

盐碱池塘生态工程化种养系统构建与运行效果评价

朱浩^{1,2}, 成水平¹, 王健², 刘兴国¹, 来琦芳³

(1 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092;

2 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092;

3 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

摘要:为解决盐碱地洗盐压碱过程中盐碱水水资源浪费、综合利用率低等问题,针对盐碱地洗盐压碱工艺的特点,设计了一套盐碱池塘生态工程化种养系统。系统由抬田、排水渠、蓄水池、养殖池塘组成,面积比为10:1:2:4。系统中抬田底部铺设打孔暗管,暗管与蓄水池相通,蓄水池为养殖池塘提供养殖补充水体。在灌水量 $3\,000\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的情况下,系统中土质、水质检测结果显示:蓄水池水体中盐度、氯化物质量浓度和电导率远高于养殖池塘和排水渠;蓄水池和养殖池塘的pH显著高于排水渠;蓄水池能有效收集洗盐压碱过程中的盐碱水;抬田土壤中pH、盐度保持平稳,没有出现返盐、返碱现象;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 $<1.3\text{ mg/L}$,高锰酸盐指数逐渐下降,符合养殖需求。研究表明:与传统洗盐压碱工艺相比,盐碱池塘生态工程化种养系统可提高循环利用灌溉用水 $2.2\sim 3$ 倍,减少氮、磷排放,有明显的节水、减排效果。

关键词:盐碱水;生态;池塘;种养系统

中图分类号:S954.1

文献标志码:A

文章编号:1007-9580(2018)04-027-08

盐碱地生态治理涉及多学科,具有长期复杂性。以盐碱地改良利用为目标的退化生态系统研究为世界性重大科学问题^[1-4]。据统计,全世界盐碱地面积约10亿 hm^2 ^[5]。中国盐碱地面积约3460万 hm^2 ,另外近1/5耕地正在发生盐碱化,其中原生盐化型、次生盐化型和各种碱化型分布分别占总面积的52%、40%和8%^[6]。目前盐碱地治理方法可归纳为利用水利工程、化学、农艺和生物等处理措施^[7-8]。水利工程处理措施已在美国加州等灌溉农业区和中国黄河三角洲等盐碱地区推广应用^[9-11]。在中国西北地区,如采取引水洗盐治理土壤盐碱,该方法不仅浪费宝贵的水资源、流失土壤肥力,而且还有可能使下游耕地的地下水位升高,加重其盐碱危害^[12]。近年来,中国科学家开始关注洗盐碱水体的回收利用,并提出“以渔制碱”的理念^[13]。

本研究针对盐碱水的特点,设计了一种内陆池塘—抬田生态工程化种养系统。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”的渔农复合的目的,为盐碱池塘复合种养系统模式构建提供参考。

1 系统设计

1.1 设计原则

盐碱池塘生态工程化种养系统由抬田、排水渠、蓄水池和养殖池塘等组成。抬田下预埋穿孔暗管,暗管收集的渗透盐碱水汇总至蓄水池。抬田的水源为外河水,抬田泡田的水体排至排水渠,通过泡田洗盐和渗透洗盐两种方式对抬田进行盐碱化改良,渗透洗盐的水体流进蓄水池,同时通过池塘养殖回收利用盐碱水,形成复合种养系统,养殖池塘排放水排到系统外部湿地(图1)。

1.2 设计依据

1.2.1 抬田

利用挖蓄水池的土方堆砌抬田和田埂,田埂高0.5 m,埂宽0.5 m,抬田高出地面0.3~

收稿日期:2018-05-25

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:zhuhao0511@163.com

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

0.5 m,可容纳0.3 m 泡田水深。抬田种植耐盐碱枸杞,枸杞株高1 m,种植间距2 m,种植密度0.6 棵/m²。参照《高标准基本农田建设规范》^[14],抬田宽度选择25~35 m 之间为宜,长度不超过100 m。

