

松嫩平原苏打盐渍土 逆境胁迫研究

SONGNENPINGYUAN SUDAYANZITU
NIJINGXIEPO YANJIU

迟春明 ● 著
王志春 ● 审

 山东交通大学出版社



松嫩平原苏打盐渍土逆境胁迫研究

迟春明 著

王志春 审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目（C I P）数据

松嫩平原苏打盐渍土逆境胁迫研究 / 迟春明著. —
成都：西南交通大学出版社，2016.8
ISBN 978-7-5643-4932-5

I. ①松… II. ①迟… III. ①松嫩平原－苏打盐土－
盐胁迫－研究 IV. ①S155.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 198467 号

松嫩平原苏打盐渍土逆境胁迫研究

迟春明 著

责任编辑	罗在伟
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市二环路北一段 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	四川煤田地质制图印刷厂
成品尺寸	165 mm × 230 mm
印 张	12.25
字 数	141 千
版 次	2016 年 8 月第 1 版
印 次	2016 年 8 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-4932-5
定 价	47.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话：028-87600562

前 言

土壤盐渍化严重阻碍了松嫩平原区域农业的可持续发展。如何改良利用丰富的盐渍土资源一直是该区农业可持续发展研究所关注的难点、重点和热点。本书从盐渍土逆境胁迫限制作物正常生长的角度出发,分析松嫩平原盐渍土的物理和化学性质,揭示该区盐渍土逆境胁迫的胁迫因子和胁迫机制,阐明解除该区盐渍土逆境胁迫的基本原理,筛选出合理有效的技术措施,建立起松嫩平原盐渍土逆境胁迫解除的判断标准。

土壤理化性质分析结果表明:土壤黏粒分散系数高达 95% 以上,土壤水稳性大团聚体含量为 0%,供试土壤饱和导水率变化范围为 $0.02 \sim 0.22 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$;土壤盐分组成以 NaHCO_3 和 Na_2CO_3 为主,土壤中 Na^+ 含量占可溶性阳离子总量 70% 以上, HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 含量占可溶性阴离子总量的比例在 80% 以上;该区苏打盐渍土的碱化度 (ESP) 很高,多在 30% 以上,最高可达 90% 以上,土壤钠质化(碱化)程度很高。

土壤浸提液盐分总浓度 (TEC) 与其电导率 (EC) 间存在显著线性关系。饱和浸提液 TEC (TEC_e) 和其 EC (EC_e) 的关系方程为: $\text{TEC}_e \approx 10 \text{ EC}_e$, 该研究结果表明:可以采用国际上通用 $\text{EC}_e = 4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 做为判断松嫩平原土壤是否发生盐害的阈值指标,而且国际上通用的以 EC_e 为标准的盐土分类系统与土壤盐害分级标准可以在松嫩平原苏打盐渍土上应用。同时,松嫩平原苏打盐渍土土水比 1:5 浸提液的 TEC ($\text{TEC}_{1:5}$) 与其 EC ($\text{EC}_{1:5}$) 的关系方程也为: $\text{TEC}_{1:5}$

$$\approx 10 \times EC_{1:5}。$$

土壤饱和浸提液与土水比1:5浸提液的 EC 、钠吸附比 (SAR)、阳离子总浓度 (TCC)、 Na^+ 浓度间存在极显著的线性关系。其中, EC_e 与 $EC_{1:5}$ 间的关系方程为: $EC_e \approx 11.00 \times EC_{1:5}$; 将土水比1:5浸提液 SAR ($SAR_{1:5}$)、 TCC ($TCC_{1:5}$)、 Na^+ 浓度转换为饱和浸提液 SAR (SAR_e)、 TCC (TCC_e)、 Na^+ 浓度的换算系数分别为: 13.00、11.00、12.00; 但是, K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度在两种浸提液间不存在相关性; 土水比1:5浸提液的 pH ($pH_{1:5}$) 与饱和浸提液的 pH (pH_s) 相差很小, 在实际工作中可以用 $pH_{1:5}$ 代替 pH_s 来表示土壤酸碱度。

