

焙炒咖啡中丙烯酰胺的研究现状

许彤宇^{1,2,3}, 曾绍东^{2,3}, 王明月^{2,3}, 杨春亮^{2,3*}

(1. 华中农业大学食品科学技术学院, 武汉 430070; 2. 中国热带农业科学院农产品加工研究所, 湛江 524001;
3. 农业部农产品加工质量安全风险评估实验室, 湛江 524001)

摘要: 咖啡在高温(200~250 °C)焙炒加工过程中会产生一定量潜在的致癌物质丙烯酰胺。实验研究表明, 短期接触大量丙烯酰胺会对人和动物的中枢神经造成损伤, 人体长期小剂量接触丙烯酰胺会表现为四肢末端麻木、无力。咖啡焙炒加工过程中产生的丙烯酰胺除了通过天门冬酰胺途径生成以外, 还可以由丙烯醛途径生成。其中影响咖啡中丙烯酰胺形成的主要因素有咖啡类型、咖啡的焙炒温度和时间。本文对控制丙烯酰胺形成途径的研究进展进行了相关阐述, 并对焙炒咖啡中丙烯酰胺的进一步研究提出建议。

关键词: 焙炒咖啡; 丙烯酰胺; 形成机制; 控制途径

Research status of acrylamide in roasted coffee

XU Tong-Yu^{1,2,3}, ZENG Shao-Dong^{2,3}, WANG Ming-Yue^{2,3}, YANG Chun-Liang^{2,3*}

(1. College of Food Science & Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Agricultural Products Processing Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang 524001, China;
3. Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment on Agro-products Processing of Ministry of Agriculture, Zhanjiang 524001, China)

ABSTRACT: Coffee can produce a certain amount of acrylamide which is potential carcinogenica during the process of roasting under high temperature (200~250 °C). Experimental researches showed that short-term contact with a lot of acrylamide could damage nervous centralis of human beings and animals. If human beings were exposed to little doses of acrylamide in long-term, limb numbness and weakness would happen to them. Acrylamide from the process of roasting were created by either asparagine route or acrolein route. The types of coffee, the roasting temperature and the roasting time were the major factors in the formation of acrylamide during roasting coffee beans. The research progresses of controlling the ways of acrylamide formation were reviewed in this article, and suggestions for further researches on the formation of acrylamide were put forward.

KEY WORDS: roasted coffee; acrylamide; formation mechanism; control methods

1 引言

丙烯酰胺纯品为白色透明片状晶体, 相对分子质量

71.09, 易溶于水、甲醇、乙醇、乙醚、丙酮、二甲醚和氯仿^[1]。丙烯酰胺被国际癌症研究中心(IARC, 1994)划分为2A类致癌物, 即人类可能致癌物质^[2]。在富含淀粉的油炸

基金项目: 海南省自然科学基金(20153165)、农产品产地收贮运环节中未知危害因子识别与已知危害因子安全性评估(GJFP2015012)

Fund: Supported by the Natural Science Foundation of Hainan Province (20153165) and the Safety Assessment on the Known and the Unknown Hazards Factor of the Reaping, Storing Transporting Processing in the Origin of Agricultural Products (GJFP2015012)

*通讯作者: 杨春亮, 研究员, 主要研究方向为农产品质量与安全。E-mail: zjyangcl@126.com

*Corresponding author: YANG Chun-Liang, Researcher, Agricultural Products Processing Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Science, No. 48, Renmindadao North Road, Xiashan District, Zhanjiang 524001, China. E-mail: zjyangcl@126.com

和烘烤食品(如炸薯条、法式油炸土豆片、谷物、面包等)以及咖啡中均发现丙烯酰胺^[3]。咖啡是世界三大饮料之一,焙炒咖啡的香气 70%决定于焙炒过程,经焙炒加工后具有丰富的营养成分和独特的醇香口感。近年来,随着咖啡文化逐渐形成,我国的咖啡消费群体逐渐壮大,咖啡消费市场呈现持续扩张的趋势。国内市场的咖啡需求量以每年30%的速度增长。我国咖啡豆年消费量约 30000 t,成品咖啡年消费量约 6000 t^[4]。咖啡在焙炒过程中会产生一定量的致癌物质丙烯酰胺^[5],如果咖啡中丙烯酰胺含量过高将会对消费者的健康构成一定的安全隐患,不利于咖啡产业的健康发展,所以,对咖啡中丙烯酰胺的研究已刻不容缓。在经过各国专家对焙炒咖啡中丙烯酰胺的形成、加工条件和抑制途径已取得初步验证和了解后,本文对近年来国内外有关焙炒咖啡中丙烯酰胺研究成果进行综述,并在此基础上进行展望。

2 丙烯酰胺的毒理学性质

丙烯酰胺有较强的组织渗透性,很容易通过摄入、吸入和皮肤吸收,并可快速分布于全身组织中,而经口摄入被认为是人体吸收丙烯酰胺最迅速和最完整的途径^[6]。由于接触丙烯酰胺,会对细胞、组织、动物包括人类产生潜在的影响,因此,丙烯酰胺的毒理学性质得到了广泛的研究。研究表明,人群暴露于丙烯酰胺中,可能会对人类健康产生神经毒性、生殖毒性、遗传毒性、致突变性和致癌性等潜在风险^[7]。

