

盐碱池塘生态工程化种养系统氮磷的变化特征

朱浩¹, 王健¹, 刘兴国¹, 么宗利², 来琦芳²

(1 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092;

2 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

摘要:以盐碱池塘生态工程化种养系统为研究对象,利用系统中排水渠和蓄水池分别收集浸选盐碱水和渗透盐碱水,监测系统中盐碱水、土壤中的氮、磷营养盐并进行综合分析。结果表明:通过渗透、浸洗两种方式对土壤进行洗盐脱碱,抬田土壤总氮、总磷明显下降,盐碱水中总氮、总磷明显上升,通过土壤浸洗方式对土壤中氨氮、硝酸盐氮、正磷酸盐洗脱作用较弱,但通过土壤渗透方式对土壤中氨氮洗脱作用较强,蓄水池作为土壤渗透后的盐碱水收集池,水体中氨氮较高,可以作为养殖补充用水;在盐碱池塘生态工程化种养系统中养殖水体总氮 $<4\text{ mg/L}$,总磷 $<1.3\text{ mg/L}$,符合养殖需求。

关键词:盐碱水;生态;池塘;种养系统

中图分类号:S954.1⁺2

文献标志码:A

文章编号:1007-9580(2019)04-036-06

全球25%的土地面积受盐渍化影响^[1-2],且盐碱地面积每年都在增加^[3]。目前,中国盐碱地面积约3 460万 hm^2 ^[4],已开垦种植面积576.84 hm^2 (8 652.58万亩)^[5],开发利用潜力巨大,合理利用改良和开发盐渍土地资源的潜力,已成为当前进一步发展农业生产的重要任务^[6-9]。由于盐渍土分布地区生物气候等环境因素的差异,大致可将中国盐渍土分为滨海盐土与滩涂、黄淮海平原盐渍土、东北松嫩平原盐土和碱土、半漠境内陆盐土、青新极端干旱的漠境盐土等5大片区^[10-12]。本文以西北宁夏硫酸盐型盐碱地为研究对象。2016年在宁夏石嘴山地区,针对盐碱水特点,设计并构建了一种内陆池塘—抬田生态工程化种养系统^[13]。该系统利用抬田和预埋暗管结构实现洗盐压碱,利用排水渠、蓄水池收集盐碱水,利用池塘回用盐碱水,实现抬田盐碱水的综合利用,达到“节水、减排、生态”的渔农复合目的。为进一步研究该系统的运行效果,对复合种养系统中的土壤、水体中氮、磷营养盐进行综合分析,探讨该系统营养盐的变化规律,以期为该系洗盐压碱工艺以及后续的优化管理提供理论依据,也为盐碱水综合利用提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

在宁夏石嘴山泰嘉渔业有限公司养殖场设计并构建了一套盐碱池塘生态工程化复合种养系统^[13]。该试验系统地理坐标为经度 $106^{\circ}21'31''\sim 106^{\circ}21'43''\text{E}$ 、纬度 $38^{\circ}54'20''\sim 38^{\circ}55'25''\text{N}$ 。试验地点属于温带大陆性气候,7月份降水量最大,约为24 mm。通过对高含盐土壤进行冲洗,冲洗后的土壤种植耐盐植物枸杞;洗脱后的水用于水产养殖,从而减轻土壤中盐分含量。

1.2 试验时间及采样

试验时间2017年8月10日—2018年2月10日。试验期间分别在排水渠(1#、2#、3#)、抬田(4#、5#)、蓄水池(6#)、养殖池塘(7#)选择了7个取样点(图1),具体采样内容见表1。

试验期间,抬田枸杞种植不施肥、不用药。养殖池塘养殖南美白对虾,养殖负荷变动范围为 $50\sim 100\text{ kg}/667\text{ m}^2$ (亩)。灌水量 $3\ 000\text{ m}^3/\text{d}$ 。

1.3 水样土样采集与分析

水样采集和处理方法采用《水质和废水监测分析方法》^[14],土壤采样采用对0~20 cm土层取

收稿日期:2019-04-13

基金项目:盐碱池塘生态工程构建配套技术(2016HY-ZD0603)

