

丰产鲫精养池塘氮磷的动态与收支

陈明海 唐汇娟 孙依依 甘炼 李富贵

华南农业大学动物科学学院, 广州 510642

摘要 对2个不同的丰产鲫(*Carassius auratus* var. *pengzenensis*)池塘的氮、磷动态和收支进行为期3个月的测定。结果表明, 养殖期间水柱中各种形态的氮磷含量在试验后期有显著的提高, 其中A塘的总氮和总磷分别上升了7.8倍和4.4倍, B塘总氮和总磷分别上升了3.6倍和2.4倍。但2个池塘底泥氮磷含量在试验前后并无显著差异。饲料是鱼塘氮磷营养盐的主要来源, 平均分别占池塘的氮输入的88%和磷输入的96%。A塘中的氮磷营养盐以鲫鱼鱼体产出分别占氮磷总支出的29.73%和10.06%。而B塘分别占氮磷总支出的31.29%和9.03%。大部分的氮(平均为53%)和磷(平均为87%)以沉积物的形式沉积到底泥, 或者随着渗漏水流失以及通过脱氮作用、氨挥发等其他的途径离开水体。

关键词 鲫; 池塘养殖; 氮磷动态; 氮磷收支

中图分类号 S 912 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2015)02-0095-06

氮、磷营养盐是养殖水体中的主要营养元素, 其在水体中的含量和变化对浮游植物乃至水体水质和养殖生物有着重要的影响。投入养殖水体中的营养盐只有少部分被养殖生物吸收, 其中的大部分会沉积到底泥中或是随着鱼塘换水排放到周边环境, 对周围生态系统产生影响^[1-2]。据估算, 全国淡水池塘每年向外排放总氮38.27万t, 总磷3.19万t^[3]。氮、磷收支可以解释水体中氮、磷营养盐的来源和去向, 是评价养殖系统氮、磷重要性、转化效率以及养殖污染程度的有效方法^[4]。因此, 对池塘等水体氮磷收支的研究显得非常重要。近年来, 国内外关于精养池塘中氮磷收支与氮磷动态变化的研究也较多, 但大多数的研究集中在不同种类以及不同养殖模式下对虾池塘的氮磷收支^[5-7]。对大宗淡水养殖品种氮磷收支的研究较少, 除了高攀等^[8]和刘朋^[9]对草鱼、周玲^[10]对罗非鱼、常杰等^[11]对异育银鲫氮磷混养进行了研究外, 对其他养殖品种和养殖模式的池塘氮磷收支的研究鲜有报导。第3代丰产鲫(*Carassius auratus* var. *pengzenensis*)因抗逆性强、肉质鲜嫩颇受欢迎, 是我国目前重要的养殖品种。本试验对2个不同的丰产鲫池塘的氮、磷动态和收支进行了监测, 揭示鲫精养塘的氮、磷动态规律和营

养盐的沉积情况, 以期对鲫饲料的配制以及科学管理鲫鱼塘提供依据, 并尽可能地减少养殖池塘氮磷排放对天然水体的影响。

1 材料与amp;方法

1.1 试验池塘与饲养管理

养殖地点位于广东省珠海市白蕉镇, 是两口相邻的方形鱼塘, 分别记为A塘和B塘。其中, A塘在试验开始前经过1个月的干塘暴晒后从临近河流引进河水, B塘在鱼苗放养前已经蓄水。每口鱼塘各配1500W的涡轮式增氧机1台。试验鲫均购自广东省佛山市三水白金水产种苗有限公司, 为第3代丰产鲫。A、B塘鲫下塘时间分别为2013年6月16日和7月4日, 其中A塘投放大小2种规格鲫, B塘只投放小鲫。随后分别开始往A塘和B塘投喂a、b2种商品料, 以日投喂量为鲫体质量的3%进行投喂, 每日投喂3次。养殖鱼塘的状态、投放鲫的情况和投喂饲料的总量和氮、磷含量见表1。养殖期间无施肥、换水以及泼洒杀虫剂。试验于9月21日结束, 通过全塘拉网测定收获鲫的大小、总鲜质量, 评估存活率。

