

大黄鱼鱼卵磷脂对面团流变学和面包感官品质的影响

林艺璇, 曾巧玲, 张玲云, 潘雅欣, 张华丹, 祝玉杰, 杜艳瑜, 梁鹏*

(福建农林大学食品科学学院, 福州 350002)

摘要: **目的** 探究大黄鱼鱼卵磷脂对面团流变学和面包感官品质的影响。**方法** 以小麦面包为对象, 面团动态流变性及面包比容、色泽和质构为评价指标, 分析不同大黄鱼鱼卵磷脂添加量(0%、0.2%、0.6%和1.0%)对面包外观、感官品质和质构的影响, 将添加0.6%大豆磷脂和未添加磷脂的面包作为对照组。**结果** 随着大黄鱼鱼卵磷脂的添加量的增加, 面包的硬度、咀嚼性持续增大, 弹性、粘聚性逐渐降低。当鱼卵磷脂添加量为0.2%时, 面团兼具更高的 G' 以及更低的 $\tan\delta$ 值, 显著改善面包的质构, 增大面包的比容, 生产出的磷脂-小麦面包口感软糯。**结论** 与普通小麦面包相比, 大黄鱼鱼卵磷脂-小麦面包面包蓬松稳定, 具有较好黏弹性。添加大黄鱼鱼卵磷脂比大豆磷脂更能显著改善面团的流变学特性和面包的感官品质。

关键词: 大黄鱼鱼卵; 磷脂; 面团特性; 面包品质

Effects of *Larimichthys crocea* roe phospholipids on the rheological properties of dough and sensory quality of bread

LIN Yi-Xuan, ZENG Qiao-Lin, ZHANG Lin-Yun, PAN Ya-Xin, ZHANG Hua-Dan,
ZHU Yu-Jie, DU Yan-Yu, LIANG Peng*

(College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of lecithin of large yellow croaker on rheological properties of dough and bread sensory quality. **Methods** Based on wheat bread as the subject, rheological properties of dough, the specific volume, color analysis and texture characteristics were considered as evaluation index. The effect of different adding amounts of *Larimichthys crocea* roe phospholipids (0%, 0.2%, 0.6% and 1.0%) on the appearance, sensory quality and texture of the bread were analyzed, and breads with 0.6% soy phospholipid and no phospholipid were used as control groups. **Results** With the increase of the amount of lecithin in *Larimichthys crocea* roe phospholipids, the hardness and chewiness of the bread continued to increase, while the elasticity and cohesiveness gradually decreased. When the amount of addition of *Larimichthys crocea* roe phospholipids reached 0.2%, the dough had a higher G' and lower $\tan\delta$ value, the texture characteristics of bread was improved, the specific volume of the

基金项目: 国家自然科学基金项目(31801465)、福建省自然科学基金项目(2021J01109)、福建省财政专项补助项目(KJG19009A)、福建农林大学杰出青年科研资助项目(XJQ201808)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31801465), the Natural Science Foundation of Fujian Province (2021J01109), the Financial Special Subsidy Project of Fujian Province (KJG19009A), and the Research Grant Project for Distinguished Young Scholar of Fujian Agriculture and Forestry University (XJQ201808)

*通信作者: 梁鹏, 副教授, 主要研究方向为水产油脂化学与营养。E-mail: liangpeng137@sina.com

*Corresponding author: LIANG Peng, Associate Professor, College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, No.15, Shangxiadian Road, Cangshan District, Fuzhou 350002, China. E-mail: liangpeng137@sina.com

bread was increased. The resulting phospholipid-wheat bread was soft and waxy. **Conclusion** Compared with ordinary wheat bread, *Larimichthys crocea* roe phospholipids-wheat bread is fluffy and stable, and has better sticky elasticity. The addition of *Larimichthys crocea* roe phospholipids significantly improve the rheological properties of dough and sensory quality of bread, with better results compared to soy phospholipids.

