苦橙花精油复合防腐剂对冷鲜肉抑菌效果研究

汪丽波[1] 饶文宇[1] 李子爽[1]

(1.普洱学院，普洱 665000)

摘 要：冷鲜肉拥有较高营养价值，但在低温冷藏过程中容易受到微生物侵染并发生腐败变质，常规化学防腐剂具有较好抑菌效果，但是存在安全隐患并且消费者接受度不高，而天然苦橙花精油拥有优良抑菌和抗氧化能力，食品保鲜应用前景非常广阔。本文选取冷鲜肉作为实验材料，把菌落总数和感官评分当作主要评价指标，分析苦橙花精油同丙酸钙、双乙酸钠、没食子酸丙酯、丁基羟基茴香醚这几种单一成分在保鲜方面的效果，找出各试剂单独使用时的最佳浓度，然后把苦橙花精油同各类防腐剂按照不同比例进行混合，通过 FIC 指数来分析它们共同产生的保鲜作用。结果表明，油溶性防腐剂和苦橙花精油按 1:1 比例进行复配，丙酸钙同苦橙花精油按 3:1 比例进行复配，双乙酸钠同苦橙花精油按 1:3 比例进行复配，是最佳组合，可以抑菌、延缓肉质劣变，使冷鲜肉在 4℃冷藏的货架期延长 3 到 5 天。研究说明，苦橙花精油和化学防腐剂配合有很好的共同抑菌作用，可以降低化学防腐剂使用、改善保鲜效果，符合绿色保鲜方向，给冷鲜肉保鲜技术改进和苦橙花资源有效利用带来了理论与技术支持。

关键词：苦橙花精油；冷鲜肉；复合防腐剂；抑菌作用；协同效应

基金项目：云南省教育厅科学研究基金项目（2025J1069）；云南省普洱学院创新创业项目（202410685003）

DOI：doi.org/10.70693/202610291021

Study on Antibacterial Effect of Composite Preservative Based on Neroli Essential Oil on Chilled Meat

Wang Libo[1], Rao Wenyu[1], Li Zishuang[1]

1.Pu'er University, Pu'er 665000, China

Abstract: Chilled meat is of high nutritional value. Nevertheless, it is prone to microbial contamination and spoilage during low-temperature refrigeration. Traditional chemical preservatives show good antibacterial performance, yet they carry potential safety hazards and are poorly accepted by consumers. Natural neroli essential oil has outstanding antibacterial and antioxidant capacities and possesses great application potential in food preservation. In this study, chilled meat was taken as the test material. Using total viable count and sensory score as the main evaluation indices, the preservation effects of neroli essential oil were compared with those of single preservatives including calcium propionate, sodium diacetate, propyl gallate and butylated hydroxyanisole, and the optimal concentration of each single agent was determined. Afterwards, neroli essential oil was mixed with each preservative at different ratios, and their combined preservation effect was assessed by the fractional inhibitory concentration (FIC) index. The results indicated that the optimal combinations were oil-soluble preservative mixed with neroli essential oil at the ratio of 1:1, calcium propionate

作者简介：汪丽波（1971—），女，云南宜良人，主任技师；研究方向：微生物学；
饶文宇（2002—），男，云南景东人，学生；研究方向：中药资源学；
李子爽（2003—），女，云南嵩明人，学生；研究方向：食品质量与安全。

with neroli essential oil at 3:1, and sodium diacetate with neroli essential oil at 1:3. These combinations could inhibit bacterial growth and retard quality deterioration of meat, extending the shelf life of chilled meat by 3–5 d at 4 ℃. This research reveals that neroli essential oil presents favorable synergistic antibacterial effects when combined with chemical preservatives. The compound system can reduce the dosage of chemical preservatives and improve preservation efficiency, conforming to the trend of green preservation. It provides theoretical and technical references for the optimization of chilled meat preservation technology and the efficient utilization of neroli resources.

