

胶州湾和

长江口的生态

杨东方 高振会 主编

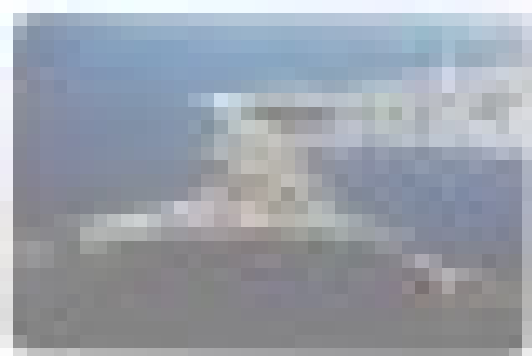


海洋出版社

胜利湾和

长江口的生态

张其成 张其成 张其成



中国环境出版社

胶州湾和长江口的生态

Ecology in Jiaozhou Bay and Changjiang Estuary

杨东方 高振会 主编

海洋出版社

2007 年 · 北京

内容提要

本书以长江口、胶州湾及其附近海域为研究水域,从海洋环境学、生物学、生物地球化学和生态学的角度,量化研究了浮游植物生态变化过程,揭示了营养盐氮、磷、硅的时空变化过程和浮游植物的生长规律。展示了营养盐硅的生物地球化学过程,总结出营养盐限制的判断方法、法则和唯一性以及海洋生态系统中的5个重要规律,提出地球生态系统的三大补充机制,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。

本书主要内容为生态数学模型的建立方法和应用,营养盐、水温和光照时间以及浮游植物之间的相互作用过程 and 变化规律、陆地生态系统、海洋生态系统、大气生态系统的相互作用和地球生态系统的补充机制等。此外,该书还有助于读者加深对海湾生态系统的理解,培养量化研究生态系统的思维,也为读者的研究论文写作提供有益的启发。

本书适合海洋地质学、环境学、生物学、生物地球化学、生态学、海湾生态学和河口生态学等有关领域的科学工作者和相关学科的专家参阅,也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

胶州湾和长江口的生态/杨东方,高振会主编. —北京:海洋出版社,2007. 12

ISBN 978 - 7 - 5027 - 6939 - 0

I. 胶… II. ①杨…②高… III. ①黄海 - 海湾 - 生态环境 - 研究②长江 - 河口 - 生态环境 - 研究 IV. X321. 25

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 184277 号

责任编辑:方 菁

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

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

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编:100081

北京海洋印刷厂印刷 新华书店北京发行所经销

2007年12月第1版 2007年12月第1次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:22.625

字数:620千字 定价:68.00元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

《胶州湾和长江口的生态》编委会

主 编 杨东方 高振会

副 主 编 陈 豫 张平仓 于子江 殷月芬

编 委 （按姓氏笔画为序）

马兆党 王 虹 王磊磊 尹琳琳 石 强

孙莉莉 曲延峰 闫洪涛 余卫娟 张 柯

崔维刚 常彦祥 黄 宏 黄树辉 曾继平

熊永柱 鞠 莲

特约编辑 冯海燕

序 言

本书以海洋生态系统中的浮游植物为开始研究的起点。浮游植物生长具有双重作用:(1)浮游植物是海洋食物链的基础,海洋食物链是生态系统的核心。(2)浮游植物通过光合作用更多的结合二氧化碳进入有机物质,有效地从大气的接触中,长期地除去大气二氧化碳。因此,浮游植物生长对海洋生态系统和大气生态系统都有举足轻重的作用,有效地遏制人类对环境的影响。这样,在人类的活动中,首先要考虑输入大海的营养盐硅,其次要关注大海的水温变化,为海洋生态的持续发展做出积极的贡献。

本书是在国家自然科学基金重大项目“大型水利工程对重要生物资源不利影响的补偿途径”的子课题“三峡水库的生态径流调度措施及方案研究”(30490235);国家海洋局海洋溢油鉴别与损害评估技术重点实验室基金—溢油鉴定技术评估(07EMC08);中国科学院知识创新工程重要方向项目—长江口及其附近海域的营养盐的变化过程(KZCX 2-207);温州医学院科研基金—长江口浮游植物的限制因子(QTJ06013);国家海洋局北海环境监测中心主任科研基金—长江口、胶州湾、莱州湾及其附近海域的生态变化过程(05EMC16)的共同资助下完成。