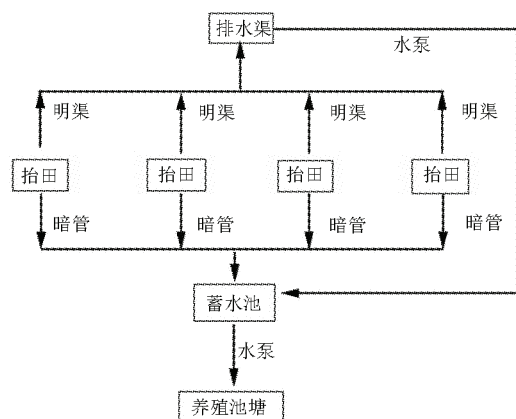


图1 盐碱池塘生态工程化种养系统工艺图

Fig.1 Flow chart of ecologically engineered cultivation system of saline-lakaline pond

1.2.2 蓄水池

蓄水池池深低于抬田预埋暗管,以收集洗盐压碱渗出液。根据洗盐、浸泡次数估算抬田农业用水排放量。参考当地历年的蒸发水量,估算一个洗盐洗碱周期的农业用水排放总量。合理布置蓄水池,以蓄水池满足10% 池塘供水为依据,估算养殖池塘面积,计算公式如下^[15]:

$$Q_a = S_a \times (P/50\% - E) + S_a \times (Q_c \times k) \times 2 \quad (1)$$

$$Q_b = S_b \times h \times 10\% \times M \times N \quad (2)$$

式中: Q_a —种植区水量,m³; Q_b —养殖区水量,m³; Q_c —种植区灌溉量,m³; S_a —种植区面积,m; S_b —养殖区面积,m; P —降水量,mm; E —蒸发量,mm; k —渗透系数; h —池塘水深,m; M —换水量,m³/d; N —换水天数,d。

根据洗盐、浸泡次数,估算种植区水量 $Q_a = 3\,000\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。蓄水池为 Q_a 的10%,池塘水深 $h = 4\text{ m}$,坡比 $L = 1:1.5$,根据坡比和池深估算,蓄水量实际面积为 0.26 hm^2 (4 亩)。

1.2.3 养殖池塘

利用抬田周边鱼塘构建,总面积 0.53 hm^2 (8 亩),长宽比1:2,坡比1:3,池深1.5 m,主养南美白对虾。养殖期内的养殖负负荷量 $100\text{ kg}/667\text{ m}^2$ 。

1.2.4 暗管

依据《土地开发整理项目规划设计规范》^[16],暗管预埋抬田下0.8 m 处,地下暗管是带孔的聚氯乙烯(PVC)波纹管,管孔是由激光打孔机按一定规格打在波纹管的纹沟内,管径80~110 mm。暗管按设计深度和间距在激光制导下由埋管机按设计比降埋入地下,暗管四周裹有滤料用来防止粉末性土壤颗粒进入管内堵塞暗管。暗管埋深按地下水的埋深和改碱需要确定,一般为0.8~2.5 m。暗管不仅渗入和排出进入上部土壤且溶解了盐分的地表水,而且也截住了地下盐碱水和矿化度高的水不再上升到上层土壤造成返盐。暗管不仅有排碱功能,还具有排涝作用。

1.3 系统结构

生态工程化种养系统(图2)由4 块抬田(共 $10\,000\text{ m}^2$)、排水渠(共 $1\,000\text{ m}^2$)、蓄水池(共 $2\,000\text{ m}^2$)、养殖池塘(共 $4\,000\text{ m}^2$)组成,面积比为10:1:2:4。抬田、池塘、蓄水池呈排列布局,进排水渠道在池塘两侧,系统中的抬田底部铺设打孔暗管,暗管与蓄水池相通,蓄水池水体经水泵提升至进排水渠,然后流进养殖池塘,提供养殖补充水体。工程施工完成后对土地进行平整,每个抬田按预先测定的高程确定平整基点,大功率平整机械在全球定位系统(GPS)和激光制导之下将抬田平整,高程差约为0.02 m。

1.4 生态沟

生态沟利用养殖池塘的排水渠构建(图3),总长200 m,八字砖护坡,倒梯形结构,上口宽2.5 m,下口宽1.5 m,深2.0 m。渠壁两侧种植挺水植物芦苇,渠中放置生物网箱,网箱中放置漂浮植物如水浮莲、水葫芦,水体还放养了贝类、滤食性和杂食性鱼类等。

2 材料与方法

在宁夏石嘴山泰嘉渔业有限公司养殖场进行试验,试验时间2017 年8 月10 日—2018 年2 月10 日。试验期间分别在抬田(4#、5#)、排水渠(1#、2#、3#)、蓄水池(6#)、养殖池塘(7#)选择了7 个取样点(图2、表2)。

