

SALINE-ALKALI SOIL
AGRO-ECOLOGICAL ENGINEERING



盐碱土农业 生态工程

李志杰 孙文彦 等 编著



科学出版社

盐碱土农业生态工程

李志杰 孙文彦 等 编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书共分7章,从盐碱土的理论基础谈起,阐明了盐碱土综合治理的基本原则和要点,系统梳理和总结了改良技术的作用和原理、盐碱土农业高效模式、耐盐作物利用、微咸水利用、盐碱土研究方法等。其中,第4章和第5章分别论述了盐碱土高效农业模式与技术及耐盐作物的生物改良与利用,是本书有份量的部分,有一定的实用价值。

本书可供农、林行业相关院校师生、科研与生产单位的科技工作者和管理人员参阅,也可对相关行政部门决策提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

盐碱土农业生态工程/李志杰等编著. —北京:科学出版社, 2015.6

ISBN 978-7-03-044445-5

I. ①盐… II. ①李…②孙… III. ①盐碱土-农业生态-生态工程
IV. ①S155.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 114390 号

责任编辑:夏 梁 刘 晶 / 责任校对:郑金红

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:北京铭轩堂广告设计有限公司

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>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015年6月第一次印刷 印张:14 5/8

字数:313 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

编著者名单

主 编：李志杰 孙文彦

副主编：许建新 徐化凌

编著者：李志杰	研究员	中国农业科学院德州盐碱土改良实验站
孙文彦	助理研究员	中国农业科学院德州盐碱土改良实验站
许建新	副研究员	中国农业科学院德州盐碱土改良实验站
徐化凌	助理研究员	东营市农业科学研究院
毕云霞	农技推广研究员	东营市农业科学研究院
陈小芳	博士	东营市农业科学研究院
牟 芬	农艺师	东营市河口区农业局
车升国	博士研究生	中国农业科学院研究生院
李燕青	博士研究生	中国农业科学院研究生院
唐继伟	高级农艺师	中国农业科学院德州盐碱土改良实验站
田昌玉	副研究员	中国农业科学院德州盐碱土改良实验站

前 言

我国盐碱土分布很广，类型也较多，是一种重要的土地资源。我国改良利用盐碱土有悠久历史，中国农民在长期与盐碱土的斗争中积累了丰富经验。特别是近几十年来，由于国家对盐碱土开发治理的重视，我国的盐碱土改良利用取得了辉煌的成就，治理效果为世界所瞩目，在盐碱土发生、演变、水盐运动规律、防治措施，以及农、水结合综合治理的实践等方面做出了重要贡献。

盐渍土发生演变主要有地下水临界水位和水化学观点、生物地球化学观点和季风气候与地学观点等，这些观点阐明了土壤盐分的来源和运动规律，也为改良利用盐碱土奠定了基础。20 世纪 30~40 年代，苏联学者曾就是否需要采用人工排水来防治土壤次生盐碱化问题展开过激烈的争论。以 B. A. 萨乌缅为代表的学者认为防治的主要措施应该是控制用水和草田轮作；而以 B. A. 柯夫达为代表的学者则建议修建排水网作为防治的主要手段。经过长期的研究和实践，利用排水措施来治理改良盐碱化土壤得到广泛认同。世界各国开展了大规模的兴建水利工程，修筑各级排灌沟渠，采用明沟、暗管、竖井等进行排灌，比较成功的有巴基斯坦的管井排水措施、美国的防渗透与排水措施等。我国对盐碱地进行大规模的研究和开发治理工作始于 20 世纪 50 年代，多以农业措施进行改良的单向措施为主，亦称农改阶段，如刮盐改碱、围埝蓄淡、翻淤压碱、耕作防盐、增施有机肥料和种植耐盐作物等，收效甚微。在 50 年代末至 60 年代初，以水利改良措施为主，亦称水改阶段。但由于大引、大蓄、大灌，有灌无排，造成次生盐渍化面积急剧扩大。60 年代中期，在熊毅等的倡导下，利用井灌井排取得很好的效果。至 70 年代后期进入农、林、水综合治理阶段，进行大规模的农田水利工程建设，排灌配套，并加强了农田复合生态系统和土壤肥力建设，促进水、肥、盐、生物的良好循环，取得显著的治理改良效果。

