



鱼类远缘杂交

Fish Distant Hybridization

刘少军◎著



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

鱼类远缘杂交

刘少军 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书总结了作者所在实验室二十多年在鱼类远缘杂交研究方面的研究成果,系统阐述了远缘杂交形成不同倍性鱼的共性规律,比较研究了不同倍性鱼的生物学特性,揭示了异源和同源四倍体鱼的可育性和异源三倍体鱼的不育性,发现和系统研究了远缘杂交鱼产生不减数配子的重要繁殖生物学现象,系统阐述了远缘杂交形成四倍体鱼品系和二倍体鱼品系在生物进化中的重要作用和重要证据,同时描述了不育三倍体鱼在生产应用中的特点、优势和实用价值。本书图文并茂,尤其是许多彩色图版都是真实的实验结果,在系统描述和展示远缘杂交和多倍体鱼研究结果方面具有独特之处。

本书可供高等院校和科研院所从事动物学、遗传学、水产学及相关学科的研究人员和相应领域的研究生和本科学生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

鱼类远缘杂交 / 刘少军著. —北京: 科学出版社, 2015

ISBN 978-7-03-042069-5

I. ①鱼… II. ①刘… III. ①鱼类—远缘杂交 IV. ①Q959.403

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第227426号

责任编辑: 王 静 矫天扬 侯彩霞/ 责任校对: 陈玉凤
责任印制: 肖 兴/ 封面设计: 北京铭轩堂广告设计有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年1月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015年1月第一次印刷 印张: 23 1/2

字数: 530 000

定价: 208.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

作者简介

刘少军，博士，二级教授，博士生导师，国家杰出青年科学基金获得者，湖南省“芙蓉学者”特聘教授，湖南省科技领军人才，全国优秀科技工作者，全国优秀教师，教育部跨世纪优秀人才，湖南省优秀中青年专家，国务院政府特殊津贴享受者，湖南省五一劳动奖章获得者；中国水产学会理事，中国海洋湖沼学会理事，湖南省水产学会副理事长，中国水产学会生物技术专业委员会副主任委员，湖南省水产品种审定委员会副主任委员；湖南鱼类遗传育种中心主任，蛋白质组学与发育生物学省部共建国家重点实验室培育基地主任，蛋白质化学及鱼类发育生物学教育部重点实验室主任，教育部“多倍体鱼繁殖及育种”工程研究中心主任，湖南省“生物发育工程及新产品研发协同创新中心”主任，湖南省生物研究所所长兼湖南师大生科院副院长。



为*Frontiers in Livestock Genomics*、《动物学研究》、《水产学报》、《中国水产科学》、《内陆水产》、《生命科学研究》等刊物的编委会委员；农业部“淡水鱼类遗传育种和养殖生物学”重点开放实验室(上海海洋大学)学术委员，教育部“淡水鱼类资源与生殖发育”重点实验室(西南大学)学术委员，广东省“水生经济动物良种繁育”重点实验室(中山大学)学术委员，教育部“蛋白质化学及鱼类发育生物学”重点实验室(湖南师范大学)学术委员，国家自然科学基金委员会第十二届、第十三届专家评审组成员。

以第一完成人(2011年)及第四完成人(2003年)两次获国家科技进步二等奖；领衔“淡水鱼类发育生物学团队”获“全国专业技术人才先进集体”称号(2014年)；以第一完成人获得国家发明专利19项；主持培养毕业了17名博士生和41名硕士生，2名出站博士后，培养了一大批本科生。

主持了国家杰出青年科学基金，国家“973”计划课题，国家“863”计划子课题，国家自然科学基金重点项目、国际重大合作交流项目、面上项目，科技部农业成果转化基金等20多项国家及省部级课题。

以第一作者或通讯作者的90多篇学术论文发表于*Genetics*、*Molecular and Cellular Endocrinology*、*Biology of Reproduction*、*Current Molecular Medicine*、*Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*、*PLoS ONE*、*Cell and Tissue Research*、*Amino Acids*、*Marine Biotechnology*、*General and Comparative Endocrinology*、*International Journal of Biological Sciences*、*BMC Genetics*、*Aquaculture*、*Journal of*

