

养虾围隔中无机氮浓度与放养密度及环境因子的关系*

王伟良 李德尚 董双林 刘剑昭

(青岛海洋大学水产学院 266003)

提要 于1998年6~9月在鱼虾混养围隔中,研究了在全封闭条件下,水体中总无机氮(ΣN ,表示3种无机氮之和)及其组分的浓度以及3种组分相对含量的变化与鱼虾放养密度及其他环境因子(叶绿素、化学耗氧量(COD)、溶解氧(DO)、水温、盐度、pH等)的相互关系。结果表明: ΣN 及其组分的绝对含量与对虾和罗非鱼的放养密度呈极其显著的正相关。 ΣN 及其组分的绝对含量与水温有正相关性,但相关性不显著,而与pH、盐度呈负相关,且这种负相关性有随放养密度增加而提高的趋势。叶绿素与 ΣN 及其组分的绝对含量无明显相关性,但其影响氨氮、硝氮在 ΣN 中的相对含量。DO与 ΣN 及其组分的绝对含量及氨氮的相对含量表现为负相关,而与硝氮的相对含量呈正相关。COD与 ΣN 三氮的关系比较复杂。

关键词 养虾围隔,无机氮,放养密度,环境因子

由于传统的对虾养殖模式存在投入物质利用率低、污染水质和易发生流行性传染病等缺陷,尤其是1993年以来,对虾爆发型流行性病毒病使传统的对虾养殖业处于崩溃的边缘。在这种情况下,封闭式的综合养殖方式越来越受到重视,并成为对虾养殖业的发展趋势。其中,研究和实践较多的综合养殖方式是滤食性贝类或鱼类与对虾的混养。与传统养虾池塘相比,在这种封闭式综合养殖生态系统中,三氮的变化规律有哪些特点,目前报道甚少。本文目的是探讨在鱼虾混养条件下,溶解无机氮的组成、变动与鱼虾放养密度及环境因子的相互关系,从而找出其影响因素及规律,以期阐明这一生态系统的环境特性作出贡献。

1 材料和方法

1.1 研究地点和时间

实验于1998年6~9月,在位于丁字湾畔(36°40'N,120°48'E)的山东省海阳市黄海水产集团公司养虾场进行。

1.2 实验围隔及围隔的放养与管理

研究采用了围隔实验法,围隔以高密度两面涂

塑的聚乙烯织布作为围隔幔,架设于虾池中,长宽均为5 m,高为2 m(其中40 cm埋于地下)。围隔幔相对两边上下各设一条尼龙拉链,用以进排水。围隔中央设一微型搅水机(90 W),以模拟池塘水的自然涡动与混合,打破池水的分层。围隔中水深1.5 m。

本研究结合封闭式综合养殖养殖容量的研究共同进行。按放养水平的不同分成5个实验组,每个实验组设两个重复,共计10个围隔。但因养殖中途二水平有一围隔出现浮头死亡,故在分析结果时将二水平予以剔除,只选其余8个围隔。围隔进水时间为4月17日,每围隔施鸡粪1.5 kg作为基肥,此后在养殖前期根据水色和透明度按N:P=7:1施尿素和磷酸二铵作为追肥,中后期基本不施肥。中国对虾(*Penaeus chinensis*)的放养时间为6月16日,规格为3.61 cm。罗非鱼(*Oreochromis mossambicus* × *Oreochromis niloticus*)的

* 国家攀登计划B专题“对虾池生态系及其结构与功能的优化”(PDB73)及国家“九五”攻关计划专题“滩涂池塘养殖系统养殖容量与优化技术”(969220202)的部分内容。
收稿日期:1999-10-10;修回日期:1999-10-30

放养时间为 6 月 23 日,规格为 135 ± 46.7 g。各实验组的养殖密度见表 1。

实验用虾苗购自北麻姑岛育苗场,暂养至 3 cm 后放入围隔。台湾红罗非鱼购自胶州市水产良种站,经驯化至盐度 30 后放养入围隔中。

表 1 中国对虾和台湾红罗非鱼的养殖密度(尾/围隔)

Tab.1 The stocking density of *Penaeus chinensis* and *Oreochromis mossabicus* × *O. niloticus* of each treatment

