

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20241119003

http://www.yykxjz.cn/

陈茜, 吴燕燕, 暴伊芮, 相欢, 汪晴. 适于老龄人群的海鲈鱼滑营养与贮藏品质分析. 渔业科学进展, 2025, 46(5): 69–84
CHEN Q, WU Y Y, BAO Y R, XIANG H, WANG Q. Nutritional and storage quality analysis of sea bass (*Lateolabrax japonicus*) paste suitable for the aging population. Progress in Fishery Sciences, 2025, 46(5): 69–84

适于老龄人群的海鲈鱼滑营养与贮藏品质分析*

陈 茜^{1,3} 吴燕燕^{1①} 暴伊芮^{1,2} 相 欢¹ 汪 晴⁴

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所 农业农村部水产品加工重点实验室 广东 广州 510300;

2. 大连海洋大学食品科学与工程学院 辽宁 大连 116023; 3. 中国海洋大学食品科学与工程学院

山东 青岛 266100; 4. 福建闽威食品有限公司 福建 福鼎 355200)

摘要 本研究旨在开发一款契合老年人群营养需求和饮食特点并具有优良保鲜特性的海鲈(*Lateolabrax japonicus*)鱼滑产品。以未漂洗的海鲈鱼肉糜为基础原料,通过感官评价、质构、持水性、凝胶强度、嫩度等指标,采用单因素实验和响应面法对营养配方进行优化,测定蛋白质、脂肪、氨基酸、脂肪酸、微量元素、膳食纤维等对其进行营养学评价,分析产品采用普通包装、真空包装分别在冷藏(4℃)和微冻(-2℃)贮藏过程的品质变化。结果表明,通过精准优化营养配方,海鲈鱼滑的胡萝卜粉、芹菜粉和菊粉3种营养素最佳添加量分别为鱼肉糜质量分数的1.15%、1.10%和1.00%;鱼滑蛋白含量为15.24/100 g,脂肪含量为5.73 g/100 g,氨基酸组成符合FAO/WHO推荐的理想蛋白质模式;质地软硬适中、持水性佳,易于咀嚼。真空包装的海鲈鱼滑在4℃下可保存7 d,在-2℃下可保存15 d,其保鲜效果显著优于普通包装。该研究不仅为老年人群提供了一种新型的营养健康食品,也为海鲈精深加工提供了新思路,为海水鱼精深加工和多元化产品开发提供了技术支持和参考。

关键词 海鲈鱼滑; 老年营养; 营养配方; 品质; 贮藏特性

中图分类号 S98; TS254.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2025)05-0069-16

随着全球经济的迅猛发展和医疗技术的快速进步,人口老龄化已成为一个普遍现象。中国作为老年人口数量最多的国家,其老龄化速度也位居世界前列。尽管老年人口数量庞大,但市场上专门为老年人设计的食品安全和营养需求却相对不足。因此,针对老年人群体的食品开发成为了研究的热点领域。2018年,中国国家卫生健康委员会发布了《食品安全国家标准老年食品通则》(征求意见稿),旨在规范老年食品的生产 and 质量标准,该通则明确了老年食品的分类,包括易于食用的食品、老年营养配方食品以及老年营

养补充食品,并为这些食品设定了具体的营养要求(高明等,2017)。针对老年人的营养需求,专家们提出了开发老年食品的原则,包括提供充足的优质蛋白质、膳食纤维、维生素和微量元素,同时强调低脂肪、低糖分、低热量和低胆固醇的配方设计(陈建设等,2015)。此外,还要求在加工老年食品时考虑其质地、感官和包装的适宜性,以满足老年人的生理和心理需求(吴阳等,2017)。

与国际市场相比,中国的老年食品市场仍处于发展初期,目前主要以销售保健品为主。市场上适合老

* 财政部和农业农村部:国家现代农业产业技术体系专项资金(CARS-47)、珠海市社会发展领域科技计划(“百县千镇万村工程”部分重点领域)(2320004001523)和福建省花鲈育种重点实验室项目(2024)共同资助。陈 茜, Email: chenqian_christina@outlook.com

① 通信作者: 吴燕燕, 研究员, Email: wuyygd@163.com

收稿日期: 2024-11-19, 收修改稿日期: 2025-01-04

年人的日常食品种类相对有限,主要包括奶粉、糕点、饼干等,这些食品虽然易于食用和吞咽,但营养价值往往不足,难以全面满足老年人的营养需求。康炎炎等(2019)和刘阳等(2018)研究发现,国内预包装老年食品中维生素和叶酸含量不足。刘阳等(2018)研究也指出,这些食品中的碳水化合物和能量含量往往偏高,这对于代谢率较低的老年人来说,可能会增加肥胖和心脑血管疾病的风险。

海鲈(*Lateolabrax japonicus*)作为一种经济价值高的海水养殖鱼类,因其高营养价值和鲜美口感而受到广泛欢迎。据《中国渔业统计年鉴》统计,2018—2023 年我国海鲈养殖产量从 18.02 万 t 增长至 24.69 万 t,增长率达 37.01%,这不仅反映了其在养殖领域的蓬勃发展态势,也彰显了其作为重要渔业资源的潜力(金渝钦等, 2024)。然而,当前海鲈鱼的加工产业仍处于初级阶段,加工方式较为粗放,产品类型单一,主要集中在鲜鱼销售、简单的鱼片加工以及部分鱼罐头制作等传统领域,产品附加值相对较低,缺乏深度开发和精细化加工,难以充分挖掘其潜在的经济价值和市场竞争力。从海鲈鱼的营养特性和加工性能角度深入分析,其鱼肉富含优质蛋白质且脂肪含量低,质地柔软细腻,易于咀嚼和消化,这使得海鲈鱼在老年食品开发领域具有得天独厚的优势。海鲈鱼肉碳水化合物含量极低,这对于需要控制血糖水平的老年人来说至关重要,能够有效避免因碳水摄入过多导致的血糖波动,从而有助于维持身体的代谢平衡和健康状态。海鲈鱼富含优质蛋白质,这些蛋白质易于被人体消化吸收,能够补充老年人身体所需的营养,有助于维持肌肉质量和身体机能,增强免疫力,预防疾病。此外,海鲈鱼含有丰富的不饱和脂肪酸,特别是 ω -3 脂肪酸,这种脂肪酸对老年人的心脑血管健康大有益处,能够降低血脂、血压,减少心血管疾病的发生风险,同时对大脑健康也有积极作用,有助于维持记忆力和认知能力,预防老年痴呆等疾病,全方位满足老年人的健康饮食需求。

从人群健康需求和市场趋势来看,无论是国内还是国际社会,随着老龄化程度的不断加深,老年人群对于健康、营养、安全且口感适宜的食品需求呈现持续增长态势。鉴于海鲈鱼的独特优势和市场潜力,开发基于海鲈鱼的老年食品具有广阔的市场前景和社会价值。因此,本研究团队聚焦于老年人的膳食营养需求,通过创新性地添加胡萝卜粉、芹菜粉和菊粉等富含维生素、矿物质和膳食纤维的营养素,旨在进一步提升海鲈鱼食品的营养价值,使其营养成分更加全面、均衡且符合老年人的特殊需求。同时,充分考虑

到老年人牙齿咀嚼能力下降和消化功能减弱的生理特点,精心开发一种质地柔软、易于咀嚼和消化的海鲈鱼滑产品。研究采用单因素实验和响应面法,以硬度和感官评分为指标,确定 3 种营养粉的最佳添加比例,并对产品的质构特性和营养指标进行分析,并以质构特性、感官评价、挥发性盐基氮含量、硫代巴比妥酸值和菌落总数为评价指标,探讨不同包装方式(真空包装和普通包装)和不同冷藏温度(4℃和-2℃)对海鲈鱼滑品质的影响。这项研究不仅可为老年人群提供营养健康的水产食品,而且可为海鲈鱼的精深加工提供技术支持,同时也可为深远海养殖海水鱼的精准、高质、高效、高值加工发展提供新的思路。

1 材料与方法

1.1 材料

鲜活海鲈鱼购于珠海市祺海水产科技有限公司,质量约为 600~800 g,体长约为 30~40 cm。

试剂:胡萝卜粉、芹菜粉、菊粉,天津秀谷生物技术发展有限公司;转谷氨酰胺酶(transglutaminase, TGase),北京索莱宝科技有限公司;NaHCO₃(食品级),广州嘉业食品配料有限公司;海藻糖(食品级),浙江一诺生物科技有限公司;大豆分离蛋白(食品级),聚融时代(固安)生物科技有限公司;木糖醇,河南糖柜食品有限公司;丙二醛(MDA)测试盒,南京建成海浩生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

QTS-25 型质构仪,英国 CNS Farnell 公司;GCMS-QP2010 气相色谱-质谱联用仪,日本岛津仪器公司;Agilent 1100 液相色谱仪,美国安捷伦科技有限公司;SoxtecTM 2050 型脂肪自动分析仪,丹麦 FOSS 公司;Kjeletec TM 2300 型全自动凯氏定氮仪,丹麦 FOSS 公司;3-550A 高温马弗炉,美国 Ney Vulcan 公司;BS124S 型电子天平,日本岛津仪器公司;Sunrise 吸光酶标仪,瑞士 Tacan 公司;Sigma-3K30 台式高速冷冻离心机,德国 Sigma 公司;KDN-19A 挥发性盐基氮测定仪,上海纤检仪器有限公司。

1.3 海鲈鱼滑基本配方

将海鲈鱼去鳞、去鳃和去内脏后,取去皮的鱼肉,用绞肉机绞碎,再用搅拌机斩拌,先空斩 2 min,加入质量分数为 1% (以鱼肉重量计)的 NaCl 斩拌 5 min,再加入 0.4% TGase 和 0.02 mol/L 的 CaCl₂ 斩拌 3 min (斩拌温度保持在 4~10℃),获得未漂洗海鲈鱼肉糜。

以未漂洗海鲈鱼肉糜为原料,按鱼肉糜质量添加其他辅料:NaHCO₃ 0.1%、海藻糖 0.3%、大豆分离蛋白 3.5%、木糖醇 0.01%、TGase 0.4%、食盐 1%、大豆油 1.5%、鱼油 1.5%、淀粉 10%、冰水 8%和营养粉(按照配方设计量添加)。将调制好的鱼滑挤压成产品形状。先在 40 ℃下保温 1 h,然后直接放入 90 ℃沸水中加热 30 min。成型后的鱼滑在室温冷却后,即为海鲈鱼滑成品。

