

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.16113

中国水产养殖种类组成、不投饵率和营养级

唐启升^{1,2}, 韩冬³, 毛玉泽^{1,2}, 张文兵⁴, 单秀娟^{1,2}

1. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;
2. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266071;
3. 中国科学院 水生生物研究所, 淡水生态与生物技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430072;
4. 中国海洋大学 海水养殖教育部重点实验室, 水产动物营养与饲料农业部重点实验室, 山东 青岛 266003

摘要: 根据 1950–2014 年水产养殖种(类)有关统计和调研数据, 并在对养殖投饵率、饲料中鱼粉鱼油比例、各类饵料(配合饲料、鲜杂鱼/低值贝类/活鱼、天然饵料等)营养级等基本参数进行估算的基础上, 研究分析了中国水产养殖种类组成、生物多样性、不投饵率和营养级的特点及其变化。结果表明: 中国水产养殖结构相对稳定, 变化较小, 其显著特点是种类多样性丰富、优势种显著、营养层次多、营养级低、生态效率高、生物量产出多。其中: (1)养殖种类 296 个、品种 143 个, 合计为 439 个。种类组成区域差异明显, 淡水养殖鱼类占绝对优势, 如 2014 年草鱼、鲢鱼、鳙鱼、鲤鱼、鲫鱼和罗非鱼排名前 6 个种类的养殖占淡水养殖产量 69.6%, 其次为甲壳类、其他类、贝类及藻类, 而海水养殖则以贝藻类为主, 如 2014 年牡蛎、蛤、扇贝、海带、贻贝和蛭 6 个种(类)的养殖占海水养殖产量 71.3%, 其次为甲壳类、鱼类及其他类; (2)养殖种类多样性特征显著, 与世界其他主要水产养殖国家相比, 独为一支, 具较高的多样性、丰富度和均匀度, 发展态势良好; (3)由于养殖方式从天然养殖向投饵养殖转变, 不投饵率呈明显下降趋势, 从 1995 年 90.5% 降至 2014 年 53.8% (淡水 35.7%, 海水 83.0%), 但与世界平均水平相比, 仍保持较高的水准; (4)与世界相比, 营养级低且较稳定。由于配合饲料的广泛使用及其鱼粉鱼油使用量减少, 近年营养级略有下降, 从 2005 年较高的 2.32 降至 2014 年 2.25 (淡水 2.35, 海水 2.10)。营养级金字塔由 4 级构成, 以营养级 2 为主, 近年占 70%, 表明其生态系统有较多的生物量产出。中国水产养殖未来发展需要遵循绿色、可持续和环境友好的发展理念, 探讨适宜的、特点各异的新生产模式, 发展以养殖容量为基础的生态系统水平的水产养殖管理, 建设环境友好型的水产养殖业, 为保障国家食物安全、促进生态文明建设作出更大贡献。

关键词: 种类组成; 多样性; 不投饵率; 营养级; 水产养殖; 中国

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005–8737–(2016)04–0729–30

中国有“水产养殖之乡”之美誉, 不仅历史悠久, 同时也是较早认识到水产养殖将在现代渔业发展中发挥重要作用并为食物安全做出贡献的国家。20 世纪中后期, 经过近 30 年的争论、讨论和实践, 1986 年中国确定了“以养为主”的渔业发展方针^[1], 从而促使水产养殖快速发展。水产养殖产量从 1950 年不足 10 万 t、1985 年的 362.6 万 t 增至 2014 年的 4748.4 万 t, 在渔业中的比例从 8%、45.2% 增至 73.5%, 近 30 年产量翻了近 4 番, 成为

中国大农业发展最快的产业之一^[2–3]。中国工程院重大咨询项目在分析中国水产养殖产量快速增长原因时指出, 除了正确决策和科技进步等因素驱动之外, 还有一个不能忽视的原因, 即相当一部分养殖种类不需要投放饵料^[3–4]。不投饵, 意味着生产成本低、投入少, 有利于发展; 不投饵, 意味着养殖种类位于较低营养层次, 具有食物转换效率高和产出量大的特性; 不投饵, 意味着养殖中较少使用鱼粉, 减少对野生渔业资源的压力。显

收稿日期: 2016-03-31; 修订日期: 2016-04-06.

基金项目: 中国工程院重大咨询项目(2014-XZ-19).

作者简介: 唐启升(1943–), 男, 研究员, 中国工程院院士, 从事海洋渔业与生态研究. E-mail: ysfri@public.qd.sd.cn

然,相当一部分养殖种类不投饵是中国水产养殖的重要特色,是特有的水产养殖种类组成及其营养级所决定的。

2015 年初,《Science》杂志刊登的“中国水产养殖和世界野生渔业(China's aquaculture and the world's wild fisheries)”^[5]一文,曾引起了许多议论。一方面媒体炒作,进一步放大该文的结论“中国水产养殖注定削减世界野生渔业资源”,称“中国水产养殖危及野生渔业”^[6],另一方面许多同行专家(包括中国之外的欧美澳专家)却并不认同该文的结论,认为中国水产养殖发展与世界渔业资源变动不存在必然关系,水产养殖为中国和世界提供了食物并降低了对野生渔业资源的需求,即中国仅使用世界 25%左右的鱼粉却为世界生产了 60%以上的养殖水产品^[7-8]。形成这种歧异的原因是多方面的,其中技术层面的原因是对中国特色的水产养殖发展缺乏全面、深入的了解,缺乏对“中国水产养殖种类组成、不投饵率和营养级”这个基本情况的认识。

为此,本文重点研究分析中国水产养殖种类组成、不投饵率和营养级的基本特点及历史变化,探讨中国水产养殖未来的发展方向和模式。

1 材料与方法

1.1 基本数据来源

采集 1950–2014 年中国水产养殖种类及其产量数据,作为分析水产养殖种类组成、不投饵率和营养级特点与变化的基本数据。其中,1950–2014 年每 5 年选 1 个数据点,共 14 个数据点,探讨长期变化;2003–2014 年每年选 1 个数据点,共 12 个连续数据点,探讨进入生产稳定发展期的年度变化。数据中,按照养殖水域环境划分为淡水养殖和海水养殖,按照养殖类别划分为鱼类、甲壳类、贝类、藻类和其他类等 5 大类别,涉及养殖种(类)73 个(淡水 37 个,海水 36 个)。

1.1.1 每 5 年的产量数据(1950–2014) 数据来源于《中国渔业统计年鉴》^[2](以下简称《年鉴》)和联合国粮农组织(FAO)统计数据库^[9]。早期的《年鉴》^[2],渔业产量数据没有明确区分养殖和捕

捞产量,只划分了海水产品和淡水产品产量,因此,1950–2000 年的淡水养殖数据和 1950–1980 年的海水养殖数据,以及海水养殖 1985–2000 年中国对虾产量和 1985–1990 年其他类的产量来源于 FAO,其他数据来源于《年鉴》^[2],可使用产量数据为 540 个(淡水 267 个,海水 273 个)。

因 FAO 统计口径与《年鉴》^[2]略有差异,在引用 FAO 产量数据时按照《年鉴》^[2]的标准对 FAO 的数据进行了校正:(1)合并鲆鲽类产量,(2)半咸水的虾类产量划分到海水养殖产量,(3)扣除贝类中珍珠的产量,(4)藻类按照湿干重量计算,海带按湿干比为 5 换算,其他藻类产量按湿干比为 10 换算。

1.1.2 年度产量数据(2003–2014) 2003–2014 年水产养殖产量统计数据来源于《年鉴》^[2],可使用产量数据为 1023 个(淡水 509 个,海水 514 个)。需要说明的是,国家统计局曾根据全国第二次农业普查结果对 1997–2006 年水产养殖数据进行了调整(《年鉴(2015)》^[2],附录 1),但该附录中仅对淡水、海水养殖总产量进行了调整,并没有调整分类产量。因营养级等参数计算中产量使用的是相对量,故 2003–2006 年的养殖产量数据依然使用《年鉴》^[2]记录的产量,未作调整。

1.1.3 数据代表性分析 由于中国水产养殖种类繁多,不可能获得全部种类的产量数据,本文选取的两种时间尺度的数据均遵循绝对多数的原则,以确保其研究结果的代表性,即计算所涉及的种类的合计产量要占养殖总产量的 85%以上。下面以 2003–2014 年 12 年数据为例对其代表性进行分析。

(1) 淡水 2003–2014 年《年鉴》^[2]记录的淡水养殖种类(类)有 37 种,其中:鱼类有 25 种、甲壳类 5 种(4 种虾和 1 种蟹)、贝类 3 种、藻类 1 种、其他类 3 种,这些种类的年产量最低占淡水养殖年产量的 95.4% (2013 年),最高占 97.4% (2009 年),完全可以代表中国淡水养殖情况。表 1 列出《年鉴》^[2]中有产量统计的淡水养殖种类和品种,同时也列出没有产量统计种类和品种,即占产量不足 3%~5%的淡水养殖种类和品种,供参考。

表 1 中国淡水养殖种类和品种
Tab. 1 Species and varieties of Chinese freshwater aquaculture

种类 species	《年鉴》统计种类 ¹	
	reported by China Fishery Statistical Yearbooks ¹	not reported by China Fishery Statistical Yearbooks ²
鱼类 Fish	青鱼、草鱼、鲢鱼(鲢)、长丰鲢 ³ 、津鲢 ³ 、鳊鱼(鳊)、黄河鲤、元江鲤、华南鲤、黑龙江野鲤、湘江野鲤、杞麓鲤、建鲤 ³ 、德国镜鲤 ⁵ 、散鳞镜鲤 ⁵ 、乌克兰鲤 ⁵ 、德国镜鲤选育系 ³ 、湘云鲤 ³ 、兴国红鲤 ³ 、荷包红鲤 ³ 、荷包红鲤抗寒品系 ³ 、万安玻璃红鲤 ³ 、松浦镜鲤 ³ 、松浦镜鲤 ³ 、墨龙鲤 ³ 、豫选黄河鲤 ³ 、松荷鲤 ³ 、津新鲤 ³ 、易捕鲤 ³ 、福瑞鲤 ³ 、瓯江彩鲤“龙申 1 号” ³ 、颖鲤 ³ 、丰鲤 ³ 、荷元鲤 ³ 、岳鲤 ³ 、三杂交鲤 ³ 、芙蓉鲤 ³ 、津新鲤 2 号 ³ 、鲫鱼(银鲫、异育银鲫 ³ 、异育银鲫“中科 3 号” ³ 、湘云鲫 ³ 、湘云鲫 2 号 ³ 、彭泽鲫 ³ 、松浦银鲫 ³ 、萍乡红鲫 ³ 、红白长尾鲫 ³ 、白金丰产鲫 ³ 、蓝花长尾鲫 ³ 、杂交黄金鲫 ³ 、津新乌鲫 ³ 、芙蓉银鲫 ³ 、赣昌银鲫 ³ 、长丰鲫 ³ 、鲫鱼(长春鲫、东方欧鲫、斑点叉尾鲫 ⁴ 、斑点叉尾鲫“江丰 1 号” ³ 、鲃鱼(苏氏鲃、大口 1 号 ³ 、泥鳅(花鳅、大鳞副泥鳅)、鲫鱼(云斑鲫、斑点叉尾鲫 ⁴ 、短盖巨脂鲤(淡水白鲟) ⁴ 、黄鳝、鳊鱼(斑口鲃、杯头鲃、草胡子鲃 ⁴)、黄颡鱼(黄颡鱼、黄颡鱼“全雄 1 号” ³)、鲈鱼[河鲈、梭鲈、大口黑鲈(加州鲈) ⁴ 、大口鳊、翘嘴鲈、大眼鳊、秋浦杂交斑鳊 ³ 、翘嘴鳊“华康 1 号” ³)、鲈鱼(河鲈、梭鲈、大口黑鲈(加州鲈) ⁴ 、大口黑鲈“优鲈 1 号” ³]、乌鳢、罗非鱼(尼罗罗非鱼 ⁴ 、奥里亚罗非鱼 ⁴ 、尼罗罗非鱼“鹭雄 1 号” ³ 、吉富品系尼罗罗非鱼 ⁵ 、吉富罗非鱼“中威 1 号” ³ 、“新吉富”罗非鱼 ³ 、“夏奥 1 号”奥里亚罗非鱼 ³ 、奥尼鱼 ³ 、福寿鱼 ³ 、吉奥罗非鱼 ³ 、“吉丽”罗非鱼 ³ 、莫荷罗非鱼“广福 1 号” ³)、鳊鱼(日本鳊、美洲鳊)、鲟鱼(西伯利亚鲟、施氏鲟、俄罗斯鲟、小体鲟 ⁴ 、达氏鲟、欧洲鲟、闪光鲟、杂交鲟)、鳊鱼(虹鳊 ⁴ 、道纳尔逊氏虹鳊 ⁴ 、金鳊、山女鳊、硬头鳊、棕鳊、甘肃金鳊 ³)、池沼公鱼、银鱼(太湖新银鱼、大银鱼)、长吻鮠、河鲀(暗纹东方鲀、弓斑东方鲀)、鲑鱼(哲罗鲑、七彩鲑、银鲑、大西洋鲑、溪红点鲑、北极红点鲑、花羔红点鲑、白点鲑、高白鲑 ⁴ 、秋鲑)	鳊鱼、沙塘鳢、月鳢、葛氏鲈塘鳢、杂交鳢“杭鳢 1 号” ³ 、乌斑杂交鳢 ³ 、中华倒刺鲃、银鲃、鲃鱼(翘嘴红鲃、蒙古红鲃、青梢红鲃、杂交鲃“先锋 1 号” ³ 、芦台鲃 ³)、鲃鱼(细鳞斜颌鲃、银鲃、黄尾密鲃、大鳊、鲃杂交鱼 ³)、胭脂鱼、美国大口胭脂鱼 ⁴ 、唇鲃、花鲃、拉氏鲃、卡拉白鱼、赤眼鲃、白斑狗鱼、鲃鱼、瓦氏雅罗鱼、露斯塔野鲮 ⁴ 、香鱼、香鱼“浙闽 1 号” ³ 、马口鱼、江鲃、宽鳍鱲、白甲鱼、铜鱼、裂腹鱼(青海裂腹鲤、齐口裂腹鱼、云南裂腹鱼、沧澜裂腹鱼、短须裂腹鱼、四川裂腹鱼、小裂腹鱼)、扁吻鱼、宝石鲈、裂腹鱼、笋壳鱼、丁鲃、淡水石斑鱼、大鳍鱮、苏氏圆腹鲈、剑尾鱼 RP-B 系 ³
	罗氏沼虾 ⁴ (罗氏沼虾“南太湖 2 号” ³)、青虾(青虾、杂交青虾“太湖 1 号” ³)、克氏原螯虾、南美白对虾(凡纳滨对虾)、河蟹(中华绒螯蟹“光合 1 号” ³ 、中华绒螯蟹“长江 1 号” ³ 、中华绒螯蟹“长江 2 号” ³ 、中华绒螯蟹“江海 1 号” ³)	刀额新对虾、澳洲淡水龙虾
甲壳类 Crustaceans	河蚌(三角帆蚌、褶纹冠蚌、背角无齿蚌、池蝶蚌 ⁴ 、康乐蚌 ³)、螺、蚬	
贝类 Molluscs		
藻类 Algae		
其他 Others	鳊鱼(鳊)、鳊(中华鳊、美国鳊、中华鳊“浙新花鳊” ³ 、清溪乌鳊 ³ 、中华鳊日本品系 ⁵)、蛙(牛蛙 ⁴ 、美国青蛙 ⁴)	水蛭、大鲵

注: 1: 2003–2014《中国渔业统计年鉴》^[2]统计种类, 括号内是该类下包含的养殖种类及品种; 2: 资料来源: 相关专家咨询和参考文献^[10–11]; 3: 品种(或培育种); 4: 引进种; 5: 引进品种。
Note: 1: Aquaculture species were reported by China Fishery Statistical Yearbooks^[2] from 2003 to 2014. The statistical data of some species are carried out with category, and their aquaculture species and bred species (cultivated varieties) listed in parentheses. 2: Data in the table were from literatures ^[10–11] and expert consultation. 3: Varieties(bred species). 4: Introduced species. 5: Introduced bred species.

