

湖北名优鱼 健康养殖技术体系研究

• 梁旭方 主 编

• 刘 红 杨代勤 林 鑫 黄 峰 李大鹏 副主编



科学出版社

湖北名优鱼健康养殖技术体系研究

主 编 梁旭方

副主编 刘 红 杨代勤 林 鑫
黄 峰 李大鹏

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书围绕团头鲂、鳊鱼、黄颡鱼等淡水名优经济养殖鱼类的品种、营养与饲料、病害、养殖环境控制等四个核心要素展开。分别从种质资源挖掘、生长、抗病、饲料利用及性别调控等性状的遗传改良,病毒性、细菌性和寄生虫性疾病,脂肪代谢,精准投喂,饲料加工处理及新饲料资源开发,环境因子生理生态效应,污染调控,水环境清洁和水产品安全等方面进行阐述。

本书适合于水产产业从业者,包括水产领域科研人员、水产企业工作者、水产养殖人员等参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

湖北名优鱼健康养殖技术体系研究/梁旭方主编. —北京:科学出版社, 2016.5

ISBN 978-7-03-047404-9

I. ①湖… II. ①梁… III. ①淡水鱼类—鱼类养殖—技术体系—研究—湖北省 IV. ①S965.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 036362 号

责任编辑:罗 静 / 责任校对:张怡君 刘亚琦

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:北京图阅盛世文化传媒有限公司

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>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 5 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016 年 5 月第一次印刷 印张:42 1/2

字数:993 000

定价:268.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

湖北是名副其实的中国淡水渔业第一省，淡水产品总量连续 19 年雄居全国榜首，养殖面积、人均占有量、淡水渔业科技实力等多项综合性指标均居全国第一。2014 年，湖北水产养殖面积达到 68.8 万公顷，水产品总产量达到 433.3 万吨，渔业经济总产值 1948.8 亿元（其中，渔业产值 845.1 亿元，苗种产值 98.6 亿元，渔业二、三产业产值 1005.1 亿元），渔民人均年纯收入 13 559.8 元。湖北鳊鱼、黄颡鱼、鳙鱼等名优鱼产量已在全国占有重要地位，并呈现快速增长势头。2014 年，鳊鱼产量占全国的 45%，黄颡鱼产量占全国的 30%，均已领先全国。鳙鱼产量占全国的 15%，增长速度领先全国，是全国鳙鱼养殖产量平均增长速度的 4 倍。

随着淡水资源的日益紧缺，淡水水产养殖行业与产业发展正面临严峻的挑战，实施创新驱动发展战略是加快现代淡水渔业发展的必然选择。近年来，湖北淡水渔业科技投入不断增加，科研设施不断完善，人才队伍不断壮大，创新成果不断涌现，但长期困扰湖北淡水渔业科技发展的一系列深层次问题仍然没有得到根本解决，严重制约了湖北淡水渔业科技的健康发展。目前，我国科技体制改革已进入全面深化的关键时期，“转方式、调结构”的内在需求对湖北淡水渔业科技发展提出了更高要求。湖北名优鱼养殖内涵式可持续发展，是湖北省渔业工作“转方式、调结构”的重要内容。研究建立资源节约、环境友好的湖北名优鱼健康养殖技术体系，生产适销海内外市场的湖北名优鱼产品，是湖北渔业提质增效和渔民增收的关键举措。湖北省水产局已启动了鳊鱼百亿元产业发展计划，近期通过全省产业调研，还将启动鳙鱼百亿元产业发展计划。

从 20 世纪 50 年代开始，围绕湖北淡水养殖关键产业问题，省内外专家开展了大量研究工作，并取得了大量重要成果，但整体来看，也存在力量分散、产学研脱节等问题，特别是对科技与管理要求更高的湖北名优鱼产业支撑和引领作用明显不够。贯彻国家科技体制改革精神，打破部门、区域、学科界限，探索建立优势科研资源集聚、产学研用协作的湖北淡水渔业科技创新联合体，组织全省渔业科研系统开展联合攻关，突破湖北渔业科技重大瓶颈，加快推动全省渔业转型升级，已势在必行。

2012 年，由位于湖北省的华中农业大学、长江大学、武汉工业学院三所高校，及广东海大集团股份有限公司、武汉中博生物股份有限公司、武汉中博水产生物技术有限公司、武汉华扬动物药业有限责任公司、湖北大明水产科技有限公司等五家骨干企业，联合位于武汉市的中国科学院水生生物研究所、中国水产科学院长江水产研究所等二个国家级科研所，共同组建了“淡水水产健康养殖湖北省协同创新中心”。

