

# 蓝莓对蒸煮火腿中亚硝酸盐和亚硝胺的抑制作用研究

魏萌<sup>1,2</sup>, 吕珍珠<sup>1</sup>, 刘黄友<sup>1</sup>, 袁媛<sup>1\*</sup>

(1. 吉林大学军需科技学院, 长春 130062; 2. 石家庄学院化工系, 石家庄 050035)

**摘要:** **目的** 研究 15 种不同品种蓝莓果对肉制品加工过程中亚硝酸盐残留量和亚硝胺生成量的抑制作用。**方法** 以蒸煮火腿加工工艺为基础, 对 15 种不同品种蓝莓果进行实验, 依据 GB 5009.33-2010 测定肉制品中亚硝酸盐的含量, 采气相色谱质谱联用技术(GC-MS)测定肉制品中的 8 种亚硝胺[N-亚硝基二甲胺(NDMA)、N-亚硝基甲胺(NMEA)、N-亚硝基二乙胺(NDEA)、N-亚硝基吡咯烷(NPYR)、N-亚硝基二丙胺(NDPA)、N-亚硝基哌啶(NPIP)、N-亚硝基二丁胺(NDBA)、N-亚硝基二苯胺(NDpHeA)]。**结果** 15 种蓝莓果对亚硝酸盐的抑制率在 6.27%~38.11%之间, 平均值为 25.17%, 对亚硝胺的抑制率在 53.64%~71.54%之间, 平均值为 63.01%。**结论** 蓝莓果对肉制品加工过程中亚硝酸盐和亚硝胺的含量具有显著抑制作用。

**关键词:** 蓝莓; 亚硝酸盐; 亚硝胺; 抑制效果

## Study on the inhibition effect of blueberry on nitrite and nitrosamines in cooked ham products

WEI Meng<sup>1,2</sup>, LV Ling-Zhu<sup>1</sup>, LIU Huang-You<sup>1</sup>, YUAN Yuan<sup>1\*</sup>

(1. College of Quartermaster Technology, Jilin University, Changchun 130062, China;  
2. School of Chemical Engineering, Shijiazhuang University, Shijiazhuang 050035, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the effect of 15 kinds of blueberry on the inhibition of nitrite and nitrosamines in cooked ham products. **Methods** Fifteen kinds of blueberry were added in cooked ham products and used for inhibition experiments of nitrite and nitrosamines. The analysis methods were based on GB 5009.33-2010 for nitrite and GC-MS for determination of 8 volatile nitrosamines [N-nitrosodimethylamine (NDMA), N-nitrosomethylethylamine (NMEA), N-nitrosodiethylamine (NDEA), N-nitrosopyrrolidine(NPYR), N-nitrosodi-n-propylamine(NDPA), N-nitrosopiperidine(NPIP), N-nitrosodi-n-butylamine (NDBA), N-nitrosodiphenylamine (NDpHeA)]. **Results** The inhibition ratios of 15 blueberry on nitrite were between 6.27% and 38.11% and the average rate was 25.17%. The inhibition ratios on nitrosamines were between 53.64% and 71.54% and the average rate was 63.01%. **Conclusion** Blueberry has an obvious inhibitory effect on nitrite and nitrosamines in cooked ham products.

**KEY WORDS:** blueberry; nitrite; nitrosamines; inhibition effect

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(973 计划)(2012CB720805)

**Fund:** Supported by National Basic Research Program of China ("973" Program) (2012CB720805)

\*通讯作者: 袁媛, 副教授, 主要研究方向为食品加工危害物形成及控制技术。E-mail: yuan\_yuan@jlu.edu.cn

\*Corresponding author: YUAN Yuan, Associate Professor, College of Quartermaster Technology, Jilin University, No. 5333, Xi'an Road, Changchun 130062, China. E-mail: yuan\_yuan@jlu.edu.cn

