

中华人民共和国海事局“十四五”人才发展规划重点教材出版项目  
高等学校交通运输类专业教学指导委员会航海技术教学指导分委员会推荐教学参考书  
海事管理核心教材

# 船舶生物安全管理

BIOSAFETY MANAGEMENT OF SHIPS

中华人民共和国海事局 组织编写



人民交通出版社股份有限公司

北京

## 内 容 提 要

本书共分为7章,首先对生物安全这一大概念进行了总体介绍,由此引出生物安全概念下的生物入侵问题,并围绕船舶造成的生物入侵问题展开论述。船舶作为一种运输工具,其生物安全的风险主要体现在其全球航行过程中,通过携带和转移外来生物而造成全球范围内的生物入侵问题。本书重点介绍了船舶压载水、沉积物和船舶生物污损携带有害水生物和病原体转移的方式和危害,以及如何管理此类风险。

本书可作为高等教育中海事管理工程专业及相关专业的教材,也可供从事海事环境保护执法和科研工作的人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

船舶生物安全管理/中华人民共和国海事局组织编写. —北京:人民交通出版社股份有限公司,2023.1

ISBN 978-7-114-18586-1

I. ①船… II. ①中… III. ①船舶运输—污染防治  
IV. ①X736.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第257095号

Chuanbo Shengwu Anquan Guanli

书 名: 船舶生物安全管理

著 作 者: 中华人民共和国海事局

责任编辑: 黄蕊

责任校对: 赵媛媛 龙雪

责任印制: 张凯

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.chinasybook.com>

销售电话: (010)64981400,59757915

总 经 销: 北京交实文化发展有限公司

印 刷: 北京印匠彩色印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 12.75

字 数: 304千

版 次: 2023年2月 第1版

印 次: 2023年2月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-18586-1

定 价: 56.00元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)

# 海事管理核心教材

## 编委会成员

主任委员:李国平 曹德胜

(以下按姓氏笔画为序)

副主任委员:马一意 王泽龙 朱汝明 庄则平 刘 晴 许 骐  
阮瑞文 孙玉清 孙有恒 寿 涛 李宏印 李信标  
李雪松 李清彪 杨宗凯 杨新宅 吴 辉 何易培  
汪志军 张 浩 张铁军 陆 靖 洪四雄 袁宗祥  
聂乾震 柴进柱 徐 春 徐增福 黄军根 韩 敏  
曾 晖 谢群威 缪昌文

委员:于洪亮 王 东 王 勇 王 路 王发洲 邓 民  
邓祝森 白宇明 宁 波 曲义江 朱可欣 朱仕武  
刘少清 羊少刚 许吉翔 孙大斌 李大泽 李文华  
李宏兵 杨 川 宋 巍 宋永强 张庆文 陆立明  
陈德丽 季 军 周春发 赵友涛 施 欣 徐斌胜  
梁永铭 彭晓华 董乐义 谢 辉 谢开运 鲍郁峰

学术顾问:严新平

编 审 组:王 平 邓祝森 曲义江 刘敬贤 羊少刚 李光辉  
李宏兵 杨 哲 杨神化 吴 蔚 吴红兵 宋永强  
张 亮 张 涛 张秋荣 季 军 桓兆平 徐 伟  
章文俊

协调联络组:王 鹤 王亚豪 计莹峰 邓 鉉 卢顺雄 朱可欣  
刘 奕 李彦辉 杨利超 张俊峰 张海平 陈在长  
林泊舟 周文斌 赵 鑫 秦雪春 黄 蕊 梁 盈  
潘江华

## 本书编写人员

主 编:张 波  
副 主 编:邓 民 白宇明 班宗生  
参 编:项丽媛 施 悦 郑 立 徐金祥 彭士涛 李 涛  
刘 杰 王慧芳 支霞辉 王汝岩 郑旭然 周传贺  
李 生 陈康群 郑 洲 韩阳春 刘连坤 徐凤麒  
倪吉林 张 乐 鲁 正 文嘉鹏 田 雯 翟绍兵



我国是全球海运连接度最高、货物贸易额最大的经济体,进出口贸易量90%左右通过水上交通运输实现,水上航线已经成为国家经济发展的“生命线”。改革开放以后,特别是党的十八大以来,我国日益成为世界上具有重要影响力的航运大国,港口布局及规模、航道等级及里程、船舶船员数量、海运运力已居世界前列,正朝着交通强国、海洋强国、航运强国迈进。习近平总书记高度重视航运事业,提出了“经济强国必定是海洋强国、航运强国”<sup>①</sup>“经济要发展,国家要强大,交通特别是海运首先要强起来”<sup>②</sup>等一系列重要论断,把对航运事业与经济社会发展的规律性认识提升到了一个全新的高度。航运在经济全球化中的地位不可撼动、不可替代。

国家海事管理机构肩负着保障水上交通安全、保护水域环境清洁、保护船员整体权益、维护国家海上主权和人民利益的重要职责,是我国水上的主要行政执法力量,也是目前我国水上规模最大的水上经济类执法机构。根据党中央、国务院统一部署,在建设以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新征程中,国家海事管理机构高度重视交通海事事业高质量发展的要求,研究提出并推动构建“陆海空天”一体化水上交通运输安全保障体系,遵循新时代的发展要求,着眼于交通海事事业发展长远规划,以教育部本科专业设置标准为基础,通过与行业高校紧密合作,充分运用政校协同育人机制,组织编写了本套“海事管理”专业核心教材。本套核心教材编写过程中,充分听取了行业内外、系统上下各方意见,开启了政、产、学、研、用联合编写教材的新模式。

教材建设工作是行业人才发展和高等学校人才培养的一项基础性工作,也是提高教育教学质量、实现人才培养目标的重要保证。本套核心教材以习近平新时代中国特色社会主义思想

<sup>①</sup> 习近平:坚定改革开放再出发信心和决心 加快提升城市能级和核心竞争力,载《人民日报》,2018年11月08日01版。

<sup>②</sup> 习近平:稳扎稳打勇于担当敢于创新善作善成 推动京津冀协同发展取得新的更大进展,载《人民日报》,2019年01月19日01版。

义思想为指引,围绕党的二十大提出的中国式现代化的中国特色和本质要求,紧扣《交通强国建设纲要》关于“人才队伍精良专业、创新奉献”的总体要求,遵循海事队伍“四化”建设方向,聚焦服务改革发展大局和完善人才培养体系,以铸魂育人作为工作主线,注重理论联系实际,强调系统谋划,力图构建核心突出、重点明确、特色鲜明、具有新时代交通海事精神的海事管理核心教材体系,系统阐述海事管理的基本理论、关键技术和核心业务以及发展趋势。

本套核心教材是彰显交通海事行业发展特色、深化海事管理专业内涵建设、聚焦海事管理专业人才培养、突出核心引领和辐射带动作用、定位航海与海事高校相关专业各学段“通识性教育”的教材。本套教材以海事“三保一维护”之使命为目标导向,全方位构建了“4+1”海事管理专业核心教材体系,共25本教材。其中,“4”指核心教材,对应了海事“三保一维护”的四个模块,即水上交通安全保障、水域环境保护、船员权益保护、水上国家主权维护等任务,由22本专业教材详加论述;“1”指四个模块共同指向一个总论,通过《海事管理概论》《海上交通安全法学》《海事海权论》3本教材统领各分支方向。

本套核心教材既可用于普通高校海事管理、航海技术、轮机工程、船舶电子工程、交通运输、法学(海商法方向)等相关专业的本科生教材,还可作为港口、航运、渔业、涉海工程等企业管理人员、海事管理执法人员以及社会科学、安全科学等研究人员的参考用书。

党的二十大指出“教育、科技、人才是全面建设社会主义现代化国家的基础性、战略性支撑”<sup>①</sup>。希望通过本套海事管理核心教材编写,能够对新形势下海事管理专业人才培养的理念、模式等进一步凝练、归纳、整合,更好地满足海事管理专业课程教学、人才培养需要,为加快建设交通强国,推进交通海事事业高质量发展,全面建设社会主义现代化国家贡献力量。

中国工程院院士

2022年11月

---

<sup>①</sup> 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告(2022年10月16日),载《人民日报》,2022年10月26日01版。

党的十八大以来,以习近平同志为核心的党中央以前所未有的力度抓生态文明建设,美丽中国建设迈出重大步伐,我国生态环境保护发生了历史性、转折性和全局性变化。党的二十大报告明确指出要“加强生物安全管理,防治外来物种侵害”。近年来,我国先后通过并实施了《中华人民共和国生物安全法》《外来入侵物种管理办法》等法律法规,在外来生物入侵监测预警、扩散阻截、应急处置、综合治理等方面开展了一系列卓有成效的工作。作为外来生物入侵的重要载体和通道,海洋及船舶携带的货物、人员,特别是船舶携带压载水、沉积物及生物污损造成的外来生物入侵问题已经引起国际社会的高度关注。为了解决这一全球性问题,国际海事组织于2004年颁布了第一部防控外来生物入侵的法律文件——《2004年国际船舶压载水和沉积物控制与管理公约》,此后各国纷纷采取有力措施,防控船舶压载水和沉积物携带的有害水生物进一步加速和扩大转移。此外,船舶生物污损带来的生物转移风险也进一步引发了国际社会关注,国际海事组织于2022年重新启动了《船舶生物污损规则》的修订工作。我国于2019年1月22日加入《2004年国际船舶压载水和沉积物控制与管理公约》,于同年出台了《船舶压载水及沉积物监督管理办法》,与此同时,我国也积极参与船舶生物污损全球治理工作。

