

# 海南产即溶咖啡粉中丙烯酰胺的 膳食暴露风险评估

赵亚南, 曾绍东, 杨春亮, 王明月\*

(中国热带农业科学院农产品加工研究所, 农业部农产品加工质量安全风险评估实验室, 湛江 524001)

**摘要:** **目的** 开展海南即溶咖啡粉中丙烯酰胺的膳食暴露风险评估, 为咖啡粉质量安全的监管提供技术支持。**方法** 采用食品安全风险评估的一般步骤: 危害识别、危害特征描述、膳食暴露评估、风险特征描述, 对海南即溶咖啡粉中的丙烯酰胺进行膳食暴露风险评估。**结果** 各年龄段居民的理论暴露量均低于其理论每日允许摄入量。**结论** 海南产即溶咖啡粉中的丙烯酰胺不会对消费者身体健康产生危害, 不必进入风险管理程序。

**关键词:** 海南即溶咖啡粉; 丙烯酰胺; 膳食暴露风险评估

## Dietary acrylamide exposure assessment of Hainan instant coffee powder

ZHAO Ya-Nan, ZENG Shao-Dong, YANG Chun-Liang, WANG Ming-Yue\*

(Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment on Agro-products Processing Ministry of Agriculture, Agricultural Products Processing Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang 524001, China)

**ABSTRACT: Objective** To develop the dietary acrylamide exposure risk assessment of Hainan instant coffee powder, and thus to provide technical support for coffee quality safety supervision. **Methods** The general steps of the food safety risk assessment (hazard identification, hazard characterization, exposure assessment, and risk characterization) were used to conduct dietary acrylamide exposure risk assessment of Hainan instant coffee powder. **Results** The theoretical intakes for residents of all ages were below the theoretical daily intake. **Conclusion** Residues in coffee powder do not harm to consumers' health, and it is not have to enter the risk management procedure.

**KEY WORDS:** Hainan instant coffee powder; acrylamide; dietary exposure risk assessment

丙烯酰胺(acrylamide, AA)是合成聚丙烯酰胺的前体物质, 已有研究<sup>[1,2]</sup>证明丙烯酰胺能引起神经损伤, 并且有遗传毒性和人类可能的致癌作用。2002年4月瑞典国家食品管理局(National Food Administration, NFA)及瑞典斯德哥尔摩大学的研究人员率先报道, 多种食品尤其是淀粉类食品如炸薯

条、法式油炸土豆片、面包、咖啡等, 在高温加工过程中产生大量丙烯酰胺。此后引起了国际社会的高度重视, 成为各国科学家研究<sup>[3]</sup>的热点问题。咖啡由于含有多种营养成分且具有独特的醇香口味和提神、兴奋的作用, 已作为一种休闲饮品被越来越多的现代人所喜爱, 其产量和消费量逐年增加<sup>[4]</sup>。咖啡在加工

\*通讯作者: 王明月, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全。E-mail: hkwmy0815@163.com

\*Corresponding author: WANG Ming-Yue, Professor, Agricultural Products Processing Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, No.48, Renmingdadaonan Road, Xiashan District, Zhanjiang 524001, China. E-mail: hkwmy0815@163.com

过程中会产生一定量的丙烯酰胺<sup>[5]</sup>。如果咖啡粉丙烯酰胺含量过高或者摄入量过大将会对消费者的健康安全构成一定的安全隐患,也不利于咖啡产业的健康发展。开展来源于咖啡粉中丙烯酰胺的风险评估,掌握其膳食暴露量数据,以降低我国人群膳食暴露水平已刻不容缓。

本研究通过液相色谱-串联质谱技术对咖啡粉中丙烯酰胺含量进行检测,结果结合人口学和消费学数据,对来源于咖啡粉的丙烯酰胺摄入状况进行风险评估。以建立即溶咖啡粉中丙烯酰胺对消费者构成危害的程度,进一步控制或减少食品加工中丙烯酰胺的形成,降低我国人群丙烯酰胺的膳食暴露水平,促进食品安全发展,保护消费者健康。

