

■ 高等学校教材

HAIYANG YOUHAI
ZAOHUAXUE

海洋有害藻华学

安鑫龙 陈芳 高寒 / 主编



高等学校教材

海洋有害藻华学

安鑫龙 陈芳 高寒 主编



中国环境出版集团·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

海洋有害藻华学/安鑫龙, 陈芳, 高寒主编. —北京: 中国环境出版集团, 2018.9

ISBN 978-7-5111-3671-8

I. ①海… II. ①安…②陈…③高… III. ①海洋浮游植物—藻类—有害植物—高等学校—教材 IV. ①Q949.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 102078 号

出版人 武德凯
责任编辑 田 怡
责任校对 任 丽
封面设计 岳 帅

出版发行 中国环境出版集团
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京建宏印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2018 年 9 月第 1 版
印 次 2018 年 9 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 14
字 数 480 千字
定 价 42.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

《海洋有害藻华学》编委会

主 编 安鑫龙（河北农业大学海洋学院）

陈 芳（东北大学秦皇岛分校）

高 寒（浙江大学海洋学院）

副主编 申 亮（河北农业大学海洋学院）

佟蒙蒙（浙江大学海洋学院）

李志霞（河北农业大学海洋学院）

李雪梅（河北农业大学海洋学院）

参 编 曹英昆（河北农业大学海洋学院）

李亚宁（南开大学滨海学院）

王小瑞（河北农业大学海洋学院）

徐春霞（河北农业大学海洋学院）

么 强（河北农业大学海洋学院）

前言

传统意义上,我们认为海洋有害藻华是指有害赤潮,是水体中大量微藻等暴发性增殖或聚集引起的海洋生态异常现象。但 20 世纪 70 年代以来,由于全球气候变化和水体富营养化等因素,国际和国内近岸海域逐渐大规模出现了大型绿藻、大型褐藻、大型红藻和大型蓝藻等单独或结伴在海面漂浮、海水中漂荡或在近岸水域和岸边搁浅堆积的新的海洋生态灾害现象,引起了科学家的重视,这些大型海藻引起的生态异常现象也被统称为有害藻华。《海洋有害藻华学》教材以上述几种海洋生态灾害为对象,从海洋环境科学角度分别讲授它们的基本特征、肇事生物、发生过程、危害、预测预报和调控管理对策等内容,可作为海洋环境科学、海洋科学、海洋渔业科学与技术、海洋生物学、海洋生态学和海洋药物学等专业高年级本科生和硕士研究生教材,也可作为相关专业技术人员的参考书。

安鑫龙自 2008 年开始逐年对河北省海洋有害藻华进行实地调查,自 2009 年获得河北农业大学水生生物学专业硕士研究生指导教师资格以来,一直为河北农业大学海洋学院水生生物学和水产养殖学专业硕士研究生讲授海洋有害藻华的相关内容,这些内容是以笔者科研成果为基础并查阅大量相关参考文献、经过近十年的讲授和不断修改完善而成的;2015 年以来,安鑫龙连续实地追踪了河北省近海大型海藻泛滥、海面漂浮和岸边堆积状况,对肇事生物进行了采集和分类鉴定,了解了其时空分布和泛滥成因,补充了我国大型海藻泛滥诱发绿潮、褐潮和红潮等的相关内容。虽然科研成果因科研内容受地域限制具有地域性,其覆盖面却涉及了海洋有害藻华各个领域。这些前期工作为《海洋有害藻华学》教材编写提供了宝贵资料并奠定了基础。

本书由河北农业大学海洋学院安鑫龙、申亮、李志霞、李雪梅、曹英昆、王小瑞、徐春霞和么强,东北大学秦皇岛分校资源与材料学院陈芳,浙江大学海洋

学院高寒和佟蒙蒙，南开大学滨海学院李亚宁共同编写，最后由安鑫龙和佟蒙蒙对全书进行统稿。教材出版得到了国家自然科学基金青年项目（项目编号：41501514）、中央高校基本科研业务专项资金（项目编号：N172304046）、国家自然科学基金青年项目（项目编号：41503109）和河北农业大学基于“翻转课堂”教学模式的 SPOC 课程建设项目（海洋生物学）部分资助和中国环境出版集团田怡编辑的大力支持，同时本书参考引用了大量其他专家和学者的教材、著作和论文等相关成果，谨此表示衷心感谢！本书中自配图标本均由安鑫龙采集和拍摄，保存于河北农业大学海洋学院海洋有害藻华与近海海洋生态环境调控实验室有害藻华生物标本库。