## 1 引 言

越橘(*Vaccinium uliginosum* Linn.)又称笃斯、蓝莓、龙果、蛤塘果、黑豆树、都柿等,是杜鹃花科越橘属多年生灌木或小灌木植物<sup>[1]</sup>。它的常见品种包括高丛越橘、半高丛越橘、矮丛越橘等<sup>[2]</sup>。蓝莓鲜果中含有大量的糖类、蛋白质及维生素等营养成分。除含有常见的这些物质外,它还含有一系列特有的物质,包括叶酸、花色苷、类黄酮、鞣花酸、鞣花单宁等活性成分<sup>[3]</sup>。另外,蓝莓果实中还含有各种氨基酸、有机酸、矿物质、挥发性物质等成分。

亚硝酸盐是肉制品加工中常见的食品添加剂。亚硝酸盐与肉中蛋白质分解产物仲胺发生反应,生成亚硝胺。同时在人体内,亚硝酸盐随着唾液与食物混合后被吞咽,最终在胃液的酸性环境下亚硝酸盐也形成亚硝胺类物质。亚硝胺具有强烈的致癌作用,主要引起食管癌、胃癌、肝癌和大肠癌等<sup>[4,5]</sup>。由于亚硝胺严重的致癌性,限制了人们对肉制品的食用。因此,食品安全领域将降低亚硝胺的致癌性作为重点进行研究,主要是从两方面考虑,分别是降低亚硝胺前体物即亚硝酸盐的含量和抑制亚硝胺的生成量。研究发现在肉制品的加工过程中加入抑制亚硝化反应的抑制剂或者人体直接摄入都是能够降低亚硝胺含量的有效措施,进而可以降低其致癌的风险<sup>[6]</sup>。在实际中发现,许多具有还原性的物质和含有多种抗氧化成分的天然物质都具有抑制亚硝胺生成的能力<sup>[7]</sup>。

蔬菜和水果中由于含有丰富的抗氧化物质,如维生素 C、维生素 E、还原糖、多酚类和黄酮类化合物等,这些物质可以与亚硝胺前体物亚硝酸盐发生氧化还原反应,从而降低食物和人体内亚硝酸盐的含量,进而减少或阻止亚硝胺的合成<sup>[8]</sup>。目前已发现多种天然或合成的食品中的组分对亚硝胺的形成有重要的影响。抗坏血酸是最大的阻断者(阻断率能达到 90%),其次是异抗坏血酸、山梨酸、羟基丁酸、没食子丙酸(在合成的食品添加剂中)及咖啡酸和单宁酸(天然的酚类化合物)。这 7 种物质对亚硝胺的阻断率均>50%<sup>[9]</sup>。王瑞等<sup>[10]</sup>研究了枸杞多糖、原花青素、八角(精油)这 3 种植物提取物抑制二甲基亚硝胺(NDMA)生成的作用,并与抗坏血酸的抑制效果进行比较。结果表明:枸杞多糖、原花青素、八角精油 3 种物质对 NDMA 的生成都具有一定的抑制作用。Choi 等<sup>[11]</sup>研究了甘蓝、乌梅、草莓、金橘和甜橙这

几种蔬菜水果对亚硝胺体外的抑制作用,结果表明草莓、甘蓝、乌梅具有的抑制作用基本一致,而且相对于金橘和甜橙抑制作用更强。另外很多香辛料也是重要的抑制剂<sup>[12]</sup>。香辛料由于含有大量的多不饱和脂肪酸、酚类和黄酮类等抗氧化类物质,这些物质可以与亚硝胺的前体物亚硝酸盐发生氧化还原反应进而抑制亚硝胺的合成<sup>[13]</sup>。尹丽等<sup>[14]</sup>研究了银杏叶总黄酮对亚硝酸盐的清除能力和对亚硝胺的合成抑制能力,结果发现,银杏叶总黄酮对亚硝酸盐有很强的清除作用并能阻断亚硝胺的合成,和总黄酮质量浓度成正相关。

