

# 异硫氰酸烯丙酯在冷鲜肉保鲜中的应用

靳方舟<sup>1,2,3</sup>, 丁瑞霞<sup>1,2,3</sup>, 丁轲<sup>1,2,3\*</sup>, 韩涛<sup>1,2,3</sup>, 陈湘宁<sup>1,2,3</sup>

(1. 北京农学院食品科学与工程学院, 北京 102206; 2. 食品质量与安全北京实验室, 北京 102206;  
3. 农产品有害微生物及农残安全检测与控制北京市重点实验室, 北京 102206)

**摘要:** **目的** 研究异硫氰酸烯丙酯在冷鲜肉保鲜中的应用。**方法** 在贮藏期间, 利用异硫氰酸烯丙酯挥发性来处理冷鲜肉。冷鲜肉经过异硫氰酸烯丙酯及其微胶囊处理后, 测量其 5 项理化指标(pH 值、失水率、挥发性盐基氮值、硫代巴比妥酸值及菌落总数)来检测冷鲜肉在贮藏过程中的变化。**结果** 使用异硫氰酸烯丙酯处理后的冷鲜肉的货架期较空白对照组和不含异硫氰酸烯丙酯微胶囊处理组相比时间更长, 可以将冷鲜肉的货架期延长至 10 d。**结论** 异硫氰酸烯丙酯可以延长冷鲜肉货架期。

**关键词:** 异硫氰酸烯丙酯; 冷鲜肉; 货架期

## Application of allyl isothiocyanate in pork preservation

JIN Fang-Zhou<sup>1,2,3</sup>, DING Rui-Xia<sup>1,2,3</sup>, DING Ke<sup>1,2,3\*</sup>, HAN Tao<sup>1,2,3</sup>, CHEN Xiang-Ning<sup>1,2,3</sup>

(1. Department of Food Science and Engineering, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; 2. Beijing Laboratory of Food Quality and Safety, Beijing 102206, China; 3. Beijing Key Laboratory of Agricultural Product Detection and Control of Spoilage Organisms and Pesticide Residue, Beijing 102206, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the application of allyl isothiocyanate in pork preservation. **Methods** During the preservation process, cold fresh meat was treated with allyl isothiocyanate volatility. After the chilled fresh pork was treated with allyl isothiocyanate and its microcapsule, 5 physical and chemical indexes (pH value, water loss rate, volatile base nitrogen value, thiobarbituric acid value and total number of colonies) were measured to detect the changes of chilled fresh pork during storage. **Results** The shelf life of the cold fresh meat treated with allyl cyanate was longer than that of the blank control group and the microencapsulated group without allyl isothiocyanate, which could extend the shelf life of the cold fresh meat to 10 d. **Conclusion** Allyl isothiocyanate can extend the shelf life of chilled fresh meat.

**KEY WORDS:** allyl isothiocyanate; pork; shelf life

## 1 引言

异硫氰酸烯丙酯(allyl isothiocyanate, AITC)是十字花科植物(油菜、羽衣甘蓝、萝卜及花椰菜等)的活性物质<sup>[1,2]</sup>, 其分子式为 C<sub>4</sub>H<sub>5</sub>NS(相对分子质量 99.15)。AITC 是一种带

有强烈芥子性刺激气味的淡黄色油状物质, 在贮藏过程中容易变为棕黄色至褐色, 其挥发性强, 具有催泪性, 可以使皮肤起泡, 对肺的伤害严重。易溶于乙醇、乙醚和二硫化碳。具有在水中溶解度低, 强烈的气味和挥发速度快等特点, 限制了其在食品加工中的广泛使用<sup>[3,4]</sup>。AITC 微溶

基金项目: 北京市自然科学基金项目(KZ201710020014)、国家自然科学基金项目(31601658)

Fund: Supported by Beijing Natural Science Fund (KZ201710020014), and the National Natural Science Foundation of China (31601658),

\*通讯作者: 丁轲, 教授, 主要研究方向为食品安全检测控制技术。E-mail: 20057801@bua.edu.cn

\*Corresponding author: DING Ke, Professor, Beijing University of Agriculture, Changping District, Beijing 102206, China. E-mail: 20057801@bua.edu.cn