自中心成立 4 年以来，依托高校建设品种繁育、病害防控、养殖环境控制、营养与饲料四个创新平台。四个平台的 19 位 PI 围绕湖北名优鱼健康养殖技术体系的关键问题，展开工作并取得了一些阶段性成果，这些成果主要在国内外期刊上分散发表。为系统总结前期工作并有效引领产业提升发展，由淡水水产健康养殖湖北省协同创新中心组织编

写了本书，全书分 4 篇 19 章，每章由一位 PI 组织其团队研究骨干编写完成。

在本书的编撰过程中，曹克驹教授、周洁教授、李超教授和罗宇良副教授对本书进行了认真校对并提出了宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于时间匆忙，加上编者水平有限，书中难免有纰漏之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2016 年 4 月

目 录

前言

第一篇 淡水水产品种繁育

第一章 鳊鱼饲料利用遗传改良	3
第一节 鳊鱼产业与国内外研究现状分析	3
第二节 翘嘴鳊连续五代选育群体遗传多样性研究	5
第三节 斑鳊连续五代选育群体遗传多样性研究	8
第四节 翘嘴鳊、斑鳊及其杂交子代研究	11
第五节 不同开口饵料对斑鳊仔鱼生长性能的影响	13
第六节 不同饵料和盐度对斑鳊仔鱼生长和脂肪酸代谢的影响	15
第七节 翘嘴鳊与斑鳊杂交 F_1 代食性驯化及主要形态性状通径分析	19
第八节 鳊鱼人工饲料及诱食剂研究	23
第九节 “鳊鱼品种与饲料配套优选技术体系研究” 成果鉴定	25
参考文献	26
第二章 团头鲂抗病性状遗传基础	38
第一节 国内外研究进展	38
第二节 不同群体团头鲂免疫性能的评估与抗病家系和杂交组合的建立	44
第三节 团头鲂肝脏的转录组学研究	46
第四节 团头鲂非特异性免疫基因的克隆和表达	49
第五节 嗜水气单胞菌感染对团头鲂铁代谢水平及相关基因表达的影响	67
参考文献	73
第三章 团头鲂性腺发育调控机理及遗传选育	83
第一节 鱼类性腺发育相关调控机理	83
第二节 鱼类性腺发育遗传选育研究	85
第三节 团头鲂性腺发育的相关基因调控	88
参考文献	109
第四章 黄颡鱼的性别调控和遗传改良	118
第一节 国内外研究现状	118
第二节 性别决定和分化的遗传机制研究	122
第三节 遗传标记的开发和利用	133

参考文献·····	135
第五章 团头鲂种质资源挖掘与创新利用 ·····	143
第一节 团头鲂种质资源遗传多样性评价·····	143
第二节 团头鲂及草鱼摄食相关基因克隆与表达研究·····	147
参考文献·····	171

第二篇 淡水水产营养与饲料

第六章 黄颡鱼脂类代谢及脂肪肝发生与调控机理 ·····	181
第一节 黄颡鱼脂类代谢关键基因的分子克隆及组织表达研究·····	182
第二节 黄颡鱼脂肪沉积及代谢调控的研究·····	190
参考文献·····	206
第七章 精准投喂与水产品品质调控 ·····	210
第一节 水产品品质营养调控技术研究·····	210
第二节 鱼类精准投喂系统·····	222
参考文献·····	228
第八章 淡水鱼新饲料资源开发与抗营养因子去除技术 ·····	233
第一节 产业与国内外研究的现状分析·····	233
第二节 海洋软体动物蛋白肽开发·····	234
第三节 酶制剂在草鱼饲料中的应用研发·····	238
第四节 禽类下脚料酶解蛋白粉开发·····	241
第五节 发酵豆粕开发·····	243
参考文献·····	246
第九章 淡水主养鱼类饲料加工处理与质量改进技术 ·····	248
第一节 水产饲料加工处理研究·····	248
第二节 酶制剂—饲料质量改进技术研究·····	256
第三节 饲料维生素的添加技术·····	258
第四节 其他饲料技术·····	260
参考文献·····	264