通过对船舶这一载运工具的特点进行分析和梳理,我们发现船舶携带的货物、人员,特别是船舶操作所携带和产生的压载水、沉积物及生物污损带来的生物入侵风险点不仅数量巨大,且风险隐蔽,造成的危害类型也多种多样,因此,多年来国际社会都忽略这一生物安全风险隐患。基于本书的论述,船舶生物安全问题可以被定义为船舶由于在全球范围内快速转移,其货物和人员携带的有害生物及病原体,以及为船舶正常操作所加装、排放压载水、沉积物及产生的生物污损带来的有害水生物及病原体给全球人类健康、生态环境及社会安全带来的巨大威胁。由此产生的船舶生物安全管理的概念则基于对船舶生物安全风险的判断,通过政策和技术手段,对船舶本身施以措施,减少并最终消除这种威胁。考虑到船舶携带货物和人员的生物安全问题已经有对应的管理政策和技术手段,因此本书在总结国内外

最新理论和实践的基础上,重点对船舶压载水、沉积物和生物污损带来的生物安全风险进行了全面地梳理和分析,同时,对如何运用政策和管理工具来提升风险防控水平进行了详细介绍。

本套核心教材是彰显交通海事行业发展特色、深化海事管理专业学科建设、聚焦海事管理专业人才培养、突出核心引领和辐射带动作用、定位海事高校专业学科各学段“通识性教育”的教材。本书的出版得到了交通运输部海事局的大力支持,是贯彻落实习近平总书记提出的构建海洋命运共同体的倡议在海事管理领域的一次实践,在为航海院校海事管理专业提供一本专业的船舶生物安全管理教材的同时,也希望为相关从业人员关注船舶生物安全、研究船舶生物安全以及宣传船舶生物安全提供参考和支持。

本书由河北海事局张波任主编,由交通运输部海事局白宇明,河北海事局邓民、班宗生担任副主编,全书由张波统稿。其中,交通运输部海事局王汝岩、郑旭然、陈康群、周传贺编写了第一章,自然资源部第一研究所郑立、江阴海关徐金祥及韩阳春与南京海关田雯编写了第二章,河北海事局张波及项丽媛编写了第三章,哈尔滨工程大学施悦及鲁正编写了第四章,中国船级社上海规范研究所王慧芳与交通运输部规划院刘杰及支霞辉编写了与编写了第五章,交通运输部水运科学研究院李涛及文嘉鹏、交通运输部天津水运工程科学研究所彭士涛及刘连坤编写了第六章,独立专家徐凤麒、倪吉林及张乐编写了第七章,河北海事局项丽媛承担了本书编写的组织协调与校稿工作。

本书在编写过程中得到了高等学校交通运输类专业教学指导委员会航海技术教学指导分委员会、交通运输部海事局的鼎力支持,在此致以衷心的感谢。

由于时间仓促,编者水平所限,书中难免存在错误和疏漏,敬请读者批评指正。

作者  
2022年12月

第一章	生物安全管理概述	/ 1
第一节	生物安全基本概念	/ 1
第二节	生物入侵基本概念	/ 8
第三节	船舶与生物入侵	/ 13
第二章	船舶携带海洋外来生物入侵及其影响	/ 18
第一节	海洋生态及生物多样性	/ 18
第二节	船舶携带的海洋外来生物入侵机理	/ 27
第三节	船舶携带海洋外来生物的危害及案例分析	/ 38
第三章	船舶压载与操作	/ 46
第一节	船舶压载系统基本概念	/ 46
第二节	船舶的压载操作	/ 50
第三节	船舶压载水排放估算	/ 53
第四章	船舶压载水管理	/ 61
第一节	《压载水管理公约》概述	/ 61
第二节	公约框架下各方权利与义务	/ 74
第三节	其他国家的立法实践	/ 99
第五章	压载水处理、取样和分析技术	/ 107
第一节	压载水处理技术	/ 107
第二节	压载水取样技术	/ 122
第三节	压载水样品分析	/ 131
第六章	船舶生物污损	/ 146
第一节	船舶生物污损的定义和形成机理	/ 146

第二节	船舶生物污损的种类及危害	/	149
第三节	船舶生物污损防治规则发展情况	/	151
第四节	生物污损防污技术与清洁技术	/	157
第七章	船舶生物安全管理发展趋势	/	172
附录一	《国际压载水管理证书》格式	/	180
附录二	压载水记录簿格式	/	184
附录三	经认可的船舶压载水处理系统产品信息汇总	/	187

# 第一章 生物安全管理概述

生物安全这一概念自 20 世纪 70 年代提出以来,其内涵和外延不断扩展。现如今,生物安全涉及的危害形式主要有 8 大类,在这些危害中,又以生物入侵这一危害形式最为普遍和常见。简言之,生物入侵就是各类生物包括微生物和病原体,通过人类交流和物品转移等方式,被有意或无意地在全球范围内快速转移,由此导致被入侵地的生态环境、自然资源和人类健康受到威胁或危害。生物入侵的形式多种多样,其中大多数的生物转移渠道已经得到了有效管控,但船舶压载水、沉积物以及船舶船体附着的生物污损,由于其转移生物的方式非常隐蔽,其危害长期被人类所忽视,由此带来的各种危害至今仍在持续,因此,本章从生物安全这一大背景下引出生物入侵的危害及形式,以及船舶这一运输工具导致的生物安全问题。

## 第一节 生物安全基本概念

生物安全问题是随着重组 DNA 技术的诞生而出现的。1975 年,美国国立卫生研究院(National Institutes of Health, NIH)颁布了世界上首部专门针对生物安全的规范性文件——《NIH 实验室操作规则》,并在这个规则中率先提出了“生物安全”这一概念<sup>①</sup>。现如今,生物安全的内涵和外延都有了极大的扩展,本节重点介绍现今生物安全的基本概念、危害形态以及目前全球所面临的生物安全形势。

### 一、生物安全的定义

生物安全是指国家有效防范和应对危险生物因子及相关因素威胁,生物技术能够稳定健康发展,人民生命健康和生态系统相对处于没有危险和不受威胁的状态,生物领域具备维护国家安全和持续发展的能力。其中包括防控重大新发突发传染病、动植物疫情;生物技术研究、开发与应用;病原微生物实验室生物安全管理;人类遗传资源与生物资源安全管理;防范外来物种入侵与保护生物多样性;应对微生物耐药;防范生物恐怖袭击与防御生物武器威胁和其他与生物安全相关的活动。

<sup>①</sup> 王明远.“转基因生物安全”法律概念辨析[J].法学杂志,2008(01):79-81.

## 二、生物安全危害形态

生物安全危害形态包括传染病疫情、生物武器及生物恐怖主义、生物入侵、生物耐药性、转基因、实验室生物安全、生物技术谬用与滥用和遗传资源流失和剽窃。

### (一) 传染病疫情

一般来说,重大传染病疫情是由病原微生物的传播和扩散导致的。过去 20 多年间,全球传染病疫情持续蔓延,种类不断增加,范围不断扩大,人们较为熟知的传染病疫情包括严重急性呼吸综合征(Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus, SARS)、甲型 H1N1(血球凝集素(Hemagglutinin)第 1 型、神经氨酸酶(Neuraminidase)第 1 型)流感病毒、H7N9 型禽流感、中东呼吸综合征(Middle East Respiratory Syndrome, MERS)、登革热、埃博拉、寨卡和新型冠状病毒感染(Corona Virus Disease 2019, COVID-19)等。2003 年暴发的急性呼吸综合征传播至 30 多个国家和地区,全球累计报告临床诊断病例 8400 多例。埃博拉病毒于 1976 年 8 月 26 日首次于刚果(金)暴发,其部分病毒类型致死率高达 90%,此后多次在非洲地区暴发。其中最为典型的是 2019 年暴发的新型冠状病毒感染,截至 2022 年 9 月中旬,全球已经有 231 个国家和地区发现新型冠状病毒感染,几乎覆盖了全球每一个国家,造成 6 亿多人感染,累计死亡人数高达 600 多万人。

### (二) 生物武器

生物武器是以生物战剂杀伤有生力量和破坏动植物生长的各种武器和器材的总称。生物战剂包括立克次体、病毒、毒素、衣原体和真菌等。生物武器具有极强的致病性和传染性,能造成人畜受染发病,并且可以互相传染。受染面积广,大量使用时可达几百或几千平方公里。危害作用持久,如炭疽杆菌芽孢在适应条件下能存活数十年之久。带菌昆虫、动物在存活期间,均能使人、畜受染发病,对人、畜造成长期危害。但生物战剂受自然条件影响大,在使用上受到限制,日光、风雨、气温均可影响其存活时间和效力,采取周密的防护措施,能大大减少它的作用。

### (三) 生物恐怖主义

20 世纪 90 年代,基地组织将生物恐怖主义纳入其训练当中。2001 年 9 月 18 日,在美国发生了炭疽杆菌生物袭击事件,恐怖分子将含有炭疽杆菌的信件寄给美国数个新闻媒体办公室以及两名民主党参议员,直接导致 5 人死亡、17 人感染。2017 年召开的第 53 届慕尼黑安全会议上,美国微软公司创始人比尔·盖茨表示,下一场全球暴发的流行性疾病有可能是由计算机屏幕前的恐怖分子所策动<sup>①</sup>。英国伦敦国王学院生物防御专家菲利普·伦茨表示,军事实验室故意释放生物病菌可能是最大的生物恐怖威胁<sup>②</sup>。

<sup>①</sup> SELK A. Bill Gates: Bioterrorism Could Kill More than Nuclear War-But No One Is Ready to Deal with It. The Washington Post, February 18, 2017.

