

市售食品中丙烯酰胺污染现状风险分析

Risk analysis of the acrylamide contamination in food

黄 燕^{1,2} 宋 晟^{1,2} 徐文泐^{1,2} 李 灿^{1,2}

HUANG Yan^{1,2} SONG Sheng^{1,2} XU Wen-yang^{1,2} LI Can^{1,2}

(1. 湖南省食品质量监督检验研究院, 湖南 长沙 410117;

2. 食品安全监测与预警湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410117)

(1. Hunan Institute of Food Quality Supervision Inspection and Research, Changsha, Hunan 410117, China;

2. Hunan Provincial Key Laboratory of Food Safety Monitoring and Early Warning, Changsha, Hunan 410117, China)

摘要:目的:研究各类食品中丙烯酰胺的污染状况,把控潜在的食品安全风险。方法:实验室靶向性采集 610 份可能含有丙烯酰胺的食品样品,涉及糕点、饼干、薯类食品、膨化食品等 8 类食品,依据 GB 5009.204—2014《食品安全国家标准 食品中丙烯酰胺的测定》进行检验。结果:有 73 个样品检出丙烯酰胺,检出率达 12.0%,其中薯类食品、饼干、糕点等食品存在不同程度的丙烯酰胺污染,而马铃薯片中丙烯酰胺污染情况较为明显,检出率达 47.5%,丙烯酰胺平均含量为 1 315 $\mu\text{g}/\text{kg}$,具有较为突出的食品安全风险隐患。结论:食品生产企业应控制丙烯酰胺的来源,食品安全监管部门应加强食品中丙烯酰胺的风险监测与监管。

关键词:食品质量安全;丙烯酰胺;污染;风险监测

Abstract: Objective: The acrylamide contamination in various foods was investigated to help to control the potential food safety risks. Methods: the laboratory targeted collection of 610 food samples that may be contaminated by acrylamide, involving 8 types of food such as cakes, biscuits, potato foods, puffed foods, etc., which are inspected in accordance with "Determination of Acrylamide in Foods of National Food Safety Standards" GB 5009.204—2014. Results: Acrylamide was detected in 73 samples, and the detection rate reached 12.0%. Among them, potato foods, biscuits, cakes and other foods had different degrees of acrylamide contamination, while the acrylamide contamination in potato chips was more obvious, the detection rate up to 47.5%, and the average content of acrylamide reached

1 315 $\mu\text{g}/\text{kg}$. This is a relatively prominent hidden food safety risk. Conclusion: Food production enterprises should control the source of acrylamide; food safety supervision departments should strengthen the risk monitoring and controlling the use of acrylamide in food.

Keywords: food quality and safety; acrylamide; contamination; risk monitoring

丙烯酰胺是一种二类致癌物,即人类可疑致癌物,可引起基因突变,长期接触会造成细胞 DNA 损伤。动物试验研究^[1]表明,丙烯酰胺主要有神经毒性,对神经元的生长和发育有毒害作用,可导致神经功能缺陷,此外还有生殖毒性与发育毒性。2002 年 4 月,瑞典皇家食品管理局(NFA)和斯德哥尔摩大学研究人员宣称在某些油炸或烘烤的高淀粉食品中检出了丙烯酰胺,由此引起了人们的重视^[2]。中国是一个以粮谷类为主食的国家,就食品生产而言,糕点、饼干、薯类食品、膨化食品等加工食品,均采用油炸、烘烤、膨化等高温加工工艺,是否含有丙烯酰胺及其含量高低,更应引起食品生产者以及食品安全监督部门的重视。

为调查各类食品中丙烯酰胺的污染状况,分析丙烯酰胺产生的途径,课题组拟随机取样,依据 GB 5009.204—2014《食品安全国家标准 食品中丙烯酰胺的测定》对样品中丙烯酰胺进行检测,分析糕点、饼干、薯类食品、膨化食品中丙烯酰胺的污染状况,并对其来源进行推演,旨在为食品中丙烯酰胺风险分析提供第一手资料,为食品安全生产发出预警,为食品安全监管指引方向。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

茶叶、炒货、方便食品、糕点、膨化食品、食糖、薯类食品、饼干(详见表 1):市售;

基金项目:湖南省重点研发计划(编号:2019SK2121, 2020SK2128);湖南省市场监督管理局科技计划项目(编号:2021KJJH43)

