

转基因鱼的安全性及检测技术

李凤铃, 江艳华, 姚琳, 王联珠*, 翟毓秀

(农业部水产品质量安全检测与评价重点实验室, 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

摘要: 转基因鱼是20世纪人类最重要的成就之一, 对于鱼类育种具有重要意义, 但一直以来转基因鱼的产业化进程并不顺利, 究其根本原因在于人们对其安全性顾虑重重。因此, 本文分别从食用和生态两个角度对转基因鱼的安全性进行了综述, 分析了其可能存在的安全隐患以及近年来围绕此问题开展的相关研究。然后对转基因鱼常用的检测技术进行讨论, 并针对其安全监控提出建议, 最后, 对转基因鱼下一步的产业化趋势进行了展望。

关键词: 转基因鱼; 食用安全; 生态安全; 检测技术

Safety and detection technique of transgenic fishes

LI Feng-Ling, JIANG Yan-Hua, YAO Lin, WANG Lian-Zhu*, ZHAI Yu-Xiu

(Key Laboratory of Testing and Evaluation for Aquatic Product Safety and Quality, Ministry of Agriculture; Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

ABSTRACT: Transgenic fish is regarded as one of the most significant achievements in the 20th century, which is very important for fish breeding. However, the industrialization of transgenic fish is unfavorable, and its root reason lies in the people to its security concerns. Therefore, the food safety and ecological safety of transgenic fishes are introduced respectively, and the hidden trouble in security and related research in recent years are analyzed. Then the frequently-used detection techniques of transgenic fishes are dated in detail, and some advices about safety monitoring of transgenic fishes are given. Finally, the follow-up work is viewed in this review.

KEY WORDS: transgenic fish; food safety; ecological safety; detection techniques

1 引言

自1985年朱作言院士将小鼠生长激素(growth hormone, GH)基因成功导入鲫鱼的受精卵起, 世界上产生了第一批转基因鱼。此后, 许多国家相继展开转基因鱼的研究并取得一系列的成果, 如转基因大西洋鲑鱼, 转基因青鳞, 转基因斑马鱼等^[1-4]。转基因鱼是首先从鱼体中鉴定出与生长、品质、抗病和抗逆

等性状相关的基因, 并将此类基因设计加工, 然后转移到拟进行遗传改良的受体鱼染色体内, 从而培育出优良品种^[5]。转基因鱼研究大多基于提高鱼类生长速度和抗病、抗逆能力, 培育新品种, 开展环境监测以及医学研究等目的。目前已有金鱼、鲫鱼、鲤鱼、泥鳅、鱧鱼、大马哈鱼、鲟鱼、罗非鱼、鲂、鲑鱼等多种淡水鱼和海水鱼用于转基因研究, 多种哺乳类、鸟类的基因亦被成功整合到鱼类的基因组中^[6]。

基金项目: 黄海水产研究所基本科研项目(20603022013028)

Fund: Supported by the Special Scientific Research Funds for Central Non-profit Institutes, Yellow Sea Fisheries Research Institutes (20603022013028)

*通讯作者: 王联珠, 研究员, 主要研究方向为水产品质量安全及标准化研究。E-mail: wanglz@ysfri.ac.cn

*Corresponding author: WANG Lian-Zhu, Professor, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, No.106, Nanjing Road, Qingdao 266071, China. E-mail: wanglz@ysfri.ac.cn

转基因鱼育种不仅突破了物种间的生殖隔离,拓展了遗传资源利用范围,而且还减少了育种世代、提高了育种效率。另外,对转基因鱼的研究可大大提高鱼类的生长速度和抗逆能力,使之更易应对恶劣的环境条件,对扩大优质鱼种养殖范围提供了新的途径,产生相当可观的经济效益。同时,利用转基因鱼可快速、直观地评价环境中污染物的内分泌干扰作用,对于污染物的防治和监控具有重要的应用和理论研究价值。另外,利用转基因鱼生产生物活性物质也是未来的开发热点,以改变当前医药需求无法得到满足的现状。