在教材编写过程中，我们虽力求系统地反映海洋有害藻华学的新成就和新动向，但由于编写人员大都是年轻教师和科技工作者，科研和知识水平有限，再加上时间紧迫、篇幅所限，书中难免有不足、疏漏甚至错误之处；同时，本书在引用前人研究成果过程中可能存在标注不清或有疏漏之处，敬请各位专家、学者和广大读者批评指正，以期再版时及时纠正。

安鑫龙

2017 年教师节于秦皇岛

目 录

绪 论	1
-----------	---

第一篇 海洋微生物有害藻华学

第一章 概 述	11
---------------	----

第二章 海洋微生物有害藻华	13
第一节 海洋微生物有害藻华基本特征	14
第二节 海洋微生物有害藻华生物	18
第三节 海洋微生物有害藻华发生判定标准	56
第四节 海洋微生物有害藻华发生的原因和过程	59
第五节 海洋微生物有害藻华事件和危害	68
第六节 海洋微生物有害藻华监测和预测预报	73
第七节 海洋微生物有害藻华的新发展趋势	76

第三章 海洋微生物有害藻华防控与管理	81
--------------------------	----

第二篇 海洋大型藻类有害藻华学

第一章 概 述	89
---------------	----

第二章 绿 潮	90
第一节 绿潮基本特征	90
第二节 绿潮生物	96
第三节 绿潮生消	115
第四节 绿潮事件和危害	124

第三章 褐 潮	126
第一节 褐潮基本特征	126
第二节 褐潮生物	128
第三节 褐潮生消	142

第四章 红 潮 145

 第一节 红潮基本特征 145

 第二节 红潮生物 148

 第三节 红潮生消 175

第五章 海洋大型藻类有害藻华防控与管理..... 178

第三篇 海洋有害藻华实验学

第一章 海洋有害藻华生物形态观察 185

 实验一 甲藻门常见海洋有害藻华生物形态观察..... 185

 实验二 硅藻门常见海洋有害藻华生物形态观察..... 188

 实验三 绿藻门常见海洋有害藻华生物形态观察..... 190

 实验四 其他海洋有害藻华生物形态观察 192

第二章 海洋有害藻华生态学 194

 实验一 海洋微型有害藻华生物定量计数 194

 实验二 海洋微型有害藻华生物种群演替 196

 实验三 海洋大型有害藻华生物室内培养技术..... 197

 实验四 海洋有害藻华调控技术 198

第三章 海洋有害藻华毒理学 200

 实验一 微型藻华生物对海洋生物的急性毒性效应..... 200

 实验二 微型藻华生物毒素的分离纯化和结构鉴定..... 202

参考文献 204

绪论

人们普遍熟知，正常情况下海水呈蔚蓝色。然而，当进入晚春和夏秋季节，人们在海边漫步、畅游大海或海上乘船观光时，偶尔会发现有些海区大片海水突然发浑、颜色骤变，海面上呈现一片片不规则的红色、褐色、黄色、绿色、白色等生物斑块，晚上波浪拍打飞溅或者海边游人嬉戏踩踏海水时出现蓝色荧光海现象；或者有些海区大片海面上漂浮着绿色、褐色或者绿色和褐色等混合的大型海藻组成的藻垫或藻毯，或者有些近岸海水中漂荡着大量各种颜色的海藻，有些海藻甚至在海浪等外力作用下被冲击到海滩上覆盖大面积海滩或搁浅后堆积在海滩上形成藻丘。上述现象告诉我们，这些海域发生了藻华（algal blooms）。

