

廖洪平, 张文琦, 邓泳妍, 等. 珍珠龙胆石斑鱼高位养殖池塘氮磷动态及收支的研究[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(1): 92-99.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2023.01.012

珍珠龙胆石斑鱼高位养殖池塘氮磷动态及收支的研究

廖洪平, 张文琦, 邓泳妍, 刘培钦, 唐汇娟

华南农业大学海洋学院, 广州 510642

摘要 为了揭示高位池养殖珍珠龙胆石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *Epinephelus luscoguttatus* ♀)氮磷的利用与收支情况, 阐明其在养殖过程中水质的变化以及氮磷的来源和去向, 对3个高位养殖池中的珍珠龙胆石斑鱼、池塘水、进排水以及投入的饲料进行了为期55 d的定期采样和分析。结果显示, (1) 3个池塘养殖期间溶氧均值为8.64~9.55 mg/L; 氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐、磷酸盐均呈不规则波动, 总氮和总磷的质量浓度分别在6.14~7.11和0.38~1.41 mg/L波动; (2) 珍珠龙胆石斑鱼存活率高, 增重率为96.0%~227%, 饲料转化系数为0.55~0.90, 对饲料氮和磷的利用率分别为47.0%~59.0%和52.0%~63.0%。(3) 3个池塘在监测期间饲料氮输入占比为61%~66.8%, 饲料磷输入占比为66.9%~71.0%。鱼体产出是池塘中氮磷输出的主要方式, 占氮输出的43.0%~60.9%; 占磷输出的45.0%~67.7%; 其余部分氮磷分别以排水、底泥沉积和其他方式输出。结果表明, 在珍珠龙胆石斑鱼高位养殖中, 池塘氮磷含量较高, 饲料氮磷输入是池塘中氮磷输入的主要方式, 鱼体产出是池塘中氮磷输出的主要方式, 其次为池塘养殖期间的换水排放, 因此, 需采取适当的方式对水产养殖水排放进行管理, 才能尽可能地减少养殖尾水对附近水域的影响。

关键词 珍珠龙胆石斑鱼; 氮磷利用; 健康养殖; 氮磷收支; 养殖尾水处理

中图分类号 S912 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2023)01-0092-08

氮(nitrogen, N)、磷(phosphorus, P)是水生生态系统能量流动和物质循环中重要的营养物质, 其含量直接影响整个水生生态系统的水质状况和水生生物的多样性和丰富度, 甚至是生态系统的平衡^[1]。如今我国水产品的池塘养殖规模不断扩大, 随之衍生的水消耗量高、养殖水污染和水产品质量下降等问题严重制约了池塘养殖的可持续发展^[2]。人工养殖投入的饵料中只有部分N、P被养殖物种摄食并吸收, 还有一部分N、P以残饵、粪便或排泄的方式滞留在水中或沉积在底泥中^[3]。水体中N、P浓度过高会直接影响水产品的存活和生长, 而养殖废水的排放会导致邻近水域的富营养化^[4]。水体中滞留的N、P以有机物或无机物的形式存在, 促进浮游生物的迅速繁殖, 水体透明度下降, 溶解氧减少, 以致养殖鱼类缺氧或感染疾病引起大量死亡^[5]。2017年第二次全国污染普查, 水产养殖业排放的总氮(TN)和总磷(TP)含量达9.91万t和1.61万t, 这给我国污水治理带来巨大压力^[6], 加强池塘养殖水的治理势在必行。

对我国养殖池塘N、P动态变化和收支进行研究^[7-8], 可以有效地评价养殖污染情况, 从而寻求针对性方法进行治理。

珍珠龙胆石斑鱼又称龙虎斑或珍珠斑, 是龙胆石斑(*Epinephelus lanceolatus* ♂)与老虎斑(*Epinephelus luscoguttatus* ♀)杂交的新品种, 其具有生长快、抗病能力强和肉质鲜嫩等优点^[9], 备受人们喜爱, 目前在我国市场价格价值较高, 已经成为我国主要的海水养殖品种之一。笔者对珍珠龙胆石斑鱼在高位池养殖过程中的水体N、P含量的动态变化、饲料中N、P利用率以及整个养殖池塘的N、P收支进行研究, 旨在为调节养殖结构和进一步了解石斑鱼养殖N、P排放问题提供理论依据, 并为我国水产养殖行业的发展和管理及减少对环境的副作用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验池塘与饲养管理

试验选取海南省东方石斑鱼养殖基地作为养殖

收稿日期: 2022-05-27

基金项目: 广东省重点研发计划项目(2019B020219003); 中山市社会公益与基础研究项目(210729084039002)

廖洪平, E-mail: 1620144140@qq.com

通信作者: 唐汇娟, E-mail: tanghj@scau.edu.cn

试验地点,随机挑选3个养殖效果较好、面积一致(0.33 hm²)、水深1.5 m左右的高位池养殖池塘作为研究对象。放苗前经过1个月的干塘曝晒并进行消毒,从邻近的净水池塘引入养殖水,每口塘都配有1台1 500 W增氧机。3个池塘分别记为A、B、C池,分别投放体质量83.25、71.8和59.85 g的珍珠龙胆石斑鱼苗22 861、20 165和21 580尾。放苗时间为8月13日,投喂相同生物配方饲料,每天08:00时和18:00时各投喂1次,记录每天的饲料投喂量。每天定时巡塘,统计并打捞死鱼,养殖期间定期换水,以保证溶解氧等水质指标,记录排入的水量并对排入水进行采集。试验于10月7日结束,试验总共为期55 d。