Molecular Evolution、*Journal of Experimental Zoology (Part B)*、*Animal Reproduction Science*、《中国科学》、《科学通报》等刊物上，其中SCI论文71篇。

主要从事用鱼类远缘杂交、雌核发育等染色体倍性操作技术研发不同倍性的优良鱼类研究；主持研制了改良异源四倍体鲫鲤品系、新型四倍体鲫鲂和同源四倍体鱼品系，二倍体鲂鲢品系和鲢鲂品系，鲂鲮品系，鲤鲫品系，天然雌核发育红鲫品系等改良和新型鱼类；还制备了11种人工雌核发育鱼类；形成了具有应用价值的湘云鲫2号、翘嘴鲮、鲮鲮杂交鱼、合方鲫等优良鱼类，其中湘云鲫2号、鲮鲮杂交鱼获得农业部水产新品种证书；用倍间交配方法大规模研制的具有不育、体型美观、肉质鲜嫩、抗逆性强、生长速度快、小刺少等优点的优良三倍体鱼在全国推广养殖，产生了显著的经济、社会和生态效益。在理论上研究了远缘杂交形成异源四倍体鱼品系和同源四倍体鱼品系、异源二倍体鱼品系和天然雌核发育二倍体鱼品系的规律；对不同倍性鱼的主要生物学特征进行了系统研究；为鱼类遗传育种和生物进化研究做出了有意义的贡献。

序 一

在脊柱动物门的各个纲中，鱼纲的种类最多，遗传结构和生殖方式的多样性也极为丰富。远缘杂交和染色体的倍性操作在植物中是可行的，并获得广泛应用，如无籽的三倍体西瓜已成为人们喜闻乐见的食物。一般而言，无论是远缘杂交还是染色体倍性操作，在高等动物中却难以实现。但是，在作为脊椎动物的鱼类中，这一禁锢已被撕开。湖南师范大学的老师用鲤科鱼类进行了长达半个世纪的研究，通过远缘杂交研制四倍体鱼，再用倍间交配的方法制备有应用价值的不育三倍体鱼，创造了成功的范例。

近20多年来，刘少军教授实验室长期聚焦于用远缘杂交、雌核发育等染色体倍性操作技术研制不同倍性经济鱼类，同时还进行了相关理论的深入研究和探讨，取得了系统性和创新性的成果。他们成功研制了多个四倍体远缘杂交鱼品系，并用之制备经济性状优良的三倍体鱼和其他优良鱼类；在理论上，他们系统研究了鱼类远缘杂交品系形成的生物学机制和不同倍性鱼的遗传、繁殖、生长等重要生物学特性。

刘少军教授撰写的《鱼类远缘杂交》一书，全面综述了国内外动物远缘杂交和多倍体的研究进展，系统性地总结了他们科研团队关于鱼类远缘杂交及染色体倍性育种的研究工作，包括鱼类远缘杂交双亲的设计选择、杂交过程、杂交品系的建立及应用，人工多倍体鱼的生物学特性、形成的生物学机制以及相关的方法学等。《鱼类远缘杂交》一书图文并茂，内容全面，体现了实践推动理论研究，理论指导实践深入发展，是一部很有特色的鱼类遗传育种著作，特此向从事动物学研究、特别是从事鱼类育种和养殖生物学研究的科研人员和学生们推荐。



中国科学院院士
中国科学院水生生物研究所 研究员
北京大学生命科学学院 教授

2014年9月8日

序 二

鱼类是脊椎动物中物种数目最多的动物类群，许多鱼类的染色体数目之间存在倍性或接近倍性的关系，这种关系是否与远缘杂交有关？很值得研究。通过人工设计鱼类远缘杂交并成功研制不同倍性远缘杂交鱼品系，将为研究远缘杂交形成不同倍性鱼类提供很好的研究模式和系统的研究平台，这在鱼类遗传育种和生物进化方面具有重要意义。