Keywords: neroli essential oil; chilled meat; composite preservative; antibacterial activity; synergistic effect

苦橙为芸香科柑橘属常绿乔木，在我国云南、贵州及长江以南地区引种栽培[1]。其花瓣经蒸馏得到的苦橙花精油富含柠檬烯、芳樟醇等活性组分，具有良好的抗氧化、抗炎与广谱抑菌活性，在天然食品防腐领域潜力突出。冷鲜肉营养丰富、感官品质佳，是当前肉类消费的主流产品；但肉品含有大量蛋白质与水分，在屠宰、冷链储运及终端销售全链条中，即使维持 0～4℃低温，仍易被大肠杆菌、金黄色葡萄球菌污染而发生腐败变质[2]。国内冷鲜肉腐败损耗率维持在 10%～15%，既造成肉类资源浪费，微生物毒素累积也带来食品安全风险。传统化学防腐剂抑菌效果显著，可延长货架期，但长期摄入存在过敏、代谢紊乱等健康隐患，难以满足消费者对绿色食品的需求[3]。本实验以苦橙花精油作为天然抑菌组分，研究其与化学防腐剂的协同增效效应，克服单一防腐剂抑菌短板，扩大抑菌范围并减少化学防腐剂添加量[4]。将单一化学防腐剂及苦橙花精油复配制剂应用于冷鲜肉保鲜，测定肉品微生物与品质指标，分析复合防腐剂保鲜效果[5]，为基于苦橙花精油的新型绿色复合保鲜剂研发、冷鲜肉绿色保鲜技术应用提供理论支撑。

1.材料与方法

1.1 材料和试剂

供试材料：苦橙花精油，江西雪松天然药用油有限公司；新鲜冷鲜肉，当天购置无菌室进行去脂肪、去筋，切成肉末，放于 4℃冰箱保存待用。

试剂：95%乙醇、丁基羟基茴香醚、双乙酸钠、没食子酸丙酯、丙酸钙、氯化钠、蛋白胨、牛肉浸粉、琼脂。

1.2 仪器

LDZX-75L 立式高压蒸汽灭菌器，上海申安医疗器械厂；FA2004 电子分析天平，上海精密科学仪器有限公司；DNP-9162 恒温培养箱，上海精宏实验设备有限公司；QL-901 涡旋振荡器，海门市其林贝尔仪器制造有限公司；SW-CJ-1F 超净工作台，苏州安泰空气技术有限公司。

1.3 培养基的制备

营养琼脂培养基配制：将蛋白胨 10g、牛肉浸粉 3g、氯化钠 5g 与琼脂 15g 溶入 1000mL 蒸馏水中，经加热使之彻底溶解；将溶液 pH 值校正为 7.2～7.4，随后在 121℃下进行 20 分钟的高压湿热灭菌；待培养基自然降温至 50℃左右，留待后续实验使用。

1.4 冷鲜肉样品感官评定

进行细菌菌落总数测定前，需先完成冷鲜肉试样的感官评定，评定标准见表 1。

表 1 冷鲜肉感官评定表

评定指标	评分标准	分值
色泽（25 分）	鲜红色，有光泽，脂肪洁白	25-15
	红褐色，光泽弱，脂肪灰哑	15-5
	灰棕色，无光泽，脂肪变色	0-5
气味（25 分）	新鲜肉固有腥香，无异味	25-15
	轻微酸味/腥味，靠近可闻	15-5
	有腐败臭味	0-5

1.5 FIC 指数计算

FIC= (复配 MICA/单独 MICA) + (复配 MICB/单独 MICB)

根据 FIC 指数数值范围，判断 0d、3d、6d、9d、12d 后的复配组合作用类型，具体判断标准见表 2。

表 2 FIC 指数与复配作用类型对应表

FIC 指数数值范围	复配作用类型	核心特征
FIC≤0.5	协同作用	两种防腐剂复配后，抑菌/防腐效果显著优于单独使用，且所需浓度远低于各自单独使用的最低有效浓度
0.5＜FIC≤1	相加作用	复配后的抑菌/防腐效果接近两种防腐剂单独使用时的效果之和，整体效果无显著增益或损耗
1＜FIC≤2	无关作用	复配后的抑菌/防腐效果与其中一种效果较好的防腐剂单独使用时相近，另一种组分对整体效果无明显贡献
FIC＞2	拮抗作用	复配后的抑菌/防腐效果弱于两种防腐剂单独使用时的效果，或需更高浓度才能达到单独使用时的效果，组分间存在相互抑制

