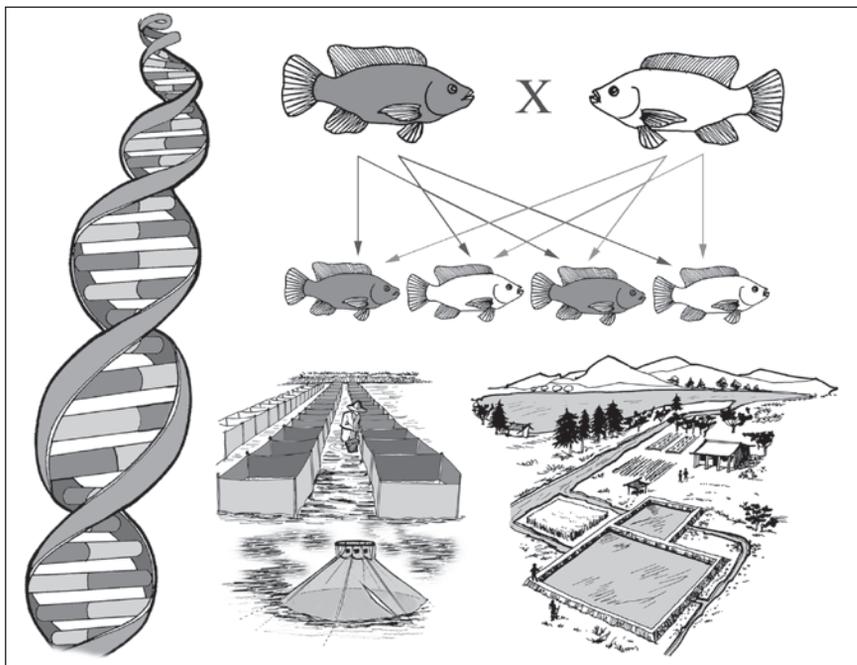


水产养殖的发展

3. 遗传资源管理



封面设计、美工、版面设计：Emanuela D'Antoni、Devin M. Bartley与José Luis Castilla Civit。

水产养殖的发展

3. 遗传资源管理

本信息产品中使用的名称和介绍的材料，并不意味着联合国粮食及农业组织（粮农组织）对任何国家、领地、城市、地区或其当局的法律或发展状态、或对其国界或边界的划分表示任何意见。提及具体的公司或厂商产品，无论是否含有专利，并不意味着这些公司或产品得到粮农组织的认可或推荐，优于未提及的其它类似公司或产品。本出版物中表达的观点系作者的观点，并不一定反映粮农组织的观点。

ISBN 978-92-5-506045-8

版权所有。粮农组织鼓励对本信息产品中的材料进行复制和传播。申请非商业性使用将获免费授权。为转售或包括教育在内的其他商业性用途而复制材料，均可产生费用。如需申请复制或传播粮农组织版权材料或征询有关权利和许可的所有其他事宜，请发送电子邮件致：copyright@fao.org，或致函粮农组织知识交流、研究及推广办公室出版政策及支持科科长：Chief, Publishing Policy and Support Branch, Office of Knowledge Exchange, Research and Extension, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy。

© 粮农组织 2010年

本文件的编纂

在联合国粮食及农业组织经常计划、联合国粮食及农业组织粮食及农业遗传资源委员会、FishCode（联合国粮食及农业组织全球责任渔业伙伴关系计划）及World Fisheries Trust的支持下以及Devin M. Bartley（渔业资源高级官员）的协调下，本技术准则由联合国粮食及农业组织（FAO）渔业和农业部编纂。遗传资源管理领域的下列专家分别撰写了本指南的各章节：Devin M. Bartley、Malcolm C. M. Beveridge、Randall E. Brummett、Joachim Carolsfeld、R. J. Lawton、Brian J. Harvey、Anne Kapuscinski、Graham Mair、Raul W. Ponzoni、Roger S. V. Pullin、Douglas Tave和Álvaro Toledo。本准则的总编辑是Devin M Bartley，上面各专家为其提供协助。José Luis Castilla负责排版；Emanuela D'Antoni负责封面设计。

该技术准则的印刷和翻译由粮农组织渔业及水产养殖部水产养殖处（FIRA）的 M. Halwart 先生协调。本准则大部分协调和编辑工作由总编辑在不列颠哥伦比亚维多利亚参加 World Fisheries Trust 主办的联合国粮农组织员工发展培训期间完成。在此向联合国粮农组织外部培训咨询委员会和 World Fisheries Trust 给予的支持表示诚挚的感谢。

联合国粮农组织，2010. *水产养殖的发展*。3. *遗传资源管理*。

《粮农组织负责任渔业技术准则》第 5 号，增补 3。罗马，粮农组织，94 页。

摘要

本技术准则为联合国粮农组织《负责任渔业行为守则》的章节提供水产养殖遗传资源管理方面的支持。本准则就种群管理和驯化、遗传改良计划、遗传改良与传播计划、遗传改良计划的经济考虑、风险管理和监控、养殖渔业、鱼类遗传资源保护、基因库、预防措施和公共关系方面作出了规定。遗传资源的有效管理、风险评估和监控可增加产量和效率，促进负责任水产养殖的发展，并能尽可能地降低对环境的负面影响。应向消费者、决策者、科学家和其他对负责任渔业和水产养殖有兴趣的人员告知负责任应用遗传原理对水产养殖的益处。

目录

	页码
本文件的编纂.....	iii
摘要.....	iv
撰写人列表.....	viii
背景.....	ix
1 引言.....	1
1.1 遗传多样性的价值和遗传资源管理的必要性.....	1
1.2 《守则》的相关条文.....	2
2 国际标准.....	5
3 种群管理：近亲繁殖、遗传漂变和驯化.....	9
3.1 引言.....	9
3.2 近亲繁殖.....	9
3.3 遗传漂变.....	15
3.4 驯化.....	21
3.5 制约条件和机遇.....	22
4 水产养殖业的遗传改良方法.....	24
4.1 引言.....	24
4.2 水产养殖的遗传改良.....	24
4.3 遗传改良方案.....	25
4.3.1 选择育种.....	25
4.3.2 杂交和杂交育种.....	30
4.3.3 染色体组操作.....	32
4.3.4 性别控制.....	33
4.3.5 转基因.....	35
4.3.6 遗传标记和标记辅助选择.....	36
4.4 遗传改良的当前状况和未来情况.....	39
5 遗传改良品系传播以及遗传材料移植协议.....	41
5.1 引言.....	41
5.2 改良品系移植到另一国家.....	42
5.2.1 引言.....	42
5.2.2 移植准则.....	42
5.2.3 遗传材料移植协议 (MTA).....	43
5.2.4 移植规程.....	43
5.3 改良品系在一国内的传播 (作为合理的水产养殖策略的一部分).....	46
5.4 讨论.....	47
附录 5.1 材料移植协议.....	48
6 与遗传改良计划相关的经济考虑.....	49
6.1 遗传改良证据.....	49

6.2	技术广泛实施的限制因素	49
6.3	育种目标	49
6.4	遗传改良计划的成本和利益	51
6.5	影响遗传改良计划经济利益和收益/成本比的因素	51
6.6	结果的一般实用性	52
6.7	将基础参数值置于实际生命周期中	53
6.8	敏感度分析	53
	6.8.1 生物参数	53
	6.8.2 经济参数	54
	6.8.3 运营效率	54
	6.8.4 敏感度分析摘要	55
6.9	成功机会	55
6.10	结束语	56
7	遗传改良计划的风险评估和监控	57
	7.1 引言	57
	7.2 行为守则	58
	7.3 原则	58
	7.4 评估遗传效应	62
	7.5 评估生态效应	62
	7.6 不确定性分析	63
	7.7 生态风险管理	64
	7.7.1 遗传改造生物的封闭	64
	7.7.2 监控遗传改造生物的存在和生态效应	64
	7.8 限制条件和机遇	65
	7.9 结论	66
8	养殖渔业	67
	8.1 一般原则	67
	8.2 养殖渔业的遗传资源管理计划	67
	8.2.1 养殖渔业 (养殖材料可能与本地物种繁殖)	68
	8.2.2 养殖渔业 (养殖材料可能相互繁殖, 但不能与本地物种繁殖)	69
	8.2.3 养殖渔业 (养殖材料不能繁殖)	69
	8.3 监控、评估和报告	70
9	野生鱼类遗传资源和水产养殖的保护	71
	9.1 引言	71
	9.2 野生鱼类遗传资源	71
	9.3 水产养殖的重要性	72
	9.4 管理方案	73
	9.4.1 分类和优先化	73
	9.4.2 跨部门视角	74
	9.4.3 水产养殖和保护联合	75

9.4.5 异地保护.....	76
9.5 信息.....	77
9.6 针对濒危鱼类的保护水产养殖业.....	78
9.7 小结.....	79
10 库存水生遗传资源.....	80
10.1 引言.....	80
10.2 当地和异地基因库.....	80
10.3 历史.....	80
10.4 冷冻配子和胚胎准则.....	81
10.5 活体基因库（种群集合）准则.....	81
10.6 数据管理.....	82
10.7 政策意义.....	82
10.8 建立水生基因库.....	82
11 预防措施.....	84
11.1 措施.....	84
11.2 结论.....	86
12 公共关系和消费者意识.....	87
12.1 引言.....	87
12.2 沟通策略.....	87
12.2.1 了解受众.....	88
12.2.2 确定合作伙伴，有助促进遗传管理计划.....	89
12.2.3 向其他部门学习.....	90
12.2.4 采用与国家法律和国际法律相一致的准确术语.....	90
12.3 结论.....	91
附录 1 《内罗毕宣言》.....	92

撰写人列表

Devin M. Bartley
 联合国粮农组织
 渔业与水产养殖部
 意大利罗马 (00153)
 Viale delle Terme di Caracalla
 电子邮件: devin.bartley@fao.org

Malcolm C. M. Beveridge
 世界渔业中心
 埃及开罗
 Maadi 11728, 1261号邮箱
 电子邮件: m.beveridge@cgiar.org

Randall E. Brummett
 世界渔业中心
 喀麦隆 Yaoundé
 228号邮箱 (Messa)
 电子邮件: r.brummett@cgiar.org

R. J. Lawton
 世界渔业中心
 埃及开罗 Zamalek
 Abu El Feda街3号6楼

Anne Kapuscinski
 明尼苏达大学
 渔业、野生生物和保护生物学系
 美国明尼苏达州圣保罗
 Folwell街1980号
 200 Hodson Hall
 电子邮件: kapus001@umn.edu

Brian J.L. Harvey
 加拿大 V8R 2C2
 不列颠哥伦比亚维多利亚
 Emerson街755号
 电子邮件: bjharvey@telus.net

Graham Mair
 弗林德斯大学
 生物科学学院
 澳大利亚
 南澳大利亚 (5001) 阿德莱德
 邮政总局信箱2100号
 电子邮件:
 graham.mair@flinders.edu.au

Raul W. Ponzoni
 世界渔业中心
 马来西亚槟榔屿
 巴都茅11960
 Jalan巴都茅
 电子邮件: r.ponzoni@cgiar.org

Roger S. V. Pullin
 联合国粮农组织顾问
 菲律宾马卡迪市
 Legaspi街134号
 7A Legaspi Park View
 电子邮件: karoger@pacific.net.ph

Douglas Tave
 新墨西哥州际河流委员会
 美国新墨西哥州 (87102) 阿尔伯克基
 121 Tijeras NE, Suite 2000
 电子邮件: douglas.tave@state.nm.us

背景

1. 自古以来，渔业一直是人类食物的一个重要来源，为从事这一活动的人们提供了就业和经济利益。然而，随着渔业知识的增长和渔业的大力发展，人们认识到，水生资源虽然可再生，但是并非无限；如果想要使水生资源对不断增长的世界人口的营养、经济和社会利益持久地作出贡献，需要对水生资源进行适当管理。
2. 1982年通过了《联合国海洋法公约》，为更好地管理海洋资源提供了一个新的框架。新的海洋法制度规定沿海国家有管理和利用其专属经济区内渔业资源的权力和义务，专署经济区内渔业占世界海洋渔业的90%左右。
3. 最近几年，世界渔业成为食品业中一个大力发展的部门。由于国际上对鱼和渔业产品的需求不断增长，沿海国家通过对现代化的渔船队和加工厂进行投资，努力利用新的机会。然而，清楚的是，许多渔业资源不能保持以往毫无控制地增长的开发。
4. 关于重要鱼类种群的过度捕捞、生态系统的改变、重大经济损失、管理和鱼品贸易的国际冲突等方面的明显迹象，威胁到渔业的长期可持续性和渔业对粮食供应的贡献。因此，1991年3月粮农组织渔业委员会第十九届会议提出需要立即采取考虑到养护与环境、社会、经济问题的渔业管理新方法。渔委会议要求粮农组织提出负责任渔业概念，并制定一个《行为守则》来促进这一概念的应用。
5. 此后，墨西哥政府与粮农组织合作，于1992年5月在坎昆组织了国际负责任捕捞会议。会上通过的《坎昆宣言》提交1992年6月在巴西里约热内卢召开的联合国环境与发展首脑会议（环发会议），环发会议支持制定《负责任渔业行为守则》。1992年9月举行的粮农组织公海捕捞技术磋商会进一步建议制定一个《守则》来处理有关公海捕捞问题。
6. 1992年11月举行的粮农组织理事会第一〇二届会议讨论了《守则》的制定问题，建议优先重视公海问题，并要求将关于制定《守则》的建议提交1993年渔业委员会会议。
7. 1993年3月举行的渔业委员会第二十届会议研究了制定这样一个《守则》的总原则，包括制定准则，并赞同进一步制定《守则》的时限。为了防止影响公海养护和管理措施的渔船改挂船旗问题，会议要求粮农组织“快速”准备建议以作为《守则》的一个部分。这导致1993年粮农组织大会第二十七届会议通过《促进公海渔船遵守国际养护和管理措施的协定》。按照粮农组织大会第15/93号决议，该《协定》是《守则》的一个组成部分。
8. 拟订的《守则》与1982年《联合国海洋法公约》所阐述的有关国际法规以及与《执行1982年12月10日联合国海洋法公约有关跨界鱼类资源和高度洄游鱼类资源条款的协定》相一致，并与1992年的《坎昆宣言》和1992年的《关于环境与发展的里约宣言》，特别是《二十一世纪议程》第十七章相一致。
9. 《守则》的制定工作由粮农组织与有关联合国机构和其它国际组织，包括非政府组织磋商和合作进行。

10. 《行为守则》包括五个介绍性条目：性质和范围；目标；与其它国际文件的关系；执行、监测和增补修订；发展中国家的特殊需要。在这些介绍性条目之后是总原则这一条，然后是六个专题条目：渔业管理、捕捞作业、水产养殖的发展、将渔业纳入沿海地区管理、捕捞后处置和贸易、渔业研究。正如上面已经提到的，《促进公海渔船遵守国际养护和管理措施的协定》是《守则》的一个组成部分。

11. 《守则》是自愿遵守的，但其中某些部分以有关国际法规为基础，其中包括 1982 年 12 月 10 日《联合国海洋法公约》所阐明的那些法规。《守则》还包含通过缔约方之间的其它有约束力的法律文件可能具有或已经具有约束力的某些条款，例如 1993 年的《促进公海渔船遵守国际养护和国内措施的协定》等法律文件。

12. 大会第二十八届会议于 1995 年 10 月 31 日在第 4/95 号决议中通过了《负责任渔业行为守则》。同一个决议还要求粮农组织与成员国和感兴趣的有关组织合作酌情制定技术准则以支持《守则》的实施。

1 引言

目前人们已认识到水产在粮食供应、经济发展和食品安全方面的重要作用。随着全球许多捕捞渔业达到了生物产量极限或由于过度捕捞和栖息地流失而荒废,水产养殖作为发展最快的粮食生产部门有希望为不断增长的人口提供食物。目前人们对水产养殖在保护和恢复濒危物种方面的作用则重视不足。实际上,水产养殖经常被认为会危害水生生物多样性。

水产部门在增加产量和环境保护方面已经取得了重大进步。但是,有人批评该部门排放的含有残饵、废弃产品和药剂的废水以及逃逸的养殖鱼类会导致栖息地流失。该部门的产量、效率和环境可持续性还有提升的空间,对水产遗传资源的有效管理可解决上述所有问题。遗传改良鱼类(第4、5和6章)发育速度更快并能更有效地利用食物,从而产生较少的废弃物。抗病鱼类需要较少的药物治疗。可将某些养殖鱼类变为不育鱼种,以降低它们与本地鱼种繁殖或形成野生鱼群的机会。种群管理(第3和8章)、遗传改良计划(第4、5和6章)和基因库(第10章)将有助于提高产量和收益,并有利于野生资源的保护和保护(第9章)。符合国际准则(第2章)和预防措施(第11章)的风险管理(第7章)将有助于确保制定明智的社会和环境保护决策,同时实现部门的发展。

鱼类遗传资源(FiGR)包含对捕捞渔业和水产养殖业具有实际或潜在价值的所有有鳍鱼和水生无脊椎动物遗传材料。包括DNA、基因、配子、个体生物、野生、养殖和研究群体、物种以及基因改造生物(例如,通过选择育种、杂交、染色体组操作和转基因实现)。这些资源如何帮助水产养殖发掘全部潜力并保持有价值的野生遗传多样性是准则的主题。

准则的目的是提供简洁的框架说明,指导决策者和高级资源经理改善对鱼类遗传资源(FiGR)的管理。在整个准则中,管理始终被理解为包含利用和保护两个方面。从整体角度进行遗传资源管理,将经济、保护、风险分析和不确定性以及产量和收益增长相结合。

1.1 遗传多样性的价值和遗传资源管理的必要性

在粮农组织已统计的230多种养殖水生生物和植物物种中,仅有少部分是有效遗传资源管理计划的对象。斑点叉尾鲷、尼罗罗非鱼、大西洋鲑和许多养殖鲤鱼几个案例证明通过基因改良计划可以极大地增加收益。仅有少部分养殖鱼(通常是鲑鱼)有目的地选择种群释放,因此它们可与本地鱼种交配或完全区别于本地鱼种。一位著名遗传学家估计指出,只须将遗传改良计划引入现有的水产养殖系统中便可轻易填补捕捞渔业产出下降与人口增加之间形成的供应差距(即,无需扩大养殖系统、增加土地或用水)。

对鱼类遗传资源进行管理不仅仅是为了增加产量。遗传资源除了对水产养

殖遗传改良计划至关重要外，也是使物种适应短期和长期环境变化的必要原材料；遗传资源使物种、种群和个体能灵活地处理和适应环境变化以及由人类和自然原因导致的变化。更确切地说，遗传多样性是物种持续进化所必需的。遗传多样化与环境变化相互作用，形成形状、大小、生命周期特征、行为和颜色的多样化，从而使各种水生物种具有价值和趣味性。其中一些差异表现为不同的鱼类颜色或不同的鳞型，而其他的差异则表现为不同的洄游形式或繁殖行为。如果没有遗传多样性，则没有物种多样性，没有适应，没有繁殖和进化；随着自然或人类活动导致气候和栖息地变化，物种将最终消亡。

鲤鱼是迄今为止具有最长水产驯化和遗传改良历史的鱼类。养殖大西洋鲑、斑点叉尾鲴和尼罗罗非鱼最近实现了遗传改良。但是，随着繁殖计划的成功实施（即，更改野生鱼类的遗传结构）以及在许多养殖系统中使用改良种，就会出现水产养殖遗传改良种与野生近亲之间的交互问题。这些野生近亲通常支持稳定可行的渔业，并提供有利于水产养殖的新遗传材料。水产养殖部门具有较大优势，可尽量降低养殖物种的野生近亲的灭绝，并将方法推广到家畜和农作物部门的许多物种。

对水生遗传资源的管理时必须明确的目标，以便制定计划并判断成效和影响。这些目标取决于水产设施的用途：是否最大化生产、最大化效率、降低投入、为养殖渔业释放鱼类或帮助恢复濒危物种。每一个目标将需要针对水生遗传资源采取不同的管理计划。

1.2 《守则》的相关条文

这些对于遗传资源管理十分重要的准则是通过一般主题领域而不是《守则》的特定条文来组织的。这将使决策者和资源规划人能快速地找到水产养殖中特定遗传领域的指导。鉴于遗传资源管理对于各种水产养殖目标非常重要，《守则》中一些条文是有助于实施的特殊章节。这些指南提供有关下列《守则》条文的信息（包括相关章节）。

第2条—《守则》的目的

2e 帮助和促进在渔业（包括水产养殖）资源保护、渔业管理和发展方面的技术、经济和其它合作（第2、5、6、7、9、10和11章）。

2g 促进对水生生物资源及其环境和沿海地区的保护（第2、5、7、9、10和11章）。

第6条—总则

6.2 渔业管理部门应当结合粮食安全、减轻贫困和可持续发展,为了当代人和后代人促进保持渔业资源的质量、多样性和足够数量的供应量。管理措施不应局限于保护目标物种,而且还应该保护属于相同的生态系统、依赖某个目标物种或与其相联系的物种（第7、9、10和11章）。

6.8 在必要的情况下,海洋和淡水生态系统中所有重要的鱼类生境都应当尽可能加以保护和恢复,例如沼泽地、红树林、石礁、泻湖、育苗区和产卵区。应当作出专门努力来保护这些生境不受破坏、退化、污染和威胁渔业资源的健康和生存能力的人类活动造成的其它重要影响（第9和10章）。

6.12 各国应当在其各自权限范围内并按照国际法,在分区域、区域和全球各级通过渔业管理组织、其它国际协定或其它安排进行合作,促进保护和管理工作,确保在水生生物资源分布范围之内捕捞活动以负责任的方式进行,使这些资源得到有效的保持和保护,同时考虑到需要在国家管辖范围内外采取协调措施（第2、5和9章）。

第7条—渔业管理

7.2.2.d 保存水生生境和生态系统,保护濒危品种（第9和10章）。

7.4 资料收集和管理咨询（第9和10章）

7.5.1 各国应当把预防方针普遍应用于水生生物资源的保护、管理和利用,以保护资源和水生环境。不应当把缺乏足够的科学资料作为推迟采取或不采取保护和管理措施的理由（第11章）。

7.6.8 应当经常研究保护和管理措施的效率和它们可能的相互作用。应当根据新的情况,酌情修改或取消这些措施（第8、9和11章）。

第9条—水产养殖的发展

9.1.2 各国应当促进负责任地发展和管理水产养殖业,其中包括根据最正确的科技信息预先评价水产养殖发展对遗传多样性和生态系统完整性的影响。(所有章节)。

9.1.3 各国应当按照要求制定和定期更新水产养殖业的发展战略和计划,以确保水产养殖业的发展具有生态方面的持续能力,并可以合理利用水产养殖和其它活动所共用的资源(第7、8、9和11章)。

9.3.1 各国应当通过适当的管理来保存遗传多样性和保持水生生境和生态系统的完整性,特别应当作出努力来尽量减少把非当地品种或水产养殖(包括以养殖为基础的渔业)利用的遗传变异鱼类资源引入水域的有害后果;在这些非当地品种或遗传变异品种很可能扩散到原产国或其它国家管辖的水域时尤其应当作出努力。各国在可能时应促进采取措施来尽量减少逃脱的养殖鱼类对野生品种产生不利的遗传、病害和其它影响(第2、5、8、9和10章)。

9.3.3 各国为了尽量减少疾病传染的危险和对野生鱼类和养殖鱼类的其它不利影响,应当鼓励在孵化种群的遗传改良、引进非当地品种和生产、销售和运输鱼卵、鱼苗或幼鱼、孵化种群或其它活材料方面采用适当的技术。各国应当促进编写和执行这方面的国家行为守则和程序(第3、4、5、8和9章)。

9.3.5 考虑到必须保护濒危品种的遗传多样性,各国应当在适当时促进研究,在可能时促进发展濒危品种的养殖技术,以保护、恢复和增加其资源量(第3和9章)。

2 国际标准

《负责任渔业行为守则》(CCRF)以及国际社会已认可遗传资源(包括鱼类遗传资源)在可持续发展和保护方面所起的重要作用。因此,国际机制、准则和实践守则得以制定。1992年地球峰会成立了《生物多样性公约》(CBD)¹,并得到了比任何其他国际立法更多的签署支持。它是一部具有法律约束的文件,要求保护和可持续利用生物多样性(包括遗传多样性),以及公平合理分享因可持续利用产生的利益。鉴于公约条文的实施需要科技咨询,《生物多样性公约》成立了有关科学、技术和工艺咨询附属机构(SBSTTA)。《生物多样性公约》进一步制定了卡塔赫纳生物安全议定书²,这是有关改造活生物体(包括遗传改造生物(GMO)(即转基因生物))国际运作的国际约束协议。与《负责任渔业行为守则》类似,《生物多样性公约》认可利用和保护生物多样性的必要性。

发展预防措施是《生物多样性公约》和《负责任渔业行为守则》的重要属性。除了应小心谨慎和使用最佳可用信息的一致意见之外,有关该措施对实践的意义存在各种意见;第11章的基础由此构成。

《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)是影响鱼类遗传资源的另一重要文件。《濒危野生动植物种国际贸易公约》限制野生濒危物种的国际贸易—濒危等级指限制贸易的程度。一些濒危的野生水生物种,例如鲟鱼(鲟目)和骨舌鱼或龙鱼(亚洲龙鱼)还进行了养殖。这些物种的国际贸易必须确保实际贸易的物种来自认证的养殖场而非野生,养殖物种的贸易不代表建立濒危野生物种的贸易市场。遗传标记和品种标识已用于帮助区分物种以及推断野生和养殖物种的资源量。

拉姆萨尔湿地公约要求各国对湿地进行鉴定和保护,这些湿地包括对国家有重要意义的沿海区域和潮间区域。确定重要性的主要标准是湿地在维持野生生物(主要为水禽)多样性方面的作用。但拉姆萨尔湿地公约扩展了标准,将湿地渔业资源的历史利用纳入其中,³目前在拉姆萨尔湿地进行的本地物种水产养殖是允许的活动。但是本地物种的养殖通过向养殖场环境的自然选择以及品种改良计划会最终导致物种驯化和遗传改变。

粮农组织以及其他机构还制定可直接应用于鱼类遗传资源管理的更加具体的准则。水产养殖技术准则针对有关鱼类遗传资源的一般问题制定。⁴联合国粮

¹ www.biodiv.org

² <http://www.cbd.int/biosafety/default.shtml>. 截止至2008年8月,没有一种水生遗传改造生物用于人类消费。

³ http://www.ramsar.org/res/key_res_vi.2.htm

⁴ 联合国粮农组织。1997. 水产养殖的发展。联合国粮农组织负责任渔业技术准则。第5号。罗马,联合国粮农组织。

农组织、世界渔业中心（WFC）以及其他合作方制定了内罗毕宣言（附录1），建议向非洲引入遗传改良罗非鱼。该不具约束力的决议就在水产养殖中负责任地使用遗传改良鱼类规划了框架，准则完成了该框架的构建。

鱼类健康问题在水物种贸易和运动中发挥着重要作用。遗传改良种群（第5章）的传播要求遵守世界动物卫生组织（OIE）关于跨境病原体的规定。根据世界动物卫生组织和世界贸易组织（WTO）的要求已经制定了技术准则⁵。

最近，联合国粮农组织在水生遗传资源方面获得了进展。缺乏连贯的鱼类遗传资源管理以及政策实际上正日益成为目前水产养殖快速扩展的障碍。联合国粮农组织成员国和国际社会已呼吁向更加负责任、可持续和多产的水产养殖转变。这一努力的成功将取决于采取重大措施对鱼类遗传资源实施有效管理。

联合国粮农组织的政府间机构粮食和农业遗传资源委员会在第十一次会议上认可水生遗传资源的重要性和脆弱性，及其在针对粮食和农业生态的系统方法中的作用以及在应对气候变化挑战方面的作用。委员会同意为期10年的多年工作计划应包括水生遗传资源覆盖范围，与渔业委员会或联合国海洋法会议等其他论坛和组织合作发展持续负责任的渔业。⁶

插文1 术语

用于描述基因不同于野生物种的生物的术语特别重要，因为它具有法律和政策含义，会影响公众对产品或工艺接受程度。因此，已经被人类以某种方式进行遗传改造的养殖鱼类必须进行清晰准确的描述。令人遗憾的是，已有很多术语用于描述遗传改造鱼类。这些术语的使用未标准化，可能让消费者混淆并带来管理问题，例如申请养殖许可证或贸易执照。水产养殖者和政府管理人员必须了解这些含义。

水产养殖生产的鱼类在遗传上有可能与选择到孵化场和养殖场环境中（第3和9章）和/或经过有目的的遗传改良计划（第4章）的野生祖先有差异。在水产养殖中，养殖场主力求养殖最佳且收益最高的鱼类，并向消费者展示该产品既健康又天然的形象；消费者对产品质量的要求越来越高。该接口通过标签和营销实施管理。除了非常通用的方式外，本文件的准则未就消费者标签问题作出规定（第12章）。但是，为实现对养殖鱼类及其销售的政府监管，了解目前正在使用的遗传技术以及这些技术对养殖生物带来的影响是至关重要的。

⁵ 联合国粮农组织。2007。水产养殖的发展。2.负责任活体水生动物移动卫生管理。联合国粮农组织负责任渔业技术准则。第5号。附录2。罗马，联合国粮农组织。

⁶ 联合国粮农组织/粮食和农业遗传资源委员会。2007。粮食和农业遗传资源委员会第十一届常規会议报告。CGRFA-11/07/REPORT。ftp://ftp.fao.org/ag/cgrfa/cgrfal1/r11repe.pdf

对生物的所有人为更改统称为*遗传改造*。该词应用中性事实陈述，不判断改造是好或是坏，是通过现代生物技术或是通过传统方法实现，是刻意所为或是偶然所得。这是非常通用的术语，反映了遗传改造生物遭受环境和群体风险的可能性，而无论其如何实现了改造（第7章）。

以下术语与消费者知觉和政府监管有关，因此正确使用这些术语很重要。更多术语，请参阅联合国粮农组织术语表。¹

遗传改造生物（GMO）：体内的遗传材料已被人类通过基因或分子技术更改的生物。遗传改造鱼类通常为转基因鱼（即，通过自然过程不能实现的方式将其他生物的基因插入到鱼的基因中）。目前，还没有遗传改造鱼可供人类食用。当前对国际上的遗传改造生物活动有一些限制。这一类生物由《生物多样性公约》的卡塔赫纳议定书²管理。此外，许多消费群体目前抵制使用遗传改造，包括*遗传改造鱼类*。因此，希望通过选择性育种引入遗传改良鱼类的渔民不得使用术语*遗传改造*，应改为使用*通过选择育种的遗传改良（或通过传统育种）*。

