

文章编号: 1674-5566(2018)03-0407-09

DOI:10.12024/jsou.20180210008

基于 SRA 法的中韩船舶压载水生物入侵风险研究

李 涛^{1,2}, 文嘉鹏¹, 田玉军¹, 张 波³

(1. 交通运输部水运科学研究院,北京 100088; 2. 大连海事大学 交通运输管理学院,辽宁 大连 116026; 3. 河北海事局,河北 秦皇岛 061100)

摘 要: 2017 年实行的《国际船舶压载水和沉积物控制和管理公约》(以下简称《压载水公约》)要求 400 总吨及以上国际航线船舶需安装压载水处理系统。为了免除部分短途航线船舶的压载水处理系统的安装责任,《压载水公约》A-4 条款对在指定港口间航行的船舶免除安装压载水处理系统提出了要求。为了满足《压载水公约》的要求、降低黄海海域航行的中韩航线船舶投入,近年来中韩双方通过学术交流和评估来分析压载水排放对黄海海域造成的生物入侵风险。本研究采用丹麦和 Interferry 首先提出的相似风险区评价方法进行生物入侵风险的评估。本研究建立了相似风险区模型:通过建立黄海二维水动力模型和基于介质的模型(Agent Based Modelling),模拟中肋骨条藻在投放港投放的自然生物扩散过程,并在扩散过程中叠加水温和盐度对生物行为的影响。模拟结果显示,中韩港口水域之间具有一定的生物自然扩散连通性;但从中肋骨条藻的扩散结果来看,从时间上和空间上不能确定测试港口之间的连接性。目前的研究成果尚不能支持中韩大黄海海域为一个相似的风险区。

关键词: 生物入侵; 压载水; 相似风险区模型; 中韩航线; 压载水公约

中图分类号: X 17 **文献标志码:** A

《国际船舶压载水和沉积物控制和管理公约》(以下简称《压载水公约》)满足生效条件。《压载水公约》A-4 条款对在指定港口间航行的船舶做出了免除安装压载水处理系统的规定:首先需按照公约导则 7[MEPC.162(56)]的要求进行风险评估并确定为低风险,再由所在国海事主管机关向国际海事组织(International Maritime Organization, IMO)及各当事国发出通知后,针对航线间船舶的压载水管理免除才有效。

《压载水公约》G7 导则^[1]推荐了 3 种船舶压载水风险评估法,分别是环境匹配风险评估方法、物种生物地理风险评估方法、特定物种风险评估方法(相似风险区法在 MEPC71 次会议后被归类在特定物种风险评估方法)。其中特定物种风险评估方法(包含相似风险区法)在风险评估中应用较多,也较为成熟。我国近年来开展了一系列压载水生物入侵风险研究工作,取得了一些成果,如大连海事大学建立了船舶压载水的生态

风险评估指标体系^[2]、完成了源港口对目标港口的风险程度计算模型^[3],但研究成果尚未在国际上形成影响,也没有在 IMO MEPC 会议上提出相关提案。

1 船舶压载水管理互免在其他国家的研究现状

1.1 针对导则 7 的研究

在 G7 导则推荐的 3 种评估方法中,环境匹配风险评估法,是通过比较船舶压载水加装港所在的生物地理区与船舶压载水接收港生物地理区的环境相似程度,来判断入侵生物在接收港海域生存可能性。物种生物地理风险评估法,通过评估加装港和接收港是否存在重叠的物种,来判断环境条件是否相似以及相似程度,并可以用来确定高风险入侵物种。特定物种风险评估法,通过比较目标物种的生活史信息和生理耐受信息,分析这些信息的重叠情况,来确定目标物种的生

收稿日期: 2018-02-26 修回日期: 2018-03-26

基金项目: 河北海事局科技项目(WTI-61762); 国家重点研究计划(2017YFC1404602)

作者简介: 李 涛(1981—),男,副研究员,研究方向为海洋防污染和污染事故应急。E-mail: litao@wti.ac.cn

理极限,并通过对比该目标物种所在的加装港与接收港的环境条件,来预测目标物种在接收港环境条件下存活或完成生命周期的可能性。

相似风险区法(Same Risk Area Method,简称“SRA”)最早由丹麦和 Interferry 在 MEPC 67-2-12 和 MEPC 67/INF.23 中提出,希望 IMO 能够重点关注短途航线的压载水互免问题。提案中提到丹麦的压载水研究团队在 2014 年完成了一份关于“压载水相似风险区”的报告。MEPC69 次会议上,丹麦和 Interferry 再次抛出提案(MEPC 69-4-11),介绍相似风险区概念和压载水公约及其导则的关系,并在 MEPC69/INF.25 中详细阐述了

