

## 天然香辛料对杂环胺生成的抑制作用

王童童<sup>1</sup>, 王梓璇<sup>1</sup>, 王适雨<sup>1</sup>, 孙宇轩<sup>1,2,3</sup>, 王敏<sup>1</sup>, 韩天龙<sup>1,3\*</sup>, 刘登勇<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>渤海大学食品科学与工程学院 辽宁锦州 121013

<sup>2</sup>辽宁省肉类食品专业技术创新中心 辽宁锦州 121013

<sup>3</sup>辽宁喀左山猪科技小院 辽宁朝阳 122300

**摘要** 杂环胺是肉制品在高温条件下经一系列复杂反应生成的一类有害物质。这类有害物质的产生主要取决于加热温度、加热时间、加热方式以及肉的种类。当杂环胺被摄入体内,在细胞色素 P450 家族酶的作用下被激活,经磺基转移酶和乙酰基转移酶被转化为具有遗传毒性的代谢产物。天然香辛料中含有的主要生物活性化合物如酚类、氨基酸、糖类以及生物碱等决定了天然香辛料的作用。将部分天然香辛料添加到肉制品中,不仅能够改善肉制品的最终风味,还能够减少肉制品中杂环胺的含量。本文介绍浓香型天然香辛料(桂皮、丁香、甜罗勒、龙蒿、芫荽、八角茴香、肉豆蔻)、辛辣型天然香辛料(辣椒、黑胡椒、花椒、香茅、黑芥子、生姜、大蒜、洋葱、高良姜、大葱)以及淡香型天然香辛料(姜黄、迷迭香、山奈、草果、石榴籽、孜然、甘草)对杂环胺的抑制作用,阐述这些天然香辛料中对杂环胺有抑制作用的化合物及其抑制机理。

**关键词** 杂环胺;天然香辛料;酚类化合物;抑制

**文章编号** 1009-7848(2024)03-0332-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.03.033

在杂环胺的形成过程中,还原糖、肌酸、肌酸酐、氨基酸以及自由基均可以作为杂环胺的前体物质,自由基以及羰基化合物则是杂环胺生成的关键中间体<sup>[1-2]</sup>。其中,还原糖包括葡萄糖、核糖和果糖,氨基酸包括异亮氨酸、缬氨酸和赖氨酸等<sup>[3]</sup>,自由基则包括氢过氧自由基、烷基自由基和单线态氧等。然而,过量的肌酸酐可以通过在 N2 和 N3 位点与氢键形成加合物来抑制 2-氨基-1-甲基-6-苯基咪唑并[4,5-b]-吡啶(2-amino-1methyl-6-phenylimidazo[4,5-b]pyridine, PhIP)的产生<sup>[4]</sup>。异亮氨酸、缬氨酸、赖氨酸可以抑制模型中 PhIP 的形成<sup>[5]</sup>。还原糖的降解产物—— $\alpha$ -二羰基化合物可以通过与 PhIP、苯丙氨酸和肌酐反应,抑制油炸猪肉中 PhIP 的形成<sup>[6]</sup>。天然香辛料中除了含有糖类和氨基酸外,还含有酚类和生物碱等多种生物活性化合物。这些生物活性化合物可与杂环胺的前体、中间体以及杂环胺相互作用,最终抑制肉制品中的杂环胺<sup>[7]</sup>。

本文综述近 5 年来 24 种天然香辛料(桂皮、

丁香、甜罗勒、龙蒿、芫荽、八角茴香、肉豆蔻、辣椒、黑胡椒、花椒、香茅、黑芥子、生姜、大蒜、洋葱、高良姜、大葱、姜黄、迷迭香、山奈、草果、石榴籽、孜然和甘草)中抑制杂环胺的生物活性化合物(见图 1),以及这几种天然香辛料对杂环胺的抑制机制(见表 1)。

### 1 天然香辛料中的有效成分对杂环胺生成的减控作用

近几年,酚类化合物和氨基酸在对杂环胺减控方面的研究较多。在酚类化合物的研究中,主要是酚酸类与黄酮类两种化合物。酚类化合物对杂环胺体外生成的抑制机制主要包括以下几种:1)酚类化合物可以以剂量依赖性的方式抑制杂环胺,这与化合物具有较强的抗氧化能力,即可清除反应体系中的自由基活性有关<sup>[8]</sup>;2)酚类化合物可以通过降低羰基化合物、1,2,3,4-四氢- $\beta$ -咔啉-3-羧酸和苯乙醛等关键中间体含量的方式抑制杂环胺;3)酚类化合物与杂环胺的关键前体之间产生竞争性化学反应,减少杂环胺前体数量,最终减少肉制品中的杂环胺<sup>[9]</sup>;4)酚类化合物可以通过直接清除 $\beta$ -咔啉杂环胺途径抑制杂环胺<sup>[23,31]</sup>;5)酚类化合物还可以与蛋白质之间发生相互作用

收稿日期:2023-03-23

第一作者:王童童,女,硕士生

通信作者:韩天龙 E-mail: hantian212@163.com

刘登勇 E-mail: jz\_dyliu@126.com

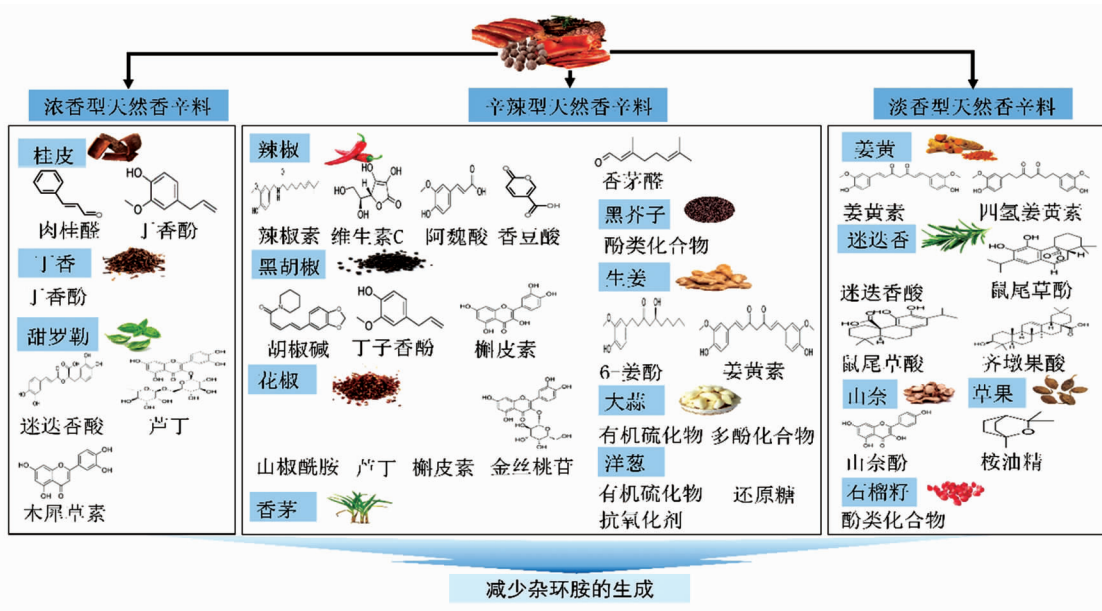


图 1 天然香辛料中对杂环胺减控的有效成分

Fig.1 Effective ingredients for reducing and controlling heterocyclic amines in natural spices

用,使蛋白质的二级结构和空间结构被改变,从而影响模型中杂环胺的形成<sup>[25]</sup>。组氨酸、亮氨酸、脯氨酸、蛋氨酸、甲硫氨酸、色氨酸以及赖氨酸可以抑制肉制品中的杂环胺,抑制机理包括清除苯乙醛和自由基,与苯乙醛和杂环胺分别形成苯乙醛-氨基酸加合物和杂环胺-氨基酸加合物,以及发生竞争性抑制作用等途径<sup>[5,32-34]</sup>。