于水, 在水溶液中逐渐分解成烯丙基二硫代氨基甲酸酯, 降解成二烯丙基四硫化物和五硫化物, 这种多硫化物进一步降解成石蜡状烃和硫<sup>[5]</sup>, 产生类似大蒜的气味, 会影响 AITC 在食品加工中的使用, 增添不良的风味。AITC 不仅抑制细菌的生长, 还会破坏真菌并阻止其生长<sup>[6,7]</sup>, 对鼠伤寒沙门氏菌(*Salmonella typhimurium*)、单核细胞增生李斯特菌(*Listeria monocytogenes* Scott A)、大肠杆菌 O157:H7(*Escherichia coli* O157:H7)、铜绿假单胞菌(*Pseudomonas aeruginosa*)、莓实假单胞菌(*Pseudomonas fragi*)、变形杆菌(*Proteus vulgaris*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)和藤黄微球菌(*Micrococcus luteus*)具有抗菌作用<sup>[8-10]</sup>。在 100  $\mu\text{g/L}$  AITC 存在下, 扩展青霉(*Penicillium expansum*)、黄曲霉(*Aspergillus flavus*)和葡萄孢菌(*Botrytis cinerea*)分生孢子的萌发和生长受到抑制<sup>[11]</sup>。AITC 具有光谱抗菌效果和抗癌活性, 因而开发出以 AITC 为主要成分的抑菌剂具有安全无毒的优点, 可以取代食品中常见的化学防腐剂, 应用前景广阔。AITC 广泛用于食品工业, 包括新鲜食物及加工后的食物<sup>[12-22]</sup>。

随着购物渠道的增多, 冷鲜肉的购买量逐渐增加, 从超市购买到网上购买, 但不安全性也随之增加。一项关于中国网上购物平台猪肉安全性的研究, 主要的研究内容是测试了中国的 45 个网上购物平台上猪肉的安全性。研究结果显示, 在大多数平台上, 猪肉质量都有保障。然而, 也有一些猪肉在细菌总数、大肠菌群和挥发性盐基氮(TVB-N)方面违反了中国的猪肉标准<sup>[23,24]</sup>。研究表明, 冷冻猪肉 18 个月后的失水率和过氧化值显著增加, 脂肪酸含量也发生了显著变化<sup>[25]</sup>。与冷冻猪肉相比, 冷鲜肉柔软多汁, 营养丰富, 会更受消费者的青睐。制约冷鲜肉发展的根本原因是其货架期短。新鲜猪肉在 0~4  $^{\circ}\text{C}$  下贮藏短短几天就开始出现腐败现象<sup>[26]</sup>。化学防腐剂在冷却鲜猪肉保鲜中应用, 可以达到很好的保鲜效果。然而, 一些化学防腐剂本身具有致畸和致癌作用, 长期使用会对人体造成危害。因此, 使用安全的天然防腐剂延长冷鲜肉的货架期具有重要意义。

本研究将异硫氰酸烯丙酯应用于冷鲜肉的保鲜中, 通过测定其理化指标, 探讨将天然光谱抗菌物质异硫氰酸烯丙酯应用于延长冷鲜肉货架期的效果。

## 2 材料与方 法

### 2.1 仪器与试剂

5810R 离心机(德国 Eppendorf 公司); DSHZ-300A 型水浴恒温振荡器(苏州培英实验设备有限公司); GC7890-MS5975 气相色谱质谱联用仪(美国安捷伦公司); 平板计数琼脂(北京陆桥技术股份)。

AITC(纯度 $\geq 95.00\%$ , 德国 Sigma 公司); 乙醇(纯度: 99.7%, 美国麦克林公司); 石英砂(分析纯, 国药集团化学

试剂有限公司); 碳酸钙(分析纯, 西陇化工股份有限公司); 硼酸、甲基红、溴甲酚绿、氯仿、氧化镁、磷酸氢钠、磷酸氢二钠、氢氧化钠、盐酸、氯化钠(分析纯, 北京化工厂)。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 冷鲜肉处理方法

当天购买的里脊肉, 使用无菌刀和洁净案板在超净台分切, 装入无菌密封袋中, 每块冷鲜肉约 60.0 g。

AITC 微胶囊(AITC microcapsules)使用壳聚糖和明胶 2 种物质作为壁材, AITC 在橄榄油中分散后作为芯材被包裹在壁材中<sup>[27,28]</sup>。使用气相色谱质谱联用仪测量 AITC 微胶囊中 AITC 含量。将保鲜袋集中处理(均匀扎孔)后, 称取一定质量的微胶囊放在处理好的保鲜袋中, 压紧封条。将上述微胶囊芯材中的 AITC 用等量的橄榄油替换后, 制备不含 AITC 微胶囊, 称取与 AITC 微胶囊等量加入处理的保鲜袋中压紧封条。