相似风险区法的程序和科学基础。

赫尔辛基委员会(HELCOM)和保护东北大西洋海洋环境委员会(OSPAR)从 2013 年到 2016 年每年都会发布针对《压载水公约》A-4 条款下的免除前瞻性研究,也在 2013 年发布了 HELCOM&OSPAR 的管理互免程序的导则^[2]。

新加坡于 MEPC70 次会议上递交了基于《压载水公约》A-4 条款的相似风险区研究报告(MEPC70/INF.21)。新加坡提出相似风险区法只是对压载水管理互免现有办法的补充,无需对 A-4 条款和 G7 导则进行修改。

表 1 压载水管理互免在其他国家或组织的研究情况

Tab.1 Research on the management mutual exemption of ballast water for other countries or organizations

序号 Serial number	国家或组织 Country or organization	报告名称 The report name	方法 Method	备注 Notes
1	丹麦	关于相似风险区域的说明,2014 Note on Same Risk Area,2014	相似风险区法	
2	丹麦和 Interferry	相似危险区概念程序与科学基础 Same Risk Area Concept Procedure and Scientific Basis	相似风险区法	IMO 海上环境保护 委员会第 69 届会议 MEPC 69/INF.25
3	HELCOM 和 OSPAR	基于可操作性的 HELCOM 和 OSPAR 方法的 压载水管理公约 A-4 中的压载水管理研究 A pilot study on granting exemptions for ships under the Ballast Water Management Convention regulation A-4, based on the operability of HELCOM & OSPAR Risk assessment tool and expert judgement	ESA 和 Brockmann Consult DUE Innovator II 压载水风险管理评估模型 The ESA/Brockmann Consult DUE Innovator II BWE risk assessment model	
4	HELCOM 和 OSPAR	HELCOM / OSPAR 指南 Joint HELCOM/OSPAR Guidelines on the granting of exemptions under the BWMC Regulation A-4	ESA 和 Brockmann Consult DUE Innovator II 压载水风险管理评估模型 The ESA/Brockmann Consult DUE Innovator II BWE risk assessment model	
5	新加坡	关于相似风险区压载水管理公约 A-4 条款中 压载水管理互免研究的最终报告 A Study on Same Risk Area With Regards to Ballast Water Management Convention Regulation A-4 on Exemptions to Ships Final Report	相似风险区法	IMO 海上环境保护 委员会第 70 届会议 MEPC 70/INF.21

1.2 中韩船舶压载水互免管理研究情况

2007 年 11 月,在韩方的建议下,中韩黄海压载水管理第一次双边会议在大连召开。中韩同意采用特殊物种法共同进行研究。中方由大连海事大学的党坤教授牵头,经过了 5 年的研究,完成了相关研究报告。中方建立了环境、压载水和目标物种数据库,并实现了评估模块调用数据完成评估^[6]。技术上,中方采用 G7 导则的特定物种法作为风险评估方法,建立了基于 ORDRS 的环境相似度算法。研究认为,虽然黄海航线船

舶的压载水引入外来海洋生物入侵压力较大^[7],但目标物种在评估港口引发危害的风险值都在控制范围之内^[8]。2015 年 6 月韩方认为尚无法根据中方 2012 年的《报告》给予免除。自 2016 年 9 月芬兰加入《压载水公约》后,公约正式进入生效倒计时。2016 年 8 月,韩国再次致电我国,商讨中韩两国船舶压载水管理互免和交换水域设置的可能性。本研究正是基于以上原因而开展。

大海洋生态系(Large Marine Ecosystems,

LMEs)^[9]的概念是在 1984 年由美国的肯尼思·谢尔曼 (Kenneth Sherman) 博士提出。IMO Globallast 依据生物地理区及其子区划分。LME 及其边界的物理范围是基于 4 个相关的生态(而非政治或经济)标准:水深,水文,生产力和营养关系。基于这 4 个生态标准,美国国家海洋和大气管理局 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)在大西洋、太平洋和印度洋海岸划分出了 64 个大海洋生态系。黄海大海洋生态区是第 48 个分区。本研究的评价港口选择大黄海水系的中韩两国互通航线作为评估范围。

2 中韩船舶压载水风险评估技术路线

本研究依据《压载水公约》第 A-4 条规定及相关风险评估导则(G7)的要求,采用相似风险区评估方法,评估中韩两国实施船舶压载水管理互免的风险。本项目的技术路线是基于 DHI 数学模型开发平台,结合研究区域内收集到的地形、岸线、目标物种耐受性等资料,搭建研究海域的水动力和 ABM 模型,开展相应的数学模型计算,分析研究海域的连通性。本项目技术路线见图 1。

