

莱州湾地区海水入侵发生的环境背景及对农业水土环境的影响

刘 贤 赵

(烟台师范大学地理与资源管理学院, 山东 烟台 264025)

摘 要:针对山东省莱州湾地区海水入侵的实际,分析了海水入侵灾害发生的环境背景与条件。结合实地考察和收集资料,探讨了海水入侵对农业水土环境产生的影响,集中表现为海水入侵使水资源恶化,农业灌溉供水源地减少、土地资源退化,土地生产能力下降,农业生产受阻。鉴于此,从农业可持续发展的角度提出实施“开源节流、拦蓄补源”、调整农业结构和发展生态农业是综合防治海水入侵、实现农业可持续发展的重要措施。

关键词:海水入侵;环境背景;农业水土资源;莱州湾地区

中图分类号:X171.1;P512.32

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2006)06-0018-04

Environmental Setting of Sea-water Intrusion and Its Effects on Agricultural Soil and Water Environment in Laizhou Bay of Shandong Province

LIU Xian-zhao

(College of Geography and Resources Management, Yantai Normal University, Yantai, Shandong 264025, China)

Abstract: Effects of sea-water intrusion in Laizhou Bay on agricultural soil and water environments are discussed on the basis of analyzing environmental setting and conditions of seawater intrusion, and combining the fieldwork and collecting data, it has caused water resources deterioration and short supply of fresh water source area. It has resulted in the degradation of land resource, the decrease of land productive capacity, and limited agricultural development. In view of the sustainable development of agriculture, the synthetic countermeasures, such as “broaden sources of income and reduce expenditure, impoundment and compensation”, adjusting agricultural structure and developing ecological agriculture, to harness the disaster are given.

Key words: sea water intrusion; environmental setting; soil and water resource in agriculture; Laizhou Bay area

海水入侵是由陆地淡水水位下降而导致海水(或古咸水)直接入侵地下淡水层发生的环境恶化致灾现象^[1]。近 30 年来,在世界范围内有 50 多个国家或地区的沿海地带先后出现了海水入侵问题。在中国至少有 11 个城市和地区发生了不同程度的海水入侵,其中以山东沿海地区海水入侵最为严重。山东自上世纪 70 年代末发现海水入侵以来,以惊人的速度急剧扩展。特别是莱州湾沿岸地区,海水入侵已形成严重的灾情^[2]。正因为如此,中科院地质所、南京大学、山东水科院和中国地质大学等多家单位先后对莱州湾海水入侵发生机理^[3,4]、海水入侵的指标与监测方法^[5]、咸淡水界面运移规律与数值模拟及海水入侵趋势等方面进行了大量研究^[6-8],取得了大批研究成果。但这些研究却很少涉及海水入侵发生的环境背景及对农业生产特别是农业水土资源持续利用的影响。事实上,在海水入侵的过程中,由于海水与包气带土壤、含水层介质以及淡水之间发生了各种复杂的物理、化学及生物作用,破坏了海水入侵区淡水资源及表层土壤的化学组分和物理性质,给入侵区表层水土资源带来了一系列的生态环境问题。然而,目前海水入侵监测的重点仅限于地下水化学组分变化,而对监测海水入侵对水土环境的影响较少。频发的海水入侵已对农业生产造成了巨大的负面影响,作为一个农业科学工作者,这是应当积极思考和探讨的课题。该文在分析莱州湾地区海水入侵灾害发生环境背景的同时,以实地考察和收集资料为基础,探讨海水入侵对农业水土环境的影响,并从农业可持续发展的角度提出综合

