

# 网箱养殖：全球概览

Albert G.J. Tacon<sup>1</sup>与Matthias Halwart<sup>2</sup>

Tacon, A.G.J.与Halwart, M.

网箱养殖：全球概览。见于M. Halwart, D. Soto和J.R. Arthur（等）。《网箱养殖—区域评论和全球概览》，第1-15页。联合国粮农组织渔业技术论文。第498号。罗马，联合国粮农组织。199页。

## 摘要

在网箱中养殖水生生物是水生养殖行业最近的创新。虽然网箱用于短期内鱼的保存和运输可以追溯到约两个世纪前的亚洲地区，但商业网箱养殖始于19世纪70年代挪威的鲑鱼养殖。与陆地农业类似，水产养殖业朝集约型网箱养殖的应用和发展取决于多个因素，包括部门间对现有资源（包括水、土地、劳动力、能源）的竞争日益加强，规模效应、提升单位面积生产率的动力以及推动部门进入和扩展到未开发的开放水域新养殖区（例如，湖泊、水库、河流以及沿海半咸水和海水水域）的动力和需求。

虽然目前没有有关全球网箱养殖系统中养殖水生种类总产量或部门综合增长率的官方资料，但一些成员国已经向联合国粮农组织报告了有关网箱养殖单位数量和产量的统计信息。共有62个国家提供了有关2005年的网箱养殖数据：25个国家直接报告了网箱养殖产量数据；其他37个国家报告了可推导出网箱养殖产量数据的产量资料。到目前为止，商业网箱养殖主要局限于养殖食用配合饲料且具有较高价值（就销售而言）的有鳍鱼种类，包括鲑鱼（大西洋鲑、银鲑和大鳞大麻哈鱼）、大多数大型海水和淡水食肉鱼类（包括鳊鱼、赤鯮、黄花鱼、欧洲海鲈、乌颊鱼、军曹鱼、海水虹鳟鱼、鳜鱼、黑鱼）以及比例日益增长的杂食淡水鱼种类（包括中华鲤鱼、罗非鱼、银昌鱼和鲢鱼）。

目前养殖场主采用的网箱养殖系统以及养殖的种类数目均多种多样，包括家庭所有和经营的传统网箱养殖场（常见于大多数亚洲国家）以及北欧和美洲的现代大型商业化鲑鱼和鳟鱼网箱养殖场。鲑鱼网箱养殖业的迅速发展和成功取决于多种相互联系的因素，包括易于仿效且低成本高效的技术（包括孵化场采种）的发展和应用、大面积适宜水域的利用、良好的种类选择和市场接受度、增长的企业投资以及良好的政府监管环境提供的支持。本材料探讨了网箱养殖发展，特别探讨了尽可能降低快速发展部门的潜在环境和生态影响的需求。

<sup>1</sup> 水生养殖场有限公司，美国夏威夷州（96744）Kamehameha 公路 49-139 号

<sup>2</sup> 意大利罗马（00153）联合国粮农组织渔业及水产养殖部

## 引言

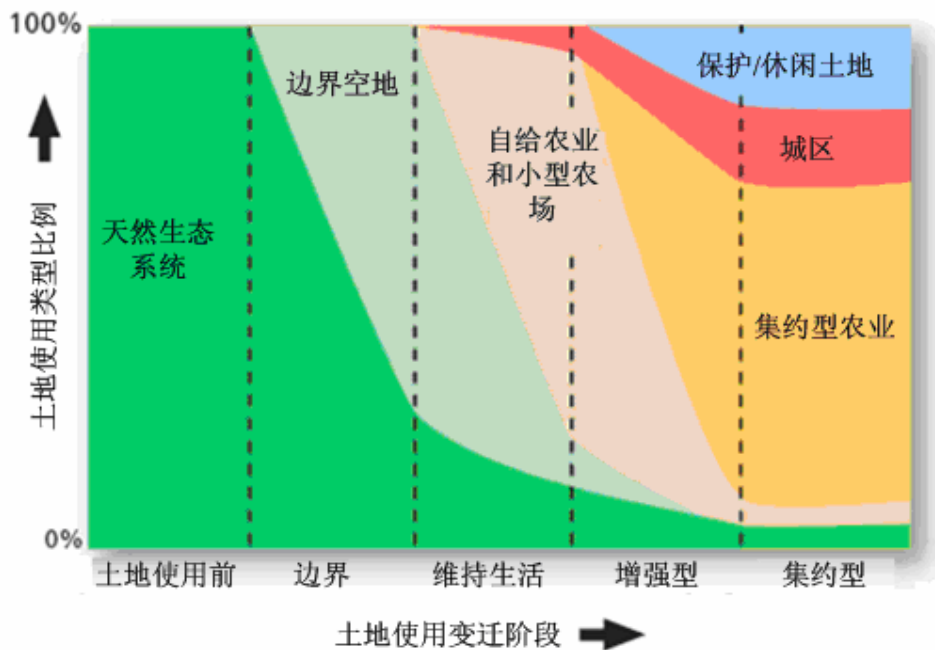
在网箱中养殖水生生物是水生养殖行业最近的创新。虽然网箱用于短期内鱼的保存和运输可以追溯到约两个世纪前的亚洲地区（Pillay与Kutty, 2005），甚至更早地源自湄公河上渔民本土生产方式的一部分（de Silva与Phillips, 本卷），但商业海水网箱养殖始于19世纪70年代挪威的鲑鱼养殖（Beveridge, 2004）。过去二十年间，网箱养殖部门实现了快速发展。目前随着全球化压力的加剧以及发展中国家和发达国家对水产品需求的增大，网箱养殖正经历快速的变化。根据预测，发展中国家的鱼消费量将增长57%，从1997年的6 270万公吨增长到2020年的9 860万公吨（Delgado等, 2003）。

相比之下，发展国家的鱼消费量将增长 4%，从1997年的 2 810 万公吨增长到2020年的 2 920 万公吨。人口快速增长，发展中国家生活水平的提升和城市化的日益发展导致了对家畜和鱼类动物蛋白的供需出现重大变化（Delgado等, 2003）。

与陆地农业（图 1）类似，水产养殖业朝集约型网箱养殖的应用和发展取决于多个因素，包括部门间对现有资源的竞争日益加强（Foley 等, 2005; Tilman 等, 2002），规模效应的需求以及提升单位面积生产率的动力。特别地，对适宜场所的需求推动部门进入和扩展到未开发的开放水域新养殖区（例如，湖泊、水库、河流以及沿海半咸水和海水水域）。

图1

土地使用变迁：水产养殖是否出现类似的发展道路？



来源：根据foley等, 2005修订

### 统计信息的缺乏

虽然目前没有有关全球网箱养殖系统中养殖水生种类总产量或部门综合增长率的官方资料（联合国粮农组织，2007），但一些成员国已经向联合国粮农组织报告了有关网箱养殖单位数量和产量的统计信息。共有62个国家提供了有关2005年的网箱养殖数据：25个国家直接报告了网箱养殖产量数据；其他37个国家报告了可推导出网箱养殖产量数据的产量资料（表1）。

