾 Xiawan	2011	0.002 00	0.001 10	0.005 70	0.470 00	0.002 80	0.000 65	0.000 01	0.390 00	0.001 00	0.001 00
	2012	0.002 00	0.000 81	0.006 30	0.272 00	0.006 10	0.000 70	0.000 02	0.335 00	0.001 00	0.001 00
	2013	0.002 00	0.000 61	0.007 30	0.235 00	0.005 70	0.001 00	0.000 01	0.321 00	0.000 90	0.001 00
	2014	0.002 00	0.000 50	0.007 30	0.276 00	0.005 10	0.000 59	0.000 01	0.340 00	0.000 90	0.001 00
	2015	0.002 00	0.000 48	0.009 40	0.198 00	0.003 60	0.000 86	0.000 01	0.310 00	0.000 90	0.001 00

**2.2 评价参数选择** 根据国际癌症研究机构(IARC)和世界卫生组织(WHO)编制的权衡化学物质致癌性可靠程度体系,在湘江株洲段 10 种主要污染物质监测项目中,六价铬、镉和砷属于化学致癌物,即基因毒物质;氨氮、铜、铅、汞、氟化物、酚和氰化物属于非致癌化学有毒物,即躯体毒物质。该研究中,化学致癌物的致癌强度系数和非致癌物质的参考剂量分别见表 2、3<sup>[1]</sup>。

表 2 化学致癌物的致癌强度系数

Table 2 Strength coefficients for chemical carcinogens by drinking approach

序号 No.	化学致癌物 Chemical carcinogen	强度系数 Strength coefficients( $Q_{ig}$ )//mg/(kg·d)
1	六价铬	41.0
2	镉	6.1
3	砷	15.0

表 3 非致癌物质参考剂量<sup>[1]</sup>

Table 3 Reference doses for non-carcinogens by drinking approach

序号 No.	非致癌物质 Non carcinogen	参考剂量 Reference doses( $R/D_{ig}$ ) $\times 10^{-2}$ mg/(kg·d)
1	氨氮	97.00
2	铜	0.50
3	铅	0.14
4	汞	0.03
5	氟化物	6.00
6	酚	10.00
7	氰化物	3.70

**2.3 健康危害风险计算** 根据健康风险评估模型、相关监测数据和评价参数,可以计算出“十二五”期间各年通过饮水途径,基因毒物质和躯体物质造成的健康危害风险,结果见

表 4、5。

为了更直观地反映各污染物的风险水平,可以采用直方图来表征计算结果。如“十二五”期末 2015 年各断面相应的健康风险水平见图 1、2 所示。

**2.4 评价结果** 从表 4、图 1、2 可以看出,从单个基因毒物质来看,4 个断面各化学致癌物由饮水途径所致健康危害最高的为砷,其次为六价铬,最低为镉。以 2015 年的霞湾断面为例,分别占该类年总风险的 62.43%、36.29% 及 1.28%;从单个躯体毒物质来看,由饮水途径所致健康危害最高的为氟化物,其余各非致癌物的个人年风险大小排序为铜、铅、氨氮、汞、氰化物、酚。同样,以 2015 年霞湾断面为例,占该类年总风险分别为 76.29%、10.61%、9.07%、3.01%、0.49%、0.40% 及 0.13%。

从表 5 可看出,与基因毒物质相比,躯体毒物质对人体健康危害的个人年风险可忽略不计。例如 2015 年霞湾断面处,躯体毒物质年风险为  $3.55 \times 10^{-9} a^{-1}$ ,而基因毒物质对人体健康危害的年风险却高达  $1.18 \times 10^{-4} a^{-1}$ ,因此各断面的水环境健康危害的总风险变化趋势必将由砷、六价铬和镉 3 种基因毒物所决定。

由表 5 可知,“十二五”期间湘江株洲段 4 个断面处,各污染有毒物质危害的个人年总风险均超过了国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的最大可接受值  $5.0 \times 10^{-5} a^{-1}$ ,超标 1.58~2.38 倍,与瑞典环保局、荷兰建设和环境部推荐的最大可接受水平  $1.0 \times 10^{-6} a^{-1}$  相比,超标高达 79~119 倍。总体上看,水境健康危害总风险最大的断面为 2011 年的白石断面,其基因毒物质所致健康风险也最大,为  $1.19 \times 10^{-4} a^{-1}$ 。

