



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2016.03.032

李娟, 韩霖昌, 张扬, 等. 盐碱地综合治理的工程模式[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(3): 188-193. LI Juan, HAN Jinchang, ZHANG Yang, et al. Model analysis about comprehensive control project of saline alkali field[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(3): 188-193. (in Chinese)

盐碱地综合治理的工程模式

李娟^{1,2,3}, 韩霖昌^{1,3}, 张扬^{1,3}, 程科^{1,3}

(1. 陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 西安 710075; 2. 西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 国土资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 西安 710075)

摘要: 针对土壤盐碱化涉及农业、土地、水资源的综合问题。在陕西定边县堆子梁镇盐碱荒地整治过程中, 利用蓄水、排碱和覆沙三项治碱压盐技术, 综合设计了研究区农田、排碱工程、灌溉工程、道路和防护林等, 构建蓄水和排水条件下水体与相邻土壤盐分运移规律和循环压盐机制, 形成“改排为蓄、水地共处、和谐生态”的盐碱地治理新模式。该工程模式的实施, 共整治规模约 746 38 hm², 新增耕地约 667 42 hm²。该技术的推广应用, 不仅提高了耕地数量及质量, 增加了经济收入, 而且改善了生态环境, 为重度盐碱地治理开辟了新的途径。

关键词: 土壤改良; 蓄水; 排盐; 覆沙; 综合治理

中图分类号: S288 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2016)03-0188-06

Model analysis about comprehensive control project of saline-alkali field

LI Juan^{1,2,3}, HAN Jinchang^{1,3}, ZHANG Yang^{1,3}, CHENG Ke^{1,3}

(1. Shaanxi Province Land Engineering Construction Group, Xi'an 710075, China;

2. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 3. Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, the Ministry of Land and Resources of China, Xi'an 710075, China)

Abstract: Soil salinization or alkalization is a comprehensive problem involving agriculture, land and water resources, as well as a typical ecological environment problem. Saline and alkaline land is important land resources, which is valuable in potential for the development of agricultural industrialization. There are large areas of saline and alkaline land with surveys in Dingbian county of Shaanxi province. Combined three alkali and salt treating technology of water storage, salt reducing and sand sieving, the farmland, salt reducing project, irrigation project, and road and shelterbelts project were comprehensively designed. The most significant method was that by breaking through the traditional models using the principle of movement of water and its soil around and the mechanism of salt cycling drainage to build up the new management model of "replacing draining by storing, water and soil conservation and eco-harmony". The results indicated that 746 32 hm² land in all had been developed, in which 667 42 hm² was plough. In this way, we find new ways to manage soil salinization or alkalization, increased the incomes and improved the environment.

Key words: land reclamation; water storage; salt reducing; sand sieving; comprehensive control

土壤盐碱化是造成土地难以利用的重大原因之一, 全世界盐碱土面积约为 10⁹ hm², 中国盐碱土总

收稿日期: 2015-12-29 修回日期: 2016-03-06 网络出版时间: 2016-05-05
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160505.1104.007.html>
基金项目: 国家科技支撑计划课题(2014BAL01B03)

Fund: National Science and Technology Support Plan(2014BAL01B03)

作者简介: 李娟(1986), 女, 陕西宝鸡人, 博士生, 主要从事旱区农业生态方面研究。E-mail: lijuan8136@163.com

通讯作者: 韩霖昌(1966), 男, 陕西西安人, 研究员, 主要从事土地整治工程技术方面研究。E-mail: kele502514@163.com

面积约为 $3.46 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 其中, 原生盐化型、次生盐化型和各种碱化型土地分别约占盐碱化土地总面积的 52%、40% 和 8%^[12]; 由于地理位置、耕作或施肥不当所造耕地盐碱化面积约为 $7.60 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。