杂种：由不同物种或品种的双亲交配产下的后代。相同物种的双亲交配产下的后代称为**种内杂种**，而不同物种的双亲交配产下的后代称为**种间杂种**。对它们进行区分很重要，因为某些地区的法律禁止将不同的物种进行交配，或引入种间杂种，而相同物种的交配或引入则不受监管。

改造的活体生物（LMO）：“利用现代生物技术获得遗传材料新组合的活体生物”。遗传改造生物的同义词，主要由《生物多样性公约》使用。

多倍体：具有二组或多组染色体的动物和植物（称为二倍体并定名为2N）。具有三组的生物称为三倍体（3N），具有四组的生物称为四倍体（4N）。对它们进行区分很重要，因为二倍体和四倍体通常多产，而三倍体通常不育。可以将四倍体和二倍体交配获得三倍体。

传统育种：指不通过现代基因操作技术的选择育种计划（第4章）。传统育种已经在陆生农业中经过了数千年的实践和改进。

国际专家小组表示，相比于产生变化的技术，了解遗传改造对养殖鱼类造成的实际变化更为重要。³即，在风险评估中，与使用何种技术创建该生物相比，更为重要的是解决如下问题：遗传改造鱼类是否消费更多食物或具有更高保护效率，是否具有更强环境耐受力，是否多产，是否有营养，是否会变得有入侵性，或是否会产生未改造鱼类不能产生的新材料（第7章）。当前的政策、养殖场实践和公共认知不一定认识到这一事实；建议更详细地描述遗传技术给生物带来的实际变化。

1 <http://www.fao.org/fi/glossary/default.asp> and http://www.fao.org/biotech/index_glossary.asp

2 <http://www.cbd.int/biosafety/default.shtml>

3 第253页, Pullin, R.S.V., Bartley, D.M., Kooiman, J. (eds). 1999。努力实现水生遗传资源保护和持续利用政策。国际水生资源管理中心第59号会议记录, 菲律宾马尼拉。...在制定生物安全政策和管理改造活体生物过程中, 生物的特征以及潜在易受影响的环境的特征是采用工艺产生这些生物时更为重要的考虑因素。

3 种群管理：近亲繁殖、遗传漂变和驯化⁷

3.1 引言

水产养殖不仅是重要的食物生产部门，而且是休闲和商业性渔业的必要部分以及保护计划的必要管理工具。与所有类型的畜牧业情况类似，水产养殖需要人类的介入并对物种的生命周期实施管理。自水产养殖出现以来，我们通常会对种群的基因库制造不可逆的变化。这些变化是需要的，当实施选择育种计划以促进生长（第4章）或当通过驯化使鱼类能更好地适应孵化环境时会产生这些变化。令人遗憾的是，通过近亲繁殖和遗传漂变，我们还会对基因组造成不需要、破坏性的变化（第3.3节），这些变化会降低生命力和生长速度并增加发展不稳定性。驯化有利于食用鱼的养殖，但对野生鱼群有害，因为适应了孵化环境的鱼类可能不适应野生环境（第8章）。在本章中，种群管理涉及对近亲繁殖和遗传漂变的控制以及驯化过程。

3.2 近亲繁殖

近亲繁殖指近亲的交配。近亲繁殖是三种传统育种计划之一，已用于发育新种，并与杂交育种相结合用于创造统一、优良的个体（第4章）。虽然有计划、受控制的近亲繁殖是有利的，但无意识、无计划的近亲繁殖会产生问题。

在遗传学上，近亲繁殖会增强后代的纯合性（即遗传相似性），降低杂合性（即遗传多样性）。当非近亲进行交配时会产生纯合性，在遗传学上，两种形式的纯合性是一致的。即使两种形式的纯合性相一致，但也能进行区分，因为形成纯合性的方式和结果均不同。

近亲在遗传上比非近亲更相似。因此，当近亲交配时，产下的后代会比非近亲交配产下的后代具有更高的纯合性；交配双方的关系越密切，产下的后代具有更高的纯合性。

这是一个值得关注的问题，因为所有动物都含有少量有害的隐性等位基因。⁸在大多数情况下，个体不受影响并存活下来，因为个体只从双亲的一方遗传了有害等位基因的一个副本（它是杂合性的）；只有具有两个等位基因副本时（从双亲各遗传一个）才能产生有害或致命的效果（它是纯合性的）。由于近亲比非近亲更相似，近亲往往共有相同的有害隐性等位基因。两个非近亲可能只共有—个或两个，而近亲通常共有多个；关系越近，共有数目越多。当近亲进行交配时，这些有害隐性等位基因在后代内的交配和随后表现会导致近交衰退—降低生长速率、生命力和生殖力并增加畸形数目。鱼类研究显示，近亲

⁷ 撰写人为Douglas Tave。

⁸ 等位基因是基因的变形。

交配鱼类具有这些典型的近交衰退临床体征,⁹当生活于野外时,具有较低的回收率。¹⁰

近亲繁殖的负面影响不会立即显现。近交衰退通常会有延迟(即直到近亲繁殖数代后才显现)。近交衰退显现的速度取决于已产生的近亲繁殖和形状的数目。

上述观点会让养殖场主错误地认为近亲繁殖是导致许多生产问题的主要原因,因此当个体出现畸形或产量下降时,他们会得出错误的结论,认为已出现近亲繁殖,他们的种群不再优良。畸形和产量的下降通常由发育差错、有毒物质、营养不良或天气等非遗传原因导致,可能不是由近亲繁殖造成。

由于近亲繁殖是近亲的交配,如果将个体贴上特殊的标签,就能轻易地避免近亲繁殖或通过防止父代一子代、兄弟一姐妹以及半同胞交配尽量避免近亲繁殖。如果第二代表亲允许最亲密的交配,近亲繁殖将不再是问题。

当实施选择育种计划时,近亲繁殖是不可避免的,因为只允许最佳的个体进行繁殖会造成近亲交配。在实施选择育种计划时尽量降低近亲繁殖非常重要,因为我们不希望轻易地将通过选择获得的遗传增益与近交衰退抵消。为避免这一点,已制定了许多育种计划,以尽量减少选择育种计划实施期间的近亲繁殖。¹¹在选择育种计划实施过程中防止近亲的系统交配非常重要,而在大型育种计划中近亲的偶然(随即)交配并不是大问题,因为这只是小群体,通过该交配产生的后代很可能将在下一代中与非近亲交配,并产下非近亲繁殖的鱼类。¹²

给家畜个体贴上标签从而防止近亲交配很容易,但对于鱼类则很难。因此,水产养殖者必须将种群作为整体来管理,以尽量降低近亲繁殖的积累。为此,

⁹ 例如Kincaid, H.L. 1976. 近亲繁殖对虹鳟鱼群体的影响。美国渔业协会论文集, 105:273-280; Kincaid, H.L. 1976. 虹鳟鱼 (*Salmo gairdneri*) 近亲繁殖。加拿大渔业研究委员会期刊, 33:2420-2426; Su, G.-S.; Liljedahl, L.-E, Gall, G.A.E., 1996. 近亲繁殖对虹鳟鱼 (*Oncorhynchus mykiss*) 生长和生育性状的影响。水产养殖, 142:139-148。

¹⁰ Ryman, N. 1970. 对释放的幼鲑鱼 (*Salmo salar*) 重新捕获概率的遗传分析L. Hereditas, 5:159-160。

¹¹ Dupont-Nivet, M.; Vandeputte, M.; Haffray, P.; Chevassus, B. 2006. 当在鱼类育种计划中实施个体选择时不同交配设计对近亲繁殖、遗传变异和选择反应的影响。水产养殖, 252:161-170; Gallardo, J.A.; Lhorente, J.P.; García, X., Neira, R. 2004. 非随机交配方案对银鲑 (*Oncorhynchus kisutch*) 养殖群体的近亲繁殖积累的延迟影响。加拿大水产与水生科学杂志, 61:547-553; Gjerde, B., Gjøen, H.M., Villanueva, B. 1996. 采用强制性近亲繁殖的鱼类育种计划最佳设计。正态分布性状的混合选择。畜牧生产科学, 47:59-72; 近亲繁殖和种群管理。渔业技术论文。第392号。罗马, 联合国粮农组织。

¹² Dupont-Nivet, M.; Vandeputte, M. 2005. 避免亲同胞交配可保持选择方案的遗传变异性? 单交案例。水产养殖, 247:12。

水产养殖者必须对有效的育种数目 (N_e)¹³进行管理。

单向 N_e 取决于繁殖和产下可育后代的雄鱼数量和雌鱼数量:

$$N_e = \frac{4 (\text{雌鱼数量}) (\text{雄鱼数量})}{(\text{雌鱼数量}) + (\text{雄鱼数量})}$$

因此, N_e 取决于产下可育后代的雄鱼数量、产下可育后代的雌鱼数量以及种鱼的性别比例。这就意味着, 增加产卵雄鱼和雌鱼的数量并尽可能将性别比例保持在1:1附近便可使 N_e 达到最大值。水产养殖中经常用到的倾斜性别比例使 N_e 远比产卵种鱼数量小。 N_e 受“最少代表性别”的影响最大(例如, 当雄鱼很少时, N_e 近似于雄鱼数量而非总数量)。

水产养殖者和渔业生物学家必须对 N_e 进行管理, 因为它与近亲繁殖成反比:

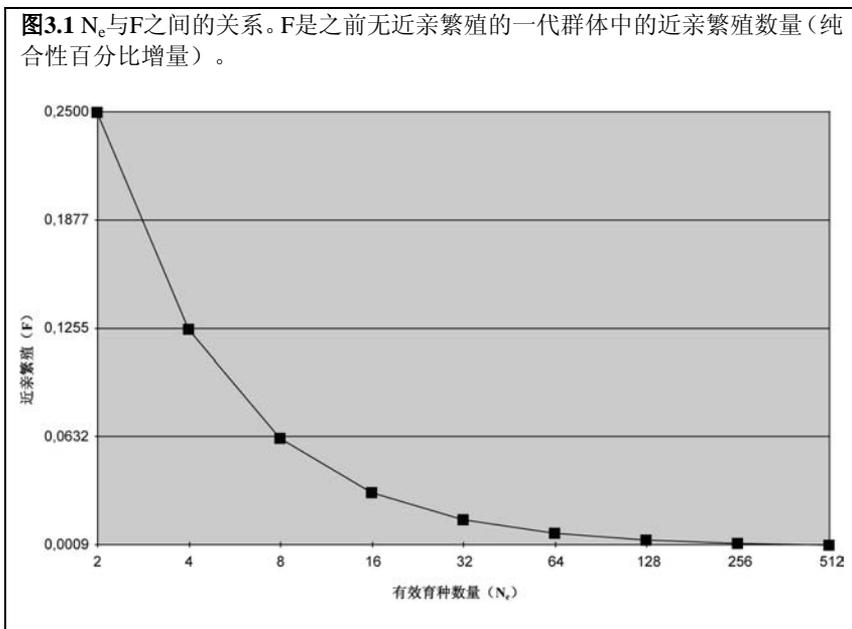
$$F = 1/2 N_e$$

其中, F 是一代中近亲繁殖的数量(0-100%); F 是纯合性百分比增量。根据该公式, N_e 降低, F 就增加(图3.1); $N_e < 50$ 表示每一代中具有大量的近亲繁殖。

在封闭性群体中, 一旦出现近亲繁殖, 下一代的 N_e 降低:

$$N_{eF} = N_e / (1 + F)$$

¹³ Hallerman, E. 2003a. 近亲繁殖。E.M. Hallerman版群体遗传学第215-237页; 渔业科学家的原则和应用。Bethesda, MD; 美国渔业学会; Tave, D. 1993. 鱼类孵化场管理人遗传学, 第二版。纽约, Van Nostrand Reinhold; 见脚注14。



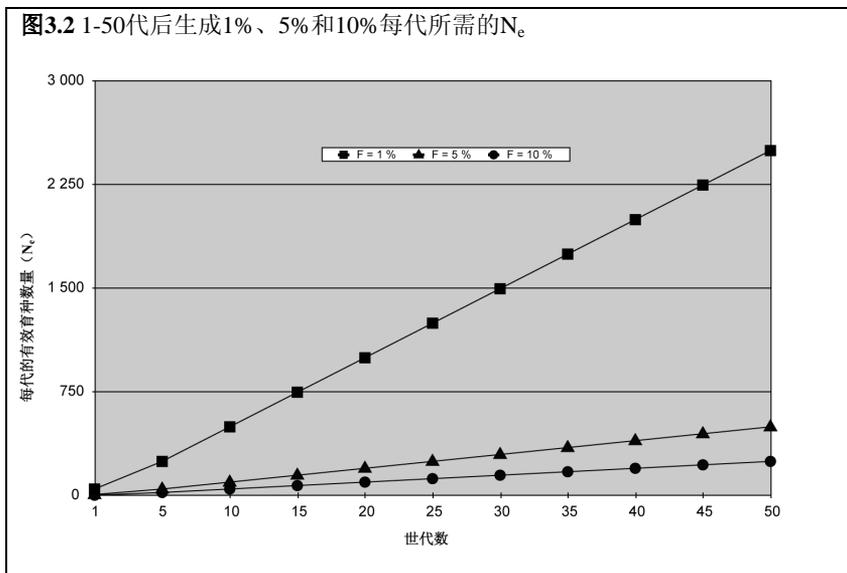
其中 N_{eF} 是 $F > 0\%$ 的封闭性群体中的有效育种数量。实际上，数代产生的 F 总量可通过将各代产生的 F 相加计算，无须考虑之前的近亲繁殖。

N_e 为多少才能使近亲繁殖最小？令人遗憾的是，不存在一个水生养殖者或渔业生物学家希望规避的通用的 F 值，即不存在通用的 N_e 。30到500范围内的 N_e 为建议值，50最常见。¹⁴为计算所需的 N_e ，必须确定多高的遗传风险等级是可接受的；在这种情况下，在给定世代数后，它是所需的近亲繁殖最大值。¹⁵此外，有关近亲繁殖的问题、 N_e 是否需要管理，以及 N_e 必须为多大取决于孵化场或养殖场的目的/目标，如果鱼类产卵后，还取决于种群管理方式。

根据图 3.2，常量是 N_e 产生 1 到 50 代的 1%、5% 和 10% 的 F 所必需的。一般建议 $N_e = 50$ 对于尽量减少一代中的近亲繁殖有效 ($F=1\%$)，但十代后的作用无关紧要 ($F=10\%$)。

¹⁴ 请参阅脚注 11 和 13。

¹⁵ 请参阅脚注 11 和 13。



如果养殖场主从育种中心获得种鱼（第5章），种鱼只产卵一次，然后购入新种鱼，或者养殖场主在每个生长期仅从“繁殖”孵化场购入遗传改良幼鱼进行养殖（第6章），这些情况下无须担心近亲繁殖或 N_e 的控制。育种中心或繁殖孵化场必须对种群进行管理，以尽量降低近亲繁殖，但养殖场主无须担心近亲繁殖问题。

对于维持其自身产卵亲体需要的个体养殖生产者 and 小型养殖场主来说，管理近亲繁殖可能比较困难，但仍应鼓励他们努力去进行管理，因为提升他们的畜牧业技能将有助于提高产量。如果他们在5代中保持常量 $N_e = 50$ ，他们将会维持 $F \leq 5\%$ 。该建议可带来优良的短期（5代）管理，同时该建议的要求并不特别高，因此许多小型养殖场主可将其纳入年度工作计划中。

大型商业养殖场主以及希望生产幼鱼或实施选择育种计划的机构应努力保持 $F=5-10\%$ ，5%是10到20代的期望目标，因此选择和驯化不会简单地与近交衰退抵消。那些针对渔业或保护计划进行鱼类养殖的机构应努力保持 $F=1-5\%$ ， $F=1\%$ 是最少20代的期望目标，因为这些企业的主要管理工作是避免长期以内基因库发生变化。

图 3.2 中的关键概念为 N_e 's 是常量 N_e 's。 N_e 可大于期望数量，但如果它仅在一代中小于期望数量，近亲繁殖目标将不能实现。这是因为 t 代内的 N_e 平均值不是算术平均数，而是调和平均数。

$$N_{e \text{ mean}} = 1/t(1/N_{e1} + 1/N_{e2} + \dots + 1/N_{et})$$

根据本公式， N_e 最小的世代将对 N_e 平均值造成不成比例的影响。

有许多管理技术可提高 N_e 。最直接的方式是通过增加产卵鱼以及产出可育后代的鱼的数量，并将产下的鱼的性别比保持 1:1 来提高 N_e 。为达到生产指标而提高产卵鱼数量的一种方法是仅保持每个族群的一小部分。这些简单的观点与标准的鱼类养殖管理是相反的；由于鱼类的多产，水产养殖者往往尽量降低产下的鱼数量，并且通常会使用高度倾斜的性别比例，这样就可保持较少的种鱼数量。

第二种技术是将随机交配（大多数孵化场的通常作法）转变为谱系交配。¹⁶ 在谱系交配时，每条雌鱼产下一条子代雌鱼，每条雄鱼产下一条子代雄鱼作为产出下一代的种鱼（数量可以多于一条，只要所有的产下相同数量即可）。谱系交配极大地提高了 N_e ，当性别比例为 1:1 时， N_e 是产卵鱼数量的两倍。但是，为了实现这一点，每个族群必须在独立的养殖单元中养殖，直到鱼可用于出售为止，以确保每条亲代鱼产下正确性别的后代。

第三种技术是平衡每次交配产下的后代数量，因为不相等的繁殖成功数量会降低 N_e 。¹⁷ 但是，为了实现这一点，每个族群必须在独立的养殖单元中养殖，直到族群规模达到了可以实施平衡的状态。

第四种技术是更改挤精方法。¹⁸ 在对鱼进行挤精时，精液不得混合或连续加入。这些方法会导致配子竞争以及一条雄鱼对大多数卵受精，从而使 N_e 远小于期望值。

第五种技术是延长世代数。图 3.2 中的 N_e 期望值是针对世代而非年数的。一代是子代取代亲代的时间间隔。如果目标在 20 年内是将近亲繁殖保持在给定值之下，并且常规程序使用两年为世代间隔，则在 20 年计划期间会产出 10 代。但是如果世代间隔可延长到 3 年，那么在 20 年计划期间只会产出 7 代，这表明降低 N_e 可成为实现预期目标的方法。

¹⁶ Tave, D. 1984. 有效育种效率：不同育种计划和性别比对育种和遗传漂变的影响的量化指标。先进的养鱼者，46:262-268。

¹⁷ Fiumera, A.C.; Porter, B.A.; Looney, G.; Asmussen, M.A.; Avise, J.C. 2004. 在高产管理物种的补充育种计划中尽量增加后代产量并保持遗传多样性。保护生物学，18:94-101。

¹⁸ Withler, R.E. 1988. 以聚集鱼精使大鳞大麻哈鱼（*Oncorhynchus tshawytscha*）受精的遗传结果。水产养殖，68:15-25；Withler, R.E. 1990. 鲑鱼卵受精技术的遗传结果。水产养殖，85:326。

第六种技术是将封闭性群体转变成开放性群体。上述讨论假设群体为封闭的。如果每一代引入 10-25% 的新种鱼, 那么产出的近亲繁殖数量将极大地降低。¹⁹ 在渔业和保护管理中, 一种方法是捕获野生种鱼并进行产卵, 或收集野生生产下的鱼卵并进行养殖。如果收集了种鱼, 必须进行看护, 以避免种群开采 (即将会在野外自然产卵的鱼的数量降低到危险等级之下)。

第七种技术是养殖场主可维持两个不相关的群体并进行杂交。杂交的近亲繁殖数量为零。杂交通常用于动植物育种计划中, 以消除或抵消近亲繁殖。如果维持了多个不相关的群体, 可采用循环交配计划, 以避免数代内出现近亲繁殖。²⁰

最后一种技术是可使用因子交配模型提高 N_e , 从而尽量降低近亲繁殖。²¹

3.3 遗传漂变

遗传漂变是基因频率的随机变化—该变化不是由选择、洄游或突变导致。导致随机变化的可能是自然原因, 例如, 分离群体的滑坡, 或毁灭群体中大部分成员或破坏部分栖息地的暴风雨, 也可能是人为原因, 这些人为原因在养鱼者购入鱼并进行产卵时发生。

在正常情况下, 繁殖并产下可育后代的鱼的数量远小于成鱼的数量; 在水产养殖中更是如此。当子样本产卵时, 子代中一个或多个基因的频率有可能与亲代中的不一样, 并且产卵数量越少, 越有可能发生变化。基因漂变的最终结果会导致等位基因丢失, 基因频率越低, 基因漂变中等位基因越有可能丢失。当水产养殖者为其基础鱼群选择购买鱼类时也会导致基因漂变。鱼的购入很关键, 小样本通常会导导致所谓的建立者效应—这种情况下, 基因漂变创建的群体的基因频率与其起源群体的基因频率有着显著区别。存在于封闭性群体中的最大遗传方差由原始鱼群决定。

基因方差的丢失使野生鱼群更容易消亡, 因为鱼群的遗传多样性已丢失, 而遗传多样性能让鱼群适应环境的变化。对许多孵化场鱼群已经进行了评估, 无论如何加大努力防止基因漂变, 它都会出现并降低了基因方差。²² 基因漂变

¹⁹ Bartley, D.M.; Kent, D.B.; Drawbridge, M.A. 1995. 南加利福尼亚州白鲈鱼孵化场改进计划中的遗传多样性。美国渔业学会研讨会, 15:249-258。

²⁰ Kincaid, H.L. 1977. 轮流品系杂交: 降低鲮鱼种群中近亲繁殖积累的方法。先进的养鱼者, 39:179-181; 见脚注11。

²¹ Busack, C.; Knudsen, C.M. 2007. 使用因子交配设计增加鱼类孵化场中的有效育种数量。水产养殖, 273:24-32。

²² Allendorf, F.W.; Phelps, S.R. 1980. 竞争激烈的鲮鱼孵化场种群中的遗传变异损失。美国渔业学会论文集, 109:537-543; Hallerman, E.M.; Dunham, R.A.; Smitherman, R.O. 1986. 针对快速生长选择的叉尾鲷中的选择或漂变—同工酶等位基因频率变化。美国渔业学会论文集, 115:60-68; Vuorinen, J. 1984. 褐鲮鱼孵化场种群中遗传变异性的降低, *Salmo trutta*. 鱼类生物杂志, 24:339-348。

中的基因方差丢失表现出可以防止选择，从而加快生长速率，²³并有可能增加发育不良的鱼数量。²⁴

N_e 与基因漂变之间的关系是：

$$\sigma_{\Delta q}^2 = pq/2N_e$$

其中， $\sigma_{\Delta q}^2$ 是基因频率变化的方差（测量基因漂变的方法）， p 和 q 是特定基因的等位基因 p 和 q 的频率。

与近亲繁殖情况类似，基因漂变与 N_e 成反比； N_e 越小，基因漂变改变基因频率的可能性越大。 N_e 的降低可通过基因漂变立即对基因频率产生影响。

由于很难防止受管理鱼群中的基因漂变，必须根据管理目标将基因漂变划分成可接受和不可接受的变化。等位基因频率从0.4到0.38的变化不很关键，因此可划分为可接受的，但等位基因频率变化为0.0很关键，必须加以防止，因此划分为不可接受的。因此，必须对 N_e 加以控制以尽量降低等位基因丢失；由于稀有等位基因比普通等位基因更容易丢失，因此防止遗传漂变中稀有等位基因的丢失应是管理的一大目标。

一代在遗传漂变中丢失频率 q 等位基因的概率为：

$$P = (1 - q)^{2N_e}$$

图3.3所示的一代丢失等位基因（ $f=0.001-0.5$ ）的概率。根据图3.3，防止普通等位基因的丢失需要较小的 N_e 值（ $f \geq 0.2$ ），防止稀有等位基因的丢失需要较大的 N_e 值（ $f \leq 0.01$ ）。

当对鱼群的 N_e 值实施控制以尽量降低基因漂变时，必须确定何种遗传风险是可接受的；在这种情况下，这可以针对给定的世代数预先保证维持特定频率的等位基因（ $1.0 - P$ ）。²⁵遗传学家和群体生物学家认为 $f = 0.01$ 的等位基因有助于形成多态性，因此渔业管理和保护计划应将保留 $f = 0.01$ 的等位基因作为目标（如果做到了这一点，更多的普通等位基因也会被保留）。保留稀有等位基因对于食用鱼养殖不是很重要。如果稀有等位基因改善了活力、生长速度以及其他养殖特征，驯化将提升它们的频率。因此，保留 $f = 0.05$ 的等位基因对于食用

²³ Tave, D.; Smitherman, R.O. 1980. 尼罗罗非鱼早期生长选择的预期反应。美国渔业学会论文集, 109-439-445; Teichert-Coddington, D.R.; Smitherman, R.O. 1988. 尼罗罗非鱼对早期快速生长混合选择的反应的缺乏。美国渔业学会论文集, 117:297-300。

²⁴ Leary, R.F.; Allendorf, F.W.; Knudsen; K.L. 1985. 发展不确定性作为孵化场鲑鱼遗传变异降低的指示。美国渔业学会论文集 114:230-235。

²⁵ 请参阅脚注11。

鱼养殖户来说是遗传风险。

图3.3 当 N_e 不同时，等位基因丢失（ $f=0.001-0.5$ ）的概率。这些概率都是针对单独事件而言（种群的产卵期或购入）。

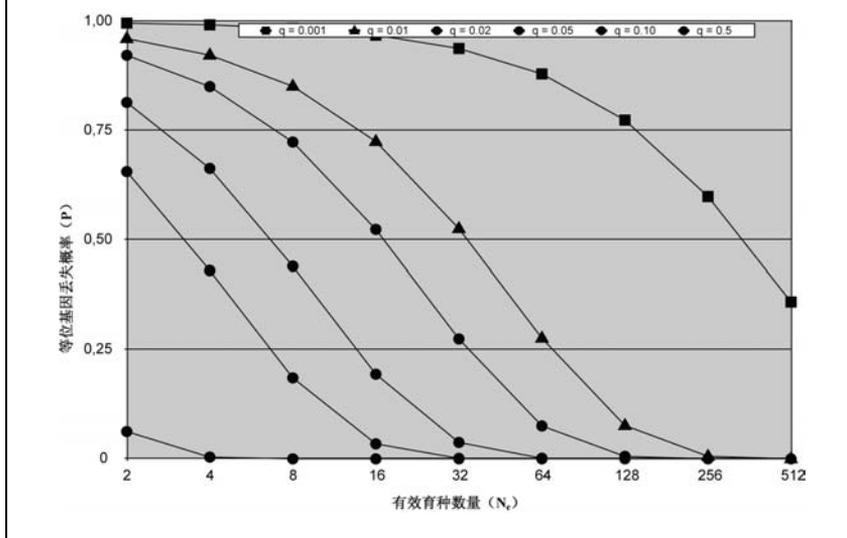


图4所示的是95%确保保留1到50代等位基因（ $f=0.005-0.1$ ）所需的常量 N_e 。 N_e 的计算方法在联合国粮农组织有关孵化场鱼群近亲繁殖和遗传漂变的管理文件中有说明。²⁶防止 $f \geq 0.05$ 的等位基因的丢失很简单，但如果 $f \leq 0.005$ 则很难。

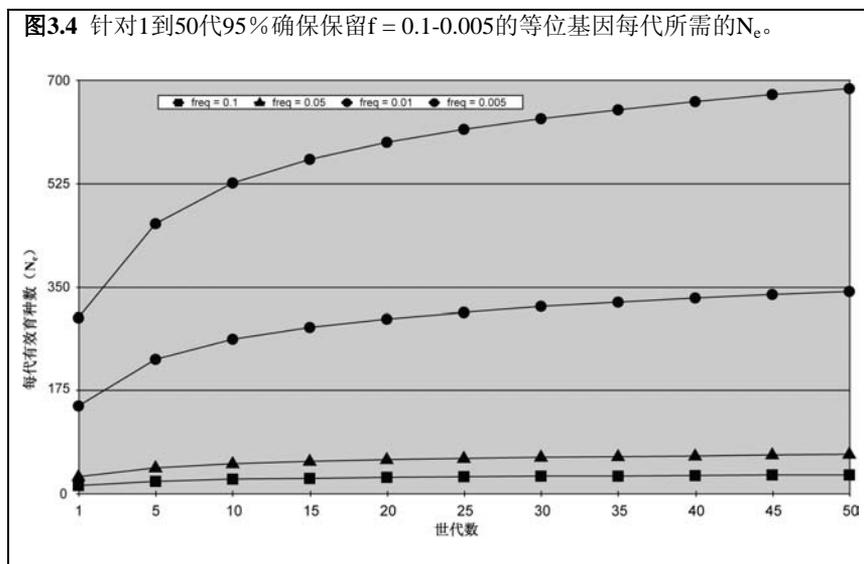
与近亲繁殖管理情况类似，不要鱼产卵或只产卵一次然后购入新种群的养殖场主无须为尽量降低遗传漂变而进行鱼群管理。即使大多数个体生产者或小型养殖场主不了解遗传漂变或其后果，但许多机构仍很容易地采取了尽量降低影响的管理措施。如果他们将常量 $N_e=45$ 保持5代，他们会95%确保保留 $f=0.05$ 的等位基因。该建议的要求并不特别高，可带来优良的短期（5代）遗传管理。

对于大型商业养殖场主以及生产幼鱼或实施选择育种计划的机构来说，保留 $f=0.05$ 的等位基因这一目标易于实现； $N_e=59$ 将95%确保保留20代。对于渔业/保护计划，保留 $f=0.01$ 的等位基因这一目标应是是可以实现的； $N_e=297$ 将针对20代95%确保保留。图4所示数值是针对单个等位基因而言。如果有100个此类等位基因，95%确保保留表示将保留95个，5个丢失。近亲繁殖一节所述的管

²⁶ 请参阅脚注11。

理技术也可用于提高 N_e ，从而尽量降低遗传漂变。

使遗传漂变达到最小化的 N_e 建议值范围是500到5 000，500最普遍。²⁷根据图4所示，普遍建议值 $N_e = 500$ 将有利于实现遗传漂变的最小化；它将95%确保保留 $f = 0.01$ 的等位基因 >50 代。但是，根据遗传目标（风险）的不同， N_e 期望值有可能小于500，食用鱼养殖通常是这种情况。



由于近亲繁殖和遗传漂变与 N_e 成反比，因此应进行管理使两者最小化。图3.2和3.4所示的信息可结合起来创建常量 N_e ，以实现两者目标；要实现两者目标，必须使用较大的 N_e 。图3.5和3.6基于不同的遗传风险等级列出了食用鱼以及渔业/保护水产养殖所需的常量 N_e 。