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—2007)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值的范围分为三个部分: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,定量化的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。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氮、磷的限制,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一直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,展现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,定量地阐明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。并且阐述了浮游植物生长的理想状态与赤潮产生的原因。

(7)通过探讨光、水温和营养盐因子的综合对浮游植物生长变化的影响和其集群结构改变的影响,阐明了光照、水温、营养盐对浮游植物生长影响的机理和过程,确定了光照、水温和营养盐对浮游植物生长重要影响大小的顺序,由小到大的重要影响程度依次为:光照、水温、营养盐 Si。这为研究浮游植物的生长规律和环境因子光、水温和营养盐的变化决定浮游植物的集群结构和生理特征的变化过程奠定了基础。

(8)研究认为,营养盐硅和水温在时间和空间的尺度上有顺序地控制了我们所观察到的各种类型的初级生产力,展示了营养盐硅和水温控制初级生产力的不同阶段,尤其用增殖能力展示了水温对浮游植物生长的控制阶段。从而确定了营养盐硅和水温控制初级生产力的变化过程。从陆地到海洋界面的硅输送量决定了初级生产力的时间变化过程;硅的生物地球化学过程决定了初级生产力的空间变化过程。对此,提出了海洋生态系统中的 5 个重要规律。

(9)研究认为,浮游植物生长的变化和其集群结构的改变,主要受营养盐硅和水温的影响。研究结果,展示了浮游植物生长的变化和其集群结构的改变过程,揭示了营养盐硅和水温影响浮游植物生长变化和其集群结构改变的机制,确定了营养盐硅和水温是海洋生态系统的健康运行的动力。认为营养盐硅和水温是浮游植物生长的发动机,营养盐硅是主要发动机,水温是次要发动机。

(10)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,预测了人类影响的地球发展趋势。

(11)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,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。

(12)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。

前 言

浮游植物生长具有双重作用:一是浮游植物是海洋食物链的基础,海洋食物链是生态系统的核心。二是浮游植物通过光合作用更多地结合二氧化碳进入有机物质,有效地从大气的接触中,长期除去大气中的二氧化碳。因此,浮游植物生长对海洋生态系统和大气生态系统都有举足轻重的作用,能有效地遏制人类对环境的影响。这样,在人类的活动,中,首先要考虑输入海洋的营养盐硅,其次要关注海洋的水温变化,为海洋生态的持续发展做出积极的贡献。

本书是在国家自然科学基金重大项目“大型水利工程对重要生物资源不利影响的补偿途径”的子课题“三峡水库的生态径流调度措施及方案研究”(30490235);国家海洋局海洋溢油鉴别与损害评估技术重点实验室基金——溢油签定技术评估(07EMC08);中国科学院知识创建工程重要方向项目——长江口及其附近海域的营养盐的变化过程(KZCX-2-207);温州医学院科研基金——长江口浮游植物的限制因子(QTJ06013);国家海洋局北海环境监测中心主任科研基金——长江口、胶州湾、莱州湾及其附近海域的生态变化过程(05EMC16)的共同资助下完成。

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。

作者通过对胶州湾和长江口水域的研究(1996—2007)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数值的范围分为三个部分: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。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氮、磷的限制,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,展现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,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。并且阐述了浮游植物生长的理想状态与赤潮产生的原因。

(7) 通过探讨光、水温和营养盐因子的综合对浮游植物生长变化的影响和其集群结构改变的影响,阐明了光照、水温和营养盐对浮游植物生长影响的机理和过程,确定了光照、水温和营养盐对浮游植物生长重要影响大小的顺序,由小到大的重要影响程度依次为:光照、水温和营养盐硅。这为研究浮游植物的生长规律和环境因子光、水温和营养盐的变化决定浮游植物的集群结构和生理特征的变化过程奠定了基础。

(8) 研究认为,营养盐硅和水温在时间和空间的尺度上有顺序地控制我们所观察到的各种类型的初级生产力,展示了营养盐硅和水温控制初级生产力的不同阶段,尤其用增殖能力展示了水温对浮游植物生长的控制阶段。从而确定了营养盐硅和水温控制初级生产力的变化过程。从陆地到海洋界面的硅输送量决定了初级生产力的时间变化过程;硅的生物地球化学过程决定了初级生产力的空间变化过程。对此,提出了海洋生态系统中的 5 个重要规律。

