

# 加压毛细管电色谱法测定不同烹饪方式食品中丙烯酰胺含量

罗来庆<sup>1\*</sup>, 焦宇知<sup>1</sup>, 周济扬<sup>2</sup>

(1. 江苏食品药品职业技术学院, 淮安 223001; 2. 北海市中等职业技术学校, 北海 536000)

**摘要: 目的** 建立加压毛细管电色谱法检测食品中丙烯酰胺含量的分析方法, 并研究不同烹饪方式下食品中丙烯酰胺含量变化的规律。**方法** 样品经 1.0 mol/L NaCl 溶液提取后, 以乙腈-15 mmol/L pH 4.7 磷酸钾缓冲液(15:85, V:V)为流动相, 在电压强度+2 kV 条件下, 外标法定量。**结果** 丙烯酰胺标准溶液在 0.05~5.00  $\mu\text{g/mL}$  浓度范围内线性良好, 相关系数  $r^2$  为 0.9991, 检出限为 0.3  $\mu\text{g/g}$ , 定量限为 1.5  $\mu\text{g/g}$ , 加标回收率达到 96.3%~98.6%。蒸、煮 2 种方式对丙烯酰胺含量的影响较小, 而炸和烤对淀粉质及肉类食品中的丙烯酰胺含量影响较大。**结论** 此法可以准确、快速的测定不同烹饪方式食品中的丙烯酰胺含量。

**关键词:** 加压毛细管电色谱法; 烹饪; 丙烯酰胺

## Determination of acrylamide content in food with different cooking methods by pressurized capillary electrochromatography

LUO Lai-Qing<sup>1\*</sup>, JIAO Yu-Zhi<sup>1</sup>, ZHOU Ji-Yang<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Food & Pharmaceutical Science College, Huaian 223001, China; 2. Beihai Secondary Vocational and Technical School, Beihai 536000, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish an analytical method for the determination of acrylamide in food by pressurized capillary electrochromatography, and study the variation of acrylamide in food under different cooking methods. **Methods** The samples were extracted with 1.0 mol/L NaCl solution, and acetonitrile-15 mmol/L potassium phosphate buffer pH 4.7 (15:85, V:V) was used as the mobile phase. Under the condition of voltage strength +2 kV, the peak area was quantified by external standard method. **Results** The linearity of the acrylamide standard solution was good within the concentration range of 0.05-5.00  $\mu\text{g/mL}$ , with the correlation coefficient  $r^2$  of 0.9991, the limits of detection of 0.3  $\mu\text{g/g}$ , and the limits of quantitation of 1.5  $\mu\text{g/g}$ . The recoveries were up to 96.3%-98.6%. The methods of steaming and cooking had little influence on acrylamide content, and methods of frying and baking had great influence on acrylamide content in starch and meat food. **Conclusion** This method can accurately and quickly determine acrylamide content in different cooking methods.

**KEY WORDS:** pressurized capillary electrochromatography; cooking; acrylamide

基金项目: 广西 2020 年度重点教改研究项目(GXZZJG2020A004)、广西职业教育烹饪专业及专业群建设研究基地研究项目(桂教职成[2020]8号)、桂教职成[2018]37号)

**Fund:** Supported by the Key Educational Reform Research Projects in Guangxi in 2020 (GXZZJG2020A004), and the Guangxi Vocational Education Cooking Professional and Professional Group Construction Research Base Research Project (gjzc [2020] No.8, gjzc [2018] No.37)

\*通信作者: 罗来庆, 主要研究方向为烹饪工艺与营养。E-mail: zhuanunp0@163.com

\*Corresponding author: LUO Lai-Qing, Jiangsu Food & Pharmaceutical Science College, No.4 Meicheng East Road, Huaian City, Jiangsu 223001, China. E-mail: zhuanunp0@163.com

