

载银抗菌衬垫对冷鲜肉的保鲜效果研究

Effects of antibacterial pad containing silver on the chilled meat preservation

张春森¹ 徐丹¹ 周敏^{1,2}

ZHANG Chun-sen¹ XU Dan¹ ZHOU Min^{1,2}

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 四川农业大学食品学院, 四川 雅安 625014)

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

摘要:将含有不同质量分数 MMT-Ag (3%, 5%, 8%, 10%) 的衬垫放入托盘包装的底部, 以玉米苞叶为隔离层, 其上放置新鲜肉末, 保鲜膜缠绕密封后于 4 °C 保存。每天测定鲜肉的菌落总数、TVB-N、TBARS、pH 值、水分含量、蒸煮损失和感官评分, 以考查 MMT-Ag 含量以及隔离层的使用对衬垫保鲜效果的影响。结果表明: 衬垫的保鲜效果随 MMT-Ag 含量的增加而提高, 当其含量为 10% 时效果最好, 冷鲜肉的货架期为 6 d, 比对照组延长了 3 d。抗菌衬垫的使用有效抑制了鲜肉中微生物的生长, 延缓了 TVB-N 值、TBARS 值和 pH 值的生长, 并降低了水分含量和蒸煮损失, 改善了感官品质。玉米苞叶隔离层的添加可防止衬垫的黏附, 且不会显著缩短鲜肉的货架期。

关键词:载银蒙脱土; 抗菌衬垫; 冷鲜肉; 品质; 货架期

Abstract: The pads containing different weight content of MMT-Ag (3%, 5%, 8%, and 10%) were put on the bottom of the tray with the corn bracts on the top as the separate layer, on which the ground fresh meat was placed. After wrapping by PE films, the ground meat was stored at 4 °C. The total viable counts, TVB-N, TBARS, pH value, moisture content, cooking loss, and sensory evaluation scores of the meat were measured everyday, in order to investigate the effects of MMT-Ag content in the pad and application of separate layer on the preservation of chilled meat. The results showed that the preservation effects of pad were improved with the increasing content of MMT-Ag. When the MMT-Ag content was 10%, the effect was obvious. The shelflife of chilled meat packaged with the pad was 6 days, 3 days longer than that of the control group without pad. The presence of this antibacterial pad significantly inhibited the microbial

growth in meat could retard the increasing of TVB-N, TBARS, and pH, decrease the moisture content and cooking loss, and improve the sensory qualities of meat. The application of the separated layer of corn bracts slightly compromised the preservation effects of the antibacterial pad, but has no significant effect on the shelflife of meat.

Keywords: silver loaded montmorillonite; antibacterial pad; chilled meat; qualities; shelf life

冷鲜肉又称冷却肉, 在加工、流通和销售过程中温度始终保持为 0~4 °C, 且在加工前经历了成熟嫩化过程, 因此食用品质较佳^[1]。但冷鲜肉中水分活度高, 且 4 °C 下微生物仍能生长繁殖, 因此货架期较短。这一方面严重制约了冷鲜肉的发展^[1-3], 另一方面也导致了超过保质期而下架的巨大经济损失。近年来冷鲜肉的保鲜方法主要有物理法、化学法和生物法。物理法主要有辐射^[4]、微波^[5]、超高压^[6]和真空包装^[7]等。化学和生物法一般是将化学或生物保鲜剂如乳酸钠^[8]、植物提取物^[9-10]、壳聚糖^[11]等通过喷洒、涂膜或引入包装材料中等形式, 使其与鲜肉表面接触, 起到抗菌或抗氧化化的作用, 从而延长鲜肉的货架期。化学或生物保鲜剂具有高效持久等优点, 但直接喷洒或涂膜可能会影响肉制品的风味和口感, 且与鲜肉一同食用易产生安全风险, 而将其引入包装材料中则可克服上述问题^[12]。

但上述方法不能防止冷鲜肉的肉汁积聚, 而肉汁在包装中的积聚不仅影响产品的外观, 还会助长微生物的繁殖。将具有高吸水性的衬垫放置于包装托盘底部则可有效改善此问题^[13]。因壳聚糖具有良好的抗菌性^[14], 与羧甲基纤维素钠通过静电引力形成致密结构; 金属银具有高效持久的广谱抑菌效果^[15], 将银固载于蒙脱土表面, 可控制银离子的释放速率, 在保证抗菌效果的同时可大大提高安全性^[16]。本课题组在前期研究中, 以壳聚糖 (CS) 和羧甲基纤维素钠 (CMC) 2 种具有良好生物相容性和降解性^[17]的高分子材料为基材, 添加蒙脱土 (MMT)^[18]和茶多酚 (TP)^[19]制备出高吸水的抗氧化衬垫, 可将冷鲜肉的保质期延长至 5 d。在此

基金项目:重庆市社会事业与民生保障科技创新专项一般项目 (编号: cstc2015shmszx80011); 中央高校基本科研业务费重点项目 (编号: XDK2016B012)

作者简介:张春森, 男, 西南大学在读硕士研究生。

通信作者:徐丹 (1983—), 女, 西南大学副教授, 博士。

E-mail: xud@swu.edu.cn

收稿日期:2017-08-06

基础上,本研究采用载银蒙脱土(MMT-Ag)代替普通蒙脱土添加到该衬垫中,制备出抗菌衬垫。并将该抗菌衬垫放置于冷鲜肉托盘包装的底部,采用处理后的玉米苞叶作为隔离层,用于冷鲜肉的保鲜包装,考查 MMT-Ag 在衬垫中的含量以及玉米苞叶的应用对冷鲜肉贮藏品质的影响。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

当天宰杀的新鲜猪后腿肉、新鲜玉米苞叶:重庆北碚天生农贸市场;

壳聚糖:脱乙酰度 90.1%,分子量 20 万,潍坊海之源生物制品有限公司;

羧甲基纤维素钠:试验纯,成都市科龙化工试剂厂;

钠基 MMT:阳离子交换能力 1.45 meq/g,美国 Anocor 公司;

多巴胺盐酸盐:纯度 $\geq 98\%$,加拿大 Bio Basic 公司;

三羟甲基氨基甲烷(Tris):纯度 $\geq 99.9\%$,上海金穗生物科技有限公司;

