

牛至精油—白藜芦醇乳液的制备及抑菌活性研究

Preparation and antimicrobial activity of oregano essential oil and resveratrol emulsion

李群英¹ 廖红梅¹ 方正^{1,2} 梁丽^{1,2}

LI Qun-ying¹ LIAO Hong-mei¹ FANG Zheng^{1,2} LIANG Li^{1,2}

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122)

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. State Key Lab of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:基于牛至精油具有较强的刺激性气味、白藜芦醇溶解性低,以及二者稳定性差的应用缺陷,构建以酪蛋白酸钠为乳化剂,菊粉和阿拉伯胶为稳定剂,牛至精油为油相并包埋白藜芦醇的乳液;以鼠伤寒沙门氏菌为目标微生物,探讨牛至精油、白藜芦醇、牛至精油—白藜芦醇及其乳液的抑菌效果,以及 4、25 ℃ 储藏期间抑菌效果的变化,并在鲜切卷心菜中初步应用。结果表明:牛至精油和白藜芦醇对鼠伤寒沙门氏菌有很好的协同抑菌作用;2.0% 菊粉/阿拉伯胶可以提高牛至精油—白藜芦醇的抑菌效果;乳液可降低二者的氧化降解速率并保护其生物活性,乳液 4 ℃ 贮藏 20 d、25 ℃ 贮藏 12 d 后仍有较好的抑制作用。接种鼠伤寒沙门氏菌的鲜切卷心菜在牛至精油—白藜芦醇及其酪蛋白酸钠、酪蛋白酸钠—菊粉/阿拉伯胶乳液中处理 1 min,8 ℃ 储藏 4 d 后菌落数分别降低了 1.52、2.04、2.67、2.98 lg CFU/g。

关键词:牛至精油;白藜芦醇;包埋;抑菌作用;鼠伤寒沙门氏菌

Abstract: Emulsions were prepared with sodium caseinate as emulsifier, inulin and gum Arabic as stabilizer, oregano essential oil as oil phase embedding resveratrol, to avoid the shortage of strong aromatic odor of oregano essential oil, low solubility of resveratrol and poor stability of them. Antimicrobial activities of oregano essential oil (OEO), resveratrol, OEO-resveratrol and their emulsions against *Salmonella typhimurium* as well as antimicrobial effects during storage at 4 ℃ and 25 ℃ were investigated. Application in fresh cut cabbages was also preliminarily studied. The results showed that OEO and resveratrol had a synergistic inhibition effect on *S. typhimurium*, and 2.0% inulin and gum Arabic could

improve the bacteriostatic activities of them. Emulsions could reduce the decomposition rate of OEO and resveratrol and protect their bio-activities during storage, and emulsions still showed inhibitory effect on *S. typhimurium* stored at 4 ℃ for 20 days and at 25 ℃ for 12 days. *S. typhimurium* on fresh cuts cabbage showed reductions from the control of 1.52 (OEO-resveratrol), 2.04 (sodium caseinate), 2.67 (sodium caseinate-inulin) and 2.98 lg CFU/g (sodium caseinate-gum Arabic) stored at 8 ℃ for 4 days, respectively.

Keywords: oregano essential oil, resveratrol, encapsulation, antimicrobial activity, *Salmonella typhimurium*

动物源和植物源食品如鸡蛋、番茄沙拉和甜瓜容易感染沙门氏菌,这不会破坏食品的感官品质,更危害人类健康甚至导致死亡^[1-2]。越来越多的消费者更加关注食品安全及其感官品质,安全有效的天然抑菌剂如精油和植物提取物成为一种新选择^[3-4]。

牛至精油是牛至全草的茎和叶的提取物,主要由香芹酚、百里香酚和其它挥发性成分组成。香芹酚和百里香酚能破坏细菌细胞膜,使细胞内容物流出,因此具有很强的抗菌活性^[5-6]。Virginia Muriel-Galet 等^[7]研究发现牛至精油能很好地抑制大肠杆菌(抑菌圈直径 4.41 cm),30 ℃ 贮藏 12 d 后对扩展青霉仍有较强的抑制作用。白藜芦醇是一种多酚化合物,能与过渡金属铜反应生成氢过氧化物破坏细胞内大分子(如 DNA、蛋白质、ATP 酶和细胞膜),从而导致微生物死亡^[8-9]。然而,基于牛至精油较强的刺激性气味、白藜芦醇的低溶解性,以及二者稳定性差的应用缺陷,因此解决这些问题成为食品应用的关键问题之一。包埋可以掩盖精油气味对食品品质的影响,提高白藜芦醇的溶解度,保护生物活性并达到缓释效果。此外,多种天然抑菌剂复配使用,如乳酸链球菌素、壳聚糖或其它植物精油与低浓度的牛至精油复配,不仅可达到高浓度精油相同的抑菌效果,表现出协