(9) 研究认为,浮游植物生长的变化和其集群结构的改变,主要受营养盐硅和水温的影响。研究结果展示了浮游植物生长的变化和其集群结构改变的过程,揭示了营养盐硅和水温影响浮游植物生长变化和其集群结构改变的机制,确定了营养盐硅和水温是海洋生态系统的健康运行的动力。认为营养盐硅和水温是浮游植物生长的发动机,营养盐硅是主要发动机,水温是次要发动机。

(10) 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,预测了人类影响的地球发展趋势。

(11) 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,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。

(12) 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的时间、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。

致 谢

细大尽力,莫敢怠荒,远迹辟隐,专务肃庄,端直敦忠,事业有常。

——《史记·秦始皇本纪》

此书得以完成,应该感谢北海分局王志远局长以及北海监测中心的全体同仁;感谢温州医学院的瞿佳院长;感谢上海水产大学的李家乐院长。是诸位给予的大力支持,并提供良好的研究环境,成为我们科研事业发展的动力引擎。

在此书付梓之际,我们诚挚感谢给予许多热心指点和有益传授的焦念志教授、张经教授和孙英兰教授。

我们永远铭记:刘瑞玉院士、冯士筭院士、胡敦欣院士、唐启升院士、汪品先院士、丁德文院士、孙松研究员、王荣研究员、周明江研究员、侯一筠研究员、宋金明研究员、施平研究员、沈志良研究员、吴玉霖研究员、高抒研究员、周百成研究员、詹滨秋研究员、秦松研究员、俞志明研究员、李安春研究员、邹景忠研究员、董金海研究员、卢继武研究员、赵永平研究员、陈永利研究员、朱鑫华研究员、肖天研究员、赵保仁研究员、乐肯堂研究员、费修绠研究员、崔茂常研究员、张红霞研究员、杨宇峰研究员、杨作升教授、董淑慧教授、于志刚教授、张曼平教授、张龙军教授、郁伟军教授、钱树本教授、张志南教授、吴增茂教授、马家海教授、印润远教授、薛万奉教授、张友麓研究员、石强研究员、黄长江教授、黎先春教授和王小如教授等学长的有益帮助,使我们开阔了视野和思路。在此表示深深的谢意和祝福。

我们非常庆幸在学术思想活跃的集体中从事科研活动。十分珍惜同仁之间的友谊,我们不会忘记:罗延馨博士、岳国峰博士、张武昌博士、王运涛博士、程鹏博士、王宏田博士、于仁诚博士、毕洪生博士、李大鹏博士、阙华勇博士、谢强博士、王广策博士、杨洪生博士、周毅博士、任敬萍博士、张涛博士、王凡博士、吴爱民博士、白学治博士、王凯博士、赵卫红博士、杨延辉博士、王勇博士、王文琪博士、刘静博士、张越美博士、白洁博士、任景玲博士、刘素美博士、陈洪涛博士、邹立博士、李晶莹博士、黄勃博士、周伟东博士、霍文毅博士、王瑁博士、刘展博士、张运涛博士、陈吉祥博士、孙效功博士、范德江博士、周志刚博士、魏华博士、冷向军博士、王岩博士、曲宪成博士、章守宇博士、刘其根博士、杨建强博士、孙培艳博士、赵淑江博士、李裕红博士、张东博士等许多同学和同事,在我们的研究工作中给予了很好的指导和建议。在此表示衷心的感谢和祝福。

海洋科学编辑部:周海鸥教授、梁德海教授、张培新教授、刘珊珊教授、谭雪静老师、李本川老师;英文海洋与湖沼(*Chinese Journal of Oceanology and Limnology*)编辑部:王森教授、郑少雄教授、虞子冶教授、任远老师、王淼老师;海洋科学进展编辑部:武建平教授、杜素兰教授、高峻老师、孙亚涛老师;海洋环境科学编辑部:韦兴平教授和韩福荣教授;山地学报编辑部:冯海燕教授;现代学术研究杂志编辑部:刘美芬老师、吴文贞老师、周小萍老师;中国教育文化出版社:刘思祺老师、孔惠老师、张骥年老师;海洋出版社等编辑部的编

