

## 钻井噪声与振动对草鱼摄食和生长转换效率的影响—— Eggers 胃含物法在现场模拟研究中的应用

孙 耀<sup>1</sup>, 赵 俊<sup>1</sup>, 姜尚亮<sup>2</sup>, 宋云利<sup>1</sup>, 张德华<sup>2</sup>, 陈聚法<sup>1</sup>, 袁有宪<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071; 2. 石油部辽河石油管理局环保处, 盘锦 124000)

**摘要:** 研究首次将 Eggers 胃含物法应用于钻井噪声与振动污染对草鱼影响特征的现场模拟实验中。结果主要阐明: (1) 钻井噪声与振动的污染特征, 定量描述了污染源距离与钻井噪声或振动等效声级之间的关系; (2) 草鱼排空率实验中, 消化道内含物随时间的变化趋势为  $S_t = 4.997e^{-0.3202t}$ , 瞬时排空率为  $R_t = 0.3202 \text{ g W} \cdot \text{W}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ ; (3) 钻井噪声与振动污染对草鱼最大摄食量、生长和生长转换效率均有显著影响, 但影响程度却有所差别; (4) 草鱼摄食、生长均随钻井噪声与振动强度增大呈减小趋势, 其中摄食量较为敏感, 但对生长的影响程度却远大于摄食。

**关键词:** 摄食; 生长转换效率; 草鱼; 噪声与振动; 钻井

## Effects of drilling noise and vibration on food consumption and growth conversion efficiency of grass carp—— application of stomach content method *in situ*

SUN Yao<sup>1</sup>; ZHAO Jun<sup>1</sup>; JIANG Shang-Liang<sup>2</sup>; SONG Yun-Li<sup>1</sup>; ZHANG De-Hua<sup>2</sup>; CHEN Ju-Fa<sup>1</sup>; YUAN You-Xian<sup>1</sup> (1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, CAFS, Qingdao 266071, China; 2. Department of Environment Protection of Liaohe Petroleum Administrative Bureau, Ministry of Petroleum, Panjin 124000, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 2153~2158.

**Abstract:** The Eggers stomach content method was applied in a simulating experiment *in situ* to study the effect of drilling noise and vibration pollution on *Ctenopharyngodon idellus*. The relationship of distance with drilling noise and vibration intensity was analyzed. The change of food weight in digestive tract with time could be described as  $S_t = 4.997e^{-0.3202t}$ , and instantaneous gastric evacuation rate calculated by the formula was  $R_t = 0.3202 \text{ gw. w.}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ . Noise and vibration pollution presented significant effects on food consumption, growth and growth conversion efficiency. Both food consumption and growth tend to decrease with the increase of drilling noise and vibration intensity, with the former ption being more sensitive and the effect on the later being higher.

**Key words:** food consumption; growth conversion efficiency; grass carp; noise and vibration; drilling

文章编号: 1000-0933(2001)12-2153-06 中图分类号: S931.3 文献标识码: A

我国渤海及沿岸分布了辽河油田、胜利油田、大港油田、冀东油田和渤海油田五大油田, 这些油田的开采区多位于水产养殖业发达区域; 近年来, 石油勘探与开发中所引发的一系列环境问题, 已经构成对该区域水产养殖业和石油工业共同发展的障碍, 其中, 在石油勘探、钻井作业过程中, 所产生的噪声污染就是非常严重的环境问题之一。曾有人论述了钻井噪声对人类及环境所构成的影响<sup>[1~4]</sup>, 但钻井噪声与振动污染对水生生物影响方面的研究, 迄今尚鲜见报道。