收稿日期: 2014-05-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(30800145); 广东省联合培养研究生示范基地(粤教研函(2013)14号); 广东省大学生校外实践教育基地

陈明海, 硕士研究生, 研究方向: 水产营养生态. E-mail: 137541501@qq.com

通信作者: 唐汇娟, 副教授, 研究方向: 水域生态. E-mail: tanghj@scau.edu.cn

表 1 池塘、鲫投放及饲料情况

Table 1 Pond conditions, fish stock and diet input

池塘 Pond	池塘状态 Pond conditions		投放小鲫 Fingerling		投放大鲫 Big carp		投喂饲料 Feed		
	面积/m ² Area	深度/m Depth	规格/g	总质量/kg	规格/g	总质量/kg	总质量/kg Diet feed	含氮量/% Nitrogen content	含磷量/% Phosphorus content
			Initial weight	Total weight	Initial weight	Total weight			
A	4 869	1.3	0.54	184	340	4 374	9 175	6.67	1.54
B	4 002	1.5	0.54	324	0	0	5 250	5.06	1.26

1.2 样品的采集与测定

2 个鱼塘分别于鲫下塘的前 1 d 开始采集水样, 随后每 15 d 采样 1 次, 直到 9 月 21 日试验结束。水样分 5 个点采集, 分别为鱼塘的 4 个角和中央位置, 试验结果取 5 个点的平均值。采集的水样当天测定, 铵氮(NH₄⁺-N)采用纳氏试剂比色法测定, 硝酸盐氮(NO₃⁻-N)采用紫外分光光度法测定, 总氮(TN)采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定, 正磷酸盐(PO₄³⁻-P)用磷钼蓝自动比色法测定, 总磷(TP)用过硫酸钾氧化-磷钼蓝比色法测定。分别取前 2 次采样的平均值和最后 2 次采样的平均值作为养殖试验初始值和终末值。

两口鱼塘分别设 3 个定点采集底泥, 试验结果取 3 个点的平均值, 底泥的采集共计 4 次, 鲫下塘前和下塘后 2 周所采得泥样的平均值作为池塘底泥的初始值, 试验结束前 2 周和结束当天所采得泥样的平均值作为池塘底泥的终末值。用柱式采泥器采得 10 cm 深泥样, 用封口袋运回实验室后常温下干燥, 过 0.149 mm 筛。底泥中的氮含量用凯氏定氮法测定, 底泥中的磷含量参照 GB 9837-1988 测定。

分别取 2 种饲料存于 -20 °C 冰箱, 试验结束后总氮用凯氏定氮法测定, 总磷用钼黄比色法测定。

1.3 鱼体饲料利用的计算

鲫对饲料的利用率按以下公式计算:

$$\text{氮的利用率(NUR, \%)} = (N_t - N_0) / N_f \times 100\%$$

$$\text{磷的利用率(PUR, \%)} = (P_t - P_0) / P_f \times 100\%$$

$$\text{饲料系数(FCR, \%)} = F_w / (W_e - W_0)$$

$$\text{增重率(WGR, \%)} = [(W_e - W_0) / W_0] \times 100\% [12]$$

式中, N_t 为收获物的氮总量, kg; N_0 为放养鱼的氮的总含量, kg; N_f 为投喂饲料的氮的总含量, kg; P_t 为收获物的磷总量, kg; P_0 为放养时鱼体磷总含量, kg; P_f 为投喂饲料的磷的总含量, kg; F_w 为投喂饲料的总质量, W_e 为试验结束时鲫的总质量, W_0 为试验开始时鲫的总质量。其中鲫鱼体的氮、磷含量参照刘书婷等^[13]的研究。

