

## 油麦菜对鱼菜共生立体种养系统中水质的净化效果研究

张植元<sup>1</sup>, 魏东<sup>2</sup>, 刘浩翔<sup>1</sup>, 谷兵<sup>2</sup>, 范泽<sup>3</sup>, 王雄延<sup>1</sup>, 刘荣军<sup>1</sup>

(1. 四川水利职业技术学院, 四川成都 611200; 2. 天津农学院水产学院, 天津市水产生态及养殖重点实验室, 天津 300384; 3. 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 黑龙江省水生动物病害与免疫重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150070)

**摘要** 为了探讨鱼菜共生立体种养系统中蔬菜水培生长情况与水质净化效果, 挑选暂养结束后健康、规格一致的锦鲤鱼苗[初始体重为(55.73±3.55)g]作为试验用鱼, 挑选健壮且株高基本一致的油麦菜幼苗移植到立柱种植装置中。试验设置对照组和处理组, 试验期为28 d。采用固定投饲率的方法进行投喂, 日投饲率为3%。试验第0、4、8、12、16、20、24、28天取样测定水体中的氨氮、亚硝态氮、硝态氮、总磷、总氮的含量, 试验结束时对油麦菜株高进行测定。结果表明: 在整个试验期内处理组油麦菜能够充分利用水体中营养物质正常生长; 对照组和处理组水体中氨氮含量差异显著( $P<0.05$ ), 第0、4、8天处理组氨氮含量显著高于对照组( $P<0.05$ ), 第8天以后对照组氨氮含量显著高于处理组( $P<0.05$ ); 处理组的亚硝态氮含量在除了第8天外的其他时间段都显著低于对照组( $P<0.05$ ); 处理组和对照组硝态氮含量差异显著( $P<0.05$ ) (第16天除外); 第16天以后处理组硝态氮含量显著低于对照组( $P<0.05$ ); 处理组和对照组总氮含量差异显著( $P<0.05$ ) (第16天除外); 第16天以后处理组总氮含量显著低于对照组( $P<0.05$ ); 对照组与处理组总磷含量第0~28天缓慢升高, 第28天处理组总磷含量显著低于对照组( $P<0.05$ )。该试验系统中油麦菜生长良好, 对养殖水体中水质的净化效果明显。

**关键词** 鱼菜共生; 立体种养系统; 水质净化

中图分类号 S969.39 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)21-0096-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.21.023



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Study on Water Purification Effect of *Lactuca sativa* L. in the Aquaponics Three-dimensional Planting and Farming System**ZHANG Zhi-yuan<sup>1</sup>, WEI Dong<sup>2</sup>, LIU Hao-xiang<sup>1</sup> et al (1. Sichuan Water Conservancy Vocational College, Chengdu, Sichuan 611200; 2. College of Fishery Sciences, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384)

**Abstract** In order to explore the hydroponic growth of vegetables and water purification effect in an aquaponics three-dimensional planting and farming system, healthy Cyprinus carpio juvenile with initial body weight of (55.73±3.55) g and consistent specifications after the end of temporary culture were selected as experimental fish. The robust seedlings of *Lactuca sativa* L. with consistent height were selected to transplant in stand column planting equipment. The control group and experimental group were set up. The experimental period was 28 days. The fixed feeding rate method was used for feeding, the daily feeding rate was 3%. Samples were collected on the 0<sup>th</sup>, 4<sup>th</sup>, 8<sup>th</sup>, 12<sup>th</sup>, 16<sup>th</sup>, 20<sup>th</sup>, 24<sup>th</sup>, 28<sup>th</sup> days to determine the contents of ammonia nitrogen, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, total phosphorus and total nitrogen in water body. The plant height of *L. sativa* was determined at the end of the experiment. The results showed that vegetables in the treatment group could make full use of nutrients in the water body and grow normally during the whole experiment period. The content of ammonia nitrogen in water body had significant differences between the control group and the treatment group ( $P<0.05$ ). The content of ammonia nitrogen in the treatment group was significantly higher than that in the control group on the 0<sup>th</sup>, 4<sup>th</sup> and 8<sup>th</sup> days ( $P<0.05$ ). After the 8<sup>th</sup> day, the content of ammonia nitrogen in the control group was significantly higher than that in the treatment group ( $P<0.05$ ). Except for the 8<sup>th</sup> day, the nitrite nitrogen content in the treatment group was significantly lower than that in the control group at all other time points ( $P<0.05$ ). The content of nitrate nitrogen had significant differences between the control group and the treatment group ( $P<0.05$ ) (except for the 16<sup>th</sup> day). After the 16<sup>th</sup> day, the nitrate nitrogen concentration in treatment group was significantly lower than that in control group ( $P<0.05$ ). The content of total nitrogen had significant differences between the control group and the treatment group ( $P<0.05$ ) (except for the 16<sup>th</sup> day). After the 16<sup>th</sup> day, the total nitrogen content in the treatment group was significantly lower than that in control group ( $P<0.05$ ). The content of total phosphorus in the control group and the treatment group increased slowly from the 0<sup>th</sup> day to the 28<sup>th</sup> day. After the 28<sup>th</sup> day, the total phosphorus content in the treatment group was significantly lower than that in control group ( $P<0.05$ ). Vegetables in the experiment system could grow well, its water purification effect in the aquaculture water body was obvious.