实验组	养殖密度(尾/围隔)	
	对虾	罗非鱼
I	70	1
II	140	2
III	210	3
IV	280	4
V	35	5

1.3 采样和分析方法

每 15 d 采样 1 次,采样时间为上午 8:00~10:00。测定内容包括 $\text{NO}_2^- \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 、总铵氮(TAN)(以上 3 项简称三氮,三者之和为 TIN)、叶绿素、化学耗氧量(COD)、盐度(S)。另外,每天定时监测溶解氧(DO)、水温(T_w)及 pH 等,测定时间分别为 5:00, 10:00 和 16:00。用有机玻璃采水器在围隔中采中层水样,其中测定三氮的水样先经 $0.45 \mu\text{m}$ 的醋酸纤维素膜过滤除去水中的悬浮颗粒后再进行测定。TAN 用次溴酸钠氧化法测定; $\text{NO}_3^- \text{N}$ 用铜-镉还原,对氨基偶氮法测定; $\text{NO}_2^- \text{N}$ 直接用对氨基偶氮法测定。

2 实验结果

整个养殖期间共采样 7 次,对测定的 $\text{NO}_2^- \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 、TAN 及 TIN 及 3 种无机氮相对含量(在表中用 % 表示)与密度水平及环境因子的关系进行相关性分析,得出表 2。其中,相关系数 r 大于 $n=7, \alpha=0.05$ 时的临界值 0.754,为相关性显著;小于该临界值的判为相关性不显著;如 r 大于 $n=7, \alpha=0.01$ 时的临界值 0.874,则判为相关性极显著。

在整个实验期间,各个指标的变化范围分别是: NO_2^- : $0.3 \sim 262 \mu\text{g/L}$; NH_4^+ : $0.1 \sim 158 \mu\text{g/L}$; NO_3^- : $0.1 \sim 389 \mu\text{g/L}$; TIN: $3.4 \sim 809 \mu\text{g/L}$; 叶绿素: $3.014 \sim 300.902 \mu\text{g/L}$; COD: $1.040 \sim 6.880 \text{ mg/L}$; DO: $1.55 \sim 10.36 \text{ mg/L}$; T_w : $21.8 \sim 31.2 \text{ }^\circ\text{C}$; pH: $7.65 \sim 9.14$; S: $18.51 \sim 29.16$ 。

在此范围内,从表中可以看出 TIN 及三氮的浓

表 2 TIN 及其组成的变动与其他环境因子的相关性分析
Tab.2 The relationships between TIN and its components on the one hand and environmental factors on the other hand

项目	池号	叶绿素	COD	DO	S	pH	T_w	
$\text{NO}_2^- \text{N}$	1-1	O-	负	O-	O-	O-	O+	
	1-2	正	O+	负	负	负	O+	
	3-1	O-	O-	O-	O-	O-	O+	
	3-2	O-	O+	O-	O-	O-	O+	
	4-1	O+	正	O+	负	负	O+	
	4-2	O-	负	负	负	负	O+	
	5-1	O-	O+	负	负	负	正	
	5-2	O-	O-	O-	负	负	O+	
	TAN	1-1	O-	负	O-	O-	O-	O+
		1-2	O-	O-	O-	O-	O-	O+
3-1		O-	O-	负	负*	负	O+	
3-2		O-	O-	负	O-	O-	正	
4-1		O-	正*	O-	负*	负	O+	
4-2		O+	O-	负	负*	负	O+	
5-1		O-	O+	负	O-	负*	正	
5-2		O+	O-	负	负	负	O+	
$\text{NO}_3^- \text{N}$		1-1	O-	负	O-	O-	O-	O+
		1-2	正	O+	O-	负*	O-	O+
	3-1	O-	O-	负	负	负	O+	
	3-2	O-	O+	负	O-	O-	正	
	4-1	O+	正	O+	负	负	O+	
	4-2	O-	负	负	负	负	O+	
	5-1	O+	正	O-	负	负	O+	
	5-2	O-	O-	O-	负	O-	O+	
	TIN	1-1	O-	负	O-	O-	O-	O+
		1-2	O+	O-	O-	负	O-	O+
3-1		O-	O-	负	负	负	O+	
3-2		O-	O-	负	O-	O-	正*	
4-1		O+	正	O-	负	负	O+	
4-2		O-	负	负	负	负	O+	
5-1		O-	O+	负	负	负*	O+	
5-2		O-	O-	O-	负	O-	O+	
$\text{NO}_2^- \text{N}$		1-1	O-	O-	O+	O-	O+	O+
		1-2	正	O+	O-	O-	O-	O+
	3-1	O+	O+	O+	O+	O+	O-	
	3-2	O+	O+	O-	O-	O+	O+	
	4-1	O-	正	O-	O-	O-	O+	
	4-2	O+	O-	O-	O-	O-	O+	
	5-1	O-	O-	O-	O-	O-	O+	
	5-2	O-	O-	O-	O+	O+	O-	
	TAN	1-1	O+	O+	O-	O+	O+	O-
		1-2	O-	O-	O+	O-	O-	O+
3-1		负	O-	负	O+	O-	O-	
3-2		负	负	O-	O+	O+	O-	
4-1		负	O+	负	负	O-	正	
4-2		O+	O-	负	O-	O-	O+	
5-1		负*	负	O-	O-	O+	O+	
5-2		O+	O+	负	负	负	O+	
$\text{NO}_3^- \text{N}$		1-1	O+	O-	O-	O+	O-	O+
		1-2	O+	O+	O+	O+	O+	O-
	3-1	正	O+	正	O-	O-	O+	
	3-2	正*	O+	O+	O-	O-	O+	
	4-1	O+	O-	正	O+	O+	O-	
	4-2	O+	O+	正	O+	O+	负	
	5-1	正*	正	O+	O+	O+	O-	
	5-2	O+	O+	正	O+	O+	O-	