AgNO₃:分析纯,成都市科龙化工试剂厂;

CaCl₂:食品级,浙江巨化股份新联化工有限公司;

PP 塑料生鲜托盘(尺寸为 13.9 cm \times 13.9 cm \times 1.8 cm):食品级,美伊诚泰包装材料有限公司;

其他试剂均为分析纯。

1.2 主要仪器

真空冷冻干燥机:LGJ-10 型,北京松源华兴科技发展有限公司;

立式压力蒸汽灭菌器:BXM-30R 型,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;

洁净工作台:SW-CJ-1FD 型,苏州安泰空气技术有限公司;

电热恒温培养箱:DHP-9082 型,上海齐欣科学仪器有限公司;

紫外可见分光光度计:SP-756P 型,上海光谱仪器有限公司;

电感耦合等离子光谱发生仪(ICP):TPS-7000 型,北京普析通用仪器责任有限公司;

X-射线粉末衍射仪(XRD):XRD-7000 型,日本岛津公司;

扫描电子显微镜(SEM):JSM-6510LV 型,日本电子株式会社;

火焰型原子吸收光谱仪(AAS):Z-2000 型,日本日立集团。

1.3 试验方法

1.3.1 MMT-Ag 的制备 称取 0.2 g MMT 于 100 mL pH 为 8.5 的 Tris-HCl 溶液,超声(功率 250 W)30 min 后搅拌 4 h 使其充分分散,然后加入 0.3 g 多巴胺盐酸盐继续搅拌 24 h。之后加入 0.8 g 硝酸银并于 40 ℃ 搅拌 12 h。将溶液抽滤、洗涤后,将滤饼烘干即得载银蒙脱土,银离子负载量约为 495.75 mg,反应率为 97.79%,记为 MMT-Ag。

1.3.2 抗菌复合衬垫的制备 称取 0.6 g 壳聚糖于 60 mL 1% 乙酸溶液中搅拌至完全溶解。另称取 2 g 羧甲基纤维素钠于 100 mL 去离子水中并搅拌至完全溶解后,缓慢加入到上述壳聚糖溶液中,搅拌混合均匀后得到衬垫的基材溶液。

按壳聚糖和羧甲基纤维素钠总质量的 3%,5%,8%,10% 分别称取 MMT-Ag,各自分散于 20 mL 1% 的乙酸溶液中,超声(功率 250 W)30 min 后加入衬垫基材溶液中。同时加入 10 mL 浓度为 46 mg/mL 的 CaCl₂ 溶液作为交联剂。搅拌均匀后静置 10 min,然后将一定量的溶液倒入培养皿中冻干除去溶剂,即得不同 MMT-Ag 浓度的抗菌衬垫。由于 MMT 对衬垫的结构和机械性能有较大影响^[18],对照衬垫添加质量分数为壳聚糖和羧甲基纤维素钠总质量 5% 的未处理 MMT,其他步骤与上述相同。

1.3.3 玉米苞叶阻隔层的制备 将新鲜玉米的内层苞叶取下,剪成 5 cm \times 5 cm 大小后,在去离子水中煮沸 30 min。取出烘干后,在其表面均匀涂覆 1.5% 的壳聚糖溶液,40 ℃ 下烘干。然后在苞叶中间沿着叶脉间隔约 0.3 cm 均匀进行平行切割,保持两端完整,以保证汁液的渗透。

1.3.4 样品处理与分组 将新鲜猪后腿肉去除筋骨皮等,切碎成肉末(水分含量、蒸煮损失、感官评定采用 3 cm \times 3 cm \times 1 cm 大小的肉块),分别称取等量放置于各托盘中。空白组托盘中无衬垫(BG),对照组放置含 5% MMT 的衬垫(CG),而试验组分为 A 组和 B 组。其中,A 组托盘底部分别放置 MMT-Ag 含量为 3%,5%,8%,10% 的抗菌衬垫,分别记为 A-1、A-2、A-3 和 A-4;B 组在 A 组的基础上分别在不同 MMT-Ag 含量的抗菌衬垫上放置一张玉米苞叶作为隔离层,分别记为 B-1、B-2、B-3 和 B-4。各组样品用保鲜膜缠绕后,置于 4 ℃ 冷鲜柜中遮光冷藏。期间每天取样测定各指标,直至样品挥发性盐基氮(TVB-N)超过 15 mg/100 g。

1.3.5 样品表征方法

(1) MMT-Ag 的表征与最低抑菌浓度的测定:采用 SEM 观测 MMT-Ag 粉末的表面形貌。采用 XRD 测定 MMT-Ag 粉末的衍射图谱,工作电压为 40 kV,电流为 30 mA,扫描速度为 2°/min,扫描范围为 3°~90°。

MMT-Ag 溶液最低抑菌浓度测定:将 MMT-Ag 加入到去离子水中,超声(功率 250 W)30 min 使其充分分散后,分别稀释到下列不同浓度:10.0,5.0,2.5,1.28 mg/mL,640,500,320,250,160,125,80,62,40,31,20,15 μ g/mL。将不同浓度的 MMT-Ag 分散液分别注入到培养基中,摇匀。分别接种浓度均为 10⁶ CFU/mL 的大肠杆菌和金黄色葡萄球菌,37 ℃ 下培养,观察细菌的生长状况,得出 MMT-Ag 抑制受试菌生长的最低浓度。

(2) 水分含量:按 GB 5009.3—2016 的直接干燥法执行。

(3) 蒸煮损失的测定:参考文献[20]。

(4) 菌落总数的测定:按 GB/T 4789.2—2010 执行。

(5) TVB-N 值的测定:按 GB/T 5009.44—2003 中半微量凯式定氮法执行。

(6) 脂质过氧化值测定:参考文献[19],测定硫代巴比妥酸反应物(TBARS)含量。

(7) pH 值测定:按 GB 5009.237—2016 执行。

(8) 感官评价:选取 9 名评定员经训练后对色泽、黏度、弹性、气味四项打分评定,各项满分 10 分,计算各项平均分,各项按权重 0.25 相加作为最终评分。评分标准参照猪肉的感官卫生标准(GB 2707—2005)制定,见表 1。

