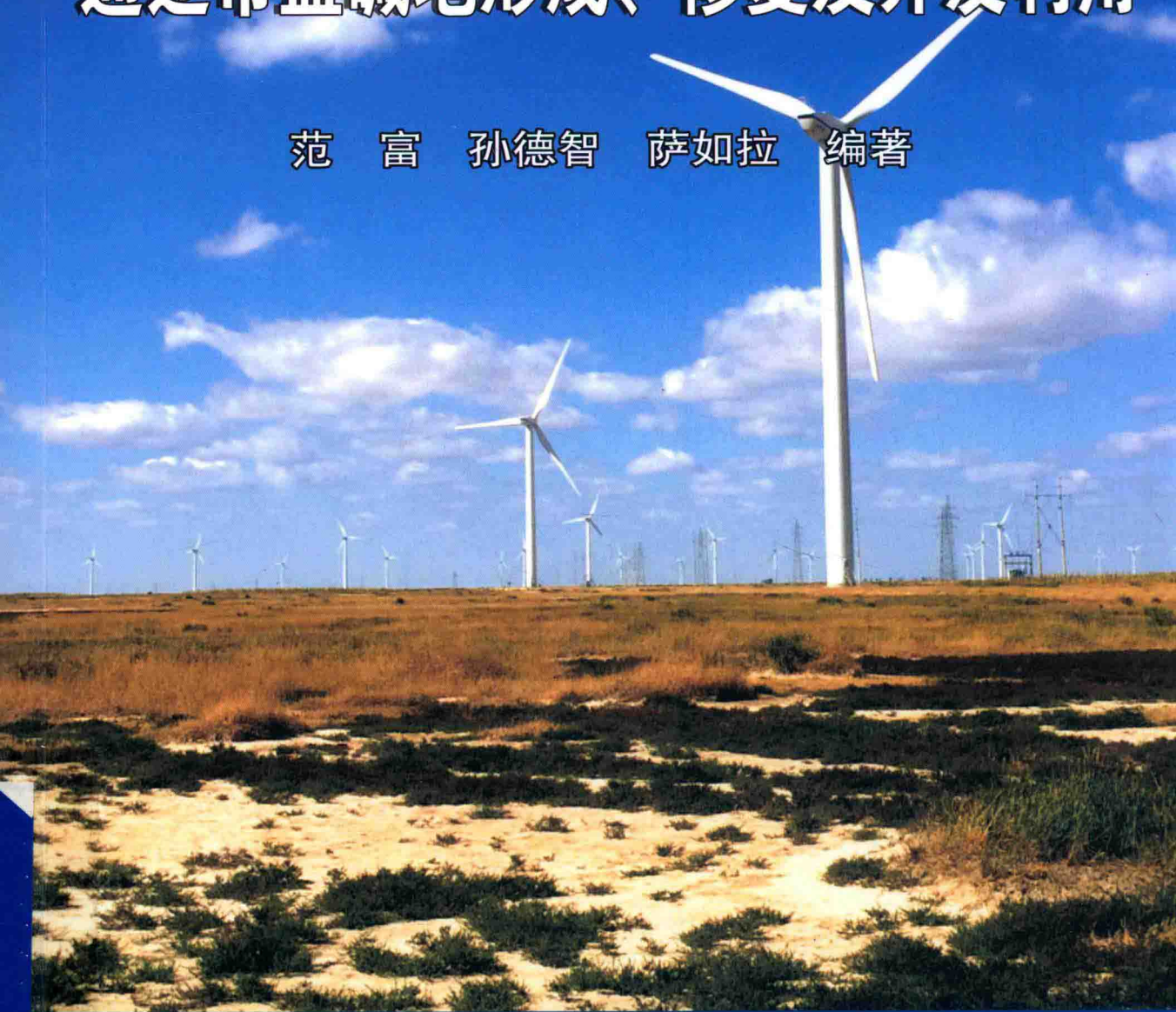


通辽市盐碱地形成、修复及开发利用

范 富 孙德智 萨如拉 编著



中国农业科学技术出版社

通辽市盐碱地形成、修复及开发利用

范 富 孙德智 萨如拉 编著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

通辽市盐碱地形成、修复及开发利用 / 范富, 孙德智, 萨如拉编著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2015. 12

ISBN 978 - 7 - 5116 - 2427 - 7

I. ①通… II. ①范…②孙…③萨… III. ①盐碱地 - 研究 - 通辽市 IV. ①S287

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 308347 号

责任编辑 徐定娜 郑 瑛

责任校对 贾海霞

出 版 者 中国农业科学技术出版社
北京市中关村南大街 12 号

邮编: 100081

电 话 (010)82109707 82105169 (编辑室)
(010)82109709 (读者服务部)

(010)82109704 (发行部)