1.2 水样的采集与分析

水样的采集包括池塘进水和排水的水样。池塘初始进水的水样放苗1周后开始进行采样,此后每5 d采集1次水样,养殖期间换进的新水和排出的水从进水管和出水管采集水样,直到养殖试验结束。采集方法为从鱼塘4个角采集等量的水,均匀混合后对水体中叶绿素a及N、P营养盐等指标进行检测,采样的同时现场测定3个池塘的溶解氧、pH和透明度。采集的水样当天测定,铵态氮(NH₄⁺-N)采用靛酚蓝分光光度法(GB/T7479-1987)、亚硝态氮(NO₂⁻-N)采用重氮偶合分光光度法(GB/T5750.5-2006)、硝态氮(NO₃⁻-N)采用紫外分光光度法(GB/T5750.5-2006)、总氮(TN)采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB/T11894-1989)、磷酸盐(PO₄³⁻-P)采用钼酸铵分光光度法(GB/T11894-1989)、总磷(TP)用过硫酸钾消解钼酸铵分光光度法(GB/T11893-1989)测定。

1.3 鱼体和饲料的N、P含量的分析

分别在投放鱼苗和试验结束时从不同的鱼塘采集鱼样,全鱼于冷冻干燥机(-35℃)干燥至恒质量,然后粉碎并混合均匀。采集投喂的饲料,同样冷冻干燥后粉碎混合均匀。处理后的鱼样和饲料样品通过凯氏定氮法测定总氮含量(GB/T 6432-2018),用钼黄比色法测定总磷含量(GB/T 6437-2018)。

1.4 饲料利用率的计算

在养殖过程中,珍珠龙胆石斑鱼对饲料N、P的利用率由以下公式计算:

$$N \text{ 的利用率(NUR)} = (N_1 - N_0) / F_N \times 100\%$$

$$P \text{ 的利用率(PUR)} = (P_1 - P_0) / F_P \times 100\%$$

$$\text{增重率(WGR)} = (W_1 - W_0) / W_0 \times 100\%$$

$$\text{特定生长率(SGR)} = (\ln W_1 - \ln W_0) / T \times 100\%$$

$$\text{饲料转化系数(FCR)} = F / (W_1 - W_0) \times 100\%$$

上式中,N₁为试验结束时鱼体含氮量;N₀为试验开始时鱼体含氮量;F_N为饲料的含氮量;P₁为试验结束时鱼体含磷量;P₀为试验开始时鱼体的含磷量;P为饲料含磷量;W₁为试验结束时鱼的体质量;W₀为试验开始时鱼的体质量;T为试验时间;F为投喂饲料的总质量。

1.5 N、P收支公式

根据物质平衡原理,对珍珠龙胆石斑鱼养殖池塘中氮磷的输入和输出进行评估,具体计算公式如下:

$$A_0 + A_i + A_r + A = A_1 + A' + U$$

上式中,A₀表示初始水体N、P含量;A_i表示投入饲料中的N、P含量;A_r表示进水中N、P含量;A表示初始鱼体中N、P含量;A₁表示试验结束时水体中N、P含量;A'表示试验结束时鱼体N、P含量;U表示排水及其他N、P含量,由于养殖期间鲜少下雨,通过雨水输入的氮磷忽略不计。

2 结果与分析

2.1 池塘理化指标状况

养殖期间3个池塘中pH值、透明度、溶解氧和叶绿素a的质量浓度见表1。结果显示,整个养殖期间pH维持在8 mg/L左右,水体溶解氧较为丰富,平均值为8.64~9.55 mg/L。叶绿素a的质量浓度较高,并呈现为A塘>B塘>C塘。3个池塘的透明度均较低。

表1 养殖期间3个高位养殖池塘理化指标($\bar{X} \pm SD$)

Table 1 Physicochemical items of the three higher-place aquaculture ponds during the breeding period

项目 Item	A塘 Pond A	B塘 Pond B	C塘 Pond C
pH	8.04±0.31	8.08±0.33	8.12±0.27
透明度/cm Transparency	31.0±9.37	34.0±6.99	35.5±14.6
溶氧/(mg/L) Dissolved oxygen	8.64±1.64	9.03±2.30	9.55±2.34
叶绿素a/(μg/L) Chlorophyll a	174±92.6	121±58.7	90.0±55.3

2.2 N、P的动态变化

3个池塘各种形态的氮磷和总氮总磷含量的动态变化情况见图1。各种形态的氮均呈不规则变化,其中NH₄⁺-N质量浓度在0~1.00 mg/L变动,A、B、C池塘的平均值依次为0.29、0.26和0.15 mg/L。NO₂⁻-N质量浓度在0.09~2.86 mg/L变动,3个池塘平均值分别为1.20、0.64、0.38 mg/L,而NO₃⁻-N质量浓度的平均值依次为1.59、1.11、0.93 mg/L。3个

池塘3种形态的无机氮质量浓度均表现为A塘>B塘>C塘。相对而言总氮的变化比较平稳,其平均值依次为7.11、6.14、7.13 mg/L。

养殖期间,PO₄³⁻-P的质量浓度在3个池塘整体呈上升的趋势,其中A塘PO₄³⁻-P质量浓度在0.26~0.78 mg/L, B塘在0.3~0.57 mg/L, C塘在

