基于生态位和水质因子的草鱼两种混养模式的比较*

赵旭斌[1,2] 郁二蒙[1] 王广军[1] 谢 骏[1**] 余德光[1] 龚望宝[1] 王海英[1]
([1] 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 广州 510380; [2] 上海海洋大学, 上海 201306)

摘 要 试验通过模拟草鱼2种混养模式("鲮-草模式"为草鱼与鲮混养、"鲫-草模式"为草鱼与鲫鱼混养),引入计算机视觉技术分析了草鱼在2种不同养殖模式下的生态位宽度及生态位重叠,同时测定了水体理化指标及鱼类特定生长率。结果表明:"鲮-草模式"组草鱼的特定生长率为1.524%·d^{-1},显著高于"鲫-草模式"组草鱼的特定生长率(1.346%·d^{-1});"鲮-草模式"组水体中的铵态氮、硝酸盐、总氮、总磷、活性磷酸盐浓度高于"鲫-草模式"组,而pH、DO、亚硝酸盐浓度及叶绿素a含量低于"鲫-草模式"组;2混养组中草鱼之间的生态位宽度无明显差异;"鲮-草模式"组草鱼与鲮之间生态位重叠指数为0.5598,"鲫-草模式"组草鱼与鲫鱼之间的生态位重叠指数为0.6478,二模式组比较,差异显著;鲮与草鱼之间的竞争较鲫鱼与草鱼之间的竞争小;试验组中鲮与草鱼混养要优于鲫鱼与草鱼混养。

关键词 混养模式; 草鱼; 生态位宽度; 生态位重叠; 水质
中图分类号 Q959.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2010)11-2187-05

A comparative study on two polyculture modes of grass carp bases on ecological niche and water quality factors. ZHAO Xu-bin[1,2], YU Er-meng[1], WANG Guang-jun[1], XIE Jun[1], YU De-guang[1], GONG Wang-bao[1], WANG Hai-ying[1] ([1]*Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Guangzhou* 510380, *China*; [2]*Shanghai Ocean University, Shanghai* 201306, *China*). *Chinese Journal of Ecology*,2010,**29**(11):2187-2191.

Abstract: In this study, two polyculture modes of grass carp (*i. e.*, polyculture of mud carp and grass carp named as "mud-grass mode" and polyculture of crucian carp and grass carp named as "crucian-grass mode") were simulated, and the niche width, niche overlap, and specific growth rate of grass carp as well as the physical and chemical indices of water under the two polyculture modes were analyzed. There was no significant difference in the niche width of grass carp between the two modes, but the niche overlap of grass carp was significantly different, with the value being 0.5598 and 0.6478 in "mud-grass mode" and "crucian-grass mode", respectively. The specific growth rate of grass carp in mud-grass mode was 1.524% per day, which was much higher than that (1.346% per day) in crucian-grass mode. The water NH_4^+-N, NO_3^-, TN, TP, and reactive phosphate contents in mud-grass mode were higher than those in crucian-grass mode, while the water pH value and DO, NO_2^-, and chlorophyll-a contents were in adverse. These results suggested that the competition between crucian carp and grass carp was more severe than that of mud carp and grass carp, and mud carp was more suitable for grass carp than crucian carp in the polyculture.

Key words: polyculture pattern; grass carp; niche width; niche overlap; water quality.

草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)年产量超过330万t,其年产量约占中国淡水鱼总产量的30%,在中国的水产养殖业中占有重要的经济地位(江兴龙等,2008;高攀等,2009)。草鱼与鲢鳙的混养有较长历史并有一定的研究(王武,2000;林仕梅等,2006)。以往对于鱼类混养多是侧重于其生长性能等方面研究,混养条件下鱼类生态学及混养的机理

*现代农业产业技术体系建设专项(NYCYTX-49-13)、广东省海洋渔业科技推广项目(A200901D04)、国家"863"高技术研发计划项目(2007AA10Z239)和国家科技支撑计划资助项目(2006BAD03B0102)。
**通讯作者 E-mail: xj007@tom.com
收稿日期: 2010-03-09 接受日期: 2010-08-24

研究存在不够系统等问题(王武,2000)。长期以来,如何充分利用池塘的生态环境,挖掘草鱼的混养养殖潜力,提高其养殖效益,是水产养殖业者和科研工作者关注和探讨的热点问题。

