

肉桂皮精油 Pickering 乳液浸泡对中华管鞭虾肌肉品质的影响

张睿涵¹, 郭晓晓¹, 杨红丽¹, 彭思维¹, 张 宾^{1,2}, 陈 静^{1,2*}

(¹ 浙江海洋大学食品与药学学院 浙江舟山 316022

² 浙江省海鲜健康危险因素重点实验室 浙江舟山 316022)

摘要 为探究肉桂皮精油 Pickering 乳液(CBOP)对中华管鞭虾肌肉品质特性的影响,以试验组 1(6.25 mL/L)、试验组 2(3.125 mL/L)、试验组 3(1.5625 mL/L)和空白组(去离子水)4 种浓度的 CBOP 浸泡处理的中华管鞭虾为对象,经食品聚乙烯包装袋封装后于 4℃冰箱中模拟冷链运输条件,在贮藏第 0,2,4,6,8,10 天时分别取样,对中华管鞭虾进行感官评定、肌肉色泽、pH 值、持水力、蒸煮损失及挥发性盐基氮指标测定,分析贮藏期间中华管鞭虾的品质变化。结果表明,随着贮藏时间的延长,结果表明,随着贮藏时间的延长,试验组 1 的中华管鞭虾的肌肉持水力在第 10 天时为(76.51±0.12)%,显著高于空白组的(70.13±0.13)%;第 10 天时,试验组 1 中虾肉的蒸煮损失率为(27.31±0.12)%,显著低于空白组的(31.33±0.15)%;试验组 1 挥发性盐基氮含量在第 8 天达到了(33.13±0.48) mg/100 g,空白组在第 4 天就达到了(27.39±0.4) mg/100 g,第 6 天高达(40.65±0.58) mg/100 g。结论:CBOP 浸泡处理为一种安全、高效的新型保鲜方式,能良好地保持新鲜中华管鞭虾虾肉的品质特性。

关键词 中华管鞭虾; Pickering 乳液; 保鲜方式; 品质特性

文章编号 1009-7848(2025)03-0389-10 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2025.03.037

中华管鞭虾(*Solenocera crassicornis*)又称红虾,因肉质鲜美且富含丰富的氨基酸及钙、镁、磷元素而深受广大消费者喜爱^[1],对孕妇和儿童尤有好处^[2]。中华管鞭虾在海捕虾中占有十分重要的地位^[3],其空间生态位宽度和实践生态位宽度在多种虾种类中均名列前茅,相对重要性指数排名第一^[5]。海捕中华管鞭虾生物量高及分布范围广^[6]。东海作为我国重要的渔业捕捞海域,渔业资源富足^[3],中华管鞭虾主要集中在东海 20~80 m 水深的近海海域,是浙江乃至整个东海沿海张网作业和近海拖虾作业的重要捕捞对象。中华管鞭虾因高含水量、内源蛋白酶活跃以及外源微生物繁殖污染等问题而导致其极易腐败变质^[7],在贮藏过程中容易出现虾头黑变、虾体干耗、货架期短等一系列的棘手问题,因此提高中华管鞭虾的食用安全性,防止腐败变质,延长货架期,是目前亟需解决的问题。

目前针对水产品的保鲜方法主要包括物理保鲜和化学保鲜,其中控温保鲜作为一种物理保鲜方法,是水产品抗菌保鲜中应用最广泛、最成熟、最简单的一种水产品抗菌保鲜方法。冻结保鲜是

将水产品置于-50℃温度下,如邵颖等^[8]对冻结过程中的鲈鱼做了研究,发现冻结保藏环境温度过低,在冻结期间会使水产品的蛋白质变性,以至于解冻后其口感和外观都会受影响,效果不够理想^[9]。冰藏保鲜通常是将水产品产品在 0~4℃条件下贮藏,可以抑制部分嗜温细菌的生长。如 Mustafa 等^[10]研究凡纳滨对虾贮藏期内肠道菌群菌相变化,发现冰藏保鲜可使虾自身原有品质得到最大程度地保持。Yu 等^[11]发现通过复合保鲜可以显著减慢凡纳滨对虾虾体的劣变速度,相较于单一保藏方式具有更为理想的保鲜效果。抗菌保鲜液保鲜法是化学保鲜法的一种,是以浸渍或涂布等方式附着在食品表面,利用大分子间的相互作用形成具有多孔网络结构的薄膜^[12]。天然抗菌剂主要从动植物中提炼精制而成,具有安全、绿色无污染的特点,因此利用冰藏保鲜结合天然抗菌剂来延长虾类产品货架期,是未来的一个主要发展方向。肉桂皮精油(Cinnamon bark oil)是一种提取于肉桂植物的树皮或叶子的天然防腐剂^[13]。肉桂皮精油含有肉桂醛、丁香酚和反式肉桂醛等多种活性成分,具有出色的抗菌、抗炎、抗肿瘤和抗癌等特性^[14-15],对食源性致病菌和腐败菌的生长表现出良好的抑制作用,其中所含萜烯类、醛类等活性成分亦赋予其

收稿日期: 2024-03-25

第一作者: 张睿涵,男,硕士生

通信作者: 陈静 E-mail: chenjing1979@126.com

较强抗氧化活性。肉桂皮精油已被美国食品和药物管理局(FDA)认定为“公认安全”(GRAS),主要应用于食品调味和生活必需品的加工生产^[16]。然而,肉桂皮精油的稳定性和水溶性差以及对环境敏感等因素限制了其应用范围^[17],尤其是在水产品保鲜领域,而将肉桂皮精油制成 Pickering 乳液可有效解决这一问题。