现阶段随着对盐碱地研究的深入, 针对土壤盐分成因、特征以及节水灌溉水盐分运行时空特征、盐碱地改良等技术的综合研究, 取得了阶段性进展, 有效的缓解了盐碱土危害, 并取得了新的研究成果^[35]。近年来, 许多学者从盐碱地水资源的角度出发, 针对传统改良盐碱地技术所存在的弊端, 通过试验研究和实践总结, 在陕西省卤泊滩盐碱地治理中成功运用“改排为蓄”技术, 达到水地共处及和谐生态的目的。该工程实施主要参考传统排水沟的间距、深度及布置形式, 以“以蓄为主”的治理思想为指导, 通过计算水土平衡, 从而科学地设置蓄水沟的深度、间距、布置形式以及蓄水湖、淹没区的规模等。其设计思路是以传统排水理论为基础, 大胆创新以达到蓄水要求, 特别是治理区、淹没区、水地比例优化等^[811]。盐碱地成功改良和治理的实践证明, 盐碱地的预防和治理是一个整体、全面、系统以及循序渐进逐步显效的工程。其的开发利用, 能有效扩大可耕地面积, 增加单位产量, 缓解粮食危机, 而且可改善生态环境, 提高人们的生活质量^[1215]。本文通过研究利用该治理模式及工程技术, 对定边盐碱地进行治理, 以期达到增加耕地面积和保护生态的目的。

1 工程技术指标

盐碱地土壤改造, 需要充分考虑并合理利用当地资源, 在不破坏生态环境的同时, 改良盐碱地, 增加耕地面积, 以实现人与环境、资源共赢为最终目标^[1619]。根据开挖蓄水沟、修建排碱沟和覆沙三种核心技术相结合, 工程实施考虑的要素具体如下:

(1) 项目选址。项目选址是工程实践成功与否的关键, 需要综合考虑各方面因素, 沙子作为工程实施的主要原材料, 工程选址应充分考虑距离材料较近的位置, 且工程实施区域自然生态资源、社会资源和经济资源均能满足工程和农作需要。农田生态系统的主要实施和管理者是人, 对人的依赖性较高, 即保证有效劳动力和交通便利也是工程选址的重要因素, 避免农田系统由于管理和控制的不利而退化荒芜。

(2) 农田设计。首先对土地要进行整体上的平整, 达到减小土地坡度, 便于大型机械作业, 提高水分、肥力和光照的利用效率, 从而提升盐碱地自身的耕作条件; 内陆盐碱地改良的基础手段一般是大面积平整。在农田微地貌高程相对差异在 0.1~0.5

m 之间时, 灌溉或降水后, 遵循“水往低处流, 盐往高处行”的自然规律, 高处则由于地表蒸发量大于低洼地区, 表土的盐分积累速度较快, 即在高部位盐分发生富集, 形成了面积不一的盐斑。平整土地可改变高部位局部水循环的方向, 有效减少盐斑。其次, 合理设置田块的大小形状和排碱沟走向、深度, 高效低成本的完成盐碱土壤和沙混合等问题均需全面系统的考虑。

(3) 灌溉设计。盐碱地灌溉不同于与其它农田生态系统, 如何起到压盐和洗盐效果, 对控制灌溉水量的要求较高, 对于农田生态系统合理科学的灌溉是极其重要的, 以求实现节水与满足作物生长要求。根据作物生长特征, 适时和适量的补充作物所需水分保证其正常生长, 过量则会使其淹死或使养分利用率降低, 更容易造成土壤板结, 通气不畅; 从水资源利用出发, 有效利用水资源, 最大程度节约地下水资源的开采, 从而达到水资源保护, 土壤改善、作物生存的目的。

(4) 道路及防护林设计。道路设计综合农田生态系统的特征, 以道路质量最佳为前提, 以便于机械作业及遵循生态系统要求为目的, 减少不必要的浪费及对环境的破坏。生物防护措施是农田生态系统的重要保证, 旨在提高生态系统稳定性和改善区域微环境。可对农田生态涵养水源和防风固沙起到积极作用; 通过林木的蒸腾作用, 使地下水位降低, 降低土壤返盐速率, 从而达到土壤脱盐的目的。

2 研究区域概况

综合盐碱地分布情况, 结合工程实施中的运输成本, 选择陕西省定边县营盘梁村 ($37^{\circ}37' \text{ N}$, $108^{\circ}15' \text{ E}$) 作为研究区(图 1)。该村地处陕北黄土高原北侧与内蒙古草原的过渡地带, 为毛乌素沙漠的南侧风沙滩区。地表为新月型沙丘和波状沙丘链为主的风沙堆积地貌, 丘间有为数众多的蝶形洼地和形状不一、大小不等的沙丘涧地(盐碱地), 为典型的风沙草滩地区。研究区海拔 1 348~1 356 m, 区域地势总体平缓开阔, 略成西高东低, 北高南低, 相对高差 1~8 m。

