

文章编号: 1674-5566(2018)05-0693-10

DOI:10.12024/jsou.20171002148

## 两种复合式池塘养殖团头鲂的氮磷收支分析

魏宝成<sup>1,2,3,4</sup>, 刘兴国<sup>2</sup>, 曾宪磊<sup>2</sup>, 陆诗敏<sup>2</sup>, 高美云<sup>1,2,3,4</sup>

(1. 上海海洋大学 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092; 3. 上海海洋大学 农业部团头鲂遗传育种中心, 上海 201306; 4. 上海海洋大学 农业部鱼类营养与环境生态研究中心, 上海 201306)

**摘要:** 为比较团头鲂在分隔式和序批式两种复合式池塘养殖中的氮磷收支情况, 于 2016 年 8—11 月分别选取分隔式、序批式和传统团头鲂养殖池塘进行采样分析。结果显示, 饲料是池塘养殖团头鲂氮磷的主要来源, 饲料氮输入比例分别为传统池塘(68.53%) < 分隔式池塘(72.03%) < 序批式池塘(76.22%), 饲料磷输入比例分别为传统池塘(42.87%) < 分隔式池塘(53.37%) < 序批式池塘(56.64%); 3 种池塘养殖中, 氮支出主要是底泥沉积和水体排放, 其中, 序批式池塘氮的底泥沉积和水体排放量最低, 其次是分隔式池塘, 传统池塘的底泥沉积和水体排放量最大; 磷支出主要是养殖水产品产出, 养殖水产品磷占磷输出比例分别为分隔式池塘(54.55%) > 传统池塘(52.20%) > 序批式池塘(43.38%)。结果表明, 复合式养殖池塘中的氮磷沉积和水体排放所占支出比例低于传统池塘, 通过构建复合式养殖池塘可以减少氮磷沉积与排放, 提高氮磷利用率, 提高饲料利用效率, 尤其是序批式池塘用于团头鲂养殖有较高的物质利用效率。

**关键词:** 团头鲂; 分隔式池塘; 序批式池塘; 氮磷收支

**中图分类号:** S 965.1      **文献标志码:** A

氮, 磷收支是化学收支的一种, 学者针对湖泊、水库和近海岸等大型自然水体进行过研究报告<sup>[1]</sup>。氮, 磷收支研究可以揭示水体中氮, 磷的来源和归宿, 能够评价生态系统的氮, 磷转换效率和对周围环境造成的压力<sup>[2-3]</sup>。关于大型湖泊、河流和近海的氮, 磷收支研究已经有很多报道。养殖池塘生态系统由于受人工干扰, 氮磷循环和转化情况往往比自然生态系统更为复杂, 因此更具有研究意义。在池塘养殖的氮磷收支研究方面, 国内相关研究大多在围隔内进行<sup>[4-7]</sup>, 近年来才逐步开展对精养池塘氮磷收支的研究, 其中高攀等<sup>[8]</sup>对主养草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)池塘、周玲<sup>[9]</sup>对罗非鱼(*Oreochromis spp*)精养池塘、陈明海<sup>[10]</sup>对丰产鲫(*Carassius auratus Var. Penzyenensis*)精养池塘进行了相关报道研究。在团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)池塘养殖的氮磷收支方面, 何琳<sup>[11]</sup>估算了团头鲂池塘精养

的氮磷收支情况, 其他研究报道还很少, 尤其是关于国内新型复合式池塘养殖模式的氮磷收支研究更是鲜见报道。分隔式与序批式池塘养殖是近年来兴起的高效池塘养殖模式, 为分析分隔式与序批式池塘养殖团头鲂的物质转化情况, 本文对两种养殖模式和传统团头鲂池塘养殖中的氮磷收支进行初步对比研究, 为评价复合式养殖模式和科学管理养殖生产提供依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验池塘

试验场地位于中国水产科学研究院池塘生态工程研究中心(上海泖港, 30°57'1.89"N, 121°08'52.21"E), 所选两种复合式养殖池塘如图 1<sup>[12]</sup>。分隔式池塘(图 1a)规格为 100 m × 50 m, 平均水深 1.6 m, 水面面积约为 0.47 hm<sup>2</sup>。四周使用 1 800 mm × 900 mm × 120 mm 的水泥预制

收稿日期: 2017-10-11      修回日期: 2018-05-31

基金项目: 盐碱池塘生态工程构建配套技术(2016HY-ZD0603); 948 节水高效全循环池塘养殖关键技术合作研究(2016-X32); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-46)

作者简介: 魏宝成(1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为淡水水域生态修复。E-mail: 564066186@qq.com

通信作者: 刘兴国, E-mail: liuxingguo@fmiri.ac.cn

板护坡,坡比约为2:5。按照4:1的比例把池塘分割成两块,20%的区域养殖滤食性鱼类鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)和鳙(*Aristichthys nobilis* Richardson),80%的区域养殖团头鲂和罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)<sup>[13]</sup>。序批式池塘(图1b)规格为100 m×50 m,平均水深1.6 m,水面面积约为0.47 hm<sup>2</sup>。池塘20%的区域构建养殖不同规格吃食性鱼类团头鲂流水养殖池,池塘的80%的区域为滤食性鱼类鲢鳙养殖区,吃食性鱼类团头鲂流水养殖池区和滤食性鱼类鲢鳙养殖区中间设置有分隔墙,分隔墙两侧有水流通道。滤食性鱼类鲢鳙养殖区和流水通道内设置面积为约830 m<sup>2</sup>的凤眼莲 *Eichhornia*

*crassipes* (Mart.) Solms 种植区。流水养殖池区由集中设置的多排鱼池组成,每排鱼池由三种规格的鱼池组为一个养殖单元,分别为成鱼养殖池、大规格鱼苗养殖池和鱼苗养殖池,三种规格鱼池面积比为14:7:2,在所述流水养殖池区配备推水装置、增氧装置和集污排污装置<sup>[14]</sup>。另外选取养殖基地的一个规格为100 m×50 m,平均水深1.6 m,水面面积约为0.47 hm<sup>2</sup>的传统养殖池塘作为对照池塘。传统池塘为土塘,四周没有护坡,传统池塘沿岸铺设地砖方便养殖管理。实验期间每天投饵3次,养殖期间无施肥、换水、充气以及泼洒杀虫剂,仅序批式池塘集中排污排出少量水体。