传 真 (010)82109707

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 各地新华书店

印 刷 者 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 787mm × 1092mm 1/16

印 张 10.25

彩 插 4 面

字 数 269 千字

版 次 2015 年 12 月第 1 版 2015 年 12 月第 1 次印刷

定 价 46.00 元

前 言

《通辽市盐碱地形成、修复及开发利用》一书在参阅大量文献基础上,阐述了盐碱地形成理论及各种治理措施的修复机理,并概述了盐碱地的研究方法。作者在实地调查过程中获得第一手资料,发表了“通辽市盐碱地形成及类型划分”“通辽市碱土景观生态划分及治理对策”等论文。西辽河流域盐碱地具有如下特点:一是面积大、分布广。西辽河流域盐碱地集中分布在冲积平原的低阶地、无尾河散流区、坨沼间低洼甸子地、湖泡周围以及干涸湖泡洼地,达 68.2 万 hm^2 。二是盐碱地属苏打盐渍土。0 ~ 50 cm 含盐量一般为 0.1% ~ 1.0%,阴离子中的 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} (cmol/kg) 占其总量的 55% ~ 95%,阳离子 K^+ 和 Na^+ (cmol/kg) 占其总量的 50% ~ 90%,pH 值在 8.5 ~ 10.6,以苏打为主。三是土壤碱化现象比较普遍,碱化土层厚,碳酸钙含量高。碱化度高达 45% 以上,最高的可达 90% 以上;碱化土层一般大于 30 cm;碱化土壤碳酸钙含量高达 20% 甚至更高。主持的项目有“通辽市盐碱地形成与玉米秸秆造夹层改良技术的研究”(MDX2008017)、“玉米秸秆横竖隔离层改良盐碱地模式研究”(2013MS0605)、“西辽河流域玉米秸秆夹层与灌排耦合修复盐碱地机理研究”(NMDGP1410)。利用通辽市玉米秸秆这一优势资源(玉米种植面积每年在 110 万 hm^2 以上,玉米秸秆贮量大,来源广。)改良盐碱地。近几年做了模拟大田及定位试验,取得了一些研究成果,发表了“玉米秸秆隔离层对西辽河流域盐碱土碱化特征及养分状况的影响”“玉米秸秆造夹层处理对西辽河地区盐碱地改良效应研究”“玉米秸秆夹层改善盐碱地土壤生物性状”“不同盐分组成对壤土大麦幼苗生长的影响”等论文。此书把基本理论和研究成果有机的融入一体,以期通辽市盐碱地修复提供理论依据和技术支撑。

盐碱地是一种重要的土地资源类型,盐碱地通过治理,粮食作物产量能够达到当地中产田水平。所以,科学地开发和利用盐碱地将是拓宽生产领域、扩展农田土地空间的重要途径之一,盐碱地农业高效利用对我国耕地农业生产能力的提升,耕地数量的增加,国家粮食安全的保障具有重要意义。这符合“十三五”规划建议提出的策略:“坚持最严格的耕地保护制度,坚守耕地红线,实施‘藏粮于地、藏粮于技’战略,提高粮食产能,确保谷物基本自给、口粮绝对安全。”

本书适用于农学、农业资源与环境科学类专业以及相关专业的本科生和研究生,也可作为各相关领域技术人员的参考书。

本书由范富、孙德智、萨如拉编著。在编写过程中,得到了同行及学生的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。编写过程中参考了大量的国内外文献、资料和图书。由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请读者多提宝贵意见,以便进一步提高编写质量。

编著者

2015 年 12 月

目 录

第一章 通辽市盐碱地分布及其影响因素	1
第一节 通辽市盐碱地形成的影响因素	2
一、自然因素	2
二、人为因素	5
第二节 通辽市盐碱地分布的地理背景	6
一、苏打盐渍土分布规律	6
二、盐碱地分布的地理背景	6
第二章 通辽市盐碱地成土过程	10
第一节 盐碱土形成过程的特点	10
一、苏打盐（碱）化草甸土	10
二、苏打盐碱化栗钙土	10
三、苏打盐碱化灰色草甸土	10
四、草甸碱土	11
五、“坨间”苏打盐碱化灰色草甸土	11
第二节 盐碱化过程成因理论	11
一、物理化学理论	11
二、碱化土壤形成的生物学说	20
三、土壤的次生碱化	21
第三章 盐碱地的研究方法	25
第一节 调查与采样	25
第二节 碱化土壤的化学分析	25
一、pH 值的测定	26
二、可溶性盐分的测定	29
三、土壤阳离子交换性能的测定	51
四、碱化土壤物理性质的测定	67

第四章 通辽市盐碱地类型及特征	74
第一节 土壤碱化分级	74
一、碱土分类研究发展史	74
二、碱土分类指标	77
三、瓦碱分级初步研究	78
四、作物组成	83
第二节 通辽市盐碱地特征	84
一、盐碱地的地面景观与剖面形态	84
二、碱化土壤的化学特性	106
三、碱化土壤的物理性质	110
四、碱化土壤的生物学特性	111
第五章 通辽市盐碱地修复及开发利用	122
第一节 盐碱地修复方法	122
一、物理修复方法	122
二、化学修复方法	127
三、生物修复方法	128
四、特殊农业措施	133
第二节 盐碱地修复机理	136
一、物理修复机理	136
二、化学修复机理	136
三、生物修复机理	136
第三节 通辽市盐碱地开发利用情况	138
一、库伦旗盐碱地造良田	138
二、科左中旗盐碱地改造设施农业园区	139
三、奈曼旗盐碱地综合开发	139
四、科左后旗改良盐碱地	140
五、扎鲁特旗盐碱地概况及其改良	140
六、开鲁县盐碱地改良	141
七、西辽河地区盐碱地改良	141
参考文献	153
附录 盐碱地图片	161

第一章 通辽市盐碱地分布及其影响因素

盐碱土是一系列受土体中盐碱成分作用的，是各种盐土和碱土以及其他不同程度盐化和碱化的各种类型土壤的通称（王遵亲等，1993），盐碱土又称盐渍土，盐碱土（地）或盐渍土（地）俗称盐碱地（龚子同，1999）。《中国土壤》（1998）一书中指出：从广义上讲，盐渍土包括盐土、碱土和盐化碱化土壤；同时解释：所谓盐化是指可溶性盐类在土壤中的累积，又称盐渍化；所谓碱化主要是指土壤胶体发生的钠质化过程（Sodification）。对于盐碱土的上述定义，世界各国基本一致，只是测定方法和评判标准略有不同；我国境内盐碱土广泛分布，类型多样，其评判标准也是不同的。按照中国土壤学会 1978 年提出的《全国土壤分类暂行草案》和在该草案基础上制定的《全国第二次土壤普查工作暂行方案》，盐土和碱土作为盐碱土土纲下属的两个亚纲并列；盐土亚纲中又根据盐分组成和积盐方式的重大区域性差别等，划分出了草甸盐土、滨海盐土、酸性硫酸盐土、漠境盐土和寒原盐土 5 个土类，碱土亚纲中暂列碱土土类。虽然盐化土壤和盐土、碱化土壤和碱土具有相似的成土特征和性状，但考虑到分类系统的整体一致性和连贯性，在《中国土壤》《中国土壤系统分类》等权威著作中，盐化和碱化土壤并未归属于盐碱土纲，而是分别在相应土类下的亚类或更低级分类单元中予以介绍。例如，盐化潮土（是潮土，在主导成土过程中附加盐化过程而形成的过渡类型）归属于潮土类，盐化沼泽土归属于沼泽土类等。