表4 各类化学致癌物和非致癌物饮水途径健康危害的风险(个人年风险)

Table 4 Health risk from carcinogens and non-carcinogens by drinking approach (personal annual risk)

a<sup>-1</sup>

断面 Sections	年份 Year	化学致癌物质 Chemical carcinogen			非致癌物质 Non carcinogen						
		六价铬 Hexavalent chromium	镉 Cadmium	砷 Arsenic	氨氮 Ammonia nitrogen	铜 Copper	铅 Lead	汞 Mercury	氟化物 Fluoride	酚 Phenol	氰化物 Cyanide
朱亭 Zhuting	2011	4.29E-05	1.85E-06	4.13E-05	2.75E-10	1.15E-10	7.86E-11	3.49E-11	3.14E-09	5.24E-12	2.83E-11
	2012	4.29E-05	1.18E-06	3.49E-05	1.67E-10	3.14E-10	1.31E-10	3.49E-11	2.79E-09	5.24E-12	1.42E-11
	2013	4.29E-05	1.09E-06	7.08E-05	1.67E-10	3.67E-10	1.57E-10	1.75E-11	2.79E-09	3.67E-12	1.42E-11
	2014	4.29E-05	8.95E-07	5.43E-05	1.35E-10	2.41E-10	1.12E-10	1.75E-11	2.88E-09	3.14E-12	1.42E-11
	2015	4.29E-05	7.99E-07	5.40E-05	9.18E-11	2.41E-10	1.23E-10	1.75E-11	2.62E-09	3.14E-12	1.42E-11
枫溪 Fengxi	2011	4.29E-05	1.82E-06	4.36E-05	2.48E-10	1.78E-10	7.86E-11	3.49E-11	3.23E-09	5.24E-12	1.42E-11
	2012	4.29E-05	1.28E-06	4.23E-05	1.51E-10	4.61E-10	1.72E-10	1.75E-11	2.79E-09	5.24E-12	1.42E-11
	2013	4.29E-05	1.41E-06	4.74E-05	1.35E-10	3.25E-10	1.72E-10	1.75E-11	2.79E-09	3.14E-12	1.42E-11
	2014	4.29E-05	1.02E-06	5.00E-05	1.57E-10	2.51E-10	9.35E-11	1.75E-11	2.79E-09	2.62E-12	1.42E-11
	2015	4.29E-05	7.41E-07	4.99E-05	9.07E-11	2.30E-10	1.23E-10	1.75E-11	2.88E-09	2.62E-12	1.42E-11
白石 Baishi	2011	4.29E-05	2.65E-06	7.34E-05	2.43E-10	2.30E-10	1.91E-10	3.49E-11	3.32E-09	5.24E-12	1.42E-11
	2012	4.29E-05	1.41E-06	4.50E-05	1.35E-10	4.71E-10	1.83E-10	1.75E-11	2.79E-09	5.24E-12	1.42E-11
	2013	4.29E-05	1.47E-06	6.66E-05	1.40E-10	4.50E-10	1.87E-10	1.75E-11	2.79E-09	3.67E-12	1.42E-11
	2014	4.29E-05	1.21E-06	5.63E-05	1.40E-10	3.14E-10	1.65E-10	1.75E-11	2.88E-09	3.14E-12	1.42E-11
	2015	4.29E-05	9.97E-07	7.54E-05	8.69E-11	2.83E-10	1.68E-10	1.75E-11	2.79E-09	3.67E-12	1.42E-11
霞湾 Xiawan	2011	4.29E-05	3.51E-06	4.46E-05	2.54E-10	2.93E-10	2.43E-10	1.75E-11	3.40E-09	5.24E-12	1.42E-11
	2012	4.29E-05	2.57E-06	4.94E-05	1.47E-10	6.39E-10	2.62E-10	3.49E-11	2.92E-09	5.24E-12	1.42E-11
	2013	4.29E-05	1.96E-06	5.69E-05	1.27E-10	5.97E-10	3.75E-10	1.75E-11	2.80E-09	4.71E-12	1.42E-11
	2014	4.29E-05	1.59E-06	5.75E-05	1.49E-10	5.34E-10	2.20E-10	1.75E-11	2.97E-09	4.71E-12	1.42E-11
	2015	4.29E-05	1.52E-06	7.38E-05	1.07E-10	3.77E-10	3.22E-10	1.75E-11	2.71E-09	4.71E-12	1.42E-11

