

文章编号: 1674 - 5566(2012)04 - 0575 - 06

鲤抗病育种研究进展

贾智英, 石连玉, 孙效文

(中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070)

摘要: 尽管鲤养殖业取得了巨大成就,但病害问题仍然是其发展所面临的一个重要制约因素。病害防控方法,主要有环境防控、药物控制和疫苗法,而运用遗传改良来提高鲤抗病力被认为是一种切实可行的方法。虽然以提高生长为目的的多项鲤育种计划已经取得了成功,但有关抗病育种相关研究仍处于起步阶段。利用鲤群体所存在的有益遗传变异,选择合适的育种方法,积极开展抗病选育应该是今后鲤养殖业所必须关注的重要研究内容。从环境胁迫对抗病性状的影响、抗病性状的遗传学基础、抗病性状与其他性状的关系、抗病性状的测定、抗病育种具体方法等方面较系统地介绍了利用遗传改良来提高鲤抗病力的相关研究进展。

研究亮点: 抗病力是养殖鱼类一个重要经济性状,但由于基础研究薄弱、有效评价方法缺乏等原因,致使抗病选育工作远落后于以生长等性状为目标的育种研究。本文综述了鲤抗病育种相关研究进展,为鲤和其他鱼类的抗病育种工作提供了重要的参考。

关键词: 鲤; 抗病力; 遗传改良; 抗病育种

中图分类号: S 917

文献标志码: A

鲤(*Cyprinus carpio*)是世界范围内最重要的养殖鱼类之一。作为世界上第一个成功驯化的鱼类养殖品种,鲤适应能力较强,几乎在各种气候下,各类淡水池塘、水库、河流中均可以进行人工养殖。2008年鲤全球养殖产量高达298.74万吨,无论产量还是产值,连续多年均稳居养殖鱼类的前三位^[1]。然而,严重的病害问题致使鲤在集约化养殖和高产出的背后也存在着巨大的隐患。近年来,多种病害的爆发致使世界范围内,鲤养殖业蒙受了巨大的经济损失^[2-6],在尝试建立病害早期预警机制、积极研制有效的化学药物、努力开发防治疫苗的同时,积极探讨利用遗传改良来提高鱼体的抗病力被认为是一条有效的方法。本文在介绍鲤养殖业面临的疾病挑战的同时,探讨如何利用遗传改良方法来提高鲤抗病力,进而培育抗病新品种的可行性,并详细介绍了国内外开展此方面研究的相关进展,最后还结合课题组相关工作,介绍了在鲤抗病育种方面所取得的成绩,对鲤抗病育种工作进行了展望。

1 鲤养殖业面临的主要问题

1.1 病害频发,缺乏有效治疗方法

目前鲤养殖过程中面临着包括寄生虫病、真菌病、细菌病和病毒性等多种疾病。其中,病毒性病害是鲤养殖业最大的安全隐患。以疱疹病毒病为例,该病毒感染后的鲤,发病水温在17~27℃,发病高峰出现在22~24℃的水温条件下,患病鱼1~2d内死亡,其死亡率高达80%~100%。目前因疱疹病毒而引发的大规模死亡事件几乎遍布所有的鲤主要养殖区^[3,4,7-11]。由于缺乏严格的病害隔离措施、疾病或病原微生物的预警或快速检测手段和有效的治疗方法,导致病害泛滥、造成了巨大损失。事实上,寄生虫、真菌、细菌或病毒性病害,不管哪一种疾病的爆发都能造成巨大的经济损失,而目前鲤养殖主要所采用的池塘、网箱等高密度精养方式更加剧了疾病的传播,易造成巨大的损失。

传统的鱼类病害防控方式主要有两种:一是

收稿日期: 2012-01-24 修回日期: 2012-02-25

基金项目: 黑龙江省自然科学基金(C201044); 黑龙江省科技攻关项目(GZ11B203); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(201005); 国家高技术研究发展计划(2011AA100402); 公益性行业(农业)科研专项(200903045)