作者简介:李群英,女,江南大学在读硕士研究生。

通信作者:廖红梅(1983—),女,江南大学副教授,博士。

E-mail: hmeiliao@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2017-01-14

同抑菌作用;还能降低高浓度精油对食品感官的影响^[3,7]。

本试验拟构建以酪蛋白酸钠为乳化剂、菊粉和阿拉伯胶为稳定剂、牛至精油为油相并包埋白藜芦醇的乳液体系;以鼠伤寒沙门氏菌为目标微生物,探讨牛至精油、白藜芦醇、牛至精油和白藜芦醇及其乳液对鼠伤寒沙门氏菌的抑菌效果,以及 4℃ 和 25℃ 贮藏期间抑菌效果的变化,并在鲜切卷心菜中初步应用,旨在为牛至精油协同白藜芦醇乳液应用于鼠伤寒沙门氏菌的控制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

酪蛋白酸钠(sodium caseinate,SC,生化试剂)、阿拉伯胶(gum Arabic,GA,食品级)、牛至精油(OEO,FCC 级)、虎杖苷(色谱纯):美国 Sigma-Aldrich 公司;

菊粉(Inulin):食品药品级,山西帕尼尔生物科技有限公司;

白藜芦醇(resveratrol):生化试剂,上海生工生物工程有限公司;

蛋白胨、牛肉膏:分析纯,北京奥博星生物科技有限公司;

酵母粉、氯化钠、葡萄糖、琼脂粉、乙醇:分析纯,国药集团上海化学试剂有限公司。

1.1.2 菌株与培养基

鼠伤寒沙门氏菌(*S. typhimurium*)CMCC 50115:中国医学细菌保藏中心;

BPY 液体培养基:牛肉膏 5 g/L;酵母浸出粉 5 g/L;葡萄糖 5 g/L; NaCl 5 g/L;蛋白胨 10 g/L;pH 7.0~7.2。

1.1.3 主要仪器设备

高压均质机:ATS AH 2100 型,ATS 工业系统有限公司;

高速剪切乳化均质仪:T 25 Digital 型,德国 IKA 公司;

pH 计:EF20 型,上海梅特勒-托利多仪器有限公司;

磁力搅拌器:C-MAG MS7 型,德国 IKA 公司;

动态光散射仪:Omni 型,美国布鲁克海文仪器公司;

超净台:SW-CJ-2D 型,苏州净化设备有限公司;

生化培养箱:SPX-250B-Z 型,上海博迅实业有限公司医疗设备厂。

1.2 方法

1.2.1 乳液制备 参照文献方法^[6]制备乳液:在酪蛋白酸钠溶液(0.25 g/100 g)中加入白藜芦醇溶液(70%无水乙醇溶解配制成 35 mg/mL),搅拌混合 30 min 后,加入菊粉或阿拉伯胶溶液(2.0 g/100 g),再加入牛至精油混合均匀,去离子水补足体系;经过 13 000 r/min 剪切 1 min,50 MPa 均质 1.5 min 后得到乳液。葵花籽油代替牛至精油的乳液状作为参比体系。

1.2.2 乳液的表征 动态光散射仪测定乳液的粒径,多分散系数(PDI)和 ζ-电位,散射角度为 173°,乳液用去离子水 1:100 稀释后在 25℃ 下测定。所有测定均重复 3 次。

1.2.3 抑菌剂对鼠伤寒沙门氏菌的最小抑菌浓度(MIC)

常量肉汤稀释法测定牛至精油、白藜芦醇对鼠伤寒沙门氏菌的最小抑菌浓度。抑菌剂用 BPY 液体培养基倍比稀释,制成一系列浓度的溶液。无菌条件下,100 μL 不同浓度的抑菌剂加入 10.0 mL 液体培养基中,再加入 100 μL 菌液(最终浓度为 5.4×10⁵ CFU/mL),37℃ 培养 24 h 后观察结果。试管中培养基混浊的标记为有菌,澄清为无菌。若乳液颜色影响观察,则倒琼脂平板进行菌落计数;无细菌生长的平板对应的最低抑菌剂浓度即为最小抑菌浓度。

1.2.4 抑菌剂对鼠伤寒沙门氏菌的抑菌活性 平板计数法测定抑菌剂对鼠伤寒沙门氏菌的抑菌效果。将 100 μL 抑菌剂与 0.85% 无菌生理盐水混合,再加入一定量生长至对数期的鼠伤寒沙门氏菌菌液,体系中菌液的最终浓度为 2.7×10⁷~3.4×10⁷ CFU/mL,室温下共培养 10 min 后平板计数。设置对照组,每个试验至少重复 3 次。

1.2.5 抑菌剂在贮藏中的抑菌活性和动力学分析 抑菌剂在 4℃ 和 25℃ 贮藏,定期取样进行抑菌试验,方法参照1.2.4。

贮藏中抑菌动力学^[10]按式(1)计算:

$$\lg [N/N_0] = (k / 2.303)t$$
 (1)

式中:

N——t 时间鼠伤寒沙门氏菌菌落数,CFU/mL;

