贻贝粉替代鱼粉对中华田园猫幼猫的饲用价值评估

胡 斌[1], 成慧中[1], 王秉利[1], 李 壮[1], 吴 君[1], 张媛媛[1], 张延华[1], 马国红[1], 冒树泉[1], 许 鹏[1], 张守都[2], 王晓通[3]

(1. 山东省淡水渔业研究院, 山东 济南 250013; 2. 山东省海洋科学研究院(青岛国家海洋科学研究中心), 山东 青岛 266104; 3. 鲁东大学水产学院, 山东 烟台 264025)

摘要: 本文旨在研究饲料中贻贝粉替代鱼粉对中华田园猫幼猫生长、血液生化和机体抗氧化作用的影响。选取 12 只 6~10 月龄健康且体重相近的幼猫, 随机分为商品料对照组(C1 组)、鱼粉基础对照组(C2 组)和贻贝粉替代实验组(T 组), 每组 4 只。3 组幼猫给予相同的条件饲养 30 d, 实验结束测定总饲料消耗量、生理指标和血液指标。结果显示, 贻贝粉替代鱼粉对幼猫生长性能无显著影响(P>0.05)。T 组幼猫对蛋白质和脂肪的表观消化率优于对照组。T 组幼猫血清谷丙转氨酶(ALT)显著升高(P<0.05), 谷草转氨酶(AST)活性及 AST/ALT 比值与对照组无显著变化; 血糖(Glu)、胆固醇(T-CHO)和甘油三酯(TG)显著降低(P<0.05); 总蛋白(TP)与 C2 组相当但显著高于 C1 组(P<0.05), 白蛋白(ALB)降低而球蛋白(GLB)升高(P<0.05), 致 ALB/GLB 比值显著下降(P<0.05)。3 组间的总抗氧化能力(T-AOC)、总超氧化物歧化酶(T-SOD)和丙二醛(MDA)指标均无显著差异(P>0.05)。研究表明, 贻贝粉替代鱼粉对幼猫生长性能、血液指标等无显著影响, 虽可致轻度肝细胞受损, 但未造成实质性肝损伤, 同时降低了肝脏脂质过氧化水平, 增强了机体抗氧化能力, 是具有替代鱼粉潜力的理想蛋白源。

关键词: 贻贝粉; 中华田园猫; 生长性能; 血液生化; 抗氧化能力

中图分类号: S986.5 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-3096(2025)7-0092-11

DOI: 10.11759/hykx20250710002

贻贝(*Mytilidae*)属软体动物门瓣鳃纲异柱目, 俗称“海虹”“淡菜”, 是我国重要的养殖贝类, 广泛分布于沿海潮间带, 具有极强的环境适应性和养殖可行性, 在我国山东、辽宁等沿海省份已形成规模化养殖, 因资源量丰富, 市场价格一直走低。贻贝含有蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素、氨基酸和微量元素等各种营养成分, 其中蛋白质质量分数达 15.82 g/100 g(鲜质量), 脂肪质量分数 6.08 g/100 g, 其中 n-3 系列多不饱和脂肪酸质量分数达 31.65%, 尤以二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)为主, 是一种具有高蛋白低脂肪、营养均衡等特性的水产品资源[1-2]。

近年来, 宠物经济蓬勃发展, 宠物猫作为一种热门宠物, 其饲养量快速增长。据统计数据显示, 2023 年我国城镇宠物猫饲养量已达 6 980 万只[3], 直接推动对高品质猫粮的需求。然而, 当前商业猫粮普遍存在蛋白质来源单一、鱼粉依赖度高等问题, 加之优质蛋白源鱼粉资源日益紧缺, 亟需开发可持续的替代蛋白源[4-5]。海洋生物资源因其高生物活性与天然性, 成为重要的蛋白质来源替代选择。已有研究表明, 除传统鱼类原料外, 鱿鱼粉[6]、南极磷虾[7]、贻贝[8]、藻类[9]等多种海洋生物资源已作为优质蛋白质来源应用于猫饲料中, 表现出了较高的氨基酸消化率。其中, 贻贝因其资源丰富、养殖产量高、价格低廉等优势成为重要的蛋白质来源替代选择, 但其在宠物饲料中的应用潜力尚未充分挖掘。本研究首次系统评估了贻贝粉替代鱼粉应用于宠物饲料中对幼猫生长、血液生化及抗氧化作用的综合影响, 为低价

收稿日期: 2025-05-10; 修回日期: 2025-06-13

基金项目: 山东省泰山学者专项资金(tstp20240518); 山东省现代农业产业技术体系(SDAIT-14-01); 山东省淡水渔业研究院科研创新人才基金项目(DSY2025KC02)

[Foundation: Taishan Scholars Special Funds of Shandong Province, No. tstp20240518; Modern Agricultural Industry Technology System of Shandong Province, No. SDAIT-14-01; Scientific Research and Innovation Talent Fund Project of Shandong Freshwater Fisheries Research Institute, No. DSY2025KC02]

作者简介: 胡斌(1980—), 男, 山东威海人, 副研究员, 硕士, 研究方向为动物营养与饲料科学, E-mail: b-hu@163.com; 张守都(1984—), 通信作者, 男, 山东日照人, 副研究员, 博士, 研究方向为海洋生物种质资源研究, E-mail: shouduzhang@163.com; 王晓通(1979—), 通信作者, 男, 山东莱州人, 教授, 博士, 研究方向为海洋生物资源开发与利用, E-mail: wangxiaotong999@163.com

贝类高值化利用提供理论依据，同时为宠物饲料的可持续发展提供新思路。

1 材料与方法

1.1 实验动物及饲养管理

选择12只6~10月龄中华田园猫幼猫，平均体重为(560±50) g，已完成驱虫与免疫接种，健康状况良好，无药物使用记录，且未处于疫苗接种、驱虫干预、疾病治疗或康复等特殊时期，均于相同条件下饲养。根据体重随机将实验幼猫分为商品料对照组(C1组)、鱼粉基础对照组(C2 组)和贻贝粉替代实验组(T组)，每组 4 只。实验期为 30 d。