**Key words** Aquaponics; Three-dimensional planting and farming system; Water purification

鱼菜共生起源于我国古代的稻田养鱼技术, 是一种新型的复合耕作体系, 它将循环水养殖与无土栽培2种技术结合起来, 通过巧妙的生态设计达到科学的协同共生, 从而实现养鱼不换水而无水质忧患, 种菜不用施肥而能正常生长的生态共生效应。20世纪80年代美国科学家完成了鱼菜共生的理论论述<sup>[1]</sup>; 20世纪80年代末期美属维尔京群岛大学詹姆斯·瓦克斯博士成功研发了世界上第一套鱼菜共生系统的UVI模式<sup>[2]</sup>; 20世纪80年代, 我国建立了第一套鱼菜共生系统, 并通过了中国科学技术发展基金会和中国水产学会组织的技术鉴定<sup>[3]</sup>。

目前, 对鱼菜共生的研究主要集中在系统构造方面<sup>[4-6]</sup>, 现有的鱼菜共生种植系统都采用先将养殖用水过滤分解再提供给植物利用, 将营养物质的分解环节和植物种植环节分开, 增加了用地面积; 此外, 鱼菜共生理论方面的研究还较少, 虽然目前已有大量关于鱼菜共生系统的研究报道, 但研究还不够深入。

油麦菜(*Lactuca sativa* L.) 隶属菊科莴苣属, 是以嫩稍、嫩叶为食用部位的叶用莴苣。油麦菜营养丰富、适应性强、生长周期短, 是无土栽培研究的模式植物之一。油麦菜根系发达, 因此水培油麦菜植株生长很快, 受氮素形态的影响更加明显<sup>[7]</sup>。目前, 国内外研究者关于氮素营养对油麦菜栽培的影响研究主要集中在施肥调控、产量与硝酸盐积累等方面<sup>[8-11]</sup>, 关于油麦菜对鱼菜共生系统中水质的净化效果报道较少。笔

作者简介 张植元(1992—), 男, 四川达州人, 助教, 硕士, 从事观赏鱼养殖研究。

收稿日期 2021-12-01

者利用生态学原理<sup>[12-14]</sup>设计并建立了一种鱼菜共生立体种养系统,通过建立植物与微生物之间的协同共生关系<sup>[15-17]</sup>,探讨该系统中油麦菜对水质的净化效果,以期为开发和利用鱼菜共生立体种养系统奠定实践基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验系统

该鱼菜共生立体种养系统包括养殖模块、蓄水模块、立柱种植模块、平面浮筏种植模块、水循环装置。养殖模块由养殖池和收集池组成,养殖池底部朝中央向下倾斜,形成漏斗式的底面。养殖池和收集池的底部和上部分别由管道连通,使养殖池和收集池形成一个U形连通器。蓄水模块为安装有虹吸和溢流装置的高位蓄水池,收集池中的水经水泵提至蓄水池中,水位上升到虹吸装置控制的最高水位时就会触发虹吸装置,在水压的作用下形成强大的水流,再被循环管道分流到立柱种植装置中。立柱种植模块是由若干中通的管道组成的立柱种植装置,管道的外壁四周沿竖直方向设置有4列种植孔,相邻2列种植孔之间呈交错排列,种植孔贯穿管壁并且开口倾斜向上,每一个种植孔上配有一个种植篮,用于固定所栽培植物。平面浮筏种植模块由若干深水浮筏栽培床构成,栽培床的出水口设置为溢流结构。该鱼菜共生立体种养系统与传统UVI栽培模式不同之处<sup>[4,18]</sup>在于:在该系统中流入栽培床的养殖用水未经过滤且浮板的宽度大于栽培床宽度,使浮板放在栽培床上时能够架在栽培床的两端,从而使浮板能够高于栽培床的最高水位,以便在浮板与栽培床水面之间留一层空气层。水循环装置由水泵及循环管道组成。

蓄水模块、立柱种植模块、平面浮筏种植模块,养殖模块在竖直方向分别为上层、中层、下层、底层,呈4层分布;循环管道将养殖模块、蓄水模块、立柱种植模块、平面浮筏种植模块依次连接。该系统的水循环路线为养殖模块→蓄水模块→立柱种植模块→平面浮筏种植模块→养殖模块。养殖用水未经过滤,直接经水泵从收集池提升至蓄水池,再由蓄水池输送到各立柱种植装置中,经立柱种植装置进行过滤吸收后再输送到栽培床进一步过滤吸收,最后由循环管道导流回养殖池,形成一个闭合循环。鱼菜共生立体种养系统如图1所示。

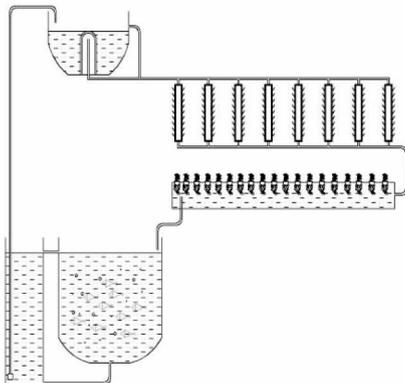


图1 鱼菜共生立体种养系统

Fig. 1 Aquaponics three-dimensional planting and farming system

### 1.2 试验材料

试验选取油麦菜作为试验蔬菜,试验蔬菜为天津农学院蔬菜研究中心同期培育的4种幼苗,试验前待幼苗长出4片真叶时再将幼苗移植到立柱种植装置中。试验用鱼为天津市蓝科水产养殖公司同期繁殖的锦鲤鱼苗,试验前进行消毒处理,并置于周转箱(0.8 m×0.6 m×0.4 m)中暂养7 d,在此期间不投喂饲料。

