

胶州湾浮游植物

的生态变化过程与地球生态系统的

补充机制

杨东方 高振会 王培刚 崔文林 著

胶州湾浮游植物的生态变化过程 与地球生态系统的补充机制

杨东方 高振会 王培刚 崔文林 著

海洋出版社

2005年·北京

内 容 提 要

本书创新地从海洋环境学、生物学和生态学的角度, 定量研究了胶州湾浮游植物生态变化过程, 揭示了浮游植物的生长规律, 深入探讨了营养盐硅的生物地球化学过程与营养盐限制的判断方法、法则和惟一性, 以及海洋环境与浮游植物生长的生态学原理。同时, 提出地球生态系统的补充机制, 剖析目前地球发生的现象, 预测了人类影响下的地球发展趋势。

本书共分为 8 章。主要内容为生态数学模型的建立方法和应用, 营养盐、光照时间和水温对浮游植物生长的影响, 以及浮游植物生长规律和地球生态系统的补充机制等。

本书适合海洋环境学、生物学、生态学的有关科学工作者和相关学科的专家参阅, 适合高等院校师生作为教学和科研参考。

图书在版编目(CIP)数据

胶州湾浮游植物的生态变化过程与地球生态系统的补充机制 / 杨东方等著. —北京: 海洋出版社, 2005. 1

ISBN 7-5027-6284-1

I. 胶… II. 杨… III. 海洋浮游植物—生态学—研究—黄海 IV. Q948.885.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 141064 号

策划编辑: 柴秋萍
责任编辑: 郑安敏
责任印制: 刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京季蜂印刷有限公司印刷 各地新华书店经销

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

开本: 787 mm × 1 092 mm 1/16 印张: 12.125 彩插: 1

字数: 460 千字 印数: 1~1000 册

定价: 35.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

杨东方



王培刚



高振会



崔文林

作者简介

杨东方 1984年毕业于延安大学数学系(学士); 1989年毕业于大连理工大学应用数学研究所(硕士); 1999年毕业于中国科学院青岛海洋研究所(博士); 同年在中国海洋大学(青岛海洋大学)、化学化工学院和环境科学与工程研究院做博士后研究工作, 研究方向: 胶州湾浮游植物的生长过程的量化初步研究。2001年在上海水产大学和国家海洋局北海监测中心工作, 主要从事海洋生态学、生物学和数学等学科教学以及海洋生态学和生物地球化学领域的研究, 后被国家海洋局北海监测中心聘为教授级高级工程师。2002年被国家海洋局第一海洋研究所聘为研究员。曾参加了GLOBEC(全球海洋生态系统研究)的研究计划中的由18个国家和地区联合进行的南海考察; 国际的LOICZ(沿岸带陆海相互作用研究)的研究计划中在黄海东海的考察及JGOFS(全球海洋通量联合研究)的研究计划中在黄海东海的考察。并多次参加了青岛胶州湾、烟台近海的海上调查及获取数据工作, 参加了胶州湾等水域的生态系统动态过程和持续发展等课题的研究。目前, 正在进行胶州湾和长江口的生态、环境、生物地球化学过程的研究。

高振会 1979年8月毕业于山东海洋学院, 专业为物理海洋。1979年9月分配到国家海洋局北海海洋预报区台工作; 1991年, 任广西防城县委副书记; 1993年, 任广西防城港市水产局局长、党组书记; 1996任国家海洋局北海海洋监察处处长; 2000年至今, 任国家海洋局北海监测中心主任。长期从事海洋科学研究以及管理工作, 从事专业: 海洋环境监测、海洋生态学, 先后主持或承担科研性课题达30多项。如1979. 10~1997. 5水温预报、水温实况速报的监测研究项目获国家海洋局科技进步三等奖; 1993~1995年, 广西北仑河口演变现代过程与河口整治研究获国家自然科学基金。“赤道太平洋海表面温度同南方涛动和副热带高压的相互关系”论文被评为山东省第四届优秀学术论文三等奖。目前, 为研究员兼中国海洋大学环境科学与工程学院硕士生导师, 参加了胶州湾等水域的生态系统动态过程和持续发展等课题的研究。

