一种含辣木籽抗菌肽MOp2的Pickering乳液对乳饼的保鲜效果

邹丽蓉，黄志远，董文明，王雪峰*
（云南农业大学食品科学技术学院，云南 昆明 650201）

摘 要：为了延长乳饼的保质期，将一种含辣木籽抗菌肽MOp2的Pickering乳液作为保鲜剂应用于乳饼，通过测定过氧化值、质构、菌落总数、大肠杆菌、色差和感官指标确定Pickering乳液对乳饼的保鲜效果。结果表明：真空包装组（对照组）贮藏28 d时检出大肠杆菌，贮藏35 d时大肠杆菌超标，且菌落总数、过氧化值、色差显著高于涂抹Pickering乳液的实验组；实验组贮藏42 d内未出现腐败变质，其中前35 d感官品质较好，菌落总数增长较慢，未检测出大肠杆菌，在乳饼质构测定中，从21 d开始实验组与对照组呈现明显差异。综合感官与理化指标分析与对照组相比，Pickering乳液能将乳饼的贮藏时间延长1 周，保鲜效果显著。

关键词：Pickering乳液；抗菌肽；乳饼；保鲜；过氧化值

Preservative Effect of a Pickering Emulsion Containing Antimicrobial Peptide MOp2 from *Moringa oleifera* Seeds on Milk Cake

ZOU Lirong, HUANG Zhiyuan, DONG Wenming, WANG Xuefeng*
(College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: In order to extend the shelf life of milk cake, a Pickering emulsion containing antimicrobial peptide MOp2 from *Moringa oleifera* seeds was applied as preservative to milk cake. In this experiment, the preservative effect of the Pickering emulsion on milk cake was determined by measuring peroxide value, texture properties, total viable count, coliform count, color difference and sensory attributes. The results showed that *Escherichia coli* was detected in the vacuum packaging group (control) after 28 days of storage, and the count of *E. coli* exceeded the safety limit after 35 days. The total viable count, peroxide value (POV), and color difference was significantly higher than those of the experimental group coated with the Pickering emulsion. The experimental group remained unspoiled for 42 days. Sensory quality remained stable during the first 35 days of storage, total viable count increased slowly, and *E. coli* was not detected in the experimental group. Significant differences in texture properties between the two groups were observed starting from the 21th day of storage. Sensory and physicochemical evaluation showed that compared with the control group, the Pickering emulsion prolonged the storage life of milk cake by one week, indicating its good preservative effect.

Keywords: Pickering emulsion; antimicrobial peptide; milk cake; preservation; peroxide value
DOI:10.7506/rykxyjs1671-5187-20220302-012
中图分类号：TS252.56 文献标志码：A 文章编号：1671-5187（2022）03-0029-05
引文格式：
邹丽蓉, 黄志远, 董文明, 等. 一种含辣木籽抗菌肽MOp2的Pickering乳液对乳饼的保鲜效果[J]. 乳业科学与技术, 2022, 45(3): 29-33. DOI:10.7506/rykxyjs1671-5187-20220302-012. http://www.dairyst.net.cn
ZOU Lirong, HUANG Zhiyuan, DONG Wenming, et al. Preservative effect of a pickering emulsion containing antimicrobial peptide MOp2 from *Moringa oleifera* seeds on milk cake[J]. Journal of Dairy Science and Technology, 2022, 45(3): 29-33. DOI:10.7506/rykxyjs1671-5187-20220302-012. http://www.dairyst.net.cn

收稿日期：2022-03-02
基金项目：国家自然科学基金地区科学基金项目（31960462）；云南省基础研究计划面上项目（2019FB052）；云南省农业联合专项（2018FG001-040）
第一作者简介：邹丽蓉（1997—）（ORCID: 0000-0002-5768-7486），女，硕士研究生，研究方向为生物与医药。E-mail: 1747950232@qq.com
*通信作者简介：王雪峰（1985—）（ORCID: 0000-0001-8175-8478），男，副教授，博士，研究方向为食品蛋白质资源利用与乳品科学。E-mail: 364135728@qq.com