试验饲料以鱼粉、全虾粉、豆粕和棉粕作为蛋白质来源,其组成与营养水平见表1。各饲料原料均通过粉碎机粉碎过60目网筛,混合均匀后,使用江苏牧羊集团生产的牧羊MUZLM V4型饲料制粒机制成直径1.00 mm的沉性颗粒饲料。

表1 饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Feed The composition and nutritional level of the feed (air-dried basis)

原料 Materials	添加比例 Adding proportion %	营养成分 Nutritional component	水平 Level
鱼粉 Fish meal	8.00	粗蛋白 Crude protein//%	38.60
豆粕 Soybean meal	22.00	粗脂肪 Crude fat//%	5.20
菜籽粕 Rapeseed meal	13.00	总能 Total energy//MJ/kg	12.27
棉粕 Cottonseed meal	16.00		
面粉 Wheat flour	13.00		
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	9.00		
全虾粉 Whole shrimp meal	8.00		
啤酒酵母 Beer yeast	3.00		
豆油 Soybean oil	2.00		
预混料 Premix	4.00		
羧甲基纤维素 Carboxy-methylcellulose	2.00		

### 1.3 试验分组及管理

试验在天津农学院水生观赏动物养殖实验室进行。暂养期结束后,挑选健康、规格一致的锦鲤鱼苗[初始体重为(55.73±3.55)g]作为试验用鱼并进行分组,油麦菜幼苗长出4片真叶后挑选健壮且高度基本一致的幼苗移植到立柱种植装置中,建立鱼菜共生系统。试验设置对照组和处理组,每组设置3个重复,每个重复投放15条鱼,其中对照组不种植油麦菜,处理组各种植油麦菜15颗,共60颗。

整个试验期28 d,试验期间分别在第0、4、8、12、16、20、24、28天取样测定水体中的氨氮、亚硝态氮、硝态氮、总磷、总氮的含量。试验期间采用固定投饲率的方法进行投喂,日投饲率为3%。养殖池设置有水位刻度线,整个系统在试验期间不需要换水,每天只需要往养殖池添加少量水到刻度线,以补充被蔬菜吸收和蒸发的水分。试验结束后,清除立体种养系统中的油麦菜,并进行株高测定。

## 1.4 水质指标的测定

### 1.4.1 氨氮含量的测定。

氨氮含量的测定参考雷衍之<sup>[19-20]</sup>的方法。氨氮含量标准曲线的绘制参考雷衍之<sup>[19-20]</sup>的方法。氨氮含量的标准曲线见图2。

### 1.4.2 亚硝态氮含量的测定。

亚硝态氮含量的测定参考雷

衍之<sup>[19-20]</sup>的方法。亚硝态氮含量标准曲线的绘制参考雷衍之<sup>[19-20]</sup>的方法。亚硝态氮含量的标准曲线见图3。

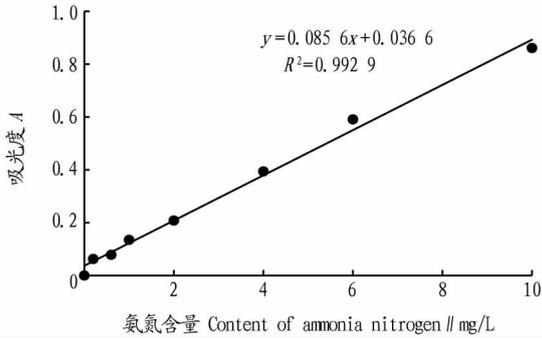


图2 氨氮含量的标准曲线

Fig. 2 Standard curve of ammonia nitrogen content

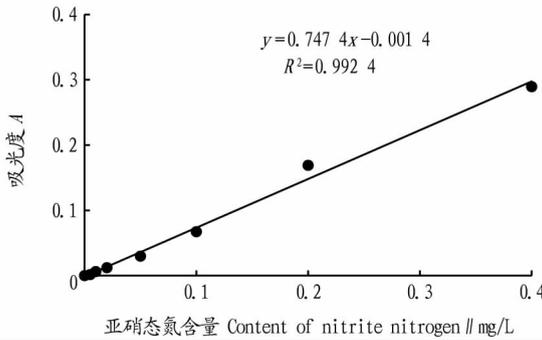


图3 亚硝态氮含量的标准曲线

Fig. 3 Standard curve of nitrite nitrogen content

1.4.3 硝态氮含量的测定。硝态氮含量的测定参考雷衍之<sup>[19-20]</sup>的方法。硝态氮含量标准曲线的绘制参考雷衍之<sup>[19-20]</sup>的方法。硝态氮含量的标准曲线见图4。

