



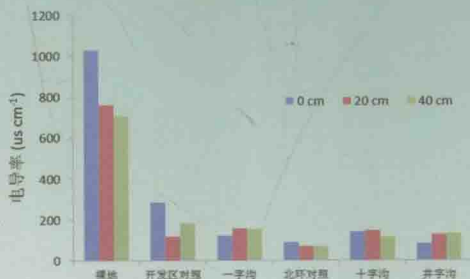
新世纪学术创新团队著作丛书

# 重度盐碱地营造 杨树人工林

丛书主编 祖元刚

本书主编 祖元刚

著者 祖元刚 王文杰 唐中华 于景华  
李德文 杨逢建 李文罡



科学出版社

新世纪学术创新团队著作丛书

# 重度盐碱地营造杨树人工林

丛书主编 祖元刚

本书主编 祖元刚

著 者 祖元刚 王文杰 唐中华 于景华

李德文 杨逢建 李文罡

林业公益性行业科研专项(201104002-3)资助

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

中国盐碱地面广量大,改造治理及合理开发利用这些资源,是中国农、林、牧业可持续发展的重要途径之一。本书以东北西部松嫩平原重度盐碱地为研究对象,对盐碱地形成原因、危害植物特点、生态治理措施、营造杨树人工林理论以及杨树林生理生态和碳汇功能等进行了系统研究。本书共分9章,其内容可对盐碱地分布区内的城镇绿化、道路绿化和村屯绿化提供借鉴,也对改善当地生态环境,推动区域经济、社会和生态可持续发展具有重要意义。

本书可供植物学、林学、草业科学、生态学和农学等领域的科研、教学人员和研究生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

重度盐碱地营造杨树人工林 / 祖元刚主编. —北京:科学出版社,2013.6  
(新世纪学术创新团队著作丛书)

ISBN 978-7-03-037662-6

I. ①重… II. ①祖… III. ①杨树-人工林-盐碱地造林 IV. ①S792.110.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 116681 号

责任编辑:张会格 / 责任校对:刘亚琦

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王浩

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>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2013年6月第一版 开本:B5(720×1000)

2013年6月第一次印刷 印张:10 插页:8

字数:220 000

定价:75.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 丛书序言

自从宇宙大爆炸以来,自然天体即在介观的水平上,以夸克等粒子的随机碰撞为基本的能量运动形式,由介观向纳观、微观、中观、宏观、宇观方向,以运动的异质性为自然演化的源泉,以无限性的宇量规模演化成太阳系、地球、生命系统直至形成具有高度发达大脑的人类。

然而,人类直观认知自然界的视野仅限于宏观水平,对于从介观到宇观无限性宇量规模的认知,人类也只能借助于各类观测工具由局部、定性、可数计量开始逐渐加深对自然界复杂性的认知,其间经历了数万年的发展历程,因而也推动着科学技术由定性研究到定量研究向智能研究,由单一学科到学科交叉向学科融合的方向发展,也规范着科学研究的行为由个体化向群体化方向发展。进入 20 世纪 90 年代,人类开始迅捷共享全球科技资源,科学研究的群体化整合进一步增强了科学家在整体观上全面认知自然界本质的凝聚力,因而酝酿着人类在 21 世纪通过学术团队创新来实现对自然界整体本质认知的重大突破。

我于 1972 年开始接触生命科学研究,1978 年开始从事生命科学研究,在大约 30 年的学术生涯中,逐渐认识到单一学科和个体化研究的局限性,为此,我于 1990 年开始,下决心以重点实验室的形式组建学术团队,发挥集体智慧的优势,试图将宏观研究与微观研究结合起来,全面揭示生命系统与环境系统相互作用的内在机理。经过十几年的努力,积累了一些原始创新性的研究成果,现以《新世纪学术创新团队著作丛书》的形式陆续刊出,以有利于自由探索式学术交流和集成发展。

祖元刚

2004 年 1 月于哈尔滨

## 前 言

我国黑龙江省松嫩平原在特殊地理地形和破坏性人为因素的双重影响下,逐步发展成为盐碱土集中分布的地区之一。特别是该平原的西部,已成为世界三大苏打盐碱地集中分布区之一,而且重度盐碱化土地面积仍以每年 1.4% 的速度扩展,导致了严重的区域生态危机,严重威胁着我国的生态安全和粮食安全。由于松嫩平原重度盐碱地分布区位于半湿润、半干旱气候地带,年降水量在 500 mm 左右,雨热同季,适于林木生长,若成功实施重度盐碱地植被恢复将其改造成适于营造生态公益林的造林用地,可有效保障我国新增 4000 万  $\text{hm}^2$  造林面积的用地空间,碳增汇能力也将有大幅度的提高。

