

文章编号:2095-6002(2013)01-0024-06

引用格式:潘 晗,张春晖,王振宇,等. 畜禽产品加工过程中有害物质的形成机制及抑制措施——以杂环胺为例. 食品科学技术学报,2013,31(1):24-29.

PAN Han,ZHANG Chun-hui,WANG Zhen-yu, et al. Formation and Inhibition of Heterocyclic Aromatic Amines in Processed Livestock and Poultry Products. Journal of Food Science and Technology, 2013,31(1):24-29.

畜禽产品加工过程中有害物质的形成机制及抑制措施 ——以杂环胺为例

潘 晗, 张春晖, 王振宇, 郭海涛, 倪 娜, 张德权*

(中国农业科学院农产品加工研究所/农业部农产品加工综合性重点实验室,北京 100193)

摘 要: 畜禽产品加工过程中容易形成致癌性、致突变性的杂环胺。IQ型杂环胺通过非酶褐变形成,即包含肌酸、氨基酸、糖的美拉德反应;氨基吡啶主要是通过氨基酸和蛋白质在高于300℃的温度下热解产生。研究表明,随着加工温度的升高和加工时间的延长,杂环胺含量显著上升。一些天然植物提取物以及抗氧化剂对杂环胺的形成有一定抑制作用。介绍了杂环胺的结构、分类、含量、影响因素等,重点对杂环胺的形成机制及抑制措施进行了分析。

关键词: 杂环胺; 畜禽产品; 形成机制; 抑制措施

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

由于加工工艺的需要,畜禽产品加工过程中常常产生有毒有害物质。如腌肉时加入的亚硝酸盐,会形成致癌物质亚硝基化合物;熏肉时由于烟熏而引入致癌物质苯并芘;高温油炸畜禽产品会产生有毒的氧化产物。而畜禽产品加工过程中产生的致癌性、致突变性的杂环胺,近年来受到普遍关注。

杂环胺化合物(heterocyclic aromatic amines, HAAs)是由碳、氮和氢原子组成的具有多环芳香族结构的化合物,此化合物常发现于经热处理过的高蛋白食品中。自从1977年,日本科学家在烧烤的鱼和肉制品表层焦部发现具有强烈致癌性、致突变性的杂环胺以来^[1],迄今为止,在熟肉和熟肉制品中已经发现了25种以上的杂环胺^[2]。

长期的流行病学和动物学研究表明,在全球范围内,饮食是造成人类罹患癌症几率差异的重要因素^[3-4]。报道显示,人类三分之一的癌症与饮食相关。杂环胺是熟食中存在的ng/g级别的强力诱变剂,成为人类罹患癌症的重要原因^[5]。国际癌症研究中心将2-氨基-3-甲基咪唑并[4,5-f]喹啉(IQ)归

类为可疑致癌物(2A级),而2-氨基-3,4-二甲基咪唑并[4,5-f]喹啉(MeIQ)、2-氨基-3,8-二甲基咪唑并[4,5-f]喹啉(MeIQx)、2-氨基-1-甲基-6-苯基咪唑并[4,5-b]吡啶(PhIP)、2-氨基-9H-吡啶并[2,3-b]吡啶(AaC)、2-氨基-3-甲基-9H-吡啶并[2,3-b]吡啶(MeAaC)、3-氨基-1,4-二甲基-5H-吡啶并[4,3-b]吡啶(Trp-P-1)、3-氨基-1-甲基-5H-吡啶并[4,3-b]吡啶(Trp-P-2)、2-氨基-6-甲基二吡啶并[1,2-a:3',2'-d]咪唑(Glu-p-1)和2-氨基-二吡啶并[1,2-a:3',2'-d]咪唑(Glu-P-2)列为潜在致癌物(2B级)。通过Ames/Salmonella实验评估肉制品中杂环胺的致突变性,结果发现杂环胺是黄曲霉毒素B1致突变性的6~10倍^[6]。