藻华，早期又称赤潮，是指海水中藻类大量繁殖的一种现象。在不同历史时期，由于社会、经济、政治、文化和生态文明建设以及科技水平等发展差异，人们对藻华的认识有所不同。藻华是一种自然生态现象，相当一部分藻华是无害的，且随着藻华的发生会给当地初级摄食者提供充足的食物。然而，随着人类对海洋的影响，藻华暴发越来越频繁，规模越来越大，引起藻华的生物越来越多样化。有些有毒有害生物，逐渐成为藻华的主要生物种，对海洋环境理化因子、海洋中其他生物的生长和繁殖、涉海行业以及人类身心健康等造成严重的影响；而一些常被认为是无害的生物种，也因其暴发时生物量巨大，超过了当地的生态环境承载力，给海洋生态环境带来严重的危害。例如，中肋骨条藻（*Skeletonema costatum*）在自然海区是缢蛏和牡蛎等的优良饵料，其常态的生物量暴发有利于海洋动物的生存和能量传递，对于海水养殖业和海洋生态系统而言具有重要作用。但海洋浮游藻类数量过高，在其死亡分解时会造成海水局部缺氧，导致鱼类和无脊椎动物死亡等严重危害。进入 20 世纪 70—90 年代，大型藻类泛滥、有毒或有害微藻藻华发生频率急剧增加，规模不断扩大，造成巨大经济损失，并危害人类生存环境，故称这类藻华为有害藻类水华，简称有害藻华（harmful algal blooms, HABs）。“有害藻华”一词来自西方科学界，强调了藻华可能导致的一系列危害效应，如引发鱼类和无脊椎软体动物机械损伤、鱼类大量死亡、海产品染毒、娱乐海区水体变色和大型海藻泛滥等，甚至改变生态系统的结构和功能。此后，海洋有害藻华的概念随着人们对其研究的日渐深入也逐渐得到完善。

近年来，随着人类活动和气候变化对海洋环境的影响持续加剧，有害藻华影响的海域不断扩大，对沿海地区海水养殖业、滨海旅游业、海上航运、核电设施冷源系统安全、人类健康及海洋生态安全构成了严重威胁，目前已经成为一类全球性的生态灾害问题。人们将有害藻华引起的生态灾害称为藻华灾害（harmful algal bloom disasters），引起藻华灾害的有害藻华称为灾害性有害藻华（disastrous harmful algal blooms）。

一、海洋有害藻华学的概念、范畴和任务

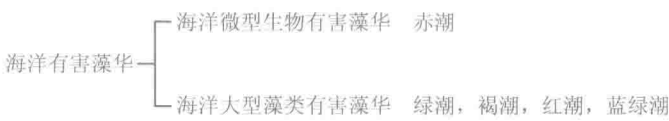
海洋有害藻华学 (Science of Marine Harmful Algal Blooms) 是研究各种海洋有害藻华 (marine harmful algal blooms) 的肇事生物、成因、发生过程、危害、预测预报和防控及管理对策等的科学,是近年来在海洋藻华频发、严重威胁海域生态安全和人类健康背景下得到迅速发展的、由海洋科学类所属学科交叉融合而成的一门新学科。

狭义上讲,海洋有害藻华是指在一定环境条件下,海水中某些海洋微藻、原生动物或细菌等爆发性增殖或高度聚集引起海水变色或虽未引起水色变化但其危害性表现在毒性效应或对其他生境产生物理性损害作用的海洋生态异常现象。在这里引起藻华的生物主要包括海洋微藻、原生动物、细菌等微生物。根据大小可将这些生物分为超微型浮游生物 (Picoplankton, $0.2\sim 2.0\ \mu\text{m}$)、微型浮游生物 (Nanoplankton, $2.0\sim 20\ \mu\text{m}$) 和小型浮游生物 (Microplankton, $20\sim 200\ \mu\text{m}$) 等。后来,大型绿藻、红藻和褐藻等海藻泛滥、大面积漂浮海面、大量漂荡近岸海水中、大面积覆盖或堆积在海岸上,对其他海洋生物和人类产生危害等,这些上述海洋生态异常现象一起被统称为海洋有害藻华,即广义上的海洋有害藻华。在我国,常见的有害藻华生物一般为微型、小型和大型浮游生物 (Macroplankton, $2.0\sim 20\ \text{cm}$),其中以小型浮游生物居多。有害藻华中对人类或大型海洋生物影响最严重的是有毒藻华,据统计,全球有 330 余种生物可引发藻华,其中包括有毒藻 80 多种,且多为微藻。大型海藻中引起藻华者多数为无毒无害种,但当其大量生长繁殖后也会导致海洋生态异常,引起严重的灾害。

综上所述,海洋有害藻华是指在一定环境条件下,海水中有毒或无毒微藻、原生动物或细菌等爆发性增殖或高度聚集引起海水变色或其浓度虽不至于引起水色改变,但其危害性表现在毒性效应或对其他生境的物理性损害作用,以及某些绿藻、红藻和褐藻等大型海藻泛滥、大面积漂浮海面、大量漂荡近岸海水中、大面积覆盖或堆积在海岸上,从而对其他海洋生物和人类产生危害,甚至导致海洋生态系统严重破坏的多种海洋生态异常现象的总称。

