

# 土壤盐化和 碱化过程的模拟

[苏] V. A. 柯夫达 [匈] I. 沙波尔斯 等著

科学出版社

# 土壤盐化和碱化过程的模拟

〔苏〕V. A. 柯夫达 等著  
〔匈〕I. 沙波尔斯

中国科学院土壤研究所  
盐渍地球化学研究室 译

科学出版社

1986

2R66/3807

### 内 容 简 介

本书以发生学观点,用数学的方法,比较全面地论述了土壤盐化和碱化过程的实质、盐渍化土壤水盐运动的特点以及土壤盐化和碱化过程中化学和物理化学方面的问题。同时,还大量介绍了近代文献中建立的土壤盐化和碱化过程的数学模型。书后附有电子计算机程序。

本书可供有关科研单位、生产部门和农业院校从事盐渍土研究和改良工作的科技人员和教师参考。

V. A. Kovda I. Szabolcs et al.  
MODELLING OF SOIL SALINIZATION  
AND ALKALIZATION  
Agrokóemia és Talajtan, Budapest, 1979

### 土壤盐化和碱化过程的模拟

[苏] V. A. 柯夫达 等著

[匈] I. 沙波尔茨

中国科学院土壤研究所

盐渍地球化学研究室 译

责任编辑:洪庆文

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1986年10月第一版 开本:787×1092 1/32

1986年10月第一次印刷 印张:9

印数:0001—1,550 字数:199,000

统一书号:13031·3304

本社书号:4263·13—12

定价: 2.15 元

## 译 序

五十年代以来，国外就开始运用数学的方法定量地研究盐渍土中的水盐运动规律。近十年来，借助于计算新技术的发展，运用数学模型研究土壤盐化和碱化过程中发生的一系列化学和物理化学现象，并建立了描述土壤盐化和碱化过程的数学模型，这在理论上和实践上都具有重要的意义，从而使盐渍土的发生和改良的研究提高到一个新的水平。

我国盐渍土研究工作，在土壤科学的研究领域中还是比较广泛，也取得了很大成绩，但在运用数学方法深入研究盐渍土的水盐状况及其改良方面却是比较薄弱，国外这方面的理论和经验值得我们借鉴。形势所迫，必须突破，并为开创盐渍土发生和改良研究的新局面而努力工作。

《土壤盐化和碱化过程的模拟》(Modelling of Soil Salinization and Alkalization) 是著名土壤学家 Kovda V.A. (苏联) 和 Szabolcs I. (匈牙利) 教授合著的。全书以土壤发生学的观点，用数学的方法，论述了土壤盐化和碱化过程的实质，盐渍化土壤水盐运动的特点，以及土壤盐化和碱化过程中化学和物理化学方面的问题，并较全面地收集了近代文献中已建立的土壤盐化和碱化过程的数学模型，书后附录电子计算机程序和二百三十多篇文献，对进一步了解这方面的问题也有一定参考价值。这本书较系统完整，是近年来有关盐渍土研究方面的代表著作。1979年该书在匈牙利利用英文出版之后，于1980年在苏联又发行了俄文版本。

中国科学院南京土壤研究所盐渍地球化学研究室部分同

志根据英文版本翻译,目的是想通过本书的介绍,对国内这方面的研究工作有所促进。参加翻译的有黎立群、单光宗、祝寿泉、张粹雯、张绍德、曾宪修、蔡阿兴、俞仁培、肖振华、尤文瑞、张丽君、唐淑英等同志。译者水平有限,译文中缺点和错误之处,希读者批评指正。

王遵亲

## 序

在土壤学的许多分支中,研究土壤形成过程的特征,并对其进行定性和定量的描述,是现代土壤科学的任务之一。通过这些研究,可以满足农业生产实践的需要,尤其是在灌溉、排水和土壤管理方面所出现的许多问题可以得到解决。