我国对于杂环胺的研究始于20世纪80年代后期,至今这方面的报道仍比较少,尚处于起步阶段。随着生活水平的提高,人们对食品安全的意识越来越强,畜禽制品的安全性受到前所未有的关注,其中,杂环胺的形成、控制等问题亦成为研究焦点。本研究将着重介绍畜禽制品中致癌、致突变杂环胺的

收稿日期:2012-12-01

基金项目:国家科技支撑计划项目(2012BAD29B03-05);公益性行业(农业)科研专项(201203009);国家现代肉羊产业技术体系项目(CARS-39)。

作者简介:潘 晗,女,硕士研究生,研究方向为肉品科学与技术;

*张德权,男,研究员,博士生导师,主要从事肉品科学与技术研究。通讯作者。

形成机制及抑制措施,从而为有效减少饮食中杂环胺的摄入提供切实可行的参考依据。

1 杂环胺的结构及分类

杂环胺主要分为两类:氨基咪唑杂芳烃(aminimidazo azaarene, AIA)和氨基吡啶(amino-carolin congener)^[7]。AIA包括喹啉类(IQ、MeIQ)、喹啉类(IQ_x、MeIQ_x、4,8-DiMeIQ_x、7,8-MeIQ_x)、吡啶类(PhIP)和咪喃吡啶类(IFP)。此类杂环胺通常是在温度为150~300℃时,由游离氨基酸、肌酸(肌酸酐)和糖一起反应所生成,是强烈的致癌、致突变物,也是食品中发现的最常见的杂环胺。AIAs又被称为IQ型杂环胺,即极性杂环胺。

氨基吡啶包括α-吡啶(AaC、MeAaC)、β-吡啶类(norharman、harman)、γ-吡啶(Trp-P-1、Trp-P-2)和δ-吡啶(Glu-P-1、Glu-P-2),一般是在温度高于300℃才产生^[8]。氨基吡啶又被称为非IQ型杂环胺,即非极性杂环胺,其致癌、致突变活性较IQ型杂环胺弱^[9]。Harman(1-甲基-9H-吡啶并[3,4-b]吡啶)和Norharman(9H-吡啶并[3,4-b]吡啶)本身不具有致突变活性,但是可以加强其他杂环胺的基因毒性,因此被称为辅助致突变物^[10]。

2 畜禽产品中杂环胺含量及其影响因素

畜禽产品中杂环胺的含量受很多因素的影响。比如原料肉种类^[11]、加工方式^[12]、加工时间和温度^[13]、前体物等。不同的模型和油炸实验结果表明,肌酸和肌酐是许多种杂环胺形成的前体物^[14]。Lee等^[15]研究表明,在煮牛肉汁中加入氨基酸,特别是谷氨酸盐、酪氨酸、苏氨酸和丙氨酸,可以增加杂环胺的含量。Bordas等^[16]认为当向肉风味模型中加入肌酸、甘氨酸、丙氨酸时,杂环胺含量明显升高。

研究表明,加工时间和温度对杂环胺含量的影响远大于前体物或者食品中水分含量的影响^[17-18]。随着温度的升高、时间的延长,杂环胺的含量显著升高^[19]。当温度高于200℃时,HAAs生成速度加快,尤其是PhIP^[20-21]。Arvidsson等^[22]在水模型体系中研究了杂环胺的形成与温度和时间的关系,其将肌酐、葡萄糖和多种氨基酸在150~225℃下加热0.5~120 min,除了IQ和MeIQ外,IQ_x、MeIQ_x、4,8-DiMeIQ_x和PhIP的含量都快速增加。

