

农业重大科学研究成果专著

SALINE-ALKALI SOILS AMELIORATION AND  
UTILIZATION IN NORTHWEST YELLOW RIVER  
IRRIGATION DISTRICTS

逢焕成 李玉义 等 著

# 西北沿黄灌区盐碱地 改良与利用



科学出版社

# 西北沿黄灌区盐碱地改良与利用

逢焕成 李玉义 等 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是公益性行业(农业)科研专项项目“盐碱地农业高效利用配套技术模式研究与示范”之课题二“黄河上中游次生盐碱地农业高效利用技术模式研究与示范”(200903001-2)的部分最新研究成果而成的一部专业性著作。该专著主要针对内蒙古、宁夏和甘肃等西北沿黄灌区盐碱障碍耕地和盐荒地改良与利用等问题,通过技术筛选和改进、新技术研发、技术集成和配套技术模式优化等途径,构建了西北沿黄灌区盐碱地改良与利用的技术体系。通过对西北沿黄灌区土壤盐渍化成因与存在问题的系统分析,提出了在水资源日益短缺形势下,适宜该地区推广应用的耐盐植物品种筛选、耕作控盐、秸秆深埋隔盐、地表覆盖蒸发控抑盐、肥盐调控、灌排控盐、盐碱地土壤调理剂、作物抗盐增产栽培等技术与优化集成技术模式。本书的出版有助于西北沿黄灌区盐碱地改良与利用,将农艺控抑盐技术推向新的高度,为我国西北干旱地区盐碱地后备耕地资源的开发和利用提供有益的借鉴。

本书可供土壤学、农学、生态学、肥料学等相关领域的研究人员使用,也可供农业技术推广人员、农业开发决策部门人员阅读与参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

西北沿黄灌区盐碱地改良与利用/逢焕成等著. —北京:科学出版社, 2014.3

ISBN 978-7-03-039400-2

I. ①西… II. ①逢… III. ①黄河-灌区-盐碱土改良-西北地区  
IV. ①S156-4

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第306534号

责任编辑:李秀伟/责任校对:包志虹  
责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

**科学出版社出版**

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

**北京信信达欣艺术印刷有限公司印刷**

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2014年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年3月第一次印刷 印张:19 1/4 插页:1

字数:440 000

**定价:108.00元**

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 《西北沿黄灌区盐碱地改良与利用》

## 著者名单

(按姓氏笔画排列)

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 王 婧 | 王成宝 | 尹志荣 | 车宗贤 |
| 史海滨 | 李玉义 | 李瑞平 | 杨思存 |
| 杨树青 | 张永宏 | 张建丽 | 陈晓丽 |
| 赵永敢 | 胡龙兴 | 姜万礼 | 逢焕成 |
| 桂林国 | 郭玉海 | 傅金民 | 霍 琳 |

## 序

土壤盐渍化是一个世界性问题，也是中国生态环境和农业生产稳定持续发展尚须解决的重大问题。历来，我国的广大农民在与盐碱地恶劣环境求生存的斗争中积累了极为丰富的经验。新中国成立后，国家十分重视盐碱地改良，投巨资疏通河道、挖排干、修灌渠，在防涝抗旱的同时，开展了治理盐碱地的工作。通过“六五”、“七五”、“八五”近二十年的研究与实践，形成若干以水利工程为基础，与农业措施相结合的模式。我国黄淮海平原数千万亩盐碱地的生态环境和农业生产发生了举世瞩目的变化，相关成果也获得了国家科学技术进步奖特等奖。但是后续研究表明，黄淮海平原的区域水分平衡虽得到改善，但区域盐分平衡仍处于积盐状态。河灌区在土体 0.5~1.0m 处有盐分聚积，井灌区盐分聚积在 2.0~2.5m 土层中。普遍存在表土脱盐，而底层土积盐，形成了土壤潜在盐渍化的势态！

近期水盐均衡研究结果表明，半封闭、出流滞缓的冲积平原，如银川平原和河套平原，以及内陆封闭盆地，如准噶尔盆地、塔里木盆地、河西走廊，以及有关小流域区域水盐均衡研究，得到同样的结论，即区域盐分呈累积趋势，盐渍土有所增加！

研究与实践的事实告诉我们，水利工程措施在防涝抗旱方面能发挥巨大作用；但要靠水利工程排除区域或土体中盐分，达到完全改良盐碱地，是不可能的！土壤盐渍化过去、现在、将来都是我国农业生产不可回避的生态问题！大水洗盐已成为过去，节水和农艺改良是方向！

中国农业科学院农业资源与农业区划研究所逢焕成研究员等著的《西北沿黄灌区盐碱地改良与利用》一书，是以多年科学试验成果为基础而写成的一部专业性著作。该书针对目前农业水资源日益紧缺的现状，以治中有益、用中有益，注重“水、肥、盐、耕”综合调控，强调高层次农水结合；在评价体系方面，要求在不减少区域和土体盐分贮量的前提下，通过对土壤盐分进行时间、空间、形态调控，在农作物主要根系活动层建立一个良好的水、盐、肥生态环境，做到有益无害，达到农作物持续高产稳产。

