

鳖功能性饲料添加剂的应用与研究进展

刘雨露^{1,2}, 周 同², 周 勇², 刘 伟^{2*}

¹淮阴师范学院生命科学院, 江苏省食品安全与营养功能评价重点实验室, 江苏 淮安

²中国水产科学研究院长江水产研究所, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年1月28日; 录用日期: 2025年2月19日; 发布日期: 2025年3月6日

摘 要

鳖作为传统滋补佳品, 其养殖效率和产品质量受到广泛关注。为了提升鳖的生长、健康和商业价值, 功能性饲料添加剂在其饲料中的应用日益受到重视。本文系统回顾了多年来鳖功能性饲料添加剂的研究状况, 包括益生元与益生菌、酶制剂、中药、着色剂、诱食剂、免疫增强剂等多个方面, 旨在为鳖饲料的配制提供科学指导。

关键词

鳖, 添加剂, 生长, 健康, 品质

Research Progress on the Application of Functional Feed Additives for Soft-Shell Turtles

Yulu Liu^{1,2}, Tong Zhou², Yong Zhou², Wei Liu^{2*}

¹Jiangsu Key Laboratory for Food Safety and Nutrition Function Evaluation, School of Life Sciences, Huaiyin Normal University, Huai'an Jiangsu

²Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan Hubei

Received: Jan. 28th, 2025; accepted: Feb. 19th, 2025; published: Mar. 6th, 2025

Abstract

The soft-shelled turtle, revered as a traditional nutritional delicacy, has garnered widespread attention due to its efficient breeding and high-quality products. To enhance the growth, health, and

*通讯作者。

文章引用: 刘雨露, 周同, 周勇, 刘伟. 鳖功能性饲料添加剂的应用与研究进展[J]. 水产研究, 2025, 12(1): 1-9.
DOI: 10.12677/ojfr.2025.121001

commercial value, using functional feed additives in their diets has gained significant importance. This article systematically reviews the research status of functional feed additives for soft-shelled turtles over the years, covering various aspects such as prebiotics and probiotics, enzymes, traditional Chinese medicines, colorants, feed attractants, and immunostimulants, in order to provide scientific guidance for the formulation of feed for soft-shelled turtles.

Keywords

Soft-Shelled Turtle, Additives, Growth, Health, Quality

Copyright © 2025 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

鳖是我国传统滋补食材，也是主养水产品种之一，2023 年全国总产量约 50 万吨(2024 中国渔业统计年鉴)。然而，在追求高效、环保的养殖过程中，鳖养殖遇到了病害频发[1] [2]、产品品质下降[3]以及水质污染[4]等行业发展瓶颈。因此，平衡鳖的生长与健康，同时控制和改善上述问题，对产业的可持续发展至关重要。

饲料添加剂能够在不改变饲料基本配方的前提下，提高饲料的营养价值和利用效率[5]。饲料添加剂可分为营养性添加剂(提供必需营养素)和功能性添加剂两大类[6]。功能性饲料添加剂包括益生菌、益生元、中药、酶类、核苷酸、色素等[7]，对于提升动物的生长性能、增强免疫反应、调节生理功能及优化整体健康状况具有积极作用[8]。因此，将功能性饲料添加剂应用于鳖饲料中，可成为解决鳖养殖瓶颈的有效手段之一。本文就鳖饲料中的功能性饲料添加剂的研究进展作一综述，意在为鳖饲料的发展提供科学依据。

2. 益生菌与益生元

益生菌指活的微生物，当摄取足够数量时，对宿主健康有益[9]。饲料中添加益生菌不仅可以促进水产动物的生长，提高饲料利用率，增强免疫反应，而且还可以改善鱼类的肠道形态和微生物结构[10]。在水产养殖中，常见的益生菌包括芽孢杆菌、酵母菌、乳酸菌以及复合益生菌[11]。益生元则是指那些能够被宿主肠道菌群选择性利用和转化，从而有益于宿主健康的物质[12]，包括多糖、多酚、多肽聚合物等[13]。

饲料中添加适量的益生菌能够改善鳖的生长和健康水平，当前的研究报道主要集中在枯草芽孢杆菌的应用效果上。研究发现，在饲料中添加 3 g/kg 复合微生态制剂(枯草芽孢杆菌 3×10^8 cfu/g、少量光合细菌和壳聚糖)能提高中华鳖幼鳖的增重率、特定生长率，降低饲料系数，增强肠道胰蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶的活性[14]；饲料中添加 1×10^8 cfu/g 的枯草芽孢杆菌可以提高中华鳖的最终平均体质量、饲料转化率和消化酶活性，可能通过改善肠道菌群结构和增强消化酶活性来提高生长性能[15]；饲料中添加枯草芽孢杆菌 B10 (1×10^6 cfu/g)可显著提高中华鳖的血清尿素氮和 IL-1 β 水平，提高血清碱性磷酸酶、乳酸脱氢酶和抗氧化酶(包括超氧化物歧化酶和过氧化氢酶)活性。此外，枯草芽孢杆菌 B10 上调肠道紧密连接蛋白和 TLR8 相关基因的表达，改善了中华鳖肠道健康状况，并通过提高肝脏中的 TLR5 表达增强其免疫功能[16]。饲料中适量添加 1~2 g/kg 复合益生菌(含枯草芽孢杆菌、纳豆芽孢杆菌、干酪乳杆菌及产阮假丝酵母菌)，同样能促进鳖的生长、降低饲料系数、提升肠道消化酶活性，并具有增强非特异性免疫

