

虾塘养殖水环境中氮磷营养盐的存在特征与行为

孙 耀 宋云利

(中国水利科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

摘 要 根据现场调查结果, 讨论了虾塘养殖水环境中氮磷营养盐的存在特征与行为。在该水环境中, IP 的季节变化相对平稳, 而 IN 则在养殖中后期变化幅度较大; IN 和 IP 的垂直分布均匀; IN 的形态分布有着显著的季节变化, 且与开阔浅海不同, $\text{NO}_2^- \text{N}$ 也成为 IN 的主要存在形态; IN 与 IP 比值始终较低, 且 IN 在对虾养殖期间的大部分时间内都处于贫瘠水平, 从而构成该养殖水环境中初级生产的限制因素; 而相对较高密度的浮游植物, 则是缩短该水环境中 IN 和 IP 循环周期的主要原因。

关键词 特征与行为, 氮磷营养盐, 养殖水环境, 虾塘

氮磷营养盐是构成海水养殖生态系统中物质循环的重要环节, 海水中氮磷营养盐的多寡, 能促进或限制海水养殖生态系统中的能量转化, 反之, 各营养级生产者与海水之间的界面过程, 又加速了其在该系统中的物质循环速度[赵焕登和孙睡琴 1981 年中译本, 崔清臣等 1982 年中译本]。同时, 作为海水养殖自身污染的重要指标, 氮磷营养盐也是养殖水环境的重要影响因素[孙 耀等 1998 Sum 和 Zhao 1993]。所以, 氮磷营养盐与海洋生物生产之间存在着千丝万缕的联系。要达到海水养殖业持续、稳定发展之目的, 深入了解养殖水环境中氮磷营养盐的存在特征与行为是十分必要的。但迄今为止, 尚较少见有关方面的研究和报道。

1 调查方法

1.1 虾塘和取样点的设置

调查虾塘和取样点的平面设置见图 1。其中包括生产性虾塘 2 个和以辅助调查为目的的实验性小型虾塘 6 个。生产性虾塘和实验虾塘中分别设 5 个或 1 个采样点, 取表底层水样进行测定。

1.2 对虾养殖条件

虾苗经中间培育后, 于 6 月中旬在虾塘中放养, 放养密度 $15 \text{ 万尾}/\text{hm}^2$; 饵料以配合饵料为主, 投饵量按农业部水产司(1989)方法计算, 投饵中采用沿虾塘边沿均匀投撒方式, 虾塘内平均水深 1.2m, 换水量一般为 $10 \sim 30 \text{ cm}/\text{d}$, 辅助性实验虾塘分别模拟新旧虾塘的养殖方式, 其中: 新虾塘系用新塘土($> 25 \text{ cm}$)铺垫而成, 养殖条件与生产性虾塘相同; 旧虾塘则用上述生产性虾塘的清淤土铺垫, 对虾放养密度分别为 15 和 $30 \text{ 万尾}/\text{hm}^2$, 其余养殖条件也与生产性虾塘相同, 生产性虾塘具有 10 年养殖历史。

收稿日期: 1996-10-07

(1) 农业部水产司. 1989. 中国对虾养殖技术规范. 12-15.

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www>

1.3 采样和测定方法

调查中采用自制表层采样器采集表底层水样,采集底层水直至采样器被旋转塘底后打开其进水口。所采集水样进行现场分析。氮磷营养盐及其相关因素的测定,均采用国家海洋局[1991]方法。

2 结果

本实验结果中,除“养殖水环境中氮磷营养盐的主要影响因素”一节采用了辅助性实验虾塘的调查结果外,其余均系生产性虾塘的调查结果。

2.1 养殖水环境中氮磷营养盐的时空变化

养殖水环境中磷营养盐(IP)随季节变化始终较为平稳;其最大值出现在养殖初期,变化范围为:12.4~53.0 μg/L。氮营养盐(IN,其中包括NO₃⁻-N,NO₂⁻-N和NH₄⁺-N)于养殖前期,即7月下旬以前变化相对平缓,进入8月份以后,其变化幅度有很大程度增加;NH₄⁺-N随季节变化趋势与IN基本一致,但是,NO₃⁻-N和NO₂⁻却始终相对平稳;IN的最大值和最小值都出现在养殖后期的8~9月,其变化范围为:4.9114.2 μg/L(图2)。

