



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20180116

数字出版日期: 2019-10-16; 数字出版网址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1355.N.20191016.1503.004.html>

## 塘沽盐田生态系统化学元素的跟踪调查分析

张蕾<sup>1,2</sup>, 史亚鹏<sup>1,2</sup>, 董思成<sup>1,2</sup>, 欧阳瑞灵<sup>1,2</sup>, 彭钦宇<sup>1,2</sup>, 郭奕兵<sup>1,2</sup>, 王雷<sup>1,2</sup>

(1. 天津科技大学化工与材料学院, 天津 300457; 2. 天津市海洋资源与化学重点实验室, 天津 300457)

**摘要:** 随着近年来海水淡化产业的发展,其副产物浓海水已成为日晒海盐主要原料来源。由于海水淡化过程中原有生态系统被彻底破坏,浓海水进入盐田后,其原有湿地生态系统受到较大程度的冲击。通过跟踪调查盐田生态修复前后化学元素的变化,研究盐田生态系统调控过程对卤水盐度、黏度、常规离子及氨氮、总磷元素的作用规律。结果表明:经过盐田生态系统调控后,卤水的盐度稍有提高,黏度有所下降。一方面,卤水中的氨氮、总磷元素含量的变化和盐藻的生长与衰亡有着密不可分的关系,符合盐田的良性生态循环,盐度在 140~160 时最适合盐藻生长。另一方面,卤水蒸发量增大,氯离子浓度较盐田生态修复前相比得到提高,进而有利于盐业生产,并且卤虫接种使卤水得以净化,防止藻类等浮游群落大量繁殖起来,避免卤水变黏,促使钙盐在盐度为 130~140 时提前析出,从而减少了卤水中的有机颗粒和无机颗粒,使盐的品质得到稳定和提高。

**关键词:** 海水淡化; 浓海水; 盐藻; 卤虫; 盐田生态系统

中图分类号: O611.65

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2020)01-0039-05

## Tracking Chemical Elements in Saltern Ecosystem in Tanggu

ZHANG Lei<sup>1,2</sup>, SHI Yapeng<sup>1,2</sup>, DONG Sicheng<sup>1,2</sup>, OUYANG Ruiling<sup>1,2</sup>,  
PENG Qinyu<sup>1,2</sup>, GUO Yibing<sup>1,2</sup>, WANG Lei<sup>1,2</sup>

(1. College of Chemical Engineering and Materials Science, Tianjin University of Science & Technology,  
Tianjin 300457, China;

2. Key Laboratory of Marine Resources and Chemistry of Tianjin, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** With the development of seawater desalination industry in recent years, the concentrated seawater, which is a by-product of the seawater desalination, has become the main raw material for sun-dried sea salt. Due to the complete destruction of the original biological system in the process of desalination, the original wetland ecosystem suffered a lot after the concentrated seawater entered the saltern. This study investigated the changes of chemical elements before and after the ecological restoration of the saltern. The study of the effect of regulation on the salinity, viscosity, conventional ions, ammonia nitrogen and total phosphorus elements in the regulatory process of saltern ecosystem indicated that the salinity of the brine has increased and the viscosity has decreased after the regulation of the saltern ecosystem. The changes in the content of ammonia nitrogen and total phosphorus in brine are closely related to the growth and decline of algae, which is in line with the benign ecological cycle of the saltern. The most suitable salinity for the growth of algae ranges from 140 to 160. In addition, evaporation of brine leads to chloride ion concentration increase, which is conducive to salt production. At the same time, artemia inoculation allows brine to be purified, prevents algal bloom and other phytoplankton communities from multiplying, avoids the brine becoming sticky, and thus promotes the precipitation of calcium salt when the salinity is 130 to 140. Accordingly, the organic and inorganic particles in the brines are reduced, and the quality of salt is stabilized and improved.