与抗氧化功能的作用[17]。

但需要注意的是,有些文献报道发现,过量的益生菌对鱼类的肠道、鳃和皮肤粘液等都有不利的影响[10],类似的问题在鳖上也有所发现,在鳖饲料中添加益生菌的使用过程中需要注意用量,不足显示不出效果,过量可能会抑制生长[17]。

饲料中添加益生元可优化鳖饲料的效果。已有研究表明,饲料中添加 0.1%~1%壳寡糖和 β -葡聚糖通过调节肠道微生物和肠道形态,提高鳖的免疫力和肉质[18]。此外,添加 0.2%~0.3% β -葡聚糖和 0.15%~0.25% 低聚果糖[19], 0.06%~0.1%果寡糖和糖萜素[20][21],均能够显著提高中华鳖的体质量、增重率、特定生长率,同时降低饲料系数,增强消化酶活性,提升抗氧化能力和免疫功能。进一步的研究还发现,益生菌和益生元合用具有协同作用。如 1 g/kg 枯草芽孢杆菌和 200 mg/kg 低聚木糖更能提高稚鳖的生长速度、饲料效率,并对稚鳖的心脏、肝脏和肾脏有一定的保护作用[22]。

3. 酶制剂

酶制剂包括蛋白酶、脂肪酶、植酸酶等,在世界范围内广泛用作动物饲料添加剂[23]。近年来,一方面,水产饲料追求以植物蛋白替代鱼粉以促进可持续性,外源酶如植酸酶在家禽和猪中已广泛用于提高植物饲料消化率,但在水产养殖中应用有限[24];另一方面,由于鳖,尤其是稚鳖体内源酶不足以消化复杂饲料成分,添加外源消化酶特别是复合酶制剂对提高消化吸收率至关重要[25]。然而,在鳖饲料中有关于此的研究并不广泛。仅有少数报道发现,添加特定酶制剂,如 0.02%中性蛋白酶能显著提高鳖的生产性能和饲料转化率[26];饲料中添加 0.1%的复合酶也可以提高中华鳖的生长速度、饲料利用率以及成活率,并且鳖越小,添加酶制剂效果越明显[27]。

4. 中药

我国中药材资源丰富,其中含有多种营养和功能性成分,具备低毒性、无抗药性及高安全性等特点。在鳖饲料中,中药添加剂可分为配方组分、单一组分、中药提取物和废弃物等类型。其中,配方组分的研究较为广泛,这因为相较于单一药材,由多种药材组合而成的中药复合配方,通过药材间的协同作用,能够发挥更全面的效果[28],不仅能抑制和杀灭细菌,还具有抗炎、抗氧化、提升免疫力以及促进生长发育的多重功效[29]。研究发现,饲料中添加 2%中药复方 1(详见附录表 A1)能显著提高中华鳖的增重率和特定生长率,降低饲料系数,经代谢组学分析发现中药添加剂通过调节苯丙氨酸、酪氨酸和色氨酸的生物合成等 5 种代谢途径影响鳖的生长[30];饲料中添加 0.15%的中药复方 2(详见附录表 A1)也可提升中华鳖的生长和免疫力,降低氧化应激水平,提高了中华鳖对嗜水气单胞菌人工感染的存活率,转录组分析揭示了生长、免疫和脂质代谢相关途径的激活,暗示细胞周期和细胞因子-细胞因子受体相互作用途径在中华鳖的生长和免疫调节中扮演关键角色[31];饲料中添加 1%的中药复方 3(详见附录表 A1)亦可提高中华鳖稚鳖的生长性能,增加整体蛋白质和氨基酸含量,优化鳖的营养品质[32];而中药复方 4(详见附录表 A1)以 2%~3%添加到饲料中,可以提高鳖的生长速度和成活率[33]。而单一组分用药较少涉及,如饲料中添加 3%桑叶粉不影响中华鳖的生长性能和肝功能,且发现桑叶粉可能通过影响血清抗氧化水平,对中华鳖的抗氧化能力产生影响[34]。

中药提取物是从中药材中提取的活性成分,含有多酚、生物碱、黄酮、有机酸、多糖等,具有促进生长、抗氧化和抑菌等功能[35]。目前,单一植物和复方中药提取物在鳖的饲料中均有少量的研究,这其中以单一植物提取物为多。研究发现,姜黄素(姜黄提取物)未影响鳖生长但改善肌肉质地,提高血清抗氧化能力,改善肠道菌群,增加乳酸菌和黄杆菌比例,改变肝脏代谢途径,适宜添加量为 3.9 g/kg [36];饲料中添加 50~100 mg/kg 血根碱(博落回提取物)能显著提高成活率、降低饲料系数,并且对肌肉中鲜味氨基