可见,转基因鱼的培育将会带来诸多益处。然而,转基因鱼在推广过程中仍然面临着许多问题,其中最主要的是安全问题。

2 转基因鱼的安全性

随着基因工程技术的迅速发展,基因修饰产品也越来越多。这一新的发展态势,一方面展示出科学技术在生产上的巨大应用前景,另一方面也预示着潜在的风险性增加。就转基因产品而言,主要面临着两方面的问题:一是食用安全性;二是生态安全性。

2.1 食用安全性

食用转基因食品可能为人类健康带来潜在风险,这是人们最担心、也最敏感的话题。如转基因大西洋鲑,尽管其研发公司 AquaBounty 声称 FDA 已对其进行了严格的安全性评价,人们仍心存疑虑^[7]。因此,目前越来越多的国家要求将转基因食品贴上标签。从食用的角度来说,转基因鱼存在安全隐患的原因大致有以下几个方面:基因转移操作过程是否确保安全?即如果操作不当终产物的性状是否会发生变化,是否会产生有害的副产物?另外,基因表达载体中须含有抗生素耐药性选择标记基因,它是否会增加耐药性,有无其他风险?而声称提高了品质的转基因鱼其营养成分是否会发生变化?人类食用转基因鱼之后,即使没有出现严重的健康问题,但是否可能增加免疫系统的负担,引发系列免疫反应,如过敏反应^[8-10]。以上问题涉及到致病性、营养学以及毒理学等多个方面。

曾有一些学者对转基因鱼的安全性进行过研究,他们对其进行安全性评价的依据是 1993 年欧洲经济发展合作组织(OECD)提出的“实质等同性”(substan-

tial equivalence)原则,即转基因食品及其成份是否与市场上销售的传统食品具实质等同性。基于此依据,研究人员把转牛(羊)生长激素基因的鲤鱼喂食猫,一段时间后分析其多项生理指标、组织中的重金属含量及外源基因的残存量,结果表明转基因鱼对猫并没有产生任何不良影响^[11-12]。陈开健等^[13]亦做过此类研究,他们用转人 α -干扰素基因的草鱼肉浆每天两次(每次 2.5 mL)喂食 Wistar 系大鼠,30 天后进行血液、组织学等方面分析,亦未见转基因草鱼对大鼠有不良影响,但他们同时也认为,长期食用是否会有影响尚需进一步的研究。张甫英等^[14]也对昆明种小鼠进行转基因黄河鲤为期 6 周的喂养试验,并对其生理和病理学方面进行研究,结果显示高剂量处理组(10.0 g/kg·d)和低剂量处理组(5.0 g/kg·d)小鼠均无任何异常。朱作言院士认为,就转“全鱼”基因黄河鲤而言,不存在所谓食用不安全的问题^[15]。也有其他研究人员用 60 只 SD 小鼠对此进行了详细研究。即研究人员用含 10%转“全鱼”基因鱼的食物连续饲喂 4 周大的 SD 小鼠 90 天,实验结果表明转基因鱼对小鼠无任何慢性毒性及内分泌干扰效应。一系列的实验均证明转“全鱼”基因鱼食品是非常安全的,即与非转基因鱼在食品安全上具实质等同性^[15-17]。然而,有人质疑实验动物的选择可能会影响食品安全性评价判定的准确性,人类健康乃头等大事,实验动物毕竟无法替代人类。上述实验中的动物模型没有表现出异常,可能由于存在于转基因鱼中的毒素或过敏原经食物链传递后在动物体内含量太低而没有检测出来,但如果喂食量增大,又可能会导致实验动物营养失衡,研究结果也就失去价值^[10]。转基因鱼即使与同一品种的鱼具有实质等同性,但科研人员仍然无法预见基因转化后是否会产生或者激活“新”的蛋白,这是转基因食品(鱼)存在争议的根本原因。

但无论怎样,转基因鱼作为一种新的食品已正式登陆美国餐桌, FDA 对其定义为“对环境和人类不构成重大或潜在已知危险的产品”,这也是全球首个官方认证安全可食用的转基因动物食品。但 FDA 同时也规定该产品销售时必须在外包装上明确注明“转基因鲑鱼”。

