

文章编号: 1674-5566(2018)05-0748-08

DOI:10.12024/jsou.20170402038

水产养殖用水可重复利用性评估指标及相关标准分析

罗国芝^{1,2,3}

(1. 上海水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306; 2. 农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 水产科学国际级实验教学示范中心, 上海 201306)

摘要: 水资源的短缺和环境约束的增强使水产养殖用水重复利用的迫切性增加。如何正确评估经过处理后的养殖水是否能够再次用于养殖是避免处理不足或过量、提高处理效率的基础。目前国内外未见关于如何评估养殖水的可重复利用性的相关报道。养殖水的重复利用性评估可以借鉴养殖源水的评估标准, 但应有所区别。本文基于水产养殖活动对水体的影响特征提出了养殖用水重复利用性的评估指标, 并根据这些指标的性质, 提出了设定固定标准和变动标准两种标准类型的设想。对于既定的生产系统和养殖对象, 开展现有生产行为的记录和分析是获得对实际养殖活动有指导作用的信息的基础。

关键词: 水产养殖; 水处理; 水产养殖用水重复利用; 水质标准; 评估指标

中图分类号: S 959 **文献标志码:** A

“养鱼先养水”, 养殖水质的好坏直接影响养殖对象的生长状况和品质。因此, 养殖水环境调控是养殖管理最重要的部分。水资源的短缺使能够用来养殖的水越来越少, 对养殖活动的环境约束越来越严格, 实现养殖水的重复利用可以减轻养殖活动对外界水资源的依赖和压力, 能够为养殖对象提供一个稳定、安全的环境, 并增加生产过程的可控性, 近年来已引起广泛关注。

与城市废水相比, 水产养殖水属微污染水。养殖水的处理首先要满足维生要求, 要在被净化的同时必须保证养殖对象安全, 也要保证摄食鱼类的人类的安全。我国现有标准中对可以用于水产养殖的水进行了限定, 这些标准可以被借鉴用来评估养殖水的可重复利用性, 但应有所区别, 因为达标的源水使用后, 有些指标会增加, 有些指标会降低, 而有些指标基本不会有什么变化。所以, 在进行养殖用水重复利用的可行性评估的前提是源水已经达标, 经过养殖活动后改变了某些性质, 处理后的水需要达到怎样的标准才能重新进入养殖系统。这种评估能够对养殖水处理单元的工况和工艺提供指导, 在保障养殖对象安全的前提下, 避免处理过度 and 不足, 提高处

理效率和经济效益。

本文分析了水产养殖活动对水质指标的影响, 在此基础上提出了可被用于评估养殖水重复利用性的指标, 并对这些指标在现有标准中的规定以及对制定养殖水重复利用可行性评估标准进行了分析和展望。

1 养殖活动对水质的改变

与陆生动物主要利用碳水化合物和脂肪产生能量不同, 鱼类主要利用蛋白质产生能量^[1], 鱼虾本身蛋白质含量比较高(14.7%~20.5%左右)^[2], 所以, 鱼虾的常规蛋白质需求要比哺乳动物高 2~3 倍^[3]。此外, 鱼虾的肠道比较短^[4], 比如鲤鱼的肠道长度仅比鱼体长 2.0~2.5 倍, 而牛、羊则长 20~30 倍, 人类约为 3~4 倍^[3], 这导致被摄入的食物在鱼虾肠道内停留时间短, 对食物的吸收有限, 相当一部分投喂饲料不能被利用而被排泄、排放到环境中^[5]。因此, 水产饲料需要具有高的营养含量(含 25%~55%粗蛋白)和被消化率^[6]。代谢废物和残饵存在于养殖水体中, 如果超出养殖水体的自净能力, 对养殖对象可能产生不利的影响, 因此, 投饵养殖的水产养殖水体

收稿日期: 2017-04-29 修回日期: 2018-05-11

基金项目: 上海市科学技术委员会资助项目(14320501900)

