

国家攀登计划B类项目

海水增养殖生物优良种质
和抗病力的基础研究

⑦

海水养殖 生态环境的保护与改善

主编 李永祺



山东科学技术出版社

10990

国家攀登计划 B 类项目

海水增养殖生物优良种质和抗病力的基础研究

⑦

海水养殖生态环境的 保护与改善

主编 李永祺

山东科学技术出版社

国家攀登计划 B 类项目

海水增养殖生物优良种质和抗病力的基础研究

⑦

海水养殖生态环境的保护与改善

主编 李永祺

*

山东科学技术出版社出版

(济南市玉函路 16 号 邮编 250002)

山东科学技术出版社发行

(济南市玉函路 16 号 电话 2064651)

山东新华印刷厂德州厂印刷

*

787mm×1092mm 1/16 开本 17.5 印张 4 插页 376 千字

1999 年 10 月第 1 版 1999 年 10 月第 1 次印刷

印数: 1—1000

ISBN 7-5331-2513-4
Q·29 定价 46.00 元

山东省泰山科技专著出版基金会

名誉会长 赵志浩 宋木文 陆懋曾 伍 杰

卢鸣谷 董凤基 宋法棠

会 长 陈光林 石洪印

副 会 长 宋桂植 何宗贵 吕可英 车吉心

孙肇琨 王为珍 (常务副会长)

秘 书 长 王为珍 (兼)

副秘书长 尹兆长

理 事 (以姓氏笔画为序)

王为珍 王凤起 尹兆长 刘韶明

李道生 李德泉 张传礼 陈 刚

蒋玉凤

评审委员会 (以姓氏笔画为序)

王思敬 卢良恕 师昌绪 吴阶平

杨 乐 何祚庥 汪成为 高景德

唐敖庆 蔡景峰 戴念慈

2007

国家攀登计划 B 类项目

海水增养殖生物优良种质和抗病力的基础研究

总主编 曾呈奎

总编委 (以姓氏笔画为序)

尤芳湖 何宗贵 李永祺 吴宝铃 张培军
杨丛海 相建海 曾呈奎 董昭和 管华诗

海水养殖生态环境的保护与改善

主 编 李永祺

副主编 邹景忠 李德尚

编 委 (按姓氏笔画为序)

丁美丽 汝少国 李永祺 李德尚 邹景忠
张志南 周名江 林荣根 董双林 唐学玺
殷 丽

我们的希望

进行现代化建设必须依靠科学技术。作为科学技术载体的专著，正肩负着这一伟大的历史使命。科技专著面向社会，广泛传播科学技术知识，培养专业人才，推动科学技术进步，对促进我国现代化建设具有重大意义。它所产生的巨大社会效益和潜在的经济效益是难以估量的。

基于这种使命感，自 1988 年起，山东科学技术出版社设“泰山科技专著出版基金”，成立科技专著评审委员会，在国内广泛征求科技专著，每年补贴出版一批经评选的科技著作。这一创举已在社会上引起了很大反响。

1992 年，在山东省委、省政府的支持下，在原“泰山科技专著出版基金”的基础上，由山东省出版总社、山东省科学技术委员会和山东科学技术出版社共同成立了“山东省泰山科技专著出版基金会”，并得到企业界的热情赞助，为资助学术专著的出版提供了更加可靠的保证。

但是，设基金补助科技专著出版毕竟是一件新生事物，也是出版事业的一项改革。它不仅需要在实践中不断总结经验，逐步予以完善；同时也更需要社会上有关方面的大力扶植，以及学术界和广大读者的热情支持。

我们希望，通过这一工作，高水平的科技专著能够及早问世，充分显示它们的价值，发挥科学技术作为生产力的作用，不断推动社会主义现代化建设的发展。愿基金会支持出版的著作如泰山一样，耸立于当代学术之林。

泰山科技专著评审委员会

1992 年 12 月

序

1998年,我国海水养殖生产的总产量已达到860万t,继续居世界各国之首。我为我国海水养殖业已取得的成就感到由衷的高兴。因为这不仅对于振兴沿海地区的经济具有十分重要的意义,而且也向世界表明,中国人民在中国共产党的正确领导下,不仅能养活自己,能吃饱,还能吃好!

