

苹果螺、水蕴草混养对月光鱼生长性能和水体营养盐变化动态的影响研究

倪晓慧^{1*}, 王金庆^{1#}, 王震¹, 王金城², 王旃煜¹, 明泽强¹, 雷欣怡¹, 李璐琪¹, 张梅雪¹

¹潍坊学院生物与海洋学院, 山东 潍坊

²潍坊职业学院汽车工程学院, 山东 潍坊

收稿日期: 2025年2月20日; 录用日期: 2025年3月20日; 发布日期: 2025年4月14日

摘要

本研究探索了苹果螺与水蕴草混养对月光鱼生长及健康的影响, 通过两种不同物种混养搭配进行三组处理(T1: 月光鱼 + 苹果螺; T2: 月光鱼 + 水草; T3: 月光鱼), 在相同室内常温常压条件下, 对各组进行定期的水质监测和生物样本采集, 分析它们对月光鱼生长摄食、存活率、还原型谷胱甘肽(GSH)酶活性及水质指标(如pH、TDS、溶解氧和水体氮、磷营养盐等)的影响。数据分析揭示, 其氨氮、磷酸盐及余氯浓度均为($T_1 > T_3 > T_2, P < 0.01$), 且浊度变化亦遵循 $T_3 > T_1 > T_2$ 的趋势($P < 0.01$)。此外, 水质的其他关键指标如亚硝酸盐浓度、氧化还原电位(ORP)、溶解氧(DO)、电导率、总溶解固体(TDS)、盐度等均维持在适宜范围内。三组月光鱼的还原性谷胱甘肽(GSH)平均含量约为0.34484 mg/g, 而螺的GSH含量为0.08418 mg/g, 反映了月光鱼在特定养殖环境下的良好生理状态。综上可得, 水蕴草对月光鱼的养殖和水质的改善有明显的促进作用, 苹果螺在养殖初期对水族生态有稳定作用, 适当选择物种和配置比例有助于形成稳定的水族生态系统。

关键词

月光鱼, 苹果螺, 水蕴草, 混养系统, 水质管理

Study on the Effects of the Mixed Culture of *Planorbarius Corneus* and *Egeria Densa* Planch with *Xiphophorus Maculatus* on the Growth Performance of *X. Maculatus* and the Variation Dynamic of Water Nutrients

Xiaohui Ni^{1*}, Jingqing Wang^{1#}, Zhen Wang¹, Jincheng Wang², Zhanyu Wang¹, Zeqiang Ming¹, Xinyi Lei¹, Luqi Li¹, Meixue Zhang¹

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 倪晓慧, 王金庆, 王震, 王金城, 王旃煜, 明泽强, 雷欣怡, 李璐琪, 张梅雪. 苹果螺、水蕴草混养对月光鱼生长性能和水体营养盐变化动态的影响研究[J]. 环境保护前沿, 2025, 15(4): 429-440. DOI: 10.12677/aep.2025.154050

¹College of Biology and Oceanography, Weifang University, Weifang Shandong

²Department of Automotive Engineering, Weifang Vocational College, Weifang Shandong

Received: Feb. 20th, 2025; accepted: Mar. 20th, 2025; published: Apr. 14th, 2025

Abstract

This study explored the effects of the mixed cultivation of *Planorbarius corneus* and *Egeria densa* Planch on the growth and health of *Xiphophorus maculatus*. Three groups of treatments were carried out through the mixed cultivation of two different species (T1: *X. maculatus* + *P. corneus*; T2: *X. maculatus* + *E. densa* Planch; T3: *X. maculatus*) conducted regular water quality monitoring and biological sample collection for each group under the same indoor normal temperature and pressure conditions, and analyzed their impact on the growth, feeding, survival rate, reduced glutathione (GSH) enzyme activity and water quality indicators (such as pH, TDS, dissolved oxygen, nitrogen and phosphorus nutrients in water) of *X. maculatus*. Data analysis revealed that the concentrations of ammonia nitrogen, phosphate, and residual chlorine were all (T1 > T3 > T2, P < 0.01), and the turbidity changes also the trend of T3 > T1 > T2 (P < 0.01). In addition, other key indicators of water quality such as nitrite concentration, oxidation-reduction potential (ORP), dissolved oxygen (DO), conductivity, total dissolved solids (TDS), salinity, etc. are maintained within appropriate ranges. The average content of reduced glutathione (GSH) in three groups of *X. maculatus* is about 0.34484 mg/g, while the GSH content in snails is 0.08418mg/g, reflecting the good physiological state of *X. maculatus* in a specific aquaculture environment. Overall, it can be concluded that aquatic plants have a significant promoting effect on the cultivation of *X. maculatus* and the improvement of water quality. *P. corneus* have a stabilizing effect on aquatic ecology in the early stages of cultivation, and appropriate selection of species and allocation ratios can help form a stable aquatic ecosystem.

Keywords

Xiphophorus Maculatus, *Planorbarius Corneus*, *Egeria Densa* Planch, Polyculture System, Water Quality Management

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

月光鱼(*Xiphophorus maculatus*)是鳞形目(Cyprinodontiformes)花鳉科(Poeciliidae)剑尾鱼属(*Xiphophorus*)鱼类, 是一种性情温顺, 易饲养的热带鱼[1], 因其美丽的外表和独特的生态习性而受到广泛的关注。月光鱼适宜生活在温度为18℃~28℃ [2], pH 7.0~7.4 [3]的水体中。其中, 水体指标、营养盐指标、GSH酶活性等生物指标被广泛应用于评估饲养环境的优劣。此外, 不同物种的搭配也被认为是影响观赏鱼生长及生态的重要因素之一。国内外关于月光鱼水体理化营养盐对鱼体体色及健康影响的研究较少, 主要进行了鲤鱼在氮磷配合使用下的养殖效果研究[4], 对模式生物孔雀鱼不同水质硬度的毒性研究[5], 饥饿对其色彩的影响[6], 其研究不仅蕴含了丰富的学术内涵, 更对观赏鱼养殖业的实践应用具有不可或缺的指导意义。通过对不同搭配关系下月光鱼的生长和生态指标, 揭示苹果螺与水蕴草对月光鱼饲养环境的具体影响, 为月光鱼的饲养和生态保护提供科学依据。同时, 本研究还采用了一系列先进的生物指标和技术手段, 如

