

中国海水鱼类核型研究概述

牛文涛, 蔡泽平*

(中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301)

摘要: 染色体是遗传物质的载体, 是细胞中最重要的结构. 研究染色体的形态和结构, 有助于了解生物的遗传组成、遗传变异规律和发育机制, 而且对预测种间杂交和多倍体育种的结果、了解性别遗传机理以及基因组数、物种起源、进化和种族关系的鉴定都有重要的参考价值. 我国从上世纪 70 年代初开始淡水鱼类染色体的研究, 海水鱼类染色体的研究相对较晚, 1987 年才见到海水鱼类染色体研究的相关报道, 至今近 20 年中, 已经对 7 目 24 科 76 种海产鱼类的核型进行了研究, 约占我国近 3 100 种海水鱼类的 2.4%. 本文简要概述了近 20 年来我国海水鱼类染色体核型的研究状况, 包括研究种类, 采用的研究方法, 并对我国海水鱼类核型研究中存在的问题进行探讨.

关键词: 中国; 海水鱼类; 染色体核型

中图分类号: Q 243

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2006)S2-0125-07

1 核型研究内容及其研究意义

染色体最早是由 Hofmeister 1848 年从紫鸭跖草的小孢子母细胞中发现的, 40 年后才由 Waldeyer 定名为染色体^[1]. “地球的历史记载于地壳中, 而生物的历史却记载在染色体上”^[2], 由此可见, 染色体作为细胞核内的一种重要结构、遗传物质的主要载体, 其数目和形态不仅具有种的特征, 而且反映出生物进化的历史, 因而染色体的研究是细胞遗传学的重要内容. 核型 (Karyotype) 又叫做染色体组型, 通常指体细胞染色体所有可测定的表性特征的总称, 是染色体研究的最基本的内容, 主要包括: 染色体数目、形态、长度、着丝点位置以及分带等^[3]. 核型分析方法一般采用 Levan 的两点四区系统进行分类和命名. 对染色体核型分析, 不仅有助于了解生物的遗传组成、遗传变异和发育机制, 而且对预测和鉴定种间杂交和多倍体育种的结果, 了解性别遗传机理以及基因组数、物种起源、进化和种族关系的鉴定都具有重要的参考价值^[4], 对于现代分子生物学中的基因定位和原位杂交等也有重要作用.

2 核型研究的主要方法

核型分析的发展过程有 3 项技术起了很重要的作用.

用. 一是 1952 年美籍华人徐道觉发现用蒸馏水低渗处理分裂细胞可使染色体分开, 便于观察; 二是 1956 年, Tjio 发现秋水仙素可使分裂的细胞停止在中期, 便于富集中期细胞分裂相; 三是 Lij G 发现植物血液凝集素 (PHA), 可使淋巴细胞转化为淋巴母细胞, 并呈分裂状态, 使以血培养方法观察动物及人的染色体成为可能; 后来又发现空气干燥法可使细胞和染色体展开^[5-6]. 最初研究的是人类的染色体, 20 世纪六、七十年代以后, 人类染色体核型和带型技术逐步应用到各类动物中, 极大地促进了动物细胞遗传学的发展. 由于鱼类染色体数目较多, 并且形态上相对于植物和昆虫的小, 要制得具有大量分裂相且染色体图相清晰的片子比较困难, 直到 1966 年 Ojima 等首次采用低渗处理和空气干燥法制片, 进行鱼类染色体研究, 并取得成功^[7]. 我国于 20 世纪 70 年代开始进行鱼类染色体核型分析研究^[8], 1975 年, 长江水产研究所和武汉大学最早报道用压片法分析了数种经济鱼类的染色体数目^[9], 海水鱼类染色体研究直到 1987 年才见报道^[10-11], 基本上是沿用淡水鱼类的核型研究方法, 主要包括: 压片法、胚胎细胞制片法、外周血培养、细胞系培养、肾细胞短期培养、尾鳍细胞短期培养、肾细胞-PHA 秋水仙素活体注射、肾细胞-秋水仙素活体注射、酵母活体注射、静脉抽血肾细胞制片法、脾脏细胞法以及抽提淋巴细胞作肾脏染色体制片等等^[8-12-15]. 从实验操作类型来看, 可大致分为活体注射法和细胞培养法两类. 所选取的实验材料主要来自细胞分裂增殖能力较强的器官组织, 如肾脏、脾脏等或将血液、再生鳍和受精卵胚胎等做短期培养 (卵裂期或原肠期的材料通常采用细胞压片法或胚胎细胞制片法), 促使增

收稿日期: 2006-11-20

基金项目: 广东省科技计划项目 (2006B20201054 2004B20301001);
中国科学院知识创新工程重要方向性项目 (ZK CX2-211)资助

作者简介: 牛文涛 (1979-), 男, 硕士.