防治海水入侵的对策。

1 海水入侵历史现状

山东省莱州湾位于北纬 36°45′~37°47′,东经 118°15′~120°45′,海水入侵发生区分布在广饶、寿光、寒亭、昌邑、平度、莱州、招远和龙口八个县市(图 1),面积 8 400 km²,人口约 500 万。莱州湾东南沿岸自 1976 年发生海水入侵灾害以来,一直以惊人的速度不断扩展。1976 年海水入侵面积为 15.8 km²,1989 年达 627.3 km²,1995 年发展到 974.6 km²,目前已接近 1 000 km²,地下水漏斗负值区 2 500 km²。根据莱州湾地区各县市多年的观测资料,该区海水入侵可划分为四个阶段:(1)1976~1979 年为开始阶段,以水质的季节性变咸为标志;(2)1980~1986 年为发展阶段,期间降水连年偏少,工业用水急剧猛增,导致咸水锋面急剧向陆迁移,海水入侵范围迅速扩大;(3)1987~1989 年为严重恶化阶段,水资源补给量降到历史的最低点,工农业需水量成倍增长,导致本区各县市地下水负值区总面积达 1 498 km²,海水入侵范围增至 627.3 km²;1990 年以后为缓解阶段,此时降雨有所增加,调入一定的黄河水和采用一些节水抗灾措施后,速度相对减缓,但仍有向陆地一侧地下水入侵的趋势。有人认为^[5],如果海水入侵灾害任其发展,未来 15 年内,海水入侵面积将达到 2 400 km²,占整个莱州湾地区面积的 1/4,海水入侵灾害将成为制约区域社会经济持续发展最严重的障碍因素。

* 收稿日期:2006-06-12

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 40101005)资助

作者简介:刘贤赵(1970-),男,博士,教授,副院长,从事水土资源持续利用研究。

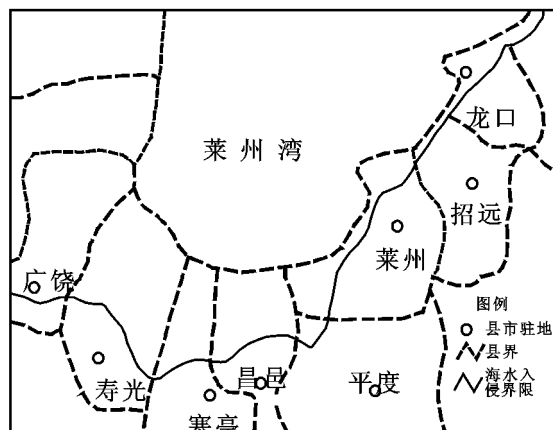


图1 莱州湾海水入侵分布图

2 海水入侵发生的环境背景

2.1 水文地质环境

莱州湾属于海陆交接的过渡地带,地下淡水与海水之间存在水力联系,这种特殊的环境条件为海水入侵的发生奠定了基础。莱州湾南岸为淤泥质海岸,平原沉积厚度一般在200~300 m,沙层与粉沙黏土层交互沉积,为区内古海水赋存及咸水体入侵提供了条件。东岸滨海平原狭窄,地层主要为砂砾质滨海沙坝-泻湖相沉积和河流相冲洪积物,透水能力强,渗透系数一般在35~150 m/d。这种强透水层为海水入侵创造了极为有利的介质环境,特别是地下淡水与海水之间缺乏稳定的隔水层,海水与淡水在强透水层间存在水力联系时,一旦地下水位长期低于海平面以下时,海水就通过含水层迅速向陆入侵。

2.2 地形地貌环境

莱州湾地区最明显的地形地貌特征是开口向北的弧形海岸与滨海平原相结合。东岸地区地势较高,以低山丘陵为主,沿岸地带发育了许多较小的冲洪积平原。南岸为开口向北的宽阔地形,岸线较平直,潮间带宽广,内陆是地表平坦开阔的平原,其上分布着众多的古河道和古湖泊洼地。莱州湾地区这种特定的地形地貌环境为海水入侵提供了空间条件,表现在:低平的滨海平原地下水埋藏浅,过量开采地下水使其水位降低,形成负值区,改变了滨海地区地下水径流补给方向;开口向北的海湾地形与强烈而持续的东北风使风暴潮垂直入侵,大量海水涌入陆地30~40 km,退潮后仍有部分海水滞留在滨海平原洼地之中。

2.3 气候环境

气候环境中与海水入侵关系最密切的是降水。莱州湾地区地下水来源主要靠大气降水补给。降水量的多寡直接影响地下水位的高低。自70年代中期至90年代初,莱州湾沿岸地区遭遇连续多年的严重干旱,1976~1989年平均降水量不足500 mm,比多年平均少33%,较山东省同期平均降水少125 mm。由于气候连年干旱,导致地表水减少,河水断流,地表水入渗量减少,地下水补给严重不足,地下水位降低,海水与地下淡水之间形成水势差。同时河流入海径流量也减少,河水顶托力减弱或消失。此外,全球气候变暖,莱州湾沿岸成为我国沿海海平面上升速率最大的地区(9.3 mm/a),相对海平面上升可增大潮水沿河流的上溯距离,沿河上溯的海水在河道中发生侧向、垂向入渗,引发海水扩散入侵。