## 0 引言

丙烯酰胺的分子量为 70.08, 是一种小分子化合物, 具有生殖、神经、遗传毒性, 为 2A 类致癌物<sup>[1-2]</sup>。不同食品经高温烹饪工艺后, 所含有的还原糖、氨基酸和蛋白质易发生美拉德反应, 同时也会产生有害的副产物, 如丙烯酰胺<sup>[3-5]</sup>。因此, 研究如何快速测定其中有害目标物及高温烹饪方式对食品安全性的影响, 对民众如何健康烹饪饮食具有一定的参考意义。

食品中丙烯酰胺的检测方法主要有液相色谱-串联质谱法和气相色谱-串联质谱法<sup>[6-9]</sup>。液相色谱-串联质谱法选择性好、目标组分无需衍生化, 但样品的前处理通常需要固相萃取或者基质分散萃取净化; 气相色谱-串联质谱法灵敏度高, 但样品前处理需要溴化衍生处理, 操作过程较为复杂、重复性较差。加压毛细管电色谱 (pressurized capillary electrochromatography, pCEC) 技术是结合毛细管电泳的高柱效性和高效液相色谱的高选择性两者优点的新型电动微分离技术<sup>[10-12]</sup>, 适用于复杂样品基质中目标物的分离检测, 如经油炸或者烘烤后的烹饪食品。本研究尝试建立一种快速、简便的 pCEC 法分析烹饪食品中丙烯酰胺含量的方法, 并分析不同烹饪方式对食品中丙烯酰胺含量的影响, 为快速检测和控制在烹饪食品中丙烯酰胺残留提供技术保障和参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

丙烯酰胺(99.0%, 国家标准物质中心); 甲醇、乙腈、正己烷(色谱纯, 德国 Merck 公司); 甲酸、无水乙醇、三氯乙酸、氯化钠、磷酸钾(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

烹饪用食品(市售)。

### 1.2 仪器与设备

2100 型加压毛细管电色谱系统(美国赛默飞公司); RV10 旋转蒸发器(德国 IKA 公司)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 色谱条件

色谱柱: C<sub>18</sub> 毛细管填充柱(100 μm×45 cm, 3 μm); 进样量: 40 μL; 检测波长: 205 nm。

#### 1.3.2 流动相体系的优化

在色谱分离检测中流动相体系的选择对目标物的检测含量影响很大<sup>[13-15]</sup>。本研究对流动相体系中不同的影响因素: 有机相的种类(甲醇、乙腈)、流动相中有机相的占比(10%、15%、20%)、磷酸钾缓冲液浓度(10、15、20 mmol/L)及 pH (4.0、4.7、6.0、7.0), 分别比较在

以上不同因素影响下对烹饪食品中丙烯酰胺保留时间和分离度的影响。

#### 1.3.3 电压强度的选择

在毛细管电泳出口端施加不同的电压强度会对丙烯酰胺的分离产生不同影响, 研究分别施加-6、-4、-2、0、2、4 kV 等不同电压强度, 考察丙烯酰胺的分离情况。

#### 1.3.4 标准曲线的绘制

称取一定质量的丙烯酰胺标准品用甲醇溶解后, 配制成 1.00 mg/mL 的标准储备液。临用前, 将标准储备液用 0.1% 甲酸溶液分别配制成质量浓度为 0.05、0.10、0.50、1.00、2.50、5.00 μg/mL 的系列标准曲线溶液。

#### 1.3.5 样品的提取与净化

称取 5.00 g 样品置于 50 mL 烧杯中, 加入提取溶剂 (1.0 mol/L NaCl 水溶液、20% 乙腈水溶液、0.1% 甲酸水溶液、4% 三氯乙酸水溶液和 20% 乙醇水溶液) 定容, 摇匀后超声 10 min, 5000 r/min 离心 5 min。取上清液于 50 mL 离心管中, 加入 10 mL 正己烷后萃取, 以除去脂溶性物质, 重复萃取 3 次, 脱脂后的样液加水定容至 50 mL 后检测。

