

# 食品中丙烯酰胺的控制措施研究进展

韦铮<sup>1</sup>, 黄先智<sup>2</sup>, 丁晓雯<sup>1\*</sup>

1(西南大学 食品科学学院, 重庆, 400716) 2(西南大学科技处, 重庆, 400716)

**摘 要** 该文阐述了食品中丙烯酰胺的毒性与控制方法。在食品加工过程中可以通过控制温度、加热时间、添加相关抑制剂等方法对丙烯酰胺加以控制。食物在油炸、烘焙等高温条件下容易产生丙烯酰胺, 主要产生途径是美拉德反应, 因此, 食用薯条、面包等油炸、焙烤食品会摄入丙烯酰胺。丙烯酰胺具有神经毒性、生殖毒性、基因毒性、致癌性等, 需要选择合适的方法控制其产生。

**关键词** 丙烯酰胺; 毒性; 控制

丙烯酰胺(acrylamide, AA)在1994年被国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)归类为2A类致癌物<sup>[1]</sup>, 2002年瑞典国家食品监督局发现, 食品在高温加热过程中会产生AA, 这引起了全世界的关注<sup>[2]</sup>。有研究测得商业薯条和自制炸薯条中AA含量在218~1 260  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[3]</sup>; LIU等检测出面包中含AA( $219.95 \pm 3.28$ )  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[4]</sup>; 美国加州某一星巴克咖啡中检测出AA<sup>[5]</sup>; 婴幼儿营养米粉中也检测到了AA<sup>[6]</sup>。除了饮食, 人们还能够通过皮肤、呼吸道等其他途径吸收AA, 但是通过消化道的吸收最快<sup>[7]</sup>。

据报道, 长期接触AA可能会对人和动物的神经系统造成损害, 在怀孕期间接触AA会影响孕激素的分泌和胎儿的生长<sup>[8]</sup>, 相关研究认为, AA是具有诱变和致癌特性的潜在遗传和生殖毒素。德国联邦风险评估研究所(Bundesinstitut für Risikobewertung, BfR)估计, 在德国AA的每日摄入量约为0.6  $\mu\text{g}/\text{kg}(\text{bw}) \cdot \text{d}$ , 而我国为0.319  $\mu\text{g}/\text{kg}(\text{bw}) \cdot \text{d}$ , 世界卫生组织(World Health Organization, WHO)和美国环境保护署(United States Environmental Protection Agency, USEPA)进行的单位风险评估显示, 终身暴露于AA下可能会导致10万人中70~450例癌症。欧洲毒性、生态毒性和环境科学委员会(CSTEE)对AA风险的评估表明, AA具有神经毒性、致癌性、生殖毒性及对体细胞和生殖细胞的遗传毒性<sup>[9-10]</sup>。经小鼠等动物实验显示, 试验动物经口摄入AA的半数致死剂量在150  $\text{mg}/\text{kg}(\text{bw})$ 左右, 每日摄入量达40  $\mu\text{g}/\text{kg}(\text{bw})$ 时会引起神经毒性, 每日

摄入量达2.6  $\mu\text{g}/\text{kg}(\text{bw}) \cdot \text{d}$ 时可能致癌<sup>[11-12]</sup>。膳食中AA暴露已成为人类健康的潜在风险, 为保证人类健康, 有必要深入探究控制食品中AA含量的方法, 为降低食品中AA含量提供有效的参考依据。

## 1 食品中丙烯酰胺的来源

AA是一种不饱和酰胺, 呈白色晶体状, 可溶于水、乙醇等极性溶剂中, 广泛存在于富含碳水化合物(例如马铃薯和谷物)的热加工食品中, 同时也被广泛用作工业生产中的原料, 例如聚丙烯酰胺的合成, 废水管理, 矿石加工, 化妆品制造和染料的合成<sup>[10,13]</sup>。在食品中AA的产生主要有以下2个途径。

