

刘兴国 等 © 编著

池塘养殖生态工程

POND AQUACULTURE ECOLOGICAL ENGINEERING

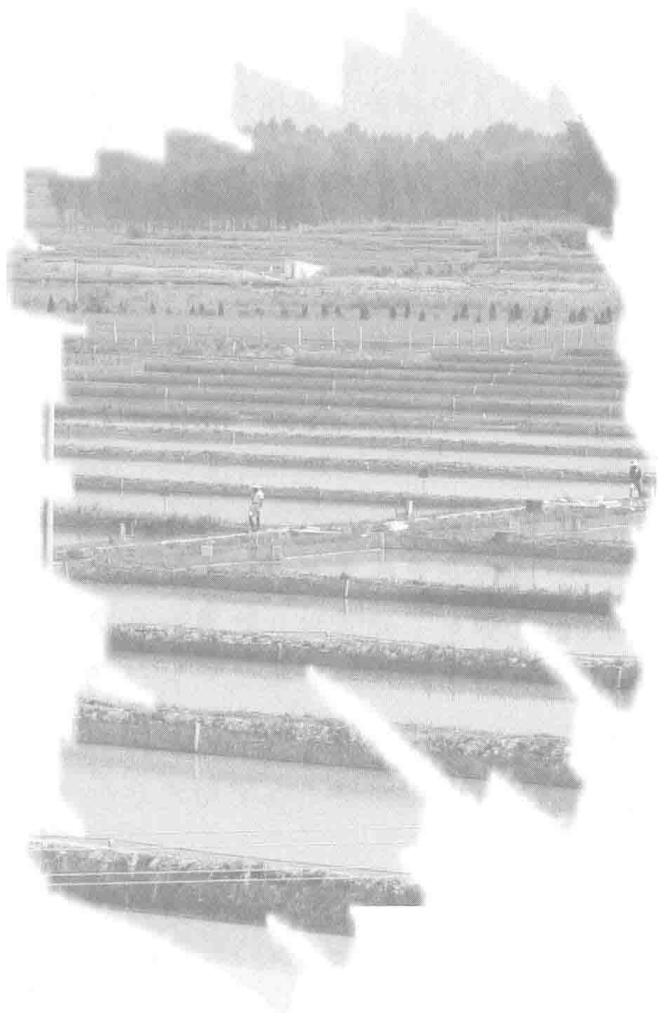


池塘 养殖生态工程

POND AQUACULTURE
ECOLOGICAL ENGINEERING

生态工程

刘兴国 等 著



中国农业出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

池塘养殖生态工程 / 刘兴国等著. —北京: 中国农业出版社, 2018. 6

ISBN 978-7-109-22896-2

I. ①池… II. ①刘… III. ①池塘养殖-生态养殖
IV. ①S964.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 094522 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 郑珂 王金环

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2018 年 6 月第 1 版 2018 年 6 月北京第 1 次印刷

开本: 889mm×1194mm 1/16 印张: 26.75

字数: 800 千字

定价: 218.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书由中国水产科学研究院等单位的科研人员在相关研究基础上完成，以理论为主，兼顾应用。全书分为基础篇和应用篇两部分，共12章，其中基础篇部分包括池塘养殖环境、池塘养殖生物因子、池塘养殖污染、池塘水质管理4章。应用篇部分包括池塘底质管理与调控技术、养殖环境微生物调控技术、池塘养殖水体浮游生物调控技术、池塘养殖生态工程技术、养殖水质的设施设备调控技术、池塘养殖数字化技术、生态养殖小区构建技术、水产养殖发展方式与实践管理8章。

本书可供水产科研、教学、生产等人员和相关专业研究生参考使用，对生态工程、环境科学、渔业信息化等科研工作者也有参考价值。

序

我国是世界上最早开展池塘养殖的国家，我国劳动人民创造的“桑基渔业”“蔗基渔业”等生态模式和“八字精养法”等技术引领了世界水产养殖的发展方向。生态渔业是根据鱼类与其他生物间的共生互补原理，利用水陆物质循环系统，通过采取相应的技术和管理措施，实现生态平衡、提高养殖效益的一种养殖模式。生态工程是应用生态系统中物种共生与物质循环再生原理，结构与功能协调原则，结合系统分析的最优化方法，设计的促进分层多级利用物质的生产工艺系统。绿色发展是以维护和建设产地优良的生态环境为基础，以产出优质安全的水产品和保障人体健康为核心，以倡导水产品标准化为手段，高效、优质、生态、健康、安全的生产方式。未来，我国的水产养殖依然是渔业的主体，而池塘养殖仍是最主要的生产方式，是保障水产品有效供给和实现渔民持续增收的有效手段，也是水产养殖“调结构、转方式”的主要内容。随着“创新、协调、绿色、开放、共享”发展理念的贯彻实施，我国的池塘养殖必然走向“产出高效、产品安全、资源节约、环境友好”的发展之路。

