

·综述·

软骨鱼类染色体研究进展

谢仰杰^{1,2}, 翁朝红², 苏永全¹, 王 军¹

(1. 厦门大学 海洋与环境学院, 福建 厦门 361005; 2. 集美大学 水产学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 在各类脊椎动物中, 软骨鱼类是开展染色体研究最少的类群。迄今为止, 文献共报道了 70 种软骨鱼的核型, 仅占现生 838 种软骨鱼类的 8.35%, 包括 31 种鲨类, 37 种鳐类和 2 种全头类。已报道的软骨鱼类二倍体染色体数为 $52-104$ (巴西双鳍电鳐二倍体染色体数为 28 例外), 常存在微染色体。在不同的分类阶元, 相对原始的软骨鱼类具有较多的染色体数, 咽部和亚咽部着丝粒染色体较多, 多有微染色体。软骨鱼类染色体进化趋势表现为个体染色体数目的减少, 中部和亚中部着丝粒染色体数目的增多, 并伴随微染色体的消失。软骨鱼类是核 DNA 含量较大的脊椎动物。已报道 144 种软骨鱼类的核 DNA 含量, 其变化较大, 为 $3.0-34.1 \text{ pg/N}$, 全头类的核 DNA 含量最小, 角鲨目和扁鲨目的核 DNA 含量最大。近年来, 在软骨鱼类染色体的 C 带、核仁组织区 (NOR) 染色、限制性内切酶显带、特异 DNA 探针如端粒序列和短散布重复序列 (SINE 序列) 的荧光原位杂交等方面取得了较大进展。现代分子生物学技术也被用于一些软骨鱼类的基因组研究, 在重复 DNA 序列、随体 DNA 家族和微卫星位点等方面均取得一些成果。[中国水产科学, 2006, 13(5): 856-866]

关键词: 软骨鱼类; 核型; 染色体; DNA 含量

中图分类号: Q959.4; Q343.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8737-(2006)05-0856-11

软骨鱼纲 (Chondrichthyes) 现存 838 种, 分为板鳃亚纲 (Elasmobranchii) 和全头亚纲 (Holocephali)。板鳃亚纲又分为鲨形总目 (Selachomorpha) 和鳐形总目 (Batomorpha), 其中鲨形总目 369 种, 鳐形总目 438 种, 全头亚纲 31 种^[1]。许多软骨鱼类具有很高的经济价值和药用价值。大多数软骨鱼类生殖周期长、生育力低、生长缓慢, 在各种天然的不利因素和捕捞压力下, 软骨鱼类的野生资源已大为减少, 一些种类濒于灭绝。软骨鱼类的资源保护已成为当今人类所面临的重要问题。

染色体研究是细胞遗传学研究的主要内容之一, 对认识和探索生物的染色体演化过程、分类系统及进化关系具有重要意义, 还可为鱼类遗传育种提供细胞遗传学依据。此外, 通过超显微切割染色体技术和染色体荧光原位杂交 (FISH) 等技术, 利用染色体区带特异性的探针, 结合 DNA 大片段技术和构建 cDNA 克隆库技术的应用, 可以很方便地找出任一染色体区带中基因编码序列, 分析这些序列与这些区带有关的表型, 可以确定功能基因, 并可进一

步做出基因的物理图谱。因此, 染色体的研究对于现代分子生物学研究有重要意义。

国内对鱼类的染色体组型进行了较多的研究^[2-5], 但均未涉及软骨鱼类。国外对软骨鱼类染色体研究的报道最早见于 1937 年^[6-7], 至 1976 年, 共报道了 16 种软骨鱼的核型^[6-13]和 34 种软骨鱼的核 DNA 含量^[8, 12, 14-17]。1986 年, Schwarts 和 Maddock 综述了软骨鱼类的细胞遗传学研究, 其中报道了 20 种的二倍体染色体数^[18]。此后, 更多软骨鱼类的核型和核 DNA 含量得到阐明。软骨鱼类基因组还被定性研究, 特别是重复 DNA 序列^[19-20]和 DAPI 染色^[21]。最近, 现代分子生物学技术被应用于几种软骨鱼类的基因组研究。Shimoda 等应用 PCR 技术研究了多种软骨鱼的短散布重复序列和长散布重复序列 (SINEs 和 LINEs)^[22-23]。Pardini 等^[24]研究了噬人鲨 (*Carcharodon carcharias*) 的微卫星标记, 并在 15 种其他软骨鱼类得到扩增。

总之, 软骨鱼类仍是脊椎动物各纲中开展染色体研究最少的类群。

收稿日期: 2006-02-14; 修订日期: 2006-04-04.

基金项目: 福建省教育厅科技项目 (JA03136).

作者简介: 谢仰杰 (1967-), 男, 副教授, 博士研究生, 从事海洋鱼类生物学和养殖技术研究. E-mail: yjxie66@jmu.edu.cn

1 软骨鱼类的核型

1.1 染色体制片方法

硬骨鱼类的染色体制作多采用体内注射秋水仙素(秋水仙胺)抑制有丝分裂、肾细胞直接制片法,但软骨鱼类由于个体一般较大,活鱼的捕捞和暂养十分困难,加之软骨鱼类体内高浓度的 Na^+ 和尿素,以及软骨鱼类染色体数目较大,而且染色体大小差异也大,使得广泛用于硬骨鱼类染色体核型分析的制片方法在软骨鱼类无法获得令人满意的结果。早期对软骨鱼类的染色体研究多来自于组织学方法^[6],结果可靠性较差。后来广泛采用血细胞短期培养和低渗处理法获得有丝分裂中期分裂相染色体标本^[25]。常用的方法是从心脏或尾动脉取血,置于

含有一定浓度的 NaCl 、尿素和秋水仙素(秋水仙胺)的培养液中培养 6~12 h,离心收集血细胞,经过低渗处理、固定后进行滴片,经空气干燥、吉姆萨染色后在显微镜下进行观察。由于技术上的原因,对于同种鱼类,不同学者的研究结果往往不尽相同,对于染色体的分类也存在一些差异。

1.2 染色体数目

目前已有 70 种软骨鱼类的核型报道,占现存 838 种软骨鱼类的 8.35%。其中鲨类 31 种,占现存 369 种鲨类的 8.40%(表 1);鳐类 37 种,占现存 438 种鳐类的 8.45%(表 2);全头类 2 种,占现存 31 种全头类的 6.45%(表 3)。巴西双鳍电鳐(*Narcine brasiliensis*)的二倍体染色体数($2n$)为 28^[11],其余种类 $2n = 52 \sim 104$ (表 4)。