<sup>②</sup> HAWSER A. Biology as a Weapon [EB/OL]. (2016-09-15) [2023-01-11]. <https://www.defenceprocurementinternational.com/features/chemical-biological-radiological-and-nuclear/biology-as-a-weapon-feature-cbrn>.

#### (四) 生物入侵

生物入侵是生物由原生存地经自然或人为途径侵入到另一个新的环境,对入侵地的生物多样性、农林牧渔业生产以及人类健康造成经济损失或生态灾难的过程。截至目前,已有400多种外来物种“全面”入侵我国,在国际自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)公布的全球100种最具有威胁的外来生物中,入侵我国的物种有50余种,其中11种主要外来生物每年给我国造成的经济损失高达570亿元。我国已成为全球外来生物入侵灾害最严重的国家之一,近10年来,新入侵我国的外来生物至少有20余种,平均每年新增约2种,外来生物入侵呈现出传入数量增多、频率加快、蔓延范围扩大、发生危害加剧、经济损失加重的趋势。

#### (五) 微生物耐药性及转基因

联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)发布的《2017年前沿报告》指出,当微生物进化为抵抗抗生素的新菌种时,就产生了抗生素耐药性。据报道,因为现有的抗生素及抗感染药物不能有效杀死耐药性病原体,全球每年约有70万人死于耐药性细菌感染。

转基因植物技术始于20世纪70年代,最早进行转基因食品研究的国家是美国,始于20世纪80年代初。世界上第一例进入商品化生产的转基因食品是1994年投放美国市场的可延缓成熟的转基因番茄。进入21世纪以后,全世界转基因作物种植发展异常迅速,其中美国转基因作物种植比例最多,占74%;目前我国转基因作物种植比例不到1%。全球前五大转基因作物依次为大豆、玉米、棉花、油菜和马铃薯<sup>①</sup>。虽然转基因食物的安全性问题仍存争议,但部分转基因作物种植所引发的环境问题已经引起全球的广泛关注。

#### (六) 实验室生物安全

近年来,全球获得性感染事故频发,病原微生物泄漏情况屡见不鲜。今日美国网(USA-Today)从2014年开始调查了全美50个州超过200个高防护生物实验室,揭露了数百起意外事故。在过去10年里,法国约有100名从事朊病毒研究的科学家和技术人员至少发生了17起实验事故,其中一人在2019年6月因感染该病毒去世,年仅33岁。根据网络公开的信息,近年来全球生物实验室病原生物泄漏事故屡见不鲜,在造成巨大的经济损失和人员伤亡外,给社会带来的生物安全风险同样不容忽视。

#### (七) 生物技术滥用

生物技术滥用的危害具有多样性,例如不负责任或不受监管的基因操纵实验。此类实验会无意或有意地将人造生物、各类遗传修饰生物体向环境释放,给人类社会安全带来巨大的威胁。2018年,美国国防部委托美国科学院编写的《合成生物学时代的生物防御》强调,“通过生物学进步可导致几乎无限可能的恶意活动”<sup>②</sup>。随着人类科技的迅猛发展,以基因

① 陈娟. 我国转基因食品的发展前景分析[J]. 北京农业, 2012(03): 116.

② The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, “If Misused, Synthetic Biology Could Expand the Possibility of Creating New Weapons; DOD Should Continue to Monitor Advances in the Field. New Report Says,” June 19, 2018.

编辑技术为首的生物技术成果被误用和滥用的潜在风险不断升级。例如 2019 年我国发生的“基因编辑婴儿”事件中,3 名被告人被判处非法行医罪。

### (八) 遗传资源流失和剽窃

生物种质资源是国家重要的战略性资源,特别是人类遗传资源。围绕人类遗传资源的获取和使用,各国仍存在“明取暗夺”的现象。根据法国《世界报》报道,对 2014 至 2016 年非洲埃博拉疫情期间患者检测血液样品的流向情况调查表明,西方国家在这一领域存在大量的“血液外交”和生物剽窃现象<sup>①</sup>。为配合我国新生效的《中华人民共和国生物安全法》,2021 年 3 月 1 日实施的《中华人民共和国刑法修正案(十一)》新增了 3 类关于生物安全的罪名,即非法采集人类遗传资源、走私人类遗传资源材料罪,非法植入基因编辑、克隆胚胎罪,非法引进、释放、丢弃外来入侵物种罪。虽然联合国《名古屋议定书》定义了“与生物资源交换相关的获取和惠益分享义务”,但要切实打击生物资源剽窃的行为,还需要各个国家加强沟通与协作。

## 三、全球生物安全现状

认清当前时代背景下的全球生物安全形势,是推动全球生物安全治理的重要前提。在全球化的大背景下,各国在经济上互相依存、科学技术高速发展、人类活动正在更加深刻地影响人与自然的关系,全人类共同面临着重大的生物安全危机,包括传染病频繁暴发、生物技术“双刃”效应加速显现以及生态系统日趋脆弱<sup>②</sup>。

### (一) 重大传染病频繁暴发

在全球联结更加紧密的今天,各类致病微生物能够随着人与人、人与物之间的交流和互动而在人类社会及自然界之间进行高度融合和快速传播,带来各种传染性强、传播速度快和传播范围广的传染病<sup>③</sup>,给人类社会造成严重威胁。第一,传染病深刻影响着人类社会发展的进程。回顾人类历史,各类传染病跨物种、跨地区和跨文化传播,对人口数量、经济发展、社会稳定,乃至文明兴衰产生了至关重要的影响,是过去和现今全球生物安全威胁的主要来源。欧洲中世纪瘟疫造成数千万人死亡,1918 年西班牙大流感曾经造成全世界约 10 亿人感染,全世界死亡人数至少为 2500 万,仅仅这两次传染病造成的人员伤亡数量就远超 20 世纪两次世界大战。第二,此起彼伏的传染病威胁全球公共卫生安全秩序。进入 21 世纪以来,技术发展和资本扩张极大压缩了全球生命共同体存在的时空场域,放大了传染病造成的社会恐慌、经济损失和人员伤亡,进一步加大了重大传染病的防控难度。2009 年,甲型 H1N1 流感影响全球超过 200 个国家和地区。2014 年,沉寂多年、致死率极高的埃博拉病毒再次肆虐西非多国,此后还蔓延至欧美。2016 年,登革热蔓延全球,感染人数过亿,造成数万人死亡。第三,新型冠状病毒感染带来

① 王小理,周冬生. 面向 2035 年的国际生物安全形势[J]. 学习时报,2019:A2.

② 卢浪,徐能武. 人类命运共同体视域下的全球生物安全治理——现状分析、原因探究与路径选择[J]. 湘潭大学学报(哲学社会科学版),2022:115-120.

③ 关武祥,陈新文. 新发和烈性传染病的防控与生物安全[J]. 中国科学院院刊,2016(04):9.

全球生物安全危机,人类社会不确定性显著增加。2019年,突如其来的新型冠状病毒感染已经造成全球超过6亿确诊,超过600万人死亡,波及几乎全球所有国家和地区。新型冠状病毒感染不仅给人类健康带来严重威胁,也极大地改变了人们的生产、生活和思维方式,对全球经济和社会带来了难以估量的损失,对当今全球秩序造成了深刻的影响。

## (二) 生物技术“双刃”效应加速显现

随着科学技术的飞速进步,生物技术的两面性日益突显。19世纪诞生的细胞学说打开了人类认识生物的新大门,20世纪,DNA双螺旋结构的发现使得生物学研究迈入了分子时代,21世纪,借助各类高分辨率和高精度仪器,人类在生物技术领域更进一步,各种合成技术层出不穷。一方面,生物技术的发展与变革将颠覆性地改变科学研究、公共卫生、农业、能源和环境保护等领域,给人类社会带来巨大效益,影响全球科技、政治、经济格局,甚至深刻影响人类的发展进程。另一方面,随着科学技术与社会的关系发生重大范式转变,生物技术与变革伴随的伦理与安全、负外部性等问题日益凸显。回顾40来年的生物技术发展史,从试管婴儿到胚胎着床前诊断与筛选,从干细胞研究到克隆技术,从合成生物到基因编辑胚胎,诸多新兴生物技术的诞生与应用皆引起广泛且反复的社会关注和伦理争议。这些新兴生物技术的产生源于社会发展对于科技进步的巨大需求,同时也会对社会文化、伦理价值观等带来冲击,并推动相关规则的改变和制度的重新安排。重要的是,生物技术逐渐向网络化、开放化发展,业已成为跨越多个工业和科学的新兴技术领域,因而其带来的伦理风险在不同细分领域可能千差万别。

## (三) 生态系统日趋脆弱

人与自然关系的和谐以至人类社会的发展,从根本上依赖于能够自我调节的各类生态系统为人类社会提供各类产品(如粮食、能源和原材料等)和各种服务(如调节气候、水源涵养和水土保持等)。然而,随着科学技术的飞速发展,人类对自然界的认知和探索不断深入,人类活动轨迹从深海到极地,触及地球的每一寸土地,人类的开发活动对各种生态系统的影响达到前所未有的程度。自工业革命以来,人类活动有意无意间引发了一系列全球性生态失衡问题,破坏了生态系统的物质循环、能量流动和信息传递,降低了生态系统的自我调节和自我恢复能力。资源过度开发、环境破坏、土地荒漠化、生物多样性损失和气候变化等生态危机,不仅直接威胁着当代人的生存和发展,更深刻影响着人类社会及其后代的长远发展。生态问题是一个全球性的问题,单纯的生态学研究无法实现人与自然和谐共处。20世纪60年代,西方发达国家暴发的各种生态环境危机,引发了全球范围内生态保护研究的热潮,然而,这些研究无法从根本上改变生态系统日趋脆弱的现实,更无法阻止生态危机给人类社会带来日益严重威胁。