松嫩平原苏打盐渍土的碱化度 (ESP) 与 SAR 间存在显著的相关性。 ESP 与 SAR_e 的经验方程为: $ESP = 10.72 \times \ln(SAR_e) - 15.36$; ESP 与 $SAR_{1:5}$ 的经验公式为: $ESP = 11.44 \times \ln(SAR_{1:5}) + 5.48$ 。方程 $ESP = 10.72 \times \ln(SAR_e) - 15.36$ 的计算结果可能出现负值, 而且土壤过饱和浸提液的制备过程较为繁琐, 因此, 在实践中建议使用 $SAR_{1:5}$ 推算出该区苏打盐渍土的 ESP 。

松嫩平原苏打盐渍土的逆境胁迫包括化学性逆境胁迫与物理性逆境胁迫。化学性逆境胁迫的胁迫因子包括: 过高的土壤盐分浓度、过高的土壤 Na^+ 浓度与过高土壤 pH ; 高盐分浓度对应的胁迫机制是渗透胁迫, 高 Na^+ 浓度的胁迫机制是离子毒害和离子拮抗, 高 pH 的胁迫机制包括 3 个方面:

- (1) 高 pH 对植物根系的直接腐蚀作用;
- (2) 高 pH 导致某些营养元素匮乏或有效性降低;
- (3) 形成某些有害物质阻碍植物生长。

土壤化学性质恶化引起土壤物理性质恶化。因此, 苏打盐渍土的物理性逆境胁迫可以看作是化学性逆境胁迫的间接作用。苏打盐渍土

物理性逆境胁迫的胁迫机制包括 4 个方面：

- (1) 土壤基质势胁迫，即土壤水吸力过高而引起的植物根系吸水困难；
- (2) 营养胁迫，即根系吸水困难而间接导致的营养元素吸收困难；
- (3) 通气性胁迫，即土壤通透性差而导致的植物根系呼吸困难；
- (4) 机械阻力胁迫，即土壤结构恶化对作物出苗和根系伸展产生的机械阻力。

解除松嫩平原苏打盐渍土逆境胁迫的基本原理就是除去土壤环境中的各项胁迫因子，其具体内容包括：置换交换性 Na^+ ，排出土壤盐分，降低土壤 pH，改善土壤物理性质，防止土壤返盐，培肥熟化土壤。

解除苏打盐渍土逆境胁迫的技术措施包括化学改良措施、物理改良措施、生物改良措施和工程措施等，具体内容包括：施用化学改良剂，如脱硫石膏、硫酸铝、磷石膏等；物理改良措施，如降低土壤容重、客土压沙等；水平冲洗排盐；种植耐（抗）盐植物；增施有机肥料；水利工程措施；覆盖防止土壤返盐；综合措施：种植水稻。

本书为作者念博士期间的研究成果，全书共 8 章。从盐渍土逆境胁迫限制作物正常生长的角度出发，分析了松嫩平原盐渍土的物理和化学性质，揭示了该区盐渍土逆境胁迫的胁迫因子和胁迫机制，阐明了解除该区盐渍土逆境胁迫的基本原理，筛选了合理有效的技术措施，建立了松嫩平原盐渍土逆境胁迫解除的判断标准。

著 者

2016 年 3 月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 选题背景与研究意义	1
第二节 国内外研究进展	4
第三节 主要研究内容、技术路线、拟解决的科学问题与创新点 ...	18
第二章 苏打盐渍土草原植被群落分布与土壤逆境胁迫相互关系	20
本章小结	29
第三章 松嫩平原苏打盐渍土的理化性质	30
第一节 苏打盐渍土的机械物理性质	30
第二节 苏打盐渍土基本化学性质	36
第三节 苏打盐渍土化学参数间的换算关系	43
第四节 苏打盐渍土物理性质与化学性质的关系	68
本章小结	70
第四章 松嫩平原苏打盐渍土逆境胁迫的胁迫因子与胁迫机制	72
第一节 土壤逆境胁迫的概念、要素与类型	72
第二节 苏打盐渍土的化学性逆境胁迫	73
第三节 苏打盐渍土物理性逆境胁迫的胁迫机制	81
本章小结	84