冷鲜肉分为以下 4 种处理: 对照组(CK)、游离 AITC 处理组、不含 AITC 的微胶囊处理组及 AITC 微胶囊处理组。主要处理过程如下: 将冷鲜肉放置在保鲜袋中, CK 直接密封好; 吸取一定量游离 AITC 放置于 50 mL 锥形瓶中, 装入处理后的保鲜袋, 并将保鲜袋封条压紧, 放置于已经分割好的冷鲜肉保鲜袋中, 压紧封条; 不含 AITC 的微胶囊处理组及 AITC 微胶囊处理组放入已经称重的冷鲜肉保鲜袋中压紧封条。以上处理好的冷鲜肉均置于 4  $^{\circ}\text{C}$  冰箱。以上每个处理做 3 组平行。微胶囊处理冷鲜肉示意图如图 1。

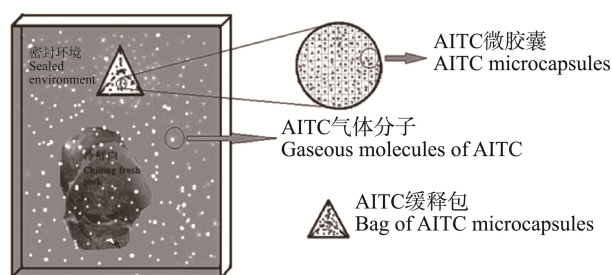


图 1 冷鲜肉处理方式示意图

Fig.1 Chilling fresh pork preservation experiment of AITC microcapsules

#### 2.2.2 pH 值测定

准确称取 10 g 冷鲜肉(精确至 0.001 g)。新鲜的冷鲜肉仔细磨碎, 否则会影响实验结果。加入 100 mL 蒸馏水, 摇床震荡 5 min。将该溶液通过双层滤纸过滤, 收集滤液。使用校准过的 pH 计测量过滤溶液的 pH 值<sup>[29]</sup>。

#### 2.2.3 冷鲜肉失水率

称取每片冷鲜肉的原始质量( $M$ , g)和密封袋的原始质量( $m$ , g)。每天取出冷鲜肉, 将密封袋中的水倒出, 通风处晾干 30 s。然后测定密封袋和里脊样品的总质量( $W$ , g)。计

算公式如下:

$$\text{失水率}(\%) = \frac{M + m - W}{M + m} \times 100\%$$

2.2.4 2-硫代巴比妥酸值(the 2-thiobarbituric acid value, TBA)

精确称取 10 g 冷鲜肉, 仔细研磨。加入 50 mL 7.5% 的三氯乙酸溶液, 在摇床中震荡 30 min。使用双层滤纸过滤, 吸取 5 mL 的滤液。加入 5 mL 0.02 mol/L 的 2-硫代巴比妥酸溶液。沸水浴 40 min, 取出降温至室温, 以 160 r/min 离心 5 min。在上层溶液中加入 5 mL 氯仿。混合均匀后吸取上层溶液, 分别在 532 nm ( $A_1$ ) 和 600 nm ( $A_2$ ) 处测吸光值。计算公式如下:

$$X(\text{mg/kg}) = \frac{A_1 - A_2}{155} \times \frac{1}{10} \times 72.6 \times 1000$$

该公式给出了样品的 2-硫代巴比妥酸反应物质(TBA) 值(mg/kg)。结果保留了 3 个有效数字<sup>[30,31]</sup>。

2.2.5 挥发性盐基氮(the total volatile basic nitrogen, TVB-N)

TVB-N 采用 GB 5009.228-2016《食品安全国家标准食品中挥发性盐基氮的测定》<sup>[32]</sup>和 Huang's<sup>[33]</sup>法测定。5 g 冷鲜肉(精确至 0.001 g)置于装有塞子的 250 mL 锥形瓶中称重( $M$ )。加入蒸馏水, 摇床上摇 30 min。双层滤纸过滤后取滤液作为样液。

