

鱼类色素细胞及其生态学意义概述^{*}

于道德, 张少春, 刘洪军, 盖珊珊, 迟雯丹, 刘凯凯, 宋静静^{**}

(山东省海洋生物研究院, 山东青岛 266104)

摘要:本文综述了鱼类色素细胞的起源、分类以及体色的生态学意义。作为脊椎动物最大的类群, 鱼类具有6种起源于神经嵴的色素细胞, 其中黑色素细胞、黄色素细胞、红色素细胞和蓝色素细胞含有相应色素物质, 而彩虹细胞和白色素细胞是通过嘌呤类晶体的反射作用呈色。色素细胞的数量、大小以及分布情况, 加上不同发育时期的变化, 决定了鱼类的体色的多样性。鱼类的体色作为视觉信号系统, 在其生活史关键过程中起到十分重要的作用, 主要用于个体的生存和社会种群交流, 具体可体现为模拟色、婚姻色等; 而紫外体色大大拓展了鱼类视觉信号系统的范围, 用于种群内部交流, 具有较高的隐蔽性, 是为躲避捕食者而形成的一种适应性策略。充分了解鱼类色素细胞的多样性以及体色形成的复杂性, 可为深入探索鱼类行为学和种群交流提供科学基础, 同时可为优质经济鱼类的人工繁育提供参考。

关键词:鱼类 色素细胞 模拟色 婚姻色 体色形成机制 视觉信号系统

中图分类号: Q952 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2020)02-0000-00

DOI:

0 引言

色素细胞又称为色素体, 是两栖动物、鱼类、爬行动物、甲壳动物、头足纲动物中的一种含有生物色素的细胞。直至1960年后, 相关学者才对色素细胞有了初步分类。针对低等脊椎动物鱼类而言, 其具备6种起源于神经嵴(Neural crest)的色素细胞^[1-3], 分别为黑色素细胞(Melanophores)、黄色素细胞(Xanthophores)、红色素细胞(Erythrophores)、彩虹细胞(Iridophores)、白色素细胞(Leucophores)和蓝色素细胞(Cyanophores)。哺乳类和鸟类仅含有1种神经

脊起源的色素细胞类型, 即黑色素细胞(Melanocytes), 与鱼类黑色素细胞的英文后缀不同, 主要是为了说明鱼类等非羊膜动物的色素细胞能够根据环境迅速改变体色, 即生理性(Physiological)体色变化^[2]。

鱼类色素细胞主要存在于皮肤的真皮中, 其中黑色素细胞、黄色素细胞、红色素细胞和蓝色素细胞含有相应的色素物质, 而彩虹细胞和白色素细胞并不含有色素物质, 主要依靠反射板或结晶体来反射特定波长的光线, 从而呈现出一定的颜色。鱼类皮肤的颜色是由于色素物质可吸收特定波长的可见光, 并由于细胞质内不同的亚纤维结构对特定波长的可见光不同

^{*} 国家重点研发计划项目(2018YFC1406406)和烟台科技计划项目(2018SFBF084, 2019ZDCX018)资助。

【作者简介】

于道德(1978—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事海洋生物学与生态学研究, E-mail: wensente@163.com。

【**通信作者】

宋静静, 女, 博士, 助理研究员, 主要从事生态环境和渔业资源保护研究, E-mail: songjiiocas@163.com。

【引用本文】

1[J]. 广西科学院学报, 2020, 36(2):

[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2020, 36(2):

的折射或者反射而形成的。在不同鱼类中,6种类型的色素细胞的数量、大小以及分布情况有种属特异性,加上不同发育时期的变化,导致了鱼类的体色的多样性^[4]。

所有硬骨鱼类的色素细胞均起源于胚胎时期外胚层的神经嵴细胞群^[5-6]。由一小组神经嵴细胞群首先形成色素母细胞(Chromatoblasts),随着发育的进行,在分化为黑色素细胞、黄色素细胞和彩虹色素细胞等其他色素细胞^[7]。在色素细胞到达一定的数量,开始色素模式的形成,也就是我们看到的成体鱼类所具有的典型的条纹和色素斑点,如条石鲷在25日龄(变态开始)开始形成色素带模式,至40日龄具有成体的典型的7条黑色横纹贯穿于整个鱼体^[8],以及斑马鱼的经典条纹等^[9]。

