

罗非鱼声控投饵方法

汤涛林 唐荣 刘世晶 陈军 苗雷 周荣

(中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092)

摘要 鱼类的摄食活力可以用摄食过程发出的声音直接测量。本研究通过构建声学监测平台, 应用带宽 1 Hz - 470 kHz, 在 40 kHz 以下自由场电压灵敏度级 -217 dB (基准值为 1 V/ μ Pa) 的水声检测设备, 采集罗非鱼摄食过程中产生的声信号, 分析其摄食活力。研究表明, 罗非鱼摄食时发出的声音在 0 - 6 kHz 可区别于背景噪声, 其声功率与摄食活力呈正相关。声功率移动平均值反应鱼摄食活力趋势, 可作为食欲反馈, 结合生长模型和投喂模型可以组成投饵策略。

关键词 声控投饵; 功率谱密度; 罗非鱼

中图分类号 S965.1 文献标志码 A 文章编号 1000-7075(2014)03-0040-04

Acoustic control of feeding in Tilapia culture

TANG Tao-lin TANG Rong LIU Shi-jing CHEN Jun MIAO Lei ZHOU Rong

(Fishery Machine and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200092)

ABSTRACT The technique of measuring fish appetite is the key to accurate automatic feeding. As light attenuates quickly in the water, visual observation is not an effective method to measure the fish appetite in the turbid water body of fish farms. Recent studies have shown that the feeding activity of fish can be measured directly by monitoring sounds emitted by the fish during a feeding period. In our study, we used an acoustic monitoring platform that was composed of a programmable filter and a standard measuring hydrophone, with bandwidth from 1 Hz to 470 kHz and with free field voltage sensitivity of -217 dB (reference level 1 V/ μ Pa) under 40 kHz. Tilapias in the laboratory pond were fed by hand, while the feeding sound of Tilapia was recorded for the analysis of its feeding activity. The feeding sound with the frequency ranging from 0 to 6 kHz could be distinguished from background noises. The appetite of Tilapias faded after a period of feeding, resulting in the decrease in feeding activity and the subsequent change in the acoustic power. The acoustic power had a significant positive correlation with the feeding activity. Therefore efficient feeding strategies can be established, based on the appetite feedback (generated by the moving average of acoustic power) together with growth models and feeding models.

KEY WORDS Acoustic control feeding; Power spectrum density; Tilapia

投饵是水产养殖中的重要环节, 投饵技术不仅关系经济效益, 也是实现水质调控的关键(王永玲等 2011)。传统人工投饵完全依靠经验, 无法精确考虑生物摄食需求的变化和环境因子的影响。随着集约化养殖迅速发展和劳动成本上升, 自动投饵系统(袁凯等 2013)受到越来越多的关注。自动投饵系统的理论基础是鱼类投喂模

型和生长模型(唐章生等 2011),但是单纯基于模型的投饵控制属于开环控制,模型准确度、鱼类体质差别以及其他因素都会对其控制效果造成影响。因此,系统需要寻找一种基于鱼类摄食行为的有效反馈,实现闭环控制。

目前投饵反馈的方法主要有3类:第1类基于残饵检测,包括红外检测(Madrada *et al.* 1997;Chen *et al.* 2002)和多普勒检测(Summerfelt *et al.* 1995;Juell *et al.* 1993),由残饵率控制投饵速度和投饵的时间;第2类基于鱼群位置,当鱼群离开投饵区域后停止投饵(Bjordal *et al.* 1993;Juell 1995);第3类使用声学监听,通过测量鱼类摄食的声音作为反馈信号,控制投饵速度和投饵量。已有研究表明,大菱鲂的食欲与摄食时发出的声音存在线性关系(Lagardere *et al.* 2000)。本研究构建了一个声学监测平台,监测分析罗非鱼的摄食信号,并加以判别,结合生长模型和投喂模型进行投饵量估计,形成自动投饵策略。

1 材料与方法

1.1 试验平台

声学监测平台由水听器、程控滤波放大器、数据采集器、计算机构成。平台使用的测量水听器为丹麦Reson公司的TC4034,可用带宽1 Hz - 470 kHz,在40 kHz以下自由场电压灵敏度级-217 dB(基准值为1 V/ μ Pa)。为了防止鱼游动时撞击到水听器,在水听器周围设置了隔离网。由于水听器接收到的信号非常微弱,且现场同时存在各种噪声,因此在信号采样前使用Krohn Hite 3944程控滤波器进行滤波放大。3944有4个独立通道,可串联组成两个带通滤波器,并提供每通道40 dB的放大增益;数据采集设备为NI的USB-6210,单通道最高采样率250 MS/s,采样精度16 bit;数据分析用的计算机配置了酷睿i7处理器和8G内存,能够满足实时计算的要求。

