

软颗粒湿粮饲料在河蟹育肥中的应用

潘荣佳¹, 卞云斌², 杨文杰³

¹上海市水产研究所(上海市水产技术推广站), 上海

²上海市浦东新区畜牧水产技术推广服务中心, 上海

³上海塘之趣水产养殖有限公司, 上海

收稿日期: 2026年8月15日; 录用日期: 2026年9月7日; 发布日期: 2026年9月18日

摘要

为替代河蟹育肥期传统冰鲜鱼投喂, 本研究以棘头梅童鱼鱼浆为主要蛋白源, 配伍三文鱼碎肉、鱿鱼膏、磷脂油等原料, 设计了河蟹育肥软颗粒湿粮饲料配方, 采用L₉ (3⁴)正交试验对鱼浆比例、粘合剂用量和TG酶添加量进行工艺优化, 并通过池塘围网养殖试验比较了3种营养梯度配方与冰鲜鱼的育肥效果。结果表明: 基础配方干基粗蛋白含量为53.3%、粗脂肪含量为9.98%; 正交试验最优组合为鱼浆55% + 粘合剂13% + TG酶0.20% (A3B3C2), 其水中稳定性最优; 养殖试验中, 配方二(粗蛋白53%、粗脂肪9%)综合育肥效果最佳, 雄蟹、雌蟹成活率均为85.00%, 高于冰鲜鱼组(75.00%, 70.00%), 且雄蟹肝胰腺指数(7.01%)为各组最高。研究表明, 软颗粒湿粮饲料诱食性好、水中稳定性佳, 替代冰鲜鱼用于河蟹育肥可在保障生长性能的同时提高成活率、促进性腺发育, 为河蟹育肥饲料的绿色替代提供了技术参考。

关键词

软颗粒湿粮饲料, 中华绒螯蟹, 育肥, 冰鲜鱼替代, 性腺指数

Application of Soft Pellet Moist Feed in Fattening Culture of Chinese Mitten Crab (*Eriocheir sinensis*)

Rongjia Pan¹, Yunbin Bian², Wenjie Yang³

¹Shanghai Fisheries Research Institute (Shanghai Fisheries Technology Extension Station), Shanghai

²Shanghai Pudong New Area Animal Husbandry and Fisheries Technology Extension Service Center, Shanghai

³Shanghai Tangzhiqu Aquaculture Co., Ltd., Shanghai

Received: August 15, 2026; accepted: September 7, 2026; published: September 18, 2026

Abstract

To replace the traditional chilled trash fish used in the fattening period of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*), a soft pellet moist feed was formulated with minced fish paste of *Collichthys lucidus* as the main protein source, supplemented with salmon mince, squid paste and phospholipid oil. An L9 (3⁴) orthogonal experiment was conducted to optimize the proportions of fish paste, binder and transglutaminase (TG enzyme), and a pond enclosure trial was carried out to compare three nutrient-gradient formulas with chilled trash fish. The basal formula contained 53.3% crude protein and 9.98% crude lipid on a dry matter basis. The optimal combination was 55% fish paste + 13% binder + 0.20% TG enzyme (A3B3C2), showing the best water stability. In the culture trial, Formula II (53% crude protein, 9% crude lipid) achieved the best comprehensive performance: the survival rates of male and female crabs were both 85.00%, higher than those of the chilled trash fish group (75.00% and 70.00%), and the hepatosomatic index of males (7.01%) was the highest among all groups. The results indicate that the soft pellet moist feed, with good palatability and water stability, can replace chilled trash fish for crab fattening, improving survival and promoting gonadal development while maintaining growth performance, thus providing technical support for the green substitution of fattening feeds for Chinese mitten crab.

