

肉桂精油复合微乳体系构建及其在酱牛肉加工中的应用

张赞彬, 李维迪, 王一非, 罗宁宁, 郑锋, 魏蒙月

(上海应用技术学院香料香精技术与工程学院, 上海 201418)

摘要: 本文分别以 0.5% 乳酸链球菌素、0.5% 植酸钠或 0.5% ϵ -聚赖氨酸盐酸盐为水相, 以吐温 80、乙醇分别为乳化剂和助乳化剂, 研究 o/w 型肉桂精油复合微乳体系的相行为规律, 测定微乳体系的 pH、粘度、电导率和粒径等物理表征, 筛选水溶性稳定的微乳配方, 研究微乳体系对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的最低抑菌浓度 (MIC), 并将分别含有不同防腐剂的复合微乳液处理酱牛肉, 通过挥发性盐基氮和微生物特征来观察微乳液对酱牛肉在冷藏期间的防腐保鲜效果。结果表明: 三种食品防腐剂对微乳体系的水溶性能没有显著影响, 防腐剂种类对微乳体系的 pH、电导率等指标有影响; 配方 MEP (含 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐) 对大肠杆菌的 MIC 最低, 为 16 mg/mL。而配方 MEP 与 MEN (含乳酸链球菌素) 对金黄色葡萄球菌的 MIC 最低, 均为 8 mg/mL; 微乳液处理能延缓酱牛肉的腐败变质, 能够降低冷藏期间酱牛肉中挥发性盐基氮含量, 并可明显减慢细菌总数和大肠菌群总数的增长。

关键词: 肉桂精油; 微乳液; 乳酸链球菌素; 植酸钠; ϵ -聚赖氨酸盐酸盐; 酱牛肉

文章编号: 1673-9078(2016)8-156-162

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.8.024

Fabrication of Cinnamon Essential Oil-based Composite Microemulsions and Their Applications in Braised Beef

ZHANG Yun-bin, LI Wei-di, WANG Yi-fei, LUO Ning-ning, ZHENG Feng, WEI Meng-yue

(School of Perfume and Aroma Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China)

Abstract: To study the phase behavior of an oil-in-water cinnamon essential oil-based microemulsion system, Tween -80 and ethanol were selected as the surfactant and co-surfactant, respectively, and 0.5% nisin, 0.5% sodium phytate, or 0.5% ϵ -poly-L-lysine·hydrochloride (HCl) was used as the aqueous phase. The pH value, viscosity, electric conductivity, particle size, and other physical properties of the microemulsion system were analyzed, the most stable water-soluble microemulsion formulations were optimized, and the minimum inhibitory concentrations (MICs) of the microemulsions for *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* were determined. Braised beef samples were treated with composite microemulsions containing different preservatives, and the performances of the microemulsions on the preservation of braised beef during cold storage based on total volatile base nitrogen and microbial characteristics were analyzed. The results showed that the three food preservatives had no significant influence on the water solubility of the microemulsions but affected the pH, electric conductivity, etc. The microemulsions containing ϵ -poly-L-lysine·HCl (MEP) had the lowest MIC for *E. coli* (16 mg/ml), and MEP and the microemulsions containing nisin showed the lowest MIC for *S. aureus* (8 mg/ml). Treatment with the microemulsions delayed beef spoilage, reduced the content of total volatile basic nitrogen in the braised beef during cold storage, and significantly lowered the growth of total bacterial count and coliform bacteria.

Key words: cinnamon essential oil; microemulsion; nisin; sodium phytate; ϵ -poly-L-lysine hydrochloride; braised beef

酱牛肉作为中国传统肉制品, 其味道鲜美、营养丰富、深受人们喜爱, 但同时极易滋生大量微生物, 尤其是在贮藏、运输和销售过程中, 容易引起腐败微生物和致病微生物的大量繁殖, 新鲜度下降, 导致其腐败和货架期缩短, 甚至造成食物中毒。目前, 延缓熟肉制品腐败, 延长货架期的突破性方法或技术受到

收稿日期: 2015-08-27

基金项目: 上海市部分地方院校能力建设计划项目 (13120503300)

作者简介: 张赞彬 (1973—), 男, 博士, 教授, 研究方向: 天然产物提取

了国内外的广泛关注^[1]。

我国市场上对于肉制品的防腐保鲜大都使用单一的化学防腐剂。随着社会公众对于吃的健康的要求日益增长, 化学防腐剂在食品中的使用受到越来越多的质疑, 因此, 绿色、高效的天然物质成为了食品防腐保鲜研究的热点^[2-3]。乳酸链球菌素 (Nisin) 是一种多肽物质, 食用后在消化道中很快被蛋白水解酶消化成氨基酸, 因其具有较强的抑菌性而被广泛的用作天然防腐剂^[4]。 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐 (ϵ -poly-L-lysine·