“十一五”以来，中国水产科学研究院等单位紧紧围绕我国池塘健康高效养殖的技术需求，系统开展了池塘养殖环境、生态等基础理论研究，建立了以养殖环境调控与管理的生态工程化技术，并广泛应用于养殖生产实践，取得了良好的经济社会生态效益，对指导我国池塘养殖转型升级发挥了重要作用。

为了更好地推广池塘养殖生态工程理论技术，作者撰写了《池塘养殖生态工程》。该书具有较强的理论性和实用性，是国内该领域最全面、系统的著作，丰富了水产养殖理论，填补了池塘养殖生态工程的空白，适合科研、教学和生产技术人员参考使用。



2018年3月15日



序 二

我国是世界上最大的水产养殖国家，主要养殖鱼、虾、蟹、贝等品种。2016年全国水产养殖面积达834.634万 hm^2 ，产量达6901.25万t。其中，池塘养殖贡献最大，养殖面积为318.83万 hm^2 ，产量为2523.05万t。我国的池塘养殖建立在“不与人争粮、不与粮争地”的基础上，主要是利用旱涝低洼地和盐碱地开展起来的，具有其他动物养殖无法比拟的优势。池塘养殖为城乡居民提供了大量优质低价的动物蛋白质，为稳定市场、保障食品安全做出了重要贡献。

我国的多数养殖池塘建设于20世纪七八十年代，目前普遍存在着养殖环境恶化、设施破败陈旧、坍塌淤积严重、污染严重、水资源浪费大等问题，这些问题严重制约了池塘养殖业的可持续发展。为解决池塘养殖存在的问题，“十一五”以来，在国家科技支撑计划、公益性行业专项、产业技术体系等课题的支持下，中国水产科学研究院等单位的科研人员围绕着水产健康高效养殖的关键技术问题开展了系统性的研究，在池塘养殖生态工程等方面取得了重要的技术成果，初步建立了适合我国池塘健康高效养殖的生产模式，形成了一批典型示范模式，实现了规模化推广应用，促进了池塘养殖集约化、设施化、生态工程化的发展，养殖产量以年均5%~10%的速度增长，生态效益和经济效益显著。

为了更好地总结推广池塘养殖生态工程技术，他们在相关研究成果的基础上撰写了《池塘养殖生态工程》。该书既有对池塘养殖生态理论的阐述，又有试验性的总结介绍，内容丰富，较全面地反映了我国目前池塘养殖生态工程方面的研究技术水平，适合水产科研、教学和生产人员参考使用。本书的出版，对加强学科建设，加快人才培养，促进水产养殖业转型升级，实现“产出高效、产品安全、资源节约、环境友好”的发展目标具有重要意义。

张星良

2018年3月18日



前言

我国是世界上最早开展水产养殖的国家，可追溯到 3 000 多年前的殷朝。水产养殖为社会发展做出了巨大贡献，目前我国已成为世界上水产养殖规模最大的国家，也是唯一一个养殖产量超过捕捞产量的国家。我国的水产养殖在满足城乡居民水产品需求和保护国家粮食安全的同时，也引领着世界水产养殖的发展方向。

我国在池塘养殖实践中一直重视生态环境的作用。早在 2 400 多年前的《陶朱公养鱼经》中就对池塘生态养殖进行了详细的描述。400 多年前在珠江三角洲兴起的“桑基渔业”模式，曾被联合国教科文组织誉为“世间少有美景、良性循环典范”。中华人民共和国成立以来，我国的池塘养殖进入了快速发展时期，特别是 20 世纪 70 年代以来，全国各地开展了大规模的池塘建设工作，先后形成了浙江杭嘉湖地区 0.267 万 hm^2 连片池塘，江苏太湖地区 0.08 万 hm^2 连片池塘等池塘养殖模式，极大地带动了全国池塘养殖的发展。为了推动池塘养殖健康发展，我国水产工作者在总结池塘养殖的经验基础上提出了“水、种、饵、肥、密、保、管、轮”的“八字精养法”，为池塘健康高效养殖奠定了技术基础。其后，随着家鱼人工繁殖、颗粒饲料和增氧机等关键技术的突破，我国迅速成为世界上最大的水产养殖国家。据统计，2016 年全国已有池塘养殖面积 318.83 万 hm^2 ，产量达 2 523.05 万 t，占全国当年水产品总量的 36.56%。