湖南师范大学刘少军教授及同仁20多年来一直潜心致力于用远缘杂交等染色体倍性操作技术研制不同倍性鱼的研究，他们在该研究领域开展了系统而卓有成效的工作，成功研制了多个远缘杂交鱼品系乃至四倍体鱼品系，并用于制备在生产上有重大价值的优良杂交鱼和三倍体鱼，系统探索和阐明了鱼类远缘杂交品系形成的生物学机制及不同倍性鱼的重要生物学特性，在基础研究和应用研究方面获得了具有明显创新性及重要学术意义和应用前景的研究结果。刘少军教授对于鱼类远缘杂交及多倍体鱼研究的执着与坚持，给我留下了十分深刻的印象，他在鱼类遗传育种研究方面具有深厚的学术造诣，在该研究领域具有较高知名度。正是他对鱼类遗传育种事业孜孜不倦的追求，才书成这本《鱼类远缘杂交》专著。

《鱼类远缘杂交》一书全面综述了国内外动物远缘杂交和多倍体生物的研究进展，详尽介绍了以刘少军教授为首的科研团队在鱼类远缘杂交长期而系统的研究工作中取得丰硕成果。该书内容全面，图文并茂，是一本专门介绍鱼类远缘杂交育种的优秀著作，对鱼类及动物遗传育种研究具有很好的理论及实践指导作用。

谨此，我向全国从事水产、鱼类遗传育种基础与应用研究的科技工作者及高等院校相关专业的本科生、研究生推荐这本值得一阅的水产领域专著。

林浩然

中国工程院院士
中山大学生命科学学院 教授
2014年10月5日

前 言

自然界中存在32 000多种鱼类，是脊椎动物中种类最多的类群。很多鱼类的染色体数目之间存在倍性或者接近倍性的关系，为探索杂交及四倍体化与鱼类进化、鱼类染色体多样化分布的关系提供了重要线索和启示，也为鱼类远缘杂交育种研究提供了丰富的自然资源。

远缘杂交为亲缘关系在种间或种间以上的两个物种之间的杂交。远缘杂交可将亲缘关系较远物种的基因组组合在一起，使得远缘杂交后代在基因型和表现型方面都发生变异，如果这种变异是可遗传的，则有可能形成新品系乃至新物种。远缘杂交研究在遗传、育种和生物进化方面具有重要意义。自然界中丰富多彩的鱼类资源是否与远缘杂交有关？远缘杂交后代的生物学性状如何？它们的育性如何？远缘杂交形成可遗传的品系的规律如何？这些都是值得探索的科学问题。怎样把鱼类远缘杂交基础理论的探索研究与应用紧密联系？也是我们科技工作者努力的目标之一。

本书共分14章，作者综述了国内外动物远缘杂交和多倍体生物的研究进展，聚焦鱼类远缘杂交研究这个主题，着重介绍了作者实验室20多年来在鱼类远缘杂交和多倍体鱼研究方面开展的长期而系统的研究工作，包括介绍了作者及同仁在考虑鱼类双亲的染色体数目、系统发育关系、生殖、外形、食性、生长速度、抗逆性等因素的基础上，设计和开展鱼类远缘杂交试验，成功研制出多种具有特色的重要杂交鱼品系，如异源四倍体鲫鲤品系（ $F_3 \sim F_{23}$ ），源于鲫鲂远缘杂交的同源四倍体鱼品系（ $F_2 \sim F_8$ ），二倍体鲂鲢品系（ $F_1 \sim F_3$ ）、鲢鲂品系（ $F_1 \sim F_3$ ），鲤鲫品系（ $F_1 \sim F_2$ ）和鲂鲢（ $F_1 \sim F_2$ ）品系；用研制的四倍体鱼与二倍体鱼交配制备了具有不育、生长速度快、抗逆性强等优点的三倍体鱼，它们推广养殖后，产生了显著的经济、社会和生态效益；用鲂鲢杂交品系鱼与团头鲂回交制备了具有生长速度快、抗逆性强、肉质好等优点的翘嘴鲢。本书还介绍了作者等研制出的雌核发育二倍体鲫鲤克隆体系和雄核发育二倍体鲫鲤克隆体系，改良四倍体鲫鲤品系，改良二倍体红鲫、花鲫、青鲫品系及湘云鲫2号等改良三倍体鱼；用异源精子刺激研制形成的雌核发育红鲫、雌核发育白鲫、雌核发育金鱼、雌核发育团头鲂等改良鱼类。鱼类遗传育种是一个从稳定品系中选出或研制变异群体，再从变异群体中培育稳定品系的循环过程；鱼类远缘杂交将经历研究和探索研制出变异个体和群体并使其遗传形成稳定品系乃至新物种的过程。