KEY WORDS: *Larimichthys crocea* roe; phospholipids; dough characteristics; bread quality

0 引言

大黄鱼(*Larimichthys crocea*)具有较高的经济价值,是我国最大的海水养殖鱼类之一。随着海洋水产行业迅速发展,其加工副产物如鱼鳞、鱼卵等尚未得到有效高值利用,大量副产物排放不仅浪费资源还破坏环境^[1-3]。大黄鱼鱼卵含大量磷脂(phospholipids, PLs),具有 ω -3多不饱和脂肪酸、二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)和二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA),其中DHA和EPA之和占总脂肪酸的15.19%。在预防高血脂、高血压、高血糖、冠心病、调节血栓和改善心律等方面起重要作用,是一种良好的海洋功能性磷脂^[4-6]。此外,它具有良好的乳化能力,有益于食品独特风味的形成,进而提高食品营养价值与口感。随着粮食消费及我国居民膳食营养结构的改变,人们对健康膳食的需求呈现适度且可持续的增长,小麦面包因其发展历程长,面包种类丰富,备受消费者欢迎。比起传统小麦面包,人们更倾向于含有有益成分的面包类型^[7-8],如多酚和糖醇功能化小麦面包^[9-10],这是烘焙行业必然的发展方向。

研究表明在小麦面包中添加改良剂,包括抗氧化剂^[11-12]、乳化剂^[13]和酶制剂^[14-15]等,在增加营养成分的同时,提高面包特征品质,是顺应食品健康化、功能化发展潮流的探索。磷脂富含n-3不饱和脂肪酸,具有乳化性^[12],可作为面包改良剂。滕晓焱^[16]研究得出添加1g大豆卵磷脂对面包品质最好。然而有研究表明大豆会引起过敏反应^[17]。也有研究表明在面包焙烤过程中以鱼油替代人造黄油或在面包粉中添加适量鱼粉可降低血清中甘油三酯水平并改善小学生的认知功能^[18]。而目前关于利用海洋磷脂改良小麦面包的研究甚少,这为海洋磷脂的应用提供了新思路。因此,本研究基于磷脂本身的独特活性特征和行业发展趋势研究大黄鱼鱼卵磷脂添加量对面团特性和面包品质的影响,以期制备特征品质优良并具有营养保健功能的大黄鱼鱼卵磷脂-小麦面包,为海洋磷脂深度开发,拓宽海洋资源的应用领域提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

大黄鱼鱼卵磷脂(实验室自制);高筋面粉(山东鲁王集团有限公司);干酵母(安琪酵母股份有限公司);起酥油

[嘉里特种油脂(上海)有限公司]。

1.2 仪器与设备

5K5SS和面机(美国KitchenAid公司);SM-40SP醒发箱[新麦机械(无锡)有限公司];TRF-32P烤箱(佛山市伟仕达电器有限公司);TA-XT plus质构仪(英国Stable micro systems公司);Physica MCR301流变仪[奥地利安东帕(中国)有限公司]。

1.3 试验方法

1.3.1 面包的基本配方及制作方法

面包的生产流程:称料→混合→和面→发酵→切分、整形→醒发→烘烤→冷却→评价。

根据面包的制作流程,进行面包预实验,面包制作时长持续2h、45min。先将200g面粉,30g白糖,2g耐高糖酵母及94g水混合倒入和面机中搅拌15min左右至面团筋膜扩展至80%~90%,然后添加2g盐与30g起酥油混合物并持续搅拌至面团完全成膜。取出揉好的面团在室温下静置10min,按重量均分为三等份后整理成型置于烤盘中在38℃、湿度85%的醒发箱中醒发90min,醒发完成后放在上火150℃下火170℃的烤箱中焙烤20min。试验组以小麦粉质量的0.2%、0.6%、1.0%添加大黄鱼鱼卵磷脂(以下简称鱼卵磷脂),将其溶解于起酥油中并相应减少起酥油重量;添加小麦粉质量0.6%的大豆磷脂及未添加组作为对照(宋莹莹等^[19]研究发现大豆磷脂0.6%的添加量对面包的品质影响优于0.2%的添加量,因此本研究选取0.6%的大豆磷脂作为参照),按上述步骤制作。焙烤完成后放置于室温冷却,用作后续指标测定。

1.3.2 面团动态流变性能的测定

参考WANG等^[20]的测定方法通过频率扫描测定面团动态流变学特性。按面粉与水质量为2:1的比例混合均匀并搅拌成面团,按小麦粉质量分数0%、0.2%、0.6%、1.0%分别加入大黄鱼鱼卵磷脂及0.6%的大豆磷脂,面团用保鲜膜覆盖在室温下静置10min。测试前,面团置于载物台静置3min拟消除应力;测试时,探头与载物台间隙需重置数值为2mm,下压完成后用其塑料片刮去剩余部分面团,并在可用面团四围涂抹些许硅油,预防水分蒸发。面团线性黏弹区由动态测量模式确定,应力扫描范围在0.01%~100.00%之间;后续以0.10%的合适应变值进行频率扫描,确定其线性应变弹性区范围。