HCl) 因能在人体内分解为赖氨酸又具有非常广谱的抑菌性而被视为一种新型天然营养型防腐剂^[5]。植酸钠(sodium phytate)即肌醇六磷酸钠也被作为一种重要的纯天然绿色添加剂而应用于肉制品中。另外, 植物提取物因其绿色健康也成为了研究的热点。其中肉桂精油因具有较好的抗氧化性和抑菌性而倍受青睐^[6]。关于肉桂精油用于肉制品防腐的研究也屡见不鲜, Jing Hu等^[7]研究了壳聚糖包埋肉桂精油对冷鲜猪肉的品质影响, 结果发现冷鲜猪肉中微生物得到了显著地抑制。但是肉桂精油由于易挥发和水溶性差而限制了其作为防腐剂的应用。微乳体系是一种由一定配比的乳化剂、助乳化剂、水和油自发形成的各向同性、外观透明且各相均一的稳定体系, 能够较好的控制精油的挥发并且增强水溶性和抑菌性。Zhang H等^[8]研究了食品级甘油单月桂酸酯微乳体系对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌效果, 其制备的微乳体系在 1 min 内对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌完全致死。

本文以上述三种防腐剂为水相, 研究防腐剂与肉桂精油复合微乳体系的相行为规律, 测定微乳体系的 pH、粘度、电导率和粒径等物理表征, 选取水溶性稳定的水包油型微乳配方, 研究微乳体系对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌效果 (MIC), 并将分别含有不同防腐剂的复合微乳液处理酱牛肉, 通过挥发性盐基氮和微生物特征来观察微乳液对酱牛肉在冷藏期间的防腐保鲜效果。

1 材料和方法

1.1 实验材料

1.1.1 精油及食品防腐剂

肉桂精油 (ceylon type cinnamon) 购买于 Sigma。乳酸链球菌素 (Nisin)、植酸钠(sodium phytate)、 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐 (ϵ -poly-L-lysine·HCl) 由浙江新银象生物工程有限公司提供。

1.1.2 菌种

大肠杆菌(*Escherichia coli*, CICC20729)和金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*, CICC23478)均购于中国工业微生物菌种保藏中心, 4 °C 冷藏。使用时用 LB 液体培养基在 37 °C 活化。

菌悬液的制备: 通过浊度法, 将活化过的菌液用无菌的 LB 培养基稀释, 调节 OD₆₀₀ 至 0.1, 此时菌悬液浓度约为 10⁸ CFU/mL。

1.1.3 实验器材

SpectraMax M2 多功能酶标仪, 美谷分子仪器(上海)有限公司; Nano-ZS 纳米粒度仪, 英国马尔文仪

器公司; DDS-307 电导率仪, 上海大普仪器有限公司; FE20-FiveEasy™ pH 计, 梅特勒-托利多国际股份有限公司; NDJ-5S 粘度仪, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; LI15-2 生化培养箱, 美国谢尔顿制造公司; LDZM 立式压力蒸汽灭菌锅, 上海申安医疗器械厂; SW-CJ-2FD 超净细菌操作台, 苏州净化设备有限公司。

1.2 微乳液制备及表征

1.2.1 微乳液的制备方法

首先将乙醇与肉桂精油按 3:1 的比例混合作为油相、添加含量为 0.5% 食品防腐剂 (乳酸链球菌素、植酸钠、 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐) 作为水相, 油相与乳化剂吐温 80 分别以不同的比例混合 (0:10、1:9、2:8、3:7、4:6、5:5、6:4、7:3、8:2、9:1to 10:0), 然后向上述各比例的体系中逐滴滴加水相, 每滴加一定量水相后, 超声波处理 30 min, 待其在 25 °C 水浴中静置平衡 24 h 后, 确定其不同状态, 在拟三元相图上绘出多相区和单相区^[9]。构建以不同防腐剂为水相的微乳体系的拟三元相图, 不添加防腐剂的蒸馏水相为空白对照。

1.2.2 微乳液表征的测定及配方的确定

从上述四种相图中选择含油量最高的一条有效稀释通道, 通道上任意一点所代表的溶液均为微乳状态, 即该通道上点所对应的微乳液配方可被水无限稀释。测定这条有效稀释通道随着水相的增加其 pH、电导率、粘度的变化。根据表征选取微乳液的配方并测定其粒径大小, 检测微乳液的物理稳定性。分别采用 FE20-FiveEasy™ pH 计、DDS-307 电导率仪、NDJ-5S 粘度仪测定分别添加不同水相量时体系的 pH、电导率与粘度值。用 Nano-ZS 纳米粒度仪测量所选微乳液的粒径。物理稳定性实验参照张辉^[10]的方法: 将微乳液室温下 4000 g 离心 15 min 观察相态是否分离, 37 °C 保存一个月后观察相态是否分离。以上实验均重复三次。