草鱼是我国渤海沿岸的重要淡水养殖鱼类, 对于不同噪声与振动强度条件下草鱼摄食、生长转换效率

基金项目: 石油部辽河石油勘探局重大科技资助项目

收稿日期: 2000-04-04; 修订日期: 2000-12-02

作者简介: 孙耀(1956~), 男, 山东省青岛市人, 研究员。主要从事海洋生态与生态环境方面的研究。

等生态能量学参数的研究,将有助于揭示钻井噪声与振动污染对鱼类的影响特征。

## 1 材料与方法

1999年5至6月,在辽河油田锦州采油厂15号探井钻探现场进行;该探井位于全国最大的苇场内,周围地势平整、空旷,表面地质均匀,无其它噪音与振动污染源。

### 1.1 材料来源与驯养

研究中所采用的草鱼(*Ctenopharyngodon idellus* Val.),系购自实验现场邻近的盘锦市大洼县养鱼场,经浓度为4mg/L鱼虾安(II)溶液药浴处理后,置于对照实验棚内进行预备性驯养;待摄食趋于正常后,再分别将其置于各实验棚内的试验水槽中进行驯养,待其摄食再一次趋于正常后,开始实验。预备性驯养时间为6d,正式驯养时间为2d。实验中,根据需要用浓度为1mg/L鱼虾安(II)对实验水体进行定期处理。

### 1.2 现场实验设置和方法

研究中采用Eggers胃含物现场模拟实验方法<sup>[5]</sup>,现场实验点设置见图1。在距污染源5m、20m、40m、60m、140m、220m、>2000m处各建5×6m<sup>2</sup>帆布实验棚1个;内设埋入地面40cm、经夯实的实验用玻璃钢水槽,配置充气 and 进排水设施;外设内衬聚乙烯薄膜的6m<sup>3</sup>蓄水池1个。实验在1m<sup>3</sup>圆形玻璃钢水槽中进行,在每个实验条件下的同一水体中,放养平均体重为18.5±5.9g的草鱼200尾。实验采用充气水交换实验法,每4d换水1次,每次换水量为实验水体的3/4;实验用水系锦州采油厂生活用水,在蓄水池中经1d以上的曝气处理后使用。实验期间,实验水体中的溶氧量>6mg/L,平均水温为18.2±1.8℃。每天8:00和16:00时两次投饵;并通过在实验水体中始终保持适当的过量饵料,使草鱼的生态能量学参数在最大摄食水平下测得;每次投喂前清除实验水体内的残饵;饵料采用海马牌2号对虾饵料。实验结束后,立即在各实验点取刚投喂草鱼15尾深度冷冻(-20℃)保存,以便进行胃含物和全鱼的生化组成分析。在生化测定中,比能值是采用能量计直接测定,总氮与总碳是采用元素分析仪测定,其它则按《食品卫生理化检验方法》(GB/T5009-1996)进行测定。钻井噪声与振动监测方法则在实验进行时,每间隔6d,对8个实验点的空气噪声和地面振动进行24h监测,监测内容主要包括噪声频谱特征、噪声和振动强度及其随时间变化规律及噪声和振动与污染源距离的关系等。噪声频谱特征、噪声和振动强度分别采用HS-6288型噪声频谱分析仪和AWA-6256型环境振动分析仪进行测定。

**1.2.1 胃含物测定实验** 该实验每间隔8d进行1次,共进行3次;每次24h连续取样,取样间隔时间为4h;取样量5尾;取样后立即用10%福尔马林固定,然后测定其体重、体长和消化道内含物重量;称重时使用单盘压电式电子天平,其称量精确度为±0.0001g。

**1.2.2 排空率实验** 在胃含物测定实验过半时,插入排空率实验。取饱食后实验鱼类120尾,置于洁净的玻璃钢水槽内进行排空率实验。该实验自草鱼移入排空实验水槽起始,每间隔1.0h取样5尾,共取10次。排空率实验的生物驯养和测定均在4号实验棚内进行。

### 1.3 结果计算

日摄食量按Eggers公式 $C_d = 24 \times S \times R_i$ 进行估算<sup>[5]</sup>,式中: $S$ 为24h内平均胃含物重量; $R_i$ 为瞬时排空率,如果以瞬时胃含物量的自然对数值与所对应排空率实验时间进行线性回归,其线性回归方程的斜率就是 $R_i$ 值。 $H$ 生长量( $G_d$ )是将实验期间草鱼的重量变化与所对应的时间进行线性回归,然后由该回归方

