

# 物理技术在水产养殖中的应用\*

白亚乡<sup>†</sup> 胡玉才 杨桂娟

(大连水产学院基础部 大连 116023)

**摘要** 大量的实验证明,一定剂量的电场、磁场、激光、中子辐射等物理因子对水生生物都有一定的刺激作用,都能在在一定程度上促进其生长发育,从而使其产质量提高.文章总结了近十几年来物理技术在水产养殖方面的应用及所取得的成果,并对其未来的发展作了初步展望.

**关键词** 水产养殖,电磁场,激光辐照,中子辐照

## APPLICATION OF PHYSICS TECHNOLOGY IN AQUACULTURE

BAI Ya-Xiang<sup>†</sup> HU Yu-Cai YANG Gui-Juan

(Department of General Studies, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China)

**Abstract** Experiments show that after hydrobiology stimulation by a certain dosage of a physical field such as electromagnetic, laser, or neutron irradiation, hydrobiological activity can be improved, and consequently yield and quality enhanced. Recent advances in the application of physical fields in aquaculture are summarized, and prospects for future developments presented.

**Key words** aquaculture, electromagnetic field, laser radiation, neutron irradiation

### 1 引言

随着现代科技的发展,物理技术也逐渐应用于农业,各种物理技术在各种陆生动植物上的应用在我国已有数十年的历史,且有专门的期刊登载这方面的文章<sup>[1-9]</sup>.但物理技术应用于水产养殖业方面却仅有十几年或数年的历史,其特点是大多数应用还处在摸索的阶段,还未达到大规模推广的地步,在机理方面的研究很不充分,尚待进一步完善.本文主要介绍近年来电、磁、光、辐射和超声技术在我国水产养殖业上的某些应用.由于物理技术较之传统的化学技术在水产养殖上的应用,在达到同样的经济效益情况下,有成本低、省时、省工,特别是不污染水质与环境等诸多优点,所以物理技术在水产养殖领域的应用应该引起物理工作者及水产养殖工作者的高度重视和关心.

### 2 电场技术的应用

电磁技术应用于水产养殖相对较早,自20世纪80年代开始,以华东师范大学的陈家森、叶士等为代表的科技工作者就在电磁场对水产生物的良性效应方面进行了研究.他们采用自制的ACHV-II型电刺激仪,连续三年在上海望新鱼苗场对异育银

鲫和团头鲂胚胎用 $10^4$  V/cm左右的低频电场作了3—5min的处理.通过这种电刺激,不仅使胚胎孵化率提高,而且也使鱼苗放养成活率和成功率提高,生长速度较对照组加快25%以上,获得了明显的经济效益.若未经电刺激,从上海运往北京、东北等地的鱼苗大批死亡,成活率很低,电刺激后就解决了这个难题<sup>[10]</sup>.江苏太湖地区农业科学研究所何兆昌等采用脉冲电场刺激美国青蛙胚胎,能使其孵化率提高20%以上,存活率提高30%左右,后期生长速度加快30%;他们的研究还发现,胚胎受脉冲电场刺激后其后期的患病率也明显降低<sup>[11]</sup>.大连水产学院的胡玉才等人采用匀强电场和脉冲电场刺激鲍受精卵、幼鲍、海胆以及角毛藻等水生生物,也取得了较好的效果<sup>[12,13]</sup>.显然,适宜的电场刺激,有利于鱼类及其他水生物胚胎的发育.另外,用静电场处理水生作物菱、芡种子,可使菱增产23.5%,芡增产14%<sup>[14]</sup>.

