

石油钻井噪声与振动对鲤鱼 (*Cyprinus carpio*) 能量收支的影响

孙 耀, 陈民山, 陈聚法, 赵 俊, 宋云利

(农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室, 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

摘要:应用现场模拟实验方法测定了石油钻井噪声与振动对鲤鱼能量收支的影响。结果表明,该污染对鲤鱼摄食、生长、代谢和排泄等各能量收支组分均有显著影响,但其影响程度和趋势却不尽相同。鲤鱼摄食、生长和生长转换效率均随噪声与振动强度增大呈减小趋势;其中摄食较为敏感,但生长的受影响程度却显著大于摄食。与摄食和生长的变化趋势不同,在受到显著影响范围内,排泄能和代谢能随噪声与振动强度增大呈 U 型变化趋势;其敏感程度与摄食相同,受影响程度也显著低于生长。钻井噪声与振动对鲤鱼影响可分两个阶段;第一阶段为,鲤鱼能量摄入量降低导致各能量支出水平不同程度的下降;第二阶段为,噪声与振动进一步增强,除使摄食量继续减小外,同时造成体内代谢量和排泄量的增大,这两种影响的协同作用使鲤鱼生长大幅度降低。通过所建立的不同钻井噪声与振动强度下鲤鱼的能量收支模型,可以看出,鲤鱼生长大幅度降低总是与代谢量和排泄量增大相对应。

关键词:能量收支; 鲤鱼; 噪声与振动; 石油钻井

文章编号:1000-0933(2008)08-3527-08 中图分类号:S931.3 文献标识码:A

Effects of oil drilling noise and vibration on energy budget of carp, *Cyprinus carpio*

SUN Yao, CHEN Min-Shan, CHEN Ju-Fa, ZHAO Jun, SONG Yun-Li

Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resources, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3527 ~ 3534.

Abstract: The effect of noise and vibration from oil drilling on energy budget of *C. carpio* was determined with on-the-spot simulating experiment method. The results showed that noise and vibration pollution had significant influence on food consumption energy, growth energy, metabolism energy and excretion energy, but there are differences in affecting degree and tendency. The food consumption, growth and ecological conversion efficiency all decreased with the increase of noise and vibration intensity, in which food consumption was more sensitive, but the effect degree on growth was larger than food consumption. Within the extent remarkably affected by pollution, the variation curve of metabolic energy and excretion energy took a shape of U with the increase of noise and vibration intensity. Their sensitivity was the same as that of food consumption and the affecting degree was significantly lower than that of growth. The influence of noise and vibration from oil drilling on *C. carpio* can be divided into two stages, the first is that the reduction of energy supplement resulted in the

基金项目:国家自然科学基金资助项目(49976027);辽河石油勘探局重大科技资助项目

收稿日期:2007-04-25; 修订日期:2008-03-21

作者简介:孙耀(1956~),男,山东省青岛市人,研究员,从事海洋生态与环境科学研究. E-mail: sunyao@ysfri.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 49976027) and Key Science and Technology Research Project of Liaohe oil exploration bureau of China

Received date: 2007-04-25; **Accepted date:** 2008-03-21

Biography: SUN Yao, Professor, mainly engaged in marine ecology and environment science. E-mail: sunyao@ysfri.ac.cn

decrease of energy consumption, the second is that with the further strengthening of noise and vibration, the feeding continually decreased, but metabolism energy and excretion energy increased, co-action of them caused reducing of growth rate. From the energy budget model of *C. carpio* under the different noise and vibration intensity, it can be further seen that the reduction of growth rate always corresponds with the increase of metabolism and excretion amount.

Key Words: energy budget; carp; noise and vibration; oil drilling

我国浅海及其沿岸石油工业发展迅速,仅渤海及沿岸就有辽河油田、胜利油田、大港油田、冀东油田和渤海油田五大油田。这些油田的共同特点是开发开采区都位于我国水产业发达区域。近年来,石油勘探与开发过程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。钻井作业产生的噪声与振动污染对人类健康的影响,早已为人们所认识^[1~4];但其是否对水产养殖生物造成影响,及其影响程度、范围及机制如何,则是近年来我国沿海区域在寻求石油工业和水产养殖业双重发展中,不得不面临的新问题。我们的一些前期工作,已经揭示钻井噪声与振动污染能够在一定范围内对鱼类造成显著影响^[5~7],且淡水鱼类能量收支研究也已经有许多报道^[8~10],从而为本研究奠定了基础。