2.1 急性毒性

有急性毒性试验结果表明,大鼠、小鼠、豚鼠和兔的丙烯酰胺经口半数致死量 LD_{50} 为 100~270 mg/kg,大鼠经皮肤的半数致死量 LD_{50} 为 400 mg/kg,家兔经皮肤的半数致死量 LD_{50} 为 1680 mg/kg,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 0.5 mg/(kg·bw·d),最低损害作用剂量的 NOAEL 值是 2 mg/(kg·bw·d),属于中等毒性物质^[6,8,9]。

目前,对丙烯酰胺的神经毒性的机制有 3 种重要假设:抑制神经传导,神经终端是丙烯酰胺的主要作用点,其通过抑制神经突触前端的一氧化碳信号以阻止神经传递^[10];丙烯酰胺直接作用于驱动蛋白以抑制轴突的快速传导^[11];直接抑制神经,丙烯酰胺通过抑制神经代谢的相关酶干扰能量代谢从而引发神经病变^[12]。

短期暴露于大量丙烯酰胺中会损伤人和动物的中枢系统并引起中枢系统症状,可以直接导致中枢神经系统普肯野细胞死亡,但不引起神经元病变^[13]。喂食含高剂量丙烯酰胺的食物会显著降低雄性大鼠的血清高密度脂蛋白和总体睾酮激素(10 mg/kg 和 50 mg/kg diet),喂食含 50 mg/kg 丙烯酰胺的食物可显著降低雄性大鼠的红细胞数量和淋巴细胞数量^[14]。

2.2 慢性毒性

人体长期小剂量接触丙烯酰胺会表现为四肢末端麻木、无力。并引起中枢和周围神经的神经元萎缩、变性,而且这种周围神经的损伤是由突触前神经末梢-肌肉内神经-神经主干的变化过程,也称“逆向性死亡”^[13,15]。Beland 等^[16]给 B6C3F1 小鼠和 F344/N 大鼠饮用含不同剂量丙烯酰胺的饮用水 2 年,进行毒理学实验研究,组织病理学分析结果表明: B6C3F1 小鼠的哈德氏腺肿瘤和肺肿瘤与丙烯酰胺剂量成显著正相关性,另外, B6C3F1 雄性小鼠前胃肿瘤的发病率也显著增加,雌性 B6C3F1 小鼠在乳腺肿瘤、卵巢肿瘤、皮肤肿瘤的发病率也明显与剂量呈一定的正相关性。F344/N 大鼠甲状腺肿瘤与剂量成显著的正相关性, F344/N 雄性大鼠在睾丸肿瘤、心脏肿瘤和胰腺肿瘤发生率上也有显著的剂量正相关性,而 F344/N 雌性大鼠在阴蒂腺、乳腺、口腔和皮肤肿瘤的发病率也明显随剂量增加而增加。并有研究表明,雄性小鼠长期接触丙烯酰胺会使小鼠生殖细胞 DNA 受到损伤,且丙烯酰胺可显著降低啮齿动物的生育率并增加致死率^[17]。

3 焙炒咖啡中丙烯酰胺的形成机制及影响因素

3.1 焙炒咖啡中丙烯酰胺的形成机制

3.1.1 主要形成途径

在高温加工食品中,美拉德反应中天门冬酰胺和还原糖反应生成丙烯酰胺是食品中形成丙烯酰胺的主要途径,称为天门冬酰胺途径^[18-20]。然而,一般咖啡豆的焙炒温度达 200~250 °C,比其他食品的加工温度要稍高,在这种条件下,焙炒咖啡中生成丙烯酰胺可能不止美拉德反应一条途径^[21]。

在高温加热条件下,天门冬酰胺和羰基化合物(还原糖)存在下形成 N-糖基氨基酸和 Schiff 碱^[19]。Schiff 碱形成后会通过 2 种途径形成丙烯酰胺。一种途径是继续美拉德反应, Schiff 碱经过 Amadori 重排生成更稳定的产物,继而脱水脱氨生成含有羰基的产物,天门冬酰胺在这些含有羰基分子存在下可以通过 Strecker 降解机制在脱羧脱氨后生成丙烯酰胺(见图 1 途径 B),此途径称为 Strecker 途径。另一种是 Schiff 碱经过分子内环化脱羧形成 Amadori 产物(羰基糖胺化合物),这一产物的 C-N 键在高温下断裂生成丙烯酰胺(见图 2 途径 B)。此途径中,天门冬酰胺在热裂解过程中首先生成 N-取代琥珀酰亚胺 Amadori 产物,然后进一步生成琥珀酰亚胺从而阻断丙烯酰胺的生成。高温条件下, A、B 途径都会存在,但是 B 途径中很容易脱羧生成吡啶酮,然后进一步通过脱羧异构后形成非常稳定的偶氮甲碱叶拉德内翁盐,脱羧后形成 Amadori 产物,该途径中低能量的脱羧反应一定程度上阻止了琥珀酰亚胺的形成,有利于促使丙烯酰胺的形成。虽然脱羧反应所需条件很温和,但是 C-N 键需要高温下才能断裂并生成丙烯酰胺^[22,23]。

