

# 虫纹鳕鲈 *Maccullochella peelii* 染色体核型分析

高小强<sup>1</sup>, 于久祥<sup>1</sup>, 黄滨<sup>1</sup>, 王耀辉<sup>2</sup>, 郭正龙<sup>2</sup>, 陈海滨<sup>3</sup>, 邢瑞<sup>3</sup>, 洪磊<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室, 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室, 山东 青岛

<sup>2</sup>江苏中洋集团股份有限公司, 江苏 南通

<sup>3</sup>禹海红旗海洋工程有限公司, 山东 日照

Email: \*honglei@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2020年8月15日; 录用日期: 2020年8月31日; 发布日期: 2020年9月7日

## 摘要

采用PHA体内直接注射法制备了虫纹鳕鲈(*Maccullochella peelii*, Mitchell)染色体标本, 经空气干燥法, Giemsa染色后, 观察虫纹鳕鲈的染色体核型和特征, 结果表明, 虫纹鳕鲈染色体数目为48条,  $2n = 48$ 所占的观察分裂相中的比例为82%; 核型公式为:  $2n = 2sm + 10st + 36t$ , 染色体臂数(NF)为50, 其染色体相对长度范围为  $(5.40 \pm 0.02) \sim (2.56 \pm 0.01)$ , 未发现与性别相关的异型染色体。通过比较分析, 虫纹鳕鲈属于高位类类群。本研究为麦鳕鲈属鱼类的细胞遗传学研究提供了重要资料, 并为其种子资源的保护及人工繁育育种等奠定基础。

## 关键词

虫纹鳕鲈, 染色体, 核型

# Karyotype of the *Maccullochella peelii*

Xiaoqiang Gao<sup>1</sup>, Jiuxiang Yu<sup>1</sup>, Bin Huang<sup>1</sup>, Yaohui Wang<sup>2</sup>, Zhenglong Guo<sup>2</sup>, Haibin Chen<sup>3</sup>, Rui Xing<sup>3</sup>, Lei Hong<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory for Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao Shandong

<sup>2</sup>Jiangsu Zhongyang Group, Nantong Jiangsu

<sup>3</sup>Yuhai Hongqi Ocean Engineering Co. Ltd., Rizhao Shandong

Email: \*honglei@ysfri.ac.cn

Received: Aug. 15<sup>th</sup>, 2020; accepted: Aug. 31<sup>st</sup>, 2020; published: Sep. 7<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

Metaphase of kidney cells was collected to study the karyotype of Murray Cod by *in vivo* injection of PHA

\*通讯作者。

文章引用: 高小强, 于久祥, 黄滨, 王耀辉, 郭正龙, 陈海滨, 邢瑞, 洪磊. 虫纹鳕鲈 *Maccullochella peelii* 染色体核型分析[J]. 水产研究, 2020, 7(3): 134-141. DOI: 10.12677/ojfr.2020.73019

and colchicine, chromosome samples were obtained by using the olchicine-air drying technique, and Giemsa staining. The results showed that the diploid chromosome number of Murray Cod was 48, and 82 spreads showed  $2n = 48$  chromosomes, which represented 82% of the observed metaphase. The karyotypic formulae are  $2n = 2sm + 10st + 36t$  and  $NF = 50$ . The relative length of chromosome was in the range of  $(5.40 \pm 0.02) - (2.56 \pm 0.01)$ , and the sex chromosome were not found in this species. The comparison of karyotypes suggested that *M. peelii* might belong to an advanced and specific evolutionary group. Our study will promote the understanding of the cytogenetic research of the genus *Maccullochella*, and lay the foundation for the protection of germplasm resources and artificial breeding.