#### 1.3.6 不同烹饪方式对食品中丙烯酰胺含量的影响

依据上述建立的方法, 选择淀粉质类食品(年糕、土豆)、蔬菜类食品(萝卜、青菜)和肉类食品(猪肉、鱼肉)3 类共 6 种食品作为代表, 分别经蒸、煮、炸、烤 4 种方式烹饪后, 检测食品中丙烯酰胺含量, 研究不同烹饪方式对食品中丙烯酰胺含量的影响。

## 1.4 数据分析

采用 OriginLab 软件包中 Originpro 8 程序进行处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 流动相体系对丙烯酰胺分离效果的影响

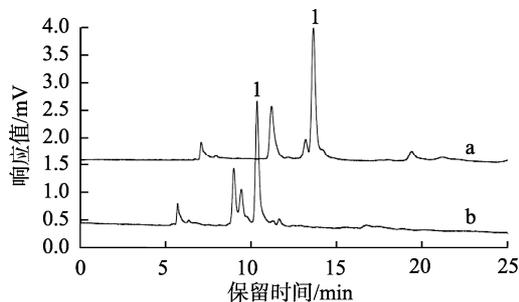
#### 2.1.1 有机相种类的选择

如图 1 所示, 流动相体系中有有机相为甲醇时, 目标峰周围存在杂质峰干扰, 且出峰时间较长; 而有机相为乙腈时, 目标峰能与相邻杂质峰分离, 峰形较好, 出峰时间也合适, 因此选择乙腈作为流动相体系的有机相。

#### 2.1.2 乙腈比例的选择

在流动相体系中有有机相的比例通常会影响到目标物的分离效果。本研究通过改变流动相体系中乙腈占流动相的比例(10%、15%、20%), 考察其对目标物分离效果的影响。

如图 2 所示, 样品中的丙烯酰胺组分在乙腈占流动相比例为 15% 时, 分离度最好, 能与杂质峰分开, 不受干扰; 而在乙腈比例为 10% 或者 20% 时, 丙烯酰胺峰与杂质峰不能完全分离, 故本研究选择 15% 的乙腈作为流动相中的有机相比例。



注: 1. 丙烯酰胺, 下同。

图1 有机相甲醇(a)和乙腈(b)对分离效果的影响

Fig.1 Effects of organic phase methanol (a) and acetonitrile (b) on separation efficiency

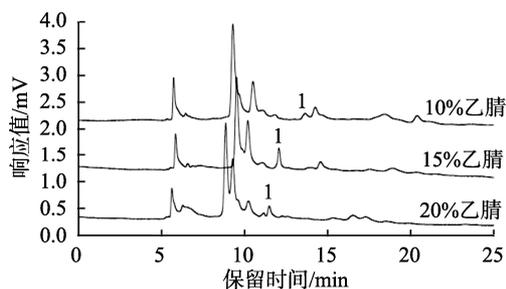


图2 乙腈比例对目标物分离效果的影响

Fig.2 Effects of acetonitrile ratio on separation efficiency target compounds

### 2.1.3 磷酸钾缓冲液浓度的选择

流动相体系中缓冲盐溶液浓度的选择关系到 Zeta 电位、双电层厚度等, 进而影响到电泳迁移率和电渗流的大小, 最终体现对丙烯酰胺分离效果的影响。本研究采用乙腈-磷酸钾缓冲液(15:85, V:V)为流动相体系, 考察了磷酸钾缓冲液浓度(10、15、20 mmol/L)对目标物分离效果的影响。

如图 3 所示, 当磷酸钾缓冲液浓度较高时(如 20 mmol/L), 丙烯酰胺的目标峰与相邻的杂质峰重叠, 这可能是由于毛细管电泳时产生高焦耳热, 使得目标峰增宽, 柱效下降。当磷酸钾缓冲液浓度为 10 mmol/L 或者 15 mmol/L 时, 丙烯酰胺峰能与相邻杂质峰分开, 但后者的分离度更好一些。综合考虑, 选择 15 mmol/L 磷酸钾盐溶液作为流动相缓冲液。

### 2.1.4 磷酸钾缓冲液 pH 的选择

本研究采用乙腈-15 mmol/L 磷酸钾缓冲液(15:85, V:V)为流动相, 分别考察不同 pH 的磷酸钾缓冲液浓度(pH 4.0、4.7、6.0、7.0)对丙烯酰胺分离效果的影响。