在重度盐碱地治理及其植被恢复研究方面,国内外已开展了多年的研究,是公认的世界性难题。我和我的研究团队自 2006 年起一直致力于该方面的研究。我们在全面研究了黑龙江省重度盐碱地的形成机理和对植物危害的生态机理的基础上,根据人为干扰破坏后黑龙江省重度盐碱地“水-碳-盐”时空运动的基本规律和对植物产生危害的基本特征,针对性研制出一套盐碱地的生态治理措施和营造杨树人工林的技术体系,并在黑龙江肇东市等盐碱化较重地区开展重度盐碱地银中杨人工公益兼商品林生态培育技术研究工作,系统地评价了该技术的改良土壤效果、生物学效应、生态学效应和社会学效应,取得了良好进展。

通过应用我们自主创新的盐碱地营造杨树碳汇林的自主创新技术措施,包括小穴改良一字沟觅食丘式原位修复种植银中杨、小穴改良十字沟觅食台式原位修复种植银中杨等,项目前期在黑龙江省肇东市经济开发区进行重度盐碱地杨树碳汇林的营造,生长数据表明,应用本项目研发技术营造的银中杨公益林具有苗木成活率高、生长速率快、银中杨干形好等特点,取得了显著的生态和社会效益,形成了一整套在我国黑龙江省典型重度盐碱地培育公益兼商品银中杨的技术体系,对于我国大力利用困难立地开展杨树碳汇林、发展特色林业经济等方面具有重要支撑意义。

上述研究是在我单位自选项目支持下开展的。我的博士研究生闫永庆、朱虹,硕士研究生贺海升、于兴洋、许慧男等参与了研究工作。在我的指导下,朱虹撰写了《树皮土基质和降盐碱剂对盐碱土的改良效应》博士学位论文,闫永庆撰写了《松嫩平原盐碱胁迫对目的园林植物生理生态学影响》博士学位论文,贺海升撰写了《施加改良剂对重度盐碱地盐碱动态及杨树生长的影响》硕士学位论文,于兴洋撰写了《松嫩平原盐碱地改良后土壤特性及生物学评价》硕士学位论文,许慧男撰写

了《树枝与叶片绿色组织 C4 酶相关光合特性差异》硕士学位论文。通过多年的研究和实践,我们在重度盐碱地生态治理和杨树人工林营造等方面取得了良好进展,积累和建立了较完备的理论和技術体系,目前申报获批国家发明专利 4 项,发表学术论文 30 余篇,通过省级鉴定 3 项,均达到国际领先水平。在以上研究成果的基础上,我与我的学生王文杰教授、唐中华副教授以及团队研究骨干李德文将研究成果统为一稿并进行了认真的修改、补充,经我们多次的研讨后定稿,进一步整理出此专著。现将此专著收录于我主编的《新世纪学术创新团队著作丛书》中,不足之处,殷盼指正。

**祖元刚**

2012 年 11 月于哈尔滨

# 目 录

## 丛书序言

## 前言

<b>第一章 研究背景</b> .....	1
1.1 当前建设生态公益林的重要任务是为应对气候变化作出贡献 .....	1
1.2 大力发展盐碱地造林可有效保障新增 4000 万 hm <sup>2</sup> 造林面积的 用地空间 .....	2
1.3 水热条件好的东北松嫩平原盐碱地经土壤改造后可成为新的 生态公益林造林用地 .....	4
1.4 松嫩平原盐碱化土壤区农田防护林和城镇绿化风景林具有强劲 需求 .....	4
<b>第二章 重度盐碱地的成因</b> .....	6
2.1 自然因素影响下“水-碳-盐”运动的基本特征 .....	6
2.2 人为因素影响下“水-碳-盐”运动的基本特征 .....	8
2.3 “水-碳-盐”运动在碳循环中的源汇分析 .....	13
<b>第三章 重度盐碱地对植物的危害</b> .....	15
3.1 重度盐碱地对植物产生危害的生态因子分析.....	15
3.2 重度盐碱地高浓度可溶性盐类形成的渗透胁迫对植物生长的 危害.....	17
3.3 重度盐碱地高浓度可溶性盐类形成的离子毒害对植物生长的 危害.....	18
3.4 重度盐碱地强碱性土壤溶液中 OH <sup>-</sup> 形成的木质素降解作用对 植物生长的危害.....	19
3.5 重度盐碱地强碱性土壤溶液中羟自由基的强氧化作用对植物 生长的危害.....	20
<b>第四章 重度盐碱地营造杨树人工林的理论基础</b> .....	23
4.1 松嫩地区盐碱地造林困难程度调查情况.....	23
4.2 松嫩地区盐碱地造林技术难点与问题.....	27
4.3 重度盐碱地造林的改良机理.....	27
4.3.1 排水丘建造 .....	28
4.3.2 原位修复 .....	28