### 3 磁化及磁化水技术的应用

近年来,我国的水产科技工作者,将磁场及磁化

\* 2002-02-27收到初稿,2002-03-29修回

<sup>†</sup> 通讯联系人, E-mail: byx0617@163.com

水用于鱼、虾、贝类的人工育苗之中,取得了较好的效果.孙家美等<sup>[15]</sup>设计了一个磁场空间,每个磁场空间由上下层磁块组构成,磁块组间距分别为6.8、10及12cm.每个磁场空间饲养壳长为3cm的三角帆蚌20只,长期挂浸在池塘水中,实验共计10个月.磁铁间距在6.8、10及12cm时,其生长率分别为123%、173%、183%和183%.实验证明,磁场对河蚌的生育有明显的影 响.用磁化后的海水培育对虾幼体与对照组相比,出苗数明显增加.在对虾的室外养成段,对人工合成的全价对虾饵料进行磁化处理后,投池喂养对虾,20天后与对照组比较,对虾体重增加21%,而且磁化后的饵料在水体中的氨氮含量比磁化前低,其平均降低率为25.4%,显然这对对虾幼体的培育和生长是有益的<sup>[16]</sup>.用磁化水培育罗氏沼虾和用磁化水饲养中华乌塘鳢,都可促进其生长,均增重15%以上,同时可增强鱼虾的抗病能力,降低死亡率<sup>[17、18]</sup>.另外,将磁化水应用于人工育苗贝类的实验中也能收到积极效果.用磁化水蓄养的海湾扇贝亲贝,其性腺发育好,卵质优,平均每个亲贝产卵量117万粒,D形幼虫率达89%,亲贝成活率96%,分别比对照组提高15.8%、27%和7%.用磁化水蓄养的栉孔扇贝性腺指数比对照组提高3.5%,孵化率提高16%,成活率提高18%,附着变态率提高27%,单位水体出苗量比对照组提高50%左右.磁化水改善了育苗水质,水中氨氮含量及化学耗氧量降低,溶解氧增加<sup>[19]</sup>.

#### 4 特定电磁波(场)辐射技术的应用

特定电磁波是指红外谱段的电磁波,特定电磁波辐照技术也称TDP技术.将TDP辐照技术应用于鱼卵孵化、苗种培育和网箱养鱼上,取得了很好的效果,尤其是对网箱中当年苗种育成商品鱼实验,效果更为明显,使网箱养鱼在缩短生产周期方面取得了新的突破.据宾连广等<sup>[20]</sup>报道,他们应用TDP辐照技术处理鲤、鲢、草鱼卵3895万粒,出池鱼苗2836万尾,孵化率平均提高13.4%;辐照处理成鱼网箱12只,336m<sup>2</sup>,总产量达55108kg,增产15.6%;辐照处理当年鱼苗育成商品鱼网箱3只,共计面积75m<sup>2</sup>,成活率达92.5%,总产量为7644kg,比对照组提高77.1%,而且达到商品鱼规格500g以上的成鱼占31.3%;250g以上的占37.5%,不足250g的占31.2%;平均尾重达307.7g.生产实践证明,经过TDP辐照处理的鱼卵,具有孵化率高、苗种生命力旺盛、体质健壮、苗种生长加快、出池期可以提前11—

14天等明显优势.实验结果证明,TDP辐照淡水鱼类,可以促使胚胎、稚鱼和鱼苗的生长发育,增强其抗病抗逆能力,提高鱼苗的整齐度和摄食能力<sup>[21]</sup>.同时他们还通过实验证实TDP辐照引发的生物学效应是一种非热生物效应,有较长的后续作用.另外,据四川农业大学的陈昌钧等人报道,他们采用TDP技术辐照鱼卵、鱼苗、鱼种和成鱼可促进鱼胚、稚鱼、鱼苗、鱼种和成鱼的生长发育,缩短养殖周期,增强养殖鱼类的抗病抗逆能力和摄食能力,降低饵料系数,提高鱼类产品的产品质量.根据其实验结果,经TDP技术培育的鱼苗,其成鱼较对照组增产25.8%—42.4%,净增倍数1.4—1.8倍,死亡率降低2.7%—4.2%,饵料系数减少0.2%—0.7%<sup>[22]</sup>.