# 四、生物安全相关法律概况

## (一) 国际条约或准则

生物安全问题在国际上引起广泛关注是在20世纪80年代中期。在1985年,为了加强

对生物安全的管理,联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)、世界卫生组织(World Health Organization, WHO)、联合国工业组织(United Nations Industrial Development Organization, UNIDO)及联合国粮农组织(FAO)成立了一个非正式的“生物安全特别工作组”,开始关注生物安全问题。1992年,联合国环境与发展大会上签署了关于生物安全的一个最重要的全球性公约——《生物多样性公约》(Convention on Biological Diversity, CBD 公约)。该公约规定的内容大都与生物安全管理有关,旨在保护生物多样性、持续利用其组成部分以及公平合理分享由利用遗传资源而产生的惠益。《生物多样性公约》有两项补充协议,分别是《卡塔赫纳生物安全议定书》和《名古屋议定书》。《卡塔赫纳生物安全议定书》是一份为保护生物多样性和人类健康而控制和管理转基因生物越境转移、过境、装卸和使用的国际法律文件,于2000年1月29日通过,并于2003年9月11日生效。《名古屋议定书》于2010年10月29日在日本名古屋通过,并于2014年10月12日生效,其目标是公平和公正地分享利用遗传资源产生的惠益,从而促进生物多样性的保护和可持续利用。

此外,还有多个国际条约或准则都包含生物安全相关的内容。1983年,联合国粮农组织(FAO)通过了自愿性质的《植物遗传资源国际约定》,其宗旨是保障在当前或将来具有重要经济价值的植物遗传资源的探查、收集、保存、评价、利用和可得性。1991年,联合国粮农组织公布的《关于植物生物技术行为国际准则的草案》中明确了对转基因生物体处理和释放的安全准则和要求。2001年通过的《粮食和农业植物遗传资源国际条约》是国际社会为治理粮食和农业植物遗传资源的保护、可持续利用以及获取和惠益分享等活动而缔结的第一份具有法律约束力的多边条约,该条约自2004年6月29日起生效。1985年,国际经济与合作组织(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)发表了《关于重组DNA安全问题的蓝皮书》,将转基因生物体使用的安全性问题列入了大规模工业生产规范之中。1991年,联合国工业发展组织通过了自愿性质的《UNIDO 秘书长关于生物体环境释放行为的自愿性准则》。该准则适用于所有阶段上的转基因生物体的研究、开发、贸易、应用和处置,其重点是强调转基因生物体的环境影响及其风险评价,约束向环境引入转基因生物体的行为。1992年,在巴西里约热内卢召开的联合国环境与发展大会通过的重要文件——《21世纪议程》将环境保护与“更安全、更繁荣的未来”“安全的多边贸易制度”和“人类对安全稳定的自然环境的需求”等环境安全问题联系起来。该议程第16章“生物技术的环境无害化管理”专门就生物技术的环境无害化管理提出了意见。1995年,联合国环境规划署制定了《关于生物技术生物安全的国际技术准则》。该准则是在生物安全管理方面内容比较全面的一个国际文件,集中了现有的全球性、区域性和国家级生物安全管理法律文件中的共同的规定和原则。

## (二) 我国生物安全法律体系

为应对生物安全的威胁,自20世纪80年代以来,我国在生物安全领域初步搭建起包含法律、法规、规章、规范性文件等不同位阶构成的生物安全法律治理框架,主要包括以下方面。

### 1. 国家安全方面

主要包括《中华人民共和国国家安全法》(以下简称《国家安全法》)和《中华人民共和国

生物安全法》(以下简称《生物安全法》)。其中《国家安全法》首次以立法的形式明确了国家安全的法定内涵,除传统的国防安全和社会安全外,还包括经济安全、金融安全、文化安全、科技安全、粮食安全、网络安全、生态安全、资源能源安全和核安全等非传统安全问题。《生物安全法》是国家安全法律体系的重要组成部分,于2021年4月15日起正式施行,从法律层面防范和应对生物安全风险,保障人民生命健康,保护生物资源和生态环境,促进生物技术健康发展,推动构建人类命运共同体,实现人类与自然和谐共生。《生物安全法》的颁布实施,是我国国家治理体系和治理能力现代化进程中的一件大事,为我国防范生物安全风险和提高生物安全治理能力提供了坚实的法律支撑,标志着我国生物安全法律体系建设进入了新的发展阶段。此外,《中华人民共和国刑法》(简称《刑法》)与《生物安全法》也有条款衔接。2020年底,全国人大常委会通过的《中华人民共和国刑法修正案(十一)》,对违反《生物安全法》,构成犯罪的行为,增加了新的刑事犯罪的罪名和处罚条款。国家将动用刑事法律手段,对于严重违反生物安全管理要求的行为,构成犯罪的,将进行严厉的刑事惩治。

## 2. 人员的传染病防控

主要包括《中华人民共和国国境卫生检疫法》和《中华人民共和国传染病防治法》。为确保上述法律的顺利实施,国务院又先后制订了《中华人民共和国国境卫生检疫法实施细则》《中华人民共和国传染病防治法实施办法》等行政法规。

## 3. 动植物的疫病防控

主要包括《中华人民共和国动物防疫法》和《中华人民共和国进出境动植物检疫法》两部法律。国务院制定的行政法规有《中华人民共和国进出境动植物检疫法实施条例》,但尚未出台《中华人民共和国动物防疫法》配套的行政法规。在植物检疫方面,仅于1983年1月3日由国务院出台《植物检疫条例》一部行政法规,尚未制定法律。

## 4. 外来生物入侵防控

我国尚未制定针对外来入侵生物的专项法规或条例,主要由环保和检验检疫领域的法律法规组成,如《中华人民共和国环境保护法》第三十条:“引进外来物种以及研究、开发和利用生物技术,应当采取措施,防止对生物多样性的破坏”和《中华人民共和国海洋环境保护法》第二十五条:“引进海洋动植物物种,应当进行科学论证,避免对海洋生态系统造成危害”的相关规定。此外,我国陆续发布4批《中国自然生态系统外来入侵物种名单》,制定《国家重点管理外来入侵物种名录》,先后公布外来入侵物种共83种。组织开展国家级自然保护区外来入侵物种调查和生态影响评估,印发《外来物种环境风险评估技术导则》,查明重点外来入侵物种的扩散途径和方式,开展外来入侵物种的监测预警、防控灭除和监督管理。同时,加强外来物种口岸防控,严防境外动植物疫情疫病和外来物种传入。2021年,农业农村部、自然资源部、生态环境部等五部门联合发布《进一步加强外来物种入侵防控工作方案》,完善外来入侵物种防控制度,建立外来入侵物种防控部际协调机制,推动外来入侵生物联防联控。

## 5. 实验室生物安全管理

2003年非典疫情暴发,国家开始重视高等级生物实验室的安全管理,但未制定专项的法律,仅在《中华人民共和国传染病防治法》第二十二条规定:“疾病预防控制机构、医疗机构

的实验室和从事病原微生物实验的单位,应当符合国家规定的条件和技术标准,建立严格的监督管理制度,对传染病病原体样本按照规定的措施实行严格监督管理,严防传染病病原体的实验室感染和病原微生物的扩散。”该法条是对病原微生物实验室生物安全管理的原则性规定。关于实验室生物安全管理的最重要的两部行政法规是《病原微生物实验室生物安全管理条例》和《实验动物管理条例》。尤其是2004年国务院发布的《病原微生物实验室生物安全管理条例》,标志着我国的实验室生物安全管理开始全面走向法制化的道路,逐渐形成了对实验室生物安全进行法律规制的初步框架。

## 6. 生物技术安全管理

在生物技术安全管理方面,我国先后颁布实施《农业转基因生物安全管理条例》《农业转基因生物安全评价管理办法》《进出境转基因产品检验检疫管理办法》等行政法规,发布转基因生物安全评价、检测及监管技术标准200余项,规范生物技术及其产品的安全管理。建立健全转基因生物环境风险评价与生态毒理检测监测技术体系,防范转基因生物环境释放可能对生物多样性保护及可持续利用产生的不利影响,有序推动生物技术健康发展。

## 7. 生物反恐

2015年发布的《中华人民共和国反恐怖主义法》第二十二条和第二十三条要求有关单位应当依照规定对传染病病原体实行严格的监督管理,严防传染病病原体扩散或者流入非法渠道,一旦发生被盗、被抢、丢失或其他流失的情形,案发单位应当立即采取必要的控制措施,并立即向公安机关和主管部门报告。

## 8. 生物资源保护

与生物资源保护相关的法律包括《环境保护法》《海洋环境保护法》《野生动物保护法》和《畜牧法》等。为保证上述法律的执行,国务院发布了《自然保护区条例》《野生植物保护条例》《濒危野生动植物进出口管理条例》和《畜禽遗传资源进出境和对外合作研究利用审批办法》等行政法规,对生物资源保护进行了相应的规定。在生物遗传资源保护和监管方面,我国制定了《加强生物遗传资源管理国家工作方案(2014—2020年)》,加强对生物遗传资源保护、获取、利用和惠益分享的管理和监督。

# 第二节 生物入侵基本概念

## 一、生物入侵的基本概念

### (一) 生物入侵的定义

生物入侵是指非本地物种通过人为或其他方式进入新的环境后对当地物种和生态环境造成严重威胁和破坏的一种现象<sup>①</sup>。这些物种进入本地生态环境中,迅速适应周围环境成为

<sup>①</sup> 李博,陈家宽. 生物入侵生态学:成就与挑战[J]. 科技前沿与学术讨论,2007,24(2):26-36.