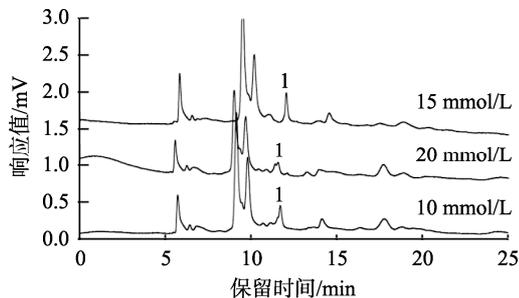


图3 磷酸钾缓冲液浓度对目标物分离效果的影响

Fig.3 Effects of potassium phosphate buffer concentration on separation efficiency target compounds

如图 4 所示, 缓冲溶液 pH 对样品中丙烯酰胺的出峰时间影响较小, 但是对分离度的影响却较大。当缓冲溶液 pH 为 4.0 和 4.7 时, 样品的电泳谱图未发生较大变化; 当缓冲溶液 pH 为 6.0 时, 电泳谱图中丙烯酰胺峰与相邻杂质峰分离度逐步降低, 当达到 pH 7.0 时, 丙烯酰胺峰与杂质峰重叠, 所以缓冲溶液选择不调节 pH, 即 4.7 为缓冲体系的最佳 pH。

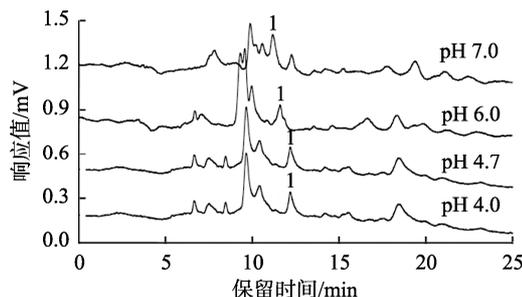


图4 缓冲溶液 pH 值对分离效果的影响

Fig.4 Effects of buffer salt pH values on separation efficiency

## 2.2 分离电压的选择

本研究采用乙腈-15 mmol/L pH 4.7 磷酸钾缓冲液(15:85, V:V)为流动相, 分别施加-6、-4、-2 kV 的负向电压、0、2、4 kV 的正向电压, 分别考察对丙烯酰胺分离效果的影响。

所图 5 所示, 当在毛细管电泳出口端施加不同的负向电压(-6、-4、-2 kV)时, 其对样品中丙烯酰胺的出峰时间影响不大, 可能是因为电渗流方向与压力流方向相反, 使得丙烯酰胺的电泳表观淌度减小, 目标物出峰时间也就变化不大(图 5a~c); 分离电压在 0 kV 时, 丙烯酰胺峰与杂质峰重叠(图 5d); 当在毛细管电泳出口端施加正向电压+2 kV 时, 目标峰出峰时间为 18.1 min, 并且与

杂质峰完全分离(图 5e), 施加电压达到+4 kV, 目标峰分离速度加快, 12.5 min 出峰, 但分离度有所降低(图 5f)。综合考虑, 选择施加正向电压 2 kV 作为样品的最佳分离电压。

### 2.3 标准曲线的绘制

丙烯酰胺在 0.05~5.00  $\mu\text{g}/\text{mL}$  内均具有良好的线性关系, 线性回归方程  $Y=725.6X+69.4$ , 相关系数  $r^2$  为 0.9991, 检出限为 0.3  $\mu\text{g}/\text{g}$ , 定量限为 1.5  $\mu\text{g}/\text{g}$ 。

