

固态植物精油保鲜剂特性表征及其对气调包装卤鸭脖耐贮性的影响

余文志, 田雨晴, 周磊*, 禹凯博, 邹立强, 刘伟
(南昌大学 食品科学与资源挖掘全国重点实验室 南昌 330047)

摘要 基于淀粉-羧甲基纤维素钠化学封装及纳米二氧化硅物理吸附原理,以机械挤压造粒法制备固态植物精油(茶树精油与肉桂精油质量比为 2:1)保鲜剂,探究这种保鲜剂结合气调包装对卤鸭脖的保鲜效果。红外分析证实复合精油被有效包封,气-质谱联用结果表明保鲜剂中精油含量为 12.41%,包封率为 73.87%。常温贮藏试验结果显示:对照组卤鸭脖贮藏第 2 天即可见白色菌落,贮藏 4 d 内 pH 值呈不断下降趋势,硫代巴比妥酸反应产物值和挥发性盐基氮含量上升,表明贮藏期间卤鸭脖中脂肪及蛋白质持续氧化降解。单独气调(70% N₂/30% CO₂)组或保鲜剂组在第 4 天时出现白色菌落,硫代巴比妥酸反应产物值和挥发性盐基氮的上升与对照组相比更缓慢,表明单独气调或保鲜剂均能有效延缓卤鸭脖的品质劣变。精油固态保鲜剂结合气调包装抑制卤鸭脖微生物的生长,到第 6 天时才出现白色菌落,且能明显抑制其贮藏期间蛋白质和脂肪的氧化。说明气调结合固态植物精油保鲜剂处理能提升卤鸭脖的贮藏品质,延长其货架期。

关键词 植物精油; 固态保鲜剂; 气调包装; 卤鸭脖; 货架期

文章编号 1009-7848(2024)05-0346-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.05.029

酱卤肉制品是我国的一种传统肉制品,以风味浓郁,营养丰富著称^[1]。目前,我国酱卤肉制品日消费量约 1.5 万 t^[2],其中卤鸭脖因肉质紧实,风味独特而深受广大消费者青睐^[3]。然而,由于卤鸭脖等酱卤肉制品水分活度较高且营养丰富,易于微生物的生长繁殖,发生脂肪和蛋白质的氧化,造成品质下降,因此,选择合适的保鲜技术至关重要^[4-5]。目前应用于卤鸭脖等酱卤肉制品主要的保鲜技术有热处理、低温贮藏、添加防腐剂保鲜等,然而存在产品营养成分流失与运输贮藏成本高等问题,而人工合成的防腐保鲜剂不利于消费者健康^[6]。气调包装作为一种常用的包装保鲜技术,应用广泛且能与多种保鲜技术结合使用,达到更好的保鲜效果^[7]。因此可在气调包装的基础上结合天然保鲜剂,开发出一种天然、安全和高效的卤鸭脖等酱卤肉制品的保鲜技术。

精油是从植物中提取的芳香族和挥发性油性提取物,主要成分为萜烯类、酚类和醇类等化合物^[8-9],其中茶树与肉桂精油具有广谱抗菌性和优良的抗氧化性,被研究用于肉制品保鲜^[10-11],然而

两种精油自身存在水溶性差、不稳定和异味等缺陷,使其在肉制品保鲜中的应用受到限制^[12]。肉制品在贮藏期内优势菌群不断变化^[13],用单一精油保鲜效果不佳且抑菌浓度较大,而将 2 种或多种精油复配可得到广谱抗菌且抑菌和抗氧化效果增强的复合精油^[14],应用于肉制品保鲜时可控制精油用量来降低对肉制品感官品质的影响^[15]。Tosun 等^[16]研究表明,肉桂精油结合茶树精油在抑制微生物方面具有协同作用。Wei 等^[17]研究表明茶树精油:肉桂精油质量比为 3.5:1 时抑菌效果最佳。对于植物精油存在的缺陷,目前主要的改进策略为构建壳聚糖纳米颗粒、纳米乳液、固体脂质纳米颗粒、纳米纤维等封装系统等^[18-19]。淀粉-羧甲基纤维素钠(Carboxymethyl cellulose, CMC)为一种多糖复合封装材料,在封装过程中淀粉与 CMC 分子主要通过非共价相互作用发生强烈的交联并形成紧凑结构,可有效包埋和缓释活性成分^[20-22]。纳米二氧化硅(Silica nanoparticles, n-SiO₂)具有较大的表面积,易于吸附和结合其它化合物^[23],可进一步增强多糖复合封装材料的机械性能与耐潮性^[24],且 n-SiO₂ 有应用于食品领域的研究^[25-26]。相应的精油封装技术有喷雾干燥、冷冻干燥、挤压等^[27]。挤压因过程连续、方便快捷、环保等优势近年来受到关注^[28],故将精油包封固化可得到易于储运,成本低且机械性能优良的非接触式固态保鲜剂。淀

收稿日期: 2023-05-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(32272385, 32102037);
江西省重点研发计划项目(20223BBF61024)

第一作者: 余文志,男,硕士

通信作者: 周磊 E-mail: ncuskzhoulei@163.com

粉-CMC 是一种潜在的多糖复合封装材料,可结合物理吸附材料构建固态保鲜剂以实现植物精油的固化。此外,包装条件对肉制品的保鲜亦十分重要^[29],对肉制品进行气调包装(Modified atmosphere packaging, MAP)可保证肉制品的风味与品质^[30]。已有研究表明固态保鲜剂结合气调包装对肉制品有较好的保鲜效果^[31],而鲜有将其应用于酱卤肉制品保鲜的报道。

本研究以复合精油(茶树精油与肉桂精油复配)为活性物质,基于淀粉-CMC 化学封装及 n-SiO₂ 物理吸附原理,通过机械挤压造粒法制备固态植物精油保鲜剂(Solid preservatives, SP),并通过气-质联用(Gas chromatography-tandem mass spectrometry, GC-MS)和傅里叶红外光谱(Fourier transform infrared, FTIR)分析所得固态保鲜剂的精油含量、组成和包封率。将固态保鲜剂结合气调包装应用于常温下卤鸭脖保鲜,探究其对卤鸭脖菌落总数、pH 值、总挥发性盐基氮(Total volatile basic nitrogen, TVBN)含量、硫代巴比妥酸反应产物(Thiobarbituric acid reactive substance, TBARS)的影响,以评估其对卤鸭脖微生物生长繁殖和脂肪、蛋白质氧化等品质劣变的抑制效果。本研究通过构建可负载植物精油的高效固态保鲜剂来延长卤鸭脖的货架期,同时扩大其在酱卤肉制品保鲜中的应用。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

酱卤鸭脖,江西省煌上煌集团有限公司(0.50~1.00 kg/袋);茶树精油、肉桂精油(纯度大于 99%),广东粤渝精油商城;可溶性淀粉,上海国民淀粉工业有限公司;纳米二氧化硅,江苏天行新材料有限公司;羧甲基纤维素钠,上海麦克林生化科技有限公司;三氯乙酸,广东西陇科学股份有限公司;硫代巴比妥酸、平板计数琼脂,北京索莱宝科技有限公司;其它试剂均为分析纯级。

1.2 仪器与设备

半自动盒式气调保鲜包装机,上海炬钢机械制造有限公司;XL-80 旋转造粒机,常州乔顿干燥科技有限公司;SW-CJ-1D 超净工作台,上海舍岩仪器有限公司;UV-1600PC 紫外-可见分光光