鲤鱼(*Cyprinus carpio*)是渤海沿岸淡水养殖的重要鱼种,本研究旨在通过钻井噪声与振动对鲤鱼能量收支的现场模拟实验,探讨该污染对鲤鱼的影响范围、程度和机制,一者能填补国内外该领域研究的空白,再者期望能为石油生产过程中噪声与振动的环境污染控制标准提供科学依据,从而促进我国石油工业和水产养殖业的共同发展。

1 材料与方法

在辽河油田锦州采油厂15号探井的钻探现场进行;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

研究中所采用的鲤鱼,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,置于对照实验棚内的1m³玻璃钢水槽中进行预备性驯养;待摄食和生长趋于正常后,再分别将其置于各实验棚内的试验水槽中,在实验条件下驯养,待其摄食和生长再一次趋于正常后,开始鲤鱼能量收支的现场模拟实验。一般预备性驯养时间约为5d,正式驯养时间为3d。

1.2 现场实验设置和方法

研究中采用现场模拟实验方法,现场实验点设置见图1。在距污染源5、20、40、60、140、220、>2000m处各建5×6m²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,配置充气和进排水设施;外设内衬聚乙烯薄膜的6m³蓄水池1个。实验在0.2m³圆形玻璃钢水槽中进行,每个实验条件下设5个平行组,每组中放养鲤鱼2尾,实验用鲤鱼的平均体重为(87.3±21.1)g。采用充气水交换实验法,每3d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

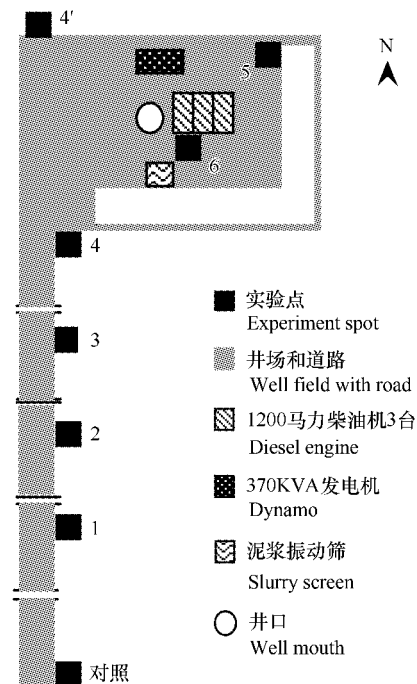


图1 实验现场设置

Fig. 1 Experiment setup in situ

油厂生活用水,在蓄水池中经 1d 以上曝气处理后使用。实验期间,实验水体中的溶氧量 $>6 \text{ mg/L}$,平均水温为 $(18.2 \pm 1.8)^\circ\text{C}$ 。实验时间为 15d,实验期间对照组鲤鱼的生长量为其体重的 11.9%。实验开始和结束时,分别将鱼饥饿 1d 后称重。实验中每天 8:00 和 16:00 投饵 2 次;实验数据均在最大摄食水平下测得,每次投喂后 2h 分别收集残饵和粪便。饵料种类采用市售海马牌饵料;在本实验条件下,该饵料的 2h 浸泡流失率为 16.4%。实验结束后,采集各实验组的鲤鱼,连同实验中收集和人工分离后的残饵和粪便,进行生化分析;在生化组成测定中,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。

1.3 钻井噪声与振动监测方法

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等。噪声频谱特征、噪声和振动强度分别采用噪声频谱分析仪(HS-6288 型)和环境振动分析仪(AWA-6256 型)进行测定。

1.4 结果计算

能量收支模型采用 Warren 和 Davis^[11]提出的能量在鱼体内转换的基本模型: $C = F + U + R + G$,式中, C 为食物能; F 为排粪能; U 为排泄能; R 为代谢能; G 为生长能。

鲤鱼的生长转换效率(E_g)和特定生长率(SGR)分别按下式计算: $E_g = (G_d/C_d) \times 100\%$ 和 $SGR = \frac{\ln W_t - \ln W_0}{t} \times 100\%$,式中, G_d 为实验期间鲤鱼的日平均生长量, C_d 为实验期间鲤鱼的日平均摄食量,该值经实测饵料流失率校正后得到; W_t 为鲤鱼实验后重量或总能量, W_0 为鲤鱼实验前重量或总能量, t 为实验时间。