1.3 最低抑菌浓度 (minimum inhibitory concentration, MIC) 的测定

采用两倍稀释法^[11]测定所制备微乳液对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的最低抑菌浓度。取 50 μ L 一系列双倍稀释浓度微乳液加到 5 mL LB 液体培养基中, 使得其最终浓度分别为 4、8、16、32、64 mg/mL, 然后分别加入 50 μ L 菌悬液, 混合均匀后于 37 °C 培养 24 小时。肉眼观察并与没有放置菌悬液的对照组进行对比, 没有细菌生长的最低浓度为 MIC。

1.4 不同配方微乳液对酱卤牛肉冷藏期间挥发性盐基氮的影响

将新鲜卤制的酱卤牛肉分别在不同配方的肉桂油复合微乳液中浸泡 1 min, 然后移至无菌的烧杯中置于 4 °C 冷藏, 以不经过微乳液浸泡的新鲜酱卤牛肉做空白对照。采用 GB/T 5009.44-2003 中半微量定氮法, 0、2、4、6、8 和 10 d 取样测定酱卤牛肉的挥发性盐基氮值 (TVB-N)。重复试验 3 次。

1.5 不同配方微乳液对酱卤牛肉冷藏期间微生物特征的影响

按 1.4 方法处理酱卤牛肉。0、2、4、6、8 和 10 d 取样, 分别测定样品的菌落总数和大肠菌群总数。菌落总数的测定按照 GB 4789.2-2008, 采用无菌操作, 准确称取 25 g 酱卤牛肉。剪成肉糜后放入盛有 225 mL 0.9% 无菌生理盐水的均质袋中。放入恒温摇床中振荡 30 min 形成浓度为 10^{-1} 的均匀稀释液。取 1 mL 稀释液加入盛有 9 mL 的无菌生理盐水中, 依次 10 倍梯度稀释。选择 3 个适宜的稀释度, 每个稀释度做 3 个重复, 在平板计数琼脂 (PCA) 上稀释涂布, 37 °C 培养 24 h 后取出进行计数。

大肠菌群总数测定方法同细菌总数, 用结晶紫中性红胆盐琼脂 (VRBA) 于 37 °C 培养 24 h 后取出进行计数。

1.6 统计与分析

所有试验数据均以平均值 (mean)、± 标准差 (sd) 表示。采用 SAS 8.0 软件进行差异显著性分析 ($p < 0.05$)。所有数据图均有 Origin8.0 绘制。

2 结果与讨论

2.1 不同防腐剂对肉桂油复合微乳体系相行为变化的影响

以乙醇与肉桂精油为油相, 吐温 80 为乳化剂, 含有 0.5% 防腐剂为水相构建拟三元相图 (图 1), 可以看出, 在水相中添加少量上述食品防腐剂对肉桂精油微乳液相行为没有明显的影响。选择乙醇为助表面活性剂且与精油的比例为 3:1 时能够形成较大面积的单向区 (图 1a)。

2.2 微乳液的表征及配方

上述四种体系相图相行为规律相似, 故选取油相和表面活性剂吐温 80 同一比例下含油量较高的一条有效稀释通道。如图 1a 中的 N55, 1b、c、d 同上。然后测定这条稀释通道上随着水相的增加其 pH、电导率、粘度的变化, 起始于相图的油相-吐温 80 相一侧, 终止于左侧的水相角。

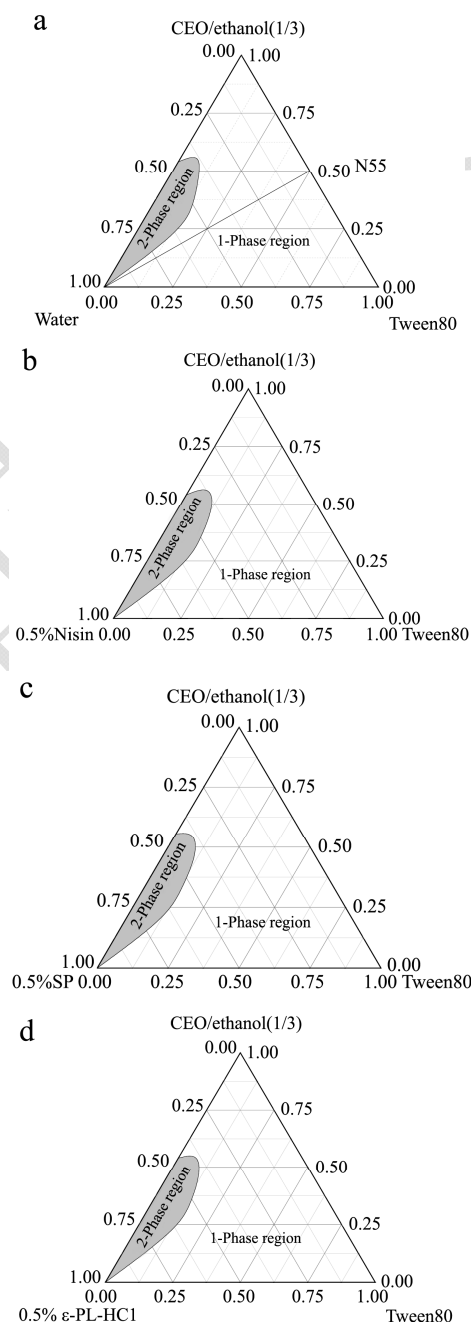


图 1 不同食品保鲜剂对肉桂精油微乳体系相行为的影响
Fig.1 Effect of different aqueous phases on the phase behavior of the cinnamon oil-based microemulsion system