表 1 鲨形总目鱼类的核型和核 DNA 含量
Tab.1 Karyotypes and nDNA contents of Selachomorpha

种类 Species	二倍体染色体数 $2n$	臂数 NF	核型 Karyotype		核 DNA 含量/(pg/N) nDNA contents
			m, sm	st, t	
鲨形总目 Selachomorpha	60~104	84~132	8~52	0~96	5.5~34.1
六鳃鲨目 Hexanchiformes	100~104	110~112	8~12	88~96	8.8~10.7
皱鳃鲨科 Chlamydoselachidae					
皱鳃鲨 <i>Chlamydoselachus anguineus</i>	100 ^[26]	112	12	88	9.2 ^[28]
六鳃鲨科 Hexanchidae					
灰六鳃鲨 <i>Hexanchus griseus</i>					10.7 ^[27]
扁头哈那鲨 <i>Notorynchus cepedianus</i>	104 ^[18]	112	8	96	8.8 ^[18]
七鳃鲨 <i>Notorynchus maculatus</i>	104 ^[25]	110			8.8 ^[25]
角鲨目 Squaliformes	60~86	82~120	20~60	0~42	11.6~34.1
角鲨科 Squalidae					
叶鳞鲨 <i>Centrophorus squamosus</i>					13.1 ^[28]
腹鳞刺鲨 <i>Centroscymnus coelolepis</i>					23.7 ^[28] , 20.3 ^[29]
长吻刺鲨 <i>Centroscymnus crepidater</i>					26.0 ^[28] , 23.2 ^[29]
欧氏刺鲨 <i>Centroscymnus oustoni</i>					20.3 ^[29]
普氏异鳞鲨 <i>Centroscymnus plunketi</i>					19.5 ^[29]
田氏鲨 <i>Deania calcea</i>					14.2 ^[28] , 14.5 ^[29]
黑腹乌鲨 <i>Etmopterus spinax</i>	62 ^[28] , 86 ^[9]				32.3 ^[28]
短尾乌鲨 <i>Etmopterus brachyurus</i>					23.8 ^[29]
南方乌鲨 <i>Etmopterus granulosus</i>					25.4 ^[29]
小乌鲨 <i>Etmopterus pusillus</i>	86 ^[30]				16.2 ^[30]
高体鲨 <i>Oxymotus brunneus</i>					25.0 ^[29]
尖背角鲨 <i>Oxymotus centrina</i>	62 ^[31]	118	56	6	34.1 ^[21]
白斑角鲨 <i>Squalus acanthias</i>	78 ^[9]	116	38	40	11.6 ^[29] , 14.7 ^[14]
	60 ^[32]	120	60	0	14.4 ^[28] , 14.0 ^[32]
太平洋白斑角鲨 <i>Squalus suckleyi</i>	62 ^[6]	82	20	42	
尖齿异鳞鲨 <i>Scymnodon ringens</i>					16.4 ^[31]

续表					
种类 Species	二倍体染色 体数 2n	臂数 NF	核型 Karyotype		核 DNA 含量/(pg/N) nDNA contents
m, sm st, t					
鼬鲨科 Dalatiidae					
鼬鲨 <i>Dalatias</i> (<i>Scymnorhinus</i>) <i>lichti</i>					18.2 ^[28]
小头睡鲨 <i>Somniosus microcephalus</i>					21.3 ^[28]
扁鲨目 Squatiniformes	88	112	24	64	18.4~32.8
扁鲨科 Squatinidae					
澳洲扁鲨 <i>Squatina australis</i>					32.8 ^[29]
加州扁鲨 <i>Squatina californica</i>	88 ^[25]	112	24	64	18.4 ^[14]
扁鲨 <i>Squatina squatina</i>					19.6 ^[14]
虎鲨目 Heterodontiformes	102	112~132	10~26	76~92	13.6~29.6
虎鲨科 Heterodontidae					
佛氏虎鲨 <i>Heterodontus francisci</i>	102 ^[18]	128	26	76	17.5 ^[18] , 13.6 ^[14]
	102 ^[32]	132			14.5 ^[21]
宽纹虎鲨 <i>Heterodontus japonicus</i>	102 ^[26]	112	10	92	29.6 ^[28]
须鲨目 Orectolobiformes	102				7.6~11.0
须鲨科 Orectolobidae					
点纹斑竹鲨 <i>Chiloscyllium punctatum</i>					9.1 ^[28]
铰口鲨 <i>Ginglymostoma cirratum</i>	102 ^[33]				10.9 ^[21] , 7.6 ^[34]
铰口鲨 <i>Ginglymostoma cirratum</i> (3×)					11.4 ^[35]
斑点长尾须鲨 <i>Hemiscyllium ocellatum</i>					11.0 ^[29]
光鳞鲨 <i>Nebrius ferrugineus</i>					8.5 ^[29]
妆饰须鲨 <i>Orectolobus ornatus</i>					10.1 ^[29]
鼠鲨目 Lamniformes	82~84	130~132	48	34	10~13.4
鼠鲨科 Lamnidae					
噬人鲨 <i>Carcharodon carcharias</i>	82 ^[18]	130	48	34	12.9 ^[18]
尖吻鲭鲨 <i>Isurus paucus</i>					13.4 ^[21] , 10.0 ^[29]
椎齿鲨科 Odontaspidae					
锥齿鲨 <i>Carcharias taurus</i>	84 ^[32]	132			10.9 ^[32]
真鲨目 Carcharhiniformes	62~86	84~126	10~52	18~68	5.5~18.1
猫鲨科 Scyliorhinidae					
阴影绒毛鲨 <i>Cephaloscyllium umbratile</i>	64 ^[36]	98	34	30	14.7 ^[36]
绒毛鲨 <i>Cephaloscyllium uter</i>					15.4 ^[14]
东太平洋绒毛鲨 <i>Cephaloscyllium ventriosum</i>	64 ^[18]	110	46	18	18.1 ^[18] , 13.6 ^[21]
伊氏锯尾鲨 <i>Galeus pastmani</i>					11.0 ^[37]
日本锯尾鲨 <i>Galeus nipponensis</i>					11.1 ^[37]
黑口猫鲨 <i>Galeus melanostomus</i>					12.3 ^[21]
欧洲猫鲨 <i>Scyliorhinus canicula</i>	62 ^[22] 80 ^[17]	94	32	30	11.3 ^[28] , 11.0 ^[38] 15.0 ^[17]
斑点猫鲨 <i>Scyliorhinus stellaris</i>	72 ^[27]	122	50	22	12.3 ^[38]
虎纹猫鲨 <i>Scyliorhinus torazame</i>	64 ^[36]	90	26	38	13.2 ^[38]
皱唇鲨科 Triakidae					
长吻皱唇鲨 <i>Galeorhinus galeus</i>					17.3 ^[28]
宽鼻星鲨 <i>Mustelus asterias</i>					8.6 ^[21]
大眼星鲨 <i>Mustelus canis</i>	80 ^[32]	124	44	36	9.2 ^[14] , 9.6 ^[32]
加州星鲨 <i>Mustelus californicus</i>					12.8 ^[14]