### 1.1 天冬酰胺途径

AA主要由天冬酰胺(asparagine, Asn)和羰基化合物之间的美拉德反应产生。食品成分中的主要羰基化合物包括还原糖, 特别是葡萄糖(glucose, Glc)、羟羰基、二羰基、烷二烯、5-羟甲基糠醛, 它们可以在高温下变成各种活性羰基化合物, 并且引发AA的形成。羰基化合物与天冬酰胺反应生成希夫碱(schiff base, schiff碱)<sup>[14]</sup>。由schiff碱产生AA的途径有2条: (1) schiff碱发生分子内环化形成5-恶唑烷酮中间体, 通过该中间体脱羧形成甲亚胺叶立德, 重排成amadori产物后通过3-氨基丙酰胺途径转变为AA<sup>[15]</sup>。(2) schiff碱经脱水脱氨生成二羰基化合物, 天冬酰胺与该羰基化合物经strecker降解( $\alpha$ -氨基酸与 $\alpha$ -二羰基化合物反应时,  $\alpha$ -氨基酸氧化脱羧生成比原来氨基酸少一个碳原子的醛, 氨基与二羰基化合物结合并缩合成吡嗪)脱羧脱氨生成AA<sup>[16-17]</sup>。

由于天冬酰胺是马铃薯块茎中最丰富的游离氨基酸, 有时占有游离氨基酸含量的50%以上, 因此

第一作者: 硕士研究生(丁晓雯教授为通讯作者, E-mail: 837731486@qq.com)。

收稿日期: 2019-01-01, 改回日期: 2019-02-27

加热的马铃薯产品中 AA 含量相对较高<sup>[3]</sup>。LEE 等也证明了天冬酰胺是马铃薯和谷物中的主要氨基酸,是产生 AA 的重要参与成分<sup>[18]</sup>,在后续控制方法研究中,可以选择控制天冬酰胺含量来控制 AA 的生成。

## 1.2 非天冬酰胺途径

油脂类物质在加热过程中,脂肪会脱水产生大量的丙烯醛,丙烯醛既能与氨在 180 ℃ 下生成 AA,也能通过褐变作用进而氧化成丙烯酸后进一步与氨反应生成 AA。氨和丙烯醛在热处理时在富含脂质的食品中的 AA 形成中起着重要作用,但在相同条件下,丙烯酸与氨反应能得到更多的 AA<sup>[19]</sup>。不同油脂对 AA 的控制也有一定的作用。

## 2 丙烯酰胺的毒性

AA 主要表现出神经毒性、生殖毒性和致癌性。它可以导致实验动物和长期暴露于 AA 的人类出现出血、骨骼肌无力和体重减轻等症状<sup>[20]</sup>。AA 引起的神经毒性会诱导周围神经病变、感觉功能和力量减弱<sup>[21]</sup>。大量文献表明,哺乳动物大脑中的生物钟系统对认知功能、记忆形成和复杂思维产生深远影响,由时差或睡眠剥夺引起的昼夜节律紊乱可引起认知障碍和记忆障碍,而给实验动物接触 AA 则会导致生物钟紊乱,诱导认知功能障碍和记忆丧失<sup>[22-23]</sup>。此外,AA 的生殖毒性和心脏毒性也不容忽视。若女性在怀孕前暴露于 AA 则会阻碍卵母细胞成熟,影响女性生育能力<sup>[24]</sup>。有人曾在人脐带血和母乳中检测出 AA,并表明孕妇暴露于 AA 会引起明显的心血管系统紊乱,心脏萎缩、形态和功能失常,既对胎儿不利,也对婴儿早期的心脏发育有不良影响<sup>[25]</sup>。在哺乳动物中,肝脏是各种代谢功能的重要器官之一,肝细胞有第二大量的线粒体,AA 会产生肝毒性引发线粒体功能障碍造成肝损伤<sup>[26]</sup>。另有研究显示,长期接触 AA 后,人体的肾脏、肺、肠等器官均会受到一定程度的损伤,严重者甚至会致癌<sup>[27]</sup>。由此可见,探究有效控制食品中 AA 含量的技术方法刻不容缓。