该书重点总结了作物品种耐盐潜力挖掘技术、水盐调控技术、微咸水利用技术、肥盐调控技术、秸秆隔层控抑盐技术、土壤耕作控盐技术和抗盐碱产品应用技术等技术研究成果；研究提出了盐碱地“上膜下秸”控抑盐增产配套技

术模式、盐碱地田间节水灌溉控盐技术模式、盐碱地枸杞沟灌覆膜控抑盐配套技术模式、新垦盐碱荒地快速脱盐与培肥配套技术模式、重度盐荒地盐生农业利用模式等。理论与实践相结合，试验与示范推广相结合，具有较高的科学水平和很大的实用价值。该书走中国特色改良利用盐渍土的路子，在学科理论上承先启后，在实践上充分发挥我国传统的改良盐碱地技术，特别是“上膜下秸”控抑盐技术与模式，把秸秆深埋作为隔层，将“隔盐”与“抑盐”技术有效融合，首次进行了大面积应用，并从理论进行了较深入的研究，有其独创性。

该书为我们展示了盐碱地改良中的一些新思路、新方法，扩展了一些新的研究领域，值得教学、科研、行政部门同行一读。



2013年8月8日

## 前 言

西北沿黄灌区位于内蒙古、宁夏、甘肃境内，降水稀少，属于干旱区，没有灌溉就没有农业。因毗邻黄河，有引黄河水灌溉之便，历史上形成了西北地区的重要农作区，目前也是我国重要的生态屏障和优质农产品生产基地。该区域耕地因黄河水灌溉而生，也因黄河水灌溉而导致土壤次生盐渍化。以水洗盐是该区域传统的盐碱地改良与利用的主要手段，也发挥了重要作用。但随着黄河用水日益紧张，西北沿黄灌区的引黄量大幅压缩，传统高用水的以水洗盐方法难以持续。如何在水资源日益紧缺形势下，实现盐碱地改良与利用是迫切需要回答的科学问题与生产问题。

早在 2004 年，针对我国农业水资源紧缺，粮食主产区与内陆干旱区盐碱化、次生盐碱化严重，威胁到我国粮食安全、耕地质量数量安全与生态安全的现实情况，笔者与老一辈盐碱地改良专家一起致书原国务院总理温家宝，提出“关于生物治理盐碱地的建议”，得到了中央领导的高度重视与批示。在 2005 年一号文件中，党中央指示要“加大粮食主产区中低产田盐碱和渍害治理力度”，显示了国家对盐碱地危害的高度关注与治理决心。之后，农业部科教司组织中国农业科学院、中国科学院有关专家对新时期盐碱地治理与利用的策略进行了研讨，并于 2009 年正式启动了公益性行业（农业）科研专项经费项目“盐碱地农业高效利用配套技术模式研究与示范”，在我国有关盐碱区域进行攻关研究与示范。本书是该项目中课题二“黄河上中游次生盐碱地农业高效利用技术模式研究与示范”的部分研究成果。

从土壤水盐运动规律来看，西北沿黄灌区由于蒸降比高，除了灌溉时段外，年内各季节土壤水盐运动以上行占绝对优势，盐分表聚严重，作物生育期内易受盐胁迫，导致出苗率、保苗率、成苗率低下，最终作物产量低而不稳。针对西北沿黄灌区土壤水盐运动规律和引黄量压缩的实际情况，课题组以内蒙古、宁夏和甘肃沿黄灌区为重点区域，在节水灌溉基础上，运用土壤、耕作、农艺、生物利用与改良等技术措施，对不同类型盐碱地土壤进行水盐动态调控技术效果与机理联合攻关，形成了既有本区域特色，又有区域共性的耕作控盐、秸秆深埋隔盐、地表覆盖蒸发控制抑盐、肥盐调控、耐盐植物品种筛选、灌排控盐、盐碱地土壤调理制剂、作物抗盐增产栽培等技术和优化集成技术模式，并在内蒙古、宁夏和甘肃沿黄灌区大面积示范应用，显示出较好的应用效果，这些创新性成果也为同类区域盐碱地改良与利用提供借鉴。