酸总量、体成分中粗蛋白占比以及血清中的葡萄糖含量和酶活性有积极影响,但添加 150 mg/kg 血根碱可能有负面作用[37];黄芪多糖(黄芪提取物)能显著提高中华鳖的生长速度和成活率,增强其血清免疫酶活性,并提高对嗜水气单胞菌的抵抗力,建议饲料中的用量为 0.75% [38];饲料中添加 200~400 mg/kg 绿原酸(杜仲提取物)也能显著提高鳖的抗氧化能力,并改善其生长性能,提升肌肉胶原蛋白含量,减少肌肉胆固醇水平[39];而饲料中添加 200 mg/kg 月桂酸单甘油酯(天然存在于椰子油、美洲蒲葵等植物中),则可显著促进鳖的生长,同时对鳖的健康状况和营养品质有显著的改善作用[40]。而 Guo 等(2022)发现添加 0.1%中药提取物混合物(淫羊藿、茺蔚子和王不留行, 1:1:1)的饲料可提高鳖的饲料效率、产蛋量,提高蛋壳的硬度和钙含量,并提高了受精率和孵化率[41]。

中药药渣来源于中成药生产、中药材加工与炮制、原料药生产等。中药药渣作为添加剂的应用不仅能够更充分地利用资源,而且能够减少环境污染,有很好的应用前景[42]。目前,中药渣饲料添加剂主要研究在于鸡、猪等家畜动物,而作为水产动物饲料添加剂的相关研究较少。研究发现,饲料中添加 10%的姜黄渣能显著提高鳖的存活率及抗高温应激能力,其作用与姜黄渣所含姜黄素的抗氧化活性相关,且补充姜黄渣的鳖皮肤呈现金黄色[43]。

此外,中药与其他成分的结合能够产生显著的协同效应。例如,饲料中添加 0.5 mg/kg 酵母硒和 0.1%花粉的混合物能显著促进中华鳖的生长,提高血清中超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性,增强自然杀伤细胞活性,增加非特异性免疫功能[44]。

5. 着色剂

商品鳖的颜色影响消费者的接受度。如分布在黄河流域的甘肃、宁夏、河南、山东境内的黄河鳖,市场欢迎体色微黄的[45];分布在安徽省长江沿岸的墨鳖,全身呈墨黑色,深受当地市民的青睐,市场售价是一般中华鳖的 2~3 倍[46]。现有研究显示,功能性饲料添加剂能够对鳖的体色产生影响。幼鳖饲料中添加 1%~8%的螺旋藻可显著促进幼鳖的横向增长,并可加深幼鳖腹部的蓝绿色,增加抗病力[47];相比之下,未添加螺旋藻的饲料喂养的鳖腹部呈现白色,而添加 1%~5%螺旋藻的饲料喂养的鳖腹部颜色更趋向黄色,血丝更为显著,这与品质较优的外塘养殖鳖的腹部特征相似[48];饲料中添加 80 mg/kg 叶黄素不仅提高了鳖的生长、饲料转化率和肌肉组织中的氨基酸含量,同时还提高了背甲和腹甲的黄色度[49],而饲料中补充 60 mg/kg 叶黄素混合 60 mg/kg 角黄素也能起到类似的效果[50]。

6. 诱食剂

在水产动物中,诱食剂起到促进摄食的作用[51],主要包括高水溶性低分子量物质,如氨基酸、核苷和核苷酸、甜菜碱等[52]-[54]。鳖的嗅觉敏感,主要依靠嗅觉探知食物[55]。丙氨酸、甘氨酸、脯氨酸、赖氨酸等都是鳖的有效诱食氨基酸,丙氨酸的效果最为显著[56]。在低蛋白(粗蛋白含量 30.6%)配合饲料中添加浓度 0.1%脯氨酸,0.2%或 0.3%的丙氨酸都可增加鳖的摄食量[57]。三磷酸腺苷、腺苷酸通过影响鳖的味觉受体或代谢途径,增强饲料对鳖的吸引力[58]。短链脂肪酸,包括乙酸、壬酸、戊酸、己酸和月桂酸,对甲鱼均显示出食欲诱导效果,乙酸的效果尤为突出[59]。在饲料中的添加量以 2000 mg/kg 酵母水解物(富含蛋白质、氨基酸、小肽、核酸等物质)可提高鳖的摄食量和摄食速度[60]。

然而,有研究发现,对鱼类具有强烈诱食效果的甜菜碱、二甲胺、盐酸三甲胺等挥发性碱,对鳖的诱食效果并不明显[59]。这可能是受到饲料配方的影响。Sun 等测试了高鱼粉(60%)和低鱼粉(22.5%)饲料中甜菜碱、2-羧乙基二甲基磺溴盐、肌苷-5'-单磷酸(IMP)、牛磺酸和鱿鱼提取物对鳖的诱食效果,发现在高鱼粉饲料中,仅 IMP 表现出诱食作用;而在低鱼粉饲料中,所有诱食剂在至少一个添加水平上比基础饲料更受鳖的偏好,其中鱿鱼提取物具有最显著的诱食效果[61]。