盐碱地（土）是盐化土、碱化土和盐碱土的总称。在土壤分类学中，不同的国家和国际组织对盐碱土的划分采用了不同的分类系统。在我国，盐土的划分标准为当土壤表层含盐量超过 0.6% ~ 2% 时，即属盐土。氯化物盐土的积盐下限为 0.6%，硫酸盐盐土的积盐下限为 2%；氯化物-硫酸盐及硫酸盐-氯化物盐土的积盐下限为 1%。按土壤的形态和成土过程，盐土可分为草甸盐土、滨海盐土、沼泽盐土、洪积盐土、残积盐土和碱化盐土；碱土的划分标准为碱化层的 ESP > 30%，表层含盐量 < 0.5%，pH 值 > 9.0，而将土壤碱化度-ESP（exchangeable sodium percentage）5% ~ 10% 为轻度碱化土，10% ~ 15% 为中度碱化土，15% ~ 30% 为强碱化土（范富，2007）。现在，通常用土壤溶液电导率和可交换性钠吸收比率作为划分土壤盐碱化程度的标准；一般公认的量化指标见表 1-1（张建锋，宋玉民，邢尚军，等，2002）。

表 1-1 盐碱土分类的量化指标

土类	可交换性 Na 比率	土壤溶液电导率	pH 值
盐化土	< 15	> 4	< 8.5
碱化土	> 15	< 4	> 8.5
盐碱土	> 15	> 4	> 8.5
非盐碱土	< 15	< 4	< 8.5

第一节 通辽市盐碱地形成的影响因素

一、自然因素

(一) 气候因素

一是降雨使土壤淋溶,蒸发使土壤返盐。降雨的特点不同,其淋盐效果也不同。连绵阴雨,雨水渗入土体的有效量大,能持续地把土壤盐分带到地下水中,故对全土层的脱盐有显著效果;暴雨骤降,能将地表一部分盐分从径流冲到排水沟中,另一部分盐分随水渗入底土成地下水,但这种洗盐时间短促,故土壤脱盐效果不明显。干旱年份,地表积盐较多(随土壤水分蒸发而使易溶盐积聚于地表),此时如遇短期降雨(几小时或一两天),除将一部分盐分随径流冲入排水沟外,还能将大量盐分淋洗到表土下不深的土层中,而使该层土壤的含盐量大增;如果盐分下移的深度刚好是作物根系分布较多的土层(容根层),就会造成显著的盐害;若短期降雨后转为闷热天气时,下移到一定深度土层中的盐分,又会因表土的强烈蒸发而沿土壤毛管孔隙迅速上升到地表而恢复原状,甚至产生更强烈的盐渍化。因此,不同的降水强度和频度对土壤脱盐或返盐的影响不同,应当细心分析。

二是风加速土壤水分的蒸发,促使土壤返盐。不同的风向、风速以及大气湿度,造成土壤水分蒸发的强弱也有差异。

三是温度强烈地影响土壤易溶盐类的运动。一般气温高,蒸发强,返盐也强。一方面,温度促进蒸发作用,从而推动盐分向上运行;另一方面,温度的升降对不同易溶盐类的溶解度产生不同的影响。土壤易溶盐类中的 Na_2SO_4 、 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 等随温度的升降,其溶解度大幅度地改变,即温度上升,它们的溶解度就大大提高。另一些盐类,如 NaCl ,溶解度在不同温度下的变动极小。例如,在硫酸盐盐土区,可因气温急剧上升而产生强烈的返盐现象(我国西北以硫酸钠为主要盐分的盐土区),而在东北寒冷地区酷冷季节中, Na_2CO_3 及 Na_2SO_4 可在湖泊及土壤中积淀下来,但 NaCl 则可以继续在土和水中运行。由此可见,气温的变迁对易溶盐的运行起着双重影响。气温对以含 NaCl 为主的滨海盐土盐分运行的影响,主要是通过对土壤水分蒸发的影响来实现的。

通辽市地处科尔沁沙地的腹地,东北与松嫩平原相连,南与辽河平原相接,西北则为大兴安岭,西南为冀北辽西山地。平原地貌以沿河带状冲积河漫滩、阶地,与沙沼地、沙坨地、坨沼间甸子地相伴出现,海拔120~400 m。属于温带半干旱大陆性季风气候,具有冬季干冷;夏季炎热,温差大,降水量少而集中,蒸发量大,春季多大风等特点;蒸发量为降水量的几十倍乃至上百倍,淋洗作用十分微弱,土壤积盐强烈^[6]。可见气候因素是促使土壤积盐的外因,也是盐碱化土地形成的重要因素。

(二) 水文因素

在一定气候条件下,如无灌溉和降雨影响,土体内水、盐运动与地下水埋藏深度有着

密切关系。地下水埋藏深,水分不易上升到表土,底土和地下水中的盐分也就不易随水上升而在地表积累;反之,浅藏的地下水就易造成表土返盐。其次是,与地下水的矿化度有密切的关系。矿化度高,则水分运动时所带盐分也多,就易使表土返盐。在地下水缓流区或滞流区,由于地下水无出路,土体内水、盐运动中上下垂直运动占优势,易使表土返盐;而地下水排水好的地区,土壤和地下水中的盐分能被排水带走,从而减轻土壤的盐渍度。因此,考察盐渍土,应判断地下水的水质(矿化度)、流动速度及去向等。