Keywords

Soft Pellet Moist Feed, *Eriocheir sinensis*, Fattening, Chilled Trash Fish Replacement, Gonadosomatic Index

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*), 又称河蟹、大闸蟹, 是我国重要的特种水产养殖品种, 其养殖产量与商品品质直接关系到产业经济效益[1] [2]。每年 9~11 月是河蟹育肥的关键时期, 育肥效果直接决定成蟹的规格、蟹黄蟹膏的饱满度和上市价格[3]。长期以来, 养殖户在育肥期普遍投喂冰鲜野杂鱼以追求快速育肥效果, 但冰鲜鱼存在来源和质量不稳定、营养组成不均衡、易腐败变质污染水质、可能携带病原等问题, 且投喂前需解冻、剁碎, 用工成本与资金成本均较高[4]-[6]。随着养殖理念的转变和饲料工业的发展, 以人工配合饲料替代冰鲜鱼已成为河蟹产业绿色发展的必然趋势[7] [8]。

软颗粒饲料又称湿颗粒饲料, 是以新鲜或冷冻鱼浆为主, 按比例添加粉料、功能性营养成分和粘合剂, 经搅拌混合、熟化后挤压成型的湿性饲料。其综合了鲜活饵料与配合饲料的优点, 具有诱食性好、易消化吸收、配方可灵活调整等特点, 已在大黄鱼、拟穴青蟹等品种的养殖中取得良好应用效果[9] [10], 但在中华绒螯蟹育肥中的应用尚少见报道。本研究针对河蟹育肥期对高蛋白、高诱食性和水中稳定性的核心需求, 设计了以鱼浆为基质的软颗粒湿粮饲料配方, 通过正交试验优化其水中稳定性, 并以冰鲜鱼为对照开展围网育肥养殖试验, 评价不同营养梯度配方的育肥效果, 以为河蟹育肥期饲料的选择与开发提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 试验饲料配方设计与制备

以棘头梅童鱼鱼浆为基质, 以三文鱼碎肉、鱿鱼膏、磷脂油为辅助脂肪源和诱食剂, 设计河蟹育肥

软颗粒湿粮饲料基础配方(表 1)。配方中鱼浆和三文鱼碎肉作为主要动物蛋白源,合计占配方的 84%以上;高筋面粉与谷朊粉协同作为粘合剂和碳水化合物来源;TG 酶(谷氨酰胺转氨酶)作为交联剂催化蛋白质分子交联,提高饲料弹性和水中稳定性;鱿鱼膏为诱食剂和风味剂;磷脂油有助于促进蜕壳后新壳硬化;多维多矿与食盐用于补充微量营养素、维持机体代谢平衡。制备时,将鱼浆、三文鱼碎肉等动物性原料绞碎,与各粉状原料及添加剂按比例充分混合均匀,经软颗粒机挤压成型,冷藏或冷冻保存,随取随用。经测算,每 100 g 湿饲料含蛋白质 18.33 g、脂肪 3.42 g,折算干物质基础饲料粗蛋白含量为 53.3%、粗脂肪含量为 9.98%。

Table 1. Basal formula of soft pellet moist feed for fattening Chinese mitten crab
表 1. 河蟹育肥软颗粒饲料基础配方

原料	百分比/%
鱼浆	70.63
三文鱼碎肉	14.13
高筋面粉	7.06
谷朊粉	2.82
鱿鱼膏	2.82
磷脂油	1.41
多维多矿	0.56
盐	0.35
TG 酶	0.19

2.2. 饲料工艺改良正交试验

针对湿粮含水量高、水中易溃散的问题,以鱼浆比例(A)、粘合剂比例(B,高筋面粉与谷朊粉合计)和TG 酶添加量(C)为考察因素,采用 L9 (3⁴)正交表设计 3 因素 3 水平试验(表 2),各因素水平为:鱼浆 55%、60%、65%,粘合剂 9%、11%、13%,TG 酶 0.15%、0.20%、0.25%,各试验组以三文鱼碎肉补足至 100%。取 10 g 饲料置于 25℃静水中浸泡 2 h,取出用筛网沥干后称量残留物干重,按下式计算散失率:

Table 2. Orthogonal experimental design L9(3⁴) for process improvement of soft pellet feed
表 2. 软颗粒饲料工艺改良正交试验设计 L9(3⁴)