## 2 浓香型天然香辛料

### 2.1 桂皮

桂皮对杂环胺的抑制作用取决于其本身所含有的生物活性成分<sup>[35]</sup>。桂皮水提物对煎制猪肉中 PhIP 和 2-氨基-3,4,8-三甲基咪唑并[4,5-f]喹啉 (2-amino-3,4,8-trimethyl-imidazo [4,5-f]-quinoxaline, 4,8-DiMeIQ<sub>x</sub>) 的抑制率分别为 100% 和 72.68%<sup>[36]</sup>。桂皮粉中的肉桂醛和香豆素具有强大的抗氧化活性,在 450~500 °C 下可抑制烤羊肉饼中 2-氨基-1,6-二甲基咪唑并[4,5-b]吡啶 (2-amino-1,6-dimethylimidazo [4,5-b]-pyridine, DMIP)、PhIP、1-甲基-9H-吡啶并[3,4-b]吲哚 (1-methyl-9H-pyrido [3,4-b]indole, Harman)、9H-吡啶并[3,4-b]吲哚 (9H-pyrido[3,4-b]indole, Norharman) 和 2-氨基-9H-吡啶并 [2,3-b] 吲哚 (2-amino-9H-pyrido[2,3-b]indole, AaC) 等杂环胺的生

成,抑制率为 86.23%~89.40%<sup>[37]</sup>。桂皮油可延缓羊肉的脂质氧化<sup>[38]</sup>。脂质氧化过程中形成的自由基可参与杂环胺中间体的形成,最终增加杂环胺的形成<sup>[39]</sup>。桂皮中的肉桂醛具有降低脂质氧化和螯合金属离子的能力;丁香酚具有清除和还原自由基活性的能力<sup>[8]</sup>。综上所述,当桂皮以不同形式被添加入肉制品中时,其本身含有的生物活性成分可以通过抗氧化作用减少体系中的自由基,抑制肉制品中的杂环胺。

### 2.2 丁香

丁香的花蕾被称为公丁香或雄丁香<sup>[40]</sup>,是一种可以应用于食品中的浓香型天然香辛料。公丁香之所以具有抗氧化作用,是因为其本身含有黄酮类和多酚类等成分<sup>[41]</sup>。李星雨等<sup>[36]</sup>不仅发现丁香水提物可以抑制煎制猪肉饼中 Norharman、4,8-DiMeIQ<sub>x</sub>、Harman 和 PhIP 的生成,最佳抑制率分别为 56.41%、51.58%、50.11% 和 89.35%;还发现丁香水提物中的主要有效成分丁香酚可以抑制煎制猪肉饼中杂环胺的生成,对 2-氨基-3,4-二甲基-咪唑并 [4,5-f]-喹啉/2-氨基-3,8-二甲基-咪唑并[4,5-f]-喹啉 (2-amino-3,8dimethylimidazo[4,5-f]quinoxaline, MeIQ<sub>x</sub>)、2-氨基-3,4-二甲基-咪唑并[4,5-f]-喹啉 (2-amino-3,4dimethylimidazo[4,5-f]quinoline, MeIQ) 和 4,8-DiMeIQ<sub>x</sub> 和

表 1 天然香料对杂环胺的抑制机制

Table 1 Inhibitory mechanisms of natural spices on heterocyclic amines		对杂环胺生成的作用机理		作用结果	样品	参考文献
浓香型	桂皮	通过抗氧化作用减少体系中的自由基		抑制	烤羊肉饼	[8]
	丁香	通过抗氧化作用抑制酶和氧化过程		抑制	煎制猪肉饼	[9]
	甜罗勒	所含的酚类化合物具有抗氧化作用		抑制	肉丸	[10]
		所含的酚类化合物具有抗氧化作用		促进	肉丸	[10]
	龙蒿	可能通过降低肉制品中的脂肪氧化途径		抑制	牛肉丸	[11]
	辣椒	可以与苯乙醛结合形成加合物		抑制	烤牛肉饼	[12]
	黑胡椒	可以与苯乙醛结合形成加合物		抑制	烤牛肉饼	[12]
	花椒	可以与杂环胺中间体结合形成加合物		抑制	烤牛肉饼	[13],[14]
	香茅	可以降低大鼠肝脏内细胞色素 P450A1 (cytochrome P450A1, CYP1A1) 的活性		抑制	大鼠肝脏	[15]
	黑芥子	酚类化合物具有抗氧化作用		抑制		[16]
辛辣型	生姜	具有强抗氧化性作用		抑制	卤煮牛肉	[17]
		通过剂量依赖性方式减少关键自由基——烷基自由基和单线态氧,从而抑制脂质过氧化、活性羰基中间体苯乙醛、乙二醛和甲基乙二醛		抑制	烤牛肉饼	[18]
	大蒜	与所含有的有机硫化物和多酚有关		抑制	油炸牛肉饼、骆驼肉	[19]
	洋葱	可能与洋葱中含有的有机硫化物、抗氧化剂和还原糖的存在有关		抑制	骆驼肉、肉丸	[20]
		与天然香辛料中抗氧化剂的浓度变化有关		促进	肉丸	[21]
		可以降低脂质氧化		抑制	鸡肉丸	[22]
		通过抑制 1,2,3,4-四氢- $\beta$ -吡啶-3-羧酸和羰基化合物等关键中间体的形成以及直接清除 $\beta$ -吡啶杂环胺途径		抑制	卤鸡肉	[23]
		通过剂量依赖性方式减少关键自由基——烷基自由基和单线态氧,从而抑制脂质过氧化、活性羰基中间体苯乙醛、乙二醛和甲基乙二醛		抑制	烤牛肉饼	[18]
		与蛋白质相互作用,改变了蛋白质的二级结构和空间结构		抑制	含有葡萄糖的大豆分离蛋白模型	[24],[25]
		所含的酚类物质不仅能够产生协同抗氧化作用,达到最大的抗氧化性能;还能通过捕获 1,1-二苯基-2-三硝基苯胍和 2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐,降低脂质氧化		抑制	烤鸡	[26],[27]
迷迭香	以剂量依赖性方式抑制关键自由基——氢过氧自由基、烷基自由基和单线态氧,进而降低活性羰基中间体苯乙醛、乙二醛和甲基乙二醛		抑制	烤牛肉饼	[28]	
山奈	石榴籽提取物具有较高的酚含量和抗氧化能力		抑制	炭烤和深油炸烹制的肉丸	[29]	

Norharman 的最佳抑制率分别为 64.28%, 67.39%, 76.96% 和 89.58%。根据研究表明,丁香酚对氧化应激具有双重作用,即可作为抗氧化剂或促氧化剂<sup>[9]</sup>。当丁香酚作为抗氧化剂时,可通过抑制酶和氧化过程对氧化应激发挥有益作用<sup>[42]</sup>。

### 2.3 甜罗勒

甜罗勒的叶和嫩芽可作为浓香型天然香辛料。甜罗勒的促氧化作用对杂环胺具有促进作用,而甜罗勒中酚类化合物的抗氧化作用对杂环胺具有抑制作用<sup>[10]</sup>。迷迭香酸、芦丁和木犀草素是罗勒中含量较高的酚类化合物<sup>[43-44]</sup>。这些酚类化合物的抗氧化性会因为浓度的变化使其本身的抗氧化性降低或变为助氧化剂<sup>[21]</sup>,这可能是罗勒对肉制品中杂环胺具有双重作用的原因之一。

### 2.4 龙蒿

在 150, 200 °C 和 250 °C 下, Bulan 等<sup>[11]</sup>发现添加 0.5% 的龙蒿可完全抑制牛肉丸中 2-氨基-3-甲基咪唑并[4,5-f]喹啉(2-amino-3-methylimidazo[4,5-f]quinoxaline, IQx)、2-氨基-3-甲基咪唑并[4,5-f]喹啉(2-amino-3-methylimidazo[4,5-f]quinoline, IQ)、MeIQx、2-氨基-3,7,8-三甲基咪唑-[4,5-f]喹啉(2-amino-3,7,8-trimethylimidazo[4,5-f]-quinoxaline, 7,8-DiMeIQx)、4,8-DiMeIQx、PhIP、AaC 以及 2-氨基-3-甲基-9H-吡啶并[2,3-b]吲哚(2-amino-3-methyl-9Hpyrido[2,3-b]indole, MeAaC)等杂环胺,其机理可能与降低牛肉丸中的脂肪氧化有关。此外,龙蒿中还含有丰富的类黄酮、酚酸、香豆素和烷酰胺化合物,这些化合物决定了龙蒿的抗氧化、免疫调节、抗肿瘤活性、保肝和降血糖作用<sup>[45]</sup>,但关于龙蒿中生物活性化合物对肉制品中杂环胺的减控作用尚未见报道。

