



国家高科技发展计划 (863 计划)

《抗旱、耐盐碱林草新品种选育》课题研究系列丛书

东北盐碱地



碱斑植被恢复及资源利用

主 编 柳参奎

副主编 管清杰 金淑梅 罗秋香



东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

东北盐碱地碱斑植被恢复及资源利用/柳参奎主编. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2008. 7

ISBN 978-7-81131-322-2

I. 东… II. 柳… III. ①盐碱地—植被—恢复—东北地区②盐碱地—植被—资源利用—东北地区 IV. S156.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 115338 号

责任编辑: 任 俐

封面设计: 彭 宇



NEFUP

东北盐碱地碱斑植被恢复及资源利用

Dongbei Yanjiandi Jianban Zhibei Huifu Ji Ziyuan Liyong

主 编 柳参奎

副主编 管清杰 金淑梅 罗秋香

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

黑 龙 江 省 教 育 厅 印 刷 厂 印 装

开本 787 × 1092 1/16 印张 14.5 字数 334 千字

2008 年 7 月 第 1 版 2008 年 7 月 第 1 次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 978-7-81131-322-2

S · 489 定价: 38.00 元

前 言

随着全球人口增加,城市不断扩张,工业化进程不断加快,导致大量的森林被砍伐,耕地被占用,草原被过度放牧。各种资源的过度利用破坏了生态系统的循环,产生了一系列的环境问题,如水土流失、空气污染、土壤盐碱化与荒漠化、生物物种减少等。如何遏止生态环境的进一步恶化,治理、恢复并重建一个良性发展的生态系统,是当前国内外生态研究的重点之一,其中有关土壤盐碱化问题的研究是备受广大研究者关注的热点之一。我国东北地区西部盐碱地面积约 $2.39 \times 10^6 \text{ km}^2$, 是世界上三大苏打盐碱土分布区之一,特别是 pH 值 > 10 的重度盐碱地具有代表性和典型性,治理难度很大,严重制约了区域农牧业的发展。在项目研究期间,编者对东北地区西部盐碱地进行了大量的调查、考证,特别是对盐碱地区的盐生植物分布、生物学及生态学、植被恢复进行了定期观察和测定。本书是近几年在学习总结相关科研成果并且通过在黑龙江省安达市盐碱地研究中心实验基地的不断反复实践后取得的一些经验和成果的基础上编写而成的。在内容编排上力求突出其实用性和学术性。

本书为国家高科技发展计划(863计划)《抗旱、耐盐碱林草新品种选育》课题研究系列丛书之保护利用篇。全书共分7章,由柳参奎任主编并统稿,管清杰(8万字)、金淑梅(8万字)、罗秋香(8万字)任副主编,张欣欣(8万字)参编。

由于编者的理论水平和资料掌握程度,以及实践水平有限,本书的错误与不当之处在所难免,恳请广大读者和有关专家批评指正。

本书在国家高科技发展计划(863计划)项目和黑龙江省杰出青年基金项目资助下完成,在此表示感谢!

编 者
2008年3月

目 录

第一章 盐碱地简介	(1)
第一节 盐碱地的基本特征	(1)
第二节 盐碱地碱斑	(4)
第三节 盐碱地含盐碱类的性质	(8)
第四节 盐碱对植物的毒害作用	(11)
第五节 盐碱地的历史形成	(14)
第二章 盐碱地的分布	(19)
第一节 盐碱地在世界的分布	(19)
第二节 中国盐碱地形成原因、主要发生类型和分布	(23)
第三节 东北松嫩平原盐碱地主要类型及碱斑	(43)
第三章 东北盐碱植被的生态群落的区划及特点	(69)
第一节 盐碱植物和非盐碱植物	(69)
第二节 盐碱地植被资源的特点及分布	(75)
第三节 东北盐碱植被的植物区系组成	(79)
第四章 盐碱植被主要群落类型的生物多样性	(84)
第一节 盐碱地植被群落	(84)
第二节 东北盐碱化草甸植被区	(90)
第三节 植被生物多样性	(101)
第四节 草地生物多样性	(105)
第五节 东北松嫩平原草地资源退化与人类利用	(113)
第六节 侵入植物对草地的影响	(120)
第七节 东北松嫩草甸草原盐碱化	(122)
第五章 东北松嫩平原盐碱地主要盐碱植物	(130)
第一节 东北松嫩平原盐碱植物	(130)
第二节 东北盐碱地草原植物保护与利用	(151)
第六章 盐碱地植被恢复及研究进展	(160)
第一节 盐碱土的改良	(160)
第二节 盐生植物在盐碱地治理与植被恢复中的应用	(166)
第三节 盐碱地改良与利用的模式研究	(172)
第四节 盐碱地治理与植被恢复现状、特点与原则	(174)

第五节 东北重度盐碱地治理与植被恢复	(176)
第六节 盐生植物资源的开发与利用	(180)
第七章 盐碱地植被恢复分子生物学研究进展	(187)
第一节 土壤盐碱化治理与研究概述	(187)
第二节 植物耐盐性分子生物学研究进展	(191)
第三节 蛋白质组学及其在植物耐盐性中的应用	(195)
第四节 转基因技术在盐碱地植被恢复中的应用	(199)
第五节 盐碱化碱斑植被恢复——微客土技术	(202)
参考文献	(210)

第一章 盐碱地简介

盐碱土是地球陆地上分布广泛的一种土壤，当我们还不了解盐土、刚刚开始接触盐碱土时，常常会提出一连串的问题：盐碱土到底是什么样子？都有些什么特征？盐土和碱土有哪些区别？它里面含有什么盐类？盐类的性质又是怎样？盐类本身之间有什么反应？植物能忍受多大的盐分等。

