

# 网箱养殖评论：北美洲

Michael P. Masser<sup>1</sup> 和 Christopher J. Bridger<sup>2</sup>

Masser, M.P. 和 Bridger, C.J.

网箱养殖评论：北美洲。见 M. Halwart, D. Soto 和 J.R. Arthur (等)。网箱养殖—区域评论和全球概览, 第 86–103 页。联合国渔业技术论文。第 498 号。罗马, 联合国粮农组织, 2010。199 页。

## 摘要

本文概述了北美（包括加拿大和美国，拉丁美洲国家除外）海水和淡水有鳍鱼网箱养殖的现状和发展前景。与亚洲相比，北美洲的网箱养殖历史较短。经过四十多年的发展，北美网箱养殖的产量和种类日益增长，未来发展和可持续性前景光明。主要养殖种类有大西洋鲑 (*Salmo salar*)、硬头鳟 (*Oncorhynchus mykiss*)、大鳞大麻哈鱼 (*Oncorhynchus tshawytscha*)、银鲑 (*Oncorhynchus kisutch*)、虹鳟鱼 (*Oncorhynchus mykiss*)、叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*)、红点鲑 (*Salvelinus alpinus*)、蓝鲶鱼 (*Ictalurus furcatus*)、切喉鳟 (*Oncorhynchus clarkii*)、金鲈 (*Perca flavescens*)、混血柳鲈 (*Morone* spp.)、翻车鱼 (*Lepomis* spp.) 和罗非鱼 (*Oreochromis* spp.)。2004 年淡水和海水水产养殖总产量分别约为 6 300 公吨和 105 000 公吨。有关美国淡水或海水系统中的种类产量和价值无官方数据，因为养殖生产都在私人土地上进行，或者数据不能保持匿名（例如，华盛顿州仅有一家鲑鱼养殖场）。总产量按种类而非使用的养殖系统进行统计。在养殖淡水种类的情况下，开放池塘水产养殖占本行业的主导地位，网箱养殖活动的产量很小。

在网箱养殖技术、新种类开发以及管理技术改进方面，北美地区已经开展了一系列公共研究和私人创新。但是，如果要使开放海水养殖达到其预期潜力，还必须作出更多的技术发展。目前，加拿大领导美国推广商业网箱养殖，制定政策、规范并发展公共意识，以认可和推动本行业的进一步可持续发展。美国在制定海水网箱养殖许可政策方面进展缓慢。但是，在美国使用公共淡水进行网箱养殖的前景不明。美国大多数管理公共水体准入的自然资源机构无意许可或推动在公共水域中开展网箱养殖，或在此方面不具有公共/政治压力。

<sup>1</sup> 美国德克萨斯州大学城德州农工大学野生生物和鱼类科学系。

<sup>2</sup> 加拿大 E5B 1Y9，新不伦瑞克省 Andrews 大街 Frederick 街 73A 号水产养殖工程集团有限公司。

## 背景和研究目标

本文概述了北美网箱养殖的状况，举例说明了网箱养殖的历史和现状以及未来发展的障碍。在过去四十多年间，北美网箱养殖经历了巨大的变化和发展。我们主要按水的盐度（即淡水与海水对比），而不是按国家讨论北美网箱养殖。我们认为该方法可确保更合理地探讨共同的课题。在该框架内，各国的特殊案例和讨论点将在适当时进行探讨。

本文信息有多个来源，包括美国州际合作研究、教育、推广局（CSREES）区域水产养殖中心以及美国国家海洋与大气管理局（NOAA）海洋基金、加拿大政府和省政府机构的统计资源、科学和大众文献（联合国粮农组织，2006）以及最新的网箱养殖评论（Huguenin, 1997; Beveridge, 2004）。

## 北美洲网箱养殖的历史和现状

加拿大和美国地域广泛，面积约占北美大陆的 91%。这两个国家跨越温度和亚热带环境，三个大洋，是多种养殖业的起源地。2003 年，两个国家所有种类的水产养殖总产量为 577 641 公吨，渔场门面总市值为 14.6 亿美元（数据出自上述来源）。两个国家的网箱养殖经营主要分为淡水和海水养殖，养殖种类非常广泛。

2004 年加拿大的网箱养殖产量为 145 018 公吨，总价值为 5.18 亿美元。网箱养殖的种类（鲑鱼、硬头鳟和其他海水种类）约占总产量的 70%，但其价值占水产养殖总价值的 84%（Statistics Canada, 2005）。

与 1986 年的数据相比，网箱养殖经营的规模和价值主要得益于大西洋鲑的快速发展（图 1）。尽管行业和政府投资努力促进海水水产养殖行业的多样化，但其他有鳍鱼（包括大麻哈鱼、银鲑、鳟鱼、硬头鳟、鳕鱼和其他种类）的发展仍较慢。大西洋鲑养殖于加拿大大西洋和太平洋沿岸的水域中。尽管大西洋鲑不是本地种类，并且在加拿大东部大西洋沿岸实施了生长试验和商业化活动（图 2），大西洋鲑产量大部分产自加拿大唯一的太平洋沿岸省份不列颠哥伦比亚。随着公司继续利用规模经济试图抵消平均价格的下降，大西洋鲑养殖行业有望进一步拓展。近年来，价格直线下降，主要原因是国际竞争加强和市场上产品过剩（图 2）。

加拿大水域中针对所有种类的许可总面积约为 30 971 公顷，相当于 17.6 km x 17.6 km 的方形面积（OCAD, 2003）。

2003 年，这一小块水域资源的产量约占全加拿大海产品起岸量的 14%。加拿大海岸线总长为 202 080 千米，因此加拿大网箱养殖行业非常有实现持续增长。鉴于环境管理的增强、消费者信心的增长以及合理的监管政策框

架的实施，据保守估计，未来水产品的增长量有望从 2000 年的 5 亿加元增至 2010–2015 年的 28 亿加元（该价值的乘数效预计应相当于加拿大经济的 66 亿加元[OCAD, 2003]）。

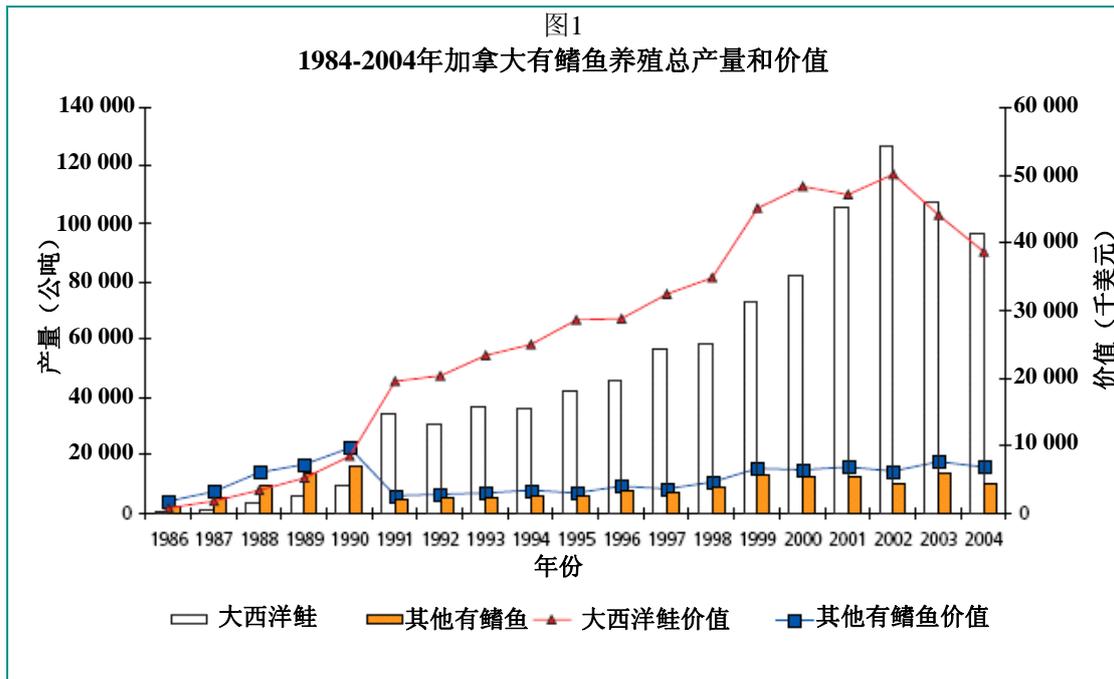
加拿大的大西洋鲑（*Salmo salar*）网箱养殖自 20 世纪 70 年代首先在挪威开始。20 世纪 70 年代在新斯科舍和新不伦瑞克近海首次开展了全周期海水网箱养殖，但由于冬季水温太低而失败。随后，私有企业以及省和联邦政府签署合作协议，在西南部的芬迪湾开展了成功的养殖活动。1979 年首次产量为 6 公吨，吸引了其他投资者投入到本地区的大西洋鲑养殖中（Saunders, 1995）。