辑们。正是众多的无名英雄在辛勤地为我们做嫁衣,在我们的研究工作和论文撰写过程中都给予许多的指导,并作了精心的修改,此书才得以问世,在此表示衷心的感谢和深深的祝福。

最后,还要感谢杨辉康同学、张红霞老师、岳海波老师、李毅萍老师、吴元德老师、白秀华老师、朱鉴平老师、金保生老师、张永山老师、王克老师、许玉珠老师、路安明老师、邵露老师、张金标老师、朱正国老师、王香媚老师等,老师们的帮助和关心。是我们走向成功的动力。

今天,我们所完成的研究工作,也是以上提及的诸位共同努力的结果,我们心中感激大家,敬重大家,愿善良、博爱、自由和平等恩泽给每个人。愿国家富强、民族昌盛、国民幸福、社会繁荣。谨借此书面世之机,向所有培养、关心、理解、帮助和支持我们的人们表示深深的谢意和衷心的祝福。

沧海桑田,日月穿梭。抬眼望,千里尽收,祖国在心间。

杨东方 高振会

2007年9月28日

目 次

铁对浮游植物生长影响的研究与进展	(1)
生态数学模型及其在海洋生态学的应用	(4)
浅析浮游植物生长的营养盐限制及其判断方法	(9)
营养盐限制的唯一性因子探究	(16)
Examination of silicate limitation of primary production in Jiaozhou Bay, north	
China I. Silicate being a limiting factor of phytoplankton primary production	(23)
硅的生物地球化学过程的研究动态	(46)
光照时间和水温对浮游植物生长影响的初步剖析——以胶州湾为例	(55)
Examination of silicate limitation of primary production in Jiaozhou Bay, north	
China II. Critical value and time of silicate limitation and satisfaction	
of the phytoplankton growth	(63)
Examination of silicate limitation of primary production in Jiaozhou Bay, north China III.	
Judgment method, rules and uniqueness of nutrient limitation among, P, and Si	(84)
浮游植物增殖能力的研究探讨	(107)
用定量化生态位研究环境影响生物物种的变化过程	(112)
Examination of daytime length's influence on phytoplankton growth in Jiaozhou Bay,	
China	(119)
Examination of seawater temperature's influence on phytoplankton growth in Jiaozhou	
Bay, north China	(137)
胶州湾的浮游藻类生态现象	(152)
Silicon limitation on primary production and its destiny in Jiaozhou Bay, China IV.	
Study on cross-bay transect from estuary to ocean	(159)
Silicon limitation on primary production and its destiny in Jiaozhou Bay, China V.	
Silicon deficit process	(189)
长江口理化因子影响初级生产力的探索与发现 I. 营养盐限制的判断方法和法则	
在长江口水域的应用	(200)
长江口理化因子影响初级生产力的探索与发现 II. 磷不是长江口浮游植物生长的	
限制因子	(207)
胶州湾水温和营养盐硅限制初级生产力的时空变化	(223)
营养盐硅和水温影响浮游植物的机制	(235)
胶州湾环境变化对海洋生物资源的影响	(244)
Silicon limitation on primary production and its destiny in Jiaozhou Bay, China VI.	

The ecological variation process of the phytoplankton	(251)
Silicon limitation on primary production and its destiny in Jiaozhou Bay, ChinaⅦ.	
The complementary mechanism of the earth ecosystem	(280)
地球生态系统的营养盐硅补充机制	(298)
地球生态系统的气温和水温补充机制	(311)
海洋生态变化对气候影响及农作物种植关系研究	(320)
海洋生态和沙漠化的桥梁——沙尘暴	(331)
光照、水温和营养盐对浮游植物生长重要影响大小的顺序	(341)

铁对浮游植物生长影响的研究进展*

浮游植物初级生产是海洋食物链的第一环节。光、温度和营养盐是影响海洋浮游植物光合作用的重要环境因子。这些环境因子的影响效应表现在藻类生长与繁殖的快慢。因此,对抑制浮游植物生长的营养盐是哪一种元素,众说纷纭。随着时间流失,科学的发展趋势和研究结果使人们目前逐渐了解营养盐对浮游植物生长影响的机理和过程,同时,也了解营养盐生物地球化学过程。国内外学者对营养盐的研究不断加深,研究结果也日新月异。本研究主要阐述铁对浮游植物的增长影响和目前的研究进展。

