

滨海盐田价值的研究进展

王 辉^{1,2}

(1. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 为深入认识滨海盐田功能, 研究梳理了国内外滨海盐田价值的相关研究进展。广泛总结认为: 盐田的经济价值包括原盐生产、苦卤化工(钾镁盐等的提取)、水产养殖饵料生产(卤虫成虫及卤虫卵)、生物技术提取 β -胡萝卜素等方面, 盐田生态系统的维持促进了原盐的顺利结晶; 盐田的生态价值则主要体现在为海岸鸟类提供栖息地, 例如觅食、筑巢繁殖以及休憩等。本研究有益于未来深入研究盐田功能以及更好地保护滨海盐田。

关键词: 盐田; 苦卤; 卤虫(*Artemia salina*); 盐生杜氏藻(*Dunaliella salina*); 海岸鸟类栖息地

中图分类号: F124.5; TS396.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2017)01-0131-08

DOI: 10.11759/hyxx20160610001

盐是重要的生活物质和化工原料, 对于维系人类的身体健康以及两碱工业(纯碱、烧碱)的正常运行有着重要的意义。盐的来源有海盐、井矿盐和湖盐等, 其中, 海盐是通过在海边修筑盐田, 在涨潮时将海水引入^[1], 并靠太阳能和风力^[2]将海水逐步浓缩至氯化钠结晶的方式来实现的。除了以海水为原料, 海盐生产还可以滨海沉积地下卤水为原料进行, 以莱州湾沿岸为典型^[3]。盐田一般需要占据大量的海岸面积来修筑盐池, 以提高盐池特别是蒸发池和结晶池中海水的面积与体积之比, 加快海水的蒸发浓缩速度, 促进原盐结晶和盐业生产过程。因此, 盐田是海盐生产中最重要设施, 其面积的维系对于海盐产业的稳定具有重要的意义。除此之外, 盐田还蕴藏有丰富的卤虫资源, 可以为水产育苗企业提供必须的卤虫卵等稚鱼开口饵料^[2, 4]; 含有大量的盐生杜氏藻(*Dunaliella salina*), 可以为人类提供 β -胡萝卜素资源^[4-5]。除经济价值以外, 盐田还具有重要的生态价值, 一个重要的体现是盐田为海岸鸟类特别是迁徙鸟类提供了重要的觅食、繁殖以及休憩之地, 对于维持迁徙鸟类种群数量的稳定发挥了重要作用^[6-7]。

虽然盐田有着重要的作用, 但是人们对其价值的认识仍然不够清楚。目前, 滨海盐田面积不断流失, 大量转化为水产养殖用地和建设用地等^[7]。以天津地区为例, 1988~2013年, 天津滨海盐田面积流失达 167.3 km², 流失比例高达 36.5%, 其转出方向包括了建设用地、港口和道路等^[8]。本文以盐田化学和生物资源的辨识为基础, 参考国内外相关文献并总结提炼了盐田的相关经济和生态价值, 以为深入认识盐

田的价值提供科学依据, 也为其合理保护提供科学依据。

1 经济价值

1.1 化学资源经济价值

盐田能够为人类提供有用的化学资源如海盐(氯化钠)、溴、镁、钾等。

盐田由一系列相互连通的盐池构成, 按照盐池性质以及盐浓度的不同, 可以分为储水池、蒸发池、结晶池 3 种。其中, 储水池是将海水抽入并蓄积起来的盐池, 经沉淀并初步浓缩, 然后将其输送到蒸发池中; 蒸发池由不同盐浓度间隔的盐池组成, 其目的主要是促进海水的蒸发浓缩, 使之越来越接近氯化钠饱和, 并在浓缩海水接近氯化钠饱和^[2, 9]时将其输送到结晶池中; 结晶池是氯化钠饱和析出的场所, 海盐在这里收获并被储存起来^[2, 10]。结晶原盐需要用结晶池浓缩卤水冲洗以去除杂质^[1-2]。一般地, 储水池最深, 结晶池最浅, 蒸发池深度居中, 例如在葡萄牙 Aveiro 盐田, 蓄水池深 20~100 cm, 蒸发池深 10~50 cm, 结晶池深度只有几厘米^[2]; 在西班牙 Cádiz 湾盐田, 蓄水池深 1 m 左右, 蒸发池深 30 cm 左右, 结晶池深度在 15~20 cm^[7]。结晶池占总盐田面积比例较小, 以 Aveiro 盐田为例, 结晶池占盐田总

收稿日期: 2016-06-10; 修回日期: 2016-10-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271102)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41271102]

作者简介: 王辉(1986-), 男, 山东泰安人, 博士后, 主要研究方向为资源管理与区域开发, 电话: 13811764351, E-mail: wanghuiqu110@163.com

面积的 10% 左右, 其余均为储水池及蒸发池^[2]。

生产出来的海盐可以加工作为食用盐, 走上人们的餐桌; 也可以作为工业用盐, 通过与石灰石(碳酸钙)等反应制取纯碱(碳酸钠), 或者以其水溶液电解制取氯气和烧碱(氢氧化钠)等。纯碱广泛应用在玻璃、化工、轻工、食品、冶金、纺织、石油、医药等行业中, 而烧碱则运用于造纸、肥皂、染料、制铝、食品加工、木材加工等领域, 均是重要的化工原料。可见, 盐田在国民经济体系中有着重重要的基础作用。