干旱和半干旱地区的灌溉和排水实践以及在许多新的农业区发展灌溉事业表明,为了合理地运用现有的灌溉系统,防止土壤次生盐渍化、碱化和渍水的危害,必须采用最新的水盐控制措施。只有对土壤形成过程有一个全面的了解,并结合采用适当的预测和控制方法,才有可能有效地利用土壤和灌溉水,以便在一个长期内,能够确保获得好的收成,而不致引起土壤的退化和(或)土地的破坏。

为了描述主要土壤形成过程中各主要因素之间的主要联系,并确定每个过程中的主要成分,已经编制了一些模拟土壤形成过程的模型。一旦这些过程成功地得到重现,那就可以根据每种土壤条件的要求,确定科学的措施,然后结合正确的土地利用,能使土壤肥力得以保持。在模拟土壤过程,如土壤盐化和淋洗方面,已取得良好的结果。精心研究出来的这些模型,有助于在许多干旱和半干旱地区的灌溉和排水系统的设计、建设和利用。

苏联科学院农业化学和土壤研究所(普希金诺)与匈牙利科学院土壤和农业化学研究所(布达佩斯)之间,在科学合作方面,已有多年的历史,为了研究土壤盐化和碱化的某些主要因素和过程,已建立一些新的模型,其试验结果发表在本书

各章之中。

作者的目的是要描述和研究在类似于自然土壤条件和灌溉条件的情况下，电解质溶液与土壤之间相互作用的主要过程。

作者深知，我们的模型，仅仅涉及整个土壤盐化和碱化的复杂图式中的一部分，但我们尽力模拟了土壤固相和液相之间的相互作用，它在盐土和碱土的形成中起着主导的作用。模拟所反映的情况与灌溉和排水实践中所能观察到的情况基本上是近似的。

V. A. KOVDA, I. SZABOLCS

1978年8月

# 绪 言

Szabolcs I.

土壤和水的盐化和碱化，常常是土壤开发利用的限制因素，也是许多国家，尤其是干旱和半干旱地区、若干河流三角洲以及出流不畅的平原地区需要迫切解决的一个问题。在农业发展的历史进程中，这个问题的重要性已日益增加。在许多地方，由于土壤和水的盐渍化和碱化的迅速扩展，已经引起农业生产的明显下降。在干旱和半干旱地区，灌溉对于农业生产是一个必不可少的先决条件，土壤盐化和碱化问题则具有特别的意义。在这些地区，土壤和水都含有相当数量的能引起土壤盐化和碱化的电解质。

一般而言，除非具有良好的排水系统，否则，灌溉势必增加土壤的含盐程度。这种不良的影响再加上排水不良和质量好的灌溉水的不足，导致地球上干旱地带大面积的盐化和碱化，促使沙漠的形成，肥沃绿洲的盐渍化以及古代文明的破坏等等。

由于这些原因，可以说，很早以来社会就已经面临盐化和碱化的问题了，整个人类历史必须应付这个问题，但随着现代科学和技术的发展，今天已有可能采用新的方法和手段与这些灾难性过程作斗争了。

在土壤学中，对土壤盐化和碱化已进行了长期的研究，甚至在土壤学成为一个独立的研究领域之前，在有盐渍土发生的一些国家里，就已致力于描述、调查和改良这些低肥力土壤，从事于广泛的理论和实际的研究。显然，所有这些研究



都是依据一定时期的科学技术水平进行的,同时,随着基础科学和应用科学的发展,盐渍土研究和改良的各种方法也得到相应的改进。

在十九世纪末期,匈牙利一位著名的土壤科学家,K. Muraközy (1902年)在一篇研究盐渍土的论文中写道:“为了与土壤盐渍化和碱化作斗争,人们必须首先了解这个现象的本质”。以现代科学的成就为基础,我们已经对导致土壤盐化和碱化过程的原因、性质和机制了解得越来越清楚了。

一般认为,盐土和碱土的形成是水溶性盐、主要是钠盐引起的,但我们远远没有完全认识影响这些土壤的复杂过程。电解质和土壤颗粒之间的和多边的反应,导致形成了各种不同类型的盐渍土,它们不仅有不同的特性,而且对其开垦和改良也需要不同的方法和其他手段。