野化状态,与本地物种竞争栖息地、营养资源和食物资源等,但又因缺少天敌而无法对其进行控制或根除。生物入侵对人类和动物的健康、社会经济发展、生态环境安全、国际贸易造成了严重的威胁和破坏。

## (二) 生物入侵的途径

生物入侵的过程可分为4个阶段:引入、逃逸、种群建立和危害。通过对许多入侵种的研究发现,入侵过程中相邻两个阶段间的成功率约为10%<sup>①</sup>。通过对一些外来疾病与昆虫方面的研究表明,某些生物在入侵的最初阶段很难被发现,主要原因是此时入侵种群数量稀少且分布分散,一般的监测和检测手段根本无法发现,此后该种群进入潜伏期。潜伏期过后,当入侵种群被发现时已具有相当规模甚至十分巩固了<sup>②</sup>。当入侵种群分布面积达到一个阈值后可能发生暴发性的扩散<sup>③</sup>,其扩散主要依靠两种途径:第一种途径是通过种群的扩大向周围区域扩散,这一方式特点是短距离的“点”式传播,即从一个点沿某些特定的通道传播到另一个点而没有明显的扩张面;第二种途径是借助载体传播,这种传播途径距离较长且可能是跳跃式的,主要通过动物或人类活动等携带外来物种扩散<sup>④</sup>,例如迁徙的候鸟或在全球范围内快速移动的船舶。在全球交流日益频繁的今天,人类活动对外来物种的扩散影响巨大。通过对北美五大湖区的斑马贻贝的研究表明:斑贻贝的传播主要是由于船舶携带压载水转移造成的,与之相比,水鸟等野生动物对它的传播作用则微乎其微<sup>⑤</sup>。

## (三) 生物入侵的机制

生物入侵的过程,一般来说是外来物种原产地种群中的少数个体越过地理屏障传播到新栖息地并建立新种群的过程。近年来的研究多从上述过程出发,初步阐明了一些外来物种的入侵机制。这些机制主要集中在外来物种本身的特性、外来物种与本土物种的种间关系、外来物种与本土生物群落的总体关系及新栖息地环境变化对入侵物种的影响。

### 1. 外来物种的生物学特性

#### 1) 外来物种的生态幅

一般来说,成功入侵的外来物种对各种环境因子的适应幅度较广,即对环境有较强的耐受力,如耐阴、耐贫瘠土壤和耐污染等。这些特性使得外来物种可在特定环境中获得对本土物种的竞争优势,能占据本土物种不能利用的生态位<sup>⑥</sup>,从而成功入侵。

① KANESHIRO K. Introduction colonization and establishment of exotic insect populations; fruit flies in Hawaii and California[J]. American Entomologist. 1993, 39:23-29.

② CAREY J R. The incipient Mediterranean fruit fly population in California; implications for invasion biology[J]. Ecology, 1996, 77(6):1690-1697.

③ 吴兆录, 闫海忠. 生物多样性保护的一个理论框架: 生物最小面积概念[J]. 生物多样性, 4(1):26-31.

④ KRAUS B, PAGE R E. Effect of *Varroa jacobsoni* (Mesostigmata: Varroidae) on feral *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) in California[J]. Environmental Entomology. 1995, 24(6):1473-1480.

⑤ JOHNSON L E, CARLT J T. Post-establishment spread in large-scale invasions; dispersal mechanisms of the zebra mussel [J]. Ecology, 1996.

⑥ ELTON C S. The ecology of invasions by animals and plants[M]. London; Methuen and Co Ltd. 1958.

## 2) 外来物种的繁殖和传播特性

入侵物种的繁殖特性对其在新栖息地建立种群也有很大的帮助。通常成功的外来物种都具有很强的繁殖能力,例如:有很强的营养繁殖能力,能由碎片长成植株<sup>①</sup>;或能一年多次开花,产生大量的种子与幼苗<sup>②</sup>,且种子易于传播<sup>③</sup>。

## 3) 入侵种群遗传结构

入侵种群一般是由少数的入侵个体发展而来的,具有显著的奠基者效应(Founder effect),入侵种群与其原产地种群相比,有时遗传多样性会降低。人们通常认为这种情况对种群是有害的<sup>④</sup>,但在一些情况下,种群中较低的遗传多样性反而能增强外来物种在新栖息地中的竞争与生存能力<sup>⑤</sup>。

## 2. 入侵物种与本土物种的相互作用

### 1) 缺乏天敌

一种流行的观点认为,外来物种在新栖息地成功入侵的主要原因是缺少天敌(如病原体、捕食者和寄生虫等)的控制,从原产地引进天敌进行生物入侵治理现已成为控制外来物种的重要手段。但近年来的研究表明,生物入侵是一个非常复杂的过程,缺乏天敌的控制只是某些外来物种入侵成功的主要原因,但对另一些外来物种来说则不是。有时即使天敌被成功引入某一地区,也无法控制对应的外来物种。总之,天敌因素在外来物种入侵中的作用远比过去预想的要复杂,还有待于进一步的研究。

### 2) 种间抑制

外来物种与本土物种之间往往存在抑制作用。通过对北美入侵性杂草铺散矢车菊的研究发现,该植物根系分泌物可以影响其入侵。该植物在其原产地亚欧大陆影响不大,进入北美地区后却泛滥成灾,排挤了许多本土物种。可见,种间抑制的作用是多样的,其作用方式、机制和结果还有待深入研究。

### 3) 种间竞争

研究发现,成功的外来物种在新栖息地的环境条件下竞争能力往往强于处于相似生态位的本土物种,在这种情况下,外来种可以通过排挤本土物种而造成入侵。

### 4) 外来物种的协同入侵

很多生物入侵过程中存在着外来物种之间的协同作用,即通过几种外来物种的相互配合而造成入侵。例如一个外来物种携带着某种外来病原体或寄生虫侵入新栖息地,随后外来病原体或寄生虫在对此类病原微生物更为敏感的本土物种中流行,导致本土物种的大面积死亡,入侵物种因失去竞争对手而得以入侵成功,导致该外来物种与其携带的病原体或寄

① SMITH C M, Walters L J. Fragmentation as a strategy for caulerpa species: fates of fragments and implications for management of an invasive weed[J]. Marine Ecology-Pubblicazioni Dell a Stazione Zoologica Di Napoli I. 1999, 20(3-4):307-319.

② MEYER J Y. Observations on the reproductive biology of Miconia calvescens DC( Melast omataceae) an alien invasive tree on the island of Tahiti(South Pacific Ocean) [J]. Biotropica, 1998, 30(4):609-624.

③ HOWE H F, WOOD S. Ecology of seed dispersal[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1982, 13:201-228.

④ SACCHERI I, KUUSSAARI M, KANKARE M, et al. Inbreeding and extinction in a butterfly metapopulation[J]. Nature, 1998, 392:491-494.

⑤ KRAUS B, PAGE R E. Effect of Varroa jacobsoni ( Mesostigmata: Varroidae) on feral Apismellifera ( Hymenoptera: Api- dae) in California[J]. Environmental Entomology, 1995, 24(6):1473-1480.

生虫都成功入侵。

#### 5) 杂交入侵

杂交也被认为是生物入侵的原因之一。对杂交产生的入侵物种的报道主要发生在植物中,但动物中也有相关报道。外来物种与本土物种杂交产生的后代可能兼具双亲的有利性状,还可能产生双亲不具备的新特征,使它们可以入侵并生活于双亲不能生存的环境中<sup>①</sup>。从遗传学的角度来说,杂交物种往往具有较大的遗传多样性,更有利于其种群的生存。

### 3. 新栖息地群落生物多样性对入侵的抵抗力

1955年,麦克阿瑟(R. MacArthur)首次研究了生物多样性与群落稳定性之间的关系。他发现捕食者和被捕食者数量更为丰富的群落,稳定性更强;他认为群落内物种数目的多少对其稳定性起基本作用,而物种间的相互作用起补充作用;他提出了稳定性随着食物网通路的增加而提高的理论。1958年,埃尔顿(C. Elton)提出了与麦克阿瑟相似的理论,他认为生物多样性高的群落抵抗外来物种入侵的能力更强。这两位科学家是“多样性-稳定性理论”的代表人物,虽然各自表述不同,但他们都认为物种更丰富的群落,稳定性更强。

### 4. 新栖息地环境变化

#### 1) 干扰的影响

一般认为,栖息地受到干扰有利于生物入侵的发生<sup>②</sup>。近年来已有实验表明干扰越强烈,入侵越易发生<sup>③</sup>。还有研究通过具体事例阐明了人为干扰是如何促进物种入侵的<sup>④</sup>。干扰分为自然干扰与人为干扰,这两种干扰都能在群落中形成空的生态位,降低了该区域内本土生物群落对入侵物种的抵抗力,使外来物种易于入侵该区域并定殖。

#### 2) 全球气候变化

全球气候变化是生物入侵的诱因之一<sup>⑤</sup>。从整个生物圈的角度看,全球变化会使气候带范围发生改变,影响物种与资源的分布区域,加速生物入侵。近来一些研究阐明了全球气候变化是如何促进生物入侵的,例如大气中二氧化碳浓度的增加会延缓草原群落演替的过程,这样就为外来种进入群落提供了更多机会<sup>⑥</sup>。

## 二、生物入侵的危害

从我国主要外来虫害和杂草的入侵成因来看,大部分是人为因素导致的。这些人为因

① 曹文其,丰广泰. 滨海盐渍土引种 NL-80105、NL-80106 杨苗期初报[J]. 林业科技通讯,1993,11:26.