4.3.3	小穴改良	28
4.3.4	觅食沟营造	29
4.3.5	集水区构建	29
4.3.6	降盐碱剂施用	30
<b>第五章</b>	<b>重度盐碱地生态治理措施</b>	<b>31</b>
5.1	研究地点概况	31
5.2	降盐碱有效成分的筛选	32
5.2.1	不同降盐碱剂对盐溶液电导率和 pH 的影响	32
5.2.2	不同降盐碱剂直接施入盐碱土对种子萌发的影响	33
5.2.3	不同农林废弃物无氧热解工艺研究	37
5.3	植物源降盐碱剂和植物源土壤成膜剂制备工艺的优化	40
5.3.1	一种防水、防止盐碱成分透过的植物焦油纸的制备方法	40
5.3.2	一种盐碱土壤改良剂的制备方法	40
5.3.3	一种土壤成膜剂的制备方法	41
5.3.4	一种在碱斑上改土做床栽植杨树的方法	41
5.4	施加不同改良剂对重度盐碱土盐碱动态及杨树生长状况的影响	41
5.4.1	改良措施及试验方法	42
5.4.2	不同改良方法对盐碱动态变化的影响	43
5.4.3	不同改良方法对植物生长状况的影响	44
5.4.4	种植杨树对盐碱变化的影响	46
5.5	基于农、林、牧业废弃物重度盐碱地改良用新型人工生物基质的 调制	47
5.5.1	实验材料	47
5.5.2	测定方法	48
5.5.3	阔叶树皮土发酵过程中电导率和 pH 的动态变化	49
5.5.4	阔叶树皮土发酵过程中有机质含量的动态变化	49
5.5.5	阔叶树皮土发酵过程中挥发酚和总酚含量的动态变化	50
5.5.6	阔叶树皮土发酵过程中物理结构的变化	52
5.5.7	小结	53
5.6	施加人工生态基质与降盐碱剂对土壤特性和植物生长的影响	54
5.6.1	对 7 种草本植物生长及生理的影响	54
5.6.2	对木本植物生长及生理的影响	69
<b>第六章</b>	<b>重度盐碱地营造杨树碳汇林的自主创新技术措施及实施效果</b>	<b>77</b>
6.1	小穴改良一字觅食沟丘式原位修复种植杨树人工林	77
6.1.1	设计方案	77



6.1.2 实施方式	78
6.1.3 示范效果	80
6.2 小穴改良十字觅食沟台式原位修复种植杨树人工林	83
6.2.1 设计方案	83
6.2.2 实施方式	84
6.2.3 示范效果	86
6.3 小穴改良井字沟觅食坛式原位修复种植杨树人工林	90
6.3.1 设计方案	90
6.3.2 实施方式	90
6.3.3 示范效果	91
6.4 重度盐碱地集水区及排水系统的设计	93
6.4.1 设计方案	93
6.4.2 实施方式	94
6.4.3 示范效果	95
<b>第七章 重度盐碱地营造杨树人工林后的植物生长</b>	<b>98</b>
7.1 植物地上生长	98
7.2 根系生长	100
7.3 光合作用	102
7.4 光合色素	103
7.5 C <sub>4</sub> 酶	104
7.5.1 磷酸烯醇式丙酮酸酶(PEPC酶)	104
7.5.2 苹果酸酶(NADP-ME酶)	105
7.5.3 磷酸丙酮酸二激酶(PPDK酶)	105
7.5.4 磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶(PEPCK酶)	106
7.5.5 苹果酸脱氢酶(NADP-MDH酶)	107
7.6 氧化胁迫指标和抗氧化指标	108
7.7 可溶性糖含量	109
7.8 重度盐碱地种植杨树人工林生物学效应的综合评价	109
<b>第八章 重度盐碱地营造杨树人工林后土壤结构和功能</b>	<b>111</b>
8.1 土壤水势和渗透压	111
8.2 土壤电导率	112
8.3 土壤pH	113
8.4 土壤可溶性离子含量	114
8.4.1 碳酸根及碳酸氢根含量	114
8.4.2 氯离子及硫酸根离子含量	116