鱼类色素细胞的分类和起源研究为鱼类行为学分析奠定了一定的研究基础。笔者综述了鱼类色素细胞的起源、分类以及体色的生态学意义。探讨了鱼类色素细胞的多样性以及体色形成的复杂性,期望为深入探索鱼类行为学和种群交流提供科学基础,并为优质经济鱼类的人工繁育提供参考。

1 鱼类色素细胞类型

1.1 黑色素细胞

从系统发生的角度来看,在脊椎动物进化的过程中,黑色素细胞是唯一仅存的色素细胞,其重要性不言而喻,所以黑色素细胞也是目前研究最透彻的色素细胞。人类只拥有这一种色素细胞,但是可以产生两种黑色素,即优黑素(Eumelanin)和褐黑素(Pheomelanin),以此产生不同的表皮、毛发和眼睛的颜色。

鱼类的黑色素细胞内含有的色素物质为黑色素(Melanin),属于多形态、多功能的高分子化合物,稳定性高,不溶于有机溶剂,具体结构和合成过程见^[10],因此形成黑色素细胞形态的多样。在发生上黑色素细胞为最早出现的色素细胞,一般在胚胎发育过程中就出现。除了表皮外,其他内部器官和组织分布的黑色素,具有抗氧化以及免疫刺激的功能^[11]。

1.2 黄色素细胞与红色素细胞

一般来说,鱼类的黄色素细胞内含有黄色素,化学本质为蝶啶(Spteridines)类物质,细胞表现为黄色;对应的,红色素细胞内含有红色素,化学本质为类胡萝卜素(Carotenoid),表现为红色。实际上,鱼类的这两种色素细胞可以同时含有这两种色素。也就

是说鱼类的黄色素细胞也可以表现为红色,而鱼类的红色素细胞也可以表现为黄色,这主要取决于其所含色素的类型以及比例^[12]。

1.3 彩虹色素细胞与白色素细胞

鱼类的彩虹色素细胞主要表现为银色或者金黄色,有时在体侧呈现金属色泽。彩虹色素细胞一般为卵圆形或多边形,除了少数具有树枝状突起外,大部分不具有树枝状突起^[13]。其呈色机理主要取决于细胞内堆积物质形成的反射板(Reflecting platelets)的反光特性,反射板的化学本质为嘌呤类,包括鸟嘌呤、次黄嘌呤、有时也伴随有腺嘌呤^[1]。

鱼类的白色素细胞与彩虹色素细胞类似,都是通过嘌呤类晶体的反射作用来呈色^[14]。主要区别就是彩虹色素会出现闪烁的光泽;而白色素细胞仅仅表现为白色或银白色,无闪烁功能^[14-15]。彩虹色素内晶体主要是水平方向的排列,形成的反射板较长;对应地,白色素细胞内晶体主要是垂直方向的排列,形成的反射板较短^[16]。

1.4 蓝色素细胞

蓝色作为常见的体色存在于不同的鱼类中,例如礁岩性鱼类。但是鱼类的蓝色素细胞存在于很少的种类中,仅仅在Callionymidae科鱼类中发现,如在*Synchiropus splendidus*和*Synchiropus picturatus*中发现蓝色素存在于一种新型的色素细胞,即蓝色素细胞,该细胞具有树枝状突起,载色体为纤维状物质,局部具有膜结构,直径约为0.5 μm。虽然蓝色素细胞内含有的蓝色素的化学本质目前还没有定论(分离较为困难,无法鉴定),但这是鱼类,也是整个脊椎动物中存在色素性蓝色的特例^[17]。

2 其他体色形成的细胞学和复杂性

很容易理解,鱼类表现的黑色、黄色、红色分别就是由3种对应的色素细胞决定。但是,我们看到的鱼类的体色丰富程度要远远超过上述体色细胞的种类,这主要是不同色素细胞间的相互作用形成的,主要涉及色素细胞的种类、数量、密度、排列方式等。另外,除了由不同色素细胞间的相互作用外,尚存在一些特殊的模式,相对比较复杂。在这里我们主要以特殊的结构色蓝色为例,来叙述鱼类中蓝色体色形成的细胞学机制。

