

文章编号: 1674-5566(2012)05-0777-07

3 种蔬菜及浮植方式对虾池水体的净化效果

戴习林¹, 郭 印¹, 钱辉仁², 胡伟国³, 陈 薇³

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 2. 上海蓝海水产发展有限公司, 上海 201415; 3. 上海市奉贤区水产技术推广站, 上海 201400)

摘 要: 以对虾养殖池水为培植水, 采用 3 种浮植方式水培水芹、水蕹菜和生菜, 通过对蔬菜的生长、氮磷的吸收及对虾池水化学状况的比较, 探讨 3 种蔬菜对虾池水的净化效果以及适合水培蔬菜的浮植方式, 以解决养殖期间虾池水体氮磷积累的问题。结果表明, 水蕹菜日增重量与吸收氮磷能力显著高于水芹与生菜, 且存活率最高。3 种蔬菜对虾池水水质均有净化效果, 其中水蕹菜效果最为明显, 20 d 后种植水蕹菜的水体中总氮、硝态氮、总氮、总磷以及化学需氧量分别下降 55.0%、78.6%、52.6%、44.2% 和 41.3%, 水芹次之。3 种浮植方式对水芹和水蕹菜生物量的增加和氮磷的吸收无显著影响, 生菜则以浮板种植最佳。研究认为, 在 3 种蔬菜中水蕹菜对虾池水体的适应性强, 是较为适宜在对虾池塘中种植的蔬菜, 绳结式浮植方式为其在虾池中种植的适宜方式, 结合上海地区对虾生产, 建议在虾池早期按 500 kg/hm² 种植水蕹菜, 能吸收利用未被利用的 50% 的输入氮。

研究亮点: 以对虾养殖水为试验水, 采用绳结、浮框、浮板 3 种浮植方式分别种植水芹、水蕹菜和生菜, 试验得出水蕹菜的水质净化效果最佳, 是较适宜在凡纳滨对虾池中种植的蔬菜, 且绳结式浮植方式为其最佳方式, 并提出在虾池早期按 500 kg/hm² 种植水蕹菜, 能吸收利用未被利用的 50% 的输入氮的建议, 为控制虾塘水体富营养化提供了理论依据和生产技术指导。

关键词: 蔬菜; 浮植方式; 水质净化; 对虾

中图分类号: S 912

文献标志码: A

自 20 世纪 80 年代以来, 随着中国明对虾工厂化育苗技术的突破, 生产率不断提高, 对虾养殖业已成为我国水产支柱产业。特别是近 10 年, 随着以凡纳滨对虾为代表的对虾养殖规模的不断扩大, 产量持续增长, 2010 年总产量达 134.8 万吨^[1]。而密度和产量的增加势必引起养殖池塘中残饵、粪便和动物尸体等有机物的不断积累, 易使养殖水环境恶化, 同时外部水源不同程度的富营养化, 极易导致对虾疾病爆发, 阻碍对虾养殖业的健康发展^[2]。众多学者相继开展了虾池水质净化调控技术的研究, 有采取栅栏、筛网、沉淀、气浮、过滤等处理池水的物理方法, 有向水体中加入化学药剂, 促使污染物配位、沉淀、

中和以及氧化还原等的化学方法, 也有包括生物膜法、有益微生物法、水生动物及水生植物修复法等在内的生物修复方法^[3]。其中水培高等水生植物净化水质效果好, 水环境较稳定, 且具不易引起水体二次污染, 成本相对较低的优势, 能高效、稳定、经济地净化养殖池水^[4]。已有较多文献报道, 水生植物对水中的氮磷营养盐具有明显的去除效果, 已用于湖泊水库等水体的富营养化的控制^[5-10]。但关于蔬菜此类高等经济植物水培净化对虾池水的研究报道甚少, 未见水培蔬菜对虾池水中氮磷的利用和栽培方式的报道。本试验于 2011 年 5 月至 7 月开展, 选用 3 种上海地区常见蔬菜, 利用 3 种浮植模式, 开展蔬菜净

收稿日期: 2011-12-28 修回日期: 2012-03-09

基金项目: 上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科攻字(2010)第 1-6 号]; 上海市科技兴农科技推广项目[沪农科推字(2008)第 5-1 号]; 上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科攻字(2011)第 3-1 号]; 上海市教育委员会重点学科建设项目(J50701)