度计,上海美谱达仪器有限公司;LE438 pH 复合电极,上海精密科学仪器有限公司;YXQ-LB-30SII 立式压力蒸汽灭菌器,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;K9840 自动凯氏定氮仪,济南海能仪器股份有限公司;Heraeus Fresco17 离心机、Nicolet iS50 FTIR 红外光谱仪,美国赛默飞世尔科技有限公司;5977B GC/MSD 气质联用仪器,德国安捷伦科技有限公司。

1.3 固态植物精油固态保鲜剂的制备

根据 Wei^[17]等的研究成果,结合前期预试验,茶树精油:肉桂精油为 2:1 时最为合适。参考 Jiang 等^[32]的方法,准确称取 30 g 可溶性淀粉、3 g CMC 和 7.50 g n-SiO₂ 于托盘中,混合均匀后待用;准确称取 7 g 茶树精油于 50 mL 离心管内,加入 3.50 g 肉桂精油,混合均匀后加入前述装有固体粉末的托盘中,揉搓使复合精油与固体粉末充分接触;随后用喷壶喷洒 11.50 g 蒸馏水并揉搓均匀。将所得固体粉末放入 0.60 mm 孔径的旋转造粒机进行造粒。将所得颗粒先过 30 目筛,再过 18 目筛,在 45 °C 烘箱中烘 10 min,得到的保鲜剂用热封机封装于无纺布袋中,规格为 1 g/袋。

1.4 固态植物精油保鲜剂的表征

1.4.1 FTIR 分析 参考 Zhong 等^[33]的方法并作适当修改。称取 1 mg 固态植物精油保鲜剂与 CMC-n-SiO₂ 粉末,分别加入 150 mg 溴化钾粉末,研磨均匀并压片。取 150 mg 溴化钾粉末研磨成片,滴加 1 mg 肉桂精油、茶树精油或复合精油制备各精油样品。将以上样品分别放入红外分析仪进行扫描测试,扫描速度为 2 mm/s,扫描范围为 500~4 000 cm⁻¹,分辨率为 4 cm⁻¹。

1.4.2 植物精油化学成分鉴定 采用气质联用分析对植物精油化学成分进行分析鉴定,色谱条件:DB wax 质谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);进样量 1 μL;程序升温:初始温度 40 °C,保持 3 min,以 10 °C/min 升温至 150 °C,保持 3 min,再以 5 °C/min 升温至 240 °C,保持 10 min;进样口温度:240 °C;载气为 H₂,载气流量 2 mL/min;分流比:50:1。

质谱条件:离子阱检测器;电子电离源;离子源温度 230 °C;传输线温度 230 °C;电离电压 70 eV,质量扫描范围 *m/z* 30~450,溶剂延迟 4 min。

分别称取 0.02 g 茶树精油、肉桂精油、复合精

油(茶树精油与肉桂精油质量比为2:1)和0.1 g保鲜剂于50 mL离心管中,加入20 mL正己烷充分振荡后超声15 min,过滤后进行GC-MS分析,将收集到的质谱与质谱库(National Institute of standards and technology, NIST)的参考谱进行比较。用面积归一化法计算茶树和肉桂精油中各组分的相对含量(%),对相对含量大于0.01%的挥发油成分进行鉴定。

1.4.3 固态植物精油保鲜剂中精油含量及包封率

称取0.1 g保鲜剂于50 mL离心管中,方法同1.4.2节,以邻二氯苯为内标物计算保鲜剂中植物精油的相对含量,并计算植物精油的包封率。

1.5 样品处理

如图1所示,将从市场上购买的新鲜卤鸭脖

在无菌操作台上按照每盒120 g进行分装,分装后使用气调包装机进行封装,封装材料为PE膜【在25℃、0%相对湿度(Relative humidity, RH)条件下,氧气透过率为 $15 \text{ cc} \cdot 24 \text{ h/m}^2 \cdot \text{atm}$,二氧化碳渗透率为 $64 \text{ cc} \cdot 24 \text{ h/m}^2 \cdot \text{atm}$,厚度为25 μm),封口温度为130℃,封口时间为5 s,共设有以下4个组别,且均在常温25℃下贮藏。

1) 对照组 采用空气包装;

2) 气调组 采用气调包装,条件为70% N_2 /30% CO_2 ;

3) 保鲜剂组 采用空气包装,使用固态植物精油保鲜剂;

4) 气调-保鲜剂组 采用气调包装,条件为70% N_2 /30% CO_2 ,使用固态植物精油保鲜剂。

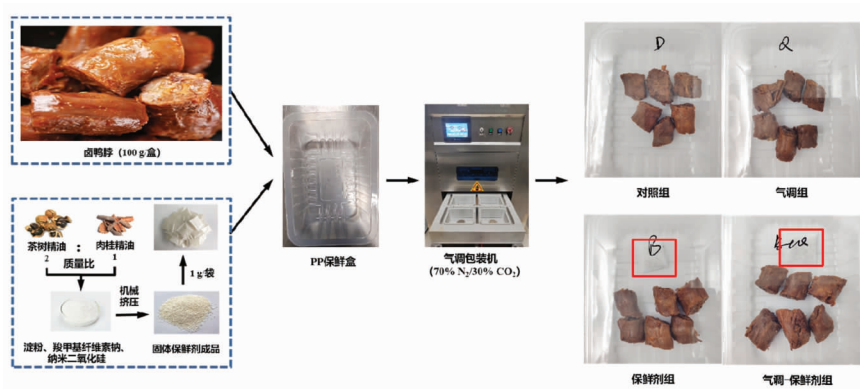


图1 固态保鲜剂制作及样品处理过程

Fig.1 Solid preservatives preparation and sample treatment process

1.6 菌落总数的测定

菌落总数参照《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)中的方法测定。

1.7 pH值测定

pH值参照《食品安全国家标准 食品pH值的测定》(GB 5009.237-2016)中的方法测定。

1.8 TVBN值测定

TVBN含量参照《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》(GB 5009.228-2016)中的自动凯氏定氮法测定。

1.9 TBARS值测定

参照郝泽文^[30]的方法,称取10 g肉样,在研钵中研碎均匀,置于烧杯中,加入50 mL 7.50%三氯

乙酸(含0.1% EDTA),磁力搅拌20 min后过滤。取5 mL滤液,加入5 mL 0.02 mol/L 硫代巴比妥酸溶液并沸水浴加热40 min,取出冷却后离心(4 500 r/min, 15 min)。取上清液并加入5 mL 氯仿,振摇充分后,静置分层,取上清液在波长532 nm处测定吸光度值。

$$\text{TBARS}(\text{mg/kg}) = \frac{A_{532\text{nm}}}{m_s} \times 9.48 \quad (1)$$

式中, $A_{532\text{nm}}$ ——待测液在波长532 nm下的吸光度值; m_s ——样品质量,g。

1.10 统计分析方法

所有试验均重复进行3次,使用Origin软件(OriginLab 2018, USA)进行绘图,采用SPSS 22.0 (IBM, USA), $P < 0.05$ 定义为有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 固态植物精油保鲜剂的表征