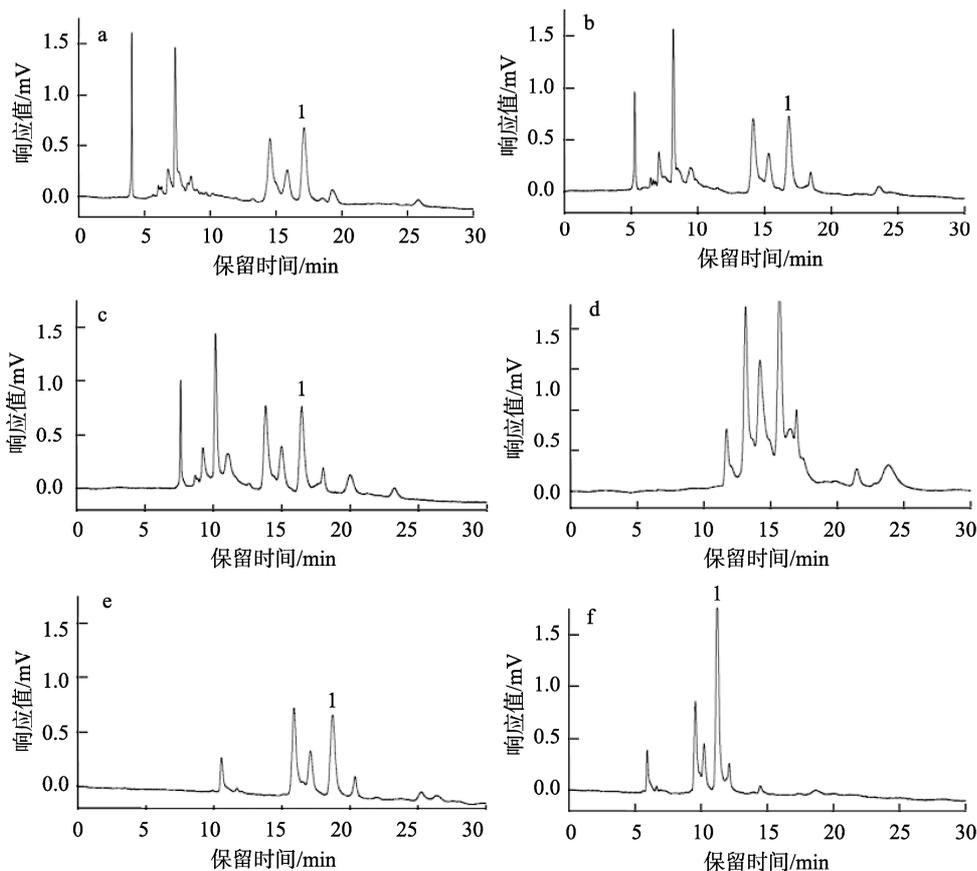
### 2.4 样品提取方法的优化

丙烯酰胺是强极性的小分子化合物, 适合采用极性溶剂进行提取。参考相关文献<sup>[16-18]</sup>, 本研究分别比较了 1.0 mol/L NaCl 水溶液、20%乙腈水溶液、0.1%甲酸水溶液、4%三氯乙酸水溶液和 20%乙醇水溶液 5 种提取溶剂对烹饪食品中丙烯酰胺的提取效果, 结果如图 6 所示。

由图 6 可知, 5 种提取方式体现在样品峰面积上是 1.0 mol/L NaCl 溶液的效果最好, 其他提取方式的图谱上的目标峰面积较小或者有杂质峰干扰, 且 NaCl 溶液方便易得, 提取时不易发生乳化现象, 因此本研究选择 1.0 mol/L NaCl 溶液进行提取。

### 2.5 加标回收

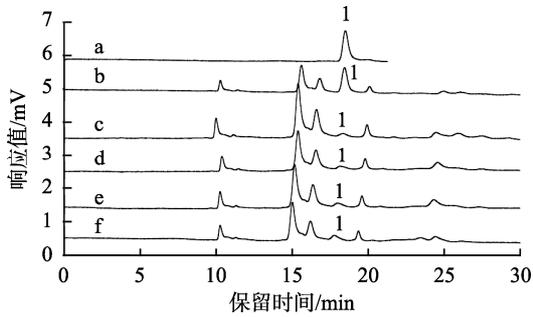
在以上实验的优化条件下, 分 2 组进行加标回收实验, 1 组样品中添加 2.0、20、50  $\mu\text{g}/\text{g}$  3 个浓度梯度的标准溶液, 分别经蒸、煮、炸、烤 4 种方式烹饪后测定目标组分含量; 另 1 组作为对照组, 经同样烹饪条件下不加标进行样品处理和测定。扣除对照组的本底值后, 经计算得到加标组的加标回收率。结果如表 1 所示, 丙烯酰胺的加标回收率为 96.3%~98.6%, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)为 1.8%~3.2%, 表明本研究所建立的方法具有可靠的准确度和精密度。