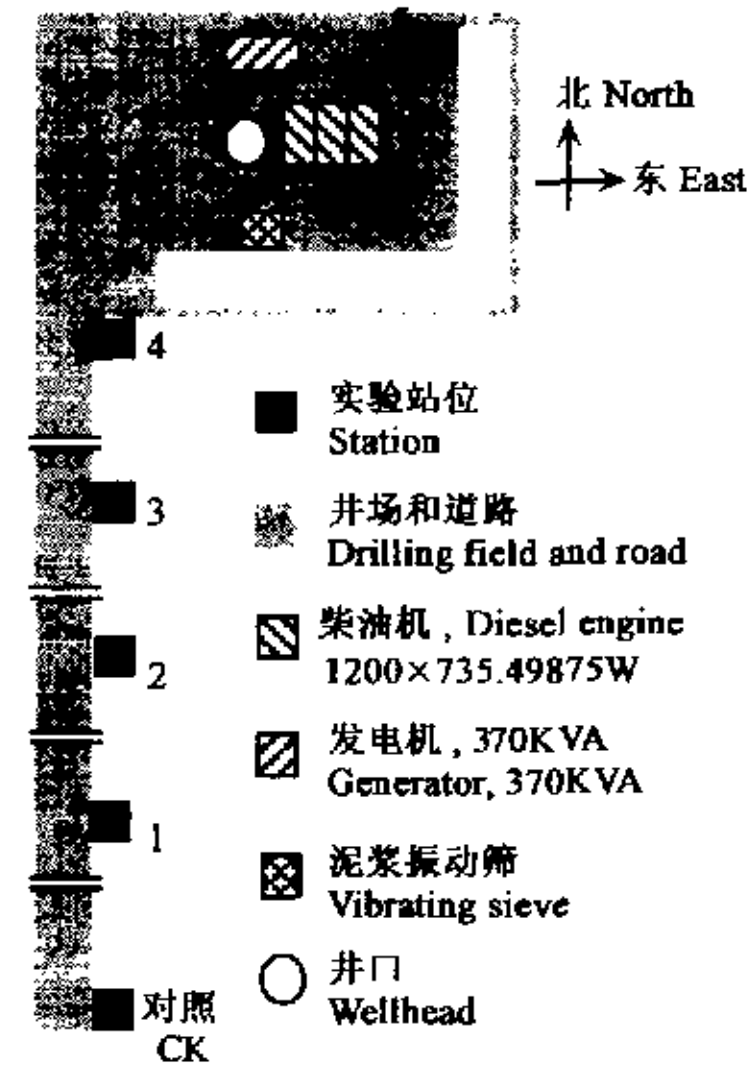


图1 实验现场设置

Fig. 1 Experiment setting in situ

程计算得到。生长转换效率则可以由公式  $E_g = (G_d/C_d) \times 100\%$  求得<sup>[6]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 钻井噪声与振动污染特征

表 1 列出了各实验棚的污染源距离及相应的钻井噪声与振动强度。本实验中,对照组的平均等效噪声与振动级分别为  $57.9 \pm 7.1$  dB 和  $59.9 \pm 4.6$  dB,而最邻近钻井平台的 6 号棚的平均等效噪声与振动级则分别可达  $94.9 \pm 1.7$  dB 和  $101.7 \pm 1.6$  dB。对表中各实验棚的污染源距离( $D$ )与等效噪声级(NLeq)或等效振动级(VLeq)进行曲线拟合,可得到其关系可分别用下式表示:

表 1 各实验棚的钻井噪声与振动强度及其随污染源距离的变化

Table 1 Noise and vibration intensities of different experiment station and their changes with distance

| 站位<br>Station | 污染源距离(m)<br>Distance from station<br>to polluting source | 钻井噪声强度(dB)<br>Noise intensity |       |       | 钻井振动强度(dB)<br>vibration intensity |       |       |
|---------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-----------------------------------|-------|-------|
|               |                                                          | NLeq                          | NLmax | NLmin | VLeq                              | VLmax | VLmin |
| 对照            | >2000                                                    | $57.9 \pm 7.1$                | 64.4  | 48.9  | $59.9 \pm 4.6$                    | 70.3  | 51.4  |
| 1             | 240                                                      | $60.8 \pm 4.6$                | 72.4  | 54.5  | $63.7 \pm 6.2$                    | 75.0  | 55.0  |
| 2             | 160                                                      | $65.1 \pm 4.4$                | 73.6  | 58.7  | $66.2 \pm 4.4$                    | 75.9  | 56.5  |
| 3             | 80                                                       | $68.7 \pm 2.8$                | 74.4  | 64.4  | $68.6 \pm 7.6$                    | 85.7  | 57.7  |
| 4             | 40                                                       | $71.1 \pm 2.1$                | 75.9  | 67.6  | $76.7 \pm 6.1$                    | 88.3  | 64.7  |
| 5             | 20                                                       | $76.6 \pm 2.5$                | 80.2  | 70.1  | $83.6 \pm 2.5$                    | 89.9  | 79.0  |
| 6             | 5                                                        | $94.9 \pm 1.7$                | 97.4  | 91.4  | $101.7 \pm 1.6$                   | 104.2 | 99.0  |