### 2.5 芫荽

芫荽的种子和叶可作为浓香型天然香辛料。当 0.2% 的芫荽种子和叶提取物被加入到熟牛肉样品中时, PhIP 的量增加了 1.31 倍; 当加入 0.5% 的添加量时, 杂环胺有所减少<sup>[46]</sup>。这可能与芫荽中含有包括芦丁和槲皮素在内的多种黄酮类化合物有关<sup>[47]</sup>。芫荽精油是由芫荽形成的挥发性复合物, 主要成分是芳樟醇<sup>[48]</sup>。芫荽精油由于具有强自由基清除、Fe<sup>2+</sup>螯合以及抗脂质过氧化活性能力, 可

以作为一种天然抗氧化剂<sup>[49]</sup>。

### 2.6 其它

0.05% 水平下, 八角茴香对酱猪肉中总杂环胺起促进作用; 0.1% 水平下, 八角茴香对酱猪肉中总杂环胺起抑制作用, 抑制率仅为 8.57%<sup>[21]</sup>。对于储存了 45 d 和 90 d 后的烤牛肉饼中, 添加 0.04% 的肉豆蔻精油及其纳米乳液可以使 2-氨基-3,4-二甲基-咪唑并 [4,5-f] 喹啉 (2-amino-3,4-dimethylimidazo[4,5-f]quinoline, 4-MeIQx) 的形成减少了 100%<sup>[50]</sup>。姚瑶等<sup>[51]</sup>发现八角茴香和肉豆蔻的总酚含量分别为 30 mg/g 以上和 10 mg/g 以下。由此可见, 八角茴香和肉豆蔻这两种香辛料对杂环胺的抑制作用可能不是通过抗氧化作用途径实现的。

## 3 辛辣型天然香辛料

### 3.1 辣椒

辣椒素是辣椒果实中抑制杂环胺的化合物之一。Zeng 等<sup>[52]</sup>研究辣椒粉和辣椒素对烤牛肉饼中 PhIP、DMIP、2-氨基-1,5,6-三甲基咪唑并[4,5-b]吡啶 (2-amino-1,5,6-trimethylimidazo [4,5-b]pyridine, 1,5,6-TMIP)、IQx、MeIQx、4,8-DiMeIQx、Harman 和 Norharman 的抑制作用时, 发现辣椒粉和辣椒素均可以降低 PhIP 和总杂环胺的含量, 但辣椒素对杂环胺的抑制作用要大于辣椒粉, 因此推测, 辣椒中存在某些成分可能促进杂环胺的生成。Zeng 等<sup>[53]</sup>发现, 与对照样品相比, 1% 的辣椒会促进烤牛肉饼中杂环胺总量的增加, 促进率为 88%, 其中, 对 PhIP、DMIP 和 1,5,6-TMIP 总水平的促进率达 61%。根据之前的研究表明, 除辣椒素外, 辣椒果实中还含有类胡萝卜素、黄酮类物质、维生素、有机酸、可溶性糖以及游离氨基酸等多种营养成分<sup>[54]</sup>。葡萄糖、果糖是辣椒中的可溶性糖, 同时也可作为杂环胺的部分前体物<sup>[3]</sup>。维生素 C 可抑制卤煮牛肉中的杂环胺<sup>[55]</sup>。阿魏酸和香豆酸是辣椒中的黄酮类化合物, 它们对烤牛肉饼中 4,8-DiMeIQx 的生成具有抑制作用, 却对 MeIQx 具有促进作用<sup>[56]</sup>。综上, 辣椒对肉制品中杂环胺生成的抑制作用是辣椒中多种物质共同作用的结果。

### 3.2 黑胡椒

在香肠的加工过程中, 黑胡椒对蒸制后香肠

中杂环胺总量的抑制率最高,为84%<sup>[57]</sup>。鄢嫣等<sup>[58]</sup>研究黑胡椒水提物、乙醇提取物和挥发油对焙烤猪肉中PhIP的抑制作用,结果表明,黑胡椒乙醇提取物的抑制效果最好,抑制率可达74.6%;而且,丁子香酚和槲皮素是黑胡椒乙醇提取物中影响其抑制PhIP活性的关键化合物。迄今为止,Zhu等<sup>[59]</sup>研究槲皮素对烤牛肉饼中PhIP、DMIP、MeIQx、4,8-DiMeIQx、Harman、Norharman和1,5,6-TMIP共7种杂环胺的作用,结果表明,槲皮素可降低53.74%的杂环胺总量和67.29%的PhIP。但有关丁子香酚对肉制品中杂环胺的作用还需要进一步研究。Zeng等<sup>[60]</sup>发现黑胡椒和黑胡椒中的胡椒碱可以抑制烤牛肉饼中杂环胺的生成,但黑胡椒还有其他成分能促进PhIP、IQx、MeIQx、4,8-DiMeIQx、Harman和Norharman的形成。因此,关于黑胡椒中的其它成分对肉制品中杂环胺的作用以及这些物质之间对杂环胺形成的协同或拮抗作用有待进一步研究。

### 3.3 花椒

根据花椒果实颜色的差异,可将花椒分为红花椒和青花椒两类<sup>[61]</sup>。0.05%的红花椒可以显著促进卤猪肉中Norharman和Harman生成,0.1%的红花椒对2-氨基-3,8-二甲基-咪唑并[4,5-f]喹啉(2-amino-3,8-dimethylimidazo[4,5-f]quinoline,8-MeIQx)、4,8-DiMeIQx和PhIP3种极性杂环胺具有促进作用<sup>[21]</sup>。添加0.5%,1.0%和1.5%的花椒对油炸牛肉饼中DMIP、1,5,6-TMIP、PhIP、IQx、MeIQx和4,8-DiMeIQx这6种杂环胺的最大抑制率分别为82.9%,69.4%,77.3%,59.5%,79.8%,75.4%,对杂环胺总量的抑制率分别为67.4%,72.8%和77.3%<sup>[62]</sup>。3%的红花椒对卤鸡肉中Norharman和Harman的抑制率达到27.71%,但当增加红花椒的添加量至5%后,抑制效果降低,而5%的青花椒对卤鸡肉中这两种杂环胺的抑制率分别为42.04%和41.77%<sup>[63]</sup>。

花椒的抗氧化活性与杂环胺的含量呈负相关<sup>[37]</sup>。酚类和生物碱是花椒中的两种主要抗氧化成分<sup>[64]</sup>。已明确花椒中的山椒酰胺可有效抑制肉制品中杂环胺的生成<sup>[65]</sup>。当添加0.01%浓度的山椒酰胺时,烤牛肉饼中PhIP、IQx、MeIQx和4,8-DiMeIQx的抑制率均可超过70%<sup>[66]</sup>。芦丁、槲皮素

和金丝桃苷是花椒中的主要酚类物质<sup>[64]</sup>。根据现有的研究表明,芦丁可能通过与中间体结合的途径抑制烤牛肉饼中Norharman的形成<sup>[13]</sup>。 $1.25 \times 10^{-4}$ ,  $6.25 \times 10^{-4}$ 和 $1.25 \times 10^{-3}$ 的槲皮素可分别减少15%,15%和30%的PhIP<sup>[67]</sup>。金丝桃苷则能与苯乙醛形成加合物,从而延缓苯乙醛与肌酐的反应,阻断PhIP的生成<sup>[14]</sup>。但将芦丁、槲皮素和金丝桃苷与羟基- $\alpha$ -山椒素组合却对抗氧化活性具有拮抗作用<sup>[64]</sup>。由此可见,花椒对肉制品中杂环胺的抑制是花椒中多种化合物相互作用的结果,在研究其机理时,花椒中各种物质之间的协同或拮抗作用是一个不可忽视的问题。