注: a~f 分离电压分别为 -6、-4、-2、0、2、4 kV。

图 5 分离电压对样品中丙烯酰胺分离效果的影响

Fig.5 Effects of separation voltage on separation effect of acrylamide in samples



注: a. 丙烯酰胺对照品; b. 1.0 mol/L NaCl 溶液; c. 20%乙腈溶液;  
d. 0.1%甲酸溶液; e. 4%三氯乙酸溶液; f. 20%乙醇溶液。

图6 不同提取溶剂提取后的pCEC谱图

Fig.6 pCEC chromatograms after extraction with different extraction solvents

## 2.6 不同烹饪方式对食品中丙烯酰胺含量的影响

如图7所示,烹饪方式对淀粉质类食品中丙烯酰胺的影响较大,此类食品经蒸、煮、炸、烤4种方式烹饪后,丙烯酰胺含量均有所增加,其中炸和烤2种烹饪方式对丙烯酰胺的影响最大。而蔬菜类食品经4种方式烹饪后影响最小,经烹饪后丙烯酰胺含量都小于20  $\mu\text{g/g}$ ,可以认为对蔬菜食品安全影响不大。肉类食品经蒸和煮方式烹饪后,丙烯酰胺含量略有增加;但经炸和烤2种烹饪方式后,丙烯酰胺含量显著增加,最高达到92  $\mu\text{g/g}$ ,这主要是因为食品中的碳水化合物与天门冬酰胺在高温(120  $^{\circ}\text{C}$ 以上)环境中易发生美拉德反应,导致丙烯酰胺的生成<sup>[19-20]</sup>。所以不同烹饪方式对食物中丙烯酰胺的影响不同,其中炸和烤2种烹饪方式对淀粉质类食品和肉类食品影响较大,易导致丙烯酰胺含量增加。

表1 方法的回收率及相对标准偏差( $n=5$ )

Table 1 Recoveries and relative standard deviations of the method ( $n=5$ )

烹饪方式	2.0 $\mu\text{g/g}$		20 $\mu\text{g/g}$		50 $\mu\text{g/g}$	
	回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%
蒸	96.5	2.3	97.4	1.8	98.6	3.2
煮	97.1	2.5	97.2	2.9	97.5	2.8
炸	96.8	2.6	96.8	2.7	96.9	2.1
烤	96.3	2.4	96.9	3.0	97.3	2.3

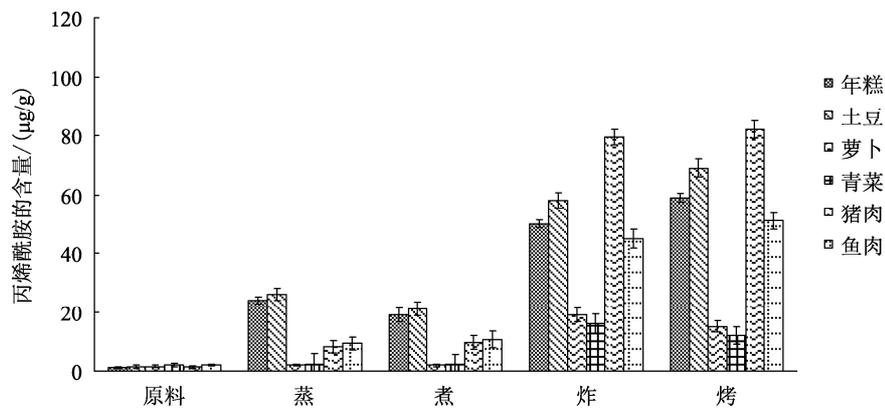


图7 不同烹饪方式对丙烯酰胺含量的影响( $n=5$ )

