

土壤溶质运移

李韵珠 李保国 编著

科学出版社

土壤溶质运移

李韵珠 李保国 编著

科学出版社

1998

内 容 简 介

本书系统地介绍了有关土壤溶质的化学过程,溶质运移的机理、方程和各类模型、计算方法和参数的确定,以及在农业、环境、水利方面的应用实例。

本书可供土壤、植物营养、生态、环保、农学、水利等学科的科研人员及大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

土壤溶质运移/李韵珠等编著. —北京:科学出版社,1998. 9

ISBN 7-03-006477-1

I. 土… II. 李… III. 土壤溶液-输运 IV. S153. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 28109 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

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

*

1998 年 9 月第 一 版 开本:850×1168 1/32

1998 年 9 月第一次印刷 印张:10 7/8

印数:1—1 300 字数:281 000

定 价: 23. 00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序 言

土壤溶质运移所研究的是溶于土壤水中的溶质在土壤中运移的过程、规律和机理。土壤中的液相部分不是纯水,是含有各种无机、有机溶质的溶液。这些物质在土壤中的运移状况不仅与土壤水的流动有关,而且与溶质的性质及在随水移动过程中所发生的物理、化学和生物化学过程有密切关系。因此,对土壤溶质运移的研究不仅是土壤物理学研究内容的一部分,也是土壤化学的研究对象之一。因而,也可以说土壤溶质运移所涉及的学科范围,是属于土壤学科中土壤物理和土壤化学两个分支的交叉。从水文和水文地质学科角度,则属于土壤水文学或包气带水文学的范畴。从环境科学角度,则属于环境土壤或环境水文学的研究对象。

人们对土壤溶质运移现象的认识可以追溯到公元前,罗马诗人和哲学家季德·鲁克列齐在他的著名长诗《物质自然界颂》中就写过关于海水通过土壤流入湖泊后变淡和甜了的现象。古代农民排水洗盐改土的传统经验中,实际上也蕴含着水分通过土壤将溶于水中的盐分排出土体的溶质运移现象。但在相当长的时期内,对土壤中的化学物质,包括土壤盐分、养分和微量元素的研究,大多着重于含量的变化、转化、吸附、解吸等在原位的化学或物理化学变化(实际上,这种原位变化中已包含了运移的影响),很少研究它们在土壤中的移动过程和规律。

对土壤溶质运移的理解,始于上世纪末。Miroslav Kutilek 和 Donald R. Nielsen(1994)在《土壤水文学》一书中曾对该领域早期的少数经典研究作过如下的介绍(大意):Lawis 等(1881)提出了水与溶质在田间土壤中的运移并不是一致的。Means 和 Holmes(1901)曾对降雨和灌溉期间土壤中发生的分子扩散和对流现象的复杂性作过描述。Slichter(1905)对水溶性化合物或示踪剂加入地

下水后,在下游的井中逐渐出现的现象,提出了水在土壤毛管孔的中心部分较沿孔壁部分的水流动快的解释。继而 Kitagawa(1934)从水饱和的砂中 NaCl 点源的弥散现象,提出了混合过程可作为平均孔隙流速的函数的论点。Bosworth(1948)和 Taylor(1953)又说明了毛管中分子扩散的作用。

主要研究进展是在近三四十年。50 年代始, Taylor, Bear, Nielsen, Bigger 和 Breasler 等从实验和理论进一步说明了土壤溶质运移过程中质流、扩散和化学反应的耦合性质,并开创了应用数学模型来说明和解释溶质运移过程的局面。

70 年代开始,研究工作由实验室走向田间,发现室内研究结果在田间应用时有很大差别。因此,开始了土壤性质空间变异性的研究。由于团聚体、裂隙、根孔、虫孔等产生的大孔、小孔和死孔的同时存在的事实,而在溶质运移模型中发展了移动和不移动水溶质运移的模型 (Coats and Smith, 1964; van Genuchten and Wierenga, 1976) 和大孔隙流、优先流和两位/两区模型等 (van Genuchten, et al., 1989; Wagenet, et al., 1989a,b)。至今,在描述溶质运移模型方面的研究,已从确定性模型开始而发展到随机模型的应用 (Dagan, et al., 1979; Bresler, et al., 1979; Jury, et al., 1986, 1990)。