第三篇 淡水水产病害防控

第十章 淡水鱼类病毒性疾病的研究 ·····	271
第一节 淡水鱼类病毒的主要类群概述·····	271
第二节 ISKNV 感染鳊鱼的转录组分析·····	276
第三节 鲤疱疹病毒 II 型研究·····	292

第四节 SVCV 感染和宿主免疫反应研究	294
参考文献	302
第十一章 淡水养殖鱼类主要细菌性疾病流行病学及疫苗研究	306
第一节 气单胞菌病	306
第二节 黄杆菌病	330
第三节 爱德华氏菌病	335
参考文献	346
第十二章 主要淡水养殖鱼类寄生虫与寄生虫病	353
第一节 粘孢子虫与粘孢子虫病	353
第二节 纤毛虫与纤毛虫病	366
第三节 单殖吸虫与单殖吸虫病	381
参考文献	385
第十三章 草鱼 RIG-I 样受体家族介导的抗病毒免疫反应	389
第一节 草鱼产业与草鱼出血病国内外研究现状分析	389
第二节 草鱼 RIG-I 样受体家族	394
参考文献	431
第十四章 有益微生物筛选与病害生态防控	439
第一节 鱼类肠道微生物生态学及益生素的研究与应用	440
第二节 益生元对鱼类生长及抗病力的调节	452
第三节 药物对鱼类微生态的影响	467
第四节 水质调节微生物的研究与应用	475
参考文献	478
第十五章 水产养殖用药安全使用	482
第一节 水产养殖用药产业与国内外研究现状分析	482
第二节 水产养殖用药安全使用技术研究	494
参考文献	530

第四篇 养殖环境控制

第十六章 生态营养因子对黄鳝的生理生态学效应	535
第一节 黄鳝产业发展与国内外研究的现状分析	535
第二节 生态营养因子对黄鳝生理生态学效应及其在产业上应用	542
参考文献	559
第十七章 养殖污染及营养元素的生态调控	563
第一节 水产养殖污染概况	563

第二节 养殖污染调控技术的分类	569
第三节 养殖污染生物调控技术研究	580
参考文献	587
第十八章 养殖水环境清洁技术	595
第一节 精养池塘水环境面临的主要问题	595
第二节 国内外在养殖水环境清洁技术方面的研究进展	600
第三节 养殖水环境清洁技术主要研究进展	602
参考文献	629
第十九章 黄鳝性逆转机制与养殖过程的质量安全风险评估以及天然抗氧化剂对 团头鲂安全生产的作用	636
第一节 黄鳝养殖过程的质量安全风险评估	637
第二节 黄鳝性逆转的生理机制研究	648
第三节 天然抗氧化剂对团头鲂生长、抗病力和抗氧化性能的影响	661
参考文献	667

第一篇

淡水水产品种繁育

第一章 鳊鱼饲料利用遗传改良

第一节 鳊鱼产业与国内外研究现状分析

鳊鱼是我国传统的名贵淡水鱼，俗称“桂花鱼”，其英文名为 mandarin fish，意即“满大人鱼”，属于鲈形目（Perciformes）鳊亚科（Sinipercinae）。鳊鱼肉质丰腴细嫩，味道鲜美可口，无肌间刺，胆固醇低，营养价值高，价格坚挺，不仅国内都市需求大，海外市场也非常好。2014 年全国商品鳊鱼总产量 29.4 万 t，产值超过 200 亿元，已经成为带动地方农业经济发展的重要力量。目前，鳊鱼主要养殖种类是翘嘴鳊（*Siniperca chuatsi*），斑鳊（*Siniperca scherzeri*）及其与翘嘴鳊的杂交种也有少量养殖。翘嘴鳊原产于湖北，引种到珠江三角洲地区后，依靠引种东南亚热带地区的鲮鱼作为翘嘴鳊的活饵料鱼，翘嘴鳊的人工养殖在当地得到了迅速的发展，并很快在这一地区形成了以池塘养殖为主体的规模化养殖。目前，长江中下游地区鳊鱼规模化养殖发展最快，特别是湖北和江苏。鸭绿江斑鳊是辽宁土著名优品种，其主要在辽宁丹东鸭绿江进行网箱养殖，在 2000~2008 年间产量较高，由于后期流行疾病暴发，现养殖规模降低。