7. 免疫增强剂

免疫增强剂通过增强非特异性免疫反应,提升诸如嗜中性粒细胞的氧化能力、增强吞噬细胞的吞噬功能等,从而增强机体对病原的防御能力[62],面对周期性且可预测的疾病爆发,可以通过使用免疫增强剂来预防,从而减少疾病引发的损害[63]。免疫增强剂包括营养素、益生菌和益生元、多糖、动植物提取物、细胞因子、凝集素、激素等[62][64],但在鳖的免疫增强剂中,除涉及益生菌及益生元等方面的报道外,其他报道多零散且不集中。邓紫连等(2023)研究发现,饲料中添加 40 g/kg 的脯氨酸可以改善中华鳖幼鳖的生长性能,且可通过增强抗氧化酶活性,降低活性氧产生,发挥抵抗嗜水气单胞菌应激的作用[2]。此外,Ge 等(2023)研究发现,饲料中添加 0.02%的丁酸钠能显著提高鳖的生长性能和免疫功能,同时改善其肠道微生物群落[65]。李许明等(2015)则发现,饲料中添加 400 mg/kg 抗菌肽能够显著提高温室养殖中华鳖幼鳖的成活率、增重率和降低饲料系数[66]。温安祥等(2011)研究表明,谷氨酰胺能缓解内毒素刺激下中华鳖免疫功能的抑制,并促进肠道类分泌型免疫球蛋白 A 的分泌。而赵燕等(2007)发现,半胱胺对中华鳖具有促进生长、增强免疫的作用,是一种良好的生物添加剂,且其适宜添加量为每天连续添加 1000 mg/kg [67]。

值得一提的是,维生素 C 和维生素 E 是鳖的必需营养素,但在饲料中高水平添加对鳖的免疫功能有影响,起到了功能性饲料添加剂的作用。如以生长为判断依据,鳖饲料中维生素 C 的需要量为 500 mg/kg [68],但在 2500 mg/kg 的剂量下,鳖的吞噬细胞活性和血清杀菌活性显著增强,5000 mg/kg 剂量下的杀菌活性也有所提高,但 10,000 mg/kg 的高剂量并未带来额外益处,表明 2500 mg/kg 是提高幼鳖非特异性免疫功能的最佳维生素 C 补充剂量[69]。对于维生素 E 而言,58 mg/kg 的添加量可达到鳖的最大生长速度[70];补充 250 和 500 mg/kg 维生素 E,鳖血液中细胞吞噬作用和血清杀菌活性显著提高[71],可以减轻酸性应激引起的不良反应[72],但是高剂量的维生素 E (1000 mg/kg 和 5000 mg/kg)对鳖的生长有明显的抑制作用[73]。此外,研究也发现 2500 mg/kg 维生素 C 和 250 mg/kg 的维生素 E 合用对幼鳖的非特异性免疫功能有明显的协同促进作用[74]。

8. 其他

一些研究针对鳖较差的抗氧化能力以及过度脂肪沉积可能对最终收获品质造成的影响,开展了功能性饲料添加剂的研发工作。如研究发现,饲料中添加 200~400 mg/kg 的还原型谷胱甘肽可以提高中华鳖的生长性能、肌肉粗蛋白和粗脂肪含量,以及肝脏 *sod1* 和 *sod2* 基因的表达[75]。而对于脂肪代谢方面的研究发现,饲料中添加 100 mg/kg 的肉碱即可促进鳖的生长,降低肝脏和腹壁的脂肪含量[76],但在低蛋白水平(28%)下,需要量肉碱添加量达到 300 mg/kg 时,鳖的特定生长效率最大[77];进一步的研究表明,饲料中添加肉碱可以反馈性增强外周组织的脂蛋白酯酶活性,调节血浆脂蛋白-甘油三酯的流向与组织分配,使肌肉组织相对于脂肪组织摄取更多的血液脂质,从而降低鳖四肢脂肪沉积[78],且用适当的 L-肉碱(200~400 mg/kg)可以改善鳖的生长性能,增加肌肉蛋白质含量,降低血清 TG 浓度,并诱导与抗氧化和脂质代谢相关的基因表达[79]。

9. 结论与展望

尽管现有研究在鳖功能性饲料添加剂的应用方面取得了一定进展,但仍存在一些不足之处。首先,研究方法的局限性较为明显,如样本量不足、缺乏长期研究以及单一因素研究较多等问题,导致研究结果的可靠性和普适性受到限制。其次,作用机制研究不够深入,许多添加剂的具体作用机理尚未完全阐明,这限制了其在实际应用中的优化和改进。此外,安全性评价和环境因素考虑也不够充分,可能对鳖的长期健康和生态环境带来潜在风险。

长期以来, 鳖养殖业以追求产量为首要目标, 但随着产业的不断发展, 产能过剩的问题或将日益凸显[80]。因此, 转变养殖策略, 提高产品质量与附加值, 成为鳖养殖业可持续发展的关键。未来的研究需更加注重饲料添加剂的安全性、经济性与环境友好性, 探索如何通过科学组合不同添加剂以实现最佳养殖效益。同时, 深入解析添加剂的作用机制, 将为开发新型高效、绿色环保的饲料添加剂提供理论基础。另外, 随着全球对抗生素替代品需求的持续增长, 绿色、环保的饲料添加剂将成为研究的热点与趋势。