在成功获得一系列重要的不同倍性鱼的基础上，本书介绍了作者及同仁在个体、组织、细胞及分子水平对不同倍性鱼的主要生物学特征开展的系统的基础理论方面的研究工作，包括对不同倍性实验鱼的外部形态、DNA含量、染色体数目和组型、受精细胞学、胚胎发育、生长发育、生殖发育、肉质和肌间刺、垂体及内分泌、基因组DNA

和线粒体DNA及cDNA、Southern杂交、Northern杂交、Western杂交、FISH原位杂交等方面的研究结果；发现了远缘杂交鱼产生不减数配子、基因变异和基因重组等重要生物学现象；阐明了远缘杂交形成不同倍性鱼和可育杂交品系鱼的规律，如远缘杂交组合中，当双亲的染色体数目不呈倍性关系时，母本的染色体数目大于或等于父本的染色体数目时，容易获得存活后代，其中当双亲染色体数目相等时可形成异源四倍体鱼品系，当双亲染色体数目不相等时，可形成具有遗传变异的同源四倍体鱼品系；另外还揭示了四倍体鱼的可育性、异源三倍体鱼的不育性和快速生长性，介绍了不育三倍体鱼在生产中的应用原理及价值。本书还介绍了研究远缘杂交鱼和不同倍性鱼的染色体倍性检测技术、FISH原位杂交技术、BAC文库构建技术等研究方法。

本书得到了国家科学技术学术著作出版基金资助，本书的相关研究内容得到了国家杰出青年基金、国家自然科学基金重点课题、国家自然科学基金重大国际合作课题、国家自然科学基金面上课题等项目的资助。

本书图文并茂，可作为鱼类遗传育种、水产养殖、遗传学、发育生物学、动物学、动物进化等研究领域的参考书。

由于作者的能力有限，本书肯定还存在许多不足之处，真诚地希望得到各位读者和同行的批评与指教。

刘少军

2014年8月11日于长沙

目 录

作者简介

序一

序二

前言

第1章 动物远缘杂交及多倍体生物研究进展	1
1.1 动物远缘杂交研究进展	2
1.1.1 动物远缘杂交概况	2
1.1.2 鱼类远缘杂交品系的形成	6
1.1.3 鱼类远缘杂交品系的遗传变异特性	12
1.1.4 鱼类远缘杂交品系的应用	17
1.2 多倍体生物研究进展	18
1.2.1 植物中的多倍体	19
1.2.2 动物中的多倍体	21
1.2.3 多倍体的发生	23
1.2.4 多倍化的遗传效应和基因表达上的变化	26
1.2.5 人工多倍体育种	27
第2章 异源四倍体鲫鲤的形成	31
2.1 异源四倍体鲫鲤的亲本——红鲫和鲤	32
2.1.1 红鲫的生物学特征	32
2.1.2 鲤的生物学特征	32
2.2 红鲫(♀) × 鲤(♂) 杂交后代 F_1 、 F_2 、 F_3 的生物学特征	33
2.2.1 鲫鲤 F_1 的主要生物学特征	33
2.2.2 鲫鲤 F_2 的主要生物学特征	36
2.2.3 鲫鲤 F_3 的主要生物学特征	40
2.2.4 鲫鲤 F_2 与其他鱼的交配试验	43
2.2.5 鲫鲤 F_2 产生不减数配子的意义	43
第3章 异源四倍体鲫鲤的基本生物学特征	44
3.1 异源四倍体鲫鲤的生长和发育	45
3.1.1 异源四倍体鲫鲤的形态特征	45
3.1.2 异源四倍体鲫鲤的受精细胞学和胚胎发育	47
3.2 异源四倍体鲫鲤的倍性和育性	50
3.2.1 异源四倍体鲫鲤的倍性	50

