

DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20210206

柚子皮挥发性物质对冷藏南美白对虾货架期的影响

刘婧婧¹, 邸珍涛¹, 马莉¹, 衣丽霞¹, 张群², 徐仰仓¹

(1. 天津科技大学海洋与环境学院, 天津 300457; 2. 北京华电阳光环保工程研究院, 北京 100094)

摘要: 研究柚子皮挥发性物质对冷藏南美白对虾的保鲜效果. 用柚子皮无接触包裹南美白对虾, (4±1)℃冷藏, 定期对冷藏期间南美白对虾的感官评价、气味、挥发性盐基氮含量、菌落总数、挥发性物质等鲜度指标进行测定. 结果表明: 柚子皮挥发性物质显著抑制了冷藏过程中南美白对虾挥发性盐基氮含量和菌落总数的增长速率, 延缓了南美白对虾感官品质的下降, 抑制了三甲胺、吲哚等腥臭化合物的产生. 由此得出结论, 柚子皮挥发性物质能够延长冷藏南美白对虾的货架期.

关键词: 柚子皮; 挥发性物质; 冷藏; 南美白对虾; 保鲜

中图分类号: TS254.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(2022)04-0016-07

Effects of Volatile Compounds from Pomelo Peel on Shelf Life of Refrigerated *Penaeus vannamei*

LIU Jingjing¹, DI Zhentao¹, MA Li¹, YI Lixia¹, ZHANG Qun², XU Yangcang¹

(1. College of Marine and Environmental Sciences, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China;

2. Beijing Huadian Sunshine Environmental Protection Engineering Research Institute, Beijing 100094, China)

Abstract: The preservation effect of volatile compounds from pomelo peel on refrigerated *Penaeus vannamei* was studied. The shrimp was wrapped in pomelo peel without contact and stored at (4±1) °C. The indexes of sensory evaluation, odor, content of total volatile base nitrogen (TVB-N), aerobic plate count, and volatile compounds of *Penaeus vannamei* during refrigeration period were regularly measured. The results showed that volatile compounds from pomelo peel significantly inhibited the rise of TVB-N content and aerobic plate count, delayed the decline of sensory quality, and inhibited the production of fishy compounds such as trimethylamine and indole. It is therefore concluded that volatile compounds from pomelo peel can prolong the shelf life of refrigerated *Penaeus vannamei*.

Key words: pomelo peel; volatile compounds; refrigeration; *Penaeus vannamei*; fresh keeping

南美白对虾(*Penaeus vannamei*)学名为凡纳滨对虾,其肉质鲜美、富含蛋白质和微量元素^[1],受到人们的广泛喜爱;但南美白对虾在捕捞及售卖的过程中极易腐败变质,影响了其营养价值和商业价值^[2].对虾常用的保鲜手段有低温冷藏保鲜、化学保鲜、生物保鲜、辐照保鲜、气调保鲜等^[3].气调保鲜是将食品存储在一定比例的气体环境中,抑制细菌的增殖,从而延长其贮藏时间.目前,采用的气体主要有O₂、N₂、CO₂^[4].柚子皮含有多种挥发性物质,如柠檬烯、月桂烯等.柠檬烯可以显著抑制革兰氏阴性细菌和革兰

氏阳性细菌以及真菌的活性^[5].鉴于此,本文拟研究柚子皮挥发性物质对南美白对虾的保鲜效果,进而为柚子皮挥发性物质应用于水产品的气调保鲜提供理论基础.

1 材料与方法

1.1 实验原料与仪器

南美白对虾购买于天津北塘海鲜市场,柚子皮为福建琯溪蜜柚果皮.

收稿日期: 2021-10-19; 修回日期: 2022-01-16

作者简介: 刘婧婧(1996—),女,内蒙古赤峰人,硕士研究生;通信作者: 徐仰仓,教授, xuyc@tust.edu.cn

GCMS-QP2010 Ultra 型气相色谱-质谱联用仪,日本岛津公司;PEN3型电子鼻,德国AIRSENSE公司;Kjeltec 8400型全自动凯氏定氮仪,丹麦FOSS公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理

将从市场购买的鲜活南美白对虾在实验室加冰猝死,清水洗净后,随机分为两组,即对照组和实验组。两组实验样品的处理过程如图1所示。对照组对虾装于带孔的不锈钢球中,再放入不透光自封袋中密封。实验组对虾装于带孔的不锈钢球中,再用鲜柚子皮将钢球包裹后放入不透光自封袋中密封,对虾与鲜柚子皮质量比为4:1。所有样品均置于 $(4 \pm 1)^\circ\text{C}$ 冰箱冷藏。