研究区地处内陆, 属大陆性半干旱季风气候, 季节变化明显, 四季冷暖干湿分明, 大陆性特点显著。年平均降水量 320 mm, 主要集中在七、八、九三个月内, 占全年降水量的 61.3%; 春季冷热剧变, 多风沙, 平均风速 3.29 m/s。光照充裕, 年太阳总辐射热能为 137.37 kcal/cm^2 , 完全能满足农作物对光能的需要。

研究区大部分为盐碱土, 还存在少量沙盖垆土、沙蒿土、黄沙土、油沙土、轻盐碱土、重盐碱土和砒砂岩, 分别占土地总面积的 12.38%、16.58%、22.39%、15.42%、19.37%、13.05% 和 0.81%。耕作层土壤化学特征为: pH 值为 8.91, 全盐量为 4.61 g/kg, 有机质为 2.48 g/kg。



图 1 研究位置示意图
Fig. 1 Location of the study area

萨拉乌苏地下水是营盘梁水源地最主要的地下水类型, 分布于定边县最东侧沙漠滩地区, 地层面积 677.15 km²。含水层厚度一般在 40~80 m, 水源地内萨拉乌苏组含水介质主要由细砂、中砂及砂质黏土构成。研究区设立一个监测点 S183(图 2), 其实际深度为 76 m, 涌水量和渗透系数分别为 770.31 m³/d 和 0.39 m/d, 属中等富水区; 地下水水质类型为 HCO₃⁻·Na·Mg 型水, 矿化度小于 771 mg/l, pH 值为 8.04, 总硬度为 320 mg/L, 属于适宜灌溉的水资源, 满足农作物灌溉要求。

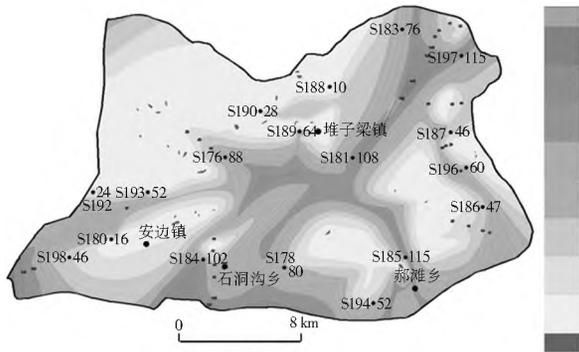


图 2 营盘梁水源地第四系等厚度分区
Fig. 2 The thickness partition quaternary system of the water resource at Yingpanliang village

注: S183 为营盘梁村测点, 深 76 m。

3 限制因素分析

3.1 自然因素

区内土壤下垫面缺乏覆盖, 松散的沙粒在风力作用下极易发生吹扬、跃移、堆积, 从而形成侵蚀过

程, 使得土地肥力下降, 导致减产减收和水土流失。

区域气候干旱且地下水位高, 地下水蒸发使得土壤含盐量逐渐增加, 形成盐碱土, 造成土壤板结与土壤肥力下降, 不利于农作物吸收养分, 阻碍作物生长。

霜冻、冰雹、暴雨等自然灾害多发, 也是影响该区域土地利用的重要限制因素。

3.2 社会经济因素

区内目前的土地经营仍然以家庭联产承包责任制为主要形式, 受生产条件、经济条件、知识水平、经营观念等方面的影响, 现代化农业生产设施及设备没有得到推广应用, 尚未开展大规模的精耕细作和集约化生产经营。

由于缺乏足够的资金, 土地利用率低, 适宜耕种的未利用荒地占总土地面积的 99% 以上, 生产潜力没有得到有效发挥。

4 工程设计与实施

4.1 农田设计

(1) 土地平整。研究区开发前土地类型为高低起伏的盐碱地, 且均为未利用地。研究区高程相对差在 20 m 之内, 即在开发前期首先进行土地平整工程, 然后结合该区规划后的田、水、路、林总体布局, 采用沙荒地内整体取平, 坡比按照千分之五, 依据土地整理设计田块规划的要求, 田块主要以规则的长方形为主, 共计划分为 42 块(图 3), 共移动土方 31.37 × 10⁴ m³, 该区田块布置均为南北偏东向, 与该地区的西北季风主风向垂直线夹角为 32°, 符合规范要求的小于 30°~40°。