种类 Species	二倍体染色 体数 $2n$	臂数 NF	核型 Karyotype		核 DNA 含量/(pg/N)
			核型 Karyotype		nDNA contents
			m, sm	st, t	
白斑星鲨 <i>Mustelus manazo</i>	68 ^[37] 72 ^[19]	112 84	44 12	24 60	9.3 ^[37]
诺氏星鲨 <i>Mustelus norrisi</i>					9.0 ^[14]
星鲨 <i>Mustelus sp.</i>					9.6 ^[14]
半带皱唇鲨 <i>Triakis semifasciata</i>	70-72 ^[18]	122-124	52	18-20	9.6 ^[14]
皱唇鲨 <i>Triakis scyllia</i>	72 ^[37]	108	36	36	9.8 ^[37]
真鲨科 Carcharhinidae					
黑吻真鲨 <i>Carcharhinus acronotus</i>	84 ^[18] 86 ^[32]	116 122	32	52	7.3 ^[18] , 6.8 ^[14] 6.7 ^[32]
韦氏真鲨 <i>Carcharhinus amblyrhynchos</i>					6.8 ^[20]
短尾真鲨 <i>Carcharhinus brachyurus</i>					5.7 ^[20]
直翅真鲨 <i>Carcharhinus galapagensis</i>					8.5 ^[30]
黑梢真鲨 <i>Carcharhinus limbatus</i>	80± ^[18] 86 ^[32]	110 120	30	50	7.8 ^[18] , 7.4 ^[14] , 8.2 ^[21] , 7.3 ^[32]
长鳍真鲨 <i>Carcharhinus longimanus</i>					6.7 ^[14]
乌翅真鲨 <i>Carcharhinus melanopterus</i>					6.0 ^[20]
暗吻真鲨 <i>Carcharhinus obscurus</i>	78± ^[40]	98	20	58	6.0 ^[40] , 5.5 ^[18]
加勒比真鲨 <i>Carcharhinus perezi</i>					11.7 ^[21]
铅灰真鲨 <i>Carcharhinus plumbeus</i>	74 ^[40]	92	18	56	6.0 ^[40]
鼬鲨 <i>Galeorhinus galeus</i>	86 ^[32] 86 ^[30]	126	40	46	8.3 ^[18] , 13.1 ^[21] 7.6 ^[30] , 9.9 ^[20]
短吻柠檬鲨 <i>Negaprion brevirostris</i>					7.4 ^[14]
大青鲨 <i>Prionace glauca</i>	86 ^[40] 78 ^[41]	116 88	30 10	56 68	8.6 ^[14, 40]
加勒比斜锯牙鲨 <i>Rhizoprionodon porosus</i>					7.8 ^[21]
大西洋斜锯牙鲨 <i>Rhizoprionodon terraenovae</i>	80± ^[18]	124	44	36	7.2 ^[18]
双髻鲨科 Sphyrnidae					
路氏双髻鲨 <i>Sphyrna lewini</i>	78 ^[18] 86 ^[40]	96 106	18 20	60 66	6.6 ^[18] , 7.0 ^[14] , 8.9 ^[21]
窄头双髻鲨 <i>Sphyrna tiburo</i>					7.8 ^[14]

表2 鳐形总目鱼类的核型和核 DNA 含量

Tab.2 Karyotypes and nDNA contents of Batomorpha

种类 Species	二倍体染色 体数 $2n$	臂数 NF	核型 Karyotype		核 DNA 含量/(pg/N)
			核型 Karyotype		nDNA contents
			m, sm	st, t	
鳐形总目 Batomorpha	28-104	50-136	0-55	2-104	4.9-24.1
锯鳐目 Pristiformes					5.6
锯鳐科 Pristidae					
栉齿锯鳐 <i>Pristis pectinata</i>					5.6 ^[14]
电鳐目 Torpediniformes	28-86	50-86	0-28	6-86	8.4-24.1
单鳍电鳐科 Narkidae					
坚皮单鳍电鳐 <i>Crassinarke dormitor</i>					24.1 ^[42]
日本单鳍电鳐 <i>Narke japonica</i>	54 ^[43]	82	28	26	21-24 ^[44]