## Keywords

*Maccullochella peelii*, Chromosome, Karyotype

Copyright © 2020 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

虫纹鳃鲈(*Maccullochella peelii*, Mitchell), 隶属于鲈形目, 鲈科, 麦鳃鲈属, 俗称虫纹麦鳃鲈、墨瑞鳃、澳洲龙纹斑, 是澳大利亚乃至世界上种群类型较大且非常名贵淡水经济鱼类之一, 主要分布于墨瑞河及达令河流域。其具有生长速度快, 繁殖能力强, 一年可达 200 克, 三年到达 2 公斤[1]; 其经常在水域边缘游动, 主要以水中小鱼、小虾为主, 有时可摄食水鸟、蛙类及水老鼠等[2]。虫纹鳃鲈肉质鲜嫩、口感细滑, 肌间刺较少, 其肌肉富含高含量的蛋白质及不饱和脂肪酸, 且氨基酸种类齐全, 尤其是富含 4 种香味氨基酸及人体必需氨基酸, 具有较高的营养价值[3]。近几年, 我国不断引进澳洲龙纹斑并开发驯化, 逐渐成为了我国一项新兴的水产养殖产业。目前, 很多研究对澳洲虫纹鳃鲈的生活习性、遗传多样性、肌肉营养成分及疾病防控等进行了系统研究, 探明了其生物学和种质特性[2] [4] [5] [6] [7]; 研发了澳洲虫纹鳃鲈的生态模拟人工繁殖、控光苗种驯化培育等相关技术, 形成了成熟的人工繁育及配套养殖技术[8] [9] [10]。而在其在细胞遗传学方面的研究比较空白。近几十年来, 细胞遗传育种作为一种新兴的繁育技术, 开始应用到鱼类杂交育种上, 为苗种的改良、提纯及新品种的开发发挥了重要的作用。虫纹鳃鲈作为我国新引进的淡水养殖品种, 全面研究其细胞遗传学参数至关重要。因此本文对虫纹鳃鲈雌雄个体的染色体核型进行解析, 旨在了解其繁殖遗传特性, 为其种质资源的开发与利用以及演化地位的研究提供理论依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 材料

实验虫纹鳃鲈购自江苏中洋集团养殖基地, 应用拖网共获取 3 尾雌鱼及 2 尾雄鱼, 全长为  $22.15 \pm 1.24$  cm, 体重为  $550.62 \pm 80.47$  g。暂养于 1 吨水泥池中, 养殖用水为暴晒 3 天的地下井水, 水温保持在  $22.00 \pm 1.00^\circ\text{C}$ , 溶解氧保持在 6.5 mg/L 以上。

### 2.2. 实验方法

#### 2.2.1. 虫纹鳃鲈染色体标本制备

虫纹鳃鲈染色体标本制备参考林义浩的方法[11], 并略加修改。将植物凝集素(PHA)以鱼体重  $8 \mu\text{g/g}$  的剂量直接胸鳍基部注射, 12 h 后再次注射同等剂量的 PHA, 效应 6 h 后将秋水仙素以鱼体重  $5 \mu\text{g/g}$  的

剂量进行注射, 3 h 后立即 MS222 麻醉, 冰盘上解剖, 迅速取鳃基部两侧头肾组织, 于 0.9% 生理盐水中冲洗 2~4 次, 冲洗好的样品于 0.075 mol/L 的 KCl 溶液低渗处理 45 min, 将样品加入到预先配制新鲜的 Carnoy 氏液(甲醇和冰醋酸按体积 3:1 配制)中固定 15 min, 更换固定液重复固定 2 次, -20℃ 冰箱保存。

取出固定好的样品组织, 剪取少量于 10 ml 烧杯中, 滴加 5~10 滴 30% 的冰醋酸进行组织解离, 反复剪碎, 再加入 50 ul 固定液, 摇匀, 于 300 目筛绢网中过滤收集细胞悬液备用。应用 5 ml 细长玻璃吸管吸取悬浮液滴加到经无水乙醇预冷的载玻片上, 迅速过酒精灯, 待燃烧完后自然干燥。染色体玻片使用 10% 吉姆萨染液(吉姆萨母液: 双蒸水按体积 1:9 进行配置)染色 35 min, 室温干燥后保存备用。

### 2.2.2. 虫纹鳕核型分析

制作的染色体玻片应用光学显微镜(NIKON YS100)进行观察拍照。选取中期分裂较好、形态清晰、大小适中且染色体单体分散的细胞分裂相进行染色体众数统计、臂长测量等。染色体分类采用 Levan 等[12]方法。

## 3. 结果

### 3.1. 虫纹鳕染色体数目

本研究选取 100 个(雌性 50 个, 雄性 50 个)染色体中期分裂相的结果见表 1。由表 1 可知, 虫纹鳕中期分裂相染色体数目最多的为 48, 含有 87 个, 占有统计细胞数目的 82%。可见, 虫纹鳕二倍体染色体众数是 48, 即  $2n = 48$ 。

