

DOI: 10.11964/jfc.20231014201

鱼肌浆蛋白替代鸡肉蛋白制作具有天然诱食性且易于消化的猫粮

康宁哲^{1,2}, 龙斯宇^{1,2}, 何逸鸢³, 黄琪琳^{1,2*}

1. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070; 2. 国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉), 湖北 武汉 430070; 3. 武汉市光谷第二高级中学, 湖北 武汉 430070

摘要:

【目的】研究猫粮中鲢肌浆蛋白替代鸡肉蛋白对宠物猫的诱食效果, 评价其消化特性。

【方法】在分析酸偏移耦合壳聚糖絮凝法回收的鲢肌浆蛋白氨基酸组成和风味的基础上, 以回收的鲢肌浆蛋白为鸡胸肉的替代原料, 加入牛油等辅料制作猫粮。以烘焙时间、烘焙温度、马铃薯淀粉添加量、肌浆蛋白添加量、牛油添加量为单因素对成品综合评分, 再通过响应面设计, 确定猫粮的最佳制作工艺; 最后对比分析富含肌浆蛋白的猫粮与销售量高、好评率高的两款市售挤压膨化和低温烘焙猫粮的营养成分、适口性、胃蛋白酶消化率的优劣。

【结果】每 100 g 猫粮的最佳制作工艺条件为: 肌浆蛋白添加量 22.85 g、烘焙温度 80 °C、烘焙时间 8.07 h、牛油添加量 9.22 g; 鲢肌浆蛋白的氨基酸组成丰富, 含量高, 尤其是赖氨酸含量高达 7.21 g/100 g, 而且富含呈鲜味的谷氨酸 (9.59 g/100 g) 和天冬氨酸 (9.22 g/100 g), 其鲜味强度值分别为 959.00、307.33; 具有鱼腥味的壬醛 (24 640)、辛醛 (1 514) 气味活度值高, 对猫粮整体风味贡献大, 因此对猫起到了较强的诱食作用, 是一种天然的诱食剂。

【结论】鲢肌浆蛋白不仅可以替代鸡肉蛋白, 而且富含肌浆蛋白的猫粮的消化率高达 94.07%, 优于市售两款猫粮, 是一种替代鸡肉制作猫粮的理想蛋白原料。本研究可为鲢肌浆蛋白在宠物食品中的应用提供参考, 具有实践价值。

关键词: 鲢; 肌浆蛋白; 响应面法; 猫粮; 诱食; 感官评价

第一作者: 康宁哲, 从事水产品蛋白结构与功能特性研究, E-mail: nandykang@163.com



通信作者: 黄琪琳, 从事食品大分子的结构和功能特性、水产加工、风味调控及副产物高值利用研究, E-mail: hql@mail.hzau.edu.cn



资助项目: 现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-45-28)

收稿日期: 2023-10-24
修回日期: 2024-01-10

文章编号:
1000-0615(2025)05-059815-14
中图分类号: TS 254.4
文献标志码: A

作者声明本文无利益冲突

©《水产学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)
Copyright © Editorial Office of Journal of Fisheries of China (CC BY-NC-ND 4.0)

近年来我国宠物产业高速发展, 宠物经济的体量增长迅速, 而宠物消费尤以宠物主粮为主, 人宠争粮的压力逐年增长^[1]。所以, 回收在人类生产活动中被丢弃的蛋白质, 并将其再利用可以缓解“人宠争粮”这一矛盾。在水产品加工行业, 通常工业化生产 1 t 鱼糜, 会产生 25~40 t 含蛋白质的废水, 如直接排放不仅会造成蛋白质资源的浪费, 而且对环境产生碳排放和污染^[2], 因此, 鱼糜漂洗废水中蛋白资源的回收再利用对促进鱼糜绿色低碳加工和节能减排, 实现碳中和的远景



目标具有深远的意义。鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 的肌浆蛋白中含有丰富的赖氨酸^[3], 猫在日常饮食中会摄入大量精氨酸, 成为病毒疱疹繁殖的催化剂, 而猫无法自行合成抑制精氨酸的赖氨酸, 必须通过外部摄入, 因此肌浆蛋白可以成为猫粮中动物蛋白质的一个重要来源。

目前市面上的猫粮种类繁多, 售卖较多的为膨化猫粮和低温烘焙猫粮。由于国外的宠物食品发展较早, 许多进口猫粮的营养比例和适口性都优于国内企业生产的猫粮。国内企业的技术尽管没有国外成熟, 但是可以通过选用高品质的原料, 提高产品的品质。基于此, 本实验以肌浆蛋白为主要原料, 加入牛油等辅料, 通过烘焙工艺制成猫粮, 研究肌浆蛋白添加量、牛油添加量、马铃薯添加量、烘烤温度、烘烤时间对猫粮的感官品质的影响, 并对比分析添加回收肌浆蛋白的低温烘焙粮和市面上销售量高、好评率高的两款膨化猫粮以及低温烘焙猫粮的营养成分、适口性、胃蛋白酶消化率的优劣, 旨在优化富含肌浆蛋白的低温烘焙猫粮的配方及制作工艺, 为回收肌浆蛋白在宠物食品中的应用提供实例参考。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

鲢、鸡心、鸡肝、鸡胸肉和牛油, 购于华中农业大学农贸市场。猫粮 [挤压膨化猫粮 (P) 和低温烘焙猫粮 (D)], 购于淘宝官方旗舰店。盐酸、氢氧化钠、壳聚糖、乙酸、石油醚、1,2-二氯苯均为分析纯, 购自国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

3205 型食品调理机, 德国博朗公司; PB-10 型 pH 计, 赛多利斯科学仪器有限公司; Avanti J-26XP 型高速冷冻离心机, 贝克曼库尔特有限公司; UV-1750 紫外可见分光光度计, 日本岛津公司; HH-6 型数显恒温水浴锅, 国华电器有限公司; FJ-200 型高速分散均质机, 上海标本模型厂; 7890B-5977A 型气相色谱-质谱联用仪, 安捷伦科技有限公司; 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头, 上海楚定分析仪器有限公司。

1.3 实验方法

鲢肌浆蛋白的回收 鲢肌浆蛋白的回收参考周文燕^[4]的方法, 将新鲜鲢宰杀后采肉、搅碎, 用 3 倍质量的 4 $^{\circ}\text{C}$ 蒸馏水漂洗, 离心, 收集上清液即为鱼糜漂洗水。采用酸偏移耦合壳聚糖絮凝法回收鱼糜漂洗水中的肌浆蛋白 (pH-shifting and chitosan-flocculation protein, PCP)。本研究获得了华中农业大学实验动物管理和使用伦理委员会批准, 实验过程中操作人员严格遵守《中国实验动物管理条例》伦理规范, 并按照华中农业大学动物伦理委员会制定的规章制度执行。

氨基酸组成及含量的测定 参照 GB 5009.124—2016《食品中氨基酸的测定》进行测定^[5]。

滋味强度值 (taste activity value, TAV) TAV 为呈味物质的测定值与其滋味阈值之比, 按下式计算:

$$\text{TAV} = \frac{C_1}{C_2}$$

式中, C_1 为呈味氨基酸的测定值 (mg/g); C_2 为该氨基酸的滋味阈值 (mg/g)^[6]。

肌浆蛋白挥发性成分的鉴定 参考黄晶晶等^[7]的方法并稍作修改。采用 DVB/CAR/PDMS 萃取头进行顶空固相微萃取 60 min, 以 1,2-二氯苯 (1 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 300 μL) 为内标物。

气相色谱条件: 进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$, 解吸 5 min; HP-5MS (5% 苯基) 甲基硅氧烷毛细管柱 (30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm); 程序升温: 40 $^{\circ}\text{C}$ 保持 3 min, 以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 230 $^{\circ}\text{C}$, 保持 5 min; 载气 (He) 流量 1 mL/min, 不分流。