作者简介:朱浩(1985—),男,助理研究员,博士研究生,研究方向:池塘生态工程。E-mail:zhuha0511@163.com

通信作者:刘兴国(1965—),男,研究员,博士,研究方向:渔业生态工程。E-mail:liuxg1223@163.com

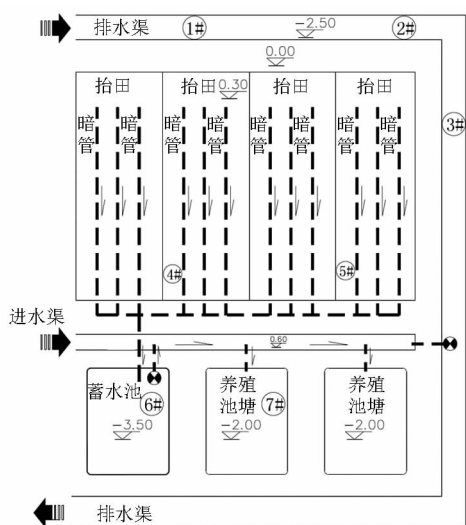


图1 盐碱池塘生态工程化种养系统平面布置图

Fig. 1 Layout of saline aquaculture pond with ecological engineering farming system

样,每次取样重复3次。水体和土壤中的氮磷营养盐的分析采用国标法^[15]测定,试验数据用Excel 软件统计进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 盐碱池塘生态系统水体总氮、氨氮的变化规律

由图2可知,不同月份之间水体中的总氮、氨氮值有所波动,各采样点盐碱水体中总氮随时间的延长而上升,进入冬季结冰期后,土壤总氮的洗脱作用降低,盐碱水体中总氮降低,这表明通过土壤渗透、浸洗两种方式使得水体中的总氮得到积累;各采样点盐碱水体中氨氮随时间的延长而下降,但蓄水池(6#)中氨氮显著高于其他高点且呈上升趋势。这说明,通过土壤浸洗方式对土壤中的氨氮洗脱作用较弱,而土壤渗透对氨氮的洗脱作用较强。养殖试验期间,池塘养殖水体中的总氮 $<4\text{ mg/L}$ 。

表1 采样点设置

Tab. 1 Setting of sampling points

项目	采样点						
	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#
采样点位置	排水渠	排水渠	排水渠	抬田	抬田	蓄水池	养殖池塘
采样指标	水质	水质、土壤	水质	土壤	土壤	水质、土壤	水质、土壤

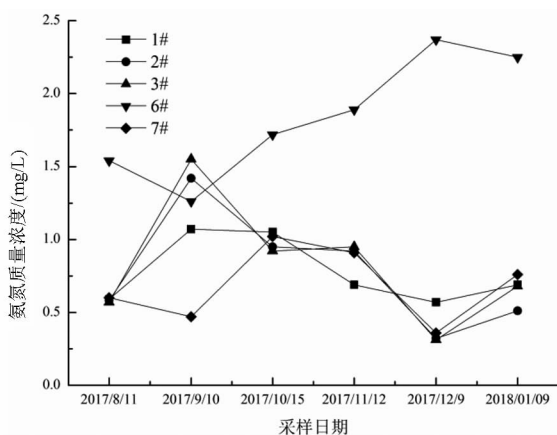
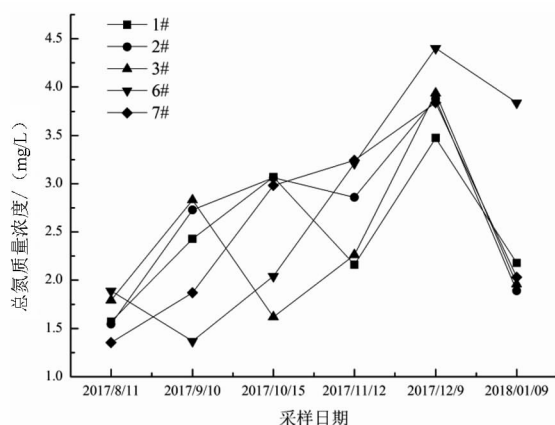


图2 盐碱池塘生态系统水体中总氮、氨氮的变化规律

Fig. 2 Variation of total nitrogen and ammonia nitrogen in water of saline aquaculture pond with ecological system