作者简介: 戴习林(1969—), 男, 副教授, 研究方向为水产养殖与海洋生物学。E-mail: xldai@shou.edu.cn

化虾池水质试验,探讨蔬菜对对虾池水净化的效果及虾池中蔬菜的浮植方式,为控制虾塘水体富营养化提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验用水芹 (*Oenanthe javanica*)、水蕹菜 (*Ipomoea aquatica*) 和生菜 (*Lactuca sativa*) 均为上海本地种土培苗,购自上海市奉贤庄行蔬菜市场,经去土洗净后用对虾池水驯化培养一周后备用。试验用浮板为 1 m × 1 m × 0.02 m 聚苯乙烯泡沫板,等距 20 cm 打孔 (Φ 50 mm); 浮框是自制的塑料绳编织网,框架为 PVC 管材 (Φ 50 mm), 方形框 (1 m × 1 m)。试验用水为对虾养殖池塘水,各试验池初始水质状况列于表 1, 试验水槽为塑料大棚养殖水泥池 (4.86 m × 4.82 m × 1.2 m)。

表 1 各试验池初始水质状况

Tab. 1 Initial water quality of experimental ponds

水质指标	试验水体					
	水芹池 1	水芹池 2	水蕹菜池 1	水蕹菜池 2	生菜池 1	生菜池 2
TAN/(mg/L)	0.48	0.38	0.62	0.38	0.68	0.63
NO ₂ ⁻ -N/(mg/L)	0.36	0.44	0.53	0.49	0.49	0.87
NO ₃ ⁻ -N/(mg/L)	1.46	1.53	1.92	1.97	1.80	0.87
TN/(mg/L)	4.70	2.82	3.14	4.27	3.06	2.71
PO ₄ ³⁻ -P/(mg/L)	0.43	0.29	0.46	0.54	0.55	0.37
TP/(mg/L)	1.12	0.68	1.38	1.52	1.56	0.75
COD _{Mn} /(mg/L)	11.84	14.50	12.16	14.40	14.49	14.34

1.2 试验方法

试验池注入 60 cm 虾池用水后,随机选取叶片颜色相近,长势良好的 3 种蔬菜植株,其中水芹平均株高 (25 ± 5) cm,水蕹菜平均株高 (15 ± 5) cm,生菜真叶片数为 5 ~ 6 片。去除腐枝烂叶,并冲洗干净,吸水纸吸干表面水分后,按水芹与水蕹菜每穴 3 ~ 4 株,生菜每穴 1 株准确称量 3 种蔬菜每穴植株重量。3 种浮植方式分别为绳结式、浮框式和浮板式,将每穴蔬菜按 20 cm 等间距固定于尼龙绳上,两端固定于岸上,蔬菜漂浮于水面,此为绳结式栽培方式;浮框式栽培方式是将每穴植物按 20 cm 等间距置于网眼中,整框漂浮于水面;浮板式栽培方式是将植株根植于泡沫板孔内,以海绵固定,每孔一穴,整板浮于水面。每口试验池种植同种蔬菜,同时安排同种蔬菜的

3 种栽培方式,每种蔬菜试验池各 2 口,每池同种蔬菜的 3 种栽培方式种植植物穴数大于 16。试验期间光照和温度条件列于表 2。20 d 后,收集全部蔬菜,吸干水分后称重,并随机选取部分样品分别测定含水率、存活率、总氮和总磷含量,且试验期间,每日观察记录植物生长情况,每 5 天检测水质一次。

表 2 试验植物生长期间光照和温度情况

Tab. 2 Situation of illumination intensity and temperature during the tested plants growth period

种植时间	1 ~ 5 d	5 ~ 10 d	10 ~ 15 d	15 ~ 20 d
光照强度 /lux	2 820 ~ 28 200	2 205 ~ 12 710	2 840 ~ 49 600	2 760 ~ 61 500
气温/℃	19.6 ~ 25.8	20.1 ~ 25.6	19.6 ~ 28.8	20.5 ~ 29.3
水温/℃	20.9 ~ 25.3	21.5 ~ 25.1	20.3 ~ 26.5	21.0 ~ 27.6

1.3 测定指标和方法

将经吸干表面水分准确称量的植物样品置于 70 °C 下烘干,至恒重时重量为蔬菜样品干重,湿重与干重的差值与湿重的百分比为植物样品的含水率 (R_w)。烘干后的各蔬菜样品采用碾磨机粉碎、0.25 mm 筛网过滤保存^[11],再经浓硫酸-过氧化氢消解^[12]后,分别采用半微量凯氏定氮法^[12]和钼锑抗分光光度法^[13]测定植物总氮 (TN) 和总磷 (TP)。