## 1 材料与方法

### 1.1 即溶咖啡粉中丙烯酰胺含量分析

#### 1.1.1 抽样

选取2013年的5月和6月于海南省海口市和儋州市各大超市随机抽取市售海南即溶咖啡粉样品各50份,共100份。

#### 1.1.2 仪器与试剂

UPLC-TQD型三重四极杆串联质谱仪,配备ACQUITY UPLC高压液相色谱仪(美国WATERS公司);高速匀浆机(德国IKA广州,型号T25);旋转蒸发仪(瑞士BUCHI公司,型号R-200);分析天平(日本岛津,型号AUY220)等。

主要试剂:甲酸(分析纯),甲醇(色谱纯),正己烷(分析纯),0.1%甲酸溶液,HLB固相萃取柱(6 CC 200 mg,美国Waters公司),MCX固相萃取柱(3 CC 60 mg),丙烯酰胺标准品(纯度>99%),<sup>13</sup>C<sub>3</sub>-丙烯酰胺标准品(纯度>98%),实验用水均为超纯水。

标准储备液(1000 mg/L):准确称取丙烯酰胺标准品10 mg(精确到0.01 mg)于10 mL棕色容量瓶中,用甲醇溶解并定容刻度,-20℃冰箱保存。

中间溶液(100 mg/L):准确移取储备液1.00 mL置于10 mL棕色容量瓶中,加甲醇稀释至刻度,-20℃冰箱保存。

使用溶液 I(10 mg/L):准确移取中间溶液1 mL置于10 mL棕色容量瓶中,加0.1%甲酸溶液稀释至刻度。现用现配。

使用溶液 II(1 mg/L):准确移取使用溶液 I 1 mL

置于10 mL棕色容量瓶中,加0.1%甲酸溶液稀释至刻度。现用现配。

<sup>13</sup>C<sub>3</sub>-丙烯酰胺内标储备溶液(1000 mg/L):准确称取<sup>13</sup>C<sub>3</sub>-丙烯酰胺标准品10 mg(精确到0.01 mg)于10 mL棕色容量瓶中,用甲醇溶解并定容刻度,-20℃冰箱保存。

内标使用液(10 mg/L):准确移取内标储备液1 mL,置于100 mL容量瓶中,甲醇定容至刻度,-20℃冰箱保存。

### 1.2 丙烯酰胺检测方法

#### 1.2.1 提取

准确称取样品1 g,加入10 mg/L<sup>13</sup>C<sub>3</sub>-丙烯酰胺内标20 μL,加超纯水20 mL,振荡30 min,于4000 r/min离心10 min,取上清液。加入5 mL正己烷振荡萃取10 min,于10000 r/min离心5 min,除去有机相,再用5 mL正己烷重复萃取1次,取水相1.5 mL净化。HLB柱依次用3 mL甲醇、3 mL水平衡后,取1.5 mL提取液上样,4 mL 80%甲醇水溶液洗脱;MCX柱依次用2 mL甲醇、2 mL水平衡后,将4 mL HLB洗脱液全部上样并全部收集,洗脱液氮气吹近干,用0.1%的甲酸溶液定容至1.0 mL,过0.22 μm水相滤膜,上机测定。

#### 1.2.2 色谱条件

色谱柱为ACQUITY UPLC BEH, C<sub>18</sub>柱(1.7 μm粒径,2.1 mm×5 mm,美国Waters公司);流动相及洗脱条件为流动相为甲醇/0.1%甲酸(10:90),等度洗脱;流速0.3 mL/min,进样体积为10 μL,柱温为40℃。

#### 1.2.3 质谱条件

离子源为ESI,扫描方式为正离子模式,离子源温度为110℃,脱溶剂气温度为350℃,喷雾电压为3800 V,毛细管电压为4 kV,脱溶剂气流量为600 L/h,锥孔反吹气流量50 L/h,扫描方式为多反应监测(MRM),丙烯酰胺及其同位素内标的质谱分析参数见表1。