0.04~0.19 mg/L。同无机氮一样,PO₄³⁻-P的质量浓度也表现为A塘>B塘>C塘。TP的质量浓度除了9月12日存在1个高峰,大部分时间较为稳定,3个池塘的平均值依次为1.41、1.07、0.38 mg/L。3个池塘中PO₄³⁻-P含量平均占总P的51.0%、50.0%和57.0%。

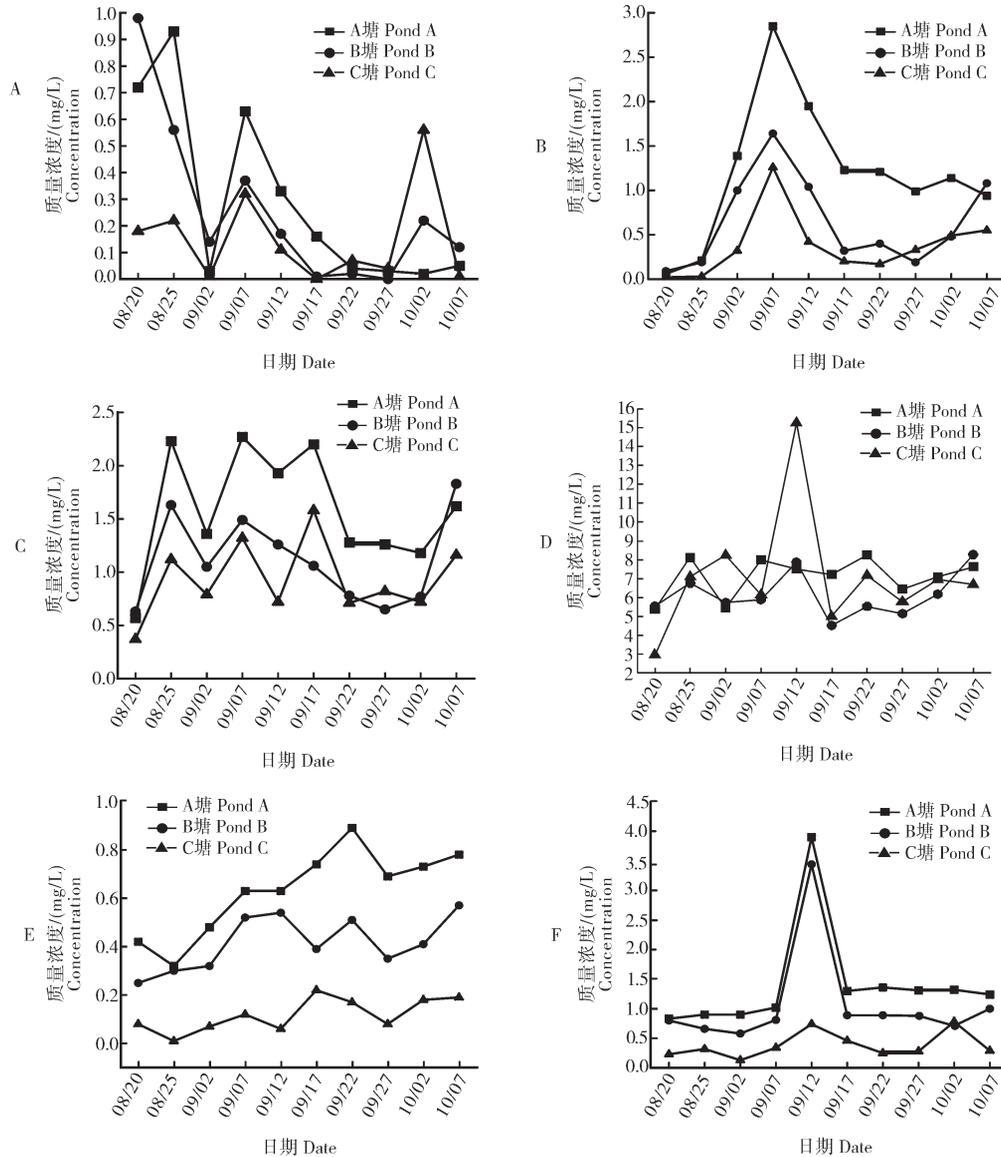


图1 养殖期间3个高位养殖池水体NH₄⁺-N (A)、NO₂⁻-N (B)、NO₃⁻-N (C)、TN (D)、PO₄³⁻-P (E)和TP (F)的动态变化
 Fig. 1 Dynamics of the concentration of NH₄⁺-N (A), NO₂⁻-N (B), NO₃⁻-N (C), TN (D), PO₄³⁻-P (E) and TP (F) in the three higher-place aquaculture ponds water during the breeding period

2.3 珍珠龙胆石斑鱼的存活、生长及氮磷利用率

1) 存活和生长情况。养殖试验结束后,统计珍珠龙胆石斑鱼的存活和生长情况,具体结果见表2。3个池塘的石斑鱼存活率都较高,在99.5%以上。A塘平均每尾鱼的体质量由83.25 g增长到162.90 g,增重率为96.0%;B塘平均每尾鱼的体质量由71.80 g

增长到207.00 g,增重率为188.0%;C塘平均每尾鱼的体质量由59.85 g增长到195.53 g,增重率为227.0%。3个池塘的N利用率范围为47.0%~59.0%,P利用率范围为52.0%~63.0%。3个池塘的平均饲料转化系数为0.67 kg/kg,特定生长率为205.7%。