总之,转基因技术的发展还不够成熟,另外在其他方面如营养学评价、过敏性评价等方面的研究亦罕有报道,转基因鱼食用安全性评价的研究基础尚存在大量空白。

2.2 生态安全性

经遗传改良的转基因鱼具有许多优良性状, 可能比相同品种的传统鱼具有更快的生长速度、更强的抗疾病能力或者更高的科研利用价值等^[18]。但目前尚无转基因鱼被准予释放到自然水体进行养殖, 即使已批准上市的美 国转基因鲑鱼也不例外, 最主要的原因可能是担心转基因鱼存在一定的生态风险^[19]。潜在的生态风险可能在于以下两个方面: 首先, 转基因鱼具更好的优良性状, 如较快的生长速度或较强的抗病、抗逆性等, 比天然水域中的同物种具有更强的竞争力, 一旦释放到自然水体中, 可能威胁到某些野生品种的生存, 破坏种群平衡; 其次, 转基因鱼进入天然水体后, 可能与野生近缘物种杂交, 造成野生物种的“基因污染”^[20-21]。可见, 确保水生生态系统和水生生物遗传资源的安全是转基因鱼可进入自然水体的前提条件, 而由于鱼类本身的特点, 如易扩散、难追踪捕获等, 进一步增加了生态风险评估工作的难度。

在对转基因生物进行生态风险评估的过程中, 适合度(fitness)与“个案分析”是必须遵循的原则, 既衡量个体生存和繁殖成功的机会, 也对每个转入基因逐个审查。因为转基因生物的表型与环境的相互作用会决定最终的生态效应, 所以每个单一的转基因生物可能具有不同于其他个体的生态风险性^[22-23]。然而, 迄今为止并无成熟的理论体系评价转基因鱼的潜在生态威胁。近年来, 生态风险评价的主要研究对象是转 GH 基因鱼, 其次还有几类观赏鱼。研究采用单因子分析策略, 主要比较转基因鱼与野生型鱼在摄食、生长、生殖能力等方面的异同, 探讨转基因鱼释放或逃逸到自然水体后的适合度变化, 进而评价转基因鱼潜在的生态风险^[23-24]。在许多情况下, 转基因鱼逃逸所可能造成的影响是由鱼的性状决定的, 如不同发育时期的鱼对食物的需求量不同。总之, 对于评估转基因鱼的生态风险, 有三个关键的问题需要考虑: 对野生型鱼的潜在威胁, 从养殖场中的逃逸及在自然水体中的扩散, 以及转基因鱼群数量的稳定性^[25]。目前, 关于评估转基因鱼生态风险的报道并不太多, 且多数研究均以转 GH 基因鱼为对象。如转 GH 基因大麻哈鱼竞争能力明显高于野生型鱼, 转 GH 基因鲤鱼的摄食率也明显高于对照鱼^[26-28]。可见, 转 GH 基因鱼因为具有较强的摄食竞争能力, 可能对自然水体的传统鱼类构成威胁。熊晶等^[29]也发现将

转基因鲤投放人工湖泊后, 大型底栖动物的物种组成、丰度和多样性指数均出现了不同程度地下降。另外, 研究人员还发现, 转 GH 基因鱼在行为能力方面与传统鱼类也有差异, 如临界游泳速度低于对照鱼, 捕食避险能力也较弱, 但同时也认为这恰恰说明了转基因鱼的种群适合度有所降低, 潜在的生态风险性也不高^[30-34]。同样, 朱作言院士也深感疑惑: 为何人们很难接受杂合程度很低的转“全鱼”基因鱼呢^[24]? 胡玮研究员也认为, 从繁殖力和生存力来看, 转 GH 基因鱼是低生态风险的^[7]。但无论怎样, 转基因鱼的生态安全评估工作大多是在实验室完成的, 进入自然水体之后会如何表现尚需要大量的研究开展, 对其监控也是必不可少的。

为了杜绝转基因鱼带来的生态风险, 有科研人员在转基因生物的研究中曾使用“终止子”技术以避免重组基因的扩散。即将转基因技术和多倍体诱变技术相结合, 以获得转基因鱼三倍体, 从而防止外源基因外流对鱼类天然种质基因库造成污染^[35-36]。2007 年, 中国科学院水生生物研究所关于不育转基因鱼的转化方法已获得中国发明专利和美国发明专利^[37]。虽然, 终止子技术为控制转基因鱼的生态安全提供了新途径, 但显然无法排除其中个例仍具繁殖能力。另外, 终止子技术可能会带来另一种生物安全危机, 即无法保障全球食品的供给。总之, 终止子技术是否可以彻底解决转基因鱼的生态安全问题尚需进一步研究。