2.1.1 包覆性能的测定 FTIR 用于分析所得固态植物精油保鲜剂的化学键结构与材料的分子间作用力。肉桂、茶树以及复合精油($m_{\text{茶树}} : m_{\text{肉桂精油}} = 2:1$)的 FTIR 结果如图 2a 所示,肉桂精油与茶树精油在 $3\ 200\sim 3\ 500\ \text{cm}^{-1}$ 范围的泛峰对应于-OH 的伸缩振动^[34],对应表 1 与 2 中萜品醇、萜烯醇与芳香醇等的存在。在肉桂精油的图谱中, $2\ 925\ \text{cm}^{-1}$ 与 $2\ 855\ \text{cm}^{-1}$ 处观察到-CH₃ 的不对称伸缩振动和对称伸缩振动, $1\ 742\ \text{cm}^{-1}$ 和 $1\ 677\ \text{cm}^{-1}$ 处的特征吸收峰与醛的 C=O 伸缩振动有关, $1\ 624\ \text{cm}^{-1}$ 和 $1\ 121\ \text{cm}^{-1}$ 处的峰分别与芳环的 C=C 骨架振动和 C-O 弯曲振动有关^[35],对应表 1 中肉桂醛、苯乙烯、丙烯酸正丁酯的存在。在茶树精油的图谱中, $2\ 957\ \text{cm}^{-1}$ 和 $2\ 919\ \text{cm}^{-1}$ 处的峰对应于-CH₃ 的不对称伸缩振动和对称伸缩振动, $1\ 451\ \text{cm}^{-1}$ 处为-CH₃ 的弯曲振动,芳环的 C=C 骨架振动的重叠峰出现在 $1\ 375\ \text{cm}^{-1}$ ^[36],其它吸收峰,如 $1\ 163$

cm^{-1} 和 $1\ 106\ \text{cm}^{-1}$, 源自 GC-MS 分析证实的茶树精油中各种有机化合物(表 2)。由复合精油谱带可知,肉桂与茶树精油的特征峰在复合精油谱带中均有体现,2 种精油仅为简单物理混合。图 2b 中,复合精油-淀粉与复合精油-淀粉-CMC 中-OH 的伸缩振动峰均在 $3\ 419\ \text{cm}^{-1}$,说明淀粉与 CMC 之间氢键作用力弱,而 CMC 的加入增强了淀粉的硬度等机械性能^[37],有利于固态保鲜剂的形成。此外,固态保鲜剂中 O-H 键伸缩振动的特征吸收峰在 $3\ 437\ \text{cm}^{-1}$ 处,与复合精油、淀粉-CMC-SiO₂ 相比向低波数方向移动,这可能是由于固态保鲜剂中的复合精油与淀粉间存在氢键相互作用^[34]。在固态保鲜剂中,复合精油有效成分的特征峰减弱或消失,表明相关基团与壁材发生了化学反应,证明复合精油被有效包覆,且 $1\ 375\ \text{cm}^{-1}$ 以下指纹区的精细结构吸收峰在固体保鲜谱带中消失,进一步证明了复合精油被完全包覆在多糖壁材中。

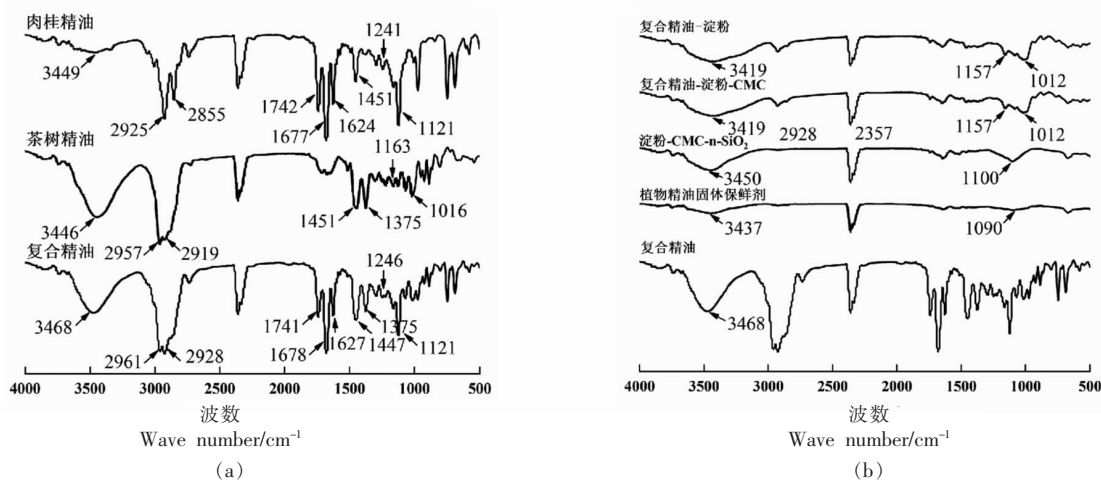


图2 肉桂、茶树、复合精油(a)以及复合精油-淀粉、复合精油-淀粉-CMC、淀粉-CMC-SiO₂、固态植物精油保鲜剂(b)的 FTIR 图谱

Fig.2 FTIR spectra of cinnamon essential oil, tea tree essential oil, compound essential oil (a) and compound essential oil-starch, compound essential oil-starch-CMC, starch-CMC-SiO₂, plant essential oil solid preservative (b)

2.1.2 茶树精油与肉桂精油化学成分鉴定 用 GC-MS 技术分析肉桂、茶树精油所含化学成分,对匹配度大于 85% 的组分进行分析,试验结果见表 1 与 2。由表 1 可知,肉桂精油中肉桂醛含量最高,达 $(98.29\pm 0.07)\%$;其次是苯乙烯,占比达

$(0.86\pm 0.05)\%$ 。此外,肉桂精油中也含量少量丙烯酸正丁酯、(+)-柠檬烯和 γ -萜品醇。由前人的研究结果可知,肉桂醛为肉桂精油的主要组分^[35],与本研究的结论一致,其具有优良的抗菌活性^[38],对大肠杆菌、金黄葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、沙门氏

菌等常见菌种均有较强的抑制能力^[39]。由表2可知,茶树精油中主要成分为单萜、倍半萜烯及醇类(单萜醇)等,其中松油烯-4-醇占比最高,为(52.90±1.98)%,其次为 γ -松油烯与4-异丙基甲苯,占比分别为(18.45±0.29)%和(10.98±0.44)%,也含有 α -松油烯、桉叶油醇和(+)-柠檬烯等成

分。由前人研究结果可知,松油烯-4-醇为茶树精油的主要成分^[18],具有良好的抗菌与抗生物膜活性^[40]。GC-MS分析结果表明肉桂与茶树精油均含有具有较强抗菌活性的物质,具有应用于卤鸭脖保鲜的潜力。

表1 肉桂精油的化学成分鉴定结果

Table 1 Results of chemical composition identification of cinnamon essential oil

序号	保留时间/min	中文名称	英文名称	化学式	相对分子质量	含量/%
1	7.856	丙烯酸 正丁酯	Butyl acrylate	C ₇ H ₁₂ O ₂	128.169	0.42 ± 0.02
2	8.325	(+)-柠檬烯	(+)-Limonene	C ₁₀ H ₁₆	136.234	0.26 ± 0.01
3	9.874	苯乙烯	Styrene	C ₈ H ₈	104.149	0.86 ± 0.05
4	18.918	γ -萜品醇	γ -Terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	154.249	0.18 ± 0.01
5	27.987	肉桂醛	Cinnamaldehyde	C ₉ H ₈ O	132.159	98.29 ± 0.07