采用奈氏试剂法、盐酸萘乙二胺比色法、锌镉还原法、磷钼蓝分光光度法、碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法、硫酸钾消解-钼锑抗比色法分别测定试验水体中的总氨氮 (TAN)、亚硝态氮含量 (NO₂⁻-N)、硝态氮含量 (NO₃⁻-N)、活性磷酸盐含量 (PO₄³⁻-P)、总氮 (TN)、总磷 (TP),化学需氧量 (COD_{Mn}) 则用碱性高锰酸钾法测定^[13]。存活率 (R_s) 为试验期间每穴生物量净增量为正值 ($\Delta W > 0$) 穴数与种植总穴数的百分率。其它指标的计算公式如下:

$$W_V = (W_t - W_0) / (W_0 \times D) \quad (1)$$

$$W_N = [W_t \times (1 - R_{w(t)}) \times C_{t(TN)} - W_0(1 - R_{w(o)}) \times C_{o(TN)}] / (W_0 \times D) \quad (2)$$

$$W_P = [W_t \times (1 - R_{w(t)}) \times C_{t(TP)} - W_0(1 - R_{w(o)}) \times C_{o(TP)}] / (W_0 \times D) \quad (3)$$

式中: W_V 为蔬菜日增量; W_N 为蔬菜氮日增量; W_P 为蔬菜磷日吸收量; W_0 为每穴蔬菜初始重量; W_t 为每穴蔬菜终末重量; D 为试验天数 (20 d);

$R_{w(0)}$ 为蔬菜初始含水率; $R_{w(t)}$ 为蔬菜终末含水率; $C_{0(TN)}$ 为初始蔬菜单位干重总氮含量; $C_{t(TN)}$ 为终末蔬菜单位干重总氮含量; $C_{0(TP)}$ 为初始蔬菜单位干重总磷含量; $C_{t(TP)}$ 为终末蔬菜单位干重总磷含量。

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 软件进行处理, 试验结果均用平均值 \pm 标准差 ($\bar{X} \pm SD$) 表示, 单因素方差分析采用 SPSS 17.0 分析, 均值比较采用 Duncan 法。

2 结果

2.1 浮植方式对 3 种蔬菜生长的影响

经过 20 d 的培养, 3 种蔬菜的日增重量与存活率见表 3。由表 3 可知, 3 种浮植方式下, 试验期间不同蔬菜的日增重量间均存在显著性差异 ($P < 0.05$), 水薹菜的日增重量最大, 显著高于水芹与生菜。观察发现水薹菜在整个试验期间生

长良好, 无腐烂现象, 而水芹和生菜部分个体出现腐烂枯萎现象, 3 种蔬菜中水薹菜存活率 100%, 其次为水芹 82.29%, 两者显著高于生菜存活率 37.52% ($P < 0.05$)。

比较表 3 蔬菜日增重量数据可发现, 虽然绳结式浮植方式下水薹菜的日增重量最大, 分别是浮板式和浮框式的 1.31 和 1.35 倍, 但方差分析结果表明, 浮植方式对水薹菜日增重量的影响, 与 3 种浮植方式下日增重量较相近的水芹一样, 差异不显著 ($P > 0.05$); 而浮板式栽培方式下的生菜日增重量最大, 显著高于绳结式与浮框式, 可见浮植方式对生菜日增重量的影响显著 ($P < 0.05$)。另外 3 种栽培方式下水薹菜植株全部存活, 3 种栽培方式的水芹存活率差异极小, 两者的 3 种栽培方式下存活率均显著高于生菜 ($P < 0.05$), 同时生菜的浮板式栽培方式存活率显著高于浮框式的 35.00% 和绳结式的 22.00% ($P < 0.05$)。