随着国民经济的快速发展、工业化进程的加快，人们对工作生活环境的要求也越来越高，企业要发展，交通条件要改善，休闲绿地要扩展，这些都需要占用耕地，而我国的耕地面积十分紧缺，通过开发利用盐碱土来拓展耕地潜力巨大。在开发利用盐碱地方面，由于对盐碱土认识不足、治理技术不到位或选用物种不适宜，造成巨大经济损失的事例比比皆是。在农业开发和园林绿化方面，据不完全估计，每年由于盐碱造成的直接经济损失达 30 亿元之多。近年来，各地大棚蔬菜栽培土壤发生次生盐渍化，低平原区已经出现了春季返盐现象，一些地方稻田改旱，由于没有采取防范措施，土壤返盐相当严重。我国西北部许多地方由于干旱加之过度放牧，植被减少，土壤荒漠化、盐碱化有上升趋势。因此，盐碱土的治理改造、开发利用及土壤盐碱化防治仍然任重而道远。

在继承前人工作的基础上，我们对盐碱土的改良利用进行了长期的研究与探索，认为盐碱土的核心问题是水、盐、肥，盐碱土治理的根本是水、盐、肥的合理调控，无论在哪个区域、无论什么自然条件，只要按照水盐运行规律把水的问题处理好，把盐分控

制住，把肥跟上，盐碱地就会向良性方向发展。另外，根据现代农业耕作条件的变化，实践总结了耐盐作物生物改良与农业利用及盐碱土农业高效模式与技术，以期起到抛砖引玉之效。

本书内容包括盐碱土的理论基础（李志杰）、盐碱土的综合治理（李志杰、田昌玉）、盐碱土的改良技术（李志杰、牟芬）、盐碱土高效农业模式（李志杰、唐继伟）、耐盐植物利用（徐化凌、毕云霞、陈小芳）、微咸水利用（许建新、车升国）、盐碱土研究方法（孙文彦、李燕青）共 7 章，全书由李志杰、孙文彦等策划、组织和统稿。

本书的研究成果得到了国家公益性行业（农业）科研专项“绿肥作物生产与利用技术集成研究及示范（201103005）”、“盐碱地农业高效利用配套技术模式研究与示范（200903001）”等课题的资助，特此致谢。

让我们携手开发利用盐碱地，保护人类生存环境，进行国土综合治理，促进农牧业生产发展，建设天更蓝、山更绿、水更清、地更美、民更富、国更强的美好明天。

由于作者水平所限，误漏和不当之处在所难免，恳望读者指正。

李志杰

2014 年 10 月

目 录

前言

第 1 章 盐碱土的理论基础	1
1.1 盐碱土的性质	1
1.1.1 盐土的一般性质	1
1.1.2 碱土的一般性质	2
1.2 盐碱土的分类	2
1.2.1 盐土的分类	2
1.2.2 碱土的分类	4
1.3 盐碱土的不良特征	5
1.4 盐碱对作物的危害	7
1.5 土壤盐渍化的基本类型	7
1.6 盐碱土的成因与条件	9
1.7 我国盐碱土的主要分布	11
参考文献	15
第 2 章 盐碱土的治理	17
2.1 盐碱土治理的基本原则	17
2.2 盐碱土治理措施	18
2.2.1 建设排水系统	18
2.2.2 井灌井排	19
2.2.3 深沟台田	20
2.2.4 放淤改碱	20
2.2.5 种稻改碱	21
2.2.6 平整土地	21
2.2.7 农田林网	22
2.2.8 农艺措施	22
2.2.9 化学改良	23
2.3 盐碱土综合治理范例	24
2.3.1 陵县背河洼涝盐碱地的综合治理	24
2.3.2 禹城河间浅平洼涝盐碱地的综合治理	29
2.4 土壤次生盐碱化防治	34
2.4.1 灌区土壤次生盐碱化防治	34
2.4.2 大棚设施栽培土壤次生盐碱化防治	36
参考文献	38

