

# 鱼类体色受环境和饲料影响的研究进展

王坤<sup>1,2,3\*</sup>, 徐林通<sup>2,3</sup>, 王宇<sup>2,3</sup>, 孙金辉<sup>1,3</sup>, 姜巨峰<sup>2,3#</sup>

<sup>1</sup>天津农学院水产学院, 天津

<sup>2</sup>天津市水产研究所, 天津

<sup>3</sup>天津市观赏鱼技术工程中心, 天津

收稿日期: 2023年11月21日; 录用日期: 2023年12月20日; 发布日期: 2023年12月29日

## 摘要

鱼类的体色在吸引伴侣、捕食猎物、躲避天敌等生存和繁殖行为中发挥着关键作用。其形成是一个复杂的过程, 受到内部因素和外部环境因素的共同影响。本文通过文献调查的方式, 探讨了影响观赏鱼体色的因素, 综合总结了已有文献中关于影响鱼类体色的影响因素, 包括色素细胞的含量和分布、遗传、鱼类健康状况以及神经内分泌等内在因素, 和涵盖类胡萝卜素、维生素和激素作为饲料添加剂和光照、背景颜色、水深、水温和水体酸碱度等外在环境因素。了解这些因素如何相互作用, 有助于养殖者更有效地管理观赏鱼的体色, 从而提升其市场和欣赏价值。

## 关键词

鱼类, 体色, 影响因素

# Research Progress of Fish Body Color Influenced by Environment and Feed

Kun Wang<sup>1,2,3\*</sup>, Lintong Xu<sup>2,3</sup>, Yu Wang<sup>2,3</sup>, Jinhui Sun<sup>1,3</sup>, Jufeng Jiang<sup>2,3#</sup>

<sup>1</sup>Fisheries College of Tianjin Agricultural University, Tianjin

<sup>2</sup>Tianjin Fisheries Research Institute, Tianjin

<sup>3</sup>Tianjin Ornamental Fish Technology and Engineering Center, Tianjin

Received: Nov. 21<sup>st</sup>, 2023; accepted: Dec. 20<sup>th</sup>, 2023; published: Dec. 29<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

The coloration of ornamental fish plays a pivotal role in survival and reproductive behaviors such

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 王坤, 徐林通, 王宇, 孙金辉, 姜巨峰. 鱼类体色受环境和饲料影响的研究进展[J]. 水产研究, 2023, 10(4): 161-166. DOI: 10.12677/ojfr.2023.104019

as attracting mates, capturing prey, and evading predators. The development of fish coloration is a complex process influenced by both internal genetic factors and external environmental factors. By means of literature investigation, this paper discussed the factors affecting the body color of fish, and comprehensively summarized the existing literature on the factors affecting the body color of fish, including the content and distribution of pigment cells, genetics, fish health status, neuroendocrine and other internal factors. And covers carotenoids, vitamins and hormones as feed additives and external environmental factors such as light, background color, water depth, water temperature and water pH. Understanding how these factors interact can assist aquaculturists in more effectively managing the coloration of ornamental fish, ultimately enhancing their market value and aesthetic appeal.

## Keywords

Fish, Body Color, Influencing Factors

Copyright © 2023 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

观赏鱼因其独特鲜艳的体色和斑纹受到水族爱好者的喜爱。鱼类体色在不同的鱼种、环境和饲料条件下呈现出多样性,而且遗传变异也相当复杂[1]。随着观赏鱼产业的迅猛发展,改善观赏鱼的体色以提升其观赏价值,在高密度、集约化的养殖条件下,是我国观赏鱼产业的一项重要任务。目前国内外关于饲料营养成分和体色基因方面的研究较多,随着研究的深入,观赏鱼体色的研究已经发展到了调控机制、颜色变化和鱼类行为对体色的影响等更广泛的领域。本文将对影响鱼类体色的各种因素进行综合回顾如下。