但在成绩面前,作为一名老海洋生物科学工作者,我仍感到不满足。因为海水养殖的产量仍未赶上我国淡水养殖,尚落后几百万t。我国有300多万 km^2 的海域,面积比淡水水面大得多;海水养殖每年有望生产出二千万t的鱼、虾、贝和藻,为人民提供更多质优、味鲜的食品。问题在于在较长时间里,我们对海洋经济动植物的基础研究跟不上生产发展的需要。1993年我国人工养殖对虾大面积死亡,造成重大经济损失。生产上的问题,实际上是技术上的问题,说到底基础理论与产业发展不相适应的问题。这再次提醒我们,如不加大基础研究的力度,我国海水养殖业就难以持续、健康地发展。国家科委关注国民经济建设中面临的亟待解决的重大科学问题,1994年经论证正式批准山东省科委组织申报的“海水增养殖生物优良种质和抗病力的基础研究”项目,将其列入国家攀登计划B类项目予以支持,委托山东省科委组织管理,这表明国家对发展海水增养殖业的高度重视。

依据国家科委《国家基础研究重大关键项目管理暂行办法》确定的课题组组织原则,从发展我国海洋农牧化的根本需要和长远利益出发,针对我国海水增养殖业存在的突出薄弱环节,围绕种质、病害和生态环境中心问题,设立了7个课题:海水鱼类繁殖、发育和养殖生物学的研究,对虾繁殖和发育生物学的研究,贝类繁殖、变态及附着的有关生物学研究,经济海藻种质种苗生物学研究,增养殖动物的种群和细胞遗传学研究,养殖虾、贝致病机理和病害防治研究,增养殖生态环境的保护与改善研究等。在每个课题下各设立3个专题。组织中国科学院海洋研究所、青岛海洋大学、中国水产科学院黄海水产研究所、国家海洋局第一海洋研究所等4个中央驻鲁单位的优势力量联合开展研究。

5年来,由于各单位领导的大力支持,全体研究人员按照既定目标和计划,齐心协力,力争有所发现,有所创新,因而取得了一批在国际上达到领先或先进水平的研究成果,培养了一批中青年学术带头人,积累了项目管理的丰富经验。研究成果突出表现在以下几个方面:

1. 查明了黑鲷、牙鲆、欧氏六线鱼等鱼类性腺发育过程的形态变化,发现了促进牙鲆性腺发育和成熟的理化因子,以及诱导黑鲷提前性转换的试剂;摸清了盐度、光照、温度和 pH 值等环境因子对真鲷、牙鲆胚胎发育的影响,提出了 Ca^{2+} 在牙鲆精子活动中的作用新假说;通过对鱼胚胎不同发育时期蛋白质成分和含量变化的分析,表明核基因活动的启动以原肠作用开始,新的蛋白质开始合成并进而参加细胞分化过程;查明了真鲷和牙鲆的仔、稚、幼鱼的能量代谢基本特征,掌握了在苗种培育过程中对饲料、温度、促生长剂、密度等的基本要求,为鱼类苗种培育提供了科学的依据。

2. 测定类固醇激素、甲基法泥酯等在对虾组织中的分布及变化,查明了几种常用激素对性腺发育的影响,填补了国内对虾内分泌研究的空白;首次对中国对虾促雄线进行了外部形态和内部结构的研究,表明它对中国对虾雄性外部特征的发育起着重要作用;对中国对虾产卵行为进行了详细观察,发现亲虾心率变化可以准确预报对虾产卵的时间;仔细地观察了对虾精子入卵前的形态变化及胚胎发育全过程,并进行了录像,对胚胎发育的形态学和细胞化学进行了详细观察分析,首次观察到中肠管的形成和胚孔的变化;详细地测定了对虾幼体发育不同阶段对蛋白质、脂肪酸、磷、维生素等的需求,为对虾育苗生产提供了科学依据。

3. 测定了海湾扇贝性腺发育在青岛地区的生物学零度和产卵的有效积温,详细地观察了多种贝类精子和卵子的超微结构,初步建立了鲍的卵黄膜分析模型,研制了贝类卵子去膜剂,为贝类遗传育种提供了关键技术。对从国外引进的墨西哥湾扇贝的发育生物学、生态学进行了全面研究,并将所得结果成功地用于指导广西、海南的该种贝的工厂化育苗生产;成功地得到了泥蚶和毛蚶的杂交稚贝,将泥蚶发育生物学研究成果运用于山东胶南市泥蚶苗种生产,培育出了数千万稚贝;皱纹盘鲍幼虫附着、变态诱导剂的研究,填补了国内的空白。