2.4 社会经济环境

海水入侵是自然环境和社会环境相互叠加的结果。一般情况下,海水入侵地区往往是人口密集、城市集中、工农业生产发达的地区。莱州湾海水入侵区是山东省经济文化较发达的地区,也是山东省粮食高产区和全国蔬菜市场和水产

养殖的重要基地,自然条件优越,开发历史悠久。全区人口密度平均在500人/km²以上,局部超过700人/km²,是全国人口平均密度的4倍多。目前,人均耕地面积已不足0.067 hm²,且非农业用地比例仍在增加,人口环境压力十分突出。

近30年来,随着沿海改革开放战略的实施,各县市工农业生产蓬勃发展,城镇扩展和城市化加速,水资源需求量猛增。其一是城镇居民耗水量及城市公共、文化和服务事业用水量增加,带来了水资源数量和质量方面的问题;其二是莱州湾沿岸现有的8个县市均呈迅速扩展之势,随着城镇规模的延展,城市建筑物、交通道路、娱乐场所等不透水面积增加以及采用管道排水,使地表水入渗量减少,影响了海陆交接带的咸淡水关系。其三是经济的快速发展是以牺牲资源和环境为代价的。莱州湾是我国经济发达的沿海开放地区,8个县市中有平度、招远、龙口、莱州、昌乐、寿光6个县市列为全国经济实力百强县,其中仅招远、龙口、莱州3市2002年完成国内生产总值412.3亿元,工农业生产总值747.3亿元,农民人均纯收入4245元,经济的增长意味着以消耗大量的水资源为前提。据水量平衡计算,莱州湾地区可利用的水资源总量为20万t/km²,工农业生产、生活需水模数为25~30万t/km²。由于地表水资源不足(地表水约10~15万t/km²),生产、生活用水主要依赖于大量开采地下水。本区年均地下水可开采量为7.2万t/km²,而实际开采量每年在11万t/km²以上。由于过度开采地下水,使得地下水位以1~3 m/年的速度迅猛下降,形成2500多km²的地下水位负值区。其四是莱州湾地区是我国重要的海盐生产基地和海水养殖基地,海水养殖和引潮晒盐等经济活动把大量海水引入陆地,人为地促进海水或咸水向内陆运移5~15 km^[9],扩大了海水向陆地淡水的入侵范围。此外,在入海河流的上游地区修建水库、塘坝等水利设施,使河流入海水量普遍减少,下游地下水补给也随之减少,加剧了海水入侵。在河口地区大量挖砂降低河床标高等人为活动,则加剧了海潮上溯距离,使河流两侧发生海水入侵。

综合分析海水入侵的环境背景表明,干旱少雨、水资源不足的气候环境是海水入侵发生的背景条件,含水层导水性等水文地质环境是基础条件,人类活动的经济环境是诱发条件。三者共同作用的结果是必然导致大范围的海水入侵。

3 海水入侵对农业水土环境的影响

3.1 海水入侵破坏了农业赖以存在和发展的根本条件

水土资源是农业赖以生存和发展的根本条件。土壤的化学组成和物理性状直接影响作物的生长、发育、产量和品质。海水入侵使水质恶化、土壤盐渍化,严重影响该区农业的发展。

3.1.1 水资源恶化,农业灌溉供水源地减少,加剧淡水匮乏

水资源恶化及恶化程度与海水入侵时间、范围、距海垂直距离直接相关。一般而言,海水入侵时间长、范围大、离岸近、恶化程度重,反之则轻。以水中Cl⁻含量为例,海水入侵前,莱州湾滨海平原地下水水质好,Cl⁻含量一般为80~100 mg/L,最高不超过150 mg/L。随着海水入侵,地下水逐渐变成,Cl⁻含量成倍增高。据监测资料,海水入侵的第二年Cl⁻含量增至450 mg/L,到1981年监测时已达5520 mg/L,高的达10000 mg/L。同时,水中Cl⁻含量随距海距离的加大呈降低的趋势(表1)。莱州市1989年水文站的测试资料亦表明,在距海1660 m范围内,地下水Cl⁻浓度达1000 mg/L以上,1660~2100 m范围内,Cl⁻含量迅速降到100 mg/L。据研究,水中Cl⁻浓度过高,会对农作物产生不良影响。莱州湾海水入侵地区水中Cl⁻含量远远超过国内外关于农田灌溉水质标准中Cl⁻含量的规定。我国农田灌溉水质标准规定Cl⁻含量的上限是,在连续灌溉条件下不超过200 mg/L,间歇灌溉