### 3.4 香茅

柠檬草是香茅的品种之一,所含有的主要物质为柠檬醛<sup>[68]</sup>。柠檬草油中含有的柠檬醛可以降低大鼠肝脏内CYP1A1的活性,减少大鼠肝脏中的氧化应激<sup>[15]</sup>。CYP1A1是细胞色素P450家族酶的成员之一,而细胞色素P450家族酶在整个杂环胺代谢活化过程中起着重要作用。在经过代谢活化后,杂环胺会引起氧化应激、细胞及生物功能性损伤等危害<sup>[12]</sup>。综上,使用柠檬草油或含有柠檬醛的天然香辛料可通过减轻代谢酶活性的方式抑制杂环胺。

### 3.5 黑芥子

酚类化合物的强抗氧化性可以减少肉制品中的杂环胺<sup>[69]</sup>。黑芥子是辛辣型天然香辛料之一。通过深共晶溶剂方式获得的黑芥子提取物中含有丁香酸、鞣花酸、没食子酸、咖啡酸、咖啡酸、芦丁、山奈酚、芹菜素、紫杉叶素、金丝桃苷和牡荆素等酚类化合物,其中没食子酸和芦丁含量最高<sup>[16]</sup>。在水和丙酮等比例组合的溶剂中,黑芥子提取物中含有原儿茶酸、阿魏酸、芥子酸和芦丁等酚类化合物<sup>[70]</sup>。由此可见,黑芥子提取物中含有丰富的酚类化合物。酚类化合物会因为浓度的变化使其本身的抗氧化性降低或变为助氧化剂<sup>[21]</sup>。所以,将黑芥子作为一种抑制杂环胺生成的天然香辛料时,需要进一步确定黑芥子的使用量和适用条件。

### 3.6 生姜

生姜中的主要活性物质包括挥发油、姜辣素及二苯基庚烷<sup>[71]</sup>。其中,姜辣素中的6-姜酚可以减少卤煮牛肉中的杂环胺总量,这与6-姜酚具有的

强抗氧化性有关,其抗氧化性甚至强于辣椒素和生姜<sup>[17]</sup>。姜黄素是生姜中二苯基庚烷类化合物之一。Xue等<sup>[18]</sup>研究生姜和姜黄素对烤牛肉饼中游离和结合杂环胺的抑制作用,结果表明,姜黄素可以通过剂量依赖性方式减少关键自由基——烷基自由基和单线态氧,从而抑制脂质过氧化、活性羰基中间体苯乙醛、乙二醛和甲基乙二醛,最终减少烤牛肉饼中的杂环胺。

### 3.7 大蒜

大蒜是在肉制品加工过程中常用到的辛辣型天然香辛料之一。它可以降低热加工骆驼肉中 MeIQ<sub>x</sub>、4,8-DiMeIQ<sub>x</sub>、PhIP、IQ 和 MeIQ 的浓度<sup>[72]</sup>。当大蒜的添加量为 1%、3% 和 5% 时,油炸牛肉饼中杂环胺总量的抑制率分别高达 32.9%、49.9% 和 61.2%;其中,对 DMIP、1,5,6-TMIP、PhIP、IQ<sub>x</sub>、MeIQ<sub>x</sub> 和 4,8-DiMeIQ<sub>x</sub> 的最大抑制率分别为 45.5%、44.0%、65.8%、59.0%、62.3%、67.7%<sup>[62]</sup>。大蒜对肉制品中杂环胺的抑制作用与其含有的两类生物活性化合物——有机硫化合物和多酚化合物有关。之前有研究者发现,有机硫化合物不仅可以减少油炸牛肉饼中杂环胺的总含量,还可以减少由杂环胺引起的致突变性<sup>[19]</sup>。因此,大蒜是一种抑制肉制品中杂环胺的有效天然香辛料。

### 3.8 洋葱

洋葱对肉制品中杂环胺的减少可能与洋葱中硫化合物、抗氧化剂和还原糖的存在有关<sup>[20]</sup>;对肉制品中杂环胺的促进可能与天然香辛料中抗氧化剂的浓度变化有关<sup>[21]</sup>。洋葱可以降低热加工骆驼肉中 MeIQ<sub>x</sub>、4,8-DiMeIQ<sub>x</sub>、PhIP、IQ 和 MeIQ 的浓度<sup>[72]</sup>。目前,洋葱可以按照颜色分为紫皮洋葱、白皮洋葱和黄皮洋葱三种<sup>[73]</sup>。Meryem等<sup>[74]</sup>研究不同比例(0.25%、0.50%和0.75%)和不同类型(黄、白和紫色)的洋葱水提取物对肉丸中杂环胺的影响,结果表明,在肉丸制备过程中,不同类型洋葱的水提取物会增加杂环胺的总含量,而且,随着不同类型洋葱水提取物的比例增加,肉丸中杂环胺的总含量也随之增加。而樊贺雨等<sup>[62]</sup>却发现 3%、6% 和 9% 的洋葱对油炸牛肉饼中杂环胺总量的抑制率分别为 8%、25.4% 和 47.9%。因此,关于洋葱对杂环胺的作用机制还需要进一步研究。

### 3.9 其它

0.05%水平的高良姜能抑制酱猪肉中总杂环胺的生成,抑制率为 22.91%,0.1%的高良姜对酱猪肉中总杂环胺的抑制率为 4.18%<sup>[21]</sup>。0.2%的高良姜对牛肉饼中总杂环胺的抑制率为 18.4%<sup>[75]</sup>。1%的高良姜可以降低酱牛肉中 15.5%的总杂环胺的含量<sup>[51]</sup>。高良姜中的总酚含量超过 60mg/g,具有不错的抗氧化能力<sup>[51]</sup>,但是在实际加工过程中还会有糖类、酱油、脂肪等物质的添加。这些物质虽然使产品具有更好的感官特性,但它们对杂环胺的生成具有不同的促进或抑制作用,将其添加入肉制品中会影响产品最终杂环胺的含量<sup>[76]</sup>。另外,2%的大葱粉会促进烤鳕鱼饼中 MeIQ<sub>x</sub> 和 4,8-DiMeIQ<sub>x</sub> 的生成,减少烤鳕鱼饼中 PhIP 和总杂环胺的含量<sup>[77]</sup>。大葱对烤鳕鱼饼中杂环胺作用机制的不同可能是个体杂环胺与天然香辛料的相互作用存在差异性的原因。

## 4 淡香型天然香辛料

### 4.1 姜黄

姜黄素是姜黄中抑制杂环胺的主要活性成分之一<sup>[78]</sup>。它既可以通过降低脂质氧化途径,减少鸡肉丸中 MeIQ、MeIQ<sub>x</sub> 和 7,8-DiMeIQ<sub>x</sub> 的总含量,抑制率为 72%<sup>[22]</sup>;又可以通过抑制 1,2,3,4-四氢- $\beta$ -吡啶-3-羧酸和羰基化合物等关键中间体的形成以及直接清除  $\beta$ -吡啶杂环胺途径,减少卤鸡肉中 Norharman 和 Harman 的含量<sup>[23]</sup>;还可以通过剂量依赖性方式减少关键自由基——烷基自由基和单线态氧,从而抑制脂质过氧化、活性羰基中间体苯乙醛、乙二醛和甲基乙二醛,最终减少烤牛肉饼中的杂环胺<sup>[18]</sup>。而且,姜黄素还可以通过促进超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶等抗氧化酶的活性,减轻杂环胺引起的危害<sup>[23,79]</sup>。

四氢姜黄素和八氢姜黄素是姜黄素主要和最终氢化代谢产物,具有较高的抗氧化活性<sup>[80]</sup>。二者可以通过抑制 Keap1 的表达并阻断 Keap1 和 Nrf2 之间的相互作用,激活 Keap1-Nrf2 通路,增强 Nrf2 靶基因的翻译激活,从而对抗氧化应激,对肝脏进行更好的保护<sup>[81]</sup>。在含有葡萄糖的大豆分离蛋白模型中,四氢姜黄素可以抑制 Norharman 和