本实验通过在室内模拟华南地区两种常见混养模式,引入计算机视觉技术,结合水体理化指标,比较不同混养模式下草鱼生长、生态位宽度和生态位重叠,为研究草鱼养殖模式提供科学依据,同时为草鱼养殖的生态作用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

生长及水质试验中草鱼、鲫鱼(*Carassius auratus*)、鲮(*Cirrhinus molitorella*)均来自珠江水产研究所良种基地,草鱼体重(7.68±0.18) g·尾$^{-1}$;鲫鱼(7.52±0.26) g·尾$^{-1}$;鲮体重(4.87±0.17) g·尾$^{-1}$。行为试验中草鱼体重(14.86±1.39) g·尾$^{-1}$,鲫鱼体重(8.53±0.32) g·尾$^{-1}$,鲮体重(5.49±0.18) g·尾$^{-1}$。2组试验均为暂养7 d后,每天8:00、17:00时,投喂5%鱼体重的饲料。

1.2 试验方法

1.2.1 试验分组及日常管理 整个试验期间,水温为30 ℃~32 ℃。试验缸长、宽、高为120 cm×60 cm×70 cm,保持在水位为60 cm,试验设置2组分别为:"鲫-草模式"组为6尾草鱼+3尾鲫鱼;"鲮-草模式"组为6尾草鱼+3尾鲮,每组3个重复。

试验中水源统一来自珠江水产研究所观赏鱼基地用水(经过沙滤后的池塘水),整个试验过程中不换水,只补充蒸发水,保持在水位高60 cm。每天8:00、17:00,投喂鱼体重5%的饲料,试验过程中不充氧,不吸残饵、粪便。

1.2.2 行为试验 单独进行行为试验,试验缸规格为120 cm×60 cm×70 cm,保持在水位为60 cm,且三面贴白色背景。晚上开灯时间为20:00—8:00,每天8:00、17:00,投喂鱼体重5%的饲料,暂养7 d。暂养结束后,使用威士高VDR-8800R台式硬盘摄像机、图雅丽TC-623摄像机,8:00开始,在24 h内每隔3 h(即8:00、11:00、14:00、17:00、20:00、23:00和2:00、5:00)监控15 min鱼类的行为。

1.3 指标测定与计算

1.3.1 鱼体特定生长率及平均日增重率 正式试验前暂养7 d,每天8:00和17:00各投喂5%鱼体重的饲料,投喂30 d,试验结束后立即测量试验鱼体重。

表1 行为指标的统计

Tab.1 Description of the behavioral variables

行为指标	种类
摄食	在水层中摄食
游动	在水层游动
	在底部游动(距缸底<10 cm)

试验结束后,测量试验鱼体重。计算试验鱼的特定生长率(Hopkins,1992):

$$SGR=(\ln WT_F-\ln WT_I)\times 100/T$$

式中:WT_F为试验结束时鱼体重;WT_I为试验开始时鱼体重;T为试验时间。

平均日增重率:

$$Gr=(WT_F-WT_I)\times 100/T$$

式中:WT_F为试验结束时鱼体重;WT_I为试验开始时鱼体重;T为试验时间。

1.3.2 行为学测定 按照表1分别统计分析草鱼两种不同混养模式下各种行为指标的时间,分别以主养鱼类、配养鱼类,摄食和游动时间占总时间的百分比,做出相应曲线,分析鱼类行为的差别。参照《生态学实验原理与方法》(付必谦,2006),按照表1分别统计不同混养模式下草鱼与配养鱼类游动时间,以各自时间作为资源轴,利用DPS软件(唐启义和冯明光,2002),计算草鱼在不同混养模式下的生态位宽度及生态位重叠。

1.3.3 生态位宽度、生态位重叠评价 采用Hurlbert生态位宽度指数和Pinaka指数(唐启义和冯明光,2002;付必谦,2006)计算公式度量2种不同混养模式下主养鱼类与配养鱼类的生态位宽度及生态位重叠,以生态位宽度评价混养鱼类之间对资源的利用情况,生态位重叠来评价混养鱼类之间的竞争关系。

Hurlbert生态位宽度指数:

$$B'=\frac{1}{\sum_{j=1}^{n}\frac{P_i^2}{a_j}}$$

式中:P_j为利用资源的j的个体比例;a_j为资源j可利用的项目数($\sum a_j=1.0$)。为标准化Hurlbert生态位宽度指数,可使用下述公式:

$$B'_A=\frac{B'-a_{\min}}{1-a_{\min}}$$

式中,$a_{\min}$为资源中最小者。

Pinaka指数:

$$O_{jk}=\frac{\sum_{i=1}^{n}P_{ij}P_{ik}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}P_{ij}^2\sum_{i=1}^{n}P_{ik}^2}}$$