根据图3.5，使近亲繁殖和遗传漂变的破坏影响达到最小化所需的 N_e 并不非常大，可整合到大多数食用鱼运营中。尽管人们通常认为遗传管理对于个体生产者或小型养殖场主价值不大或是一项不合适的技术，但那些维持自己的种群并产卵的机构可将“中等风险”（图3.5）短期（5代）管理纳入日常工作计划中。 $N_e = 50$ 将保持 $F \leq 5\%$ ，并95%确保将 $f = 0.05$ 的等位基因保留5代。在这种情况下，控制近亲繁殖所需的 N_e 比控制遗传漂变所需的 N_e 大，因此使用近亲繁殖

²⁷ Lande, R. 1995. 突变和保护。保护生物学9:782-791; Hallerman, E. 2003b. 随机遗传漂变。197-214页, E.M. Hallerman版群体遗传学: 渔业科学家的原则和应用, Bethesda, MD. 美国渔业协会; 国家研究委员会。2002. 科学和濒危物种法案。华盛顿特区。美国科学院出版社; 见脚注11和13。

的 N_e 。由于这一原因，推广人员只须在近亲繁殖最小化这一易于理解的概念上对遗传管理进行说明，许多社群都禁止近亲（血缘）结婚。

如果生产幼鱼或实施选择育种计划的大型养殖场主保持恒定的 $N_e = 100$ （包括原始鱼群），他们能在10代内将遗传问题降至最低（ $F \leq 5\%$ 并95%确保保留 $f = 0.05$ 的等位基因）（图3.5中的“中等风险”）。但是，如果他们从 N_e 低于100的养殖场中购入鱼群，则引入的鱼群可能已经积累了较高的近亲繁殖水平，或者由于遗传漂变导致遗传多样性和性能的降低。

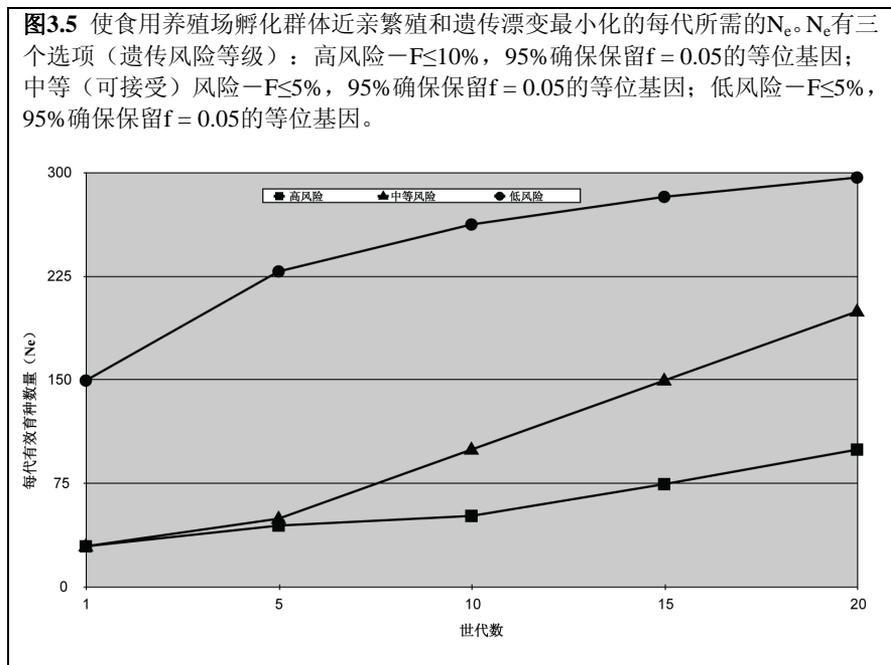
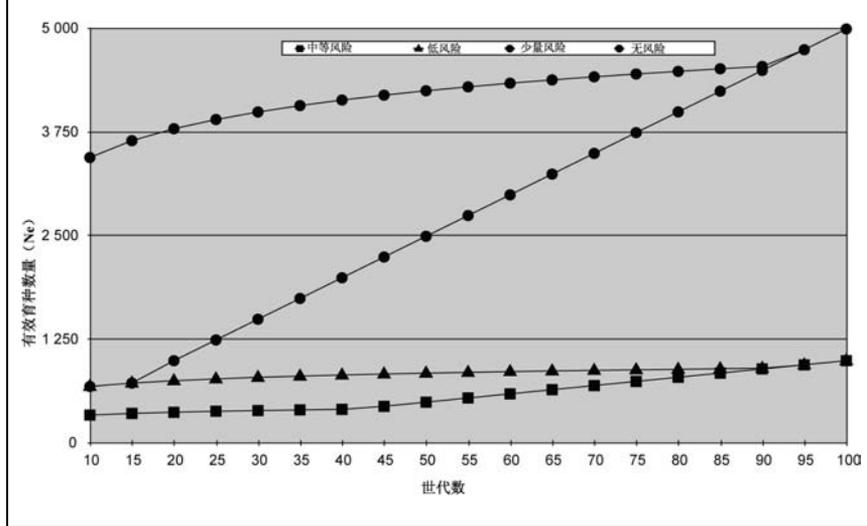


图3.6中的 N_e 是比较大的，因为长期（ ≥ 10 代，20代达到预期最小值）管理群体的基因库应该是以渔业/保护为基础的水产养殖计划的首要目标，且少量风险应该是可接受的。根据遗传风险的不同，20代所需的恒定的 N_e 范围是378-1 000。虽然仅从遗传角度看图3.6中的“无风险”选项是最理想的，但从管理角度却不大可能将其进行整合。因此，应将图3.6中的“低风险”或“少量风险”整合到此类工作中。由于20代内 N_e 是相等的，图3.6中的“少量风险”选项结合了 $F \leq 1\%$ 以及99%确保保留 $f = 0.005$ 而非 $f = 0.01$ 的等位基因。如果少于20代内的 $F \leq 1\%$ 以及 $f = 0.01$ 组合是期望值，图3.2和3.4中的 N_e 可用于生成所需的 N_e 值。

据认为, $N_e \geq 1,000$ 时, 群体将处于“遗传安全”²⁸状态。 $N_e = 1,000$ 时将实现100代“中等”和“低风险”目标, 以及20代“少量风险”目标(图3.6)。

图3.6 渔业或保护管理项目中使孵化群体近亲繁殖和遗传漂变最小化的每代所需的 N_e 。 N_e 有四个选项(遗传风险等级): 中等风险— $F \leq 5\%$, 99%确保保留 $f = 0.01$ 的等位基因; 低风险— $F \leq 5\%$, 99%确保保留 $f = 0.005$ 的等位基因; 少量风险— $F \leq 1\%$, 99%确保保留 $f = 0.005$ 的等位基因; 无风险— $F \leq 1\%$, 99%确保保留 $f = 0.001$ 的等位基因。



有关 N_e 计算的探讨假定群体相对稳定, 孵化场通常也是这种状况。在这种情况下, 针对近亲繁殖和遗传漂变的 N_e 如前所述进行计算。但是, 当群体较小, 各代波动较大, 或不断衰减时, 针对近亲繁殖和遗传漂变的 N_e 各不相同, 因为 N_e 对群体的影响可以立即显现(遗传漂变)或延迟(近亲繁殖)。在这种情况下, 针对遗传漂变 N_e 称为方差有效数(N_{ev})²⁹, 公式为:

$$N_{ev} = \frac{4N - 2}{V_k + 2}$$

其中, N 是亲代鱼的数量, V_k 是后代产量的方差。

²⁸ 国家科学研究委员会。2002。

²⁹ Waples, R. S. 2002. 濒危物种保护中有效群体规模的定义和评估。147-168 页, S.R. Beissinger; D.R. McCullough, 版群体活力分析。芝加哥。芝加哥大学出版社。

由于遗传漂变对物种的野外存活能力有更大的破坏作用,因此 N_{ev} 对于渔业和保护管理的重要性远远大于对食用鱼养殖的重要性。如果渔业/保护计划仅有的遗传目标是尽量降低遗传漂变,则应对 N_{ev} 进行控制;在与之前各代的 N_{ev} 相独立的情况下,对每一代的 N_{ev} 进行评估。在这种情况下,普遍建议值 $N_e(N_{ev}) = 500$ 将有利于尽量降低从亲代到子代50代的遗传漂变(图3.4)。但是,如果群体之前各代的 N_{ev} 较小, $N_{ev} = 500$ 只能保持由遗传漂变导致的问题不会恶化;它不会扭转已经发生的遗传损害。

由于蓄养计划实际可降低整个 N_{ev} ,因此需要了解渔业或复垦项目中孵化场鱼的 N_{ev} 以及蓄养的野生群体的 N_{ev} 。³⁰例如,如果蓄养的鱼的 N_{ev} 很小,但它们对下一代产生了不成比例的子代数量,野生群体的 N_{ev} 会下降。另一种降低 N_{ev} 的方法是,当孵化场鱼产出大族群时,野生亲代产出小族群;这增加了后代产量方差,从而实际生成比组合 N_{ev} 更小的 N_{ev} 值。

3.4 驯化

驯化是一种选择形式,可使生物更适应养殖环境以及各方面的养殖管理(即通过选择能扩大养殖的等位基因以及去除不太适应养殖场的等位基因改变群体基因库)。驯化是有意识选择和无意识选择的结合。驯化改变了基因库,这些改变会传至以后的世代,并最终使各群体具有明显的差异。在水产养殖业中,所有供食用的重要植物和动物都已进行驯化;另一方面水产养殖者养殖未驯化的动植物。驯化是难以量化的术语,因为野生和驯化之间没有绝对的分界线;相反它是持续的过程(驯化的定义是三代以上的持续受控繁殖)。³¹我们可以注意到终极产品(已驯化)和起始产品(野生),但每一种水产养殖生物都属于该过程的一个类型;大多数都更接近于起点而非终点。当养殖者控制鱼类生命周期并决定鱼类养殖条件(采用的饲料类型;蓄养率;水质管理等),尤其决定鱼类产卵条件时,就意味着驯化开始。

驯化能以巧妙的方式改变群体,因为在鱼类适应养殖场主或孵化场管理人所采用的方式时,无意识选择就发生作用。例如,养殖场主实施鱼产卵的方法可生产出对荷尔蒙注射更容易起反应的鱼群,或者如果孵化场管理人只在产卵期开始时实施产卵,产卵期可变动。从首次围网捕鱼中选择怀卵鱼,可选出易于丰产的鱼,而从经过数次围网捕鱼后池塘中剩余鱼群中进行选择,可选出善于逃脱的鱼。在集约养殖条件下养鱼可选出对退化和紧迫生存条件具有忍受力的鱼。去掉那些运动剧烈和难以控制的怀卵鱼可选择出更多温顺的鱼。

简单的行为改变可能是(也可能不是)驯化的构成部分。例如,当即将进

³⁰ Ryman, N.; Laikre, L. 1991. 遗传有效群体规模支持性育种的影响。保护生物学, 5:325-329; Waples, R.S.; Do, C. 1994. 太平洋鲑添加的相关遗传风险: 捕获种群计划。加拿大渔业与水生科学杂志, 51(附录1): 310-329。

³¹ Bilio, M.。水产养殖中的受控繁殖和驯化。当前的工艺。第二部分,欧洲水产养殖, 32(3): 5-23。

行喂食时，鱼学会理解了喂食车或喂食人发出的声音并作出反应。这一行为是很有必要的，因为这能使鱼更快地吃掉饲料，浪费较少。如果该行为有遗传基础，就成为了驯化的一部分，但如果该行为无遗传基础，则不会传至下一代，故不能称为驯化。

驯化非常有利于食用鱼养殖，因为能产出更多温顺的鱼，这些鱼在人工喂养下可茁壮成长，从而加快生长速度，并且能忍受可导致压力和相应疾病的拥挤、装运和退化的水质条件。实践表明，驯化可使每代养殖鱼的生长速度提高2-6%。³²

但是，水产养殖还对将在野外蓄养的鱼进行饲养，以支持基于养殖的渔业（第8章），并对濒危物种计划中蓄养的鱼进行饲养（第9章）。对于该类管理，驯化是有害的，因为驯化可导致不必要的基因组变化。³³令人遗憾的是，产卵鱼的简单行为、它们的产卵方式或养殖方式形成了驯化选择，这会降低鱼对野生环境的适应性。例如，在野外存活很艰难，大多数在鱼苗时即死亡。水产养殖者创造了最有利于鱼类存活的环境，因此基因型已经不适应野外环境，但这在孵化场内并不是致命的。提高孵化苗的早期成活率是水产养殖的例行工作，是一种驯化选择形式。实践表明，如果选择较小的卵来孵化，可间接影响苗种的质量，从而降低鱼苗在野外的活力。甚至用野生的卵孵化的鱼，蓄养一段时间后再放养到野外，如果其成活率和繁殖率与野生鱼有差异，也会发生驯化选择。

尽可能减少对用于放养野外鱼驯化的管理方法将在第8章中列出。

3.5 制约条件和机遇

改善该领域管理的主要制约条件基于一个简单的事实，大多数水产养殖者缺乏遗传领域的训练，认为此训练并不是该类管理所必需的——原因通常是他们并不了解。第二个制约条件是许多水产养殖者未认识到引入遗传管理计划的长期利益（第4和6章），按常规养殖已近亲交配或已降低遗传多样性的鱼，这些鱼不如遗传性质未遭破坏的种群优良。他们也未认识到在渔业的其他方面作出改进（例如更好地喂食）只能抵消遗传潜力的下降。他们增加了降低近亲繁殖和遗传漂变的相关成本，但这些可被提升的产量抵消（第6章）。第二个制约条件是孵化场管理人和资源管理人因产出更多鱼时而错误地得到嘉奖，在这种情况下，由于未采取适当的遗传管理和评估，这些鱼不一定很优良。养鱼者和资源管理人必须了解产出较少但更优质的鱼可提高生产率和改善资源管理。第

³² Dunham, R.A.; Smitherman, R.O. 1983。土塘中生长的叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*) 三大品系中体重选择反应和实现的遗传力，水产养殖，33:89-96。

³³ Araki, H.; Cooper, B.; Blouin, M.S. 2007。捕获育种的遗传效应导致快速累积的野外适应性下降。科学，318:100-103; Heath, D.D.; Heath, J.W.; Bryden, C.A.; Johnson, R.M.; Fox, C.W. 2003。捕获鲑鱼卵大小的快速进化，科学，299:1738-1740。

三个制约条件是财政因素，限制了许多孵化场扩展、重建和雇佣更多工人，从而不能产出所需要的种苗数量。最后的制约条件是，在养殖鱼过程中引入基因管理必须与优秀的水产养殖场以及营养或鱼类健康机构合作进行。

幸运的是，许多领导人和决策者逐渐了解遗传资源管理不是抽象的概念，而可以提高食物安全性和生态稳定性。

4 水产养殖业的遗传改良方法³⁴

4.1 引言

联合国粮农组织负责渔业技术准则的多个条文涵盖遗传改良方法在水产养殖业中的应用问题（第9.1.2、9.1.3、9.3.1和9.3.3条）。这些条文涉及与水产养殖发展，特别是与遗传改造鱼群的发展有关的风险，以及与自然生态系统的遗传和环境完整性有关的风险。本章重点审查水产养殖物种基因改良中使用的方法，以及这些方法目前和将来可能在水产养殖中的应用范围。这些方法以其对水产养殖发展的短期和长期效益进行考量，并参考其选择和应用风险。这些风险详见第7和9章。准则提出了多种遗传改良技术在水产养殖中的应用。

正如其他章节指出的那样，大多数对一代以上养殖物种的生命周期的人为干预形式将通过基因频率的更改从遗传上改变种群。第3章简述了该遗传改造的发生过程，即通过近亲繁殖和遗传漂变，并通过无意识选择改变基因和等位基因频率（以及相关的表型性状）。这些遗传改变通常是忽略了对持续数代捕获种群进行管理的遗传后果所致。本章重点讨论通过应用一系列遗传改良技术而产生的与养殖种群有效遗传变化有关的其他后果。

4.2 水产养殖的遗传改良

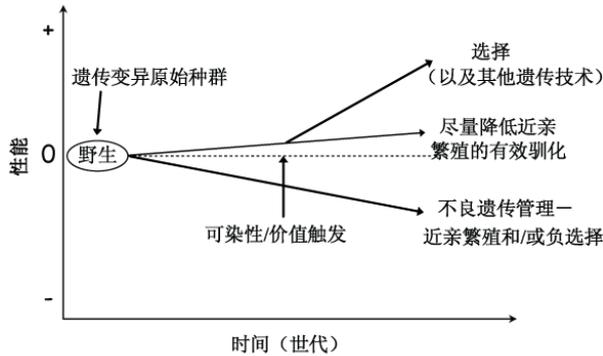
上世纪70年代，随着挪威鲑鱼选择育种计划的实施，开启了水产养殖遗传改良的新时代。仅仅过去二十多年，人们已普遍接受遗传改良对水产养殖的发展起重要作用，通过对水生物种实施精心准备的遗传育种计划可获得重大的遗传增益。因此，目前全球正在实施众多此类育种计划。

对遗传在水产养殖所起的作用以及遗传干预时机选择的认识也在不断变化。目前人们普遍认为，从种群开始驯化（引入）之时起进行遗传变异管理非常重要，以避免种群通过近亲繁殖、遗传漂变和无意识选择出现退化（见第3章），并利用驯化选择的长处，增大随后发生遗传改良的可能性（图4.1）。

由于水产养殖中所用的许多水生生物具有特殊的生物特征和性质，其可选的遗传改良方案实际上比用于更高等生物的更多。因此，可采用染色体组操作、性别控制和转基因等技术等许多有用的可选改良方案。

³⁴ 撰写人：Graham C. Mair。

图4.1 不良和优良管理下不同情况的假想图。忽视遗传管理问题在许多情况下导致了养殖种群性能的下降。水产养殖部门的发展目标应是有效管理驯化种群的遗传多样性，实现驯化选择的效益。对遗传多样性的管理和保持在企业或生产部门达到成熟水平、价值水平和/或经济持续性水平时为选择育种的成功提供原材料，以吸引对遗传改良计划的投入。



虽然遗传改良种质技术取得了很大进展，而且逐渐应用于水产养殖中实践中，但大部分养殖鱼与野生基因型仍很相似。与当前畜牧和农作物几乎完全以遗传改良品种为基础的情况相比，水产养殖生产的种质改良技术仍有很长的路要走。

4.3 遗传改良方案

本节主要介绍了适用于养殖水生物种的各种遗传改良方法，概述了现代水产养殖业取得的进步，确定了优化水产养殖效益和降低野生种群遗传和环境风险的关键问题。

4.3.1 选择育种

选择育种的基础是选择针对期望表型（性状）具有高遗传附加值的个体作为亲代，从而它们能将优良的基因传给后代。通过这种方法，应能将针对养殖群体的目标性状的平均值按期望的方向传给每一个相继的世代。在选择育种计划中，需要降低过程期间的遗传变异损失（例如，近亲繁殖可能导致损失），以确保获得遗传增益并维持许多世代。

鉴于选择育种启动时暗含的长期承诺，必须将有待改良的种群作为具有重大商业价值且持续发展的水产养殖部门的一部分。因此，在对任何长期遗传改良策略进行投资前考查正在审议中的部门的发展和未来潜力是很重要的。

在启动育种计划前必须满足许多其他条件。首先，捕获物种的生命周期必须封闭。然后需要通过评估性状（这些性状可通过遗传改良进行实际改变）的经济权重确定对目标具有商业价值的性状。这些性状在群体内应是可变的，在能生殖的动物中应更适于量化（出肉率等可在屠宰的动物中进行最佳测量的性状对选择育种计划应包括的内容提出了更大的挑战）。在理想状态下，供选择的性状应调整到高遗传力水平，从而对即使基础的选择育种也易于作出反应。遗传力可用于测定特定性状中的变异性在多大程度上由遗传决定，遗传力的范围是0（无遗传影响）到1（遗传控制整个性状）。在更正式的用语中，遗传力指加性遗传方差起作用的性状的表型方差比例，反映了对性状选择产生反应的潜力。0.15—0.5的遗传力表示性状将对选择有良好的反应，尽管可通过程序和统计分析有效地选择低遗传力的性状。³⁵确定性状之间的表型和基因关联也很重要，特别是当制定选择指数（在这些指数下，两个或多个性状可合并成单个指数值）时更是如此。

启动选择育种计划关键的第一步是鉴别和开发合适的原始种群。为增强长期基因增益的潜力以及提升养殖性能，原始种群应具有高度遗传可变性，应主要以具有最佳性能的可用种群为基础（性能数据已知或能获得）。实际上，这有可能涉及创建复合原始种群，该种群利用各种来源的源种质，通常由具有不同遗传性质的离散群体（驯化和/或野生）衍生，就像罗非鱼育种计划GIFT启动时的情况一样。³⁶

选择育种计划中结构良好的原始种群在遗传上与单个野生群体有显著差异，随着时间的推移，野生的基因频率会被遗传改造养殖种群的重大野生基因渗入改变，从而对这些群体的遗传完整性造成潜在威胁，认识到这一点是非常重要的。随着选择育种的进步，选择种群的遗传同一性逐渐与任何野生种群进一步发生分离（见第3、4、8和9章）。应对这一风险的方法是仅从本地种群中发展选择系列（即从本地离散种群内选择原始种群），并将它们的养殖限制在群体自然分布范围内的场所。但是，该可选方案可能成本高。选择育种重在数量性状（即具有数量性质并持续分布的表型）的改良，生长速率通常是考虑改良的首要性状。质量性状（例如颜色、体型或皮肤形状或性别）通常由一个或两个基因座控制，并可了解其遗传加以影响。这在观赏水产养殖部门中很常见，但与食用水产养殖无太大关系。

³⁵ Gjedrem, T. 2005. 水产养殖中的选择和育种计划。Springer, 荷兰。Van Vleck, L.D. (1993) 《选择指标以及混合模型方法简介》，CRC出版公司，佛罗里达州，美国。

³⁶ Eknath, A.E., Bentsen, H.B., Ponzoni, R.W., Rye, M., Nguyen, N.H., Thodesen, J. & Gjerde, B. 2007. 养殖罗非鱼的遗传改良：针对选择育种的罗非鱼综合基本群体的组成和遗传参数。水产养殖273: 1-14。

生长速率通常是大多数水产养殖部门中具有最高经济价值的关键性状，在大规模和半集约系统中更是如此，在这些系统中，鱼类整条或去除内脏或冷冻后出售，不经过加工。成功的生长选择可使鱼类获得丰产，并具有更大、价值更高的尺寸，缩短养殖时间，或以更大的密度养殖动物，同时保持丰产规模。更集约的生产系统通常优先考虑食物转化和出肉率等性状，因为它们具有较高的经济价值，尽管这些特殊的性状较难选择。

不同的选择方法以及育种计划的详细设计均不在本章的探讨范围内。³⁷对将要采用的选择方法作出决策取决于一系列因素，包括目标性状的遗传力（如果可知）、性状类型、其在可生殖生物中的易于测量性、物种的生物性和生殖（包括繁殖力）。表4.1概括了不同选择育种方案的主要特征。任何选择计划的目标都是选择最佳个体，用于创造下一代，避免遗传变异损失。育种计划设计往往就选择何种性状或性状组合达成一系列折衷。理想的设计将包括完全谱系交配，但可行性较小，并受物理和人力资源、动物数量、营销/标签系统（或分离族群和个体的物理能力）以及物种性质（例如繁殖力、世代时间和控制育种的简易性）的限制。

³⁷ 详细示例手册，Tave, D. 1995。中型养殖场选择育种计划。联合国粮农组织渔业技术论文T352。联合国粮农组织，罗马。

表4.1 不同选择育种设计类型的主要性质摘要^a

选择类型	说明	优点	缺点
个体或混合选择	收集所有个体并测量。仅根据个体目标性状的表型值选择这些个体用作未来种群。	简易，需要的记录较少 不需要个体识别和谱系记录 成本较低 可获得具有高遗传力的性状增益	仅限于具有高遗传力的性状 仅适用于在育种候选物上测量的性状 难以控制育种 需要控制关键的环境影响，例如年龄、蓄养规模、水质、喂食等 可能导致未来世代的高度后代变异，促进遗传漂变
同龄组内选择	根据变异将种群任意分成多个组，并在组内进行个体选择。通过将选择的个体与来自其他组的个体轮换交配，以避免近亲繁殖。	控制近亲繁殖 无需成对交配 无需个体识别和谱系记录 消除了环境对同组内个体性能的影响 需要的技术能力有限	仅适合于高遗传力的性状 仅适用于在育种候选物上测量的性状 仍需要在同组内进行年龄控制
族群内选择	保持多个族群，根据其性状值与族群均值的偏差在每个族群内独立进行个体选择。	可通过族群间的轮换交配控制近亲繁殖 较容易管理 当环境变化对族群成员来说较普遍时有用 允许高选择强度	不能全部发掘遗传力，因对选择的反应降低 未考虑族群间的性能差异 仅适用于在育种候选物上测量的性状 族群必须分开维持，或者将个体按族群进行标记

a 关于这些选择育种方案的主要特征的有用概述见Ponzoni, R.W., Nguyen, N.H & Khaw, H.L. 2006。针对水产养殖物种的简易和高级选择育种计划的重要性以及在发展中国家的实施。第八届遗传学应用于动物生产国际会议论文集，2006年8月13-18日，巴西米纳斯热赖斯州贝洛奥里藏特。（网址：http://www.wcgalp8.org.br/wcgalp8/articles/paper/9_683-1814.pdf）

表4.1 (续) 不同选择育种设计类型的主要性质摘要

选择类型	说明	优点	缺点
组合选择	根据个体信息和近亲信息进行个体选择。确定每个族群的均值并根据该均值保留或剔除整个族群。	全面开发加性遗传方差 可控制近亲繁殖 适用于具有低遗传力的性状 适用于不能在育种个体上测量的性状(例如出肉率)或引入疾病挑战测试等风险的性状,可选择同胞成员 开发的模型考虑了对目标性状的所有系统影响	需要成对交配和族群识别 一般成本较高,需要大型设施和密集劳动力。如果对族群进行标记并蓄养于普通环境中,可降低成本。 需要高级遗传专业技术应尽量降低普通环境的影响,并维持族群规模 需要维护详细的记录,包括谱系记录 一般需要将个体族群培育到可以打标签,导致分离培育期间的鱼缸效应。

选择附加值	说明	优点	缺点
聚集族群和基因型	存在支持谱系排序的遗传标记,可在非常早的阶段聚集待选择的个体,并在收获时确定其原生族群。	允许在普通环境中培育族群一整个生产周期 将某些成本推迟到收获时,降低风险 需要较少的资源	聚集鱼群中的成活率有差异,特别是幼鱼期的差异会导致不平均的族群作用。 只能在收获时获得族群数据 在实施遗传标记分析时需要选择对选择的鱼进行鉴别
选择指数	可根据性状的相关重要性权重,基于一些具有重要商业价值的性状制定选择指数。用作组合选择的标准。	优化多性状选择增益	需要性状在育种目标中具有经济权重

随着最近多项选择育种计划的启动，在对选择的反应方面也出现了一些显著的成果，在管理良好和资源充足的育种计划中，每一代获得了13到15%的关键性状增益。这些增益比在畜牧育种计划中的普通增益更大，可形成水生养殖物种中的高遗传变异性以及许多物种的高生殖力，从而支持比生殖力较弱的畜牧中更高的选择强度。显然，在数代内此类重大的增益的经济价值非常显著，Gjedrem³⁸估计挪威鲑鱼育种计划的投资回报率为15:1是不现实的（也可见第6章）。

鉴于水产养殖业中选择育种处于起步阶段，目前大多数情况下正在发展的选择种群与野生类型没有较大的表型差异，仍能在野外生存，当它们逃逸或有意被引入到其原生环境时，仍能与野生近亲杂交。随着长期持续对具有重大商业价值的性状进行选择后，表型差异水平将增大，从而选择系列将具有特殊的适应性，依赖于养殖环境并且离开养殖环境不能成活或繁殖，与目前许多畜牧和农作物物种的情况类似。很难估计完成该转变所需的时间，但是可能在数十年后，大多数水产养殖种群才会与野生类型有差异。在转变阶段期间，选择性育种种群会对野生种群的遗传完整性造成风险，应采取评估、管理和降低这一风险（第7和9章）。

4.3.2 杂交和杂交育种

杂交是由两个不同的物种进行个体育种，而杂交育种是一个物种内两个不同的品种/种群进行交配。两种方法的共同目标是通过识别具有重大商业价值的性状的显著正优势（也称为“杂种优势”）获得非加性遗传方差。当杂交或杂交育种的性能优于两个亲代物种或种群的平均性能时，正优势显现。就实践而言，只有当杂交或杂交育种都优于亲代物种或种群时，杂种优势才会很显著。当评估杂种优势时，由于杂种优势随母本或父本亲代物种/种群的不同而有差异，对交互进行评估是很重要的。

杂交育种和杂交都是易于掌握的简单技术，可在一代内对性能立即产生影响。但是，这一效益是有限的，并且只在原始亲本品种之间出现特定的杂交时达到最优化，除非随后在数代内针对一般或特定组合能力选择亲本品种，从而制定复杂且速度较慢的育种计划。如果杂交群体数量高，某些杂种优势可保持于稍晚的世代中。如前所述，杂交育种因此被视为附加遗传改良计划的潜在补充。例如，通过在两个此类品种间杂交形成生产种群可消除近亲繁殖的影响，近亲繁殖可能在经混合选择的单个品种中出现。虽然已有可靠证据证明生长方面的杂种优势在针对牡蛎商业改良的杂交育种中发挥了重要作用，但很少有证据能证明杂种优势对具有重大商业价值的性状发挥了显著作用。³⁹

³⁸ Gjedrem, T. 2000. 冷水鱼种的遗传改良。水产养殖研究31: 25-33。

³⁹ Hedgcock, D., McGoldrick, D.J. & Bayne, B.L. 1995. 太平洋牡蛎的杂种优势：近亲繁殖品种杂交的实验方案。水产养殖137: 285-298。

由于相对简单，在过去三十年间，人们已开展了大量工作评估多个物种间的杂交，并进行了数百次杂交实验。鉴于大量此类研究工作，特别是关于亚洲水产养殖鲤科鱼类的研究的开展，在商业生产中杂交较少。杂交在水产养殖中的应用情况被低估，以致杂交研究回报率较低，表明大多数杂交的商业效益有限或没有商业效益。在一些例子中，杂交获得了商业应用，例如中国和以色列的杂交罗非鱼（尼罗罗非鱼 x *O. aureus*）、泰国和东南亚的杂交鲮鱼（斑点胡鲮 x *C. gariepinus*）、杂交条纹鲈鱼（白鲈 x *M. saxatilis*）。这些杂交项目的成功源于“互补效应”（即亲代物种组合成特别有利于销售的性质，例如杂交罗非鱼中较高的雄鱼百分比与杂交鲮鱼中良好的产品质量属性相结合），而非数量性状的正优势。