王培刚 1983年7月毕业于山东海洋学院生物系, 曾在青岛市科学技术委员会“海洋办”工作三年, 参加了青岛市海岛调查前期的全部筹备工作。1995年参加了《山东省海岛调查研究》一书的编写, 并获山东省科技进步一等奖。参加了《全国海岛资源综合调查报告》的编写。1998~2000年, 作为技术骨干参加了“全国第二次海洋环境污染基线调查(北海区)”, 该项成果获得2001年国家海洋局科技创新成果二等奖。2000~2002年, 作为技术骨干完成了“国家高技术应用发展项目——渤海海区赤潮灾害监测和损失评估研究”课题的研究, 该项成果获得2003年国家海洋局科技创新成果二等奖。2001~2002年, 参加国家“863”计划中“赤潮航空高光谱遥感监测技术研究”(编号863-818-09-10)课题, 为“子课题04”技术负责人。2003年, 完成国家海洋局重大项目《中国近岸海域海洋生态问题研究报告》, 是《城市化产生的海洋生态问题调查研究——以天津市近海生态环境为例》报告的专题负责人。多年来, 作为技术负责人或项目经理主持完成了多项重大的海洋工程海域使用论证和环境影响评价项目, 在海洋工程生态环境影响等研究方面具有丰富的工作经验。

崔文林 1992年7月毕业, 中国海洋大学海洋系物理海洋学专业, 理学学士学位; 现任国家海洋局北海监测中心副主任、研究员, 兼中国海洋大学环境科学与工程学院硕士生导师。1992年7月至2000年8月, 在国家海洋局北海预报中心工作, 先后任助理工程师、工程师、高级工程师, 从事海洋数值预报模式研制、海洋自动化监测系统集成等工作; 2000年9月至今, 在国家海洋局北海监测中心工作, 主要从事海洋污染与生态环境监测、评价与预测、地理信息系统(GIS)技术的应用等工作。在主持完成了2002年、2003年度的北海区海域海洋环境监测任务的同时, 先后主持或承担科研性课题近20项, 其中国家科研计划课题5项, 技术主持国家863计划课题1项、参加2项, 参加国家“八五”、“九五”科技攻关课题各1项; 主持国家海洋局重点科研课题3项, 主持山东省专项3项。2001~2005年, 参加并主持了国家海洋局重点专项“中国近岸海域海洋生态问题研究”以及胶州湾等水域的生态系统动态过程和持续发展等课题的研究。

序 言

近年来,全球变暖、沙尘暴、洪水、风暴潮和赤潮等灾害频繁发生,严重地威胁着人类社会的发展和生命财产的安全。出于防灾减灾的目的,人们对海洋生态学领域的兴趣一直在不断增长着,强烈关注陆地生态系统、海洋生态系统、大气生态系统。大量研究海洋生态系统在地球生态系统中的作用和人类对地球生态系统的影响以及地球生态系统的发展趋势。

作者通过胶州湾水域的研究(1996~2004年),得到以下主要结果:

(1)研究胶州湾营养盐硅的生物地球化学过程,建立相应的动力学模型,计算出胶州湾的浮游植物吸收营养盐硅的量,浮游植物对硅的内禀转化率和营养盐硅的量对浮游植物的吸收与水流稀释的分配比例。

(2)按照限制初级生产力的营养盐硅的变化,首次提出划分初级生产力的值,其范围分为三个部分:硅限制的初级生产力的基础值、初级生产力的幅度和初级生产力的临界值。通过浮游植物对营养盐的吸收比例,定量化地阐明营养盐硅限制浮游植物生长的阈值和阈值的时间,以及初级生产力受硅限制的阈值,进而详细阐述了营养盐硅限制浮游植物初级生产力的动态过程。

(3)分析认为,在整个胶州湾不存在N、P的限制,营养盐硅在每年的春、秋、冬季呈现年周期变化限制胶州湾的浮游植物的生长。在胶州湾有些海域的浮游植物生长一年四季都受到营养盐硅的限制。