N₀——起始时间鼠伤寒沙门氏菌菌落数,CFU/mL;

k ——反应速率常数,d⁻¹,由 lg[N/N₀] 与 t 的回归曲线获得的 - 斜率 / 2.303 得到,负号表示减少的菌落数对数在衰减。k 应为反应速率(dy/dt)与系统中反应物含量(x)的一次方成正比的反应,即为 dy/dt=kt;

t——时间,d。

1.2.6 牛至精油—白藜芦醇及其乳液在鲜切卷心菜中的应用 采用平板计数法进行研究^[11]。卷心菜清洗空干后,称重 10 g 置于超净台中杀菌 30 min,浸在鼠伤寒沙门氏菌菌液(6 lg CFU/mL)中 1 min,移出并在室温下干燥 5 min,再浸在 90 mL 抑菌剂溶液中 1 min;浸渍 0.85% 生理盐水的样品做空白对照。样品置于无菌培养皿中,密封,8℃ 冰箱贮藏。分别测定培养 0,2,4 d 的残存菌落数。

1.3 数据统计分析

所有试验均重复 3 次,数据采用方差分析(ANOVA)。数据采用 Origin 9.0 进行统计并绘图。

2 结果与讨论

2.1 乳液的表征

粒径、PDI、Zeta 电位是表征乳液稳定性的重要参数。由表 1 可知,0.25% 酪蛋白酸钠,0.25% 酪蛋白酸钠与 2.0% 菊粉/阿拉伯胶乳液的 PDI 较小且 Zeta 电位的绝对值均大于 30 mV,当体系 Zeta 电位的绝对值大于 20 mV 便可认为是稳定的^[12],这表明本试验制备的乳液具有良好的均一性和稳定性。

2.2 牛至精油和白藜芦醇的最小抑菌浓度

牛至精油和白藜芦醇对鼠伤寒沙门氏菌的最小抑菌浓度分别为 250 μg/mL 和 300 μg/mL。

表 1 牛至精油—白藜芦醇乳液的参数指标[†]
Table 1 Parameters of OEO-resveratrol emulsions

乳液	粒径/nm	PDI	Zeta 电位/mV
0.25%酪蛋白酸钠	387.87±2.37 ^a	0.283±0.021 ^a	-41.25±4.93
0.25%酪蛋白酸钠—2.0%菊粉	283.32±3.42 ^b	0.227±0.029 ^b	-45.32±3.18
0.25%酪蛋白酸钠—2.0%阿拉伯胶	256.42±2.34 ^c	0.177±0.018 ^b	-49.65±3.26

[†] 同一列内不同字母表示不同的显著性(P<0.05)。

2.3 抑菌剂对鼠伤寒沙门氏菌的抑菌活性

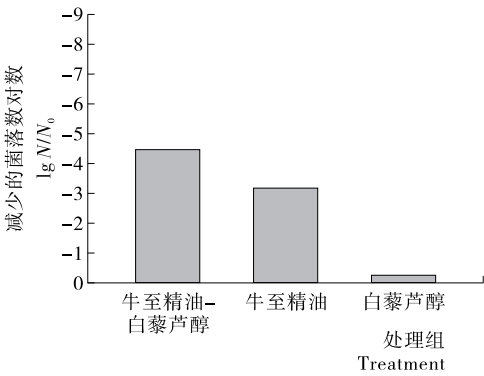
由图 1(a) 可知,与白藜芦醇相比,牛至精油、牛至精油—白藜芦醇及其乳液都对鼠伤寒沙门氏菌有很好的抑制效果,且牛至精油—白藜芦醇的抑菌作用较牛至精油和白藜芦醇单独使用的抑菌效果叠加值高,说明牛至精油和白藜芦醇对鼠伤寒沙门氏菌有协同抑菌作用。这与 Valcourt 等^[13]的研究发现类似,脂质体包埋的牛至精油和抗菌素对 5 种革兰氏阴性菌有很强的协同抑菌作用,降低菌落数达到 2.3~5.0 lg CFU/mL。

由图 1(b)可知,0.25% 酪蛋白酸钠—2.0% 菊粉/阿拉伯胶包埋牛至精油、牛至精油—白藜芦醇的乳液对鼠伤寒沙门氏菌的抑制效果明显高于 0.25% 酪蛋白酸钠;表明 2.0% 多糖能提高牛至精油和白藜芦醇的抑菌效果。例如,牛至精