研究地下水和土壤盐渍化关系时,往往很注意地下水的临界深度。临界深度是指有一定矿化度的地下水最小允许埋藏深度,是土壤返盐或者不返盐时地下水埋藏深度的临界值。由于土壤是否盐渍化主要取决于土壤毛管作用的强度,而不是土壤毛管作用可能达到的高度,所以许多实践资料将地下水临界深度与毛管强烈上升高度的关系列为下式:

$$\text{地下水临界深度} = \text{毛管强烈上升高度} + \text{安全值}$$

式中,安全值主要是指根系活动层或耕作层的深度。其数值和地下水的矿化度有关;对矿化度小于 $3 \sim 5 \text{ g/L}$ 的地下水,可不加此值;对大于 5 g/L 的矿质地下水,安全值至少等于作物主要根系活动层的深度,即 0.5 m 。

毛管强烈上升高度意味着大量的地下水凭借土壤毛管上升力的作用而上升到土层中最大的高度。对这一高度的确定,目前尚不统一,一般以土壤含水量低于“毛管水联系破裂含水量”的土层所在深度,并将从这一深度到地下水面的距离作为毛管强烈上升高度。而这个含水量大致相当于田间持水量的 $60\% \sim 70\%$ 。

毛管强烈上升高度与土壤质地有关,一般来讲,沙壤土大于黏质土,沙壤土为 $1.4 \sim 1.8 \text{ m}$,黏质土为 $0.6 \sim 0.8 \text{ m}$ 。

临界深度随时间、地点、土壤及作物条件等的不同而异。许多人提出了不同的标准,它们都是在特定条件下的相对稳定值。为此,在盐土治理中,应根据各个地区的情况,通过实地测验,找出其适当的临界深度值,才是合理的。

盐碱地的形成与地下水位的高低和矿化度的大小关系密切。一般讲,地下水位愈高,蒸发愈强烈,土壤积盐就愈重,但是临界地下水位、地下水的蒸发与不同地区气候的干湿状况有着密切关系。通辽市境内主要河流以西辽河及其上游的西拉木伦河为骨干,其次有教来河、老哈河、新开河、乌力吉木仁河等支流,基本呈东西向。沿河冲积河漫滩、阶地和坨、沼间的甸子地,地下水位通常在 $1 \sim 3 \text{ m}$,地下水中盐分仍能通过毛管水和薄膜水的移动到达地表。本区苏打聚积与地下水状况密切相关。西辽河平原区地下水,有第四纪砂砾岩孔隙含水层,厚度 $50 \sim 150 \text{ m}$,水位埋深 $<10 \text{ m}$,矿化度 $<1 \text{ g/L}$,水质属弱矿化度以 $\text{HCO}_3 - \text{Na}$ 、 Ca 型为主,普遍含有 NaHCO_3 和 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$,总碱度可达 $0.4 \sim 0.5 \text{ g/L}$ 。在碱性条件下,随着 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 的固定,则很易引起苏打的累积,从而形成不同类型的苏打盐渍土。

(三) 地质地形因素

元素迁移的地球化学过程是引起当地盐聚积的重要来源,途径是从含钠钾的铝硅酸盐的岩石风化形成。通辽市毗邻山地广泛分布着火成岩、喷出岩,尤其是近代火山岩,从化学组成看,主要是富含钠(Na_2O 的含量高达 $2\% \sim 6\%$)、钾(K_2O 的含量一般在 $2\% \sim 5\%$),

属于 SiO_2 过饱和高碱和富碱素类型。钠与钾主要以铝硅酸盐形式存在，它们在风化过程中，形成了含钠、钾、钙、镁的重碳酸盐类，经雨水溶解后，随地表和地下水径流运动，汇集到平原与河谷特别是低洼积水地区，再经蒸发而使含 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的重碳酸盐转化为碳酸盐而沉淀，所余含 K^+ 和 Na^+ 的重碳酸盐及含氯、硫的化合物则呈易溶性盐被淋洗迁移于低地，为形成苏打盐渍土提供了给源。

西辽河平原区由于河流泛滥，而引起成土母质交互沉积，再加上多大风积沙，使之呈现为丘、坡、洼相间的起伏地形景观，因此，盐分自然通过地表及地下径流，向低处汇集，盐渍化状况也随地形高低而异，通常在河滩低地，一级阶地上以及丘间洼地，积盐很重，往往形成盐斑。相继，在年蒸发量（1 890 mm）为年降水量 5 倍的条件下，加之旱风盛行，蒸发强烈，引起盐分积聚，甚至形成植物难以生存的光板地。

局部的地形起伏能影响土壤水、盐的分配。低洼的地形能容纳从其他地区带来的水、盐，因此往往在雨季含盐量较高；较高的地形则恰好相反，在干旱季节，高处的土壤水分蒸发损失强，低处的水分就不断移向高处补充。并将盐分带到高处，水分蒸发后，盐分就在高处积累，产生了“盐向高处爬”的现象。了解了水、盐的这种运动规律后，在盐土上种稻就要切实搞好田面平整，使大片稻田的灌溉水层易于控制（深浅均一）。这样可以避免高墩处的稻苗受爬盐的危害，防止低田片的盐渍水向高田片移动（当高田片落干或作旱作时）。如果在盐土上旱作，开沟播种是一种避盐害的措施，因为垄背部分常为盐积聚之处，不利于保苗。在实践中常可看到开沟条播比撒播的出苗率高，这也是受盐分高处移动规律所影响之故。