### 1.3 即溶咖啡粉消费数据

来自2002年中国居民营养与健康状况调查<sup>[6]</sup>通过24 h膳食回顾法,按不同性别,不同年龄收集整理的消费群体个体数据和消费数据。由于没有海南即溶咖啡粉的消费数据,本研究以2002年中国居民营养与健康状况调查中“其他”类别代替。

#### 1.4 方法的加标回收率、相对标准偏差和检出限

取丙烯酰胺含量为 1  $\mu\text{g}/\text{kg}$  的即溶咖啡粉样品基质 A, 分别加入不同水平的丙烯酰胺标准溶液和内

标。各加标水平进行 6 次平行测定, 以回收率表示方法的准确度, 以相对标准差(RSD)表示方法的重复性精密度。根据对基质空白的测定确定噪声, 以 3 倍噪声峰高对应的浓度为检测限, 详见表 2。

表 1 丙烯酰胺及其同位素内标的质谱分析参数  
Table 1 LC-MS/MS parameters for acrylamide and  $^{13}\text{C}_3$ -acrylamide

Compound	Retention time/min	Monitoring ion pair/(m/z)	Cone voltage/V	Collision energy/eV	Possible identity
Acrylamide	4.62	72>44.1	30	15	$[\text{C}_2\text{H}_3]^+$
		72>55.1	30	8	$[\text{C}_3\text{H}_3\text{O}]^+$
$^{13}\text{C}_3$ -Acrylamide	4.58	75>45.1	25	10	$[\text{C}_2\text{H}_3]^+$
		75>58.0	25	10	$[\text{C}_3\text{H}_3\text{O}]^+$

表 2 丙烯酰胺的加标回收率、相对标准偏差(RSD)和检出限(LOD)  
Table 2 Spiked recoveries, relative standard deviations (RSD) and limits of detection (LOD) of acrylamide

编号	测得量/ $(\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$	基质含量/ $(\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$	加标量/ $(\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$	回收率/%	平均回收率/%	RSD/%	最低检出限 LOD/ $(\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$
1	41	1	50	80			
2	47.75	1	50	93.5			
3	47	1	50	92	88.0	6.3	5
4	42.5	1	50	83			
5	43.25	1	50	84.5			
6	48.5	1	50	95			
1	500	1	500	99.8			
2	490	1	500	97.8			
3	485	1	500	96.8	98.7	3.0	5
4	490	1	500	97.8			
5	522.5	1	500	104.3			
6	480	1	500	95.8			
1	1007	1	1000	100.6			
2	1048	1	1000	104.7			
3	1049	1	1000	104.8	102.4	3.0	5
4	1056	1	1000	105.5			
5	986	1	1000	98.5			
6	1003	1	1000	100.2			

## 2 即溶咖啡粉中丙烯酰胺的风险评估

### 2.1 危害识别

2002年6月25日世界卫生组织(World Health Organization, WHO)和联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)联合紧急召开了食品中丙烯酰胺污染<sup>[7]</sup>。相关专家咨询会议,对食品中丙烯酰胺的食用安全性进行了探讨,现已确定丙烯酰胺是一种有毒化合物,可导致细胞遗传物质DNA的损伤,高剂量的暴露会影响人和动物的神经系统与生殖系统,并对啮齿动物具有一定的致癌性<sup>[8]</sup>。国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)1994年对其致癌性进行了评价,将丙烯酰胺列为2类致癌物(2A)即人类可能致癌物<sup>[9]</sup>。

### 2.2 丙烯酰胺毒理性质

**急性毒性:**在人类经呼吸道的丙烯酰胺急性暴露中,观察到中枢和周围神经系统损伤的症状,如头晕、幻觉等。大鼠的急性经口暴露也引起神经中毒症状<sup>[10]</sup>。有急性毒性实验<sup>[11,12]</sup>表明,丙烯酰胺的经口半数致死量LD<sub>50</sub>约为100~150 mg/kg。