* 通讯作者: czeping@sohu.com

加细胞分裂相。通过 PHA 或者放血刺激造血功能等促进细胞增殖,秋水仙素抑制细胞有丝分裂时纺锤丝的形成,并能阻止中期染色体的移动,不能进入后期,便于观察。

目前最常用的方法是 PHA-秋水仙素活体注射短期培养肾细胞法。通过体内注射 PHA,促进细胞分裂,然后注射秋水仙素富集中期分裂相。该方法方便快捷,所得染色体分裂相较多,大大推动了鱼类染色体研究的发展。但该方法所用的秋水仙素毒性很强,浓度以及处理时间比较难把握,如果浓度和处理时间不够,则达不到富集中期分裂相的目的;如果浓度过高,处理时间过长,则导致染色体萎缩,形态模糊,长、短臂的收缩不成比例,难以观察,造成误差,因而需要针对不同的鱼类、大小、发育时期及取样组织等进行相关条件的摸索,以期得到该种鱼的适宜处理参数^[16]。王德祥等提出了静脉抽血肾细胞制片法,该方法由于避免使用秋水仙素,细胞有丝分裂过程不受药物的影响,染色体分析的结果更加真实可信^[15]。

染色体分带技术已应用在鱼类核型研究中,它可以揭示染色体的较精细的结构,检测出染色体之间结构上的细微差异。该技术是将染色体经过特定处理和染色,能产生特异性的带纹,大大提高了核型分析的准确率。C带技术、G带技术、银带技术以及复制带等技术在鱼类都被应用并取得较好的效果,Andreatta应用C带技术成功证实了甲鲇科鱼类 *Pseudotocinclus tetensis* 的性染色体组成为 XX/XY 型^[17]。

近年来分子生物技术在染色体研究中得到广泛应用,主要用在人类或哺乳类染色体异常引发的疾病诊断上,如定量荧光 PCR (QF-PCR)、荧光原位杂交 (FISH) 和光谱核型分析 (SKY) 等。这些新技术敏感性和准确性高、特异性强、操作比较简便,而且实验周期短^[18-21],引起医学界的普遍重视。在鱼类染色体研究方面, FISH 技术被用于分析湖鲮性染色体精细结构以及罗非鱼染色体上与性别相关的标记的分布和位置等^[22-23]。分子生物技术在鱼类染色体鉴定及核型分析上应用的比较少。

3 我国海产鱼类核型研究概况

3.1 种类组成

据不完全统计,我国已经进行染色体研究的海水鱼类为 76 种,分别属于 7 目 24 科(表 1, 2), 约占我国近 3 100 种海水鱼类的 2.4%, 其中鲈形目研究最多,共 12 科 51 种,约占已研究种类的 67.1%。其他分别为鲉形目 4 科 7 种, 鲷形目 2 科 6 种, 鲑形目 2 科 5

种, 鳗鲡目 2 科 3 种, 鲱形目、鲱形目分别为 1 科 2 种。这些鱼类主要分布在近海沿岸、河口及滩涂, 比较容易捕获和暂养, 多数为重要的经济鱼类。

3.2 核型特征

我国已研究的 76 种海水鱼类的染色体数目 ($2n$) 变化为 26~56 可分为 10 种不同数目(表 3), 其中染色体数目最少的为锦鳃科的云鳃 *Enclarias nebulosus* $2n=26$ 最多的为线鳃科的缝鳃 *Azumina amnion* $2n=56$ 它们均属于鲈形目。最普遍的为 $2n=48$ 有 55 种鱼类属于这种类型, 占已研究的海水鱼类总数的 72.3%, 根据原始性状的普遍性原则, $2n=48$ 这种核型被认为可能是海水鱼类原始类型^[24-25]。

形态上, 一个明显的特征就是端部、亚端部着丝粒较多, 而中部、亚中部着丝粒相对较少, 其中 32 种甚至全部为端部着丝粒。高等类群鱼类染色体数目的分布呈收敛状态, 染色体数目趋向于减少, 染色体数目多的具有较多的端部着丝点染色体, 而数目较少的则具有较多的中部或亚中部着丝点染色体^[26-27]。在海水鱼类中, 染色体数目相对稳定, 许多种类的核型特征甚至完全相似。核型类型的相似性, 反映了鱼类种间、类群间进化上的趋同性和变异性, 同时也表明细胞水平的核型还是不能充分反映不同的物种的差异, 需要通过带型分析或者目前较为流行的分子标记方法来区分。