排泄能依据氮收支平衡式计算^[12]: $U = (C_N - F_N - G_N) \times 24.8$,式中, C_N 为食物中获取氮; F_N 为粪便中损失氮; G_N 为鱼体中积累氮;24.8 为每克氮氮的能值(kJ)。

总代谢能根据能量收支式 $R = C - F - U - G$ 计算。

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 $(57.9 \pm 7.1) \text{ dB}$ 和 $(59.9 \pm 4.6) \text{ dB}$,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 $(94.9 \pm 1.7) \text{ dB}$ 和 $(101.7 \pm 1.6) \text{ dB}$ 。对表中各实验棚的污染源距离(D)与相应的等效噪声级($YLeq$)或振动等效声级($VLeq$)进行曲线拟合,可得到两者之间的相关关系分别为:

$$1/(YLeq) = -0.0011 \ln(1/D) + 0.0095 \quad R^2 = 0.9318 \quad P < 0.01$$

$$1/(VLeq) = -0.0012 \ln(1/D) + 0.0086 \quad R^2 = 0.9253 \quad P < 0.01$$

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 Drilling noise and vibration intensities of different experiment spot and their changes with distance

棚号 Shed No.	污染源距离 Distance from pollution source (m)	钻井噪声强度 (dB) Noise intensity (dB)			钻井振动强度 (dB) Vibration intensity (dB)		
		$YLeq$	$YLmax$	$YLmin$	$VLeq$	$VLmax$	$VLmin$
对照 Control	>2000	57.9 ± 7.1	64.4	48.9	59.9 ± 4.6	70.3	51.4
1	240	60.8 ± 4.6	72.4	54.5	63.7 ± 6.2	75.0	55.0
2	160	65.1 ± 4.4	73.6	58.7	66.2 ± 4.4	75.9	56.5
3	80	68.7 ± 2.8	74.4	64.4	68.6 ± 7.6	85.7	57.7
4	40	71.1 ± 2.1	75.9	67.6	76.7 ± 6.1	88.3	64.7
4'	40	74.4 ± 2.6	79.1	69.6	76.0 ± 2.7	81.2	68.6
5	20	76.6 ± 2.5	80.2	70.1	83.6 ± 2.5	89.9	79.0
6	5	94.9 ± 1.7	97.4	91.4	101.7 ± 1.6	104.2	99.0

对噪声与振动强度的周日连续监测结果表明,由于各实验点等效声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 ~ 16K Hz 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加而显著增大。实验期间,各实验点钻井噪声的频谱特征无显著变化。

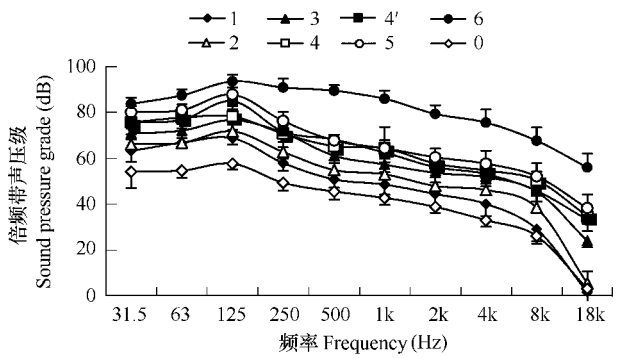


图 2 钻井噪声污染的频谱特征

Fig. 2 Frequency spectrum feature of drilling noise pollution

2.2 配合饵料的生化组成

配合饵料的生化组成测定结果见表 2。

2.3 钻井噪声与振动对鲤鱼最大摄食率、特定生长率和生长转换效率的影响

随钻井噪声与振动强度的增大,鲤鱼最大摄食率、特定生长率和生长转换效率均呈下降趋势(表 3)。对不同噪声与振动强度实验组数据方差分析的结果表明,钻井噪声与振动对鲤鱼最大摄食率、特定生长率和生长转换效率均有非常显著的影响($P < 0.01$);对不同噪声和振动强度实验组与对照组数据进行 t 检验,可进一步发现,当等效噪声与振动级达到 76.6dB 和 83.6dB 时,对鲤鱼的特定生长率和生长转换效率将产生显著影响,而当等效噪声与振动级达到 94.9dB 和 101.7dB 时,其特定生长率和生长转换效率下降至对照组的 22.7% 和 31.9%;鲤鱼的最大摄食量对噪声与振动影响相对更为敏感,在等效噪声与振动级达到 71.1dB 和 76.7dB 或 74.4 dB 和 76.0dB 时,即与对照组的最大摄食量产生显著差异,但其下降幅度较特定生长率和生长转换效率小许多,当等效噪声与振动级同样达到 94.9dB 和 101.7dB 时,其量值仅下降至对照组的 72.0%。