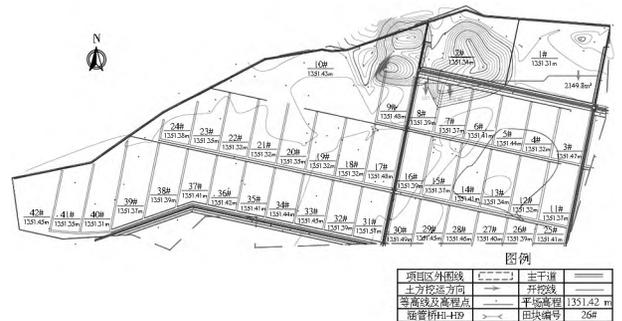


图 3 田块及平场高程示意图
Fig. 3 The field and flat field elevation sketch map

(2) 覆沙压盐。有研究表明, 黄土改良法是目前盐碱地开发利用的首选及最佳方法之一, 但是该研究区周边缺少黄土资源, 若远距离运输则会增加工程成本。研究区北边存在大量沙子, 从资源利用的角度出发, 即用沙子代替黄土(图 4)。盐碱地项目政治的核心技术即为覆沙工程, 主要是通过拌

沙来改变土壤耕作层结构,从而减少高矿化度地下水的强烈蒸发作用,减少地下水带盐上移的路径,达到压盐降盐的目的。耕作层以 30 cm 厚度为佳,以盐碱土与沙比例 2:1 混合均匀后,构成 28~30 cm 的土壤耕作层,整体构建过程顺序依次为:原盐碱地平整,划分施工单元,覆沙,翻耕混合均匀。工程中依据盐碱地与沙混合比例和单辆车的运输量计算单车覆盖面积,以单车覆盖面积划分工程单元田格,力求沙子覆盖均匀。完成后,利用随见抽样法对研究区进行检查,确保沙子覆盖厚度满足初步设计,然后使用大型旋耕机械将盐碱地与沙子混合均匀。



图 4 田块覆沙点及区域划分示意图

Fig. 4 Sieved sand point of field and zoning sketch map

4.2 排碱工程设计

盐碱地治理核心问题是水的问题,若想改变研究区盐分分布特征,必须通过改变该区的水土分布而实现。在盐碱地治理中首先要发挥水土生态自适应调节的动态平衡,减少人为干预;其次以通过修建完善的排水工程,来实现降低水位,解决排水不畅等盐碱地整治中的工程难题(图 5)。在区域内开挖排碱沟,每隔 120 m 开挖一条农沟,在区域地势较低处,垂直农沟开挖支沟,是研究区形成网状体系,从而有效控制、降低地下水位和减少毛细孔隙水分的蒸发,运用这种工程措施,可有效减少工程投资并且施工操作简单方便;并在区域内设计蓄水沟网,蓄水池和淹没区^[21]。正常年份区域水蓄在蓄水沟网系统里,当土壤含水量较大时,蓄水池便发挥到蓄水作用;当遇到较大降水或大的外界排水时,牺牲部分土地区域作为淹没区如图 5 所示,有效减低水分,防止蒸发造成土地返碱^[22-23],这样,地下水位被控制在作物根系生长的适宜范围内,既符合农作物生长的要求又可防止土壤的盐碱化;在研究区外围开挖截水沟;最重要的是蓄水系统能满足蓄水要求,区域对外不排水,使工程量达到最优的同时,防止次生盐碱的发生,既可获得很好的盐碱地治理效果,又最大程度地节省土地资源和水资源。