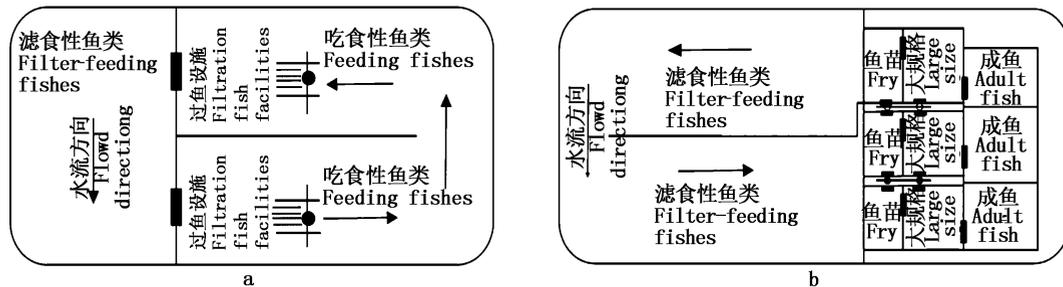


图1 复合养殖池塘示意图

Fig.1 Schematic diagram of compound cultivation ponds

a. 分隔式; b. 序批式

a. separated type; b. sequencing batch

## 1.2 样品的采集与测定

氮磷来源包括饲料、放养动物、初水体、浮游植物、浮游动物、凤眼莲和降雨,降雨于每月初收集雨水并分析其总氮总磷浓度,降雨量数据来自于邻近的松江区气象台五厍镇科技馆监测站点。氮磷吸收与迁移体包括养殖产出、末水体、浮游植物积累、浮游动物积累、凤眼莲吸收以及底泥沉积和水体排放。养殖动物于每月初打样测定其规格,根据养殖动物日常死亡数量统计以及养殖结束全塘拉网情况评估存活率。浮游生物的采样与定量分析方法参照《淡水浮游生物研究方法》<sup>[15-16]</sup>。水体中溶解性总磷 dissolved total phosphorus (DTP)、氨氮、亚硝态氮、硝酸盐氮用 HACH DR-3900 测定。沉降采用自制收集盒于池塘底部收集约 24 h。底泥采样时采取 5 点采样法<sup>[12]</sup>,采用彼得森采泥器抓取表面 10 cm 稀泥,沉降、底泥首先烘干,磨成粉末,消解后采用 Chemo 自动化学分析仪测定。

## 1.3 鱼体饲料利用的计算

饲料中氮、磷元素分别以实际投喂饲料品牌中的氮磷元素的含量计算,团头鲂中氮、磷元素分别以 2.20%,0.80% 计<sup>[11]</sup>,鲢鳙中氮磷元素分别以 2.20%,0.90% 计<sup>[17]</sup>,罗氏沼虾中氮、磷元素分别以 4.20%,0.97% 计<sup>[18]</sup>,浮游植物中氮、磷元素分别以 13.00%,0.80% 计<sup>[19]</sup>,浮游动物中氮、磷元素分别以 13.13%,1.88% 计<sup>[20]</sup>。

$$(N_{UR}, \%) = (N_i - N_0) / N_f \times 100\% \quad (1)$$

$$(P_{UR}, \%) = (P_i - P_0) / P_f \times 100\% \quad (2)$$

$$(F_{CR}, \%) = F_w / (W_e - W_0) \quad (3)$$

$$(W_{GR}, \%) = [(W_e - W_0) / W_0] \times 100\% \quad (4)$$

式中: $N_{UR}$ 为氮利用率; $P_{UR}$ 为磷利用率; $F_{CR}$ 为饲料系数; $W_{GR}$ 为增重率; $N_i$ 为养殖产出的氮总量(kg); $N_0$ 为放养动物的氮的总含量(kg); $N_f$ 为投喂饲料的氮的总含量(kg); $P_i$ 为养殖产出的磷总量(kg); $P_0$ 为放养动物磷总含量(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;  $W_e$  为试验结束时养殖产出总质量;  $W_0$  为试验开始时放养动物的总质量。

### 1.4 数据处理

用 Excel 2003 软件处理试验数据并制图。用 SPSS 20.0 软件进行单因子方差分析(ANOVA), 结果用平均值  $\pm$  标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 氮磷变化

3 类池塘的  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  的含量变化见图 2。 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  的含量变化规律 3 类池塘基本一致, 都是从 8 月份开始先下降, 在 9 月初达到最低值, 随后上升, 但是传统池塘  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  含量从 10 月 1 日到 11 月 1 日稍有降低。其中传统池塘  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  含量在 0.13 ~ 0.34 mg/L 之间变动, 分隔式池塘  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  含量在 0.43 ~ 1.28 mg/L 之间变动, 序批式池塘在 0.31 ~ 0.64 mg/L 之间变动。在整个实验周期内  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  含量表现为传统池塘最低, 其次是序批式池塘。由图 3 可知传统池塘  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  含量从实验开始上升到 9 月份峰值 1.60 mg/L, 然后快速下降到 10 月份的 0.20 mg/L, 接着缓慢下降到最小值 0.11 mg/L。分隔式池塘随着养殖时间的延长,  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  的含量缓慢上升并维持在 1.16 mg/L, 然后下降到最小值 0.68 mg/L。序批式池塘  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  含量实验期间在 0.68 ~ 1.34 mg/L 之间波动。