#### 5 激光技术的应用

光对鱼类胚胎发育的影响早在20世纪60年代国内外学者就已有研究.近年来国内外学者应用激光技术作用于鱼类的研究取得了较大进展.据山东海洋学院报道,采用一定频率的激光光束照射罗非鱼仔鱼,可提高它们的抗病、耐病、耐低温能力,促进其生长.他们采用8—10mW He-Ne激光照射罗非鱼仔鱼(波长6328Å、功率密度3.18mW/mm<sup>2</sup>),实验结果表明,照射组较对照组体重增长186%,死亡率降低3.8倍,且均无病,他们认为激光照射能加快食物消化的酶促反应速度,使酶活力增加,其结果必然提高了可被水生生物吸收的酶解产物.经实验测定,被照射鱼体内蛋白水解酶活力提高了3.95倍,仔鱼游泳活泼,摄食量大,新陈代谢旺盛,同时,激光还能积极调动鱼体内的防御系统,使之产生免疫性蛋白,提高其抗病能力<sup>[23]</sup>.中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所1985年4月与上海第二医学院合作,用15mW He-Ne激光器照射金鱼苗12min,发现照射后金鱼生长快速、成活率高,且色深、色感好.照射金鱼卵8min,可缩短孵化时间,且出苗后的个体大<sup>[24]</sup>.陈昌钧等采用低功率CO<sub>2</sub>激光和红外陶瓷He-Ne激光,辐照鲤、鲫、草鱼、鲢、鳙、鲶的鱼卵、鱼苗、鱼种和成鱼,证实激光有提高鱼卵孵化率、鱼苗成活率和促进其生长发育、增强其抗病抗逆能力的作用,并从1986年起逐步应用于上述鱼类的养殖生产,取得了良好的增产效果<sup>[25]</sup>.

#### 6 中子低剂量刺激的应用

近年来中子辐照刺激生长技术在鱼虾贝类等方面的研究和应用有了很大的发展,先后由中国核学

会、中国水产学会和中国原子能农学会,分别于1991年9月在山东即墨召开了“全国低剂量刺激鱼虾生长技术交流会”;1993年9月在浙江乐清召开了“全国低剂量刺激生长技术研讨会”。会议交流了我国低剂量刺激生长技术的研究进展及应用成果。通过交流,可以看出该技术在我国已从研究实验阶段逐步进入实际应用阶段。中子辐照刺激生长技术已先后在四川、北京、广东、浙江、山东、陕西、河北、福建、江苏、辽宁等省市淡水和海水水产养殖中得到应用,经济效益十分显著。特别是中国农业科学院原子能研究所在农业部水产司的大力支持下,在渤海湾沿线地区开展了“万亩推广实验”,共放养对虾17365亩,共增收对虾252.5吨,增收453.9万元。整个国内使用结果表明,在最适宜的发育期,用最佳的中子剂量辐照对虾(卵或苗),可使其孵化率提高5%—33%,孵化时间缩短1—2发育期,成活率提高15%—68.9%,平均增产15%。鱼卵孵化率可提高25%—30%,成活率可提高18%—24.4%,成鱼每亩增产25%<sup>[26]</sup>。山东省烟台市水产研究所、烟台师范学院等报道他们在山东牟平县应用中子辐照刺激生长技术处理对虾,结果表明,对照组孵化率为77.88%,辐照处理组平均为85.7%,比对照组提高了7.83%,成活率增加10%左右,辐照后的幼体能提前一天多养成可售子虾。养成后辐照组平均成活率较对照组平均提高66%。并在日常管理中发现,辐照处理对虾各期幼体发育整齐,变态快,虾苗活泼健壮,大小均匀无疾病。养成后,辐照处理组平均亩产123.6kg,较对照组平均亩产68.7kg提高了77.3%,成活率提高68.9%,每亩增加效益381元。三年累计推广面积17365.5亩。另据报道,北京大学在陕西和北京等地使用中子辐照刺激生长技术处理鲢、鲤、鳙、草四大淡水鱼,结果表明,辐照可使孵化率提高23%,成活率可提高22%,可使鲢鱼平均亩产增加25.3%,鲤鱼平均亩产增加16.5%,鳙鱼平均亩产增加21.2%,草鱼平均亩产增加42.3%。养殖结果表明,经中子辐照刺激生长技术处理育出的鱼苗活力强,体质好,生长快,饵料利用率高,有较好的抗病性。沈阳农业大学对扇贝辐照刺激生长的研究表明,经过41天海水养殖扇贝的壳高比对照组增加2.7%—16.9%,体重比对照组增加5.8%—28.5%,对扇贝有刺激生长作用<sup>[27]</sup>。