在这里,我们将有害藻华生物分为两类,一类是肉眼看不到,需要借助显微镜观测定量的生物,为微型藻华生物;另一类是大型藻类。依据这个分类,我们将海洋有害藻华分为海洋微型生物有害藻华和海洋大型藻类有害藻华两大类,前者即通常所称的赤潮 (red tide),包括各类微型藻类等诱发的各种色潮,如抑食金球藻 (*Aureococcus anophagefferens*) 引起的“褐潮” (“brown tide”,区别于大型褐藻水华,称为抑食金球藻赤潮),微绿球藻 (*Nannochloris* sp.) 引起的“绿潮” (“green tide”,区别于大型绿藻水华,称为微绿球藻赤潮)等;后者根据海洋有害藻华生物种类所属的分类门类不同,包括绿潮 (green tide, blooms of green macroalgae)、褐潮 (brown tide, blooms of brown macroalgae)、红潮 (red tide, blooms of red macroalgae) 和蓝绿潮 (blue-green tide, blooms of blue-green macroalgae) 四大类 (图 1),如假根羽藻 (*Bryopsis corticulans*) 引起的绿潮称为假根羽藻绿潮,铜藻 (*Sargassum horneri*) 引起的褐潮 (有人称为金潮) 称为铜藻褐潮,带形蜈蚣藻 (*Grateloupia turuturu*) 引起的红潮称为带形蜈蚣藻红潮,半丰满鞘丝藻 (*Lyngbya semiplena*) 引起的蓝绿潮称为半丰满鞘丝藻蓝绿潮。定生蓝绿藻 (attached blue-green algae) 因生活在潮间带附近岩石上,其发生固着蓝绿潮 (blooms of attached blue-green algae) 时容易被发现;定生绿藻 (attached green algae) 因生活在潮间带附近较浅海

区，其发生固着绿潮（blooms of attached green algae）时同样容易被发现；~定生红藻（attached red algae）和定生褐藻（attached brown algae）因自然分布水位较深其过度生长形成的固着红潮（blooms of attached red algae）和固着褐潮（blooms of attached brown algae）则在海面不易被发现。大型海藻不含纤维质，藻体柔软，在波浪作用下很容易碎裂成残体，有些种类遭遇风暴时整株连“根（或小型基质）”拔起，这些脱离基质（或带有小块基质）的植株或残体在海水中随波漂荡甚至漂浮海面并在水流作用下形成漂移现象。因此大量漂移绿藻（green drift algae）、漂移褐藻（brown drift algae）和漂移红藻（red drift algae）分别形成的漂移绿潮（blooms of green drift macroalgae）、漂移褐潮（blooms of brown drift macroalgae）和漂移红潮（blooms of red drift macroalgae），在海面上、近岸水体或堆积岸边明显可见。



在这里，我们将海洋有害藻华学研究范畴划分为海洋微型生物有害藻华学、海洋大型藻类有害藻华学和海洋有害藻华实验学三大部分（见图 2）。其中海洋微型生物有害藻华学，即大家熟知的赤潮科学（Red Tide Sciences）；海洋大型藻类有害藻华学包括绿潮科学（Green Algal Sciences）、褐潮科学（Brown Algal Sciences）、红潮科学（Red Algal Sciences）和蓝绿潮科学（Blue-green Algal Sciences）四部分。赤潮科学研究已经非常深入，蓝绿潮科学刚处于起步阶段，漂移绿潮科学（Green Drift Algal Sciences）、漂移褐潮科学（Brown Drift Algal Sciences）和漂移红潮科学（Red Drift Algal Sciences）是目前海洋大型藻类有害藻华研究的新领域。



海洋有害藻华生物能够通过覆盖海面、产生毒素、损伤海洋生物鳃组织和改变水体理化环境等多种途径危害其他海洋生物生存或使生物染毒，从而危及海水养殖、人类健康和海洋生态安全等。学习海洋有害藻华学的目的就是掌握海洋有害藻华生物（赤潮生物、绿潮生物、褐潮生物、红潮生物和蓝绿潮生物）的形态结构、分类、生理和生态等方面的基础知识，掌握常见海洋有害藻华的成因、发生过程、危害和防控及管理策略，为保护海洋环境和海洋生物多样性、发展海水养殖业和滨海旅游业、高效资源化利用海洋藻类、维护海洋生态系统健康和生态安全等提供保障。