Harman<sup>[24]</sup>。具体的抑制机制可能是四氢姜黄素与蛋白质相互作用,使蛋白质的二级结构和空间结构改变,最终影响了模型中杂环胺的含量<sup>[25]</sup>。

#### 4.2 迷迭香

迷迭香调味料会抑制烤鸡中 3-氨基-1,4-二甲基-5H-吡啶并[4,3-b]吲哚(3-amino-1,4-dimethyl-5H-pyrido[4,3-b]indole, Trp-P-1)、3-氨基-1-甲基-5H-吡啶并[4,3-b]吲哚(3-amino-1-methyl-5H-pyrido[4,3-b]indole, Trp-P-2)和 2-氨基-5-苯基吡啶(2-amino-5-phenylpyridine, Phe-P-1)等热解型杂环胺<sup>[76]</sup>。0.2%的迷迭香可抑制熟牛肉饼中 43.5%的杂环胺总量<sup>[75]</sup>。20%的迷迭香乙醇提取物可以抑制熟牛肉饼中 91.7%的 MeIQx 和 85.3%的 PhIP<sup>[27]</sup>。迷迭香对肉制品中杂环胺的抑制作用可能与迷迭香中含有的迷迭香酸、鼠尾草酚、鼠尾草酸和齐墩果酸等酚类化合物有关<sup>[82]</sup>。这些酚类物质不仅能够产生协同抗氧化作用,达到最大的抗氧化性能;还能通过捕获 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼和 2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸,降低脂质氧化,最终抑制肉制品中的杂环胺<sup>[26-27,83]</sup>。

#### 4.3 山奈

除挥发性成分外,山奈中还含有黄酮类、酚酸类、二芳基庚烷类、苯丙素类化合物、萜类等成分<sup>[84]</sup>。山奈酚是山奈中的主要黄酮类化合物之一,该物质具有抗氧化作用,可清除超氧自由基和 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼,且清除能力与浓度呈正相关<sup>[85]</sup>。Xue 等<sup>[28]</sup>研究不同添加量的山奈(0.5%, 1.0% 和 1.5%) 和山奈酚(0.005%, 0.010% 和 0.015%)对牛肉饼中杂环胺的抑制作用,结果表明,山奈和山奈酚可以以剂量依赖的方式减少杂环胺的生成,具体抑制机理是山奈和山奈酚以剂量依赖性方式抑制关键自由基——氢过氧自由基、烷基自由基和单线态氧,进而降低活性羰基中间体苯乙醛、乙二醛和甲基乙二醛,最终抑制牛肉饼中的杂环胺。

#### 4.4 草果

草果作为多年生姜科草本植物的一种,主要含有萜类、苯丙素类和有机酸类化合物<sup>[86]</sup>。0.05%的草果可促进卤猪肉中 8-MeIQx、4,8-DiMeIQx、PhIP、Norharman 和 Harman 的生成,0.1%的草果

可抑制卤猪肉中 Norharman 和 Harman 的生成<sup>[21]</sup>。草果含有的部分生物活性物质会影响肉制品中杂环胺的形成,而桉油精是草果中的一种单萜类化合物<sup>[87]</sup>。当桉油精的添加量为 0.05%时,可抑制煎制猪肉中 MeIQx、MeIQ、4,8-DiMeIQx 和 Norharman 的形成,抑制率分别为 32.78%、35.69%、46.31%和 44.10%<sup>[36]</sup>。

#### 4.5 石榴籽

石榴的干鲜种子可作为淡香型天然香辛料。Keskekoğlu 等<sup>[29]</sup>研究 0.5%的石榴籽提取物对烤箱烘焙、平底锅烹饪、木炭烧烤和深油油炸 4 种加工方式的牛肉丸和鸡肉丸中杂环胺的影响,结果表明,在牛肉丸中,石榴籽提取物对 PhIP、Norharman、Harman、IQ 和 MeIQx 形成的最高抑制作用分别为 68%、24%、18%、45%和 57%,其中,木炭烧烤和油炸方式可以分别减少 39%和 46%的总杂环胺;在鸡肉丸中,石榴籽提取物对 PhIP、Norharman、Harman、IQ 和 MeIQx 的抑制效果分别为 75%、57%、28%、46%和 49%,油炸方式减少了 49%的总杂环胺,烤箱烘烤却增加了 70%的总杂环胺。石榴籽提取物由于具有较高的酚含量和抗氧化能力,可以有效防止炭烤和深油炸烹制的肉丸中杂环胺的形成,但石榴籽提取物中可以抑制杂环胺的具体酚类物质仍需进一步研究。

#### 4.6 其它

0.2%的孜然可以抑制熟牛肉饼中杂环胺的总量,但抑制效果并不显著,抑制率仅为 3.3%<sup>[75]</sup>。1%的孜然会促进烤牛肉饼中杂环胺总量的增加,促进率为 175%,其中,对 PhIP、DMIP 和 1,5,6-TMIP 3 种杂环胺的总水平促进率达 117%,对 MeIQx 和 4,8-DiMeIQx 两种杂环胺的总水平促进率达 103%,对 Harman 和 Norharman 总水平的促进率达 322%<sup>[53]</sup>。0.05%的甘草对卤猪肉中 8-MeIQx、4,8-DiMeIQx、PhIP、Norharman 和 Harman 具有促进作用,0.1%的甘草对卤猪肉中 Norharman 和 Harman 却具有抑制作用<sup>[21]</sup>。这些香辛料对杂环胺作用结果的不同可能是个体杂环胺与天然香辛料的相互作用存在差异性。

## 5 结语

部分天然香辛料虽然可以有效抑制杂环胺的

生成,但目前仍存在以下问题:1)天然香辛料的某些成分或过量添加可能会影响肉制品的感官品质,如色泽、滋味和风味等,从而影响消费者对产品的接受性。2)部分天然香辛料也可以作为一种中药材,若是长期过量的摄入容易在人体内产生毒性,甚至有致突变性或致癌性的危险,最终影响消费者的身体健康<sup>[88]</sup>。3)天然香辛料中含有多种生物活性化合物,这些化合物之间是否可能产生协同或拮抗作用,影响某种天然香辛料的最终功效。4)天然香辛料对杂环胺的作用机制不明确,需要进一步研究。因此,在使用天然香辛料抑制肉制品中杂环胺时,在选择不影响肉制品感官品质和消费者身体健康的添加量后,应进一步考虑天然香辛料中各种有效成分之间的相互作用,从而确定出天然香辛料对杂环胺的具体作用机理。