作者简介: 贾智英(1976—),女,博士,副研究员,研究方向为鱼类遗传育种。E-mail: zyjia2010@163.com

环境控制法,具体包括池塘放水前翻塘、晒塘,放水后注意投放密度、架设增氧机、定期分塘、定期换水,发病时及时换水等;二是采用化学药物法,使用抗生素等进行泼洒或投喂药饵等。在高密度的养殖环境下,环境控制法作用有限,而药物控制病害的方法存在许多缺点,如成本高、环境压力大,并且长期利用药物控制病害,还容易使养殖鱼类对药物产生抗性。对于像 CyHV-3 等病毒性疾病目前还没有有效的控制药物,对于水霉病的防治还缺乏禁用药物的有效替代药物。此外,在鱼类病害的控制方面还可以采用疫苗免疫或中草药方法^[12-15],但目前这些方法大多还处于早期研制阶段,尤其是对于像鲤这样低附加值的养殖品种来说,成本及给药方式等诸多问题没有解决,还远没有达到满足鱼病控制的需要。

由于鱼体的抗病能力是由多种基因和环境因素共同作用引起,从而呈现出连续的变异^[16],这为运用遗传改良来提高鱼体的抗病力提供了理论依据,利用育种的方法可以有效提高鲤的抗病能力。

1.2 抗病良种培育进展缓慢

作为世界上第一个成功驯化养殖的鱼类品种,从养殖经验上讲鲤经历了几个世纪的选育。我国作为鲤的养殖大国,在 20 世纪 70 年代末就开始探索鲤杂种优势利用和新品种培育,并取得突破性进展。进入 90 年代后,尤其是近些年,我国先后培育出像荷元鲤、荷包红鲤抗寒品系、松浦鲤、湘云鲤、墨龙鲤、松荷鲤、松浦镜鲤、福瑞鲤等一批养殖新品种。国外学者针对鲤采用杂交育种、染色体操作和选择育种等所进行的遗传改良工作也都取得了一定进展^[17]。客观来讲,这些成绩为目前鲤养殖业成绩的取得奠定了坚实的基础。然而,已有的遗传改良工作,尤其是国内,主要针对生长(体长、体重)性状,仅有极少数品种在其选择生长性状的同时顾及到了其他性状(如抗寒、无鳞率等)。以生长为育种目标对鲤养殖业来说应该是绝对正确的,然而在当前鲤养殖业发展已达到一定高度,病害频发,以及由于集约化高密度养殖导致的环境胁迫,进而引起鱼类免疫力低下、抗病力下降等一系列问题严重制约鲤养殖业健康、稳定和可持续发展的现状下,应该将育种目标多元化,尤其将抗病作为育种目标。虽然早在 20 世纪 60、70 年代已有国外学者

开展了鲤抗病研究^[18],但从已发表的文献来看,相关研究报道极少。截至目前,进行过较系统抗病选育研究并取得一定效果的仅限于鲤抗水肿病方面的研究,KIRPICHNIKOV^[19]从感染水肿病的鲤群体中选择存活个体进行繁育,每代选择压力 30%~35%,经过连续九代的选择取得了较理想的结果。抗水肿病的选育进展说明了遗传改良方法在鲤抗病育种方面的可行性,然而,对于鲤养殖业所面临的众多的疾病来讲,育种工作才刚刚起步,许多鲤养殖大国,包括我国,相关工作还几乎是空白,更谈不上选育出抗病良种和提高良种覆盖率了。

