

文章编号:1674-7054(2013)02-0105-06

凡纳滨对虾精养池养殖水体的富营养状况时空差异

孙成波¹, 李义军², 李婷¹, 王平², 徐安敏¹, 孙承志², 李咏²

(1. 广东海洋大学水产学院, 广东湛江 524088; 2. 海南省昌江南疆生物技术有限公司, 海南三亚 572000)

摘要: 监测了凡纳滨对虾养殖全过程精养虾池养殖水体中溶解态无机氮(DIN)、溶解态活性磷酸盐(DIP)、水体的化学需氧量(COD)、pH、溶解氧(DO)、营养状态综合指数(*E*)等理化指标的变化,以及养殖后期水体中各理化因子的水平、垂直分布。结果表明:在凡纳滨对虾养殖过程中,DIN质量浓度为(0.093 ± 0.076) ~ (1.736 ± 1.134) mg · L⁻¹,DIP质量浓度为(0.062 ± 0.271) ~ (0.380 ± 0.276) mg · L⁻¹,COD质量浓度为(0.940 ± 0.934) ~ (9.653 ± 1.317) mg · L⁻¹,*E*:(1.198 ± 4.250) ~ (1267.537 ± 68.534),富营养化程度随着养殖时间的增加逐渐增强,20 d时各项指标均达到较大值,之后逐渐降低,到养殖后期又逐渐增强,营养状态综合指数(*E*)达到最大值;养殖后期,富营养化程度在水平方向随着靠近排污口的方向逐渐增强,营养状态综合指数(*E*):(343.230 ± 1.659) ~ (2786.072 ± 55.241),在垂直方向随着靠近池底的方向逐渐增强,营养状态综合指数(*E*):(2046.687 ± 5.568) ~ (2789.524 ± 7.166)。

关键词: 精养虾池;富营养化;溶解态无机氮(DIN);溶解态活性磷酸盐(DIP);水体的化学需氧量(COD);营养状态综合指数(*E*)

中图分类号: S 968.22

文献标志码: A

水质的好坏是决定对虾养殖成败的关键因素之一。然而,目前我国大量的虾塘处于富营养化状态,有害藻类大量滋生,对虾疾病频频爆发,严重危害着对虾产业的可持续发展。正常情况下,水体通过自身具有的自净能力,即水体中的物理、化学和生物作用,通过分解、转化、减少、消除污染物,使受污染的水体恢复正常的功能,净化水质为对虾的生长提供良好的生活环境^[1]。然而,随着高密度人工养殖的快速发展和海区环境污染的日益加剧,使得对虾养殖水体的污染程度远远超过水体本身的净化能力,从而导致水体的氨氮、无机磷、有机质等污染物大量富集,水体严重富营养化,破坏了水体正常的微环境生态体系,至使某些特征性藻类(主要是蓝藻)及其他浮游生物迅速繁殖,水体生产能力提高,使水体溶解氧含量下降,最终导致对虾疾病爆发、体质下降、产量减少^[2-4]。本实验通过监测凡纳滨对虾养殖全过程高位池养殖水体中溶解态无机氮(DIN)、溶解态活性磷酸盐(DIP)、水体的化学需氧量(COD)、pH、溶解氧(DO)、营养状态综合指数(*E*)等理化指标的变化,以及养殖后期水体中各理化因子的水平、垂直分布,旨在探讨精养虾池养殖水体的富营养化状况,以及引起富营养化的主要因子的分布情况,为精养虾池的水质调控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 虾池的选取和区域的划分 实验虾池在海南省南疆生物技术有限公司的三联基地,选取3口凡纳滨对虾养殖池进行实验,池塘为正方形,养殖方式为高位池精养模式,按每公顷配备15台功率为0.75 kW·台水车式增氧机标准配增氧机。凡纳滨对虾放苗时间:2009-08-20。虾苗大小为0.8 cm·尾,放苗密

收稿日期:2012-12-28

基金项目:科技部农业科技成果转化资金项目(2010GB2E200382);海南省重点科技计划项目(090706);湛江市财政资金科技专项竞争性分配项目(2011B0101)