2.2 盐碱池塘生态系统水体总磷、正磷酸盐的变化规律

不同月份各采样点水体中总磷变化规律见图3。由图3可知,不同月份之间各采样点盐碱

水体中总磷随时间的延长而上升,进入冬季结冰期后,土壤总磷的洗脱作用降低,6#水体中总磷低于其他各点,养殖试验期间,池塘养殖水体中的总磷 $<1.3\text{ mg/L}$ 。水体中正磷酸盐的变化规律与

总磷相类似,各采样点盐碱水体中正磷酸盐随着时间的延长而上升,进入冬季结冰期后土壤正磷酸盐的洗脱作用也降低,1#、2#、3#和7#号盐碱水体

中的正磷酸盐高于6#,这表明,通过土壤渗透的方式对正磷酸盐的洗脱作用较低。

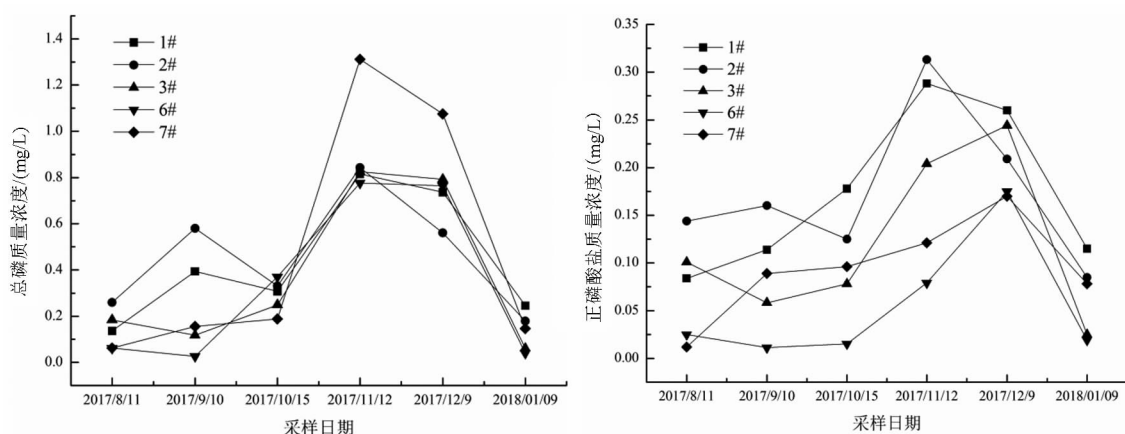


图3 盐碱池塘生态系统水体中总磷、正磷酸盐的变化规律

Fig. 3 Variation of total phosphorous and orthophosphate in water of saline aquaculture pond with ecological system

2.3 盐碱池塘生态系统土壤氮营养盐的变化规律

由图4可知,2#排水渠、7#养殖池塘土壤总氮总体平稳且呈上升趋势,4#抬田、5#抬田以及6#蓄水池总氮随时间延长逐渐下降,土壤中的总氮在水体浸洗作用下向排水渠中迁移。各采样点土

壤中氨氮总体平稳且呈上升趋势,其中2#排水渠和6#蓄水池显著高于其他各点,这表明氮营养盐经浸洗、渗透后在排水渠和蓄水池中富集并在土壤中转化成氨氮,且排水渠中收集浸洗水水量较大,氨氮富集作用较明显。

