

金黄色乌鳢体色遗传规律的初步研究

安 丽¹, 毛雷刚^{1,2}, 朱永安¹, 孟庆磊¹, 徐元真³, 张志山¹, 张龙岗¹, 朱树人^{1*}

¹山东省淡水渔业研究院, 山东 济南

²微山县南四湖渔业有限公司, 山东 济宁

³莒县农业技术服务中心, 山东 日照

收稿日期: 2024年11月18日; 录用日期: 2024年12月14日; 发布日期: 2024年12月19日

摘 要

为探明金黄色乌鳢体色的遗传规律, 以野生型乌鳢和金黄色乌鳢为亲本, 设计了野生型乌鳢、金黄色乌鳢自交试验; 野生型乌鳢与金黄色乌鳢正、反交试验及其F1代自交、F1代与金黄色乌鳢测交等试验。对不同试验组合子代群体的体色表型进行了统计和分析, 结果发现正、反交试验F1代体色全部表现为灰黑色, F2代体色出现分离且灰黑色与金黄色数量符合孟德尔3:1的分离比例。测交后代体色灰黑色和金黄色数量符合1:1的分离比例。结果表明金黄色乌鳢为野生型乌鳢的隐性突变体, 体色由常染色体上1对等位基因突变导致。

关键词

金黄色乌鳢, 体色, 遗传规律

A Preliminary Study on Inheritance of Body Color in Golden *Channa argus*

Li An¹, Leigang Mao^{1,2}, Yongan Zhu¹, Qinglei Meng¹, Yuanzhen Xu³, Zhishan Zhang¹, Longgang Zhang¹, Shuren Zhu^{1*}

¹Shandong Freshwater Fisheries Research Institute, Jinan Shandong

²Nansi Lake Fishery Limited Company of Weishan County, Jining Shandong

³Juxian Agricultural Technology Service Center, Rizhao Shandong

Received: Nov. 18th, 2024; accepted: Dec. 14th, 2024; published: Dec. 19th, 2024

Abstract

In order to investigate the inheritance of body color of golden *C. argus*, wild-type *C. argus* (gray-

*通讯作者。

文章引用: 安丽, 毛雷刚, 朱永安, 孟庆磊, 徐元真, 张志山, 张龙岗, 朱树人. 金黄色乌鳢体色遗传规律的初步研究[J]. 水产研究, 2024, 11(4): 217-224. DOI: 10.12677/ojfr.2024.114025

black body color and black eye color) and golden *C. argus* (golden or light yellow body color and red eye color) were used as parents; the self-cross test of wild-type *C. argus* and golden *C. argus*, and the reciprocal cross test of wild-type *C. argus* and golden *C. argus*, F1 generation (reciprocal cross) self-cross, F1 generation and golden *C. argus* (test cross) were designed and carried out. The number of body color of progenies in different test groups were counted and analyzed. It is found that the progenies of wild-type *C. argus* and golden *C. argus* (reciprocal crosses) all showed gray-black body color, and the F1 generation of reciprocal crosses selfed, and the ratio of gray-black body color to golden body color of the offspring was to 3:1, the ratio of gray-black body color to golden body color of F1 generation and golden *C. argus* test cross progeny was to 1:1. The results showed that golden *C. argus* is a recessive mutant of the wild-type *C. argus*, and its body color is controlled by a pair of recessive genes on the autosomes.