如果在商业上实施杂交时，主要问题是杂交污染对纯种亲代种群的基因渗入风险（即杂种与亲代回交）。应当避免这一现象，因为一旦出现基因渗入，系统将崩溃并且假想的 F_1 杂种（实际上是 F_2 杂种与回交的混合）的性能将变得不一致和不可预测。

鉴于密切相关的鱼类物种之间进行杂交相对较容易，杂交偶尔会发生，一些国家生产主要鲤属鱼类的例子中就是这种情况。 F_1 杂种可有意识或无意识用作回交或 F_2 杂交生产的种群。数代以后，这将导致与原生亲代物种的基因全面混合与分离（称为基因渗入）。通过此独立的基因分离，结果表型高度可变，携带渗入基因的某些鱼不能与原始纯物种相区分。基因渗入目前在罗非鱼以及其他近亲繁殖的物种群中较普遍，在这种情况下，可轻易通过人为或自然方式产出杂种。当中国和印度主要鲤属鱼类出现这种情况时（例如，在孟加拉国⁴⁰，基于科学目的或由于某些物种种群的短缺而最先产出杂种），杂种基因渗入因丧失了纯物种明确的喂食策略，非常有可能导致对广泛的鲤鱼混养系统的负面影响，从而导致喂食效率和产量的下降。当无计划的杂交事件不可避免时，如果有系统可用于将杂种用作未来种群，此类特定的杂交事件的长期后果将会减轻。

因此，建议应避免水产养殖的杂交，除非杂交是针对具有重大商业价值的性状开发杂种优势或互补效应的系统策略的一部分。在规划的杂交育种和杂交中最大的挑战是确保其使用得当，对杂交计划产生实际的经济效益，以及实施管理，使不需要或不受控制的基因渗入不会出现在于孵化场或野生种群中。

⁴⁰ Mia, M.Y., Taggart, J.B., Gilmour, A.E., Gheyas, A.A., Das, T.K., Kohinoor, A.H.M., Rahman, M.A., Sattar, M.A., Hussain, M.G., Mazid, M.A., Penman, D.J. & McAndrew, B.J. 2005. 孟加拉国孵化场种群中中华鲤物种（*Hypophthalmichthys molitrix*和*Aristichthys nobilis*）杂交检测（使用DNA微卫星基因座）。水产养殖247: 267-273。Simonsen, V., Hansen, M.M., Mensberg, K-L.D., Sarder, R.I. & Alam, S. 2005. 印度主要鲤鱼物种在孵化场中而非野外的普遍杂交。*J. Fish Biol.* 67: 794-808。

4.3.3 染色体组操作

在鱼类和贝类中，可以通过破坏新受精卵的细胞分裂操作整个染色体组。这些技术一般不能在高等生物中实施。通常使用的有四种操作类型：雌核发育、雄核发育、三倍性和四倍性。

雌核发育与雄核发育是诱导型单亲遗传或孤雌生殖形式，在这种情况下，雄性或雌性的遗传作用被某种形式的配子辐射关闭，然后来自雄性或雌性的染色体组变成双倍。通过使用物理冲击（对于长须鲸）或有时使用化学冲击（主要对于软体动物）单倍体组恢复两倍性，从而使单倍体组增加一倍。根据二倍体的恢复方式，得到的雌核发育或雄核发育单倍体后代可能为高度或完全近亲交配。纯合个体（即100%近亲交配）可用作产出等基因无性品种的基础，这些品种中的所有鱼类具有相同的遗传性。雌核发育以及较小范围内的雄核发育已应用于许多长须鲸和贝类物种，并已有许多研究和实践应用，例如阐释性别决定的遗传基础、快速归纳近亲繁殖、遗传作图和QTL（数量性状位点）分析。原则上雄核发育也可用于从低温储藏精子中回收基因型，这种情况下，不能使用同一物种的卵。

对普通受精卵施以物理或化学冲击破坏二次减数分裂，通过两个母本和一个父本染色体组得到三倍体，从而可以类似方式产出多倍体。破坏有丝分裂可通过二倍体染色体组副本生成四倍体。三倍体已在许多鱼类和软体物种中产生，如果能对卵进行人工受精，也可在某些物种中获得商业实现。能存活的四倍体仅在一些具有重大商业价值的物种（主要是鲑鱼和牡蛎）中生成。

染色体组操作在水产养殖业中的主要应用与许多鱼类物种和一些双壳软体动物中生成的诱导型三倍体的不育性有关。不能生育的鱼类对水产养殖业具有吸引力。首先，它们将较多的能量用于躯体生长，其次，它们可提供潜在的生物防范效益，有利于外来基因型的培育以及未来对快速生长型基因改造鱼类可能的培育。但是，当三倍体具有较强的修复比例时，三倍体长须鲸的生长速度一般不比其二倍体同类快，尽管这有可能导致后熟。⁴¹迄今为止生产的所有诱导型三倍体雌性长须鲸都表现出完全不育；三倍体雄性性腺比雌性发达，一般不能生育，但三倍体雄性长须鲸的生育力指数很少不能完全折减。相反地，许多研究表明，虽然一些物种不是完全不育，三倍体双壳类的性能显示比控制二倍体更强。

染色体组操作最重要的商业应用是广泛培育了三倍体的双壳贝类，例如，美国和法国生产的大约50%的养殖牡蛎是三倍体。由于为人工受精获得排卵较难，甲壳类未证明适于进行染色体操作研究。但是，操作已能在一些物种中应

⁴¹ Tiwary, B.K., Kirubakaran, R.& Ray, A.K. 2004. 三倍体鱼类生物学。鱼类生物学和渔业评论 14, 391-402。

用, 包括已在对虾中成功诱导的三倍性。三倍体也可从一些物种中的二倍体x四倍体配对产生, 这些物种中已产生四倍体并显示可存活, 在牡蛎⁴²中最为显著, 这有可能成为大规模商业生产三倍体较为可行且可靠的方法。

在水产养殖中, 不育三倍体对于保护育种者权利和生物防范的重要性有可能增大。对于后一应用, 必须以低成本高效的途径快速确认三倍性诱导速率, 评估三倍体鱼类生殖力潜力。这些因素对于确定养殖逃逸和释放的可繁殖风险至关重要。这些技术的主要挑战是, 在一系列具有重大商业价值的物种中, 将确定产生100%的不育鱼类, 特别当针对生物防范和/或知识产权保护的结果选项具有重大价值时更是如此。

4.3.4 性别控制

在对于具有重大商业价值的性状有性二形性的物种中, 并且当物种在达到收获尺寸前在养殖环境中性成熟的情况下, 养殖单性别(单性)群体有较强的商业利益刺激。也可以将单性种群应用于生物防范, 尽管其效率比使用不育种群低。这些综合因素可极大地影响某些物种养殖的盈利性, 特别是罗非鱼的养殖。

单性或近单性群体可通过人工雌雄分离、杂交、选择以及直接和间接使用荷尔蒙性转换获得。人工雌雄分离是一项劳动密集型工作, 效率低, 杂交仅适用于特定的物种组合, 也以罗非鱼最显著。最新实践显示, 与温度相关的性别分化具有遗传基础, 例如, 经过高温处理的鱼苗形成的雄鱼比例可通过选择育种增加。⁴³生产单性种群的最适当的方法是使用荷尔蒙进行直接性转换或间接地通过遗传育种计划实现。直接性转换在遗传上是可应用的, 不用考虑性别决定系统, 并且通过将卵和鱼苗浸泡于荷尔蒙溶液或给食经荷尔蒙处理的饲料已经在一系列物种中成功应用。⁴⁴但是, 通过实施育种计划的间接方法需要了解物种性别的遗传决定机制, 主要成功因素为单演系统, 例如鲑鱼和一些罗非鱼中的雄异配性(XX雌性; XY雄性)或一些罗非鱼和甲壳类中的雌异配性(WZ雌性; ZZ雄性)。图4.2所示的是通过雌异配性产出物种的所有雌性后代以及通过雄异配性产出物种的所有雌性后代的交替育种计划。

人们对鲑鱼养殖中单雌性种群的潜在效益很早就有认识, 该效益可增强雌性种群的可用性, 避免雄性早熟, 而早熟会减缓生长, 降低成活率并损害肉质后熟。通过使用性转换(新雄性)种群产生的所有雌性后代不是普遍现象, 但在某些国家的一些部门中单性生产占较大的比例。

⁴² Guo, X. & Allen, S.K. 1994. 通过抑制三倍体卵中极体1而获得的太平洋牡蛎的活四倍体(长牡蛎Thunberg)。分子海洋生物学和生物科技3: 42-50。

⁴³ Wessels, S. and G. Hörstgen-Schwark. 2007. 通过温度处理增加雄性尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)的选择实验。水产养殖272, 附录1: S80-S87。

⁴⁴ Piferrer, F. 2001. 针对硬骨鱼雌化的内分泌性别控制。水产养殖197: 229-281。

单雄性种群对于许多物种具有重大的商业效益，以罗非鱼最显著，因为这些物种的生产系统内存在早熟和不需要的繁殖两大问题。这些种群也可通过直接或间接雄性化进行生产。通过应用外来雄性激素可在各种长须鲸中实现到雄性的性转换（例如通过在动物生命早期对经过甲基睾酮处理的食物实施管理），雄性性转换在全球的罗非鱼孵化场中很普遍。全雄性生产的育种计划相对较易在雌异配性物种（例如，蓝罗非鱼（*奥利亚罗非鱼*）和淡水长臂大虾（*罗氏沼虾*））中实现。在雄异配性物种中，也有可能通过产生新型YY“超雄性”以遗传方式生产全雄性后代，该育种计划已经应用于尼罗罗非鱼的商业开发中。⁴⁵

性别控制计划只与那些可通过单性种群养殖中获得重大商业效益的物种有关。通过使用荷尔蒙直接诱导性别改变有可能受到购买经过处理的鱼的潜在消费者的社会抵制，尽管研究表明过量的外来荷尔蒙在处理不久就从鱼体组织内消失。更易于被人们接受的是使用合乎生态和伦理规范的方法（例如，环境性别决定操作，而非荷尔蒙处理）。间接方法，例如单性生产育种计划，有可能被较多的人接受，但主要问题是这些方法要以了解性别决定的遗传机制为基础，而这需要进行大量的研究。

性别控制可用作一种生物防范形式，其依据是水产养殖的引种或逃逸种不会相互繁殖，因此不能形成可持续的野生群体。养殖种群需要100%确保单性，以使该技术成为有效的防范形式，只有当接收环境中无繁殖相容物种时，养殖种群才适用。

4.3.5 转基因

转基因是一种基因工程技术，通过此技术，一个生物中分离的基因序列被插入到另一个生物中，以赋予新性状或改造的性状。该分离的基因序列称为结构，由功能基因和启动基因构成，启动基因起激活功能基因的开关作用。成功转基因形成的生物被归类为遗传改造生物（GMO），因而受到社会和监管部门关注。早期研究使用来自包括陆生物种在内的其他物种的外来基因结构。当进行转基因研究规划时，全面认识转基因鱼在伦理、人类健康和环境影响方面的风险和关联因素，并了解实施研究和管理研究产品的政策环境是非常重要的。建议对转基因鱼的风险和关联因素的反应是，适当时对自动转基因生产（引入的基因序列来自同一物种）进行重点研究和开发。

自上世纪九十年代以来，转基因一直是鱼类遗传学研究的主要领域。由于水生物种更容易进行生殖生物学操作，因此该领域的研究领先于其他畜牧业中的研究。转基因的引入应包括多个步骤：鉴别合适的目标基因以及发育结构；将基因引入新受精卵中，通常通过微注射或电穿孔实现；对宿主基因座的转基

⁴⁵ Mair, G.C., Abucay, J.S., Skibinski, D.O.F., Abella, T.A. & Beardmore, J.A. 1997. 大规模生产全雄性罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)的性别比遗传操作, 加拿大渔业与水生科学杂志54, 396-404.

因并入进行测定；转基因对目标和非目标性状的影响的量化。所有步骤中最后一步至关重要，因为最后一步将得出转基因鱼的性质，从而了解与养殖相关的潜在风险。迄今为止，转基因研究的主要目标性状通过引入生长荷尔蒙基因结构提升了水产养殖鱼的生长速率。研究还将以其他性状为目标，例如疾病和生殖控制，转基因研究的重点应是那些通过量化方法难以改进的性状。转基因鱼也可作为基因调节和基因表达研究的有用模型，并有可能作为生产珍贵医药品的生物工厂。

上述发展步骤已经在许多长须鲸物种以及转基因品种中成功实施，这些转基因品种的生长性能往往大有提升。⁴⁶显然，转基因有可能较快地改变具有重大商业价值的性状，但了解相关风险对于此类研究的规划和实施至关重要（见第7章）。

虽然在养殖条件下许多物种的性能无疑都有提升，但目前商业生产中仍没有转基因食用鱼。当前市场上仅有的例子是GloFish®，GloFish是一种转基因荧光斑马鱼，已经被批准仅在美国销售。在撰写本文件之际，出现了一个实验案例，美国食品和药物管理局（FDA）正进行评估，考虑是否许可将转基因鲑鱼物种在水产养殖中进行商业化应用。这是一项漫长的过程，美国食品和药物管理局任何有条件的批准（有可能仅限于封闭的陆地生产系统）将为其他国家考虑批准其他转基因鱼类品种的商业化树立典范。

虽然转基因鱼缺乏商业化背后存在一些技术原因，但主要原因是与转基因鱼养殖相关的伦理、动物福利、人类食品安全和环境风险问题。政策制定者、资源管理者和那些计划使用遗传改造生物的人员应熟悉在研究时以及可能在商业生产中出现的有关转基因鱼的环境风险评估和管理问题。⁴⁷

随着当前针对在鱼类中成功应用转基因时的许多技术限制条件开发了解决方案，主要问题在于全面评估目前限制该技术商业化的环境、伦理和消费者卫生风险。

4.3.6 遗传标记和标记辅助选择

遗传标记基因或DNA序列中的变异，可通过分子技术识别，并用于鉴定基因型，从而识别有用的个体或群体。在分子遗传学获得发展前，同工酶和其他蛋白质是可选的标记。目前存在各种DNA标记，例如线粒体DNA（mtDNA）多态性、限制性片段长度多态性（RFLP）；随机扩增DNA多态性（RAPD），重复序列标记（主要为微卫星），扩增片段长度多态性（AFLP）以及单核苷酸多态性（SNP）。虽然扩增片段长度多态性和单核苷酸多态性的应用不断增多，

⁴⁶ FAO. 2000. 2000年世界渔业和水产养殖的现状。罗马。142pp

⁴⁷ Kapuscinski, A.R., Hayes, K.R., Li, S. & Dana, G. (编著) (E. M. Hallerman和P.J. Schei, 系列版本)。2007. 遗传改造生物的环境风险评估，3卷：转基因鱼方法。CABI Publishers. 310 pp.

但水产养殖遗传学中使用最多的是微随体。表4.2概述了遗传标记在水产养殖以及相关领域的潜在应用，列出了针对不同优先级的首选标记。

目前已经针对鲤鱼、罗非鱼、虾、鲑鱼和鲆鱼等大多数水产养殖物种从DNA信息库中开发了多态性DNA标记。这些标记有许多重要应用，随着越来越多的企业投资于遗传计划并且遗传标记分析成本的下降，这些应用正日益在水产养殖中实施（主要应用于研究中，但商业应用也正逐渐增加）。

标记在遗传计划中最常见的应用是家系排布，其中可通过使用遗传标记为选择的鱼鉴定族群及个体亲代，从而提升选择育种计划的效率。无须保持族群分离（在性能评估过程中或至少到它们能进行物理标记时）应降低对族群性能的环境影响并支持对更多的族群实施评价，从而提升选择强度并加强选择反应。

在理想的育种计划中，遗传标记可用于：（1）表征潜在的原始种群，为遗传变量基本群体的发展提供信息；（2）了解自然群体结构，为原始种群的形成以及养殖遗传改造种群的风险评估提供信息；（3）通过谱系排布提高选择育种效率；（4）表征对捕获种群的驯化和遗传管理（或误管理）的长期影响（例如，确定有效群体规模非最优化时的遗传变异损失）。

遗传标记还可用于构建遗传图谱，在图谱中，连锁标记被分配到连锁群中，并最终分配到单个染色体中。与构成数量性状的基因紧密联系的遗传标记称为数量性状位点（QTL）。目前多个重要水产养殖物种的基因作图计划正在实施中，涉及的物种包括太平洋牡蛎、鲑鱼、叉尾鲷、尼罗罗非鱼以及欧洲黑鲈。⁴⁸ 连锁图谱一旦制定，可用于确定有用的数量性状位点。

将标记等位基因的遗传性与个体目标性状的性能相关联，可量化数量性状位点效应。鱼类中重要性状（例如，耐温性、生长和疾病抵抗力）的数量性状位点数目已经确定（例如，罗非鱼的耐寒性⁴⁹）。

标记辅助选择（MAS）是将与数量性状位点关联的遗传标记纳入遗传改良计划中，有可能加强选择，特别是对于具有较低遗传力或不能直接在育种个体上测量的性状更是如此。虽然人们进行了大量研究工作，对数量性状位点进行开发和评估，目前还没有采用标记辅助选择的商业种群。

⁴⁸ Garber, A.F.和Sullivan, C.V. 2006. 杂交条纹鲈鱼（白鲈，Rafinesque x *M. saxatilis*, Walbaum）行业的选择育种：现状和远景。水产养殖研究37: 319-338。

⁴⁹ Cnaani, A., Hallerman, E.M., Ron, M., Weller, J.I., Indelman, M., Kashi, Y., Gall, G.A.和Hulata, G., 2003. 对F2罗非鱼杂种中具有两个数量性状位点可影响耐寒性和鱼尺寸的染色体区域的检测。水产养殖, 223(1-4): 117-128。

表4.2 水产养殖中遗传标记技术实际应用说明^a

技术	说明	应用	备注
品系/种群鉴定	一组遗传标记可用于鉴定物种或种群的特征标记。首选标记：微随体、及单核苷酸多态性、扩增片段长度多态性、同工酶和随机扩增DNA多态性。	<ul style="list-style-type: none"> ● 识别不同的养殖种群，包括保护育种者改良种群的权利 ● 鉴别有意识或无意识的杂种基因渗入 ● 鉴别或确认水产养殖的逃逸群 ● 鉴别增强渔业中的重新捕获率 	物种的特征标记（不同类型）已针对许多具有重大商业价值的物种进行开发，可随时使用。不同种群或品系的标记一般需要进行开发。对于水产养殖种群的可追踪性来说，此类标记的重要性将逐渐增强。
遗传变异的量化和表征	遗传标记可用于遗传变异水平的量化和表征，例如每个基因座的等位基因数、多形态等位基因的比例以及平均杂合性。首选标记：扩增片段长度多态性以及微随体。	<ul style="list-style-type: none"> ● 确定近亲繁殖的可能性和严重性 ● 估计当前和历史上的有效群体规模 (N_e) ● 为选择育种的基本群体比较候选原始种群的优点 ● 确定双单倍体中的纯合性 	在遗传计划中，获得一组标准的遗传标记非常有用，可确定原始种群中变异性的基线水平（连同其他应用），从而可将驯化和遗传管理的长期影响进行量化。
种群内遗传关系的确定	标记可用于构建多个种群之间的遗传关系，例如系统发育树。首选标记：线粒体DNA、微随体和扩增片段长度多态性。	<ul style="list-style-type: none"> ● 鉴别养殖种群的起源（例如，起源群体） ● 确定野生群体的遗传结构 	了解野生鱼类的遗传结构非常有用，可基于遗传改造种群评估水产养殖的遗传污染风险，并为制定易位策略提供信息。当建立遗传变异原始种群时，这也是有用的信息。

a 改编自Liu, Z.J. & Cordes, J.F. 2004。DNA标记技术及其在水产养殖遗传学中的应用。水产养殖238: 1-37。

表4.2 (续) 水产养殖中遗传标记技术实际应用说明

技术	说明	应用	备注
家系排布 (谱系确定)	使用一组遗传标记, 确定由两个特定亲代杂交形成个体后代的概率。首选标记: 微随体和单核苷酸多态性。	<ul style="list-style-type: none"> ● 确定构成聚集产卵后代的种群数, 从而评估N。 ● 在选择未来种群时鉴别起源族群, 尽量降低近亲繁殖。 	针对家系排布应用标记系统的成本降低(特别是单核苷酸多态性), 该系统日益应用于育种计划中进行族群鉴别。如何鉴别鱼类是一个问题, 虽然它们已针对排布确定基因型。
标记辅助选择	选择与有重大商业价值的性状有关的特定标记(称为数量性状位点-QTL), 而非选择性状本身。需要待构建的遗传图谱。首选标记: 单核苷酸多态性、微随体以及其他。	<ul style="list-style-type: none"> ● 当前未在水产养殖中进行商业应用 ● 很少有物种进行适当地作图 ● 有可能针对使用传统方法难以改良的性状进行开发 	标记辅助选择在牲畜育种中用于少数性状的遗传改良, 但未适当发展或经过验证可用于水产养殖。

虽然将标记辅助选择纳入育种计划的实际可能性以及因此带来的生产和经济收益还有待确认, 并且目前遇到了重大的研究挑战, 但遗传标记对大多数应用的潜在效益仍是无可比拟的。

4.4 遗传改良的当前状况和未来情况

估计全球水产养殖生产(目前为驯化种群)比例是很困难的。根据最佳估计, 大约35%的水产养殖生产为非驯化, 基本上是野生种群, 因而不适应圈养的环境。这与其他形式的农业生产形成对比, 其他农业生产几乎完全驯化并使用基因改良种质。基于驯化在适应圈养环境方面的效益, 建议任何重大和潜在的长期可持续农业产业应启动驯化计划, 通过该计划可对种群的遗传多样性进行有效管理。

基于遗传改良种群(大多数为选择性育种, 但也有单性和三倍体种群)的全球水产养殖生产的比例估计在10%到20%之间, 因此, 通过广泛实施重在选择育种的有效遗传改良计划, 产量和生产效率显然有很大增长空间。

未来水产养殖遗传学的发展所面临的挑战包括缺乏支持育种计划开展的资源。短缺的资源包括物理、经济和人力资源。能产生较大遗传增益且运行良好的育种计划所使用的设施支持多族群鱼类的养殖。鉴于长期的性质，它们需要持续的资金，因为通常需要多年才能通过增加种子生产收入或改善生产效率完全实现遗传计划投资回报（第6章）。其他的限制条件还有人力资源，特别在数量遗传学领域，一般需要专业训练水平较高的人员参与。

几乎毫无疑问的是，随着水产养殖的不断发展，将不断促进改善生产效率，而遗传改良正是这些工作的重要组成部分。在未来数十年里，遗传改良的选择育种加上其他先进技术对推动水产养殖发展的效果无疑是显而易见的。当各国推动和/或投资水产养殖发展时，一定要认识到遗传管理的基本原则、遗传改良方法以及改良后的种群在推广扩散后对环境和生态的风险。除了这些技术因素外，能够提供充足遗传资源来支持长期遗传改良策略的实施也至关重要。

5 遗传改良品系传播以及遗传材料移植协议⁵⁰

5.1 引言

本节的内容包括 (i) 遗传改良品系从一个国家移植到另一个国家, (ii) 国内的种质操作和传播。尽管这两方面内容相互关联, 但也有各自特点, 因此需要单独讨论。

《负责任渔业行为守则》第9.1.2条要求: “各国应当促进负责任地发展和管理水产养殖业, 其中包括根据最正确的科技信息预先评价水产养殖发展对遗传多样性和生态系统完整性的影响。”第9.3条中继续要求: “各国应当... 保存遗传多样性和保持水生生境的完整性, ... 应当进行合作来拟定、通过执行引进和转让... 国际行为守则和程序”以及“... 尽量减少疾病传染的危险和对野生鱼类和养殖鱼类的其它不利影响...”。1997年制定了《守则》第9条(水产养殖的发展)的实施技术准则⁵¹, 从那时起为实现负责任和持续的水产养殖发展制定了一系列文件和工具。这些准则也努力与《生物多样性公约》⁵²以及其他确保合理使用野生改良遗传资源的政策咨询保持一致(也可见第2章)。⁵³

以下各小节针对遗传改良品系在国家之间和国家内部的传播给出一般指导, 并特别提到通过传统选择育种进行改良的鱼类品种, 与活体改造生物(LMO)⁵⁴或转基因杂种(视为外来物种引入可能更合适)进行对比。这些准则应作为制定更具体的准则的起点。提供的信息具有技术性, 这也是这些准则的重点。它不涉及某些政策和法律方面的事务, 例如遗传资源获取与惠益分享或知识产权, 这些事务也会调节鱼类遗传资源的获得和使用条件。

如上所示, 本章重点不在于为研究、育种和水产养殖培训目的而提供给其他国家的野生遗传资源的交换。相比于水产养殖的鱼类遗传资源, 其他部门的食物和农业遗传资源的交换机制一直以来在国际上受到更多的关注。这些机制

⁵⁰ 撰稿人 R. E. Brummett, M. C. M. Beveridge, R. W. Ponzoni, R. J. Lawton 和 D. M. Bartley

⁵¹ 联合国粮农组织 (1997)。水产养殖的发展。联合国粮农组织负责任渔业技术准则。第5号。
<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/003/W4493e/W4493e00.pdf>。

⁵² <http://www.cbd.int/default.shtml>

⁵³ ICES (2004) 引进和转让海洋生物的行为准则

<http://www.ices.dk/reports/general/2004/ICESOP2004.pdf>; Hewitt, C.L., Campbell, M.L. & Gollasch, S. (2006)。水产养殖的外来物种。负责任使用的考虑因素。

<http://www.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/2006-036.pdf>。国际自然与自然资源保护联合会, Gland, 瑞士。世界鱼类中心 (2002) 关于非洲水产养殖中遗传改良和外来物种的水生生物多样性和使用的内罗毕宣言。http://www.worldfishcenter.org/cms/list_article.aspx?catID=39&ddlID=109。世界鱼类中心 (2003) 关于遗传改良鱼类生态风险评估的达卡宣言。

http://www.worldfishcenter.org/Pubs/Dhaka%20booklet/Dhaka_booklet.pdf

⁵⁴ 卡塔赫纳生物安全议定书将LMO定义为通过直接DNA操作或与分类科外的细胞融合获得的生物。

通常详细规定了提供方和接收方对移植材料的权利和义务。水产养殖业预计也会出现类似的趋势，随着未来几年育种计划在全球的开展，鱼类遗传资源交换将出现增长。

5.2 改良品系移植到另一国家

5.2.1 引言

《守则》推动了由国际海洋勘探理事会（ICES）制定的《2004海洋生物引入和移植操作守则》的实施，促进了在将鱼类从一国有意地移植到另一国时实施负责任应用和外来物种控制技术准则，鼓励各国在尽量降低本地生物和遗传多样性风险的前提下实施移植。很多文档中已经记录了因引入外来物种而导致竞争、捕食、疾病传播和栖息地损坏的案例，应以最谨慎的态度对这些问题加以处理。⁵⁵在选择品系的情况下，鲑鱼的案例证据证明，当将遗传基因改良后的鱼放养到野外或用于水产养殖时，如果与当地相同或关系密切物种群体杂交，会降低这些种群整个生命期的健康水平（即将改良品系的等位基因移入到野生种群中）。⁵⁶

5.2.2 移植准则

当计划移植改良水生种质时，需要重点考虑的地理单元是流域，而非本地、地区或国际政治边界。⁵⁷虽然政府机关应考虑国内和国外的移植，但在相同政治管辖权下或一国内从一个流域到另一个流域的移植要比在同一个流域内跨政治边界的移植要重要的多。

在缺乏专门种质移植的管理部门时，应要求在深入评估环境影响和分析成本一效益比的基础上向进口国的负责任渔业最高官员（例如，渔业、环境或农业总监）介绍改良品种。

应考虑环境影响评估准则以及对与进口相关的潜在负面成本的分析：

- 拟引入新种质的目的流域中可能存在有价值的同种遗传多样性。

⁵⁵ Sindermann, C.J. 1993. 与非本地海洋动物进口有关的疾病风险。海洋渔业评论, **54**, 1-10; McVicar, A. H. (1997). 野生和养殖鲑鱼群共存的疾病和寄生虫意义。ICES海洋科学期刊, **54**, 998-1008.