2 鲤抗病育种相关研究进展

2.1 环境胁迫对抗病性状的影响

由于鱼体所表现出的抗病性受到鱼体表面的粘液和皮肤的屏障作用、抗体能力、分泌物对病原体的破坏作用、抗病相关物质的吸收和代谢效率等诸多因素影响^[20],使得环境胁迫对其影响更为突出。鲤在集约化养殖实践中面临着众多环境胁迫因素,包括人工促熟、催产、药浴、拉网、倒池、运输等操作因素,以及水温、pH 等不稳定的水环境因素。事实上,如果环境胁迫作用达到一定的破坏程度,鱼体的抗病力就会受到严重挑战。一般来讲鱼体对环境胁迫作用的应答反应与陆生动物相似^[21],但水环境下鱼体的应答反应会受到诸如溶氧量或上皮细胞通透性等因素的重要影响^[22],此外,神经内分泌系统与免疫机制之间的相互作用也会影响到鱼体的免疫应答^[23]。KACHAMAKOVA 等^[24]发现在土池生长的鲤抗体水平要高于经紫外线消毒的清水环境中生长的鲤,用气单胞菌感染不同抗体水平的品系,发现高抗体水平的鲤品系具有较高的存活率,这表明抗体可以作为鲤抗病遗传选育的一个重要标记。

2.2 提高抗病性状的遗传学基础

群体或个体间存在的抗性变异是开展鲤抗病遗传改良工作的基础。以提高鱼类抗病力为目标任何育种计划,都必须以育种对象对于某种疾病的易感性存在遗传变异为前提^[25]。ØDEGÅRD 等^[26]研究了 4 个鲤群体对嗜水气单胞菌和疱疹病毒(KHV)的抗病性,结果发现感染 KHV 后 4 个群体的存活率存在极显著差异,分别为 0 (Szarvas 群体)、11% (Armur 群体)、12%

(Duna 群体)和 21% (Tana 群体),而感染嗜水气单胞菌后 4 个群体的存活率分别为 28% (Duna 群体)、31% (Armur 群体)、38% (Szarvas 群体)和 48% (Tana 群体),进而通过利用这些群体建立的 92 个家系进行了相关抗病遗传力的计算,其中嗜水气单胞菌抗性遗传力为 0.04,而 KHV 抗病力则高达 0.79。JURECKA 等^[27]研究了不同遗传背景的鲤品系对血锥浆虫的抗性,结果也表明不同品系易感性存在明显差别,波兰 R2 系易感性最低,而以色列 D 系易感性最高,通过正反交进行检测,结果显示波兰 R2 的后代与以色列 D 系相对血锥浆虫具有较高抗性。相关研究发现鲤养殖品系与野生群体间也存在明显的抗病差异,这或许是由于养殖鲤遗传变异低于野生鲤的缘故。KOHLMANN 等^[28]利用微卫星方法发现一个来自黑龙江的养殖亲鱼群体每个位点仅具有 2.7 个等位基因,而来自乌兹别克的一个野生群体则具有 14 个等位基因。养殖品系所具有的低水平的变异表明繁殖时仅仅利用了少数目的亲鱼,导致了某种程度上的近亲交配。SHAPIRA 等^[29]利用易感养殖鲤品系(N 和 D)与野生(S)鲤进行杂交,进而比较对 HCV 病毒的抗性,通过实验室浸泡的方法来感染实验鱼,结果发现存活率间存在明显的差异,杂交后代(D×S)存活率最高(60.7%),而自交品系(N×N)只有 8.0% 的存活率,表明某些杂交种具有抗病杂种优势。

以上事例证明遗传因素对鲤抗病力具有显著的影响,而且鲤不同群体或品系,甚至家系间存在明显的抗病性能遗传差异。鲤相关变异为抗病育种工作的开展奠定了良好的遗传学基础。

2.3 抗病性状与其他经济性状之间的关系

了解发病和未发病鱼的性状差异信息后,在具体的育种实践中就可以考虑如何利用这种遗传变异。事实上,抗病性状与抗病对生长和存活的影响密切相关,抗病选育的目的并非仅仅是抗病性状本身,抗病选育还应该顾及到抗病性状对选育群体其他期望性状的影响。病害对生长和存活的影响是直接的,通常来讲,病害不仅导致死亡,同时存活个体的生长率也会受到极大影响。例如某些寄生虫或细菌在大多数情况下并不会导致鲤大量死亡,但病害的发生会降低鱼体生长率。目前已经开展的鲤抗病育种研究主要针对水肿病和 KHV,水肿病一般会导致 50% 的死亡

