

淡水电捕鱼工具性能研究与作用半径评估

石瑞^{1,2}, 胡欣^{1,2,3}, 杨志勇^{1,2}, 陈寅杰^{1,2}, 甚庆元^{1,2,3}

(1. 国家渔业机械质量监督检验中心, 上海 200092; 2. 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092; 3. 农业部渔业装备与工程重点实验室, 上海 200092)

摘要 [目的] 了解我国电捕鱼工具使用现状, 为国家制订渔业资源保护政策与导向提供科学依据。[方法] 采用实地收集鱼具, 测定电捕鱼工具可击昏鱼的作用范围、输出电压、波形, 分析该类工具在性能上的演变, 评价电捕鱼工具对水生资源的影响。[结果] 现有电捕鱼工具以脉冲输出为主, 直流输出为辅, 没有收集到交流输出样品。现有电捕鱼工具的平均输出电压是 1975 年的 1.6 倍、1959 年的 3.0 倍, 平均击昏作用距离是 1975 年的 1.3 倍、1959 年的 1.7 倍; 个别工具的输出电压达到 1975 年的 4.3 倍、1959 年的 8.0 倍; 可击昏作用半径达到 1975 年的 2.3 倍及 1959 年的 2.9 倍。研究结果还表明现有的电捕鱼工具通过提升输出电压、改为脉冲输出等方法, 提升捕鱼效率、扩大作业范围, 会引发鱼等水生生物资源的加速消亡。[结论] 该试验分析方法及作用半径的评估方法, 可用于电捕鱼工具对水生资源影响的评估, 有利于推进我国农牧水产行业的可持续健康发展。

关键词 电捕鱼工具; 性能; 击昏; 作用半径**中图分类号** S937; S969; S972 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)33-11986-03**Electrical Properties Study and Scope Evaluation of Electric Fishing Tools in Fresh Water**SHI Rui^{1,2,3}, HU Xin^{1,2,3}, YANG Zhi-yong^{1,2} et al (1. The National Supervision and Testing Center of Fishery Machinery and Instrument, Shanghai 200092; 2. Fisher Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Shanghai 200092; 3. Key Laboratory of Fishery Equipment and Engineering, Ministry of Agriculture, Shanghai 200092)

Abstract [Objective] To study the utilization status of electric fishing tools in China, and provide scientific basis for policy-making and guidance of fishery protection. [Method] The scope of immobilized fish with electric fishing tools, output voltage, wave form were determined, evolution of the tools performance was analyzed, effects of electric fishing tools on aquatic resource were evaluated. [Result] It was indicated most of them had strong effects by outputting pulsed waveforms, only two of them outputting DC waveforms with low voltage values, none of them was found outputting AC waveform in now days. In the result of voltage values was showed, the most powerful sample reached 4.3 times and 8.0 times corresponding with them acted in 1975 and 1959. While in the result of average voltage values was showed, they were 1.6 times and 3.0 times than they was in 1975 and 1959. Kelieyier electric field formula was used to calculate the immobilized range. In the result of range was showed the most powerful one was 2.3 times and 2.9 times than they acted in 1975 and 1959. It was indicated that in now days, the electric fishing tools improved fishing efficiency, expanded the fishing range by the way of enhancing the output voltage, changing to pulse output mode. While what worries us is this will cause more consumption on aquatic biological resources like fishes. [Conclusion] Test methods in this study, the role of the radius of assessment methods and the resulting data can be used for aquatic resource evaluating values, will help promote the sustainable and healthy development of China's agriculture and animal husbandry aquaculture industry.