在这62个国家和省份/地区中，31个国家向联合国粮农组织提供了2004年和2005年的相关数据。

62个国家和省/地区报告的网箱养殖总产量为2 412 167公吨，如果除去Chen等（本卷）关于中国的评论员数据，则为3 403 722公吨。

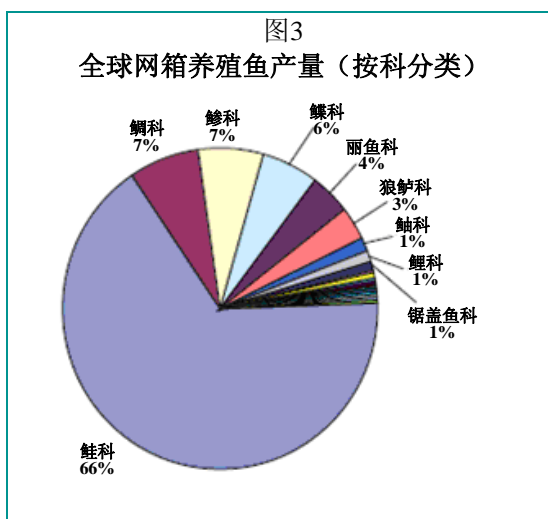
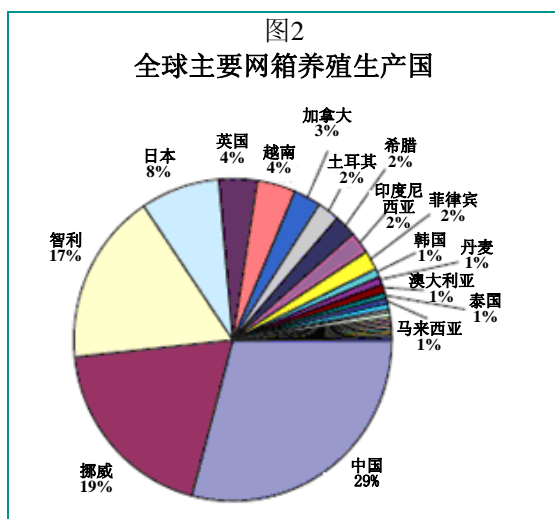
根据上述部分报告信息，2005年主要网箱养殖生产国家包括：挪威（652 306公吨）、智利（588 060公吨）、日本（272 821公吨）、英国（135 253公吨）、越南（126 000公吨）、加拿大（98 441公吨）、土耳其（78 924公吨）、希腊（76 577公吨）、印度尼西亚（67 672公吨）以及菲律宾（66 249公吨）（图2）。

但是，需要注意的是，正如上面所述，对上述数据有意义的解释受到事实的约束，该事实是，对于一半以上的国家（62个国家中的37个），养殖方法是基于现有的信息得出的。

表1

向联合国粮农组织报告网箱养殖产量的成员国，或已知积极参与商业网箱养殖生产，但目前不向联合国粮农组织报告网箱养殖产量数据的成员国

向联合国粮农组织报告网箱养殖的国家	已知积极参与商业网箱养殖的国家
<b>拉丁美洲和加勒比海地区</b>	
阿根廷、玻利维亚、智利、哥斯达黎加、厄瓜多尔、马提尼克（法国）、巴拿马、乌拉圭	巴西、柬埔寨、危地马拉、洪都拉斯、墨西哥、尼加拉瓜
<b>北美地区</b>	
加拿大、美国	
<b>北欧地区</b>	
保加利亚、丹麦、爱沙尼亚、芬兰、德国、冰岛、爱尔兰、挪威、波兰、俄罗斯联邦、斯洛伐克、瑞典、英国	
<b>地中海地区</b>	
阿尔巴尼亚、波斯尼亚、克罗地亚、塞浦路斯、埃及、法国、希腊、以色列、意大利、阿拉伯利比亚民众国、马耳他、摩洛哥、葡萄牙、斯洛文尼亚、阿拉伯叙利亚共和国、突尼斯、土耳其	西班牙
<b>撒哈拉以南非洲地区</b>	
贝宁、加蓬、加纳、毛里求斯、马约特岛（法国）、莫桑比克、留尼汪岛（法国）、赞比亚、津巴布韦	科特迪瓦、肯尼亚、马达加斯加、尼日利亚、卢旺达、南非、乌干达
<b>亚洲和大洋洲</b>	
阿塞拜疆、文莱达鲁萨兰国、柬埔寨、香港特别行政区、中国台湾省、印度尼西亚、日本、韩国、科威特、老挝人民民主共和国、马来西亚、尼泊尔、阿曼、菲律宾、新加坡、泰国、越南	澳大利亚、孟加拉国、中国、印度、伊朗（伊斯兰共和国）、朝鲜民主主义人民共和国、新西兰



信息的遗漏可导致对整体情况的严重歪曲，中国是该方面最重要的案例。根据Chen等（本卷）的评论论文，中国大陆2005年的网箱养殖总养殖为991 555公吨（内陆网箱养殖为704 254公吨，沿海网箱养殖为287 301公吨）。

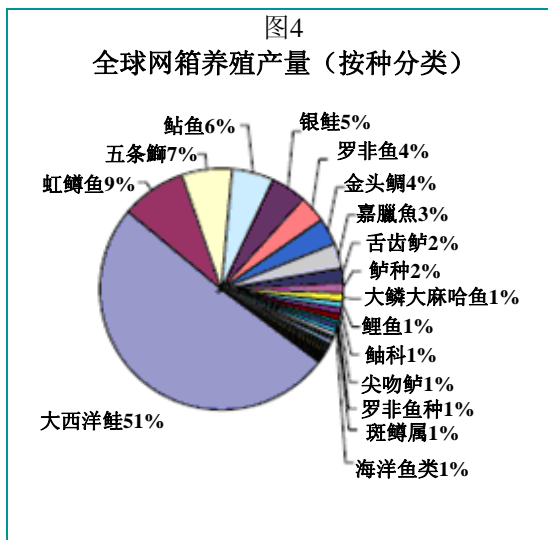
就国家或地区重要性而言，中国的网箱养殖总产量仅占2005年水产养殖总产量的2.3%（Chen等，本卷，联合国粮农组织2007）。

相比之下，Masser与Bridger（本卷）报告指出，2004年加拿大网箱养殖产量约占水产养殖总产量的70%，De Silva与Phillips（本卷）评估认为，目前亚洲网箱养殖占海水有鳍鱼产量的80%到90%。

#### 主要养殖种类，网箱养殖系统和养殖环境

到目前为止，商业网箱养殖主要局限于养殖食用配合饲料且具有较高价值（就销售而言）的有鳍鱼种，包括鲑鱼（大西洋鲑、银鲑和大鳞大麻哈鱼）、大多数大型海水和淡水食肉鱼类（包括鳟鱼、赤鯮、黄花鱼、欧洲海鲈、乌颊鱼、军曹鱼、海水虹鳟鱼、鳊鱼、黑鱼）以及比例日益增长的杂食淡水鱼种（包括中华鲤鱼、罗非鱼、银昌鱼和鳊鱼）。

目前养殖场主采用的网箱养殖系统以及养殖的种类数目均多种多样，包括家庭所有和经营的传统网箱养殖场（常见于大多数亚洲国家；De Silva与Phillips, 2007；Pillay与Kutty, 2005）以及欧洲和美洲的商业网箱养殖（Grøtun与Beveridge, 本卷；Masser与Bridger, 本卷）。



就多样性而言，大约40科的鱼进行了网箱养殖，但仅有五个科（鲑科、鲷科、鳕科、鳎科和丽鱼科）占总产量的90%，鲑科占总产量的66%（图3）。

在种类层面上，目前约有80个种类进行了网箱养殖。其中，大西洋鲑一个种类约占网箱养殖总产量的一半（51%）（图4），其他四个种类（虹鳟鱼、五条鳟、鳎科、银鲑）约占四分之一（27%）。