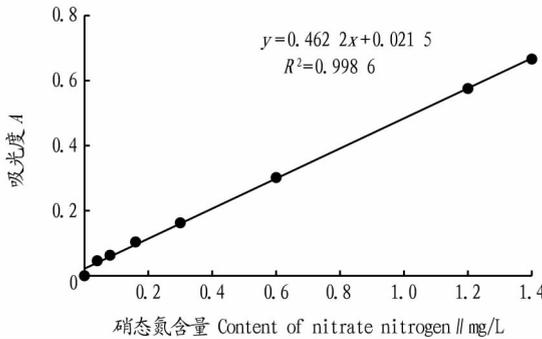


图4 硝态氮含量的标准曲线

Fig. 4 Standard curve of nitrate nitrogen

1.4.4 总磷和总氮含量的测定。总磷和总氮含量的测定参考雷衍之<sup>[19-20]</sup>的方法。总磷和总氮含量标准曲线的绘制参考雷衍之<sup>[19-20]</sup>的方法。总氮、总磷含量的标准曲线见图5~6。

1.5 数据统计与分析 试验数据均以平均值±标准差表示,并使用SPSS 18.0统计软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA);若差异达到显著水平( $P < 0.05$ ),则采用Duncan's法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 鱼菜共生立体种养系统对氨氮的净化效果 由图7

可知,整个试验期处理组水体中的氨氮含量整体上呈现下降趋势,其中对照组氨氮含量先升高后下降,第0~12天氨氮含量呈上升趋势,第12天达到最高值,此后呈下降趋势;处理组氨氮含量在第4天达到最高值,此后呈现下降趋势。在整个试验期内,同一时间对照组和处理组水体中氨氮含量差异显著( $P < 0.05$ ),第0、4、8天处理组氨氮含量显著高于对照组( $P < 0.05$ ),第8天以后对照组氨氮含量显著高于处理组( $P < 0.05$ )。以上结果说明该鱼菜共生立体种养系统能够较好地净化水体中的氨氮。

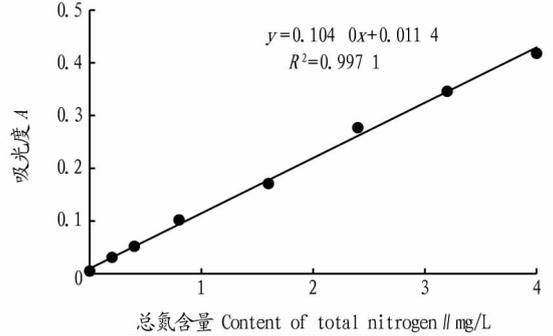


图5 总氮含量的标准曲线

Fig. 5 Standard curve of total nitrogen content

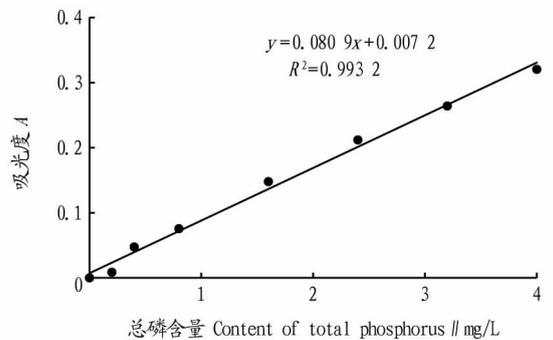
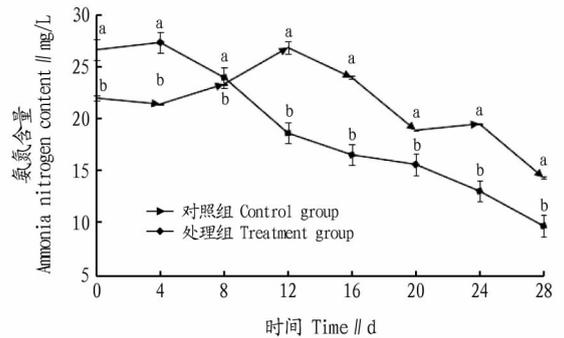


图6 总磷含量的标准曲线

Fig. 6 Standard curve of total phosphorus content



注:同一时间标有不同小写字母表示2组间显著差异( $P < 0.05$ )

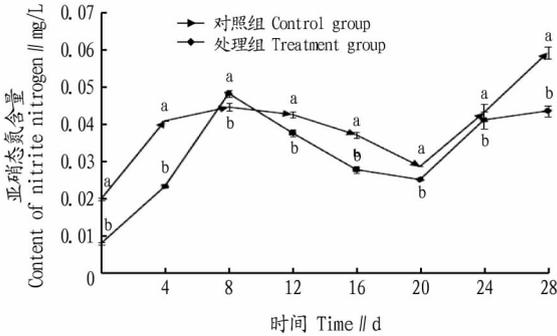
Note: Different small letters at the same time indicated significant differences between the two groups ( $P < 0.05$ )

图7 养殖水体中氨氮含量的变化

Fig. 7 Variation of ammonia nitrogen content in aquaculture water

2.2 鱼菜共生立体种养系统对亚硝态氮的净化效果 由图8可知,在试验期内对照组和处理组水体中亚硝态氮含量

均呈先上升后下降再上升的趋势。试验期内,除了第 8 天外,其他时间段处理组的亚硝态氮含量都显著低于对照组 ( $P < 0.05$ ),说明该鱼菜共生立体种养系统对养殖水体中亚硝态氮的净化效果明显。