作者简介:黄燕,女,湖南省食品质量监督检验研究院工程师,硕士。

通信作者:宋晟(1979—),男,湖南省食品质量监督检验研究院工程师,硕士。E-mail:55074740@qq.com

收稿日期:2021-04-23

表 1 湖南省各地市采样情况统计表[†]

Table 1 Statistical table of sampling situation in Hunan province

样品类别	长沙	株洲	湘潭	合计
茶叶	6	4	0	10
坚果与炒货食品	10	10	10	30
方便食品	10	10	10	30
糕点	125	52	53	230
膨化食品	120	50	40	210
食糖	20	5	5	30
薯类食品	20	10	10	40
饼干	20	5	5	30

[†] 采样时间:2020 年 5 月。

丙烯酰胺标准品、d₃-丙烯酰胺标准溶液:美国 Sigma 公司;

甲醇:色谱纯,国药集团化学试剂有限公司;

Waters OAsis HLB 固相萃取小柱:沃特世公司。

1.1.2 主要仪器设备

液相色谱-质谱联用仪:UPLC Xevo TQ-S micro 型,沃特世科技有限公司;

超纯水器:Milli-Q 型,美国 Millipore 公司;

离心机:EBA20/20S 型,德国 Hettich 公司;

电子分析天平:ME204E 型,美国梅特勒托利多公司。

1.2 检验方法

GB 5009.204—2014《食品安全国家标准 食品中丙烯酰胺的测定》。

2 结果与分析

2.1 样品检测结果

由表 2 可知,糕点、膨化食品、薯类、饼干 4 类样品中检出数量不等的丙烯酰胺。丙烯酰胺标准品及部分样品中丙烯酰胺色谱图见图 1 和图 2。

2.2 丙烯酰胺来源分析

丙烯酰胺来源主要有两种:① 高温下,食物中的油脂水解成甘油和脂肪酸,甘油降解为丙烯醛,此外蛋白质中的部分氨基酸也可分解产生少量丙烯醛,丙烯醛再与氨基酸分解产生的氨反应,生成丙烯酰胺;② 氨基酸与碳水化合物之间的美拉德反应;加热条件下,氨基酸主要是天门冬酰胺、蛋氨酸、谷氨酰胺等,与淀粉分解产生的葡萄糖、果糖等还原糖反应,产生丙烯酰胺。因此,丙烯酰胺产生的第一种途径的必要因素为油脂、蛋白质和高温;第二种途径的必要因素为蛋白质、淀粉和高温^[3-4]。

2.3 各类食品中丙烯酰胺来源及防控措施

为进一步分析丙烯酰胺来源,对 73 个检出丙烯酰胺的样品的配料及工艺进行分析。

2.3.1 薯类食品中丙烯酰胺来源及防控措施 40 批次薯类食品中有 19 批次检出丙烯酰胺,检出率为 47.5%,丙

表 2 不同种类食品中丙烯酰胺的含量

Table 2 The level of acrylamide in different types of food

样品类别	样品数	检出率/ %	含量/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	平均含量/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
茶叶	10	0.0	0.0	0.0
坚果与炒 货食品	30	0.0	0.0	0.0
方便食品	30	0.0	0.0	0.0
糕点	230	7.4	8.5~486.0	140.2
膨化食品	210	9.5	12.6~788.0	139.6
食糖	30	0.0	0.0	0.0
薯类食品	40	47.5	305.0~2 955.0	1 315.0
饼干	30	56.7	17.0~218.0	92.5

烯酰胺最低检测值为 305 $\mu\text{g}/\text{kg}$,最高检测值为 2 955 $\mu\text{g}/\text{kg}$,平均值为 1 315 $\mu\text{g}/\text{kg}$,主要为含油型烘焙类薯片。中国国产品牌薯类食品中丙烯酰胺含量是所有检验样品中含量最高的,但各种口味的乐事薯片丙烯酰胺含量并不高,说明国外品牌薯片已从工艺上解决了丙烯酰胺含量的问题,而部分国产品牌尚未掌握丙烯酰胺抑制生成工艺,风险较高。