注: 图中 a、b、c、d 所使用的水相分别为: 纯蒸馏水、

0.5% Nisin 水溶液 (wt/wt)、0.5%植酸钠水溶液 (wt/wt)、0.5% ϵ -聚赖氨酸盐酸盐水溶液 (wt/wt)。

2.2.1 稀释通道 N55 上 pH 值的变化

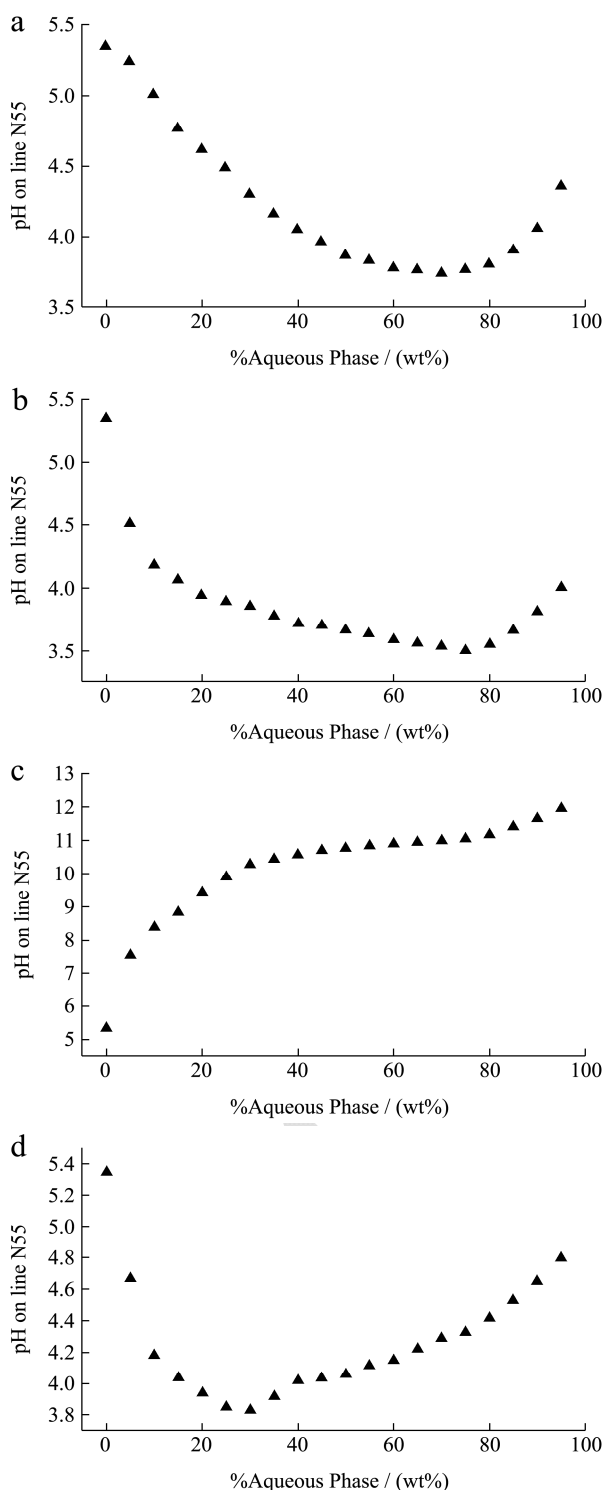


图2 微乳体系的 pH 值变化

Fig.2 Variation in the pH of the different microemulsion systems along dilution line N55

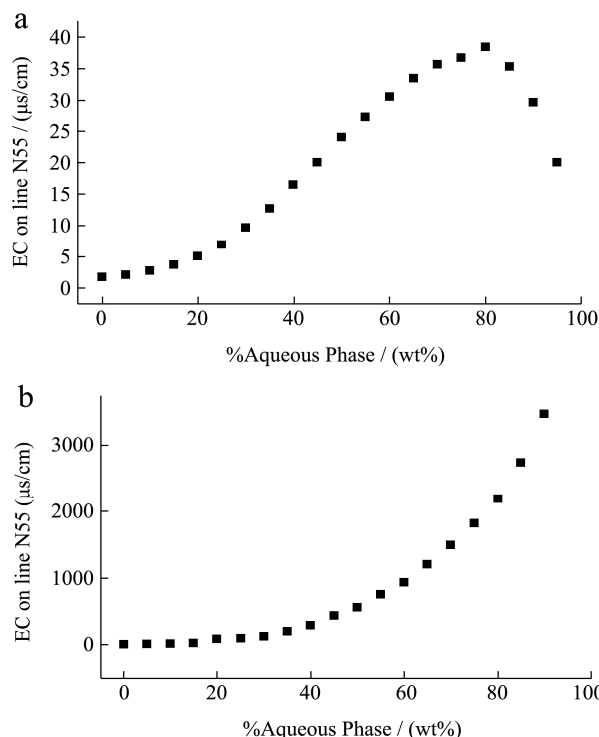
注：图中 a、b、c、d 所使用的水相分别为：纯蒸馏水、0.5% Nisin 水溶液 (wt/wt)、0.5%植酸钠水溶液 (wt/wt)、0.5% ϵ -聚赖氨酸盐酸盐水溶液 (wt/wt)。