率,而 KHV 则会导致高达 90%、甚至 100% 的死亡。抗病育种计划中继续突出抗病性状的重要性至关重要,因为目前并不存在一种切实可行的方法可使受到病害感染鱼体的生长不受到影响,而且,即使在以生长为选择目标的选育进程中,当病害发生后对生长性状的选择其实也兼顾到了抗病性状(存活率)。毕竟现阶段,还没有理想的方法来建立无特定病原体的繁殖群体。

某一群体一旦具有了足够高水平的抗病力就会将病害的危害降低到可以接受的范围内。这一情况已经在德国镜鲤的育种实践中得到了验证,然而,必须注意的是,选育进程中导致病害发生的病原与抗病群体必须共同进化,否则选育群体的抗病力将会出现下降。

2.4 抗病性状评价

任何抗病选育计划都必须以选择对象在经历了病害爆发后存活率能够显著提高为目标。鲤抗病选育与其他计划项目相比,最主要的特点就是抗病性状的准确测定比较困难。目前抗病相关育种规划主要依据鱼类暴露在病原体环境中一段时间后的死亡率。这就使育种进程中需设法模拟养殖池塘中病害的爆发,但具体操作却非常困难,因为在养殖环境下通过开展抗性感染试验来获取一个变化着的群体对于变化着的病原体抵抗力是比较困难。为了在人工感染试验中更好地模拟自然条件下病害的爆发,必须了解病害的感染途径以及如何进行人工感染才能更真实地模拟实际情况。此外,当前对人工控制环境下一些疾病的流行病学掌握的知识很有限,不能排除其他一些原因所导致的鱼体死亡。所以抗病育种进程中除了通常采用直接测定染病或疾病爆发时的死亡率指标外,还可利用与疾病相关的其他指标来作为衡量的标记。就标记而言,需要做的就是了解其遗传变异及其与抗病性之间的遗传相关性。免疫在鱼体抗病系统中扮演着极其重要的角色,因此疫免疫学指标可以作为评价抗病育种进展的一个重要的间接指标。例如作为获得性免疫活动重要组成部分的主要组织相容性复合体(major histocompatibility complex, MHC)基因,高度的多态性使其非常适宜参与疾病抗性相关的研究,而 RAKUS 等^[30]研究也证明 MHC 基因 Cyca-DAB1 等位基因多态性可以作为抗性育种进程评价的一个重要指标。

2.5 抗病育种方法

育种实践表明,一些成熟的技术方法如群体选育、家系选育均可用到鲤的抗病育种中。抗病育种方法主要依据实际情况来定,一般来说对于抗病遗传力比较低或者是由多基因控制的抗病性状进行选育时家系选择比较有效,如果抗病性状是由单个或是少数几个基因来控制的,群体选育或许比较有效。SCHÅPERCLAUS^[31]采用群体选择的方法进行鲤抗水肿病的选育,经过选择的品系在经历水肿病时仅有 11.5% 的死亡率,而对照鱼群死亡率却高达 57%。此外,品系之间杂交由于可以提高群体的异质性,可能会出现抗病力杂种优势,杂交种抗病性状可能为显性,杂交种可以用来为进一步的选择计划提供广泛的抗病遗传基础。SHAPIRA 等^[29]的研究结果也证明了这点,杂交种无论实验室环境还是池塘环境存活率均明显高于对照组。虽然杂交可以产生高抗病力,但已有的大多数研究表明选择育种方法或许更适合开展鲤抗病育种研究^[19]。此外,随着现代分子生物学技术的进步,一些成熟的标记技术完全可以用到抗病选育工作中,从而起到积极地辅助作用。例如,在牙鲈抗淋巴囊肿病品种培育过程中,分子标记起到了重要的辅助作用,应用分子标记辅助技术培育的 100 多万尾抗病牙鲈在 27 个养殖场进行养殖生产,效果非常理想,发病率为零^[32],这为鲤相关研究提供了重要借鉴。需要指出的是,抗病选育的具体进程取决于病害本身的特性,并没有一种统一的选育模式可以用到鲤的抗病育种中来。

