

海水对虾池塘养殖污染物环境负荷量的研究

李纯厚, 黄洪辉, 林 钦, 蔡文贵, 甘居利

(农业部渔业生态环境重点开放实验室, 广东省渔业生态环境重点实验室, 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东广州 510300)

摘 要: 通过分析广东海水对虾养殖饵料、养殖品种的组成成分、养殖效率和养殖池塘进排水污染物增量的变化, 利用质量守恒法和增量估算法, 评估了对虾池塘养殖主要污染物的环境负荷量和排放量。结果显示, 对虾池塘养殖氮、磷环境负荷量分别为 45.8 和 10.1 $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$, 其中随养殖废水排入海的环境排放量分别为 1.39 和 0.65 $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$ 同时, 排放废水中 COD 和悬浮物的环境排放量分别为 49.65 和 179.7 $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$ 。

以广东省 2001 年对虾池塘养殖状况为例, 评估了池塘对虾养殖污染物的环境负荷量。结果显示, 2001 年全省对虾池塘养殖对环境产生的氮、磷负荷量分别为 4 508.5 和 994.2 t, 其中通过养殖废水排入临近海域水环境的 COD、无机氮、无机磷和悬浮物排放量分别为 4 887.5、136.8、64.0 和 17 689.5 t; 氮磷环境负荷量及污染物的排放量均以粤西最高, 粤东次之, 珠三角一带最低。与陆源废水排放中氮、磷排放量比较, 海水对虾池塘养殖废水排放氮、磷总量分别约为陆源排放量的 0.15% 和 0.41%。

关键词: 对虾养殖; 氮; 磷; COD; 悬浮物; 环境负荷量; 排放量

中图分类号: X131.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 – 2043(2004)03 – 0545 – 06

Environmental Carrying Capacity of the Pollutants from the Prawn Seawater Culture Ponds

LI Chun-hou, HUANG Hong-hui, LIN Qin, CAI Wen-gui, GAN Ju-li

(Key Laboratory of Fishery Ecology Environment, Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Fishery Ecology Environment of Guangdong Province, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

Abstract: During the marine culturing process, the pollutants entered the environment were mainly nitrogen and phosphorus, and as well the apparent index presented in the increment of COD and suspending substance. Through analyzing the composition of the feed, the culturing species, the culturing efficiency and the increment change of the pollutants in and out the ponds, the environmental carrying capacity and discharge amount of the main pollutants from the prawn culturing ponds were evaluated by using the mass conversation and the increment estimation methods. The environmental carrying capacity for nitrogen and phosphorus were 45.8 $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$ and 10.1 $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$, among which the discharge amount entered the sea with the culturing wastewater were 1.39 $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$ and 0.65 $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$, respectively; while that of COD and suspending substance were 49.65 $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$ and 179.74 $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$ respectively. In Guangdong province, the environmental load of nitrogen and phosphorus produced from the prawn culture were 4508.5 t and 994.2 t, respectively in 2001, and among them, the discharge amount of COD, inorganic nitrogen, inorganic phosphorus and suspending substance, which entered the nearby sea waters with the culturing wastewater, were 4 887.5 t, 136.8 t, 64.0 t and 17 689.5 t, respectively. Both the environmental load and discharge amount of nitrogen and phosphorus pollutants in west Guangdong were the highest, and followed by east Guangdong, while those around the waters of Pearl River Delta were the lowest. Compared with the land wastewater, the discharge amount of nitrogen and phosphorus from the prawn culturing ponds were about 0.19% and 0.4% that of the land wastewater, respectively.

Keywords: prawn; culture; nitrogen; phosphorus; COD; suspending substance; environmental carrying capacity; discharge amount

收稿日期: 2003 – 09 – 19

基金项目: 科技部公益研究专项奖金项目 (2001 – 183)

作者简介: 李纯厚 (1963—), 男, 湖南澧县人, 研究员, 主要从事渔业生态环境研究。E – mail: chunhou@ pub. guangzhou. gd. cn