乳饼是云南少数民族彝族特有的食物，其味道鲜美、口感独特，深受云南本地人喜爱[1-2]。乳饼含有大量优质的蛋白质、脂溶性维生素和多种脂肪酸，此外还含有人体所必需的多种矿物质，营养价值较高[3]。乳饼是将鲜乳过滤后除去杂质，在锅中进行加热，待鲜乳将要沸腾时加入酸水，撤火，保温数分钟，待乳将凝结成块时把凝块弄碎，弃去乳清后，置于清洁的白布中压制成型[4]。目前乳饼的生产方式还仅仅局限于手工作坊，这种方式不利于乳饼的保存。肖蓉等[5]研究表明，辐照保藏能够有效延长乳饼贮藏期；李昌盛等[6]研究表明，乳饼通过真空包装后能有效延长保质期。上述保鲜方法均为物理保鲜法，由于生物活性肽的兴起，人们对食品的保鲜开始偏向于使用抗菌肽。

抗菌肽，又称为抗微生物肽，是一类具有广谱抑菌活性的小分子短肽[7]。抗菌肽的抑菌机制区别于抗生素，抗菌肽不仅可以有效杀死真菌、细菌、寄生虫等[8-9]，还不易产生耐药性，因此在食品、医疗、饲料生产等领域有应用潜力[10-11]。壳聚糖作为一种阳离子多糖，是一种天然的抑菌剂，具有生物相容性、成膜性、生物降解性和无毒等优点[12]。壳聚糖可以通过阻止食物和空气之间的接触来控制细菌，广泛用于水果[13-14]、蔬菜[15-16]、肉类[17-18]等食品的保鲜。此外，壳聚糖具有广谱抑菌特性[19]，对真菌、细菌和病毒有一定的抑制作用[20-21]。壳聚糖定向包埋抗菌肽制成的固体颗粒不仅可以增强乳液的抑菌性，壳聚糖对抗菌肽还具有一定的保护作用，可以提高抗菌肽的活性稳定性。因此，壳聚糖在制备保鲜涂抹液方面具有很大潜力。Pickering乳液与传统乳液最大的不同在于乳化剂，Pickering乳液的乳化剂为固体颗粒，固体颗粒具有不可逆吸附的独特优点[22]。传统乳液中的乳化剂通常会导致泡沫、空气滞留、刺激性等问题，而固体颗粒乳化剂可以有效避免这些问题的产生[23]。此外，Pickering乳液还可以作为药物和功能活性成分包封、传递和释放的微载体，在制药工程、食品加工等领域也具有广阔的应用前景[24]。

本团队前期从辣木籽蛋白水解物中分离鉴定出一种抗菌肽MOp2，其对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌具有明显的抑制作用，有望应用于食品的防腐保鲜。因此，本研究以包埋辣木籽抗菌肽MOp2的壳聚糖为固体颗粒，制备得到Pickering乳液，将Pickering乳液作为保鲜剂应用于乳饼，通过测定理化、微生物及感官指标，研究Pickering乳液对乳饼的保鲜效果，为后续乳饼的保藏提供一定的应用参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

乳饼 昆明加工作坊；大豆油 益海嘉里金龙鱼粮油食品股份有限公司；壳聚糖 河南万邦实业有限公司；辣木籽抗菌肽MOp2 安徽国平药业有限公司。

可溶性淀粉、冰乙酸、无水硫酸钠、三氯甲烷、碘化钾、石油醚（沸点30～60 ℃）、硫代硫酸钠（分析纯） 天津市风船化学试剂科技有限公司；煌绿乳糖胆盐、平板计数培养基、结晶紫中性红胆盐琼脂 山东海博生物有限公司。