在土壤科学的许多分支中,出现了对土壤形成过程的定量描述的需要,同时,近年来有大量的文章和专著,专门研讨这一问题。然而,对土壤形成过程进行精确的定量描述是非常困难的,这不仅因为土壤是一个相当复杂的系统,对所选取的特性、过程的速度等等不易于进行必需的、精确的测定,而且还由于为了说明主要成土过程,选择所需测定的最重要的参数也是困难的。

在模拟土壤形成过程的现代技术文献中,反映了这些困难。土壤学有关模拟过程的大多数文章,都是专门针对土壤盐化或脱盐过程、灌溉、排水问题,或与之有关的课题。这种情况不仅可以用盐化和碱化在理论上和实践上的重要性来解释,而且也可以用这些土壤形成过程的性质来说明,而这些过程是进行模拟的一个很好的课题。土壤盐化和碱化的主要原因,是在土壤溶液中有相当数量的电解质的累积,以及它们与土壤固相之间的相互作用。这一现象的原理及其表象是众所

周知的，并且已有详细的描述。与许多其他引起某些土壤类型形成的成土过程相比，在溶液中电解质的累积以及这些溶液与土粒间的相互作用较为简单，对研究而言，这是一种简单的模型。如果能以一种适用的模式来描述电解质溶液和土壤物质之间的相互作用，那么，就可能描述盐渍土形成的机制和测定该过程的速度。根据这些研究，也就有可能预报土壤盐化和碱化过程。

显然，除了电解质和土壤中固体化合物之间的相互作用外，在盐渍土形成过程中，还有由于这种反应在某种程度上所引起的其他过程的发生，例如在土壤盐化和碱化及其逆转过程中，有机化合物的质和量、硅化合物在不同土层中的分布，常常有相当大的变化。然而，当旨在建立一种模拟土壤盐化和碱化的方法时，这些变化和其他次要因素可以被忽略。我们认为，这就是为什么目前大部分模拟土壤形成过程的研究，都是针对盐渍土、灌溉、排水和与之有关的课题的主要原因之一。

对土壤盐化和碱化进行如此大量的模型试验研究的另一重要原因，是由于对这些过程的描述，对灌溉和排水实践具有实际的意义。由于灌溉和排水系统的规划和建设需要大量投资，加之质量好的灌溉水和淋洗水的不足，迫切地要求经济（节约）地利用灌溉土地和灌溉水。一旦这些试验和模型可资利用，则可有效地应用于减少灌溉用水和排水量，尽可能地提高灌溉水和排水水质所要求的矿化极限值等实际问题。

尽管土壤盐化和碱化的原因和过程，已经研究得比其他土壤形成过程更为精细，但在这一领域中仍有许多不清楚的和未知的因素。因此，直到现在所取得的成就，仅仅部分地阐明土壤盐化和碱化的过程，还有广阔的领域有待进一步研究。特别是对于土壤碱化的问题，由于土壤介质具有碱性 pH，并

且土壤液相和固相之间存在有各种互相作用，使得建立碱化过程的模型还十分困难。

在这本书的以下各章中，我们已经尝试建立一些模型，并使用这种方法来描述某些被选取的土壤盐化和碱化过程。

我们知道，我们的工作不可能全部完成这个任务，研究的目的仅仅是为了在确切地描述盐土、碱土形成的这个重大问题上作出一定的贡献。这是一个非常重要的问题，这一问题应由土壤科学家在未来十年中予以回答。

(黎立群 译)