表 3 试验植物的日增重量与存活率

Tab. 3 Daily increase biomass per unit for the tested plants and survival rate

试验蔬菜	单位重量日增重				存活率		
	绳结式/[g/(g·d)]	浮框式/[g/(g·d)]	浮板式/[g/(g·d)]	平均值/[g/(g·d)]	绳结式/%	浮框式/%	浮板式/%
水芹	0.013 0 \pm 0.011 6 ^{a/a}	0.014 7 \pm 0.016 0 ^{a/a}	0.013 9 \pm 0.011 6 ^{a/a}	0.013 9 \pm 0.012 4	83.34 ^{a/a}	83.34 ^{a/a}	82.00 ^{a/a}
水薹菜	0.213 7 \pm 0.073 8 ^{b/b}	0.162 4 \pm 0.060 9 ^{b/b}	0.158 7 \pm 0.100 2 ^{b/b}	0.172 5 \pm 0.091 6	100.00 ^{a/a}	100.00 ^{a/a}	100.00 ^{a/a}
生菜	0.014 9 \pm 0.014 6 ^{c/c}	0.013 8 \pm 0.009 7 ^{c/c}	0.037 0 \pm 0.026 3 ^{d/d}	0.026 6 \pm 0.023 4	22.00 ^{b/b}	35.00 ^{b/b}	55.56 ^{c/c}

注: 数据上标中“/”前字母为同列数据间的均值比较结果, “/”后字母为同行数据间的均值比较结果, 同行或同列中不含有相同字母的数据间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

2.2 3 种蔬菜对虾池水的水质影响

图 1 为经 20 日试验后各试验组池水水体所监测的主要水质指标含量的变化情况, 表 4 所列水质指标基本均出现程度不等的持续下降, 3 种蔬菜中, 水薹菜试验池水体中除 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ 略低于水芹试验池外, 其余 5 项水质指标的下降幅度最大, 特别是化学需氧量的下降率 (41.33%) 几乎是水芹、生菜的 2 倍; 生菜试验池水中除 TAN、 COD_{Mn} 略高于水芹试验池外, 其余 5 项水质指标含量均低于水芹试验组, 更低于水薹菜试验池, 特别是 $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ 与 TP 含量下降率极低, 仅为 3.27% 和 8.87%。同时试验中发现, 试验 15 d 后, 伴随腐烂生菜植株的增加, 生菜试验池水中的 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、TN、TP 以及 COD_{Mn} 含量均出现上升趋势。可见 3 种蔬菜中, 水薹菜对水质的影响也即净化效果最为明显, 水芹次

之, 生菜最弱, 此与 3 种蔬菜的生长状况完全一致。

表 4 各试验组池水氮、磷及有机物的去除率

Tab. 4 Removal rates of nitrogen, phosphorus and organic matter in tested ponds

试验蔬菜	organic matter in tested ponds						高锰酸盐指数
	TN	TP	TAN	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	$\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$	
水芹	35.64	30.11	32.32	84.48	57.47	46.35	22.84
水薹菜	52.63	44.19	54.97	84.56	78.59	42.29	41.33
生菜	22.53	8.87	39.44	37.76	38.02	3.27	26.01

3 讨论

3.1 3 种蔬菜对虾池水体适应性的比较

本次试验结果表明, 3 种蔬菜在对虾池水中均可存活, 且生物量都出现不同程度的增加, 均对水质有净化效果。但方差分析结果表明 3 种

蔬菜品种之间生物量增加差异性显著,此在一定程度上反映了3种蔬菜对虾池水体环境的适应能力有差别,以及3种蔬菜的生长对营养物质的需求有所不同。水蕹菜属一年生经济植物,有很

强的耐高温和耐污能力^[14],耐受范围较广,温度为30℃左右时生长最好。水芹则是水生宿根植物,性喜凉爽,能耐低温,生长适温20℃左右,高温则生长缓慢。生菜喜冷凉,不耐高温^[15],对水体