Fig.7 Effects of different cooking methods on acrylamide content ( $n=5$ )

### 3 结论与讨论

本研究建立了一种 pCEC 法测定烹饪食品中丙烯酰胺的方法, 样品以 1.0 mol/L NaCl 溶液作为提取溶剂, 简化了样品前处理过程。在乙腈-15 mmol/L pH 4.7 磷酸钾缓冲液(15:85, V:V)流动相体系、电压强度+2 kV 条件下烹饪, 食品中的丙烯酰胺组分能得到良好基线分离, 其峰型良好, 出峰时间合适, 得到丙烯酰胺的检出限为 0.3  $\mu\text{g/g}$ , 定量限为 1.5  $\mu\text{g/g}$ , 加标回收率达到 96.3%~98.6%。该方法操作简便、准确性及适用性良好, 依据此法检测不同烹饪方式对食品中丙烯酰胺的影响, 结果发现炸和烤 2 种烹饪方式对食品中丙烯酰胺的影响较大, 特别是淀粉质类食品和肉类食品, 能较大程度增加其中的丙烯酰胺含量, 因此建议选择健康的烹饪方式, 以减少此类物质的摄入。

### 参考文献

- [1] 李百祥, 刘东敏. 丙烯酰胺对小鼠免疫毒性机制的初探[J]. 毒理学杂志, 2005, 19(4): 305-306.  
LI BX, LIU DM. Mechanism of acrylamide-induced immune toxicity in mice [J]. J Toxicol, 2005, 19(4): 305-306.
- [2] 汪恩婷. 丙烯酰胺及其代谢产物对小鼠所致氧化损伤和潜在致癌性的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015.  
WANG ET. Oxidative damage and potential carcinogenicity induced by acrylamide and its metabolite on mice [D]. Changchun: Jilin University, 2015.
- [3] 张中兴, 唐雯, 许蕊, 等. 蛋糕中丙烯酰胺的产生温度及全豆浆对其影响的研究[J]. 食品与发酵科技, 2020, 56(4): 36-39.  
ZHANG ZX, TANG W, XU R, *et al.* Study on the production temperature of acrylamide in cake and the effect of whole soybean milk on it [J]. Food Ferment Sci Technol, 2020, 56(4): 36-39.
- [4] 石声鑫. 食品中丙烯酰胺的测定及其含量控制方法[J]. 现代食品, 2016, (24): 121-125.  
SHI SX. Determination and the control methods of acrylamide in food [J]. Mod Food, 2016, (24): 121-125.
- [5] 陈煜, 龚号迪, 张龔, 等. 油炸食品中丙烯酰胺的检测方法研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(9): 128-132.  
CHEN Y, GONG HD, ZHANG Y, *et al.* Determination of acrylamide in fried foods by high-performance liquid chromatography [J]. China Oils Fats, 2019, 44(9): 128-132.
- [6] 王祖文, 丁晓雯. 食品中丙烯酰胺检测技术研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, (1): 1-9.  
WANG ZW, DING XW. Research progress on detection technology of acrylamide in food [J]. Food Ferment Ind, 2019, (1): 1-9.
- [7] 李雨露, 唐丽君, 喻俊磊. 亲水作用高效液相色谱-串联质谱法测定薯片及饼干中丙烯酰胺的含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(7): 4417-4422.  
LI YL, TANG LJ, YU JL. Determination of acrylamide in potato chips and biscuits by hydrophilic interaction high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry. [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(7): 4417-4422.
- [8] 戴煌, 唐天昊, 陈柯君, 等. 食品中丙烯酰胺检测方法研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(14): 329-335.  
DAI H, TANG TH, CHEN KJ, *et al.* Research progress of detection methods of acrylamide in food products [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(14): 329-335.
- [9] 李双宜, 李蓉, 张朋杰, 等. SPE-HPLC-MS/MS 测定常见焙烤及油炸食品中丙烯酰胺的含量[J]. 食品科学, 2015, 36(14): 192-195.  
LI SY, LI R, ZHANG PJ, *et al.* Detection of acrylamide in baked and fried foods by HPLC-MS/MS with SPE column cleanup [J]. Food Sci, 2015, 36(14): 192-195.