1.4 营养素添加量的单因素实验设计

按海鲈鱼肉糜质量添加其他辅料,设计胡萝卜粉添加量(0.4%、0.8%、1.2%、1.6%和 2.0%)、芹菜粉添加量(0.5%、1.0%、1.5%、2.0%和 2.5%)、菊粉添加量(0.5%、1.0%、1.5%、2.0%和 2.5%)的单因素实验,以海鲈鱼滑硬度为考核指标,确定三者的因素水平。

1.5 响应面优化营养素添加量

综合单因素营养粉添加量的实验结果,采用BBD模型设计及原理,以胡萝卜粉添加量、芹菜粉添加量、菊粉添加量为自变量,以硬度(Y_1)和海鲈鱼感官评定分数(Y_2)为响应值,利用 Design Expert 11 对实验结果进行回归拟合及方差分析,实验因素水平如表 1 所示。

表 1 响应面因素及水平
Tab.1 Analytical factors and levels for response surface method

因素 Factor	水平 Level		
	-1	0	1
A 胡萝卜粉添加量 Carrot powder addition/%	0.4	0.8	1.2
B 芹菜粉添加量 Celery powder addition/%	0.5	1.0	1.5
C 菊粉添加量 Inulin addition/%	0.5	1.0	1.5

1.6 感官评定

参考 GB/T 16291.1-2012《感官分析 选拔、培训与感官评价员一般导则 第 1 部分:优选评价员》,选拔 10 名(5 男 5 女)组成评定小组,10 名小组成员的籍贯分布在广东、江西、山西、山东、吉林、河南等各个省份。将熟制的海鲈鱼滑切成厚度约为 1 cm 的片状,对其色泽、外观、气味、质地和组织状态进行感官评价,具体评价标准见表 2,满分为 100 分,取平均值作为评定结果。

表 2 海鲈鱼滑感官评定标准
Tab.2 Sensory evaluation standard of sea bass paste

指标 Index	评分标准(满分 100 分) Scoring standard (out of 100 marks)			
	16~20 分	11~15 分	6~10 分	0~5 分
色泽 Color	有光泽,无明显其他色泽 Glossy, no evident other color	略有光泽,有轻微其他色泽 Slightly glossy with slight other colors	略有光泽,有其他色泽 Slightly glossy with other colors	无光泽,有较多其他色泽 Lusterless, with more other colors
外观 Appearance	非常明亮 Very bright	明亮 Bright	微暗 Dim	变色 Discoloration
气味 Odors	具有鱼肉特有的鲜味,基本无腥味 Fresh flavor of fish, basically no fishy taste	鱼肉鲜味较浓,轻微腥味 Fresh fish flavor is strong, slight fishy taste	鱼肉鲜味较淡,腥味较浓 Fresh fish flavor is light, fishy flavor is strong	异味重 Strange odor
质地 Texture	坚实有弹性 Firm and elastic	较坚实,有弹性 Relatively firm and elastic	中度柔软,弹性较差 Medium soft, less elastic	非常柔软,无弹性 Very soft, no elasticity
组织状态 Organizational status	断面紧实,无大气孔 Firm section, no large air-holes	断面紧实,无大气孔,有少量小气孔 Firm section, no large air-holes, a few small air-holes	断面较紧实,无大气孔,有较多小气孔 Section more compact, no large air-holes, more small air-holes	切面较松散,有空洞 The cut surface is loose and hollow

1.7 质构分析

将样品切成 25 mm×25 mm×25 mm 的立方体,使用质构仪 TA44 探头,设置测前、中、后速度均为 1 mm/s,压缩形变 50%,触发力 5 g。每组 6 个平行,

结果取平均值。

1.8 凝胶强度测定

参照王冬妮等(2017)的测定方法稍作修改。将样品切成 25 mm×25 mm×25 mm 的正方体,使用质构仪

TA39 探头, 设置测前、中、后速度均为 1 mm/s, 触发力 5 g, 穿刺距离 15 mm。穿刺曲线上第一个峰为破断强度 A (g), 对应位移为凹陷度 B (mm), 二者乘积即为凝胶强度 N (g·mm)。每组 6 个平行, 结果取平均值。

$$N=A \times B \quad (1)$$

1.9 持水力测定

参照张智铭等(2021)的方法略有修改。将海鲈鱼肉糜切成 3 mm 的薄片, 称重后将样品包在滤纸中放入离心管, $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、 $2\,000 \times g$ 条件下离心 10 min, 离心后再称重样品。持水力计算公式如下:

$$C = \frac{m_2}{m_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中, C 为持水力(%); m_1 为样品质量(g); m_2 为离心后质量(g)。

1.10 营养成分测定

蛋白质含量测定参照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》, 脂肪含量测定参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》, 水分含量测定参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》, 总糖含量测定参照 GB 9695.31-2008《肉制品 总糖含量测定》, 灰分含量测定参照 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》, 每个样品每个指标平行测定 3 次, 结果取平均值。

能值和能值与蛋白质含量比值(energy to protein ratio, E/P): 蛋白质能值按 23.64 kJ/g, 脂肪按 39.54 kJ/g, 碳水化合物按 17.15 kJ/g 进行计算。脂肪酸测定参照 GB 5009.168-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》, 内标物为十七烷酸甲酯; 氨基酸测定参照 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》; 维生素 A、D、E 测定参照 GB 5009.82-2016《食品安全国家标准 食品中维生素 A、D、E 的测定》; 维生素 B₁ 测定参照 GB 5009.84-2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B₁ 的测定》; 维生素 B₂ 测定参照 GB 5009.85-2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B₂ 的测定》; 烟酸测定参照 GB 5009.89-2016《食品安全国家标准 食品中烟酸和烟酰胺的测定》; 叶酸测定参照 GB 5009.211-2016《食品安全国家标准 食品中叶酸的测定》。

1.11 营养学评价

根据联合国粮农组织/世界卫生组织(FAO/WHO) 1973 年提出的氨基酸评分标准模式(% , 干质量)和全

鸡蛋蛋白质的氨基酸模式(% , 干质量), 分别按照公式 3~5 计算氨基酸评分(amino acid score, AAS)、化学评分(chemical score, CS)和必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)。

$$\text{AAS} = \frac{\text{样品氨基酸含量}}{\text{FAO/WHO标准模式中同种氨基酸含量}} \quad (3)$$

$$\text{CS} = \frac{\text{样品氨基酸含量}}{\text{全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量}} \quad (4)$$

$$\text{EAAI} = \sqrt[n]{\frac{100A}{\text{AE}} \times \frac{100B}{\text{BE}} \times \frac{100C}{\text{CE}} \times \dots \times \frac{100H}{\text{HE}}} \quad (5)$$

式中, n 为比较的必需氨基酸个数; A 、 B 、 C 、...、 H 为样品中蛋白质的必需氨基酸含量(mg/g); AE、BE、CE、...、HE 为全鸡蛋蛋白质中必需氨基酸含量(mg/g)。

1.12 冷藏过程品质测定

以未漂洗的海鲈鱼肉糜为基料, 胡萝卜粉添加量为 1.15%, 芹菜粉添加量为 1.10%, 菊粉添加量为 1.00%, 制备获得的海鲈鱼滑为研究对象。熟制后的海鲈鱼滑冷却至室温后, 分成 2 组, 第 1 组直接装入普通包装袋中, 第 2 组采用真空包装。将包装好的海鲈鱼滑分别放置在 4°C 和 -2°C 条件下进行贮藏, 选择 3、7、15、20 和 30 d 5 个时间点, 测定不同包装方式和贮藏温度下海鲈鱼滑的品质变化。

1.13 挥发性盐基氮值(TVB-N)测定

挥发性盐基氮值(TVB-N)按照 GB 5009.228-2016《食品中挥发性盐基氮的测定》进行测定。

1.14 硫代巴比妥酸(TBA)值测定

硫代巴比妥酸(TBA)值使用南京建成海浩生物科技有限公司的丙二醛(MDA)测试盒进行测定。

1.15 菌落总数测定

菌落总数按照 GB 4789.2-2016《食品微生物学检验-菌落总数测定》进行测定。

1.16 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 软件整理、计算实验数据, 采用 Origin 8.6 和 SPSS Statistics 26.0 对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 营养素对海鲈鱼滑品质的影响

图 1 展示了海鲈鱼滑中添加胡萝卜粉和菊粉对

产品硬度的影响。结果表明,随着这 2 种营养素添加量的增加,海鲈鱼滑的硬度显著下降,这表明它们有助于提升海鲈鱼滑的柔软度。相比之下,芹菜粉在 1.0%~2.0%的添加范围内对硬度的影响不太明显,尽管整体趋势也是硬度随添加量的增加而降低。这一观察结果可能与芹菜粉在该特定比例范围内对

海鲈鱼滑质构特性的特定影响有关。为了进一步优化海鲈鱼滑的配方,本研究采用响应面法来确定 3 种营养素的最佳添加比例,旨在实现理想的硬度和感官品质。通过这种方法,可以系统地评估不同添加量对产品质构和感官属性的影响,从而找到最佳的配方组合。

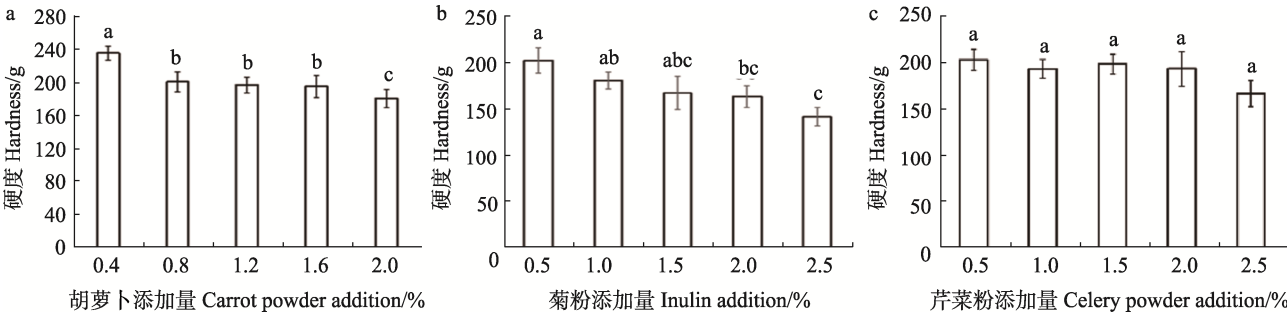


图 1 单因素实验对海鲈鱼滑硬度的影响
Fig.1 Effects of single factor experiment on hardness of sea bass paste

不同小写字母表示处理组间差异显著($P<0.05$)。
Different lowercase letters indicate significant differences among treatments ($P<0.05$).