二、海洋有害藻华学发展简史

海洋有害藻华最初被称为赤潮。赤潮现象自古有之，最早记载赤潮现象的是《旧约·出埃及记》。文献记载，我国早在 2 000 多年前就已发现了赤潮现象。由于赤潮生物个体微小，

直到 19 世纪,海洋浮游生物的调查研究工作借助显微镜的应用得以逐步开展,日本和一些西方国家开始对赤潮进行科学研究。进入 20 世纪,有关赤潮的研究报道日渐增多,日本和美国等发达国家进行了许多有效的研究。我国的费鸿年先生也于 1933 年报道了发生于浙江镇海至台州、石浦等海域的夜光藻(*Noctiluca scintillans*)赤潮,此后由于日本侵略和国内战争等原因赤潮研究中断,直到 20 年后的 1952 年费鸿年先生再次报道了发生在黄河口一带的夜光藻赤潮,从此开启了我国赤潮研究的初始阶段(1952—1976 年),这一阶段缺乏对赤潮的认识和调查监测,工作零星、文献资料缺乏,基本停留在对赤潮现象的定性描述;1977—1989 年为我国赤潮研究的起步阶段,国家和有关部门相继开始设立赤潮研究专项,通过调查监测、赤潮生物分离培养以及实验生态研究等,获得大量科研成果,赤潮科研单位有所增加、科研队伍不断扩大,郑重、史元炘、许澄源、陈彩香、陈亚瞿、邹景忠、曹欣中、齐雨藻、洪惠馨、张水浸、林永水、钱宏林、梁松、华泽爱和王惠卿等发表了赤潮相关论文,开始由定性描述进入半定量或定量研究,为全方位系统研究赤潮奠定了基础;1990 年后,我国赤潮研究进入了发展阶段,重要标志是由“全国赤潮研究联合体”申请获得国家基金委资助开展重大项目“中国东南沿海赤潮发生机理研究”开始的大规模、多学科综合研究等,并于 1992 年在上海成立了联合国政府间海洋学委员会(IOC)及海洋研究科学委员会(SCOR)赤潮工作组中国委员会,推选了暨南大学齐雨藻教授为主席。吕颂辉、杞桑、郭玉洁、江天久、尹伊伟、周名江、俞志明、陆斗定、张启东、黄长江、黄韦良等从多角度对我国不同海域赤潮进行了研究,赤潮学者先后出版了《南海甲藻》(林永水和周近明,1993)、《赤潮灾害》(华泽爱,1994)、《赤潮及其防治对策》(张水浸等,1994)、《中国赤潮研究》(朱明远等,1996)、《大鹏湾环境与赤潮的研究》(国家海洋局南海分局等,1996)、《近海富营养化与赤潮研究》(林永水,1997)、《赤潮》(齐雨藻,1999)等相关学术著作。

进入 21 世纪后,世界各国高度关注海洋,全球海洋科学与技术发展突飞猛进,分支学科不断细化,各类海洋科技人才大量涌现。在海洋研究大背景下,有害藻华更加引起人们重视,一大批相关科技工作者脱颖而出并取得可喜的研究成果,推动了全球海洋有害藻华研究迈向新的台阶。在我国,海洋有害藻华相关教学和研究机构由最初的中国科学院、中国水产科学研究院和国家海洋局等院(局)属机构以及暨南大学、厦门大学和中国海洋大学等高等院校涉海院系发展至今几乎遍布沿海的涉海高校和科研院所,招收海洋有害藻华方向研究生的同时加大了对赤潮的监测与研究力度,“十一五”期间,为了对赤潮灾害做到早发现、早预警、早防范,我国在赤潮灾害多发、频发海域设立了辽宁大连獐子岛赤潮监控区、辽宁葫芦岛赤潮监控区、河北秦皇岛北戴河赤潮监控区等 19 个赤潮监控区,沿海监测部门在赤潮监控区内开展了高密度、高频率、多学科的综合调查监测,通过卫星遥感、船舶走航、陆岸巡视等多途径多手段对全海域进行监测,及时发现赤潮灾害并采取相应措施主动防治。到目前为止,我国近海设有 30 多个赤潮监控区,针对赤潮发生情况进行常规监测。最初的海洋有害藻华特指微型藻类藻华,近几年海洋有害藻华概念随着新的海洋生态灾害类型出现不断发生变化,自 2007 年山东省青岛市发生绿潮、2009 年河北省秦皇岛市发生抑食金球藻赤潮(有人称之为“褐潮”)、2016 年江苏省盐城市和南通市等海域发生漂浮马尾藻褐潮(有人称之为“金潮”)并造成重大损失后,这一概念在国内得到进一步升华。Sunda 等(2006)认为生态系统破坏藻华(Ecosystem disruptive