近十几年来,广东沿海的海水养殖业发展较快,2001年海水养殖面积达到 $20.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$,比1992年增长了116.4%,养殖总产量 $179.0 \times 10^4 \text{ t}$,比1992年增长了261.3%。然而,随着养殖面积和产量的逐年增加,密集型养殖水域的环境恶化问题已引起人们广泛的关注^[1~11],养殖水域底质硫化物积累、赤潮灾害频繁发生,养殖病害突发性爆发,外源性污染物的排放等制约沿海养殖业持续发展的现象日趋显露。据不完全统计,近年来直接对广东沿海水产养殖业造成较大危害的赤潮灾害先后发生20多起,而且呈现发生频率不断增加,发生范围逐渐扩大,危害程度有日趋严重的趋势^[12~14]。柘林湾、大亚湾、大鹏湾、珠江口、湛江港等已成为广东沿海赤潮灾害发生的主要海域。为了维护广东海水养殖产业的健康、持续发展,科学评价海水养殖对环境的影响,林钦等(1999)^[13]对我国海水网箱养殖环境的氮磷负荷量进行了评估,甘居利等(2001)^[14]、何国民等(1997)^[16]对网箱养殖渔场老化特征及生态风险进行了分析与评价,林钦等(1998)^[15]、甘居利等(2001)^[17]、李纯厚等(2002)^[18]和王增焕等(1998)^[19]对网箱养殖的环境影响也进行了深入探讨。但对海水池塘养殖的环境影响,特别是对养殖排放污染物的环境负荷尚未进行系统研究。本文根据多年调查研究资料,对广东海水对虾池塘养殖主要污染物的环境负荷量进行了定量评估,评估结果将为海水养殖产业的发展、规划和综合管理提供科学依据。

1 评估方法

广东的对虾池塘养殖一般以高产精养为主,辅有部分粗放式养殖,养殖饵料除少量利用鲜活冰鲜贝类、虾类和杂鱼外,绝大部分均采用人工配合饲料。因此,养殖过程对环境的外源污染物主要来源于饲料的剩饵和虾体排泄物。评估养殖对环境的影响的评价指标或参数因调查目的不同而异,本文从养殖对环境产污能力角度选取COD、悬浮物、氮和磷负荷为指标,评价其对环境的影响。

评估方法根据不同目的采用质量守恒法和增量估算法进行。氮、磷环境总负荷量参照林钦等(1999)^[15]依据质量守恒提出的估算方法,其原理是“所投喂的营养物质,扣除积蓄在养殖生物体中的量,剩余额即为环境负荷量”,计算公式为:

$$L_{N,P} = (C \times F_{N,P} - P_{N,P}) \times 10^3$$

式中: $L_{N,P}$ 为氮或磷的环境负荷量/ $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$; C 为饵

料系数; $F_{N,P}$ 为饲料中氮或磷的含量/%; $P_{N,P}$ 为虾体中氮或磷的含量/%。

上述估算的氮磷环境负荷量是养殖过程对环境的总负荷量,包括排放入临近海域水环境的负荷和沉积到养殖池塘的负荷。养殖过程中产生的污染废物中一部分可以通过虾池中微生物的分解作用和虾池中浮游植物的光合作用而被利用,一部分沉积于池塘底部未被重新利用,造成环境的积累,另一部分通过换水排出池外,对邻近海域的环境产生一定影响。沉积到养殖池塘的负荷部分一般沉积在池底或通过挖掘留存于陆地,未排入海洋。因而,影响海域水环境较大的主要指通过排水进入临近水域的负荷,即环境排放量。环境排放量利用增量估算法求算,计算公式为:

$$M_i = Q \times C_{\Delta i} \times 10^{-3} / W_{\Delta}$$

式中: M_i 为某种污染物的环境排放量/ $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$; Q 为养殖过程中单位面积废水排放量/ $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$; $C_{\Delta i}$ 为排放水体中某种污染物的增量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; W_{Δ} 为养殖生物产量或重量增量/ $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

2 主要污染物负荷评估

2.1 主要养殖品种及养殖模式

养殖对虾品种主要包括斑节对虾、中国对虾、日本对虾、长毛对虾、墨吉对虾以及其他小规模的新对虾属虾类;近年来,在沿海咸淡水池塘开展有较大规模的南美白对虾养殖,有些地区养殖面积占虾类养殖总面积的80%以上,产量较高。