Key words Electric fishing tools; Electrical properties; Immobilized; Scope

我国《中华人民共和国渔业法实施细则》第 17 条及第 20 条, 明令禁止使用电力捕鱼; 我国《野生动物保护法》、《中国自然保护纲要》等法律提出了生物资源保护的要求^[1]。但是在我国使用电捕鱼作业仍然较为普遍, 因此研究电捕鱼工具性能, 及其对鱼有多大作用范围十分重要, 可用于水生资源影响评估, 有利于推进我国农牧水产行业的可持续健康发展^[2]。

电捕鱼工具是通过在水中电极放出高压电, 引发附近鱼的向阳极游动, 严重时引发鱼的昏迷, 甚至死亡而达到捕鱼目的^[3-5]。常见的电捕鱼工具由蓄电池、主机、两根粗电缆及连接主机的控制开关等部件组成^[6]。蓄电池负责供电, 连接主机的 2 根电缆间隔若干米通入水中, 作业人员通过开关控制主机作业。如果看到河面泛起死鱼的情形, 那是有人在使用电捕鱼工具, 电捕鱼工具致人伤亡的新闻也常见诸报端^[7]。

国内外有关电刺激行为的研究报道较多^[8-11], 而对电捕鱼工具的研究^[12]时间较为久远且数量少, 多主要集中在

拦鱼保护方面^[13-19], 不能反映鱼具的发展状况。为比较准确地了解我国电捕鱼工具的使用现状, 该文研究了历年有关电捕鱼工具的性能, 以期提升我国渔业装备整体性能^[20-21], 为国家制订渔业资源保护政策与导向提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品来源 每年 3~5 月间, 寻找江浙沪郊县的河流、湖泊边安装有电捕鱼工具进行作业的船只, 进行测量与观察。于(2012~2014)年共采集 35 套样品, 其中 33 套为脉冲输出类型, 2 套为直流输出类型, 该文选取 9 个典型样品进行分析。

1.2 测试方法 有多种方法可测试电捕鱼工具, 如电压、电流、电场等^[4-5, 22]。选用固定阻性负载的电压测试法, 可直接观测输出波形, 便于对样品的输出特性进行分析, 不受环境条件的影响, 不需要采用复杂的分流法去测试电流^[8], 经过换算能得出输出电流值; 也不需要测试电场时加测试水温、水体电导率和电极尺寸等环境参数^[9], 已知水电导率和电极布设条件, 可用电压值换算出电场值。因此电压测试法具有成本低廉、方法简单易行的特点, 便于分析比较数据。该试验选用电压测试法。

电捕鱼工具有输出电压高、功率大等特点。在测试脉冲

基金项目 南岸干渠拦鱼设施项目 (NAZG-0109042); 农业部渔业装备与工程重点实验室(2013005)。**作者简介** 石瑞(1969-), 男, 山东青岛人, 副研究员, 从事渔业仪器装备研究。**收稿日期** 2014-10-28

输出类样品时,在输出端接入阻性负载,并联总值为 100K/20W 的电阻,经分压抽头测试电压;在测试直流输出类样品时,不接阻性负载只接入分压电阻测量电压。综合电捕鱼工具输出特点、河水电导率范围、电捕鱼工具电极尺寸以及布置间距等情况,阻性负载选取 $3 \Omega/1kW^{[23-24]}$ 能较好地适应各种脉冲输出类淡水电捕鱼工具的工作。

测试时,使用耐压值为 1 kV 的福禄克数字万用表监测电压,当确定分压段电压值低于 300 V (示波器耐压限值)后接入安捷伦监视示波器,测量输出波形、输出电压、重复周期和脉宽等数值^[9]。测试时,还应考虑采取隔离措施隔离,防止损坏测试设备。测试前后应了解并统计电捕鱼工具作业情况及电极布设情况。

2 结果与分析

2.1 电捕鱼工具的基本工作性能 在 33 台被测样品中,31 台采用脉冲输出,其余 2 台为直流输出型,未发现交流输出型设备。大多被测样品具有输出电压调节旋钮或频率调节旋钮。抽取 7 台脉冲型和 2 台直流型电捕鱼工具进行测试,测试结果见表 1。由表 1 可知,各种鱼具的最大可输出电压值^[25]、脉宽^[14]及重复周期^[26]。抽取的这 7 种典型样品脉冲输出波形为一连串重复的尖脉冲(图 1),部分样品输出波形为成组的尖脉冲(图 2)。