algal blooms, EDABs) 是有害藻华的一种, 是由有毒藻或营养成分不高的藻类通过降低浮游动物和底栖动物滤食率的方式产生的, 其后果是中断营养物质和能量向更高营养级的传递从而降低营养物质的循环, 破坏食物网的动态。Gobler 等 (2012) 把抑食金球藻和 *Aureocumbr lagunensis* 引发的褐色赤潮作为一类生态系统破坏藻华。期间, 我国海洋有害藻华工作者经过不懈努力, 先后出版了《赤潮生物》(林永水等, 2001)、《渤海赤潮灾害检测与评估研究文集》(赵冬至, 2001)、《中国沿海赤潮》(齐雨藻等, 2003)、《近海与虾池赤潮》(徐家声等, 2003)、《中国近海赤潮生物图谱》(郭皓, 2004)、《赤潮灾害预报机理与技术》(黄韦良等, 2004)、《深圳海域赤潮研究》(冷科明等, 2004)、《赤潮灾害卫星遥感探测技术》(赵冬至, 2004)、《赤潮监测技术规程》(郭皓等, 2005)、《中国赤潮研究与防治 1》(中国海洋学会赤潮研究与防治专业委员会, 2005)、《赤潮生态动力学与预测》(王洪礼等, 2006)、《中国沿海甲藻孢囊与赤潮研究》(王朝晖, 2007)、《中国赤潮研究与防治 2》(中国海洋学会赤潮研究与防治专业委员会, 2008)、《赤潮重点监控区监控预警系统论文集》(高振会等, 2008)、《三亚红沙港赤潮及生物防控研究》(彭明等, 2009)、《青岛奥帆赛场及邻近海域赤潮防治研究》(高振会等, 2009)、《绿潮灾害发生条件与防控技术》(高振会等, 2009)、《浒苔生态学研究》(张惠荣, 2009)、《中国典型海域赤潮灾害发生规律》(赵冬至, 2010)、《赤潮控制微生物学》(郑天凌等, 2011)、《河北省沿海赤潮》(安鑫龙等, 2011)、《中国赤潮灾害调查与评价 (1933—2009 年)》(梁玉波, 2012)、《赤潮灾害风险评估理论与区划方法》(赵冬至, 2013)、《黄海绿潮调查与研究》(宋文鹏等, 2013)、《中国近海甲藻孢囊》(蓝东兆等, 2014)、《海洋褐潮监测技术规程》(宋伦等, 2015)、《河北省海洋有害藻华》(安鑫龙, 2017)、《褐潮损失评估技术规程》(宋伦等, 2017) 和《广西海域赤潮研究》(彭在清等, 2017) 等海洋有害藻华监测技术标准和相关学术著作。2017 年, 河北农业大学海洋学院安鑫龙博士经过近十年系统研究河北省沿海赤潮、绿潮以及近岸海水中漂荡和海滩上覆盖与堆积的漂移红藻和漂移褐藻, 并查阅大量国内外相关资料后, 首次提出了“海洋有害藻华学”概念, 并初步给出了学科基本框架结构。将大型藻类藻华的重点内容增加到涉海高等院校《海洋有害藻华学》授课课程中, 进一步完善了有害藻华学, 为我国培养海洋有害藻华学专业人才提供了教材和参考书。