第一节 盐碱地的基本特征

一、盐碱地、盐土、碱土的内涵

盐碱地是盐类集积的一个种类，指土壤里面所含的盐分影响到作物的正常生长，包括盐化土壤、碱化土壤、盐土和碱土。

（一）什么叫盐土？

在土壤的表层或根系活动层中，含有过量的可溶性盐类，使一般栽培植物的生长发育受到严重抑制，甚至死亡，若不经改良就不能栽培植物，这种土壤我们称之为盐土。

盐土有如下几个最明显的外表特征：

- （1）呈灰黑色的潮湿的地面上有白色盐霜，或盐结皮甚至盐结壳多；
- （2）在其上生长着稀疏的耐盐或盐生植物，或者是完全不长植物的光板地多；
- （3）在农田中，由于盐分的毒害，有的地方植物受到强烈抑制而死亡，呈斑块状缺苗，人们通常称为盐斑。

所以，我们可以根据地面上的一些特征，很容易发现盐土。

（二）什么叫碱土？

当土壤碱化层交换性钠占交换性阳离子总量（碱化度）20%以上，土壤呈现碱性，pH值大于9，表层含盐量不及0.5%，称之为碱土。

由于碱性的毒害和不良的理化性质，在地面上亦有特殊的标记，即碱土有如下几个最明显的外表特征：

- （1）地表呈灰白色，这种灰白色是由于含二氧化硅（ SiO_2 ）较多造成的，通常呈斑状分布；
- （2）有稀疏的耐碱性植物生长（如碱蒿、碱草、虎尾草等），多数不长植物，称为碱斑。
- （3）亦有一种地面呈龟裂状的，形成一种特殊构造，多不长植物。

（三）盐土和碱土的主要区别

由于盐土和碱土在发生演变上有亲缘关系，因此，在一个地段内，盐土和碱土往往是共存的，呈复区分布。

对盐土和碱土之间质的区别,曾经有位教授打一个形象而通俗的比喻,大意是:盐土象凉拌菜,盐分和其他佐料只是拌在菜的表面,吃起来有味,当用水冲洗几次,凉拌菜就没有味了。而碱土则不同,它像腌咸菜,盐分是进入菜的里面,尽管用水冲洗多次,其咸味仍保留着,吃起来仍是咸的。盐土是盐分附在土粒的外围的问题,而碱土则是代换性钠进入到土壤吸收性复合体中,引起一系列的理化性质恶化的问题。对待盐土和碱土,在改良时采用的改良措施是不同的。

为了比较方便和容易掌握,现将盐土和碱土的主要区别特征列成表 1-1。

表 1-1 盐土和碱土的主要特征

项 目	盐 土	碱 土
发生剖面 性 状	一般表层为积盐层,有盐霜、盐结皮或盐结壳,通常含盐量大于 1%,有盐结壳时,往往在结壳层之下有 1 蓬松盐土混合层。在心土层中有少量盐的结晶,底土层可能有石膏聚积或石灰结核	有比较完整的发生层。A 层为浅灰白色或灰色淋溶层, SiO_2 含量很高,可达 70% 左右。B 层是棕褐色的紧实的柱状或棱柱状构造,富含代换性钠的淀积层,这一层碱化度很高,一般可达 30% ~ 60%,甚至 80% ~ 90%, pH 值可达 9 ~ 11。C 层为盐分积聚层
pH 值	< 8.3	8.5 ~ 11
碱化度	< 5%	> 20%
水分物理	透水性良好	透水性很差
自然植被	盐生植被如马绊草、盐蒿、矮芦苇,盐穗木等	耐碱性植被如碱蒿,碱草、虎尾草,剪刀股等
改良措施	冲洗排水	在有排灌条件下施用化学改良剂

(引自黎立群, 1986)

二、盐碱地的含盐特征值

究竟土壤中含多少可溶性盐才算是盐土呢? 土壤科学家和其他有关科学家作了大量的田间和室内的研究工作,经过生产实践和总结,根据土壤含盐量、盐分的化学组成和植物生长关系,划分出盐渍化土壤和盐土。

由于不同的盐类对植物的危害不同,因此,在划分盐土含盐起始值时,必须考虑不同盐类的毒害性。盐土含盐特征值(意思是构成盐土特征的含盐量)是区分盐土和盐化土壤的一个质量的界线,等于或超过这个界线,都属于盐土的范畴,低于这个界线则划归其他土类的盐化土壤或非盐化土壤的范畴。根据王遵亲等(1974 年)盐土和碱土的分类,归纳各类盐土的含盐量如表 1-2。

表 1-2 各类盐土的含盐特征值

盐土类型	含盐量下限值
氯化物盐土	$\geq 0.6\%$
氯化物-硫酸盐或硫酸盐-氯化物盐土	$\geq 1.0\%$
含有较多石膏的硫酸盐盐土	$\geq 2\%$
苏打盐土	每 100 g 土中 $(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^{-}) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \geq 0.5 \text{ mmol}$
硝酸盐盐土	每 100 g 土中 $\text{NO}_3^{-} > 1 \text{ mmol}$