Table 1. Number frequency of chromosome in *Maccullochella peelii*

表 1. 虫纹鳕染色体数目分布

染色体数目 Number of chromosomes	≤42	43	44	45	46	47	48	≥49
分裂相数目 Number of metaphase	6	2	1	1	4	2	82	2
出现频率(%) Frequency (%)	6	2	1	1	4	2	82	2

### 3.2. 虫纹鳕染色体组型分析

选取 20 个(雌鱼 10 个, 雄鱼 10 个)形态清晰的中期分裂相进行拍照、测量并分析, 结果表明, 虫纹鳕共有 24 对同源染色体, 染色体相对长度范围在 5.63~2.79 um 之间, 雌雄鱼在染色体核型组成上无差异, 且无与性别相关的异型染色体及次缢痕(见表 2)。20 个分裂相形态表明, 虫纹鳕染色体可分为 3 组, sm 类型有 1 对, st 类型共 5 对, t 类型共 18 对, 其核型公式为:  $2n = 2sm + 10st + 36t$ ,  $NF = 50$  (见图 1 和图 2)。

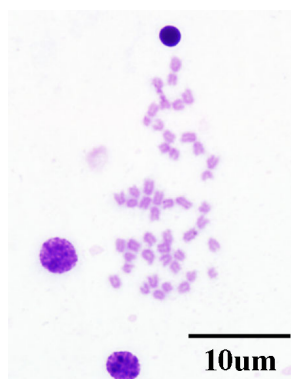
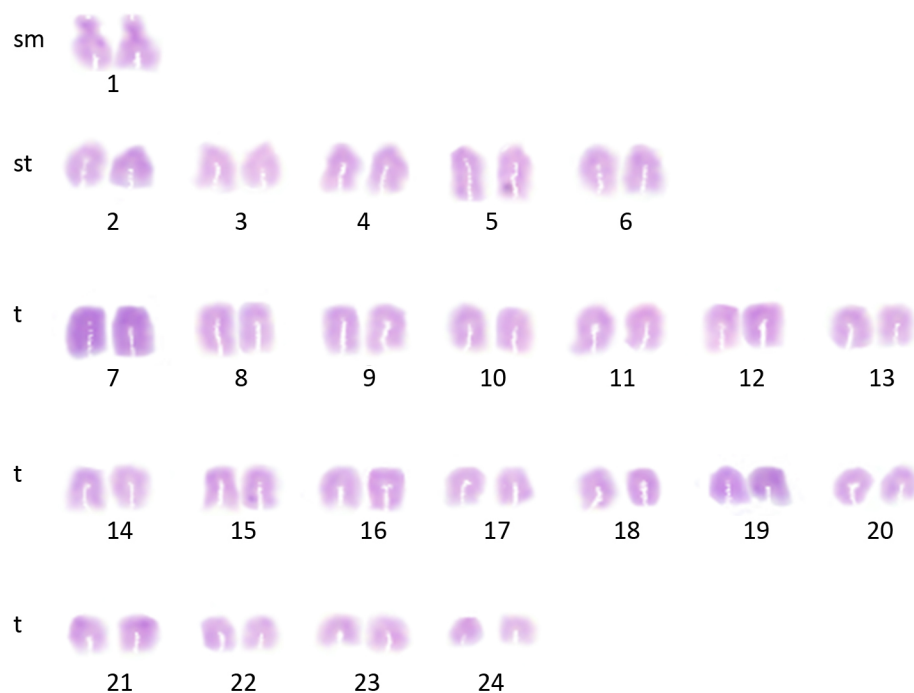


Figure 1. Metaphase chromosomes of *Maccullochella peelii* (100×)