将染色体经过物理或化学方法处理后, 用特定的染料按一定的程序进行染色, 可以导致染色体内部结构的分化染色, 从而获得更多的具有鉴别性特征的信息, 即染色体分带技术。经分带处理后的染色体之间各具有特异性的横向带纹, 反映出各自固有的结构, 能显示出同一细胞内不同染色体之间的差异。分带技术在淡水鱼类中应用较多, 而在海水鱼类中较少, 目前国内进行过带型研究的海水鱼类只有少数几种, 如: 长鳍金枪鱼、黄鳍金枪鱼、鲣和斑尾复鰕虎鱼的 C 带分析^[19-28], 真鲷、黑鲷、鲷和点带石斑鱼的 Ag-NOR 带^[29-31] 研究等。

在进行过核型研究的海水鱼类中, 有许多发现具有次缢痕或随体^[32-34]。另外分别在星康吉鳗 *Conger myriaster*^[32-35] 和斑头鱼 *Agrammus agrammus*^[36] 中发现具有异型性染色体。星康吉鳗性染色体为 XW/ZZ 型, 斑头鱼为 XX/XY 型。在已进行过核型分析的鱼类中(包括淡水鱼), 大多没有发现性染色体, 涉及性染色体的鱼类约 80 种, 其中可以从细胞学上鉴别出性染色体的鱼类只有近 40 种。鱼类的性别分为遗传性别和生理性别, 性别分化和发育受到遗传因子控制, 也与环境因素密切关系。Ojima 认为鱼类性别是由多基因

表 1 我国已研究的海产鱼类的染色体核型
Tab 1 Studies on the karyotype of marine fishes in China

目	科	种名	2n	核型公式	臂数	参考文献
鲱形目	鲱科	青鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>	48	48t	48	[40]
		斑鲚 <i>Chirocentrus brachypterus</i>	48	2m + 46 t	50	[40]
鳗鲡目	康吉鳗科	星康吉鳗 <i>Conger myriaster</i>	38	8m + 10 sm + 20t	56	[32 35]
			38	13m + 4 sm + 21t(雌)	55	[41]
				14m + 4 sm + 20t(雄)	56	
	海鲳科	匀斑裸胸鲳 <i>Gymnothorax reevesi</i>	42	34m, sm + 8t	76	[42]
		海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	38	12m + 4 sm + 6st+ 16t	54	[43]
鲻形目	鲻科	鲻鱼 <i>Mugil cephalus</i>	48	48t	48	[32 44 45]
		梭鱼 <i>Liza haematocheila</i>	48	48t	48	[32 46]
鲈形目	鲈科	花鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i>	48	48t	48	[40]
		斑带石斑鱼 <i>Epinephelus fasciatus maculatus</i>	48	48t	48	[33]
		黑边石斑鱼 <i>E. fasciatus</i>	48	48t	48	[33]
		六带石斑鱼 <i>E. sexfasciatus</i>	48	2sm + 46t	50	[47]
		鲑点石斑鱼 <i>E. fario</i>	48	14m, sm + 34st t	62	[48]
		青石斑鱼 <i>E. awoara</i>	48	48t	48	[49]
		斜带石斑鱼 <i>E. coiooides Hamilton</i>	48	2sm + 46t	50	[50]
		点带石斑鱼 <i>E. malabaricus</i>	48	48t	48	[31] [51]
		蜂巢石斑鱼 <i>E. merra</i>	48	4m + 6sm + 4st+ 34 t	62	[51]
		黑边石斑鱼 <i>E. fasciatus</i>	48	48t	48	[51]
		赤点石斑鱼 <i>E. akaara</i>	48	5st+ 43t	48	[52]
		宽额鲈 <i>Promicropus lanceolatus</i>	48	4st+ 44t	50	[15]
	石首鱼科	皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengeri</i>	48	48t	48	[40]
		黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i>	48	48t	48	[40]
		鮟状黄姑鱼 <i>Nibea mitchellii</i>	48	48t	48	[53]
		小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>	48	48t	48	[40]
		眼斑拟石首鱼 <i>Sciaenops ocellatus</i>	48	48t	48	[54] a)
		大黄鱼 <i>Pseudosciaena crocea</i>	48	48t	48	[55]
	笛鲷科		48	46t+ 2st	48	[56]
		双棘黄姑鱼 <i>Nibea diacanthus</i>	48	48t	48	[24]
		红鳍笛鲷 <i>Lutjanus erythrotus</i>	48	48t	48	[57]
		紫红笛鲷 <i>Lutjanus argentimaculatus</i>	48	48t	48	[58]
		白斑笛鲷 <i>Lutjanus bharu</i>	48	48t	48	[58]
		约氏笛鲷 <i>Lutjanus johni</i>	48	48t	48	[59]
		勒氏笛鲷 <i>Lutjanus russelli bleekeri</i>	48	48t	48	[59]
		画眉笛鲷 <i>Lutjanus vitta</i>	48	48t	48	[59]
	鲷科	真鲷 <i>Pagrus major</i>	48	2st+ 46t	48	[29]
		黑鲷 <i>Spanus macrocephalus</i>	48	4m + 4sm + 2st+ 38 t	56	[29]
		黄鳍鲷 <i>S. latus</i>	48	4m + 2sm + 4st+ 38 t	54	[26]
		平鲷 <i>Rhabdosargus sarba</i>	48	4m + 2sm + 4st+ 38 t	54	b)
	石鲈科	横带髭鲷 <i>Hapalogenys mucronatus</i>	48	2m + 8sm + 14st+ 24t	58	[34]
		斜带髭鲷 <i>H. niensis</i>	48	2m + 8sm + 2st+ 36 t	58	[34]
		花尾胡椒鲷 <i>P. cinctus</i>	48	48t	48	[60]
锦鲷科		云鲷 <i>Enalrias nebulosus</i>	26	26m	52	[61]