3 SRA 模型条件设定

3.1 评价港口的选择

本研究的评价港口选择:根据相似风险区评估方法(SRA)的要求,参考《压载水公约》第 A-4 条规定和风险评估导则(G7),结合中韩两国互通航线和大黄海生态水域现状,在双方都认可的基础上,确定风险评估水域范围。本研究确定选取仁川、木浦、威海、大连、青岛、连云港共 6 个港口作为 SRA 评价港口。

3.2 目标物种的选取

目标物种包括以下几个方面,但不局限于此:(1)生物入侵的历史记录;(2)对环境、经济、人体健康、财产或资源存在的能够证明的影响;(3)目前在本生物地理区和其它生物地理区的分布情况是否广泛;(4)作为一个载体与压载水的关系。

由此可见,目标物种清单是在黄海大海洋生态区有可能通过压载水转移来进行危害和入侵的海洋生物,而不是目标港口的所有物种。

目标物种的选取对压载水生物入侵风险评估的结果至关重要,我们通过调查资料和文献,从黄海 12 种海洋藻类中选取中肋骨条藻作为本研究的评价目标物种^[10-14]。依据国家海洋局第一海洋研究所的实验结论,中肋骨条藻在温盐度条件下的最适区间和耐受区间见表 2。

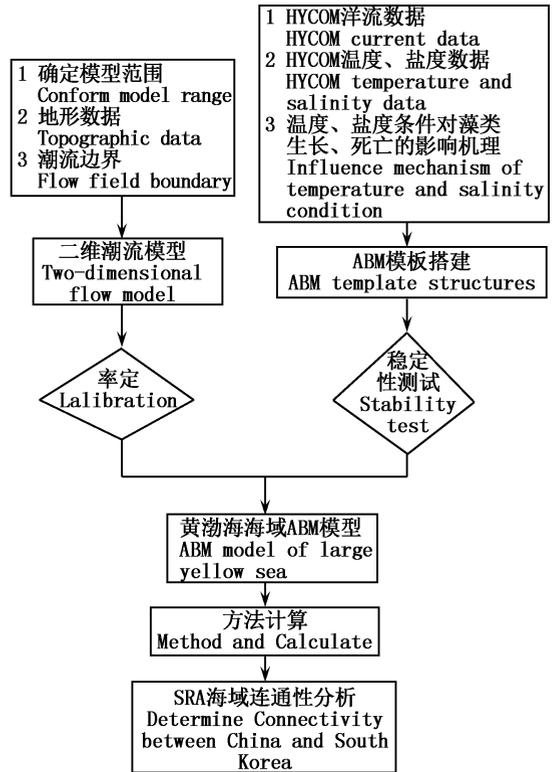


图 1 相似风险区法研究的技术路线

Fig. 1 The technical route of the study of SRA

4 模型的建立

4.1 黄海二维水动力模型

HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model) 是美国全球海洋数据同化实验(GODAE)的一部分, HYCOM 是原始方程全球海洋环流模式,垂向采用混合坐标(等密度坐标、sigma 坐标和 z 坐标的混合)^[15]。美国 NOPP(National Ocean Partnership Program)项目使用 HYCOM 模型,联合使用 NCODA(Navy Coupled Ocean Data Assimilation)资料同化计算了全球海域的洋流再分析数据。该数据库提供 1992 年 10 月 2 日至今的后报及未来一周的预报数据,包括潮位、流速(u、v 分量)、温度和盐度的全球海洋三维数据。本次计算选用的数据为计算结果插值后的 GLBu0.08,水平方向上分辨率为 0.08°×0.08°,垂向分为 40 层。

本项目中采用 HYCOM 的洋流数据, 叠加 MIKE 21 FM HD 计算得到的潮流数据, 模拟实际的海洋中水体的真实流动。在后续 ABM 模型中, 仅考虑 HYCOM 数据中表层的流动对入侵物种运动的影响。同时, 考虑表层温度和盐度数据, 作为影响因素输入模型。模型包括渤海、黄

海和东海海域, 计算范围南侧开边界为东海浙江台州临海市至日本九州岛的南萨摩市连线, 模型东侧开边界为对马海峡韩国蔚山市与日本本岛长门市的连线。模型开边界选取自 DHI 全球潮汐模型。

表 2 目标物种清单及环境耐受值和最适值

Tab. 2 The list of target species and it's environmental tolerance interval and optimal interval

物种 Species	分布和特性 Distribution and identification	耐受和最适区间 Tolerance interval and optimal interval	温度/°C Temperature		盐度 Salinity	
			最小值	最大值	最小值	最大值
中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	广温广盐性代表种类, 是中国海岸最广泛的赤潮种, 无毒赤潮种	耐受值 最适值	0 24	37 28	13 14	36 23