图 1. 虫纹鳕染色体中期分裂图(×100 倍)



sm.亚中部着丝点染色体; st.亚端部着丝点染色体; t.端部着丝点染色体

**Figure 2.** Karyotype of *Maccullochella peelii* (100×)

**图 2.** 虫纹鳕鲈核型(×100 倍)

**Table 2.** The relative length and arm ratio of chromosomes in *Maccullochella peelii*  
**表 2.** 虫纹鳕鲈各染色体的相对长度和臂比值

编号 No.	相对长度 Relative length	臂比 Arm ratio	类型 type
1	5.40 ± 0.02	2.56 ± 0.01	sm
2	4.10 ± 0.06	3.10 ± 0.02	st
3	4.53 ± 0.15	3.21 ± 0.04	st
4	4.90 ± 0.10	3.26 ± 0.18	st
5	5.63 ± 0.01	4.98 ± 0.05	st
6	4.70 ± 0.04	5.52 ± 0.39	st
7	5.10 ± 0.02	∞	t
8	4.47 ± 0.03	∞	t
9	4.47 ± 0.02	∞	t
10	4.43 ± 0.08	∞	t
11	4.15 ± 0.01	∞	t
12	4.14 ± 0.00	∞	t
13	4.10 ± 0.02	∞	t
14	4.07 ± 0.00	∞	t
15	4.05 ± 0.01	∞	t
16	3.99 ± 0.00	∞	t

Continued

17	3.87 ± 0.05	∞	t
18	3.67 ± 0.06	∞	t
19	3.64 ± 0.08	∞	t
20	3.64 ± 0.02	∞	t
21	3.58 ± 0.00	∞	t
22	3.32 ± 0.05	∞	t
23	3.26 ± 0.17	∞	t
24	2.79 ± 0.05	∞	t

#### 4. 讨论

染色体核型分析是细胞遗传学研究的基本方法,在鱼类中开展染色体核型分析不仅能够了解其演化地位,分类系统以及染色体的形态,还能够为以后鱼类的杂交育种提供一定的遗传学依据。目前很多研究表明了具有 48 条单臂染色体核型是硬骨鱼类的最原始的核型组成,随着生活及地理环境的不断更替,物种间核型呈现了多态化,而这种多态化基本上是由于染色体的多倍化或罗伯逊易位所引起的,导致了物种间的隔离,在一定程度上造就了物种的多样性[13]-[18]。在本研究中虫纹鳊的染色体数目为 48,核型为  $2n = 2sm + 10st + 36t$  ( $NF = 50$ ),可见,虫纹鳊在其生活演化史中核型复杂化、臂数增多。另外,周剑光对新疆江鳊研究发现,其通过增加其染色体臂数以适应淡水生活[19]。据有关数据统计,报道出的染色体研究的鱼类大约 2000 多种,具有异型性染色体的鱼类大约 50 多种,仅占 2.5%。如半滑舌鳎[20]、灰海马[21]、刀鲚[22]及短颌鲚[23];也有研究发现,同一物种不同性别间染色体数目存在差异性。如棘头梅童鱼核型  $2n = 48t$  (雌鱼)和  $2n = 46t + 1m$  (雄鱼) [24];凤鲚雌性染色体数目为  $2n = 47$ ,雄性染色体数目为  $2n = 48$  [25];条石鲷的雄性核型为  $2n = 3m + 44t$ ,雌性核型为  $2n = 2m + 46t$ ,且雄性具有 1 条中部着丝粒的巨型性染色体[26]。在本研究中通过对雌雄虫纹鳊染色体滴片发现,两者染色体目数及核型均无差别,且并未发现异型的性染色体。

一些研究认为鱼类染色体着丝粒臂间倒位只改变染色体臂数及形态,而染色体数目不变[27] [28] [29],这种现象在很多鱼类均有发现,如鲷亚科鱼类染色体数目一致,均为  $2n = 48$ ,而臂数在 92~94 之间[30] [31];东方鲀属其染色体数目均为  $2n = 44$ ,臂数则在 62~66 之间[32];拟鲚属鱼类染色体数目为  $2n = 52$ ,其臂数为 84~94 之间[33];鲷科鱼类染色体数均为  $2n = 48$ ,臂数在 48~56 之间[34]。鲉亚科鱼类染色体数目为  $2n = 100$ ,其的臂数范围是 142~150 [35]。本研究也发现除了鳊属长体鳊(*Coreosini percaroulei*)以及麦氏鲈属九斑麦氏鲈(*Macquaria novemaculeata*)外,其它 9 种真鲈科鱼类二倍体染色体数目相同,均为  $2n = 48$ ,染色体臂数在 48~52 之间。这些现象也进一步说明了鱼类核型的演化具有多态性,这可能跟生活环境及自然生态选择有关。另外,我们也发现,长体鳊及九斑麦氏鲈的染色体数目均出现不同程度的减少,可能是其在进化过程中染色体间发生了串联融合[36]。而鲤科鱼类在核型系统进化过程中则不同,其染色体数目大幅度增加,如锦鲤、杞麓鲤、野鲤、镜鲤、红鲤等染色体数目均为  $2n = 100$  [37] [38] [39] [40] [41];染色体数目的增加可能使鱼类具备更多的遗传信息储存,加速其种群进化的多态性,从而保证其种群在自然恶劣环境中的生存。