实验期间幼猫每日 2 次饱食投喂及充足洁净饮水，每只幼猫单笼饲养，有独立的活动空间，每日清理排泄物，保持笼内的清洁卫生，定期消杀外界环境，防止疫病感染。

1.2 实验饲料

T 组日常主粮为贻贝贝肉粉替代鱼粉、贝壳粉替代磷酸二氢钙的自制猫粮，C1 组日常主粮为全价幼猫猫粮(上海宠嘉宠物用品有限公司出品)，C2 组日常主粮为鱼粉基础饲料。3 组饲料组成与常规营养成分见表 1。T 组的自制猫粮中添加的贻贝粉原料为贻贝，采集自中国山东日照近海海域(经纬度：36°N, 119°E)。贻贝原料经筛选、分离冲洗、蒸汽熟化、去壳分离等步骤处理，制备成贝肉粉(40 目)、贝壳粉(80目)备用。T 组和 C2 组自制猫粮的制备是将各种原料预先粉碎然后经过 40 目筛，与贝肉粉、贝壳粉或鱼粉经逐级放大法混匀[10-11]，搅拌机加水搅拌，单螺杆挤压制粒机制成 2 mm 直径颗粒，平铺于 105 ℃烘箱中熟化 30 min，于阴凉处风干，分装于密封袋中，置于−20 ℃冰箱待用。3 组饲料的氨基酸和脂肪酸种类与质量分数见表 2 和表 3。

表 1 实验用 3 种不同猫粮原料组成与常规营养成分(%, 湿重)
Tab. 1 Composition of the raw material and the three basal diets (%, wet weight)

项目	组别		
	C1	C2	T
原料组成			
玉米	-	15	15
大米	-	15	15
小麦 1	-	3	3
鸡肉粉	-	20	20
牛肉骨粉	-	10	10
甜菜粕	-	3	3
动物油脂 2	-	9	9
豆粕	0	14	14
鱼粉	⩾10	10	0
磷酸二氢钙	0	1	0
贻贝肉粉	0	0	10
贻贝贝壳粉	0	0	1
营养成分			
水分	5.1	5.5	6.1
粗蛋白	32	32.41	34.78
粗脂肪	15.7	18.7	18.6
盐酸不溶灰分	0.6	0.4	0.2
粗灰分	8.7	10.0	8.5
牛磺酸/(mg·kg^{-1})	459.40	874.57	358.74

注：上标“1”, C1 组添加小麦粉, T 组和 C2 组添加麸皮；上标“2”, C1 组添加鸡油, T 组和 C2 组添加鱿鱼油；“-”标注为未知质量分数

表 2　实验用 3 种不同猫粮中的氨基酸种类及质量分数(%, 湿质量)
Tab. 2　Types and contents of amino acids in the three basal diets (%, wet weight)

项目	组别		
	C1	C2	T
组氨酸 His*	0.44	0.73	0.73
精氨酸 Arg	1.22	2.09	2.13
天冬氨酸 Asp#	1.54	2.73	2.76
赖氨酸 Lys*	1.09	1.88	1.95
丝氨酸 Ser#	0.91	1.30	1.27
谷氨酸 Glu#	3.29	4.41	4.24
甘氨酸 Gly#	1.66	2.41	2.32
蛋氨酸 Met*	0.33	0.44	0.49
亮氨酸 Leu*	1.93	2.37	2.33
苯丙氨酸 Phe*	0.96	1.42	1.38
苏氨酸 Thr*	0.76	1.22	1.24
脯氨酸 Pro#	1.75	1.91	1.79
丙氨酸 Ala#	1.50	2.01	1.88
缬氨酸 Val*	1.15	1.69	1.68
异亮氨酸 Ile*	0.72	1.24	1.25
胱氨酸 Cys#	0.18	0.25	0.25
酪氨酸 Tyr	0.55	0.79	0.81
必需氨基酸 EAA	7.38	10.99	11.05
非必需氨基酸 NEAA	10.83	15.02	14.51
总氨基酸 TAA	19.98	28.89	28.50
EAA/TAA	37	38	39
EAA/NEAA	68	73	76

*为必需氨基酸，#为非必需氨基酸

表 3　实验用 3 种不同猫粮中的脂肪酸质量分数(%, 湿质量)
Tab. 3　Fatty acid contents of the three experimental feeds (%, wet weight)

项目	组别		
	C1	C2	T
C14: 0	0.07	0.21	0.23
C15: 0	0.01	0.03	0.03
C16: 0	2.37	2.08	2.05
C17: 0	0.03	0.05	0.04
C18: 0	0.96	0.75	0.71
C20: 0	0.03	0.04	0.03
C21: 0	–	–	0.02
C22: 0	0.01	0.02	0.02
C24: 0	0.03	0.03	0.03
∑SFA	3.51	3.21	3.16
C16: 1	0.23	0.36	0.39
C20: 1	0.05	0.32	0.32

续表

项目	组别		
	C1	C2	T
C24: 1	0.01	0.08	0.07
C18: 1(*n*-9c)	4.03	2.67	2.53
C22: 1(*n*-9)	–	0.08	0.07
∑MUFA	4.32	3.51	3.38
C18: 2(*n*-6c)	2.23	1.81	1.72
C18: 3(*n*-3)	0.09	0.16	0.16
C20: 2	0.01	0.04	0.04
C20: 3(*n*-3)	–	0.02	0.02
C20: 3(*n*-6)	0.01	0.01	0.01
C20: 4(*n*-6)	0.04	0.45	0.40
C20: 5*n*-3(EPA)	0.01	0.67	0.72
C22: 6*n*-3(DHA)	0.01	1.36	1.38
∑PUFA	2.4	4.52	4.45
∑PUFA(*n*-3)	0.11	2.21	2.28
∑PUFA(*n*-6)	2.28	2.27	2.13
DHA/EPA	1.00	2.03	1.92
脂肪酸总量	10.23	11.24	10.99