分析马铃薯片中丙烯酰胺的来源,应从马铃薯的独特性入手。研究^[5]表明,马铃薯的天冬氨酸与还原糖含量较高,其中天冬氨酸含量为 3~10 mg/L ,约占总游离氨基酸的 20%~50%,大大高于其他淀粉质原料;葡萄糖含量为 1.19 $\text{g}/100 \text{ g}$ 、果糖含量为 0.80 $\text{g}/100 \text{ g}$;而丙烯酰胺形成的主要方式是通过美拉德反应中的天冬酰胺途径,即天冬酰胺在羰基化合物(如还原糖)的存在下通过热脱羧和脱氨转化成丙烯酰胺。果糖中含有两个 α -羟基基团,有果糖参与的这一途径生成的丙烯酰胺的量是其他还原糖参与的 2 倍左右。由此可知,马铃薯片中丙烯酰胺含量高的主要原因是天冬酰胺与还原糖含量高。另有研究^[6]表明,马铃薯中独有的糖苷生物碱(SGA)能促进丙烯酰胺的形成;马铃薯中富含酚类物质,其中块茎中含量约为 100~600 $\mu\text{g}/\text{g}$,其中最高的是绿原酸约占酚类总量的 80%,其能显著促进丙烯酰胺的形成。

关于油炸马铃薯片中丙烯酰胺的防控,主要有以下措施:

(1) 合理控制、改良原料中前体物质的含量可以有效降低食品中丙烯酰胺含量。通过选择还原糖、游离氨基酸和天门冬酰胺含量较低的马铃薯品种,获得低丙烯酰胺形成潜力的马铃薯原料,是控制油炸产品中丙烯酰胺含量的重要措施。大多数品种的马铃薯中天冬酰胺含量远远大于还原糖含量,因此为了降低油炸马铃薯中丙烯酰胺含量,选择还原糖含量较低的马铃薯品种要比选择天冬酰胺含量低的品种效果好^[7-9]。另外土壤环境和贮

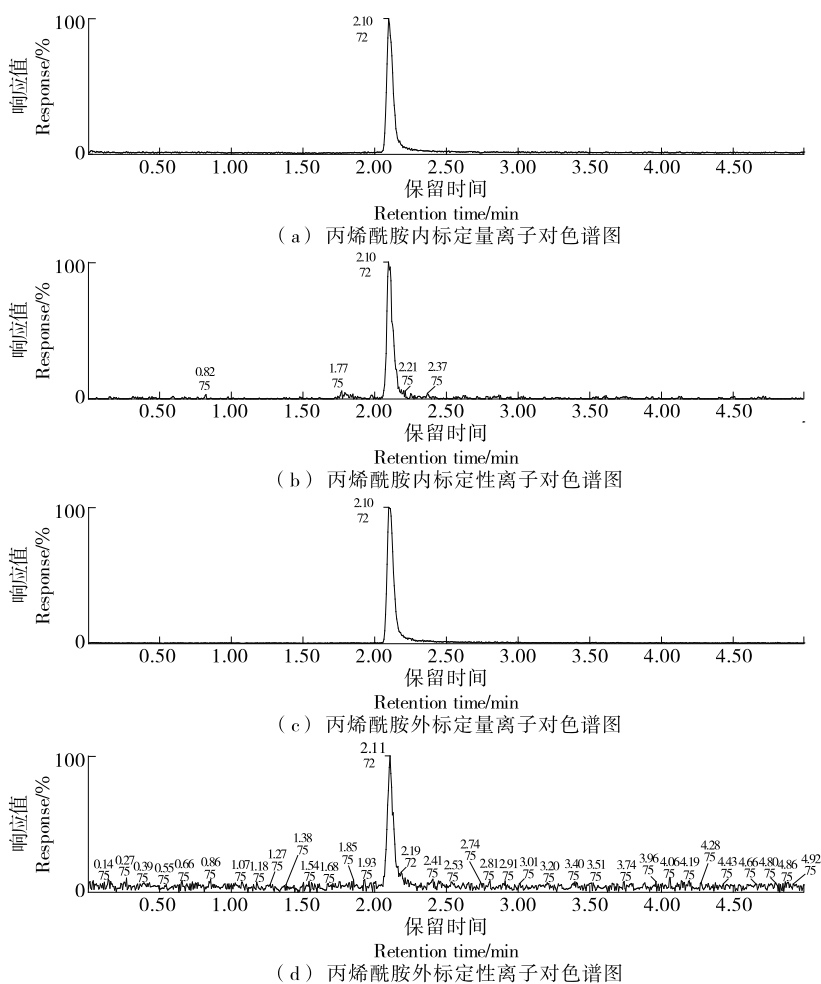


图1 丙烯酰胺标准品色谱图

Figure 1 Chromatogram of acrylamide standard

藏温度也会影响马铃薯中还原糖和天冬酰胺含量,一般选择还原糖含量较低的马铃薯品种贮藏在 8°C 左右的环境中^[10-11]。

(2) 天冬酰胺—还原糖水相途径是油炸马铃薯制品中丙烯酰胺形成的主要途径,因此,可以使用水相抗氧化剂抑制马铃薯制品中丙烯酰胺形成,其抑制率显著高于油脂,而将水溶性抑制剂和油溶性抑制剂复合使用,在丙烯酰胺抑制中表现出协同增效作用。