三、盐碱地的演化特征

盐土含有过量的可溶性盐类，由于这些盐类的固有性质和形成条件，决定了盐土的盐分累积有如下四个主要特征。

（一）盐碱成分的表聚性

盐与碱分的表聚性是指土壤盐分在地表面或表层大量集中积聚。盐分的表聚性是现代积盐过程的盐土的共同特征。但表层聚积盐分的多少、厚薄，各个地区之间有很大的差异。干旱地区积盐层厚，含盐多；半干旱（半湿润）地区积盐层薄，含盐量较少。然而从表聚系数来看，半干旱（半湿润）地区的表聚系数反而很大。因表聚系数是根据表层含盐量与心底土盐分含量之比值，心底土盐分含量高，表聚系数相应降低。

采用0~3 cm，主要是考虑到华北地区，东北地区积盐层很薄的特点。为什么会形成盐分表聚现象呢？这是因为可溶性盐类比较活跃，随水分沿毛细管上升带到地表，水分蒸发后，盐分就留在表层，表层以下的盐分就明显减少，盐分的表聚性正是反映当地地下水位高的一面镜子。

（二）盐碱成分分布的不均匀性

土壤本身是一个不均匀的体系。其养分分布也是不均匀的，不过盐分分布的不均匀更为突出，它包括两个方面：一方面是在土壤剖面垂直分布的不均匀性，绝大部分盐分集中在表层几厘米或十几厘米的厚度上，如果这些盐分在剖面中平均分布的话，那危害植物生长的程度就将大大减轻，或者根本就不会发生危害了。另一方面是水平分布的不均匀。在自然条件下，大的区域反映了地球化学特征的水平分异带。在小的地段上，无论自然条件下或在人为耕作的农田中，反映为大大小小的盐斑，即使在很短的距离也会出现不同的盐分含量和不同类型，并形成各种等级的盐化土壤。这种小距离内盐分分布的不均匀性给布置田间试验带来很大的困难。

在盐荒地上，由于盐分的不均匀性，所以植物生长状况也不一样，并形成不同的植物群落。人们可以利用这些指示植物作为判别土壤含盐量的一个粗略指标。

（三）盐碱成分的易变性

盐碱成分的易变性是由可溶性盐类的性质决定的，又受到水分条件的制约。在一年的四季交替中，降水与蒸发、冻结与解冻、庄稼的播种与收获、灌溉与排水、耕种与休闲等等，所有这些变化都会引起土壤盐分的季节性变化。

盐碱成分的季节性变化在不同的生物气候带中是不同的。例如我国的寒温带黑龙江省，雨季淋洗盐分之后，便是一个漫长的冻结期，在冻结期盐分积聚缓慢，而在化冻期便形成积盐的高峰。在干旱的暖温带新疆南部，雨量稀少，在自然状态下，基本上没有明显的季节性变化。在半干旱（半湿润）的季风气候下，有明显的干湿季节，表现有季节性的积盐与脱盐。

土壤盐分的任何变化，通常伴有组成的变化，这些变化是由两个原因引起的，其一是由于溶解度大的盐类被淋失。其二是由于微溶性盐类的沉淀，或者通过离子交换而形成阳离子的释放或吸收。由于溶液浓度和组成的变化，也引起土壤本身的物理性质和化学性质的变化。

(四) 盐碱成分的毒害性

当土壤中含盐量超过植物正常生长发育所能忍受的范围,就产生毒害,以至死亡。盐碱地之所以属于低产土壤,最根本的原因是由于它具有毒害性特征所决定的。在盐碱地地区,农田中常常因为庄稼受盐害(一般斑块缺苗10%~40%不等),严重影响单产的提高,增加了生产的成本,这是土壤盐碱化地区的共同性问题,有些垦区或者新发展的灌区,往往由于盐分的积聚,对植物产生毒害,因而大片放弃耕地。对盐碱土来说,不进行改良是很难利用的,更难达到高产。

第二节 盐碱地碱斑

一、盐碱地碱斑的特征

盐碱地碱斑,实质上是耕地中小面积的斑块状的盐碱土。植物不能生长,成为不毛之地,或者植物受到严重抑制,生长矮小,结个蝇头小穗,或者生长盐生植物等。

盐碱地碱斑的面积大者几十亩,小者3~5亩,甚至1~2 m²。他们都是零星散布在耕地中间,但其总面积却很大,在这些盐斑上每年投入大量的人力、物力,但收入很低或无收入,严重地影响植物产量的提高。

盐碱地碱斑的消长反映盐碱地的管理水平和改良效果。例如盐斑的面积在扩大,说明了次生盐渍化在发展;盐斑的面积在缩小,反映了改良措施运用得当,效果好。

盐碱地碱斑的盐分水平分布特点是盐分含量以中心最多,由里向外逐渐变少。如以植物生长情况比较,中心为光板不毛之地,由内向外逐渐见到受严重抑制到轻微抑制的植物,以至在外围的植物生长正常。曾有人试图在碱斑上作一通过中心的切线,沿线条播植物,观测植物发芽生长状况,从而实地找出耐盐界限。

从本质上讲,碱斑的形成与盐碱地的形成原因相似,但是碱斑的成因有它自己固有的规律性,因此,要改良碱斑,就必须了解碱斑形成的原因,才能有效地利用碱斑。

二、盐碱地碱斑的成因类型

土壤是一个不均匀的体系,土壤颗粒的组成不同以及构成不同厚度的层次,在这个差异的基础上又形成了土壤容重、渗透性、持水性、地下水的出流状况以及含盐量等亦随之发生变化,甚至地下水位、矿化度亦有明显差异,这种差异直接导致水盐运行状况以及盐分积聚和淋洗的差异。

在野外调查研究时,所观测到的自然植被组成不同群落的现象,正是土壤本身水分、养分、盐分等差异的反映;而不同生物群落所积累的物质不同,反过来又影响土壤的不均匀性。

总之,在土壤形成条件、形成过程中综合作用影响下,导致土壤含盐状况在数量上和质量上的不均匀性,是碱斑形成的基础。碱斑的成因类型一般分为两大类:

(一) 自然因素

古地形地貌直接影响现代土壤形成过程中的水盐运行状况。现在看来是平坦的地形,过去可能是起伏不平的。冲积平原地貌岗坡洼起伏,河流缺口改道,塑造的平原地

貌屡经变化,原来低地变高,高的又相对变低,反复多次,沉积不同厚薄的砂粘层次,由于各种砂粘夹层的厚薄不一,使土壤中盐分含量发生差异。砂壤土的毛管水运行比黏质土迅速,地下水蒸发量约为黏质土的4倍,砂壤土易于返盐,在剖面中夹有粘层的有抑制土壤水盐向上运行的作用,其抑制强度,视黏土层的出现部位和厚度而不同。当两侧由于有黏土层的阻隔作用时,没有形成碱斑,而中间由于无黏土层的阻隔时,毛管水上升蒸发积盐形成碱斑。

在古河槽变迁的地段,如在剖面1 m左右出现锅底状胶泥层(黏土层)的情况下,也易发生碱斑。这层黏土成为降雨或灌溉水的水盐汇集层,形成一个锅底状的临时滞水层,再经蒸发作用而积盐,形成碱斑。

(二) 人为因素

微域地形的高变差异直接影响土壤水盐重新分配,这是最为常见的一种碱斑成因类型。由于微地形高差而发生碱斑的大致有两种情况:其一,在局部高起处,因灌溉水层薄或灌不上水,地面蒸发大,水盐侧向移动,在高处聚积盐分,在一个田块内常常看到高处植物受害死亡,形成缺苗的碱斑。含盐量的差别主要以表层最为悬殊,剖面的下部则差别不大。碱斑地不能出苗的原因就在于表层盐分积聚过多。其二,微地形的低洼处多汇集的水盐蒸发干涸,亦可形成盐斑。也有高处为盐斑,低处为碱斑的。

三、东北盐碱地上虎尾草碱斑、角碱蓬碱斑、明碱斑三种碱斑类型简介

三个碱斑类型土壤水溶性盐化学类型及阴阳离子组成相同。水溶性盐化学类型为氯化物—碳酸盐、重碳酸盐。阴离子组成以苏打为主,氯化物含量高,硫酸根为微量或痕迹量,阳离子组成以 Na^+ 离子为主(主要是),钙离子为微量或痕迹量,镁离子为痕迹量。

水溶性盐含量、明碱斑类型最高,角碱蓬碱斑类型次之,虎尾草碱斑类型较低,其30 cm、50 cm土层含盐量平均值,见表1-3。

表1-3 30 cm, 50 cm 土层含盐量平均值

碱斑类型	30 cm 土层含盐量/%	50 cm 土层含盐量/%
虎尾草碱斑类型	0.74	0.72
角碱蓬碱斑类型	0.91	0.81
明碱斑类型	1.07	0.87

1. 虎尾草碱斑类型

虎尾草植被覆盖率百分之百,由于覆盖率大,水溶性盐上下土层波动受大气降水量和蒸发量的影响较小。

0~5 cm 土层碱化度60.85%~77.42%。其水溶性盐含量在4月中旬至7月中旬略大于0.50%以外,其他各月份均在0.50%以下。6月份出现较高的峰,其他变化不大。

5~15 cm 土层碱化度78.61%~81.67%。其水溶性盐含量除1月和10月小于0.50%以外,其他各月份含盐量均在0.50%~0.90%之间,变化幅度也不大。

15~30 cm 土层碱化度83.89%~88.52%。其水溶性盐含量在0.58%~0.95%; 30

~50 cm 土层碱化度 89.54 ~ 92.30。其水溶性盐含量在 0.53% ~ 0.91%。这两个土层波动幅度较小,比较稳定。

虎尾草碱斑类型水溶性盐含量,除表层积盐最高的剖面而外,一般土壤下层(15 cm 以下)高于上层(15 cm 以上)。水溶性盐主要在 0 ~ 15 cm 土层波动较大,15 cm 以下土层变动较小。

2. 角碱蓬碱斑类型

角碱蓬植被覆盖率 50% ~ 60%。覆盖率较低,水溶性盐受大气降水量和蒸发量影响较明显。

0 ~ 5 cm 土层碱化度 72.07% ~ 87.90%。其水溶性盐含量从 7 月初到 12 月中旬小于 1.00%,其他各月份含盐量均大于 1.00%。5、6 月份出现明显的峰。整条曲线都高于虎尾草碱斑类型曲线。其本身曲线波动幅度也较大。

5 ~ 15 cm 土层碱化度 84.27% ~ 84.71%。其水溶性盐含量除 6 月中旬出现明显的峰而外,其他各月份含盐量在 0.63% ~ 1.03%。7 月份至 11 月份含盐量大于表层土壤(0 ~ 5 cm),其他各月份则低于表层土壤。整条曲线波动较明显。

15 ~ 30 cm 土层碱化度 79.60% ~ 90.62%。其水溶性盐含量为 0.57% ~ 0.95%。30 ~ 50 cm 土层碱化度 80.72% ~ 90.03%,其水溶性盐含量为 0.62% ~ 0.88%。这两个土层含盐量较稳定,波动幅度较小。

角碱蓬碱斑类型水溶性盐含量,春季返盐,0 ~ 5 cm 土层含盐量大于下层 5 ~ 15 cm 土层。夏季到结冻期又小于下层。0 ~ 15 cm 土层含盐量变化较大,15 cm 以下土层较稳定,波动程度较小。