2.1 实验方法

2.1.1 不同浓度苦橙花精油对冷鲜肉防腐效果研究

将苦橙花精油由精炼大豆油稀释，将其浓度调整为 3%、5%、7%、9%，取 20 个小烧杯，在每个烧杯中放入 10 克鲜肉末，用移液管精确吸收各自浓度的 1mL 苦橙花精油在烧杯中混合，浸泡 3min，沥干 5min，放入保鲜袋中 4℃保存，分别测定 0d、3d、6d、9d、12d 的感官指数及菌落总数。保鲜袋取出后，在 25.0 ℃条件下，静置片刻，用 10mL 无菌水将肉样表面的细菌冲出，吸收 1mL 菌液稀释到适宜浓度，平板营养琼脂基 37℃培养 48h，进行菌落总数计数[6]。通过感官指数及菌落总数的综合判断，确定能有效防腐的最低浓度。

菌落总数=平板菌落计数菌落个数 × 稀释菌液倍数

2.1.2 不同油溶性防腐剂与苦橙花精油复配对冷鲜肉防腐效果研究

在前期的单因素试验中已筛选出没食子酸丙酯（PG）、丁基羟基茴香醚（BHA）及苦橙花精油的适宜作用浓度。在此基础上，将这两种油溶性防腐剂分别和苦橙花精油按 1:3、1:1、3:1 三种质量比复配。称取鲜肉末 10 g 置于无菌杯中，吸收不同浓度的防腐剂 1mL 浸入复配防腐液 3 min，取出沥干 5 min，装入密封保鲜袋后于 4℃冷藏贮藏。分别于贮藏 0d、3d、6d、9d、12d 取样，测定感官指标与菌落总数，并计算分级抑菌浓度（FIC）指数。菌落总数采用 GB 平板计数法进行检测。综合感官评分与菌落总数动态变化，评价各复配处理结果，确定最优配比与有效防腐浓度。

2.1.3 不同水溶性防腐剂与苦橙花精油复配对冷鲜肉防腐效果研究

前期单因素试验确定丙酸钙、双乙酸钠和苦橙花精油的适宜作用浓度，以此浓度开展复配试验，将两种水溶性防腐剂分别与苦橙花精油设置 1:3、1:1、3:1 三个复配比例。每份称取 10 g 鲜肉末于一次性无菌杯中，用不同浓度的复配防腐液浸泡 3 min，沥干 5 min，放于密封保鲜袋内 4 ℃贮藏。分别在 0d、3d、6d、9d、12d 时间段内检测感官指数、菌落总数，并计算 FIC 指数。以 10 mL 无菌水洗脱肉样表面菌体，吸取 1 mL 菌液梯度稀释后接种平板营养琼脂平板，37℃恒温培养 48 h，记录并计算菌落总数，综合感官与微生物结果分析各复配组的防腐协同作用。

2.结果与分析

2.1 不同浓度苦橙花精油对冷鲜肉防腐效果的影响

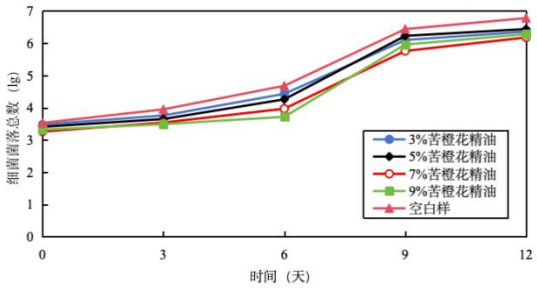


图 1 不同浓度苦橙花精油对冷鲜肉防腐效果的影响

由图 1 可知，不同浓度苦橙花精油处理组的抑菌作用随着贮藏时间的延长逐步减弱，菌落总数随贮藏时间延长逐渐上升；在贮藏前期（0～6 d）微生物增殖较为平缓，贮藏 第 6 d 后微生物增长速度明显增加。对上述不同组菌落总数进行单因素方差分析，结果表明不同浓度苦橙花精油对冷鲜肉微生物有抑制作用（F=9.65，P＜0.05）。7%、9% 苦橙花精油组其抑菌效果要优于空白对照组，又进一步对这两组数据进行独立样本 t 检验，结果表明菌落总数无显著差异（t=1.03，P＞0.05）。即 7% 苦橙花精油能有效抑制冷鲜肉中微生物的生长；如果将精油浓度提高到 9% 时，抑菌效果

