

综 述

中国鱼类遗传育种研究的进展*

PROGRESS OF FISH GENETICS-BREEDING STUDIES IN CHINA

楼允东

Lou Yundong

(上海水产大学)

(Shanghai Fisheries University)

实践表明,品种是水产养殖的物质基础,良种的选择和培育是增产的有效途径。要从根本上提高水产品的数量和质量,必须在品种上狠下功夫。凡是水产养殖业比较发达的国家,良种繁育和品种改良都被列为重要的研究课题。自50年代以来,苏联、东欧、美国、日本和以色列等国家都在致力于养殖鱼类的遗传改良,并取得了一定的成效。在这方面,尽管我国起步较慢,基础较差,但近年来也取得了长足的进展。自1959年至70年代初,主要是开展杂交育种工作,而且基本上是自发进行的,缺乏计划性和信息交流。直到1972年局面才有所改变,因为这一年在湖北沙市召开了全国淡水养殖鱼类优良品种选育和基础理论研究协作会议^[1];1974年又在湖南株洲召开了第二次协作会议^[2]。这两次会议标志着我国鱼类遗传育种的研究开始进入由国家统一规划和组织协调的阶段。1983年国家将鱼类育种技术及繁殖体系的研究列入“六五”规划的全国攻关项目;“七五”期间,又把包括鱼类育种在内的生物技术列为国家和农牧渔业部的重点科研项目之一。这一切足以说明国家对鱼类遗传育种工作的重视,也预示我国鱼类遗传育种的研究将进入一个新的阶段,即从传统的选择育种和杂交育种进入细胞工程和基因工程育种的阶段。

关于我国鱼类育种研究的进展,已有过几篇述评^[3,4,5,6,7],但都没有涉及鱼类遗传学研究方面的内容。现在就我国鱼类遗传与育种研究的各个领域作一较为全面的介绍。

鱼类遗传学

1. 染色体及其组型研究 考察鱼类染色体,对于研究鱼类的遗传、变异、分类、系统演化以及杂交育种等,都具有重大意义。国内从70年代初开始鱼类染色体研究。1975年,长江水产研究所等^[8]最早报导用压片法考察了数种经济鱼类的染色体数目。随后,皆瑞光等^[9]采用低渗—空气干燥法制备胚胎细胞染色体标本。80年代初,刘凌云^[24]、吴政安^[38]和周敏^[68]等各自采用外周血培养或肾细胞-PHA短期培养的方法制备鱼类染色体标本。此后,肾细胞-PHA活体注射^[67]、肾细胞—酵母活体注射^[67]、白细胞-PHA活体注射^[61]以及细胞系培养^[61]等方法相继用于鱼类染色体标本制备,使鱼类染色体研究得

* 在本文撰写过程中,承蒙湖南师范大学刘筠教授、武汉大学周敏教授、江西大学郭治之副教授、中国科学院水生生物研究所朱作言副研究员和湖南省水产科学研究所刘国安先生等提供宝贵资料,特此致谢。

收稿年月:1987年4月;1988年10月修改

到了迅速的发展。据不完全统计,截至1986年夏,全国大约发表了80多篇论文,共报导了215种鱼类的染色体数目,其中绝大多数进行了核型研究^[47]。

对鱼类染色体的研究,虽然近年来发展很快,但大多数工作仍偏重于常规的核型分析。80年代以来,不少学者试图将在哺乳动物染色体研究中卓有成效的各种显带技术应用于鱼类,然而,除G带^[48,49,72,73]和Ag-NOR带^[6,83]能获得较稳定的结果外,Q带^[51]和G带^[25]虽也偶有报导,但结果并不理想。复制带在某些鱼类已初步显示出优于Q带和G带的效果^[42,74,82],但是否适用于大多数鱼类尚待进一步试验。

我国鱼类染色体及其组型研究无论在广度和深度上,均已赶上国际水平,在世界鱼类染色体研究中占有重要位置^[47]。但我国鱼类资源丰富,已研究过染色体的淡水鱼类只占总数的1/4左右,而且偏重于常见鱼类,有些目和科尚未涉足,海水鱼类的染色体研究基本上还是空白。另外,鱼类染色体的带型分析技术也还不够成熟,对鱼类染色体和染色质的精细结构、基因组结构和基因定位等的研究尚处于探索阶段,有待今后不断深入。