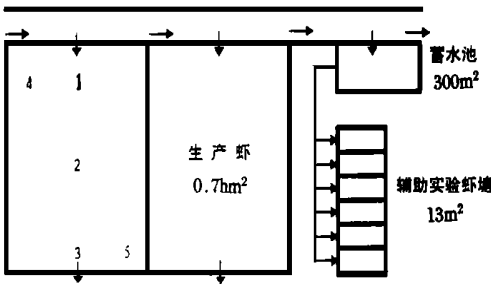


图1 调查虾塘和取样点的平面设置图

Fig. 1 Plane distribution of investigated shrimp ponds and sampling sites

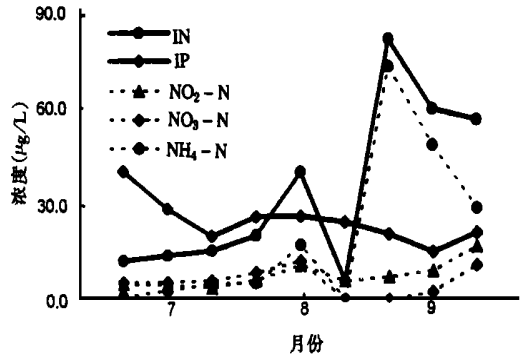


图2 对虾养殖水环境中IN和IP的季节变化

Fig. 2 Seasonal change of IN and IP in shrimp ponds

试验虾塘平均水深1.2m。由于虾塘养殖水环境的真光层厚度一般大于水深,以及风搅动和昼夜温差所引起垂直混合作用,都必然使得对虾养殖水体中IN和IP垂直分布均匀。实际调查结果证明确实如此。本文取虾塘表底层水中两组对应的IN或IP数据,进行t双向检验,检验结果:IN的t临界值1.282(df=60),P=0.202>0.05;IP的t临时界值0.998(df=60),P=0.345>0.05。表明虾塘表底层水中的IN和IP无显著性差异。

2.2 养殖水环境中IN的存在形态

NO₃⁻-N,NO₂⁻-N和NH₄⁺-N是海水中IN的主要存在形态。按照热力学平衡计算,海水中绝大多数IN应该以NO₃⁻-N形态存在,但许多研究表明,IN各形态之间的相互转化,除要受非生物活化和光活化的氧化还原作用外,主要为生物过程所控制[崔清臣等1982年中译本,Johannes和Webb1970,Zobell1946],因此,在受生物活动影响较为强烈的浅海区域,要达到上述平衡是不可能的。据对我国渤海调查的结果表明[崔毅等1996],IN的存在形态随季节变化,NO₃⁻-N始终是其主要存在形态(56.18%~87.30%),而NO₂⁻-N作为NO₃⁻-N和NH₄⁺-N还原与氧化过程的中间产物,含量相对较低(2.54%~16.33%)。从图3可见,虾塘水

环境中 IN 的形态布与浅海环境显著不同,在特点为:(1) 季节变化更显著; $\text{NO}_4^- \text{N}$ 在养殖起始时相对含量较低(11.0%), 随后逐渐增大,至养殖结束时达到最高值(66.0%); $\text{NO}_3^- \text{N}$ 则恰恰相反,养殖时始时相对含量较高(46.8%),至8月份竟降至0,随后又有所回升。(2) 作为热力学不稳定态的 $\text{NO}_2^- \text{N}$, 始终是虾塘水环境中 IN 的主要存在形态(22.4% ~ 54.5%)。其原因可能与对虾养殖环境中强烈的生物活动和有机质污染相关。

2.3 养殖水环境中 IN 与 IP 比值

在对虾养殖初期,养殖水环境中 IN 与 IP 比值变化相对平稳,进入8月份以后,该比值变化幅度显著增大;由于整个养殖期间 IP 的变化持续较为平稳,故该比值的季节变化主要取决于相同时间内 IN 的变化状况(图4)。对虾养殖水环境中 IN 与 IP 比值,相对我国浅海的内湾环境要低的多[孙 耀等 1990, 1993],养殖期间其变化范围为: 0.24~ 4.00, 平均值仅为 1.64; 因为,作为氮磷营养盐主要补充过程的虾塘底质溶出物质的 IN 与 IP 比值也较低(孙 耀等 1996),而作为主要输出过程的天然浮游植物自海水中移出 IN 与 IP 比值却相对较高,故二者有可能共同构成该水环境 IN 与 IP 比值较低的原因。