除上述这些天然物质外,蓝莓也是一种抗氧化能力很强的物质。有人用 14 种果蔬汁对过氧化自由基(ROO·)、过氧亚硝酸盐(ONOO·)、羟基自由基(·OH)的清除能力进行研究,结果发现蓝莓对过氧化自由基、羟基自由基的清除能力很强,抗过氧亚硝酸盐的能力也在比较高的水平,在所研究的果蔬中具有最好的抗氧化能力<sup>[15]</sup>。另外,花色苷是一种具有很强抗氧化能力的成分,蓝莓中由于富含花色苷类物质具备一定的抗氧化能力。李颖畅和孟宪军<sup>[16]</sup>采用体外实验模拟对蓝莓花色苷抗脂质体过氧化、还原力和清除羟基自由基、超氧阴离子自由基进行了研究,其结果表明蓝莓花色苷具有抗脂质体过氧化能力、还原能力和清除羟基自由基、超氧阴离子自由基的能力。同时将抗氧化能力与抗坏血酸进行对比发现蓝莓花色苷抗脂质体过氧化能力强于抗坏血酸。Viljanen 等<sup>[17]</sup>比较了不同来源的酚类化合物在抗脂质过氧化和蛋白质氧化中的作用,发现蓝莓对脂质过氧化的抑制作用很强,二聚和三聚形式的原花色苷的抗氧化作用最好。因此将蓝莓提取物应用于亚硝酸盐和亚硝胺的抑制研究具有实际意义。

## 2 材料与amp;方法

### 2.1 仪器与amp;设备

GCMS-QP2010 气相质谱联用仪(日本岛津公司);氮吹仪 MD200(上海亚荣生化仪器厂);旋转蒸发器 RE-52A(旋转蒸发器 RE-52A);Milli-Q 超纯水系统(美国 Millipore 公司);DS-1 型组织捣碎机(上海精准仪器有限公司);JY92-2D 超声细胞破碎仪(宁波新芝生物科技有限公司);UV-7504C 紫外可见分光光度计(郑州南北仪器设备有限公司);漩涡混匀器(北京北德科学器材有限公司)。

## 2.2 试剂

氯化钠、亚硝酸钠、亚铁氰化钾、乙酸锌、冰醋酸、硼酸钠、盐酸、对氨基苯磺酸、盐酸奈乙二胺、二氯甲烷、无水硫酸钠、甲醇(均为分析纯,北京化学试剂公司);甲醇(色谱纯,美国Fisher公司)。

## 2.3 实验方法

### 2.3.1 蓝莓处理<sup>[18]</sup>

蓝莓称重(冻果提前避光室温解冻 4~8 h)→打浆机打浆 3~5 min→制得果浆后添加 0.05%果胶酶置于 50 °C 水浴酶解 2 h→酶解的果浆以 5000 r/min 离心 10 min→含花色苷等多种营养成分的蓝莓果实提取物。

### 2.3.2 前处理方法

实验以蒸煮火腿的工艺流程为基础:鲜肉购于长春当地超市,分析前-18 °C 冷冻。后腿精肉修整(去掉肥肉)→腌制(0~4 °C, 48 h)→翻拌挤压→装模压制并蒸煮(80 °C, 60 min)→冷却后立即真空包装<sup>[19-21]</sup>

原料肉切片后长度为 3~5 cm, 宽度为 3~5 cm, 厚度为 5~8 mm, 添加食盐 2.5%, 水 30%, 亚硝酸钠 100 mg/kg(均以肉重计), 实验组添加蓝莓果实提取物 0.3%<sup>[22]</sup>, 空白组作对照, 温度 0~4 °C, 腌制 48 h 后在 80 °C 的水浴上加热 60 min, 分别测定样品中亚硝酸钠和亚硝胺的含量。