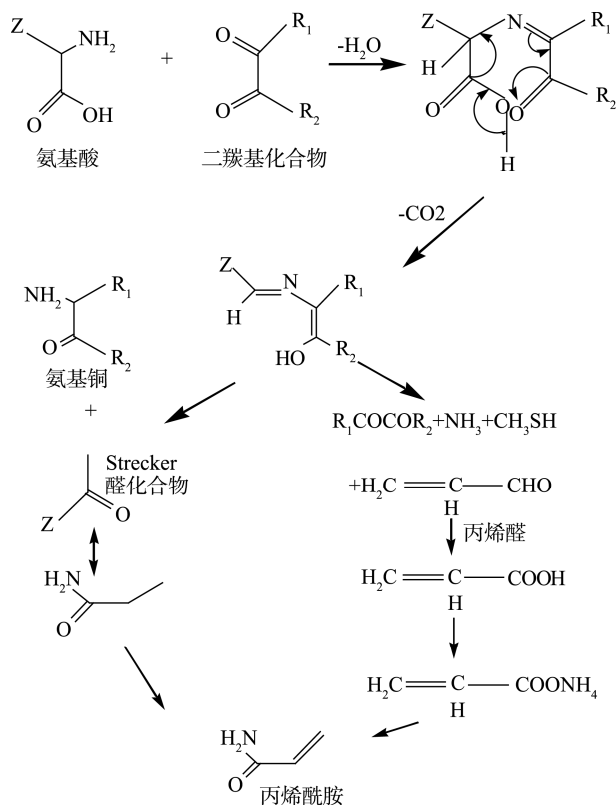


图 1 Strecker 降解氨基酸(天冬氨酸, 甲硫氨酸)生成丙烯酰胺的反应机制

Fig. 1 Proposed pathways for the formation of acrylamide through Strecker degradation of the amino acid asparagine and methionine

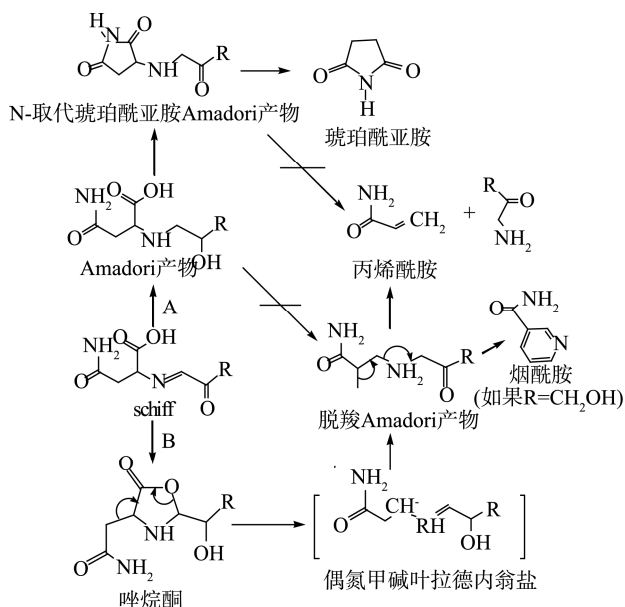


图 2 天门冬酰胺的 Amadori 产物脱羧形成丙烯酰胺的反应机制
Fig. 2 Mechanism of acrylamide formation from a decarboxylated Amadori product of asparagine

3.1.2 其他形成途径

除了天门冬酰胺途径, 在食品中一些热驱动反应也是可能发生的, 其中最主要的中间产物有丙烯醛、丙烯酸、3-氨基丙酰胺(3-APA)。丙烯醛可以通过不同途径形成丙烯酰胺, 包括脂质的氧化降解进一步反应生成丙烯酸形成丙烯酰胺(见图 3)。脂质在加热过程中会生成 2-辛烯醛、2,4-癸二烯醛、 $\alpha,\beta,\gamma,\delta$ -双不饱和甘油酯羰基等物质, 当美拉德反应中的羰基化合物反应完后, 脂质生成物会充当新的羰基化合物^[24,25], 促进丙烯酰胺的生成。天门冬酰胺在没有蔗糖或者羰基源的作用下会通过脱羧反应释放丙烯醛^[26]。除天门冬酰胺外, 其他氨基酸如 *L*-丙氨酸和 *L*-精氨酸在 180 °C 以上的温度时可释放丙烯酸, 生成量与天门冬酰胺的生成量相差无几^[27]。Yasuhara 等^[28]通过建立美拉德反应系统模型研究发现, 将丙烯醛气体喷到天门冬酰胺上混合加热时产生大量的丙烯酰胺。而且在 180 °C 条件下氨和丙烯醛反应产生相当多的丙烯酰胺; 氨与丙烯酸在同样条件下反应, 产生丙烯酰胺的量更大。从理论上讲, 在温度足够高的焙炒咖啡中, 类似的反应机制也是可能发生的。但由于游离氨基酸和温度等限制性因素, 丙烯醛途径在食品中是微不足道的。