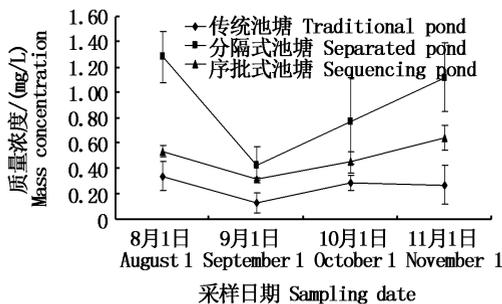


图 2 3 类池塘  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  变化

Fig. 2 The change of  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  in 3 kinds of ponds

在整个实验期间 3 类池塘  $\text{NO}_2^- \text{-N}$  的含量变化如图 4。传统池塘  $\text{NO}_2^- \text{-N}$  含量在 0.02 ~ 0.21 mg/L 之间波动。分隔式池塘  $\text{NO}_2^- \text{-N}$  质量浓度从实验初期的 0.10 mg/L 逐渐上升, 10 月初达到峰值 0.55 mg/L, 迅速又下降到 0.25 mg/L。序批式池塘  $\text{NO}_2^- \text{-N}$  质量浓度从实验开始时先升高, 在 9 月份缓慢下降之后又快速上升。在整个实

验过程中 8 月初传统池塘  $\text{NO}_2^- \text{-N}$  的含量略高于分隔式池塘和序批式池塘, 之后传统池塘  $\text{NO}_2^- \text{-N}$  含量均低于分隔式池塘和序批式池塘。从图 5 可知, 实验起始传统池塘和序批式池塘 DTP 的含量都处于较高水平, 分别为 2.79 mg/L 和 3.80 mg/L。从实验开始到 10 月初, 传统池塘和序批式池塘 DTP 含量迅速下降, 分别下降到 0.46 mg/L 和 1.43 mg/L。10 月初到实验结束, 传统池塘 DTP 含量维持在较低水平, 序批式池塘又回升到 2.43 mg/L。分隔式池塘从实验开始时 DTP 含量 1.16 mg/L 下降到 9 月初的 0.63 mg/L, 随后稳定在 0.58 ~ 0.63 mg/L。

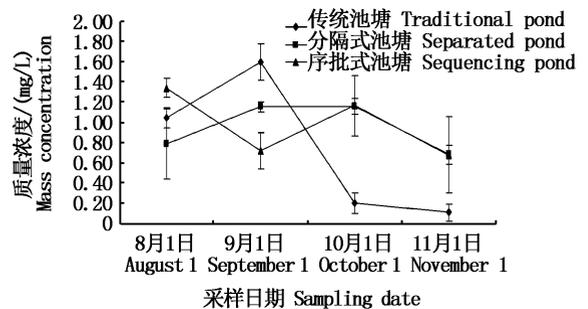


图 3 3 类池塘  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  变化

Fig. 3 The change of  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  in 3 kinds of ponds

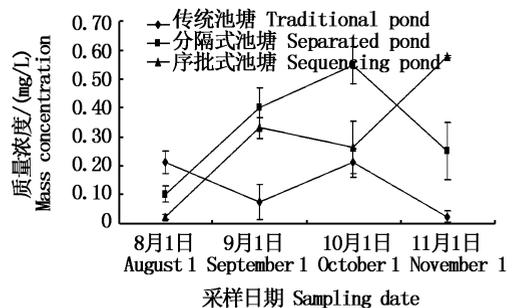


图 4 3 类池塘  $\text{NO}_2^- \text{-N}$  变化

Fig. 4 The change of  $\text{NO}_2^- \text{-N}$  in 3 kinds of ponds

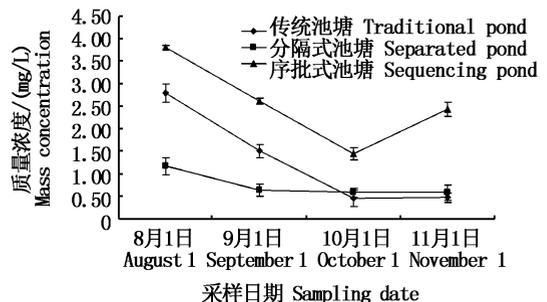


图 5 3 类池塘 DTP 变化

Fig. 5 The change of DTP in 3 kinds of ponds

## 2.2 沉积物中的氮磷分析

表1列出了3类池塘底泥氮磷含量在实验前后的变化。传统池塘底泥TN含量末值比初始值高0.06 g/kg,分隔式池塘底泥TN含量末值比初始值高1.15 g/kg,序批式池塘底泥TN含量末值

比初始值高0.15 g/kg,但是3类池塘TN含量变化差异均不显著。底泥TP含量传统池塘末值比初始值高0.23 g/kg,分隔式池塘和序批式池塘分别上升0.18 g/kg和0.20 g/kg,3类池塘TP含量变化差异显著。

表1 养殖试验开始和结束池塘底泥氮、磷含量的比较

Tab.1 Comparison of nitrogen and phosphorus concentrations in pond bottom mud from the beginning and ending of aquaculture trials

样品 Sample	项目 Item	初始值(8月1日) Initial value(August 1)	末值(11月1日) Ending value(November 1)
传统池塘底泥/(g/kg) traditional pond bottom mud	TN	3.39 ± 0.07 <sup>a</sup>	3.45 ± 0.56 <sup>a</sup>
	TP	0.99 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.22 ± 0.03 <sup>b</sup>
分隔式池塘底泥/(g/kg) separated pond bottom mud	TN	1.65 ± 1.02 <sup>a</sup>	2.80 ± 1.31 <sup>a</sup>
	TP	0.69 ± 0.12 <sup>a</sup>	0.87 ± 0.13 <sup>b</sup>
序批式池塘底泥/(g/kg) sequencing pond bottom mud	TN	1.65 ± 0.32 <sup>a</sup>	1.80 ± 0.80 <sup>a</sup>
	TP	0.53 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.73 ± 0.03 <sup>b</sup>

注:表中同行标有不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

Notes: Values in the same row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ )

## 2.3 浮游生物分析

表2列出了实验期间3类池塘浮游生物氮磷含量,包括浮游植物和浮游动物。传统池塘浮游植物生物量从实验开始时的28.92 mg/L上升到10月份的最大值33.04 mg/L,实验结束时下降到18.79 mg/L。分隔式池塘浮游植物生物量变化情况和传统池塘类似,从实验开始时的11.85 mg/L上升到10月份的最大值21.35 mg/L,实验结束时下降到13.93 mg/L。序批式池塘浮游植物生物量实验期间在10.24 ~ 34.66 mg/L之间波动。传统池塘、分隔式池塘和序批式池塘浮游植物氮含量实验开始时分别为30.08 kg、12.32 kg和10.65 kg;实验结束时分别为19.54 kg、14.49 kg和36.05 kg。传统池塘、分隔式池塘和序批式池塘浮游植物磷含量实验开始时分别为1.85 kg、0.76 kg和0.66 kg;实验结束时分别为1.20 kg、0.89 kg和2.22 kg。

3类池塘浮游动物生物量的变化情况大致相同。传统池塘浮游动物生物量从实验开始时的8.65 mg/L上升到10月份的最大值13.27 mg/L,之后快速下降到实验结束时的0.23 mg/L。分隔式池塘浮游动物生物量从实验开始时的5.76 mg/L上升到10月份的最大值11.24 mg/L,之后快速下降到实验结束时的2.79 mg/L。序批式池塘浮游动物生物量从实验开始时的4.37 mg/L上升到10月份的最大值15.77 mg/L,之后快速

下降到实验结束时的0.68 mg/L。传统池塘、分隔式池塘和序批式池塘浮游动物氮含量实验开始时分别为9.09 kg、6.05 kg和4.59 kg;实验结束时分别为0.24 kg、2.93 kg和0.71 kg。传统池塘、分隔式池塘和序批式池塘浮游动物磷含量实验开始时分别为1.30 kg、0.87 kg和0.66 kg;实验结束时分别为0.03 kg、0.42 kg和0.10 kg。

## 2.4 养殖动物分析

表3列出了实验期间3类池塘生产重量统计。传统池塘实验开始时团头鲂规格平均为575 g,重量为3 341 kg;实验结束时团头鲂规格平均为1 050 g,重量为6 027 kg。分隔式池塘实验开始时鲢鳙规格平均为80 g,重量为176 kg,罗氏沼虾规格平均为9 g,重量162 kg,团头鲂规格平均为525 g,重量为2 055 kg;实验结束时鲢鳙规格平均为140 g,重量为308 kg,罗氏沼虾规格平均为50 g,重量300 kg,团头鲂规格平均为1 000 g,重量为3 834 kg。序批式池塘实验开始时团头鲂规格平均为175 g,重量为2 258 kg;实验结束时团头鲂规格平均为500 g,重量为6 300 kg。传统池塘、分隔式池塘和序批式池塘养殖动物总氮含量实验开始时分别为73.5 kg、55.90 kg和49.67 kg;实验结束时分别为132.59 kg、103.73 kg和138.6 kg。传统池塘、分隔式池塘和序批式池塘养殖动物总磷含量实验开始时分别为26.73 kg、19.60 kg和18.06 kg;实验结束时分别为

48.22 kg、36.35 kg 和 50.40 kg。

表 2 3 类池塘浮游生物氮磷含量

Tab.2 Nitrogen and phosphorus content of plankton in 3 kinds of ponds  $n = 5; \bar{x} \pm SD$

池塘 Pond	采样日期 Sampling date	水体体积/m <sup>3</sup> Water volume	生物量/(mg/L) Biomass		浮游植物 Phytoplankton		浮游动物 Zooplankton	
			浮游植物 Phytoplankton	浮游动物 Zooplankton	TN/kg	TP/kg	TN/kg	TP/kg
传统池塘 Traditional pond	8月1日 August 1	8 000	28.92	8.65	30.08	1.85	9.09	1.30
	9月1日 September 1	8 000	32.22	10.68	33.51	2.06	11.22	1.61
	10月1日 October 1	8 000	33.04	13.27	34.36	2.11	13.94	2.00
	11月1日 November 1	8 000	18.79	0.23	19.54	1.20	0.24	0.03
分隔式池塘 Separated pond	8月1日 August 1	8 000	11.85	5.76	12.32	0.76	6.05	0.87
	9月1日 September 1	8 000	19.91	9.82	20.71	1.27	10.31	1.48
	10月1日 October 1	8 000	21.35	11.24	22.20	1.37	11.81	1.69
	11月1日 November 1	8 000	13.93	2.79	14.49	0.89	2.93	0.42
序批式池塘 Sequencing pond	8月1日 August 1	8 000	10.24	4.37	10.65	0.66	4.59	0.66
	9月1日 September 1	8 000	28.77	12.32	29.92	1.84	12.94	1.85
	10月1日 October 1	8 000	19.57	15.77	20.35	1.25	16.56	2.37
	11月1日 November 1	8 000	34.66	0.68	36.05	2.22	0.71	0.10

表 3 3 类池塘生产重量统计

Tab.3 Production weight statistics of 3 kinds of ponds

池塘 Pond	种类 Species	投苗尾数 Number	日期 Date	存活率 Survival rate	规格/g Initial weight	重量/kg Weight	总氮含量/kg Total nitrogen content	总磷含量/kg Total phosphorus content
传统池塘 Traditional pond	团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	7 000	8月1日 August 1	83%	575	3 341	73.50	26.73
			9月1日 September 1	83%	775	4 476	98.46	35.81
			10月1日 October 1	82%	950	5 453	119.97	43.62
			11月1日 November 1	82%	1 050	6 027	132.59	48.22
分隔式池塘 Separated pond	罗氏沼虾 <i>Macrobrachium rosenbergii</i>	60 000	8月1日 August 1	30%	9	162	6.80	1.57
			9月1日 September 1	25%	15	225	9.45	2.18
			10月1日 October 1	20%	25	300	12.60	2.91
			11月1日 November 1	10%	50	300	12.60	2.91
序批式池塘 Sequencing pond	团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	20 000	8月1日 August 1	73%	525	2 055	45.22	16.44
			9月1日 September 1	72%	700	2 722	59.88	21.77
			10月1日 October 1	72%	910	3 514	77.30	28.11
			11月1日 November 1	71%	1 000	3 834	84.35	30.67
序批式池塘 Sequencing pond	团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	20 000	8月1日 August 1	65%	175	2 258	49.67	18.06
			9月1日 September 1	64%	275	3 520	77.44	28.16
			10月1日 October 1	64%	425	5 398	118.75	43.18
			11月1日 November 1	63%	500	6 300	138.60	50.40