养殖场的大西洋鲑收入占水产养殖总收入的 23%，是新不伦瑞克农业产品部门产量最大的产品（相当于该省的土豆、家禽、蔬菜、水果、浆果和谷物总产量），2004 年渔场门面市值为 1.75 亿加元。这一产量需要 1 849 名员工的直接就业，包括孵化场、海水生长、加工、直接服务和管理（NBDAFA, 2005）。

20 世纪 70 年代，硬头鳟（*Oncorhynchus mykiss*）最初养殖于新斯科舍的布雷顿角近海水域。新斯科舍的大西洋鲑产量的发展比新不伦瑞克慢，如今两地差距较大，受阻原因是该地区冬季温度较低（大多数大西洋鲑养殖目前主要集中于布拉多尔湖、Annapolis 流域、Shelburne 港和圣·玛哥瑞斯海湾部分）。硬头鳟养殖于 Pubnico 和 Lobster 湾以及布拉多尔湖地区。2004 年这两个种类约占新斯科舍水产养殖生产销售的 36%。由于行业财政困难和 2004 年冬季的一些结冰和极度寒冷（极冷的海水）灾害事件，该价值比 2003 年的 67% 低。但是，该行业恢复发展，2005 年回升到 67% 的水平（<http://www.gov.ns.ca/nsaf/aquaculture/stats/index.shtml>）。

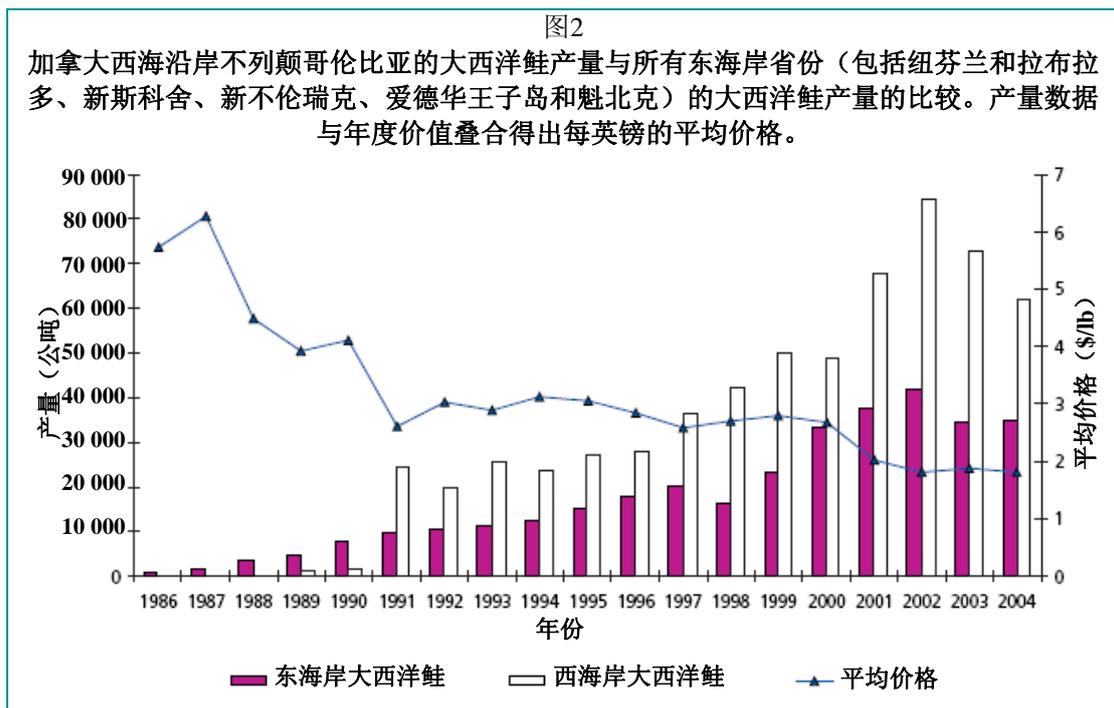
直到 20 世纪 80 年代中期，纽芬兰和拉布拉多才开始养殖鲑鱼（包括大西洋鲑和硬头鳟）。目前鲑鱼养殖集中于 d'Espeir 湾和财富湾南岸。随着曾经非常丰富的大浅滩底栖鱼渔业的失败，将捕获的小野生鳕鱼在海水网箱中喂养到上市大小这一鳕鱼（*Gadus morhua*）生长生产方式于 20 世纪 80 年代开始实施。2004 年继续开展“从鱼卵到餐桌”的鳕鱼生长研究试验，在该省的南岸通过网箱养殖的方式蓄养了 50 000 多条鳕鱼幼鱼（NLDAFA, 2005）。

不列颠哥伦比亚的鲑鱼养殖始于 20 世纪 70 年代早期，开始时养殖的是大麻哈鱼（*Oncorhynchus tshawytscha*）和银鲑（*Oncorhynchus kisutch*）。由于经济收益较差、生长率以及太平洋鲑鱼蓄养密度较低，该行业逐渐转变成大西洋鲑养殖。当第二次禁止水产养殖推广期间（到环境评估局完成不列颠哥伦比亚鲑鱼养殖评论时结束），反鲑鱼养殖组织在 20 世纪 80 年代和 90 年代初逐渐高涨，在



1995 年达到高峰（第一次禁止新养殖场批准出现于 1986 年，并导致开展 Gillespie 调查）。该评论在广泛征询民意和经过文献分析后于 1997 年完成，结论是“如果按现有方法实施以及在现有生产水平的情况下，不列颠哥伦比亚的鲑鱼养殖对环境的整体风险较小”。鲑鱼养殖评论向环境、土地和公园部以及农业、渔业和粮食部提出了 49 条发展建议（EAO, 1997）。对本地鲑鱼养殖业的抗议并未随着评论的出台而终止，尽管禁令已取消，但不列颠哥伦比亚的鲑鱼养殖业发展较慢。鲑鱼海水网箱养殖是不列颠哥伦比亚沿海农村地区的重要行业，2004 年产量为 61 774 公吨，价值为 2.12 亿加元（Statistics Canada, 2005）。

缅因州和华盛顿州分别在邻居省新不伦瑞克和不列颠哥伦比亚之后开展了海水网箱养殖。在两种情况下，由于缅因州一些非政府组织持续的反水产养殖示威阻碍了海水水产养殖推广，而华盛顿州的反对趋势主要来自支持野外鲑鱼养殖的人们。在两种情况下，这些组织将影响沿海农村地区的政策，这些地区将从沿海水产养殖经营中获益。美国大多数沿海州的海岸线不像加拿大沿海省份那样复杂，加拿大沿海各省拥有很多岛屿、港湾、水湾和峡湾可发展水产养殖。鉴于存在这些限制因素以及用户与有限海岸空间有冲突，并且由于对外国海产品的依赖性增强导致了海产品贸易逆差日益加大，自 20 世纪 90 年代以来，美国作出了重



大投资，用于发展开放海域水产养殖。1999年8月10日，美国商务部批准了水产养殖政策 (<http://www.nmfs.noaa.gov/trade/DOCAQpolicy.htm>)，以推动发展在经济上可行的环保水产养殖业，其愿景是：

“协助在美国发展具有高竞争力且可持续发展的水产养殖业，满足消费者对水产品以及优质、安全和低价产品的需求，使本行业各部门以环保且具有最大收益的方式生产产品。”

如今，在夏威夷 (Ostrowski 和 Helsley, 2003) 和波多黎各 (O'Hanlon 等, 2003) 开放的近海上开展了初期水产养殖业。自 1997 年以来，新罕布什尔大学在政府资助下在新罕布什尔近海开辟了研究场 (Chambers 等, 2003)。墨西哥湾地区也出现了开放海水水产养殖经营，但该地区仍未形成产业 (Chambers, 1998; Kaiser, 2003; Bridger, 2004)。

### 网箱养殖的现状

#### 淡水网箱养殖系统

北美的淡水网箱养殖通常局限于私有蓄水池中，因为很少有州或省允许在公共水域开展商业养鱼。有关美国淡水或海水系统中的种类产量和价值无官方数据，因为养殖经营都在私人土地上进行，或者数据不能保持匿名 (例如，华盛顿州仅有一家鲑鱼养殖场)。总产量按种类而非使用的养殖系统进行统计。在养殖淡水种类的情况下，开放池塘水产养殖占本行业的主导地位，网箱养殖活动的产量很小。在美国，

少数州 (例如俄克拉荷马州、俄勒冈州和阿拉斯加州) 允许通过特殊许可的方式在公共水域开展网箱养殖。在加拿大，可以通过许可制度在一些公共水域 (即，安大略省休伦湖) 中开展淡水网箱养殖。

### 网箱设计和结构

与海水网箱相比，淡水网箱容量较小，但培育密度一般较高。美国的淡水鱼类网箱一般置于私有蓄水池中，无天然水流。淡水网箱的容量通常为  $1\text{ m}^3$  到  $7\text{ m}^3$ ，由小孔 (13–25 mm) 尼龙网，固塑筛网或塑料涂层铁丝网制成。网箱框架由木材、聚氯乙烯 (PVC) 管或镀锌钢制成，借助泡沫聚苯乙烯、聚氯乙烯管或塑料瓶漂浮 (图 3) (Masser, 1997a)。