2.2 响应面优化营养素添加量的结果分析

为了分析海鲈鱼滑中胡萝卜粉、芹菜粉和菊粉添加量对产品硬度和感官评分的综合影响,在 2.1 单因素实验的基础上进行响应面优化实验。实验结果如表 3 所示。利用 Design Expert 11 对实验数据进行回归拟合及方差分析,得到 2 个多元二次回归方程,分别以硬度(Y_1)和海鲈鱼滑感官评分(Y_2)为响应值,胡萝卜粉添加量(A)、芹菜粉添加量(B)、菊粉添加量(C)为自变量:

$$Y_1=34.60+117.85A+105.63B+96.03C+3.00AB-36.75AC-20.40BC-21.16A^2-38.94B^2-16.74C^2$$
 (6)

$$Y_2=74.10+12.06A+11.30B+11.05C+0.50AB-1.00AC-1.00BC-6.09A^2-5.10B^2-4.50C^2$$
 (7)

为检验回归方程的有效性,对回归模型进行方差分析和显著性检验,结果如表 4 和表 5 所示。检验结果表明,回归模型在统计上差异极显著($P<0.01$),这意味着模型中的变量对响应变量有显著的影响。失拟项 $P>0.05$,表明模型与数据的拟合度良好。模型的 R^2 分别为 0.970 3、0.977 8,表明模型对数据的拟合程度高。 F 值同样证实了模型显著性,这表明使用此模型来确定 3 种营养粉的复合添加量是合理的。

图 2 展示了 3 种营养素添加对海鲈鱼滑硬度的影响。从图 2a 和图 2b 可知,当芹菜粉和菊粉的添加量保持不变时,海鲈鱼滑的硬度随着胡萝卜粉添加量的增加而逐渐增加,并在胡萝卜粉添加量达到 1.2%时达到最大值。此外,当胡萝卜粉的添加量固定时,海

鲈鱼滑的硬度随着芹菜粉的添加量先缓慢增加,大约在 1.0%时达到峰值,然后随着添加量的进一步增加,硬度开始缓慢下降。而海鲈鱼滑的硬度随着菊粉添加量的增加呈现逐渐上升的趋势,在菊粉添加量为 1.5%时达到最大值。

表 3 响应面实验设计及结果
Tab.3 Design matrix and experiment results of response surface method

实验号 Sample	A	B	C	感官评价(分) Sensory evaluation (Score)	硬度 Hardness /g
1	0	-1	-1	83.8	160.4
2	0	1	-1	82.2	182.3
3	-1	0	-1	83.4	187.9
4	0	1	1	80.4	182.1
5	0	0	0	79.8	199.9
6	-1	0	1	83.2	210.0
7	0	0	0	80.0	206.3
8	1	0	-1	80.2	197.7
9	1	1	0	78.2	198.8
10	0	0	0	77.0	195.9
11	0	0	0	81.8	196.4
12	1	-1	0	82.2	184.4
13	-1	-1	0	85.0	157.4
14	0	-1	1	83.2	168.0
15	-1	1	0	83.4	170.8
16	0	0	0	82.0	164.0
17	1	0	1	81.4	163.2

表 4 硬度回归模型方差分析结果

Tab.4 Analysis of variance results of the hardness regression model						
方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
Source of variance	Sum of squares	df	Mean square	F value	P value	Significance
Model	4 634.33	9	514.93	25.39	0.000 2	**
A	3 232.08	1	3 232.08	159.38	<0.000 1	**
B	190.13	1	190.13	9.38	0.018 3	
C	325.12	1	325.12	16.03	0.005 2	
AB	1.44	1	1.44	0.07	0.797 6	
AC	216.09	1	216.09	10.66	0.013 8	
BC	104.04	1	104.04	5.13	0.057 9	
A ²	48.25	1	48.25	2.38	0.166 9	
B ²	399.03	1	399.03	19.68	0.003 0	**
C ²	73.74	1	73.74	3.64	0.098 2	**
残差	141.96	7	20.28			
Residual						
失拟项	4 634.33	9	514.93	25.39	0.060 2	
Lack of fit						
纯误差	3 232.08	1	3 232.08	159.38		
Pure error						
总和	190.13	1	190.13	9.38		
Total sum						

注：**表示差异极显著， $P<0.01$ 。下同。

Note: ** denotes significant different, $P<0.01$. The same below.

图 2c 进一步展示了在芹菜粉添加量固定的情况下，海鲈鱼滑的硬度随着菊粉添加量的增加而缓慢上升。相反，当菊粉添加量保持恒定时，海鲈鱼滑的硬度在芹菜粉添加量增加到 1.1%时急剧上升，之后硬度的变化趋于平缓。这些观察结果表明，胡萝卜粉、芹菜粉和菊粉的添加量对海鲈鱼滑的硬度有显著影响，且存在交互作用。通过这些数据，我们可以优化营养素的添加比例，以获得理想的海鲈鱼滑硬度。

图 3 揭示了感官评分与营养素添加量间的关系。

当胡萝卜粉的添加量保持不变时，海鲈鱼滑的感官评分随着芹菜粉和菊粉的添加量增加而逐渐上升，并在添加量约为 1.0%时达到最高分。之后，随着添加量的进一步增加，感官评分开始逐渐下降。此外，当芹菜粉的添加量固定时，海鲈鱼滑的感官评分在胡萝卜粉添加量介于 0.4%~0.8%之间时急剧上升，而在 0.8%~1.2%之间时保持基本不变。同时，添加了菊粉的海鲈鱼滑的感官评分随着菊粉添加量的增加呈现先上升后下降的趋势。当菊粉的添加量保持不变时，

表 5 海鲈鱼滑感官评分回归模型方差分析结果

Tab.5 Analysis of variance results of the sea bass paste sensory score regression model						
方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
Source of variance	Sum of squares	df	Mean square	F value	P value	Significance
Model	23.33	9	2.59	34.23	<0.000 1	**
A	4.20	1	4.20	55.54	0.000 1	**
B	0.50	1	0.50	6.60	0.037 0	
C	0.13	1	0.13	1.65	0.239 7	
AB	0.04	1	0.04	0.53	0.490 9	
AC	0.16	1	0.16	2.11	0.189 4	
BC	0.25	1	0.25	3.30	0.112 0	
A ²	4.00	1	4.00	52.86	0.000 2	**
B ²	6.84	1	6.84	90.40	<0.000 1	**
C ²	5.33	1	5.33	70.38	<0.000 1	**
残差	0.53	7	0.08			
Residual						
失拟项	0.23	3	0.08	1.02	0.471 4	
Lack of fit						
纯误差	0.30	4	0.08			
Pure error						
总和	23.86	16				
Total sum						

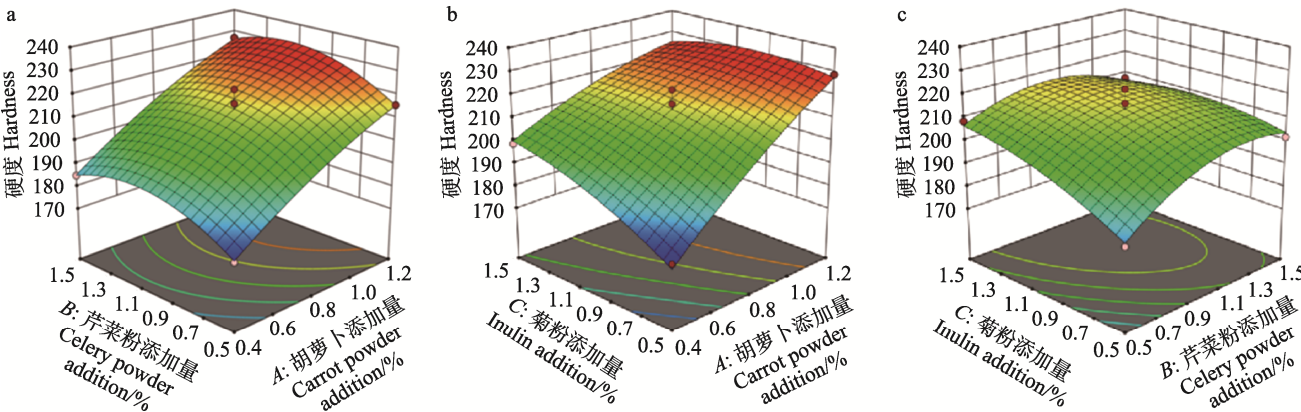


图 2 3 种营养素添加量间的交互作用对海鲈鱼滑硬度的影响
Fig.2 Effects of interaction among three nutrient on hardness of sea bass paste

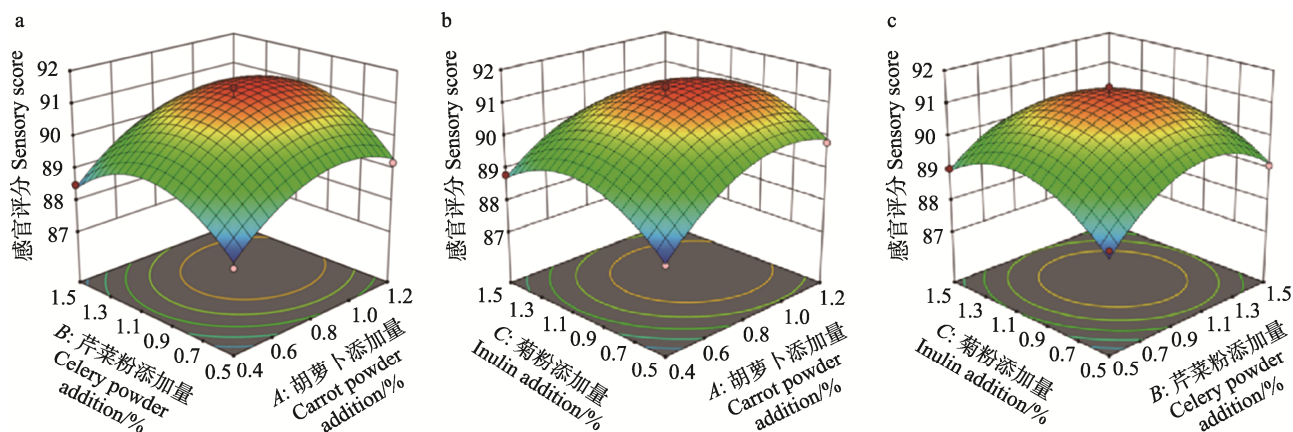


图3 3种营养粉间的交互作用对海鲈鱼滑感官评分的影响

Fig.3 Influence of interaction among three nutrient on sensory score of sea bass paste