3 转基因鱼的检测技术

随着转基因产品的大规模商业化以及大众对其安全性的顾虑, 很多国家逐渐将转基因产品标签化, 并建立了转基因成分标签法等相关的转基因生物安全管理的法律法规^[38]。我国也于 2001 年实行转基因产品标签化, 并于次年施行《农业转基因生物标识管理办法》^[39]。为加强对转基因产品的监管, 必须建立灵敏、准确的转基因成分检测技术。

目前, 对转基因产品的检测主要基于以下几个方面展开: 基于核酸的检测方法, 如分子杂交技术、PCR 技术、基因芯片技术以及生物传感器技术等; 基于蛋白的检测方法, 如酶联免疫吸附法(ELISA 技术)、免疫试纸条法以及蛋白质芯片法等; 基于代谢物的检测方法, 如质谱法^[40-41], 应用较多的为前两类方法。对于转基因产品, 目前已基本实现在整合、转

录和翻译水平对外源基因的整合及表达水平进行检测,但以食品安全为目标的检测基础还比较薄弱,需进一步建立更为灵敏、特异的检测方法。如目前对转基因食品广泛使用的 PCR 检测技术,往往存在引物特异性不高,假阳性率较高等缺点^[42]。

建立转基因鱼的检测技术,应了解遗传操作过程。首先,分析外源基因是否已整合进入机体,其次分析它是否能够转录,再次分析该基因是否有最终的表达产物。对于前两个步骤,多采用分子杂交技术或者 PCR 技术进行分析,而对于后者,即外源基因表达产物的分析多采用蛋白印迹技术、ELISA 技术或者放射性免疫技术等^[43]。相比较于其它农产品,转基因鱼的检测研究基础相对更加薄弱一些。同样,在转基因鱼的基础研究中,亦有许多空白,如对外源基因的检测多集中在不同发育期的胚胎中,而对于不同生长阶段和不同组织之间外源基因的表达情况如何却不甚清楚,或者检测对象为没有实现遗传稳定性的个体^[44-45]。

4 展 望

21 世纪是生物技术蓬勃发展的时代,转基因食品的兴起是生物技术革命的必然结果。尽管转基因食品的安全性众说纷纭,但给人类带来的好处是显而易见的。因此,国际转基因生物的竞争异常激烈。目前,世界转基因作物种植面积由 1996 年的 170 万公顷已增至 2012 年的 1.703 亿公顷,增长了 100 倍。相比去年,2012 年增长了 6%,共有 20 个发展中国家和 8 个发达国家种植转基因作物。然而,与迅猛发展的转基因农作物产业化相比,转基因动物则落后许多。目前,以食用为目的的产业化转基因鱼,全球范围内只有转基因鲑鱼成功上市。我国是水产养殖大国,同时也是转基因鱼育种研究的发源地,更应加强鱼类转基因技术的研究,加速开发具有重要优良性状和自主知识产权的转基因鱼新品种,增强我国水产养殖业在国际上的竞争力。

然而,在转基因鱼进入产业化之前,必须对转基因鱼进行科学的安全性评估和监控,充分考虑其食用安全和生态安全的问题。另外,虽然我国是率先开展转基因鱼研究的国家,然而相应的检测方法及标准的研究却处于起步阶段。为此,需要对转基因技术和检测方法进行监控和开发,建立快速、准确、灵敏的检测方法,筛选敏感的转基因生物分子监测指

标,推出行之有效的转基因食品安全管理条例,以保障转基因生物相关产业的持续发展。

另外,在转基因鱼营养学评价、过敏性评价及模式蛋白等方面未见文献报道,相关领域的研究多处于空白,转基因鱼的大量上市仍任重道远。但当条件成熟,转基因鱼大量投入商业化生产,它将产生巨大的经济价值和社会价值。