表2 养殖期间3个高位养殖池珍珠龙胆石斑鱼的生长、存活及饲料利用情况

Table 2 Growth, survive rate and feed utilization of gentian grouper in the three higher-place aquaculture ponds during the breeding period

项目 Item	A塘 Pond A	B塘 Pond B	C塘 Pond C
鱼体初质量/g Fish body initial weight	83.25	71.80	59.85
鱼体终质量/g Fish body final weight	162.9	207.0	195.5
初始鱼尾数 Number	22 861	20 165	21 580
存活率/% Survival rate	99.9	99.9	99.5
增重率/% Weight gain rate	96.0	188.0	227.0
终末鱼尾数 Number	22 839	20 145	21 480
饲料转化系数/(kg/kg) Feed conversion coefficient	0.90	0.55	0.56
特定增长率/% Specific growth rate	140.0	230.0	247.0
N的利用率/% Nitrogen utilization	47.0	51.0	59.0
P的利用率/% Phosphorus utilization	52.0	63.0	63.0

2)N、P收支估算。3个池塘的N收支情况见表3。池塘中N的主要输入方式为饲料投入;A塘中饲料投入占池塘N输入的65.4%,初始鱼塘本身和养殖期间进水携带的N含量仅为5.6%和7.7%。B塘饲料投入占N输入的61.0%,初始鱼塘本身和养殖期间进水携带的N含量为7.9%和11.8%;C塘饲料投入占N输入的66.8%,初始鱼塘本身和养殖期间进水携带的含量为4.5%和9.6%。而在N输出方面,鱼体产出是池塘N输出的主要方式,A塘占43.0%,B塘占60.9%,C塘占58.7%;其余是养殖期间排水、底泥沉积及其他的N输出途径,A塘占48.5%,B塘占26.8%,C塘占33.2%,A塘中鱼的N利用率最低。

3个池塘的P收支情况见表4。池塘中P的主要输入方式同样为饲料投入;在A、B、C塘中饲料投入分别占P输入的69.0%、66.9%、71.0%,初始鱼塘本身和养殖期间进水携带的P占有比例较少。在P输出方面,鱼体产出是P输出的主要方式,A、B、C塘中鱼体P输出分别占45.0%、67.7%、67.0%;其余是排水、底泥沉积及其他P输出途径,A塘中鱼的P利用率最低。

表3 养殖期间3个高位养殖池的氮收支

Table 3 Budget of nitrogen in the three higher-place aquaculture ponds during the breeding period

池塘编号 Number	氮输入(百分比/%)/g Nitrogen input(percentage)				氮输出(百分比/%)/g Nitrogen output(percentage)		
	初始鱼塘 Initial fish pond	饲料 Fish feed	进水 Influent water	初始鱼体含量 Initial fish content	终末鱼塘 Final fish pond	鱼体产出 Fish harvest content	排水及其他 Drainage and others
A塘 Pond A	12 786.35 (5.6)	147 977.4 (65.4)	17 521.53 (7.7)	48 065.45 (21.3)	19 309.26 (8.5)	97 204.25 (43.0)	109 837.22 (48.5)
B塘 Pond B	15 162.57 (7.9)	117 008.17 (61.0)	22 648.40 (11.8)	37 011.61 (19.3)	23 489.23 (12.3)	11 6901.63 (60.9)	51 439.88 (26.8)
C塘 Pond C	8 573.04 (4.5)	127 025.14 (66.8)	18 150.24 (9.6)	36 277.70 (19.1)	15 326.35 (8.1)	111 639.08 (58.7)	63 060.70 (33.2)

注:括号内为该项目在输入或输出中所占百分比。下同。 Note: The values in brackets indicate percentage. The same as below.

表4 养殖期间3个高位养殖池的磷收支

Table 4 Budget of phosphorus in the three higher-place aquaculture ponds during the breeding period

池塘编号 Number	磷输入(百分比/%)/g Phosphorous input(percentage)				磷输出(百分比/%)/g Phosphorous output(percentage)		
	初始鱼塘 Initial fish pond	饲料 Fish feed	进水 Influent water	初始鱼体含量 Initial fish content	终末鱼塘 Final fish pond	鱼体产出 Fish harvest content	排水及其他 Drainage and others
A塘 Pond A	1 974.24 (4.0)	36 480.80 (69.0)	877.03 (2.0)	13 410.01 (25.0)	3 129.85 (5.0)	28 013.31 (45.0)	31 142.53 (50.0)
B塘 Pond B	2 184.81 (5.1)	28 852.00 (66.9)	1 216.85 (2.8)	10 874.45 (25.2)	2 845.96 (6.6)	29 207.46 (67.7)	11 074.68 (25.7)
C塘 Pond C	677.28 (2.0)	31 305.60 (71.0)	928.08 (2.0)	11 013.13 (25.0)	661.03 (2.0)	29 369.35 (67.0)	13 893.71 (31.0)