胡萝卜粉的添加显著提高了海鲈鱼滑的感官评分,表明胡萝卜粉的添加量对感官评分有较大影响。相比之下,芹菜粉的添加对感官评分的影响则相对平缓,芹菜粉的最佳添加量约为1.0%。

根据响应面结果分析,结合实际得到3种营养粉的最优复合添加配比:胡萝卜粉添加量为1.15%,芹菜粉添加量为1.10%,菊粉添加量为1.00%,在此条件下海鲈鱼滑预测值为硬度228.7 g,感官评分91.16分。模型可靠性验证实验结果取3次平均值,测得海鲈鱼滑硬度为226.8 g,感官评分为89.8分,实测值与预测值非常接近,说明通过该响应面法所得的参数可靠,可以实际运用到加工工艺中。

2.3 海鲈鱼滑的质构特性

质构特性是评价食品口感的关键因素,它直接影响消费者对产品的喜好和接受程度。随着年龄的增长,老年人可能会遇到骨骼退化、消化功能下降、牙齿松动或脱落等问题,这些问题会导致咀嚼能力减弱。因此,为老年人设计的食品应具备适中的软硬度、易于咀嚼和方便吞咽消化的特点。由表6可知,海鲈鱼滑表现出良好的质构特性和持水性,质地细腻且软嫩,硬度适中,非常适合老年人食用。海鲈鱼滑的硬度为226.8 g,这一数值低于其他几种食品,如鲑鱼鱼肉肠(8482 g)(刘洋,2016)、内酯豆腐鱼丸(3505 g)(阙斐等,2019)、休闲鱼豆腐(5504 g)(陈兴等,2015)、藜麦鱼丸(669.5 g)(肖静等,2021)的硬度。此外,海鲈鱼滑可压出水分10.27%,这一比例低于鲤鱼鱼糜制品(12.6%)(崔旭海等,2018)。这些数据表明海鲈鱼滑不仅在质地上适合老年人,而且在水分保持方面也表现良好,这有助于提高食品的嫩度和口感。海鲈鱼滑的这些特性使其成为老年人理想的食品选择,能够

满足他们对易消化、营养丰富食品的需求。

2.4 海鲈鱼滑的基本营养成分

蛋白质、脂肪和碳水化合物是人体提供能量的三大主要营养素,它们摄入的比例对健康有着显著影响。随着年龄的增长,人体对蛋白质的消化吸收能力会下降,老年人需要充足的蛋白质来补充体内消耗(邓满想等,2017),并需控制糖分摄入以避免肥胖和高血脂等健康问题。蛋白质对于保护肝脏功能、增强免疫力和促进血红蛋白合成具有重要作用。海鲈鱼滑营养成分分析结果见表7。海鲈鱼滑的蛋白质含量为15.24 g/100 g,显著高于李要赏等(2018)制作的复合蔬菜鱼丸的蛋白质含量(8.96 g/100 g)和熊凤娇等(2017)报道的烟熏肠、淡水丸、撒尿牛丸、虾丸、海螺丸的蛋白质含量(8.2~13.0 g/100 g)。这与鱼肉本身高蛋白的特性和大豆分离蛋白的添加有关。海鲈鱼滑脂肪含量为5.73 g/100 g,虽然略高于国家认定固态食品低脂肪标准(小于3 g/100 g),但其所含的大豆油和鱼油提供的不饱和脂肪酸有益于老年人健康。脂肪的能值为226.56 kJ/100 g,占产品总能值(883.38 kJ/100 g)的25.6%,对老年人群来说是优质的脂肪来源。本研究中海鲈鱼滑使用了木糖醇代替蔗糖,木糖醇的甜度是蔗糖的1.2倍,但热量极低。木糖醇在体内的代谢不受胰岛素控制,并且能够促进肝脏分泌胰岛素,因此也适用于老年糖尿病患者。海鲈鱼滑不仅在蛋白质含量上优于其他类似产品,而且在脂肪和碳水化合物的选择上也考虑到了老年人的健康需求,使其成为一种适合老年人的营养食品。

2.5 海鲈鱼滑的氨基酸组成及评价

氨基酸是构成蛋白质的基本单元,它们在人体内

表 6 海鲈鱼滑质构特性
Tab.6 Texture properties of *L. japonicus* paste

项目 Item	硬度 Hardness/g	弹性 Springness/mm	内聚性 Cohesiveness	咀嚼性 Chewiness/mJ	凝胶强度 Gel strength/(g·mm)	可压出水分 Water loss/%
结果 Result	226.8±14.72	11.85±0.08	0.58±0.02	22.83±4.29	1861.6±281.84	10.27±0.92

表 7 海鲈鱼滑基本营养成分分析
Tab.7 Nutritional composition of sea bass paste

项目 Item	结果 Result
蛋白质含量 Protein content/(g/100 g)	15.24±0.16
脂肪含量 Fat content /(g/100 g)	5.73±0.09
总糖含量 Total sugar content/(g/100 g)	11.67±0.21
灰分含量 Ash content/(g/100 g)	1.31±0.02
水分含量 Moisture content/(g/100 g)	72.90±0.06
能值 Energy value/(kJ/100 g)	883.38±6.48
E/P/(kJ/100 g)	62.04

表 8 海鲈鱼滑氨基酸组成与含量
Tab.8 Amino acid composition of sea bass paste

氨基酸名称 Amino acid	氨基酸含量 Amino acid content/(mg/g)	所含蛋白质中 氨基酸相对含量 Relative amino acid content in protein/%
天冬氨酸 Asp***	13.40	7.36
谷氨酸 Glu***	23.80	13.10
丝氨酸 Ser	3.08	1.99
组氨酸 His**	2.91	1.59
甘氨酸 Gly***	6.06	3.33
苏氨酸 Thr*	6.36	3.49
精氨酸 Arg**	9.91	5.44
丙氨酸 Ala***	8.62	4.73
酪氨酸 Tyr	2.59	1.42
半胱氨酸 Cys*	2.03	1.11
缬氨酸 Val*	7.32	4.02
蛋氨酸 Met*	4.08	2.24
苯丙氨酸 Phe*	3.35	1.84
异亮氨酸 Ile*	6.46	3.55
亮氨酸 Leu*	12.97	7.12
赖氨酸 Lys*	12.25	6.73
脯氨酸 Pro	4.95	2.72
TAA	130.14	
EAA	52.79	
SEAA	12.82	
NEAA	77.35	
UAA	51.88	
EAA/NEAA/%	68.24	
EAA/TAA/%	40.56	
UAA/TAA/%	39.86	

通过代谢作用促进蛋白质合成，对人体健康至关重要。氨基酸的总量和种类决定了蛋白质的生物价值。特别是必需氨基酸，人体无法自行合成，必须通过食物摄入，它们对于维持人体正常生理功能极为重要(焦俊等, 2017)。在海鲈鱼滑中，共检测到 17 种氨基酸，包括 8 种必需氨基酸、2 种半必需氨基酸、7 种非必需氨基酸(表 8)。海鲈鱼滑中的必需氨基酸含量为 52.79 mg/g，占总氨基酸含量的 40.56%，而鲜味氨基酸的含量为 51.88 mg/g，占总氨基酸含量的 39.86%。谷氨酸含量最高，为 23.8 mg/g，它在食品鲜味中起着关键作用，并且参与体内多种活性物质的合成(赵玲等, 2023)。天冬氨酸以 13.4 mg/g 的含量位居第二，对调节血压和心脏功能有积极作用。亮氨酸是含量最高的必需氨基酸(12.97 mg/g)，占总氨基酸的 9.97%。相关研究表明，亮氨酸可作为信号分子促进脂肪分解，维持代谢和能量平衡，对预防肥胖症、脂肪肝、II 型糖尿病、高血压有显著功效(Holeček *et al*, 2018)。赖氨酸含量也相对较高，明显高于泉水鱼(*Semilabeo prochilus Sauvage et Dabry*) (8.47%) (朱成科等, 2013)、华鲮(*Sinilabeo rendahli*) (5.44%) (周兴华等, 2007)、中华沙鳅(*Botia superciliaris* Günther)(7.95%) (何斌等, 2013)，赖氨酸可促进机体对蛋白质的消化利用，有效摄取食物中优质的营养价值物质(王洪等, 2018)。FAO/WHO 推荐的理想蛋白质模式中，EAA/TAA 的比值应在 40%左右，EAA/NEAA 的比值应在 60%以上，该食物蛋白质组成比例平衡，营养价值较好。海鲈鱼滑的 EAA/TAA 为 40.56%，EAA/NEAA 为 68.24%，EAAI 为 68.35%，均符合 FAO/WHO 的标准，表明其蛋白质组成比例平衡，营

注：*为必需氨基酸；**为半必需氨基酸；***为鲜味氨基酸；TAA：总氨基酸；EAA：必需氨基酸；HEAA：半必需氨基酸；NEAA：非必需氨基酸；DAA：鲜味氨基酸。

Note: *: Essential amino acid; **: Semi-essential amino acid; ***: Umami amino acid; TAA: Total amino acid; EAA: Essential amino acid; SEAA: Semi-essential amino acid; NEAA: Non-essential amino acid; UAA: Umami amino acid.