## 2. 鱼类体色的内在成因

鱼类的体色在本质上由遗传因素决定,其遗传机制颇为复杂。鱼类个体之间的体色差异,可能与鱼类生长和体色的调节途径之间存在相同基因有关[2]。鱼类之所以呈现多样的体色,源于其色素细胞(melanophores)在鱼类表层的皮肤和鳞片,色素颗粒的数量、分布和运动情况存在差异[3]。鱼类是脊椎动物中最大的类群,有6种起源于神经嵴的色素细胞,包括黄色素细胞(xanthophore)、红色素细胞(erythrophore)、黑色素细胞(melanophore)、蓝色素细胞、白色素细胞(leucophore)(又称鸟粪细胞)和彩虹细胞(iridocyte)[4]。此外,鱼的体色也与其健康状况、性别、年龄、情绪冲动等有关,也会因水质、光照、饲养密度、营养等外部因素的不同而有所不同[5]。

## 3. 影响鱼类体色的外在因素

### 3.1. 饲料添加剂对鱼体色的影响

观赏鱼的体色不仅与养殖密度和环境有关,更受到饲料质量的直接的影响。目前观赏鱼养殖中最常用的增色剂包括类胡萝卜素(carotenoid)以及一些维生素和激素类物质。然而,不同的鱼类利用色素的能力不同:例如血鹦鹉(amphilophus)可以更有效地利用虾青素(astaxanthin);七彩神仙鱼(Symphysodon aequifasciata)能有效利用叶黄素。这种有针对性的饲养方式有助于提升观赏鱼的体色鲜艳度和品质。除了色

素的摄取, 饲料中的维生素、矿物质和蛋白质等元素均会影响观赏鱼的体色。合理的饲养管理和营养补给, 可以促进观赏鱼体色的亮丽表现。

### 3.1.1. 类胡萝卜素

大部分养殖鱼类体色的表现受类胡萝卜素影响, 其颜色随共轭双键的数量而变化。此外, 类胡萝卜素能增强机体的免疫力, 对机体有保健作用。天然叶黄素广泛存在于自然界中, 可作为维生素前体, 又提高水产动物的抗氧化能力, 对动物健康和生长有积极影响。饲料中添加适量叶黄素能够提高七彩神仙鱼皮肤中的黄色程度和皮肤中叶黄素的含量[6]。叶黄素是安全可靠且有益健康的纯天然植物提取物, 值得在水产饲料中进一步开发利用。

血艳红慈鲷(*Copadichromis trimaculatus*)的饲料中添加不同浓度的盐藻(*Dunaliella salina*) (富含 $\beta$ -胡萝卜素是一种常见的橙色色素)、裂壶藻(*Phaeodactylum tricorutum*) (富含叶黄素是一种黄色色素)及小球藻(*Chlorella*) (富含绿色色素叶绿素, 不属于类胡萝卜素), 证明适量的盐藻和裂壶藻会促进血艳红着色。虾青素也可有效促进高体鳉鱼和棘颊雀鲷(*Premnas biaculeatus*)的生长, 改善体色, 增强肝脏抗氧化能力[7]。

鱼类通过外界摄取虾青素, 来达到改善体色、提高抗氧化性和免疫力、促进生长发育等目的。美国食品和药物管理局(USFDA)已批准虾青素用于动物和鱼类着色。富含虾青素(*Haematococcus pluvialis*)的藻类能有效改善七彩神仙、血鹦鹉、锦鲤、弗氏拟雀鲷(*Pseudochromis fridmani*)等的体色, 且不同鱼类的适宜添加水平有所差异[8]。辣椒红素、加丽素、玉米蛋白粉、螺旋藻(*Spirulina*)等均可以不同程度的改善血鹦鹉鱼体色[9]。