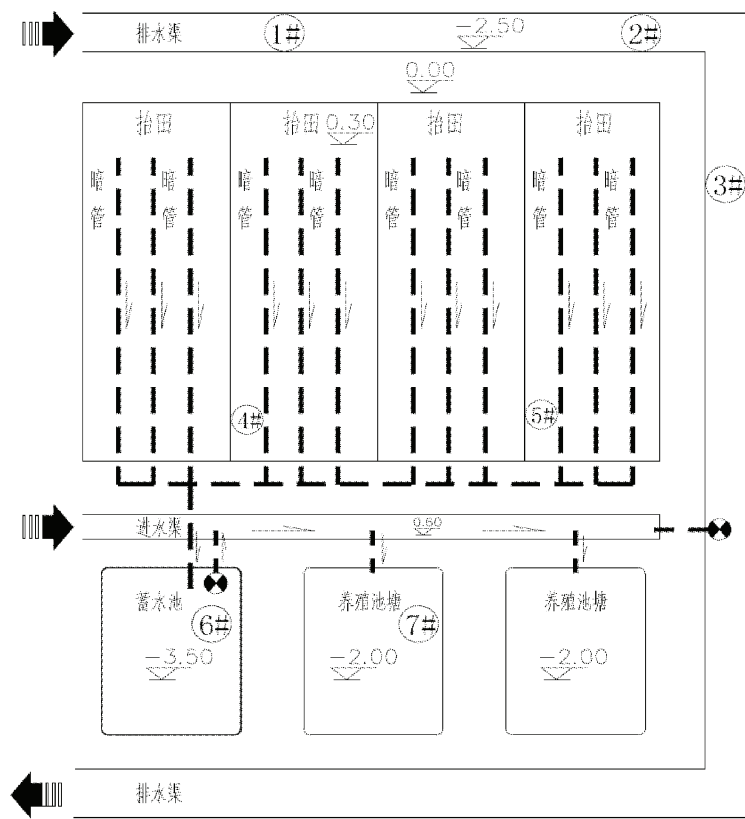


图 2 盐碱池塘生态工程化种养系统平面布置图

Fig.2 Layout plan of ecologically engineered cultivation system of saline – alkaline pond

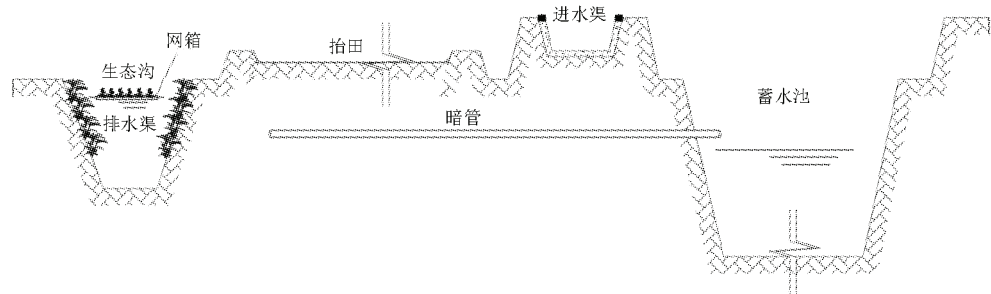


图 3 盐碱池塘生态工程化种养系统剖面图

Fig.3 Cross – section of ecologically engineered cultivation system of saline – alkaline pond

表 2 采样点设置

Tab.2 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

试验期间,抬田枸杞种植不施肥不用药。池塘养殖南美白对虾,养殖负荷变动范围为50 ~ 100 kg/667m²。灌水量3 000 m³/hm²。

水样采集和处理方法采用《水质和废水监测分析方法》^[17],水温、pH、溶氧、氧化还原电位(ORP)指标等均用YSI556 多功能水质分析仪测

定。测量精度:水温 $\pm 0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、pH ± 0.2 、溶氧 $\pm 0.2\text{ mg/L}$ 、ORP $\pm 0.5\%$ 、盐度 $\pm 0.003\text{‰}$ 。

总氮、总磷、高锰酸盐指数、氨氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮等用 HACH DR-2800 水质分析仪测定。