作者简介: 罗国芝(1974—), 女, 教授, 博士, 研究方向为水产养殖用水重复利用。E-mail: gzhluo@shou.edu.cn

需要经过一系列处理,将不能被利用的投入品的影响抵消,才有可能被再次利用。

养殖过程中会产生 3 类污染物,第一类是养殖设施本身或者设施清洁过程排出的物质;第二类是养殖过程中防病治病用到的药剂;第三类是残饵和代谢物质,包括粪便、氨氮等^[7]。前两种污染物超标比较少见,也不会因为养殖水重复利用而明显增加到影响养殖对象安全的程度。残饵和代谢物质在水体中会进行一系列反应,最终会以溶解态和悬浮颗粒物形态存在。溶解物包括氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐、磷酸盐和溶解有机物等(图 1)。这些物质都具有较高的生物可利用性,排放到水体中可能会引起富营养化。

对 1980 至 2010 年间发表的研究结果总结发现,配合饲料中的氮含量为 5% ~ 7%,磷含量为 1% ~ 1.1%,养殖鱼类对氮的利用率为 11% ~

36%,磷的利用率为 10% ~ 30%^[6]。一个跑道式养殖场每生产 1 000 kg 的虹鳟会产生 289 ~ 839 kg 的颗粒物、47 ~ 87 kg 的氮、4.8 ~ 18.7 kg 的磷和 101 ~ 565 kg 的碳^[8]。养殖水体中 68% ~ 93% 的氮呈溶解态,30% ~ 84% 的磷则是以颗粒有机物的形态存在^[9]。养殖系统出水中含悬浮颗粒物 5 ~ 50 mg/L,0.12 ~ 14.7 mg/L 氨氮,0.02 ~ 1.5 mg/L 亚硝酸氮,0.01 ~ 5.3 mg/L 硝酸氮和 3.1 ~ 17.7 mg/L 磷酸盐^[10-11]。需要说明的是,很多因素会影响养殖过程中营养物的排放,比如养殖模式、养殖者的操作、养殖的种类、饲料性质等,所以很难给出统一具体的排放数值。对于已经制定的生产计划,可根据已有的相关研究结果估算即将开展的生产过程中排放的废物量,为系统设计和规划提供参考和指导。

