

台湾屏东县东港溪拦溪堰对其周边地下水水质及水产养殖的影响

孙 宁

(屏東科技大学 水产养殖系, 台湾 屏東 91207)

摘要:为了解设于屏东县新园乡界河以东港溪上的拦河堰对当地地下水的影响进行一系列研究。首先对台湾西南沿海的屏东县新园乡1989年10月东港溪拦溪堰前后地下水水质及等水位线数据进行了分析,同时逐月收集东港溪拦溪堰周边的佳冬乡养殖池所用的井水、池水、浮游生物、日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)及虾等数据,进行分析与比较。此外,用以上2个乡的地下水进行了鳗鲡幼苗水族箱养殖试验,并检验分析试验后的鳗鱼。各项分析结果表明,拦溪堰的兴建使新园乡的地下水水位降低,附近污染河川的水渗入了地下,对养殖生物的健康产生不同程度的影响。因此建议,在旱季应减少对东港溪拦溪堰水的抽取量;台湾西部尤其是新园乡的水产养殖活动应予以减少。

关键词:拦溪堰;地下水污染;养殖生物病变;日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)

中图分类号:X17

文献标识码:A

文章编号:1000-3096(2009)09-0004-07

台湾西南沿海大部分的地区地层下陷问题严重,此问题常引起地下水的污染并影响养殖鱼的健康。屏东县新园乡位于台湾的西南沿海($22^{\circ}34.0' \sim 22^{\circ}29.6'N$, $120^{\circ}24.5' \sim 120^{\circ}30.0'E$),该地区因近年来地下水盐化及水位下降的速度远较邻近地区明显,而对当地的农业及养殖业造成负面影响。当地居民认为上述问题是台湾省自来水公司于1980年于毗邻新园乡的东港溪上建了一座横跨该溪的拦溪堰以汲取表层河水所致,并为此产生争执。1989年10月台湾省自来水公司立项开展“设堰对地下水水质及养殖物健康间关系的影响”研究,以期了解拦溪堰的建造对地下水水质和水产养殖的影响。

1 材料与方法

1.1 新园乡及佳冬乡概述

屏东县的新园、佳冬两乡均为台湾省西南沿海乡镇,均有淡水养殖业且均于其北部养殖日本鳗鲡(*Anguilla japonica*),而于其南部养殖鳗鲡及海水虾。

新园乡和佳冬乡地质及水文状况亦相近,前者面积为3 831 ha,抽水密度每年每公顷为 $7.9 \times 10^4 \text{ m}^3$,后者面积则为3 098 ha,抽水量每年每公顷 $10.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ [1,2]。两乡均有界河相邻。1990年新园乡有269 ha的咸水鱼池及194 ha的淡水鱼池;佳冬乡有243 ha咸水鱼池及123 ha淡水鱼池,各鱼池均为高密度养殖,除了新园乡有拦溪堰外,当时其他条件均相似。

1.2 资料的收集

建堰前2年的1987年至1988年地下水水质资料,包括盐度、氨、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 Ca^{2+} 、水硬度等,均收集自环保署及屏东县卫生局(以上所检验数据为公司所有,未公开)[3]。

1.3 池水、井水及水中生物取样

依据位置及地下水盐化程度,将新园乡分成上、中、下及港西共4个区,佳冬乡为对照区。新园乡每月随机取样10家养殖户(上部3户、中部及港西各4户、下部3户),每户固定采样同一个鱼池,3个月为一轮,共采集2轮。对照组佳冬乡,则每月随机选取4或5户,每3个月为一轮。

以参考文献[4]方法采集井水、池水、浮游生物、养殖鳗鲡及对虾样品,以备分析。此外,专门于1990年1月及2月各对新园及佳冬地区的井水盐度做了1次采样分析。

1.3.1 水质分析

盐度、pH、溶氧、硫化氢、导电率及透明度等为现场测量。其中,pH使用意大利HANNA公司HI8424型pH计,溶氧使用美国YSI公司58溶氧计,盐度使用美国AquaFauna盐度计,透明度则使用