### 种类和养殖系统

北美淡水网箱养殖历来都局限于虹鳟鱼 (*Oncorhynchus mykiss*) 和叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*) 养殖。这些种类的水道和池塘养殖业也较发达。许多大学已针对这两个种类开展了广泛的网箱养殖研究，在地形、泉水/地下水和/或基础设施不适于传统池塘或水道养殖的偏远地区，私有鱼类产量出现增长。大多数淡水网箱养殖开展于集水区类型的私有蓄水池中。这些蓄水池一般只在大雨事件期间进行排水，大多数排水出现于寒冷湿润的冬季。私有蓄水池养殖的特殊例子包括以下讨论的休伦湖和哥伦比亚河生产设施。

目前大多数海水网箱养殖经营都位于海岸附近，但经营的基地一般都距离海岸较远。

图3  
用于叉尾鲷养殖的 $7\text{ m}^3$ 淡水网箱



这些近岸养殖场位于深水峡湾、保护水湾或具有充足水流可将限制局部水质问题的海湾中。该行业趋势是发展遮蔽性较低的高能养殖场。在一些情况下,网箱养殖经营与陆地距离较远,因此增强了网箱系统与海水环境的接触。

小淡水网箱的密度较高,根据具体养殖的种类和上市规格,密度范围是 200 到 700 fish/m<sup>3</sup>。种类不同产量也有所差异,范围一般从 90 到 150 kg/m<sup>3</sup> (Masser, 1997b) 淡水网箱的普遍问题是局部水质差和局部疾病 (Duarte 等, 1993)。

与美国的开放池塘养殖相比,鲑鱼商业网箱生产从未发展成真正的产业(仅占美国鲑鱼总产量的 0.002 到 0.003%)。大多数网箱生产散布于南部、中西部和西部,为小规模家庭经营,生产的鱼供个人和/或本地市场消费。自 20 世纪 90 年代以来,阿拉巴马州皮埃蒙特地区的鲑鱼养殖业一直很活跃 (Masser 和 Duarte, 1994),但目前仅有 30 到 40 个渔民从事养殖,每年产量为 50–100 公吨。这些养殖者组织成立了皮埃蒙特网箱鱼类养殖者协会,并于 1993 年形成品牌(即 Piedmont Classics)。但是,品牌不一定导致价格的提升或市场的扩大。销量差的主要原因可能是网箱经营规模小,养殖者盈利的售价较高。

这些养殖者一般以 2.20 美元/千克左右的价格销售鲑鱼,而池塘养殖的鱼的售价低于 1.65 美元/千克。传统上存在的问题是生产的鱼规格较小。一般网箱养殖的鱼在一个生长季内的规格很少超过 0.6 千克,如果越冬,死亡率高。因此,大多数网箱养殖的鱼都以小型整鱼出售,行业(池塘养殖)标准是 0.8 到 1 千克的鱼加工成鱼片出售。由于价格较高且是整鱼,除了在小型本地市场上,网箱养鱼不具有竞争力。

大型鲑鱼网箱养殖曾出现于密苏里州中部的私有湖泊以及俄克拉荷马州的一个公共湖泊 Texoma 湖中 (Lorio, 1987),但不再继续经营。由于疾病、生长速度慢和/或水质问题导致养殖失败 (Veenstra 等, 2003)。自 20 世纪 90 年代以来,一直未开展调查,以决定开展鲑鱼网箱养殖。但是,根据估计,北美网箱养殖每年总产量约为 300–500 公吨。

与水道养殖相比,美国虹鳟鱼养殖规模较小。在东部和中西部零星分布着个体鳟鱼网箱养殖者,其产量供本地小型市场消费。在华盛顿州的哥伦比亚河上,位于 Grand Cooley 大坝下游 16 英里 (9.4 千米) 处有美国最大的鳟鱼网箱养殖场,总养殖容量为 80 000 m<sup>3</sup>,拥有许多大型网箱 (1 000–6 000 m<sup>3</sup>)。年产量是 1 800–2 000 公吨,最大产量为 30 kg/m<sup>3</sup>。鱼的规格不同时,养殖密度有所差异。

虹鳟鱼和大鳞大麻哈鱼 (*Oncorhynchus tshawytscha*) 大型网箱养殖的其他例子包括从

1988 年到 1995 年在明尼苏达州两个遗弃的铁矿坑湖中进行的养殖 (Axler 等, 1998)。这一养殖经营遭到了反对,反对原因与该地区含水层中发现污染有关,附近社区和休闲湖泊的水都来自该含水层。1995 年,此处经营因破产而关闭。破产的部分原因是不能满足允许经营后州政府部门新制定的水质限制条件。在七年的经营时间内,大约生产了 2 000 公吨鱼类。随后的研究表明,以最少的治理完全恢复了该矿坑湖,对含水层不具有持续的影响 (Axler 等, 1998)。

加拿大的纽芬兰、新斯科舍、爱德华王子岛和安大略省在 20 世纪 90 年代初开展了红点鲑 (*Salvelinus alpinus*) 网箱养殖 (Glebe 和 Turner, 1993; Proc of Arctic Char, 1993)。目前,这些养殖场都不进行红点鲑网箱养殖。由于水质、市场有限和环境等问题导致了养殖失败。

在加拿大安大略省的休伦湖乔治亚湾开展了大型虹鳟鱼海水网箱养殖 (图 4)。本地区虹鳟鱼养殖始于 1982 年,目前已增至 3 500 公吨的规模。目前该海湾十个养殖场生产的鳟鱼的平均上市规格为 1.2–1.4 千克 (图 5)。乔治亚湾鳟鱼网箱养殖的产量为占安大略省总产量的 75% 以上 (图 6)。2004 年的渔场总市值为 1 700 万美元,或者价值约为 4.00 美元/千克 (Moccia 和 Bevan, 2004)。最小的养殖场有六个网箱,网箱大小为 15 m x 15 m,年产量为 160 000–180 000 千克。规模小于此的经营在商业上都不可行。最大的养殖场规模有二十个网箱,网箱大小为 15 m x 25 m,年产量为 450 000 千克。这些经营需要政府管理部门实施养殖场调查、水质监测、许可和监督。

阿肯色州运动和渔业委员会部门为在三个公共水体 *Wilhelmia*、*Pot Shoals* 和 *Jim Collins* 的网箱养殖规定了可捕获的鱼规格。生产的种类包括叉尾鲌、蓝鳃鱼 (*Ictalurus furcatus*)、虹鳟鱼 (*Oncorhynchus mykiss*) 和切喉鳟 (*Oncorhynchus clarkii*)。年产量约为 900 000 条鱼,总重量为 230 公吨。年生产成本为 2.09 美元/千克。

目前在淡水中养殖的其他种类包括金鲈 (*Perca flavescens*)、混血柳鲈 (*Morone* spp)、翻车鱼 (*Lepomis* spp) 和罗非鱼 (*Oreochromis* spp)。这些种类的养殖主要局限于私有蓄水池,供个人消费或销往小型本地市场。因此,缺少有关种类数量或其价值的信息。

### 海水网箱养殖系统

全加拿大和美国的海水网箱养殖系统有很大差异。当选择海水网箱养殖系统时要考虑的主要因素包括:水体特征、遮蔽度、经营规模、目标种类、市场和经济前景以及是否在水面或水下开展养殖。此外,根据多个相同的标准选

图4  
加拿大休伦湖乔治亚湾中的淡水虹鳟鱼网箱



图5  
加拿大休伦湖乔治亚湾和其他场所的淡水虹鳟鱼网箱分布图



择具体的外围支持系统（例如饲料供应系统和系泊用具），但还必须考虑底部土壤特征、预期环境负载以及某些情况下对综合系统设计的绝对需求，所有个体成分将作为独立单元降低环境负载影响。实际上，位于沿海保护海湾和

峡湾的海水水产养殖经营已逐渐成功地扩大了其经营范围，技术也越来越成熟。但是，即使出现向开放海水条件的转变，也不可能简单地通过将现有沿海系统移到近海水域便可实现。相反，必须从一开始就全面考虑整个系统，以确保经营