近年来,土壤溶质运移研究的发展,首先是由于生产和环境保护的需要引起的,如由于化肥和农药施用的日益增多,工业废水、污染物的处理等问题的提出, NO_3^- 、农药、重金属等在土壤中的移动及对土壤和水体的污染等问题已成为世界性问题,受到人们的关注。这些问题都必需根据土壤溶质运移的理论和方法进行研究和管。由于土地资源的日益减少和退化,提高土壤的生产能力,改良和利用盐渍化土壤的问题已成为提高农业生产、合理利用土地资源的一个重要方面。洗盐和防止盐分积累,调节和控制土壤水盐以适应作物的要求,土壤养分的保持和防止淋失,提高土壤对作物养分的供应等问题,都是当前生产上的重要问题,也都属于土壤水和溶质运移研究的范畴。以上生产和环境问题都促使了土壤水

和溶质运移研究的发展。此外,当前计算机的发展,使运用土壤溶质运移原理对各种生产实际问题作出模型和预测成为可能。

科学的发展,往往表现在从现象的认识,到规律的掌握和上升到理论的过程;也表现在对这些过程的认识的定性化到半定量和量化的实现;同时也表现在对现象的单一方面的认识到综合认识的过程。土壤溶质运移的研究也经历了这些发展过程。但是面对田间条件下土壤溶质运移的复杂性,对土壤溶质运移过程、规律和理论的认识和应用,仍需逐步深化,才能推动这个领域的研究更好地与生产和环境问题结合。

本书的目的是为了向读者介绍土壤溶质运移的基本理论和方法,以及目前的应用概况,也是为了进一步促进土壤溶质运移研究的深入发展。限于作者水平,不足之处,请予指正。

本书是在开设研究生课程“土壤溶质运移”和所编教材基础上,结合我们近年来的研究成果,吸收国际上的最新研究动态重新编著而成的,内容共分八章。各章作者如下:第一、二章,李韵珠;第三章,李保国;第四章,陈文林(第1—3节),黄元仿(第4节);第五章,王红旗;第六章,陈研(第1—3,5节),左强(第4节);第七章,左强(第1,2节),陈研(第3节);第八章,左强(第1节),黄元仿(第2节),陈文林(第3节),李保国(本章引言,第4节)。

全书蒙蒋以操(第一、二章)、杨金忠(第三—八章)、曹一平(第五章第1节)等教授审稿,特此致谢。

最后,本书的出版得到了国家教委“跨世纪优秀人才计划”基金的支持,在此表示衷心的感谢。

李韵珠 李保国

1997年10月

目 录

第一章 土壤溶质与溶液	(1)
1.1 土壤溶质的来源与组成	(1)
1.1.1 土壤溶质的来源	(1)
1.1.2 土壤溶液的组成	(3)
1.2 土壤溶液的性质	(14)
1.2.1 浓度与活度	(15)
1.2.2 导电性	(31)
1.2.3 酸碱性和氧化还原性	(38)
1.3 土壤溶液的田间采集与测定	(45)
1.3.1 土壤溶液的采集	(45)
1.3.2 土壤溶液的田间直接测定	(47)
第二章 土壤溶质的化学过程	(50)
2.1 土壤化学过程动力学概述	(51)
2.1.1 描述土壤化学反应速率的几种类型方程	(52)
2.1.2 化学反应动力学方程	(53)
2.1.3 土壤溶质化学过程的步骤和时间尺度	(57)
2.2 吸附与交换过程	(60)
2.2.1 吸附过程	(60)
2.2.2 离子交换过程	(70)
2.2.3 阴离子的负吸附	(79)
2.3 水解与络合过程	(81)
2.3.1 水解过程	(81)
2.3.2 络合过程	(84)
2.4 溶解与沉淀过程	(88)
2.4.1 溶解沉淀平衡	(88)
2.4.2 土壤中矿物的溶解速率	(91)