仅八个种类（除上述几个种类外，还包括罗非鱼、金头鲷、嘉腊鱼、舌齿鲈）占总产量的百分之九十；其他七十多个种类占余下的10%。

表2

**2005年大西洋鲑（*Salmo salar*）水产养殖总产量（联合国粮农组织，2007）**

国家	数量（单位：公吨）（占全球总产量的百分比）	
挪威	582 043	(47.02%)
智利	374 387	(30.24%)
英国	129 823	(10.49%)
加拿大	83 653	(6.76%)
法罗群岛	18 962	(1.53%)
澳大利亚	16 033	(1.30%)
爱尔兰	13 764	(1.11%)
美国	9 401	(0.76%)
冰岛	6 488	(0.52%)
法国	1 190	(0.10%)
俄罗斯联邦	204	(0.02%)
丹麦	18	
希腊	6	
<b>总计</b>	<b>1 237 977</b>	

来源：联合国粮农组织，2007

根据区域评论资料，大西洋鲑在数量和价值上是目前最广泛的网箱养殖鱼种；该冷水鱼种类的水产养殖产量从1970年的仅294公吨增长到2005年的1 235 972公吨（价值为4 767 000百万美元），增长了4 000倍以上，目前10 000多公吨的产量仅限于少数几个国家，包括挪威、智利、英国、加拿大、法罗群岛、澳大利亚和冰岛（表2）。<sup>3</sup>

根据Forster（2006），这些国家大量养殖鲑鱼并在商业上获得成功取决于以下相互联系的因素：

- 可仿效且低成本高效的养殖技术的开发（例如，为鲑鱼生长使用较简易的标准漂浮网箱养殖系统）；
- 利用未遭破坏的适宜的大型沿海水域（挪威和智利分别有1 800千米和1 500千米长的海岸线）；
- 鲑鱼是良好的养殖鱼种（有三种不同的种类，直接可用的孵化场培育技术，网箱内生长良好，可快速成长为大型规格，鱼片产率高—60%，鱼肉质优）；

- 良好的市场和产品开发（包括全年鲜鱼供应率、公认的健康效益、许多附加值产品、品牌计划、一般营销）；
- 增加的公司投资的效益、规模效应、财务稳定性和监管一致性；
- 良好的国家政府支持和监管环境的效益（空间分配和可预测的许可过程、实际监管框架、租用权保障、获得资金支持的公共和私有部门研究，以及对部门支持的加强）；以及
- 对最佳鲑鱼卫生和福利，以及随后改良鱼卫生管理方案的制定的重视（包括最佳幼鱼质量、水质和物理条件、成功的疫苗开发、鱼类整体福利、处理、营养、饲料和种群管理生产方式的改善）。

尽管如此，2005年大西洋鲑的全球产量略有下降，增长率似乎也有下降。对于其他网箱养殖种类，难以根据养殖环境的类型进行数据分类。联合国粮农组织只将淡水、半咸水和海水生产进行分类。但是，各国向联合国粮农组织的报告在区别半咸水和海水环境养殖时有时会出现差异，因此，这两方面应如下综合考虑。

<sup>3</sup>注意，中国产量来源于Chen等（本卷）。这些作者还报告了物种的使用（26种鱼、1种甲壳类、1种爬虫类），但未提供各物种的产量数据。



在淡水养殖中，中国占主导地位，产量超过700 000公吨，占淡水网箱养殖总报告产量的68.4%，第二位是越南(126 000公吨，占12.2%)，然后是印度尼西亚(67 700公吨，占6.6%) (请见表3)。中国大陆的产量包括30%左右的无具体产量数据的水生种类(Chen等，本卷)，其他国家的产量主要由鲶鱼和丽鱼科鱼构成(请见表4)。大多数海水和半咸水网箱养殖主产国都位于温带，主产鱼种包括鲑鱼、黄尾鲱、鲈属鱼以及石斑鱼(请见表5和6)。

### 网箱养殖发展面临的问题和挑战

尽管尽管鲑鱼网箱养殖取得了上述经济和技术成果，但该部门仍面临许多发展问题和挑战。

一般地，这些问题和挑战与开放网箱养殖系统的使用以及此类养殖系统对周围环境和生态系统的实际和/或可预知影响有关，包括：

- 未食用的饲料导致营养损失加剧，网箱内鱼的粪便废弃物和排泄物以及可能对水质和周围水生环境和生态系统健康的影响(消极的和/或积极的)(Mente等，2006; León，2006)；
- 网箱养殖鱼内不断增强的疾病风险(Chen等，本卷；Merican，2006；Tan等，2006)以及疾病转移到自然鱼群的潜在风险(Ferguson等，2007)；

- 网箱养殖的肉食性鱼类对饲料投入等渔业资源依赖性的增强，包括鱼粉、鱼油和低价值的“小杂鱼”种类(Asche与Tveteras，2004；De Silva与Phillips，本卷；Edwards等，2004；Kristofersson与Anderson，2006；Tacon等，2006)。注：此依赖性不是网箱养殖系统所特有，还适用于水池和水槽养殖的肉食性鱼和甲壳类种类。
- 一些网箱养殖系统对野生捕获鱼种的依赖性的增强，特别是那些刚刚开始养殖但孵化产量不能满足需求的海水鱼类更是如此(联合国粮农组织，2006d；Merican，2006；Ottolenghi等，2004；Rimmer，2006)。
- 鱼从网箱中逃逸的风险增强，并对野生鱼群造成潜在影响(消极的和/或积极的)，包括潜在的遗传、生态和社会影响(联合国粮农组织，2006d；Ferguson等，2007；Hindar等，2006；Naylor等，2005；Soto等，2001)。
- 网箱养殖活动对其他动物种类的潜在影响(消极的和/或积极的)，包括受网箱内鱼吸引的猛禽和哺乳动物(Beveridge，2004；Nash等，2000)；

表3

十大淡水网箱养殖国家

国家	数量(公吨)	占总量的百分比
中国	704 254	68.4
越南	126 000	12.2
印度尼西亚	67 672	6.6
菲律宾	61 043	5.9
俄罗斯联邦	14 036	1.4
土耳其	10 751	1.0
老挝人民民主共和国	9 900	1.0
泰国	7 000	0.7
马来西亚	6 204	0.6
日本	3 900	0.4

表4

淡水网箱养殖前十位种类的产量(不包括中国大陆)

种类	数量(公吨)	占总量的百分比
鲶科	133 594	41.1
尼罗罗非鱼	87 003	26.7
鲤鱼	21 580	6.6
罗非鱼	16 714	5.1
虹鳟鱼	14 625	4.5
斑鳟属	12 071	3.7
小盾鳢	11 525	3.5
海鳟	8 551	2.6
淡水鱼	6 914	2.1
鲟科	2 368	0.7

- （某些国家）社会对使用公共内陆和沿海水体进行网箱养殖系统养鱼的关注增强（由于可能取代渔民和其他人员，和/或由于已意识到的视觉污染），以及随后需要与所有利益相关人进行商议（联合国粮农组织，2006d）；
- 对部门发展确定和实施适当的政府控制的需求增加，包括规划和环境监控，以及实施良好/更好的养殖场管理生产方式（Alston 等，2006；Boyd 等，2005；Chen 等，本卷；联合国粮农组织，2006d）；以及
- 公众对集约型养殖系统的长期环境和生态可持续性的关注度不断上升（Goodland，1997），特别是那些在网箱内养殖的靠渔业资源作为饲料喂养的肉食性种类的长期生态可持续性（Costa-Pierce，2003；Tacon 等，2006）。