1.2.2 感官评价

感官评价过程参照吴亮亮^[6]的方法,但稍加修改。由10人分别对样品的气味、外观和肉质3个方面进行评定,把3项的总分相加得到总的评定分数,总分数为3~18。评价细节见表1。

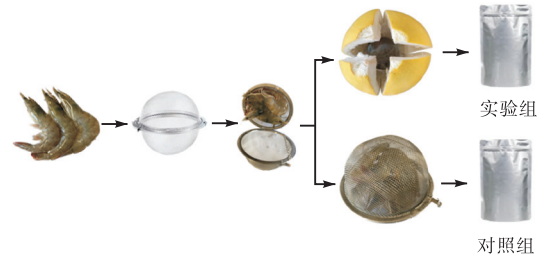


图1 不同样品的处理过程

Fig. 1 Treatment process of different samples

表1 南美白对虾感官评价细节

Tab. 1 Sensory evaluation details for *Penaeus vannamei*

分数	气味	外观	肉质
6	具有对虾的特征性气味	虾体完整,虾头与虾体紧密连接,具有青绿色特征色泽	肌肉具有弹性,肉与壳连接紧密
5	轻微的对虾自身气味	虾头与虾体仍然结合,对虾的青绿色色泽有所褪去	肌肉略有弹性,不变色,肉与壳连接松弛
4	对虾自身气味消失,无异味	虾头松弛,头部开始黑变(主要是在头壳部位),躯体偶见黑色斑点,青绿色特征色泽褪去	肌肉弹性较差,肉与壳连接较松弛
3	出现轻微腥臭味	虾头从虾体轻微脱落,头部黑变严重,躯干和尾部明显变暗	肌肉弹性差,肉与壳连接松弛
2	氨味,较强的尿素味	虾头基本从虾体脱落,头部几乎完全黑变,躯干和尾部也开始黑变	肌肉组织松弛,肉质发黄
1	强烈的硫化氢味,臭味很重	虾头完全从虾体脱落,头部完全黑变,躯干和尾部严重黑变	壳易剥离,肌肉呈糊状

1.2.3 气味测定方法

称取2.0g虾肉置于25mL的顶空瓶中,通过电子鼻采用直接顶空吸气法进行测定。

测定条件:样品进样流量400mL/min,载气流量400mL/min,清洗时间60s,检测时间120s。电子鼻传感器对不同物质的响应类型见表2^[7]。

表2 电子鼻传感器对不同物质的响应类型

Tab. 2 Types of responses of electronic nose sensors to different substances

阵列序号	传感器名称	性能描述	阵列序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	对芳香成分灵敏	6	W1S	对甲烷灵敏
2	W5S	灵敏度大,对氮氧化物很敏感	7	W1W	对无机硫化物灵敏
3	W3C	对氨水、芳香成分灵敏	8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
4	W6S	对氢化物有选择性	9	W2W	对有机硫化物灵敏
5	W5C	对烷烃、芳香成分灵敏	10	W3S	对长链烷烃灵敏

1.2.4 挥发性盐基氮(TVB-N)含量的测定

将10.0g虾肉均质后,添加0.6mol/L的高氯酸溶液至总体积为40mL,混匀。过滤混合液后取上清液,参照Kjeltec 8400型全自动凯氏定氮仪使用说明中测定肉类产品TVB-N含量的方法进行测定。所有样品均重复实验3次。

1.2.5 菌落总数的测定

参照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》^[8]中菌落总数的测定方法进行菌落总数的测定。在无菌工作台上进行操作,取5.0g虾肉,加入45mL无菌生理盐水,均质20min后,从中吸取0.1mL样品液并与无菌生理盐

水混匀,依次制成 1 : 10、1 : 100 等样品均液. 取适宜稀释度样品均液 0.1 mL 置于营养琼脂培养基上, (34 ± 1) °C 培养 24 h 后计数.

1.2.6 挥发性物质的测定

称取 2.0 g 样品放入 25 mL 的顶空瓶内,采用气相色谱-质谱联用仪进行测定.

色谱条件: Rtx-5MS 色谱柱 (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm); 载气为纯度 99.99% 的氦气,载气流量 1 mL/min,分流比 5 : 1;程序升温的初始温度 40 °C,保持 3 min,以 4 °C/min 升温至 150 °C,保持 1 min,以 8 °C/min 升温至 250 °C,保持 6 min;进样口温度 250 °C.

质谱条件:传输线温度 280 °C,质量分析器为离子阱,离子阱温度 220 °C;扫描方式为全扫描,扫描范围为质荷比 43 ~ 500.

