

# 食品中丙烯酰胺去除方法的研究进展

闫巧娟<sup>1</sup>, 黄林华<sup>1</sup>, 张斌<sup>2</sup>, 江正强<sup>3</sup>

- (1. 中国农业大学 工学院, 北京 100083;  
2. 河南科技大学 食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471023;  
3. 中国农业大学 食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 丙烯酰胺是一种化工原料, 2002 年被发现存在于热加工淀粉类食品中, 是潜在的致癌物, 对食品安全和人类的身体健康具有很大威胁。综述了食品中丙烯酰胺去除方法的研究进展, 重点阐述了生物酶法在热加工食品中去除丙烯酰胺应用的进展, 有助于 L-天冬酰胺酶应用于食品加工中高效去除丙烯酰胺的相关研究。

**关键词:** 丙烯酰胺; L-天冬酰胺酶; 食品安全

**中图分类号:** TS 201 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2016)03-0098-03

## Research progress on removing acrylamide from foods

YAN Qiao-juan<sup>1</sup>, HUANG Lin-hua<sup>1</sup>, ZHANG Bin<sup>2</sup>, JIANG Zheng-qiang<sup>3</sup>

- (1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083;  
2. College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang Henan 471023;  
3. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083)

**Abstract:** Acrylamide as a chemical material was found in heat-treated starch foods in 2002, which was potential carcinogen and great threat to human health and food safety. The research progress in removing acrylamide in foods was reviewed, especially the biological enzyme method. It is helpful to the future research in application of L-asparaginases in food industry.

**Key words:** acrylamide; L-asparaginase; food safety

丙烯酰胺 (acrylamide, AA) 是一种白色晶体, 能够作为化工原料单体合成聚丙烯酰胺, 而聚丙烯酰胺主要用于水的净化处理、纸浆加工及管道的内涂层等。2002 年首次发现丙烯酰胺存在于高温加工富含淀粉的食品中并被定为“可能的致癌物质”(俗称“丙毒”, 二类致癌物), 食品中丙烯酰胺的危害开始成为国内外食品行业重点关注的问题之一<sup>[1-2]</sup>。日常饮食中摄入丙烯酰胺会提高肾癌和乳腺癌的风险, 动物实验表明丙烯酰胺会引发神经毒性和遗传毒性, 导致基因突变和 DNA 损伤, 从而对人类健康具有潜在的危害<sup>[3-4]</sup>。我国生活饮用水卫生标准中规定, 丙烯酰胺含量不超过 0.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。欧洲规定每人每天从食品中摄取丙烯酰胺的最大量是 0.05 mg/kg 体重。研究合理去除食品中丙烯酰胺的方法

对食品安全和人类健康有着重要的意义。

大量研究表明西方饮食中的油炸土豆条、焙烤咖啡豆、面包、饼干以及我国传统饮食中的油条、月饼、麻花等都存在不同含量的丙烯酰胺, 直接去除食品中的丙烯酰胺很难, 可行的方法是通过选择合适原料、调整加工工艺、添加合适的食品添加剂等控制食品中丙烯酰胺的形成。根据减少或去除食品中丙烯酰胺方法的原理分为调整加工工艺法、食品添加剂法、生物法以及复合法<sup>[2,5-6]</sup>。

### 1 调整加工工艺法

调整加工工艺法减少丙烯酰胺生成的研究主要集中在食品烹调或加工过程中温度、pH 值、水分含量、真空度以及微波加热等工艺参数的控制。Huang 等<sup>[7]</sup>在油条炸制过程中将温度降低至 175  $^{\circ}\text{C}$ , 时间延长至 86 s, 用柠檬酸将小麦粉 pH 值调至 6.0, 能够降低油条中 71% 的丙烯酰胺。Anese 等<sup>[6]</sup>通过将原料水分活度提高至 0.83, 6.67 Pa 真

收稿日期: 2015-10-09

基金项目: 国家杰出青年科学基金(31325021)