基金项目

中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助(YFI20240602)。

参考文献

- [1] 张爱茹, 黄秋雅, 吴彬, 等. 中华鳖趋化因子 cxcl10 的分子特征及其对细菌感染的响应[J]. 水产学报, 2024, 48(6): 169-178.
- [2] 邓紫连, 宋伟, 芮千龙, 等. 脯氨酸对中华鳖生长性能、抗氧化能力和抗嗜水气单胞菌感染能力的影响[J]. 动物营养学报, 2023, 35(5): 3213-3227.
- [3] 何金钊, 冯鹏霏, 周大颜, 等. 稻鳖生态种养对黄沙鳖肌肉品质的影响[J]. 水产养殖, 2022, 43(2): 24-30.
- [4] 袁新程, 朱燕, 施永海, 等. 2 种中华鳖养殖模式水质因子变化规律的比较研究[J]. 水产科技情报, 2023, 50(6): 390-396.
- [5] Van Doan, H., Prakash, P., Hoseinifar, S.H., Ringø, E., El-Haroun, E., Faggio, C., *et al.* (2023) Marine-Derived Products as Functional Feed Additives in Aquaculture: A Review. *Aquaculture Reports*, **31**, Article ID: 101679. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101679>
- [6] Hossain, M.S., Small, B.C., Kumar, V. and Hardy, R. (2023) Utilization of Functional Feed Additives to Produce Cost-effective, Ecofriendly Aquafeeds High in Plant-Based Ingredients. *Reviews in Aquaculture*, **16**, 121-153. <https://doi.org/10.1111/raq.12824>
- [7] Zuberi, A., Kamran, M., Younus, N. and Abdel-Tawwab, M. (2024) Editorial: Functional Feed Additives: Current Trends. *Frontiers in Aquaculture*, **3**, Article ID: 1385508. <https://doi.org/10.3389/faq.2024.1385508>
- [8] Klahan, R., Deevong, P., Wiboonsirikul, J. and Yuangsoi, B. (2023) Growth Performance, Feed Utilisation, Endogenous Digestive Enzymes, Intestinal Morphology, and Antimicrobial Effect of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Fed with Feed Supplemented with Pineapple Waste Crude Extract as a Functional Feed Additive. *Aquaculture Nutrition*, **2023**, Article ID: 1160015. <https://doi.org/10.1155/2023/1160015>
- [9] 刘斐童, 陆泽荣, 张施琦, 等. 益生菌科学共识和应用指南概述[J]. 中国微生态学杂志, 2024, 36(8): 985-993.
- [10] Rohani, M.F., Islam, S.M., Hossain, M.K., Ferdous, Z., Siddik, M.A., Nuruzzaman, M., *et al.* (2022) Probiotics, Prebiotics and Synbiotics Improved the Functionality of Aquafeed: Upgrading Growth, Reproduction, Immunity and Disease Resistance in Fish. *Fish & Shellfish Immunology*, **120**, 569-589. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.12.037>
- [11] 瞿彬, 徐文昌, 宋雪琳, 等. 益生菌制剂在水产养殖中的应用[J]. 饲料工业, 2023, 44(16): 62-70.
- [12] 汪洪涛, 陈成. 益生元及其应用研究进展[J]. 农产品加工(创新版), 2011(3): 63-66.
- [13] 刘波, 孟祥璟, 刘通通, 等. 益生元及其应用研究进展[J]. 食品与药品, 2021, 23(5): 485-492.
- [14] 贺刚, 方春林, 吴斌, 等. 饲料中添加微生态制剂对中华鳖幼鳖生长、消化及生化指标的影响[J]. 饲料工业, 2019, 40(20): 17-21.
- [15] Zhang, X., Peng, L., Wang, Y., Liang, Q., Deng, B., Li, W., *et al.* (2014) Effect of Dietary Supplementation of Probiotic on Performance and Intestinal Microflora of Chinese Soft-Shelled Turtle (*Trionyx sinensis*). *Aquaculture Nutrition*, **20**, 667-674. <https://doi.org/10.1111/anu.12128>
- [16] Xu, S., Wang, Q., Wang, F., Li, X., Wang, B., Zhou, Y., *et al.* (2022) Improved Immune Function of Chinese Soft-Shelled Turtles (*Pelodiscus sinensis*) through Oral Probiotics via the TLR Signaling Pathway. *Aquaculture*, **555**, Article ID: 738126. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738126>
- [17] 桂琳, 王晓清, 康银, 等. 复合益生菌对中华鳖生长及血液生化指标的影响[J]. 水生态学杂志, 2015, 36(2): 95-100.
- [18] Fu, H., Qi, M., Yang, Q., Li, M., Yao, G., Bu, W., *et al.* (2023) Effects of Dietary Chito-Oligosaccharide and β -Glucan on the Water Quality and Gut Microbiota, Intestinal Morphology, Immune Response, and Meat Quality of Chinese Soft-Shell Turtle (*Pelodiscus sinensis*). *Frontiers in Immunology*, **14**, Article ID: 1266997.