也未得到显著提升，所以该实验选择 7% 作为苦橙花精油的适宜使用浓度。

表 3 不同浓度苦橙花精油对冷鲜肉防腐效果感官评定表

时间（天）	感官	苦橙花精油浓度（%）				
		对照	3%	5%	7%	9%
0	色泽	23	23	23	23	23
	气味	24	24	24	24	24
3	色泽	19	20	20	21	20
	气味	19	21	21	21	21
6	色泽	16	17	17	18	18
	气味	17	17	17	17	17
9	色泽	9	10	10	12	11
	气味	7	8	8	11	10
12	色泽	3	4	4	5	5
	气味	3	4	4	5	4

由表 3 可见，贮藏初期阶段，不同浓度保藏冷鲜肉在色泽、气味、组织状态与黏度指标上评分差异不大，此时具备新鲜肉的感官特征。贮藏至第 2d、4d，7% 苦橙花精油处理组各项感官评分优于其余组别，肉样光泽正常、弹性良好，无异味、表面不发黏。但贮藏至第 8d、第 10d，所有组别的感官评分均出现下降；对比来看，7% 精油组评分仍高于空白对照组（F=7.21，P<0.05），贮藏期间感官品质保持最好。

2.2 复合防腐剂复配比例优化

2.2.1 油溶性防腐剂与苦橙花精油复配对冷鲜肉防腐效果的影响

2.2.1.1 没食子酸丙酯与苦橙花精油复配对冷鲜肉防腐效果的影响

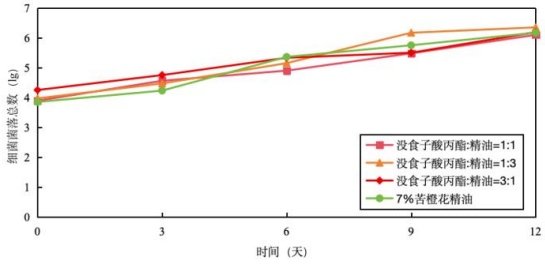


图 2 没食子酸丙酯与苦橙花精油复配对冷鲜肉防腐效果的影响

试验重复进行 3 次，由图 2 可见，贮藏期间各组菌落总数随着贮藏时间的延长逐渐升高。双因素方差分析表明，复配比例与贮藏时间对菌落总数存在有显著交互作用（F=10.28，P<0.01）。贮藏至第 6 d 后，各组微生物增殖速度增快；其中 1:1 复配组菌群增长幅度最小，贮藏第 6 d 和第 9 d 菌落总数分别为 4.91 ± 0.15 lg CFU · g^{-1} 和 5.49 ± 0.16 lg CFU · g^{-1}，抑菌效果优于其它组。选取 1:1 复配组与 7% 苦橙花精油单一对照组开展独立样本 t 检验，结果表明两组抑菌效果差异显著（t=4.71，P<0.05）；而 3:1 复配组抑菌效果介于 1:1 组与单一精油组之间；1:3 复配组菌落总数又高于单一精油组，抑菌效果不及单一精油。综合结果，在本试验条件下没食子酸丙酯与苦橙花精油的最佳复配比例为 1:1。

表 4 没食子酸丙酯与苦橙花精油复配对冷鲜肉防腐效果感官评定表

时间（天）	感官	7%苦橙花精油	没食子酸丙酯:精油		
			1:1	1:3	3:1
0	色泽	24	24	24	24
	气味	25	25	25	25
3	色泽	21	20	20	19
	气味	21	20	20	20
6	色泽	14	16	15	14
	气味	15	15	15	15
9	色泽	9	10	8	10
	气味	9	9	8	9
12	色泽	3	4	3	3
	气味	3	3	3	3

根据表 4 可以看出，贮藏期间各组冷鲜肉色泽、气味感官评分随贮藏时间延长持续下降。不同复配比例处理组肉样感官评分总体差异显著（F=8.13，P<0.05）。贮藏第 6～9 d，没食子酸丙酯与苦橙花精油 1:1 复配组的色泽、气味评分整体优于其余处理组；该组肉样色泽鲜红均匀，肉质弹性较好，无腥臭味与腐败异味，肉表干爽，保鲜的感官品质最优。贮藏至 12 d 时，所有处理组色泽、气味评分均降至较低水平，肉样感官品质劣变明显。