条件下不超过 300 mg/L。这意味着在海水入侵发生后,随着地下淡水水质恶化,大量机井面临报废,农业灌溉供水源地减少,可利用的地下淡水资源量减少,从而使原本贫乏的水资源更加匮乏。自 70 年代中期以来,莱州湾海水入侵区已报废农

田机井 8 000 多眼,每年减少井灌面积 4 万多 hm²,减产粮食 2 亿 kg 以上。同时迫于当地生产的需要,结果是超量开采深层地下水,使得地下水再度下降,或是被迫将抽水井向内陆迁移,增加了很多不必要的支出。

表 1 莱州湾海水入侵区地下水化学特征

距海距离	Cl ⁻ / (mg · L ⁻¹)	Ca ²⁺ / (mg · L ⁻¹)	Mg ²⁺ / (mg · L ⁻¹)	HCO ₃ ³⁻ / (mg · L ⁻¹)	K ⁺ / (mg · L ⁻¹)	Na ⁺ / (mg · L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ / (mg · L ⁻¹)	pH 值
2.5 km	1682.0	66.5	81.0	359.0	53.0	1077.0	605.6	7.4
4.2 km	4276.0	128.1	232.9	67.0	80.0	2108.0	321.3	6.5
8.1 km	107.0	8.7	8.0	61.0	2.6	77.0	192.6	10.4
11.3 km	31.0	7.3	1.7	31.0	2.7	17.0	63.0	9.6

3.1.2 土壤盐分增加,土壤次生盐渍化,加剧耕地资源危机

莱州湾海水入侵区因水质恶化,农田灌溉条件变差,甚至丧失灌溉能力。农业为了保产,不得不使用一部分含盐量较高的半咸水(矿化度约为 2~5 g/L)进行灌溉,于是地下半咸水沿毛细管上升进入耕层土壤。由于长期使用高矿化度的水进行灌溉,盐分不断在土壤表层聚集,使耕层土壤盐分含量增加,Na⁺、Cl⁻、SO₄²⁻ 等离子的含量相对升高,海水入侵区土壤的含盐量高于非海水入侵区,前者的全盐量为后者的 2~3 倍(表 2)。且土壤含盐量和土壤盐渍化程度由内陆向沿海逐渐加强,如莱州湾沿岸广饶县境内的北堤、小营和肖家三村,它们的地理位置依次是由东北向西南方向分布,正好与咸水入侵向前推进的方向一致,北堤村盐分较重,而肖家村地处咸、淡水交接地带,属咸水入侵前沿,土壤盐分较轻(表 3)。又如羊口、杨庄和田柳依次是寿光市自沿海向内陆的三个土壤剖面,羊口剖面为重度盐渍化土,

表 2 莱州湾海水入侵区与非入侵区土壤盐分状况(mg/ 100 g)

调查地点	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	全盐量
小孙庄(海水入侵区)	2.5	25.5	12.8	15.6	60.3	48.8	12.3	18.2	195.6
王格庄(非海水入侵区)	1.7	3.8	15.7	7.8	12.9	17.9	15.3	10.3	76.4

表 3 莱州湾海水入侵区土壤盐分随距海距离变化

调查地点	含盐量 / %	土壤 pH 值	Na ⁺ / (mg · 100g ⁻¹)	Cl ⁻ / (mg · 100g ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ / (mg · 100g ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ / (mg · 100g ⁻¹)	有机质 / %
北堤	0.14	7.2	29.3	4.3	68.7	9.0	1.29
小营	0.13	6.6	21.3	6.0	28.5	9.7	1.50
肖家	0.085	6.7	9.45	1.3	29.7	2.3	1.90

杨庄剖面为中度盐渍化土,田柳剖面为脱盐渍化土。可见,海水入侵区盐渍化土壤基本上平行于海岸线呈带状分布。据各县市区的统计资料,目前由海水入侵造成的次生盐渍化面积已达 2.5 ×10⁴ hm²,受害土地面积达 1.01 ×10⁵ hm²。土壤盐渍化的结果是土壤结构变差,理化性能降低,土地资源退化,严重的丧失生产能力,部分农田因地下水变咸而被弃耕成为荒地,栽培作物逐渐为盐生植被所替代,从而进一步加剧了耕地资源的危机,也增加了区域生态恢复和生态开发的难度。