4. 在国际上首次建立了海带遗传转化模式,并在实验室成功培育出转(蛋白)基因海带,申请了国家发明专利,并在此基础上,进一步优化了海带遗传转化模型中的基因枪转化参数,克隆藻类病毒启动子,构建藻类自身载体,获得海上养成转 CATHBs 基因(乙肝病毒表面抗原基因)孤雌海带,DNA 与蛋白质检测显示外源基因得到整合与表达;利用单克隆技术选育出 2 个优良的裙带菜品系,在山东荣成市海带育苗场进行中试,培育出了 300 个健壮的苗帘,约可供 13hm^2 海面养殖用;建成了紫菜细胞种质库,收集、分离和保存的紫菜丝状体细胞品系有 20 种、120 个品系。1998 年紫菜良种导入生产 400hm^2 ,取得了明显的增产效果,并申请了 3 项国家专利;开展了龙须菜分子

遗传学研究,通过诱变得到了青岛产龙须菜 8 株色素突变体,并运用现代分子生物学技术探讨了龙须菜和江蓠的系统发生。

5. 查清了 41 种海洋经济动物的染色体和核型,发现斑头鱼有性染色体,纠正了国外学者对鹰爪虾的染色体和核型观察的错误;利用细胞流式计等技术对对虾染色体的倍性进行检测,为海洋生物 863 重大项目多倍体育种育苗的立项和顺利实施奠定了基础;鱼类生化遗传研究已达到国际同类研究水平,在同工酶、核 DNA 不同水平上,确立了适合我国国情的检测遗传差异的技术体系,为尽早建立我国海洋动物种质资源的背景开了好头;首次采用 RAPD 等新技术,对引进扇贝和对虾放流增殖的遗传后效进行了评估,找出了区分某些鱼类的分子标记;与上海生物化学研究所合作,开始对中国对虾、中华绒螯虾 DNA 测序,初步获得了转基因的中国对虾幼体。

6. 查明了造成我国对虾暴发性流行病的病原体是“对虾皮下及造血组织坏死杆状病毒(HHNBV)”,并用人工培养的对虾细胞分离和体外繁殖该病毒获得成功,研制的对虾细胞专用培养基解决了对虾病毒学研究的关键技术问题;对胶东半岛发病的扇贝、鲍进行了大量调查,首次发现、分离了衣原体样生物、原核生物以及几种新的病毒,并对衣原体样生物对栉孔扇贝的致病过程进行了观察和分析;同时对对虾、扇贝、鲍的免疫机能和抗病力开展了深入研究,研制出增强虾、贝免疫机能的饵料和药物。

7. 建立了几种有毒赤潮生物的室内培养、分子生物学测定和赤潮毒素的分析测定技术,对主要有毒赤潮生物与水体富营养化的关系研究取得了突破性进展,开拓了海洋细菌与赤潮藻类相互作用的研究新领域;实验结果表明,有机污染和氨氮增加了对虾对病原体的易感性,也能激活虾体内潜伏的病原体,诱发病害发生,并对其机理进行了探讨,提出了改善环境的生物措施;比较了藻、贝、虾和鱼对有机磷农药的敏感性差异,首次用自由基学说探讨了有机磷农药对海洋生物伤害的机理,发现对虾幼体对某些农药的抗性大于成体,并全面、系统地观察了久效磷农药对对虾各组织细胞超微结构的影响;基本摸清了虾病暴发前后虾池生态系基本要素的变动规律,在能流和物流分析的基础上建立了虾池生态系统框图和数模;对对虾封闭式综合养殖的种类结构优化、生物能量学、氮和磷的利用率等进行了深入研究,提出了最佳综合养殖模式,初步建立了各结构优化系统的能流分析数模。

上述研究成果已陆续撰写成几百篇论文在学术会议上交流、在国内外学术刊物上发表,并得到了好评,不仅对我国当前海水增养殖生产起了指导作用,为我国海洋 863、海洋生物技术的立项和实施奠定了基础,而且扩大了在国际学术界的影响。为满足沿海有关部门生产、科研和教学人员的需要,我们