式中:O_{jk} 为种类 k 对 j 的生态位重叠;P_{ij}、P_{ik} 为种类 j 或种类 k 所利用的整个资源中第 i 种资源所占比例;n 为资源状态总数。

1.4 水质指标的测定

试验期间,每隔 7 d 测量 T、DO、pH 等水质指标,时间在 9:00—10:00,其中用温度测量仪测量水温,美国维赛仪器 YSI DO200 型溶解氧仪测定溶氧(DO),上海三信仪表 pHB-3 便携式 pH 计测量 pH。另外,取中层 1 L 水样,立即回实验室对水体的理化指标进行测定,分别按照《环境检测方法标准汇编》(尹航,2007)测定总氮(TN)、总磷(TP)、铵态氮(NH_4^+-N)、亚硝酸盐(NO_2^-)、硝酸盐(NO_3^-)、活性磷酸盐(PO_4^{3-}),并参照《湖泊富营养化调查规范》(金相灿和屠清瑛,1990)中叶绿素 a 测定方法测定叶绿素 a 浓度。

1.5 数据处理

统计分析采用 Statistica 6.0 进行,采用单因子方差分析(ANOVA)检验草鱼 2 种不同混养模式下水体的理化指标(pH、DO、NH_4^+-N、NO_2^-、NO_3^-、TN、TP、PO_4^{3-})及 Hurlbert 生态位宽度指数和 Pinaka 指数的差异。当差异显著时,再用 Duncan 多重比较对平均数进行比较。结果采用平均数±标准差表述。显著水平为 $\alpha=0.05$。

2 结果与分析

2.1 草鱼 2 种不同混养模式下特定生长率及日增重率

按照公式计算草鱼 2 种不同混养模式下特定生长率及日增重率,草鱼 2 种不同模式下特定生长率及日增重率(图 1),"鲩-草模式"中草鱼的特定生长率为(1.524±0.015)%·d^{-1},显著高于"鲫-草模式"中草鱼的特定生长率(1.346±0.157)%·d^{-1}($P<0.05$);"鲫-草模式"中草鱼增重率为(9.53±0.57)g·d^{-1},显著低于"鲩-草模式"中草鱼体重(14.76±0.48)g·d^{-1}($P<0.05$)。

2.2 草鱼 2 种不同混养模式下水体理化指标

草鱼 2 种不同混养模式下水体理化指为(pH、溶氧(DO)、总氮(TN)、总磷(TP)、铵态氮(NH_4^+-N)、亚硝酸盐(NO_2^-)、硝酸盐(NO_3^-)、总磷(TP)、活性磷酸盐(PO_4^{3-}))(表 2)。"鲫-草模式"的水体指标中 DO、pH 值、亚硝酸盐浓度以及叶绿素 a 的含量显著高于"鲩-草模式"的含量($P<0.05$),而铵态氮、硝酸盐、总氮、活性磷酸盐浓度均低于"鲩-草模式"的含量($P<0.05$),总磷含量"鲩-草模式"的高于"鲫-草模式"的浓度,但差异不显著($P<0.05$)。

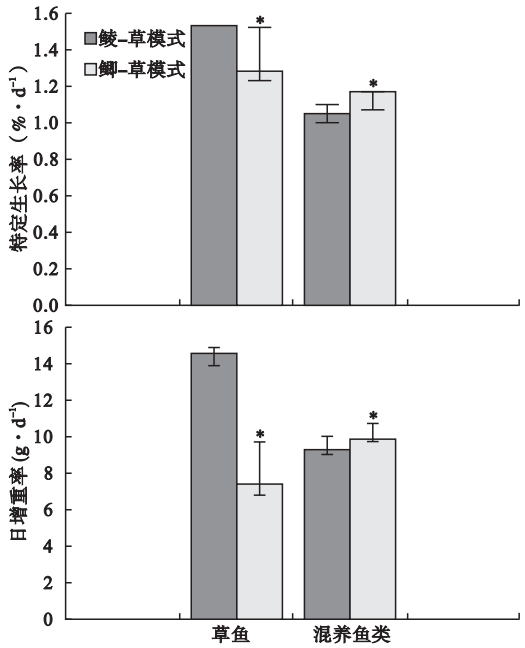


图 1 2 种不同混养模式下特定生长率和日增重率

Fig. 1 Specific growth rate and average daily gain of fish in crucian carp and mud carp treatment tanks