- <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1266997>
- [19] 季高华, 刘至治, 冷向军. 饲料中添加 β -葡聚糖和低聚果糖对中华鳖幼鳖生长和血清 sod、溶菌酶活力的影响[J]. 上海水产大学学报, 2004, 13(1): 36-40.
 - [20] 肖明松, 王志耕, 崔峰, 等. 果寡糖和糖萜素对中华鳖生长性能及免疫功能的影响[J]. 水利渔业, 2004, 24(3): 20-22.
 - [21] 肖明松, 王志耕, 崔峰, 等. 果寡糖与糖萜素对中华鳖生长性能影响的正交试验[J]. 淡水渔业, 2004, 34(3): 13-15.
 - [22] 周环, 管越强. 枯草芽孢杆菌与低聚木糖组合对中华鳖生长、消化酶及血液生化指标的影响[J]. 水产科学, 2010, 29(10): 573-577.
 - [23] Zheng, C.C., Wu, J.W., Jin, Z.H., Ye, Z.F., Yang, S., Sun, Y.Q., et al. (2019) Exogenous Enzymes as Functional Additives in Finfish Aquaculture. *Aquaculture Nutrition*, **26**, 213-224. <https://doi.org/10.1111/anu.12995>
 - [24] Castillo, S. and Gatlin, D.M. (2015) Dietary Supplementation of Exogenous Carbohydrase Enzymes in Fish Nutrition: A Review. *Aquaculture*, **435**, 286-292. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.10.011>
 - [25] 周嗣泉, 宋理平, 陈有光, 等. 酶制剂在鳖用配合饲料中的应用[J]. 饲料工业, 2000, 21(5): 37-38.
 - [26] 李许明, 张蕉南, 胡兵. 三种酶制剂对温室养殖日本品系中华鳖生长性能的影响[J]. 饲料工业, 2015, 36(4): 20-23.
 - [27] 刘文斌, 周岩民, 王荣根. 两种酶制剂在中华鳖养殖中的应用研究[J]. 淡水渔业, 1997, 27(6): 10-12.
 - [28] 印遇龙, 陶晋升, 白平, 等. 芳香中药在动物健康养殖中的研究与应用[J]. 饲料工业, 2024, 45(1): 2-9.
 - [29] 金振华, 张备, 薛沾枚, 等. 复方中药提取工艺优化及抗致羔羊腹泻病原菌作用研究[J]. 饲料工业, 2024, 45(10): 133-139.
 - [30] Gong, B., Bao, F., Wang, Y., Liu, H., Xiao, M. and He, J. (2021) Metabonomics Study on the Effect of Traditional Chinese Medicines Feed Addition on Growth Performance and Serum Metabolic Profile of Juvenile Chinese Softshell Turtle (*Pelodiscus sinensis* Wiegmann). *Aquaculture Reports*, **20**, Article ID: 100632. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100632>
 - [31] Lan, M., Wang, Y., Mu, Y., Li, Y., Zhang, Z. and Guan, Y. (2024) Effects of a Chinese Herbal Medicine Mixture on Growth Performance, Immune Response, and Gene Expression in Chinese Soft-Shell Turtles (*Pelodiscus sinensis*). *Animal Feed Science and Technology*, **316**, Article ID: 116084. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.116084>
 - [32] 马晓, 王璐明, 王晓清, 等. 复方中草药制剂对中华鳖生长、体组成及血清指标的影响[J]. 水产科学, 2016, 35(2): 147-151.
 - [33] 吴德峰, 邱剑泰, 林树根, 等. 中草药饲料添加剂提高鳖的生产性能的试验研究[J]. 莱阳农学院学报, 2000, 17(4): 302-305.
 - [34] 梁志凌, 冯国清, 郝乐, 等. 桑叶粉对中华鳖生长性能、肝功能及血清抗氧化指标的影响[J]. 广东畜牧兽医科技, 2023, 48(6): 41-45.
 - [35] 范佳柔, 全雯菲, 刘佳乐, 等. 植物提取物在蛋鸡生产中的应用研究进展[J]. 饲料工业, 2024, 45(10): 19-25.
 - [36] Jiang, J., Wen, H., Jiang, M., Tian, J., Dong, L., Shi, Z., et al. (2023) Dietary Curcumin Supplementation Could Improve Muscle Quality, Antioxidant Enzyme Activities and the Gut Microbiota Structure of *Pelodiscus sinensis*. *Animals*, **13**, Article No. 2626. <https://doi.org/10.3390/ani13162626>
 - [37] 罗来婷, 王佩, 王晓清, 等. 血根碱对中华鳖生长和体组成及血清指标的影响[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2019, 45(2): 184-188.
 - [38] 杨移斌, 艾晓辉, 宋怿, 等. 黄芪多糖对中华鳖生长, 免疫及抗病力的影响[J]. 中国渔业质量与标准, 2018, 8(4): 58-64.
 - [39] 温安祥, 舒辉, 肖洋. 绿原酸对中华鳖生产性能及抗氧化能力的影响[J]. 动物营养学报, 2010, 22(3): 729-733.
 - [40] 汪愈超, 杜鹃, 李阳, 等. 月桂酸单甘油酯对中华鳖生长、健康及营养品质的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(1): 428-436.
 - [41] Guo, Z., Li, L., Wang, Y., Liu, T., Xie, Y., Jia, D., et al. (2022) Dietary Chinese Herbal Extract Mixture Improves Reproductive Performance and External Quality of Fertilized Eggs in Chinese Soft-Shelled Turtle (*Pelodiscus sinensis*) Broodstock. *Aquaculture Reports*, **23**, Article ID: 101072. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101072>
 - [42] 张相鑫, 陈进超, 孙佳静. 中药药渣作为畜禽饲料或饲料添加剂的研究进展[J]. 饲料工业, 2017, 38(22): 57-60.
 - [43] Chen, Y., Zhang, Y., Qian, H., Wang, J., Chen, Z., Ordovas, J.M., et al. (2018) Supplementation with Turmeric Residue Increased Survival of the Chinese Soft-Shelled Turtle (*Pelodiscus sinensis*) under High Ambient Temperatures. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, **19**, 245-252. <https://doi.org/10.1631/jzus.b1600451>