1.2 仪器与设备

SW-CJ-IF单人双面超净无菌操作台 上海书培实验设备有限公司；YMX-958-6L真空包装机 泉州市亿闽信贸有限公司；CR-400/410色彩色差仪 北京京海正通科技有限公司；AR224CN电子天平 深圳市德优平科技有限公司；HPX-9272ME恒温培养箱 无锡玛瑞特科技有限公司；NAI-JZQ均质器 上海那艾精密仪器有限公司；RE-52A1A旋转蒸发仪 上海亚荣生化精密科学仪器厂；BS1.6G3保鲜柜 富伟吉祥厨房设备有限公司；DHp-600电热恒温培养箱 北京市永光明医疗仪器有限公司；LDZM-60KCS立式压力蒸汽灭菌锅 上海申安医疗器械厂。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

将乳饼在无菌操作台上切成3.5 cm×3.5 cm×0.5 cm、10 g大小的块状，分装，分为实验组与对照组，每组8 袋，每袋6 块，约60 g，分别在贮藏0、3、7、14、21、28、35、42 d时测定指标。

1.3.2 保鲜处理

对照组：真空包装（乳饼→切割→真空包装→4 ℃贮藏）。

实验组：Pickering乳液＋真空包装（乳饼→切割→配制保鲜液→涂抹保鲜涂抹液→真空包装→4 ℃贮藏）。

Pickering乳液的制备：大豆油、水相质量比为90∶10，抗菌肽-壳聚糖固体颗粒的添加量为1.75%、pH值为7，9 000 r/min均质3 min。

将Pickering乳液倒入乳饼中并均匀涂抹，保证乳饼表面都均匀涂抹上乳液，然后将实验组与对照组在真空度为0.075 MPa条件下进行包装。

抗菌肽-壳聚糖固体颗粒的制备：

1）肽包埋的壳聚糖制备参考Pranantyo等[25]的方法并做适当修改，将30 mg巯基壳聚糖溶解在6 mL去离子水中并过滤，将5 mg MOp2溶解在0.25 mL二甲基亚砜中，在磁力搅拌下加入到巯基壳聚糖滤液中反应12 h，然后在去离子水中透析72 h进行纯化，得到的样品冷冻干燥后4 ℃保存。

2）根据离子交联法进行固体颗粒的制备，将包埋肽的壳聚糖溶解在体积分数1%乙酸溶液中，制得质量浓度2 mg/mL溶液，然后将pH值调节至4.8，在200 r/min的

磁力搅拌下将1 mg/mL三聚磷酸钠溶液缓慢加入上述溶液中并反应8 h，将得到的固体颗粒悬浮液冷冻干燥并在4 ℃保存。

1.3.3　指标测定

过氧化值的测定：根据GB/T 5538—2005《动植物油脂 过氧化值测定》的方法测定。

菌落总数的测定：根据GB 4789.2—2010《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》的方法测定。

大肠杆菌的测定：根据GB 4789.3—2010《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠杆菌测定》的方法测定。

色差的测定：采用手持色差仪测定。取出待测样品后，利用校色板校准仪器，将待测样品放置于手持色差仪正下方的色差屏圆孔下，用手按住防止漏光，然后在乳饼上选取3 个不同点测定，结果取平均值。

质构的测定：采用压缩法对乳饼进行质构分析，仪器参数设为：压缩形变100%，测试速率5 mm/s，触发力0.5 N，沿着乳饼的垂直方向进行测试[26]。

感官评价：邀请15 名感官评价人员，根据干酪国家标准GB/T 21375—2008《干酪（奶酪）》中感官评定指标（稍作修改）对乳饼进行评定，如表1所示。

表1　乳饼感官评价表

Table 1　Criteria for sensory evaluation of milk cake

项目	感官特征	评分
滋味、气味	乳饼特有的滋味和气味，香味浓郁	16～20
	乳饼特有的滋味和气味，香味良好	11～15
	滋味、气味一般，香味不明显	6～10
	具有明显的异常酸味或霉味	0～5
色泽	呈乳白色或淡黄色，表面光滑有光泽	16～20
	呈乳白色或淡黄色，表面光滑	11～15
	呈暗白色，表面不光滑	6～10
	表面发暗，较粗糙	0～5
组织状态	质地基本均匀、致密，软硬适中	16～20
	组织较细腻，无裂缝	11～15
	组织粗糙，过硬或过软	6～10
	组织易碎，松散，不成形	0～5