还原型谷胱甘肽(GSH)酶活性等,以更准确地评估饲养环境的优劣,为其他观赏鱼的饲养和生态保护提供借鉴和参考。

2. 材料与方法

2.1. 实验材料

1) 实验鱼:月光鱼亲本购自潍坊市某花鸟鱼虫市场,经精心喂养后从幼苗中选取产下的生理状况良好,规格整齐,反应灵敏的幼苗作为实验对象,确保实验样本均一性。实验前对孔雀鱼进行检疫,排除疾病个体。

2) 螺的种类:平角卷螺(*Planorbarius corneus*)又称苹果螺,分属软体动物门,腹足纲,扁卷螺科。选用体型适中、活动力强的苹果螺作为实验材料。苹果螺在淡水环境中生活,具有搅动水体、增加溶氧量和提供营养物质的作用,对月光鱼的饲养环境有重要影响。

3) 水草的种类:水蕴草(*Egeria densa* Planch)是水鳖科多年生沉水草本。本实验选取生长旺盛、叶片健康的水蕴草作为实验材料。水蕴草是一种常见的水生植物,能够吸收水中的营养物质,净化水质,同时为月光鱼提供遮蔽和食物来源。在实验期间,我们将确保水蕴草的生长状况良好,以维持饲养环境的稳定性。

4) 实验仪器:多参数水质仪,离心机,分光光度计,电子天平,游标卡尺等。

2.2. 实验饵料

本研究中选用了两种不同类型的饵料饲养月光鱼。热带鱼配合饲料产品标准号 Q/HTSZ2(江门市蓬江区海豚水族有限公司),每天喂食两次,每次5 min内食完最佳。该饲料专为热带鱼设计,满足其不同生长阶段的需求,其次,每两日喂食一次富含Omega-3脂肪酸的DNA藻油凝胶糖果。

2.3. 实验设计

根据实验设计,在室内常温常压条件下,实验共设置3组处理,每组重复3次,测定5次。分别为T1:6条月光鱼幼苗+6只苹果螺;T2:6条月光鱼幼苗+水草(10 cm);T3:6条月光鱼幼苗。

本次月光鱼实验是在实验室圆柱形红桶里(高30 cm,底部直径15 cm)进行饲养,实验开始时,不同处理组的初始鱼体重基本一致,实验用水为曝气1周的自来水,水深约17 cm左右,室内靠窗放置,水体中通过添加水质稳定剂、硝化细菌等维持水质稳定,水温为(23±1)℃,每日定时投喂,确保各组热带鱼摄食充足,避免饥饿或过度投喂(做到少投多喂)。实验期间,保持鱼缸内水质稳定,每5天换水1次,每次换水保留1/3上层清水[7],2~3天对水质理化指标进行一次检测(H19828, Hanna, Italy),换水前测量水质中氨氮、磷酸盐、硝酸盐、亚硝酸盐、余氯、浊度等营养盐指标。定期测定相关体长体重,记录月光鱼的生长状况、健康状况及行为习性,如体表颜色、游动状态、摄食情况等。

2.4. 数据统计与分析

2.4.1. 测定指标

测定指标包括磷酸盐、pH、氨氮、硝酸盐、浊度、亚硝酸盐、余氯及还原性谷胱甘肽等。

2.4.2. 数据测定方法

数据参数测定使用国标的方式,DO、pH、ORP采用多参数水质分析仪(HI9828, Hanna, Ita-ly)测定,氨氮采用纳氏试剂比色法,亚硝酸盐、硝酸盐采用紫外分光光度法,电导率采用电导率仪直接测定,磷酸盐采用GB/T9727-2007化学试剂磷酸盐测定通用方法,余氯采用DPD分光光度法。

2.4.3. 生长指标的测定

实验起始和结束时分别测定每个桶中个体的体长(Body Length, BL)、体质量(Body Weight, BW)和摄食率，均采用国际单位 cm 和 g，并统计各个处理组的成活率。

计算公式如下：

- 1) 鱼体增质量(g)=末质量(g)-始质量(g);
- 2) 鱼体增体长(cm)=末次测量体长(cm)-初次测量体长(cm);
- 3) 摄食率=摄食量(g)/投喂量(g)×100%;

2.4.4. 还原性谷胱甘肽(GSH)的测定方法：

还原性谷胱甘肽采用分光光度法测定，具体步骤按标准方法进行，最终计算 GSH 含量(mg/g 鲜重)记录总结数据，数据处理采用 Excel2003 软件，单因素方差分析采用 SPSS27.0 统计软件，显著水平为 $P < 0.05$ ，符号不同时，表示差异显著；相同时表示差异不显著。

3. 结果

3.1. 处理对鱼类生长的影响

Table 1. The effect of experimental treatment on the body length and weight of *X. maculatus* on different sampling dates
表 1. 实验处理对月光鱼(*X. maculatus*)的体长和体重的影响

指标 Index	处理 Treatment	实验日期 Test date				
		5.31	6.07	6.12	6.22	6.28
体长 Body Length/cm	T1	1.933 ± 0.056	2.052 ± 0.087	2.350 ± 0.040	2.508 ± 0.022	2.577 ± 0.032
	T2	2.288 ± 0.052	2.335 ± 0.090	2.493 ± 0.056	2.570 ± 0.043	2.648 ± 0.043
	T3	1.733 ± 0.067	1.967 ± 0.052	2.153 ± 0.069	2.273 ± 0.05	2.350 ± 0.053
体重 Weight/cm	T1	0.100 ± 0.008	0.163 ± 0.039	0.279 ± 0.005	0.361 ± 0.010	0.385 ± 0.005
	T2	0.149 ± 0.011	0.171 ± 0.014	0.303 ± 0.007	0.347 ± 0.012	0.370 ± 0.011
	T3	0.087 ± 0.010	0.126 ± 0.009	0.270 ± 0.014	0.287 ± 0.012	0.328 ± 0.008

3.1.1. 各实验组月光鱼的体长变化

根据表 1 数据，T1(鱼螺混养)月光鱼体长为(1.12 ± 0.34)cm，T2(鱼草混养)组为(1.78 ± 0.34)cm，T3(仅月光鱼)组为(1.55 ± 0.34)cm。结果显示，T2 组的增长量最大，T3 组次之，T1 组最小。这表明水蕴草处理下更能促进月光鱼健康生长[8]，优于鱼螺混养和单养模式。进一步分析发现，鱼螺混养下，T1 组中苹果螺的代谢活动可能干扰了月光鱼的代谢[9]，并且两者在生态资源上存在竞争[10]，导致月光鱼生长较慢，因此 T2 处理更有利于月光鱼的养殖。