在此特别需要提到的是，水产养殖（包括网箱养殖系统的使用）具有许多重要的社会、经济和环境利益，包括提高粮食安全性和减轻

贫困，增加农村就业机会，增加粮食供应和可用性，改善人类营养和福利，增加外汇收益，改善废水处理/水重用和庄稼灌溉机会，改善营养循环，所有这些需要被考虑到，并以粮食生产系统的均衡比较进行权衡（联合国粮农组织，2006d；Halwart与Moehl 2006；Hambrey，1999，2001；Tacon，2001）。

### 发展道路

网箱养殖有巨大的发展潜力。例如，中等家庭规模的网箱养殖在亚洲许多地区获得巨大成功（Phillips与De Silva，2006），然而持续增长和进一步发展的关键问题之一是如果实施管理，而非如何进行推动（Hambrey，2006）。但是，目前迫切要求降低亚洲某些网箱养殖系统对用作饲料投入的低价值/小杂鱼（包括用于鱼芒鲶科以及鳊鱼、黑鱼和海水有鳍鱼等高价鱼种的饲料）的依赖性。各种集约程度的其他网箱养殖形式逐渐在非洲兴起，主要的挑战在于是否具有经济、政治和监管环境提供支持（Rana与Telfer，2006）。

表5  
十大海水和半咸水网箱养殖国家的产量

国家	产量（公吨）	占总量的百分比
挪威	652 306	27.5
智利	588 060	24.8
中国	287 301	12.1
日本	268 921	11.3
英国	131 481	5.5
加拿大	98 441	4.2
希腊	76 212	3.2
土耳其	68 173	2.9
韩国	31 895	1.3
丹麦（包括法罗群岛）	31 192	1.3

表6  
海水和半咸水网箱养殖中十大种类的产量（公吨）（不包括中国大陆）

种类	产量（公吨）	占总量的百分比
大西洋鲑	1 219 362	58.9
虹鳟鱼	195 035	9.4
五条鲷	159 798	7.7
银鲑	116 737	5.6
金头鲷	85 043	4.1
嘉腊鱼	82 083	4.0
舌齿鲈	44 282	2.1
鲈种	37 290	1.8
大鳞大麻哈鱼	23 747	1.2
鲷科	21 297	1.0

但是，高价值有鳍鱼的集约型网箱养殖增长最快，该部门的发展和转变具有重大的社会和环境的影响。与家畜生产的全球趋势类似，集约经营的快速发展具有淘汰小型生产者的风险，不同集约程度上的高产量如果不加以规划和管理，将导致环境退化。鉴于大多数网箱养殖均开展在脆弱而且已经遭受很大压力的沿海环境里，因此人们日益认识到要特别关注该部门的环境可持续性。

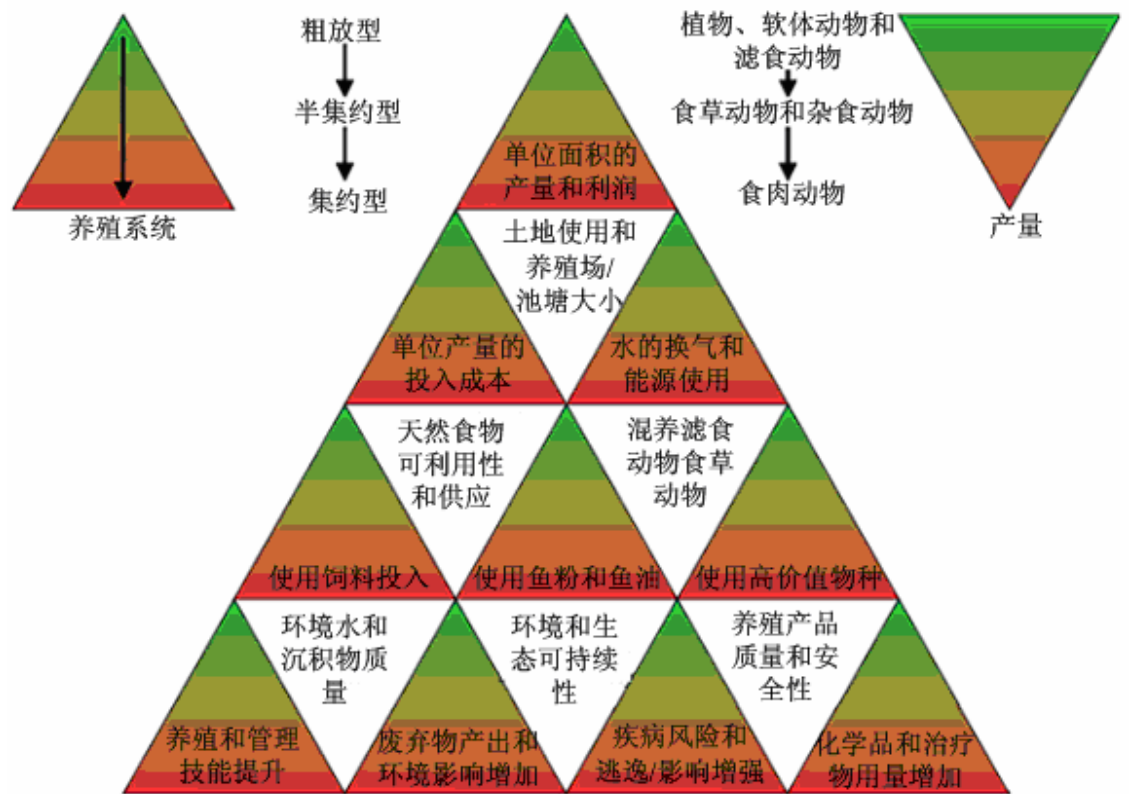
扩展、强化、环境污染以及海水和内陆水域状况

尽管缺乏有关全球网箱养殖具体规模和状况的可靠的统计数据，但通过多份区域网箱养殖评论（撒哈拉以南非洲地区的评论除外）可以明显看出，网箱养殖是目前全球水产养殖生产中发展最快的部门。尽管地区间存在重大差异，但扩展仍会持续：由于沿海水域可用的养殖场很有限，亚洲地区的小型养殖活动可能进一步集中（De Silva与Phillips，本卷），Cardia

与Lovatelli（本卷）针对地中海沿岸更具资本集约型特征的深水网箱的各种广泛可选的养殖场所进行了报告，而Blow与Leonard（本卷）特别针对撒哈拉以南非洲的淡水进行了报告。虽然网箱养殖允许养殖场主获得未开发的新型水生资源并进入潜在的渔场（包括湖泊、水库、河流、河口和广大的近岸海水环境），但水产养殖的强化也会导致更高的环境和经济风险（图5），这些风险又需要采用新型养殖场管理技能以及国内监管控制和环境监控系统，以实现部门的可持续发展（联合国粮农组织，2006d）。

特别需要尽可能降低现有大多数网箱养殖场潜在的环境和生态系统影响，现有的这些养殖场大多是只养殖一个鱼种（即单一经营）的开放养殖系统（Tacon与Forster，2003），通常很少或几乎不关注“利用这些开放性养殖系统排放出的废弃物作为网箱内其他养殖种类有营养价值的补充性饲料”问题。