综合来看,3个池塘的饲料投入为N、P输入的主要方式,平均占64.5%和69.1%,而鱼体对饲料的N、P利用率分别为52.3%和59.3%。终末鱼体产出的

N、P分别为53.6%和61.4%,约1/3的N、P通过排水或者其他方式排到周边环境,池塘本身储存N、P约为9.57%和3.46%(图2)。

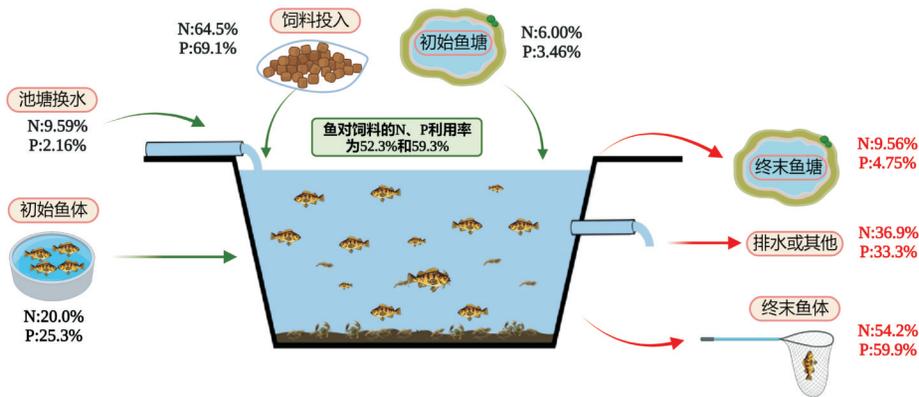


图2 池塘平均N、P收支示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the average N and P budget of the pond

3 讨论

3.1 池塘环境因素动态

在本研究中,因为换水、增氧以及藻类的光合作用,养殖池塘中的水体始终保持溶解氧充足的状态。池塘中的无机氮主要以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 形式存在,并在一定条件下能相互转化。孙振中等^[10]发现,在淡水养殖池塘中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 分别占TN的49.0%~69.0%、22.0%~35.0%和9.0%~11.0%。同样,陈建武^[11]的研究表明,在混养匙吻鲟池塘中,3种N所占比例分别为60.0%、15.0%和25.0%。赵蕾^[12]研究发现,在草鱼、鲢和鲤复合池塘的养殖水体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的质量浓度波动范围分别为0.056~1.499、0.022~0.228、0.049~3.903 mg/L, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 的平均含量低于 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 。而在本研究中, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ > $\text{NO}_2^-\text{-N}$ > $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 质量浓度相对较低。这可能是因为在养殖期间,3个池塘叶绿素a含量高,浮游植物丰富,水体溶氧水平较高,促进了硝化作用,使 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 更多地转化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 。 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 是 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 氧化过程的中间产物,当 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 氧化速率过高可能导致 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 的积累,池塘中较高的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 可能会对养殖生物产生胁迫,因此,在无机氮含量较高的养殖池塘保持水体较高的溶氧能较好地促进 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 向硝态氮转化。

虽然P不会对养殖生物产生直接的影响,但能通过促进藻类的大量繁殖对水环境产生间接影响。孙振中等^[10]发现养殖水体中 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 占TP的39.71%,而在本研究中, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 占TP的49.00%~57.00%。在大菱鲆复合养殖试验中发现,使用封闭

围护结构可以有效地防止池塘中P的流失,使更多的磷得到利用,同时还能减少池塘污水对周边环境的污染^[13]。本试验采用的高位池养殖池塘封闭结构稳定,保护性较好,系统中P流失较少。3个池塘中总氮、总磷含量平均值分别为6.79和0.95 mg/L,远高于地表水Ⅲ类标准(GB 3838—2002),也高于其他很多养殖池塘^[14],这主要是因为该养殖池塘为水泥底质,不能像土塘底泥一样吸附和平衡水体中的氮磷营养物质。

3.2 N、P利用率

关于养殖鱼类对饲料的利用已有较多的研究,王振华等^[15]研究得到,不同年龄的养殖鱼类对饲料的N、P利用率也不尽相同,如吉富罗非鱼在生长初期对饲料中N的利用率达64.0%,而生长中期对饲料中N的利用率为47.0%。陈明海等^[16]在丰产鲫池塘养殖试验中发现,丰产鲫对饲料中N和P的利用率分别为29.9%和8.3%,主要原因是养殖密度相对较大,投料区域不均一。沈钦一等^[17]用添加瓜尔豆胶的饲料通过陆基推水养殖技术养殖大鳞鲃,研究得到饲料中N的利用率为25.0%,P的利用率为10.0%。刘永士等^[18]发现菊黄东方鲀对膨化饲料中N、P的利用率为18.0%和16.5%。在水母-贝类-对虾复合养殖中饲料中N、P的利用率为57.68%和43.49%^[19]。以上这些研究表明不同的养殖品种,同一养殖品种的不同发育阶段,不同的养殖区域,不同养殖模式下以及投喂不同的饲料导致鱼类对饲料中N、P的利用率都会存在差异。在本研究中,石斑鱼对饲料中N、P的利用率分别为47.0%~59.0%和52.0%~63.0%,与陈明海等^[16]、沈钦一等^[17]、刘永士等^[18]的研究相比,本研究中的N、P,尤其是P的利用率非常高,这可能是由于养殖的体质量60~90 g珍珠

龙胆石斑鱼处于快速生长期的缘故。另外,养殖环境适宜,如溶解氧充足和合适的pH,适合鱼体生长。鱼体能够适应养殖环境和养殖方式,摄食率提高,N、P的利用率也随之提高。相对较高的氮磷利用率不仅能减少饲料的浪费还能尽可能地减少氮磷排放对环境的影响。