### 2.3.3 亚硝胺的测定

#### (1) 标准溶液处理

用甲醇稀释 8 种混合标样至合适的浓度, 上机测定得标准曲线及回归方程。

#### (2) 样品前处理

用组织捣碎机将样品捣碎, 取 20 g 于烧杯中, 向其中加入 40 mL 二氯甲烷超声萃取 15 min, 功率为 500 W。再重复萃取一次, 合并两次萃取液经无水硫酸钠过滤脱水。旋转蒸发近干, 再使用氮吹仪将其吹干, 用甲醇定容至 1 mL, 用 0.45 μm 有机相过滤膜过滤供待测使用<sup>[23,24]</sup>。

#### (3) 色谱条件

毛细管柱: HP-5MS; 柱箱初始温度: 40 °C; 进样口温度 200 °C; 分流模式: 不分流; 载气: 氦气; 升温初始 40 °C; 保持 1 min, 以 9 °C/min 升至 200 °C 保持 1 min; 自动进样量 1 μL。

#### (4) 质谱条件

离子源温度 230 °C; 接口温度 250 °C; 溶剂切除时间 3.5 min; 电离方式: EI; 电子能量 70 eV; SIM/SCAN 采集模式; 质量数扫描范围( $m/z$ )30~200;

采样频率 2。

### 2.3.4 亚硝酸盐的测定<sup>[25]</sup>

依据 GB 5009.33-2010 测定。

## 3 结果与讨论

设置空白对照组(只添加亚硝酸盐和不添加亚硝酸盐)、蓝莓组进行实验。抑制剂对亚硝酸盐和亚硝胺的抑制效果均以残留量(%)表示: 残留量 =  $\left(1 - \frac{C}{C_0}\right) \times 100\%$ 。其中  $C$  和  $C_0$  为添加抑制剂和不添加抑制剂的蒸煮火腿中亚硝酸盐(或亚硝胺)的含量(μg/kg)。

根据表 1, 不添加亚硝酸盐的情况下, 仍然可以先测出微量的亚硝酸盐, 残留量为 0.7143 mg/kg。在未加入蓝莓果实提取物前, 亚硝酸盐的残留量为 25.2857 mg/kg, 8 种亚硝胺的生成量分别为 9.9969、9.3072、8.5503、3.9088、10.0569、12.0074、6.2437 μg/kg。其中未检测到 NPPI, 亚硝胺总量达 60.0712 μg/kg。15 种蓝莓果实对亚硝酸盐的抑制率在 6.27%~38.11%之间, 平均值为 25.17%, 对亚硝胺的抑制率在 53.64%~71.54%之间, 平均值为 63.01%。另外, 各个品种蓝莓果实对各种亚硝胺也有显著地抑制作用, 大部分品种只能检出 NMEA、NDPA、NDBA、NDpheA 这 4 种亚硝胺, 个别品种能检出 NDMA、NDEA、NPYR, 而均无 NPPI 检出。由表 1 知, 不同蓝莓果实品种对亚硝酸盐的抑制效果由高到低依次为: 美登(冻果)>蓝丰(鲜果)>坤蓝>北陆(鲜果)>伯克利>纷蒂>北蓝(鲜果)>美登(鲜果)>北陆(冻果)>北蓝(冻果)>慧兰>北春>蓝丰(冻果)>北村>都克; 对亚硝胺的抑制效果由高到低依次为: 美登(冻果)>纷蒂>北蓝(冻果)>慧兰>蓝丰(鲜果)>北村>蓝丰(冻果)>北蓝(鲜果)>北陆(冻果)>伯克利>北陆(鲜果)>都克>坤蓝>北春>美登(鲜果)。

## 4 结论

蓝莓果实中由于含有花色苷、黄酮、酚酸等特殊物质, 是一种很强的抗氧化物质; 而亚硝胺是一种对人体具有潜在致癌作用的食物危害物。本研究对 15 种蓝莓果实对亚硝酸盐和亚硝胺抑制作用进行了测定, 不同蓝莓品种对亚硝酸盐和亚硝胺均有显著抑制作用, 其中产自靖宇县的美登品种无论是对亚硝胺还是亚硝酸盐抑制能力都很强, 具有一定的开发