4.3 农田水利

盐碱土与沙新形成的农田耕作层虽然有效的降

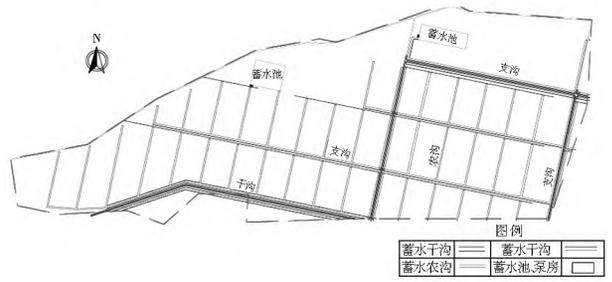


图 5 排碱工程示意图

Fig. 5 Salt reduction project sketch map

低了盐分,提高了土壤质量,但是相对较薄,且在研究区内无明显的地表水流,且水分蒸发损耗大,植物及作物对水分的相对利用率较低。通过对该区水资源、土壤理化性质及立地水文地质条件综合考虑及分析,计算地下水补给和耗散平衡,得出研究区潜水位变幅与潜水位动态基本一致,确定了地下水资源评价参数的选取科学性,同时确定地下水为灌溉水源。通过计算区域地下水资源平衡,采用可开采系数法,对可开采地下水量进行核算,然后对机井的位置机井的参数进行科学合理的规划和筛选,确定平均 10 hm² 地开凿一口机井,井深为 60 m 的浅层地下水即可满足需要(图 6),为了使水分利用效率最大化,选择低压输水灌溉与 U 型渠道灌溉相结合,可根据作物生长需要,对灌溉时间和灌溉量进行人为调节和控制,最终旨在形成一个既满足复配土壤水分需求,又可构成地下水资源保护和可持续利用的供水系统。



图 6 农田水利工程示意图

Fig. 6 Irrigation and water conservancy project diagram

4.4 道路工程与防护林设计

在遵循方便居民出行和耕作、有利于提高农业机械化水平、等原则的基础上,新建主干道、田间道和生产路,形成研究区与区外道路相连、区内居民点和田间劳作相通的交通网,便于田间作业和农资的运输。田间道路以便于大型机械作业为目标,田间道路规划宽度为 5.5 m。路基施工与方田施工情况需协调进行,方田平整时遇田间道路基填方段时,应将路基土分层压实,当路基为挖方段时路基压实厚度 0.3 m(图 7),路基压实度 > 93%。生产路路基

可不分层压实, 田面平整后碾压一次即可, 碾压后的路基表面须与田面保持平齐。

防护林工程是土地治理中必不可少且行之有效的的手段之一, 是改善当地脆弱生境的有利途径。植物种类选择以当地物种为主, 主要为选用旱柳和沙柳, 保证取材快捷成本低, 且成活率较高。林带与道路走向一致, 布置于道路两侧栽植, 行距 1 m, 株距 2 m, 梅花桩式布置, 更有效地控制水土流失, 起到防风固沙的作用。以经纬仪放线后白灰划线作为树行距的标志, 待确定树的准确位置后, 按树种种植要求进行挖穴栽树。栽种完, 苗木由专人管理, 确保其成活率。



图 7 道路和防护林剖面图

Fig. 7 Roads and shelter forest section

5 工程推广应用价值

研究区建设总规模 127.45 hm², 新增耕地 111.13 hm², 社会效益、经济效益和生态效益均显著, 主要推广应用价值体现在以下三方面。

(1) 开发利用荒芜盐碱地, 通过科学技术手段改善土壤理化性状, 有效控制和阻碍土壤盐碱化, 增加土地利用率, 有利于建成优质高产基本农田(图 8), 对区域土地安全和生产性能做出了积极贡献, 为推进现代高效农业的持续、快速发展提供了新技术、拓展了新空间和搭建了新平台。



图 8 研究区未利用土地地貌和开发后对比图

Fig. 8 Comparison of unused land and developed land

(2) 使研究区内路相通、渠相连, 实现道路硬化, 排灌沟渠完善, 农田灌溉面积明显增加, 农民可充分利用完善的农业生产设施, 发展多种经营, 保证农业生产的稳定发展, 为研究区及周边地区以后的发展, 提供可借鉴的经验。

(3) 极大改善区域生态环境。防护林带, 可有效涵养水源, 降低风速, 抵御干热风对农作物的侵袭; 树木从土壤深层中吸取营养成分, 再以枯枝落叶等形式归还土壤, 提高土壤肥力; 蓄水、灌溉网系的建