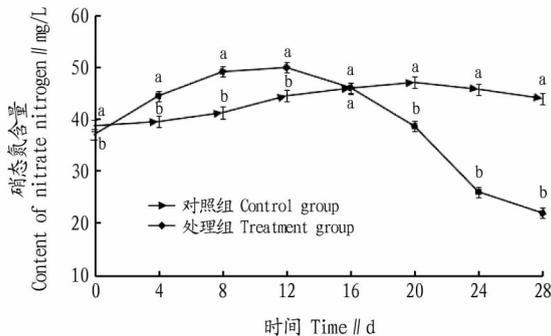


注:同一时间标有不同小写字母表示 2 组间显著差异 ( $P < 0.05$ )  
Note: Different small letters at the same time indicated significant differences between the two groups ( $P < 0.05$ )

图 8 养殖水体中亚硝态氮含量的变化

Fig. 8 Variation of nitrite nitrogen content in aquaculture water

**2.3 鱼菜共生立体种养系统对硝态氮的净化效果** 由图 9 可知,试验期内对照组和处理组水体中硝态氮含量均呈先上升后下降的趋势,同一时间处理组和对硝态氮含量差异显著 ( $P < 0.05$ ) (第 16 天除外)。第 28 天处理组硝态氮含量明显低于第 0 天,而对照组的硝态氮含量与第 0 天相比变化不明显,说明鱼菜共生立体种养系统对养殖水体中硝态氮的净化效果明显。



注:同一时间标有不同小写字母表示 2 组间显著差异 ( $P < 0.05$ )  
Note: Different small letters at the same time indicated significant differences between the two groups ( $P < 0.05$ )

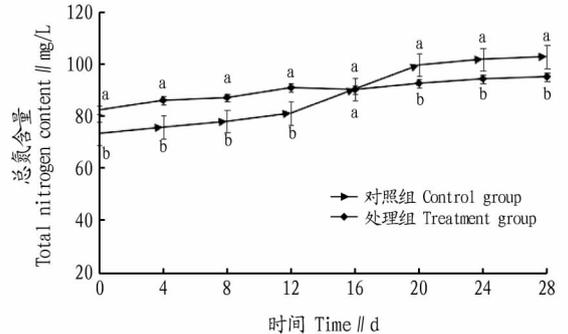
图 9 养殖水体中硝态氮含量的变化

Fig. 9 Variation of nitrate nitrogen content in aquaculture water

**2.4 鱼菜共生立体种养系统对总氮的净化效果** 由图 10 可知,整个试验期内对照组和处理组水体中总氮含量整体上呈上升趋势。整个试验期内,同一时间处理组和对硝态氮含量差异显著 ( $P < 0.05$ ) (第 16 天除外)。第 16 天以后,处理组总氮含量显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。对照组总氮含量由第 0 天的 73.49 mg/L 上升到第 28 天的 102.84 mg/L,处理组的总氮含量由第 0 天的 82.48 mg/L 上升到第 28 天的 95.20 mg/L。

**2.5 鱼菜共生立体种养系统对总磷的净化效果** 由图 11

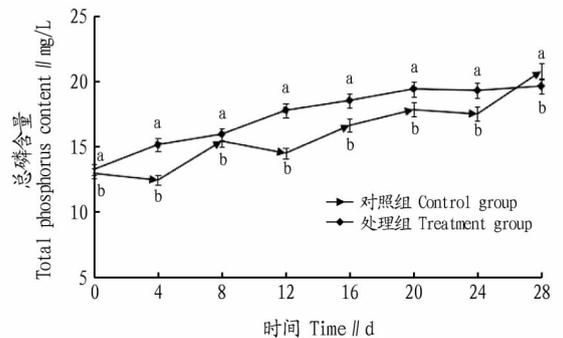
可知,试验期内对照组和处理组水体中总磷含量整体上呈上升趋势,同一时间对照组与处理组总磷含量差异显著 ( $P < 0.05$ )。对照组总磷含量由第 0 天的 13.06 mg/L 上升到第 28 天的 20.82 mg/L,处理组总磷含量由第 0 天的 13.36 mg/L 上升到第 28 天的 19.68 mg/L。这说明该鱼菜共生立体种养系统对养殖水体中总磷含量产生了一定的影响。



注:同一时间标有不同小写字母表示 2 组间显著差异 ( $P < 0.05$ )  
Note: Different small letters at the same time indicated significant differences between the two groups ( $P < 0.05$ )

图 10 养殖水体中总氮含量的变化

Fig. 10 Variation of total nitrogen content in aquaculture water



注:同一时间标有不同小写字母表示 2 组间显著差异 ( $P < 0.05$ )  
Note: Different small letters at the same time indicated significant differences between the two groups ( $P < 0.05$ )

图 11 养殖水体中总磷含量的变化

Fig. 11 Variation of total phosphorus content in aquaculture water

### 3 讨论

**3.1 养殖水体中氨氮的净化效果** 水体中氮素在自然状态下的主要来源如下:①水体中的固氮细菌及藻类通过固氮作用将大气中的氮气转变成有效氮;②水体中的鱼类及其他水生动植物的代谢产物(如小分子肽、尿素、尿酸等)最终会转化为氨态氮( $\text{NH}_3\text{-N}$ ),而水体中动植物残体以及水体中有机碎屑通过矿化作用使有机氮以氨氮的形式释放到水体中;③水体的地表径流以及域外污水的串流带来氮素污染物等<sup>[21]</sup>。

在鱼菜共生系统中,氮随着饵料以有机物的形式进入系统内,一部分饵料经过鱼类的摄食、转化、吸收被固定到鱼体内,氨基酸经过代谢以氨和尿素的形式释放到水体中,一部分残饵碎屑经过水体中细菌的分解被转化成氨基酸,进而通