养价值高。因此，海鲈鱼滑的氨基酸组成不仅丰富，而且比例适当，非常适合老年人食用，可以作为他们日常饮食中重要的氨基酸来源。

食物中的蛋白质营养价值不仅取决于其氨基酸的种类和含量，还取决于这些必需氨基酸是否符合人

体需求模式。当食物中的必需氨基酸(EAA)组成与人体需求相匹配时, 其营养价值达到最高, 也最容易被人体吸收。FAO/WHO 提出了一个理想的 EAA 模式, 全鸡蛋氨基酸模式也被常用作参考标准。海鲈鱼滑的氨基酸营养学评价结果见表 9。海鲈鱼滑中亮氨酸和赖氨酸氨基酸评分(AAS)均超过 FAO/WHO 标准模式, 表明海鲈鱼滑中这些氨基酸含量丰富, 具有高营养价值。根据 CS 和 AAS 分析, 苯丙氨酸和酪氨酸是海鲈鱼滑中的第一限制性氨基酸。在 CS 分析中, 蛋氨酸和胱氨酸为第二限制性氨基酸, 而 AAS 分析中, 缬氨酸为第二限制性氨基酸。这些限制性氨基酸的含量可以通过日常饮食中的其他食物来补充。海鲈鱼滑中必需氨基酸指数(EAAI)为 68.35, 其数值越高, 营养价值就越高。海鲈鱼滑的 EAAI 高于鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*) (57.59)、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*) (60.59)、鲮鱼(*Hypophthalmichthys nobilis*) (60.87)、鳊鱼(*Siniperca chuatsi*) (62.30) (梁银铨等, 1998), 符合 FAO/WHO 推荐的模式, 表明海鲈鱼滑中氨基酸组成平衡, 营养价值高。因此, 海鲈鱼滑不仅提供了丰富的必需氨基酸, 而且其氨基酸组成比例适宜, 非常适合作为老年人群的日常饮食选择, 有助于满足他们对高质量蛋白质的需求。

2.6 海鲈鱼滑的脂肪酸组成

海鲈鱼滑的脂肪酸组成分析(表 10)表明, 它含有 18 种脂肪酸, 包括饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA) 6 种, 占总脂肪酸的 27.59%; 单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)和多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)分别为 4 种和 8 种。海鲈鱼滑中的不饱和脂肪酸含量高达 72.1%, 其中亚油酸含量最丰富, 为 28.17%。亚油酸是一种人体必需的脂肪酸, 对降低血脂和胆固醇, 预防心脑血管疾病具有重要作用。此外, 海鲈鱼滑中 PUFA 相对含量达到 43.56%, 与一般肉蛋类食品(2.79%~34.39%)相比, 这一比例相对较高。二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)是人体必需的营养物质, 对视力和脑部发育至关重要, 并且有助于减少过敏症状的发生 (Song *et al*, 2018; Rai *et al*, 2013)。该海鲈鱼滑中二者含量总和为 11.12%, 高于黄鳝(*Monopterus albus*) (2.07%) (舒妙安等, 2000)、鲤鱼(*Cyprinus carpio*) (0.45%) (周兴华等, 2007)、罗非鱼(*Tilapia mossambica*) (10.90%) (梁志强等, 2009)、鲮鱼(*Sinilabeo decorus*) (10.10%) (梁志强等, 2009)。FAO/WHO 建议的饮食中 SFA、MUFA、PUFA 的比

例为 1 : 1 : 1, 而海鲈鱼滑中这 3 种脂肪酸的比例为 1 : 1.04 : 1.57, 这对均衡老年人饮食的营养价值有重要意义。海鲈鱼滑的优质脂肪酸配比的营养强化效果是由海鲈鱼原料和添加鱼油二者共同作用实现。

表 9 海鲈鱼滑氨基酸营养学评价
Tab.9 Nutritional evaluation of amino acid in sea bass paste

氨基酸 种类 Amino acid	含量/(mg/g)			CS Chemical score	AAS Amino acid score
	鱼滑 蛋白 Fish paste protein	全鸡蛋 蛋白质 Whole egg protein	WHO/ FAO		
苏氨酸 Thr	218.25	292	250	0.74	0.87
缬氨酸 Val	251.19	411	310	0.61	0.81**
异亮氨酸 Ile	221.69	331	250	0.67	0.89
亮氨酸 Leu	445.06	534	440	0.83	1.01
赖氨酸 Lys	420.31	441	340	0.95	1.24
蛋氨酸+半胱 氨酸 Met+Cys	209.63	386	220	0.54**	0.95
苯丙氨酸+酪 氨酸 Phe+Tyr	203.81	386	380	0.53*	0.54*
合计 Total	1 969.94	2 960	2 190		
EAAI	68.35				

注: *为第一限制性氨基酸; **为第二限制性氨基酸。
Note: *: The first limiting amino acid; **: The second limiting amino acid.

2.7 海鲈鱼滑的维生素组成

海鲈鱼滑的维生素含量分析显示其含有的维生素种类丰富, 对老年人的健康饮食具有重要意义。如表 11 所示, 在海鲈鱼滑中对常见的 7 种维生素进行测定, 其中维生素 E 含量最高, 为 3.54 mg/100 g, 其次是烟酸, 含量为 3.48 mg/100 g。维生素 E 是一种脂溶性维生素, 具有抗氧化作用, 有助于保护细胞膜不受自由基的损害。烟酸对于维持皮肤健康、神经系统功能以及帮助转化食物为能量都是必不可少的。叶酸含量为 3.86 μg/100 g, 虽然这是海鲈鱼滑中的一种重要 B 族维生素, 但这一含量并不足以满足成人每日对叶酸的推荐摄入量。根据《中国居民膳食指南(2022)》, 成人每日叶酸的推荐摄入量为 400 μg。因此, 建议将海鲈鱼滑与其他富含叶酸的食物搭配食用, 如绿叶蔬菜、豆类和全谷物, 以确保足够的叶酸摄入。海鲈鱼滑中的维生素组成表明, 它是一种营养价值高的食品, 尤其适合老年人群食用。然而, 为了达到维生素的全面平衡, 建议在日常饮食中搭配其他食物来源。

表 10 海鲈鱼滑脂肪酸组成及相对含量
Tab.10 Fatty acid composition of sea bass paste

脂肪酸种类 Type of fatty acids	脂肪酸名称 Fatty acids	结构缩写 Structural abbreviation	相对含量 Relative content/%
SFA	肉豆蔻酸 Myristic	C14:0	3.14±0.14
	十五烷酸 Pentadecanoic	C15:0	0.25±0.01
	棕榈酸 Palmitic	C16:0	19.18±0.04
	十七烷酸 Heptadecanoic	C17:0	0.22±0.01
	硬酯酸 Stearic	C18:0	4.41±0.02
	山嵛酸 Docosanoic Acid	C22:0	0.39±0.03
MUFA	棕榈油酸 Palmitoleic	C16:1	4.22±0.01
	油酸 Octadecenoic	C18:1 n-9	23.80±0.20
	二十烯酸 Arachidic Acid	C20:1	0.39±0.04
	神经酸 Lignoceric	C24:1	0.13±0.02
PUFA	γ-亚麻酸 γ-Linolenic acid, γ-LNA	C18:3 n-6	0.60±0.01
	亚油酸 Linoleic acid	C18:2 n-6	28.17±0.01
	亚麻酸 Linolenate	C18:3 n-3	2.3±0.18
	花生四烯酸 Arachidonate	C20:4 n-6	0.82±0.01
	二十碳五烯酸 Eicosapentaenoic acid, EPA	C20:5 n-3	6.01±0.18
	二十碳三烯酸 Eicosatrienoic acid	C20:3 n-6	0.26±0.00
	二十碳二烯酸 Eicosadienoic acid	C20:2 n-6	0.24±0.03
	二十二碳六烯酸 Docosahexaenoic acid, DHA	C22:6 n-3	5.11±0.14
	SFA		27.59
	UFA		72.1
	MUFA		28.90
	PUFA		43.56
	n-3 PUFA		13.47
	n-6 PUFA		30.09
	EPA+DHA		11.12

注：SFA：饱和脂肪酸；UFA：不饱和脂肪酸；MUFA：单不饱和脂肪酸；PUFA：多不饱和脂肪酸。
Note: SFA: Saturated fatty acid; UFA: Unsaturated fatty acid; MUFA: Monounsaturated fatty acid; PUFA: Polyunsaturated fatty acid.

表 11 海鲈鱼滑维生素种类及含量
Tab.11 Vitamin composition of sea bass paste

维生素种类 Vitamins	含量 Content
VA/(μg RAE/100 g)	22.8
VB ₁ /(mg/100 g)	<0.10
VB ₂ /(mg/100 g)	<0.05
VD ₃ /(μg RAE/100 g)	<2.00
VE/(mg/100 g)	3.54
烟酸 Nicotinic acid /(mg/100 g)	3.48
叶酸 Folic acid /(μg/100 g)	3.86

2.8 贮藏中质构特性的变化

质构特性是评价食品品质的关键指标,其中包括硬度、弹性和咀嚼性。这些特性影响着消费者的感官体验和食品的接受度(Li *et al*, 2011)。硬度指对食品施加外力产生一定形变所需要的力。海鲈鱼滑硬度的增加意味老年人食用过程中需要更大的咀嚼力使其形变,

不利于老年人食用。弹性是指施加于食物上的外力使其形变的程度,当外力被移除时,形变恢复的程度。咀嚼性则是指食物从咀嚼到吞咽的过程做的功(董开成等, 2015)。海鲈鱼滑的硬度和弹性主要受蛋白质的变性的影响,这在贮藏过程中发生,导致蛋白质空间结构的改变,随着温度和贮藏时间的变化,蛋白质与水分子间的作用力减弱,导致水分流失,肌原纤维密度增加,从而使肉质失去弹性,组织变软,硬度和弹性均下降(姜晴晴等, 2016; Xia *et al*, 2012)。

图 4a 显示,在贮藏的前 20 d 内,无论是在 4 ℃ 还是-2 ℃ 下,海鲈鱼滑的硬度逐渐增加,但二者之间没有显著差异。这可能是因为在在这段时间内,鱼滑内部的水分逐渐流失,蛋白质等大分子物质发生聚集和交联,使得整体结构变得更加紧密,从而导致硬度上升。而这种变化在 2 种温度下的速率较为接近,所以未表现出明显差异。但贮藏时间到 30 d 时,真空包装的海鲈鱼滑硬度继续上升,这可能是由于持续的