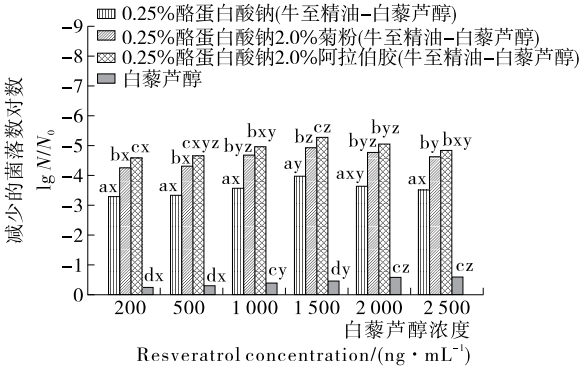
油、牛至精油—白藜芦醇的 0.25% 酪蛋白酸钠—2.0% 阿拉伯胶乳液降低菌落数分别达 3.42,4.75 lg CFU/mL。当 pH 7.0 时,阿拉伯胶带负电,阿拉伯胶结合在酪蛋白酸钠表面会使乳液的空间结构更稳定^[14]。包埋提高活性成分在水相中的浓度,特别是食品中微生物易聚集的区域,这提供了更多杀死微生物的机会^[13]。

由图 1(c)可知,牛至精油浓度为 200 μg/mL,白藜芦醇的浓度由 200 ng/mL 逐渐增加到 2 500 ng/mL 时,抑菌剂乳液的抑菌效果有所提高,浓度为 1 500 ng/mL 的抑菌效果最优。例如,酪蛋白酸钠和阿拉伯胶乳液中白藜芦醇的浓度由 200 ng/mL 增加到 1 500 ng/mL 时,降低菌落数分别为 4.53,5.25 lg CFU/mL。然而,牛至精油浓度由 200 μg/mL 增加到 300 μg/mL 时,酪蛋白酸钠和阿拉伯胶包埋牛至精油—白藜芦醇的乳液降低菌落数由 4.53 lg CFU/mL 显著增强为 6.55 lg CFU/mL [图 1(c)、(d)]。其它抑菌剂乳液的抑菌效果也明显增强。综上可知,300 μg/mL 牛至精油—500 ng/mL 白藜芦醇具有很好的抑菌效果。

由于最小抑菌浓度(5.4×10⁵ CFU/mL)和抑菌试验(2.7×10⁷~3.4×10⁷ CFU/mL)中最终体系中的鼠伤寒沙门氏菌的菌液浓度不同,牛至精油浓度为 300 μg/mL 时能降低的菌落数高达 6.55 lg CFU/mL,而且牛至精油具有刺激性气味。综上考虑选择牛至精油浓度为 300 μg/mL。白藜芦醇的浓度由 200 ng/mL 逐渐增加到 2 500 ng/mL 时,抑菌效

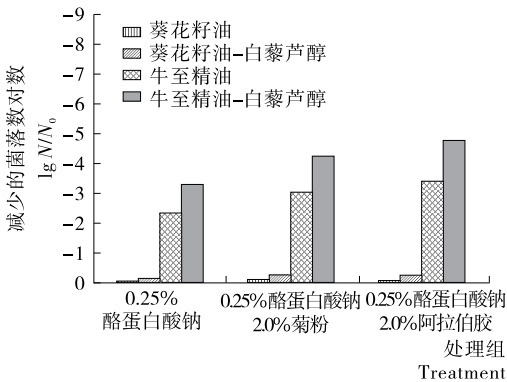


(a) 未包埋的抑菌剂

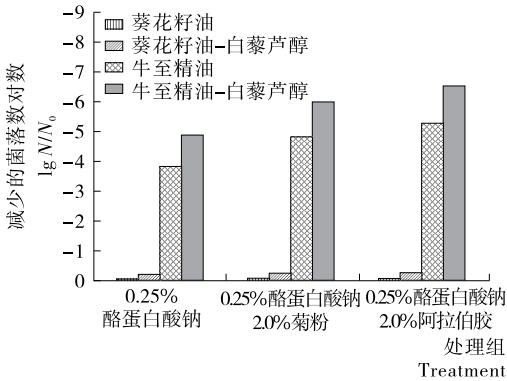


(c) 200~2 500 ng/mL 白藜芦醇和200 μg/mL 牛至精油—(200~2 500 ng/mL)白藜芦醇乳液

a, b, c, d 表示不同体系之间的显著性, P < 0.05; x, y, z 表示不同白藜芦醇浓度之间的显著性差异, P < 0.05



(b) 200 μg/mL 牛至精油、200 ng/mL 白藜芦醇和 200 μg/mL 牛至精油—200 ng/mL 白藜芦醇乳液



(d) 300 μg/mL 牛至精油、500 ng/mL 白藜芦醇和300 μg/mL 牛至精油—500 ng/mL 白藜芦醇乳液

图 1 不同抑菌剂体系对鼠伤寒沙门氏菌的抑菌效果

Figure 1 Reductions of *S. typhimurium* treated with different antimicrobials

果增加不明显,而且当白藜芦醇浓度为 1 500 ng/mL 时,其与酪蛋白酸钠的结合达到饱和而产生浑浊,故选择 300 μ g/mL 牛至精油-500 ng/mL 白藜芦醇。牛至精油通过挥发到气相中并积聚在微生物细胞膜内破坏结构致使细胞死亡^[4]。白藜芦醇与过渡金属铜离子反应会产生氢过氧化物而破坏细胞内重要分子从而导致细胞死亡^[-8-9]。所以,推测牛至精油和白藜芦醇因为抑菌作用有所不同而存在协同抑菌作用。