就加工方式而言,不同加工方式产生的HAAs含量不同^[23]。廖国周^[12]研究了不同加工方法对鸭肉中杂环胺形成的影响,结果表明,煎烤产生的杂环

胺最多,在200℃下煎烤鸭肉20 min,产生的总杂环胺含量达到97.71 ng/g,依次减少的是炭烤、油炸、烘烤、微波与蒸煮。这是由于煎烤时肉品与热源直接接触,肉品中杂环胺形成的各种前体物不断由肉品内部渗出,在接触面进行反应从而形成较多的IQ型杂环胺。Sinha等^[24-25]研究表明,油煎和烧烤比烘烤、油炸、蒸煮和微波产生的杂环胺含量更高。一般而言,使食物直接与明火接触或灼热的金属表面接触的烹调方法,如炭烤、油煎等有助于致突变性杂环胺的形成,因为这种条件下食物表面自由水大量蒸发而发生褐变反应;然而通过间接热传导方式或在较低温度并有水蒸汽存在的烹调条件下,如清蒸、闷煮等,杂环胺的形成量相对就少^[26]。

3 杂环胺的形成机制

3.1 IQ型杂环胺的形成

杂环胺的形成过程中,美拉德反应起着重要作用。Jagerstad等^[27]认为肉中的肌酸、游离氨基酸和己糖是IQ型化合物形成的前体物质。他推测,肌酸通过环化和脱水形成分子中氨基咪唑的一部分,而另一部分则是通过己糖和氨基酸间的美拉德反应产生的降解产物形成,如吡啶或吡嗪,这两部分通过Strecker醛(或相关的Schiff's碱)经过醇醛缩合反应将两部分结合在一起,如图1。Negishi等^[28]证实了这个假说,通过在130℃沸腾回流2 h肌酸、甘氨酸和葡萄糖混合物后,鉴定出了MeIQ_x和7,8-DiMeIQ_x。当他用苏氨酸代替甘氨酸后,产生了MeIQ_x和4,8-DiMeIQ_x,而用丙氨酸代替就可以产生4,8-DiMeIQ_x和微量MeIQ_x^[29]。

3.2 PhIP的形成

Felton^[30]通过用¹³C标记苯丙氨酸和肌酸,有力地证明苯丙氨酸和肌酸是PhIP形成的前体物。然而,通过干热模型研究发现,糖并不是必不可少的前体物^[31]。但糖也有一定的影响作用,在一个含有苯丙氨酸和肌酸的液体模型系统中进行干热处理,糖的浓度大小决定了它对PhIP的形成是起到增强作用还是抑制作用^[32]。

Zochling等^[33]认为PhIP形成的反应第一步是苯丙氨酸的热降解(1),如图2,通过SPME/GC-MS技术,在苯丙氨酸和肌酸的干热模型中鉴别出了苯乙醛(2)。除了热降解,也有可能是苯丙氨酸通过Strecker降解生成了苯乙醛。第二步是苯乙醛(2)和肌酸(3)发生醇醛反应。肌酸的C-5和苯乙醛发生亲核加成反应,随之,脱水生成缩合产物作为中间

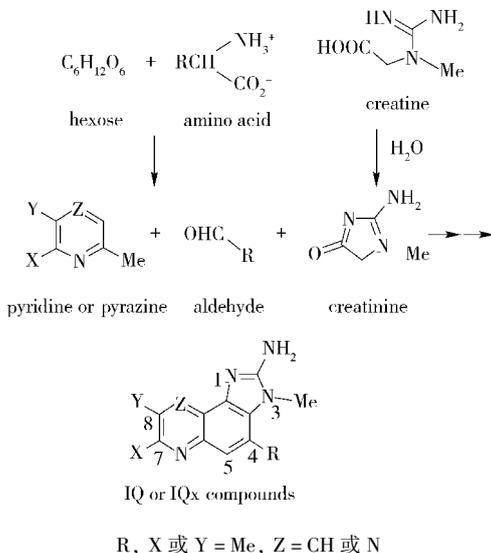


图1 IQ型杂环胺形成机制

Fig. 1 Proposed reactions of formation of IQ-type compounds

物。然而,此中间物无论在模型系统里还是在油炸肉中都不能被检测出来,这是由于模型系统和肉中温度都十分高,醇醛加成产物会立即脱水(4)。反应的最后一步可能是缩合产物(5)和一个含有氨基的化合物之间形成 Schiff's 碱。此含氨基化合物有可能是苯丙氨酸,也有可能是 2-苯乙胺。该化合物已经被证实是苯丙氨酸的一个最主要的热降解产物。另一个可能参与反应的是肌酸。在一个含有苯乙醛和肌酸的模型反应中,在没有额外的氮源时,也产生了 PhIP。在反应系统里,吡啶环上的氮原子至少来源于两部分:它可以是肌酐的氨基与中间体的含氧基团反应而成,也可能是苯丙氨酸的氨基或者是游离氨。