表5 基因毒物质和躯体毒物质健康危害的总风险(个人年风险)

Table 5 Total health risk from all gene and non-gene toxic substances (personal annual risk)

a<sup>-1</sup>

年份 Year	基因毒物质风险 Genotoxic risk				躯体毒物质风险 Toxic substance risk				总风险 Total risk			
	朱亭断面 Zhuting section	枫溪断面 Fengxi section	白石断面 Baishi section	霞湾断面 Xiawan section	朱亭断面 Zhuting section	枫溪断面 Fengxi section	白石断面 Baishi section	霞湾断面 Xiawan section	朱亭断面 Zhuting section	枫溪断面 Fengxi section	白石断面 Baishi section	霞湾断面 Xiawan section
2011	8.61E-05	8.83E-05	1.19E-04	9.10E-05	3.68E-09	3.79E-09	4.04E-09	4.23E-09	1.72E-04	8.83E-05	1.19E-04	9.10E-05
2012	7.90E-05	8.65E-05	8.93E-05	9.49E-05	3.46E-09	3.61E-09	3.62E-09	4.03E-09	7.90E-05	8.65E-05	8.93E-05	9.49E-05
2013	1.15E-04	9.17E-05	1.11E-04	1.02E-04	3.52E-09	3.46E-09	3.61E-09	3.94E-09	1.15E-04	9.17E-05	1.11E-04	1.02E-04
2014	9.81E-05	9.39E-05	1.00E-04	1.02E-04	3.40E-09	3.33E-09	3.54E-09	3.91E-09	9.81E-05	9.39E-05	1.00E-04	1.02E-04
2015	9.77E-05	9.35E-05	1.19E-04	1.18E-04	3.11E-09	3.36E-09	3.37E-09	3.55E-09	9.77E-05	9.35E-05	1.19E-04	1.18E-04

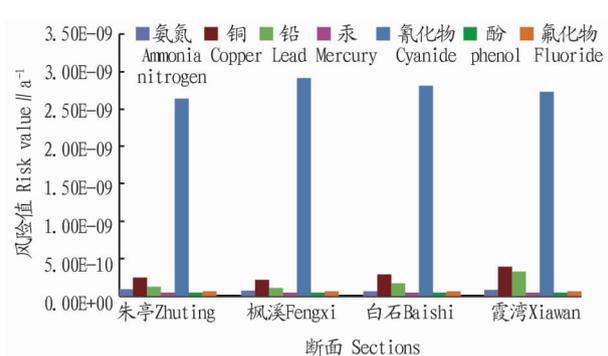


图1 2015年非致癌物健康危害的年风险

Fig. 1 Annual risk for non-gene toxic substances in 2015

从表1和图3可以看出,“十二五”期间,湘江株洲段水体中污染物含量均满足《地表水环境质量标准》中Ⅲ类水要求,但各断面对人体健康危害的总风险仍处于上升趋势,其潜在健康危害程度仍有加重。此外,由于未考虑有毒物质经由皮肤接触及食物等途径带来的风险,又仅是针对部分监测指标,湘江株洲段水环境实际的健康风险水平可能要高于上述评价结果,这需要充分引起相关部门重视,并大力加强环境风险管理。

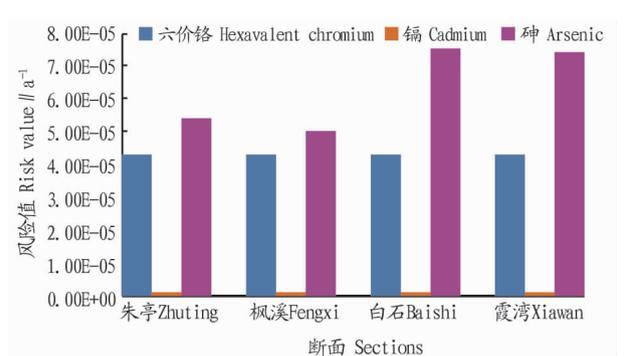


图2 2015年化学致癌物健康危害的年风险

Fig. 2 Annual risk for gene toxic substances in 2015

### 3 结论

(1)从评价结果可以看出,基因毒物质是湘江株洲段各断面水环境健康危害的总风险主要来源,各断面的优先控制污染物为砷、六价铬和镉。在躯体毒物质中,各断面优先控制污染物应为氟化物。