4.2 ABM 模型建立

ABM 的全称是基于介质的模拟 (Agent Based Modelling, 或“基于个体的模拟 (Individual Based Modelling”, 简称 IBM)。该模板作为单独的模型文件, 在计算中将与水动力模型进行耦合, 最终构建适用于黄海二维压载水入侵物种的 ABM 模型。

对压载水入侵物种的模拟主要集中在两个方面, 一方面是模拟入侵物种的运动模式。在本次计算中, 入侵物种为藻类, 在实际水体中其运动模式是随潮流和洋流进行被动运输。第二方面是模拟入侵物种在环境条件下的存活状态, 探究其被船舶排出后, 在水流驱动下, “活着” 到达目标港口的概率。基于获取到的数据资料, 并且考虑到温度和盐度是影响海洋藻类生长的重要生态因子, 本模型中影响入侵物种存活的环境条件为温度和盐度。

根据 ABM 模型方法, 本研究将目标藻类在研究区域内的漂移扩散以粒子的形式进行模拟。为统计藻类从被排出到抵达其他港口的概率, 以一定个数的粒子群代表某一质量的藻类 (即一个粒子代表一定质量的藻类), 藻类将在潮流和洋流的共同作用下发生漂移扩散。在漂移过程中, 在最适的温度和盐度条件下, 认为藻类整体处于增长状态, 生成率大于死亡率, 在模型中将净增长率体现为粒子质量的增加; 在不适宜的温度和盐度条件下, 认为藻类死亡率大于生长率, 在模型中将净死亡率体现为粒子质量的减少, 藻类质量的变化速率通过模板中设置的与温度盐度数值相关的参数来控制。基于上述计算机理, 目标

藻类从“投放港” 到达“接收港” 的概率定义为: (到达“接收港” 的粒子个数/从“投放港” 释放的粒子个数) × (到达接收港的粒子剩余质量之和/到达接收港的粒子的初始质量之和)。例如, 假定从 A 港释放的 200 个总质量为 10 000 kg 的粒子中有 20 个粒子到达 B 港, 到达 B 港时这 20 个粒子的剩余质量之和为 500 kg, 那么从 A 港释放的粒子能够到达 B 港的概率为: $20/200 \times 500/10000 = 1/20 = 5\%$ 。压载水入侵物种 ABM 模板的构建主要围绕状态变量——藻类粒子的质量展开, 藻类粒子质量变化过程通过以下微分式计算:

$$\frac{dmass}{dt} = Kts \times mass \quad (1)$$

式中: mass 为目标藻类粒子的质量; Kts 为温度和盐度共同影响下的质量变化速率, 即净死亡率或净生长率。当温度和盐度处于最适值之间时, Kts 取值为负; 当温度和盐度超出最适值范围时, Kts 取值为正。其计算方法如下式:

$$Kts = 1 - (1 - Kt) \times (1 - Ks) \quad (2)$$

式中: Kt、Ks 分别为目标藻类的质量在温度、盐度单一因子影响下的死亡率, 计算式如下:

$$Kt = \begin{cases} Kt_{die} & (T < T_{min} \text{ 或 } T > T_{max}) \\ Kt_{live} * \theta^{|T - (T_{fit_min} + T_{fit_max})/2|} & (T_{fit_min} < T < T_{fit_max}) \\ Kt_{tough} * Nt_{min} & (T_{min} \leq T \leq T_{fit_min}) \\ Kt_{tough} * Nt_{max} & (T_{fit_max} \leq T \leq T_{max}) \end{cases} \quad (3)$$

$$K_s = \begin{cases} K_{s_die} (S < S_{min} \text{ 或 } S > S_{max}) \\ K_{s_live} * \theta^{|S - (S_{fit_min} + S_{fit_max})/2|} \\ \quad (S_{fit_min} < S < S_{fit_max}) \quad (4) \\ K_{s_tough} * N_{s_min} (S_{min} \leq S \leq S_{fit_min}) \\ K_{s_tough} * N_{s_max} (S_{fit_max} \leq S \leq S_{max}) \end{cases}$$

5 模型方案及结果

本研究需要考察包括仁川、木浦、威海、大连、青岛、连云港在内的 6 个港口之间的连通性,因此需要设计压载水入侵物种分别从这 6 个港口释放的计算工况;此外,考虑到黄海海域洋流及温度和盐度场在全年之中具有季节性变化特征,为了更合理地评价黄海海域的连通性,分别选取 2015 年的 1 月、4 月、7 月、10 月四个时间点代表春夏秋冬四个季节的典型时刻,作为模型中

压载水排放目标物种的时刻。本研究用示意图形式展示各个港口之间的每种目标藻类到达关系,图 2 中,绿圈代表 6 个港口,箭头表示港口之间到达关系,判定到达的原则是只要“投放港”在 1、4、7、10 四个时间点中任意一个时间点的方案中可以到达“接收港”口,则认为可以到达。