参数设置: 平板直径 40 mm, 温度 25°C, 扫描频率范围为 0.1~40.0 Hz, 测定样品的频率函数储能模量(storage modulus, G')与损耗模量(loss modulus, G''), 并计算损耗因子($\tan\delta=G''/G'$)。

1.3.3 面包比容的测定

面包烘焙后于室温下冷却 2 h, 随后称出面包的质量 m , 然后选用排水法简要得出面包的体积 V , 最后根据公式计算出比容^[21], 如公式(1)。

$$\text{比容} = \frac{V}{m} \quad (1)$$

式中: V —面包体积, cm^3 ; m —面包质量, g 。

1.3.4 面包包芯色泽的测定

参照孟宁等^[21]运用色差色度仪进行评定。使用仪器测定以先需对其进行校准, 使其测量区直径为 3 mm, 每组样品需重复测定 3 次。选择 Lab 模式表征包芯颜色, 其中 L^* 表示黑白(亮)度, 数值越大则越白(亮), a^* 值表示红绿值, 由红到绿数值逐渐降低, b^* 值表示黄蓝值, 由黄到蓝数值逐渐降低。

1.3.5 面包包芯质构的测定

参考 NING 等^[22]的方法取自然冷却的面包切至厚度约 20 mm 后采用质构仪的 TPA 模式进行测定。主要相关检测指标包括硬度、弹性、咀嚼性和回复性等^[23]。设置测试参数: 探头规格 P/36R; 测前速度: 1 mm/s; 测时速度: 1 mm/s; 测后速度: 1 mm/s; 前后两次压缩时间间隔 2 s; 压缩率 40%; 触发力 5 g。

1.4 数据统计分析

采用 SPSS 20.0 软件, 辅以 Duncan 法检验, 对数据进行统计并分析, 多重比较得差异显著性分析结果($P<0.05$),

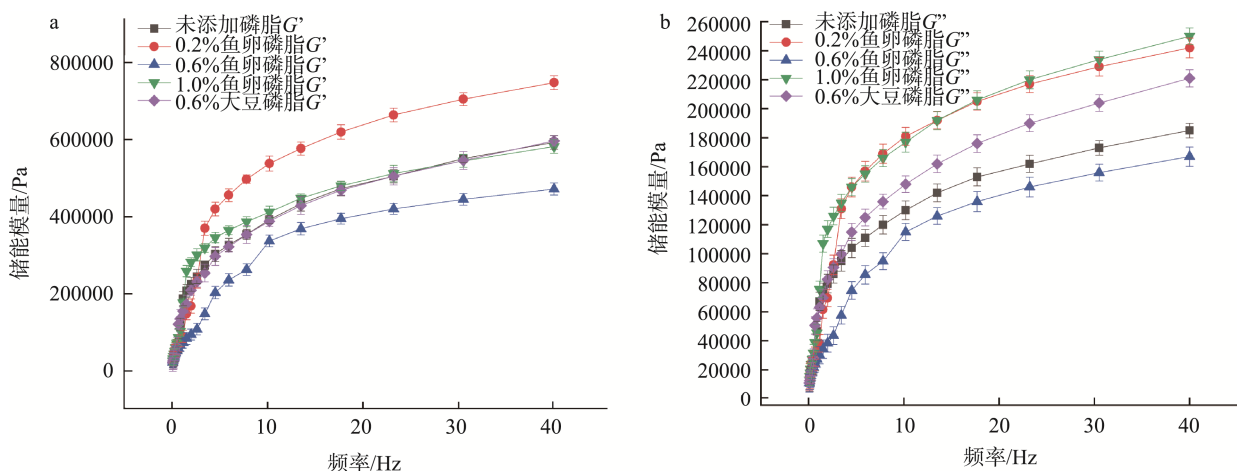
采用 Origin 9.0 软件进行数据处理及绘图, 数据以“平均值 \pm 标准偏差”表示, 所有试验均平行测定 3 次。

2 结果与分析

2.1 磷脂对面团动态流变学的影响

面团动态流变特性可为预测面包产品品质提供依据, 其与最终面包品质成正相关。储能模量(弹性模量) G' 反映了物质储存变形能的能力, 而损耗模量(粘性模量) G'' 反映了物质抵抗流动所消耗的变形能。两者结合即内耗 $\tan\delta$ (G''/G')。综合评估样品粘弹性, 并描述了其分别对粘弹性样品的相对贡献程度^[24]。