决定按课题的研究成果编写出版系列专著共 7 卷。

尽管我们取得了上述研究成果,但由于海洋增殖生物的多样性、海洋生态系统的复杂性、海洋环境的多变性,已取得的成绩还仅仅只能说是好的开头,生产中已有的问题我们还未完全了解,新的问题也将不断出现。可喜的是国家和各级领导已给予了高度的关注,而且通过本项目的实施,一大批中青年科研人员已成长为学术带头人、骨干。

非常感谢国家科技部、山东省科委、各承担单位领导和所有研究人员;感谢李永祺、相建海同志和项目专家委员会、项目办公室全体同志;特别要感谢山东科学技术出版社为保证系列专著出版质量所付出的辛勤劳动!

项目首席科学家

曾呈奎

1999 年 8 月于青岛

前 言

1993年,国家攀登计划B类项目“海水增养殖生物优良种质和抗病力的基础研究”申请时,确定研究的重点是种质和抗病力,生态环境问题虽也重视,但没有作为重点来考虑。1994年春,在参加国家科委攀登计划B类项目申请答辩之前,中国科学院在北京组织科学院申报的或牵头的项目进行预答辩。与会专家、院士一方面对由山东省科委组织申报的此项目给予了充分的肯定,但同时又尖锐地提出,在联合国环发大会之后,设计海水增养殖可持续发展的重大项目时,没有把环境与发展紧密结合起来考虑,没有将环境问题列为重点,不能说不是个严重的缺陷。本项目首席科学家曾呈奎院士和山东省科委负责同志虚心听取专家的意见,立即组织认真讨论,并决定将本项目的研究重点改为种质、抗病力和生态环境。

20世纪80年代末,我国台湾省养殖对虾因病害导致生产大滑坡,亚洲不少国家因海水养殖生态环境恶化使养殖生产受到重大损失。我国自1993年以来先后发生养殖对虾大面积死亡以及养殖贝类、鱼类在局部地区严重死亡的事实,都一再提醒我们,海水增养殖业持续、健康的发展,必须高度重视保护海洋环境,维护海洋生态系统的健康。为此,联合国有关机构近些年也从不同的角度,陆续出版了一些维护海洋生态环境的指导性研究报告。比如,联合国粮农组织(FAO)1996年发表了渔业技术报告353号“Living marine resources and their sustainable development—some environmental and institutional perspective”;联合国海洋环境保护科学问题专家组(GESAMP)1996年发表了第57号研究报告“Monitoring the ecological effects of coastal agriculture wastes”等等。

为了加强对增养殖生态环境的研究,除了在各有关课题安排一些环境方面的研究内容外,还单列“海水增养殖生态环境的保护与改善”课题(编号为PDB6-7),要求紧紧围绕当前海水养殖业中与生态环境有关的主要问题进行研究。按计划要求本课题“主要研究有机污染、有机磷农药、有害藻类大量繁殖和生态环境胁迫对养殖虾、贝的效应和病害的诱发作用,探讨养殖动物大批死亡的原因,找寻改善和恢复海水养殖生态环境的措施和途径。”

课题按研究内容又有机分解成3个专题,即:“有机污染及环境胁迫对虾、贝影响的生物学基础研究”(编号为PDB6-7-1),由青岛海洋大学李永祺教授和唐学玺教授负责;“污染诱发养殖动物病害、赤潮及危害机理的研究”(编号为PDB6-7-2),由中国科学院海洋研究所邹景忠研究员和丁美丽研究员负责;“虾池生态系及其结构与功能的优化”(编号为PDB6-7-3),由青岛海洋大学李德尚教授和张志南教授负责。

5年来,在国家科技部、山东省科委、项目专家委员会的领导和大力支持下,由于各承担单位领导的关怀,参加本课题的数十名研究人员团结协作、积极努力,研究工作取得了较大的进展,圆满地完成和超额完成了既定的研究任务,获得了一批重要的研究