\* NLeq—等效噪声级, NLmax—最大噪声级, NLmin—最小噪声级; VLeq—等效振动级, VLmax—最大振动级, VLmin—最小振动级。

$$1/(NLeq) = (0.0011 \ln(1/D)) + 0.0095$$

$$R^2 = 0.9318 \quad P < 0.01$$

$$1/(VLeq) = (0.0012 \ln(1/D)) + 0.0086$$

$$R^2 = 0.9253 \quad P < 0.01$$

对噪声与振动强度的周日连续监测结果表明,由于各实验点等效噪声级与振动级的日变幅均在 9.7dB 和 9.8dB 以下,平均值的标准偏差均小于 3.2dB 和 4.3dB,故钻井噪声与振动污染均基本可视为连续稳态。

钻井噪声的频谱特征如图 2 所示,在 31.5~16KHz 的频率范围内,各实验点的倍频声压级起初均随频率增大呈增强趋势,在 125Hz 达到峰值后,逐渐衰减;且随污染源距离增大,高频区声压级的衰减速率相对较大,如距污染源 >80m 后,高频区(>4K)的声压级衰减幅度随距离增大而显著增大。本实验实施期间,各实验点钻井噪声的频谱特征无显著变化。

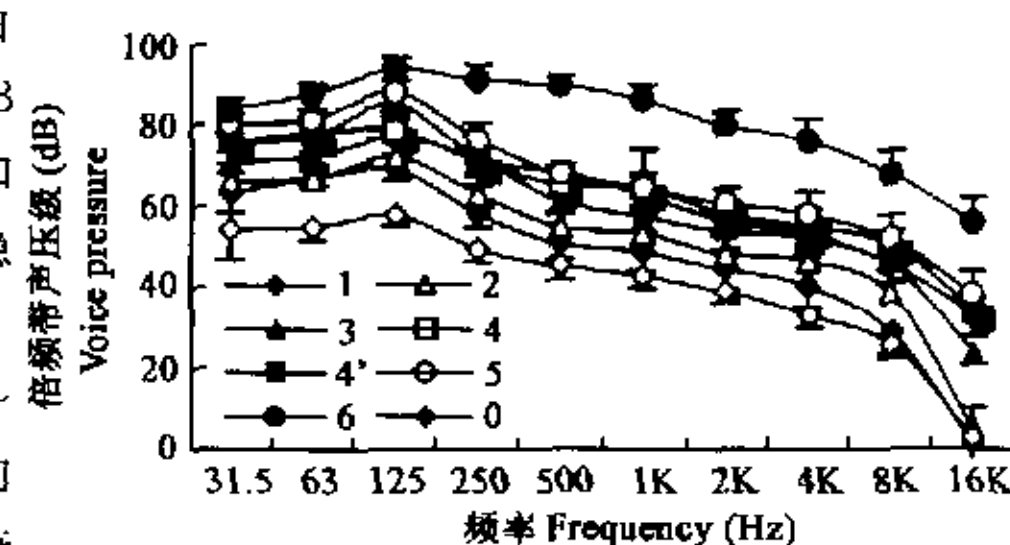


图 2 钻井噪声污染的频谱特征

Fig. 2 Frequency spectrum feature of drilling noise pollution

### 2.2 排空率的测定

排空率的测定结果见表 3。用以湿重为单位的消化道内含物瞬时含量  $S_t$  与所对应的时间  $t$  进行曲线回归分析,可得到两者之间的定量描述公式为:  $S_t = 4.997e^{-0.3202t}$ ,  $R^2 = 0.8329$ 。如果将  $S_t$  取对数,并与所对应的时间进行线性回归分析,可得到线性回归方程  $\ln S_t = -0.3202t - 1.609$ ,其斜率即为草鱼的瞬时排空率  $R_t = 0.3202$  g W.W./ (kg · h)。