虽然在无脊椎动物的皮肤和附属器官中,色素性蓝色普遍存在^[18]。但是鱼类蓝色素细胞很罕见(如上所述),因此大部分蓝色皆为结构色(Structural

colour), 或称物理色 (Physical colour), 而不是色素性蓝色^[1]。在一些热带珊瑚礁鱼类中, 结构性蓝色相当普遍, 这吸引了大量学者来研究其蓝色形成的机制。

最早研究的是一种热带观赏鱼, 俗名蓝魔, 学名为蓝色雀鲷 (*Chrysiptera cyanea*), 雌鱼通身为荧光性蓝色, 雄鱼具有橙色尾。该鱼类的真皮中含有1层彩虹色素细胞层, 细胞为圆形或者椭圆形, 细胞核顶位, 细胞内嘌呤类物质形成的多层薄片反射板, 在薄片之间距离不小于5 nm的非理想状态下可以反射出荧光性的蓝色, 是其成色的主要原因^[1]。

另外一种热带观赏鱼, 俗名蓝倒吊, 学名黑鳃刺尾鱼 (*Paracanthurus hepatus*), 具有双重蓝色。身体2条深蓝色的条纹。其躯干大部分为天蓝色, 成色机理与蓝色雀鲷类似, 但是其真皮中具有2层彩虹色素细胞层, 而蓝色雀鲷仅具有1层, 2层彩虹色素细胞层对入射光线的反射和衍射更为复杂, 因此显现的蓝色不如蓝色雀鲷那么艳丽, 即色彩的纯度不高^[1, 19]。躯干部剪刀状的深蓝色条纹是由于该处皮肤中黑色素细胞高密度存在, 而彩虹色素仅仅是零散分布^[20]。

在其他非哺乳类如两栖类和爬行类, 绿色的形成则涉及到至少3种色素细胞, 从表皮的外向内依次排列为黄色素细胞层(或者红色素细胞层)、彩虹色素细胞层和黑色素细胞层。正是这种三维立体的排列模式, 以及每一层色素细胞独立的聚集和扩散的能力, 给予两栖类和爬行类快速的体色调节能力, 最为典型的例子就是变色龙。

虽然鱼类的体色变化能力和范围远远不如上述的两栖类和爬行类, 但可以确定的是绿色体色在鱼类中是存在的。例如: 六线鱼科鱼类, 英文名称为Green-ling, 其含义就是绿色小鱼。六线鱼科鱼类在早期发育过程中, 会呈现墨绿、灰绿、棕红等不同的颜色。其中大泷六线鱼 (*Hexagrammos otakii* Jordan & Starks) 的胚胎发育后期, 其胚体开始呈现蓝绿色体色, 随着发育的进行, 整个仔鱼和稚鱼期都会呈现淡绿色^[21]。而且这种体色的形成来源于内部器官组织, 应该为色素性体色, 其确切的机制和细胞学还有待进一步研究。

3 生态学作用

鱼类体色作为视觉信号系统主要的组成部分, 其作用主要是个体的生存(拟态)需要以及社会和种群

交流需要^[22-24], 如繁殖需要形成的婚姻色 (Nuptial color), 用于吸引异性鱼类完成繁殖行为; 同性竞争(主要是雄鱼之间的竞争), 主要为了争夺异性资源, 以及群体的集群行为等^[25]。

3.1 模拟色

在海水鱼类中, 至少有60多种珊瑚礁鱼类可以模拟其他鱼类的体色。这样的模拟色主要作用包括为躲避敌害形成的警戒拟态、捕食需要形成的攻击拟态 (Aggressive mimicry) 以及社会性模拟3种类型^[26]。警戒拟态作为达尔文自然选择中适应性进化理论的佐证, 在鱼类中表现的更为充分。例如, 鱼类模拟有毒鱼类的体色而确保自身不被捕食^[27], 就是最经典的贝氏拟态 (Batesian mimicry)。横口鲷 (*Plagiotremus rhinorhynchos*) 能够模拟蓝带裂唇鱼 (*Labroides dimidiatus*) 体色模式为攻击拟态类型, 后者是一种清洁鱼类, 可以清洁其他鱼类体表的寄生虫; 而横口鲷通过这种模拟来欺骗其他过往鱼类, 掠食其体表的鳞片和肌肉组织等^[28]。关于鱼类体色拟态的详细情况, 见Randall^[29]的综述。