虽然我国的池塘养殖取得了巨大的成就，但池塘养殖仍主要以经验为主，存在着资源消耗大、生态效率低、环境影响大、生产方式粗放落后等问题，不符合现代产业的发展要求。由于多数养殖池塘建于 20 世纪七八十年代，目前普遍存在着养殖环境恶化、设施破败陈旧、池塘坍塌淤积严重、养殖污染严重、水资源浪费大等问题，这些问题严重制约了池塘养殖业的健康可持续发展。在新形势下，池塘养殖必须转型升级，走健康可持续发展之路。生态渔业（ecological fishery）是根据鱼类与其他生物间的共生互补原理，利用水陆物质循环系统，通过采取相应的技术和管理措施，实现生态平衡、提高养殖效益的一种养殖模式。生态工程（ecological engineering）是应用生态系统中物种共生与物质循环再生原理，结构与功能协调原则，结合系统分析的最优化方法，设计促进分层多级利用物质的生产工艺系统（马世骏，1984）。多年来，我国池塘养殖在遵循“整体、协调、再生、循环”的农业生态工程原理下，充分运用生态平衡、物种共生、生态位、多层分级利用、整体效应等生态学原理，遵循一靠太阳能、二靠水体生产力、三靠

复合农牧渔的原则，形成了立体养殖、渔农综合等生态养殖模式。未来，我国的池塘养殖依然是水产养殖的主要方式，是保障水产品有效供给和实现渔民持续增收的主要手段，也是渔业“调结构、转方式”的重要组成部分。随着“创新、协调、绿色、开放、共享”发展的理念贯彻实施，我国的池塘养殖必须走“产出高效、产品安全、资源节约、环境友好”的可持续发展道路。

“十一五”以来，在国家科技支撑计划、国家高技术研究发展计划（863计划）、自然科学基金、公益性行业专项、产业技术体系等课题的支持下，中国水产科学研究院等单位的科研人员围绕池塘健康高效养殖的技术需求开展研究，集成运用水产养殖学、生态学、工程学和信息学等原理和方法，系统开展了池塘养殖生态工程研究，总结建立了养殖水环境、养殖生物因子、养殖污染、养殖水质管理等基础理论和池塘底质管理与调控、养殖环境微生物调控、养殖水体浮游生物调控、养殖生态工程化、养殖水质设备调控、养殖水质信息化管理、生态养殖小区构建、水质精准化调控管理、水产养殖方式与发展战略、养殖环境良好管理等关键技术，初步建立了适合我国池塘养殖需要的生态工程化技术系统，形成了一批典型模式，研发了一批高效设施设备，取得了一批重要成果，并在全国进行了大面积的推广应用，取得了巨大的社会、经济、生态效益，为推动我国池塘养殖转型升级发挥了强大的示范与引领作用。为更好地介绍池塘养殖生态工程理论技术，我们在相关研究的基础上，撰写了《池塘养殖生态工程》一书，旨在为水产养殖科研、教学、生产等人员和研究生提供参考。同时，该书对生态工程、环境科学、渔业信息化等科研工作者也有参考价值。

本书第一章主要由中国水产科学研究院淡水渔业研究中心胡庚东研究员撰写；第二章主要由中国水产科学研究院珠江水产研究所谢骏研究员、王广军研究员撰写；第三、四章主要由华中农业大学李大鹏教授、何绪刚教授撰写；第五、六、七、八、九、十一章以及第一、二、三章的部分内容由中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所刘兴国研究员撰写；第十章由中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所陈军研究员、苗雷副研究员等撰写；第十二章由中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所刘兴国研究员和上海海洋大学邵征翌副教授等撰写。中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所王小冬副研究员对文本材料进行了整理，刘兴国研究员对全文进行了统稿。