2. 体色与鳞被遗传 关于鲤鱼的体色遗传,我国的研究结果与国外相同,红色是隐性,青灰色是显性。至于体色究竟由几对基因控制,则说法不一。梁志成(1974)认为体色由一对基因控制^[84]。刘筠等(1979)将桔红色的荷包红鲤与青灰色的湘江野鲤杂交,其杂交种—“岳鲤”的体色为青灰色,说明青灰色为显性,桔红色为隐性。“岳鲤”自交, F_2 体色分离,青灰色与桔红色不是3:1,而是15:1,说明鲤鱼体色由两对基因(R-r, B-b)控制^[26]。基于散鳞镜鲤与兴国红鲤杂交一代(♀)与兴国红鲤(♂)回交的子代中青灰色与桔红色个体的比例为3:1这一事实,吴清江等(1980)也认为鲤鱼体色是由两对基因控制^[87]。另外,许昌光等(1981)发现,红鲤(♀)与散鳞镜鲤(♂)的 F_2 除了出现纯红和纯黑个体外,还有许多不同程度红黑相杂的个体,大致可分为红色黑顶、红色黑脊和红色黑体三类⁽¹⁾。邓宗觉(1981)也发现,荷包红鲤经过11年6代的提纯选育,仍有10.37%杂色个体。因此认为鲤鱼的体色遗传除了起主要作用的两对基因外,还明显表现了微效多基因的作用^[9]。

另外,伍惠生等(1981)重复了Goodrich等(1937)用叉尾斗鱼所作的试验。以野生型黑色个体与白化型的个体进行正反交,子一代全部表现为野生型的黑体色鱼苗,表明黑体色性状对白化性状是显性;子一代个体成熟后进行互交,出现3:1;子一代成熟个体与白化型亲本杂交,则出现1:1。从而证明叉尾斗鱼的体色是由一对基因所控制的^[26]。

根据日本和苏联学者对于鳞被基因位点的研究表明,鳞被是由S-s和N/n两对基因控制的,全鳞为显性,散鳞为隐性。按照鳞片的表现方式,可将鲤鱼分为全鳞型(S-nn)、线鳞型(S-Nn)、散鳞型(ssnn)和革鳞型(ssNn)四种。由于我国用于杂交的鲤鱼品种不包括草鲤和线鳞镜鲤,因此就鳞片而论,只有全鳞和散鳞两种类型,不含N基因。所以,鳞鲤的全鳞和散鳞是由一对基因控制的^[26,87,88]。

3. 数量遗传学 鱼类的许多经济性状,如体长、体重、怀卵量和性成熟年龄等,都是数量性状,它们在一个种群内的变异呈正态分布。国内在这方面的研究并不多,如遗传力的测定是选育种的基础工作,可用来确定选育价值、选育方法及估计选育效果等,但没有引起足够的重视,仅张建森等(1981)作过鲤鱼主要数量性状遗传力的研究,并计算了广义遗传力和狭义遗传力。结果表明,鲤鱼数量性状的遗传力以体长的遗传力为最高,尾柄长的遗传力次之,尾柄高的遗传力最低,而其它性状的遗传力属中等强度^[43]。

4. 生化遗传学 自从60年代以来,综合蛋白质电泳分析法、组化染色法和生物统计学为一体的生化遗传技术,为测定蛋白质与酶的遗传差异,从而为了解基因变异,提供了一种有效的手段。我国在70年代中期开始这方面的研究。目前,同工酶和蛋白质电泳分析技术已得到普遍应用,主要用来:(1)鉴别种

(1) 许昌光等,1981. 鲤鱼性状遗传及性状间关系的研究. 中国鱼类学会1981年学术年会论文摘要汇编,第36页。

间或种群间的差异,用生化遗传学方法来研究鱼类的分类系统^[20,31,53,105]; (2)对杂交亲本及其后代进行鉴别以及对品系的纯度进行检验^[13,49,88]; (3)对表现型相同但遗传型不同的群体作生化标记^[6,50]。

5. 发生遗传学 以同工酶作为遗传标记,研究二倍体与四倍体鱼类基因加倍、变化的相关关系,对于研究基因的进化具有重要的意义。例如,对彩鲫与金鱼的 G6PD 和 LDH 同工酶的分析结果表明,它们均具有与四倍体鱼类相应的谱带。因而说明了金鱼的 G6PD 和 LDH 同工酶基因座位的加倍与染色体的多倍性有关,为金鱼是四倍体的假说提供了证据^[70]。

鱼 类 育 种 学

1. 杂交育种 据不完全统计,仅到1976年为止,全国就进行过96个杂交组合,包括3个目、4个科、27个种^[1],其中以鲤鱼不同品种间杂交效果最好。迄今为止,已获得丰鲤^[88]、荷元鲤^[20]、岳鲤^[26]、芙蓉鲤^[2]和三杂交鲤^[4]等5个具有明显杂种优势的鲤鱼杂交种,且均已通过鉴定而被推广。

尽管鱼类的远缘杂交比较容易,但在众多的远缘杂交组合中,能形成正常胚胎并顺利达到鱼种阶段的却为数不多。除了罗非鱼的种间杂交外,我国淡水鱼类的远缘杂交后代可在生产上应用的更是寥寥无几。据正式报导,只有下列4个杂交组合的后代曾有过生产性应用,即鳊鲂杂种(长春鳊×团头鲂)^[2,68]、鲴类杂种(细鳞斜颌鲴×黄尾密鲴)^[72]、鲤鱼杂种(白鲢×花鲢)^[21]以及鲤鲫杂种(湘江野鲤×红鲫)^[27]等。另外,鲢鱼与湘华鲮杂种比亲本鲮鱼具有较高的耐低温能力^[7]。据认为,大多数鱼类远缘杂交不能成功的原因在于杂交亲本之间的相容性很低^[3]。因此,在进行远缘杂交时必须选择相容性较强的两个种作为亲本。