第五章 解除苏打盐渍土逆境胁迫的基本原理	86
本章小结	93
第六章 解除苏打盐渍土逆境的主要技术措施	94
第一节 施用化学改良剂	94
第二节 物理改良措施	102
第三节 苏打盐渍土土壤排盐方式的选择	125
第四节 植物改良	138
第五节 增施有机肥料	143
第六节 水利工程措施	147
第七节 覆盖防止土壤返盐	147
第八节 综合措施：盐渍土种稻	154
本章小结	155
第七章 苏打盐渍土逆境胁迫解除的判断标准	156
第一节 化学性逆境胁迫解除判断标准	156
第二节 物理性逆境胁迫解除标准	158
本章小结	161
第八章 研究结论与展望	163
第一节 研究结论	163
第二节 未来研究展望	168
参考文献	171

第一章 绪 论

第一节 研究背景与研究意义

一、研究背景

土壤盐渍化是一个世界性农业生态环境问题 (Abrol et al., 1988; Kovda et al., 1973; Sumner & Naidu, 1998; Szabolcs, 1989; Tanji, 1990; 王遵亲等, 1993)。据联合国教科文组织 (UNESCO) 和粮农组织 (FAO) 不完全统计, 全世界盐渍土面积约为 9.55×10^8 ha, 约占全球陆地面积的 7.23%, 约占全世界可耕作土地面积的 10% (Tanji, 1990)。在世界 7 大洲中, 除南极洲外, 其他 6 大洲均有盐渍土分布。就国家而言, 盐渍土分布于 100 多个国家 (Szabolcs, 1989), 中国、澳大利亚、俄罗斯、阿根廷、伊朗、印度、巴拉圭、印度尼西亚、埃塞俄比亚、美国、加拿大、埃及、智利等, 都是盐渍土分布面积较广的国家 (Sumner & Naidu, 1998)。

中国是土壤盐渍化较为严重的国家之一, 盐渍土总面积约为 9.9×10^7 ha, 其中现代盐渍土约为 3.7×10^7 ha, 残余盐渍土约为 4.5×10^7 ha, 潜在盐渍化土壤约为 1.7×10^7 ha (王遵亲等, 1993)。由于盐渍土分布地区生物气候等环境因素的差异, 大致可将中国盐渍

土分为：滨海盐土与滩涂、黄淮海平原盐渍土、东北松嫩平原苏打盐渍土、半漠境内陆盐土和青新极端干旱的漠境盐土等 5 大片区（俞仁培和陈德明，1999）。

松嫩平原是我国盐渍土主要分布区域之一（王遵亲等，1993；俞仁培和陈德明，1999），盐渍土总面积约为 3.42×10^6 ha，约占全区总面积的 19.4%（宋长春等，2003），并以每年 1.4% 的速度扩展（李取生等，1998）。该区盐渍化土壤盐分以 NaHCO_3 和 NaCO_3 为主，属苏打型盐渍土（王遵亲等，1993；俞仁培和陈德明，1999）。苏打盐渍土面积约为 2.31×10^6 ha，占全区盐渍土总面积的 70% 以上（宋长春等，2003）。该区盐渍土主要分布在平原西部的半干旱至干旱地区，主要包括吉林省西部的松原和白城地区，黑龙江的三肇、安达、大庆和齐齐哈尔等地区（宋长春等，2003）。土壤盐渍化导致大量土壤资源丧失，农业生产条件恶化，严重阻碍了当地农业和农村经济的持续健康发展。

二、研究意义

从以上分析可见，盐渍土作为一种重要的土壤资源类型，在世界各地均有广泛分布。但是，盐渍化致使土壤降低甚至丧失了自身的农业价值，已经成为困扰全球农业发展的基本因素之一。为满足社会对农产品的基本需求，有关国家和地区十分重视治理和利用盐渍土这类土壤资源。

在我国，为了确保粮食安全，国务院在 2008 年颁布了《国家粮食安全中长期发展规划纲要》。同年，作为《国家粮食安全中长期发展规划纲要》实施的重要组成部分，吉林省启动了百亿斤粮食增产项