2.2.1.2 丁基羟基茴香醚与苦橙花精油复配对冷鲜肉防腐效果的影响

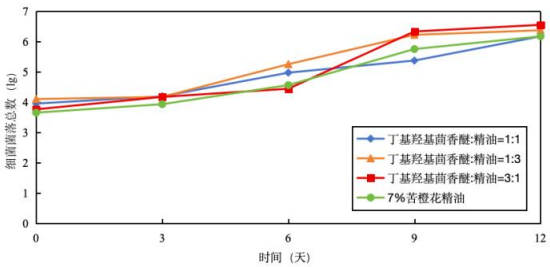


图 3 丁基羟基茴香醚与苦橙花精油复配对冷鲜肉防腐效果的影响

试验重复进行 3 次，根据图 3 可以看出，不同配比组冷鲜肉细菌菌落总数随贮藏时间延长逐步升高。方差分析结果表明，不同复配比例处理间菌落总数差异显著（F=7.95，P<0.05）。第 6 天检样进入微生物快速增殖阶段，1:1 复配组抑菌效果较平稳，第 6 天菌落总数为 4.98 ± 0.15 lg CFU · g⁻¹，第 9 天为 5.38 ± 0.16 lg CFU · g⁻¹，菌落水平低于 1:3、3:1 复配组及单一苦橙花精油组，综合确定 1:1 丁基羟基茴香醚与苦橙花精油的最优复配比例。

表 5 丁基羟基茴香醚与苦橙花精油复配对冷鲜肉防腐效果感官评定表

时间（天）	感官	7%苦橙花精油	丁基羟基茴香醚：精油		
			1:1	1:3	3:1
0	色泽	24	23	23	24
	气味	24	24	24	24
3	色泽	21	20	20	20
	气味	21	20	20	20
6	色泽	16	15	14	17
	气味	16	15	14	16
9	色泽	10	11	9	9
	气味	9	10	9	8
12	色泽	4	4	3	3
	气味	4	4	3	2

根据表 5 感官评定结果，各组冷鲜肉色泽、气味感官评分随贮藏时间延长持续降低。独立样本 t 检验结果表明，1:1 复配组与 7% 苦橙花精油对照组感官指标差异显著（t=5.02，P<0.05）。贮藏中后期，1:1 复配组肉样腐败劣变得到明显延缓，第 9d 色泽、气味评分高于 1:3、3:1 复配组与单一精油组；1:3、3:1 复配组抑制感官劣变的效果弱于 1:1 复配组，1:1 配比更有利于维持冷鲜肉食用品质。

2.2.2 水溶性防腐剂与苦橙花精油复配对冷鲜肉防腐效果的影响

2.2.2.1 丙酸钙与苦橙花精油复配对冷鲜肉防腐效果的影响

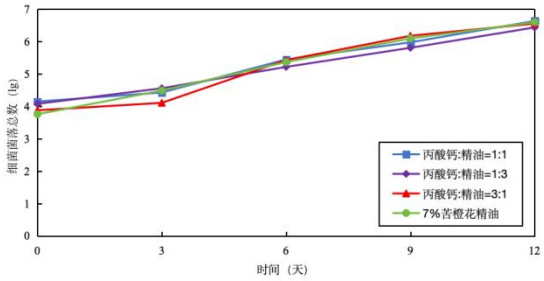


图 4 丙酸钙与苦橙花精油复配对冷鲜肉防腐效果的影响

试验重复进行 3 次，由图 4 可见，丙酸钙与苦橙花精油复配处理的抑菌效果优于苦橙花精油单独处理组。其中，1：3 复配组与单一精油组比较差异具有统计学意义（t=4.39，P<0.05）。贮藏前期各组微生物增长平缓，组间差异不明显；贮藏 6 d 后微生物增殖速度加快，在贮藏中后期 1:3 复配组合抑菌效果较好，综合判定该配比为较优复配比例。