### 参 考 文 献

- [1] 薛超轶, 何志勇, 高大明, 等. 加工肉制品中杂环胺的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(14): 3590-3597.  
XUE C Y, HE Z Y, GAO D M, et al. Research progress on heterocyclic amines in processed meat products[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2018, 9(14): 3590-3597.
- [2] 岑明桦, 许莹盈, 叶培辉, 等. 热加工肉制品中杂环胺的分析检测技术研究进展[J]. 肉类研究, 2020, 34(9): 96-104.  
CEN M H, XU Y Y, YE P H, et al. Progress in analytical techniques for heterocyclic aromatic amines in heat-processed meat products[J]. Meat Research, 2020, 34(9): 96-104.
- [3] DING X T, ZHANG D Q, LIU H, et al. Chlorogenic acid and epicatechin: An efficient inhibitor of heterocyclic amines in charcoal roasted lamb meats [J]. Food Chemistry, 2021, 368 (1): 130865.
- [4] YU C, SHAO Z, ZHANG J, et al. Dual effects of creatinine on the formation of 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo [4,5-b]pyridine (PhIP)[J]. Journal of Food Science, 2018, 83(2): 294-299.
- [5] LINGHU Z, KARIM F, SMITH A J S. Amino acids inhibitory effects and mechanism on 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo [4,5-b] pyridine (PhIP) formation in the Maillard reaction model systems[J]. Journal of Food Science, 2017, 82(12): 3037-3045.
- [6] HAN Z, LIU B Y, NIU Z, et al. Role of  $\alpha$ -dicarbonyl compounds in the inhibition effect of reducing sugars on the formation of 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo[4,5-b]pyridine[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65 (46): 10084-10092.
- [7] 王童童, 王梓璇, 王敏, 等. 外源物质对杂环胺生成的影响研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(8): 2535-2542.  
WANG T T, WANG Z X, WANG M, et al. Research progress on the effects of exogenous substances on the formation of heterocyclic amines[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2022, 13(8): 2535-2542.
- [8] SHARMA U K, SHARMA A K, PANDEY A K. Medicinal attributes of major phenylpropanoids present in cinnamon[J]. BMC Complementary and Alternative Medicine, 2016, 16(16): 1-11.
- [9] BEZERRA D P, MILITÃO G C G, MORAIS M C D, et al. The dual antioxidant/prooxidant effect of eugenol and its action in cancer development and treatment[J]. Nutrients, 2017, 9(12): 1367.
- [10] UZUN I, OZ F. Effect of basil use in meatball production on heterocyclic aromatic amine formation[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 58 (8): 3001-3009.
- [11] BULAN R, OZ F. Impact of tarragon usage on lipid oxidation and heterocyclic aromatic amine formation in meatball[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2021, 57(2): 942-950.
- [12] 薛桂中, 黄现青, 宋莲军, 等. 高温肉制品杂环胺防控及体内代谢调控研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(13): 256-266.  
XUE G Z, HUANG X Q, SONG L J, et al. Progress of heterocyclic amines preventions and regulation of metabolism in high temperature meat products[J]. Food Science, 2022, 43(13): 256-266.
- [13] JING J, HE Y H, WANG Y L, et al. Inhibitory effects of *Portulaca oleracea* L. and selected flavonoid ingredients on heterocyclic amines in roast beef patties and density function theory calculation of binding between heterocyclic amines intermediates and flavonoids[J]. Food Chemistry, 2021, 336 (1): 127551.
- [14] WANG W, REN X Q, BAO Y J, et al. Inhibitory



- effects of hyperoside and quercitrin from *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. leaf on 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo [4,5-b] pyridine formation by trapping phenylacetaldehyde[J]. *European Food Research and Technology*, 2022, 248(10): 25-34.
- [15] LI C C, YU H F, CHANG C H, et al. Effects of lemongrass oil and citral on hepatic drug-metabolizing enzymes, oxidative stress, and acetaminophen toxicity in rats[J]. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2018, 26(1): 432-438.
- [16] ĐORĐEVIĆ B S, TODORVIĆ Z B, TROTTER D Z, et al. Extraction of phenolic compounds from black mustard (*Brassica nigra* L.) seed by deep eutectic solvents[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2021, 15: 1931-1938.
- [17] 李雨竹, 汪永, 谢婷婷, 等. 生姜和辣椒及其活性组分对卤煮牛肉中杂环胺生成的影响[J]. *肉类研究*, 2020, 34(6): 45-51.
- LI Y Z, WANG Y, XIE T T, et al. Effects of ginger and chili pepper as well as their bioactive components on the formation of heterocyclic amines in stewed beef[J]. *Meat Research*, 2020, 34(6): 45-51.
- [18] XUE C, DENG P, QUAN W, et al. Ginger and curcumin can inhibit heterocyclic amines and advanced glycation end products in roast beef patties by quenching free radicals as revealed by electron paramagnetic resonance[J]. *Food Control*, 2022, 138(8): 109038.
- [19] SHIN H S, RODGERS W J, STRASBURG G M, et al. Reduction of heterocyclic aromatic amine formation and overall mutagenicity in fried ground beef patties by organosulfur compounds[J]. *Journal of Food Science*, 2002, 67(9): 3304-3308.
- [20] JANOSZKA B. Heterocyclic amines and azaarenes in pan-fried meat and its gravy fried without additives and in the presence of onion and garlic[J]. *Food Chemistry*, 2010, 120(2): 463-473.
- [21] 申霄婵, 李晓, 张羽灵, 等. 常见香辛料对酱猪肉中杂环胺生成的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(13): 243-247.
- SHEN X C, LI X, ZHANG Y L, et al. Effects of common spices on the formation of heterocyclic amines in sauce pork[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(13): 243-247.
- [22] KILIC S, OZ E, OZ F. Effect of turmeric on the reduction of heterocyclic aromatic amines and quality of chicken meatballs[J]. *Food Control*, 2021, 128(10): 108189.
- [23] WANG Q, LI J, LI K K, et al. Effects of turmeric on reducing heterocyclic aromatic amines in Chinese tradition braised meat products and the underlying mechanism[J]. *Food Science & Nutrition*, 2021, 09(10): 5575-5582.
- [24] JUN X, YANG C. Effects of tetrahydro-curcumin on the formation of  $\beta$ -carboline heterocyclic amines in dry-heated soy protein isolate in the presence of glucose[J]. *LWT*, 2021, 152(24): 112362.
- [25] YANG C, JUN X. Effects of the non-covalent interactions between polyphenols and proteins on the formations of the heterocyclic amines in dry heated soybean protein isolate[J]. *Food Chemistry*, 2022, 373(Pt B): 131557.
- [26] XIE J, VANALSTYNE P, UHLIR A, et al. A review on rosemary as a natural antioxidation solution[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2017, 119(6): 1600439.
- [27] PUANGSOMBAT K, SMITH J S. Inhibition of heterocyclic amine formation in beef patties by ethanolic extracts of rosemary[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2010, 75(2): 40-47.
- [28] XUE C Y, QUAN W, LI Y, et al. Mitigative capacity of *Kaempferia galanga* L. and kaempferol on heterocyclic amines and advanced glycation end products in roasted beef patties and related mechanistic analysis by density functional theory[J]. *Food Chemistry*, 2022, 385(20): 132660.
- [29] KEŞKEKOĞLU H, ÜREN A. Inhibitory effects of pomegranate seed extract on the formation of heterocyclic aromatic amines in beef and chicken meatballs after cooking by four different methods[J]. *Meat Science*, 2014, 96(4): 1446-1451.
- [30] 李云龙, 赵月亮, 范大明, 等. 香辛料中植物化学物质对肉制品品质及健康功效影响研究进展[J]. *食品科学*, 2021, 42(5): 262-270.
- LI Y L, ZHAO Y L, FAN D M, et al. Effects of phytochemicals from spices on quality attributes and health benefits of meat products: A review[J]. *Food Science*, 2021, 42(5): 262-270.
- [31] ZHOU B, ZHAO Y L, WANG X C, et al. Unrav-