在稀释通道 N55 上,随着水相量的增加体系的 pH 值如图 2 所示,在含有乳酸链球菌素和 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐的微乳液,其 pH 值变化与纯蒸馏水相趋势相同。其中以纯蒸馏水为水相的微乳液当水相量在 70%以下时, pH 值随着水相量的增加从 5.35 降到 3.74, 当水相量在 70%以上时,随着水相的增加 pH 值开始增加并趋于蒸馏水的 pH 值。这种变化主要是由于,在低水相时, pH 在值主要受到助表面活性剂乙醇的影响,随着水相的增加,乙醇的解离程度增大,使得更多的氢离子解离到水相中从而引起 pH 值的下降,在高水相时, pH 值总要受水相的影响,乙醇不能继续解离,因而 pH 值会趋于和水相的 pH 值一致^[12]。含有 Nisin 或 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐的微乳液基本变化趋势一致。

而图 2c 中,含有植酸钠的微乳体系其 pH 值一直在增长,其原因是植酸钠水溶液本身是碱性故 pH 值一直呈现在增长的趋势。

2.2.2 稀释通道 N55 上电导率的变化

在稀释通道 N55 上,随着水相量的增加体系的电导率值的变化如图 3,以纯蒸馏水为水相的微乳体系,它的电导率变化呈钟形。当水相量在 85%以下时,电导率随着水相量的增加从 1.76 增加到 35.3,当水相量在 85%以上时,电导率逐渐减小且趋于纯水的电导率。而在加入食品防腐剂后,随着水相的增加其电导率会有不同程度的增加。原因是当水中有电解质等离子存在时就会使其导电性大幅增加,且水中离子浓度越高,导电性就会越强。



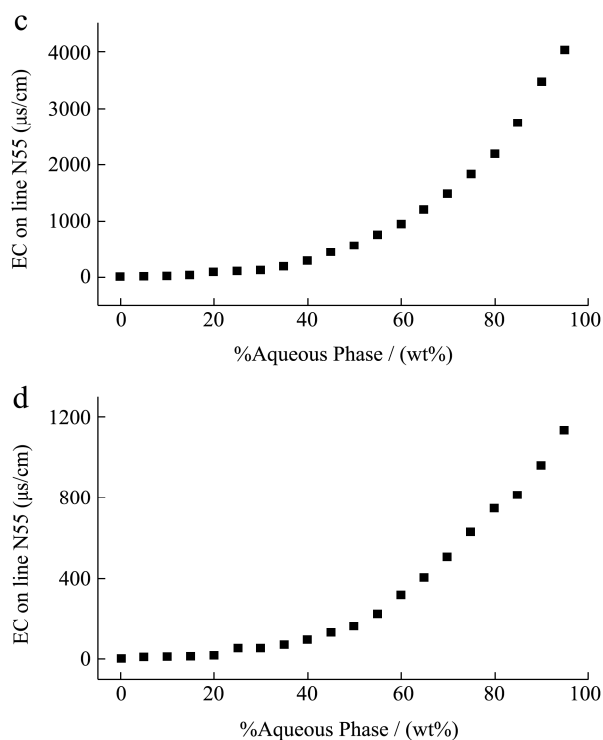


图3 微乳体系的电导率变化

Fig.3 Variation in the electric conductivity of the different microemulsion systems along dilution line N55

注：图中 a、b、c、d 所使用的水相分别为：纯蒸馏水、0.5% Nisin 水溶液 (wt/wt)、0.5%植酸钠水溶液 (wt/wt)、0.5% ε-聚赖氨酸盐酸盐水溶液 (wt/wt)。