1.4 氮、磷收支公式及氮、磷负荷量计算公式

试验期间本地区的总降雨量为 1 168.4 mm, 降雨数据来自临近的斗门区气象局, 降雨的氮、磷含量参考周玲^[10]的研究。

氮、磷收支公式:

$$F_{in} + F_e + W_i + R = F_{out} + W_e + U$$

式中 F_{in} 、 F_e 、 W_i 、 R 、 F_{out} 、 W_e 分别为投入鱼苗、投喂饲料、初始水体、降雨、产出鱼体、终末水体中的氮、磷含量。 U 为未测出的氮、磷, 包括底泥中的沉积量、气体挥发和渗漏等。

$$\text{氮、磷负荷量} = (C_e - C_0) / W$$

式中 C_e 为试验结束时养殖水体的总氮、磷含量, kg; C_0 为试验开始时养殖水体的总氮、磷含量, kg; W 为鱼体的总增重, t。

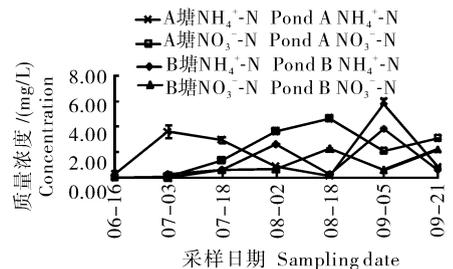
1.5 数据处理

用 Excel 2010 软件处理试验数据并作图, 用 SPSS 13.0 软件进行 t -test 分析, 结果用平均数 ± 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 氮磷动态变化

A 塘和 B 塘的 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 的含量变化见图 1。A 塘的 NH₄⁺-N 含量在 0.19~5.75 mg/L 之间变化, 呈现不规律的波动, 在养殖初期上升, 随后下降, 在 8 月 18 日达到最低值, 在 9 月 5 日达到最高值, 随后又下降。而 NO₃⁻-N 含量在 0.03~4.64 mg/L 之间变动, 其变化趋势正好跟铵

图 1 2 个池塘水体 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 的含量变化Fig. 1 Dynamics of NH₄⁺-N and NO₃⁻-N in the two ponds

氮相反。 NH_4^+-N 的最高值往往对应的是 NO_3^--N 的最低值。B 塘的 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 的含量总体低于 A 塘。两者的含量分别在 0.28~3.85 mg/L 和 0.031~2.29 mg/L 之间波动,其变化也呈相反的趋势。

从图 2 可知,A 塘的可溶性磷酸盐在短时间内达峰,然后随着养殖时间的延长,鱼塘中的磷酸盐

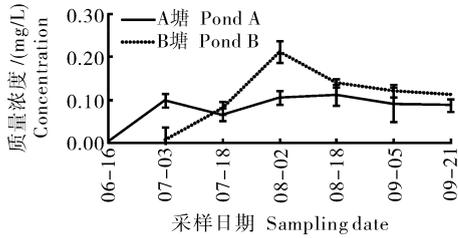


图 2 2 个池塘的 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 盐变化

Fig.2 Dynamics of $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ in the two ponds

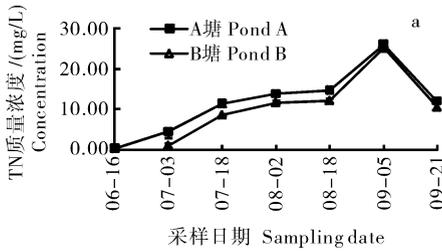


图 3 2 个池塘的 TN(a)、TP(b)变化

Fig.3 Dynamics of TN(a) and TP(b) in the two ponds

并没有继续上升,而是维持在一个相对稳定的质量浓度,在 0.07~0.11 mg/L 之间波动。而 B 塘则在 8 月 2 日达到最高值 0.21 mg/L,然后保持相对稳定状态。