Pickering 乳液由两个不相溶的相组成,广泛应用于食品和制药行业^[18-19],可以通过运用胶体颗粒来取代表面活性剂,以此达成稳定的效果,Pickering 乳液受到越来越多的关注^[20]。乳化剂是 Pickering 乳液体系中不可或缺的一部分,可使油、水两相相溶。玉米醇溶蛋白(Zein)具有良好的溶解性,是疏水性活性成分的理想载体^[21]。因玉米醇溶蛋白良好的成膜性^[21-22],故目前被应用于多个领域^[23]。本研究选取肉桂皮精油为油相,去离子水为水相,玉米醇溶蛋白为乳化剂应用于 Pickering 乳液体系的构建^[24]。用不同浓度的肉桂皮精油 Pickering 乳液浸泡处理新鲜中华管鞭虾,模拟 4℃冷链运输,探究该方法对中华管鞭虾的保鲜作用,旨在为虾类冷链运输过程中保障肌肉品质以及延长保鲜货架期提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

试验原料:中华管鞭虾购于舟山国际水产城(在低温保鲜的状态下 30 min 内送至实验室,并立即进行分拣和试验的预处理)。

主要试剂:肉桂皮精油(Cinnamon bark oil),多特瑞(上海)商贸有限公司;玉米醇溶蛋白、阿拉伯胶,河南万邦实业有限公司(均为食品级);0.1 mol/L 盐酸标准滴定液,深圳市博林达科技有限公司;甲基红、溴甲酚绿,天津市福晨化学试剂厂;95%乙醇、轻质氧化镁、硼酸,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

FE28 型实验室 pH 计,梅特勒托利多科技(中国)有限公司;KDN-520 全自动凯式定氮仪,邦亿精密量仪(上海)有限公司;电子天平 ME403E/02,梅特勒托利多科技(中国)有限公司;精密色差仪 Precise Colorimeter CS-210,广州卓谐仪器设备有限公司;

FJ200-S 数显高速均质机,上海力辰邦西仪器科技有限公司;DK-S12 电热恒温水浴锅,上海森信实验仪器有限公司;高速台式冷冻离心机 H1750R,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 乳液的制备 将玉米醇溶蛋白加入体积分数 70%乙醇水溶液中,磁力搅拌 2 h 后放于 4℃储藏过夜,保证玉米醇溶蛋白充分水合。利用旋转蒸发仪去除乙醇和小部分水制备得到玉米醇溶蛋白-乙醇溶液(颗粒质量浓度在 20 g/L)。将上述溶液与肉桂精油混合(玉米醇溶蛋白-乙醇溶液与肉桂精油体积比为 4:1)。加入阿拉伯胶(添加量为 0~10 g/L)涡旋 1 min,均质 2 min(7 000 r/min),超声 5 min(超声参数为工作 9.9 s,间歇 2 s。)后得到肉桂皮精油 Pickering 乳液(下文中简称为 CBOP)。再将其加入去离子水中稀释,均质后得到肉桂乳液稀释液。稀释后浓度分别为 6.25,3.125,1.5625,0 mL/L(空白组),分别设为试验组 1,2,3 以及空白组。

1.3.2 中华管鞭虾的预处理 将新鲜、洗净和沥干的中华管鞭虾放入托盘中,试验组 1、试验组 2 和试验组 3 分别放入 4℃预冷的不同浓度的 CBOP 稀释液中浸泡 30 min,空白组在将挑拣后样品放入 4℃预冷的去离子水中浸泡 30 min,浸泡后取出分别置于干净的一次性托盘中,再装入食品聚乙烯包装袋中,放置于 4℃冰箱中待用并在贮藏的第 0,2,4,6,8,10 天时取样检测。

1.3.3 中华管鞭虾的感官评定 对中华管鞭虾的感官状况,参照《水产感官评价指南》(GB/T 37062-2018)和段秀霞^[25]及其它感官评定方法,试验选择 10 名食品专业人员,经培训后对产品的色泽、气味和组织结构 3 个方面,满分为 30 分(其中 12 分作为感官拒绝点),最终评分以评价人员的平均分为准。评分标准如表 1 所示。

1.3.4 中华管鞭虾色差值的测定 参照国际照明委员会(CIE)推荐的 CIELab 表色系,用精密色差仪来测定中华管鞭虾贮藏期间的色差变化。色差的改变由于各部位的颜色有很大的差别^[26],所以将中华管鞭虾洗净后,以虾背部第二节肌肉为测试点,测定虾表面 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值。 L^* 为正值表示偏白, a^* 为正值表示偏红, b^* 为正值表示偏黄。

表 1 中华管鞭虾感官评定表
Table 1 Sensory evaluation table of *Solenocera crassicornis*

感官描述	很差(0~2)	较差(3~4)	一般(5~6)	好(7~8)	非常好(9~10)
色泽	虾体呈暗褐色且暗淡, 汁水流失严重	虾体呈褐色出现较多黑斑, 伴随汁水流出	虾体出现少量黑斑, 色泽不均匀	虾肉纹路较为明显, 色泽微微变深	虾肉纹路明显, 皮肉颜色浅且色泽均匀
气味	有强烈的硫化氢味, 伴有微弱的精油刺激性气味	有硫化氢味, 精油刺激性气味变淡	轻微的硫化氢气味, 伴有精油的刺激性味道	具有轻微虾味, 有明显的精油气味	具有虾肉特有的香味特征, 伴有精油味道, 无其它异味
组织结构	壳肉分离、虾肉无弹性	壳肉出现少量分离、虾肉缺乏弹性	虾身躯完整, 肌肉组织发软, 弹性下降	虾身躯完整, 肌肉组织致密, 较有弹性	虾身躯完整, 头尾紧密相连, 肌肉组织致密完整具有弹性

1.3.5 中华管鞭虾 pH 值的测定 参考 GB 5009.237-2016 标准^[27], 将为中华管鞭虾均匀切碎准确称取 3.0 g 虾肉加入离心管, 加入 27 mL 的去离子水, 用 10 000 r/min 的转速均匀浆液 1 min 后于冰水浴条件下静置 30 min, 用 pH 计测定混合溶液的 pH 值。

1.3.6 中华管鞭虾持水力的测定 参照胡亚芹等^[28]的方法并略做修改后进行测定, 将 4 组中华管鞭虾分别称取 3.0 g 左右中华管鞭虾, 称重记录准确的数值(m_0)用滤纸包裹虾肉, 置于离心管中, 然后在 4 ℃下 5 000 r/min 离心 10 min, 取出滤纸称质量(m_1), 根据方程计算:

$$\text{持水力}(\%) = \frac{(m_0 - m_1)}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