- [10] 赵彦勇, 黄文艺, 程昊, 等. 加压毛细管电色谱在芍药上清片中栀子苷及黄芩苷分离检测中的应用[J]. 分析测试学报, 2015, 34(10): 33-35.  
ZHAO YY, HUANG WY, CHENG H, *et al.* Application of pressurized capillary electromatography in detection of geniposide and baicalin in Xiongju Shangqing Pian [J]. J Instrum Anal, 2015, 34(10): 33-35.
- [11] 张平, 陈睿, 包综方, 等. 加压毛细管电色谱法测定复方芦丁片中芦丁和维生素 C 的含量[J]. 现代生物医学进展, 2018, 18(3): 447-452.  
ZHANG P, CHEN R, BAO ZF, *et al.* Determination of rutin and vitamin C in compound rutin tablets by pressurized capillary electrochromatography [J]. Prog Mod Biomed, 2018, 18(3): 447-452.
- [12] 王玉红, 王彦, 阎超. 加压毛细管电色谱-微流蒸发光散射联用仪检测 5 种糖醇[J]. 现代生物医学进展, 2018, 18(1): 140-145.  
WANG YH, WANG Y, YAN C. Determination of five sugar alcohols by pressurized capillary electrochromatography microfluidic evaporative light scattering spectrometry [J]. Prog Mod Biomed, 2018, 18(1): 140-145.
- [13] OU JJ, ZHENG J, HUANG JQ, *et al.* Interaction of acrylamide, acrolein, and 5-hydroxymethyl furfural with amino acids and DNA [J]. J Agric Food Chem, 2020, 68(18): 5039-5048.
- [14] SHEN YT, CHEN GJ, LI YH. Effect of added sugars and amino acids on acrylamide formation in white pan bread [J]. Cere Chem, 2019, 96(3): 545-553.
- [15] 李青叶. 基于  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  磁性纳米材料的传感器用于丙烯酰胺检测的研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2018.  
LI QY. Study on the detection of acrylamide based on  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  magnetic nano material sensor [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2018.
- [16] MARTA M, CRISTINA DA, MORALES FJ. Alternative food matrices for snack formulations in terms of acrylamide formation and mitigation [J]. J Sci Food Agric, 2019, 99(4): 2048-2051.
- [17] 阴永波, 卞华伟, 李冰, 等. QuEChERS 前处理结合 HPLC-MS 法检测淀粉类食品中丙烯酰胺[J]. 食品科技, 2017, 42(5): 284-289.

- YIN YP, BIAN HW, LI B, *et al.* Determination of acrylamide in starchy foods by high performance liquid chromatography mass spectrometry combined with QuEChERS pretreatment [J]. *Food Sci Technol*, 2017, 42(5): 284–289.
- [18] FERNANDA I, VIVIANE MO, ISABELA MO, *et al.* Prepubertal acrylamide exposure causes dose-response decreases in spermatid production and functionality with modulation of genes involved in the spermatogenesis in rats [J]. *Toxicology*, 2020, 436: 152–158.
- [19] VIVIANE M, PAULA BS, FERNANDA I, *et al.* Acrylamide: A review about its toxic effects in the light of developmental origin of health and disease (DOHaD) concept [J]. *Food Chem*, 2019, 283: 422–430.
- [20] WU CJ, WANG L, GUO XB, *et al.* Simultaneous detection of 4(5)-methylimidazole and acrylamide in biscuit products by isotope-dilution UPLC-MS/MS [J]. *Food Control*, 2019, 105: 64–70.

(责任编辑: 张晓寒 郑丽)

## 作者简介

罗来庆, 主要研究方向为烹饪工艺与营养。

E-mail: zhuanunp0@163.com