3.3 N、P收支

池塘养殖中N、P的输入除了来自饲料和施肥外,还包括降水、养殖生物、进水、径流、生物固氮等多个方面。本研究中的高位池珍珠龙胆石斑鱼单养,其中饲料投入的N、P占总输入的61.0%~67.0%和67.0%~71.0%,为N、P主要的输入方式,而初始鱼塘和进水的占比较低。高杉等^[20]在牙鲆和贝类混养池中发现,饲料中N、P分别占N、P总输入的71.6%~87.1%和67.0%~79.3%;刘梅等^[21]发现在大口黑鲈池塘内循环养殖模式和常规池塘养殖模式下,饲料中氮投入的占比为95.0%和94.7%,磷投入的占比为93.2%和91.8%;在草鱼混养系统中,饲料N、P分别占总输入的85.5%~93.4%和82.6%~84.3%^[1]。陈明海等^[16]发现丰产鲫养殖中饲料分别占池塘的N输入的88.0%和P输入的96.0%。相对而言,本研究中饲料N、P输入所占比例相对较低,这可能是由于本研究池养殖期相对较短,投放的苗种较大,并且本试验为高密度养殖,放养的石斑鱼本身的N、P输入占总输入的20.0%和25.0%。另外池塘水体N、P的初始浓度也比较高,不断的换水也带入一部分N、P营养物质。

池塘养殖中N、P的主要输出方式为养殖生物产出、排水、底泥沉积和其他方式。在大菱鲆复合养殖试验中得到底泥沉积为N、P输出的主要方式,分别占52.68%~67.31%和84.33%~86.27%,鱼体收获的N、P占总输出的31.71%~46.50%和13.30%~15.39%^[13]。在草鱼混养围隔中,鱼体产出占N总输出的62.8%~77.2%,占P总输出的4.1%~9.8%,而底泥积累P占76.5%~80.0%^[1]。魏宝成等^[22]在复合池塘养殖团头鲂试验中得到鱼体产出占N、P总输出的27.6%~33.5%和43.4%~54.6%。在丰产鲫的池塘养殖中,其鱼体产出只占N、P总输出的22.8%和6.5%,大部分N、P输出都在底泥沉积、水体渗漏中^[16]。Pouil等^[23]在小型淡水鱼养殖试验中发现,鱼体收获的N、P占总输出的15.0%和3.0%。综合来看,鱼类养殖中底泥沉积的N、P占了绝大部分,而鱼体收获占比较低。在凡纳滨对虾高位池养殖中,收

获的对虾虾体中N、P分别占29.5%~40.5%和12.6%~17.4%,随养殖废水排出的N、P分别占24.6%~54.5%和23.0%~59.0%^[24]。李卓佳等^[25]在围隔试验中发现,对虾虾体产出占N、P总输出的36.0%~47.0%。相比之下,虾类养殖收获的N、P比鱼类高,主要原因可能是虾类本身外壳的N、P含量更高,而且甲壳类动物对N、P的需求量比鱼类高。与上述土塘不同的是,本养殖试验采用的是高位池,池底没有底泥,不能对水体中过量的N、P产生吸附或者释放的缓冲作用。鱼体产出是N、P输出的主要方式,平均占总输出的54.2%和59.9%。其余输出方式主要包括养殖过程中池塘排水和少量淤泥的沉积,平均分别占N、P总输出的36.2%和35.6%。尽管相比较而言,在该养殖模式下,石斑鱼对饲料利用率非常高,但由于池底为水泥,缺乏底泥对水体中高浓度氮磷的吸收和吸附作用,排水所占N、P输出比例超过1/3,而养殖排放的废水如果未经处理而直接排放将对附近的海域产生一定的污染。因此,对池塘养殖尾水进行处理后排放或回用,减少对环境 and 公共卫 生的不利影 响及促进 池塘养 殖的可 持续发展 将是未 来研究 的主要 方向^[26]。

综上,养殖期间珍珠龙胆石斑鱼的3个高位养殖池塘中水体各种形态N、P含量较高,珍珠龙胆石斑鱼存活率高,饲料转化系数平均达到了0.67,对饲料中N、P的利用率平均达到了52.3%和59.3%。通过对3个池塘的N、P收支的研究发现,饲料是池塘N、P的主要输入方式,分别占N、P总输入的61.0%~66.8%和66.9%~71.0%,而通过渔获物的形式收获了43.0%~60.9%和45.0%~67.7%的N和P,其中36.2%和35.6%的N和P以排水的形式排出。因此,为了保证养殖水体中N、P含量处于合适水平且减少对环境造成的污染,采取适当的养殖模式以及对养殖排放的废水进行适当处理后循环使用且加强对水产养殖业的管理,才能满足当代人口增长和经济发展导致的对渔业产品的需求。

参考文献 References

- [1] 孙云飞,王芳,刘峰,等. 草鱼与鲢、鲤不同混养模式系统的氮磷收支[J]. 中国水产科学, 2015, 22(3): 450-459. SUN Y F, WANG F, LIU F, et al. Nitrogen and phosphorus budgets in grass carp, silver carp, and common carp culture systems[J]. Journal of fishery sciences of China, 2015, 22(3): 450-459 (in Chinese with English abstract).
- [2] 顾兆俊,刘兴国,田昌凤,等. 异育银鲫“中科3号”、长丰鲢、松浦镜鲤分隔式高效混养模式[J]. 科学养鱼, 2015(11): 84. GU Z