表 2 鲤鱼、鲤鱼粪便及实验用配合饵料的生化组成测定结果

Table 2 Chemical composition of *C. carpio* and its feces and the mixfood

样品种类 Sampling species	水分 Water content (%)	总氮 TON (% D. W.)	总碳 TOC (% D. W.)	蛋白质 Proteins (% D. W.)	脂肪 Fats (% D. W.)	灰分 Ash content (% D. W.)	比能值 Enegy contents (kJ/g D. W.)
鲤鱼 * Test carp	74.88	9.68	43.00	60.50	14.14	14.49	22.11
鲤鱼粪便 Carp faeces	—	5.65	36.95	35.31	3.36	30.47	15.64
配合饵料 Mix food	16.47	7.54	41.76	47.13	7.51	12.48	20.36

* 全鱼分析; D. W. 为干重 Whole fish analysis, D. W. is the dry weight

表 3 不同噪声与振动强度下鲤鱼的最大摄食率、特定生长率和生长转换效率

Table 3 C_{Max} , SGR and E_g of *C. carpio* under the different yawp and vibration intensity

棚号 Exp. groups	平行组数 Groups (Fish No.)	钻井噪声与振动强度 Noise and vibration intensity		SGR (% D. W.)	C_{Max}		E_g	
		YLeq	VLeq		(gD. W./kg d)	(kJ/ kg d)	(% D. W.)	(% kJ)
对照 Control	5(10)	57.9 ± 7.1	59.9 ± 4.6	0.75 ± 0.09	23.3 ± 1.5	474.3 ± 31.5	16.8 ± 2.3	18.2 ± 2.4
1	5(10)	60.8 ± 4.6	63.7 ± 6.2	0.73 ± 0.14	23.7 ± 2.4	482.1 ± 48.8	16.5 ± 1.6	18.0 ± 1.8
2	5(10)	65.1 ± 4.4	66.2 ± 4.4	0.60 ± 0.12	19.9 ± 1.8	402.6 ± 35.7	15.8 ± 4.2	17.2 ± 4.4
3	5(10)	68.7 ± 2.8	68.6 ± 7.6	0.65 ± 0.02	19.5 ± 1.2	396.5 ± 23.6	17.4 ± 0.7	19.0 ± 0.8
4	5(10)	71.1 ± 2.1	76.7 ± 6.1	0.54 ± 0.27	18.8 ± 0.3	381.3 ± 5.1	14.7 ± 8.0	16.0 ± 8.6
4'	5(10)	74.4 ± 2.6	76.0 ± 2.7	0.57 ± 0.20	16.9 ± 2.1	342.9 ± 42.1	16.9 ± 4.1	18.4 ± 4.4
5	5(10)	76.6 ± 2.5	83.6 ± 2.5	0.35 ± 0.29	17.3 ± 1.6	350.1 ± 32.2	12.5 ± 9.4	13.6 ± 10.2
6	5(10)	94.9 ± 1.7	101.7 ± 1.6	0.17 ± 0.10	16.8 ± 2.1	340.4 ± 42.7	5.2 ± 3.7	5.8 ± 4.2

2.4 鲤鱼的氮收支、排泄能及其受钻井噪声与振动的影响

通过对从食物中摄取氮、鱼体中积累氮和粪便中损失氮的定量检测,按崔奕波等^[9]提出的氮收支平衡关系,估算了不同钻井噪声与振动强度下鲤鱼排泄氮(U_N)和排泄能(表4)。与摄食氮、生长氮和排粪氮随噪声与振动强度增大呈下降趋势有所不同,排泄氮起初也随噪声与振动强度增大而减小,但在等效噪声与振动级达到 74.4 dB 和 76.0dB 后,随噪声与振动强度继续增大时排泄氮开始呈增大趋势,其原因主要系摄食氮随噪声与振动强度增大而减小幅度远小于摄食氮和排粪氮所致。对照组中鲤鱼从食物所摄取的氮约有 21.7% 用于生长,随钻井噪声与振动强度增大,用于生长的氮逐渐减少,当等效噪声与振动级达到 94.9dB 和 101.7dB 时,摄食氮中用于生长氮的比例也降至 6.8%,也就是说受钻井噪声与振动污染影响,鲤鱼生长中的蛋白质积累迅速减小。