**Key words:** seawater desalination; concentrated seawater; algae; artemia; saltern ecosystem

收稿日期: 2018-04-17; 修回日期: 2018-07-31

基金项目: 天津市科技重大专项与工程(15ZXCSF00040); 天津市高等学校大学生创新训练计划项目(201710057006)

作者简介: 张蕾(1984—), 女, 河北泊头人, 讲师, leizhang@tust.edu.cn

环渤海湾地区为三面环陆的半封闭性海湾,生态环境脆弱,海水交换能力和自净能力差,海水污染较为严重,如果将海水淡化过程中所产生的副产物浓海水直接排海,会对该区域的生态环境及盐度分布造成严重影响<sup>[1-2]</sup>.从资源利用角度,将海水淡化过程中所产生的浓海水直接引入盐田进行日晒海盐生产,会大幅减少制卤面积,提高生产效率<sup>[3]</sup>.因此,以浓海水为进滩卤水进行日晒海盐生产,将海水淡化与传统的制盐工艺结合起来,通过自然蒸发经制卤、结晶等操作后析出 NaCl 晶体,从而得到原盐<sup>[4-5]</sup>.目前,天津北疆发电厂海水淡化所得到的副产物浓海水<sup>[6]</sup>,被天津长芦海晶集团接收后均直接进入盐田.

在以天然海水为滩田进卤逐级蒸发制盐的盐田生态系统中,存在着以藻类、卤虫和嗜盐菌为主的生物群落,包括生产者、消费者、分解者<sup>[7-8]</sup>,它们维持着盐田生态系统平衡,也是海盐生产基地的经济效益来源之一.与天然海水相比,膜法进行海水淡化生产时<sup>[9]</sup>,所得高浓度卤水中会由于阻垢剂的加入导致有机物含量增加,氮、磷含量成倍增加<sup>[10]</sup>.而热法进行海水淡化生产时<sup>[11]</sup>,高温过程使海水中原有生物被杀死,但其残骸仍然存在于水体中.为了考查盐田生态系统对盐品质的影响,本文进行了盐田生态修复研究,在初级制卤区投加浮游植物盐藻,在中级制卤区投加浮游动物渤海湾卤虫进行盐田生态修复,通过研究生态系统调控前后卤水中元素质量变化的规律,对卤水盐度、黏度和  $Cl^-$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $SO_4^{2-}$  四种常规离子以及氨氮和总磷元素进行数据调研分析及规律总结.

## 1 材料与方法

### 1.1 原料与仪器

硝酸银、铬酸钾、铬黑 T、氯化钡、硫酸铵、溴酸钾、溴化钾、磺胺、盐酸萘乙二胺、碘胺、钼酸铵、酒石酸锑钾,分析纯,天津市化学试剂一厂;浓盐酸、浓硝酸、高氯酸、浓硫酸,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;酚酞、苯酚,分析纯,天津市大茂化学试剂厂;25%氨水、氯化铵、乙二胺四乙酸二钠、无水乙醇、氢氧化钠,分析纯,天津市文达稀贵试剂化工厂;亚硝酸钠,分析纯,济宁泰诺化工有限公司;抗坏血酸、磷酸二氢钾、过硫酸钾,分析纯,天津市风船化学试剂科技有限公司;实验用水均为二次蒸馏水.所有化学试剂均未经过进一步提纯而直接使用.

AL-204 型电子分析天平,瑞士梅特勒-托利多

仪器有限公司;MSLN 型高温蒸汽灭菌器,青岛科锐创信贸易有限公司;SPECORD 50 PLUS 型紫外分光光度计,德国耶拿分析仪器股份公司;DV-S 型数显黏度计,美国博勒飞公司.

### 1.2 盐田生态修复及取样方案

对天津长芦海晶集团浓海水盐田开展实验及取样工作,其盐田平面布置如图 1 所示.右侧 1—10 号盐池为未进行盐田生态修复的盐池,左侧 1—10 号盐池为进行盐田生态修复后的盐池.进行生态修复时,向 1、2 号盐池投加盐藻,向 3—6 号盐池投加渤海湾卤虫,以恢复“微藻-卤虫-嗜盐菌”生物链.

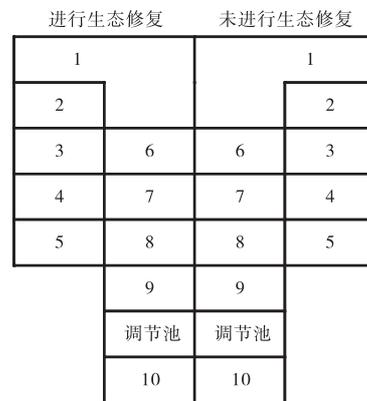


图 1 盐田平面布置图

Fig. 1 Floor plan of the saltern

调查取样时间为 2016 年 4 月—12 月,每月 27 日取样.每个盐池设置 4 个取样点,平均分布于盐池四周,每个取样点距池坝距离约 2 m.每个取样点取两个卤水样品,每个卤水样品取水样 1 L.每个取样点的两个卤水样品,带回实验室后进行抽滤,其中一个卤水样品进行卤水中总磷和氨氮含量的测定.另一个卤水样品进行卤水中常规离子  $Cl^-$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $SO_4^{2-}$  含量的检测.