过氮化作用最终转变为氨氮。水体中氨氮含量是指在水体中离子铵态氮( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )与非离子氨态氮( $\text{NH}_3-\text{N}$ )的含量之和,且 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 和 $\text{NH}_3-\text{N}$ 对水生生物的毒性有很大的差异, $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 基本没毒; $\text{NH}_3-\text{N}$ 不带电荷,具有较强的脂溶性,很容易透过细胞膜对水生生物产生很强的毒性<sup>[19]</sup>。该试验中对照组和处理组水体中氨氮含量差异显著,整个试验期内对照组和处理组水体中的氨氮含量整体上呈下降趋势。谭洪新等<sup>[22]</sup>采用水培蔬菜对养殖废水进行净化处理,发现水培蔬菜对养殖水体中氨氮的最大去除率达到57.46%。汪小将等<sup>[23]</sup>在水培蔬菜对富营养化水体的净化效果研究中也发现水培蔬菜在富营养化水体中对氨氮的去除率达到92%。该试验通过在立柱种植装置上种植油麦菜,利用植物与微生物之间的协同作用将养殖废水中的营养物质转化为植物所需的养分,再经植物的吸收作用达到净化水质的目的。该试验建立的鱼菜共生立体种养系统在该试验条件下能够较好地净化水体中的氨氮。

**3.2 养殖水体中亚硝态氮的净化效果** 自然水体中亚硝态氮( $\text{NO}_2^--\text{N}$ )含量较低, $\text{NO}_2^--\text{N}$ 是 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 转化为 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 的中间产物<sup>[19]</sup>。养殖水体中亚硝酸盐对水生生物具有很强的毒性,它可以通过鱼类的呼吸作用由鳃丝进入血液,使正常的血红蛋白发生氧化,使输氧功能受到影响,出现组织缺氧,从而导致鱼虾缺氧甚至窒息死亡<sup>[19]</sup>。该试验中对照组和处理组水体中亚硝态氮含量呈先上升后下降再上升的趋势。谭洪新等<sup>[22]</sup>在水培蔬菜对养鱼废水水质的净化效果研究中发现,水培蔬菜对废水中亚硝态氮的净化率达到51.72%。贾晨等<sup>[24]</sup>在水生植物对模拟养殖水体的净化效果研究中发现,千屈草等一些水生植物对人工模拟养殖水体中的亚硝态氮有较好的去除效果。该试验中处理组亚硝态氮含量在除了第8天外的其他时间段都显著低于对照组,说明该试验所建立的鱼菜共生立体种养系统对养殖水体中亚硝态氮的净化效果明显。

**3.3 养殖水体中硝态氮的净化效果** 硝态氮( $\text{NO}_3^--\text{N}$ )广泛存在于自然水体中,是含氮化合物氧化的最终代谢产物,对鱼类的毒性微弱。相关研究表明,鱼类对硝态氮的最高承受浓度达到200 mg/L,但养殖水体中硝态氮的不断积累也会影响鱼类的正常生长<sup>[25]</sup>。在循环水养殖条件下,水体中硝态氮会大量积累,在缺氧状况下硝态氮经过微生物的反硝化作用会生成有毒的亚硝态氮,同时含硝态氮养殖废水的大量排放会造成周边水体的富营养化<sup>[19]</sup>。在该试验系统中残饵、粪便通过微生物的分解作用,含氮有机化合物被最终转化成硝态氮,试验期内养殖水体的溶解氧(DO)含量均在7.0 mg/L以上,因此硝态氮通过反硝化作用形成氮气( $\text{N}_2$ )或者一氧化二氮( $\text{N}_2\text{O}$ )的量可以忽略不计。该系统中硝态氮的净化主要通过蔬菜和系统中微生物的同化作用。该试验结果表明,对照组和处理组水体中硝态氮含量呈先上升后下降的趋势,与对照组相比处理组的硝态氮含量变化明显,并且在整个试验期内处理组和对照组硝态氮含量差异显著(第16天除外)。宋红桥等<sup>[26]</sup>关于水培植物在温室大棚中

对循环水养殖系统的水质净化试验结果表明,栽培区的水培植物对硝态氮的去除率为14.5%,对养殖水体表现出较强的净化能力。叶聪等<sup>[27]</sup>在水培蔬菜净化凡纳滨对虾养殖塘水质的研究也表明水培植物对养殖水体有较强的净化作用。该试验中第28天处理组硝态氮含量明显低于第0天,由此可见该试验建立的鱼菜共生立体种养系统在该试验条件下对养殖水体中的硝态氮具有明显的净化效果。

**3.4 养殖水体中总氮和总磷的净化效果** 水体中的总氮(TN)是指水体中各种形态氮含量的总和,是评价水体中富营养和污染水平的重要指标之一。水体中的总氮包括各种可溶性的化合态氮和各种颗粒化合态氮<sup>[28-29]</sup>。该试验系统中循环使用的养殖用水未经过滤沉降直接导入立柱种植装置中,水体中的残饵、粪便经过立柱种植装置被滞留在生化过滤棉的表面,含氮大颗粒有机化合物被异养型微生物分解成可溶性的化合态氮和小颗粒的化合态氮,再经过蔬菜根际微生物的作用分解成植物所需的含氮化合物,进而被蔬菜吸收利用。在整个试验期内,对照组和处理组水体中总氮含量整体上呈上升趋势,处理组和对照组总氮含量差异显著(第16天除外)。对照组的总氮含量由第0天的73.49 mg/L上升到第28天的102.84 mg/L,处理组的总氮含量由第0天的82.48 mg/L上升到第28天的95.20 mg/L。由此可见,该试验建立的鱼菜共生立体种养系统在该试验条件下对养殖水体中总氮的净化效果明显。

