

中国鱼类远缘杂交研究及其在水产养殖上的应用

楼允东, 李小勤

(上海水产大学 生命科学与技术学院, 上海 200090)

摘要:在分析和归纳大量相关文献的基础上,对中国鱼类远缘杂交研究的概况及其有关问题进行全面的介绍和评述:(1)鱼类远缘杂交的等级,包括目间、科间、亚科间、属间和种间杂交;(2)鱼类远缘杂交的相容性,涉及鱼类远缘杂交的可交配性、鱼类远缘杂种的可育性以及鱼类远缘杂交不相容的原因分析等;(3)鱼类远缘杂交在水产养殖上的各方面应用,如杂种优势利用、鱼类性别控制以及诱导多倍体、雌核发育和雄核发育等。本文旨在为今后进一步开展鱼类远缘杂交研究提供理论参考。[中国水产科学, 2006, 13(1): 151-158]

关键词:鱼类;远缘杂交;水产养殖

中图分类号:S917 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8737-(2006)01-0151-08

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。鱼类是最容易进行远缘杂交的脊椎动物,自1558年Gerner用鲤与金鱼杂交得到世界上第一个有记录的杂种以来,据Schwartz统计,从1558-1980年,已有56科1080种鱼类做过杂交试验,其中主要是太阳鱼科(Centrachidae)、鲤科(Cyprinidae)、胎鳉科(Poeciliidae)和鲑科(Salmonidae),共发表论文3759篇^[1-2]。自20世纪50年代末开始,中国也进行了大量的鱼类杂交试验,据不完全统计,迄今共做了至少112个杂交组合,主要涉及3个目(鲤形目、鲈形目、鲇形目)、7个科(鲤科、鳊科、丽鱼科、鲷科、鲈科、胡子鲇科、鳅科),共40多种鱼类,其中大多数是鲤科不同亚科之间以及同一种亚科不同属之间的杂交,不少杂交组合具有杂种优势^[3]。在查阅大量相关文献的基础上,对中国鱼类远缘杂交研究的概况及其有关问题作一比较全面的介绍和论述,旨在为今后深入开展鱼类远缘杂交研究提供参考。

1 鱼类远缘杂交的等级

1.1 目间杂交

就目前所知,鱼类亲缘关系最远的是目间杂交。据报道,中国进行过鲤形目的团头鲂(*Megalobrama amblycephala*) (♀)与鲈形目的鳊(*Siniperca chuatsi*) (♂)^[4]以及鲤形目的鳊(*Hypophthalmichthys molitrix*) (♀)与鲈形目的鳊(*Siniperca chuatsi*) (♂)^[5]的杂交,并能孵出鱼苗。

1.2 科间杂交

鱼类科间杂交的报道并不多。国内仅有鲈形目丽鱼科奥利亚罗非鱼(*Oreochromis aureus*) (♀)与鲈形目鳊科鳊(♂)杂交的报道,鱼苗成活率为0.3%-0.5%^[6-7]。

1.3 亚科间杂交

近年来,鲤科范围内的亚科间杂交有不少报道,如鳊(*Aristichthys nobilis*) (♀)×鳊(♂)^[8]、鳊(♀)×团头鲂(♂)及其反交^[8]、鳊(♀)×草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*) (♂)及其反交^[8-11]、草鱼(♀)×团头鲂(♂)^[8,12-14]、草鱼(♀)×三角鲂(*M. terminalis*) (♂)^[15-17]、草鱼(♀)×翘嘴鲈(*Erythroculter ilishaeformis*) (♂)^[18]、草鱼(♀)×鳊(♂)及其反交^[8]、草鱼(♀)×鲤(*Cyprinus carpio*) (♂)^[8,19]、兴国红鲤(♀)×草鱼(♂)^[20-23]、青鱼(*Mylopharyngodon piceus*) (♀)×三角鲂(♂)^[24-25]、鳊(♀)×团头鲂(♂)及其反交^[8,26-27]、鲤(♀)×鳊(♂)及其反交^[28-29]、鲫(*Carassius auratus auratus*) (♀)×鳊(♂)及其反交^[28]、白鲫(*Carassius auratus cuvieri*) (♀)×鳊(♂)以及反交^[28]、鲤(♀)×团头鲂(♂)^[30-31]、鳊

收稿日期:2005-03-31; 修订日期:2005-06-17.

基金项目:上海市教委重点学科科研项目(1999-51);农业部重点科研项目(渔95-A-96-01-01).

作者简介:楼允东(1937-),男,教授,主要从事水产动物遗传育种研究. Tel:021-65710941. E-mail: ydlou@shfu.edu.cn

(♀) × 黄尾密鲴 (*Xenocypris davidi*) (♂)^[32]、鲢(♀) × 花鲢 (*Hemibarbus maculatus*) (♂)^[32] 和 鲢(♀) × 三角鲂 (♂)^[32] 等。

1.4 属间杂交

较多的是属间杂交,如鲤(♀) × 鲫(♂)及其反交^[33-36]、白鲫(♀) × 鲤(♂)^[37-42]、方正银鲫 (*Carassius auratus gibelio*) (♀) × 兴国红鲤 (♂)^[43]、红鲫(♀) × 湘江野鲤 (♂)^[32,44-46]、鲢(♀) × 鳊(♂)及其反交^[8,12,27,47-49]、长春鳊 (*Parabramis pectinensis*) (♀) × 三角鲂 (♂)^[50-51]、团头鲂(♀) × 长春鳊 (♂)^[52-53]、青鱼(♀) × 草鱼 (♂)^[12,54]、草鱼(♀) × 鳊 (*Elopichthys bambusa*) (♂)^[32]、平鲮 (*Rhabdosargus sarba*) (♀) × 真鲮 (*Pagrosomus major*) (♂)^[55-56]、黄鳍鲮 (*Sparus latus*) (♀) × 平鲮 (♂)^[56]、平鲮(♀) × 黑鲮 (*Sparus macrocephalus*) (♂)^[56]、细鳞斜颌鲴 (*Plagiognathops microlepis*) (♀) × 黄尾密鲴 (♂)^[37]、红鳍鲌 (*Culter erythropterus*) (♀) × 团头鲂 (♂)^[32]、瓦氏黄颡鱼 (*Pelteobagrus vachelli*) (♀) × 长吻鲢 (*Leiocassis longirostris*) (♂)^[58] 和 鲢 (*Cirrhinus molitorella*) (♀) × 湘华鲌 (*Sinilabeo decorus tungting*) (♂)^[59-61] 等。