质谱条件: 电子电离源; 传输线温度 280 $^{\circ}\text{C}$; 离子源温度 200 $^{\circ}\text{C}$; 四极杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$; 电子能量 70 eV; 质量扫描范围 m/z 为 35~450。

样品中各挥发性成分的含量 (C_i) 按下式计算:

$$C_i = \frac{A_i \times W_{is}}{A_{is} \times W}$$

式中, A_i 、 A_{is} 分别为各挥发性成分和内标物质的峰面积; W_{is} 、 W 分别为内标物质量 (300 ng) 和肌浆蛋白质量 (0.3 g)。

特征挥发性成分评价: 采用气味活度值 (odor activity value, OAV) 法, 评价不同挥发性

成分对样品总体气味的贡献, 定义为嗅感物质的绝对含量 c ($\mu\text{g/g}$) 与其感觉阈值 T ($\mu\text{g/kg}$) 之比, 按下式计算:

$$\text{OAV} = \frac{c}{T}$$

低温烘焙猫粮的配方设计和加工方式 按照猫粮的基础配方称取鸡肉 65 g、回收肌浆蛋白 10 g、鸡心 5 g、马铃薯淀粉 8 g、鸡肝 3 g、牛油 5 g、丝兰提取物 3 g、洋车前子壳粉 1 g、牛磺酸 0.2 g、赖氨酸 0.2 g 进行混合, 再用食品调理机搅碎后填入模具, 将其放入设定温度的烤箱进行烘焙, 烘焙完成后置于室温冷却, 然后放入密封性和阻水性良好的包装袋中。

猫粮制作的单因素试验设计 设定烘焙温度为 60、70、80、90、100 °C, 根据《GB/T 31217—2014 全价宠物食品 猫粮》^[8] 标准, 在猫粮含水量小于 14% 时, 确定烘焙时间。设定烘焙时间分别为 5、6、7、8、9、10 h, 烘焙温度为 80 °C。设定马铃薯淀粉添加量 0、1、3、5、7 g。设定牛油添加量 5、7、9、11、13 g。使用肌浆蛋白替代鸡肉, 即鸡肉的 0%、20%、40%、60% 和 100% 被肌浆蛋白取代, 鸡肉添加量分别为 65、52、39、26、0 g, 肌浆蛋白添加量分别为 0、13、26、39、65 g。

猫粮制作的响应面实验设计 基于单因素实验, 选取对猫粮品质影响较大的 3 个因素, 利用 Design-Expert 10 软件设计三因素三水平响应面实验, 实验因素水平设计见表 1, 以感官评价的评分确定猫粮的最佳制作工艺。

表 1 添加回收肌浆蛋白低温烘焙猫粮工艺的因素和水平

Tab. 1 Factors and levels of low-temperature baking cat food with recycled sarcoplasmic protein

水平 level	烘焙时间/h baking time	肌浆蛋白添加量/% sarcoplasmic protein addition	牛油添加量/g butter addition
-1	7	20	7
0	8	30	9
1	9	40	11

注: 每个因素的水平只取 3 个(-1, 0, 1)。

Notes: Only three levels of each factor are taken.

猫粮的感官评价 感官评价由 10 位嗅觉和味觉感知正常, 且至少养过 2 只猫的人员组成, 按照表 2 对低温烘焙猫粮进行评分^[9], 每一项总分为 10 分。

猫粮理化指标的测定 水分的测定参考《GB/T 6435—2014 饲料中水分的测定》^[10]; 蛋白质的测定参考《GB/T 6432—2018 饲料中

表 2 低温烘焙猫粮的感官评价表

Tab. 2 Sensory evaluation table of low temperature baked cat food

项目 item	评分标准 scoring standard	分值/分 score
色泽 colour	呈现黄褐色, 均匀一致, 色泽好	7~10
	呈现棕黄色, 较均匀, 色泽一般	4~6
	呈现浅黄色, 有异色斑点, 无光泽	1~3
香气 fragrance	肉香或鱼香味浓郁, 无异味	7~10
	肉香或鱼香味一般, 异味轻	4~6
	肉香或鱼香味不明显, 有明显异味	1~3
质地 texture	硬度适中, 具有一定的酥脆感	7~10
	硬度偏大或偏小, 酥脆度一般	4~6
	硬度很大或很小, 无酥脆度或非常酥脆	1~3
外形 contour	外形完整、肉粉较少, 表面平整且较光滑	7~10
	外形较完整, 肉粉较多, 表面不光滑	4~6
	外形不完整, 肉粉很多, 表面十分粗糙	1~3
可接受度 acceptability	接受这款猫粮, 且会给自家宠物食用	7~10
	接受这款猫粮, 但不会给自家宠物食用	4~6
	无法接受这款猫粮, 且不会给自家宠物食用	1~3

粗蛋白的测定 凯氏定氮法》^[11]; 脂肪的测定参考《GB/T 6433—2006 饲料中粗脂肪的测定》^[12]; 粗灰分的测定参考《GB/T 6438—2007 饲料中粗灰分的测定》^[13]; 粗纤维的测定参考《GB/T 6434—2022 饲料中粗纤维的含量测定》^[14], 其中, 除水分外均以干物质计。

猫粮的适口性实验 选取 6 只成年猫, 雌雄各半, 将 6 只猫编为一组并予以编号 1~6, 每只猫在宠物猫笼 (1.2 m×0.5 m×0.6 m) 内单独饲养, 实验前进行驱虫处理。每天更换猫砂, 清理猫舍, 打扫卫生, 保持宠物猫舍的清洁。

单碗实验: 每次 6 只实验猫投喂同一种猫粮, 每天每只猫投放 100 g 猫粮, 分别测定 6 h 内的猫粮剩余量, 实验 3 d 后计算猫粮总重。按照 P (挤压膨化猫粮)、Z (自制猫粮)、D (低温烘焙猫粮) 的顺序进行实验, 每次实验自由饮水, 计算猫的采食率。

采食率 (%)=(投喂总量-剩料总重)/投喂总量×100%

双碗实验: 双碗实验在单碗实验后进行, 分为 2 组实验, 每次为每只猫投喂 2 种猫粮各 50 g, 分别为 Z 和 P、Z 和 D, 每次使用 2 个相同的新食盆, 食盆每次摆放在猫笼内的相同位置且距离 10 cm 左右, 使实验猫能够随意选择两盆内的食物, 记录猫第 1 口采食的猫粮后立刻拿出猫粮, 更换为一盆猫舍提供的猫粮 100 g, 然后隔天进行下一组实验。

猫粮的胃蛋白酶消化率的测定: 参考《GB/T 17811—2008 动物性蛋白质饲料胃蛋白酶消化率的测定 过滤法》^[15], 对猫粮进行脱脂、胃蛋白酶消化处理, 收集并烘干残渣, 测定残渣中粗蛋白的含量。按下式计算猫粮的消化率。

$$X = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

式中, X 为猫粮样品胃蛋白酶消化率, W_2 为猫粮烘干残渣中粗蛋白质的质量分数, W_1 为猫粮脱脂样品中粗蛋白质的质量分数。

1.4 数据分析

所有实验数据使用 Origin 2018 软件进行处理, 最终结果以“平均值±标准差”的形式呈现, 单因素实验结果的方差分析采用 ANOVA, 显著性分析采用 Duncan 氏检验 ($\alpha=0.05$), 运用 Design Expert 10 软件进行响应面中心组合实验。

2 结果

2.1 鲢肌浆蛋白的氨基酸分析

所回收的蛋白质的必需氨基酸含量为 31.94 g/100 g, 总氨基酸含量为 75.14 g/100 g, 较为丰富 (表 3)。其中, 必须由猫从外部摄入的赖氨酸的含量为 7.21 g/100 g。