续表 1

线鲷科	鸡冠鲷 <i>Alectrias benjamini</i>	48	18m + 15sn + 12t	78	[62]
	繸鲷 <i>Azumina mimon</i>	56	6m + 10sn + 40t	72	[63]
	六线鲷 <i>Ernogrammus hexagrammus</i>	48	48t	48	[64]
	短颌小绵鲷 <i>Zoarchias microstomus</i>	28	24m + 4t	52	[63]
绵鲷科	绵鲷 <i>Zoarces elongates</i> Kner	48	30m + 14sn + 4t	92	[63]
金枪鱼科	长鳍金枪鱼 <i>Thunnus alalunga</i>	48	6m, sn + 42st, t	54	[10]
	黄鳍金枪鱼 <i>T. albacares</i>	48	6m, sn + 42st, t	54	[10]
	鲣 <i>Katsuwonus pelamis</i>	48	48st, t	48	[10]
塘鳢科	中华乌塘鳢 <i>Bostrichthys sinensis</i>	48	4sn + 2st+ 42st	52	[11]
		46	46t	46	[65]
		48	4m, sn + 44st, t	52	[66]
弹涂鱼科	大弹涂鱼 <i>Boleophthalmus pectinirostris</i>	46	2st+ 44t	46	[11]
鰕虎鱼科	纹缟鰕虎鱼 <i>Tridentiner trigoncephalus</i>	44	10m + 28sn + 2st+ 4t	82	[11]
		44	20m + 12st+ 12t	64	[67]
	竿鰕虎鱼 <i>Luciogobius guttatus</i>	44	14m + 14sn + 16t	72	[67]
	矛尾鰕虎鱼 <i>Synechogobius hasta</i>	44	2m + 42st, t	46	[32]
	黄鳍刺鰕虎鱼 <i>Acanthogobius lavianus</i>	44	44t	44	[40]
	项斑舌鰕虎鱼 <i>Glossogobius olivaceus</i>	46	16sn + 6st+ 24t	62	[11]
	尾纹裸头鰕虎鱼 <i>Chaenogobius annularis</i>	44	20m + 22st+ 2t	86	[68]
	斑尾复鰕虎鱼 <i>Synechogobius ommatunus</i>	44	2m + 2sn + 4st34t+ X + Y		[28]
	红狼牙鰕虎鱼 <i>Odontobutys rubicundus</i>	38	20m + 18sn	76	[63]
鲷形目 鲷科	许氏平鲷 <i>Sebastes schlegelii</i>	48	2m + 46t	50	[69 70]
		48	2m + 2sn + 44t	52	[71]
	褐昌鲷 <i>Sebastes marmoratus</i>	48	2m + 46t	50	[72]
	铠平鲷 <i>S. hubbse</i>	48	3m + 2st+ 43t	51	[73]
六线鱼科	欧氏六线鱼 <i>Hexagrammus otakii</i>	48	6m + 20sn + 16st+ 6t	74	[69]
		48	6m + 8sn + 12st+ 22t	70	[70]
	斑头鱼 <i>Agrammus agrammus</i>	48	8m + 26sn + 14st	82	[71]
		48	8m + 32sn + 8st(雌)	88	[36 73]
鲷科		48	7m + 33sn + 8st(雄)	88	[36 73]
	鲷 <i>Platycephalus indicus</i>	48	2m + 8sn + 2st+ 36t	58	[30]
		48	4m + 6sn + 2st+ 36t	58	[32]
杜父鱼科	绒杜父鱼 <i>Hemirhamphus villosus</i>	46	20m + 16sn + 10t	82	[63]
鲷形目 牙鲷科	牙鲷 <i>Paralichthys olivaceus</i>	48	48t	48	[74]
		48	48t	48	[32]
	桂皮斑鲷 <i>Pseudorhombus cinnamomeus</i>	48	48t	48	[32]
鲷科	木叶鲷 <i>Pleuronichthys cornutus</i>	48	12sn + 2sn + 34t	62	[32]
	黄盖鲷 <i>Pseudopleuronectes yokohamae</i>	48	48t	48	[32]
	石鲷 <i>Kareius bicoloratus</i>	48	48t	48	[32 46 71]
	油鲷 <i>Microstomus achne</i>	48	48t	48	[32]
鲷形目 革鲷科	丝背细鳞鲷 <i>Spharopsis cirrhifer</i>	33	1m + 32t	34	[75]
	绿鳍马面鲷 <i>Novodon septentrionalis</i>	40	40t	40	[72 75]
鲷科	红鳍东方鲷 <i>Fugu rubripes</i>	44	12m + 6sn + 26t	62	[75]
	假睛东方鲷 <i>F. pseudanmmus</i>	44	12m + 8sn + 24t	64	[46]
	菊黄东方鲷 <i>F. flavidus</i>	44	14+ 6sn + 24t	64	[76]