表 6 丙酸钙与苦橙花精油复配对冷鲜肉防腐效果感官评定表

时间（天）	感官	7%苦橙花精油	丙酸钙：精油		
			1:1	1:3	3:1
0	色泽	24	24	24	24
	气味	23	24	23	23
3	色泽	20	20	20	21
	气味	20	21	20	21
6	色泽	16	16	17	16
	气味	15	15	16	14
9	色泽	8	9	10	8
	气味	8	8	9	7
12	色泽	3	3	4	4
	气味	3	3	3	3

由表 6 感官评定数据可知，贮藏过程中各组冷鲜肉色泽、气味评分随贮藏时间延长逐步下降。贮藏前期各组感官评分差异较小；贮藏 6 d 后评分下降速度加快。综合色泽与气味两项评分，1:3 复配组在整个贮藏周期感官评分在数值上优于其他处理组，肉品色泽保持更好、腐败气味出现相对滞后，保鲜效果相对最优。

2.2.2.2 双乙酸钠与苦橙花精油复配对冷鲜肉防腐效果的影响

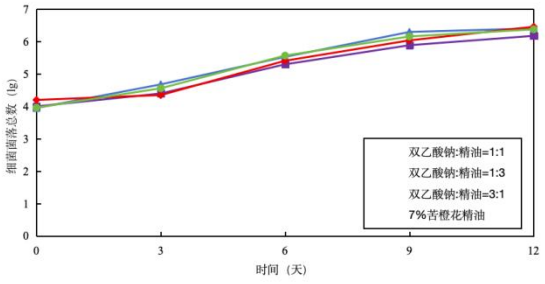


图 5 双乙酸钠与苦橙花精油复配对冷鲜肉防腐效果的影响

试验重复进行 3 次，从图 5 可见，双乙酸钠与苦橙花精油复配后抑菌效果优于单一苦橙花精油处理组。单因素方差分析表明，不同复配比例的防腐效果存在显著性差异（F=7.36，P<0.05）；经多重比较，1:3 复配组贮藏冷鲜肉稳定性最优。

贮藏 6 d 后菌落总数快速上升，其中 1:3 双乙酸钠与苦橙花精油复配组全程菌落总数最低，菌落增长速率最慢，抑菌稳定性最好，综合确定 1:3 为本试验条件下的最优复配比例。

表 7 双乙酸钠与苦橙花精油复配对冷鲜肉防腐效果感官评定表

时间（天）	感官	7%苦橙花精油	双乙酸钠：精油		
			1:1	1:3	3:1
0	色泽	24	24	24	24
	气味	23	24	23	23
3	色泽	20	19	20	21
	气味	20	20	19	20
6	色泽	15	15	17	16
	气味	16	16	16	15
9	色泽	8	8	10	9
	气味	9	8	8	8
12	色泽	4	3	4	3
	气味	3	3	3	3

表 7 的感官评定结果表明，1:3 最优复配处理组在 6 到 9 天肉品腐败高发期间感官品质表现最好，肉质色泽正常，弹性表现良好，没有腐败酸败气味，和其余试验组比较差异明显（t=4.85，P<0.05），在实际保鲜应用中效果最为突出。

2.4 FIC 指数测定结果

2.4.1 单因素试验确定单体 MIC 值

最低抑菌浓度（MIC）测定试验设置 3 次平行重复，结果取平均值。各组平行样品相对标准偏差 RSD 均＜9.50%，说明试验重复性良好；结合单体浓度筛选试验，确定各防腐剂单体 MIC，结果如表 8 所示。

表 8 各防腐剂单体最佳抑菌浓度

防腐剂名称	最佳抑菌浓度（MIC）
苦橙花精油	7%
没食子酸丙酯	0.05%
丁基羟基茴香醚	0.01%
丙酸钙	0.3%
双乙酸钠	0.3%

从表上表可见，5 种受试防腐剂单体的最低抑菌浓度存在差异。丁基羟基茴香醚、没食子酸丙酯两种合成抗氧化剂表现出较强的抑菌活性；丙酸钙与双乙酸钠为常用食品防腐剂，二者 MIC 处于食品工业常规使用区间；天然苦橙花精油 MIC 相对较高，该特征与多数植物源精油的抑菌规律基本一致。

