

文章编号: 1004-7271(2001)04-0293-05

## 水栽培蔬菜对养鱼废水的水质净化效果

谭洪新<sup>1</sup>, 罗国芝<sup>1</sup>, 朱学宝<sup>1</sup>, 瞿玉玘<sup>2</sup>, 郁志明<sup>2</sup>

(1. 上海水产大学设施渔业研究所, 上海 200090; 2. 上海青浦区沈巷特种水产养殖中心, 上海 201714)

**摘要:** 在上海水产大学设施渔业研究所设计的闭合循环水产养殖与蔬菜水栽培综合生产系统中进行暗纹东方鲀养殖和蔬菜水栽培技术研究。水栽培蔬菜对养鱼废水的净化效果表明, 水栽培蔬菜对氨氮、亚硝氮、硝氮、总氮、磷酸盐和 COD 的最大去除率分别为 57.46%、51.72%、3.7%、10.67%、9.72% 和 21.78%; 水栽培蔬菜进水和出水的平均 N/P 比分别为 6.60:1 和 6.53:1。

**关键词:** 工厂化养殖; 蔬菜水栽培; 水质净化

中图分类号: S912 文献标识码: A

## Effect of hydroponic vegetables on water quality purification of aquaculture waste water

TAN Hong-xin<sup>1</sup>, LUO Guo-zhi<sup>1</sup>, ZHU Xue-bao<sup>1</sup>, QU Yu-ji<sup>2</sup>, YU Zhi-ming<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Aquaculture-engineering, SFU, Shanghai 200090, China; 2. Aquaculture Center of Qingpu County, Shanghai 201714, China)

**Abstract:** Obscure puffer (*Fugu obscurus* Abe) and hydroponic vegetables were cultured in closed-circulation aquaculture and hydroponic economy crop integration production system, designed by, Research Institute of Aquaculture-engineering, Shanghai Fisheries University. The results of water quality purification effect of hydroponic vegetables indicate: The hydroponic vegetable's maximal purification rate of ammonia-N, nitrite-N, nitrate-N, total-N, phosphate-P and COD is 57.46%, 51.72%, 3.7%, 10.67%, 9.72% and 21.78% respectively; Average N/P ratio of inlet and outlet is 6.60:1 and 6.53:1 respectively.

**Key words:** industrializing aquaculture; vegetable hydroponics; water quality purification

闭合循环水产养殖与经济作物水培综合生产技术,是在全封闭条件下,运用生物学、环境科学和水处理学等学科的技术,形成的“养、种、净化”三合一的生产模式。主要由鱼类养殖、经济作物水培、水处理(包括生化反应器、臭氧消毒及泡沫分离器等)等部分组成。美国等国家在 20 世纪 80 年代对利用养殖废水进行蔬菜水栽培进行了大量研究,目前可进行多种鱼类养殖,并进行生菜、西红柿、草莓和黄瓜等蔬菜及风信子等花卉的水培生产<sup>[1]</sup>。本实验于 2000 年 10 月至 2001 年 3 月,采用上海水产大学设施渔业研究所设计的上海市青浦区沈巷特种水产养殖中心闭合循环水产养殖与蔬菜水栽培系统,探讨水栽培蔬菜对循环水产养殖系统水质的净化作用,为探索低成本的工厂化水产养殖水处理技术提供参考。

收稿日期: 2001-07-03

基金项目: 上海市科技兴农重点攻关项目[农科攻字(2000)第 6-10 号]和上海水产大学校长科研基金项目(SFU-200001)

第一作者: 谭洪新(1968-),男,四川资阳人,讲师,硕士,从事水产养殖水处理技术及环境生态学研究及教学。

## 1 材料与方法

### 1.1 系统简介

本实验采用上海水产大学设施渔业研究所设计的上海市青浦区沈巷特种水产养殖公司闭合循环水产养殖及蔬菜水栽培系统。水处理部分主要由固液分离装置、生化反应装置、泡沫分离—臭氧消毒装置、蔬菜水培渠等单元组成,系统中水循环使用,系统工艺流程见图1。本次试验采用车间的淡水养殖系统进行水培蔬菜对养鱼废水的水质净化效果研究。