表 1 不同品种蓝莓对亚硝酸盐和亚硝胺的抑制率  
Table 1 The ratio of different blueberry inhibit nitrite and nitrosamines

| 越橘品种       | 亚硝酸盐 mg/kg | 抑制率%    | NDMA<br>μg/kg | NMEA<br>μg/kg | NDEA<br>μg/kg | NPYR<br>μg/kg | NDPA<br>μg/kg | NPIP<br>μg/kg | NDBA<br>μg/kg | NDpheA<br>μg/kg | 总量<br>μg/kg | 抑制率%  |
|------------|------------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-------------|-------|
| 越橘鲜果       | 美登         | 19.2836 | 24.43         | 0.7901        | 6.8042        |               | 9.2586        |               | 7.3324        | 3.6609          | 27.8462     | 53.64 |
|            | 矮丛 纷蒂      | 17.8332 | 30.33         |               | 2.7875        |               | 9.3459        |               | 4.4284        | 2.4960          | 19.0578     | 68.27 |
|            | 矮丛 坤蓝      | 16.7456 | 34.76         | 0.1143        | 4.0571        | 0.9955        | 9.4440        |               | 5.9721        | 4.1266          | 24.7096     | 58.87 |
|            | 矮丛 北春      | 20.5267 | 19.37         |               | 4.8236        |               | 8.7366        |               | 7.6284        | 3.9059          | 25.0945     | 58.23 |
|            | 半高丛 北蓝     | 18.2763 | 28.53         |               | 6.9835        |               | 8.1795        |               | 5.6995        | 1.5773          | 22.4398     | 62.64 |
|            | 半高丛 北陆     | 16.8293 | 34.42         | 0.0159        | 5.9020        |               | 5.4023        |               | 7.8303        | 3.9751          | 23.1256     | 61.50 |
|            | 半高丛 慧兰     | 20.0704 | 21.23         |               | 4.8558        |               | 0.3925        | 7.5195        | 6.8900        | 1.0134          | 20.6712     | 65.59 |
|            | 高丛 蓝丰      | 16.1028 | 37.37         |               | 2.6470        |               | 8.8935        |               | 6.1242        | 3.0046          | 20.6694     | 65.58 |
|            | 高丛 都克      | 23.7463 | 6.27          |               | 7.3645        |               | 8.5686        |               | 5.4208        | 3.1294          | 24.4832     | 59.24 |
|            | 矮丛 北村      | 22.3901 | 11.78         |               | 3.4042        |               | 8.9018        |               | 6.3017        | 2.5774          | 21.1850     | 64.73 |
| 越橘冻果       | 矮丛 美登      | 15.9204 | 38.11         |               | 2.5448        | 0.3179        | 7.3533        |               | 6.3667        | 0.5144          | 17.0971     | 71.54 |
|            | 半高 北陆      | 19.3234 | 24.27         |               | 8.3642        |               | 7.7437        |               | 5.6465        | 0.7895          | 22.5439     | 62.47 |
|            | 半高 北蓝      | 20.0307 | 21.39         |               | 5.6771        |               | 9.2478        |               | 3.4908        | 2.1086          | 20.5243     | 65.83 |
|            | 高丛 伯克利     | 17.6223 | 31.19         | 0.3276        | 5.3524        |               | 10.0229       |               | 5.4097        | 1.5062          | 22.6189     | 62.35 |
|            | 高丛 蓝丰      | 21.8317 | 14.06         |               | 4.3205        |               | 9.7952        |               | 6.0804        | 1.0702          | 21.2663     | 64.60 |
|            | 空白 不添加亚硝酸盐 | 0.7143  |               |               |               |               |               |               |               |                 |             |       |
| 空白 只添加亚硝酸盐 | 25.2857    |         | 9.9969        | 9.3072        | 8.5503        | 3.9088        | 10.0569       |               | 12.0074       | 6.2437          | 60.0712     |       |

前景。该结果为蓝莓果实在亚硝胺危害防护领域发挥的突出作用提供理论依据和应用基础。

参考文献

[1] 李亚东, 姜惠铁, 张志东, 等. 中国蓝莓产业化发展的前景[J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 3(1): 39-42.  
Li YD, Jiang HT, Zhang ZD, *et al.* The development prospect of the commercialization of the Chinese blueberry production [J]. J Shenyang Agric Univ, 2001, 3(1): 39-42.