表 2 我国已作过染色体核型分析的海产鱼类
Tab 2 Marine fishes studied on karyotypes in China

目	鲱形目	鳗鲡目	鲻形目	鲈形目	鲉形目	鲷形目	鲑形目	总计
科数	1	2	1	12	4	2	2	24
种数	2	3	2	51	7	6	5	76

表 3 76种鱼类染色体数目的分布
Tab 3 Distribution of chromosome numbers of 76 species of marine fishes in China

2n数	26	28	33	38	40	42	44	46	48	56
种数	1	1	1	3	1	1	9	3(4)*	55(54)*	1
%	1.3	1.3	1.3	3.9	1.3	1.3	11.8	3.9(5.3)	72.4(70.1)	1.3

* 同种鱼不同作者观测结果有差异.

决定的, 这些基因也可以存在于性染色体以外的其它染色体上. 性别决定因子既有雌性的, 也有雄性的, 其主导因子存在于性染色体上. 异型的性染色体起源于原来的同源染色体, 由于染色体臂间的易位, 不等交叉造成形态上的分化^[28]. Hammeman和 Avtalin根据对罗非鱼不同种之间杂交和回交的实验结果, 提出鱼类性别决定的“常染色体平衡理论”, 该理论认为调节鱼类性别的基因位于性染色体和常染色体上, 鱼类的性别是由染色体上雄性和雌性的基因产物数量优势来决定: 如果雄性决定因素超过雌性决定因素, 则雄性比例较高, 反之, 雌性决定因素超过雄性决定因素, 则雌性比例较高^[37]. 近年来, 人们开始研究鱼类性别决定的分子机制, 并取得了一定的成果, 发现 DMRT1 基因是一个性别分化基因, 与精巢形成和功能维持有关^[38-39].

4 存在问题及展望

4.1 多态性问题

染色体的核型分析可作为生物的一个特征, 但随着研究的深入, 发现鱼类等水生生物在一定范围内染色体具有多态性. 如郑家声等发现斑头鱼的核型不同研究存在着差异, 可能是不同海域种内核型的多态性. 观察中同时发现不同性别斑头鱼核型不同, 斑头鱼具有性染色体, 而且是具次缢痕的性染色体^[36]. 不同观察者对中华乌塘鳢核型分析结果差异较大, 甚至染色体数目不尽相同^[11, 66]. 这就要求以后进行核型研究时, 准确鉴别物种、种群、性别, 明确取材地点, 在实验操作时, 药品的浓度、处理时间等要认真记录并在论文中写明, 避免因为操作的问题产生不同的结果.

4.2 研究层次问题

目前的核型研究大多局限于常规的核型分析, 常

规的染色体处理和染色方法, 并不能准确地识别染色体组中的每个成员以及结构变异, 而且很多形态相似的同科或同属的鱼类, 具有相同的核型, 因而不能通过常规核型分析鉴定种, 这就有必要通过带型分析来解决. 带型分析只要在制成中期染色体标本之后进行一些较为特殊的处理过程, 并不复杂, 因而, 今后的核型分析有必要同时进行带型研究, 以染色体带纹为标记, 可更准确的识别染色体, 确定同源染色体, 使物种的核型分析标准化. 同时, 应用定量荧光 PCR、荧光原位杂交和光谱核型分析等现代分子细胞遗传学技术开展鱼类染色体鉴定、精细结构的分析和基因定位等研究, 推动研究工作向深层次发展.