# 目 录

序 (Kovda V. A. Szabolcs I.)	v
绪言 (Szabolcs I.)	vii
第一章 土壤盐化和碱化过程 (Szabolcs I.)	1
一、盐土和碱土	1
二、世界各地盐渍土的分布	3
三、盐渍化对干旱和半干旱地区土壤的影响	8
四、盐渍土和水中主要的可溶盐及其来源	11
五、盐土	15
六、碱土	18
1. 在高浓度的能起碱性水解作用的钠化合物影响下形成的碱土。无结构 B 层的碱土	19
2. 在低浓度的能起碱性水解作用的钠化合物影响下形成的有结构 B 层的碱土	20
七、土壤次生盐化和碱化过程	27
第二章 在含盐和含碱条件下土壤-水的关系 (Várallyay G. Mironenko E. V.)	30
一、盐化-碱化和水分状况	36
二、盐化-碱化和饱和带中的液体流动	55
三、盐化-碱化和非饱和带中的液体流动	74
第三章 土壤盐化和碱化过程的化学和物理化学特性 (Darab K. Rédly M.)	95
一、土壤盐渍过程模拟中的盐渍特性	95
二、土壤固液相之间的相互作用对钠质土和碱土形成及性质的影响	110

三、土柱模型中离子的迁移·····	136
第四章 土壤盐化和碱化过程的数学模型 (Pachepsky Ya. A. Mironenko E. V. Morgan E. G. Ponizovsky A. A. Pachepskaya L. B.) ·····	147
一、土壤各相之间盐分交换的模拟·····	147
二、土壤中溶质迁移的综合模型·····	166
三、水分迁移综合模型方程组的解·····	180
第五章 土柱中离子运行的描述 (Rédly M. Pachepsky Ya. A. Mironenko E. V.) ·····	204
一、物理模型和试验·····	204
二、数学描述和计算·····	216
附录 计算机程序·····	225
附录 1: 迁移主程序 1 ·····	225
附录 2: 迁移主程序 2 ·····	235
附录 3: RASNA 主程序 ·····	255
参考文献·····	265

# 第一章 土壤盐化和碱化过程

Szabolcs I.

## 一、盐土和碱土

一般认为,盐渍土肥力低劣,是因为它受水溶性盐尤其是钠盐的影响。盐土或碱土是指土壤中盐分(或其离子)含量妨碍了大多数作物生长的那些土壤。这些土壤可分为两类:

(1) 受中性钠盐(主要是  $\text{NaCl}$  和  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )影响的土壤。

(2) 受能起碱性水解作用的钠盐(主要是  $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  和  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )影响的土壤。

在土壤学及土壤分类学的发展过程中,已经区分出这两类土壤。第一类命名为盐土。第二类命名为碱土。这两类土壤不仅化学性质不同,而且它们的地理、地球化学分布以及物理、物理化学和生物特性也都不同,因而它们的农业利用和改良方法也不一样。

显然,在自然界,土壤中各种钠盐不是绝对地单独出现的,在多数情况下,不管是中性钠盐,还是能起碱性水解作用的钠盐,对土壤的形成过程和土壤性质都有显著的影响。

在环境条件差异十分显著的各个大陆上,母质及地下水的盐渍度和碱度可能差别很大,且各地作物的耐盐性和耐碱性亦大不相同。

表 1.1 常用盐渍土分类系统对照

盐渍土分类委员会		世界土壤图 (欧洲土壤图)	澳大利亚分类 (1968)	加拿大分类 (1965)	法国分类 (1967)	美国农业部分类 (1967)	苏联分类 (1967)
基本分类 (1967)	图例	澳大利亚盐渍土和钠质土图 (1971)	盐土	盐化亚类 (复区)	盐土	盐土	蓬松盐土 (非草原型)
	欧洲盐渍土图 (1968)	盐土	典型盐土 松软盐土 龟裂盐土 潜育盐土		(酸性盐土类除外) 碱化盐土 含盐的潜育土	盐化石灰性栗钙土 盐化栗钙土 栗钙土(复区)	结皮盐土 苏打盐土 (非草原型) 蓬松盐土 (草原型) 苏打盐土 (草原型) 龟裂土 草甸盐土
有结构 B 层的碱土	有结构 B 层的碱土	有结构 B 层的碱土	碱土	棕色碱土 (复区) 和碱性碱土	有 B 层结构的碱土	柱状碱土	荒漠草原碱土
	有结构 B 层的非碱性钠质土	有结构 B 层的非碱性钠质土	碱土	黑色碱土, 灰色碱土, 棕色碱土 (复区)	脱碱化碱土	成土	和漠境碱土
有结构 B 层的碱土	有结构 B 层的碱土	有结构 B 层的碱土	典型碱土	黑色碱土, 棕色碱土 (复区)	脱碱化碱土	旱成土	草原碱土
	有结构 B 层的非碱性钠质土	有结构 B 层的非碱性钠质土	松软碱土	潜育碱土	有 B 层结构的碱土	淋溶土	草甸碱土
有结构 B 层的碱土	有结构 B 层的碱土	有结构 B 层的碱土	潜育碱土	潜育碱土和脱碱化土 (复区)	有 B 层结构的碱土	白碱土	草甸碱土
	有结构 B 层的非碱性钠质土	有结构 B 层的非碱性钠质土	脱碱化粘磐土	脱碱化粘磐土 (复区)	有 B 层结构的碱土	白碱土	脱碱土