地球上约 99% 的溴元素存在于海水中, 以溴化钠、溴化镁等溴盐的形式存在, 在海水所含的大量化合物中溴化物位列第 9 位^[11], 在阻燃剂、灭火剂、制冷剂、感光材料制备, 以及医药、农药、染料、香料、油田、选矿、冶金、鞣革、净水等行业中有着广泛的应用。其提取工艺包括水蒸汽蒸馏法和空气吹出法两大主流工艺^[3]。国内溴素总产量的 90% 来源于山东省的地下中级卤水^[12], 其卤水用于溴素提取率接近 100%^[3]。其他滨海盐田也大多采用中级卤水吹溴^[12], 例如渤海湾沿岸溴素提取采用酸化方法进行, 原料矿化度在 50~120 g/L^[13]。苦卤中溴素含量相比原料海水已经富集很多, 为实现溴素的提取提供了有利条件。此外, 随着经济的发展, 我国对碘的需求量也随之增长, 然而受技术所限, 主要依靠从海洋藻类中提取, 成本较高, 产量不足以满足国内需求, 每年都需要从国外大量进口。晒盐苦卤中各种化学元素已较海水浓缩数百倍, 是提取碘的有效原料, 因此开发利用盐田卤水中的碘资源具有十分重大的意义^[14]。

晒盐苦卤中还含有氯化镁、氯化钾、硫酸钾等有用物质^[2, 4, 9]。在西班牙, 苦卤会用来生产泻利盐、水氯镁石、溴素等^[4]。在我国莱州湾地区, 苦卤会用来提取氯化钾、硫酸钾、硫酸钠、氯化镁、氢氧化镁等^[3]。苦卤中镁元素含量较高, 主要以氯化镁和硫酸镁的形式存在^[4]。310 g/L 苦卤中约含有 60 g/L 镁离子, 是钾含量的 5 倍; 且苦卤中杂质含量少, 呈均匀溶存分布, 较易制备出高纯镁系产品^[3, 15]。

1.2 盐田生态系统促进海盐生产的经济价值

盐田中一些生物的存在对促进盐业生产过程具有重要的意义, 例如藻垫、卤虫、红色嗜盐菌以及盐生杜氏藻等。

蒸发池中藻垫的形成能够防止盐田卤水的渗漏^[9-10, 16], 在 100~190 g/L 浓度区间盐田底部较为发育^[10], 由可变球藻(也称隐杆藻)^[17]、颤藻属、微鞘

藻属、席藻属等多种单细胞丝状蓝藻组成, 有时候也会包含一些硅藻^[16]。当盐田营养成分含量适中时, 藻垫才能对盐业生产发挥最大的帮助作用; 而当盐田富营养化时, 浮游藻类和细菌就会大量繁殖, 遮蔽光线照射池底, 影响藻垫的形成。此时, 藻垫就会脱离池底, 漂浮在卤水表面, 影响浓缩池的蒸发能力^[9], 因此要注意防止盐田卤水的富营养化。

卤虫(*Artemia salina*)是一种耐高盐的小型低等甲壳动物, 广泛生活在盐湖、盐田等高盐水体中。盐田的蓄水池和蒸发池中都有存在, 以中级制卤区最多, 适宜盐度范围在 70~200 g/L^[13]。其数量在结晶池急剧减少, 原因可能是在极端高盐环境下维持体内外渗透平衡所需新陈代谢消耗太高, 以及结晶池卤水温度太高、溶解氧浓度太低等^[2]。卤虫有两种生殖方式, 有性生殖以及孤雌生殖, 其在卤虫种群延续中的相对重要性主要受温度控制。有性生殖是以生产卤虫卵的方式完成, 主要发生在每年的冬—春季; 孤雌生殖以亲体分裂产生二倍体或者四倍体的方式完成, 主要发生在每年的春—夏季节。当晚春温度升高到一定程度时, 有性生殖方式就会被孤雌生殖方式取代; 而当秋冬季节温度下降到一定程度时, 孤雌生殖方式也会被有性生殖方式取代。这表明休眠卵是卤虫面对一年四季温度变化所采用的一种适应性策略, 有利于卤虫度过不利的生活环境^[18]。休眠卵外面由较厚的膜包裹着, 确保其能够经受住严酷的环境。随着春季的来临, 海水重新灌入盐田, 气温也不断上升, 卤虫卵孵化并开始生长^[19]。

卤虫具有滤食习性^[9], 可以将直径 50 μm 以下的颗粒物过滤吞食^[4, 20], 包括悬浮的石膏(硫酸钙)晶体、小型浮游生物以及其他有机物质等^[2], 有助于卤水的净化^[2, 4]。大量有机物质的分解, 改善了蒸发条件, 推进了原盐结晶过程。此外, 卤虫残骸分解产生的氨基酸, 是结晶区红色嗜盐菌所必需的氨基酸, 对结晶区红色嗜盐菌种群维系具有重要意义^[2, 4], 而红色嗜盐菌的存在有助于原盐结晶过程的顺利进行。