实验号	A 鱼浆/%	B 粘合剂/%	C TG 酶/%	调整说明
1	65	9	0.15	用三文鱼碎肉补足至 100%
2	65	11	0.20	用三文鱼碎肉补足至 100%
3	65	13	0.25	用三文鱼碎肉补足至 100%
4	60	9	0.20	用三文鱼碎肉补足至 100%
5	60	11	0.25	用三文鱼碎肉补足至 100%
6	60	13	0.15	用三文鱼碎肉补足至 100%
7	55	9	0.25	用三文鱼碎肉补足至 100%
8	55	11	0.15	用三文鱼碎肉补足至 100%
9	55	13	0.20	用三文鱼碎肉补足至 100%

散失率(%)=(初始干重 - 残留干重)/初始干重 × 100%，散失率越低表明水中稳定性越好；同时使用质构分析仪测定饲料的凝胶强度、弹性和硬度，综合评价各组合的抗溃散能力。

2.3. 养殖试验设计与饲养管理

在正交试验基础上，基于统一的原料框架调整主要营养源比例，形成粗蛋白 50%、53%、56%和粗脂肪 8%、9%、10%的 3 个营养梯度配方(配方一、配方二、配方三，表 3)，并以冰鲜鱼为对照开展育肥养殖试验。挑选附肢健全、活力较强、体重接近的雌蟹(约 125 g)和雄蟹(约 175 g)共 200 只，于 2025 年 9 月 15 日随机分为 4 组，分别放养于 4 个相同规格的池塘围网中，每网 50 只。围网长、宽各 3 m，深 1.2 m，下部用石笼固定，四周设反向 30 cm 高的黑色塑料薄膜防逃，池塘内种植伊乐藻。养殖期间定期检测水质，保持 pH 7.0~9.0、溶解氧 > 5 mg/L、氨氮 < 0.5 mg/L、亚硝酸盐 < 0.2 mg/L。各组分别投喂对应饲料，设置食台观察每日摄食情况，保障饱食投喂，采取少量多次的投喂策略，及时清理残饵。

Table 3. Experimental formulas of soft pellet feed for fattening Chinese mitten crab
表 3. 河蟹育肥阶段软颗粒饲料试验配方

原料/%	配方一	配方二	配方三
鱼浆	69.65	70.63	71.78
三文鱼碎肉	13.50	14.13	14.65
高筋面粉	9.50	7.06	4.69
谷朊粉	2.50	2.83	3.03
磷脂油	0.90	1.40	1.90
鲑鱼膏	2.83	2.83	2.83
多维多矿	0.57	0.57	0.57
TG 酶	0.20	0.20	0.20
盐	0.35	0.35	0.35
合计	100.00	100.00	100.00

2.4. 指标测定与数据处理

2025 年 11 月 10 日捕捞取样，捕捞前禁食 24 h。将河蟹擦干表面水分后逐个称重(精确至 0.1 g)，统计各组成活率，并按下式计算增重率(WGR)和特定生长率(SGR)：

$$\begin{aligned} \text{增重率 WGR(\%)} &= (\text{末均重} - \text{初均重}) / \text{初均重} \times 100\%； \\ \text{特定生长率 SGR(\%/d)} &= (\ln \text{末均重} - \ln \text{初均重}) / \text{养殖天数} \times 100\%； \\ \text{成活率(\%)} &= \text{成活蟹数} / \text{放养蟹数} \times 100\%。 \end{aligned}$$

随后每组随机抽取雌、雄蟹各 5 只解剖，取出肝胰腺和性腺分别准确称重，计算肝胰腺指数(HSI)和性腺指数(GSI)：HSI(%)= 肝胰腺重/体重 × 100%；GSI(%)= 性腺重/体重 × 100%。试验数据采用 Excel 软件整理与计算。

3. 结果

3.1. 正交试验饲料水中稳定性与质构特性

软颗粒饲料工艺改良正交试验结果见表 4。9 个组合中，组合 9 (A3B3C2，鱼浆 55% + 粘合剂 13%

+ TG 酶 0.20%)水分最低、粘合剂最多、TG 酶适量，形成最佳凝胶网络，水中稳定性最优；组合 5、6、8 水中稳定性为良；组合 1 (A1B1C1)凝胶网络弱、结构松散，水中稳定性最差。结果表明，降低鱼浆比例(主要水分来源)、增加粘合剂用量并配合适量 TG 酶催化蛋白质交联，可显著增强饲料凝胶网络结构，提高水中稳定性；TG 酶不足时蛋白交联不充分，过量时质地易偏硬发脆，0.20%的添加量较为适宜。