在整个养殖期间,A 塘和 B 塘的 TN 与 TP 的变化趋势非常相似(图 3a,b)在养殖开始的第 1 个月,TN 含量迅速增加,随后的 1 个月缓慢增加,在 9 月 5 日分别陡增至 25.99 mg/L 和 25.13 mg/L,后下降。在整个试验过程中 A 塘的 TN 含量一直略高于 B 塘。TP 的浓度在养殖的第 1 个月快速增加,随后直到养殖结束,稳定在一个较小的范围内波动。且 A 塘和 B 塘 TP 含量相近。

水柱和底泥中氮、磷含量在试验前后变化见表 2。A 塘底泥中氮、磷含量的末值比初始值分别高了 0.09 g/kg 和 0.02 g/kg,但差异不显著。B 塘的底泥中的磷含量在试验结束时均比开始时高 0.02 g/kg,但差异同样不显著,而底泥中的氮含量则保

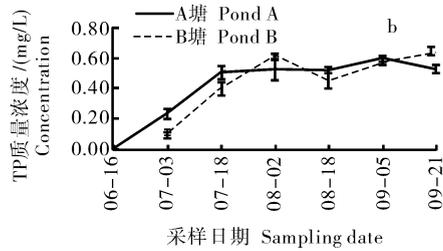


表 2 养殖试验开始和结束池塘中氮、磷含量的比较¹⁾

Table 2 Comparison of the initial and final nitrogen and phosphorous content

样品 Sample	项目 Items	初始值 Initial values	末值 Ending values
A 塘底泥/(g/kg) Pond A sediment	TN	1.38±0.46 a	1.47±0.43 a
	TP	0.42±0.08 a	0.44±0.05 a
B 塘底泥/(g/kg) Pond B sediment	TN	1.91±0.10 a	1.91±0.06 a
	TP	0.51±0.12 a	0.53±0.09 a
A 塘水柱/(mg/L) Pond A water column	NH_4^+-N	1.97±0.57 a	3.33±0.80 b
	NO_3^--N	0.06±0.03 a	2.58±0.16 b
	TN	2.44±0.70 a	18.99±2.33 b
	$\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$	0.05±0.02 a	0.09±0.01 b
	TP	0.13±0.04 a	0.57±0.01 b
	NH_4^+-N	0.47±0.07 a	2.25±0.54 b
B 塘水柱/(mg/L) Pond B water column	NO_3^--N	0.33±0.10 a	1.43±0.28 b
	TN	4.95±1.26 a	17.87±2.42 b
	$\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$	0.05±0.01 a	0.12±0.00 b
	TP	0.25±0.05 a	0.61±0.01 b

持在 1.91 g/kg。相对于底泥,水柱中各种形态的氮、磷含量在试验后期有显著的提高,其中 A 塘的总氮和总磷分别上升了 7.8 倍和 4.4 倍,B 塘的总氮和总磷分别上升了 3.6 倍和 2.4 倍。

2.2 鲫鱼养殖结果

两口塘的养殖情况见表 3。到试验结束时,A 塘的小鲫和大鲫分别长到 22.5 g 和 445 g,净产量分别为 2 204.10 kg 和 1 350.79 kg,增重率分别为 1 200.49%和 30.88%。B 塘的小鲫在试验结束时长到了 8.77 g,净产量为 2 949.12 kg,增重率为 910.22%。2 种饲料饵料系数分别为 2.58 和 1.78。A 塘的鲫对氮磷的利用率分别为 15.69%和 4.67%,而 B 塘鲫的氮磷利用率则为 29.87%和 8.28%。

2.3 氮磷收支估算

养殖试验中鱼塘的氮磷收支估算见表 4。由表 4 可看出饲料是鱼塘氮磷营养盐的主要来源,平均

1)表中同行标有相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$)。The values with the same letters in the same row indicate no statistical difference($P>0.05$).