2.4 养殖水环境中氮磷营养盐的主要影响因素

浅海(尤其是养殖海域)浮游植物量是氮磷营养盐的主要控制因素之一,已经为许多研究工作所证明。本调查结果表明,在对虾养殖水环境中浮游植物量与 IN 之间呈较好的幂函数衰减曲线关系,但与 IP 之间关系的相关性较差(图5)。此结果说明该环境中浮游植物量对 IN 的影响较 IP 更为明显。

在相同的水质管理条件下,虾塘中高密度放养对虾的结果,应因产生更多的残饵和对虾排

图3 对虾养殖期间养殖水环境中 IN 的存在形态

Fig. 3 Existing form of IN and its seasonal change in shrimp ponds

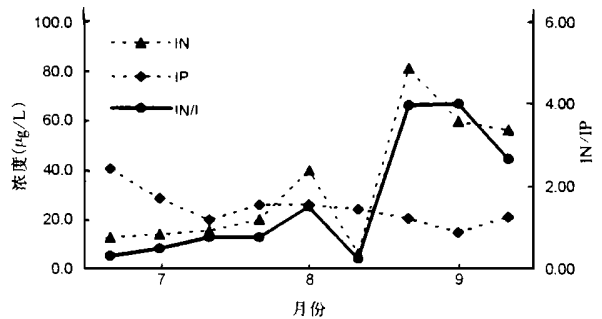


图4 对虾养殖期间养殖水环境中 IN 与 IP 比值

Fig. 4 IN and IP ratio and its seasonal change in shrimp ponds

(2) 孙 耀等, 1996. 对虾养殖环境中低质——水界面的营养盐扩散通量及其时空变化.

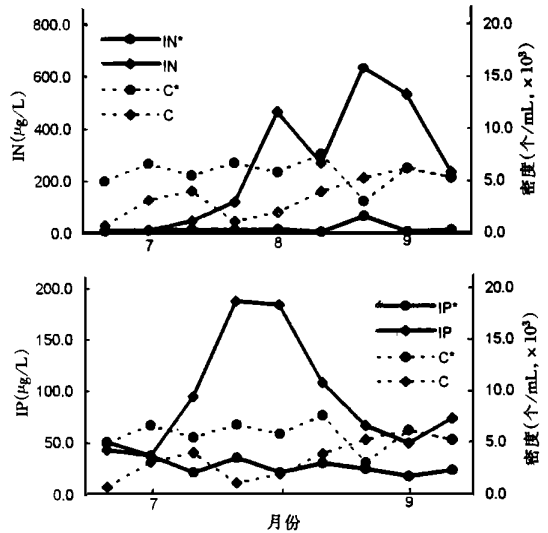
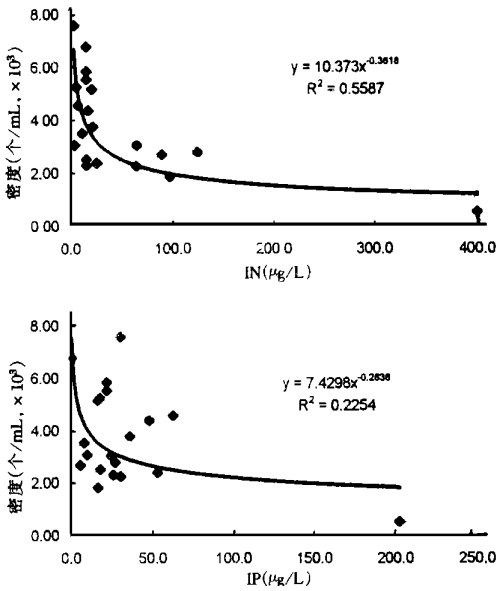


图 5 对虾养殖水环境中 IN 和 IP 与浮游植物量的关系

Fig. 5 Relation of IN of IP and photoplankton in shrimp pond

图 6 不同放养密度虾塘水环境中 IN 和 IP 的比较

Fig. 6 Comparison of IN and IP between shrimp ponds with different culture density
注: * 低放养密度虾塘测定值