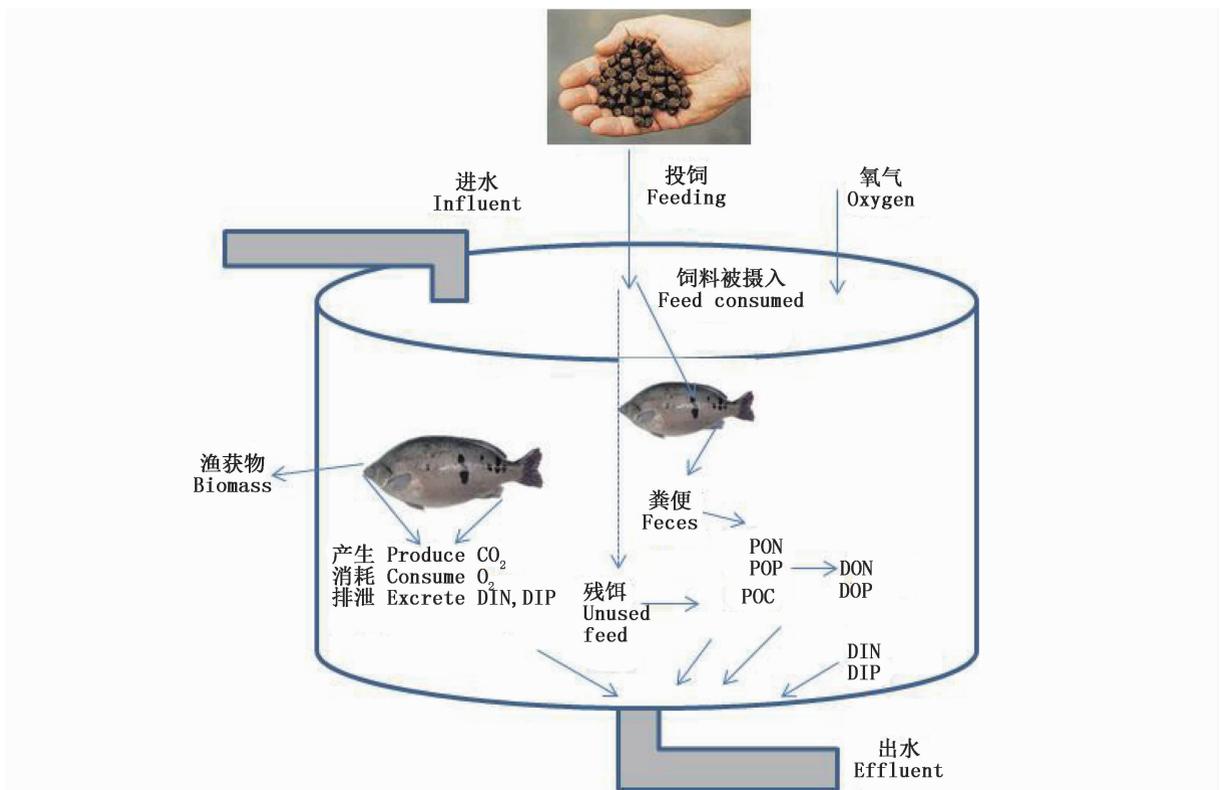


图 1 水产养殖投饵系统的投入与产出示意图

Fig.1 Sketch of food-fish-waste system

PON: Particle Organic Nitrogen, 颗粒有机氮; POC: Particle Organic Carbon, 颗粒有机碳; POP: Particle Organic Phosphate, 颗粒有机磷; DON: Dissolved Organic Nitrogen, 溶解有机氮; DOP: Dissolved Organic Phosphate, 溶解有机磷; DIN: Dissolved Inorganic nitrogen, 溶解无机氮; DIP: Dissolved Inorganic Phosphate, 溶解无机磷

2 养殖水重复利用指标选择

并不是所有的水质指标都有必要用来评估水产养殖用水的重复利用性,因为常规的养殖活动对水体的影响中,既会明显被改变、又会对养殖对象产生影响的水质指标只是全部指标中的一部分。根据指标的理化性质,可以将这些指标分成以下几种类型^[12]:第一类为代谢废物,包括氨氮、亚硝酸氮、硝酸氮、环境激素、磷化合物和生化需氧量(Biological Oxygen Demand, BOD)等。第二类为水溶性气体,包括溶解氧、二氧化碳(CO₂)和硫化氢(H₂S)。第三类为毒素物质,包括重金属、氯(余氯),臭氧(剩余臭氧)和农药(残留)。第四类为溶解的和悬浮的颗粒物,包括盐度、总溶解性颗粒物(Total Dissolved Suspended, TDS)、总悬浮物(Total Suspended

Solids, TSS)。第五类为其他指标,包括 pH 和表面活性物质等。

根据养殖对象对这些指标的不同反应结果,可初步划分这些指标的标准类型。对养殖动物有普遍致死性且致死剂量随种类和其他因素的影响变化较少的指标,包括重金属、剩余臭氧、余氯、pH,可以成为固定的指标(F);对于对养殖对象没有明显致死性、浓度限值主要受到环境约束的指标,比如硝酸盐、磷酸盐、环境激素和农药类等,可以根据法规的规定成为固定指标(F)。表面活性物质和有色物质等对养殖对象没有明显的负面影响,侧重于描述水体的状态,可设定为指示性指标(I)。不同种类对氨氮、亚硝酸盐、DO、悬浮颗粒物含量、盐度的反应有很大不同,需要针对不同的养殖情况进行设定,所以这些指标需设定为可变的指标(V)(表1)。

表1 水产养殖重复用水水质评估指标
Tab.1 Water quality assessment index for water reuse in aquaculture

类型 Type	指标 Parameter	标准类型 Type of criteria	优先级 Priority in reuse	养殖过程中的变化 Change
代谢类物质 Metabolic wastes	氨氮 Ammonia	V	* * * * *	+
	亚硝酸 Nitrite	V	* * * * *	+
	硝酸 Nitrate	F	* * *	+
	环境激素 Pheromones	F	* * *	+
	磷化合物 P compounds	F	* *	+
	有机物 BOD/COD	F	* * *	+
水溶性气体 Dissolved gases	溶解氧 Dissolved oxygen	V	* * * * *	-
	二氧化碳 Carbon dioxide	F	* * * * *	+
	硫化氢 Hydrogen sulfide	F	* * * * *	+
毒素 Toxins	重金属 Heavy metals	F	*	+
	氯 Chlorine	F	* * *	+
	臭氧 Ozone	F	* * * * *	+
	农药 Biocides, toxic organics	F	* * *	+
可溶或悬浮物质 Dissolved or suspended material	盐度 Salinity	V	* * * * *	0
	总溶解物质 Total dissolved solids	V	* * *	+
	悬浮颗粒物 Total suspended solids	V	* * * * *	+
其他指标 Other parameters	表面活性物质 Surface-active compounds	I	* * *	+
	pH	F	* * * * *	-
	有色物质 Color compounds	I	*	+