本研究分别由各个港口释放压载水目标物种后,研究海域内每个目标物种的到达概率分布图。该概率的生成方法为:首先分别计算每一个方案(对应一个投放港和一个投放时间)下研究海域内的目标物种到达概率;其次,将相应港口四个时刻释放压载水目标物种后概率分布结果进行算术平均,所得结果可以体现目标物种在一整年时间跨度内到达研究海域内不同位置的概率分布。

表 3 ABM 模板中部参数及变量说明

Tab.3 The parameters and variables in the ABM model

参数名称 Parameter	说明 Instrument	计算式 Function
Tmin	温度耐受范围的最小值	常数
Tmax	温度耐受范围的最大值	常数
Tfit_min	温度最适范围的最小值	常数
Tfit_max	温度最适范围的最大值	常数
Kt_die	只考虑温度的影响时,物种超出温度耐受范围时的质量变化速率(净死亡率)	常数
Kt_tough	只考虑温度的影响时,物种处于温度耐受值和最适值范围之间时的质量变化速率(净死亡率)	常数
Kt_live	只考虑温度的影响时,物种处于温度最适值范围之间时的质量变化速率(净生长率)	常数
Nt_min	死亡率修正系数。当温度介于最适值最小值和耐受值最小时,该系数用于修正 Kt_tough	正态分布函数; 当 Tmin ≤ T ≤ T fit_min 时, T ~ N(Tmin, ((Tfit_min - Tmin)/3)^2)
Nt_max	死亡率修正系数。当温度介于最适值最大值和耐受值最大时,该系数用于修正 Kt_tough	正态分布函数; 当 Tfit_max ≤ T ≤ Tmax 时, T ~ N(Tmax, ((Tmax - T fit_max)/3)^2)
Smin	盐度耐受范围的最小值	常数
Smax	盐度耐受范围的最大值	常数
Sfit_min	盐度最适范围的最小值	常数
Sfit_max	盐度最适范围的最大值	常数
Ks_die	只考虑盐度的影响时,物种超出盐度耐受范围时的质量变化速率(净死亡率)	常数
Ks_tough	只考虑盐度的影响时,物种处于盐度耐受值和最适值范围之间时的质量变化速率(净死亡率)	常数
Ks_live	只考虑盐度的影响时,物种处于盐度最适值范围之间时的质量变化速率(净生长率)	常数
Ns_min	死亡率修正系数。当盐度介于最适值最小值和耐受值最小时,该系数用于修正 Ks_tough	正态分布函数; 当 Smin ≤ S ≤ S fit_min 时, S ~ N(Smin, ((Sfit_min - Smin)/3)^2)
Ns_max	死亡率修正系数。当盐度介于最适值最大值和耐受值最大时,该系数用于修正 Ks_tough	正态分布函数; 当 Sfit_max ≤ S ≤ Smax 时, S ~ N(Smax, ((Smax - S fit_max)/3)^2)
θ	影响净生长率的修正系数	常数

6 结论

(1) 研究表明, 中韩之间海域具有一定的连通性, 所选部分目标物种能够互相到达对方领海, 且从半岛西岸向中国方向生物的扩散连通性要好于从中国向半岛西岸。但这种连通性较低, 不能满足模拟的几个港口间的完全连通, 部分物种受水温和盐度等影响, 到达对方领海的可能性较低。故从中肋骨条藻的扩散结果来看, 并

不能满足中韩大黄海水域为一个相似风险区的要求。

(2) 下一步应补充完善中韩双方确定目标物种, 引入更多目标物种开展广泛的连通性研究。

(3) 如果研究的范围从港口之间扩展到对方领海岸线以内水域, 研究结论可能有利于连通性的大幅提升。所以在对相似风险区法的结论进行评价时, 评价标准应更科学和合理, 这尚待进一步的研究确定。