第3章 盐碱土改良技术	40
3.1 排灌措施	40
3.1.1 排水措施	40
3.1.2 洗盐压盐	41
3.2 培肥措施	41
3.2.1 增施有机肥	42
3.2.2 秸秆翻压还田	42
3.2.3 合理施用化肥	42
3.3 耕作措施	43
3.3.1 深耕平地	43
3.3.2 开沟躲盐	43
3.3.3 巧播避盐	43
3.3.4 地膜覆盖	43
3.4 生物措施	43
3.4.1 种植耐盐绿肥作物	43
3.4.2 选种耐盐作物	45
3.4.3 植树造林	46
3.5 化学改良措施	46
3.6 工程措施	47
3.6.1 暗管排水工程	47
3.6.2 盲沟改碱技术	50
3.6.3 盲管改碱技术	51
3.6.4 深沟条田	53
3.7 半荒漠盐渍沙地改良	54
参考文献	56
第4章 盐碱土高效农业模式	57
4.1 选择耐盐物种	57
4.1.1 粮食作物	58
4.1.2 经济作物	60
4.1.3 绿肥牧草	63
4.1.4 耐盐林木	65
4.2 改良利用的高效种植制度	66
4.2.1 盐碱耕地高效利用种植制度	66
4.2.2 三肥两棉两粮快速改良种植制度	67
4.3 台基-鱼塘高效农业模式	69
4.3.1 台基-鱼塘生态系统	69
4.3.2 台基-鱼塘立体农业模式	69
4.3.3 台田盐碱地棉花逆境栽培	70

4.4	硬池藕-鱼高效农业模式	71
4.5	隔盐设施基质栽培高效农业模式	73
4.6	秸秆与三肥联用快速熟化耕层构建模式	75
4.6.1	秸秆与三肥联用快速熟化耕层构建原理	75
4.6.2	秸秆与三肥联用快速熟化耕层构建实践	75
4.6.3	秸秆与三肥联用快速熟化耕层构建基本做法	78
4.7	盐渍棉田冬绿肥牧草生产模式	79
4.7.1	盐渍棉田冬绿肥牧草生产的方式方法	79
4.7.2	冬绿肥的棉花节肥增产效果	81
4.7.3	冬绿肥对棉花增产的机制	83
4.7.4	冬绿肥的土壤环境效应	83
4.8	盐碱地农林复合生态农业模式	86
4.8.1	农林复合生态系统的内涵	86
4.8.2	农林复合模式的物种组合设计原则	86
4.8.3	农林复合模式综合效益	87
4.8.4	盐碱地造林绿化措施	88
	参考文献	90
第5章	耐盐植物利用	92
5.1	盐碱地生物改良	93
5.1.1	耐盐植物改良盐碱的机理	93
5.1.2	耐盐植物改良盐碱的几种模式	93
5.2	盐碱地原土绿化	97
5.2.1	对耐盐植物的耐盐能力进行评价	97
5.2.2	测土测水	103
5.2.3	原土绿化的关键技术与方式	104
5.2.4	绿化方式	107
5.3	盐土农业	109
5.3.1	耐盐粮食作物	109
5.3.2	耐盐经济作物	111
5.3.3	耐盐林果	114
5.3.4	耐盐能源植物	121
5.3.5	耐盐花卉	124
5.3.6	耐盐牧草	132
5.4	耐盐植物产品开发	143
5.4.1	特色食品	144
5.4.2	药用价值开发利用	145
5.4.3	用作饲料和饲料添加剂	145
5.4.4	耐盐植物产品深加工	146