2.2.3 稀释通道 N55 上粘度的变化

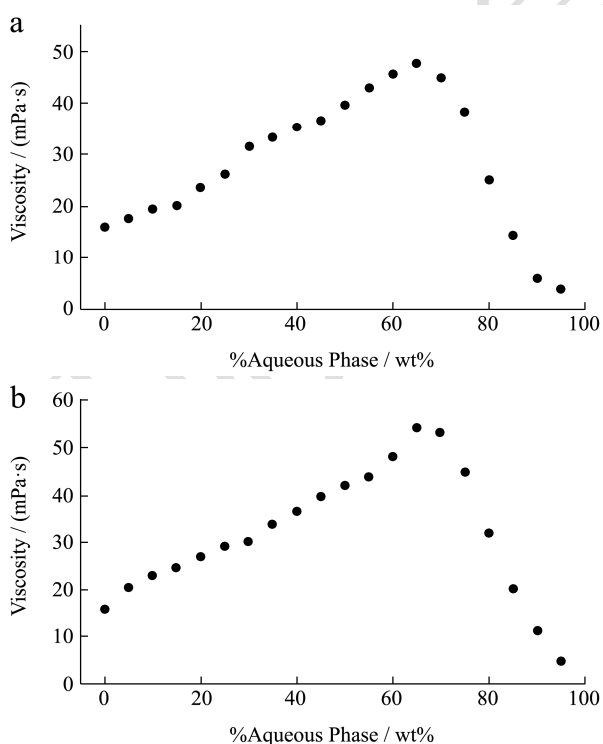


图4 微乳体系的粘度变化

Fig.4 Variation in the viscosity of the different microemulsion systems along dilution line N55

注：图中 a、b、c、d 所使用的水相分别为：纯蒸馏水、0.5% Nisin 水溶液 (wt/wt)、0.5%植酸钠水溶液 (wt/wt)、0.5% ε-聚赖氨酸盐酸盐水溶液 (wt/wt)。

在稀释通道 N55 上，随着水相量的增加体系的粘度变化如图 4 所示，添加了食品防腐剂后对微乳液的粘度无明显的影响，在稀释通道 N55 上其粘度变化呈钟形，即不管水相是纯蒸馏水或是三种食品防腐剂，在低水相量时，所测得粘度都随着水相量的增加而增大，当水相量到达 65% 时，粘度会随着水相量的增加而减小并持续降低直至趋于蒸馏水的粘度。Gradzielsk^[13]报道，在低水相量时，粘度逐渐增加是因为分散相中的微粒粒径的增大和这些微粒之间的相互作用。而高水相时粘度则主要受水相的影响。

由有效稀释通道的 pH 和粘度等表征可以看出微乳液是由油包水向水包油型转变，实验选取水包油型微乳液，在 N55 上自选取水相含量为 80% 作为微乳液的最终配方，即水相：乳化剂：助乳化剂：精油 = 32:4:3:1。所确定的四种微乳液即纯蒸馏水作为水相的微乳液标记为 MEW，0.5% Nisin 水溶液作为水相的微乳液标记为 MEN，0.5% 植酸钠水溶液作为水相的微乳液标记为 MES，0.5% ε-聚赖氨酸盐酸盐水溶液作为水相的微乳液标记为 MEP。

2.2.4 微乳液的粒径及稳定性

四种微乳液的粒径结果见表 1。以纯蒸馏水为水相的微乳液粒径大小为 32.17 nm，且粒径分布指数 (PDI) 相对较低，PDI 越低反应体系越均匀。而添加乳酸链球菌素后其粒径有了明显的增加，原因是因为乳酸链球菌是一种多肽本身不易溶于水，添加进微乳液中影响微乳液的粒径的大小。添加植酸钠和 ε-聚赖氨酸盐酸盐后对微乳液的粒径则没有明显的影响。

将四种配方的肉桂油复合微乳液在室温下 4000 g 离心 15 min 未发生相分离，37 °C 保存 1 个月未发生相分离。

表 1 四种微乳液的粒径

Table 1 Particle sizes of the four microemulsions

Microemulsion	Z-Average/nm	PDI
MEW	32.17±1.35	0.27±0.02
MEN	213.50±2.42	0.34±0.02
MES	32.66±0.15	0.39±0.01
MEP	37.79±0.41	0.37±0.03

2.3 最低抑菌浓度 (minimum inhibitory concentration, MIC)

采用两倍稀释法测定四种配方微乳液对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的最低抑菌浓度，结果如表 2。由表 2 可知，含有 ε-聚赖氨酸盐酸盐的肉桂精油微乳液对两种菌的抑制效果最好，含有乳酸链球菌素的微乳液抑菌效果次之，而含有植酸钠的微乳液与不含食品防腐剂的微乳液抑菌效果相同，在对大肠杆菌的抑菌效果中，MEP 的 MIC 最低为 16 mg/mL；MEN 的 MIC 为 32 mg/mL；MES 和 MEW 的 MIC 均为 64 mg/mL；而对金黄色葡萄球菌的抑菌作用中，MEP 和 MEN 的 MIC 为 8 mg/mL 最低；MES 和 MEW 的 MIC 次之均为 64 mg/mL。这与 Hongxia Liu 等^[4]研究的防腐剂抑菌性趋势相同。

表 2 四种微乳液对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的最低抑菌浓度

Table 2 Minimal inhibitory concentrations of the four microemulsion solutions for *E. coli* and *S. aureus*