（四）土壤因素

不同质地的土壤毛细管水活动的强弱不同。沙质土壤，其毛细管较黏质土壤粗，水盐上升速度较黏土快，故较易返盐。沙质土壤的地下水通过土壤水分蒸发而损耗的强度也远远超过黏土。极细沙或粉沙质土，颗粒排列极其紧密，毛管孔隙量占总孔隙量的百分数高，俗称闭沙，或板沙，水分沿这种毛管孔向下移动困难，其渗透系数较小。黏质土由于因干湿交替等作用而易形成土壤裂隙，可使地表水分迅速下渗，所以黏土有时反而较粉沙质土壤的渗水性好，因此，在同一盐渍区域中，极细沙或粉沙质土壤最易于发生盐渍化，就是这个缘故。

土壤剖面中的夹黏层（夹在沙质或壤质土层中的黏土层）对于土壤水、盐的向上运行有明显的抑制作用，而抑制的大小主要与黏土层的厚度和出现部位有关。来自山东、河北的资料显示，如果夹黏层厚度大于 30 cm，其底部又离出地下水水面 50 cm 时，则水、盐向上运动就受到强烈的抑制。在同样气候及地下水埋藏深度情况下，黏土层愈近地表，愈能抑制水分的向上运行；反之，黏土层出现部位愈深，土壤地下水（土滞水）因地表蒸发而损耗的强度愈大，从而随土壤地下水上升并在表土聚集的盐分数量也就愈多。因此，黏土层出现部位较深的盐土，其表土层盐分的聚集也较多。

表土的结构性也明显影响盐分在表土中的聚集。良好的土壤结构（团粒化）使表土疏松，多大孔隙，土壤水能以气态形式在大孔隙中上升，而向大气蒸发，毛细管水运动相对地受到抑制，所以随液态水一道上升到表层的盐分也少，故表土积盐作用受到削弱；同

时,由土壤团粒化造成的大孔隙便于渗吸降水,有利于淋盐。因此,良好的土壤结构既能防止或减弱返盐,又有利于洗盐。

通辽市位于科尔沁沙地的腹地,绝大多数土壤质地为壤质土和粉沙壤质土。壤质土和粉沙壤质土的毛管性能强,毛管孔隙大小适中,毛管水上升的高度大,速度快,土壤积盐快而多;相反,黏质土和沙质土;由于毛管性能弱,土壤积盐慢或积盐少。

(五) 西辽河改道

据有关资料介绍,1917—1956年,西辽河共有5次大的改道,小的改道次数则更多(王立海,1985)。当河流的改道发生洪涝时,水分较长时间覆盖在土壤上面,土壤毛细管被水分填充,使地下水与表层水连通,地下水位提高。洪水退去,表层水蒸发时,地下水中的盐分会在土壤表层过量积累,引起土壤盐碱化。

二、人为因素

通辽市是内蒙古自治区(简称内蒙古)主要商品粮生产基地。由于村屯人口密集,铁路、公路、渠系纵横密布,所以滥垦乱挖土地,植被破坏严重,这加剧了土壤盐渍化过程。特别是在丘间低平地及沿河低阶地,盘点放牧,牲畜饮水方便之处,载畜量过分集中,致使植被惨遭破坏,土壤盐渍化发展更为剧烈。由于人类生产活动不当引起耕地次生盐碱化主要有以下几个方面的原因。

(一) 不合理的灌溉

通辽地区为了提高农业产量,灌溉是通常的农事活动(Qureshi R H, Barrett-Lennard E G, 1998)。如果灌溉方式和用水量适当,则不会对土壤地下水位产生影响,只是补足土壤饱和含水量。但是,大部分地区一般采用大水漫灌。这样如同发生洪涝,极易引发土壤盐碱化。如果灌溉用水中盐分离子含量过高,长期使用这样的水,也会使盐分离子在土壤中过量积累,发生土壤盐碱化(张建锋,1997)。

(二) 破坏植被

草场超载过度放牧、滥垦滥樵、乱挖药材、河流改道使沉积沙层被冲刷变薄,原始植被遭到破坏。在植被破坏土壤上种植农作物或土壤裸露时,首先水分蒸腾量降低,地下水位上升;其次降水进入土壤的比例加大,也会抬升地下水位,从而导致土壤盐碱化(龚洪柱,张建锋,1994);再者牲畜反复踩踏,使土壤表面坚实、孔隙度减少、容重增加,对土壤通气性、渗透性和蓄水能力带来不良影响,使土壤pH值、含盐量增高,碱斑不断扩大,导致大面积裸地出现,形成次生盐渍化。

(三) 建造水库

水库的建造影响了生态环境。由于通辽市干旱缺水,在区内修建了较多的蓄水水库,如莫力庙水库、西湖水库、舍力虎水库、孟家段水库、小塔子水库、他拉干水库、吐尔基

山水库、都西庙水库和三八水库等。这些水库的修建使局部环境得到改善，而整体环境造成恶化，直接造成通辽地区地下水位抬升，使地下水很易借助土壤毛管上升到地表积盐；而且河流搬运来的大量碎屑物和可溶盐类不能被河水带走，在通辽地区沉积，故在该区形成了土壤原生盐碱化。

（四）农业技术措施

良好的农业措施往往可减少土壤水分的非生产性蒸发消耗，减轻或避免作物的盐害或土壤的盐渍化。例如，修建成套的沟条（台）田，能降低地下水位；中耕松土，能切断土壤毛细管；盖草、植树造林，能减少土表蒸发。这些措施都能减轻土壤返盐强度。深耕，增施有机肥料，改良土壤结构性，都能加速土壤脱盐过程；灌水种稻，田面经常保持水层，可使表土中的盐分，一部分溶解在田水中而从田面排走，另一部分可随渗漏水移到底土和地下水中，能加速表土脱盐，而且种稻后能使地下水淡化，减轻返盐。稻田只有在排水搁烤和收割时，才有返盐过程。种稻过程中，只有灌溉水带来的盐分才是稻田表层盐分增加的主要来源，所以开辟淡水源，注意灌溉水质极为重要。