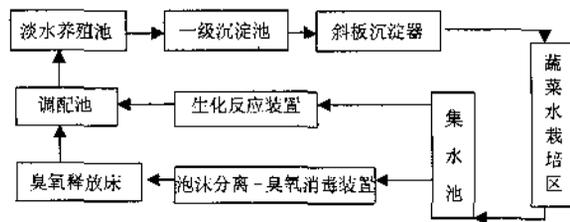


图1 系统结构配置

Fig.1 Structure of system

### 1.2 蔬菜水栽培单元

水培品种有生菜(2000年11月14日种植)、草莓(2000年12月25日种植)。

水培面积为200平方米(46m×0.9m×0.2m,共5条水培渠),其中100平方米栽培生菜(850株,间距25cm×25cm);100平方米栽培草莓(850株,间距25cm×25cm)。

### 1.3 蔬菜营养源供应

系统淡水养殖鱼池废水,经一级水处理后作为蔬菜水培区营养源。

### 1.4 暗纹东方鲀的放养及管理

每个鱼池50m<sup>2</sup>,共4个,用于暗纹东方鲀养殖,2000年10月15-25日开始放入鱼种。其中,1号池放养鱼种5530尾( $\bar{W}=65.8\pm2.1g$ );2号池放养鱼种6115尾( $\bar{W}=7.5\pm0.8g$ );3号池放养鱼种1426尾( $\bar{W}=294.1\pm4.6g$ );4号池放养鱼种1500尾( $\bar{W}=294.1\pm4.6g$ )。按常规养殖技术管理,养殖期间系统不换水,每日补充因日常管理和蒸发而损失的水量,水温为21~26℃,溶解氧为5.5~7.2mg/L,pH为7.1~7.8。

### 1.5 水质检测

pH:PHS-3D多功能pH计;NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N:纳氏试剂比色法;NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N:重氮-偶氮比色法;COD:酸式高锰酸钾法;DO:碘量法/YSI多功能溶氧仪;硝氮:镉-铜还原法;总氮和总磷:同时消化法测定<sup>[2]</sup>。

### 1.6 实验期

实验日期从2000年10月15日到2001年3月15日。

## 2 结果与讨论

### 2.1 蔬菜水培期间蔬菜的生长情况

在闭合循环鱼类养殖与经济作物水培综合生产系统中,养殖废水提供的营养源能充分满足水培蔬菜的需要,蔬菜生长状况良好。试验表明,经45天水培可收获一茬生菜,其单株平均湿重为350g,平均株高为25~35cm,最长须根长为60~75cm;草莓植入后15天开始开花,挂果率较高。吴椒杭等<sup>[3]</sup>介绍红宝石喜林芋(*Philodendron rubrum*)、豆瓣绿(*Peperomia sandersi*)、金脉爵床(*Sanchezia speciosa*)和金粟兰(*Chloranthus spicatus*)等花卉品种均可进行水培生产。如果能科学管理蔬菜或花卉,并选好水培品种,将获得较好的经济效益。

### 2.2 水培蔬菜对水质净化的作用

#### 2.2.1 水培蔬菜对氨氮的净化作用

从表1和图2可以看出,随着蔬菜生物量的增加,蔬菜对氨氮的去除率(净化效率)也随之增加。方

差分析表明,植物生物量对氨氮去除率有显著影响。生长状况最好的2号生菜水培渠平均氨氮去除率为22.83%,最大为57.46%;其次为4号生菜水培渠(平均为10.83%,最大为18.52%);试验后期植入的草莓生物量比生菜少,其氨氮去除率也比生菜的去除率低,1号和3号草莓水培渠的平均氨氮去除率分别为9.15%(最大为16.19%)、9.40%(最大为18.43%)。

表1 一个单循环中蔬菜水培渠进水和出水的水质指标平均变化情况

Tab.1 The water quality changes of hydroponic vegetables area inlet and outlet in one circulation