- [44] 王亭亭, 蔡完其. 饲料中添加花粉和酵母硒对中华鳖幼鳖生长和非特异性免疫功能的影响[J]. 上海水产大学学报, 2005(2): 97-102.
- [45] 梁宏伟. 中华鳖“长淮 1 号”长速快具黄河水系特征[J]. 海洋与渔业, 2023(6): 52-53.
- [46] 张君, 桂建芳, 陈露, 等. 中华鳖 4 个品系营养成分分析与比较[J]. 水生生物学报, 2018, 42(4): 770-778.
- [47] 宁运旺, 徐宝琪, 黄怀成. 饲料中添加螺旋藻对中华鳖生长的影响[J]. 淡水渔业, 2000(4): 27-28.
- [48] 何玲, 王佩, 罗来婷, 等. 螺旋藻对中华鳖生长和体组成及血清生化指标的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(5): 536-540.
- [49] Wang, P., Li, X., Wang, X., Peng, N. and Luo, Z. (2020) Effects of Dietary Xanthophyll Supplementation on Growth Performance, Body Color, Carotenoids, and Blood Chemistry Indices of Chinese Soft-Shelled Turtle *Pelodiscus sinensis*. *North American Journal of Aquaculture*, **82**, 394-404. <https://doi.org/10.1002/naaq.10161>
- [50] Wang, P., Zhou, X., Xiong, G., Zeng, D., Ge, L., Luo, Z., et al. (2021) Effect of Dietary Canthaxanthin and Xanthophyll on Growth, Antioxidant Capacity, Body Colour, and *bco2*, *cat* and *sod2* Gene Expression in Chinese Soft-Shelled Turtle (*Pelodiscus sinensis*). *Aquaculture Nutrition*, **27**, 2365-2377. <https://doi.org/10.1111/anu.13369>
- [51] Kolkovski, S., Czesny, S. and Dabrowski, K. (2000) Use of Krill Hydrolysate as a Feed Attractant for Fish Larvae and Juveniles. *Journal of the World Aquaculture Society*, **31**, 81-88. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2000.tb00701.x>
- [52] Løkkeborg, S., Siikavuopio, S.I., Humborstad, O., Utne-Palm, A.C. and Ferter, K. (2014) Towards More Efficient Long-line Fisheries: Fish Feeding Behaviour, Bait Characteristics and Development of Alternative Baits. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **24**, 985-1003. <https://doi.org/10.1007/s11160-014-9360-z>
- [53] Hancz, C. (2020) Feed Efficiency, Nutrient Sensing and Feeding Stimulation in Aquaculture: A Review. *Acta Agraria Kaposváriensis*, **24**, 35-54. <https://doi.org/10.31914/aak.2375>
- [54] Polat, A. and Beklevik, G. (1999) The Importance of Betaine and Some Attractive Substances as Fish Feed Additives. *Ci-Heam-Iamz*, **37**, 217-220.
- [55] 牛翠娟, 李庆芬. 光照强度对中华鳖稚鳖摄食和生长的影响[J]. 动物学报, 1998, 44(2): 157-161.
- [56] 张海明, 王小寅. 天然食物游离氨基酸对鳖的诱食效果[J]. 淡水渔业, 2003, 33(5): 28-35.
- [57] 潘训彬, 苗玉涛, 王安利, 等. 低蛋白配合饲料添加氨基酸对中华鳖摄食的影响[J]. 广东饲料, 2008, 17(6): 27-28.
- [58] 张海明, 林可椒. 单核苷酸等纯化学制剂对鳖的诱食效果[J]. 淡水渔业, 2003(6): 20-22.
- [59] 张海明, 林可椒. 单核苷酸等纯化学制剂对鳖的诱食效果[J]. 淡水渔业, 2003, 33(6): 20-31.
- [60] 陈昌福, 王绍辉, 王茜, 等. 饵料中添加酵母水解物对中华鳖成鳖的诱食效果[J]. 养殖与饲料, 2007(4): 54-54.
- [61] Sun, C.-., Xu, W.-., Zhang, D.-., Li, X.-., Li, P.-., Jiang, G.-., et al. (2017) Different Preference Is Modulated by the Feeding Stimulants Supplementation in Different Chinese Soft-Shelled Turtle (*Pelodiscus sinensis*) Basic Diets. *Aquaculture Nutrition*, **24**, 195-203. <https://doi.org/10.1111/anu.12547>
- [62] Sakai, M. (1999) Current Research Status of Fish Immunostimulants. *Aquaculture*, **172**, 63-92. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(98\)00436-0](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(98)00436-0)
- [63] Anderson, D.P. (1992) Immunostimulants, Adjuvants, and Vaccine Carriers in Fish: Applications to Aquaculture. *Annual Review of Fish Diseases*, **2**, 281-307. [https://doi.org/10.1016/0959-8030\(92\)90067-8](https://doi.org/10.1016/0959-8030(92)90067-8)
- [64] Galeotti, M. (1998) Some Aspects of the Application of Immunostimulants and a Critical Review of Methods for Their Evaluation. *Journal of Applied Ichthyology*, **14**, 189-199. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.1998.tb00641.x>
- [65] Ge, L., Yu, Y., Wen, X., Xiao, H., Liu, K., Liu, Z., et al. (2023) Effects of Dietary Sodium Butyrate on Growth Performance, Immune Function, and Intestinal Microflora of Chinese Soft-Shelled Turtle (*Pelodiscus sinensis*). *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, **13**, Article ID: 1271912. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1271912>
- [66] 李许明, 张蕉南, 胡兵, 等. 饲料中添加抗菌肽对温室养殖日本品系中华鳖幼鳖生长性能的影响[J]. 饲料工业, 2015, 36(18): 10-12.
- [67] 赵燕, 代兵, 李传普, 等. 半胱胺对中华鳖生长性能和非特异性免疫功能的影响研究[J]. 动物营养学报, 2007, 19(3): 305-310.
- [68] Zhou, X., Xie, M., Niu, C. and Sun, R. (2003) The Effects of Dietary Vitamin C on Growth, Liver Vitamin C and Serum Cortisol in Stressed and Unstressed Juvenile Soft-Shelled Turtles (*Pelodiscus sinensis*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, **135**, 263-270. [https://doi.org/10.1016/s1095-6433\(03\)00066-7](https://doi.org/10.1016/s1095-6433(03)00066-7)
- [69] Zhou, X., Niu, C., Sun, R. and Li, Q. (2002) The Effect of Vitamin C on the Non-Specific Immune Response of the Juvenile Soft-Shelled Turtle (*Trionyx sinensis*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, **131**, 917-922. [https://doi.org/10.1016/s1095-6433\(02\)00028-4](https://doi.org/10.1016/s1095-6433(02)00028-4)