(4)提出营养盐限制的判断方法和绝对限制法则、相对限制法则,并认为必须要同时满足,才能确定浮游植物生长限制的营养盐元素,且限制营养盐是唯一的。

(5)尝试考虑太阳光的热能给水体的能量输入和水体生态系统的浮游植物的生长过程。分析认为,光辐射和光照时间分别决定了浮游植物的光合作用的光化学过程与酶催化过程两个方面,揭示了胶州湾的光照时间如何影响水温,水温如何影响浮游植物生长的过程。通过叶绿素a和初级生产力提出了新概念:浮游植物的增殖能力,定量化地阐述了浮游植物有夏季的单峰型(1回)增殖和春、秋季的双峰型(2回)增殖的机制。

(6)运用统计和微分方程等数理工具,建立了初级生产力—硅酸盐—水温等多个动态模型,量化阐明了胶州湾生态系统浮游植物生产过程及理化因子的综合调控机制。同时,阐述了浮游植物生长的理想状态与赤潮产生的原因。

(7)提出了地球生态系统的三大补充机制:地球系统的营养盐硅补充机制、地球系统的水温补充机制和地球系统的碳补充机制。剖析目前地球发生的现象,解释厄尔尼诺与拉尼娜的现象成因,预测了人类影响下的地球发展趋势。

(8)研究发现磷酸盐浓度与初级生产力的断面分布和时间变化的分析表明,磷酸盐浓度并不一定离岸越远越低,也没有周期性的季节变化;初级生产力的值几乎不受磷酸盐浓度变化的影响;根据营养盐限制的判断方法和法则(Yangetal.,2003;杨东方等,2001),在长江口及其附近海域磷不是浮游植物的限制因子,仅靠氮和磷比值来得到磷限制或氮限制的结论是不完善的。

(9)研究发现通过对长江口水域磷酸盐来源的分析,认为长江口水域的东、南、西、北部均有提供磷酸盐浓度的来源:长江、台湾暖流、气旋型涡旋和 32°N 的上升流,向长江口水域以不同时间、方式和强度提供不同的磷酸盐浓度。通过物理海洋、海洋化学、海洋生物证明了在长江口的浅海区南侧有上升流出现。

有关这方面的研究还在进行中,本书权为阶段性成果的总结,欠妥之处在所难免,恳请读者多多指正。希望读者站在作者的肩膀上,使祖国海洋生态学研究、世界海洋生态学研究以及地球生态学研究有飞跃发展,作者甚感欣慰。

在各位同仁和老师的鼓励和帮助下,此书出版。作者铭感在心,谨致衷心感谢。

杨东方 高振会 崔文林 王培刚

2004年9月28日

目 次

第 1 章 生态数学模型及其在海洋生态学的应用	(1)
1.1 生态数学模型的特点和类型	(1)
1.1.1 生态数学模型的构建	(1)
1.1.2 模型的特点和类型	(2)
1.2 举例说明数学模型在生态学上的应用	(2)
1.2.1 DINT 模型	(2)
1.2.2 颗粒垂直通量模型	(3)
1.2.3 剩余产量模式	(3)
1.2.4 伯塔兰菲生长方程式	(4)
1.2.5 海洋中悬浮物质再悬比率计算模式	(4)
1.3 应用数学模型解决胶州湾的生态问题	(5)
1.4 结论	(5)
参考文献	(6)
第 2 章 营养盐对初级生产力的限制	(7)
2.1 铁对浮游植物生长影响的研究进展	(7)
2.1.1 铁是浮游植物生长的限制因子的起源与证据	(7)
2.1.2 最新研究结果与存在的问题	(8)
2.2 硅是浮游植物初级生产力的限制因子	(9)
2.2.1 研究海区概况及数据来源	(9)
2.2.2 硅酸盐浓度和初级生产力	(10)
2.2.3 硅酸盐和水温与初级生产力的关系	(13)
2.2.4 硅酸盐的来源	(15)
2.2.5 初级生产力与硅酸盐的分布特征	(16)
2.2.6 模型的生态意义	(17)