作者简介: 闫巧娟, 1971 年出生, 女, 教授。

通讯作者: 江正强, 1971 年出生, 男, 教授。

空、60℃下处理5 min能够减少饼干中43%的丙烯酰胺,处理15 min能减少薯条中18%的丙烯酰胺。Viklund等<sup>[8]</sup>通过对薯条进行不同时间漂烫以减少丙烯酰胺生成前体天冬酰胺和还原糖的含量,这种方法能够减少51%~73%的丙烯酰胺。采用高温(230℃)烘烤馍干,与低温(190℃)烘烤相比,馍干中丙烯酰胺含量下降10.9%;先将馍干坯在40℃下风干,使水分从41.7%降至9.6%,可缩短馍干在230℃下的烘烤时间,从而使馍干中丙烯酰胺含量下降31.7%<sup>[9]</sup>。食品加工工艺往往决定其品质和风味,调整加工工艺参数会影响食品的品质和风味,因此,该法虽然成本较低,但在食品加工中应用有一定局限性。

## 2 食品添加剂法

热加工食品中丙烯酰胺是游离天冬酰胺与还原糖在高温下发生Maillard反应产生的,许多研究针对这个反应过程尝试通过添加一些食品添加剂来减少丙烯酰胺的生成。Mestdagh等<sup>[10]</sup>添加酸式焦磷酸钠、柠檬酸、醋酸和乳酸降低pH值减少薯条中丙烯酰胺的生成,而且柠檬酸和甘氨酸或赖氨酸具有协同作用,钙离子和镁离子也具有减少丙烯酰胺的强化效果。Shin等<sup>[11]</sup>将薯条在油炸前用牛磺酸溶液(0.1%~2%)浸泡30 min能明显减少成品中丙烯酰胺的含量。其它一些添加剂如苏打粉、硫醇、多酚类和维生素等也能应用于食品中丙烯酰胺的去除,这些添加剂可能与美拉德反应的中间体反应从而阻断美拉德反应,达到减少丙烯酰胺生成的目的<sup>[12-14]</sup>。柠檬酸添加量为小麦粉的0.5%时,曲奇饼干样品中丙烯酰胺含量下降达87.7%。抗坏血酸添加量较低时,效果不明显,较高时丙烯酰胺的含量虽有少量降低,但曲奇饼干的酸味较大,口感差<sup>[14]</sup>。添加复合食品添加剂(硫酸钙添加量为1.0%,茶多酚添加量为0.04%),馍干中丙烯酰胺含量下降56.5%<sup>[9]</sup>。硫酸钙、柠檬酸、茶多酚及其复合物,都具有降低面包中丙烯酰胺含量的作用。添加3种添加剂的复合物(硫酸钙1.0%、柠檬酸1.0%和茶多酚0.04%)后,面包中丙烯酰胺含量下降了63.3%<sup>[15]</sup>。这些研究说明食品添加剂在减少丙烯酰胺含量方面有一定效果但同时也会影响食品的品质和风味。

## 3 生物法

生物法分为微生物发酵法和酶法,微生物发酵法是在食品原材料中通过微生物发酵处理,减少加工过程中丙烯酰胺的生成。Wakaizumi等<sup>[16]</sup>研究

24株真菌的丙烯酰胺降解效果,发现米曲霉KBN1010在烤绿茶中30℃发酵3 d后绿茶中丙烯酰胺含量由11.4 μg/mL降低至1.2 μg/mL。Bartkiene等<sup>[17]</sup>研究发现乳酸菌发酵可使燕麦面包中丙烯酰胺含量明显减少。速溶咖啡粉、蔗糖和酿酒酵母在30℃共发酵48 h后丙烯酰胺的含量降低70%<sup>[18]</sup>。