参考文献

- [1] Zhu Z, Li G, He L, *et al.* Novel gene transfer into the fertilized eggs of goldfish (*Carassius auratus* L. 1758) [J]. *J Appl Ichthyol*, 1985, 1: 31-34.
- [2] Xu QH, Feng CY, Hori TS. Family-specific differences in growth rate and hepatic gene expression in juvenile triploid growth hormone (GH) transgenic Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Comp Biochem Physiol Part D Genomics Proteomics*, 2013, 8(4): 317-333.
- [3] Wong AC, Van AL. Eenennaam. Transgenic approaches for the reproductive containment of genetically engineered fish [J]. *Aquaculture*, 2008, 275 (1-4): 1-12.
- [4] Kawasakia T, Kurauchib K, Higashihatab A, *et al.* Transgenic medaka fish which mimic the endogenous expression of neuronal kinesin, KIF5A [J]. *Brain Res*, 2002, 1480: 12-21.
- [5] 唐胜球, 董小英. 转基因鱼研究及商品化展望[J]. *北京水产*, 2002, (6): 26-30.
Tang SQ, Dong XY. Research and commercialization prospect of transgenic fish [J]. *J Beijing Fisher*, 2002, (6): 26-30.
- [6] Maclean N, Laight RJ. Transgenic fish: an evaluation of benefits and risks [J]. *Fish Fisher*, 2000, 1: 146-172.
- [7] 胡炜. 转基因鱼安全吗? [J]. *海洋与渔业: 水产前沿*, 2011, 8: 20-21.
Hu W. Are transgenic fishes safe? [J]. *Ocean Fishery: fisheries advance magazine*, 2011, 8: 20-21.
- [8] Liu SM, Zhang XC, Zang XN, *et al.* Growth, feed efficiency, body muscle composition, and histology of flounder (*Paralichthys olivaceus*) fed GH transgenic *Synechocystis* [J]. *Aquaculture*, 2008, 277(1-2): 78-82.
- [9] 苏永昌, 黄丽琼. 转基因鱼的研究进展及食品安全性[J]. *福建水产*, 2008, 4(119): 73-77.
Su YC, Huang LQ. Review of progress and food safety on transgenic fish [J]. *J Fujian Fisher*, 2008, 4(119): 73-77.
- [10] 张希春, 杨晓光. 转基因鱼的食用安全性评价及其分子生物学基础[J]. *卫生研究*, 2004, 3(2): 233-236.
Zhang XC, Yang XG. Safety evaluation of food from transgenic fish and the molecular biological mechanism [J]. *J Hyg Res*,