### 1.3 分析方法

液相化学组成分析具体方法为:分别依据 GB/T 13025.5—2012《制盐工业通用试验方法·氯离子的测定》、GB/T 13025.6—2012《制盐工业通用试验方法·钙和镁的测定》、GB/T 13025.8—2012《制盐工业通用试验方法·硫酸根的测定》、GB 11893—1989《水质·总磷的测定·钼酸铵分光光度法》、GB 17378.4—2007《海洋监测规范·第 4 部分:海水分析》对卤水中的  $Cl^-$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $SO_4^{2-}$  以及总磷和氨氮含量进行测定;通过 DV-S 数显黏度计测定卤水黏度;依据 GB/T 4472—2011《化工产品密度、相对密度的测定》测定卤水相对密度,根据式(1)和式

(2)将相对密度转化为盐度.

当测定卤水温度高于 17.5 °C 时

$$S = 1305(d - 1) + 0.3(t - 17.5) \quad (1)$$

当测定卤水温度低于 17.5 °C 时

$$S = 1305(d - 1) - 0.2(17.5 - t) \quad (2)$$

式中:  $S$  为卤水的盐度;  $d$  为卤水的相对密度;  $t$  为卤水的温度.

## 2 结果与讨论

### 2.1 盐田生态修复对卤水盐度的影响

对天津长芦海晶集团浓海水盐田指定的 1—10 号盐池中卤水盐度进行定期取样监测,不同盐池卤水盐度的变化如图 2 所示. 由图 2 可知:进行盐田生态系统修复后,卤水的盐度与未修复盐池中卤水的盐度相比有所提高,说明卤水的自然蒸发速率加快. 这是由于在盐田生态系统循环过程中,盐藻可以利用海水中的营养盐大量繁殖,卤虫通过滤食卤水中藻类等浮游生物,使底栖群落繁殖形成防渗垫,起到减少渗漏的作用<sup>[12-13]</sup>. 嗜盐菌在生态系统中是卤虫尸体及其他有机物的分解者<sup>[14]</sup>,卤虫在高盐度池内死亡,又为嗜盐菌提供了蛋白质,卤虫的大量繁殖,可使卤水着色加深呈红色,提高了卤水对光的吸收率,加大了卤水的自然蒸发速率,从而使卤水盐度得到提高<sup>[15]</sup>.

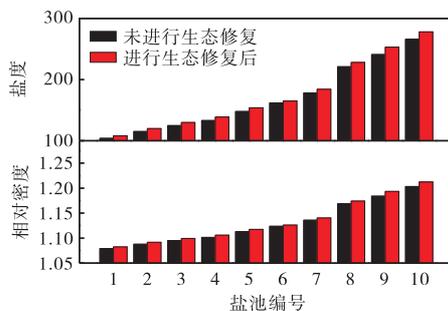


图 2 不同盐池中卤水的相对密度与盐度图

Fig. 2 Relative density and salinity of brines in different salt pools

### 2.2 盐田生态修复对卤水黏度的影响

不同盐池中卤水黏度的变化如图 3 所示. 由图 3 可知:随着 1—10 号盐池盐度的增大,其卤水黏度逐渐上升. 一方面,这是由于随着卤水蒸发量增大,卤水不断浓缩,盐度增大,卤水中 NaCl 含量逐渐上升,其内聚力增强,导致卤水黏度升高. 另一方面,盐藻在低盐度池的生长繁殖以及卤虫在中盐度池的增殖,使卤水水体在一定程度上富营养化,引起卤水黏度的

上升<sup>[16]</sup>. 经过盐田生态系统修复后,卤水的黏度总体与未修复盐池中卤水的黏度相比下降较为明显. 这是由于在盐田生态系统中,卤虫可通过对藻类的滤食作用防止其大量繁殖,起到净化卤水的作用,卤水黏度得以降低<sup>[17]</sup>. 另外,嗜盐菌通过对卤水中有机物的分解作用,也使得卤水的黏度下降.