设, 起到蓄水保土、压盐排碱和减少养分流失的重要作用。

林木成行、水面纵横, 展现了一个“田成方, 路成框, 林成行, 水成网”的现代化生态高效农业园区。

6 结语

对于盐碱地综合治理模式的研究, 选取地理位置、气候、水文等条件具有代表性的陕西定边县作为工程示范项目点, 于 2012 年对该县堆子梁镇盐碱地实施了土地综合整治开发。该项目将开挖蓄水沟、修建排碱沟和覆沙三种技术相结合, 达到循环加速压盐、洗盐降碱、控制地下水位、增加土壤耕作层的通气孔隙, 使昔日盐碱滩变成了现代化标准农田, 改善盐碱地效果显著, 可向其他条件类似的地区推广。

参考文献(References):

- [1] 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): 8-10. (ZHANG Jianfeng, ZHANG Xudong, ZHOU Jinxing, et al. World resources of saline soil and main amelioration measures[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, (12): 8-10. (in Chinese))
- [2] 牛东玲, 王启基. 盐碱地治理研究进展[J]. 土壤通报, 2002(6): 50-56. (NIU Dongling, WANG Qiji. Research progress on saline alkali field control[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2002(6): 50-56. (in Chinese))
- [3] 俞仁培, 陈德明. 我国盐渍土资源及其开发利用[J]. 土壤通报, 1999, 30(4): 158-159, 177. (YU Renpei, CHEN Deming. The saline soil resources and utilization in China[J]. Chinese Journal of Soil Science, 1999, 30(4): 158-159, 177. (in Chinese))
- [4] 李秀军. 松嫩平原西部土地盐碱化与农业可持续发展[J]. 地理科学, 2000, 20(1): 51-55. (LI Xiujun. The alkali saline land and agricultural sustainable development of the western Songnen Plain in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2000, 20(1): 51-55. (in Chinese))
- [5] 贾广和. 盐碱地综合整治与开发研究[J]. 西南林学院学报, 2008, 28(4): 112-114. (JIA Guanghe. Study on integrated transformation and development of saline and alkaline land resources[J]. Journal of Southwest Forestry College, 2008, 28(4): 112-114. (in Chinese))
- [6] 韩霁昌, 解建仓, 朱记伟, 等. 陕西卤泊滩盐碱地综合治理模式的研究[J]. 水利学报, 2009, 40(3): 372-377. (HAN Jichang, XIE Jiancang, ZHU Jiwei, et al. Comprehensive method for treatment of saline lands[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(3): 372-377. (in Chinese))
- [7] 韩霁昌, 解建仓, 成生权, 等. 以蓄为主盐碱地综合治理工程设计的合理性研究[J]. 水利学报, 2009, 40(12): 1512-1516. (HAN Jichang, XIE Jiancang, CHEN Shengquan, et al. Rationality analysis of engineering design for saline land based on