续表

种类 Species	二倍体染色 体数 2n	臂数 NF	核型 Karyotype		核 DNA 含量/(pg/N) nDNA contents
			m, sm	st, t	
电鳐科 Torpedinidae					
深海电鳐 <i>Benthobatis moresbyi</i>					14.7 ^[42]
巴西双鳍电鳐 <i>Narcine brasiliensis</i>	28 ^[11]	50	22	6	8.4 ^[14]
太平洋电鳐 <i>Torpedo californica</i>	82 ^[43]	86	4	78	14.6 ^[14]
石纹电鳐 <i>Torpedo marmorata</i>	86 ^[12]	86	0	86	14.0 ^[28]
珍电鳐 <i>Torpedo nobiliana</i>					14.1 ^[42]
电鳐 <i>Torpedo ocellata</i>	66 ^[12]	78	12	54	14.0 ^[12] , 15.0 ^[28]
东京电鳐 <i>Torpedo tokionis</i>	86 ^[43]	86	0	86	
暗斑电鳐 <i>Torpedo torpedo</i>	66 ^[46]				15 ^[46]
鳐形目 Rajiformes					
	58-104	88-136	0-55	9-104	4.9-15.5
犁头鳐科 Rhinobatidae					
东澳洲犁头鳐 <i>Aptychotrema rostrata</i>					6.0 ^[29]
吻斑犁头鳐 <i>Rhinobatos cemiculus</i>					8.3 ^[21]
斑纹犁头鳐 <i>Rhinobatos hynnicephalus</i>	60 ^[30]				7.8 ^[30]
(♂)	59 ^[47]	109	50	9	
(♀)	60 ^[47]	111	51	9	
环吻犁头鳐 <i>Rhinobatos productus</i>	92 ^[18]	136	44	48	8.0 ^[18]
犁头鳐 <i>Rhinobatos rhinobatos</i>					8.0 ^[21]
许氏犁头鳐 <i>Rhinobatos schlegelii</i> (♂)	63 ^[29]	117	54	9	5.9 ^[29] , 4.9 ^[42]
(♀)	64 ^[29]	119	55	9	
团扇鳐科 Platyrhinidae					
中国团扇鳐 <i>Platyrhina sinensis</i>					8.9 ^[42]
拟团扇鳐 <i>Platyrhinoidis triseriata</i>	64 ^[18]	96	32	32	15.2 ^[14] , 15.5 ^[18]
肖氏梳板鳐 <i>Zanobatus schoenleinii</i>					11.7 ^[21]
鳐科 Rajidae					
辐鳐 <i>Amblyraja</i> (<i>Raja</i>) <i>radiata</i>	98 ^[8]	104	6	92	8.4 ^[32]
尾棘深水鳐 <i>Bathyraja parmifera</i>					5.5 ^[28]
糙尾深水鳐 <i>Bathyraja trachura</i>					5.6 ^[14]
灰鳐 <i>Dipturus</i> (<i>Raja</i>) <i>batis</i>	98 ^[9]	104	6	92	6.2 ^[27]
挪威鳐 <i>Dipturus</i> (<i>Raja</i>) <i>nidarosensis</i>					8.1 ^[21]
长鼻鳐 <i>Dipturus</i> (<i>Raja</i>) <i>tengu</i>					6.7 ^[42]
圆盘鳐 <i>Leucoraja</i> (<i>Raja</i>) <i>circularis</i>					7.3 ^[27]
圆鳐 <i>Leucoraja</i> (<i>Raja</i>) <i>erinacea</i>	98 ^[32]	112			7.1 ^[32] , 6.9 ^[29]
白点鳐 <i>Leucoraja</i> (<i>Raja</i>) <i>fullonica</i>					6.3 ^[27]
杂斑鳐 <i>Leucoraja</i> (<i>Raja</i>) <i>naevus</i>					6.4 ^[27]
眼斑鳐 <i>Leucoraja ocellata</i>	92 ^[32]	110			5.9 ^[29] , 6.1 ^[32]
星斑鳐 <i>Raja asterias</i>	98 ^[21]	104	6	92	7.0 ^[28]
背棘鳐 <i>Raja clavata</i>	98 ^[9]	104	6	92	5.4 ^[27] , 6.3 ^[28]
晶吻鳐 <i>Raja eglanteria</i>	58 ^[18]	88	30	28	6.5 ^[18] , 7.1 ^[14]
叶鳐 <i>Raja fyllae</i>					7.5 ^[21]
镜鳐 <i>Raja miraletus</i>					7.6 ^[21]
蒙鳐 <i>Raja montagui</i>					6.9 ^[28]
尖棘鳐 <i>Raja</i> (<i>Okamejei</i>) <i>acutispina</i>					5.8 ^[42]
何氏鳐 <i>Raja</i> (<i>Okamejei</i>) <i>hollandi</i>					7.2 ^[42]
斑鳐 <i>Raja</i> (<i>Okamejei</i>) <i>kenyei</i>					6.2 ^[42]
大眼鳐 <i>Raja</i> (<i>Okamejei</i>) <i>meerdervoortii</i>	104 ^[6]	104	0	104	
孔鳐 <i>Raja</i> (<i>Okamejei</i>) <i>porosa</i>					7.2 ^[42]

种类 Species	二倍体染色 体数 $2n$	臂数 NF	核型 Karyotype		核 DNA 含量/(pg/N) nDNA contents
			m,sm	st,t	
鲛形目 Myliobatiformes	52-84	84-110	10-50	2-68	6.8-16.2
扁魟科 Urolophidae					
哈氏扁魟 <i>Urolophus (Urolophus) halleri</i>	72 ^[18]	92	20	52	13.0 ^[14]
褐黄扁魟 <i>Urolophus aurantiacus</i>	52 ^[48]	96	44	8	15.5 ^[42] , 13.1 ^[48]
六鳃魟科 Hexatrygonidae					
台湾六鳃魟 <i>Hexatrygon taiwanensis</i>					9.9 ^[41]
魟科 Dasyatidae					
赤魟 <i>Dasyatis akajei</i>	72 ^[48] 84 ^[10] 84 ^[30]	106 104	34 20	38 64	8.0 ^[42] , 8.3 ^[48] 8.6 ^[30]
美洲魟 <i>Dasyatis americana</i>	78 ^[32]	88	10	68	11.1 ^[25] , 9.3 ^[32]
黄魟 <i>Dasyatis bennetti</i>					10.2 ^[42] , 8.9 ^[48]
粗尾魟 <i>Dasyatis centroura</i>					10.5 ^[21]
花背魟 <i>Dasyatis chrysonota marmorata</i>					11.6 ^[21]
鞭魟 <i>Dasyatis hastata</i>					10.5 ^[21]
古氏魟 <i>Dasyatis kuhlii</i>	64 ^[30]				9.8 ^[30]
珠粒魟 <i>Dasyatis margarita</i>					11.3 ^[21]
大理石魟 <i>Dasyatis marmorata</i>					11.6 ^[21]
松原魟 <i>Dasyatis matsubarae</i>	64 ^[45]	104	40	24	9.5 ^[45]
奈氏魟 <i>Dasyatis naturnae</i>					7.8 ^[4]
大西洋魟 <i>Dasyatis sabina</i>	68 ^[11]	96	28	40	8.7 ^[11]
萨氏魟 <i>Dasyatis say</i>	68 ^[11] 62 ^[32]	102 110	34	34	9.4 ^[14] 9.2 ^[32]
乌魟 <i>Pteroplatytrygon (Dasyatis) violacea</i>	58 ^[21]	104	46	12	13.7 ^[28] , 9.6 ^[45]
齐氏魟 <i>Himantura (Dasyatis) gerrardi</i>					9.3 ^[42]
大窄尾魟 <i>Himantura signifer</i>					6.8 ^[28]
花点魟 <i>Himantura (Dasyatis) uarnak</i>					9.2 ^[42] , 9.7 ^[28]
蓝斑条尾魟 <i>Taeniura lymna</i>	64 ^[50]	102	38	26	13.4 ^[29]
燕魟科 Gymnuridae					
双斑燕魟 <i>Gymnura bimaculata</i>					10.0 ^[42]
日本燕魟 <i>Gymnura japonica</i>	56 ^[44]	88	32	24	
斑尾燕魟 <i>Gymnura micrura</i>	56 ^[18]	100	44	12	16.2 ^[14] , 11.4 ^[18]
鲛科 Myliobatidae					
鲛 <i>Myliobatis aquila</i>	52 ^[31]	84	32	20	10.8 ^[20]
加州鲛 <i>Myliobatis californica</i>	52 ^[18]	102	50	2	9.8 ^[14] , 10.4 ^[18]
弗氏鲛 <i>Myliobatis freminvillii</i>	52 ^[18]	102	50	2	9.8 ^[14] , 10.6 ^[18]
鳐鲛 <i>Myliobatis tobijei</i>	54 ^[48]	94	40	14	8.7 ^[48] , 10.7 ^[42]
魟科 Aetobatidae					
斑点魟 <i>Aetobatus narinari</i>					11.9 ^[42]
牛鼻魟科 Rhinopteridae					
细尾牛鼻魟 <i>Rhinoptera bonasus</i>	64 ^[18]	106	42	22	10.0 ^[18]
爪哇牛鼻魟 <i>Rhinoptera javanica</i>					10.2 ^[42]
牛鼻魟 <i>Rhinoptera quadriloba</i>					10.4 ^[14]
蝠魟科 Mobulidae					
日本蝠魟 <i>Mobula japonica</i>	66 ^[51]	104	38	28	9.5 ^[51] , 9.6 ^[42]
台湾蝠魟 <i>Mobula tarapacana (formosa)</i>					10.2 ^[42]