## 3 食品中丙烯酰胺的控制

### 3.1 控制食品加工的温度与时间

食物在高于 120 ℃ 的温度加工、烹调会产生 AA,140 ~ 180 ℃ 为其生成的最佳温度。某些还原性糖类能够在大于 100 ℃ 的条件下与天冬酰胺生成 AA,但是当温度达到 190 ℃ 以上时,AA 的生成量逐渐减

少<sup>[28]</sup>。本实验室测得当油炸麻花的温度高于 120 ℃ 时,AA 开始产生并呈上升趋势,高于 190 ℃ 时麻花所含 AA 开始下降。

由于水分也是美拉德反应的重要因素,因此预干燥时间也会影响食品中 AA 的含量。管玉格<sup>[29]</sup>通过实验证明了薯条加工过程中预干燥时间和油炸温度与 AA 含量间存在着显著的线性关系,在 85 ℃ 最佳预干燥时间为 30 min,最佳油炸温度为 165 ℃。LU 等<sup>[30]</sup>也证明了马铃薯片在 160 ℃ 油炸 2 min 能得到相对低的 AA 含量( $16.92 \pm 3.98$ )  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。GRAŻYNA 等经试验表明,咖啡豆在焙炒的中间阶段会产生大量 AA,受空气流速和湿度的影响,在流速为 0.5 m/s 的潮湿空气中,当焙炒温度达到 210 ℃,AA 显著下降,尤其是当焙炒时间为 25 min 时 AA 含量最低<sup>[31]</sup>。因此,在保持食物良好风味和色泽前提下,严格控制加工温度与时间可以有效减少食品中 AA 含量。

### 3.2 加入丙烯酰胺产生的抑制剂

#### 3.2.1 天然提取物

不同水果提取物对 AA 的影响不同,苹果醇提取物能降低 AA 的产生,而火龙果醇提取物则会加强 AA 的产生。苹果醇提取物主要成分为原花青素,加入 15 mg/mL 该提取物对油炸马铃薯片的 AA 抑制作用能达约 30%<sup>[32]</sup>。陈媛媛等<sup>[33]</sup>研究发现,莲房原花青素(LSPC)对薯条和油条中 AA 形成有抑制作用,将薯条浸渍于 0.5% (质量分数) LSPC 溶液中 90 s,油条浸渍于 0.1% (质量分数) LSPC 溶液中 60 s,对 AA 产生的抑制率分别达到 57.59% 和 67.38%。李金旺<sup>[34]</sup>研究大蒜粉对油炸薯条 AA 的抑制作用及活性成分,研究表明,在油炸前将马铃薯浸泡在 0.1 g/mL 的大蒜粉溶液中,在浸泡 120 min 左右,AA 的产生达到最大抑制率为 37.3%,超过 120 min 后抑制率趋于平稳,并证明大蒜中对 AA 生成起抑制作用的最主要成分为大蒜素。

#### 3.2.2 香辛料

刘玲玲<sup>[35]</sup>研究了香辛料对红烧肉加工过程中 AA 产生的影响。实验结果显示,在红烧肉中按比例加入葱、姜、黄酒,AA 的含量呈降低趋势;当加入糖和老抽,由于老抽中含有丰富的氨基酸,AA 的生成量显著增加;八角、草果、香叶能抑制红烧肉中 AA 的产生,而花椒、胡椒对其无抑制作用。MOUSA 等<sup>[36]</sup>的研究则表明,红辣椒、姜黄和芫荽(香菜)中提取的抗氧化剂的混合物,相对于黑胡椒和小茴香中提取的抗氧化剂为最有希望的 AA 形成抑制剂,在薯条制作中按 1:1:1 将