Arvidsson 等^[22]动力学研究结果表明,PhIP 形成过程的限速步骤是单分子反应。苯乙醛和肌酸的缩合反应是 PhIP 形成的关键步骤。

3.3 Norharman 的形成

Sugimura 等^[34]认为色氨酸是 Norharman 形成的前体物。Skog 等^[35]也证实色氨酸是 Norharman 形成的一种重要的前体物,其非常容易在普通的烹饪温度下形成。Yaylayan^[36]提出了 Norharman 的形成机制,如图 3。色氨酸的 Amadori 重排产物(ARP)(1)以呋喃形式经过脱水反应,随后在环氧弧对电子的辅助下进行 β -消去反应形成共轭的氧鎓离子(2)。这个反应的中间体可以通过脱水作用和形成一个拓展的共轭体系来稳定自己,或者是经过 C—C 键分裂来产生一个中性的呋喃衍生物(3)和一个亚胺鎓阳离子。最后,中间物经过分子间取代反应形

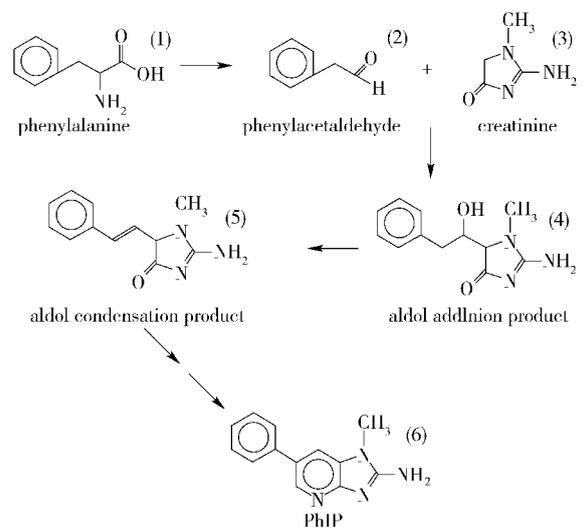


图2 PhIP 的形成机制

Fig. 2 Proposed reactions of formation of PhIP

成 β -吡啶^[37]。

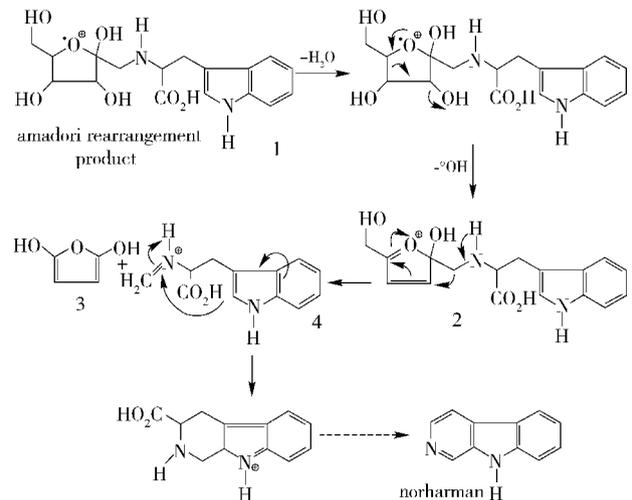


图3 Norharman 的形成机制

Fig. 3 Proposed reactions for formation of norharman

4 杂环胺形成的抑制措施

畜禽产品中存在的致癌性、致突变性杂环胺对人类健康造成严重威胁,因此,研究杂环胺的抑制措施具有重要意义。

近年来,越来越多的研究集中在香辛料等植物天然提取物对杂环胺的抑制作用上。Cheng 等^[38]研究了食物中酚类物质对模型和牛肉馅饼中杂环胺的抑制作用,结果表明,茶黄素 3, 3'-双没食子酸酯、表儿茶素、迷迭香、槲皮素都能显著减少 PhIP、MeIQx、4, 8-DiMeIQx 的含量。Murkovic 等^[39]表明,具有抗氧化活性的调料(迷迭香、百里香、大蒜)可以减少油炸肉中杂环胺含量。姚瑶等^[40]研究了 5