	1号草莓水培渠		2号生菜水培渠		3号草莓水培渠		4号生菜水培渠	
	进水口	出水口	进水口	出水口	进水口	出水口	进水口	出水口
氨氮(mg/L)	0.798	0.725	0.804	0.620	0.805	0.729	0.786	0.701
亚硝氮(mg/L)	0.348	0.352	0.351	0.352	0.336	0.343	0.331	0.344
硝氮(mg/L)	24.473	23.567	24.477	24.127	23.940	23.847	23.917	23.097
总氮(mg/L)	30.995	27.800	30.978	28.763	31.408	28.878	30.820	27.530
磷酸盐(mg/L)	3.775	3.739	3.807	3.772	3.924	3.787	3.863	3.835
CO <sub>D</sub> (mg/L)	8.76	8.52	9.09	7.11	8.91	8.43	8.54	8.37
N/P	6.79	6.59	6.73	6.65	6.39	6.58	6.48	6.30
TN/P	8.21	7.43	8.14	7.63	8.00	7.63	7.98	7.18
氨氮去除率(%)	9.15		22.83		9.40		10.83	
	(1.90~16.19)		(1.29~57.46)		(2.20~18.43)		(2.48~18.52)	
亚硝氮去除率(%)	-1.01		-0.04		-1.96		-3.81	
	(-10.45~12.45)		(-11.02~51.72)		(-11.36~8.53)		(-18.09~8.53)	
硝氮去除率(%)	3.70		1.43		0.39		3.43	
总氮去除率(%)	10.31		7.15		8.06		10.67	
磷酸盐去除率(%)	0.94		0.91		3.49		0.70	
	(0.67~4.03)		(0.05~9.72)		(0.02~5.03)		(2.71~7.75)	
CO <sub>D</sub> 去除率(%)	2.74		21.78		5.39		2.00	

注:1. 每条水培渠进口和出口氨氮样本数为54;亚硝氮为60;硝氮为19;总氮为12;磷酸盐为30;CO<sub>D</sub>为19。

2. 去除率=(进水口-出水口)/进水口;数值表示为:平均去除率(最小去除率~最大去除率)。

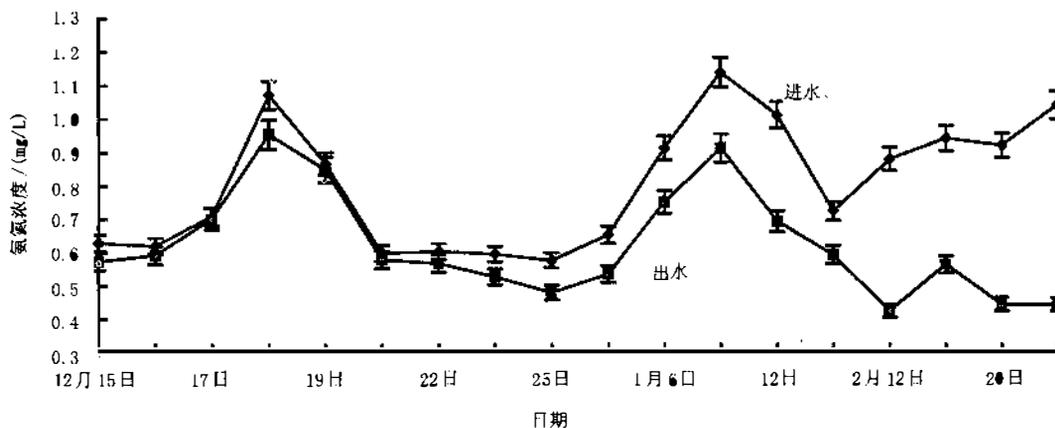


图2 蔬菜水培渠进水口和出水口氨氮浓度变化

Fig.2 The ammonia concentration changes of hydroponic vegetables area inlet and outlet

植物或花卉在水栽培过程中能形成发达的根系,在根系部位能形成独特的水体-植物根系-微生物生态系统<sup>[4]</sup>,其对氮元素的利用主要有植物的直接吸收和微生物的硝化-反硝化作用。从水处理的