- J, LIU X G, TIAN C F, et al. Separate and efficient polyculture mode of allogynogenetic crucian carp "Zhongke No. 3", silver carp Changfeng and mirror carp Songpu[J]. Scientific fish farming, 2015(11):84(in Chinese).
- [3] 刘国,何娟,李兵,等.光照对底泥中氮、磷动态变化的影响研究[J].工业安全与环保,2015,41(8):50-53.LIU G, HE J, LI B, et al. Study on the influences of the light on the dynamics of N & P in the sediment[J]. Industrial safety and environmental protection, 2015, 41(8):50-53(in Chinese with English abstract).
- [4] 田永华,陈豫华,刘彦斌.宁夏地区主养鲤鱼池塘水质指标变化规律和氮磷收支[J].科学养鱼,2015(12):52-53. TIAN Y H, CHEN Y H, LIU Y B. Changes of water quality index and nitrogen and phosphorus budget of carp ponds in Ningxia[J]. Scientific fish farming, 2015(12):52-53(in Chinese).
- [5] SIENSKA J, DUNALSKA J A, SZYMANSKI D. Hourly and daily variability in nitrogen and phosphorus in a lake restored by the hypolimnetic withdrawal method[J]. Oceanological and hydrobiological studies, 2015, 44(3):381-392.
- [6] 佚名.第二次全国污染源普查公报[J].环境保护,2020,48(18):8-10. Anon. The second national pollution source census bulletin[J]. Environmental protection, 2020, 48(18):8-10(in Chinese).
- [7] LUO Z B, HU S Y, CHEN D J. The trends of aquacultural nitrogen budget and its environmental implications in China[J/OL]. Scientific reports, 2018, 8:10877[2022-05-27]. <https://www.nature.com/articles/s41598-018-29214-y>. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9585.2006.03.014.
- [8] XIA B, SUN Z, GAO Q F, et al. Carbon, nitrogen and phosphorus budgets of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* with the co-culture of grass carp *Ctenopharyngodon idella* [J]. Aquaculture environment interactions, 2016, 8:453-461.
- [9] 李宝山,陈玮,王际英,等.基于珍珠龙胆石斑鱼池塘网箱养殖的生态养殖容量估算[J].烟台大学学报(自然科学与工程版),2019,32(1):54-60. LI B S, CHEN W, WANG J Y, et al. Assessment of carrying capacity of hybrid grouper *Epinephelus fuscoguttatus*(♀) × *E. lanceolatus*(♂) in pond based on cage culture[J]. Journal of Yantai University (natural science and engineering edition), 2019, 32(1):54-60(in Chinese with English abstract).
- [10] 孙振中,刘金金,张玉平.上海市淡水养殖水体中氮、磷的分布研究[J].水产科学,2018,37(4):512-521. SUN Z Z, LIU J J, ZHANG Y P. Distribution of nitrogen and phosphorus in waters of freshwater aquaculture in Shanghai [J]. Fisheries science, 2018, 37(4):512-521(in Chinese with English abstract).
- [11] 陈建武.匙吻鲟(*Polydon spathula*)混养塘的氮磷收支研究[D].武汉:华中农业大学,2012. CHEN J W. The research on budget of N & P in polyculture ponds stocked with paddlefish (*Polydon spathula*) [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012(in Chinese with English abstract).
- [12] 赵蕾.草鱼复合养殖系统沉积物-水界面碳、氮、磷动态变化的初步研究[D].青岛:中国海洋大学,2011. ZHAO L. Study on distribution of carbon, nitrogen and phosphorus in sediment-water in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* polyculture system) [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011(in Chinese with English abstract).
- [13] ZHANG K, XIE J, YU D G, et al. A comparative study on the budget of nitrogen and phosphorus in polyculture systems of snakehead with bighead carp[J]. Aquaculture, 2018, 483:69-75.
- [14] LIU X G, SHAO Z Y, CHENG G F, et al. Ecological engineering in pond aquaculture: a review from the whole-process perspective in China[J]. Reviews in aquaculture, 2020, 13(1):1060-1076.
- [15] 王振华,刘晃,宿墨,等.吉富罗非鱼生长过程中氮收支变化的研究[J].南方水产科学,2013,9(3):85-89. WANG Z H, LIU H, SU M, et al. Nitrogen budget changes of tilapia (*Oreochromis niloticus*) during growth[J]. South China fisheries science, 2013, 9(3):85-89(in Chinese with English abstract).
- [16] 陈明海,唐汇娟,孙依依,等.丰产鲫精养池塘氮磷的动态与收支[J].华中农业大学学报,2015,34(2):95-100. CHEN M H, TANG H J, SUN Y Y, et al. Dynamics and budgets of nitrogen and phosphorus in intensive crucian carp culture ponds[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2015, 34(2):95-100(in Chinese with English abstract).
- [17] 沈钦一,陈燕,赵琳,等.瓜尔豆胶作为饲料添加剂在推水养殖模式下氮磷收支[J].中国饲料,2019(3):77-82. SHEN Q Y, CHEN Y, ZHAO L, et al. Budget of nitrogen and phosphorus of guar gum as a feed additive under the water-pushing aquaculture mode[J]. China feed, 2019(3):77-82(in Chinese with English abstract).
- [18] 刘永士,施永海,谢永德,等.膨化沉性饲料和粉状饲料对菊黄东方鲀生长和氮磷收支的影响[J].水产科技情报,2018,45(5):253-258. LIU Y S, SHI Y H, XIE Y D, et al. Effects of the inflated sinking feeds and powder feed on growth of *Takifugu flavividus* and budgets of nitrogen and phosphorus[J]. Fisheries science & technology information, 2018, 45(5):253-258(in Chinese).
- [19] GUO K, ZHAO W, JIANG Z Q, et al. A study of organic carbon, nitrogen and phosphorus budget in jellyfish-shellfish-fish-prawn polyculture ponds[J]. Aquaculture research, 2017, 48(1):68-76.
- [20] 高杉,吴立新,姜志强,等.牙鲆和贝类混养池塘中氮、磷收支的研究[J].大连海洋大学学报,2011,26(3):203-208. GAO S, WU L X, JIANG Z Q, et al. Nitrogen and phosphorus budgets in a pond with polyculture of Japanese flounder with shellfish[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2011, 26(3):203-208(in Chinese with English abstract).
- [21] 刘梅,原居林,倪蒙,等.大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)不同养殖模式氮磷收支及养殖效果研究[J].海洋与湖沼,2021,52(3):718-728. LIU M, YUAN J L, NI M, et al. A comparative study on nitrogen and phosphorus budget and aquaculture effect of *Micropterus salmoides* in two modes, 2021, 52(3):718-728(in Chinese with English abstract).
- [22] 魏宝成,刘兴国,曾宪磊,等.两种复合式池塘养殖团头鲂的氮磷收支分析[J].上海海洋大学学报,2018,27(5):693-702. WEI B C, LIU X G, ZENG X L, et al. Analysis of nitrogen and phosphorus budget of *Megalobrama amblycephala* in two kinds of compound culturing ponds[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2018, 27(5):693-702(in Chinese with English abstract).
- [23] POUIL S, SAMSUDIN R, SLEMBROUCK J, et al. Nutrient budgets in a small-scale freshwater fish pond system in Indonesia[J]. Aquaculture, 2019, 504:267-274.
- [24] 李金亮,陈雪芬,赖秋明,等.凡纳滨对虾高位池养殖氮、磷收支研究及养殖效果分析[J].南方水产,2010,6(5):13-20. LI J L,