水体中的总磷(TP)是指水体中各种形态磷含量的总和,是评价水体中富营养和污染水平的重要指标之一。水体中的总磷包括各种溶解态的磷与颗粒态的磷,其中溶解态磷包括水体中各种溶解态磷酸盐和有机态磷酸酯等,颗粒态磷包括不溶解无机磷与有机磷<sup>[19]</sup>。磷在水生生态系统中的迁移模式与氮素循环有所不同,自然水体中磷只有被初级生产者同化吸收后才能进入下一个能量级的磷循环<sup>[19,30]</sup>。在该试验系统中,磷随着饵料的投入被带入该系统中,残饵、粪便在蔬菜根际微生物的分解下转化为蔬菜所需的有效磷。该试验中试验期内对照组和处理组水体中总磷含量整体上呈上升趋势,其中对照组的总磷含量由第0天的13.06 mg/L上升到第28天的20.82 mg/L,处理组的总磷含量由第0天的13.36 mg/L上升到第28天的19.68 mg/L。出现这种现象的原因可能是由于立柱种植装置的一些离子基团对磷酸类化合物具有吸附作用,因而被释放到水体中总的磷素较低。尤宏争等<sup>[28]</sup>关于3种蔬菜对室内静水水槽中养殖水体营养物质的去除试验结果表明,3种蔬菜在养殖水体中均能正常存活,但对养殖水体中的总磷去除效果不明显。该试验结果表明该试验建立的鱼菜共生立体种养系统在该试验条件下对养殖水体中总磷含量产生了一定的影响。

#### 4 结论

该试验系统中蔬菜生长良好,对养殖水体中水质的净化效果明显,能将养殖废水再利用,同时又能收获无农药残留的有机蔬菜。该系统的立体化研究对于都市农业的发展有一定帮助,但具体实施还需要进一步研究。

## 参考文献

- [1] 林环. 一位外国人的“鱼菜共生革命”[N]. 解放日报, 2013-02-26 (006).
- [2] RAKOCY J E, MASSER M P, LOSORDO T M. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture [R]. Southern Region Aquaculture Center Publication No. 454, 2006.
- [3] 王子瑾. 鱼菜共生系统在上海研制成功[N]. 人民日报, 1990-02-07 (1).
- [4] 王煥, 高文峰, 侯同玉, 等. 鱼菜共生浮排种类及制作工艺[J]. 现代农业科技, 2016(8): 183-185.
- [5] 王雅敏. 鱼菜共生系统的研究及其开发(上)[J]. 渔业机械仪器, 1991, 18(94): 2-4.
- [6] 何明云. 鱼菜共生系统综合养种技术研究报告摘要[J]. 渔业机械仪器, 1994, 21(112): 12-15.
- [7] 王晋, 周相助, 胡海非, 等. 硝态和铵态氮配比对水培油麦菜苗期生长及生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2016, 36(3): 542-550.
- [8] 孙自航, 艾绍英, 刘春生, 等. 氮肥种类和用量对油麦菜生物和品质的效应[J]. 中国农学通报, 2007, 23(9): 366-371.
- [9] 冯如. 氮钾配施对油麦菜产量和品质的影响[J]. 农业与技术, 2008, 28(2): 53-56.
- [10] 庞均喜. 氮肥的不同用量对油麦菜产量及品质的影响[J]. 农业科技通讯, 2013(6): 124-126.
- [11] 李永胜, 杜建军, 龙增群, 等. 氮磷钾配施对油麦菜肥料效应及硝酸盐含量的影响[J]. 仲恺农业工程学院学报, 2012, 25(4): 19-25.
- [12] 金崇伟. 机理 I 植物缺铁响应机制和信号调控途径[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [13] 盛江梅, 吴小芹. 菌根真菌与植物根际微生物互作关系研究[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(5): 104-108, 135.
- [14] 蒋婧, 宋明华. 植物与土壤微生物在调控生态系统养分循环中的作用[J]. 植物生态学报, 2010, 34(8): 979-988.
- [15] 王元贞, 潘廷国, 柯玉琴. 微生物与植物共生关系的研究及其利用[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(3): 95-98.
- [16] 沈仁芳, 赵学强. 土壤微生物在植物获得养分中的作用[J]. 生态学报, 2015, 35(20): 6584-6591.
- [17] 叶协锋, 张友杰, 鲁喜梅, 等. 土壤微生物与土壤营养关系研究进展[J]. 土壤通报, 2010, 41(1): 237-241.
- [18] 张丽萍, 梅明森, 程加丽, 等. 人工浮岛栽培蔬菜及花卉对水质的净化作用研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2008, 30(1): 93-96.
- [19] 雷衍之. 养殖水环境化学(水产养殖专业用)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [20] 雷衍之. 养殖水环境化学实验[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [21] 乔顺凤. 水体氨氮转化形式与调控利用的研究[J]. 饲料工业, 2005, 26(12): 44-46.
- [22] 谭洪新, 罗国芝, 朱学宝, 等. 水栽培蔬菜对养鱼废水的水质净化效果[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(4): 293-297.
- [23] 汪小将, 邓晓育, 刘飞, 等. 3 种水培蔬菜对水质净化效果的研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(10): 6034-6036.
- [24] 贾晨, 殷守仁, 赵文, 等. 不同水生植物对养殖水体的净化效果研究[J]. 中国水产, 2013(9): 68-71.
- [25] 张明华, 丁永良, 杨菁, 等. 一种植物净水技术(鱼菜共生)的研究[C]//严陆光, 崔容强. 21 世纪太阳能新技术——2003 年中国太阳能学会学术年会论文集. 上海: 上海交通大学出版社, 2003: 815-823.
- [26] 宋红桥, 管崇武, 李月, 等. 水培植物对循环水养鱼系统的水质净化研究[J]. 渔业现代化, 2013, 40(4): 18-22.
- [27] 叶聪, 戴习林, 胡伟国. 水培蔬菜净化凡纳滨对虾养殖塘水质效果研究[J]. 广东农业科学, 2014, 41(21): 121-127.
- [28] 尤宏争, 郑艳坤, 李贺智, 等. 三种蔬菜对养殖水体中营养物质去除效果的研究[J]. 河南水产, 2015(1): 24-26.
- [29] BENDER J. An integrated system of aquaculture, vegetable production and solar heating in an urban environment [J]. Aquacultural engineering, 1984, 3(2): 141-152.
- [30] GUTIERREZ-WING M T, MALONE R F. Biological filters in aquaculture: Trends and research directions for freshwater and marine applications [J]. Aquacultural engineering, 2006, 34(3): 163-171.