注:主要源于 COLT^[12]进行修订。F. 固定指标; V. 可变指标; I. 指示性指标。BOD. 生化需氧量, COD. 化学需氧量, “*”越多,优先级越高。“+”表示增加,“-”表示减少,“0”表示没变化影响

Notes: Edit according to COLT. F. fixed criterion; V. variable criterion; I. indicator criterion. BOD. Biological Oxygen Demand, COD. Chemical Oxygen Demand, More “*” means with more priority. “+” means increase; “-” means decrease; “0” means no change

3 我国现有水产养殖水质相关标准

为了贯彻《中华人民共和国环境保护法》(2014)、《中华人民共和国水污染防治法修正案

(草案)》(2016)、《中华人民共和国海洋环境保护法》(2000)、《中华人民共和国水法(修订)》(2013)、《中华人民共和国渔业法》(2013)等法律法规,需要制定渔业(含水产养殖,下同)水质

相关标准,以保障水产品供应和人体健康、维护良好的水生生态系统^[13]。我国现行的有关渔业用水的相关标准包括《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)、《海水水质标准》(GB3097—1997)、《渔业水质标准》(GB11607—1989)、《农产品安全质量无公害水产品产地环境要求》(GB/T 18407.4—2001)等及《无公害食品淡水养殖用水水质》(NY5051—2001)、《无公害食品海水养殖用水水质》(NY 5052—2001)等行业标准。

3.1 专项性标准

《渔业水质标准》(GB11607—1989)主要被应用于渔业水域的监督管理,是渔业资源、渔业污染事故以及养殖用水评价的主要参考依据^[14]。该标准涵盖所有渔业水域,就渔业水质规定了 33 项限定指标,虽然未明确指出该标准应用于水产养殖水,但目前养殖者基本参考这个标准^[15]。

3.2 综合性环境质量标准

《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)被用于水行政部门的水资源质量管理,适用于我国领域内江、河、湖泊等内陆水域,依据地表水使用功能和保护目标将其划分为 5 类,其中的Ⅱ类水适用于鱼虾产卵场等,Ⅲ类水适用于水产养殖区等渔业水域^[16]。但是,《地表水环境质量标准》中没有规定非离子氨的浓度限值,而即使低浓度的非离子氨也可能对水产养殖动物有致死作用。此外,《海水水质标准》(GB3097—1997)根据 35 项监测项目将海水水质分为 4 类,其中的Ⅰ类和Ⅱ类适用于海洋渔业水域。

3.3 针对产品质量的水质标准

3.3.1 无公害水产品的水质标准

2001 年我国实施的《农产品安全质量无公害水产品产地环境要求》(GB/T 18407.4—2001)要求无公害水产品的水质质量应符合《国家渔业水质标准》(GB 11607—89)的规定,并重点就水产品本身的有毒有害物质的限量进行了明确规定。农业部制定的《无公害食品淡水养殖用水水质》(NY 5051—2001)除了规定养殖水源应符合 GB 1160—89 的要求,养殖用水水质管理引用了《渔

业水质标准》(GB11607—89)中的 17 项检测指标。《无公害食品海水养殖用水水质》(NY 5052—2001)引用了《渔业水质标准》和《海水水质标准》,规定了养殖水质的 21 项指标。

3.3.2 绿色水产品的水质标准

《绿色食品产地环境质量标准》(NY/T 391—2000)中有关绿色食品产地渔业水质的管理引用了《渔业水质标准》(GB11607—89)中的 14 项检测指标,增加了 6 价铬的浓度限值。

3.3.3 有机水产品的水质标准

国际有机农业运动联合会于 2000 年初步制定了有机水产养殖业标准,规定进行有机水产品养殖生产必须有 12 个月的时间从常规水域过渡到有机环境。有机水产品养殖活动必须保证周围环境的生态平衡和稳定,保证周围水域的生物多样性的持续性,且不受周围污染源和常规养殖场的影响,养殖鱼类从苗种期到收获期都必须在有机环境中生活,其它水生生物至少其生命周期的后 2/3 在有机环境中养殖。