- elling the inhibitory effect of dihydromyricetin on heterocyclic aromatic amines formation[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98(5): 1988–1994.
- [32] XUE C Y, CHEN Q C, HE Z Y, et al. Non-precursors amino acids can inhibit  $\beta$ -carbolines through free radical scavenging pathways and competitive inhibition in roast beef patties and model food systems [J]. *Meat Science*, 2020, 169(11): 108203.
- [33] CHEN Q C, XUE C Y, CHEN J, et al. Simultaneous determination of the PhIP-proline adduct and related precursors by UPLC-MS/MS for confirmation of direct elimination of PhIP by proline [J]. *Food Chemistry*, 2021, 365(32): 130484.
- [34] ZADEH R G, YAYLAYAN V. Interaction pattern of histidine, carnosine and histamine with methylglyoxal and other carbonyl compounds [J]. *Food Chemistry*, 2021, 358(25): 129884.
- [35] 侯小涛, 郝二伟, 秦健峰, 等. 肉桂的化学成分、药理作用及质量标志物(Q-marker)的预测分析[J]. *中草药*, 2018, 49(1): 20–34.
- HOU X T, HAO E W, QIN J F, et al. Chemical components and pharmacological action for *Cinnamomum cassia* and predictive analysis on Q-marker [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2018, 49(1): 20–34.
- [36] 李星雨, 徐筱莹, 雷秋琪, 等. 香辛料提取物及其主效成分对煎制猪肉中杂环胺生成的影响[J]. *中国调味品*, 2022, 47(3): 21–27.
- LI X Y, XU X Y, LEI Q Q, et al. Effect of spice extract and its main components on the production of heterocyclic amines in fried pork [J]. *China Condiment*, 2022, 47(3): 21–27.
- [37] SULEMAN R, WANG Z, HUI T, et al. Utilization of Asian spices as a mitigation strategy to control heterocyclic aromatic amines in charcoal grilled lamb patties [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2019, 43(11): e14182.
- [38] HUSSAIN Z, LI X, ZHANG D, et al. Influence of adding cinnamon bark oil on meat quality of ground lamb during storage at 4 °C [J]. *Meat Science*, 2020, 171: 108269.
- [39] LI Y, QUAN W, WANG J H, et al. Effects of ten vegetable oils on heterocyclic amine profiles in roasted beef patties using UPLC-MS/MS combined with principal component analysis [J]. *Food Chemistry*, 2021, 347(14): 128996.
- [40] 李莎莎, 李凡, 李芳, 等. 丁香的化学成分与药理作用研究进展 [J]. *西北药学杂志*, 2021, 36(5): 863–868.
- LI S S, LI F, LI F, et al. Research progress in chemical constituents and pharmacodynamics of *Eugenia caryophyllata* [J]. *Northwest Pharmaceutical Journal*, 2021, 36(5): 863–868.
- [41] 栾剑, 孙贺, 范影影, 等. 公丁香生物活性的研究进展 [J]. *吉林师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 39(3): 107–110.
- LUAN J, SUN H, FAN Y Y, et al. Research progress on biological activity of *Syzygium aromaticum* [J]. *Journal of Jilin Normal University (Natural Science Edition)*, 2018, 39(3): 107–110.
- [42] BARBOZA J N, FILHO C D S M B, SILVA R O, et al. An overview on the anti-inflammatory potential and antioxidant profile of eugenol [J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018, 2018(10): 3957262.
- [43] MAHMOUD E, STAROWICZ M, CISKA E, et al. Determination of volatiles, antioxidant activity, and polyphenol content in the postharvest waste of *Ocimum basilicum* L [J]. *Food Chemistry*, 2022, 375: 131692.
- [44] KISA D, İMAMOĞLU R, GENÇ N, et al. The interactive effect of aromatic amino acid composition on the accumulation of phenolic compounds and the expression of biosynthesis-related genes in *Ocimum basilicum* [J]. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 2021, 27(9): 2057–2069.
- [45] EKIERT H, ŚWIAĄTKOWSKA J, KNUT E, et al. *Artemisia dracunculus* (Tarragon): A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology [J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2021, 12: 653993.
- [46] DAMAŠIUS 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 Chemistry*, 2011, 126(1): 149–156.
- [47] WANG X Y, LIU Y Y, WANG Y, et al. Protective effect of coriander (*Coriandrum sativum* L.) on high fructose and high-salt diet-induced hypertension: Relevant to improvement of renal and intestinal function [J]. *Journal of Agricultural and Food*

- Chemistry, 2022, 70(12): 3730–3744.
- [48] CAPUTO L, PICCIALI I, CICCONE R, et al. Lavender and coriander essential oils and their main component linalool exert a protective effect against amyloid- $\beta$  neurotoxicity[J]. *Phytotherapy Research*, 2020, 35(1): 486–493.
- [49] BAG A, CHATTOPADHYAY R R. Evaluation of antioxidant potential of essential oils of some commonly used Indian spices in in vitro models and in food supplements enriched with omega-6 and omega-3 fatty acids[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, 25(1): 388–398.
- [50] MEHR A E, HOSSEINI S E, ARDEBILI S M S. Effects of nutmeg and ginger essential oils and their nanoemulsions on the formation of heterocyclic aromatic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in beef patties during 90 days freezing storage[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2019, 13(3): 2041–2050.
- [51] 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.
- YAO Y, PENG Z Q, SHAO B, et al. Effects of the antioxidant capacities of 20 spices commonly consumed on the formation of heterocyclic amines in braised sauce beef[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(20): 4252–4259.
- [52] ZENG M M, ZHANG M R, HE Z Y, et al. Inhibitory profiles of chilli pepper and capsaicin on heterocyclic amine formation in roast beef patties[J]. *Food Chemistry*, 2017, 221(8): 404–411.
- [53] ZENG M M, HE Z Y, ZHENG Z Y, et al. Effect of six Chinese spices on heterocyclic amine profiles in roast beef patties by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry and principal component analysis[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(40): 9908–9915.
- [54] 邓文溢, 文江平. 辣椒的化学成分与药理作用研究进展[J]. *湖北农业科学*, 2021, 60(15): 5–10, 75.
- DENG W Y, WEN J P. Research progress on chemical compositions and pharmacological effects of *Capsicum annum* L. [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2021, 60(15): 5–10, 75.
- [55] 聂文, 屠泽慧, 张静, 等. 香兰素和维生素C对卤煮牛肉中杂环胺含量的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(6): 1987–1992.
- NIE W, TU Z H, ZHANG J, et al. Effects of vanillin and vitamin C on the content of heterocyclic amines in braised beef[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2017, 8(6): 1987–1992.
- [56] ZENG M M, LI Y, HE Z Y, et al. Effect of phenolic compounds from spices consumed in China on heterocyclic amine profiles in roast beef patties by UPLC-MS/MS and multivariate analysis[J]. *Meat Science*, 2016, 116(6): 50–57.
- [57] YANG D D, HE Z Y, WANG Z Y, et al. Processing stage-guided effects of spices on the formation and accumulation of heterocyclic amines in smoked and cooked sausages[J]. *Food Bioscience*, 2022, 47(3): 101776.
- [58] 鄢嫣, 焦叶, 曾茂茂, 等. 黑胡椒提取物中抑制PhIP活性关键化合物的筛选与鉴定[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(4): 215–223.
- YAN Y, JIAO Y, ZENG M M, et al. Screening and identification of key compounds inhibiting PhIP activity in black pepper extract[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(4): 215–223.
- [59] ZHU Q, ZHANG S, WANG M F, et al. Inhibitory effects of selected dietary flavonoids on the formation of total heterocyclic amines and 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo [4,5-b] pyridine (PhIP) in roast beef patties and in chemical models[J]. *Food and Function*, 2016, 7(2): 1057–1066.
- [60] ZENG M M, ZHANG M R, CHEN J, et al. UPLC-MS/MS and multivariate analysis of inhibition of heterocyclic amine profiles by black pepper and piperine in roast beef patties[J]. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2017, 168(12): 96–106.
- [61] 陈在辉. 我国花椒产业发展现状及未来发展前景[J]. *现代园艺*, 2022, 45(8): 16–18.
- CHEN Z H. Development status and future prospect of *Zanthoxylum bungeanum* Industry in China [J]. *Contemporary Horticulture*, 2022, 45(8): 16–18.
- [62] 樊贺雨, 胡晖宇, 李昌, 等. 6种传统香辛料抑制油炸牛肉饼中杂环胺形成的作用[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(17): 78–86.
- FAN H Y, HU H Y, LI C, et al. The inhibitory effect of six traditional spices on the formation of heterocyclic aromatic amines in fried beef patties[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43