3.1.2. 各实验组月光鱼的体重变化

根据表 1 分析可知，月光鱼在不同实验处理下鱼体体重的分析如下：T2 和 T3 组月光鱼体重呈现稳定增长，T1 组体重变化为(0.3698 ± 0.03)g，在实验前期整体增长幅度较大，尤其是 6 月 4 日到 6 月 7 日期间增长幅度达到了 25% 以上，T2 组体重变化为(0.3845 ± 0.03)g，T3 组体重变化为(0.3278 ± 0.03)g。三组增长速率对比如下：T1 > T2 > T3，T1、T2 两组体重的增长率都呈现“S”型分布，增长速率呈现先上升后下降的正态分布，T3 组呈现稳步增长状态。

Table 2. The effect of experimental treatment on morphological indicators of *P. corneus* and *E. densa* Planck on different sampling dates**表 2.** 在不同测定日期实验处理对苹果螺和水蕴草形态指标的影响

指标 Index	处理 Treatment	实验日期 Test date				
		5.31	6.07	6.12	6.22	6.28
壳宽 Shell width/mm		5.968 ± 0.103	6.058 ± 0.237	6.340 ± 0.153	6.627 ± 0.125	7.020 ± 0.051
壳长 Shell length/cm	T1	1.213 ± 0.028	1.327 ± 0.019	1.358 ± 0.009	1.383 ± 0.008	1.412 ± 0.011
壳重 Shell weight/g		0.573 ± 0.033	0.609 ± 0.018	0.662 ± 0.012	0.691 ± 0.005	0.700 ± 0.003
草长度 Length/cm		17.517 ± 0.487	18.198 ± 0.042	19.158 ± 0.012	19.817 ± 0.032	20.698 ± 0.024
草质量 Weight/g	T2	0.666 ± 0.004	0.815 ± 0.006	0.933 ± 0.006	1.042 ± 0.006	1.100 ± 0.008

Table 3. Changes in water quality and nutrient index during breeding experiment of *X. maculatus***表 3.** 在月光鱼养殖实验期间水质营养盐指标的变化

指标 Index	处理 Treatment	实验日期 Test date				
		5.31	6.07	6.12	6.22	6.28
氨氮 Ammonia nitrogen (mg/L)	T1	0.647 ± 0.024 ^b	0.617 ± 0.009 ^b	0.480 ± 0.006 ^b	2.870 ± 0.006 ^a	2.540 ± 0.006 ^c
	T2	0.667 ± 0.009 ^c	0.670 ± 0.006 ^c	2.277 ± 0.009 ^c	2.930 ± 0.006 ^a	1.010 ± 0.006 ^b
	T3	0.467 ± 0.027 ^a	0.433 ± 0.003 ^a	0.217 ± 0.009 ^a	2.617 ± 0.009 ^a	0.460 ± 0.006 ^a
磷酸盐 Phosphate (mg/L)	T1	0.757 ± 0.009 ^a	0.760 ± 0.006 ^a	0.490 ± 0.023 ^b	0.587 ± 0.038 ^c	0.653 ± 0.022 ^c
	T2	1.683 ± 0.033 ^b	1.760 ± 0.006 ^c	0.607 ± 0.035 ^c	0.520 ± 0.052 ^b	0.313 ± 0.024 ^b
	T3	0.857 ± 0.019 ^a	0.795 ± 0.029 ^b	0.383 ± 0.018 ^a	0.530 ± 0.026 ^a	0.273 ± 0.020 ^a
硝酸盐 Nitrate (mg/L)	T1	6.343 ± 0.012 ^c	6.330 ± 0.049 ^c	6.313 ± 0.026 ^c	6.060 ± 0.221 ^c	6.353 ± 0.081 ^c
	T2	5.067 ± 0.026 ^a	5.138 ± 0.043 ^a	5.157 ± 0.047 ^a	5.153 ± 0.043 ^a	5.180 ± 0.061 ^a
	T3	5.603 ± 0.027 ^b	5.603 ± 0.012 ^b	5.573 ± 0.034 ^b	5.633 ± 0.029 ^a	5.623 ± 0.055 ^b
余氯 Residual chlorine	T1	0.153 ± 0.007 ^c	0.160 ± 0.006 ^b	0.143 ± 0.003 ^c	0.117 ± 0.003 ^b	0.150 ± 0.006 ^c
	T2	0.130 ± 0.006 ^b	0.117 ± 0.003 ^a	0.080 ± 0.006 ^b	0.110 ± 0.006 ^{ab}	0.110 ± 0.006 ^b
	T3	0.117 ± 0.003 ^a	0.113 ± 0.003 ^a	0.060 ± 0.058 ^a	0.083 ± 0.003 ^a	0.090 ± 0.006 ^a
浊度 Turbidity	T1	5.193 ± 0.012 ^c	5.210 ± 0.006 ^c	6.230 ± 0.006 ^b	4.640 ± 0.006 ^c	5.730 ± 0.006 ^b
	T2	3.157 ± 0.009 ^a	3.170 ± 0.006 ^a	3.070 ± 0.006 ^a	3.370 ± 0.006 ^a	4.983 ± 0.003 ^a
	T3	4.877 ± 0.055 ^b	4.970 ± 0.006 ^b	8.440 ± 0.058 ^c	4.557 ± 0.009 ^b	7.210 ± 0.006 ^c
亚硝酸盐 Nitrite	T1	1.333 ± 0.022 ^c	1.360 ± 0.006 ^c	2.450 ± 0.012 ^c	1.310 ± 0.006 ^c	1.280 ± 0.006 ^c
	T2	1.147 ± 0.022 ^a	1.110 ± 0.006 ^a	1.210 ± 0.006 ^a	0.815 ± 0.003 ^b	0.740 ± 0.006 ^b
	T3	1.237 ± 0.028 ^b	1.260 ± 0.006 ^b	1.680 ± 0.006 ^b	0.610 ± 0.006 ^a	0.410 ± 0.006 ^a