表3 全头亚纲鱼类的核型和核DNA含量
Tab.3 Karyotypes and nDNA contents of Holocephali

种类 Species	二倍体染色 体数 $2n$	臂数 NF	核型 Karyotype		核DNA含量/(pg/N) nDNA contents
			m, sm	st, t	
全头亚纲 Holocephali	58-86	58-86	0	58-86	3.0-4.0
叶吻银鲛 <i>Callorhynchus milii</i>					3.9 ^[29]
大西洋银鲛 <i>Chimaera monstrosa</i>	86 ^[9]	86		86	
银鲛 <i>Chimaera</i> sp.					4.0 ^[29]
科氏兔银鲛 <i>Hydrolagus coliei</i>	58 ^[13]	58		58	3.0 ^[13] , 3.2 ^[14]
长吻银鲛 <i>Rhinochimaera pacifica</i>					3.2 ^[29]

表4 软骨鱼类二倍体染色体数的分布

Tab.4 The distribution of diploid chromosome number ($2n$) of the chondrichthian species

二倍体染色体数 $2n$	28	52	54	56	58	60	62	64	66	68	72	76	78	80	82	84	86	88	92	98	100	102	104
物种数 Number of Species	1	4	2	2	3	2	3	9	3	2	5	1	3	3	2	3	7	1	2	5	1	3	3

31种鲨鱼的二倍体染色体数为60~104(表1),表现出比较原始的六鳃鲨目($2n=100\sim104$)、虎鲨目($2n=102$)和须鲨目($2n=102$)的种类的二倍体染色体数较多,而鼠鲨目($2n=82\sim84$)、真鲨目($2n=62\sim86$)、角鲨目($2n=60\sim86$)和扁鲨目($2n=88$)的二倍体染色体数较少。

37种鳐类,除了巴西双鳍电鳐(*Narcine brasiliensis*, $2n=28$)和大眼鳐(*Raja meereboortii*, $2n=104$)^[6],其余种类 $2n=52\sim98$ (表2)。鳐形目的二倍体染色体数最多,为58~104,电鳐目次之,为54~86(巴西双鳍电鳐除外),鲛形目最少,为52~84,也表现出比较原始的种类具有比较多的染色体数。鳐形目的鳐科除了晶吻鳐(*Raja eglanteria*, $2n=58$)^[18]外,其他7种 $2n=92\sim104$,大大高于鳐形总目的其他类群,而犁头鳐科和团扇鳐科除了环吻犁头鳐(*Rhinobatos productus*, $2n=92$)^[18]外,其他3种 $2n=59\sim64$,与鳐科差异甚大。

2种全头类的二倍体染色体数分别为58和86。

1.3 染色体形态和核型特征

已报道的70种软骨鱼类中,染色体形态的差异主要表现在不同类群或不同种类的单臂染色体(端部和亚端部着丝粒染色体)和双臂染色体(中部和亚中部着丝粒染色体)数目和微染色体数目的变化。

鲨形总目中较为原始的六鳃鲨目、虎鲨目的染色体具有较多单臂染色体,六鳃鲨目有88%~92%的染色体是单臂染色体,虎鲨目有75%~90%的染

染色体是单臂染色体。鼠鲨目、真鲨目和扁鲨目的染色体中双臂染色体明显增多,分别占染色体总数的59%、13%~74%和27%。角鲨目的尖背角鲨(*Oxynotus centrina*)有90%的染色体是双臂染色体^[31],太平洋白斑角鲨(*Squalus suckleyi*)的染色体仅有32%是双臂染色体^[6],而2位学者对白斑角鲨(*Squalus acanthias*)染色体形态的分析结果分别为 $2n=60$,均为双臂染色体^[32]和 $2n=78$,49%为双臂染色体^[9],差别很大。

鳐形总目的染色体形态也表现出随着物种的进化,双臂染色体增加和微染色体消失。这种现象在鳐形目特别明显。鳐科除了晶吻鳐(*Raja eglanteria*)具有51.7%的双臂染色体^[18]之外,其余4种鳐科鱼类的染色体几乎都是单臂染色体,双臂染色体数仅占各自染色体总数的0~6.1%。在犁头鳐科(*Rhinobatidae*)已知3种鱼的核型中,环吻犁头鳐(*Rhinobatos productus*)具有48%的双臂染色体,其染色体臂数是70种软骨鱼中最高的^[18]。许氏犁头鳐(*Rhinobatus schlegelii*)和斑纹犁头鳐(*R. hynniacephalus*)的染色体多为双臂染色体,共9条单臂染色体,没有微染色体^[30,39,47]。团扇鳐科(*Platyrrhinidae*)只有拟团扇鳐(*Platyrrhinoidis triseriata*)的核型被研究,有50%的染色体是双臂染色体,是已被报道的鳐形目中具有高比例的双臂染色体的种类^[18]。

鳐形总目的鳐形目(*Myliobatiformes*)中燕魟科

(Gymnuridae)、鳐科(Myliobatidae)、鰐鳐科(Aetobatidae)、牛鼻鳐科(Rhinopteridae)和蝠鳐科(Mobulidae)种类的染色体均以双臂染色体为主,占各自染色体总数的57%~96%。扁魟科(Urolophidae)和魟科(Dasyatidae)多数种类的染色体以双臂染色体为主,如褐黄扁魟(*Urolophus aurantiacus*)、松原魟(*Dasyatis matsubarae*)、乌魟(*Pteroplatytrygon violacea*)和蓝斑条尾魟(*Taeniura lymma*)等,有的种类则以单臂染色体为主,如哈氏扁魟(*Urobatis halleri*)、赤魟(*D. akajei*)和美洲魟(*D. americana*)等,萨氏魟(*Dasyatis say*)的染色体中双臂染色体共占50%。可见,鳐形目和魟形目的核型显著不同。