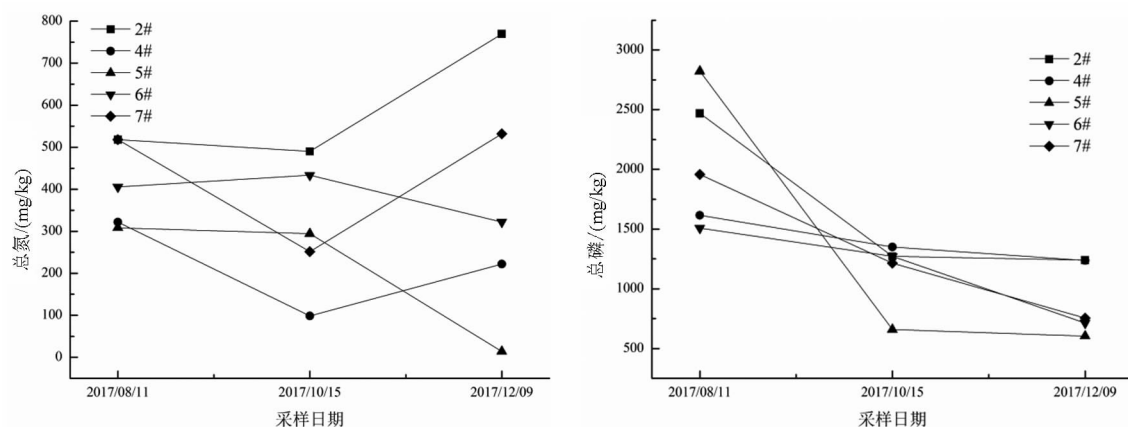


图4 盐碱池塘生态系统土壤中总氮、氨氮的变化规律

Fig. 4 Variation of total nitrogen and ammonia nitrogen in soil of saline aquaculture pond with ecological system

由图5可知,各采样点土壤中硝酸盐氮均有不同程度的上升,其中4#抬田先下降后上升,7#养殖池塘先上升后下降;土壤中亚硝酸盐氮变化波动较大,总体呈现上升趋势,这可能与土壤中硝

化、反硝化细菌活动有关,硝酸盐氮和亚硝酸盐氮总量均显著低于土壤中总氮,这也反映出土壤中氮营养盐以其他形成存在。

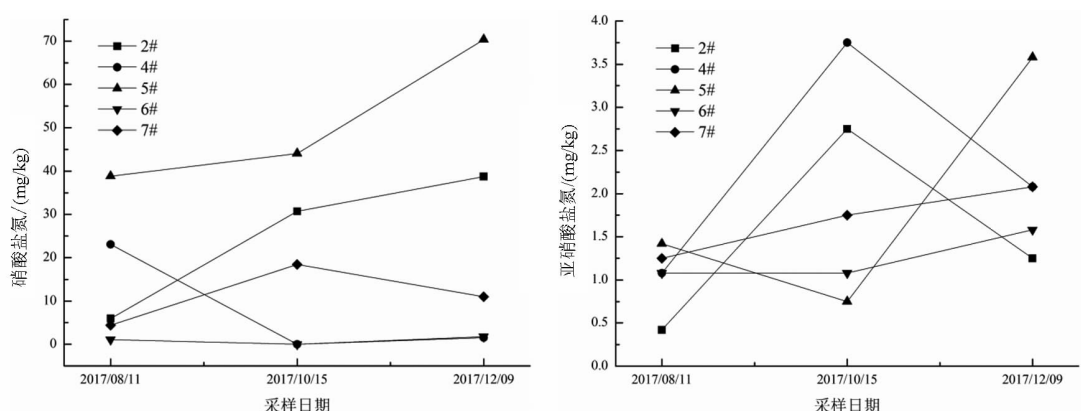


图5 盐碱池塘生态系统土壤中硝酸盐氮、亚硝酸盐氮的变化规律

Fig. 5 Variation of nitrite nitrogen and nitrate nitrogen in soil of saline aquaculture pond with ecological system

2.4 盐碱池塘生态系统土壤磷营养盐的变化规律

各采样点土壤中总磷均有不同程度的下降,其中5#抬田下降较快且低于其他各点。这表明,抬田土壤经水体浸泡渗透后总磷下降,盐碱池塘生态系统对磷的去除效果较为明显。各采样点土