1.3.7 中华管鞭虾蒸煮损失的测定 参照汪雪娇^[29]的方法并略做修改后进行测定, 将 4 组中华管鞭虾分别用厨房纸吸干后, 称取 5.0 g 左右中华管鞭虾, 记录其质量(m_2), 放入保鲜袋中, 85 ℃水浴 15 min 后取出样品冷却至室温, 再次用厨房纸吸干表面水分, 称量水浴后的中华管鞭虾肉质量加(m_3)。根据加工前后中华管鞭虾质量, 计算蒸煮损失率:

$$\text{蒸煮损失}(\%) = 1 - \frac{(m_2 - m_3)}{m_2} \times 100 \quad (2)$$

1.3.8 中华管鞭虾中挥发性盐基氮含量的测定 参考食品中挥发性盐基氮的测定(GB 5009-228-2016-KW)^[30]标准, 采用全自动凯式定氮仪对 4 组中华管鞭虾肉进行测定, 称量中华管鞭虾剁碎后的肌肉组织 10.0 g, 加入 75 mL 纯水, 在冰水水浴条件下静止 30 min 后, 加入 1 g 轻质氧化镁, 放入

凯氏定氮仪, 后用标准盐酸对得到的溶液进行滴定并计算。

1.3.9 数据处理与分析 采用 Excel 2019 进行数据处理, 采用 SPSS (IBM SPSS Statistics 25)对测定结果进行分析, 采用 ANOVA 算法进行方差分析, 采用 Duncan's 算法进行多重比较分析, 判断显著性差异($P < 0.05$)。采用 Origin 2021 软件进行作图。

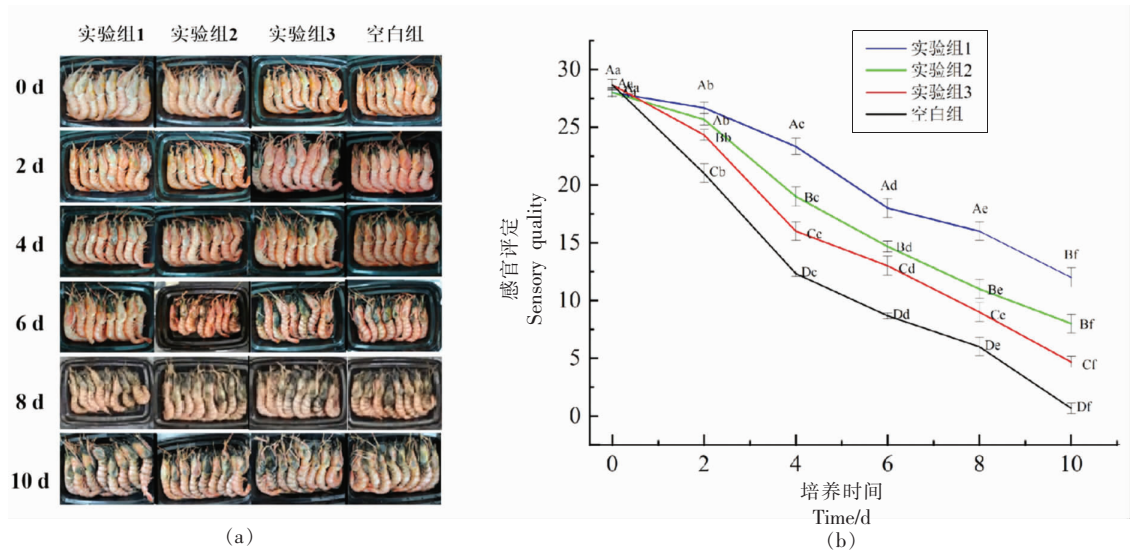
2 试验结果与讨论

2.1 Pickering 乳液处理对中华管鞭虾感官特性的影响

中华管鞭虾在贮藏期间受蛋白酶活力以及细菌的影响, 虾头以及躯干部位均会产生不同程度的脱壳现象, 虾头发黑并渗出大量茶褐色的汁液, 躯干部位产生小面积黑点, 同时散发出刺鼻的硫化氢气味。结果如图 1a 所示, 新鲜的中华管鞭虾的肌肉组织富有弹性、肌肉纹理清晰且色泽呈浅粉红色^[31]。随贮藏期延长, 受蛋白酶活力以及细菌的影响, 虾头部位以及躯干部位均产生了不同程度的脱壳现象, 虾头明显发黑并渗出大量茶褐色的汁液, 在躯干部位上产生了小面积黑点^[32]。由图 1b 可知, 在 3 组 CBOP 处理组中华管鞭虾的整体评分均高于空白组, 试验组 1、2、3 的感官得分显著高于空白组, 并且随着 CBOP 浓度的升高, 感官评分更高。空白组的感官评分在第 4 天达到了感官拒绝点(12 分), 主要表现为头部脱落且肢体黑变, 且有刺鼻的硫化氢气味产生, 中华管鞭虾的肝脏、胰脏及消化系统均位于其头部, 其体内存在多

种酚类、酶类等物质,被氧化后生成的黑色素在其头部沉积,进而影响中华管鞭虾的腐烂过程^[32]。3 组试验组的中华管鞭虾虽然也表现出不同程度的头部脱落且肢体黑变并产生少量的硫化氢气味,但是相较于空白组并不明显。试验组中中华管鞭虾的刺鼻性气味也不是很明显,试验组 2 和试验

组 3 分别在第 6 天和第 8 天也到达感官拒绝点,而试验组 1 在 10 d 的贮藏周期结束后仍未到达感官拒绝点,这可能是因为 CBOP 具有一定的抗油脂氧化作用,能增强中华管鞭虾贮藏稳定性使其体内的多不饱和脂肪酸不易在贮存过程中被氧化,进而延缓中华管鞭虾的腐败。