种抗氧化能力较强的香辛料对酱牛肉中杂环胺含量的影响,结果表明,良姜和红花椒能降低杂环胺总量,能显著抑制 7, 8-DiMeIQx 的同时又不产生新的杂环胺。然而,由于香辛料种类繁多,畜禽产品、杂环胺种类也很多,因此研究结果常常存在分歧。比如 Damasius 等^[41]研究了 8 种香辛料(罗勒、牛至、墨角兰、迷迭香、白菖蒲、香薄荷、百里香及香菜提取物)对牛肉中杂环胺形成的影响,没有发现这些提取物与杂环胺形成之间存在特定的联系,它们对杂环胺的抑制作用与牛肉加工方式有着很大的联系。

此外,一些其他的抗氧化剂也被加入到肉制品中。Vitaglione 等^[42]认为无论是从植物中提取的抗氧化剂还是离析的化合物,对模型体系和肉中的杂环胺都有一定程度的抑制作用。Lee 等^[43]在模拟杂环胺形成的模型体系中发现,黄酮可以减少 30% 的 MeIQx 和 7, 8-DiMeIQx。Balogh^[19]研究了维生素 E

对牛肉饼中杂环胺的抑制效果,总体而言,添加了维生素 E 的牛肉饼中,五种杂环胺的含量都显著下降,平均减少量为 45% ~ 75%。当将 1%, 10% 的维生素 E 直接加到牛肉碎饼中,PhIP 含量分别减少了 69% 和 72%。对于 MeIQx 而言,减少的量少且不明显。Lan 等^[18]认为 V_C、V_E、BHT 的混合物对卤制食品中的杂环胺有一定的抑制作用,但效果不显著。表 1 是各种添加物对不同畜禽产品中杂环胺的抑制作用。

另外一种减少畜禽产品中杂环胺的方法是微波处理。这是由于肉品烹调前以微波进行预处理可以引起前体物的溢出,从而减少杂环胺的形成^[44]。Shin 等^[45]向牛排和鸡胸的腌制液中加入蜂蜜,结果发现,根据加入到腌制液中蜂蜜浓度的不同,MeIQx、DiMeIQx 和 PhIP 的含量减少了 16% ~ 45%。

表 1 畜禽产品加工过程中杂环胺形成抑制措施

Tab. 1 Inhibition of heterocyclic aromatic amines of livestock or poultry in processing

| 样品 | 添加物 | 抑制的杂环胺 | 参考文献 |
|-----------|----------------------------------|---|------|
| 牛肉馅饼、模型体系 | 茶黄素 3,3'-双没食子酸酯、 表儿茶素、迷迭香、槲皮素 | PhIP、MeIQx、4, 8-DiMeIQx | [38] |
| 油炸碎牛肉饼 | 迷迭香油树脂 | PhIP | [19] |
| 油炸肉 | 迷迭香、百里香、大蒜 | IQ、MeIQ、MeIQx、4,8-DiMeIQx、PhIP | [39] |
| 煎烤羊肉 | 葡萄籽提取物 | IQ、MeIQx、4,8-DiMeIQx、PhIP | [46] |
| 高脂肪肉丸 | 黑胡椒 | PhIP、IQ、MeIQ、4,8-DiMeIQx | [47] |
| 烤牛排 | 原生橄榄油 | Trp-P-1、Trp-P-2、norharman、harman、AaC、MeAaC、MeIQx、PhIP | [48] |
| 油炸碎牛肉饼 | V _E | IQ、MeIQ、MeIQx、DiMeIQx、PhIP | [19] |