收稿日期:2009-06-24;修回日期:2007-07-13

基金项目:台湾省自来水公司资助项目

作者简介:孙宁(1945-),男,山东恩县人,副教授,主要从事水产养殖研究,电话:886-8-7740226, Fax:886-8-7701132, E-mail:plsun@mail.npust.edu.tw

Secchi 透明度板, 导电率使用台湾 Sentex 公司 SC-120 导电度计, H₂S 使用美国 HACH 公司 DRL-5 型水质测量仪铅硫化物法^[5]检测。

池水取样后储存于冰柜中, 回到实验室后立刻测量碱度、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N 及氨氮, 使用 HACH DRL-5 型光电比色计测量。井水水样依照 Stirling^[4]法固定保存, 并立刻送往屏东科技大学环保检验中心检验, 重金属使用日本 Hitachi (Z8000 型) 原子吸收分光亮度计测量, 氨态氮使用蒸馏法, 氯使用硝酸银滴定法, 硝酸态氮使用紫外分光光筛选法^[6], 亚硝酸态氮使用 Wood-Armstrong-Richard 方法分析^[7]。

1.3.2 浮游生物及养殖鱼虾采集

浮游植物于水面下 5~10 cm 以 500 mL 塑料瓶收集, 并以 0.5 mL 的 Lugo's 溶液固定, 送至台中中兴大学植物研究所分析。

浮游动物使用 4 μm 孔径的浮游生物网收集, 并以 5% 的中性福尔马林固定后送至高雄中山大学海洋资源系分析。

每池采集鳗鲡 3 尾或虾 5 尾, 虾多为斑节对虾 (*Penaeus monodon*), 偶见罗氏沼虾 (*Macrobrachium rosenbergii*), 具体依养殖种类而定。将采捕的鱼、虾用塑料袋充气后携回分析。

1.3.3 血液标本收集及检验

较大鳗鲡从尾动脉或心脏抽血, 幼鳗多以切断尾部后做涂抹及染色。每尾鱼取标本 2 份, 由屏东科技大学兽医学系检验。一份加入抗凝血剂 (肝素), 用以计算红血球数目、血容比 (血液中红血球体积占有百分比)、SGOT 及血液化学分析; 另一份做血液抹片染色及白血球数目计算, 血液染色使用刘氏染色液。

1.3.4 组织固定

鳗鲡使用 10% 中性福尔马林固定, 虾则使用 Davison 溶液固定, 1 周后, 两者均保存于 60% 的酒精中, 作为以后的组织切片及检验之用。

1.4 水质与养殖生物健康关系的判断

使用综合分析法判断水质与养殖鱼、虾健康的关系。标准如下:

水质 (井水及池水)	35%	} 合计占 50%
鱼池浮游生物分析	15%	
组织切片检验	25%	} 合计占 50%
血液分析	10%	
湿镜检分析	15%	

评分: 5 点: 水质严重危害到养殖鱼、虾的健康;

3 点: 水质对养殖鱼、虾的健康不良有密切影响; 1 点: 水质对养殖鱼、虾的健康有较轻微的影响; 0 点: 水质对养殖鱼、虾的健康有极轻微的影响或无影响。

1.5 水族箱试验

分别取新园乡 4 个区水井的地下水试养鳗鲡苗, 佳冬乡作为对照组。

每区 2 个水族箱, 每箱 25 尾苗。试验前先予蓄养。每日投喂 2 次丝蚯蚓, 每日投喂量为其体质量 3%。每日抽底换水 10%。60 d 后对实验鱼进行计数秤质量。每箱取 5 尾作血液检验、镜检及组织切片并分析评分。评分标准: 3 个项目均不正常, 5 分; 2 项不正常, 3 分; 1 项不正常, 1 分; 所有项目均正常, 0 分。

1.6 统计分析方法

使用美国芝加哥 SPSS 公司 SPSS 10.0 版的软件^[8]做 Kruskal-Wallis 检验, 检测综合分析法及水族箱试验中各组间是否有显著性差异。如果发现其间有显著性差异, 再使用 Dunn 氏事后检定法以判断各组间显著性差异情形。显著性差异的标准以 $P \leq 0.05$ 来判定。