(2)2011—2015年朱亭、枫溪、白石和霞湾4个断面处,各类污染物所致健康危害(饮水途径)的个人年总风险均超过了ICRP推荐的最大可接受值,远远超过了瑞典环保局、荷

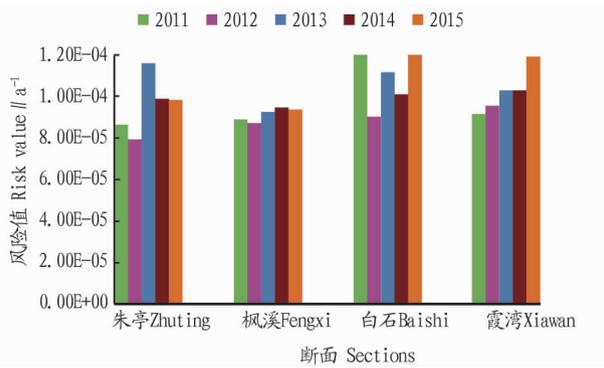


图3 各有毒物质健康危害的总风险

Fig.3 Total risk from all non-genotoxic and genotoxic substances

兰建设和环境部推荐的最大可接受水平。同时,“十二五”期间,湘江株洲段的潜在健康风险处于上升的趋势。

(3)该研究仅针对部分监测指标,未含放射性物质和部分其他有机物,也未考虑暴露途径中经由食物及皮肤接触等途径带来的风险,因此,湘江株洲段的水环境实际的健康风

(上接第33页)

展了加工型、油用型、出口型等专用花生新品种选育工作,取得了显著成效。但常规育种方法普遍存在育种周期长、对目标单株的选择效率低、成本高等缺点,制约了花生育种的深入开展。分子遗传学研究的不断深入,为花生遗传改良提供了强有力的技术手段,为了满足不同的需求,应广泛开展生物技术、常规育种及多学科相结合的协同研究,为花生品种改良提供理论依据和技术支持。

由此可见,湖南省应重点进行高蛋白、高油酸、抗叶斑病、抗锈病等花生优异育种材料创制和重要性状的功能基因开发研究,建立诱变育种、分子育种等高效育种技术体系,聚合优良基因,高新技术与常规育种相结合,培育高产、多抗、优质的食用型花生新品种。

**3.4 加强育种队伍的联合攻关与学术交流** 花生科研单位针对湖南省育种工作、全程机械化生产中存在的问题、产业化发展等技术瓶颈,应紧密合作、强强联合、充分发挥各自的优势,势必将进一步促进湖南省花生育种技术突破和关键育种材料创制,提升花生育种创新能力,着力推动湖南省花生育种进程;针对湖南省花生生产全程机械化的发展现状,分析存在的问题,并提出相应的解决对策,形成一套成熟的湖南省花生生产全程机械化栽培技术体系。同时通过加强政府引导,市场拉动,龙头企业带动,特色花生品牌开发,积极开拓市场,鼓励和扶持农民专业合作社发展,积极稳妥地发展花生行业协会,从而推动湖南省花生产业化快速发展。

加强与花生专业研究机构学术交流。山东省花生研究所是我国唯一的花生专业研究机构,育成的新品种50多个,建立国家花生工程技术研究中心、国家花生产业技术研发中心、农业部花生生物学与遗传育种重点实验室等科研创新平台。该所在花生栽培生理、植物保护、遗传育种、生物技术等方面已取得了显著成绩。通过加强学术交流,借鉴外省的高