2.4 贮藏过程中抑菌剂对鼠伤寒沙门氏菌的抑菌效果和动力学分析

2.4.1 贮藏过程中抑菌剂对鼠伤寒沙门氏菌的抑菌效果

选择 300 μ g/mL 牛至精油,500 ng/mL 白藜芦醇进行贮藏试验。由图 2 可知,0 d 时,牛至精油,牛至精油-白藜芦醇及其乳液对鼠伤寒沙门氏菌有很强的抑制作用,降低菌落数最大分别达 5.92,6.71,5.47,6.55 lg CFU/mL;牛至精油,牛至精油-白藜芦醇的抑菌效果略高于其乳液。贮藏时间延长,抑菌剂及其乳液的抑菌效果逐渐降低;4 $^{\circ}$ C 贮藏 10 d,25 $^{\circ}$ C 贮藏 6 d 后,乳液的抑菌效果高于抑菌剂。乳液对牛至精油和白藜芦醇有保护和缓释作用,因此牛至精油-白藜芦醇乳液具有长效而稳定的抑菌效果^[6]。

2.4.2 贮藏过程中抑菌剂对鼠伤寒沙门氏菌抑菌效果的动力学分析

由表 2 可知,除 0.25% 酪蛋白酸钠乳液外,牛至

精油-白藜芦醇乳液对鼠伤寒沙门氏菌的抑菌效果的 k 值低于牛至精油和牛至精油-白藜芦醇。于 4 $^{\circ}$ C 贮藏下的牛至精油-白藜芦醇及其乳液的 k 值低于 25 $^{\circ}$ C。随着时间延长,牛至精油的主要活性成分和白藜芦醇逐渐氧化降解,抑菌效果变弱^[3]。而 25 $^{\circ}$ C 贮藏会加速牛至精油和白藜芦醇的降解速度。

2.5 牛至精油-白藜芦醇及其乳液在鲜切卷心菜中的应用

由图 3 可知,8 $^{\circ}$ C 贮藏的牛至精油-白藜芦醇及其乳液对鲜切卷心菜中的鼠伤寒沙门氏菌有明显的抑制效果。贮藏 4 d 时,牛至精油-白藜芦醇及其 0.25% 酪蛋白酸钠、0.25% 酪蛋白酸钠-2.0% 菊粉/2.0% 阿拉伯胶乳液能明显降低鲜切卷心菜中的菌落数(1.52,2.04,2.67,2.98 lg CFU/g)。牛至精油-白藜芦醇乳液的抑菌率高于牛至精油-白藜芦醇,添加多糖的乳液的抑菌率更高。抑菌剂及其乳液在鲜切卷心菜中的抑菌效果明显低于培养基体系,可能是食品中成分复杂,阻碍了抑菌剂与微生物的接触。Katherine 等^[11]曾报道,牛至精油(0.1 mL/100 mL)处理 1 min 后的长叶莴苣于 4 $^{\circ}$ C 和 8 $^{\circ}$ C 贮藏 3 d,降低沙门氏菌菌落数分别达 0.8,0.9 lg CFU/g,而处理 2 min 后 8 $^{\circ}$ C 贮藏 3 d 降低菌落数达 1.3 lg CFU/g。由此可见,延长抑菌剂处理鲜切卷心菜的时间或者降低贮藏温度,可能会更好地保护其品质。