表 4 不同噪声与振动强度下鲤鱼的氮收支量及排泄能(U)估算结果

Table 4 Nitrogen budget and excretion energies(U) of *C. carpio* under the different yawp and vibration intensity

棚号 Exp. groups	噪声与振动强度		C_N (g/kg d)	G_N (g/kg d)	F_N (g/kg d)	U_N (g/kg d)	U (kJ/kg d)
	Noise and vibration intensity						
	$YLeq$	$VLeq$					
对照 Control	57.9 ± 7.1	59.9 ± 4.6	1.757 ± 0.117	0.382 ± 0.048	0.039 ± 0.005	1.336 ± 0.077	33.1 ± 1.9
1	60.8 ± 4.6	63.7 ± 6.2	1.786 ± 0.181	0.378 ± 0.074	0.040 ± 0.009	1.368 ± 0.134	33.9 ± 3.3
2	65.1 ± 4.4	66.2 ± 4.4	1.491 ± 0.132	0.302 ± 0.060	0.032 ± 0.009	1.157 ± 0.134	28.7 ± 3.3
3	68.7 ± 2.8	68.6 ± 7.6	1.468 ± 0.087	0.308 ± 0.008	0.036 ± 0.005	1.128 ± 0.072	28.0 ± 1.8
4	71.1 ± 2.1	76.7 ± 6.1	1.412 ± 0.019	0.266 ± 0.140	0.022 ± 0.005	1.124 ± 0.081	27.9 ± 2.0
4'	74.4 ± 2.6	76.0 ± 2.7	1.270 ± 0.156	0.276 ± 0.102	0.019 ± 0.002	0.975 ± 0.024	24.2 ± 2.4
5	76.6 ± 2.5	83.6 ± 2.5	1.297 ± 0.119	0.208 ± 0.152	0.021 ± 0.005	1.068 ± 0.110	26.5 ± 2.7
6	94.9 ± 1.7	101.7 ± 1.6	1.260 ± 0.158	0.086 ± 0.068	0.013 ± 0.007	1.161 ± 0.134	28.8 ± 3.3

2.5 鲤鱼的能量收支各组分及其受钻井噪声与振动的影响

在摄食能、生长能、排粪能和排泄能已知前提下,按 Warren 和 Davis^[8]的鱼体内能量转换基本模型可求得总代谢能;鲤鱼的能量收支各组分及其受钻井噪声与振动的影响列于表5。从中可见,鲤鱼摄食能随钻井噪声与振动强度增大呈相对平缓的下降趋势;受其影响,起初生长能、排粪能、排泄能和总代谢能呈相同变化趋势,但当等效噪声与振动级增大至 76.6 dB 和 83.6dB 时,总代谢量却突然开始增大;这种摄食能持续降低与总代谢量增大的叠加作用,就必然导致,当等效噪声与振动级增大至 76.6 dB 和 83.6dB 后,鲤鱼生长能降低幅度的增大。

表 5 不同噪声与振动强度下鲤鱼的总代谢能(R)估算结果

Table 5 Calculated results on metabolic energies(R) of *C. carpio* under the different yawp and vibration intensity

棚号 Exp. groups	噪声与振动强度 Noise and vibration intensity		C (kJ/kg d)	G (kJ/kg d)	F (kJ/kg d)	U (kJ/kg d)	R (kJ/kg d)
	$YLeq$	$VLeq$					
对照 Control	57.9 ± 7.1	59.9 ± 4.6	474.3 ± 31.5	87.0 ± 10.8	10.9 ± 1.3	33.1 ± 1.9	343.3 ± 26.9
1	60.8 ± 4.6	63.7 ± 6.2	482.2 ± 48.8	86.4 ± 17.0	11.0 ± 2.6	33.9 ± 3.3	350.9 ± 35.1
2	65.1 ± 4.4	66.2 ± 4.4	402.6 ± 35.7	69.2 ± 13.6	8.8 ± 2.4	28.7 ± 3.3	295.9 ± 32.8
3	68.7 ± 2.8	68.6 ± 7.6	396.5 ± 23.6	75.0 ± 2.0	9.9 ± 1.5	28.0 ± 1.8	283.6 ± 18.2
4	71.1 ± 2.1	76.7 ± 6.1	381.3 ± 5.1	61.0 ± 32.2	6.0 ± 1.5	27.9 ± 2.0	286.4 ± 17.9
4'	74.4 ± 2.6	76.0 ± 2.7	342.9 ± 42.2	63.2 ± 23.2	5.1 ± 0.6	24.2 ± 2.4	250.4 ± 25.6
5	76.6 ± 2.5	83.6 ± 2.5	350.1 ± 32.2	47.6 ± 34.6	5.9 ± 1.4	26.5 ± 2.7	270.1 ± 27.0
6	94.9 ± 1.7	101.7 ± 1.6	340.4 ± 42.7	19.6 ± 15.6	3.9 ± 1.9	28.8 ± 3.3	288.1 ± 33.4