## 7 超声波技术的应用

据中国科学院南海海洋研究所章之蓉等人报  
31卷(2002年)9期

道,采用一定强度的超声波刺激鱼类,可对鱼类的受精卵产生积极的影响,即缩短孵化时间,提高孵化率和仔鱼成活率,提高它们的抗低温能力。他们采用超声波刺激了金鱼、大鳞副泥鳅和中华鲟,实验结果表明,经超声波作用后其受精卵孵化率比对照组增加约50%,孵化高峰时间约要比对照组提前12h,出膜时间比对照组提前13h,仔鱼成活率比对照组平均提高20%左右,生长速度比对照组提高约23%左右。他们对实验结果分析后认为,一定强度的超声波能促使鱼受精卵的胚胎组织发生微妙的变化,提高了胚胎自身的应激能力,使鱼苗表现出极强的生命力<sup>[28,29]</sup>。

## 8 各种物理因子对水生生物的作用机理

综上所述,一定强度的各种物理因子对水生生物都有一定程度的刺激作用,都能使其出苗率、幼苗成活率、及后期生长速率有明显的提高。但由于这些物理因子刺激水生生物而促进其生长增产的过程是一个非常复杂的过程,涉及的因素很多,对其作用机理,国内外还没有一个统一的定论,我国的研究工作者从不同方面(生物体不同层次包括个体、细胞和分子水平以及其所处的环境——水的变化情况)对作用机制进行了探讨与研究。华东师范大学的陈家森等人认为,电磁场可使水中出现过量的超氧阴离子自由基,而水生生物体内水分含量较多,在电磁场的作用下,一部分水分子便会转化为超氧阴离子自由基,生命体内适量的超氧阴离子自由基具有代谢储能、转化排废及防御消毒的作用,从而使其孵化率和存活率提高,后期生长速度加快,产质量提高<sup>[30]</sup>。又据报道,适当强度的电刺激能引起细胞膜内蛋白酶的构型发生变化,导致它的活力增大,促使膜内外的通透性增强,最后造成代谢速度加快,有利于它们的生长发育<sup>[31]</sup>。也有学者认为,物理因子可改善水生生物所处环境——水质,降低水中的氨氮含量,并使水中含氧量提高,进而使水生生物生命力加强,生长速度加快<sup>[16]</sup>。

## 9 前景与展望

物理技术对水生生物的作用是以水生生物的宏观现象表现的,而这些宏观现象与生物体内的微观过程和机制有着密切的联系。因此,研究物理技术对水生生物作用的重要任务应该是一方面要搞清楚物理效应的宏观现象;另一方面要揭示出物理效应的微观机制,例如物理因子是如何影响水生生物体内

的电子传递 物理因子与各种酶的活性 物理因子与水生生物体内自由基活动 物理因子与水生生物体内的代谢过程等等. 这些方面一旦有所突破, 即可使物理因子的生物效应研究与生物工程结合起来, 不仅可以提高物理技术的应用效果, 而且还可以深化生物工程的研究层次. 而目前的研究状况是: 很多宏观现象的研究尚处于资料的积累阶段, 微观机制的研究还很分散和肤浅, 远没有达到相互联系和明确阐述的程度. 因此, 十分需要继续系统地进行物理效应的宏观实验, 同时还要深入开展微观机制的探讨, 尤其是从分子生物学水平充分利用现代物理仪器手段全方位地进行研究.