(3) 多不饱和脂肪酸是丙烯酰胺形成的限制性底物,丙烯酰胺含量与煎炸用油的油脂不饱和程度,尤其是多不饱和脂肪酸比例高度相关,选用棕榈油油炸马铃薯产生丙烯酰胺含量最低,而菜籽油油炸马铃薯产生丙烯酰胺含量最高。油脂氧化和质量劣变对丙烯酰胺形成起促进作用,采用多种油溶性食品抗氧化剂,质量浓度为 $0.1\sim 1.0\text{ mg/mL}$,能显著抑制丙烯酰胺的形成,达到最佳抑制效果,其中茶多酚、TBHQ抑制效果较好, β -胡萝卜素反而有促进作用。

(4) 天冬酰胺酶可水解形成丙烯酰胺的前体物质天

冬酰胺,从而降低产品中的丙烯酰胺含量。采用天冬酰胺酶对原料进行预处理,经预处理的马铃薯原料中天冬酰胺含量是未经处理原料的12%,而经油炸后,经天冬酰胺酶预处理过的油炸马铃薯产品中的丙烯酰胺含量可减少99.2%。

2.3.2 糕点中丙烯酰胺来源及防控措施 230批次糕点中有17批次检出丙烯酰胺,检出率为7.4%,丙烯酰胺最低检测值为 $8.5\text{ }\mu\text{g/kg}$,最高检测值为 $486\text{ }\mu\text{g/kg}$,平均值为 $140.2\text{ }\mu\text{g/kg}$,检出丙烯酰胺的糕点主要为传统的中式糕点如雪枣、法饼、麻花等,其中雪枣中检出丙烯酰胺含量最高为 $486\text{ }\mu\text{g/kg}$ 。

1批次雪枣,配料为大豆、糯米、食用玉米淀粉、白砂糖、植物油、麦芽糖、食用葡萄糖、雪花粉,因其添加了食用葡萄糖,而葡萄糖是一种还原糖,属于丙烯酰胺形成的限制性底物,因此推测其产生途径为氨基酸与还原糖之间的美拉德反应,可考虑冷却阶段使用食用葡萄糖,或使用非还原糖如蔗糖代替葡萄糖,以减少丙烯酰胺形成的限制性底物^[12]。