壤中有效磷变化规律见图6,由图6可知,各采样点土壤中有效磷相对平稳,其中2#排水渠上升较快。这说明,通过土壤浸洗后盐碱水中的磷以有效磷的形态积累在排水渠中。

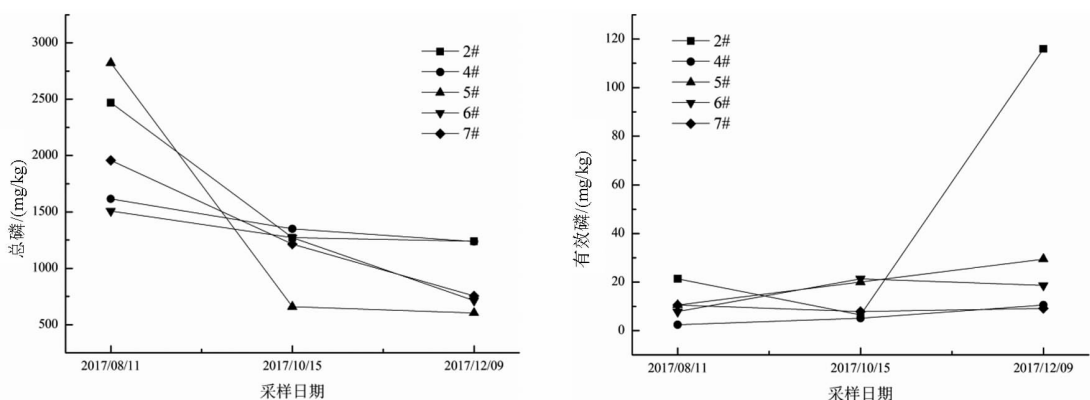


图6 盐碱池塘生态系统土壤中总磷、有效磷的变化规律

Fig. 6 Variation of total phosphorous and available phosphorus in soil of saline aquaculture pond with ecological system

3 讨论

盐碱池塘生态复合种养系统主要将抬田中的盐碱洗脱至蓄水池和排水渠中,再由蓄水池抽至养殖池塘。该系统的主要目的是在改良盐碱土壤的过程中,综合利用洗盐脱盐的盐碱水,但在洗盐脱盐的过程中,也淋洗出土壤中的氮磷营养盐,从而导致水产养殖水体的富营养化^[16]。本研究,抬田土壤中总氮、总磷呈现不同程度的下降,而水体中的总氮、总磷呈现不同程度的上升,这说明盐碱池塘生态复合种养系统在洗盐脱碱的过程中,同时转移了一部分氮、磷营养盐^[17-19],有研究表

明,盐碱土壤的氮磷营养盐表现出明显的随水迁移性^[20],这与本研究结果相一致。

含氮化合物在土壤中的转化是土壤代谢的中心环节之一,进入土壤和累积在土壤中的含氮有机化合物经复杂的生物化学转化,最后转变为植物可以利用的形式^[21]。土壤中的氮,除被作物吸收外,还可随降水和灌溉水淋入到土壤深层,或经氨挥发、反硝化作用,以氨、氮氧化物^[22]等气体形式进入大气中。其中铵态氮、硝态氮易随水淋失^[23]。本研究,通过土壤浸洗方式对水体中的氨氮洗脱作用较弱,而土壤渗透对氨氮的洗脱作用较强;氨氮向排水渠和蓄水池中迁移,且排水渠

中收集浸洗水水量较大,氨氮富集作用较明显。氨氮作为水产养殖水质的重要指标,对鱼虾的生长影响较大^[24]。本研究中,蓄水池中氨氮显著高于其他各点,不能直接作为水产养殖用水,需经稀释后才能用于养殖。

国内盐碱地改良的研究结果显示,土壤中不同离子洗脱效果差异较大^[25-26]。前期研究^[13]将蓄水池作为抬田盐碱水浸洗收集池,其pH、盐度、氯化物均显著高于其他各点。本次研究,水体中正磷酸盐却低于其他各点,这说明该系统对正磷酸盐的洗脱作用较弱,与国内的相关研究结果相一致^[27]。试验过程中发现,有些营养盐指标呈现不规律的特征,这可能是由于室外抬田在实验周期内出现布水不均匀的现象,抬田中易形成斑块化湿地,使得营养盐在坑洼处富集,造成数据的波动和不规律。因此,在工程构建过程中还需进一步考虑布水方式和平整土地。

养殖试验期间,池塘养殖水体中的总氮 $<4\text{ mg/L}$ 、总磷 $<1.3\text{ mg/L}$,符合养殖需求^[28]。但盐碱水在水产养殖中应用,目前国内研究相对较少,盐碱复合种养系统的推广应用还需根据种养品种做进一步的优化,这对于完善盐碱池塘生态工程化种养复合系统、实现技术推广是必要的。