**慢性毒性:**动物慢性(长期)经口给予丙烯酰胺,可以观察到腿脚麻木、无力等神经损伤表现<sup>[13]</sup>。经皮肤的长期暴露则可导致人的皮肤产生红疹。

**神经毒性:**神经毒性是丙烯酰胺对人类的非致癌、非遗传的主要毒性。人和动物长期低水平暴露于丙烯酰胺后,则导致周围神经系统的病变。根据对啮齿类动物研究得出丙烯酰胺神经毒性的未观察到损害作用的剂量(No Observed Adverse Effect Level, NOAEL)为0.2 mg/kg·bw·d<sup>-1</sup>引起生殖毒性的NOAEL值是2 mg/kg·bw·d<sup>-1</sup><sup>[14]</sup>。

**致突变性:**研究<sup>[15]</sup>表明丙烯酰胺在基因和染色体水平均有潜在的引起遗传损伤的危险性。

**致癌性:**动物实验<sup>[16]</sup>研究发现,丙烯酰胺可致大鼠多种器官肿瘤,包括乳腺、甲状腺、睾丸、肾上腺、中枢神经、口腔、子宫、脑下垂体等。

### 2.3 危害特征描述

危害描述一般是将毒理学试验获得的数据外推到人,计算人体的每日允许摄入量(Acceptable daily intake, ADI值)<sup>[17]</sup>。严格来说,对于食品添加剂、农

药残留和兽药残留,制定ADI值。ADI就是某种物质每天允许的最大摄入量,如果每天摄入低于或等于ADI的该物质,在人的一生中都不会产生任何毒副作用。基于丙烯酰胺对啮齿类动物的神经毒性的未观察到损害作用的剂量NOAEL 0.2 mg·kg<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup><sup>[14]</sup>,在100倍安全因子下对神经毒性的损害研究,可知丙烯酰胺每日允许摄入量ADI值为2 μg·kg<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>。

### 2.4 膳食暴露点评估

本研究拟采用点评估的方式对咖啡粉中丙烯酰胺进行暴露评估。简单点估计是通过单一值描述结果的方法,该方法的目的不在于评估真实的膳食暴露,而是为初步判定是否具有膳食风险,并进一步确认是否有必要纳入深入评估(复杂点评估和概率评估)<sup>[18]</sup>。

对于一些急性毒性不明显或很少与人体接触的外来化学物,一般认为不必要建立急性毒性参考剂量ARFD。丙烯酰胺目前还没有制定急性毒性参考剂量,所以本研究仅对其进行慢性毒性暴露评估。

慢性毒性点评估暴露量模型为<sup>[19]</sup>:

$$EXP_{chronic} = \sum_{i=1}^P \frac{X_{k,average} C_{k,average}}{bw} \times f$$

式中:  $EXP_{chronic}$  (μg/kg): 丙烯酰胺的人群膳食暴露量(单位 mg·kg<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>);  $X_{k,average}$ : 第k类食品(咖啡粉)的平均消费量(单位为g);  $C_{k,average}$ : 第k类食品(咖啡粉)中丙烯酰胺的平均残留量(单位为mg/kg); P: 某一天中消费食品种类数目;  $\overline{bw}$ ——被评估人群的平均体重(单位为g);  $f$ : 加工因子。本研究中即溶咖啡粉作为1类,拟采用  $P=1, f=1$ 。

### 2.5 风险特征描述

风险特征描述是就暴露对人群产生健康不良效果的可能性进行估计,是危害识别、危害描述和暴露评估的综合结果。对于有阈值的化学物质,就是比较暴露量和ADI值(或者其它测量值),暴露量小于ADI值时,健康不良效果的可能性理论上为零;对于无阈值物质,人群的风险是暴露量和效力的综合结果。同时,风险特征描述需要说明风险评估过程中每一步所涉及的不确定性<sup>[20]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 平均回收率分析