鱼类摄食时的活动强度明显随食欲变化(Andrew *et al.* 2002),而摄食活力与声功率相关,因此期望使用某个频带内的声功率作为鱼类食欲的指标。试验平台的信号处理程序在Net平台下开发,功能包括信号高速采集、数据缓存、数据回放、声功率谱密度(PSD)计算和摄食功率计算,PSD的实时计算使用快速傅里叶变换(FFT)实现(吴大正 1985)。

1.2 试验设计

试验于2012年12月28日在渔业水体净化技术和系统研究重点开放实验室的淡水养殖试验系统中进行,试验用水槽容积2.5 m³,水深1.0 m,水温控制在18-24℃。水槽内有罗非鱼数量115尾,总重量约200 kg,使用手工方式投料,观察饲料基本吃完后进行下一次投料,到鱼基本停止摄食时停止投饵。试验包括采集投饵前的背景噪声、记录罗非鱼整个摄食过程噪声变化、观察摄食情况和摄食功率之间的关系。

2 结果与分析

2.1 背景噪声

试验在循环水系统内进行,噪声远大于其他养殖环境。将投饵开始前的声功率数据定义为背景噪声,其PSD见图1,噪声源主要包括现场设备噪声、水流噪声、鱼身体发出的噪声,其中50 Hz工频及其谐波是最强的干扰源,随着频率升高,噪声功率下降。

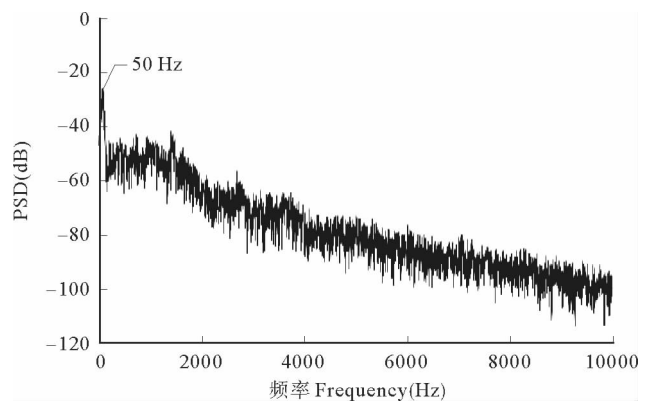


图1 背景噪声 PSD

Fig.1 PSD of background noise

2.2 摄食信号

投饵开始后观察到罗非鱼露出水面甚至跳出水面摄食,在监测平台上捕捉到此类信号(图2),在未滤波的情况下,此类信号为宽度20 ms左右的脉冲,幅度远大于噪声,很容易区分。

除了摄食动作发出的声音,还有一部分声功率是由罗非鱼摄食时加速游动造成的。这类游动时产生的声音主要集中在 2 kHz 以内 (Moulton *et al.* 1960)。

罗非鱼摄食信号出现的时间、幅度、频率都是变化的,属于非平稳随机信号 (王良曦等 2003),因此它的 PSD 也是不断变化的。为了确定摄食信号的频率范围,取投饵开始后 10 s 内的 PSD 均值与投饵前的背景噪声进行比较,多次试验数据确定表明,罗非鱼摄食时发出的声音覆盖了 0 - 6 kHz 的范围,在此范围内,能够与背景噪声区分。图 3 为两次试验投饵开始后前 10 s 与背景噪声 PSD 的差值,最高有 8 dB 的信噪比。