*$P<0.05$。

2.3 行为学分析及生态位宽度、生态位重叠比较

根据表 1,统计行为指标的时间,分析混养模式下草鱼的行为指标的时间百分比(图 2),比较 2 种不同模式下鲫鱼和鲩行为指标的时间百分比(图 3)。由摄食曲线可以看出,不同混养模式下草鱼摄食高峰在8:00、17:00左右,由游动曲线可以看出草

表 2 草鱼 2 种不同混养模式下水体理化指标比较

Tab. 2 Comparison of the physico-chemical indices between the two different polyculture of grass carp

理化指标	草鱼鲫鱼混养	草鱼鲩混养	显著性
pH	7.76±0.03	7.48±0.16	*
NH_4^+-N (mg·L^{-1})	0.282±0.040	0.384±0.063	*
NO_2^-(mg·L^{-1})	0.198±0.044	0.183±0.043	*
NO_3^-(mg·L^{-1})	0.365±0.042	0.465±0.079	*
TN(mg·L^{-1})	0.887±0.104	1.157±0.092	*
PO_4^{3-}(mg·L^{-1})	0.118±0.010	0.165±0.010	*
TP(mg·L^{-1})	0.278±0.020	0.363±0.019	NS
DO(mg·L^{-1})	5.05±0.21	4.43±0.15	*
Chl-a (μg·L^{-1})	160.3±0.6	110.5±0.4	*

"*"表示在 0.05 水平上显著性差异,"NS"表示无显著性差异。

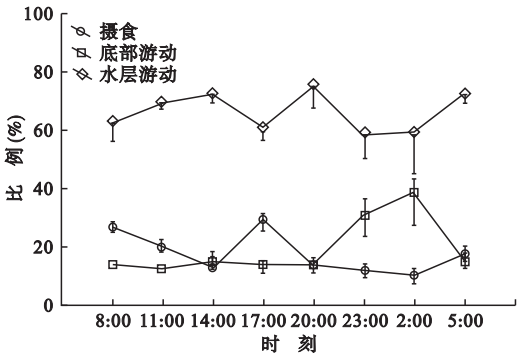


图2 混养模式下草鱼昼夜摄食、游动情况时间百分比

Fig. 2 Diel pattern of grazing, swimming activity of grass carp on polyculture patterns

鱼大部分时间在水层游动,在底层活游时间较少。从图3可以看出,不同混养模式下鲮在底部游动时间较鲫鱼时间长,鲫鱼摄食强度较鲮高。

由表3看出,不同混养模式下草鱼,"鲮-草模式"草鱼的生态位宽度与"鲮-草模式"的无显著性差异($P<0.05$),说明不同混养模式下草鱼利用3个资源数相同,对环境的适应性基本一致。

从生态位重叠来看,"鲫-草模式"下鲫鱼与草鱼之间的生态位重叠要明显大于"鲮-草模式"下鲮与草鱼之间的生态位重叠($P<0.05$,表4),在一定程

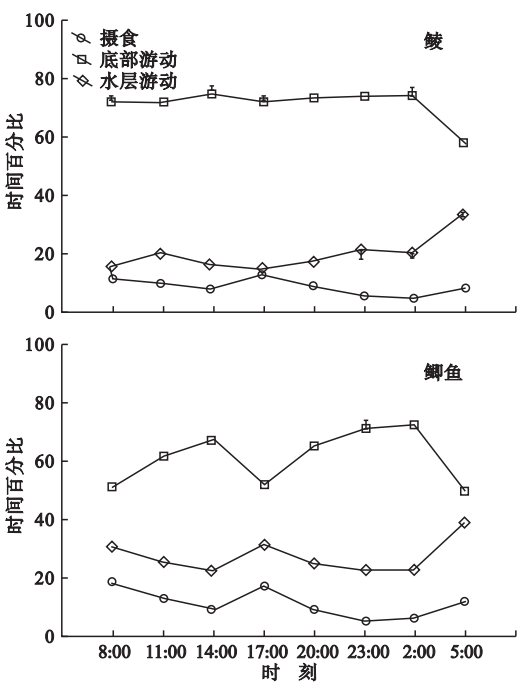


图3 2种不同混养模式下鲮与鲫鱼昼夜摄食、游动时间百分比

Fig. 3 Diel pattern of grazing, swimming activity of crucian carp and mud carp on two polyculture patterns of grass carp