试验数据用 SPSS13.0 软件统计,用单因子方差分析和差异显著性检验。

3 结果与分析

3.1 系统盐碱特征分析

3.1.1 盐度和氯化物变化情况

试验期间,蓄水池水体中盐度均值($38.67 \pm 2.29\text{‰}$),养殖池塘盐度均值为($2.26 \pm 0.06\text{‰}$),排水渠 1#、2#、3#点盐度均值分别为($1.38 \pm 0.21\text{‰}$)、($1.35 \pm 0.22\text{‰}$)、($1.39 \pm 0.21\text{‰}$) (图 4)。

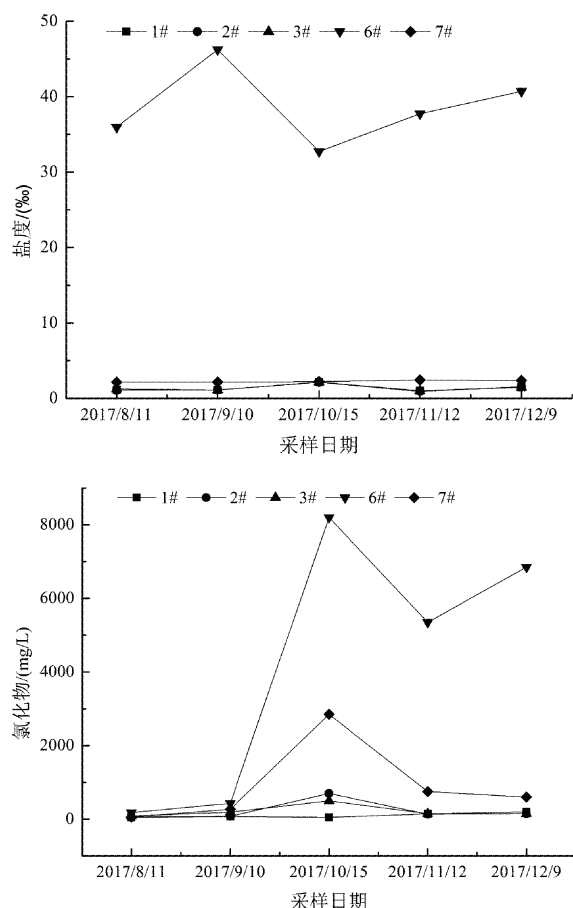


图 4 盐碱池塘生态系统水体中盐度、氯化物变化规律

Fig. 4 Variation of salinity and chloride in the water of ecosystem of saline-alkaline pond

蓄水池水体中氯化物质量浓度均值为($4\ 200.69 \pm 1\ 653.55\text{ mg/L}$),养殖池塘氯化物质量浓度均值为($905.71 \pm 500.71\text{ mg/L}$),排水渠 1#、2#、3#点氯化物质量浓度均值分别为($102.6 \pm 29.69\text{ mg/L}$)、($225.13 \pm 119.84\text{ mg/L}$)、($215.93 \pm 72.75\text{ mg/L}$)。

试验期间,各采样点水体中的盐度、氯化物呈规律性波动,随着时间的延长,各采样点水体中盐度、氯化物浓度不断上升,整个试验期内蓄水池和养殖池塘均高于排水渠。

3.1.2 pH 和电导率变化情况

图 5 可知,不同采样点之间 pH 差异较大,其中 6#、7#显著高于 1#、2#和 3#。这表明通过土壤渗透方式后的盐碱水 pH 高于土壤浸洗方式后的盐碱水。不同月份之间 pH 差异较小,总体上呈下降趋势。