② DEFERRARI C M, NAIMAN R. A multi-scale assessment of the occurrence of exotic plants on the Olympic Peninsula, Washington[J]. Journal of Vegetation Science, 1994, 5:247-258.

③ DUGGIN J A, GENTLE C B. Experimental evidence on the importance of disturbance intensity for invasion of Lantana camara L. in dry rainforest-open forest ones in north-eastern NSW Australia[J]. Forest Ecology and Management, 1998, 109:279-292.

④ PETREN K, CASE T J. An experimental demonstration of exploitation competition in an ongoing invasion[J]. Ecology, 1996, 77(1):118-132.

⑤ DUKES J S, MOONEY H A. Does global change increase the success of biological invaders[J]. Trends in Ecology & Evolution, 1999, 14(4):135-139.

⑥ VASSEUR L, POTVIN C. Natural pasture community responses enriched carbon dioxide atmosphere[J]. Plant Ecology, 1998, 135:31-41.

素包括:因缺乏有效的科学知识与信息导致对引进物种的风险评估不充分(如大米草的引进)、盲目引进(如作为猪饲料引进的空心莲子草、水葫芦)、淡薄的生态保护意识与经济利益驱使(如福寿螺、褐云玛瑙螺的养殖与随地遗弃)、有法不依(如湿地松粉蚧的人为传入)。外来入侵物种是生态系统最大的生物威胁之一,大部分外来物种成功入侵后会大暴发并难于控制,对生态系统产生不可逆转的破坏,外来物种形成优势种群危及本土物种的生存,造成本土物种的消失与灭绝,给农林牧渔业带来严重的经济损失,并威胁人类的健康<sup>①</sup>。

### (一) 对生态系统破坏的不可逆转性

外来入侵生物对特定的生态系统的结构、功能及生态环境都能造成严重破坏。20世纪60—80年代,我国从英美等国引进的旨在保护滩涂的大米草,近年来在我国沿海地区疯狂扩张,覆盖面积越来越大,已到了难以控制的局面。截至目前,大米草在我国沿海水域分布面积估计在1300平方千米以上,居世界首位<sup>②</sup>。肆意蔓延的大米草严重破坏了我国近海水域生物的栖息环境,导致我国沿海养殖的多种经济类水生物窒息死亡,此外,该植物还会堵塞航道,妨碍船舶正常航行及影响近海海水的交换能力。

### (二) 生物多样性的丧失与食物网络的崩溃

外来生物入侵通过压制或排挤本土物种的方式改变当地食物链或食物网络组成及结构,特别是外来杂草,在入侵地往往导致本土植物区系的多样性变得非常单一,并破坏可耕地。原产美洲墨西哥至哥斯达黎加一带的紫茎泽兰,大约于20世纪40年代由中缅边境传入我国云南省境内,现已在我国西南地区蔓延成灾。其侵入草场、林地和撂荒地,很快形成单种优势群落,导致原有的植物群落迅速衰退和消失。由于其对土壤肥力的吸收力强,能快速地消耗土壤养分,对土壤可耕性的破坏极为严重<sup>③</sup>。大约于20世纪50年代被人为地引入我国作猪饲料加以栽培的空心莲子草现已成为我国恶性杂草,对多种农作物种植造成了巨大的破坏,带来巨大的经济损失,其中番薯的损失最重达63%;莠苣和水稻的损失也高达45%左右;小麦的损失率约为36%<sup>④</sup>。1996年侵入我国广东省深圳市内伶仃岛(面积约47平方千米)的薇甘菊,造成灾害性危害面积超8平方千米<sup>⑤</sup>。该植物具有有性和无性两种繁殖能力,攀上灌木或乔木后能迅速形成整株覆盖之势,使其他植物因光合作用受到破坏而逐渐窒息死亡。

### (三) 本地物种的灭绝与消失

外来物种入侵影响生态系统和生物区系,加速了生物多样性的丧失和物种的灭绝,特别是在岛屿和“生态岛屿”中最为明显。我国云南省大理市洱海原有本土鱼类17种,大多为洱海特有品种并具有重要的经济价值。通过有意或无意地引入13个外来种后,17种本土鱼类

① 中华人民共和国北京动植物检疫局. 中国植物检疫性害虫图册[M]. 北京:中国农业出版社,1999.

② 高志强. 福建滨海滩地大米草资源开发利用问题[J]. 福建农业大学学报,1996,25(1):72-77.

③ 强胜. 世界性恶性害草-紫茎泽兰研究的历史及现状[J]. 武汉植物学研究,1998,16(4):366-372.

④ 谭万忠. 空心莲子草在我国的水平和垂直分布[J]. 杂草学报,1994,8(2):30-34.

⑤ 庞雄飞,李丽英. 恶性杂草-薇甘菊[J]. 大自然,2000(3):24.

现已有 5 种陷入濒危状态。原因之一是外来物种与本土物种争夺食物及产卵场所以及吞食本土鱼类的鱼卵等,导致洱海原有的生态系统被破坏<sup>①</sup>。20 世纪 30 年代作为饲料、观赏植物和防治重金属污染的引种-水葫芦现已逸为野生并成为恶性杂草,云南省昆明市滇池 10 平方千米的水面上布满水葫芦,使滇池内很多水生生物处于灭绝边缘。20 世纪 60 年代以前,滇池主要的本土水生植物有 16 种,水生动物有 68 种,但到了 20 世纪 80 年代,大部分水生植物相继消亡,鱼类也从 68 种下降到 30 种<sup>②</sup>。

#### (四) 农林业病虫害暴发

外来物种数量在适宜的生态条件下往往呈指数级增长,一旦暴发则难以控制。原产于美国的棉枯萎病和棉黄萎病,20 世纪 30 年代随国外棉种进入我国,给我国造成的棉花病害一直延续至今,成为我国棉花种植史上最主要的病害。1982 年入侵我国的松材线虫,扩散蔓延极为迅速,2021 年秋季普查显示,该病害涉及我国 19 个省份 742 个县共 5530 个乡镇,疫情发生总面积达 1.8 万平方千米,占我国松科植物面积的 3%。1979 年入侵我国的美国白蛾,2021 年该灾害波及了我国北京、天津和河北等全国 13 个省(区、市)的 607 个县级行政区,累计危害面积达 4.22 万平方千米<sup>③</sup>。

#### (五) 高额的防治费用

外来生物一旦入侵成功,要彻底根除是极为困难的。用于控制和消除其危害、减少扩散蔓延的防治代价极为高昂。1994 年入侵我国并蔓延的美洲斑潜蝇,全国的发生面积达 1 万多平方千米,每年的治理费用约 4.5 亿元人民币<sup>④⑤</sup>。

#### (六) 威胁人类健康

外来入侵生物不仅给农林牧副渔生产带来巨大的损失而且直接威胁人类健康。外来物种如毒莴苣和马缨丹等均有毒,人类尤其是小孩误食会引起中毒。豚草产生的花粉能够引发变应性鼻炎和哮喘等疾病。红火蚁叮咬人体可引起严重的反应,在国外甚至有叮咬人致死的案例。福寿螺能够传播广州管圆线虫,引起人类嗜酸性粒细胞增多性脑膜炎等多种疾病。

## 第三节 船舶与生物入侵

### 一、船舶生物安全风险传播途径

辽阔的海洋是一个开放的生态系统,也是大陆千万条河流奔流到海的归宿。由于

① 王献溥. 生物入侵的生态威胁及其防控措施[J]. 植物杂志,1999(4):4-5.

② 丁建清,王韧,范中南,等. 恶性水生杂草—水葫芦在我国的发生危害及其防治[J]. 杂草学报,1996,9(2):49-52.

③ 国家林业局. 中国林业年鉴[M]. 北京:中国林业出版社:1998.

④ 张彩霞. 美洲斑潜蝇的普查和防治[J]. 植物检疫(增刊),1997:1-6.

⑤ 李宏奎,王同顺,崔育才,等. 美洲斑潜蝇种群发生动态及防治对策[J]. 中国农学通报,1998,14(3):67-68.