(2) 海水 2003–2014 年《年鉴》^[2]记录的海水养殖种类(类)有 36 种, 其中: 贝类 9 种、藻类 8 种、甲壳类 6 种(4 种虾和 2 种蟹)、鱼类有 10 种(类)、其他类 3 种, 这些种类的年产量最低占海水养殖年产量的 88.6%(2006 年), 最高占 91.1%(2010 年), 也可以代表中国海水养殖情况。表 2 列出《年鉴》^[2]中有产量统计的海水养殖种类和品种, 同时也列出没有产量统计种类和品种, 即占产量不足 9%~12%的海水养殖种类和品种, 供参考。

1.2 基本计算方法

1.2.1 养殖种类多样性指数计算 使用香农–威纳多样性指数(H')、马卡列夫丰富度指数(dM)、皮诺均匀度指数(J')、辛普森优势度指数(D)等经典物种多样性指数公式计算养殖种类多样性指数, 具体方法见文献[14]。计算中用养殖种类数代替物种数、养殖产量代替生物量, 数据取自联合国粮农组织(FAO)统计数据库(1950–2013)^[9]。

1.2.2 养殖不投饵率计算 根据公式 $NF_k = Y_{nfk} / Y_k$ 计算养殖不投饵率。式中, NF_k 是 k 年养殖不投饵率, Y_{nfk} 为 k 年不投饵养殖种类的产量, Y_k 为 k 年养殖种类的总产量。这里的不投饵指的是养殖生物在养殖过程中依赖水域中天然饵料成长, 而投饵则是主动投喂人工饲料及其他饵料。在实际计算中, Y_{nfk} 因类别而不同, 如贝类养殖基本不投饵, 但鱼类、甲壳类等情况较为复杂, 如投喂饵料比例、饵料类型及其随时间推移发生的变化等。为此, 鱼类、甲壳类等计算参数所涉及的投喂饵料比例等将在本文 1.3 中进行专题说明。

1.2.3 养殖种类营养级计算 自然水域生物种营养级计算公式为:

$$TL_i = 1 + \sum_{j=1}^n DC_{ij} TL_j$$

式中, TL_i 为生物 i 的营养级, DC_{ij} 为食物 j 在生物 i 胃含物中占得比例, TL_j 为食物 j 的营养级。研究中, 国际通用的营养级划分标准为: 初始营养层次(绿色植物)的营养级, 即将第 1 营养层次的绿色植物定为 1 级($TL=1$), 植食者为第二营养层次(初级消费者), 营养级定为 2 级($TL=2$), 以植食动

物为食的肉食动物为第 3 营养层次(次级消费者), 营养级定为 3 级($TL=3$), 以此类推^[15–17]。

参照生物种营养级计算公式, 养殖种类营养级计算公式可简化为:

$$TL_{ai} = 1 + TL_{aif}$$

式中, TL_{ai} 是养殖种类 ai 的营养级, TL_{aif} 为养殖种类 ai 在养殖水域中天然饵料或投喂饵料 f 的营养级。在实际计算中, TL_{aif} 因养殖类别而不同, 如藻类是绿色植物直接定为 1 级, 贝类基本滤食藻类, 营养级也基本定为 2 级, 但鱼类、甲壳类等情况较为复杂, 涉及投饵与不投饵、饵料类型及其营养级和所占比例、饲料中鱼粉鱼油比例, 以及其随时间推移发生的变化等。为此, 鱼类、甲壳类等计算参数下一节(1.3)将专题说明。

1.2.4 养殖类别营养级计算 按照下列公式计算养殖类别的营养级:

$$TL_k = \sum_{i=1}^m TL_{ai} Y_{aik} / Y_k$$

式中, TL_k 是养殖类别在 k 年的营养级, TL_{ai} 为种类 ai 的营养级, Y_{aik} 为种类 ai 在 k 年的养殖产量, Y_k 为该类别 k 年 m 个养殖种类的总产量。实际上, 养殖类别在 k 年的营养级是 m 个养殖种类营养级根据其产量在总产量中所占比例, 计算出来的 m 个养殖种类营养级的加权平均值。

1.3 主要计算参数估算与引用说明

1.3.1 投喂饵料养殖比例 中国水产养殖投喂的饵料包括配合饲料、鲜杂鱼(冰鲜鱼)、低值贝类、活鱼、藻类及其他饵料。

(1) 淡水 据解绶启等^[18]研究报道, 2009 年淡水养殖中草鱼、鲫、鲤和团头鲂养殖产量的 80% 来自投喂饵料养殖。本研究引用此数据作为 2009 年这些养殖品种投喂饵料养殖的比例, 并以此为基准结合对主要饲料生产企业和市场的问卷调研、专家咨询、《年鉴》^[2]和《中国饲料工业年鉴》^[19]数据, 估算出不同时期中国淡水养殖种类投喂饵料养殖产量占其养殖总产量的比例(附表 1)。

(2) 海水 根据文献数据^[20–22]、大型饲料生产企业和大型海水养殖企业的问卷和实地调查, 以及相关专家提供的资料, 结合《中国饲料工业

表 2 中国海水养殖种类和品种
Tab. 2 Species and varieties of Chinese mariculture

种类 species	《年鉴》统计种类 ¹		not reported by China Fishery Statistical Yearbooks ²
	reported by China Fishery Statistical Yearbooks ¹		
贝类 Molluscs	牡蛎(太平洋牡蛎 ⁴ 、近江牡蛎、褶牡蛎、密鳞牡蛎、葡萄牙牡蛎、长牡蛎“海大 1 号” ³ 、牡蛎“华南 1 号” ³)、鲍(皱纹盘鲍、杂色鲍、耳鲍、羊鲍、“大连 1 号”杂交鲍 ³ 、西盘鲍 ³ 、杂色鲍“东优 1 号” ³)、螺类(泥螺、锥螺、织纹螺、脉红螺、香螺、荔枝螺、玉螺、东风螺、管角螺)、蚌类(毛蚌、魁蚌、泥蚶、泥蚶“乐清湾 1 号” ³)、贻贝(紫贻贝、厚壳贻贝、翡翠贻贝)、江珧、扇贝(栉孔扇贝、虾夷扇贝 ⁴ 、海湾扇贝 ⁴ 、华贵栉孔扇贝、马氏珠母贝、企鵝珍珠贝、大珠母贝、“蓬莱红”扇贝 ³ 、栉孔扇贝“蓬莱红 2 号” ³ 、扇贝“渤海红” ³ 、海大金贝 ³ 、虾夷扇贝 ³ 、“中科红”海湾扇贝 ³ 、海湾扇贝“中科 2 号” ³ 、华贵栉孔扇贝“南澳金贝” ³ 、马氏珠母贝“海优 1 号” ³ 、马氏珠母贝“南珍 1 号” ³ 、马氏珠母贝“南科 1 号” ³)、蛤类(文蛤、菲律宾蛤仔、杂色蛤、四角蛤蜊、中国蛤蜊、硬壳蛤、巴非蛤、紫石房蛤、青蛤、镜蛤、文蛤“科浙 1 号” ³ 、文蛤“万里红” ³ 、菲律宾蛤仔“斑马蛤” ³)、蛏类(缢蛏、大竹蛏、刀蛏)		象拔蚌、金乌贼、长蛸
	海带(海带、“荣福”海带 ³ 、“东方 2 号”杂交海带 ³ 、杂交海带“东方 3 号” ³ 、海带“东方 6 号” ³ 、“901”海带 ³ 、“三海”海带 ³ 、“爱伦湾”海带 ³ 、海带“黄官 1 号” ³ 、海带“205” ³ 、海带“东方 7 号” ³)、裙带菜(裙带菜、“裙带菜”海宝 1 号” ³ 、裙带菜“海宝 2 号” ³)、紫菜(条斑紫菜、坛紫菜、条斑紫菜“苏通 1 号” ³ 、条斑紫菜“苏通 2 号” ³ 、坛紫菜“申福 1 号” ³ 、坛紫菜“闽丰 1 号” ³ 、坛紫菜“申福 2 号” ³ 、坛紫菜“浙东 1 号” ³ 、江蓠(龙须菜、江蓠、脆江蓠、菊花新江蓠、龙须菜“鲁龙 1 号” ³ 、“981”龙须菜 ³ 、龙须菜“2007” ³)、麒麟菜、石花菜、羊栖菜、苔菜(石莼、条浒苔、缘管浒苔、浒苔)		马尾藻、鼠尾藻、凝花菜、蜈蚣藻
甲壳类 Crustaceans	南美白对虾(凡纳滨对虾 ⁴ 、凡纳滨对虾“科海 1 号” ³ 、凡纳滨对虾“中科 1 号” ³ 、凡纳滨对虾“中兴 1 号” ³ 、凡纳滨对虾“桂海 1 号” ³ 、凡纳滨对虾“王海 1 号” ³)、斑节对虾(斑节对虾“南海 1 号” ³)、中国对虾(中国对虾、中国对虾“黄海 1 号” ³ 、中国对虾“黄海 2 号” ³ 、中国对虾“黄海 3 号” ³)、日本对虾、梭子蟹(三疣梭子蟹、三疣梭子蟹“黄选 1 号” ³ 、三疣梭子蟹“科甬 1 号” ³)、青蟹		脊尾白虾、墨吉对虾、长毛对虾、日本囊对虾“闽海 1 号” ³
	鲈鱼、鲆鱼(大菱鲆 ⁴ 、大菱鲆“多宝 1 号” ³ 、大菱鲆“丹法鲆” ³ 、牙鲆、牙鲆“鲆优 1 号” ³ 、牙鲆“北鲆 1 号” ³ 、北鲆 2 号 ³ 、大西洋牙鲆、漠斑牙鲆 ⁴)、大黄鱼(大黄鱼、大黄鱼“闽优 1 号” ³ 、大黄鱼“东海 1 号” ³)、军曹鱼、鲷鱼(杜氏鲷、五条鲷、黄条鲷)、鲷鱼(真鲷、黑鲷、黄鳍鲷、金头鲷、灰鳍鲷、平鲷)、美国红鱼、河鲀(红鳍东方鲀、假睛东方鲀、暗纹东方鲀、双斑东方鲀、黄鳍东方鲀)、石斑鱼(鞍带石斑鱼、青石斑鱼、赤点石斑鱼、鲑点石斑鱼、点带石斑鱼、巨石斑鱼、驼背斑)、鲷鱼(石斑、圆斑星鲷、条斑星鲷、大西洋庸鲷、黄盖鲷)		斑点海鲷、黄姑鱼、鮟状黄姑鱼、浅色黄姑鱼、鮟鱼、褐毛鲷、卵形鲳鲷、布氏鲳鲷、花尾胡椒鲷、斜带髯鲷、斜带髯鲷、断斑石鲷、三线矶鲷、勒氏鲷、红鳍笛鲷、紫红笛鲷、白斑笛鲷、白斑笛鲷、鳊鱼、梭鱼、梭鲈、许氏平鲷、褐莼鲷、鬼鲷、三斑海马、大海马、日本海马、欧鲷、塞内加尔鲷、尼罗罗非鱼、奥利亚罗非鱼、日本鳗鲷、欧洲鳗鲷、褐斑子鱼、黄斑蓝子鱼、条石鲷、中华乌塘鲷、大弹涂鱼、大泷六线鱼、斑鲈、条纹蓝子鱼、黄斑蓝子鱼、条石鲷、中华华鲷、条纹斑竹鲨、半滑舌鲷、尖吻鲈、海鲷、遮目鱼
其他 Others	海参(仿刺参、刺参“崆峒岛 1 号” ³ 、刺参“水院 1 号” ³)、海胆(虾夷马粪海胆、紫海胆、中间球海胆“大金” ³)、海蜇		单环刺螈、沙蚕、方格星虫、鳖、海鞘

注: 1: 2003–2014 《中国渔业统计年鉴》^[2]统计种类, 括号内是该类下包含的养殖种类; 2: 资料来源: 相关专家咨询和参考文献[12–13]; 3: 品种(或培育种); 4: 引进种; 5: 引进品种。
Note: 1: Species were reported by China Fishery Statistical Yearbooks from 2003 to 2014^[2]. The statistical data of some species are carried out with categories, and their aquaculture species listed in parentheses. 2: Data in the table were from literatures [12–13] and expert consultation. 3: Varieties (bred species). 4: Introduced species. 5: Introduced bred species.

年鉴》^[19]、《年鉴》^[2]数据,估算出 1985–2014 年中国海水养殖产量中投喂饵料养殖的比例(附表 2)。

1.3.2 配合饲料鱼粉鱼油含量 随着配合饲料的普及、均衡营养研究的深入,以及饲料加工工艺和技术的日臻完善,中国水产养殖配合饲料中鱼粉鱼油的使用比例呈现下降趋势(附表 3~4),而配合饲料中鱼油的用量仅在 0~3%,更多的使用了植物性油脂。

淡水 (1)鱼类:从 1995 年到 2014 年,青鱼、草鱼、鲤鱼、鲫鱼等配合饲料中鱼粉鱼油含量从 8%~32%降至 1.5%~10%。鲮鱼、泥鳅和短盖巨脂鲤配合饲料中鱼粉鱼油的含量从 2003 年的 16%~21%降至 2014 年的 5%~10%。黄颡鱼、乌鳢和黄鳝的配合饲料中鱼粉鱼油含量从 2003 年的 43%~53.5%降低至 2014 年的 27%~38%,但鲈鱼配合饲料中鱼粉鱼油含量在 2003–2014 年期间一直保持相对较高的含量,为 53%~58.5%;(2)甲壳类:罗氏沼虾、青虾和南美白对虾配合饲料中鱼粉鱼油含量从 2003 年的 36%~42%降低至 2014 年的 21%~29%。克氏原螯虾配合饲料中鱼粉鱼油含量维持在 10%~16%。河蟹饲料中鱼粉鱼油含量从 2000 年的 31.5%降至 2014 年的 21%;(3)其他类:蟹饲料的鱼粉鱼油含量一直维持在 50%~60%,龟和蛙饲料中鱼粉鱼油含量从 2003 年的 48%降至 2014 年的 32%。

海水 (1)贝类:鲍养殖在稚鲍期部分使用配合饲料,鱼粉比例 20%~25%,鱼油比例为 1%~2%。螺类配合饲料中鱼粉鱼油的使用比例也在逐年下降,由饲料开发之初的 60%左右下降到 2014 年的 30%。(2)甲壳类:20 世纪 80 年代中期开发的对虾配合饲料,鱼粉鱼油使用量在 20%左右,进入 90 年代,饲料中鱼粉鱼油的使用比例达到 45%。进入 21 世纪,对虾饲料系数达到甚至低于 1.0,饲料中鱼粉鱼油的使用比例逐步下降,其中南美白对虾配合饲料中鱼粉鱼油的使用比例低于 30%。蟹类饲料鱼粉鱼油的使用比例略高,2005–2014 年为 54%~39%。(3)鱼类:海水鱼饲料发展初期均含有较高比例鱼粉鱼油,分别为 60%~65%和 7%左右。但随着海水鱼营养生理研究的深入,饲料配方的优化和加工工艺的改进,鱼粉鱼

油的使用比例逐渐下降。牙鲆配合饲料中鱼粉鱼油的含量由 20 世纪 90 年代的 70%左右降低到 2014 年的 50%。鲈鱼配合饲料中鱼粉鱼油的含量由 2003 年的 55%降至目前的 37%。但目前大黄鱼、军曹鱼、鲷鱼、鲷鱼、美国红鱼、河鲀、石斑鱼和鲟鱼等养殖配合饲料中的鱼粉鱼油的使用比例仍较高,达 40%~50%。(4)其他类:海参稚参养殖阶段少量使用配合饲料,鱼粉鱼油的使用量为 3%~6%,鱼油为 0~0.5%。