2.2.7	硅酸盐与浮游植物优势种	(21)
2.2.8	海水的透明度与初级生产力的关系	(22)
2.2.9	浮游植物的结构	(22)
2.2.10	营养盐硅的损耗过程	(22)
2.3	浅析浮游植物生长的营养盐限制及其判断方法	(25)
2.3.1	目前哪种营养盐可能成为限制因子	(25)
2.3.2	营养盐硅限制浮游植物生长的判断方法	(26)
2.3.3	简述作者的胶州湾研究结果	(28)
2.4	硅限制和满足浮游植物生长的阈值和阈值时间	(29)
2.4.1	研究海区概况及数据来源	(30)
2.4.2	营养盐 Si:N[Si(OH) ₄ :NO ₃]的比值	(31)
2.4.3	Si:N的比值与初级生产力	(32)
2.4.4	胶州湾 Si、N、P的动态变化的趋势	(34)
2.4.5	Si:N的比值与初级生产力	(35)
2.4.6	模型的生态意义	(35)
2.4.7	硅酸盐的阈值和阈值时间	(37)
2.4.8	水流稀释对浮游植物生长的影响	(40)
2.4.9	营养盐硅限制浮游植物初级生产力的动态过程	(41)
2.5	结论	(43)
	参考文献	(44)
第3章	营养盐限制的惟一性因子探究	(50)
3.1	营养盐限制的判断法则和惟一性	(51)
3.1.1	营养盐限制的判断方法	(51)
3.1.2	有关营养盐限制结论的不足	(52)
3.1.3	相应的研究结果	(52)
3.2	N、P、Si 营养盐限制的判断方法、法则和惟一性	(53)
3.2.1	研究海区概况及数据来源	(55)
3.2.2	营养盐的平面分布和季节变化	(56)
3.2.3	陆源营养盐对海洋源浮游植物生长的影响	(60)
3.2.4	营养盐的绝对、相对限制法则	(63)
3.2.5	判断营养盐限制的方法和惟一性	(65)
3.2.6	仅考虑 N、P 成为限制因子不准确	(66)

3.2.7 营养盐 Si 控制生态系统的机制	(67)
3.3 结论	(68)
参考文献	(69)
第 4 章 硅的生物地球化学过程	(74)
4.1 硅的生物地球化学过程	(74)
4.1.1 海洋中浮游植物的优势种——硅藻	(74)
4.1.2 硅是硅藻必不可少的营养盐	(74)
4.1.3 硅藻的沉降	(75)
4.1.4 硅的生物地球化学过程	(76)
4.1.5 营养盐硅和浮游植物的动态平衡	(78)
4.1.6 胶州湾的研究结果	(78)
4.2 硅酸盐的起源、生物地球化学过程和归宿	(79)
4.2.1 研究海区概况及数据来源	(79)
4.2.2 硅酸盐浓度的变化	(79)
4.2.3 硅酸盐浓度与黄海水的交换	(84)
4.2.4 河流的硅酸盐和初级生产力基本特征	(84)
4.2.5 硅酸盐的起源	(92)
4.2.6 硅的生物地球化学过程及浮游动植物的分布	(93)
4.2.7 硅酸盐的归宿	(95)
4.2.8 生态系统中硅的作用	(98)
4.3 结论	(99)
参考文献	(100)
第 5 章 胶州湾的浮游藻类生态现象	(106)
5.1 胶州湾生态现象	(106)
5.1.1 浮游植物的生长	(106)
5.1.2 浮游植物的结构	(108)
5.2 胶州湾生态现象的剖析	(108)
5.2.1 地点	(108)
5.2.2 时间	(110)
5.2.3 结论	(111)
5.3 用量化生态位研究环境影响生物物种的变化过程	(111)

5.3.1	生态位的概念	(112)
5.3.2	多维生态位和生态系统的量化的定义	(112)
5.3.3	胶州湾的生态位研究	(113)
5.3.4	生态位的观点	(115)
5.4	结论	(117)
	参考文献	(117)
第6章	光照时间对浮游植物生长的影响	(118)
6.1	光辐射、光照时间对浮游植物生长的影响	(118)
6.2	光照时间影响水温的探讨	(120)
6.2.1	构建水温变化模型框图	(120)
6.2.2	光照时间通过水温影响初级生产力	(122)
6.3	胶州湾的光照时间、水温对浮游植物生长的影响	(123)
6.3.1	研究海区概况及数据来源	(124)
6.3.2	光照时间与水温的关系	(125)
6.3.3	光辐射、光照时间对浮游植物生长的影响	(127)
6.3.4	光照时间、水温和营养盐对初级生产力的影响	(133)
6.4	结论	(134)
	参考文献	(135)
第7章	水温对浮游植物生长的影响	(137)
7.1	浮游植物增殖能力的研究探讨	(137)
7.1.1	生态现象	(137)
7.1.2	生物因子	(138)
7.1.3	浮游植物的增殖能力	(138)
7.1.4	增殖能力的应用	(139)
7.1.5	浮游植物增殖能力的重要性	(140)
7.2	胶州湾水温对浮游植物增殖能力的影响	(140)
7.2.1	研究海区概况及数据来源	(141)
7.2.2	浮游植物的增殖能力	(142)
7.2.3	增殖能力与水温的动态模型	(143)
7.2.4	水温影响增殖能力	(146)
7.2.5	增殖能力-水温的动态模型的生态意义	(148)