角度分析,养殖废水中的氨氮不通过微生物的硝化作用,而直接以氨氮的形式被植物吸收有利于养殖水体的维护和降低水处理设备成本。

### 2.2.2 水培蔬菜对亚硝氮的净化作用

从表 1 和图 3 可以看出,各蔬菜水培渠的出水亚硝氮平均浓度均高于进水。要提高蔬菜对亚硝氮的去除效率,可采取如下措施。第一,提高植物的种植密度或增大水培面积,以提高植物对氨氮的直接吸收能力,尽可能减少亚硝氮或硝氮的含量;第二,改善水体-植物-微生物生态系统的环境条件,尤其是溶解氧条件,创造良好的硝化条件,使硝化过程更完全,促进硝氮的形成。从表 1 分析,在部分时期,蔬菜水培渠对亚硝氮也有良好的去除效率,如 2 号生菜水培渠对亚硝氮的去除率曾达到 51.72% (此时生菜生物量较高)。可见,只要提供良好的环境,水培蔬菜对亚硝氮也会有良好的控制效果。

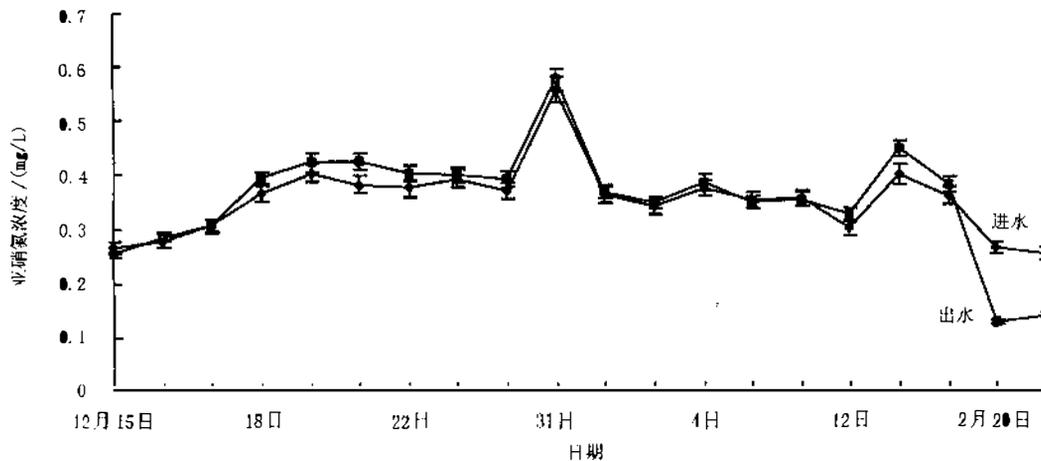


图 3 蔬菜水培渠进水口和出水口亚硝氮浓度变化

Fig.3 The nitrite concentration changes of hydroponic vegetables area inlet and outlet

### 2.2.3 水培蔬菜对磷酸盐、COD 的净化作用

表 1 和图 4 表明,水培蔬菜对磷酸盐的净化效果较低。1 号、2 号、3 号和 4 号水培渠对磷酸盐的平均去除率分别为 0.94%、0.91%、3.49% 和 0.70%,最大去除率为 9.72%。由表 1 可知,蔬菜水培渠对 COD 也有一定的去除效率。1 号、2 号、3 号和 4 号水培渠对 COD 的平均去除率分别为 2.74%、21.78%、5.39% 和 2.00%。其中 2 号生菜水培渠的 COD 去除率最高,达到 21.78%。主要是由于植物发达的根系可以吸附或截留部分有机物所致。国外在用养殖废水进行植物水培时,一般在水培渠中会填充细沙等物质,一方面形成更完备的沙(土壤)-植物-微生物生态系统,另一方面也能更好的吸附和过滤有机物。

### 2.2.4 水培蔬菜对总氮和硝氮的净化作用及 TN/P

从表 1 可见,水培蔬菜对硝氮和总氮均具有一定的去除率。其中,1 号、2 号、3 号和 4 号水培渠对硝氮的平均去除率分别为 3.70%、1.43%、0.39% 和 3.43%;对总氮的平均去除率分别为 10.31%、7.15%、8.06% 和 10.67%。