1.3.3 养殖营养级计算参数

1) 养殖水域天然饵料的营养级

淡水 据张堂林^[23]、叶少文^[24]、刘学勤^[26]研究报道,(1)鱼类:天然饵料类群主要有 25 个,其中植物性食物(包括藻类、水生植物和植物碎屑)营养级为 1.0,原生动物、轮虫和枝角类均为 2.0,桡足类为 2.1,虾类平均为 2.2,各类昆虫幼虫(蜉蝣目幼虫、摇蚊幼虫、蜻蜓目幼虫、毛翅目幼虫、半翅目幼虫)、介形类、线虫、寡毛类、软体动物(螺类、螺厣)、昆虫卵均为 2.0,鱼鳞和鱼卵为 3.0,塘鳢科、虾虎鱼科、鲤和其他鱼类分别为 3.63、3.12、2.92 和 3.0^[23]。另外,鲢、鳙饵料营养级分别为 1.20^[23–25]和 1.77^[23]。(2)甲壳类:虾类的天然饵料主要为浮游植物、轮虫、原生动物、枝角类、桡足类、水生寡毛类、水生昆虫、鱼类、植物碎片和有机碎屑等,平均营养级为 1.2^[23];河蟹的天然饵料以水生大型植物、藻类、原生动物、轮虫、节肢动物、环节动物、软体动物、鱼类和颗粒碎屑等为主,平均营养级为 1.8^[24]。(3)贝类:包括河蚌、河蚬、螺、蚬等,均以水中浮游植物如硅藻类和裸藻类、浮游动物如轮虫和鞭毛虫、水生植物和甲壳类动物的腐败碎屑等为食,平均营养级为 1.25^[26]。本研究引用上述研究结果作为淡水天然饵料营养级及计算不投饵养殖种类营养级的依据。

海水 各类天然饵料的营养级参考文献^[17]。

2) 养殖投喂饵料的营养级

淡水 鱼类、甲壳类及其他类养殖在不同时期投喂配合饲料的营养级估算结果如附表 5;鳊鱼养殖中投喂的活饵以鲤科鱼类为主,营养级为 2.34^[23];鲈鱼和河蟹养殖中投喂的冰鲜鱼营养级为 3.59^[17]。

海水 贝类、甲壳类、鱼类及其他类养殖在不同时期投喂配合饲料的营养级估算结果如附表 6; 鲜杂鱼虾主要包括鳃鱼、龙头鱼、七星底灯鱼、底栖虾类等, 营养级为 3.59^[17]; 低值贝类的营养级为 2; 藻类和浮游植物的营养级为 1, 桡足类等浮游动物的营养级为 2.1。

以上估算结果(附表 1~6)以及从文献引用的数据将是计算研究不投饵率和营养级的依据。

2 结果与分析

2.1 种类组成

2.1.1 种类组成特点 20 世纪 50 年代是近代中国水产养殖发展的初始阶段, 养殖种类仅有数十种, 随着“青、草、鲢、鳙”四大家鱼和海水贝藻等类人工繁育技术的发展, 80 年代养殖种类增至上百种^[2-3, 9-10, 12-13]。进入 21 世纪, 由于人工繁育技术和养殖技术不断进步和完善, 养殖种类大幅度增加。根据表 1~2 统计, 目前中国水产养殖种类有 296 个(包括 25 个引进种^[11])、品种 143 个(培育的新品种 138 个、引进品种 5 个^[11]), 合计养殖种类和品种为 439 个。但是, 专家认为实际养殖

种类和品种近 500 个, 其中种类应在 300 个以上。

表 1 和表 2 表明, 中国水产养殖种类组成以鱼类为主, 其次为贝类, 再其次为甲壳类、藻类和其他类。

在这五大类别中, 按种类计: 鱼类 189 种, 占 63.9%; 贝类 54 种, 占 18.2%; 藻类 21 种, 占 7.1%; 甲壳类 15 种, 占 5.1%; 其他类 17 种, 占 5.7%。图 1 显示了 1950~2014 年五大类别产量比例的多年变化: 鱼类比例最高, 占 86.8%~55.3%, 其次是贝类、藻类、甲壳类和其他类, 分别占 12.5%~36.1%、0.1%~9.3%、0.1%~8.4%、0.1%~2.0%, 变化幅度均较大; 近十余年发展趋于稳定, 变化幅度亦趋小, 2003~2014 年五大类别产量比例为鱼类 57.3%~55.3%、贝类 28.3%~33.1%、甲壳类 5.7%~8.4%、藻类 4.0%~4.6%和其他类 1.3%~2.0%。2014 年中国水产养殖总产量为 4748.4 万 t, 五大类产量比例为鱼类 57.3%、贝类 28.3%、甲壳类 8.4%、藻类 4.2%、其他类 1.8%, 与以前比较甲壳类增加幅度相对较大。

由于养殖水域环境不同, 中国水产养殖种类组成区域差异明显, 淡水以鱼类占绝对优势, 而在海水则以贝藻类为主。

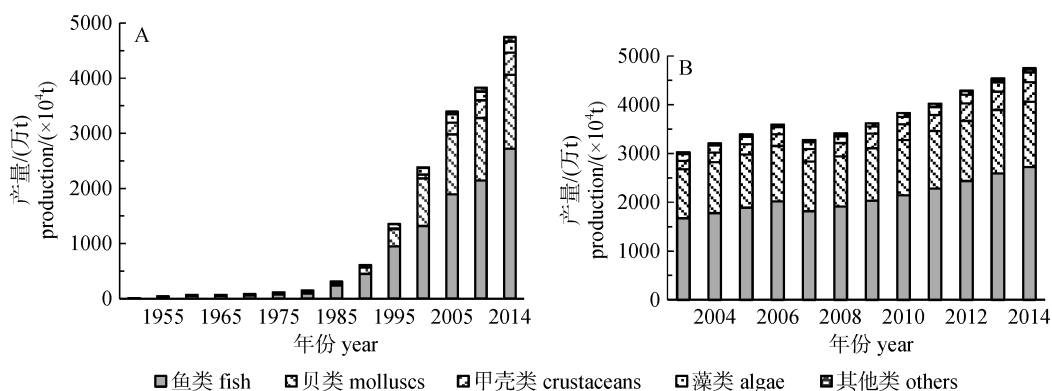


图 1 中国水产养殖不同类别产量年代(A)和年际(B)变化

图中基础数据来自参考文献[2, 9].

Fig. 1 Decadal (A) and annual (B) changes in Chinese aquaculture production by species group
Basic data in the figure were from references [2, 9].

(1) 淡水 养殖种类 135 个(包括 19 个引进种^[11]、5 个淡、海水均有养殖的重复种)、品种 79 个(培育的新品种 74 个、引进品种 5 个^[11]), 淡水养殖种类和品种共为 214 个。五大类别种类组成为: 鱼类 113 种, 占 83.7%; 甲壳类 7 种, 占 5.2%;

贝类 6 种, 占 4.5%; 藻类 1 种, 占 0.7%; 其他类 8 种, 占 5.9%(表 1)。图 2 显示, 1950~2014 年五大类别的产量比例多年变化为: 鱼类比例最高, 占 100%~88.7%, 其次是甲壳类、贝类、藻类和其他类, 分别占 0~8.7%、0~0.9%、0.0、0~1.7%; 2003~2014

年五大类别产量比例分别为: 鱼类 91.4%~88.0%、甲壳类 6.0%~9.1%、贝类 0.9%~1.1%、藻类 0.02%~0.04%、其他类 1.5%~1.8%。2014 年淡水养殖产量为 2935.8 万 t, 五大类产量比例: 鱼类 88.7%、甲壳类 8.7%、贝类 0.9%、藻类 0.02%、其他类 1.7%; 产量在 100 万 t 以上的种类有草鱼、鲢鱼、鳙鱼、鲤鱼、鲫鱼和罗非鱼, 分别为滤食性、草食性和杂食性种类, 占淡水养殖产量 69.6%; 产量 50 万~100 万 t 的种类有河蟹、鳊鱼、南美白对虾、克氏原螯虾、青鱼和乌鳢, 分别为杂食性和肉食性种类, 占淡水养殖产量 13.7%; 产量 10 万~50 万 t 的种类有鲇鱼、黄鳝、鲈鱼、泥鳅、鳖、黄颡鱼、鳊鱼、青虾、鳊鱼、鳙鱼、罗氏沼虾、螺和短盖巨脂鲤, 多为肉食性种类, 占淡水养殖产量 12.1%。以上 25 个种类总产量占淡水养殖产

量 95.4% (前 12 种占 83.3%)。显然, 中国淡水养殖不仅种类繁多, 而且优势种类突出。

(2) 海水 养殖种类 166 个(包括 6 个引进种^[11]、5 个淡、海水均有养殖的重复种)、培育的新品种 64 个^[11], 海水养殖种类和品种共计 230 个。五大类别种类组成为: 鱼类 80 种, 占 48.2%; 贝类 48 种, 占 28.9%; 甲壳类 9 种, 占 5.4%; 藻类 20 种, 占 12.1%; 其他类 9 种, 占 5.4%(表 2)。但是, 图 3 显示的 1950~2014 年五大类别的产量多年变化表明: 贝类比例最高, 占 100%~54.1%, 其次是藻类、甲壳类、鱼类和其他类, 分别占 0~37.8%、0~11.6%、0~6.6%、0~1.8%。1950~1980 年贝藻类养殖产量占海水养殖产量 97% 以上, 随后其他种类有所增加; 近十余年产量比例逐渐趋于稳定, 变化较小。2003~2014 年五大类产量比例

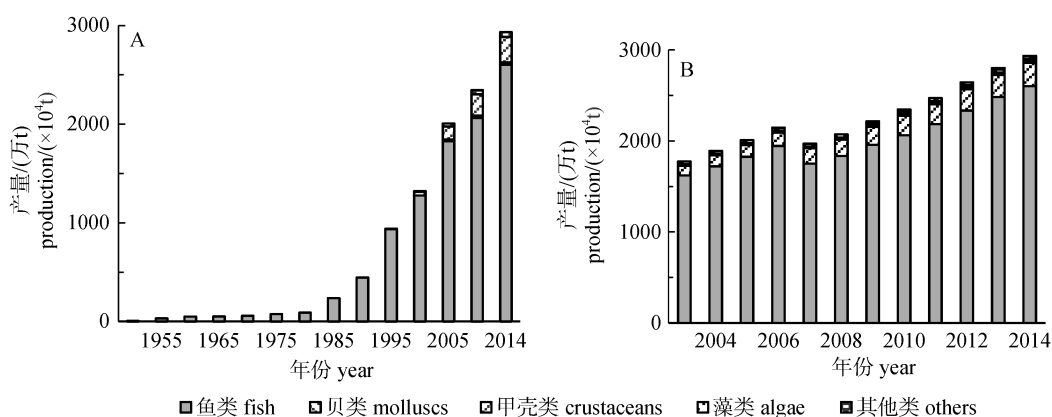


图 2 中国淡水养殖不同类别产量年代(A)和年际(B)变化

图中基础数据来自参考文献[2, 9].

Fig. 2 Decadal (A) and annual (B) changes in Chinese freshwater aquaculture production by species group
Basic data in the figure were from references [2, 9].

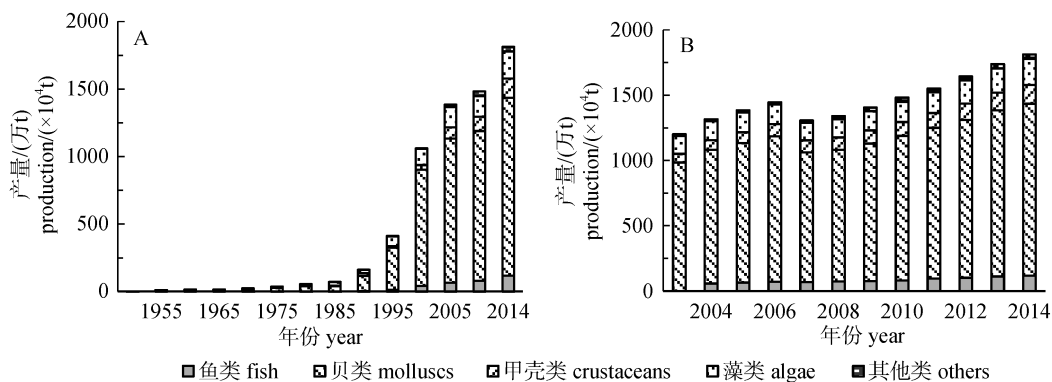


图 3 中国海水养殖不同类别产量年代(A)和年际(B)变化

图中基础数据来自参考文献[2, 9].

Fig. 3 Decadal (A) and annual (B) changes in Chinese mariculture production by species group
Basic data in the figure were from references [2, 9].

分别为贝类 72.6%~78.6%、藻类 10.3%~11.1%、甲壳类 5.3%~7.9%、鱼类 4.1%~6.6%和其他类 0.9%~2.2%。2014 年海水养殖产量为 1812.6 万 t, 五大类产量比例分别为贝类 72.6%、藻类 11.1%、甲壳类 7.9%、鱼类 6.6%、其他类 1.8%; 产量在 100 万 t 以上的种类有牡蛎、蛤、扇贝和海带, 分别为滤食性和自养性种类, 占海水养殖产量 62.5%; 产量 50 万~100 万 t 的种类有南美白对虾、贻贝和蛭, 分别为杂食性和滤食性种类, 占海水养殖产量 13.6%; 产量 10 万~50 万 t 的种类有蚶、江蓠、螺、裙带菜、海参、青蟹、大黄鱼、鲆鱼、卵形鲳鲹、梭子蟹、鲍、紫菜和鲈鱼, 包括滤食性、自养性、杂食性和肉食性等多种食性种类, 占海水养殖产量 12.3%。以上 20 个种类产量占海水养殖产量的 88.4% (前 7 种占 76.1%)。显然, 中国

海水养殖也具有种类繁多且优势种突出的特点。

2.1.2 养殖种类多样性特征 常用生物多样性指数^[4, 27]计算结果表明, 与世界其他主要水产养殖国家(14 个)^[9]和区域代表性国家(7 个)^[9]相比, 中国水产养殖种类具较高的多样性、丰富度和均匀度, 优势度相对较低(表 3)。从多样性指数(H')聚类分析结果可以清楚看出, 中国独为一支, 是一个与其他国家差异较大的独立类群(图 4)。在其他国家中, 欧洲国家基本聚为一类(包括澳大利亚, 但不包含俄罗斯), 其中挪威又与其他 4 个国家有所差异, 多样性、丰富度、均匀度均较低, 另外 16 个国家聚为一类, 该类群又分为 3 支, 孟加拉国单独一支, 多样性指数相对较高, 韩国、美国、日本、越南和泰国聚为一支, 其他国家聚为一支。图 5 大体展示了 1950–2013 年世界主要水产养殖

表 3 养殖种类生物多样性指数
Tab. 3 Biodiversity index of aquaculture species

国别 country	产量 ¹ /t production	种类 species	多样性指数 H'	丰富度指数 dM	均匀度指数 J'	优势度指数 D	区域 region
中国 ² China ²	57113175	92	3.438	5.095	0.760	0.047	东亚
韩国 ² Korea ²	1533446	61	1.905	4.213	0.463	0.201	东亚
日本 ² Japan ²	1027185	44	2.070	3.106	0.547	0.176	东亚
印度尼西亚 ² Indonesia ²	13147297	47	1.533	2.806	0.398	0.417	东南亚
越南 ² Viet Nam ²	3294480	26	2.005	1.666	0.615	0.195	东南亚
孟加拉国 ² Bangladesh ²	1859808	30	2.554	2.009	0.751	0.099	东南亚
泰国 ² Thailand ²	1056944	41	2.143	2.884	0.577	0.167	东南亚
缅甸 ² Myanmar ²	930780	25	1.476	1.746	0.459	0.443	东南亚
印度 ² India ²	4554109	28	1.565	1.761	0.47	0.34	南亚
菲律宾 ² Philippines ²	2373386	35	1.463	2.316	0.412	0.395	南亚
埃及 ² Egypt ²	1097544	25	1.567	1.726	0.487	0.34	非洲
美国 ² USA ²	441098	45	1.938	3.385	0.509	0.215	北美
加拿大 ³ Canada ³	174343	17	1.714	1.326	0.605	0.252	北美
智利 ² Chile ²	1045718	23	1.520	1.587	0.485	0.289	南美
巴西 ² Brazil ²	474159	44	1.580	3.290	0.532	0.162	南美
挪威 ² Norway ²	1247865	15	0.473	0.936	0.175	0.142	北欧
西班牙 ³ Spain ³	223698	49	1.060	3.897	0.272	0.542	南欧
意大利 ³ Italy ³	162596	46	1.482	3.750	0.387	0.318	南欧
法国 ³ France ³	202178	57	1.076	4.584	0.412	0.271	西欧
英国 ³ UK ³	194632	34	0.697	2.710	0.198	0.649	西欧
澳大利亚 ³ Australia ³	68761	22	1.254	1.885	0.406	0.429	大洋洲
俄罗斯 ³ Russia ³	155540	22	1.862	1.757	0.603	0.206	欧亚

注: 1: 养殖种类数和产量为 FAO 数据库 2013 年统计数据^[9]; 2: 2012 年前 15 个水产养殖生产国^[9]; 3: 各大洲有代表性水产养殖生产国。

Note: 1: Aquaculture species and production cited from FAO statistics data in 2013. 2: Farmed food fish production by top 15 producers. 3: Regionally representative producers from different continent.