4.3 研究的区域和种类需要拓宽

我国海域辽阔, 鱼类资源丰富, 多样性水平高, 有记录近 3 100种, 目前进行过核型分析的仅有 76种, 并且基本局限于近岸及河口、港湾水域容易捕获的种类, 而远离海岸或深海的鱼类则鲜见报道, 这与活体取材较困难有一定关系. 物种在进化上遗传物质的变化表现为多样性, 除了亚分子和分子的基因突变、群体水平的基因频率变化外, 在细胞水平上的染色体数目和结构也常发生变化. 染色体是遗传物质的载体, 其核型具有一定程度的物种特异性, 为了探讨我国海水鱼类种群的进化和亲缘关系, 为鱼类杂交育种、多倍体育种等提供指导, 需要较全面了解我国海水鱼类的基础细胞遗传学资料, 因而有必要加强不同海域和不同生态类型的水体鱼类染色体核型的研究.

参考文献:

[1] 郑国锷. 细胞生物学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1992: 432-447.
[2] 吴郑安. 写在染色体上的生活史 [J]. 动物学杂志, 1985 (4): 49.

- [3] 曾呈奎, 相建海. 海洋生物技术 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1998 199–209.
- [4] 吴仲庆. 水产生物遗传育种学 [M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1998 7–25.
- [5] 翟中和. 细胞生物学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1998 277–278.
- [6] 韩荣成, 岳永生, 姜中伸. 鱼类染色体核型分析方法概述 [J]. 水利渔业, 2003, 23(5): 38–40.
- [7] Ojima Y, Saito T, Saito M, et al. Cytogenetic studies in lower vertebrates [J]. Proc Jap Acad, 1966, 42(1): 62–66.
- [8] 余先觉, 周墩, 李渝成, 等. 中国淡水鱼类染色体 [M]. 北京: 科学出版社, 1989 2–3.
- [9] 长江水产研究所育种室, 武汉大学生物系动物教研室. 几种经济鱼类及其杂种染色体的初步研究 [J]. 淡水渔业, 1975, 2: 11–13.
- [10] 宋运淳. 鲢鱼科三种鱼的染色体组型和 C-带带型的研究 [J]. 海洋与湖沼, 1987, 18(4): 352–356.
- [11] 费志清, 陶荣庆. 鰕虎鱼亚目四种鱼的染色体组型的初步研究 [J]. 浙江水产学院学报, 1987, 6(2): 127–131.
- [12] 楼允东. 中国鱼类染色体组型研究的进展 [J]. 水产学报, 1997, 21(增刊): 82–83.
- [13] 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.
- [14] 海燕, 黄晓, 易梅生, 等. 一种改良的鱼类染色体富集制片方法 [J]. 遗传, 2001, 23(2): 151–152.
- [15] 王德祥, 苏永全, 王世锋, 等. 宽额鲈染色体核型研究及制作方法的研究 [J]. 台湾海峡, 2003, 22(4): 465–469.
- [16] 张伟明, 吴萍, 吴康, 等. 两种鱼类染色体制片方法的比较 [J]. 水利渔业, 2003, 23(5): 9–10.
- [17] Andreata A A. Chromosome studies in hypopterygioninae (Pisces Siluriformes, Loricariidae): 1. XX/XY Sex Chromosome Heteromorphism in *Pseudotocinclus tietensis* [J]. Cytologia, 1992, 57(3): 36–372.
- [18] Bili C, Divane A, Apeos A, et al. Prenatal diagnosis of common aneuploidies using quantitative fluorescent PCR [J]. Prenat Diagn, 2002, 22(5): 360–365.
- [19] Goumy C, Bonnet Dupeyron MN, Cherasse Y, et al. Chorionic villus sampling (CVS) and fluorescence in situ hybridization (FISH) for a rapid first trimester prenatal diagnosis [J]. Prenat Diagn, 2004, 24(4): 249–256.
- [20] Guanciali Franchi P, Calabrese G, Morizio E, et al. Identification of 14 rare marker chromosomes and derivatives by spectral karyotyping in prenatal and postnatal diagnosis [J]. Am J Med Genet, 2004, 127A(2): 144–148.