马铃薯条浸泡在 1.5% 的该混合物中 60 min 后, 170 ℃ 用棕榈油炸 3 min 可减少 AA 高达 88%。

### 3.2.3 天冬酰胺酶

国内外大量研究表明,天冬酰胺酶既可有效减少原料中天冬酰胺的含量,从源头上控制 AA 的生成,还可以避免影响食品的品质。在小麦面包制作过程中,在面粉中加入 752.15 U/kg 的天冬酰胺酶能减少面包中 90% ~ 97% 的 AA<sup>[37]</sup>。因此,在面粉中加入天冬酰胺酶也是一种有效的抑制 AA 生成的方法。

### 3.2.4 金属阳离子

将马铃薯条浸入 1% NaCl 溶液在 25 ℃ 维持 5 min,油炸马铃薯条中的 AA 减少约 62%<sup>[38]</sup>。在制作饼干的过程中,往小麦面粉中加入  $1.4 \times 10^{-2}$  mol/L CaCl<sub>2</sub> 和  $1.0 \times 10^{-2}$  mol/L MgCl<sub>2</sub> 可有效减少 60% 的 AA 形成<sup>[39]</sup>。焙烤面包过程中,当加入配比为柠檬酸 0.45%、硫酸钙 0.95% 时,面包中 AA 含量从 0.592 μg/g 降至 0.118 μg/g<sup>[40]</sup>。金属阳离子抑制 AA 产生的机理可能是由于负责 AA 形成的 schiff 碱受到了金属离子的抑制,进而阻碍了天冬氨酸途径的 AA 的形成。

### 3.3 选择合适的油和食材

不同油脂也会影响油炸食品中 AA 的含量<sup>[41]</sup>。DANIALI 等<sup>[42]</sup>经检测得到,经过高温(160、180、200 ℃)处理后,棕榈油中 AA 含量约为大豆油中 AA 含量的 2 倍;管玉格<sup>[29]</sup>分别用大豆油、花生油、菜籽油和棕榈油在 165 ℃ 条件下油炸馍片 3 min 至熟,结果在相同条件下,使用大豆油炸馍片产生的 AA 含量最低为 1.124 μg/g,使用棕榈油炸馍片产生的 AA 含量最高,达到 1.655 μg/g。本实验室也对比了菜籽油、大豆油、花生油、玉米油、棕榈油对油炸麻花中 AA 含量的影响,结果发现使用棕榈油生产的麻花中 AA 最高,其含量是其他 4 种油炸制麻花中 AA 的 1.94 倍。因此,选择适宜的油进行烹制也能减少 AA 的形成。

### 3.4 适宜的发酵菌种

面包制作过程中需要添加酵母菌对面团进行发酵,研究显示选择合适的菌种能降低面包中 AA 含量。戊糖片球菌、肠膜名串珠菌和弯曲乳杆菌、植物乳杆菌等已被证明适用于面包的生产,选用  $8.9 \lg_{10}$  CFU/mL 用戊糖片球菌和肠膜名串珠菌发酵,面包中 AA 含量降低了 29.5%;选用等量的戊糖片球菌和弯曲乳杆菌发酵,AA 降低 67.2%<sup>[43]</sup>。此外,酵母出芽短梗菌能产生天冬酰胺酶,在马铃薯片

油炸前用酵母出芽短梗菌(*Aureobasidium pullulans*)最终能将游离天冬酰胺的含量降低 16%,油炸马铃薯片中 AA 降低 83%,暂未有实验等显示酵母出芽短梗菌对人体有害。抑制作用的机理可能是因为该菌株能消耗新鲜马铃薯中游离天冬酰胺,从而减少了 AA 的生成,同时此方法也能减少马铃薯褐变<sup>[44]</sup>。