注:O+表示二者有正相关性,O表示二者有负相关性,但相关性均不显著;正、负表示二者呈正或负相关,且相关显著($\alpha=0.05$),其中标*者表示正或负相关性极其显著($\alpha=0.01$)。

度与水温有一定的正相关性,但相关性不显著,而与

盐度、pH有负相关性,且这种负相关性在低密度时(一、三水平)只在个别围隔中负相关性显著,而在高密度围隔中(四、五水平)绝大多数表现为负相关性显著(其中少数围隔中负相关极显著)。叶绿素与三氮浓度在多数情况下相关性不显著,对 NO_3^- -N在 TN 中的相对含量相关性也不显著,但对于 TAN 的相对含量负相关性较明显,对于 NO_3^- -N相对含量的正相关性较明显,二者在有些围隔中达到了相关性显著($\alpha = 0.05$)。COD与三氮浓度及相对含量的关系比较复杂,部分围隔表现为正相关,部分围隔表现为负相关。 TN 、三氮的浓度及 NH_4^+ -N的相对含量与DO表现为负相关性,且在多数围隔中这种负相关性显著($\alpha = 0.05$)。DO与 NO_3^- -N相对含量呈正相关性,且多数情况下正相关性显著。

水体中 TN 及三氮的绝对含量与放养对虾与罗非鱼的密度正相关性极其显著($\alpha = 0.01$),但三氮的相对含量与放养密度无明显的相关性。

围隔中活性磷的浓度在实验初期较高,中后期则一直处于较低的水平,且与无机氮的含量无明显的相关性。

3 讨论

3.1 放养密度对无机氮的影响

在本实验中,水体中 TN 及三氮的绝对含量与放养密度正相关性极其显著,这比较容易理解。一方面,随养殖密度的增加,单位水体鱼虾代谢产生的氮就越多;另一方面,围隔为一封闭系统,氮的输入主要靠投饵,投饵量与放养密度呈正比。

3.2 叶绿素、化学耗氧量(COD)与无机氮的关系

从实验结果可以看出叶绿素与 TN 及其3种组分的绝对含量以及亚硝氮的相对含量的相关性都不明显。这主要是因为实验期间温度比较高,残饵等有机物氧化分解迅速,能迅速补充水体中被浮游植物吸收利用的无机氮。自7月中旬以后,围隔中无机氮一直维持较高浓度。这与暨卫东1998年的研究结果是一致的,但他并未研究叶绿素与三氮相对含量的关系^[3]。本实验得出叶绿素与铵氮的相对含量呈负相关,与硝氮的相对含量呈正相关,且在有些围隔中相关性显著。究其原因,可能有以下两方面:(1)氨是生物代谢排泄物分解的主要无机化合物,也是海洋氮循环中生物尸体分解的无机氮初级产物,它是最容易被浮游植物吸收的无机氮形式。故随叶绿素(在一定程度上

可以代表浮游植物的生物量)的升高,铵氮减少得最快,从而使铵氮的相对含量降低。(2)叶绿素含量决定溶氧的高低,而溶氧与铵氮、硝氮相对含量的关系前面已讨论过,因此叶绿素可以通过影响溶氧的高低而对其相对含量施加影响。三氮与COD之间的关系较复杂。若水体中存在分层时,沉积物的上覆水中含有大量有机质,溶氧被消耗殆尽时,在厌氧细菌的作用下,有机质发生嫌氧分解,发生脱氮化过程,三氮几乎被还原为分析零值,这时三氮与COD负相关。若水体溶氧含量丰富,有机质氧化分解后,氧化物接着继续发生硝化作用,那么三氮与COD呈正相关^[3]。本实验围隔水体中主要出现第二种情况。另外,本实验测定的COD既包括无生命的颗粒及溶解态的有机物,也包括有生命的浮游生物,且二者比例总处于不断的变化之中。而浮游植物的生长是需要吸收无机氮的,这与无生命有机物分解释放无机氮的作用是相反的。综上所述,三氮与COD之间的关系显得比较复杂。