8.4.3	交换性离子含量 .....	117
8.5	土壤壳聚糖和胡敏酸含量 .....	118
8.6	土壤水溶性胶体 .....	119
8.6.1	原子力显微镜(AFM)实验结果 .....	120
8.6.2	X射线衍射(XRD)实验结果 .....	122
8.6.3	X射线光电子能谱(XPS)实验结果 .....	123
8.6.4	紫外可见光谱检测(UV)实验结果 .....	123
8.7	重度盐碱地营造杨树人工林后土壤结构和功能的综合评价 .....	125
<b>第九章</b>	<b>重度盐碱地营造杨树人工林的碳汇效应</b> .....	<b>127</b>
9.1	土壤呼吸 .....	128
9.2	土壤 CO <sub>2</sub> 浓度及储量 .....	130
9.3	土壤有机碳储量 .....	132
9.4	生物质碳 .....	132
9.5	重度盐碱地营造杨树人工林后碳汇效应的综合分析 .....	133
9.6	小结 .....	135
<b>参考文献</b>	.....	<b>137</b>
<b>附录</b>	<b>重度盐碱地原位修复创新技术在当地的推广</b> .....	<b>140</b>
<b>彩图</b>		

# 第一章 研究背景

## 1.1 当前建设生态公益林的重要任务是为应对气候变化作出贡献

森林生态系统具有重要的生态功能,其对全球的气候变化影响显著,而在一个较小的国家区域角度上,影响更为严重,甚至存在政治意义。森林是全球陆地生态系统的主体,全国森林资源清查结果和森林生态定位监测结果评估,我国森林生态系统每年可涵养水源 4947.66 亿  $\text{m}^3$ ,固土 70.35 亿 t,保肥 3.64 亿 t,吸收大气污染物 0.32 亿 t,滞尘 50.01 亿 t。随着森林数量和质量的提高,森林生态功能不断增强,其固碳释氧、涵养水源、保育土壤、净化大气环境、积累营养物质及生物多样性保护等 6 项生态服务功能年价值可达 10.01 万亿元,大致相当于目前我国年 GDP 的 1/3。

增加造林面积,对于调节气候变化的作用也日益显著。国家林业局前局长贾治邦介绍,在国际应对气候变化的过程中,有两条重要的措施,一条是工业减排,叫做直接减排;一条是森林碳汇,叫做间接减排。森林碳汇,是指森林植物吸收大气中的二氧化碳并将其固定在植被或土壤中,从而减少该气体在大气中的浓度。据中国林科院依据第七次森林资源清查结果和森林生态定位监测结果评估,目前我国森林植被总碳储量高达 78.11 亿 t,而通过持续地开展造林和森林经营、控制毁林,净吸收和减少碳排放累计达 51.1 亿 t。仅 2004 年中国森林净吸收了约 5 亿 t 二氧化碳当量,占同期全国温室气体排放总量的 8% 以上。实践证明,通过植树造林方式吸收固定二氧化碳,其成本要远低于工业活动减排的成本。因此,在适应与减缓全球气候变化中,森林具有十分重要和不可替代的作用。

中国政府高度重视应对气候变化,把发展林业作为战略选择。近 10 年来,中国政府已投资 700 多亿美元,大力开展植树造林、植被恢复,推进森林可持续经营。到 2008 年年底,全国森林面积已达到 1.95 亿  $\text{hm}^2$ ,森林覆盖率 20.36%,森林蓄积量 137.21 亿  $\text{m}^3$ 。2009 年 9 月,胡锦涛主席在联合国气候变化峰会上又提出,要大力增加森林资源,增加森林碳汇,争取到 2020 年我国森林面积比 2005 年增加 4000 万  $\text{hm}^2$ ,森林蓄积量比 2005 年增加 13 亿  $\text{m}^3$ 。

## 1.2 大力发展盐碱地造林可有效保障新增 4000 万 $\text{hm}^2$ 造林面积的用地空间

我国现有林地面积 30 378.19 万  $\text{hm}^2$ , 其中, 天然林面积 11 969.25 万  $\text{hm}^2$ , 人工林保存面积 6168.84 万  $\text{hm}^2$ , 人工林面积居世界首位。然而, 我国要继续实现增加 4000 万  $\text{hm}^2$  人工林的目标, 现有的宜林荒山荒地等宜林地空间已不足。很大一部分将需要克服困难的立地条件, 在一些无林地和“边际性”土地开展植树造林。

由于自然和人为原因, 近年来我国土地退化现象比较普遍, 土地健康恶化现象在我国不同地区普遍存在, 诸如水土流失、土壤肥力下降、土地污染、沙漠化、盐渍化等现象非常突出。我国是世界上水土流失最为严重的国家之一, 几乎所有的大流域都存在严重的水土流失现象。2002 年初水利部公布的水土流失遥感调查结果表明: 我国目前的水土流失面积达 356 万  $\text{km}^2$ , 占我国陆地总面积的 37.1%, 使我国每年流失土壤 50 亿 t, 并带走大量的氮、磷、钾营养元素, 从而导致土地的贫瘠化现象十分严重。我国同时也是世界上受沙漠化危害最为严重的国家之一。目前我国沙漠化土地以每年 2460  $\text{km}^2$  的速度在发展。目前, 由于沙漠化所造成的我国干旱、半干旱区的草地和耕地退化现象十分严重, 其退化面积分别是 842 万  $\text{hm}^2$  和 284 万  $\text{hm}^2$ , 分别占这一地区草地和耕地面积的 59.5% 和 46.9%。