全书共分 14 章，各章主要撰写人员如下：

- |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 第一章 | 逢焕成 | 李玉义 |     |     |     |     |
| 第二章 | 逢焕成 | 李玉义 |     |     |     |     |
| 第三章 | 李玉义 | 杨思存 | 车宗贤 | 张永宏 | 史海滨 | 杨树青 |
| 第四章 | 李玉义 | 逢焕成 | 杨思存 | 王成宝 | 张永宏 | 杨树青 |
| 第五章 | 李玉义 | 逢焕成 | 杨思存 | 张永宏 | 杨树青 |     |

|      |     |     |     |     |     |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 第六章  | 王 婧 | 逢焕成 | 李玉义 | 赵永敢 | 张建丽 |
| 第七章  | 史海滨 | 杨树青 |     |     |     |
| 第八章  | 张永宏 | 尹志荣 | 桂林国 |     |     |
| 第九章  | 杨思存 | 王成宝 | 姜万礼 |     |     |
| 第十章  | 王 婧 | 逢焕成 | 李玉义 | 赵永敢 |     |
| 第十一章 | 杨树青 | 李瑞平 |     |     |     |
| 第十二章 | 张永宏 | 尹志荣 | 桂林国 |     |     |
| 第十三章 | 杨思存 | 霍 琳 |     |     |     |
| 第十四章 | 胡龙兴 | 傅金民 | 陈晓丽 | 郭玉海 |     |
| 后 记  | 逢焕成 | 李玉义 |     |     |     |

全书由逢焕成、李玉义、王婧统稿，最后由逢焕成审核定稿。

在此特别感谢课题顾问魏由庆研究员和严惠峻副研究员，两位老前辈为课题组提供了至关重要的无私帮助。尤其特别感谢任天志研究员，在课题实施过程中，任天志研究员不仅在研究实施方案制定上多次给予帮助，而且多次亲临西北沿黄灌区各试验基地进行指导，为本书内容的顺利完成奠定了基础。感谢公益性行业（农业）科研专项项目“盐碱地农业高效利用配套技术模式研究与示范”首席杨劲松研究员和项目组其他课题的专家在课题执行过程中给予的真诚帮助。本书的出版还要感谢公益性行业（农业）科研专项经费项目（200903001）、国家自然科学基金项目（31000692）的支持。

由于著者水平有限，加上时间仓促，不妥之处，敬请批评指正！

逢焕成

2013年9月10日



# 目 录

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第 1 章 研究背景                   | 1   |
| 1.1 研究背景与意义                  | 1   |
| 1.2 国内外研究进展                  | 3   |
| 参考文献                         | 11  |
| 第 2 章 研究内容与方法                | 14  |
| 2.1 研究目标与研究内容                | 14  |
| 2.2 技术路线                     | 15  |
| 2.3 试验方案与测定指标                | 16  |
| 参考文献                         | 33  |
| 第 3 章 西北沿黄灌区资源环境特点           | 34  |
| 3.1 内蒙古河套灌区资源环境特点            | 34  |
| 3.2 宁夏引黄灌区资源环境特点             | 38  |
| 3.3 甘肃沿黄灌区资源环境特点             | 43  |
| 参考文献                         | 49  |
| 第 4 章 西北沿黄灌区盐碱地分布与成因         | 51  |
| 4.1 内蒙古河套灌区盐碱地分布与成因          | 51  |
| 4.2 宁夏引黄灌区盐碱地分布与成因           | 55  |
| 4.3 甘肃沿黄灌区盐碱地分布与成因           | 62  |
| 参考文献                         | 68  |
| 第 5 章 西北沿黄灌区盐碱地改良利用现状与问题     | 70  |
| 5.1 内蒙古河套灌区盐碱地改良利用现状与问题      | 70  |
| 5.2 宁夏引黄灌区盐碱地改良利用现状与问题       | 73  |
| 5.3 甘肃沿黄灌区盐碱地改良利用现状与问题       | 75  |
| 参考文献                         | 80  |
| 第 6 章 内蒙古河套灌区中下游盐碱地改良与利用技术研究 | 82  |
| 6.1 耐盐作物品种适应性与潜力挖掘技术研究       | 82  |
| 6.2 水盐调控技术研究                 | 90  |
| 6.3 秸秆隔层控抑盐技术研究              | 96  |
| 6.4 氮素运筹增产技术研究               | 109 |
| 6.5 抗盐碱产品应用技术研究              | 114 |
| 6.6 主要结论                     | 124 |