3.2.2	异源四倍体鲫鲤性腺发育	52
3.3	异源四倍体鲫鲤生殖细胞的减数分裂及二倍体配子的形成	55
3.3.1	鱼类生殖细胞的减数分裂	55
3.3.2	异源四倍体鲫鲤进行减数分裂产生二倍体配子	56
3.4	异源四倍体鲫鲤性别决定机制	61
3.4.1	鱼类性别决定的研究进展	61
3.4.2	异源四倍体鲫鲤的性别遗传方式	64
3.5	异源四倍体鲫鲤群体形成在生物演化上的意义	68
3.5.1	多倍化在进化中的作用	68
3.5.2	异源四倍体鲫鲤形成多倍体演化提供了直接证据	69
第4章	不育三倍体鱼的基本生物学特征	73
4.1	异源三倍体湘云鲫（鲤）的形成、形态和染色体倍性	74
4.1.1	异源三倍体湘云鲫（鲤）的形成及形态特征	74
4.1.2	异源三倍体湘云鲫（鲤）的染色体倍性	75
4.2	异源三倍体鱼的不育机制和快速生长机制	77
4.2.1	异源三倍体湘云鲫（鲤）的不育性	77
4.2.2	异源三倍体湘云鲫（鲤）的快速生长机制	89
4.3	异源三倍体湘云鲫（鲤）的应用	92
4.3.1	异源三倍体湘云鲫（鲤）的养殖特性	92
4.3.2	异源三倍体湘云鲫（鲤）推广应用	95
4.4	异源四倍体鲫鲤与其他鱼类交配形成的三倍体鱼	95
4.4.1	异源四倍体鲫鲤（♂）×金鱼（♀）	96
4.4.2	异源四倍体鲫鲤（♂）×红鲫（♀）	100
第5章	异源四倍体鲫鲤产生的二倍体配子的雌核发育和雄核发育	104
5.1	异源四倍体鲫鲤产生的二倍体卵子的雌核发育	105
5.1.1	雌核发育二倍体鲫鲤克隆体系建立	105
5.1.2	利用雌核发育二倍体鲫鲤克隆体系研制改良四倍体鲫鲤	111
5.2	异源四倍体鲫鲤产生的二倍体精子的雄核发育	113
5.2.1	人工诱导鱼类雄核发育研究概述	113
5.2.2	二倍体精子的雄核发育	115
5.2.3	雄核发育方法制备改良异源四倍体鲫鲤群体	120
5.2.4	雄核发育鱼的应用	123
5.3	从改良四倍体鲫鲤中选育出改良二倍体鲫	123
5.3.1	改良二倍体红鲫、青鲫和花鲫的基础生物学特征	124
5.3.2	新型高背型鲫形成的意义	128