同时, 作为一种脂溶性色素, 鱼体内脂类的含量会影响机体对类胡萝卜素的吸收和利用。在饲料中, 适量脂肪的添加可提高血鹦鹉鱼、棘颊雀鲷(*Premnas biaculeatus*)、淡黑镊丽鱼(*Labidochromis caeruleus*)、和黄金锦鲤(*Yamabaki ogon*)等的生长性能、有效提高虾青素的吸收效率、增强鱼体免疫能力。不同鱼类的代谢能力不同, 起主要作用的类胡萝卜素种类也不同, 单纯添加类胡萝卜素含量或投喂时间不能达到最优效果。应合理调整饲料中类胡萝卜素的种类和浓度, 或者结合适当的脂类含量, 可以有效地提升观赏鱼的体色鲜艳度和品质。

### 3.1.2. 维生素

大部分养殖鱼类体色的表现受类胡萝卜素影响, 其颜色随共轭双键的数量而变化。此外, 类胡萝卜素能增强机体的免疫力, 对机体有保健作用。天然叶黄素广泛存在于自然界中, 可作为维生素前体, 又提高水产动物的抗氧化能力, 对动物健康和生长有积极影响。饲料中添加适量叶黄。类胡萝卜素是维生素 A 的合成前体, 在观赏鱼的体色发挥着关键作用。鱼体中维生素 A 不足可能导致类胡萝卜素不再用于色素细胞中的呈色物质, 而是用于合成维生素 A。为了更好地促进类胡萝卜素的吸收, 确保观赏鱼体内维生素 A 的水平显得尤为重要。然而, 需要注意的是, 鱼类对维生素缺乏的反应较为缓慢。不同种类维生素的缺乏会对鱼体色变化产生不同影响: 缺乏维生素 A 时, 鱼体色变浅; 维生素 D 过多时, 鱼体变得停滞、不活跃、体色变暗; 缺乏维生素 B1 时, 鱼容易受惊、皮下出血、肤色浅; 叶酸缺乏时, 鱼体会贫血、体色发黑。研究表明, 当鱼类缺乏维生素 E 时, 会出现肌肉营养不良、色素沉着不足和死亡率高等现象。

总体来看, 维生素和矿物质以辅酶的形式参与色素细胞中的各种化学反应, 维持色素物质的正常生理功能和体内代谢。人工配合饲料中维生素和矿物质不足, 会导致鱼类生产性能下降, 鱼类生理功能也会受到一定程度的损害。因此, 为了维持养殖鱼类正常的生理机制, 和正常的体色, 人工配合饲料必须以各种维生素和矿物质的整体需要为基础。

### 3.1.3. 激素

雄激素是鱼类内分泌干扰物，包括天然雄激素和合成雄激素。这些雄激素可能会干扰鱼类的内分泌系统，使雌鱼雄性化，体现出雄性次要特征，甚至卵巢与精巢同时存在，生育能力下降，甚至会出现动物雄性化现象。值得注意的是，雌鱼体内的色素沉积主要在卵巢和卵黄中。而当雄性鱼达到性成熟阶段后，色素沉积会主要集中在体表和肌肉上，呈现出“婚姻色”。

浓度不同的雄烯二酮和睾酮对阿里鱼(*Sciaenochromis fryeri*)雌鱼的成活率没有显著影响，但两者均能促进阿里鱼雌鱼的生长和体色，其中雄烯二酮的增色效果更为明显[10]。用不同甲基睾酮含量的饲料喂养不同月龄的中华鲮(*Oncorhynchus mykiss*)，发现试验 56 日饲料组对 50 日龄中华鲮的色素量沉积明显，但对 80 日龄中华鲮色素沉积量不明显。鱼类性腺的发育和性别分化在很大程度上受到性激素的调控。在性腺分化程度较低的情况下，雌性鱼向雄性鱼转化的效果更加显著，这也会对类胡萝卜素的显色效果产生更大的影响。激素在观赏鱼体色调控中发挥重要作用，特别是雄激素的影响。雄性化程度越高，鱼体对于色素的吸收和沉积效果越显著。合理添加合成雄激素，如雄烯二酮，可以显著增强雌性鱼的体色。