由表 2 可见, 在不同的加标水平下, 不同的加标基质的平均回收率为 88.0%~102.4%, 3 个加标水平的 RSD 均小于 10%, 表明方法的准确度和精密度良好, 其中, 1000  $\mu\text{g}/\text{kg}$  加标回收率较高, 相对标准偏差较小。

#### 3.2 咖啡粉中丙烯酰胺含量分析

通过对海南省海口、儋州两市随机抽取的咖啡粉中丙烯酰胺的定量检测发现, 100 份不同种类咖啡粉样品中 40 个被检出, 两市各 30 份未检出, 丙烯酰胺检出量分别为 2.5~195.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 丙烯酰胺的平均含量为 71.45  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 详见表 3。

对未检出的样品, 按照美国 EPA 建议的数据处理方法, 不是以样品中不含有此物质计算, 而是认为其残留含量在 0~LOD 之间, 取 0 和 LOD 值得平均数, 丙烯酰胺的检测方法 LOD 为 5  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 因此未检出的丙烯酰胺以 2.5  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  计算。

#### 3.3 各组人群对咖啡粉中丙烯酰胺的膳食暴露量

我国 10 类典型人群摄入海南即溶咖啡粉, 其丙烯酰胺的膳食暴露点评估结果为: 其膳食暴露量与 ADI 的比值均远小于 1, 风险可以接受, 不必纳入深入评估; 消费人群对来源于咖啡粉中丙烯酰胺的膳食暴露量不足以对身体健康产生危害, 不必进入风险管理程序。对于正处于生长发育阶段的 2~7 岁少年儿童, 体重较成年人轻, 而该组咖啡粉消费量与其它组别差异不大, 丙烯酰胺摄入平均值为 ADI 的 0.018 倍, 为所有组别中最高者。此外, 除了咖啡粉, 少年儿童还可能会进食其他产生丙烯酰胺的食物, 如: 油饼、薯条、巧克力饼干等<sup>[21]</sup>, 因此其每日摄入

丙烯酰胺量可能比本估计值要高。由于儿童生殖系统和神经系统尚未完善, 更容易受丙烯酰胺的毒性影响, 所以更应该加强关注少年儿童, 控制丙烯酰胺残留量较高的食物摄入, 详见表 5。

#### 3.4 评估的不确定性

本研究为来源于咖啡粉中丙烯酰胺的初步风险评估, 在评估过程中存在很多的不确定性。例如膳食摄入量数据来自 2002 年中国居民营养与健康状况调查研究, 时间较早, 食物分类较粗, 特别是单一食品品种的单人日均消费量缺失, 抽样的代表性不够。本研究所采用的丙烯酰胺含量数据来源是我国咖啡主产区海口、儋州两市随机抽取的咖啡粉, 每个区各抽取 50 份样品, 抽样食物的代表性有待提高; 另一方面由于 JECFA 对丙烯酰胺的评估均基于动物试验的研究资料, 也增加了此风险评估的不确定性。

### 4 结 论

从暴露评估结果来看, 进一步确定海南省咖啡粉中丙烯酰胺残留方面总体风险较低。但不可忽视的是要关注生长发育阶段的少年儿童膳食丙烯酰胺食用安全情况。在对膳食丙烯酰胺评估下一步研究中, 应该增加对居民消费量较高的其他食物中丙烯酰胺含量的测定和暴露评估, 应该将可能含丙烯酰胺较高的食物, 例如油饼、薯条、巧克力饼干等包括在内, 并采用较为精细的评估方法, 提高评估的准确度和精确度, 更好地对含丙烯酰胺食用安全风险进行评估和监测。此外, 关于食物中丙烯酰胺的形成机制、丙烯酰胺在体内的代谢、丙烯酰胺及其代谢产物环氧丙烯酰胺的毒理学机制研究等资料亦不完善, 均需进一步研究。