⁵⁶ McGinnity等2003. 由于与养殖逃逸鲑鱼的交互作用，大西洋鲑野生群体适应性降低和消亡可能。皇家学会学报, B系列, **270**: 2443-2450; Jonsson, B.和Jonsson, B. (2006) 自然界中的养殖鲑鱼：其生态性以及野生鱼交互研究。ICES海洋科学期刊 **63**: 1162-1181. Verspoor, E., Stradmeyer, L., Neilsen, J. L. (编著), 2007. 大西洋鲑。遗传学、保护和管理。Blackwells, 牛津。

⁵⁷ 此处术语流域指相互连通的水体，在集水区或集水区层面上定义。

- 引入可能对其他稀少或濒危水生生物多样性造成负面影响。
- 对现有养殖鱼可采用合适的本地物种或基因改良策略，以实现替代引入。

《ICES守则》针对外来物种和改良品种的水生生物引入提供了推荐框架。《守则》在概念上很简单，计划使用非本地种质的任何个人、机构或企业都必须遵守《守则》的要求。根据要求，开始时应准备提案，待独立机构审查。审查的结果将通知提案者进行批准、修订或否决。如果引入新物种的提案得到批准，《守则》会要求实施鱼类卫生管理、监控和报告。

5.2.3 遗传材料移植协议 (MTA)

如果引入请求得到批准，移植应遵守有关的国际和国家法律，例如有关遗传材料获取与惠益分享、产权或生物安全性的法律。获得和使用该遗传材料的条件一般在材料移植协议中规定。材料移植协议应经过进口国的国家授权机构认证，并与联合国粮农组织水生生物种引入数据库 (DIAS) 相连。⁵⁸

材料移植协议可成为有法律约束力的协议，一般会形成文档，对从一机构到另一机构的实体生物材料（包括用于研究的材料以及遗传改良鱼类）的移植条件作出说明。材料移植协议一个例子见附录5.1。

5.2.4 移植规程

以下规程以国际操作准则为基础，包括不同国家现有的一个或多个规程，并纳入一般准则中。这些规程可视为对个别国家要求的补充，或构成国家规定的原理基础。

5.2.4.1 出口（移植）国或组织

有关所需种质的特定技术信息应作为附件附于材料移植协议后，特别要附上以下方面的内容：

- 移植种群的科学名称和本地名称；
- 需要引入的移植种群的显著特征；
- 移植种群的预期用途和精确的使用地点；

⁵⁸ 联合国粮农组织水生生物种引入数据库 (DIA) <http://www.fao.org/fi/website/FISearch.do?dom=introsp>, 鱼库 (<http://www.fishbase.org>)

- 移植个体的数量；
- 移植中族群的数量和类型（例如，亲同胞、半同胞）；
- 移植个体的年龄或本体状态（例如，卵、仔鱼、后期仔鱼、向上游的鱼苗、小鱼）；
- 种群疾病和/或病原体接触史；
- 移植种群的遗传型和表型性别（例如，普通雌鱼、普通雄鱼、普通混合性别、遗传上为混合性别但表型为全雄性—经荷尔蒙处理）。

要移植的材料必须经过兽医认证，确保无有关部门规定的寄生虫、病原体和其他的生物相。装运的水（如果有）应进行清洁，无漂浮的颗粒物。如果可能，移植的种群在转运前应消毒。

在要求将物种引入国内的原始提案中应提供了大部分消息。这些信息可在材料移植协议中重复，以确保与协议条件相一致。

5.2.4.2 进口（接收）国或组织

进口国主要关注的问题是鱼类健康并预防跨境病原体。技术准则针对该主题的相关章节⁵⁹呼吁制定国家水生动物卫生策略，在此对这些章节作一简述。正式的国家水生动物卫生策略基于国家需求和优先事项为各国提供了实现所需的水生动物卫生状态的“路线图”。国家策略各部分包括：需考虑的病原体、疾病诊断、卫生认证和检疫措施、疾病分区、疾病监控和报告、应急规划、进口风险分析、政策框架和地区能力构建。

根据世界贸易组织（WTO）和实施卫生与植物卫生措施协定（SPS协定），所有国家有权采取必要的卫生和检疫措施，保护人类、动物或植物生命。在确定适当的保护等级时（ALOP）时，必须考虑相关的经济、社会和生态因素。

如果可能，应在卵或其他早期生命阶段引入种群，而不是引入成年种鱼。鱼类活得越长，越有可能感染病原体。此外，早期生命阶段比成鱼具有更小的亚临床感染，在检疫站较易维护，并且卵不能传播特定的病原体，例如鳃寄生虫。

⁵⁹ FAO. 2007. 水产养殖发展。2. 活体水生动物负责活动的卫生管理。联合国粮农组织负责任渔业技术准则。第5号，附录2。罗马，联合国粮农组织。
<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1108e/a1108e00.pdf>

在进口前，进口国有资质的人员应向世界动物卫生组织（OIE）咨询哪个机构是世贸组织针对鱼类病原体、现有文献和疾病联网服务的标准设置机构⁶⁰，以确定鱼类卫生方面可能关注的领域。应尽最大努力从具有良好的鱼类卫生管理的合格孵化场获得鱼类，确保出口国兽医认证的质量。抵达后，应检查货物是否带有规定的病原体（例如，世界动物卫生组织正式列出的病原体）、寄生虫和其他未经批准的生物材料，例如未经请求顺载带来的物种。如果未鉴别疾病，货物应销毁，并以适当的方式进行处理，除非保证可实施有效治疗。

检疫站应将水生动物群保持隔离，使其不能与其他水生动物直接或间接接触，以实施特定时长的观测，如果合适，还须进行测试和治疗，包括对污染水进行适当处理⁶¹。检疫等级应与疾病传播风险相关。首次引入外来物种、或引入从野外或卫生状况未知的来源处捕获的物种需要更严格的检疫等级。

人们应了解，物理检测和检疫对于预防病原体移植只能起有限的作用。进口种群已有免疫作用或仅表现出亚临床症状（即看起来很健康）的任何细菌或病毒可通过实验方法和免疫测定法检测，但通过隔离不能根除。检疫过程中的测试和监控包括与本地物种的共栖实验，或将检疫动物置于增大压力的环境下，看其是否出现疾病问题。

尽管如此，通过检疫，有关部门有机会对种群监测一段时间，以便发现问题。检疫应在合适的场所内持续至少28天，但必须由目前处于研究中的特定病原体确定。一旦抵达检疫站，引入种应在预防性浴室中进行消毒，如果可行，可口服广谱抗生素。所有水、包装材料或其他相关的货运材料应杀菌或销毁。

检疫站必须确保水不会溢出或排出。水必须进行安全处理。如果检疫单位出现疾病爆发，有时可实施治疗。但是，化学疗法可导致其他问题，例如抗菌素耐药性，应在专家的指导下采用。当疾病爆发不能控制时，患病种群应销毁，并通过认可的方式消毒，然后进行处理。应定期对检疫单位的水质进行监测，定期检查是否传入寄生虫和疾病。如果意外出现寄生虫或病原体，已知的寄生虫、疾病和病原体名单应保留，并告知出口方。

初始进口种不能移植到自然环境中。《ICES守则》建议在对初始亲代进行检疫后，只能散布进口物种的F1代。

水产养殖应用和保护的分区（第9章）也适用于鱼类卫生管理。各国可为现有的特定病原体建立分区并建立无病分区；分区应以生态标准而非政治边界为

⁶⁰ http://www.oie.int/eng/en_index.htm；水产养殖疾病永久咨询网络（PANDA；<http://www.europanda.net/>），水生动物病原体和推荐信息系统（AAPQUIS，<http://www.aapqis.org/main/main.asp>）。

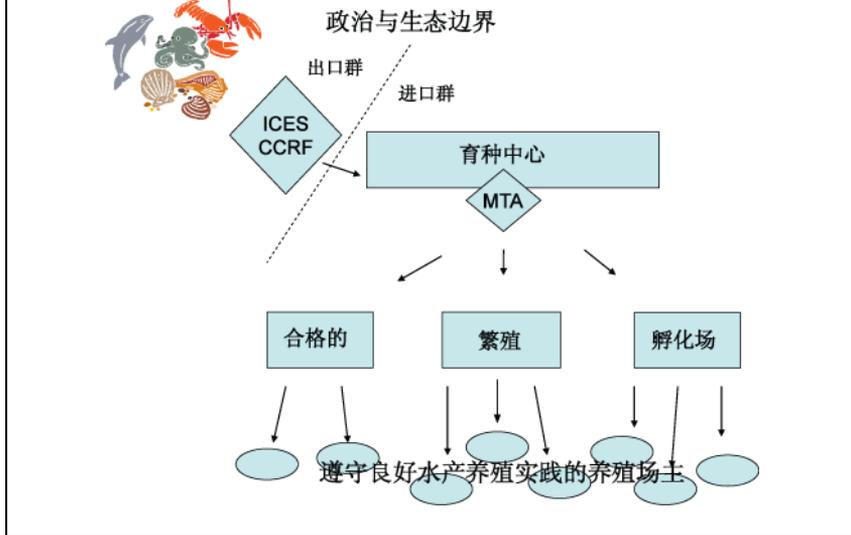
⁶¹ OIE. 2005. 水生动物卫生守则。第8版。巴黎。
http://www.oie.int/eng/normes/fcode/A_summry.htm

基础。动物在具有相同病原体的分区之间活动或从无病分区移出都不会产生问题。动物不得从带病原体（接收分区不存在该病原体）的分区移出。

5.3 改良品系在一国内的传播（作为合理的水产养殖策略的一部分）

鉴于初始进口种不得移植到自然环境中，在遗传改良品系传播种子之前，必须实施操作过程。⁶²改良品系应通过合格孵化场系统和育种中心进行传播（图 5.1）。对育种中心改良种群进行繁殖的孵化场应经过地区育种中心的评估小组认可。合格孵化场必须满足评估小组确定的技术要求，并就标准运营管理和传播规程问题与育种中心达成协议。

图5.1 水产养殖遗传改良品系的引入和应用的传播系统。其中，菱形框表示在传播前应遵守的准则和守则。箭头所指为遗传种质移动的方向。MTA=材料移植协议；ICES和CCRF分别指《国际海洋开发委员会国际海洋考察委员会引入操作守则》以及《联合国粮农组织《负责任渔业行为守则》》中的建议和指南。



发展孵化场认证系统的主要目的是确保由孵化场提供给养殖场主幼鱼的遗传质量以及保护本地遗传资源时实施准则。建议：

⁶² 非洲鱼类遗传资源管理和种子散布试行计划：根据Volta流域的水产养殖改良调整选择育种计划。Workshop Proceedings, 2007年3月27-30日，联合国粮农组织，罗马。

- 为支持遗传改良种子孵化，运营人员必须向育种中心申请认证；申请将根据一组标准进行审查，这些标准包括在此列出的元素以及其他相关信息（例如，设施、经验、地点、早期性能）。
- 种群将由育种中心向合格孵化场提供，并根据需要按明确定义的规程实施替换。
- 正在申请认证的孵化场应进行良好的管理并根据专业技术人员的意见遵守最佳水产养殖实践。
- 应为供应给孵化场的种群或鱼苗实施良好的记录系统。
- 应针对幼鱼从合格孵化场分配给生产者实施监控系统，以监测遗传改良种群的地域分布，从而可评估所传播的改良品系对经济和环境的潜在影响。
- 孵化场应实施质量管理措施，孵化场的认证状况应定期检查。

5.4 讨论

到目前为止，各国用于水产养殖目的外来物种和品系的引进有不少，⁶³但对其影响（好的或坏的）的评估却不多。⁶⁴联合国粮农组织要求各国政府保持跟踪这些引入外来物种和遗传改良物种的记录，并将信息报告给联合国粮农组织。该组织建立的水生物种引入数据库（DIAS）中包含了这些引种的信息。随着外来物种覆盖范围日益增大，给引种决策提供了有力的支持；在遗传改良品系的影响方面，目前还没有可相比较的信息。

尽管人们普遍认为改良种群和外来物种的许多活动存在风险，必须实施管理，但目前仍管理不善。目前水族贸易以及鱼类和野生生物学家正大力推广危害分析与关键控制点方案（HACCP）⁶⁵，主要为引入顺载体和病原体的进口国家降低风险并提升公众意识。鲑鱼养殖者也在推广危害分析与关键控制点方案，目的是为了降低鱼类逃逸的可能性。材料移植协议提供了有助于改进控制的途径，但迄今为止仍很少用于水产养殖和渔业移植中。

⁶³ 联合国粮农组织水生物种引入数据库（DIA）<http://www.fao.org/fi/website/FISearch.do?dom=introsp>，鱼库（<http://www.fishbase.org>）

⁶⁴ 显著的例外，遗传改良养殖罗非鱼发展以及在亚洲发展银行支持下在选定国家的传播的影响评估；ADB 2005；见www.adb.org/publications。

⁶⁵ 水生入侵物种HACCP原则应用准则，见http://seagrant.umn.edu/downloads/ais-haccp_manual.pdf

附录5.1

材料移植协议¹

以下材料移植协议的示例以当前世界鱼类中心采用的案例为基础。

致：改良种质的请求应提交至具有材料传播法律和政治管辖权的有关部门

我/我们订购以下材料：

请求的材料清单应附于此处，包括材料的详细说明、预期用途以及使用地点（如文中所述）。

我/我们同意

- 遵守《生物多样性公约》的规定；
- 在种质存在负面环境影响的地点不会进一步散布种质；
- 不主张对接收材料的所有权，也不寻求种质或相关信息的知识产权；
- 保证随后从我/我们处获得种质样本的任何人或机构也受相同规定的约束；
- 我们完全负责遵守国家的生物安全和进口规定以及接收国有关遗传材料释放的管理规定；
- 遵守《联合国粮农组织活体水生动物负责任活动卫生管理技术准则》与世界鱼类中心建议的检疫规程；
- 当种质移植范围超出本国国境时，我们将遵守相关的国际守则和准则，例如CCRF、ICES和OIE。

日期：

请求种质的个人姓名或机构名称：

地址：

装运地址（如果与上面的不同）：

授权人签字：

¹ 来源：国际水产养殖遗传网络（INGA）www.worldfishcenter.org

6 与遗传改良计划相关的经济考虑⁶⁶

6.1 遗传改良证据

在陆生动物和植物物种中，遗传改良计划已经对生产率的提升和行业活动发挥了重大作用。相比之下，目前发展中国家采用的大多数水产养殖种群在遗传上与野生、未驯化的同类物相似^{67 68}。有证据显示，水生动物物种中实施的遗传改良计划也具有与在畜牧和农作物中同样积极的效果。遗传改良养殖罗非鱼（GIFT）⁶⁹（*Oreochromis niloticus*）以及南亚野鲮⁷⁰（*Labeo rohita*）是发展中国家的两个示例；针对这两个物种实施的遗传改良计划为上世纪70年代挪威成功启动大西洋鲑（*Salmo salar*）项目提供了范例。这些改良品系因较高的生长率和成活率对养殖场主非常有吸引力并具有较大的价值。

6.2 技术广泛实施的限制因素

有关遗传改良的证据可以轻易在可控的实验条件下获得，在此条件下，会系统地保存一组必要的记录。但是，养殖条件下遗传增益的‘可见性’非常低。从生产角度看，生长率、成活、免受疾病等重要性状不仅受遗传影响，而且在很大程度上还受环境的影响。这使得难以（如果非不可能）精确确定生产系统中观测到的变化的原因。此外，遗传改良计划的运营需要初始投资以及经常性年度支出。鉴于这些成本，政府机关对投资此计划的明智性保持怀疑，除非可明确预期对国家产生效益。为获得有助于作出合理的遗传改良决策的信息，在制定计划的育种目标以及评估在特定时期内实施计划的成本和效益时，必须考虑两个关键层面的经济因素。显然，这两个层面相互联系，但最好分开进行处理。

6.3 育种目标

在动物生产中，遗传改良一般发生在一小部分群体中。在高等动物的‘原种’或‘卵核’中获得的遗传改良可倍增并散布到生产系统中（第5章）。基因流如图6.1所示。在少数动物中实施的遗传改良计划足以作用于生产中的大型群

⁶⁶ 撰写人：Raul W. Ponzoni。

⁶⁷ Eknath, A.E. 1991。为实现间接选择和近亲繁殖的简易种群管理：印度鲤鱼示例。NAGA, ICLARM季刊：13-14。

⁶⁸ Brummett, R.E., Angoni, D.E. and Pouomogne V. 2004。喀麦隆养殖场和养殖站罗非鱼野生和驯化群体的比较。水产养殖242, 157-164。

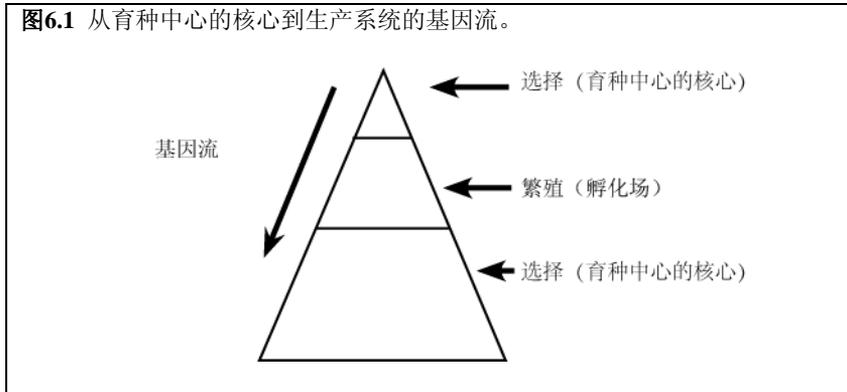
⁶⁹ Gupta, M. and Acosta B. 2004。从计划图版到餐桌：GIFT项目成功故事。NAGA, 世界鱼类中心季刊, 27, (3&4), 4-14。

⁷⁰ Mahapatra, K., Jana, R.K., Saha, J.N., Gjerde, B. and Sarangi N. 2006。Rohu育种计划的经验。见Ponzoni, R.W., Acosta, B., Ponniah, A.G.（编著），水生动物遗传改良和传播计划的发展：现状和行动计划，世界鱼类中心大会记录73, Penang, 马来西亚, 34-40页。

体。核心为孵化场（遗传改良种群繁殖场）提供种群。孵化场生产的鱼苗反而在生产部门生长。

利用该行业结构（图6.1；也可见第5章），养殖场主生产的所有鱼实际上均用于食用。因此，必须根据养殖场主的利益制定育种目标，将卵核与相关的鱼类孵卵处作为服务于养殖场主的部门。包含于育种目标内的生物性状必须能对整个养殖场的利润，包括收入、支出或两者产生影响。表6.1是它们的简单图示。

图6.1 从育种中心的核心到生产系统的基因流。



利润方程式如下：

$$\text{利润 (P)} = \text{收入} - \text{支出}$$

该方程式可表示为表1中生物性状的函数。如果增大到1000条鱼的生产单位，我们可写作：

$$P = 1000 [(W)(S/100) (\text{单位重量鱼的价格}) - FI (\text{单位重量饲料的价格})] - K$$

其中，W是收获重量，S是收获时存活的比例，FI是到收获时每条鱼消耗的饲料总量，K是固定成本。固定成本是不管生产水平如何生产者都要付出的成本，在推导各性状的经济价值时可忽略。由于测量单位、在生产系统中的表达方式以及相关的经济重要性不同，各性状的经济价值通常有差异。例如，成活率是针对所有鱼，但上市重量只是针对那些存活并进行销售的鱼。此外，如果饲料价格相对于鱼价较低（高），进食量的经济价值将比收获重量低（高）。

通过为育种目标中的性状分配经济价值，可以对经济单位的遗传增益进行计算。将与支出和收入有关的性状纳入其中非常重要，因为如果仅包含收入性

状，遗传增益的经济价值将会被过高估计。各性状的经济价值可以通过计算差值 $P^* - P$ 以数值进行评估，其中 P 是所有性状取平均值时的利润， P^* 是将正在研究的性状增加一个单位后的对应值（其他性状仍为平均值）。利用上述 P 方程式，我们得出 W 、 S 和 FI 的经济价值分别是0.85美元、3.00美元和-0.56美元。

表6.1 包含于育种目标中的生物性状

对利润的影响	性状	内含的逻辑
收入	收获重量 (W)	以重量为基础销售鱼，重量较大的鱼一般价格较高。快速生长的鱼会比慢速生长的鱼更快达到某一特定的重量。
	成活率 (S)	成活率越高，供食用或销售的鱼的数量越多。
支出	进食量 (FI)	喂食是主要生产成本。生长速度越高，饲料消耗量越大。

6.4 遗传改良计划的成本和利益

尽管有多种方法可进行水生动物遗传操作（例如，多倍性、杂交），但选择育种是唯一的可使增益加倍，能使增益移植到其他动物并从一代传到另一代的方法。本文仅重点探讨选择育种。如果与通过生产系统的扩展、营养的改善和集约化获得的增益相比，每年一度的选择反应通常可忽略。但是，在一个群体内测定的选择反应不可能很好地测量遗传增益的潜在影响。利用合适的行业结构，在遗传改良核心中获得的微小但累积的选择反应可传到孵化场的繁殖层，并转而从孵化场传到养殖场主（图6.1；图5.1 第5章）。成千上万的动物可能表现出微小的累积变化，这使得遗传改良计划成为提升水产养殖效率的最强大、成本最低的途径之一。

6.5 影响遗传改良计划经济利益和收益/成本比的因素

在研究遗传改良计划的经济效果时一般有既定的方法⁷¹。此类研究的结果取决于根据可能影响产出的许多因素而作出的假设。表6.2列出了此类因素，并提供了涵盖一系列似是而非的情况的数值。在实践中，人们可通过测试结果与假设之间的实际偏差敏感度测定假设的健壮性。表6.2所示的值用于计算遗传改良计划的经济利益（EB）以及收益/成本比（BCR）。当针对特定参数显示一些值时，以粗体显示的值用作生成“基础结果”的依据（表6.3），其他值用于敏感度分析（见6.8节）。

⁷¹ Ponzoni R.W., Nguyen, H.N.和Hooi Ling Khaw。尼罗河罗非鱼（*Oreochromis niloticus*）遗传改良计划的投资评估。水产养殖269, 187-199。

6.6 结果的一般实用性

从全国范围看，对遗传改良计划进行经济评估特别有用，决策者将重点关注实施该计划会为国家增加何种效益。研究结果也适用于控制核心育种中心、孵化场和生产部门的纵向整合公司（图6.1）。结果明确显示，遗传改良可实现非常有利的投资回报（表6.3）。即使对于表2中根据基本因素假定的保守值，在计划实施10年后，经济利益（EB）以及收益/成本比（BCR）也非常有利，分别为400万美元和8.5。利润回收从负数转正数的时刻“收支平衡点”在3年内出现。

表6.2 选择育种计划经济评估参数值

参数	值 (s) ^a
经济参数	
计划初始投资	50 000, 75 000 , 100 000美元
贴现率	0.05 , 0.10, 0.15 d (分数)
贴现因子	通过d值 $r = 1/(1+d)$ 计算
年度（经常性）成本	30 000, 60 000 , 90 000美元
鱼价（农场门面价格）	0.001 , 0.0015, 0.002美元/克
饲料价格	0.00056 美元/克
方案评估年数	10年
生物参数	
雌性世代间隔	1.0年
雄性世代间隔	1.0年
遗传力估计值	W值 = 0.2, 0.3 , 0.4; S值 = 0.05, 0.08 , 0.12; FI 值 = 0.16, 0.25 , 0.3
累积进食量	400克
运营参数	
实现首次回报的年份	2 , 3, 4年
每年销售用于屠宰的鱼数量 ^b	(1) 2.205; (2) 6.6248 ; (3) 47.32; (4) 338.0 (单位: 百万)
收获重量	300克
成活率	85 %

^a 当显示多个值时，粗体值用作“基础结果”的依据，而其他值用于敏感度分析。

^b 数字对应于不同的繁殖技术水平（从最低的一个到较高的数个）。1级对应于管理不善以及池塘中的自然产卵；2级与1级类似，但管理良好；3级采用在hapas（注：hapas是在池塘或围栏内悬挂的小细孔袋）内繁殖，从雌鱼口中收集鱼卵，在核心进行人工孵化，以及天然产卵，孵化场管理良好；4级假设在核心和孵化场中同时采用hapas内繁殖（与3级类似）。

表 6.3 基础情况下的现金流量现值 (d = 5%)、经济利益和收益/成本比

年	贴现因子	贴现收益	贴现成本 (千美元)	经济收益(千美元)	收益/成本比
0	1.0	0	0	-75	-
1	0.952	0	57.14	-132.14	0
2	0.907	130.56	111.56	-56.01	0.7
3	0.864	379.23	163.39	140.84	1.6
4	0.823	734.48	212.76	446.73	2.6
5	0.784	1 185.60	259.77	850.83	3.5
6	0.746	1 722.64	304.54	1 343.10	4.5
7	0.711	2 336.40	347.18	1 914.21	5.5
8	0.677	3 018.35	387.80	2 555.56	6.5
9	0.645	3 760.62	426.47	3 259.15	7.5
10	0.614	4 555.90	463.30	4 017.60	8.5

6.7 将基础参数值置于实际生命周期中

此处选择的基础参数值表示非常保守的情况。例如，当鱼价和繁殖效率设置接近于可预计的最低限值，经济利益在计划实施三年的时间时从负数转为正数(表6.3)，到十年时，收益/成本比为8.5。在实践中，鱼价有可能更高，通过使用非常简单且低成本的技术，可以提高鱼类繁殖效率。因此，通过基础参数值得出的经济利益和收益/成本比应视为遗传改良计划(例如此正在审议中的计划)可预期的最低值。

6.8 敏感度分析

可影响经济利益和收益/成本比的因素(表6.2)可分成三类：(i) 生物因素(可说明进食量的遗传力值)，(ii) 经济因素(初始投资、年度成本、贴现率、鱼价)以及(iii) 运营因素(实现首次回报的年份，繁殖效率)。

6.8.1 生物参数

人们对两个生物因素的影响进行了研究，即育种目标中性状的遗传力值，以及针对进食量采取的方案。遗传力越高，遗传增益越大，从而产生更高的经济利益以及收益/成本比。遗传力值部分是正在研究的性状和群体的性质，但可通过管理途径降低环境方差，从而作出改进。虽然经济利益和收益/成本比对遗传力中的大变动仅中度敏感，但在可能时，核心中应采取可降低环境方差的管理方法。通过同步产卵生产后代并在标准统一的条件下生长是此类实践的示例。

至于进食量, 尽管大多数养殖物种缺乏这一性状的遗传参数, 但它应包含于育种目标中, 因为饲料一般是水产养殖生产中的主要成本。用于进食量的参数值以多个假设为基础, 但注意, 忽略进食量涉及更多的基本假设, 即饲料需求不会随着生长率的提升而增加, 或额外喂食的成本是零; 后一个假设无疑是不正确的。至于前一个假设, 实验证明, 对于大西洋鲑, 进食量和喂食效率方面会出现与生长率选择相关联的反应。⁷²此外, 对于褐鳟 (*S. trutta*), 在进食量方面有相关反应, 但在饲料利用效率方面无变化。⁷³这些实验结果连同生产系统中饲料成本的重要性充分说明将该性状纳入育种目标的重要性。在育种目标中忽略进食量将导致过度估计以生长率为重点的遗传改良计划的效益。该结果与在陆生动物物种中观测的结果一致。⁷⁴虽然在发展中国家不可能对任何育种计划的进食量进行测定, 但由研究机构评估该性状的表型和遗传参数非常有必要, 以提升我们对在遗传评估和选择反应预测中使用的参数值的信心。⁷⁵

6.8.2 经济参数

经济利益和收益/成本比对初始投资量都不敏感, 而计划的年度成本对收益/成本比的影响要大于对经济利益的影响。相比之下, 贴现率对经济利益的影响要大于对收益/成本比的影响。贴现率 (d , 表6.2) 是在计算未来预期收益和成本的现值时所用的利率。贴现因子 ($1/(1+d)^y$, 表6.2) 是将任何未来年份 ‘ y ’ 的预期收益或成本转换成现值项的因子。贴现率的选择目前正在研究中, 因此一直存在争议。在目前的情况下, 从社会角度将成本和收益作为整体进行评估 (不同于单个公司或个人), 贴现技术用于以净现值表示该成本和收益。该净现值可与使用有限替代资源 (国家目前可用于投资) 获得的值进行比较。在目前的情况下, 尽管假定了较低的繁殖率, 即使在15%的高贴现率下, 经济利益仍保持较高的正值, 收益/成本比约为基础情况下的75%。

鱼价对经济利益和收益/成本比具有较大的影响。虽然价格大多超出规划者和养殖场主的控制, 但越大的鱼在市场上售价越高, 因此“选择计划”的一项附加 (且未预计的) 收益就是在未来可能获得更高的售价。

6.8.3 运营效率

首次获得投资回报的年份可反映计划 (包括向孵化场分配种群) 完全步入正轨的速度。尽管核心中存在遗传增益, 但后一类活动可能出现延迟。投资回

⁷² Thodesen, J. 1999. 大西洋鲑饲料利用率改良选择。挪威农业大学科学博士论文, 108 pp。

⁷³ Mambrini, M., Labbe, L., Randriamanantsoa, F.和Boujard, T. 2006. 针对苛刻喂食环境选择的褐鳟 (*Salmo trutta*) 的生长反应。水产养殖252, 429-440。

⁷⁴ Ponzoni, R.W. 1992. 无绒毛羊遗传改良。联合国粮农组织动物生产和卫生论文, 第101号, 168 pp (意大利罗马)。

⁷⁵ Doupe, R.G., Lymbery, A.J. 2003. 努力实现鱼类饲料利用效率的遗传改良。J. World Aquacult. Soc. 34, 245-254。

报越早实现，即使延迟两年，经济利益和收益/成本比仍非常有利。

根据基础情况假设的繁殖效率（表6.2）被视为应接受遗传改良计划的最低水平，也是通过现有低成本技术可轻易改进的水平。尽管如此，10年后会获得非常有利的经济利益以及8.5的收益/成本比（表6.3）。通过简单低成本的技术可实现3级繁殖效率，在国家遗传改良计划中很容易以此为目标。在4级上，由于繁殖效率提升，经济利益和收益/成本比快速增长。要提升孵化场的繁殖效率，需要政府加大投资向孵化场管理人员传授技术，这一点仍存争议。模型显示，尽管增加了重大投资用于孵化场工作人员培训，经济利益和收益/成本比仍非常有利，具有投资价值。

6.8.4 敏感度分析摘要

- 核心中可降低环境方差从而提升遗传力的管理实践可能对盈利性有中等影响。
- 应考虑作为生长速率加快选择的反应而增加进食量的成本，以避免过度估计计划的经济利益和收益/成本比。
- 初始投资、年度成本和贴现率的选择可能对经济利益和收益/成本比影响较小，而鱼价的影响会较大。
- 首次投资回报实现越早，经济利益和收益/成本比就越大。但是，对经济利益和收益/成本比作用最大的是核心与孵化场级的繁殖效率提升。繁殖效率这一最后的因素可能对经济利益和收益/成本比的影响最大。

6.9 成功机会

前面章节提到的结果都具有确定性（使用数学方程式预测结果），隐含地假设结果完全确定。但是，通过选择实施遗传改良是一个随机过程，当选择各亲代以及这些亲代生产后代时涉及基因的取样问题。评估基因改良计划成功率的方法是看选择反应中的预期变异性。⁷⁶使用Nicholas提出的方程式（1989）计算的变异系数足够低，可激起对计划结果的信心，如果针对经济利益和收益/成本比设置了置信界限，即使对于研究中最低的繁殖等级，这些界限也会在有利值范围内下降（表6.4）。因此，由技术原因导致的失败风险极低。当然，由于自然灾害或缺乏目标连续性，可能出现失败，但很难以系统手段处理此类失败原因。

⁷⁶ Nicholas, F.W. 1989. 在遗传改良计划中整合新繁殖技术。Hill, W.G. Mackay, T.F.C. (编著), 计划和动物育种, 国际应用生物科学中心, 沃林福德, 英国, 203-209页。

表6.4 针对不同繁殖效率水平的经济利益和收益/成本比上下限（95%的概率）

繁殖效率 ^A	经济利益和收益/成本比界限	经济利益（百万美元）	收益/成本比
1级	上限	1.17	3.17
	下限	0.79	2.46
2级	上限	4.60	9.53
	下限	3.44	7.40
3级	上限	36.11	68.08
	下限	27.90	52.82
4级	上限	261.25	486.32
	下限	202.56	377.30

^A 1到4级的定义见表6.2。

6.10 结束语

遗传改良计划中的经济考虑是必要的，以便在育种目标的不同性状间合理分配重要性。反过来，这些经济考虑支持将计划对行业的经济影响作为整体进行评估。所用的方法说明了可影响遗传改良的有多重因素。经济利益和收益/成本比最敏感的因素可加以鉴别并给予最大关注。经济利益和收益/成本比对核心和孵化场中的繁殖效率最敏感，繁殖效率决定了表示遗传改良的鱼数量。该定量发现与改良品系的繁殖和传播对遗传改良综合方案具有重要作用这一共识相一致。模型（见脚注71）可用于研究可能影响遗传改良计划产生的其他因素（例如，不常向孵化场移植种群，由于环境交互基因型的作用，生产环境下核心中仅表现出部分选择反应）。“反过来”，它也可用于检查为孵化场和特定大小的生产部门设立遗传改良计划是否明智。