酶法是通过添加酶减少或去除食品中丙烯酰胺的方法,所用酶主要是L-天冬酰胺酶。丙烯酰胺主要是由食品原料中的天冬酰胺和还原糖在高温加热过程中通过美拉德反应形成,L-天冬酰胺酶既可有效减少原料中天冬酰胺的含量以从源头上控制丙烯酰胺的生成,还可以避免影响食品的品质和风味<sup>[19]</sup>。近年来,国内外利用L-天冬酰胺酶减少食品中丙烯酰胺含量的研究逐渐增多。Pedreschi等<sup>[20]</sup>在薯条炸制前用L-天冬酰胺酶液浸泡,可以降低薯条中60%以上的丙烯酰胺含量。Hendriksen等<sup>[21]</sup>评价了米曲霉L-天冬酰胺酶在一系列饼干或面包中去除丙烯酰胺的效果,去除率在34%~92%之间。Anese等<sup>[22]</sup>系统研究了L-天冬酰胺酶添加于不同种类饼干中对丙烯酰胺生成量的影响,饼干中丙烯酰胺的去除率为7%~88%之间,去除率与饼干含水量、加工温度和加酶量密切相关。王文艳等以2种自制板栗膨化样品为研究对象,添加L-天冬酰胺酶能够一定程度降低样品中丙烯酰胺含量,此方法对微波膨化和油炸膨化均适用,在油炸膨化中效果更显著,添加量为2 000 ppm时最高可以降低油炸样品中65.2%的丙烯酰胺<sup>[23]</sup>。王凤玲等<sup>[14]</sup>比较了L-天冬酰胺酶和其他添加剂(如柠檬酸、抗坏血酸以及半胱氨酸等)在曲奇饼干中对丙烯酰胺生成的抑制效果,结果表明四种添加剂均对丙烯酰胺的生成有一定抑制作用,其中L-天冬酰胺酶添加量为1 500 ppm时,丙烯酰胺降低84.4%。本实验室研究的嗜热真菌米黑根毛霉L-天冬酰胺酶具有较高的比酶活力和良好的酶学性质。在面包和饼干制作过程中,添加10 U/g小麦粉的L-天冬酰胺酶能减少这两类食品中约90%的丙烯酰胺<sup>[19]</sup>。

## 4 复合法

由于调整加工工艺法、食品添加剂法和生物法控制食品中丙烯酰胺的原理不同,采用复合法(以上三种方法的两种或三种)比单一法能取得更好的降低或去除丙烯酰胺效果。法式薯条加工中漂烫处理(75℃,10 min)后结合L-天冬酰胺酶液浸泡能更有效地去除薯条中的丙烯酰胺<sup>[20]</sup>。豆康

宁等<sup>[9]</sup>采用高温短时烘烤、降低馍干坯烘烤前水分含量和添加复合添加剂,能有效降低馍干中丙烯酰胺含量。

## 5 结论

目前,探索能够有效减少丙烯酰胺含量的食品加工工艺方面主要集中于热加工前的漂烫、减少热加工时间等,能取得一定的效果,但往往会对食品的风味和品质有一定影响。通过筛选合适的食品添加剂来减少食品加工中丙烯酰胺的生成量也有很多工作可做,同时须注意对食品风味和品质的保持。利用L-天冬酰胺酶减少甚至去除食品中丙烯酰胺具有较大的应用前景。由于目前生产L-天冬酰胺酶的菌株主要是黑曲霉、米曲霉、大肠杆菌和欧文软腐菌等,成本较高,限制了其在食品中的应用。我国GB 2760—2014已批准黑曲霉和米曲霉L-天冬酰胺酶可作为食品用酶制剂,但主要依靠进口或外资企业生产。因此,筛选适用性良好的L-天冬酰胺酶及其高产菌株、优化发酵工艺和提取工艺是今后L-天冬酰胺酶在食品中应用研究的方向。通过三种方式的合理组合,得到成本低、效率高且不影响食品风味和品质的方法,可为食品安全再加一道屏障。