一、鳊鱼食性与养殖产业问题

鳊鱼为夜行性底栖凶猛肉食鱼类，其食性非常奇特，自开食起终生以活鱼虾为食，拒绝摄食死饵料鱼或人工配合饲料，这种现象在鱼类中十分罕见。鳊鱼商品化养殖历来以投喂活饵进行，鳊鱼苗出膜即以其他种鱼苗为食，因此自然条件下苗种成活率低。目前，我国在生产上采用家鱼苗种作为饵料养殖鳊鱼，饲料成本高，以活饵料鱼养殖每公斤鳊鱼的饲料成本为 15~20 元，饲料系数为 5~10。鳊鱼养殖所需的活饵料鱼要求定期投喂，而这些活饵料鱼由于携带病原，容易发病并传染鳊鱼，不仅经济损失严重，还导致鳊鱼药残超标、出口受限，同时也无法通过药饵方式进行有效预防和治疗。因此，能否使鳊鱼通过人工驯化，转为摄食非活饵，已成为鳊鱼养殖业发展的关键。围绕这一关键技术难题开展相关遗传机制与育种技术研究非常重要。

二、鳊鱼驯食研究现状

从 20 世纪 80 年代开始，国内许多科研机构投入大量人力、物力、财力研究鳊鱼驯食技术。为此，美国学者也曾来华协作研究，日本科研工作者从我国进口鳊鱼开展研究，但都不能改变鳊鱼专食活鱼虾的食性，而鳊鱼驯食人工饲料问题也成为了水产界世界级难题。梁旭方等通过系统研究鳊鱼的摄食机制，确立了鳊鱼驯食人工饲料的原理与技术（梁旭方，1994a，1994b，1995a，1995b，1996a，1996b；梁旭方等，1994，1995，1997，1999；Liang *et al.*，1998，2001，2008）。梁旭方在 1994 年首次用冰鲜饲料驯化网箱养殖

商品鳊，在鳊鱼食性驯化方面获得了成功（梁旭方，1994a）。随后又获得了以鲜鱼、鱼块与配合饲料驯养鳊鱼实验的成功，驯化率达到 88% 以上，饲料系数降为 2.7 以下（梁旭方等，1995，1997，1999）。梁旭方等通过系统研究鳊鱼的摄食机制（梁旭方，1994b，1995a，1995b，1996a，1996b；梁旭方等，1994；Liang *et al.*，1998，2001，2008），确定了鳊鱼驯食人工饲料有效而稳定的方法。这说明，天然水域中，鳊鱼虽然是终生摄食活饵的凶猛鱼类，但在人工养殖条件下只要方法得当，便可以改变其摄食习性。但有关鳊鱼驯食人工饲料的分子机理研究尚属空白。

鳊鱼个体驯食有难易之分，仅少数个体对人工饲料摄食和利用效率高、生长快，而大部分个体摄食和人工饲料利用率低，不仅生长慢，还很容易发生病害并传染生长快的个体（梁旭方等，1997，1999；梁旭方，2002）。因此，大规模商业养殖情况下，鳊鱼人工饲料养殖总体生长慢，并最终会因严重病害而失败。翘嘴鳊对人工饲料摄食和利用率低，但生长快；斑鳊对人工饲料摄食和利用率低，但生长慢。而二者杂交后的子代中，驯食与生长性状的分化更为明显，个体差异显著。此外，驯食成功也有先后之分，先摄食人工饲料的个体带动中间型个体。因此，分析易驯食与不易驯食鳊鱼的差异表达基因，研究鳊鱼摄食人工饲料的分子机制非常必要。

梁旭方带领的鳊鱼研究团队已开展了鳊鱼驯食性状相关转录组学研究，构建了对死饵料鱼易驯食鳊鱼（SC_X）和不易驯食鳊鱼（SC_W）cDNA 文库，通过转录组和数字表达谱测序，在易驯食与不易驯食鳊鱼中发现 1986 个差异表达基因。结果显示，鳊鱼驯食性状相关差异表达基因主要参与了视觉、学习记忆、节律及食欲等多个通路。此外，易驯食和不易驯食鳊鱼分别存在 4768 个和 41 个潜在的单核苷酸多位点（SNP）位点，易驯食鳊鱼潜在 SNP 位点数目约为不易驯食鳊鱼的 100 倍。因此，影响鳊鱼生物钟的节律基因、视觉中参与感光通路的基因及食欲调控基因等鳊鱼摄食调控相关的功能基因及其信号通路，与鳊鱼摄食人工饲料的行为密切相关。本研究结果为进一步研究鳊鱼摄食调控的分子机制，定向改造鳊鱼食物偏好提供理论基础；也为筛选得到与鳊鱼人工饲料摄食利用及生长密切相关的功能基因与 SNP 标记，通过表型结合 SNP 标记辅助筛选用于人工繁育后各亲鱼奠定了基础。