1.3 数据处理

采用 SPSS 25.0 进行数据处理,挥发性物质利用 NIST11 和 NIST11S 谱图库数据处理系统按峰面积归一化法进行定量分析,选择匹配度 > 70 的物质求得各化学成分在样品挥发性物质中的相对含量.

2 结果与讨论

2.1 柚子皮挥发性物质对南美白对虾感官评分的影响

对虾在冷藏期间,由于酶的作用和微生物的滋生,其气味、色泽和肉质等发生了变化,致使对虾的品质下降. 感官评价是评价水产品腐败变质程度的方法之一,两组样品在不同冷藏时间下的感官评价结果如图 2 所示.

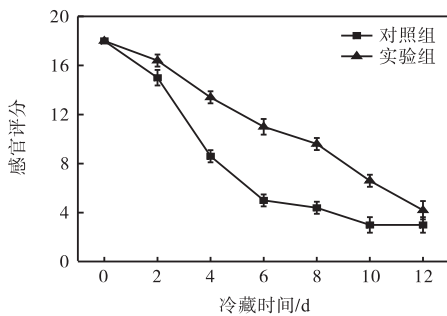


图 2 感官评价结果 Fig. 2 Result of sensory evaluation

不论是对照组还是实验组,对虾的感官评分均随着冷藏时间的延长而下降 (P < 0.01), 实验组感官评分的下降幅度显著小于对照组 (P < 0.05). 新鲜的南美白对虾感官评分为满分 18 分,具有对虾的固有气味,体色青绿色,虾头与虾身连接紧密,肌肉有弹

性. 对照组在第 4 天时虾体出现异味,到第 6 天时有较强的尿素味,臭味很重,肌肉弹性变差,感官评分为 6 分,基本已不可接受. 实验组到第 6 天时还具有对虾固有的气味,体表有光泽,感官评分为 11 分. 冷藏到第 8 天时,实验组虾头出现黑变,对虾本身的青绿色色泽稍有褪去,肉质微微变软,第 10 天时,实验组对虾没有异味,虾头虾尾均出现黑变情况,虾身仍具有弹性,感官评分在 7 分左右,可见柚子皮对肉质变软有一定的减缓作用. 冷藏到第 12 天时,对照组对虾体表均已变黑变红,具有强烈的硫化氢气味,头身分离严重,已完全不可食用;此时,实验组头身连接松弛,外壳变软,稍有异味,感官评分下降到 4 分,也基本不可接受. 柚子皮未与对虾直接接触,因此,改变对虾感官品质的化学物质应该是挥发性物质,不过柚子皮的物理吸附也可能影响对虾的感官品质. 从感官指标来看,柚子皮延缓了对虾感官品质的下降,具有延长南美白对虾货架期的功能.

2.2 柚子皮挥发性物质对南美白对虾气味的影响

为了进一步验证柚子皮对南美白对虾感官品质的影响,采用 PEN3 型电子鼻分析了对虾冷藏期间气味的变化,结果如图 3 所示.

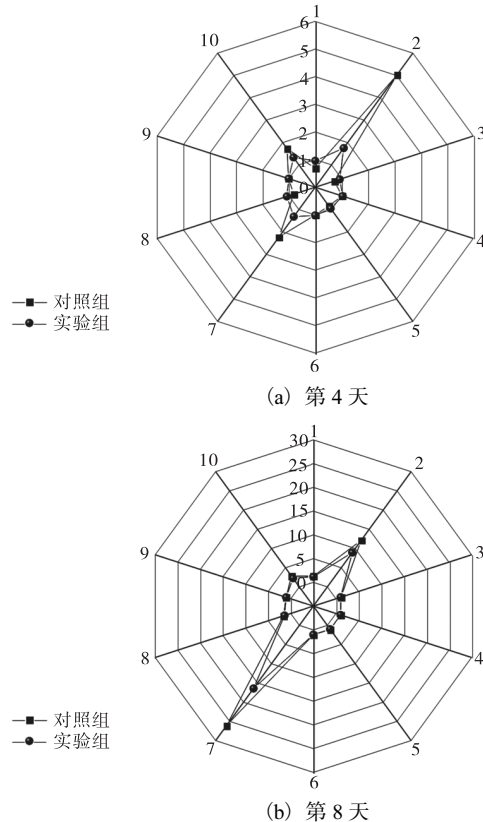


图 3 南美白对虾气味的传感器响应雷达成图 Fig. 3 Sensor response radar diagram of odor in Penaeus vannamei

PEN3 型电子鼻内有 10 个传感器,不同的传感器对不同化合物的敏感度不同. 冷藏第 4 天时对照组在传感器 2 和传感器 7 上的响应值均大于实验组, 传感器 2 对氮氧化物灵敏, 传感器 7 对硫化物灵敏, 说明此时对照组中累积了较多的氮氧化物和硫化物. 冷藏第 8 天时, 上述现象仍然存在. 南美白对虾气味的主成分分析结果如图 4 所示.