全头亚纲(Holocephali)的2个种类的二倍体染色体数分别为58和86,但二者具有相似的核型,即所有染色体均为单臂染色体,并具有大量的微染色体^[9,13]。这种情况也是低等脊椎动物(圆口类和原始的辐鳍亚纲)的特征^[13]。

由此可见,软骨鱼类染色体的总体进化趋势表现为染色体数量减少,双臂染色体呈增多的态势,并同时伴随微染色体的消失。多倍化后并发的二倍化和罗伯逊易位在这种进化趋势中可能起着重要的作用^[19-20,33,44]。

1.4 性染色体

研究表明,有5种软骨鱼类存在性染色体^[25]。其中拟团扇魟(*Platyrrhinoidis triseriata*)、环吻犁头魟(*Rhinobatos productus*)、萨氏魟(*Dasyatis say*)和弗氏鳐(*Myliobatis fremovillii*)为XX-XY型,美洲魟(*Dasyatis americana*)为ZW-ZZ型^[25]。此外,噬人鲨(*Carcharodon carcharias*)、黑吻真鲨(*Carcharhinus acronotus*)、黑梢真鲨(*Carcharhinus limbatus*)和大西洋斜锯牙鲨(*Rhizoprionodon terraenovae*)等的雄鱼也可能存在Y染色体^[25]。许氏犁头魟和斑纹犁头魟的核型展示了雄鱼具3条和雌鱼具2条非成对染色体,其中1条可能与性别决定有关,而另外2条的作用还不清楚^[39,47]。

不同软骨鱼类的性染色体的形态大小不同。如环吻犁头魟(*Rhinobatos productus*)的Y染色体是最小的1条染色体,而拟团扇魟(*Platyrrhinoidis triseriata*)的Y染色体则是最大的1条染色体^[25]。

2 染色体标记(Chromosome markers)

在早期,由于受到软骨鱼类染色体制片技术的限制,难于获得好的中期分裂相,软骨鱼类染色体的

带型分析受到限制,特殊染色体区域(C-带和NOR位点)的染色结果只是偶尔获得^[31,52-53]。随着染色体制片技术的改进,染色体标记方面的研究才得以较好地开展。

Rocco等^[50]和Stingo等^[54]应用C-带、银染和限制性内切酶显带法等染色体分带技术对6种软骨鱼类的染色体进行研究。结果表明,蓝斑条尾魟(*Taeniura lymma*)和星斑魟(*Raja asterias*)的结构异染色质主要位于着丝粒区,而斑点猫鲨(*Scyliorhinus stellaris*)主要位于端粒区^[50]。电鳐(*Torpedo ocellata*)的异染色质分布在双臂染色体的近着丝粒区,可被几种限制性内切酶(*Alu* I, *Pst* I, *Dde* I, *Hae* III)消化,而石纹电鳐(*T. marmorata*)的异染色质则位于单臂染色体的着丝粒区域,不被这几种限制性内切酶消化^[54]。NOR的银染带型也存在种的差异^[50]。

近年来,应用现代分子生物学技术,在软骨鱼类的基因组研究方面也取得一些结果。1996年,Rocco等发现了蒙魟(*Raja montagui*)的一个随体DNA(satellite DNA)家族^[55]。Shimoda等^[22]和Ogiwara等^[23]应用PCR技术,检测并分离到多种软骨鱼类的短散布重复系列(SINEs)和长散布重复系列(LINEs)。

Rocco等^[50,56]应用DNA基因组杂交和中期分裂相染色体的荧光原位杂交技术研究了端粒序列(TTAGGG)_n在几种软骨鱼类基因组中的分布。结果表明,在所有研究的种类,该序列非常保守,但该序列并非都位于端粒上,在斑点猫鲨(*Scyliorhinus stellaris*)和蓝斑条尾魟(*Taeniura lymma*)中发现了特有的端粒序列位点。

另外,Pardini等^[24]研究了噬人鲨(*Carcharodon carcharias*)的微卫星标记(microsatellite loci),并在15种其他软骨鱼类得到扩增。

虽然染色体标记方面的研究并不多,但这些研究对于分辨软骨鱼类染色体的核型和认识目前了解甚少的软骨鱼类的核型进化均具有重要作用。

3 核DNA含量

软骨鱼类基因组DNA含量的研究相对较多,共有144种(68种鲨类,72种鳐类和4种全头类)的核DNA含量被测定。研究结果表明,核DNA含量变化很大,为3.0~34.1 pg/N,核DNA含量最小的是全头类(3.0~4.0 pg/N)(表3),鲨类和鳐类的核

DNA含量分别为5.5~34.1 pg/N和4.9~24.1 pg/N,大多数种类为5~15 pg/N(表1、2)。核DNA含量与染色体数目无明显的相关性。

虎鲨目(Heterodontiformes)的佛氏虎鲨(*Heterodontus francisci*)和宽纹虎鲨(*H. japonicus*)的核型相似,但它们的基因组含量差异很大:分别为13.6~17.5 pg/N^[14,18,21]和29.6 pg/N^[26]。

角鲨科不同种类的基因组大小有较大的变异(11.6~34.1 pg/N)。事实上,角鲨科的分类也是争论较多的,国内对该科的分类与国外就存在不少差异。

电鳐目(Torpediniformes)电鳐科与单鳍电鳐科之间也存在差异较大的核DNA含量,2个科的核DNA含量分别为8.4~15.0 pg/N和21~24.1 pg/N。

锯鳐目和许多鳐形目鱼类具有较低的核DNA含量。鳐形目各科的核型差异较大,但核DNA含量未见明显差异,鳐科为5.4~8.4 pg/N,犁头鳐科为4.9~8.3 pg/N,团扇鳐科为8.9~15.5 pg/N。鳐形目的核DNA含量大多在10 pg/N左右,明显大于鳐形目。

有趣的是Kendall等^[35]报道流氏细胞术结果发现铰口鲨(*Ginglymostoma cirratum*)的1个个体具有三倍体的核DNA含量(11.4 pg/N)。