注：数据表示为平均值±标准差，同一列中的数字后跟不同的小写字母表示使用统计学 Duncan 检验显著差异性，以概率(P) 5% 作为显著评定标准。

3.2. 不同处理对螺、草生长的影响

水草和螺作为该水生系统中的重要组成部分，其生长状况也发生一定变化，根据表 2 结果显示：水蕴草的长度增长(3.78 ± 0.16) cm，重量增长(0.448 ± 0.01) g，但其后期形态与初始形态相比呈现缩状，可

能与鱼的活动致使叶片断裂有关，除此之外，苹果螺的体重增长(0.16 ± 0.006) g，宽度增长(1.05 ± 0.005) mm，厚度增长(1.411 ± 0.005) mm，个数亦有所增多，可能与食物来源丰富性增加有关。

3.3. 不同处理对水体营养盐、水质理化指标变化的影响

表 3 实验结果表明，实验处理对水体氨氮含量有显著影响($P < 0.01$)。T1 组氨氮含量最高为(1.21 ± 0.4) mg/L，T2 组氨氮含量最低为(0.72 ± 0.4) mg/L，归因于水蕴草对氨氮的吸收[11]，T3 组氨氮含量介于两者之间为(0.93 ± 0.4) mg/L。

研究结果显示，处理对磷酸盐含量有显著影响($P < 0.01$)。淡水养殖正常的磷酸盐范围一般为 0.1~0.5 mg/L，周鑫[12]指出有机磷过多会对月光鱼健康造成伤害。三组月光鱼养殖系统中，磷酸盐含量在正常范围以上波动。T1 组(鱼螺混养)磷酸盐含量为(0.653 ± 0.022) ppm，随时间增加呈上升趋势；T2 组(鱼草混养)为(0.313 ± 0.024) ppm，因水蕴草的除磷作用而有所下降[13]；T3 组为(0.273 ± 0.020) ppm。

数据解析显示，处理对水体浊度具有显著影响($P < 0.01$)。在不同养殖条件下，T3 组月光鱼水体浊度最高，达到(6.28 ± 0.77) NTU；而 T1 组和 T2 组浊度较低，分别为(5.45 ± 0.77) NTU 和(3.65 ± 0.77) NTU，正常淡水养殖水体浊度范围在 10 NTU 以下，因此本实验数据符合测量标准。

表 4 分析结果表明，处理对水体 pH 值有显著影响(< 0.01)，维持适宜的 pH 值对维护水质稳定和鱼类健康至关重要。热带鱼类最适生长 pH 范围为 7.2~7.4，测定 PH 值 T1 组为(7.14 ± 0.006)，T2 组为(7.28 ± 0.007)，T3 组为(7.37 ± 0.006)，三组 pH 范围皆处于最适生长范围内。

数据分析显示，处理对水体余氯有显著影响($P < 0.01$)，余氯表示水体中游离态氯和氯化物等物质的浓度的重要指标之一。月光鱼在不同养殖条件下，余氯含量差异明显：T1 组(鱼螺混养)余氯稳定，范围为(5.45 ± 0.77) mg/L；T2 组波动大，存在峰值，范围为(3.65 ± 0.77) mg/L；T3 组波动居中，为(6.28 ± 0.77) mg/L。余氯波动幅度 $T2 > T3 > T1$ 。高余氯对月光鱼有害，应合理管理以确保其在安全范围，保障月光鱼健康。

实验结果证明，处理对 TDS 有显著影响($P < 0.01$)。TDS 反映水中溶解性固体物质的总量，高 TDS 水平意味着水质可能较差[14]，养殖结果显示：T1 组 TDS 值为(564 ± 3.27) mg/L，T2 组 TDS 值为(559 ± 3.27) mg/L，T3 组 TDS 值为(553 ± 3.27) mg/L，说明水质可能偏硬，康志勇[1]在月光鱼的生物学特性及饲养技术中提出月光鱼适宜在偏硬的水质中生存，因此符合实验预期。同时也可表明，随着培养时间的增加，水质中的 TDS 数值会有一定程度的增加。三组 TDS 对比状况为 $T1 > T2 > T3$ ，这表明水蕴草的芽更新脱落和苹果螺的代谢排泄能力使水体的 TDS 相对于只有月光鱼的 T3 组偏高。

实验结果显示，处理对 PSU 有显著影响($P < 0.01$)。月光鱼在不同基质下的水质检测中 PSU 数值变化如下：T1 鱼螺混养组测定结果为(0.56 ± 0.08)，T2 鱼草混养组结果为(0.55 ± 0.08)，T3 对照组(无影响因素)结果为(0.54 ± 0.08)，三组 PSU 总体变化波动较小。盐度主要通过两种途径对水生生物的生态生理产生影响：一是直接影响渗透压的调节，二是间接影响生物体与环境间的物质交换和能量的流动。T3 组盐度增长最慢，变化幅度最小。

数据分析结果显示，处理对 DO 有显著影响($P < 0.01$)。DO 是衡量水体中溶解氧气含量的一个重要参数。月光鱼在不同处理下的水质检测中 DO 结果如下：T1 组鱼螺混养测定 DO 值为(4.21 ± 0.08) ppm，苹果螺在一定程度上可以反映水中的溶解氧含量，当水中的氧气含量较低时，苹果螺就会向上爬不利于其进食和繁殖[15]。T2 组为鱼草混养测定 DO 值为(4.41 ± 0.08) ppm，水蕴草属于沉水植物，沉水植物有良好的输氧能力，能改善水质中的含氧量[16]，提升水质 DO 值，T3 组测定 DO 值为(4.13 ± 0.08) ppm。

分析结果表明，处理对 ORP 有显著影响($P < 0.01$)，ORP 在水体中表示的是氧化还原电位(Oxidation-Reduction Potential)。月光鱼在不同处理下的水质检测 ORP 数值变化如下：随着培养时间的增加，水体

中氧化还原电位 ORP 呈下降趋势, T1 组水体 ORP 为 (141 ± 0.4) mV, T2 组鱼草混养 ORP 为 (143 ± 0.4) mV, 水蕴草作为沉水植物提升 ORP 的效果显著, 在水生植物作用下, 水体 ORP 多数呈此消彼长的规律 [17], T3 组 ORP 值与 T2 组相似为 (143 ± 0.4) mV。

Table 4. Changes in water physical and chemical indicators during breeding experiment of *X. maculatus*
表 4. 月光鱼养殖实验期间水体理化指标的变化