中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所曾宪磊、陆诗敏、朱浩、程果锋、刘世晶、刘娥、高美云、魏宝成、陈晓龙等科研人员和研究生积极参与了本书的撰写。中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所徐皓所长、华中农业大学谢从新教授等在百忙之中给予了指导，在此一并表示感谢！

由于作者水平有限，书中难免存在缺点和错误，请各位读者指正，以便修改完善。

刘兴国

2018年5月于上海

序一
序二
前言

第一部分 基础篇

第一章 池塘养殖环境	3
第一节 概述	3
第二节 物理性质	4
第三节 理化因子	9
第四节 理化反应	15
第五节 物质循环	18
第六节 能量流动	26
第七节 沉积物	32
第八节 水质变化	33
参考文献	36
第二章 池塘养殖生物因子	41
第一节 概述	41
第二节 浮游植物	41
第三节 浮游动物	47
第四节 底栖动物	56
第五节 微生物	60
第六节 藻菌关系	63
参考文献	66
第三章 池塘养殖污染	70
第一节 概述	70
第二节 主要污染物来源	71
第三节 池塘养殖氮、磷及污染	74
第四节 养殖污染评价	79

第五节 养殖氮、磷收支	82
第六节 其他养殖污染	87
参考文献	93
第四章 池塘水质管理	97
第一节 水质管理的重要性	97
第二节 主要水质因子管理	97
第三节 主要离子管理	100
第四节 主要有机物管理	121
第五节 养殖水质调控	127
第六节 特殊因子管理	135
参考文献	138

第二部分 应用篇

第五章 池塘底质管理与调控技术	143
第一节 池塘底质	143
第二节 池塘养殖的底质管理	147
第三节 池塘养殖的底质调控	149
参考文献	157
第六章 养殖环境微生物调控技术	161
第一节 微生态制剂	161
第二节 水产微生态制剂的应用	164
第三节 生物絮团	171
第四节 池塘底质的菌群	173
第五节 微生态制剂的应用	178
参考文献	185
第七章 池塘养殖水体浮游生物调控技术	188
第一节 养殖池塘中的浮游植物	188
第二节 池塘中浮游动物和底栖动物	199
第三节 浮游生物调控的基本方法	202
第四节 池塘浮游生物调控技术	205
第五节 池塘养殖水体的蓝藻调控	216
第六节 高效藻类塘技术	225
参考文献	228
第八章 池塘养殖生态工程技术	232
第一节 概述	232
第二节 生物塘	234
第三节 生态坡	243

第四节	生物浮床	247
第五节	人工湿地	251
第六节	复合人工湿地	266
第七节	湿地植物选择与种植技术	276
	参考文献	281
第九章	养殖水质的设施设备调控技术	285
第一节	养殖设施与设备概述	285
第二节	养殖设施设备存在的问题	286
第三节	养殖设施设备的发展建议	290
第四节	养殖水质调控设备	293
第五节	机械增氧技术	295
第六节	水层交换设备	299
第七节	底质改良机	302
第八节	臭氧调控机	303
	参考文献	304
第十章	池塘养殖数字化技术	305
第一节	概述	305
第二节	池塘养殖信息管理系统	307
第三节	养殖信息获取	318
第四节	养殖信息传输	320
第五节	养殖信息处理	326
第六节	养殖设备智能控制	327
第七节	气象对养殖水质的影响	336
第八节	基于气象数据的养殖水质判断	338
第九节	水产养殖智能化技术	340
	参考文献	344
第十一章	生态养殖小区构建技术	346
第一节	生态养殖	346
第二节	生态养殖小区规划构建技术	347
第三节	生态养殖小区水处理技术	356
第四节	生态养殖小区模式	358
	参考文献	377
第十二章	水产养殖发展方式与实践管理	379
第一节	水产养殖发展状况	379
第二节	生态高效养殖方式	390
第三节	池塘养殖发展方向	404
第四节	水产养殖环境良好实践管理	408
	参考文献	414



第一部分

基础篇

第一章

池塘养殖环境

第一节 概 述

池塘养殖系统是一个相对独立完整的生态系统，养殖生物在池塘中受到生物环境和非生物环境的影响。影响池塘生态系统的因素包括朝向、深度、长宽比等基础结构因子和太阳辐射、天气和气候、温度与分层、水文、水流等物理因子以及水质、土质、盐度、pH、CO₂、硬度、有机物分解、氧化还原电位、氮、磷、硫等化学因子，另外还有池塘生态系统中种群、群落的作用关系等生物因子。