粗放的农业措施，如有灌无排，中耕松土不及时，乱耕乱作，缺苗断垄和作物生长不良，使裸露地面积扩大时，将促使土壤盐渍化的发生和发展。

第二节 通辽市盐碱地分布的地理背景

一、苏打盐渍土分布规律

苏打盐渍土多系分布在河流冲积平原漫滩地、低阶地、排水不畅的低洼地、无尾河散流区、湖泡周围微倾斜平地 and 干固湖泡洼地。即空间分布多呈斑块状，并与其他水成和半水成土壤呈复区存在。

西辽河流域苏打盐渍土主要分布在坨甸交接地带和无尾河散流区，在三面被风沙土围绕的弓形半封闭灰色草甸土与风沙土交界地域，或两面被坨、沼风沙土夹持中间窄而低洼平地均呈现较大面积的带状或片状分布。苏打盐渍土积盐强弱和轻重程度，反映在地域空间位置，具有同心圆分布规律，即在湖泡周围微倾斜平地、干固湖泡低洼地、沙丘间蝶形洼地、远离河流的低平地 and 积盐较重的区域，盐渍强度依次为盐碱土、重度（强）盐碱化土、中度（中）盐碱化土、轻度（弱）盐碱化土、非盐碱化土。

二、盐碱地分布的地理背景

盐碱土和其他土壤一样，是一个独立的历史自然体，有自己与之相适应的空间位置。虽然碱土在土壤分类系统中划为隐域性土壤，但生物气候的地带性对其类型特征的影响是相当显著。由于地带性水热条件以及与之相应的物质移动和积累强度的影响，尤其是生物积累的强度（土壤有机物质含量）深刻地影响到土壤形成过程与土壤属性。生物气候带内

碱土形成过程相一致时，又存在某些地带性差异。地形地貌、母质以及水文地质变化同样影响碱化土壤分布。而人类生产活动，无论是灌溉排水还是施肥和耕作管理，均影响碱土微域分布；使碱化土壤分布趋于更复杂化。

(一) 生物气候

众所周知，碱土与盐土（包括各种程度盐化土与碱化土）的形成与土壤母质风化所产生的可溶性盐类的迁移、累积和淋溶密切相关。“盐随水来、盐随水去”形象地描绘了盐分移动与水分的关系。因此，盐分、水分是碱土与盐土形成的两个关键因素，而土壤中盐类、水分的来源和数量与生物气候有密切关系。在自然条件下，土壤中水分含量在很大程度上取决于自然降水与蒸发。除滨海受海潮影响以外，世界各大陆盐分的累积主要是在干旱、半干旱以及荒漠地区。

通辽市地处北温带亚洲季风气候区，除北部山区小范围属半湿润区外，大部分地区属于半干旱气候区。年平均降水量小于年平均蒸发量，蒸降比多为1~10，干燥度为1~4。因受东亚太平洋季风气候影响，降水量年内分配不均匀，多集中于夏季6—8这3个月中，占年降水量的60%以上，不少地区甚至超过70%；这一时期土壤以淋溶过程为主，盐分明显下移。其他季节降水较少，形成干湿季分明，旱季长于湿季。尤其是春季增温迅速，风力较强，蒸发更加强烈。整个旱季蒸降比明显上升，致使土壤强烈积盐。因此春季是土壤积盐最旺盛时期，这造成土壤盐分年循环。降水量的分配不均，不仅指一年内的分配，同时在年际甚至雨季内同样存在雨量分配不均现象。这种情况下，雨水常常形成地表径流而汇集于洼地。西辽河平原因雨量分配不均而酿成春旱夏涝、涝后又旱的局面。水分条件如此变化，造成土体内溶液的上升下降频繁交替，加剧土壤碱化过程。

土壤盐分以土壤水分为载体（即溶解于水而成为溶液），在土体内随水分作纵横向运行，它受温度的强烈影响。一方面是温度的变化影响土壤水分的移动；通辽地区气候寒冷，10月份开始土壤先后结冻，至翌年4—5月间解冻。土壤结冻时间长，冻结深度达1米多。在深厚冻层影响下，土壤水分运行有特殊规律，因而这一地区土壤中盐分运动与我国其他地区土壤盐分运动不完全相同。有人认为这一地区碱化土壤的形成与冻层有关。同时，温度也影响盐分溶解度（表1-2），土壤中可溶盐类随温度变化而溶解或结晶。所谓“7—8月地如筛，9、10月爬上来”固然说明雨季淋盐，同时也说明7—8月是高温多雨季节，盐类溶解度增加、溶解于水而往下淋溶；到9—10月，由于蒸发浓缩、温度下降溶解度降低、盐分便从溶液中结晶析出。在0℃时，土壤中存在的与碱土、碱化土壤形成有密切相关的碳酸钠纯盐（非混合物）水中的溶解度为70 g/L，当温度上升到30℃时溶解度为392 g/L，提高了4倍多。因此，温度条件造成碳酸钠在土壤溶液中移动和累积，可促进土壤碱化过程。

表 1-2 不同温度下的盐类溶解度

温度（℃）	盐类溶解度（g/L）						
	CaCl ₂	MgCl ₂	NaCl	CaSO ₄	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	CaCO ₃ Na ₂ CO ₃
-50	435						
-39					235		

续表

温度 (℃)	盐类溶解度 (g/L)							
	CaCl ₂	MgCl ₂	NaCl	CaSO ₄	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	CaCO ₃	Na ₂ CO ₃
-30	484	285						
-20		362	310					
-10	550		330					
0	598	525	357	1.76		48.5	0.81	70
1					267			
5						60.7		
10	650	535	358	1.94	325		0.70	121
15						89.2		
20	744	550	359	2.06	347	189	0.65	221
25	820							
30	1 030			2.12	398	410	0.52	392
32.3						497		
33								500
40	1 160	575	364	2.12	445	483	0.44	
41								485
50					500		0.38	
60		610	370		540	452		464
80		650	380	1.85	638	432		458
100		724	392	1.69	710	420		455