指标 Index	处理 Treatment	实验日期 Test date				
		5.31	6.07	6.12	6.22	6.28
pH	T1	7.573 ± 0.009^a	6.30 ± 0.006^a	7.44 ± 0.006^b	7.27 ± 0.006^a	7.147 ± 0.003^a
	T2	7.647 ± 0.012^b	6.960 ± 0.006^b	7.417 ± 0.003^a	7.25 ± 0.006^a	7.177 ± 0.009^b
	T3	7.663 ± 0.012^b	7.217 ± 0.003^c	7.453 ± 0.003^b	7.25 ± 0.006^a	7.300 ± 0.006^c
ORP (mV)	T1	143.9 ± 0.115^a	146 ± 0.058^b	149.4 ± 0.058^a	136.47 ± 0.033^a	120.73 ± 0.067^a
	T2	146.23 ± 0.088^b	145.8 ± 1.002^a	153.53 ± 0.033^c	138.8 ± 0.058^b	121.7 ± 0.058^b
	T3	47.60 ± 0.058^c	145.57 ± 1.317^a	152.57 ± 0.088^b	139.63 ± 0.033^c	123.2 ± 0.058^c
DO (PPm)	T1	7.06 ± 0.012^c	4.733 ± 0.009^b	4.717 ± 0.003^c	2.97 ± 0.006^c	2.09 ± 0.006^a
	T2	6.333 ± 0.009^b	5.247 ± 0.009^c	3.757 ± 0.007^a	2.643 ± 0.333^a	2.930 ± 0.006^c
	T3	6.157 ± 0.012^a	4.410 ± 0.006^a	3.977 ± 0.012^b	2.697 ± 0.009^b	2.540 ± 0.006^b
电导率 us/cm	T1	988.67 ± 1.202^a	1222 ± 0.577^b	1080.3 ± 0.882^a	1123 ± 0.577^b	1177.3 ± 0.333^c
	T2	1136 ± 0.577^c	1038 ± 0.577^a	1082 ± 0.577^a	1119 ± 0.577^a	1144 ± 0.577^a
	T3	1082 ± 1.155^b	1039.3 ± 0.333^a	1087 ± 0.577^b	1131 ± 0.577^c	1162.3 ± 0.333^b
TDS (PPm)	T1	531.33 ± 0.882^a	611.33 ± 0.333^c	541 ± 0.577^a	562.67 ± 0.333^a	588.67 ± 0.882^c
	T2	567.33 ± 1.202^c	519 ± 0.577^a	541.67 ± 0.333^a	558 ± 0.577^b	573.67 ± 0.333^a
	T3	541 ± 0.577^b	250.67 ± 0.333^b	544.33 ± 0.882^b	566 ± 0.577^a	581 ± 0.577^b
PSU	T1	0.530 ± 0.006^a	0.610 ± 0.006^b	0.537 ± 0.003^b	0.567 ± 0.003^b	0.580 ± 0.006^b
	T2	0.557 ± 0.003^b	0.513 ± 0.003^a	0.543 ± 0.009^{ab}	0.570 ± 0.006^c	0.580 ± 0.006^{ab}
	T3	0543 ± 0.003^{ab}	0.513 ± 0.003^a	0.540 ± 0.003^a	0.573 ± 0.007^a	0.577 ± 0.003^a

注: 数据表示为平均值 \pm 标准差, 同一列中的数字后跟不同的小写字母表示使用统计学 Duncan 检验显著差异性, 以概率(P) 5% 作为显著评定标准。

3.4. 摄食率, 酶活性

3.4.1. 摄食率的变化分析

Table 5. The effect of mixed feeding of *P. corneus* and *E. densa* Planch on the feeding rate of *X. maculatus*
表 5. 苹果螺与水蕴草混养对月光鱼摄食率的影响

指标 Index	处理 Treatment	实验日期 Test date				
		5.31	6.07	6.12	6.22	6.28
摄食率 Feeding rate	T1	$83 \pm 1\%$	$75 \pm 3\%$	$74 \pm 2\%$	$66 \pm 2\%$	$65 \pm 1\%$
	T2	$94 \pm 1\%$	$93 \pm 2\%$	$84 \pm 1\%$	$81 \pm 2\%$	$80 \pm 1\%$
	T3(对照)	$91 \pm 2\%$	$85 \pm 1\%$	$86 \pm 1\%$	$81 \pm 1\%$	$77 \pm 2\%$

本次实验计划投喂饲料量为月光鱼 0.002 g/条, 苹果螺为 0.0005 g/只, 随着养殖时间延长鱼体和苹果螺生长, 每周月光鱼饲料投喂量加 0.001 g/条, 每 4 只苹果螺加 0.001 g。随着培养时间的增加, T1、T2 组摄食率随着体重增长而降低, T2 组摄食率整体较大, 但是与对照组之间无统计上的差异(表 5)。随着鱼体质量增加, 其基础代谢率相对降低[18], 月光鱼的储存蛋白质和脂肪的能力也明显增加[19], 同时消化系统的效率也可能提高, 使鱼体在摄入相同饲料的情况下, 能够获得更多的能量和营养物质。因此, 摄食率呈现随体重增长而下降的趋势, 本实验摄食率结果是符合实际和理论依据的。

3.4.2. 月光鱼及螺的还原型谷胱甘肽(GSH)测定分析

Table 6. Determination of GSH enzyme activity in body tissues from *X. maculatus* and *P. corneus* during breeding experiment
表 6. 养殖实验期间月光鱼和苹果螺的 GSH 酶活性测定

月光鱼整体与螺	GSH (mg/g)
T1 月光鱼 <i>X. maculatus</i>	0.46138 ± 0.004
T2 月光鱼 <i>X. maculatus</i>	0.31418 ± 0.004
T1 苹果螺 <i>P. corneus</i>	0.08418 ± 0.002
T3 月光鱼 <i>X. maculatus</i>	0.25898 ± 0.003

Table 7. Comparison of GSH enzyme activity of *X. maculatus* body tissues in different treatments

表 7. 养殖实验期间不同处理月光鱼体组织 GSH 酶活性的比较

月光鱼部位 <i>X. maculatus</i> Parts	处理 Treatment	GSH(mg/g)
月光鱼头部 <i>X. Maculatus</i> Head	T1	0.32453 ± 0.002
	T2	0.28934 ± 0.006
	T3	0.31675 ± 0.002
月光鱼内脏 <i>X. maculatus</i> Viscera	T1	0.55568 ± 0.004
	T2	0.58643 ± 0.005
	T3	0.46325 ± 0.002
月光鱼肌肉 <i>X. maculatus</i> Muscle	T1	0.46138 ± 0.002
	T2	0.31418 ± 0.002
	T3	0.25898 ± 0.003