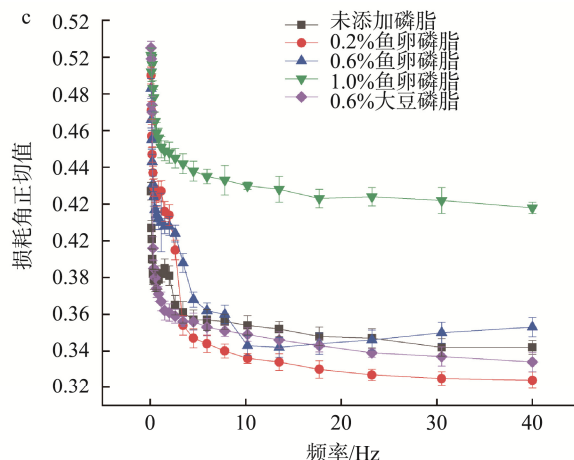
不同磷脂种类及添加量对面团动态流变学的影响如图 1 所示, 随着振荡频率增加, 图 1a、b 中的 G' 、 G'' 呈向上增长趋势, 倾斜程度趋势一致, 均在频率为 10 Hz 前剧烈增长, 后缓慢升高, 且不同频率 G' 均比 G'' 大, 表明磷脂面团具有弹性物质的流变性质。除添加 0.2%、0.6% 鱼卵磷脂外, 其余各组 G' 值与未添加组差异不大, 以 0.2% 鱼卵磷脂 G' 最大, 表明其磷脂面团最不易变形。随着频率扩增, 不同鱼卵磷脂添加量呈现出不同的 G' 、 G'' 值, 且 0.6% 鱼卵磷脂添加量的 G' 、 G'' 值均比添加大豆磷脂的面团低, 因此可知磷脂种类以及含量与面团粘弹性的影响相关^[25]。相反于图 a、b, 图 c 中频率与 $\tan\delta$ 处于负相关状态。因损耗角越大面团品质越差, 而 0.2% 鱼卵磷脂添加量 $\tan\delta$ 最小, 其面团品质最好。综上所述, 合理范围内添加 0.2% 磷脂面团兼具更高的 G' 以及更低的 $\tan\delta$ 值, 黏弹性优于其他组。表明添加适当磷脂可加强淀粉-面筋的相互作用, 这一研究结果与 ZHAO 等^[26]将蛋黄磷脂添加至小麦粉中研究其流变学性质相一致。



注: a 为储能模量(G')随频率变化图; b 为损耗模量(G'')随频率变化图; c 为损耗角正切值($\tan\delta$)随频率变化图。

图 1 不同磷脂种类及添加量对面团动态流变学的影响($n=3$)

Fig.1 Effects of different kinds of phospholipids and addition amount on dynamic rheology of dough ($n=3$)



注: a 为储能模量(G')随频率变化图; b 为损耗模量(G'')随频率变化图; c 为损耗角正切值($\tan\delta$)随频率变化图。

图 1(续) 不同磷脂种类及添加量对面团动态流变学的影响($n=3$)

Fig.1 Effects of different kinds of phospholipids and addition amount on dynamic rheology of dough ($n=3$)

