

莱州湾东岸海水入侵对生态环境的影响

衣华鹏¹, 张鹏宴², 毕继胜³, 仲少云¹, 夏艳玲¹, 于君宝¹

(1. 鲁东大学 地理与规划学院, 山东 烟台 264025; 2. 鲁东大学 生命科学学院, 山东 烟台 264025; 3. 胶州市环境保护局, 山东 胶州 266300)

摘要: 海岸带是陆海交互作用的地带, 是全球变化研究的重要组成部分。莱州湾东岸海水入侵严重, 并造成一系列的生态环境问题, 主要表现在湿地退化、水质恶化、土壤盐渍化等方面。在分析莱州湾东岸海水入侵对生态环境影响的基础上, 有针对性地提出了海岸带生态环境恢复和重建措施, 主要包括工程措施和生态措施。

关键词: 海水入侵; 生态环境; 莱州湾东岸
中图分类号: P748 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-3096(2010)04-0029-06

海岸带, 至今尚无统一的严格定义^[1-8]。较为笼统的说法是指陆地与海洋的交接、过渡地带^[4]。广义的概念则指直接流入海洋的流域地区和外至大陆架的整个水域, 但通常指海岸线向陆、海两侧扩展一定距离的带状区域^[5]。我国海岸带综合调查规定, 海岸带的宽度为离海岸线向陆地延伸 10 km, 向海延伸到 15 m 等深线处。我国在开展“海洋功能区划”与“海洋开发规划”时, 陆域一侧的范围基本与海岸带调查范围相一致, 只是在掌握上不拘泥于 10 km 界限, 而是根据行政区划的完整性, 有的以沿海县市为界^[8]。本文探讨的海岸带是指广义的海岸带, 包括直接流入海洋的整个流域地区。

海岸带是陆地与海洋的接触地带, 同时受到大气圈、水圈、岩石圈与生物圈的相互作用, 生态环境极其脆弱^[1-3]。自 20 世纪 80 年代以来, 海岸带的环境问题一直是学术界和政府部门比较关注的热点之一, 许多地学者和环境学者对此进行了大量的研究工作, 从不同角度做了系统论述和总结, 取得了一大批研究成果^[1,4-7]。其中, 海水入侵问题引起众多学者的重视和研究, 主要侧重于海水入侵现状及防治对策研究^[9,10]。莱州湾沿岸的海水入侵较严重, 已引起地学者和生态学者的重视^[11-13]。本文拟在前人研究成果的基础上, 结合实地调查与实验室分析, 对莱州湾东岸海水入侵对生态环境的影响进行系统的分析研究, 同时有针对性地提出海岸带生态环境的恢复和重建措施。

莱州湾是山东省沿海面积最大的海湾, 沿岸人口密集, 土地资源丰富。本文研究范围是莱州湾东岸, 在行政区划上属烟台市管辖, 自南向北包括莱州、招远和龙口 3 个县级市, 共 18 个乡镇, 总长 208.54 km。属暖温带东亚季风区大陆性气候, 四季

分明, 年平均气温一般在 11.3~12.3℃, 多年平均降水量 658 mm, 降水多集中在夏季, 占全年降水量的 62%^[13]。本区自然资源丰富, 工农业生产快速发展, 需水量不断增加, 导致海滨地区过量抽取地下水, 海水(或地下咸水)和地下淡水的天然平衡条件被破坏, 陆地地下淡水水位下降, 从而引起海水直接侵染淡水层, 产生严重的海水入侵, 海岸带生态环境十分脆弱和敏感, 成为海岸带经济和社会可持续发展的重要制约因素。

1 莱州湾东岸海水入侵现状

海水入侵主要发生在莱州湾东岸的堆积平原上, 呈狭窄带状, 宽 3~5 km, 区内地下水径流畅通, 在天然条件下, 地下水位高出海平面, 部分径流排泄入海。地下水的超量开采和多年干旱, 造成地下水位大幅下降, 在沿岸地带低于海水面, 改变了地下水的流场方向, 导致海水补给地下水, 形成海水入侵^[2]。