## 2.5 池塘养殖生长性能

3 类池塘的养殖实验结果见表 4。8 月份 3 类池塘养殖增重率均为最大,传统池塘团头鲂增重率为 34%,分隔式池塘团头鲂、鲢鳙和罗氏沼

虾的增重率分别为 32%、25% 和 39%,序批式池塘团头鲂增重率为 56%。整个实验周期内(8—10 月)传统池塘、分隔式池塘和序批式池塘饲料系数分别为 2.5、2.8 和 1.6,氮的利用率由高到

低依次为序批式池塘 (28.16%) > 传统池塘 (19.30%) > 分隔式池塘 (17.64%), 磷的利用率

由高到低依次为传统池塘 (54.27%) > 序批式池塘 (49.15%) > 分隔式池塘 (47.12%)。

表 4 3 类池塘养殖实验结果

Tab. 4 Experimental results of 3 kinds of ponds

池塘 Pond	月份 Month	增重/kg Weight gain			增重率 W <sub>GR</sub>			饲料 系数 F <sub>CR</sub>	氮利 用率 /% N <sub>UR</sub>	磷利 用率 /% P <sub>UR</sub>
		团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	鲢鳙 <i>Hypophthalmichthys molitrix Aristichthys nobilis</i>	罗氏沼虾 <i>Macrobrachium rosenbergii</i>	团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	鲢鳙 <i>Hypophthalmichthys molitrix Aristichthys nobilis</i>	罗氏沼虾 <i>Macrobrachium rosenbergii</i>			
		传统池塘 Traditional pond	8 月 August	1 135	-	-	34%			
	9 月 September	977	-	-	22%	-	-	2.0	24.14	67.87
	10 月 October	574	-	-	11%	-	-	2.9	16.59	46.67
	8—10 月 August-October	2 686	-	-	80%	-	-	2.5	19.30	54.27
分隔式池塘 Separated pond	8 月 August	666	44	63	32%	25%	39%	3.1	15.86	41.15
	9 月 September	792	44	75	29%	20%	33%	2.0	25.79	69.11
	10 月 October	320	44	0	9%	17%	0%	4.3	11.08	31.58
	8—10 月 August-October	1 779	132	138	87%	75%	85%	2.8	17.64	47.12
序批式池塘 Sequencing pond	8 月 August	1 263	-	-	56%	-	-	1.8	25.38	44.30
	9 月 September	1 878	-	-	53%	-	-	1.1	43.03	75.10
	10 月 October	903	-	-	17%	-	-	2.5	17.98	31.39
	8—10 月 August-October	4 043	-	-	179%	-	-	1.6	28.16	49.15

注:“-”代表该项不存在

Notes:“-” represents the item does not exist

## 2.6 氮磷收支估算

养殖试验周期内 3 类池塘的氮磷收支估算见表 5。氮磷主要输入项目包括饲料、放养动物、初水体、浮游植物、浮游动物、凤眼莲和降雨。投入的饲料是氮,磷的主要输入,分别占传统池塘、分隔式池塘和序批式池塘氮输入的 68.53%、72.03% 和 76.22%,占磷输入的 42.87%、53.37% 和 56.64%。其次是放养动物的输入,分别占传统池塘、分隔式池塘和序批式池塘氮输入的 16.45%、14.85% 和 11.99%,占磷输入的 28.94%、29.41% 和 15.55%。初水体的输入,分别占传统池塘、分隔式池塘和序批式池塘氮输入的 2.86%、4.21% 和 3.77%,各池塘初水体氮含量差异不显著;占磷输入的 24.16%、13.93% 和 26.06%,3 类池塘初水体磷含量差异互相显著。3 类池塘中浮游植物、浮游动物和降雨投入的 N、P 均占氮磷输入的 7% 以下。3 类池塘浮游植物输入氮含量差异互相显著,输入磷含量差异也互相显著。3 类池塘浮游动物输入氮、磷含量差异情况同上。序批式池塘中凤眼莲投入的氮、磷均低于氮磷输入的 1%。

在支出项目中,养殖产出占氮总输出的 27.56% ~ 33.45%,占磷总输出的 43.38% ~

54.55%。养殖产出占氮总输出的比例序批式池塘最高为 33.45%,其次是传统池塘为 29.67%,分隔式池塘最低为 27.56%。养殖产出占磷总输出的比例分隔式池塘最高为 54.55%,传统池塘次之为 52.20%,序批式池塘最低为 43.38%。传统池塘、分隔式池塘和序批式池塘 65.19%、62.97%、52.54% 的氮以沉积物的形式沉积到底泥,或者随水体排放流失以及通过脱氮作用、氨挥发等其他方式离开水体,3 类池塘中 42.39%、36.59%、38.12% 的磷以同样的方式损失掉。实验结束时末水体输出分别占传统池塘、分隔式池塘和序批式池塘氮输出的 0.72%、4.85% 和 3.44%,末水体氮含量传统池塘与分隔式池塘和序批式池塘差异显著,分隔式池塘与序批式池塘末水体氮含量差异不显著;末水体占磷输出的 4.07%、6.89% 和 16.17%,末水体磷含量传统池塘与分隔式池塘差异不显著,与序批式池塘差异显著。3 类池塘中浮游植物积累的氮、磷均占氮磷输出的 10% 以下,3 类池塘浮游植物输入氮含量差异互相显著,输入磷含量差异也互相显著。3 类池塘中浮游动物积累的氮、磷均低于氮磷输出的 1%,3 类池塘浮游动物输入氮、磷含量互相差异显著。序批式池塘中凤眼莲吸收的氮、磷分