(9) 鲜肉中 Ag⁺ 迁移的测定:A 组和 B 组贮藏 7 d 后,将各托盘中的冷鲜肉称取 10 g 加入到等质量的去离子水中,匀浆后过滤,采用原子吸收光谱仪测定滤液中 Ag⁺ 的浓度。

2 结果与分析

2.1 MMT-Ag 的表征

MMT-Ag 粉末的表面形貌见图 1(a),可看出仍保留了蒙脱土的片层结构,且表面有细小的突出颗粒。图 1(b)为 MMT-Ag 的 X-射线衍射图谱,在 $2\theta = 38.3^\circ, 44.4^\circ, 64.6^\circ, 77.4^\circ$ 和 81.8° 处可观察到 Ag 的特征峰,分别对应于 Ag 的

(111), (200), (220), (311) 和 (222) 面心立方晶格结构^[21]。说明 Ag⁺ 已被多巴胺还原并负载到蒙脱土表面。将不同浓度的 MMT-Ag 分散液加入到大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的培养液中,得到它对 2 种细菌的最低抑菌浓度分别为 31,40 $\mu\text{g}/\text{mL}$,说明 MMT-Ag 对这 2 种革兰氏阴性菌和阳性菌均具有良好的抗菌性。

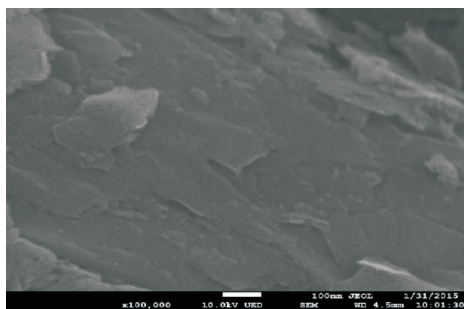
2.2 贮藏期间鲜肉菌落总数的变化

菌落总数是判定冷鲜肉受细菌污染程度的重要指标^[22],GB/T 9959.2—2008《分割鲜冻、猪瘦肉》中明确规定鲜肉的菌落总数不能高于 6.0 lgCFU/g。各组冷鲜肉在贮藏期间菌落总数的增长情况见图 2。鲜肉的初始菌落总数为 4.35 lgCFU/g,为屠宰到销售的过程中被微生物污染所致^[23]。BG 组鲜肉的菌落总数随贮藏时间的延长呈高速增长,至第 4 天超标,而衬垫的应用则显著降低了鲜肉中菌落

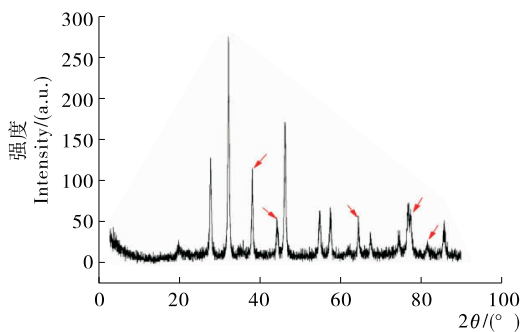
表 1 冷鲜肉的感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standards of chilled meat

指标	色泽	黏度	弹性	气味
一级鲜肉 (7~10)	肌肉有光泽,红色均匀,脂肪洁白	外表微干或微湿润,不黏手	指压后凹陷立即恢复	具有鲜肉正常气味
二级鲜肉 (4~6)	肌肉色稍暗,脂肪缺乏光泽	外表干燥或黏手,新切面湿润	指压后凹陷恢复缓慢且不能完全恢复	有氨味或酸味
变质肉 (0~3)	肌肉无光泽,脂肪呈灰绿色	外表极干燥或黏手,新切面发黏	指压后凹陷不能恢复留有明显痕迹	有臭味



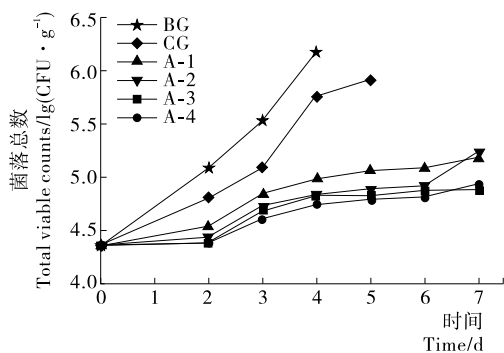
(a) 电镜图



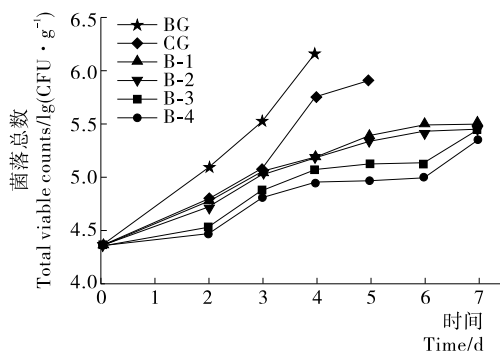
(b) X-射线衍射图谱

图 1 MMT-Ag 粉末的电镜图和 X-射线衍射图谱

Figure 1 SEM images and X-ray diffraction pattern of MMT-Ag powder



(a) A组



(b) B组

图 2 各组冷鲜肉在贮藏过程中菌落总数的变化

Figure 2 Changes in total viable counts of chilled meat in different groups during storage ($n=3$)

总数的增长速度。但CG组在3 d后的增长速度迅速加快,至第5天时已接近限定值。说明普通衬垫吸取了鲜肉溢出的肉汁,可在贮藏前期有效减缓微生物的生长速度,但后期吸收达饱和后,微生物的繁殖仍会显著加快。A组和B组菌落总数的增长速度在整个贮藏期内均低于BG组与CG组,且与MMT-Ag的浓度成反比,说明在衬垫中添加MMT-Ag可起到明显的抗菌作用。当MMT-Ag浓度相同时,B组的菌落总数均高于同期的A组,且从第4天开始出现极显著性差异($P < 0.01$)。但A、B两组的菌落总数在贮藏7 d后均未超标。