表 1 电捕鱼工具性能的测试结果

序号	电捕鱼工具名称	输出类型	最大输出电	脉宽	重复周期
			压//V	ms	ms
1	多功能电源逆变	脉冲	499.5	0.68	341.0
2	26 000 VA 高频逆变器	脉冲	1 014.0	5.30	50.0
3	双核双频电源	脉冲	1 248.0	2.00	66.0
4	超频能量输出器	脉冲	1 086.0	1.50	32.2
5	三相全桥-自制品	直流	530.4	/	/
6	数码变频逆变器	脉冲	3 025.0	20.80	2 100.0
7	自制品	脉冲	1 584.0	0.30	11.0
8	直流发电机	直流	258.4	/	/
9	双核双频电源	脉冲	1 128.0	0.60	18.2

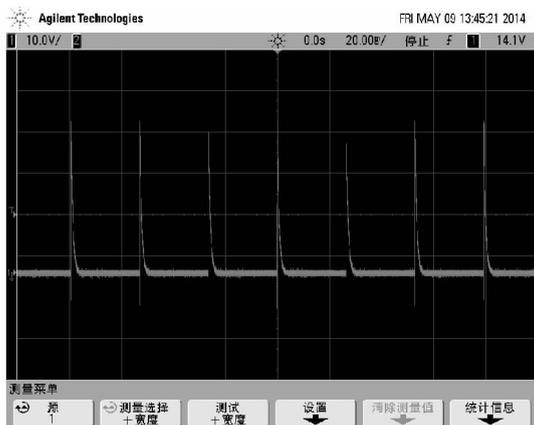


图 1 电捕鱼工具的典型分压输出波形 1

实际作业观察发现,鱼具通过在水中电极放出电,引发附近鱼的感电(逃避)、趋阳、昏迷和死亡等 4 种反应,感应电击的鱼体,其电压阈值有逐级升高的特点。根据已有的鱼对电反应研究成果表明,当在水中设置金属电极,通以电压产生电流,在水中建立了电场^[3]。由于鱼本身是一种导体,在

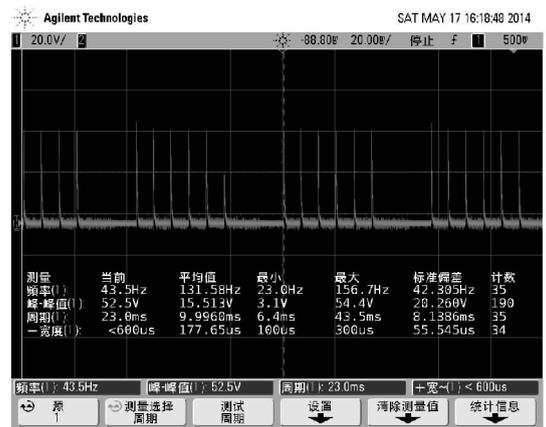


图 2 电捕鱼工具的典型分压输出波形 2

电场范围内的鱼因受电场影响,在鱼体上产生鱼体电压降,随着鱼体电压的变化,鱼会被动产生各种强制性反应。实际观察证明,当电压较小时,鱼因受到弱刺激,会游离电场强的区域;当电压大到某一程度时,鱼会游向阳极,呈趋阳反应;当电压继续增大到某一阈值,鱼失去行动能力昏迷^[1];继续加大电压,会导致鱼的死亡。

2.2 输出方式 脉冲输出是电捕鱼工具提高捕捞效率的一种手段。由于主机广泛采用电容储能放电技术,因而输出的脉冲波呈指数下降特征。一般电捕鱼工具有脉冲、直流和交流等多种输出类型,而指数脉冲波和 1/4 正弦波的输出对鱼能产生更显著的趋阳效果^[9]。据文献记录,历年电捕工具的输出电压:1959 年,交流型为 380 V^[26];1975 年,交流型为 450 ~ 500 V^[26]、直流脉冲型为(600 ~ 700) V^[26];至 2014 年,直流型为 530.4 V、而脉冲型电压输出值高达 3 025 V。此次普查结果证实,电捕鱼工具电压输出方式经历了从交流到直流再到脉冲输出方式的变化特点,证实了脉冲输出已成为今后的发展趋势。