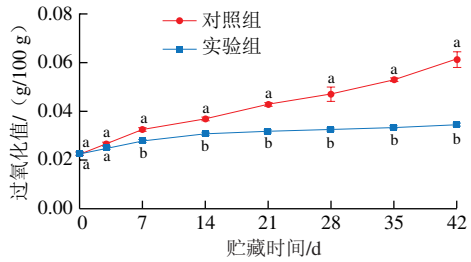
1.4　数据处理

所有实验均重复3 次，利用Microsoft Office Excel 2019软件进行数据收集整理，IBM SPSS Statistics 25软件对数据进行统计学分析，用Origin 2018软件绘图。

2　结果与分析

2.1　乳饼贮藏期间过氧化值的变化

影响油脂氧化的因素有油脂存放时间、光、热等[27]，过氧化值是监测脂质氧化的常见指标。由图1可知，随着贮藏时间的不断延长，对照组与实验组乳饼过氧化值均呈现上升趋势，在贮藏前7 d，实验组与对照组差异并不显著，这可能是因为实验组采用了真空包装，一定程度上阻止了空气与乳饼的直接接触。从第7天开始，对照组与实验组出现显著差异（$P<0.05$），较实验组而言，对照组过氧化值上升更明显，这可能是由于Pickering乳液覆盖在乳饼上，进一步阻断了乳饼与空气和光的接触[28]。



小写字母不同，表示同一贮藏时间、不同组间差异显著（$P<0.05$）。图2同。

图1　乳饼贮藏期间的过氧化值

Fig. 1　Change in peroxide value during milk cake storage

2.2　乳饼贮藏期间菌落总数的变化

由表2可知，随着贮藏时间的不断延长，不同组别乳饼的菌落总数出现显著变化（$P<0.05$）。贮藏7～14 d，对照组菌落总数呈现下降趋势，这是因为乳饼在贮藏过程会产生乳酸菌与酵母菌，随着其大量繁殖，乳饼的pH值不断下降，导致不耐酸细菌死亡，菌落总数呈现下降趋势[29]。随着贮藏时间延长，菌落再次出现增长趋势。实验组贮藏42 d内菌落总数显著低于对照组，表明Pickering乳液中2 种抗菌成分抑制了微生物的增长。其中，壳聚糖通过阻止细菌生长所需的营养物质进入细菌体内来达到抑菌效果[30]。而抗菌肽则是通过扰乱细胞体内的正常代谢活动，从而达到抗菌作用[31]。但在贮藏35 d以后菌落总数增长幅度变大，可能是因为Pickering乳液中抗菌肽释放完毕，乳液对微生物的抑制作用减弱。

表2　乳饼贮藏过程中菌落总数变化

Table 2　Changes in total viable count during milk cake storage

10^4 CFU/g

贮藏时间/d	对照组	实验组
0	18.20 ± 0.28^{a}	13.25 ± 2.33^{b}
3	23.65 ± 5.02^{a}	15.60 ± 1.41^{b}
7	40.00 ± 5.66^{a}	20.00 ± 2.26^{b}
14	26.35 ± 2.90^{a}	15.15 ± 3.46^{b}
21	52.25 ± 3.75^{a}	32.35 ± 0.07^{b}
28	169.95 ± 13.79^{a}	61.50 ± 7.07^{b}
35	251.00 ± 6.22^{a}	159.00 ± 8.49^{b}
42	450.55 ± 15.20^{a}	320.00 ± 19.09^{b}