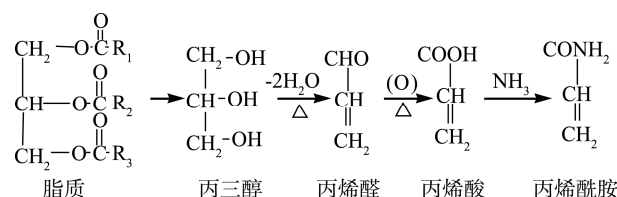


图 3 脂质形成丙烯酰胺途径

Fig. 3 Formation mechanisms of acrylamide from a lipid

3-APA 不能在任何焙炒咖啡样品和绿色咖啡豆中检出。这表明在焙炒咖啡中生成丙烯酰胺的途径中不包括 3-APA 途径^[29]。

3.2 咖啡中形成丙烯酰胺的影响因素

3.2.1 咖啡的类型

世界上咖啡有 3 大原生种, 阿拉比卡、罗布斯塔和利比里卡。利比里卡咖啡豆由于香气差, 风味苦, 豆粒大小不一, 不用于商业咖啡豆。所以最具有商业价值而被大量种植的 2 种咖啡豆是阿拉比卡和罗布斯塔。绿色咖啡豆中主要含有不溶性多糖(34%~53%)、可溶性碳水化合物(6%~12%)、脂质(8%~18%)、蛋白质、游离氨基酸(9%~12%)和矿物质(3%~5%), 蔗糖、亚油酸、绿原酸是咖啡中的主要组成成分。其中天门冬酰胺的含量范围在 280~960 $\mu\text{g/g}$, 占游离氨基酸含量的 7.8%~10.46%^[30-33]。阿拉比卡和罗布斯塔在植物学上是 2 种不同的物种, 有着截然不同的感官

特性^[34]。

罗布斯塔绿色咖啡豆中天门冬酰胺的含量比阿拉比卡绿色咖啡豆高出近1倍,而其蔗糖含量比阿拉比卡绿色咖啡豆低近1倍,但是罗布斯塔丙烯酰胺的生成量比阿拉比卡高出1倍^[35]。显然,不同类型咖啡豆中天门冬酰胺含量是生成丙烯酰胺的一个限制因素。即丙烯酰胺的生成量与天门冬酰胺的含量成正比,但不依赖过量的还原糖的含量^[36]。

Lantz等^[37]研究表明,同一焙炒条件和温度下,罗布斯塔咖啡豆中丙烯酰胺的生成量比阿拉比卡咖啡豆中丙烯酰胺的生成量高。这与Rita等^[38]研究人员的实验结果是一致的:2种咖啡豆在相同条件下进行中度焙炒,罗布斯塔样品中的丙烯酰胺含量水平在1.71~2.92 μg(6.5 g咖啡粉,30 mL去离子水),阿拉比卡样品的丙烯酰胺含量水平在0.87~1.52 μg(6.5 g咖啡粉,30 mL去离子水)。显然,罗布斯塔样品中丙烯酰胺的生成量是阿拉比卡咖啡样品中丙烯酰胺的生成量的1倍。

3.2.2 咖啡的焙炒时间和温度

咖啡加热到120℃以上易产生丙烯酰胺,在富含淀粉类的食物中,经过120℃或以上的高温油炸、煎炸或者是烧烤时能生成丙烯酰胺^[39]。

许多研究人员研究绿色咖啡豆在焙炒过程中时间、温度和丙烯酰胺含量的变化。Kocada等^[24]将咖啡豆在220℃下焙炒5、10、15、20、30和60 min,以检测丙烯酰胺在焙炒过程中的生成量。在焙炒5 min时丙烯酰胺的浓度迅速增加到整个过程中的最大值468 μg/kg,然后以指数形式下降。Haminde等^[40]将绿色咖啡豆在150、200、225℃加热30 min。在200℃时加热10 min,丙烯酰胺达到一个最大值;在225℃时,加热到5 min丙烯酰胺达到一个最大值,然后丙烯酰胺的消退率超过生成率,导致丙烯酰胺的含量减少。而150℃时,丙烯酰胺的含量一直随着时间的延长而增大。Bagdonaite等^[35]在220、230、240、250、260℃分别加热5~15 min,对丙烯酰胺的生成量进行研究。在整个实验过程中丙烯酰胺含量最高的实验条件是最低的焙炒温度220℃下焙炒5 min。15 min以后,在5种焙炒温度条件下都未检出丙烯酰胺。焙炒温度在260℃时,10 min以后就未检出丙烯酰胺。Stadler等^[19]将天冬酰胺、谷氨酰胺和蛋氨酸在180℃下分别与葡萄糖共热5~60 min,实验结果表明天冬酰胺与葡萄糖反应生成丙烯酰胺的量最高,但5 min后随反应时间的增加而丙烯酰胺的含量下降;谷氨酰胺样品在10 min时达到最高,而后保持不变;蛋氨酸样品在30 min前随加热时间延长而增加,而后达到一个平稳水平。Yasuhara等^[28]研究结果表明,在天门冬酰胺和葡萄糖体系中丙烯酰胺的含量在170℃时达到最高。