(二) 地形地貌

不同地形的水文地质特征和土壤水分类型不同，从而影响土壤形成过程，决定土壤分布规律和土壤组合特点。因此，地形地貌特征是改良利用土壤所必须考虑的一个方面。通辽市盐碱地主要分布在中部平原区，属中生代的拗陷地带，中生代后，在负向运动影响下，堆积千米以上的白垩纪陆相地层和厚度超过百米的第四纪沉积层、上更新统（Q₃）的河流冲积及湖泊沉积层分布于平原中部，组成河谷冲积平原，成为碱土和碱化盐土广泛发育的地带。冲积层表层为黄土状亚黏土、厚约2~6 m，局部有薄层的亚沙土，其下为沙砾石。湖泊沉积层均为黑色或灰黑色的淤泥质亚黏土和黏土，厚2~30 m。全新统（Q₄）河流近代冲积层，表层为黏土、厚1~3 m，其下为砂砾石。

西辽河平原地形平坦，四周高于中部10~60 m，略向平原中心倾斜。整个平原可分为两个大的地貌单元，即山前洪积、冲积倾斜平原和河谷冲积平原。山前洪积、冲积倾斜平原位于大兴安岭山前地带，河谷割切强烈，显波状起伏；降水不易停集，常被沟谷排泄，地下水也遭沟谷排泄，成为平原中部地下水补给来源之一部分；没有碱化土壤的分布。河谷冲积平原基本无沟谷切割，地形甚为平坦；除小丘、洼地外基本上没有别的微地貌类型；小丘有土丘和风成沙丘两种。沙丘一般高出周围平地数米至十余米；土丘一般较矮，仅高出周围平地0.5~1 m，极少超过2 m。洼地则因其成因不同可分为风蚀洼地、湖泊沼泽洼地。风蚀洼地均位于沙丘之间，大小为几十到百余平方米，雨季集水，旱季干涸。湖泊及沼泽洼地面积相对较大，一般有几百平方米，大者可达数平方公里；常年积水，其水

一般均为矿化度较高的碱性水。西辽河平原地貌特征,对碱土及碱化土壤的形成与分布有极密切的关系。

(三) 成土母质

由于碱土与碱化土壤多分布在河湖阶地、现代或古代的冲积平原、山前平原和洼地,所以成土母质多半为洪积物或古代河流冲积物和湖积物、冲积湖积物等。此外,尚有一定数量的风积物以及不同起源的黄土及黄土状沉积物。

西辽河平原实质上是松辽平原西南一隅,地质构造为新华夏系松辽平原一级沉降的次一级盆地,基底为前震旦纪的结晶岩和片岩系。因沉降幅度 4 000 ~ 5 000 m,在平原区几乎无出露。目前,通辽市总趋势仍然以下降为主,地表均由松散的第四纪冲积、风积和湖积物等组成,质地多为细沙、中沙、粉沙和黏土,很少有基岩出露;南北山区总体上处强烈风化剥蚀过程。第四纪气候旱化和气候波动过程中曾发生冰缘环境,这使南部丘陵出现风成黄土和北部山前的镇西期冰水堆积。母质对碱化过程的影响有:一是提供碱化过程所必需的钠离子。尽管有些母质含可溶盐并不多,且以钙、镁盐类为主,但当它们在土壤中移动累积时,由于盐类化合物溶度积的影响,钙、镁碳酸盐先沉淀,致使钠盐在土壤中相对累积。不少母质如黄土含有碳酸钠和重碳酸钠,因而直接影响土壤碱化过程。二是母质机械组成的差异会影响土壤水盐运行,尤其是河流冲积物所形成的砂粘间层。砂壤、轻壤质土壤毛细管性能良好,水分上下运行通畅,增加盐分在土体内运行机会,促进土壤碱化。

(四) 水文地质

水文地质条件是碱土和碱化土壤形成中的重要因素。地形地貌、气候母质等因素均通过水文地质条件而影响碱土发生与演变。西辽河两翼平原、坨沼区地下水分布具有与河流平行特点,上游至下游呈现出平行于两河(西辽河、新开河),逐渐过渡而又各具特色的环状水平带的规律,含水层结构由一厚度含水层变为多层含水组成的同一水体;含水层岩性颗粒由粗变细、含水层由厚变薄、含水量由大变小;地下水径流由畅通变为滞缓,水质由好变差。

除保康、舍伯吐和株日河牧场一带局部地段水质较差外,通辽市绝大多数区域水质较好,矿化度低(一般均小于 1 g/L,局部 1.5 ~ 2.0 g/L),属内陆淡水,水化学类型为 $\text{HCO}_3 - \text{Na}$ 、 Ca 型或 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 、 Na 型,属苏打盐碱化土集中分布区。在空间分布上,西辽河沿岸、新开河中下游多以 $\text{HCO}_3 - \text{Na}$ 、 Ca 型或 $\text{HCO}_3 - \text{Na}$ 型为主;乌力吉木仁河上游为 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 、 Na 型;新开河下游以 $\text{HCO}_3 - \text{Na}$ 、 Ca 型、 $\text{HCO}_3 - \text{Na}$ 型为主。

通辽市地区地表水较丰富,除大小河流外还有不少面积不等的湖泊(当地称泡子)。大量水样分析资料显示,无论是地下水,还是地表水,大部分均为淡水和弱矿化水(矿化度小于 1 g/L,河水不超过 0.251 g/L),盐分组成中主要为苏打,氯化物和硫酸盐较少。在局部地区,地下水或封闭的湖水也有矿化度较高的例外现象,进而可能导致氯化物-硫酸盐或硫酸盐-氯化物水的出现,由于此类水均含一定量的苏打,因此会直接影响碱土及碱化土壤形成,致使本区广泛分布碱化盐土及草甸碱土。