效率和工人安全性，同时降低鱼群、资本架构、环境和其他开放海域使用集团的风险。

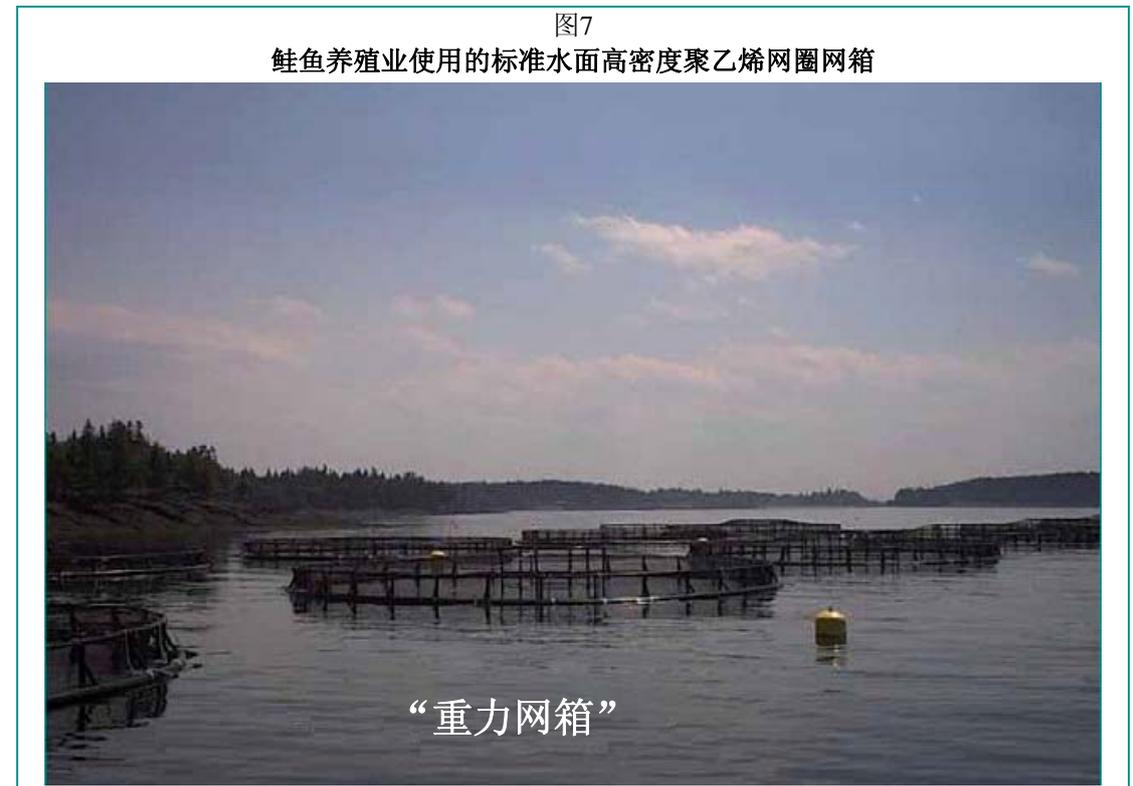
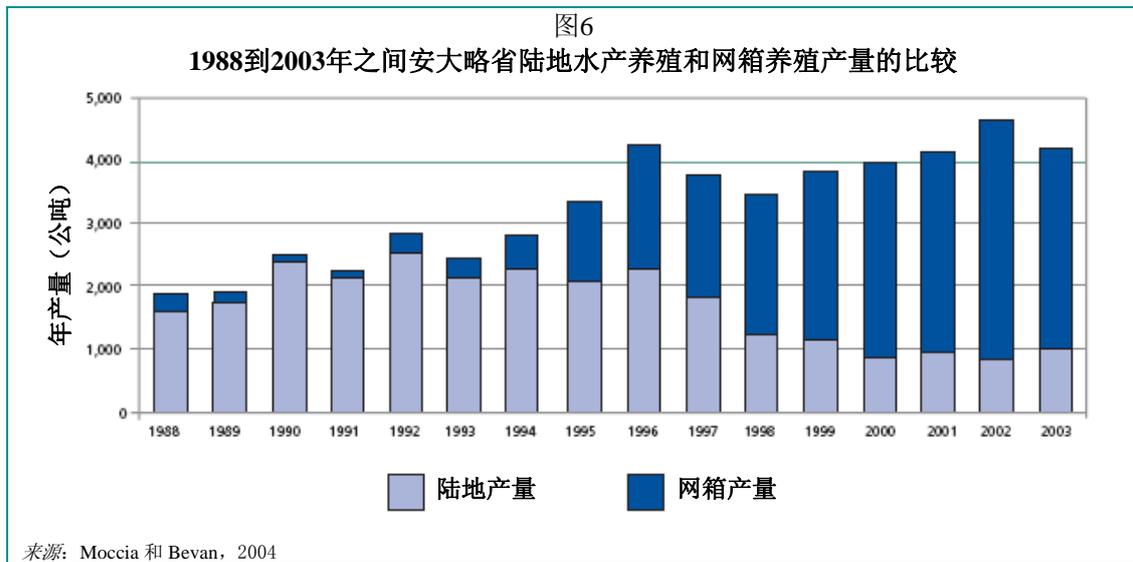
**网箱设计和结构**

近年来，全球网箱养殖业经历了新型围栏系统设计的激增。尽管有这些创新的理念，北美和全球统一在沿海场所开展海水网箱经营，养殖鲑鱼等商业种类。根据 Loverich 和 Gace (1998) 建议的分类方案，几乎所有的网箱可分为“重力”型网箱。

在北美，这些网箱具有水面网圈结构，通过该结构支撑网具并悬挂于水中（图 7）。在加拿大和美国的沿海网箱养殖系统中，这些网圈一般由钢或高密度聚乙烯（HDPE）制成。

高密度聚乙烯是加拿大大西洋养殖中首先选择的材料，因为使用该材料资本成本较低，并且高密度聚乙烯网圈被认为是顺应海浪材料（在能量通过时进行必要的弯曲，而不是保持僵硬）。钢网圈通过铰链连接，使网箱单元之间适应波浪的变化。钢网圈也是稳定的工作平台，在侧边提供人行道，可供工作人员堆放饲料和设备，并进行养殖场管理。对于高密度聚乙烯网圈网箱来说情况不是这样，而是在水面上有两个漂浮的环。高密度聚乙烯网箱工人的安全使用不利，不能用于存储，需要在养殖场上单独设立驳船。

网具一般悬挂于塑料内环上或钢制网箱人行道内部，而捕食网具悬挂于高密度聚乙烯网



圈的塑料外环上或钢制网箱人行道外部。重力网箱没有僵硬的网具，当高潮出现时会出现收缩，从而降低网箱总容量。实际上，根据 Aarsnes 等（1990）观测，在 1 米/秒（约两节）的水流中，水面网圈网箱预计增长容量的 80% 可能损失。解决该问题的传统方法是在网具下部以一定间隔系上重物，以降低网具变形。最近，通过在水面网圈上设置铅锤管消除网箱收缩，并将其附于网具下部，以保持整体形状和网箱容量。

海水网箱按组或队系泊，一般都位于水下网格系泊系统内（图 8）。这些网格通常有八根向上的系泊绳连接到每个网箱，以保持其在网格内的位置。

鲑鱼养殖网箱具有重大生长容量，因此可提供优秀的投资回报。例如，小型高密度聚乙烯水面网箱周长为 100 m，网深 11.21 m，因此其总生长容量约为 8 925 m<sup>3</sup>。周长为 120 m、网深为 20 m 的类似大型网箱结构的总生长容量为 22 921 m<sup>3</sup>。假设最终目标养殖密度为 15 和 18 kg/m<sup>3</sup>，以这些容量可使每个网箱分别容纳 133 875 kg（133 公吨）和 412 578 kg（412 公吨）鲑鱼。

在不列颠哥伦比亚，鲑鱼养殖业经历了反鲑鱼养殖非政府环境组织的持续运动。在过去数年间，它们的工作阻碍了行业的扩展，政府科学家对鲑鱼养殖及其环境影响进行了调查，以制定未来的科学发展政策。科学明确显示，负责任管理的鲑鱼养殖场对海水环境的不利影响有限，一家公司开发了新型网箱结构，可极大地消除有害的环境影响。1994 年成立了未来可持续环境水产养殖技术有限公司，旨在开发封闭防渗的可持续环境水产养殖系统，从最佳地点（包括深度）将水泵吸到鱼生长围拦中，以调节温度、含氧量和整体水质，增强废弃物

管理能力并降低鱼类逃逸（图 9；<http://futuresea.com>）。2001 年，Marine Harvest Canada 开始将未来可持续环境水产养殖系统与传统的钢制网箱系统相比，以此作为不列颠哥伦比亚鲑鱼水产养殖政策框架的一部分。在 14 个月的试验期间，可持续环境水产养殖系统运行良好，在成活率、饲料转化率和整体鱼类健康方面均可与传统钢制网箱媲美（Hatfield Consultants Ltd, 2002）。但未来可持续环境水产养殖系统的经济表现欠佳，该系统的渔场市值生产成本比传统钢制网箱高 29%。在收获时，这一高出部分可转化成 0.85 美元/千克的差距。