表 3 2 个池塘中鲫的生长表现

Table 3 Growth performance of the carps in two different ponds

池塘 Pond	增重/kg Weight gain		增重率/% WGR		饲料系数 FCR	氮利用率 NUR	磷利用率 PUR
	小鲫 Fingerling	大鲫 Big carp	小鲫 Fingerling	大鲫 Big carp			
A 池塘 Pond A	2 204.10	1 350.79	1 200.49	30.88	2.58	15.69	4.67
B 池塘 Pond B	2 949.12	0.00	910.22	0.00	1.78	29.87	8.28

表 4 池塘的氮磷收支估算¹⁾

Table 4 Budgets of nitrogen and phosphorous in the ponds

	氮磷输入/kg N and P input				氮磷输出/kg N and P output			
	饲料 Feed	鱼体 Fish body	初水体 Initial water column	降雨 Rain	鱼体产出 Fish production	水柱蓄积 Water column accumulation	水体渗漏、底泥沉积及其他 Seepage, sedimentation and others	
A 塘 Pond A	N	611.97 (82.64)	123.68 (16.70)	2.08 (0.28)	2.76 (0.37)	220.15 (29.73)	75.94 (10.26)	444.40 (60.01)
	P	141.29 (94.21)	8.48 (5.65)	0.06 (0.04)	0.14 (0.09)	15.09 (10.06)	3.36 (2.24)	131.52 (87.70)
B 塘 Pond B	N	265.65 (93.60)	8.79 (3.10)	7.11 (2.51)	2.27 (0.80)	88.82 (31.29)	63.76 (22.46)	131.24 (46.24)
	P	66.15 (98.06)	0.6 (0.89)	0.59 (0.87)	0.12 (0.18)	6.09 (9.03)	3.79 (5.62)	57.58 (85.35)

1) 括号内数据为该项目在输入或输出中的百分数(%). The values in brackets indicate percentage of input or output.

分别占池塘的氮输入的 88%、磷输入的 96%。其次是投放鱼体的输入,而初始水体氮磷含量和由雨水补给所带来的营养物质均在 1% 以下。

A 塘中的氮磷营养盐以鲫鱼体为产出方式的产出量分别为 220.15 kg 和 15.09 kg,分别占氮磷总支出的 29.73% 和 10.06%。而 B 塘鲫氮磷沉积量分别为 88.82 kg 和 6.09 kg,分别占氮磷总支出的 31.29% 和 9.03%。A 塘水柱中氮磷的总积累量分别占氮磷总支出的 10.26% 和 2.24%; 而 B 塘水柱氮磷的总积累量分别占氮磷总支出的 22.46% 和 5.62%。而大部分的氮(平均为 53%)和磷(平均为 87%)以沉积物的形式沉积到底泥,或者随着渗漏水流失以及通过脱氮作用、氨挥发等其他的途径离开水体。

2.4 鱼塘的氮、磷负荷量

一般养殖结束后,池塘中的养殖废水会排放到邻近的水域,通过估算水柱中排出的 N、P 总量来确定环境 N、P 负荷量。本试验中,每产出 1 t 鲫,A 塘的氮、磷负荷量分别为 20.81 kg 和 0.93 kg,B 塘的氮、磷负荷量分别为 19.20 kg 和 1.08 kg。

3 讨论

3.1 氮、磷动态

NH_4^+-N 和 NO_3^--N 是养殖水体中可溶性无

机氮的主要组成成分,两者的关系密切,在一定条件下可以相互转换^[14]。一般水体中,有效氮主要以 NO_3^--N 的形式存在^[15],在本研究中,A 塘和 B 塘的 NH_4^+-N 与 NO_3^--N 都呈现此消彼长的变化特点,间接反映了水体溶氧的动态。随着鱼塘中投喂的积累,水体中的残饵和鲫的粪便等有机氮在氨化细菌的作用下大量转化为 NH_4^+-N ,同时由于水体的溶氧含量较低,硝化作用减弱,无机氮此时主要以铵氮的形式存在,而水体溶氧一旦上升, NH_4^+-N 则转化为 NO_3^--N ^[16]。和高攀等^[8]及齐振雄等^[7]的研究相比,养殖后期 2 个池塘中各种形态的氮、磷始终保持比较高的水平,高于地表水环境质量标准(GB 3838—2002)的 V 类水质标准要求,尤其是总氮,A、B 池塘的平均值分别达到了 11.84 mg/L 和 11.60 mg/L,均超出了标准(2 mg/L)约 5 倍。此外水柱中无机态的氮磷(没有计算亚硝酸盐氮)远低于 TN 和 TP,表明水柱中的氮和磷主要以颗粒的形态存在。在本研究中,水柱中的 TN 和 TP 在试验初期快速上升,而到中后期却保持相对稳定,这主要是由于以颗粒态存在的氮和磷易于沉淀到底泥,而底泥作为一个很好的缓冲系统,在一定范围内使水柱的氮磷保持稳定^[17]。