莱州湾东岸地下水咸化自 1976 年首次发现, 1976 年以前年降水量偏大, 1956~1976 年平均年降水量 669.7 mm, 地下水开采较少, 从未出现海水入侵

收稿日期: 2008-06-10; 修回日期: 2008-10-09

基金项目: 烟台市科学技术发展计划项目(2008155); 国家自然科学基金资助项目(40271001, 40803023); 山东省黄河三角洲生态环境重点实验室开放基金项目(2007KFJJ01); 中国科学院“优秀博士学位论文、院长奖获得者”科研启动专项资金项目(AJ0809BX-036); 中科院知识创新工程前沿领域项目(HJ0810BX-047); 鲁东大学科研创新团队项目(CXA004)

作者简介: 衣华鹏(1965-), 女, 山东栖霞人, 教授, 主要从事资源开发利用教学与科研, 电话: 0535-6672143, E-mail: yyhhpp2005@sina.com; 于君宝, 通信作者, E-mail: junbao.yu@gmail.com

现象。自 1976 年以后降水量偏少, 1976 年至 2003 年多年平均降水量仅 540.7 mm, 连续 4 年枯水出现 4 次(1981~ 1984 年, 1986~ 1989 年, 1991~ 1994 年, 1997~ 2000 年, 图 1)。连年干旱, 地下水开采量加大, 加之河道上游层层修建拦蓄工程, 拦蓄了河道径流, 大大减少了下游平原区的地下水补给, 地下水位下降, 出现了负值漏斗区, 面积达 500 km², 最低水位为 -26.93 m, 沿海平原地下水淡水水体水头低于附近咸水体水头, 咸水体向内陆扩展, 造成海水入侵, 形成一条沿莱州湾东岸海岸带宽数十公里的海水入侵带(图 2)。2005 年 7~ 8 月, 课题组对研究区进行了全面调查, 此次调查采取逐个地段布设水质监测井的方法, 共设井 103 眼, 其中, 莱州市 55 眼、招远市 22 眼、龙口市 26 眼, 全部借用当地原有生产井或民用井, 少数是地下水动态观测井。分析的主要内容是 Cl⁻ 含量与矿化度, 并与山东省烟台市水文局提供的历年调查数据进行对比分析。自 1976 年至今, 海水入侵最为严重的莱州市经历了海水入侵初始阶段(1976~ 1979 年)、快速发展(1980~ 1989 年)、缓慢发展(1990~ 1997 年)和逐渐缓解(1998~ 2005 年)4 个阶段^[4](图 3)。莱州市 1979 年 Cl⁻ 质量浓度 > 300 mg/L 的区域面积为 15.8 km², 到 1997 年 Cl⁻ 质量浓度 > 250 mg/L 的区域面积扩展为 276.99 km², 增长约 17 倍, 达到海水入侵面积最大的时期; 之后, 海水入侵面积便开始逐渐缩减, 至 2005 年 Cl⁻ 质量浓度 > 250 mg/L 的区域面积缩减为 234 km², 呈现逐渐缓解的趋势。

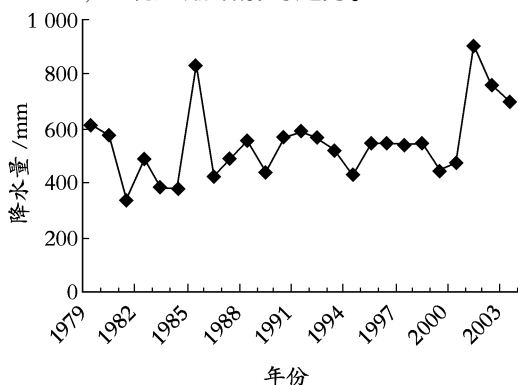


图 1 莱州市年降水量变化情况

Fig. 1 Change in the year precipitation in Laizhou

这主要得益于进入 20 世纪 90 年代, 当地政府采取了一些有效的治理措施。尽管年降水量仍然偏少, 但 1990~ 1997 年, 莱州湾东岸的海水入侵得到了控制, 速度明显减慢, 进入缓慢发展阶段; 持续治理的结果, 1998~ 2005 年海水入侵逐渐缓解, 入侵面积小了, Cl⁻ 质量浓度降到 300 mg/L 以下。据统计, 至 1997 年莱州湾东岸海水入侵区面积已有 357.75