采用保守的繁殖效率（表6.1中的2级）时，可实现有利的经济利益和收益/成本比值（分别为四百万美元和8.5）。采用成熟、可用且成本低的繁殖技术（表6.1中的3级）可使经济利益和收益/成本比分别提升到3200万美元和60以上。采用易于养殖的物种（例如罗非鱼）时，由于其可行性和影响力，3级繁殖效率应作为国家遗传改良计划的初始目标，随着孵化场技能的增强，将目标提升到4级。

从国家角度看，投资水生养殖动物的遗传改良计划是明智的决策。此外，生产者可获得“高性能的”品系可促进其他领域（管理、营养、动物卫生、营销）采取更好的实践。

7 遗传改良计划的风险评估和监控⁷⁷

7.1 引言

遗传改良计划（第4、5和6章）要求加强对无意识引入和改良生物无意识逃逸到水生生态系统中的生态风险进行评估和管理。生态风险评估和管理本质上是在科学信息和分析指导下的社会过程。人类价值在定义风险评估术语时无疑非常重要。

- **风险**指特定危害或一系列危害导致损害的可能性。
- **损害**指对人类和有价值的事物造成的不良后果。
- **危害**指有可能造成损害的事件。

风险评估过程是在自然资源环境中实施，因此通常需要利益相关人⁷⁸根据科学分析作出审慎的决定。由联合国粮农组织联合领导的国际专家讨论会确定了遗传改良鱼⁷⁹生态风险评估的一些重要元素，国际小组也首次在全球范围内对现有方案和方法进行了综合。⁸⁰

这些准则可用于预先风险评估，以预测在遗传改良鱼传播之前和期间发生潜在有害事件的可能性和后果。重点在于对野生水生物种群体或支持这些物种的生态系统可能造成的生态损害；生态损害可包括在遗传、群体、群落或生态系统层面上的不良变化。准则还可用于风险评估，包括作为传播计划一部分的监控。

⁷⁷ 撰写人：Anne R. Kapuscinski。

⁷⁸ 对问题感兴趣的任何人，或共同承担特定决策风险的任何人。受研究问题影响或影响研究问题的个人或集团代表。

⁷⁹ Gupta, M.V.; Bartley, D.M.; Acosta, B.O. (编著). 2004. 非洲水产养殖和水生生物多样性保护中使用遗传改良种和外来种。世界鱼类中心1707号文件, Penang, 马来西亚。107 pp. 内罗毕宣言, Gupta等, 2004。世界鱼类中心, 2003. 遗传改良鱼类生态风险评估达卡宣言。世界鱼类中心1704号文件, Penang, 马来西亚。Pullin, R.S.V.; Bartley, D.M.; Kooiman, J. (编著) 1999. 努力实现水生遗传资源保护和可持续利用政策。ICLARM 大会记录, 59, 277页。

⁸⁰ 本章大量使用了19个国家44名自然和社会科学家和政策专家的著作内容，于2005年世界鱼类中心研讨会上开始制定，并发布于参考文件上。他们总结认为风险评估和管理方法的整合适用于水产养殖中不同类的遗传改良品种。Kapuscinski, A. R.; Hayes, K.R; Li, S; Dana, G. (编著) 2007. 遗传改造生物的环境风险评估。第3卷，转基因鱼方法。国际应用生物科学中心，沃林福德，英国，304页。

7.2 行为守则

遗传改良计划不得破坏《行为守则》第6.2、7.2.2、9.1.2、9.31和9.3.5条规定的保持野生水生物种遗传多样性和保护水生群落和生态系统完整性这一目标。第6.13和6.16条支持利益相关人参与风险评估过程。第9.1.2条明确规定将生态风险评估和管理纳入遗传改良计划中：

各国应当促进负责任地发展和管理水产养殖业，其中包括根据最正确的科技信息预先评价水产养殖发展对遗传多样性和生态系统完整性的影响。

7.3 原则

7.3.1 各国的生态风险评估和管理框架有差异，但所有有效的框架均包含了相互依托的类似系统步骤。⁸¹

7.3.2 整个生态风险评估和管理过程应将多学科科学分析与多位利益相关人的审议相结合。

可信的风险评估和管理框架具有一些共同的步骤（表7.1）。负责任机构应确定风险评估和管理框架中各步骤的实施人、所需的专业技术领域以及利益相关人，并决定如何让专家和利益相关人参与到该过程中。⁸²在将科学分析与多个利益相关人的审议相接合时，各政治管辖机构需确定与协会和可用资源相适应的利益相关人参与水平。利益相关人之间透明公正的审议可提升风险评估结论和管理建议的合理性和公众对其的信任度，并改进评估质量，原因如下：

- 使所有重点问题得以验证；
- 采用利益相关人在系统方面的重要经验，例如有关本地区野生鱼类的信息，这些信息对于技术性风险分析来说可能是未知的；
- 在过程的关键点上吸取利益相关人的观点；
- 确保风险评估结论和风险管理方案对利益相关人有意义。

⁸¹ Hayes, K.R.; Kapuscinski, A.R.; Dana, G.; Li, S.; Devlin, R.H. 2007. 转基因鱼环境风险评估介绍。1-28页，Kapuscinski等（编著）（见脚注80）。Nelson, K.C.; Basiao, Z.; Cooper, A.M.; Dey, M.; Lorenzo Hernandez, M.; Kunawasen, S.; Li, S.; Fonticiella, D.; Ratner, B.D.; Toledo, M.I.; Leelapatra, W. 2007. 问题公式化和选项评估：科学指导下的转基因鱼风险评估商议。29-60页，Kapuscinski等（编著）（见脚注80）。

⁸² 有关多个利益相关人商议整合的更多信息：

Hayes等，2007和Nelson等，2007（见脚注81）；以及Nelson, K.C.; Banker, M.J. 2007. 问题公式化和选项评估手册：PFOA过程以及如何将其整合到遗传改造生物（GMO）风险评估（ERA）中的指导。GMO-ERA项目。参见：www.gmoera.umn.edu。

7.3.3 每次生态风险评估应围绕事件的危害链进行组织，该危害链以遗传改造生物可能进入生态系统开始，并确定了随后可能导致损害的事件。

评估遗传风险和其他生态风险的需求源自遗传改造生物的基因组成和性状的变化。风险评估中的多个步骤将需要有关这些变化（与目前在地理区域养殖的群体以及水生生态系统中的任何野生近亲⁸³相比）的经验数据，并了解这些变化如何导致或不会导致生态损害。图7.1所示的是以生态损害终结的事件链示例。

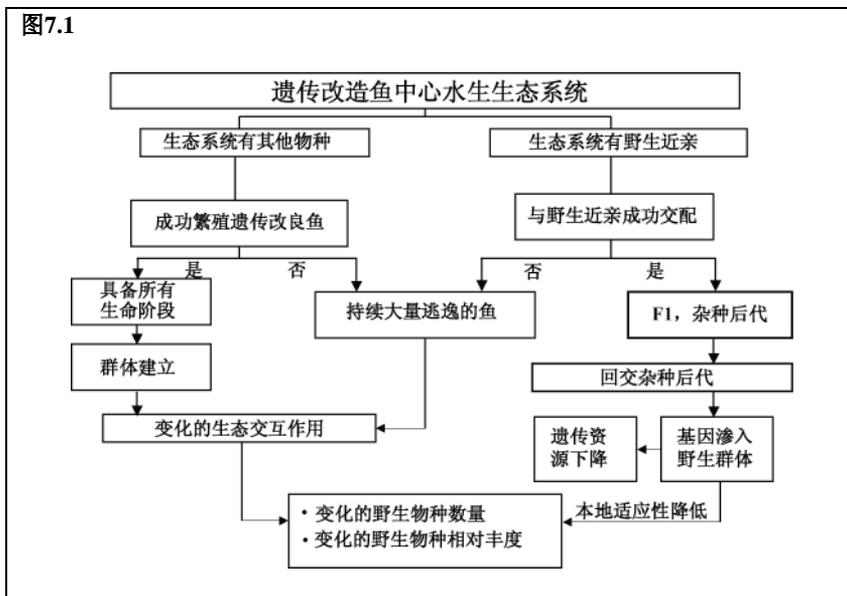
表 7.1 大多数风险评估和管理框架的步骤。在整个过程中（特别是在解决以斜体字显示的问题时），利益相关人应参与并实施技术分析。*

步骤	本步骤解决的关键问题
风险评估	
鉴别危害并确定危害的优先级	哪些系统待评估（范围和边界）？会出现哪些导致不良后果的事件？评估时应优先考虑哪些事件和损害？可接受/不可接受的风险等级？
风险估计	
各种优先危害的暴露评估，由危害暴露导致危害的可能性。	何为危害暴露以及危害可能性为多大？ 危害出现的会导致哪些损害，严重程度多大？
评估是定量（如果可能）、半定量或定性的。	风险评估有何结论（损害估计可能性与损害严重性矩阵）？
鉴别和分析不确定性。	用于鉴别危害、评估可能性和预测损害的知识的确定性有多大？可消除的不确定性有哪些？在整个评估过程中需要解决的不确定性有哪些？
风险管理	
风险降低规划 计划实施	可以采取何种措施降低可能性或缓解后果，从而将风险降至可接受的水平？风险降低措施是否可接受？
监控	监测活动是否可接受？实施的风险降低措施的有效性如何？措施达到预期效果，或比预期好或差？
补救措施	如果调查结果不可接受，将采取何种补救（修正）措施？措施是否能完全解决重点问题？

* Hayes等，2007年以及Nelson等，2007年（见脚注81）；Nelson和Banker，2007年（见脚注82）。

⁸³ 生态系统中可与遗传改造杂交的任何物种，包括遗传改造鱼的相同物种或近亲物种。

图7.1



7.3.4 在风险评估过程早期，有关专家和利益相关人应审慎描述共同关心的事件链，鉴别事件链上的危害和损害并确定其优先级，并就风险等级达成一致。

有关专家与可能受影响的利益相关人的审议结果为决策者将有限的资源用于优先级较高的危害和损害评估提供可信的社会基础。风险评估和管理过程的其余部分因此将重点放于选择的优先危害（表7.1）。⁸⁴

7.3.5 风险评估和管理重点放于优先危害可测的终点上

为利益相关人和分析师一致同意的不良生态变化谨慎选择可测终点非常重要。⁸⁵然后风险分析师可重点评估对每个终点的损害的可能性和严重程度（图7.2）。应针对事件链（图7.1）上的每个优先危害确定风险评估终点（风险评估设法保护的）。当主要终点难以评估时，风险分析师应鉴别和评估测量终点（即他们实际测量所得），测量终点是良好的科学指标，指示特定的生态损害是否发生。例如，如果遗传改造鱼捕食利益相关人同意在特定丰度等级（评估终点）

⁸⁴ 更多有关优先危害的指导，见Hayes等，2007（见脚注81）。

⁸⁵ 终点明确表示生态系统价值要素，利益相关方努力通过实施生态风险评估对这些要素进行保护（Hayes等，2007，见脚注81）。

上加以保护的野生物种，评估野生成鱼的成活率（测量终点）将比预测野生物种的整体丰度更容易。

图7.2 用于评估损害可能性（纵轴）和严重程度（横轴）的定量风险评估矩阵简图。定量风险评估优于定性和半定量评估，但需要更多的数据。

损害的可能性	经常			最大风险
	几乎从不	最低风险		
		非常低		非常高
		损害严重程度		

随着危害事件链加长时，由于遗传改造生物和野生物种及其栖息地之间的交互关系日益复杂且联系日益紧密，实施公正和精确的风险预测的可能性降低。因此，通过选择与所关注问题明确相关但在事件链中较早出现（非较晚出现）的评估终点在现实性、复杂性以及利益相关人关注之间建立审慎的平衡是明智之举。跨学科的专家小组应定义终点（最好在与多位利益相关人商讨后作出定义），确定适当的评估方法并对现有数据进行鉴别。相关专家经验随案例的不同而有所差异，最好包括受过风险评估方法培训的专业水生生物学家和生态学家。

7.3.6 个案风险评估和管理

任何养殖计划可改变养殖生物的基因组成和性状（第3和第4章）。没有一种遗传改良方法的固有环境风险比其他方法更小或更大。相反地，需要根据每个案例的实际情况，基于水产养殖生产系统（特别是其格局和逃逸到自然中的频率）、遗传改造生物和可能受影响的生态系统的特征对风险进行评估。⁸⁶

⁸⁶ 就个案生态风险评估目前已有达成广泛共识；例如卡塔赫纳生物安全议定书，第15条和附录

7.4 评估遗传效应⁸⁷

从遗传改造个体到野生亲代的基因流是一个重要过程，遗传改造鱼类可通过该过程影响野生鱼群。重点关注的问题是基因流是否导致基因从改良生物渗入（并入）野生基因库，是否引起有害的遗传和生态结果（图7.1）。风险评估人应对事件链的终点（必定出现并以基因渗入终结）进行评估。进行评估时，他们可将评估划分成两个主要的终点—入口和基因渗入，并进一步将终点划分成子事件，子事件应比作为单个变量的入口或基因渗入更易于评估。⁸⁸

预测这些事件的可能性和遗传效应需要有关遗传改造如何影响养殖鱼适应性⁸⁹的数据，以及如果鱼逃逸到环境中并在环境中与野生近亲杂交时适应性如何变化的数据。此外还需要有关野生近亲的特定基线数据，例如群体遗传机构、育种成鱼的空间分布。为评估所有基因流子部分而收集各案例的实验数据是一项艰巨的任务。为降低数据需求，风险分析师可寻求分布策略，假设导致入口或渗入的特定事件将出现（而不是获取数据进行可能性分析），然后进一步评估事件链中的下一事件。⁹⁰

改造基因型的渗入到野生群体中可导致遗传资源的萎缩（图7.1）：受影响的野生群体中本地等位基因频率的变化、遗传特殊性的损失或遗传变异损失。基因渗入可导致远交衰退，因为野生群体相互适应的基因综合体遭到破坏。这些遗传变化可降低野生群体的适应性，降低它们适应气候变化或栖息地迁移（例如从大坝或其他结构中迁移）等环境改变的能力。此类风险对于已经萎缩或位于物种起源中心的野生群体是特别值得关注的问题。

7.5 评估生态效应⁹¹

遗传改造生物对生态的影响可能超出它们可能对野生群体遗传的影响（图7.1）。当养殖鱼与野生群体无杂交时，生态效应也可能存在。向生态系统增加新元素可导致生态系统从一个初始状态移植到一个新的状态。评估生态风险的

三。也可见Bellagio宣言，Pullin, R.S.V.; Bartley, D.M.; Kooiman, J. (编著) 1999。努力实现水生遗传资源保护和可持续利用政策。ICLARM 59号大会记录，277页。

⁸⁷ Kapuscinski, A.R.; Hard, J.J.; Paulson, K.; Neira, R.; Ponniah, A.; Kamonrat, W; Mwanja, W; Fleming, I.A.; Gallardo, J.; Devlin, R. H.; Trisak, J. 2007。基因流评估方案。112-150页，Kapuscinski等（编著）（见脚注80）。

⁸⁸ 子部分评估广泛指导，Kapuscinski等，2007（见脚注87）。

⁸⁹ 生物成功将基因传给后代的等级。适应性由跨越生物生命周期的关键性状共同决定，这些性状包括仔鱼和成鱼活力、生殖力、受精能力、交配成功和性成熟年龄。Muir, W.M.; Howard, R.D. 2001。转基因释放的适应性部分和生态风险：以日本青鳞（*Oryzias latipes*）为模型。美国博物学家158:1-16。

⁹⁰ 策略指导见Kapuscinski等，2007（见脚注87）。

⁹¹ Devlin, R.H.; Sundström, L.F.; Johnsson, J.I.; I.A Fleming, I.A.; Hayes, K.R.; Ojwang, W.O.; Bambaradeniya, C.; Zakaraia-Ismail, M. 2007。在进入自然前评估转基因鱼的生态效应。151-187页，Kapuscinski等（编著）（见脚注80）。

目的是预测是否出现了涉及不良社会变化（例如，物种灭绝、群体丰度变化和/或生态系统功能改变）的新状态。

生态风险的预先评估应包括相互依托的四个阶段。⁹²

(1)将可能受遗传改造鱼影响的接收生态系统的特定生命和非生命性质表征化；

(2)测量遗传改造鱼性状中有意识和无意识的变化，重点关注可能改变与生态系统交互作用的变化；

(3)确定遗传改造鱼和生态系统之间的预期交互作用，例如，与其他鱼种的干扰竞争或水生植被的摄食；

(4)估计由遗传改造鱼类和生态系统各交互作用导致的生态效应的范围和可能性。

在每个阶段，评估人应整合多个来源的信息，这些来源包括专家和合适的利益相关人；有关潜在接收生态系统的基线数据（例如，通过当地调查获得）；以及从整合了半自然条件的精心设计实验中获得的实验数据。风险评估人在风险评估实验中应为遗传改造鱼类确定合理的封闭范围，⁹³考虑现有可用资源以及有关这些鱼类的当前未知元素。即使在采用该四个阶段的系统方案时，对生态效应的预先风险评估将是一项复杂的任务，涉及许多不确定性。遗传改造鱼类在风险评估实验中的行为可能与在自然环境中不同，特别是因为基因型与环境交互作用，降低了将结果应用到自然环境中的价值。为获得生态结果个案数据进行的研究应模拟各种生态条件，以代表潜在受影响的水生生态系统。

7.6 不确定性分析⁹⁴

所有风险评估都受不确定性的影响。生态风险评估的可靠性取决于对各种不确定源的鉴别和处理。‘处理’不确定性指对其进行分析、消除（解决）或使其经历一遍整个风险评估的计算和判断链。当应用预防措施时，对不确定性的系统鉴别和处理有助于提供信息（第11章）。不同类型的确定性由不同的机制引起，风险分析师已制定合适的数学和定量方法以鉴别、处理和关联各种类型。⁹⁵在将这些方法用于遗传改造鱼的风险评估时，构建能力和实践经验至关重要。负责实施生态风险评估的有关方应接受培训，以便：

⁹² 各阶段的实施指导见Devlin等，2007（见脚注91）。

⁹³ 半自然实验和封闭实验指导见Kapusinski等，2007，第5、6和8章（见脚注80）。

⁹⁴ Hayes, K.R.; Regan, H.M.; Burgman, M.A. 2007. 不确定性分析的概念和方法介绍。188-208页，Kapusinski等（编著）（见脚注80）。

⁹⁵ 处理不确定性的方法摘要见Hayes等，2007（见脚注94）。

- 采用适当的利益相关人—专家审慎方法鉴别不确定性；
- 采用适当的方法处理不确定性或聘用受过正规训练的专家实施；
- 了解处理各已鉴别的不确定性的后果；
- 以可靠、透明的方式说明和交流不确定性处理。

7.7 生态风险管理

生态风险管理旨在将已确定风险降至可接受等级。⁹⁶它包括封闭措施和监控计划。当风险评估确定了有可能但可管理的风险时，应制定并实施风险管理计划，使计划成为遗传改良鱼传播过程中不可分割的一部分。风险管理计划应以风险评估结论为基础，因此计划能重点关注优先风险，并且参与评估的人员可分享见解，从而为计划提供支持。

7.7.1 遗传改造生物的封闭⁹⁷

没有一种封闭方法是100%有效的，因此风险管理人员在实施封闭时应考虑使用多种加强的封闭措施以及最佳管理方法⁹⁸。需要多种封闭方法，以使从水生养殖系统中逃逸的数量降至可接受的水平。封闭措施可重在防止逃逸，如果出现逃逸，重在降低其影响。物理障碍，例如致死水温或pH；机械障碍，例如筛网；以及地域障碍，例如在内陆海水系统中养殖海洋物种（第9章）可防止逃逸。生物障碍，例如可使某些成鱼丧失生育功能的诱导三倍性，可用于降低基因流（从而降低遗传风险）和群体建立（从而降低生态风险）。但绝育不能消除所有环境风险。逃逸且不能生育的鱼可能仍与野生鱼类就有有限资源展开竞争，或出现求偶和产卵行为，或干扰野生群体的繁殖。⁹⁹

7.7.2 监控遗传改造生物的存在和生态效应¹⁰⁰

探测逃逸和不良生态变化早期信号的最佳途径是实施精心设计的监测计划，监测计划将一般渔业当地采样方法与统计技术相结合，采用基于DNA的遗

⁹⁶ 通过多个利益相关人商议，一致同意可接受的风险降低水平可增加决策的社会接受度。

⁹⁷ Mair, G.C.; Nam, Y.K.; Solar., I.I. 2007. 风险管理：通过封闭转基因鱼降低风险。209-238页，Kapusinski等（编著）（见脚注80）。

⁹⁸ 最佳管理实践将根据水产养殖系统的不同而改变，难以在资源贫乏的环境下实施。最佳管理实践的一般指导见Mair等，2007（见脚注97）。

⁹⁹ 农业生物科技研究咨询委员会（ABRAC）。1995. 遗传改造鱼类和贝类的安全研究实施标准，第一、二部分，USDA，农业生物科技办公室，华盛顿特区，见 www.isb.vt.edu/perfstands/psmain.cfm。

¹⁰⁰ Senanan, W.; Hard, J.J.; Alcivar-Warren, A.; Trisak, J.; Zakaria-Ismail, M.; Lorenzo Hernandez, M. 2007. 风险管理：批准后监控和补救，239-271页，Kapusinski, A.R.等（编著）（见脚注80）。

传标记探测遗传改造个体。监控应用于探测各生态层面上的一个或多个终点：

1. 生态系统中存在遗传改造个体；
2. 存在第一代杂种后代（由逃逸物种与野生近亲成功繁殖）；
3. 存在回交杂种后代（由第一代杂种和野生近亲成功繁殖）；
4. 所有生命阶段存在遗传改造个体；
5. 遗传改造和野生个体的群体变化；
6. 本地水生物种的数量变化及其近亲丰度。

当遗传改造鱼进入生态系统后，终点1-5可在一代或多代中出现，从而支持较早地探测生态效应。探测这些终点比监控物种组成中的群落级变化更简单且更快（终点6）。最后一个终点较难探测，可能通过数代才显现，也可能由其他危害导致（例如栖息地破坏），且由于生物体的遗传变异原因而难于区分其结果。例如，在监控领域对遗传改造鱼的所有生命阶段进行较早探测（终点4）表示这些个体繁殖得足够优良，可与其他物种进行广泛交互。需要进行更长时期、更复杂的监测，以确定这些遗传改造鱼和其他物种之间的交互是否导致鱼类群落组成中的不良变化（终点6）。

早期监测可支持在尽可能早的时候作出补救反应（或第11章应变计划）。补救反应可包括改进封闭措施、将遗传改造鱼从野外移走（可行性很小，成本非常高）以及限制进一步在水产养殖中使用遗传改造鱼。决策者应认识到，一旦不良的生态效应扩散，补救会很难且成本高。监控也可对风险评估的生态安全结论进行确认。监控计划通过使用适当的采样设计、科学工具和数据分析能以较大的概率探测实际出现的变化。¹⁰¹

7.8 限制条件和机遇

对遗传改造鱼的生态风险评估和管理很复杂，需要很多资源。方法正不断发展，但实践经验却很有限。普遍存在构建人力和机构能力的需求。主要需求是：¹⁰²

- 填补生态和遗传基线数据的主要差距，改善对现有数据库的访问；

¹⁰¹ 监控方面的更多指导可参阅Senanan 等, 2007（见脚注100）。

¹⁰² 内罗毕宣言、达卡宣言（见脚注2）；Kapuscinski等（编著），2007（见脚注80）。

- 为遗传改造鱼的生态风险评估和管理进一步发展广泛适用的方法；
- 为实施风险评估过程的人员（管理人员、科学家和服务人员）开发深入的风险评估培训计划，并协助决策者了解如何利用产出促进决策；
- 加强国际协作，在半自然和封闭条件下开展风险评估研究；
- 加强本领域内风险决策管理所需的机构框架；
- 加强有关机构之间的网络，并推动国际协作计划，以满足上述需求。

为满足这些需求而进行的努力还有助于保护水生生物多样性和负责任水产养殖的发展。有关自然鱼群落关键部分的基线数据（例如，有关野生群体遗传多样性以及影响物种组成的因素）还有助于提升水生生物多样性保护工作的优先级，为水产养殖区和保护区的设计提供信息（第9章），为制定渔业部门环境变化适应性策略提供信息。有关水产养殖生态影响的其他重点问题（例如，养殖外来物种或污水排放）以及其他发展活动（例如，大坝建设）需要系统的风险评估框架以及一些类似的方法。因此，广泛适用的方法和培训计划将从整体上改善水生部门的生态风险评估。

7.9 结论

为获得广泛的利益，而不损害水生生物多样性保护，在遗传改良鱼散布前对其进行生态风险评估以及在散布后进行生态监测是必要的。系统的风险评估方案使决策者能将有限的资源集中于对最高优先级问题的风险评估上。适当的科学技术应经过多个利益相关人的商议。这样就可能就优先危害达成一致，采用现有最相关的知识，为填补最重要的信息差距重点进行测试并收集数据，实施不确定性分析以改善结论质量，并加深对问题的理解以及提升社会对风险评估过程和结论的信任。为探测遗传改造鱼对自然生态系统的不良影响的早期信号，实施精心设计的监控至关重要。但是，有效的监控很复杂，需要大量技术经验和长期努力。

风险评估和管理是一项复杂的工作，未广泛应用于水产养殖中。随着水产养殖规模的扩大并且遗传改良生物的使用量越来越大，迫切需要改进风险分析过程，并使科学家、多个利益相关人和政府监管机构参与风险分析过程。预先风险评估和管理有助于改善遗传改良生物的养殖，实现保护自然并支持成功的鱼类养殖。

8 养殖渔业¹⁰³

8.1 一般原则

在准则中，养殖渔业（CBF）指将养殖材料放养在水产养殖环境里，蓄养到一定时候再进行捕捞的渔业。“养殖材料”通常是生命周期的早期阶段，但也包括仔鱼或成鱼。养殖渔业有三大类：

1. 养殖材料可能相互繁殖并与本地物种繁殖，从而增加或重建本地种群；
2. 养殖材料可能相互繁殖，但不与本地物种繁殖，从而创建新的渔业种群；
3. 养殖材料完全不能繁殖。

国际沿海渔业工作小组推荐的术语建议使用：

- 重新放养，将养殖仔鱼释放到野生群体中，使严重衰退的产卵生物群恢复至原有正常的水平；
- 种群增殖，将养殖仔鱼释放到野生群体中，通过克服鱼群补充限制，增加仔鱼的自然供应，从而最大程度地提高该种群的收获量；
- 海洋牧场，将养殖仔鱼释放到未封闭的海洋和河口环境中，实行大规模的“放养、生长和捕获”作业，以提高渔获量。

为有效管理养殖渔业中的遗传资源，很重要的是必须明确要达到上述哪个目标。通常认为，上述这些分类是不很严格的。例如，第3类中的鱼有可能繁殖。这不是对养殖渔业成功的衡量，但必须将其分解，进行风险分析。养殖渔业的成功取决于实施渔业的社会、经济和生态环境。采用孵化场支持渔业这一渔业管理策略必须整合到渔业或水体的综合管理计划中。如果不进行资源管理，不控制渔业和捕捞实践并且不实施栖息地保护，直接将生物释放到水体中是不会成功的。此处的准则重在养殖渔业中的遗传资源管理。

8.2 养殖渔业的遗传资源管理计划

在渔业管理中使用孵化场生产出来的苗种通常不能满足增加渔业产量的预期目标。其中部分原因是虽然幼鱼在孵化场中能很好地存活，但当它们被释放到完全不同的野生环境中，就不太适应那里的生活（第3章）。适应了定期投喂配方饲料的驯化鱼在最自然的条件下成活率不高。因此，养殖渔业的遗传资源

¹⁰³ 撰写人：Devin M. Bartley。

管理计划必定与第4-6章的育种改良计划有很大区别。以下是针对三类养殖渔业而制定的一般管理计划。

8.2.1 养殖渔业（养殖材料可能与本地物种繁殖）

如果养殖渔业的目标是重建或增加本地物种自然种群的自然繁殖，遗传资源管理应努力重建养殖材料的遗传多样性自然水平。孵化场环境应尽量保持自然，以保证不引入任何人工选择压力。这需要选择正确的品系进行蓄养，并改变孵化场和喂养技术，以尽量减少人工或无意选择。

8.2.1.1 选择正确的种群

养殖材料应与自然群体的遗传多样性相匹配。这最好通过采用野生捕获的种群实现。如果野生种群供应不足（例如许多濒危或在本地已灭绝的自然群体），应通过遗传种群鉴别确定非常类似的种群。当没有可用数据用于种群鉴别时，可使用替代信息，例如从相同的水生栖息地（水体或特定水道，如支流）选择生命周期、生长、颜色、形状和行为特征类似的种群。避免在不同的流域或生态区域移植种群。当种鱼准备交配时，应尽快实施优化有效种群规模并降低遗传漂变的种群管理（第3章）。

对于长期计划，需要发展轮流育种计划，种群用于生产养殖材料，然后被放回野外，而新种群放入孵化场。轮流时间取决于计划的成功实施以及自然种群的可用性。对于仅产卵一次（例如，大西洋鲑）或种鱼必须死亡才能受精（例如，某些鲟鱼）的物种，不适应轮流育种。

8.2.1.2 选择适当的孵化场规程

短期内鱼类会适应孵化场管理实践，但经过长时间后，孵化场的条件会对它们造成选择压力（第3章）。当养殖的材料可存活和/或在野外繁殖时，孵化场规程应设计为尽量降低这些影响（即降低驯化选择）。尽量降低近亲繁殖和遗传多样性损失的特定育种协议准则在第3章中探讨。

为降低人工选择对孵化场的一般变更包括：

- 如果可能，提供野生活体食物，而不用配方饲料；
- 提供带砾石、植物和遮蔽物的更自然的栖息地，而不是无菌水箱和水管；
- 提供有限数量的捕食者，以训练躲避掠食者；

- 自然光/黑夜循环；
- 释放未适应孵化场条件的幼鱼。但是应该进行评估，因为较年长的鱼成活率可能更高；
- 在整个产卵期产鱼(即，如果可能，勿收集许多卵，以达到生产目标)；
- 勿将鱼在不同流域或支流的孵化场中进行移植，以达到生产目标。

8.2.2 养殖渔业 (养殖材料可能相互繁殖，但不能与本地物种繁殖)