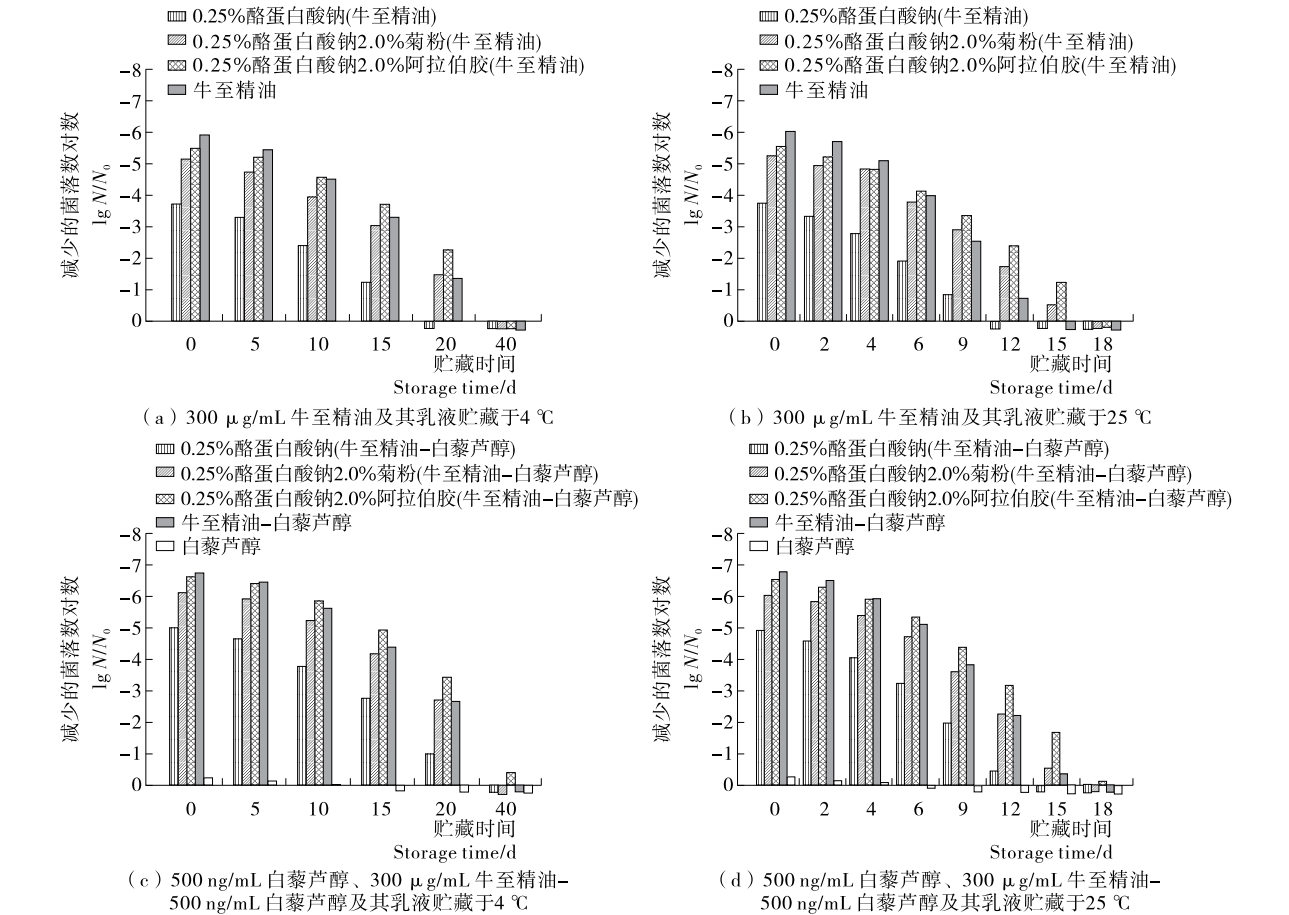


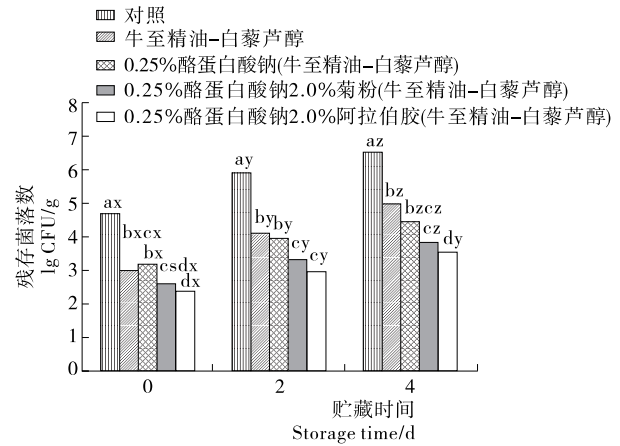
图 2 抑菌剂在贮藏过程对鼠伤寒沙门氏菌的抑菌效果

Figure 2 Reductions of *S. typhimurium* treated with OEO, resveratrol, both, and their emulsions during storage

表 2 抑菌剂在贮藏中对鼠伤寒沙门氏菌抑菌活性的动力学分析

Table 2 Kinetics analysis of reducing *S. typhimurium* treated with different systems stored at 4 ℃ and 25 ℃

体系	4 ℃		25 ℃	
	<i>k</i> /d ⁻¹	<i>R</i> ² (P≤0.05)	<i>k</i> /d ⁻¹	<i>R</i> ² (P≤0.05)
0.25% 酪蛋白酸钠 (牛至精油)	0.448	0.949 9	0.667	0.994 1
0.25% 酪蛋白酸钠-2.0% 菊粉 (牛至精油)	0.422	0.939 4	0.626	0.976 9
0.25% 酪蛋白酸钠-2.0% 阿拉伯胶 (牛至精油)	0.391	0.953 9	0.601	0.987 6
0.25% 酪蛋白酸钠 (牛至精油-白藜芦醇)	0.423	0.953 7	0.628	0.980 0
0.25% 酪蛋白酸钠-2.0% 菊粉 (牛至精油-白藜芦醇)	0.370	0.937 9	0.549	0.957 7
0.25% 酪蛋白酸钠-2.0% 阿拉伯胶 (牛至精油-白藜芦醇)	0.324	0.944 4	0.504	0.973 9
牛至精油-白藜芦醇	0.412	0.937 7	0.621	0.990 5
牛至精油	0.487	0.949 1	0.669	0.998 6
白藜芦醇	0.027 8	0.889 0	0.026 5	0.892 0



a, b, c, d 表示不同体系之间的显著性, $P < 0.05$; x, y, z 表示不同白藜芦醇浓度之间的显著性差异, $P < 0.05$

图 3 牛至精油-白藜芦醇及其乳液在鲜切卷心菜中的应用
Figure 3 Application of OEO-resveratrol and emulsions in fresh cuts cabbage