李树森[42]认为,硬骨鱼类可以划分为 2 个类群:原始类群和特化类群;其中原始类群的鱼类具有相对较多的亚端部或端部染色体,而特化群体则相反。在石斑鱼 23 种类核型研究中,其中 12 种石斑鱼染色体臂数均为 48,其染色体结构大体上群体演化过程中并没有发生大的变化,基本上保持了原始核型的



**Table 3.** Chromosome characteristics in percichthyidae  
**表 3.** 真鲈科鱼类染色体核型特征

中文名 Chinese name	拉丁文学名 Scientific name	属 Generic namen	二倍体染色体数 2n	核型 Karyotype	染色体臂数 NF	参考文献 References
虫纹鳊鲈	<i>Maccullochella peelii</i>	麦鳊鲈属	48	2sm + 10st + 36t	50	本研究
鳊	<i>Siniperca chuatsi</i>	鳊属	48	6sm + 12st + 30t	54	[53]
大眼鳊	<i>Siniperca kneri</i>		48	6sm + 14st + 28t	54	[54]
斑鳊	<i>Siniperca scherzeri</i>		48	2sm + 24st + 22t	50	[55]
暗鳊	<i>Siniperca obscura</i>		48	4sm + 14st + 30t	52	[56]
波纹鳊	<i>Siniperca undulata</i>		48	2sm + 16st + 30t	50	[56]
长体鳊	<i>Coreosini percaroulei</i>		46	2sm + 8st + 36t	48	[57]
九斑麦氏鲈	<i>Macquaria novemaculeata</i>	麦氏鲈属	24	2sm + 22t	26	[58]
川目少鳞鳊	<i>Coreoperca kawamebari</i>	少鳞鳊属	48	4sm + 44st	52	[56]
朝鲜少鳞鳊	<i>Coreoperca herzi</i>		48	2sm + 46st	50	[56]
花鲈	<i>Lateolabrax japonicus</i>	花鲈属	48	48t	48	[59]

形态, 而其余 11 种染色体臂数均大于 48, 其染色体结构的变化较大, 应属于特化类型[43]; 李安等对鮡亚科鱼类研究发现, 鮡属鱼类位于系统发育树的底部, 为较原始的类群, 其次为鳊属, 然后是鮡属, 而似鮡属鱼类则处在系统发育树顶部, 为特化类群[44]。范瑞等对鳊鱼的研究也发现, 宽突鳊属鱼类具有较多的中部着丝粒染色体, 为特化类群, 而鳊属则具有较多的端部和亚端部染色体, 为原始类型[45]。在本文对真鲈科鱼类研究中也发现真鲈科中的少鳞鳊属川目少鳞鳊与朝鲜少鳞鳊相比, 臂数相对较多且大部分为中部或亚中部着丝粒染色体, 应更加倾向于特化类群。而鳊属中的斑鳊、波纹鳊与鳊、大眼鳊及暗鳊相比, 染色体臂数相对较少且大部分为端部或亚端部染色体, 因此, 它们更倾向于原始类群, 在鳊属鱼类中是非常原始。综上可见, 鱼类在进化方向上具有显著的差异性, 即保留了原始的核型又展现了更加复杂、特化的核型, 这可能与各自生活的地理环境及种群内在因素有关。