盐田卤水富营养化会造成蒸发池单细胞可变球藻的过量生长, 从而分泌大量多糖黏液并随浓缩卤水进入结晶池^[5, 9-10], 使结晶池卤水变得黏稠, 而且还会在结晶池表面形成泡沫盖层^[17], 进一步减弱了卤水的蒸发能力, 影响原盐的正常结晶过程, 使得结晶池原盐变软, 质量变差^[2]。多糖黏液的发生一般也跟磷元素的短缺即高的氮磷比有关, 可以通过添加次氯酸钠等途径加以缓解^[9]。也可以将滤食性卤

虫的大量培育作为一种应对之策^[4, 17]。

盐田结晶池卤水的粉红—红色是由红色嗜盐菌 (*Halobacterium-Haloferax-Haloarcula* group) 与盐生杜氏藻共同造成的^[5, 9, 21], 有助于提高卤水的能量吸收率, 使得卤水温度升高 2~3℃^[17], 加快卤水水分蒸发, 从而促进原盐结晶过程^[21]。红色嗜盐菌细胞膜含有 C-50 菌红素(有时甚至包括嗜盐菌紫质), 有助于红色嗜盐菌避免可见光以及紫外线强烈照射的危害^[21], 同时将结晶池卤水染成粉红至亮红色^[2, 5, 10, 21]。另一方面, 红色嗜盐菌减少了结晶池卤水中的有机物质, 改善了蒸发条件, 提高了原盐质量^[2]。盐生杜氏藻是高盐环境最重要乃至唯一的初级生产者, 由于缺乏竞争对手, 从而占据统治地位^[5]。其有效染色物质是 β-胡萝卜素, 以小球的形式储存在叶绿体类囊体间的空隙中^[5, 21], 有助于盐生杜氏藻避免可见光特别是蓝色光的危害^[21]。其集中分布在叶绿体类囊体间球状物的特征造成染色成分的相互遮挡, 降低了光线的吸收效率^[21-22], 因此对盐田卤水染色效果相对小于红色嗜盐菌^[5, 21-22], 即盐田结晶池卤水呈现红色的原因主要是因为红色嗜盐菌, 部分因素是盐生杜氏藻。

盐田卤水的贫营养化会造成浮游生物的大量减少, 也会造成卤虫以及盐生杜氏藻的大量减少^[9], 因此应该注意将盐田卤水营养水平保持在一定的程度上。

1.3 生物资源经济价值

具有经济价值的生物资源主要有卤虫成虫及其休眠卵、盐生杜氏藻所含 β-胡萝卜素、甘油等。还包括以海水为原料的储水池及较低浓度蒸发池中的鱼虾贝类等渔业资源。

卤虫生活在中等盐度盐池中, 其休眠卵在渔业中应用广泛, 具有使用方便、营养丰富等特点^[4, 18]。卤虫卵经过捕获、加工以后, 可以灌装储存; 使用时, 24 h 内即可孵化出卤虫的无节幼体以饲喂养殖鱼虾的幼体^[4, 23]。富含丰富的卵黄、蛋白质和脂肪, 是鱼虾幼体重要的、有时候甚至是唯一的活的开口饵料, 对于对虾育苗厂等具有重要的意义^[2]。除了卤虫无节幼体被广泛地应用在鱼虾人工育苗领域外, 鲜活卤虫也是养殖对虾等的优质天然饵料。例如, 莱州东方红盐场就捕捞大量的卤虫作为养殖对虾的鲜活饵料^[20]。随着渔业和贝类养殖育苗企业的发展, 作为幼鱼活的开口饵料的卤虫需求不断上涨^[4]。据报道, 全世界水产养殖早期饵料供给的 40% 都是由卤虫构成^[24]。

利用盐田中一些藻类和嗜盐细菌开发的胡萝卜素和甘油, 有着广泛的用途^[4-5]。盐生杜氏藻在高温、强光、高盐度情况下能大量累积 β-胡萝卜素, 因此盐业丰收的年份, β-胡萝卜素也丰收^[25]。β-胡萝卜素对于物种染色(变红)、维他命激活、抗氧化、生长、繁殖等都具有重要作用^[2], 甚至能够抗肿瘤、抗衰老、抗癌^[26]。在微风情况下, 大量盐生杜氏藻藻体会被吹到盐池下风口池角处, 呈桔红色一片油状分布, 被盐工们称为卤油^[25], 从中可提取纯化得到含量为 90%、得率为 1%~1.5% 的 β-胡萝卜素晶体^[26]。目前, 美国、澳大利亚、中国等国家已经开始利用盐生杜氏藻大规模生产天然 β-胡萝卜素^[27], 例如在西澳大利亚 Hutt Lagoon 盐湖, 人们已经开始人工培育盐生杜氏藻以提取 β-胡萝卜素^[5], 国内也开始利用盐藻提取的 β-胡萝卜素生产功能保健品胡萝卜素胶囊和功能饮料^[27]。我国滨海盐田面积广布, 利用其生产 β-胡萝卜素将会产生显著的经济效益, 可以预见, 盐藻的生物技术产业将会是我国继螺旋藻生物技术产业后又一新兴的微型藻类生物技术产业^[27]。此外, 盐生杜氏藻会将相当部分的碳转化为甘油并储存在体内, 以维持细胞质与盐田卤水的渗透平衡^[16], 最高可达干质量的 30%^[20], 为甘油资源开发提供了可能。