世界各大洋被大陆所阻隔,外加水温、季风和洋流等影响,慢慢形成了各自特有的本土生物群落,并且因素也影响了本土物种的分布和进一步扩散。由此,在长期的演化中各大洋不同的海洋生物区系便演化出来。但这种自然形成的生物区系格局受人类海洋活动日趋活跃的影响发生了巨大的变化。在世界贸易和经济全球化发展的大背景下,人类海洋活动的广度和深度不断增加,部分海洋生物,也正通过一些载体如船舶、水上休闲设施、渔业活动等,传播到本不该来到的异乡,给该地生态带来隐忧。其中,船舶生物安全风险主要集中在其有意或无意携带有害生物和病原体导致的生物入侵,其风险传播途径主要包括以下几个方面。

### (一) 船舶携带

船舶是生物安全风险传播和扩散的重要途径,特别是集装箱船,涉及植物检疫、动物检疫和卫生检疫多个检疫门类,生物安全风险极高。因其几乎可以装载所有种类的货物,可在世界各地运输或存放,在使用过程中其内部与外部会不同程度地携带种子、蜗牛、土壤、昆虫卵块等。多年来,海关从进境集装箱上截获大量病媒生物、植物有害生物、动植物检疫禁止进境物、动植物残留物、生活垃圾及其他有毒有害物质。在国际贸易中,回空集装箱没有经过必要的清洗和检查就直接出口,导致生物安全风险在国际上的传播难以控制。2014年,我国集装箱(空箱)检疫截获有害生物1781种95851次;2015年,集装箱(空箱)检疫截获有害生物1588种118296次,虽然截获的种类有所降低,但截获次数增加了23.4%。

### (二) 船舶货物和包装夹带

船舶装载的进境货物容易传带各种生物安全风险,尤以动植物产品的风险更高。如生猪及其产品可能传带非洲猪瘟,禽类及其产品可能传带禽流感,进口粮食携带各种杂草籽、昆虫和植物病原体,进口原木可能携带天牛、白蚁等林木害虫,进口水果可能携带地中海实蝇。这些动物疫病、植物有害生物若是外来入侵物种,一旦传入会对我国农林业生产安全和生态安全造成重大威胁。此外,2010年我国在某码头进口铁矿砂堆场发现了约30种有害杂草,且多数国内没有发生记录。2011年从菲律宾进口铬粉矿中截获热带火蚁,从进口红土镍矿、铜精矿中发现大量有害昆虫;同年在某港口进口矿砂中监测到6种一般性全国首次记录种。这些数据表明,进口矿砂正在成为外来有害生物入侵的新途径和载体。随着我国近几年矿砂进口的持续增长,防控压力不断升级。

除货物外,以木质包装及其他植物铺垫材料为主的包装物也会带来生物安全风险。木质包装以其强度高、韧性好、可回收再重复使用等优点,成为国际航运业的主要承载、支撑物。但是,木质包装也是林木有害生物跨境传播的主要载体,可以传播松材线虫、天牛、白蚁、蠹虫、树蜂、吉丁虫、象甲等有害生物。例如松材线虫自1982年传入我国以来,其扩散蔓延迅速,导致大量松树枯死,对我国的松林资源、自然景观和生态环境造成严重破坏。

### (三) 船舶压载水和沉积物及船舶生物污损携带

压载水系指船舶为控制纵倾、横倾、吃水、稳性或者应力而在船上摄入的水及其悬浮物。

沉积物系指船内压载水的沉淀物质。船舶压载水和沉积物带来的外来生物入侵破坏了海洋生态并给人类造成巨大的经济损失,已被全球环境基金(Global Environment Facility, GEF)认定为海洋所面临的四大威胁之一。据国际海事组织(International Maritime Organization, IMO)估计,每年有数以近亿吨压载水被航行船舶带到世界各地,每天至少有7000种微生物和动植物随船舶压载水在全球流动。在世界范围内,压载水排放引起的生物入侵不胜枚举,海藻、鱼类、牡蛎、软体动物、浮游生物、霍乱弧菌等多种生命体显著改变了排放海域的生态环境,造成明显的生态破坏和经济损失,危及人类健康安全。生物污损系指在浸入或暴露于水生环境的表面和结构上的水生生物(例如微生物、植物和动物)的积聚。船舶生物污损一方面可能导致外来水生物种入侵当地海洋环境,另一方面,哪怕少量或轻微的船舶结垢都可能增加船体和螺旋桨在水中的阻力,进而影响燃料消耗和气体排放,降低船舶性能和燃料利用率。

#### (四) 船舶的其他操作

船舶在运营过程中,其相关的操作也会带来生物安全的风险。船舶在进入港口水域后,通常会在锚地以及码头停留,在停留期间,船舶需要补充维持其正常运营的物资或物料,这些物资或物料中无意夹带的有害生物也可能随之被转移至船上,包括船舶补充的伙食、设备及零件,这些物资本身或其包装可能携带有害的致病菌及其他具有危害的微生物。此外,部分船员可能出于各种原因购买活体的动物以及观赏类植物,这些动物体可能携带有害的致病菌以及其他有害微生物,一些观赏类植物可能在本国不属于危害性植物,但随船舶转移至另一个国家或地区后,其特有的属性可能会导致入侵危害。另一种常见的危害形式是,船舶在靠泊期间,老鼠等携带各类病原体的生物会沿着船舶用于固定位置的缆绳登上船舶并隐匿,此后会随船舶在全球范围内移动,此类生物也会造成相当大的生物安全风险。船舶在靠泊或锚泊期间,通常会向水体排放生活污水以及向水上或岸上转移生活垃圾或货物参与,通常而言,船舶的生活污水排放前需要通过生活污水处理装置进行消毒后才可排放,但仍可能会有相当数量的有害细菌被排放至水体中,如因船舶生活污水处理装置的技术性能不达标导致的有害细菌超标排放。这些有害细菌进入水体后,可能会附着在水生生物上,除对水生生物造成危害以外,人类一旦误食了被细菌感染的水生生物,可能会对人类健康造成危害。同样地,船上的生活垃圾或货物参与的排放也可能造成这类危害,通常船舶垃圾,特别是生活垃圾,在船上长期存放会导致细菌的大量滋生,这些垃圾一旦泄露也有可能带来生物安全风险。

## 二、船舶生物安全管理的法律体系

为了防范船舶生物安全风险,国际组织和有关国家通过国际公约或国内立法等形式加强对船舶携带外来生物入侵的管控。2004年,国际海事组织通过了《2004年船舶压载水和沉积物控制和管理国际公约》(International Convention for the Control and Management of Ships Ballast Water and Sediments,以下简称《压载水管理公约》),已于2017年正式生效,这是首个专门规制船舶压载水的国际公约。此外,《联合国海洋法公约》《生物多样性公约》《国际卫生条例》《卫生与植物卫生措施协定》等均对船舶携带外来生物的管控提出了要求(表1-1)。

船舶携带外来生物管理的国际公约、规则

表 1-1

公 约	发布组织	发布时间(年)	具 体 条 款
《联合国海洋法公约》	联合国	1982	第 42、43 条要求在海峡内防止、减少和控制来自船舶及其他途径的污染
《生物多样性公约》	联合国	1992	第 14 条规定每一缔约国应尽可能对生物多样性产生不利的项目或行为进行评估,并采取补救措施
《卫生与植物卫生措施协定》	世界贸易组织	1994	附件 A 规定保护成员领土内的动植物、人类的生命或健康免受虫害、病害、带病有机体或致病有机体的传入、定居或传播所产生的风险
《压载水管理公约》	国际海事组织	2004	第 4 条规定每一缔约国须要求本公约适用的、有权悬挂其国旗或在其管辖下营运的船舶符合本公约的要求,包括附则的适用标准和要求,并采取有效措施确保船舶符合这些要求
《国际卫生条例》	世界卫生组织	2005	第 16 条允许缔约国针对货物、集装箱、交通工具等采取一定措施,来防止或减少疾病的国际传播和国际交通干扰

我国出台了《中华人民共和国生物安全法》《中华人民共和国海洋环境保护法》《中华人民共和国水污染防治法》《中华人民共和国进出境动植物检疫法》《中华人民共和国国境卫生检疫法》《船舶压载水和沉积物监督管理办法(试行)》等,对船舶携带外来生物的管理提出了相关规定(表 1-2)。

船舶携带外来生物管理的国内法律法规

表 1-2

法律名称	实施时间	具 体 条 款
《中华人民共和国国境卫生检疫法》	于 1986 年 12 月 2 日通过,自 1987 年 5 月 1 日起施行,2018 年 4 月 27 日最新修订	第十八条 国境卫生检疫机关根据国家规定的卫生标准,对国境口岸的卫生状况和停留在国境口岸的入境、出境的交通工具的卫生状况实施卫生监督:(四)监督和检查垃圾、废物、污水、粪便、压载水处理
《中华人民共和国进出境动植物检疫法》	于 1991 年 10 月 30 日通过,自 1992 年 4 月 1 日起施行,2009 年进行了修订	第五条 国家禁止下列各物进境:(一)动植物病原体(包括菌种、毒种等)、害虫及其他有害生物
《中华人民共和国海洋环境保护法》	自 2000 年 4 月 1 日起施行,2017 年 11 月 4 日最新修订	第六十二条 在中华人民共和国管辖海域,任何船舶及相关作业不得违反本法规定向海洋排放污染物、废弃物和压载水、船舶垃圾及其他有害物质
《中华人民共和国水污染防治法》	自 2008 年 6 月 1 日起施行,2017 年 6 月 27 日最新修订	第五十九条第五款 进入中华人民共和国内河的国际航线船舶排放压载水的,应当采用压载水处理装置或者采取其他等效措施,对压载水进行灭活等处理。禁止排放不符合规定的船舶压载水

续上表

法律名称	实施时间	具体条款
《防治船舶污染海洋环境管理条例》	自2010年3月1日起施行,2018年3月19日最新修订	第十五条 船舶在中华人民共和国管辖海域向海洋排放的船舶垃圾、生活污水、含油污水、含有毒有害物质污水、废气等污染物以及压载水,应当符合法律、行政法规、中华人民共和国缔结或者参加的国际条约以及相关标准的要求
《船舶压载水和沉积物监督管理办法(试行)》	自2019年1月22日起实施	对船舶的压载水和沉积物的管理给予明确要求,包含适用范围、检验发证、型式认可、压载水管理免除及现场监督检查等内容
《中华人民共和国生物安全法》	于2020年10月17日通过,自2021年4月15日起施行	第二十三条 进出境的人员、运输工具、集装箱、货物、物品、包装物和国际航行船舶压舱水排放等应当符合我国生物安全管理要求
《外来入侵物种管理办法》	自2022年8月1日起实施	第四条 海关完善境外风险预警和应急处理机制,强化入境货物、运输工具、寄递物、旅客行李、跨境电商、边民互市等渠道外来入侵物种的口岸检疫监管。 第二十三条 外来入侵水生动物的治理,应当采取针对性捕捞等措施,防止其进一步扩散危害

## 思考题

1. 生物安全问题是如何成为全球关注的热点问题的?
2. 我国生物安全法律体系是如何搭建的?
3. 我们生活工作中会遇到哪些涉及生物安全的问题? 应当如何应对?
4. 生物入侵为何会成为生物安全问题的核心?
5. 船舶生物安全风险还有哪些问题值得我们关注?