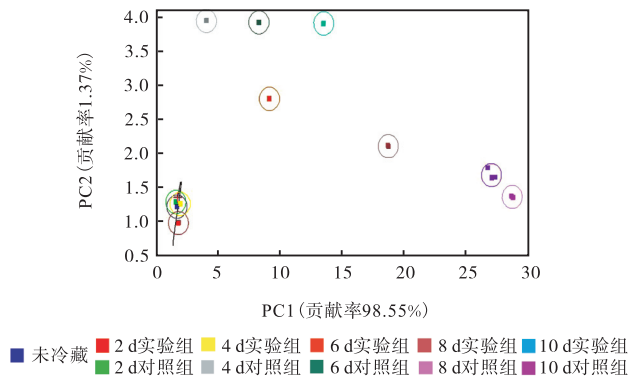


图 4 南美白对虾气味的主成分分析结果

Fig. 4 PCA results of odor of *Penaeus vannamei*

图 4 表明, 第 4 天的实验组对虾与新鲜对虾图像

表 3 冷藏期间柚子皮及南美白对虾主要挥发性物质的名称及相对含量

Tab. 3 Names and relative contents of main volatile substances in pomelo peel and *Penaeus vannamei* during refrigeration

组别	物质及相对含量
鲜柚子皮	(+)-柠檬烯, (19.15 ± 0.66)% ; β-蒎烯, (11.54 ± 0.09)% ; 佛术烯, (6.63 ± 0.09)% ; 橙花醇, (5.95 ± 0.03)% ; 香叶醇, (4.99 ± 0.05)% ; 圆柚酮, (4.78 ± 0.06)% ; (E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛, (2.97 ± 0.03)% ; 杜松脑, (2.90 ± 0.01)% ; β-榄香烯, (2.46 ± 0.01)% ; 芳樟醇, (2.40 ± 0.02)%
对照组 (4 d)	十六醛, (46.52 ± 1.86)% ; 三甲胺, (20.90 ± 0.84)% ; 十五醛, (6.79 ± 0.27)% ; (+)-柠檬烯, (2.68 ± 0.11)% ; 萘, (2.03 ± 0.08)% ; 异辛醇, (1.99 ± 0.08)% ; (Z)-9-十六碳烯醛, (1.88 ± 0.07)% ; 肉豆蔻醛, (1.71 ± 0.07)% ; 酞酸二甲酯, (0.93 ± 0.04)% ; 月桂烯, (0.80 ± 0.03)%
实验组 (4 d)	(+)-柠檬烯, (51.78 ± 2.07)% ; β-蒎烯, (36.66 ± 1.45)% ; 正己醇, (1.85 ± 0.07)% ; 罗勒烯, (1.05 ± 0.04)% ; 正丁醇, (0.63 ± 0.03)% ; 1-石竹烯, (0.40 ± 0.01)% ; 十五烯, (0.34 ± 0.02)% ; 己基癸醇, (0.30 ± 0.01)% ; 芳樟醇, (0.28 ± 0.01)% ; 左旋香芹酮, (0.28 ± 0.03)%
柚子皮 (4 d)	(+)-柠檬烯, (14.15 ± 0.41)% ; 月桂烯, (8.50 ± 0.29)% ; 圆柚酮, (6.23 ± 0.08)% ; 柠檬醛, (5.29 ± 0.11)% ; 巴伦比亚橘烯, (5.13 ± 0.03)% ; (Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛, (3.91 ± 0.25)% ; 辛酸己酯, (2.59 ± 0.02)% ; 己酸己酯, (2.36 ± 0.09)% ; 正辛酸异丁酯, (2.12 ± 0.14)% ; 芳樟醇, (1.89 ± 0.06)%
对照组 (6 d)	吡啶, (20.83 ± 0.83)% ; 油醇, (18.96 ± 0.76)% ; (+)-柠檬烯, (9.28 ± 0.37)% ; 亚麻酰氯, (7.80 ± 0.31)% ; 1-十五醇, (7.57 ± 0.30)% ; 顺-9-二十三烯, (5.76 ± 0.23)% ; 异戊醇, (4.37 ± 0.17)% ; 月桂烯, (3.41 ± 0.14)% ; 2-壬酮, (2.33 ± 0.09)% ; 2-氨基-5-甲基苯甲酸, (2.04 ± 0.08)%
实验组 (6 d)	(+)-柠檬烯, (51.11 ± 2.04)% ; β-蒎烯, (34.48 ± 1.36)% ; 异戊醇, (1.92 ± 0.08)% ; 十六醛, (1.41 ± 0.06)% ; 1,13-十四烷二烯, (1.36 ± 0.05)% ; 正己醇, (1.19 ± 0.05)% ; 香树烯, (1.01 ± 0.04)% ; 十三醇, (0.72 ± 0.03)% ; 罗勒烯, (0.64 ± 0.03)% ; 正丁醇, (0.48 ± 0.02)%
柚子皮 (6 d)	(+)-柠檬烯, (32.14 ± 0.92)% ; 月桂烯, (22.83 ± 0.79)% ; β-蒎烯, (5.70 ± 0.06)% ; 柠檬醛, (3.10 ± 0.01)% ; 圆柚酮, (2.83 ± 0.05)% ; (Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛, (2.40 ± 0.01)% ; 巴伦比亚橘烯, (2.27 ± 0.03)% ; 3,7,7-三甲基二环[4.1.0]庚-3-烯, (1.82 ± 0.10)% ; 芳樟醇, (1.50 ± 0.01)% ; α-松油醇, (1.29 ± 0.01)%