3.4 几种标准的比较

制订《渔业水质标准》的目的是防止和控制渔业水域水质污染,保证鱼、虾、贝、藻类的正常生长,因此比较重视对有毒金属离子、农药和渔药等污染物的检测。无公害水产品和绿色水产品生产的水质要求基本参考《渔业水质标准》,没有明显差别^[16]。有机水产品主要约束的是养殖水质的大环境,没有就相关指标给出特定的要求。

《地表水环境质量标准》则考虑到有机物污染,设定了高锰酸钾指数和化学需氧量,另外还设定了总磷和总氮项目,目的是反映湖泊或水库等水体的富营养化程度,并增加了六价铬的浓度限值^[16]。无机氮和活性磷酸盐的浓度过高容易引起水中藻类大量繁殖产生富营养化,《海水水质标准》中设定了这两个指标的限值,特别规定了可生食贝类养殖水体的大肠杆菌和粪大肠菌群浓度限值,增加了马拉硫磷、甲基对硫磷的监测。

表 2 中国现有关于水产养殖水质的标准比较

Tab.2 The comparison of the existing standards related to the aquaculture water in China

测试项目 Item	渔业水质标准 (无公害水产品 水质标准同) Fishery water quality standards(Same as Non-polluted aquatic products water quality standards)	绿色水产 品水质标准 Green aquatic products water quality	无公害食品 淡水养殖 用水水质 Pollution-free food freshwater aquaculture water quality	无公害食品 海水养殖 用水水质 Non-polluted seawater aquatic products water quality standards	地表水环境 质量标准 Surface Water Environmental Quality Standard		海水水质 标准 Marine water quality standards	
					II	III	I	II
色、臭、味 Color, smell, taste	不得使鱼、虾、贝、藻类带有 异色、异臭、异味	√	√	√	-	-	√	√
漂浮物质 Floating material	水面不得出现明显油膜或 浮沫	√	-	-	-	-	√	√
悬浮物质 Suspended material	人为增加量≤10,而且悬浮 物质沉积于底部后,不得对 鱼、虾、贝类产生有害的影 响	√	-	-	-	-	人为增加 量≤10	人为增加 量≤100
pH	淡水 6.5~8.5,海水 7.0~ 8.5	√	-	-	6-9		7.5~8.5,同时不超出该海 域正常变动范围的 0.2 pH 单位	
溶解氧 Dissolved oxygen mg/L, ≥	连续 24 h 中,16 h 以上必 须大于 3,其余任何时候不 得低于 3,对于鲑科鱼类栖 息水域冰封期其余任何时 候不得低于 4	5	-	-	6	5	6	5
高锰酸钾指数 Potassium permanganate index mg/L, ≤	-	-	-	-	4	6	-	-
生化需氧量(5 d,20 °C) Biological oxygen demand (Five days, 20 °C) mg/ L, ≤	不超过 5, 冰封期不超过 3	-	-	-	≤3	≤4	1	3
总大肠菌 个/L; Total coliform bacteria Number/L, ≤	不超过 5 000 个/L(贝类养 殖水质不超过 500 个/L)	√	√	√	-	-	10 000,供人生食贝类养殖 水质≤700	
粪大肠菌群 个/L Fecal coliform, Numer/L ≤	-	-		同海水水质标准	2 000	10 000	2 000,供人生食贝类养殖 水质≤140	
汞 Hg mg/L, ≤	0.000 5	总汞 < 0.000 5	√	同海水 水质标准 II	0.000 05	0.000 1	0.000 05	0.000 2
镉 Cd mg/L, ≤	0.005	√	√	同海水 水质标准 II	≤0.005	≤0.005	0.001	0.005
铅 Pb mg/L, ≤	0.05	√	√	√	0.01	0.05	0.001	0.005
铬 Cr mg/L, ≤	0.1	-	-	√	-	-		
铬(六价)Cr(6 ⁺) mg/ L, ≤	-	√	-	同海水 水质标准 II	0.05	0.05	0.005	0.010
铜 Cu mg/L, ≤	0.01	-	√	同海水 水质标准 II	1.0	1.0	0.005	0.010
锌 Zn mg/L, ≤	0.1	-	√	√	1.0	1.0	0.020	0.050
镍 Ni mg/L, ≤	0.05	-	-	-	-	-	0.005	0.010
砷 As mg/L, ≤	0.05	√	√	同海水 水质标准 II	0.05	0.05	0.020	0.030
硒 Se mg/L, ≤	-	-	-	0.02	0.01	0.01	-	-
氰化物 Cyanide mg/L, ≤	0.05	-	-	同海水 水质标准 II	≤0.05	≤0.2	0.005	
硫化物 Sulfide mg/L, ≤	0.2	-	-	-	0.1	0.2	0.02	0.05
氟化物 Fluoride (F-) mg/L, ≤	1	-	√	-	1.0	1.0	-	-
非离子氨 Non-iron ammonia mg/L, ≤	0.02	-	-	-	≤0.5(氨氮)	≤1.0(氨氮)	0.02	