2.6 我国鲤抗病育种相关进展

国内主要在镜鲤方面开展了鲤抗病育种研究。镜鲤作为北方地区重要的鲤养殖品种,2000 年以来在高密度网箱精养模式下已经连续多年发生爆发性死亡,死亡率高达 90%,经济损失巨大,严重影响镜鲤养殖业的健康、稳定和可持续性发展。如果不能找到一条切实可行的解决办法,镜鲤养殖业将受到重创。目前对这种疾病的防控措施并不成功。尽管对于导致这一危害的病原体还未准确鉴定,但疾病爆发之后总有 10% 左右的个体可以存活,这 10% 或许具有先天的遗传抗性。2007 年中国水产科学研究院黑龙江水产研究所设立专项资金启动了镜鲤抗病育种规划,为了尽快验证是否存在有益的遗传变

异,课题组采用了家系选育与群体选育相结合的方式,从阶段性结果来看,已选育 F₁ 中 3 个家系存活率较高,分别比对照组提高了 20.0%、59.5% 和 74.6%,这表明了用遗传改良来提高镜鲤抗病性能的可行性。在育种进程中电子标记与分子标记技术被引入到了抗病育种规划中,以便有效控制近交衰退和开展家系选育,同时课题组还密切关注抗病性状与生长等重要生产性状之间的遗传相关性,选育的最终目标是培育出镜鲤抗病新品种。此外,有关鲤抗病相关免疫基因 MHC 及相关育种标记的开发工作也取得了一定的研究进展,已证明镜鲤死亡和存活个体 MHC 基因多态性存在遗传差异,进而利用 MHC 基因找到了与抗病相关的基因标记^[33-34],进一步的育种工作正在展开。

3 展望

尽管针对鲤生长性状所进行的选择育种已经取得了一定的成功,新的技术方法使人们对鲤数量性状遗传变异的理解更加深刻,但有关鲤抗病育种相关研究还仅仅处于起步阶段。在鲤养殖产业面对严重的病害问题,而又缺乏行之有效的防控措施的情况下,遗传改良为鲤病害防控提供了一个积极有力的工具。利用鲤群体所存在的有益遗传变异,选择合适的育种方法,积极开展抗病选育应该是今后鲤养殖业所必须关注的重要内容。

鲤抗病选育与其他的选育计划一样面临着遗传参数准确评价的问题,由于物理标记的局限性(要求鱼体生长到一定规格),以区分家系,甚至个体为目的分子标记开发应用将是鲤抗病育种工作的良好选择。此外,随着现代生物技术的飞速发展,一些与抗病性能密切相关的基因标记(如 MHC 基因等)的相关研究应该加强,一些研究成果应该及时地被利用到鲤抗病育种实践中,以期加快选育进程。值得注意的是,生物技术的飞速发展,鱼类抗病相关功能基因筛选、分子标记技术的进步,为鲤开展抗病分子育种的研究奠定了良好基础,尤其是鲤分子育种理论的提出^[35],基因组计划的实施更为鲤抗病育种实践提供了技术上的巨大支持,再加上国家“十二五”农业科技投入的不断加大,有理由相信,在鲤抗病育种方面我国将走在国际前沿。抗病新品种的

成功培育也必将促进鲤养殖业的长足发展。

参考文献:

- [1] FAO. FAO year books; Fishery and aquaculture statistics[R]. 2008:28.
- [2] HEDRICK R P, GILAD O, YUN S, et al. A herpesvirus associated with mass mortality of juvenile and adult koi, a strain of common carp [J]. Journal of Aquatic Animal Health, 2000,12:44 - 57.
- [3] HAENEN O L M, WAY K, BERGMANN S M, et al. The emergence of koi herpesvirus and its significance to European aquaculture [J]. Bulletin European Association of Fish Pathologists, 2004,24:293 - 307.
- [4] SANO M, ITO T, KURITA J, et al. First detection of koi herpesvirus in cultured common carp *Cyprinus carpio* in Japan [J]. Fish Pathology, 2004,39:165 - 168.
- [5] HEMAPRASANTH K P, RAGHAVENDRA A, SINGH R, et al. Efficacy of doramectin against natural and experimental infections of *Lernaea cyprinae* in carps [J]. Veterinary Parasitology, 2008:156,261 - 269.
- [6] IRIE T, WATARAI S, IWASAKI T, et al. Protection against experimental *Aeromonas salmonicida* infection in carp by oral immunisation with bacterial antigen entrapped liposomes[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2005,18:235 - 242.
- [7] LIOUZE M, DISHON A, KOTLER M. Characterization of a novel virus causing a lethal disease in carp and koi [J]. Microbiology and Molecular biology Reviews, 2006: 147 - 156.
- [8] EL-MATBOULT M, SOLIMAN H. Transmission of Cyprinid herpesvirus-3 (CyHV-3) from goldfish to native common carp by cohabitation [J]. Research in Veterinary Science, 2011, 90: 536 - 539.
- [9] TU C, WENG M C, SHIAU J R, et al. Detection of koi herpesvirus in koi *Cyprinus carpio* in Taiwan [J]. Fish Pathology, 2004,39:109 - 110.
- [10] AOKI T, HIRONO I, KUROKAWA K, et al. Genome sequences of three koi herpesvirus isolates representing the expanding distribution of an emerging disease threatening koi and common carp worldwide [J]. Journal of Virology, 2007, 81:5058 - 5065.
- [11] BONDAT-REANTASO M G, SUNARTO A, SUBASINGHE R P. Managing the koi herpesvirus disease outbreak in Indonesia and the lessons learned [J]. Developments in Biologicals (Basel), 2007,129:21 - 28.
- [12] 白俊杰, 叶星. DNA 疫苗及其在水产养殖中的应用研究进展 [J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(1):70 - 72.
- [13] KANELLOO T, SYLVESTER I D, D'MELLO F, et al. DNA vaccination can protect *Cyprinus carpio* against spring viraemia of carp virus [J]. Vaccine, 2006,24:4927 - 4933.
- [14] 刘波, 周群兰, 何义进, 等. 植物提取物对异育银鲫生长、免疫与抗氧化相关因子及抗病力的影响 [J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(2):193 - 198.
- [15] 王悦荣, 邓炳云, 黄鉴洪, 等. 中草药防治罗非鱼肠炎病研究试验 [J]. 海洋与渔业, 2008(8):7 - 8.
- [16] FJALESTAD K T, GJEDREM T, GJERDE B. Genetic improvement of disease resistance in fish [J]. Aquaculture, 1993, 111:65 - 74.
- [17] VANDEPUTTE M. Selective breeding of quantitative traits in the common carp (*Cyprinus carpio*): a review [J]. Aquatic Living Resources, 2003,16:399 - 407.
- [18] KIRPICHNIKOV V S, PONOMARENKO K V, TOLMACHEVA N V, et al. Methods and effectiveness of breeding Ropshian carp. II. Methods of selection [J]. Soviet Genetics, 1974, 10:1108 - 1116.
- [19] KIRPICHNIKOV V S. Genetics and breeding of common carp [M]. INRA. Editions, Paris, 1999.
- [20] WOLF L E. Development of disease resistant strains of fish [J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1953, 83: 342 - 349.
- [21] WENDELAAR B S E. The stress response in fish [J]. Physiological Reviews, 1997,77:591 - 625.
- [22] IGER Y, BALM P H M, JENNER H A, et al. Cortisol induces stress-related changes in the skin of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. General and Comparative Endocrinology, 1995, 97: 188 - 198.
- [23] WEYTS F A, VERBURG-VAN K B M, FLIK G, et al. Conservation of apoptosis as an immune regulatory mechanism: effects of cortisol and cortisone on carp lymphocytes [J]. Brain Behavior and Immunity, 1997, 11: 95 - 105.
- [24] KACHAMAKOVA N M, IRNAIAROW I, PARMENTIER H K, et al. Genetic differences in natural antibody levels in common carp (*Cyprinus carpio* L.) [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2006,21: 404 - 413.
- [25] LUND T, CHAIYVAREESAJJA J, LARSEN H J S, et al. Antibody response after immunization as a potential indirect marker for improved resistance against furunculosis [J]. Fish & Shellfish Immunology, 1995,5:109 - 119.
- [26] ØDEGÅRD J, OLESEN I, DIXON P, et al. Genetic analysis of common carp (*Cyprinus carpio*) strains II: Resistance to koi herpes virus and *Aeromonas hydrophila* and their relationship with pond survival [J]. Aquaculture, 2010, 304: 7 - 13.
- [27] JURECKA P, WIEGERTJES G F, RAKUS K Ł, et al. Genetic resistance of carp (*Cyprinus carpio* L.) to trypanoplasma borreli: Influence of transferrin polymorphisms [J]. Veterinary Immunology and Immunopathology, 2009, 127:19 - 25.
- [28] KOHLMANN K, GROSS R, MURAKAEVA A, et al. Genetic variability and structure of common carp (*Cyprinus carpio*) populations throughout the distribution range inferred from allozyme, microsatellite and mitochondrial DNA markers [J]. Aquatic Living Resources, 2003,16:421 - 431.
- [29] SHAPIRA Y, MAGEN Y, ZAK T, et al. Differential resistance