1 铁是浮游植物生长的限制因子的起源

1982年,Gordon等第一次发表的《海水中溶解铁的断面》,显示了铁在海水表层耗尽到亚微摩尔级。这使人们思考铁可能是在广阔海域的生物限制因子。

1988年,Fitzwater和Gordon发表了加铁的实验结果,这些实验是取之太平洋近北极 HNLC(High nitrate low chlorophyll,高氮量低叶绿素量)海区的海水装入瓶中在甲板上进行的。从这些实验结果可以看出,在这些海域的浮游植物对营养盐的低利用是与铁的限制有关的。

1988年6月,在伍兹霍尔海洋研究所的研讨会上,Martin在关于温室效应可能调解的文中,首先提出了用铁作为肥料大尺度给 HNLC 海域施肥的概念。

1989年春季,国际研究委员会总结:通过提高新初级生产力,减缓大气中二氧化碳的增加,在概念上是切实可行的,并做了进一步推荐。在经过慎重的考虑建立相关模型和初步实验之后,实施了国际的瞬间加铁实验。

1991年2月,一个特别美国团体召开了关于海洋湖沼(Limnology and Oceanography)的学术会议,重点讨论在广阔的高营养盐海域控制浮游植物生产力的问题。1991年,Chisolm和Morel提出“铁的假定”或者“控制 HNLC 海区的营养盐吸收的因子”。虽然提出些质疑:认为用铁作为肥料来降低二氧化碳增加是具有科学性的不确定缓和措施,并敦促不要考虑把铁当肥料作为一个政策。但是人们一致同意的解决方法是:保证以不封闭的加铁实验作为唯一的办法,来说明在整个食物链中加铁是否会导致净群落生产的提高^[1]。

铁实验 I 和其后的铁实验 II 的结果证明了赤道太平洋生态系统的生物集群在加铁后具有直接和明确的反应。这些实验在某种程度上提供了一个有力的证据来支持 Martin “铁的假定”,这些实验也证明了这种现场实验是切实可行的。因此,正如 Chisolm 和 Morel 1991 年所说的,对于广阔海域生态研究不必限定在被动的观察和瓶的实验及“通过

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告 3709 号。

培养瓶的变形镜片来审视海洋世界”。在未来的海洋研究中地球化学和生态研究方式的改变是非常重要的^[2]。

虽然在 20 世纪 80 年代后期之前,海洋营养盐中铁的重要性就已经被认识到,但是,只有 Martin 小组是第一次在海水中用快捷的方法测试了铁的假定。近些年来许多研究表明,在自然浮游植物集群中添加微摩尔的铁就会提高光合成电子输送效率和初级生产力。在船上的瓶中培养实验和中尺度几千米的现场实验都看到这个结果^[2]。在太平洋近北极的水域,在高纬度的南大洋和东赤道太平洋都显示了铁作为限制因子在起作用。

2 铁是浮游植物生长的限制因子的证据

铁对现代海洋初级生产力限制的直接证据是通过现场在赤道太平洋东部(HNLC 海区)加铁的研究^[3]。研究人员发现加铁后,光化学能储藏效率提高、生物量增加、初级生产力提高^[3,4]。间接证据是在 HNLC 海域加铁后发现:在铁来源的下流区域,在赤道太平洋^[3]和 1993 年 Sullivan 等人调查的南大洋有高浓度的叶绿素持久板块,在小尺度上,发现在南极前沿内初级生产力和浮游植物生物量与铁浓度正相关^[5]。

3 结果

最近的研究认为,在铁贫瘠的海区,铁的作用是限制氮的固定^[6]。Hutchins 和 Bruland, Takeda 显示了与氮相比硅藻对硅的吸收受到铁的影响^[7]。又 Hutchins 和 Bruland 检测了上升流如 the California Current, Northern California, Big Sur 海区的环境中加铁的影响。他们研究最初的目标是证明在这个区域初级生产力是否受到铁的限制作用。研究结果显示这些沿岸海区的初级生产力不受铁限制。他们认为,河流和大陆架的沉积提供了大量的营养盐供给。然而在 Big Sur 海区,低的冲积输入和窄的大陆架减少了铁的来源。Hutchins 和 Bruland 认为上升流强有力的营养盐的提供和低铁量的输入导致了加利福尼亚沿岸的 HNLC 环境。