对虾冷藏 4 d 时, 挥发性物质的种类和主要化合物均发生了变化. 对照组共检测到 34 种挥发性物质, 其中含量最多的是醛类物质, 共 10 种, 占 58.96%. 含量最多的前 3 种化合物是十六醛

发生重叠, 说明实验组对虾冷藏第 4 天时与新鲜对虾在气味上的差异不明显, 此后随着冷藏时间的延长, 对照组与实验组图像的距离越来越远, 说明它们在气味上的差异越来越明显. 柚子皮抑制了冷藏期间南美白对虾氮氧化物和硫化物的产生, 说明柚子皮挥发性物质具有改善冷藏期间对虾气味的作用.

2.3 柚子皮挥发性物质对南美白对虾挥发性物质的影响

冷藏期间柚子皮及南美白对虾主要挥发性物质的名称及相对含量见表 3. 新鲜柚子皮检测到 110 种挥发性物质, 其中烯烃类最多, 共 30 种, 相对含量为 47.41%. 醇类物质共 25 种, 占 17.24%, 酯类物质共 28 种, 占 4.29%. 含量最多的前 3 种化合物是 (+)-柠檬烯 [(19.15 ± 0.66)%]、β-蒎烯 [(11.54 ± 0.09)%] 和佛术烯 [(6.63 ± 0.09)%]. 新鲜南美白对虾共检测到 10 种挥发性物质, 其中醇类和酮类各 2 种, 酯类和醛类各 1 种, 烃类最多, 共 4 种, 占 78.49%. 由此可见, 植物的挥发性物质种类远多于水产动物的挥发性物质种类.

[(46.52 ± 1.86)%]、三甲胺 [(20.90 ± 0.84)%] 和十五醛 [(6.79 ± 0.27)%], 表明冷藏 4 d 时, 对虾的主要挥发性物质已由烃类变为醛类. 冷藏 4 d 时, 实验组检测到 21 种挥发性物质, 其中烃类物质最多,

共 10 种, 占 90.72%。含量最多的前 3 种化合物是 (+)-柠檬烯 [(51.78 ± 2.07)%]、 β -蒎烯 [(36.66 ± 1.45)%] 和正己醇 [(1.85 ± 0.07)%]。冷藏 4 d 时, 柚子皮中共检出 91 种挥发性物质, 种类最多的物质为醇类(22 种), 其次为酯类和烯炔类(各 21 种), 相对含量最高的物质依旧为烯炔类, 占 42.6%。从挥发性物质的种类及主要挥发性物质的相对含量角度分析, 冷藏 4 d 的实验组对虾与柚子皮比较接近, 而与对照组对虾相差较大。由此说明柚子皮挥发性物质改变了对虾挥发性物质的种类和相对含量。对虾冷藏 6 d 时, 对照组共检测到 32 种挥发性物质, 其中醛类和醇类各 6 种, 酮类 5 种。相对含量最多的是醇类, 占 32.09%。可见对虾的主要挥发性物质又由醛类变为醇类了。冷藏 6 d 时, 实验组检测到 36 种挥发性物质, 其中烯炔类物质最多, 共 10 种, 占 89.4%。含量最多的前 3 种化合物是 (+)-柠檬烯 [(51.11 ± 2.04)%]、 β -蒎烯 [(34.48 ± 1.36)%] 和异戊醇 [(1.92% ± 0.08)%]。冷藏 6 d 时, 柚子皮中共检出 57 种挥发性物质, 含量最多的物质为烯炔类, 共 15 种, 占 42.5%。与冷藏 4 d 的情况相似, 冷藏 6 d 的实验组对虾的挥发性物质与柚子皮挥发性物质比较接近, 而与对照组对虾相差较大。这再一次说明柚子皮挥发性物质改变了对虾挥发性物质的种类和相对含量。