表2 茶树精油的化学成分鉴定结果

Table 2 Results of chemical composition identification of tea tree essential oil

序号	保留时间/min	中文名称	英文名称	化学式	相对分子质量	含量/%
1	5.889	β -蒎烯	β -Pinene	C ₁₀ H ₁₆	136.234	0.31 ± 0.01
2	7.427	α -水芹烯	α -Phellandrene	C ₁₀ H ₁₆	136.234	0.18 ± 0.01
3	7.824	α -松油烯	α -Terpinene	C ₁₀ H ₁₆	136.234	6.69 ± 0.28
4	8.333	(+)-柠檬烯	(+)-Limonene	C ₁₀ H ₁₆	136.234	2.30 ± 0.14
5	8.618	桉叶油醇	Cineole	C ₁₀ H ₁₈ O	154.249	3.16 ± 0.09
6	9.663	γ -松油烯	γ -Terpinene	C ₁₀ H ₁₆	136.234	18.45 ± 0.29
7	9.876	苯乙烯	Styrene	C ₈ H ₈	104.149	0.47 ± 0.05
8	10.288	4-异丙基甲苯	<i>p</i> -Cymene	C ₁₀ H ₁₄	134.218	10.98 ± 0.44
9	15.024	顺- α , α -5-三甲基-5-乙烯基四氢吡喃-2-甲醇	(<i>Z</i>)-Linalool oxide	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	170.249	0.14 ± 0.02
10	16.129	(-)- α -蒎烯	(-)- α -Copaene	C ₁₅ H ₂₄	204.351	0.15 ± 0.01
11	17.055	(-)- α -古芸烯	(-)- α -Gurjunene	C ₁₅ H ₂₄	204.351	0.85 ± 0.06
12	17.749	芳樟醇	Linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	154.250	0.39 ± 0.04
13	18.624	(-)-反式石竹烯	(-)- <i>trans</i> -Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204.351	0.16 ± 0.02
14	18.954	松油烯-4-醇	Terpinen-4-ol	C ₁₀ H ₁₈ O	154.249	52.90 ± 1.98
15	20.931	(+)-喇叭烯	(+)-Ledene	C ₁₅ H ₂₄	204.351	0.92 ± 0.02
16	21.015	乙酸松油酯	α -Terpinyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196.286	1.07 ± 0.14
17	24.462	香叶醇	Geraniol	C ₁₀ H ₁₈ O	154.249	0.39 ± 0.03
18	28.852	蓝桉醇	Globulol	C ₁₅ H ₂₆ O	222.366	0.50 ± 0.04

2.1.3 固态植物精油保鲜剂中精油含量与包封率对复合精油($m_{\text{茶树}}:m_{\text{肉桂精油}}=2:1$)和固态植物精

油保鲜剂进行GC-MS分析,由表3可知固态植物精油保鲜剂与复合精油中活性物质的峰总面积之

比为 62.06%, 所用内标物邻二氯苯的含量为 1.20 mg, 复合精油用量为 20 mg, 故保鲜剂中精油含量为 12.41 mg/100 mg, 即固态植物精油保鲜剂中精油含量为 12.41%, 精油含量理论值为 16.80%, 故包封率为 73.87%。复合精油中 2 种主要物质松

油烯-4-醇与肉桂醛占比分别为 30.56% 与 20.01%, 二者在保鲜剂中含量分别为 3.51 mg/100 mg 和 2.67 mg/100 mg, 所占比例为 28.28% 与 21.51%。

表 3 复合精油与固态植物精油保鲜剂的色谱峰总面积

Table 3 Total area of chromatographic peaks of compound essential oil and SP

	色谱峰面积			
	松油烯-4-醇	肉桂醛	邻二氯苯	活性物质峰总面积
固态植物精油保鲜剂	37 983 220.00 ±	28 818 724.67 ±	12 973 108.34 ±	110 092 588.70 ±
	914 406.63	699 948.45	96 642.83	3 334 620.86
复合精油(茶树:肉桂精油=2:1)	54 212 168.33 ±	35 499 705.00 ±	-	177 407 709.70 ±
	2 602 139.63	1 996 454.33		9 704 830.75

2.2 固态植物精油保鲜剂结合气调对酱卤鸭脖的保鲜效果

2.2.1 贮藏期外观品质实物图 如下图所示, 第 0 天时, 对照组、气调组、保鲜剂组、气调-保鲜剂组样品均未出现白色菌落; 第 2 天时, 对照组样品即可见白色菌落, 第 4 天时气调组与保鲜剂组样品可见白色菌落, 均已不适宜食用, 而第 4 天时气调-保鲜剂组样品仍未见明显菌落, 第 6 天时气调-保鲜剂组开始出现菌落, 到第 10 天时 4 个组别均可见明显菌落, 已完全腐败。从外观品质实物图可以看出, 气调组与保鲜剂组保鲜效果优于对照组, 且二者结合处理效果更佳, 同时需要进一步试验进行佐证。

2.2.2 卤鸭脖贮藏期间各组菌落总数的变化 微生物质量是决定肉制品安全性和贮存性的一个重要因素。如图 4 所示, 第 0 天卤鸭脖菌落总数为 1.84 lg(CFU/g), 所有组鸭脖随贮藏时间延长菌落总数均呈上升趋势。对照组在第 4 天时菌落总数已达 4.90 lg(CFU/g), 远超我国标准规定的限值 ($\lg(10000)=4.00$)^[40]。此时保鲜剂组菌落总数值为 4.16 lg(CFU/g), 气调组为 3.82 lg(CFU/g), 而气调-保鲜剂组仅为 2.91 lg(CFU/g), 说明植物精油保鲜剂能显著抑制 ($P<0.05$) 气调包装中卤鸭脖中微生物的生长繁殖。同样, 陈雪等^[41]研究表明牛至和茶树精油处理可以抑制气调包装中烤鸭微生物增殖; 第 6 天时气调-保鲜剂组菌落总数为 4.03 lg(CFU/g), 超过国标限值, 且部分卤鸭脖可见少

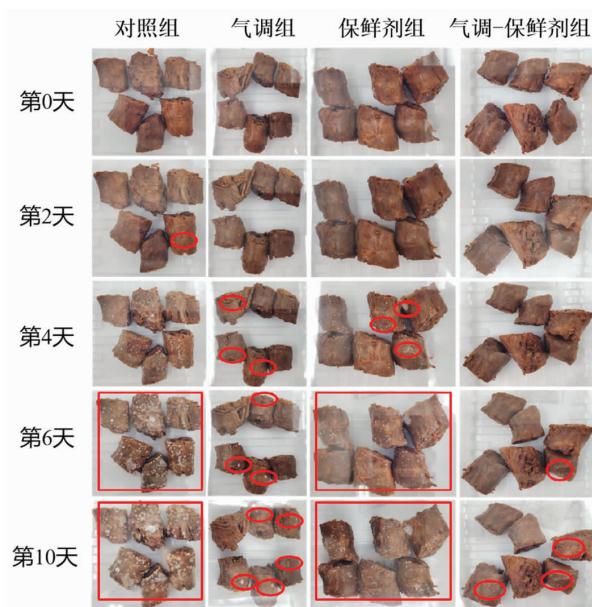


图 3 对照组、气调组、保鲜剂组、气调-保鲜剂组卤鸭脖贮藏期外观品质实物图

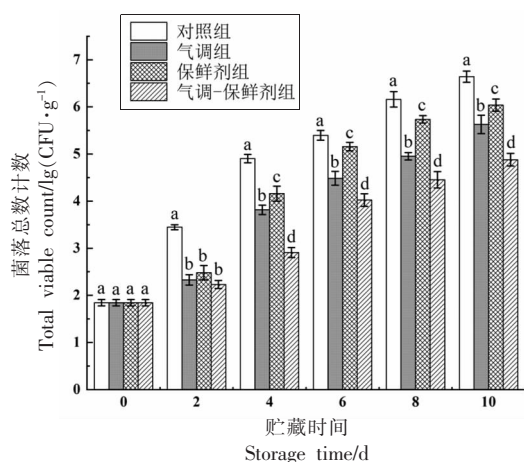
Fig.3 Physical pictures of control group, preservative group, A-SP and MAP-SP during storage