国等则呈持续增长趋势。以上多样性特征表明,中国水产养殖种类结构具有显著的高多样性特点,这对物种多样性和遗传多样性保护、养殖生态系统稳定性持续及其生物量高效产出有重要意义。

2.2 不投饵率

中国水产养殖不投饵率在不同养殖发展时期差别较大并呈明显下降趋势。1990 年以前, 以天然水域饵料养殖为主, 不投饵率很高, 为 96.7%~100%; 此后, 不投饵率下降幅度较大, 从

1995 年 90.5%降至 2010 年 59.2%, 近 3 年趋于稳定, 下降幅度趋小(53.4%~54.2%), 2014 年为 53.8%(图 6)。但是, 与世界平均水平(33.3%, 2010)^[28]相比, 目前中国水产养殖不投饵率仍保持较高的水准。

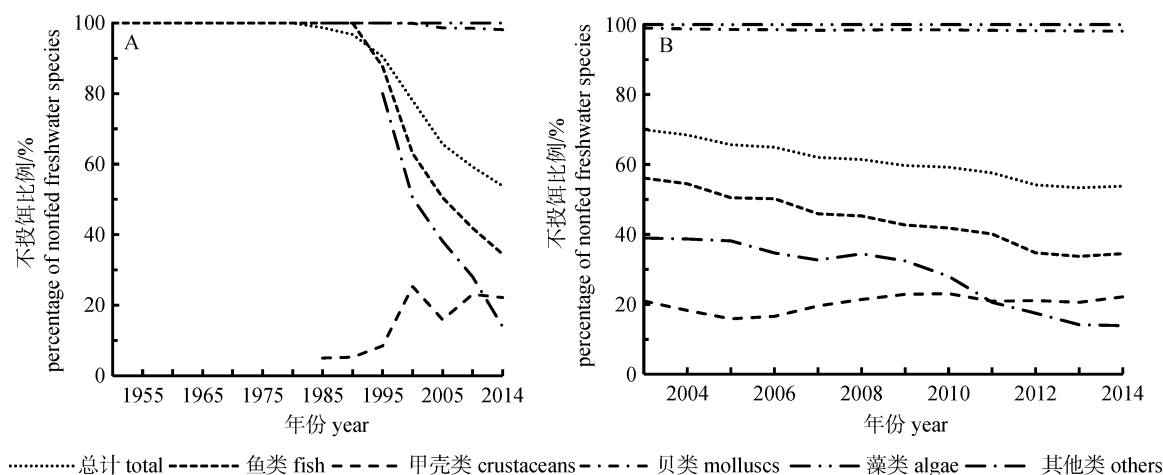


图 6 中国水产养殖不投饵率年代际(A)和年际(B)变化

Fig. 6 Decadal (A) and annual (B) changes in non-fed rate of Chinese aquaculture

五大类别中(图 6), 鱼类养殖不投饵率下降幅度较大, 1990 年以前, 天然水域养殖以滤食性和草食性种类为主, 不投饵率为 100%, 此后由于配合饲料的使用、为了提高养殖产出效率以及肉食性及杂食性鱼类养殖的增加, 不投饵率从 1995 年的 87.6%降至 2010 年的 41.8%, 近 3 年趋于稳定(33.7%~34.7%), 2014 年为 34.5%; 甲壳类以投饵养殖为主, 1985~1995 年不投饵率很低, 为 5.0%~8.5%, 之后由于养殖方式的一些改变, 不投饵率波动在 20%上下, 2014 年为 22.2%; 贝类养殖基本不投饵, 不投饵率为 98%~100%, 而藻类养殖利用阳光和水体营养, 不投饵率以 100%计; 其他类, 为了提高养殖产出效率, 不投饵率下降幅度亦较大, 从 1995 年的 80.0%降至 2014 年的 13.9%。由于鱼类养殖所占产量比重大, 它是影响中国水产养殖不投饵率近年下降幅度较大的主要原因(图 6), 而其他类虽占产量比重不大, 因不投饵率下降幅度较大, 对总体变化亦有些影响。

(1) 淡水 养殖不投饵率下降幅度较大。从 1950 年到 1990 年, 以天然水域饵料养殖为主, 不

投饵率近 100%。之后, 养殖方式慢慢从天然养殖向投饵养殖转变, 不投饵率从 1995 年 87.3%降至 2010 年 42.5%, 近 3 年趋于稳定(34.8%~35.8%), 2014 年为 35.7%(图 7)。

五大类别中, 如图 7 及附表 1 所示, (1)淡水鱼类养殖: 不投饵率下降幅度较大, 1990 年以前, 不投饵率为 100%, 其中鲢鳙产量占据养殖产量的大部分。此后, 部分养殖鱼类如青鱼、草鱼、鲤鱼、鲫鱼等开始投喂配合饲料, 投喂饲料养殖产量的比例也迅速增加, 到 2014 年这些鱼类投喂饲料养殖产量的比例达到 85%。鲢鳙养殖仍以摄食天然水域饵料为主, 2012 年以来有 5%的产量来自投喂配合饲料, 但是鲢鳙养殖在淡水养殖的产量比重逐年下降, 从 1950 年 65%降低到 2014 年 25%。这个变化对淡水鱼类养殖不投饵率下降有较大影响。鳊鱼和鲈鱼 100%的投饵养殖。其他鱼类, 包括鲟鱼、鱖鱼、池沼公鱼、长吻鮠、河鲢、鲑类等养殖到 2011 年全部实现配合饲料养殖。因此, 淡水鱼类养殖不投饵率从 1995 年的 87.6%降至 2010 年的 43.5%, 近 3 年趋于稳定(35.2%~

36.3%), 2014 年为 36.1%。(2)甲壳类养殖: 1985–1995 年以投喂鲜鱼为主, 不投饵率较低, 为 0.0~15.0%。2000 年之后变化较大, 罗氏沼虾投喂饲料产量的比例逐渐增加, 到 2013 年全部实现饲料养殖; 青虾养殖 80%实现饲料投喂; 克氏原螯虾养殖 2009 年以前基本不投饵, 以竹叶眼子菜、黑藻等大型水生植物为食, 2010 年以来有 5%~10%的产量来自投喂配合饲料; 近年来用种草放螺养大规格河蟹, 配合饲料养殖河蟹的比例逐渐降至约 60%。因此, 2000 年以来不投饵率波动在 24.9%~35.7%, 2014 年为 33.0%; 贝类和藻类不投饵率均

以 100%计; 其他类不投饵率下降幅度最大。鳖、蛙、龟等类养殖, 2000 年以后投喂配合饲料比例增加, 投喂养殖的产量约占 60%, 到 2013 年全部实现配合饲料养殖。因此, 不投饵率从 1995 年的 80.0%降至 2014 年的 0.0。

(2) 海水 养殖不投饵率一直保持高水准。从 1950 年到 1980 年, 以天然水域饵料养殖为主, 不投饵率近 100%, 1985–2000 年波动在 88.1%~97.8%, 之后不投饵率从 2003 年的 89.1%逐渐小幅度下降, 近 3 年趋于稳定(83.0%~83.7%), 2014 年为 83.0% (图 8)。

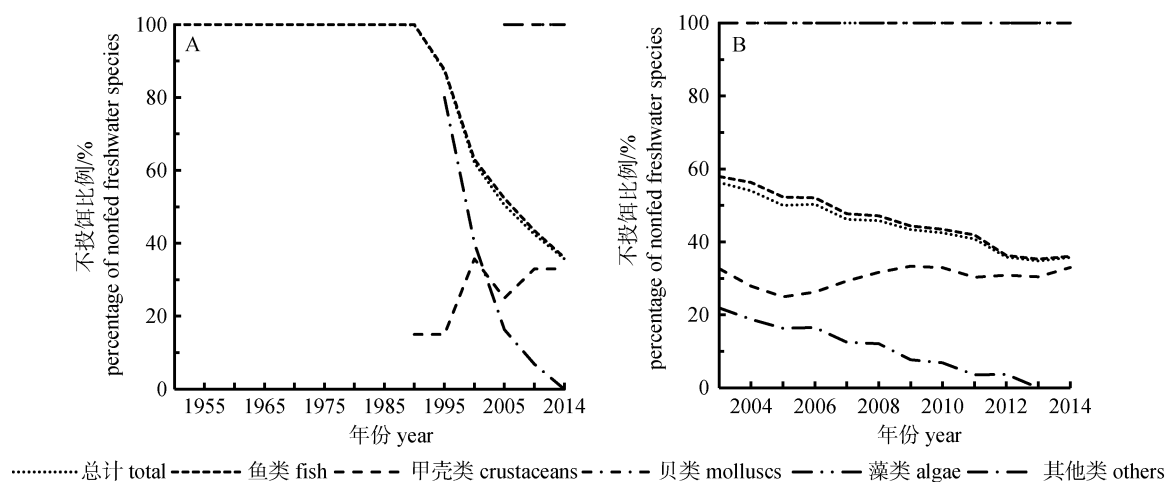


图 7 中国淡水养殖不投饵率年代际(A)和年际(B)变化

Fig. 7 Decadal (A) and annual (B) changes in non-fed rate of Chinese freshwater aquaculture

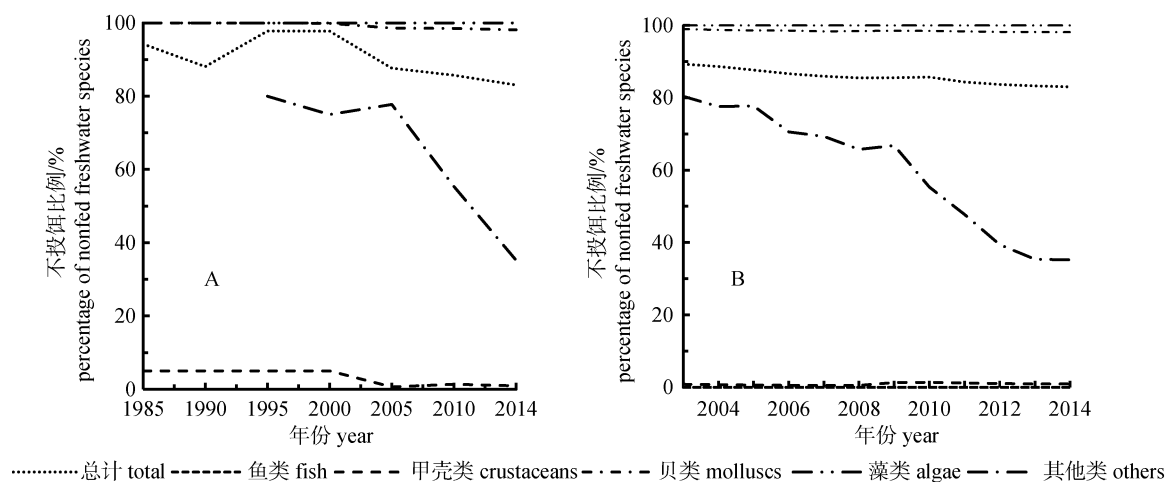


图 8 中国海水养殖不投饵率年代际(A)和年际(B)变化

Fig. 8 Decadal (A) and annual (B) changes in non-fed rate of Chinese mariculture

五大类别中,如图 8 及附表 2 所示,贝类养殖在 1995 年之前不投饵率为 100%,之后,虽因投喂饵料的螺类养殖发展,不投饵率有所下降,但幅度很小,2000–2014 年不投饵率为 99.9%~98.1%;藻类不投饵率以 100%计;甲壳类不投饵率较低。虽然有的种类(如日本对虾)2009 年以来不投饵率增至 20%,但因所占产量比重小,对总体影响不大,1985–2000 年甲壳类不投饵率为 5.0%,2003–2014 年为 0.5%~1.3%;海水鱼类养殖全部投饵,不投饵率为 0。近年由于鱼类养殖量有所增加,它也成为影响海水养殖不投饵率略有下降的主要因素;其他类中,海胆吊笼养殖投喂海带和裙带菜,而底播养殖则利用水体中藻类,不投喂任何饵料,不投饵率为 70%~80%。海蜇养殖配合饲料使用比例逐渐增加,从 2003 年 3%增至 2014 年 30%,其他饵料则为养殖水体的桡足类等浮游动物,不投饵率为 97%~70%。海参养殖近 10 年配合饲料(主要是藻类和海泥)使用比例不断增加,不投饵率从 1995 年 80%降至 2014 年 22%。因此,其他类不投饵率呈明显下降趋势,从 1995 年的 80.0%降至 2014 年的 35.2%。

2.3 营养级

中国水产养殖营养级较低且相对稳定,近年略有下降。如图 9 所示,虽在不同发展时期由于种类组成的变化(主要是海水养殖种类的开发和发展)营养级有所波动,但幅度较小(2.12~2.33)。

其多年变化大体分为 3 个阶段:1950–1980 年营养级从 2.33 降至 2.12;1985–2005 年营养级在 2.17~2.32 范围内经历了升–降–升的变化;2006–2014 年由于配合饲料的广泛使用及其鱼粉鱼油使用量的减少(附表 3~4),营养级从 2.32 降至 2.25。近 3 年,营养级变化较小(2.25~2.27),2014 年为 2.25。十分明显,中国水产养殖营养级不仅低于世界发达国家(如欧洲),同时也低于其他发展中国家(如东南亚)^[29–31]。图 10A 营养级金字塔多年变化(1985–2014)进一步显示,中国水产养殖营养级金字塔结构以营养级 2 为主,占 62.8%~71.3%;其次为营养级 3,占 20.7%~27.7%;营养级 1 和 4 所占比例较低,分别占 4.2%~8.9%和 0.8%~3.4%,而世界水产养殖营养级金字塔结构以营养级 3 为主^[29]。研究证实,鱼类生态转换效率与营养级呈负相关关系^[32],即营养级若低生态转换效率则高,那么,以上比较结果意味着中国水产养殖生态系统将有更多的生物量产出。

五大类别中(图 9),鱼类养殖营养级波动较小,多年变化在 2.38~2.48:1950–1990 年为 2.38~2.40,1995–2005 年略有增加,主要是较高营养层次的海水鱼类养殖开发所致,为 2.44~2.48,2006 年以后呈下降趋势,近 3 年趋于稳定(2.38~2.39),2014 年为 2.38。鱼类养殖营养级波动虽较小,但由于所占产量比较大,对水产养殖总营养级变化的影响亦较大;贝类营养级 2003 年以后有微量增加