1.5 种间杂交

最多的是种间杂交,如大鳞鲢 (*Hypophthalmichthys harmandi*) (♀) × 鲢 (♂)^[62-63]、元江鲤 (*Cyprinus carpio rubrofasciatus*) (♀) × 柏氏鲤 (*C. pellegrini pellegrini*) (♂)^[64]、莫桑比克罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus*) (♀) × 尼罗罗非鱼 (*O. niloticus*) (♂) 及其反交^[65-67]、尼罗罗非鱼(♀) × 奥利亚罗非鱼 (♂)^[68-71]、鲫(♀) × 白鲫 (♂)^[72-76]、胡子鲶 (*Clarias fuscus*) (♀) × 革胡子鲶 (*C. lazera*) (♂)^[77-81]、斑点胡子鲶 (*C. macrophalus*) (♀) × 胡子鲶 (♂)^[79]、斑点胡子鲶(♀) × 革胡子鲶 (♂)^[79,82]、大口鲶 (*Silurus meridionalis*) (♀) × 鲶 (*S. asotus*) (♂)^[83]、广东鲶 (*Megalobrama hoffmanni*) (♀) × 团头鲂 (♂)^[84-85]、三角鲂(♀) × 团头鲂 (♂) 及其反交^[86]、黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidroco*) (♀) × 瓦氏黄颡鱼 (*P. vachelli*) (♂)^[87] 和 巨石斑鱼 (*Epinephelus tauvina*) (♀) × 赤点石斑鱼 (*E. akaara*) (♂)^[88] 等。

2 鱼类远缘杂交的相容性

2.1 鱼类远缘杂交的可交配性

鱼类远缘杂交比较容易,主要表现在容易受精和获得鱼苗。目间杂交相对比较困难,国外曾得到过个别完全偏母的仔鱼,据推测是雌核发育的结果。科间杂交与目间杂交大致相似,受精率和孵化率都很低。亚科间杂交一般都能得到发育正常的鱼苗,但孵化率偏低。以往认为亚科间杂交所得到的鱼苗只能是雌核发育的结果,但新近从受精细胞学的研究证实,亚科间杂交可以有正常的受精程序,如草鱼(♀) × 三角鲂 (♂)^[17]、兴国红鲤(♀) × 草鱼 (♂)^[22]、鳊(♀) × 草鱼 (♂)^[10]、青鱼(♀) × 三角鲂 (♂)^[25] 等。亚科间杂种形态学研究也表明,多数杂种具有双亲的特征。亚科间杂种通常没有表现出可利用的杂种优势。一般来说,属间和种间杂交多数情况是能够受精和得到鱼苗的,杂种具有明显的杂种优势,并可从中选择合适的杂交组合应用于生产和育种实践。

2.2 鱼类远缘杂种的可育性

鱼类远缘杂种实际应用的关键一环是它的可育性(fertility)。从国内外已报道的20个属内的种间杂交来看,F₁均为完全可育,即杂种的雌雄性腺都能发育成熟,并繁殖后代,如野鲮属 (*Labeo*)、鲢属 (*Salmo*)、大麻哈鱼属 (*Oncorhynchus*)、红点鲃属 (*Salvelinus*)、狗鱼属 (*Esox*)、太阳鱼属 (*Lepomis*)、食蚊鱼属 (*Gambusia*)、斗鱼属 (*Macropodus*)、罗非鱼属 (*Oreochromis*)、鲮属 (*Xenocypris*)、鳊属 (*Megalobrama*)、鲢属 (*Hypophthalmichthys*) 以及鲟属 (*Acipenser*) 等^[89]。属间杂种的情况比较复杂,有完全可育的,如鲢鳊杂种^[47]、鳊鲂杂种^[50] 和 鲢与湘华鲌杂种^[59] 等;有完全不育的,如鲢鳊鱼类的属间杂种^[90];也有单个性别可育的,典型的是鲤鲫杂种,其雌性可育,雄性不育^[45,91-92],但这种观点近来不断受到挑战,发现鲤鲫杂种部分雌性个体也是可育的,能够繁殖后代^[34,93-94]。亚科间杂种大多数完全不育,如草鱼(♀) × 三角鲂 (♂)^[12,53] 和 草鱼(♀) × 团头鲂 (♂)^[95];也有可育的,如兴国红鲤(♀) × 草鱼 (♂)^[21] 和 鳊(♀) × 草鱼 (♂)^[10]。科间杂交如奥利亚罗非鱼(♀) × 鳊 (♂),其杂种完全可育,并获得了杂交一代与奥利亚罗非鱼的回交后代^[6-7]。目间杂交未见有获得杂种成鱼的报道,因此其可育性无从谈起。

2.3 鱼类远缘杂交不相容的原因

尽管鱼类的远缘杂交比较容易,但在众多的杂交组合中,能够形成正常胚胎并顺利达到物种阶段的为数并不多。据报道,中国淡水鱼类属间以上的远缘杂交后代有较高的成活率,且有一定的生长优势,并可在生产上应用的只有下列4个杂交组合,即鳊鲂杂种、鲢鳙杂种、鲤鲫杂种和鲮与湘华鲮杂种^[96]。绝大多数属间以上的杂交相容性(compatibility)都很低。虽然杂种胚胎可以发育,但是发育不正常,大部分胚胎在孵化期前后陆续死亡,孵化率极低。有的虽能孵化出苗,但后期发育仍不正常,有少数即使能长至成鱼,但不可能有正常的性细胞产生,即杂种不育。