当为养殖渔业蓄养的鱼与本地物种有不同的繁殖策略时，可出现这一分类，因为它们是不同的物种，或者如果与本地物种相同，则具有不同的洄游形式或其他行为，例如交配偏好。最常见的例子是为养殖渔业定期蓄养外来物种或特定品系的鱼，例如鲑鱼。如果释放能生育的鱼进行繁殖，自立群体有望获得发展，从而消除了持续蓄养的需求。

释放能繁殖且能存活的外来鱼被认为是最具风险的种群改进类型(第7章)。对这些种群的管理需要深入理解物种或种群的遗传和自然史。当自然史特性和品系行为遇到新环境时，也可能发生改变。已制定准则为使用外来物种的负责任规程提供指导(第5章)。¹⁰⁴假设准则得以遵守，并且基于外来鱼类的养殖渔业已确定是可接受的管理选择，应选择具有适当的行为特征(例如，洄游时间选择和位置)的种群，并且计划和采用遗传资源管理措施优化 N_e ，避免驯化选择(见第3章)。

8.2.3 养殖渔业 (养殖材料不能繁殖)

在许多养殖渔业中，不存在创建自立群体的目的性或可能性。在这些情况下，遗传资源管理应努力优化生产力，降低对生态系统的负面影响。生产不能生育的鱼是降低蓄养鱼和本地物种繁殖的最佳途径。创建三倍体，即增加另一组染色体，是生产不能生育的的最常用方法。通过对鱼配子和发育中的胚胎进行温度、压力或化学处理可诱导三倍性。这可在许多物种中轻易实现，例如，牡蛎、鲑鱼和鳟鱼，但很难在其他物种上进行商业应用，例如罗非鱼。

释放单独性别(即单性)的个体已用于降低繁殖机会。单性群可通过遗传操作或在特定时间管理性别荷尔蒙实现。将三倍性和单性生产相结合可进一步降低不必要育种的机会。

¹⁰⁴ 例如，国际海洋勘探理事会引进和转让海洋生物的行为准则2004。
www.ices.dk/reports/general/2004/ICES COP2004.pdf

为确保孵化场生产出需要的产品，对蓄养的材料实施监控是必要的（即蓄养的材料全部为三倍体或全部是所需的性别）。

通过控制捕捞工作并选择蓄养栖息地可控制育种。鱼通常蓄养在临时水体中，在鱼繁殖前水体干涸，或蓄养在与主要产卵栖息地不连通的封闭水体内或具有强大渔获压力（蓄养的鱼100%会被捕捞）的地区。但是，这些条件在防止所有繁殖时并非100%有效，因为一些鱼可能迁移到有可能繁殖或渔获压力稍低的区域。在这些情况下使用不能生育的鱼将进一步降低不必要繁殖的机会。

8.3 监控、评估和报告

与所有渔业类似，对养殖渔业进行监控至关重要，为此，蓄养的材料必须可识别。孵化场标记计划正要求在世界许多地区实施，以评估孵化场对养殖渔业的贡献。物理标签可确定初始贡献，但如果蓄养的鱼在野外繁殖，则只有遗传标签才能显示孵化场对后代的贡献。蓄养物种的丰度有时会增加，但不会一直增加，这可显示孵化场对渔业的贡献；环境的有利变化或改善渔业管理也可促进自然增长。

此外，在某些情况下，蓄养的鱼已显示出可取代本地同种种群。这种情况应避免，它是为何在种群整体评估中作为管理策略区分孵化场和野生种群的能力的另一非常重要的原因。

发展养殖渔业的预防措施需要发展参照点（第11章）：目标参照点指示养殖场需要努力实现的情形，极限参照点指示须避免的情形，然后进行定期监控，查看参照点在多大程度上得以满足。参照点应与规定的目标、风险评估和成功措施相联系（见第11章）。

当孵化场为支持养殖渔业释放能繁殖、可存活的生物时，自立群体有可能获得发展，从而消除进一步蓄养的需要。这在濒危物种的恢复计划中更是如此，恢复计划将蓄养与栖息地改善和立法改进相结合。为确定在自立群体建立后是否仍需要进一步蓄养，需要实施监控并与利益相关人进行坦率的探讨。联合国粮农组织收集了数量信息以及释放到开放水体中的物种信息，开放水体包括自然水体、半自然水体（如水库），或其他实施管理的水体（如稻田）。为评估养殖渔业对国家和全球渔业生产的贡献，孵化场管理人员应向国家统计官员及时递交有关养殖渔业所有释放物种的综合信息，再由统计官员转呈联合国粮农组织。

9 野生鱼类遗传资源和水产养殖的保护¹⁰⁵

9.1 引言

在《守则》一致通过时，各国认识到保护是负责任应用的必要因素。本章探讨了在水产养殖中负责任地使用野生鱼类遗传资源（FiGR），重点强调资源的保护。野生鱼类遗传资源是所有可用于当前和未来水产养殖和相关研究的鱼类遗传资源的重要子集。虽然越来越难找到任何完全未改变的野生群体（见9.2节），但野生鱼类遗传资源是自然中独立生活的鱼类遗传资源，受人类活动的影响较小。因此，野生是一个相对的术语，指在变化的环境下尽量保持野生的状态。与水产养殖中所有鱼类遗传资源类似，野生鱼类遗传资源包括DNA、基因、配子、个体生物和群体（第1章）。虽然《守则》未明确提到野生鱼类遗传资源，但其隐含于《守则》所有提及生物多样性、养殖种群、活体水生资源、遗传多样性、野生种群、养殖种群和遗传改造种群的地方，从而要求实施管理（即保护和合理利用）以及栖息地看护。本章旨在为水产养殖政策制定者和决策者提供指导，使他们推动负责任水产养殖业的发展，保护有价值的野生鱼类遗传资源，并在需要时，为资源恢复作出贡献。

9.2 野生鱼类遗传资源

鱼的野性是一种独特的品质，已受到自然学家和保护学家，以及商业和休闲渔夫及鱼类消费者的广泛认可。但是，真正的水生野性正逐渐消亡，独立生活的鱼群的野性很轻易遭到破坏。捕捞渔业，栖息地损失以及水生环境的衰退降低了水生群体的遗传多样性和其他生物多样性。水生保护区域的自然性日益降低，这些区域的管理强度越高，它们受周围非保护区的影响就越高。

自然界中许多自立鱼群都源自有意识蓄养，包括水产养殖逃逸的鱼以及水族馆丢弃的鱼。此类群体包括外来种和本地种。那些由野生鱼或在遗传上与野生类型近似的鱼传下来的仍表现为野生鱼类遗传资源。那些由处于各驯化阶段的鱼（包括明确的品系、杂种和其他遗传改造形式）传下来的是野生鱼；与从农场和牧场逃出的动物传下来的野生动物类似。野生形式一般通过自然方式从驯化中选回，以适应野生环境。对于捕捞渔业以及水产养殖和相关研究，野生鱼是有价值的鱼类遗传资源。它们本身并非野生鱼类遗传资源，但为了管理目的应被纳入野生鱼类遗传资源中。

下列所有类型的鱼对野生鱼类遗传资源的多样性起作用：野生类型本地物种；由引入种和释放的野生鱼类传下来的独立生活的外来物种；独立生活的物种群体，当障碍清除时，其原先的自然范围将扩展，例如通过苏伊士运河到地中海的引入种。世界上许多野生鱼群与它们的养殖近亲在位置、外表、行为有

¹⁰⁵ 撰写人：Roger S.V. Pullin。

区别，最大的区别在于生物化学遗传特征。虽然一些养殖鱼群是野生类型，但它们被当作野生种子收集—例如，软体动物卵—大多数在遗传上与它们在野生群体中独立生活的近亲不同，许多等位基因频率有着重大差异。¹⁰⁶即使没有实施有意识选择或其他遗传改造，捕获鱼繁殖的连续数代产生的鱼和野生类型的差别日益增大（第3和4章）。

从最广泛的意义上来说，水产养殖的野生鱼类遗传资源不仅包括养殖鱼种的遗传资源，还包括在所有支持水产养殖生产的生态系统中的其他物种的遗传资源；例如，收获用于制作水产饲料的野生鱼群，以及养殖场中提供饲料、氧气和垃圾处理的浮游生物和微生物。因此，水产生产依赖的这些生物的遗传资源也必须以文档记录，并针对渔业和水产养殖所在的生态系统的健康度采用合适的措施进行保护。

9.3 水产养殖的重要性

大多数养殖鱼的驯化和遗传改良远远落后于种植植物和畜牧。已针对许多养殖鱼类（但非所有）制定了捕获繁殖和育种计划。因此，一些鱼类仍作为野生类型或近似于野生类型的未驯化群体养殖。海藻养殖还主要依赖于野生类型的传播。如果将鱼类的驯化定义为超过3代的持续控制繁殖，在103种（2004年产量超过1000公吨）中仅有30种养殖鱼种可称为已驯化的¹⁰⁷（第3章）。涉及野生收集鱼种或来自野生收集种群的孵化场种子的捕捞水产养殖业（CBA）¹⁰⁸、水产养殖渔业（CBF—第8章）以及为水产养殖提供饲料和饲料成分的捕捞渔业均捕获野生鱼类。随着新的捕获繁殖技术的出现，野生和未驯化鱼的养殖将减少，但野生鱼类遗传资源仍对水产养殖、鱼类育种计划和相关研究中的利用具有重要作用。这与培育植物的野生近亲（作为遗传多样性来源，供植物育种者选择）的持续价值相类似，尽管在植物染色体组方面获得了重大进展。这同样适用于养殖鱼类，即使鱼类染色体组的发展以及现代遗传技术日益应用于水产养殖中。水产养殖将面临不可避免的挑战，例如，新出现且不断增多的致命疾病、气候变化以及通过各种性能性状的改良降低生产成本并提升生产力的要求。有利于应对这些挑战的大多数鱼类遗传资源为野生鱼类遗传资源。它们是极其珍贵的公共产品，非常脆弱，在很多情况下甚至已消亡。因此，首先应认识到野生鱼类遗传资源对于未来水产养殖的持续性和盈利性至关重要，其次对它们的表征化和保护进行足够投资，以确保它们的持续可用性。

¹⁰⁶ Elliot, N. and Evans, B. 2007. 养殖场种群的遗传变化：是否存在关注的问题？世界水产养殖，36 (1): 6-8。

¹⁰⁷ Bilio, M.。水产养殖中的受控繁殖和驯化。当前的工艺。第二部分，欧洲水产养殖，32 (3): 5-23。

¹⁰⁸ Ottolenghi, F.; Silvestri, C.; Giordano, P.; Lovatelli, A.和New, M. 2004. 基于捕获的水产养殖。鳗鱼、石斑鱼、金枪鱼和黄狮鱼的育肥。联合国粮农组织，罗马，意大利。308p。

9.4 管理方案

9.4.1 分类和优先化

当野生鱼群之间基因交换（基因流）减少并且存在不同的环境选择压力时，野生鱼群可以在遗传上进行区分（第3章）。调查发现，它们是具有高基因流速的小群体；部分是隔离的子群，有时具有本地适应性；更多的本地隔离群体通常具有本地适应性；独特的封闭群体；通过洄游相联系的复合种群。对于任何在水产养殖中使用的物种，总目标应是尽量增加野生遗传多样性的持续可用性。

物种的遗传多样性通常表现为跨地域的变异，未被干扰的隔离群体通常最为独特。关键是收集足够的遗传数据，尽可能描述物种遗传多样性的特征，并以此确定对多样性起最大作用的野生群体。在保护文献中，这些群体被称为保护单元或重要进化单元。它们表现出物种内整体基因多样性的重要部分。此外，一些本地鱼群虽然在表面上与其他鱼群类似，但其实是独特的隐藏种，具有特殊珍贵的基因。¹⁰⁹

要针对保护目的确定野生鱼类遗传资源的野生多样性并就管理措施达成一致是很困难的，特别是在遗传数据有限的情况下更是如此。推荐采用极早预防措施，尽目前所知为具有明显独特性并对物种整体遗传多样性起较大作用的鱼类遗传资源的保护分配高优先级，但同时假设所有其他鱼类遗传资源具有潜在的重要性。应向专业的遗传学家寻求指导意见，以掌握大部分信息，填补信息差距。¹¹⁰

针对保护目的的高优先级野生鱼类遗传资源包括在独立水体和水道中、不同岛屿和岛屿周围、不同海湾和河口的群体。地域隔离通常指示野生鱼类遗传资源的特殊性和潜在价值。对于高度洄游的物种，该隔离标准特别适用于育种群体和早期生命阶段。具有潜在独特性和珍贵的野生鱼类遗传资源还表现为不同的洄游形式、产卵期以及其他行为。接近物种遗传多样性自然中心的群体通常有着与野生鱼类遗传资源同等的重要性，应实施高优先级保护，但对整个自然范围内物种的代表群体实施保护也很重要，特别是对于那些接近极限范围并生活在极端栖息地中的群体来说更是如此：例如，最南或最北的群体以及生活在热温泉和高盐度中的群体。应向保护遗传学家寻求针对保护目的确定野生鱼类遗传资源优先级的专家建议。在专家建议不易获得时，可以向国际组织寻求建议，国际组织包括联合国粮农组织、世界自然保护联盟（IUCN）¹¹¹、国际公约（例如，《生物多样性公约》¹¹²、《濒危野生动植物种国际贸易公约》¹¹³以

¹⁰⁹ Thorpe, J.P.; Solé-Cava, A.M.和Watts, P. 2000. 开发的海洋无脊椎动物：遗传学和渔业。生态科学420: 165-184。

¹¹⁰ Pullin, R.S.V. 2000. 水生生物多样性和遗传资源管理。渔业科学评论, 8 (4): 379-393。

¹¹¹ www.iucn.org

¹¹² www.biodiv.org

及野生动物迁徙物种保护公约¹¹⁴) 秘书处。

9.4.2 跨部门视角

第9.1.3条规定了在水产养殖业和其他部分之间进行资源共享：“各国应当按照要求制定和定期更新水产养殖业的发展战略和计划，以确保水产养殖业的发展具有生态方面的持续能力，并可以合理利用水产养殖和其它活动所共用的资源。”这要求有跨部门的视角。对野生鱼类遗传资源的保护是自然保护的一部分，是一个独立的部门。野生鱼类遗传资源的栖息地及其水体被人们用于农业、水产养殖、野生生物保护、林业、工业、矿业、自然保护、导航、发电、娱乐和旅游、人类住宅和工业供水、废弃物处理。由于野生鱼类遗传资源的保护和其他所有部门的需求存在冲突，因此必须与所有其他部门的需求开展竞争。

协调水产养殖和独立生活的野生鱼类遗传资源的保护特别困难。一些可用于水产养殖的水体中也含有国家甚至是国际上非常重要的野生鱼类遗传资源。养殖场主在养殖最多产且有最高盈利性的鱼种和品系之前应获得许可，与农业生产类似，应遵守生物安全性、生物多样性、其他环境保护措施以及法定权利和所有权。但是，从养殖场逃逸出来的鱼和病原体会对野生鱼类遗传资源以及其他野生生物多样性和栖息地产生负面影响。

随着水产养殖在流域、沿海地区和开放性海域的扩展，决策者和管理者必须加强考虑允许在什么位置养殖何种鱼，此处野生鱼类遗传资源的保护就是考虑的因素。为实现保护目的而加强限制条件和预防措施，有四个可选项：1.允许渔民养殖任何鱼；2.仅允许养殖本地鱼种；3.仅允许养殖本地最典型的物种品系一但注意，养殖的鱼品系在遗传上将本地野生品系产生区别；4.禁止所有水产养殖。在这些选项很难作出选择。水产养殖发展收益必须与野生鱼类遗传资源、其他生物多样性和栖息地的损失和变化取得平衡。此处推荐的方案是遵守《守则》的一般规定，仅允许发展负责任的水产养殖，这意味着要制定和完成自然保护目标，包括野生鱼类遗传资源的保护、其他部门利益的保护。采取跨部门的视角是实现发展和保护平衡的关键。即使某些部门（例如，水产养殖、自然保护和水资源管理）有限制，但此处的跨部门视角将为这些依赖于水生生态系统卫生和服务的部门和其他部门带来效益。

这些部门以及其他部门的利益相关人应会面探讨并基于相互同意的利益折衷、牺牲和分享达成平衡的一致意见。这通常很难实现，因为过去的经验表明，许多水产养殖机构和保护机构相互分离，水产养殖发展和监管进程与保护目标的制定的完成相互独立。尽管《守则》中暗示为提升水产养殖的责任性应建立跨部门机构，但跨部门机构未得到很好的发展。因此，应尽快推动跨部门机构的发展，并努力实现水产养殖、保护和其他部门之间的协调性。不仅在发展水

¹¹³ www.cites.org

¹¹⁴ www.cms.int

产养殖前或发展过程中，而且在对正在实施的水产养殖无限期监管及其跨部门关系中也必须保持跨部门视角。这在7.6.8条得到了确认，7.6.8条要求：“应当经常研究保护和管理措施的效率和它们可能的相互作用。”

9.4.3 水产养殖和保护联合

将水产养殖的发展和监管与野生鱼类遗传资源监管和保护措施相联合是推荐采用的合理途径，可确保野生鱼类遗传资源的可持续使用和长期保护。¹¹⁵两者的联合要求划分水产养殖区和保护区，保护区完全禁止进入，并与水产养殖和养殖场水体隔离，免受其他潜在破坏部门的影响。在精心选择的水产养殖区域，可养殖各种各样的鱼，前提是完全确保联合保护区（例如自然保护区和圣境）中对野生鱼类遗传资源的保护。这需要联合政策制定、整合行动、联合监控，尤其需要联合投资，两个部门相互依存发展。然后使用和保护成为联合管理目标，并获得持续的联合投资。

适合此处定义的严格联合标准的保护区并非总是可实现的。虽然许多自然保护区和水生保护区不受水产养殖、捕捞和其他部门的影响，有时允许合理使用活体水生资源（包括捕捞），但在鱼类遗传资源的保护中仍发挥了关键作用¹¹⁶。如果由于历史或当前生态和社会环境的原因，尽管施以最大的努力，但实践证明，在特定生态系统（例如流域或沿海区域）中不可能确定并建立一个或多个保护区，则可以在国内和国际上推行联合的概念。主要要求任何地区会损害野生鱼类遗传资源完整性的水产养殖发展应与某些地区野生鱼类遗传资源的当地保护相结合，并辅以异地保护。

9.4.4 当地保护

根据公约规定，当位于自然环境农场时，种植植物、养殖鱼和家畜的独特品种、品系和种类被称为当地遗传资源。其独立生活的自然野生近亲也被称为当地遗传资源。管理良好的水生保护区是野生鱼类遗传资源的当地基因库（第10章），尽管这一角色通常不被认可且管理通常缺乏遗传数据的收集和使用。当地野生鱼类遗传资源仅在自然或相对未被干扰的栖息地发现。在任何保护区中，对任何野生生物群体的当地保护主要有两大要求：i) 在遗传上保持有效的群体规模；即有效种鱼数量 (N_e)，以避免使隔离的小群体一直处于风险的近交衰退和遗传变异损失（也可见第3章）；¹¹⁷和ii) 同等关注它们的栖息地管理，

¹¹⁵ Pullin, R.S.V. *in press*. 水产养殖和鱼类遗传资源保护：联合目标和机遇，p. 00-00。非洲鱼类遗传资源管理和种子散布试行计划：根据Volta流域和周围地区的水产养殖改良调整选择育种计划原则。Workshop Proceedings, 2007年3月27-30日，CIFA专刊，第29号。联合国粮农组织，阿克拉，加纳。

¹¹⁶ 拉姆萨尔湿地公约 (www.ramsar.org)，成员方将重要鱼群的存在视为拉姆萨尔场地的指定标准。

¹¹⁷ Frankham, R. 1995. 保护遗传学。遗传学年评, 29: 305-327。

以避免衰退或损失。在面临气候变化、大坝建造、旱灾、水灾、外来物种和疾病的引入、过度捕捞污染、淤积和排水等挑战时，必须确保蕴藏野生鱼类遗传资源的水体和生物群落的持续存在和完整性。在这点上，野生鱼类遗传资源的当地保护面临着与所有自然保护同样的限制条件，但对野生鱼，特别是对淡水和高度洄游鱼的威胁要大于对人类食用的所有其他脊椎动物群的威胁。

不得放弃对濒危和重要的野生鱼类遗传资源的当地保护，因为针对保护目的留存的群体具有较低的 N_e 。当地保护的野生鱼类遗传资源小型群体对特定物种的整体保护工作起作用，当这些物种较稀少或是遗传独特的本地群体的仅存样例时（例如近河区或湖泊种族），保护显得特别重要。对野生鱼类遗传资源的当地保护具有运营和机会成本，公众和私有受益人必须了解这些成本并共同承担。

有关所有当地野生遗传资源（包括鱼类遗传资源）的关键问题之一是如何确保从自然中负责地收集，特别是要避免过度收集和未经许可的收集，并确保之后的交换和公平使用。1993年，联合国粮农组织成员国对《植物遗传资源采集与移植的国际行为准则》¹¹⁸进行了商议，该准则的目标全部适用于野生鱼类遗传资源。《生物多样性公约》¹¹⁹—特别是有关当地保护的8条和有关利益公平分享的8j；有关遗传资源获取的15；有关信息交换的17；以及有关技术和科学合作的18—以及许多其他国际和国家文件就所有生物多样性的管理作出了规定，隐含包括当地野生鱼类遗传资源的管理，但迄今为止，更多地适用于其他野生遗传资源，特别是种植植物的野生近亲。

9.4.5 异地保护

将鱼类遗传资源作为活体鱼进行保护称为异地保护。由于鱼群规模各异，对野生鱼类遗传资源的所有当地保护都是异地保护。对野生鱼类遗传资源的异地保护可以在研究实验室和水族馆内的个体或群体体内进行，也可用冷冻精子在体外进行，更少的情况是用胚胎和含有DNA的组织进行。以冷冻精子的形式进行野生鱼类遗传资源的异地/体外保护是至今最重要的可用技术（第10章）。由于缺少对所有养殖长须鲸和大多数养殖水生无脊椎动物的卵和胚胎进行冷冻的类似技术，因此冷冻精子只能用于使活体雌性的卵子受精。但是冷冻精子仍是保护野生鱼类遗传资源（特别是对于濒危野生鱼类遗传资源）以及为育种计划和相关研究提供野生鱼类遗传资源的非常重要的途径。

在研究机构和水族馆对野生鱼类遗传资源的异地/异地保护面临相同的限制条件，因为动物园和其他机构中所有针对保护目的捕获育种：大多数情况是，捕获育种群体在遗传上与其野生近亲有差异，可用的设施通常抑制有效的群体规模（ N_e ）并且资金安全性通常有限。公共—私人合作关系有助于为野生鱼类

¹¹⁸ FAO. 1994. 植物种质收集和移植国际行为守则。联合国粮农组织：罗马，意大利。20p。

¹¹⁹ www.biodiv.org

遗传资源的异地保护、成本和利益分享调动更多的资源，但公共投资通常必须起领导作用。公共资金支持下的许多组织（特别是大学）以及私人水产养殖部门为研究目的一直以本地/异地方式收集野生鱼类遗传资源。公共和私人水族馆也是异地鱼类基因库，一些鱼可作为水产养殖的鱼类遗传资源。应对野生鱼类遗传资源的本地/异地收集进行管理，尽量使它们在遗传上与野生类型接近，将遗传变异损失降至最低（第3、4和10章）。

对野生鱼类遗传资源的异地保护应首先作为当地保护的补充，重点在于后者。但是，如果重要鱼类遗传资源的未被干扰且可获得的独立生活群体不存在或很少，异地保护成为主要或唯一的方案，可确保长期保护和可用性。正如上面对当地保护的建议，所有针对濒危和重要的野生鱼类遗传资源的工作均非常有价值，并对特定物种遗传多样性的整体保护发挥作用。就动物园稀有动物保护和稀有品种托管而言，即使在冷冻遗传材料只是一部分个体或群体的代表以及体内群体具有较低的 N_e 值时也适用。

无论在何地水产养殖实施了野生鱼类遗传资源发展和保护，应针对当前和可预见的所有必要的当地和异地野生鱼类遗传资源保护作出共同的规定。此处再次推荐联合方案，可对当地和异地鱼类遗传资源保护方法进行合适的机构发展和能力建设。

9.5 信息

为实现对野生鱼类遗传资源的有效管理，精确及时的信息至关重要。为有效划分水产养殖和当地野生鱼类遗传资源保护区，野生鱼类遗传资源以及遗传特征必须完全录入文档。只有通过此类信息，才能确定它们的优先级。随后，仍然需要收集信息，以监测当地群体的状态，在合适的时候，监测异地保护的辅助工作。该信息应以遗传数据库、科学期刊和在线开放访问源等各种格式共享和发布。鱼库（FishBase）¹²⁰是一个很好的信息系统示例，可用于记录和发布此类信息，其自身内容与野生鱼类遗传资源相关，链接与其他相关数据库相连。联合国粮农组织物种鉴定计划¹²¹与水产养殖情况说明书¹²²包含以形态学为基础的分类学描述，并仅有有限的遗传数据。但是，随着信息范围和需求的发展，野生和其他鱼类遗传资源的信息系统可能出现变化。可向联合国粮农组织粮食及农业遗传资源委员会寻求有关鱼类遗传资源信息源新发展的指导。此外，随着保护遗传学日益应用于各分类单位，从国家、地区和国际自然保护组织获得野生鱼类遗传资源的信息越来越容易。

野生鱼类遗传资源的国家和本地物种清单，即计算机化的列表和数据库，建立时应包含各项内容，涵盖所有独立生活的鱼群（野生、未驯服和其他的）

¹²⁰ www.fishbase.org

¹²¹ <http://www.fao.org/fi/website/FIRetrieveAction.do?dom=org&xml=sidp.xml>

¹²² <http://www.fao.org/fi/website/FISearch.do?dom=culturespecies>

及其可获得的个体、配子、DNA和基因。该方案认为野性是一个相关属性。物种清单应针对每个群体和其他形式的野生鱼类遗传资源包括：精确、权威的物种（如果合适时，可以是种内）鉴定和科学命名，对本地和本土知识和命名来源的引用，独特的性质，遗传特征数据，保护状态，水产养殖的应用历史以及主要威胁。

在特定场地对当地野生鱼类遗传资源的管理要求更广泛的信息源和规划文档，因为它包括对鱼类遗传资源本身的管理以及栖息地管理。因此，信息必须从所有可能会对后者产生不利影响的部门获得，包括周围流域或沿海区域所有可能的变化，特别是水质和水量方面任何可预见的变化，一些方法可适用于此，例如地理信息系统很早即已建立，但它们应用于鱼类遗传资源的保护还是处于初始阶段。针对鱼类遗传资源保护管理自然栖息地也处于初始阶段，公布的经验和指导信息有限。为尽量提升行动的有效性，在整合和发布最新信息时，医疗实践面临相同的情况，建议保护时可借鉴一些信息处理方法。¹²³

与鱼类生物学信息源相比，有关不同类型的鱼类栖息地的信息源一般欠发达，鱼类栖息地和野生鱼类遗传资源的每一个体情况都有一些特征。保护时特别需要了解鱼类栖息地生物学¹²⁴，水生生态学家提供了越来越多有关当地野生鱼类遗传资源管理的建议。一个很好的例子就是作为生态系统管理信息的场地列表，在这些场地中Ecopath分析得以完成。¹²⁵应向专业水生生态学家和地理学家寻求有关野生鱼类遗传资源保护中栖息地管理的专家建议。当此类建议不易获得时，首先可向世界自然保护联盟寻求指导。

9.6 针对濒危鱼类的保护水产养殖业

此处使用的濒危一词是广义术语，包括濒危物种国际贸易公约¹²⁶列出的物种，世界自然保护联盟红色名录所有濒危分类物种（定义了三大类—脆弱、濒危和极其濒危），¹²⁷以及国家法律中列为濒危的所有物种和其他分类单元。国际名录很重要；但是应在国家或地方濒危物种级别上（该物种在当地很重要且是濒危物种）制定。水产养殖决策者可向国家渔业或环境官员索取该名录。针对所有濒危物种的主要保护策略是保护和重建它们衰退的自然栖息地，并保护它们的群体免受不利影响。

捕获育种还可用于增加留存的野生种群，当本地物种已灭绝时，可实施再引入。¹²⁸当应用于濒危鱼类时，可称为保护水产养殖，但其介入应纳入到整体

¹²³ Fazey, J., Salisbury, J.G., LindenMayer, D.B., Maindonald, J. 和 R. Douglas, 2004. 医药方法能否用于保护研究的总结和传播？环境保护, 31 (3): 190-198。

¹²⁴ Rice, J.C. 2005. 了解鱼类栖息地以实施保护。鱼类生物杂志。67（附录B）：1-22。

¹²⁵ www.ecopath.org.

¹²⁶ www.cites.org

¹²⁷ IUCN. 1994. IUCN 红色名录分类。IUCN, Gland,瑞士。21p。

¹²⁸ IUCN. 1998. IUCN重引入准则。UCN, Gland, 瑞士, 剑桥, 英国。10p.