据 2006 年《中国统计年鉴》, 2005 年年末我国人口总数达 13.07 亿, 平均人口密度达到每平方公里 136 人, 超过世界平均人口密度的 3 倍。然而, 根据《2005 年中国国土资源公报》, 我国的耕地数量只有 18.31 亿亩<sup>①</sup>, 人均只有 1.40 亩, 而且我国难以利用的土地资源面积大, 后备土地资源潜力不足, 特别是耕地后备资源不足。目前我国土地资源已利用的达到 100 亿亩左右, 占土地总面积的 2/3, 还有 1/3 的土地是难以利用的沙漠、戈壁、冰川以及永久积雪、石山、裸地等。宜开发为耕地后备土地资源的潜力不大, 在大约 5 亿亩的宜农后备土地资源中, 可开发为耕地的面积仅约为 1.2 亿亩。现在可利用土地也已遭到不同程度的污染, 我国土地不论数量还是质量都已存在不可忽视的严重问题。已经成为我国可持续发展的一个重要资源瓶颈。因此, 我们必须通过因地制宜, 分区利用, 综合利用的途径, 对中国大面积难以利用土地进行保护和利用。

盐碱土是地球上广泛分布的一种土壤类型, 约占陆地总面积的 25%, 面积约为 9.55 亿  $\text{km}^2$ 。我国有 14.8 亿亩盐碱地资源, 约占全国耕地面积的 76% (1996 年全国土地资源利用现状调查公布的数据), 另外还有约 6.9 亿亩的低洼盐碱水域和约占全国湖泊面积 55% 的内陆咸水水域。这些盐碱地(水)资源遍及我国 17 个

<sup>①</sup> 1 亩  $\approx$  666.7  $\text{m}^2$ , 下同。

省、直辖市、自治区,主要分布在东北、华北和西北内陆地区。我国内陆盐碱地地区,受土壤盐碱程度、咸水型水质及干旱等自然条件制约,自然资源相对匮乏,生态系统十分脆弱,如西北干旱地区、东部黄淮海平原和三江平原等部分地区。

我国黑龙江省松嫩平原是一个闭流区,同时受中、小、微地形的变化及特殊成土条件的影响,有独特的现代积盐过程,地下水的矿化度较高,因而盐碱土得到充分的发育,特别是  $\text{pH} > 9$  的重度盐碱地具有代表性和典型性,是我国盐碱土集中分布的地区之一。特别是该平原的西部,已成为世界三大苏打盐碱地集中分布区之一,而且重度盐碱化土地面积仍以每年 1.4% 的速度扩展,盐碱化程度仍在不断加剧。黑龙江省盐碱化土地面积为 24 853.5  $\text{km}^2$  (轻度盐碱化 8475.66  $\text{km}^2$ ,中度盐碱化 6509.69  $\text{km}^2$ ,重度盐碱化 9868.15  $\text{km}^2$ ),其中盐碱化草地达 23 925.79  $\text{km}^2$ ,约占黑龙江省草地面积的 2/3 以上,更严重的是有 1/3 的盐碱化草地碱斑大面积连片,不能利用而沦为弃地。这为人工碳汇林的营建提供了潜在空间(图 1-1)。