2.2 鲢肌浆蛋白的呈味氨基酸分析

所回收的鲢肌浆蛋白中各种滋味氨基酸含量不同, 天冬氨酸 (959) 和谷氨酸 (307.33) 的 TAV 值均显著大于其他氨基酸, 贡献最大 (表 3)。

2.3 鲢肌浆蛋白的气味分析

经 NIST 图库检索以及文献参考确认, 回收的鲢肌浆蛋白共鉴定出 21 种挥发性物质。主要由醛类、烃类、酯类、酮类、酚类等组成, 其中以醛类和烃类物质为主 (表 4)。

2.4 影响猫粮感官品质的因素分析

不同烘烤温度对猫粮感官品质的影响

随着烘烤温度的上升, 感官评分呈先上升后下降的趋势 (图 1)。当烘烤温度为 80 °C、烘焙时间为 8 h 时, 感官评分达到最高 (33 分)。所以低温烘焙猫粮的最适烘烤温度在 80 °C 左右。

不同烘焙时间对猫粮感官品质的影响

随着烘烤温度的上升, 感官评分呈先上升后下降的趋势, 感官评分在 8 h 处最大 (36.17 分) (图 2)。所以低温烘焙猫粮的最适烘焙时间约为 8 h。

不同马铃薯淀粉添加量对猫粮感官品质的影响

低温烘焙猫粮的感官评分随马铃薯淀粉添加量的增加而出现先增大后减少的趋势, 当马铃薯淀粉添加量为 3 g 时, 感官评分最高 (38.46 分)。所以低温烘焙猫粮的马铃薯淀粉最适添加量为 3 g (图 3)。

不同牛油添加量对猫粮感官品质的影响

随着牛油添加量的增加, 感官评分呈先上升后下降的趋势 (图 4)。评分在 9 g 处达到最高, 因为此时的香气最适宜, 更多的牛油反而引起低温烘焙猫粮气味的劣化。

不同肌浆蛋白添加量对猫粮感官品质的影响

随着肌浆蛋白添加量的增加, 猫粮感官评分呈先上升后下降的趋势, 当肌浆蛋白的添加量为 40% 时, 低温烘焙猫粮的感官评分达到

表 3 鲢肌浆蛋白的氨基酸种类含量及 TAV 分析

Tab. 3 Total basal acid content of sarcoplasmic proteins from *H. molitrix*

类别 form	氨基酸种类 amino acid type	滋味属性 taste property	阈值/(mg/g) threshold	含量(g/100 g) content	TAV	
必需氨基酸 essential amino acids	赖氨酸 Lys	无味	0.50	7.21±0.16	144.20	
	亮氨酸 Leu	苦	1.90	6.53±0.38	34.37	
	缬氨酸 Val	苦	0.40	4.58±0.48	114.50	
	苯丙氨酸 Phe	苦	0.90	4.46±0.10	49.56	
	异亮氨酸 Ile	苦	0.90	3.60±0.06	40.00	
	苏氨酸 Thr	甜	2.60	3.48±0.37	13.38	
	蛋氨酸 Met	苦	0.30	2.09±0.01	69.67	
	合计 total				31.94±0.78	
非必需氨基酸 non-essential amino acids	天冬氨酸 Asp	鲜	1.00	9.59±0.54	959.00	
	谷氨酸 Glu	鲜	0.30	9.22±0.37	307.33	
	丙氨酸 Ala	甜	0.60	4.45±0.43	74.17	
	精氨酸 Arg	甜	0.50	4.33±0.24	86.60	
	甘氨酸 Gly	甜	1.30	3.74±0.14	28.77	
	组氨酸 His	苦	0.20	3.29±0.04	164.50	
	丝氨酸 Ser	甜	1.50	3.26±0.32	21.73	
	酪氨酸 Tyr	苦	2.60	2.80±0.14	10.77	
	脯氨酸 Pro	无味	3.00	2.50±0.30	8.33	
	合计 total				43.19±0.09	
	必需氨基酸/非必需氨基酸/% essential/non-essential amino acids				73.95±1.95	
总氨基酸 total amino acids				75.14±0.70		
Σ鲜味氨基酸 Σfresh amino acids				18.81±0.26	1 266.33	
Σ甜味氨基酸 Σsweet amino acids				19.26±0.04	224.65	
Σ苦味氨基酸 Σbitter amino acids				27.35±0.06	483.37	

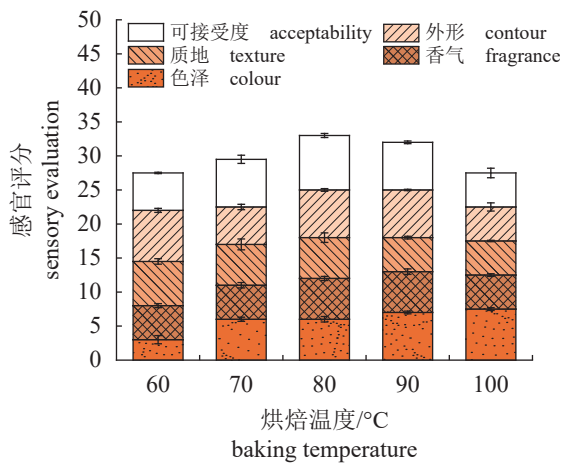


图 1 不同烘焙温度对猫粮感官品质的影响

Fig. 1 Effects of different baking temperatures on cat food quality

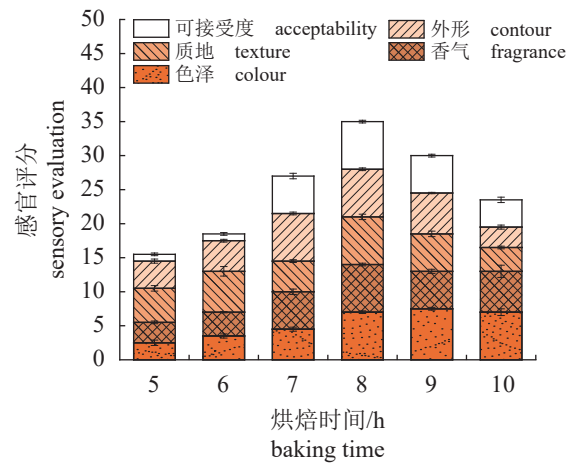


图 2 不同烘焙时间对猫粮感官品质的影响

Fig. 2 Effect of different baking time on cat food quality

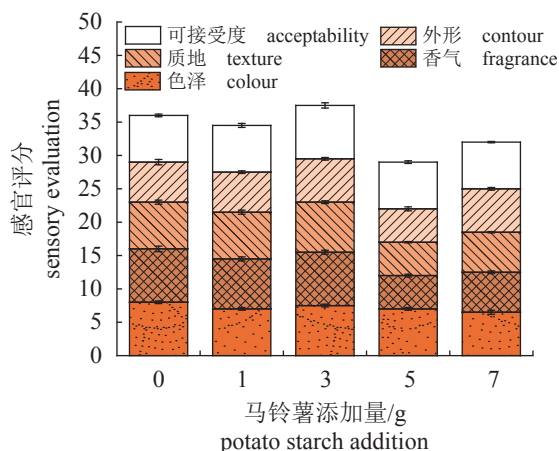


图3 不同马铃薯淀粉添加量对猫粮感官品质的影响

Fig. 3 Effect of different potato starch additions on cat food quality

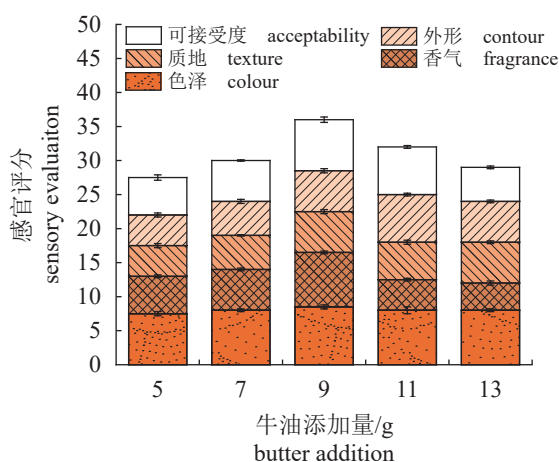


图4 不同牛油添加量对猫粮感官品质的影响

Fig. 4 Effect of different butter additions on cat food quality

最大, 为 42.36 分, 肌浆蛋白添加量为 60% 的猫粮感官评分明显低于 40% 组和 20% 组, 而当肌浆蛋白添加量为 100% 时, 猫粮的可接受度和质地的感官评分最低, 所以认定肌浆蛋白的最优添加量在 30% 左右 (图 5)。