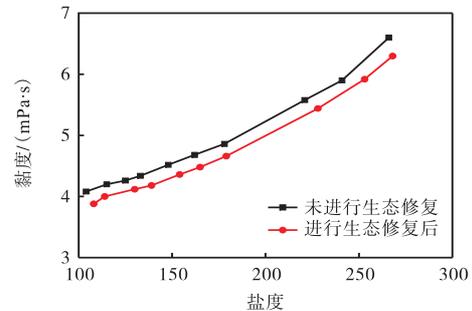


图 3 不同盐池卤水盐度与黏度图

Fig. 3 Viscosity and salinity of brines in different salt pools

### 2.3 盐田生态修复对卤水中氨氮、总磷元素含量的影响

不同盐池卤水中氨氮及总磷质量浓度的变化如图 4 及图 5 所示.

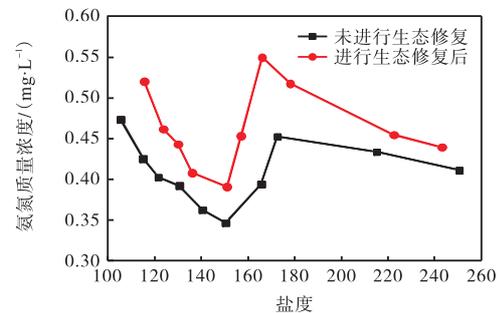


图 4 不同盐池卤水盐度与氨氮质量浓度图

Fig. 4 Ammonia nitrogen mass concentration and salinity of brines in different salt pools

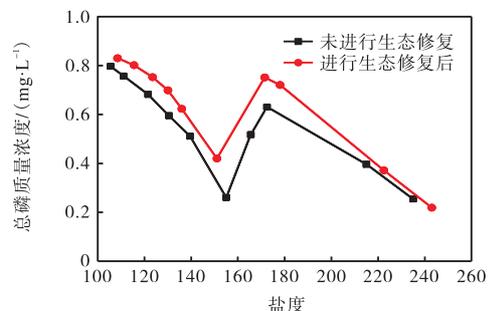


图 5 不同盐池卤水盐度与总磷质量浓度图

Fig. 5 Total phosphorus mass concentration and salinity of brines in different salt pools

由图 4 可知:随着盐度的增大,氨氮的质量浓度

的变化总体呈现出先减少后增大再减小的趋势,当盐度增大至 150 左右时,氨氮的质量浓度减小至最小值,当盐度增大至 170 左右时,氨氮的质量浓度开始随着盐度的增大而逐渐减小. 由图 5 可知:随着盐度的增大,总磷的质量浓度的变化总体呈现出先减少后增大再减小的趋势,当盐度增大至 150~160 时,总磷的质量浓度减小至极小值. 当盐度增大至 175 左右时,总磷的质量浓度开始随着盐度的增大而逐渐减小.

总体来看,氨氮与总磷的质量浓度的变化趋势基本一致. 随着盐度的增大,氨氮和总磷的质量浓度的变化曲线先呈现出逐渐降低的趋势,这是由于盐藻的生长繁殖消耗了大量的氨氮和一部分总磷<sup>[10]</sup>,说明盐度在 140~160 时最适合盐藻生长. 随着盐度继续增大,两条曲线均在盐度为 170~180 时达到极大值,这是由于随着盐度的增大,盐藻生长缓慢,甚至死亡,盐藻对氨氮和总磷的消耗作用有所减弱<sup>[10]</sup>. 当盐度大于 180 时,氨氮和总磷的质量浓度又随着盐度的增大而逐渐降低,这是由于在高盐度池中嗜盐菌的分解作用导致的,说明卤水中氨氮和总磷的质量浓度的变化与盐藻的生长繁殖密切相关<sup>[18]</sup>. 经过盐田生态修复后,盐池卤水中氨氮和总磷的质量浓度与未修复盐池卤水中氨氮和总磷的质量浓度相比有所升高,但变化不显著. 这是由于卤虫对盐藻的滤食,导致盐藻密度降低,使得盐藻对氨氮和总磷的消耗作用有所减弱.

2.4 盐田生态修复对卤水中常规离子含量的影响  
不同盐池卤水中 Cl<sup>-</sup>浓度的变化如图 6 所示.