对虾的养殖模式较多,一般根据养殖地区的自然环境条件、技术水平和经济状况等因素决定,概括起来,主要有粗放式养殖、半精养和精养等方式。精养(或称集约化养殖),虾池面积一般不超过 1 hm^2 ,水深在 $1.5 \sim 2.0 \text{ m}$,有独立的进排水系统,投喂高效优质人工饲料,产量高,一般单造可达 $7 \sim 8 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。半精养,虾塘面积一般在 7 hm^2 以下,滩面水深 $1.0 \sim 1.5 \text{ m}$,早期通过施肥繁殖天然饵料生物,中后期投喂人工饲料,产量一般不超过 $1.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。粗放式养殖,养殖面积一般在 6 hm^2 以上,池底深浅不一,水深多在 $0.5 \sim 1.0 \text{ m}$ 以上,不清池或清池不彻底,依靠天然纳苗或放养人工苗,施肥繁殖天然饵料生物,不投喂或少量投喂人工配合饲料,产量较低。

虾类的养殖按池塘位置的不同、提水方式的差异,也可分为高位池养殖、低位池养殖和大塭养殖等。高位池养殖是以提水方式进行的养殖模式,虾池造价和放养密度均较高,一般定期施放环境调节剂和

环境改良剂, 养殖全过程投喂高效优质人工饲料, 基本不换水, 仅定期添加一定水量补充, 产量高, 最高产量可达 $15\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; 低位池指依靠海水潮差自然进排水的养殖模式, 放养密度一般略低, 投喂人工饲料的同时, 辅以粗原料混合料, 产量比高位池养殖要低, 投入相对也较低; 大塭养殖是一种粗养模式, 自然纳苗或投放一定的苗种, 不投喂或少投喂饲料, 产量低。此外, 按养殖过程中进水与否, 还可分为开放式养殖、封闭式养殖或半封闭式养殖等。

2.2 饲料及对虾主要成分

对虾属杂食性, 一般蛋白质含量比较丰富的农、渔副产品和许多小型低等水生物均可以作为对虾的饵料。目前, 广东的对虾养殖多以人工配合饲料喂

养。对虾的配合饲料没有定型的配方, 主要采用鱼粉、花生饼、豆饼、虾糠、鱼骨粉、微量元素、粘剂和抗生素等配制而成的全价系列饲料。

广东沿海对虾养殖配合饲料主要来源于广东本地生产, 尽管不同来源饲料配方各异, 但基本成分类似, 差异不明显。蛋白质含量一般在 $38\% \sim 41\%$, 其中氮含量在 $4.96\% \sim 6.56\%$ 变化, 磷含量水平一般大于或等于 1.0% , 平均分别为 5.76% 和 1.0% , 饵料系数一般保持在 $1.2 \sim 1.5$ 之间, 平均 1.3 , 见表 1, 饲料的利用率平均 80% 。

对广东对虾养殖主要品种斑节对虾和南美白对虾的主要组成成分进行了分析。结果表明, 虾体中氮、磷湿重含量平均分别为 2.91% 和 0.29% , 见表 2。

表 1 广东几种对虾饲料的基本成分(%)及饵料系数
Table 1 The basic components and coefficient of the feed for several species of prawn in Guangdong province

饲料号	粗蛋白	粗脂肪	粗纤维	粗灰分	氮	磷	水分	饵料系数
1	41.0	4.0	5.0	16.0	6.56	1.0	11.0	1.2~1.3
2	35.0	4.0	5.0	16.0	5.60	1.0	12.0	1.3~1.6
3	33.0	4.0	5.0	16.0	5.28	1.0	12.0	1.3~1.6
4	31.0	4.0	5.0	16.0	4.96	1.0	12.0	1.3~1.6
5	38.0	4.0	5.0	16.0	6.08	1.0	12.0	1.2~1.3
平均	36.0	4.0	5.0	16.0	5.76	1.0	12.0	1.3

表 2 广东几种养殖对虾的主要组成成分(%)
Table 2 The main composition of several culturing prawns in Guangdong province(%)