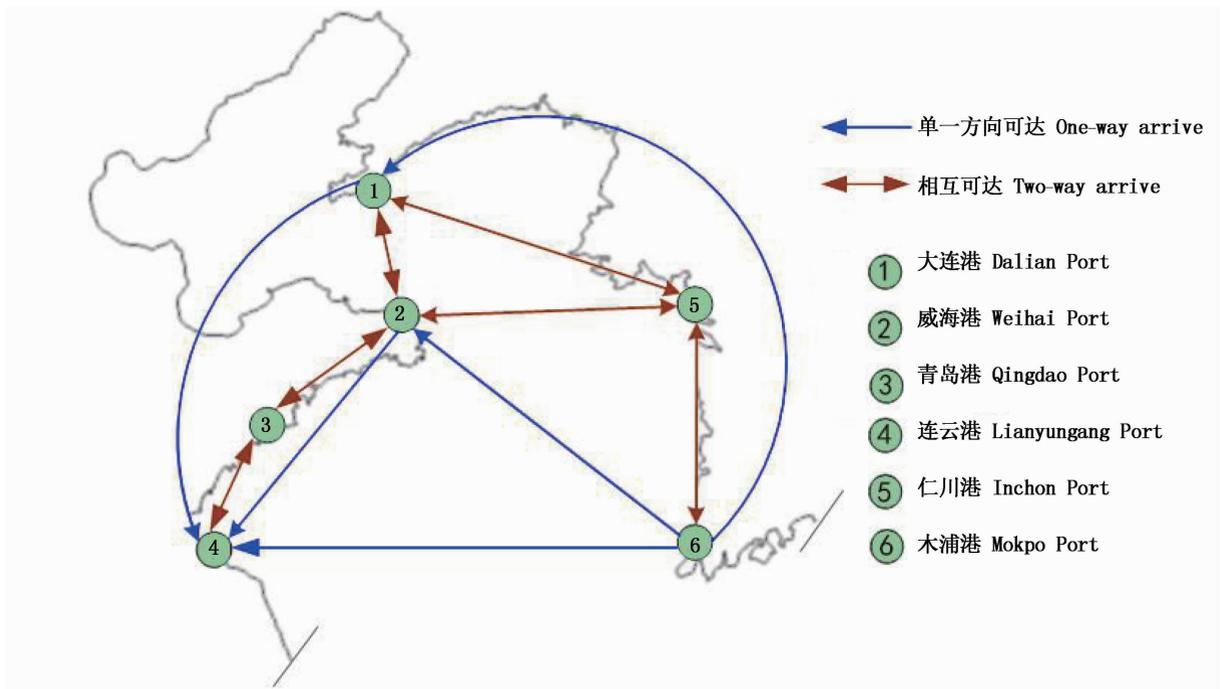


图2 各港口间中肋骨条藻作为目标物种时的连通关系示意图
Fig.2 Schematic diagram of the connected relationship between ports

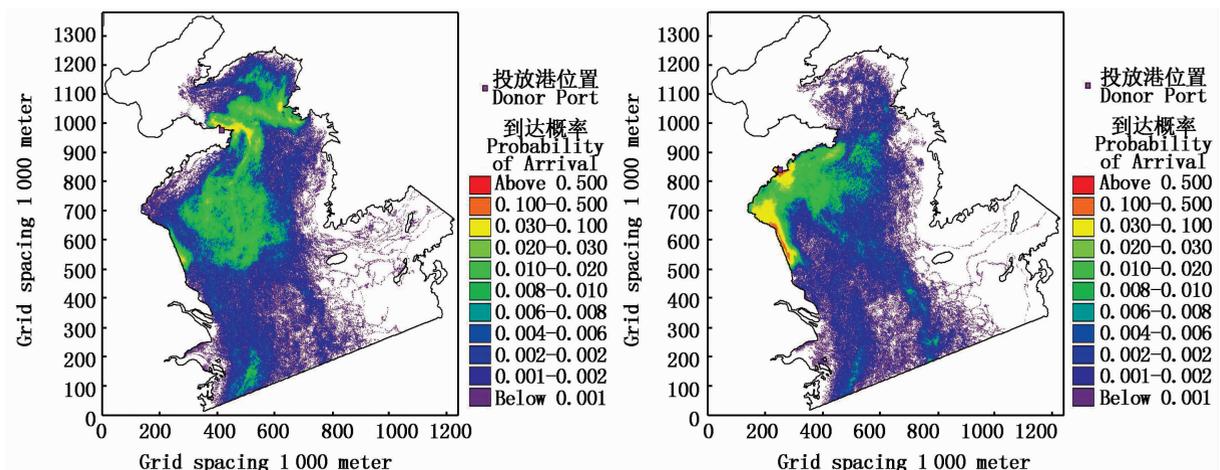


图3 威海港和青岛港作为‘投放港’时研究海域内中肋骨条藻的到达概率分布图
Fig.3 Probability of arrival when *Skeletonema costatum* is thrown in Weihai Port and Qingdao Port