由于抽取海水引进盐田时, 会带入一些籽稚鱼虾等, 因此以海水为原料的滨海盐田可以在蓄水池甚至低盐度的蒸发池中饲养这些天然的渔业生物。在巴西, 盐田渔业养殖维持了一些家庭的生计^[4]; 在印度果阿也有利用盐田储水池养殖咸水鱼的经验^[1]; 而黑鲈 (*Micropterus salmoides*)、鲷鱼 (*Pagrosomus major*)、鳗鱼 (*Anguilla anguilla*) 已经在葡萄牙 Aveiro 盐田中成功进行养殖^[2]。还可以在盐田储水池及低浓度蒸发池(一般盐浓度在 50 g/L 以下)中人工投苗进行养殖, 例如天津近海盐田人工投放南美白对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 苗进行养殖, 以盐田中的浮游生物、细菌、卤虫、螺赢蜚、有机质团和一些螺类为食, 获得成功^[28]。此外, 菲律宾蛤也适于在低浓度盐池中养殖, 还可与南美白对虾混养^[29]。除了经济效益, 鲷鱼、鳗鱼、牡蛎 (*Ostrea gigas thunberg*)、南美白对虾、卤虫、盐生杜氏藻等的养殖也会有助于盐田富营养化的控制^[10]。

2 生态价值

滨海盐田作为一种典型的海岸人工湿地景观, 也能够观察到鸟类栖息其中, 主要是以海水为原料

的盐田,例如我国的渤海湾盐田、辽东湾盐田、江苏海岸盐田等。以我国为例,2000及2002年鸟类调查表明,泽鹞(*Tringa stagnatilis*)、弯嘴滨鹞(*Calidris ferruginea*)、尖尾滨鹞(*Calidris acuminata*)在渤海湾盐田中大量出现^[30]。2005年鸟类调查表明,辽东湾东北部盐田中出现的鸟类主要为黑尾膝鹞(*Limosa limosa*)、鹤鹞(*Tringa erythropus*)、泽鹞、弯嘴滨鹞等,2天的调查共发现21种4182只。此外,还曾经发现过勺嘴鹞(*Eurynorhynchus pygmeus*)等^[31]。江苏盐城地区盐场冬季停产,人类干扰减小,是丹顶鹤(*Grus japonensis*)的越冬地之一,2004~2005年选择在盐城国家级珍禽自然保护区内盐田越冬的丹顶鹤数量为16只,而1999~2000年冬天则为181只^[32]。此外,在北美,1964~1966年圣弗朗西斯科湾鸟类调查表明,盐田是鸟类密度最大的景观类型,高于潮滩、开阔水面、潮间带沼泽等^[33]。在欧洲,每年大约有50万只鸟类在地中海沿岸越冬,其中50%以上是发生在盐田中^[19]。盐田是伊比利亚半岛小型海岸鸟类在涨潮期间使用最为广泛的潮上带栖息地^[34]。

2.1 作为海岸鸟类觅食地价值

滨海盐田不受涨潮落潮的影响,因此对于那些能够涨潮时转移到盐田觅食的鸟类来说,延长了它们的觅食时间,是一种替代性或补充性的觅食场所^[2]。在西班牙Cádiz湾地区,蛎鹞(*Haematopus ostralegus*)、灰斑鹞(*Pluvialis squatarola*)、翻石鹞(*Arenaria interpres*)、斑尾膝鹞(*Limosa lapponica*)、结黑腹滨鹞(*Calidris canutus*)、环颈鹞(*Charadrius alexandrinus*)和剑鹞(*Charadrius hiaticula*)倾向于将盐田作为补充性的觅食地,即只在涨潮期间才将之作为觅食地;而滨鹞(*Calidris alpina*)、三趾滨鹞(*Calidris alba*)、小滨鹞(*Calidris minuta*)、弯嘴滨鹞、红脚鹞(*Tringa totanus*)和黑尾膝鹞更倾向于将盐田作为首选的觅食地,不论是涨潮还是落潮期间^[35]。

对于一些鸟类而言,夏季,盐田是涨潮期间的补充觅食地,而在迁徙季节则是主要觅食地^[36]。每年冬季,迁徙鸟类会从北欧飞到地中海沿岸或(西班牙、葡萄牙)大西洋沿岸的盐田短暂停留或者在此越冬。以西班牙西南部Cádiz湾为例,盐田在冬季提供了红脚鹞23%的日均能量需求,而在迁徙季节来临前的阶段则提供了其82%的日均能量需求。红脚鹞通过增加在盐田中觅食的时间来满足其迁徙季节来临前储备能量的需求^[6]。同样是西班牙Cádiz湾的