1.3 指标测定方法

1.3.1 饲粮养分质量分数

饲粮中粗蛋白质(CP)、粗脂肪(EE)、粗灰分、水分、氨基酸和脂肪酸质量分数均依据国家标准方法测定，具体参照 GB/T6432—2018、GB/T6433—2006、GB/T6438—2007、GB/T6435—2014、GB/T18246—2019 和 GB/T21514—2008 执行。

1.3.2 生长指标与饲料指标

于实验的第 0 d 和 30 d 进行幼猫空腹称重，记录初始体质量、终末体质量和饲料消耗量，计算增重率(weight growth rate, R_{WG})、特定生长率(specific growth rate, R_{SG})和饲料系数(feed conversion ratio, R_{FC})；并于第 30 d 收集幼猫粪便，测定粪便中的粗蛋白和粗脂肪，计算饲料营养物质的表观消化率(apparent digestibility, R_{AD})。

$$R_{WG}(\%) = (W_t - W_0)/W_0 \times 100\% \quad (1)$$

$$R_{SG}(\%/d) = (\ln W_t - \ln W_0)/T \times 100\% \quad (2)$$

$$E_{FC}(\%) = C/ (W_t - W_0) \times 100\% \quad (3)$$

$$R_{AD}(\%) = [(I - F) / I] \times 100\% \quad (4)$$

上列式中，W_0 表示初始体质量(g)，W_t 表示终末体质量(g)；T 为饲养天数(d)；C 表示实验期间的总摄食量(g)；I 表示摄入的某养分总量(g)，F 表示粪便中检测的同种养分的总量(g)。

1.3.3 血液采集与血液指标

实验结束后，对所有实验猫进行空腹静脉采血。在幼猫的腿静脉或颈静脉处采血 2 mL，转移至离心管静置 1 h 后分离血清。经 3 000 r/min 离心 15 min 后，移液枪吸取上清液，并置于−20 ℃冷冻保存备用。血清生化指标采用迈瑞全自动血液生化分析仪(BS-430)检测，测定指标包括：甘油三酯(triglycerides, TG)、总胆固醇(total cholesterol, T-CHO)、总蛋白(total proteins, TP)、白蛋白(albumin, ALB)、球蛋白(Globulin, GLB)、葡萄糖(glucose, Glu)水平，以及谷草转氨酶(aspartate aminotransferase, AST)、谷丙转氨酶(alanine aminotransferase, ALT)和碱性磷酸酶(Alkaline Phosphatase, ALP)活性。血清抗氧化指标总抗氧化能力(total antioxidant capacity, T-AOC)、总超氧化物歧化酶(total superoxide dismutase, T-SOD)活性和丙二醛(malondialdehyde, MDA)水平，送样至青岛斯坦德标准检测有限公司检测。

1.3.4 实验数据处理

实验数据采用 SPSS17.0 统计软件进行分析，经单因素方差检验(one-way ANOVA)，Tukey’s 多重比较，显著性检验以 P<0.05 作为判定标准，数据采用“平均值±标准差(mean±S.D.)”表示。

2 结果与分析

2.1 实验用 3 种猫粮的常规营养、氨基酸和脂肪酸含量分析

实验用 3 种不同猫粮中的氨基酸种类及质量分数见表 2。结果显示, 3 种猫粮蛋白质质量分数均高于国标 GB/T31217—2014 规定的幼(年)猫粮粗蛋白质质量分数(≥28%)指标, 其中贻贝粉替代料蛋白质质量分数最高(34.78%)。经检测, 三种猫粮均含有 17 种氨基酸组分, 其中必需氨基酸 8 种(His、Thr、Val、Met、Ile、Leu、Phe 和 Lys), 非必需氨基酸 7 种(Asp、Glu、Gly、Pro、Ala、Ser 和 Cys)。贻贝粉替代料和鱼粉基础料的 EAA、TAA 质量分数接近, 均高于商品料。其中, 贻贝粉替代料的 EAA/TAA(39%)比例最高, 符合 FAO/WHO 推荐的标准蛋白质模式(36%)[10]。实验用 3 种猫粮的牛磺酸质量分数均达到国际权威机构NRC推荐量(≥0.04%), 但是低于国标 GB/T31217—2014 规定的幼猫猫粮牛磺酸质量分数(≥0.1%), 其中鱼粉基础料质量分数最高(874.57 mg/kg), 而贻贝粉替代料的牛磺酸质量分数最低(358.74 mg/kg)。

实验用 3 种不同猫粮中的脂肪酸质量分数见表 3。结果显示, 3 种猫粮的粗脂肪质量分数接近, 均高于国标值(≥9%), 且符合 AAFCO 推荐的幼猫猫粮粗脂肪质量分数(14%~20%)。贻贝粉替代料的总脂肪酸、SFA、MUFA 含量均接近鱼粉基础料, PUFA 质量分数明显高于商品料, 尤其是 *n*-3 系列, EPA(0.72%)、DHA(1.38%)、∑PUFA(*n*-3)(2.28%)均是 3 种猫粮中最高的。贻贝粉替代料和鱼粉基础料的 DHA/EPA 比值接近, 均符合 NRC 的推荐比例(≥2∶1), 贻贝粉替代料的∑PUFA(*n*-6)/∑PUFA(*n*-3)的比例是 93∶100, 符合 NRC 推荐比例(≤5∶1)。

2.2 贻贝粉替代鱼粉对幼猫生长性能的影响

贻贝粉替代鱼粉对幼猫生长性能的影响见表 4。根据终末体质量、增重率、特定生长率的结果发现, 3 个组的幼猫生长性能差异不显著(P>0.05)。C2 组饲料系数显著低于其他两组(P<0.05), T 组与 C1 组无显著差异(P>0.05)。3 个组幼猫的饲料消耗量和平均日采食量差异显著(P<0.05), T 组的饲料消耗量和平均日采食量最低。结果显示 C1 组表现出最高的诱食性, T 组最差。

表 4 贻贝粉替代鱼粉对幼猫生长性能的影响

Tab. 4 Effects of replacing fish meal with mussel meal on the growth performance of kittens