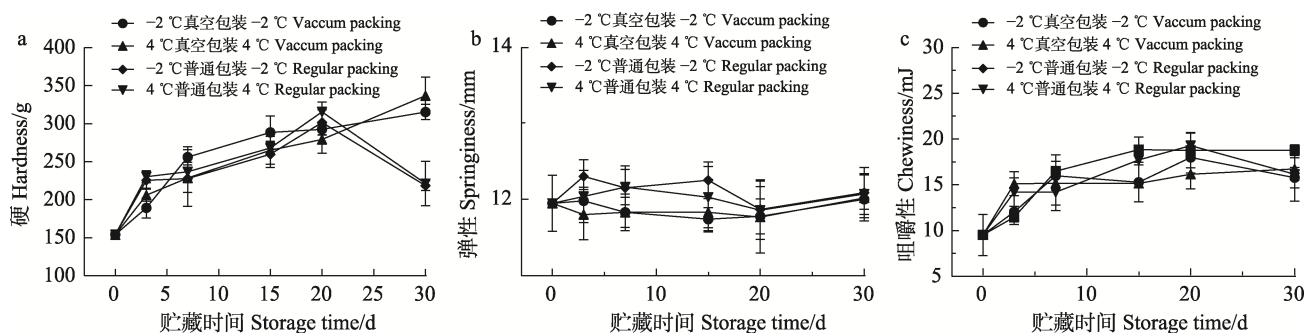


图 4 海鲈鱼滑贮藏期间质地特性变化

Fig.4 Changes of texture properties during storage of sea bass paste

水分散失以及在真空环境下, 鱼滑内部的化学反应和分子间相互作用仍在持续进行, 进一步巩固了其结构, 使得硬度进一步增大。而普通包装的硬度急剧下降, 可能是因为普通包装无法有效阻止外界氧气的进入, 导致微生物滋生并分解鱼滑中的蛋白质等成分, 破坏了其原有的结构完整性, 从而使硬度大幅降低。这也表明真空包装在维持海鲈鱼滑的质地稳定性方面具有明显优势, 能够更好地保持产品在长时间贮藏过程中的品质。图 4b 揭示了贮藏时间对海鲈鱼滑弹性的影响不显著, 整体趋势较平稳, 说明鱼滑中的弹性蛋白、胶原蛋白等与弹性相关的成分在贮藏过程中相对稳定, 没有发生大规模的降解或结构改变。但在 4 °C 和 -2 °C 贮藏温度下, 普通包装的海鲈鱼滑的弹性要略高于其他组。图 4c 表明海鲈鱼滑的咀嚼性与硬度密切相关。在真空包装方式下, 温度对贮藏期前 20 d 内的海鲈鱼滑的咀嚼性上升的影响明显, 而在 20~30 d 期间, 咀嚼性的变化趋于平缓。相比之下, 普通包装海鲈鱼滑的咀嚼性在 4 °C 和 -2 °C 贮藏温度下呈先上升后下降的趋势, 在 20 d 达到最大值。

2.9 贮藏中感官评分的变化

图 5 展示了海鲈鱼滑在不同贮藏温度下, 2 种包装条件下感官评分随时间的变化趋势, 揭示了海鲈鱼滑在贮藏初期感官评分的下降相对缓慢。然而, 从第 7 天开始, 由于微生物的快速繁殖, 普通包装的海鲈鱼滑感官分数的下降速度显著加快, 腐败程度尤为明显。这一现象可以归因于鱼肉中脂质和蛋白质的氧化分解, 导致鱼滑表面产生黏液并散发出腥臭味。相比之下, 真空包装的海鲈鱼滑在感官评分上表现出显著的优势。在 4 °C 和 -2 °C 的贮藏条件下, 即使在 30 d 的贮藏期结束时, 感官评分仍然保持在 80 分以上, 明显高于非真空包装的海鲈鱼滑。这得益于真空环境有效地隔绝了外界的氧气, 极大地抑制了微生物的生长繁殖以及鱼肉中脂质和蛋白质的氧化反应。真空包

装能抑制微生物繁殖和氧化引起的色泽和风味劣变, 有效延长海鲈鱼滑的货架期, 并且在冷藏过程中保持较好的感官品质。这对于海鲈鱼滑的长期保存和运输具有重要意义, 尤其是在没有持续冷链条件的情况下。因此, 真空包装是海鲈鱼滑在商业化生产和销售中推荐使用的包装方式。

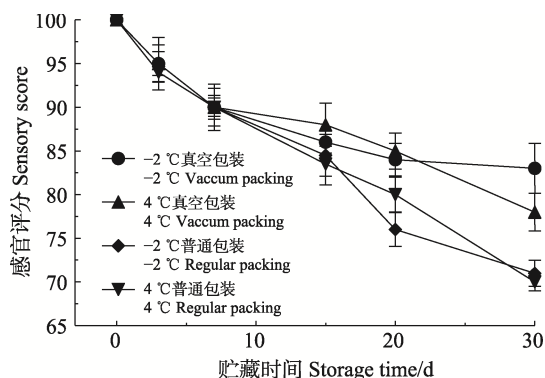


图 5 海鲈鱼滑贮藏期间感官评分变化

Fig.5 Changes of sensory score during storage of sea bass paste

2.10 贮藏中 TVB-N 值的变化

挥发性盐基氮(TVB-N)是衡量水产品新鲜度的关键指标, 它反映了肉类食品在腐败过程中蛋白质分解产生氨和含氮化合物的程度(吴燕燕等, 2019)。根据国家标准 GB 2733-2015 的规定, 鲜、冻动物性水产品的 TVB-N 值若不超过 13 mg/100 g, 则为一级产品; 不超过 20 mg/100 g 为二级产品; 而不超过 30 mg/100 g 则是可接受的上限。如图 6 所示, 在贮藏初期, 海鲈鱼滑的 TVB-N 值增长缓慢, 这归因于鱼滑内部蛋白质在蛋白酶作用下的分解, 产生胺类物质(姜晓东等, 2024)。随着贮藏时间的延长, 微生物的繁殖加速了氨基酸的脱酸脱羧反应, 导致 TVB-N 值显著增加, 牛改改等(2020)对真空包装的牡蛎肉也得出同样结论。普通包装的海鲈鱼滑在 30 d 后 TVB-N 值接近

30 mg/100 g 的限定值,而 -2°C 贮藏的真空包装海鲈鱼滑则保持在一级产品范围内。在 4°C 下的真空包装海鲈鱼滑在第30天时的TVB-N值为 (14.83 ± 0.1) mg/100 g,被评定为二级产品。普通包装的海鲈鱼滑在15 d内TVB-N值保持在一级范围内;但20 d后迅速上升至二级范围,贮藏后期,鱼滑的TVB-N值已接近限定值30 mg/100 g。姜杨等(2014)对草鱼的TVB-N含量和贮藏时间进行研究,发现二者之间结果呈正相关,与本研究结果相一致。

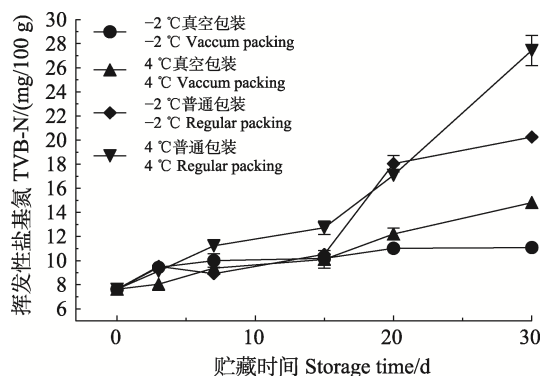


图6 海鲈鱼滑贮藏期间TVB-N值变化

Fig.6 Changes of TVB-N during storage of sea bass paste

2.11 贮藏中TBARS的变化

TBA值是衡量食品中脂肪氧化程度的关键指标,直接关联食品的酸败程度。TBA值的升高标志着脂肪氧化的加剧和食品品质的下降(王梅英等,2014)。脂肪氧化通常由脂肪酶的水解作用、自动氧化以及食品与氧气的接触引起。图7揭示了海鲈鱼滑在不同包装和贮藏温度条件下的TBA值变化。海鲈鱼滑的初始TBA值为0.44 mg MDA/kg,随着贮藏时间的延长,TBA值呈现上升趋势。在普通包装条件下,鱼滑的脂肪氧化程度均高于真空包装组,这表明真空包装能有效减缓脂肪氧化过程。在贮藏初期(0~3 d)时,TBA值的增长相对平缓;然而,从第7天开始,普通包装的海鲈鱼滑TBA值显著上升。这与微生物的快速繁殖和胞外蛋白酶的产生有关,这些因素促进了氨基酸的脱氨脱羧反应,产生大量含氮物质,导致TBA值显著增加。普通包装的海鲈鱼滑, 4°C 组和 -2°C 组TBA值在7 d时已分别达到0.69 mg MDA/kg和0.89 mg MDA/kg,鱼滑已经开始呈现不同程度的腐败;而真空包装条件下, 4°C 组和 -2°C 组TBA值在15 d开始出现油脂的劣变。由此可见,真空包装可以有效减慢脂肪氧化程度,温度越低,效果越好。

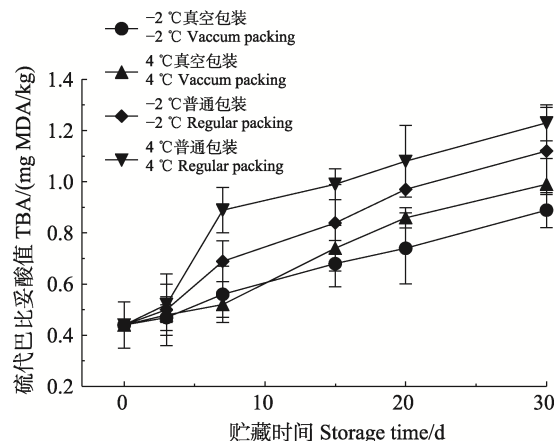


图7 海鲈鱼滑贮藏期间TBA值变化

Fig.7 Changes of TBA during storage of sea bass paste

相关研究表明,TBA值的可接受度在2 mg MDA/kg,当TBA值在1~2 mg MDA/kg时,鱼肉在感官评价上就可以闻到难以令人接受的气味(丁婷等,2014)。在本研究中, 4°C 组和 -2°C 组的鱼滑在20 d、30 d的感官评价中就得到此结论,且海鲈鱼滑的表面有黏液,黏液呈橙色状。刘奇等(2013)对鲟鱼(*Acipenser schrenckii* Brandt)研究发现,TBA值高于2.2 mg MDA/kg时有腥臭味产生,与本研究得到的结果一致。