|   |     |
|---|-----|
| 参考文献                                      | 125 |
| <b>第7章 内蒙古河套灌区上游盐碱地改良与利用技术研究</b>          | 128 |
| 7.1 耐盐作物与品种筛选技术研究                         | 128 |
| 7.2 水肥盐调控技术研究                             | 132 |
| 7.3 土壤耕作控盐技术研究                            | 142 |
| 7.4 土壤调理剂应用技术研究                           | 146 |
| 7.5 主要结论                                  | 153 |
| 参考文献                                      | 153 |
| <b>第8章 宁夏引黄灌区盐碱地改良与利用技术研究</b>             | 154 |
| 8.1 耐盐水稻品种筛选及增氧剂保苗技术研究                    | 154 |
| 8.2 枸杞不同节灌方式控盐技术研究                        | 159 |
| 8.3 枸杞微咸水利用技术研究                           | 164 |
| 8.4 枸杞不同地表覆盖材料控抑盐技术研究                     | 169 |
| 8.5 枸杞磷肥与有机肥配施控盐促生技术研究                    | 173 |
| 8.6 水稻抗盐碱产品应用技术研究                         | 178 |
| 8.7 主要结论                                  | 184 |
| 参考文献                                      | 185 |
| <b>第9章 甘肃沿黄灌区新垦盐碱荒地快速改良与利用技术研究</b>        | 187 |
| 9.1 耐盐作物与品种筛选技术研究                         | 187 |
| 9.2 垄膜沟灌控抑盐技术研究                           | 193 |
| 9.3 不同地表覆盖材料控抑盐技术研究                       | 200 |
| 9.4 土壤耕作控抑盐技术研究                           | 207 |
| 9.5 有机无机肥配施土壤培肥控抑盐增产技术研究                  | 209 |
| 9.6 抗盐碱产品应用与新产品研发                         | 222 |
| 9.7 主要结论                                  | 226 |
| 参考文献                                      | 227 |
| <b>第10章 内蒙古河套灌区盐碱地“上膜下秸”控抑盐增产配套技术模式研究</b> | 229 |
| 10.1 模式简介与实施步骤                            | 229 |
| 10.2 模式效果                                 | 231 |
| 10.3 模式效益                                 | 240 |
| 10.4 模式适用范围与推广前景                          | 241 |
| 参考文献                                      | 241 |
| <b>第11章 内蒙古河套灌区盐碱地田间节水灌溉控盐技术模式研究</b>      | 242 |
| 11.1 模式核心技术                               | 242 |
| 11.2 模式配套技术                               | 249 |
| 11.3 模式的应用效果                              | 251 |
| 参考文献                                      | 252 |

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>第 12 章 宁夏引黄灌区盐碱地枸杞沟灌覆膜控抑盐增产配套技术模式研究</b> ..... | 253 |
| 12.1 模式简介与实施步骤 .....                             | 253 |
| 12.2 模式效果 .....                                  | 253 |
| 12.3 模式效益与推广前景 .....                             | 257 |
| 参考文献 .....                                       | 258 |
| <b>第 13 章 甘肃沿黄灌区新垦盐碱荒地快速脱盐与培肥配套技术模式研究</b> .....  | 259 |
| 13.1 模式简介与实施步骤 .....                             | 259 |
| 13.2 模式效果 .....                                  | 260 |
| 13.3 模式效益 .....                                  | 265 |
| 13.4 模式适用范围与推广前景 .....                           | 266 |
| 参考文献 .....                                       | 266 |
| <b>第 14 章 重度盐荒地盐生农业利用模式研究</b> .....              | 267 |
| 14.1 多年生黑麦草耐盐种质筛选及配套栽培技术研究 .....                 | 267 |
| 14.2 重度盐荒地苦豆子配套栽培技术研究 .....                      | 280 |
| 参考文献 .....                                       | 290 |
| <b>后记</b> .....                                  | 292 |
| <b>彩图</b>  |     |

# 第1章 研究背景

盐渍土广泛分布于世界 100 多个国家和地区，面积达 10 亿  $\text{hm}^2$ （王遵亲，1993）。在中国，盐渍土面积近 1 亿  $\text{hm}^2$ ，仅西北 6 省区（陕、甘、宁、青、新、蒙）盐渍土面积就占全国盐渍土总面积的 69.03%（石玉林，1991；全国土壤普查办公室，1998）。土壤盐渍化问题始终是关系到西北沿黄灌区农业可持续发展和环境质量改善的战略问题。本专著以内蒙古、宁夏和甘肃沿黄灌区为重点研究区域，在前人研究工作基础上，通过技术筛选和改进、新技术研发、技术集成和配套技术模式优化构建等途径，开展盐碱地改良利用技术与模式研究，从而为实现该地区盐碱地农业高效利用，保障我国 18 亿亩耕地红线和粮食安全提供技术支撑。

## 1.1 研究背景与意义

### 1.1.1 研究背景

西北沿黄灌区是我国重要的生态屏障和优质农产品生产基地，当地干旱少雨，蒸发强烈，土壤母质含盐，地下水位较高，存在着严重的次生盐渍化潜在威胁，加上长期以来不合理的农业管理措施，各个灌区的土壤次生盐渍化问题都极为突出。目前宁夏引黄灌区盐渍化耕地 14.79 万  $\text{hm}^2$ ，轻度盐渍化耕地（全盐 0.2%~0.4%，下同）占 63.5%，中度盐渍化耕地（全盐 0.4%~0.6%，下同）占 23.1%，重度盐渍化耕地（全盐 0.6%~1.0%，下同）占 13.4%；另有盐碱荒地（全盐 >1.0%，下同）5.6 万  $\text{hm}^2$ ，主要分布在低洼地、河滩地及湖泊边缘等处；甘肃沿黄灌区有盐渍化耕地约 10 万  $\text{hm}^2$ ，占耕地面积的 40%左右，其中轻度盐渍化耕地占 63%，中度盐渍化耕地占 27%，重度盐渍化耕地和盐碱撂荒地约占 10%，此外，还约有 5.3 万  $\text{hm}^2$  新开垦的原生盐碱荒地需要改良利用；内蒙古河套灌区目前盐渍化耕地面积约为 39.4 万  $\text{hm}^2$ ，占耕地总面积的 68.65%，且主要以中重度盐渍化为主。西北沿黄灌区的生存与发展完全依靠黄河水，尤其是以水洗盐在盐碱地改良和利用中具有重要的作用，但随着黄河用水紧张，西北沿黄灌区的引黄量将被大幅压缩，由此造成洗盐排出水量会大幅度减少，盐分带出土壤将出现较大的困难，从而对已经盐渍化的土壤的改良利用十分不利。总体来看，西北沿黄灌区水资源紧缺和土壤盐渍化已成为制约当地农业持续发展的重要问题，因此，新形势下在该地区开展盐碱地改良利用技术与模式研究已势在必行。