2.5 响应面实验结果

在单因素实验的基础上, 以烘焙时间 (A)、肌浆蛋白添加量 (B) 和牛油添加量 (C) 为自变量, 以感官评价分数 (Y) 为响应值, 通过优化响应面法进行配方优化, 确定最优成分或工艺参数, 实验设计及结果见表 5。

运用 Design Expert 10 软件对实验结果进行回归拟合, 得到回归方程:

$$Y = -418.391 + 89.543A + 1.978B + 14.941C - 0.083AB - 0.936AC + 0.029BC - 4.845A^2 - 0.024B^2 - 0.452C^2$$

对所建模型进行方差分析 (表 6)。由方差分析结果可知, 模型的 P 值 < 0.001 , 模型效果达到极显著, 且失拟项不显著, 表明该模型具有统计学意义, 二次项 AB 表现出显著性, 一次项 A 和 B、二次项 AC、 A^2 、 B^2 、 C^2 表现出极显著性。通过表 6 可知, 此模型中 96.39% 猫粮感官评分变化来自于自变量 A (烘焙时间)、B (肌浆蛋白的添加量) 和 C (牛油的添加量)。

此模型的决定系数 R^2 为 0.984 2, 校正 R^2 为 0.963 9, 变异系数为 1.67%。模型中有 96.39% 猫粮感官评分变化来自于 A、B 和 C。添加肌浆蛋白的低温烘焙猫粮各因素间交互作用明显, 这可以从图 6、图 7 和图 8 曲面的陡峭程度看出, 而等高线反映了因素间交互作用的大小, 等高线呈椭圆形, 说明两因素交互作用显著。AB 和 AC 的交互作用显著, 而 BC 坡面较为平缓, 交互作用不显著。

2.6 不同品牌猫粮的营养成分

根据表 7 的数据可知, P 的粗灰分含量最高, 为 7.47%, Z 的粗灰分含量最低, 为 4.11%。Z 的粗纤维含量最高, 为 4.51%, D 的粗纤维含量最低, 为 1.64%。Z 的水分含量最高, 为 4.86%, D 的水分含量最低, 为 2.76%。

2.7 不同品牌猫粮的适口性

单碗实验可以衡量动物对食物的喜爱程度, 采食率越高代表该种食物的适口性越好。通过表 8 可知, D 和 P 的采食率较高, 分别为 50.91% 和 47.3%, 采食率最低的是 Z (45.62%)。

双碗实验可以确定动物对某食物是否偏爱, 第 1 口采食选择越多, 代表动物对该食物越偏爱。通过表 8 可以看出, Z 与 P 和 D 的第 1 口采食选择率均为 50%, 表明猫对 Z 和市售猫粮 P、D 的偏爱程度相同,

2.8 自制猫粮与商品化猫粮的胃蛋白酶消化率对比分析

通常胃蛋白酶消化率越高, 该动物对各种营养成分的吸收利用率越高。Z 的胃蛋白酶消化率最高, 为 94.07%, 其次为 D (93.51%)、

表 4 通过 SPME-GC/MS 获得的鲢肌浆蛋白中的挥发性物质

Tab. 4 The volatile substances of *H. molitrix* sarcoplasmic proteins obtained by SPME-GC/MS

类别 form	物质 material	阈值/($\mu\text{g}/\text{kg}$) threshold	含量/($\mu\text{g}/\text{g}$) content	OAV	气味描述 odor description
醛类 aldehyde	己醛	4.5	0.43 \pm 0.03	95.00 \pm 6.67	鱼腥味、青草味
	辛醛	0.7	1.06 \pm 0.03	1 514.00 \pm 42.86	油脂味、辛辣味、柑橘味
	壬醛	1	24.64 \pm 0.63	24 640.00 \pm 630.00	鱼腥味、青草味、油脂味
	庚醛	3	0.97 \pm 0.06	323.00 \pm 20.00	水果味、柑橘味
醇类 alcohol	1-辛烯-3-醇	1	—	—	生蘑菇味、青草味
	环氧丙醇	—	—	—	
烃类 hydrocarbon	庚烷	—	2.08 \pm 0.07	—	
	癸烷	—	5.12 \pm 0.06	—	
	十一烷	—	—	—	
	十二烷	—	0.05 \pm 0.03	—	
	十三烷	—	2.00 \pm 0.05	—	
	十四烷	—	13.82 \pm 0.06	—	
酯类 esters	甲酸辛酯	—	—	—	
	己酸乙酯	1	—	—	水果味
	丙酸戊酯	—	—	—	苹果味
酮类 ketone	己二酮	50 000	—	—	乳脂味
	辛二酮	150	0.16 \pm 0.03	1.00 \pm 0.20	生蘑菇味、牛奶味
	环己酮	—	—	—	薄荷味
	芳香族 aromatic	丁香酚	—	4.30 \pm 0.18	—
羧酸类 carboxylic acid	苯甲醛	350	0.25 \pm 0.04	—	
	壬酸	3 000	—	—	

注：“—”代表未检出。

Notes: "—" means not detected.

P (88.02%), 说明自制猫粮中蛋白酶消化率高, 质量好。

3 讨论

3.1 鲢肌浆蛋白的氨基酸与风味

从美国饲料管理协会 (Association of American Feed Control Officials, AAFCO) 规定的必需氨基酸种类来看, 鲢肌浆蛋白中赖氨酸、苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸的含量较为丰富 (表 3), 此外, 鱼蛋白的含量不仅高于鸡、鸭等白肉中的蛋白质, 其蛋白质中必需氨基酸的占比也高于红肉, 因此是优质蛋白的重要来源之一^[16]。

按照不同味觉特征, 通常把游离氨基酸分为 4 大类: 苦味、鲜味、甜味和无味^[17]。鲜味和甜味氨基酸均能改善猫粮的风味^[18]。其中天

冬氨酸和谷氨酸是鲜味氨基酸, 它们赋予了猫粮的鲜味。猫的味觉虽然不够发达, 但它们的嗅觉却很灵敏, 尤其是对鲜味。段鹏杰^[19]研究表明, 日粮添加谷氨酸能够显著提高秦川肉牛的生长发育, 促进动物采食。给鱼类饲喂谷氨酸能够显著提高鱼肉的风味, 胱氨酸可通过美拉德反应生成具有甜味的化合物^[20]。由此可知, 通过对鲢肌浆蛋白滋味的综合分析, 所回收的鲢肌浆蛋白中鲜、甜味氨基酸呈味占主导作用, 整体无苦味。

一些相对低分子质量的醛类化合物对鱼类的特征香味有贡献 (表 4), 饱和的直链醛, 如壬醛、辛醛、己醛、庚醛等是鱼类的特征腥味成分, 因其感觉阈值较低^[21], 通常对鱼腥味贡献较大^[22]。酸耦合壳聚糖絮凝法回收的鲢肌浆蛋白能有效保留鱼腥味。这可能是因为在 pH<6.0 的条件下, 壳聚糖形成带正电荷的阳离子氨基

表 5 响应面实验设计及结果

Tab. 5 Design and results of response surface experiment

实验组 test group	A	B	C	感官评分/分 sensory evaluation
1	9	20	9	37.95
2	8	30	9	43.67
3	8	30	9	43.27
4	8	30	9	44.18
5	7	40	9	36.93
6	7	30	11	38.64
7	8	30	9	44.35
8	7	20	9	33.74
9	8	20	11	37.57
10	8	30	9	43.88
11	7	30	7	33.92
12	8	40	11	42.28
13	8	40	7	40.56
14	9	30	7	39.54
15	9	30	11	36.77
16	8	20	7	38.18
17	9	40	9	37.82

注: A. 烘焙时间(h), B. 肌浆蛋白添加量(%), C. 牛油添加量(g), 下同。

Notes: A. baking time (A), B. sarcoplasmic protein addition (%), C. butter addition (g), the same below.