2.6 钻井噪声与振动对鲤鱼能量分配模式的影响

依据摄食能、生长能、排粪能、排泄能和总代谢能的定量测定或估算结果,可得到钻井噪声与振动对鲤鱼

能量收支模式的影响(表6)。在等效噪声与振动级低于68.7dB和68.6dB时,鲤鱼的能量收支模式基本保持相同;而当等效噪声与振动级大于76.6dB和83.6dB后,其能量收支模式与对照组比较发生了显著差异,通过实验观察可发现,此时鲤鱼较明显处于对环境变化敏感和游动量增大等受惊吓状态,由此导致体内代谢量增大;在摄食量受噪声与振动影响持续降低情况下,代谢量的增大必然会使总代谢能分配率的显著增大,从而造成生长能分配率的显著减小。

表6 不同噪声与振动强度下鲤鱼能量收支模式的影响
Table 6 Effect of noise and vibration intensity on energy budget of *C. carpio*

棚号 Exp. groups	噪声与振动强度 Noise and vibration intensity		能量收支模式 Energy budget models
	<i>YLeq</i>	<i>VLeq</i>	
对照 Control	57.9 ± 7.1	59.9 ± 4.6	100C = 2.3F + 7.0U + 72.4R + 18.3G
1	60.8 ± 4.6	63.7 ± 6.2	100C = 2.3F + 7.0U + 72.8R + 17.9G
2	65.1 ± 4.4	66.2 ± 4.4	100C = 2.2F + 7.1U + 73.5R + 17.2G
3	68.7 ± 2.8	68.6 ± 7.6	100C = 2.5F + 7.1U + 71.5R + 18.9G
4	71.1 ± 2.1	76.7 ± 6.1	100C = 1.6F + 7.3U + 82.3R + 16.0G
4'	74.4 ± 2.6	76.0 ± 2.7	100C = 1.5F + 7.1U + 73.0R + 18.4G
5	76.6 ± 2.5	83.6 ± 2.5	100C = 1.7F + 7.6U + 77.1R + 13.6G
6	94.9 ± 1.7	101.7 ± 1.6	100C = 1.1F + 8.4U + 84.6R + 5.9G

3 讨论与结语

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工作引起,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鲤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。并在选择实验现场中注意了下述几个问题:周围无其它污染源,尤其是噪声与振动污染源。实验现场周围应平整、空旷,表面地质状况相同,以保证钻井噪声与振动能够均匀传递,且在水产养殖区有代表性。目前我国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,除试验地点应选择在钻井周期>25d的深探井区外,实验准备工作也应随井场建设同步进行。

由于研究中采用了在钻井现场进行实验模拟方法,噪声和振动总是共同存在,故鲤鱼的生物学效应是在噪声和振动叠加作用下产生的。在本研究条件下,污染源距离与等效噪声级或等效振动级之间的关系,可分别用式 $1/(YLeq) = (0.0011\ln(1/D) + 0.0095)$ 或 $1/(VLeq) = (0.0012\ln(1/D) + 0.0086)$ 予以定量描述。但噪声在空气中的传递和振动在地表面的传递,会在很大程度上分别受到风向和地质状况的影响,故当上述关系被应用于其它区域时,需依据实测数据进行进一步修正。

与邱德依等人^[13~15]所建立的鲤鱼能量收支模式比较,本研究对照组中,鲤鱼摄入能中用于生长的能量相对较低。考虑到本研究中,所采用鲤鱼个体体重约是其他研究的22倍以上,许多研究业已表明,随体重增大,鱼类摄入能中用于生长的比率逐渐降低^[16,17],所以,本研究所建立的鲤鱼能量收支模式与其他研究间的差异,是符合鱼类能量学一般原理的。