7.2.6	增殖能力与初级生产力的差异	(148)
7.2.7	胶州湾的单(双)峰型的增殖机制	(149)
7.3	结论	(150)
	参考文献	(151)
第8章	浮游植物的生态变化过程与地球生态系统的补充机制	(152)
8.1	浮游植物的生态变化过程	(152)
8.1.1	胶州湾海区概况	(152)
8.1.2	光照、水温、营养盐影响浮游植物	(153)
8.1.3	人类影响浮游植物	(155)
8.2	光、水温和营养盐的影响机制	(155)
8.2.1	营养盐影响机制	(155)
8.2.2	水温影响机制	(159)
8.2.3	初级生产力和增殖能力受控机制	(162)
8.3	地球生态系统的补充机制	(166)
8.3.1	人类对生态环境的影响	(166)
8.3.2	生态环境变化对地球生态系统的影响	(167)
8.3.3	地球生态系统对生态环境变化的响应	(169)
8.3.4	地球生态系统的补充机制	(170)
8.4	结论	(175)
	参考文献	(175)
	主要相关文章	(179)
	致 谢	(181)

第 1 章 生态数学模型及其 在海洋生态学的应用

生态系统动态过程是全球性的研究热点,如国际地圈和生物圈计划(IGBP)。用于研究的模型方面,从早期的种间竞争、捕食的关系模型发展到生态过程、食物链模型。尤其是在近代,全球的环境变化受到重视。随着计算机的普及以及应用数学的理论与方法的不断完善,生态的动态数学模型展示了物理、化学、地质、环境、生物等学科的综合的生态过程,如 ERSEM MAST-1 [Program Report(1993)] 和 Frost(1993) 的欧洲北海区域的海洋生态系统模型、美国和加拿大对东海岸的乔治浅滩生态系、西海岸的加利福尼亚上升流生态系、切萨皮克湾生态系、圣劳伦斯湾生态等工作,使得生态条件大为改善。我国的生态系统动态研究尚处在起步阶段,然而最近几年,我国科学工作者追踪国际前沿的发展趋势,逐渐使我国在这一方面也得到了不断的发展。

目前,人们正致力于研究复合海洋生态系统的持续发展,营养动力学机制、生态系统的生物过程等,于是已产生了一系列模型:物质输运—平衡模型、营养补充机制模型、营养吸收动力学模型、食物网结构模型和分室能流模型等等,使得全球海洋生态系统动态研究得以发展和完成,并对人类生存、资源利用和环境保护有着重大的意义。为此,生态数学模型在海洋生态学研究成为一种非常有价值的工具,正如 D. W. Thompson(1942) 所言:“……数字上的精确性是科学的真正灵魂,达到这一点是判断理论的真实性与实验的正确性的最好的、也许是惟一的标准。”

1.1 生态数学模型的特点和类型

1.1.1 生态数学模型的构建

数学模式的作用在于它对新的概念、新的观点以及一些生态现象给予清晰的描述。它的应用对于可能的基本原理不仅提供有用的启发,而且有时会产生出乎意料的结果和对生态学问题的新理解。如,浮游植物生长能量平衡模型、颗粒垂直通量模型等。

在讨论数学模型的一般概念时,一个模型提供了对一个系统的代表方式。假若这个系统是动态的,它能对该系统的各种运动进行模拟,而使许多问题得以解决。例如河口动力学、海洋生物变化与环境的关系、种群生长关系、海洋的物质循环与海洋生物地球化学的关系等等。模型更重要的特征是它应该比真实的系统更便于理解或叙述得更充分,因此,模型一般是真实系统的简化。但是,真实系统的实质性特点应该在模型中出现,以便使得模型的行为与系统的行为是相同的或者相似的。