泄物, 从而使其水环境中的氮磷营养盐高于低放养密度虾塘。对不同放养密度的辅助性实验虾塘调查结果表明, 除养殖起始阶段的较短时间外, 高放养密度虾塘水环境中的 IN 和 IP 含量明显高于低密度虾塘(图 6); 但因实验中高密度虾塘浮游植物量也相对较低, 故该结果应产生于对虾高密度放养与浮游植物移出作用较小的叠加作用。

受有机质自污的影响, 经多年对虾养殖虾塘中的底质溶出氮磷营养盐明显高于新虾塘(孙耀等 1996); 故如忽略其它因素的影响, 应使其水环境中的氮磷营养盐含量也相对较高。但在本辅助性实验虾塘的比较研究中, 虽然旧虾塘的 IP 一般相对较高, 其 IN 却与新虾塘相近, 有时甚至低于新虾塘(图 7); 实验期间对浮游植物同步调查的结果表明, 旧虾塘中浮游植物量始终相对较高。显然, 旧虾塘较高程度的有机质自污在造成养殖水体中氮磷等营养盐相对较高的同时, 也加快了该水环境中浮游植物的繁殖速率, 而浮游植物的大量繁殖必然要加快 IN 和 IP 的移出速率, 又因该水环境中的 IN 与 IP 比值较低, IN 较 IP 更易受到上述过程的影响, 从而造成本实验中旧虾塘的 IN 低于新虾塘的异常现象。

2.5 养殖水环境中 IN、IP 移出过程及存留时间的估算

对虾养殖水环境中 IN 和 IP 的移出过程主要包括: 浮游植物移出过程和人为进行的水交换移出过程; 由于水交换移出过程易受人因素干扰, 故本节仅考虑非换水条件下, 虾塘水环境中 IN 和 IP 的移出速率及存留时间。

一般情况下, 海水中浮游植物有面物质合成和或分解的质量平衡方程中, 都假定 C: N: P 的比值等于 106: 16: 1 [Redfield 等 1963]; 依据该拟定, 可以通过初级生产力的测定结果, 对该水环境中 IN 和 IP 移出速率($V_{IN \text{ or } IP}$, mgN of mgP/ $m^3 \cdot d$) 进行估算。浮游植物的初级生产力按 Cadee[1975] 提供的公式计算:

$$PP = C_{chh} \times Q \times D$$

其中: PP—初级生产力($\text{mgC}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$); $C_{\text{chl}a}$ —叶绿素 a 含量(mg/m^3); Q —($\text{mgC}/\text{mg}_{\text{chl}a} \cdot \text{h}$), 其与水温(T)的关系满足下式[沈国英等 1992]: $Q = 0.439T - 5.822$; D —每天的日照时数(h)。虾塘水环境中 IN 和 IP 的移出速率及其估算参数均列于表 1。

假设被考查的对虾养殖生态系统处于稳态, 则 IN 和 IP 的输出速率= 输入速率, 那么 IN 和 IP 在该水环境中的停留时间(τ , d), 可以用 IN 和 IP 现存量及其输出速率或输入速率进行估算, 即: $\tau = \text{现存量} / \text{输出速率或输入速率}$ 。

由于估算虾塘水环境中 IN 和 IP 输入速率所涉及速率所涉及的生物化学过程较为复杂, 本文选择现存量和输出速率作为 τ 的计算参数, 其中现存量和输出速率分别采用各养殖季节 IN 和 IP 的平均浓度和浮游植物移出量求得。从表 1 可见, 在对对虾养殖水环境中 IN 和 IP 的停留时间是非常短的, 且都在 7 月份呈最小值, 其中 IN 的停留时间又显著短于 IP。

表 1 对虾养殖水环境中 IN 和 IP 的移出速率, 停留时间及其估算参数

Tab. 1 Output rate of IN and IP from shrimp culture waters and the irretention time n the waters

时间	$C_{\text{chl}a}$	Q	D	PP	V_{IN}	V_{IP}	τ_{IN}	τ_{IP}
6 月	21.84	4.54	13	1289	194	12	0.066	3.384
7 月	28.56	5.59	13	2075	313	20	0.057	1.155
8 月	23.12	6.82	13	2049	309	19	0.141	1.175
9 月	16.99	5.29	12	1078	163	10	0.344	2.100