量白色菌落, 而此时其余 3 组均已远超国标限值。有研究表明 0.1% 的茶树精油对大部分腐败菌均具有抑制作用^[42], 且能抑制大肠杆菌、沙门氏菌、单增李斯特菌等常见致病菌的增殖^[43], Friedman 等^[44]报道了肉桂醛对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌等多种病原菌均表现出良好的体外抑菌性。结合 2.1.2 节分析结果, 复合精油中主要成分为肉桂醛、松油烯-4-醇等抗菌活性物质, 在挥发至酱卤

鸭脖表面后,与细菌接触可穿其细胞壁和细胞膜,同时通过对细胞内蛋白质、酶、DNA、代谢、能量等产生作用发挥多途径的抗菌机制^[41]。因此,基于菌落总数的结果,相较于对照组,气调-保鲜剂组能延长常温下卤鸭脖货架期至4 d。

2.2.3 卤鸭脖贮藏期间各组 pH 值的变化 pH 值是肉制品品质的重要指标,直接影响其嫩度、保水性、颜色、多汁度和保质期^[45]。如图 5 所示,新鲜的卤鸭脖偏弱酸性,贮藏期内对照组、气调组和保鲜剂组 pH 值均呈现出先降后升的趋势,拐点分别出现在第 4 天和第 6 天,而气调-保鲜剂组拐点出现在第 8 天。pH 值下降是由于卤鸭脖中的脂肪发生降解,形成小分子量的醛、酮、酸,从而使肉制品发生酸败^[46],pH 值上升则是由微生物的生长和蛋白质以及含氮化合物的分解所致^[47]。由 2.2.2 节的分析结果可知,在酱卤鸭脖贮藏初期微生物并未大量增殖,2.2.4 节与 2.2.5 节分析结果表明在初期酱卤鸭脖中碱性含氮物质积累较少,而脂肪分解产生小分子酸,共同作用使得酱卤鸭脖 pH 值下降;在贮藏后期微生物大量生长繁殖且碱性含氮物质的积累,酱卤鸭脖 pH 值呈上升趋势。保鲜剂组拐点较对照组后延是由于植物精油抑制了腐败微生物的生长代谢,进而延缓了脂肪和蛋白质的降解^[48],而气调-保鲜剂组拐点较气调组和保鲜剂组延后 2 d,表明植物精油结合气调包装对酱卤鸭脖的保鲜具有协同作用,能更好地抑制酱卤鸭脖微生物的生长繁殖与脂质氧化酸败,进而延长酱卤鸭脖货架期^[49]。

2.2.4 卤鸭脖贮藏期间 TVBN 值的变化 TVBN 值是指肉类食物中的蛋白质在细菌和酶的作用下发生分解作用,从而产生的碱性含氮物质^[50],是判断鸭脖肉质新鲜度的一个关键性指标。由 6 可以看出,在贮藏期间,所有处理组样品的 TVBN 值均呈上升趋势,这与 Chen 等^[51]研究的牛至/肉桂精油对气调包装中烤鸭保质期的影响中 TVBN 值变化规律一致。对照组 TVBN 值均显著高于其它三组 ($P<0.05$),这可能是因为肉中蛋白质被降解为氨及胺类代谢产物的程度逐渐增大,使得挥发性盐基氮值显著升高^[52]。新鲜卤鸭脖的 TVBN 值为 7.40 mg/100 g,到第 4 天时,对照组已高达 16.79 mg/100 g,说明此时蛋白质分解速率较快,产生的



注:不同小写字母表示贮藏时间相同时组间差异显著 ($P<0.05$),下同。

图 4 不同处理方法对卤鸭脖贮藏期间菌落总数的影响
Fig.4 Effectd of different treatments on the total number of bacterial colonies of pot-stewed duck neck during storage

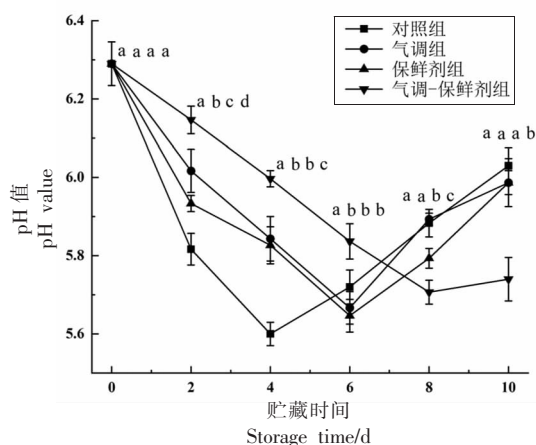


图 5 不同处理方法对卤鸭脖贮藏期间 pH 值的影响
Fig.5 Effects of different treatment methods on pH value of pot-stewed duck neck during storage

胺类物质积累较多,这与对照组第 4 天的 pH 值开始上升相印证。第 6 天时,气调组与保鲜剂组 TVBN 值分别为 13.97 mg/100 g 和 15.30 mg/100 g,与对照组类似,印证了 2 组第 6 天的 pH 值上升的结论;第 8 天时,对照组样品的 TVBN 值高达 25.56 mg/100 g,此时气调-保鲜剂组仅为 16.64 mg/100 g。路露等^[53]的研究表明肉桂醛具有优良的自由基清除能力及总抗氧化能力,且肉桂精油抗氧化能力更优,可能是由于含石竹烯的肉桂精油各抗氧化成分之间存在协同增效作用,王楠^[54]的研究中,松油烯-4-醇能够提高抗氧化酶活性,进而

提高抗氧化能力。结合 2.1.2 节分析结果,复合精油中含有肉桂醛、松油烯-4-醇等不饱和有机化合物,抗氧化能力更佳,在挥发至酱卤鸭脖表面后能延缓酱卤鸭脖贮藏期内蛋白质的氧化分解,结合气调包装可进一步延长常温下酱卤鸭脖的货架期。

2.2.5 卤鸭脖贮藏期间各组 TBARS 值的变化

TBARS 值是表示体系中氧化产物丙二醛(MDA)的质量分数,在脂肪氧化体系中,MDA 是氧化终产物,其质量分数与脂肪氧化程度呈正比^[55]。从图 7 可以看出,所有组样品的 TBARS 值均与时间呈正相关关系,与陈雪等^[41]关于烤鸭货架期内 TBARS 值的变化趋势研究结果相似。第 0 天卤鸭脖 TBARS 值为 0.62 mg/kg,从第 2 天开始,对照组酱卤鸭脖 TBARS 值均显著高于其它组别 ($P < 0.05$); 第 4 天时对照组 TBARS 值为 1.61 mg/kg,而此时气调-保鲜剂组 TBARS 值仅为 0.88 mg/kg。在整个贮藏期内,气调组与保鲜剂组酱卤鸭脖 TBARS 值均无明显差异,表明在常温下植物精油对酱卤鸭脖能达到与气调包装相同的保鲜效果;第 2 天内气调组、保鲜剂组与气调-保鲜剂组酱卤鸭脖 TBARS 值无明显差异,第 4 天后气调-保鲜剂组较其它 2 组能显著抑制 ($P < 0.05$) TBARS 值上升,且在贮藏期间没有出现 TBARS 值趋于稳定的现象,可能是相较生肉产品而言贮藏时间过短所致^[56]。Wang 等^[57]的研究表明丁香精油处理后的培根中 MDA 含量低于 2,6-二叔丁基对甲酚(Butylated hydroxytoluene, BHT)组,而体外研究表明 BHT 虽能很好地清除羟自由基,但在实际食品系统中丁香精油等植物精油效果更佳。结合 2.1.2 节分析结果,植物精油在酱贮藏期间与酱卤鸭脖接触后,通过清除清除羟自由基来抑制脂肪氧化,结合气调处理可进一步延缓酱卤鸭脖脂质的氧化,进而延长常温下酱卤鸭脖的货架期。