km²。近 10 年来, 当地群众采取了一些有效的治理措施, 海水入侵不断蔓延的趋势得到了全面遏制, 污染面积逐年减少, 2005 年的调查结果表明, 海水污染面积已减退为 346 km²。

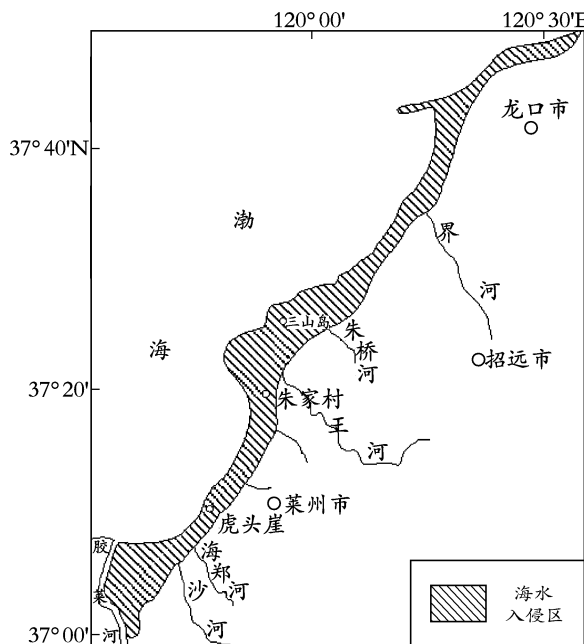


图 2 莱州湾东岸海水入侵带

Fig. 2 The seawater intrusion transitional zone in the eastern coast of Laizhou Bay

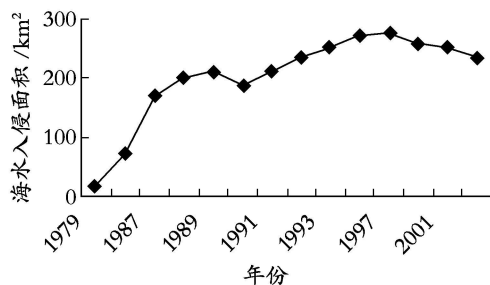


图 3 莱州市海水入侵情况

Fig. 3 Change of sea water intrusion in Laizhou

2 海水入侵对生态环境的影响

海水入侵在莱州湾东岸造成一系列的生态环境问题, 主要反应在水质恶化、湿地退化、土壤盐碱化、植物群落逆向演替等方面。

2.1 水质恶化

海水入侵以前, 莱州湾东岸冲海积平原区地下水水质较好, Cl⁻ 质量浓度一般为 80~ 100 mg/L, 一般不超过 150 mg/L, 地下水矿化度一般小于 500 mg/L^①。海水入侵后, 地下水 Cl⁻ 质量浓度和矿化度升高, 随着海水入侵的持续发展而加剧。

① 数据由山东省烟台市水文局提供

2005年7月课题组提取水质监测井中的水样,分析了其 Cl^- 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、总硬度、矿化度,结果表明,地下水因海水入侵而污染严重,污染物主要表现在氯化物、总硬度、矿化度的增高。并且具有明显由东南向西北过渡变化的分布规律,山前平原和冲洪积平原地下水化学类型表现为 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型;至中部近岸带的冲积平原和海积平原地带, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等离子减少, Na^+ 离子增多,水化学类型演化为 $\text{Cl}-\text{Na}\cdot\text{Ca}$ 型;到浅海平原区,地下水化学类型演化为 $\text{Cl}-\text{Na}$ 型,成为不同于海水和内陆地下淡水的高矿化的咸水体^[16,15]。矿化度也由开始的小于500 mg/L逐渐增高至大于2 000 mg/L以上, Cl^- 质量浓度由不到100 mg/L增至1 000 mg/L,已远远超过国内外水质标准中 Cl^- 含量规定,如美国和法国公共水体中 Cl^- 质量浓度最大允许为250 mg/L,我国农田灌溉水质标准规定, Cl^- 质量浓度最高为300 mg/L。水质分析结果表明,莱州和龙口等地冲海积平原地区地下水已不适于灌溉、饮用和某些工业用水,一些地区工农业用水和生活用水不得不以咸水为主,致使生态环境进一步恶化。