### 2.3 钻井噪声与振动对日摄食量的影响

根据本实验中不同时期草鱼消化道内 24h 平均食物含量  $S$  的实测值,及上一节中所估算出的瞬时排空率  $R_t$  值,按 Eggers 公式,可求得不同钻井噪声与振动污染条件下各实验期内草鱼的最大日摄食量  $C_d$  值

表 2 草鱼排空率的测算参数  
Table 2 Determined and calculated parameters  
of evacuation rate

| 时间(h) | 尾数     | $S_t \pm SD$      | $\ln S_t$ |
|-------|--------|-------------------|-----------|
| Time  | number | g W. W/100g       |           |
| 0     | 10     | 4.217 $\pm$ 3.931 | 1.439     |
| 1     | 5      | 2.458 $\pm$ 1.359 | 0.899     |
| 2     | 5      | 2.272 $\pm$ 1.635 | 0.821     |
| 3     | 5      | 2.076 $\pm$ 1.233 | 0.731     |
| 4     | 5      | 1.959 $\pm$ 1.077 | 0.672     |
| 5     | 5      | 1.870 $\pm$ 0.738 | 0.625     |
| 6     | 5      | 0.934 $\pm$ 1.618 | -0.068    |
| 7     | 5      | 0.822 $\pm$ 0.822 | -0.196    |
| 8     | 5      | 0.208 $\pm$ 0.361 | -0.156    |
| 9     | 5      | 0.187 $\pm$ 0.324 | -1.676    |

(见表 4)。方差分析结果表明,在各实验期内或整个实验期内,不同钻井噪声与振动强度对草鱼摄食无显著性影响( $P>0.05$ )。但如果对受污染组和对照组之间的最大摄食量进行  $t$  检验,则可发现,当污染增大到一定程度且持续了一段时间后,钻井噪声与振动对草鱼摄食还是有十分显著影响的,而且该影响随污染程度及污染持续时间显著变化;在实验起始阶段,即使在污染程度最高的 7 号棚,虽然草鱼的最大摄食量有所减小,与对照组比较却无显著性差异;随着实验时间的延续,污染对草鱼的影响程度逐渐增大,在实验进行至 18d 后,距污染源 40m 以内实验棚内的草鱼摄食量,与对照组比较均产生显著差异,且随污染强度增大对草鱼摄食的影响程度也增大;钻井噪声与振动对整个实验期内草鱼摄食的总体影响,与实验后

期的影响特征基本一致。

#### 2.4 草鱼的口生长量、转换效率及其受钻井噪声与振动的影响

对草鱼最大摄食量测定期间,其体重变化与对应的时间进行线性回归分析,可得到定量描述二者之间关系的线性方程,该线性方程的斜率即为草鱼的平均口生长量  $G_a$  值;再参照表 4 中列出的平均日摄食量,可同时求得草鱼的生长转换效率  $Eg$  值。从表 5 可见,钻井噪声与振动对草鱼生长也有显著影响,且影响程度明显大于摄食,在污染影响最大的 6 号棚,草鱼平均最大摄食量相对对照组仅下降至 60.1%,而平均生长量却下降至对照组的 19.4%;但草鱼生长对污染的敏感性小于摄食,当等效噪声与振动级达到 71.1dB 和 76.7dB 时,即对草鱼摄食产生显著影响,而生长影响则需在等效噪声与振动级上升至 76.6 dB 和 83.6dB 时才能被明显看出。