3 讨论

氮磷营养盐的营养水平对于对虾养殖过程中的环境质量管理, 是一个重要参数。如果参考国内外经常采用的浅海氮磷营养盐的富营养化临界值[邹景忠等 1983, 蒋国昌等 1987, 日本水产学会 1982], 拟定 IN 0.2~ 0.3mg/L, IP 0.015~ 0.02mg/L 为富营养阈值, 则达到或超过富营养阈值的 IP 值约占总测定数据的 82%, 而 IN 值却仅占总测定数据的 17%; 且呈富营养水平的 IN 值主要分散在对虾养殖中后期, 总是与浮游植物密度较低相对应。又鉴于虾塘养殖水环境中 IN 与 IP 比值的变化范围仅为 0.24~ 4.00, 远低于浅海内湾区域的该值。似乎可以说, IN 是虾塘水环境中初级生产的主要控制因子。

那么, IN 究竟是否为虾塘水环境中初级生产的主要控制因子? 浮游植物的生长与繁殖对氮磷营养盐有着基本的需求, 一般认为, 不同种类的浮游植物对氮磷营养最适浓度下限有所不同[崔清臣等 1982 年中译本, Harvey 1957, Zhu 1949], 其中, Zhu[1949]的研究结果表明, 海洋

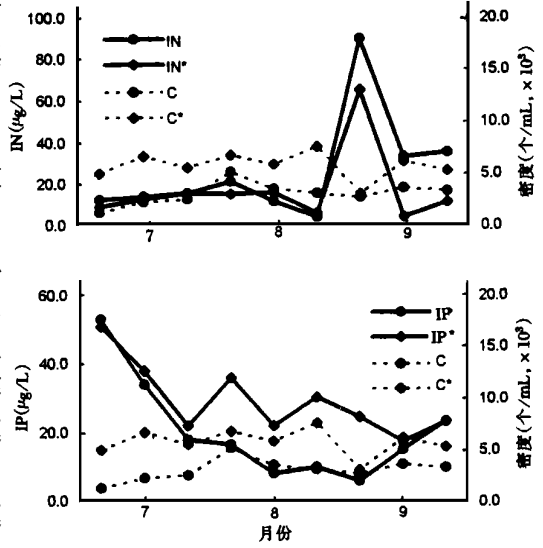


图 7 新、旧虾塘水环境中 IN 和 IP 的比较

Fig. 7 Comparison of IN and IP between new and aged shrimp ponds

注: * 旧虾塘测定值

浮游植物对 IN 和 IP 的最适浓度要求下限分别为 79.9 和 18.0 $\mu\text{g/L}$ 。由于有约 75% 以上的 IN 测定值低于上述下限, 显然, 在多数养殖时间内 IN 已经构成对虾养殖水环境中浮游植物生长与繁殖的限制。

由于 NH_4^-N 对对虾塘致毒效应显著, 故其总是被列为对虾养殖水环境质量监测的主要项目; 而致毒效应同样显著的 NO_2^-N 却常常忽略。其中可能存在两个认识上的误区: (1) NO_2^-N 属不稳定过渡态, 不可能在水环境中大量存在; (2) 目前, 我国常采用《海洋调查规范》的次溴酸钠氧化测定养殖水环境中的 NH_4^-N ; 该方法中, NH_4^-N 是通过 $\text{NH}_4^-\text{N} + \text{NO}_2^-\text{N}$ 的综合测定与 NO_2^-N 单独测定结果之差值计算出来的。故测定中, 常因误认为水环境中 NO_2^-N 含量一般较低, 而省略对 NO_2^-N 的测定, 将 $\text{NH}_4^-\text{N} + \text{NO}_2^-\text{N}$ 的综合测定值都归为 NH_4^-N 测定值。本研究结果表明, 在对虾养殖期间的大部分时间内, 尤其是高温季节的 8 月份, NO_2^-N 是 IN 的主要存在形态, 有时甚至高达 633.3 $\mu\text{g/L}$; 因此, NO_2^-N 对对虾养殖生态系统的作用是不可忽视的。但 NO_2^-N 何以在该养殖水环境在大量积累的原因, 还有待进一步探讨。