在吸收瓶中加入硼酸溶液 10.0 mL。加入 5 滴混合指示液(甲基红:溴甲酚绿体积比 1:5), 将冷凝管下端插入液位下。在注入 10.0 mL 的样品溶液后, 用 10.0 mL 的蒸馏水清洗进样口。把塞子拧紧后将 5 mL 氧化镁悬浮液注入反应室, 立即将玻塞盖紧, 并加水于小玻璃杯以防漏气。蒸馏 5 min 后, 取下接收瓶, 继续在液面上方蒸馏 1 min。用盐酸标准液(0.0100 mol/L)滴定空白溶液, 消耗体积记为  $V_1$ 。用盐酸滴定样品溶液, 当溶液变紫红色后记录盐酸消耗的体积为  $V_2$ 。计算公式如下:

$$X(\text{mg}/100 \text{ g}) = \frac{(V_1 - V_2) \times 0.0100 \times 14}{N \times (V/100)} \times 100$$

样品中 TVB-N 含量以 mg/100 g 表示。 $V$ -准确吸取的滤液体积, 单位为毫升(mL), 本方法中  $V=10$ 。

结果保留了 3 个有效数字。

2.2.6 菌落总数(total bacterial abundance)测定

菌落总数采用 GB 4789.2-2016 测定<sup>[34]</sup>。称取 25 g 猪里脊肉, 放入装有 225 mL 无菌生理盐水的无菌均质袋中。根据实际生长条件, 制备了 10 倍稀释的样品匀浆。选择 2~3 种稀释适当的匀浆来估计样品的污染。同时吸取 1 mL 空白稀释液, 加入 2 个无菌培养皿中作为空白对照。待琼脂凝固后, 将平板翻转, 36 °C±1 °C 培养 48 h±2 h。若只有一个稀释度平板上的菌落数在适宜计数范围内, 计算 2 个平板菌落数的平均值, 再将平均值乘以相应稀释倍数, 作为每克样品中菌落总数结果。若有 2 个连续稀释度的平板菌落数在适宜计数范围内时, 按下式计算:

$$N = \frac{\sum C}{(n_1 + 0.1 \times n_2) \times d}$$

式中:

$N$ -样品中菌落数;

$\sum C$ -平板(含适宜范围菌落数的平板)菌落数之和;

$n_1$ -第一稀释度(低稀释倍数)平板个数;

$n_2$ -第二稀释度(高稀释倍数)平板个数;

$d$ -稀释因子(第一稀释度)。

### 3 结果与分析

#### 3.1 pH 值

pH 值是衡量猪肉新鲜度的重要指标之一。猪肉样品的初始 pH 值为 6.02±0.06, 在猪肉的正常 pH 值范围内。如图 2 所示, 随着贮藏时间的增加, 猪肉样品的 pH 值在不断变化。统计学分别分析 CK 的 pH 值与游离 AITC 处理组和 AITC 微胶囊处理组的 pH 值均有显著差异( $P<0.05$ ), 说明 AITC 对冷鲜肉保鲜中控制 pH 值变化有作用。AITC 微胶囊处理组的 pH 值在 5 d 后一直增加, 游离 AITC 处理组的 pH 值保持一个平缓的状态, 这并没有展现出微胶囊缓释的作用, 但是在第 10 d AITC 微胶囊处理组的 pH 值结果为 6.49±0.07, 仍处于次级鲜肉水平<sup>[35]</sup>。

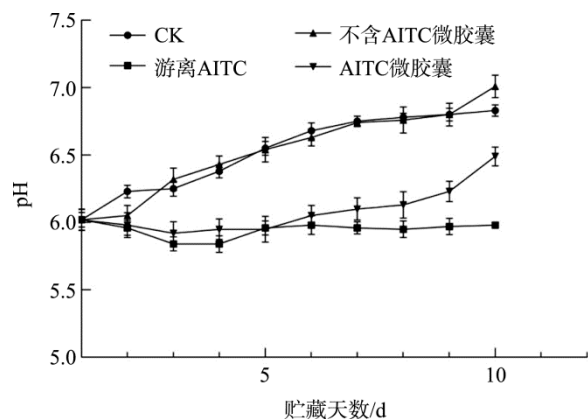


图 2 pH 值结果( $n=3$ )

Fig.2 Result of pH values ( $n=3$ )

#### 3.2 冷鲜肉失水率

随着贮藏时间的延长, 不同处理组的失水率逐渐增加, 如图 3 所示。汁液损失影响猪肉的味道、香气、营养、嫩度和颜色。统计分析表明, 游离 AITC 处理组(5~10 d)和 AITC 微胶囊处理组(2~10 d)失水率与 CK 比较存在显著性差异( $P<0.05$ )。图 3 显示, 在 3 d 内, 游离 AITC 处理组的失水率高于 CK 和 AITC 微胶囊处理组的失水率。原因是 AITC 浓度在前 3 d 较高。随着贮藏时间的延长, AITC 的浓度逐渐降低。这是由于肌球蛋白在肌肉中的氧化、稳定聚集物的形成、肌纤维的收缩、持水能力的降低和失水率的