3 结论

本研究所选取的肉桂精油、茶树精油均是天然可食用植物的代谢产物,与化学合成物相比,是绿色、安全且可食用的原料,均具有较好的抑菌作用。以复合精油 ($m_{\text{茶树}}:m_{\text{肉桂精油}}=2:1$) 为活性物质,基于淀粉-CMC 化学封装及 $n\text{-SiO}_2$ 物理吸附原

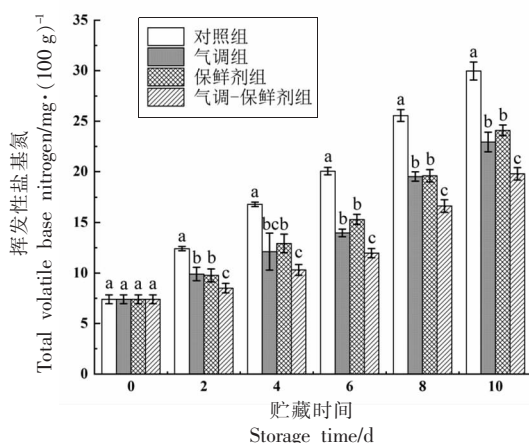


图 6 不同处理方法对卤鸭脖贮藏期间 TVBN 值的影响
Fig.6 Effects of different treatments on TVBN value during stewed duck neck storage

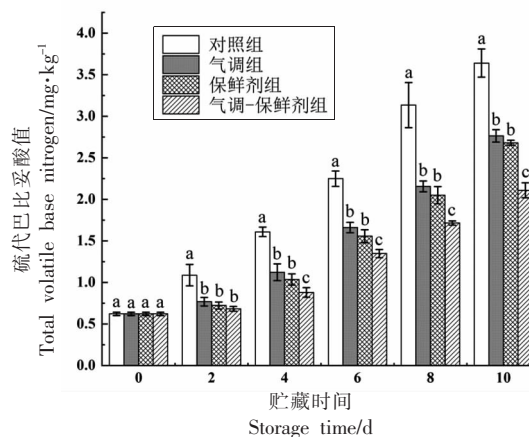


图 7 不同处理方法对卤鸭脖贮藏期间 TBARS 值的影响
Fig.7 Effects of different treatments on TBARS value during stewed duck neck storage

理,通过机械挤压制造法制得固态植物精油保鲜剂,傅里叶变换红外分析结果可证明复合精油 ($m_{\text{茶树}}:m_{\text{肉桂精油}}=2:1$) 被有效包封,GC-MS 分析技术表明肉桂与茶树精油中所含主要活性成分分别为肉桂醛与松油烯-4-醇,含量分别为 98.29%, 52.90%,且固态植物精油保鲜剂的精油含量与包封率分别为 12.41%,73.87%,据此可推测在酱卤鸭脖贮藏期间,精油中肉桂醛与松油烯-4-醇等活性成分可释放至 PP 保鲜盒中,并附着于酱卤鸭脖表面,实现对酱卤鸭脖的保鲜;随后对固态保鲜剂结合气调包装对常温下酱卤鸭脖保鲜效果进行验证,结果表明对照组在贮藏期间品质持续下降,菌落总数、TVBN 值、TBARS 值均上升,到第 2 天时

即可见白色菌落。气调或保鲜剂处理与对照组相比具有一定的保鲜效果,而气调-保鲜剂处理对卤鸭脖的保鲜效果最好,后者在4 d后菌落总数仍低于标准限值,且pH值的下降、TBARS值和TVBN含量的上升得到更有效地抑制,推测主要是酱卤鸭脖表面的植物精油可通过破坏微生物结构来抑制微生物的生长繁殖,同时通过自由基清除等方式抑制酱卤鸭脖中蛋白质及脂肪的氧化反应,改善酱卤鸭脖货架期品质,结合气调包装能进一步延缓常温酱卤鸭脖微生物增长和氧化损失等并延长其货架期,为酱卤肉制品保鲜提供新的策略。

参 考 文 献

- [1] 周富裕. 7种天然防腐剂对气调包装酱卤肉制品的抑菌效果[J]. 食品工业科技, 2018, 39(5): 235-240.
ZHOU F Y. Antimicrobial effects of seven kinds of natural food preservatives on pot stewed meat of modified atmosphere packaging[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(5): 235-240.
- [2] 王浩明, 郑海波, 李景军, 等. 酱卤肉制品关键加工技术研究进展[J]. 肉类研究, 2020, 34(8): 102-107.
WANG H M, ZHENG H B, LI J J, et al. Recent progress in key processing technologies for soy sauce and pot-roast meat products [J]. Meat Research, 2020, 34(8): 102-107.
- [3] 段昌圣. 酱卤鸭脖的贮藏特性及其保水性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
DUAN S C. Study on storage characteristics and the water capacity of pot stewed duck neck[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012.
- [4] 杨啸吟, 张一敏, 梁荣蓉, 等. 包装冷却肉中微生物腐败及其挥发性气味的研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(1): 285-293.
YANG X Y, ZHANG Y M, LIANG R R, et al. Microbial spoilage and formation and detection of volatile odor compounds in packaged chilled meat: A review[J]. Food Science, 2021, 42(1): 285-293.
- [5] 孙承锋, 陈斌, 戴瑞彤, 等. 肉类食品保鲜技术的研究进展[J]. 保鲜与加工, 2001(1): 31-34.
SUN C F, CHEN B, DAI R T, et al. Advances in preservation techniques of meat products[J]. Storage and Process, 2001(1): 31-34.
- [6] 吴晓丽, 张相生, 蒋爱民, 等. 酱卤肉制品保鲜技术研究进展[J]. 肉类工业, 2014(7): 46-50.
WU X L, ZHANG X S, JIANG A M, et al. Research progress on preservation technology of sauced and braised meat products[J]. Meat Industry, 2014(7): 46-50.
- [7] 周亚军, 李文龙, 李圣桡, 等. 酱卤肉制品加工与保藏技术研究进展[J]. 农产品加工, 2019(19): 58-62, 67.
ZHOU Y J, LI W L, LI S R, et al. Research progress on processing and preservation technology of sauced and braised meat products[J]. Farm Products Processing, 2019(19): 58-62, 67.
- [8] WANG W W, ZHAO D B, XIANG Q S, et al. Effect of cinnamon essential oil nanoemulsions on microbiological safety and quality properties of chicken breast fillets during refrigerated storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 152(1): 112376.
- [9] SILVA B, BERNARDES P C, PINHEIRO P F, et al. Chemical composition, extraction sources and action mechanisms of essential oils: Natural preservative and limitations of use in meat products[J]. Meat Science, 2021, 176(3): 108463.
- [10] XI B, GAO Y Q, GUO T F, et al. Study on preservation of chilled beef with natural essential oil nanocapsules[J]. Journal of Chemistry, 2020, 2020: 1-9.
- [11] CAI M H, ZHANG G, WANG J, et al. Application of glycyrrhiza polysaccharide nanofibers loaded with tea tree essential oil/gliadin nanoparticles in meat preservation[J]. Food Bioscience, 2021, 43(1): 101270.
- [12] 李娜, 刘小杰, 梅俊, 等. 药食同源植物精油在食品保鲜中的应用进展[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(23): 298-304.
LI N, LIU X J, MEI J, et al. Research progress on application of medicinal and edible homologous essential oils in food preservation[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(23): 298-304.
- [13] SHAO L T, CHEN S S, WANG H D, et al. Advances in understanding the predominance, phenotypes, and mechanisms of bacteria related to meat spoilage[J]. Trends In Food Science & Technology, 2021, 118: 822-832.