Guadiana河口,冬季,黑腹滨鹞、弯嘴滨鹞、三趾滨鹞主要利用潮滩进行觅食,而小滨鹞主要在盐田中觅食。在鸟类迁徙前增肥(fattening)期间,所有的这4种鸟类都倾向于使用盐田来进行觅食,增加了在盐田中的觅食时间。平均起来看,冬季,盐田贡献了越冬鸟类 $25.2\% \pm 24.2\%$ (变化幅度4%~54%)的日均食物需求;迁徙期前,盐田贡献了越冬鸟类 $78.7\% \pm 16.4\%$ (变化幅度63%~100%)的日均食物需求^[7]。在葡萄牙东南部的Guadiana河口(位居葡西两国边界),反嘴鹞(*Recurvirostra avosetta*)无论在越冬期还是迁徙季节,其在盐田中的分布密度都高于在潮滩上的分布密度^[37]。这对迁徙鸟类种群的维持具有重要意义。

卤虫是盐田中许多种水鸟的首要觅食对象,特别是对于火烈鸟(*Phoenicopterus roseus*)^[38]、赤麻鸭(*Tadorna ferruginea*)、反嘴鹞、黑翅长脚鹞(*Himantopus himantopus*)^[19]、红脚鹞^[6]等。不论是在西班牙西南部Cádiz湾^[39]、葡萄牙Aveiro^[2],还是印度果阿^[1],都是如此。盐田中卤虫平均密度较低,但是在盐田系统水流管理和风的作用下,可在盐田局部地区拥有极高的密度(越冬期最高可达32600个/m²),为涉禽对卤虫资源的利用提供了便利,从而有助于维持潮滩—盐田系统高密度涉禽种群^[35,39]。

除了卤虫以外,盐田中重要的觅食对象还包括摇蚊(*Chironomus salinarius*)幼虫等^[40]。以西班牙西南部Cádiz湾为例,黑尾膝鹞主要以盐田中的双翅目和软体动物为食,其中摇蚊幼虫是主要食物,而后是腹足动物;黑翅长脚鹞主要以摇蚊幼虫和鞘翅类昆虫为食;红脚鹞以摇蚊幼虫为食^[41]。通过鸟类粪便残余物和盐田底部5cm沉积物的分析也发现,在葡萄牙西部Mondego河口附近盐田中,环颈鹞、剑鹞和滨鹞3种海岸鸟类主要觅食对象均为摇蚊幼虫^[34]。

此外,在葡萄牙Mondego河口盐田中,秋季水蝇幼虫在剑鹞和滨鹞粪便中出现的频率达到最高,表明秋季这两种鸟类觅食水蝇幼虫机会增多^[34]。而在我国盐城地区,盐田是越冬期丹顶鹤的补充觅食生境^[42-43],觅食对象为盐田底栖的沙蚕(*Nereis succinea*)、螺等^[32]。

2.2 作为海岸鸟类筑巢地价值

在地中海沿岸,9个大火烈鸟繁殖地中有5个位于盐田中。其中法国南部Camargue的Salin-de-Giraud盐田自1969年以来每年均有约10500对大火烈鸟在这里繁殖^[38]。在葡萄牙Aveiro,喜欢在盐田

中筑巢的水鸟包括反嘴鹬、黑翅长脚鹬、白额燕鸥、环颈鸻等^[2]。在葡萄牙,盐田是黑翅长脚鹬最重要的繁殖地,维持着全国大约70%的种群数量;在Tavira盐田,黑翅长脚鹬占有所有繁殖鸟类总数的40%^[44]。同样在葡萄牙,20世纪90年代以前,白额燕鸥主要在海岸沙滩上产卵繁育雏鸟;而由于受到不断的破坏和干扰,自然沙滩逐渐减少,1998~2002年的调查表明,这一时期大部分的白额燕鸥转而在盐田中产卵繁殖。这种产卵地的转变并没有使得白额燕鸥的种群规模和营巢成功率下降,表明盐田是一种适宜的白额燕鸥替代性的孵化环境。当然,当两种栖息地都可以利用时,白额燕鸥中较有经验或者体质较健壮的个体更倾向选择海岸沙滩来作为产卵孵化地,而且还有可能是在海岸沙滩营巢尝试失败后才转而选择在盐田中重新筑巢^[45]。

鸟类一般选择在盐田边缘的堤坝或者盐田中的自然或人工岛屿上筑巢繁衍^[19]。例如,1999年在葡萄牙南部Ria Formosa地区Tavira盐田调查发现,黑翅长脚鹬、反嘴鹬、环颈鸻、白额燕鸥在盐田的蓄水池及蒸发池边缘堤坝上繁殖^[44]。细嘴鸥(*Larus genei*)、棕头鸥(*Larus brunnicephalus*)、白额燕鸥在地中海沿岸机械化盐田中加高的堤坝上产卵孵化^[19]。火烈鸟在机械化盐田中的人工岛上形成繁殖种群,例如自1974年以来火烈鸟就成功在Salin-de-Giraud盐田西北部人为建立的岛状物上繁殖^[38]。这里远离人类的干扰以及天然敌害的威胁,因此为火烈鸟所钟爱^[19]。我国鸟类调查也表明,例如2000年5月及2002年4~5月渤海湾鸟类调查结果,环颈鸻普遍选择在盐田边缘的堤坝上筑巢繁殖^[30]。