种类	粗蛋白	氮	磷	水分	资料来源
长毛对虾	18.5	2.96	0.24	76.4	[15]
斑节对虾	17.55(16.5~18.6)	2.81(2.64~2.98)	0.28	73.6	本文
南美白对虾	18.45(18.0~18.9)	2.95(2.88~3.02)	0.39	75.0(70.0~80.0)	本文
中国对虾	18.3	2.93	0.25	78.0	[15]
平均	18.2	2.91	0.29	75.7	

2.3 排水量估算

由于广东沿海对虾养殖存在不同的模式, 而不同的养殖模式进排水方式显示较大差异, 反映在养殖池塘排水量的估算上存在明显的不同。封闭式养殖模式的排水量明显低于开放式养殖, 半封闭式养殖则介于二者之间。本文以南海区目前广泛采用的“半封闭式”对虾养殖模式为例估算其排水量。半封闭式养殖模式, 每造养殖周期一般约 100 d , 每年养殖 2 造。养殖前 30 d 内, 基本不换水, 仅根据水量蒸发或渗漏等情况适量补充添加少量水, 维持水深约 150 cm 左右。养殖的中、后期虾池采取不间断方式逐渐加大换水量, 每 15 d 约换 $12\% \sim 15\%$, 平均每天换水 1% , 最后收虾时池水全部放干。

以虾池平均水深 1.5 m 计, 虾池平均水体为 $15\,000$

$\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, 每造养殖换水天数为 70 d (前 30 d 不换水), 每天换水率为 1% , 最后收虾时池水排干, 每年养殖 2 造。据此, 养殖废水的排放量为 $51\,000\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (即 $Q = 15\,000\text{ m}^3 \times 2 + 15\,000\text{ m}^3 \times 1\% \times 140\text{ d}$)。

2.4 虾池纳排水中污染物含量

对虾养殖过程中所产生的 COD、N、P 和悬浮物等污染废物, 一部份通过虾池中微生物的分解作用和虾池中浮游植物的光合作用重新被利用, 另一部份通过换水排出池外, 对邻近海域的环境产生一定的影响。根据监测, 一般虾池排出废水中 COD、无机氮、无机磷和悬浮物往往要高于纳水区水中的含量, 不同虾塘显示一定差异, 结果见表 3。

综合调查结果表明, 对虾养殖中、后期, 虾池水体

表 3 对虾养殖排放废水中主要污染物质浓度增量

Table 3 The concentration increment of the main pollutants in the wastewater from prawn culture ponds

地区	COD/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	TIN/ $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	$\text{PO}_4 - \text{P}/\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	悬浮物/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	资料来源
红海湾	2.00	100.0	10.0	8.0	贾晓平等(2003) ^[16] 本文
大亚湾南澳	2.42	23.8	47.74	—	
平均	2.21	61.9	28.87	8.0	

中主要污染物质的浓度明显高于蓄水池中的浓度。根据不同地区养殖池塘排水中几种污染物质含量变化的统计分析,广东对虾养殖池塘排放水中 COD、无机氮、无机磷和悬浮物增量平均分别为 $2.21 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $61.9 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $28.87 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $8.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

2.5 虾池氮磷环境负荷量估算

根据虾池氮、磷环境负荷量的质量守恒计算公式(1),广东沿海对虾养殖饵料系数(C)取 1.3,饲料中氮、磷含量($F_{\text{N,P}}$)分别取 5.76% 和 1.0%,虾体中氮、磷组成含量($P_{\text{N,P}}$)分别取 2.91% 和 0.29%,估算出虾池氮、磷环境负荷量分别为 45.8 和 $10.1 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$,对环境的氮、磷负荷分别为 45.8 和 $10.1 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ 。

2.6 虾池污染物排放量估算

对虾养殖氮磷环境负荷量估算值为养殖过程虾池产生的污染物总量,扣除留存虾池沉积物中部分外,排放入临近水域的排放量利用公式(2)进行估算。

根据上述有关参数推算,养殖过程中全年单位面积废水排放量(Q)取 $51\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,对虾养殖产量(W_{Δ})以 2001 年广东省全省产量均值计算,即 $2.27 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,排放水中 COD、无机氮、无机磷和悬浮物增量($C_{\Delta i}$)分别取 $2.21 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $61.9 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $28.87 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $8.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。据此,可估算出虾池 COD、无机氮、无机磷和悬浮物排放量即入海排放量分别为 49.65、1.39、0.65 和 $179.7 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ 。