物理技术在水产养殖中的应用有着诱人的前景与潜力, 它将解决水产养殖上目前存在的问题提供重要启示, 提供新的机会与希望.

物理技术在我国水产养殖上的应用, 应被看作寻求向高新技术进军战略起点的战略起点. 物理技术在水产养殖上的应用范围将逐步扩大, 新现象与新效应方兴未艾, 层出不穷. 可以预见, 物理技术在水产养殖上的广泛应用及潜在功能的发掘, 将会推动一次水产养殖技术的革命, 这一领域所能开创研究的广度和深度尚未可限量.

## 参 考 文 献

[ 1 ] 梁运章, 白亚乡. 物理, 1999, 28( 1 ): 39[ Liang Y Z, Bai Y X. Wuli( Physics ), 1999, 28( 1 ): 39( in Chinese )]

[ 2 ] 胡玉才, 袁泉, 陈奎孚. 农业工程学报, 1999, 15( 2 ): 15[ Hu Y C, Yuan Q, Chen K F. Transactions of the CSAE, 1999, 15( 2 ): 15( in Chinese )]

[ 3 ] 梁运章. 物理, 1995, 24( 1 ): 39[ Liang Y Z. Wuli( Physics ), 1995, 24( 1 ): 39( in Chinese )]

[ 4 ] 吴丽芳, 李红. 物理, 1999, 28( 12 ): 709[ Wu L F, Li H. Wuli( Physics ), 1999, 28( 12 ): 709( in Chinese )]

[ 5 ] 毛宁, 莫谚谚. 激光生物学报, 1998, 7( 4 ): 306[ Mao N, Mo Y Y. Acta Laser Biology Sinica, 1998, 7( 4 ): 306( in Chinese )]

[ 6 ] 刁岗, 傅志东. 物理, 1993, 22( 10 ): 610[ Xi G, Fu Z D. Wuli( Physics ), 1993, 22( 10 ): 610( in Chinese )]

[ 7 ] 唐树延, 陈淑良. 物理, 1994, 23( 1 ): 32[ Tang S Y, Chen S L. Wuli( Physics ), 1994, 23( 1 ): 32( in Chinese )]

[ 8 ] 刘根春. 物理, 1996, 25( 8 ): 488[ Liu Y C. Wuli( Physics ), 1996, 25( 8 ): 488( in Chinese )]

[ 9 ] 吴孔宝. 物理, 1996, 25( 1 ): 48[ Wu K B. Wuli( Physics ), 1996, 25( 1 ): 48( in Chinese )]

[ 10 ] 叶士, 万东辉, 叶永青. 水产学报, 1990, 14( 3 ): 25[ Ye S J, Wang D H, Ye Y Q. Journal of Fisheries of China, 1990, 14( 3 ): 25( in Chinese )]

[ 11 ] 何兆昌, 高建峰, 王高武. 华东师范大学学报, 1997( 1 ): 108[ He Z C, Gao J F, Wang G W. Journal of East China Normal

University, 1997( 1 ): 108( in Chinese )]

[ 12 ] 胡玉才, 孙丕海, 刘俊鹏. 静电, 1998( 1 ): 27[ Hu Y C, Sun P H, Lu J P. Electrostatics, 1998( 1 ): 27( in Chinese )]

[ 13 ] 孙丕海, 胡玉才, 李仁宸. 水产学报, 1999, 23( 增刊 ): 83[ Sun P H, Hu Y C, Li R C. Journal of Fisheries of China, 1999, 23( Supp. ): 83( in Chinese )]

[ 14 ] 李兴诗. 生物物理学. 北京: 北京科学技术出版社, 1993. 153—182[ Li X S. Biophysics. Beijing: Beijing Scientific & Technical Publishers, 1993. 153—182( in Chinese )]

[ 15 ] 孙家美, 殷锁敖, 姜明连. 自然杂志, 1991, 14( 1 ): 78[ Sun J M, Yin S A, Lou M L. Nature Journal, 1991, 14( 1 ): 78( in Chinese )]