## 参考文献:

- [1] AHN J S, CASTLE L, CLARKE D B, et al. Verification of the findings of acrylamide in heated foods [J]. *Food Additives and Contaminants*, 2002, 19(12):1116-1124.
- [2] CURTIS T Y, POSTLES J, HALFORD N G. Reducing the potential for processing contaminant formation in cereal products [J]. *Journal of Cereal Science*, 2014, 59(3):382-392.
- [3] 张雁林,赵金垣,徐希娴,等. 丙烯酰胺毒性研究进展[J]. *中国工业医学杂志*, 2014, 27(5):353-356.
- [4] PEDRESCHI F, MARIOTTI M S, GRANBY K. Current issues in dietary acrylamide: formation, mitigation and risk assessment [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2014, 94(1):9-20.
- [5] FRIEDMAN M, LEVIN C E. Review of methods for the reduction of dietary content and toxicity of acrylamide [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(15):6113-6140.
- [6] ANESE M, SUMAN M, NICOLI M C. Acrylamide removal from heated foods [J]. *Food Chemistry*, 2010, 119(2):791-794.
- [7] HUANG W N, YU S D, ZOU Q B, et al. Effects of frying conditions and yeast fermentation on the acrylamide content in you-tiao, a traditional Chinese, fried, twisted dough-roll [J]. *Food Research International*, 2008, 41(9SI):918-923.
- [8] VIKLUND G Å I, OLSSON K M, SJOHOLM I M, et al. Acrylamide in crisps: Effect of blanching studied on long-term stored potato clones [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2010, 23(2):194-198.
- [9] 豆康宁,罗海澜,彭新然,等. 馍干中丙烯酰胺的抑制工艺及添加剂配方[J]. *食品科学*, 2014, 35(16):71-75.
- [10] MESTDAGH F, MAERTENS J, CUCU T, et al. Impact of additives to lower the formation of acrylamide in a potato model system through pH reduction and other mechanisms [J]. *Food Chemistry*, 2008, 107(1):26-31.
- [11] SHIN D C, KIM C T, LEE Y C, et al. Reduction of acrylamide by taurine in aqueous and potato chip model systems [J]. *Food Research International*, 2010, 43(5):1356-1360.
- [12] JIN C, WU X Q, ZHANG Y. Relationship between antioxidants and acrylamide formation: A review [J]. *Food Research International*, 2013, 51(2):611-620.
- [13] WANG H Y, FENG F, GUO Y, et al. HPLC-UV quantitative analysis of acrylamide in baked and deep-fried Chinese foods [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2013, 31(1):7-11.
- [14] 王凤玲,李楠,李秀梅. 几种添加剂对曲奇饼干中丙烯酰胺产生的抑制作用研究[C]. 第二届环渤海色谱学术报告会, 2010, (p 956-960). 青岛.
- [15] 尚新彬,王富刚,豆康宁. 食品添加剂对面包中丙烯酰胺的抑制研究[J]. *粮油食品科技*, 2014, 22(6):67-70.
- [16] WAKAIZUMI M, YAMAMOTO H, FUJIMOTO N, et al. Acrylamide degradation by filamentous fungi used in food and beverage industries [J]. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2009, 108(5):391-393.
- [17] BARTKIENE E, JAKOBSONE I, JUODEIKIENE G, et al. Study on the reduction of acrylamide in mixed rye bread by fermentation with bacteriocin-like inhibitory substances producing lactic acid bacteria in combination with *Aspergillus niger* glucoamylase [J]. *Food Control*, 2013, 30(1):35-40.
- [18] AKILIOGLU H G, GÖKMEN V. Mitigation of acrylamide and hydroxymethyl furfural in instant coffee by yeast fermentation [J]. *Food Research International*, 2014, 61:252-256.
- [19] HUANG L H, LIU Y, SUN Y, et al. Biochemical characterization of a novel L-Asparaginase with low glutaminase activity from *Rhizomucor miehei* and its application in food safety and leukemia treatment [J]. *Applied Environmental Microbiology*, 2014, 80(5):1561-1569.
- [20] PEDRESCHI F, KAACK K, GRANBY K. The effect of asparaginase on acrylamide formation in French fries [J]. *Food Chemistry*, 2008, 109(2):386-392.
- [21] HENDRIKSEN H V, KORNBRUST B A, OSTERGAARD P R, et al. Evaluating the potential for enzymatic acrylamide mitigation in a range of food products using an asparaginase from *Aspergillus oryzae* [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57(10):4168-4176.
- [22] ANESE M, QUARTA B, FRIAS J. Modelling the effect of asparaginase in reducing acrylamide formation in biscuits [J]. *Food Chemistry*, 2011, 126(2):435-440.
- [23] 王文艳,刘凌,周明. 天冬酰胺酶降低膨化食品丙烯酰胺含量的初步研究[J]. *中国食品添加剂*, 2011(5):59-63. 