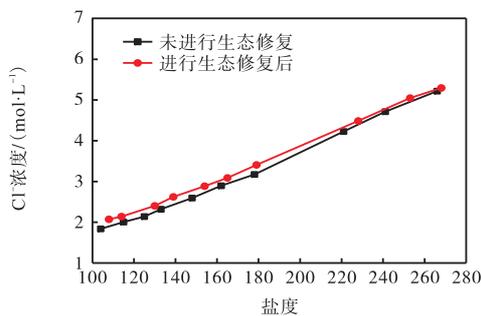


图 6 不同盐池卤水盐度与氯离子浓度图

Fig. 6 Chloride ion concentration and salinity of brines in different salt pools

由图 6 可知: Cl<sup>-</sup>浓度随盐度的增大而升高,经过盐田生态修复后,盐池卤水中 Cl<sup>-</sup>的浓度与未修复盐池卤水中 Cl<sup>-</sup>的浓度相比得到提高,说明 Cl<sup>-</sup>在盐田生态系统中得到了富集. 这是由于在盐田生态系统中

进行盐藻、渤海湾卤虫接种后,盐藻生长、卤虫增殖使盐田的生态系统得以平衡,促进盐田生态系统的良性循环<sup>[19-20]</sup>,卤水蒸发量较之前相比增大,从而使 Cl<sup>-</sup>浓度得到提高,进而有利于盐业生产.

不同盐池卤水中 Mg<sup>2+</sup>浓度的变化如图 7 所示. 由图 7 可以看出: Mg<sup>2+</sup>浓度随盐度的增大而升高,这是由于 Mg<sup>2+</sup>在逐级蒸发制盐过程中得到不断浓缩<sup>[21]</sup>. 经过盐田生态修复后,盐池卤水中 Mg<sup>2+</sup>的浓度与未修复盐池卤水中 Mg<sup>2+</sup>的浓度相比无较大变化,这说明盐田生态系统在循环过程中并未对 Mg<sup>2+</sup>含量产生较大影响,不同盐池卤水中 Mg<sup>2+</sup>的浓度基本稳定.

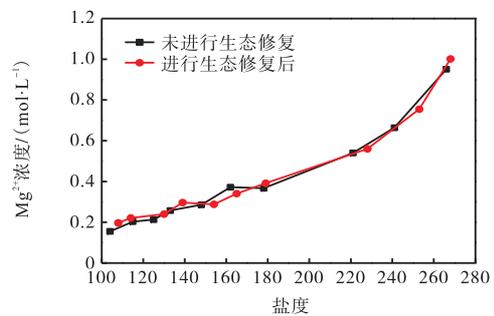


图 7 不同盐池卤水盐度与镁离子浓度图

Fig. 7 Magnesium ion concentration and salinity of brines in different salt pools

不同盐池卤水中 Ca<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>浓度的变化如图 8、图 9 所示. 由图 8、图 9 可知,随着盐度的增大, Ca<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>浓度均在盐度为 130~140 时达到最大值,说明 Ca<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>在盐度为 130~140 时得到富集. 这是由于在盐度较低时,盐藻生长繁殖旺盛,在池底形成优良的藻垫,藻垫的形成可以防止池底渗漏,封闭池底泥土中的大量元素和微量元素<sup>[22-23]</sup>,从而使 Ca<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的浓度得到提高. 随着盐度继续增大, Ca<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的浓度逐渐减小,说明这两种离子逐渐流失. 这是由于盐度过大,超过了盐藻生长的最佳盐度,导致盐藻生长缓慢,甚至死亡,藻垫的作用效果有所降低,使得这两种离子的浓度逐渐减小. 经过盐田生态修复后,盐池卤水中 Ca<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的浓度与未修复盐池卤水中这两种离子的浓度相比有所下降. 这是由于在盐田进行卤虫接种后,卤水得以净化,防止藻类等浮游群落大量繁殖起来,避免卤水变黏,促使 CaSO<sub>4</sub> 等钙盐在盐度为 130~140 时提前析出<sup>[10]</sup>,并且卤虫通过滤食卤水中钙盐颗粒,使卤水中 Ca<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的浓度减小,从而减少卤水的有机颗粒和无机颗粒<sup>[23]</sup>,使盐的品质得到稳定和提高.