别占氮磷输出的 1.70% 和 0.33%。

表 5 3 类池塘氮磷收支估算  
Tab.5 Budgets of nitrogen and phosphorous in 3 kinds of ponds

		氮磷输入/kg						
		饲料 Feed	放养动物 Stocking animals	初水体 Initial water column	浮游植物 Phytoplankton	浮游动物 Zooplankton	凤眼莲 <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	降雨 Rain
传统池塘 Traditional pond	N	306.24	73.50	12.80 <sup>a</sup>	30.08 <sup>a</sup>	9.09 <sup>a</sup>	—	15.16
		68.53%	16.45%	2.86%	6.73%	2.03%	—	3.39%
	P	39.60	26.73	22.32 <sup>a</sup>	1.85 <sup>a</sup>	1.30 <sup>a</sup>	—	0.57
42.87%		28.94%	24.16%	2.00%	1.41%	—	0.62%	
分隔式池塘 Separated pond	N	271.10	55.90	15.84 <sup>a</sup>	12.32 <sup>b</sup>	6.05 <sup>b</sup>	—	15.16
		72.03%	14.85%	4.21%	3.27%	1.61%	—	4.03%
	P	35.56	19.60	9.28 <sup>b</sup>	0.76 <sup>b</sup>	0.87 <sup>b</sup>	—	0.57
53.37%		29.41%	13.93%	1.14%	1.30%	—	0.86%	
序批式池塘 Sequencingpond	N	315.84	49.67	15.60 <sup>a</sup>	10.65 <sup>c</sup>	4.59 <sup>c</sup>	2.85	15.16
		76.22%	11.99%	3.77%	2.57%	1.11%	0.69%	3.66%
	P	65.80	18.06	30.28 <sup>c</sup>	0.66 <sup>c</sup>	0.66 <sup>c</sup>	0.15	0.57
56.64%		15.55%	26.06%	0.56%	0.57%	0.13%	0.49%	
		氮磷输出/kg						
		养殖产出 Aquaculture outputs	末水体 End water	浮游植物 积累 Phytoplankton accumulation	浮游动物积累 Zooplankton accumulation	凤眼莲吸收 <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms absorption	底泥沉积和 水体排放 Sedimentation and water discharge	
传统池塘 Traditional pond	N	132.59	3.20 <sup>a</sup>	19.54 <sup>a</sup>	0.24 <sup>a</sup>	—	291.29	
		29.67%	0.72%	4.37%	0.05%	—	65.19%	
	P	48.22	3.76 <sup>a</sup>	1.20 <sup>a</sup>	0.03 <sup>a</sup>	—	39.16	
52.20%		4.07%	1.30%	0.04%	—	42.39%		
分隔式池塘 Separated pond	N	103.73	18.24 <sup>b</sup>	14.49 <sup>b</sup>	2.93 <sup>b</sup>	—	236.99	
		27.56%	4.85%	3.85%	0.78%	—	62.97%	
	P	36.35	4.59 <sup>a</sup>	0.89 <sup>b</sup>	0.42 <sup>b</sup>	—	24.38	
54.55%		6.89%	1.34%	0.63%	—	36.59%		
序批式池塘 Sequencingpond	N	138.60	14.25 <sup>b</sup>	36.05 <sup>c</sup>	0.71 <sup>c</sup>	7.05	217.70	
		33.45%	3.44%	8.70%	0.17%	1.70%	52.54%	
	P	50.40	18.79 <sup>b</sup>	2.22 <sup>c</sup>	0.10 <sup>c</sup>	0.38	44.28	
43.38%		16.17%	1.91%	0.09%	0.33%	38.12%		

注:百分数为该项目所占比例,表中同列 N 或者 P 标有不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),“—”代表该项不存在

Notes: Percentage indicates the proportion of the project, significant differences between the same column N or P in the table with different superscripts ( $P < 0.05$ ) and “—” represents the item does not exist

### 3 讨论

#### 3.1 氮磷动态

养殖水体的氮中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量最高,和齐振雄等的研究结果相似<sup>[4]</sup>。在本研究中三态氮含量大致表现为传统池塘最低,其次是序批式池塘,序批式池塘在养殖区域执行精准投喂避免过多饵料投入污染水质,另外投饲之后及时排出残饵和鱼粪便对维持水质稳定也有一定作用。序批式池塘三态氮含量略高于传统池塘主要是因为序批式池塘集约化养殖饲料投入氮量最大为

315.84 kg,此外序批式池塘养殖期间持续排污造成养殖水体水位降低使水质变差。分隔式池塘只是根据养殖鱼类的生态位不同划分成不同的养殖区域,通过水体流动将部分残饵和碎屑供给滤食性鱼类,并没有及时排出或者其他措施吸收转化掉多余的残饵和鱼粪便,所以导致养殖水体相对较差。分隔式池塘在整个实验周期内水体 DTP 含量较低,并持续维持稳定,主要是因为分隔式池塘饲料输入的磷量最少为 35.56 kg,另外分隔式池塘中滤食性鱼类和罗氏沼虾养殖区底泥受养殖动物搅动较轻,底泥中的磷营养盐难以