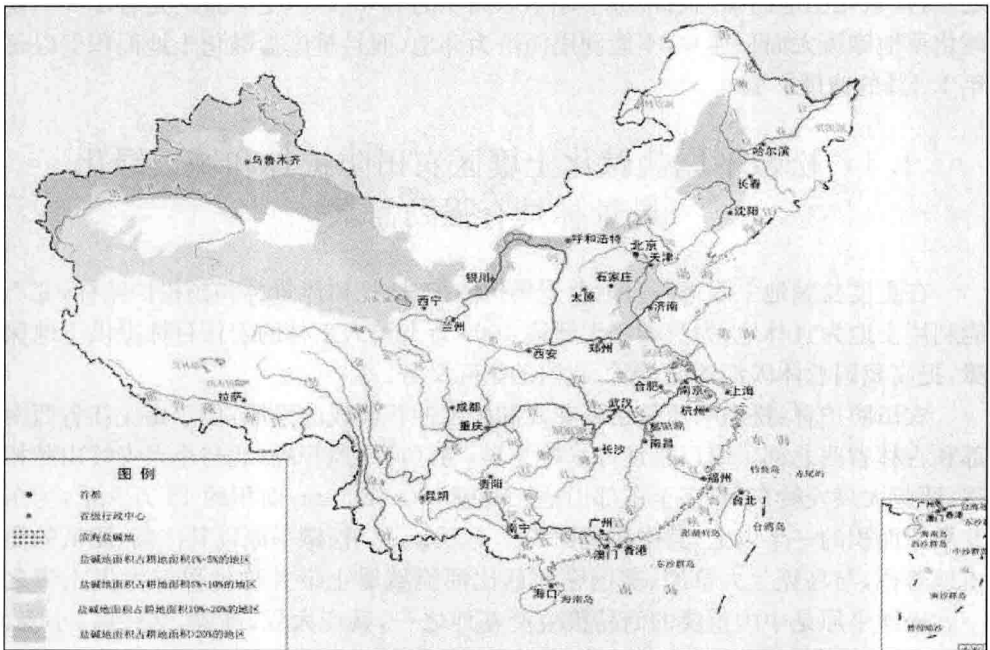


图 1-1 我国盐碱地是平原营造碳汇林的潜在空间(详见书后彩图)

<http://www.cws.net.cn/gpwyh/ggyys/ArticleView.asp?ArticleID=No&ClassID=1541>

### 1.3 水热条件好的东北松嫩平原盐碱地经土壤改造后可成为新的生态公益林造林用地

我国现有盐碱地 1700 万  $\text{hm}^2$ , 其中地处东北松嫩平原的盐碱地为半湿润、半干旱气候区, 年降水量在 500 mm 左右, 雨热同季, 适于林木生长, 如果采用自主创新的盐碱地治理技术将其改造成适于营造生态公益林的造林用地, 我国新增的人工林造林面积将得到充分保障, 碳增汇能力也将有大幅度的提高。此外, 松嫩平原地区因盐碱化形成的大面积中低产田需营造农田防护林, 城镇绿化需营造风景林, 新兴的高速公路网需营造护路林。由此可见, 发展上述生态公益林, 不仅可进一步提高我国的森林固碳能力, 而且还可以改善脆弱的生态环境, 意义重大, 十分必要。地处我国东北的松嫩平原是一个闭流区, 已成为世界三大苏打盐碱地集中分布区之一, 盐碱化土地面积约占松嫩平原草地面积的  $2/3$  以上, 更严重的是有  $1/3$  的盐碱化草地碱斑大面积连片, 不能利用而沦为弃地, 而且重度盐碱化土地面积仍以每年  $1.4\%$  的速度扩展。

### 1.4 松嫩平原盐碱化土壤区农田防护林和城镇绿化风景林具有强劲需求

在重度盐碱地上因地制宜地营造杨树防护林、杨树风景林和杨树护路林, 变不能利用土地为宜林地, 为我国实现营造 4000 万  $\text{hm}^2$  人工林的宏伟目标提供土地保障, 提高我国总体碳汇功能, 履行我国的国际义务。

农田防护林: 松嫩平原是由松花江和嫩江冲积而成的平原, 位于黑龙江省西南部和吉林省西北部。南以松辽分水岭为界, 与辽河平原相隔; 北与小兴安岭山脉相连; 西起大兴安岭东麓; 东至东部山地。海拔 150~200 m, 面积约 18 万  $\text{km}^2$ , 为东北平原面积的一半以上, 其中耕地面积 5.6 万  $\text{km}^2$ 。松嫩平原以其广阔、肥沃的黑土地著称, 与乌克兰大草原、美国密西西比河流域黑土带并称世界三大黑土带之一。松嫩平原是中国重要的商品粮生产基地之一, 盛产大豆、高粱、马铃薯、小麦、玉米、亚麻、甜菜、向日葵等。

松嫩平原作为我国重要的粮仓, 自 1978 年开始, 就进行了防护林体系的大规模建设。以黑龙江省为例: 截至目前, 黑龙江省三北防护林体系工程建设范围已由 1978 年建设初期的 21 个县(市、区) 扩展到 12 个市、70 个县(市、区) 1056 个乡镇, 区域总面积 3283 万  $\text{hm}^2$ , 占全省土地总面积的  $72.1\%$ 。通过“三北”工程建设, 全省森林覆盖率大幅度提高, 沙化扩展趋势、水土流失得到有效控制, 护田增产效果明显。通过“三北”工程第五期建设, 本省松嫩平原森林覆盖率将由目前