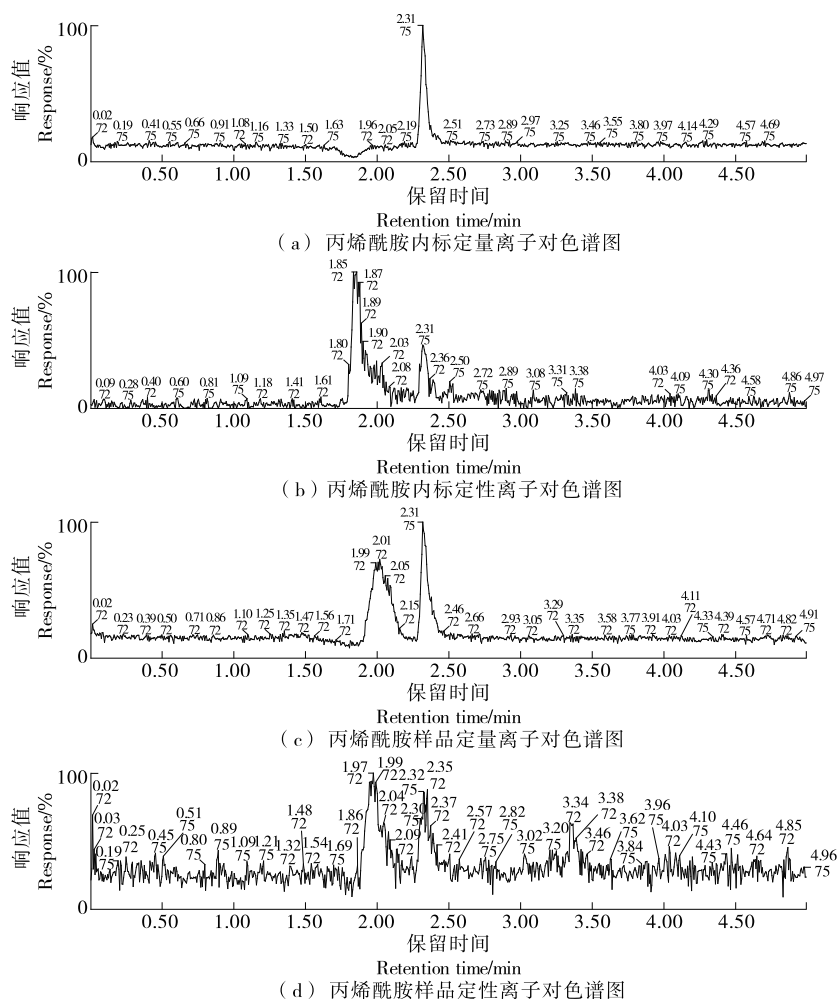


图 2 部分样品中丙烯酰胺色谱图

Figure 2 Chromatogram of acrylamide in the sample

4 批次法饼,配料为精面粉、白砂糖、烘焙奶粉、甜酒、酵母、饴糖、碳酸氢铵、碳酸氢钠、焦亚硫酸钠、奶油香精,因其并未添加任何油脂,故推测丙烯酰胺产生途径为氨基酸与还原糖之间的美拉德反应。因添加碳酸氢铵,可导致丙烯酰胺的生成量增加数十倍,而单独使用碳酸氢钠作为膨松剂,可减少 70% 的产生量,推测碳酸氢铵是导致丙烯酰胺含量高的原因^[5],可以考虑减少碳酸氢铵等膨松剂的使用,以减少丙烯酰胺的产生。

3 批次麻花,配料为小麦粉、大米粉、玉米粉、白砂糖、棕榈油、麦芽糖、海苔粉、香辛料、味精、食用盐、碳酸钙,因其添加了棕榈油,推测丙烯酰胺产生途径为既有甘油降解成的丙烯醛与氨反应生成,也有氨基酸与还原糖之间的美拉德反应生成。温度是影响丙烯酰胺产生的最主要因素,可通过适当降低油炸温度以减少丙烯酰胺的产生^[13];另外加热时间也是影响丙烯酰胺的主要因素,适当减少加热时间也可减少丙烯酰胺的生成^[14]。

2.3.3 膨化食品中丙烯酰胺来源及防控措施 210 批次膨化食品中有 20 批次检出丙烯酰胺,检出率为 9.5%,

丙烯酰胺最低检测值为 12.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$,最高检测值为 788 $\mu\text{g}/\text{kg}$,平均值为 139.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$,主要为含油型膨化食品,如锅巴、爆米花、薯卷,其中薯卷中丙烯酰胺含量最高为 788 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

5 批次锅巴,配料为玉米粉、糯米粉、淀粉、饮用水、植物油、白砂糖、辣椒粉、食用盐、香辛料、焦磷酸二氢钠、碳酸氢钠、磷酸二氢钙、碳酸钙、柠檬酸、三聚磷酸钠,因其添加了植物油,推测丙烯酰胺产生途径为既有甘油降解成的丙烯醛与氨反应生成,也有氨基酸与还原糖之间的美拉德反应生成。由于采用了膨化工艺,温度高可能是丙烯酰胺产生的主要原因,可适当降低膨化温度以减少丙烯酰胺的产生。因多不饱和脂肪酸是丙烯酰胺形成的限制性底物,丙烯酰胺含量与煎炸用油的油脂不饱和程度,尤其是多不饱和脂肪酸比例高度相关,因此使用多不饱和脂肪酸含量低的棕榈油作为煎炸用油,可减少丙烯酰胺的产生。煎炸用油的抗氧化性也是控制丙烯酰胺产生的关键。锅巴中虽然添加了柠檬酸、富马酸、乳酸、苹果酸和琥珀酸,可降低 pH 值,以减少丙烯酰胺的产生,

但5批次锅巴均添加了柠檬酸,丙烯酰胺检测值均超过100 $\mu\text{g}/\text{kg}$,因此柠檬酸的使用,是否能减少丙烯酰胺的产生,仍需探究^[15]。