提升电压是提高效率扩大捕鱼范围的另一种手段。当水的电导率、温度等环境条件不变时,根据电场强度的公式:

$$E = \frac{U}{S}。$$

当电捕的范围(距离 S)变大,要对同品种同尺寸鱼体施加原定的鱼体电压,只能通过提升电捕鱼工具的输出电压(U)来实现。如今,使用的电捕鱼具脉冲型电压输出值已高达 3 025 V,说明了这种发展趋势。

由图 3 可知,现有电捕鱼工具的平均输出电压,已是 1975 年的 1.6 倍,是 1959 年的 3.0 倍;现有个别电捕鱼工具的输出电压,已是 1975 年的 4.3 倍,是 1959 年的 8.0 倍。改善电捕鱼工具的输出波,提高其输出电压,可增大作用半径、提升捕捞效率,但是,电压过高会直接引发鱼的死亡,这种过度的生物资源消耗会引发资源匮乏。因此我国《中华人民共和国渔业法实施细则》明确禁止对鱼类滥捕滥杀的行为,《水生野生动物保护实施条例》、《中国自然保护纲要》等法律法规,也对类似情形作了限制^[27]。

2.3 作用半径评估

2.3.1 作用半径评估方法。采用克列伊尔电场作用范围计

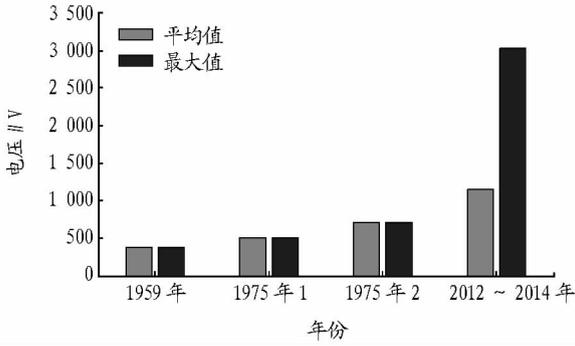


图3 历年电捕鱼工具的输出电压提升趋势

算公式:

$$r = \sqrt{\frac{Il\rho}{4\pi U}} - \sqrt{\frac{l\rho}{4\pi E}}$$

式中: r —作用范围的半径,单位为 m ; I —设备输出电流值,单位为 A ; L —鱼体长度,单位为 m ; ρ —水的电阻率,单位为 $\Omega \cdot m$; U —鱼体状态电压,单位为 V ; E —产生某反应的电场强度,单位为 V/m ^[4]。

2.3.2 计算参数的选取。河水电导率 σ 为 $100 \mu S/cm$, 换算为电阻率 ρ 为 $100 \Omega \cdot m$; 阳极与阴极布设间距根据实际电捕鱼作业的统计,按 $10 m$ 计算; 电流 I 依据电压与负载关系计算获得; 根据已有研究结果,选择鱼体状态电压参数选用

情况如下:

- ①体长 $15 cm$ ^[5] 鲫鱼 (carp^[28]), 鱼体昏死 (immobilization^[29]) 状态电压 $4.0 V$ ^[5];
- ②体长 $15 cm$ 鲫鱼^[26], 鱼体昏死状态电压 $2.865 V$, 源于击昏阈值 $19.04 V/m$ ^[26] (经计算获得);
- ③体长 $45 cm$ ^[5] 草鱼 (grass carp^[28]), 鱼体昏死状态电压为 $5.2 V$ ^[5];
- ④体长 $63 cm$ ^[5] 草鱼, 鱼体昏死状态电压为 $2.4 V$ ^[5];
- ⑤体长 $40 cm$ 鲤鱼, 鱼体感知状态电压 $0.996 V$, 源于按电击感电阈值 $2.49 V/m$ ^[30] (经计算获得);
- ⑥体长 $40 cm$ 鲤鱼, 鱼体昏死状态电压 $11.604 V$, 源于按击昏阈值 $29.01 V/m$ ^[30] (经计算获得)。