我国有悠久的池塘养殖历史，在养殖实践中重视养殖环境的作用。在距今 2 400 多年前的《养鱼经》中，就详细地介绍了鲤池塘养殖的条件，提出了“以六亩为池，池中有九洲”“池中九洲八谷，谷上立水八尺，又谷中立水六尺”的池塘构建方法（乐佩琦和梁秩燊，1955；游修龄，2003）。汉代的《玉壶冰》中介绍了池塘养鱼要“池边有高堤，种竹及长楸，芙蓉绿岸，菱芡复水”，记录了改善池塘养殖环境的方法（刘建康和何碧梧，1973）。唐代出现了池塘混养方式，并对池塘混养进行了描述，提出了“谷深六尺”和“以六亩为池”等池塘设施建设技术（游修龄，2003）。唐代的《岭表录异》描述了如何开塘以及种草、养鱼的时间和地点。到了宋代，江浙一带兴起了池塘养殖，周密在其所著的《癸辛杂识》中对鱼池大小、环境、生物饵料培养等进行了详细的介绍。明代以后，中国的池塘养殖有了很大的发展，对池塘养殖环境要求也有了更深的认识，其间，代表性的著作当属徐光启的《农政全书》和黄省曾的《养鱼经》。徐光启在《农政全书》中详细介绍了池塘养殖各个环节的技术要求，提出了鱼池环境“深则水寒而难，池之正北浚以特深”等要求，在牧养一节中还提到了养殖环境改良和生态养殖的方法，如“池中先栽苻草，放水长草以养新鱼”“作羊楞于塘岸上，安羊，每早扫其粪于塘中，以饲草鱼”；在池塘构造方面，提出“塘内有九洲八谷，如同江湖，纳虾、鳖、螺蛳为神守，使鱼相忘相若”等。明代黄省曾在所著的《养鱼经》中全面地介绍了当时的鱼种和渔法，在渔法部分，提出“鱼之行游，昼夜不息，有洲岛环转则宜长”“池之正北浚以特深，鱼必聚焉，则三面有日而宜长”等养殖环境要求。著名农学家贾思勰著的《作鱼池法》也对池塘的深浅、形状、池底结构以及鱼池布局等进行了详细的介绍（刘建康和何碧梧，1973）。到了清代，江浙、湖广一代的“桑基渔业”“蔗基渔业”“畜基渔业”“果基渔业”等生态养殖方式已经非常发达，池塘养殖技术达到了很高的水平。

20 世纪 50 年代以后，池塘养殖业进入了快速发展的阶段，我国养殖人员在总结池塘养殖的经验基础上提出了“水、种、饵、肥、密、保、管、轮”的“八字精养法”，对水质、密度、管理等提出了明确要求（张杨宗和谭玉钧，1989；李德尚，1993）。20 世纪 70 年代后，全国各地开展了大规模的池塘改造建设，先后形成了浙江杭嘉湖地区 0.267 万 hm² 连片池塘、江苏太湖地区 0.08 万 hm² 连片池塘等规模化养殖模式，极大改善了我国池塘养殖的基础设施，提高了养殖产量，带动了池塘养殖

业的快速发展(雷慧僧, 1981)。在此期间, 雷慧僧(1981)、张杨宗和谭玉钧(1989)、刘健康和何碧梧(1973)、李德尚(1993)、王武(2000)等水产专家都对池塘生态进行了研究。例如, 刘健康等(1992)研究提出, 长方形的池塘可以接受更多的阳光照射, 有利于提高池塘浮游生物的光合作用, 夏季多东南风和西南风, 有利于水面起波浪增氧和水体流动。中国水产学会科普委员会(1989)、黄朝禧(2005)也详细介绍了池塘基础设施的构建方法。国家标准化管理委员会和国家认证认可监督管理委员会(2008)在良好农业规范实施指南中, 也对养殖池塘的生态环境等提出了规范要求。

国外池塘养殖不多, 但在池塘养殖生态特征等方面研究深入。如Boyd(1990)、Kestemont(1995)、Gross(1998)、Teichert et al(2000)、Paspatis et al(2000)以及Buford and Williams(2001)对池塘养殖的能量流动、物质转化开展了较深入的研究。在池塘底质调控理论技术研究方面, McCord and Loyacano(1978)、Boyd(1990)、Lekang and kleppe(2000)、Jones et al(2001)、Lin et al(2002)、Yang et al(2002)和Schulz et al(2003)开展了系统性的研究, 如Brown and Gratzek(1979)编写的*Fish farming handbook*、Boyd et al(1990)编著的*Water quality in pond for aquaculture*等著作已成为池塘水质、底质生态调控的经典著作。