- [14] 王梦琦. 复合精油微胶囊抑菌膜的制备及其在低钠盐腊肉中的应用[D]. 重庆: 西南大学, 2021.
WANG M Q. Preparation of compound essential oil microcapsule antibacterial film and its application in low sodium bacon[D]. Chongqing: Southwest University, 2021.
- [15] HYLDGAARD M, MYGIND T, MEYER R L. Essential oils in food preservation: Mode of action, synergies, and interactions with food matrix components[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2012, 3(12): 12.
- [16] TOSUN M N, TAYLAN G, ZORBA N N D. Antibacterial and antibiofilm activities of some plant essential oils and synergistic effects of cinnamon essential oil with vancomycin against *Clostridioides difficile*: *In vitro* study[J]. *Letters In Applied Microbiology*, 2022, 75(3): 598–606.
- [17] WEI Q L, LIU X L, ZHAO S H, et al. Research note: Preservative effect of compound spices extracts on marinated chicken[J]. *Poultry Science*, 2022, 101(5): 101778.
- [18] ZHU Y L, LI C Z, CUI H Y, et al. Encapsulation strategies to enhance the antibacterial properties of essential oils in food system[J]. *Food Control*, 2020, 123(2): 107856.
- [19] FALLEH H, JEMAA M B, SAADA M, et al. Essential oils: A promising eco-friendly food preservative[J]. *Food Chemistry*, 2020, 330: 127268.
- [20] LI Y, SHOEMAKER C F, MA J G, et al. Paste viscosity of rice starches of different amylose content and carboxymethylcellulose formed by dry heating and the physical properties of their films[J]. *Food Chemistry*, 2008, 109(3): 616–623.
- [21] LIU C, QIN S J, XIE J, et al. Using carboxymethyl cellulose as the additive with enzyme-catalyzed carboxylated starch to prepare the film with enhanced mechanical and hydrophobic properties[J]. *Frontiers In Bioengineering And Biotechnology*, 2021, 9: 638546.
- [22] ZHOU W, HE Y X, LIU F, et al. Carboxymethyl chitosan-pullulan edible films enriched with galangal essential oil: Characterization and application in mango preservation[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2021, 256: 117579.
- [23] USHA R P, MADHUSUDHANAMURTHY J, SREEDHAR B. Dynamic adsorption of α -pinene and linalool on silica nanoparticles for enhanced antifeedant activity against agricultural pests[J]. *Journal of Pest Science*, 2014, 87(1): 191–200.
- [24] TANG S W, ZOU P, XIONG H G, et al. Effect of nano-SiO₂ on the performance of starch/polyvinyl alcohol blend films [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2008, 72(3): 521–526.
- [25] 麦馨允, 陈庆金, 谭彦妮, 等. 魔芋葡甘聚糖/纳米SiO₂复合涂膜配方及其对芒果贮藏品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(1): 177–184.
MAI X Y, CHEN Q J, TAN Y N, et al. Effect of konjac glucomannan/nano-silica composite coating on the quality of mango fruit[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2018, 44(1): 177–184.
- [26] ZHANG R F, WANG X Y, CHENG M. Synthesis and characterization of konjac glucomannan/carrageenan/nano-silica films for the preservation of postharvest white mushrooms[J]. *Polymers*, 2019, 11(1): 6.
- [27] SMAOUI S, HLIMA H B, BRAEK O B, et al. Recent advancements in encapsulation and microencapsulation techniques of bioactive compounds as a promising technique for meat preservation[J]. *Meat Science*, 2021, 181: 108585.
- [28] TIAN Y Q, ZHOU L, LIU J P, et al. Effect of sustained-release tea tree essential oil solid preservative on fresh-cut pineapple storage quality in modified atmospheres packaging[J]. *Food Chemistry*, 2023, 417: 135898.
- [29] GUERRERO-LEGARRETA I. Spoilage of cooked meat and meat products [M]// BATT C A, TORTORELLO M L, ed. *Encyclopedia of food microbiology (Second Edition)*, New York: Academic Press, 2014: 508–513.
- [30] 郗泽文. 可食用涂膜在卤鸭脖保鲜中的应用[D]. 南昌: 南昌大学, 2019.
XI Z W. Application of edible coating in the preservation of pot-stewed duck neck[D]. Nanchang: Nanchang University, 2019.
- [31] SI W H, GAO Y, MEI X, et al. Mesoporous silica nanoparticles loaded with capsaicin and their oxidation resistance in meat preservation[J]. *Food Chemistry*, 2021, 344: 128737.
- [32] JIANG F H, ZHOU L, ZHOU W, et al. Effect of modified atmosphere packaging combined with plant essential oils on preservation of fresh-cut lily bulbs