表 3 海南省咖啡粉中丙烯酰胺残留量  
Table 3 Residue dynamics data of acrylamide in coffee powder from Hainan province

采样地区	样本量	均值±标准差( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	含量范围 ( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )
海口市咖啡粉中丙烯酰胺残留量/ $(\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$	50	75.30±103.68	2.5~195.2
儋州市咖啡粉中丙烯酰胺残留量/ $(\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$	50	67.61±74.50	2.5~158.9
总计	100	71.45±99.55	2.5~195.2

表 4 我国不同人群的平均体重和咖啡粉的平均摄入量<sup>[6]</sup>

Table 4 Average body weight and coffee powder intake for different groups in China<sup>[6]</sup>

年龄 Age/a	性别 Sex	体重 Body weight/kg	咖啡粉摄入量 Fruit intake/(g·d <sup>-1</sup> )
2~3	M*	13.2	6.4
2~3	F**	12.3	8.9
4~6	M	16.8	8.6
4~6	F	16.2	7.7
7~10	M	22.9	12.9
7~10	F	21.7	7.3
11~13	M	34.1	7.5
11~13	F	34	6.2
14~17	M	46.7	8.8
14~17	F	45.2	7.7
18~29	M	58.4	11.1
18~29	F	52.1	11.6
30~44	M	64.9	11.4
30~44	F	55.7	9.9
45~59	M	63.1	10.2
45~59	F	57	9.6
60~69	M	61.5	9.0
60~69	F	54.3	6.7
> 70	M	58.5	5.0
> 70	F	51	4.8

M: 男性, Male; \*\*F: 女性, Female

表 5 各组人群对咖啡粉中丙烯酰胺的膳食暴露量  
Table 5 Acrylamide exposure dose from coffee powder and food safety index in different groups

年龄 Age/a	性别 Sex	丙烯酰胺暴露量 EXP/( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ )	为 ADI 的倍数
2~3	M*	0.035011	0.017505
2~3	F**	0.051444	0.025722
4~6	M	0.03644	0.01822
4~6	F	0.034296	0.017148
7~10	M	0.040012	0.020006
7~10	F	0.024293	0.012147
11~13	M	0.015719	0.00786
11~13	F	0.020721	0.01036
14~17	M	0.013576	0.006788
14~17	F	0.012147	0.006073
18~29	M	0.013576	0.006788
18~29	F	0.015719	0.00786
30~44	M	0.012861	0.006431
30~44	F	0.012861	0.006431
45~59	M	0.011432	0.005716
45~59	F	0.012147	0.006073
60~69	M	0.010718	0.005359
60~69	F	0.008574	0.004287
> 70	M	0.006431	0.003215
> 70	F	0.006431	0.003215

ADI 值在  $2 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$

#### 参考文献

- [1] Lehning EJ, Balaban CD, Ross JF, *et al.* Acrylamide neuropathy I. Spation temporal characteristics of nerve cell damage in rat ce-