2.3.3 范围评估。要扩大作用距离需要大幅提高输出电压, 随输出电压的升高, 可作用面积与电压变化呈线性关系。根据作用半径评估方法, 将 9 种被测样品连同 1959 年 $380 V$ 交流型、 1975 年 $500 V$ 交流型、 $700 V$ 直流脉冲型设备的作用半径数据, 列于表 2。由表 2 可知, 在同样电击条件下, 同种类同尺寸的鱼, 作用距离还受到其它因素的影响; 同种类同尺寸的鱼, 大尺寸鱼相对小尺寸的电击反应更为敏感, 受影响的作用距离更远; 同种同尺寸的鱼, 低级感电 (逃避) 反应的作用距离比高级昏死反应的更远。

表2 电捕鱼工具的作用半径

序号	电捕鱼工具名称	作用半径 (m)					
		15 cm 鲫鱼 昏死范围 1	15 cm 鲫鱼 昏死范围 2	45 cm 草鱼 昏死范围	63 cm 草鱼 昏死范围	40 cm 鲤鱼 昏死范围	40 cm 鲤鱼 感电范围
1	多功能电源逆变	6.7	8.0	9.8	14.7	6.4	23.0
2	26 000 VA 高频逆变器	9.8	11.7	14.2	21.1	9.4	32.8
3	双核双频电源	10.9	13.0	15.8	23.4	10.4	36.4
4	超频能量输出器	10.1	12.1	14.7	21.8	9.7	33.9
5	三相全桥 - 自制品	6.9	8.3	10.2	15.1	6.6	23.7
6	数码变频逆变器	17.2	20.4	24.7	36.5	16.5	56.7
7	自制品	12.3	14.7	17.8	26.4	11.8	41.0
8	直流发电机	4.5	5.6	6.9	10.4	4.3	16.4
9	双核双频电源	10.3	12.3	15.0	22.2	9.9	34.6
10	1959 年 380 V 交流型	5.7	6.9	8.5	12.8	5.4	20.0
11	1975 年 500 V 交流型	6.7	8.0	9.8	14.7	6.4	23.0
12	1975 年 700 V 直流脉冲型	8.0	9.6	11.7	17.4	7.7	27.2

将近年来提升电压后的电捕鱼工具, 其相对历年作用距离的变化增长率列于表 3。由表 3 可知, 现有电捕鱼工具的平均作用距离, 是 1975 年的 1.3 倍, 是 1959 年的 1.7 倍; 现有个别电捕鱼工具的作用半径, 是 1975 年的 2.3 倍, 是 1959 年的 2.9 倍。

3 结论

尽管不同的电捕鱼工具电性能差异很大, 但都可按输出方式分为脉冲、直流和交流 3 种类型。现有电捕鱼工具以提高捕鱼效率为目的, 通过提升输出电压、改变为脉冲输出方式等方法, 提升了捕鱼效率, 扩大了作用半径。

调查发现, 近年来电捕鱼工具以输出指数脉冲波形为主, 其平均输出电压是 1975 年的 1.6 倍、是 1959 年的 3.0 倍; 其作用半径分别对应 1975 年的 1.3 倍和 1959 年的 1.7

表3 被测电捕鱼具作用半径的相对增长率

鱼的电感状态	相对增长率 (%)			
	平均作用半径增长率		最大作用半径增长率	
	相对于 1975 年	相对于 1959 年	相对于 1975 年	相对于 1959 年
15 cm 鲫鱼昏死范围 1	34.7	73.7	134.0	201.8
15 cm 鲫鱼昏死范围 2	34.1	71.0	131.8	195.7
45 cm 草鱼昏死范围	33.0	68.2	129.8	190.6
63 cm 草鱼昏死范围	32.7	66.4	127.4	185.2
40 cm 鲤鱼昏死范围	33.3	74.1	134.0	205.6
40 cm 鲤鱼感电范围	32.3	66.0	125.9	183.5

倍; 个别电捕鱼工具的输出电压是 1975 年的 4.3 倍、是 1959 年的 8.0 倍, 最高电压达到 $3 025 V$; 其作用半径分别对应 1975 年的 2.3 倍和 1959 年的 2.9 倍, 导致击昏常见鱼类的 (下转第 11990 页)