项目	组别		
	C1	C2	T
初始体质量/g	535.20±139.30	539.57±128.23	528.40±72.25
终末体质量/g	605.51±182.16	711.30±232.59	633.87±166.23
增重率/%	12.52±4.75	29.99±18.46	18.68±15.34
特定生长率/(%·d^{-1})	0.39±0.14	0.85±0.46	0.55±0.44
饲料消耗量/g	3 016.75±7.42^{a}	2837.83±2.47^{b}	2 652.20±2.92^{c}
饲料系数/%	3.79±0.14^{a}	3.09±0.21^{b}	3.98±0.19^{a}
平均日采食量/g	100.55±0.25^{a}	94.59±0.18^{b}	88.40±0.29^{c}

注: 同行数据右上方标注不同小写字母表示组间差异显著(P<0.05), 未标注字母或标注相同字母表示差异不显著(P>0.05)

贻贝粉替代鱼粉对幼猫营养表观消化率的影响见表 5。结果显示, T 组幼猫对蛋白质和脂肪的表观消化率最高(EE88.2%, CP87.7%), 优于其他两组。

表 5 贻贝粉替代鱼粉对幼猫营养表观消化率的影响

Tab. 5 Effects of replacing fish meal with mussel meal on the apparent digestibility of nutrients in kittens

项目	组别		
	C1	C2	T
粗脂肪/%	71.50	74.50	88.20
粗蛋白质/%	81.10	75.60	87.70
粗灰分/%	29.00	29.10	21.00

注: 同行数据右上方标注不同小写字母表示组间差异显著(P<0.05), 未标注字母或标注相同字母表示差异不显著(P>0.05)

2.3 贻贝粉替代鱼粉对幼猫血清生化指标的影响

贻贝粉替代鱼粉对幼猫血清生化指标的影响见表 6。结果显示, T 组幼猫血清中 ALT 显著升高(P<0.05), 但 AST 活性与 C1 组无显著差异(P>0.05), AST/ALT 比值接近 1.0, ALP 活性介于两个对照组之间, 与 C2 组无显著差异(P>0.05)。T 组幼猫血糖显著低于对照组(P<0.05), 而 TG 水平与 C2 组无显著差异(P>0.05), 均显著低于 C1 组(P<0.05), T-CHO 水平显著低于 C2 组(P<0.05)。T 组幼猫 TP 与 C2 组无显著

差异(P>0.05)，但均显著高于 C1 组(P<0.05)，ALB 与 C1 组无显著差异(P>0.05)，但均显著低于 C2 组(P<0.05)，GLB 显著高于对照组(P<0.05)，ALB/GLB 比值显著降低(P<0.05)。

表 6　贻贝粉替代鱼粉对幼猫血清生化指标的影响

Tab. 6　Effects of replacing fish meal with mussel meal on the serum biochemical parameters in kittens

项目	组别		
	C1	C2	T
谷草转氨酶/($U \cdot L^{-1}$)	18.38 ± 2.07^a	12.18±0.29^b	16.73±0.60^a
谷丙转氨酶/($U \cdot L^{-1}$)	9.88±2.83^a	12.38±0.82^a	15.95±0.69^b
碱性磷酸酶/($U \cdot L^{-1}$)	6.65±19.16^a	28.10±0.98^b	22.55±1.02^b
血糖/($mmol \cdot L^{-1}$)	3.41±0.11^a	2.34±0.02^b	1.85±0.04^c
甘油三酯/($mmol \cdot L^{-1}$)	0.17±0.03^a	0.13±0.01^b	0.16±0.01^b
胆固醇/($mmol \cdot L^{-1}$)	1.37±0.32^b	1.95±0.02^a	1.68±0.02^b
总蛋白/($g \cdot L^{-1}$)	27.68±2.92^b	32.50±0.37^a	33.60±0.13^a
白蛋白/($g \cdot L^{-1}$)	10.13±0.52^a	12.94±0.13^b	10.48±0.22^a
球蛋白/($g \cdot L^{-1}$)	17.55±2.42^a	19.56±0.49^a	23.13±0.17^b
谷草转氨酶/谷丙转氨酶	1.87±0.42^b	1.05±0.04^a	1.05±0.09^a
白蛋白/球蛋白	0.58±0.06^b	0.67±0.01^a	0.45±0.02^c

注：同行数据右上方标注不同小写字母表示组间差异显著(P<0.05)，未标注字母或标注相同字母表示差异不显著(P>0.05)

2.4　贻贝粉替代鱼粉对幼猫抗氧化能力的影响

贻贝粉替代鱼粉对幼猫血清抗氧化指标的影响见表 7。3 组间的 T-AOC、T-SOD 和 MDA 指标均无显著差异(P>0.05)，其中，T 组幼猫血清中的 T-SOD 水平最高，MDA 水平最低。

表 7　贻贝粉替代鱼粉对幼猫血清抗氧化指标的影响

Tab. 7　Effects of replacing fish meal with mussel meal on the serum antioxidant indices in kittens

项目	组别		
	C1	C2	T
总抗氧化能力/($\mu mol\ TE \cdot mL^{-1}$)	0.88 ± 0.03	0.99±0.03	0.87±0.12
总超氧化物歧化酶/($U \cdot mL^{-1}$)	1.24±0.03	1.55±0.33	1.67±0.27
丙二醛/($\mu mol \cdot L^{-1}$)	0.21±0.04	0.23±0.03	0.19±0.06

注：同行数据右上方标注不同小写字母表示组间差异显著(P<0.05)，未标注字母或标注相同字母表示差异不显著(P>0.05)