3.2 氮、磷收支

饲料是精养池塘的主要营养物质来源,但其中

氮和磷的输入量可分别高达80%和90%以上。放养的生物、降雨和注入水所占的比率都比较少^[1,4],这与本研究结果一致。一般来说,养殖鱼虾对氮磷的利用率都较低。在本研究中,鲫对氮利用率分别为15.69%和29.87%,而磷利用率仅分别为4.67%和8.28%,总体低于草鱼混养池塘^[8]、南美白对虾精养池塘^[17]和对虾混养池塘^[6],高于对虾半精养池塘^[7]。对比两口塘的氮磷利用率,发现在B塘精养的鲫鱼苗能更好地利用氮磷营养盐,具有较高的FCR,而在鱼苗和成鱼混养的A塘中则呈现出较低的氮磷利用率。其原因可能有2个:一是鱼苗处于生长的高速期,其吸收的营养大部分用于生长,饲料的利用率更高,而成鱼则已度过了高速生长期,其吸收的能量会用于维持鱼体的代谢,这就导致了精养鱼苗的B塘会比成鱼与鱼苗混养的A塘呈现出更高的氮磷利用率;二是鲫为杂食性鱼类,成鱼的鳃耙较稀疏,对浮游藻类的滤食能力较弱,而鲫鱼苗则可以很好地滤食浮游生物,对溶解在水中被浮游生物吸收利用的氮磷营养盐进行二次吸收,提高了氮磷利用率。

营养盐在底泥中的沉积是池塘养殖中氮磷营养盐的主要支出。据收支平衡,本试验2个池塘底泥沉积、水体渗漏和硝化及氨挥发作用合计氮的支出分别为60%和46%,磷的支出分别为87%和83%。对底泥中氮、磷的沉积比较难以直接评估,大多数研究都是对比养殖试验前后底质中氮磷含量的变化来间接地评估底质氮磷的沉积量,如在常杰等^[11]的试验中,氮、磷在沉积物中的支出分别占了氮、磷总支出的39%和57%,李卓佳等^[6]的试验中,氮、磷在沉积物中的支出分别占了氮、磷总支出的50%和80%,鳌虾塘中底泥的氮的沉积分别是50.27%和48.46%,磷的沉积分别是64%和73%^[1]。但在本次养殖试验过程中,养殖前后底质氮磷含量并没有显著差异,这可能是由以下几个方面造成的:一是底泥的初始氮磷含量较高,而试验持续的时间较短,不足以对底泥氮磷有较大的改变。A、B两口塘的初始氮含量分别为1.38和1.91 g/kg,初始磷含量分别为0.42和0.51 g/kg,显著高于李卓佳等^[6]的0.48和0.32 g/kg。而本次试验持续时间为2个月左右,也远少于刘朋^[9]和常杰等^[11]的6个月。二是上述研究大部分是在围隔中进行,沉积下来的营养物质不容易扩散。三是底泥中其他一些没能计算的氮磷,Sahu等^[1-2]发现大约10%的氮和20%的磷无法