注：同行小写字母不同，表示差异显著（$P<0.05$）。表4同。

2.3　乳饼贮藏期间大肠杆菌数量的变化

由表3可知，随着贮藏时间的延长，对照组在贮藏

28 d时检出大肠杆菌，这可能是由于在真空包装的过程中空气中含有大肠杆菌的芽孢进入到了真空袋内，导致大肠杆菌的出现。根据云南食品安全地方标准 DB S53/009—2016《食品安全地方标准 乳饼》规定，乳饼中大肠杆菌含量不得超过10^3 CFU/g，对照组在贮藏35 d时大肠杆菌超标，而实验组并未检出大肠杆菌，这是因为Pickering乳液中的抗菌肽MOp2对大肠杆菌具有抑制作用，使其不能生长繁殖，从而延长了乳饼的贮藏时间。

表 3 乳饼贮藏过程中大肠杆菌数量的变化

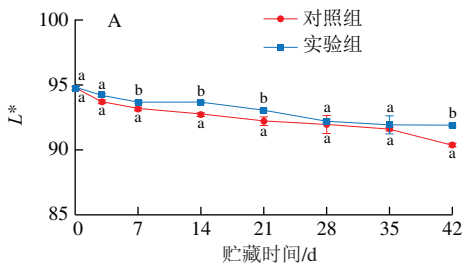
Table 3 Changes in *E. coli* count during milk cake storage

10^3 CFU/g

贮藏时间/d	对照组	实验组
0	0	0
3	0	0
7	0	0
14	0	0
21	0	0
28	0.7	0
35	1.3	0
42	1.7	0

2.4 乳饼贮藏期间色差的变化

由图2可知，乳饼的亮度值（L^*）随贮藏时间的延长而减小，从第7天开始，实验组与对照组出现显著差异（$P<0.05$），对照组下降趋势明显快于实验组，这是因为乳饼贮藏过程中，在微生物与酶的共同作用下，脂肪与蛋白质分别被水解为游离脂肪酸、低分子肽和氨基酸。由于影响光反射物质的组成发生变化，导致L^*不断降低[32]，由于实验组涂抹了Pickering乳液，抑制了微生物的活动，进而阻碍了脂肪与蛋白质的水解，因此实验组下降趋势比对照组慢。乳饼的黄度值（b^*）随着贮藏时间的延长呈现出逐渐上升的趋势。从第14天开始，实验组与对照组的b^*呈现显著差异（$P<0.05$），这是因为随着贮藏时间的延长，对照组中影响蛋白质的微生物与酶发生作用，导致蛋白质变软、崩解。另一方面，由于脂肪分解形成游离脂肪酸，而蛋白质骨架松散无法固定脂肪，导致脂肪沉淀在乳饼中，而实验组因为Pickering乳液中的抗菌肽发生作用，减缓了b^*的上升趋势，因此对照组b^*增加趋势显著快于实验组[33]。



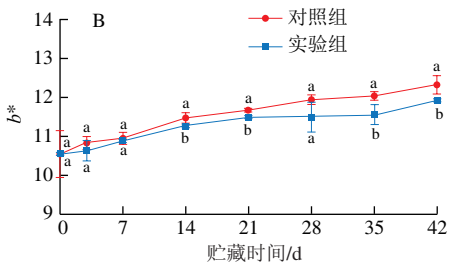


图 2 乳饼贮藏期间L^*（A）和b^*（B）的变化

Fig. 2 Changes in color parameters L^* (A) and b^* (B) during milk cake storage

2.5 乳饼贮藏期间质构特征的变化

由表4可知，2 组乳饼样品的硬度随着贮藏时间的延长均出现了先增大后降低的变化，其中对照组乳饼硬度下降较快，实验组硬度下降较为缓慢，且从贮藏21 d开始2 组之间具有显著差异（$P<0.05$）。这是由于刚开始乳饼柔软而富有弹性，随着贮藏时间的延长，乳饼中的水分逐渐减少而变硬，故硬度会有所上升，之后由于酶的作用，造成蛋白分子结构发生改变[34]，使乳饼内部结构变得疏松，质地发生软化、弹性下降等一系列变化。实验组与对照组的黏附性不具有显著差异。2 组样品的回复性在贮藏过程中随贮藏时间的延长呈现出显著差异（$P<0.05$）。