[ 16 ] 王昭正, 泮雁甲. 海洋科学, 1992( 2 ): 38[ Wang Z Z, Pan Y J. Marine Sciences, 1992( 2 ): 38( in Chinese )]

[ 17 ] 谢瑞生, 章之蓉. 养鱼世界( 台湾), 1992, 16( 8 ): 23[ Xie R S, Zhang Z R. The World of Aquaculture( Taiwan ), 1992, 16( 8 ): 23( in Chinese )]

[ 18 ] 扬德龙, 谢瑞生, 章之蓉. 养鱼世界( 台湾), 1992, 16( 8 ): 102[ Yang D L, Xie R S, Zhang Z R. The World of Aquaculture( Taiwan ), 1992, 16( 8 ): 102( in Chinese )]

[ 19 ] 于瑞海, 邢敬敏, 王喜连. 黄渤海海洋, 1995, 13( 4 ): 36[ Yu R H, Xing K M, Wang X L. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1995, 13( 4 ): 36( in Chinese )]

[ 20 ] 宾连广, 唐明富. 水利渔业, 1993( 3 ): 51[ Bin L G, Tang M F. Irrigation Fisheries, 1993( 3 ): 51( in Chinese )]

[ 21 ] 唐明富, 宾连广, 张正新等. 水利渔业, 1993( 4 ): 44[ Tang M F, Bin L G, Zhang Z X *et al.* Irrigation Fisheries, 1993( 4 ): 44( in Chinese )]

[ 22 ] 陈昌钧, 王成文, 王瑞峰等. 淡水渔业, 1996, 26( 1 ): 7[ Chen C J, Wang C W, Wang R F *et al.* Fresh Water Fisheries, 1996, 26( 1 ): 7( in Chinese )]

[ 23 ] 楼宝成. 应用激光, 1984, 4( 5 ): 213[ Lou B C. Applied Laser, 1984, 4( 5 ): 213( in Chinese )]

[ 24 ] 丁永良. 现代渔业信息, 1990, 3( 5 ): 7[ Ding Y L. Modern Fisheries Information, 1990, 3( 5 ): 7( in Chinese )]

[ 25 ] 陈昌钧, 王瑞峰, 曾贤栋. 四川农业大学学报, 1993, 11( 1 ): 113[ Chen C J, Wang R F, Zeng X D. Journal of Sichuan Agricultural University, 1993, 11( 1 ): 113( in Chinese )]

[ 26 ] 武秀荣, 安义, 武明庆. 物理, 1995, 24( 9 ): 550[ Wu X R, An Y, Wu M Q. Wuli( Physics ), 1995, 24( 9 ): 550( in Chinese )]

[ 27 ] 罗克勇. 激光生物学, 1996, 3( 4 ): 94[ Luo K Y. Laser Biology, 1996, 3( 4 ): 94( in Chinese )]

[ 28 ] 章之蓉, 谢瑞生. 养鱼世界( 台湾), 1994, 18( 9 ): 37[ Zhang Z R, Xie R S. The World of Aquaculture( Taiwan ), 1994, 18( 9 ): 37( in Chinese )]

[ 29 ] 章之蓉, 谢瑞生, 翁少萍等. 养鱼世界( 台湾), 1995, 19( 9 ): 48[ Zhang Z R, Xie R S, Weng S P *et al.* The World of Aquaculture( Taiwan ), 1995, 19( 9 ): 48( in Chinese )]

[ 30 ] 陈家森, 叶士, 陈树德. 物理, 1995, 24( 7 ): 428[ Chen J S, Ye S J, Chen S D. Wuli( Physics ), 1995, 24( 7 ): 428( in Chinese )]

[ 31 ] 陈家森, 周苹. 现代渔业信息, 1993, 3( 10 ): 21[ Chen J S, Zhou P. Modern Fisheries Information, 1993, 3( 10 ): 21( in Chinese )]