Keywords

Golden *C. argus*, Body Color, Hereditary Law

Copyright © 2024 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

乌鳢(*Channa argus*)又称才鱼、乌鱼或乌棒等,隶属鲈形目、鳢科、鳢属,广泛分布于南北各大水域,是我国重要的淡水经济鱼类之一[1]。乌鳢不仅具有耐低氧、病害少、适应性强、骨间刺少、肉鲜味美等特点,其肌肉还具有去淤生新,滋补调养等医学功效,养殖前景十分广阔。自然界中鱼类的体色十分丰富,是重要的表型性状,在生物遗传、生理生化、进化等方面均有重要的研究价值[2]。由于动物体内黑色素细胞的缺乏,或者某些原因导致产生黑色素的途径受阻,体表常表现为白色、淡黄色、浅红色,眼球呈红色且透明,仅是眼部白化的情况并不多见。在许多鱼类中都有发现体色变异的现象,包括虹鳉(*Oncorhynchus mykiss*)、斑点叉尾鮰(*Ictalurus punctatus*)、大菱鲈(*Scophthalmus maximus*)、青鳉(*Oryzias latipes*)以及草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)等[3]-[7]。体色作为研究物种多样性与适应性进化的重要表型性状备受关注,越来越多的学者不仅从个体形态水平和组织细胞水平上寻找个体之间体色差异特征,还通过高通量测序技术从分子水平上筛选差异表达基因,挖掘与体色相关的基因和通路,并验证相关基因的表达水平[8]-[11]。2015年课题组在乌鳢良种选育过程中发现金黄色个体,其眼球呈红色,体表呈浅黄色或金黄色,被称为“金黄色乌鳢”。现阶段对金黄色乌鳢的研究仅限于苗种繁育及养殖[12]、生物学特性[13][14]、肌肉营养成分[15]等方面,对金黄色乌鳢的体色遗传规律的研究尚未见报道。因此为了解金黄色乌鳢体色遗传规律,本研究设计了一系列金黄色乌鳢及野生型乌鳢交配组合试验,对金黄色乌鳢体色遗传规律进行了统计分析,以期对乌鳢体色变异的相关机制研究及金黄色乌鳢的选育提供基础资料。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

试验在山东省淡水渔业研究院(莒县基地)进行。金黄色乌鳢为乌鳢良种选育试验时发现的突变体,经隔离后进行了多代饲养,野生型乌鳢取自于莒县自然水域,见图1。野生型乌鳢和金黄色乌鳢均在同样的试验条件下进行养殖培育,试验过程中观察并记录子代体色性状分离情况。



Figure 1. Golden *C. argus*

图 1. 金黄色乌鳢群体

2.2. 试验方法

2.2.1. 野生型乌鳢、金黄色乌鳢自交及正反交试验

挑选体质健壮、性成熟良好的野生型乌鳢和金黄色乌鳢作为亲本，建立了野生型乌鳢♀ × 野生型乌鳢♂(自交)，金黄色乌鳢♀ × 金黄色乌鳢♂(自交)，野生型乌鳢♂ × 金黄色乌鳢♀(正交)，野生型乌鳢♀ × 金黄色乌鳢♂(反交)4种交配组合，每组各设4个重复。所有组合均采用雌雄1:1配对。配组后采用人工催产方式进行催产，所用产卵池为水深1 m，面积2 m²左右的小型水泥池，鱼苗孵出后转移至苗种培育池培育，集卵饲养一个月后，观察并记录子代体色性状及分离情况。

2.2.2. 正反交 F1 代自交及测交试验

在以上试验的基础上，从正、反交试验组中随机选择 F1 代雌、雄成鱼，进行自交试验，获得 F2 子代，同时从 F1 代挑选雌、雄鱼与金黄色乌鳢进行测交试验，每组各设4个重复。所有组合均采用雌雄1:1配对。配组后采用人工催产方式进行催产，所用产卵池为水深1 m，面积2 m²左右的小型水泥池，鱼苗孵出后转移至苗种培育池培育，集卵饲养一个月后，观察并记录子代体色性状及分离情况。