5.4	人工双尾金鱼的形成	130
5.4.1	人工双尾金鱼的制备	130
5.4.2	人工双尾金鱼的生物学特征	131
5.4.3	人工双尾金鱼形成的意义	134
5.5	改良三倍体鲫的形成	135
5.5.1	改良三倍体鲫的基础生物学特征	136
5.5.2	改良三倍体鲫形成的意义	142
第6章	不同倍性鱼生物学特征比较	144
6.1	不同倍性鱼的血液组成及特点	145
6.1.1	不同倍性鱼类的血液组成及其血细胞特点	145
6.1.2	异源四倍体鲫鲤血细胞的发生	152
6.2	不同倍性鱼垂体特征的比较	157
6.2.1	鱼类脑垂体研究进展	157
6.2.2	不同倍性鱼垂体结构	160
6.2.3	鱼类HPG轴相关基因的研究及比较分析	164
6.3	不同倍性鱼的分子遗传标记研究	175
6.3.1	RAPD方法分析异源四倍体鲫鲤的遗传特征	176
6.3.2	微卫星DNA方法分析异源四倍体鲫鲤的遗传特征	181
6.3.3	基于ISSR的异源四倍体鲫鲤进化分析	183
6.4	不同倍性鱼线粒体基因组研究	186
6.4.1	异源四倍体鲫鲤线粒体基因组的特点	187
6.4.2	三倍体湘云鲫的线粒体基因组的父系遗传特征	188
第7章	鲫鲂远缘杂交品系的形成及生物学特性	190
7.1	鲫鲂杂交 F_1 中不同倍性后代的形成及主要生物学特性	191
7.1.1	鲫鲂杂交不同倍性后代的遗传组成特征	191
7.1.2	鲫鲂杂交 F_1 中不同倍性鱼的外形和食性特征	196
7.1.3	鲫鲂杂交 F_1 中不同倍性鱼的生殖特性	198
7.1.4	鲫鲂杂交 F_1 中不同倍性鱼的细胞和分子生物学特性	202
7.2	鲫鲂 F_1 中异源四倍体鲫鲂的回交和雌核发育后代形成	211
7.2.1	回交后代的形成及遗传组成	211
7.2.2	异源四倍体鲫鲂的雌核发育后代的形成及遗传组成	215
7.3	同源四倍体鱼品系的建立及生物学特性研究	218
7.3.1	遗传组成及变异分析	219
7.3.2	外形特征	221
7.3.3	育性和精子大小	222

7.3.4	同源四倍体鱼品系的建立及其应用	224
7.4	同源四倍体鱼雄核发育研究及全雄性四倍体鱼的制备	226
第8章	鲂鲃远缘杂交品系的形成及其生物学特性	227
8.1	鲂鲃、鲃鲂杂交品系的形成	228
8.1.1	杂交亲本介绍	228
8.1.2	鲂鲃、鲃鲂杂交F ₁ 制备	228
8.1.3	鲂鲃、鲃鲂杂交F ₂ 、F ₃ 的制备	229
8.2	鲂鲃、鲃鲂杂交品系的生物学特性	229
8.2.1	鲂鲃、鲃鲂F ₁ 、F ₂ 的倍性及核型分析	229
8.2.2	鲂鲃、鲃鲂F ₁ 、F ₂ 的外形、食性特征	232
8.2.3	鲂鲃、鲃鲂F ₁ 、F ₂ 的育性检测	234
8.2.4	鲂鲃、鲃鲂F ₁ 繁殖力	235
8.2.5	鲂鲃杂交品系的应用	235
8.2.6	鲂鲃及鲃鲂杂交品系的分子遗传特征	236
第9章	鲂鲃远缘杂交品系的形成及生物学特性	241
9.1	不同倍性鲂鲃、鲃鲂的形成	242
9.1.1	鲂鲃F ₁ 、鲃鲂F ₁ 的倍性检测	242
9.1.2	鲂鲃F ₁ 、鲃鲂F ₁ 外形特征	245
9.1.3	鲂鲃F ₁ 、鲃鲂F ₁ 的性腺显微结构观察和鲂鲃F ₂ 的形成	247
9.2	不同倍性鲂鲃F ₁ 、鲃鲂F ₁ 及其亲本的遗传关系分析	250
9.2.1	不同倍性鲂鲃F ₁ 、鲃鲂F ₁ 的Sox-HMG box序列分析	250
9.2.2	不同倍性鲂鲃F ₁ 、鲃鲂F ₁ 5S rDNA重复序列分析	252
9.2.3	不同倍性鲂鲃F ₁ 、鲃鲂F ₁ 线粒体全基因组序列分析	254
9.2.4	二倍体、三倍体鲂鲃F ₁ 精巢转录组测序分析	256
第10章	其他鱼类远缘杂交研究	258
10.1	红鲫(♀) × 黄尾密鲃(♂)	259
10.1.1	多倍体鲫鲃的形成及倍性检测	259
10.1.2	多倍体鲫鲃的外形特征	261
10.1.3	性腺显微结构观察	261
10.2	红鲫(♀) × 翘嘴红鲃(♂)	262
10.2.1	不同倍性鲫鲃的形成及倍性检测	262
10.2.2	不同倍性鲫鲃的外形特征	264
10.2.3	性腺显微结构观察	265
10.3	草鱼(♀) × 团头鲂(♂)	265
10.3.1	草鲂的形成及倍性检测	265