2.3 生态旅游价值

滨海盐田是鸟类的觅食和栖息地,除了具有重要的生态价值外,还具有较强的生态旅游价值,通过旅游观光价值的体现,能够更好地促进对其生态价值的认识和保护。例如,江苏盐城湿地珍禽国家级自然保护区,为全世界最大丹顶鹤越冬地,生态旅游发展较晚,但现已成为江苏省内有一定知名度的湿地生态旅游示范区和观鸟圣地。其主要旅游资源是丹顶鹤及其他湿地珍禽。目前园区内已经开设有游客服务中心、停车场、丹顶鹤博物馆、观光电瓶车、环湖游道、旅游商店等旅游服务设施,很好地促进了生态旅游活动的开展^[46]。国际上,Rodrigues等也认为观鸟生态旅游活动是盐田旅游可行的形式^[2]。

3 结论与展望

滨海盐田是海盐生产最重要的设施,蕴藏着丰富的卤虫资源、盐生杜氏藻等有用物质,可以为水产育苗企业提供卤虫卵等籽稚鱼开口饵料以及为人类社会提供 β -胡萝卜素等活性物质,具有重要的经济价值。滨海盐田的生态价值则主要体现在维系海岸鸟类群落数量稳定上,为海岸鸟类特别是迁徙鸟类提供了重要的觅食、繁殖以及休憩之地。

目前,我国对滨海盐田价值的认识只是集中在它的经济价值,而对于其生态价值特别是迁徙鸟类在其中的觅食、筑巢繁殖以及休憩行为的研究和报道相对较少。已有的较为详细的滨海盐田鸟类活动研究只是局限于江苏盐城地区越冬丹顶鹤对盐田扬水滩等的利用状况分析,相比较国际上的研究程度还有很大的距离。未来,应大力发展我国的滨海盐田鸟类栖息地利用的相关研究。经济价值中,也往往只关注了它的原盐生产价值,而对于像晒盐苦卤回收利用提取钾镁盐,保持盐田生态系统健康以促进盐业生产进行,以及生物资源价值利用如卤虫培育、盐生杜氏藻培育等则开展较少。在盐田蓄水池及一部分低盐度蒸发池开展人工养殖鱼虾贝类等水产活动,已经在沿海有些地区例如天津、河北和江苏等地有所开展,但规模还都很小,程度也较低。未来,发展盐田水产养殖事业要特别注意控制其面积,以免比例过大影响海岸鸟类的觅食以及栖息;此外,还要加强其日常管理,降低水产养殖活动不太活跃的盐田蓄水池及蒸发池深度,以免水深过大影响迁徙鸟类对其有效利用,注重维持滨海盐田生态价值与经济价值的平衡。

参考文献:

- [1] Mani K, Salgaonkar B B, Das D, et al. Community solar salt production in Goa, India[J]. *Aquat Biosyst*, 2012, 8: 30.
- [2] Rodrigues C M, Bio A, Amat F, et al. Artisanal salt production in Aveiro/Portugal-an ecofriendly process[J]. *Saline Systems*, 2011, 7(1): 3.
- [3] 单光明. 山东海化集团循环经济发展战略研究[D]. 济南: 山东大学, 2005.
Shan Guangming. Strategy study of circular economic in Shandong Haihua Company[D]. Jinan: Shandong University, 2005.
- [4] Rocha R M, Costa D F S, Lucena-Filho M A, et al. Brazilian solar saltworks-ancient uses and future possi-