### 3.5 其他消减食品中 AA 的方法

由于控制食品中 AA 方法的原理不同,采用复合法可能达到更好的抑制效果。例如,将法式薯条在 75 ℃ 漂烫 10 min 后,在天冬酰胺酶溶液中 40 ℃ 浸泡 20 min,可使油炸薯条中的 AA 消减约 60%<sup>[45]</sup>。将马铃薯片用超声波清洗机在功率为 200 W,超声温度 40 ℃ 的条件下预处理 30 min,马铃薯中还原糖含量降低 31%;与仅在水中浸泡 30 min 比,AA 降低了 50%;而与直接油炸相比,AA 降低率高达 90%,说明采用超声波作为煎炸预处理能通过降低马铃薯中还原糖含量有效降低油炸马铃薯中 AA 含量<sup>[46]</sup>。

## 4 展望

此外,有研究表明,将马铃薯片分别浸泡在不同浓度(0.1%、0.5% 和 1%)的 V<sub>B3</sub>、V<sub>B6</sub> 中,结果当各维生素的浓度为 1% 时,马铃薯片中 AA 的形成分别减少了 58%、50%,且不会影响薯片的原始风味和脆度<sup>[47]</sup>。赖氨酸和甘氨酸也能通过抑制 schiff 碱的形成而有效地抑制 AA 的生成。将马铃薯片浸泡在 0.5% 甘氨酸中 1 min,薯片中 AA 减少了 57%;浸泡在 1% 赖氨酸中 1 min,AA 的减少量达 58%<sup>[48]</sup>,该抑制作用的机理可能是赖氨酸和甘氨酸促进了竞争反应,减弱了天冬氨酸途径产生 AA。在《GB 14880—2012 食品安全国家标准食品营养强化剂使用标准》<sup>[49]</sup>中显示,L-赖氨酸、V<sub>B6</sub>、V<sub>B3</sub> 均可作为食品营养强化剂,小麦粉及其制品中 L-赖氨酸的允许使用量为 1~2 g/kg,饼干中 V<sub>B6</sub> 的允许使用量为 2~5 mg/kg,其他烘焙食品为 3~15 mg/kg,饼干中 V<sub>B3</sub> 的允许使用量为 30~60 mg/kg,面包为 40~50 mg/kg。因此,L-赖氨酸、V<sub>B6</sub>、V<sub>B3</sub> 既能够作为营养强化剂加入到食品中弥补人群对相应氨基酸和维生素摄入的不足,同时也能有效缓解 AA 的产生,这为 AA 的控制方法提供了有利的指导。

在日常生活中,人们可以通过不同的途径摄入 AA,而 AA 对人类的神经系统、生殖系统、免疫系统均会产生不良反应,其致毒作用机制可能与氧化应激导致细胞凋亡,诱发癌症以及 AA 在体内的代谢产物

环氧丙酰胺(glycidamide,GA)攻击DNA等有关。目前,减少油炸食物中AA的产生已引起了世界各国的广泛关注,同时也成为了食品加工工艺研究的热点,尽管在国内外研究中已取得很大的进展,但仍存在例如AA致癌性缺乏流行病学的证据;除油炸食品外,烘焙食品、饮用水以及烟草中也可能含有AA等问题,这些问题均有待于解决,寻找控制AA产生的有效方法,不仅对食品安全和人体健康起到有益作用,对食品加工工艺的完善也有指导性意义。