5 结束语

目前国外对杂环胺各方面已展开深入而细致的研究,包括杂环胺的分离富集和定性定量分析、影响因素和控制方法、形成机理和抑制手段。从国外文献报道中可知,经高温处理的畜禽制品中普遍存在杂环胺。然而,我国畜禽产品加工方法与国外有较大差异,其形成杂环胺的种类和数量都可能与国外有很大差别。我国对于畜禽产品中杂环胺的研究起步较晚,目前对杂环胺的报道较少。因此,研究我国畜禽产品中杂环胺的形成和影响因素尤为重要。此外,国外对于香辛料对杂环胺抑制作用的研究主要集中在迷迭香、百里香等唇形科植物,但这类香辛料在国内并不常见,因此,有必要结合中国常见的香辛料及天然抗氧化剂来研究其对杂环胺的抑制效果,从而提高畜禽产品的安全性,为公众健康饮食提供

科学依据。

参考文献:

- [1] Nagao M, Honda M, Seino Y, et al. Mutagenicities of smoked condensate and the charred surface of fish and meat. *Cancer Letters*, 1977(2): 221 - 226.
- [2] Sanz A M, Ayala J H, Gonzalez V, et al. Analytical methods applied to the determination of heterocyclic aromatic amines in foods[J]. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*, 2008, 862: 15 - 42.
- [3] Goldman R, Shields P G. Food mutagens[J]. *J Nutr*, 2003, 133: 965 - 973.
- [4] Kulp K S, Fortson S L, Knize M G, et al. An in vitro model systems to predict the bioaccessibility of heterocyclic amines from a cooked meat matrix[J]. *Food and Chem Toxicol*, 2003, 41: 1701 - 1710.
- [5] Sugimura T. Food and cancer[J]. *Toxicology*, 2002, 182: 17 - 21.