华中农业大学水产学院梁旭方教授所带领的研究团队自 2002 年开始对长江、珠江、黑龙江和鸭绿江流域（包括附属的众多水库和湖泊）进行了系统的鳊鱼资源收集与育种工作，并研究了翘嘴鳊、斑鳊及其杂交种鳊鱼摄食、代谢调控基因及其 SNP 多态性与鳊鱼对人工饲料摄食和利用效率及生长速度的关系；比较研究鳊鱼不同种类（翘嘴鳊、斑鳊及其杂交种）、种群的个体对人工饲料摄食和利用效率及生长速度；挑选对人工饲料摄食和利用效率及生长速度极端表型个体。通过转录组学结合荧光定量 PCR 和 SNP、微卫星研究，从 1986 个差异表达相关基因中已筛选得到了 30 多个与鳊鱼人工饲料摄食和利用效率及生长速度高密切相关的 SNP 和微卫星标记，并利用微卫星分子标记与线粒体 DNA，对长江、珠江、辽河、鸭绿江和黑龙江等我国东部水系鳊鱼主要野生群体，与广东、湖南、湖北、江西和辽宁等鳊鱼主要养殖群体的遗传资源进行了比较研究。对养殖群体与家系进行了亲子鉴定研究，对养殖群体选育世代遗传结构进行了比较研究，并进行了易驯食鳊鱼新品种的选育工作，选育的翘嘴鳊、斑鳊的杂交种后代在人工饲料利用方面表现出显著的杂交优势。

2013 年 9 月 22 日, 梁旭方教授研究的鳊鱼品种与饲料配套优选的应用基础研究成果通过了湖北省科技厅组织专家组鉴定, 被认为达到国际领先水平, 为开展大规模鳊鱼人工饲料工业化养殖打下了坚实的基础。

第二节 翘嘴鳊连续五代选育群体遗传多样性研究

一、前言

目前, 养殖的鳊鱼大多是由野生群体繁殖而来, 且尚未见新品种的相关报道。加之一些鳊鱼繁育单位对鱼类育种知识掌握不多, 在繁育过程中一味追求数量, 忽视了质量的监控, 从而导致鳊鱼一些重要性状(生长、抗病和适应性等)发生了衰退(黄志坚和何建国, 1999)。从 2008 年起, 华中农业大学梁旭方研究团队开始实施优质高产的翘嘴鳊的选育计划, 利用微卫星标记分析了翘嘴鳊 5 个世代的遗传多样性与群体遗传结构, 以期为制定鳊鱼后续选育策略提供重要参考。

二、实验结果

1. 5 个选育世代的微卫星遗传多样性

选用 10 个微卫星位点分析 5 个选育世代($F_1 \sim F_5$)群体遗传多样性, 分别检测到 79 个、72 个、55 个、66 个和 64 个等位基因, 如表 1.1 所示。随着选育的不断深入, 衡量遗传多样性的各项参数出现下降趋势, 反映出选育群体基因纯合程度越来越趋向稳定。

表 1.1 翘嘴鳊 5 个世代的平均遗传多样性结果

世代	<i>Ne</i>	<i>Na</i>	<i>Ho</i>	<i>He</i>	PIC
F_1	3.4445	7.9000	0.7100	0.6565	0.6041
F_2	2.8175	7.2000	0.6368	0.6001	0.5507
F_3	2.5592	5.5000	0.5564	0.5508	0.4907
F_4	2.7458	6.6000	0.5342	0.5873	0.5410
F_5	2.9080	6.4000	0.4972	0.5959	0.5525

注: PIC 为多态信息含量的平均值; *Na* 为等位基因数平均值; *Ne* 表示有效等位基因的平均值; *Ho* 表示观测杂合度的平均值; *He* 表示期望杂合度的平均值。

2. 世代间等位基因频率变化

在 10 个微卫星位点中, 得到的等位基因频率变化可分两类: ①基因频率随着选育过程下降, 如 YW9-235 和 YWAP34-23-246(后缀数字表示所对应位点的等位基因)(图 1.1), 在选育初期 F_1 的基因型频率还较高, 但随着选育的进行, 基因型频率有一定程度的下降; ②在选育中呈现无规律变化, 即基因型频率在各个选育世代中上下波动或几乎不变。