2. 多倍体育种 从目前的研究来看,多倍体鱼类对控制过度繁殖、促进生长、延长寿命以及改进鱼肉品质等都是有效的。作者(1984)曾对外国鱼类多倍体育种的研究作过专门评论^[10]。我国自70年代中期开始,已在草鱼^[12,58,89]、草团^[12,89]、白鲢^[59]、鲤鱼^[88]、鲫鲤^[63]、鲤鱼^[28,40]和虹鳟^[109]等获得三倍体和四倍体试验鱼。中国科学院水生所等(1979)曾报导过草鱼三倍体在鱼种阶段比二倍体增重70.4%,草团杂种多倍体比杂种二倍体生长快60%左右^[12]。吴清江等(1979)报导的兴国红鲤与散鳞镜鲤杂交种(丰鲤)三倍体的生长优势则更为突出^[88]。除用温度与化学刺激外,近年来还对新的诱导方法进行了探索,如静水压的应用^[109];另外,陆仁厚等(1982)用四倍化的培养细胞作为供体进行核移植,曾获得心跳期的四倍体草鱼胚胎^[62]。如能对这种技术作进一步改善,它很可能是诱导鱼类四倍体较为有效的途径。

3. 单倍体育种 鱼类单倍体育种技术是在受精卵水平上进行人工操作与加工,以获得雌核或雄核发育二倍体,它是快速建立纯系的有效途径,是选育新品种和新类型的宝贵材料。关于鱼类雌核发育及其在遗传学和水产养殖上的应用,已有专门评论文章可供参考^[60,104]。雌核发育技术是50年代后期国外首先发展起来的。70年代初,我国也开始进行研究,现已在草鱼^[22,64]、白鲢^[64]、鲤鱼^[39]、鲫鱼^[92]和虹鳟^[106]等获得雌核发育鱼,并提出了一个通过雌核发育结合人工控制性别快速建立鱼类纯系的技术途径^[89]。“异育银鲫”的育成^[98]及其在许多地方的推广,可视为我国雌核发育研究从试验阶段进入实用阶段的开始。另外,刘汉勤等(1985)应用移核方法在泥鳅中第一次成功地获得雄核发育二倍体^[4],为鱼类单倍体育种开辟了新途径。

(1) 引自蒋一珪(1976)的资料(未发表)。

(2) 湖南省水产研究所,1980。散鳞镜鲤♀×兴国红鲤♂杂种一代杂交优势的研究。湖南水产科技,1:21—26。

(3) 王祖熊等,1981。鲤亚科鱼类属间杂交不亲和性的研究。中国鱼类学会1981年学术年会论文摘要汇编,第38—41页。

(4) 刘汉勤等,1985。泥鳅雄核发育纯合二倍体的产生。中国科学院水生生物研究所研究报告。

4. 细胞核移植 核移植技术在哺乳类尚属实验性阶段,但在鱼类则已成熟。童第周等于1963年开始建立鱼类细胞核移植技术^[85],他们曾成功地将金鱼囊胚细胞的细胞核移植到鲫鱼的去核卵中^[86]。后来又把鲤鱼囊胚细胞的核移入鲫鱼的去核中,结果获得了生长正常的鲤鱼细胞核和鲫鱼细胞质配合的杂种鱼—鲤鲫移核鱼^[87]。这种移核鱼的形态有的象鲤鱼,有的象鲫鱼,有的属中间性状。由此得出结论认为:在这种鲤细胞核和鲫细胞质配合的杂种鱼中,细胞核和细胞质对遗传信息的表达都有影响。而且第一次证明,用这种无性杂交的方法可以获得性成熟的杂种鱼,并且这种杂种鱼自交繁殖了后代。而有性杂交的鲤鲫杂种是雄性不育的。看来这种方法对于研究经济鱼类的杂交品种的培育问题,也许能提供一种新的试验途径。最近,严绍颐等(1984)又报导用细胞核移植法,在鲤鲫鱼之间进行相反组合时所得到的鲫鱼细胞核和鲤鱼细胞质配合的杂种鱼—鲫鲤移核鱼^[88]。从观察到的形态特征看,这种杂种鱼的性状基本上相似于鲫鱼。这与上面提到的鲤鱼移核鱼不移相同,可能这两种鱼的细胞核和细胞质在不同的配合情况下,它们的核质相互作用有所不同。

我国在用细胞核移植技术选育鱼类新品种方面是有特色的,处于国际领先地位。于1985年为止,已先后获得了不同属间的移核鱼两种:鲤鲫移核鱼和鲫鱼移核鱼;不同亚科间的移核鱼两种:草团移核鱼和团草移核鱼;以及不同日间的移核鱼一种:罗非鱼鲤鱼移核鱼,共5种。其中前4种所得移核鱼都能长大,有的已成熟并能繁殖后代。如鲤鲫移核鱼已繁殖至第3代,它具有明显的生长优势,比起它的双亲,生长加快20%,而且蛋白质含量较高,脂肪和水分含量较低,可食部分多,看来是一个很有希望的鱼种。最后一种移核鱼也得到幼鱼。