造成远缘杂交不相容的主要原因可能有3个方面。

2.3.1 双亲染色体数目或染色体组型差别过大

双亲的染色体数目不同,基因组数目和性质也就不同,结果造成雌雄原核结合形成合子过程中来自两亲本的染色体的等位基因之间不协调,基因调控的紊乱致使胚胎发育受阻,最后引起死亡。多数远缘杂交不能出苗或出苗率极低可能属于这类情况。例如草鱼与鲤的杂交就是如此。鲤有50对染色体,而草鱼只有24对染色体,染色体数目相差太大,双亲在很多基因座位上没有相应的等位基因,这个杂交组合很少见过真正成活的二倍体杂种^[19]。

有些杂交组合的两亲本的染色体数目虽然相同,但是染色体组型不同,这同样会引起两亲本中某些等位基因的组配紊乱,草鱼与团头鲂的杂种即属这类情况。虽然草鱼和团头鲂的染色体都是24对,但染色体的形态差异很大,因此杂种的形态出现明显的分离,各种类型杂种的生活力也截然不同^[3]。这种情况同样存在于鲮鱼与湘华鲮的杂交组合中^[60,97]。一般认为,双亲间的染色体组型越相近,杂交越能成功;双亲间染色体组型差异越大,杂交不亲和性越强,胚胎发育越难正常进行^[97]。因此,鱼类染色体组型的研究结果对于分析和预测远缘杂交的相容性具有重要意义。

2.3.2 酶的基因座位或表达的时空顺序的差异

酶的基因座位随着鱼类的进化程度而增多,在胚胎发育后期出现的是那些分化历史较短的同工酶,它们表达的时空限制性也就越强。杂交亲本的亲缘关系越远,双亲的等位基因表达的时空顺序可能不同步或出现相互抑制。酶的不相容性就会导致杂种胚

胎组织的诱导和器官形成时空失调,于是产生畸形或中途死亡。国内在这方面的工作尚处于初始阶段,只对少数杂交组合的不同胚胎发育期同工酶的表达进行过实验研究^[96,98]。

2.3.3 核质不相容 研究表明,母体卵细胞质控制杂种胚胎基因表达的迟滞或加速。如果卵子的细胞质不能与精子的核DNA正常协调(不相容),就会阻滞或加速基因的表达,从而致使胚胎不能正常发育,直至死亡。据刘筠^[99]研究,草鱼(♀)×三角鲂(♂)有正常的胚胎发育,并能获得80%~90%成活的杂种鱼苗;如果是三角鲂(♀)×草鱼(♂),杂种胚胎则很难脱膜而出,成活率很低,乃至不能获得成活的鱼苗。以上事实说明,反交种不能正常发育的原因并不在于两亲本核DNA之间的不相容,而是草鱼精核DNA与三角鲂卵质之间的不相容。鲤鲫杂交也有同样情况,鲤(♀)×鲫(♂)受精率高,反之,鲫(♀)×鲤(♂)受精率低^[36]。许多鱼类远缘杂交正反交结果不同也许都可用核质是否相容来解释。

3 鱼类远缘杂交在水产养殖上的应用

远缘杂交在水产养殖上的应用是非常广泛的,除杂种优势利用之外,特别是在种间、属间、亚科间和科间等远缘杂交中发现三倍体、四倍体、雌核发育和雄核发育的现象之后,将远缘杂交作为培育纯系和生产多倍体杂种亦已开始显示出其应用价值。

3.1 杂种优势

许多远缘杂交组合都具有明显的杂种优势,如罗非鱼种间杂交,特别显著的是福寿鱼[莫桑比克罗非鱼(♀)×尼罗罗非鱼(♂)]^[66]和奥尼鱼[尼罗罗非鱼(♀)×奥利亚罗非鱼(♂)]^[69]。如福寿鱼,其生长比母本快100%,比父本快50%,比反交种快36.5%。该杂交组合在生产上得到广泛应用。高邮杂交鲫[鲫(♀)×白鲫(♂)]生长速度比母本快1~2倍,比父本快20%~30%^[74-75]。

3.2 单性杂种

通常鱼类的性别比例约为1:1,但通过罗非鱼的种间杂交,其中一些组合能产生100%或95%以上的雄性后代^[3],如奥尼鱼的雄性率可达97.87%^[69],具有“全雄”和“杂交”双重优势。该杂交组合在生产上亦得到广泛应用。

3.3 提高起捕率

元江鲤(♀)×柏氏鲤(♂)的杂交,尽管在生长

上的杂种优势并不十分明显,但起捕率提高,无论是鱼种阶段还是成鱼阶段均在70%以上^[64]。奥尼鱼不仅雄性率高、生长快,而且起捕率亦明显提高^[69]。

3.4 抗寒育种

王祖熊等^[100]用瓦氏雅罗鱼、草鱼、鲢和鲤中的1种或多种精液同鲢新鲜精液混合与鲢成熟卵受精,使其发育成苗,并培育成鱼种。经养殖表明,由几组混精授精得到的鲢,其抗寒能力有所提高,最低可达5.5℃。另外,鲢与湘华鲢的杂交 F_1 及其自交 F_2 都具有较高的耐低温能力^[59]。奥尼鱼亦具有相当强的抗寒能力,奥利亚罗非鱼较耐寒的特征在杂种中得到了表现^[69]。

3.5 抗病育种

为改良草鱼的抗病能力,国内许多学者曾瞩目于草鱼(♀)×团头鲂(♂)的杂交^[8,12-14],但由于杂种成活率低以及不育性使该研究受到影响。另外,青鱼与三角鲂正反交的杂种都具有较强的抗病力^[24-25]。兴国红鲤(♀)×草鱼(♂)的杂种及其与草鱼回交后代也能提高抗病力^[20-23]。