针对北美的开放海域环境建议和部署了各种网箱结构。在美国，目前流行的网箱系统是 Ocean Spar 公司生产的 Sea Station 网箱（图 10；<http://www.oceanspar.com>）。Sea Station 网箱是围绕单个杆状浮标的自拉伸网箱（Loverich 和 Goudey, 1996）。Ocean Spar 的 Sea Station 网箱的详细描述见 Tsukrov 等（2000）以及 Bridger 和 Costa-Pierce（2002）。墨西哥湾（Bridger, 2004）和新罕布什尔（Chambers 等, 2003）使用的实验网箱具有 595 m<sup>3</sup> 的生长容量。容量为 35 000 m<sup>3</sup> 的 Sea Station 网箱已经设计成功（Loverich 和 Goudey, 1996），虽然到目前为止，最大的商业网箱的内部容量为 3 000 m<sup>3</sup>（Ostrowski 和 Helsley, 2003；O'Hanlon 等, 2003），但最近 Ocean Spar 公司引入使用了 5 400 m<sup>3</sup> 的网箱。美国所有的 Ocean Spar 的 Sea Station 网箱在水面下均运行良好。在高能量开放海域场所的水下经营看起来可避免或至少可降低水面上的环境负载。在水面上，波浪质点以相当于浪高的直径旋转，因此可产生最大的波浪能量。随着深度增加，旋转减弱，从而降低可影响水面下良好运行水产养殖结构的环境负载。Tsukrov 等（2000）进一步证实了这一点，

图8  
在一队内维持多个网箱的典型的近岸水下网格系泊系统

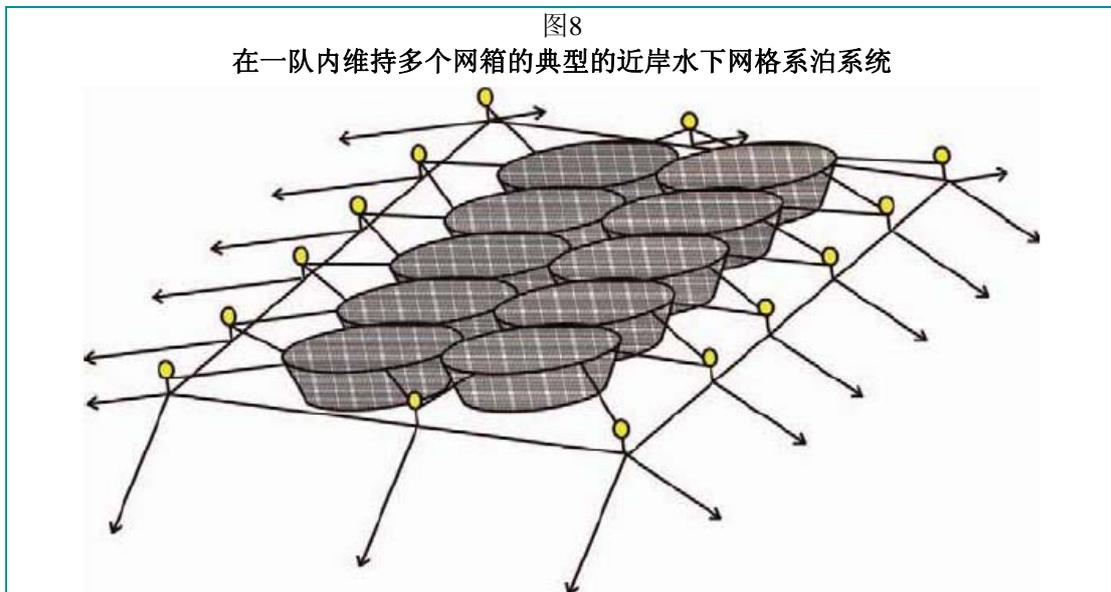


图9

标准水面钢制网圈网箱和未来可持续环境水产养殖系统的比较



图10

墨西哥湾近海中系泊于采气平台附近的Ocean Spar 的Sea Station网箱



报告指出，与相同环境负载下的水面位置相比，水下网箱的系泊张力小 60%。同样重要的是，水下经营还可尽可能降低对网箱鱼的海水效应。但是，由于目前没有可用的整套或成熟的养殖场管理方案，获得与水下经营有关的效益

代价较高。许多养殖场经营在履行日常养殖场事务需要实现自动化，以降低对潜水器潜水的依赖性。在实现自动化，提供安全和高效的养殖场管理方案前，水下经营必须维持较小的规模，并依赖于潜水。

加拿大新不伦瑞克省的另一个创新示例是水产养殖工程集团 (Aquaculture Engineering Group) (<http://www.aquaengineering.ca>)。该公司开发了‘摇摆场所 (swing site)’结构, 该结构可调动现有的导向装置, 以降低现场出现的海水失调情况。该系统设计的关键是持续使用鲑鱼养殖业中普遍接受的传统水面网箱。

库存和记录保持对最佳养殖生产方式至关重要。当计算饲养速率、确定必要时的药物数量以及规划生产和收获时间表时, 需要维护从网箱中移除的死鱼的记录并对生长经常进行估计 (和计算生物量)。在最简单的经营中, 在有意义的时间间隔内 (一个月) 从网箱中随机移除整个群体的样本, 进行麻醉并研究, 以获得必要的生长数据。

技术上更先进的养殖场不会主动打扰鱼群, 以降低其压力。另一种可选方法是借助视频和音频图像分析的鱼类规格测定技术, 无须在物理上打扰鱼群即可测定个体鱼的规格。

### 种类和养殖系统

到目前为止, 大西洋鲑 (*Salmo salar*) 是北美海水网箱养殖的精选种类。该种类原产于大西洋, 但许多大西洋鲑在加拿大太平洋沿岸都有养殖。

海水网箱养殖的其他鲑鱼种类有大鳞大麻哈鱼 (*Oncorhynchus tshawytscha*)、银鲑 (*Oncorhynchus kisutch*) 和硬头鳟 (*Oncorhynchus mykiss*)。大西洋鲑的养殖量特别大, 已成为商业种类。在消费者希望购买健康、营养和低价的海产品时, 这极大地降低了鲑鱼养殖经营的盈利性。鉴于经营现状, 许多鲑鱼养殖企业在种类多样化方面投入了大量时间和投资, 为消费者提供更多的产品并降低一直生产一个种类的风险。

鲑鱼生产者的备选种类包括大西洋中的大西洋鳕 (*Gadus morhua*) 和黑线鳕 (*Melanogrammus aeglefinus*) 以及太平洋中的裸盖鱼或黑鳕鱼 (*Anoplopoma fimbria*)。

美国的环境多样, 是多种备选养殖种类的原产地。在新英格兰, 许多相同的种类是备选种类, 现有鲑鱼养殖者对它们的水产养殖潜力进行了调查。

从美国大西洋沿岸到墨西哥湾, 备选养殖种类还包括: 军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)、杜氏鲷 (*Seriola dumerili*)、红鲷鱼 (*Lutjanus campechanus*) 以及红鼓鱼 (*Sciaenops ocellatus*)。在美国太平洋地区 (包括夏威夷), 对于养殖具有同样吸引力的备选种类包括太平洋马鲛 (*Polydactylus sexfilis*) 和琥珀鱼 (*Seriola rivoliana*)。

### 区域问题

#### 淡水网箱养殖

对小规模网箱生产者造成不利影响的问题包括:

- 1) 不能获得或仅有有限的大型水体 (即公共水体);
- 2) 由于经营规模小以及地点位于传统水产养殖区外, 幼鱼和饲料的价格较高;
- 3) 缺乏加工和营销基础设施;
- 4) 疾病。

当可获得优质幼鱼和商业饲料时, 装运成本的小需求量使生产成本比大型商业池塘或水道生产者所支付的成本高得多。

小规模生产者的物理和财政资源和/或营销经验有限, 对于他们来说, 寻找和服务本地市场也很困难。当合作社和协会试图大量购入并向大买家出售时, 由于较高的生产成本以及因此导致的高销售价格, 它们可能不能获得成功。

私有蓄水池的淡水网箱未出现环境问题。相关的水质、逃逸和其他生态问题都局限于蓄水池内。私有蓄水池一般有多种用途, 包括休闲和家畜饮水, 很少排干, 经常只在冬季排水。因此, 与网箱养殖几乎不存在冲突。除罗非鱼外, 大多数养殖鱼种为本地种类。少数州 (例如德克萨斯州和路易斯安那州) 限制罗非鱼网箱养殖。大多数州对罗非鱼养殖没有限制, 因为罗非鱼不能在北美冬季存活。

安大略省和华盛顿州在公共水域的虹鳟鱼大型网箱养殖办理了广泛许可程序, 定期进行水质和其他有关环境影响问题的监测。华盛顿的经营业主认为他们对养殖场的建立和许可花费了 150 万美元 (Swecker, 个人通信)。场所定位、公共意识、许可成本、非政府环境组织参与许可、负面公共对话等问题, 以及美国大多数州缺乏明确的许可政策和法律框架已经并将持续阻碍公共水域网箱养殖的发展。根据估计, 安大略省的网箱许可程序需要一至两年, 成本约为 60 000 美元。该成本主要用于获得许可所需的场所评估调查。许可涉及多个联邦和省级部门以及多项法案 (Moccia 和 Bevan, 2000)。与沿海资产拥有者的异议或冲突日益成为试图获得许可的网箱养殖者的主要问题。因此, 北美淡水场所中已经获得许可或可被许可的此类经营地点有严格限制, 进一步拓展也受限。