表3 草鱼2种混养模式下生态位宽度的比较

Tab. 3 Comparison of niche widths between the two different polyculture of grass carp

生态位宽度	"鲫-草模式"草鱼	"鲮-草模式"草鱼	差异性
Hurlbert 指数(B')	0.5717±0.0929	0.6741±0.1067	NS
标准值(B'_A)	0.4110±0.0931	0.5360±0.1170	NS

NS 表示无显著性差异。

表4 草鱼2种混养模式下生态位重叠的比较

Tab. 4 Comparison of niche overlaps between the two different polyculture of grass carp

生态位重叠	草鱼与鲫鱼	草鱼与鲮	差异性
Pinaka 指数	0.6478±0.0183	0.5598±0.0221	*

* 表示在0.05水平上显著性差异。

度上反映2种不同混养模式下鲫与草鱼之间潜在的竞争程度强。

3 讨 论

3.1 鱼类习性与水质及产量的关系

国外许多学者高度关注鱼类养殖与水体理化因素之间关系(Avnimelech & Lacher, 1979; Costa-Pierce & Pullin, 1989; Moriarty, 1997; Avnimelech *et al.*, 1999; Rahman *et al.*, 2006)。研究表明,底层鱼类的活动对底部的残饵、排泄物等有搅动作用,进而将底部丰富的有机物带入溶氧丰富的水层,使水体中营养盐的含量增加;但微生物对有机物的矿化分解造成水体的pH值降低(Avnimelech *et al.*, 1999; Neila *et al.*, 2003)。本实验结果显示,鲮在底部活动的时间较长,对底部的搅动作用相对鲫鱼更为明显;"鲮-草模式"水体中营养盐含量显著高于"鲫-草模式"组的,而"鲮-草模式"水体中DO含量和pH值低于鲫-草模式。本试验结果与上述研究结论一致。丰富的硝酸盐、活性磷酸盐可刺激水体中浮游植物的光合作用,进而增加水体中的DO和浮游生物量,继而提高鱼类的产量(Hepher *et al.*, 1989; Poxton, 1991; Milstein & Svirsky, 1996)。本实验的"鲮-草模式"水体中可溶性氮磷显著高于"鲫-草模式"的,丰富的营养盐可促进水中微生物和藻类生物的繁殖,为"鲮-草模式"中草鱼提供了更多的生物饵料,这可能是"鲮-草模式"中草鱼生长较快的原因之一。

3.2 基于生态位评价混养鱼类之间竞争关系

物种生态位宽度决定于物种对环境资源的利用和适应能力(张光明和谢寿昌,1997;孙儒泳,2001;王子迎和檀根甲,2008),生态位宽度越大说明物种

对环境资环的利用和适应能力强;生态位重叠指数反映物种间对资源利用的相似程度,在一定程度上反映它们之间潜在的竞争程度(Colwell & Futuyma, 1971; Murie, 1995; 刘加珍等, 2004; 殷宝法等, 2007),生态位重叠越大说明物种之间潜在的竞争程度大。在本研究中,2 种混养模式的生态位宽度指数差异不显著;但从生态位重叠指数来看,"鲫-草模式"中草鱼与鲫鱼的在资源利用上竞争程度显著大于"鲮-草模式"的。实验的摄食行为观察与分析发现,鲫鱼和鲮同为底层鱼类,但鲫鱼比鲮更多的到水层中摄食草鱼饲料;鲮在底层摄食,摄食残饵以及藻类较鲫鱼多。"鲮-草模式"草鱼的特定生长率明显高于"鲫-草模式"中草鱼的特定生长率,"鲮-草模式"草鱼增重率也明显高于"鲫-草模式"(图 1)。综合推断,"鲮-草模式"与"鲫-草模式"相比,草鱼与鲮在资源利用上的竞争程度更小于草鱼与鲫鱼,"鲮-草模式"中草鱼可获得更多的饲料。

4 结 论

通过对草鱼 2 种混养模式下水质、生长及生态位的分析研究,得出如下结论:1)"鲮-草模式"水体中可溶性营养盐的含量高于"鲫-草模式"的;2)"鲮-草模式"中草鱼的特定生长率及增重率显著高于"鲫-草模式"中草鱼的;3)"鲫-草模式"中鲫鱼与草鱼的生态位重叠显著高于"鲮-草模式"中鲮与草鱼的生态位重叠。

参考文献

付必谦. 2006. 生态学实验原理与方法. 北京: 科学出版社.