- bilities[J]. Aquatic Biosystems, 2012, 8(1): 8.
- [5] Oren A. The ecology of *Dunaliella* in high-salt environments[J]. Journal of Biological Research-Thessaloniki, 2014, 21(1): 23.
- [6] Masero J A, Perez-Hurtado A. Importance of the supratidal habitats for maintaining overwintering shorebird populations: how redshanks use tidal mudflats and adjacent saltworks in southern Europe[J]. The Condor, 2001, 103: 21-30.
- [7] Masero J A. Assessing alternative anthropogenic habitats for conserving waterbirds: salinas as buffer areas against the impact of natural habitat loss for shorebirds[J]. Biodiversity and Conservation, 2003, 12: 1157-1173.
- [8] Wang Hui, Xu Xuegong, Zhu Gaoru. Landscape changes and a salt production sustainable approach in the state of salt pan area decreasing on the coast of Tianjin, China[J]. Sustainability, 2015, 7(8): 10078-10097.
- [9] Javor B J. Industrial microbiology of solar salt production[J]. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 2002, 28(1): 42-47.
- [10] Davis J S. Structure, function, and management of the biological system for seasonal solar saltworks[J]. Global Nest Journal, 2000, 2(3): 217-226.
- [11] 曹莎. 含溴卤水膜吸收性能研究及过程模拟[D]. 天津: 天津科技大学, 2011.
Cao Sha. Study on absorption performances and simulation of extracting bromine from brine with gas filled membrane[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2011.
- [12] 王伟. 苦卤吹溴及其二次吹溴工程经济分析[J]. 盐业与化工, 2014, 43(4): 45-46.
Wang Wei. Bittern and secondary blowing bromine engineering economic analysis[J]. Journal of Salt and Chemical Industry, 2014, 43(4): 45-46.
- [13] Sui Liying, Deng Yuangao, Wang Jing, et al. Impact of brine acidification on hatchability, survival and reproduction of *Artemia parthenogenetica* and *Artemia franciscana* in salt ponds, Bohai Bay, China[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2014, 32(1): 81-87.
- [14] 王景刚, 冯丽娟, 相湛昌, 等. 碘提取方法的研究进展[J]. 无机盐工业, 2008, 40(11): 11-14.
Wang Jinggang, Feng Lijuan, Xiang Zhanchang, et al. Advance in extraction of iodine[J]. Inorganic Chemicals Industry, 2008, 40(11): 11-14.
- [15] 刘美淋. 基于苦卤资源的一维纳米氢氧化镁阻燃剂合成工艺研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2007.
Liu Meilin. Synthesis study of 1D magnesium hydroxide fire retardants from the brine[D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2007.
- [16] Oren A. Saltern evaporation ponds as model systems for the study of primary production processes under hypersaline conditions[J]. Aquatic Microbial Ecology, 2009, 56(6-7): 193-204.
- [17] 马志珍, 王素平, 陈汇远, 等. 盐田生物资源开发利用的研究[J]. 海洋与海岸带开发, 1992, 9(3): 1-7.
Ma Zhizhen, Wang Suping, Chen Huiyuan, et al. Exploitation study of biological resources of salt pans[J]. Ocean Development and Management, 1992, 9(3): 1-7.
- [18] Barata C, Hontoria F, Amat F. Life history, resting egg formation, and hatching may explain the temporal-geographical distribution of *Artemia* strains in the Mediterranean basin[J]. Hydrobiologia, 1995, 298(1): 295-305.
- [19] Walmsley J G. The ecological importance of Mediterranean Salina[C]//University of the Aegean. Proceedings of the Post Conference Symposium SALTWORKS: Preserving Saline Coastal Ecosystems. Samos: Global Nest, 1999: 81-95.
- [20] 李明仁, 卞伯仲, 潘震球. 山东省两个盐场的盐田生态初步调查报告[J]. 海洋湖沼通报, 1988, 3: 68-75.
Li Mingren, Bian Bozhong, Pan Zhenqiu. Preliminary ecological studies on the two salterns of Shandong Province[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1988, 3: 68-75.
- [21] Oren A, Stambler N, Dubinsky Z. On the red coloration of saltern crystallizer ponds[J]. International Journal of Salt Lake Research, 1992, 1(2): 77-89.
- [22] Oren A, Dubinsky Z. On the red coloration of saltern crystallizer ponds. II. Additional evidence for the contribution of halobacterial pigments[J]. International Journal of Salt Lake Research, 1994, 3(1): 9-13.
- [23] Zmora O, Avital E, Gordin H. Results of an attempt for mass production of *Artemia* in extensive ponds[J]. Aquaculture, 2002, 213(1): 395-400.
- [24] Dolapsakis N P, Tafas T, Abatzopoulos T J, et al. Abundance and growth response of microalgae at Megalon Embolon solar saltworks in northern Greece: An aquaculture prospect[J]. Journal of Applied Phycology, 2005, 17(1): 39-49.
- [25] 戴传超, 袁生, 秦怀兰, 等. 江苏省灌西盐场盐藻及其 β -胡萝卜素资源调查[J]. 生物技术, 1997, 7(1): 26-28.
Dai Chuanchao, Yuan Sheng, Qin Huailan, et al. Resources investigation of Halotolerant algae and its betacarotene in Guanxi saltern of Jiangsu Province[J]. Biotechnology, 1997, 7(1): 26-28.
- [26] 袁生, 秦怀兰, 戴传超, 等. 江苏沿海盐田天然盐藻 β -胡萝卜素的提取与鉴定[J]. 生物技术, 1996, 6(1): 20-23, 46.