3.2 婚姻色

鱼类在繁殖过程中, 会出现体型和颜色的变化, 其颜色的变化称为婚姻色 (Nuptial coloration)。涉及到Trivers^[30]提出的亲本投资理论 (Parental investment theory), 类似于其他动物类群(包括人类在内), 鱼类也是主要由雄性表现出艳丽的婚姻色。婚姻色属于季节性体色变化, 主要是在激素的调控下^[31-33], 通过色素细胞通过增值、分化和迁移而形成, 通常在几日内即可完成^[2]。但是也有一部分鱼类的雌鱼表现婚姻色, 这与这些鱼类特殊的繁殖行为相关, 例如, 在雄鱼资源量的减少的情况下, 则导致雌性鱼类表现出艳丽的婚姻色, 这与Trivers的理论是相符合的^[33-34]。

以一种虾虎鱼为例, 刺鳍鱼 (*Gobiusculus flavescens*) 的雌鱼在繁殖季节, 其腹部的橘红色的色彩艳丽程度与其吸引雄鱼的能力成正比。腹部的橘红色是由表皮的颜色、皮肤的透明度以及性腺的颜色共同构成。其中表皮的颜色作为主色, 是由类胡萝卜素所呈现, 越是艳丽的雌鱼, 说明其体内类胡萝卜素含量越高, 也就意味着怀卵的质量较高, 更利于繁殖行为的进行^[35-36]。

另外值得一提的是, 鱼类体色在不同的拟态上和婚姻色上的表现是矛盾的, 也就是说艳丽的婚姻色虽然加大了其繁殖的成功率, 同时也增加其被捕食的几

率;因此,很多鱼类进化出一条更为隐蔽的色彩模式,也就是我们下面即将提到的紫外体色。

3.3 紫外体色

由于人类视觉的局限,我们所了解的鱼类的体色都是在可见光的条件下,实际上,有很大一部分鱼类表现出在紫外线存在的情况下,具有明显不同于可见光的体色^[37]。这主要是因为紫外线可以进入到水体中,尤其是透明度较高的淡水水域,可照射到深达100 m的海水层^[38],部分鱼类在长期进化和物种形成过程形成的紫外体色,以及一套特殊的视觉信息系统而用于特殊的交流^[39]。

鱼类的紫外体色形成也具有重要的进化和生态意义。作为一种视觉信号,必然具有接受该信号的受体,因此,部分鱼类的视锥细胞进化出紫外线视色素,共有4种视色素^[40],比灵长类多出一种。也正是紫外线视色素的部分存在,才使得一些鱼类较隐蔽的体色变化(求偶行为)不被其他鱼类(例如缺乏紫外线视色素的捕食者)发现,从而和谐地调和了躲避敌害的隐蔽体色与繁殖的婚姻色之间的矛盾^[41]。

有研究表明,很多鱼类存在紫外体色,这主要也涉及到繁殖过程,因此也可以将特定的紫外体色称之为婚姻色^[42]。例如,紫外线存在与否能够影响雀鱼雌鱼的配偶选择行为^[31]。雌鱼倾向于选择有紫外线照射的雄鱼进行交配,主要是因为紫外线存在的情况下,雄孔雀鱼身体的大部分体色(包括结构性体色和色素性体色)都能够反射出紫外体色^[43],这能更好地说明为什么孔雀鱼的繁殖行为一般都发生在晨昏(此时可见光照射大大降低,而紫外线照射增加)。类似的,在鱼类中利用特殊的紫外体色模式来吸引异性用于繁殖行为的例子还有很多^[44]。另外,紫外体色还有利于鱼类的伪装行为,以及涉及到洄游的航行方位定向,具体见 Losey^[37]的综述,在此不再叙述。室内和野外实验已经证实,只有真正接触到珊瑚礁环境,黄尾雀鲷(*Pomacentrus amboinensis*)的幼鱼才会在2周内发育紫外线标记,且其斑纹的形成表现出明显的可塑性;而实验室养殖的幼鱼却缺乏紫外体色。可见,直接或间接(通过种内相互作用)暴露在捕食者面前,也就是说复杂的外部环境和与其他关联生物的相互关系共同促进和控制着黄尾雀鲷紫外线标记的可塑性发育^[45]。