3.6 多倍体

在鱼类远缘杂交,特别是鲤科鱼类不同亚科的杂交中,出现多倍体现象已是屡见不鲜。如草鱼与团头鲂^[98]、鲫与鲢^[28]和草鱼与三角鲂^[15-16]的杂交都可得到三倍体。刘筠等^[99]以红鲫为母本、湘江野鲤为父本进行杂交所得到的杂种“鲫鲤”(当时称“湘鲫”),部分雌性个体是可育的,并检测出 F_1 和 F_2 是异源二倍体, F_3 以后是可育的异源四倍体,目前已繁殖至 F_{14} ^[46,94,101]。刘少军等^[106]和孙远东等^[107]分别检测了异源四倍体鲫鲤 F_3 — F_8 和 F_9 — F_{11} 的染色体数目和组型,结果发现异源四倍体鲫鲤群体的每一代染色体数目都为 $4n=200$,而且染色体组型也保持一致。李建中等^[101]通过对异源四倍体鲫鲤群体遗传多样性的RAPD分析发现,异源四倍体鲫鲤的多态座位仅占总座位比例的2.9%。异源四倍体鲫鲤稳定的染色体数目、较少的多态座位、正常的性腺结构以及自然条件下的生殖传代行为,说明该异源四倍体鲫鲤已成为一个遗传性状稳定的新型四倍体鱼群体。在生产应用上,用异源四倍体鲫鲤作为父本,分别与二倍体白鲫和鲤杂交,便可大批量培育出生长快、个体大、肉质好、抗逆性强的不育异源三倍体后代,分别命名为“湘云鲫”和“湘云鲤”。至于异源二倍体 F_2 自交形成异源四倍体 F_3 的机理,研究

发现,在一些 F_2 雄性个体的精子中产生二倍体大精子和在一些 F_2 雌性个体卵子中产生二倍体大卵子,他们受精后即形成两性可育的异源四倍体 F_3 ^[106-107]。

吴维新等^[20]用兴国红鲤(♀)×草鱼(♂)杂交,结果获得可育的异源四倍体杂种,这为解决亚科间杂种为不育三倍体的情况提供了新的途径,从而使亚科间远缘杂交纳入育种范围成为可能。

3.7 诱发雌核发育

通过目间、科间、亚科间和属间杂交都有可能诱发雌核发育(gynogenesis)。如草鱼(♀)×鲤(♂)^[19,98]、鲫(♀)×鲢(♂)^[28]和兴国红鲤(♀)×草鱼(♂)^[22]等。蒋一珪等^[43]用兴国红鲤为父本,方正银鲫为母本进行属间“杂交”,结果发现尽管红鲤精子入卵后并没有与卵核真正结合,但能刺激银鲫卵雌核发育以及影响子代的某些性状,表现出异源精子的生物学效应。他们把这种表现出异源精子生物学效应的雌核发育称为异精雌核发育(allogynogenesis)。异精雌核发育的子代即为异育银鲫^[43,102]。异育银鲫具有明显的生长优势,生长速度较方正银鲫快1/3左右。目前异育银鲫已在中国20多个省、市、自治区推广养殖。异育银鲫的育成及其在许多地方的推广,可视为中国鱼类雌核发育研究从试验阶段进入实用阶段的开始,为世界所瞩目。后来朱蓝菲等^[108]从天然雌核发育银鲫中分离出4个不同品系,其中D品系的体型最高,以D系银鲫为母本生产的高体型异育银鲫,其产量比未经选育的混合品系为母本生产的异育银鲫又提高10%—20%。

3.8 诱发雄核发育

除雌核发育外,有时也可在不同鱼类远缘杂交中观察到雄核发育(androgenesis)。李传武等^[103]从10万粒红鲤(♀)与草鱼(♂)的杂交卵中获得1尾能正常存活的“草鱼型杂种”,经染色体组型分析证实为雄核发育二倍体草鱼。俞豪祥等^[104]在异育银鲫(♀)与兴国红鲤(♂)杂交的821尾 F_1 鱼种中发现1尾雄核发育二倍体鲤。另外,红鲫(♀)与草鱼(♂)的杂交也出现了雄核发育单倍体草鱼胚胎,孵化率高达83.1%,且仔鱼外观正常,但未能发育至开口摄食而死亡^[105]。叶玉珍等在进行草鱼和鲤杂交的细胞学研究时发现,当以草鱼为母本时就可能出现雌核发育,而当以草鱼为父本时就可能出现雄

核发育^[19]。鲫(♀)与鲢(♂)的杂交组合中也可观察到雄核发育单倍体胚胎^[28]。

事实上,有的杂交后代兼有几方面的优点,例如奥尼鱼除雄性率高外,在生长速度、抗寒能力和起捕率等方面都有明显的杂种优势^[69]。

4 结语

4.1 远缘杂交具有广阔的应用前景

杂交是最经典的育种方法之一。目前,尽管在鱼类育种实践中细胞工程和基因工程等育种新技术的应用越来越受到重视,但毕竟还处在探索和试验阶段,离实际应用尚有一定距离,而近缘杂交(品种内或品种间杂交)在以往的育种中虽然发挥了重要作用,但由于鱼类种质资源交流的广泛开展,使现有鱼类品种的有利基因得到了充分的利用,潜力已越来越小。同时,近缘品种间杂交的变异幅度也很有限,现代育种学提出的许多新的更高的要求,单靠近缘品种杂交已无法解决,因此,远缘杂交已越来越受到世界各国鱼类育种学家的重视。远缘杂交可以显著地扩大和丰富鱼类育种的基因库,促进种间基因的交流,引入异种的有利基因,因而能够创造出前所未有的新变异种类,甚至合成新的物种。

4.2 加强对杂交亲本的相容性的研究

按照育种目标,正确选择杂交亲本和合理配组是杂交成败的关键。为了提高杂交成功率,应采用细胞遗传学、生化遗传学和分子遗传学等方法加强对杂交亲本相容性(亲和力)的研究,增加预见性,克服盲目性。要走出“亲缘关系越远,杂种优势越强”的误区。因为亲缘关系越远,“种间隔离”的障碍越大,要么不能受精,即使能够受精,由于两亲本在生理上和遗传上差异过大,导致杂种生理混乱,个体发育受阻,产生畸形或中途死亡。即使能够成活下来,其生殖器官的发育受到破坏,影响正常生殖细胞的产生,即杂种不育。