Table 4. Water stability and texture properties of feeds with different combinations
表 4. 不同组合饲料水中稳定性及质构特性

实验号	因素组合(A-B-C)	水中稳定性	质构特性
1	65% + 9% + 0.15%	差	凝胶网络弱，结构松散
2	65% + 11% + 0.20%	较差	粘合剂和 TG 酶提升，略有改善
3	65% + 13% + 0.25%	中等	粘合剂和酶用量最大，结构增强
4	60% + 9% + 0.20%	中等	水分降低，但粘合剂不足
5	60% + 11% + 0.25%	良	水分、粘合剂、酶三者搭配相对均衡
6	60% + 13% + 0.15%	良	粘合剂充足，水分适中，但 TG 酶稍不足
7	55% + 9% + 0.25%	中等	水分最低，但粘合剂不足，质地偏硬发脆
8	55% + 11% + 0.15%	良	水分低，粘合剂足，但 TG 酶催化不充分
9	55% + 13% + 0.20%	优	水分最低，粘合剂最多，TG 酶适量，形成最佳凝胶

3.2. 软颗粒饲料河蟹育肥效果

河蟹育肥阶段软颗粒饲料育肥效果见表 5。养殖 56 d 后，生长方面：冰鲜鱼组雄蟹末均重最高(189.33 g)，增重率为 8.19%；配方一(187.45 g)、配方二(185.65 g)与冰鲜鱼组接近，增重率分别为 7.11%和 6.09%；雌蟹中配方三末均重最高(162.04 g)，增重率达 29.63%，配方一(160.32 g，增重率 28.26%)和配方二(157.43 g，增重率 25.94%)与冰鲜鱼组(158.24 g，增重率 26.59%)相当。成活率方面：配方二雄、雌蟹成活率均为 85.00%，为各组最高；冰鲜鱼组雄蟹成活率为 75.00%、雌蟹为 70.00%，均为各组最低。组织系数方面：雌蟹肝胰腺指数和性腺指数均以配方三最高(6.71%和 7.76%)，雄蟹肝胰腺指数和性腺指数分别以配方二和配方二最高(7.01%和 2.44%)。综合生长、成活率和性腺发育等指标，配方二在育肥效果上取得最佳平衡，是替代冰鲜鱼进行河蟹育肥的优选配方。

Table 5. Fattening effects of chilled trash fish and soft pellet feed on Chinese mitten crab
表 5. 冰鲜鱼和软颗粒饲料河蟹育肥效果

项目	雄蟹				雌蟹			
	冰鲜鱼	配方一	配方二	配方三	冰鲜鱼	配方一	配方二	配方三
平均体重/g	189.33	187.45	185.65	182.03	158.24	160.32	157.43	162.04
肝胰腺重/g	11.66	12.08	13.02	12.72	8.89	9.52	9.09	10.87
性腺重/g	4.07	4.58	4.27	4.41	10.16	10.95	11.04	12.57
肝胰腺指数/%	6.16	6.44	7.01	6.99	5.62	5.94	5.77	6.71
性腺指数/%	2.15	2.44	2.30	2.42	6.42	6.83	7.01	7.76
成活率/%	75.00	75.00	85.00	80.00	70.00	75.00	85.00	80.00