3. 明碱斑类型

无植被覆盖,俗称“光板地”。因地面裸露,水溶性盐受大气降水量和蒸发量影响极大。

0 ~ 5 cm 土层碱化度 65.28% ~ 85.82%。其水溶性盐含量波动幅度很大,形成无规则的锯齿状。7 月中旬至 9 月中旬含盐量较低,但在此时期降水量和蒸发量都较大,也出现高峰。其他各月份均处在缓慢或强烈积盐过程,6 月初至 7 月初出现高峰。整条曲线基本上都高于虎尾草碱斑类型和角碱蓬碱斑类型曲线。

5 ~ 15 cm 土层碱化度 81.87% ~ 88.82%。其水溶性盐含量曲线变化较大,含盐量在 0.75% ~ 1.84%。整条曲线高于虎尾草碱斑类型,大部分也高于角碱蓬碱斑类型。曲线波动明显。

15 ~ 30 cm 土层碱化度 80.77% ~ 87.72%。其水溶性盐含量为 0.37% ~ 0.98%。30 ~ 50 cm 土层碱化度 85.63% ~ 87.66%。其水溶性盐含量为 0.33% ~ 0.80%。这两个土层曲线波动比虎尾草碱斑类型、角碱蓬碱斑类型明显,含盐量往往低于上述两个碱斑类型。

明碱斑类型水溶性盐含量,除少数土壤剖面 0 ~ 5 cm 土层含盐量低于下部土层而外,大部分是上层含盐量高于下层。0 ~ 15 cm 土层波动剧烈。15 ~ 50 cm 土层变化也较大,其含盐量往往低于虎尾草碱斑类型和角碱蓬碱斑类型。原因是:

(1) 由于半干旱地区蒸发量大于降水量 4 ~ 5 倍,在无植被覆盖的情况下,在春秋少雨季节表层土壤是积盐过程。

(2) 三个不同碱斑类型的水溶性盐分的化学组成类型基本相同,同属于苏打盐土或苏打碱化盐土。

(3) 植被类型及覆盖率不同,盐分聚积部位和波动深度各异,表现出不同形态。但 30 cm, 50 cm 土层二个不同时期代表剖面含盐量平均值,区别不甚大。含盐量高的明碱斑类型比含盐量低的虎尾草碱斑类型, 30 cm 土层仅高出 0.33%, 50 cm 土层仅高出 0.15%, 低于各自类型的波动幅度。

四、松嫩平原盐碱斑剖析

(一) 松嫩平原次生盐碱斑的形成及土壤剖面形态特征

松嫩平原开发初期,水草丰美,以盛产羊草(又名碱草 *Aneurolepidium chinense*)而驰名中外。草地中只有一些零星盐碱斑分布,斑块面积较小。直径大多仅在 1 m 到数米之间。据吉林省土壤志(1958)记载,1958 年全省共有光盐碱斑面积 27.3 万 hm^2 ,其中草地光盐碱斑面积为 26.9 万 hm^2 ,占草地总面积 10.6%。草地中盐碱斑比例一般在 5%~15%。主要分布在盐碱湖泡周围或低洼渍水平地的小丘顶部。而 1984 年吉林省白城地区草地资源调查表明:仅该地区草地盐碱斑面积已扩大到 43.4 万 hm^2 ,占草地总面积 36.4%。草地中盐碱斑比例多在 20%~50%之间。1958~1984 年的 24 年期间草地中增加盐碱面积 16.5 万 hm^2 ,平均每年增加盐碱斑面积 6 875 hm^2 。而且分布范围不再只限于盐碱湖泡周围和渍水洼地,尤其在村屯及饮水点附近,大面积盐碱斑连续成片,星罗棋布。甚至在一些地势较高,地下水影响很弱的区域也出现了大面积盐碱斑。大面积盐碱斑的出现与人类活动密切相关。是人类活动和环境因子相互作用的结果,属于土壤次生盐渍化范畴。

(二) 草地土壤次生盐渍化原因的探讨

松嫩平原土壤盐渍化类型主要为苏打盐渍化。由于苏打(即碳酸钠)为强碱弱酸盐,能发生碱性水解使土壤水溶液呈强碱性。它既可使土壤发生盐化,又可使土壤碱化。大多数盐渍化土壤是盐化伴生碱化。

表 1-5 按杨国荣等拟定的苏打盐渍分类指标

全盐量 (g/kB)	类 型	碱化度	类 型
<1	非盐化土	< 5	非碱化土
1~3	轻盐化土	5~15	弱碱化土
3~5	中度盐化土	15~30	中度碱化土
5~7	强度盐化土	30~45	强碱化土
>7	盐土	>45	碱土

东北松嫩平原草地盐碱斑(包括原生和次生)多属于苏打碱化盐土和苏打盐化碱土。所以本文将草地土壤中进行的次生盐化和次生碱化两个过程统称为草地土壤次生盐渍化。而将草地次生盐斑(土)或次生碱斑(土)统称为草地次生盐碱斑(或次生盐碱地)。草地土壤次生盐渍化过程与灌区土壤次生盐渍化类似,自始至终是在人为干扰下发生和进行的。只不过灌区土壤次生盐渍化是由于人类不合理灌排而导致土壤次生盐

碱化。草地土壤次生盐渍化则是因为人类不合理利用草地，如过度放牧、割草、搂柴、烧荒和挖药等原因使草地植被受到严重破坏所致。草地植被维持着土壤中积盐与脱盐的平衡。植被覆盖度的减少，则增大土壤表面的水分蒸发，土体中上升水流的数量和速度都大大提高，从而增加土体下层盐分向表层积聚的数量和速度。另外草地生物产量的下降使草地生态系统入不敷出。