在养殖水环境调控方面, Stumm and Morgan(1970)对池塘养殖水化学进行了研究, 提出了水产养殖的水化学要求。在水质、底质调控技术方面, Boyd and Richerson(1985)认为维持池塘水质最好的办法是选择良好的池塘地点以及做好增氧、施肥、换水等工作, 并认为风力作用对池塘藻类和溶解氧有较大的影响。Hutchinson(1957)研究认为, 池塘水体分层的稳定性是由将整个水体混合到温度一致所需要的能量决定的, 4m以上的池塘始终存在分层现象, 只有强风和冷而大的降雨才会消层。Lucas and Southgate(2005)研究认为, 池塘结构须具备有利于注水、易建设、有利于养殖、便于排水等条件, 认为池塘面积一般为0.5~10hm², 鱼池深度以0.8~1.8m为好, 有利于光照吸收和光合作用, 太深的池塘容易形成温度和溶解氧分层, 矩形鱼池的长宽比应为(2~3):1, 池塘长宽比会影响鱼类摄食。对于池塘地址的选择要求, Boyd(1991)、Yoo and Boyd(1994)对池塘的土质进行了研究, 提出了池塘建设的土质条件。Wyban and Sweeney(1989)研究认为, 矩形池塘不利于水体循环, 圆形池塘的产量更高。Piedrahita(2003)研究了池塘水处理和养殖水再利用技术。

在池塘生态初级生产力模型研究方面, Behrenfeld and Falkowski(1997)研究构建了池塘初级生产力深度垂向归纳模型(vertically generalized production model, VGPM)。Bachmann et al(2000)研究了湖泊面积、深度、风力、水流动力等的分析方法。刘亚丽等(2008)、赵文等(2003)、张运林等(2004, 2008)、韩士群等(2009)、杨东方等(2006)对养殖初级生产力测定及模型进行了研究。姚宏禄(2010)对江浙地区的池塘生态进行了研究。张立通(2010)根据虾塘水体无机氮的收支平衡原理, 初步构建了循环水养殖池塘对虾养殖容量的评估模型, 模型中确定了对虾、贝类、浮游动物、沉积物-水界面作用、新生残饵、浮游植物、大型藻类、生物滤池、硝化和反硝化作用等9个状态变量。

第二节 物理性质

一、太阳能与光照

我国陆地表面每年接受的太阳辐射能约为 50×10^{18} kJ, 全国太阳年辐射总量平均为 $586 \text{ kJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ 。其中, 青藏高原地区的辐射量最大, 达到 $816 \text{ kJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$, 年平均日照时间为3 005.7h, 相对日照为68%; 四川和贵州地区的太阳年辐射总量最小, 年平均日照时数仅为1 152.2h, 相对日照为26%, 其他地区的太阳年辐射总量居中。长江中下游及江浙一带的全年日照时数为1 400~2 200h, 辐射量在 $419 \sim 502 \text{ kJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$, 相当于140~170kg标准煤燃烧所产生的热量。

在养殖池塘中, 一般水表层10cm为光抑制层, 10~15cm为光饱和层(5 000~15 000lx); 35~45cm为过渡层, 45~150cm处为光限制层(姚宏禄, 2010)。

如长三角地区的平均太阳辐射能为 $465.8 \text{ MJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ ，每天太阳直接辐射以 7—8 月最高，冬季最少，图 1-1a 是 12 月 1 日上海的太阳日照情况。据上海气象台数据，上海地区的年平均日照时数为 1930h，日照百分率为 44%，其中 8 月最高平均为 237h，日照百分率为 58%；2 月最低为 112h，日照百分率为 36%，全年变化情况见图 1-1b。