2 结果

2.1 综合分析法、水族箱试验及井水水质分析结果

表 1 表示新园乡各区水质对养殖物的不良影响, 均明显高于佳冬乡 ($P \leq 0.05$), 尤其新园乡下部水质更是明显劣于佳冬乡。以新园乡 4 个区来比较, 下部水质造成养殖物病变的程度较其他区明显 ($P \leq 0.05$), 下部及中部对养殖物健康不良影响明显高于其他两区 ($P \leq 0.05$)。表 2 表示在鳗鲡水族箱养殖试验结果中, 新园各区地下水水质对养殖物健康危害明显高于佳冬乡 ($P \leq 0.05$)。

表 1 综合分析法评估水质与养殖鱼类健康的关系

Tab. 1 Results of synthesis analysis method relating water quality to fish health

区域	评估养殖池数	平均参数	χ^2	P
上部	10	32.80 ^{ab}	9.581	0.048
中部	11	30.23 ^{ab}		
下部	11	40.14 ^a		
港西	5	31.50 ^{ab}		
佳冬地区	21	21.50 ^b		

注: 据 Kruskal-Wallis 法检验显著性差异, 再经过 Dunn's 多变域分析。“平均参数”为综合评估分析的“平均参数”, 带上标 a, b 者表示有显著性差异 ($P \leq 0.05$), 表 2 同

表 2 井水水质对水族箱养殖鳗鱼的健康影响分析结果

Tab. 2 Influence of well water quality on the health of aquarium cultured eel

区域	评估养殖池数	平均参数	χ^2	P
上部	10	17.25 ^{abc}	17.931	0.001
中部	10	33.40 ^{ab}		
下部	10	33.75 ^{ab}		
港西	10	29.35 ^{abc}		
佳冬地区	10	13.75 ^c		

表 3 各区井水水质用于养殖的不合格率

Tab. 3 Percentage of well water quality over the maximum allowed value for cultured animals

区域	各区井水水质用于养殖的不合格率(%)											
	日本鳗丽、罗氏沼虾							斑节对虾				
	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Cl ⁻	Cu	Cd	Fe	Hg	NH ₄ ⁺ -N	Cu	Cd	Fe	Hg
上部	5.26	0	11.54	0	0	46.15	0	5.26	0	0	46.15	0
中部	55.56	11.11	41.67	0	0	42.86	14.29	55.56	0	0	42.86	14.29
下部	35.24	0	52.00	4.17	6.2	52.00	12.50	35.24	4.1	6.25	52.00	12.50
港西	16.67	0	14.29	0	0	71.43	16.67	16.67	0	0	71.43	16.67
佳冬	10.00	0	26.09	0	0	43.48	0	10.00	0	0	43.48	0

注:用于养殖的水质的最低要求值^[1-10]:1. 对于鳗鱼:总氮:1 mg/L NO₂⁻-N:0.5 mg/L NO₃⁻-N:20 mg/L Cl⁻:1 090 mg/L;2. 对于罗氏沼虾:标准与鳗相同,除了亚硝酸;3. 对于草虾:总氮:10⁻⁶;NO₂⁻-N:2.5 mg/L;4. 对于鳗鱼,罗氏沼虾及草虾:Cu:0.05;Fe:1.0;Cd:0.03;Hg:10;Pb:0.1;Cr:1.0;Ni:0.1;Zn:0.5;重金属的浓度除汞外均为 mg/L,汞为 μ g/L

由表 3 可知,新园乡下部及中部地下水的盐度高于其他各区,较宜于鳗苗及成鳗的成长,且新园乡下部亦宜于海水虾类的养殖。新园乡上部由于井水盐度较低,因此养殖成鳗。然而不论由综合分析法(表 1)还是水族箱养殖的结果(表 2)均可显示,佳冬乡地下水水质远较新园乡各区宜于养殖($P \leq 0.05$)。就新园乡全区言,由表 1,2,3 分析结果显示,下部的水质最不宜于这些养殖物的生长,依次为中部、港西及上部。由表 1,2,3 亦可知,地下水水质对养殖物的健康关系密切,鳗鲡可做为可靠水质污染研究的监测生物。