险水平可能要高于评价结果。

## 参考文献

- [1] U. S. EPA. Risk assessment guidance for superfund: Volume 3 – Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment Chapter1, Part A [R]. Washington, DC: Office of Emergency and Remedial Response U. S. EPA, 2001.
- [2] 胡二邦. 环境风险评估实用技术和方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000.
- [3] 李如忠, 石勇, 王玉峰. 淮河蚌埠段水环境健康风险评估 [J]. 水电能源科学, 2008, 26 (2): 37–40.
- [4] 孙树青, 胡国华, 王勇泽, 等. 湘江干流水环境健康风险评估 [J]. 安全与环境学报, 2006, 6(2): 12–15.
- [5] PRUPPERS M J M, JANSSEN M P M, ALE B J M, et al. Accumulation of environmental risks to human health: Geographical differences in the Netherlands [J]. Journal of hazardous materials, 1998, 61(1/2/3): 187–196.
- [6] 韩冰, 何江涛, 陈鸿汉, 等. 地下水有机污染人体健康风险评估初探 [J]. 地学前缘, 2006, 13(1): 224–229.
- [7] 钱家忠, 李如忠, 汪家权, 等. 城市供水水源地水质健康风险评估 [J]. 水利学报, 2004, 35(8): 90–93.
- [8] 李如忠. 基于不确定信息的城市水源地水环境健康风险评估 [J]. 水利学报, 2007, 38(8): 895–900.
- [9] 王勇泽, 李诚, 孙树青, 等. 黄河三门峡段水环境健康风险评估 [J]. 水资源保护, 2007, 23(1): 28–30.
- [10] 黄奕龙, 王仰麟, 谭启宇, 等. 城市饮用水源地水环境健康风险评估及风险管理 [J]. 地学前缘, 2006, 13(3): 162–168.

新育种技术等, 加快推动湖南花生科研事业的发展。此外, 通过微信群或 QQ 群的方式与相关科研院所、企业的交流, 了解最新科研动态, 根据市场需求及时调整育种目标。

## 参考文献

- [1] 禹山林. 中国花生品种及其系谱 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2008: 631–636.
- [2] 徐宜民, 甘信民, 曹玉良, 等. 花生主要营养品质性状和农艺性状配合力的研究 [J]. 中国农业科学, 1995, 28(2): 15–23.
- [3] 刘恩生. 花生蛋白质、脂肪含量及其它农艺性状的配合力和遗传参数分析 [J]. 华北农学报, 1987, 2(3): 18–26.
- [4] 金海燕, 林月顺. 花生蛋白质含量配合力效应分析 [J]. 广西农业科学, 1991(5): 203–205.
- [5] 姜慧芳, 任小平. 我国栽培花生资源农艺和品质性状的遗传多样性 [J]. 中国油料作物学报, 2006, 28(4): 421–426.
- [6] 赖明芳, 曾彦, 漆燕, 等. 花生主要经济性状遗传特点分析 [J]. 中国油料作物学报, 2007, 29(2): 42–45.
- [7] 刘华, 张新友, 崔党群, 等. 花生蛋白质和脂肪含量的主基因 + 多基因遗传分析 [J]. 江苏农业科学, 2011, 39(2): 127–129, 130.
- [8] ISLEIB T G, PATTEE H E, SANDERS T H, et al. Compositional and sensory comparisons between normal-and high-oleic peanuts [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2006, 54(5): 1759–1763.
- [9] 秦利, 韩锁义, 刘华. 我国食用花生研究现状 [J]. 江苏农业科学, 2015, 43(11): 4–7.
- [10] 雷永, 廖炳寿. 花生高油酸遗传育种研究进展 [C] // 山东省花生研究所, 加强花生科技创新推进油料科技产业发展: 第五届全国花生学术研讨会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 101–105.
- [11] 任小平, 廖炳寿, 张晓杰, 等. 中国花生核心种质中高油酸材料的分布和遗传多样性 [J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(4): 513–518.
- [12] 鄢洪海, 张茹琴, 安佰国. AM 真菌摩西球囊霉对 2 种花生叶斑病的生防及促生作用 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(30): 209–213.
- [13] 袁虹霞, 孙炳剑, 李洪连, 等. 花生品种(系)对叶斑病的抗性鉴定 [J]. 河南农业科学, 2004(12): 35–38.
- [14] 刘凤珍, 万勇善, 薛其勤. 国槐 DNA 导入花生栽培品种选育抗叶斑病新种质的鉴定 [J]. 华北农学报, 2010, 25(6): 113–117.
- [15] 路兴涛, 张成玲, 张田田, 等. 不同花生品种对花生褐斑病和网斑病抗病性鉴定 [J]. 花生学报, 2013, 42(3): 52–55.
- [16] MEHAN V K, REDDY P M, SUBRAHMANYAM P, et al. Identification of new sources of resistance to rust and late leaf spot in peanut [J]. International journal of pest management, 1996, 42(4): 267–271.
- [17] 黎德临. 广东花生育种研究 [J]. 花生学报, 2003, 32(S1): 174–179.
- [18] 黎德临. 广东花生抗锈病育种研究进展 [J]. 广东农业科学, 2006(2): 23–24.