2.3.4 饼干中丙烯酰胺来源及防控措施 30批次饼干中有17批次检出丙烯酰胺,检出率为56.7%,丙烯酰胺最低检测值为17 $\mu\text{g}/\text{kg}$,最高检测值为218 $\mu\text{g}/\text{kg}$,平均值为92.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$,饼干中不合格的产品按生产工艺来分主要为煎饼、糖醇类饼干,其中煎饼中丙烯酰胺含量最高为213 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

3批次煎饼,配料为小麦粉、白砂糖、食用植物油、鸡蛋、食用盐、碳酸氢钠、碳酸氢铵、 β -胡萝卜素,因此,推测丙烯酰胺产生途径为既有甘油降解成的丙烯醛与氨反应生成,也有氨基酸与还原糖之间的美拉德反应生成,而添加碳酸氢铵,可能是导致丙烯酰胺含量高的原因。 β -胡萝卜素对丙烯酰胺的形成具有促进作用,因此,可通过减少 β -胡萝卜素的使用量来降低饼干中丙烯酰胺污染的风险。

3批次糖醇饼干,配料为小麦粉、麦芽糖醇、碳酸氢铵、碳酸氢钠、焦亚硫酸钠、食用植物油、苦荞麦粉、大豆粉、食用盐,因其含有大豆粉即蛋白质含量高,且含有食用植物油,因此,推测丙烯酰胺产生途径为既有甘油降解成的丙烯醛与氨反应生成,也有氨基酸与还原糖之间的美拉德反应生成,而添加碳酸氢铵以及麦芽糖醇,可通过减少碳酸氢铵和麦芽糖醇的使用量来降低饼干中丙烯酰胺污染的风险。

3 结果与讨论

世界卫生组织(WHO)规定的饮水中丙烯酰胺限量值为1 $\mu\text{g}/\text{L}$ ^[16],中国GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》规定丙烯酰胺的限量值为0.5 $\mu\text{g}/\text{L}$,欧盟正式实施了关于丙烯酰胺的法案 Commission Regulation (EU) 2017/2158,规定了包装食品中允许含有丙烯酰胺的基准含量,并要求制造商密切检查并降低产品中的丙烯酰胺含量,涉及范围包括马铃薯制品、面包、麦片、咖啡和咖啡替代品、婴儿食品等。新法案中,欧盟对食品中丙烯酰胺含量限定范围大多在300~850 $\mu\text{g}/\text{kg}$,其中大多数谷类早餐的基准水平设定为300 $\mu\text{g}/\text{kg}$,饼干和曲奇为350 $\mu\text{g}/\text{kg}$,薯片为750 $\mu\text{g}/\text{kg}$,速溶咖啡为850 $\mu\text{g}/\text{kg}$,烘焙咖啡为400 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。但对于食品中丙烯酰胺限量值,中国暂未制定限量标准,目前中国食品安全监管部门正在全国范围内组织开展糕点、膨化食品、薯片等食品中丙烯酰胺含量的食品安全风险监测工作,该工作既是为了掌握各类食品中丙烯酰胺的含量分布,也是为下一步制定相关食品安全国家标准提供数据支撑。结合文章的检测数据以及欧盟法案的要求可知,糕点、膨化食品等风险较低,而薯片存在较大风险,建议国家卫生健康委员会尽快出台食品安全国家标准,各地食品安全监管部门开展针对马铃薯相关制品中丙烯酰胺的检测工作,防范风险。