2.2 新园乡地下水渐次盐化的证据

作者根据屏东县环保局及卫生局地下水历年分析结果,可以看出,由于所分析的地下水水井的深浅及取样月份、季节不同,因此所得的盐度分布并不十分均匀。同时表明,海水已明显入侵到新园乡下半部地下水中,新园乡地下水的盐化是由海岸逐渐向内陆移动^[1]。根据作者 1990 年以前资料,1990 年 2 次井水采样盐度分析结果,以及执行此计划的地下

表 3 是依据台湾农委会特刊第 51 号所列的标准^[9]而求出各区(含佳冬区)井水水质作为鳗鲡、罗氏沼虾及斑节对虾养殖用水的不合格率。由表 3 得知新园乡下部地下水重金属的污染最严重,而中部则氨氮及硝酸盐浓度偏高;港西区则较以上两区的污染情形为轻;新园乡上部及佳冬乡的污染情形最轻微。

水采样分析的结果共同绘制,显示了新园地区 1990 年时地下水盐分(mg/L)的分布^[1]。结果表明,新园乡地下水盐度以沿海及下部沿两河河岸之乡为最高,但是在东港溪沿岸地下水高盐度的范围则远较另一侧的高屏溪沿岸为低。值得注意的是,在东港溪沿岸地下水盐化范围仅达到自来水公司水质处理厂的拦溪堰下方。

沿新园乡两侧的高屏及东港两溪均有感潮带。对高屏溪而言,此感潮带达到新园乡上部,但在东港溪,则止于拦溪堰下^[1,11]。新园乡有超抽地下水的问题,尤其是沿海乡及两河沿河岸乡,由于密集海水虾及鳗鲡鱼塭养殖而更为严重。在东港溪沿岸,海水鱼、虾池只在拦溪堰下方地下水盐化的范围内。由于新园乡地下水水位高于当地的河川水位,每日被抽入港西自来水处理厂的 40 万 m³ 河水含有大量地下水^[1,11]。大量地下水被抽掉,尤其是干季河川水位降低时,使得新园乡下半部地下水位逐渐低于海水及河水水面,引起海水及河水入侵地下水,此种情形在新园乡下半部以及沿高屏溪畔最为严重^[1,11,12],

这些结果与 Ting 等^[3]的研究结果相符合。

新园乡地下水水位在 1981 至 1990 年间的变化,以及在 1990 年时地下水及河川水的流向^[3,12]。数据分析表明,地下水水位在过去 9 年间遽降,此时期与自来水处理厂抽水站自 1990 年开始抽取河川水至本调查开始的时期相当。与新园乡比较,其邻近乡地下水水位下降及海水入侵的情形则远为缓和。建堰抽取东港溪水不但加速了新园乡的地下水水位下降,亦加速了其地下水的盐化程度。

自来水公司由东港溪抽走了大量的地下水,明显减少了新园乡下部的地下水的供应量,以及新园乡沿海及沿河两岸的鱼池对地下水严重超抽,使得有盐分的河水以及海水入侵新园乡下部的地下水,

表 4 毗邻新园的两河川及沿海岸带各类污染源的比例

Tab. 4 Percentage of different pollution sources flowing into rivers and coastal water adjacent to Hsinyuan area

污染源	各类污染源的比例		
	东港溪 ^[20]	高屏溪 ^[21]	新园沿岸 ^[17]
畜牧业	猪、鸡、鸭及鱼池养殖 56.26%	猪、鸡、鸭及鱼池养殖 47.7%	主要为养猪废水,也包括养殖废水
工业	工业区(食品加工、纺织业、金属工业等)11.06%	制革业、废五金回收业及食品工业 25.8%	重金属(尤其为 Cu ²⁺ , Cd ²⁺)污染沿岸,尤其是近东港溪河口
家庭	家庭污水及垃圾 22.98%	家庭污水及垃圾 20.29%	家庭废水污染
非点源渗入	9.7%	6.21%	由农业渗出水及沿高屏溪畔倾倒渗出的废弃物