Hutchins 和 Bruland 在实验室里研究表明^[7]:加铁几天后,培养的自然浮游植物集群的增殖率和氮吸收率就提高了。从自然含铁量较高的附近海域采集的样品,加铁后,浮游植物并没有进一步增长。这个结果说明了铁的重要性。也就是说,在不缺铁的海域其浮游植物增长不受加铁的影响,而在缺铁的海域,浮游植物的增长却受到铁的影响,加铁后,浮游植物增长迅速。因而认为在 HNLC 的海域,铁是限制因子。

4 存在的问题

在以前的实验中,表明生产效率的提高几乎完全是由于大型硅藻的反应,这些大型硅藻特征之一是它们具有硅质的骨架。然而,以前并没有监测铁的提高对硅吸收的影响。在新近的实验中进行的监测结果表明,加铁后,硅藻增殖迅速,而且,吸收氮更快。但是,这种过度增长对硅的吸收影响却是微不足道的,以致硅:氮的比率在铁贫瘠海区要比加铁

后的培养高 2 ~ 3 倍^[8]。

从以上分析研究可以得出这样的结论:铁无论是在实验室培养瓶中缺铁的海水中,还是在大尺度的缺铁的海洋里,尤其在高营养盐、低浮游植物生物量的海区里,都使海水中的浮游植物过度猛增。同时,在陆源提供充足的营养盐的海区,其中铁的量级较高,再加铁,也不会使浮游植物迅速增殖。从这些结果来看,铁对浮游植物生长有着重要的影响。然而,最新研究表明,浮游植物中铁能使之迅猛增殖的种类竟是大型硅藻,而且,硅藻在加铁后,对硅的吸收几乎不增。从这个结果来看,作者认为对浮游植物生长来说,由于铁改变了浮游植物的吸收比例,这样,要么铁是硅的替代品;要么铁改变了浮游植物本身的结构。因此,铁是否是浮游植物生长的限制因子是值得进一步思考的,相信在不久的将来从营养盐的角度会发现,也许,我们推测硅是浮游植物的生长限制因子。

参 考 文 献

- [1] Kenneth Coale. Iron Ex-1, an *in situ* iron-enrichment experiment: Experimental design, implementation and results. Deep-sea Research Part, 1998, 45(6): 919 – 945.
- [2] Coale K H, et al. A massive phytoplankton bloom induced by an ecosystem-scale iron fertilization experiment in the equatorial Pacific Ocean. Nature, 1996, 383: 495 – 501.
- [3] Martin J H, et al. Testing the iron hypothesis in ecosystems of the equatorial Pacific Ocean. Nature, 1994, 371: 123 – 129.
- [4] Kolber Z S, et al. Iron limitation of phytoplankton photosynthesis in the equatorial Pacific Ocean. Nature, 1994, 371: 145 – 149.
- [5] De Baar H J W, et al. Importance of iron for plankton blooms and carbondioxide drawdown in the Southern Ocean. Nature, 1995, 373: 412 – 415.
- [6] Falkowski P G. Evolution of the nitrogen cycle and its influence on the biological sequestration of CO₂ in the Ocean. Nature, 1997, 387: 272 – 275.
- [7] Hutchins D A, Bruland K W. Iron-limited diatom growth and Si: N uptake ratios in a coastal upwelling regime. Nature, 1998, 393: 561 – 564.
- [8] Takeda S. Influence of iron availability on nutrient consumption ratio of diatoms in Oceanic waters. Nature, 1998, 393: 774 – 777.

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、环境和生物等学科综合的生态过程,如 ERSEM MAST-1 program report^[1] 和 Frost^[2] 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^[1,2]。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。

目前人们正努力研究符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,已产生了一系列模型,如,物质输运和物质平衡模型,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,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。

1 生态数学模型的概念

生态数学模型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提供有用的启发,而且有时会产生出乎意料的结果和对一个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,海洋的物质循环与海洋生物地球化学的关系等。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,以使得模型的行为与系统的行为相同或者相似。

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。

* 国家自然科学基金资助项目 49636210 号,中国科学院青岛海洋研究所 研究报告 3729 号。