作者简介:孙成波(1970-),男,江苏赣榆人,广东海洋大学水产学院副教授,博士。

度为 150 万尾·hm⁻²。饲料采用恒兴牌对虾人工配合饵料。

按等间隔距离将对虾池划分成 6 个区域(见图 1)。画 1 份虾池平面图,由虾池面积计算出虾池的边长和区域划分的等间隔距离,并在图上标明。测定时按照草图要求,分别在虾池四边用皮尺测量并确定每个分隔点的位置,插上竹杆,每边 10 根,以此明确各区的范围。

1.2 方法与步骤 从放苗第 1 天起,按虾池边竹杆划分的区域范围,每隔 20 d 用采水器分别在 3 口实验虾池的第 4 区的任意位置取 3 个底层水样,用 600 mL 洁净塑料瓶装满后带回实验室并立即进行水样处理和测定,另取 250 mL 容量瓶装满水样后立即进行溶解氧的标定。每次取水样时间为早上投料后 3~4 h(即 8:00~9:00)。

对虾池中理化因子的水平、垂直变化进行实验。每天检测 1 口虾池,按池边竹杆划分的区域范围,用采水器分别在每个区域任意位置取 3 个底层水样,在第 6 区的表层、中层、底层分别任意选取 3 个位置取水样,每口虾池共取 27 个水样。每次取水样时间均在早上投料后 3~4 h(即 8:00~9:00)。

1.3 理化因子的测定 实验期间共测定虾池水样的 pH, DO, PO₄³⁻-P, NH₃-N, NO₃⁻-N, NO₂⁻-N 和 COD 等 7 项理化指标。溶解氧(DO)用碘量法;PO₄³⁻-P 用磷钼蓝法;NH₃-N 用奈氏比色法;NO₃⁻-N 用锌镉还原法;NO₂⁻-N 用重氮-偶氮比色法;COD 用酸性高锰酸钾法;pH 用 pHS-3C 型酸度计电极测试。试剂配置及测定步骤均按雷衍之的《化学实验》^[5] 进行,测定仪器均按其使用说明书的方法使用。

1.4 营养状态综合指数(E)^[6-7] 计算

$$\text{营养状态综合指数}(E) = \rho(\text{DIN}) \times \rho(\text{DIP}) \times \rho(\text{COD}) \times 106/4500,$$

$$\rho(\text{DIN}) = \rho(\text{NH}_3\text{-N}) + \rho(\text{NO}_3\text{-N}) + \rho(\text{NO}_2\text{-N}), \rho(\text{DIP}) = \rho(\text{PO}_4^{3-}\text{-P}).$$

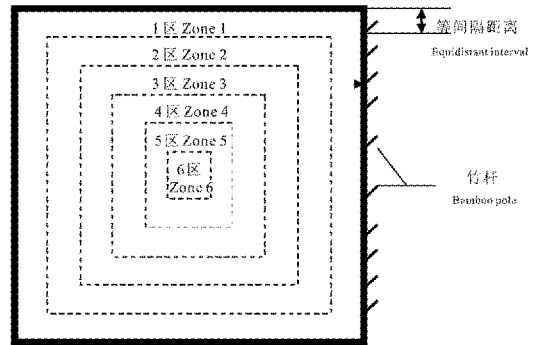


图 1 虾池区域的划分

Fig. 1 Zoning of shrimp pond

2 结果与分析

2.1 不同时期虾池理化因子变化 在 120 d 的养殖过程中,虾池中 pH 值在 8.0~8.9 范围, DO 质量浓度在 4.8~5.5 mg·L⁻¹, 变化幅度均不大,基本保持在适合对虾生长的水平(见表 1)。如图 2 和图 3 所示, DIP 质量浓度随着养殖时间的增加迅速增大, 20 d 后稍有降低, 之后又逐渐增大, 在养殖后期达到顶峰; DIN 质量浓度随着养殖时间的增加直线上升, 20 d 时达到顶峰(1.736 ± 1.134) mg·L⁻¹, 之后逐渐降低, 到养殖后期又逐渐增大, 接近峰值; COD 质量浓度随着养殖时间的增加呈上升趋势, 到养殖 120 d 时达(9.653 ± 1.317) mg·L⁻¹; 营养状态综合指数 E 随着养殖时间的增加逐渐增大, 20 d 时达到较大值, 之后逐渐降低, 到养殖后期又逐渐增大, 120 d 时达到(1 267.537 ± 68.534)。