#### 海水网箱养殖

北美许多地区开展了海水网箱养殖。但是与未来十年的潜力和预期发展相比, 这些网箱养殖经营的总产量较有限。只有在许多限制问题得以解决后, 行业部门的许多前景展望才会成为现实。

保护海湾和峡湾中使用海水网箱养殖系统大多数是一个整体。但是,加拿大和美国的行业趋势是向更暴露的开发海域环境拓展,以减少人类冲突。近岸水产养殖技术和经营不能简单地移至这些具有高能量的新环境中,应确保持续的工人安全性和高效的养殖场经营。在过去十年间,开发了新型开放海域水产养殖技术,以满足新网箱养殖行业的需求。但是,技术发展仍在继续。主要发展需求之一是养殖场经营自动化。可靠的自动化将确保在恶劣气候条件下有效地饲养鱼类,同时对鱼类规格确定、网具清洁、死鱼清除、鱼类健康监测和网箱/系泊检测等其他养殖场事务也很重要。养鱼者也可利用技术进行长距离通信,使养殖场管理人员加强管理。采用这些技术时,只有安全环境下的一般维护和饲料输送才需要进入场地。

### 社会情况

海水网箱养殖业的拓展需要增加养殖场空间。这与私有土地上的淡水网箱养殖有很大不同。在海水水产养殖中,经营在海洋中开展,而海洋往往被视为共有财产。海水网箱养殖公司在开展经营时必须时时告知公众。这并不表示公司账目应向公众公开。但是,区域或沿海行业计划必须在开放的公众论坛进行讨论,以确保各拓展阶段都考虑了公众关心的问题。此外,必须制定合适的海岸区域综合管理计划。应选择适合水产养殖的地区,尽可能减少海洋环境的传统应用(包括捕捞渔业、旅游、土地拥有权、船运、采掘工业)与海洋哺乳动物经常光顾的区域的交互。此类生产方式的最新典型示例是芬迪湾鲑鱼养殖行业的拓展(Chang等,2005)。

海水水产养殖还能很好地维持沿海社区,目前,这些社区依赖于过度捕捞商业渔业。许多野生鱼捕捞者都是熟练工人,他们在海洋、渔船驾驶、网具修理和维护、捕鱼和质量控制方面具有丰富的经验,水产养殖公司可轻易将其应用到各自经营中。在这些情况下,过去的从事捕捞渔业者需要进行一些基本的训练,掌握标准的养殖场经营和鱼类健康管理方法。在北方底栖鱼群消失后,纽芬兰和拉布拉多的许多大西洋鳕渔民转变成鳕鱼养殖者(此类业务是捕获小型鳕鱼用于在海水网箱中进一步养殖,然后收获运往市场)。由于该省周围限制捕捞小型鳕鱼,这些业务大多数已停止。但该实验阶段显示,如果有机会,渔业捕捞者可较容易根据水产养殖企业的要求作出调整。

除了雇佣野生鱼捕捞者外,任何发展开放海水养殖业的地区将通过海水网箱鱼的生产 and 销售获得经济效益。最新经济分析显示,仅雇佣七人进行近海生产的单独养殖场经营每年将至少增加区域经济产出 900 万美元,至少增加 262 人的就业,从事加工、饲料生产和销售等

方面的工作(Posadas和Bridger,2004)。这些影响必须传达给本地政策制定人员,以确保因捕捞渔业消失而受影响的沿海社区在未来数代具有新的可持续收入。

水产养殖业还必须更积极地加强公众对本行业的认识。目前,非政府环境组织在许多方面赢得了公众的同情心。水产养殖业必须依靠科学信息获得公众支持,并且不要加入非政府环境组织的非理性行为,包括利用有关水产养殖及其生产方式的虚假、过时和/或令人误解的信息。公众信任的增强将扩大养殖产品的市场,使行业扩展到目前的竞争场所。

### 经济和市场

随着大型跨国企业寻求其整个生产和供应链的规模经济,水产养殖行业合并将成为全球现象。从而这些企业能在竞争激烈的全球海产品市场上提高市场份额。在加拿大,行业合并最近在大西洋沿岸最突出(在过去,太平洋沿岸也经历了多次行业合并)。当地一家鲑鱼养殖公司在新不伦瑞克省西南部和缅因州的行业合并中获得成功,通过在新斯科舍、纽芬兰和拉布拉多发展新养殖场扩展了经营。该行业合并无疑将提升效率,但也会导致一部分人失业。但是,这一程度的合并还将提高对公司整个生产链的控制,并扩大在新英格兰的初级市场。

美国是加拿大水产品的主要出口市场。加拿大的水产养殖公司也意识到了这一点;不列颠哥伦比亚水产养殖公司最新调查显示,与市场的距离以及加元/美元汇率是35个商业因素中的最优先考虑的两大因素

(PricewaterhouseCoopers,2003)。能直接进入美国市场使加拿大水产养殖业受益匪浅。但是,这一依赖性也使加拿大水产养殖业易受汇率波动等国际因素变化的影响。在过去四年间,加元对美元稳步增值,2002年美国汇率平均为1.57,但2005年跌至1.21。这一增值影响重大,2002年至2005年每美元销量将净损失36美分。在不提高市场价格、产量和经济规模或效率的情况下,该损失极大地降低了行业利润。

### 生态和环境情况

水产养殖运营商必须充当专业的环境管理者,确保在环境免受污染的情况下养鱼和获利。如果没有持续、清洁的供水,养殖产品的生长速率较低,死亡率较高。海水网箱养殖经营的潜在环境影响可分成四大类:

1. **水底和水体影响**—水底和水体影响通常由场所选择不善、管理决策低效、场地过度生产或三者综合引起。这些影响是可逆的,可通过认真开展养殖场管理并在相继的生长周期间采取场地休渔政策缓解影响(McGhie等,2000)。

2. *对有害藻华频率的影响*—鱼类养殖活动将增加周围环境的营养。但是,迄今为止大多数研究得出结论认为,在优选场所进行水产养殖活动不会增加浮游植物种类的丰度(Parsons等,1990;Pridmore和Rutherford,1992;Taylor,1993)。实际上,Arzul等(2001)报告指出,当存在特定有鳍鱼种(海鲈和鲑鱼)的排泄物时,浮游植物的生长会受到抑制。此类结果与甲壳类种类(牡蛎和贻贝)的排泄物形成鲜明对比,这些种类的排泄物可促进浮游植物的生长。
3. *对本地和洄游海洋哺乳动物的影响*—与捕捞渔具不同,海洋哺乳动物进入水产养殖设备中很少有记录,因此水产养殖者对该问题较少关注。但是,当此类交互出现时,水产养殖场(在鱼群损失和负面公众意识方面)的成本以及涉及的海洋哺乳动物的成本将很大。水产养殖业必须尽可能避免此类事件。
4. *逃逸和对野生群体的影响*—水产养殖公司只有实施管理并将养殖的鱼进行出售时才能继续经营。降低逃逸养殖鱼群的影响的最合理方法是预防。Myrick(2002)一般性地论述了养殖种类的逃逸,Bridger和Garber(2002)具体评述了鲑鱼逃逸的出现、意义和缓解影响的解决方案。在出现逃逸的情况下,如果逃逸发生地远离建立的水产养殖场,经观测鲑鱼逃逸种(特别是硬头鳟)一直在网箱附近游动,表现出回归养殖设施的反应(Bridger等,2001)。这些结果表明,逃逸到野生种群中的风险比非政府环境组织所描述的低很多。此外,制定回捕策略,将逃逸鱼捞回网箱继续养殖以降低经济损失是可行的。

### 政策和法律框架

当管辖区域不同时,与海水网箱养殖有关的政策和法律框架有很大差异。在加拿大,联邦和升级政府都参与发展水产养殖业,确保该行业有拓展能力,同时以对环境和社会负责的方式实施管理。鉴于这一联合作用,加拿大渔业和水产养殖部(国家和省级)同意开展跨部门合作并制定加拿大水产养殖行动计划,委托各级政府改善监管环境,提升行业竞争力并增强公众对行业 and 政府的信心。几乎在所有情况下,省政府部门根据联邦—省谅解备忘录负责海水水产养殖场地分配。许多省级部门制定了合适的海湾管理计划以及单年类别管理系统(即同一时间同一场地一个世代的鱼),以改善鱼类健康管理和环境质量。

在美国,迄今为止所有海水网箱养殖都在特定州的水域中开展。各州单独对水产养殖业实施管理,因此在各州之间会产生不一致。“离

岸”是美国的法律术语,指在美国联邦水域中开展的水产养殖经营。联邦水域指美国专属经济区内存在于州水域外的广大大洋,一般位于州最远控制土地(包括岛屿)以外三英里到海上200英里。针对美国联邦水域水产养殖的现有法律框架经常被认为是该行业未取得发展的主要原因。参议院商业委员会共同主席于2005年6月8日引入2005国家离岸水产养殖法案(S. 1195,目前未调整):