土壤有机质含量大幅度下降，结构变坏，孔隙减少使土体中下渗水流的数量和速度大大降低，从而也导致土壤表层脱盐速率大大降低。相对提高了土壤积盐速率。干旱条件下，地下水含有显量残余碳酸钠，加以有机质大量分解产生的碳酸盐和重碳酸盐，使土壤 pH 值升高和碳酸钠盐积累导致土壤溶液中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 以碳酸盐的形式沉淀下来，大大提高 Na^+ 的代换能力而进入土壤吸收性复合体使土壤发生次生碱化。由此可见，导致草地土壤水盐平衡发生变化而形成土壤次生盐渍化的主导因子是破坏植被。导致灌区土壤水盐条件恶化而发生次生盐渍化的主导因子则是灌排不合理。因而二者的防治措施也不同。防治灌区土壤次生盐渍化的根本措施是合理灌溉和降低地下水位。而防治草地土壤次生盐渍化的有效途径则是保护和恢复植被。

第三节 盐碱地含盐碱类的性质

在实际中，各种盐、碱类盐都是以不同比例混合存在于盐碱地之中，但它们的性质又有很大区别，在改良利用含有不同盐类的盐碱地时，应该采取相应的具体措施。各种盐类有各自的特性，它们的不同特性正是它们之间相互区别的特征。由不同的盐类组成的盐碱地，在地面上可以构成不同的形态特征。例如，含氯化物盐类较多时，吸湿性大，地面比较潮湿，有点黑油油似的，群众称为黑油碱或万年湿；当含有较多碳酸钠时，由于碱性溶解有机物质（视有机质含量多少而不同）可呈现黄棕色、暗棕色、黑棕色等，群众称之为马尿碱。

现在分别介绍各个盐类的重要性质。

一、碳酸盐类

（一）碳酸钙（ CaCO_3 ）

碳酸钙又称为石灰或白垩，白色粉末，无臭无味，这种盐溶解度很低（0.013 g/L），遇稀盐酸时发生泡沸，并溶解。有 H_2CO_3 存在时，与 CaCO_3 反应生成 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ，它的反应为： $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3 = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ，使碳酸钙的溶解度大为提高（0.06 ~ 0.14 g/L），如果有大量 H_2CO_3 存在时， CaCO_3 的溶解度可增加到 0.4 ~ 1.0 g/L。

碳酸钙属强碱弱酸盐，没有游离 H_2CO_3 时，其 pH 值可达 10.2，如有 H_2CO_3 时，pH 值可降至 7.5 ~ 8.5，当有大量 H_2CO_3 时，pH 值甚至可降至 6.8 ~ 6.1，呈微酸性。

在我国干旱和半干旱地区的草原土、荒漠草原土和黄土都富含碳酸钙，有的在心土层中形成钙积层或白眼斑（钙的大斑点），从东北地区的土壤专著中的分析结果分别表明，东北的土壤黑钙土，在心土层碳酸钙含量竟高达 50% 多，由于碳酸钙的溶解度低，极容易发生沉淀，在各个平原的盐碱地中，常因为地下水位上下活动频繁，在底土中经

常出现碳酸钙结核（俗称砂礓）。还有一种名叫青黑土（现称砂礓黑土），其底层石灰结核很多，其砂礓的重量占土体重量的12%~34%。

（二）碳酸镁（ MgCO_3 ）

碳酸镁在矿物学中称为菱镁矿，溶解度比 CaCO_3 高，有 H_2CO_3 存在时，可增加其溶解度，在1 M NaCl中，碳酸镁的溶解度可增大五倍。碳酸镁也是强碱弱酸盐，其水解pH值可高达10。碳酸镁在土壤溶液中有过饱和和积累现象，即是说能保持高浓度的 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 。

在土壤中有游离的 MgCO_3 存在时，对植物生长是不利的。幸运的是，一般在土壤中 MgCO_3 的游离形态累积较少，原因是被黏土所吸附。碳酸镁和碳酸钙常常一起形成白云石结核（ CaMgCO_3 ）的化合物。土壤溶液中碳酸氢镁的大量累积，会影响植物对钙的吸收，钙贫乏必然影响植物细胞壁的生成。以前对 MgCO_3 的毒害性研究得较少，曾有很长时间认为它与 CaCO_3 一样，无多大毒害性。盐碱地中 MgCO_3 含量超过15%， $\text{MgCO}_3/\text{CaCO}_3$ 比值超过1.3倍时，对植物可引起毒害。

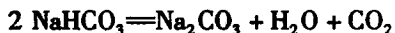
（三）碳酸钠（ Na_2CO_3 ）

碳酸钠又称面碱或苏打，碳酸氢钠（ NaHCO_3 ）又称小苏打。碳酸钠的溶解度很高，在20℃时为221 g/L，低于8℃时，溶解度明显降低，其溶解度曲线是随温度上升而增高，溶解度增加的性质与硫酸钠相类似。碳酸钠水解可以使pH值高达12。由于苏打具有高碱度，腐蚀性强，对植物具有很大的毒害性。碳酸钠溶于水中有涩味，用手搓摸有滑溜感，用酚酞检验紫色或紫红色。

土壤溶液中含有碳酸钠时，土壤胶体分散，结构被破坏，降低了水分渗透性，使土壤板结，土壤物理性状不良，造成不利于植物生长的土壤环境。据报道，即使土壤中含有0.05%~0.1%苏打时，由于碱度和结构不良，而降低土壤自然肥力。