5.4.5 造纸原料	147
5.5 耐盐植物遗传改良	147
5.5.1 建立盐生及耐盐植物种质资源库	147
5.5.2 盐生与耐盐植物资源评价	148
5.5.3 耐盐植物种质创新	148
参考文献	153
第6章 微咸水利用	155
6.1 微咸水的概念	155
6.2 我国的微咸水资源	155
6.3 微咸水利用的必要性与可行性	156
6.3.1 淡水供需情况	156
6.3.2 华北平原的地下微咸水资源状况	156
6.3.3 国内外咸水灌溉的研究概况	157
6.4 咸水灌溉的综合效应	166
6.4.1 土壤效应	167
6.4.2 作物效应	167
6.5 微咸水灌溉管理与实践	168
6.5.1 选择合适的灌溉方法	168
6.5.2 确定适宜的灌溉定额和次数	169
6.5.3 选择合适的灌水时期	169
6.5.4 采取轮灌和混灌的策略	169
6.5.5 采用覆盖措施调节土壤水盐运动	170
6.5.6 增施有机肥	170
6.6 微咸水利用的理论与实践	170
6.6.1 秸秆还田对微咸水补灌的土壤盐分抑制及产量效应	170
6.6.2 地下咸水资源冻融脱盐机理与淡化技术	172
参考文献	182
第7章 盐碱土研究方法	184
7.1 盐碱土田间试验	184
7.1.1 试验地块的选择	184
7.1.2 盐渍土田间试验的土样采集	184
7.1.3 盐渍土田间试验的取样时间和试验年限	185
7.1.4 盐碱土长期定位试验的意义及作用	185
7.2 盐碱土水盐动态监测	186
7.2.1 水盐运动模拟试验研究	187
7.2.2 区域水盐动态监测	189
7.2.3 土壤水盐动态预报简介	191
7.3 盐碱土常规物理化学指标分析	191

7.3.1	土壤酸碱度的测定——电位测定法	192
7.3.2	土壤可溶性盐总量的测定	192
7.3.3	土壤阳离子和阴离子含量的测定	195
7.3.4	土壤阳离子交换量(CEC)的测定	200
7.3.5	土壤有机质的测定(重铬酸钾容量法)	201
7.3.6	土壤全氮测定(半微量开氏法)	202
7.3.7	土壤全磷的测定(硫酸-高氯酸消煮法)	204
7.3.8	土壤全钾的测定(NaOH 熔融-火焰光度计法)	206
7.3.9	土壤含水量的测定	207
7.3.10	土壤田间持水量的测定	208
7.3.11	土壤容重的测定(环刀法)	209
7.3.12	土水势的测定(张力计法)	210
7.3.13	土壤水特征曲线的测定压力膜(板)法	210
7.4	作物的耐盐性鉴定	213
7.4.1	直接鉴定方法	213
7.4.2	间接耐盐性鉴定方法	217
	参考文献	221

第 1 章 盐碱土的理论基础

盐碱土是土壤含盐、碱、硝等有害盐类的低产土壤的统称，主要有盐碱土、盐渍土、盐碱地、盐渍化土壤，实际上它概括了土壤发生学分类中的盐土及盐化土壤、碱土及碱化土壤各种土类。

1.1 盐碱土的性质

1.1.1 盐土的一般性质

盐土剖面形态的基本特点是没有明显的发育层次（图 1-1），颜色由灰色至棕色，并且无腐殖质层（草甸土除外），多为光板地。

盐结皮层呈盐霜、硬壳、结皮状，其厚度由几厘米到十几厘米；多由氯化钠和硫酸钠组成，有时还有脱水石膏，呈现白色，故有白碱土之称。盐分含量变幅很大，从千分之几十到千分之四五百。

盐结皮层之下是疏松层，为盐和土的混合层。由于盐析作用使胶粒凝聚成粒状，状似疏松。析盐初期透水良好，但随盐析作用而消失，胶粒分散而堵塞孔隙，土壤透水性大为下降。

盐晶积聚层，也是胶粒沉积层，本层质地黏重，盐溶液浓缩成结晶析出，成为“碱猴子”，有时可见盐盘。

盐化潜育层或潜育层，盐土的潜水埋深一般较浅，水位随蒸发而变动。地下水间歇升降则为潜育层，地下水经常渗渍则为潜育层。



图 1-1 盐碱土土壤剖面



图 1-2 黄淮海平原氯化物硫酸盐盐碱土

盐分割面具有明显的表聚特点，一般表层重、下层轻（图 1-2、图 1-3）。以中性盐为主的盐土的 pH 多在 7.5~8.5；结持性弱，分散性小，凝聚性大，胶体的碱化度低，物