3　讨论

3.1　实验用 3 种猫粮的常规营养、氨基酸和脂肪酸质量分数分析

本实验中 3 种猫粮的常规营养与氨基酸分析结果表明，贻贝粉替代料的常规养分质量分数整体上与鱼粉基础料接近，粗蛋白质质量分数较高，提示贻贝粉替代料具有高蛋白、脂肪质量分数突出的营养特点。优质蛋白质饲料中氨基酸组成和比例是宠物营养需求和饲料配合的重要因素[12]。本实验中，贻贝粉替代料和鱼粉基础料的氨基酸种类相同，总氨基酸质量分数接近，且必需氨基酸/总氨基酸比例达到 FAO/WHO 标准模式中 36%的要求，说明贻贝粉替代料为优质蛋白质饲料。牛磺酸是猫的必需非蛋白质含硫氨基酸[13-14]，其在抗氧化、免疫调节、神经发育等方面有显著效果，对幼猫健康生长非常重要[15]。谭乐义等[16]研究表明，牛磺酸在贝类含量十分丰富，紫贻贝中牛磺酸质量分数可达 4 400 mg/kg。本实验中，贻贝粉替代料中的牛磺酸质量分数偏低，可能与贻贝中天然牛磺酸分布差异、所选贻贝原料牛磺酸质量分数低、贻贝粉加工过程中过度水洗或蒸煮时间过长，水溶性流失严重以及检测方法等多种原因所致。牛磺酸质量分数不足可能限制 T 组猫粮的全面营养价值，需要通过添加合成牛磺酸(食品级)，优化猫粮中氨基酸配比，平衡营养缺陷。

脂肪作为重要的能量来源，对幼猫的成长非常关键，尤其对猫毛的健康作用明显[17]。三种猫粮粗脂肪质

量分数均满足幼猫营养需求，且海洋来源的贻贝粉替代料与鱼粉料在脂肪酸组成上表现更优。DHA 和 EPA 对幼猫的大脑发育、预防心血管疾病以及改善猫毛状态等方面至关重要[18]。贻贝粉替代料中 DHA 和 EPA 质量分数均是 3 种猫粮中最高的，其 DHA/EPA 比例符合 NRC 推荐(⩾2∶1)，有助于幼猫神经发育[15]。∑PUFA(n-6)/∑PUFA(n-3)的比例是调控炎症、支持发育和维护代谢健康的核心杠杆[19]，NRC 建议猫粮中该比例控制在 5∶1 以内。贻贝粉替代料中和鱼粉基础料的比例接近，均符合推荐，而商品料中的比例达到 207∶10，明显偏高，可能会引发炎症出现泪目等症状[20]。

3.2 贻贝粉替代鱼粉对幼猫生长性能的影响

生长性能反映生物体在特定时期的发育速率及环境适应能力[21]。本实验结果显示，以贻贝粉替代鱼粉作为蛋白源对幼猫终末体重、增重率及特定生长率无显著影响(P>0.05)，表明贻贝蛋白在幼猫生长性能方面具有与鱼粉相当的营养潜力。然而，C2 组饲料系数显著低于 T 组(P<0.05)，可能与鱼粉较高的蛋白质消化率及较低的抗营养因子含量有关[22]。值得注意的是，T 组的饲料消耗量及平均日采食量显著低于其他两组(P<0.05)，提示适口性差异可能影响摄食行为[23]。商品料采用膨化制粒后喷涂动物油脂，并通过热加工过程的美拉德反应产生的挥发性风味物质(如醛类、羧酸类、酮类、呋喃类等)，对嗅觉刺激显著增强了诱食性[24]，而贻贝粉替代料因加工过程中未有效去除或掩盖其腥味物质，如三甲胺、二甲基硫化物[25]，导致幼猫采食意愿下降。此结果与谢广杰等[26]研究结论一致，提示贻贝蛋白饲料化应用需通过优化加工工艺，如酶解脱腥、风味包埋或添加诱食剂[27]改善其适口性。

3.3 贻贝粉替代鱼粉对幼猫血清生化指标的影响

血清生化指标是评估幼猫机体代谢功能及健康状况的关键生物学标志[28]。AST、ALT 主要分布于肝细胞内，是衡量肝功能的重要指标[29-31]。当肝细胞受损时，AST、ALT 大量进入血液中，可以检测到血清中转氨酶活力升高[32]。本实验结果显示，T 组幼猫血清中 ALT 活性显著升高(P<0.05)，而 AST 和 AST/ALT 比值与两对照组无显著差异(P>0.05)，提示贻贝蛋白可能引起轻度肝细胞受损[33]，但未造成实质性肝损伤，可能与贻贝粉高水平添加以及贻贝粉中高含量嘌呤[34]或金属元素蓄积有关[35-36]。血清中 TP、ALB 和 GLB 能够体现机体蛋白代谢和免疫功能的状况，而 Glu、TG 和 T-CHO 是衡量机体能量代谢和脂质代谢的重要指标[37-38]。本实验中，T 组 TP、ALB 与两对照组无显著差异(P>0.05)，但 GLB 显著升高(P<0.05)，提示 T 组幼猫基础蛋白质代谢维持稳定，但贻贝抗原成分可能刺激免疫球蛋白生成。T 组幼猫血糖显著降低(P<0.05)，可能与其碳水化合物含量较低或胰岛素敏感性改变相关[39]。TG 与 T-CHO 水平与两对照组无显著差异(P>0.05)，该结果与冯杨梦晓等[40]、符朋[7]关于海洋源性原料调节脂代谢的研究结论一致。综上，贻贝粉替代鱼粉可通过调节脂代谢改善幼猫血液健康指标，但其对肝功能及能量代谢的潜在影响需通过优化配方，如降低替代比例等加以控制，长期饲喂效应仍需深入探究。