表 3 草鱼胃含物 24h 平均食物含量和日摄食量及其钻井噪声与振动的影响  
Table 3 Effect of noise and vibration pollution on 24h's average contents in stomach and daily feeding amount

| 日期   | 站位  | 噪声与振动强度(dB)       |                   | $S \pm SD$       |                    | $C_a \pm SD$         |            | 方差分析 | $t$ 检验<br>( $P$ 值) |
|------|-----|-------------------|-------------------|------------------|--------------------|----------------------|------------|------|--------------------|
|      |     | NI <sub>Leq</sub> | VI <sub>Leq</sub> | g w. w. /kg      | g w. w. / (kg · d) | kJ / (kg · d)        |            |      |                    |
| 6/4  | 对照组 | 62.6 $\pm$ 8.6    | 58.5 $\pm$ 2.2    | 11.08 $\pm$ 3.02 | 85.13 $\pm$ 23.18  | 929.03 $\pm$ 252.98  |            |      |                    |
|      | 1   | 63.0 $\pm$ 5.6    | 61.3 $\pm$ 2.4    | 10.23 $\pm$ 3.12 | 78.62 $\pm$ 23.98  | 857.93 $\pm$ 261.66  |            |      | 0.3076             |
|      | 2   | 66.6 $\pm$ 5.9    | 68.1 $\pm$ 4.0    | 9.87 $\pm$ 3.31  | 75.65 $\pm$ 25.47  | 825.61 $\pm$ 277.91  | $P=0.0877$ |      | 0.2761             |
|      | 3   | 69.4 $\pm$ 3.2    | 68.2 $\pm$ 7.6    | 9.14 $\pm$ 2.05  | 70.26 $\pm$ 15.78  | 766.69 $\pm$ 172.19  | $df=42$    |      | 0.1332             |
|      | 4   | 71.4 $\pm$ 2.1    | 78.2 $\pm$ 7.4    | 10.27 $\pm$ 2.59 | 77.26 $\pm$ 19.93  | 843.16 $\pm$ 217.75  |            |      | 0.2890             |
|      | 5   | 78.0 $\pm$ 1.4    | 82.3 $\pm$ 1.8    | 10.05 $\pm$ 2.59 | 78.93 $\pm$ 19.88  | 861.41 $\pm$ 216.91  |            |      | 0.3126             |
|      | 6   | 93.8 $\pm$ 1.9    | 100.9 $\pm$ 1.4   | 8.39 $\pm$ 3.03  | 64.51 $\pm$ 23.23  | 703.99 $\pm$ 253.53  |            |      | 0.0952             |
| 6/11 | 对照组 | 53.2 $\pm$ 2.2    | 60.0 $\pm$ 5.3    | 13.41 $\pm$ 3.50 | 103.06 $\pm$ 26.93 | 1124.65 $\pm$ 293.84 |            |      |                    |
|      | 1   | 62.1 $\pm$ 1.7    | 66.6 $\pm$ 4.0    | 12.89 $\pm$ 3.87 | 99.06 $\pm$ 29.74  | 1081.01 $\pm$ 324.55 |            |      | 0.2854             |
|      | 2   | 66.4 $\pm$ 0.9    | 68.0 $\pm$ 6.5    | 11.91 $\pm$ 1.99 | 88.91 $\pm$ 13.47  | 970.24 $\pm$ 147.01  | $P=0.1945$ |      | 0.1633             |
|      | 3   | 70.4 $\pm$ 0.6    | 73.9 $\pm$ 6.5    | 10.92 $\pm$ 2.66 | 83.91 $\pm$ 20.42  | 915.72 $\pm$ 222.81  | $df=42$    |      | 0.1180             |
|      | 4   | 72.7 $\pm$ 0.9    | 77.7 $\pm$ 2.6    | 11.39 $\pm$ 4.70 | 82.28 $\pm$ 52.63  | 897.86 $\pm$ 574.33  |            |      | 0.2281             |
|      | 5   | 77.5 $\pm$ 1.9    | 84.1 $\pm$ 2.6    | 10.71 $\pm$ 6.85 | 87.55 $\pm$ 36.14  | 955.39 $\pm$ 394.37  |            |      | 0.2304             |
|      | 6   | 95.7 $\pm$ 0.9    | 101.6 $\pm$ 1.1   | 7.39 $\pm$ 1.64  | 56.80 $\pm$ 12.61  | 619.81 $\pm$ 137.61  |            |      | 0.0050             |