成果,培养了约 50 名硕士、博士和博士后,完成了百余篇的研究论文。在研究过程中,提出了一些新的思路,成功地运用了一些新的研究方法和手段。在有机磷农药对海洋微藻的伤害和“兴奋”的机理以及有机磷农药对中国对虾伤害的超微结构观察、对虾幼体不同发育阶段对农药的敏感性分析方面,在有机污染和残饵与对虾病害的关系、诱发病害的机理方面,在主要有害赤潮生物的生物学、生理学、生态学及赤潮发生与水体富营养化的关系、赤潮藻毒素及其危害机理和防治技术方面,在对虾养殖池的生态系统的结构和功能、物流与能流、系统分析和建立数学模型等方面,均取得了突破性的进展。而通过池塘陆基围隔法的深入研究,从理论和生产实践证明了对虾与鱼、贝的封闭综合养殖是池塘养殖摆脱困境的一条可持续发展的途径,对我国沿海池塘养殖生产具有重要的指导意义。

本书按专题编排的顺序,对主要研究成果进行了全面的总结。各章的主要执笔人和参加工作人员分别是:第一章,有机磷农药对海洋微藻的毒性和自由基伤害机理探讨,青岛海洋大学唐学玺教授、李永祺教授,参加工作的还有:邹立、徐家英、李春燕等;第二章,有机磷农药对海洋动物的毒性效应,青岛海洋大学汝少国副教授、李永祺教授,参加工作的还有:王梅林、童家明、姜明、白洁、刘晓云、董树岗、魏建功;第三章,有机污染与对虾病害,中国科学院海洋研究所丁美丽研究员,参加工作的还有:孙舰军、林林、朱谨钊等;第四章,养殖水体富营养化和有害赤潮,中国科学院海洋研究所邹景忠研究员、周名江研究员、林荣根研究员、颜天副研究员、孙晓霞博士和霍文毅博士等,参加工作的还有:吴玉霖、俞志明、宋秀贤、张诚、秦晓明、周成旭、傅萌、于仁诚、李钧、张永山、张波等;第五章,虾池生态系的结构与功能,青岛海洋大学张志南教授、于子山副教授和翟雪梅博士,参加工作的还有:王诗红、刘光兴等;第六章,对虾与鱼、贝类的封闭式综合养殖,青岛海洋大学李德尚教授、董双林教授、田相利博士、王吉桥博士,参加工作的还有:张硕、雷思佳、王芳、徐宁、齐振雄、刘国才等。本书是我们课题组 5 年来研究成果的总结,期望对保护和改善海水增养殖生态环境,对指导海水养殖生产,促进养殖业与环境的协调、健康发展能起积极的推动作用。多年来的研究工作使我们深深地认识到,海水增养殖生态环境是复杂、多变的,随着海水养殖业的发展,已有的问题尚未完全认识和解决,新的问题又将大量的涌现。在知识经济初见端倪的时代,为了保护和改善海水增养殖生态环境,持续发展海水增养殖业,让我们大家共同努力,为之奋斗!书中不当之处,恳请大家批评指正。

最后,我们衷心感谢曾呈奎院士,感谢国家科技部基础司、山东省科委、青岛海洋大学、中国科学院海洋研究所的领导,以及海阳市、文登市、威海市国家攀登计划 B 类项目实验基地和参加本课题研究工作的所有同志几年来对本课题的关怀、支持和无私的帮助!

作者

1999.8



李永祺 青岛海洋大学教授、博士生导师，历任系主任、院长等职。1960年起从事海洋环境生态教学和研究，率先开设海洋放射生态学、海洋污染生物学课程，培养硕士、博士20多名。进行海洋污染对生物影响、养殖生态环境改善、海洋自然保护区建设等30多项科研。任中国大百科全书海洋环境分支学科副主编、国家攀登计划B类项目“海水增养殖生物优良种质和抗病力的基础研究”第一副主持人，开辟了有机磷农药对海洋生物效应研究新领域。撰写《海洋放射性污染》、《海洋污染生物学》等多部著作，发表论文60多篇，曾获部级科技进步二、三等奖3次。曾任国际地圈、生物圈中国全国委员会委员，现为中国海洋学会理事，国家教育部、农业部和海洋局有关生态环境、水产养殖重点实验室学术委员，《海洋水产研究》期刊副主编等。