5. 体细胞杂交 即细胞融合。鱼类细胞融合是鱼类细胞工程的一个重要组成部分,但目前报导甚少。童第周(1973)进行过金鱼囊胚细胞之间以及金鱼囊胚细胞与哺乳类 Ehrlich 氏腹水肿瘤细胞之间的融合试验^[84];向康等(1984)在测定了聚乙二醇(PEG)诱导鲫鱼细胞融合的主要参数的基础上^[85],试验了二甲亚砜(DMSO)和甘油在 PEG 诱导的鲫鱼细胞融合中的作用,旨在进一步提高细胞融合指数和降低 PEG 对细胞的损伤。结果发现,在鱼类细胞融合中,微量的甘油可使 PEG 作用显著下降,DMSO 可以极大提高 PEG 诱导鱼类细胞融合的能力。在低分子量和较低浓度的 PEG 中,DMSO 的作用更加突出。但 PEG 浓度不能低于40%的临界,否则细胞融合就失去了 DMSO 浓度的依赖效应。在三组鱼类细胞交叉融合中,发现同核体数目超过异核体数目($P < 0.05$)。这表明,PEG 诱导的鱼类细胞融合具有物种和组织特异性^[86]。

尽管鱼类细胞融合后的杂种细胞难于再生成个体,目前还得不到远缘杂种,但细胞融合技术为鱼类体细胞遗传学和体细胞育种研究开辟了新途径。

6. 细胞培养 细胞培养是鱼类病毒学、体细胞遗传学和体细胞育种研究所必不可少的基础工作。1981年建立了我国第一个细胞株—草鱼吻端组织细胞株 ZC-7901 及其亚株 ZC-7901S₁^[41];1932年获得了四倍化草鱼细胞株^[52];1935年又有鲫鱼异倍体细胞系建立的报导^[62];1936年建立了草鱼肾脏组织细胞系 CIK^[23]和草鱼尾鳍组织二倍体细胞系 GCCF-2^[100],其中草鱼肾脏组织细胞系已连续培养32个月,传至120多代。另外,中科院水生所将鲫鱼囊胚细胞经385天59代连续传代培养,利用这种培养的细胞核移植到同种鲫鱼未受精的去核卵中,于1980年成功地孵出我国第一尾传代细胞无性繁殖的“试管鱼”,存活了3年之久。1982年还从性成熟鲫鱼肾细胞短期培养的细胞核,获得第2尾移核鱼(♀),1933年接近性成熟。1984年又从金鱼肾细胞短期培养的细胞核,获得3尾存活4天的仔鱼^[91]。实验结果表明,鱼类体细胞核仍具有发育的全能性。这种将体细胞培养和核移植技术结合起来的方法,为鱼类育种开拓了一条新的技术途径。

7. 性别控制 不少鱼类在生长速度上雌雄有别。因此,可以通过人工控制性别进行单性养殖来提高产量。我国于70年代开始用类固醇激素控制鱼类性别的研究,目前已在莫桑比克罗非鱼等获得成功^[14,16,23,76,90,101],并得到性染色体为YY型的莫桑比克罗非鱼“超雄鱼”数百尾^[44,55-57]。用这种超雄鱼与尼罗罗非鱼杂交,得到大量莫尼杂交全雄鱼。生产试验表明,这种全雄鱼具有“杂种”和“全雄”双重

优势,其生长速度比尼罗罗非鱼两性种群快38.5%,群体产量平均提高43.4%^[44]。我国鱼类性别控制的研究已跻身世界先进行列^[38]。

8. 辐射育种 早在60年代,就有人曾对金鱼胚胎发育不同时期的辐射敏感性进行了研究^[8,66]。70年代又有用 γ -射线和快中子等照射鲤鱼、草鱼和罗非鱼等的生殖细胞、胚胎、鱼苗、幼鱼和未成熟个体的报导^[3,16,77,91,100]。80年代没有多大进展。总的来说,辐射对鱼类具有不同程度的抑制和损伤作用,很少发现有利的突变,这就是鱼类辐射育种进展缓慢的根本原因。

9. 基因工程 在鱼类育种上应用基因工程技术,我国还是比较早的。据童第周等研究发现,鱼类中不经载体,将DNA或mRNA直接注入受精卵,就可以使外源DNA或mRNA在受体细胞内得到表达,从而引起遗传性状的变化,并能传给后代^[11,97~99],这为基因工程提出了一种新的工艺程序。研究还发现,由注射过鲤鱼卵mRNA的金鱼卵发育而成的金鱼,其肝脏LDH同工酶图谱,与鲤鱼或金鱼不同,而类似于鲤鱼和金鱼有性杂交的杂种同工酶图谱^[10]。这进一步证明,注射mRNA于受精卵不仅可引起动物外部形态特征发生变化,还可引起内部化学组分的改变。