通过上述实验可初步总结出,绿色咖啡豆在焙炒过程中丙烯酰胺随时间温度的变化规律是:焙炒温度在120~180℃时,降低加工温度和减少加热时间可减少丙烯

酰胺最终生成量;焙炒温度在200℃以上时,温度越高,时间越长,丙烯酰胺的最终含量越少。实验表明,深度焙炒咖啡豆比中度焙炒咖啡豆的丙烯酰胺平均生成量要低一些^[37,38]。而在相对低温区(120~180℃)和高温区(200℃),在保证焙炒咖啡豆品质的前提下,寻找最终生成丙烯酰胺的含量最少的温度值,还需进行进一步研究。

3.2.3 水分活度

在天门冬酰胺/葡萄糖体系中,低水分活度(0.07~0.22)对丙烯酰胺的生成速率并没有起到关键作用,而水分活度在0.33~0.71时,对丙烯酰胺的生成速率,随着水分活度的增加而抑制作用增强。在水分活度为0.82左右时,美拉德反应中丙烯酰胺的消除速率常数最小^[36,41,42]。而咖啡中的水分含量较低,对丙烯酰胺的形成无明显影响^[37]。

4 减少咖啡中丙烯酰胺形成的途径

4.1 控制咖啡焙炒温度和时间

控制咖啡焙炒温度和时间对减少丙烯酰胺有一定的影响,有研究表明,在高温下延长加热时间,丙烯酰胺的含量会减少^[35]。但在低温下延长加热时间,丙烯酰胺的含量并没有降低^[40,43]。因此,如果温度在200℃以下,应尽量降低加热时间。温度在200℃以上,可适当延长加热时间^[37]。据推断,在焙炒时咖啡在180~190℃温度范围内会出现爆裂现象,且此时的温度已经达到丙烯酰胺的沸点,可能会导致丙烯酰胺挥发,从而降低咖啡豆中丙烯酰胺的含量。

4.2 真空条件下焙炒加工

丙烯酰胺的沸点为125℃(3.33 kPa),热加工食品在真空条件下可使其中的丙烯酰胺挥发,从而降低丙烯酰胺的含量。有研究表明,咖啡豆在200℃的温度下分别在真空条件(0.15 kPa)和大气压条件下焙炒,结果真空焙炒比传统焙炒丙烯酰胺的含量少50%,且真空条件下处理的咖啡豆,焙炒后的颜色和口感与传统焙炒相似^[44]。

4.3 超临界CO₂萃取

Banchero等^[45]用超临界萃取技术对焙炒后的咖啡豆进行处理,以消除丙烯酰胺。由于超临界混合溶剂的极性的变化,添加乙醇后提取率增强,最高脱除率达79%。萃取时间525 min时,丙烯酰胺的脱除率在8%~45%,对应1 g咖啡豆消耗19 g超临界溶剂。当萃取时间为1305 min时,丙烯酰胺的脱除率达到79%,此时1 g咖啡豆消耗47 g超临界溶剂。超临界萃取压力在200~300 Pa变化影响不大,最佳的工作条件是温度100℃,200 Pa,9.5% (V/V)的乙醇溶液。

4.4 储存条件

有研究表明,原包装商业焙炒咖啡中的丙烯酰胺含量在储存期间并不稳定^[46-48]。Delatour等^[47]将焙炒咖啡在

室温下储存 6~12 个月后, 丙烯酰胺的含量减少 40%~60%。而 Hoenicke 等^[48]将焙炒咖啡在 10~12 °C 下储存 3 个月后, 丙烯酰胺的含量减少 30%。焙炒咖啡随储存时间(12 个月)的延长, 丙烯酰胺缓慢分解含量逐渐降低。当焙炒咖啡分别在 -18 °C、-4 °C、室温、37 °C 下存储 12 个月后, 实验结果表明, 当储存温度维持在 37 °C 时丙烯酰胺的含量最低。在长期存储条件下, 咖啡中丙烯酰胺含量的减少遵循二级反应动力学方程, 所需的活化能大约为 73 kJ/mol^[37]。

4.5 外源添加剂

相关研究结果表明, 使用合适的添加剂可以有效控制焙炒咖啡中丙烯酰胺的含量, 目前研究的添加剂主要有氨基酸、酶制剂、抗氧化剂等^[49]。

Narita 等^[50]将半胱氨酸应用到咖啡中以减少咖啡中丙烯酰胺的含量。实验结果表明, 将 200 mg 的半胱氨酸添加到 190 g 商业可利用的灌装牛奶咖啡中, 在 121 °C 条件下加热 6 min, 可将丙烯酰胺含量从最初的(6.2±0.2) ng/mL 降为 0.2 ng/mL 以下。实验中将 20 种氨基酸添加到咖啡中, 其中半胱氨酸对丙烯酰胺的影响最大, 其次是赖氨酸, 其他氨基酸的作用微乎其微。实验过程中发现, 热处理以后, 咖啡中的二硫苏糖醇的含量减少, 但是胱氨酸的含量没有受到影响。据推断, 由于硫醇基团会对丙烯酰胺的碳碳双键进行亲核攻击, 半胱氨酸和二硫苏糖醇中的硫醇基团在减少丙烯酰胺含量上可能发挥了重要的作用。