4 结论

盐碱池塘生态复合种养系统通过渗透、浸洗两种方式对土壤进行洗盐脱碱,抬田土壤中一部分氮、磷营养盐得到转移,其中,通过土壤浸洗方式对土壤中氨氮、硝酸盐氮、正磷酸盐洗脱作用较弱,但通过土壤渗透方式对土壤中氨氮洗脱作用较强;蓄水池作为土壤渗透后的盐碱水收集池,水体中氨氮较高,可以作为养殖补充用水。在盐碱池塘生态工程化种养系统中,养殖水体总氮 $<4\text{ mg/L}$ 、总磷 $<1.3\text{ mg/L}$,符合养殖需求。 □

参考文献

- [1] ASHRAF M. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers [J]. *Biotechnology Advances*, 2009(27): 84-93.
- [2] CLARK G J, DODGSHUN. Changes in chemical and biological properties of a sodic clay subsoil with addition of organic amendments[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007(39): 2806-2817.
- [3] ASISH K P, ANATH B D. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2005(60): 324-349.
- [4] HE Q, BERTNESS, MARK D, et al. Economic development and coastal ecosystem change in China [J]. *Scientific Report*, 2014(4): 5995-5995.
- [5] HE B, CAI Y L, RAN W R, et al. Spatial and seasonal variations of soil salinity following vegetation restoration in coastal saline land in eastern China [J]. *Catena*, 2014(118): 147-153.
- [6] 王全九,徐益敏,王金栋,等. 咸水与微咸水在农业灌溉中的应用[J]. *灌溉排水学报*, 2002, 21(4): 73-77.
- [7] 耿玉辉,柴立涛. 不同碱性条件对苏打盐碱土无机磷组分的影响[J]. *水土保持学报*, 2016, 30(6): 226-229.
- [8] WONG J W C, CHAN C W Y, CHEUNG K C. Nitrogen and phosphorus leaching from fertilizer applied on golf course: lysimeter study [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1998, 107(1): 335-345.
- [9] 吴忠东,王全九. 入渗水矿化度对土壤入渗特征和离子迁移特性的影响[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(7): 64-69, 75.
- [10] 官利兰,陈锐浩,程凤娴,等. 不同灌水量对2种盐碱土的洗盐效果比较[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(7): 492-494.
- [11] 宋德成,洪影,于大永. 松嫩平原盐碱地开发利用状况分析[J]. *东北水利水电*, 2014(9): 20-22.
- [12] 肖克飏,吴普特,雷金银,等. 不同类型耐盐植物对盐碱土生物改良研究[J]. *农业环境科学学报*, 2013, 31(12): 2433-2440.
- [13] 朱浩,成水平,王健,等. 盐碱池塘生态工程化种养系统构建与运行效果评价[J]. *渔业现代化*, 2018, 45(4): 27-33.
- [14] 魏复盛. 水和废水监测分析方法[M]. 4版, 中国环境科学出版社, 2002: 279-285.
- [15] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1977: 381-382.
- [16] 王羽婷,张皓东,段小卫,等. 土壤渗滤系统出水氨氮浓度不稳定的成因探究[J]. *安全与环境学报*, 2016, 16(1): 226-229.
- [17] 阿依古丽·达嘎尔别克,艾比布拉·伊马木,大森圭佑,等. 不同洗盐法对盐碱化土壤改良效果研究[J]. *新疆农业科学*, 2015, 52(3): 477-482.
- [18] ZHANG Y, ZHU H, YAN B X. Nutrient removal in different overlying water layers and their variation in pore water of drainage ditches in Sanjiang Plain, Northeast China [J]. *Desalination and Water Treatment*. 2013(51): 28-30.
- [19] ZHANG Y, ZHU H, YAN B X, et al. Effects of plant and water level on nitrogen variation in overlying and pore water of agricultural drainage ditches in Sanjiang Plain, Northeast China [J]. *Clean - Soil, Air, Water*. 2014, 42(4): 386-392.
- [20] 张体彬,康跃虎,孙甲霞,等. 滴灌种植对盐碱荒地土壤养分及相关酶活性的改良效应[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(2): 88-93.
- [21] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 167-180.
- [22] CAI G X, CHEN D L, DING H, et al. Nitrogen losses from fertilizers applied to maize, wheat and rice in the North China Plain [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2002, 63(2): 187-195.
- [23] 李鑫,巨晓棠,张丽娟,等. 不同施肥方式对土壤氨挥发和氧化亚氮排放的影响[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(1): 99-104.
- [24] 黄厚见,蒋玫,李磊,等. 摄食水平和氨氮对鲢鱼幼鱼食物消化及生长的影响[J]. *生态毒理学报*, 2013, 8(4): 521-528.
- [25] 赵宇,邵建荣. 干旱区滴灌条件下盐碱土壤盐基离子运移特征[J]. *新疆农垦科技*, 2017(5): 46-48.
- [26] 孙国荣,彭永臻,岳中辉,等. 不同改良方法对盐碱土壤氮素营养状况的影响[J]. *植物研究*, 2004, 24(3): 369-373.