的 12.6% 提高到 15% 以上,为全省粮食增产、稳产提供更稳固的生态保证。而且,于 2011 年开始为期 10 年的三北防护林体系第五期工程建设,规划造林 80 万  $\text{hm}^2$ 。届时,黑龙江省粮食主产区——松嫩、三江两大平原的森林覆盖率将进一步提高。

城镇风景林:黑龙江省哈大齐工业走廊是以哈尔滨为龙头,以大庆和齐齐哈尔为区域骨干,包括沿线肇东、安达等市在内的经济区域。总面积 2.118 万  $\text{km}^2$ ,多为西部地区大片重度盐碱地等未利用地。这些城镇建设过程需要大量的城镇绿化工作和公路行道树建设工作。城镇绿化规划以风景林为主,乔灌草花合理配植,而公路绿化规划多按照国省道两侧各 10~30 m、县道两侧各 5 m、乡村公路每侧至少 2 行的标准进行全面绿化。据此可以看出,城镇及公路风景林在松嫩平原,特别是哈大齐工业走廊——重度盐碱地工业区内的地位。

上述大量的农田防护林和城镇风景林的建设,政府已经拿出了政策支持,急需科学家提出可靠的方案,进行科学实践。

黑龙江省的耕地面积为 9.24 万  $\text{km}^2$ ,而盐碱地面积为 11 640  $\text{km}^2$ ,占全省总土地面积的 3%,主要分布在我省重要农区和牧区之一的松嫩平原,其中,近 1/3 为含盐量超过 1% 的重度盐碱地。开展我国独占性的原位修复法在重度盐碱地营造杨树公益林技术研究,是通过研制重度盐碱地专用土壤改良剂研制及开发出重度盐碱地治理专用人工复合生物基质,使重度盐碱地土壤结构得到有效改善,在重度盐碱地上因地制宜地营造杨树防护林、杨树风景林和杨树护路林,变不能利用土地为宜林地,为我国实现 4000 万  $\text{hm}^2$  营造人工林的宏伟目标提供土地保障,提高我国总体碳汇功能,履行我国的国际义务。此外,松嫩平原地区因盐碱化形成的大面积中低产田需营造农田防护林,城镇绿化需营造风景林,新兴的高速公路网需营造护路林,由此可见,将劣质盐碱地人工改造成优质土地用以发展上述生态公益林,不仅可进一步提高我国的森林固碳能力,而且还可以改善脆弱的生态环境,意义重大,十分必要。

## 第二章 重度盐碱地的成因

实现对重度盐碱地生态治理的关键前提,是必须准确把握盐碱地形成的自然机理以及对植物产生危害的途径。盐碱土是在一定环境条件下形成和发育的,其中气候、地形、地质、水文及生物因素的影响最为突出。另外,伴随着人类对土地的开发利用,人类的活动也对土壤盐碱化产生巨大的影响。近年来其面积迅速扩大,盐渍化程度不断加剧,尤其是灌溉水需求量大、排水不畅而不能有效冲洗的干旱、半干旱地区更为严重。这种情况在中东以及中国北部平原、原苏联的亚洲地区、加拿大的 San Joaquin 流域和美国科罗拉多河盆地较为常见。各国对盐碱地改良措施的经验告诉我们,在没有理解盐碱地形成的自然机理的情况下的改良往往是事倍功半。

近年来,盐渍化土壤的形成及演化机理引起了国内外学者的广泛关注,虽然已形成了一系列的理论和研究方法,但是国内外学者都单纯地研究“水盐运动”所导致的地表盐分的积累,而伴随水盐运移的土壤碳运转仅从全球变化的碳交换角度进行研究,并没有将水碳和盐整合到一起的综合研究,更没有将“水-碳-盐”复合系统的迁移及转化规律应用于重度盐碱地形成的机理研究。

### 2.1 自然因素影响下“水-碳-盐”运动的基本特征

松嫩平原是松花江和嫩江冲击而成的平原,是松辽平原的一部分,位于大、小兴安岭和长白山之间。长春市附近松辽分水岭处地势稍高(200~250 m)。松辽分水岭以南称辽河平原,以北称松嫩平原。地面平坦,海拔多在 200 m 以下,多处于山间盆地,发源于松嫩平原周围山地的坡流、季节性沟流及无尾河的地表径流以及大型引水工程每年不断供给半内流区大量的地表水,由于这些地表水绝大部分不能排除而停留在区内地势较低的河—湖漫滩上和汇集在局部洼地中,直接补给地下水,形成大小不等的湖泊和湖泡。由大、小兴安岭周围山地的地表水铅直运动所形成的地下水,经过远距离传输,在大地形决定下,汇聚于松嫩平原,形成浅层地下水和深层地下水。大量的盐碱成分通过这些地表、地下水流积聚于松嫩平原的土壤内,成为盐碱地土壤盐碱成分的来源,是松嫩平原出现大面积盐碱地的自然基础(图 2-1、图 2-2)。