2.2.3. 统计分析

统计处理试验数据，所得结果用卡方进行适合性检验，判断控制该性状的基因数和遗传特性，结合 F1 代与金黄色乌鳢测交试验进一步验证控制该性状的遗传特征。

$$\chi^2 = \sum \frac{(A-T)^2}{T} \quad (1)$$

其中 A 为实际观测数，T 为理论数，Σ为总和，χ²为卡方值。

3. 结果与分析

3.1. 亲本自交及正反交结果分析

野生型乌鳢、金黄色乌鳢自交及正反交试验结果见表 1。野生型乌鳢自交子代体色全部表现为灰黑色，金黄色乌鳢自交子代体色全部表现为金黄色。正、反交试验(野生型乌鳢♂ × 金黄色乌鳢♀、野生型乌鳢♀ × 金黄色乌鳢♂)子代 F1 全部表现为灰黑体色，且不受亲本组合方式的影响(图 2)。由此可推测控制金黄色这一体色性状的基因型为纯合的。

Table 1. Body color phenotype of self-cross and reciprocal cross progeny of wild-type *C. argus* and golden *C. argus*
表 1. 野生型乌鳢、金黄色乌鳢自交、正反交子代体色表型

类型	组合数	母本♀	父本♂	子代体色
自交	4	野生型乌鳢	野生型乌鳢	全部为灰黑色
自交	4	金黄色乌鳢	金黄色乌鳢	全部为金黄色
正交	4	金黄色乌鳢	野生型乌鳢	全部为灰黑色
反交	4	野生型乌鳢	金黄色乌鳢	全部为灰黑色

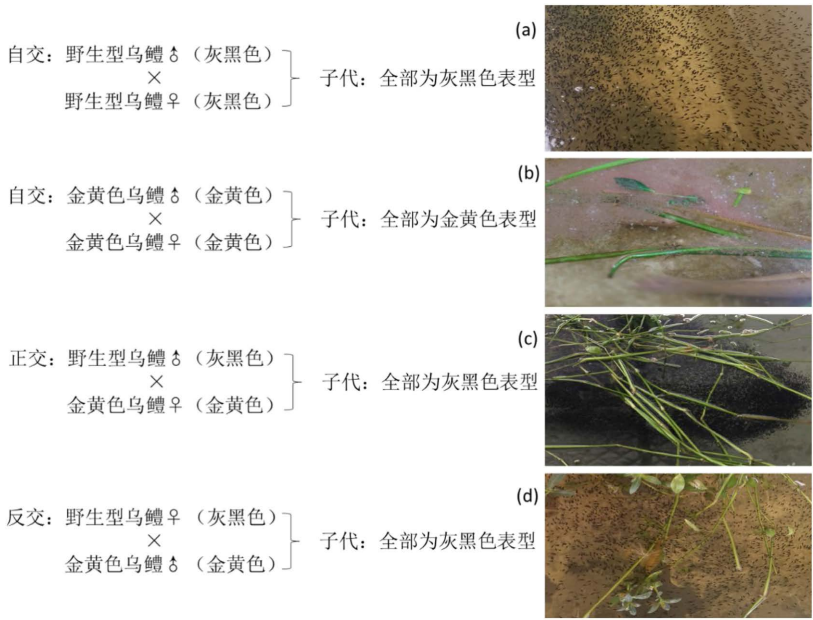


Figure 2. The body color of offspring, (a~d) selfing of wild *C. argus*, selfing of golden *C. argus*, orthogonality of wild *C. argus* and golden *C. argus*, reciprocal cross of *C. argus* and golden *C. argus*
图 2. 子代体色，图(a~d)分别为野生型乌鳢自交，金黄色乌鳢自交，野生型与金黄色乌鳢正、反交

3.2. 正反交的 F1 代自交及测交结果分析

Table 2. Offspring color separation and χ^2 test
表 2. F1 代自交、测交试验子代体色分离情况及 χ^2 检验

类型	编号	灰黑色体色	金黄色体色	两种表型比例 (灰黑色:金黄色)	χ^2
正交组 F1 代自交	1	3438 (3471)	1190 (1157)	2.89:1	1.22
	2	3899 (3883)	1278 (1294)	3.05:1	0.25
	3	4050 (4091)	1405 (1364)	2.88:1	1.60
	4	3345 (3330)	1095 (1110)	3.05:1	0.23
反交组 F1 代自交	1	4014 (3991)	1307 (1330)	3.07:1	0.51
	2	3902 (3910)	1311 (1303)	2.98:1	0.06
	3	3536 (3546)	1192 (1182)	2.97:1	0.11
	4	3640 (3694)	1285 (1231)	2.83:1	3.10