3 讨论及建议

3.1 新园及邻近乡现况比较

新园及邻近乡的地层下陷情况如图 11 所示^[22],地层下陷的范围已由新园乡向上延伸至邻近的万丹乡。虽然整个屏东乡普遍有超抽地下水及地下水水位下降的问题,虽然也有些乡由于鱼塭密集而有地层下陷的程度更为严重情形^[11],但邻近新园的其他

表 5 2004 及 2005 年新园佳冬两地区地下水观测井水质分析

Tab. 5 Groundwater data analyses of observation wells of Hsinyuan and Chiatung area in 2004 and 2005

年份	区域	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	大肠杆菌 (10 个/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)
2004	新园 1	未检出	未检出	1.4 × 10 ³ *	0.090 *	0.070
2004	新园 2	0.22 *	未检出	3.1 × 10 ³ *	0.070 *	0.080
2004	佳冬 1	未检出	未检出	40	0.010	0.020
2005	新园 1	未检出	2.77	<10	0.01	0.030
2005	新园 2	未检出	3.36	<10	0.06 *	0.030
2005	佳冬 1	未检出	0.30	60	未检出	0.010

资料来源:文献^[25]和^[26]; * 表示其值超过最高允许值;新园 1,新园 2 和佳冬 1 各为不同的观测井

是新园乡地下水渐次盐化的证据。

2.3 新园乡地下水除污染问题的原因

新园沿海水域不但被河川排放水污染,也被附近乡工业排放水的重金属污染^[13,14]。东港、高屏两溪主要污染为养猪的污染、工业污染、家庭生活污染、垃圾渗出水污染以及非点原污染^[13~16]。表 4 为东港、高屏两河川及新园沿海的污染来源。由于两河川及新园沿海受到严重的污染,海水及河水侵入地下水除了带来地下水盐化外也带来了污染,使这两河川的下部以及沿海乡的污染较严重,因此下部乡养殖鱼虾的病变最严重,而中部及港西其次^[17~19]。

沿海乡镇,如东港、林边、佳冬以及枋寮均不像新园乡一样如此向上延伸。在 2005 年 6 月 13 日新园乡由于大雨及大潮曾有严重淹水情形,根据调查发现,其主因为地层下陷所造成^[23]。

由地下水导电率分析结果亦可知,新园乡地下水盐化也已向上部延伸^[24]。故地下水盐化结果与之地层下陷结果相符合。由水质分析的结果亦可知,新园乡地下水水质亦远劣于佳冬乡(表 5)。

根据以上资料,建于东港溪上的拦溪堰明显继续造成新园及其附近范围的地下水盐化及地层下陷问题。然而此一倾向已因近年来斑节对虾及鳗鲡的大量减产,使地下水抽水量亦大量减少而得以缓解^[11,23]。

3.2 对评估方法间产生差异的可能原因分析

各评估方法在统计上存在差异,由表 1 可见,除新园乡下部外,新园乡上部水质对养殖物的不良影响高于其它各区,而表 2、表 3 则显示园乡上部水质污染轻微,对养殖物的不良影响比较低。此乃一是因为水质的影响对上部养殖大鳗较中下部的养殖幼鳗及海水虾明显。而影响海水虾健康及存活率的因素比较复杂,除了养殖环境外,病毒性病原的危害可能更大^[27,28];二是因为管理技术,例如使用药物、水质改良剂及作水技术等均可影响鱼池水质状况和养殖物的健康,并影响到最终评估的结果。

3.3 新园乡下部及中部水质较劣原因的探讨

超抽地下水而引起河水污染及海水入侵地下水,入侵并渐渐向新园中部及上部漫延是新园乡下

表 6 指定年份内主要水质项目分析结果

Tab. 6 Ranges of selected water quality parameters within a certain year

地点	东港溪 ^[1,3]	高屏溪 ^[1,3]	新园沿岸 ^[2,4]
Cd(mg/L)			未检出~0.011 *
Cr(mg/L)	未检出~<0.01	<0.01~0.11 *	未检出~0.013
Cu(mg/L)	0.002~0.02	<0.01~0.02	未检出~0.039 *
Zn(mg/L)	未检出~0.08	0.02~0.12	未检出~0.028
Hg(μ g/L)	<0.1~14.7 *	<0.1~0.5	未检出~2.7 *
Pb(mg/L)	未检出~<0.01	未检出~<0.01	0.0005~0.008
氨氮(mg/L)	0.11~16 *	0.32*~5.6 *	0.02~1.29 *
大肠杆菌数(10 MPN/L)	24 000 * ~1 600 000 *	8 000 * ~900 000 *	0~155 000 *
生物需氧量(mg/L)	4.6~33.0 *	1.5~7.9 *	0.3~7.4 *
溶氧(mg/L)	0 * ~14	0 * ~8.7	0.2 * ~8.3