谷胱甘肽还原酶是一种广泛分布于肝、肾、心肌、骨骼肌等组织中的非特异性细胞内功能酶。由表 6 可以知道 T1 组月光鱼还原性谷胱甘肽(GSH)平均值为(0.46138 ± 0.16) mg/g, T2 组月光鱼还原性谷胱甘肽(GSH)平均值为(0.31418 ± 0.16) mg/g, T3 组月光鱼还原性谷胱甘肽(GSH)平均值为(0.25898 ± 0.16) mg/g, 苹果螺为(0.08418 ± 0.16) mg/g; 将月光鱼进行解剖, 分为单独的头部, 内脏, 躯体三部分, 月光鱼的内脏还原性谷胱甘肽(GSH)为(0.55568 ± 0.34) mg/g, 高于头部和肌肉部位以及月光鱼整体 GSH (表 7)。

酸碱度(pH)对 GSH 酶活性的影响: 水体的酸碱度(pH)是一个重要的水质指标, 它会影响鱼类的生理功能和代谢活动。pH 值的变化会影响 GSH 酶的活性和稳定性。在酸性环境下, GSH 酶可能会发生质子化, 从而改变其空间结构和活性位点, 导致酶活性下降[20]。而在碱性环境下, GSH 酶可能会受到氧化损伤, 使其活性降低。pH 值的变化还可能影响 GSH 的合成和代谢途径, 间接作用于 GSH 酶的活性。

溶解氧是鱼类生存的必需条件, 其参与鱼的呼吸和能量代谢。水体溶解氧降低时, 月光鱼可能遭遇缺氧胁迫, 导致体内活性氧(ROS)积聚。为应对此胁迫, 月光鱼会上调 GSH 酶活性, 强化抗氧化防御,

通过催化 GSH 与 ROS 反应，保护细胞免遭氧化伤害。但长期缺氧可能削弱 GSH 酶活性，影响其抗氧化效能[21] [22]。

另一方面，氨氮作为水生生态系统常见污染物，升高时对月光鱼产生氨毒性。高浓度氨氮促使体内 ROS 过量，初期刺激 GSH 酶活性升高以清除 ROS，但持续高氨氮环境干扰正常生理代谢，影响 GSH 合成和再生，导致酶活性后期下降[23] [24]，抗氧化和解毒能力受损。亚硝酸盐是氨氮氧化的中间产物，对鱼类具毒性。水体中亚硝酸盐含量升高会降低月光鱼血液的携氧能力，引发缺氧和氧化应激。为应对此状态，月光鱼启动抗氧化防御，初期 GSH 酶活性可能升高，清除过多活性氧。但持续亚硝酸盐胁迫会损害鱼体生理机能，影响 GSH 酶合成与活性，最终导致酶活性下降[24]。

4. 讨论

4.1. 实验阶段水质理化及营养盐变动解析

不同混养模式对水体营养盐变化具有显著影响。实验表明 T1 组磷酸盐偏高，可能源于鱼体排泄、饵料残留及水体循环不足。为降低磷酸盐含量，建议选用低磷饵料、强化水体循环与过滤管理，并增加生物利用度。此发现与周榆淇[25]的研究结果一致，强调了水产养殖中水质管理的重要性。

在氨氮含量方面，实验结果呈现出明显的差异。T2 组因添加了水蕴草，水质中的氨氮含量显著降低；而 T1 组的氨氮含量较高。其可能与多方面因素相关，如选用了不同基质及螺的数量等；在 T1 组中苹果螺产生水质废物的速度与废物分解速度之间可能存在不匹配的情况，从而导致氨氮含量升高；环境因子对苹果螺生理活动及水质变化也有影响，根据表 3 的数据可知，T1 组的浊度相对较高，这种不适宜的水质环境可能会对苹果螺的过滤能力产生负面影响，使其过滤效率降低，无法及时有效地处理水中的氨氮，进而导致氨氮在水体中不断积累。从本次实验可知，在设计和开展相关实验时，要充分考量实验条件以及生物因素的影响非常重要。

不同处理对水质理化指标也具有显著影响。组处理下的水体 pH 值略微降低，但符合月光鱼养殖标准，其中 T3 组的 pH 相较于其他两组变化较小，这说明了单一生物的代谢可以影响到水体酸碱，而 T2 组中的水蕴草通过光合作用和呼吸作用，昼夜调节 pH。这种动态调节为整个水体生态系统提供了一种相对稳定且适宜生物生存的酸碱环境，说明水生植物对于维持水体酸碱稳态有着不可替代的作用，凸显水生植物对维持水体酸碱稳态的重要性[25]。

浊度以 T3 组较高，可能原因是月光鱼排泄物和活动使浊度上升，T1 组中浊度最高，可能是苹果螺的排泄物以及其在水底翻搅底泥的行为，使得更多的悬浮颗粒进入水体，这表明不同生物的生态习性和代谢特点对水体浊度有着不同程度的影响，所以在混养体系中，需要综合考虑不同生物的这些特性，避免过度增加水体浊度。T2 中浊度最低表明水蕴草对浊度的有效控制，显示出水生植物强大的水质净化能力[26]。在实际应用中，可以利用水生植物构建生态浮床等设施，从而有效降低水体浊度，改善水质。余氯以 T1、T3 组较高，需警惕其与氨氮、亚硝酸盐的协同效应，会增加水体有毒物质的毒性，对水生生物安全造成威胁，水体的温度，pH 值及其他氯化物、氧化剂或还原剂等物质会与余氯发生反应影响测定结果。余氯会发生水解反应、氯化合反应，转变成毒性弱于游离氯的化合态氯。另外，由于悬浮物对于余氯的吸附和螯合作用，都会使得水体中的余氯浓度低于模型中所预测的浓度。

T2 组 ORP 值略低，可能与水蕴草提升 ORP 的效果有关。此结果与赵青[17]的研究一致，鱼草混养下水体的 ORP 峰值出现在 14:30~19:30 之间，表明鱼草混养对水体氧化还原状态有积极影响。T1、T3 组 TDS 略高，T1 组中苹果螺在饲料消耗、转化以及自生代谢过程中，产生了很多溶解性残渣，使得水体中溶解性物质增多。T2 组略低是因为水蕴草吸收溶解性无机盐作为营养，减少了水体中这类物质的积累，为水生生物提供了一个更稳定的环境。因此在混养体系中，需要控制生物的数量和饲料投喂量，避免 TDS