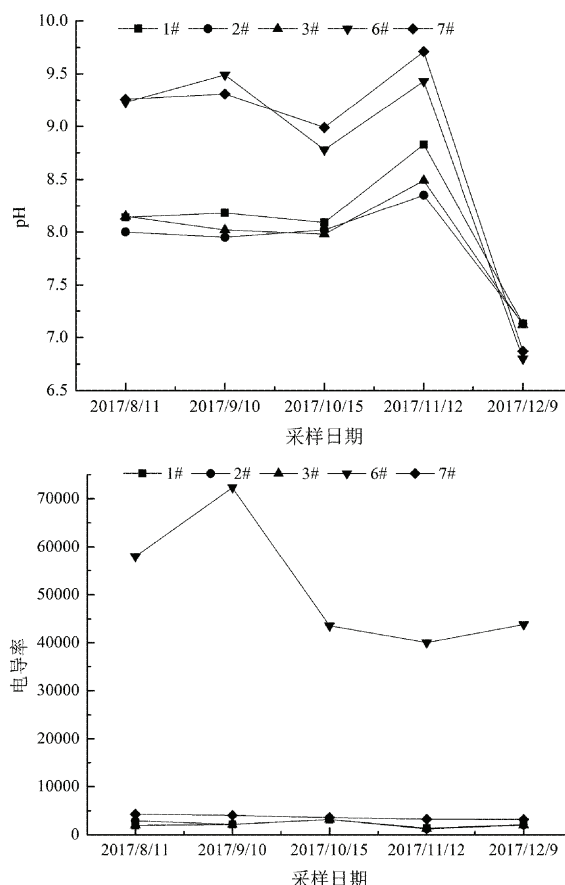


图 5 盐碱池塘生态系统水体中 pH、电导率变化规律

Fig. 5 Variation of pH and electrical conductivity in the water of ecosystem of saline-alkaline pond

这表明通过土壤渗透方式后,盐碱水中的 pH 随着渗透次数增多而下降;通过土壤浸洗方式后,盐碱水中的 pH 随着浸洗时间的延长而下降。不同采样点之间电导率差异较大,6#水体中电导率显著高于 1#、2#、3#和 7#。通过土壤渗透方式后盐碱水中电导率较高,这可能与盐碱水的离子浓度有关。不同月份之间盐碱水电导率差异较大,其中 6#盐碱水中电导率先升高后降低,这可能是盐碱水中离子浓度先富集再逐步降低。1#、2#、3#和

7#点盐碱水中电导率总体上呈下降趋势,表明通过土壤渗透方式后盐碱水中的电导率随着渗透次数增多而下降,通过土壤浸洗方式后盐碱水中的电导率随着浸洗时间的延长而下降。

3.1.3 土壤降碱效果分析

试验运行期间,2#排水渠土壤 pH 随时间延长先下降后略有上升;4#、5#抬田 pH 相对平稳,6#蓄水池 pH 随时间延长逐渐上升;7#养殖池塘 pH 随时间延长波动较大(表 3)。

表 3 盐碱池塘生态系统土壤 pH 和盐度的变化规律

Tab.3 Variation of soil pH and salinity in the water of ecosystem of saline - alkaline pond

日期	各取样点									
	2#		4#		5#		6#		7#	
	pH	盐度/‰	pH	盐度/‰	pH	盐度/‰	pH	盐度/‰	pH	盐度/‰
8 月	8.6	4.632	8.67	0.012	8.64	0.012	8.16	1.533	8.73	0.008
10 月	8.25	3.261	8.66	0.008	8.78	0.018	8.95	8.791	8.37	0.025
12 月	8.32	2.272	8.67	0.009	8.76	0.009	9.14	2.412	8.6	0.011

由此可见,抬田土壤 pH 随着洗盐时间的延长相对平稳,但蓄水池土壤 pH 随着洗盐时间的延长上升较快,这反映了蓄水池收集浸出液使得水体中离子浓度较高。与 pH 表现一致,2#排水渠土壤盐度随时间延长逐渐下降;4#、5#抬田盐度相对平稳,土壤盐度在 0.018‰以下,6#蓄水池盐度随时间延长先上升后下降;7#养殖池塘盐度随时间延长相对平稳。由此可见,抬田土壤盐度随着洗盐时间的延长相对平稳,但蓄水池土壤盐度随着洗盐时间的延长波动较大,这与蓄水池收集浸出水体中离子浓度较高有关。

3.2 系统水质特征

3.2.1 总氮和总磷变化情况

由图 6 可知,不同月份之间水体中的总氮、总磷有所波动,各采样点盐碱水体中总氮、总磷随时间的延长而上升,这表明通过土壤渗透、浸洗两种方式使得水体中的总氮、总磷得到积累。养殖试验期间,池塘养殖水体中的总氮 < 4 mg/L、总磷 < 1.3 mg/L,符合养殖需求。不同采样点水体中总氮值比较,6#总氮上升较快,这可能与水体中盐度较高、降解氮营养盐的细菌以及藻类不能生长有关。