- [21] Schrock E, du Manoir S, Veldman T, et al. Multicolor spectral karyotyping of human chromosomes [J]. Science, 1996, 273: 430–437.
- [22] Reed K M, Bohlander S K, Phillips R B. Microdissection of Y-chromosome and fluorescence in situ hybridization analysis of the sex-chromosomes of lake trout, *Salvelinus namaycush* [J]. Chromosome Research, 1995, 3: 221–226.
- [23] 董在杰, 缪为民. 尼罗罗非鱼六个性别相关标记的 FISH 分析 [J]. 中国水产科学, 2006, 13(4): 525–529.
- [24] 王世锋, 王德祥, 苏永全, 等. 双棘黄姑鱼染色体组型分析 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2003, 42(5): 682–684.
- [25] 陈淑芬, 汤泽生. 脊椎动物染色体数目及其变化趋势 [J]. 四川师范学院学报, 1997, 18(1): 18–23.
- [26] 毛连菊, 李雅娟. 5 种海水鱼类染色体的组型分析 [J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(2): 108–113.
- [27] 周敦. 鱼类染色体研究 [J]. 动物学研究, 1984, 5(3): 38–51.
- [28] 王金星, 赵小凡. 斑尾复鰕虎鱼的染色体研究 [J]. 海洋科学, 1994(4): 47–50.
- [29] 喻子牛, 孔晓瑜, 谢宗墉, 等. 真鲷 (*Pagrus major*) 和黑鲷 (*Spanus maccrocephalus*) 的核型及 Ag-NOR 带研究 [J]. 青岛海洋大学学报, 1993, 23(3): 107–115.
- [30] 孔晓瑜, 谢宗墉. 鲷 (*Phycophalus indicus*) 的核型和 Ag-NOR 带研究 [J]. 青岛海洋大学学报, 1994, 24(3): 344–348.
- [31] Zou J, King H, Hu Chaoqun, Xiang Wenzhou, et al. The karyotypes, C-banding patterns and AgNORs of *Epinaphelus matabaricus* [J]. High Technology Letters, 2004, 10(2): 1–4.
- [32] 喻子牛, 孔晓瑜, 谢宗墉. 山东近海 21 种经济鱼类的核型研究 [J]. 中国水产科学, 1995, 2(2): 1–6.
- [33] 李锡强, 彭跃东. 斑带石斑鱼与黑边石斑鱼核型研究 [J]. 湛江水产学院学报, 1994, 14(2): 22–26.
- [34] 林加涵, 刘丽莎. 黄鳍鲷染色体组型初步研究 [J]. 台湾海峡, 1989, 8(2): 162–166.
- [35] Ojima Y. The fish chromosome data retrieval list [Z]. Dept of Biol Fac of Sci Kwansan Gakuin Univ (computer binder), 1985.
- [36] 郑家声, 王梅林, 戴继勋. 斑头鱼的核型及性染色体研究 [J]. 遗传, 1997, 19(增刊): 61–62.
- [37] 杨东, 余来宁. 鱼类性别与性别鉴定 [J]. 水生生物学报, 2006, 30(2): 221–225.
- [38] 庞永红, 侯进慧, 董玉玮, 等. 鱼类和两栖类性别决定的研究进展 [J]. 生物学杂志, 2005, 22(5): 5–7.
- [39] Brunner B, Homung U, Shah Z, et al. Genomic organization and expression of the Doublesex-related gene cluster in vertebrates and detection of putative regulatory regions for DM-RT1 [J]. Genomics, 2001, 77: 8–17.
- [40] 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.
- [41] 王金星, 赵小凡, 范春雷, 等. 星康吉鳗染色体组型研究 [J]. 四川动物, 1993, 12(2): 14–15.
- [42] 容寿柏, 张天国, 张文辉, 等. 匀斑裸胸鲷核型的初步报告 [J]. 热带海洋, 1991, 10(2): 98–100.
- [43] 泮蔚明. 海鳗染色体组型的研究 [J]. 湛江水产学院学报, 1991, 10(1): 73–76.