一些研究把真骨鱼类进化的类群分为 3 种: 低位类群、中位类群及高位类群, 其中端部及亚端部染色体数目多, 臂数少的属于进化高位鱼类, 反则属于低位类群[46] [47]。如在对塘鳢科鱼类中的研究表明, 脂塘鳢属鱼类核型中 M 型染色体较多, 则属于典型的低位类群, 而乌塘鳢属、塘鳢属、头孔塘鳢属、尖塘鳢属、鮡虾虎鱼属等属鱼类核型中 A 型染色体较多, 则为高位类群[48]; 点篮子鱼的染色体数目为  $2n = 48$ , 核型公式为  $2n = 4sm + 10st + 34t$ , 为典型的高位类群染色体数目[49]。鮡亚科鱼类的核型中部或亚中部染色体较多, 占总染色体数目的 60%-76%, 为典型的中低位鱼类[50]。在本研究中所列数真鲈科鱼类均具有较多的亚端部和端部着丝粒染色体, 中部或亚中部着丝粒染色体较少, 染色体较为收敛, 因此, 应属于高位类群。由此可见, 真鲈科鱼类大部分属于高位类群原始核型, 这与同样是淡水的鲤科鱼类核型(中部或亚中部染色体较多, 臂数较多) [51]具有明显的差异。此外, 由表 3 也可知, 鳊属中的鳊和大眼鳊、本研究中的虫纹鳊鲈与长体鳊核型相近, 根据亲本核型越相近, 杂交成功率越高的原则, 它们彼此之间具有杂交育种的可能性。

总体而言, 鱼类在进化史中由于栖息环境、生活习性及地理条件等差异性, 导致了鱼类演化的方向的多样性, 核型展现出了保守性、趋同性及多态等现象, 因此, 仅仅简单的从核型上分析鱼类分类及演

化问题是远远不够的, 不能把其作为分类的唯一标准, 而应结合全态学的研究方法, 全面、准确的解决其演化问题, 为系统发育分类提供重要的依据[52]。对于本研究而言, 我们通过虫纹鳕的核型分析及与真鲈科已有核型鱼类综合比较, 得出了一部分结果, 为真鲈科鱼类地位的演化, 系统的分类提供了一定的参考, 但仍然需要进一步开展深入的研究, 如 C 带、G 带、银染、DNA 含量、原位杂交等。

## 基金项目

科技人才和平台计划项目(院士专家工作站)(2018IC161)资助; 青岛博士后应用研究项目(Q51201611); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项, (20603022015005); 江苏省国家长江珍稀鱼类工程技术研究中心培育点(BM2013012)共同资助。