增加。统计分析表明, AITC 处理组的失水率与 AITC 微胶囊处理组相比有显著性差异( $P < 0.05$ )。从失水率的评价指标来看, AITC 微胶囊比游离 AITC 更适合猪肉保鲜。

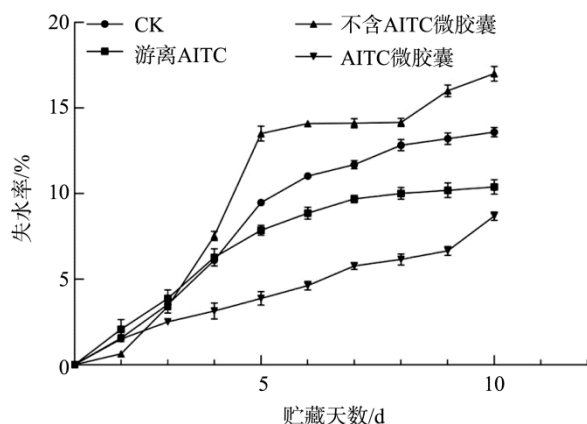


图 3 冷鲜肉在贮藏过程中失水率结果 (n=3)

Fig.3 Result of water loss ratio of pork during storage (n=3)

### 3.3 硫代巴比妥酸值

肉和加工肉制品脂质氧化的程度经常使用 TBA 测定<sup>[36]</sup>进行定量。TBA 含量反映了多不饱和脂肪酸氧化过程中形成的脂质过氧化物和过氧化物的降解产物丙二醛含量。它被广泛用作脂质氧化程度的指示器<sup>[36]</sup>。TBA 的含量在贮藏期间增加(图 4)。与初始 TBA 相比, 4 组在 10 d 后的增加情况如下: CK(6.36 倍) > 空白胶囊处理组(4.54 倍) > AITC 微胶囊处理组(4.44 倍) > 游离 AITC 处理组(4.21 倍)。CK 与游离 AITC 处理组(3~10 d)比较存在显著性差异( $P < 0.05$ )。而游离 AITC 和 AITC 微胶囊处理组间无显著性差异( $P > 0.05$ )。推测这可能是由于微胶囊的贮藏时间较短, 不能更显著反映微胶囊缓释的性质。

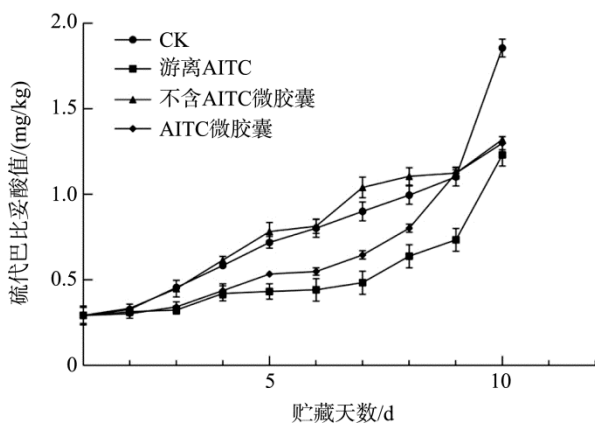


图 4 TBA 结果 (n=3)

Fig.4 Result of TBA value (n=3)

### 3.4 挥发性盐基氮

TVB-N 被用作肉和鱼制品的新鲜度指数, 含量 (mg/100 g) 与新鲜度呈反比关系<sup>[38]</sup>。TVB-N 含量在冷藏保存期间逐渐增加(图 5), 但在所保存时间点, AITC 微胶囊与游离 AITC 处理组之间无显著差异( $P > 0.05$ )。统计分析显示, CK 的 TVB-N 含量与游离 AITC 处理组和 AITC 微胶囊处理组相比, 差异有显著性( $P < 0.05$ )。