- water storage[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(12): 1512-1516. (in Chinese)
- [8] 解建仓, 韩霖昌, 王涛, 等. 蓄水和蒸发条件下土壤过渡层中水盐运移规律研究[J]. 水利学报, 2009(40): 245-247. (XIE Jiancang, HAN Jinchang, WANG Tao, et al. Experiment and numerical simulation on salt movement in the transition layer of soil under ponding and evaporating conditions[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(2) 239-244. (in Chinese))
- [9] 冯琛, 解建仓, 孙博, 等. 蓄水条件下水体土壤循环压盐机理试验研究[J]. 水土保持学报, 2011, 25(1) 184-187. (FENG Chen, XIE Jiancang, SUN Bo, et al. Study of salt mechanism by cyclic changing water level in the storage condition [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(1) 184-187. (in Chinese))
- [10] 郭元裕. 农田水利学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1995. (GUO Yuan yu. Irrigation and drainage engineering[M]. Beijing: China Water Power Press, 1995. (in Chinese))
- [11] 雷志栋, 苏立宁, 杨诗秀, 等. 青铜峡灌区水土资源平衡分析的探讨[J]. 水利学报, 2002(6): 11-14. (LEI Zhidong, SU Lining, YANG Shixiu, et al. Balance analysis of water resources in Qingtongxia Irrigation Area[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2002(6): 11-14. (in Chinese))
- [12] 李凤霞, 郭永忠, 王学琴, 等. 不同改良措施对宁夏盐碱地土壤微生物及苜蓿生物量的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(30) 49-55. (LI Fengxia, GUO Yongzhong, WANG Xueqin, et al. Effect of different soil improvement measures on microbial diversity and alfalfa biomass in saline alkali soil in Ningxia [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(30) 49-55. (in Chinese))
- [13] 韩霖昌, 解建仓, 王涛, 等. 陕西卤泊滩盐碱地“改排为蓄”后盐碱指标试验观测[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6) 59-67. (HAN Jinchang, XIE Jiancang, WANG Tao, et al. Experimental observation of saline alkali of soil in saline land after changing drainage to impoundment in Lubotan of Shaanxi Province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(6) 59-67. (in Chinese))
- [14] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993. (WANG Zunqin, ZHU Shouquan, YU Renpei, et al. Salty soil in China[M]. Beijing: Science Press, 1993. (in Chinese))
- [15] 李彬, 王志春, 孙志高, 等. 中国盐碱地资源与可持续利用研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 154-158. (LI Bing, WANG Zhichun, SUN Zhigao, et al. Resources and sustainable resource[J]. Exploitation Salinized Land in China. 2005, 23(2): 154-158. (in Chinese))
- [16] 周和平, 张立新, 禹锋, 等. 我国盐碱地改良技术综述及展望[J]. 现代农业科技, 2007(11): 159-164. (ZHOU Heiping, ZHANG Lixin, YU Feng, et al. Research progress of the improvement on saline alkali technology in China[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2007(11): 159-164. (in Chinese))
- [17] 王水献, 杨鹏年, 董新光, 等. 内陆河流域绿洲灌区盐碱地改良分区及治理模式探究—以新疆焉耆县平原灌区为例[J]. 节水灌溉, 2008, (3): 5-8. (WANG Shuixian, YANG Pengnian, DONG Xiguang, et al. Study on control mode and amelioration regionalization for Salt-affect land in oasis irrigation district of inland river basin[J]. Water Saving Irrigation, 2008, (3): 5-8. (in Chinese))
- [18] Zhang Jianfeng, Xing Shangjun, Zhang Xudong. Principles and practice of forestation in saline soil in China[J]. Chinese Forestry Science And Technology, 2004, 3(2): 62-70(in English).
- [19] Western Sydney Regional Organisation of Councils. Western Sydney Regional State of the Environment Report 2000. Sydney. 2000.
- [20] 刘建红. 盐碱地开发治理研究[J]. 山西农业科学, 2008(12): 51-53. (LIU Jianhong. Research progress of development and control of saline land[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2008(12): 51-53. (in Chinese))
- [21] 王伟, 解建仓, 黄俊铭, 等. 盐碱地治理新模式研究[J]. 水资源与水工程学报, 2009, 20(5) 118-122. (WANG Wei, XIE Jiancang, HUANG Junming, et al. Study on the new improvement mode for saline land[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2009, 20(5) 118-122. (in Chinese))
- [22] Guitjens J C. Drainage design for water quality management: overview[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1997, 123(3): 148-153.
- [23] 张建锋. 盐碱地的生态修复研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(4): 74-78. (ZHANG Jianfeng. Discussion on ecological rehabilitation of salt affected soils[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15(4): 74-78. (in Chinese))

(上接第 187 页)

- [17] 郑向伟, 刘弘. 多目标进化算法研究进展[J]. 计算机科学, 2007, 34(7): 187-192. (ZHENG Xiangwei, LIU Hong. Progress of research on multi objective evolutionary algorithms [J]. Computer Science, 2007, 34(7): 187-192. (in Chinese))
- [18] 李彦伟, 尤学一, 季民, 等. 基于 SWMM 模型的雨水管网优化[J]. 中国给水排水, 2010, 26(23): 40-43. (LI Yanwei, YOU Xueyi, JI Min, et al. Optimization of rainwater drainage system based on SWMM[J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(23): 40-43. (in Chinese))
- [19] 张超群, 郑建国, 钱洁. 遗传算法编码方案比较[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(3): 819-822. (ZHANG Chaqun, ZHENG Jianguo, QIAN Jie. Comparison of coding schemes for genetic algorithms[J]. Application Research of Computers, 2011, 28(3): 819-822. (in Chinese))
- [20] 中华人民共和国国家标准. GB50014-2006 室外排水设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2006. (GB50014-2006 Code for design of outdoor wastewater engineering[S]. Beijing: China Planning Press, 2006. (in Chinese))