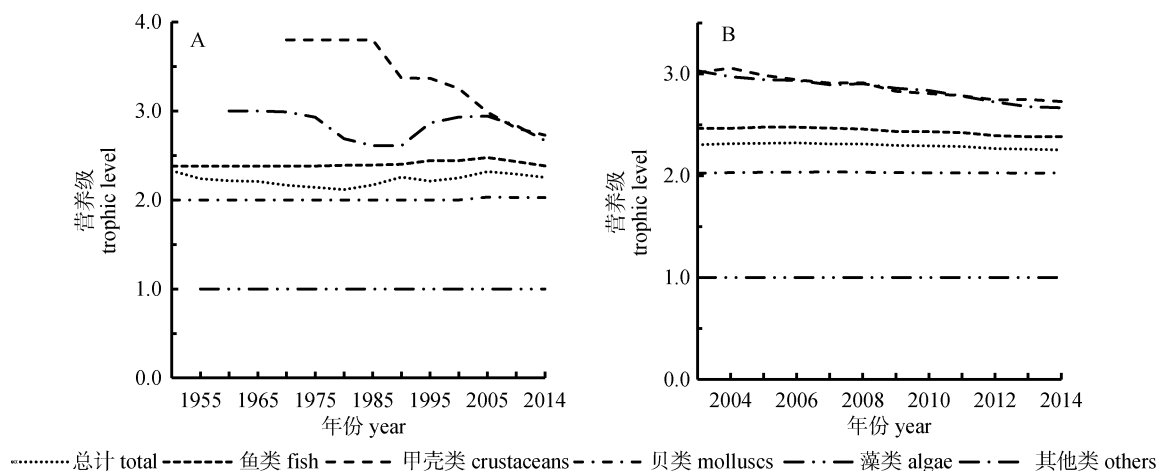


图 9 中国水产养殖营养级年代际(A)和年际(B)变化

Fig. 9 Decadal (A) and annual (B) changes in trophic level of Chinese aquaculture

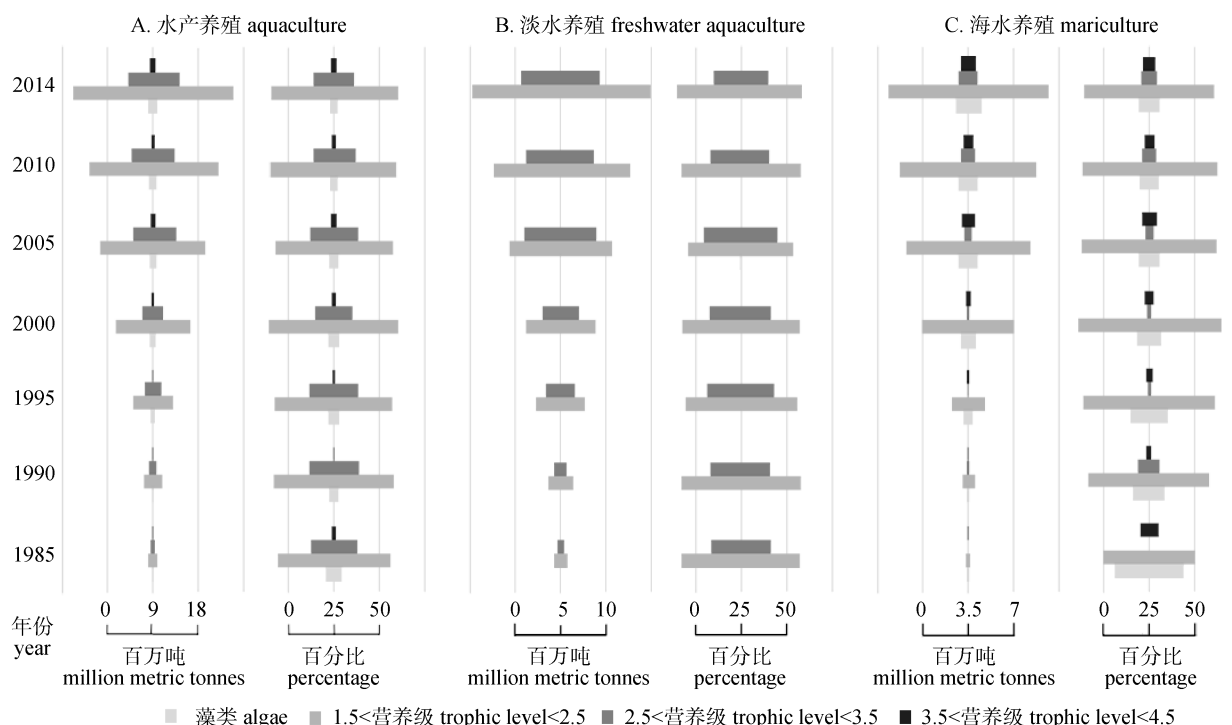


图 10 中国水产养殖营养级金字塔结构变化

Fig. 10 Changes in trophic pyramid structure of Chinese aquaculture

(0.02~0.04), 基本稳定在 2; 藻类营养级为 1。由于海水藻类和贝类等低营养层次种类养殖开发和不断发展, 对 1950~1980 年水产养殖总营养级下降及其后的波动均有重要影响; 甲壳类及其他类营养级变化相对较大, 甲壳类从 1970 年的 3.80 逐年下降, 其他类 1960~2010 年波动在 2.84~3.03, 近 3 年趋于稳定, 2014 年分别为 2.73 和 2.67。这两个类别养殖总量虽较小, 但营养级相对变化较大, 对总营养级的变化亦有一定影响。

(1) 淡水 养殖种类和类别营养级计算结果及其多年变化见表 4。淡水养殖营养级在 2.35~2.45 范围内小幅度波动, 其多年变化为: 1950~1990 年营养级稳定在 2.38; 1995~2006 年营养级有所增加, 为 2.40~2.45; 2006 年之后逐渐下降, 近 3 年变化较小(2.35~2.37), 2014 年为 2.35。2014 年占淡水养殖产量 69.6%、单种年产 100 万 t 以上的 6 个种类的加权营养级为 2.24, 其中除了以天然饵料为食的鳙鱼营养级略高(2.73)外, 其他 5 个种(草鱼、鲢鱼、鲤鱼、鲫鱼和罗非鱼)营养级均小于 2.25, 表明中国淡水养殖以较低营养级鱼类

为主。图 10B 显示, 淡水养殖营养级金字塔结构中营养级 2 约占 65%, 营养级 3 约占 35%, 两者之和接近 100%。事实上, 在中国淡水养殖营养级金字塔结构中营养级 1 的比例很低, 最高年份仅占 0.03%, 而营养级 4 则为 0。

五大类别中(表 4), 淡水鱼类养殖营养级波动较小, 在 2.32~2.41, 其多年变化为: 1950~1990 年为 2.38, 1995~2006 年由于乌鳢、黄鳝、鲈鱼、鳊鱼、鳊鱼、银鱼、鲢鱼等肉食性鱼类养殖开发, 营养级略有增加, 主要为 2.40~2.41, 2006 年以后由于配合饲料广泛使用, 营养级呈下降趋势, 近 3 年趋于稳定(2.32~2.33), 2014 年为 2.32; 甲壳类和其他类, 由于配合饲料广泛使用, 自 1995 年以来营养级均呈下降趋势, 分别从 3.33 和 3.28 降至 2014 年的 2.64 和 2.90; 贝类和藻类营养级分别稳定在 2.25 和 1.00。

(2) 海水 养殖种类和类别营养级计算结果及其多年变化如表 5 所列。海水养殖以低营养级贝藻为主, 营养级明显低于淡水养殖, 其多年变化为: 1985 年以前养殖以贝藻为主, 营养级为

表 4 中国淡水养殖种类及类别营养级 (1950–2014)
Tab. 4 Trophic level of Chinese freshwater aquaculture by species and species group from 1950 to 2014

种类 species	1950–1985	1990	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
鱼类 Fish	2.38	2.38	2.41	2.37	2.40	2.40	2.41	2.41	2.40	2.39	2.37	2.37	2.36	2.33	2.32	2.32
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	2.00	2.00	2.03	2.06	2.07	2.07	2.07	2.07	2.06	2.05	2.03	2.03	2.03	2.03	2.00	2.03
鲢鱼 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.19	2.19	2.19
鲤鱼 common carp	2.92	2.92	2.82	2.57	2.54	2.54	2.51	2.48	2.44	2.40	2.34	2.34	2.33	2.24	2.24	2.24
鲫鱼 <i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.73	2.73	2.73
鲫鱼 <i>Carassius carassius</i>	2.28	2.28	2.31	2.31	2.31	2.31	2.32	2.29	2.28	2.27	2.23	2.23	2.20	2.18	2.18	2.18
罗非鱼 tilapia	2.60	2.60	2.54	2.37	2.35	2.33	2.33	2.32	2.29	2.29	2.25	2.25	2.23	2.17	2.17	2.17
鳊鱼 <i>Megalobrama</i>	2.00	2.00	2.06	2.13	2.14	2.14	2.15	2.15	2.15	2.14	2.13	2.13	2.13	2.10	2.10	2.10
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	3.33	3.33	3.19	2.89	2.80	2.80	2.75	2.75	2.68	2.67	2.57	2.57	2.53	2.46	2.37	2.37
乌鳢 <i>Opichcephalus argus</i>	—	—	—	—	3.44	3.36	3.33	3.33	3.29	3.27	3.23	3.21	3.19	3.09	2.98	2.90
鲇鱼 <i>Silurus</i>	—	—	—	—	3.28	3.20	3.17	3.16	3.12	3.07	3.05	3.00	2.87	2.83	2.75	2.71
黄鳝 <i>Monopterus albus</i>	—	—	—	—	3.43	3.42	3.40	3.38	3.33	3.31	3.24	3.22	3.22	3.17	3.17	3.17
鲈鱼 bass	—	—	—	—	3.33	3.33	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.30	3.29	3.27	3.26	3.25
泥鳅 loach	—	—	—	—	3.06	2.95	2.86	2.86	2.79	2.74	2.72	2.67	2.61	2.51	2.43	2.37
黄颡鱼 <i>Pseudobagrus</i>	—	—	—	—	3.12	3.02	2.99	2.92	2.88	2.80	2.77	2.77	2.64	2.60	2.54	2.54
鳊鱼 <i>Siniperca</i>	—	—	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34
鲢鱼 <i>Ictalurus</i>	—	—	—	—	2.47	2.40	2.39	2.39	2.34	2.33	2.31	2.31	2.26	2.22	2.16	2.16
鳊鱼 <i>Anguilla</i>	3.33	3.32	3.32	3.32	3.31	3.31	3.31	3.31	3.25	3.25	3.21	3.21	3.17	3.11	3.10	3.10
短盖巨脂鲤 <i>Piaractus brachipomus</i>	—	—	—	—	2.46	2.33	2.32	2.32	2.28	2.26	2.26	2.23	2.17	2.13	2.10	2.10
银鱼 icefish	—	—	—	—	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10
其他鱼类 other fishes	—	—	—	—	2.50	2.48	2.46	2.45	2.44	2.43	2.42	2.41	2.40	2.40	2.40	2.40
甲壳类 Crustaceans	—	3.33	3.33	3.08	3.03	2.94	2.88	2.86	2.82	2.79	2.74	2.73	2.70	2.66	2.67	2.64
罗氏沼虾 <i>Macrobrachium rosenbergii</i>	—	—	—	3.08	3.03	2.98	2.93	2.93	2.91	2.82	2.79	2.79	2.67	2.61	2.56	2.56
青虾 <i>Squilla</i>	—	—	—	3.15	3.09	3.03	2.96	2.96	2.90	2.87	2.80	2.76	2.72	2.68	2.60	2.60
克氏原螯虾 <i>Procambarus clarkii</i>	—	—	—	—	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.59	2.58	2.58	2.56	2.56
南美白对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i>	—	—	—	—	3.06	2.94	2.91	2.88	2.84	2.82	2.73	2.73	2.63	2.57	2.56	2.56
河蟹 <i>Eriocheir sinensis</i>	—	3.33	3.33	3.05	2.98	2.91	2.84	2.84	2.81	2.85	2.81	2.81	2.85	2.79	2.78	2.78

(continued)

(续表 4 Tab. 4 continued)

种类 species	1950—1985	1990	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
贝类 Molluses	—	—	—	—	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
河蚌 unionid	—	—	—	—	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
螺 gastropod	—	—	—	—	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
蚬 corbiculid	—	—	—	—	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
藻类 Algae	—	—	—	—	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
螺旋藻 <i>Spirulina</i>	—	—	—	—	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
其他类 Others	—	—	3.28	3.11	3.17	3.16	3.15	3.15	3.10	3.10	3.04	3.05	3.02	2.95	2.90	2.90
鳖 softshell turtle	—	—	—	—	3.23	3.22	3.22	3.22	3.18	3.19	3.12	3.12	3.11	3.05	3.00	3.00
蛙 <i>Rana</i>	—	—	—	—	3.06	3.05	3.03	3.03	2.96	2.93	2.87	2.85	2.75	2.65	2.64	2.64
龟 turtle	—	—	3.28	3.11	3.07	3.05	3.03	2.99	2.96	2.93	2.90	2.90	2.78	2.68	2.64	2.64
淡水养殖 freshwater culture	2.38	2.38	2.41	2.40	2.45	2.45	2.45	2.45	2.44	2.43	2.41	2.41	2.40	2.37	2.36	2.35

注：各养殖种类营养等级的计算公式为：1+(投喂配合饲料养殖产量占总产量的%配合饲料的营养等级+投喂其他饵料养殖产量占总产量的%其他饵料的营养等级+不投喂饵料的养殖产量占总产量的%自然水域中该种类饵料的营养等级)；年份 1950—1985 代表 1950、1955、1960、1965、1970、1975、1980 和 1985 年；“—”表示有养殖但《中国渔业统计年鉴》中没有统计数据；空格表示没有养殖。

Note: Trophic level of culture species calculated by 1+(percentage fed compound aquafeed trophic level of compound aquafeed+ percentage fed non-compound aquafeed trophic level of the other diets+ percentage non-fed trophic level of the species in natural waters). Years 1950–1990 represents years 1950, 1955, 1960, 1965, 1970, 1975, 1980 and 1985, respectively. “—” indicates that the species has been cultured but there is no data from China Fishery Statistical Yearbook. Blank space in the table means no culture for the species.