- [6] Sugimura T. Studies on environmental chemical carcinogenesis in Japan[J]. *Science*, 1986, 233: 312–318.
- [7] Jagerstad M, Skog K, Arvidsson P, et al. Chemistry formation and occurrence of genotoxic heterocyclic amines identified in model systems and cooked foods[J]. *Z Lebensmittel-Unters-Forsch A*, 1998, 207: 419–427.
- [8] Toribio F, Moyano E, Puignou L, et al. Ion-trap tandem mass spectrometry for the determination of heterocyclic amines in food[J]. *J Chromatogr A*, 2002, 948: 267–281.
- [9] 吴永宁. 现代食品安全科学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 261–270.
- [10] Kizil M, Oz F, Besler H T. A Review on the formation of carcinogenic/mutagenic heterocyclic aromatic amines [J]. *J Food Process Technol*, 2011, 2(5): 1–5.
- [11] 廖国周. 烤肉制品中杂环胺形成规律研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
- [12] Liao G Z, Xu X L, Zhou G H, et al. Effects of cooking methods on the formation of heterocyclic aromatic amines in chicken and duck breast[J]. *Meat Sci*, 2010, 85(1): 149–154.
- [13] Knize M G, Dolbeare F A, Carroli K L, et al. Effect of cooking time and temperature on the heterocyclic amine content of fried beef patties[J]. *Food and Chem Toxicol*, 1994, 32: 595–603.
- [14] Skog K, Jagerstad M. Incorporation of carbon atoms from glucose into the food mutagens MeIQx and 4,8-DiMeIQx using ¹⁴C-labelled glucose in a model system [J]. *Carcinogenesis*, 1993, 14: 2027–2031.
- [15] Lee H, Lin M Y, Chan S C. Formation and identification of carcinogenic heterocyclic aromatic amines in boiled pork juice[J]. *Mutation Research*, 1994, 308: 77–88.
- [16] Bordas M, Moyano E, Puignou L, et al. Formation and stability of heterocyclic amines in meat flavour model system-Effect of temperature, time and precursors[J]. *J Chromatogr B*, 2004, 802: 11–17.
- [17] Knize M G, Salmon C P, Mehta S S, et al. Analysis of cooked muscle meats for heterocyclic aromatic amine carcinogens[J]. *Mutat Res*, 1997, 376: 129–134.
- [18] Lan C M, Kao T H, Chen B H. Effects of heating time and antioxidants on the formation of heterocyclic amines in marinated foods[J]. *J Chromatogr B*, 2004, 802: 27–37.
- [19] Balogh Z, Gray I, Gomaa E A, et al. Formation and inhibition of heterocyclic aromatic amines in fried ground beef patties [J]. *Food and Chem Toxicol*, 2000, 38(5): 395–401.
- [20] Persson E, Sjöholm I, Skog K. Heat and mass transfer in chicken breasts-Effect on PhIP formation [J]. *Eur Food Res Technol*, 2002, 214: 455–459.
- [21] Skog K, Solyakov A. Heterocyclic amines in poultry products: A literature review[J]. *Food and Chem Toxicol*, 2002, 40: 1213–1221.
- [22] Arvidsson P, Boekel M A J S, Skog K, et al. Kinetics of formation of polar heterocyclic amines in a meat model system[J]. *J Food Sci*, 1997, 62: 911–916.
- [23] Skog K, Eneroth A, Svanberg M. Effect of different cooking methods on the formation of food mutagens in meat[J]. *Food Sci Technol*, 2003, 38(3): 313–323.
- [24] Sinha R, Rothman N, Brown E D, et al. High concentrations of the carcinogen 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo[4,5-b] pyridine (PhIP) occur in chicken but are dependent on the cooking method [J]. *Cancer Research*, 1995, 55: 4516–4519.
- [25] Sinha R, Rothman N, Salmon C P, et al. Heterocyclic amine content in beef cooked by different methods to varying degrees of doneness and gravy made from meat drippings [J]. *Food Chem Toxicol*, 1998, 36: 279–287.
- [26] 姚瑶, 彭增起, 邵斌, 等. 加工肉制品中杂环胺的研究进展[J]. *食品科学*, 2010, 31(23): 447–453.
- [27] Jagerstad M, Laser R A, Oste R, et al. Creatinine and Maillard reaction products as precursors of mutagenic compounds formed in fried beef [M]. Washington, D C: G. Waller and M Feather, 1983: 507–519.
- [28] Negishi C, Wakabayashi K, Tsuda M, et al. Formation of 2-amino-3,7,8-trimethylimidazo [4,5-f] quinoxaline a new mutagen by heating mixture of creatinine glucose and glycine[J]. *Mutat Res*, 1984, 140: 55–59.
- [29] Grivas S, Nyhammar T, Olsson K, et al. Formation of a new mutagenic DiMeIQx compound in a model system by heating creatinine, alanine and fructose[J]. *Mutat Res*, 1985, 151: 177–183.
- [30] Felton J S, Knize M G. Mutagen formation in muscle meats and model heating systems[M]. Boca Raton FL: CRC Press, 1991: 57–66.
- [31] Skog K, Johansson M, Jägerstad M. Carcinogenic heterocyclic amines in model systems and cooked foods a review on formation occurrence and intake [J]. *Food Chem Toxicol*, 1998, 36: 879–896.
- [32] Skog K, Jägerstad M. Effects of monosaccharides and disaccharides on the formation of food mutagens in model systems[J]. *Mutat Res*, 1990, 230: 263–272.
- [33] Zochling S, Murkovic M. Formation of the heterocyclic aromatic amine PhIP identification of precursors and intermediates[J]. *Food Chem*, 2002, 79: 125–134.
- [34] Sugimura T, Nagao M, Wakabayashi K. Metabolic aspects of the comutagenic action of Norharman[J]. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1982,