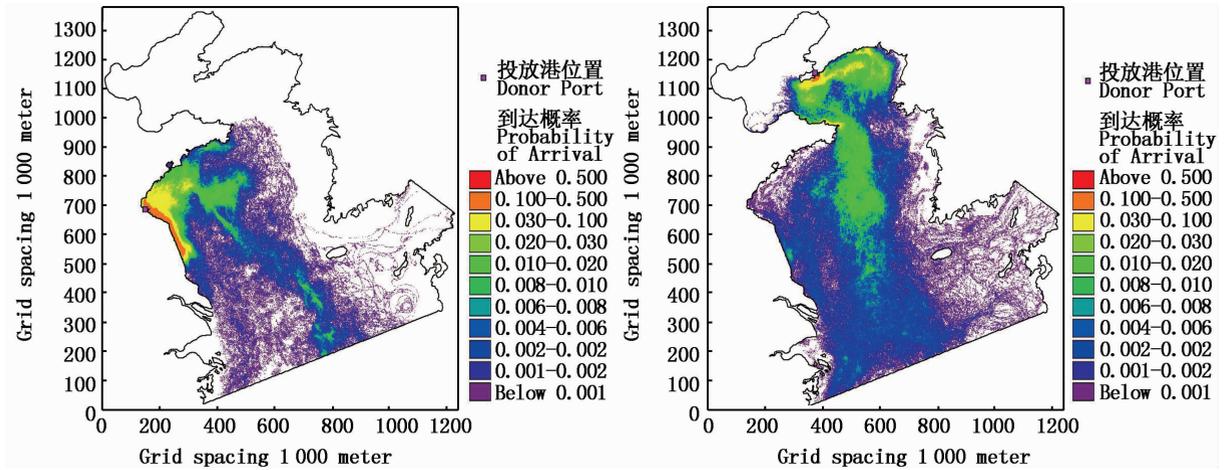


图 4 连云港港和大连港作为‘投放港’时研究海域内中肋骨条藻的到达概率分布图

Fig. 4 Probability of arrival when *Skeletonema costatum* is thrown in Lianyungang Port and Dalian Port

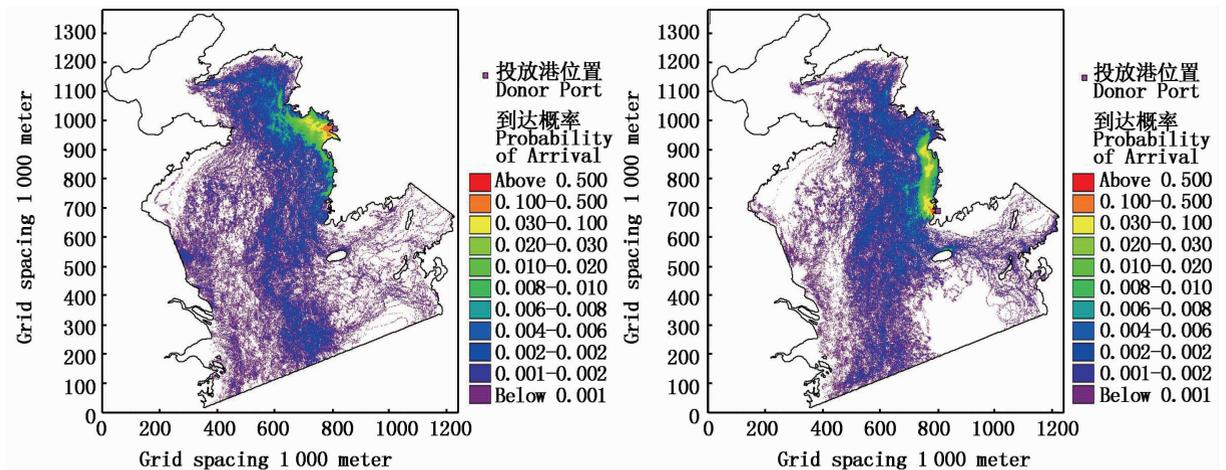


图 5 仁川港和木浦港作为‘投放港’时研究海域内中肋骨条藻的到达概率分布图

Fig. 5 Probability of arrival when *Skeletonema costatum* is thrown in Incheon Port and Mokpo Port

参考文献:

[1] International Maritime Organization. Guidelines for risk assessment under regulation A-4 of Convention for the Control and Management of Ships Ballast Water and Sediments (G7). London: IMO, 2007.

[2] 胡岚岚. 船舶压载水生态风险评估[D]. 大连: 大连海事大学, 2008.
HU L L. Ecological risk assessment of ballast water [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2008.

[3] 刘霞. 基于生态相似性的船舶压载水风险评估模型[D]. 大连: 大连海事大学, 2010.
LIU X. Ballast water risk assessment model based on ecological similarity [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2010.

[4] 文嘉鹏. 压载水相似风险区技术研究[J]. 中国船检, 2017(2): 84-88.
WEN J P. Study on the same risk area of ballast water[J]. China Ship Survey, 2017(2): 84-88.

[5] HELCOM, OSPAR. HELCOM-OSPAR Joint harmonized procedure for BWMC A-4 exemptions[R]. Klaipeda, Lithuania: Baltic Marine Environment Protection Commission, 2015.

[6] 郑瑞丰. 仁川—大连航线船舶压载水风险评估[D]. 大连: 大连海事大学, 2010.
ZHENG R F. Ballast water risk assessment for the ship on the voyage from Incheon to Dalian [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2010.