## 参考文献

- [1] Rowland, S.J. (2004) Overview of the History, Fishery, Biology and Aquaculture of Murray Cod (*Maccullochella peelii*). In: *Management of Murray Cod in the Murray-Darling Basin-Canberra*, Murray-Darling Basin Commission, Canberra, 38-61.
- [2] 韩茂森. 澳洲虫纹鳕的生物学特性及引养前景[J]. 淡水渔业, 2003(4): 50-52.
- [3] Harris, J.H. and Rowland, S.J. (1996) Family Percichthyida-Australian Freshwater Cod and Basses. In: *Freshwater Fishes of Southwestern Australia*, University of California, Oakland.
- [4] 张龙岗, 杨玲, 张延华, 等. 虫纹鳕线粒体 COI 基因片段的克隆与序列分析[J]. 长江大学学报自然科学版: 农学卷, 2012(8): 25-29.
- [5] 宋理平, 冒树泉, 胡斌, 等. 虫纹鳕肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 饲料工业, 2013(16): 42-45.
- [6] 张龙岗, 杨玲, 李娴, 等. 利用 mtDNA COI 基因序列分析引进的澳洲虫纹鳕群体遗传多样性[J]. 水产学杂志, 2013, 26(2): 14-18.
- [7] 杨小玉, 郭正龙. 澳洲龙纹斑工厂化养殖技术[J]. 水产养殖, 2013(2): 26-27.
- [8] 罗士杰, 罗钦, 涂杰峰, 等. 澳洲龙纹斑养殖过程中主要疾病诊断及防治[J]. 福建农业学报, 2015, 30(6): 562-566.
- [9] 左瑞华, 汪学军. 虫纹鳕苗种培育影响因素初步分析[J]. 安徽农学通报, 2001, 7(3): 57-59.
- [10] 闫兵兵, 郭正龙, 秦巍仑. 龙纹斑苗种规模化繁育技术[J]. 科学养鱼, 2018, 352(12): 14-15.
- [11] 林义浩. 快速获得大量鱼类肾细胞中期分裂相的 PHA 体内注射法[J]. 水产学报, 1982, 6(3): 201-208.
- [12] Levan, A., Fredga, K. and Sandberg, A.A. (1964) Nomenclature for Centromeric Position on Chromosomes. *Hereditas*, **52**, 201-220. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1964.tb01953.x>
- [13] Ohno, S. (1970) *Evolution by Gene Duplication*. Springer-Verlag Publishing Company, New York, 15-18. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-86659-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-86659-3_4)
- [14] Chen, T.R. and Ebeling, A.W. (1971) Chromosomes of the Goby Fishes in the Genus *Gillichthys*. *Copeia*, **1**, 171-174. <https://doi.org/10.2307/1441622>
- [15] Galetti, J.P.M., Aguilar, C.T. and Molina, W.F. (2004) An Overview of Marine Fish Cytogenetics. *Hydrobiologia*, **20**, 55-62. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-2184-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-017-2184-4_6)
- [16] Galetti Jr., P.M., Molina, W.F., Affonso, P., et al. (2006) Assessing Genetic Diversity of Brazilian Reef Fishes by Chromosomal and DNA Markers. *Genetica*, **126**, 161-177. <https://doi.org/10.1007/s10709-005-1446-z>
- [17] Brum, M.J.I. and Galetti, J.P.M. (1997) Teleostei Ground Plan Karyotype. *Journal of Computational Biology*, **2**, 91-102.
- [18] 余先觉, 周瞰, 李康, 等. 中国淡水鱼类染色体[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [19] 周剑光, 蒋艳琳, 张林, 等. 新疆江鳕染色体核型分析和形态特征研究[J]. 淡水渔业, 2019(4): 3-8.
- [20] 庄志猛, 吴迪, 周丽青, 等. 半滑舌鳎染色体核型分析[J]. 水产学报, 2005(3): 132-134.
- [21] 刘鑫, 张东, 林听听, 等. 灰海马染色体制备及核型分析[J]. 水产学报, 2020, 44(6): 907-914.
- [22] 许世杰, 李园园, 付官宝, 等. 刀鲚染色体核型分析[J]. 广东农业科学, 2014, 41(6): 155-157.
- [23] 洪云汉, 周瞰. 短颌鲚的核型及其 ZZ-ZO 性染色体[J]. 遗传, 1984, 6(4): 12-14.