释放到水体中。序批式池塘水体中 DTP 含量在实验期间一直在高水平变动,原因在于序批式池塘饲料投入的磷量最大,将近是其他两类池塘饲料投入磷量的 2 倍。

### 3.2 氮磷收支

本研究中,氮磷主要输入项目包括饲料、放养动物、初水体、浮游植物、浮游动物、凤眼莲和降雨,主要输出项目包括养殖产出、末水体、浮游植物积累、浮游动物积累、凤眼莲吸收以及底泥沉积和水体排放。以往大多数研究表明,底泥的积累沉积是氮营养盐的主要支出项目<sup>[5,6,10]</sup>。本研究氮收支项目中,饲料是氮输入的主要来源,和室内集约化养虾池研究结果相同<sup>[21]</sup>,氮最主要的支出项目是底泥沉积和水体排放。饲料投入氮占氮营养盐输入比例为传统池塘(68.53%) < 分隔式池塘(72.03%) < 序批式池塘(76.22%),主要是因为传统池塘放养动物和浮游植物的氮输入量均高于分隔式池塘和序批式池塘。养殖产出的氮比例序批式池塘最高,传统池塘次之,分隔式池塘养殖产出的氮比例低是由于室外养殖气温较低导致罗氏沼虾成活率偏低。死亡的罗氏沼虾个体并没有随沉降进入池塘底泥,而是被微生物分解之后氮营养盐释放到水体,使分隔式池塘末水体氮含量显著高于传统池塘。底泥沉积和水体排放损失的氮占氮支出比例序批式池塘最低,其次是分隔式池塘。尽管底泥沉积和水体排放是氮营养盐最主要的支出项目,但是实验前后 3 类池塘底泥中氮含量并没有显著变化,可能由以下原因造成:实验起始传统池塘、分隔式池塘和序批式池塘底泥氮含量都比较高,分别为(3.39 ± 0.07)、(1.65 ± 1.02)和(1.65 ± 0.32) g/kg,3 个月的养殖实验不足以对池塘底泥氮含量造成显著影响。磷收支项目中,饲料同样是磷输入的主要来源,磷最主要的支出项目是养殖产出,和半开放式的罗非鱼精养池塘的研究结果相同<sup>[9]</sup>。饲料投入的磷占磷营养盐输入比例为传统池塘(42.87%) < 分隔式池塘(53.37%) < 序批式池塘(56.64%)。通过水体输入的磷,序批式池塘显著高于传统池塘,高于分隔式池塘。浮游植物输入的磷占磷输入比例序批式池塘(0.56%)显著低于分隔式池塘(1.14%),低于传统池塘(2.00%)。养殖产出的磷占磷输出比例分隔式池塘(54.55%) > 传统池塘

(52.20%) > 序批式池塘(33.45%)。3 类池塘中末水体最终输出的磷营养盐均变低,可能是水体中的磷营养盐被浮游植物吸收之后,和饵料一起被养殖动物捕食,未被吸收的部分随粪便沉降到底泥中,导致底泥中磷含量显著升高。

研究结果表明饲料是氮磷营养盐的主要来源,同时对虾养殖<sup>[5,22-23]</sup>和高密度海水鱼养殖研究结果一致<sup>[24]</sup>。3 类池塘饲料系数从低到高依次为序批式池塘(1.6) < 传统池塘(2.5) < 分隔式池塘(2.8)。氮磷利用率分别为序批式池塘(28.16%, 49.15%),传统池塘(19.30%, 54.27%),分隔式池塘(17.64%, 47.12%)。序批式池塘饲料系数较低的主要原因可能有两个:一是序批式池塘执行精准投喂,严格按照投喂计划进行投喂,避免不必要的饲料浪费;二是序批式池塘根据鱼体规格划分为小规格鱼苗养殖区、中规格鱼苗养殖区和成鱼养殖区,投喂饲养的过程中减少不同规格之间争抢饲料,导致中小规格鱼苗无法足量进食。此外两种复合养殖池塘氮磷营养盐在底泥沉积和水体排放支出的比例均低于传统池塘,说明可以通过构建这种复合式生态养殖模式降低氮磷营养盐在底泥沉积和水体排放方面的损失,提高氮磷利用率。

### 参考文献:

- [1] 刘峰. 仿刺参(*Apostichopus japonicus*)池塘氮磷收支和沉积物特征性氮磷垂直分布的实验研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2009.  
LIU F. Experimental studies on nitrogen and phosphorus budgets and the vertical distribution of nitrogen and phosphorus forms in the sediments of sea cucumber ponds [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009.
- [2] GREEN B W, BOYD C E. Chemical budgets for organically fertilized fish ponds in the dry tropics [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 1995, 26(3): 284-296.
- [3] 周一兵,刘亚军. 虾池生态系统能量收支和流动的初步分析[J]. 生态学报,2000,20(3): 474-481.  
ZHOU Y B, LIU Y J. Primary analysis of the energy budget and flow in the shrimp pond ecosystem [J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(3): 474-481.
- [4] 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.  
QI Z X, LI D S, ZHANG M P, et al. Experimental studies on nitrogen and phosphorus budgets of shrimp culture pond [J]. Journal of Fisheries of China, 1998, 22(2): 124-128.
- [5] 常杰,田相利,董双林,等. 对虾、青蛤和江蓠混养系统氮磷收支的实验研究[J]. 中国海洋大学学报,2006,36