表 4 乳饼贮藏期间质构的变化

Table 4 Changes in texture properties of milk cake during storage

贮藏时间/d	硬度/g		黏附性/（g·s）		回复性	
	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组	实验组
0	5 488.88±0.05^a	5 927.47±0.01^b	314.12±0.11^a	245.82±0.17^a	0.11±0.10^a	0.11±0.11^a
7	6 537.51±0.01^a	5 348.12±0.10^a	189.49±0.18^a	295.76±0.20^a	0.13±0.12^a	0.12±0.09^a
14	6 074.45±0.05^a	6 375.29±0.08^a	322.62±0.25^a	417.82±0.36^a	0.11±0.20^a	0.12±0.10^a
21	7 840.15±0.02^a	6 329.92±0.05^b	243.64±0.56^a	341.42±0.43^a	0.13±0.04^a	0.11±0.07^b
28	6 476.29±0.17^a	6 448.26±0.06^a	370.14±0.31^a	466.10±0.31^a	0.10±0.20^a	0.15±0.16^b
35	6 106.89±0.05^a	6 893.30±0.03^b	272.08±0.04^a	442.53±0.31^a	0.36±1.28^a	0.12±0.04^b
42	5 807.18±0.02^a	6 759.78±0.03^b	358.40±0.08^a	502.45±0.05^a	0.11±0.10^a	0.13±0.06^b

2.6 乳饼贮藏期间感官品质的变化

由图3可知，随着贮藏时间的延长，乳饼的感官发生了一定的变化，在贮藏前21 d内，实验组与对照组在感官评分上相差不大，这是因为2 组都采用了真空包装，在一定的时间内可以防止乳饼的腐败变质，起到了一定的保鲜效果[35]。贮藏21 d后，实验组与对照组感官评分出现了明显差异，这是因为随着时间的延长，真空包装的保鲜效果逐渐降低，由于实验组涂抹了Pickering乳液，可以更好地起到抑菌效果，延长保质期。贮藏42 d时对照组的感官总评分平均值为15.0 分，实验组为26.7 分，实验组明显高于对照组。

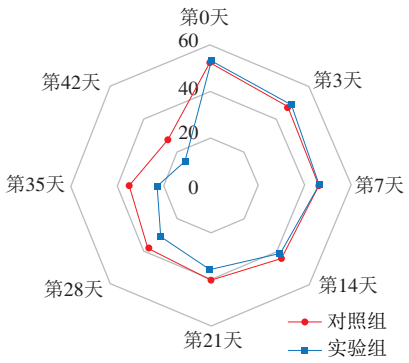


图 3 乳饼贮藏期间的感官评分雷达图

Fig. 3 Radar map for sensory evaluation of milk cake during storage

3 结 论

为了延长乳饼的贮藏期，以包含辣木籽抗菌肽MOp2的壳聚糖固体颗粒为乳化剂制备Pickering乳液，通过不同理化指标的测定，研究Pickering乳液对乳饼贮藏期间品质的影响。结果表明：涂抹Pickering乳液的实验组乳饼在贮藏42 d内未出现腐败变质，其中前35 d内感官品质较好，未涂抹Pickering乳液的对照组乳饼在贮藏28 d时品质开始下降，前21 d品质较好；在整个贮藏期间，实验组乳饼的过氧化值和菌落总数的增长速率明显低于对照组，且在贮藏28 d时对照组检出大肠杆菌，35 d时对照组大肠杆菌超标，而实验组并未检测出大肠杆菌；同时，与对照组相比，Pickering乳液有效减缓了乳饼色差值与质构的变化。在整个贮藏期间，Pickering乳液减缓了乳饼过氧化值的增长，抑制了菌落总数和大肠杆菌的生长，减缓了色差值和质构的变化，有效延长了乳饼的贮藏期，可为后续乳饼的防腐保鲜提供一定的应用参考。