2.3 贮藏期间冷鲜肉物化品质的变化

2.3.1 TVB-N值的变化 TVB-N值是评定冷鲜肉新鲜程度的重要依据,GB/T 9959.2—2008《分割鲜冻、猪瘦肉》中明确规定鲜肉TVB-N值 $\leq 15 \text{ mg}/100 \text{ g}$ 。由图3可知,贮藏期间冷鲜肉的TVB-N值均呈持续上升趋势。一方面是由于冷鲜肉在腐败变质的过程中,微生物使蛋白质分解成氨基酸经脱羧作用形成具有挥发性的有机碱,另一方面也与鲜肉的内源性酶有关^[24]。BG组的TVB-N值在第4天已接近 $15 \text{ mg}/100 \text{ g}$,CG组在第5天超过此限度,说明普通衬垫对鲜肉的TVB-N值增长无显著抑制作用。而A组和B组的TVB-N值从贮藏第2天起均极显著低于同期BG组的($P < 0.01$),且随衬垫中MMT-Ag浓度的升高而降低。但MMT-Ag浓度相同的B组与A组间无显著性差异($P > 0.05$),A-4和B-4组均在第7天才超过限度。说明玉米苞叶的应用不会显著影响抗菌衬垫对鲜肉TVB-N值增长的抑制效果。结

合菌落总数的结果,可得出BG组和CG组的货架期仅为3 d,而A-4组和B-4组均可达到6 d。

2.3.2 TBARS值的变化 动物油脂中不饱和脂肪酸易在光、热、催化剂和脂肪酶的作用下生成过氧化物,并进一步分解成醛、酮等,使鲜肉产生异味。因此,指示脂肪酸败程度的TBARS值是判定鲜肉脂肪氧化度和安全性的重要指标,其临界值一般为 $0.5 \text{ mg}/\text{kg}$ ^[25]。由图4可知,BG组的TBARS值在第6天超过临界值。CG组的TBARS值虽然低于同期BG组,但也在第6天超标,说明普通衬垫可在一定程度上减缓TBARS值的增长,但不能有效延长其货架期。A组和B组的TBARS值在贮藏的第3~7天均显著低于BG和CG组($P < 0.05$),且随MMT-Ag浓度的增加而降低。说明衬垫中MMT-Ag的添加也可显著延缓鲜肉的脂肪氧化,可能是具有强力分解蛋白质能力的细菌多数可以产生脂肪酶,从而减缓脂肪氧化^[26]。但MMT-Ag浓度相同时,B组的TBARS值均显著高于A组的($P < 0.05$)。其中,B-4在第7天超标,而A-4此时仍低于临界值,说明添加玉米苞叶隔离层在一定程度上减弱了抗菌衬垫对冷鲜肉脂肪氧化的减缓效果,但不会缩短货架期。

2.3.3 pH值的变化 由表2可知,在贮藏期间BG组的pH值呈先下降后上升的变化趋势。CG组与其类似,但在贮藏1 d后,pH值显著低于BG组。与动物屠宰后在无氧环境下肌糖原酵解产生乳酸,以及微生物分解蛋白质过程中产生有机碱有关^[27]。与BG相和CG组相比,A组和B组的pH值

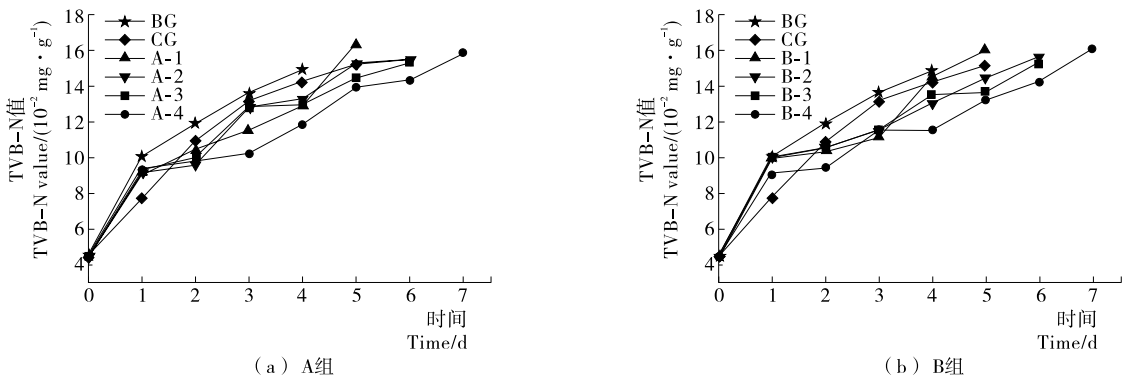


图3 不同处理的冷鲜肉贮藏过程中TVB-N值变化

Figure 3 Changes in TVB-N value of chilled meat in different groups during storage ($n=3$)

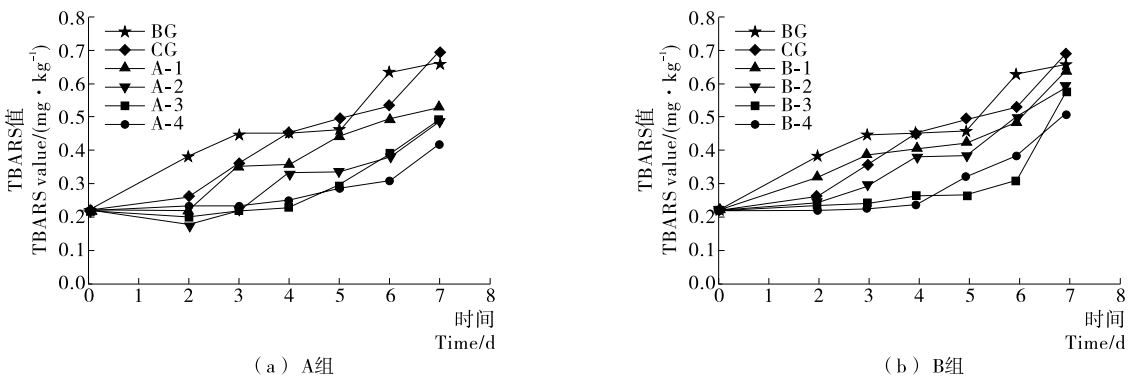


图4 不同处理的冷鲜肉贮藏过程中TBARS值变化

Figure 4 Changes in TBARS value of chilled meat in different groups during storage ($n=3$)

表 2 不同处理的冷鲜肉贮藏过程中 pH 值变化[†]Table 2 Changes in pH value of chilled meat in different groups during storage ($n=3$)