* 表示所得值超过水质标准的最高允许值;资料来源:文献^[32~35]

3.4 防止对新园乡以及中国台湾其他沿海乡海水入侵现象的建议

3.4.1 对于新园乡的措施

养殖鱼池的面积及放养量必须降低,尤其是接近沿海以及沿两河河岸的养鳗场更须减少面积及放养量。干季时,抽水站的抽水量应予降低^[12]。循环水养殖技术,尤其是地下水抽水量最大的鳗鲡养殖应当使用之。以上方法可减少地下水的抽水量,并提升地下水水位,以减少海水对新园乡的入侵问题。养殖场应当减少,河岸应予管理,由工厂流出的排水应先预处理后才流入河川,这些步骤可减少新园乡

部及中部水质较劣原因之一。新园下部因地下水水位已经低于相邻的河川及海域,而阻止了地下水流入河川及海域,而使污染物堆积于地下水中,尤其在下部的堆积更为严重,这是新园乡下部及中部水质较劣原因的另一原因。

在东港溪污染表现为水中含低溶氧、高生物需氧量、高氨氮、高大肠杆菌数,而锌及多氯联苯污染则发现于底泥中;在其流域地下水中则发现过量的大肠杆菌、砷、铁、锰、氨氮以及总悬浮固体^[13],水的硬度高,而非溶解性有机碳(DOC)也是此河川的污染物^[15]。高屏溪污染则为高的生化需氧量、悬浮固体、氨氮以及大肠杆菌^[14]。高屏溪河谷明显成为重金属沉积污水沟^[18,29]。此外,尚含有非金属污染物——硒^[30]。至于沿海海水污染方面,新园沿岸有有机污染及大肠杆菌污染,在底泥中则有重金属的堆积^[17,18]。有机锡(丁基锡及苯基锡)污染则广为分布于中国台湾沿岸水域中^[31]。表 6 乃依据中国台湾环保署及屏东县环保局所得的资料而制成。

的地下水污染问题。若干季因河川抽水量减少而无法足够供应大高雄地区的供水时,一些补救措施,例如建立海水淡化厂等则应予考虑^[24]。

3.4.2 对中国台湾西部沿海的措施

要消除台湾大部分西部沿海海水入侵及地下水的污染问题,沿西部沿海的鱼塍面积必须减少,而一些省水养殖方法,例如循环水养殖应予研发及实施。工业、民生、畜牧等污染应先予处理后再排放。