三、我国在海洋有害藻华学领域的研究现状

目前来看, 我国从事海洋有害藻华学领域研究的单位遍及沿海各地, 研究范围涵盖了海洋有害藻华的各个方面, 涌现出很多享誉海内外的知名专家学者。著名的研究机构如中国科学院海洋研究所、国家海洋环境监测中心、国家海洋局第一海洋研究所、国家海洋局第二海洋研究所、暨南大学赤潮与海洋生物研究中心和厦门大学等, 在老一辈赤潮研究专家的辛勤工作和传帮带作用下, 承担了多项国家重点基础研究发展计划 (“973” 计划) 项目、国家高技术研究发展计划 (“863” 计划) 项目、国家科技重大专项、国家科技支撑计划、国家自然科学基金、国际合作项目、国家海洋 “908” 专项调查项目、国家海洋 “908” 专项评价项目、国家海洋使用金项目、海洋公益性行业科研专项经费项目等, 为我国海洋有害藻华学事业做出了突出贡献。2007 年黄海浒苔绿潮暴发后, 中国科学院、国家海洋局和中国水产科学研究所属单位, 中国海洋大学、上海海洋大学以及山东省一些科研院所等专家从不同角度对黄海绿潮进行了全面

而深入的研究,取得了阶段性进展,为黄海绿潮的有效应对提供了科学依据。2016 年黄海马尾藻褐潮暴发后,国家海洋环境监测中心的专家对其进行了卫星遥感监测工作,初步揭示了漂浮马尾藻时空分布规律,为今后应对马尾藻灾情提供了决策依据。

作为年轻科研工作者和教学一线人员,河北农业大学安鑫龙博士带领的河北农业大学海洋学院(秦皇岛)海洋有害藻华与近海海洋生态环境调控实验室自 2008 年开始一直坚守在河北省海洋有害藻华研究领域,坚持进行有害藻华生物监测工作,发现河北省 10 余个海洋有害藻华新种、新记录种或变种:海洋尖尾藻(*Oxyrrhis marina*)、日本鱼毒藻(*Fibrocapsa japonica*)、中国鱼毒藻(*F. cinica*)、齿状纹石藻(*Pleurochrysis dentata*)、渤海环沟藻(*Gyrodinium bohaisensis*)和舌状酸藻混合主干变种[*Desmarestia ligulata* (stackhouse) Lamouroux var. *intertrunk*]等;特别是 2010 年在河北省秦皇岛市近海分离获得了国际上室内海洋生物实验的模式海洋浮游生物——海洋尖尾藻,并对其形态特征、分类地位、室内培养、繁殖方式、摄食方式以及生态特征等进行了总结,系统研究了其对不同形态体质和大小的海洋微藻的摄食特征及海洋微藻种群演替和培养液颜色变化特征;根据 1989 年(河北省首次报道赤潮)至 2016 年河北省海洋有害藻华相关数据,系统总结了 1989—2016 年河北省近海赤潮和绿潮的研究成果,并对 28 年间河北省近海有发生记录的微型藻类有害藻华进行了全面统计(见图 3)。黄海绿潮暴发后,开始关注河北省大型有害藻华,并于 2015—2017 年连续追踪调查了河北省秦皇岛市近岸海域大型藻类有害藻华发生、发展和衰退的全过程,获得了河北省近海大型藻类有害藻华第一手资料;发现河北省秦皇岛市近岸海域绿潮发生期间出现了漂移红藻和漂移褐藻在近岸海水中漂浮和海滩上局部覆盖与堆积现象,并对三类大型藻华肇事生物进行了采集和分类鉴定工作,搞清了其时空分布和泛滥成因,补充了我国大型海藻泛滥诱发绿潮、褐潮和红潮的相关内容,这些内容丰富了我国海洋有害藻华学的基础资料,并成为本书的重要组成部分,以期为我国系统研究海洋有害藻华做出积极贡献。