Microemulsions	<i>Escherichia coli</i> (mg/mL)	<i>Staphylococcus aureus</i> (mg/mL)
MEW	64	64
MEN	32	8
MES	64	64
MEP	16	8

2.4 不同配方微乳液对酱卤牛肉冷藏期间挥发性盐基氮的影响

不同配方的微乳液对酱卤牛肉冷藏期间挥发性盐基氮的影响，其结果如图 5。挥发性盐基氮是在牛肉的腐败过程中由于酶和细菌的作用，分解蛋白质产生氮以及胺类等挥发性的碱性含氮物质。图中可以看出，随着冷藏时间的增加，空白组酱卤牛肉的 TVB-N 值在第 4 d 就已经超标并且越来越大，而其他经微乳液处理后的酱卤牛肉的 TVB-N 值均有不同程度的降低，其中 MEN 处理后的效果最好，但所有测试组也均呈增长趋势。

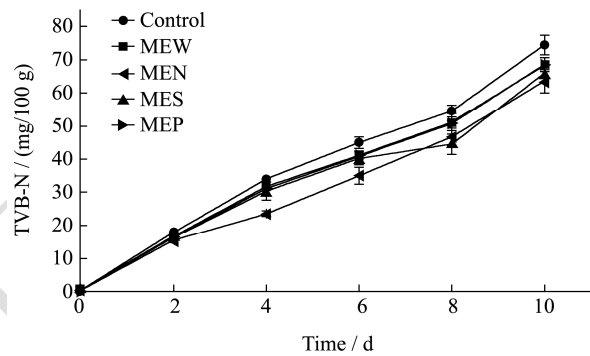


图 5 不同微乳液处理的酱卤牛肉在冷藏期间挥发性盐基氮的变化

Fig.5 Total volatile basic nitrogen content of braised beef treated with the four microemulsions

2.5 不同配方微乳液对酱卤牛肉冷藏期间微生物特征的影响

三种不同配方肉桂油微乳液处理的酱卤牛肉在冷藏期间的细菌总数的生长动态如图 6，可以看出，未经任何微乳液处理的酱卤牛肉在第 8 d 时细菌总数已经超标即超过 10⁵ cfu/g，且在第二天时就已经分离出细菌，而其他经过微乳液处理的酱卤牛肉在第二天时还未分离出细菌，且其他处理组在以后几天的细菌总数均明显低于对照组的细菌总数。在第 10 d 时，MEN、MEP 处理组中细菌总数分别达到 10³ 和 10⁴ cfu/g 还未超标，其中 MEN 对酱卤牛肉的抑菌效果最好，MEP 次之，而 MEW 和 MES 对酱卤牛肉的抑菌效果相当。通过菌落总数可以看出微乳液对酱牛肉可以明显延缓微生物的滋生和腐败。

图 7 中显示出，大肠菌群作为优势菌群呈指数生长趋势，空白组尤为明显。在对酱牛肉中的大肠菌群

的抑菌方面, 四种微乳液均有较强的抑菌性且与菌落总数抑菌趋势一致。

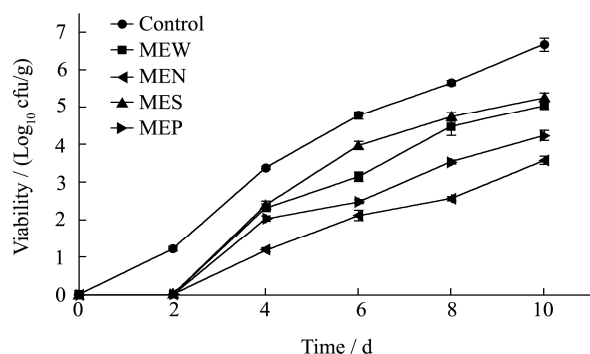


图6 不同微乳液处理的酱卤牛肉在冷藏期间细菌总数的变化
Fig.6 Cell viability of bacteria in braised beef treated with the four microemulsions during cold storage (4 °C)

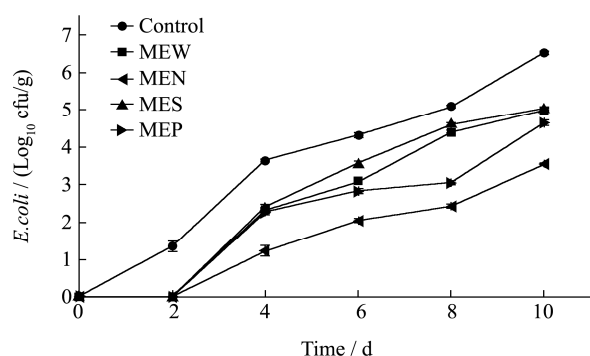


图7 不同微乳液处理的酱卤牛肉在冷藏期间大肠菌群总数的变化
Fig.7 *E. coli* viable count in braised beef treated with the four microemulsions during cold storage (4 °C)