表 5 中国海水养殖种类及类别营养级(1985-2014)
Tab. 5 Trophic level of Chinesemariculture by species and species group from 1985 to 2014

种类 species	1950-1980	1985	1990	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
贝类 Molluscs	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.02	2.03	2.03	2.03	2.04	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.02	2.03
鲍 <i>Haliotis</i>			2.00	2.00	2.00	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01
螺 conch		—	—	—	—	3.50	3.50	3.50	3.50	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.46	3.46	3.46
牡蛎 oyster	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
蚶 cockle	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
贻贝 mussel	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
江珧 <i>Atrina pectinata</i>						2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
扇贝 scallop		2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
蛤 clam		2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
蛎 razor clam	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
藻类 Algae	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
甲壳类 Crustaceans	—	3.50	3.37	3.38	3.32	2.98	3.25	3.15	3.07	3.07	3.14	3.00	2.96	2.95	2.90	2.89	2.89
南美白对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i>		—	—	—	—	3.04	2.91	2.78	2.70	2.70	2.70	2.64	2.60	2.60	2.56	2.54	2.54
斑节对虾 <i>Penaeus monodon</i>		—	—	—	—	3.02	2.97	2.87	2.87	2.86	3.79	2.70	2.64	2.60	2.60	2.60	2.60
中国对虾 <i>Fenneropenaeus chinensis</i>	—	3.50	3.37	3.33	3.25	3.10	2.95	2.95	2.95	2.91	2.91	2.86	2.86	2.82	2.82	2.82	2.82
日本对虾 <i>Penaeus japonicus</i>		—	—	—	—	3.37	3.37	3.37	3.33	3.33	3.31	3.21	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20
梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>		—	—	—	—	4.01	4.01	4.01	4.01	3.99	3.98	3.93	3.91	3.91	3.85	3.85	3.85
青蟹 <i>Scylla serrata</i>		—	—	—	—	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	3.98	3.98	3.98	3.97	3.97	3.97	3.97
鱼类 Fish	—	4.59	4.56	4.53	4.50	4.46	4.42	4.33	4.29	4.19	4.13	4.07	4.02	3.87	3.84	3.76	3.77
鲈鱼 <i>Lateolabrax japonicus</i>		—	—	—	—	4.29	4.13	3.78	3.78	3.42	3.42	3.41	3.38	3.14	3.11	2.93	2.93
鲆鱼 lefteyed flounders		—	—	—	—	4.33	4.32	4.03	3.99	3.95	3.95	3.98	3.83	3.80	3.80	3.64	3.64
大黄鱼 <i>Larimichthys crocea</i>		—	—	—	—	4.52	4.52	4.52	4.52	4.49	4.48	4.43	4.43	4.35	4.35	4.25	4.25
军曹鱼 <i>Rachycentron canadum</i>		—	—	—	—	4.56	4.56	4.52	4.52	4.51	4.51	4.51	4.43	4.43	4.42	4.42	4.42
鲷鱼 <i>Seriola</i>		—	—	—	—	4.53	4.53	4.52	4.52	4.52	4.43	4.43	4.43	4.42	4.25	4.25	4.25
鲷鱼 sea bream		—	—	—	—	4.44	4.44	4.44	4.29	4.27	4.26	4.08	4.08	3.91	3.91	3.75	3.75
美国红鱼 <i>Sciaenops ocellatus</i>		—	—	—	—	4.46	4.45	4.38	4.37	4.29	4.27	4.27	4.25	4.25	4.07	4.05	4.05
河鲀 <i>Fugu</i>		—	—	—	—	4.44	4.44	4.44	4.43	4.43	4.43	4.43	4.42	4.25	4.24	4.24	4.24

(continued)

(续表 5 Tab. 5 continued)

种类 species	1950—1980	1985	1990	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
石斑鱼 <i>Epinephelus</i>	—	—	—	—	—	4.56	4.56	4.52	4.52	4.52	4.52	4.45	4.44	4.44	4.28	4.35	4.35
鲷鱼 righteysed flounders	—	—	—	—	—	4.33	4.31	4.31	4.16	4.16	4.02	3.99	3.85	3.70	3.48	3.24	3.24
卵形鲳鲹 <i>Trachinotus ovatus</i>	—	—	—	—	—	4.08	4.08	4.08	3.91	3.75	3.34	3.34	3.16	3.08	2.89	2.89	2.79
其他鱼类 Other fishes	—	—	—	—	—	4.52	4.52	4.52	4.43	4.43	4.27	4.27	4.27	4.08	4.08	3.91	3.91
其他类 others	—	3.00	3.00	2.99	2.93	2.69	2.61	2.57	2.51	2.52	2.63	2.61	2.56	2.40	2.36	2.35	2.31
海参 sea cucumber	—	—	—	2.32	2.30	2.28	2.26	2.26	2.25	2.23	2.21	2.21	2.18	2.13	2.10	2.10	2.10
海胆 sea urchin	—	—	—	—	—	1.98	1.98	2.28	2.28	2.28	2.3	2.3	2.31	2.31	2.31	2.32	2.32
海蜇 <i>Rhopilema</i>	—	—	—	—	—	2.50	2.50	2.51	2.5	2.5	2.5	2.5	2.48	2.48	2.48	2.47	2.47
海水养殖 mariculture	1.71-2.0	1.77	2.06	1.95	2.03	2.07	2.09	2.10	2.11	2.12	2.13	2.12	2.11	2.11	2.10	2.10	2.10

注: 各养殖种类营养级的计算公式为: $1 + (\text{投喂配合饲料养殖产量占总产量的}\% \text{配合饲料的营养级} + \text{投喂其他饲料养殖产量占总产量的}\% \text{其他饲料的营养级} + \text{不投喂饲料的养殖产量占总产量的}\% \text{自然水域中该种类饲料的营养级})$; 年份 1950—1985 代表 1950、1955、1960、1965、1970、1975、1980 和 1985 年; “—”表示有养殖但《中国渔业统计年鉴》中没有统计数据; 空格表示没有养殖。

Note: Trophic level of culture species calculated by $1 + (\text{percentage fed compound aquafeed} + \text{percentage fed non-compound aquafeed} + \text{percentage of the other diets} + \text{percentage non-fed trophic level of the species in natural waters})$. Years 1950–1990 represents years 1950, 1955, 1960, 1965, 1970, 1975, 1980 and 1985, respectively. “—” indicates that the species has been cultured but there is no data from China Fishery Statistical Yearbook. Blank space in the table means no culture for the species.

1.71~2.00; 1990~2008 年由于甲壳类和鱼类养殖发展, 营养级有所增加, 为 1.95~2.13; 2009 年之后由于配合饲料的广泛使用, 营养级有所下降, 为 2.12~2.10, 2014 年为 2.10。2014 年占海水养殖产量 62.5%、单种产量 100 万 t 以上的牡蛎、蛤、扇贝和海带 4 个种类加权营养级为 1.88, 占海水养殖产量 13.6%、产量 50 万~100 万 t 的南美白对虾、贻贝和蛭 3 个种类加权营养级为 2.19, 其中除了南美白对虾营养级略高(2.54) 外, 其他 2 个种营养级均为 2.00, 表明以低营养级种类为主是中国海水养殖的突出特点。图 10C 海水养殖营养级金字塔多年变化清楚表达了这个特点。

五大类别中(表 5), 贝类由于肉食性螺养殖发展, 营养级略有增加, 为 2.02~2.04, 藻类营养级为 1.00; 甲壳类营养级变化较大, 由于配合饲料使用比例增加和鲜杂鱼/贝投喂量减少, 营养级从 1985 年的 3.50 降至 2014 年的 2.89, 同样的原因, 鱼类营养级从 1985 年的 4.50 降至 2014 年的 3.77; 其他类也由于配合饲料使用比例增加, 营养级从 1985 年的 3.00 降至 2014 年的 2.31。

3 讨论

本项研究表明, 中国水产养殖结构相对稳定, 变化较小, 其显著特点是种类繁多、多样性丰富、营养层次多、营养级低、生态效率高、生物产出量多。形成这个特点的原因很多: (1)历史传统和发展需求的原因, 如淡水的主养种类“青、草、鲢、鳙”四大家鱼, 养殖历史悠久, 除青鱼外, 其他 3 种为滤食性或草食性养殖种类; 再如为了解决吃鱼难而迅速发展起的海水贝类和藻类养殖, 或是直接滤食水体中的浮游植物或通过光合作用利用水体中的营养物质。这些养殖种类的共同特点是营养级低、产出量高, 养殖中技术要求相对较低, 易于产业快速、规模化发展。(2)饮食习惯和文化的原因, 中国人同欧美人偏爱鱼片、日本人偏爱生鱼和鱼糜不同, 更偏爱鲜活鱼虾, 喜欢舌尖上的快乐, 品尝各种各样的养殖产品, 有时还喜新厌旧, 这些偏爱明显影响了养殖种类选择、生产结构及数量产出, 促使养殖种类的多样

化发展。通过长期发展, 这样的水产养殖结构特点也是有效、合理的, 符合现代发展的需求, 因为它不仅为解决吃鱼难、农民增收、提供优质蛋白、调整渔业结构做出重要贡献^[3], 同时对减排二氧化碳、缓解水域富营养化发挥积极作用^[18, 33-34]。预计在一个较长的时期里这种水产养殖结构在中国不会发生根本的改变。

基于以上分析, 无疑, 中国水产养殖未来发展要遵循绿色低碳和环境友好的发展理念。为了实现“高效、优质、生态、健康、安全”可持续发展目标, 需要探讨发展适宜的、特点各异的新生产模式, 包括健康养殖模式、生态养殖模式、多营养层次综合养殖(IMTA)模式、循环水养殖系统(RAS)模式、稻渔综合种养模式等, 探讨发展以养殖容量为基础的生态系统水平的水产养殖管理(EAA), 建设环境友好型的水产养殖业^[4, 29, 35-39]。显然, 这样的发展能够更好的彰显养殖生态系统的食物供给功能和生态服务功能, 满足中国社会发展的需求, 满足现代水产养殖发展的要求, 满足人类需求与生态福祉的平衡, 为保障国家食品安全、促进生态文明建设作出更大贡献。

致谢: 本项研究的养殖种类确认和计算参数估算工作得到众多专家的支持和帮助, 为此向雷霖霖、桂建芳、麦康森、马姓、王印庚、王清印、史成银、朱华、刘永坚、刘家寿、闫喜武、李健、杨代勤、张松、张国范、张素萍、张涛、陈四清、邵庆均、周小秋、赵文武、柯才焕、柳学周、姜志强、袁晓初、高启平、常亚青、温海深、解绶启、谭北平等学者表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] Standing Committee of the National People's Congress. Fisheries Law of the People's Republic of China[M]. Beijing: Chinese Democracy and Legal Press, 1986.[全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国渔业法[M]. 北京: 中国民主法制出版社, 1986.]
- [2] Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture. China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004-2015.[农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004-2015.]
- [3] Task Force for Strategic Study on the Sustainable Develop-

- ment of Chinese Aquaculture. Strategic Study on the Sustainable Development of Chinese Cultivation Industry[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013.[中国养殖业可持续发展战略研究项目组. 中国养殖业可持续发展战略研究: 水产养殖卷[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.]
- [4] Tang Q S, Ding X M, Liu S L, et al. Strategy and task for green and sustainable development of Chinese aquaculture[J]. Chinese Fisheries Economics, 2014, 32(1): 6–14.[唐启升, 丁晓明, 刘世禄, 等. 我国水产养殖业绿色、可持续发展战略与任务[J]. 中国渔业经济, 2014, 32(1): 6–14.]
- [5] Cao L, Naylor R, Henriksson P, et al. China's aquaculture and the world's wild fisheries[J]. Science, 2015, 347: 133–135.
- [6] Researchers: China aquaculture 'dangerous' to wild fisheries. <http://www.seafoodsource.com/news/environment-sustainability/27496-researchers-china-aquaculture-dangerous-to-wild-fisheries#sthash.iQYKgFMR.dpuf>. 2015.
- [7] Han D, Shan X, Zhang W, et al. China aquaculture provides food for the world and then reduces the demand on wild fisheries. <http://comments.sciencemag.org/content/10.1126/science.1260149>. 2015.
- [8] Shan X J, Han D, Zhang W B, et al. China's aquaculture reduces the demand on wild fisheries[J]. China Fisheries, 2015(6): 5–6.[单秀娟, 韩冬, 张文兵, 等. 中国水产养殖缓解了对野生渔业资源需求的压力[J]. 中国水产, 2015(6): 5–6.]
- [9] FAO. Fishery and Aquaculture Statistics. [Global capture production 1950–2013] (FishStatJ). In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online or CD-ROM]. Rome. [Updated 2014]. <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en>
- [10] Ding X M. The 40 years achievement of freshwater aquaculture in China[J]. China Fisheries, 1989(6): 7–9. [丁晓明. 我国淡水养殖业 40 年成就[J]. 中国水产, 1989(6): 7–9.]
- [11] National Certification Committee for Aquatic Varieties. The Ministry of Agriculture of the People's Republic of China announced: aquatic varieties list (1996–2015)[M]. <http://www.moa.gov.cn/zwl/m/tzgg/gg/>. 2016.[全国水产原种和良种审定委员会. 中华人民共和国农业部公告: 水产新品种名录(1996–2015) [M]. <http://www.moa.gov.cn/zwl/m/tzgg/gg/>. 2016.]
- [12] Lei J L(ed). Marine fish culture theory and techniques[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005.[雷霖. 海水鱼类养殖理论与技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.]
- [13] Xie Y K. The aquaculture situation and development of marine molluscs in China[J]. Kexue Zhongyao, 2014(2): 7–8.[谢玉坎. 中国海洋贝类的养殖概况与发展问题[J]. 科学种养, 2014(2): 7–8.]
- [14] Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12763.6–2007 Specifications for Oceanographic Survey [S]//State Oceanic Administration. Marine Biological Survey: Part 6. Beijing: China Standard Publishing House, 2007: 75.[中国国家标准化管理委员会, GB/T 12763.6–2007 海洋生物调查[S]//国家海洋局. 海洋调查规范: 第 6 部分. 北京: 中国标准出版社, 2007: 75.]
- [15] Yang J M. A tentative analysis of the trophic levels of North Sea fish[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1982(7): 247–252.
- [16] Pauly D, Palomares M L, Froese R, et al. Fishing down Canadian aquatic food webs[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2001, 58: 51–62.
- [17] Zhang B, Tang Q S. Study on trophic level of important resources species at high trophic levels in the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea[J]. Advances in Marine Science, 2004, 22(4): 393–404.[张波, 唐启升. 渤、黄、东海高营养层次重要生物资源种类的营养级研究[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(4): 393–404.]
- [18] Xie S Q, Liu J S, Li Z J. Evaluation of the carbon removal by fisheries and aquaculture in freshwater bodies[J]. Progress in Fishery Sciences, 2013, 34(1): 82–89.[解绥启, 刘家寿, 李钟杰. 淡水水体渔业碳移出之估算[J]. 渔业科学进展, 2013, 34(1): 82–89.]
- [19] China Feed Industry Association. China Feed Industry Yearbook[M]. Beijing: China Commercial Publishing House, 1991–2014.[中国饲料工业协会. 中国饲料工业年鉴[M]. 北京: 中国商业出版社, 1991–2014.]
- [20] Mai K S, Zhao X G, Tan B P, et al. Studies on the Development Strategies of Aquaculture Nutrition and Feed Industry in China[J]. Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science, 2001, 20(sup): 1–5.[麦康森, 赵锡光, 谭北平, 等. 我国水产动物营养研究与渔用饲料的发展战略研究[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2001, 20(增刊): 1–5.]
- [21] Xu Q Y. Trends of research and development on fish nutrition and feeds in China[J]. Feed Industry, 2006(6): 21–23. [徐奇友. 我国鱼类营养与饲料的发展及研究趋势[J]. 饲料工业, 2006(6): 21–23.]
- [22] Mai K S. Direction of research and development of aquaculture nutrition and feeds in China[J]. Feed Industry, 2010, A01: 1–9.[麦康森. 我国水产动物营养与饲料的研究和发展方向[J]. 饲料工业, 2010, A01: 1–9.]
- [23] Zhang T L. Life-history strategies, trophic patterns and community structure in the fishes of lake Biandantang[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2005.[张堂林. 扁担塘鱼类生活史策略、营养特征及群落结构研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究

- 所, 2005.]
- [24] Ye S W. Studies on fish communities and trophic network model of shallow lakes along the middle reach of the Yangtze River[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2007.[叶少文. 长江中游浅水湖泊鱼类群落和系统营养网络模型的研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2007.]
- [25] Cremer M C, Smitherman R O. Food habits and growth of silver and bighead carp in cages and ponds[J]. *Aquaculture*, 1980, 20: 57–64.
- [26] Liu X Q. Food composition and food webs of zoobenthos in yangtze lakes[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2006.[刘学勤. 湖泊底栖动物食物组成与食物网研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2006.]
- [27] Sun J, Liu D Y. The application of diversity indices in marine phytoplankton studies[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 26(1): 62–75.[孙军, 刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J]. *海洋学报*, 2004, 26(1): 62–75.]
- [28] FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2012[M]. Rome: FAO, 2012.
- [29] Tacon A G, Metian M, Turchini G M, et al. Responsible aquaculture and trophic level implications to global fish supply[J]. *Rev Fish Sci*, 2010, 18(1): 94–105.
- [30] Powell M. Personal communication, 2015.
- [31] Olsen Y. Resources for fish feed in future mariculture[J]. *Aqu Environ Inter*, 2011(1): 187–200.
- [32] Tang Q S, Guo X W, Sun Y, et al. Ecological conversion efficiency and its influencers in twelve species of fish in the Yellow Sea Ecosystem[J]. *J Mar Ecosyst*, 2007, 67: 282–291.
- [33] Tang Q S, Zhang J H, Fang J G. Shellfish and seaweed mariculture increase atmospheric CO₂ absorption by coastal ecosystems[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 2011, 424: 97–104.
- [34] Tang Q S, Liu H, Fang J G, et al. Strategic studies on the amplification of biological carbon sink: amplification of ocean biological carbon sink[M]. Beijing: Science Press, 2015. [唐启升, 刘慧, 方建光, 等. 生物碳汇扩增战略研究: 海洋生物碳汇扩增[M]. 北京: 科学出版社, 2015.]
- [35] Tang Q S, Lin H R, Xu X, et al. Scientific questions regarding sustainable mariculture and enhanced product quality[J]. Briefing on the Xiangshan Science Conferences, 2009, 330: 1–12. [唐启升, 林浩然, 徐洵, 等. 可持续海水养殖与提高产出质量的科学问题[J]. 香山科学会议简报, 2009, 330: 1–12.]
- [36] Chopin T, Cooper J A, Reid G, et al. Open-water integrated multi-trophic aquaculture: environmental biomitigation and economic diversification of fed aquaculture by extractive aquaculture[J]. *Rev Aqu*, 2012(4): 209–220.
- [37] Nebri A, Nobre A M. Relationship between trophic level and economics in aquaculture[J]. *Aqua Econom Manag*, 2012, 16(1): 40–67.
- [38] Tang Q S, Fang J G. Review of climate change effects in the Yellow Sea large marine ecosystem and adaptive actions in ecosystem based management[C]//Sherman K, McGovern G (eds.) Frontline observations on climate change and sustainability of large marine ecosystem. Large Marine Ecosystem, 2012(17): 170–187. New York: Graphics Service Bureau, Inc..
- [39] Tang Q S, Ying Y P, Wu Q. The biomass yields and management challenges for the Yellow sea large marine ecosystem[J]. *Environmental Development*, 2016(17): 175–181. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.envdev.2015.06.12>).