近二十年来，我国在盐碱地改良与利用方面形成了一系列单项技术成果，在土壤、农艺、耕作、生物治理与改良等方面具备了一定技术储备，但目前尚缺乏针对西北沿黄灌区不同类型盐碱地改良利用的集成配套技术模式。近年来，有关西北沿黄灌区盐碱地改良的研究已有很多，主要集中在土壤盐渍化成因、土壤水盐动态与预测预报研究、土

壤盐渍化与农业生产和生态环境的关系以及盐渍土改良与治理等方面（王有国，2002；王学全等，2005；余美和芮孝芳，2006；史海滨等，2009）。纵观已有的研究成果，尽管其研究方法、手段与思路不断趋向完善，但该区域目前在盐碱地改良与利用方面仍存在极为突出的问题：①单项技术多，集成配套技术缺乏。在新形势下既面临耕作控盐、种稻洗盐等传统技术的发展，也包括耐盐植物、盐碱改良剂等引进、研发及配套栽培技术等问题，因此面对盐碱地高效利用这一复杂问题需要改变以往的单一技术研究，需从系统、综合的角度对盐碱地高效利用进行更加深入的探讨，建立适应该区域盐碱地特点的高效利用技术体系；②改良技术多，高效利用技术少。盐碱地综合治理的根本目的是实现生态效益、经济效益和社会效益的统一，但过去在盐碱地治理中过于强调改良，对于盐碱地资源的开发利用和因地制宜发展高效农业重视不够，因此，在新的形势下，借助盐碱地资源的开发利用，发展特色种植促进农业产业和农村经济发展已成为关键。总之，随着我国盐碱地利用技术水平的不断提高，迫切需要研究适用于西北沿黄灌区特点的盐碱地改良与利用技术，并建立相应的集成配套技术模式，全面提升盐碱地农业利用的整体技术能力，实现盐碱地资源高效持续利用。

### 1.1.2 研究意义

在新形势下系统开展西北沿黄灌区盐碱地改良利用技术与模式研究具有重要的现实意义，这不仅对该地区农产品产量的稳定提高，农业综合生产能力提升具有十分重要的实际意义，而且对保障我国 18 亿亩耕地红线、维护区域生态环境安全以及社会稳定等也具有较大的促进作用。

#### 1) 保障国家 18 亿亩耕地红线的迫切需要

根据我国实际，在推进城市化、工业化、现代化和生态环境建设的进程中，更多的优质耕地资源将被挤占，有限的耕地将面临越来越大的承载压力。盐碱地是我国重要的后备耕地资源，其对粮食安全的支撑作用无论是过去、现在、还是将来，均是不可忽视的。内蒙古、宁夏、甘肃等沿黄灌区目前分布有大面积不同程度的盐渍化耕地和盐碱荒地，是我国重要的后备耕地储备区，随着我国人口的不断增长，要满足对粮食等农产品的巨大需求，全面高效利用盐碱地是重要途径之一。因此，通过研究迅速储备一批盐碱地快速、高效利用的技术成果，并对相关配套技术体系进行研究与规划，大幅度提高盐碱地的农业生产效率及增加盐碱区的有效耕地面积，对保障国家 18 亿亩耕地红线和促进国家粮食等农产品持续、稳定供给具有十分重要的现实意义。

#### 2) 提升区域耕地质量和农业综合生产能力的迫切需要

内蒙古、宁夏、甘肃等沿黄灌区耕地资源丰富，但由于受盐碱化、干旱等多种因素的制约，耕地土壤肥力水平普遍偏低，新垦盐碱荒地在开发利用的同时，首先面临的也是熟化培肥问题。目前大部分地区除少量秸秆还田外，其他有机肥料基本不施，另外施