“.....为商业部长提供必要授权,以针对美国专属经济区的离岸水产养殖和其他事项建立和实施监管制度。”

引入该法案是美国联邦水域开展水产养殖所需重要步骤的第一步。在法案通过后,商业部门有权进行必要的监管,以管理离岸水产养殖行业。该过程将需要多年才能完成,在完成前还要经过公众提意见和修订阶段。

### 发展道路

不能过分强调市场的重要性。如上所述,加拿大将美国视为主要的出口市场。其他许多国家也大量出口到美国和加拿大,因此国际发展和竞争预计将促进发达国家海产品市场的发展。许多“不公平贸易”问题已经出现于美国的海产品进口中。随着政治领域为努力获得“公平竞争平台”而开展竞争,未来这些问题无疑将日益突显。

与加拿大或其他大多数国家相比,美国在公共淡水和近岸水域的海水网箱养殖遭致的反对可能最大。因此,如上所述,水产养殖渔民必须更积极与公众合作,反击非政府环境组织非持续的责难。他们必须发展公众信任并与法律人员和公共官员紧密合作,开展科学研究,为未来发展制定科学决策。

美国将公共淡水资源用于网箱养殖的前景不可预测。美国大多数州的自然资源机构负责管理对公共水体的使用,这些机构没有需要或公共/政治压力促进公共水域的网箱养殖。

这样看来,美国大多数网箱养殖拓展将涉及开放海水网箱。目前,许多管辖区域限制开放海水养殖新参与者进入,选择种类也通常限制了野外捕捞的竞争,从而产生对养殖产品的极大需求。随着备选种类成为商品并在成熟市场上泛滥,在某些时候,早期经营参与者的直接效益将降低。由于新网箱结构养殖容量有限且基建投资成本高,使用现有或建议的开放海水养殖网箱系统的经营者可能在养殖商业种类方面经历困难。这些经营者必须提升养殖效率,并采用更有成本效率的盈利技术。网箱生产商须设计和提供真正降低单位容量成本的系统。一些公司已经对这些可能性作出了考虑。

其他外围支持系统对于海水网箱养殖经营特别重要,最重要的是饲料输送系统。美国所有海水网箱养殖都是集约型的,即需要饲料投

入。但是，很少有鱼需要人工喂料（图 11）。

近岸经营已经达到了一定的经营规模，需要尽可能降低人工劳力成本。在此类情况下，专用渔船将饲料运往养殖场（可以是每天的量，也可以是足够多天使用的量，存储于驳船或养殖场系泊的筏上），在将饲料运送到每个网箱过程中需要使用船载鼓风机，一般一天使用两次。行业很多地方采用了相机系统，通过监测过剩饲料提升饲养效率（即鱼群的减少或鱼类行为变化）。较大型养殖场通过设立料仓或仓储驳船存储大量饲料，以提升饲养能力，在各网箱使用电脑控制的集中式饲养技术合理分配饲料。饲料驳船通过各自独立的系泊系统泊于养殖场上，或集中到网箱队列中。

许多新型开放海域网箱设计并不同时具有有效的饲料输送系统。在这种情况下，使用饲料软管从渔船延伸到网箱中进行喂料。对于其他养殖场，考虑使用饲料驳船并根据开放海域条件进行改装。最终，在高能量环境下测试使用了新型柱型饲料浮筒。尽管最终得出了解决方案，但所有行业专家认为，基于渔船的饲料输送是短期策略，行业要实现拓展，必须在养殖场上建设饲料储存和输送系统。

开放海域养殖经营必须依靠技术，通过视频和声音图像分析在不物理打扰鱼群的情况下测定鱼的大小。如果良好天气时间有限，而又有其他更紧迫的工作时，必须尽可能缩短在养殖场测定鱼大小所用的时间。

在开放海域养殖场部署视频技术的其他效益还包括可将这些图像用于监控鱼类健康。在

此类情况下，对视频成像进行分析，以确定鱼类健康的总体解剖信号，供行业兽医在参观养殖场之前进行参考，并在造成严重经济损失前解决问题。理论上，同一视频数据可用于饲料输送、鱼类大小测定和鱼类健康管理，因而可降低对所需技术的投资。

食物质量和安全是北美消费者首要关注的问题。非政府环境组织谴责水产养殖渔民使用违法化学品，要求监管机构加强对海产品的监控。这一趋势将会持续，北美网箱养殖者必须制定严格的质量保证标准，并且自己要采用和遵守。行业和研究人員应合作发展新的非化学方法解决鱼类健康问题。最后，美国须制定/根据法律构建有机水产养殖标准，从而使本地生产者能为高利润的小型市场提供服务。

### 结论和建议

如果目前政策变化和规章制度的进一步完善，北美网箱养殖将会快速发展。特别是加拿大在过去十年间在改善监管规定和提升公众的网箱养殖意识方面获得了重大进展。美国海水环境下的网箱养殖落后于加拿大，但新提议的政策法规可启动美国联邦水域中养殖业的发展。

北美洲很多地区的网箱养殖历史较短，特别是淡水网箱养殖的历史有些令人失望，在不久的将来也不可能快速发展。当海水网箱养殖存在良好的拓展机遇时，美国在可持续实施和指导方面落后于加拿大。在实现可持续发展前必须解决政府规定的制约以及政策、环境关注、美学和市场不确定性之间的不一致性问题。