4 存在问题与展望

国外对软骨鱼类染色体的研究已有80年的历史,但种类非常有限,而且由于技术和仪器的原因,结果误差较大,对于同种鱼类,不同学者的研究结果也往往不同。今后应进一步改进软骨鱼类染色体的制片技术和显带技术,对更多种类的核型和染色体带型进行研究。同时,积极应用包括各种分子标记技术在内的现代分子遗传学技术,对软骨鱼类的基因组进行深入研究,从而在广度和深度上全面系统了解软骨鱼类染色体的结构组成、核型特征和遗传结构,在新的水平上阐明软骨鱼类的核型进化和系统演化规律。

中国现有软骨鱼类200多种^[1],是软骨鱼类资源较为丰富的国家,开发利用潜力较大。但尚未开展软骨鱼类染色体的研究。为了科学地开发和保护这些宝贵资源,必须对其遗传资源进行充分的了解,而染色体研究是遗传资源工作中极为重要的环节。愿以此推动软骨鱼类染色体的研究。

参考文献:

- [1] 孟庆闻. 鱼类分类学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [2] 余先觉, 周 曜, 李维成, 等. 中国淡水鱼类染色体[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 1~166.
- [3] 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): 82~96.
- [4] 王梅林, 郑家声, 朱丽岩, 等. 我国海洋鱼类和贝类染色体组型研究进展[J]. 青岛海洋大学学报, 2000, 30(2): 277~284.
- [5] 赵金良. 我国海水鱼和咸淡水鱼染色体组型研究概述[J]. 上海水产大学学报, 2000, 9(4): 344~347.
- [6] Makino S. The chromosomes of two elasmobranch fishes[J]. Cytologia, 1937, 2: 867~876.
- [7] Matthey R. La formule chromosomiale du selacien *Sphinctus catula*[J]. C R Seanc Soc Biol, 1937, 126: 388~389.
- [8] Nygren A, Nilsson B, Jahnke M. Cytological study in Hypotremata and Pleurotremata (Pisces)[J]. Hereditas, 1971, 59: 275~282.
- [9] Nygren A, Jahnke M. Microchromosomes in primitive fishes[J]. Swed J Agric Res, 1972, 2: 229~238.
- [10] Nagase S. A comparative study of the chromosomes of fishes with particular considerations on taxonomy and evolution[J]. Mem Hyogo Univ Agric, 1960, 3: 1~62.
- [11] Donahue W H. A karyotypic study of three species of Rajiformes (Chondrichthyes, Pisces)[J]. Can J Genet Cytol, 1974, 16: 203~211.
- [12] Stingo V. Cariologia di due torpedini italiane[J]. Boll Zool, 1976, 43: 406~407.
- [13] Ohno S, Muramoto J, Stenius C, et al. Microchromosomes in holoccephalian, chondrosteans and holosteans fishes[J]. Chromosoma, 1969, 26: 35~40.
- [14] Hinegardner R T. The cellular DNA content of sharks, rays and some other fishes[J]. Comp Biochem Physiol, B, 1976, 55: 367~370.
- [15] Pedersen R A. DNA content, ribosomal gene multiplicity and cell size in fish[J]. J Exp Zool, 1971, 177: 65~78.
- [16] Mirsky A E, Ris H. The desoxyribonucleic acid content of animal cells and its evolutionary significance[J]. J Gen Physiol, 1951, 34: 451~462.
- [17] Vialli M. Volume et contenu en ADN par noyau, in Cytchemical methods with quantitative aims[J]. Exp Cell Res, 1957, (suppl 4): 284~293.
- [18] Schwartz F J, Maddock M B. Comparisons of karyotypes and cellular DNA contents within and between major lines of elasmobranch[A]. Indo-Pacific fish biology[C]. edited by Uyeno T, Arai R, Taniuchi T, et al. Ichthyol Soc Japan, Tokyo, 1986. 148~157.
- [19] Ohno E, Stingo V, Odierna G, et al. Sequence organization in the DNA of three selachians[J]. Experientia, 1982, 38: 339~340.
- [20] Ohno E, Stingo V, Colmar O, et al. Repetitive DNA and poly-