3. 世代间的遗传距离和遗传相似性

表 1.2 是通过 popgene 软件计算 $F_1 \sim F_5$ 代的遗传距离和遗传相似性的结果, 从表可

知，在选育的进程中，随着选育世代的递增，遗传距离逐渐增大，而世代之间的遗传相似性却随着选育世代的递增而减小。

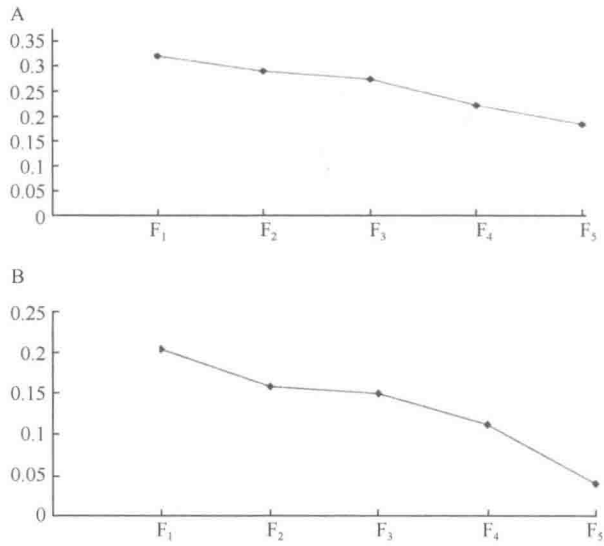


图 1.1 5 个选育世代 YW9-235 (A) 和 YWAP34-23-246 (B) 微卫星位点的基因频率变化

表 1.2 F₁~F₅ 群体的 Nei's 遗传距离 (下三角) 及遗传相似性系数 (上三角)

世代	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
F ₁		0.9248	0.9070	0.9008	0.8803
F ₂	0.0782		0.9462	0.9232	0.9083
F ₃	0.0976	0.0553		0.9570	0.9605
F ₄	0.1045	0.0799	0.0440		0.9632
F ₅	0.1275	0.0961	0.0403	0.0345	

4. 世代间的聚类图的构建

以遗传距离为计算依据,采用 MEGA 软件的 UPGMA 法构建 F₁~F₅ 代选育群体的聚类图,由聚类图可知 F₁~F₅ 代的遗传距离逐渐增大,而遗传相似性却逐渐减小 (图 1.2)。

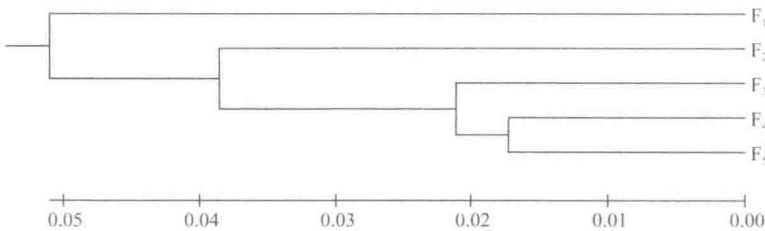


图 1.2 翘嘴鲮 5 世代遗传距离绘制的聚类树

5. 世代间的分子方差分析

由表 1.3 的数据结果可知,世代间的遗传变异占总遗传变异的 3.64%,世代个体内的遗传变异占总变异量的 96.36%,由此得出结论:不同世代的遗传变异主要来自于相同世代的个体之间,而世代之间的遗传变异则比较稳定。

表 1.3 5 个世代的分子方差分析

变异来源	自由度	平方和	方差组分	变异比例
群体间	4	46.467	0.11295	3.64
群体个体间	377	1128.168	2.99249	96.36
总和	381	1174.644	3.10543	100.00

6. 世代间遗传分化指数比较

表 1.4 表示 5 个翘嘴鳊选育世代群体间的遗传分化指数数据结果,由此可知遗传分化的程度在邻近的选育世代之间逐渐减小,说明后代群体中遗传结构趋向稳定。

表 1.4 5 个选育世代间遗传分化指数的 (*Fst*) 数值的比较

世代	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
F ₁					
F ₂	0.037 96				
F ₃	0.044 94	0.020 91			
F ₄	0.053 15	0.037 66	0.014 52		
F ₅	0.073 93	0.054 00	0.018 79	0.009 68	