4. 讨论

本研究设计的软颗粒湿粮饲料以鱼浆和三文鱼碎肉为主要蛋白源, 动物蛋白占比超过 84%, 干基粗蛋白达 53.3%, 符合河蟹育肥期高蛋白的营养需求; 三文鱼碎肉和鱿鱼膏富含 EPA、DHA 等高度不饱和脂肪酸及诱食物质, 磷脂油可补充甲壳动物必需的磷脂, 上述营养素对河蟹性腺发育具有重要调控作用[11][12]。摄食行为研究表明, 成蟹对冰鲜鱼和配合饲料的摄食响应时间显著短于玉米、螺蛳等饵料[13], 软颗粒湿粮兼具冰鲜鱼的诱食性与配合饲料的营养均衡性, 其柔软质地也更契合河蟹的抱食习性。正交试验表明, 通过降低鱼浆比例、增加高筋面粉和谷朊粉用量并添加 0.20% 的 TG 酶, 可形成致密的凝胶网络, 有效解决湿粮在水中易溃散的问题, 从而减少残饵溶失对水质的污染。

养殖试验结果显示, 投喂冰鲜鱼的雄蟹末均重虽略高于各配方组, 但其雄、雌蟹成活率均为各组最低, 这与冰鲜鱼易腐败污染水质、营养组成单一、可能携带病原有直接关系[5][6]。杨丽丽等[4]和尹豪[6]的研究也表明, 投喂冰鲜鱼的河蟹常因蜕壳困难和水环境恶化而死亡, 养殖风险较高。对于冰鲜鱼组雄蟹末均重的优势, 也应从营养与能量分配角度加以客观解读: 冰鲜鱼脂肪、能量密度较高且蛋白质易于消化吸收, 短期内更利于个体增重; 但其营养组成不均衡、易腐败变质, 个体需消耗更多能量应对应激和维持代谢平衡, 而非将能量优先用于性腺积累与稳定的生理状态, 这可能是其成活率偏低、性腺指数不占优势的重要原因之一, 而非单一归因于水质因素。配方二在保证良好生长性能的同时将雄、雌蟹成活率提升至 85.00%, 直接保障了养殖产量的稳定。更为关键的是, 配方二雌蟹性腺指数(7.01%)为各组最高, 优于冰鲜鱼组(6.42%), 表明该配方能更有效地促进雌蟹性腺发育。育肥期河蟹肝胰腺中的营养物质逐步向性腺转移, 性腺指数是评价育肥效果和商品品质的核心指标[2][14]。肖昌伦等[3]曾报道冰鲜鱼育肥蟹的性腺指数显著高于配合饲料育肥蟹, 而本研究中配方二、配方三的雌蟹性腺指数均超过冰鲜鱼组, 可能与软颗粒饲料中磷脂、不饱和脂肪酸和胆固醇等性腺发育关键营养素供给充足有关[11]。冯伟等[7]和陈可可等[8]的研究同样表明, 配合饲料替代冰鲜鱼不会对河蟹生长、性腺发育和营养品质产生不利影响, 与本研究结论一致。已有研究表明, 中华绒螯蟹性腺发育对饲料中磷脂、n-3/n-6 多不饱和脂肪酸比例及适量胆固醇较为敏感, 充足的 DHA、EPA 与胆固醇供给有助于卵黄蛋白原合成与性腺组织构建[11][12]。本研究软颗粒饲料以三文鱼碎肉和鱼浆为主要脂肪来源, 其 DHA、EPA 及胆固醇含量整体可能高于常规冰鲜杂鱼, 这或是配方二、配方三雌蟹性腺指数超过冰鲜鱼组的营养学基础, 但具体脂肪酸组成及其与性腺发育的量效关系仍需通过后续检测加以验证, 本推论目前仍属推测性解释。

软颗粒湿粮饲料作为湿粮, 含水量高、保质期短, 必须冷藏或冷冻保存、随取随用; 高温季节残饵易迅速腐败, 需严格控制投喂量并采取少量多次的投喂策略。此外, 配方中优质动物蛋白原料(尤其是三文鱼碎肉)成本较高, 更适用于高端精品蟹的育肥阶段, 通过保障成蟹的规格、品质和风味获取更高的市场溢价; 对于普通养殖模式, 后续可探索成本更优的替代蛋白源。需要强调的是, 本研究为初步的探索性生产性围网试验, 样本量和处理规模有限, 相关结论仍需后续更严谨的试验设计加以验证。本试验为生产性围网试验, 未设置重复组, 后续应扩大试验规模、增设平行重复并进行统计分析, 同时结合肌肉、肝胰腺和性腺的脂肪酸、氨基酸组成及风味物质测定, 并对肌肉、肝胰腺和性腺的粗蛋白、粗脂肪、水分、灰分等营养成分进行系统分析, 构建更全面的蟹品质评价体系; 同时应在整个养殖周期内动态监测各处理组水质关键指标(如氨氮、亚硝酸盐等), 以数据验证软颗粒湿粮饲料对养殖水环境的实际友好程度; 此外还应结合原料成本、总投入与产出核算开展经济效益评估, 评估其在实际生产中的推广竞争力, 进一步全面评价软颗粒湿粮饲料对河蟹营养品质的影响, 为河蟹育肥期饲料的推广应用提供更充分的理论依据。