## 第二章 船舶携带海洋外来生物入侵及其影响

船舶压载水、沉积物以及生物污损导致的生物入侵问题主要是通过携带和转移有害水生物及病原体对海洋生态环境产生破坏,以及伴随海洋生态环境变化导致的其他一系列危害。因此,了解海洋生态的基本理论对于研究船舶压载水、沉积物以及生物污损导致的生物入侵危害是十分有必要的,本章通过对海洋生态学相关知识的介绍引出了船舶携带海洋外来生物入侵的机理及危害,通过对案例进行介绍和分析的方式进一步加深对这一危害的理解和认识。

### 第一节 海洋生态及生物多样性

#### 一、海洋生态学概述<sup>①</sup>

##### (一)生态学定义

生态学(Ecology)一词是德国生物学家海克尔(Haeckel)于1869年首先提出来的。“Ecology”来源于希腊文的两个词根oikos和logos,前者表示住所或栖息地,后者表示学问,因此生态学的一般定义是:研究生物有机体与其栖息地环境之间相互关系的科学。

随着人口增长和生产活动增强对环境与资源造成极大的压力,人类迫切需要以生态学原则来调整人与自然、资源以及环境的关系,必须在发展经济和保护生存环境之间得到协调和持续发展。因此,很多学者认为现代生态学发展至今已不仅是生物科学中揭示生物与环境相互关系的一门分支学科,而是已经成为指导人类行为准则的一门学科,生态学可定义为:“研究生物生存条件、生物及其群体与环境相互作用的过程及其规律的科学;其目的是指导人与生物圈(即自然、资源与环境)的协调发展<sup>②</sup>。”随着生态学的发展,出现越来越多的分

<sup>①</sup> 沈国英,黄凌峰,郭丰,等.海洋生态学[M].3版.北京:科学出版社,2010.

<sup>②</sup> 国家自然科学基金委员会.自然科学学科发展战略调研报告:生态学[M].北京:科学出版社,1997.

支学科和交叉学科。

按照环境或栖息地的类型分为淡水生态学(Freshwater ecology)、海洋生态学(Marine ecology)和陆地生态学(Terrestrial ecology)。实际上还可将它们划分为更小范围的生态学,例如,陆地生态学可再划分为森林生态学(Forest ecology)、荒漠生态学(Desert ecology)和草地生态学(Grassland ecology)等。海洋生态学也可以再划分为潮间带生态学(Intertidal ecology)、浅海生态学(Shallow sea ecology)、上升流区生态学(Upwelling ecology)、深海生态学(Deep sea ecology)等。还有按分类学系统划分的生态学,如动物生态学(Animal ecology)、植物生态学(Plant ecology)和微生物生态学(Microbial ecology)等等。生物的门类很多,所以还可以将它们划分为更小的单位,如动物生态学还可分为昆虫生态学(Insect ecology)、鸟类生态学(Bird ecology)、鱼类生态学(Fish ecology)、兽类生态学(Animal ecology)等。

生态学理论与资源、环境和人口等实际联系,产生了应用生态学(Applied ecology),它是研究人对生物圈的破坏机制及自然资源合理利用原则的科学,也有人把它的内容扩大至“生态学中一切与人类实际利益有某种关系的各个方面”。应用生态学运用生态学理论成果,沿着生态学发展的轨迹进行,其焦点集中于以可持续发展的概念来对待人口、资源、环境问题,同时,应用生态学的发展也是推动生态学理论与基础研究的动力。目前,应用生态学已发展成为独立的生态学分支学科,诸如资源生态学(Resource ecology)、污染生态学(Pollution ecology)、农业生态学(Agro ecology)和渔业生态学(Fishery ecology)等。

此外,生态学与其他学科相互渗透,形成一系列的边缘学科,如化学生态学(Chemical ecology)、数学生态学(Mathematical ecology)和经济生态学(Economical ecology),等等。这些交叉学科对推动生态学的发展具有重要意义。当前生态学通过与其他学科的渗透已形成一个庞大的学科体系。

## (二) 海洋生物的生态类群

海洋生物根据其生活习性可分为浮游生物、游泳生物和底栖生物三大生态类群。

### 1. 浮游生物

浮游生物(Plankton)是指在水流运动的作用下,被动地漂浮在水层中的生物群。它们的共同特点是缺乏发达的运动器官,运动能力弱或完全没有运动能力,只能随水流移动,具有多种多样适应浮游生活的结构。浮游生物一般个体都很小,多数种类必须借助显微镜或解剖镜才能看清楚它们的身体构造。这些生物隶属于不同的门类,因此,浮游生物这个名词主要是生态学上的含义<sup>①</sup>。

浮游生物虽然个体小,但是在海洋生态系统中占有非常重要的地位。它们的数量多、分布广,是海洋生产力的基础,也是海洋生态系统能量流动和物质循环的最主要环节。浮游植物(Phytoplankton)光合作用的产物基本上要通过浮游动物这个环节才能被其他动物所利用。浮游动物(Zooplankton)通过捕食影响或控制初级生产力,同时其种群动态变化又可能影响许多鱼类和其他动物资源群体的生物量。

由于采集浮游生物通常是用不同孔径的筛绢网进行的,或用采水器采集再经过不同孔

<sup>①</sup> 郑重,李少菁,许振祖.海洋浮游生物学[M].北京:海洋出版社,1984.

径的过滤器收集,因此,按浮游生物的个体大小可分为以下几种类别。

- (1) 微微型浮游生物(Picoplankton): <2 微米。
- (2) 微型浮游生物(Nanoplankton): 2 ~ 20 微米。
- (3) 小型浮游生物(Microplankton): 20 ~ 200 微米。
- (4) 中型浮游生物(Mesoplankton): 200 ~ 2000 微米。
- (5) 大型浮游生物(Macrop plankton): 2000 微米 ~ 20 毫米。
- (6) 巨型浮游生物(Megaplankton): > 20 毫米。

根据上述按大小区分的类别,微微型浮游生物几乎全部是细菌浮游生物;微型浮游生物几乎全是微型的浮游植物和原生动物(有的将微微型和微型浮游生物中 <5 微米的种类统称为超微型浮游生物);小型浮游生物包括浮游植物和部分较大的原生动物及浮游动物的幼体;中型浮游生物基本是后生浮游动物,而大型和巨型浮游生物则几乎都是大型浮游动物。

由于粒径 >200 微米的浮游生物主要是各类浮游动物,通常将它们单独划分为三个功能群。

- (1) 小型浮游动物(Microzooplankton): <500 微米的种类。
- (2) 中型浮游动物(Mesozooplankton): 500 ~ 1000 微米的种类。
- (3) 大型浮游动物(Macrozooplankton): >1000 微米的种类。

应该说明,上述类别的大小范围是比较人为的划分,但是在研究海洋食物链能流时,按大小划分是有重要意义的,因为这种大小等级划分往往包含相应的摄食者与被食者的营养关系。

按浮游生活阶段在生活史中所占时期长短,浮游生物可分为以下三类。

- (1) 终生浮游生物(Holoplankton): 大多数浮游生物属于这一类。
- (2) 阶段性浮游生物(Meroplankton): 即在生活史的某一阶段(一般为幼体阶段)营浮游生活,成体则营底栖生活(或游泳生活),特别是在热带、亚热带沿岸浅海区常见。由于不同底动物的繁殖季节和浮游幼体期时间长短不一,因而在海洋表层各个季节都有底栖动物的浮游体,它们是浮游生物的重要组成部分。
- (3) 暂时性浮游生物(Tychoplankton): 这类原非浮游生物,仅有时(如夜晚)短暂地离底层营浮游生活,如涟虫类、糠虾类、等足类和介形类等底栖动物。

## 2. 游泳生物

游泳生物(自游生物)(Nekton, Necton)是运动器官发达、游泳能力很强的一类大型动物,包括海洋鱼类、哺乳类(鲸、海豚、海豹、海牛)、爬行类(海蛇、海龟)、海鸟以及某些软体动物和一些虾类等。从种类和数量上看,鱼类是最主要的游泳生物。游泳生物大部分是肉食性种类,草食性和碎屑食性的种类较少,很多种类是海洋生态系统中的高级消费者。

游泳动物需要在很大空间内寻找食物,同时在静止时也需要克服重力的影响,因此是水生物种中能量需求量最大的种类。游泳动物在水中运动时,必然要克服水介质对其身体的阻力,它们在体型上通常都具有流线型的身体,这种体形在运动时遇到的阻力最小。一些海洋哺乳类身上的毛消失或变短、乳腺扁平,都有减少运动阻力的作用,这是动物在进化的历史过程中适应环境的结果。