2.12 贮藏中菌落总数的变化

图8展示了海鲈鱼滑在不同包装和贮藏温度条件下微生物生长的变化情况,揭示贮藏温度和包装方式对食品微生物控制的重要性。在 4°C 条件下,鱼滑中的微生物繁殖速度较快,菌落总数显著高于其他组($P<0.05$),在此温度下,普通包装的海鲈鱼滑从第7天开始出现腐败变质迹象,而真空包装的则从第15天开始出现类似情况。相对于 4°C 的条件, -2°C 的贮藏环境能有效抑制微生物的生长。在 -2°C 下,普通包装的海鲈鱼滑从第15天起微生物繁殖速度显著加快,而真空包装的海鲈鱼滑则显示更慢的微生物繁殖速度,这一结果进一步证实了真空包装在延长食品保质期方面的有效性,尤其在较低的贮藏温度下。

3 结论

为了满足老年人特定的膳食营养需求,本研究开发了一款适合老龄人群食用的海鲈鱼滑健康食品,以未漂洗的海鲈鱼肉糜为基料,单因素实验和响应面对营养配方进行优化,明确营养素最佳添加量为胡萝卜粉1.13%、芹菜粉1.09%、菊粉0.98%,鱼滑的质构特性软硬适中,具有良好的持水性;海鲈鱼滑中蛋

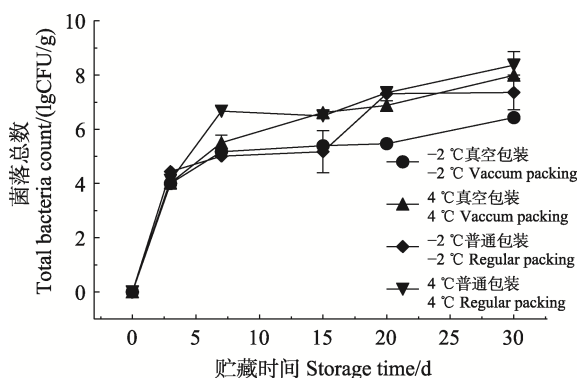


图8 海鲈鱼滑贮藏期间菌落总数变化

Fig.8 Changes of total bacteria count during storage of sea bass paste

白质含量为 15.24 g/100 g, 脂肪含量为 5.73 g/100 g, 氨基酸组成也非常均衡, 其 EAA/TAA 为 40.56%, EAA/NEAA 为 68.24%, EAAI 为 68.35, 含有 18 种脂肪酸, UFA 相对含量为 72.1%, 其中 PUFA 占 43.56%, EPA、DHA 总含量占 11.12%。因此, 该产品符合 FAO/WHO 提出的标准, 不仅改善了海鲈鱼滑产品的口感, 而且高蛋白低脂肪、优质氨基酸和不饱和脂肪酸及丰富膳食纤维的营养特点, 满足了老龄人群咀嚼、吞咽和营养需求。贮藏实验表明, 真空包装能更有效延缓 TVB-N 值、TBA 值、菌落总数的上升, 从而保持鱼滑的品质。在真空包装条件下, 海鲈鱼滑的货架期在冷藏(4 °C)下可保存 7 d, 在微冻(-2 °C)下可保存 15 d, 显著优于普通包装, 这为海鲈鱼滑的商业化生产和销售提供了重要的参考依据。这些研究成果不仅为老年人提供了一种营养丰富、易于消化的食品选择, 也为海鲈鱼的深加工和高值化利用开辟了新途径。

参 考 文 献

- CHEN J S, LÜ Z H. Eating disorders of elderly: Challenges and opportunities of food industry. *Food Science*, 2015, 36(21): 310–315 [陈建设, 吕治宏. 老年饮食障碍与老年食品: 食品工业的挑战与机遇. *食品科学*, 2015, 36(21): 310–315]
- CHEN X, SHENG B G, LI H L, *et al.* Study on processing technology of leisure fish tofu. *Meat Industry*, 2015(10): 21–22 [陈兴, 盛本国, 李海龙, 等. 休闲鱼豆腐的加工工艺研究. *肉类工业*, 2015(10): 21–22]
- CUI X H, BI H D, CUI X Y, *et al.* Effects of the edible protein on rheological and gel properties of carp surimi. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(16): 195–200, 225 [崔旭海, 毕海丹, 崔晓莹, 等. 不同食用蛋白的添加对鲤鱼鱼糜流变和凝胶特性的影响. *食品工业科技*, 2018, 39(16): 195–200, 225]
- DENG M X. Physical exercise and dietary nutrition for the elderly. *Sport*, 2017(16): 132–133 [邓满想. 老年人体育运动与膳食营养. *运动*, 2017(16): 132–133]
- DING T, LI T T, LI J R. Comprehensive evaluation on freshness of salmon slices at 0 °C storage. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2014, 14(11): 252–259 [丁婷, 李婷婷, 励建荣. 0 °C 冷藏三文鱼片新鲜度综合评价. *中国食品学报*, 2014, 14(11): 252–259]
- DONG K C. Effect of different pre-frozen methods on the quality of small yellow croaker. Master's Thesis of Zhejiang University, 2015 [董开成. 不同低温预处理对小黄鱼贮藏过程中品质的影响. 浙江大学硕士研究生学位论文, 2015]
- GAO M, HUO D. Nutritional requirements of the elderly and dietary countermeasures. *China Food Safety Magazine*, 2017(15): 63 [高明, 霍达. 老年人营养需求及膳食对策. *食品安全导刊*, 2017(15): 63]
- HE B, CHEN X J, LONG Z H, *et al.* Analysis and evaluation on nutritional components of the muscle of *Botia superciliosa*. *Freshwater Fisheries*, 2013, 43(3): 93–96 [何斌, 陈先均, 龙治海, 等. 中华沙鳅肌肉营养成分分析及营养学评价. *淡水渔业*, 2013, 43(3): 93–96]
- HOLEČEK M. Branched-chain amino acids in health and disease: Metabolism, alterations in blood plasma, and as supplements. *Nutrition & Metabolism*, 2018, 15: 33
- JIANG Q Q, SHAO S Q, CHEN S G, *et al.* Effect of freeze-thaw cycles on the characteristics of protein and the quality of muscle in hairtail (*Trichiurus haumela*). *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2016, 16(4): 122–129 [姜晴晴, 邵世奇, 陈士国, 等. 冻融循环对带鱼蛋白性质及肌肉品质的影响. *中国食品学报*, 2016, 16(4): 122–129]
- JIANG Y, LI T T, JIN G W, *et al.* Comprehensive freshness evaluation of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) during refrigerated storage. *Food Science*, 2014, 35(20): 281–285 [姜杨, 李婷婷, 晋高伟, 等. 草鱼冷藏过程中新鲜度的综合评价. *食品科学*, 2014, 35(20): 281–285]
- JIAO J. Effect of leucine on controlling obesity and the underlying mechanism. Master's Thesis of Soochow University, 2016 [焦俊. 亮氨酸通过脂肪组织控制肥胖的机制研究. 苏州大学硕士研究生学位论文, 2016]
- JIANG X D, WANG Y, HOU F S, *et al.* Effect of different pretreatment methods on the preservation quality of *Oncorhynchus mykiss*. *Progress in Fishery Sciences*, 2024, 45(5): 234–244. [姜晓东, 王颖, 侯富晟, 等. 不同预处理方法对虹鳟保鲜品质的影响. *渔业科学进展*, 2024, 45(5): 234–244]
- JIN Y Q, MENG S L, XU H M, *et al.* Aquatic environment and nitrogen and phosphorus balance in *Micropterus salmoides* culture under biofloc model. *Progress in Fishery Sciences*, 2025, 46(2): 204–215 [金渝钦, 孟顺龙, 徐慧敏, 等. 生物絮团模式下大口黑鲈养殖水环境及氮磷收支研究. *渔业*