在养殖水环境中, 如何保持稳定的浮游植物群落结构和数量, 是对该系统进行人工调节和提高对虾产量内容和手段[门胁秀策和田中启阳 1993, 田中启阳 1995]。本研究业已证明, 浮游植物是该水环境中的氮磷营养盐(尤其是 IN)的主要控制因素, 故通过保持浮游植物群落结构和数量的稳定, 理应使得氮磷营养盐也保持相对稳定; 由于氮磷营养盐在对虾养殖生态系的能量流动和物质循环中的重要作用, 则氮磷营养盐的相对稳定必然能进一步导致该生态环境的相对稳定。

参考文献

- 孙 耀, 于 宏, 杨琴芳等. 1990. 丁字湾养殖海域营养状况的化学指标分析与评价. 水产学报, 14(1): 33~ 39.
- 孙 耀, 陈聚法, 张友 . 1983. 胶州湾海域营养状况的化学指标分析. 海洋环境科学, 12(3~ 4): 25~ 31.
- 沈国英, 林均民, 黄凌风等. 1992. 对虾养殖早期虾池初级生产力及其作用的调查研究. 厦门大学学报(自然科学版), 31(2): 188~ 193.
- 邹景忠, 董丽萍, 秦保平. 1993. 渤海富营养化和赤潮问题的初步探讨. 海洋环境科学, 2(2): 45~ 54.
- 国家海洋局. 1991. 海洋监测规范. 北京: 海洋出版社. 55~ 300.
- 赵焕登, 孙修琴译. 1981. 海洋生态系统——构造与机能. 北京: 海洋出版社. 1~ 28.
- 崔 毅, 陈碧娟, 任胜民等. 1996. 渤海海域生物理化环境现状研究. 中国水产科学, 3(2): 1~ 12.
- 崔清臣, 钱佐国, 唐思齐译. 1982. 化学海洋学(第二卷). 北京: 海洋出版社. 267~ 326, 386~ 455.
- 蒋国昌, 王玉衡, 董恒林等. 1987. 浙江沿海富营养程度的初步探讨. 海洋通报, 6(4): 38~ 46.
- 门胁秀策, 田中启阳. 1993. 透明度からみた の成長. 水产增殖, 41(1): 61~ 65.
- 日本水产学会编. 1982. 沿岸海域富营养化生物指标. 东京: 恒星社. 59~ 61.
- 田中启阳. 1995. 养殖における水作りの科学. 养殖, 32(12): 76~ 78.
- Cadee G C. 1975. Primary production of the Guyana coast. Natherlands J sea Res, 4(1): 128~ 143
- Harvey H W. 1975. The chemical and fertility of sea water. Cambridge.
- Johannes R E, Webb K L. 1970. In: Hood H W ed. Organic mater in natural waters. Inst Mari Sci Alaska. 257~ 273.
- Redfield A N et al. 1963. In: Hill M N ed. The Sea. J Wiley and Sons, New York, 26~ 77.
- Sun Y, Zhao J. 1993. Contamination of shrimp ponds with organic matter in *Penaeus chinensis* culture and some associated problems. In proceedings on international symposium on shrimp culture in Asia-Pacific region. 151~ 154.
- Zobell C E. 1946. Marine Microbiology. hronica Botanica, Waltham. 240.
- Zhu S P. 1949. Experimental studies on the environmental factors influencing the growth of photoplankton. Cont Fish Res Inst Dep Fish, Shantung, I: 37~ 52.

FEATURE AND BEHAVIOR OF NITROGEN AND PHOSPHOROUS NUTRENTS IN SHRIMP PONDS

SUN Y ao, Song Yun-Li

(*Yellow Sea Fisheries Research Institute, CAFS, Qingdao 266071*)

ABSTRACT Of nitrogen and phosphorus nutrients of shrimp ponds, feature and behavior were discussed according to investigation results. Seasonal change of IN was much bigger, especially in last period of shrimp culture, than that of IP which was stable during the whole culture period. Both IN and IP of vertical distribution were even in the waters. There was obviously seasonal change on IN of existing form. Moreover, it was different from the open waters that $\text{NO}_2^- \text{N}$ was also one of the main IN forms. In the most culture period, IN was in the poor level and , therefore, became the main restrict factor of phytoplankton productivity. Otherwise, circling rate of IN and IP could be increased by higher density phytoplankton in shrimp ponds.

KEYWORDS Feature and behavior, Nitrogen and phosphorous nutrients, Shrimp ponds