- 2004, 3(2): 233-236.
- [11] 孙效文, 梁利群, 闫学春. 转基因鲤鱼作为食物的研究[J]. 高技术通讯, 1998, (3): 45-49.
Sun XW, Liang LQ, Yan XC. Research on transgenic fish [J]. High Tech Lett, 1998, (3): 45-49.
- [12] 闫学春, 孙孝文, 张利民. 转基因鱼对食用动物影响的研究[J]. 水产学杂志, 1996, 9(1): 12-15.
Yan XC, Sun XW, Zhang LM. The effect of cat fed with transgenic fish [J]. Chin J Fisher, 1996, 9(1): 12-15.
- [13] 陈开健, 张学文, 章怀云, 等. 转入 α -干扰素基因草鱼饲喂大鼠的安全性研究[J]. 湖南农业大学学报, 2002, 28(2): 147-150.
Chen KJ, Zhang XW, Zhang HY, et al. A study on the safety of feeding transgenic grass carps to rats [J]. J Hunan Agric Univ, 2002, 28(2): 147-150.
- [14] 张甫英, 汪亚平, 胡炜, 等. 摄食转“全鱼”基因黄河鲤小鼠的生理和病理分析[J]. 高技术通讯, 2000, 7: 17-19.
Zhang FY, Wang YP, Hu W, et al. Physiological and pathological analysis of the mice fed with “all fish” gene transferred [J]. High Tech Lett, 2000, 7: 17-19.
- [15] Wu G, Sun YH, Zhu ZY. Growth hormone gene transfer in common carp [J]. Aquat. Living Resour, 2003, 16(5): 416-420.
- [16] Yong L, Liu YM, Jia XD, et al. Subchronic toxicity study of GH transgenic carp [J]. Food Chem Toxicol, 2012, 50(11): 3920-3926.
- [17] Kuiper HA, Davies HV. The safe foods risk analysis framework suitable for gmos? A case study [J]. Food Contr, 2010, 21(12): 1662-1676.
- [18] Logar N, Pollock LK. Transgenic fish: is a new policy framework necessary for a new technology [J]. Environ Sci Policy, 2005, 8(1): 17-27.
- [19] Yann D, Mathias C, Sofie V. Environmental impact of herbicide regimes used with genetically modified herbicide-resistant maize [J]. Transgenic Res, 2008, 17: 1059-1077.
- [20] 武芸, 丁莉. 转基因农作物的安全性及其发展前景[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(7): 2096-2097.
Wu Y, Ding L. Safety and prospect of genetically modified crop [J]. J Anhui Agric Sci, 2007, 35(7): 2096-2097.
- [21] Masih S, Jain P, Baz RE, et al. Transgenic Animals and their Applications [M]. Animal Biotechnology: Models in Discovery and Translation. ACADEMIC Press, 2014, 407-423.
- [22] Liénard D, Sourrouille C, Gomord V, et al. Pharming and transgenic plants [J]. Biotechnol Annu Rev, 2007, 13: 115-147.
- [23] 吴晗, 姜鹏, 白俊杰. 转基因鱼类生态安全的研究进展[J]. 中国农学通报, 2013, 29(11): 39-43.
Wu H, Jiang P, Bai JJ. Research advances in ecological safety of transgenic fish [J]. Chin Agric Sci Bull, 2013, 29(11): 39-43.
- [24] 胡炜, 汪亚平, 朱作言. 转基因鱼生态风险评价及其对策研究进展[J]. 中国科学 C, 2007, 37(4): 377-381.
Hu W, Wang YP, Zhu ZY. Study of the ecological risk assessment and countermeasures on transgenic fish [J]. Sci China C, 2007, 37(4): 377-381.
- [25] Devlina RH, Sundströma LF, Muirb WM. Interface of biotechnology and ecology for environmental risk assessments of transgenic fish [J]. Trends Biotechnol, 2006, 24(2): 89-97.
- [26] Devlin RH, Johnsson JI, Smailus DE, et al. Increased ability to compete for food by growth hormone-transgenic coho salmon *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum) [J]. Aquac Res, 1999, 30: 479-482.
- [27] Devlin RH, D'Andrade M, Biagi CA. Population effects of growth hormone transgenic coho salmon depend on food availability and genotype by environment interactions [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2004, 101: 9303-9308.
- [28] Fu C, Li D, Hu W, et al. Growth and energy budget of F2 “all-fish” growth hormone gene transgenic common carp [J]. J Fish Biol, 2007, 70: 347-361.
- [29] 熊晶, 谢志才, 胡炜, 等. 转基因鲤鱼对大型底栖动物群落及多样性的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(4): 377-382.
Xiong J, Xie ZC, Hu W, et al. Effects of ‘allfish’ gh transgenic common carp (*Cyprinus carpio*) on benthic macroinvertebrate community structure and biodiversity in the Isolation Lake [J]. Resour Environ Yangtze Basin, 2010, 19(4): 377-382.
- [30] Lee CG, Devlin RH, Farrell AP. Swimming performance, oxygen consumption and excess post-exercise oxygen consumption in adult transgenic and ocean-ranched coho salmon [J]. J Fish Biol, 2003, 62: 753-766.
- [31] Sundstrom LF, Lohmus M, Johnsson J, et al. Growth hormone transgenic salmon pay for growth potential with increased predation mortality[J]. Proc R Soc Lond B, 2004, 271(Suppl): 350-352.
- [32] 李德亮, 付萃长, 胡炜, 等. 快速生长导致转“全鱼”生长激素基因鲤鱼临界游泳速度的降低[J]. 科学通报, 2007, 52: 923-926.
Li DL, Fu CC, Hu W, et al. Rapid growth caused reduced the critical swimming speed of “allfish” gh transgenic carp [J]. Chin Sci Bull, 2007, 52: 923-926.
- [33] Devlin RH, Biagi CA, Yesaki TY. Growth, viability and genetic characteristics of GH transgenic coho salmon strains [J]. Aquaculture, 2004, 236(1-4): 607-632.
- [34] Dunham RA. Transgenic fish resistant to infectious diseases, their risk and prevention of escape into the environment and future candidate genes for disease transgene manipulation [J]. Comp Immunol Microbiol Infect Dis, 2009, 32 (2): 139-161.