## 参 考 文 献

- [1] International Agency Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. Some Industrial Chemicals[M]. Geneva: Distributed for IARC by WHO, 1981.
- [2] KOTEMORI AISHIHARA J, NAKADTE M, et al. Validity of a self-administered food frequency questionnaire for the estimation of acrylamide intake in the Japanese population: The JPHC FFQ validation Study[J]. Journal of Epidemiology, 2018, 28(12): 482–487.
- [3] MOLINA-GARCIA L, SANTOS C S P, MELO A, et al. Acrylamide in chips and French fries: A novel and simple method using xanthidrol for its GC-MS determination[J]. Food Analytical Methods, 2015, 8(6): 1 436–1 445.
- [4] LIU Jie, LIU Xiaojie, MAN Yong, et al. Reduction of acrylamide content in bread crust by starch coating[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(1): 336–345.
- [5] 林中秋, 郑柳萍. 从咖啡中丙烯酰胺致癌事件谈公众化学素养培养[J]. 中学化学教学参考, 2018, 476(16): 73–75.
- [6] 王浩, 赵丽, 于晓瑾, 等. 液质法测定婴幼儿米粉中壬基酚和丙烯酰胺[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(14): 168–172.
- [7] 李治伟, 罗美庄, 许瓴捷, 等. 食品污染物丙烯酰胺毒性及其作用机制研究进展[J]. 中国酿造, 2018, 37(6): 15–19.
- [8] KOMOIKE Y, MATSUOKA M. *In vitro* and *in vivo* studies of oxidative stress responses against acrylamide toxicity in zebrafish [J]. Journal of Hazardous Materials, 2018, 365: 430–439.
- [9] SCHETTGEN T, KÜTTING B, HORNIG M, et al. Transplacental exposure of neonates to acrylamide—a pilot study [J]. International Archives of Occupational and Environmental Health, 2004, 77(3): 213–216.
- [10] ZHANG Yu, REN Yiping, ZHANG Ying. New research developments on acrylamide: Analytical chemistry, formation mechanism, and mitigation recipes [J]. Chemical Reviews, 2009, 109(9): 4 375–4 397.
- [11] 张璐佳, 杨柳青, 王鹏璞, 等. 丙烯酰胺毒性研究进展[J]. 中国食品学报, 2018, 18(8): 274–283.
- [12] TARDIFF R G, GARGAS M L, KIRMAN C R, et al. Estimation of safe dietary intake levels of acrylamide for humans [J]. Food and Chemical Toxicology, 2010, 48(2): 658–667.
- [13] GUAN Qiangdong, SU Benyu, WEI Xiaomin, et al. Protective effect of calpeptin on acrylamide-induced microtubule injury in sciatic nerve [J]. Toxicology, 2018, 409: 103–111.
- [14] QI Yajing, ZHANG Hui, ZHANG Hao, et al. Epicatechin adducting with 5-hydroxymethylfurfural as an inhibitory mechanism against acrylamide formation in maillard reactions [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(47): 12 536–12 543.
- [15] PEREZLOCAS C, YAYLAYAN V A. Further insight into thermally and pH-induced generation of acrylamide from glucose/asparagine model systems [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(15): 6 069–6 074.
- [16] ZYZAK D V, SANDERS R A, STOJANOVIC M, et al. Acrylamide formation mechanism in heated foods [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(16): 4 782–4 787.
- [17] ALAM S, AHMAD R, PRANAW K, et al. Asparaginase conjugated magnetic nanoparticles used for reducing acrylamide formation in food model system [J]. Bioresource Technology, 2018, 269: 121–126.
- [18] LEE H W, PYO S. Acrylamide induces adipocyte differentiation and obesity in mice [J]. Chemico-biological interactions, 2018, 298: 24–34.
- [19] 陆兴毅. 化妆品中丙烯酰胺及其检测的研究进展[J]. 中国医药科学, 2014, 4(7): 52–55.
- [20] TAN Xintong, YE Jin, LIU Weiqi, et al. Acrylamide aggravates cognitive deficits at night period via the gut-brain axis by reprogramming the brain circadian clock [J]. Archives of Toxicology, 2019, 93(2): 467–486.
- [21] KIM H, LEE S G, RHIE J. Dermal and neural toxicity caused by acrylamide exposure in two Korean grouting workers: A case report [J]. Annals of Occupational and Environmental Medicine, 2017, 29(1): 50.
- [22] QI G, MI Y, LIU Z, et al, et al. Dietary tea polyphenols ameliorate metabolic syndrome and memory impairment via circadian clock related mechanisms [J]. Journal of Function Foods, 2017, 34: 168–180.
- [23] SNIDER K H, DZIEMA H, ATEN S, et al. Modulation of learning and memory by the targeted deletion of the circadian clock gene Bmal1 in forebrain circuits [J]. Behavior