冷藏 4 d 时, 对照组相对含量超过 10% 的化合物有十六醛和三甲胺。三甲胺是一种挥发性非常强的物质, 广泛存在于鱼、虾、蟹体内, 具有鱼腥恶臭味, 是水产品气味的重要来源之一。实验组相对含量超过 10% 的化合物有 (+)-柠檬烯和 β -蒎烯。 (+)-柠檬烯是一种天然的功能单萜, 有类似柠檬的香味, β -蒎烯具有松节油特有的香味。冷藏 6 d 时, 对照组相对含量超过 10% 的化合物有吡啶和油醇。吡啶具有强烈的粪臭味, 扩散力强且持久。实验组相对含量超过 10% 的化合物仍是 (+)-柠檬烯和 β -蒎烯。分析包裹过对虾的柚子皮挥发性物质时, 发现其中含有对虾的挥发性物质癸醛, 但相对含量仅为 0.4% 左右。而柚子皮的挥发性物质 (+)-柠檬烯和 β -蒎烯在对虾挥发性物质中的相对含量分别为 50% 和 30% 左右。由此推测, 柚子皮对对虾的气味有一定的吸附作用, 但作用较小, 改变对虾气味的主要物质应该是柚子皮挥发性物质。柚子皮挥发性物质抑制了冷藏期间南美白对虾腥臭化合物的产生, 降低了三甲胺和吡啶的相对含量, 因此, 它具有延缓对虾冷藏期间感官品质下降的作用。

研究发现柚子皮中含有多种挥发性物质, 如 (+)-柠檬烯、月桂烯、 β -蒎烯、罗勒烯、芳樟醇、香叶醇、壬醛、橙花醛、乙酸乙酯等, 它们大多具有抑菌及其他生理功能^[9], 这可能是柚子皮延缓对虾冷藏期间感官品质下降的化学原因。许多柚子皮挥发性物质具有一定的香味, 如 (+)-柠檬烯具有柠檬的香味, β -蒎烯具有松节油的香味, 月桂烯具有甜橘味和香脂味, 芳樟醇具有铃兰香的香味等, 这些香味对腥臭味具有一定的遮蔽作用^[10], 从而使柚子皮包裹的对虾感官品质和气味好于对照组。这可能是柚子皮延缓对虾冷藏期间感官品质下降的物理原因。

2.4 柚子皮挥发性物质对 TVB-N 含量的影响

如前文所述, 柚子皮挥发性物质明显改善了对虾冷藏期间的感官品质。除感官品质之外, TVB-N 含量也是重要的评价指标之一。TVB-N 是动物性食品在储藏过程中, 由于酶和细菌的作用, 组织中的蛋白质分解而产生的氨以及低级胺类等碱性含氮物质。由图 5 南美白对虾 TVB-N 含量变化可知, 未冷藏的南美白对虾的 TVB-N 含量为 8.9 mg/100 g, 随着冷藏时间的延长, TVB-N 含量不断上升。对照组第 2 天的 TVB-N 含量为 21.3 mg/100 g, 已接近 Ojagh 等^[11]认为的水产品可接受的 TVB-N 含量阈值 (25 mg/100 g), 但还没有达到国家标准中规定的 30 mg/100 g 的阈值^[12], 而实验组的 TVB-N 含量只有 14.1 mg/100 g。冷藏 4 d 时, 对照组的 TVB-N 含量已超过了我国标准中的阈值, 而实验组的 TVB-N 含量为 26.4 mg/100 g, 仍然小于 30 mg/100 g。由此说明柚子皮挥发性物质降低了冷藏南美白对虾 TVB-N 含量。因此, 从 TVB-N 含量的角度分析, 柚子皮挥发性物质也具有延长南美白对虾货架期的功能。