- to koi herpes virus (KHV)/carp interstitial nephritis and gill necrosis virus (CNGV) among common carp (*Cyprinus carpio* L.) strains and crossbreds[J]. *Aquaculture*, 2005,245:1 – 11.
- [30] RAKUS K Ł, WIEGERTJES G F, JURECKA P, et al. Major histocompatibility (MH) class II B gene polymorphism influences disease resistance of common carp (*Cyprinus carpio* L.) [J]. *Aquaculture*, 2009,288:44 – 50.
- [31] SCHÄPERCLAUS W. *Traité de pisciculture en étang*[M]. Vigot Frères, Paris, 1962.
- [32] FUJI K, KOBAYASHI K, HASEGAWA O, et al. Identification of a single major genetic locus controlling the resistance to lymphocystis disease in Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. *Aquaculture*, 2006,254:203 – 210.
- [33] 贾智英,池喜峰,李池陶,等. 德国镜鲤养殖群体中抗病与死亡个体遗传结构比较研究[J]. *上海海洋大学学报*, 2010,19(1):7 – 11.
- [34] JIA Z Y, CHI X F, LI C T, et al. Development of MHC class I and II B primers in common carp and its molecular characterization[J]. *Biochemical Genetics*, 2010,48(7/8): 690 – 695.
- [35] 孙效文. *鱼类分子育种学*[M]. 北京: 海洋出版社, 2010.

Genetic improvement of disease resistance in common carp

JIA Zhi-ying, SHI Lian-yu, SUN Xiao-wen

(*Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, Heilongjiang, China*)

Abstract: Despite impressive progress in common carp farming during the last years, the impact of fish diseases is still an important problem in aquaculture. Current methods to control diseases consist, among others, of cultural environment control, medication or vaccination. Another alternative approach is to prevent diseases by improving the immune capacity of fish by or genetic selection. Selection breeding has made a great progress for common carp, but only limited to the growth characteristics, and resistance breeding research was only in the initial stage. In the future, common carp industry should focus on using of genetic variation, choosing suitable breeding methods, developing diseases resistance breeding program actively. In this review, stress effects on diseases resistance, genetic basis of diseases resistance, relationship between diseases resistance and other traits, evaluation and related methods of breeding for the genetic improvement of disease resistance in common carp were given, at last, the paper give some information on the domestic latest progress in related fields.

Key words: common carp; disease resistance; genetic improvement; breeding for disease resistance