3 结论

3.1 随着人们对食品健康的更加关注, 天然健康的防腐剂使用成为食品防腐的研究热点和趋势, 本实验选取的原料均为天然防腐物质而被广泛应用和研究。本文分别以 0.5%乳酸链球菌素、0.5%植酸钠、0.5% ϵ -聚赖氨酸盐酸盐为水相, 研究肉桂精油/乙醇-吐温 80-防腐剂水溶液复合微乳体系的相形为规律, 测定微乳体系的 pH、粘度、电导率和粒径等物理表征, 研究微乳体系对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的最低抑菌浓度。结果表明: 三种食品防腐剂对微乳体系相行为没有显著影响均可形成均匀稳定的微乳体系。配方 MEP (含 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐) 对大肠杆菌的 MIC 最低, 为 16 mg/mL。而配方 MEP 与 MEN (含乳酸链球菌素) 对金黄色葡萄球菌的 MIC 最低, 均为 8 mg/mL。另外, 本文从挥发性盐基氮和微生物特征两个方面研究含有不同防腐剂的复合微乳液对酱牛肉冷藏期间的防腐保鲜效果。结果显示, 微乳液处理对酱牛肉中挥发性盐

基氮含量有一定的降低, 并可明显降低细菌总数和大肠菌群总数。

3.2 本实验通过构建肉桂精油/乙醇-吐温 80-防腐剂水溶液复合微乳体系, 不仅解决了肉桂精油易挥发和水溶性差的问题, 还将天然防腐剂添加进精油微乳体系中并对其体系进行初探, 研究了微乳体系对酱牛肉防腐保鲜的效果。为肉桂精油微乳液及其与不同防腐剂复配应用于食品产业提供了理论参考。以后还需要对不同种类和稀释度的防腐剂进行深入研究。

参考文献

- [1] Javier Camo, Alberto Lorés, Djamel Djenane, et al. Display life of beef packaged with an antioxidant active film as a function of the concentration of oregano extract [J]. Meat Science, 2011, 88(1): 174-178
- [2] M Arancibia, B Giménez, M E López-Caballero, et al. Release of cinnamon essential oil from polysaccharide bilayer films and its use for microbial growth inhibition in chilled shrimps [J]. Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie, 2014, 59(2): 989-995
- [3] Abdollahzadeh E, Rezaei M, Hosseini H. Antibacterial activity of plant essential oils and extracts: The role of thyme essential oil, nisin, and their combination to control *Listeria monocytogenes* inoculated in minced fish meat [J]. Food Control, 2014, 35:177-183
- [4] Liu H, Pei H, Han Z, et al. The antimicrobial effects and synergistic antibacterial mechanism of the combination of ϵ -Polylysine and nisin against *Bacillus subtilis* [J]. Food Control, 2015, 47: 444-450
- [5] Najjar M B, Kashtanov D, Chikindas M L. ϵ -Poly-L-lysine and nisin A act synergistically against Gram-positive food-borne pathogens *Bacillus cereus* and *Listeria monocytogenes* [J]. Letters in Applied Microbiology, 2007, 45(1): 13-18
- [6] Angela Perdonés, Vargas M, Atarés L, et al. Physical, antioxidant and antimicrobial properties of chitosan-cinnamon leaf oil films as affected by oleic acid [J]. Food Hydrocolloids, 2014, 36(2): 256-264
- [7] Hu J, Wang X, Xiao Z, et al. Effect of chitosan nanoparticles loaded with cinnamon essential oil on the quality of chilled pork [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 63: 519-526
- [8] Zhang H, Shen Y, Weng P, et al. Antimicrobial activity of a food-grade fully dilutable microemulsion against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* [J]. International Journal of

- Food Microbiology, 2009, 135(3): 211-215
- [9] Zhang H, Taxipalati M, Que F, et al. Microstructure characterization of a food-grade U-type microemulsion system by differential scanning calorimetry and electrical conductivity techniques [J]. Food Chemistry, 2013, 141(3): 3050-3055
- [10] 张辉. 食品级月桂酸单甘油酯微乳体系的构建及其抑菌研究[D].杭州:浙江大学,2009
- ZHANG Hui. Construction and antibacterial performance of glycerol monolaurate microemulsion [D]. Hang Zhou: Zhejiang University, 2009
- [11] Park H D, Park S W, Kim H O. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 by cinnamic aldehyde purified from *Cinnamomum cassia* shoot [J]. Food Microbiology, 2004, 21(3): 105-110
- [12] Spornath A, Aserin A, Garti N. Fully dilutable microemulsions embedded with phospholipids and stabilized by short-chain organic acids and polyols [J]. J. Colloid Interface Sci., 2006, 299(2): 900-909
- [13] Kumar P, Mittal K L. Handbook of microemulsion science and technology [M]. New York: Dekker, 1999
- [14] Liu H, Pei H, Han Z, et al. The antimicrobial effects and synergistic antibacterial mechanism of the combination of ϵ -Polylysine and nisin against *Bacillus subtilis* [J]. Food Control, 2015: 444-450