高 攀, 蒋 明, 赵宇江, 等. 2009. 主养草鱼池塘水质指标的变化规律和氮磷收支. 云南农业大学学报, **24**(1): 71-77.

江兴龙, 关瑞章, 刘爱原. 2008. 论我国水产养殖业的发展方向. 中国水产, (1): 19-20.

金相灿, 屠清瑛. 1990. 湖泊富营养化调查规范. 北京: 中国环境科学出版社.

林仕梅, 谭北平, 魏万权. 2006. 不同养殖模式对草鱼生长的影响. 饲料工业, **27**(12): 24-25.

刘加珍, 陈亚宁, 张元明. 2004. 塔里木河中游主要植物种群的生态特征分析. 应用生态学报, **15**(4): 549-555.

孙儒泳. 2001. 动物生态学原理(第 3 版). 北京: 北京师范大学出版社.

唐启义, 冯明光. 2002. DPS 数据处理系统-实验设计、统计分析及数据发掘. 北京: 科学出版社.

王 武. 2000. 鱼类增养殖学. 北京: 中国农业出版社.

王子迎, 檀根甲. 2008. 水稻纹枯病菌的矿质营养生态位. 应用生态学报, **19**(1): 213-217.

殷宝法, 淮虎银, 张镱锂, 等. 2007. 可可西里地区藏羚羊、藏原羚和藏野驴的营养生态位. 应用生态学报, **18**(4): 766-770.

尹 航. 2007. 环境监测方法标准汇编. 北京: 中国标准出版社.

张光明, 谢寿昌. 1997. 生态位概念演变与展望. 生态学杂志, **16**(6): 46-51.

Avnimelech Y, Kochva M, Hargreaves JA. 1999. Sedimentation and resuspension in earthen fish ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*, **30**: 401-409.

Avnimelech Y, Lacher M. 1979. A tentative nutrient balance for intensive fish ponds. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, **31**: 3-8.

Colwell RK, Futuyma DJ. 1971. On the measurement of niche breadth and overlap. *Ecology*, **52**: 567-576.

Costa-Pierce BA, Pullin RSV. 1989. Stirring ponds as a possible means of increasing aquaculture production. *Aquabyte*, **2**: 5-7.

Hepher B, Milstein A, Leventer H, *et al*. 1989. The effect of fish density and species combination on growth and utilization of natural food in ponds. *Aquaculture Research*, **20**: 59-71.

Hopkins KD. 1992. Reporting fish growth: A review of the basics. *Journal of the World Aquaculture Society*, **23**: 173-179.

Milstein A, Svirsky F. 1996. Effect of fish species combinations on water chemistry and plankton composition in earthen fish ponds. *Aquaculture Research*, **27**: 79-90.

Murie DJ. 1995. Comparative feeding ecology of two sympatric rockfish congeners, *Sebastes caurinus* (copper rockfish) and *S. maliger* (quillback rockfish). *Marine Biology*, **124**: 341-353.

Neila S, Diego-McGlone MS. 2003. Water quality and holding capacity of intensive and semi-intensive milkfish (*Chanos chanos*) ponds. *Aquaculture*, **219**: 413-429.

Poxton MG. 1992. Water quality fluctuations and monitoring in intensive fish culture// de Pauw N, Joyace J, eds. Aquaculture and the Environment. *European Aquaculture Society Special Publication*, **16**: 121-143.

Rahman MM, Gong YG, Miller SA, *et al*. 2006. A comparative study of common carp (*Cyprinus carpio* L.) and calbasu (*Labeo calbasu* Hamilton) on bottom soil resuspension, water quality, nutrient accumulations, food intake and growth of fsh in simulated rohu (*Labeo rohita* Hamilton) ponds. *Aquaculture*, **219**: 1-6.

Rahman MM, Verdegem MCJ, Nagelkerke LAJ, *et al*. 2006. Growth, production and food preference of rohu *Labeo rohita* (H.) in monoculture and in polyculture with common carp *Cyprinus carpio* (L.) under fed and non-fed ponds. *Aquaculture*, **257**: 359-372.

作者简介 赵旭斌,男,1985 年生,硕士。主要从事健康养殖方面的研究。E-mail: z_x_bin@126.com

责任编辑 李凤芹