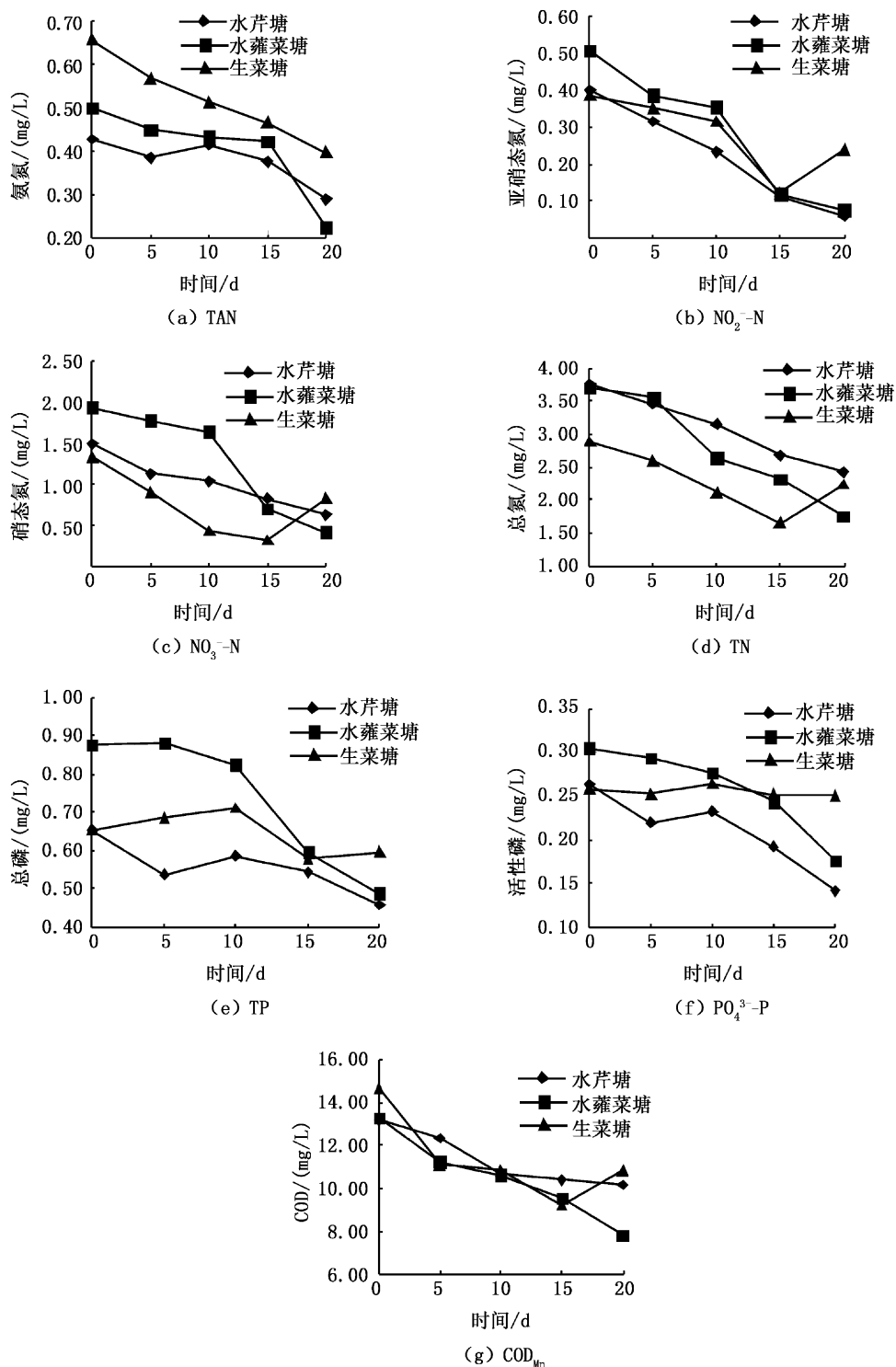


图1 试验期间不同试验池池水主要水质指标含量

Fig. 1 Content of the main indexes of water quality in different tested ponds during experiment period

中氮磷钾要求较高^[16],长时间浸入水中易腐烂。试验中生菜存活率相对较低,返青时间最长,仅部分生长较好,水芹虽然存活率略低于水蕹菜,但自根的茎部节上向四周抽生匍匐枝生长,生长缓慢,出现此情况的原因可能是试验水温(19.9~28.0℃)较高,更有可能是本次试验水体为虾池水,氮磷含量不高,TAN为0.43~0.68 mg/L,NO₃⁻-N为1.33~1.94 mg/L,PO₄³⁻-P为0.26~0.31 mg/L。可见,生菜不宜在夏季直接采用虾塘水体种植,水芹不适宜在高温季节的虾池种植。反观水蕹菜,试验期间根系及茎叶成倍增长并不断有新芽萌生,生长期长,净化水质效果好,可见,在长三角地区虾类主要养殖季节即温度较高的夏季,随着对虾池塘中对虾代谢产物和残饵的不断积累,水体中氮磷含量的不断升高,为水蕹菜提供了适宜的生长条件,因此,水蕹菜对虾池水体的适应性强。