该次随机抽样,共采集样品610批次,其中茶叶10批

次,炒货30批次,方便食品30批次,糕点230批次,膨化食品210批次,食糖30批次,薯类食品40批次,饼干30批次。茶叶、炒货、方便食品以及食糖中未检出丙烯酰胺,而糕点中检出率为7.4%,膨化食品中检出率为9.5%,薯类食品中检出率为47.5%,饼干中检出率为56.7%,说明丙烯酰胺在糕点、膨化食品、饼干、薯类食品等食品中具有非常高的检出率,虽然中国并未制定丙烯酰胺的食品安全标准,但相关生产企业应切实履行食品安全第一责任人的责任,从原料、工艺优化入手,减少食品中丙烯酰胺含量,食品安全监管部门不能忽视丙烯酰胺含量,应加强食品中丙烯酰胺的风险监测与评估。73批次样品中丙烯酰胺平均含量为463 $\mu\text{g}/\text{kg}$,较生活饮用水卫生标准限量值高约900倍,存在一定程度的暴露风险,但食品中丙烯酰胺的毒性与游离态丙烯酰胺的毒性是不同的,存在较大差异性。有研究^[17-18]表明,薯条水提物中丙烯酰胺的释放速率明显低于丙烯酰胺水溶液,且食品中的丙烯酰胺以非共价键的形式结合或吸附于大分子聚集体或胶体颗粒上,丙烯酰胺的结合状态能降低其在肠道黏膜上的吸收转运效率从而减低生物毒性,生活饮用水中丙烯酰胺的限量值对于研究食品中丙烯酰胺限量值并无参考价值,因此不能简单地只关注食品中的丙烯酰胺含量,而应更深入地研究丙烯酰胺的存在状态。建议食品安全检验机构加强新方法的开发,研究食品中丙烯酰胺总量的检验方法,食品中游离态丙烯酰胺、结合态丙烯酰胺含量的检验方法,建议食品安全研究院所进一步加强对食品中丙烯酰胺毒性释放与人体健康量化关系的研究。

参考文献

- [1] 张璐佳,杨柳青,陈芳,等. 丙烯酰胺毒性研究进展[J]. 中国食品学报, 2018, 18(8): 174-283.
ZHANG Lu-jia, YANG Liu-qing, CHEN Fang, et al. Advances in risk assessment of Salmonella spp. in chicken products in China[J]. J Chin Inst Food Sci Tech, 2018, 18(8): 174-283.
- [2] 汪莉,杨湘霞,熊敏,等. 食品中丙烯酰胺研究新进展[J]. 实用预防医学, 2008, 15(2): 598-599.
WANG Li, YANG Xiang-xia, XIONG Min, et al. New development of acrylamide in food[J]. Index Medicus, 2008, 15(2): 598-599.
- [3] 师晓漫. 油炸薯片中产生的丙烯酰胺免疫分析方法的建立[D]. 南京: 江苏大学, 2019: 1-4.
SHI Xiao-man. The development of immunoassays for the detection of acrylamide produced in fried potato chips[D]. Nanjing: Jiangsu University, 2019: 1-4.
- [4] 王紫梦,鲁迨,石星波,等. 食品中丙烯酰胺检测新技术研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 210-214.
WANG Zi-meng, LU Dai, SHI Xing-bo, et al. New determination methods of acrylamide in food products[J]. Food & Machinery, 2016, 32(10): 210-214.
- [5] STADLER R H. Editorial: Understanding the formation of acrylamide and other Maillard-derived vinylogous compounds in foods[J]. European