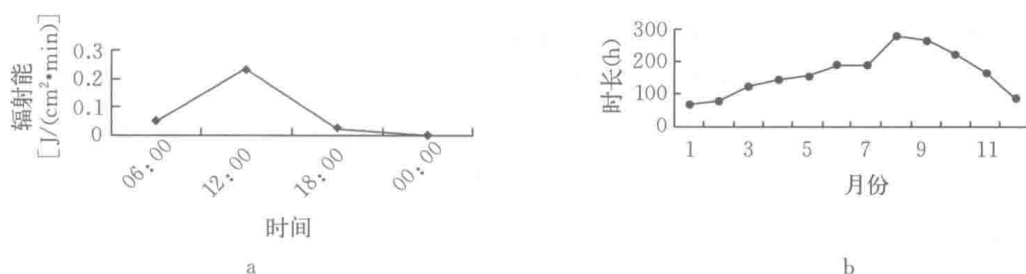


图 1-1 上海地区太阳能辐射模型与月度平均日照时数

a. 12 月 1 日的日照情况 b. 全年的日照时间

1. 透明度

水体的透明度表示光透入水的程度，一般用萨氏盘（sechi 板，黑白间隔的圆板）测定深度来间接表示。其大小取决于水的混浊度（水中混有各种浮游生物和悬浮物所造成的混浊程度）和色度（浮游生物、溶解有机物和无机盐形成的颜色）。在正常情况下，养殖水体中的泥沙含量少，其透明度主要取决于水中的悬浮物（包括浮游生物、溶解有机物和无机盐等），一般情况下，透明度与水中悬浮物数量之间呈曲线关系，水中悬浮物多的养殖水体，其透明度较小。在鱼类生长季节，精养鱼池水的透明度通常为 0.20~0.40m，传统养鱼池的水的透明度为 1.0~1.5m。浅水藻型湖泊因藻类丰富，且易受风浪搅动使底泥悬浮，透明度较低，一般为 0.3~1.0m。如武汉东湖平均透明度为 0.73m。但在浅水草型湖泊中，由于水草丰富，水中悬浮物少，透明度较高。

2. 补偿深度

在自然水体中，水体的光合作用随水深增加而迅速递减，水中浮游植物的光合作用及其产氧量也随即逐渐减弱，至某一深度，浮游植物光合作用产生的氧量恰好等于浮游生物（包括细菌）呼吸作用的消耗量，此深度即为补偿深度（单位：m）。该深度的辐照度即为补偿点（单位： μE ）。补偿深度为养殖水体的溶解氧的垂直分布建立了一个层次结构，在补偿深度以上的水层称为增氧水层，随着水层变浅，水中浮游植物光合作用的净产氧量逐步增大。补偿深度以下的水层称为耗氧水层，随着水层变深，水中浮游生物（包括细菌）呼吸作用的净耗氧量增大。

不同养殖水体和养殖方法的补偿深度差异很大。水体中有机物越高，其补偿深度也越小。通常，海洋、水库、湖泊的补偿深度较深，池塘的补偿深度较浅，特别是精养鱼池，其补偿深度最浅。补偿深度为养鱼池塘的最适深度提供了理论依据。据测定，在鱼类生长季节，精养鱼池的最大补偿深度一般不超过 1.2m，北方池塘冬季冰下池水的最大补偿深度为 1.52m。因此，日本养鳊池（单一养鳊，不混养其他鱼类）的设计水深均在补偿深度以内，通常不超过 1m。

3. 水色

水色是指水中溶解的物质（包括天然金属离子、污泥腐殖质、微生物、浮游生物、悬浮的残饵、有机质、黏土以及胶状物等）在阳光下呈现出来的颜色。水塘养殖的水色培养包括培养单胞藻类和培养有益微生物优势种群。在组成水色的物质中，浮游生物及底栖生物对水色的影响最大。良好的水色标志着藻类、菌类、浮游动物三者动态健康平衡，是健康养殖的必要保证。

(1) 茶褐色水 这种水色的水质肥、活、浓，水中的藻类以硅藻为主，如三角褐指藻（*Phaeodactylum tricornutum*）、等边金藻（*Isocrydoid galbana*）、新月菱形藻、角毛藻、圆筛藻等，这些藻类都是养殖对象苗期的优质饵料。这种水色中的养殖对象活力强，体色光洁，摄食、消化、吸收好，生长速度快，是养殖各种经济水产动物的最佳水色。但此类水色持久性较差，一般 10~15d 就会逐渐

转成黄绿色水。

(2) 淡绿色水 这种水色的水质嫩绿、清爽，透明度在 30cm 左右。肥度适中，水中的藻类以绿藻为主，如扁藻、小球藻、海藻、衣藻等。绿藻能吸收水中大量的氮肥，净化水质，是养殖各种经济动物较好的水色。绿藻水相对较稳定，一般不会骤然变清或转变成其他水色。