图5 传统粗放型养殖系统、半集约型养殖系统和集约型养殖系统在生产、资源利用和潜在/已知的环境风险方面的主要区别



来源：摘自Tacon等，1995



尽管如上所述，由于环境污染问题，全球对环境，特别是对人类的生活和健康的关注日渐增长。目前进入世界海水的主要污染物来自污水（30%）、空气污染物（30%）、农场径流（20%）、工业废水（10%）、海水运输（10%）、近海石油（5%）、枯叶（5%；Klesius, 2002）。虽然水产养殖业对环境污染起的作用较小（由于在全球范围内，其规模较小），但随着行业的发展，未来情况可能会有变化；传统网箱养殖造成的环境污染已经成为中国沿海水域的严重问题（Chen等，本卷；Duqi与Minjie, 2006；Honghui等, 2006；Xiao等, 2006），在澳大利亚和新西兰，环境考虑已经成为网箱养殖发展的限制因素（Rimmer等，本卷）。较大型养殖场的环境影响评估要求可在某种程度上解决这一问题。但是，对单个养殖场进行环境评估本身并不够，因为环境对网箱养殖的影响以及数个小规模网箱养殖累积影响和长期累积影响也需要仔细考虑。

需要采取更有策略的环境评估和管理，考虑所有影响水生环境和吸收废弃物的环境能力的经济活动（Halwart与Moehl, 2006）。另一方面，网箱养殖为未来海上养殖提供了一种解决方案，因为它可以在海上进行，对于像中国这样沿海区域压力和水产养殖本身污染威胁相关的国家来说，它可提供重要的机会和可行的选择。

此外，作为环境污染的直接后果，全球也日渐关注粮食安全，特别是关注天然水产品链中累积的环境污染物（包括持续的有机污染物和重金属）的等级，包括野外捕获的鱼和以饵料鱼为食的水产养殖种类（联合国粮农组织, 2006d；Schwarzenbach等, 2006；Tacon等, 2006）。

鉴于在某些国家网箱养殖获得了重大进展，例如，挪威通过改进饲料和饲养技术降低了抗生素使用量，替代了疫苗并降低了饲料损失（Grøtum与Beveridge, 本卷），本部门有信心应对挑战。如果以《负责任渔业行为守则》等主要国际协议为基础，在场所选择和分区时使用地理工具（例如全球信息系统—GIS）

（Perez等, 2005），在行为监控时使用遥感工具（Cubitt等, 2005）并在鱼饲料中使用鱼粉替代物（Zhou等, 2005），那么政府政策、制度和法律的支持将成为网箱养殖良好发展的重要因素。

#### 综合系统：多营养层级的网箱养殖技术

根据上述探讨，很显然看出，网箱养殖要进一步发展，可以有两种途径：一是向更远的生产条件会更加艰难的近海水域发展（这样可以加强排放物的稀释，尽可能降低对环境影响和可能的视觉污染；Chen等，本卷；Cremer等，

2006；Kapetsky与Aguilar-Manjarrez, 2007；Lisac, 2006）；二是通过与海藻、软体动物和其他底栖无脊椎动物等营养层级较低的种类进行混养（Ridler等, 2007；Rimmer, 2006；Whitmarsh等, 2006）。

不同营养层级种类一起混养殖的原理是一个或多个种群（例如网箱养殖的有鳍鱼）排出的废弃物可被一个或多个种类作为饵料利用，包括海藻、滤食软体动物和/或海参等底栖无脊椎动物、环节动物或棘皮动物（图6）。

尽管目前已在陆地系统开展了一些研究（Neori等, 2004年；Troell等, 2004），但开放性或近海养殖系统中仍需要大量进一步的研究（Lombardi等, 2006；Ridler等, 2007；Rimmer, 2006；Xu等, 2006；Yingjie, 2006；Yufeng与Xiugeng, 2006）。此类综合水产养殖或多营养层级水产养殖的主要难题之一是社会经济性，因为需要加强不同利益相关人（例如，贻贝养殖者和鲑鱼养殖者）的共同合作或对养殖者进行适当激励，促进他们自己开展多营养层级的水产养殖。可能前一种选择具有更大的社会优势，应在地区和全球范围内进行多学科研究。

#### 结束语

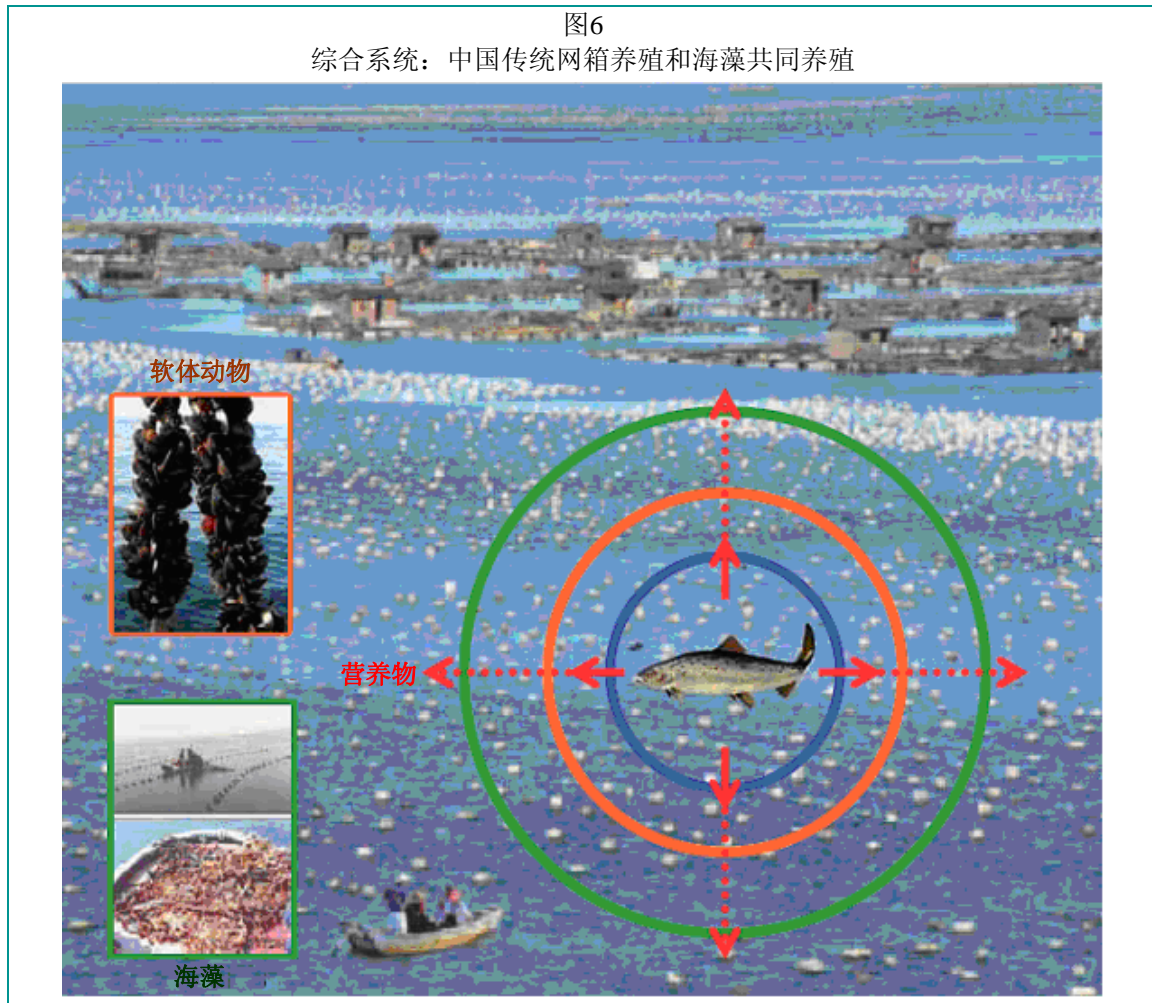
网箱养殖为全球日益增长的人口提供鱼类的前景十分巨大，特别是在海水水域中更是如此，因为我们地球97%以上是海水。虽然海水占据地球表面的71%并提供99%的生存空间，但它们是人类认识最少的生态系统之一，人类仅对其10%的生存空间进行了研究。