- [24] Zhang, S.K., Zheng, J. and Zhang, J. (2018) Cytogenetic Characterization and Description of an  $X_1X_1X_2X_2/X_1X_2Y$  Sex Chromosome System in *Collichthys lucidus* (Richardson, 1844). *Acta Oceanologica Sinica*, **37**, 34-39. <https://doi.org/10.1007/s13131-018-1152-1>
- [25] 蒋俊, 庄平, 宋超. 凤鲚染色体核型研究[J]. 海洋渔业, 2020, 42(1): 45-52.
- [26] 徐冬冬, 尤锋, 楼宝, 等. 条石鲷雌雄鱼核型及C-带的比较分析[J]. 水生生物学报, 2012, 36(3): 552-557.
- [27] Klinkhardt, M.B. (1994) Karyotypic Divergence between Species of Gadidae (Pisces, Gadiformes). *Cytobios*, **77**, 207-214.
- [28] 李均祥. 花鱼骨染色体核型的研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(31): 13658-13659.
- [29] 毛连菊, 李雅娟. 5种海水鱼类染色体的组型分析[J]. 大连水产学院, 2002, 17(2): 108-113.
- [30] 张林, 周剑光, 张涛, 等. 长江水系细鳞斜颌鲷形态特征及生化遗传特性分析[J]. 中国渔业质量与标准, 2018, 8(2): 29-35.
- [31] 章海鑫, 徐先栋, 张燕萍, 等. 黄尾鲷染色体核型分析[J]. 江西水产科技, 2018(5): 20-22.
- [32] 刘巧红, 尤颖哲, 陈武各, 等. 双斑东方鲀染色体核型分析[J]. 应用海洋学学报, 2018, 37(2): 274-278.
- [33] 邹远超, 林溪, 岳兴建, 等. 切尾拟鲮染色体核型分析[J]. 安徽农业科学, 2013(8): 122-124.
- [34] 牛文涛, 蔡泽平, 林荣澄. 平鲷不同发育类型的染色体核型分析[J]. 应用海洋学学报, 2014, 33(3): 337-342.
- [35] 耿龙武, 姜海峰, 徐伟. 两种方法分析大鳞鲃染色体核型的比较研究[J]. 水产学报, 2018, 42: 334-344.
- [36] Caputo, V.R., Sorice, R., Vitturi, H., et al. (1998) Cytogenetic Studies in Some Species of Scorpaeniformes (Teleostei: Percomorpha). *Chemistry Research*, **6**, 255-262.
- [37] 梁拥军. 红白锦鲤的染色体核型分析[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(14): 7717-7719.
- [38] 咎瑞光, 宋峥. 鲤、鲫、鲢、鳙染色体组型的分析比较[J]. 遗传学报, 1980, 3(1): 72-80.
- [39] 吴端生, 刘筠. 湘鲤及湘江野鲤染色体组型研究[J]. 长沙水电师院自然科学学报, 1994, 9(3): 315-319.
- [40] 张克给, 伺玉明, 张景龙, 等. 德国镜鲤染色体组型的研究[J]. 上海水产大学学报, 1995, 4(1): 72-75.
- [41] 尹洪滨. 四种鲤鱼染色体核型比较研究[J]. 水产学杂志, 2001, 14(1): 7-10.
- [42] 李树深. 鱼类细胞分类学[J]. 生物科学动态, 1981(2): 8-15.
- [43] 钟声平, 陈超, 王军, 等. 七带石斑鱼染色体核型研究[J]. 中国水产科学, 2010, 17(1): 150-155.
- [44] 李安, 李高俊, 王世锋, 等. 海南南渡江唇?(*Hemibarbus labeo*)染色体核型和银染分析[J]. 渔业科学进展, 2020, 41(2): 95-102.
- [45] 范瑞, 姜志强, 李雅娟, 等. 太平洋鲷染色体核型及银染分析[J]. 水生生物学报, 2014(1): 115-120.
- [46] 小島吉雄. 鱼类细胞遗传学[M]. 林义浩, 编译. 广州: 广东科技出版社, 1990: 8-33.
- [47] 周瞰. 鱼类染色体研究[J]. 动物学研究, 1984, 5(S1): 38-51.
- [48] 陈小曲, 黄韧, 李建军. 诸氏魮虾虎鱼染色体组型分析[J]. 热带海洋学报, 2013, 32(6): 88-95.
- [49] 周剑光, 王好, 王昱斌, 等. 点篮子鱼染色体核型分析[J]. 水产学杂志, 2019, 32(6): 59-63.
- [50] 蒋进, 李星云, 吴尔苗. 光唇鱼染色体核型分析[J]. 淡水渔业, 2009(3): 78-80.
- [51] 蒋进, 李星云, 吴尔苗. 光唇鱼染色体核型分析[J]. 淡水渔业, 2009(3): 77-79.
- [52] 覃映雪, 苏永全, 王胜强, 等. 花尾胡椒鲷染色体组型分析[J]. 海洋学报, 2003, 25(4): 147-150.
- [53] 朱健, 张成锋, 闵宽洪, 等. 尼罗尖吻鲈和鳊鱼染色体组型分析及比较[J]. 水生生物学报, 2009, 33(2): 195-199.
- [54] 楼允东. 中国鱼类染色体组型研究的进展[J]. 水产学报, 1997, 12(21): 92-96.
- [55] 杨春英. 沅水鱼类物种资源多样性及几种经济鱼类染色体组型分析[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012: 1-67.
- [56] Park, E.H. (1974) A List of the Chromosome Numbers of Fishes. College of Liberal Arts and Sciences, Seoul National University, **20**, 346-372.
- [57] 张克俭. 长体鳊、黑鳍鳊及塘鳢的染色体组型研究[J]. 水产学报, 1989, 13(1): 52-58.
- [58] Carey, G.R. and Mather, P. (1999) Karyotypes of Four Australian Fish Species *Melanotaenia duboulayi*, *Bidyanus bidyanus*, *Macquaria novemaculeata* and *Lates calcarifer*. *Cytobios*, **100**, 45-50.
- [59] 王金星, 赵小凡, 王相民, 等. 鲱形目和鲈形目七种鱼的核型分析[J]. 动物学研究, 1994, 15(2): 76-79.