- [J]. LWT - Food Science And Technology, 2022, 162: 113513.
- [33] ZHONG Y Y, LI W H, RAN L D, et al. Inclusion complexes of tea polyphenols with HP- β -cyclodextrin: Preparation, characterization, molecular docking, and antioxidant activity[J]. Journal of Food Science, 2020, 85(1): 1105-1113.
- [34] SELIGRA P G, JARAMILLO C M, FAMA L, et al. Biodegradable and non-retrogradable eco-films based on starch-glycerol with citric acid as crosslinking agent[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 138: 66-74.
- [35] ELBEHERY H H, IBRAHIM S S. Cinnamon essential oil loaded β -cyclodextrin/gum arabic nanoparticles affecting life table parameters of potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller)[J]. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2022, 42: 102349.
- [36] VERONESE A F, ROCHA T D S, FRANCO C M L, et al. Starch-carboxymethyl cellulose (CMC) mixtures processed by extrusion[J]. Starch - Starke, 2018, 70(11): 1700336.
- [37] 李青青, 刘桂伶, 任田. 肉桂醛在食品活性包装中的抗菌应用研究进展[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(4): 161-168.
- LI Q Q, LIU G L, REN T. Research progress on antimicrobial applications of cinnamaldehyde in food active packaging[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(4): 161-168.
- [38] 薛京昌, 徐晓怡, 郑海松. 肉桂醛对4种常见细菌的体外抑菌实验研究[J]. 检验检疫学刊, 2013, 23(4): 50-53.
- XUE J C, XU X Y, ZHENG H S. Bacteriostasis test of 4 common bacteria on cinnamaldehyde *in vitro*[J]. Inspection and Quarantine Science, 2013, 23(4): 50-53.
- [39] YUAN Y, GENG X, WU H, et al. Chemical composition, antimicrobial activities, and microencapsulation by complex coacervation of tea tree essential oils[J]. Journal of Food Processing And Preservation, 2022, 46(7): e16585.
- [40] 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 熟肉制品: GB 2726-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Hygienic standard for cooked meat products: GB 2726-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [41] 陈雪, 赵嘉越, 董鹏程, 等. 生物保鲜剂结合气调包装对烤鸭货架期及微生物多样性的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(10): 177-187.
- CHEN X, ZHAO J Y, DONG P C, et al. Effects of biological preservative combined with modified atmosphere packaging on shelf-life and microbial diversity of roast duck[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(10): 177-187.
- [42] LONGBOTTOM C J, CARSON C F, HAMMER K A, et al. Tolerance of *Pseudomonas aeruginosa* to *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil is associated with the outer membrane and energy-dependent cellular processes[J]. Journal of Antimicrobial Chemotherapy, 2004, 54(2): 386-392.
- [43] CUI H, BAI M, LI C, et al. Fabrication of chitosan nanofibers containing tea tree oil liposomes against *Salmonella* spp. in chicken[J]. LWT - Food Science and Technology, 2018, 96: 671-678.
- [44] FRIEDMAN M, HENIKA P R, MANDRELL R E. Bactericidal activities of plant essential oils and some of their isolated constituents against *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, and *Salmonella enterica*[J]. Journal Food Protection, 2002, 65(10): 1545-1560.
- [45] MIR N A, RAFIQ A, KUMAR F, et al. Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: A review[J]. Journal of Food Science & Technology, 2017, 54(10): 2997-3009.
- [46] 潘成磊. 卤烤鸭贮藏特性及品质改良的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- PAN C L. Study on the quality change rule and improvement method of grilled marinated duck during storage [D]. Chongqing: Southwest University, 2020.
- [47] ALIZADEH-SANI M, MOHAMMADIAN E, MC-CLEMENTS D J. Eco-friendly active packaging consisting of nanostructured biopolymer matrix reinforced with TiO₂ and essential oil: Application for preservation of refrigerated meat [J]. Food Chemistry, 2020, 322: 126782.
- [48] BADIA V, OLIVEIRA M, POLMANN G, et al. Effect of the addition of antimicrobial oregano (*Origanum vulgare*) and rosemary (*Rosmarinus officinalis*)

- essential oils on lactic acid bacteria growth in refrigerated vacuum-packed Tuscan sausage[J]. Brazilian Journal of Microbiology, 2020, 51 (1): 289–301.
- [49] PETROU S, TSIRAKI M, GIATRAKOU V, et al. Chitosan dipping or oregano oil treatments, singly or combined on modified atmosphere packaged chicken breast meat[J]. International Journal of Food Microbiology, 2012, 156(3): 264–271.
- [50] 张强, 孙玉军, 蒋圣娟, 等. 洋葱、生姜、大蒜提取物对冷却肉保鲜效果的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(4): 310–314.
- ZHANG Q, SUN Y J, JIANG S J, et al. Preservation effects of onion, ginger and garlic extraction on chilled pork[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(4): 310–314.
- [51] CHEN X, CHEN W W, LU X, et al. Effect of chitosan coating incorporated with oregano or cinnamon essential oil on the bacterial diversity and shelf life of roast duck in modified atmosphere packaging[J]. Food Research International, 2021, 147: 110491.
- [52] 李婷婷, 励建荣, 胡文忠. 可食性壳聚糖涂膜保鲜大黄鱼品质控制研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(6): 147–152.
- LI T T, LI J R, HU W Z. Effects of edible coatings chitosan on the shelf life of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*)[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(6): 147–152.
- [53] 路露, 束成杰, 葛翎, 等. 肉桂精油和肉桂醛的抑菌、抗氧化和酪氨酸酶抑制活性研究[J]. 林产化学与工业, 2022, 42(3): 105–110.
- LU L, SHU C J, GE L, et al. The antibacterial activity, antioxidant and antityrosinase activities of cinnamon essential oil and cinnamaldehyde [J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2022, 42(3): 105–110.
- [54] 王楠. 茶树精油及其主要组分松油烯-4-醇对采后草莓品质和抗病性的影响研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2020.
- WANG N. Effects of tea tree oil and its main compound terpinen-4-ol on the quality and disease resistance of postharvest strawberry[D]. Ningbo: Ningbo University, 2020.
- [55] JOUKI M, YAZDI F T, MORTAZAVI S A, et al. Effect of quince seed mucilage edible films incorporated with oregano or thyme essential oil on shelf life extension of refrigerated rainbow trout fillets[J]. International Journal of Food Microbiology, 2014, 174: 88–97.
- [56] 郝泽文, 成策, 彭盛峰, 等. 柠檬精油乳液可食用涂膜液对冷藏卤鸭脖的保鲜效果[J]. 食品科学, 2020, 41(1): 237–243.
- XI Z W, CHENG C, PENG S F, et al. Effect of lemon essential oil emulsion edible coating on quality preservation of refrigerated pot-stewed duck neck [J]. Food Science, 2020, 41(1): 237–243.
- [57] WANG Y, DU Y T, XUE W Y, et al. Enhanced preservation effects of clove (*Syzygium aromaticum*) essential oil on the processing of Chinese bacon (preserved meat products) by beta cyclodextrin metal organic frameworks (beta-CD-MOFs)[J]. Meat Science, 2023, 195: 108998.

Effects of Characterization of Solid Plant Essential Oil Preservative and Its Storability on Pot-stewed Duck Neck in Modified Atmosphere Packaging

Yu Wenzhi, Tian Yuqing, Zhou Lei*, Yu Kaibo, Zou Liqiang, Liu Wei

(State Key Laboratory of Food Science and Resources, Nanchang University, Nanchang 330047)

Abstract In this study, based on the chemical encapsulation of starch-sodium carboxymethyl cellulose and physical adsorption of nano-silica, the solid plant essential oil (the mass ratio of tea tree essential oil to cinnamon essential oil was 2:1) preservative was prepared by mechanical extrusion granulation method, and the preservation effect of solid plant essential oil preservative combined with modified atmosphere packaging on pot-stewed duck necks were investigated. Infrared analysis confirmed that the composite essential oil was effectively encapsulated. GC-MS results showed that the content of essential oil was 12.41% and the encapsulation efficiency was 73.87%. The results of storage experiments in room temperature showed that white colonies were observed on the second day of the control group. The pH value

showed a continuous downward trend within 4 days of storage, and the thiobarbituric acid reaction product value and volatile base nitrogen content increased, indicating that the continued oxidative degradation of fat and protein in the stewed duck neck during storage. White colonies appeared on the 4th day in the single modified atmosphere (70% N₂/30% CO₂) group or preservative group, and the increase of thiobarbituric acid reaction product value and volatile base nitrogen was slower than that in the control group, indicating that both of them could effectively delay the deterioration of the quality of pot-stewed duck necks. Essential oil solid preservatives combined with modified atmosphere packaging can further inhibit the growth of microorganisms in pot-stewed duck necks, white colonies appeared on the 6th day, and effectively control the increase of thiobarbituric acid reaction product value and volatile base nitrogen content during storage. Therefore, modified atmosphere packaging combined with solid plant essential oil preservative treatment can further improve the storage quality and prolong the shelf life of pot-stewed duck neck.

Keywords plant essential oils; solid preservative; modified atmosphere packaging; pot-stewed duck neck; shelf life