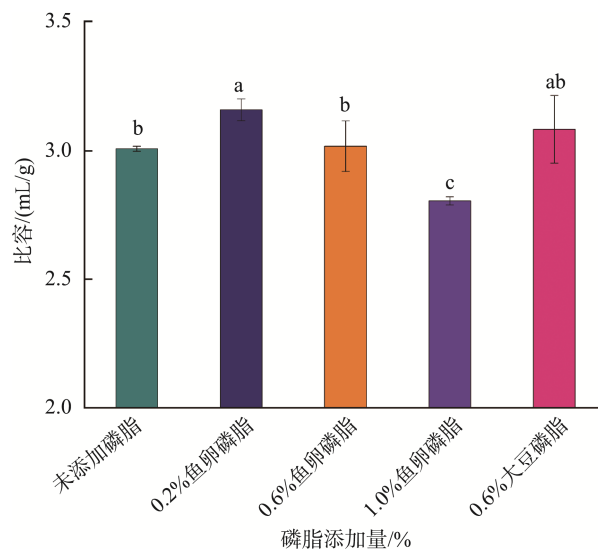
2.2 磷脂的添加对面包比容的影响

研究表明,合理范围内面包比容数值越大,能较好提高感官品质^[27]。不同磷脂种类及添加量对面包比容的影响如图 2 所示,随着鱼卵磷脂在面包中所占比重逐渐增大,面包的比容却不增反减,呈下降趋势,降至低于未添加组。同时 0.2%鱼卵磷脂面包比容显著大于普通小麦面包,表明适量添加磷脂对改善面包的比容有积极作用,且 0.2%添加量得到的面包比容最高,改善效果最佳。这是由于磷脂的乳化亲水基和亲油基分别结合麦胶蛋白和麦谷蛋白,致其面筋蛋白分子聚集,使面筋网络的机械强度、面包的持气性均得到增强^[28]。综上所述,鱼卵磷脂对面包比容的影响较大豆磷脂更大,可能是因为鱼卵磷脂的亲水性更强,与面筋蛋白联结更紧密,使其面包的组织有着大小不一的光泽孔洞,进而使面筋网络结构比大豆磷脂更加稳定。从而面团的持气性提高,面包比容扩增,这与 PARENTI 等^[29]的结论一致。

2.3 磷脂对面包包芯色泽的影响

感官评价能够直观反映食品的特征品质,色泽属其评价指标之一。经测定(表 1),对比未添加磷脂组,其余组 L^* 均降低, a^* 均降低,但 b^* 却不尽相同。相比其他各组 0.2%鱼卵磷脂组 L^* 降低幅度稍小以及 a^* 变化幅度不大,原因可能是鱼卵磷脂本身色泽的影响,其自身具有些许黄色,颜色会影响其亮度,因此鱼卵磷脂添加量多的面包颜色较深。说明添加物其自身特色如颜色等级可能会对包芯的色泽产生影响。而大豆磷脂是植物磷脂,其颜色没有动物磷脂的深,所以其色泽变化相对较浅,影响较小。此外,对比未添加磷脂面包,磷脂面包 a^* 虽均具有差异,但因其数值在 0 值上下波动,对面包整体影响细微,这与宋莹莹等^[19]的研究有着相同之处。面包的外形是感官评价的一个重要

指标,好的面包在外形上饱满、无碎屑及缺损,图 3 为不同磷脂种类及添加量的面包纵切外观图,其面包外观及面包色泽均具细微差异,色泽由浅黄至深黄,大小不一。相较左边未添加组及右边添加量为 0.6%的大豆磷脂对照组,在视觉上中间 0.2%鱼卵磷脂的面包兼具更小的孔洞和更紧密的结构,食用口感等更加细腻绵柔。综合对比,0.2%鱼卵磷脂面包其品质改善效果更好。



注: 不同字母表示有显著性差异, $P<0.05$ 。

图 2 不同磷脂种类及添加量对面包比容的影响($n=3$)

Fig.2 Effects of different kinds of phospholipids and addition amount on specific volume of bread ($n=3$)

2.4 磷脂对面包包芯质构的影响

食品感官评价易受个人喜好影响,误差较大,而质构

分析较稳定不受人为环境影响误差较小,另外,面包的质构特性与大众对面包的喜爱程度密切相关,而弹性、粘聚性、硬度以及咀嚼性是评价包芯质构的重要指标。其中面包的硬度、弹性关系着面包的品质,面包的咀嚼性、粘聚性和弹性关系着面包的口感,二者缺一不可^[27]。不同磷脂种类及添加量对面包质构的影响如表 2 所示,与未添加磷脂组相比,各组的弹性、粘聚性除添加 0.2% 的鱼卵磷脂差异显著外整体上无显著性差异($P>0.05$),硬度、咀嚼性差异显著,表明面包包芯的硬度和咀嚼性受磷脂影响较大。从弹性和粘聚性看,磷脂组均大于未添加组,说明磷脂对面包品质具有增效作用,且整体弹性大、粘聚性小,面包柔和细腻,松软绵密;从硬度和咀嚼性看,一定范围内随着鱼卵磷脂添加量的增加,面包持续呈现发硬、不易咀嚼。磷脂过度添加使其面团展现过强的面筋结构,继而对其醒发效果造成消极影响,成品硬度和咀嚼性持续升高,面包口感质量不佳^[30]。但磷脂硬度以及咀嚼性均低于未添加组,与未添加组差异显著,表明磷脂对面包的硬度以及咀嚼性改善作用较大。综合 4 个判别面包质构的指标可得,鱼卵磷脂添加组优于其他组,尤以 0.2% 鱼卵磷脂添加量为最适,其弹性、粘聚性、硬度、咀嚼性均最佳,磷脂对面包品质的改进效果显著。