样品组	第 0 天	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天
BG	6.38±0.02	6.16±0.01 ^b	6.36±0.01 ^a	6.33±0.01 ^a	6.47±0.01 ^a	—	—	—
CG	6.38±0.02	6.27±0.01 ^{bc}	6.25±0.01 ^b	6.33±0.01 ^a	6.33±0.01 ^b	6.41±0.01 ^a	—	—
A-1	6.38±0.02	6.26±0.00 ^{cd}	6.01±0.01 ^g	5.85±0.00 ^f	6.11±0.01 ^d	5.97±0.00 ^e	—	—
A-2	6.38±0.02	6.17±0.01 ^g	5.94±0.00 ⁱ	5.72±0.00 ^b	5.98±0.00 ^f	5.97±0.00 ^e	5.94±0.00 ^b	—
A-3	6.38±0.02	6.15±0.00 ^h	5.96±0.01 ^h	5.87±0.00 ^e	5.95±0.00 ^g	5.88±0.01 ^g	5.21±0.01 ^d	—
A-4	6.38±0.02	6.21±0.01 ^f	5.82±0.01 ^j	5.81±0.00 ^g	5.98±0.00 ^f	5.94±0.00 ^f	5.93±0.01 ^c	5.91±0.01 ^b
B-1	6.38±0.02	6.33±0.01 ^a	6.13±0.01 ^f	6.23±0.00 ^b	6.21±0.03 ^b	6.16±0.01 ^b	—	—
B-2	6.38±0.02	6.25±0.01 ^{de}	6.15±0.01 ^e	6.13±0.01 ^d	6.09±0.01 ^c	6.13±0.01 ^c	6.01±0.01 ^a	—
B-3	6.38±0.02	6.28±0.02 ^b	6.17±0.00 ^d	6.14±0.01 ^c	6.11±0.01 ^b	6.15±0.01 ^b	6.00±0.01 ^a	—
B-4	6.38±0.02	6.23±0.01 ^e	6.18±0.00 ^c	6.15±0.00 ^c	6.10±0.01 ^d	6.00±0.01 ^d	5.93±0.01 ^{bc}	6.03±0.01 ^a

† 采用 Duncan's multiple range test 进行数据差异显著性分析($P<0.05$), 同列数据中不同上标字母表示数据间存在显著性差异。

从贮藏第 2 天起显著降低($P<0.05$)。但 A 组的 pH 值在前 3 d 迅速下降至 6 以下后缓慢上升并保持在 5.8~6.0, 而 B 组则持续缓慢下降, 且在贮藏期间均高于 MMT-Ag 含量相同的 A 组。说明抗菌衬垫的应用抑制了微生物的生长繁殖, 有效降低了鲜肉腐败过程中有机碱类含量的增加。使用玉米苞叶隔离层在一定程度上减弱了此效果, 但仍能显著降低鲜肉的 pH 值。

2.3.4 水分含量的变化 鲜肉中水分含量约 70%~80%, 水分越多, 越有利于微生物的生长。由表 3 可知, BG 组的水分含量随贮藏时间的延长略有上升的趋势。而含衬垫的样品组均在第 1 天显著降低, 第 2 天略上升后基本保持不变, 且在整个贮藏期内均低于 BG 组。说明具有高吸水性衬垫可在一定范围内降低鲜肉中的水分含量, 有助于抑制微生物的生长。同时, B 组的水分含量均高于 A 组的, 但各组内基本没有显著性差异($P>0.05$)。

2.3.5 蒸煮损失的变化 鲜肉的保水性对其多汁性、嫩度等感官品质有重要影响, 而蒸煮损失是评定其保水性的方法之一^[28]。由表 4 可知, BG 组的蒸煮损失随贮藏时间的延长而增加。但含衬垫各组样品的蒸煮损失均在贮藏第 1 天显著

降低, 然后缓慢升高至与第 0 天接近, 且在整个贮藏期内均显著低于 BG 组($P<0.05$)。说明衬垫的应用可显著降低鲜肉的蒸煮损失, 提高其保水性。A、B 各组内基本无显著性差异, 但 A 组的蒸煮损失均低于同浓度 B 组的, 说明使用隔离层对鲜肉的保水性有一定影响。

2.4 感官评分的变化

由表 5 可知, 随贮藏时间的延长, BG 组的评分下降最快, 至第 3 天已低于 6, 属于次级鲜肉, 而 CG 组在第 5 天降为次级。A 组和 B 组的感官评分与 MMT-Ag 浓度呈现正比关系, 并且在贮藏 3 d 后, A 组显著高于 MMT-Ag 浓度相同的 B 组。其中, A-4 和 B-4 分别在第 7 天和第 6 天降为次级鲜肉。

2.5 鲜肉中 Ag⁺ 的检测

目前尚未有标准规定食品包装材料中的银含量, 但根据 WHO 最新发布《世界卫生组织饮用水质量指导标准》第 4 版, Ag⁺ 浓度低于 0.1 mg/L 的饮用水不会对人体造成危害。A 组和 B 组样品的浸泡液中均未检出 Ag⁺, 而 AAS 对 Ag⁺ 的检测限为 0.05 mg/L, 说明采用该包装的鲜肉中 Ag⁺ 的迁移量低于 0.1 mg/L, 低于安全阈值。

表 3 不同处理的冷鲜肉贮藏过程中水分含量变化[†]Table 3 Changes in moisture content of chilled meat in different groups during storage ($n=3$)