2.2 湿地退化

参考Ramsar湿地公约的湿地分类体系和我国海岸湿地类型划分的研究成果^[16,17],莱州湾东岸滨海湿地分为3个湿地类:潮下带湿地(低潮时水深<6 m的浅海水区域)、潮间带湿地、潮上带湿地。各类湿地呈环带状分布。本文调查的主要是能生长高等植物的潮上带湿地,潮上带湿地地域分异结构明显,自高潮线向上呈带状分布:最下部是光滩湿地、碱蓬盐角草湿地;中部是虾池、盐田与周围的怪柳湿地、盐蒿湿地、马绊草海蔓群丛湿地、茅草湿地;最上部是芦苇湿地等。海水入侵灾害造成潮上带湿地土壤盐碱化加重,湿地植被退化,除自然湿地面积减小外,还表现为自然湿地景观破碎化、景观多样性水平下降、植被退化、地貌和水文条件改变和生物多样性下降等。由于1976~1998年的持续干旱、河流断流、工农业生产和生活用水量增加以及人类活动干扰等原因,海水入侵加剧,潮上带淡水芦苇沼泽湿地、香蒲沼泽湿地严重退化,面积日益减小。

2.3 土壤盐渍化,肥力下降

海水入侵造成土壤理化性质恶化,有机质含量和肥力降低。由于地下水下降形成的降落漏斗引起周围地下水向灌区补给,咸淡水过渡带逐渐向灌区移动,不仅灌溉的地表水盐分增加无法排出,逐步

向深层入渗,而且灌区周围侧向补给的地下水中的盐分也会在灌区集中。如此长期利用地下水灌溉,水分经蒸腾而散失后,盐分大部分滞留在土壤中,使土壤含盐量和地下水矿化度逐渐增加,引起土壤盐渍化。

莱州湾东岸沿海平原,土地肥沃,气候适宜,历来是农业较发达的地区。由于海水入侵,部分农田遭到不同程度的盐渍化,土壤板结,肥力下降。2005年8月份,作者对研究区进行了调查,分别在莱州市过西村、崔家、路个庄等海滨农田采集了土样(GPS定位),分别用丘林法测定有机质含量、用扩散法测定速效氮、用721型分光光度计(波长660 nm)测定速效磷、用火焰光度计测定速效钾,表1是部分分析结果,有机质平均质量分数0.83%、速效氮平均质量比56.5 mg/kg、速效磷平均质量比35.9 mg/kg、速效钾平均质量比86.2 mg/kg,除速效磷的质量比较高外,其他养分质量比仅及全国土壤养分分级标准的5级,远不及非海水入侵区的肥力水平,农作物大面积减产,严重地段出现绝收,甚至沦为荒地。莱州市有8处乡镇171个自然村,18 067 hm²耕地处于海水侵染区(图2),减少灌溉面积14 500 hm²,0.3万hm²耕地发生次生盐渍化,其中,1 333 hm²农田荒芜,粮食减产 4.4×10^7 kg。招远市侵染区内有15.3 hm²经济林逐年枯死,农业减产 7.5×10^7 kg。