表 2 不同磷脂种类及添加量对面包质构的影响($n=3$)
Table 2 Effects of different phospholipid types and supplemental levels on bread texture ($n=3$)

样品	硬度/g	咀嚼性	弹性	粘聚性
未添加磷脂	671.05±28.6198 ^a	364.19±7.4832 ^a	0.86±0.0283 ^b	0.66±0.0065 ^b
0.2%鱼卵磷脂	380.61±15.8764 ^d	239.40±15.7273 ^c	0.89±0.0129 ^a	0.70±0.0085 ^a
0.6%鱼卵磷脂	503.90±26.5874 ^c	319.80±15.5253 ^b	0.88±0.0056 ^{ab}	0.71±0.0166 ^a
1.0%鱼卵磷脂	584.00±11.0767 ^b	339.41±7.9679 ^b	0.88±0.0125 ^{ab}	0.68±0.0347 ^{ab}
0.6%大豆磷脂	387.20±7.2127 ^d	232.69±6.7866 ^c	0.87±0.0040 ^{ab}	0.69±0.0243 ^{ab}

3 结论

将大黄鱼鱼卵磷脂及大豆磷脂作为乳化剂添加到面包中,探究不同磷脂种类及添加量对面团的动态流变学性能、面包质构、比容、色泽的影响。结果表明:与添加量 0.6% 的大豆磷脂相比,0.2% 的鱼卵磷脂就可以使面团有更高的储能模量 G' 和更低的损耗角 $\tan\delta$ 值,并具有较好的黏弹性,较好改善面包流变性。同时,添加磷脂面包的弹性、粘聚性、硬度、咀嚼性均优于未添加磷脂面包,但磷脂添加量过多会导致面筋结构较强,面包硬度大,口感不佳。综合考虑各项指标,在实际生产加工面包过程中,大黄鱼鱼卵磷脂添加量为 0.2% 为宜。但大黄鱼鱼卵磷脂对面包品质的作用机制等还有待深入研究。综上所述,将大黄鱼鱼卵磷脂添加进面团,制作的面包口感品质高,感官品质均优于传统小麦面包。磷脂-小麦面包作为一种添加海洋磷脂

表 1 不同磷脂种类及添加量对面包色泽的影响($n=3$)
Table 1 Effects of different kinds of phospholipids and addition amount on bread color ($n=3$)

样品	L^*	a^*	b^*
未添加磷脂	84.85±0.21 ^a	-0.23±0.02 ^c	3.43±0.25 ^c
0.2%鱼卵磷脂	80.43±0.90 ^b	-0.29±0.00 ^d	8.66±0.27 ^b
0.6%鱼卵磷脂	77.55±0.14 ^c	-0.48±0.03 ^b	19.07±0.02 ^a
1.0%鱼卵磷脂	75.18±0.66 ^d	-0.59±0.02 ^a	18.05±0.78 ^a
0.6%大豆磷脂	77.27±2.58 ^c	-0.32±0.01 ^c	7.69±0.04 ^b

注:同一列不同字母表示有显著性差异, $P<0.05$,下同。

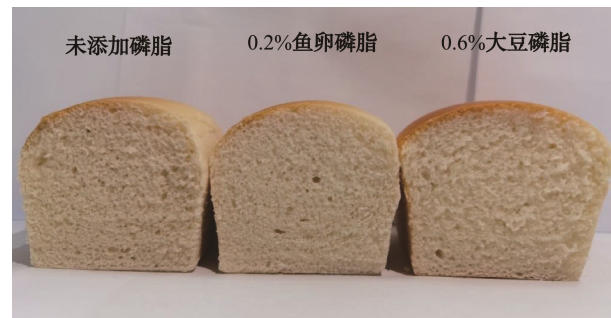


图 3 不同磷脂种类及添加量的面包纵切外观图
Fig.3 Appearance of bread sashes with different kinds of phospholipids and addition amount