3.4 贻贝粉替代鱼粉对幼猫抗氧化能力的影响

血清抗氧化指标是评估动物机体氧化-抗氧化平衡及代谢健康的关键参数之一[41]。T-SOD 是清除超氧阴离子自由基(O_2^-)的核心酶，其活性升高通常反映机体抗氧化防御能力的增强[42-43]。MDA 作为脂质过氧化终产物，其水平能够直接反映细胞膜氧化损伤程度[44]。T-AOC 综合反映机体中酶类与非酶类抗氧化系统的协同作用[45]。本研究中，贻贝粉替代鱼粉对幼猫血清 T-AOC、T-SOD 及 MDA 水平均未产生显著影响，其中 T-SOD 活性呈相对升高趋势，MDA 水平下降，表明贻贝蛋白作为替代蛋白源可维持幼猫体内氧化还原稳态，其作用可能通过特定抗氧化途径对幼猫肝脏代谢和细胞氧化还原稳态产生潜在益处。贻贝替代表现出积极的抗氧化趋势，可能与其天然成分具有独特的生物效应有关。贻贝富含牛磺酸、类胡萝卜素、多不饱和脂肪酸等天然活性物质[4]。邱小琮等[46]的研究表明，牛磺酸能够提高血清和肝脏中的溶菌酶活力、超氧化物歧化酶活力和过氧化氢酶活力，同时大幅度降低丙二醇的水平，最终增强机体的抗氧化能力，降低脂质过氧化作用。Hill 等[47]研究表明，n-3 多不饱和脂肪酸(如 DHA、EPA)本身具有清除自由基、提高机体抗氧化防御的能力，可通过抑制脂质过氧化链式反应，发挥保护作用。综上，贻贝粉替代鱼粉未显著影响幼猫血清抗氧化指标，但其天然抗氧化成分可能具有协同保护效应。后续研究可通过延长实验周期、增加样本量及检测组织氧化标志物，进一步探究贻贝蛋白对幼猫抗氧化功能的长期调控作用。

4 结论

本研究结果表明，贻贝蛋白可作为幼猫饲料中

鱼粉的可行替代蛋白源。其不仅可满足基本营养需求，更具备调节脂代谢与增强免疫应答的功能性功效。然而，为全面发挥其营养潜力并保障长期应用的安全性及有效性，需进一步通过配方优化、加工工艺改进及长期饲喂评估进行深入研究。

参考文献:

[1] 段伟文，罗伟，段振华，等．贻贝的加工利用研究进展[J]．渔业现代化, 2013, 40(3): 51-55.
DUAN Weiwen, LUO Wei, DUAN Zhenhua, et al. Advances on the research in the processing and exploitation of mussel[J]. Fishery Modernization, 2013, 40(3): 51-55.

[2] 刘志峰，李桂生．紫贻贝营养成分的分析及重金属的检测[J]．烟台大学学报(自然科学与工程版)，2002, 15(2): 147-150.
LIU Zhifeng, LI Guisheng. Effects of distinct feed categories on the growth performance of two Venerdia species[J]. Journal of Yantai University(Natural Science and Engineering Edition), 2002, 15(2): 147-150.

[3] 李冰，许西奎．宠物猫的日常管理和疾病预防[J]．中国畜牧业, 2024(18): 127-128.

[4] TACON A G, METIAN M. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects[J]. Aquaculture, 2008, 285(1/4): 146-158.

[5] 龙凡，肖俊，陈文静，等．动物性蛋白源在水产饲料中替代鱼粉的研究进展[J]．中国饲料, 2025(3): 106-115.
LONG Fan, XIAO Jun, CHEN Wenjing, et al. Research progress on replacement offish meal by animal protein sources in aquatic feed[J]. China Feed, 2025(3): 106-115.

[6] DENG P, UTTERBACK P L, PARSONS C M, et al. Chemical composition, truenutrient digestibility, and true metabolizable energy of novel pet food protein sources using the precision-fed cecectomized rooster assay[J]. Journal of Animal Science, 2016, 94(8): 3335-3342.

[7] 符鹏，岳华梅，阮瑞，等．南极磷虾粉替代鱼粉对雌性黄鳝生长及生殖性能的影响[J].水生生物学报，2023, 47(2): 249-256.
FU Peng, YUE Huamei, RUAN Rui, et al. Antarctic krill meal replacement of fish meal on growth performance and fecundity of female monopterus albus[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2023, 47(2): 249-256.

[8] EASON T C, ADAMS L S, PUDDICK J, et al. Greenshell™ mussels: a review of veterinary trials and future research directions[J]. Veterinary Sciences, 2018, 5(2): 36.

[9] 张乔儒，孙皓然，高祖儿，等．犬、猫蛋白质营养及蛋白质原料在宠物食品中的应用研究进展[J]．经济动物学报, 2025, 29(1): 21-29.
ZHANG Qiaoru, SUN Haoran, GAO Zuer, et al. Reviews of protein nutrition and ingredients in pet food for canine and feline[J]. Journal of Economic Animal, 2025, 29(1): 21-29.

[10] 邓锦红，谢翔宇，钟泳，等．以贝壳粉为钙源的复合氨基酸螯合钙制备工艺优化[J]．食品研究与开发, 2023, 44(8): 125-130.
DENG Jinhong, XIE Xiangyu, ZHONG Yong, et al. Preparation technology of compound amino acids chelated calcium with shell powder as calcium source[J]. Food Research and Development, 2023, 44(8): 125-130.

[11] 夏婷婷．小肽营养素幼猫粮的制备与应用[D]．烟台: 烟台大学, 2022.
XIA Tingting. Preparation and application of Minicpeptide nutrients in kitten food[D]. Yantai: Yantai University, 2022.

[12] 周根来，殷洁鑫，张鸿宇，等．大麦虫幼虫粉的营养成分分析[J]．饲料研究, 2023, 46(20): 120-123.
ZHOU Genlai, YIN Jiexin, ZHANG Hongyu, et al. Analysis of nutrient composition of *Zophobas morio* larva meal[J]. Feed Research, 2023, 46(20): 120-123.

[13] 谈嵩媛，胡深，周平，等．氨基酸分析仪测定猫粮中牛磺酸含量[J]．中南农业科技, 2022, 43(4): 30-32.

[14] 吴兴利，魏秀莲，李忠荣，等．牛磺酸在猫营养中的应用[J]．中国畜牧杂志, 2006(21): 45-47.
WU Xingli, WEI Xiulian, LI Zhongrong, et al. Application of taurine to feline nutrition[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2006(21): 45-47.

[15] 叶仕斌，邓近平，刘清神，等．牛磺酸营养研究进展及其在猫粮中的应用[J]．广东畜牧兽医科技，2021, 46(3): 21-26.

[16] 谭乐义，章超桦，薛长湖，等．牛磺酸的生物活性及其在海洋生物中的分布[J].湛江海洋大学学报，2000 (3): 75-79.