10.3.2	草鲂及其亲本的红细胞核体积测量	268
10.3.3	草鲂及其亲本的5S rDNA特征	268
10.4	鲤鲫品系的形成及生物学特性	270
10.4.1	鲤鲫F ₁ 形成及倍性检测	270
10.4.2	鲤鲫F ₁ 外形特征	272
10.4.3	鲤鲫F ₁ 的性腺显微结构观察	272
10.4.4	鲤鲫F ₂ 的形成	273
第11章	人工雌核发育研究	275
11.1	人工诱导雌核发育鱼类研究概述	276
11.1.1	雌核发育诱导方法	276
11.1.2	异精效应的发现及意义	278
11.1.3	雌核发育二倍体的鉴别	278
11.2	红鲫、日本白鲫的雌核发育	279
11.2.1	雌核发育红鲫、雌核发育日本白鲫的形成	279
11.2.2	雌核发育红鲫、雌核发育白鲫的生物学特征及应用前景	280
11.2.3	异源精子(团头鲂精子)作为刺激源的优势	281
11.3	金鱼的雌核发育	282
11.3.1	人工雌核发育金鱼的形成	283
11.3.2	人工雌核发育金鱼的意義	284
11.4	团头鲂的雌核发育	285
11.4.1	雌核发育团头鲂的研制	285
11.4.2	雌核发育团头鲂的外形特征	285
11.4.3	雌核发育团头鲂的倍性和育性	286
11.4.4	雌核发育团头鲂微卫星DNA分析	286
11.5	性反转鲫及全雌二倍体鲫和全雌三倍体鲫的制备	287
11.5.1	性反转鲫的制备	287
11.5.2	全雌二倍体鲫的制备	289
11.5.3	全雌三倍体鲫的制备	289
第12章	转基因四倍体、三倍体鱼	290
12.1	国内外转基因鱼技术研究概况	291
12.1.1	常用的转基因技术	291
12.1.2	转基因鱼类的研究	293
12.2	转基因四倍体鲫鲤	294
12.2.1	“全鱼”转植基因的构建	294
12.2.2	转基因鱼的体重及体长	295

12.2.3 转植基因的整合与转录	296
12.3 转基因三倍体鱼	297
12.3.1 转基因三倍体鲤的获得	297
12.3.2 转基因三倍体鲤的相关生物学检测	298
12.3.3 转基因三倍体鲤性腺败育及快速生长的分子机制研究	302
第13章 染色体倍性检测、FISH原位杂交等生物学技术在鱼类远缘杂交研究中的应用	304
13.1 人工催产、鱼苗孵育技术	305
13.1.1 常见催产剂的种类及作用机制	305
13.1.2 催产的技术程序	305
13.2 育性检测技术	306
13.2.1 石蜡切片技术	306
13.2.2 电镜技术	307
13.3 染色体倍性检测技术	307
13.3.1 PHA体内诱导肾细胞制片法	308
13.3.2 胚胎染色体制片法	308
13.3.3 流式细胞检测细胞DNA含量	308
13.3.4 外周血细胞培养法制备染色体	309
13.4 鱼类分子遗传标记检测及其他辅助检测技术	312
13.4.1 源于5S rDNA的FISH原位杂交方法的建立及应用	312
13.4.2 源于BAC文库构建的FISH原位杂交方法的建立及应用	314
13.4.3 长片段PCR在异源四倍体鲫鲤基因扩增中的应用	316
第14章 不同倍性鱼中的Sox-HMG DNA特征	318
14.1 分子标记概述	319
14.1.1 遗传标记	319
14.1.2 分子标记	319
14.1.3 DNA条形码与生物系统学	320
14.2 Sox基因家族概述	321
14.2.1 性别决定基因SRY/Sry	321
14.2.2 SOX/Sox基因家族	323
14.3 基于Sox基因HMG盒保守序列的分子标记方法	328
14.4 Sox-HMG分子标记与遗传育种	332
14.4.1 Sox-HMG分子标记方法与遗传关系研究	332
14.4.2 Sox-HMG分子标记方法的生物学机制	334
参考文献	337
致谢	358