注:不同大写字母表示相同贮藏时间内不同试验组虾肉之间差异显著($P<0.05$),不同小写字母表示相同试验组虾肉在不同贮藏时间节点之间差异显著($P<0.05$),下同。

图 1 不同浓度 CBOP 处理在贮藏期间关于中华管鞭虾的照片(a)和感官品质(b)的影响
Fig.1 Effect of different concentration of CBOP on the photographic (a) and sensory quality (b) of *Solenocera crassicornis* during storage

2.2 Pickering 乳液处理对中华管鞭虾色差值的影响

中华管鞭虾在不同储藏时期,其自身颜色会发生不同程度的改变,色差值可以很好地反映中华管鞭虾虾体表面色泽度的变化。结果如图 2 所示,中华管鞭虾在储藏期间,其身体的透明性逐渐降低,从第 6 天到第 10 天,中华管鞭虾的 L^* 值下降速率加快(图 2a),随着 CBOP 浓度的增加,趋势逐渐减缓,而未经 CBOP 处理的中华管鞭虾的透明性则随保存时间的增加而降低,且在第 10 天达到最低水平。试验组 1 的中华管鞭虾的 L^* 值和通透效果都优于其它试验组,原因可能是虾体在死亡后,酶类物质与氧气反应生成的有色醌类物质导致的^[33],这种有色醌类物质会使虾体变得不透明,颜色也会变得越来越暗。而试验组可能是因为

CBOP 具有抗氧化的作用延缓了 L^* 值的下降。从图 2b 中可以明显地看出,CBOP 处理后虾体的整体幅度变化不大,虾体 a^* 值比较稳定,而未处理组的 a^* 值上升趋势明显 ($P<0.05$), a^* 值的上升表明中华管鞭虾虾体表面颜色逐步加深、变暗,原因可能是酶类物质的影响,导致色泽度呈跨越式变化,通过 CBOP 处理可以有效地维持中华管鞭虾鲜亮的表体色泽。图 2c 显示,各组虾仁肌肉 b^* 值随贮藏时间延长呈逐渐上升趋势,可能是因为虾肌肉中部分蛋白质及脂质发生氧化,品质逐渐下降,致使虾体逐渐发黄^[34-35]。其中,相同贮藏时间下,随着 CBOP 浓度升高, b^* 值显著降低($P<0.05$),可能是因为 CBOP 抑制了肌肉中脂质氧化的发生,从而有效抑制了虾仁肌肉冷藏期间 b^* 值的上升。Yarnpakdee 等^[36]在研究中也发现 b^* 值变化被

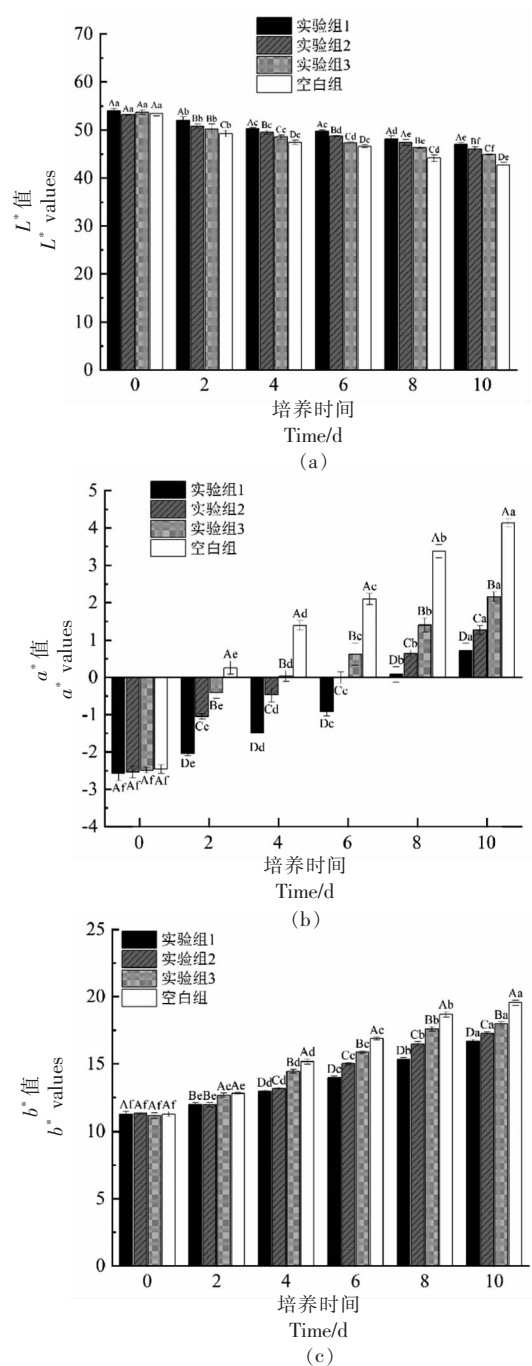


图 2 不同浓度 CBOP 处理在贮藏期间对中华管鞭虾的 L^* 值(a)、 a^* 值(b)和 b^* 值(c)的影响

Fig.2 Effect of different concentration of CBOP on the L^* values (a), a^* values (b) and b^* values (c) of *Solenocera crassicornis* during storage

认为与脂肪氧化产物的产生存在密切的相关性。

2.3 Pickering 乳液处理对中华管鞭虾 pH 值的影响

在水产品的贮存过程中,pH 值的变化往往能

反映其生理状况,也是评价其质量的一个重要指标。中华管鞭虾发生极易腐败变质,虾体内的蛋白质、氨基酸等物质的分解直接导致了氨、吲哚、三甲胺、组胺等碱性化合物的产生^[37]从而引起 pH 值升高。如图 3 所示,所有样品在贮藏的期间 pH 值都呈现出较为明显的变化。在贮藏初期乳液处理组的 pH 值的变化明显的原因可能是由于中华管鞭虾肌肉组织内的糖原物质分解,产生了微量的酸^[38],导致了肌肉 pH 值略微下降。而在贮藏中期以及后期,与空白组相比,所有 CBOP 处理组都能有效降低中华管鞭虾的 pH 值,呈现出浓度依赖趋势,这可能是由于 CBOP 中的抗菌活性物质可以有效的抑制微生物活性,延缓了蛋白质的降解,最终抑制了带鱼在贮藏过程碱性物质的增加。该结果与关睿等^[39]对冷藏草鱼肌肉 pH 值的研究结果相一致。Thanasak 等^[40]对太平洋白对虾黑变病进行了研究,发现 pH 值也表现出了先降后升的趋势。说明不同浓度的 CBOP 都在一定程度上延缓了 pH 值的上升,可以更有效地延长中华管鞭虾的货架期。