- rebellum [J]. *Neuro Toxicol*, 2002, 23: 397-414.
- [2] Lening EJ, Balaban ED, Ross JF, *et al.* Acrylamide neuropathy III. Spation temporal characteristics of nerve cell damage in forebrain [J]. *Neuro Toxicol*, 2003, 24: 125-136.
- [3] Swedish National Food Administration. Acrylamide is formed during the preparation of food and occurs in many food stuffs [EB/OL]. <http://www.slv.se/>.
- [4] 农业部农村经济研究中心. 我国咖啡生产及贸易发展状况[J]. *中国热带农业*, 2009, (2): 22-24.  
Department of agriculture rural economy research center. Our coffee production and trade development [J]. *Chin Trop Agric*, 2009, (2): 22-24.
- [5] Bin Q, Peterson DG, Elias RJ. Influence of phenolic compounds on the mechanism of pyrazinium radical generation in the Maillard reaction [J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(21): 5482-5490.
- [6] 金水高. 中国居民营养与健康状况调查报告之十: 2002 年营养与健康状况数据集[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008: 40-165.  
Jin SG. The tenth report of nutrition and healthy status for china residents: nutrition and healthy status of annual 2002 [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2008: 40-165.
- [7] WHO-FAO WHO consultation on the health implications of acrylamide in food [Z]. Summary Report of a meeting hdd. Geneva, 2002, 06: 25-27.
- [8] 宋雁. 食品中丙烯酰胺对健康的影响[J]. *卫生研究*, 2005, 34(2): 241-243.  
Song Y. The influence of acrylamide in food for health [J]. *J Health Res*, 2005, 34 (2): 241-243.
- [9] International Agency for Research on Cance. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans of acrylamide [J]. *IARC*, 1997, 60: 389-433.
- [10] U.S Department of Health and Human Services. Hazardous substances data bank (HSDB, online database). National Toxicology Information Program, National Library of Medicine, Bethesda MD, 1996 [Z].
- [11] McCollister D, Oyen FRV. Toxicology of acrylamide [J]. *Toxicol Appl Pharmacol*, 1994, 6: 172-181.
- [12] Hashimoto K, Sakamoto J, Tani H. Neurotoxicity of acrylamide and related compounds and their effects on male gonads in mice [J]. *Arch Toxicol*, 1991, 47: 179-189.
- [13] Matthiaz B, Evelyne F, Silke F, *et al.* Acrylamide and glycidamide: genotoxic effects in V79-cells and human blood [J]. *Mutation Res*, 2005, 580: 61-69.
- [14] Sorgel F, Weissenbacher R, Kinzig-Schippem M, *et al.* Acrylamide: increased concentrations in homemade food and first evidence of its variable absorption from food, variable metabolism and placental and breast milk transfer in humans [J]. *Chemother*, 2002, 48: 267-274.
- [15] SIDS initial assessment profile. SIAM 12 27-29 June 2001 [Z].
- [16] Friedman MA, Dnlak LH, Stedham MA. A lifetime oncogenicity study in rats with acrylamide [J]. *Fundam Appl Toxicol*, 1995, 27: 95-105.
- [17] Burmaster DE, Anderson PD. Principles of good practice for the use of Monte Carlo techniques in human health and ecological risk assessments [J]. *Risk Anal*, 2004, 14: 477-481.
- [18] Parmer B, Miller PF, Burt R. Stepwise approaches for estimating the intakes of chemicals in food [J]. *Reg Toxicol Pharmacol*, 1997, 26(1): 44-51.
- [19] 王晓云, 于雅琴. 2005 年中国居民膳食 DON 污染调查及暴露评估[J]. *长治医学院学报*, 2007, 21(2): 101-103.  
Wang XY, Yu YQ. The Chinese residents' dietary DON pollution investigation and exposure assessment in 2005 [J]. *J Changzhi Med Coll*, 2007, 21 (2): 101-103.
- [20] 邹小南, 谭红, 钟英鹏, 等. 食品安全风险评估及其在农药残留上的应用[J]. *贵州农业科学*, 2008, 36(3): 169-172.  
Zou XN, Tan H, Zhong YP, *et al.* Food safety risk assessment and its application on pesticide residue [J]. *Guizhou Agr Sci*, 2008, 36 (3): 169-172.
- [21] 王小燕, 刘宜锋. 食品中丙烯酰胺研究现状[J]. *福建轻纺*, 2008, (6): 50-53.  
Wang XY, Liu YF. The research status of acrylamide in food [J]. *Fujian Text*, 2008, (6): 50-53.

(责任编辑: 赵静)

## 作者简介



赵亚南, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品质量安全。

E-mail: 732276987@qq.com



王明月, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全。

E-mail: hkwmy0815@163.com