肥结构也极其不合理,导致耕地养分入不敷出,土壤理化性状恶化,土壤盐渍化不断加重,作物出苗保苗困难,耕地综合生产能力和抗灾能力下降。从一定程度上看,盐渍化耕地质量低下、生产力不高等现象,已成为这些区域农业可持续发展的制约因素。在这种前提下,如何保证盐渍化耕地质量稳定提高,使单位面积耕地所生产的农产品量稳定提高,以满足我国人口增长、人民生活水平提高对农产品需求不断增长的需要,已成为摆在我们面前的十分严峻而艰巨的重要任务。

### 3) 保障国家生态安全和环境安全的迫切需要

内蒙古、宁夏、甘肃等沿黄灌区生态环境十分脆弱,沙漠化、水土流失及盐渍化等三大生态环境问题已经成为制约区域可持续发展战略实现的重要问题,其中在灌区农业经济发展中,面临最突出的问题是土壤盐碱化。这些地区由于干旱少雨,土壤蒸发强烈,地下水位较高,存在着严重的土壤次生盐渍化的潜在威胁,另外,这些灌区灌溉技术落后,用水效率不高,使得引水量大多超过作物需水量数倍,既浪费了水资源又破坏土壤结构,使地下水位逐渐升高,从而导致土壤次生盐渍化的大面积发生。目前部分地区盐渍化问题已十分严重,并成为社会和经济协调发展的制约因素。从区域经济发展的实际来看,工业尚不发达,人民生活水平尚不富裕,要使这些地区人口、资源与环境协调发展,必须积极进行盐碱地的高效利用,创造一个良好的农业生态环境,恢复农业生态系统的良性循环,促进经济和社会的协调发展。

### 4) 加快促进移民安置和社会稳定的迫切需要

内蒙古、宁夏、甘肃等沿黄灌区经过 10 多年的西部大开发,经济得到了前所未有的发展,但长期受发展基础和发展条件的制约,整体经济实力不强,经济结构不合理,自我发展能力还很欠缺,经济发展速度和质量比起东部地区乃至全国平均水平仍旧滞后,差距甚至还在扩大;区域内相当一部分地区是贫困地区,脱贫任务繁重。干旱缺水和土壤盐渍化是造成该地区生态环境恶化与经济贫困的自然因素,由于土壤的盐渍化,导致土地无法耕种,土地撂荒严重。土壤盐渍化不仅严重影响了水利工程设施效果的发挥,而且制约了当地农业生产的发展,同时影响到众多移民赖以生存和发展的空间,造成了新的社会矛盾。高度重视这些地区土壤盐渍化的防治与改良利用,已经成为保证这些地区经济可持续发展和社会稳定的必然选择。因此,加强盐碱地开发利用新技术的研发既是该地区生态建设与经济发展的根本出路,又是实施扶贫开发和生态移民的战略措施。

## 1.2 国内外研究进展

人类对盐碱地的性状和特点很早就有所认识和记载,世界上文字记载盐碱地最早的国家是伊拉克,早在公元前 2400 年前就对盐碱地进行了分类与性状描述。在中国,相传公元前 2200 年大禹治水时,就有建立沟渠排灌网改良盐碱地的实践,并在随后的农书《禹贡》中对盐碱土(卤土)进行了分类与专门描述(张建锋等,2005)。

我国大规模的盐碱地改良利用工作，主要是从新中国成立后开始的。20世纪50年代我国盐渍土改良深受苏联影响，在大规模垦殖中，广泛应用了苏联水利土壤改良的原理、方法和经验，当时对推动我国盐渍土及其改良的研究发挥了重要作用。20世纪60年代初至70年代初我国盐渍化改良进入了“防治并重，农水结合，综合治理，因地制宜”的阶段。在水利改良中，加强了地下水临界深度及其控制、灌溉渠系的布置和防渗、明暗沟和竖井排水技术等方面的研究，同时围埝平种、沟畦台田、引洪温淤、冲沟播种、深耢浅盖、绿肥有机肥培肥改土、选种耐盐品种和生物排水等农林措施也受到人们的普遍重视。到70年代初，我国盐碱地治理取得了显著成效，各主要灌区盐渍土面积明显减少。从70年代中期开始我国进入综合治理阶段，强调盐碱地治理方法上不仅是各种农业水利措施的简单结合而是在现代科学理论和技术指导下，根据不同条件，建立相应的综合治理模式。同时，综合治理与治理区的综合发展相结合，取得经济、社会和生态的综合效益，从而揭开了我国盐渍土及其改良工作的新的一页。此阶段国家在黄淮海平原先后建立了若干试验区，这些试验区在生产、经济、科研等方面都取得了较好的成果，从而对我国北方各盐渍土地区治理也产生了多方面的影响。