3 广东沿海对虾养殖污染物排放量及氮磷负荷量评估

3.1 广东沿海对虾养殖概况

对虾是名贵水产品之一,因其养殖生长快,周期短,产量大,商品价值高而备受养殖业者推崇。1959 年以前,我国的对虾养殖主要依靠天然采苗,养殖规模小。随着 1959 年首次人工虾苗培育的成功,80 年代对虾工厂化育苗技术的完善、提高和养殖技术的普及推广,我国沿海对虾养殖迅速展开,规模不断扩大。1984 年养殖产量已超过近海捕捞产量,并居世界养虾产量之首。1992 年对虾养殖产量、养殖面积和养

殖单产均达历史高峰。但随着养殖生产规模的扩大和集约化程度的提高,相应配套养殖技术的严重滞后,导致了养殖池塘的老化、大规模病害的爆发,使得 1993 年以后养殖产量锐减,整个养殖产业出现大滑坡。近年来,由于养殖技术的创新,特别是养殖生态环境调节产品和环境改良产品的出现^[17, 18],养殖产量逐年上升。

广东由于地理位置与环境的优势,对虾养殖产量一直位居全国首位,2001 年广东海水虾类养殖面积为 $4.34 \times 10^4 \text{ hm}^2$,以湛江市最高,阳江市次之,揭阳市最低,见表 4;养殖产量全省 $9.84 \times 10^4 \text{ t}$,仍以湛江最高,阳江次之,揭阳最低。

3.2 广东沿海对虾养殖氮、磷环境负荷量

广东沿海对虾养殖池塘氮、磷环境负荷量估算结果见表 4。评估显示,2001 年广东省沿海对虾池塘养殖共投放人工配合饲料 $12.80 \times 10^4 \text{ t}$,产生残饵量为 $2.56 \times 10^4 \text{ t}$,进入环境的氮、磷负荷总量分别为 4508.5 和 994.2 t。

环境负荷量与养殖产量呈明显正相关,广东全省对虾养殖因各地区产量不同,养殖带入环境的负荷量显示明显差异。氮磷环境负荷量最高分布在粤西岸段,全年氮、磷负荷量分别为 3 164.6 和 697.9 t,占广东全省环境负荷量的 70.19%;其次是粤东岸段,氮、磷负荷量分别为 984.2 和 217.0 t, 占全省负荷量的 21.83%;珠江三角洲一带最低, 仅占全省总量的 7.67%。

3.3 广东沿海对虾养殖环境的污染物排放量

广东沿海对虾养殖过程中通过养殖纳排水排放到临近水域的污染物排放量估算见表 5。评估结果表明,2001 年广东省沿海对虾池塘养殖排放废水总量为 $22.11 \times 10^8 \text{ m}^3$,以粤西岸段排放量最高,占全省排放量的 72.14%,其次是粤东岸段,占全省排放总量的 17.03%,珠三角一带排放量最低,仅占全省总量的 1.05%。全省 COD、无机氮、无机磷和悬浮物的排放量分别为 4 887.5、136.8、64.0 和 17 689.5 t,均以粤西岸段最高,占全省排放总量的 70.19%,粤东岸段次之,珠三角一带排放量最低。

表 4 广东省 2001 年海水对虾养殖环境负荷量评估

Table 4 Evaluation on the environmental carrying capacity for the prawn culture in Guangdong province in 2001