- [44] 刘静, 田明诚. 鲮鱼的染色体组型研究 [J]. 动物学杂志, 1996, 31(1): 6-7.
- [45] 喻子牛, 孔晓瑜, 谢宗墉, 等. 五种经济海水鱼类染色体研究 [J]. 青岛海洋大学学报, 1996, 26(1): 44-48.
- [46] 赵小凡, 王金星, 杨青等. 五种海产鱼类的核型分析 [J]. 动物学研究, 1994, 15(增刊): 103-108.
- [47] 陈毅恒, 容寿柏, 刘绍琼, 等. 六带石斑鱼的核型分析 [J]. 湛江水产学院学报, 1990, 10(1): 62-68.
- [48] 陈毅恒, 容寿柏, 刘绍琼. 鲑点石斑鱼的核型 [J]. 福建水产, 1990(1): 23-25.
- [49] 杨俊慧. 青石斑鱼染色体组型的初步研究 [J]. 广州师范学院学报, 1988, 2: 62-68.
- [50] 丁少雄, 王世锋, 王德祥, 等. 斜带石斑鱼染色体核型分析 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2004, 43(3): 426-428.
- [51] 郑莲, 刘楚吾, 李长玲, 等. 4种石斑鱼染色体核型研究 [J]. 海洋科学, 2005, 29(4): 52-55.
- [52] 王新云, 王宏东, 张海发, 等. 斜带石斑鱼和赤点石斑鱼的核型研究 [J]. 湛江海洋大学学报, 2004, 24(3): 4-7.
- [53] 王德祥, 王军, 郭丰, 等. 鮟状黄姑鱼染色体核型的研究 [J]. 海洋科学, 2002, 26(11): 68-70.
- [54] 尤峰. 美国红鱼染色体组型 [J]. 海洋科学, 1998(2): 51-53.
- [55] 邹曙明, 李思发, 赵金良, 等. 福建官井洋海区大黄鱼的染色体核型分析 [J]. 上海水产大学学报, 2003, 12(2): 179-181.
- [56] 全成干, 王军, 丁少雄, 等. 大黄鱼染色体核型研究 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2000, 39(1): 107-110.
- [57] 舒琰, 顾仲坚, 王云新, 等. 红鳍笛鲷 (*Lutjanus erythropterus*) 的核型研究 [J]. 广州大学学报: 自然科学版, 2003, 2(1): 27-29.
- [58] 曹伏君, 李长玲, 刘楚吾. 红鳍笛鲷、紫红笛鲷、白斑笛鲷的核型研究 [J]. 海洋科学, 2002, 26(11): 43-46.
- [59] 李长玲, 曹伏君, 刘楚吾, 等. 笛鲷属三种鱼类染色体组型的研究 [J]. 海洋通报, 2005, 24(5): 23-26.
- [60] 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.
- [61] 毛连菊, 靳晓敏. 云鲷染色体组型分析 [J]. 大连水产学院学报, 1994, 9(4): 32-35.
- [62] 毛连菊, 邱萍. 鸡冠鲷的染色体组型分析 [J]. 大连水产学院学报, 1996, 11(3): 37-42.
- [63] 毛连菊, 李雅娟. 5种海水鱼类染色体的组型分析 [J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(2): 108-113.
- [64] 毛连菊, 杨良滨, 秦克静. 六线鲷 (*Ernogrammus hexagrammus*) 染色体组型 [J]. 青岛海洋大学学报, 1993, 23(4): 40-44.
- [65] 沈亦平, 王孝举, 陈晓汉, 等. 中华乌塘鳢染色体核型研究 [J]. 武汉大学学报: 自然科学版, 1994, 4: 120-122.
- [66] Arai R, Katsuyama S, Wada C. Chromosomes of Japanese Gobionid fishes (II) [J]. Bull Natl Sci Mus Tokyo, 1974, 17(4): 269-274.
- [67] 毛连菊, 杨良滨, 秦克静. 两种鰕虎鱼染色体核型的比较研究 [J]. 大连水产学院学报, 1993, 8(1): 1-7.
- [68] 毛连菊, 李雅娟, 曲玲. 尾纹鰕虎鱼染色体组型分析 [J]. 青岛海洋大学学报, 1999, 29(1): 42-46.
- [69] 王金星, 赵小凡, 范春雷, 等. 鲈形目两种鱼的染色体组型研究 [J]. 动物学杂志, 1994, 29(4): 14-17.
- [70] 喻子牛, 孔晓瑜, 冯东岳, 等. 许氏平鲈和欧氏六线鱼核型研究 [J]. 青岛海洋大学学报, 1992, 22(2): 118-124.
- [71] 张庆恒, 李庆伟. 五种海水鱼的染色体初报 [J]. 辽宁师范大学学报, 1991, 14(3): 263-264.
- [72] 潘蔚明. 褐昌鲈的染色体组型及其自发畸变率 [J]. 水产学报, 1996, 20(2): 175-177.
- [73] 郑家声, 王梅林, 朱丽岩, 等. 斑头鱼 *Agrammus agrammus* (Tonninck et Schlegel) 和 铠平鲈 *Sebastes hubbsi* (Matsubara) 核型研究 [J]. 青岛海洋大学学报, 1997, 27(3): 333-338.
- [74] 刘静. 牙鲆染色体组型的研究 [J]. 海洋科学, 1995(2): 65-67.
- [75] 王金星, 赵小凡. 鲈形目三种鱼类的染色体研究 [J]. 动物学研究, 1993, 14(4): 345-346.
- [76] 范立民, 胡庚东, 陈家长, 等. 菊黄东方鲈核型的研究 [J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2005, 24(1): 70-72.

Review on Karyotype Study of Marine Fishes in China

NU Wen-tao CAI Ze-ping*

(South China Sea Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

Abstract The chromosome is the most important construction in the cell which is the carrier of genome. Investigating the chromosome is beneficial to understand the constitution of genome, the regulation of heredity and variation, and the growth mechanism. The research on karyotypes of freshwater fish chromosome has started in 1970s in China. The first article about marine fish karyotype was first reported until 1987. Since then, 76 species of marine fishes have been analyzed. This article summarized the studies on karyotypes of marine fishes in China during the past near 20 years.

Key words China marine fishes karyotype

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>