2.4 Pickering 乳液处理对中华管鞭虾持水力的影响

持水性本身是蛋白质结构和肌肉组织弹性能力大小的综合反映,肌肉持水力是指当肌肉受到外力作用时保持原有水分的能力^[41],是影响其加工品质的重要因素之一^[42]。如图 4 所示,中华管鞭虾的持水性随时间的延长而降低,这可能是由于细菌开始大量繁殖,并逐步破坏了蛋白质,肌肉组织在细菌的侵蚀下变得柔软,从而造成了水分的流失。在 10 d 贮藏期内,所有 CBOP 处理组都能有效维持中华管鞭虾的持水力,并呈现出浓度依赖趋势。呈现这种趋势的原因可能是 CBOP 中的活性物质可以延缓蛋白质的腐败,从而提高了虾肌肉中蛋白质的持水能力,另一方面,CBOP 的抗菌性也减小了中华管鞭虾肌肉组织被细菌分解变质的速度。

2.5 Pickering 乳液处理对中华管鞭虾蒸煮损失的影响

蒸煮损失体现了中华管鞭虾在蒸煮过程中保留水分的能力,可直接影响中华管鞭虾的味道、色泽、质感、嫩度以及黏结性等特征^[40]。由图 5 可知,

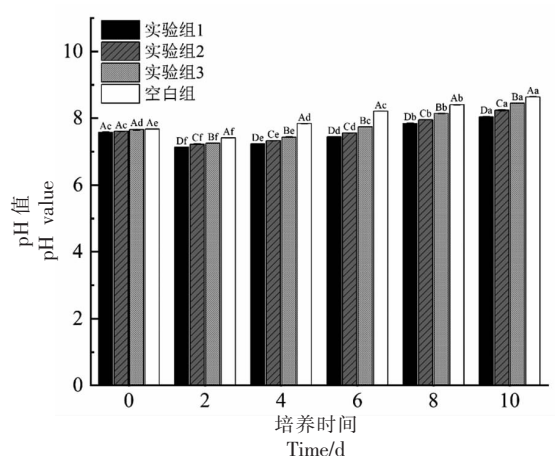


图3 不同浓度CBOP处理在贮藏期间对中华管鞭虾pH值的影响

Fig.3 Effect of different concentration of CBOP on pH of *Solenocera crassicornis* during storage

中华管鞭虾的蒸煮损失率随着贮藏时间延长而上升,所有CBOP处理组都能有效降低中华管鞭虾的蒸煮损失,并在组间呈现出浓度依赖趋势,这可能是由于CBOP中的抗菌活性物质抑制了微生物活性,最终抑制了中华管鞭虾在贮藏过程中的肌肉组织腐败。

2.6 Pickering 乳液处理对中华管鞭虾挥发性盐基氮的影响

水产品变质作用下,蛋白质、氨基酸等会发生降解,生成小分子胺及含氮的含氮化合物^[43]。挥发性盐基氮化物是评价水产品变质程度的重要指

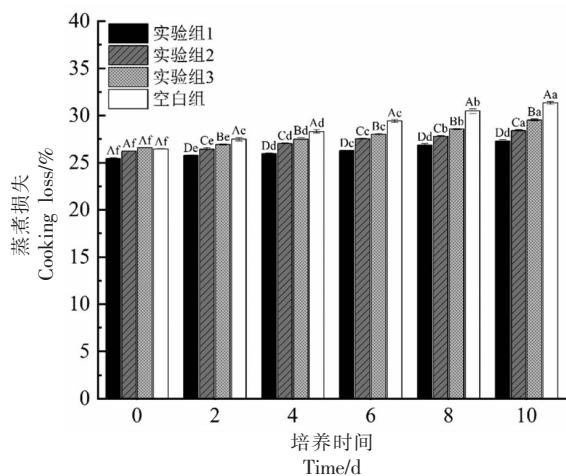


图5 不同浓度CBOP处理在贮藏期间对中华管鞭虾的蒸煮损失的影响

Fig.5 Effect of different concentration of CBOP on cooking loss of *Solenocera crassicornis* during storage

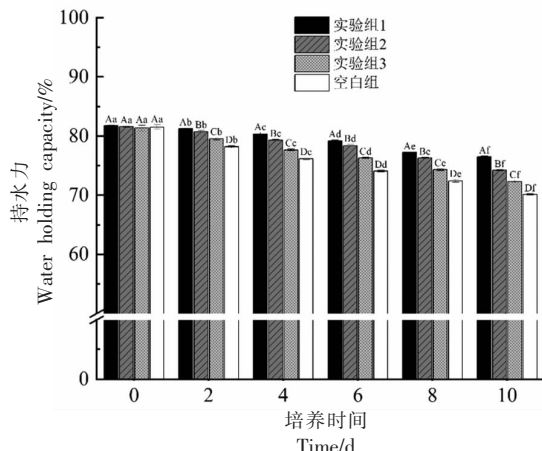


图4 不同浓度CBOP处理在贮藏期间对中华管鞭虾持水力的影响

Fig.4 Effect of different concentration of CBOP on water holding capacity of *Solenocera crassicornis* during storage