(上接第 89 页)

构、减少污染、保护农村生态环境等。大力宣传有机肥产业具有良好的社会效益和生态效益,其可带动相关行业的发展并为农村剩余劳动力提供就业机会,同时提高农产品的附加值促进农业发展乡村振兴。②完善有机肥替代化肥政策激励机制。制定施用有机肥补贴优惠政策,鼓励发展商品有机肥。对商品有机肥使用大户、生产企业及销售供应链的农资企业提出具体扶持政策<sup>[13]</sup>。支持大型养殖场粪便的有效利用,特别是支持养殖场将有机废弃物经无害化处理后加工生产有机复混肥。对“肥药双控”示范区、设施农业示范区、标准农田地力提升工程等,施用有机肥用于改良土壤结构、培肥地力,减少化肥使用的,给予优先立项、重点安排。③探索适宜有机肥产业化发展之路。改变传统的市场运行方式,探索“基地+公司+市场”的新型运作模式,加快建立企业营销体系,扩大产品直销比例,充分利用当地有机肥资源优势,减少流通环节和中间费用,最大限度地降低生产成本和经营成本<sup>[14]</sup>。④强化商品有机肥市场监管。加大对农资市场监管力度,定期组织农资市场执法检查,不定期地组织抽检并公布结果,推荐优质商品有机肥,净化农资市场秩序,促进有机肥产业良性发展。

## 参考文献

- [1] 孙振钧, 孙永明. 我国农业废弃物资源化与农村生物质能源利用的现状与发展[J]. 中国农业科技导报, 2006, 8(1): 6-13.
- [2] 范超, 伍云卿. 福建省有机肥现状及产业化发展对策[J]. 江西农业学报, 2009, 21(11): 207-208, 211.
- [3] 刘梅, 杜丽丽, 张晓. 基于 logit 模型的农户有机肥施用意愿及影响因素分析: 以山东为例[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(9): 4827-4829.
- [4] 周庆生. 农业有机废弃物堆肥需求与供给[M]. 北京: 科学出版社, 2018: 18-19.
- [5] 陕西农业农村概况[EB/OL]. [2021-09-25]. <http://nynct.shaanxi.gov.cn/www/zyzz/index.html>.
- [6] 王亚静, 毕于运, 高春雨. 中国秸秆资源可收集利用量及其适宜性评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(9): 1852-1859.
- [7] 陕西省统计局, 国家统计局陕西调查总队. 陕西统计年鉴 2019[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
- [8] 王涛, 宋喜芳, 常小箭, 等. 灰色系统理论在陕西省农作物秸秆可收集量预测中的 SAS 应用[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(6): 186-189.
- [9] 卜毓坚, 屠乃美, 刘文, 等. 我国农作物秸秆综合利用现状及其技术进展[J]. 作物研究, 2006, 20(5): 526-529.
- [10] 时在涛, 徐广印. 河南省秸秆资源及其利用现状[J]. 科技信息, 2011(15): 134-135.
- [11] 杨文叶, 王京文, 周航. 杭州市商品有机肥推广应用现状及对策[J]. 杭州农业与科技, 2011(4): 9-10.
- [12] 赵贯锋, 李荣荣, 罗黎鸣. 西藏商品有机肥产业生存现状及发展对策探讨[J]. 西藏农业科技, 2020, 42(3): 79-82.
- [13] 刘家龙. 推广商品有机肥 促进农业循环经济的发展[J]. 上海农业学报, 2007, 23(1): 127-129.
- [14] 崔增团, 张树清. 甘肃省有机肥料现状及产业化发展对策[J]. 甘肃农业科技, 2002(12): 29-31.