过高[27]。水体溶解氧可能成为限制鱼类生存和生长的关键因素, T1 组中溶解氧较低, 可能是因为在与苹果螺混养时, 两种生物相互竞争溶解氧, 导致其降低, 在养殖过程中, 需密切关注溶氧等情况, 避免因溶解氧不足导致生物死亡或者生长缓慢。T2 组 DO 值相较于其他组较高, 这说明水蕴草对溶解氧的昼夜调节作用, 为整个混养体系提供了一个稳定且适合生存的溶解氧环境, 水蕴草白天产生大量氧气, 满足了鱼和螺的氧气需求, 夜间虽然消耗氧气, 但由于白天积累仍能维持在保证生物正常呼吸的水平[27]。T3 组盐度只是略微上升, 但这暗示了鱼类代谢产物中盐分的缓慢积累, T1 组中苹果螺对 PSU 的影响不明显, 这说明其在物质转化过程中对盐度也有一定的作用, T2 组 PSU 保持稳定状态, 可以看出水蕴草对水体盐度的调节作用。

综上, 不同处理方式下苹果螺和水蕴草的存在对水体各指标产生了不同程度的影响, 水蕴草在调节水质方面表现出明显的优势, 而苹果螺的加入则在一定程度上改变了水体的物质循环和化学性质。深入理解这些影响和作用机制, 对于优化水生生物混养模式、维护水体生态平衡以及开展水体生态修复具有重要的理论和实践指导意义。

4.2. 加入苹果螺对月光鱼的影响

实验结果显示苹果螺与月光鱼在资源获取上存在竞争关系。苹果螺与月光鱼食性存在部分重叠, 在饲料有限的情况下, 苹果螺的存在减少了月光鱼可摄取的食物量, 使得月光鱼无法获得充足的营养用于生长, 从而限制了其生长速度。此外, 苹果螺的大量繁殖会消耗水体中的溶解氧, 造成水体溶氧不足。在低溶氧环境下, 月光鱼的生理活动受到影响, 新陈代谢减缓, 生长速度自然降低。同时, 苹果螺的排泄物和代谢产物增加了水体中氨氮等有害物质的含量, 水质的恶化也会对月光鱼的生长产生负面影响。虽然生长速度受到了影响, 但月光鱼成活率都是 100%, 这说明实验所提供的环境条件, 如水温、水质等, 均处于月光鱼和苹果螺能够适应和生存的范围内。尽管两者存在资源竞争, 但竞争程度尚未达到威胁生命的地步, 月光鱼依然能够获取维持生命的基本资源, 所以能够保持全部存活。这也从侧面反映出月光鱼对环境有一定的适应能力, 在资源竞争压力下, 仍能维持生存。

实验期间加入苹果螺对月光鱼具有明显影响, 我们观察到加入苹果螺的实验组水体中氨氮和硝酸盐的浓度相对较低。这可能是由于苹果螺具有强大的摄食和代谢能力, 能够迅速消耗水体中的有机废弃物和营养盐, 从而降低水体中的污染物浓度。此外, 苹果螺的排泄物也为水体中的微生物提供了丰富的碳源和氮源, 促进了微生物的生长和繁殖, 进一步改善了水体环境。然而, 我们也注意到, 在某些时间点, 实验组水体的 pH 值略低于对照组。这可能是由于苹果螺在代谢过程中产生了酸性物质, 对水体酸碱度产生了一定影响。但总体而言, 这种影响并未对月光鱼的生长和健康造成显著负面影响。

实验结果显示, 加入水蕴草的实验组水体溶氧量显著高于对照组, 这直接有利于月光鱼的呼吸和生长。同时, 水蕴草还能吸收水中的营养物质, 如氮、磷等, 有助于防止水体富营养化, 维持水质的稳定。这种稳定的生态环境为月光鱼的生长提供了良好的条件。水蕴草的生长为月光鱼提供了更多的栖息地和庇护所。这有助于减少月光鱼之间的争斗和捕食压力, 提高其生存率和繁殖成功率, 此外, 水蕴草还能为月光鱼的繁殖提供附着物。

4.3. 高水平氨氮可能通过刺激鱼体产生应激反应

谷胱甘肽酶在月光鱼生理机能中的作用有抗氧化作用、解毒作用、调节免疫功能, 其有助于保护细胞免受氧化应激的损害, 维持细胞的正常结构和功能; 可以去除鱼体内的重金属、药物残留等有害物质, 保护月光鱼免受这些物质的毒害; 有助于增强鱼体的抵抗力, 提高其对疾病和感染的应对能力[28]。本次实验结果显示, 月光鱼内脏还原性谷胱甘肽(GSH)含量明显高于头部和肌肉, 鱼类组织中肝脏通常具有较

高的抗氧化酶活性[28] [29]，这在朱杰胄[30]流速对草鱼幼鱼抗氧化性能的影响研究中也有所体现，可以看到肝脏的抗氧化酶活性明显高于肌肉组织。由于水蕴草和苹果螺在养殖过程中可能会引入不同程度的氧化物质(如溶解氧的减少、有机物分解产生的物质等)，这些氧化物质可能对孔雀鱼的肝脏健康产生类似的影响。

基于以上结果对 GSH 酶活性与水质指标关联机制分析如下：T2 组由于水蕴草的除氮作用使水质氨氮含量较低致使三组氨氮呈现 T1 > T3 > T2，与 GSH 酶活性测定 T1 > T2 > T3 有一定的对应关系，结果证明，一定浓度的高水平氨氮可能会通过刺激鱼体产生应激反应对 GSH 生物合成有一定的间接促进作用，水蕴草的存在可能影响 T2 组生物抗氧化系统增强，优化细胞代谢，使鱼体 GSH 酶活性处于稳定且健康水平，为环境水质的维护及水生生物健康水平的维持提供新途径。

5. 未来展望

实验结果在实际应用中的适用性仍需进一步验证。未来可以进行交互作用研究探究苹果螺和水蕴草共同作用对月光鱼生长环境的影响，以及不同水质指标之间的相互关系。这有助于更全面地理解生态因子间的相互作用机制。