一个地区盐化或碱化的威胁,在很大程度上,决定于该地区所采用的耕作制度。

无疑,就全世界而论,在这些方面都只能有一个极其粗略的极限值。因此为了确定某一地区具有代表性的盐渍土的盐化或碱化极限值,在掌握基本原则的同时,必需要有一定的灵活性,也就是说,还应考虑到当地的具件条件。

R. Dudal 和 I. Szabolcs(1974) 所编制的资料(表 1.1),说明了国际土壤学会盐渍土分会所拟定的分类系统和其他常用的盐渍土分类系统之间的相互关系。

## 二、世界各地盐渍土的分布

各个大陆都有相当大面积的盐渍土分布。但现实情况是,某些国家对盐渍土研究得比较详细,另一些国家则研究得不那么深入,而不少地区因为采用了现代化的调查技术,或出于对开发农用地的迫切需要,才发现有盐渍土,因此迄今我们还没有一个反映盐渍土确切的范围和分布的详细图幅。

幸而有联合国粮农组织、教科文组织编制的世界土壤图(比例尺 1: 5,000,000),有国际土壤学会盐渍土分会编制的各大洲的盐渍土分布图,以及其他许多国家和国际性的成果,目前我们才能对盐渍土的世界分布有一个充分的估计。

表 1.2 提供了一些主要受影响的国家中,盐化和碱化土壤分布情况的资料,根据联合国粮农组织、教科文组织的世界土壤图为基础(比例尺 1:5,000,000),由 F. Massoud 编制。

按世界土壤图图例,在表 1.2 中,所指的盐土包括盐土(solonchak)和盐化土(saline phase),碱土(alkali soils)包括碱土(solonetz)和碱化土(alkaline phase)。下面是盐渍土分布的粗略统计:



表 1.2 主要受影响的国家中盐化和碱化土壤的分布状况  
(面积: 千公顷)

国 家	盐土	盐化土	碱土	碱化土	总计
北美洲					
加拿大		264	6974		7238
美 国		5927	2590		8517
墨西哥和中美洲					
古 巴		316			316
墨西哥	242	1407			1649
南美洲					
阿根廷	1905	30568	11818	41321	85612
玻利维亚		5233	716		5949
巴 西	4141		362		4503
智 利	1860	3140		3642	8642
哥伦比亚	907				907
厄瓜多尔	387				387
巴拉圭		20008	1894		21902
秘 鲁	21				21
委内瑞拉	1240				1240
非洲					
阿法和伊萨地区 [索(法)]	59	1682			1741
阿尔及利亚	1132	1889		129	3150
安哥拉	126	314	86		526
博茨瓦纳	1131	3878		670	5679
乍 得	2417		3728	2122	8267
喀麦隆				671	671
埃 及	3283	4077			7360
埃塞俄比亚	319	10289		425	11033
冈比亚		150			150
加 纳	200			118	318
几内亚		525			525
肯尼亚	3501	909		448	4858
利比里亚		362	44		406
利比亚	905	1552			2457
马达加斯加	37			1287	1324