2.4 植物群落逆向演替

莱州湾东岸冲海积平原植物群落时间演替一般过程为:海洋生态系统-湖沼生态系统-盐生低草生态系统-耐盐灌木生态系统-温带落叶阔叶林顶极生态系统。有利影响使其正向演替,发展为顶极植物群落;不利影响则使其逆向演替。根据莱州湾东岸冲海积平原植物群落的特点,分别在盐生低草生态系统、耐盐灌木生态系统、温带落叶阔叶林顶极生态系统等处随机选取了100个样方进行调查(GPS定位)。调查选取样方面积分别为盐生低草群落1 m×1 m、耐盐灌木群落5 m×5 m、暖温带落叶阔叶林群落25 m×25 m,对莱州湾东岸滨海平原的植物群落进行大面积的调查、记录和采样。结果显示,栽培植物和沿海防护林大面积被盐生植物所代替,黑松林大面积死亡,龙口市沿海林场黑松林死亡率达40%,逐渐被适盐、耐盐植物所代替,碱蓬、黄须菜、盐角草等日益增多,在大范围内其覆盖度可达90%以上,逐步演替为盐生低草生态系统,发生逆向演替。

表 1 海岸带防护林下土壤与相邻农田、滩地的土壤肥力及理化性质

Tab. 1 The soil fertility and property in woodland, cropland and bottomland

剖面编号	采样地点	利用类型	质地	全盐(%)	有机质(%)	速效氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	pH 值
I-1	莱州过西	林地	松砂土	0.017	0.89	44.9	52.0	45	6.6
N-1	莱州过西	耕地	砂土	0.036	0.40	38.8	7.3	14	6.3
T-1	莱州过西	滩涂	砂土	1.78	0.29	15.6	5.8	293	8.4
I-2	莱州崔家	林地	轻壤土	0.016	0.75	68.3	13.5	81.4	6.3
N-2	莱州崔家	耕地	砂土	0.033	0.57	56.1	4.6	63.2	6.2
T-2	莱州崔家	滩涂	砂土	1.84	0.21	4.3	3.4	441.7	8.9
I-3	莱州朱家村	林地	轻壤土	0.017	1.21	71	89.4	87.5	7.0
N-3	莱州朱家村	耕地	砂土	0.075	0.53	49.5	71.8	156.8	7.8
T-3	莱州朱家村	滩涂	紧砂土	1.91	0.23	6.5	3.1	260	8.5
I-6	招远老店	林地	中壤土	0.018	0.98	46.0	15.1	51.7	6.7
N-6	招远老店	耕地	中壤土	0.026	0.75	26.9	6.1	67	7.9
T-6	招远老店	滩涂	砂土	1.67	0.24	7.8	2.1	358	8.7
I-5	龙口港栾	林地	砂壤土	0.013	1.19	37.1	12.9	62	6.8
N-5	龙口港栾	耕地	中壤土	0.036	0.68	32.8	5.6	81.9	7.2
T-5	龙口港栾	滩涂	砂土	1.85	0.29	5.7	2.3	89.1	8.8

3 生态环境的恢复措施

生态环境的恢复与重建应遵循整体性、可行性、稀缺性和优先性原则以及经济、生态和社会效益统一等原则^[18]。防治海水入侵的有效措施为工程措施与生态措施相结合。

3.1 工程措施

当地政府与群众在长期治理海水入侵过程中,在工程措施方面取得了一些成功的经验,总结出不同地质、地理条件适宜修建不同的海水入侵防治工程。莱州湾东岸大体以虎头崖为界,以东为砂砾质港湾岸与基岩岬角岸相间的基岩山地海岸,以西为莱州湾滨海平原岸,适宜的工程措施也随之而有不同。(1) 砂质平原海岸带的填海造陆式防潮和蓄淡工程,莱州市朱家村 1994~1998 年,为防治海水沿地表和河口的入侵,投资 1 166 万元填海造陆,分别建成长 800 m 和 3 000 m 的两道拦海大坝,与普通防潮堤工程直接建在岸边不同,该村是将海岸线平直外推 1 500 m,形成荷兰式的填海造陆防潮工程。在潮间带抽取地下咸水养殖大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)。开采浅层苦咸水,腾出地下库容,利用天然降雨进行补给,蓄淡压咸。在一期大坝和二期大坝之间兴建海水养殖场,包括育苗场和养殖大棚,