表 1 不同时期虾池理化因子变化情况

Tab. 1 The change of the physical and chemical factors in shrimp ponds at different cultural stages

t/d	pH	$\rho(\text{DO}) /$ (mg·L ⁻¹)	$\rho(\text{DIN}) /$ (mg·L ⁻¹)	$\rho(\text{DIP}) /$ (mg·L ⁻¹)	$\rho(\text{COD}) /$ (mg·L ⁻¹)	营养状态综合 指数(E)
1	8.883 ± 0.164	5.539 ± 0.225	0.093 ± 0.076	0.062 ± 0.271	0.940 ± 0.934	1.198 ± 4.250
20	8.750 ± 0.277	4.923 ± 0.118	1.736 ± 1.134	0.239 ± 0.194	3.391 ± 1.041	312.774 ± 50.776
40	8.056 ± 0.135	5.167 ± 0.094	0.852 ± 1.414	0.231 ± 0.300	5.390 ± 1.040	235.333 ± 98.093
60	8.377 ± 0.117	4.974 ± 0.321	0.434 ± 0.539	0.209 ± 0.212	5.332 ± 0.813	107.459 ± 29.651
80	8.326 ± 0.179	4.813 ± 0.026	1.269 ± 1.074	0.249 ± 0.073	6.002 ± 1.437	421.410 ± 23.242
100	8.188 ± 0.209	5.015 ± 0.120	1.339 ± 0.924	0.282 ± 0.169	7.303 ± 0.729	613.208 ± 25.245
120	8.316 ± 0.359	5.013 ± 0.253	1.557 ± 0.848	0.380 ± 0.276	9.653 ± 1.317	1 267.537 ± 68.534

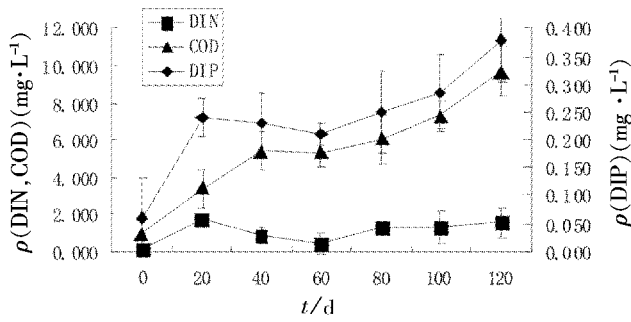


图 2 不同养殖时期虾池中 DIN, DIP, COD 质量浓度变化曲线
Fig. 2 The change of DIN, DIP and COD in shrimp ponds at different cultural stages

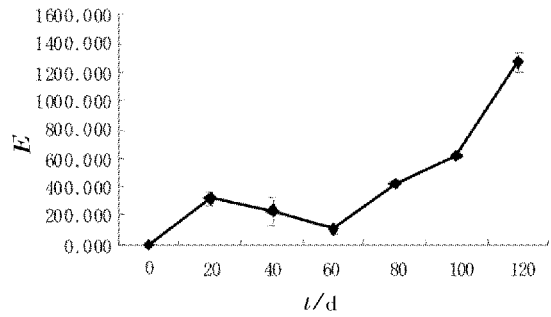


图 3 不同养殖时期虾池中营养状态综合指数 E 变化曲线
Fig. 3 The change of nutritional status index (E) in shrimp ponds at different cultural stages

2.2 虾池中理化因子的水平变化 养殖后期, 虾池底层水体中的 pH 值、DO 质量浓度在水平方向随着靠近排污口的方向逐渐降低(见表 2), 经方差分析, pH 值变化极显著 ($P < 0.01$), DO 质量浓度变化不显著 ($P > 0.05$); DIN, DIP, COD 的质量浓度和营养状态综合指数 (E) 在水平方向均随着靠近排污口的方向逐渐升高(见图 4 和图 5), 经方差分析, DIN 质量浓度变化极显著 ($P < 0.01$), DIP 和 COD 质量浓度变化不显著 ($P > 0.05$), 营养状态综合指数 (E) 变化显著 ($P < 0.05$)。可见, 富营养化程度在水平方向随着靠近排污口的方向逐渐增强, 这与增氧机对水体的搅动作用以及增氧机的放置方位有关, 增氧机的搅动在水下形成一个环流, 将污染物向中心排污口处聚集, 致使中心排污口处的富营养化程度最强。