城市	岸段	面积/hm ²	产量/t	投饵量/t·a ⁻¹	残饵量/t·a ⁻¹	氮负荷/t·a ⁻¹	磷负荷/t·a ⁻¹
潮州	粤东	1 165	2 790	3 627	725	127. 8	28. 2
汕头	粤东	1 322	4 118	5 353	1 071	188. 6	41. 6
惠州	粤东	1 533	4 549	5 914	1 183	208. 3	45. 9
汕尾	粤东	3 366	10 033	13 043	2 609	459. 5	101. 3
广州	珠三角	371	796	1 035	207	36. 5	8. 0
深圳	珠三角	699	2 155	2 802	560	98. 7	21. 8
珠海	珠三角	2 311	2 332	3 032	606	106. 8	23. 6
东莞	珠三角	768	1 050	1 365	273	48. 1	10. 6
中山	珠三角	438	1 211	1 574	315	55. 5	12. 2
江门	粤西	2 229	6 687	8 693	1 739	306. 3	67. 5
阳江	粤西	5 903	13 855	18 012	3 602	634. 6	139. 9
湛江	粤西	19 408	38 445	49 979	9 996	1 760. 8	388. 3
茂名	粤西	3 580	9 618	12 503	2 501	440. 5	97. 1
揭阳	粤西	159	491	638	128	22. 5	5. 0
其他	其他	107	309	402	80	14. 2	3. 1
合计	粤东岸段	7 386	21 490	27 937	5 587	984. 2	217. 0
	珠三角	4 587	7 544	9 807. 2	1 961	345. 5	76. 2
	粤西岸段	31 279	69 096	89 825	17 965	3 164. 6	697. 9
	其他	107	309	402	80	14. 2	3. 1
	全省	43 359	98 439	127 971	25 594	4 508. 5	994. 2

表 5 广东省 2001 年海水虾类养殖污染物排放量评估

Table 5 Evaluation on the discharge amount of the pullutants from the prawn culture in Guangdong province in 2001

城市	岸段	面积 /hm ²	产量 /t	废水排放量 / × 10 ⁸ m ³ · a ⁻¹	污染物排放量/t · a ⁻¹			
					COD	无机氮	无机磷	悬浮物
潮州	粤东	1 165	2 790	0. 59	138. 5	3. 9	1. 8	501. 4
汕头	粤东	1 322	4 118	0. 67	204. 5	5. 7	2. 7	740. 0
惠州	粤东	1 533	4 549	0. 78	225. 9	6. 3	3. 0	817. 5
汕尾	粤东	3 366	10 033	1. 72	498. 1	13. 9	6. 5	1 802. 9
广州	珠三角	371	796	0. 19	39. 5	1. 1	0. 5	143. 0
深圳	珠三角	699	2 155	0. 36	107. 0	3. 0	1. 4	387. 3
珠海	珠三角	2 311	2 332	1. 18	115. 8	3. 2	1. 5	419. 1
东莞	珠三角	768	1 050	0. 39	52. 1	1. 5	0. 7	188. 7
中山	珠三角	438	1 211	0. 22	60. 1	1. 7	0. 8	217. 6
江门	粤西	2 229	6 687	1. 14	332. 0	9. 3	4. 3	1 201. 7
阳江	粤西	5 903	13 855	3. 01	687. 9	19. 3	9. 0	2 489. 7
湛江	粤西	19 408	38 445	9. 90	1 908. 8	53. 4	25. 0	6 908. 6
茂名	粤西	3 580	9 618	1. 83	477. 5	13. 4	6. 3	1 728. 4
揭阳	粤西	159	491	0. 08	24. 4	0. 7	0. 3	88. 2
其他	其他	107	309	0. 05	15. 3	0. 4	0. 2	55. 5
合计	粤东岸段	7 386	21 490	3. 77	1 067. 0	29. 9	14. 0	3 861. 8
	珠三角	4 587	7 544	2. 34	374. 6	10. 5	4. 9	1 355. 7
	粤西岸段	31 279	69 096	15. 95	3 430. 6	96. 0	44. 9	12 416. 6
	其他	107	309	0. 05	15. 3	0. 4	0. 2	55. 5
	全省	43 359	98 439	22. 11	4 887. 5	136. 8	64. 0	17 689. 5

4 评价与分析

根据统计, 2001 年广东海水池塘对虾养殖通过养殖废水排放入海的氮、磷排放量分别为 136. 8 t 和

64. 0 t, 约占广东省陆源排海废水中氮、磷排放量的 0. 15% 和 0. 41%, 见表 6。尽管养殖过程中通过排水进入海域的氮磷排放量相对较低, 但值得引人关注的是养殖过程中依然产生了较大的氮、磷负荷,

2001 年全省总量分别达到 4 508. 5 和 994. 2 t, 分别占陆源排海废水中氮、磷排放量的 5. 0% 和 6. 4%。因此, 加强养殖环境的生态调控、修复及无公害养殖模式的研究与推广应用, 是目前维护广东海水对虾养殖产业可持续发展必须解决的重点关键技术问题之一。