[27] 刘国锋,徐增洪,么宗利,等. 冲水灌溉对西北硫酸盐型土壤中盐分离子变化的影响研究[J]. 干旱区资源与环境,2019,33(3): 118-123.

[28] DB37/T 2946-2017. 南美白对虾低盐度池塘生态养殖技术规范[S].

Characteristics of nitrogen and phosphorus change in saline aquaculture pond with ecological engineering farming system

ZHU Hao¹, WANG Jian¹, LIU Xingguo¹, YAO Zongli², LAI Qifang²

(1Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 20092, China;

2 East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: With the saline aquaculture pond with ecological engineering farming system as the research object, the drainage channels and reservoirs in the system were used to collect the leaching and infiltrating saline and alkaline water respectively to monitor the saline and alkaline water, nitrogen and phosphorus nutrients in the soil in the system and to conduct comprehensive analysis. The results show that the total nitrogen and phosphorus in soil and in saline and alkaline water respectively decreased and increased significantly through salt leaching and dealkalization of the soil by infiltrating and leaching. The effect of soil leaching on the elution of ammonia nitrogen, nitrate nitrogen and orthophosphate was weak, but the effect of soil infiltration on elution of ammonia nitrogen was strong. The water in the reservoir used as saline and alkaline water collection tank after soil infiltration has high concentration of ammonia nitrogen and can be used as supplementary water for aquaculture; the total nitrogen and total phosphorus in aquaculture water of saline aquaculture pond with ecological engineering farming system are < 4 mg/L and < 1.3 mg/L respectively, meeting the requirements of aquaculture.

Key words: saline and alkaline water; ecology; pond; farming system

(上接第30页)

Effects of different aquaculture modes on growth, digestive enzyme activity and non-specific immunity of *E. fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂

LIU Su¹, ZHAO Huihong², ZHANG Min¹, GAN Songyong¹, HE Qi^{1,2}, LIU Xiaochun^{1,2}, HUANG Jingjun^{1,3}, WANG Qing², YANG Yuqing¹, ZHANG Haifa¹, SHI Herong¹

(1Guangdong Test Center of Marine Fisheries, Huizhou 516081, Guangdong, China;

2 College of Marine Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, Guangdong, China;

3 College of Life Science, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: In order to study the effects of different aquaculture modes on growth, digestive enzyme activity and non-specific immunity of *E. fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂, 360 healthy *E. fuscoguttatus* ♂ × *E. lanceolatus* ♂ with initial weight of (143.22 ± 12.48) g were selected and randomly assigned into industrial recirculating aquaculture (Group A), cage aquaculture in pond (Group B) and aquaculture in flowing water (Group C) for 56 days of test. The results showed that the survival rate, weight gain ratio and specific growth ratio, as well as GH and IGF-I in Group B were significantly higher than those in Group A and Group C ($P < 0.05$), but the FCR in Group B was significantly lower than that in Group A and Group C ($P < 0.05$). The activities of amylase and lipase in Group B were significantly higher than those in Group A and Group C ($P < 0.05$), and the activity of protease in Group B and Group C was significantly higher than that in Group A ($P < 0.05$). The content of MDA in Group B was significantly higher than that in Group A and Group C ($P < 0.05$), and the content of LZM and the activity of SOD in Group A were significantly higher than those in Group B and Group C ($P < 0.05$). The study shows that cage aquaculture in pond can better promote the growth and digestion of *E. fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂, while industrial recirculating aquaculture is more conducive to improving the immunity.

Key words: aquaculture mode; *E. fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂; growth; digestive enzyme; non-specific immunity