参考文献：

[1] 艾磊, 刘晓峰. 马可波罗的遗憾: 记中国少数民族的奶酪[J]. 今日民族, 2002(12): 35-37.

[2] 刘红霞. 云南省剑川县乳饼的化学和微生物组成分析及乳酸菌的分离鉴定[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2007: 7-8. DOI:10.7666/d.y1137905.

[3] 周玲仙, 吴少雄, 殷建忠, 等. 云南特产乳扇、乳饼营养成分分析及评价[J]. 中国乳品工业, 2008(6): 34-35.

[4] 王磊. 中国奶酪: 乳饼[J]. 食品与健康, 2011(2): 34-35.

[5] 肖蓉, 徐昆龙, 侯艳, 等. 乳饼保鲜方法的探讨[J]. 中国乳品工业, 2007(9): 17-20. DOI:10.3969/j.issn.1001-2230.2007.09.005.

[6] 李昌盛, 赵丛丛, 施晓东. 2 种保藏条件下云南乳饼的理化和生化特性[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(9): 99-103. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2012.09.043.

[7] PETER B M, SHIRTLIFF M E, JABRA-RIZK M A, et al. Antimicrobial peptides: primeval molecules or future drugs[J]. PLoS Pathogens, 2020, 6(10): e1001067. DOI:10.1371/journal.ppat.1001067.

[8] AFSHAR M, GALLO R L. Innate immune defense system of the skin[J]. Veterinary Dermatology, 2013, 24(1): 32-38. DOI:10.1111/j.1365-3164.2012.01082.x.

[9] HOANG V L, KIM S K. Antimicrobial peptides from marine sources[J]. Current Protein and Peptide Science, 2013, 14(3): 205-211. DOI:10.2174/13892037113149990037.

[10] REDDY K V R, YEDERY R D, ARANHA C. Antimicrobial peptides: premises and promises[J]. International Journal of Antimicrobial Agents, 2004, 24(6): 536-547. DOI:10.1016/j.ijantimicag.2004.09.005.

[11] PARISISM A, ALLAIN B, ZHANG J, et al. Novel alternatives to antibiotics: bacteriophages, bacterial cell wall hydrolases, and antimicrobial peptides[J]. Journal of Applied Microbiology, 2008, 104(1): 1-13. DOI:10.1111/j.1365-2672.2007.03498.x.

[12] 田国鹏. 天然高分子絮凝剂壳聚糖的改性及其性能研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2008: 17-19. DOI:10.7666/d.y1266960.

[13] 熊亚波. 不同处理对橘、柚采后贮藏生理和品质的影响研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2014: 4-5.

[14] 孙传芝, 韦剑锋, 姜平, 等. 采前喷硼和采后壳聚糖涂膜对龙眼品质及耐贮性的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(12): 86-89. DOI:10.3969/j.issn.1000-6850.2005.12.024.

[15] 陈晓刚, 陈忻, 梁结玲. 优化壳聚糖保鲜液对非洲菊切花保鲜的影响[J]. 食品科学, 2007, 28(10): 545-548.

[16] 李喜宏, 郭训练, 李文秀, 等. 壳聚糖果蔬保鲜复合涂膜的制备与保鲜效果研究进展[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2018, 37(3): 1-10.

[17] 盛东. 壳聚糖抗菌性能及在罗非鱼片保鲜中的应用研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2015: 9-10. DOI:10.7666/d.Y3102838.