3.2 3 种蔬菜吸收氮磷的能力及其对水体水质的影响

水体中氮的去除一般是通过沉积、植物吸收、生物硝化和反硝化等途径实现^[17-20],磷除了主要通过沉淀、固结等理化作用实现去除外,还可通过植物去除,植物既有直接吸收部分可溶性磷作用;还有因植物的存在以及根系分泌物加速上述去除反应的间接作用^[6]。从植物生理学的角度来看,植物体利用根系吸收溶解性的磷酸盐(PO₄³⁻)、硝酸盐(NO₃⁻)和铵盐(NH₄⁺)等营养物质进行植株生长和组织合成^[7]。计算3种蔬菜体内的氮磷测定结果(表5),可得试验期间单位初始湿重水芹平均每日吸收的氮磷含量分别为(0.081 8±0.034 9) g/kg、(0.014 3±0.005 4)

g/kg;水蕹菜平均每日吸收的氮磷含量分别为(0.339 7±0.196 6) g/kg、(0.031 4±0.019 0) g/kg;生菜平均每日吸收的氮磷含量分别为(0.064 4±0.060 8) g/kg、(0.007 9±0.006 8) g/kg。对以上结果方差分析知,3种蔬菜单位初始湿重平均每日吸收的氮磷含量间均存在显著性差异($P < 0.05$),生菜吸收能力最强,水芹次之,生菜最差,可见3种蔬菜对虾池水中的氮、磷均有同化作用,但能力存在差异,水蕹菜对氮、磷的同化能力比水芹和生菜强。试验期间水体中氮、磷元素含量不断下降,主要是植物对水体不同形态的氮、磷吸收同化作用所致,这与水蕹菜和水芹对水中氮磷有较好去除效果的文献报道一致^[8,21-23]。3种蔬菜生物量日增重最快是水蕹菜,最慢是生菜,很明显蔬菜生物量的增加越快,虾池水中的氮、磷被同化的就越多,也即蔬菜生物量的增加与虾池水体的净化效果有一定的相关性。试验结果表明水蕹菜试验池中氮磷下降率最大,生菜最小,显然此不仅与蔬菜品种自身对氮磷的吸收能力大小有关外,更是与植物生长状况和植物对氮、磷的吸收能力以及植株生物量的影响^[24]有关。可见蔬菜净化富营养化水体的效果一定程度上取决于植物的生长状况,一定程度上取决于生物量增加的速度,也即是受植物适应水体环境能力的影响。综合本次试验结果,可认为水蕹菜是3种蔬菜品种中最适宜养殖虾池种植的植物,可测算出室外对虾养殖池塘中每公顷若种植500 kg水蕹菜,能吸收利用400 kg亩产对虾塘排放氮的50%,可有效净化池水,降低氨氮和亚硝酸盐对对虾生长的影响。

表5 3种蔬菜的氮磷日吸收量

Tab. 5 Daily increase weight per unit of nitrogen and phosphorus absorbed by three vegetables

试验蔬菜	氮			磷		
	绳结式/[g/(kg·d)]	浮框式/[g/(kg·d)]	浮板式/[g/(kg·d)]	绳结式/[g/(kg·d)]	浮框式/[g/(kg·d)]	浮板式/[g/(kg·d)]
水芹	0.076 3±0.025 4 ^{a/a}	0.085 6±0.037 8 ^{a/a}	0.083 5±0.038 2 ^{a/a}	0.014 3±0.004 8 ^{a/a}	0.013 6±0.006 4 ^{a/a}	0.014 9±0.005 2 ^{a/a}
水蕹菜	0.414 9±0.202 7 ^{b/b}	0.311 2±0.123 8 ^{b/b}	0.293 1±0.186 5 ^{b/b}	0.038 1±0.014 4 ^{b/b}	0.028 3±0.013 0 ^{b/b}	0.027 7±0.021 2 ^{b/b}
生菜	0.049 7±0.043 7 ^{c/c}	0.041 6±0.025 1 ^{c/c}	0.101 8±0.068 3 ^{d/d}	0.007 0±0.008 9 ^{c/c}	0.006 1±0.002 2 ^{c/c}	0.010 6±0.008 9 ^{d/d}

注:数据上标中“/”前字母为同列数据间的均值比较结果,“/”后字母为同行数据间的均值比较结果,同行或同列中不含有相同字母的数据间存在显著性差异($P < 0.05$)。