3.1.3 土壤水分降低,肥力下降

莱州湾地区的土壤生态系统因受气候及地下水含量的变化,土壤中的水分与营养元素很不稳定。由于导致海水入侵的地下水位下降和长期干旱,土壤湿度降低。据莱州湾沿岸寒亭区监测资料,30 cm 以上的表层土壤水分含量为 15%~16%,向下逐渐降低,至 1.2 m 深度时土壤湿度降为 8%~10%。而一般情况下适宜作物生长的土壤湿度为 16%~20%,深层土壤湿度的降低严重抑制了根系深而发达的小麦、棉花的生长。

除土壤水分明显降低以外,土壤盐渍化导致土壤耕性变差,微生物活性减弱,有效养分释放变慢,土壤容重增加,土壤肥力下降。如莱州市海水入侵重灾区的西由镇和土山镇,土壤中的有机质在 10 年内下降了 40%~50%,平均含量仅为 0.4%~0.5%。另据山东农业大学实测资料,海侵区盐

斑地的养分明显低于小麦地,盐斑地的全氮、有机质、速效氮和速效磷分别为 0.03%、0.46%、38.4 mg/g 和 3.0 mg/g,分别比小麦地减少 50.0%、36.1%、21.4%和 11.8%。从整个莱州湾海水入侵区土壤养分平均状况来看(表 4),有机质 0.95%,速效氮 59.1 mg/g,速效磷 10.3 mg/g,速效钾 87.3 mg/g。表明全区养分状况中等,农田肥力一般,但远不及非入侵区高产粮田水平。

表 4 莱州湾海水入侵区土壤物理性质及养分状况

地点	土壤类型	土壤容重 / (g · cm ⁻³)	有机质 / %	速效氮 / (mg · g ⁻¹)	速效磷 / (mg · g ⁻¹)	速效钾 / (mg · g ⁻¹)
龙口	棕壤潮土	1.34	1.10	78.0	18.6	76.5
招远	潮土潮棕壤	1.46	0.83	57.0	5.7	80.0
莱州	潮土	1.41	0.86	50.3	9.3	72.5
平度	沙姜黑土	1.49	0.71	64.6	7.7	101.4
昌邑	潮土盐土	1.37	0.96	44.4	7.7	88.1
寒亭	盐碱土潮土	1.33	1.10	63.1	10.7	107.6
寿光	潮土	1.34	1.05	68.3	6.9	97.1
广饶	盐土潮土	1.33	0.95	47.4	16.0	75.2
平均		1.38	0.95	59.1	10.3	87.3

3.2 影响土地耕作方式和作物品种选择

海水入侵使灌溉地下水水质变咸,土壤盐渍化,灌溉机井报废,导致水田面积减少,旱田面积增加,农田保浇面积减少,荒地面积增加(表 5)。莱州市自 1989 年以来,80%以上的耕地质量退化,全部水田改为旱田,保浇面积占可灌溉面积的百分数由 1986 年的 70%下降到 1995 年的 61.56%。因为海水入侵,莱州市已有近 1 300 hm² 耕地不能耕种,寿光有 2 000 hm² 耕地变成盐碱地,寒亭区北部有 6 000 hm² 草场退化。为适应耕地的退化,其上生长的作物品种也随之变化,形成以旱为主、水旱兼有的耐盐大田作物。如玉米、小麦只能在耕层土壤含盐量小于 0.25%的条件下才能正常生长,谷子、大豆低于 0.2%,高粱、棉花不高于 0.3%。随着海水入侵程度的不断加剧,耐盐性较强的作物耕种面积不断增加,耐盐较弱的作物品种将被耐盐较强的品种所替代。这正是植物为适应退化环境而发生逆向演替的结果。

3.3 农业生产能力降低

海水入侵对农业生产的危害集中地反映在使农作物的产量降低方面。海水入侵使水质恶化,土壤性能劣化,灌溉能力丧失,肥力降低,导致农业土地生产能力下降,造成严重的减产或绝产。农作物因其生态环境的恶化而影响正常的生长发育,表现为出苗率低,叶片发黄,生长迟缓,呈“小老苗”状,个体株高和成熟度大大降低,甚至成片枯死,粮食产量大幅度下降。据调查,寿光市 1989 年 0.33 ×10⁴ hm² 耕地因水质变咸而发生盐渍化,粮食产量由 11 250 kg/hm² 下降到 2 250~3 750 kg/hm²,年减产粮食 0.25 亿 kg,经济损失 2 000 万元。又如莱州市滨海平原区,该区土地质量较高,80%以上是吨粮田,受海水侵染后地下水水质咸化,1.81 ×10⁴ hm² 粮田受到危害,其中 0.83 ×10⁴ hm² 变成了低产田,0.13 ×10⁴ hm² 成了不毛之地,年减产粮食 7.5 ×10⁷ kg。龙