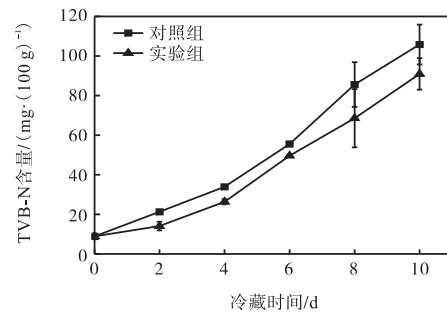


图 5 南美白对虾 TVB-N 含量的变化
Fig. 5 Changes of TVB-N content in *Penaeus vannamei*

2.5 柚子皮挥发性物质对细菌增殖的影响

菌落总数是评价水产品鲜度的另一个重要指标。设样品的菌落总数为 N CFU/g, Mosfer 等^[13]认为

$\lg N$ 不超过 5.0 为一级鲜度,而 $5.0 < \lg N \leq 5.7$ 为二级鲜度,当 $\lg N > 6$ 时,已不能食用,被定为货架期终点.南美白对虾菌落总数的变化如图 6 所示.由图 6 可知,随着冷藏时间的延长菌落总数逐渐增多.在相同冷藏时间内,对照组的菌落总数较多.未冷藏对虾的 $\lg N$ 为 3.330,冷藏 4 d 时 $\lg N$ 为 5.598,属于二级鲜度,冷藏 6 d 时已超过二级鲜度.而实验组在第 8 天时才超过一级鲜度,第 10 天属于二级鲜度,仍在 Mosfer 等^[13]界定的货架期内.可见从菌落总数的角度分析,柚子皮挥发性物质同样具有延长南美白对虾货架期的功能.柚子皮中含有大量的柠檬烯,前人的研究表明柠檬烯对大肠杆菌(*Escherichia coli*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、黑曲霉(*Aspergillus niger*)、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、苏云金芽孢杆菌(*Bacillus thuringiensis*)、酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)、面包酵母(*Saccharomyces sp.*)有抑制作用^[14-18].这可能是实验组对虾的菌落总数低于对照组的原因.

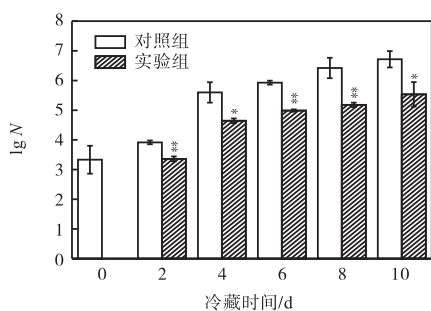


图 6 南美白对虾菌落总数的变化

Fig. 6 Changes in aerobic plate count in *Penaeus vannamei*

3 结论

柚子皮挥发性物质缓解了对虾冷藏期间感官品质的恶化、抑制了 TVB-N 含量和菌落总数的增长.电子鼻检测结果表明,对虾冷藏期间组织中累积了较多的氮氧化合物和硫化物,柚子皮处理后,上述化合物的量有所减少.气相色谱-质谱联用仪检测结果表明,三甲胺和吡嗪是对虾冷藏期间的优势挥发性物质,经柚子皮处理后,对虾的优势挥发性物质变为(+)-柠檬烯和 β -蒎烯,此二者具有香味.因此,柚子皮挥发性物质抑制了南美白对虾冷藏期间腥臭化合物的产生,改善了冷藏南美白对虾的风味,具有延长对虾冷藏货架期的作用.

参考文献:

[1] MISHYNA M, GLUMAC M. So different, yet so alike

pancrustacea:health benefits of insects and shrimps[J]. Journal of functional foods, 2021, 76: 104316.