- (S1): 33-39.
- CHANG J, TIAN X L, DONG S L, et al. An experimental study on nitrogen and phosphorus budgets in polyculture of shrimp, bivalve and seaweed [J]. Periodical of Ocean University of China, 2006, 36(S1): 33-39.
- [6] 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.
- [7] 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, 2012.
- LIU P. A preliminary study on budget and variation of organic carbon, nitrogen and phosphorus of grass carp in different polyculture systems [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [8] 高攀, 蒋明, 赵宇江, 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.
- GAO P, JIANG M, ZHAO Y J, et al. Variation rules of water quality and budget of nitrogen and phosphorus in ponds with grass carp as the dominant cultured species[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2009, 24(1): 71-77.
- [9] 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, 2010.
- ZHOU L. Study on nitrogen and phosphorus budget of intensive tilapia ponds in two culture models [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2010.
- [10] 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.
- [11] 何琳. 高效生态养殖鱼塘环境特征及其产品品质的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.
- HE L. Study of the environmental characteristics and the products' quality in high-efficiency ecological fish ponds [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013.
- [12] 曾宪磊, 魏宝成, 刘兴国, 等. 基于 Ecopath 模型的复合养殖池塘构建[J]. 水产学报, 2018, 42(5): 711-719.
- ZENG X L, WEI B C, LIU X G, et al. Analysis of compound culturing pond build based on Ecopath model[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(5): 711-719.
- [13] 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, 31(11): 84.
- GU Z J, LIU X G, TIAN C F, et al. Separated efficient polyculture model of allogynogenetic gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) "CAS III", Changfeng silver carp and Songpu mirror carp[J]. Scientific Fish Farming, 2015, 31(11): 84.
- [14] 刘兴国, 朱浩, 顾兆俊, 等. 一种提高能效的养殖池塘系统: 中国, 201410415815.6[P]. 2014-12-03.
- LIU X G, ZHU H, GU Z J, et al. A aquaculture pond system for improving energy efficiency: CN, 201410415815.6[P]. 2014-12-03.
- [15] 王龙升, 周琼, 谢从新, 等. 两种营养源对主养草鱼池塘浮游生物群落结构与碳/氮转化的影响[J]. 水产学报, 2017, 41(8): 1286-1297.
- WANG L S, ZHOU Q, XIE C X, et al. The effects of two nutrient sources on the plankton community structure and C/N trophic shift in *Ctenopharyngodon idella* poly-culture ponds [J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(8): 1286-1297.
- [16] 孟顺龙, 徐跑, 李丹丹, 等. 团头鲂池塘工业化生态养殖系统中浮游植物群落结构分析[J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27(1): 79-90.
- MENG S L, XU P, LI D D, et al. Community structure of phytoplankton in pond industrial eco-aquaculture system culturing *Megalobrama amblycephala* [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2018, 27(1): 79-90.
- [17] 邹清, 吴生桂, 高少波, 等. 不同生长阶段鲢鳙体内氮、磷含量比较及分析[J]. 水利渔业, 2002, 23(6): 33-34.
- ZOU Q, WU S G, GAO S B, et al. Comparison and analysis of nitrogen and phosphorus contents in different growth stages of silver and bighead carp[J]. Reservoir Fisheries, 2002, 23(6): 33-34.
- [18] 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.
- CHEN D X, YANG C, HUA X M, et al. Pollution fluxes and budgets of nitrogen and phosphorus nutrients in three types of shrimp culture ponds [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2013, 42(8): 132-136.
- [19] REDFIELD A C. The biological control of chemical factors in the environment [J]. American Scientist, 1958, 46(3): 205-221.
- [20] 林婉莲, 刘鑫洲. 武汉东湖优势浮游动物元素含量分析[J]. 水生生物学报, 1985, 9(3): 258-263.
- LIN W L, LIU X Z. Elementary composition of some dominant zooplankters in lake Donghu, Wuhan [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1985, 9(3): 258-263.
- [21] 臧维玲, 侯文杰, 戴习林, 等. 室内集约化养虾池以低频率运转水处理系统调控水质效果及氮磷收支[J]. 水产学报, 2013, 37(11): 1670-1678.
- ZANG W L, HOU W J, DAI X L, et al. Effect of regulating-controlling water quality by water recycling-treating system at low frequency and nutrient budgets for indoor intensive shrimp aquaculture [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(11): 1670-1678.

- [22] BRIGGS M R P, FVNGE-SMITH S J. A nutrient budget of some intensive marine shrimp ponds in Thailand [J]. *Aquaculture Research*, 1994, 25(8): 789-811.
- [23] 徐永健. 对虾综合养殖池氮磷的收支、变动及其利用率的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2001.
- XU Y J. Studies on the budgets, variations of nitrogen and phosphorus and their utilizing efficiency in polyculture shrimp ponds[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2001.
- [24] KROM M D, NEORI A. A total nutrient budget for an experimental intensive fishpond with circularly moving seawater[J]. *Aquaculture*, 1989, 83(3/4): 345-358.

## Analysis of nitrogen and phosphorus budget of *Megalobrama amblycephala* in two kinds of compound culturing ponds

WEI Baocheng<sup>1,2,3,4</sup>, LIU Xingguo<sup>2</sup>, ZENG Xianlei<sup>2</sup>, LU Shimin<sup>2</sup>, GAO Meiyun<sup>1,2,3,4</sup>

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200092, China; 3. Genetics and Breeding Center for Blunt Snout Bream, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. Centre for Research on Environmental Ecology and Fish Nutrition of the Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** To compare the budget of nitrogen and phosphorus in *Megalobrama amblycephala*, which was cultivated in separated pond and sequencing pond, two kinds of ponds were selected for sample analysis, from August to November 2016, with the traditional pond as the control. The results showed that feed was the main source of nitrogen and phosphorus of *Megalobrama amblycephala* in ponds. The feed input proportion of nitrogen was traditional pond (68.53%) < separated pond (72.03%) < sequencing pond (76.22%). The feed input proportion of phosphorus was traditional ponds (42.87%) < separated pond (53.37%) < sequencing pond (56.64%). In these three kinds of ponds, the most important expenditure of nitrogen was sedimentation and water discharge. Among them, sedimentation and water discharge of nitrogen in the sequencing pond was the lowest, followed by the separated pond, and the traditional pond was the largest. The most important expenditure of phosphorus was aquaculture outputs. As for the proportion of phosphorus in aquaculture output to total phosphorus output, the highest is separated pond, up to 54.55%, the traditional pond is 52.20% and the sequencing pond is 43.38%. The results showed that the proportion of nitrogen and phosphorus sedimentation and water discharge in separated pond and sequencing pond was lower than that of traditional pond. It can reduce the nitrogen and phosphorus sedimentation and water discharge, increase the utilization rate of nitrogen and phosphorus, and improve the efficiency of feed utilization by constructing separated pond and sequencing pond. In particular, sequencing pond was used to raise the efficiency of material utilization in *Megalobrama amblycephala* farming.

**Key words:** *Megalobrama amblycephala*; separated pond; sequencing pond; nitrogen and phosphorus budget