理性质尚好，特别是由其他土壤演化而来的盐土，如次生盐渍化土壤，往往保留着原土类的一部分特征，改良起来比较容易（图 1-4）。对于苏打盐土，同时兼有盐土和碱土的某些特性，虽含盐量不甚高，但因含苏打，碱性强，pH 可达 9~10，碱（也称钠化率）可高达 70%~80%，分散性强，湿时膨胀，干时收缩，物理性质极差，改良难度较大。

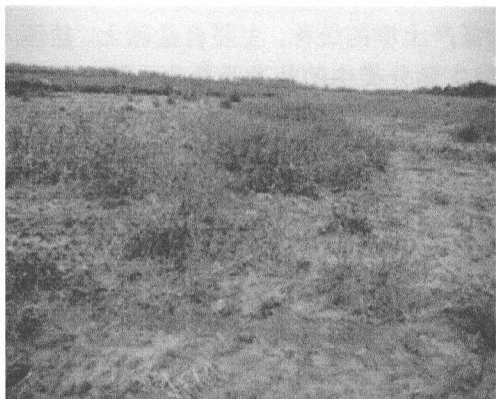


图 1-3 滨海盐渍土



图 1-4 内陆盐渍土

1.1.2 碱土的一般性质

碱土的盐分剖面特点与盐土相反，表层盐分含量少而下层含量高，具有明显的底聚特点，一般全盐含量在 3‰~13‰。地下水位低，矿化度小，土壤和地下水中的盐分组成以苏打（ Na_2CO_3 和 NaHCO_3 ）为主，下层为混合盐类，矿化度高，代换性钙镁较少，而代换性钠在 20% 以上，并且含有多量苏打，呈强碱性反应，黏粒和腐殖质明显下移。由于淋溶而发生硅铝碳酸物的分解，致使二氧化硅和铁锰铝等分离，产生明显的移动和淀积，碱土的代换总量为 200~300mg/kg，碱土的淀积层物理性质不良，干缩产生裂缝，湿时膨胀堵塞孔隙，土质黏重、坚硬、不透水。碱土的肥力低，但视生草层或淋溶层的厚度而异，深位柱状草甸碱土好于中位、浅位和结皮柱状草甸碱土。改良措施中除水利和农业等综合措施外，配合化学改良效果较好。

1.2 盐碱土的分类

1.2.1 盐土的分类

1. 根据盐渍化程度划分

根据盐渍化程度划分，即按土壤含盐量的多少划分出不同程度的盐化土壤。我国的盐渍化分为非盐渍化、轻度盐渍化、中度盐渍化、重度盐渍化、盐土 5 种类型，不同地区因土壤盐分组成和生物气候带存在差异，各类型土壤的含盐量标准有所不同。中国土壤学会盐渍土专业委员会在 1987 年全国盐渍土分类分级学术研讨会上，认为应采用中国科学院南京土壤研究所提出的盐渍土分类原则和依据^[1]，除潮滩盐土分类存在争议外，

我国的盐土大体上可归纳为两种含盐量系列（表 1-1）^[2]。

表 1-1 土壤盐化分级指标

盐化系列及适用地区	土壤含盐量/（g/kg）					盐渍类型
	非盐化	轻度	中度	重度	盐土	
I 滨海、半湿润、半干旱、干旱区	<1	1~2	2~4	4~6	>6	HCO ₃ ⁻ +CO ₃ ²⁻ , Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻ , SO ₄ ²⁻ -Cl
II 半荒漠及荒漠区	<2	2~3	3~5	5~10	>10	SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻ , SO ₄ ²⁻ -Cl

国外一般采用饱和泥浆浸提液的电导率来表示土壤盐渍化程度，但因饱和泥浆的制备经验性很强，在国内应用普及条件还不成熟，目前通用的土壤溶液电导率应用指标至今尚未确定^[3]。美国用水饱和的土浆浸出液的电导率来估计土壤全盐量，其结果较接近田间情况，并已有明确的应用指标供参考（表 1-2）。