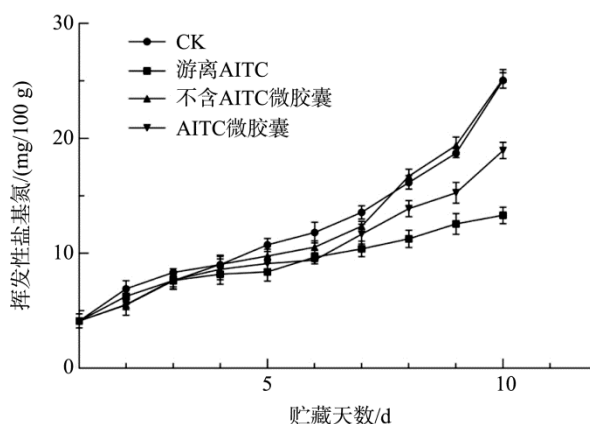


图 5 TVB-N 结果 (n=3)

Fig.5 Result of TVB-N value (n=3)

### 3.5 菌落总数

一些研究表明, AITC 作为一种天然抗菌剂在不同的食品基质中有应用价值, 包括肉制品<sup>[39]</sup>。冷鲜肉贮藏第 2 d(3.08 lg CFU/g)微胶囊处理组的菌落总数低于第 1 d(3.09 lg CFU/g), 这证明了 AITC 具有一定的抑菌作用。统计分析表明, 游离 AITC 处理组和 AITC 微胶囊处理组菌落总数与 CK 相比, 差异有显著性( $P < 0.05$ )。游离 AITC 和 AITC 微胶囊处理组间无显著性差异( $P > 0.05$ )。这可能是由于猪肉在贮藏期间的温度较低(4 °C), 贮藏期较短(10 d), AITC 微胶囊与游离 AITC 相比不具有显著的缓释作用和抑菌优势。

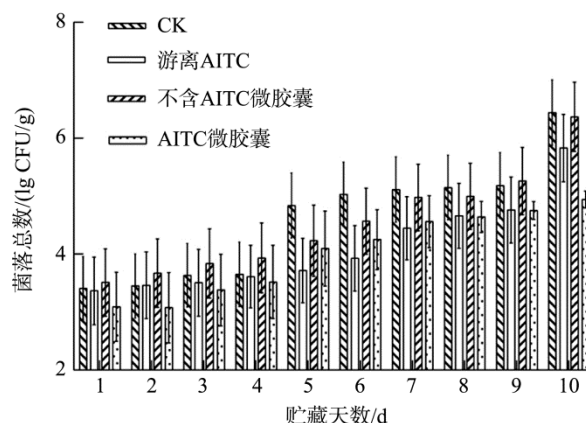


图 6 菌落总数结果 (n=3)

Fig.6 Result of total bacterial abundance (n=3)

## 4 结 论

本研究将 AITC 及其微胶囊应用于冷鲜肉,旨在延长其贮藏期。从结果分析,AITC 处理(包括游离 AITC 处理组及 AITC 微胶囊处理组)之后的冷鲜肉,与不含 AITC 的处理(CK 及不含 AITC 微胶囊处理组)在 pH 值、失水率、TBA、TVB-N 及菌落总数等理化指标上出现差异。研究表明,AITC 可以应用于冷鲜肉,延长其贮藏期。但是 AITC 微胶囊处理组与游离 AITC 处理组相比,并没有显著的优势来突显微胶囊的缓释作用,只有在失水率上出现了显著差异性( $P<0.05$ ),即 AITC 微胶囊可以减少因 AITC 浓度过高造成的冷鲜肉汁液损失。因此,将进一步研究 AITC 微胶囊的缓释作用,来增加冷鲜肉贮藏期。