数学模型是由一个方程或者一个方程组组成,这些方程通过某些必要的假定和假设定

性或定量地表达真实系统,给出所预料的数值,用真实系统所做的测定值进行检验。模型的数学方程并不能提供模型的生态学或科学的内容,而是以定量的方式来表达或解释所做的假设,以便推演出它们的结论,告诉我们到何处寻求对这些结果的证实或否定。

1.1.2 模型的特点和类型

数学模型研究可以分为两大方面:定性的和定量的。首先要定性地研究,提出的问题是“发生了什么?或者发生了没有?”;其次要定量地研究,提出的问题是“发生了多少?或者它是如何发生的?”前者是对问题的动态周期、特征和趋势进行了定性的描述,而后者是对问题的机制、原理、起因进行了定量的解释。然而,生物学中有许多实验问题与建立模型并不是直接有关的。于是,通过分析、比较、计算和应用各种数学方法,建立反映实际的且具有意义的仿真模型。

生态数学模型的特点为:①综合考虑各种生态因子的影响;②量化描述生态过程,阐明生态机制和规律;③能够动态的模拟和预测自然发展状况。

模型的功能为:①建造模型的尝试常有助于精确判定所缺乏的知识和数据,对于生物和环境能进一步做定量了解;②模型的建立过程能产生新的想法和实验方法,并缩减实验的次数,对选择假设有所取舍,完善实验设计;③与传统的方法相比,模型常能更好地使用越来越精确的数据,从生态的不同方面所取得材料集中在一起,得出统一的概念(Thornley,1983)。

从模型的特点可知,要想了解动态的生态系统的基本过程和动力学机制,可从建立数学模型为出发点,以数学为工具,以生物为基础,以物理、化学、地质为辅助,对生态现象、生态环境、生态过程进行探讨。

模型建立的方法可分为两种:“机理的”和“经验的”。从实验系统、系统的模型以及数学之间的关系,可以看出在机理模型和经验模型的制定时有些过程是共同的,如图 1.1 所示。

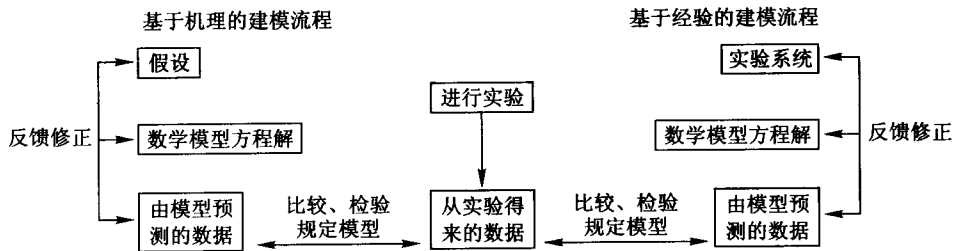


图 1.1 机理模型和经验模型的实施过程

1.2 举例说明数学模型在生态学上的应用

1.2.1 DINT 模型

浮游植物生长对海洋生物地球化学循环是至关重要的。其过程模型将描述碳、氮、磷、硅及其他元素在海洋中的通量和浮游植物对通量过程的影响。这些模型强调了浮游植物细胞的化学结构(叶绿素 a、C、N、P 和 Si)和单位叶绿素 a 的光合作用作为光强度的函数(P^B vs. E),浮游植物的增长率($\mu \cdot d^{-1}$)的变化与光照时间(D)、光照强度(I)、限制营养盐(N)和

水温(T)的关系,这就是我们所说的 DINT(daylength, irradiance, nutrients, temperature)模型。为了描述这个变化,对这些未知的相关性进行预测,并将这些预测与海洋生物地球化学过程的动态模拟结合起来。