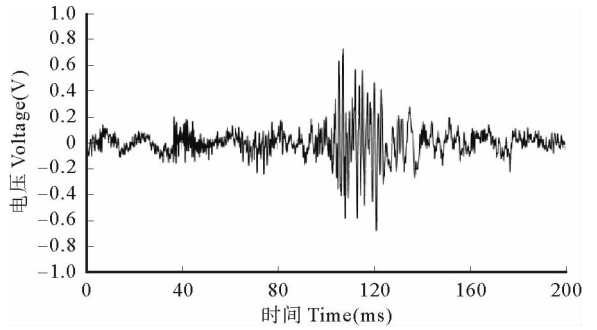


图 2 摄食信号
Fig. 2 Feeding signal

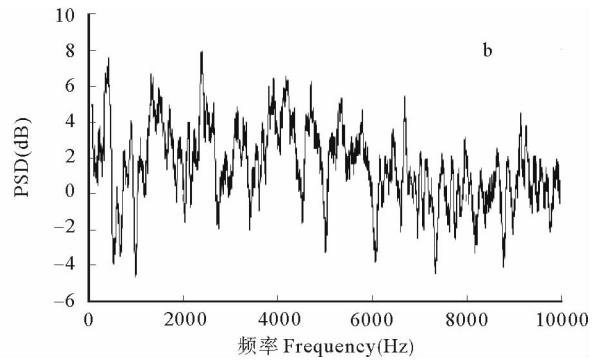
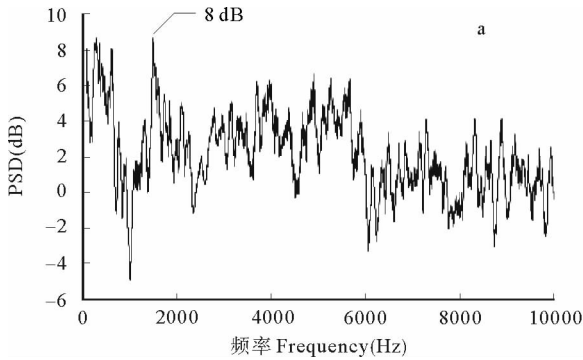


图 3 投饵开始后前(a) 10 s 与背景噪声 PSD(b) 的差值

Fig. 3 At the first 10 s after feed, PSD plot after subtraction of the background noise

2.3 摄食功率

将摄食功率 $P(t)$ 表述为 (李小平 2008) :

$$P(t) = \int_{m_s}^{m_e} [P(m) - P_n(m)]$$

式中, m_s 为起始频率, m_e 为截止频率, $P(m)$ 为当前时刻 PSD, $P_n(m)$ 为背景噪声 PSD。

由于实验室设备为自动控制,为了避免背景噪声变化的影响,测量摄食功率时设置了滤波范围为 1 kHz - 6 kHz。试验共用时 10 min,投饵量 1.8 kg,占鱼总体重的 0.9%。试验期间,每 1 s 计算 1 次摄食功率,如图 4 所示,随着投饵量增加,罗非鱼的食欲下降,游动减缓,摄食功率随之下降。

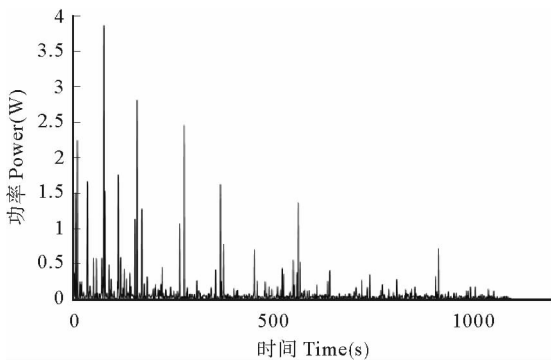


图 4 摄食功率
Fig. 4 Feeding power

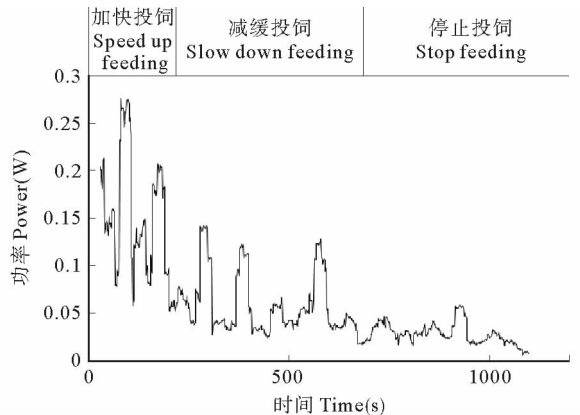


图 5 摄食功率 30 s 移动平均线
Fig. 5 Moving average of feeding power in 30 s

2.4 投饵策略

由于摄食功率的改变并不连续,不能以某一时刻的功率大小作为判断投饵的依据,为了形成可以操作的投饵策略,本研究使用移动平均线跟踪摄食功率的变化趋势。由于移动平均线的稳定性是以滞后性为代价的,在稳定性和实时性折中后选择 30 s 作为移动平均周期。如图 5 所示,当刚开始投饵且移动均值超过某阈值时加快投饵,摄食功率下降后,高速投饵变为低速投饵,下降到设定阈值时停止投饵。为确保自动投饵系统可靠,除了合理选择平均时间(王兆军等 2002),在投饵前应对投饵量区间进行估计。