另外,朱作言等(1986)还报导了对鱼类转移人的生长激素基因的研究结果。1984年,他们通过试验证明了外源基因在鱼类受精卵受体胚胎的复制、整合并在成鱼体内存在;1985年,又证明了外源生长激素基因有加快受体鱼生长发育的功能;1986年,用人的生长激素基因对泥鳅受精卵注射、转移并表达成功,这对受体泥鳅的生长具有明显的促进作用。该受体泥鳅组在发育135天后,平均体重比对照组重一倍多,个别受体泥鳅为对照组的3.6倍^[32]。这标志着我国首次运用生长激素基因在鱼类转移成功,为我国鱼类育种展示了美好的前景。

10. 引种驯化 我国比较重视鱼类资源的开发利用,最突出的例子是变团头鲂野生为家养,并在全国普遍推广,成为新的养殖品种。仅上海一地,1984年团头鲂产量就占精养池塘总产量的14.79%^[78]。70年代初,以有机碎屑为食的鲴亚科如细鳞斜颌鲴、团吻鱼和黄尾密鲴等被发掘出来,并在全国20多个省市推广。在不降低其它鱼类产量的前提下,增产幅度为10%以上。鲮鱼、梭鱼、鳊鱼、东北银鲫、瓦氏雅罗鱼以及各种鱼类品种的移植驯化也取得了成功^[46]。

另外,还从国外引进了一些经济鱼类,如莫桑比克罗非鱼(1957)、虹鳟(1959)、白鲫(1976)、尼罗罗非鱼(1978)、塘胡子鲶(1978)、露斯塔野鲮(1978)、苏氏鳊(1978)、革胡子鲶(1981)、奥利亚罗非鱼(1983)、加州鲈鱼(1983)、厚唇鲃(1984)、麦瑞加拉(1984)以及淡水白鲢(1985)等。50年代,还从国外引进各种鲤鱼品种。这些鱼类的引进,扩大了养殖对象,丰富了育种资源。

11. 原种资源保存 原种及良种是生物资源保存的重要内容,它将为培育新品种提供原料。鉴于当前品种混杂现象十分严重,因此原种保存问题已引起有关部门重视。近几年对重要的鲤鱼杂交亲本荷包红鲤^[34,79]和兴国红鲤^[80]等进行了提纯复壮,得到了性状稳定的后代。先后经国家鉴定确认为优良品种,并在原产地建立了原种场,向全国提供亲鱼和苗种。据1983年底统计,全国共建立了25个良种场,其中13个建成投产^[35]。

综上所述,我国鱼类遗传育种的研究,涉及面很广。可以说,国外所采用的途径和方法,我国几乎都用上了,有的还有所创新。有些项目处于国际领先地位或接近世界先进水平。总的来说,与国外的差距还不算大,只是在基础理论和研究手段上尚差一些。但我们有一支较强的科研队伍,如能抓住良机,在国家全面统一规划下,近期内重点突破一些具有战略意义的项目是有可能的。作者认为,“七五”期间或更长一段时间内,育种的对象应抓住草鱼、鳊鱼、团头鲂、鲤鱼、鲫鱼和罗非鱼等经济价值较高、深受群众喜爱的养殖鱼类;育种的应瞄准高产品种的培育、白鲢的肉质改良、性别的人工控制、草鱼的抗病育种以及鳊鱼与罗非鱼的抗寒育种等;育种的途径和方法应以基础较好的杂交育种和细胞工程为重点,并积极开展基因工程和基础理论研究。任重而道远。但我们坚信,只要包括遗传育种工作者在内的广大水产科技人员齐心协力,到本世纪末,定能实现水产品总产量翻两番的宏伟目标。