[2] 高原军. 中国野生植物开发与加工利用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1995.  
Gao YJ. The exploitation and utilization of wild plant resources in china [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1995.

[3] 王二雷, 林松毅, 刘静波. 笃斯越桔中花青素含量分析[J]. 食品科学, 2007, 28(10): 460-463.  
Wang EL, Lin SY, Liu JB. Study on content analysis of anthocyanidin in *Vaccinium uliginosum* L. [J]. Food Sci, 2007, 28 (10): 460-463.

[4] Karl-Otto H. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products [J]. Meat Sci, 2007, 78(2008): 68-76.

[5] 马偲珍, 南庆贤, 方长法. *N*-亚硝胺类化合物与食品安全性[J]. 农产品加工, 2005, (12): 8-14.  
Ma LZ, Nan QX, Fang CF. *N*-nitrosamine compounds and food safety [J]. Farm Prod Proc, 2005, (12): 8-14.

[6] 唐爱明, 夏延斌. 肉制品中亚硝酸盐降解方法、机理及研究进展[J]. 食品与机械, 2004, 20(2): 35-44.  
Tang AM, Xia YB. Degradation mechanism and research development of nitrite in meat products [J]. Food Mach, 2004, 20(2): 35-44.

[7] 赵甲元, 贾冬英, 姚开, 等. 亚硝胺体内外合成阻断作用的研究进展[J]. 食品与发酵科技, 2010, 46(1): 35-38.  
Zhao JY, Jia DY, Yao K, *et al.* Research progress in inhibition on nitrosamine formation in vitro and in vivo[J]. Food Ferm Technol, 2010, 46(1): 35-38.

[8] Fox J B, Jr & Ackerman SA. Formation of nitric oxide myoglobin: Mechanisms of the reaction with various reductants [J]. J Food Sci, 1968, 33: 364-370.

[9] 张庆乐, 李静, 党光耀. 黄酮类化合物在阻断亚硝胺合成中的应用[J]. 食品科技, 2008, 33 (8): 165-167.  
Zhang QL, Li J, Dang GY. The application of flavones in plant inhibiting nitrosation reaction [J]. Food Technol, 2008, 33 (8):