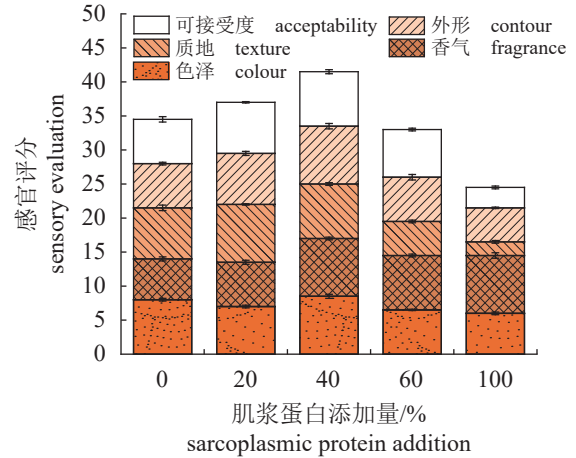


图 5 不同肌浆蛋白添加量对猫粮感官品质的影响

Fig. 5 Effects of different amount of sarcoplasmic protein on the quality of cat food

基团, 与醛基产生较强的吸附作用^[23]。

OAV 可用于表示每种挥发性物质对样品的贡献程度, 当 OAV<1 时, 表明嗅觉器官对该物质无感觉, 该物质对样品总体气味无显著作用; 当 OAV≥1 时, 说明该物质可能对样品总体气味有直接影响; 且在一定范围内, OAV 越大, 该物质对样品总体气味的贡献越大^[24]。通过 OAV 分析可知, 对鲢肌浆蛋白挥发性气味贡献较大 (OAV≥1) 的醛类主要有己醛、壬醛、辛醛、庚醛, 其中壬醛的 OAV 最高, 为 24 640,

表 6 回归方程方差分析

Tab. 6 Analysis of variance of regression equation

方差源 source	平方和 sum of squares	自由度 df	均方 mean square	F值 F value	P值 P value
模型 model	191.62	9	21.29	48.50	<0.000 1**
A	9.79	1	9.79	22.30	0.002 2**
B	12.88	1	12.88	29.34	0.001 0**
C	1.17	1	1.17	2.67	0.146 5
AB	2.76	1	2.76	6.28	0.040 7*
AC	14.03	1	14.03	31.95	0.000 8**
BC	1.36	1	1.36	3.09	0.122 1
A ²	98.84	1	98.84	225.16	<0.000 1**
B ²	24.56	1	24.56	55.94	0.000 1**
C ²	13.76	1	13.76	31.34	0.000 8**
残差 residual	3.07	7	0.44		
失拟项 lack of fit	2.35	3	0.78	4.31	0.096 2
纯误差 pure error	0.73	4	0.18		
总和 total	194.69	16			

注: “*”表示影响显著(P<0.05), “**”表示影响极显著(P<0.01)。

Notes: “*” indicates significant impact (P<0.05), “**” indicates highly significant effect (P<0.01).

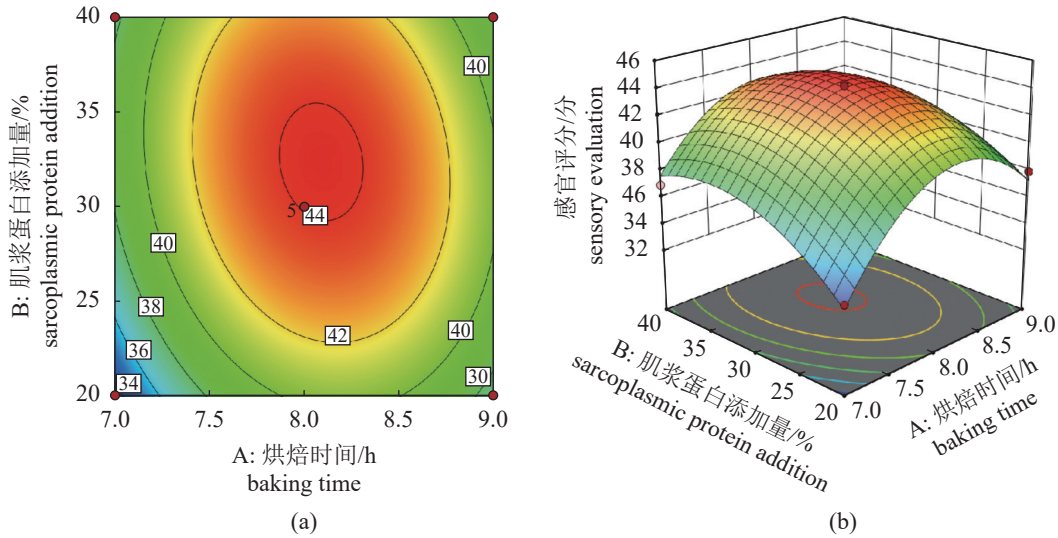


图 6 烘焙时间和肌浆蛋白添加量交互作用及等高线图

(a) 等高线图, (b) 响应面图, 下同。

Fig. 6 Interaction and contour map of baking time and sarcoplasmic protein addition

(a) contour plot, (b) response surface plot, the same below.

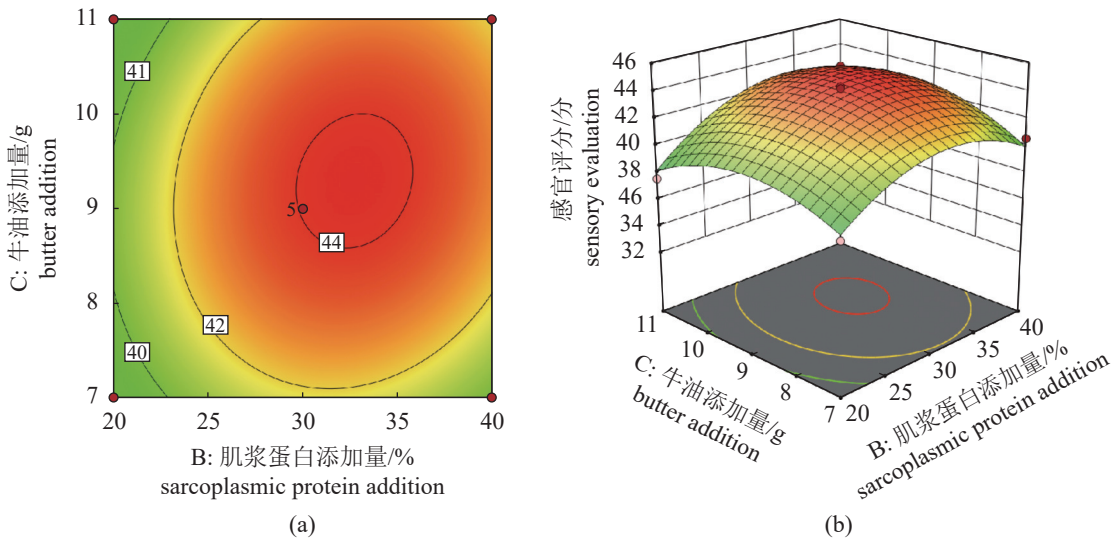


图 7 牛油添加量和肌浆蛋白添加量交互作用及等高线图

Fig. 7 Interaction and contour map of butter addition and sarcoplasmic protein addition