Minseok^[51]从嗜热菌中提取出的芳基酰胺酶对丙烯酰胺有特定的水解作用, 可将其水解成羧酸和氨气。实验研究表明, 在咖啡煮制后, 水温在 70~75 °C 范围内, 100 mg 咖啡加入 10 mL 酶可消除 50% 的丙烯酰胺, 且水解酶在此温度范围时, 水解反应仍很活跃。因此, 实验证明用细菌酶消除咖啡中的丙烯酰胺是可能的。

5 展 望

焙炒咖啡中丙烯酰胺的研究是食品科学研究中丙烯酰胺的一个重要组成部分, 近 10 年虽然国内外对咖啡中丙烯酰胺的研究已经取得很大进展, 但是仍有很多需要进一步深入研究。

第一, 我国咖啡中丙烯酰胺数据不完善, 应开展对咖啡的膳食普查, 建立我国焙炒咖啡中丙烯酰胺的膳食暴露评估基础方法, 科学评估焙炒咖啡中丙烯酰胺膳食摄入风险, 为提升咖啡及制品质量安全监管、保障安全消费、促进咖啡产业发展, 以及标准制修订和国际贸易。

第二, 焙炒工艺中的温度和时间对丙烯酰胺的影响实验虽然已经反复验证, 但在感官接受范围内使得丙烯酰胺含量最少的焙炒工艺条件还有待进一步考证。

第三, 对于咖啡中丙烯酰胺的抑制方法, 实验表明使用真空焙炒和超临界萃取方法对抑制丙烯酰胺的生成有较好的效果但需要深入研究后再进行应用和推广。利用外源

添加剂实现对咖啡中丙烯酰胺的消除为抑制丙烯酰胺生成提供了新途径。此类研究虽然已经取得很大进展, 但外源添加剂的安全性和毒性还有待进一步研究。

第四, 虽然大量的动物毒理学实验已证明丙烯酰胺的毒性、病理变化以及毒理学特性, 并确认了其对动物的致癌性, 但丙烯酰胺对人类的致癌性并没有确切证据证实。因此, 丙烯酰胺对人类的致病性还需进一步进行毒理学和流行病学研究。

参考文献

- [1] 王利兵. 食品安全化学[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
Wang LB. Food safety chemical [M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [2] Livsmedelsverket. Acrylamide [EB/OL]. <http://www.livsmedelsverket.se/en/food-habits-health-and-environment/>.
- [3] World Health Organization. Health Implications of acrylamide in food [EB/OL]. <http://www.who.int/foodsafety/publications/acrylamide-food/en/>.
- [4] 顾文佳, 李兆阶. 我国焙炒咖啡行业质量调研报告[J]. 质量与标准化, 2014, 18: 35~37.
Gu WJ, Li ZJ. Investigation report on the quality of coffee roasting industry in China [J]. Qual Stand, 2014, 18: 35~37.
- [5] Bin Q, Peterson DG, Elias RJ. Influence of phenolic compounds on the mechanisms of pyrazinium radical generation in the Maillard reaction [J]. J Agric Food Chem, 2012, 60(21): 5482~5490.
- [6] World Health Organization. Acrylamide in drinking-water: background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality [EB/OL]. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/acrylamide.pdf.
- [7] Mottram D, Friedman M. Symposium on the chemistry and toxicology of acrylamide [S].
- [8] Hashimoto K, Sakamoto J, Tanii H. Neurotoxicity of acrylamide and related compounds and their effects on male gonads in mice [J]. Arch Toxicol, 1981, 47: 179~189.
- [9] World Health Organization. Health implications of acrylamide in food report of a joint FAO/WHO consultation [EB/OL]. <http://www.who.int/foodsafety/publications/acrylamide-food/en/>.
- [10] LoPachin RM, Gavin T. Acrylamide-induced nerve terminal damage: relevance to neurotoxic and neurodegenerative mechanisms [J]. J Agric Food Chem, 2008, 56(15): 5994~6003.
- [11] Sickles DW, Brady ST, Testino A, *et al.* Direct effect of the neurotoxicant acrylamide on kinesin-based microtubule motility [J]. J Neurosci Res, 1996, 46(1): 7~17.
- [12] Sabri MI, Spencer PS. How does acrylamide perturb axon transport and induce nerve fiber degeneration? Commentary on forum position paper [J]. Neurotoxicol, 2002, 23(2): 259~263.
- [13] 毛丽君, 赵金垣, 徐希娴, 等. 丙烯酰胺的代谢毒理学研究进展[J]. 中国工业医学杂志, 2014, 27(3): 189~191.
Mao LJ, Zhao JY, Xu XX, *et al.* Research progress on metabolism and toxicology of acrylamide [J]. Chin J Ind Med, 2014, 27(3): 189~191.
- [14] Raju J, Roberts J, Taylor M, *et al.* Toxicological effects of short-term dietary acrylamide exposure in male F344 rats [J]. Environ Toxicol Pharm, 2015, 39: 85~92.
- [15] 王从荣, 吴国忠, 钟梅芳. 丙烯酰胺神经系统毒性机制[J]. 生命的化学,