样品组	第 0 天	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天
BG	72.44±0.34	72.65±0.16 ^a	74.36±0.05 ^a	73.71±0.46 ^a	74.50±0.04 ^a	72.49±0.05 ^a	75.85±0.13 ^a	73.48±0.09 ^a
CG	72.44±0.34	69.70±0.15 ^{ab}	72.38±0.12 ^b	70.42±0.10 ^{ab}	69.80±0.16 ^{ab}	69.38±0.03 ^c	72.57±0.07 ^b	69.41±0.30 ^c
A-1	72.44±0.34	68.26±0.20 ^b	71.79±0.07 ^b	67.38±0.09 ^b	70.06±0.19 ^{ab}	69.73±0.07 ^c	73.54±0.03 ^{ab}	70.55±0.03 ^{bc}
A-2	72.44±0.34	67.91±0.04 ^b	72.43±0.09 ^b	67.96±0.20 ^b	71.74±0.05 ^{ab}	71.00±0.08 ^{abc}	71.79±0.14 ^b	71.03±0.07 ^{abc}
A-3	72.44±0.34	69.12±0.32 ^{ab}	72.62±0.03 ^b	67.35±0.28 ^b	70.95±0.11 ^{ab}	70.71±0.03 ^{bc}	72.30±0.41 ^b	72.66±0.34 ^{abc}
A-4	72.44±0.34	67.95±0.13 ^b	72.25±0.06 ^b	70.36±0.08 ^{ab}	71.24±0.06 ^{ab}	71.79±0.18 ^{ab}	72.35±0.07 ^b	70.15±0.07 ^{bc}
B-1	72.44±0.34	70.83±0.11 ^{ab}	72.30±0.07 ^b	68.20±0.18 ^b	74.46±0.06 ^a	72.17±0.09 ^{ab}	73.11±0.05 ^{ab}	72.32±0.06 ^{ab}
B-2	72.44±0.34	70.06±0.10 ^{ab}	72.78±0.13 ^b	67.30±0.24 ^b	66.71±0.10 ^b	72.54±0.06 ^a	73.79±0.07 ^{ab}	70.20±0.04 ^{bc}
B-3	72.44±0.34	70.49±0.15 ^{ab}	72.84±0.12 ^b	69.24±0.26 ^b	72.32±0.11 ^{ab}	72.22±0.03 ^{ab}	74.08±0.04 ^{ab}	70.29±0.16 ^{bc}
B-4	72.44±0.34	68.53±0.32 ^b	73.29±0.05 ^{ab}	70.09±0.08 ^{ab}	72.31±0.17 ^{ab}	71.63±0.14 ^{ab}	73.52±0.09 ^{ab}	73.07±0.14 ^a

† 采用 Duncan's multiple range test 进行数据差异显著性分析($P<0.05$), 同列数据中不同上标字母表示数据间存在显著性差异。

表4 不同处理的冷鲜肉贮藏过程中蒸煮损失变化[†]

Table 4 Changes in cooking loss of chilled meat in different groups during storage (n=3)

样品组	第0天	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	第6天	第7天
BG	37.11±0.10	40.70±0.07 ^a	40.56±0.27 ^a	41.40±0.13 ^a	45.01±0.22 ^a	39.85±0.28 ^a	43.50±0.10 ^a	44.89±0.25 ^a
CG	37.11±0.10	31.30±0.20 ^{cd}	28.20±0.19 ^c	32.64±0.21 ^{bcd}	32.72±0.21 ^e	27.71±0.10 ^c	23.81±0.27 ^d	33.01±0.33 ^{cd}
A-1	37.11±0.10	33.99±0.24 ^{bcd}	32.84±0.23 ^{bc}	31.36±0.28 ^{cd}	33.84±0.24 ^{de}	30.89±0.20 ^{bc}	27.69±0.25 ^{cd}	34.77±0.19 ^{de}
A-2	37.11±0.10	30.50±0.26 ^d	30.69±0.07 ^c	32.14±0.12 ^{cd}	34.17±0.28 ^{cde}	30.75±0.40 ^{bc}	30.53±0.39 ^{bc}	30.90±0.01 ^f
A-3	37.11±0.10	31.64±0.16 ^{cd}	31.23±0.16 ^c	30.46±0.14 ^d	34.32±0.02 ^{cde}	28.71±0.53 ^{bc}	30.29±0.10 ^{bc}	31.03±0.33 ^f
A-4	37.11±0.10	31.02±0.32 ^{cd}	29.04±0.28 ^c	31.72±0.10 ^{cd}	37.59±0.12 ^{bcd}	32.98±0.45 ^{bc}	28.06±0.33 ^{cd}	36.36±0.13 ^{cd}
B-1	37.11±0.10	34.64±0.20 ^{bcd}	33.32±0.23 ^{bc}	31.52±0.03 ^{cd}	38.02±0.38 ^{bc}	33.52±0.22 ^{bc}	33.21±0.05 ^b	37.16±0.09 ^{bcd}
B-2	37.11±0.10	31.31±0.32 ^{cd}	39.18±0.10 ^{ab}	34.09±0.11 ^{bc}	34.49±0.20 ^{cde}	31.92±0.46 ^{bc}	33.22±0.39 ^b	33.86±0.24 ^{def}
B-3	37.11±0.10	36.06±0.19 ^b	34.43±0.11 ^{abc}	35.59±0.10 ^b	38.98±0.12 ^b	33.91±0.14 ^{bc}	32.25±0.29 ^{bc}	38.82±0.09 ^{bc}
B-4	37.11±0.10	35.04±0.11 ^{bc}	33.91±0.33 ^{abc}	34.45±0.24 ^{bc}	36.43±0.16 ^{bcd}	34.23±0.24 ^{ab}	33.35±0.34 ^b	39.74±0.21 ^b

[†] 采用 Duncan's multiple range test 进行数据差异显著性分析(P<0.05), 同列数据中不同上标字母表示数据间存在显著性差异。

表5 不同处理的冷鲜肉贮藏过程中感官评分的变化[†]

Table 5 Changes in sensory evaluation scores of chilled meat in different groups during storage (n=3)