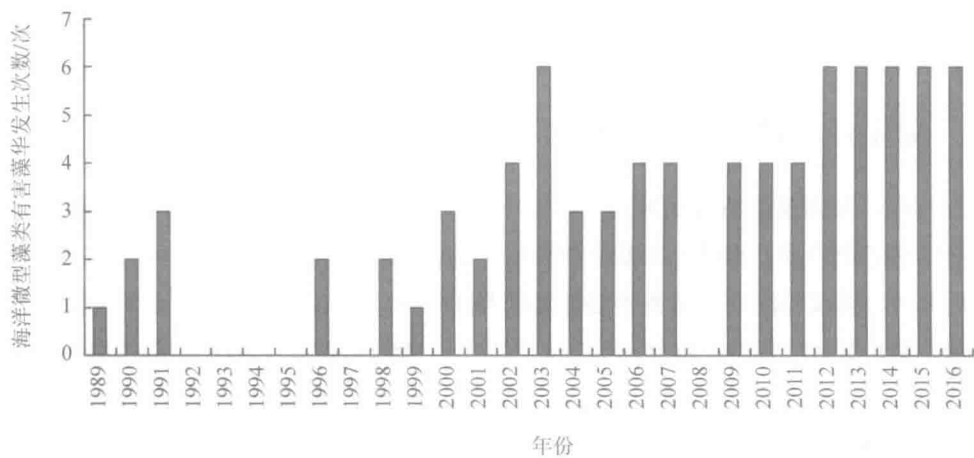


图 3 1989—2016 年河北省近海微型藻类有害藻华发生次数统计

四、海洋有害藻华学的分支学科及与其他学科的关系

1. 海洋有害藻华学的分支学科

根据海洋有害藻华学的研究范畴,海洋有害藻华学的分支学科主要包括海洋微生物有害藻华学、海洋大型藻类有害藻华学和海洋有害藻华实验学。

2. 海洋有害藻华学与其他学科的关系

从海洋有害藻华的肇事生物来看,这门学科与海藻学、海洋微生物学、海洋原生动物学等学科的关系非常密切。

从海洋有害藻华的成因和发生过程来看,这门学科与海洋生物学、海洋环境学、海洋生态学、海洋气象学、物理海洋学、海洋化学、海洋地质学等学科的关系非常密切。

从海洋有害藻华的危害和预测预报来看,这门学科与海洋生态毒理学、海洋气象学、海洋环境学、海洋生态学、物理海洋学、海洋化学等学科的关系非常密切。

从海洋有害藻华的防治对策来看,这门学科与海洋气象学、海洋环境学、海洋生态学、海洋化学、海洋地质学、海洋工程学、海岸带管理学等学科的关系非常密切。

可见,海洋有害藻华学是海洋科学范畴内的一门综合性强、涉及面宽、理论和实践并重的新兴交叉学科,该学科正在以海洋生物学为基础,海洋生态学、海洋化学和物理海洋学等为主线,其他海洋类学科为两翼的健康协调发展模式中逐步得到逐步完善。

五、海洋有害藻华学与近海生态安全

目前来看,海洋有害藻华已成为我国一类突出的海洋生态灾害问题。渤海海域、长江口及其邻近海域和南海近岸海域成为 3 个典型的赤潮高发区;大部分近海河口和海湾区域面临着严重的富营养化问题,渤海、南黄海、长江口邻近海域、东南沿海、北部湾等海域,不同类型的有害藻华现象突出。此外,长江口和珠江口邻近海域及黄海、渤海部分近岸海区底层水体缺氧(bottom hypoxia)问题逐渐显现,近海的亚健康和不健康海域面积不断增加,天然岸线不断缩减,珊瑚礁、红树林以及河口区等重要资源生物的生存生境丧失,东海、黄海、渤海等海域相继出现水母暴发(Jellyfish blooms)现象成为继有害藻华之后最大的海洋生态灾害。这些问题对沿海地区社会经济发展和近海生态系统健康构成了严重威胁,近海生态安全的形势十分严峻。上述问题与海洋有害藻华间有何联系和必然因果关系有待我们进一步确认和验证。

和赤潮现象相同,绿潮、褐潮和红潮都是“海洋癌症”的表现形式。纵观海洋有害藻华学的发展历程,可以看出海洋污染已给我们带来深刻教训,我们一定要从科学、技术和管理层面全方位着手,深入开展科学研究、发展防控技术、实施海洋综合管理,达到有效减少并最终解决海洋有害藻华的目的。《海洋有害藻华学》课程框架构建完整,课程内容完备充实,可供具有赤潮科学、海藻学、海藻培养和栽培学、海洋环境学、海洋生物学、海洋生态学和海洋生态修复学等专业知识和实践技能的教师使用,为解决威胁近海生态安全的海洋有害藻华及相关问题培养专业人才。

复习思考题

1. 名词解释：海洋有害藻华、海洋有害藻华学。
2. 全球海洋有害藻华包括哪些类型的海洋生态灾害？
3. 试述我国在海洋有害藻华学研究领域的专家及其研究方向、承担教学任务和科研成果与贡献。

第一篇 海洋微生物有害藻华学



本篇系统地介绍海洋微生物有害藻华学相关内容，引发有害藻华的微生物主要有微藻、原生动物和细菌等。目前来看，我国有害藻华有向微藻类有害藻华发展的趋势，研究方法和手段要求更高，对科学人员提出严峻挑战。