三、讨论

本研究中,衡量遗传多样性的几个关键参数都随着选育世代群体有一定程度的下降,反映出选育世代群体遗传结构逐步稳定。同时,经过连续 5 代选育, F₅ 代群体的 *Ho* 和 *He* 分别为 0.4972 和 0.5959,表明 F₅ 代选育群体还保持比较高的遗传多样性。处理好目标性状相关基因纯合度与适应性相关性基因多样性的平衡关系在育种实践中十分重要。在本研究中,随着选育的进行, YW9-235 和 YWAP34-23-246 这两个基因的基因频率呈现有规律地变化,表明选育压力对这种变化有着重要的影响。这两个基因位点可能是与选育性状相关基因紧密连锁,在遗传上可能与选育性状成负相关性,但进一步的验证工作必不可少,以期望将其作为一种可靠的分子标记对后续的选育工作进行指导。

本研究中,在选育的进程中,随着选育世代的递增,遗传距离逐渐增大,而世代之间的遗传相似性却随着选育世代的递增而减小。这与翘嘴鳊多代选育后的表型结果基本吻合,说明人工选择压力能使育种群体遗传结构得到一定程度改变,使之沿着人们所需要的经济性状方向发展,使选育群体的遗传结构逐步趋向稳定,这正是选择育种想达到的目的,最终形成遗传稳定的新品系或新品种。

第三节 斑鳅连续五代选育群体遗传多样性研究

一、概述

斑鳅属于鲈形目，鳅亚科，鳅属，俗称花鲫鱼、鳌花。其肉质细嫩、味道鲜美、无肌间刺，素有“淡水石斑”之美誉，是我国名贵淡水经济鱼类。斑鳅是东亚特有鱼类，主要分布于我国内陆水域、朝鲜半岛和越南（梁旭方，1996）。近几年，随着斑鳅人工繁殖效率的提高，组出苗尾数可达1万尾以上（骆小年等，2010）。由于斑鳅苗培育的特殊性，所以很多养殖场生产所需亲本数量越来越少（一般40~60组），如不注意保留基础繁殖群体数量，极易导致近亲繁殖，因此斑鳅的人工科学选育显得越来越重要。如缺乏科学选育技术，在人工养殖群体中极易存在遗传多样性降低的现象（黄志坚等，1999）。因此，在斑鳅养殖产业化可持续健康发展过程中，斑鳅养殖群体遗传多样性研究显得越来越重要。

近些年，有许多关于斑鳅的人工繁殖、养殖和营养方面的报道（赵晓临等，2009；Zhang *et al.*, 2009a；涂根军等，2011），但有关斑鳅养殖群体遗传变异和种群结构方面的报道非常少。本实验利用微卫星标记对斑鳅连续五代选育群体进行遗传变异分析，揭示斑鳅选育过程中养殖世代的种群遗传结构和多样性，以便为斑鳅育种项目的高效性和稳定性提供科学的材料和理论依据。

二、实验结果

1. 世代间遗传多样性的变化

12个微卫星位点在5个世代群体中共检测到57个等位基因，每个位点的等位基因数介于3~7之间。每个世代群体的平均等位基因数（ N_a ）、平均有效等位基因数（ N_e ）、近交系数（ F_{is} ）、平均观测杂合度（ H_o ）、平均期望杂合度（ H_e ）和平均多态信息含量（PIC）如表1.5所示。 F_1 代与 F_2 代的遗传多样性水平最高，且两者在遗传多样性水平十分相似。从 F_2 代开始，随着选育世代的增加，其世代群体的遗传多样性水平开始逐渐降低（ N_a ：4.75~3.92； H_e ：0.644~0.426； H_o ：0.724~0.359；PIC：0.585~0.385），近交系数 F_{is} 的值开始逐渐升高，到 F_4 代时出现最大值（0.138）。

表 1.5 选育世代 12 个多态性微卫星位点上平均遗传变异情况

项目	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	平均值
样品数目	36	36	36	36	36	36
总等位基因数	57	57	51	49	47	57
平均等位基因数	4.75	4.75	4.25	4.08	3.92	4.35
平均有效等位基因数	3.20	2.96	2.67	2.37	1.88	2.62
近交系数	-0.147	0.001	0.112	0.138	0.115	0.044
期望杂合度	0.644	0.635	0.597	0.516	0.426	0.564
观测杂合度	0.724	0.620	0.525	0.430	0.359	0.532
平均多态信息含量	0.585	0.583	0.535	0.466	0.385	0.511