表 2 虾池中理化因子的水平变化情况

Tab. 2 The horizontal change of the physical and chemical factors in shrimp ponds

区域 Zone	pH	$\rho(\text{DO}) /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{DIN}) /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{DIP}) /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{COD}) /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	营养状态综合 指数(E)
1	8.059 ± 0.023	6.211 ± 0.342	0.451 ± 0.111	0.348 ± 0.071	9.855 ± 0.947	343.230 ± 1.659
2	8.003 ± 0.038	5.833 ± 0.498	0.728 ± 0.151	0.357 ± 0.053	10.045 ± 1.009	579.410 ± 1.786
3	7.961 ± 0.046	5.221 ± 1.043	0.975 ± 0.170	0.406 ± 0.062	10.573 ± 0.638	929.880 ± 1.492
4	7.909 ± 0.046	4.648 ± 1.113	1.181 ± 0.248	0.453 ± 0.155	10.965 ± 1.008	1 304.130 ± 8.623
5	7.898 ± 0.073	4.155 ± 1.542	1.339 ± 0.219	0.487 ± 0.299	11.535 ± 1.392	1 672.690 ± 20.231
6	7.794 ± 0.086	3.557 ± 1.717	1.795 ± 0.576	0.594 ± 0.309	11.758 ± 1.397	2 786.072 ± 55.241

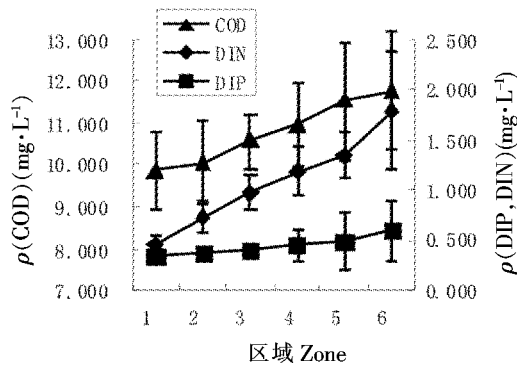


图 4 养殖水体中 DIN, DIP, COD 的水平变化曲线
Fig. 4 The horizontal change of DIN, DIP and COD in the cultural waters

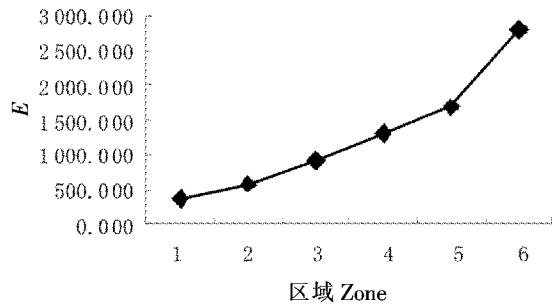


图 5 养殖水体中营养状态综合指数 E 的水平变化曲线
Fig. 5 The horizontal change of nutritional status index (E) in cultural waters

2.3 虾池中理化因子的垂直变化 养殖后期,接近排污口处水体中的 pH 值、DO 质量浓度在垂直方向随着靠近池底的方向逐渐降低(见表 3),经方差分析,pH 值变化不显著($P > 0.05$),DO 质量浓度变化显著($P < 0.05$);DIN, DIP, COD 质量浓度在垂直方向随着靠近池底的方向逐渐升高(见图 6 和图 7),经方差分析,DIN 和 DIP 质量浓度变化不显著($P > 0.05$),COD 质量浓度变化显著($P < 0.05$);营养状态综合指数(E)变化显著($P < 0.05$),可见,富营养化程度在垂直方向随着靠近池底的方向逐渐增强。