- [2] NURHAYATI T, AMBARSARI L, SUHANDANA M. Partial purification of polyphenoloxidase of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) from Indonesian waters[J]. International food research journal, 2015, 22(6): 2267-2273.
- [3] 励建荣,刘永吉,李学鹏,等.水产品气调保鲜技术研究进展[J].中国水产科学,2010,17(4):869-877.
- [4] BONO G, OKPALA C O R, ALBERIO G R A, et al. Toward shrimp consumption without chemicals: combined effects of freezing and modified atmosphere packaging (MAP) on some quality characteristics of Giant Red Shrimp (*Aristaeomorpha foliacea*) during storage[J]. Food chemistry, 2016, 197: 581-588.
- [5] HSOUNA A B, TRIGUI M, MANSOUR R B, et al. Chemical composition, cytotoxicity effect and antimicrobial activity of *Ceratonia siliqua* essential oil with preservative effects against *Listeria* inoculated in minced beef meat[J]. International journal of food microbiology, 2011, 148(1): 66-72.
- [6] 吴亮亮.海水虾防黑变抑制剂的复配及抑制机理研究[D].舟山:浙江海洋学院,2012.
- [7] 刘建林,孙学颖,张晓蓉,等. GC-MS 结合电子鼻/电子舌分析发酵羊肉干的风味成分[J].中国食品学报, 2021, 21(5): 348-354.
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定:GB 4789.2—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [9] 梁广钰,徐仰仓.马家柚果皮对鲫鱼贮藏期挥发性物质的影响[J].食品工业科技,2020,41(4):224-228.
- [10] 王黎颖,杨国兰,田甜,等.杜氏盐藻的脱腥技术研究[J].食品研究与开发,2018,39(19):40-44.
- [11] OJAGH S M, REZAEI M, RAZAVI S H, et al. Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout[J]. Food chemistry, 2010, 120(1): 193-198.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 鲜、冻动物性水产:GB 2733—2015[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [13] AL-DAGAL M M, BAZARAA W A. Extension of shelf life of whole and peeled shrimp with organic acid salts and bifidobacteria[J]. Journal of food protection, 1999, 62(1): 51-56.
- [14] RAYBAUDI-MASSILIA R M, MOSQUEDA-MELGAR J, MARTIN-BELLOSO O. Antimicrobial activity of es-

- sential oils on *Salmonella enteritidis*, *Escherichia coli*, and *Listeria innocua* in fruit juices[J]. Journal of food protection, 2006, 69(7): 1579–1586.
- [15] LEE S B, CHA K H, KIM S N, et al. The antimicrobial activity of essential oil from *Dracocephalum foetidum* against pathogenic microorganisms[J]. Journal of microbiology, 2007, 45(1): 53–57.
- [16] ESPINA L, SOMOLINOS M, LORÁN S, et al. Chemical composition of commercial citrus fruit essential oils and evaluation of their antimicrobial activity acting alone or in combined processes[J]. Food control, 2011, 22(6): 896–902.
- [17] VIUDA-MARTOS M, RUIZ-NAVAJAS Y, FERNÁNDEZ-LÓPEZ J, et al. Antifungal activity of lemon (*Citrus lemon* L.), mandarin (*Citrus reticulata* L.), grapefruit (*Citrus paradisi* L.) and orange (*Citrus sinensis* L.) essential oils[J]. Food control, 2008, 19(12): 1130–1138.
- [18] 王雪梅, 湛徽, 李雪姣, 等. 天然活性单萜——柠檬烯的抑菌性能研究[J]. 吉林农业大学学报, 2010, 32(1): 24–28.

责任编辑: 周建军

(上接第15页)

- [34] CHEN J, SUN B, SUN C, et al. Immobilization of lipase AYS on UiO-66-NH₂ metal-organic framework nanoparticles as a recyclable biocatalyst for ester hydrolysis and kinetic resolution[J]. Separation and purification technology, 2020, 251: 117398.
- [35] CHEN X, XUE S, LIN Y, et al. Immobilization of porcine pancreatic lipase onto a metal-organic framework, PPL@MOF: a new platform for efficient ligand discovery from natural herbs[J]. Analytica chimica acta, 2020, 1099: 94–102.
- [36] WANG B, ZHOU J, ZHANG X Y, et al. Covalently immobilize crude *D*-amino acid transaminase onto UiO-66-NH₂ surface for *D*-Ala biosynthesis[J]. International journal of biological macromolecules, 2021, 175: 451–458.
- [37] MANSOUR E H, DAWOUD F M. Immobilization of invertase on celite and on polyacrylamide by an absorption procedure[J]. Journal of the science of food and agriculture, 2003, 83(5): 446–450.
- [38] 李宇彤. PEI 接枝纳米二氧化硅载体的构建及在固定化酶领域的应用[D]. 天津: 天津大学, 2018.
- [39] BADOEI-DALFARD A, KHANKARI S, KARAMI Z. One-pot synthesis and biochemical characterization of protease metal organic framework (protease@MOF) and its application on the hydrolysis of fish protein-waste[J]. Colloids and surfaces B: biointerfaces, 2020, 196: 111318.
- [40] EL-SHISHTAWY R M, ALDHAHRI M, ALMULAIKY Y Q. Dual immobilization of alpha-amylase and horseradish peroxidase via electrospinning: a proof of concept study[J]. International journal of biological macromolecules, 2020, 163: 1353–1360.
- [41] LEE C H, LEE H S, LEE J W, et al. Evaluating enzyme stabilizations in calcium carbonate: comparing in situ and crosslinking mediated immobilization[J]. International journal of biological macromolecules, 2021, 175: 341–350.

责任编辑: 郎婧