- 2012, 32(1): 84–87.
- Wang CR, Wu GZ, Zhong MF. Mechanism of the neurotoxicity of acrylamide [J]. Chem Life, 2012, 32(1): 84–87.
- [16] Beland A, Mellick W, Olson G, *et al.* Carcinogenicity of acrylamide in B6C3F1 mice and F344/N rats from a 2-year drinking water exposure [J]. Food Chem Toxicol, 2013, 51: 149–159.
- [17] Nixon J, Stanger J, Nixon B, *et al.* Chronic exposure to acrylamide induces DNA damage in male germ cells of mice [J]. Toxicol Sci, 2012, 129(1): 135–145.
- [18] Mottram D, Wedzicha B, Dodson A. Food chemistry acrylamide is formed in the Maillard reaction [J]. Nature, 2002, 419: 448.
- [19] Stadler R, Blank I, Varga N, *et al.* Food chemistry acrylamide from Maillard reaction products [J]. Nature, 2002, 419: 449.
- [20] Zyzak D, Sanders R, Stojanovic M, *et al.* Acrylamide formation mechanism in heated foods [J]. J Agric Food Chem, 2003, 51: 4782–87.
- [21] Guenther H, Anklam E, Wenzl T, *et al.* Acrylamide in coffee: review of progress in analysis, formation and level reduction [J]. Food Addit Contam, 2007, 24: 60–70.
- [22] Yaylayan VA, Wnorowski A, Locas C. Why asparagine needs carbohydrate to generate acrylamide [J]. J Agric Food Chem, 2003, 51: 1753–1757.
- [23] Granvogl M, Schieberle P. Thermally generated 3-aminopropionamide as a transient intermediate in the formation of acrylamide [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54: 5933–5938.
- [24] Kocada T, Goncuo N, Hamzaho A, *et al.* In depth study of acrylamide formation in coffee during roasting: role of sucrose decomposition and lipid oxidation [J]. Food Funct, 2012, 3: 970–975.
- [25] Jin C, Wu X, Zhang Y. Relationship between antioxidants and acrylamide formation: a review [J]. Food Res Int, 2013, 51(2): 611–620.
- [26] Yaylayan VA, Locas CP, Wnorowski A, *et al.* Mechanistic pathways of formation of acrylamide from different amino acids [M]. Germany: Springer, 2005.
- [27] Yaylayan VA, Stadler RH. Acrylamide formation in food: a mechanistic perspective [J]. J AOAC Int, 2005, 88(1): 262–267.
- [28] Yasuhara A, Tanaka Y, Hengel M, *et al.* Gas chromatographic investigation of acrylamide formation in browning model systems [J]. Food Chem, 2003, 51: 3999–4003.
- [29] Bagdonaite K, Viklund G, Skog K, *et al.* Analysis of 3-aminopropionamide: a potential precursor of acrylamide [J]. J Biochem Bioph Meth, 2006, 69(1): 215–221.
- [30] Murkovic M, Derler K. Analysis of amino acids and carbohydrates in green coffee [J]. J Biochem Bioph Meth, 2006, 69(1): 25–32.
- [31] Belitz HD, Grosch W, Schieberle P. Coffee, tea, cocoa [J]. Food Chem, 2009: 938–970.
- [32] 胡荣锁, 陆敏泉, 初众, 等. 海南咖啡主要营养成分对比研究[J]. 营养学报, 2013, 35(6): 622–624.
- Hu RS, Lu MQ, Chu Z, *et al.* The comparative study on the main nutritional components of Hainan coffees [J]. Nutr Sin, 2013, 35(6): 622–624.
- [33] Flament I, Bessière-Thomas Y. Coffee flavor chemistry [M]. USA: John Wiley & Sons, 2002.
- [34] 小巧. 咖啡豆的选择与烘焙[N]. 中国食品, 2007, 13: 51.
- Xiao Q. The choice and roast of coffee beans [N]. China Food, 2007, 13: 51.
- [35] Bagdonaite K, Derler K, Murkovic M. Determination of acrylamide during roasting of coffee [J]. Food Chem, 2008, 56: 6081–6086.
- [36] Hedegaard R, Frandsen H, Granby K, *et al.* Model studies on acrylamide generation from glucose/asparagine in aqueous glycerol [J]. J Agric Food Chem, 2007, 55: 486–492.
- [37] Lantz I, Ternit R, Wilkens J, *et al.* Studies on acrylamide levels in roasting, storage and brewing of coffee [J]. Eur Food Res Technol, 2006, 50: 1039–1046.
- [38] Rita C, Alves C, Susana C, *et al.* Acrylamide in espresso coffee: influence of species, roast degree and brew length [J]. Food Chem, 2010, 119: 929–934.
- [39] Swedish NFA. Acrylamide in Swedish food--targeted sampling 2011 and 2012 [EB/OL]. <http://www.slv.se/engde/fault.asp.2013,25>.
- [40] Haminde Z, Gokmen V. Study of acrylamide in coffee using an improved liquid chromatography mass spectrometry method: Investigation of colour changes and acrylamide formation in coffee during roasting [J]. Food Addit Contam, 2005, 22(3): 214–220.
- [41] Mestdagh F, Meulenaer B, Cucu T, *et al.* Role of water upon the formation of acrylamide in a potato model system [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54: 9092–9098.
- [42] Vleeschouwer K, Plancken I, Loey A, *et al.* Kinetics of acrylamide formation/elimination reactions as affected by water activity [J]. Biotechnol Prog, 2007, 23: 722–728.
- [43] Bråthen E, Knutsen S. Effect of temperature and time on the formation of acrylamide in starch-based and cereal model systems, flat breads and bread [J]. Food Chem, 2005, 92: 693–700.
- [44] Anese M, Nicoli M, Verardo G, *et al.* Effect of vacuum roasting on acrylamide formation and reduction in coffee beans [J]. Food Chem, 2014, 145: 168–172.
- [45] Banchemo M, Pellegrino G, Manna L. Supercritical fluid extraction as a potential mitigation strategy for the reduction of acrylamide level in coffee [J]. J Food Eng, 2013, 115: 292–297.
- [46] Andrzejewski D, Roach JAG, Gay ML, *et al.* Analysis of coffee for the presence of acrylamide by LC-MS/MS [J]. J Agric Food Chem, 2004, 52(7): 1996–2002.
- [47] Delatour T, Périsset A, Goldmann T, *et al.* Improved sample preparation to determine acrylamide in difficult matrixes such as chocolate powder, cocoa, and coffee by liquid chromatography tandem mass spectroscopy [J]. J Agric Food Chem, 2004, 52(15): 4625–4631.
- [48] Hoenicke K, Gattermann R. Studies on the stability of acrylamide in food during storage [J]. J AOAC Int, 2005, 88(1): 268–273.
- [49] 郑宗平, 秦川, 兰山, 等. 食品体系中丙烯酰胺的研究进展: 抑制剂及其抑制机理 [J]. 食品科学, 2014, 35(1): 282–288.
- Zheng ZP, Qin C, Lan S, *et al.* Research progress of acrylamide in food system: inhibitors and inhibition mechanism [J]. Food Sci, 2014, 35(1): 282–288.
- [50] Narita Y, Inouye K. Decrease in the acrylamide content in canned coffee by heat treatment with the addition of cysteine [J]. J Agric Food Chem, 2014, 62: 12218–12222.
- [51] Minseok C. Enzymatic control of the acrylamide level in coffee [J]. Eur Food Res Technol, 2013, 236: 567–571.