对鲢肌浆蛋白的整体风味起主导作用。

3.2 单因素实验及响应面优化

在单因素实验中, 当烘焙温度为 60 和 70 °C 时, 为使猫粮的水分含量低于 14%, 符合《GB/T 31217—2014 全价宠物食品 猫粮》^[15] 的要求, 烘焙时间需要 8 h 以上。虽然烘焙温度降低会使猫粮内部的水分迁移速率降低, 从而有助于抑制猫粮的外部形成硬壳, 避免造成猫粮外部坚硬而内部形成较多的孔隙^[25], 但烘

焙时间的增加会导致生产成本的增加, 所以最佳温度为 80 °C (图 1)。时间方面, 干粮因其便于储存和喂养而成为宠物日粮的主要消费产品, 具有低含水量、货架期长的优点^[26]。烘焙时间的大小会显著影响猫粮的含水量, 当烘焙温度为 80 °C, 烘焙时间为 5 和 6 h 时, 由于猫粮内部的水分不能及时蒸发而导致猫粮的质地偏软、颜色呈暗红色, 其含水量高于国家规定的 14%。烘焙时间的增加会使猫粮的颜色由浅色转变为深褐色, 且时间越久颜色越深, 色泽评分虽然

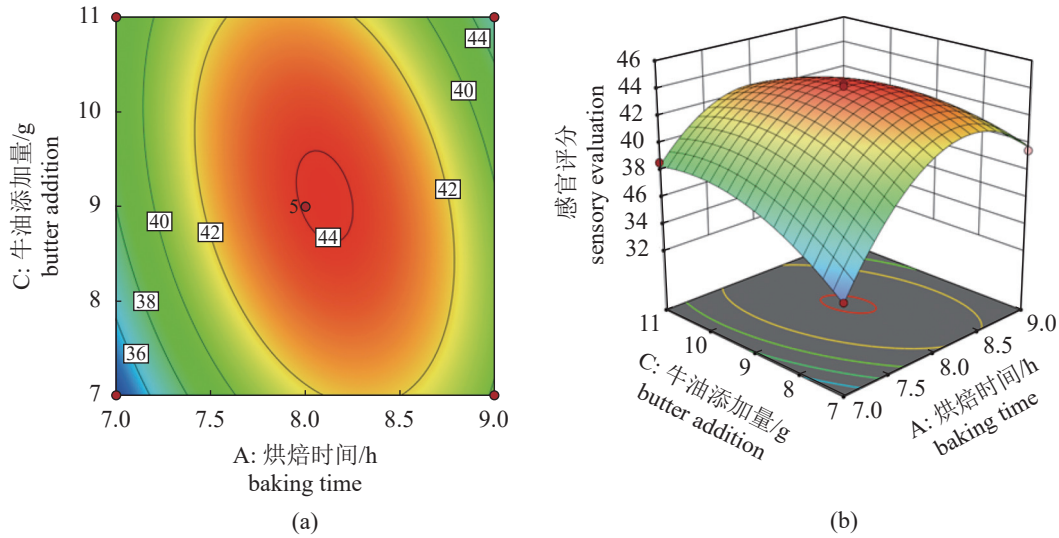


图 8 烘焙时间和牛油添加量交互作用及等高线图

Fig. 8 Interaction and contour map of baking time and butter addition

表 7 不同品牌猫粮的营养成分

Tab. 7 Basic nutritional components of different brands of cat food

猫粮编号 cat food no.	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude lipid	粗灰分 crude ash	粗纤维 crude fiber	水分 moisture
Z	48.63±0.24 ^a	15.20±0.13 ^d	4.11±0.18 ^d	4.51±0.16 ^a	4.86±0.76 ^b
P	31.34±0.48 ^c	12.56±0.22 ^c	7.47±0.17 ^b	3.65±0.11 ^b	4.83±0.13 ^b
D	40.30±0.22 ^d	19.76±0.21 ^c	6.64±0.13 ^c	1.64±0.19 ^d	2.76±0.05 ^c
GB/T 31217—2014 全价宠物食品 猫粮 ^[8] GB/T 31217—2014 Complete pet food-Cat food	≥25.0	≥9.00	≤10.00	≤9.00	<14.00

注: Z. 自制猫粮, P. 挤压膨化猫粮, D. 低温烘焙猫粮; 不同小写字母表示不同猫粮之间有显著差异(P<0.05), 下同。

Notes: Z. homemade cat food, P. extruded puffed cat food, D. low temperature baked cat food; different lowercase letters indicate significant differences between cat foods (P<0.05), the same below.

表 8 不同品牌猫粮的采食情况

Tab. 8 Food intake of different brands of cats

实验猫编号 cat no.	单碗实验/g single bowl experimen			双碗实验 double bowl experiment	
	Z	P	D	Z和P	Z和D
1	144.69±0.68 ^c	193.95±0.70 ^a	168.90±0.24 ^b	P	Z
2	104.43±0.57 ^c	107.46±0.41 ^b	155.52±0.31 ^a	P	D
3	189.86±0.82 ^b	155.70±0.32 ^c	206.46±0.45 ^a	Z	D
4	80.11±0.11 ^c	127.87±0.21 ^a	106.2±0.75 ^b	P	D
5	160.38±0.31 ^a	142.61±0.51 ^c	156.93±0.27 ^b	Z	Z
6	141.69±0.68 ^a	123.95±0.14 ^b	122.4±0.57 ^c	Z	Z
采食率/% intake rate	45.62±0.58 ^c	47.31±0.35 ^b	50.91±0.83 ^a		
首选率/% preference rate				50	50

在烘焙 9 h 处取得最高分, 但随之而来的是质地和外形评分的下降, 所以最适烘焙时间为 8 h (图 2)。此外, 猫是严格的肉食动物^[27], 它们倾

向于食用富含蛋白质、适量脂肪和极少碳水化合物的食物, 淀粉作为碳水化合物不是猫必需的营养素^[28], 猫对淀粉的消化率低^[29]。而马铃

薯淀粉可以吸取并固定水分, 与肉糜混合后可以起到黏着和保水的作用, 改善肉制品的组织状态, 使猫粮颗粒表面光滑^[30], 最适添加量为 3 g (图 3)。其次, 牛油是一种稳定的动物脂肪, 与鸡油相比, 它具有独特的香味, 使其更受猫的喜爱^[31], 其最适宜的添加量为 9 g (图 4)。肌浆蛋白添加量为 40% 的猫粮质地酥脆, 鱼香味浓郁而不刺鼻, 其色泽呈黄褐色且分布均匀, 各项评价指标均高于其他组。因为回收的肌浆蛋白不易形成凝胶或者聚集黏合, 对鸡肉糜起到了分散作用, 使猫粮原料肉糜组织不紧密, 导致添加 40% 肌浆蛋白的低温烘焙猫粮的质地较酥脆, 所以肌浆蛋白最优添加量在 30% 左右 (图 5)。

通过回归模型预测出的制作猫粮工艺最优配方为烘焙温度 80 °C、烘焙时间 8.07 h、肌浆蛋白添加量 32.64%、牛油添加量 9.22 g, 感官评分为 44.10。以此配方进行 3 次重复验证实验, 得到实际感官评分为 44.25 分, 与理论值接近, 最终产品呈棕褐色、颜色均匀, 软硬适中, 具有一股诱人的鸡肉香和鱼香混合风味。