综上，类胡萝卜素、维生素和激素是影响观赏鱼体色的重要因素。在养殖过程中，通过合理调控这些因素的添加量和比例，可以实现对观赏鱼体色的精准调控，增加其观赏价值，提升市场竞争力。未来的研究可以进一步深入探究这些因素在不同鱼类和环境条件下的作用机制，为观赏鱼的体色调控提供更多科学依据和实践指导。

## 3.2. 环境因素

栖息地的光线、背景颜色、水体的明暗和酸碱度等环境因素都在影响鱼类体色。体色变化的根本原因是色素细胞内色素颗粒的堆积和散射，虽然与鱼类的固有体色无关，但却对最终的着色效果产生重要影响。鱼类通常会根据环境变化来调整体色，以隐藏自己。鱼类体色是衡量鱼类健康状况的标准，体色是否正常也直接影响鱼类的价格。寻找鱼体颜色变化的原因、机制和控制方法显得尤为重要。下面将对这些环境因素对观赏鱼体色的影响进行探讨。

### 3.2.1. 光照

光照一种直接影响鱼类的神经系统和皮肤的信号刺激，引发其内分泌和血液循环的变化。环境光线的强弱会直接影响斑鳃鱼(*Siniperca scherzeri*)体色变化，随着光照强度增大，其黑色加深，相反则逐渐转变为黄色。大黄鱼背部和腹部的色素细胞的红绿色值和蓝黄色值明显比白天高。另有实验证实，黄光可促进虹鳟的生长并减轻其应激皮质醇反应。鱼类体色的变化与水中光线的强弱密切相关。不同纬度地区的鱼类喜好不同的水深，这一现象也再次突显了鱼体色与光照环境的紧密联系。光照强度、波长和方向等因素在影响鱼类体色的形成与行为方面扮演着重要角色。深入研究光照对鱼类的影响不仅有助于了解鱼类的生态适应能力，还为水产养殖、生态保护和生态学领域提供了有益的信息。

### 3.2.2. 背景颜色

许多鱼类会通过改变体色以躲避天敌，这种鱼类体色与环境颜色的适应分为生理变色和形态变色两种类型。生理变色主要是由色素细胞内色素颗粒的运动引起的。当颜料颗粒聚集在特定部位，而其他区域的色素颗粒稀少或不存在时，体色会变浅；相反，则会变深。这种变色反应迅速，效果显著。而形态变色过程较为缓慢且渐进，由色素细胞数量及其所含色素颗粒数量的变化引起的，但最终的影响比生理变色更加显著。大菱鲂幼鱼更喜欢淡紫色背景颜色，而在黑色和红色背景下出现的频率较低。实验证实改变金鱼和罗非鱼的环境颜色均会改变其色素强度[11]。完全黑暗的环境中孵化的鲟鳃类鱼，可能会导致生长过程的色素异常情况。因此，背景效应往往可以使鱼体颜色快速改变，而且这种变化是内部调控的

结果, 不受外界影响。

总之, 鱼类通过改变体色以适应不同的环境颜色, 体现了其出色的适应性和生存策略。不同颜色背景对鱼类体色产生显著影响, 而这种变化常常是迅速和内在的。这些研究为深入了解鱼类的生态适应机制以及生态系统的稳定性提供了有益信息。

### 3.2.3. 水深

颜色变化是鱼类用以适应其生活环境条件的一种重要方式。在一定范围内, 鱼类会根据其栖息地的背景颜色来改变体色。水深 150 米时红海参体色最为红艳, 超过 150 米时, 红色会逐渐变浅[12]。此外, 一些鱼类的体色会随其所处的水层深度而发生变化, 如狮子鱼在不同水深时, 呈现不同体色。养殖过程中, 高水位的养殖池塘中的黄盖蝶鱼苗和牙鲆发生白化的概率低于低水位的养殖池, 自然界中出现体色异常的牙鲆大多分布在沿海浅水区。这都显示体色异常的发生与饲养水体的深浅相关, 不仅仅受饵料成分的影响。