4 结论

鱼类色素细胞种类的多样性以及体色模式形成

的复杂性,都是其长期适应性进化的结果,并对于鱼类的生存和繁衍具有重要的进化和生态学上的意义^[46]。对于特定经济鱼类(大黄鱼等),我们在进行人工繁育的过程中,鱼类体色的发生过程以及变化模式^[47],更是环境因素是否适宜,鱼体自身健康程度的体现,因此可以通过借鉴体色变化来调整养殖环境或者条件,以便更好地为生产服务。

另外,鱼类体色作为视觉信号交流系统的重要组成部分,通过体色模式的变化推测其行为,能够有助于我们更好地理解鱼类的行为变化、尤其是繁殖行为学具有重要的意义。

更为重要的是,大部分鱼类无法在人工养殖的情况下自然繁殖,主要是因为我们无法完整复制自然条件下的生态环境,但这是否与我们改变了鱼类的紫外视觉信号有关?或者与其他用于繁殖的其他信号通路,例如嗅觉信号(信息素系统)、听觉信号等相关?这些科学问题仍有待进一步深入研究。

参考文献

- [1] FUJII R. Cytophysiology of fish chromatophores [J]. *International Review of Cytology*, 1993, 143: 191-255.
- [2] KELSH R N. Genetics and evolution of pigment patterns in fish [J]. *Pigment Cell Research*, 2004, 17(4): 326-336.
- [3] BAGNARA J T, MATSUMOTO J. Comparative anatomy and physiology of pigment cells in nonmammalian tissues [M]//NORLUND J J, BOISSY R E, HEARING V J. *The Pigmentary System: Physiology and Pathophysiology*: 2nd. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2007.
- [4] LORIN T, RUNET F, LAUDET V, et al. Teleost fish-specific preferential retention of pigmentation gene-containing families after whole genome duplications in vertebrates [J]. *G3-Genes Genomes Genetics*, 2018, 8(5): 1795-1806.
- [5] PARICHY D M, REEDY M V, ERICKSON C A. Regulation of Melanoblast Migration and Differentiation [M]//NORLUND J J, BOISSY R E, HEARING V J. *The Pigmentary System: Physiology and Pathophysiology*: 2nd. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2007.
- [6] GREEN S A, SIMOES-COSTA M, BRONNER M E. Evolution of vertebrates as viewed from the crest [J]. *Nature*, 2015, 520(7548): 474-482.
- [7] BOLKER J A, HILL C R. Pigmentation development in hatchery-reared flatfishes [J]. *Journal of Fish Biology*,