- ior Brain Res, 2016, 308: 222 – 235.
- [24] ARAS D, CAKAR Z, OZKAVUKCU Sinan, et al. *In Vivo* acrylamide exposure may cause severe toxicity to mouse oocytes through its metabolite glycinamide[J]. Plos One, 2017, 12(2): e0172026.
- [25] HUANG Mengmeng, JIAO Jingjing, WANG Jun, et al. Exposure to acrylamide induces cardiac developmental toxicity in zebrafish during cardiogenesis[J]. Environmental Pollution, 2018, 234: 656 – 666.
- [26] TAN Xintong, ZHAO Tong, WANG Zihan, Acrylamide defects the expression pattern of the circadian clock and mitochondrial dynamics in C57BL/6J mice liver and HepG2 cells[J]. Agricultural Food Chemistry, 2018, 66(39): 10 252 – 10 266.
- [27] ERDEMLI M E, DOĞAN Z, ÇİĞREMLİŞ Y, et al. Amelioration of subchronic acrylamide toxicity in large intestine of rats by organic dried apricot intake[J]. Turkish Journal of Biology, 2015, 39(6): 872 – 878.
- [28] 樊振江, 孟楠. 油炸食品中丙烯酰胺的形成及减少措施[J]. 现代食品, 2017(6): 27 – 29.
- [29] 管玉格. 食品原料及加工方式对丙烯酰胺形成的影响[D]. 大连: 大连工业大学, 2016.
- [30] LU Ruiyang, YANG Z, SONG H, et al. The aroma-active compound, acrylamide and ascorbic acid contents of pan-fried potato slices cooked by different temperature and time[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2016, 40(2): 183 – 191.
- [31] BUDRYN G, NEBESNY E, ORACZ J. Correlation between the stability of chlorogenic acids, antioxidant activity and acrylamide content in coffee beans roasted in different conditions[J]. International Journal of Food Properties, 2015, 18(2): 290 – 302.
- [32] CHENG KAWING, SHI Jianjun, OU Shiyi, et al. Effects of fruit extracts on the formation of acrylamide in model reactions and fried potato crisps[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(1): 309 – 312.
- [33] 陈媛媛, 丁城, 关亚飞, 等. 原花青素对食品中丙烯酰胺的抑制作用研究[J]. 食品科技, 2017, 42(8): 257 – 261.
- [34] 李金旺. 大蒜粉抑制丙烯酰胺的作用机理研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
- [35] 刘玲玲. 红烧肉加工过程中营养成分变化及丙烯酰胺抑制研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2016.
- [36] MOUSA R M A, AHMED M. Simultaneous inhibition of acrylamide and oil uptake in deep fat fried potato strips using gum arabic-based coating incorporated with antioxidants extracted from spices[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 83: 265 – 274.
- [37] PEDRESCHI F, KAACK K, GRANBY K. The effect of asparaginase on acrylamide formation in French fries[J]. Food Chemistry, 2008, 109(2): 386 – 392.
- [38] PEDRESCHI F, GRANBY K, RISUM J. Acrylamide mitigation in potato chips by using NaCl[J]. Food and Bio-process Technology, 2010, 3(6): 917 – 921.
- [39] ANESE B Q M. The effect of salts on acrylamide and 5-hydroxymethyl furfural formation in glucose-asparagine model solutions and biscuits[J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2010, 49(2): 69 – 77.
- [40] 管玉格, 孙浩, 肖亚庆, 等. 面包中丙烯酰胺调控方法研究[J]. 中国食品学报, 2016, 16(11): 168 – 173.
- [41] 王鹏璞, 朱雨辰, 刘炎冰, 等. 煎炸和焙烤过程中油脂对丙烯酰胺形成影响研究进展[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(2): 140 – 146.
- [42] DANIALI G, JINAP S, SANNY M. Effect of amino acids and frequency of reuse frying oils at different temperature on acrylamide formation in palm olein and soy bean oils via modeling system[J]. Food Chemistry, 2018, 245: 1 – 6.
- [43] BARTKIENE E, BARTKEVICIUS V, KRUNGLEVICIUTE V, et al. Lactic acid bacteria combinations for wheat sourdough preparation and their influence on wheat bread quality and acrylamide formation[J]. Journal of Food Science, 2017, 82(10): 2 371 – 2 378.
- [44] DI FRANCESCO A, MARI M, UGOLINI L, et al. Reduction of acrylamide formation in fried potato chips by *Aureobasidium pullulans* L1 strain[J]. International journal of food microbiology, 2019, 289: 168 – 173.
- [45] MATOURI M, ALEMZADEH I. Suppressed, acrylamide formation during baking in yeast-leavened bread based on added asparaginase, baking time and temperature using response surface methodology[J]. Applied Food Biotechnology, 2018, 5(1): 29 – 36.
- [46] ANTUNES-ROHLING A, CIUDAD-HIDALGO S, MIRBEL J. Ultrasound as a pretreatment to reduce acrylamide formation in fried potatoes[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2018, 49: 158 – 169.
- [47] KAMKAR A, QAJARBEYGI P, JANNAT B, et al. The inhibitory role of autolysed yeast of *Saccharomyces cerevisiae*, vitamins B<sub>3</sub> and B<sub>6</sub> on acrylamide formation in potato chips[J]. Toxin Reviews, 2015, 34(1): 1 – 5.
- [48] KIM C T, HWANG E S, LEE H J. Reducing acrylamide in fried snack products by adding amino acids[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(5): C354-C358.
- [49] GB 14880—2012, 食品安全国家标准食品营养强化剂使用标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.