养殖鱼、虾、蟹、海参等。在一期大坝内种植一些耐盐碱的植物:油葵、苜蓿、鲁牧 1 号牧草,发展畜牧业;土壤已脱盐区,则栽种沿海防护林,以杨树、梧桐为主;土壤完全脱盐区则出现了吨粮田。经过 10 余年的治理,地下水矿化度降低,达到饮用水标准,农民喝上了本地水,从而结束了花钱买水喝的时代^[13]。(2) 基岩山地海岸带海水入侵大都发生在山地基岩河谷的河口段,被基岩包围的河口可采取地下坝工程,采取高压喷射灌浆、静压灌浆等方法,构筑地下防渗墙,形成地下拦水坝,拦蓄地下潜流,以达到提高地下水位,防治海水入侵的目的。龙口市海水入侵最为严重的 20 世纪 90 年代,最大侵染面积达 108 km²,通过在河谷中钻孔用高压喷射灌浆建成一道长 6 km、深 26.7 km 的地下水帷幕,形成横截河谷的“截渗墙”,对外阻挡海水入侵,对内拦截来自中上游的地下水。目前,海水内侵不断蔓延的趋势得到了全面遏制,全市海水侵染面积已减退为 101 km²。水质分析结果表明,Cl⁻ 质量浓度由原来的 1 000 mg/L 下降为 300 mg/L,大部分地区地下水可直接用于工农业生产。(3) 拦蓄补源工程适宜于所有河流。兴建地表水拦蓄工程,修建拦河闸坝,并在河道内开挖渗井、渗渠,采取拦、截、引、调、蓄、渗等综合措施,充分拦蓄利用汛期洪水并转化为地下水,增加地下水补给,逐步淡化地下咸水,减少海水入侵面积。基岩

岸带修建的地下坝与其上游段的拦蓄工程常常结合形成地下水水库,能够有效阻断海水入侵兼顾蓄水供水。已建成的有王河、黄水河地下水水库。

3.2 生态措施

工程措施一方面耗资巨大,另一方面,是否会引发新一轮的海岸带环境问题,尚属未知,有待进一步跟踪监测。借鉴国际上海岸生态恢复的先进理念,作者提出海岸带环境的生态恢复措施。为了减少海岸带资源破坏和避免生态进一步恶化,利用人工措施对已受到破坏和退化的海岸带进行生态恢复是改善海岸带现状的重要途径之一^[19]。海岸带是一个统一的生态系统,生态恢复的基本思路是,控制地下水开采,严禁滨海平原超采地下水的同时,根据地带性规律、生态演替及生态位原理选择适宜的先锋植物,构建种群和生态系统,实行土壤、植被与生物同步分级恢复,以逐步使海岸带生态系统恢复到一定的功能水平,最终达到海岸带生态系统的自我持续状态^[20]。

3.2.1 湿地的生态恢复与重建

湿地的生态恢复与重建是指通过生态技术对退化或消失的湿地进行修复或重建,恢复湿地受干扰前的结构、功能及相关的物理、化学和生物特性。包括湿地的生境恢复、生物恢复和生态系统结构与功能恢复3个方面^[21]。

严禁垦殖、过渡放牧和砍伐柾柳等破坏自然湿地的行为,对潮上带自然湿地进行有效的保护。恢复潮上带低洼地带散布的芦苇沼泽湿地、香蒲沼泽湿地,蓄淡压咸,改善海水入侵区的地下水水质,恢复被破坏的生态环境。密丛的芦苇还可以为多种野生鸟类提供栖息地,发展观光旅游;芦苇产品也可以为当地带来一定的经济收入。恢复与重建湿地,不仅可成功防治海水入侵,还能达到较好的社会环境效益、生态效益与经济效益。