[18] 李儒仁, 林世文, 荣良燕, 等. 壳聚糖协同生物源保鲜剂对冷鲜牛肉的保鲜效果[J]. 肉类研究, 2018, 32(3): 24-28. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201803005.

[19] KURITA K. Controlled functionalization of the polysaccharide chitin[J]. Progress in Polymer Science, 2001, 26(9): 1921-1971. DOI:10.1016/S0079-6700(01)00007-7.

[20] RABEA E I, BADAWY E T, STEVENS C V, et al. Chitosan as antimicrobial agent: applications and mode of action[J]. Biomacromolecules, 2003, 4(6): 1457-1465. DOI:10.1021/bm034130m.

[21] RHOADES J, ROLLER S. Antimicrobial actions of degraded and native chitosan against spoilage organisms in laboratory media and foods[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2000, 66(1): 80-86. DOI:10.1128/AEM.66.1.80-86.2000.

[22] CHEVALIER Y, BOLZINGER M A. Emulsions stabilized with solid nanoparticles: Pickering emulsions[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2013, 439: 23-34. DOI:10.1016/j.colsurfa.2013.02.054.

[23] MAREFATI A, SJOO M, TIMGREN A, et al. Fabrication of encapsulated oil powders from starchgranule stabilized W/O/W Pickering emulsions by freeze-drying[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 51: 261-271. DOI:10.1016/j.foodhyd.2015.04.022.

[24] 刘倩, 常霞, 单杨, 等. 功能型Pickering乳液研究进展[J]. 中国食品学报, 2020, 20(11): 279-293. DOI:10.16429/j.1009-7848.2020.11.033.

[25] PRANANTYO D, XU L Q, KANG E T, et al. Chitosan-based peptidopolysaccharides as cationic antimicrobial agents and antibacterial coatings[J]. Biomacromolecules, 2018, 19: 2156-2165. DOI:10.1021/acs.biomac.8b00270.

[26] 陆湘宁. 蛋清蛋白基Nisin纳米颗粒的制备及其抗菌保鲜应用[D]. 扬州: 扬州大学, 2021: 41-42. DOI:10.27441/d.cnki.gyzdu.2021.001568.

[27] 张一凡, 文明宇, 李晓宇, 等. 影响油脂中过氧化值测定因素[J]. 食品科技, 2008(10): 112-113. DOI:10.3969/j.issn.1005-9989.2008.10.032.

[28] 洪蕾, 杨丽杰, 陈雪, 等.不同包装条件下精酥油的品质变化研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(22): 331-334; 341. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2012.22.081.

[29] 苏科巧, 陶亮, 李木桂, 等. 乳扇保鲜技术研究[J]. 中国乳品工业, 2014, 7(14): 21-13. DOI:10.3969/j.issn.1001-2230.2015.01.005.

[30] 王乐, 宗学醒, 闫清泉, 等. 关键加工工艺对涂抹再制干酪品质的影响[J]. 中国乳品工业, 2016, 44(1): 62-64. DOI:10.3969/j.issn.1001-2230.2016.01.015.

[31] 杨悦, 李燕, 王小方, 等. 抗菌肽及其在食物贮藏与保鲜中的应用[J]. 食品与生物技术学报, 2021, 40(4): 9-16.

[32] 肖梦林, 魏光强, 廖紫玉, 等. 2 种工艺处理对乳扇贮藏品质的影响研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(5): 1922-1927. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2021.05.048.

[33] 毛永江, 杨章平, 王杏龙, 等. 中国荷斯坦牛泌乳早期乳常规成分及乳蛋白组分变化规律的研究[J]. 中国乳品工业, 2004(8): 3-6. DOI:10.3969/j.issn.1001-2230.2004.08.001.

[34] 李婷婷. 大黄鱼生物保鲜技术及新鲜度指示蛋白研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2013: 40-43.

[35] 贺旺林, 马红艳, 于红, 等. 真空包装对哈尔滨红肠品质的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(10): 259-263. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201510051.