目 录

第一章 有机磷农药对海洋微藻的毒性和自由基伤害机理探讨	1
第一节 研究目的及概况.....	1
第二节 有机磷农药对海洋微藻的毒性效应.....	3
第三节 有机磷农药对海洋微藻的“兴奋效应”.....	9
第四节 QSAR 在有机磷农药水生毒理学应用中的探索.....	12
第五节 有机磷农药对海洋微藻的毒性机理.....	18
第六节 自由基对纹藤壶的毒性效应.....	23
第二章 有机磷农药对海洋动物的毒性效应	26
第一节 研究目的与概况.....	26
第二节 有机磷农药对对虾的毒性.....	27
第三节 有机磷农药对贝类的毒性.....	32
第四节 久效磷对中国对虾细胞超微结构的影响.....	36
第五节 久效磷对鱼类的毒性.....	52
第三章 有机污染与对虾病害	61
第一节 研究目的与概况.....	61
第二节 虾池自身污染对养殖环境的影响.....	62
第三节 虾池自身污染诱发对虾疾病.....	64
第四节 氨氮与对虾发病关系.....	67
第五节 虾池有机污染的防治.....	70
第四章 养殖水体富营养化和有害赤潮	74
第一节 研究目的与概况.....	74
第二节 养殖水体富营养化及效应.....	78
第三节 养殖水体有害赤潮成因及机理.....	87
第四节 赤潮藻毒素及危害机理.....	113
第五节 养殖水体有害赤潮的防治机理.....	126
第五章 虾池生态系的结构与功能	132
第一节 研究目的及概况.....	132
第二节 虾池生态系的理化环境.....	134
第三节 虾池生态系的生物环境.....	139
第四节 虾池的实验生态学.....	166
第五节 日本刺沙蚕大规模移植的生态学.....	180
第六章 对虾与鱼、贝类的封闭式综合养殖	194

第一节	封闭式综合养殖的意义·····	194
第二节	综合养殖种类的养殖生物学·····	197
第三节	综合养殖系统的结构优化·····	210
第四节	几种封闭式综合养殖系统的生产力和负荷力·····	221
第五节	封闭式综合养殖系统的生态学特性·····	225
第六节	几种封闭式综合养殖系统的养殖效益·····	239
第七节	存在的问题及发展前景·····	244
参考文献	·····	247

第一章 有机磷农药对海洋微藻的毒性和自由基伤害机理探讨

第一节 研究目的及概况

一、研究的目的

至今,有关有机磷农药对昆虫等动物的致毒及其机理在国内外已有不少研究报道。许多学者认为,有机磷农药对动物的致毒效应主要是对其神经系统,尤其是乙酰胆碱酯酶(AchE)活性的抑制作用,从而导致神经传导的阻断、生物体的伤害乃至死亡。

海洋微藻是有机磷农药的非目标生物,缺少动物体的神经系统及乙酰胆碱酯酶。因此,与动物体相比,有机磷农药对其致毒机理会有显著的差异。为此,我们的工作主要是选用在农林业生产上最为广泛和大量使用的久效磷为代表,研究其对海洋初级生产者,尤其是对水产养殖中经常使用的几种单细胞藻的毒性效应,探讨其毒性作用的机理,充实和发展我国海洋环境生物学,并为保护海洋环境,促进海水养殖业健康、持续发展尽力。

环境污染及环境保护是当今人类面临和共同关心的一个问题。随着现代技术的日益发展和人类活动范围的不断扩大,对环境造成的污染以及由此引发的一系列不良后果愈来愈严重。因此,这就给环境科学研究者赋予了更为艰巨的任务和更高的要求。

目前,在近岸水域,有机磷农药是最受关注的污染物之一。这是因为有机氯农药进入环境后残留期长、不易降解且生物对其又有很高的浓缩和富集能力,所以从20世纪70年代起西方国家陆续在国内禁用,我国则于1983年起停止生产;而有机磷农药以其毒效大、易分解、残留期较短的特点,在农林业生产上取代了有机氯农药。到20世纪90年代中期,我国已有1000多个农药生产厂家,能生产500多种制剂,约2300种产品,年产量约25万t,可加工成药70万t。据报道,美国1994年农药的使用量达到最高水平,用于农作物和其他方面杀虫剂的活性成分达每年5.44亿kg,1995年用于杀虫剂的开支达104亿美元。但是,由于害虫抗药性的逐年提高,新合成农药的种类和使用量越来越大。例如,黄河三角洲产棉区为了治虫,在棉花生长时间喷施久效磷等农药竟多达30遍之多。其次,农药的使用时间多集中于雨水较多的夏季,一场大雨往往将喷施于农田的大部分农药冲刷入海,加之沿海农药厂的排污,使沿海近岸水域面临着有机磷农药的威胁。由于海洋生物大多对有机磷农药很敏感,因而近10年来,每到夏季近岸水域因有机磷农药污染导致的大批鱼、虾、贝死亡事故不断,给生物资源和水产养殖业造成严重损害。