的功能性食品,可以满足人们对食品健康多元化的需求,为延伸海洋磷脂应用范围提供新方向。

参考文献

- [1] 张敏,魏微,张玲云,等.几种食品抗氧化剂对大黄鱼卵油抗氧化作用的研究[J].农产品加工,2019,(1):40-43,48.
ZHANG M, WEI W, ZHANG LY, et al. Study on the antioxidant effect of several food antioxidants on rhubarb fish egg oil [J]. Farm Prod Process, 2019, (1): 40-43, 48.
- [2] 张玲云,张敏,杨心怡,等.大黄鱼卵油微胶囊制备工艺及其性质表征[J].食品工业科技,2020,41(7):126-132.
ZHANG LY, ZHANG M, YANG XY, et al. Preparation process and characterization properties of large yellow croaker oil microcapsules [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(7): 126-132.
- [3] 张玲云,张敏,李淑卿,等.贮藏温度对大黄鱼卵油品质的影响[J].粮食与油脂,2021,34(2):76-79,92.
ZHANG LY, ZHANG M, LI SQ, et al. Effect of storage temperature on the quality of large yellow croaker roe oil [J]. Cere Oils, 2021, 34(2): 76-79, 92.

- [4] MITROVIC M, SISTILLI G, HORAKOVA O, *et al.* Omega-3 phospholipids and obesity-associated NAFLD: Potential mechanisms and therapeutic perspectives [J]. *Eur J Clin Invest*, 2020, 52: 19.
- [5] 尤海琳, 姜璐, 刘锴锴, 等. 海洋磷脂氧化及其对食品风味的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(11): 268–273.
YOU HL, JIANG L, LIU KK, *et al.* Oxidation of marine phospholipids and its effect on food flavour [J]. *Food Ferment Ind*, 2019, 45(11): 268–273.
- [6] HAQ M, SURAIYA S, AHMED S, *et al.* Phospholipids from marine source: Extractions and forthcoming industrial applications [J]. *J Funct Food*, 2021, 80: 13.
- [7] OMOGIE A, NWAKEGO H. Gluten-reduced sweet potato-wheat bread: Influence of fermented sweet potato flour addition on bread quality and dough rheology [J]. *J Culin Sci Technol*, 2020, 19 (2): 1–27.
- [8] MOLLAKHALILI-MEYBODI N, ARAB M, NEMATOLLAHI A, *et al.* Prebiotic wheat bread: Technological, sensorial and nutritional perspectives and challenges. [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2021, 149: 8.
- [9] GARZON R, SKENDI A, ANTONIO LVM, *et al.* Interaction of dough acidity and microalga level on bread quality and antioxidant properties [J]. *Food Chem*, 2021, 344: 9.
- [10] 彭博, 刘琴, 丁士勇. 山梨糖醇对面包储藏期间品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(1): 7.
PENG B, LIU Q, DING SY. Effect of sorbitol on the quality of bread during storage [J]. *Chin Inst Cere Oils Sci Technol*, 2018, 33(1): 7.
- [11] 陈书明, 刘明娣, 陈玮, 等. 超微杜仲粉对面包品质的影响[J]. *河南科技大学学报(自然科学版)*, 2021, 42(5): 88–92.
CHEN SM, LIU MD, CHEN W, *et al.* Effect of superfine dulcimer powder on the quality of bread [J]. *J Henan Univ Technol (Nat Sci Ed)*, 2021, 42(5): 88–92.
- [12] 冯卫华, 黄诗琪, 李冰, 等. 外源抗氧化剂对面包品质及保藏的影响[J]. *中国食品学报*, 2016, 16(8): 178–185.
FENG WH, HUANG SQ, LI B, *et al.* Effect of exogenous antioxidants on the quality and preservation of bread [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2016, 16(8): 178–185.
- [13] KAIRAM N, KANDI S, SHARMA M. Development of functional bread with flaxseed oil and garlic oil hybrid microcapsules [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2021, 136: 4.
- [14] UNAL A, SUBASI AS, MALKOC S, *et al.* Potential of fungal thermostable alpha amylase enzyme isolated from hot springs of central anatolia (Turkey) in wheat bread quality [J]. *Food Biosci*, 2022, 45: 9.
- [15] WUNTHUNYARAT W, SEO HS, WANG YJ. Effects of germination conditions on enzyme activities and starch hydrolysis of long-grain brown rice in relation to flour properties and bread qualities [J]. *J Food Sci*, 2020, 85(2): 349–357.
- [16] 滕晓焕. 大豆卵磷脂对面包品质的影响[J]. *广东轻工职业技术学院学报*, 2010, 9(4): 13–16.
TENG XH. Effect of soya lecithin on characteristics of bread [J]. *J Guangdong Coll Light Ind Voc Technol*, 2010, 9(4): 13–16.