钻井噪声与振动污染对鲤鱼摄食、生长、代谢和排泄等各能量收支组分均有显著影响,但其影响程度和趋势却不尽相同。鲤鱼摄食、生长和排泄量均随钻井噪声与振动强度增大呈减小趋势;其中摄食较为敏感,其影响阈径约为40m,对应的等效噪声与振动级为71.1dB和76.7dB或74.4dB和76.0dB;而生长影响阈径则相对较小,约20m,对应的等效噪声与振动级为76.6dB和83.6dB;但生长的受影响程度却显著大于摄食,如在本实验最大噪声与振动强度实验组,鲤鱼生长能相对对照组下降了77.5%,而摄食能仅下降了28.2%。与摄食和生长受噪声与振动影响的变化趋势不同,在受到显著影响的等效噪声级或振动级范围内,排泄能和代谢能随钻井噪声与振动强度增大,呈U型变化趋势。上述差异初步揭示了钻井噪声与振动污染对鲤鱼的影响机制。依据研究结果,似乎可以将钻井噪声与振动污染对鲤鱼的影响划分为两个阶段;第一阶段主要表现为,

当钻井噪声与振动污染达到一定强度时,引起鲤鱼摄入能量的下降,由于此时鲤鱼生长、代谢、排泄和排粪等能量支出水平也有不同程度的降低,显然,这一结果与许多鱼类生长、代谢、排泄和排粪各能量支出量主要取决于能量摄入量,并为之呈负相关关系的研究结果相符合^[18~21];第二阶段主要表现为,当噪声与振动进一步增强时,除使鲤鱼摄食量继续呈减小趋势外,同时造成鲤鱼惊恐和游动量急速增加而引起体内代谢量增大,而这两种影响的协同作用结果,必然对生长产生显著影响,这可以从本研究中钻井噪声与振动污染引起鲤鱼体内代谢量和排泄量增大的同时,也使其生长率或体内蛋白积累速率大幅度降低的结果中得以证实。从不同钻井噪声与振动条件下的鲤鱼能量收支模型可以看到,生长能分配率的降低总是与代谢能分配率和排泄能分配率的升高相对应,而此前能量收支模型基本无变化,这就进一步说明,是钻井噪声与振动造成鲤鱼体内代谢量增大而引起能量收支平衡的改变。

许多学者认为,短时间暴露于足够强度的噪声环境中,除能引起人听觉系统的暂时性或永久性损伤外,还能引起一些非听觉系统疾病,这种非听觉系统疾病主要通过听觉系统传至大脑中枢神经系统而诱发出来,从而引起生理上的紧张反应,使交感神经兴奋,血管收缩,血压升高,心率和呼吸率加快;同时,也能引起胃功能紊乱,消化腺分泌抑制,促使食欲下降等生理现象;但却未发现器质性病变^[1~4]。上述研究结果与对鱼类的研究结果一致,这也为本研究结果提供了钻井噪声与振动污染对鱼类影响机制的进一步生理学解释。

References:

- [1] Kryter K D. The effect of noise on man. London: Academic Press, 1985. 390—524.
- [2] Van Dijk F J H. Epidemiological research on non-auditory effects of occupational noise exposure since 1983, Part 1, new advances in noise research. In: Proc 5th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Stockholm, 1988. 285—291.
- [3] Wang J Q. Effect and protection of noise on the organs and of human body. Prot. Noi. Vib., 1991, (5-6): 121—23.
- [4] Ye Q, Ren X Y, Liu G, et al. Research on the effect of drilling site noise on drillers' health. J. Occup. Heal., 1997, 13(3): 1—4.
- [5] Sun Y, Zhao J, Jiang S L, et al. Effects of drilling noise and vibration on food consumption and growth conversion efficiency of grass carp — application of stomach content method in situ. Acta. Ecol. Sci., 2001, 21(12): 2153—2158.
- [6] Sun Y, Song Y L, Zhao J, et al. Effect of drilling noise and vibration on growth of carp (*Cyprinus carpio*) by cut-fin marking method. Mar. Fish. Res., 2001, 22(1): 62—68.
- [7] Sun Y, Zhang S N, Song Y L, et al. In situ determination of the effect of drilling noise and vibration on growth of grass carp, mylopharyngodon piceus. Mar. Sci. Bul., 2003, 5(4): 79—86.
- [8] Wang M. Comparison of energy budget of sea and fresh water fishes. Trans. Oceano. Limino., 1998, (3): 64—68.
- [9] Cui Y B. Bioenergetics of fishes: theory and methods. Acta Hydrobiol. Sci., 1989, 13(4): 369—383.
- [10] Brafield A E. Laboratory studies of energy budgets. In: Tytler P Calow P, eds. Fish Energetics. New Perspectives. Maryland: John Hopkins University Press, 1985. 257—281.
- [11] Warren C E & Davis G E. Laboratory studies on the feeding, bioenergetics and growth of fish. In: Gerking S D, eds. The Biological Basis of Freshwater Fish Production. Oxford: Blackwell Scientific Publication; 1967, 175—214.
- [12] Cui Y B, Chen S L and Wang S M. Effect of temperature on the energy budget of the grass carp, *Ctenopharyngodon idellus* val. Oceano. Limino. Sci., 1995, 26(2): 169—174.
- [13] Qiu D Y and Qin K J. Influence of salinity on energy budgets of juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L.). J. Fish., 1995, 19(1): 35—42.
- [14] Yang Y M, Cui Y B, Xiong B X, et al. Comparative studie on nitrogen budget and energy budget of jian carp (*Cyprinus carpio* var. jian) and gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) fed diets with different qualities. Acta Hydrobiol. Sci., 2003, 27(6): 572—579.
- [15] Yang Y M, Xie Q S, Xiong B X, et al. Comparative studies on nitrogen budget and energy budget of hybrid carp and hybrid tilapia fed diets with different qulities. Acta Hydrobiol. Sci., 2004, 28(4): 337—343.
- [16] Sun Y, Zhang B, Wang J, et al. Growth and ecological conversion efficiency of black snapper and their main affecting factors. J. Appl. Ecol., 1999, 10(5): 627—629.
- [17] Jobling M. Growth studies with fish-overcoming the problem of size variation. J. Fish. Biol., 1983, (22): 153—157.
- [18] Sun Y, Zhang B, Wang J, et al. Effects of ration level and food species on energy budget of *Pagrosomus major*. Mar. Fish. Res., 1999, 20(2): 60—65.
- [19] Cui Y, Liu S, Wang S, et al. Growth and energy budget of young grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val., fed plant and animal diets. J. Fish.

Biol. , 1992, (41): 231—238.

[20] Beamish F W H. Ration size of and digestion in largemouth bass, *Micropterus salmoides* Lacepede. Can. J. Zoo. , 1972, (50): 153—164.

[21] Brett J R. Feeding metabolic rates of young sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*, inrelation to ration level and temperature. Fish. Mar. Serv. Res. Dev. Tech. Rep. , 1976, 675: 43

参考文献:

[3] 王季卿. 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.

[4] 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.

[5] 孙耀, 赵俊, 姜尚亮, 等. 钻井噪声与振动对草鱼摄食和生态转换效率的影响——Eggers 胃含物法在实验模拟测定中的应用. 生态学报, 2001, 21(12): 2153~2158.

[6] 孙耀, 宋云利, 赵俊, 等. 钻井噪声与振动对鲤鱼生长的影响. 海洋水产研究, 2001, 22(1): 62~68.

[8] 王瑁. 海淡水鱼类能量收支的比较综述. 海洋湖沼通报, 1998, (3): 64~68.

[9] 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.

[12] 崔奕波, 陈少莲, 王少梅. 温度对草鱼能量收支的影响. 海洋与湖沼, 1995, 26(2): 169~174.

[13] 邱德依, 秦克静. 盐度对鲤能量收支的影响. 水产学报, 1995, 19(1): 35~42.

[14] 杨严鸥, 崔奕波, 熊邦喜, 等. 建鲤和异育银鲫摄食不同质量饲料时的氮收支和能量收支比较. 水生生物学报, 2003, 27(6): 572~579.

[15] 杨严鸥, 解绶启, 熊邦喜, 等. 饲料质量对丰鲤和奥尼罗非鱼氮及能量收支的影响. 水生生物学报, 2004, 28(4): 337~343.

[16] 孙耀, 张波, 王俊, 等. 黑鲢的生长和生态转换效率及其主要影响因素. 应用生态学报, 1999, 10(5): 627~629.

[18] 孙耀, 张波, 郭学武, 等. 摄食水平和饵料种类对真鲷能量收支的影响. 海洋水产研究, 1999, 20(2): 60~65.