3.3 自制猫粮的应用

猫粮营养成分分析中, 3 款猫粮的营养成分指标均符合《GB/T 31217—2014 全价宠物食品 猫粮》^[15] 的规定, 能够为宠物猫的日常活动和生长发育提供足够的能量。Z 的粗蛋白含量最高 (48.63%) (表 7), 显著高于 2 款市售猫粮的粗蛋白含量。此外, Z 的粗脂肪含量为 15.20%, 营养丰富, 设计较合理, 适合对营养要求高且没有增肥要求的宠物猫。

猫粮采食方面, Z 的采食率最低, 原因可能是 Z 采用基础配方, 只选用鸡肉和肌浆蛋白作为蛋白质来源, 而商品猫粮采用优化配方且含有多种猫喜欢的动物肌肉 (鸭肉、三文鱼、金枪鱼) 和添加剂。除此之外, 自主研发猫粮手工制作的方式劣于工厂机械化生产也是导致采食率偏低的原因之一。

双碗实验和单碗实验中, 肌浆蛋白对猫具有一定的吸引力。因为 6 只猫对 Z 和 P、D 的选择数量相同 (表 8), 更喜爱 P、D 的猫食用 P、D 的欲望比更喜爱 Z 的猫食用 Z 的欲望更强, 摄食更多。偏爱的选择和喜爱的采食量结果可以不统一, 因为偏爱通常是动物通过食物气味

和外观做出的选择, 而喜爱程度则是由食物的质地、味道以及采食后的身体反馈决定的^[32]。其中 P 和 D 还添加了含有酵母水解物和饲料调味料的风味诱食剂, 而自制猫粮 Z 因含有鱼肌浆蛋白, 自带鱼腥味, 对猫具有诱食作用, 是一种天然诱食剂, 从而优于市售的猫粮。

采食率的结果和感官评分的结果非常相似, 但不完全一致。差异在于 Z 的评分相对较高, 而实际的采食情况为 P 较高。由于人和宠物对食物的感知不同, 从而导致感官评分和适口性实验的结果有差异。但人类的感官评价在快速筛选优质宠物食品方面具有高效、低成本、反馈信息清晰等优势。

胃蛋白酶消化率一定程度上可以反映胃肠道对营养物质消化与吸收的状况^[33]。Z 中富含易消化吸收的动物蛋白, 故消化率最高, 因为 P 配方中含有部分植物蛋白, 以及膨化工艺的高温导致蛋白质交联, 因此 P 的胃蛋白酶消化率偏低。

综上, 鲢肌浆蛋白氨基酸组成丰富, 含量高, 尤其是赖氨酸 (7.21 g/100 g) 和呈鲜味的谷氨酸 (9.59 g/100 g)、天冬氨酸 (9.22 g/100 g); 具有鱼腥味的壬醛 (24 640) 和辛醛 (1 514) 的气味活度值高, 对猫粮整体风味贡献大。采用单因素实验结合正交实验对鲢肌浆蛋白制作宠物猫粮的工艺进行优化, 每 100 g 猫粮最佳工艺条件为: 肌浆蛋白添加量 22.85 g、牛油添加量 9.22 g、烘焙时间 8.07 h、烘焙温度 80 °C。该参数下得到的产品呈棕褐色、颜色均匀、软硬适中, 具有一股诱人的鸡肉香和鱼香混合风味, 起到很好的诱食效果; 对比分析自制猫粮和市售的两款质量高的挤压膨化和低温烘焙猫粮的营养成分、适口性、胃蛋白酶消化率的优劣, 发现自制的低温烘焙猫粮的营养成分与市场上品质好的猫粮相当, 完全符合国家标准, 并且具有良好的适口性和较高的胃蛋白酶消化率 (94.07%)。本研究为鱼肌浆蛋白的高价值利用和宠物食品的生产加工提供了新的思路和实例参考。

参考文献 (References):

- [1] 魏琦麟, 向荣, 康桦华, 等. 宠物食品研究进展 [J]. 广东畜牧兽医科技, 2022, 47(3): 13-19, 25.

- Wei Q L, Xiang R, Kang H H, *et al.* Advance in pet food research[J]. *Guangdong Journal of Animal and Veterinary Science*, 2022, 47(3): 13-19,25 (in Chinese).
- [2] Jamieson B L, Gagnon G A, Gonçalves A A. Physicochemical characterization of Atlantic Canadian seafood processing plant effluent[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, 116(1-2): 137-142.
- [3] Warren D, Paker I, Jaczynski J, *et al.* Nutritional quality and physical characteristics of soluble proteins recovered from silver carp[J]. *Journal of Food Science*, 2018, 83(7): 1970-1979.
- [4] 周文燕, 黄琪琳, 翁武银. 盐酸-壳聚糖絮凝耦合处理回收鲢鱼糜漂洗液中的肌浆蛋白 [J]. *华中农业大学学报*, 2021, 40(3): 264-270.
- Zhou W Y, Huang Q L, Weng W Y. Hydrochloric acid-chitosan flocculation coupling treatment for recovery of sarcoplasmic protein from surimi rinsing solution of silver carp[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2021, 40(3): 264-270 (in Chinese).
- [5] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of PRC, China Food and Drug Administration. National standard for food safety determination of amino acids in food: GB 5009.124-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [6] Teranishi R, Bותרry R G, Shahidi F. Flavor chemistry trends and developments[M]. Washington: ACS, 1989.
- [7] 黄晶晶, 张慧敏, 赵丽媛, 等. 酵母葡聚糖的前处理及其对白鲢鱼肉的去腥效果 [J]. *食品科学*, 2020, 41(20): 54-60.
- Huang J J, Zhang H M, Zhao L Y, *et al.* Yeast glucan pretreatment and its deodorization effect for silver carp mince[J]. *Food Science*, 2020, 41(20): 54-60 (in Chinese).
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 全价宠物食品 猫粮: GB/T 31217—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Complete pet food, cat food: GB/T 31217-2014[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014 (in Chinese).
- [9] 陈雪梅. 啤酒废酵母制备犬粮诱食剂的研究及其应用 [D]. 无锡: 江南大学, 2015.
- Chen X M. Research and application of preparing dog food attractant by waste beer yeast[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015 (in Chinese).
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 饲料中水分的测定: GB/T 6435—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of moisture in feedstuffs: GB/T 6435-2014[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015 (in Chinese).
- [11] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 饲料中粗蛋白的测定 凯氏定氮法: GB/T 6432—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- State Administration of Market Supervision and Administration of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of crude protein in feeds Kjeldahl method: GB/T 6432-2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018 (in Chinese).
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 饲料中粗脂肪的测定: GB/T 6433—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of crude lipid in feeds: GB/T 6433-2006[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006 (in Chinese).
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 饲料中粗灰分的测定: GB/T 6438—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Animal feeding stuffs—Determination of crude ash: GB/T 6438-2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007 (in Chinese).
- [14] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 饲料中粗纤维的含量测定: GB/T 6434—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- State Administration of Market Supervision and Administration of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of crude fiber content in feeds: GB/T 6434-2022[S]. Beijing: Standards Press of China, 2022 (in Chinese).
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 动物性蛋白质饲料胃蛋白酶消化率的测定 过滤法: GB/T 17811—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of crude fiber content in feeds: GB/T 6434-2022[S]. Beijing: Standards Press of China, 2022 (in Chinese).