著提高。

2.3.3 实现师生间、学生间的同步或异步交流。BB平台设有讨论与在线交流架构,通过“讨论板”或“在线交流”板块学生可以提出疑难问题,教师或同学可同步或异步给予解答;学生也可以针对教师的教学方法、手段等提出意见与建议,从而避免当面提出时的尴尬或因语言表达不当引起的不愉快。教师可以通过“通知”板块提前或及时公布教学过程中的重要安排,通知的效果相对及时、高效。

2.3.4 提高学生的自学质量,增强自学效果。在生物饵料培养学课堂教学过程中,部分学生因故不能到课室听讲,落下的内容只能通过阅读课本上那些枯燥的文字、静止图片来学习。建立BB平台后,可以通过阅读教材与网络学习相结合的学习方式,通过视听结合的方式有效地自学,跟上教学进度。

2.3.5 及时检验并改进学习效果。每章节学习完成之后,学生可通过BB平台上的课程网络资源建成的“习题资源”与“知识测试”板块进行习题练习和测试,及时检验该章节的学习效果,发现学习过程中存在的疑点与难点,巩固已学的理论知识及实践技能,并通过“在线交流”及“讨论板”板块解惑不懂的知识点。

2.3.6 有效提高教师的教学质量,改进教学效果。BB平台的使用,受到水产养殖学专业学生的欢迎与好评,学生的自

学能力进一步得到提高。经考核证实,推行当年学生该课程平均成绩比上一年度提高5%~8%,及格率由上一年度的80%~93%提高至98%~100%,学生的学习效果及教师的教学效果得以明显改进。

2.4 建立平台需要广大教师的奉献精神使用BB平台建立课程网络教学资源,需要搜集、整理大量的教学资料,这要求教师不断学习该平台的强大功能,甚至学习一些与本专业相差甚远的知识、技能,比如非计算机专业的需要学习数据库开发技术、ASP网站开发与设计语言等,这些学习过程需要教师利用业余时间来完成,这是一个长期积累的过程,相关教师只有具备对教育事业的热爱与奉献精神,逐步补充、丰富网络资源的内容,完善该平台的各项功能,才能使网络教学资源真正成为教师“教”与学生“学”的好平台。