2.4.2 最优复配体系 FIC 指数结果

采用棋盘稀释法测定四组最优复配体系的分级抑菌浓度指数（FIC），所有测定设置 3 次平行重复，试验结果取平均值进行判定，结果如表 9 所示。

表 9 最优复配体系 FIC 指数结果

复配体系	最佳比例	FIC 指数	作用类型
没食子酸丙酯：苦橙花精油	1：1	0.42	协同作用
丁基羟基茴香醚 :苦橙花精油	1：1	0.39	协同作用
丙酸钙：苦橙花精油	3：1	0.47	协同作用
双乙酸钠：苦橙花精油	1：3	0.44	协同作用

由上表可知，各复配组合 FIC 指数均≤0.5，各组平行样品 RSD 较小，试验数据稳定性良好。结果表明，苦橙花精油分别与四种防腐剂复配后可形成协同抑菌作用，该结果与冷鲜肉贮藏菌落总数、感官评价结果相互印证。综合试验结果，在最优复配比例下，苦橙花精油与供试防腐剂可降低单一组分的有效使用浓度，提升冷鲜肉的防腐保鲜效果。

4 结论与讨论

本文以冷鲜肉为对象，以菌落总数、感官评分为评价指标，探究苦橙花精油与 4 种食品防腐剂单体及复配体系的保鲜作用，对水溶性防腐剂和油溶性防腐剂的进行抑菌比较分析，并通过 FIC 指数判定复配互作类型，为苦橙花精油复合保鲜剂的应用提供理论参考。从单一防腐剂抑菌效果看，7% 为苦橙花精油为最佳的使用浓度。复配组的保鲜效果均优于单一防腐剂组，这 4 组最优配比 FIC 值均≤0.5，表现为协同抑菌，结果与菌落总数、感官结果实验数值吻合[7]。油溶性复配（没食子酸丙酯、BHA 与精油 1:1）组在贮藏过程中其中期稳定性较好；水溶性复配（丙酸钙：精油 =1:3、双乙酸钠：精油 =1:3）其前期抑制微生物速度快，二者作用机制不同，优势互补[8]。

本试验设置 3 次平行重复，方差分析结果表明各组间差异显著（P＜0.05），试验数据具有统计学意义。筛选得到的最优复配体系能够有效延缓冷鲜肉的品质劣变，在 4 ℃贮藏条件下，可将样品货架期较空白组延长 3～5 d；同时该复配方案能够减少化学防腐剂的添加量符合绿色保鲜的发展思路，也为苦橙花资源的开发利用提供依据。本研究仍存在一定局限，苦橙花精油易挥发、稳定性较差，后续可围绕精油微胶囊包埋、可食性复合涂膜等方向继续优化[9]，以期克服精油本身的

应用短板，为该保鲜体系后续的产业化落地奠定基础。

参考文献

[1] 黄善松，李恒，韦刚，等。酸橙资源及其利用研究进展 [J]. 中国南方果树，2016,45 (03):146-150.

[2] 张梦婷。苦橙花精油 - Fe（Ⅱ）复合乳液制备、抗菌机制及其在猪肉保鲜中的应用 [D]. 南昌：江西农业大学，2025.

[3 王静，张敏。冷鲜肉腐败微生物及天然保鲜剂研究进展 [J]. 食品科学，2020,41 (21):298-306.

[4] 周琳，杨春，李军国，等。肉类全产业链损耗及可食用系参数研究 [J]. 中国农业科学，2019,52 (21):3934-3942.

[5] 李保国，郭红莲。植物精油与化学防腐剂协同抑菌研究进展 [J]. 食品与发酵工业，2021,47 (12):290-297.

[6] 食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定:GB4789.2-2022[S].中国标准出版社,2022.

[7] 陈佳慧，李媛媛，刘宁。复配抑菌剂 FIC 指数评价方法及其在食品保鲜中的应用 [J]. 食品工业科技，2022,43 (11):410-418.

[8] 周红丽，刘书亮。水溶性与脂溶性食品防腐剂抑菌特性及作用机制研究进展 [J]. 中国食品添加剂，2023,34 (05):248-256.

[9] 王健，李娜。植物精油微胶囊化技术及其在肉品保鲜中的应用研究进展 [J]. 食品科学，2024,45 (09):321-330.