- 科学进展, 2025, 46(2): 204–215]
- KANG Y Y, GAO T L, LI H Z, *et al.* Investigation on prepackaged foods for aged and analysis of nutrition claims. *Food and Nutrition in China*, 2019, 25(3): 45–48 [康炎炎, 高田林, 李湖中, 等. 预包装老年食品现状及营养声称分析. *中国食物与营养*, 2019, 25(3): 45–48]
- LI X P, LI J R, ZHU J L, *et al.* Postmortem changes in yellow grouper (*Epinephelus awoara*) fillets stored under vacuum packaging at 0°C. *Food Chemistry*, 2011, 126(3): 896–901
- LI Y S. Research and development of composite vegetable fish balls. Master's Thesis of Tianjin University of Science & Technology, 2018 [李要赏. 复合型蔬菜鱼丸的研究与开发. 天津科技大学硕士研究生学位论文, 2018]
- LIANG Y Q, CUI X Q, LIU Y L. Evaluation of nutritive quality and analysis of the nutritive compositions in the muscle of mandarin fish, *Siniperca chuatsi*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1998, 22(4): 386–388 [梁银铨, 崔希群, 刘友亮. 鳊肌肉生化成份分析和营养品质评价. *水生生物学报*, 1998, 22(4): 386–388]
- LIANG Z Q, LI C W, OU L Y, *et al.* Analysis and evaluation of the nutrients compositions of the muscle of *Sinilabeo decorus tungting*. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2009, 31(4): 411–413 [梁志强, 李传武, 欧燎原, 等. 湘华鲮肌肉营养成分分析与评价. *营养学报*, 2009, 31(4): 411–413]
- LIU Q. Study on the off-flavor compounds character of sturgeon and their relationship with lipid oxidation. Master's Thesis of Ocean University of China, 2013 [刘奇. 鲟鱼腥味物质特征及其与脂肪酸氧化的关系研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2013]
- LIU Y, LU Y, YANG J M, *et al.* Monitoring and analysis on range of carbohydrate and calorie content of Chinese various pre-packaged foods. *Food and Nutrition in China*, 2018, 24(5): 50–54 [刘阳, 陆颖, 杨晶明, 等. 我国预包装食品碳水化合物及能量水平监测和分析. *中国食物与营养*, 2018, 24(5): 50–54]
- LIU Y. Development and physicochemical properties of Nan Wan-silver carp sausage. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(20): 249–253 [刘洋. 南湾鲢鱼鱼肉肠的开发及理化特性测定. *食品工业科技*, 2016, 37(20): 249–253]
- NIU G G, YOU G, ZHANG C X, *et al.* Quality changes of vacuum-packed oyster meat during cold and frozen storage. *Food Research and Development*, 2020, 41(18): 7–14 [牛改改, 游刚, 张晨晓, 等. 真空包装牡蛎肉在冷藏和冻藏过程中的品质变化. *食品研究与开发*, 2020, 41(18): 7–14]
- QUE F, FENG W J, DAI P B. Processing technology of lactone bean curd fish-ball. *Food Research and Development*, 2019, 40(17): 136–141 [阙斐, 冯文婕, 戴佩彬. 内酯豆腐鱼丸的研制. *食品研究与开发*, 2019, 40(17): 136–141]
- RAI A K, BHASKAR N, BASKARAN V. Bioefficacy of EPA–DHA from lipids recovered from fish processing wastes through biotechnological approaches. *Food Chemistry*, 2013, 136(1): 80–86
- SHU M A, MA Y Z, ZHANG J C. An analysis of the nutritive composition in muscle of *Monopterus albus*. *Journal of Fisheries of China*, 2000, 24(4): 339–344 [舒妙安, 马有智, 张建成. 黄鳝肌肉营养成分的分析. *水产学报*, 2000, 24(4): 339–344]
- SONG G S, DAI Z Y, SHEN Q, *et al.* Analysis of the changes in volatile compound and fatty acid profiles of fish oil in chemical refining process. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2018, 120(2): 1700219
- WANG D N. Study on improvement gel properties of squid (*Illex argentinus*) surimi. Master's Thesis of Dalian Polytechnic University, 2016 [王冬妮. 鱿鱼鱼糜凝胶特性改良研究. 大连工业大学硕士研究生学位论文, 2016]
- WANG H, ZHAO Y J. Application of lysine and development prospect of food-grade lysine. *Bulletin of Fermentation Science and Technology*, 2018, 47(4): 236–239 [王洪, 赵亚军. 赖氨酸的应用及食品级赖氨酸的发展前景. *发酵科技通讯*, 2018, 47(4): 236–239]
- WANG M Y, LIN S J, CHEN H B. Quality and bacterial flora changes of vacuum-packaging silver carp fillets stored at 4 °C. *Journal of Ningde Normal University (Natural Science)*, 2014, 26(4): 337–340, 344 [王梅英, 林世杰, 陈慧斌. 真空冷藏鲢鱼片品质变化及细菌菌群分析. *宁德师范学院学报(自然科学版)*, 2014, 26(4): 337–340, 344]
- WU Y Y, ZHAO Z X, LI L H, *et al.* Effects of different packaging methods and storage conditions on the quality of two low-salt cured *Tilapia* fillets. *Food Science*, 2019, 40(9): 241–247 [吴燕燕, 赵志霞, 李来好, 等. 不同包装与贮藏条件对两种低盐腌制罗非鱼片的品质影响. *食品科学*, 2019, 40(9): 241–247]
- WU Y. Study on processing technology and formula of middle-aged and elderly rice noodles. Master's Thesis of Harbin University of Commerce, 2016 [吴阳. 中老年冲调米粉的加工工艺及配方研究. 哈尔滨商业大学硕士研究生学位论文, 2016]
- XIA X F, KONG B H, LIU J, *et al.* Influence of different thawing methods on physicochemical changes and protein oxidation of porcine longissimus muscle. *LWT - Food Science and Technology*, 2012, 46(1): 280–286
- XIAO J, ZHOU W T, ZHOU R, *et al.* Study on optimizing the proportion of quinoa fish balls using response surface methodology. *Modern Flour Milling Industry*, 2021, 35(3): 28–35 [肖静, 周文婷, 周润, 等. 采用响应面法优化藜麦鱼丸配比的研究. *现代面粉工业*, 2021, 35(3): 28–35]
- XIONG F J, MA L Z, WANG Y, *et al.* Correlative analysis between volatile N-nitrosamine content and nutrients or physicochemical indexes in surimi products. *Meat Research*, 2017, 31(5): 10–15 [熊凤娇, 马俪珍, 王洋, 等. 鱼糜制品营养、理化指标与挥发性 N-亚硝胺含量的相关性分析. *肉类研究*, 2017, 31(5): 10–15]
- ZHANG Z M, YI S M, LI X P, *et al.* Effect of ultra-high pressure

- on gel properties of unwashed *Nemipterus virgatus* surimi. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(1): 42–47, 53 [张智铭, 仪淑敏, 李学鹏, 等. 超高压对未漂洗金钱鱼鱼糜凝胶特性的影响. 食品工业科技, 2021, 42(1): 42–47, 53]
- ZHAO L, HU M Y, CAO R, *et al.* Analysis of nutrition and major flavor of different muscle parts of *Thunnus thynnus*. Progress in Fishery Sciences, 2023, 44(1): 219–217 [赵玲, 胡梦月, 曹荣, 等. 蓝鳍金枪鱼不同部位肌肉的营养与主要风味分析. 渔业科学进展, 2023, 44(1): 219–227]
- ZHOU X H, ZHENG S M, WU Q, *et al.* Evaluation of nutritional components and nutritive quality in muscle of *Sinilabeo rendahli*. Freshwater Fisheries, 2007, 37(1): 62–65 [周兴华, 郑曙明, 吴青, 等. 华鲮肌肉营养成分与品质的评价. 淡水渔业, 2007, 37(1): 62–65]
- ZHU C K, HUANG H, XIANG X, *et al.* Analysis of nutrient components in muscle of *Semilabeo prochilus* and its nutritive quality. Food Science, 2013, 34(11): 246–249 [朱成科, 黄辉, 向泉, 等. 泉水鱼肌肉营养成分分析及营养学评价. 食品科学, 2013, 34(11): 246–249]

(编辑 马瑾艳)

Nutritional and Storage Quality Analysis of Sea Bass (*Lateolabrax japonicus*) Paste Suitable for the Aging Population

CHEN Qian^{1,3}, WU Yanyan^{1①}, BAO Yirui^{1,2}, XIANG Huan¹, WANG Qing⁴

(1. Key Laboratory of Aquatic Products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 2. College of Food Science and Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 3. College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 4. Fujian Minwell Food Co., Ltd, Fuding 355200, China)

Abstract Population aging has become a universal phenomenon with the rapid development of the global economy and medical technology. China, which has the largest number of older adult people, has one of the highest aging rates in the world. Despite the large elderly population, the market lacks food designed to meet their safety and nutritional needs. Therefore, food development for older adults has become a popular research topic. In 2018, the National Health Commission of China released the “National Food Safety Standard—General Rules for Elderly Food” (draft for soliciting opinions), aiming to regulate food production and quality standards for older adults. It classifies food for older adults into easily consumable, nutritional-formula, and nutritional-supplement foods and sets specific nutritional requirements for them. Experts have proposed principles for developing food for older adults, including providing sufficient high-quality protein, dietary fiber, vitamins, and trace elements, while emphasizing low-fat, low-sugar, low-calorie, and low-cholesterol formula designs. Additionally, texture, sensory properties, and packaging suitability during food processing are considered to meet the physiological and psychological needs of older adults. Compared with the international market, the food market for older individuals in China is still in its infancy and sells mainly health products. The variety of foods suitable for older adults is relatively limited and includes milk powder, pastries, and biscuits. Although these foods are easy to chew and swallow, they often lack sufficient nutritional value and do not fully meet the nutritional needs of the elderly population. Research has shown that vitamin and folic acid content in domestic pre-packaged food for older individuals is insufficient, and the carbohydrate and energy content is often high, increasing the risk of obesity and cardiovascular and cerebrovascular diseases in older individuals with a low metabolic rate.

① Corresponding author: WU Yanyan, Email: wuyygd@163.com

Leveraging the high economic and nutritional value, as well as the delicious taste of seabass (*Lateolabrax japonicus*), its meat serves as an excellent source of high-quality protein with a low fat content, soft texture, and easy chewability, making it an ideal ingredient in food designed for older adults. Based on the dietary needs of older adults, this study developed an easily chewable and digestible seabass paste by adding carrot powder, celery powder, and inulin. Single-factor experiments and response surface methodology were used to determine the optimal ratios of the three nutrient powders, using hardness and sensory scores as key evaluation criteria. Textural characteristics and nutritional indicators of the products were also analyzed. The study also assessed the effect of different packaging methods (regular packaging and vacuum packaging) and refrigeration temperatures (4 °C and -2 °C) on the quality of the sea bass product. Quality indicators included textural characteristics, sensory aspects, volatile basic nitrogen content (TVB-N), thiobarbituric acid value (TBA), and total colony count.

The optimal amounts of nutrients for sea bass paste were 1.15% carrot powder, 1.10% celery powder, and 1.00% inulin. The paste contained 15.24 g protein and 5.73 g fat per 100 g. The amino acid profile aligned with the ideal protein pattern recommended by the Food and Agriculture Organization/World Health Organization. Moreover, the sea bass paste contained 18 types of fatty acids, with the relative unsaturated fatty acid content reaching 72.1% and the total EPA and DHA content accounting for 11.12%. The sea bass paste contained the highest amount of vitamin E (3.54 mg/100 g), followed by niacin (3.48 mg/100 g). It exhibits moderate texture, good water retention, and is easily chewable, making it suitable for consumption by older adults. During the first 20 days of storage, the hardness of sea bass paste gradually increased, but there was no significant difference between the two refrigeration temperature groups (4 and -2 °C). However, the hardness of the vacuum-packed sea bass products continued to increase for up to 30 days of storage, but it decreased sharply in the regularly packaged product. Storage experiments demonstrated that vacuum packaging could effectively delay the increase in the TVB-N, TBA value, and total colony count, maintaining the quality of the sea bass paste. The TVB-N of the regularly packaged product was close to the 30 mg/100 g limit after 30 days, whereas vacuum-packed sea bass paste stored at -2 °C was still below 13 mg/100 g (within the range of Class I products). Fat oxidation was higher in the regularly packaged fish paste than in the vacuum-packed group. This indicates that vacuum packing was effective in slowing down the fat-oxidation process. Vacuum-packed sea bass paste can be stored for 7 days at 4 °C and 15 days at -2 °C, showing a significantly superior preservation effect compared to regular packaging. In conclusion, this study not only introduces a nutritious and healthy food option for older adults but also presents novel insights into the processing and high-value utilization of sea bass, offering technical support and a reference for the diversification and development of marine fish products.

Key words Sea bass paste; Elderly nutrition; Nutritional formula; Quality; Storage properties