3.2.2 营造防护林,降盐改土,培肥地力

营造以速生杨、绒毛白蜡、柳树、刺槐等为主要树种的多功能沿海防护林,可以改善小气候,林区风速小、温度低、湿度大,能防止土壤返盐、降低土壤盐分^[19,22]。由表1可以看出,造林和农业都能加速土壤脱盐过程,造林比农业更能加速土壤脱盐过程,并可稳定脱盐效果,防止旱季返盐。沿海防护林每年向林地归还大量枯枝落叶,这些凋落物是土壤腐殖质的重要来源;同时,林地动物、微生物繁多,根系活动强烈,因此防护林可显著改善土壤理化性质、提高土壤肥力,测定结果显示,防护林下土壤有机质含量

比相邻农田高71%。防护林还可改善生态环境,使土壤生物活性、微生物数量显著增加。微生物总数特别是细菌数量多,表明微生物分解活力旺盛,有机质分解快,可供给养分多,土壤肥力高。同时,结合栽种苜蓿等绿肥植物,配以施用有机肥,以改善土壤结构,降低土壤含盐量,提高地力。

3.2.3 调整农业结构,发展生态农业

针对海岸带景观生态学特征,摒弃单一粮食生产经营方式,改为综合开发利用。改变滩涂养殖、植苇、植树、农垦等许多生产体系独立经营的局面,形成一个合理化的有机整体,使海岸带建立起高效益的生产体系和良好的生态环境。从高潮线至海水入侵区可依次发展:海水大棚养殖区-芦苇、香蒲沼泽湿地-耐盐四倍的刺槐和速生杨组成的防护林带-以苜蓿为主的饲养草种植带-重要耐盐经济作物种植区,发展生态农业,建立粮(包括棉、菜)-林-牧-渔协调发展的生态农业模式。莱州市朱家村在潮间带抽取地下咸水养鱼、在潮上带发展芦苇湿地、在重度海水入侵区发展防护林以及种植苜蓿等饲草植物、在轻微海水入侵区发展棉花、高粱等耐盐碱的经济作物和粮食作物以及鸭梨、苹果等抗旱耐盐的果树,并利用田间洼地修建莲藕塘,形成融生态、经济和景观为一体的多效海岸带生态工程,产生了巨大的生态、经济和社会效益。

4 讨论

随着工农业生产的快速发展,莱州湾东岸海滨地区过量抽取地下水,引起严重的海水入侵,从而造成一系列的生态环境问题,诸如水质恶化、湿地退化、土壤盐碱化、植物群落逆向演替等。当地政府与群众在长期治理海水入侵过程中,因地制宜,工程措施与生态措施相结合。

工程措施主要根据不同地质、地理条件的适宜性,修建不同的海水入侵防治工程:砂质平原海岸带适宜修建填海造陆式防潮和蓄淡工程;基岩海岸带,被基岩包围的河口可修建“截渗墙”,有效阻断海水入侵兼顾蓄水供水。生态措施则针对海岸带的不同部位分别采取不同的生态措施:在潮上带恢复和重建湿地,蓄淡压咸;在重度海水入侵区则营造防护林,降盐改土,培肥地力;在轻微海水入侵区发展耐盐碱的经济作物和粮食作物,采取林、粮、棉、牧、渔并举的生态农业发展模式。工程措施与生态措施相结合,防治海水入侵,为莱州湾东岸经济的可持续发展提供一个坚实、稳定、高效、优美的保护屏障。

致谢: 本文撰写得到北京大学环境学院许学工博士的悉心指导, 谨表谢意。

参考文献:

- [1] 冯砚青, 牛佳. 中国海岸带环境问题的研究综述[J]. 海洋地质动态, 2004, 20(10): 1-5.
- [2] 陈梦熊. 沿海地区地质环境特征与地质环境系统——兼论“人地系统”[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 1(增): 81-86.
- [3] 张寿全, 王世敬, 黄巍. 中国沿海地质环境与区域持续发展若干问题探讨[J]. 工程地质学报, 1996, 4(3): 24-29.
- [4] 冯士筌, 李凤岐, 李少菁. 海洋科学导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 25-30.
- [5] 钟兆站. 中国海岸带自然灾害与环境评估[J]. 地理科学进展, 1997, 16(1): 44-50.
- [6] 张祖陆, 齐永华, 聂晓红. 莱州湾南岸咸水入侵区生态环境分区与生态恢复研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2001, 11(4): 102-105.
- [7] 高茂生, 朱远峰. 中国海岸带环境水文地质问题及防治[J]. 海洋地质动态, 2006, 22(5): 8-10.
- [8] 房成义. 划分海岸带管理范围的探讨[J]. 海洋开发与管理, 1996(3): 12-14.
- [9] 刘杜娟. 中国沿海地区海水入侵现状与分析[J]. 地质灾害与环境保护, 2004, 15(1): 31-36.
- [10] 杨淑华, 孔宪芳, 孙向东. 山东省海咸水入侵现状及防治措施[J]. 山东水利, 2004(10): 38-40.
- [11] 韩美. 莱州湾地区海水入侵与地貌的关系[J]. 海洋与湖沼, 1996, 27(4): 414-420.
- [12] 张祖陆, 彭利民. 莱州湾东、南沿岸海(咸)入侵的地下水水化学特征[J]. 中国环境科学, 1998, 18(2): 121-125.
- [13] 衣华鹏, 张鹏宴, 李世泰. 莱州湾东岸海涂开发与景观生态建设[J]. 海洋科学, 2005, 29(10): 32-35.
- [14] 庄振业, 刘冬雁, 杨鸣, 等. 莱州湾沿岸平原海水入侵灾害的发展进程[J]. 青岛海洋大学学报, 1999, 29(1): 141-147.
- [15] 李福林, 陈学群, 张奇. 莱州湾东岸海底地下水的水文地球化学特征及其地球化学演化模式[J]. 海洋科学进展, 2005, 23(4): 190-195.
- [16] 赵焕庭, 王丽荣. 中国海岸湿地的类型[J]. 海洋通报, 2000, 19(6): 72-82.
- [17] William J M, James G G. Wetlands [M]. New York: John Wiley Sons, Inc, 2000. 25-34.
- [18] 丁东, 李日辉. 中国沿海湿地研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(1): 109-112.
- [19] 胡海波, 张金池, 鲁小珍. 我国沿海防护林体系环境效应的研究[J]. 世界林业研究, 2001, 14(5): 37-43.
- [20] 叶功富, 罗美娟, 卢昌义. 海岸带退化生态系统的恢复与海岸带综合管理[J]. 世界林业研究, 2006, 19(4): 5-9.
- [21] 任海, 彭少麟. 恢复生态学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2002. 65-75.
- [22] 张永泽, 王恒. 自然湿地生态恢复研究综述[J]. 生态学报, 2001, 21(2): 309-314.

The influence of seawater intrusion on ecological environment in the eastern coast of Laizhou Bay

Yi Hua-peng¹, ZHANG Peng-yan², Bi Ji-sheng³, ZHONG Shao-yun¹, XIA Yan-ling¹, YU Jun-bao¹

(1. The Institute of Geography and Plan, Ludong University, Yantai 264025, China; 2. The Institute of Life Science, Ludong University, Yantai 264025, China; 3. Jiaozhou Environmental Protection Bureau, Jiaozhou 266300, China)

Received: Jan., 10, 2008

Key words: sea water intrusion; ecological environment; the eastern coast of the Laizhou Bay

Abstract: Coastal zone, the interface between the land and the sea, is of great socio-economic and environmental significances and is one of important components of global change study. Seawater intrusion in the eastern coast of Laizhou Bay is serious, and a series of ecological environment problems has been created, including the quality of water went bad, and the wetland was in decline, the soil salinification was aroused, etc. Based on analyzing the influence of seawater intrusion on an ecological environment in the eastern coast of Laizhou Bay, the measures about resuming and reconstructing the ecological environment in the coastal zone have been proposed, which mainly contained the engineering measures and ecological measures.

(本文编辑: 张培新)