第二章 通辽市盐碱地成土过程

第一节 盐碱土形成过程的特点

通辽市盐成土壤属内陆盐渍化型，具有典型的苏打盐化、碱化的双重特性。苏打盐碱化土在形成上包含有三个主要特征，其一是具有明显的地带性和区域性，它是发育在温带半湿润和半干旱气候条件下的现代形成物；其二是苏打盐碱土主要混存于地下水较高的草甸化土壤中，以斑块状与草甸类型土壤呈复区存在；其三是苏打盐碱土发展和演化趋势，既有利于积盐，又有脱盐的可能条件。

在剖面形态上，苏打盐渍化土壤盐渍化严重的地表呈现斑块状光板地，干燥时地面呈白色、乳白色，为细砂加 SiO_2 粉末。由于透水性不良，雨后地表泥滑，碱性溶液将腐殖质溶解，积水呈棕褐色，蒸发干燥后呈现光亮黑色的凝胶状结皮。结皮下层往往形成为由腐殖质染成的暗棕色土层，一般不显结构性。但干旱季节呈现出垂直裂缝及不明显的棱柱或棱块状，结构面上有细砂及 SiO_2 粉末。此层以下，色渐浅、锈斑纹增多，逐渐过渡为棕色或浅灰色，常带有潜育化底土层。

苏打盐渍化土壤水溶性盐分含量较低，聚表性明显。碱化现象取决于微域地形对水分的再分配，即上升流和下降流同时存在时形成苏打碱土；以上升流为主时，形成苏打盐碱土；在槽形洼地、地表水汇集以下降流为主时，形成盐碱化草甸土类型。随时间的发展，碱化土层形成过程往往表现在土体上、中、下不同部位（详见以下典型剖面形态特征）。

一、苏打盐（碱）化草甸土

采自霍林河矿区油库南偏西 $45^\circ 800\text{ m}$ 处，海拔 865 m ，植被有羊草、碱蓬、星星草、扁蓿蓼、阿氏旋花和菱陵菜等。剖面分化为 As 生草层，BzBtn 盐化和碱化层，B 心土层，g 潜育层，地下水 1.7 m 。草被破坏后地表盐斑、结皮十分明显。

二、苏打盐碱化栗钙土

采自科左中旗保康镇西坨三角点南偏东 $15^\circ 1\ 800\text{ m}$ 处，植被有碱草、菱陵菜、寸草台、碱蓬等。盐碱斑面积占 30% 左右，剖面分化为 Aso 和 Asp 盐结皮和蓬松层，Btn 碱化层，Bca 钙积层，BC 心土过渡到底土层，地下水 1.4 m 。干燥时地表呈现乳白色和凝胶状结皮层。

三、苏打盐碱化灰色草甸土

采自开鲁县大榆树镇砖厂南农田，荒地植被有碱草、碱蓬、马兰、独行菜、芦苇等。

剖面分化为 Ap 耕作层, Btn 碱化层, B 心土层, g 潜育层, 地下水 1.1 m。地面盐碱斑面积 20% 左右。碱化层厚度 30 cm 左右, 稍风干后裂缝明显, 质地黏重, 结构成棱块状, 结果面上有细砂和 SiO_2 粉末, 可见锈斑纹。

四、草甸碱土

采自科尔沁区清河镇大席棚村西南碱甸子南偏西 $70^\circ 1\ 000\text{ m}$, 植被以虎尾草、狗尾草居多, 其次有碱草。剖面分化 As 生草层, Btn 碱化层, B 心土层, g 潜育层, C 底土层, 碱化层厚度 10 cm 以上, 地面碱斑块约占 70% 以上的面积, 地下水 1.8 m。土壤表层干燥时裂缝明显, 呈垂直棱块状结构。

五、“坨间”苏打盐碱化灰色草甸土

采自后旗伊胡塔叶巴勒稿正东 500 m 处, 植被有马莲、寸草台、碱地早熟禾、蒲公英、碱蓬、碱刀股等。剖面分化 As + BzBtn 生草层和盐、碱化层, Ag 淋溶层并有大量的锈纹锈斑, Bt 棕色心土层, G 潜育层, 地下水 1.1 m。

第二节 盐碱化过程成因理论

什么是土壤碱化过程? 国内外科学家们都下过种种定义。最早提出解释的是 Гидроиц, 他是指原来含有很多钠盐土壤, 经长时期的自然淋洗, 盐分大部分均被淋洗, 淋洗过程中, 钠盐与土壤借阳离子交换作用而使钠离子被土壤吸附, 并在土壤交换性盐基中占到一定的百分数, 这样的过程称为碱化过程。1932 年, De sigmond 简要地指出碱化过程是钠离子借盐基交换作用被土壤固体吸附的过程。B. Г. Виленский (1950) 认为盐土中土壤和盐溶液之间发生着盐基交换, 在这种情况下, 盐渍土的吸收性盐基 (主要是钙) 和为水所带来的盐类的钠离子发生交换, 这种过程叫做土壤的碱化过程。总之, 碱土是由于土体内发生了盐基交换过程, 钠离子进入土壤胶体复合体而逐渐形成的。这个过程既可发生在土壤脱盐过程中, 也可以发生在土壤积盐过程中。

碱土与碱化土壤的形成是由于土壤发生了碱化过程。但并不是所有碱化过程均产生碱土或碱化土壤。这一点可能不完全被人所理解, 关于碱土的形成, 存在着种种理论。

一、物理化学理论

碱土是由于土壤吸收性复合体吸附了钠离子而形成的。土壤对于物质的吸收能力可以分为 5 种: 物理化学吸收能力 (或称交换吸收能力)、机械吸收能力、物理吸收能力、化学吸收能力和生物吸收能力。物理化学吸收能力 (交换吸收能力) 是指在土壤胶体微粒双电层外围的离子对同该胶体微粒接触的可溶盐离子之间发生的交换反应, 正如普通的化学