参考文献

- [1] 蔡春尔,吴维宁,沈伟荣,等. 分子生物学网络教学平台建设及展望[J]. 生物学杂志,2008(6):69-71.
- [2] 金红珍,林秀兰. 基于Bb网络教学平台的体育专业技术课程教学模式研究[J]. 体育科技文献通报,2008,16(8):13-15.
- [3] 黄晋. Blackboard网络平台在日语教学中的应用实践——以《日语听力》为例[J]. 山东外语教学,2011(1):39-43.
- [4] 李星. 基于Black Board网络教学平台日语教学的探索——以《基础日语》BB网络平台教学为例[J]. 佳木斯教育学院学报,2014(2):383-384.
- [5] 蔡春尔,贾睿,胡燕,等.《生物分离技术》理论课教学体会[J]. 教育教学论坛,2013(43):72-73.
- [6] 楼文高. 分压式拦鱼电栅电场计算机模拟[J]. 渔业机械仪器,1991,18(5):32-36.
- [7] 张昆宁. 关于电栏设计中的几个计算问题——与《电栅数模》的作者商榷[J]. 水利渔业,1997(2):22-24.
- [8] 包德修,和仁道. 水库溢洪道单排分压式拦鱼电栅电流场的物理模型[J]. 水利渔业,1992(1):12-15.
- [9] 张祝利,曹建军,何亚萍. 我国渔船柴油机和节油产品应用现状调查与分析[J]. 渔业现代化,2009(4):66-70.
- [10] 徐皓,赵新颖,刘晃,等. 我国海洋渔船发展策略研究[J]. 渔业现代化,2012(1):1-5.
- [11] 刘启文. 鳙、鲢鱼对交流电连续和断续供电的感电反应[J]. 水库渔业,1983(1):36-41.
- [12] 许国时. 单排分压式拦鱼电栅电极阵负载散流电阻及场强理论计算初探(上)[J]. 渔业现代化,1986(1):34-37.
- [13] 许国时. 单排分压式拦鱼电栅电极阵负载散流电阻及场强理论计算初探(下)[J]. 渔业现代化,1986(2):33-35.
- [14] HOLLIMAN F M. A field and laboratory investigation of the effectiveness of electrical parameter combinations for capturing cichlids[D]. Raleigh: North Carolina State University,1998.
- [15] 电捕鱼初步调查报告[J]. 淡水渔业,1975(4):14-18.
- [16] 国务院渔业行政主管部门,中华人民共和国水生野生动物保护实施条例[EB/OL]. http://www.gov.cn/flfg/2005-08/06/content_20939.htm.
- [17] STAINBROOK K,CREQUE S,DEITMERS J. Field assessment of an electric dispersal barrier to protect sport fishes from invasive exotic fishes. Annual Report to the Division of Fisheries[EB/OL]. Illinois Department of Natural Resources,Illinois Natural History Survey,Center for Aquatic Ecology and Conservation. http://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/10438/inhscaeov02005i00012_opt.pdf?sequence=2.
- [18] Operational Protocols for Electric Barriers on the Chicago Sanitary and Ship Canal:Influence of Electrical Characteristics[EB/OL]. Water conductivity,Behavior,and Water Velocity on Risk for Breach by Nuisance Invasive Fishes. http://switchboard.nrcd.org/blogs/temar/Holliman_Final%20Draft%20Report_10_30_2010.pdf.
- [19] 蔡厚才,池弘福,陈志远,等. 鲤、鲫鱼对交流电刺激的反应特性[J]. 浙江水产学院学报,1993(4):271-276.
- [20] 农牧渔业部,中华人民共和国渔业法实施细则[EB/OL]. http://www.moa.gov.cn/zwl/m/zc/f/llfg/200601/i20060120_539472.htm.
- [21] 张祝利. 木质渔船对低碳渔业负面影响的量化估算[J]. 渔业现代化,2011(3):66-69.
- [22] 蔡厚才,池弘福,钱小荣,陈志远. 鲫鱼在强直流电场中的行为初探[J]. 浙江水产学院学报,1994,04:282-286.
- [23] 周应祺. 应用鱼类行为学[M]. 北京:科学出版社,2011.
- [24] 上海市水产学校捕捞教研组. 捕捞知识(六)——光诱集鱼与电捕鱼[J]. 海洋渔业,1984(6):276-277.
- [25] 林令虎. 脉冲电栅仪的使用技术[J]. 海洋渔业,1996,18(4):169-171.
- [26] 杨汉祥. 用电捕鱼使不得[J]. 乡镇论坛,2010(29):32.
- [27] EDWARDS J L,HIGGINS J D. The effects of electric currents on fish[R]. Atlanta:Engineering Experiment Station. Georgia Institute of Technology,1973.
- [28] BIRD D J,COWX I G. The selection of suitable pulsed currents for electric fishing in fresh water[J]. Fisheries Research,1993,18:363-376.
- [29] 蔡厚才,池弘福,钱小荣,等. 交流电作用下鲫鱼麻醉、击昏反应的时间特性[J]. 浙江水产学院学报,1994(2):124-127.
- [30] 潘世信. 交流电捕鱼在水库中的应用[J]. 淡水渔业,1976(3):25-27.
- [31] 刘启文. SC-3型扫描式交流电赶鱼装置的研制[J]. 水库渔业,1984(2):40-45.
- [32] BULLEN C R,CARLSON T J. Non-physical fish barrier systems;their development and potential applications to marine ranching[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries,2004,13:201-211.
- [33] 胡岳鑫. 脉冲电栅拦鱼试验[J]. 渔业机械仪器,1983(4):14-15.
- [34] 叶宜宾. 杨梅岭水库电栅拦鱼安全运行20年[J]. 淡水渔业,1988(4):46-46.
- [35] 楼文高. 拦鱼电栅设计中的几个电学问题[J]. 渔业机械仪器,1996(4):32-36.

(上接第11988页)

作用半径可达17.2~36.5m。

电捕鱼工具作用范围的扩大,会造成过度捕捞生物资源,引发资源枯竭,不利于农牧水产行业的可持续健康发展。

参考文献