续表

正交组 F1 代测交	1	2745 (2712)	2679 (2712)	1.02:1	0.77
	2	3012 (2971)	2931 (2972)	1.03:1	1.10
	3	2839 (2905)	2971 (2905)	0.96:1	2.95
	4	2705 (2696)	2687 (2696)	1.01:1	0.05
反交组 F1 代测交	1	3022 (2958)	2895 (2959)	1.04:1	2.73
	2	2741 (2773)	2805 (2773)	0.98:1	0.72
	3	2664 (2597)	2530 (2597)	1.05:1	3.41
	4	2962 (2951)	2940 (2951)	1.01:1	0.07

注：自由度为 1 时， $\chi^2_{0.05} = 3.84$ ，括号内为理论数。

F1 代自交、测交试验子代体色分离情况见表 2。不同的交配组合方式所产生的子代及表现型比率可以用来估测其体色遗传方式，通过卡方检验对统计结果进行评价。F1 自交的后代出现了体色分离现象，灰黑体色与金黄色体色的比例接近 3:1 (图 3)，两种表型无性别间差异。通过卡方检验， χ^2 为 0.11~3.10，差异不显著($P > 0.05$)，结果表明子代性状分离比符合孟德尔分离定律，由此推测金黄色这一乌鳢体色性状是位于常染色体上的纯合基因控制的隐性遗传。

F1 代测交试验结果显示野生型乌鳢与金黄色乌鳢性状的分离比约为 1:1。卡方 χ^2 检验值为 0.05~3.41，差异不显著($P > 0.05$)，结果符合单基因控制的性状分离遗传规律，因此认为金黄色乌鳢的体色为单基因控制的隐性性状。

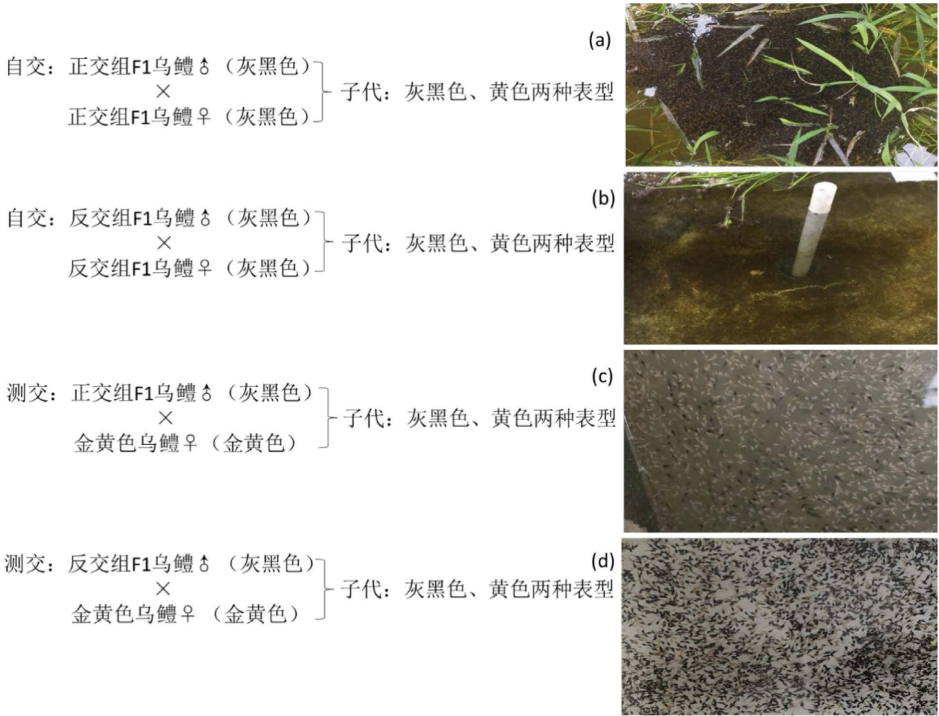


Figure 3. The body color of F1 offspring, (a) Selfing of selfed group F1; (b) Selfing of reciprocal cross group F1; (c) Test cross of selfed group F1; (d) Test cross of reciprocal cross group F1