- tion of pepsin digestibility of animal protein feeds Filtration method: GB/T 17811-2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008 (in Chinese).
- [16] 张筱悦. 鱼肉是最高级的肉 [J]. 工友, 2021(4): 60-61.
Zhang X Y. Fish is the highest grade of meat[J]. Gongyou, 2021(4): 60-61 (in Chinese).
- [17] Lee Y L, Jian S Y, Mau J L. Composition and non-volatile taste components of *Hypisizigus marmoratus*[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2009, 42(2): 594-598.
- [18] 安朝丽, 钱磊, 姜迎迎, 等. 不同干燥方式对滑子蘑滋味物质的影响 [J]. 保鲜与加工, 2022, 22(10): 69-75.
An C L M, Qian L, Jiang Y Y, *et al.* Effects of different drying methods on the taste substances of *Pholiota microspora*[J]. *Storage and Process*, 2022, 22(10): 69-75 (in Chinese).
- [19] 段鹏杰. 日粮添加谷氨酸渣对秦川肉牛生长发育、肉质性状及养殖效益的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
Duan P J. Effects of dietary supplementation glutamic acid residue on growth, meat quality and breeding benefits in Qin-chuan beef cattle[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2017 (in Chinese).
- [20] 赵叶, 周小秋, 胡肆, 等. 饲料中添加谷氨酸对生长中期草鱼肌肉品质的影响 [J]. *动物营养学报*, 2014, 26(11): 3452-3460.
Zhao Y, Zhou X Q, Hu Y, *et al.* Effects of dietary glutamate on muscle quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) during middle growth period[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(11): 3452-3460 (in Chinese).
- [21] 徐咏菁, 陈文字初, 田方, 等. 不同提取方式下小黄鱼下脚料粗鱼油脂脂肪酸组成及挥发性风味成分的变化 [J]. *现代食品科技*, 2023, 39(11): 253-262.
Xu Y J, Chen W Y C, Tian F, *et al.* Effects of different extraction methods on fatty acid composition and volatile flavor components of crude fish oil from *Larimichthys polyactis* scraps[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2023, 39(11): 253-262 (in Chinese).
- [22] Williamson R, Field J G, Shillington F A, *et al.* A Bayesian approach for estimating vertical chlorophyll profiles from satellite remote sensing: proof-of-concept[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2011, 68(4): 792-799.
- [23] 秦旭晨, 马占胜, 雷玉娟. 壳聚糖在饮料澄清及抗性提升中的应用研究进展 [J]. *食品与发酵工业*, 2024, 50(11): 389-395.
Qin X C, Ma Z S, Lei Y J. Application research of chitosan in clarifying and improving antibacterial and antioxidant properties of beverage[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2024, 50(11): 389-395 (in Chinese).
- [24] Frauendorfer F, Schieberle P. Identification of the key aroma compounds in cocoa powder based on molecular sensory correlations[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(15): 5521-5529.
- [25] 赵洪雷, 孟德飞, 徐永霞, 等. 鲑鱼热风干燥动力学及品质变化研究 [J]. *包装与食品机械*, 2022, 40(6): 8-14.
Zhao H L, Meng D F, Xu Y X, *et al.* Study on hot air drying kinetics and quality changes of *Scomber japonicus*[J]. *Packaging and Food Machinery*, 2022, 40(6): 8-14 (in Chinese).
- [26] Montegiove N, Calzoni E, Cesaretti A, *et al.* The hard choice about dry pet food: comparison of protein and lipid nutritional qualities and digestibility of three different chicken-based formulations[J]. *Animals*, 2022, 12(12): 1538.
- [27] Zaghini G, Biagi G. Nutritional peculiarities and diet palatability in the cat[J]. *Veterinary Research Communications*, 2005, 29(2): 39-44.
- [28] Alvarenga I C, Aldrich C G. Starch characterization of commercial extruded dry pet foods[J]. *Translational Animal Science*, 2020, 4(2): 1017-1022.
- [29] Zoran D L. The carnivore connection to nutrition in cats[J]. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 2002, 221(11): 1559-1567.
- [30] 柳诚刚, 孙鹤, 王晓冬, 等. 速冻莲藕鸡肉丸子的研制 [J]. *肉类工业*, 2022(12): 9-13.
Liu C G, Sun H, Wang X D, *et al.* Development of quick-frozen lotus root chicken meatballs[J]. *Meat Industry*, 2022(12): 9-13 (in Chinese).
- [31] Kane E, Morris J G, Rogers Q R. Acceptability and digestibility by adult cats of diets made with various sources and levels of fat[J]. *Journal of Animal Science*, 1981, 53(6): 1516-1523.
- [32] Pickering G J. Optimizing the sensory characteristics and acceptance of canned cat food: use of a human taste panel[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2009, 93(1): 52-60.
- [33] 傅曼琴, 肖更生, 吴继军, 等. 广陈皮促消化功能物质基础的研究 [J]. *中国食品学报*, 2018, 18(1): 56-64.
Fu M Q, Xiao G S, Wu J J, *et al.* Studies on chemical basis of digestion promoting function of Guang Chenpi (*Citrus reticulata* Pericarpium)[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, 18(1): 56-64 (in Chinese).

Fish sarcoplasmic protein replaces chicken protein to make a naturally enticing and digestible cat food

KANG Ningzhe^{1,2}, LONG Siyu^{1,2}, HE Yiyuan³, HUANG Qilin^{1,2*}

1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. National R & D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing (Wuhan), Wuhan 430070, China;

3. Wuhan Optical Valley No.2 Senior High School, Wuhan 430070, China

Abstract: For global net-zero targets, recycling of sarcoplasmic proteins from the surimi processing industry, which are typically considered biomass waste, can promote green and low-carbon processing of surimi and achieve energy conservation and emission reduction. This study investigates the effects of replacing chicken protein with silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) sarcoplasmic protein in cat food on the feeding behavior and evaluates its digestibility. In this research, *H. molitrix* sarcoplasmic proteins were recovered using pH-shifting and chitosan-flocculation methods analyzed for amino acid composition and flavor. These proteins were then used as a substitute for chicken breast, combined with butter and other excipients to formulate cat food. Single-factor experiments were conducted using baking time, baking temperature, potato starch addition, *H. molitrix* sarcoplasmic protein addition, and butter addition to score the finished products. Response surface methodology was employed to determine the optimal process conditions for cat food production. Finally, the basic nutritional composition, palatability, and pepsin digestibility of the sarcoplasmic protein-enriched cat food were compared with two commercially available extruded puffed and low-temperature baked cat foods that have high sales volumes and positive ratings. The results showed the optimal process conditions for 100 g of cat food were as follows: *H. molitrix* sarcoplasmic protein addition of 22.85 g, baking temperature of 80 °C, baking time of 8.07 h, butter addition of 9.22 g. *H. molitrix* sarcoplasmic proteins were found to be rich in amino acids, particularly lysine (7.21 g/100 g). They also contained high levels of flavour-enhancing amino acids, such as glutamic acid (9.59 g/100 g) and aspartic acid (9.22 g/100 g), with taste activity values of 959.00 and 307.33, respectively. Additionally, high odour activity values of nonanal (24 640) and octanal (1 514), which impart a fishy flavour, significantly contributed to the overall flavour of the cat food, making it highly attractive to cats and serving as a natural food attractant. The study demonstrated that *H. molitrix* sarcoplasmic protein can effectively replace chicken protein. Moreover, the digestibility of cat food enriched with sarcoplasmic protein 94.07%, which was higher than that of the two commercial cat foods tested. This ingredient that *H. molitrix* sarcoplasmic protein is an ideal protein ingredient for replacing chicken in cat food preparation. This research provides a valuable reference for the application of *H. molitrix* sarcoplasmic proteins in pet food.

Key words: *Hypophthalmichthys molitrix*; sarcoplasmic protein; response surface methodology; cat food; attract food; sensory evaluation

Corresponding author: HUANG Qilin. E-mail: hql@mail.hzau.edu.cn

Funding projects: China Agriculture Research System of MOF and MARA (CARS-45-28)