- 2000, 56(5):1029-1052.
- [8] 肖志忠, 郑炯, 于道德, 等. 条石鲷早期发育的形态特征[J]. 海洋科学, 2008, 32(3):25-30.
- [9] HIRATA M, NAKAMURA K-I, KANEMARU T, et al. Pigment cell organization in the hypodermis of zebrafish [J]. *Developmental Dynamics*, 2003, 227(4):497-503.
- [10] 黄冰, 郭华荣, 张士瑾. 鱼类白化病的研究进展[J]. 海洋科学, 2003, 27(5):11-14.
- [11] MCGRAW K J. The antioxidant function of many animal pigments: Are there consistent health benefits of sexually selected colourants? [J]. *Animal Behaviour*, 2005, 69(4):757-764.
- [12] LECLERCQ E, TAYLOR J F, MIGAUD H. Morphological skin colour changes in teleosts [J]. *Fish and Fisheries*, 2010, 11(2):159-193.
- [13] FUJII R, OSHIMA N. Control of chromatophore movements in teleost fishes [J]. *Zoological science*, 1986, 3:13-47.
- [14] FUJII R. The regulation of motile activity in fish chromatophores [J]. *Pigment cell research*, 2000, 13(5):300-319.
- [15] PRUM R O. Anatomy, physics and evolution of structural colors, in *Bird coloration: mechanisms and measurements* [M]. Cambridge, USA: Harvard University Press, 2006:295-353.
- [16] ZIEGLER I. The pteridine pathway in zebrafish: Regulation and specification during the determination of neural crest cell-fate [J]. *Pigment Cell Research*, 2003, 16(3):172-182.
- [17] GODA M, FUJII R. Blue chromatophores in two species of callionymid fish [J]. *Zoological Science*, 1995, 12(6):811-813.
- [18] NEEDHAM A E. The significance of zoochromes [M]. New York, USA: Heidelberg and Berlin: Springer-Verlag, 1974.
- [19] BAGNARA J T, FERNANDEZ P J, FUJII R. On the blue coloration of vertebrates [J]. *Pigment Cell Research*, 2007, 20(1):14-26.
- [20] GODA M, FUJII R. The blue coloration of the common surgeonfish, *paracanthurus hepatus*-II. color revelation and color changes [J]. *Zoological science*, 1998, 15(3):323-333.
- [21] 郭文, 于道德, 潘雷, 等. 六线鱼科鱼类特殊体色与繁殖特性[J]. 海洋科学, 2011, 35(12):132-136.
- [22] SKOLD N H, ASPENGREN S, WALLIN M. Rapid color change in fish and amphibians - function, regulation, and emerging applications [J]. *Pigment Cell and Melanoma Research*, 2013, 26(1):29-38.
- [23] ANTHES N, THEOBALD J, GERLACH T, et al. Diversity and ecological correlates of red fluorescence in marine fishes [J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2016, (126)4:1-19.
- [24] PAWLUK J, GARCIA DE LEANIZ C, CABLE J, et al. Colour plasticity in response to social context and parasitic infection in a self-fertilizing fish [J]. *Royal Society Open Science*, 2019, 6(7):181418.
- [25] MILLS M G, PATTERSON L B. Not just black and white: Pigment pattern development and evolution in vertebrates [J]. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 2009, 20(1):72-81.
- [26] MOLAND E, EAGLE J A, JONES G P. Ecology and evolution of mimicry in coral reef fishes [J]. *Oceanography and Marine Biology-An Annual Review*, 2005, 43:455-482.
- [27] MCCOSKER J E. Fright posture of the plesiopid fish *callopleysiops altivelis*; An example of batesian mimicry [J]. *Science*, 1977, 197(4301):400-401.
- [28] CHENEY K L, GRUTTER A S, MARSHALL N J. Facultative mimicry: Cues for colour change and colour accuracy in a coral reef fish [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological sciences*, 2008, 275(1631):117-122.
- [29] RANDALL J E. A Review of mimicry in marine fishes [J]. *Zoological Studies*, 2005, 44(3):299-328.
- [30] TRIVERS R L. Parental investment and sexual selection [M]. Chicago, USA: Aldine Publishing Company, 1972.
- [31] TOFT G, BAATRUP E. Sexual characteristics are Altered by 4-tert-octylphenol and 17 β -estradiol in the adult male guppy (*Poecilia reticulata*) [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2001, 48(1):76-84.
- [32] TOFT G, BAATRUP E. Altered sexual characteristics in guppies (*Poecilia reticulata*) exposed to 17 β -estradiol and 4-tert-octylphenol during sexual development [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2003, 56(2):228-237.
- [33] SKOLD H N, AMUNDSEN T, SVENSSON P A, et al. Hormonal regulation of female nuptial coloration in a fish [J]. *Hormones and Behavior*, 2008, 54(4):549-556.
- [34] SVENSSON P A, PELABON C, BLOUNT J D, et al. Temporal variability in a multicomponent trait: nuptial coloration of female two-spotted gobies [J]. *Behavioral*