图 3. F1 子代体色, (a) 正交组 F1 代自交; (b) 反交组 F1 代自交; (c) 正交组 F1 代测交; (d) 反交组 F1 代测交

4. 讨论

生物的表型是受基因和所处环境的共同作用,但基因对动物的体色分化具有决定性作用,其它环境因素对生物的体色性状有着一定的影响[16]。很多学者通过交配组合试验研究了鱼类体色基因的表现型,如徐伟等[17]在黄色鲤、蓝色鲤、红色鲤的杂交中发现,控制不同体色鲤鱼的基因型不同,红色鲤和蓝色鲤为纯合子,而黄色鲤则是杂合子。王成辉等[18]研究瓯江彩鲤的体色认为红色表型与白色表型分离比符合 3:1,红色受显性基因控制,白色受隐性基因控制。

本研究中的金黄色乌鳢与野生型乌鳢均是在相同环境条件下饲养的而两者表型颜色差异,因此推测体色差异与相关基因突变有关,上述试验正是验证了此结论。金黄色乌鳢为野生型乌鳢繁育过程发现的突变体,因其金黄色体色而被选留下来。从金黄色乌鳢自交及连续饲养结果可以看出,金黄色表型是可以稳定遗传的。野生型乌鳢与金黄色乌鳢正反交组合子代全部表现为灰黑色体色,F₁代自交获得的后代(F₂)中出现了灰黑色体色和金黄色体色两种表型,两种表型在雌、雄个体中均有存在,故排除突变体基因位于性染色体上的可能性。试验结果表明金黄色乌鳢为野生型乌鳢的隐性突变体,推测体色受 1 对等位基因控制。为了验证这种遗传方式,又设计了 F₁代与金黄色乌鳢的测交试验,子代同样只出现了灰黑色体色和金黄色体色两种表型,分离比符合 1:1 孟德尔单基因控制的性状分离遗传规律,结合正反交试验中 F₁代自交产生的 F₂代个体的观察,其灰黑色体色与金黄色体色的表型分离比符合 3:1 的分离规律,因此认为金黄色乌鳢体色是位于常染色体上 1 对基因控制的隐性性状。