口市海水入侵区过去是农业高产区,海水入侵后,多数农田减产 20 % ~ 40 %,重者达 50 % ~ 60 %,个别为 80 % 甚至绝产。1989 年统计,龙口市海水入侵区 2 514 hm² 粮食作物减产 12 347 t,733 hm² 油料作物减产 1 120 t,713 hm² 果园减收水果 3 730 t,经济损失达 1 592 万元。从整个莱州湾地区来看,据 1995 年底的统计数据,一般年份减产 20 % 以上,旱年减产 40 %,大旱年基本绝产,年平均减少粮食 2.3 亿 kg,累积减产 30 ~ 45 亿 kg,农业经济直接损失 50 亿元以上。

表 5 莱州湾海水入侵区耕地面积及灌溉状况

地点	海水入侵耕 地面积/hm ²	海水入侵可灌 溉面积/hm ²	机井报 废数/眼	海水入侵区 保浇面积/hm ²	保浇面积/可 灌面积/%
龙口	6547	6290	1364	4046	64.32
招远	807	791	160	363	45.87
莱州	17007	16257	3000	10009	61.56
平度	5799	5690	500	3290	57.82
昌邑	6213	6116	1530	3477	56.84
寒亭	4391	4292	720	2785	64.88
寿光	3855	3768	761	2756	73.15
广饶	1390	1330	230	574	43.14
合计或平均		44536	8265	27300	58.45

4 海水入侵区农业可持续发展对策

莱州湾海水入侵区是山东重要的粮食高产区,也是全国蔬菜市场和水产养殖的重要基地,农业资源十分丰富。但海水入侵给农业生产环境造成了极大的危害,因此,从该区农业可持续发展角度,采取综合防治措施把海水入侵的危害降到最低限度,既是区域经济发展的目标,也是解决海水入侵的有效手段。

4.1 开源节流,拦蓄补源,遏制海水入侵

莱州湾海水入侵的根本原因是区域水资源短缺和超采地下水。解决淡水问题是减轻海水入侵的主要途径。从近期来看,通过工程技术措施可以增加地下水可开采量。莱州湾地区年降水量为 500 ~ 700 mm,全年降水量的 70 % 集中于汛期,而汛期降雨中,又有 2/3 的雨量集中在 20 d 之内的几场暴雨。暴雨时,来势猛,水流急,降落的大量雨水往往来不及入渗便以地表径流的形式入海,河水拦蓄利用率低,平均仅占暴雨量的 30 % ~ 40 %。显然,通过工程技术拦蓄利用这一部分入海洪水是一项重要的开源措施。如在入海各河河槽的不同地段,修挖长短不一的渗渠与渗沟,渗渠和渗沟内再挖深浅不等的渗井,以此使地表水尽快入渗,迅速转化成地下水。或者在各河口和低洼处,修建不同长度的拦河坝,使洪水尽量沿途入渗,以减少地表入海径流。同时,在海岸带修建防渗坝,既可以阻止淡水入海,增加淡水资源,又可以防治海水入侵,缓解水资源供需矛盾,有效防治海水入侵。

另外,大力发展农业节水灌溉,提高农业用水效率,减少从含水层中抽取地下水,是减缓海水入侵的有效节流措施。如在海水入侵区推广喷灌、滴灌、渗灌、渠道防渗、低压管道输水等节水新技术,以及地膜覆盖、新型抗旱剂和保水剂等技术,可有效提高水资源利用效率 10 % ~ 20 %。实践证明,龙口市采用高标

参考文献:

[1] 丁玲,李碧英,张树深. 沿海城市海水入侵问题研究[J]. 海洋技术,2003,22(2):79-83.
[2] 胡政,冯志泽,何钧,等. 山东省莱州湾地区海水侵害及其综合防治[J]. 自然灾害学报,1995,4(1):104-109.
[3] 马凤山,蔡祖煌,宋维华. 海水入侵机理及其防治措施[J]. 中国地质灾害与防治学报,1997,8(4):16-22.
[4] 蔡祖煌,马凤山. 海水入侵的基本理论及其在入侵发展预测中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报,1996,7(3):1-9.
[5] 吴吉春,薛禹群. 海水入侵过程中水-岩间的阳离子交换[J]. 水文地质工程地质,1996,(3):18-19.
[6] 成建梅,陈崇希. 山东烟台夹河中下游地区海水入侵三维水质数值模拟研究[J]. 地学前缘,2001,8(1):179-184.
[7] 薛禹群,谢春红. 海水入侵咸淡水界面运移规律研究[M]. 南京:南京大学出版社,1991.
[8] Moor YH,Stoessel RK,Easley DH. Fresh water/ sea water relationship within a groundwater flow system,northeastern coast of the Yucatan Peninsula[J]. Ground Water,1992,30(3):343-350.
[9] 张祖陆,聂晓红,姜鲁光,等. 莱州湾击退海水入侵[J]. 中国减灾,2001,(4):41-43.

准的喷、微灌较管灌节水 45 %,水库灌区干支渠系全部采用渠道防渗,使渠系水利用系数由 0.53 提高到 0.72 以上。

4.2 调整农业种植结构

农业是莱州湾地区水资源消耗大户,农业用水占总用水量的 80 %。调整种植结构,改种一部分耐旱作物,发展雨养农业是缓解本区淡水资源的重要宏观调控手段。龙口、莱州、寿光、广饶一带是山东省重要的粮油基地,农业种植以蔬菜和林果为先导的三高农业比重逐步上升,农村中的乡镇企业比重日益提高。转向节水和充分利用盐碱荒地、压缩农业用水、发展耐旱、雨养、水旱粮棉油皆有、国内外均需的作物,逐步建成适应发展需要的双向型主副食品供应基地是今后农业结构的调整方向。具体做法是:压缩粮食种植面积,扩大集约化程度,放弃那些低产盐渍化土地的灌溉;引选耐旱、抗盐新特优品种,种植耐盐绿肥(田菁、草木樨、苕子、苜蓿)作物(粳子、碱豆、高粱、向日葵、棉花),推行高产、稳产旱作农业模式,实行粮枣间作或枣棉间作,建立适度的粮棉油生产基地。在脱盐化沿海潮土区,酌情提取地下水晒盐,引淡洗盐种稻,繁殖与保护芦苇-茅草群落,以起减盐、减少水分蒸发、增加有质的作用。实施科学测土,按需配方,视苗施肥,利用牲畜积肥,逐步改良土壤结构,提高肥力。

4.3 积极发展生态农业,改善农业环境

莱州湾地区光热资源丰富,雨热同季,地貌类型多样,山、丘、平、滩、海俱全,具有发展生态农业的有利条件。建立功能稳定、结构合理、经济效益较高的农业生态经济体系是缓解海水入侵的有效措施。近年来,莱州湾地区进行了各种海水入侵灾害的农田生态工程试验,如在广饶县南北两区域分别建立了林-粮(棉、菜)-牧-渔生态农业和种养结合、各业协调发展的生态农业模式,即自北而南分别建立荒碱地农牧区、桑基塘开发区、中部节水农业区和南部高效农业区。寿光试区从 1992 年连续 4 年进行了小麦/菠菜/玉米、小麦/玉米/大豆、小麦/菠菜/玉米/大豆三种轮套试验,调整小麦、玉米、林木和蔬菜的种植面积,在 40 hm² 的海侵地上实行林果-旱生作物配套种植,取得了明显效果,为海侵区综合治理提供了典型经验,对改善受害生态环境,防治海水入侵灾害起到了推动和示范作用。

5 结 语

海水入侵是人为活动强烈干扰自然生态系统而诱发的缓慢发生而又长期危害的人为自然灾害,具有隐蔽、多变、难治理的特点。它不仅是一个自然科学问题,而且是一个与社会经济发展密切相关的问题,其直接危害是造成农业水土生态环境的恶化。所以对其防治是一项艰巨而又长期的任务,一方面要防止海水入侵灾害的继续蔓延和扩大,并对其造成的生态环境恶化进行修复,另一方面,要在发展区域经济的同时,十分注意合理开发和保护水资源,最大限度地减轻海水入侵灾害,实现自然资源的合理开发利用,以保障区域农业生产的持续发展。