## 参考文献

- [1] Liang H, Yuan Q, Xiao Q. Effects of metal ions on myrosinase activity and the formation of sulforaphane in broccoli seed [J]. *J Mol Catal B Enzyme*, 2006, 43(1-4): 19-22.
- [2] Kuang P, Song D, Yuan Q, *et al.* Separation and purification of sulforaphane from radish seeds using macroporous resin and preparative high-performance liquid chromatography [J]. *Food Chem*, 2013, 136(2): 342-347.
- [3] Ratanasiriwat P, Worawattanamateekul W, Klaypradit W. Properties of encapsulated wasabi flavour and its application in canned food [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2013, 48(4): 749-757.
- [4] Wang SY, Chen CT, Yin JJ. Effect of allyl isothiocyanate on antioxidants and fruit decay of blueberries [J]. *Food Chem*, 2010, 120(1): 199-204.
- [5] Kawakishi S, Namiki M. Decomposition of allyl isothiocyanate in aqueous solution [J]. *Agric Biol Chem*, 1969, 33(3): 452-459.
- [6] Chacon PA, Muthukumarasamy P, Holley RA. Elimination of *Escherichia coli* O157: H7 from fermented dry sausages at an organoleptically acceptable level of microencapsulated allyl isothiocyanate [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2006, 72(5): 3096-3102.
- [7] Shin J, Harte B, Ryser E. Active packaging of fresh chicken breast, with allyl isothiocyanate (AITC) in combination with modified atmosphere packaging (MAP) to control the growth of pathogens [J]. *J Food Sci*, 2010, 75(2): 65-71.
- [8] Hasegawa N, Matsumoto Y, Hoshino A, *et al.* Comparison of effects of *Wasabia japonica* and allyl isothiocyanate on the growth of four strains of *Vibrio parahaemolyticus* in lean and fatty tuna meat suspensions [J]. *Int J Food Microbiol*, 1999, 49(1-2): 27-34.
- [9] Shin J, Harte B, Ryser E, *et al.* Active packaging of fresh chicken breast, with allyl isothiocyanate (AITC) in combination with modified atmosphere packaging (MAP) to control the growth of pathogens [J]. *J Food Sci*, 2010, 75(2): M65-M71.
- [10] El Fayoumy RA, Pendleton P, El-Fallal AA, *et al.* Allyl isothiocyanate release from edible laminaria japonica for time-dependent growth deactivation of foodborne pathogens: *Micrococcus luteus*, *Bacillus subtilis*, and *Listeria monocytogenes* [J]. *Food Bioprocess Technol*, 2017, 10(8): 1562-1573.
- [11] Delaquis PJ, Sholberg PL. Antimicrobial activity of gaseous allyl isothiocyanate [J]. *J Food Protect*, 1997, 60(8): 943-947.
- [12] Shin J, Harte B, Ryser E, *et al.* Active packaging of fresh chicken breast, with allyl isothiocyanate (AITC) in combination with modified atmosphere packaging (MAP) to control the growth of pathogens [J]. *J Food Sci*, 2010, 75(2): 65-71.
- [13] Chacon PA, Buffo RA, Holley RA. Inhibitory effects of microencapsulated allyl isothiocyanate (AIT) against *Escherichia coli* O157: H7 in refrigerated, nitrogen packed, finely chopped beef [J]. *Int J Food Microbiol*, 2006, 107(3): 231-237.
- [14] Huang YA, Zeng X, Zhu Q, *et al.* Development of an active packaging with molecularly imprinted polymers for beef preservation [J]. *Packaging Technol Sci*, 2018, 31(4): 213-220.
- [15] Chacon PA, Muthukumarasamy P, Holley RA. Elimination of *Escherichia coli* O157: H7 from fermented dry sausages at an organoleptically acceptable level of microencapsulated allyl isothiocyanate [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2006, 72(5): 3096-3102.
- [16] Hasegawa N, Matsumoto Y, Hoshino A, *et al.* Comparison of effects of *Wasabia japonica* and allyl isothiocyanate on the growth of four strains of *Vibrio parahaemolyticus* in lean and fatty tuna meat suspensions [J]. *Int J Food Microbiol*, 1999, 49(1-2): 27-34.
- [17] Wu H, Xue N, Hou C, *et al.* Microcapsule preparation of allyl isothiocyanate and its application on mature green tomato preservation [J]. *Food Chem*, 2015, 175(175): 344-349.
- [18] Wang SY, Chen CT, Yin JJ, *et al.* Effect of allyl isothiocyanate on antioxidants and fruit decay of blueberries [J]. *Food Chem*, 2010, 120(1): 199-204.
- [19] Chen H, Gao H, Fang X, *et al.* Effects of allyl isothiocyanate treatment on postharvest quality and the activities of antioxidant enzymes of mulberry fruit [J]. *Postharvest Biology Technol*, 2015, 108: 61-67.
- [20] Ko JA, Kim WY, Park HJ. Effects of microencapsulated allyl isothiocyanate (aitc) on the extension of the shelf-life of Kimchi [J]. *Int J Food Microbiol*, 2012, 153(1-2): 92-98.
- [21] Piercey MJ, Mazzanti G, Budge SM, *et al.* Antimicrobial activity of cyclodextrin entrapped allyl isothiocyanate in a model system and packaged fresh-cut onions [J]. *Food Microbiol*, 2012, 30(1): 213-218.
- [22] Quiles JM, Manyes L, Luciano F, *et al.* Influence of the antimicrobial compound allyl isothiocyanate against the *Aspergillus parasiticus* growth and its aflatoxins production in pizza crust [J]. *Food Chem Toxicol*, 2015, 83: 222-228.
- [23] Wang K, Ye K, Zhu Y, *et al.* Prevalence, antimicrobial resistance and genetic diversity of *Listeria monocytogenes* isolated from chilled pork in Nanjing, China [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2015, 64(2): 905-910.
- [24] Liu CX, Xiao YP, Hu DW, *et al.* The safety evaluation of chilled pork from online platform in China [J]. *Food Control*, 2019, 96: 244-250.
- [25] Medić H, Kušec ID, Pleadin J, *et al.* The impact of frozen storage duration on physical, chemical and microbiological properties of pork [J]. *Meat Sci*, 2018, 140: 119-127.
- [26] Lorenzo JM, Vargas FC, Strozzi I, *et al.* Influence of pitanga leaf extracts on lipid and protein oxidation of pork burger during shelf-life [J]. *Food Res Int*, 2018, 114: 47-54.
- [27] Zhang ZQ, Pan CH, Chung D. Tannic acid cross-linked gelatin-gum arabic coacervate microspheres for sustained release of allyl isothiocyanate: characterization and in vitro release study [J]. *Food Res Int*, 2011, 44(4): 0-1007.