相较于底层鱼类(如银斧鱼、高菱鱼), 沿海中上层鱼类(如沙丁鱼、鲹鱼)的背腹体颜色差异更加显著, 黑色素细胞和黄色素细胞的分布也更为明显[13]。对于中上层鱼类而言, 不同波长的光可以照射到它们的背部, 而底层鱼类只能接收蓝光。所以底层鱼类的体色中较少含有红色素细胞, 而中上层鱼类中红色素细胞较为丰富。这些发现为更深入地了解鱼类的生态适应机制以及生态系统的稳定性提供了有益的见解。

### 3.2.4. 温度

在自然界中, 每一种生物都有其适宜生存的温度范围。对于鱼类而言, 温度还会影响它们的体色变化。低温会减缓色素细胞的运动, 而高温则会促使色素沉积加速。水温在 26℃至 30℃范围内可以获得比 22℃或 24℃时, 虾青素和小球藻对金鱼的着色效果更佳。紫刺参(*Apostichopus japonicus Selenta*)在温度和盐度偏离其适宜生存范围时, 幼海参的变色时间明显延长。而且, 不同个体之间也存在着变色时间和过程的差异, 变色过程通常从背部逐渐过渡到腹部。水温对红锦鲤和白锦鲤的体色影响较小, 可能是因为不同种类的类胡萝卜素在反应上存在差异, 也可能是因为实验中所选用的温度范围正好处于这两种锦鲤的适宜生长范围内[14]。尽管这方面的研究较少, 但鱼类很可能会生活在一个相对狭窄的水温范围内。因此, 通过在合适范围内调控鱼类生存环境的温度, 也可以间接地调节鱼类的体色变化。

### 3.2.5. 水体酸碱度

水的酸碱度对鱼类的体色也有显著的影响。鸚鵡鱼在微酸性的水环境中会有更好的着色效果, 而锦鲤则在弱碱性水中表现出更好的着色效果。科学的放养密度、合理的饲养管理、适当的营养调控、建立良好的养殖模式等措施都可以对观赏鱼的体色产生积极影响。在自然环境下, 不同种类的鱼类具有独特的体色, 这是鱼类分类的重要依据, 也可衡量它们健康状况的标志。

总的来说, 环境因素对观赏鱼体色产生多方面的影响, 包括光照、背景颜色、水深和温度和酸碱度等。这些因素交织在一起, 共同决定了观赏鱼的体色呈现出丰富多样的变化。观赏鱼通过改变体色来适应不同的环境条件, 这种变化不仅是一种生存策略, 还可以为鱼类在繁殖、避敌和求偶等方面获得优势。因此, 在观赏鱼的养殖和管理过程中, 合理调控这些环境因素可以改善观赏鱼的体色, 提升其视觉吸引力和市场价值。

## 4. 展望与讨论

总结起来, 观赏鱼体色是其观赏价值的重要组成部分, 对中国观赏鱼产业的发展具有重要影响。多个因素共同影响观赏鱼体色, 包括环境、饲料营养、基因等。目前国内的研究关于饲料营养成分和体色基因方面的较多, 揭示了饲料中添加特定成分对鱼体色的影响。饲料中的叶黄素和虾青素等营养物质会

直接改变鱼体颜色。遗传差异在鱼类体色方面也起着重要作用。随着研究的深入,观赏鱼体色的研究已经从单纯的颜色观察拓展到了调控机制、颜色变化和鱼类行为对体色的影响等更广泛的领域。观赏鱼体色影响因素的研究跨足生态学、生理学、行为学和养殖技术等多个领域,这为未来的研究提供了广阔的探索空间。