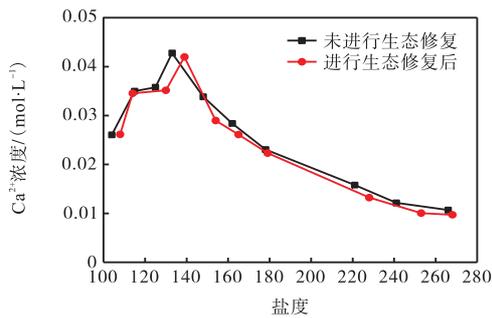


图8 不同盐池卤水盐度与钙离子浓度图

Fig. 8 Calcium ion concentration and salinity of brines in different salt pools

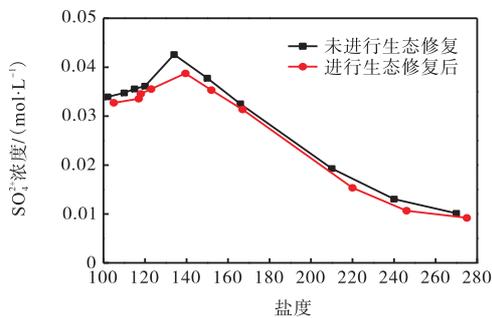


图9 不同盐池卤水盐度与硫酸根离子浓度图

Fig. 9 Sulfate ion concentration and salinity of brines in different salt pools

### 3 结论

(1) 在盐田生态修复过程中对化学元素进行跟踪调查,结果表明盐田并不是全依靠外力作用达到平衡的,这是一套具有自我调控的动态生态系统,它能根据环境的改变而进行自我调节适应.良好的盐田生态系统对浓海水制盐工艺有很大的影响.通过恢复“微藻-卤虫-嗜盐菌”生物链,在良性循环的盐田生态系统中,藻垫的形成、卤虫的增殖、嗜盐菌的着色作用,均可以在一定的程度上改善盐田的生态.

(2) 在盐田进行卤虫接种后,卤水得到净化,防止了藻类等浮游群落大量繁殖,不但使卤水黏度得到下降,而且促进了卤水盐度的提升,同时卤虫的增殖对卤水中常规离子含量的变化也有密切的关系,使得卤水中钙盐在盐度为130~140时提前析出,减少了卤水中的有机颗粒和无机颗粒.另外,在盐田生态系统中,卤水的氨氮、总磷元素质量的变化和藻类的生长与衰亡有着密不可分的关系,盐度在140~160时最适合藻类生长,符合盐田的良性生态循环.

(3) 在浓海水进滩制盐过程中进行盐田生态系统

修复,不仅将浓海水制盐工艺的效率大大提高,而且实现变废为宝,使海水资源得以循环再利用.

### 参考文献:

- [1] 张秀芝,张拂坤,邱金泉,等.浓盐水排海对渤海湾盐度分布的影响预测[J].海洋环境科学,2016,35(3):404-409.
- [2] 张秀芝,王静,郝建安,等.浓/热海水排海对海洋环境影响分析及对策[J].海洋技术学报,2015(4):105-110.
- [3] 陈侠,陈丽芳.浅谈我国浓海水化学资源的综合利用[J].盐业与化工,2008,37(5):47-50.
- [4] 陈进斌,苗英霞,寇希元,等.海水淡化副产浓海水资源化利用研究进展[J].盐业与化工,2016,45(10):1-4.
- [5] 崔树军,韩惠茹,邓会宁,等.海水淡化副产浓海水综合利用方案的探讨[J].盐业与化工,2008,37(1):36-38.
- [6] 李晓琼.海水淡化全成本分析及其发展前景探讨:以天津北疆电厂海水淡化项目为例[J].再生资源与循环经济,2012,5(10):37-40.
- [7] 王涛,王亮,张亚南,等.淡化副产浓海水对滩晒制盐影响研究[J].盐业与化工,2014,43(11):20-24.
- [8] 刘骆峰,张雨山,黄西平,等.淡化后浓海水化学资源综合利用技术研究进展[J].化工进展,2013,32(2):446-452.
- [9] 高从塔,周勇,刘立芬.反渗透海水淡化技术现状和展望[J].海洋技术学报,2016,35(1):1-14.
- [10] 李娜.浓海水理化生态特性及对盐业生产影响的研究[D].天津:河北工业大学,2006.
- [11] 林振宇.热法海水淡化系统的能量分析[D].天津:天津大学,2009.
- [12] 陈敬山.盐田生物与海盐生产[J].化学工业与工程,1994,11(1):57-62.
- [13] 代阳,张科平.小议盐田生物防渗技术的应用[J].盐业与化工,2012,41(5):43-44.
- [14] 李爱民,王威,张志香,等.盐田良性生态系统中嗜盐菌的研究[J].南开大学学报:自然科学版,1994(4):68-72.
- [15] 冯俊举.关于利用盐田生物技术提高原盐产质量若干问题的探讨[J].盐业与化工,1992(2):18-21.
- [16] 白永浩.盐田生物藻垫对海盐生产的影响分析[J].中国盐业,2013(15):26-27.
- [17] 王婧.卤虫接种对盐田生态系统的调控作用[D].天