与陆地粮食生产系统（满足目前99%以上的粮食需求；联合国粮农组织, 2006b）明显不同的是，海水与河流的捕获渔业目前以可食用渔业产品的形式仅提供了热量摄取总量的不到1%

（联合国粮农组织, 2006a）；我们已知的鱼类中52%已被完全利用，20%中度利用，17%过度利用，7%已衰退，3%利用不足，1%的正在恢复（联合国粮农组织, 2005）。

显然，由于全球人口以每年8 000万的速度增长，预计到2050年到达90亿，我们的海水和珍贵的淡水资源必须提升效率和产能，增加全球水产养殖产量。

此外，水产养殖需要提升效率和生产力，尤其是网箱养殖。其他因素也很重要，特别是根据大家一致认可的原则下，食物安全问题要与可被社会接受，且经济和环境可持续的食物生产相结合，同时要重视动物福利。所有这些因素在消费者对水产品的认知和接受中的比重越来越大。网箱养殖将在为全人类提供充足（可接受）的鱼产品的整个过程中发挥重要作用，因为这种综合鱼类生产系统不仅可以利用沿海水域，而且网箱养殖区还可能向离岸水域发展。



### 致谢

许多朋友和同事提供了支持并提出了建设性建议，在此作者向他们表示感谢。特别要感谢的是 J. Aguilar-Manjarrez、J.R. Arthur、P. Balzer、D. Bartley、M. Beveridge、P. Blow、C.J. Bridger、F. Cardia、B. Chakalall、J. Chen、Z. Chen、S.S. De Silva、J. Forster、S. Funge-Smith、J.A. Grøtum、C. Guang、M. Hasan、Hasini、S. Leonard、J. Liu、A. Lovatelli、A. Lowther、M.P. Masser、J. Moehl、M.J. Phillips、B. Ponia、M. Reantaso、M.A. Rimmer、A. Rojas、D. Soto、R. Subasinghe、S. Wadsworth、Y. Wang、H. Xu、P. Xu 和 X. Yan。

## 参考文献

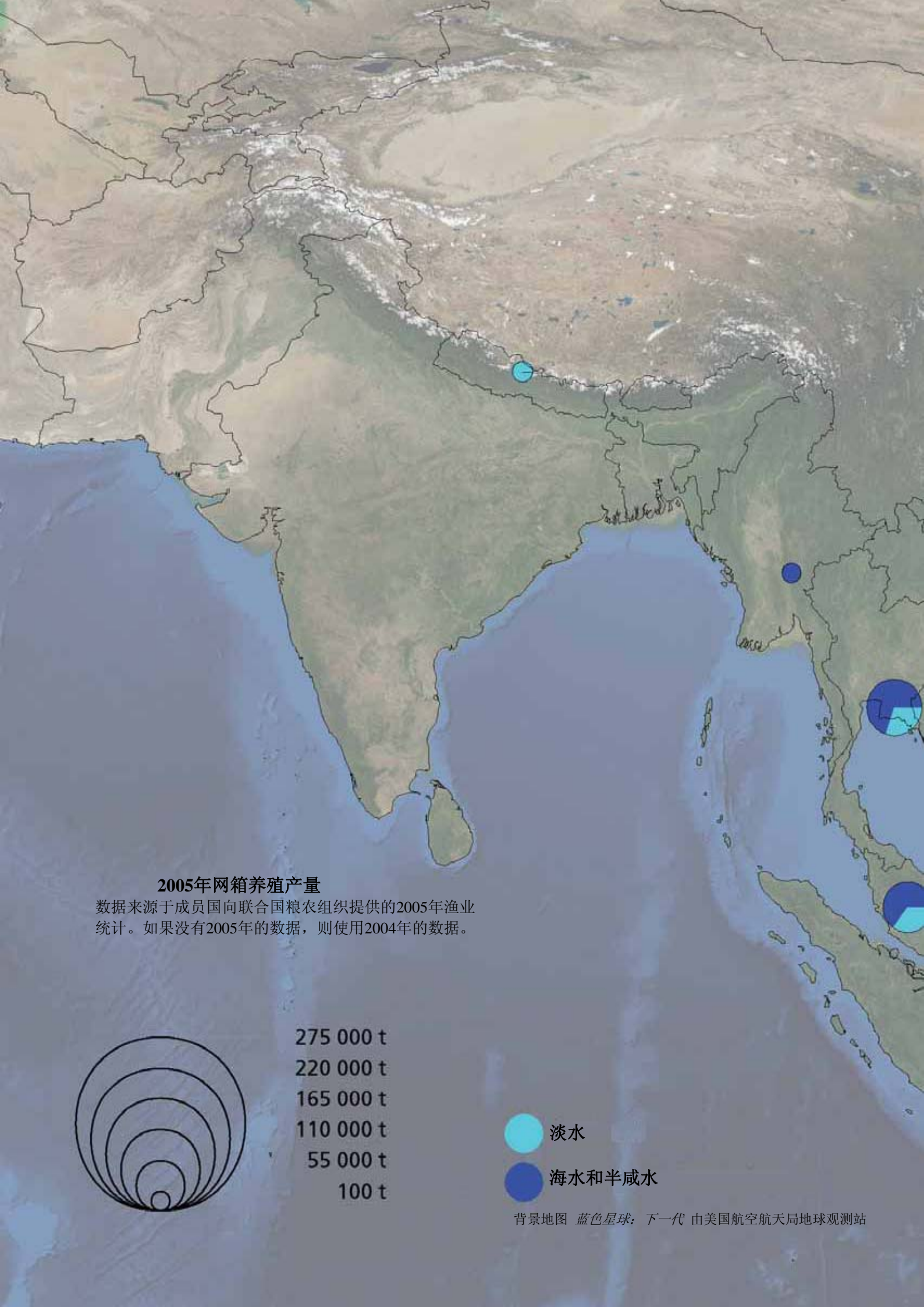
- Alston, D.E., Cabarcas-Nunez, A, Helsley, C.E., Bridger, C. & Benetti, D.** 2006. Standardized environmental monitoring of open ocean cage sites: Basic considerations. *World Aquaculture*, 37: 24–26.
- Asche, F. & Tveteras, S.** 2004. On the relationship between aquaculture and reduction fisheries. *Journal of Agricultural Economics*, 55(2): 245–265.
- Beveridge, M.** 2004. *Cage Aquaculture*, third edition. Oxford, UK, Blackwell Publishing Ltd. 368 pp.
- Blow, P. & Leonard, S.** (this volume). A review of cage aquaculture: Sub-Saharan Africa.
- Boyd, C.E., McNevin, A.A., Clay, J. & Johnson, H.M.** 2005. Certification issues for some common aquaculture species. *Reviews in Fisheries Science*, 13: 231–279.
- Cardia, F. & Lovatelli, A.** (this volume). A review of cage aquaculture: Mediterranean Sea.
- Chen, J., Guang, C., Xu, H., Chen, Z., Xu, P., Yan, X., Wang, Y. & Liu, J.** (this volume). A review of cage and pen aquaculture: China.
- Costa-Pierce, B.A.** 2003. Ecology as the Paradigm for the Future of Aquaculture. In B.A. Costa-Pierce. *Ecological Aquaculture*, pp. 339–372. Oxford, UK, Blackwell Publishing Ltd. 328 pp.
- Cremer, M.C., Lan, H.P., Schmittou, H.R. & Jian, Z.** 2006. Commercial scale production of Pompano *Trachinotus ovatus* in off-shore ocean cages: results of 2004 and 2005 production tests in Hainan, China, by ASA-IM/USB. In *Book of Abstracts, 2nd International Symposium on Cage Aquaculture in Asia (CAA2), 3-8 July 2006, Hangzhou, China*, pp. 9-10 (Proceedings - in press).
- Cubitt, K.F., Churchill, S., Rowsell, D., Scruton, D.A. & McKinley, R.S.** 2005. 3-dimensional positioning of salmon in commercial sea cages: assessment of a tool for monitoring behaviour. In *Aquatic telemetry. Advances and applications. Proceedings of the fifth Conference on Fish Telemetry held in Europe, Ustica, Italy, 9-13 June 2003* pp. 25–33.
- Delgado, C.L., Wada, N., Rosegrant, M.W., Meijer, S. & Ahmed, M.** 2003. *Fish to 2020: Supply and Demand in Changing Global Markets*. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington and WorldFish Center, Penang, Malaysia. 226 pp.
- De Silva, S.S. & Phillips, M.J.** (this volume). A review of cage aquaculture: Asia (excluding China).
- Duqi, Z. & Minjie, F.** 2006. The review of marine environment on carrying capacity of cage culture. In *Book of Abstracts, 2nd International Symposium on Cage Aquaculture in Asia (CAA2), 3-8 July 2006, Hangzhou, China*, p. 90. (Proceedings - in press).
- Edwards, P., Tuan, L.A. & Allan, G.L.** 2004. *A survey of marine trash fish and fishmeal as aquaculture feed ingredients in Viet Nam*. Australian Centre for International Agricultural Research. ACIAR Working Paper 57. Canberra, Elect Printing. 56 pp.
- FAO.** 2005. *Review of the state of world marine fishery resources*. FAO Fisheries Technical Paper 457. Rome, FAO. 235 pp.
- FAO.** 2006b. *FAO Statistical Database, FAOSTAT* (available at <http://faostat.fao.org>).
- FAO.** 2006c. *Asia-Pacific Fishery Commission Regional Consultative Forum Meeting, 16-19 August 2006, Kuala Lumpur, Malaysia*. Bangkok, FAO Regional Office for Asia and the Pacific.
- FAO.** 2006d. *State of World Aquaculture 2006*. FAO Technical Paper 500. Rome, FAO. 134 pp.
- FAO.** 2007. *Fishstat Plus: Universal software for fishery statistical time series. Aquaculture production: quantities 1950-2005, Aquaculture production: values 1984-2005; Capture production: 1950-2005; Commodities production and trade: 1950-2005; Total production: 1970-2005, Vers. 2.30*. Rome, FAO Fisheries and Aquaculture Department, Fishery Information, Data and Statistics Unit.
- Ferguson, A., Fleming, I.A., Hindar, K., Skaala, Ø., McGinnity, P., Cross, T. & Prodöhl, P.** 2007. Farm escapes. In E. Verspoor, L. Stradmeyer & J. Nielsen (eds), *Atlantic Salmon: Genetics, conservation and management*, pp. 367–409. Oxford, Blackwell Publishing Ltd.
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, S.F., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N. & Snyder, P.K.** 2005. Global consequences of land use. *Science*, 309: 570–574.
- Forster, J.R.** 2006. Paper presented at the Annual Meeting of the Hawaii Aquaculture Association, Hawaii Institute of Marine Biology, Oahu, Hawaii, USA, June 15th, 2006.
- Goodland, R.** 1997. Environmental sustainability in agriculture: diet matters. *Ecological Economics*, 23: 189–200.
- Grøttum, J.A. & Beveridge, M.C.** (this volume). A review of cage culture: northern Europe.
- Halwart, M. & Moehl, J.F.** (eds.) 2006. *FAO Regional Technical Expert Workshop on Cage Culture in Africa. Entebbe, Uganda, 20-23 October 2004*. FAO Fisheries Proceedings. No. 6. Rome, FAO. 113 pp. (also available at <http://www.fao.org/docrep/009/a0833e/a0833e00.htm>)