目建设工程, 预计利用五年或稍长一点时间, 形成新增玉米 3.0×10^9 kg、水稻 2.0×10^9 kg 的生产能力。吉林省百亿斤粮食增产项目的主体工程是在西部盐渍土地地区新建松原、镇赉、大安三大灌区工程, 新开垦盐渍化荒地 1.7×10^5 ha。

长期以来, 松嫩平原一直是我国重要的商品粮基地。就吉林省而言, 目前每年出产的粮食占全国总产量的 5%, 全国 10% 的商品粮都来自这里, 粮食商品率居各省首位。因此, 从国家大政方针和地方区域经济发展来看, 加强该地区土壤盐渍化研究, 对改善当地生态环境, 促进农民增产增收, 保障国家粮食安全都具有十分重要的现实意义。

从土壤盐渍化特征的角度看, 松嫩平原盐渍化土壤的盐分组成以 NaHCO_3 和 Na_2CO_3 为主, 土壤盐渍化过程具有盐化与钠质化 (碱化) 同时发生, 土壤化学性质和物理性质同时恶化的特点 (李彬等, 2007; 王春裕, 2004; 王遵亲等, 1993)。其他国家或地区的盐渍土, 土壤盐分组成多以 NaCl 和/或 Na_2SO_4 为主, 土壤盐化过程或钠质化 (碱化) 过程单独发生, 土壤化学与物理性质极少同时恶化 (Abrol et al., 1988; Kovda et al., 1973; Sumner & Naidu, 1998; Szaboles, 1989; Tanji, 1990)。因此, 松嫩平原苏打盐渍土的理化性质具有独特性, 其对作物生长发育的不利影响也是具有特殊性。而且, 国外对苏打盐渍土的研究相对较少。因此, 从土壤与作物相互作用关系出发, 在分析松嫩平原苏打盐渍土物理和化学性质特点的基础上, 归纳和总结该区苏打盐渍土逆境胁迫阻碍作物生长发育的胁迫因子和作用机制, 进而提出解除苏打盐渍土逆境胁迫的基本原理和技术措施, 建立苏打盐渍土逆境胁迫解除的判断标准, 无论是对国际上盐渍土的相

关研究，还是对松嫩平原盐渍土的改良利用研究，均具有重要的理论与现实意义。

第二节 国内外研究进展

澳大利亚学者 Rengasamy 是最早对土壤的逆境胁迫进行综合论述 (Rengasamy, 2000; Rengasamy, 2002; Rengasamy et al., 2003) 的研究者。土壤的逆境胁迫主要是由其理化性质恶化引起的 (Rengasamy et al., 2003)。而土壤盐渍化的基本特征是土壤物理和/或化学性质恶化，因此，盐渍土对作物的生长发育产生逆境胁迫。国内外关于盐渍土逆境胁迫的相关研究主要包括：盐渍土逆境胁迫的成因、逆境胁迫的作用机制、解除胁迫的原理与措施、胁迫发生或解除的判断标准。

一、盐渍土逆境胁迫的成因

(一) 化学性质恶化

盐渍土化学性质恶化表现在过高的土壤盐度、钠质化程度和 pH (Sumner, 1993; Sumner & Nadiu, 1998; USDA, 1954)。土壤盐渍化导致土壤盐度升高，其过程包括原生盐渍化和次生盐渍化。原生盐渍化土壤盐分的主要来源之一是地下水。在干旱和半干旱地区，地下水含盐量较高，潜水埋深很浅，降雨量小，蒸发量大，最终导致地下水盐分随毛细管作用上升并在地表聚集。次生盐渍化的土壤盐分主要来源是灌溉水。在长期使用咸水或微咸水灌溉的情况下，如果排水不

良，则会导致土壤盐分积累。

土壤钠质化（碱化）是指土壤在积盐与脱盐的反复过程中，大部分盐分被淋洗掉，而 Na^+ 在土壤交换性盐基中占到一定比例的过程。

土壤 pH 的升高的原因之一是土壤中含有碳酸盐或/和重碳酸盐，在这类土壤中，土壤 pH 由土壤溶液的 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ 活度、土壤空气的 CO_2 分压和土壤溶液离子强度三者共同决定，其计算公式为 (Mashhady & Rowell, 1978)：