3.2.2 高锰酸盐指数

由图 7 可知,不同月份之间水体中高锰酸盐指数有所波动,随着系统的运行,各采样点盐碱水

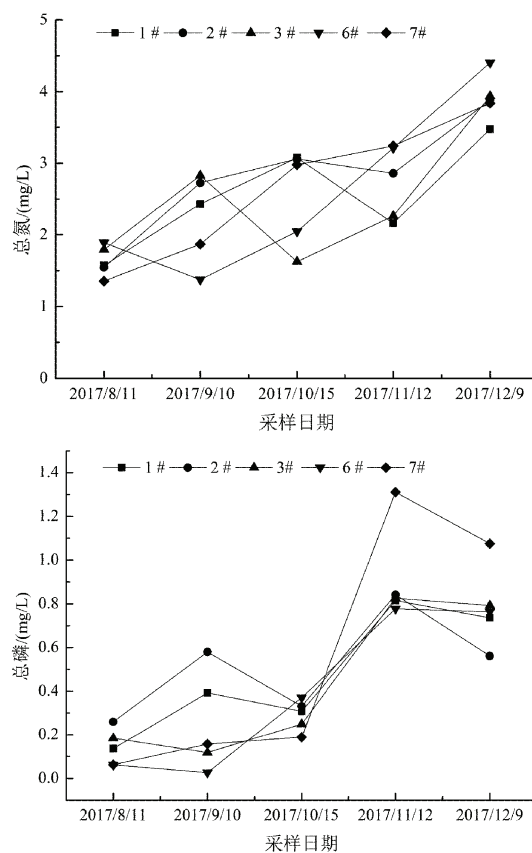


图 6 盐碱池塘生态系统水体中总氮、总磷的变化规律

Fig.6 Variation of total nitrogen and total phosphorous in the water of ecosystem of saline - alkaline pond

体中高锰酸盐指数逐渐下降,这表明通过土壤渗透、浸洗两种方式使得水体中的高锰酸盐指数得到降解。不同采样点水体中总高锰酸盐指数比较,6#的指数先上升后下降,这可能是由于水力停留时间的延长,使得高锰酸盐下降。

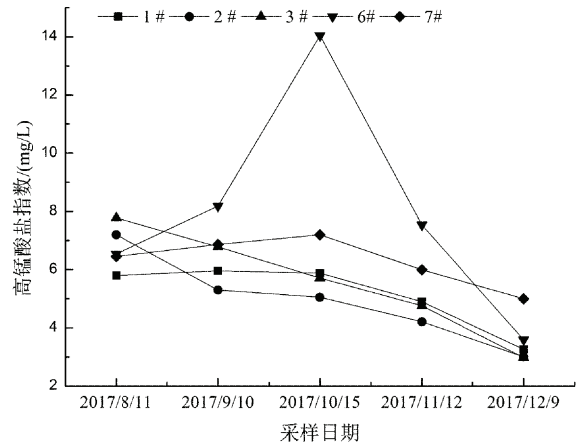


图7 盐碱池塘生态系统高锰酸盐指数的变化规律
Fig. 7 Variation of permanganate index in ecosystem of saline - alkaline pond

3.3 节水与减排分析

据调查,在宁夏地区盐碱地改良过程中春灌模式应用多年,其目的是通过水分淋洗作用把土壤中盐分压到作物根系层以下或排水渠中以改良土壤保证作物正常生长,在一定程度上达到了洗盐、节水、增产、增收的效果。根据文献[18-20],洗盐压碱灌水量一般在3 000 m³/hm²,其脱盐效果在垂直方向上较为稳定。土壤盐度下降3.13%~13.33%^[21-22],pH在8~9^[13-24],洗盐压碱过程中灌溉回归水,水体中总氮质量浓度7.69 mg/L,总磷质量浓度1.38 mg/L^[25-28](表4)。

盐碱池塘生态工程化种养系统洗盐用水量与传统洗盐种植地一致,土壤中盐度下降百分比高于传统洗盐工艺,土壤pH与传统洗盐种植地持平,灌溉回归水中总氮、总磷显著低于传统洗盐种植地,灌溉水利用率比传统洗盐种植提高了2.2~3倍。