黑龙江省盐碱地属于雨水稀少的干旱、半干旱和半湿润季风气候地区,区全年降水量 443 mm,分布不均,主要集中在夏季,全年蒸发量 1624.5 mm,超过年降水



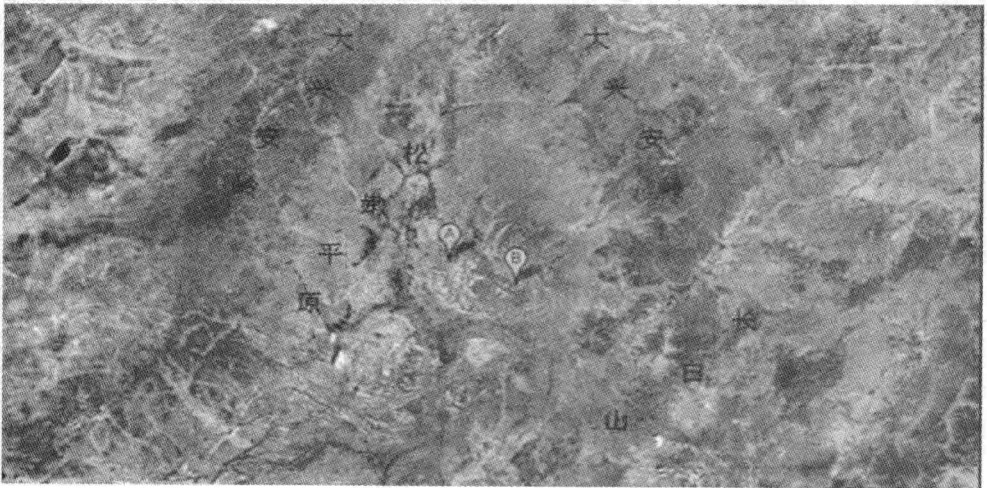


图 2-1 松嫩平原的地势(A. 大庆市;B. 肇东市)(详见书后彩图)

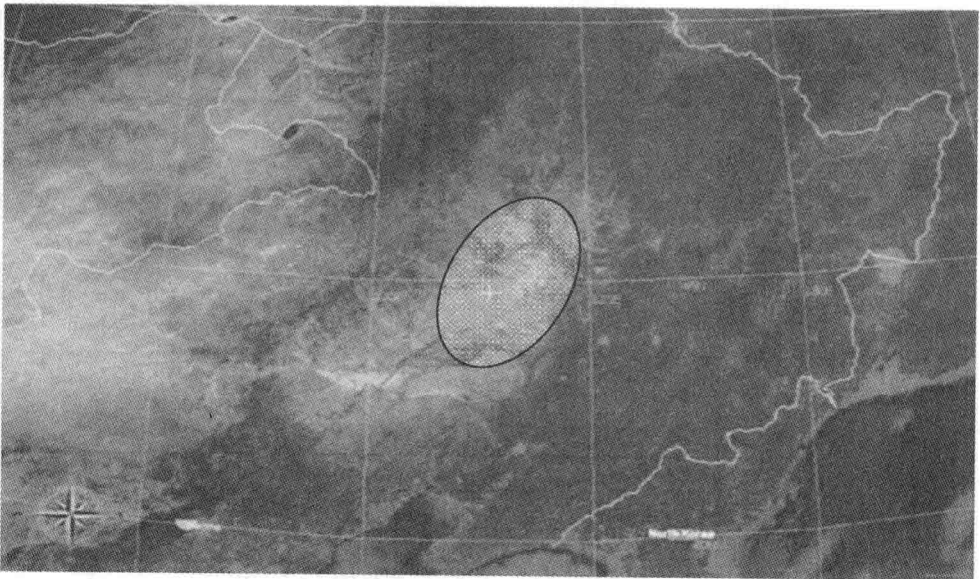


图 2-2 松嫩平原分布着大面积的盐碱地(详见书后彩图)

总量的 2.7 倍,干燥度较大。这种气候特点为盐分聚集地表,土壤返盐提供有利条件。松嫩平原地区母质土壤为钙成土,其交换性复合体几乎全为  $\text{Ca}^{2+}$  所饱和,地下水含有较多的游离钙离子。由于水的浓缩和 pH 的升高,水中的重碳酸钙和部分碳酸根以碳酸钙盐的形态沉淀下来,成为土壤中的碳酸钙。在降水量大于蒸发量的气候条件下,土壤中的碳酸钙将转变为重碳酸钙从土体中淋失。当蒸发量大