3.3 溶氧(DO)等理化因子与无机氮的关系

在 TN 相同的水体中,三氮的相对含量变化往往很大。三氮之间总处于不断的相互转化,条件不同其转化方向及速率也不同。其中, NO_3^- -N水平高代表了氧化条件下硝化作用占优势;而 NH_4^+ -N增多则代表低氧状态下,有机氮转化为无机氮初产物的积累增加,此时硝化作用受阻,反硝化作用增强; NO_2^- -N的增多也表示在低氧条件下转化中间产物的积累。林年丰1990年报道,硝化作用过程需消耗氧气和碱度;pH的过低和过高都会减缓硝化作用的进行^[2]。

本实验的结果也反映出了这一规律。pH与硝氮含量有负相关性(实验中pH值一直大于7);但DO与硝氮、铵氮的绝对含量以及铵氮的相对含量呈负相关,即随溶氧的升高三者都有降低的趋势,DO只与硝氮的相对含量呈正相关性,且在多数情况下相关性显著。曾有文献报道,溶解氧与硝氮和亚硝氮总量呈紧密正相关关系^[1],但本实验结果并不符合这一规律,这可能是因为围隔水体中DO的浓度主要是由浮游植物的生物量决定的,浮游植物生物量大的,溶氧水平往往也高,而浮游植物的生长需要消耗大量的无机营养盐,尤其是无机氮,故DO与无机氮的绝对含量呈负相关。这与彭云辉等1994年的报道相符:在河口水域中,硝氮含量与表观耗氧量正相关性显著。表观耗氧量(AOU) = (在海现场温度和盐度时氧的饱和含量) - (现场测定的氧含量)。DO对铵氮、硝氮相对

含量的影响表明溶解氧的高低可以改变硝化(或反硝化)反应的方向及速率。

据 Jianr-Chu Chen 等 1995 年报道:中国对虾亚硝氮的排泄量随盐度、pH 及水体中铵氮水平的升高而增加,而排氮量则随盐度的升高而降低。本实验得出的盐度、pH 与三氮的浓度呈负相关,上面报道的可能是一个原因,另外的原因可能是:盐度和 pH 过高,微生物的生长和代谢受到抑制,从而导致分解、硝化作用的减弱。另外 pH 值是和浮游植物的生长紧密相关的,浮游植物的快速生长不仅大量吸收无机氮,也会大量吸收水体中的 CO_2 ,从而导致 pH 的升高;水中及

池底沉积的有机物在微生物的作用下发生分解,在生成无机氮的同时也会产生一定量的有机酸和 CO_2 ,使 pH 值降低。因此 pH 与无机氮的负相关性应当是浮游植物的生长和有机物的分解以及养殖动物的排泄这三者共同作用的结果。

参考文献

- 1 王伟强等。海洋学报,1996,18(2):57~65
- 2 邱汉学等。青岛海洋大学学报,1997,27(4):533~538
- 3 暨卫东。海洋学报,1998,20(1):134~143

RELATIONSHIPS OF INORGANIC NITROGEN WITH STOCKING DENSITIES OF CULTURED ANIMALS AND ENVIRONMENTAL FACTORS IN THE SHRIMP CULTURING ENCLOSURES

WANG Weiliang LI De-shang DONG Shuanglin LIU Jianzhao

(Fisheries College, Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003)

Received: Oct. 10, 1999

Key Words: Shrimp culturing enclosure, Inorganic nitrogen, Stocking density, Environmental factors

Abstract

Studies on the interrelationships among concentration of inorganic nitrogen, stocking densities of cultured animals and environmental factors in shrimp-fish polyculture ecosystem were carried out from June to September 1998. The results showed that: (1) The relationships between three kinds of inorganic nitrogen and stocking densities were significant positive ($\alpha = 0.01$). (2) The relationships between water temperature and concentration of three-nitrogen were also positive, whereas those between pH and three-nitrogen as well as those between salinity and three-nitrogen were negative, and with increased stocking densities, the relationships became more conspicuous. (3) With increased dissolved oxygen (DO), the concentration of three-nitrogen decreased. DO influenced the ratio of nitrate with ammonia, with the increase of DO, the ratio increased. (4) The relationships between the concentration of chlorophyll and those of three-nitrogen were not significant. Like DO, chlorophyll can change the ratio of nitrate with ammonia. (5) The relationships between chemical oxygen demand (COD) and three-nitrogen were rather complex.

(本文编辑:李本川)