样品组	第0天	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	第6天	第7天
BG	9.90±0.07	7.80±0.30 ^f	6.47±0.25 ^f	5.63±0.12 ^f	4.93±0.31 ^g	3.97±0.35 ^f	2.57±0.21 ^h	1.30±0.20 ^f
CG	9.90±0.07	8.33±0.15 ^e	6.90±0.36 ^e	6.60±0.10 ^e	6.23±0.15 ^d	4.87±0.12 ^e	4.27±0.25 ^g	2.97±0.06 ^e
A-1	9.90±0.07	9.10±0.10 ^{abc}	7.37±0.12 ^d	7.00±0.20 ^d	6.33±0.15 ^{cd}	5.40±0.10 ^d	4.93±0.21 ^{de}	3.60±0.26 ^d
A-2	9.90±0.07	9.07±0.12 ^{bcd}	8.03±0.15 ^{ab}	7.37±0.15 ^{bc}	6.57±0.12 ^c	5.93±0.21 ^c	5.07±0.21 ^{cde}	4.13±0.32 ^{bc}
A-3	9.90±0.07	9.37±0.15 ^{ab}	8.23±0.21 ^{ab}	7.57±0.12 ^{ab}	6.87±0.15 ^b	6.07±0.31 ^{bc}	5.53±0.06 ^b	4.77±0.25 ^a
A-4	9.90±0.07	9.43±0.06 ^a	8.37±0.12 ^a	7.83±0.15 ^a	7.17±0.15 ^a	6.67±0.29 ^a	6.03±0.06 ^a	5.03±0.15 ^a
B-1	9.90±0.07	8.73±0.25 ^d	7.27±0.25 ^d	6.77±0.25 ^{de}	5.53±0.15 ^f	4.87±0.12 ^e	4.43±0.15 ^{fg}	3.77±0.25 ^{cd}
B-2	9.90±0.07	8.80±0.20 ^{cd}	7.60±0.10 ^{cd}	7.07±0.21 ^{cd}	5.87±0.15 ^e	5.33±0.06 ^d	4.73±0.25 ^{ef}	3.97±0.25 ^{bcd}
B-3	9.90±0.07	9.07±0.21 ^{bcd}	7.87±0.15 ^{bc}	7.33±0.31 ^{bc}	6.37±0.12 ^{cd}	5.90±0.10 ^c	5.20±0.26 ^{bcd}	4.37±0.21 ^b
B-4	9.90±0.07	9.13±0.15 ^{abc}	8.10±0.17 ^{ab}	7.53±0.15 ^{ab}	6.97±0.06 ^{ab}	6.40±0.10 ^{ab}	5.47±0.45 ^{bc}	4.80±0.17 ^a

[†] 采用 Duncan's multiple range test 进行数据差异显著性分析(P<0.05), 同列数据中不同上标字母表示数据间存在显著性差异。

3 结论

将添加了 MMT-Ag 的壳聚糖/羧甲基纤维素钠复合衬垫用于冷鲜肉的保鲜包装,一方面可吸收鲜肉中溢出的肉汁,另一方面可释放 Ag⁺ 起到抗菌的作用。因此,该衬垫在鲜肉包装中的使用可有效抑制鲜肉中微生物的生长,提高其物化指标,并改善其外观品质。当 MMT-Ag 浓度为 10% 时,该衬垫的使用可将冷鲜肉的货架期由 3 d 延长至 6 d。玉米苞叶隔离层的使用虽然会在一定程度上影响衬垫抗菌性的发挥,但对鲜肉货架期无显著影响,且可有效防止衬垫中高分子物质黏附于鲜肉表面,提高消费者的接受度。综上所述,采用含 10% MMT-Ag 的复合衬垫并以玉米苞叶为隔离层,可显著延长冷鲜肉的货架期,提高其感官品质,对冷鲜肉的发展具有良好的推动作用。

参考文献

[1] 吴慧清, 吴清平, 张菊梅, 等. 壳聚糖复合防腐剂对新鲜猪肉冷藏的保鲜效果[J]. 食品与机械, 2012, 28(3): 211-213.
 [2] 夏秀芳, 孔保华, 于长青. 几种天然香料提取物延长冷却肉货架期的研究[J]. 食品与机械, 2008, 24(3): 55-59.
 [3] 荆红影. 猪肉超冰温保鲜技术研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2015: 1-2.
 [4] LI Cheng-liang, HE Li-chao, JIN Guo-feng, et al. Effect of different irradiation dose treatment on the lipid oxidation, instru-

mental color and volatiles of fresh pork and their changes during storage[J]. Meat Science, 2017, 128: 68-76.
 [5] SABLIOV C M, BOLDOR D, CORONEL P, et al. Continuous microwave processing of peanut beverages[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2008, 32(6): 935-945.
 [6] 段虎, 王祎娟, 马汉军. 超高压处理对肉及肉制品食用品质的影响[J]. 食品与机械, 2011, 27(1): 151-154.
 [7] 袁璐, 高峰, 周光宏. 高氧气调包装和真空包装对冷鲜肉贮藏过程中保水性和脂质氧化的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 307-311.
 [8] ARAUJO S R X, CAMPOS J K F, FRANCO R M, et al. Sodium lactate, nisin and their combination in the shelf life of pork sausage vacuum packed and stored at 4 degrees C[J]. Ciencia Rural, 2014, 44(4): 746-751.
 [9] MOUDACHE M, NERIN C, COLON M, et al. Antioxidant effect of an innovative active plastic film containing olive leaves extract on fresh pork meat and its evaluation by Raman spectroscopy[J]. Food Chemistry, 2017, 229: 98-103.
 [10] JIANG Jiang, XIONG You-ling. Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review[J]. Meat Science, 2016, 120: 107-117.
 [11] HU Jing, WANG Xu-ge, XIAO Zuo-bing, et al. Effect of chitosan nanoparticles loaded with cinnamon essential oil on the quality of chilled pork[J]. Lwt-Food Science and Technology,