3.3 不同浮植方式对3种蔬菜的影响

目前国内外关于植物吸收水体氮磷的研究中,植物栽培基质多采用打孔的聚苯乙烯泡沫

板;或以纱网缝制成填充蛭石的蛭石袋漂浮于水面上作为人工浮床^[24-26];或以竹竿固定塑料筛或纱网于水面或水底为基质种植^[10];也有采用一

定厚度粗砂和蛭石,细黄沙等作为水生植物扎根的基质;大量人工湿地净化水体实验则是将植物直接栽培在底泥中^[27-28]。本试验采用了3种较为适合虾池蔬菜种植和便于收获的浮植模式,结果显示水芹和水蕹菜的3种水培方式下的存活率间、单位重量日增重量间、对水体中氮磷的日吸收量间均无显著性差异($P > 0.05$),而生菜均有显著性差异($P < 0.05$),浮板优于绳结式和浮框式,此可能与生菜为陆生植物^[10],而绳结式和浮框式中生菜全株或大部分株体长时间浸入水中,易导致腐烂甚至死亡有关,可见水培蔬菜不同对基质的要求不一样,不同的水培蔬菜需要适宜的浮植方式才能满足其生长需求。虾池种植蔬菜,有一定的面积限制,通常控制在虾池面积的10%~20%^[29-30],早期种植过多,则可能影响对虾生长,种植过少净化效果不佳,而且水培蔬菜在虾池成片培植,种植区水体流动不畅,污物易沉积而间接影响水质,因此在虾池种选择合适的蔬菜和浮植方式尤为重要。而水蕹菜具有一次栽种多次采收特点,可在净化池水同时可以将营养盐从池水中输出而不造成二次污染,而且采用绳结式种植,不仅可早期大量种植多次采收,成本远低于浮板和浮框,而且收割可在岸边操作,劳动强度低,更为重要的是株距空间大,植株生长快,不会连片生长影响水质。因此,在实际生产中,不仅要结合水质特征选择合适的水培蔬菜,还要结合水培蔬菜生物学特点与水产养殖对象的养殖要求,选择合适的浮植方式,本次试验中绳结式是一种在虾池中早期大生物量种植水蕹菜的经济有效的浮植方式。

参考文献:

- [1] 崔和. 我国对虾产业市场分析、发展现状及前景[J]. 中国水产, 2011(6): 68-71.
- [2] 夏苏东,李勇,王文琪,等. 养殖自污染因子对虾蟹健康的影响及其机理与控制[J]. 水产科学, 2009, 28(6): 355-360.
- [3] 由文辉,刘淑媛,钱晓燕,等. 水生经济植物净化受污染水体研究[J]. 华东师范大学学报:自然科学版, 2000, 3(1): 99-102.
- [4] 刘少英,朱长波,李卓佳,等. 水生植物在养殖水环境修复中的应用[J]. 广东农业科学, 2010, 37(3): 76-81.
- [5] 葛滢,王晓月,常杰,等. 不同程度富营养化水中植物净化能力比较研究[J]. 环境科学学报, 1999, 19(6): 690-692.
- [6] 王春景. 菖蒲和菹荇对污染水体净化和修复效果的研究[D]. 芜湖:安徽师范大学, 2006.
- [7] 许航,陈焕仕,熊启权,等. 水生植物塘脱氮除磷的效能及机理研究[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 1999, 32(4): 69-73.
- [8] 区尹正,汤曙明,陈英旭,等. 对几种水生植物净化污水的初步研究[J]. 环境污染与防治, 1983(3): 8-12.
- [9] 邴旭文,陈家长. 浮床无土栽培植物控制池塘富营养化水质[J]. 广东海洋大学学报, 2001, 21(3): 29-33.
- [10] 张超兰,韦必帽,李志刚,等. 沉水、挺水培养水生植物去除污水中氮磷的效果研究[J]. 西南农业学报, 2009, 22(3): 11-22.
- [11] 关保华,葛滢,常杰,等. 富营养化水体中植物的元素吸收与净化能力的关系[J]. 浙江大学学报:理学版, 2002, 29(2): 190-197.
- [12] 肖乃友,贾延,李英华. 煤和焦炭中氮的测定方法-半微量蒸汽法的试验研究[J]. 煤炭学报, 2004, 29(1): 88-92.
- [13] 国家环保总局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002: 223-279.
- [14] 操家顺,李欲如,陈娟,等. 水蕹菜对重污染河道净化及克藻功能[J]. 水资源保护, 2006, 22(2): 36-38, 41.
- [15] 农业部全国农业技术推广总站. 水生蔬菜生产 200 问[M]. 北京:农业出版社, 1995: 103-109.
- [16] 李树和,刘运霞,廖静,等. 不同氮、磷、钾配比对砂培生菜长势影响[J]. 北方园艺, 2001(3): 15-16.
- [17] YANG L, CHANG H T, HUANG M L. Nutrient removal in gravel-and soil-based wetland microcosms with and without vegetation[J]. Ecological Engineering, 2001, 18(1): 91-105.
- [18] LIN YF, JING S R, WANG T W, et al. Effects of macrophytes and external carbon sources on nitrate removal from groundwater in constructed wetlands[J]. Environmental Pollution, 2002, 119(3): 413-420.
- [19] JANJIT I, SU W Y, JAE S R. Nutrient removals by 21 aquatic plants for vertical free surface-flow (VFS) constructed wetland[J]. Ecological Engineering, 2007, 29(3): 287-293.
- [20] INGERSOLL T, BAKER L. Nitrate removal in wetland microcosms[J]. Water Research, 1998, 32(3): 677-684.
- [21] 杨世平,邱德全. 对虾高密度养殖过程中水质的周期变化与分析[J]. 水产科学, 2006, 25(9): 459-462.
- [22] 林东教,唐淑军,何嘉文,等. 漂浮栽培蕹菜和水葫芦净化猪场污水的研究[J]. 华南农业大学学报, 2005, 25(3): 14-17.
- [23] 武艳,李华,张明,等. 水生经济植物对虾塘养殖废水的净化能力研究[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(5): 36-37.
- [24] 刘强,胡萃,李磊,等. 四种水生植物对氮、磷的吸收试验[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(10): 2398-2399.
- [25] 罗国源,郑剑锋,许晓毅,等. 4种浮床栽培植物生长特性及吸收氮磷能力的比较[J]. 环境科学学报, 2009, 29(2): 285-290.
- [26] 刘淑媛,任久长,由文辉,等. 利用人工基质无土栽培经济