4.3 解决杂种优势的多代利用问题

目前杂交优势的利用仅限于杂交一代,因此必须年年制种,比较麻烦。今后要重点解决杂种优势的多代利用问题,即通过杂交并结合现代生物技术培育出遗传性状稳定的新品种或新类型,就如同前面提到的异源四倍体鲫鲤一样。异源四倍体鲫鲤是从红鲫和湘江野鲤的杂交后代中选育出来的,目前已作为一种基因库进行培育,由它产生的“湘云鲫”和“湘云鲤”已被推广到除西藏以外的全国各省、市、

自治区养殖,获得了巨大的经济效益和社会效益。下一步的主要任务就是进行异源四倍体鲫鲤种群的提纯与复壮,有效地提高它的遗传多样性水平。

4.4 绝对防止用杂种繁殖后代

杂种是一个杂合体,自交会产生分离。因此,应该绝对防止用杂种繁殖后代。杂种只应限定在可以捕捞干净的小型水体中饲养,严禁将杂种投放于大型水体中。即使小型水体饲养也得特别提防它们逃入大型水体。一旦杂种一代逃入大型水体,它们就有可能与同类自交或与其他鱼类杂交而造成严重的遗传污染(genetic contamination),其后果不堪设想。但如果通过杂交获得不育的三倍体鱼类,如“湘云鲫”和“湘云鲤”等,就不存在这样的问题。

参考文献:

- [1] Schwartz F J. World literature to fish hybrids with an analysis by family, species, and hybrid [M]. Pub Gulf Coast Res Lab Mus(Mississippi), 1972.
- [2] Schwartz F J. World literature to fish hybrids with an analysis by family, species, and hybrid: supplement 1 [M]. NOAA Technical Report NMFS SSRF-750, 1981.
- [3] 楼允东. 鱼类育种学[M]. 北京:中国农业出版社, 1999.
- [4] 长江水产研究所. 家鱼人工繁殖技术[M]. 北京:农业出版社, 1973: 83.
- [5] 上海水产学院水产养殖系 1959 级学生. 池塘养鱼讲义 [M]. 北京:高等教育出版社, 1959: 172.
- [6] 俞菊华, 夏德全, 杨 弘, 等. 奥利亚罗非鱼(♀)与鲫(♂)杂交后代的形态[J]. 水产学报, 2003, 27(5): 431-435.
- [7] 杨 弘, 夏德全, 刘 蕾, 等. 奥利亚罗非鱼(♀)与鲫(♂)及其子代间遗传关系的研究[J]. 水产学报, 2004, 28(5): 594-598.
- [8] 北京市水产试验站. 鱼类引种和杂交试验的初步总结[J]. 淡水渔业科技动态, 1973(3): 15-18.
- [9] 郭汉青, 徐福命, 王寅贵, 等. 草鱼与鲢鱼人工杂交及其后代的初步观察[J]. 动物学杂志, 1966(4): 188-189, 154.
- [10] 湖南师范学院生物系. 草鱼(♂)与鲢(♀)杂交试验的初步结果和受精细胞学的研究(摘要)[J]. 淡水渔业科技动态, 1973(6): 2-4.
- [11] 湖北省水生生物研究所. 花鲢和草鱼杂交试验[J]. 淡水渔业科技动态, 1973(10): 9-10.
- [12] 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]. 淡水渔业科技动态, 1975(2): 11-13.
- [13] 长江水产研究所. 草鱼与武昌鱼的人工杂交[J]. 动物利用与防治, 1972(2): 22-23.
- [14] 长江水产研究所. 草鱼与武昌鱼杂交种[J]. 农业科技通讯(北京), 1972(2): 34-37.
- [15] 刘恩阳, 李家文. 三倍体草鲮杂种及其双亲的红细胞(核)大