表 1-2 土壤饱和浸出液的电导率与盐分和作物生长关系

饱和浸出液 EC ₂₅ （dS·m ⁻¹ ）	盐分（g/kg）	盐渍化程度	植物反应
0~2	<1.0	非盐渍化土壤	对作物不产生盐害
2~4	1.0~3.0	盐渍化土	对盐分极敏感的作物产量可能受到影响
4~8	3.0~5.0	中度盐土	对盐分敏感作物产量受到影响，但对耐盐作物（苜蓿、棉花、甜菜、高粱、谷子）无多大影响
8~16	5.0~10.0	重盐土	只有耐盐作物有收成，但影响种子发芽，而且出现缺苗，严重影响产量
>16	>10.0	极重盐土	只有极少数耐盐植物能生长，如耐盐的牧草、灌木、树木等

2. 根据盐渍土形态特征划分

结皮盐土：俗称盐碱地、卤碱、黑卤碱、土盐。地表有白色盐结皮，盐分类型以氯化物为主，也含有硫酸盐，在浅层地下咸水或微咸水且地下水位较高条件下发育而成，滨海和内陆常见这类土壤。

蓬松盐土：俗称扑腾碱、面儿碱、毛毛碱、白卤土、硝碱、白不咸、土硝。在薄薄的盐结皮下，有一层陷鞋帮或鞋底的蓬松层，其中充满细粒的芒硝结晶。盐分类型以硫酸盐为主。

潮湿盐土：俗称卤碱、潮碱、黑油碱、黑卤碱、万年湿、油腻碱。表面常呈潮湿状态，是由氯化钙和氯化镁等盐类存在而具有很强的吸湿性造成的。

苏打盐土：俗称马尿碱、泡碱、臭碱、土碱。主要分布在大型洼地的边缘稍高的倾斜地形上，地表有一层极薄的结皮，结皮鼓成泡状，多是光板地，盐分以苏打为主，碱性强。

草甸盐土：具有腐殖质层，有稀疏的耐盐植被，地表常有盐霜和盐结皮，下层显示出潜育化特征，底层常见有石灰结核、石膏和少量其他盐类。

3. 根据盐分种类划分

按盐分组成中阴离子比值划分为：氯化物，氯化物—硫酸盐，硫酸盐—氯化物，硫酸盐；按阳离子比值划分为：钠质型，镁钠型，钙钠型，钙镁型（表 1-3）。

表 1-3 不同类型盐分分类

阴离子 Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻	盐渍化类型	阳离子		盐渍化类型
		Na ⁺ +K ⁺ /Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	
>2	氯化物	>2	>1	钠
1~2	氯化物—硫酸盐	1~2	<1	镁钠
0.2~1	硫酸盐—氯化物	1~2	>1	钙钠
<0.2	硫酸盐	<1	—	钙镁

1.2.2 碱土的分类

1. 按碱化程度划分

按碱化程度划分即按代换性钠离子占代换总量的百分数（即钠化率）来划分，可分为：非碱化土壤（<5%）；弱碱化土壤（5%~10%）；碱化土壤（10%~15%）；强碱化土壤（15%~20%）；碱土（>20%）。

2. 按发生过程划分

按发生过程划分，即按碱土的成土条件和成土过程划分，可分为：草甸碱土、瓦碱土、草甸构造碱土、草原碱土等。

1) 草甸碱土

草甸碱土一般都受一定的地下水的影响，故表层有轻微的季节性积盐与脱盐从而发生碱化，故又称盐化碱土。

2) 瓦碱土

瓦碱土是华北农民群众的俗称，又称“缸瓦碱”“牛皮碱”，分布在黄淮海平原和汾渭河谷平原，多呈斑状插花分布于耕地中。其地下水埋深多在 2m 左右，矿化度 1~2g/L。瓦碱土的形成主要是钠质盐渍土在积盐和脱盐频繁交替过程中，钠离子进入土壤吸收性复合体而使土壤碱化，以及低矿化地下水中重碳酸钠和碳酸钠在上升积累过程中使土壤碱化。瓦碱土一般含盐量不超过 5g/kg，心土、底土含盐量小于 1~2g/kg，以重碳酸钠和碳酸钠为主，碱化度为 20%~40%，高的可达 50%~70%，pH 达 9 或 9 以上。