· 续上表 ·

测试项目 Item	渔业水质标准 (无公害水产品 水质标准同)	绿色水产 品水质标准	无公害食品 淡水养殖 用水水质	无公害食品 海水养殖 用水水质	地表水环境 质量标准 Surface Water Environmental Quality Standard		海水水质 标准 Marine water quality standards	
	Fishery water quality standards(Same as Non-polluted aquatic products water quality standards)	Green aquatic products water quality	Pollution-free food freshwater aquaculture water quality	Non-polluted seawater aquatic products water quality standards	II	III	I	II
凯氏氮 Kjeldahl nitrogen mg/L, ≤	0.05	-	-	-	-	-	-	-
无机氮(N) Inorganic nitrogen mg/L, ≤	-	-	-	-	-	-	0.20	0.30
挥发性酚 Volatile phenol mg/L, ≤	0.005	√	√	√	0.002	0.005	0.005	0.010
黄磷 Yellow phosphorus mg/L, ≤	0.001	-	-	-	-	-	-	-
石油类 Petro mg/L, ≤	0.05	√	√	√	0.05	0.05	0.05	0.30
丙烯腈 Acrylonitrile mg/ L, ≤	0.5	-	-	-	-	-	-	-
丙烯醛 Acrolein mg/L, ≤	0.02	-	-	-	-	-	-	-
六六六(丙体) 666 (propyl) mg/L, ≤	0.002	-	√	同海水 水质标准 I	-	-	0.001	0.002
滴滴涕 DDT mg/L, ≤	0.001	-	√	同海水 水质标准 I	-	-	0.000 05	0.000 01
马拉硫磷 Malathion mg/ L, ≤	0.005	-	-	0.000 5	-	-	0.001	-
五氯酚钠 PCP-Na mg/ L, ≤	0.01	-	-	-	-	-	-	-
乐果 Dimethoate mg/L, ≤	0.1	-	√	√	-	-	-	-
甲胺磷 Methamidophos mg/L, ≤	1	-	-	-	-	-	-	-
甲基对硫磷 Methyl parathion mg/L, ≤	0.000 5	-	√	√	-	-	0.001	-
多氯联苯 PCBs mg/L, ≤	-	-	-	0.000 02	-	-	-	-
呋喃丹 Carbofuran mg/ L, ≤	0.2	-	-	-	-	-	-	-
化学需氧量 Chemical oxygen demand mg/L, ≤	-	-	-	-	15	20	2	3
总磷 Total P mg/L, ≤	-	-	-	-	0.2(湖、 库 0.05)	0.3(湖、 库 0.1)	-	-
活性磷 Reactive phosphate mg/L, ≤	-	-	-	-	-	-	0.015	0.030
总氮 Total nitrogen mg/ L, ≤	-	-	-	-	0.5	1.0	-	-
阴离子表面活性剂 Anionic surfactant mg/ L, ≤	-	-	-	-	0.2	0.2	0.03	0.10
⁶⁰ 钴 ⁶⁰ Co, Bq/L, ≤	-	-	-	-	-	-	0.03	-
⁹⁰ 锶 ⁹⁰ Sr, Bq/L, ≤	-	-	-	-	-	-	4	-
¹⁰⁶ 钐 ¹⁰⁶ Ru, Bq/L, ≤	-	-	-	-	-	-	0.2	-
¹³⁴ 铯 ¹³⁴ Cs, Bq/L, ≤	-	-	-	-	-	-	0.6	-
¹³⁷ 铯 ¹³⁷ Cs, Bq/L, ≤	-	-	-	-	-	-	0.7	-
苯并 a 芘 Benzopyrene μg/L, ≤	-	-	-	-	-	-	0.002 5	-