- Yuan Sheng, Qin Huailan, Dai Chuanchao, et al. Extraction and identification of β -carotene from the natural Halotolerant algae *Dunaliella* spp. in salt ponds along the coast of Jiangsu[J]. *Biotechnology*, 1996, 6(1): 20-23, 26.
- [27] 郑秀洁, 刘亚培. 盐藻的开发与应用展望[J]. *盐业与化工*, 2015, 44(1): 1-4.
Zheng Xiujie, Liu Yapei. Development and application prospects of salt algae[J]. *Journal of Salt and Chemical Industry*, 2015, 44(1): 1-4.
- [28] 包海岩, 邵蓬, 张勤, 等. 北方地区盐田生态养殖技术[J]. *河北渔业*, 2012, 9: 13-17.
Bao Haiyan, Shao Peng, Zhang Qin, et al. Ecological mariculture technology of salt pans in northern China[J]. *Hebei Fisheries*, 2012, 9: 13-17.
- [29] 王长兴. 盐田晾水池养殖综合利用技术研究[J]. *河北渔业*, 2014, 11: 48-50.
Wang Changxing. Technology study of comprehensive mariculture usage of water sunning tank of salt pans[J]. *Hebei Fisheries*, 2014, 11: 48-50.
- [30] Barter M, Riegen A, Xu Q. Shorebird numbers in Bohai Wan during northward migration[J]. *Stilt*, 2003, 44: 3-8.
- [31] Barter M, Gosbell K, Cao L, et al. Northward shorebird migration surveys in 2005 at four new Yellow Sea sites in Jiangsu and Liaoning Provinces[J]. *Stilt*, 2005, 48: 13-17.
- [32] 董科, 吕士成, Terry H. 江苏盐城国家级珍禽自然保护区丹顶鹤的承载力[J]. *生态学报*, 2005, 25(10): 2608-2615.
Dong Ke, Lü Shicheng, Terry H. Carrying capacity of red-crowned cranes in the national Yancheng rare birds Nature Reserve, Jiangsu Province, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2608-2615.
- [33] Bollman F H, Thelin P K. Bimonthly bird counts at selected observation points around San Francisco Bay, February 1964 to January 1966[J]. *California Fish and Game*, 1970, 56: 224-239.
- [34] Pedro P, Ramos J A. Diet and prey selection of shorebirds on salt pans in the Mondego estuary, western Portugal[J]. *Ardeola*, 2009, 56(1): 1-11.
- [35] Masero J A, Perez-Hurtado A, Castro M, et al. Complementary use of intertidal mudflats and adjacent salinas by foraging waders[J]. *Ardea*, 2000, 88(2): 177-191.
- [36] Fonseca V G, Grade N, Da Fonseca L C. Patterns of association and habitat use by migrating shorebirds on intertidal mudflats and saltworks on the Tavira Estuary, Ria Formosa, southern Portugal[J]. *Wader Study Group Bull*, 2004, 105: 50-55.
- [37] Dias M P, Lecoq M, Moniz F, et al. Can human-made salt pans represent an alternative habitat for shorebirds? Implications for a predictable loss of estuarine sediment flats[J]. *Environmental Management*, 2014, 53: 163-171.
- [38] Béchet A, Germain C, Sandoz A, et al. Assessment of the impacts of hydrological fluctuations and salt pans abandonment on Greater flamingos in the Camargue, South of France[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2009, 18(6): 1575-1588.
- [39] Masero J A, Pérez-González M, Basadre M, et al. Food supply for waders (Aves: Charadrii) in an estuarine area in the Bay of Cádiz (SW Iberian Peninsula)[J]. *Acta Oecologica*, 1999, 20 (4): 429-434.
- [40] Sanchez M I, Green A J, Castellanos E M. Spatial and temporal fluctuations in presence and use of chironomid prey by shorebirds in the Odiel salt pans, south-west Spain[J]. *Hydrobiologia*, 2006, 567(1): 329-340.
- [41] Perez-Hurtado A, Goss-Custard J D, Garcia F. The diet of wintering waders in Cádiz Bay, southwest Spain[J]. *Bird Study*, 1997, 44(1): 45-52.
- [42] 欧维新, 甘玉婷婷. 耦合种群动态的生境格局变化分析粒度与景观因子选择——以盐城越冬丹顶鹤及其生境的变化为例[J]. *生态学报*, 2016, 36(10): 1-9.
Ou Weixin, Gan Yutingting. Grain size and landscape indices selection by coupling population dynamics and habitat pattern analysis: A case study of wintering red-crowned Crane and its habitat in Yancheng[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(10): 1-9.
- [43] 欧维新, 逢谦, 甘玉婷婷. 盐城海滨湿地资源利用变化及其对丹顶鹤越冬生境的影响[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(7): 30-36.
Ou Weixin, Pang Qian, Gan Yutingting. Wetland use change and its impact on wintering habitats of red-crowned crane in Yancheng coastal wetland[J]. *China Populations, Resources and Environment*, 2014, 24(7): 30-36.
- [44] Fonseca V, Grade N, Da Fonseca L C. Waterbird breeding on salinas in Ria Formosa, southern Portugal[J]. *Bulletin*, 2005, 106: 58.
- [45] Catry T, Ramos J A, Catry I, et al. Are salinas a suitable alternative breeding habitat for Little Terns *Sterna albifrons*?[J]. *Ibis*, 2004, 146(2): 247-257.
- [46] 张宏, 黄震方, 方叶林, 等. 湿地自然保护区旅游者环境教育感知研究——以盐城丹顶鹤、麋鹿自然保护区为例[J]. *生态学报*, 2015, 35(23): 7899-7911.
Zhang Hong, Huang Zhenfang, Fang Yelin, et al. Tourist environmental education in wetland reserves: a case study of the red-crowned cranes and David's deer national reserves in Yancheng, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(23): 7899-7911.

Advances in value research of salt pans

WANG Hui^{1, 2}

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Received: Jun. 10, 2016

Key words: salt pan; bittern; *Artemia salina*; *Dunaliella salina*; shorebird habitats

Abstract: The value of littoral salt pans is poorly understood. Consequently, it is necessary to comprehensively analyze the values of this particular type of coastal landscape through literature review. The present article summarizes the advances in value research of salt pans for providing scientific basis pertaining to the protection of such landscapes. The economic values include crude salt production, recovery of useful materials from bittern, provision of the adults and cysts of *Artemia salina* for aquaculture, and β -carotene extraction from *Dunaliella salina*. In addition, some components of the ecosystem in salt pans promote salt crystallization. The ecological values of salt pans are embodied in the provision of shorebird habitats for their feeding, nesting, breeding, and resting. This article will help stimulate further in-depth studies on the values of salt pans in future.

(本文编辑: 刘珊珊)