参 考 文 献

- [1] 二十三省、市、自治区“淡水养殖鱼类优良品种的选育”协作会议大会秘书组,1973。二十三省、市、自治区“淡水养殖鱼类优良品种的选育”协作会议简讯。淡水渔业,1:5—6。
- [2] 广东佛山地区水产局,1975。团头鲂长春鳊杂交种。水产科技情报,4:18—19。
- [3] 广东省顺德县水产养殖试验场,1977。用快中子对池塘养殖鱼进行诱变选育试验。水产科技情报,5—6:34—35。
- [4] 马仲波等,1984。鲢鱼三杂交[(荷包红鲤♀×元江鲤♂)♀×镜鲤]遗传改良与利用的研究(摘要)。淡水渔业,6:25—27。
- [5] 王蕊芳等,1985。几种鲤鱼染色体核仁组织者区域的银染观察。动物学研究,6(4):391—398。
- [6] 王可玲,1978。鱼类种群生化鉴别的研究。海洋科学,1978年增刊第107页。
- [7] 王祖熊等,1984。鲮鱼遗传改良的研究 I. 杂交育种和遗传性状分析。水生生物学集刊,8(2):195—206。
- [8] 王春元等,1984。金鱼(*Carassius auratus*)胚胎发育不同时期辐射敏感性的研究 II. 胚胎发育各时期细胞核的损伤与剂量的关系。遗传学集刊,4:75—88。
- [9] 邓宗觉,1981。江西婺源荷包红鲤体型形成及体色遗传的探讨。淡水渔业,6:14,22。
- [10] 牛满江等,1978。高等生物的遗传控制——信息核糖核酸对肝脏特异性同工酶的诱变作用。中国科学,1:110—112。
- [11] ——1983。DNA 诱导金鱼转化的再次观察。中国科学B辑,8:223—229。
- [12] 中国科学院水生生物研究所等,1979。草鱼、团头鲂人工诱导多倍体的研究。遗传导报,6(1):77—77。
- [13] 中科院动物研究所等,1980。硬骨鱼类的细胞核移植——鲤鱼细胞核和鲫鱼细胞质配合的杂种鱼。中国科学,4:376—380。
- [14] 中山大学生物系,1978。应用雄性激素诱导罗非鱼雌鱼雄性化的试验简报。中山大学学报(自然科学版),2:97—99。
- [15] ——1979。用雄激素诱导罗非鱼雄性化的试验。动物学杂志,1:1—3。
- [16] 井忠福等,1980。草鱼水花经⁶⁰Co-γ射线辐射后鱼苗阶段生长情况的观察。淡水渔业,2:29—31。
- [17] 本刊编辑部,1974。二十三省、市(区)鱼类优良品种选育及基础理论研究第二次协作会议在湖南召开。淡水渔业,12:12。
- [18] 长江水产研究所等,1975。两年来淡水养殖鱼类优良品种选育和基础理论研究概况。动物学杂志,1:43—45。
- [19] ——1975。几种经济鱼类及其杂种染色体的初步研究。淡水渔业,2:11—13。
- [20] ——,1976。红荷包鲤♀×元江鲤鱼的杂交育种及其生产应用。淡水渔业,7:8—16。
- [21] 长江水产研究所,1975。鲤♀×(鲢♀×鳊♂)回交育种试验报告。遗传学报,2(2):144—152。
- [22] 司徒建通等,1982。草鱼成熟卵子的雌核发育。湛江水产学院学报,1:85—88。
- [23] 左文功等,1986。草鱼肾组织细胞系 CJK 的建立及其生物学特性。水产学报,10(1):11—17。
- [24] 刘凌云,1980。草鱼染色体组型的研究。动物学报,26(2):126—131。
- [25] ——,1983。黄鳝染色体G带带型的研究。遗传学报,10(3):230—234。
- [26] 刘筠等,1979。荷包红鲤♀×湘江野鲤♂杂交一代的研究及其在生产上的应用。湖南师范学院学报(自然科学版生物专集),1:1—14。
- [27] ——,1986。红鲤(♀)和湘江野鲤(♂)杂交一代生殖腺的细胞学研究。水生生物学报,10(2):101—108。
- [28] 刘国安等,1987。兴国红鲤同草鱼杂交的受精细胞学研究。水产学报,11(1):17—21。
- [29] 伍惠生等,1981。叉尾斗鱼一对相对性状单因子杂交试验。动物学杂志,1:6—10。
- [30] 朱兰菲,1982。几种鲤科鱼类及杂种的乳酸脱氢酶同工酶的比较。水生生物学集刊,7(4):539—545。
- [31] 朱兰菲等,1983。20种鲤科鱼类同工酶的表现型分析及其有关进化问题的探讨。水产学报,7(2):145—152。
- [32] 朱作言等,1986。人生长激素基因在泥鳅受精卵显微注射转移后的生物学效应。科学通报,5:387—389。
- [33] 孙儒泳等,1978。国产甲基睾丸酮对罗非鱼雄性化和生产影响的研究。北京师范大学学报(自然科学版),4:66—85。
- [34] 江西省水产学会,1982。江西婺源荷包红鲤提纯选优。淡水渔业,1:29—31。
- [35] 岑玉吉,1984。建国三十五年来我国淡水养殖科技事业的发展回顾。淡水渔业,4:1—6。