表4 不同洗盐工艺用水与污染排放比较

Tab.4 Comparison of water consumption and pollution discharge in different salt washing processes

种植系统	洗盐用水量/ (m ³ /hm ²)	盐度下降率/%	pH	总氮排放/ (mg/L)	总磷排放/ (mg/L)	灌溉水利用率/%
传统洗盐种植	3 000 ~ 6 000 ^[18-20]	3.13 ~ 13.33 ^[21-22]	8 ~ 9 ^[23-24]	7.69 ^[25-26]	1.38 ^[27-28]	30 ~ 40
生态工程化种养系统	3 000	25 ~ 33	8.16 ~ 8.95	2.58	0.47	90

4 讨论

盐碱池塘生态工程化种养系统具有“节水、减排、生态”的特点,是传统盐碱地改良、提高盐碱水综合利用的有效途径。在中国西北地区,春灌和冬灌是改良盐碱土的常用方式,利用灌溉压碱的方式淋洗土壤,将土壤中盐分压到作物根系层以下或排入排水沟中,可有效改良土壤^[29]。本研究中,由抬田、蓄水池、池塘、排水渠组成的盐碱池塘生态工程化种养系统在改良土壤的同时能够有效收集洗盐压碱过程中的盐碱水,在改良盐碱的同时实现渔农复合。同时,西北地区在冬季由于蒸发、土壤水份减少导致返盐返碱^[29-31],而在本研究中,抬田土壤中pH和盐度变化平稳。

盐碱水分为不同类型,但大部分盐碱水均可被水产养殖二次利用^[13]。养殖过程中,残饲和粪

便酸化可以对池塘底质盐碱改良有一定的促进效果,同时,水生生物的活动对盐碱水有一定的改碱效果^[5]。本系统将种植、养殖两种方式有机结合,充分考虑种植品种、养殖品种的耗水量和排水量以及土壤的特点等因素,发挥不同组分的功能,做到结构简单、效率最高,合理设计面积比例。在洗盐洗碱的过程中实现盐碱水的二次利用,洗盐和渗透的盐碱水水体中总氮、总磷能够满足养殖需求。与其他几种灌溉回归水利用方式相比较^[25],本系统盐碱水的二次利用率明显提高。

盐碱池塘生态工程化种养系统在国内研究的时间不长,目前缺乏相应的维护管理技术。盐碱土的改良以及盐碱水综合利用率不仅涉及系统的设计,同时与洗盐洗碱次数、种养工艺流程有关。盐碱复合种养系统的推广应用还需针对工艺流程做进一步的优化,研究建立包括设施构建、动植物选择与搭配、养殖技术等方面的管理技术体系,以

及相应的增氧技术、藻类调控技术、底质改良技术等,这对于完善盐碱池塘生态工程化种养系统、实现技术推广是必要的。

5 结论

通过抬田—排水渠—蓄水池—池塘构建生态工程化种养系统可有效收集利用洗盐洗碱过程中的盐碱水,降低土壤中 pH 和盐度;盐碱水中的总氮、总磷和高锰酸盐指数等指标符合养殖需要。抬田—排水渠—蓄水池—池塘应有合理的比例,蓄水池比例一般不超过抬田 20%。养殖池塘一般不超过蓄水池面积的 3 倍。种养系统的运行以浸洗和浸出渗透两种方式,主要根据土壤粘性选择洗盐洗碱方式,两种方式对盐碱地改良都有改善效果,一般以浸洗为主。□