表 3 虾池中理化因子的垂直变化情况

Tab. 3 The vertical change of the physical and chemical factors in shrimp ponds

水层 Water layer	pH	$\rho(\text{DO}) /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{DIP}) /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{DIN}) /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{COD}) /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	营养状态综合 指数(E)
表层 Surface	7.820 ± 0.210	6.425 ± 0.334	0.536 ± 0.051	1.745 ± 0.467	9.854 ± 1.042	$2\ 046.687 \pm 5.568$
中层 Middle	7.773 ± 0.166	4.945 ± 0.321	0.584 ± 0.066	1.774 ± 0.461	10.742 ± 0.951	$2\ 472.590 \pm 6.434$
底层 Bottom	7.795 ± 0.221	3.557 ± 0.291	0.595 ± 0.065	1.795 ± 0.491	11.758 ± 1.007	$2\ 789.524 \pm 7.166$

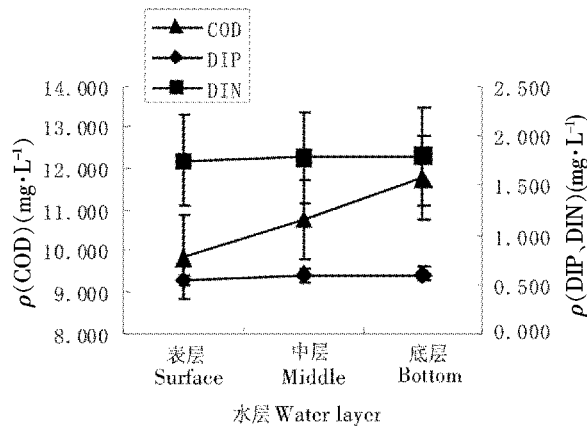
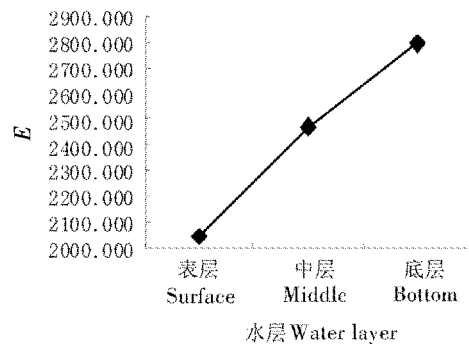


图 6 养殖水体中 DIN, DIP, COD 的垂直变化曲线

Fig. 6 The vertical change of DIN, DIP and COD in cultural waters

图 7 养殖水体中营养状态综合指数 E 的垂直变化曲线Tab. 7 The vertical variety of Nutritional Status Index (E) in cultural waters

3 讨论

3.1 精养虾池养殖水体的富营养化评价方法 由于目前尚无统一的水体营养状况评价指标和方法,为此采用较常见的单项指数法和营养状态综合指数法^[6-9],对精养虾池养殖水体营养状况进行评价。

单项指标法:采用富营养化阈值进行评价。目前国内外对海水有机质污染和富营养化的阈值评价尚无统一标准,根据我国渔业水质标准^[10],无机氮质量浓度为 $0.300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、无机磷质量浓度 $0.030 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、化学需氧量质量浓度 $3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 作为富营养化的阈值。

营养状态指数法:是综合指数法中较常用的一种。富营养状态指数(E)是进行综合评价的一种依据,当指数值 $E \geq 1$ 时,则水体富营养化。

3.2 养殖全过程中精养虾池养殖水体的富营养化状况 根据单项指标法进行评价^[6-9],本研究结果显示,精养虾池养殖初期各单项指标基本符合我国渔业水质标准,但其中 DIN 和 DIP 质量浓度相对较高,这与近年来我国近海海水污染严重有关。到了养殖后期,各单项指标均偏大,特别是 COD 质量浓度严重超标。这表明,精养虾池养殖后期的养殖水体处于富营养化状态。根据营养状态指数法进行评价^[6-9],本研究结果显示,精养虾池养殖前期,营养状态综合指数(E)为 $1.198 > 1$,虾池水质已呈现富营养化状态,随着养殖时间的逐渐增加,对虾排泄物、投放饵料等在虾池底部的不断富集,DIN, DIP, COD 质量浓度不断增大,对应的营养状态综合指数(E)也不断增大,富营养化程度增强,此时的虾池爆发疾病的几率增大;到养殖中期,对虾达到一定规格,体质、免疫力、饵料投放量等均处于最佳状态,再结合人为的水质调控以及水