根据养殖鱼类的生长模型可进行生物量的估计(Baker *et al.* 1991; Doerzbacher *et al.* 1988),根据生物量和投喂模型可进行投饵量估计(Cui *et al.* 1995),而声控投饵的控制区间可根据情况由人工设定,从而达到自动控制投食目的。

3 结论

1) 罗非鱼摄食时发出的声音覆盖了 0 – 6 kHz 的范围,在此范围内能够与背景噪声区分。

2) 随着持续投饵,罗非鱼食欲经过一段时间后逐步下降,摄食活力随之下降,并引起声功率变化,声功率与罗非鱼食欲呈正相关。

3) 投饵过程中声功率的移动平均值可作为投饵控制的依据。

4) 循环水车间中的环境噪声多为周期性噪声,而摄食信号为随机信号,可通过 Boll 等(1979)减谱法减去一段时间内不变的频率分量以去除此类噪声。

参 考 文 献

- 王永玲,蔡春芳,陈立侨. 2011. 水产动物投饲减量实现途径. 水产养殖, (9):13-15
- 王兆军,郝刚,曾渊沧. 2002. 移动平均线的最佳参数组合. 应用数学期, 25(4):723-737
- 王良曦,潘高田,薛孟君. 2003. 非平稳随机过程功率谱密度初探. 工程数学期, 20(4):134-136
- 李小平. 2008. Parseval 定理在物理学中的应用. 塔里木大学学报, 20(2):35-36
- 吴大正. 1985. 信号与线性系统分析. 北京:高等教育出版社, 159-163
- 袁凯,庄保陆,倪琦,吴凡. 2013. 室内工厂化水产养殖自动投饲系统设计与试验. 农业工程学报, 29(3):169-176
- 唐章生,林勇,杨慧赞,张永德,陈忠,黄姻,彭婷,张妍. 2011. 吉富罗非鱼生长模型研究. 广东农业科学, (18):104-107
- Andrew JE, Noble C, Kadri S and 2 others. 2002. The effect of demand feeding on swimming speed and feeding responses in Atlantic salmon *Salmo salar* L., gilthead sea bream *Sparus aurata* L. and European sea bass *Dicentrarchus labrax* L. in sea cages. *Aquacult Res* 33(7):501-507
- Baker TT, Laffertyb R, Quinn TJ. 1991. A general growth model for mark-recapture data. *Fish Res* 11(3-4):257-281
- Bjordal A, Juell JE, Lindem T and 1 other. 1993. Hydroacoustic monitoring and feeding control in cage rearing of Atlantic salmon. *Fish Farming Technology*, Rotterdam: Balkema 203-208
- Boll S. 1979. Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction. *IEEE Transactions on Acoustic Speech and Signal Processing* 27(2):113-120
- Chen WM, Purser J, Blyth P. 2002. A waste pellet monitoring system for detection of feeding rhythms in fish: continuously quantifying actual feed intake without disturbance. *Fish Sci* 68:943-946
- Cui YB, Hung SSO. 1995. A prototype feeding-growth table for whitemouth. *J Appl Aquacult* 5(4):25-34
- Doerzbacher JF, Green AW, Matlock GC. 1988. A temperature compensated von Bertalanffy growth model for tagged red drum and black drum in Texas bays. *Fish Res* 6(2):135-152
- Juell JE, Furevik DM, Bjordal A. 1993. Demand feeding in salmon farming by hydroacoustic food detection. *Aquacult Engin* 12(3):155-167
- Juell JE. 1995. The behaviour of Atlantic salmon in relation to efficient cage-rearing. *Rev Fish Biol Fish* 5(3):320-335
- Lagardere JP, Mallekh R. 2000. Feeding sounds of turbot (*Scophthalmus maximus*) and their potential use in the control of food supply in aquaculture. *Aquaculture* 189(3-4):251-258
- Madrida JA, Azzaydia M, Zamoraa S and 1 other. 1997. Continuous recording of uneaten food pellets and demand-feeding activity: A new approach to studying feeding rhythms in fish. *Physiol Behav* 62(4):689-695
- Moulton JM. 1960. Swimming sounds and the schooling of fishes. *Biol Bull* 119(2):210-223
- Summerfelt ST, Holland KH, Hankins JA and 1 other. 1995. A hydroacoustic waste feed controller for tank systems. *Water Sci Tech* 31(10):123-129