[7] 柯俊先. 基于风险评估的船舶压载水管理免除研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2013.
KE J X. Research on exemption of ships' ballast water

- management based on risk assessment [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2013.
- [8] 陈龙. 黄海大海洋生态系船舶压载水特定物种风险评估 [D]. 大连: 大连海事大学, 2011.
CHEN L. Species-specific ballast water risk assessment of ships in Yellow Sea Large Marine Ecosystem [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2011.
- [9] SHERMAN K, ALEXANDER L M. Variability and management of large marine ecosystems [M]. Boulder, Colorado: Westview Press, 1986.
- [10] 霍文毅, 俞志明, 邹景忠, 等. 胶州湾中肋骨条藻赤潮与环境因子的关系 [J]. 海洋与胡沼, 2001, 32(3): 311-318.
HUO W Y, YU Z M, ZOU J Z, et al. Outbreak of *Skeletonema costatum* red tide and it's relations to environmental factors in Jiaozhou bay [J]. Oceanologia et limnologia sinica, 2001, 32(3): 311-318.
- [11] 颜天, 周名江, 钱培元. 环境因子对塔玛亚历山大藻生长的综合影响 [J]. 海洋学报, 2002, 24(2): 114-120.
YAN T, ZHOU M J, QIAN P Y. Study on the combined effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of *dinoflagellate Alexandrium tamarense* [J]. Acta oceanologica sinica, 2002, 24(2): 114-120.
- [12] 茅华, 许海, 刘兆普. 温度、光照、盐度及 pH 对旋链角毛藻生长的影响 [J]. 生态科学, 2007, 26(5): 432-436.
MAO H, XU H, LIU Z P. Effects of water temperature, illumination, salinity and pH on the growth of *Chaetoceros curvisetus* [J]. Ecological science, 2007, 26(5): 432-436.
- [13] 王正方, 张庆, 吕海燕. 温度、盐度、光照强度和 pH 对海洋原甲藻增长的效应 [J]. 海洋与胡沼, 2001, 32(1): 15-18.
WANG Z F, ZHANG Q, LÜ H Y. Effects of temperature, salinity, light and pH on the growth of red tide organisms *Prorocentrum micans* [J]. Oceanologia et limnologia sinica, 2001, 32(1): 15-18.
- [14] 徐宁, 吕颂辉, 陈菊芳, 等. 温度和盐度对锥状斯氏藻生长的影响 [J]. 海洋环境科学, 2004, 23(3): 36-38.
XU N, LÜ S H, CHEN J F, et al. The influence of water temperature and salinity on the growth of *Scrippsiella trochoidea* [J]. Marine environmental science, 2004, 23(3): 36-38.
- [15] HALLIWELL G R, BLECK R, CHASSIGNET E P. Atlantic Ocean simulations performed using a new Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) [C]. EOS, Fall AGU Meeting, 1998.

Research on biological invasion risk from ships' ballast water of China-Korea course based on SRA model

LI Tao^{1,2}, WEN Jiapeng¹, TIAN Yujun¹, ZHANG Bo³

(1. China Waterborne Transport Research Institute, Beijing 100088, China; 2. Dalian Maritime University Transportation Management College, Dalian 116026, Liaoning, China; 3. Hebei Maritime Safety Administration, Qinhuangdao 061100, Hebei, China)

Abstract: International Convention for the Control and Management of Ships Ballast Water and Sediments (Ballast Water Management Convention), which was implemented from 2017, requires the installation of a ballast water management system (BWMS) for international shipping line vessels of 400 gross tons and above. Ballast Water Management Convention requires the installation of ballast water treatment equipments for ships on international routes. But there is a condition that vessels absolve installation of BWMS in the A-4 clause of the ballast water convention. In order to meet the requirements of the Convention of Ballast water convention and reduce the investment of Chinese and Korean routes in the Yellow Sea waters, In recent years, China and South Korea have used academic exchanges and technical assessments to analyze the biological invasion risks caused by the discharge of ballast water in the yellow sea. In this study, the risk assessment of biological invasion was carried out using the Same Risk Area method firstly proposed by Denmark and Interferry. The Same Risk Area Method is adopted for risk assessment. The two dimensional hydrodynamic model of the Yellow Sea and Agent Based Modelling are established, the natural biological diffusion was simulated by the release of *Skeletonema costatum*, the effects of water temperature and salinity on biological behavior were coupled. The simulation results show that the port waters between China and South Korea has certain natural diffusion connectivity. But the connectivity between test ports cannot be determined from time and space, and the Yellow Sea Large Marine Ecosystem is not a Same Risk Area.

Key words: biological invasion; ballast water; same risk area method; China-Korea course; ballast water management convention