- 136; 1011–1025.
- [35] Skog K, Solyakov A, Jagerstad M. Effects of heating conditions and additives on the formation of heterocyclic amines with reference to amino-carbolines in a meat juice model system [J]. *Food Chem*, 2000, 68 (3): 299–308.
- [36] Yaylayan V, Jocelyn P, Laing R, et al. The Maillard reaction in food processing [M]. Birkhäuser, Basel: Human Nutrition and Physiology, 1990.
- [37] Murkovic M. Formation of heterocyclic aromatic amines in model systems [J]. *J Chromatogr B*, 2004, 802: 7–8.
- [38] Cheng Ka-Wing, Chen Feng, Wang Mingfu. Inhibitory activities of dietary phenolic compounds on heterocyclic amine formation in both chemical model system and beef patties [J]. *Mol Nutr Food Res*, 2007, 51: 969–976.
- [39] Murkovic M, Steinberger D, Fannhauser W P. Antioxidant spices reduce the formation of heterocyclic aromatic amines in fried meat [J]. *Z Lebensm Unters Forsch A*, 1998, 207: 477–480.
- [40] 姚瑶, 彭增起, 邵斌, 等. 20种市售常见香辛料的抗氧化性对酱牛肉中杂环胺含量的影响 [J]. *中国农业科学*, 2012, 45(20): 4252–4259.
- [41] Damasius J, Venskutonis P R, Ferracane R, et al. Assessment of the influence of some spice extracts on the formation of heterocyclic amines in meat [J]. *Food Chem*, 2011, 126(1): 149–156.
- [42] Vitaglione P, Fogliano V. Use of antioxidants to minimize the human health risk associated to mutagenic/carcinogenic heterocyclic amines in food [J]. *J Chromatogr B*, 2004, 802: 189–199.
- [43] Lee H, Jiaan C Y, Tsai S J. Flavone inhibits mutagen formation during heating in a glycine creatine/glucose model system [J]. *Food Chem*, 1992, 45: 235–238.
- [44] Felton J S, Fultz E, Dolbear F A, et al. Reduction of heterocyclic amine mutagens/ carcinogens in fried beef patties by microwave pretreatment [J]. *Food Chem Toxicol*, 1994, 32: 897–903.
- [45] Shin H S, Ustunol Z. Influence of honey-containing marinades on heterocyclic aromatic amines formation and overall mutagenicity in fried beef steak and chicken breast [J]. *Food Chem Toxicol*, 2004, 69: 147–153.
- [46] 廖国周, 王桂瑛, 徐幸莲, 等. 葡萄籽提取物对烤羊肉中杂环胺形成的影响 [J]. *食品与发酵工业*, 2011, 37(6): 98–101.
- [47] Oz F, Kaya M. The inhibitory effect of black pepper on formation of heterocyclic aromatic amines in high-fat meatball [J]. *Food Control*, 2011, 22(3–4): 596–600.
- [48] Lee J, Dong A, Jung K, et al. Influence of extra virgin olive oil on the formation of heterocyclic amines in roasted beef steak [J]. *Food Science and Biotechnology*, 2011, 20(1): 159–165.

Formation and Inhibition of Heterocyclic Aromatic Amines in Processed Livestock and Poultry Products

PAN Han, ZHANG Chun-hui, WANG Zhen-yu, GUO Hai-tao, NI Na, ZHANG De-quan*
(Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture/Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: Mutagenic and/or carcinogenic heterocyclic aromatic amines (HAAs) have been found in livestock and poultry products. IQ-type HAAs are formed by heat-induced non enzymatic browning, known as Maillard reaction which involves creatine, amino acid and sugars. Whereas amino-carbolines are mainly formed by pyrolysis of amino acids and proteins at the temperature above 300 °C. It is shown that the increase of processing temperature and prolong processing time can result in a dramatic increase in the amount of HAAs. Some natural plant extracts and antioxidants were found to be promising inhibitors to HAAs. In this paper, the structures, classification, content of HAAs as well as the influencing factors are introduced, the formation and inhibition of HAAs are emphasized.

Key words: heterocyclic aromatic amines; processed livestock and poultry products; formation; inhibition

(责任编辑:叶红波)