（四）碳酸氢钠（ NaHCO_3 ）

碳酸氢钠是不稳定的，受热易分解，当土壤变干时，碳酸氢钠易转化为碳酸钠，其反应式如下：



苏打盐土在我国有广泛的分布，苏打的形成和累积是个复杂的问题，一直是世界各国学者所重视的问题。由于各个地区的条件相当复杂，因此，对于具体地区的苏打形成和累积，应该分别进行系统的研究。

二、硫酸盐类

（一）硫酸钙（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ）

硫酸钙又称为石膏，无结晶水为硬石膏（ CaSO_4 ）。当硬石膏与水化合成为硫酸钙时，其体积增大100%，石膏的溶解度低，在20℃时为2 g/L，石膏脱水变为半水（ $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ ）时为粉状物质。石膏对植物是无害的，并且是改良碱化土和苏打盐土的改良剂，以石膏的钙离子代换出土壤吸收复合体中的交换性钠，同时也起着中和的作用。

(二) 硫酸镁 ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

硫酸镁又称为泻盐, 属斜方晶系或单斜晶系, 白色结晶, 味苦, MgSO_4 变为 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 时, 其体积较原体积增大 430%。在 20℃ 时, 其溶解度可高达 347 g/L, 由于其溶解度高, 是对植物最毒的盐类之一。单纯的 MgSO_4 在土壤中累积是不会有, 常与其他易溶盐一起累积, 在盐碱地中成为常见的盐类之一。

(三) 硫酸钠 ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

硫酸钠又称芒硝, 其溶解度受温度影响较大, 在 0℃ 时, 其溶解度为 48.5 g/L, 在 20℃ 时为 189 g/L, 40℃ 时 483 g/L。硫酸钠 ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 晶体受温度升高的影响很容易脱水变成白色粉末的 Na_2SO_4 , 当温度下降, Na_2SO_4 就沉淀。它的毒性比 MgSO_4 小 2~3 倍。 Na_2SO_4 与 Ca_2SO_4 一起形成钙芒硝 [$\text{CaNa}_2(\text{SO}_4)_2$]。硫酸钠在盐碱地中是最为常见的盐类, 在地表常以白色结晶出现, 群众称为白碱或白不咸。在干旱地区的蓬松盐土的蓬松层中, 含硫酸钠 ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 比较多, 呈针状结晶。在冲洗改良含硫酸钠盐较多的盐土时, 应选择高温的季节进行, 冲洗效果最好。

三、氯化物盐类

(一) 氯化钙 ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

氯化钙是无色立方结晶, 味微苦, 吸湿性极强, 溶解度极高, 在 0℃ 时其溶解度为 598 g/L, 20℃ 时可增到 744 g/L。但在土壤中氯化钙是很少呈固态结晶存在的, 因为它易于与 Na_2SO_4 或 Na_2CO_3 起反应, 成为 CaSO_4 或 CaCO_3 。只是在湖水矿化度达到 400~500 g/L 时, 可以找到氯化钙, 亦可以在盐土表层发现氯化钙, 那是由于与氯化钠交换反应的结果。

(二) 氯化镁 ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

氯化镁系白色固体颗粒结晶, 味苦, 易溶于水, 吸湿性很强, 溶解度很高, 在 20℃ 时为 550 g/L, 对植物是最有毒害的盐类之一。与氯化钙相类似, 土壤吸收复合体中的镁可与氯化钠起交换反应, 形成氯化镁, 如果盐土中含有氯化钙或氯化镁, 雨后在很长时间内可使土壤表面保持潮湿。由于氯化镁溶解度高, 故改良含有氯化镁盐较多的盐土时, 冲洗是最为见效的改良措施。

(三) 氯化钠 (NaCl)

氯化钠又称食盐, 白色立方体结晶, 味咸。在 20℃ 时, 其溶解度为 359 g/L, 它的最大特点是溶解度与温度的关系变化不大。在盐土中, 氯化钠是最为常见的盐类之一。而且一般含量也较多, 许多盐土中含有 1%~5% 的氯化钠。例如, 在滨海盐土中, 其盐类组成主要是氯化钠, 在径流汇集的低洼地中, 往往也是以氯化钠为主。

土壤中含有 0.1% 氯化钠, 植物就受到毒害。在土壤剖面中, 氯化钠多聚集在最上层。由于其溶解度不随温度变化而发生变化, 故改良含有氯化钠盐类为主的盐土时, 只要水源充足, 冲洗不受季节的限制。

(四) 硝酸盐类

硝酸盐 (主要以 NaNO_3 或 KNO_3 形式存在), 一般土壤含量不超过 0.05%, 虽然硝

酸盐是植物的矿质营养不可缺少的氮素营养,但过量也是有很大毒害作用。硝酸钠的溶解度很高,与氯化镁、氯化钙有点相似。硝酸盐一般不单独存在于盐碱地中,常常与氯化物或硫酸盐一起累积,构成土壤强烈盐渍化,从而使土壤成为不长植物的光板地。土壤中硝酸盐含量达0.07%~0.1%时,对植物就有明显的毒害性。

第四节 盐碱对植物的毒害作用

盐碱成分对植物的毒害影响,总是与盐碱成分总浓度(或者叫全盐量)有密切的关系。所谓全盐量是指土壤中可溶盐的总量,用水土比5:1提取的溶液中所含有的盐量,以100g干土中所含盐分的克数,用百分数表示,而对水中含盐量则以g/L表示。对植物的毒性来说,除了盐分浓度的影响之外,单种盐比混合盐类毒害更大。因此,我们考虑植物遭受盐害时,既要考虑盐分的总浓度(含盐量%),也要考虑盐类的主要离子或特殊离子。应该注意,在盐分浓度高的情况下,不论其离子比例如何,都会对植物产生毒害的作用。

根据野外的观察和研究,植物遭受盐害的共同特征是:植物生长缓慢,形成叶片少而小的矮化植株(一些喜盐植物除外),这种发育不良的叶片与正常叶片相比一般呈暗绿色,有些植物的叶片表面蜡质层显著加厚。那么盐类对植物是怎样发生危害的呢?