DINT 模型是稳定状态,其表示式为

$$\mu + r = P^C / C$$

毛增长率(净增长率 μ 和呼吸 r, d^{-1})等于毛光合作用速率 $P^C(gC \text{ cell}^{-1} d^{-1})$ 与单位细胞 C 即 $gC \text{ cell}^{-1}$ 。或者

$$\mu + r = DIa_{chl} \phi \text{Chl} / C$$

这里 D 是光照时间(h/24 h), I 是在光照期间的平均光照强度($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a_{chl} 是叶绿素比吸收系数($\text{m}^2 \text{ gChl}^{-1}$), ϕ 是光合量子值 [$\text{mol C}(\text{mol photons})^{-1}$], Chl 是细胞叶绿素 a (gChl cell^{-1})。这个值 $DIa_{chl} \phi \text{Chl}$ 是毛细胞光合作用 P^C 。这是由 Kiefer & Mitchell (1983), Sakshaug, et al. (1989), Nielsen (1992) 根据碳的能量预算而建立的。

参数化呼吸:为了进一步限制能量平衡, Shuter (1979) 把呼吸假设为生物维持的呼吸, r_0 独立于生长率和生物合成,于是有

$$r = r_0 + \beta\mu$$

式中, β 是生物合成值。

温度函数:温度函数描述水温对生物合成的过程, $g_T^* = f(T)$ 。这个函数是用于营养盐和光的饱和的生长率,展示了水温的独立性。Eppley (1977) 所采用的分析来预测浮游植物的最大增长率。

营养盐函数:和水温函数一样,描述营养盐供给影响和决定生长率的过程, Monod 方程将毛生长率和营养盐供给相联系:

$$g_N^* = N^* / (1 + N^*)$$

式中, N^* 是有效的营养盐浓度,定义为 $[N]/K_m$, $[N]$ 为营养盐浓度, K_m 是生长的半饱和系数,单位为 μM 。Morel (1978) 所建立的在非替代的限制营养盐的吸收时单一转换的机制模式,使得营养盐独立于增长率。这样可展现了 P、N、Si 对生长的限制的情况。

1.2.2 颗粒垂直通量模型

海洋颗粒在物质的海洋生物地球化学过程中起着重要的作用,它们不仅提供了物质的来源、沉降、再分布和归宿,而且由于它们处在相对于海水的运动状态,因此,颗粒的垂直通量过程是由生物、物理和化学的过程所共同控制。

海洋颗粒的沉降是垂直转移的主要机制。对于小的 Reynolds 数 ($Re < 1$) 的颗粒,其沉降速率 w (相对于周围水的运动) 由摩擦力和重力之间的平衡所决定,并根据 Mclave (1975) 提出的 Stokes 的法则来定义,其表示式为

$$w = 2/9 \pi \Delta \rho g r^2 \mu^{-1}$$

式中, $\Delta \rho$ 是粒子密度和流体密度的差, g 是重力加速度, π 取值为 3.1416, r 是粒子半径, μ 是流体粘度。

1.2.3 剩余产量模式

在未开发利用的情况下,根据种群所在海区生态系统的容纳能力,其生物量 B 在初始的水平下较低,以后增长到最高水平 B_∞ ,但不是以恒定的速率增长。当生物量不大时,增

长缓慢,中间阶段增长迅速;当生物量接近 B_{∞} 时,增长又缓慢。为了满足上述条件的种群增长,模式可表达为(沈国英和施并章,1990)

$$\frac{dB}{dt} = rB(B_{\infty} - B)$$

上式为抛物线图形,要使 $\frac{dB}{dt}$ 达到最大值时,只要对其求导,并令其为零,即当 $B = \frac{B_{\infty}}{2}$ 时, $\frac{dB}{dt} = 0$ 达到最大值,即增长速率最快。

在开发利用的情况下,种群的增长速率受捕捞的影响,设捕捞死亡系数为 F ,则为

$$dB/dt = rB(B_{\infty} - B) - FB$$

捕捞死亡系数 F 与捕捞力量 f 成正比,即 $F = qf$ 。所以

$$dB/dt = rBB_{\infty} - rB^2 - fqB$$

上式说明,在某一时间中,当 $fqB < rB_{\infty}B - rB^2$,即渔获量小于自然增长量时, $\frac{dB}{dt} > 0$,种群生物量增加,它反应了渔获量高于自然增长量时,种群本身就要减少相当于超过增重的那部分重量,当资源超下降时,就形成捕捞过度。如果 $fqB = rB(B_{\infty} - B)$,渔获量恰与种群自然增长量相等, $\frac{dB}{dt} = 0$,种群生物量不变,此时,则认为种群生物量与捕捞力量处于平衡状态。在这种平衡状态下所获得的渔获量被称为平衡渔获量或持续产量或剩余产量,以 Y 表示。在平衡状态下,即有