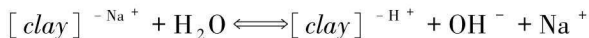
$$\text{pH} = \lg A + 7.82 - \lg p_{\text{CO}_2} - 0.5I^{0.5}$$

式中 A —— $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ 活度；

p_{CO_2} —— CO_2 分压；

I ——离子强度。

土壤 pH 升高的另一个原因是土壤胶体上吸附的 Na^+ 水解，产生 OH^- ，其水解方程式为：



应该说明的是，并不是 Na^+ 水解就一定能引起土壤的强碱性反应，还要看 Na^+ 饱和的程度以及土壤胶体上的其他离子组成。只有当土壤胶体完全被盐基饱和时，交换性 Na^+ 水解才能引起土壤的碱性反应。如果土壤胶体没有完全被盐基饱和，就是说胶体上有被吸附的 H^+ ，那么有交换性 Na^+ 水解形成的 OH^- 则可以被 H^+ 中和，土壤有可能呈中性甚至微酸性反应（王遵亲等，1993）。

（二）物理性质恶化

盐渍土物理性质受土壤盐度和钠质化程度共同调控。高盐分浓度的土壤溶液能促进黏粒的絮凝作用，增强土壤团聚体稳定性（Shain-

berg & Letey, 1984; Sumner & Naidu, 1998), 因此, 盐度促使土壤物理性状向好的方面发展; 土壤中过量 Na^+ 离子的存在使黏粒发生分散作用 (Ayers et al., 1985; Bauder & Brock, 2001, Frenkel et al., 1978), 进而导致土壤通透性下降, 形成表层封闭与结皮 (Hardy et al., 1983; Levy et al., 2005; Mamedov et al., 2001; Shainerg et al., 2001), 因此, 钠质化促使土壤物理性质恶化。

根据已有研究 (Quirk & Schofield, 1955; Quirk, 1984; Quirk, 1994; Quirk, 2001; Rengasamy et al., 1984), 盐渍土处于某一物理状态时, 土壤浸提液/土壤溶液/出流液的盐分总浓度与钠吸附比的关系为:

$$TEC = aSAR + b$$

式中 TEC ——盐分总浓度 ($\text{mmol}_e \cdot \text{L}^{-1}$);

SAR ——钠吸附比 ($\text{mmol}_e \cdot \text{L}^{-1}$)^{1/2};

a 、 b ——经验系数。

根据 TEC 和 SAR 的关系, 盐渍土按其黏粒物理状态可分为三种类型: 自发分散型盐渍土、机械分散型盐渍土和絮凝型盐渍土 (Sumner & Nadiu, 1998)。自发分散型盐渍土是指土壤溶液的 TEC 小于其自发临界絮凝浓度, 土壤黏粒自发性分散, 物理性质不良; 机械分散型盐渍土是指土壤溶液的 TEC 介于土壤自发临界絮凝浓度和机械临界絮凝浓度之间, 黏粒不发生自发性分散, 但会在机械作用力下发生分散, 土壤物理性质在外力干扰时发生恶化; 絮凝型盐渍土是指土壤溶液的 TEC 大于其机械临界絮凝浓度, 土壤黏粒始终保持絮凝状态, 物理性质良好。

二、逆境胁迫的作用机制

(一) 化学性质限制机理

土壤化学性质限制作用是由土壤盐害引起的，主要机制为渗透胁迫、离子毒害、营养失衡（Abrol et al. , 1988; Nadiu & Rengasamy, 1993; USDA, 1954）。渗透胁迫是由于土壤盐分过多致使土壤溶液浓度过高，渗透势降低，从而导致植物吸收土壤水分能力下降，表现出生理干旱状态。

离子毒害作用机制包括两方面：一是由于土壤环境中某些离子浓度过高而导致的毒害作用，例如， Na^+ 浓度过高引起生质膜的破损，进而使植物的光和作用、呼吸作用、碳水化合物代谢、蛋白质和氨基酸合成等生理生化过程遭到破坏，最终抑制植物生长发育；二是由于高 pH 引起的毒害作用，高 pH 不仅直接腐蚀作物根系，而且还能引起硼、铝等元素产生毒害（Ma et al. , 2003）。