[17] 李邦玉，袁开洋．四种猫粮营养及理化安全指标分析[J]．山西化工, 2025, 45(1): 77-79.
LI Bangyu, YUAN Kaiyang, et al. Analysis of nutritional and physicochemical safety indexes of four kinds of cat food[J]. Shanxi Chemical Industry, 2025, 45(1): 77-79.

[18] MOLINO A, IOVINE A, CASELLA P, et al. Microalgae characterization for consolidated and new application in human food, animal feed and nutraceuticals[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2018, 15(11): 2436.

[19] 张伟敏，钟耕，王炜．单不饱和脂肪酸营养及其生理功能研究概况[J]．粮食与油脂, 2005(3): 13-15.
ZHANG Weimin, ZHONG Geng, WANG Wei, et al. Study survey of nutrition and biological function of MUFA[J]. Cereals & Oils, 2005(3): 13-15.

[20] 陈国，赵熠群，方明棵，等．我国鲜食猫粮的品质分析及评价标准探讨[J]．饲料博览, 2021(6): 37-44.

CHEN Guo, ZHAO Yiqun, FANG Mingke, et al. Discussion on quality analysis and evaluation standards of fresh cat feed in China[J]. Feed Review, 2021(6): 37-44.

[21] 庞垒, 徐静, 李华涛, 等. 不同动物蛋白源替代鱼粉的研究进展[J]. 饲料工业, 2025, 46(10): 24-32.
PANG Lei, XU Jing, LI Huatao, et al. Research progress of substituting fish meal with different animal protein sources[J]. Feed Industry, 2025, 46(10): 24-32.

[22] 路典敬. 鱼粉在水产饲料中的作用与评价[J]. 畜牧兽医科技信息, 2019(8): 161.

[23] MACDONALD M L, ROGERS Q R, MORRIS J G. Aversion of the cat to dietary medium-chain triglycerides and caprylic acid[J]. Physiology & Behavior, 1985, 35(3): 371-375.

[24] 温超宇, 杨康, 佟敖日给勒, 等. 犬、猫饲料适口性评价方法及其影响因素研究进展[J]. 饲料工业, 2021, 42(11): 60-64.
WEN Chaoyu, YANG Kang, TONG Aorigeile, et al. Research progress on evaluation methods and influencing factors of palatability of dogs and cats feed[J]. Feed Industry, 2021, 42(11): 60-64.

[25] 刘洪亮, 陈丽娇, 肖欣欣, 等. 即食贻贝脱腥及调味工艺研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(12): 277-281.
LIU Hongliang, CHEN Lijiao, XIAO Xinxin, et al. Research of instant mussel deodorization and seasoning technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(12): 277-281.

[26] 谢广杰. 草鱼下脚料酶解产物制备猫粮诱食剂的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
XIE Guangjie. Preparation of cat food palatability enhancer with enzymolysis products from grass carp offal[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017.

[27] 朱志伟, 曾庆孝, 吴小勇. 翡翠贻贝的酶法水解工艺研究[J]. 食品工业科技, 2002(10): 42-44.

[28] GRELET C, VANLIERDE A, HOSTENS M, et al. Potential of milk mid-IR spectra to predict metabolic status of cows through blood components and an innovative clustering approach[J]. Animal, 2019, 13(3): 649-658.

[29] 黄庆勇. 蛹虫草多糖对亚急性酒精损伤小鼠血清肝功能指标的影响[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2018, 19(1): 45-48.
HUANG Qingyong. Effects of cordyceps militaris polysaccharides on serum liver function indexes of subacute alcohol-induced liver injury in mice[J]. Journal of Beihua University(Natural Science), 2018, 19(1): 45-48.

[30] 王勇, 贺晓龙, 向雪, 等. 氟中毒绵羊血清肝功能指标的测定与分析[J]. 四川畜牧兽医, 2020, 47(4): 33-34.

[31] 孙展英, 马嘉月, 李栋, 等. 红枣粉对童鸽生长性能、血清生化指标及肉品质的影响[J]. 饲料工业, 2025, 46(6): 134-140.
SUN Zhanying, MA Jiayue, LI Dong, et al. Effects of red jujube powder on growth performance, serum biochemical indices and meat quality of young pigeons[J]. Feed Industry, 2025, 46(6): 134-140.

[32] 蔡旋, 肖长峰, 徐天翼, 等. 高蛋白饲粮对老年猫生产指标及血清生化指标的影响[J]. 中国饲料, 2018(21): 27-30.
CAI Xuan, XIAO Changfeng, XU Tianyi, et al. Effect of high protein feed on production performance and serum biochemical indexes of old cats[J]. China Feed, 2018(21): 27-30.

[33] CAO Y W, JIANG Y, ZHANG D Y, et al. Protective effects of *Penthorum chinense* Pursh against chronic ethanol-induced liver injury in mice[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2015, 161: 92-98.

[34] 程庆红. 海鲜食品中嘌呤类物质的提取与测定[D]. 长春: 吉林大学, 2008.
CHENG Qinghong. Extraction and determination of purines in seafood[J]. Changchun: Jilin University, 2008.

[35] 苏秀榕, 张健, 李太武, 等. 两种贻贝营养成分的研究[J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 1997(3): 66-70.
SU Xiurong, ZHANG Jian, LI Taiwu, et al. Studys on nutritive content of two mussels[J]. Journal of Liaoning Normal University(Natural Science Edition), 1997(3): 66-70.

[36] WANG W, RAINBOW S P. Comparative approaches to understand metal bioaccumulation in aquatic animals[J]. Comparative Biochemistry and Physiology, Part C, 2008, 148(4): 315-323.

[37] 胡毅, 陈云飞, 张德洪, 等. 不同碳水化合物和蛋白质水平膨化饲料对大规格草鱼生长、肠道消化酶及血清指标的影响[J]. 水产学报, 2018, 42(5): 777-786.
HU Yi, CHEN Yunfei, ZHANG Dehong, et al. Effects of different dietary carbohydrate and protein levels on growth intestinal digestive enzymes and serum indexes in large size grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(5): 777-786.