- [35] 刘少军, 胡芳, 周工建, 等. 三倍体湘云鲫繁殖季节的性腺结构观察[J]. 水生生物学报, 2000, 24: 301-306.
Liu SJ, Hu F, Zhou GJ, *et al.* Gonadal structure of triploid crucian carp produced by crossing alloyploid hybrids of *carassius auratus* red var. (♀) x *cyprinus carpio* (♂) with japanese crucian carp (*carassius auratus cavieri* t. et s) [J]. Acta Hydrobiol Sin, 2000, 24(4): 301-306.
- [36] 张纯, 何晓晓, 刘少军, 等. 四倍体鲫鲤、三倍体湘云鲫染色体减数分裂观察[J]. 动物学报, 2005, 51: 89-94.
Zhang C, He XX, Liu SJ, *et al.* Chromosome pairing in meiosis I in allotetraploid hybrids and allotriploid crucian carp [J]. Acta Zool Sin, 2005, 51: 89-94.
- [37] 徐茂军. 转基因食品安全性评价[J]. 食品与发酵工业, 2001, 27(6): 62-66.
Xu MJ. Safety evaluation of transgenic plant foods [J]. Food Ferment Ind, 2001, 27(6): 62-66.
- [38] 王荣谈, 张建中, 刘冬儿, 等. 转基因产品检测方法研究进展[J]. 上海农业学报, 2010, 26(1): 116-119.
Wang RT, Zhang JZ, Liu DE *et al.* Advance in detection methods of genetically modified organisms and their derived products [J]. Acta Agric Shanghai, 2010, 26(1): 116-119.
- [39] 麦荣嘉, 陈敏芳, 莫倩珍, 等. 转基因番茄 Zeneca B, Da, F 实时荧光定量 PCR 检测体系的建立[J]. 南方医科大学学报, 2011, 31(4): 587-593.
Mai RJ, Chen MF, Mo QZ, *et al.* Construction of quantitative real-time PCR detection system of transgenic tomato line Zeneca B, Da, F [J]. South Med Univ, 2011, 31(4): 587-593.
- [40] 刘全振, 夏栋, 陆利霞, 等. 转基因食品的检测方法进展[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(05): 161-164.
Liu QZ, Xia D, Lu LX, *et al.* Expectation of methods of detecting genetically modified food [J]. Food Res Dev, 2007, 28(05): 161-164.
- [41] 张大兵, 郭金超. 转基因生物及其产品检测技术和标准化[J]. 生命科学, 2011, 23(2): 195-204.
Zhang DB, Guo JC. The development and standardization of testing approaches for genetically modified organisms and their derived products [J]. Chin Bull Life Sci, 2011, 23(2): 195-204.
- [42] 宋君, 王东, 刘勇, 等. 转基因产品检测技术标准存在的问题及建议[J]. 中国测试, 2009, 35(6): 88-109.
Song J, Wang D, Liu Y, *et al.* Disadvantages and proposal of standards for detecting genetically modified products [J]. China Measure Test, 2009, 35(6): 88-109.
- [43] 杨弘, 吴婷婷, 夏德全. 转基因鱼的构建及检测[J]. 农业生物技术学报, 2002, 10(4): 307-311.
Yang H, Wu TT, Xia DQ. Construction and detection of transgenic fish [J]. J Agric Biotech, 2002, 10(4): 307-311.
- [44] Ozato K. Gene transfer and expression by microinjection [J]. Cell Differ, 1986, 19: 237-244.
- [45] Gong Z, Hew CL. Transgenic fish in aquaculture and developmental biology [J]. Curr Topic Develop Biol, 1995, 30: 177-214.

(责任编辑: 赵静)

作者简介



李凤铃, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为水产品质量安全基础研究。
E-mail: lifl@ysfri.ac.cn



王联珠, 学士, 研究员, 主要研究方向为水产品质量安全与标准化。
E-mail: wanglz@ysfri.ac.cn