续表

| 日期<br>Month/d | 站 位<br>Station | 噪声与振动强度(dB) |             | S ± SD       |                    | Ca ± SD         |           | 方差<br>分析 | t 检验*<br>(P 值)          |
|---------------|----------------|-------------|-------------|--------------|--------------------|-----------------|-----------|----------|-------------------------|
|               |                | NLeq        | VLeq        | g w. w. /kg  | g w. w. / (kg · d) | kJ/(kg · d)     |           |          |                         |
|               | 对照组            | 57.3 ± 2.8  | 61.3 ± 4.6  | 9.07 ± 1.66  | 69.69 ± 12.74      | 760.54 ± 139.00 |           |          |                         |
|               | 1              | 57.7 ± 4.1  | 61.6 ± 5.9  | 8.97 ± 1.98  | 68.93 ± 15.22      | 752.26 ± 166.05 |           |          | 0.1862                  |
|               | 2              | 62.3 ± 2.6  | 63.6 ± 3.4  | 9.00 ± 1.77  | 69.20 ± 13.63      | 755.13 ± 148.79 | P=0.0621  |          | 0.1091                  |
| 6/18          | 3              | 66.3 ± 1.6  | 63.8 ± 4.9  | 7.08 ± 1.95  | 54.44 ± 14.94      | 594.06 ± 163.09 | d f = 42  |          | 0.0903                  |
|               | 4              | 69.1 ± 0.9  | 73.8 ± 6.0  | 4.52 ± 1.20  | 41.26 ± 10.43      | 450.31 ± 113.79 |           |          | 2.58 ± 10 <sup>-4</sup> |
|               | 5              | 74.3 ± 2.1  | 84.7 ± 2.8  | 5.37 ± 1.36  | 34.70 ± 9.22       | 378.69 ± 100.63 |           |          | 1.35 ± 10 <sup>-4</sup> |
|               | 6              | 95.2 ± 1.6  | 102.7 ± 1.6 | 4.52 ± 1.80  | 34.71 ± 13.82      | 378.74 ± 150.86 |           |          | 6.12 ± 10 <sup>-5</sup> |
|               | 对照组            | 57.9 ± 7.1  | 59.9 ± 4.6  | 11.07 ± 3.31 | 85.10 ± 25.45      | 928.73 ± 277.74 |           |          |                         |
|               | 1              | 60.8 ± 4.6  | 63.7 ± 6.2  | 10.70 ± 3.26 | 82.21 ± 25.07      | 897.09 ± 273.56 |           |          | 0.1726                  |
|               | 2              | 65.1 ± 4.4  | 66.2 ± 4.4  | 10.08 ± 2.60 | 77.46 ± 19.95      | 845.32 ± 217.76 | P=0.1399  |          | 0.1615                  |
| 平均值           | 3              | 68.7 ± 2.8  | 68.6 ± 7.6  | 8.95 ± 2.73  | 68.74 ± 21.01      | 750.15 ± 229.26 | d f = 126 |          | 0.0588                  |
|               | 4              | 71.1 ± 2.1  | 76.7 ± 6.1  | 8.53 ± 4.85  | 65.58 ± 37.27      | 715.70 ± 406.73 |           |          | 0.0336                  |
|               | 5              | 76.6 ± 2.5  | 83.6 ± 2.5  | 8.50 ± 4.37  | 65.36 ± 33.59      | 713.24 ± 366.59 |           |          | 0.0379                  |
|               | 6              | 94.9 ± 1.7  | 101.7 ± 1.6 | 6.65 ± 2.78  | 51.09 ± 21.38      | 557.58 ± 233.32 |           |          | 2.61 ± 10 <sup>-5</sup> |

\* t 检验系对同一时间内各受污染组与对照组之间最大摄食量差异的显著性检验。

表 4 钻井噪声与振动对草鱼日生长量和生态转换效率的影响

Table 4 Effect of noise and vibration pollution on daily growth amount and ecological conversion efficiency

| 站 位<br>Station | 噪声与振动强度(dB) |             | Gd                 |             | Eg        |        |
|----------------|-------------|-------------|--------------------|-------------|-----------|--------|
|                | NLeq        | VLeq        | g w. w. / (kg · d) | kJ/(kg · d) | (%) w. w. | (%) kJ |
| 对照组            | 57.9 ± 7.1  | 59.9 ± 4.6  | 11.38              | 52.71       | 13.37     | 12.89  |
| 1              | 60.8 ± 4.6  | 63.7 ± 6.2  | 10.65              | 49.55       | 12.95     | 12.54  |
| 2              | 65.1 ± 4.4  | 66.2 ± 4.4  | 9.94               | 46.01       | 12.83     | 12.36  |
| 3              | 68.7 ± 2.8  | 68.6 ± 7.6  | 10.84              | 50.22       | 15.78     | 15.20  |
| 4              | 71.1 ± 2.1  | 76.7 ± 6.1  | 11.76              | 54.45       | 17.93     | 17.28  |
| 5              | 76.6 ± 2.5  | 83.6 ± 2.5  | 7.48               | 34.64       | 11.45     | 11.03  |
| 6              | 94.9 ± 1.7  | 101.7 ± 1.6 | 2.21               | 10.25       | 4.33      | 4.18   |