标。中华管鞭虾在储藏过程中,其新鲜程度随储藏时间的增加而下降,其总氮含量也随之增加。图6表明,贮存时间与TVB-N值之间具有良好的相关性。随着贮存时间的延长,在微生物的作用下,体内的蛋白质会被分解为氨类、三甲胺等低分子含氮化合物^[44],因此TVB-N的值表现出上升的趋势。GB 2733-2015^[45]标准将30 mg/100 g作为海虾TVB-N的标准极限。结果表明,贮藏第4天,空白组和试验组3的TVB-N值分别达到(40.65±0.58) mg/100 g和(36.07±0.24) mg/100 g,说明此时中华管鞭虾已经腐败,而CBOP处理组的TVB-N值并

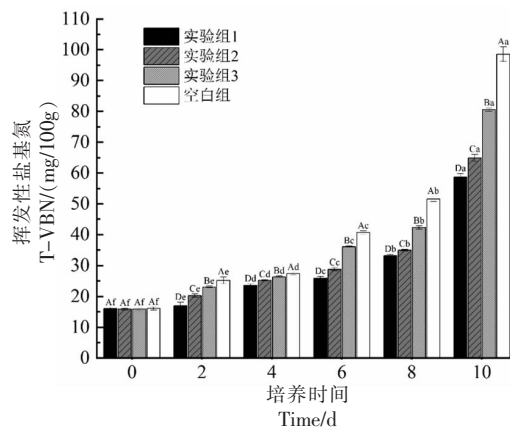


图6 不同浓度CBOP处理在贮藏期间对中华管鞭虾的挥发性盐基总氮的影响

Fig.6 Effect of different concentration of CBOP on TVB-N of *Solenocera crassicornis* during storage

没有超过这个极限。贮藏4 d后,不同浓度CBOP处理组之间的浓度依赖趋势显著($P<0.05$),试验组1和试验组2则在第8天超过的30 mg/100 g,上述结果表明,CBOP可以有效的抑制中华管鞭虾体内细菌的生长繁殖和胞外蛋白酶生成,减缓氨基酸脱胺的速度,减少了含氮类物质的生成,从而保持了中华管鞭虾的品质,这与徐瑞等^[46]探究的壳聚糖/丁香精油微乳液复合膜的制备及其对n-3猪肉的保鲜应用趋势相似,说明CBOP可以有效保持中华管鞭虾的品质,延长了中华管鞭虾的货架期。

3 结论

本研究对比分析了对中华管鞭虾去离子水浸泡(空白组)及3种不同浓度的肉桂皮精油 Pickering 乳液浸泡处理的中华管鞭虾浸泡处理后模拟4℃冷链运输条件,并对中华管鞭虾进行感官评定,对其肌肉色泽、pH值、持水力、蒸煮损失、以及挥发性盐基氮等指标进行了测定以及分析。结果发现,肉桂皮精油 Pickering 乳液处理组中华管鞭虾肌肉中感官评定得分和持水力显著高于空白组,并且有着较低的蒸煮损失率和挥发性盐基氮含量,pH值的变化趋势也更加稳定,并且乳液浓度越高,中华管鞭虾新鲜度更优,并且肉桂乳液浸泡处理后的中华管鞭虾虾肉 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值色泽更加鲜亮。综上所述,肉桂皮精油 Pickering 乳液处理是一种优于传统保鲜方式的新型安全高效的保鲜方式,能够良好地保持新鲜中华管鞭虾虾肉本身的品质特性,肉桂皮精油 Pickering 乳液可以作为一种新型抗菌保鲜剂应用于水产品保鲜领域,在水产品贮存运输过程中有广阔的应用前景。

参 考 文 献

- [1] JIA Z, XU Y, WANG J, et al. Antioxidant activity and degradation kinetics of astaxanthin extracted from *Penaeus sinensis* (*Solenocera crassicornis*) byproducts under pasteurization treatment[J]. Lwt-food Science and Technology, 2021, 152: 112336.
- [2] 吴佳煜, 龚静妮, 郑君滢, 等. 虾类保鲜技术的研究现状及其发展趋势[J]. 食品工业科技, 2018, 39(17): 309-314, 318.
- WU J Y, GONG J N, ZHENG J Y, et al. Research status of shrimp preservation technology and its development trend[J]. Food Industry Science and Technology, 2018, 39(17): 309-314, 318.
- [3] 杨得前. 我国海洋渔业资源捕捞过度的经济学分析[J]. 北京水产, 2003(3): 22-24.
- YANG D Q. Economic analysis of overfishing of marine fishery resources in China [J]. Beijing Fisheries, 2003(3): 22-24.
- [4] 王芝妍, 杨文鸽, 周果, 等. 超高压辅助中华管鞭虾脱壳及其肌肉品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(7): 43-48.
- WANG Z Y, YANG W G, ZHOU G, et al. Ultra-high-pressure-assisted shelling of Chinese tube whip shrimp and the effect on its muscle quality[J]. Food Science, 2017, 38(7): 43-48.
- [5] 徐开达, 卢衍尔, 卢占晖, 等. 韭山列岛自然保护区虾类优势种生态位[J]. 生物多样性, 2018, 26(6): 601-610.
- XU K D, LU C E, LU Z H, et al. Ecological niche of dominant species of shrimps in Liushan Li dao Nature Reserve[J]. Biodiversity, 2018, 26(6): 601-610.
- [6] 陈伟峰, 叶深, 余玥, 等. 浙南近海虾类优势种及其生态位[J]. 生态学杂志, 2019, 38(7): 2126-2132.
- CHEN W F, YE S, YU Y, et al. Dominant shrimp species and their ecological niche offshore South Zhejiang[J]. Journal of Ecology, 2019, 38(7): 2126-2132.
- [7] LI Z, ZHOU T, WU Y, et al. Investigation of the activity of cathepsin B in red shrimp (*Solenocera crassicornis*) and its relation to the quality of muscle proteins during chilled and frozen storage [J]. Journal of Food Science, 2022, 87(4): 1610-1623.
- [8] 邵颖, 王小红, 吴文锦, 等. 食盐添加量对预制鲈鱼冷藏保鲜及热加工特性的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(12): 280-286.
- SHAO Y, WANG X H, WU W J, et al. Effect of salt addition on refrigerated freshness and thermal processing characteristics of prepared sea bass [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2016, 32(12): 280-286.
- [9] 刘铁玲. 鱼类的冻结保鲜及冷藏中的质量变化[J]. 食品研究与开发, 2000(1): 46-48.
- LIU T L. Freezing and preservation of fish and quality changes in cold storage[J]. Food Research