包括鱼类在内的动物中,红眼球现象的出现往往认为是与白化病的作用有关。大多数调查研究表明,白化病是由常染色体隐性基因控制的。在哺乳动物中,洪宝庆等[19]对白化黑线仓鼠(*Cricetulus Barabensis*)的毛色遗传分析发现,白化黑线仓鼠的红眼球及毛色为常染色体控制的隐性性状。在水产动物中,青鳉有一种隐性眼白化突变体,它有无黑色素的皮肤和红色的眼睛,而且酪氨酸酶没有活性[20]。Kajishima 等[21]认为白化的金鱼是受常染色体控制的隐性性状。Isamu Nakatani 等[22]在白化小龙虾(*Procambarus Clarkii*)和正常个体进行杂交时发现,白化表型相对于正常表型为隐性遗传。Katasonov 等[23]认为日本锦鲤(*Cyprinus Carpio*)有 3 个隐性基因控制其白色体色。本试验中发现野生型乌鳢与金黄色乌鳢杂交子代表现型全部为灰黑色体色、黑眼球,试验结果表明了金黄色乌鳢表型(白化)同样受隐性基因控制。然而鱼类的白化遗传机制较为复杂,有时并非简单的显隐性关系。有学者在虹鳟中描述了隐性和显性的白化病突变,Thorgaard 等[24]人认为虹鳟的白化现象是隐性性状,而 Nakamuar 等在虹鳟中分离的白化个体,研究发现其白化与酪氨酸酶无关,并且认为该白化为显性遗传。王炳谦等[25]认为日本金鳟(白化虹鳟)的体色、眼球色受到两个基因位点的控制,日本金鳟(AAbb)和野生型虹鳟(aaBB)杂交产生的 F₁代(AaBb)自交,后代出现了黑体色黑眼球、黄体色红眼球、黄体色黑眼球 3 种表型。在本研究中的金黄色乌鳢和野生型乌鳢未发现体色同眼球色出现分离的现象,只出现了灰黑色体色黑眼球(野生型)和金黄色体色红眼球(突变型)2 种表型,说明金黄色乌鳢白化原因与日本金鳟有所不同,而具体遗传机制仍待进一步研究。白化的分子生物学基础是调节黑色素合成及分布过程中相关基因的突变[26]。黑色素的合成虽然受很多相关基因的调控,但其形成可能主要依赖于酪氨酸酶基因(*tyr*)家族中酪氨酸酶。金黄色乌鳢体色的形成与哪些关键基因有关、具有怎样的相关性及具体的遗传机制等还有待进一步的研究。

5. 结论

金黄色乌鳢是课题组在乌鳢良种选育过程中发现的金黄色个体,其眼球呈红色,体表呈浅黄色或金黄色,通过亲本自交、正反交和 F₁代自交、测交等试验,结果发现正、反交试验 F₁代体色全部表现为灰黑色,F₂代体色出现分离且灰黑色与金黄色数量符合孟德尔 3:1 的分离比例,测交后代体色灰黑色和金黄色数量符合 1:1 的分离比例。证明其体色是由染色体上的隐性基因控制且金黄色体色是可以稳定遗传。

传的,但具体与哪种关键基因相关及其遗传机制还有待进一步研究。

基金项目

山东省重点研发计划(重大科技创新工程)项目(2021CXGC010806);山东省鱼类产业技术体系淡水鱼养殖岗位(SDAIT-12-09);山东省重点研发计划(农业良种工程)项目(2021LZGC029)。