- 小和DNA含量[J]. 遗传学报, 1987, 14(2): 142-148.
- [16] 刘思阳. 三倍体草鲂杂种及其双亲的细胞遗传学研究[J]. 水生生物学报, 1987, 11(1): 52-58.
- [17] 刘思阳. 草鱼卵子和三角鲂精子杂交的受精细胞学研究[J]. 水产学报, 1987, 11(3): 225-232.
- [18] 江苏省建湖县水产养殖场科研小组. 草鱼与翘嘴红鲌杂交的试验报告[J]. 淡水渔业, 1974(3): 22-23.
- [19] 叶玉珍, 吴清江, 陈荣德. 草鱼与鲢杂交的胚胎学研究——鱼类远缘杂交核质不同步现象[J]. 水生生物学报, 1989, 13(3): 234-239.
- [20] 吴维新, 林临安, 徐大义. 一个四倍体杂种——兴国红鲤×草鱼[J]. 水生生物学集刊, 1981, 7(3): 433-436.
- [21] 吴维新, 李传武, 刘国安, 等. 鲤与草鱼杂交四倍体及其回交三倍体草鱼杂种的研究[J]. 水生生物学报, 1988, 12(4): 355-363.
- [22] 刘国安, 吴维新, 林临安, 等. 兴国红鲤同草鱼杂交的受精细胞学研究[J]. 水产学报, 1987, 11(1): 17-21.
- [23] 李传武. 兴国红鲤、草鱼及其杂种一代血清蛋白质的电泳分析[J]. 淡水渔业, 1991(6): 12-14.
- [24] 陈淑群. 青鱼(♀)和三角鲂(♂)不同亚种之间的杂交研究 I. 青鱼(♀)和三角鲂(♂)及其子一代的比较细胞遗传学研究[J]. 湖南师范大学学报(自然科学版), 1984, 7(4): 71-80.
- [25] 刘 琦, 陈淑群, 王义锐, 等. 三角鲂(*Megalobrama terminalis*)精子与青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)卵子的受精细胞学研究[J]. 水生生物学集刊, 1981, 7(3): 329-340.
- [26] 顾光贵. 鲢鲂杂交的初步研究[J]. 淡水渔业, 1987(1): 17-19.
- [27] 朱重葦, 桂建芳, 梁绍昌, 等. 鲢的远缘杂交子代和人工三倍体的同工酶表达[J]. 水生生物学报, 1993, 17(4): 293-297.
- [28] 桂建芳, 梁绍昌, 朱重葦, 等. 鱼类远缘杂交正反交杂种胚胎发育差异的细胞遗传学分析[J]. 动物学研究, 1993, 14(2): 171-177.
- [29] 王 浩, 刘荣雄. 鲢鱼(♀)和鲤鱼(♂)杂交的研究[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1986, 22(1): 87-94.
- [30] 金万昆, 朱振秀, 王春英, 等. 散鳞镜鲤(♀)与团头鲂(♂)亚种间杂交获得高成活率杂交后代[J]. 中国水产科学, 2003, 10(2): 159.
- [31] 金万昆, 朱振秀, 王春英, 等. 散鳞镜鲤(♀)与团头鲂(♂)杂交及其杂种F₁的形态学特征[J]. 淡水渔业, 2003, 33(5): 16-18.
- [32] 长江水产研究所, 厦门水产学院. 两年来淡水养殖鱼类优良品种选育和基础理论研究概况[J]. 动物学杂志, 1975(1): 43-45.
- [33] 陈桂礼, 蒋益祥, 何 工. 鲫鲤杂交鱼自然繁殖了新一代[J]. 动物学杂志, 1979(4): 8.
- [34] 曹伏君. 鲫(♀)鲤(♂)杂交F₁代精巢细胞学研究[J]. 湛江海洋大学学报, 1999, 19(1): 4-9.
- [35] 吴维新, 曾国清, 李传武, 等. 鲫鲤杂交子代教育的细胞遗传学研究[J]. 中国水产科学, 1999, 6(3): 94-95.
- [36] 阎乃岳. 鲫鲤杂交种的培育[J]. 生物学通报, 1959(9): 395-399.
- [37] 陈敏容, 何 康, 刘汉勤, 等. 人工诱导白鲫(♀)×红鲤(♂)异源四倍体鱼的初步研究[J]. 水生生物学报, 1987, 11(1): 96-98.
- [38] 张克俭, 高 健, 张景龙, 等. 兴淮鲫(白鲫♀×散鳞镜鲤♂)及其双亲同工酶的研究[J]. 上海水产大学学报, 1993, 2(4): 181-187.
- [39] 张克俭, 何玉明, 张景龙, 等. 兴淮鲫(白鲫♀×散鳞镜鲤♂)及其双亲血清蛋白的电泳分析[J]. 上海水产大学学报, 1994, 3(1-2): 75-78.
- [40] 张克俭, 张景龙, 何玉明, 等. 兴淮鲫(白鲫♀×散鳞镜鲤♂)性腺发育的研究[J]. 水产学报, 1995, 19(1): 58-64.
- [41] 张克俭, 高 健, 张景龙, 等. 杂交鲫(白鲫♀×散鳞镜鲤♂)及其双亲染色体组型的研究[J]. 水产学报, 1995, 19(4): 305-309.
- [42] 陈道印. 远缘鲫(日本白鲫♀×兴国红鲤♂)人工繁育获得成功[J]. 动物学杂志, 2000, 35(4): 60-61.
- [43] 蒋一瑾, 梁绍昌, 陈本德, 等. 异源精子在鲫雌核发育子代中的生物学效应[J]. 水生生物学集刊, 1983, 8(1): 1-16.
- [44] 吴端生, 刘 琦. 红鲫与湘江野鲤杂交的受精细胞学研究[J]. 动物学研究, 1993, 14(3): 277-282.
- [45] 杨葆生. 鲫鲤杂交一代(F₁)自交的受精细胞学观察[J]. 湛江水产学院学报, 1996, 16(2): 24-28.
- [46] 冯 浩, 刘少军, 张轩杰, 等. 红鲫(♀)与湘江野鲤(♂)F₂和F₃的染色体研究[J]. 中国水产科学, 2001, 8(2): 1-4.
- [47] 长江水产研究所. 鲢♀×(鲢♀×鲢♂)♂回交育种试验报告[J]. 遗传学报, 1975, 2(2): 144-152.
- [48] 安徽省泗县水产养殖场. 鱼类杂交消息[J]. 淡水渔业科技动态, 1973(12): 27-28.
- [49] 张中英, 仇渭如, 胡 成, 等. 鲢♀×(鲢♀×鲢♂)♂回交鱼胚胎、幼鱼发育研究[J]. 动物学报, 1979, 25(2): 108-117.
- [50] 山西大学生物系, 太原市农林水利服务站. 鲢人工杂交的初步研究[J]. 淡水渔业科技动态, 1973(5): 6-9.
- [51] 殷源洪, 韩 尚, 韩如斋. 鲢人工杂交的初步研究[J]. 遗传学通讯, 1974(3): 36-38.
- [52] 广东省佛山地区水产局. 团头鲂长春鲌杂交种[J]. 水产科技情报, 1975(4): 18-19.
- [53] 林文浩. 长春鲌、团头鲂及其杂种染色体组型的比较[J]. 动物学研究, 1984, 5(3)增刊: 65-66.
- [54] 南昌水产科学研究所. 青鱼和草鱼杂交种的培育[J]. 淡水渔业科技动态, 1973(1): 10-14.
- [55] 江世贵, 李加儿, 区义君, 等. 平鲌♀与真鲷♂的杂交研究[J]. 海洋科学, 1997(5): 33-38.
- [56] 区义君, 李加儿, 周宏国. 鲷科鱼类属间远缘杂交的发育和生长[J]. 中国水产科学, 2000, 7(2): 110-112.
- [57] 张扬宗, 谭玉钧, 欧阳海. 中国池塘养殖学[M]. 北京: 科学出版社, 1990. 89-120.
- [58] 魏 楠. 瓦氏黄颡鱼与长吻鮠杂交的初步研究[J]. 淡水渔业, 1987(6): 14-17.
- [59] 广西水产研究所良种室鮠鱼组. 利用杂交提高鮠鱼的耐寒性[J]. 淡水渔业, 1980(6): 26.