国外对盐碱土的改良也是在不断发展变化之中，在20世纪初主要是对盐碱土的地理分布、形成过程、类型及其发生学特性等方面进行研究；30年代重点是以水利土壤改良为中心的灌溉、水质、防渗及盐碱土改良的基本原理方面的研究与应用；40年代开始加强了化学改良、农业措施、土壤理化性质和水盐运动规律研究；从60年代起，盐碱土的利用和改良的着眼点和规模由田块发展到大范围 and 流域性的整体治理，开展多学科的综合研究，注重耕作土壤的综合治理，进行大型灌区次生盐渍化的预测预报和治理、水盐运动和水盐平衡分析，从而提出土壤次生盐渍化发生与预测的自动控制及其理论依据，并采取各种物理化学措施以加强土壤脱盐效果，研究土壤耕作与土壤肥料的关系，广泛利用改良剂，应用高矿化水，选育耐盐品种以提高作物抗盐力。90年代随着对土壤性质空间变异问题的揭示，以及电磁感应地面电导仪（EM）的出现，在美国、加拿大、澳大利亚等发达国家，利用全球定位系统（GPS）、地理信息系统（GIS）、遥感技术（RS）和EM盐分勘查系统，形成了精确盐碱地改良的高新技术（戚隆溪等，1997；骆玉霞和陈焕伟，2001；牛博等，2004）。同时建立土壤盐分灾害监测、大规模土壤盐分勘查、新灌区灌排渠系位置的精确定位系统，及时、准确、方便、完整地获得当时当地的土壤盐分胁迫和作物数据，为准确快速的盐碱地改良决策咨询服务体系构建创造了条件。此外，在世界上土壤盐渍化突出的地区土壤盐渍化问题的研究始终在进行，如美国加利福尼亚的美国盐碱土改良实验室，建立了作物的耐盐数据库，提出了许多盐碱土调查、改良的理论、方法和技术。以色列、澳大利亚、印度和埃及等也建有盐碱土研究中心，长期从事灌溉农业中土壤盐渍化对作物产量的影响和改良技术研究（田长彦等，2000）。

下面着重对近年来国内外在耐盐植物的开发与耐盐机理、农艺措施、化学措施、工程措施及综合措施等盐渍化土壤改良利用理论与技术方面取得的进展进行综述。

### 1.2.1 耐盐植物的开发与耐盐机理

生物改良是最具生态效益和经济效益的措施, 切实可行 (王志春和梁正伟, 2003; 王春娜和宫伟光, 2004), 而耐盐植物的选择是盐碱地生物改良的前提, 引进和种植耐盐植物对盐碱地的改良利用极为重要。因此, 植物耐盐性、耐盐植物种质资源、土壤盐分与植物生长之间的关系等研究备受国内外学者关注。另外, 通过了解耐盐植物的生理基础和其躲盐、避盐的途径, 认识盐分胁迫的信号传递机制, 弄清耐盐基因的功能与作用, 也是盐碱地生物改良的重要研究内容。

IRRI 研究人员在热带有水利工程的轻盐渍化土壤上, 利用耐盐品种而不加土壤改良措施获得了  $8\text{t}/\text{hm}^2$  的水稻产量 (Shannon et al., 1998)。Barrett-Lennard (2002) 通过在盐渍化土壤上种植滨藜属 *Atriplex amnicola* (river saltbush) 等耐盐植物 (盐土植物), 用以恢复土地正常生产力。中国农业科学院德州盐碱土改良实验站通过引进种植和耐盐性鉴定, 筛选出耐盐作物、耐盐牧草和耐盐树种, 在农业生产上得到应用 (李志杰等, 2005)。林学政等 (2005) 利用盐生植物-盐地碱蓬在天津河口对滨海盐碱地进行生物修复的结果表明, 种植区碱蓬根际土壤的电导率与对照土壤相比下降了 13%, 有机质和总氮比对照土壤分别增加 43% 和 18%, 根际土壤的微生物数量也明显增加。李海英等 (2002) 利用生物技术在柴达木盆地弃耕盐碱地上种植苜蓿的结果表明, 土壤全盐量随苜蓿种植年限的增加而降低, 耕作层 (0~30cm) 全盐量由种植前的 1.518% 下降到 0.126%, 脱盐率达 91.7%。这些研究成果为植物耐盐研究奠定了基础, 对增强植物耐盐性、提高农作物产量和改善盐碱地区生态环境起到重要作用。

盐分对作物的危害主要是引起离子毒害和渗透压两方面的胁迫, 长期在盐渍环境下生活的植物, 为了适应土壤过多的盐分, 形成了各自的特定耐盐机制, 通过各种生理过程和渗透调节, 以抵抗盐分胁迫来争得生存。不同植物的耐盐或避盐的途径不同, 主要有排盐、稀盐、拒盐、隔盐、避盐、忍盐、离子拮抗和螯合作用等, 也有一些滨藜属 (*Atriplex* L.) 植物可通过特殊的耐盐途径, 如增大叶细胞体积, 吸收更多的水分, 降低细胞内盐分浓度, 以及将盐分吸收后积累在叶脉内, 达到一定程度后, 叶脉破裂, 排出盐分 (张建锋等, 2003)。植物对盐分胁迫的适应过程较为复杂, 既有蛋白质、核酸、碳水化合物等结构和能量物质的代谢, 还有酶、激素等生长调节物质的合成与激活, 这一过程中包含着离子交换与吸附、信号刺激与传递、基因活化与合成, 其中渗透调节是植物耐盐反应过程中关键的一环。在受到盐分胁迫时, 在渗透调节作用下, 植物体通过在细胞内积累一些小分子有机化合物和蛋白类保护剂来维持渗透平衡和体内水分 (林栖凤和李冠一, 2000), 而这一过程必须经过特定的信号传递系统来完成, 并对不同信号做出不同反应。同时, 在受到盐分胁迫时, 植物体内的一些激素也会做出反应, 有增有减, 如脱落酸和乙烯的积累增加、生长素和细胞分裂素的合成减少或终止。