3) 草甸构造碱土

草甸构造碱土当地又称“暗碱土”或“碱格子土”。多分布于松辽平原、内蒙古东部和北部、山西境内沿长城内外各盆地的低阶地上。与苏打盐土组成复区，插花分布于

小地形较高处。草甸构造碱土的地下水埋深多为 2~3m, 矿化度约 3g/L, 多为苏打水, 其淋溶层和碱化层含盐不超过 5g/kg, 以碳酸钠和重碳酸钠为主, 碱化度为 30%~70%, 甚至更高, 土壤 pH 都在 9 以上。草甸构造碱土, 根据柱状碱化层在土层中出现的部位可以分成: 结皮柱状草甸碱土(柱状层或碱化层距地表 0~1cm), 浅位柱状草甸碱土(柱状层或碱化层位于距地表 3~7cm), 中位柱状草甸碱土(柱状层或碱化层位于距地表 10~16cm), 深位柱状草甸碱土(柱状层或碱化层位于距地表 16cm 以下)。这四种草甸构造碱土的含盐量和积盐层深度也不相同。土壤含盐量为结皮柱状草甸碱土>浅位柱状草甸碱土>中位柱状草甸碱土>深位柱状草甸碱土。积盐层深度则为结皮柱状草甸碱土<浅位柱状草甸碱土<中位柱状草甸碱土<深位柱状草甸碱土。正是由于柱状碱化层、积盐层及土壤含盐量的高低差别, 使这四种草甸构造碱土在利用价值及改良难易上有很大不同。其中, 利用价值方面, 相对来说是深位柱状草甸碱土>中位柱状草甸碱土>浅位柱状草甸碱土>结皮柱状草甸碱土; 改良的难易程度上, 由难到易分别是结皮柱状草甸碱土>浅位柱状草甸碱土>中位柱状草甸碱土>深位柱状草甸碱土。

4) 草原碱土

草原碱土过去也称碱土, 它主要分布在东北大兴安岭以西的蒙古高原, 呈斑块状与黑钙土、栗钙土组成复区。地下水位深, 在 5~6m 或以下。

5) 龟裂碱土

龟裂碱土分布在漠境和半漠境地区, 如新疆、甘肃、宁夏和内蒙古河套平原。其地表有极薄的黑褐色藻类结皮层, 下为 1~5cm 的灰白色轻质淋溶层, 下垫 1~2cm 厚的鳞片或层片状结构, 较紧实, 脆而易碎的过渡层; 再下层为黏重、紧实、呈短柱状的碱化层; 碱化层下为盐化层及母质层。土壤的碱化度高, 为 20%~60%, 个别可达 70%~90%。pH 则达 10。

6) 荒漠碱土或镁质碱土

荒漠碱土或镁质碱土主要分布在河西走廊等地。这里的地下水位高, 达 1~2m, 矿化度小于 1g/L。表土 15~30cm 以下出现 30cm 厚的块状或核状结构且坚实的白土层, 底土则常有锈斑和石灰结核。它应属草甸碱土, 但其特点是表土、亚表土中含大量交换性镁, 达 6~7cmol/kg, 毒性大, 因而单列为亚类。镁质碱土碱化度高达 70%~90%, 含盐量亦较高, 可达 2~20g/kg, 所以也称之为镁质盐土。其成因多与母质含镁矿物风化有关。

1.3 盐碱土的不良特征

盐碱土的土壤物理性状不良, 其特征表现为“瘦、板、生、冷”。“瘦”即土壤肥力低, 营养元素缺乏; “板”即土壤板结, 容重高, 透性差; “生”即土壤生物性差, 微生物数量少、活性低; “冷”即地温偏低。

1) 瘦

“瘦”是盐碱土的不良肥力特征, 即有机质含量低, 有效氮、磷养分奇缺^[4]。有机质是构成土壤有机矿质复合体的核心物质, 也是土壤养分的储藏库, 因此, 土壤有机质数量反映出土壤的肥力水平。根据在山东陵县调查, 盐碱土的有机质含量大部分在 10g/kg 以下,