- [60] 张锦霞,刘肖芳,王祖熊,等. 湖华鲮(♂)×鲮(♀)杂交一代与其双亲染色体组型的比较研究[J]. 水生生物学集刊, 1984, 8(3): 313-322.
- [61] 王祖熊,张锦霞,黄文郁,等. 鲮鱼遗传改良的研究 I. 杂交育种和遗传性状分析[J]. 水生生物学集刊, 1984, 8(2): 195-206.
- [62] 长江水产研究所育种室引种驯化组. 海南岛大鳞鲃与珠江鲮、长江鲮杂交成功[J]. 淡水渔业科技杂志, 1977(9): 20-21.
- [63] 仇潜如,金德沂,张中英,等. 大鳞白鲃与白鲃杂交试验 I. 大鳞鲃♀×珠江鲃♂杂交鱼种与白鲃鱼种的生长对比观察[J]. 淡水渔业科技杂志, 1978(1): 20-23.
- [64] 张建森,马仲波,王楚松. 元江鲃♀×柏氏鲃♂杂交一代(柏元鲃)的研究和利用[J]. 淡水渔业, 1979(2): 14-18.
- [65] 刘荣峰,王 杰,陈洁平. 两种罗非鱼及其杂种血清蛋白的聚丙烯酰胺凝胶电泳分离及其雌性特异蛋白氨基酸的分析[J]. 水产学报, 1985, 9(3): 265-273.
- [66] 万松良,黄二春,齐彩霞,等. 莫尼杂种全雄鱼与尼罗罗非鱼生产性能的比较试验[J]. 淡水渔业, 1987(2): 15-16.
- [67] 罗俊烈. 杂种优势在鱼类生产上的利用[J]. 动物学杂志, 1990, 25(3): 54-57.
- [68] 李生武,雷逢玉,田习初. 尼罗罗非鱼(♀)×奥利亚罗非鱼(♂)及其杂种(F₁)酯酶(EST)同工酶的研究[J]. 淡水渔业, 1988(3): 22-25.
- [69] 王楚松,夏德全,胡 政,等. 莫尼鱼(*S. niloticus*♀×*S. aureus*♂)杂种优势利用的研究[J]. 淡水渔业, 1989(6): 14-15, 13.
- [70] 夏德全,曹 莹,杨 弘,等. 罗非鱼杂交 F₁代与亲本的遗传关系及其杂种优势的利用[J]. 中国水产科学, 1999, 6(4): 29-32.
- [71] 许玉德,许 莉,钟建兴. 杂交一代(尼罗罗非鱼♀×奥利亚罗非鱼♂)及其亲本基因组 DNA 的比较[J]. 水产学报, 2001, 25(1): 16-19.
- [72] 杨和荣,楼允东,徐庆登,等. 高邮鲫(鲫♀×白鲫♂)及其双亲的食性分析[J]. 水产科技情报, 1991, 18(6): 173-176.
- [73] 张毓人,楼允东,徐庆登,等. 高邮杂交鲫及其亲本消化道形态与组织学观察[J]. 水产学报, 1992, 16(1): 80-85.
- [74] 楼允东,张克俊,徐庆登,等. 高邮杂交鲫及其亲本遗传性状的比较研究[J]. 遗传, 1992, 14(4): 18-20.
- [75] 徐庆登,全宝昌,楼允东,等. 高邮杂交鲫杂种优势利用及其遗传性状[J]. 上海水产大学学报, 1992, 1(1-2): 10-19.
- [76] 楼允东,沈 斌,徐庆登,等. 高邮杂交鲫(鲫♀×白鲫♂)及其亲本血清生化组成的比较研究[J]. 水生生物学报, 1995, 19(2): 157-163.
- [77] 张建群. 本地胡子鲇与埃及革胡子鲇杂交试验报告[J]. 淡水渔业, 1987(3): 25-26.
- [78] 沈织彬,邹国民,胡子鲇(♀)×革胡子鲇(♂)杂交一代与亲本经济性状比较的初步研究[J]. 淡水渔业, 1987(4): 26-29.
- [79] 邹国民,陈显惠,罗建仁,等. 三种胡子鲇及其杂种 F₁的乳酸脱氢酶同工酶的比较[J]. 动物学研究, 1990, 11(3): 243-247.
- [80] 邹国民,罗建仁,陈显惠,等. 胡子鲇×革胡子鲇 F₁与其亲本的形态学和细胞学分析比较[J]. 水生生物学报, 1990, 14(4): 328-335.
- [81] 邹国民,陈显惠,罗建仁,等. 胡子鲇、革胡子鲇及其杂交一代的耗氧规律[J]. 中国水产科学, 1998, 5(4): 118-121.
- [82] 马 进,邹国民,胡 红,等. 斑点胡子鲇和革胡子鲇杂交一代的染色体组型[J]. 淡水渔业, 1996, 26(6): 17-18.
- [83] 王朝明,邹桂伟,罗相忠,等. 大口鲈(♀)与鲈鱼(♂)的杂交试验[J]. 淡水渔业, 2004, 34(6): 41-43.
- [84] 叶 星,谢 刚,许淑英,等. 广东鲈(♀)×团头鲂(♂)杂交子一代及其双亲同工酶的比较[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(2): 118-122.
- [85] 叶 星,谢 刚,邵宝伦,等. 广东鲈(♀)×团头鲂(♂)杂交一代及其双亲染色体组型的分析[J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(2): 102-107.
- [86] 杨怀宇,李思发,邹耀明. 三角鲂与团头鲂正反交 F₁的遗传性状[J]. 上海水产大学学报, 2002, 11(4): 305-309.
- [87] 王卫民,严安生,张志国. 黄颡鱼♀×瓦氏黄颡鱼♂的杂交研究[J]. 淡水渔业, 2002, 32(3): 3-5.
- [88] 宋盛亮,许波涛. 红鳊鱼与青鳊鱼的杂交种——“青红鳊鱼”在粤诞生[J]. 水产科技情报, 1987(5): 29.
- [89] 张兴忠,仇潜如,陈普龙,等. 鱼类遗传与育种[M]. 北京:农业出版社, 1988.
- [90] Sasaki R, Fukuda Y. Sexual maturity of F₁ hybrids among salmonid fishes[J]. Bull Fresh Fish Res Lab, 1974, 23: 57-74.
- [91] 肖 鱼. 鲫鱼杂交的初步试验[J]. 水产科技情报, 1977(5-6): 39-41.
- [92] 松井佳一. コイとフの雑種不妊に關する細胞学的研究[J]. 魚類學雜誌(日), 1956, 5(2-3): 52-57.
- [93] 施佳礼,蒋益祥,何 江. 湖南东湖渔场鲫鲤杂交自然繁殖育出新一代[J]. 淡水渔业, 1979(9): 33.
- [94] 刘 筠,周工健. 红鲫(♀)×湘江野鲤(♂)杂交一代生殖腺的细胞学研究[J]. 水生生物学报, 1986, 10(2): 101-111.
- [95] 刘思阳. 三倍体草鱼杂种与双亲性腺发育的比较观察[J]. 淡水渔业, 1988(4): 27-28.
- [96] 吴清江,桂建芳. 鱼类遗传育种工程[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1999. 82-85.
- [97] 王祖熊,张锦霞,靳光琴. 鱼类杂交不亲和性的研究[J]. 水生生物学报, 1986, 10(2): 171-179.
- [98] 吴清江,傅洪拓,叶玉珍. 酶的基因剂量效应及其对鱼类远缘杂交的影响[J]. 水生生物学报, 1997, 21(2): 143-151.
- [99] 刘 筠. 中国养殖鱼类繁殖生理学[M]. 北京:农业出版社, 1993. 117.
- [100] 王祖熊,黄文郁. 鲮鱼混精受精的育种试验[J]. 水产学报, 1985, 9(2): 203-206.
- [101] 李建中,刘少军,张轩杰,等. 异源四倍体群体遗传多样性的 RAPD 分析[J]. 水生生物学报, 2005, 29(1): 97-100.
- [102] 俞豪祥. 银鲫雌核发育的细胞学观察[J]. 水生生物学集刊, 1982, 7(4): 481-487.
- [103] 李传武,吴维新,徐大义,等. 鲤和草鱼杂交中雌核发育子代