# Measures for controlling acrylamides in foods: A review

WEI Zheng<sup>1</sup>, HUANG Xianzhi<sup>2</sup>, DING Xiaowen<sup>1\*</sup>

1 (College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400716, China)

2 (Department of Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400716, China)

**ABSTRACT** Acrylamides have neurotoxicity, reproductive toxicity, genotoxicity, carcinogenicity and other toxic effects. Foods are easy to produce acrylamides under high temperature conditions, such as frying and baking etc., as Maillard reaction is a main way that produces acrylamides. Therefore, consuming fried and baked foods will consume acrylamides, such as French fries and breads. As a result, it is necessary to select suitable methods to control the production of acrylamides. This paper reviewed the toxicities and controlling methods of acrylamides in foods. It was found that during food processing, production of acrylamides can be controlled by controlling the temperature and heating time, and adding related inhibitors. This review aimed to provide a reference for solving the pollution of acrylamides in foods and consequently ensuring human health.

**Key words** acrylamide; toxicity; control

(上接第 249 页)

# Effects of thermal processing on honey quality

MA Tianchen<sup>1</sup>, WANG Qian<sup>2</sup>, CHENG Ni<sup>1, 3</sup>, CAO Wei<sup>1, 3\*</sup>

1 (School of Food Science and Engineering, Northwest University, Xi'an 710069, China)

2 (School of Chemical Engineering, Northwest University, Xi'an 710069, China)

3 (Bee Product Research Center of Shaanxi Province, Xi'an 710065, China)

**ABSTRACT** Honey is a natural food that is rich in nutrients and biological activities, such as antibacterial and anti-inflammatory properties, as well as promoting digestion, improving immunity and against CVDs, which therefore can also be used as a medical food. In order to prolong the shelf life of honey, thermal processing is a common method applied before sales. However, over-heating will not only lead to the loss of nutrients and bioactive components, but may also produce harmful substances, which consequently will affect the nutritional value and safety of honey. In this paper, recent research progress on the effects of thermal processing on honey quality was systematically reviewed, in order to provide a basis for improving and exploring new ways for honey processing in China.

**Key words** honey; thermal processing; quality