体本身的自净作用, DIN, DIP, COD 质量浓度有所下降, 对应的营养状态综合指数(E)也有所降低, 富营养化程度相对减弱。养殖后期, 随着对虾排泄物、饵料等在虾池底部的过量富集, 部分对虾的死亡沉底, 以及对虾规格的增大, 水体中 DO 质量浓度的下降^[11], 在异养细菌的作用下, 水体中的 DIN 和 COD 质量浓度大量增加, 这与罗静波^[12]、CHEN J C^[13]等在克氏原螯虾及斑节对虾上实验得出的结论是一致的。水体中对应的营养状态综合指数(E)不断增大, 达到顶峰时, 水体生态平衡受到破坏, 养殖水体相对于初期富营养化程度剧增。

3.3 精养虾池养殖水体的富营养化分布状况 实验结果显示, 养殖后期, 虾池底层水体中的富营养化程度在水平方向随着靠近排污口的方向逐渐增强, 其中 pH 值、DO 质量浓度在水平方向随着靠近排污口的方向逐渐降低, DIN, DIP, COD 质量浓度和营养状态综合指数(E)在水平方向均随着靠近排污口的方向逐渐升高。这与虾池的结构、增氧机对水体的搅动作用以及增氧机的放置方位有关。虾池的建造一般都是遵循池底中央低周边高利于排污的原则, 加之增氧机的搅动, 在水下形成一个环流, 将污染物向中心排污口处聚集^[14], 致使中心排污口处的富营养化程度最严重。养殖后期, 富营养化程度在垂直方向随着靠近池底的方向逐渐增强, 接近排污口处水体中的 pH 值、DO 质量浓度在垂直方向随着靠近池底的方向逐渐降低, DIN, DIP, COD 质量浓度在垂直方向随着靠近池底的方向逐渐升高, 这是由于对虾排泄物、饵料等在虾池底部的不断富集引起的。有研究表明, 养殖过程中 85% 的污染物来自养殖本身, 即人们常说的“自身污染”。污染物来源所占的比例分别为: 过剩饵料占 35%, 对虾排泄物占 50%, 其他污染物占 10%^[15]。养殖废水的污染物中, 残饵和排泄物都是以颗粒物的形式存在, 颗粒物中大约含有 7%~32% 的总氮和 10%~84% 的总磷, 这些颗粒物的积累能导致养殖水质的下降和养殖水域有机物负荷量的增加^[16]。FUNGE^[17]等人曾对精养虾池中的物质平衡做过研究, 发现养殖过程中只有 10% 的氮和 7% 的磷被利用, 其他的都以各种形式进入环境。杨庆霄等^[18]研究虾池残饵腐解对水质的影响, 发现过量的虾饵大部分沉淀于池底, 残饵的分解使池底海水中 DO 质量浓度和 pH 迅速下降, 在 24 h 内 DO 质量浓度和 pH 分别从 $8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 8.0 下降到 $0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 6.0。以上这些研究与本实验结果是相符的。本实验通过监测凡纳滨对虾养殖全过程精养虾池养殖水体中 pH, DIN, DIP, COD, DO 质量浓度和营养状态综合指数(E)等理化指标的变化, 以及养殖后期水体中各理化因子的水平、垂直分布, 证明了精养虾池养殖水体存在富营养化, 特别是养殖后期富营养化严重, 这对于对虾养殖的产量、质量, 对于近海区的环境安全都是极大的考验, 因此, 必须采取措施降低水体中的 DIN, DIP, COD 质量浓度, 降低营养状态综合指数, 以降低富营养化对对虾养殖及海区的危害。

参考文献:

- [1] 黄萌. 富营养化对水生生态系统的污染生态效应[J]. 科技情报开发与经济, 2006, 16(20): 137-138.
- [2] 胡耐根. 水体富营养化的成因及防治对策[J]. 科技信息, 2009, 33: 5-6.
- [3] 汤卫华, 宋虎堂, 范志华. 水体富营养化的原因、危害及防治[J]. 天津职业院校联合学报, 2006(2): 33-35.
- [4] 彭近新, 陈慧君. 水质富营养化与防治[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1988: 57.
- [5] 雷衍之, 杨凤. 化学实验[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 152-194.
- [6] 李凡修, 陈武. 海水水质富营养化评价的集对分析方法[J]. 海洋环境科学, 2003, 22(2): 67-69.
- [7] 王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J]. 中国环境监测, 2002, 18(5): 47-49.
- [8] 盛建明, 刘珏琴, 曹文明, 等. 湖水质变化趋势和富营养化评价[C]//湖渔业高产模式及生态渔业研究论文集. 北京: 中国农业出版社, 1995: 40-47.
- [9] 世界经济合作与发展组织. 水体富营养化监测、评价与防治[M]. 柳健生等, 译. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
- [10] 中华人民共和国农业部渔业局. 渔业水质标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989.
- [11] 周浓, 曹湛慧, 黄和, 等. 湛江市东海岛对虾养殖池水质污染状况分析[J]. 广西水产科技, 2009(1): 21-23.
- [12] 罗静波, 曹志华, 蔡太锐, 等. $\text{NH}_3\text{-N}$ 对克氏原螯虾幼虾的急性毒性研究[J]. 长江大学学报: 自然科学版, 2006, 12, (3/4): 183-185.
- [13] CHEN J C, CHENG S Y, CHEN C T. Changes of hemocyanin, protein and free amino acid levels in the haemolymph of *Penaeus japonicus* exposed to ambient ammonia [J]. Comp Biochem Physiol, 1994, 109: 339-347.
- [14] 吴琴瑟, 梁华芳, 孙成波, 等. 无公害南美白对虾安全生产手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 103-104.

- [15] 王福表. 网箱养殖水污染及治理对策[J]. 海洋科学, 2002, 26(7): 24 - 26.
- [16] PILLAYTVR. Aquaculture and Environment. Fishing NewsBooks[M]. New York: J wiley sons, 1992. :56 - 77.
- [17] FUNGE-SMITH, BRIGGS M R P. Nutrient budgets in intensive shrimp ponds: Iopli Cations for sustainability [J]. Aquaculture, 1998, 164(18): 117 - 133.
- [18] 杨庆宵. 虾塘残饵腐解对养殖环境的影响[J]. 海洋环境科学, 1999, 18(2): 11 - 15.

Spatial and Temporal Discrepancy of Eutrophication of Water in Intensive Cultural Ponds for *Litopenaeus vannamei*

SUN Chengbo¹, LI Yijun², LI Ting¹, WANG Ping², XU Anmin¹, SUN Chengzhi², LI Yong²

(1. College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

2. Hainan Changjiang Nanjiang Bio-Technology Co., Ltd, Sanya 572000, China)

Abstract: The water in shrimp ponds for intensive culture of shrimp *Litopenaeus vannamei* was monitored in terms of DIN, DIP, COD, pH, DO and Nutritional Status Composite Index (*E*) in the whole course of shrimp culture as well as horizontal and vertical distribution of physical and chemical indices at the late cultural stage. In the whole course of shrimp culture in the ponds the DIN was $(0.093 \pm 0.076) \sim (1.736 \pm 1.134) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, DIP $(0.062 \pm 0.271) \sim (0.380 \pm 0.276) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, COD $(0.940 \pm 0.934) \sim (9.653 \pm 1.317) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and the *E* $(1.198 \pm 4.250) \sim (1267.537 \pm 68.534)$. The water eutrophication gradually increased as the shrimp culture went on, and all the indexes reached their peak values at the 20th day, and then the values gradually decreased but gradually enhanced at the late cultural stage when the *E* was maximum. At the late cultural stage the water eutrophication gradually increased horizontally towards the sewage outfall and the *E* was in the range of $(343.230 \pm 1.659) \sim (2786.072 \pm 55.241)$; the eutrophication gradually increased vertically near the bottom, and the *E* ranged from (2046.687 ± 5.568) to (2789.524 ± 7.166) .

Key words: intensive shrimp ponds; eutrophication; DIN; DIP; COD; nutritional status composite index