统计,比如隐藏在有机淤泥中的氮。所以在本研究中,尽管底泥氮磷含量在试验结束后并没有显著增高,底泥仍然可能是最重要的氮磷沉积库。

除了底泥沉积,渗漏也可能是本研究池塘营养流失的原因之一。很少有研究对营养盐的渗漏进行评价^[7]。本次试验期间适逢雨季,总降雨量达到1168.4 mm,虽然没有排水,但鱼塘的水位在养殖前后基本保持不变,说明渗漏现象比较严重,遗憾的是本研究并没有测定底泥间隙水氮磷的含量。一般情况下底泥间隙水氮磷含量应该远高于水柱总氮、总磷含量,如果按照水柱总磷和总氮的含量来计算渗漏的营养盐,其总量几乎接近水柱滞留的氮磷量,而由于间隙水的氮、磷含量高,实际的渗漏量可能更大,而渗漏无疑污染了地下水。

反硝化作用产生的氮气和氨等气体挥发的去氮作用^[19]也造成氮的损失,脱氮作用要求有丰富的NO₃⁻-N、有机质和厌氧的环境,在本试验期间,2个池塘NO₃⁻-N的含量高达4.5和2.0 mg/L,无疑为硝化作用提供了充足的底物。而氨挥发作用取决于总氨的含量,在夏季高温高pH的情况下,能够促进水气界面氨的挥发,本试验中的2个池塘NH₄⁺-N的含量高达6和4 mg/L,无疑也具备了氨挥发的条件。

3.3 氮、磷负荷

与底泥中沉积的氮、磷相比,水体中积累的营养盐由于养殖的需要会随着鱼塘水排放到外环境中,对自然环境产生较大影响。如泰国的Inter湾的氮含量与附近养殖场的数量呈正相关,渤海湾养殖区的附近水体的磷含量都与非养殖区的水体有数量级的差异^[20]。在本次试验中,每产出1 t的鲫鱼,A塘水体的氮、磷负荷量分别为20.81 kg和0.93 kg,B塘的氮、磷负荷量分别为19.20 kg和1.08 kg。两口精养鱼塘的氮、磷负荷量相近,均高于半精养鱼塘的4.76 kg/t和0.73 kg/t^[21],与鲤、鲫的精养鱼塘的14.9~29.7 kg/t和0.86~1.14 kg/t相近^[22],而低于精养的虾塘^[23]。说明精养程度越高,养殖的品种对饲料的依赖性越高,其养殖模式下氮、磷的负荷量则越高。

参 考 文 献

- [1] SAHU B C, ADHIKARI S, MAHAPATRA A S, et al. Carbon, nitrogen, and phosphorus budgets in scampi (*Macrobrachium rosenbergii*) culture ponds[J]. Environment Monitoring and Assessment, 2013, 185: 10157-10166.