基金项目

浦东新区科技发展基金项目“中华绒螯蟹软颗粒育肥饲料研发与试验”(PKJ2025-N03)。

参考文献

- [1] 王世会, 成永旭, 石连玉, 等. 秋季不同时期上市中华绒螯蟹可食率和品质比较[J]. 中国水产科学, 2020, 27(10): 1196-1209.
- [2] 王世会, 赵金山, 吴旭干, 等. 东营池塘养殖中华绒螯蟹生长性能、性腺发育及营养品质[J]. 上海海洋大学学报, 2020, 29(1): 17-26.
- [3] 肖昌伦, 孙云飞, 鹿珍珍, 等. 两种育肥方式与湖泊养殖中华绒螯蟹营养品质的比较[J]. 水产学报, 2025, 49(1): 193-208.
- [4] 杨丽丽, 杨筱珍, 赵柳兰, 等. 冰鲜野杂鱼和配合饲料对中华绒螯蟹幼蟹生长、消化酶活力及血细胞的影响研究[J]. 复旦学报(自然科学版), 2011, 50(5): 619-624.
- [5] 华皓坤, 刘文斌, 刘婷燕, 等. 投喂配合饲料和冰鱼对中华绒螯蟹生长、氨基酸代谢和胺类物质沉积的影响[J]. 南京农业大学学报, 2021, 44(5): 943-950.
- [6] 尹豪. 配合饲料替代冰鲜鱼进行投喂对中华绒螯蟹生长性能和营养品质的影响[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2023.
- [7] 冯伟, 李辉, 唐永凯, 等. 配合饲料和冰鱼对单体养殖中华绒螯蟹生长、性腺发育及其肌肉品质的影响[J]. 水产学报, 2021, 45(5): 748-759.
- [8] 陈可可, 蒋广震, 华皓坤, 等. 三种饲料对中华绒螯蟹生长、消化酶活性及营养与品质的影响[J]. 水生生物学报, 2024, 48(6): 958-967.
- [9] 林国文. “蟹公寓”养殖拟穴青蟹软颗粒饲料的应用效果研究[J]. 渔业信息与战略, 2021, 36(4): 275-281.
- [10] 全汉锋, 王兴春, 施学文. 大黄鱼软颗粒的自制与应用[J]. 渔业现代化, 2013, 40(3): 56-61.
- [11] Wu, X.G., Chang, G.L., Cheng, Y.X., *et al.* (2010) Effects of Dietary Phospholipid and Highly Unsaturated Fatty Acid on the Gonadal Development, Tissue Proximate Composition, Lipid Class and Fatty Acid Composition of Precocious Chinese Mitten Crab, *Eriocheir sinensis*. *Aquaculture Nutrition*, **16**, 25-36.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2008.00637.x>
- [12] 阙有清, 杨志刚, 纪连元, 等. 配合饲料替代杂鱼对中华绒螯蟹生长发育、体成分及脂肪酸组成的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(10): 1612-1623.
- [13] 刘文明, 朱筛成, 赵金山, 等. 不同发育阶段中华绒螯蟹摄食行为及其对饵料的选择性[J]. 上海海洋大学学报, 2024, 33(2): 327-340.
- [14] 潘杰, 吴旭干, 赵恒亮, 等. 三种投喂模式对河蟹二龄成蟹养殖性能的影响[J]. 淡水渔业, 2016, 46(2): 87-93.