- 2015, 63(1): 519-526.
- [12] COMA V. Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products[J]. *Meat Science*, 2008, 78(1/2): 90-103.
- [13] OTONI C G, ESPITIA P J P, AVENA-BUSTILLOS R J, et al. Trends in antimicrobial food packaging systems: Emitting sachets and absorbent pads[J]. *Food Research International*, 2016, 83: 60-73.
- [14] DEHNAD D, MIRZAEI H, EMAM-DJOMEH Z, et al. Thermal and antimicrobial properties of chitosan-nanocellulose films for extending shelf life of ground meat[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 109: 148-154.
- [15] 谭英. 钛表面聚多巴胺-纳米银复合膜层的构建及抗菌性能研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2014: 3-4.
- [16] MARAMBIO J C, HOEK E M V. A review of the antibacterial effects of silver nanomaterials and potential implications for human health and the environment[J]. *Journal of Nanoparticle Research*, 2010, 12(5): 1 531-1 551.
- [17] 莫名月, 李国明. 壳聚糖及壳聚糖-羧甲基纤维素钠复合囊材的体外降解性能研究[J]. *广东化工*, 2009, 36(6): 50-51, 254.
- [18] 卢唱唱, 许琦扬, 徐丹. 蒙脱土对纤维素基吸湿衬垫结构与性能的影响[J]. *包装工程*, 2016, 37(11): 6-10.
- [19] 许琦扬, 秦海容, 郭凡, 等. 茶多酚复合衬垫的性能及其对鲜肉的保鲜效果[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(1): 246-251.
- [20] KIM G D, JUNG E Y, LIM H J, et al. Influence of meat exudates on the quality characteristics of fresh and freeze-thawed pork[J]. *Meat Science*, 2013, 95(2): 323-329.
- [21] JIANG Yi, LU Yong-lai, ZHANG Li-qun, et al. Preparation and characterization of silver nanoparticles immobilized on multi-walled carbon nanotubes by poly(dopamine) functionalization[J]. *Journal of Nanoparticle Research*, 2012, 14(6): 1-10.
- [22] WANG Dan-feng, WANG Xi-chang, LIU Tai-ang, et al. Prediction of total viable counts on chilled pork using an electronic nose combined with support vector machine[J]. *Meat Science*, 2012, 90(2): 373-377.
- [23] NYCHAS G J E, SKANDAMIS P N, TASSOU C C, et al. Meat spoilage during distribution[J]. *Meat Science*, 2008, 78(1/2): 77-89.
- [24] ZHU Si-chao, LUO Yong-kang, HONG Hui, et al. Correlation between electrical conductivity of the gutted fish body and the quality of bighead carp (*aristichthys nobilis*) heads stored at 0 and 3 °C[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2013, 6(11): 3 068-3 075.
- [25] 马丽珍, 南庆贤, 戴瑞彤. 不同气调包装方式对冷却猪肉在冷藏过程中的理化及感官特性的影响[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(3): 156-160.
- [26] 孔宝华, 韩建春. 肉品科学与技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011: 122-123.
- [27] MUELA E, SANUDO C, CAMPO M M, et al. Effect of freezing method and frozen storage duration on instrumental quality of lamb throughout display[J]. *Meat Science*, 2010, 84(4): 662-669.
- [28] 魏心如, 赵颖, 韩敏义, 等. 冷却鸡肉保水性评定指标标准化及其与肉色、嫩度和 pH_{24h}相关性研究[J]. *食品科学*, 2014, 35(21): 50-56.

(上接第 63 页)

- [8] 李水芳, 单杨. 近红外透反射光谱用于检测蜂蜜加入麦芽糖浆掺假[J]. *食品科技*, 2010, 32(12): 299-303.
- [9] 王青云, 王越. 酶解法测定多种糖混合体系中海藻糖的含量[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(6): 329-333.
- [10] CHEN Jia, ZHU Shi-pin. Rapid determination of total protein and wet gluten in commercial wheat flour using siSVR-NIR[J]. *Food Chemistry*, 2017, 221: 1 939-1 946.
- [11] 公丽艳, 孟宪军. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(13): 276-283.
- [12] 林海明, 张文霖. 主成分分析与因子分析的异同和 SPSS 软件: 兼与刘玉玫、卢纹岱等同志商榷[J]. *统计研究*, 2005(3): 65-68.
- [13] 李硕, 汪善勤. 基于可见-近红外光谱比较主成分回归、偏最小二乘回归和反向传播神经网络对土壤氮的预测研究[J]. *光学学报*, 2012, 32(8): 1-5.
- [14] 陈大伟, 闫绍, 刘昊岩. SVD 系列算法在评分预测中的过拟合现象[J]. *山东大学学报: 工学版*, 2014, 44(3): 15-21.

(上接第 67 页)

- [8] 姚敬, 黄伟雄, 李少霞, 等. 小麦粉制品中氨基脲的检测及与偶氮甲酰胺的转化规律研究[J]. *中国卫生检验杂志*, 2016(18): 2 600-2 602.
- [9] 向露. 面粉及其制品中偶氮甲酰胺、氨基脲检测方法及偶氮甲酰胺降解规律研究[D]. 重庆: 重庆医科大学, 2014: 2-30.
- [10] 刘莎, 郭晓娜, 刘刚, 等. 基于蛋白交联探究偶氮甲酰胺对馒头品质影响的机理[J]. *食品与机械*, 2016, 32(4): 9-13.
- [11] 周启明, 向露, 王俊苏, 等. 液相色谱-串联质谱研究面粉及其制品中偶氮甲酰胺降解规律及氨基脲污染水平[J]. *分析试验室*, 2014(7): 782-786.
- [12] 王雅. 面粉及制品中偶氮甲酰胺、联二脲的液相色谱串联质谱检测技术及应用研究[D]. 重庆: 重庆医科大学, 2014: 2-20.
- [13] 阮莎莎, 刘桂华, 刘素纯, 等. 同位素稀释高效液相色谱-串联质谱法测定面粉及面制品中的联二脲[J]. *分析测试学报*, 2016, 35(4): 420-425.
- [14] YUAN Li-hong, DING Hong-liu, CHEN Ying, et al. HPLC-MS/MS analysis of biurea metabolized by flour additive azodicarbonamide [J]. *Science & Technology of Food Industry*, 2013, 34(10): 73-76.
- [15] MULDER P P J, BEUMER B, RHIJN J A V. The determination of biurea: A novel method to discriminate between nitrofurazone and azodicarbonamide use in food products [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2007, 586(1/2): 366-373.
- [16] 王雅, 王俊苏, 向露, 等. 液相色谱-串联质谱法测定面粉及其制品中的联二脲[J]. *色谱*, 2014(5): 513-518.
- [17] NOONAN G O, BEGLEY T H, DIACHENKO G W, et al. Semicarbazide formation in flour and bread[J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2008, 56(6): 2 064-2 067.
- [18] GAN Heng-hui, YAN Bing-nan, LINFORTH Robert S T, et al. Development and validation of an APCI-MS/GC-MS approach for the classification and prediction of Cheddar cheese maturity. [J]. *Food Chemistry*, 2016, 190(7): 442-447.
- [19] 宣宇. LC/APCI/MS 对粉尘和水样中单质炸药的分析及应用研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2012: 1-15.