(3) 黄绿色水 此为硅藻和绿藻共生的水色，我们常说“硅藻水不稳定，绿藻水不丰富”，黄绿水则兼备了硅藻水与绿藻水的优势，水色稳定，营养丰富，此种水色是水产养殖的优质水色。

(4) 浓绿色水 这种水色看上去很浓，透明度较低。一般是老化池塘较易出现的水色。水中的藻类以扁藻为主，且水中的浮游动物丰富，水质较肥，保持的时间较长，一般不会随着天气的变化而变化。

二、气温、水温、分层

1. 气温

气温是重要的气候参数，气温变化会直接影响到水温的变化，根据上海气象台（1951—2001 年）数据得到月度平均气温变化（图 1-2a）。

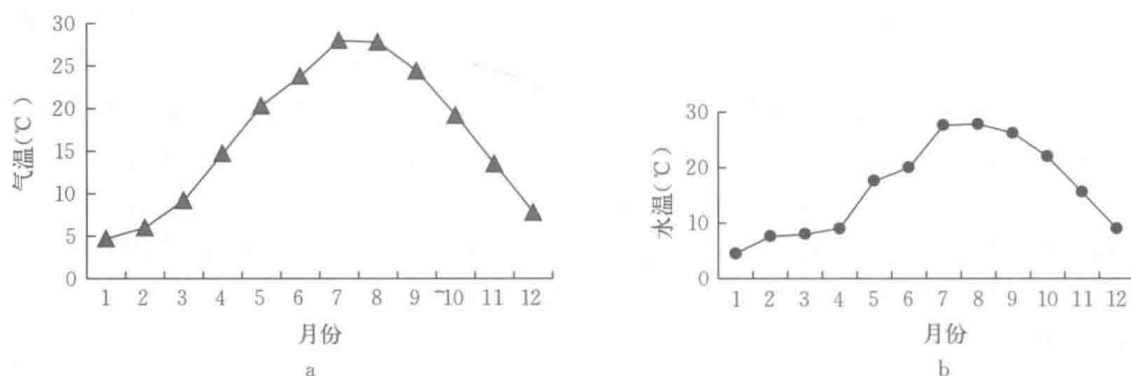


图 1-2 上海地区月度气温与池塘水温变化

a. 上海郊区的月平均气温 b. 上海郊区的月平均水温

2. 水温

水温是池塘养殖水环境的一个重要参数，它的变化直接影响到养殖水环境的化学反应、生化反应、溶解氧状况和水生生物生长等一系列过程（刘家寿等，2002）。图 1-2b 是 2009 年上海地区养殖池塘 50cm 处的温度变化，最高出现在 8 月，平均达到 30.5°C，最低在 1 月，平均 3.16°C。

由于水的密度与水温有关，春季和冬季池塘水体温度相对均匀，春季后随着气温变化水体出现分层现象，在夏季水体的分层现象更加明显。图 1-3 是池塘水温分层模型（Boyd, 1990）。

一般情况下，打破池塘水体热分层的作用有风力、水流、搅动、曝气等。

温度是鱼类最重要的环境条件之一，不仅影响鱼类的生长和生存，而且可通过水温对其他环境条件的改变而间接影响鱼类。几乎所有的环境因子都受温度的制约。

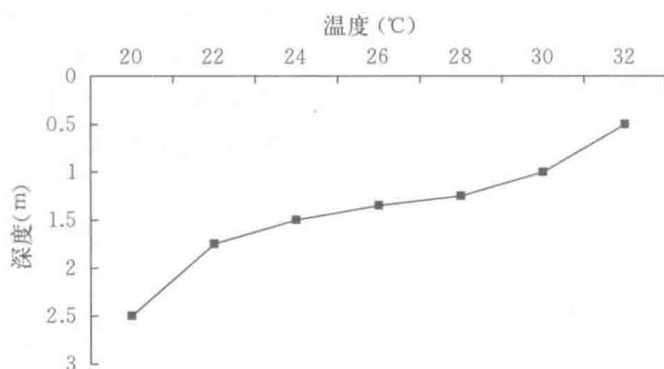


图 1-3 养殖池塘热分层模型

地球表面的热量来源于太阳辐射。一切物体吸收太阳辐射能后其温度都会升高，而这些物体在增温的同时，又会以长波辐射的形式释放热能。热与温度是两个不同的概念：前者为一定物体中总动能