[70] Huang, C. and Lin, W. (2004) Effects of Dietary Vitamin E Level on Growth and Tissue Lipid Peroxidation of Soft-Shell Turtle, *Pelodiscus sinensis* (Wiegmann). *Aquaculture Research*, **35**, 948-954.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01105.x>

[71] Zhou, X., Niu, C. and Sun, R. (2005) The Effects of Vitamin E on Non-Specific Immune Response of the Juvenile Soft-Shell Turtle *Pelodiscus sinensis*. *Fisheries Science*, **71**, 612-617.
<https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2005.01005.x>

[72] Zhou, X., Niu, C. and Sun, R. (2004) The Effects of Vitamin E on Antiacid Stress Ability in Juvenile Soft-Shell Turtles (*Pelodiscus sinensis*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, **137**, 299-305.
<https://doi.org/10.1016/j.cca.2004.01.009>

[73] 牛翠娟, 周显青, 孙儒泳. 维生素 E 对中华鳖幼鳖生长、肝脏维生素 E 以及血清皮质醇含量的影响[J]. 动物学报, 2003, 49(1): 40-44.

[74] 周显青, 牛翠娟, 孙儒泳. 维生素 C 和 E 合用对中华鳖幼鳖非特异性免疫功能的影响[J]. 水生生物学报, 2004, 28(4): 356-360.

[75] 陆星, 吴凡, 文华, 等. 饲料中添加还原型谷胱甘肽对中华鳖生长性能、血清生化指标及肝脏超氧化物歧化酶基因表达的影响[J]. 淡水渔业, 2020, 50(5): 74-80.

[76] 钱国英, 朱秋华. 肉碱对幼鳖生长和胴体组成的影响[J]. 饲料研究, 2000(1): 7-10.

[77] 高永利, 郝玉江, 杨振才, 等. 低蛋白饲料添加肉毒碱养殖中华鳖试验研究[J]. 淡水渔业, 2002, 32(2): 38-40.

[78] 占秀安, 许梓荣. 肉碱对中华鳖脂肪代谢的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2002, 28(1): 70-140.

[79] Lu, X., Dawood, M.A.O., Wu, F., Wen, H., Liu, W., Tian, J., *et al.* (2022) Effect of Dietary L-Carnitine Supplementation on Growth, Serum Biochemical Indices, Oxidative and Growth-Related Gene Expressions in Chinese Soft-Shell Turtle (*Pelodiscus sinensis*). *Pakistan Journal of Zoology*, **54**, 2365-2372.
<https://doi.org/10.17582/journal.pjz/20200113090139>

[80] 邓义寰, 陈荃, 王一军. 我国鳖类养殖产业发展现状及建议[J]. 水产养殖, 2024, 45(9): 59-63.

附 录

Table A1. Chinese herbal compound prescription
表 A1. 中药复方

复方序号	成分	配比
1	白芍、白术、柴胡、防风、麦冬、杜仲、肉桂、甘草、冬青、茯苓、黄芪、金银花、五味子、山楂、菊花、党参、陈皮、六神曲、大麦	等量
2	黄芪、枸杞、玉竹、党参	7:8:3:2
3	党参、白术、当归、熟地、茯苓、小茴香、陈皮、麦冬、紫苏、神曲、麦芽、杜仲、山楂、肉桂	/
4	黄芪、党参、白术、茯苓、甘草、神曲、山楂、当归、大黄、元参、板蓝根、黄芩	/

注：/未报道。