在观赏鱼产业蓬勃发展的背景下,鱼类体色的改良和调控也将成为重要的研究方向。未来的研究可以进一步深化我们对观赏鱼体色调控机制的理解,同时也要考虑到保护自然生态和遗传多样性的伦理和生态风险。综合考虑环境、营养、基因等多个方面的因素,努力实现观赏鱼体色的多样化和优化,有望推动观赏鱼产业的创新发展,同时也为科学研究和生态保护提供新的机会。

## 基金项目

天津市海水养殖产业技术体系创新团队(ITTMRS2021004);天津市农业产学研用“揭榜挂帅”项目(JBGG202205);农业农村部热带亚热带水产资源利用与养殖重点实验室开放课题(20220206)。

## 参考文献

- [1] 胡书, 曾丽雯, 罗琳, 等. 观赏鱼体色的调控研究进展[J]. 科学养鱼, 2019(5): 77-78.
- [2] 傅建军, 朱文彬, 罗文韬, 等. 不同体色鲤的生长、酪氨酸酶活性、黑色素含量及基因表达比较[J]. 中国水产科学, 2021, 28(8): 939-947.
- [3] Lorin, T., Runet, F., Laudet, V., *et al.* (2018) Teleost Fish-Specific Preferential Retention of Pigmentation Gene-Containing Families after Whole Genome Duplications in Vertebrates. *G3-Genomes Genetics*, **8**, 1795-1806. <https://doi.org/10.1534/g3.118.200201>
- [4] Cal, L., Suarez-Bregua, P., Moran, P., *et al.* (2018) Fish Pigmentation. A Key Issue for the Sustainable Development of Fish Farming. In: Yúfera, M., Ed., *Emerging Issues in Fish Larvae Research*. Springer, Cham, 229-252. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-73244-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-73244-2_8)
- [5] 黄鸿兵, 尹思慧, 李潇轩, 等. 鱼虾体色及呈现机制研究进展[J]. 天津农业科学, 2021, 27(7): 38-41+47.
- [6] 尹靖凯, 卢正义, 张媛媛, 等. 叶黄素和叶黄素酯对黄金锦鲤生长和体色的影响[J]. 天津农学院学报, 2023, 30(2): 27-30+37.
- [7] 姜巨峰, 韩现芹, 周勇, 等. 饲料中添加天然虾青素对棘颊雀鲷生长性能及体色的影响[J]. 饲料研究, 2021, 44(20): 38-42.
- [8] 高金伟, 王洪柱, 周文礼. 虾青素在观赏鱼养殖中的应用研究进展[J]. 经济动物学报, 2022, 26(4): 342-350.
- [9] 陈颖, 李建东, 龚洋洋, 等. 血鸚鵡体色调控研究进展[J]. 科学养鱼, 2022(9): 77-78.
- [10] 姜巨峰, 周勇, 史东杰, 刘肖莲, 刘克明, 李春艳, 韩现芹, 牟希东, 宋红梅. 两种增色剂对阿里雌鱼生长及体色调控的研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2022, 47(6): 27-33.
- [11] Mizusawa, K., Yamamura, Y., Kasagi, S., *et al.* (2017) Data on the Density of Xanthophores in a Whole Scale of Goldfish Acclimated to White or Black Background Color. *Data in Brief*, **14**, 724-729. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.08.039>
- [12] Collin, S.P. and Hart, N.S. (2015) Vision and Photoentrainment in Fishes: The Effects of Natural and Anthropogenic Perturbation. *Integrative Zoology*, **10**, 15-28. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12093>
- [13] 姚晓华, 王森, 鲍宝龙. 几种近海底层鱼类和中上层鱼类隐蔽伪装色的比较[J]. 上海海洋大学学报, 2020, 29(2): 199-208.
- [14] 方珍珍, 闫珊珊, 白东清, 等. 盐藻、辣椒粉及温度对红白锦鲤生长及着色的影响[J]. 饲料工业, 2014, 35(18): 24-29.