图11

渔民向养殖于标准水面网圈网箱中的鱼群进行人工喂料。人工经营在小型养殖场很普遍，无需大规模的自动化。



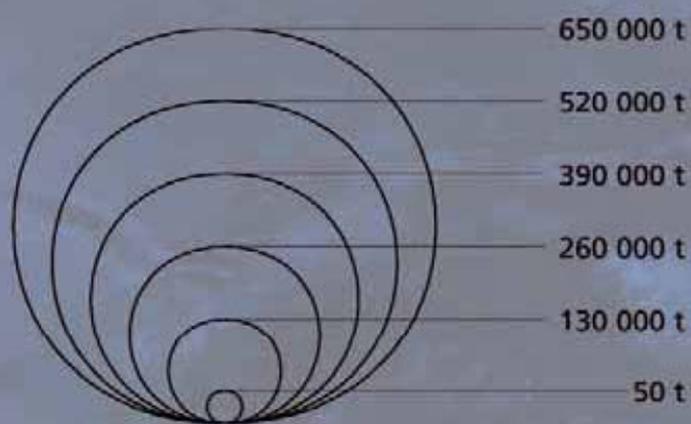
## 参考文献

- Aarsnes, J.V., Rudi, H. & Løland, G.** 1990. Current forces on cage, net deflection. In *Engineering for Offshore Fish Farming - Proceedings of the Conference Organized by the Institution of Civil Engineers. October 17-18, 1990*, pp 37–152. Glasgow, UK, Thomas Telford.
- Anonymous.** 2000. *United States Department of Commerce Aquaculture Policy*. (available at: <http://www.nmfs.noaa.gov/trade/DOCAQpolicy.htm>). Revised March 15, 2000.
- Arzul, G., Seguel, M. & Clément, A.** 2001. Effect of marine animal excretions on differential growth of phytoplankton species. *ICES Journal of Marine Science*, 58: 386–390.
- Axler, R., Yokom, S., Tikkanen, C., McDonald, M., Runke, H., Wilcox, D. & Cady, B.** 1998. Restoration of a Mine Pit Lake from Aquacultural Nutrient Enrichment. *Restoration Ecology*, 6(1): 1–19.
- Beveridge, M.** 2004. *Cage Aquaculture*, third edition. Oxford, UK, Blackwell Publishing Ltd. 368 pp.
- Bridger, C.J. (ed.).** 2004. *Efforts to Develop a Responsible Offshore Aquaculture Industry in the Gulf of Mexico: A Compendium of Offshore Aquaculture Consortium Research*. Ocean Springs, MS, USA, Mississippi-Alabama Sea Grant Consortium. 200 pp.
- Bridger, C.J., Booth, R.K., McKinley, R.S. & Scruton, D.A.** 2001. Site fidelity and dispersal patterns of domestic triploid steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) released to the wild. *ICES Journal of Marine Science* 58: 510–516.
- Bridger, C.J. & Costa-Pierce, B.A.** 2002. Sustainable development of offshore aquaculture in the Gulf of Mexico. *Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 53: 255–265.
- Bridger, C.J. & Garber, A.F.** 2002. Aquaculture escapement, implications and mitigation: The salmonid case study. In B.A. Costa-Pierce, (ed.). *Ecological Aquaculture: The Evolution of the Blue Revolution*, pp. 77–102. Blackwell Science, UK.
- Chambers, M.D.** 1998. Potential offshore cage culture utilizing oil and gas platforms in the Gulf of Mexico. In C.E. Helsley, (ed.). *Open Ocean Aquaculture '97, Charting the Future of Ocean Farming*, pp. 7–87. Proceedings of an International Conference. April 23-25, 1997. Maui, Hawaii, USA, University of Hawaii Sea Grant College Program #CP-98-08.
- Chambers, M.D., Howell, W.H., Langan, R., Celikkol, B. & Fredriksson, D.W.** 2003. Status of open ocean aquaculture in New Hampshire. In C.J. Bridger & B.A. Costa-Pierce, (ed.). *Open Ocean Aquaculture: From Research to Commercial Reality*, pp. 233–245. Baton Rouge, Louisiana, USA, The World Aquaculture Society, .
- Chang, B.D., Page, F.H. & Hill, B.W.H.** 2005. *Preliminary analysis of coastal marine resource use and the development of open ocean aquaculture in the Bay of Fundy*. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2585. 36 pp.
- Duarte, S.A., Masser, M.P., & Plumb, J.A.** 1993. Seasonal Occurrence of Diseases in Cage-Reared Channel Catfish, 1987-1991. *Journal of Aquatic Animal Health*, 5: 223–229.
- EAO (Environmental Assessment Office).** 1997. *Salmon Aquaculture Review*, vols. 1-5. Victoria, BC, Canada, Government of British Columbia.
- FAO.** 2006. *FAO Yearbook, Fishery statistics, Aquaculture Production 2004*. vol 98/2, Rome.
- Glebe, B. & Turner, T.** 1993. Alternate Commercial Rearing Strategies for Arctic Char (*Salvelinus alpinus*). *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, 93(1): 2–9.
- Hatfield Consultants Ltd.** 2002. *Future Sea Closed Containment Units*. Draft Monitoring Report: First Production Cycle. BC Pilot Project Technology Initiative. (available at: [http://www.agf.gov.bc.ca/fisheries/reports/MH\\_Closed\\_Containment\\_final\\_interim\\_report.pdf](http://www.agf.gov.bc.ca/fisheries/reports/MH_Closed_Containment_final_interim_report.pdf)).
- Huguenin, J.E.** 1997. The design, operations and economics of cage culture systems. *Aquacultural Engineering*, 16: 167–203.
- Kaiser, J.B.** 2003. Offshore aquaculture in Texas: Past, present and future. In C.J. Bridger and B.A. Costa-Pierce, (ed.). *Open Ocean Aquaculture: From Research to Commercial Reality*, pp. 269–272. Baton Rouge, Louisiana, USA, The World Aquaculture Society.
- Lawson, T.B.** 1995. *Fundamentals of Aquacultural Engineering*. New York, NY, USA, Chapman & Hall. 355 pp.
- Lorio, W.J.** 1987. Catfish in net pens and farm ponds: the basis for an Oklahoma industry. *Aquaculture Magazine*, 6: 45–48.
- Loverich, G.F. & Gace, L.** 1998. The effect of currents and waves on several classes of offshore sea cages. In C.E. Helsley, (ed.). *Open Ocean Aquaculture '97, Charting the Future of Ocean Farming - Proceedings of an International Conference. April 23-25, 1997*, pp. 131–144. Maui, Hawaii, USA. University of Hawaii Sea Grant College Program #CP-98-08.
- Loverich, G.F. & Goudey, C.** 1996. Design and operation of an offshore sea farming system. In M. Polk, (ed.). *Open ocean aquaculture – Proceedings of an international conference. May 8-10, 1996*, pp. 495–512. Portland, Maine, USA. New Hampshire/Maine Sea Grant College Program Rpt.# UNHMPCP-SG-96-9.
- Masser, M. P.** 1997a (Revised). *Cage Culture: Cage Construction, Placement, and Aeration*. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) Publication No. 163. 4 pp.

- Masser, M.P.** 1997b (Revised). *Cage Culture: Species Suitable for Cage Culture*. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) Publication No. 163. 4 pp.
- Masser, M.P. & Duarte, S.A.** 1994. The Alabama Piedmont Catfish Cage Farming Industry. *World Aquaculture*. 25(4): 26–29.
- McGhie, T.K., Crawford, C.M., Mitchell, I.M. & O'Brien, D.** 2000. The degradation of fish-cage waste in sediments during fallowing. *Aquaculture* 187: 351–366.
- Moccia, R.D. & Bevan, D.J.** 2000 (Revised of 1996 version). *Aquaculture Legislation in Ontario*. Ontario Ministry of Agriculture and Food. AGDEX 485/872. 8 pp.
- Moccia, R.D. & Bevan, D.J.** 2004. *Aquastats 2003: Ontario Aquacultural Production in 2003*. Ontario Ministry of Agriculture and Food. No. 04-002. 2 pp.
- Myrick, C.A.** 2002. Ecological impacts of escaped organisms. . In J.R. Tomasso, (ed.). *Aquaculture and the Environment in the United States*, pp. 225– 245. United States Aquaculture Society, A Chapter of the World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA.
- NBDAFA (New Brunswick Department of Agriculture, Fisheries and Aquaculture)**. 2005. *Agriculture, Fisheries and Aquaculture Sectors in Review 2004*. Government of New Brunswick, Fredericton, NB, Canada.
- NLDFA (Newfoundland and Labrador Department of Fisheries and Aquaculture)**. 2005. *Seafood Industry Years in Review 2004*. Government of Newfoundland and Labrador, St John's, Newfoundland and Labrador, Canada.
- OCAD (Office of the Commissioner for Aquaculture Development)**. 2003. *Achieving the Vision*. Ottawa, Ontario, Canada, Office of the Commissioner for Aquaculture Development, Cat. No. Fs23- 432/2003. 62 p.
- O'Hanlon, B., Benetti, D.D., Stevens, O., Rivera, J. & Ayzavian, J.** 2003. Recent progress and constraints towards implementing an offshore cage aquaculture project in Puerto Rico, USA. In C. J. Bridger & B. A. Costa-Pierce, (eds). *Open Ocean Aquaculture: From Research to Commercial Reality*, pp. 263–268. Baton Rouge, Louisiana, USA, The World Aquaculture Society.
- Ostrowski, A.C. & Helsley, C.E.** 2003. The Hawaii offshore aquaculture research project: Critical research and development issues for commercialization. In C.J. Bridger & B.A. Costa-Pierce, (eds). *Open Ocean Aquaculture: From Research to Commercial Reality*, pp. 285–291. Baton Rouge, Louisiana, USA, The World Aquaculture Society.
- Parsons, R.R., Rokeby, B.E., Lalli, C.M. & Levings, C.D.** 1990. Experiments on the effect of salmon farm wastes on plankton ecology. *Bulletin of the Plankton Society of Japan* 37: 49–57.
- Posadas, B.C. & Bridger C.J.** 2004. Economic Feasibility & Impact of Offshore Aquaculture in the Gulf of Mexico. In Bridger, C.J. (ed.) *Efforts to develop a responsible offshore aquaculture industry in the Gulf of Mexico: a compendium of offshore aquaculture consortium research*, pp. 109–128. Ocean Springs, MS, USA, Mississippi-Alabama Sea Grant Consortium. 200 pp.
- PricewaterhouseCoopers, LLP.** 2003. *A Competitiveness Survey of the British Columbia Salmon Farming Industry*. British Columbia, Canada, Aquaculture Development Branch, Ministry of Agriculture, Food & Fisheries. 24 pp.
- Pridmore, R.D. & Rutherford, J.C.** 1992. Modeling phytoplankton abundance in a small-enclosed bay used for salmon farming. *Aquaculture and Fisheries Management* 23: 525–542.
- Proceedings of the Artic Char Conference.** 1992. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*. St Andrews, NB. No. 93(2). 38 pp.
- Saunders, R.L.** 1995. Salmon aquaculture: Present status and prospects for the future. In A.D. Boghen, (ed.). *Cold-water Aquaculture in Atlantic Canada*, second edition, pp. 35–81. Moncton, NB, Canada, The Canadian Institute for Research on Regional Development.
- Statistics Canada.** 2005. *Aquaculture Statistics*. Catalogue no. 23-222-XIE. 44 p.
- Swecker, D.** 2006. Rochester, WA, USA, Washington Fish Growers Association.
- Taylor, F.J.R.** 1993. Current problems with harmful phytoplankton blooms in British Columbia waters. In T.J. Smayda & Y. Shimizu, (eds). *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*, pp. 699–703. Amsterdam, the Netherlands, Elsevier Science Publishers.
- Tsukrov, I.I., Ozbay, M., Fredriksson, D.W., Swift, M.R., Baldwin, K. & Celikkol, B.** 2000. Open ocean aquaculture: Numerical modeling. *Marine Technology Society Journal* 34: 29–40.
- Veenstra, J., Nolen, S., Carroll, J. & Ruiz, C.** 2003. Impact of net pen aquaculture on lake water quality. *Water Science and Technology*, 47(12): 293–300.

### 2005年网箱养殖产量

数据来源于成员国向联合国粮农组织提供的2005年渔业统计。如果没有2005年的数据，则使用2004年的数据。



淡水

海水和半咸水

# 网箱养殖评论： 北欧