致谢:感谢屏東科技大学土木工程系丁澈士博士宝贵建议,同时感谢台湾省自来水公司对本研究的经费提供,并感谢提供本研究所需各项数据官方机构。

- 参考文献:
- [1] 孙宁. 新园地区自来水设施损害鉴定评估三、养殖及养殖水质评估 [R]. 中国台湾: 台湾屏东农业专科学校, 1990.
- [2] Sun P L. An evaluation of the influence of a weir built cross the Tongkong River to take subsurface flow on the ground water quality and aquaculture animal health [A]. The World Aquaculture Society . Paper presented in Aquaculture 2007 of the World Aquaculture Society [C]. San Antonio, Texas, USA: the World Aquaculture Society ,2007. 893.
- [3] Ting C S. Application of a groundwater model in the dispute among water users in the Pingtung Coastal Plain, Taiwan [A]. The Founding of the Geological Society of China. Proceedings of International Workshop on Ground Water and Environment. Celebrating the 70th Anniversary of the Founding of the Geological Society of China [C]. Beijing, China : Seismological Press, 1992. 332-345.
- [4] Stirling H P. Chemical and Biological Methods of Water Analysis for Aquaculturalists [M]. Scotland: Institute of Aquaculture, University of Stirling, 1985.
- [5] HACH Company. HACH Water Analysis Handbook for DR/3 and DREL/5 Spectro-photometers [R]. Loveland: HACH Company, 1985. 364.
- [6] 环保通讯周刊杂志社. 检验方法 [M]. 台北: 环保通讯周刊杂志社, 1990.
- [7] Greenberg A E, Trussell R R, Clesceri L S. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 16th ed [M]. Washington, D C: American Public Health Association, 1985.
- [8] 吴明隆. SPSS 统计应用学习实务: 问卷分析与应用统计 [M]. 台北: 知城, 2005.
- [9] 中国台湾农业委员会. 养殖用水循环利用数据集 [J]. 农委会渔业特刊, 1995, 51: 4-5.
- [10] Chen H C. Water quality criteria for farming the grass shrimp, *Penaeus monodon* [A]. Taki Y, Primavera J H, Llobrera J A. Proceedings of the First International Conference on the Culture of Penaeid Prawns/Shrimps [C]. Iloilo, Philippines; Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center, 1985. 165.
- [11] Sun P L. A study on how to prevent and stop the environmental impacts caused by overpumping of ground water due to fish farming activities in Taiwan [A]. Chonbuk National University . Proceedings of International Seminar on "Management of Irrigation and Water Resources" [C]. Chonju, Korea: Chonbuk National University, 2002. 123-146.
- [12] 丁澈士, 曹敏中, 陈秋杨. 新园地区地下水资源管理的研究 [J]. 技术学刊, 1996, 11(3): 321-335.
- [13] 刘心. 东港流域河川栖地的调查研究 [D]. 屏东: 国立屏东科技大学, 2007. 81.
- [14] Ning S K, Chang N B, Yang L, *et al.* Assessing pollution prevention program by QUAL2E simulation analysis for the Kao-Ping River Basin. Taiwan [J]. **Journal of Environmental Management**, 2001, 61: 61-76.
- [15] Shen Y H, Chaung T H. Removal of dissolved organic carbon by coagulation and adsorption from polluted source water in Southern Taiwan [J]. **Environment International**, 1998, 24: 497-503.
- [16] Sun P L, Brown-Peterson N J, Hawkins W E, *et al.* Morphological and histological abnormalities in *Tilapia (Oreochromis spp.)* from contaminated rivers in southern Taiwan [J]. **Environmental Sciences**, 1998, 6(3): 129-152.
- [17] 中国台湾中山大学海洋环境学系. 八十七年度二仁溪口、高雄港、高屏溪、东港溪、大鹏湾及南湾附近海域海水水质监测计划期末报告 [R]. 中国台湾中山大学, 1998. 420.
- [18] Hung J J, Hsu C L. Present state and historical changes of trace metal pollution in Kaoping coastal sediments, southwestern Taiwan [J]. **Marine Pollution Bulletin**, 2004, 49: 986-998.
- [19] Lee C L, Fang M D, Hsieh M T. Characterization and distribution of metals in surficial sediments in southwestern Taiwan [J]. **Marine Pollution Bulletin**, 1998, 36(6): 464-471.
- [20] 中国台湾行政院环境保护署. 东港流域污染整治规划摘要报告 [R]. 台北: 中国台湾行政院环境保护署, EPA-82-G105-09-14, 1993. 151.
- [21] 行政院环境保护署. 高屏河流域污染整治规划摘要报告 [R]. 台北: 中国台湾行政院环境保护署, EPA-82-G105-09-14, 1993. 179.
- [22] 中国台湾经济部水利署. 以力力溪及水廊道伏流水补注地下水舒缓林边地区地层下陷及地下水咸化的刍议 [J]. 永续发展简讯, 2004, 9: 9-18.
- [23] 中国台湾灾害防救科技中心. 0612 豪雨水灾事件的灾因勘查分析 [EB/OL]. <http://ncdr.nat.gov.tw/news/newsletter2/005/0612.pdf>. 2005-06-12.
- [24] 陈文福. 台湾的地下水 [M]. 台北: 远足文化, 2005. 213.
- [25] 中国台湾经济部水利署. 2004 年台湾水文年报 [EB/OL]. <http://gweb.wra.gov.tw/ebooks/ebook/hyb2004/default.htm>. 2005-05-06.
- [26] 中国台湾经济部水利署. 2005 年台湾水文年报 [EB/OL]. <http://gweb.wra.gov.tw/ebooks/ebook/hyb2005/default.htm>. 2006-06-07.
- [27] 陈弘成, 辛阿燕, 高事宜. 宜兰虾池的生态与池虾生长的研究 [J]. 农委会渔业特刊, 1991, 28: 5-25.
- [28] Pruder G D. Biosecurity: application in aquaculture [J]. **Aquacultural Engineering**, 2004, 32: 3-10.