[38] 刘心雨, 朱国志, 陈沈峻, 等. 酿酒酵母培养物对天长三黄鸡生长性能、血清生化指标、免疫指数、腿肌肉品质和抗氧化能力的影响[J]. 饲料工业, 2025, 46(9): 31-38.
LIU Xinyu, ZHU Guozhi, CHEN Shenjun, et al. Effects of saccharomyces cerevisiae culture on growth performance, serum biochemical indicators, immunity indexes, thigh muscle quality and antioxidant capacity of tianchang sanhuang chickens[J]. Feed Industry, 2025, 46(9): 31-38.

[39] 李慧颖. 贻贝油对小鼠妊娠期糖尿病的预防作用及其机制研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2023.
LI Huiying. The preventive effect of mussel oil on

gestational diabetes mellitus andits mechanism in mice[D]. Qingdao: Qingdao University, 2023.

[40] 冯杨梦晓, 任青兮, 刘双平, 等. 海洋蛋白源解酒护肝水解物的筛选制备及功效评价[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(3): 1-11.
FENG Yangmengxiao, REN Qingxi, LIU Shuangping, et al. Screening, preparation, and efficacy evaluation of hydrolysates from marine protein sources for sobering up and liver protection[J]. Food and Fermentation Industries, 2025, 51(3): 1-11.

[41] PUTHPONGSIRIPORN U, SCHEIDELER S E, SELL J L, et al. Effects of vitamin E and C supplementation on performance, in vitro lymphocyte proliferation, and antioxidant status of laying hens during heat stress[J]. Poultry Science, 2001, 80(8): 1190-1200.

[42] 王妍, 郭长征, 黎观红, 等. 单宁酸、鞣花酸和没食子酸对肉鸡生长性能、屠宰性能、血清生化指标和抗氧化功能的影响[J]. 动物营养学报, 2025, 37(3): 1748-1759.
WANG Yan, GUO Changzheng, LI Guanhong, et al. Effects of tannic acid, ellagic acid and gallic acid on growth performance, slaughter performance, serum biochemical indexes and antioxidant function of broilers[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2025, 37(3): 1748-1759.

[43] CHEN J S, KANG B J, KANG Y, et al. Effects of dietary Macleaya cordata extract on growth performance, immune responses, antioxidant capacity, and intestinal development in weaned piglets[J]. Journal of Applied Animal Research, 2019, 47(1): 349-356.

[44] 张凯, 王伟瑜, 赵丽悦, 等. 温度对马口鱼幼鱼耗氧率、窒息点及抗氧化能力的影响[J]. 水产科学, 2023, 42(1): 89-95.
ZHANG Kai, WANG Weiyu, ZHAO Liyue, et al. Effects of temperature on oxygenconsumption rate, suffocation threshold, and antioxidant capacity of juvenile Chinese hooksnout carp *Opsariichthys bidens*[J]. Fisheries Science, 2023, 42(1): 89-95.

[45] 陈嘉声. 猪肉粉与四种新型蛋白源替代鱼粉对杂交鳢生长、免疫及抗氧化的比较研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2023.
CHEN Jiasheng. Effects of feed supplementation with pork meal powder and four new protein sources for fish meal on the growth, immunity and antioxidant of hybrid snakeheadss (*Channa maculate*♀×*Channa argus*♂)[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2023.

[46] 邱小琮, 赵红雪, 王远吉, 等. 牛磺酸对鲤非特异性免疫及抗氧化能力的影响[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(4): 429-434.
QIU Xiaocong, ZHAO Hongxue, WANG Yuanji, et al. Effect on taurine on the non-spacific immunity and antioxidative competence of carp[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2008, 17(4): 429-434.

[47] HILL S, LAMBERSON C R, XU L, et al. Small amounts of isotope-reinforced polyunsaturated fatty acids suppress lipid autoxidation[J]. Free Radical Biology and Medicine, 2012, 53(4): 893-906.

Evaluation of substituting mussels with fish in the diets of chinese field cat kittens

HU Bin[1], CHENG Huizhong[1], WANG Bingli[1], LI Zhuang[1], WU Jun[1], ZHANG Yuanyuan[1], ZHANG Yanhua[1], MA Guohong[1], MAO Shuquan[1], XU Peng[1], ZHANG Shoudu[2], WANG Xiaotong[3]

(1. Shandong Freshwater Fisheries Research Institute, Ji'nan 250013, China; 2. Marine Science Research Institute of Shandong Province (National Oceanographic Center, Qingdao), Qingdao 266104, China; 3. School of Fisheries, Ludong University, Yantai 264025, China)

Received: May 10, 2025

Key words: mussel meal; Chinese domestic cats; growth performance; serum biochemical parameters; antioxidant capacity

Abstract: This study investigated the effects of substituting fish meal with mussel meal in diets on the growth performance, serum biochemical indexes, and antioxidant capacity in young Chinese domestic cats. A total of 12 healthy Chinese domestic cats, aged 6–10 months and with similar body weights, were randomly divided into three groups (n=4 per group): commercial diet control (C1), fish meal-based control (C2), and mussel meal test group (T). The experiment lasted for 30 days. Results showed that mussel substitution did not significantly affect growth performance (P > 0.05). The T group exhibited a higher apparent digestibility of proteins and fats compared to the controls. Serum analysis revealed significantly elevated alanine aminotransferase activity (ALT, P < 0.05) in the T group, while aspartate aminotransferase (AST) activity and the AST/ALT ratio remained unchanged. Notably, the T group demonstrated lower glucose, total cholesterol, and triglycerides (P < 0.05). The total protein in the T group was comparable to that of C2 but significantly higher than that of C1 (P < 0.05). The decreased albumin (ALB) and increased globulin (GLB) levels reduced the ALB/GLB ratio (P < 0.05). No significant variations were observed in the total antioxidant capacity, superoxide dismutase activity, or malondialdehyde contents among the groups (P > 0.05). These findings suggest that mussel meal can effectively replace fish meal without compromising growth, while potentially enhancing the antioxidant status despite inducing mild changes in hepatocyte activity.

(本文编辑: 杨　悦)