营养失衡作用机制也包括两方面：一是由于土壤溶液中某一离子浓度过高引发离子拮抗作用，进而抑制植物根系对其他营养元素的吸收，如土壤中 Na^+ 浓度过高会造成 K^+ 或 Ca^{2+} 的吸收受到抑制（Khan et al. , 2000; Plaut et al. , 2000）；二是高 pH 会降低 N、P、Ca、Fe、Mn、Cu、Zn 等营养元素的有效性（Nadiu & Rengasamy, 1993）。

(二) 物理性质作用机制

物理性质的限制作用包括直接作用和间接作用。直接作用是指土壤过于致密从而对根系伸展产生机械阻力或者由于土壤表层结皮/封闭而抑制种子萌发和幼苗生长。间接作用是指由于土壤物理性质恶化而引起的土壤水分、空气、养分有效性降低（Rengasamy et al. ,

2003), 从而影响作物的生长。钠质土结构性很差, 土壤水的基质势很低, 土壤水分多为无效水, 水分有效性很低; 土壤养分必须通过水分运输才能进入植物体内, 土壤水分有效性降低必然导致土壤养分有效性降低; 另外, 钠质土黏粒高度分散, 堵塞大孔隙, 土壤通透性差, 致使土壤氧气含量不足, 流通性差, 限制植物根系呼吸作用, 严重时, 在厌氧环境下还会产生 H_2S 等有害物质。

三、盐渍土逆境胁迫解除原理与措施

(一) 解除盐渍土逆境胁迫的基本原理

1. 盐 土

盐土最明显的特征是土壤溶液盐分浓度过高。虽然盐土溶液中较高的盐分浓度能够促使土壤黏粒处于凝絮状态, 并维持较高的土壤渗透性, 但过高的盐分浓度对作物生长具有明显的限制作用。因此, 盐土改良的基本原理是降低土壤溶液的盐分浓度使之达到作物可以忍耐的水平 (王遵亲等, 1993)。

2. 钠质土

钠质土是指土壤交换性 Na^+ 含量超过一定阈值从而导致土壤物理性质恶化并因此使作物的生长发育受到阻碍的一类土壤。钠质土含有过多的交换性 Na^+ 离子, 导致黏粒高度分散, 堵塞土壤孔隙, 这是钠质土物理性质恶化的根本原因。因此, 这类盐渍土的改良包括以下 2 个步骤:

- (1) 利用 Ca^{2+} 置换土壤胶体上的 Na^+ ;
- (2) 将被置换的 Na^+ 淋洗出根层或土体。

因此, 充足的钙源和良好的土壤渗透性是成功改良钠质土的两个

基本前提 (Ilyas et al. , 1997; Mezewa et al. , 2003)。

(二) 解除盐渍土逆境胁迫的技术措施

1. 洗 盐

洗盐是指通过排水的方式将溶解于水中的土壤盐分排出根层或土体。根据排水的方式, 土壤洗盐可以分为垂直淋洗和水平冲洗两种方式。

盐分垂直淋洗是改良盐土的一种通用技术, 其具体过程包括以下 3 个步骤:

- (1) 可溶性盐的溶解;
- (2) 淋洗水在土壤剖面中的渗透;
- (3) 盐分淋洗出根层土壤。

土壤盐分淋洗效果与其淋洗效率有关。土壤盐分的淋洗效率是指单位体积的应用水量可以淋洗排出的可溶性盐数量。土壤盐分淋洗效率与土壤盐分的初始含量和分布、溶质组成、土壤结构和质地、土壤的空间变异性、淋洗分数、土壤含水量、淋洗方法以及管理水平等因素有关 (李法虎, 2006)。

在一维淋洗条件下盐分的淋洗效率可用下面的经验公式描述:

$$\frac{D_w}{D_s} = \frac{EC_i}{\alpha EC_f} + \beta$$

式中 D_w ——淋洗水量 (mm);

D_s ——被淋洗的土壤深度 (mm);

EC_i ——土壤初始电导率 ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$);

EC_f ——土壤淋洗后的电导率 ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$);

α 、 β ——经验常数。