1 号、2 号、3 号和 4 号水培渠进水的 TN/P 分别为 8.21、8.14、8.00 和 7.98;出水的 TN/P 分别为 7.43、7.63、7.63 和 7.18。1 号、2 号、3 号和 4 号水培渠进水的 N/P 分别为 6.79、6.73、6.39 和 6.48,平均为 6.60;出水的 N/P 分别为 6.59、6.65、6.58 和 6.30,平均为 6.53。方差分析表明,进水和出水的 N/P 比差异不显著。Jungersen<sup>[1]</sup>利用鳗鲡养殖废水水培西红柿时,进水 N/P 比为 6.3,出水为 6.1。本试验结果与其相似,表明水体中氮和磷能比较均衡的被利用。当水体中不存在营养元素限制时,植物能很好地吸收利用水体中的无机营养盐。

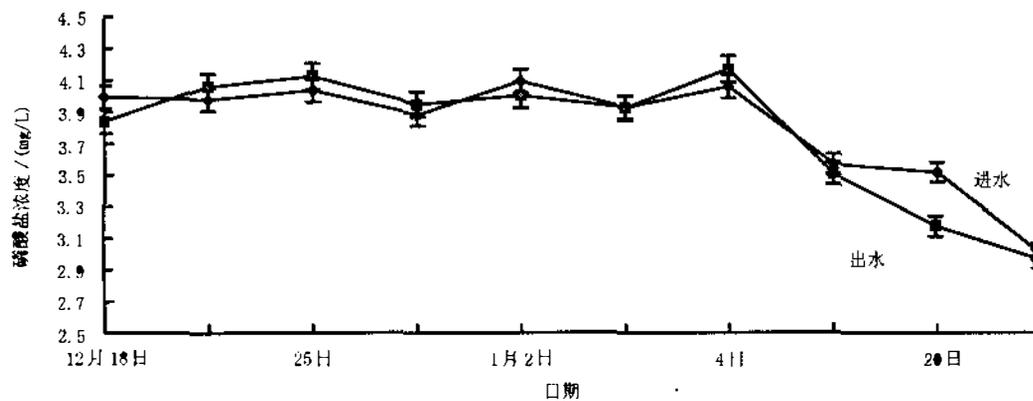


图4 蔬菜水培渠进水口和出水口磷酸盐浓度变化

Fig.4 The phosphate concentration changes of hydroponic vegetables area inlet and outlet

### 2.3 暗纹东方鲀的养殖结果

由表2可知,1~4号池的成活率分别为91.65%、92.0%、95.1%和92.3%;实现最大单位产量12.2 kg/m<sup>2</sup>。采用闭合循环工厂化养殖系统进行暗纹东方鲀的工厂化养殖,国内少见报道。本研究希望能为相关研究提供参考。

表2 暗纹东方鲀的生长情况

Tab.2 The growth condition of *Fugu obscurus*

项目类别	1号池	2号池	3号池	4号池
养殖面积(m <sup>2</sup> )	50	50	50	50
养殖周期(d)	170	200	95	95
鱼种放养平均规格(g/尾)	65.8	7.5	294.1	294.1
鱼种放养量(尾)	5530	6115	1426	1500
鱼种放养密度(尾/m <sup>2</sup> )	110	122	28	30
实验结束时暗纹东方鲀数量(尾)	5068	5626	1356	1384
实验结束时暗纹东方鲀平均尾重(g)	120.4	101.8	334.1	342.7
实验结束时养殖密度(尾/m <sup>2</sup> )	101	112	27	27
实验结束时单位产量(kg/m <sup>2</sup> )	12.2	11.5	9.1	9.5
成活率(%)	91.7	92.0	95.1	92.3
平均尾增重(g)	54.6	94.3	40	48.6
饲料系数	1.8	1.69	1.81	1.76

### 参考文献:

- [1] Jungersen G. Resource-saving and ecological aspects of using wastewater from eel breeding as a source of nutrients, water, and carbon dioxide from plant production[A]. Ecological engineering for wastewater treatment proceedings[C]. Sweden: Stensund Folk College, 1991. 208-215.
- [2] Grasshoff K. Methods of seawater analysis[M]. New York: Verlag Chemie, 1999. 159-206.
- [3] 吴椒杭,姜震方,姚乃华. 另类水生观赏植物——水培花卉[J]. 北京水产, 2000, 6:54-55.
- [4] 李辉华,朱学宝. 人工湿地在水产养殖废水处理中的应用前景[J]. 北京水产, 2000, 5:10-11.