Species composition, non-fed rate and trophic level of Chinese aquaculture

TANG Qisheng^{1,2}, HAN Dong³, MAO Yuze^{1,2}, ZHANG Wenbing⁴, SHAN Xiujuan^{1,2}

1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;
2. Function Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China;
3. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology; Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China;
4. Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education; Key Laboratory of Aquaculture Nutrition and Feeds, Ministry of Agriculture; Ocean University of China, Qingdao 266003, China

Abstract: Based on Chinese aquaculture (including species and species group) statistics and investigation data during 1950–2014, combined with the estimate on the feeding rate in aquaculture, the percentage of fishmeal and fish oil of compound aquafeed, the trophic level of all kinds of diet (compound aquafeed, trash fish/low-valued molluscs/live fish, natural diet, etc.), the characteristics and changes of species composition, biodiversity, non-fed rate and trophic level in Chinese aquaculture were analyzed. The results were as follows: Chinese aquaculture structure was relatively stable, just less changes during the past decades, and was distinctively characterized by species-rich diversity, dominant species concentration, multi-trophic levels, lower trophic level, high eco-efficiency and more yields. The details were: (1) A total of 439 species and varieties in Chinese aquaculture, including 296 aquaculture species and 143 varieties. Species composition significantly varied with regional differences, and fish were the absolutely dominant species in freshwater aquaculture, e.g. in 2014, the top 6 species (grass carp, silver carp, bighead carp, common carp, crucian carp and tilapia) yields accounted for 69.6% of total yields in freshwater aquaculture, followed by crustaceans, others, molluscs and algae. However, molluscs and algae were the dominant species in mariculture, e.g. the top 6 species (oyster, clam, scallop, kelp, mussel and razor clam) yields accounted for 71.3% of total mariculture yields in 2014, followed by crustaceans, fish and others. (2) Biodiversity was characterized by species-rich diversity, high richness and evenness, not a paralleled aquaculture countries have been found in the world, meanwhile, Chinese aquaculture showed a better development trend. (3) The non-fed rate of Chinese aquaculture showed an obvious decreasing trend, and varied markedly during the different aquaculture development period. The higher non-fed rates were found before the 1990s, were about 96.7%–100%, which was mainly attributed to aquaculture model with natural diet. Meanwhile, with the aquaculture models from natural farm to feeding farm, the non-fed rate greatly decreased from 90.5% in 1995 to 53.8% in 2014 (35.7% for freshwater aquaculture and 83.0% for mariculture in 2014), which still remained the higher level when compared with the average non-fed rate of the other countries in the world. (4) The trophic level of Chinese aquaculture was lower and more stable (range from 2.12 to 2.33). There were three periods in the trophic level changes of Chinese aquaculture: the trophic level decreased from 2.33 to 2.12 during 1950–1980, then showed an increase–decrease–increase changing trend (range from 2.17–2.32) until 2005, and slightly decreased since 2005 for the popularization of compound aquafeed and the percentage decrease of fishmeal and fish oil of compound aquafeed, e.g. the trophic level was 2.32 in 2005, and decreased to 2.25 (2.35 for freshwater aquaculture and 2.10 for mariculture) in 2014. The trophic level pyramid of Chinese aquaculture was composed of 4 levels, and dominated by trophic level 2 (accounted for 70% of total yields in recent years), which means the more yields in Chinese aquaculture ecosystem. In the future, the development of Chinese aquaculture orientates by green, sustainable and environment-friendly development concept, develop the new aquaculture model with suitable and different characteristics, combine with the ecosystem-based aquaculture management based on carrying capacity, and finally realize the environment-friendly aquaculture. Chinese aquaculture is destined to greatly contribute the national food security and ecological civilization construction.

Key words: species composition; diversity; non-fed rate; trophic level; aquaculture; China

Corresponding author: TANG Qisheng. E-mail: ysfri@public.qd.sd.cn

附表 1 中国淡水养殖种类投喂饵料养殖产量占其养殖总产量的比例(1950-2014)

种类 species	1950—1985	1990	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
鱼类 Fish																%
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	0	0	20	60	65	65	70	70	75	75	80	80	80	85	85	85
鲢鱼 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5
鲤鱼 common carp	0	0	20	60	65	65	70	70	75	75	80	80	80	85	85	85
鳙鱼 <i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5
鲫鱼 <i>Carassius carassius</i>	0	0	20	60	65	65	70	70	75	75	80	80	80	85	85	85
罗非鱼 tilapia	0	0	20	60	65	70	70	70	75	75	80	80	85	90	90	90
鳊鱼 <i>Megalobrama</i>	0	0	20	60	65	65	70	70	75	75	80	80	80	85	85	85
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	0	0	20	50	60	60	65	65	70	70	75	75	75	80	85	85
乌鳢 <i>Ophicephalus argus</i>	—	—	—	—	15+15*	35+15*	45+15*	45+15*	50+15*	55+15*	60+15*	65+15*	70+15*	75+15*	85+15*	85+15*
鲇鱼 <i>Silurus</i>	—	—	—	—	20	35	45	45	50	60	60	70	80	85	90	90
黄鳝 <i>Monopterus albus</i>	—	—	—	—	10+10*	15+10*	20+10*	30+10*	35+10*	40+10*	45+10*	50+10*	50+10*	50+10*	50+10*	50+10*
鲈鱼 bass	—	—	—	—	100*	100*	10+90*	10+90*	15+85*	15+85*	15+85*	20+80*	20+80*	25+75*	25+75*	30+70*
泥鳅 loach	—	—	—	—	30	40	50	50	55	60	60	65	70	75	80	85
黄颡鱼 <i>Pseudobagrus</i>	—	—	—	—	50	70	75	75	80	80	85	85	90	95	100	100
鳊鱼 <i>Siniperca</i>	—	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*
鲟鱼 <i>Ictalurus</i>	—	—	—	—	50	70	75	75	80	80	85	85	90	95	100	100
鳊鱼 <i>Anguilla</i>	0	20	50	50	60	70	80	80	85	85	90	90	95	95	100	100
短盖巨脂鲤 <i>Piaractus brachipomus</i>	—	—	—	—	50	70	75	75	80	80	80	85	90	95	100	100
银鱼 icefish	—	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
其他鱼类 other fish	—	—	—	—	50	60	70	75	80	85	90	95	100	100	100	100
甲壳类 Crustaceans																
罗氏沼虾 <i>Macrobrachium rosenbergii</i>	—	—	—	50	60	70	80	80	85	85	90	90	95	95	100	100
青虾 <i>Squilla</i>	—	—	—	30	40	50	60	60	60	65	65	70	75	80	80	80
克氏原螯虾 <i>Procambarus clarkii</i>	—	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	10	10
南美白对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i>	—	—	—	—	70	80	85	85	90	95	100	100	100	100	100	100
河蟹 <i>Eriocheir sinensis</i>	—	85*	85*	40+45*	50+35*	60+25*	70+15*	70+15*	70+15*	65+20*	65+20*	65+20*	60+20*	60+20*	60+20*	60+15*

(待续 to be continued)

(续附表 1 App. 1 continued)

种类 species	1950—1985	1990	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
贝类 Molluscs																
河蚌 unionid			—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
螺 gastropod	—	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
蚬 corbiculid		—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻类 Algae																
螺旋藻 <i>Spirulina</i>		—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
其他类 Others																
鳖 softshell turtle	—	—	—	—	70	75	80	80	85	85	90	90	95	95	100	100
蛙 <i>Rana</i>	—	—	—	—	80	85	85	85	90	90	95	100	100	100	100	100
龟 turtle	—	—	20	60	70	75	80	80	85	85	90	90	95	95	100	100

注：加*号数据为投喂鲜活水生动物或冰鲜杂鱼，未加者为投喂配合饲料；年份 1950—1985 代表 1950、1955、1960、1965、1970、1975、1980、1985 年；“—”表示有养殖但《中国渔业统计年鉴》^[2]中没有统计数据；空格表示没有养殖。

Note: Data with * mean feeding with live aquatic animal or frozen fish. Data without * mean feeding with compound aquafeeds. Years 1950–1990^[2] represents years 1950, 1955, 1960, 1965, 1970, 1975, 1980 and 1985, respectively. In the table, “—” means no data from China Fishery Statistical Yearbook, and blank space means no aquaculture.

附表2 中国海水养殖种类投喂饵料养殖产量占其养殖总产量的比例(1985—2014)

App. 2 Percentage of fed in Chinese mariculture production by species from 1985 to 2014

种类 species	1985	1990	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
贝类 Molluscs																
鲍 <i>Haliotis</i> ¹	—	0+100*	0+100*	0+100*	1+99*	1+99*	1+99*	1+99*	1+99*	2+98*	2+98*	2+98*	3+97*	3+97*	3+97*	3+97*
螺 conch ²	—	—	—	—	0+50*	0+50*	0+50*	0+50*	1+49*	1+49*	1+49*	1+49*	1+49*	2+48*	2+48*	2+48*
牡蛎 oyster	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*
蚶 cockle	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*
贻贝 mussel	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*
江珧 <i>Atrina pectinata</i>	—	—	—	—	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*
扇贝 scallop	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*
蛤 clam	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*
蛎 razor clam	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*
藻类 Algae	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*	0+0*
甲壳类 Crustaceans ³																
南美白对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i>	—	—	—	—	75+25*	85+15*	95+5*	100+0*	100+0*	100+0*	100+0*	100+0*	100+0*	100+0*	100+0*	100+0*
斑节对虾 <i>Penaeus monodon</i>	—	—	—	—	75+25*	80+20*	85+15*	85+15*	85+15*	90+10*	100+0*	100+0*	100+0*	100+0*	100+0*	100+0*
中国对虾 <i>Fenneropenaeus chinensis</i>	10+85*	30+65*	40+55*	50+45*	65+30*	80+15*	80+15*	80+15*	85+10*	85+10*	85+10*	85+10*	85+10*	85+10*	85+10*	85+10*
日本对虾 <i>Penaeus japonicus</i>	—	—	—	—	30+65*	30+65*	30+65*	35+60*	35+60*	35+60*	40+40*	40+40*	40+40*	40+40*	40+40*	40+40*
梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	—	—	—	—	2+98*	2+98*	2+98*	2+98*	5+95*	5+95*	5+95*	5+95*	5+95*	5+95*	5+95*	5+95*
青蟹 <i>Scylla serrata</i>	—	—	—	—	2+98*	2+98*	2+98*	2+98*	2+98*	5+95*	5+95*	5+95*	5+95*	5+95*	5+95*	5+95*
鱼类 Fish ²																
鲈鱼 <i>Lateolabrax japonicus</i>	—	—	—	—	20+80*	30+70*	50+50*	50+50*	70+30*	70+30*	70+30*	70+30*	80+20*	80+20*	90+10*	90+10*
鲆鱼 lefteyed flounders	—	—	—	—	20+80*	20+80*	40+60*	40+60*	40+60*	40+60*	40+60*	50+50*	50+50*	50+50*	60+40*	60+40*
大黄鱼 <i>Larimichthys crocea</i>	—	—	—	—	5+95*	5+95*	5+95*	5+95*	7+93*	7+93*	10+90*	10+90*	15+85*	15+85*	20+80*	20+80*
军曹鱼 <i>Rachycentron canadum</i>	—	—	—	—	2+98*	2+98*	5+95*	5+95*	5+95*	5+95*	5+95*	10+90*	10+90*	10+90*	10+90*	10+90*
鲷鱼 <i>Seriola</i>	—	—	—	—	5+95*	5+95*	5+95*	5+95*	5+95*	10+90*	10+90*	10+90*	10+90*	20+80*	20+80*	20+80*
鳊鱼 sea bream	—	—	—	—	10+90*	10+90*	10+90*	20+80*	20+80*	20+80*	30+70*	30+70*	40+60*	40+60*	50+50*	50+50*
美国红鱼 <i>Sciaenops ocellatus</i>	—	—	—	—	10+90*	10+90*	15+85*	15+85*	20+80*	20+80*	20+80*	20+80*	20+80*	30+70*	30+70*	30+70*
河鲀 <i>Fugu</i>	—	—	—	—	10+90*	10+90*	10+90*	10+90*	10+90*	10+90*	10+0*	10+90*	20+80*	20+80*	20+80*	20+80*

(持续 to be continued)

(续附表 2 App. 2 continued)

种类 species	1985	1990	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
鱼类 Fish ²																
石斑鱼 <i>Epinephelus</i>	—	—	—	—	2+98*	2+98*	5+95*	5+95*	5+95*	5+95*	10+90*	10+90*	10+90*	20+80*	15+85*	15+85*
鲷鱼 righteyed flounders	—	—	—	—	20+80*	20+80*	20+80*	30+70*	30+70*	40+60*	40+60*	50+50*	60+40*	70+30*	80+20*	80+20*
卵形鲳鲹 <i>Trachinotus ovatus</i>	—	—	—	—	30+70*	30+70*	30+70*	40+60*	50+50*	70+30*	70+30*	80+20*	80+20*	90+10*	90+10*	95+5*
其他鱼类 other fish species	—	—	—	—	5+95*	5+95*	5+95*	10+90*	10+90*	20+80*	20+80*	20+80*	30+70*	30+70*	40+60*	40+60*
其他类 Others																
海参 sea cucumber ⁴	—	—	0+20*	0+25*	0+30*	0+35*	1+35*	1+38*	2+40*	2+45*	3+45*	7+50*	10+60*	12+65*	13+65*	13+65*
海胆 sea urchin ¹	—	—	—	—	0+30*	0+30*	0+30*	0+30*	0+30*	0+25*	0+25*	0+23*	0+23*	0+23*	0+20*	0+20*
海蜇 <i>Rhopilema</i> ⁵	—	—	—	—	3+0*	4+0*	5+0*	10+0*	10+0*	10+0*	10+0*	20+0*	20+0*	20+0*	30+0*	30+0*

注: 表中用两个数据(C+O*)表示不同的投喂饵料养殖产量所占比例, C 为投喂配合饲料养殖产量占总产量的%, O*为投喂其他饵料养殖产量占总产量的%, 两个数据均为 0 者为不投喂任何饵料。其中: ¹所示 O*数据为投喂藻类养殖产量占总产量的%; ²所示 O*数据为投喂鲜杂鱼虾等养殖产量占总产量的%; ³所示 O*数据为投喂鲜杂鱼虾和低值贝类(虾类养殖两类饵料比例约为 40: 60, 蟹类约为 65: 35)养殖产量占总产量的%; ⁴所示 O*数据为投喂藻类和海泥养殖产量占总产量的%; ⁵由于该养殖所需的其他饵料为肥水培育或纳水排水补充的养殖水体的挠足类等浮游生物, 故 O*数据定为。

Note: Data expressed as C+O* represents percentage of farmed production with different diets. C as percentage fed compound feed, O* as percentage fed non-compound feed. It is a non-fed animal when both C and O are zero. ¹ O* as percentage fed algae, ² O* as percentage fed trash fish, ³ O* as percentage fed trash fish and low-value shellfish (40: 60 for shrimp farming, 65: 35 for crab farming), ⁴ O* as percentage fed algae and sea mud. ⁵ value of O* was zero because the diet used was plankton including copepod from fertilization cultivation and drainage.