2.5	氧化还原过程	(95)
2.5.1	氧化还原平衡	(95)
2.5.2	氧化还原动力学	(98)
2.6	生物化学过程	(101)
2.6.1	土壤有机质分解动力学	(101)
2.6.2	N素转化动力学	(102)
	附录:溶液化学平衡计算实例	(104)
第三章	土壤溶质运移的机理和模型	(113)
3.1	土壤溶质运移现象描述	(113)
3.1.1	混合置换的定义与描述	(113)
3.1.2	几种简单情形下的混合置换	(114)
3.1.3	土壤中的混合置换与溶质运移	(119)
3.2	土壤溶质运移的机理	(124)
3.2.1	对流	(125)
3.2.2	扩散	(126)
3.2.3	机械弥散	(127)
3.2.4	水动力弥散	(129)
3.3	土壤溶质运移模型	(131)
3.3.1	基本方程推导	(131)
3.3.2	不同坐标系中方程的表达形式	(135)
3.3.3	定解条件	(137)
3.3.4	土壤水分运动与土壤溶质运移	(138)
3.4	几种情形下的土壤溶质运移方程	(141)
3.4.1	土壤溶质运移的两区模型	(142)
3.4.2	土壤中反应溶质的运移模型	(145)
3.4.3	土壤中反应溶质运移的两区模型	(147)
3.4.4	土壤中多组分溶质运移模型	(152)
第四章	土壤溶质运移的随机模型和其他模型	(158)
4.1	土壤溶质的非费克运移现象	(158)
4.2	土壤空间变异与随机模型的建立	(159)
4.2.1	溶质运移的空间尺度效应	(159)
4.2.2	随机-对流方程	(163)

4.2.3	大尺度的溶质运移	(167)
4.3	溶质运移的传递函数方法	(173)
4.3.1	土壤作为一个输入-输出系统	(173)
4.3.2	溶质运移的理想混合器模型	(175)
4.4	溶质运移的均衡模型	(179)
4.4.1	土壤溶质运移的均衡模型	(179)
4.4.2	土壤溶质运移均衡模型的简化与应用	(181)
第五章	土壤-根系统中的溶质运移	(184)
5.1	根的生长与吸收机理	(184)
5.1.1	根的生长	(184)
5.1.2	根的吸收机理	(189)
5.2	根对溶质的吸收动力学模型	(195)
5.2.1	根在溶液中的吸收模型	(195)
5.2.2	土壤中近根微区的溶质运移与吸收模型	(201)
5.2.3	田间条件下的溶质运移和根系吸收模型	(208)
第六章	土壤溶质运移方程的求解	(213)
6.1	求解析解的基本方法	(213)
6.1.1	拉普拉斯变换	(213)
6.1.2	用拉普拉斯变换解溶质运移方程	(217)
6.2	差分法	(221)
6.2.1	差分的基本方法	(221)
6.2.2	抛物型方程的差分解法	(224)
6.2.3	差分格式	(232)
6.2.4	数值弥散和振荡	(236)
6.3	有限元法	(238)
6.3.1	方法简介	(239)
6.3.2	一维溶质运移模型的有限元法	(240)
6.4	特征线法	(248)
6.4.1	对流问题的求解	(250)
6.4.2	浓度锋面的追踪	(250)
6.4.3	弥散问题的求解	(252)
6.5	初边值条件的处理	(252)

第七章 土壤溶质运移参数的测定与计算	(264)
7.1 非饱和导水率的测定与计算	(264)
7.1.1 间接算法	(264)
7.1.2 直接测定与算法	(268)
7.2 水动力弥散系数的测定与计算	(273)
7.2.1 饱和条件下的测定与计算	(274)
7.2.2 非饱和条件下的测定与计算	(285)
7.3 反求参数法	(293)
第八章 土壤溶质运移在农业与环境方面的计算实例	(295)
8.1 土壤水盐运动的计算与分析	(296)
8.1.1 一维土壤水盐运动	(296)
8.1.2 二维土壤水盐运动	(299)
8.2 土壤氮素转化与运移的计算与分析	(302)
8.2.1 土壤中的氮素行为	(302)
8.2.2 用对流-弥散模型计算土壤无机氮运移和转化	(304)
8.3 农药在土壤中运移的计算	(309)
8.3.1 模型的建立	(309)
8.3.2 计算结果评价	(312)
8.4 土壤溶质运移简化模型的应用	(314)
8.4.1 平均浓度模型	(314)
8.4.2 近似解析模型	(315)
8.4.3 水和溶质运移短期预测的简化模型	(318)
8.4.4 溶质穿透时间的简化计算模型	(321)
参考文献	(324)