参考文献

- [1] QADIR M, GHAFOR A, MURTAZA G. Amelioration strategies for saline soils: a review[J]. *Land Degradation & Development*, 2000, 11(6): 501–521.
- [2] MUHAMMAD S, MUELLER T, JOERGENSEN R G. Relationships between soil biological and other soil properties in saline and alkaline arable soils from the Pakistani Punjab[J]. *Journal of Arid Environments*, 2008, 72(4): 448–457.
- [3] BOIVIN P, FAVRE F, HAMMECKER C, et al. Processes driving soil solution chemistry in a flooded rice – cropped vertisol: analysis of long – time monitoring data[J]. *Geoderma*, 2002, 110(1/2): 87–107.
- [4] QADIR M, OSTER J D, SCHUBERT S, et al. Phytoremediation of sodic and saline – sodic soils[J]. *Advances in Agronomy*, 2007, 96(7): 197–247.
- [5] 张建锋, 张旭东, 周金星, 等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J]. *水土保持研究*, 2005, 12(6): 28–30.
- [6] 周和平, 张立新, 禹峰, 等. 我国盐碱地改良技术综述及展望[J]. *现代农业科技*, 2005, 12(6): 28–31.
- [7] 刘永新, 方辉, 来琦芳. 我国盐碱水渔业现状与发展对策[J]. *中国工程科学*, 2016, 18(3): 74–78.
- [8] 王利民, 陈金林, 梁珍海, 等. 盐碱土改良利用技术研究进展[J]. *浙江林学院学报*, 2010, 27(1): 143–148.
- [9] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 467–494.
- [10] WANG Z C, LI Q S, LI X J, et al. Sustainable agriculture development in saline – alkali soil area of Songnen Plain, northeast China [J]. *Chinese Geographical Science*, 2003, 13(2): 171–174.
- [11] QADIR M, QURESHI R H, AHMAD N. Reclamation of a saline – sodic soil by gypsum and *leptochloa fusca* [J]. *Geoderma*, 1996, 74(3): 207–217.
- [12] 王少丽, 高占义, 郭庭天. 灌区土壤盐渍化发展模拟预测与对策研究[J]. *灌溉排水学报*, 2006, 25(1): 71–76.
- [13] 王振怀, 宋学章, 李春岭, 等. 沧州地区盐碱水水质特点及养虾水质调控技术[J]. *河北渔业*, 2015, 11(1): 39–41.
- [14] TD/T1033–2012. 高标准基本农田建设规范[S].
- [15] 朱浩. 一种用于盐碱水池塘养殖的灌水洗盐流量计算方法: 201711164637.4[P]. 2017–11–16.
- [16] TD/T1012–2000. 土地开发整理项目规划设计规范[S].
- [17] 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.
- [18] 李文娟, 虎胆·吐马尔白, 杨鹏年, 等. 不同春灌水量对不同盐度棉田盐分运移规律影响研究[J]. *节水灌溉*, 2014(4): 7–10.
- [19] 李宝富, 熊黑钢, 张建兵, 等. 干旱区不同灌溉量下后备耕地土壤盐动态变化规律研究[J]. *地理科学*, 2013, 33(6): 763–768.
- [20] 郭路利, 张海宁, 钱一凡, 等. 灌水量对不同重度盐渍化棉田的洗盐效果研究[J]. *农技服务*, 2015, 32(11): 65–66.
- [21] 吕宁, 侯振安, 龚江. 不同滴灌方式下咸水灌溉对棉花根系分布的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2007, 26(5): 58–62.
- [22] 武晓非. 不同灌水方式对盐碱地大棚蔬菜生长及土壤盐分影响的试验研究[J]. *山西水利科技*, 2018(2): 52–57.
- [23] 陈冰, 蒋平安. 不同灌水量对碱化土的影响[J]. *干旱区地理*, 2005, 28(1): 103–106.
- [24] 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.
- [25] 马云瑞, 苗济文, 张益民, 等. 宁夏低矿化度回归水灌溉对土壤盐碱化的影响[J]. *农业环境保护*, 1998, 17(6): 241–244.
- [26] 马云瑞, 张益民, 苗济文, 等. 宁夏灌溉回归水开发再利用的评价[J]. *自然资源学报*, 1997, 12(2): 133–138.
- [27] 李海霞, 包淑萍, 马如国, 等. 宁夏清水河扬水灌区灌溉回归水初步分析[J]. *宁夏工程技术*, 2007, 6(2): 104–113.
- [28] 王杰, 苗济文, 张益民, 等. 银川灌区灌溉回归水质量评价[J]. *农业环境保护*, 1997, 16(4): 145–148.
- [29] AYARS J E, SCHONEMAN R A. Schoneman. Irrigating field crops in the presence of saline ground water[C]. *Proceedings of the 19th Congress on Irrigation and Drainage (Vol. 1B)*, Beijing: [s. n.], 2005, 9(1): 131–133.
- [30] 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.
- [31] 范晓旭. 宁夏引黄灌区盐碱地改良措施探析[J]. *水利科技*, 2016(35): 249.

(下转第 58 页)