- ploidy in selachians[J]. *Comp Biochem Physiol.* B, 1982, 73(4): 739-745.
- [21] Stingo V, Capriglione T, Rocco L, et al. Genome size and A-T rich DNA in selachians[J]. *Genetica*, 1989, 79: 197-205.
- [22] Shimoda N, Chevrette M, Elcker M, et al. Mermaid: a family of short interspersed repetitive elements widespread in vertebrates[J]. *Biochem Biophys Res Comm*, 1996, 220: 226-232.
- [23] Ogihara I, Miya M, Ohschina K, et al. Retropositional parasitism of SINEs on LINEs: identification of SINEs and LINEs in elasmobranchs[J]. *Mol Biol Evol*, 1999, 16: 1238-1250.
- [24] Pandini A T, Jones C S, School M C, et al. Isolation and characterization of dinucleotide microsatellite loci in the great white shark, *Garchomdon carcharias*[J]. *Mol Ecol*, 2000, 9: 176-178.
- [25] Maddock M B, Schwartz F J. Elasmobranch cytogenetics: methods and sex chromosomes[J]. *Bull Mar Sci*, 1996, 58: 147-155.
- [26] Ida H, Asahida T, Yano K, et al. Karyotypes of two sharks, *Chlamydoselachus anguineus* and *Heterodontus japonicus*, and their systematic implications[A]. *Indo-Pacific fish biology*[C], edited by Uyeno T, Anai R, Taniuchi T, et al. Ichthyol Soc Japan, Tokyo, 1986. 158-163.
- [27] Stingo V. New developments in vertebrate cytotaenomy II. The chromosomes of the cartilaginous fishes[J]. *Genetica*, 1979, 50: 227-239.
- [28] Stingo V, Du Bois M H, Odierma G. Genome size of some selachian fishes[J]. *Boll Zool*, 1980, 47: 129-137.
- [29] Hardie D C, Hebert P D N. Genome-size evolution in fishes[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2004, 61: 1636-1646.
- [30] Ojima Y, Yamamoto K. Cellular DNA contents of fishes determined by flow cytometry[J]. *La Kromosomo*, II, 1990, 57: 1871-1888.
- [31] Stingo V, Capriglione T. DNA and chromosomal evolution in cartilaginous fish[A]. *Indo-Pacific fish biology*[C], edited by Uyeno T, Anai R, Taniuchi T, et al. Ichthyol Soc Japan, Tokyo, 1986. 140-147.
- [32] Schwartz F J, Maddock M B. Cytogenetics of the elasmobranchs: Genome evolution and phylogenetic implications[J]. *Marine & Freshwater Research*, 2002, 53(2): 491-502.
- [33] Rocco L, Costagliola D, Liguori I, et al. Cytogenetic and molecular studies in the nurse shark, *Ginglymostoma cirratum* (Galeomorphi, Heterodontiformes)[J]. *Annales de Genetique*, 2003, 46(2-3): 98.
- [34] Kendall C, Valentino S, Bodine A B, et al. Flow cytometric DNA analysis of nurse shark, *Ginglymostoma cirratum* (Batoidea) and clearnose skate, *Raja eglanteria* (Bosc) peripheral red blood cells[J]. *J Fish Biol*, 1992, 41: 123-129.
- [35] Kendall C, Valentino S, Bodine A B, et al. Triploidy in a nurse shark, *Ginglymostoma cirratum*[J]. *Copeia*, 1994: 825-827.
- [36] Asahida T, Ida H, Inoue T. Karyotypes and cellular DNA contents of two sharks in the family Scyliorhinidae[J]. *Jap J Ichthyol*, 1988, 35: 215-219.
- [37] Asahida T, Ida H. Karyological notes on four sharks in the order Carcharhiniformes[J]. *Jap J Ichthyol*, 1989, 36: 275-280.
- [38] Stingo V. Ulteriori dati cariologici sui selaci italiani[J]. *Boll Zool*, 1978, 45: 243.
- [39] Asahida T, Ida H. Karyotype and cellular DNA content of a guitarfish, *Rhinobatos schlegelii*[J]. *La Kromosomo*, II, 1995, 79-80: 2725-2730.
- [40] Asahida T, Ida H, Hayashimiki K. Karyotypes and cellular DNA contents of some sharks in the order Carcharhiniformes[J]. *Jap J Ichthyol*, 1995, 42: 21-26.
- [41] Yabu H, Ishii K. Chromosomes of the great blue shark *Prionace glauca* (Linnaeus)[J]. *Bull Japan Soc Sci Fish*, 1984, 50: 7-10.
- [42] Chung H Y, Sung T K, Jan K Y, et al. Cellular DNA contents and cell volumes of batoids[J]. *Copeia*, 1995, 3: 571-576.
- [43] Ida H, Sato I, Miyawaki N. Karyotypes of two species in the order Torpediniformes[J]. *Jap J Ichthyol*, 1985, 32: 107-111.
- [44] Stingo V, Rocco L. Selachian cytogenetics: a review[J]. *Genetica*, 2001, 111: 329-347.
- [45] Asahida T, Ida H. Karyotypes of two rays, *Torpedo takonis* and *Dasyatis marmorata*, and their systematic relationships[J]. *Jap J Ichthyol*, 1990, 37: 71-75.
- [46] Morescalchi A, Olmo E. Single-copy DNA and vertebrate phylogeny[J]. *Cytogenetics and Cell Genetics*, 1982, 34: 93-101.
- [47] Kikuno T, Ojima Y. A Karyotypic studies of a guitar fish, *Rhinobatos hyacinthacephalus* Richardson (Pisces, Rajiformes)[J]. *La Kromosomo*, II, 1987, 47-48: 1538-1544.
- [48] Asahida T, Ida H, Inoue S. Karyotypes of three rays in the order Myliobatiformes[J]. *Jap J Ichthyol*, 1987, 33: 426-430.
- [49] Hardie D C, Hebert P D N. The nucleotypic effects of cellular DNA content in cartilaginous and ray-finned fishes[J]. *Genome*, 2003, 46: 683-706.
- [50] Rocco L, Morescalchi M A, Costagliola D, et al. Karyotype and genome characterization in four cartilaginous fishes[J]. *Gene*, 2002, (295): 289-298.
- [51] Asahida T, Ida H, Terashima H, et al. The karyotype and cellular DNA content of a ray, *Mobula japonica*[J]. *Jap J Ichthyol*, 1993, 40(3): 317-322.
- [52] Stingo V, Rocco L, Imprenta R. Chromosome marker and karyology of Selachians[J]. *J Exp Zool*, 1989, (suppl 2): 175-185.
- [53] Stingo V, Rocco L. Chondrichthyan cytogenetics: a comparison with Teleostei[J]. *J Mol Evol*, 1991, 33: 76-82.
- [54] Stingo V, Rocco L, Odierma G, et al. NOR and heterochromatin analysis in two cartilaginous fishes by C-, Ag- and RE(restriction endonuclease)-banding[J]. *Cytogenet Cell Genet*, 1995, 71: 228-234.
- [55] Rocco L, Stingo V, Bellitti M. Cloning and characterization of a repetitive DNA detected by Hind III in the genome of *Raja montagui* (Batoidea, Chondrichthyes)[J]. *Gene*, 1996, 176: 185-189.
- [56] Rocco L, Costagliola D, Stingo V. (TTAGGG)_n telomeric sequence in selachian chromosomes[J]. *Heredity*, 2001, 87(5): 583-588.

Progress of studies on chromosome of Chondrichthyes

XIE Yang-jie^{1,2}, WENG Zhao-hong², SU Yong-quan¹, WANG Jun¹

(1. College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: The chromosome of Chondrichthyes is the least investigated among vertebrates. The karyotypes of 70 out of 838 known species (8.35%) have been described, including 31 Selachomorpha, 37 Batomorpha and 2 Holocephalian species. The diploid chromosome number ranges from 52 to 104, with the exception of *Narcine brasiliensis* which is 28, and microchromosomes are often present. The most primitive species in the different taxa have high diploid chromosome numbers, with many telocentric and acrocentric elements, and most of them have microchromosomes. The general trend in all groups seems to be a progressive increase of the metacentric and submetacentric chromosome number in the most specialized species, which is followed by the loss of the microchromosomes. Chondrichthyes have the larger genome sizes among vertebrates. Nuclear DNA contents of 144 chondrichthian species have been described. In the whole class, the species examined vary greatly in genome size, from 3.0 to 34.1 pg/N, the lowest values have been observed in holocephalans, while the highest values in Squaliformes and Squatiniformes. In recent years, studies on chondrichthian chromosome have been improved by C-banding, nucleolar organizer regions (NOR) staining, restriction enzymes *in situ* digestion and fluorescent *in situ* hybridization (FISH) with specific DNA probes, such as telomeric sequence and short interspersed repetitive elements (SINE) sequences. The genomes of several chondrichthian fish have also been studied by up-to-date molecular techniques, especially as regards the repetitive DNA sequences, satellite DNA family and microsatellite loci. [Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(5): 856–866]

Key words: Chondrichthyes; karyotype; chromosome; DNA content