- 165-167.
- [10] 王瑞, 马偲珍, 田瑞, 等. 利用几种植物提取物对NDMA阻断效果的研究[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(2): 12-16.  
Wang R, Ma LZ, Tian R, *et al.* Inhibitory effect of three plant extraction on formation of N-nitrosodimethylamine [J]. Food Res Devel, 2004, 35(2): 12-16.
- [11] Choi SY, Chung MJ, Lee SJ, *et al.* N-nitrosamine inhibition by strawberry, garlic, kale, and the effects of nitrite-scavenging an N-nitrosamine formation by functional compounds in strawberry and garlic [J]. Food Con, 2006, 18(5): 485-491.
- [12] 张建斌, 马偲珍, 孔保华. 香辛料对二甲基亚硝胺形成的抑制作用[J]. 食品与机械, 2008, 24(2): 93-96.  
Zhang JB, Ma LZ, Kong BH. Inhibitory effect of extract of some spices and herbs on formation of N-nitrosodimethylamine [J]. Food Mach, 2008, 24(2): 93-96.
- [13] Rywotycki R. The effect of selected functional additives and heat treatment on nitrosamine content in pasteurized pok ham [J]. Meat Sci, 2002, 60(4): 335-339.
- [14] 尹丽, 郭小慧. 银杏叶总黄酮正交提取工艺优化及其抗氧化能力与抑制亚硝化反应研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(18): 260-262.  
Yin L, Guo XH. Optimization of flavonoid extraction technology of orthogonal from ginkgo folium and its antioxidation ability [J]. J Chin Exper Trad Med Form, 2013, 19(18): 260-262.
- [15] 祖桂芳, 赵晓红, 崔胜楠. 红豆越桔活性成分研究及开发利用[J]. 生命科学, 2009, 21(1): 151-155.  
Zu GF, Zhao XH, Cui SN. Research of active substance about *Vaccinium vitis-adaea* L. and its development and application [J]. Chin Bull Life Sci, 2009, 21 (1): 151-155.
- [16] 李颖畅, 孟宪军. 蓝莓花色苷抗氧化活性的研究[J]. 食品与发酵工业, 2001, 33(9): 6-14.  
Li YC, Meng XJ. Studies on the antioxidant activity of anthocyanins from blueberry [J]. Food Ferm Ind, 2001, 33 (9): 6-14.
- [17] Viljanen K, Kylli P, Kivikari R, *et al.* Inhibition of protein and lipid oxidation in liposomers by berry phenolics [J]. J Agric Food Chem, 2004, 52(24): 7419-24.
- [18] 王佳, 刘海钢, 岳鹏翔, 等. 热处理与微波处理对蓝莓汁品质的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(17): 235-244.  
Wang J, Liu HG, Yue PX, *et al.* Effect of thermal and microwave treatment on blueberry juice quality [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(17): 235-244.
- [19] 孙敬, 邹延军, 董赛男. 蒸煮火腿煮制工艺对二乙基亚硝胺(NDEA)形成量的影响[J]. 肉类研究, 2008, 10: 60-66.  
Sun J, Xun YJ, Dong SN. The effects of cooking process on N-nitrosodiethylamine (NDEA) formation in cooked ham [J]. Meat Res, 2008, 10: 60-66.
- [20] Drabik-Markiewicz G, Dejaegher B, Mey ED, *et al.* Influence of putrescine, cadaverine, spermidine or spermine on the formation of N-nitrosamine in heated cured pork meat [J]. Food Chem, 2011, 126(4): 1539-1545.
- [21] Drabik-Markiewicz G, Dejaegher B, Mey ED, *et al.* Evaluation of the influence of proline, hydroxyproline or pyrrolidine in the presence of sodium nitrite on N-nitrosamines formation when heating cured meat [J]. Anal Chim Acta, 2010, 657(2): 123-130.
- [22] 孙敬. 蒸煮火腿中亚硝胺形成影响因素的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.  
Sun J. Research on the influence factors for the formation of N-nitrosamines in cooked ham products [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [23] 吴燕燕, 刘法佳, 李来好, 等. GC-MS检测咸鱼中N-亚硝胺的条件优化[J]. 南方水产科学, 2012, 8(4): 16-22.  
Wu YY, Liu FJ, Li LH, *et al.* Determination and optimization of N-nitrosamines in salted fish by gas chromatography-mass spectrometry [J]. South China Fish Sci, 2012, 8(4): 16-22.
- [24] Jurado-Sánchez B, Ballesteros E, Gallego M. Comparison of microwave assisted, ultrasonic assisted and soxhlet extractions of N-nitrosamines and aromatic amines in sewage sludge, soils and sediments [J]. Total Environ Sci, 2013, 463-464: 293-301.
- [25] GB 5009.33-2010 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定[S].  
GB 5009.33-2010 Determination of nitrite and nitrate in foods [S].

(责任编辑: 杨翠娜)

## 作者简介



魏 萌, 硕士, 主要研究方向为食品加工危害物形成及控制技术。  
E-mail: aimee8308@126.com



袁 媛, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品加工危害物形成及控制技术。  
E-mail: yuan\_yuan@jlu.edu.cn