- [2] SAHU B C, ADHIKARI S, DEY L. Carbon, nitrogen and phosphorus budget in shrimp (*Penaeus monodon*) culture ponds in eastern India[J]. *Aquaculture International*, 2013, 21(2): 453-466.
- [3] 戈贤平. 我国大宗淡水鱼养殖现状及产业技术体系建设[J]. *中国水产*, 2010(5): 5-9.
- [4] 刘峰, 李秀启, 王芳, 等. 养殖系统 N、P 收支及环境 N、P 负荷量的研究进展[J]. *海洋环境科学*, 2011, 30(4): 603-608.
- [5] 陈东兴, 杨超, 华雪铭, 等. 3 种虾类养殖池塘污染强度及氮磷营养物质收支研究[J]. *河南农业科学*, 2013, 42(8): 132-136.
- [6] 李卓佳, 虞为, 朱长波. 对虾单养和对虾-罗非鱼混养试验围隔氮磷收支的研究[J]. *安全与环境学报*, 2012, 12(4): 50-55.
- [7] 齐振雄, 李德尚, 张曼平, 等. 对虾养殖池塘氮磷收支的实验研究[J]. *水产学报*, 1998, 22(2): 124-128.
- [8] 高攀, 蒋明, 李宇江, 等. 主养草鱼池塘水质指标的变化规律和氮磷收支[J]. *云南农业大学学报*, 2009, 24(1): 71-77.
- [9] 刘朋. 草鱼不同混养系统有机碳、氮和磷收支及变动的初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学图书馆, 2012.
- [10] 周玲. 两种罗非鱼精养模式的氮、磷收支研究[D]. 湛江: 广东海洋大学图书馆, 2010.
- [11] 常杰, 牛化欣, 李树国. 投喂硬颗粒饲料对沿海滩涂异育银鲫精养大池塘氮、磷利用及其收支的研究[J]. *淡水渔业*, 2011, 41(6): 54-59.
- [12] 赵巧娥, 朱邦科, 沈凡, 等. 饲料脂肪水平对鳢幼鱼生长、体成分及血清生化指标的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2012, 31(3): 357-363.
- [13] 刘书婷, 黄庆达, 张玉蓉, 等. 鲫鱼鱼体的化学组成和能量密度[J]. *重庆师范大学学报*, 2013, 30(5): 32-36.
- [14] HARGEAVES J A. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds[J]. *Aquaculture*, 1998, 166: 181-212.
- [15] COOPER L H N. The nitrogen cycle in the sea[J]. *Journal of MarBial Asso*, 1977, 22: 183-204.
- [16] 王伟良, 李德尚, 董双林. 养虾围隔中无机氮浓度与放养密度及环境因子的关系[J]. *海洋科学*, 2000, 24(10): 44-47.
- [17] CHIEN Y H, LAI H T. The effect of aged sediments and stocking density on freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) culture[J]. *Journal of World Aquaculture Society*, 1988, 19(1): 22-23.
- [18] BRIGGS M S P. A nutrient budgets of some intensive marine shrimp culture ponds in Thailand[J]. *Aquaculture and Fisheries Management*, 1994, 25: 789-811.
- [19] HERBER R A. Nitrogen cycling in coastal marine ecosystems[J]. *FEMS Microbiolgy Reviews*, 1999, 23: 563-590.
- [20] 周小壮, 林小涛, 林继辉, 等. 不同模式对虾养殖的自身污染及其环境效应[J]. *生态科学*, 2004, 23(1): 68-72.
- [21] 张玉珍, 洪华生, 陈能汪, 等. 水产养殖氮磷污染负荷估算初探[J]. *厦门大学学报*, 2003, 42(2): 223-227.
- [22] 熊国中, 戴自福, 沈兵. 洱海湖滨区鱼塘污染状况调查研究[J]. *云南环境科学*, 2000, 19(3): 32-34.
- [23] 常杰. 对虾、青蛤和江蓠不同混养系统氮磷收支的实验研究[D]. 青岛: 中国海洋大学图书馆, 2006.

Dynamics and budgets of nitrogen and phosphorus in intensive crucian carp culture ponds

CHEN Ming-hai TANG Hui-juan SUN Yi-yi GAN Lian LI Fu-gui

College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

Abstract An experiment was conducted to study the dynamics and budget of nitrogen and phosphorus in two crucian carp (*Carassius auratus* var. *pengzenensis*) ponds for about three months. The results showed that the concentrations of different forms of nitrogen and phosphorus in the water column were increased significantly during the late experimental period. The concentrations of total nitrogen and phosphorus were increased by 7.8 times and 4.4 times in pond A, and by 3.6 times and 2.4 times in pond B, respectively. The concentration of total nitrogen and phosphorus in pond mud had no significant changes. Feed is the major source of nitrogen and phosphorus in the pond, accounting for 88% and 96% of the input of nitrogen and phosphorus on average, respectively. The accumulation of nitrogen and phosphorus in fish body accounted for 29.73% and 10.06% of the total expenditure in pond A, 31.29% and 9.03% in pond B, respectively. Most of the nitrogen (53%) and phosphorus (87%) were deposited in the mud or left the water body through leakage, denitrification and ammonia volatilization.

Key words crucian carp; pond culture; nitrogen and phosphorus dynamic; nitrogen and phosphorus budget

(责任编辑:边书京)