注：“-”表示未规定。“√”表示与《渔业水质标准》相同。上述标准内容来源于国家技术标准资源服务平台 <http://www.gb688.cn/home/>
Notes:“-” mean no provided. “√” means same to 《Fisheries Water Quality Standards》. The contents in this table were from <http://www.gb688.cn/home/>

各个标准中除了指标的选择不同外,相同指标的浓度限值也有所差别。比如对甲基硫磷和马拉硫磷的浓度限值规定,《海水水质标准》是《渔业水质标准》的2倍,前者对挥发性酚和石油类的浓度限值也高于其他标准,但对氰化物、六价铬和汞等的规定要低于其他标准。这给实际应用增加了难度,造成了标准应用的随意性,降低了标准对实际生产的指导作用。

地方标准和国家标准之间存在优先级,一般来说,地方标准引用国家标准,其标准浓度限值应低于国家标准中的浓度限值。侧重于产品质量的标准除了规定养殖水质指标,更应侧重于对产品质量本身的指标限定,而且应以后者为优先。有研究者指出,进行一般性的渔业生态环境水质评价时,主要依据《渔业水质标准》,选取其中的项目和浓度限值,而《渔业水质标准》中没有规定的项目,则参考其他相应标准^[16]。但是,这些应用方式毕竟缺乏法律依据,需要在今后的法律、法规及标准的制定中进一步明确和完善。

4 分析与总结

设定标准的目的是为了能够对即将开始的养殖活动提供预测,所以标准的获得要尽可能地贴近被预测的情况。由于时间、经费等方面的限制,除了进行一般的生物调查或普查之外,目前环境类标准的限值主要基于研究某种环境因素对个体生物和小样本群体的损伤作用,借助于少数模式实验生物的个体进行实验室研究,以达到推测群体甚至生态系统的反应的目的。这种推测的准确性直接决定了标准的实际指导价值。需要进行养殖用水重复利用的水产养殖系统绝大多数都是可控性较强的生态系统,基于实际生产情况的历史记录对于后续生产具有重要的指导意义,也是制定相关标准的基础。

此外,因为涉及到的指标比较多,而且大部分指标对鱼类的影响会受到其他指标的影响,目前对水产养殖行业来说制定统一的标准比较困难。即使现在已经有了综合指标和分类标准,对水产养殖者来说,仍然需要根据实际的养殖情况进行判断各指标对养殖对象的影响。

再则,现有标准的获得多是来自于大多数单因素毒性试验的结果:使研究对象短时间暴露于某种高浓度毒性物中,而其他指标则在可接受甚

至在最佳范围内;急性毒性试验一般是24 h到96 h,判断标准是出现50%的致死率,慢性试验是30到90 d,基于对未影响剂量、最高影响剂量和最低影响剂量的统计学得到结果。截至本文成稿时,能够查阅到的相关文献中只有一项报道开展了一个完整生命周期的研究:THURSTON等研究了氨氮对虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)影响,研究期限为5年^[17]。不同的养殖系统、养殖工况、养殖密度等都会导致养殖对象对某一指标有不同的反应,现在技术的进步(比如纯氧注入、恒温控制等)使养殖水环境有了明显的改善,已有标准对实际生产的指导意义就更加有限。作者认为,对现有生产行为的记录和分析是获得对将要开展的养殖活动的指导作用的信息基础,而正逐渐兴起的物联网和大数据可能是解决这个问题的有效途径之一。

参考文献:

- [1] HEPHER B. Nutrition of Pond Fishes [M]. Cambridge Univ. Press, Cambridge, NY, USA, 1998, 388.
- [2] BOGARD J R, THILSTED S H, MARKS G C, et al. Nutrient composition of important fish species in Bangladesh and potential contribution to recommended nutrient intakes [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 42: 120-133.
- [3] CRAB R, AVNIMELECH Y, DEFOIRDT T, et al. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production [J]. Aquaculture, 2007, 270(1/4): 1-14.
- [4] HERTRAMPF J W, PIEDAD-PASCUAL F. Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht [M]. The Netherlands, 624: 2000.
- [5] AMIRKOLAIE A K. Dietary carbohydrate and faecal waste in the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L) [D]. University Wageningen, Wageningen, The Netherlands. 2005.
- [6] BOUWMAN A F, BEUSEN A H W, OVERBEEK C C, et al. Hindcasts and future projections of global inland and coastal nitrogen and phosphorus loads due to finfish aquaculture [J]. Reviews in Fisheries Science, 2013, 21(21): 112-156.
- [7] MUGG J, SERRANO A, LIBERTI A, et al. Aquaculture effluents: a guide for water quality regulators and aquaculturists [J]. Aquaculture Center. NRAC Publication No. 00-003. 2007.
- [8] AXLER R P, TIKKANEN C, HENNECK J, et al. Characteristics of effluent and sludge from two commercial rainbow trout farms in Minnesota [J]. The Progressive Fish-Culturist, 1997, 59(2): 161-172.
- [9] LOSORDO T M, WESTERS H. System carrying capacity and

- flow estimation. In *aquaculture Water Reuse Systems: Engineering Design and Management* [M]. TIMMONS, M B, LOSORDO, T. M., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 1994; 9-60.
- [10] TURCIOSA E, PAPENBROCK J. Sustainable treatment of aquaculture effluents—what can we learn from the past for the future? [J]. *Sustainability*, 2014, 6(2): 836-856.
- [11] LIN Y F, JING S R, LEE D Y, et al. Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system [J]. *Aquaculture*, 2002, 209(1): 169-184.
- [12] COLT J. Water quality requirements for reuse systems [J]. *Aquacultural Engineering*, 2006, 34(3): 143-156.
- [13] 何力, 徐忠法, 周瑞琼. 内陆渔业水质环境相关标准的应用和分析 [J]. *水利渔业*, 2004, 24(1): 39-40.
HE L, XU Z F, ZHOU R J, 2004. The practice and analysis of the standards of inland water quality [J]. *Journal of Hydroecology*, 2004, 24(1): 39-40.
- [14] 徐忠法, 于东祥, 水产养殖标准汇编 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1997: 21-25.
- XU Z F, YU D X. *Collection of Aquaculture Standards* [M]. Beijing, China Standard Press, 1997: 21-25.
- [15] 吴永盛, 徐金龙, 黄武, 等. 2016 年湛江养殖场养殖用水中 6 种重金属含量监测分析 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(3): 987-992.
WU Y S, XU J L, HUANG W, et al. Monitoring and analysis of 6 kinds of heavy metals in aquaculture water of Zhanjiang farms in 2016 [J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2017, 8(3): 987-992.
- [16] 曾智超, 金沁. 渔业相关水质标准及其比较 [J]. *水产科技情报*, 2007, 34(4): 158-161.
ZENG Z C, JIN Q. The water quality standards of fisheries and their comparison [J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2007, 34(4): 158-161.
- [17] THURSTON R V, RUSSO R C, LUEDTKE R J, et al. Chronic toxicity of ammonia to rainbow trout [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1984, 113(1): 56-73.

The evaluation parameters and criteria of the reuse possibilities of aquaculture water

LUO Guozhi^{1,2,3}

(1. *Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture (Shanghai Science and Technology Committee), Shanghai 201306, China*; 2. *Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture of PRC, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 3. *National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Ministry of Education of PRC, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*)

Abstract: The urgency demanding to reuse the aquaculture water is more and more strengthen with the shortage of the water resources and the constraint of the environment pollution. How to correctly evaluate whether the treated aquatic water can be used ofr aquaculture again is the basis for avoiding insufficient or excessive treatment and improving treatment efficiency. Few reports about evaluating the reusing possibility was found until now. The reuse avaluation of aquaculture water can draw lessons from the evaluation criteria of aquaculture headwaters, but there should be differences. The current paper proposed the evaluating parameter used to of the reuse aquaculture water based on the effect of the aquaculture activity on the water quality. Furthermore, variation criteria and fixed criteria are proposed according to these parameters. For established production system and aquaculture animals, the recording and analysis of existing production behavior is the basis for obtaining information that can guide the actual aquaculture activities.

Key words: aquaculture; treatment of aquaculture water; reusing of aquaculture water; water quality; evaluating parameters