- [36] 吴政安等,1980. 鱼类细胞遗传学的研究 II. 鱼类淋巴细胞的培养及其染色体组型分析. 遗传学报, 7(4): 370—375.
- [37] 吴清江等,1980. 鲤鱼的遗传分离规律及选种分析. 遗传, 2(2): 15—16.
- [38] ——, 1979. 鲤鱼杂种优势多代利用的探讨. 水生生物学集刊, 6(4): 445—452.
- [39] ——, 1981. 鲤鱼人工雌核发育及其作为建立近交系新途径的研究. 遗传学报, 8(1): 50—55.
- [40] 吴维新等, 1981. 一个四倍体杂种——兴国红鲤×草鱼. 水生生物学集刊, 7(3): 433—436.
- [41] 张念慈等, 1981. 草鱼吻端组织细胞株 ZC-7901 及其亚株 ZC-7901S₁ 的建立和特性观察. 水产学报, 5(2): 111—119.
- [42] 张任培等, 1985. 应用 BrdU-Hoechst 33258-Giemsa 技术对鲫鱼性染色体的研究. 遗传学报, 12(5): 373—378.
- [43] 张建森等, 1981. 鲤鱼主要数量性状遗传力的研究. 淡水渔业, 2: 44—46.
- [44] 张中英等, 1981. 莫桑比克罗非鱼性别转化实验研究(二). 淡水渔业, 5: 1—4.
- [45] ——, 1983. 鱼类性别的人工控制研究介绍. 动物学杂志, 5: 55—57.
- [46] 张幼敏, 1981. 浅谈鱼类的引种驯化. 水库渔业, 1: 54—60.
- [47] 余先觉等, 1986. 中国淡水鱼类染色体图谱. 科学出版社.
- [48] 李康等, 1985. 乌鳢、月鳢和斑鳢的染色体和 C-带核型的研究. 遗传学报, 12(6): 470—477.
- [49] 李万程等, 1986. 岳鲤(荷包红鲤♀×湘江野鲤♂)及其双亲的血红蛋白和血清蛋白的研究. 水生生物学报, 10(4): 365—372.
- [50] 李思发等, 1986. 长江、珠江、黑龙江三水系的鲢、鳙、草鱼原种种群的生化遗传结构与变异. 水产学报, 12(4): 351—372.
- [51] 陆仁厚等, 1984. 团头鲂染色体的研究. 海洋与湖沼, 15(5): 487—492.
- [52] ——, 1982. 四倍化草鱼细胞株的获得、特性和移核实验的初步试验. 遗传学报, 9(5): 381—388.
- [53] 杨兴棋等, 1984. 几种罗非鱼乳酸脱氢酶和苹果酸脱氢酶的电泳研究. 遗传学报, 11(2): 132—140.
- [54] 杨永铃等, 1981. 人工诱导鱼类雌核发育的实验研究. 淡水渔业, 4: 1—4.
- [55] ——, 1979. 莫桑比克罗非鱼性别生理遗传控制的初步研究. 遗传学报, 6(3): 305—310.
- [56] ——, 1979. 莫桑比克罗非鱼 YY 型超雄鱼的生物学研究 I. 关于 YY 型超雄鱼的鉴别与存活力问题. 淡水渔业, 10—11: 1—4.
- [57] ——, 1980. 应用三系配套途径产生遗传上全雄莫桑比克罗非鱼. 遗传学报, 7(3): 241—246.
- [58] 苏泽古等, 1983. 草鱼三倍体及其核型的研究. 鱼类学论文集, 3: 53—60.
- [59] ——, 1984. 白鲢三倍体及其核型的研究. 动物学研究, 5(3)增刊: 15—20.
- [60] 陈宏溪, 1983. 鱼类的雌核生殖. 鱼类学论文集, 3: 135—146.
- [61] 陈宏溪等, 1986. 鱼类培养细胞核发育潜能的研究. 水生生物学报, 10(1): 1—7.
- [62] 陈敏容等, 1985. 鲫鱼异倍体细胞系的建立及生物学特征. 水产学报, 9(2): 121—130.
- [63] ——等, 1987. 人工诱导白鲫(♀)×红鲤(♂)异源四倍体鱼的初步研究. 水生生物学报, 11(1): 96—98.
- [64] 严绍颀等, 1984. 硬骨鱼类的细胞核移植——鲫鱼细胞核和鲤鱼细胞质配合的杂种鱼. 中国科学 B 辑, 8: 730—731.
- [65] 汪安琦等, 1983. 金鱼(*Carassius auratus*)胚胎发育不同时期辐射敏感性的研究 II. 胚胎发育时期死亡率与剂量的关系和各时期半致死剂量的测定. 遗传学集刊, 3: 91—101.
- [66] 周敏, 1980. 鳙鱼染色体组型的研究. 淡水渔业, 4: 3—7.
- [67] 林义浩, 1982. 快速获得大量鱼类肾细胞中期分裂相的 PHA 体内注射法. 水产学报, 6(3): 201—208.
- [68] ——, 1984. 长春鲂、团头鲂及其杂种染色体组型的比较. 动物学研究, 5(3)增刊: 65—66.
- [69] 易冰兰等, 1984. 黄鳝染色体中组成型异染色质的分布. 水生生物学集刊, 8(2): 245—247.
- [70] 罗莉中等, 1987. 金鱼同工酶的发生遗传学研究 III 金鱼同工酶基因座位的加倍与多倍性. 遗传学报, 14(1): 56—62.
- [71] 曾瑞光等, 1979. 草鱼、团头鲂染色体组型的分析比较. 遗传学报, 6(2): 205—209.
- [72] 曾瑞光, 1982. 滇池两种类型鲫鱼的性染色体的 C-带核型研究. 遗传学报, 9(1): 32—39.
- [73] 洪云汉等, 1985. 无须鳢的核型与 C-带带型的研究以及鳊鲂鱼类核型演化的探讨. 遗传学报, 12(2): 143—148.
- [74] ——, 1985. 鱼类染色体显带的研究 I. 鱼类染色体复制带显带的 BrdU-Hoechst-Giemsa 方法. 遗传学