资源管理策略中（涉及保护区、渔业管理以及有效获得自然资源）。捕获育种和孵化场种子生产已用于协助对各种濒危鱼类的保护和利用，这些濒危鱼类包括湄公巨鲶、马西亚鱼、巨蚌、装饰物种（骨舌鱼）、匙吻鲟和鲟鱼、以及鲑鱼和鳟鱼的一些物种、亚种和品种。

许多公共水族馆收集了一些濒危鱼类，动物园为保护濒危动物，特别是鸟类和哺乳动物，作了大量捕获育种工作，但针对鱼类的类似工作却未能跟上。公布的准则针对捕获育种提供指导，协助对濒危鱼种进行保护。¹²⁹对于野生鱼类的所有异地育种，为协助濒危鱼类保护实施的捕获育种的主要原则是保持捕获种群及其后代在遗传上尽量接近逐渐增加或重建的野生类型群体（第3章）。但是，对于接近消亡的濒危鱼类，形势非常严峻，因此即使捕获育种包含这些遗传目标并依赖于非常低的 N_e ，也胜过不采取措施。

9.7 小结

野生鱼类遗传资源（FiGR）提供了可用于养殖鱼类未来驯化和遗传改良的大部分遗传多样性。

许多野生鱼类遗传资源受到遗传变化或消亡的威胁。这些养殖和潜在可养殖的水生物种的野生近亲必须进行估价并加以保护，以确保它们在未来水产养殖中的可用性。

鉴于人们已充分认识到野生鱼类遗传资源的价值以及对保护成本和利益的分享，水产养殖仍有时间和机会避免畜牧和农作物部门曾经经历的野生遗传资源损失。

野生鱼类遗传资源的当地保护应视为自然保护部门的一部分，应通过跨部门行动和协作完成。

野生鱼类遗传资源的异地保护是对水产养殖当地工作的补充，是非常重要的可选项，捕获育种可协助实施对某些濒危鱼类的保护。

对于野生鱼类遗传资源各方面的管理来说，精确及时的信息至关重要。

在实施野生鱼类遗传资源的保护时，应对资金分配以及与其他部门的自然资源共享加以足够重视。

¹²⁹ Huntley, R.V.; Langton, R.W. 1994. 捕获育种准则。Aquatic Conservation Network, Inc., 渥太华，安大略，加拿大。62p。

10 库存水生遗传资源¹³⁰

10.1 引言

基因库是管理状态下的遗传资源集合。当对养殖和收获动植物很重要的遗传资源受到威胁时，基因库是必要的。现代遗传技术支持对任何含有DNA的动植物组织进行保存，大多数基因库是整个生物、生殖细胞或早期生命阶段的集合。该基因集合是否是基因库的判断标准是基因是否可以取出。用于水生基因库的技术也适用于工业（种群收集、新遗传材料勘探），因为它们都用于传统保护。

10.2 当地和异地基因库

基因库分当地和异地，主要依据是其物理位置。异地基因库可以是DNA、基因、单细胞或整个生物的集合，远离生物的自然或养殖栖息地；它们是基因库最常见的类型，也是公众最熟知的一种类型。当地基因库是在其自然或养殖栖息地受保护的生物群体；它们没有异地基因库普遍，但对于机构和公众最有用（见第12章）。《生物多样性公约》（CBD）认为异地基因库是当地基因库的“补充”，两者在《《负责任渔业行为守则》》中的第7.2.2和9.3.1条（当地和异地基因库）和9.3.5条（异地基因库）有明确规定。它们对于水生遗传资源同样重要。

水生生物基因库比人们熟知的种子库和家畜受精中心更晚出现。最大的区别在于，水生生物与种养植物和驯化动物不同，水生生物仍从野外生态系统或从养殖种群中捕获，因此它们在基因库中的保存应涉及自然栖息地（水产养殖系统未受威胁）的保存。对于野生动植物来说，栖息地损失意味着野生物种的当地基因库不复存在，但对于长须鲸、贝类和水生植物来说，则依然可用。因此，水生基因库管理人员必须明确养殖水生物种遗传资源保护的选择范围，在此范围内，当地基因库不仅包括特定种的“农场上”活体集合，也包括其野生近亲栖息地的一部分（第9章）。在本章中，仅考虑第一个当地选择项，即农场上保护。

10.3 历史

水生生物的首个基因库是由野生长须鲸群研究人员收集的冷冻精子的小型集合。但它们大多数的工作都是为了保护水产养殖育种计划的成果。随后的许多收集保存时间都较短，原因是投资规划不善、技术落后且缺乏政府投资。在各州或私有孵化场也出现了许多捕获种群集合形式的“活体基因库”（大部分是长须鲸）。

¹³⁰ 撰写人Brian Harvey。

目前，国家、州和本地政府、私有公司、研究院和非政府组织管理着的水生动物种质和整个生物的异地集合。一些是水生种质保存中国国家预定工作的一部分。当这些异地基因库遍布各地时，它们所用的术语和技术需要进行标准化，并设立交流通道。各集团之间的合作极大地推动了计划的发展，因此应寻求开展合作。

10.4 冷冻配子和胚胎准则

基因库通常需要长期对基础设施进行维护。虽然基因库的设置较容易，但维护数十年却较难，这是它们的自然时限。它们可成功进行小规模应用（例如，在单个农场上），但不能用于家畜模型，家畜模型需要用到中心（中心提供资金）仓库，记录中心可能是一项最好的长期投资。该多用户模型是以下讨论中计划的模型。

淡水长须鲸许多物种的精子已成功进行冷冻（永久冷冻于液氮中）。有关鱼精子的棘手的技术问题较少，但由于该课题缺乏优质的科学文献，因此很难取得进展，具体表现为许多实验工作是在不了解低温生物学理论的情况下实施的。研究人员和建立的基因库应回顾最新文献¹³¹，更深入了解技术指导并广泛传播经验，包括在同行评审的文献中传播经验。

鱼精子一般经过冷冻并保存在塑料管中。现在通过便携式低成本的设备可当地进行实际冷冻。长须鲸卵的冷冻还不能实现。但某些贝类的精子和卵已成功冷冻，双壳类（牡蛎、蛤、贝扇和贻贝）非常适合冷冻保存；一些国家研究计划正致力于建立双壳类基因库。基因库目前应将目标对准鱼精子或双壳类卵和幼仔。

冷冻精子、卵和幼仔应保存于液氮中。在承包场地和人力的家畜育种中心应实现安全的保存。在另一场地的复制特别安全，但实际上只适用于小型收集。如果实施保护的物种之前未进行冷冻保存，此类异地基因库的主要成本是技术的发展或实现；来源包括研究机构和政府研究人员，尽管某些私有养殖场也为改善现有技术进行了投资。

10.5 活体基因库（种群集合）准则

活体鱼“纯”种群的隔离集合长期以来一直是大型孵化场计划的一部分，生产的鱼用于向其他养殖场出售，也用于保护目的并释放到野外。此类以及任何其他活体基因库的主要要求是确保保护种群的安全性并保持其遗传多样性。但是它们必须进行繁殖，这增加了选择压力并不可避免地将它们与其初始

¹³¹ 最新示例是Tiersch, T., and Mazik, P. (编著). 2000. 水生物种中的冷冻保存. 世界水产养殖协会, Baton Rouge. 439 pp.

野生状态分离（见第3和9章）。濒危鱼群的捕获育种已成为基因库环境中的常见部分。研究实验室和公共水族馆中还维护了种群集合。

10.6 数据管理

为开发植物和家畜基因库入库软件进行了大量工作，目前关于基因库存的国际协议也极大地促进标准化工作的开展，大多数鱼类基因库仍依赖基于目前流行的电子表格软件的粗放型机构记录进行系统维护。当要求提供良好的取出、交换和替代记录时，大多数国产系统均不能提供；它们也不能记录植物和家畜基因库日常需要维护的大量数据。对鱼类基因库的要求是不依赖于位置和库类型，必须记录的数据通常包括原产地（收集物种、收集地、收集人、依据的法律安排）；鉴定（物种、群体遗传性（如果可能））以及随后的使用（样本移除和再存放、操作人、目的）。¹³²

10.7 政策意义

如果使用合适的容器，冷冻遗传资源比活体更易于运输。运输时必须了解国家和国际有关引入、移植和疾病控制的法律。

很少有政府（即使是作为《生物多样性公约》的一方的政府）出台了水生基因库存的政策。但《生物多样性公约》秉持的原则需要此类政策—即对遗传资源的访问以及分享由此产生的效益。这些原则会对基因库存相关集团产生影响，它们包括：社区、水产养殖行业、本地集团、非政府组织以及渔业和环境部。对遗传资源（特别是那些从自然栖息地移除并保存供以后使用的资源）的访问会很快遇到政治或法律障碍。因此各集团在启动基因库存计划前必须了解其他相关集团的政策，并就这些资源的访问、存储和使用预先达成协议。对于水生遗传资源协议，到目前为止无标准格式或一般原则。

资源管理和发展机构，特别是国际机构，应努力实现术语、政策、技术和记录保存的标准化；为适应遗传资源表征化领域的发展，需要制定更多的政策。

10.8 建立水生基因库

任何想要建立异地水生基因库的集团应遵守以下步骤：

- 为计划寻找长期的机构地址（例如，渔业或农业机构）并为安全保存寻找长期的物理地址（例如，州或私有家畜受精中心）；

¹³² SpermSaver—基因库管理软件，2005。World Fisheries Trust, Victoria BC，加拿大。这是鱼类基因库存软件的测试版，涵盖World Fisheries Trust（www.worldfish.org）所有可用领域。

- 确保短期资金（例如，拨款机构）用于研究，以及长期资金（主要是政府）用于安全保存；
- 为上述资金支持学术或机构内研究取得技术；
- 定期为当地员工提供技术、数据管理、许可和法律培训；
- 调查环境和渔业的所有相关法律法规，并将其整合到基因库管理计划中，这些法律法规包括疾病控制、活体动物及其配子以及濒危动物的移植；
- 针对材料的采购和释放制定政策，特别是有关遗传资源访问和利用效益分享的政策；
- 向供应商提供有关入库数据的链接（例如，现代DNA分析允许对遗传结构进行精确表征；标准水生基因库存系统将整个此类分析的成果）；
- 发表目标宣言，聘请专业交流人员向所有合作方推广目标、使用期限和基因库政策。

11 预防措施¹³³

为确保以负责任的方式发展水产养殖，国际社会（通过《生物多样性公约》（CBD）和联合国粮农组织《负责任渔业行为守则》），以及许多国家政府、非政府组织和其他机构都呼吁采用预防措施。

所有发展都会产生影响。社会希望从养殖业新技术发展和遗传改良物种中获益，但同时又希望政府保护其免受发展的不利影响。在发展进步和发展的不利影响之间获得平衡是水产养殖中遗传改造物种使用预防措施(第2章)的关键。

至于遗传改造物种对环境和水生生物多样性的不利影响的可能性和程度，目前仍存在很多不确定性和争议。目前对许多物种、水生生态系统以及它们的构建力的了解通常不足，因而不能准确预测生物群落或生态系统对引入遗传改造物种有何反应。

11.1 措施

联合国粮农组织和《生物多样性公约》提倡的预防措施规定，当存在严重或不可逆的损害威胁时，不应当把缺乏足够的科学依据作为推迟采取防止环境退化的低成本高效措施的理由。针对捕获渔业和引入物种¹³⁴制定的预防措施的要素如下：

- 应确立参照点，以帮助确定需要的情形和不需要的影响，例如，目标参照点和限制参照点。例如，最高持续产量可视为目标参照点，野外不会出现高于特定养殖鱼数量是限制参照点。一些潜在的参照点如表11.1所示。资源管理人员应为表11.1所列的参照点确定数值。
- 应确定不需要的产出，以及正确措施和预防措施，包括禁止或强制停止可导致不可接受的风险或已经产生不可接受的不利影响的活动。当接近参照点或不利影响出现时，应及时实施预先同意的行动或应急计划。因此，对水产养殖设施、本地物种和环境进行监测很有必要，以了解何时达到参照点。如果与本地物种繁殖时出现问题或改变设施的封闭性或位置，此类行动可包括转变为不能生育的鱼。相反地，如果实施了良好的养殖实践，未监测到不利影响，应根据相同的措施计划加大开发。
- 当对环境的影响不确定时，应优先维护资源生产能力。在捕获渔业中，

¹³³ 撰写人Devin M. Bartley。

¹³⁴ FAO. 1996. 捕获渔业和物种引入的预防措施。联合国粮农组织负责任渔业技术准则，第2号。联合国粮农组织，罗马。

这表示在收获种群时存在不确定性的情况下应优先实施种群保护。这可扩展至水产养殖中,当遗传改造物种的不利影响不确定时,应维护本地种群的生产力。这可能需要将养殖场与珍贵的本地资源分离(第9章)。

- 在二、三十年内,发展的影响应是可逆的。这些要素使得在很多情况下可以非预防的形式使用可繁殖的遗传改造物种,但仍须遵守预防措施。在很多情况下,引入水产养殖的物种已经驯化并建立了自立群体;消除此类群体(即影响的可逆性)很困难或不可能,特别在海洋地区、大型内陆水体和湿地以及广阔的河流系统中更是如此。
- 应根据上述要求举证,证据标准应与风险和效益相称(即,有关效益的风险越高时,所需的证据标准越高)。经常采取预防措施表明,那些提出资源利用或发展的机构应负责举证(即水产养殖设施必须证明遗传改造物种无不利影响)。这是“推定有罪”的方案。该方案的实际应用非常复杂。允许或禁止水产养殖活动的所有案例应最大程度上以良好的科学信息和选择为基础。

表11.1 水产养殖中遗传资源管理预防措施应用可能的参照点。T和L分别是目标参照点和限制参照点。

建立参照点的目的	参照点测量值
遗传	
确立可接受的近亲繁殖水平(L)	—近亲繁殖系数(F)(第3章)
确立养殖种群和野生种群之间可接受的基因流/基因渗入水平(L)	—野生鱼和养殖鱼交换基因数量 —野生种群中基因频率变化
确立用作种群的鱼的可接受数量(T)	—种群的有效群体规模(N_e)(第3章)
确保不能生育的水产养殖产品	—孵化场产品中三倍体鱼的数量
保护养殖中的稀有基因(T)	—有效群体规模(N_e)(第3章) —孵化场种群的基因频率
本地种群丰度	
评估逃逸鱼的影响	—水产养殖逃逸鱼数量 —本地鱼下降的百分比
确立濒危等级(L)	—特定时期内(例如,10年或3代)种群规模的降低
确立可接受的渔业影响(T和L)	—捕捞死亡率; —最高持续产量。

确立消亡风险 (L)	<ul style="list-style-type: none"> —有效群体规模 —特定时期内 (例如, 5年) 的消亡概率 —群体规模的缩小 (例如, 一段时期内大量缩减)
病原体	
防止疾病扩散 (L)	—养殖和野生群体的特定病原体水平 (通常为病原体目标参照点和限制参照点设置为0)

11.2 结论

预防措施承认不确定性, 建立处理潜在问题的机制。此类机制包括政策、管理计划、风险管理、监控系统以及基于经验的管理或发展变化。因此, 该措施与适应性管理很相似。优良的预防建议要求实施环境影响评估或遵守实践守则, 例如欧盟¹³⁵、国际海洋勘探理事会以及欧洲内陆渔业咨询委员会 (ICES/EIFAC) 制定的守则 (第5章), 以协助确定是否应利用遗传改造物种。

预防措施是面临不确定性时、取得进展之前以及处于发展阶段采取的行动。措施不呼吁减少研究或降低努力以降低不确定性。必须根据可用的最佳科学信息采取行动, 改善可用的科学信息。

预防措施的应用应权衡效益和风险 (第7章)。因此, 在需要更多蛋白质或经济机遇的领域, 水产养殖和遗传改造物种的使用可提供其他类农业或发展不能提供的效益。因此, 当预计对需要区域有重大效益时, 可以确定风险等级也较高。但是, 应考虑未来世代的要求, 特别是如果短期内的干涉会对它们维持可用性选择范围以及野生遗传资源和水生生态系统的利用造成风险。

水产养殖中使用遗传改造物种的预防措施要求投入大量精力实施管理、监控和研究。参照点为临界值, 目前与可接受的遗传多样性水平或可导致不利影响的养殖逃逸动物数量不很一致。各国应努力采取措施, 为国家决策者和联合国粮农组织提供信息, 以降低不确定性, 并向更多人发布信息, 让更多人进行经验学习。

¹³⁵ 欧盟指令90/220, 将遗传改造生物释放到环境中。

12 公共关系和消费者意识¹³⁶

12.1 引言

消费者对水产养殖中遗传改造生物在接受程度是育种计划成功的关键。消费者不仅可以决定是否购买农产品，而且消费者可对决策者施加压力，影响针对遗传改造生物引进和采用的立法。

《负责任渔业行为守则》最初没有考虑到公众意识，除了大体上涉及到的。总则中第6.16条建议，*各国.....应当通过教育和培训增进对负责任捕捞（包括水产养殖）的认识*。公众对遗传改造产品的接受度在水产养殖业、生活中的作用、以及对环境的潜在影响仍然越来越重要。《生物多样性公约》和《21世纪议程》同时提到公众意识，这对可持续发展很关键，有效地促进公众参与决策制定。¹³⁷

本章提醒决策者重视一些有关公共关系的事件。问题是由于*缺少信息或不同的意见导致的*。如果遗传技术使用者和管理者建立一条与利益相关人以及彼此间通信的渠道，这两种类型的问题可以避免。本章的目的是使决策者以及遗传技术应用意识到可影响遗传资源管理计划是否成功的一些非技术问题，提出通用沟通或公共关系策略的要素，以帮助传播准确的信息。

12.2 沟通策略

需要制定沟通策略帮助促进遗传技术的负责任的使用，因为世界大多数消费者和大众不明白他们的食物是如何生产的。混淆的术语、不一致的术语、夸大的成功或灾难、复杂的主题、蓄意隐藏信息或影响公众舆论，增强消费者对遗传技术的混淆甚至不信任。这些情况非常令人遗憾，因为负责任地使用合适的遗传技术会极大地有益于消费者和环境。

沟通策略应有特定的对象，和特定的目标受众。沟通的成功方法是针对主题范围“构造框架”¹³⁸。为了达到目标并获得受众（例如消费者或决策者）的支持，框架主要集中于事物的某个特定部分（框架范围内），同时忽略其他部分（框架范围外）。例如，在推广遗传改良鱼种的策略中，框架应该包括养殖

¹³⁶ 撰写人：Devin M. Bartley

¹³⁷ Raymond, R.D. 1999. 农业研究和公共意识艺术。在Pullin, R.S.V., D.M. Bartley and J. Kooiman (编著)，努力实现水生遗传资源保护和可持续利用政策，第217-224页。

¹³⁸ 附录 2：《沉没或游动》（注：喻破斧沉舟，孤注一掷）：通过战略沟通方式调动关键受众。Suzanne Hawkes and Liz Scanlon IMPACS 2006年9月。
(worldfish.org/images-pdfs/Projects/sinkorswim.pdf)

或购买鱼的节约成本，这样可以更有效地生产鱼，并非主要关注如何生产鱼类的技术细节。

通过改变当前重点，沟通策略可能必须进行“框架再构造”。例如一些团队已经“构造”了水产养殖的“框架”，认为其在水产养殖饲料时占用了太多土地和自然鱼类。通过缩减与生产遗传改良鱼有关的土地和给料要求，可以更积极地完成讨论的“再构造”（表12.1）。

以上内容并非建议遗传资源管理隐瞒、抑制、扭曲真实信息。应通过传播关于遗传资源管理的积极准确的信息，提前进行准备。

有助于创建“框架”的其他要素如下。

12.2.1 了解受众

了解受众是公共意识最基本的原则。“公众”由具有不同利益的不同群体组成。这些不同的利益将使他们具有不同的信息需求。当前社会学研究证明人们经常并非基于科学和逻辑，而是强烈地依靠预想或基于非常简单的原则作出决策。消费者希望所购买的东西能感觉良好，或者所购物能对消费者的健康有好处，对环境有益或有良好的经济价值，水产养殖者想要获取有利市场，决策者想要做出对他们大多数成员最佳的决策。

表 12.1 “构造”水产养殖中的遗传管理有助于增强积极的一面，提高遗传改良项目的接受度。

与遗传技术相关的当前“框架”	新框架的建议重点
遗传技术成本高	通过生产成长快、消耗少的生物，遗传技术具有较高的成本效率。利用遗传技术生产特定颜色或形状的鱼，消费者愿意为此支付额外费用。
遗传技术很复杂	遗传技术一般以传统的动物育种实践为基础。鱼类生殖生物学使应用遗传技术变得容易。
遗传技术对本土生物多样性和环境不利	水产遗传技术可以降低对环境的不利影响。利用这些遗传技术生产的生物与野生生物的交互能力较差；而更有效地生长会降低进入环境的废弃物；拥有更强的疾病抵抗能力，减少疾病传播的机会，减少医药品的使用。水产养殖的遗传资源管理者应证明十分重视野生遗传多样化—它是所有遗传改良项目的原材料。
遗传技术对大公司有利	降低生产成本的好处将会传递给消费者。
遗传技术生产的产品	利用遗传技术生产健康鱼种，该鱼种具有其野生近亲

令消费者感到害怕，例如不健康、不好的味道、奇怪的	中没有的成分。
遗传技术对养殖生物有害	通过养殖遗传改良鱼提升驯化和生产效率会降低鱼在养殖环境中的压力，它们可以更好地进食，具有较少的攻击性，且不容易疾病感染。

可有效生长并且对环境影响少的高品质遗传改良鱼的价格降低将会给消费者造成更大的影响。消费者和企业对这些性状的要求日益增强会影响决策者。“有机”农业产品的增长以及经济捕捞渔业的发展表明消费者希望购买对环境影响较小且经济的产品。

由于消费者有一种强烈的感觉，这种感觉很难改变，当前法律也很难改变，因此应进行调查以确保生产中使用的任何遗传技术可以被消费者接受，并且该遗传技术不会有相关法律限制或贸易限制。例如，在某些区域，不同物种间的杂交被禁止，或者需要经过特别的许可。虽然目前没有适合消费者的水产遗传改造生物（GMO's）（即基因改造），一些遗传改造生物在未来可能会被研究并批准。因此，应在使用这项技术前，检查消费者和贸易合作伙伴对这项技术的接受度。

12.2.2 确定合作伙伴，有助促进遗传管理计划

遗传技术的提议者需要与众多利益相关人合作，以保证为该项技术提供一次机会，保证消费者和决策者能负责任地利用该项技术，并接受该项技术（也请参考第9章的多部门方案）。由于某些投入的过度使用以及大量污染物排放导致的不利环境影响，水产养殖目前正在受到批评。遗传计划通过更有效的生产降低这些不利影响，遗传项目应可以在水产养殖和环保部门间获得更广泛的接受。

合作关系会提升对生产产品的信心，提高基因改良计划传播的信息的可信度。由国际发展保护团体和捐赠机构组成的“小虾联盟¹³⁹（Shrimp Consortium）”将成为这些合作关系如何促进遗传改良计划的优秀范例。

由于捕捞渔业产量有限，在“填充和弥补缺陷”时，水产养殖起着很重要的作用，水产养殖是解决该问题的唯一方法，遗传改良计划有助于解决该问题。由于竞争和资源使用，水产养殖和捕捞渔业的矛盾已经扩大，并且可能对这两个部门造成威胁。应努力保存并保护野生鱼类资源（第9章），促进合作并避免产生矛盾。

¹³⁹ <http://www.worldwildlife.org/ci/dialogues/shrimp.cfm>

无论是否采用了遗传技术，应识别某些区域不适合水产养殖。最好不要花费时间在可能疏远合作伙伴并导致水产养殖运作失败的竞争上。水产部门应明确支持第9章的联合策略并指定那些区域应限制或不得进行水产养殖，以使其他更适合发展水产养殖的区域能利用现有最好的物种和品系充分发展水产养殖。

12.2.3 向其他部门学习

在利用遗传技术方面，陆地农业部门比水产部门先进很多，可以从陆地农业部门学到很多好的经验。这些经验如下：

首先，应强调遗传改良鱼的益处将会传递给消费者。在植物生物技术部门中，消费者正抵抗采用遗传改良生物，而医药行业日常采用的现代遗传工程遭受的公众抵制较小。出现这种情况的原因是公众认识到植物遗传工程的益处仅有利于该行业，而医药公司利用遗传生物技术则有益于病人。

二是伦理问题。消费者关心的是遗传改造的家畜的福利，以及养殖动物的生长条件。类似的关注限制了农业遗传改造鱼的范围。应避免可能导致畸形的遗传改造，由于驯化越来越多，应着重强调遗传改良鱼如何在养殖过程中获得更好的福利。农业部门已经出现了致使农民丧失大量粮食的食物安全问题和知识产权保护问题。农村地区的农作物种子都是经过基因消毒，所以农民不能重复种植。提倡基因改良计划，应了解基因改良如何影响农村地区的粮食安全。

最后，标签是所有行业都在处理的一项有争议的问题。联合国粮食及农业组织已制定出生态标签渔业的准则，水产养殖产品的指导原则正在制定中；海洋管理委员会和森林管理委员会已制定了私人行业准则。这些现有的准则仍不满足基因标准的要求。一些政府间论坛已委托对采用现代生物科技（例如GMO）的某些陆地产品进行标签，某些生物标签方案不允许采用特定的遗传技术。由于该领域具有敏感和复杂的性质，讨论在这些准则中如何利用遗传信息的探讨还未达到足够高的水平，尽管目前在该水平上已经制定了准则。建议遗传资源管理者和水产遗传技术的提议者紧跟这一快速发展的领域，联合上面建议的合作伙伴，找到合理的发展道路。

12.2.4 采用与国家法律和国际法律相一致的准确术语

遗传学领域很复杂，并且经常存在争议。准确的术语以及正确使用术语和原理有助于交流有用且准确的信息，避免由于误解产生的问题（参考第2章中插图“一些术语”）。术语表有助于理解这个复杂的领域。¹⁴⁰

¹⁴⁰ 联合国生物技术术语表（www.fao.org/biotech/index_glossary.asp）；渔业（www.fao.org/fi/glossary/default.asp）；和水产养殖（www.fao.org/fi/glossary/default.asp）

12.3 结论

水产遗传管理计划的优点很多，但很难被普通大众和决策者理解。沟通者（请参考脚注138）表示，一些新观念首先被少部分“革新者”接受；然后再逐渐被其他人接受。当群体中有15%的人接受了该观念，该观念便成功得到传播。遗传技术和繁殖计划的推动者需要向广大受众传达该计划的有利方面，并寻求与水产资源使用者和民间团体合作，以达到15%的接受度。遗传技术的负责任使用有助于水产养殖更有效地生产出更多食品，降低对环境的影响。一旦被广大受众接受后，将有助于将水产养殖整合到本地区的多行业发展规划中。这些事实应成为整个沟通策略的一部分，有助于构建公共关系并建立消费者对遗传改良鱼的信心。

附录1 《内罗毕宣言》¹

非洲水产养殖中水生生物多样性的保护以及基因改良种和外来种的利用

背景

鱼类是非洲人动物蛋白的主要来源，水产资源在非洲大部分地区的农村生活和城市生活中起着很重要的作用。但是，从整个非洲大陆来看，人均供应鱼量的逐渐下降以及当前的供需规划表明在未来数十年内该短缺将会继续拉大。如果要弥补此短缺，需要维持捕捞渔业，并发掘水产养殖的潜力。实施过程中，需要注意保护非洲丰富的水生生物多样性，尤其是淡水鱼的丰富多样性，及其在维持捕捞渔业和提供水产养殖物种中的作用。

目前，非洲水产养殖的鱼生产量低。但是，随着种群的增加以及对鱼需求的增长，水产养殖部门预计将有增长。要做到这一点，需要消除大量限制因素，还要考虑在更大范围内实施管理。需要改进池塘和种群管理，研发更多饲料，并改进上市能力。

此外，采用的鱼种和品系的性能还存在相当大的提升潜能。目前非洲水产养殖使用的大多数鱼来自未驯化种群。这与农作物、家畜和家禽部门形成对比，这些部门通过采用繁殖计划和其他基因改良步骤大幅提高了生产。虽然改良的品系和引进的物种有可能提升产量，但显然也存在逃逸到野外的风险，可能对生物多样性产生负面影响。在解决这些关心的问题后，才能充分发掘非洲可持续水产养殖的潜能。

建议

1. 优质种

如果从小规模低投入系统到大规模集约型系统的水产养殖能实现遗传加强的潜在优势，应提供优质种并与合适的种群和农场管理一起使用。

2. 种群管理中的遗传学

由于人工繁殖导致了人工培养种群的遗传资源逐渐退化，种群管理的遗传应成为所有水产和种群加强计划的基本要素。

¹ Gupta, M.V., Bartley, D.M., Acosta, B.O. (编著) 2004. 利用水产养殖遗传改良和外源种以及保护水产生物多样性。第68号世界渔业会议录。关于声明，请访问www.cta.int/pubs/naïrobi/declaration.pdf

3. 责任的引种

鱼的引种，包括基因改良品系和外来种，可能在水产养殖发展中发挥作用。自然生态学领域的鱼类运动可能对生物多样性造成风险，需要改进并更广泛应用针对鱼类引种（包括遗传改良品系和外源种）的协议、风险评估方法以及的监控计划。国家在发展和实施这些协议和相关规章，确定明确角色和责任，以及能力构建等方面负有重大责任。按照《负责任渔业行为守则》、《生物多样性公约》以及其他有关国际协议，这些工作应与义务关连。

4. 保护野生种群

独特且重要的野生罗非鱼种群存在于亚洲大部分地区。应确认保护区域，并将其作为保护区实施管理，在该地区内，禁止引进的外来种和遗传改良品系。

5. 鱼类迁徙中的跨境问题

与鱼类运动和遗传改良品系应用相关的大多数事件和问题在大多数非洲国家非常普遍。应鼓励各国：（a）超越国境看问题，学习可行的政策和法规，适当的时候采用这些政策和法规，以填补国内政策空白，并在必要时协调这些政策和法规；（b）通过现有的区域性机构或建立新机构协调管理活动，考虑跨境流域等生态实体。

6. 加强信息获取的能力

关于鱼类基因多样性、环境集成、水产实践的基础信息既不全面，也不容易获取。需要加强收集和传播这些信息的现有机制。

7. 控制病原体运动

关于降低由于外源种等鱼类运动导致的病原体（此处使用的术语病原体包括寄生虫）跨越国界运动的风险，国际上已有公认的法规和协议，但它们不适合解决有关遗传改良物种的任何具体要求。国家和其他有关机构应对降低由于外源种和遗传改良品系等鱼类运动导致病原体跨越国界运动的风险的当前法规和协议进行评估，使之适应非洲的具体情况。

8. 提升鱼类引种风险意识

决策者、执行机构、利益相关人以及大众需要了解有关外来种运动和遗传改造物种运动的政策，这应该是国家议程中的重点。

9. 与利益相关人合作

有关鱼类运动的一些政策似乎很难执行，而且使用者并不了解，导致了許多利益矛盾，或被视为有限制的，部分原因是这些政策是在商议和参与不足的情况下制定的。应邀请所有利益相关人参与制定有关鱼类运动的政策和法规。此外，政府应成立咨询小组，并与独立的专业科学机构，例如联合国粮农组织、IUCN和ICLARM（现在是世界鱼类中心）开展合作。

10. 承担对不利环境影响的责任

虽然通过利用水产外来种和/或遗传改良鱼会提升经济效益，但在大多数情况下，获益人不承受与不利环境影响相关的成本。因此在针对水产养殖中鱼类外来种和遗传改良鱼应用和运动的政策和法规中，应该规定责任、一致性（例如激励）和赔偿。

本技术准则的制定旨在为《联合国粮农组织负责任渔业行为守则》中关于水产养殖遗传资源管理的部分提供支持。《准则》涉及的内容如下：种群管理和驯化、遗传改良计划、遗传改良鱼的散布计划、遗传改良计划的经济考虑、风险管理和监控、养殖渔业、鱼类遗传资源的保护、基因库、预防措施和公共关系。有效的遗传资源管理、风险管理和监督通过增加生产产量并提高生产效率促进负责任水产养殖的发展，并尽可能减少对环境的不良影响。负责任地采用水产养殖遗传原则的益处应告知给消费者、决策者、科学家、以及其他对负责任渔业和水产养殖有兴趣的人。

AQUACULTURE DEVELOPMENT
3. Genetic resource management

ISBN 978-92-5-506045-8

ISSN 1020-8240



9 7 8 9 2 5 5 0 6 0 4 5 8

10283Ch/1/05.10/400