- [17] 黄瑾, 王鑫, 吴海虹, 等. 卵磷脂的提取、鉴定与应用的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(24): 338–343, 353.
HUANG J, WANG X, WU HH, *et al.* Advances in extraction, identification and utilization of lecithin [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(24): 338–343, 353.
- [18] DALTON A, WOLMARANS P, WITTHUHN RC, *et al.* A randomised control trial in schoolchildren showed improvement in cognitive function after consuming a bread spread, containing fish flour from a marine source [J]. *Prostag Leukotr Ess*, 2009, 80(2–3): 143–149.
- [19] 宋莹莹, 徐文迪, 曹栋. 醇提大豆磷脂副产品对面包品质的影响[J]. *食品与机械*, 2016, 32(10): 178–182.
SONG YY, XUN WD, CAO D. The effect of so y bean phospholipid by-product from ethanol extraction on bread quality ethanol extraction on bread quality [J]. *Food Mach*, 2016, 32(10): 178–182.
- [20] WANG L, YE F, LI S, *et al.* Wheat flour enriched with oat β -glucan: A study of hydration, rheological and fermentation properties of dough [J]. *J Cere Sci*, 2017, 75: 143–150.
- [21] 孟宁, 孙莹, 刘明, 等. 马铃薯粉对面包烘焙特性与风味化合物的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(2): 223–229.
MENG N, SUN Y, LIU M, *et al.* Effects of potato flour on baking properties and flavor compounds of bread [J]. *Food Sci*, 2020, 41(2): 223–229.
- [22] NING J, HOU GG, SUN J, *et al.* Effect of green tea powder on the quality attributes and antioxidant activity of whole-wheat flour pan bread [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2017, 2017: 342–348.
- [23] 郭芳. 发芽燕麦面包的研制[J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(5): 101–103, 110.
GUO F. Research and development of germinated oat bread [J]. *Cere Oils*, 2021, 34(5): 101–103, 110.
- [24] LUNAN G, FANG F, YAO Z, *et al.* Glutathione affects rheology and water distribution of wheat dough by changing gluten conformation and protein depolymerisation [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2020, 56(7): 3157–3165.
- [25] WANG JR, GUO XN, XING JJ, *et al.* Revealing the effect mechanism of NaCl on the rheological properties of dough of Chinese traditional hand-stretched dried noodles [J]. *Food Chem*, 2020, 320(26): 126606.
- [26] ZHAO X, DONG SJ, TAO G, *et al.* Influence of phospholipase A2 (PLA2)-treated dried egg yolk on wheat dough rheological properties [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2010, 43(1): 45–51.
- [27] 刘月瑶, 路飞, 高雨晴, 等. 藜麦的营养价值、功能特性及其制品研究进展[J]. *包装工程*, 2020, 41(5): 56–65.
LIU YY, LU F, GAO YQ, *et al.* Progress in research on the nutritional value and functional properties of quinoa and its products [J]. *Packag Eng*, 2020, 41(5): 56–65.
- [28] 林娟娟, 王隆安, 林建城, 等. 复合酶制剂对绿茶面包品质的影响分析[J]. *食品工业*, 2020, 41(12): 117–121.
LIN JJ, WANG LAN, LIN JC, *et al.* Analysis of the effect of compound enzyme preparation on the quality of green tea bread [J]. *Food Ind*, 2020, 41(12): 117–121.
- [29] PARENTI O, GUERRINI L, CAVALLINI B, *et al.* Breadmaking with an old wholewheat flour: Optimization of ingredients to improve bread quality [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2020, 121: 10.
- [30] 李红, 孙东弦, 陈瑞旭, 等. 添加剂对面包品质的影响及抗老化作用的研究[J]. *食品工业*, 2016, 37(5): 5–8.
LI H, SUN DX, CHEN RX, *et al.* Study on the effect of additives on bread quality and anti-aging effect [J]. *Food Ind*, 2016, 37(5): 5–8.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

作者简介



林艺璇, 硕士研究生, 主要研究方向为水产加工及贮藏。

E-mail: linyixuan98@163.com



梁鹏, 副教授, 主要研究方向为水产油脂化学与营养。

E-mail: liangpeng137@sina.com