- [29] Hung J J, Lu C C, Huh C A, *et al.* Geochemical controls on distributions and speciation of As and Hg in sediments along the Gaoping (Kaoping) Estuary Canyon system off southwestern Taiwan [J]. **Journal of Marine Systems**, 2009, **76**(4): 479-495.
- [30] Hung J J, Shy C P. Speciation of dissolved Selenium in the Kaoping and Erhjen Rivers and Estuarues, Southwestern Taiwan [J]. **Estuaries**, 1995, **18**: 234-240.
- [31] Liu L L, Chen S J, Peng W Y, *et al.* Organotin concentrations in three intertidal neogastropods from the coastal waters of Taiwan [J]. **Environ Pollut**, 1997, **98**: 113-118.
- [32] 中国台湾省政府环境保护处. 台湾省河川水质年报 [R]. 南投:台湾省政府环境保护处, 1994, 1995, 1996, 1997.
- [33] 中国台湾屏东县政府环境保护局. 南部海域检测资料 [EB/OL]. <http://www.ptepb.gov.tw/SouthSeaWater.asp>. 2001, 2009-01-01.
- [34] 中国台湾环境保护署. 2006年环境水质监测年报-河川 [EB/OL]. <http://wqshow.epa.gov.tw/water-qaqc/document/LinkDoc/95River.pdf>. 2007, 2009-01-01.
- [35] 中国台湾环境保护署. 2006年环境水质监测年报-海域 [EB/OL]. <http://wqshow.epa.gov.tw/water-qaqc/document/LinkDoc/95sea.pdf>. 2007, 2009-01-01.

The impacts of Tongkong River Weir in Taiwan Pingdong on the groundwater contamination and aquaculture

SUN Ning

(Department of Aquaculture, National Pingtung University of Science and Technology, 91207, Nei Pu, Pingtung, Taiwan, China)

Received: Jul. 24, 2009

Key words: river weir; seawater intrusion; groundwater contamination; Japanese eel (*Anguilla japonica*)

Abstract: Seawater intrusion problems occur along almost the entire western coast of Taiwan, and often cause ground water contamination and affect the health of cultured organisms. In the coastal town of Hsinyuan, Pingtung County, southwestern Taiwan, these problems progressed much faster. A river weir built to extract subsurface water from the Tongkong River was suspected of causing these problems, so a study evaluated the effect of the weir on groundwater quality. Hsinyuan and the nearby town of Chiatung were used for comparison. Groundwater quality and water table contour line data before and after construction of the weir were analyzed. Samples of well water, pond water, plankton, and cultured fish (Japanese eel *Anguilla japonica*) and shrimp from ponds in these five regions were collected and analyzed on a monthly basis. An aquarium test using groundwater from each region to raise Japanese eel fingerlings was also conducted. These results were combined to evaluate the influence of the groundwater quality of each region on the health of cultured fish. The results revealed that construction of the weir lowered the groundwater table, and caused contaminated river water and seawater to intrude into groundwater of the Hsinyuan area, adversely impacting the health of cultured fish. These results suggest that the groundwater drawdown rate of the Tongkong River should be reduced in the dry season. Additionally, aquaculture activities along the western coast must be reduced, especially in the Hsinyuan area. Some other solutions are also proposed. This study further shows that Japanese eel is a reliable environmental biomonitor.

(本文编辑:刘珊珊)