(下转第56页)

- [14] Wei Z, Jiang G H, Shen L, et al. Preparation of Mn-doped BiOBr microspheres for efficient visible-light-induced photocatalysis[J]. MRS Communications, 2013, 3(3): 145-149.
- [15] Wen X J, Zhang C, Niu C G, et al. Facile synthesis of a visible light  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/BiOBr composite with high photocatalytic performance[J]. RSC Advances, 2016, 6(5): 4035-4042.
- [16] 李新玉, 方艳芬, 熊世威, 等. 不同溴源制备铁掺杂 BiOBr 及其可见光光催化活性研究[J]. 分子催化, 2013, 27(6): 575-584.
- [17] Guan M L, Xiao C, Zhang J, et al. Vacancy associates promoting solar-driven photocatalytic activity of ultrathin bismuth oxychloride nanosheets[J]. Journal of the American Chemical Society, 2013, 135(28): 10411-10417.
- [18] Zhang S J, Wang D Y, Song L M. A novel F-doped BiOCl photocatalyst with enhanced photocatalytic performance[J]. Materials Chemistry and Physics, 2016, 173: 298-308.
- [19] 陶萍芳, 周凤燕, 周能, 等. Ni<sup>2+</sup>离子掺杂 Ag<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 纳米微球的水热合成及其光催化性能[J]. 化工新型材料, 2017, 45(6): 92-94.
- [20] Zhang X, Zhang L Z, Xie T F, et al. Low-temperature synthesis and high visible-light-induced photocatalytic activity of BiOI/TiO<sub>2</sub> heterostructures[J]. The Journal of Physical Chemistry C, 2009, 113(17): 7371-7378.
- [21] Lin L, Huang M H, Long L P, et al. Fabrication of a three-dimensional BiOBr/BiOI photocatalyst with enhanced visible light photocatalytic performance[J]. Ceramics International, 2014, 40(8): 11493-11501.

责任编辑: 周建军

(上接第 38 页)

- 2016, 74: 70-76.
- [17] Zhang Y, Liu X, Wang Y, et al. Antibacterial activity and mechanism of cinnamon essential oil against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*[J]. Food Control, 2016, 59: 282-290.
- [18] Wang F, Wei F, Song C, et al. *Dodartia orientalis* L. essential oil exerts antibacterial activity by mechanisms of disrupting cell structure and resisting biofilm[J]. Industrial Crops & Products, 2017, 109: 358-366.
- [19] Lou Z, Chen J, Yu F, et al. The antioxidant, antibacterial, antibiofilm activity of essential oil from *Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* and its nanoemulsion[J]. LWT Food Science and Technology, 2017, 80: 371-377.

责任编辑: 郎婧

(上接第 43 页)

- 津: 天津科技大学, 2012.
- [18] 李岩然, 白洁, 李永祺, 等. 盐田生态系统的生物调控[J]. 海洋科学, 1998, 22(6): 38-40.
- [19] 贺华, 王学魁, 孙之南. 我国盐田生物领域技术研究与开发进展[J]. 盐业与化工, 2007, 36(6): 45-50.
- [20] 冯俊举, 王绪书, 翟拥军. 海水淡化与制盐联产方式的研究[J]. 盐业与化工, 2005, 34(5): 4-6.
- [21] 唐娜. 海盐制盐工: 基础知识[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [22] 蒋建伟, 王玉杰, 马俊涛. 论盐田卤水的渗漏及防渗措施[J]. 盐科学与化工, 2017, 46(1): 25-27.
- [23] 夏万顺, 夏树海. 论盐田藻垫的防渗作用[J]. 苏盐科技, 1996(2): 4-6.

责任编辑: 周建军