- 报,12(1):67—71。
- [75] 赵明蓓,1984. 鱼类品种选育是渔业科技工作的重要课题。水库渔业,2:56—59。
- [76] 邱国民等,1979. 应用甲基鱼丸素诱导莫桑非洲鲫鱼雄性化的研究。遗传,1(6):36—39。
- [77] 陕西省水产研究所等,1977. 快中子(镭—铍中子源)能促进鱼苗鱼种生长。水产科技情报,5—6:34—35。
- [78] 柯鸿文,1986. 中国团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)的养殖。水产科技情报,5:1—5。
- [79] 郭治之等,1983. 荷包红鲤的生物学。江西大学学报(自然科学版),4:19—36。
- [80] ——,1985. 兴国红鲤的生物学。兴国红鲤选育鉴定会材料之四。
- [81] 高建民,1986. 鱼类染色体的白细胞——PHA 活体内处理制片及其组型观察。遗传,8(5):42—44。
- [82] 桂建芳等,1986. Brd U-Hoechst-Giemsa 方法的进一步改进以及青鱼和草鱼复制带核型的研究。水生生物学报,10(2):157—161。
- [83] ——,1986. 四种鲤科鱼类和一种鲴科鱼类的银染核型研究。武汉大学学报(自然科学版),1:106—112。
- [84] 梁志成,1974. 鲤鱼的杂种优势与性状遗传分析。遗传学报,1(2):192—201。
- [85] 阎康等,1984. 鱼类细胞融合的初步研究。遗传,6(6):19—21。
- [86] ——,1986. 鱼类细胞融合中助融剂效应和特异性。水生生物学报,10(4):373—379。
- [87] 董元凯等,1983. 制备鱼类染色体标本的简易方法。水产科技情报,3:2—124。
- [88] 湖北省水生生物研究所,1975. 散鳞镜鲤与兴国红鲤、龙州镜鲤的杂种优势以及鳞被、体色的遗传。水生生物学集刊,5(4):439—443。
- [89] ——,1976. 用理化方法诱导草鱼(♀)×团头鲂(♂)杂种和草鱼的三倍体、四倍体。水生生物学集刊,6(1) 111—112。
- [90] 湖北省水产研究所等,1979. 莫桑比克罗非鱼性别生理遗传控制的初步研究。遗传学报,6(1):74—74。
- [91] 湖南省水产研究所,1974. 钴⁶⁰—丙种射线照射非洲鲫鱼的初步观察。淡水渔业,10:20—21。
- [92] 蒋一珪等,1982. 鲫鱼的人工和天然雌核发育。水生生物学集刊,7(4):471—480。
- [93] ——,1983. 异源精子在银鲫雌核发育子代中的生物学效应。水生生物学集刊,8(1):1—16。
- [94] 童第周,1973. 融合细胞,动物学报,19(1):76—91。
- [95] 童第周等,1963. 鱼类细胞核的移植。科学通报,7:60—61。
- [96] ——,1973. 鱼类不同亚科间细胞核移植。动物学报,19(3):201—209。
- [97] ——,1973. 核酸诱导金鱼性状的变异。中国科学,4:389—394。
- [98] ——,1975. 由核酸诱导所产生的单尾鳍金鱼的子代。中国科学,3:295—301。
- [99] ——,1977. 不同纲间核酸的器官诱导——蝶螈核酸诱导金鱼产生平衡器。中国科学,2:149—150。
- [100] 黑龙江省水产研究所,1973. 鲤鱼辐射育种试验简报。淡水渔业,2:9—10。
- [101] 楼允东,1984. 国外对鱼类多倍体育种的研究。水产学报,8(4):343—356。
- [102] ——,1985. 我国水产生物工程研究的现状与展望。淡水渔业,6:27—29。
- [103] ——,1986. 浅谈我国鱼类育种技术研究的成就与前景。水产科技情报,3:1—4。
- [104] ——,1986. 人工雌核发育及其在遗传学和水产养殖上的应用。水产学报,10(1):111—123。
- [105] 熊全沫等,1985. 中国胭脂鱼同工酶的研究。动物学报,3(1):20—27。
- [106] 魏彦章等,1986. 草鱼尾鳍组织二倍体细胞系 GCCF-2 的建立及其部分生物学特性的分布。水生生物学报,10(3):291—294。
- [107] 魏于生等,1978. 莫桑比克罗非鱼性反转实验研究(一)。淡水渔业,2:18—24。
- [108] Lou, Y. D. et al., 1984. Diploid gynogenesis induced by hydrostatic pressure in rainbow trout. *J. Fish Biol.*, 24(6): 665—670.
- [109] Lou, Y. D. et al., 1984. Polyploidy induced by hydrostatic pressure in rainbow trout. *J. Fish Biol.*, 25(3): 345—351.