- CHEN X F, LAI Q M, et al. Study on nitrogen and phosphorus budgets and production performance in higher-place pond of *Litopenaeus vannamei* [J]. South China fisheries science, 2010, 6(5): 13-20 (in Chinese with English abstract).
- [25] 李卓佳, 虞为, 朱长波, 等. 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. LI Z J, YU W, ZHU C B, et al. Study on nitrogen and phosphorus budgets of experimental enclosures with shrimp monoculture and shrimp-tilapia polyculture [J]. Journal of safety and environment, 2012, 12(4): 50-55 (in Chinese with English abstract).
- [26] 刘璐, 李学梅, 吴兴兵, 等. 青鱼-鳊生态混养池塘的氮磷收支研究 [J]. 淡水渔业, 2021, 51(6): 63-69. LIU L, LI X M, WU X B, et al. Nitrogen and phosphorus budgets of *Mylopharyngodon piceus* and *Aristichthys nobilis* ecological polyculture pond [J]. Freshwater fisheries, 2021, 51(6): 63-69 (in Chinese with English abstract).

Dynamics and budgets of nitrogen and phosphorus in higher-place ponds of gentian grouper

LIAO Hongping, ZHANG Wenqi, DENG Yongyan, LIU Peiqin, TANG Huijuan

College of Marine Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

Abstract To study the utilization and budgets of nitrogen and phosphorus in higher-place aquaculture ponds of gentian grouper (*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *Epinephelus luscoguttatus* ♀), and to illuminate the dynamics of water quality and the sources and fate of nitrogen and phosphorus, during 55 days of cultivation, fish, pond water, input and output water and feed were regularly sampled and analyzed in three higher-place ponds. The results showed that: (1) the average concentration of dissolved oxygen during culture was between 8.64 and 9.55 mg/L; Ammonia nitrogen, nitrite, nitrate and phosphate showed irregular fluctuation in the three ponds; The contents of total nitrogen and total phosphorus varied from 6.14 to 7.11 mg/L and 0.38 to 1.41 mg/L, indicating serious eutrophication of the aquaculture pond. (2) During the cultivation period, the survival rate of gentian grouper was high. The weight gain rate of fish and feed conversion ranged from 96.0% to 227.0% and 0.55 to 0.90. The utilization rates of feed nitrogen and phosphorus were 47.0%-59.0% and 52.0%-63.0%, respectively. (3) Feed accounted for 61.0%-66.8% of total nitrogen input and 66.9%-71.0% of total phosphorus input. Fish harvest from the ponds accounted for 43.0%-60.9% of nitrogen output and 45.0%-67.7% of phosphorus output. The rest of the nitrogen and phosphorus were exported as drainage, sediment and other ways. The results of the study showed that higher-place aquaculture ponds of gentian grouper had high level nitrogen and phosphorus content, feed is the major way of nitrogen and phosphorus input to the pond and fish harvest is the major way of nitrogen and phosphorus output. The rest output was discharged through aquaculture effluents. Appropriate management of the waste water discharge in aquaculture is needed to decrease negative effect on nearby waterbody.

Keywords gentian grouper; nitrogen and phosphorus utilization; healthy aquaculture; nitrogen and phosphorus budgets; breeding tail water treatment

(责任编辑:边书京)