- Hambrey, J., Tuan, L.A., Nho, N.T., Hoa, D.T & Thuong, T.K.** 1999. Cage culture in Vietnam: how it helps the poor. *Aquaculture Asia*, IV(4): 15–17.
- Hambrey, J., Tuan, L.A. & Thuong, T.K.** 2001. Aquaculture and poverty alleviation II. Cage culture in coastal waters of Viet Nam. *World Aquaculture*, 32(2): 34–67.
- Hambrey, J.** 2006. A brief review of small-scale aquaculture in Asia, its potential for poverty alleviation, with a consideration of the merits of investment and specialization. In M. Halwart & J.F. Moehl (eds). *FAO Regional Technical Expert Workshop on Cage culture in Africa. Entebbe, Uganda, 20–23 October 2004*, pp. 37–47. FAO Fisheries Proceedings. No. 6. Rome, FAO. 113 pp.
- Hindar, K., Fleming, I.A., McGinnity, P. & Diserud, A.** 2006. Genetic and ecological effects of salmon farming on wild salmon: modelling from experimental results. *ICES Journal Of Marine Science*. 63 (7) 1234–1247.
- Honghui, H., Qing, L., Chunhou, L., Juli, G. & Xiaoping, J.** 2006. Impact of cage fish farming on sediment in Daya Bay, PR China. In *Book of Abstracts, 2nd International Symposium on Cage Aquaculture in Asia (CAA2), 3-8 July 2006, Hangzhou, China*, pp. 88–89. (Proceedings - in press).
- Kapetsky, J.M. & Aguilar-Manjarrez, J.** 2007. *Geographic information systems, remote sensing and mapping for the development and management of marine aquaculture*. FAO Fisheries Technical Paper. No. 458. Rome, FAO. 125 pp.
- Klesius, M.** 2002. The State of the Planet: A Global Report Card. *National Geographic*, 197(9), 102–115.
- Kristofersson, D. & Anderson, J.L.** 2006. Is there a relationship between fisheries and farming? Interdependence of fisheries, animal production and aquaculture. *Marine Policy*, 30: 721–725.
- León, J.N.** 2006. *Synopsis of salmon farming impacts and environmental management in Chile*. Consultancy Technical Report. Valdivia, Chile, WWF Chile. 46 pp.
- Lisac, D. & Refa Med srl.** 2006. Open-sea farming: operational constraints. In *Book of Abstracts, 2nd International Symposium on Cage Aquaculture in Asia (CAA2), 3-8 July 2006, Hangzhou, China*, p. 63. (Proceedings - in press).
- Lombardi, J.V., de Almeida Marques, H.L., Pereira, R.T.L., Barreto, O.J.S. & de Paula, E.J.** 2006. Cage polyculture of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* and the Philippines seaweed *Kappaphycus alvarezii*. *Aquaculture*, 258: 412–415.
- Masser, M.P. & Bridger, C.J.** (this volume). A review of cage aquaculture: North America.
- Mente, E., Pierce, G.J., Santos, M.B. & Neofitou, C.** 2006. Effect of feed and feeding in culture of salmonids on the marine aquatic environment: a synthesis for European aquaculture. *Aquaculture International*, 14: 499–522.
- Merican, Z.** 2006. Marine finfish cage culture: some of the strengths, weaknesses, opportunities and threats facing this expanding yet fragmented industry in China and Southeast Asia. *AQUA Culture AsiaPacific Magazine*, 2(2): 22–24.
- Nash, C.E., Iwamoto, R.N. & Mahnken, C.V.W.** 2000. Aquaculture risk management and marine mammal interactions in the Pacific Northwest. *Aquaculture*, 183: 307–323.
- Naylor, R., Hindar, K., Fleming, I.A., Goldburg, R., Williams, S., Volpe, J., Whoriskey, F., Eagle, J., Kelso, D. & Mangel, M.** 2005. Fugitive salmon: assessing the risks of escaped fish from net-pen aquaculture. *BioScience*, 55: 427–437.
- Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A.H., Kraemer, G.P., Halling, C., Shpigel, M. & Yarish, C.** 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern aquaculture. *Aquaculture*, 231: 361–391.
- Ottolenghi, F., Silvestri, C., Giordano, P., Lovatelli, A. & New, M.B.** 2004. *Capture-based aquaculture: The fattening of eels, groupers, tunas and yellowtails*. FAO Rome. 308 pp.
- Perez, O.M., Telfer, T.C. & Ross, L.G.** 2005. Geographical Information Systems-based models for offshore floating marine fish cage aquaculture site selection in Tenerife, Canary Islands. *Aquaculture Research* 36: 946–961.
- Pillay, T.V.R. & Kutty, M.N.** 2005. *Aquaculture: Principles and Practices*, Second Edition. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, England. 624 pp.
- Phillips, M. & De Silva, S.** 2006. Finfish cage culture in Asia: an overview of status, lessons learned and future developments. In M. Halwart and J.F. Moehl (eds). *FAO Regional Technical Expert Workshop on Cage Culture in Africa. Entebbe, Uganda, 20–23 October 2004*, pp. 49–72. FAO Fisheries Proceedings. No. 6. FAO Rome. 113 pp.
- Rana, K. & Telfer, T.** 2006. Primary drivers for cage culture and their relevance for African cage culture. In M. Halwart and J.F. Moehl (eds). *FAO Regional Technical Expert Workshop on Cage Culture in Africa. Entebbe, Uganda, 20–23 October 2004*, pp. 99–107. FAO Fisheries Proceedings. No. 6. FAO Rome. 113 pp.