- Journal of Lipid Science and Technology, 2003, 105(5): 199-200.
- [6] 梁克红, 卢林纲, 朱大洲, 等. 马铃薯糖苷生物碱的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(21): 195-199.
- LIANG Ke-hong, LU Lin-gang, ZHU Da-zhou, et al. Research progress of potato glycoside alkaloids[J]. Food Research and Development, 2017, 38(21): 195-199.
- [7] NOVY R G, WHITWORTH J L, STARK J C, et al. Payette russet: a dual-purpose potato cultivar with cold-sweetening resistance, low acrylamide formation, and resistance to late blight and potato virus Y[J]. American Journal of Potato Research, 2017, 94(1): 38-53.
- [8] WILLIAMS J S E. Influence of variety and processing conditions on acrylamide levels in fried potato crisp[J]. Food Chemistry, 2004, 90(4): 875-881.
- [9] AMREIN T M, BACHMANN S, NOTI A, et al. Potential of acrylamide formation, sugars, and free asparagine in potatoes: A comparison of cultivars and farming systems[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(18): 5 556-5 560.
- [10] VINCI R M, MESTDAGH F, MEULENAER B D. Acrylamide formation in fried potato products—present and future, a critical review on mitigation strategies[J]. Food Chemistry, 2012, 133(4): 1 138-1 154.
- [11] 柴晴晴, 武文, 刘鹏飞, 等. 食品中丙烯酰胺的形成机理、检测方法 & 控制措施研究进展[J]. 食品与机械, 2021, 37(5): 203-208.
- CHAI Qing-qing, WU Wen, LIU Peng-fei, et al. Research progress on formation mechanism, determination methods and regulatory measure of acrylamide in food[J]. Food & Machinery, 2021, 37(5): 203-208.
- [12] 褚婷, 茅力. 食品中丙烯酰胺形成机理及控制[J]. 江苏预防医学, 2009, 20(3): 80-83.
- CHU Ting, MAO Li. Formation mechanism and control of acrylamide in food[J]. Jiangsu Journal of Preventive Medicine, 2009, 20(3): 80-83.
- [13] 张晓芳. 糕点加工过程中产生的主要危害物及控制措施[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 261-263.
- ZHANG Xiao-fang. Major hazard and control measure in process of pastry production[J]. Food & Machinery, 2014, 30(3): 261-263.
- [14] 张顺扬. 麻花中热加工有害产物及油脂的减控技术研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2018: 16-24.
- ZHANG Shun-yang. Research on reduction control technology of harmful products and oils in thermal processing of fried dough twist[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2018: 16-24.
- [15] 谭欣同. 食品危害物丙烯酰胺影响机体生物节律的分子机制研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019: 7-12.
- TAN Xin-tong. Molecular mechanism of hazardous food product acrylamide affecting on circadian rhythm[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2019: 7-12.
- [16] 谢瑞丽, 周启星. 丙烯酰胺的环境暴露、生态行为与毒理效应研究进展[J]. 生态学杂志, 2013, 32(5): 1 347-1 354.
- XIE Rui-li, ZHOU Qi-xing. Environmental exposure, ecological behavior, and toxicological effects of acrylamide: A review[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(5): 1 347-1 354.
- [17] 张鹏澜. 薯条中丙烯酰胺的释放规律及机制探究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2019: 20-31.
- ZHANG Peng-lan. Study on the Regulation and mechanism of acrylamide release from french fries[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Commerce and Industry, 2019: 20-31.
- [18] 辛全伟. 面粉中破损淀粉对面包中丙烯酰胺生成及淀粉消化性影响的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2016: 30-48.
- XIN Quan-wei. The effect of damaged starch in flours on acrylamide formation and starch digestibility [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2016: 30-48.
- (上接第 75 页)
- [9] 宁霄, 金绍明, 梁瑞强, 等. 超高效液相色谱—串联质谱法测定猪肉中 β -受体激动剂残留量的不确定度分析[J]. 食品科学, 2017, 38(6): 315-320.
- NING Xiao, JIN SHAO-ming, LIANG Rui-qiang, et al. Uncertainty evaluation for the determination of β -agonists in pork by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Science, 2017, 38(6): 315-320.
- [10] 高家敏, 曹进, 丁宏. 超高效液相色谱—串联质谱法测定化妆品中地塞米松含量的不确定度分析[J]. 中国药师, 2018, 21(3): 539-543.
- GAO Jia-min, CAO Jin, DING Hong. Uncertainty evaluation for the determination of dexamethasone in cosmetics by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. China Pharmacist, 2018, 21(3): 539-543.
- [11] 陈章捷. 国家标准 GB/T 21316—2007 测定动物源性食品中磺胺类药物残留量的不确定度评定[J]. 现代农业科技, 2020(1): 224-227.
- CHEN Zhang-jie. Uncertainty evaluation for determination of sulfonamide residues in animal-derived foods by National standard GB/T 21316—2007[J]. Food Science, 2020(1): 224-227.
- [12] 汤云瑜, 杨光昕, 娄晓伟, 等. 液相色谱—串联质谱法测定水产品中 8 种磺胺类药物残留的不确定度评定[J]. 农产品质量与安全, 2020(1): 42-48.
- TANG Yun-yu, YANG Guang-xin, LOU Xiao-yi, et al. Uncertainty evaluation on determination of 8 sulfonamides in aquatic products by liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Quality and Safety of Agro-products, 2020(1): 42-48.
- [13] 舒顺顺, 米倩, 李佳丽, 等. 液相色谱—串联质谱法检测猪肉中 5 种磺胺类药物残留[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(11): 2 836-2 841.
- SHU Shun-shun, MI Qian, LI Jia-li, et al. Simultaneous determination of 5 kinds of sulfonamides residues in pork by liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2018, 9(11): 2 836-2 841.
- [14] 杨建红. 2018 年春季兰州市鸡肉中磺胺类药物残留的检测与分析[J]. 甘肃畜牧兽医, 2019, 49(2): 66-72.
- YANG Jian-hong. Testing and analysis of sulfonamine in chicken in spring 2018[J]. Gansu Animal Husbandry and Veterinary, 2019, 49(2): 66-72.