- 植物净化富营养化水体的研究[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 1999, 35(4): 518 - 522.
- [27] 雷泽湘, 谢贻发, 徐德兰, 等. 大型水生植物对富营养化湖水净化效果的试验研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(3): 553 - 554.
- [28] 周金波, 金树权, 姚永如, 等. 冬季低温条件下 6 种水生植物水质氮、磷净化能力比较[J]. 浙江农业学报, 2011, 23(2): 369 - 372.
- [29] LI W X, LI Z J. In situ nutrient removal from aquaculture wastewater by aquatic vegetable *Ipomoea* on floating beds [J]. *Water Science and Technology*, 2009, 59(10): 1937 - 1943.
- [30] 李文祥, 李为, 林明利, 等. 浮床水蕹菜对养殖水体中营养物的去除效果研究[J]. 环境科学学报, 2011, 31(8): 1670 - 1675.

The purification effect of three vegetables and different cultivation on aquaculture water from shrimp pond

DAI Xi-lin¹, GUO Yin¹, QIAN Hui-ren², HU Wei-guo³, CHEN Wei³

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Bluesea Fisheries Development Company, Shanghai 201415, China; 3. Shanghai Fengxian Fisheries Technology Promotion Station, Shanghai 201400, China)

Abstract: In order to study the purification effect of three vegetables and cultivation on shrimp aquaculture water and identify a suitable vegetable and cultivation, the experiment was conducted to compare vegetables growth, absorptivity of nitrogen and phosphorus, water chemistry conditions with three vegetables (water fennel, water spinach, lettuce) with three cultivations planted in the shrimp aquaculture water. The results showed: the daily increase biomass per unit and the absorptivity of nitrogen and phosphorus by water spinach was significantly higher than water fennel and lettuce, and the survival rate of water spinach was highest too. All of the three plants had a purifying effect on the shrimp pond water, especially the water spinach. 20 days later, the contents of TAN, NO₃⁻-N, TN, TP and COD_{Mn} of the water in spinach ponds decreased by 55.0%, 78.6%, 52.6%, 44.2% and 41.3% respectively, secondly the water fennel. There was no significant influence on biomass increases and concentration of nitrogen and phosphorus for water fennel and water spinach under three floating cultivations. However, the growth condition of lettuce with floating board was the best in the lettuce group. The study showed environment adaptability of the water spinach to shrimp aquaculture water was the strongest in the three vegetables, so it was the best suitable for planting in shrimp ponds and the knot planting pattern was the best way to plant water spinach. In accordance with status of shrimp culture in Shanghai, it was suggested that half of the unutilized nitrogen in the culture period could be absorbed by planting the water spinach at 500 kg/hm² in an early shrimp culture stage.

Key words: vegetable; floating cultivation; water purification; shrimp