3 结论

本试验研究了牛至精油、白藜芦醇及二者复合使用经酪蛋白酸钠和 2.0% 菊粉/阿拉伯胶包埋后对鼠伤寒沙门氏菌的抑菌效果,及其在鲜切卷心菜中的应用。研究结果表明,300 μg/mL 牛至精油-500 ng/mL 白藜芦醇对鼠伤寒沙门氏菌具有很好的抑制作用,且二者表现出协同抑菌作用。乳液可以保护牛至精油和白藜芦醇的生物活性,其中 2.0% 菊粉/阿拉伯胶可以显著提高牛至精油和白藜芦醇的溶解性和保留率来延长其抑菌作用。抑菌剂及其乳液处理的鲜切卷心菜在 8 ℃ 条件下贮藏时,一定程度上能有效地抑制鼠伤寒沙门氏菌的快速增长,保护其品质。本试验发现,抑菌剂复合包埋可以达到单一、高浓度精油所达到的抑制效果并降低对食品品质的破坏;包埋尤其是添加多糖后能进一步提高抑菌剂的活性,这使得具有生物活性的天然抑菌剂复合使用,有效地抑制食品中有害微生物,作为食品保鲜防腐剂成为可能。较低温度(4 ℃)贮藏下的抑菌剂乳液在食品体系中的应用需要进一步的研究。

参考文献

[1] BERGER C N, SHAW R K, BROWN D J, et al. Interaction of *Salmonella enterica* with basil and other salad leaves [J]. ISME Journal, 2009, 3(2): 261-265.

[2] TASSOU C, KOUTSOUMANIS K, NYCHAS G J E. Inhibition of *Salmonella enteritidis* and *Staphylococcus aureus* in nutrient broth by mint essential oil [J]. Food Research International, 2000, 33(3/4): 273-280.

[3] BURT S. Essential oils: their antibacterial properties and potential application in foods: a review [J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 94(3): 223-253.

[4] TORNUK F, CANKURT H, OZTURK I, et al. Efficacy of various plant hydrosols as natural food sanitizers in reducing *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella typhimurium* on fresh cut carrots and apples [J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 148(1): 30-35.

[5] 张玉玉, 孙宝国, 祝钧. 牛至精油挥发性成分的 GC-MS 与 GC-O 分析[J]. 食品科学, 2009, 30(16): 275-277.

[6] SARA Beirão-da-Costa, CLÁUDIA D, ANA I B, et al. Inulin potential for encapsulation and controlled delivery of OEO [J]. Food Hydrocolloids, 2013, 33(2): 199-206.

[7] MURIEL-GALET V, MARLENE J C, STEPHEN W B. Antioxidant and antimicrobial properties of ethylene vinyl alcohol copolymer films based on the release of oregano essential oil and green tea extract components [J]. Journal of Food Engineering, 2015, 149: 9-16.

[8] LI Zhen-sheng, YANG Xiao-zhan, DONG Shi-wu, et al. DNA breakage induced by piceatannol and copper (II): mechanism and anticancer properties [J]. Oncology Letters, 2012, 3(5): 1 087-1 094.

[9] OTAKE S, MAKIMURA M, KUROKI T, et al. Anticaries effects of polyphenolic compounds from Japanese green tea [J]. Caries Research, 1991, 25(6): 438-443.

[10] BASAK S, RAMASWAMY H S. Ultra high pressure treatment of orange juice: a kinetic study on inactivation of pectin methyl esterase [J]. Food Research International, 1996, 29(7): 601-607.

(下转第 120 页)

istry, 2008, 108(1): 148-153.

[14] SINNHUBER R O, YU Tien-chun. The 2-thiobarbituric acid reaction, an objective measure of the oxidative deterioration occurring in fats and oils[J]. Journal of Japan Oil Chemists Society, 1977, 26(5): 259-267.

[15] SIKORSKI Z E, RUITER A. Changes in proteins and nonprotein nitrogen compounds in cured, fermented, and dried seafoods[M]. Seafood Proteins: Springer U S, 1995: 113-126.

[16] BINSI P, VIJI P, VISNUVINAYAGAM S, et al. Microbiological and shelf life characteristics of eviscerated and vacuum packed freshwater catfish (*Ompok pabda*) during chill storage [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(3): 1 424-1 433.

[17] 路钰希, 林玉海, 李学英, 等. 冻藏温度对鲈鱼品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 16(3): 105-111.