$$Y = qfB = rB(B_{\infty} - B)$$

上式为逻辑斯谛模型,也称持续产量模型,表示平衡状态下渔获量与种群生物量呈物线关系。

1.2.4 伯塔兰菲生长方程式

某些鱼类种群个体随年龄的增长可用其参数值不变的函数表示,伯塔兰菲(Von Bertalanffy)成功地解决这一问题。伯塔兰菲生长方程式满足两个重要的标准,即符合大部分鱼类生长的观察数据,同时又容易编入种群数量变动模式:

$$W_t = W_{\infty}(1 - e^{-K(t-t_0)})^3$$

$$L_t = L_{\infty}(1 - e^{-K(t-t_0)})$$

这两式是伯塔兰菲生长方程式,分别表明了体重或体长与年龄的关系。式中以 W_t 代表年龄 t 的平均体重, L_t 代表年龄 t 的平均体长; W_{∞} 代表随年龄增长而增长的渐近体重; L_{∞} 代表随年龄增长而增长的渐近体长, K 代表决定趋向 W_{∞} 或 L_{∞} 的变动率的一个常数,称为生长曲线的曲率; t_0 代表年龄坐标上的理论原点,即各个年龄的生长都遵循 Von Bertalanffy 生长方程式,其体重或体长为零时的理论年龄,因此, t_0 可能小于零。实际上,这一方程对于幼鱼并不一定适用。

1.2.5 海洋中悬浮物质再悬比率计算模式

海洋中颗粒物(SPM)沉积通量的研究对了解全球物质循环和确定它们的海洋生物地球化学过程具有重要的意义。但是直接测定悬浮物质的再悬浮比率技术上仍然还不可能,以至于真实的物质的垂直通量无法计算。经研究,我们根据物质通量和特征化学组成在浮游生物、悬浮颗粒物与底质中含量的关系,建立了再悬浮比率方程,从而使上述的问题得到初步的解决。

模式的建立首先要进行基本概念的建立和条件假设:①海洋中的悬浮颗粒物质由浮游生物生成的颗粒物质和再悬浮的沉积物组成,它们在混合时,其化学组分不发生变化;②底质物再悬浮后,其化学组分不发生变化;③化学组分在悬浮颗粒物质中分布均匀。海洋中悬浮物质再悬比率计算模式为(詹滨秋和宋金明,1997)

$$\text{再悬比率} = \frac{C_s - C_w}{C_s - C_b} \times 100\%$$

质物再悬浮后,其化学组分不发生变化;③化学组分在悬浮颗粒物质中分布均匀。
悬浮颗粒物质再悬比率计算模式为(詹滨秋和宋金明,1997)

发生的赤潮的赤潮模型来解释经常发生的一般生态现象。因此,模型的适用范围一定要清楚。②模型的形式:模型的形式是非常重要的,它揭示内在的性质、本质的规律,用来解释生态现象的机制、生态环境的内在联系。因此,重要的是要研究模型的形式,而不是参数,参数仅说明尺度、大小、范围而已。③模型的可靠性:由于模型的参数一般是从实测数据得到的,因而它的可靠性非常重要,这是通过统计学来检测的。只有可靠性得到保证,才能用模型说明实际的生态问题。④解决生态问题时,所提出的观点不仅从数学模型上得到支持,还要从生态现象、生态环境等方面的事实来支持这一观点。

参考文献

1. Thornley J H M(英). 王天铎,等译. 植物生理的数学模型. 北京:科学出版社,1983. 1~32
2. 沈国英,施并章. 海洋生态学. 厦门:厦门大学出版社,1990. 152~220
3. 詹滨秋,宋金明. 东海悬浮物质再悬比率的初步研究. 海洋科学集刊. 1997. Vol. 38, 99~101
4. ERSEM MAST - 1 programme report, European regional model-Some tentative results. Brussels, 1993. 1~17
5. Frost B W. A modelling study of processes regulating plankton standing stock and production in the open sub-arctic Pacific Ocean. Prog. Oceanog. 1993. Vol. 32, 17~56