附表 3 中国淡水养殖主要种类配合饲料的鱼粉与鱼油含量(1995-2014)
App. 3 Percentage of fishmeal and fish oil of compound aquafeed in Chinese freshwater aquaculture by major species from 1995 to 2014

种类 species	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	%
鱼类 Fish															
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	8	5	5	5	5	5	4	3	2	2	2	1.5	1.5	1.5	
鲢鱼 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	0	
鲤鱼 common carp	21.5	16.5	16.5	16.5	16.5	14.5	14	11	10	10	9	6	6	6	
鳙鱼 <i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	0	
鲫鱼 <i>Carassius carassius</i>	21.5	16.5	16.5	16.5	16.5	14.5	14	13	11	11	9	8	8	8	
罗非鱼 tilapia	16	11	11	11	11	10	9	9	8	8	8	6	6	6	
鳊鱼 <i>Megalobrama</i>	16	11	11	11	11	11	10	9	8	8	8	6	6	6	
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	32	22	22	22	22	22	20	19	16	16	13	12	10	10	
乌鳢 <i>Ophicephalus argus</i>	—	—	53.5	48.5	48.5	48.5	45.5	45.5	43.5	43.5	43.5	38.5	35	30	
鲇鱼 <i>Silurus</i>	—	—	53.5	48.5	48.5	48	45	45	43	43	38	37	34	32	
黄鳝 <i>Monopterus albus</i>	—	—	53.5	53.5	53.5	53	48	48	43	43	43	38	38	38	
鲈鱼 bass	—	—	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	55.5	55	53	53	
泥鳅 loach	—	—	21	19	19	19	17	17	16	16	15	12	10	10	
黄颡鱼 <i>Pseudobagrus</i>	—	—	43	43	43	38	38	33	33	33	28	28	27	27	
鲌鱼 <i>Ictalurus</i>	—	—	17	16	16	16	14	13	13	13	11	10	8	8	
鳊鳊 <i>Anguilla</i>	65	65	65	65	65	65	62	62	60	60	58	55	55	55	
短盖巨脂鲤 <i>Piaractus brachipomus</i>	—	—	16	11	11	11	10	9	9	8	6	5	5	5	
其他鱼类 other fish	—	—	30	30	28	28	26	26	25	25	25	25	25	25	
甲壳类 Crustaceans															
罗氏沼虾 <i>Macrobrachium rosenbergii</i>	—	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	36.5	36.5	36.5	31.5	28.5	28	28	
青虾 <i>Squilla</i>	—	36	36	36	36	36	31	31	26	26	26	26	21	21	
克氏原螯虾 <i>Procambarus clarkii</i>	—	—	+	+	+	+	+	+	+	16	13	11	10	10	
南美白对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i>	—	—	42	39	36	35	35	35	35	31	31	30	29	29	
河蟹 <i>Eriocheir sinensis</i>	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	29.5	29.5	26.5	26.5	26.5	21.5	21	21	
其他类 Others															
鳖 softshell turtle	—	—	60	60	60	60	58	58	55	55	55	52	50	50	
蛙 <i>Rana</i>	—	—	47.5	47.5	47.5	47.5	44.5	44.5	42.5	42.5	37.5	32.5	32	32	
龟 turtle	53	48	48	48	48	45	45	43	42.5	42.5	37.5	32.5	32	32	

注: 各种类配合饲料的鱼粉与鱼油含量的数据来源为文献报道、专家咨询和对主要饲料生产企业的问卷调查; “—”表示有养殖但《中国渔业统计年鉴》^[2]中没有统计数据, “+”表示自然水域养殖不需投喂配合饲料; 贝类和藻类包括河蚌、螺、蚬和螺旋藻的养殖不使用人工配合饲料, 故表中未列出。

Note: Data in the table were from literatures, expert consultation and practice survey. “—” in the table mean no statistical data from China Fishery Statistical Yearbook^[2]. “+” in the table mean no feeding with aquafeeds in the natural aquaculture. Shellfish and algae are non-fed species, including mussels, snails, clams and Spirulina, and are not included in this table.

附表4 中国海水养殖主要种类水产饲料的鱼粉与鱼油含量(1985-2014)

App. 4 Percentage of fishmeal and fish oil of compound aquafeed in Chinese mariculture by major species from 1985 to 2014																	
种类 species		1985	1990	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
贝类 Molluscs																	
鲍 <i>Haliotis</i>		—	—	—	—	27	27	27	27	25	25	25	25	20	20	20	20
螺 conch		—	—	—	—	—	—	—	—	60	50	45	35	35	35	30	30
甲壳类 Crustaceans																	
南美白对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i>		—	—	—	—	42	39	36	35	35	35	32	30	30	28	27	27
斑节对虾 <i>Penaeus monodon</i>		—	—	—	—	41	40	37	37	36	35	35	32	30	30	30	30
中国对虾 <i>Fenneropenaeus chinensis</i>		20	40	45	45	42	40	40	40	40	40	37	37	35	35	35	35
日本对虾 <i>Penaeus japonicus</i>		—	—	—	—	40	40	40	40	40	37	37	35	35	35	35	35
梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>		—	—	—	—	55	55	54	54	54	50	49	41	41	41	41	41
青蟹 <i>Scylla serrata</i>		—	—	—	—	55	55	54	54	54	49	47	44	42	40	39	39
鱼类 Fish																	
鲈鱼 <i>Lateolabrax japonicus</i>		—	—	—	—	55	53	48	48	46	46	45	43	39	37	37	37
鲆鱼 lefteyed flounders		—	—	70	70	65	62	59	55	50	50	53	53	50	50	50	50
大黄鱼 <i>Larimichthys crocea</i>		—	—	—	—	63	55	55	55	55	50	50	50	48	48	45	45
军曹鱼 <i>Rachycentron canadum</i>		—	—	—	—	60	60	60	60	50	53	53	50	50	45	43	43
鲷鱼 <i>Seriola</i>		—	—	—	—	65	65	60	60	55	50	50	50	45	45	45	45
鲷鱼 sea bream		—	—	—	—	55	55	55	55	50	47	45	45	45	45	45	45
美国红鱼 <i>Sciaenops ocellatus</i>		—	—	—	—	65	60	58	55	55	50	50	40	45	43	40	40
河鲀 <i>Fugu</i>		—	—	—	—	55	55	55	50	50	50	50	45	45	42	41	41
石斑鱼 <i>Epinephelus</i>		—	—	—	—	65	63	63	60	60	58	58	56	53	52	50	50
鳎鱼 righteyed flounders		—	—	—	—	65	60	60	58	58	58	55	55	55	50	45	45
卵形鲳鲹 <i>Trachinotus ovatus</i>		—	—	—	—	45	45	45	45	45	40	40	40	35	35	35	35
其他鱼类 other fish species		—	—	—	—	55	55	55	50	50	50	50	50	45	45	45	45
其他类 Others																	
海参 sea cucumber		—	—	—	—	—	—	7	7	6	6	6	4	4	4	3	3
海蜇 <i>Rhopilema</i>		—	—	—	—	30	30	30	25	25	25	25	20	20	20	20	20

注: “—”表示特定时期没有商业化配合饲料或是养殖中没有使用配合饲料的种类。

Note: “—” means without commercial compound feed (CCF) or without using CCF in specific mariculture species in specific year.

附表 5 中国淡水养殖主要种类及大类配合饲料的营养级(1995–2014)

App. 5 Trophic level of compound aquafeed in Chinese freshwater aquaculture by major species or species group from 1995 to 2014

配合饲料种类 compound aquafeed for species	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	1.16	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.08	1.06	1.04	1.04	1.04	1.03	1.00	1.00
鲢, 鳙 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> & <i>H. nobilis</i>												1.00	1.00	1.00
普通淡水鱼 common freshwater fish	1.32–1.43	1.22–1.33	1.22–1.33	1.22–1.33	1.22–1.33	1.20–1.32	1.18–1.28	1.18–1.26	1.16–1.26	1.16–1.26	1.12–1.22	1.10–1.20	1.10–1.16	1.10–1.16
青鱼和泥鳅 <i>Mylopharyngodon piceus</i> & loach	1.64	1.44	1.42–1.44	1.38–1.44	1.38–1.44	1.38–1.44	1.34–1.40	1.34–1.38	1.32	1.32	1.26–1.30	1.24	1.20	1.20
特种淡水鱼 special freshwater fish	2.30	2.30	1.86–2.30	1.86–2.30	1.86–2.30	1.76–2.30	1.76–2.24	1.66–2.24	1.66–2.20	1.66–2.20	1.56–2.16	1.56–2.10	1.54–2.10	1.54–2.10
其他淡水鱼 other freshwater fish			1.60	1.60	1.56	1.56	1.52	1.52	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
克氏原螯虾 <i>Procambarus clarkii</i>										1.32	1.26	1.22	1.20	1.20
虾, 蟹 shrimp & crab		1.63–1.83	1.63–1.94	1.63–1.84	1.63–1.84	1.63–1.83	1.59–1.83	1.59–1.79	1.52–1.73	1.52–1.73	1.52–1.63	1.43–1.57	1.42–1.56	1.42–1.56
鳖 蛙龟 turtle & frog	2.06	1.96	1.95–2.20	1.95–2.20	1.95–2.20	1.90–2.20	1.89–2.16	1.86–2.16	1.85–2.10	1.85–2.10	1.75–2.10	1.65–2.04	1.64–2.00	1.64–2.00

注: 配合饲料营养级是根据饲料中各个成份的比例及其营养级计算得出, 鱼源性原料(鱼粉和鱼油)的营养级为 3, 非鱼源性原料的营养级为 1, 计算公式为: 鱼源性原料含量×3+非鱼源性原料含量×1. 不同类型淡水饲料的分类依据是 2014 年各种配合饲料中相近的鱼粉和鱼油含量. 各大类的种类名见文内, 表中空白格表示自然水域养殖, 不需投喂饲料.

Note: Trophic level of aquafeed is calculated from the feed composition and the trophic levels of the ingredients of the aquafeed. The trophic level of the ingredients from fish is 3 and the trophic level of the ingredients not from fish is 1. Trophic level of aquafeed = the content of the fish ingredients ×3 + the content of non-fish ingredients×1. The different freshwater aquafeeds are divided according to the similar content of fishmeal and fish oil of the feed. Blank space in the table mean no feeding with aquafeeds in the natural aquaculture.

附表 6 中国海水养殖主要种类及大类配合饲料的营养级(1985-2014)
App. 6 Trophic level of compound aquafeed in Chinese mariculture by major species group from 1985 to 2014

种类 species	1985	1990	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
贝类 Molluscs																
鲍 <i>Haliotis</i>	—	—	—	—	1.54	1.54	1.54	1.54	1.50	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.40
螺 conch	—	—	—	—	—	—	—	—	2.20	2.00	1.90	1.70	1.70	1.70	1.60	1.60
甲壳类 Crustaceans																
南美白对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i>	—	—	—	—	1.84	1.78	1.72	1.70	1.70	1.70	1.64	1.60	1.60	1.56	1.54	1.54
斑节对虾 <i>Penaeus monodon</i>	—	—	—	—	1.82	1.80	1.74	1.74	1.72	1.70	1.70	1.64	1.60	1.60	1.60	1.60
中国对虾 <i>Fenneropenaeus chinensis</i>	1.40	1.80	1.90	1.90	1.84	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.74	1.74	1.70	1.70	1.70	1.70
日本对虾 <i>Penaeus japonicus</i>	—	—	—	—	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.74	1.74	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
梭子蟹 <i>Portunus tritubercularis</i>	—	—	—	—	2.10	2.10	2.08	2.08	2.08	2.00	1.98	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82
青蟹 <i>Scylla serrata</i>	—	—	—	—	2.10	2.10	2.08	2.08	2.08	1.98	1.94	1.88	1.84	1.80	1.78	1.78
鱼类 Fish																
鲈鱼 <i>Lateolabrax japonicus</i>	—	—	—	—	2.10	2.06	1.96	1.96	1.92	1.92	1.90	1.86	1.78	1.74	1.74	1.74
鲆鱼 lefteyed flounders	—	—	2.4	2.4	2.30	2.24	2.18	2.10	2.00	2.00	2.06	2.06	2.00	2.00	2.00	2.00
大黄鱼 <i>Larimichthys crocea</i>	—	—	—	—	2.26	2.10	2.10	2.10	2.10	2.00	2.00	2.00	1.96	1.96	1.90	1.90
军曹鱼 <i>Rachycentron canadum</i>	—	—	—	—	2.20	2.20	2.20	2.20	2.00	2.06	2.06	2.00	2.00	1.90	1.86	1.86
鲷鱼 <i>Seriola</i>	—	—	—	—	2.30	2.30	2.20	2.20	2.10	2.00	2.00	2.00	1.90	1.90	1.90	1.90
鲷鱼 sea bream	—	—	—	—	2.10	2.10	2.10	2.10	2.00	1.94	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
美国红鱼 <i>Sciaenops ocellatus</i>	—	—	—	—	2.30	2.20	2.16	2.10	2.10	2.00	2.00	1.80	1.90	1.86	1.80	1.80
河鲀 <i>Fugu</i>	—	—	—	—	2.10	2.10	2.10	2.00	2.00	2.00	2.00	1.90	1.90	1.84	1.82	1.82
石斑鱼 <i>Epinephelus</i>	—	—	—	—	2.30	2.26	2.26	2.20	2.20	2.16	2.16	2.12	2.06	2.04	2.00	2.00
鲷鱼 righteyed flounders	—	—	—	—	2.30	2.20	2.20	2.16	2.16	2.16	2.10	2.10	2.10	2.00	1.90	1.90
卵形鲳鲹 <i>Trachinotus ovatus</i>	—	—	—	—	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.80	1.80	1.80	1.70	1.70	1.70	1.70
其他鱼类 Other fish species	—	—	—	—	2.10	2.10	2.10	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.90	1.90	1.90	1.90
其他类 Others																
海参 sea cucumber	—	—	—	—	—	—	1.14	1.14	1.12	1.12	1.12	1.08	1.08	1.08	1.06	1.06
海蜇 <i>Rhopilema</i>	—	—	—	—	1.60	1.60	1.60	1.50	1.50	1.50	1.50	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40

注: 各养殖种类的配合饲料营养级的计算公式为: 饲料中鱼粉鱼油的含量 $\times 3 +$ 饲料中非鱼粉鱼油成分的含量 $\times 1$.

Note: Trophic level of compound aquafeed by major species = contents of fish meal and fish oil in feed $\times 3 + (1 - \text{contents of fish meal and fish oil in feed}) \times 1$.