一、盐碱对植物毒害的原因

一般认为盐类对植物的毒害作用,主要有如下三个原因。

第一,盐碱土的土壤溶液的浓度很高,它的渗透势可以低于-40巴至-60巴,有的甚至可低至-100巴。在这种土壤上,种子不能发芽,植物吸水困难。植物吸收水分时,要求细胞液的浓度比土壤溶液的浓度高一倍左右,盐碱地含有较多盐分,土壤溶液的浓度提高很多,相反,细胞液的浓度相对降低了,植物吸水的速度便降低,当土壤溶液浓度过高,植物不仅不能吸水,反而会发生反吸现象(即是细胞里的水分被土壤溶液抽吸出来),这种现象在植物生理学上称为生理干旱,植物因吸不到水分而逐渐枯萎死亡。

第二,盐碱土以某一种盐类占很大优势,则容易对植物造成单盐的毒害。

第三,盐碱成分过多,对于多种农植物的正常代谢活动产生严重干扰。使蛋白质的分解大于合成,体内会积累游离的氨基酸,并使原来呈结合状态的二胺析离为腐胺和尸胺。尸胺本身就是很强的有毒物质,能引起植物中毒。

碱类对植物的毒害也有三个原因:

其一,土壤吸收性复合体中有较多的交换性钠,从而降低钙及镁的有效性,同时亦降低植物吸收利用 Ca^{2+} 的能力。

其二,含钠的吸收性复合体的水解作用,形成少量氢氧化钠(NaOH),从而造成一个高碱度(pH值很高)的土壤环境,直接对植物产生毒害。

其三,交换性钠在吸收性复合体中积累较多,对土壤产生分散作用,造成一种湿时泥泞、干时坚硬收缩状态的恶劣的土壤物理性质,严重地阻碍水和空气的通透性。

二、主要阴、阳离子对植物的毒害作用

盐碱地中的可溶性盐类，在溶液中常是以离子的形式存在，它们对植物的毒害作用是很复杂的，其复杂性不仅与生物化学过程有关，而且与因不同种类的植物生理学过程所产生的差异有关。

(一) 碳酸氢根 (HCO_3^-)

碳酸氢根对植物是十分有毒的，它显著地抑制植物对钙吸收。有的研究者针对重碳酸盐对马铃薯的影响认为在一定 pH 值条件下，提高土壤重碳酸钾的浓度，可减少蛋白质的合成。土壤溶液中碳酸氢根 (HCO_3^-) 的浓度过高，会使多数植物发生失绿或死亡，这种失绿病与缺少有效性铁所引起的症状相似。我们必须控制 HCO_3^- 含量不能大于 0.04%。

(二) 硫酸根 (SO_4^{2-})

高浓度硫酸根具有明显的毒性，能解释硫酸根抑制某些植物生长的原因。

(三) 氯 (Cl^-)

土壤中存在过量的 Cl^- 或 Na^+ ，常使大多数植物不能吸收利用足量的 Ca, P, Fe, Mn，而导致发育不良。氯化物对植物毒害所产生的特征：在初期出现缺绿病的同时，叶尖干燥及变褐。当初期烧伤出现后，受害组织还要进一步扩大，可沿叶缘一直延到叶面 1/2 ~ 2/3 处，有时可使整个叶面变成褐色，并呈坏死病症状。严重时，可出现落叶、茎及小枝尖端明显的顶枯病，并因此而死亡。在高温和蒸发迅速的情况下，氯的危害要比气候凉爽而又潮湿的情况下严重得多。

(四) 钠 (Na^+)

钠对植物的毒害作用，一般认为钠在植物体内积累的同时，影响植物对钙、钾等营养物质吸收，破坏植物体内矿质营养平衡，因而使这些离子含量不足或引起阳离子之间平衡的破坏。

(五) 钙 (Ca^{2+})

关于钙离子在盐土溶液中呈高浓度的积累，而产生毒害的报道是不常见的。但是，在实验室条件下的控制试验，确有这方面的试验结果。曾有人用 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 处理与 CaCl_2 所产生的毒性效应相似，他们认为 NO_3^- 不产生毒害，所以毒性归因于钙的累积而不是氯。有人认为在植物体中积累的钙，会形成草酸钙 CaC_2O_4 结晶而产生毒害。有些植物因钙的累积过多而受害，如甜菜过量累积钙，生长受到阻碍，从而发育成叶色蓝绿、植株矮小的所谓“钙型植株”。另外，在某种盐化条件下，由于钙的不足而引起的番茄的蒂腐病和莴苣的褐心病，可能使植物绝产。

(六) 镁 (Mg^{2+})

关于镁的毒害可能与植物组织内钙供应不足有关。土壤中 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 两种阳离子依其比例的不同，可能对植物产生有利或不利的影晌。一般认为，土壤中 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 两种阳离子对植物最适宜的比例为 2:1 或 1:1。高的代换性 Mg^{2+} ，也会产生不良的土壤物理状况和高 pH 值，与钠碱化土壤的性质相类似。