动物远缘杂交及多 倍体生物研究进展

第 1 章

1.1 动物远缘杂交研究进展

远缘杂交 (distant hybridization) 是指种间、属间乃至亲缘关系更远的生物类型之间的杂交。远缘杂交可以使基因组从一个物种转移到另一个物种中, 从而导致杂交后代的表现型和基因型都发生改变。在基因型上, 远缘杂交能导致后代在染色体组水平上的改变, 从而产生杂交二倍体、三倍体、四倍体后代; 另外, 远缘杂交形成的天然雌核发育二倍体后代中, 微小染色体的出现还可导致亚染色体组水平上的改变; 在DNA水平上, 远缘杂交可以导致其后代DNA出现变异及重组。在表现型方面, 远缘杂交能整合双亲的优点, 使后代在外形、生长速度、存活率及抗病能力等方面均表现出杂种优势 (Liu SJ, 2010)。

植物通过种间杂交获得雌雄可育且能稳定遗传的异源多倍体已有不少报道, 如萝卜甘蓝是通过染色体加倍形成的异源四倍体, 普通小麦是通过杂交形成的异源六倍体 (刘祖洞, 1991)。我国学者认为银鲫经历了几轮连续的基因组多倍化, 还经历了一次额外的、在较近年代发生的基因组复制事件。它具有多个基因组, 因而表现出其起源的遗传记号。而且, 由于银鲫中存在基因组或亚基因组渗入现象, 以及通过人工操作可获得整入有额外基因组或染色体的异源多倍体, 因此银鲫正处于多倍体化的进化轨道 (Gui JF et al., 2010)。作者实验室的研究结果证明, 在自然界中存在着二倍体、三倍体和四倍体鲫 (Xiao J et al., 2011)。越来越多的研究表明, 鱼类多倍化演化与远缘杂交有关 (Nolte AW et al., 2005; Meyer A et al., 2006; Saitoh K et al., 2010)。远缘杂交已经被证实有利于物种的形成和辐射演化, 杂交导致异源多倍化可能是新物种发生的潜在动力 (Grant PR et al., 2005; Mallet J, 2007)。远缘杂交后代可以包含不同物种的基因组, 为异种动物间基因的重组和交流奠定基础, 可育的远缘动物杂交品系的形成能够创造出前所未有的新变异种类, 甚至有可能合成新的物种。

在查阅大量国内外文献的基础上, 结合作者实验室的鱼类远缘杂交研究成果, 本书第1章第1.1节对动物远缘杂交研究的概况进行了全面的介绍和综述 (Zhang ZH et al., 2014), 尤其对鱼类远缘杂交形成可育品系及它们的遗传变异特征等进行了阐述, 同时还描述了动物远缘杂交品系的形成及它们在生产上的应用等, 旨在为国内外有关动物远缘杂交 (包括鱼类远缘杂交) 的研究状况提供较全面的综述。

1.1.1 动物远缘杂交概况

1. 门间杂交

异门动物间杂交的例子有: 棘皮动物门的一种海胆 (*Coryphantha echinus*, ♀) 分