### 3 讨论与结语

3.1 由于钻井噪声与振动污染经常是由柴油机、发电机和泥浆泵等动力设备同时或交替造成,在室内同时模拟钻井现场的噪声与振动特征十分困难,因此,为了使研究结果更接近于该污染对草鱼等水产养殖动物的实际影响,本研究选择了现场模拟实验方法。在选择实验现场中注意了下述几个问题:(1)周围无其它污染源,尤其是噪声与振动污染源;(2)为了使钻井噪声与振动能够均匀传递,实验现场周围应平整、空旷,表面地质状况相同,并在水产养殖区有代表性;(3)随着我国石油钻井技术的提高,环渤海油区完成一口普通生产油井一般仅需 5~15d 完成;为了保证钻井周期能满足实验时间上的最低要求,前者选择了钻井周期 > 25d 的深探井,二者实验准备工作随井场建设同步进行和完成。

3.2 由于研究中采用了在钻井现场实验模拟方法,噪声和振动总是共同存在,故草鱼的生物学效应是在噪声和振动叠加作用下产生的。在研究条件下,污染源距离与相应的等效噪声级或振动级之间的关系,可分别用式  $1/(NLeq) = (0.0011 \ln(1/D)) + 0.0095$  或  $1/(VLeq) = (0.0012 \ln(1/D)) + 0.0086$  予以定量描述。但需说明,噪声在空气中的传递和振动在地面的传递,都会在很大程度上分别受到风向和地质条件影响而发生变化,因此,即使研究中强调了实验地点和污染特征选择上应具有代表性,本文中提出的污染源距离与等效噪声级或等效振动级之间的定量关系,在被引用时仍需依据实测数据进行修正。

3.3 本研究结果表明,钻井噪声与振动污染对草鱼最大摄食量、日摄食周率、生长和生长转换效率均有显著影响,但其影响程度和趋势却不尽相同。草鱼摄食、生长均随钻井噪声与振动强度增大呈减小趋势;其中摄食量和日摄食周率较为敏感,当等效噪声与振动级增大到 71.1dB 和 76.7dB 时,就开始受到显著影响,在本实验中,该实验点与污染源的距离约 40m;而生长则在等效噪声与振动级增大到 76.6 dB 和 83.6dB 时,即与污染源的相距约 20m 时,才受到显著影响;但是,生长的受影响程度却远大于摄食,如在本实验最大噪声与振动强度( $Y_{Leq} = 94.9$ ,  $V_{Leq} = 101.7$ )条件下,草鱼平均最大摄食量与对照组比较仅下降了 60.1%,而平均生长量却下降至对照组的 19.4%。该结果与钻井噪声与振动对鲤鱼的影响特征是完全一致的。

#### 参考文献

- [1] 干季卿. 噪声对人体各器官和系统的影响及防护. 噪声与振动防护, 1991, 5~6: 121~123.
- [2] 叶青,任晓燕,刘贵,等. 钻井井场噪声对钻工健康影响的调查. 职业与健康, 1997, 13(3): 1~4.
- [3] 刘耀儒,肖建中. 我国油田噪声现况分析及对策. 劳动保护科学技术, 1991, 2: 34.
- [4] 潘琦,刘贞周. 钻井噪声对环境影响的初步探索. 石油与天然气化工, 1990, 19(1): 53~57.
- [5] Eggers D M. Factors in interpretation data obtained by diel sampling of fish stomachs. *J. Fish. Res. Board Can.* 1977, 34: 290~294.
- [6] 崔奕波. 鱼类生物能量学的理论与方法. 水生生物学报, 1989, 13(4): 369~383.