浮游植物是海洋的主要初级生产者,它不仅肩负着将光能转化为化学能、将无机物合成有机物、驱动着整个生态系统的能流和物流、直接和间接地养育着几亿t的海洋动

物的重任, 而且对调节全球气候的变化起着目前我们还难以用数字准确估量的作用。迄今, 有关重金属、石油及其炼制品、有机氯农药、放射性和有机污染物对海洋单细胞藻的致毒作用已有大量的研究报告(李永祺等, 1991), 但有关有机磷农药的研究报道却很少(陈碧鹃等, 1993)。有机磷农药对海洋单细胞藻的致毒机理, 我们还没有查到有关资料。

大多数学者认为, 有机磷农药对昆虫、淡水鱼类和哺乳动物的致毒机理主要在于抑制和使乙酰胆碱酯酶失活, 从而导致神经系统的紊乱和伤害(张宗炳等, 1993)。单细胞藻没有神经系统, 有机磷农药对其伤害机理应当有别于动物。研究有机磷农药对海洋单细胞藻的致毒及其作用机理, 显然对于发展我国海洋环境科学、保护和促进我国海水养殖业健康、持续发展有十分重要的意义。我们选择久效磷为有机磷农药的代表, 研究了其对海洋微藻的毒性效应、兴奋效应、毒性机理以及有机磷农药对海洋微藻毒性的构效关系, 并从自由基对纹滕壶的毒性效应, 证实了自由基伤害理论的普遍适用性。

二、有机磷农药对海洋微藻毒性效应的研究简况

有机磷农药对浮游植物影响的报道很少, 目前研究表明: 有机磷农药可改变浮游植物的种群结构, 抑制海洋微藻的生长与繁殖; 在某些有机磷农药(如灭杀毙、对硫磷)作用下, 海洋微藻细胞内一些大分子物质(如蛋白质、核酸和糖)的含量发生变化。另外, 据报道, 有机磷农药还可引起海洋微藻叶绿素的降解、抑制光合作用等。Wong 等(1988)报道, 有机磷农药对衣藻生长繁殖有很强的抑制作用, 有机磷农药的加入不但引起叶绿素 a 的降解、光合速度的下降, 而且抑制叶绿素 a 的合成。氧化乐果同样对小球藻和三角褐指藻有很高的毒性(Oya 等, 1994), 在其胁迫下, 2 种单细胞藻的生长速度大幅度降低。Tandon 等(1988)的工作证明, 马拉硫磷对蓝绿藻核酸和蛋白质的合成有抑制作用, 并可引起光合色素的降解及光合速度的降低。

三、“生物自由基伤害学说”的提出

长期以来人们试图弄清病理情况下, 机体损伤的机理, 虽提出了一些假说, 但均缺乏有力的证据。直到 20 世纪 60 年代末, McCord 等(1969)首次在牛血红细胞中发现了超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD), 在研究其生物学作用后, Fridovich 提出了超氧阴离子自由基(O_2^-)毒性学说, 认为: 所有需氧生物体内均可产生 O_2^- , O_2^- 可损伤重要的生物大分子, 造成机体损伤。需氧生物的 SOD 可清除 O_2^- , 而不需氧或厌氧生物体内缺乏 SOD, 故不需氧或厌氧的生物在有氧的环境中不能抵御 O_2^- 的毒害, 以致不能生存。该学说提出后, 许多实验结果均支持这一观点, 并在生物学及医学领域得到广泛的应用(Ester, 1982; Pauls 等, 1980)。

McCord 等(1969)提出的生物自由基伤害学说, 已广泛用于植物的抗逆生理及逆境胁迫下植物细胞伤害机理的研究(Rabinowitch 等, 1980; Tanaka 等, 1980)。自由基是游离存在的、带有不成对电子的分子、原子和离子, 其化学性质很活泼。在植物体内它们虽不断在产生, 但也不不断地被消除。在正常生理状态下, 处于产生与消除动态平衡下的自由基浓度是极低的, 它不仅不会损伤机体, 而且还可显示其独特的生理作用。