- [28] Ma T, Zhao H, Wang J, *et al.* Effect of processing conditions on the morphology and oxidative stability of lipid microcapsules during complex coacervation [J]. *Food Hydrocol*, 2019, 87: 637–643.
- [29] Schilling MW, Pham AJ, Williams JB, *et al.* Changes in the physicochemical, microbial, and sensory characteristics of fresh pork sausage containing rosemary and green tea extracts during retail display [J]. *Meat Sci*, 2018, 143: 199–209.
- [30] Fan XJ, Liu SZ, Li HH, *et al.* Effects of *Portulaca oleracea* L. extract on lipid oxidation and color of pork meat during refrigerated storage [J]. *Meat Sci*, 2019, 147: 82–90.
- [31] Cachaldora A, García G, Lorenzo JM, *et al.* Effect of modified atmosphere and vacuum packaging on some quality characteristics and the shelf-life of “morcilla”, a typical cooked blood sausage [J]. *Meat Sci*, 2013, 93(2): 220–225.
- [32] GB 5009. 228–2016 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定 [S].  
GB 5009. 228–2016 National food safety standard-Determination of volatile basic nitrogen in food [S].
- [33] Huang YA, Zeng X, Zhu Q, *et al.* Development of an active packaging with molecularly imprinted polymers for beef preservation [J]. *Packaging Technol Sci*, 2018, 31(4): 213–220.
- [34] GB 4789. 2–2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定[S].  
GB 4789. 2–2016 National food safety standard-Microbiological examination of food colony count determination [S].
- [35] Qu F, Ren D, He Y, *et al.* Predicting pork freshness using multi-index statistical information fusion method based on near infrared spectroscopy [J]. *Meat Sci*, 2018, 146: 59–67.
- [36] Zhang Y, Holman BW, Ponnampalam EN, *et al.* Understanding beef flavour and overall liking traits using two different methods for determination of thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) [J]. *Meat Sci*, 2019, 149: 114–119.
- [37] Fan WJ, Zhang YK, Chen YC, *et al.* TBARS predictive models of pork sausages stored at different temperatures [J]. *Meat Sci*, 2013, 96(1): 1–4.
- [38] Xu ZQ, Wang ZR, Li JK, *et al.* The effect of freezing time on the quality of normal and pale, soft and exudative (PSE)-like pork [J]. *Meat Sci*, 2019, 152: 1–7.
- [39] Ward SM, Delaquis PJ, Holley RA, *et al.* Inhibition of spoilage and pathogenic bacteria on agar and pre-cooked roast beef by volatile horseradish distillates [J]. *Food Res Int*, 1998, 31(1): 0–26.

(责任编辑: 王 欣)

### 作者简介



靳方舟, 硕士研究生, 主要研究方向为食源性抑菌剂的应用研究。  
E-mail: Jfangzhou0221@163.com



丁 轲, 教授, 主要研究方向为食品安全检测控制技术研究。  
E-mail: 20057801@bua.edu.cn