月光鱼作为观赏鱼，在国内外均受到一定程度的关注，本研究针对月光鱼领域现有研究的遗漏，设计了一项创新的实验方案，结合了水蕴草和苹果螺两种生物因子，为月光鱼提供了更优质的生长环境。鉴于我国对月光鱼的学术研究相对有限，该研究不仅补充了国内在该领域的先前研究，还探索了未知领域，为我国热带鱼类的相关研究提供了全新的科学依据。因此，该论文研究不仅有望填补相关空白，推动观赏鱼产业的健康发展[31]，还能促进生物学、生态学等领域的跨学科合作与交流，对推动相关领域的发展具有重要意义。

基金项目

潍坊市科技发展计划(2023GX018)；教育部产学合作协同育人项目(220601018015222)；2022 年山东金水湾锦鲤养殖有限公司鱼菜共生横向课题；2024 年上海瀛西果蔬专业合作社鱼菜共生锦鲤养殖横向课题。

参考文献

- [1] 康志勇. 月光鱼的生物学特性及饲养技术[J]. 内陆水产, 2004, 29(2): 41.
- [2] 卓婷, 李冬梅, 余洋平. 月光鱼科学饲养技术要点[J]. 科学养鱼, 2021(11): 77-78.
- [3] 徐成文. 月光鱼的饲养与繁殖[J]. 花木盆景(花卉园艺), 2002(1): 40.
- [4] 任维美. 调整饲料含磷量降低鲤鱼氮、磷排泄[J]. 饲料研究, 2004(3): 16.
- [5] 姜宏波, 李晓东, 于业辉, 等. 不同硬度条件下 Cu²⁺对孔雀鱼的毒性研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(5): 176-178.
- [6] 曾兰芳, 王金庆, 吕瑞敏, 等. 饥饿对家养孔雀鱼色彩的影响[J]. 科学养鱼, 2023(1): 79-80.
- [7] 蒋明健. 孔雀鱼养殖技术要点[J]. 科学养鱼, 2021(3): 78-79.
- [8] 付云蕾. 三种常见水生植物对皮革废水净化效果研究[D]: [硕士学位论文]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2020.
- [9] 鞠长城. 谈水养殖苹果螺[J]. 河北农业科技, 1988(1): 22.
- [10] 陈露露. 洋湖国家湿地公园福寿螺危害程度及防控体系研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南农业大学, 2022.
- [11] 苑博. 两种沉水植物与铜锈环棱螺及其组合对水体净化的效果[D]: [硕士学位论文]. 保定: 河北大学, 2020.
- [12] 周鑫, 万可维, 倪安煜, 等. 聚丙烯纳米塑料与有机磷阻燃剂联合暴露对斑马鱼发育和神经毒性的影响[J]. 中国环境科学, 2024, 44(11): 6484-6494.
- [13] 左奇丽. 水蕴草对水中氮磷的去除及其抑藻效应研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2012.

-
- [14] 邹雨函, 刘志君, 谢思好, 等. 人工湿地对水体中 TDS、Turb 及 FDOM 的净化效果研究[J]. 中南林业调查规划, 2024, 43(2): 58-63.
 - [15] 赵伟. 水族“新宠”苹果螺[J]. 水族世界, 2013(2): 128-133.
 - [16] 孔雀鱼: 美丽需要细心呵护[N]. 中国特产报, 2009-09-04(A04).
 - [17] 赵青, 黄鹏, 李鹤男, 等. 基于 DO 和 ORP 考量水生植物的生态修复效果[J]. 中国给水排水, 2023, 39(5): 94-100.
 - [18] 段婷, 李永利, 李格, 等. 体质量对雌雄孔雀鱼静止代谢率的影响[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2016, 33(5): 29-32.
 - [19] 肖涛. 观赏鱼的营养研究进展[J]. 广东饲料, 2007(3): 17-19.
 - [20] 丁浪, 夏立萍, 沈斌, 等. 中华乌塘鳢(*Bostrychus sinensis*) GPx7 和 GPx8 基因的克隆、表达与酶活性分析[J]. 海洋与湖沼, 2022, 53(3): 697-709.
 - [21] 马粒雅, 王闻, 迟雯丹, 等. 溶解氧变化对中华乌塘鳢酶活的影响及其低氧耐受力研究[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(3): 91-94.
 - [22] 熊向英, 黄国强, 彭银辉, 等. 低氧胁迫对鲻幼鱼生长、能量代谢和氧化应激的影响[J]. 水产学报, 2016, 40(1): 73-82.
 - [23] 高云涛, 高云红, 王嘉伟, 等. 氨氮急性胁迫对许氏平鲉血液生化指标影响[J]. 海洋科学, 2023, 47(8): 49-59.
 - [24] 孙阿君, 丁炜东, 曹丽萍, 等. 氨氮胁迫对翘嘴鳜幼鱼抗氧化酶、消化酶活性及应激相关基因表达的影响[J]. 水产科技情报, 2024, 51(1): 44-51.
 - [25] 周榆淇. 稻田水土环境对全程淹水下稻鱼复合种养的响应[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南农业大学, 2022.
 - [26] 孙友文, 张东旭, 陈强. 降低工业循环水浊度的改造[J]. 氮肥与合成气, 2022, 50(11): 15-16, 24.
 - [27] 张松, 贺中华, 唐武斌, 等. 广州市增城区典型水库和湖泊中浮游植物调查及水质关系分析[J]. 海南热带海洋学院学报, 2023, 30(5): 15-22.
 - [28] 刘小玲, 曹俊明, 邝哲师, 等. 嗜酸乳酸菌对吉富罗非鱼生长、非特异性免疫酶活性和肠道菌群的影响[J]. 广东农业科学, 2013, 40(1): 123-126.
 - [29] 周晓波, 黄燕华, 曹俊明, 等. 5 种乳酸菌对罗非鱼生长性能、体成分、血清生化指标及肠道菌群的影响[J]. 动物营养学报, 2014, 26(7): 2009-2017.
 - [30] 朱杰胄, 梁骁, 李婧钰, 等. 流速对草鱼幼鱼抗氧化性能的影响[J]. 水产学杂志, 2023, 36(4): 61-68.
 - [31] 王震, 王金庆, 颜清晨, 等. 锦鲤池塘生态养殖技术[J]. 科学养鱼, 2024(8): 84-85.