- Ecology, 2009, 20(2): 346-353.
- [35] SVENSSON P A, FORSGREN E, AMUNDSEN T, et al. Chromatic interaction between egg pigmentation and skin chromatophores in the nuptial coloration of female two-spotted gobies [J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2005, 208(23): 4391-4397.
- [36] AMUNDSEN T. Sex roles and sexual selection: Lessons from a dynamic model system [J]. *Current Zoology*, 2018, 64(3): 363-392.
- [37] LOSEY G S, CRONIN T W, GOLDSMITH T H, et al. The UV visual world of fishes: A review [J]. *Journal of Fish Biology*, 1999, 54(5): 921-943.
- [38] WILLIAMSON C E, ROSE K C. When UV meets fresh water [J]. *Science*, 2010, 329(5992): 637-639.
- [39] CUMMINGS M E, ROSENTHAL G G, RYAN M J. A private ultraviolet channel in visual communication [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2003, 270(1518): 897-904.
- [40] DOUGLAS R H. The spectral transmission of the lens and cornea of the brown trout (*Salmo trutta*) and goldfish (*Carassius auratus*)-effect of age and implications for ultraviolet vision [J]. *Vision Research*, 1989, 29(7): 861-869.
- [41] ENDLER J A. Variation in the appearance of guppy color patterns to guppies and their predators under different visual conditions [J]. *Vision Research*, 1991, 31(3): 587-608.
- [42] SMITH E J, PARTRIDGE J C, PARSONS K N, et al. Ultraviolet vision and mate choice in the guppy (*Poecilia reticulata*) [J]. *Behavioral Ecology*, 2002, 13(1): 11-19.
- [43] WHITE E M, PARTRIDGE J C, CHURCH S C. Ultraviolet dermal reflexion and mate choice in the guppy, *Poecilia reticulata* [J]. *Animal Behaviour*, 2003, 65(4): 693-700.
- [44] KODRIC-BROWN A, JOHNSON S C. Ultraviolet reflectance patterns of male guppies enhance their attractiveness to females [J]. *Animal Behaviour*, 2002, 63(2): 391-396.
- [45] GAGLIANO M, DEPCZYNSKI M, SIEBECK U E. Facing the environment: Onset and development of UV markings in young fish [J]. *Scientific Reports*, 2015, 5(1): 13193.
- [46] HUBBARD J K, UY J A C, HAUBER M E, et al. Vertebrate pigmentation: From underlying genes to adaptive function [J]. *Trends in Genetics*, 2010, 26(5): 231-239.
- [47] HAN J, HONG W S, WANG Q, et al. The regulation of melanocyte-stimulating hormone on the pigment granule dispersion in the xanthophores and melanophores of the large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. *Aquaculture*, 2019, 5077-20.

Overview of Fish Pigment Cells and the Ecological Significance

YU Daode, ZHANG Shaochun, LIU Hongjun, GAI Shanshan, CHI Wendan, LIU Kaikai, SONG Jingjing

(Marine Biology Institute of Shandong Province, Qingdao, Shandong, 266104, China)

Abstract: The origin and the classification of fish pigment cells are reviewed. As the largest groups of vertebrates, fish has six pigment cells originating from neural crest. The melanophores, xanthophores, erythrophores and cyanophores contain corresponding pigment material, while the iridophores and leucophores display the colors by reflection of purine crystals. The number, size and distribution of pigment cells at different developmental stages determine the diversity of body color of fish. As a visual signal system, the body color of fish plays an important role in key processes in its life history. The body color of fish is mainly used for individual survival and social population communication, which can be embodied in mimical colors, nuptial coloration. The ultraviolet body color greatly expands the scope of the fish visual signal system and is used for in-

ternal communication of the population. It has a high concealment and is an adaptive strategy formed to avoid predators. Fully understand the diversity of fish pigment cells and the complexity of body color formation, which can provide a scientific basis for the exploration of fish behavior and population exchange, and can provide a reference for the artificial breeding of high-quality economic fish.

Key words: fish, pigment cell, mimical colors, nuptial coloration, body color formation mechanism, visual signal system

责任编辑:符支宏



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxkxyxb@gxas.cn

投稿系统网址:<http://gxkx.ijournal.cn/gxkxyxb/ch>