随着生物技术的发展, 对耐盐机理的研究也更加的深入, 主要包括渗透调节作用、消除活性氧的膜保护体系、拒盐机理、调控钾离子运输系统、调控水通道蛋白和改变光合作用途径等 (陈洁和林栖凤, 2003; 张楠楠和徐香玲, 2005)。培育耐盐作物品种是



利用盐碱地的一条有效途径。尽管植物对盐胁迫的反应过程极为复杂，但这些调控都是建立在基因基础上的，通过现代科学技术手段，能将耐盐基因从植物体中分离出来。目前植物耐盐生理的研究取得明显进展，在耐盐细胞系的培育、渗透调节基因的转移、盐诱导基因的利用等方面获得了可喜的成果（郭蓓等，1999；平淑珍等，1999；张新春等，2002）。早期分离出的耐盐基因有脯氨酸激增（overproduction）基因、甘氨酸甜菜碱运输的结构基因、编码胆碱-甘氨酸甜菜碱合成的基因和调控海藻糖合成的基因（Le Rudulier, 1993）。近年来，在高等植物中也相继分离出不少耐盐基因（Flowers and Yeo, 1995；Abe et al., 1997；Gong et al., 1997；Iyer and Caplan., 1998），有些已经成功转移到其他植物中（Kasuga et al., 1999；Winicov and Alfin, 2000）。盐胁迫基因的主要功能是促进离子平衡，如通过质膜  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  的逆向运输排出  $\text{Na}$ （Shi et al., 2000），液泡  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  的逆向运输使  $\text{Na}$  在液泡内累积并隔离，且多数盐胁迫基因都能抑制损伤并进行自身修复（Lippuner et al., 1996）。目前，对耐盐基因的分离已成为实验室的常规操作，一些高等植物已成功转入耐盐基因，提高了其耐盐性。已获得耐盐转基因的植物有烟草、水稻、马铃薯、小麦、番茄、拟南芥和杨树等，这为盐碱地改良利用与农业生产发展提供了重要保障。

### 1.2.2 农艺改良措施

盐碱地改良的根本目的就是改善土壤理化性状，使之利于作物生长发育，最终实现高产高效。农艺改良措施是建立在“盐随水来，盐随水去”的水盐运移规律基础上，通过不同耕作方式，抑制或减少土壤水分蒸发，减轻土壤盐分表聚，淡化耕作层，进而达到改良目的。这种改良措施是盐碱土壤理化性质改良的基础，也是化学改良和生物改良的基础，主要包括合理的土壤耕作和合理的栽培技术，通过耕翻、耙地、镇压、中耕等田间作业，能创造良好的土壤表面状态和耕层构造，可促进土壤脱盐；通过合理灌溉、施肥和地表覆盖等措施，增加土壤墒情，抑制盐分表聚，调节土壤水肥气热状况，为作物高产创造良好的土壤环境条件；通过选用耐盐作物和耐盐品种，种子处理，适时播种，躲盐、避盐栽培技术及田间管理措施，调节土壤中的水盐状况，改善作物的生长环境和改变其生理代谢类型，也能提高作物耐盐能力，促进出苗、保苗和增产。

耕作改良措施主要是对土壤颗粒进行重新排列，改善土壤结构和孔隙度等特性（徐路等，2011），进而影响土壤的化学及生物学特性，逐步提升土壤质量。翻耕是传统的耕作措施，通过翻耕把上下位置的土层进行调换，晒垡后可加速耕层土壤熟化，切断土壤毛管孔隙，抑制土壤深层的盐分上返，在冻融期还能切断积盐途径（高金方，1987）。生产中要注意翻耕的深度及翻耕的时间，翻耕深度不当会降低土壤肥力，从而导致作物减产。平整土地对盐碱地的改良极为重要，耕地不平会造成排灌不畅，地势高的区域容易形成盐斑，直接影响作物产量。通过整地后，黏结在一起的大土块被还原为土壤的小颗粒状态，增加了土壤透气性，春灌时也利于盐分随水流走，降低耕层土壤盐分。深松是用机械耕作松碎土壤而不翻土，不打乱土层而打破犁底层的耕作方法（朱凤武等，2003），可熟化底土层，利于作物根系深扎。在碱性较大、土壤易板结的地区，通过深