- and Development, 2000(1): 46–48.
- [10] MUSTAFA A, BUENTELLO A, GATLIN D, et al. Effects of fructooligosaccharides (FOS) on growth, survival, gut microflora, stress, and immune response in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, cultured in a recirculating system[J]. Journal of Immunoassay & Immunochemistry, 2020, 41(1): 45–59.
- [11] YU X J, TANG L, WU X F, et al. Nondestructive freshness discriminating of shrimp using visible/near-infrared hyperspectral imaging technique and deep learning algorithm[J]. Food Analytical Methods, 2018, 11(3): 768–780.
- [12] WU J L, GE S Y, LIU H, et al. Properties and antimicrobial activity of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) skin gelatin–chitosan films incorporated with oregano essential oil for fish preservation[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2014, 2(1): 7–16.
- [13] GULCIN I, KAYA R, GOREN A C, et al. Anticholinergic, antidiabetic and antioxidant activities of cinnamon (*Cinnamomum verum*) bark extracts: Polyphenol contents analysis by LC–MS/MS[J]. International Journal of Food Properties, 2019, 22(1): 1511–1526.
- [14] MUHAMMAD D R A, DEWETTINCK K. Cinnamon and its derivatives as potential ingredient in functional food—A review[J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20(sup2): 2237–2263.
- [15] NIRMAL N P, CHUNHAVACHARATORN P, CHANDRA KHANASHYAM A, et al. Cinnamon bark oil in water nanoemulsion formulation, characterization, and antimicrobial activities[J]. Lwt—food Science and Technology, 2023, 179: 114671.
- [16] 于泓鹏, 邹金池, 吴克刚, 等. 肉桂精油香氛抗菌活性及成分分析[J]. 现代食品科技, 2022, 38(12): 239–246.
- YU H P, ZOU J C, WU K G, et al. Antibacterial activity and compositional analysis of cinnamon essential oil fragrance[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(12): 239–246.
- [17] 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. Antibacterial, antioxidant and tyrosinase inhibitory activities of cinnamon essential oil and cinnamaldehyde[J]. Forest Products Chemistry and Industry, 2022, 42 (3): 105–110.
- [18] LI S S, JIAO B, MENG S, et al. Edible mayonnaise-like Pickering emulsion stabilized by pea protein isolate microgels: Effect of food ingredients in commercial mayonnaise recipe[J]. Food Chemistry, 2021, 376: 131866.
- [19] YAAKOV N, KOTTAKOTA C, MANI K A, et al. Encapsulation of *Bacillus thuringiensis* in an inverse Pickering emulsion for pest control applications[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2022, 213: 112427.
- [20] LAN M Y, ZHENG J, HUANG C H, et al. Water-in-oil Pickering emulsions stabilized by microcrystalline phytosterols in oil: Fabrication mechanism and application as a salt release system [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2022, 70(17): 5408–5416.
- [21] 肖飞虹. 玉米醇溶蛋白复合膜改性制备及性能研究[D]. 济南: 山东大学, 2021.
- XIAO F H. Preparation and properties of corn alcohol soluble protein composite membrane[D]. Jinan: Shandong University M.S, 2021.
- [22] 张明珠, 张丽芬, 陈复生. 玉米醇溶蛋白提取技术及在食品中应用研究[J]. 食品科技, 2021, 46(2): 205–209.
- ZHANG M Z, ZHANG L F, CHEN F S. Research on the extraction technology of corn alcohol soluble protein and its application in food[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(2): 205–209.
- [23] KASAAI M R. Zein and zein -based nano-materials for food and nutrition applications: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 79: 184–197.
- [24] TAN H X, ZHOU H Y, GUO T, et al. Zein structure and its hidden zearalenone: Effect of zein extraction methods[J]. Food Chemistry, 2022, 374: 131536.
- [25] 段秀霞. 贮藏过程中南美白对虾品质变化研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
- DUAN X X. Study on the quality change of South American white shrimp during storage[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.
- [26] 曹荣, 薛长湖, 徐丽敏. 复合保鲜剂在对虾保鲜及防黑变中的应用[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8):