- 的研究[J]. 水产学报, 1990, 14(2): 153-156.
- [104] 俞豪祥, 张晓明. 雌核发育异育银鲫出现杂交种[J]. 水产科技情报, 1994, 21(3): 131.
- [105] 蒋一佳, 俞豪祥, 陈本德, 等. 鲫鱼的人工和天然雌核发育[J]. 水生生物学集刊, 1982, 7(4): 471-477.
- [106] Liu S J, Liu Y, Zhou G J, et al. The formation of tetraploid of red crucian carp $\times$ common carp hybrids as an effect of inter-specific hybridization[J]. *Aquaculture*, 2001, 192: 171-186.
- [107] 孙远东, 刘少军, 张一纯, 等. 异源四倍体鲫鲤 F_1-F_{11} 染色体和性腺观察[J]. 遗传学报, 2003, 30(5): 414-418.
- [108] 朱盛华, 蒋一佳. 银鲫不同雌核发育系的生物学特性比较研究[J]. 水生生物学报, 1993, 17(2): 112-120.

Distant hybridization of fish and its application in aquaculture in China

LOU Yun-dong, LI Xiao-qin

(College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: Based on a large number of research papers, the study progress on distant hybridization of fish in China was described from three aspects: (1) The class of distant hybridization in fish, including the interorder hybridization, interfamilial hybridization, inter-subfamily hybridization, intergeneric hybridization and interspecific hybridization, etc.; (2) The compatibility of distant hybridization in fish, dealing with the fertility of distant hybridization in fish and reasoning of incompatibility of distant hybridization in fish. (3) The application of fish distant hybridization in aquaculture, for example the utilization of heterosis, sex control, induction of polyploid, gynogenesis and androgenesis, etc. [Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(1): 151-158]

Key words: fish; distant hybridization; aquaculture

欢迎订阅《中国水产科学》

《中国水产科学》是中国水产科学研究院主办的国家级学术期刊, 主要报道水产生物学基础研究、水产生物病害及其防治、水产生物营养及饲料、渔业生态保护及渔业水域环境保护、水产品保鲜与加工综合利用、水产资源、海淡水捕捞、水产养殖与增殖以及渔船、渔业机械与仪器等方面的最新进展、最新成果、最新技术和方法。主要服务对象是广大科研人员以及大专院校师生。本刊在促进中国的水产科学研究、加强国际间学术交流、展示中国水产界最新科研成果与研究进展等方面发挥了重要的作用。2004年本刊被评为“中国百种杰出学术期刊”。

本刊为双月刊, A4开本, 每期150页, 双月出版, 国内外公开发行。国内定价20元/期, 全年120元(含邮费)。邮发代号: 18-250, 国内统一刊号: CN11-3446/S, 国际标准刊号: ISSN1005-8737, 国外代号4639Q。全国各地邮电局(所)办理订阅手续(可被季订)。漏订或补订当年和过期期刊, 请直接向编辑部订阅。

编辑部地址: 北京市丰台区青塔村150号, 邮政编码: 100039

联系电话: 010-68673921, 传真: 010-68673931

E-mail: jfishok@publica.bj.cninfo.net 网址: www.cnfs.ac.cn; www.wsnfangdata.com.cn