(责任编辑: 李振飞)

作者简介



许彤宇, 硕士研究生, 主要研究方向
为农产品质量与安全。
E-mail: 15927123071@163.com



杨春亮, 研究员, 主要研究方向为农
产品质量与安全。
E-mail: zjyangcl@126.com

“食品化学与营养”专题征稿函

食品中成分相当复杂, 有些成分是动、植物体内原有的; 有些是在加工过程、储藏期间新产生的; 有些是人为添加的; 有些是原料生产、加工或储藏期间所污染的; 还有的是包装材料带来的。食品营养是指人体从食品中所能获得的满足自身生理需要的必要的生物学过程, 而食品营养学是研究食物、营养与人体生长发育和健康的关系以及提高食品营养价值的措施。食品化学就是从化学的角度和分子水平上研究食品中化学成分的结构、理化性质、营养作用、安全性及可享受性, 以及各种成分在食品生产、食品加工和储藏期间的变化及其对食品营养性、享受性和安全性影响的科学, 为改善食品品质、开发食品新资源、革新食品加工工艺和储运技术、科学调整膳食结构、改进食品包装、加强食品质量与安全控制及提高食品原料加工和综合利用水平奠定理论基础。

鉴于此, 本刊特别策划了“食品化学与营养”专题, 由西南大学食品科学学院副院长, 西南大学“食品科学与工程”一级学科博士学位授权点、重庆市重点一级学科“食品科学与工程”和重庆市“食品科学与安全优秀教学团队”的带头人, 重庆市营养学会的副理事长, 重庆市营养学会营养与保健食品专业委员会的主任委员, 重庆市食品安全促进会专家委员会主任委员, 重庆市营养师协会副会长, 国家食品药品监督管理局保健食品审评专家 **阚建全 教授** 担任专题主编, 围绕 **食品中的营养成分、微量及添加成分、生理活性成分及以上各成分在食品加工、储藏过程中的次生物质的分离与分析, 食品加工、储藏和运销过程对食品化学成分的影响, 营养与膳食平衡、能量平衡、疾病防治的关系, 食品的营养素强化与功能性食品等方面**或您认为本领域有意义的问题进行论述, 计划在 2015 年 12 月份出版。

鉴于您在该领域的成就, 本刊编辑部及专题主编 **阚建全 教授** 特邀请您和您的团队为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述、实验报告、研究论文均可, 请在 2015 年 11 月 30 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并优先发表。

感谢您的参与与支持!

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com

E-mail: jfoodsq@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部