- 294–298.
- CAO R, XUE C H, XU L M. Application of compound preservatives in shrimp preservation and anti-blackening[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2009, 25(8): 294–298.
- [27] 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 食品 pH 值的测定:GB 5009.237–2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 8.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National Food Safety Standard – Determination of the pH Value of Foods: GB 5009.237–2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016: 8.
- [28] 胡亚芹, 胡庆兰, 杨水兵, 等. 不同冻结方式对带鱼品质影响的研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(2): 23–30.
- HU Y Q, HU Q L, YANG S B, et al. Research on the effect of different freezing methods on the quality of striped bass[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(2): 23–30.
- [29] 汪雪娇. 微波处理对鱼肉制品咸度感知的增强作用与减盐鱼糜的加工适应性[D]. 无锡: 江南大学, 2022.
- WANG X J. Enhancement effect of microwave treatment on salinity perception of fish products and processing adaptability of salt-reduced surimi [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022.
- [30] 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 食品中挥发性盐基氮的测定: GB 5009.228–2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 12.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National Food Safety Standard – Determination of Volatile Basic Nitrogen in Foods: GB 5009.228–2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016: 12.
- [31] 王潇, 张继光, 徐坤华, 等. 3 种海捕虾肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(8): 209–214.
- WANG X, ZHANG J G, XU K H, et al. Nutrient analysis and quality evaluation of muscle from three species of marine shrimp[J]. Food and Fermentation Industry, 2014, 40(8): 209–214.
- [32] 胡晓梦. 低温等离子体对中华管鞭虾品质影响及保鲜机理的研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2021.
- HU X M. Effects of low-temperature plasma on the quality and preservation mechanism of Chinese tube whip shrimp[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2021.
- [33] 郭美娟, 柴春祥, 鲁晓翔, 等. 南美白对虾腐败过程中挥发性成分的测定[J]. 食品与机械, 2013, 29(4): 153–156, 165.
- GUO M J, CHAI C X, LU X X, et al. Determination of volatile components during spoilage of South American white shrimp[J]. Food and Machinery, 2013, 29(4): 153–156, 165.
- [34] 石径. 中华管鞭虾冻藏过程中品质变化规律及机理研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2018.
- SHI J. Study on the change law and mechanism of quality change during freezing and storage of Chinese tube whip shrimp[D]. Beijing: China Agricultural University, 2018.
- [35] ZHANG X, LAN W Q, XIE J. Combined citric acid and rosemary extract to maintain the quality of chilled Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(7): 15614.
- [36] YARNPAKDEE S, BENJAKUL S, KRISTINSSON H G, et al. Effect of pretreatment on lipid oxidation and fishy odour development in protein hydrolysates from the muscle of Indian mackerel [J]. Food Chemistry, 2012, 135(4): 2474–2482.
- [37] 孟宁, 刘明, 张培茵, 等. 低温等离子体技术在全谷物加工中的应用进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(24): 332–337.
- MENG N, LIU M, ZHANG P Y, et al. Progress of low-temperature plasma technology in whole grain processing[J]. Food Industry Science and Technology, 2019, 40(24): 332–337.
- [38] 李学英, 杨宪时, 郭全友, 等. 大黄鱼腐败菌腐败能力的初步分析[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6): 316–319.
- LI X Y, YANG X S, GUO Q Y, et al. Preliminary analysis of spoilage ability of spoilage bacteria in yellow croaker[J]. Food Industry Science and Technology, 2009, 30(6): 316–319.
- [39] 关睿, 李琳, 王建辉, 等. 不同食盐添加量对冷藏草鱼品质的影响[J]. 食品科学技术学报, 2020, 38(5): 100–108, 126.
- GUAN R, LI L, WANG J H, et al. Effects of different salt additions on the quality of frozen grass carp[J]. Journal of Food Science and Technology,

- 2020, 38(5): 100–108, 126.
- [40] THANASA SAE-LEAW T, BENJAKUL S. Prevention of quality loss and melanosis of Pacific white shrimp by cashew leaf extracts[J]. Food Control, 2019, 95: 257–266.
- [41] JIMENEZ COLMENERO F. Muscle protein gelation by combined use of high pressure/temperature [J]. Trends in Food Science & Technology, 2002, 13(1): 22–30.
- [42] 徐辉. 纳米纤维素在涂料中的应用研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2017.
- XU H. Research on the application of nanocellulose in coatings[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2017.
- [43] 张志刚, 林祥木, 胡涛, 等. 即食肉制品微生物污染及其控制技术研究进展[J]. 肉类研究, 2020, 34(1): 94–102.
- ZHANG Z G, LIN X M, HU T, et al. Advances in microbial contamination of ready-to-eat meat products and its control technology [J]. Meat Research, 2020, 34(1): 94–102.
- [44] 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.
- [45] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准鲜、冻动物性水产品: GB 2733–2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015: 8.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard for fresh and frozen animal aquatic products: GB 2733–2015[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015: 8.
- [46] 徐瑞, 柴梓灵, 魏嘉璇, 等. 壳聚糖/丁香精油微乳液复合膜的制备及其对 n-3 猪肉的保鲜应用[J]. 塑料工业, 2023, 51(11): 115–122, 128.
- XU R, QIZ L, WEI J Y, et al. Preparation of chitosan/clove essential oil microemulsion composite film and its application for preservation of n-3 pork [J]. Plastics Industry, 2023, 51(11): 115–122, 128.

Effects of Cinnamon Bark Oil Pickering Emulsion Immersion Treatment on Muscle Quality Characteristics of Red Shrimp (*Solenocera crassicornis*)

ZHANG Ruihan¹, GUO Xiaoxiao¹, YANG Hongli¹, PENG Siwei¹, ZHANG Bin^{1,2}, CHEN Jing^{1,2*}

¹College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, Zhejiang

²Key Laboratory of Health Risk Factors for Seafood of Zhejiang Province, Zhoushan 316022, Zhejiang

Abstract The purpose of this study was to investigate the effect of cinnamon bark oil Pickering emulsion (CBOP) on the quality characteristics of red shrimp (*Solenocera crassicornis*). Four different concentrations of CBOP soaked red shrimp in experimental group 1 (6.25 mL/L), experimental group 2 (3.125 mL/L), experimental group 3 (1.5625 mL/L) and the blank group (deionized water) as the object of the CBOP, food polyethylene bags encapsulated in a 4 °C refrigerator to simulate the conditions of the cold chain of transportation, the four groups of red shrimp in the storage of the 0, 2nd, 4th, 6th, 8th and 10th d were sampled, respectively, Four groups of red shrimp were sampled at 0, 2, 4, 6, 8 d and 10 d of storage. The results showed that with the prolongation of the storage time, the muscle water-holding capacity of the red shrimp in experimental group 1 was (76.51 ± 0.12)% on the 10th day, which was significantly higher than that of the control group (70.13 ± 0.13)%. On the 10th day, the cooking loss rate of the shrimp meat in experimental group 1 was (27.31 ± 0.12)%, which was significantly lower than that of the control group (31.33 ± 0.15)%. The content of volatile basic nitrogen in experimental group 1 reached 33.13 ± 0.48 mg/100 g on the 8th day. The content of volatile basic nitrogen in the control group reached (27.39 ± 0.4) mg/100 g on the 4th day and as high as (40.65 ± 0.58) mg/100 g on the 6th day. In summary, the CBOP treatment is a new safe and efficient preservation method, which can well maintain the quality characteristics of fresh red shrimp itself, and provides a new idea for the preservation of red shrimp.

Keywords *Solenocera crassicornis*; Pickering emulsion; preservation method; quality characteristics