[18] 武运, 靳焯. 热加工工艺对肉制品质量的影响[J]. 肉类工业, 1997, 23(12): 17-19.

[19] 佟辉, 陈杰, 杨晓静, 等. 背最长肌肌红蛋白 mRNA 表达与肉色表现性状之间的相关[J]. 食品与生物技术学报, 2008, 27(3): 94-98.

[20] DÍAZ P, GARRIDO M D, BAÑÓN S. Spoilage of sous vide cooked salmon (*Salmo salar*) stored under refrigeration [J]. Food Science and Technology International, 2011, 17(1): 31-37.

[21] SOMWANG S, PAIRAT S, JANTHIRAK, et al. Quality changes in oyster (*Crassostrea belcheri*) during frozen storage as affected by freezing and antioxidant[J]. Food Chemistry, 2010, 123(2): 286-290.

[22] 王天佑, 王玉娟, 秦文. 猪肉挥发性盐基氮指标与其感官指标的差异研究[J]. 食品工业科技, 2007, 14(12): 124-126.

[23] BELL J W, FARKAS B E, HALE S A, et al. Effect of thermal treatment on moisture transport during steam cooking of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) [J]. Journal of Food Science, 2001, 66(2): 307-313.

[24] ANACLETO P, TEIXEIRA B, MARQUES P, et al. Shelf-life of cooked edible crab (*Cancer pagurus*) stored under refrigerated conditions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(6): 1 376-1 382.

[25] 王秀娟, 张坤生, 任云霞. 壳聚糖涂膜保鲜虾的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(7): 519-522.

[26] WEBER J, BOCHI V C, RIBEIRO C P, et al. Effect of different cooking methods on the oxidation, proximate and fatty acid composition of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fillets[J]. Food Chemistry, 2008, 106(1): 140-146.

[27] CONCHILLO A, ANSORENA D, ASTIASARÁN I. Combined effect of cooking (grilling and roasting) and chilling storage (with and without air) on lipid and cholesterol oxidation in chicken breast[J]. Journal of Food Protection, 2003, 66(5): 840-846.

[28] ROLDAN M, ANTEQUERA T, ARMENTEROS M, et al. Effect of different temperature-time combinations on lipid and protein oxidation of sous-vide cooked lamb loins [J]. Food Chemistry, 2014, 149(149): 129-136.

[29] SÁNCHEZ D P J, GÁZQUEZ A, RUIZ C J. Physico-chemical, textural and structural characteristics of sous-vide cooked pork cheeks as affected by vacuum, cooking temperature, and cooking time[J]. Meat Science, 2012, 90(3): 828-835.

[30] ADAMS A, DE K N, VAN B M A. Modification of casein by the lipid oxidation product malondialdehyde[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(5): 1 713-1 719.

[31] SONIA V, MARIO E, CARMEN L D, et al. Phospholipid oxidation, non-enzymatic browning development and volatile compounds generation in model systems containing liposomes from porcine *Longissimus dorsi* and selected amino acids [J]. European Food Research and Technology, 2007, 225(5): 665-675.

[32] 黄和, 曹湛慧, 曹增梅, 等. 番石榴多酚对虾肉糜的保鲜效果研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 159-161.

[33] MOL S, OZTURAN S, COSANSUS. Determination of the quality and shelf life of sous vide packaged bonito (Sarda, Bloch, 1793) stored at 4 and 12 °C [J]. Journal of Food Quality, 2012, 35(35): 137-143.

[34] GARCÍA-LINARES M C, GONZALEZ-FANDOS E, GARCÍA-FERNÁNDEZ M C, et al. Microbiological and nutritional quality of sous vide or traditionally processed fish: Influence of fat content[J]. Journal of Food Quality, 2004, 27(5): 371-387.

[35] PAIK H D, KIM H J, NAMK J, et al. Effect of nisin on the storage of sous vide processed Korean seasoned beef[J]. Food Control, 2006, 17(12): 994-1 000.

(上接第 114 页)

[11] KATHERINE M N, COLIN G, JITENDRA P, et al. Antimicrobial activity of oregano oil against antibiotic-resistant *Salmonella enterica* on organic leafy greens at varying exposure times and storage temperatures [J]. Food Microbiology, 2013, 34(1): 123-129.

[12] HONARY S, ZAHIR F. Effect of Zeta potential on the Properties of Nano-Drug Delivery Systems - A Review (Part 2) [J]. Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 2013, 12(2): 265-273.

[13] VALCOURT C, SAULNIERA P, UMERSKA A, et al. Synergistic interactions between doxycycline and terpenic components of essential oils encapsulated within lipid nanocapsules against gram negative bacteria [J]. International Journal of Pharmaceutics, 2016, 498(1/2): 23-31.

[14] YE Ai-qian, JOHN F, HARJINDER S. Formation of stable nanoparticles via electrostatic complexation between sodium caseinate and gum Arabic [J]. Biopolymers, 2006, 82(2): 121-133.

120