- (17): 78–86.
- [63] 李进, 李凯凯, 高悦, 等. 固相萃取-高效液相色谱法分析香辛料对酱卤肉中 $\beta$ -吡啶类杂环胺形成的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 235(3): 234–240.
- LI J, LI K K, GAO Y, et al. Effect of spices on the formation of  $\beta$ -carboline heterocyclic aromatic amines in sauce braised meat by solid phase extraction-high performance liquid chromatography [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 235(3): 234–240.
- [64] SUN X X, ZHANG D, ZHAO L, et al. Antagonistic interaction of phenols and alkaloids in Sichuan pepper (*Zanthoxylum bungeanum*) pericarp[J]. Industrial Crops & Products, 2020, 152(10): 112551.
- [65] XUE C Y, HE Z Y, QIN F, et al. Effects of amides from pungent spices on the free and protein-bound heterocyclic amine profiles of roast beef patties by UPLC-MS/MS and multivariate statistical analysis[J]. Food Research International (Ottawa, Ont.), 2020, 135(9): 109299.
- [66] ZENG M M, WANG J H, ZHANG M R, et al. Inhibitory effects of Sichuan pepper (*Zanthoxylum bungeanum*) and sanshoamide extract on heterocyclic amine formation in grilled ground beef patties [J]. Food Chemistry, 2018, 239(2): 111–118.
- [67] AL-BASHABSHEH Z, SMITH J S, LINGHU Z, et al. The inhibitory effect of spices and flavonoid compounds on formation of 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo [4,5-b] pyridine (PhIP) in a model system[J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2020, 8(12): 746–751.
- [68] 邱珊莲, 林宝妹, 张少平. 香茅在食品中的应用研究进展[J]. 食品工业, 2020, 41(9): 276–279.
- QIU S L, LIN B M, ZHANG S P. Research advance on application of *Cymbopogon* in food[J]. The Food Industry, 2020, 41(9): 276–279.
- [69] TRUJILLO-MAYOL I, SOBRAL M M C, VIEGAS O, et al. Incorporation of avocado peel extract to reduce cooking-induced hazards in beef and soy burgers: A clean label ingredient[J]. Food Research International, 2021, 147(9): 110434.
- [70] RASERAA G B, HILKNERA M H, ALENCARB S M D, et al. Biologically active compounds from white and black mustard grains: An optimization study for recovery and identification of phenolic antioxidants[J]. Industrial Crops and Products, 2019, 135(9): 294–300.
- [71] 王福芝, 施金榆, 杨睿, 等. 生姜物质基础的内涵研究[J]. 现代食品, 2020, 6(2): 39–44.
- WANG F Z, SHI J Y, YANG R, et al. Review of the material basis of ginger[J]. Modern Food, 2020, 6(2): 39–44.
- [72] KHAN M R, NAUSHAD M, ALOTHMAN Z A, et al. Effect of natural food condiments on carcinogenic/mutagenic heterocyclic amines formation in thermally processed camel meat[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(1): e12819.
- [73] 刘梓建, 袁先铃, 张镡予, 等. 洋葱品种制调味汁的适宜性评价[J]. 中国调味品, 2022, 47(1): 46–51.
- LIU Z J, YUAN X L, ZHANG P Y, et al. Evaluation on the suitability of onion varieties for making sauce[J]. China Condiment, 2022, 47(1): 46–51.
- [74] MERYEM N, OZ F. The effect of using different types and rates of onion-water extract in meatball production on the formation of heterocyclic aromatic amines[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(7): 3538–3547.
- [75] PUANGSOMBAT K, JIRAPAKKUL W, SMITH J S. Inhibitory activity of asian spices on heterocyclic amines formation in cooked beef patties[J]. Journal of Food Science, 2011, 76(8): T174–T180.
- [76] HSU K Y, CHEN B H. Analysis and reduction of heterocyclic amines and cholesterol oxidation products in chicken by controlling flavorings and roasting condition[J]. Food Research International, 2020, 131(5): 109004.
- [77] WANG Q, ZHANG Y F, REN Y Y, et al. Chinese chive and Mongolian leek suppress heterocyclic amine formation and enhance nutritional profile of roasted cod [J]. RSC Advances, 2020, 10(58): 34996–35006.
- [78] KHAN H, ULLAH H, NABAVI S M. Mechanistic insights of hepatoprotective effects of curcumin: Therapeutic updates and future prospects [J]. Food and Chemical Toxicology, 2019, 124(2): 182–191.
- [79] ABRAHAMS S, HAYLETT W L, JOHNSON G, et al. Antioxidant effects of curcumin in models of neurodegeneration, aging, oxidative and nitrosative stress: A review[J]. Neuroscience, 2019, 406(11): 1–21.
- [80] AGGARWAL B B, DEB L, PRASAD S. Curcumin

- differs from tetrahydrocurcumin for molecular targets, signaling pathways and cellular responses [J]. *Molecules*, 2015, 20(1): 185–205.
- [81] LUO D D, CHEN J F, LIU J J, et al. Tetrahydrocurcumin and octahydrocurcumin, the primary and final hydrogenated metabolites of curcumin, possess superior hepatic-protective effect against acetaminophen-induced liver injury: Role of CYP2E1 and Keap1-Nrf2 pathway [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2019, 123: 349–362.
- [82] LI P H, LIU A L, LI Y H, et al. Development and validation of an analytical method based on HPLC-ELSD for the simultaneous determination of rosmarinic acid, carnosol, carnosic acid, oleanolic acid and ursolic acid in rosemary [J]. *Molecules*, 2019, 24(2): 323.
- [83] 刘凤霞, 王莹, 薛刚, 等. 迷迭香脂溶性提取物在梔子油中的抗氧化性研究[J]. *中国油脂*, 2019, 44(1): 101–104.
- LIU F X, WANG Y, XUE G, et al. Antioxidation of liposoluble rosemary substance in *Gardenia* oil[J]. *China Oils and Fats*, 2019, 44(1): 101–104.
- [84] 项昭保, 平雪丽, 屠大伟. 山奈的活性成分及在食品工业中应用的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(17): 448–458.
- XIANG Z B, PING X L, TU D W. Active ingredient of *Kaempferia galanga* L. and its application in food industry[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(17): 448–458.
- [85] 张蕾, 王璐瑶, 付学奇, 等. 山奈酚的优化提取及生化性质[J]. *吉林大学学报(理学版)*, 2022, 60(1): 175–181.
- ZHANG L, WANG L Y, FU X Q, et al. Extraction optimized of kaempferol and biochemical properties[J]. *Journal of Jilin University (Science Edition)*, 2022, 60(1): 175–181.
- [86] YANG S Y, XUE Y F, CHEN D J, et al. *Amomum tsao-ko* crevost & lemarie: A comprehensive review on traditional uses, botany, phytochemistry, and pharmacology[J]. *Phytochemistry Reviews*, 2022, 21(5): 1487–1521.
- [87] SIM S, TAN S K, KOHLENBERG B, et al. *Amomum tsao-ko*-Chinese black cardamom: detailed oil composition and comparison with two other cardamom species[J]. *Natural Product Communications*, 2019, 14(7): 19857675.
- [88] XIONG Y L. Inhibition of hazardous compound formation in muscle foods by antioxidative phytophenols [J]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2017, 1398(1): 37–46.

### Inhibition of Natural Spices on Heterocyclic Amines Formation

Wang Tongtong<sup>1</sup>, Wang Zixuan<sup>1</sup>, Wang Shiyu<sup>1</sup>, Sun Yuxuan<sup>1,2,3</sup>, Wang Min<sup>1</sup>, Han Tianlong<sup>1,3\*</sup>, Liu Dengyong<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>College of Food Science and Technology, Bohai University, Jinzhou 121013, Liaoning

<sup>2</sup>Meat Innovation Center of Liaoning Province, Jinzhou 121013, Liaoning

<sup>3</sup>Liaoning Kazuo Hybrid Wild Boar Science and Technology Backyard, Chaoyang 122300, Liaoning)

**Abstract** Heterocyclic amines are a kind of harmful substance produced by a series of complex reactions in meat products at high temperature. The generation of such harmful substances mainly depends on the heating temperature, heating time, heating method and the kind of meat. When heterocyclic amines are taken into the body and activated by cytochrome P450 enzymes, they are transformed into genotoxic metabolites by sulfotransferase and acetyl transferase. The main bioactive compounds contained in natural spices, such as phenols, amino acids, sugars and alkaloids, determine the final function of natural spices. Adding some natural spices into meat products can not only improve the final flavor of meat products, but also reduce the content of heterocyclic amines in meat products. In this paper, the inhibitory effects of Luzhou-flavor natural spices (Chinese cassia, clove, sweet basil, tarragon, coriander, star anise, nutmeg), spicy natural spices (chilli, black pepper, prickly ash, lemongras, black mustard, ginger, garlic, onion, greater galanga, welsh onion) and light-flavor natural spices (turmeric, rosemary, kaempferia, tsao-ko, pomegranate seeds, cumin, licorice) on heterocyclic amines were introduced, the effective compounds in natural spices that have inhibitory effects on heterocyclic amines were elaborated, and the inhibitory mechanisms of these natural spices on heterocyclic amines were explained.

**Keywords** heterocyclic amines; natural spices; phenolic compounds; restrain