值得特别指出的是, 文章评估模式中有关参数的选择应在具体应用时根据实际情况和现场测试数据进行适当调整。

表 6 2001 年广东海水池塘养殖氮磷排放量与陆源排海废水排放量比较

Table 6 Comparison on the discharge amount of nitrogen and phosphors between prawn culturing ponds and the land wastewater in Guangdong province in 2001

类别	废水排放量	氮负荷量	磷负荷量	氮排放量	磷排放量
海水池塘养殖/t	22. 11×10 ⁸	4 508. 5	994. 2	136. 8	64. 0
陆源排放废水/t	51. 14×10 ⁸	—	—	89 955	15 444
养殖排污占陆源排污比例/%	—	—	—	0. 15%	0. 41%

参考文献:

[1] 李纯厚,林 钦,贾晓平. 我国海水网箱养殖可持续发展对策初步研究[J]. 湛江海洋大学学报,2001,21(2):72-76.

[2] 贾晓平,蔡文贵,林 钦. 我国沿海水域的主要污染问题及其对海水增养殖的影响[J]. 中国水产科学,1997,4(4):78-82.

[3] 林 钦,林燕棠,李纯厚,等. 我国海水网箱养殖环境氮磷负荷量的评估[A]. 见:贾晓平主编,海洋水产科学研究文集[C]. 广州:广东科技出版社,1999,217-225.

[4] 甘居利,贾晓平,林 钦,等. 海水网箱渔场老化风险初探[J]. 中国水产科学,2001,8(3):86-89.

[5] 林 钦,李纯厚,林燕棠,等. 柘林湾网箱养殖对周围海域环境的影响[J]. 华南师范大学学报(自然科学版),1998(增刊):36-46.

[6] 何国民,卢婉娴,刘豫广,等. 深湾网箱渔场老化特征分析[J]. 中国水产科学,1997,4(5):76-80.

[7] 甘居利,林 钦,李纯厚,等. 柘林湾网箱养殖场不同区域环境因子的强度变化[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版),2001,20(1):18-22.

[8] 李纯厚,林 钦,贾晓平,等. 粤东沿海养殖水域浮游植物的生态特征[J]. 湛江海洋大学学报,2002,22(1):24-29.

[9] 王增焕,林 钦,李纯厚,等. 柘林湾网箱养殖海域环境因子间关系初探[J]. 华南师范大学学报(自然科学版),1998(增刊):321-325.

[10] 黄洪辉,王寓平. 大亚湾网箱养殖区生物-化学特性与营养状况的周日变化[J]. 湛江海洋大学学报,2001,21(2):35-43.

[11] 王小平,蔡文贵. 深湾网箱养殖沉积物中全氮、有机碳及有机质的分布[J]. 湛江海洋大学学报,1998,18(3):75-78.

[12] 钱宏林,梁 松. 广东沿海的赤潮问题与防范对策[A]. 见:梁松主编,南海资源与环境研究文集[C]. 广州:中山大学出版社,1999. 182-188.

[13] 梁 松,钱宏林,齐雨藻. 中国沿海的赤潮问题[J]. 生态科学,2000,4:44-50.

[14] 李纯厚,林 钦,林燕棠,等. 珠江口赤潮监测与评价[A]. 见:贾晓平主编. 海洋水产科学研究文集[C]. 广州:广东科技出版社,1999,309-314.

[15] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所. 食物成分表(全国分省值)[M]. 北京:人民卫生出版社,1992.

[16] 贾晓平,林 钦,蔡文贵,等. 红海湾水产养殖示范区污染源分析、评价与防治对策[A]. 见:贾晓平主编. 南海海洋渔业发展研究[C]. 北京:科学出版社,2003,245-254.

[17] 李卓佳,张 庆,陈康德,等. 有益芽孢杆菌菌群对虾池底质环境的影响研究[A]. 见:张本,周永灿,黄勃编. 虾类养殖研究[C]. 北京:海洋出版社,2002,304-309.

[18] 李卓佳,张 庆,陈康德,等. 应用微生物健康养殖斑节对虾的研究[J]. 中山大学学报(自然科学版),2000,(增刊):229-232.