参考文献

- [1] 孟庆闻, 缪学祖, 愈泰济, 等. 鱼类学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987: 261-286.
- [2] 王成辉. 鱼类体色变异的遗传基础研究进展简述[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(5): 737-742.
- [3] Bridges, W.R. and Von Limbach, B. (1972) Inheritance of Albinism in Rainbow Trout. *Journal of Heredity*, **63**, 152-153. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a108258>
- [4] Zhang, S., Li, X., Pan, J., Wang, M., Zhong, L., Wang, J., et al. (2019) Use of Comparative Transcriptome Analysis to Identify Candidate Genes Related to Albinism in Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture*, **500**, 75-81. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.09.055>
- [5] 关键, 郑永允, 刘洪军, 等. 大菱鲂子二代家系白化与正常幼鱼生长及形态学差异[J]. 中国水产科学, 2011, 18(6): 1286-1292.
- [6] Koga, A., Wakamatsu, Y., Kurosawa, J. and Hori, H. (1999) Oculocutaneous Albinism in the *i*⁶ Mutant of the Medaka Fish Is Associated with a Deletion in the Tyrosinase Gene. *Pigment Cell Research*, **12**, 252-258. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0749.1999.tb00758.x>
- [7] Rothbard, S. and Wohlfarth, G.W. (1993) Inheritance of Albinism in the Grass Carp, *Ctenopharyngodon idella*. *Aquaculture*, **115**, 13-17. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90354-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90354-2)
- [8] 周可欣, 文鑫, 邓成, 等. 豹纹鳃棘鲈体色变异的色素细胞差异分析[J]. 水生生物学报, 2021, 45(5): 1164-1170.
- [9] 李春青. 基于转录组测序探讨金线鲃属鱼类体色表型性状差异的遗传基础[D]: [博士学位论文]. 昆明: 云南大学, 2019.
- [10] 陈帅龙. 豹纹鳃棘鲈体色变异相关基因的筛选与表达分析[D]: [硕士学位论文]. 海口: 海南大学, 2020.
- [11] 耿龙武. 大鳞鲂体色遗传资源开发及基因功能验证[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2023.
- [12] 朱树人, 安丽, 孟庆磊, 等. 金黄色乌鳢人工繁育试验[J]. 科学养鱼, 2020, 36(10): 7-8.
- [13] Zhu, S., Meng, Q., Zhu, Y., An, L., Zhang, L., Yu, Z., et al. (2018) The Complete Mitochondrial Genome of Golden Yellow Snakehead Fish, *Channa argus*. *Mitochondrial DNA Part B*, **3**, 1156-1157. <https://doi.org/10.1080/23802359.2018.1522981>
- [14] 安丽, 朱树人, 张龙岗, 等. 金黄色乌鳢形态特征及其相关参数分析[J]. 水产研究, 2022, 9(3), 87-94.
- [15] 安丽, 胡斌, 马汝芳, 等. 乌鳢和金黄色乌鳢肌肉营养成分分析与评价[J]. 中国农学通报, 2022, 38(20): 143-148.
- [16] 李欢, 桑卫国, 段青源, 等. 鱼类体色成因及调控研究进展[J]. 海洋科学, 2014, 38(8): 109-115.
- [17] 徐伟, 李池陶, 曹顶臣, 等. 黄色鲤、蓝色鲤、红色鲤杂交的体色及鳞被遗传特性[J]. 动物学杂志, 2010, 45(5): 9-17.
- [18] 王成辉, 项松平, 吕耀平, 等. 瓯江彩鲤红、白两种体色遗传关系的初步研究[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(4): 402-405.
- [19] 洪宝庆, 徐植岚. 白化黑线仓鼠的毛色遗传[J]. 动物学杂志, 1996, 31(1): 30-31.
- [20] Koga, A., Inagaki, H., Bessho, Y. and Hori, H. (1995) Insertion of a Novel Transposable Element in the Tyrosinase Gene Is Responsible for an Albino Mutation in the Medaka Fish, *Oryzias latipes*. *Molecular and General Genetics MGG*, **249**, 400-405. <https://doi.org/10.1007/bf00287101>
- [21] Kajishima, T. and Takeuchi, I.K. (1977) Ultrastructural Analysis of Gene Interaction and Melanosome Differentiation in the Retinal Pigment Cells of the Albino Goldfish. *Journal of Experimental Zoology*, **200**, 349-357. <https://doi.org/10.1002/jez.1402000305>
- [22] Isamu, N. (1999) An Albino of the Crayfish *Procambarus clarkii* and Its Offspring. *Journal of Crustacean Biology*, **19**, 380-383. <https://doi.org/10.1163/193724099X00196>
- [23] Katassonov, V.Y., Dementyev, V.N. and Klimov, A.V. (1999) Genetics of Coloration in Ornamental Common Carp (Koi): A More Detailed Study on the Inheritance of White Color. *Russian Journal of Genetics*, **35**, 1213-1214.

- [24] Thorgaard, G.H., Spruell, P., Wheeler, P.A., Scheerer, P.D., Peek, A.S., Valentine, J.J., *et al.* (1995) Incidence of Albinos as a Monitor for Induced Triploidy in Rainbow Trout. *Aquaculture*, **137**, 121-130.
[https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01116-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01116-1)
- [25] 王炳谦, 贾钟贺, 徐连伟, 等. 白化体虹鳟眼球色和体色遗传的初步研究[J]. 大连水产学院学报, 2006, 21(2): 112-116.
- [26] 黄永政. 鱼类体色研究进展[J]. 水产学杂志, 2008, 21(1): 89-94.