一般在 6g/kg 左右。土壤全氮含量与有机质含量有相关性, 随有机质含量的高低而变化, 盐碱土的全氮含量一般在 0.5~0.6g/kg, 甚至更低。盐碱土的全磷含量比较丰富, 由于盐碱土富含钙质, 磷素易被钙质固定, 因此土壤速效磷含量很低, 多数在 10mg/kg 以下。盐碱土土壤有机质含量低, 速效磷短缺, 氮磷比例失调, 是盐碱土改良急需解决的问题。

2) 板

“板”是盐碱土的不良结构特征。盐碱土土壤容重一般在 $1.35\sim1.50\text{g/cm}^3$, 总孔隙度均在 45%~50%, 甚至更低。土壤含盐量越大, 尤其是钠离子含量越高, 土壤透水、透气性越差。根据在山东禹城的测定结果, 盐化土稳定渗吸速度为 $0.1\sim0.2\text{mm/min}$, 碱化土稳定渗吸速度小于 0.1mm/min , 水、气条件不良, 会对作物根系伸展、植株生长带来严重影响。盐碱土的结构性差, 毛管作用强, 在旱季土壤蒸发量大, 高于沃土 50% 以上, 地下水的不断补给, 使土壤上层大量积盐。而在灌后或雨季, 土壤容易滞水饱和, 不易疏干, 常发生“渍涝”。这种毛管滞水现象, 严重影响土壤和作物根系的呼吸。对于这种毛管滞水, 一般排水沟对其土壤的疏干作用较小, 应采取培肥土壤、秸秆还田、种植翻压绿肥等改善土壤结构的措施来加以解决。

3) 生

“生”是盐碱土的不良生物特征。盐碱土对土壤微生物的影响主要有两个方面, 一是土壤中的盐类物质对微生物产生抑制和毒害作用; 二是盐碱土的土壤有机质含量一般较低, 植物生长受到抑制, 有机物质归还量少, 致使微生物的能源物质贫乏, 造成土壤微生物数量少、活性低。据研究, 含盐量多少与盐类成分对微生物的种类和数量影响很大^[5]: 当 NaCl 和 Na_2SO_4 含量大于 2g/kg 时, 氨化作用显著降低; 当 NaCl 浓度大于 5g/kg、 Na_2SO_4 浓度大于 12g/kg 时, 固氮作用受抑制; 当 NaCl 浓度大于 10g/kg 时, 氨化作用几乎停止。不同浓度的不同盐类对细菌有明显毒性, 在致毒范围内, 毒性与渗透压有密切的关系, 渗透压为 6bar* 时, 所有盐类都降低硝化作用 50% 以上; 在 156bar 时, 氨化作用降低一半。微生物的原生质因盐类而引起物理上和化学上的改变, 原生质活动不正常, 也可改变原生质的胶体性质。

4) 冷

“冷”是盐碱土的不良热量特征。盐碱土由于含有过高的盐分, 使土壤吸湿性较强, 造成地温偏低, 春季地温上升缓慢。据测定, 春季 3 月初至 5 月中旬, 播种层 5cm 处地温, 盐碱土比非盐碱土一般偏低 1°C 左右, 多者可相差 2°C , 其稳定在 12°C 以上的日期, 要比非盐碱地滞后 10 天左右, 而秋后播种冬小麦的出苗时间晚 3~7 天。针对盐碱土的这种不良热量特征, 一般春播要稍晚一些, 而夏播和秋播要力争早播。同时, 偏低的地温也不利于土壤微生物的活动和土壤养分转化, 影响作物的生长发育。

盐碱土的“瘦、板、生、冷”, 是指地瘦、结构不良、土壤紧实板结、通透性差, “板、生、冷”是“标”, “瘦”和“盐”是“本”, 因此脱盐和培肥是改善盐碱土不良性状的根本。在土壤脱盐后进行培肥, 培肥土壤的主要任务是增加土壤有机质, 实质是增加土壤营养物质的储备。

* 1bar = 10^5Pa