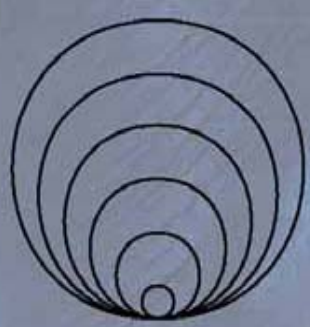
- Ridler, N., Barrington, K., Robinson, B., Wowchuk, M., Chopin, T., Robinson, S., Page, F., Reid, G., Szemerda, M., Sewuster, J. & Boyne-Travis, S. 2007. Integrated multitrophic aquaculture: Canadian project combines salmon, mussels, kelps. *Global Aquaculture Advocate*, 10(2): 52–55.
- Rimmer, M.A. 2006. *Regional review of existing major mariculture species and farming technologies*. Paper presented for the FAO/NACA Regional Mariculture Workshop, 7-11 March 2006, Guangdong, China (in press)
- Rimmer, M.A., Ponia, B. & Wani, J. (this volume). A review of cage aquaculture: Oceania.
- Rojas, A. & Wadsworth, S. (this volume). A review of cage aquaculture: Latin America and the Caribbean.
- Schwarzenbach, R.P., Escher, B.I., Fenner, K., Hofstetter, T.B., Johnson, C.A., von Gunten, U. & Wehrli, B. 2006. The challenge of micropollutants in aquatic systems. *Science*, 313: 1072–1077.
- Soto, D., F. Jara & Moreno, C. 2001. Escaped salmon in the Chiloe and Aysen inner seas, southern Chile: facing ecological and social conflicts. *Ecological Applications*, 11(6): 1750–1762.
- Tacon, A.G.J. 2001. Increasing the contribution of aquaculture for food security and poverty alleviation. In R.P. Subasinghe, P. Bueno, M.J. Phillips, C. Hough & S.E. McGladdery (eds) *Aquaculture in the Third Millennium*, pp. 67–77. Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand, 20–25 Feb. 2000.
- Tacon, A.G.J. & Forster, I.P. 2003. Aquafeeds and the environment: policy implications. *Aquaculture*, 226(1-4): 181–189.
- Tacon, A.G.J., Phillips, M.J. & Barg, U.C. 1995. Aquaculture feeds and the environment: the Asian experience. *Water Science Technology* 31(10): 41–59.
- Tacon, A.G.J., Hasan, M.R. & Subasinghe, R.P. 2006. *Use of fishery resources as feed inputs to aquaculture development: trends and policy implications*. FAO Fisheries Circular No. 1018, Rome, FAO. 99 pp.
- Tan, Z., Komar, C. & W.J. Enright. 2006. Health management practices for cage aquaculture in Asia: A key component for sustainability. In *Book of Abstracts, 2nd International Symposium on Cage Aquaculture in Asia (CAA2), 3-8 July 2006, Hangzhou, China*, pp. 5–7. (Proceedings - in press).
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R. & Polasy, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418: 671–677.
- Troell, M., Halling, C., Neori, A., Chopin, T., Buschmann, A.H., Kautsky, N. & Yarish, C. 2004. Integrated mariculture: asking the right questions. *Aquaculture*, 226: 69–90.
- Volpe, J., Benetti, D., Boehlert, G., Boesch, D., Davis, A., Dethier, M., Goldberg, R., Kent, M., Mahnken, C., Marra, J., Rensel, J., Sandifer, P., Stickney, R., Tacon, A. & Tyedmers, P. 2006. *Integrating aquacultural and ecological sciences for sustainable offshore aquaculture*. Paper presented at the Annual Meeting of the World Aquaculture Society, May 9-13 2006, Florence, Italy.
- Whitmarsh, D.J., Cook, E.J. & Black, K.D. 2006. Searching for sustainability in aquaculture: An investigation into the economic prospects for an integrated salmon-mussel production system. *Marine Policy* 30: 293–298.
- Xu, S., Zhang, H., Wen, S., Luo, K. & He, P. 2006. Integrating seaweeds into mariner fish cage culture systems: a key towards sustainability. In *Book of Abstracts, 2nd International Symposium on Cage Aquaculture in Asia (CAA2), 3-8 July 2006, Hangzhou, China*, p. 96. (Proceedings - in press).
- Xiao, C., Shaobo, C. & Shenyun, Y. 2006. Pollution of mariculture and recovery of the environment. In *Book of Abstracts, 2nd International Symposium on Cage Aquaculture in Asia (CAA2), 3-8 July 2006, Hangzhou, China*, p. 95. (Proceedings - in press).
- Yingjie, L. 2006. *The future of mariculture: a regional approach for responsible development of marine farming in the Asia-Pacific Region*. Paper presented for the FAO/NACA Regional Mariculture Workshop, 7-11 March 2006, Guangdong, China (in press)
- Yufeng, Y. & Xiugeng, F. 2006. Development of mariculture and bioremediation of seaweeds in Chinese coastal waters. In *Book of Abstracts, 2nd International Symposium on Cage Aquaculture in Asia (CAA2), 3-8 July 2006, Hangzhou, China*, p. 88. (Proceedings - in press).
- Zhou, Q.C., Mai, K.S, Tan, B.P. & Liu, Y.J. 2005. Partial replacement of fishmeal by soybean meal in diets for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquaculture Nutrition* 11: 175–182.





### 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。



- 275 000 t
- 220 000 t
- 165 000 t
- 110 000 t
- 55 000 t
- 100 t

- 淡水
- 海水和半咸水

# 网箱养殖评论：亚洲 (不包括中国)