第一章 土壤溶质与溶液

土壤液相实质上是以土壤水为溶剂,含有多种溶质的土壤溶液。土壤溶液可定义为土壤中水的液相(aqueous liquid phase)和它的溶质(SSSA,1987)。土壤的三相物质中,以液相,即土壤溶液,为最活跃的部分。它的数量变化决定了土壤液相与气相的比例。它的组成和浓度的变化影响着土壤溶液性质和土壤性质。土壤溶液及其组成的剖面分布是土壤发生发展的产物。同时,土壤溶液又是植物生长赖以吸收水分和养分的重要基地。由于土壤水与地表水、地下水的不可分割的联系,有的科学家认为土壤溶液决定了生物圈所有表面水的化学性质。因此,研究土壤溶液和溶质状况,与土壤水一样,是同等重要的。

本章内容分为三个部分,即土壤溶质的来源与组成;土壤溶液的性质;土壤溶液的采集与测定。

1.1 土壤溶质的来源与组成

1.1.1 土壤溶质的来源

土壤溶质的来源有两方面:一是来源于自然条件,如岩石矿物风化及其风化物的迁移,降雨携带的物质进入土壤,古含盐地层中盐类的移动以及生物过程所形成的有机质中的可溶性部分。二是来源于人类活动,如工业生产中产生的废气、废物,农业生产中农药的使用和施肥等。

1. 岩石风化与迁移

岩石风化是土壤中溶质的主要来源。岩石在自然环境的影响下进行物理风化、化学风化和生物风化过程,所形成的风化产物中的可溶性物质溶于土壤水中而成为溶质。由于岩石矿物种类不同

和各地区的气候、植被等条件的差异,风化类型和风化产物各有其特点。如岩石在干旱、半干旱地区可能以物理风化为主,而在湿润地区则以化学风化为主。其分解程度和风化产物都有差别,土壤溶液中溶质组成也就不同。在相同气候条件下,岩石风化所产生的溶质由于地貌、水文地质等条件的不同,溶质发生迁移。在迁移过程中,风化产物发生着地球化学空间变异,造成溶质组成分布的差异。风化过程不仅是历史过程,也是现时持续进行着的过程。实验表明(Rhoades, 1968),如果溶液与干旱地区土壤中的相对未风化的矿物接触一段时间,其浓度可增加 $3-5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

2. 降水

雨水在降落过程中会携带空气中的某些成分降至地面。有些特殊情况下,降水会成为土壤溶质的一种重要来源(Bresler et al., 1982)。

滨海地区海水浪花所产生的含盐水滴因湍流带至空中,变成了高盐化水滴所形成的雾或成为悬浮的盐晶。这些盐晶也可成为以后雨点或雪花的凝结核心。降落方式有两种,一种是随降水带至地面,另一种是在两次降水期间干降至地面,有的科学家称这种盐分为“循环盐”。澳大利亚遭受这种危害较严重。上述两种方式以前者为主。但在内陆地区干降所带来的盐分可以占大气盐分降落至地面总量的 $25\%-30\%$ 。

以上来源的土壤盐分从滨海到内陆呈指数递降。就降水的浓度而言,据报道,在内陆, Cl^- 平均为 $2-6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, SO_4^{2-} 为 $5-10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 总浓度为 $10-20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。但在滨海地区或重工业区要高得多, Cl^- 可达 $20-50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。火山区附近可高达 $200-400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。当然,随地形、风向和降水强度而异。就数量而言,每年由降水沉积的 NaCl , 滨海可高达 $100-200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 而大陆内部为 $10-20 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。因此,即使在降水量低的地区,多年的盐分沉积会导致可观的数量。

3. 工业或火山的影响

工业区由于煤的燃烧,大量排放 SO_2 。火山气体也可产生

SO₂。全世界每年排放的 SO_x 可达 1.5×10^{10} kg, 自燃油每年排放 5.0×10^{11} kg。这些气体在大气中形成酸雨。约 60% 的酸雨起因于 SO₂, 约 40% 起因于 NO_x。目前酸雨为害已达相当严重程度, 成为森林死亡的重要原因之一。

4. 古含盐地层

早年被沉积下来的富含盐类的沉积层大多是湖相或海相沉积层, 或是古代积盐层经地质构造运动影响, 隆起为高地。这些盐层或裸露地表或埋藏深处, 通过自然因素和人类活动的影响, 可以被释放而进入土壤。如河流经过含盐沉积层时, 河水浓度会增高, 用之于灌溉土壤时, 会使土壤盐分倍增。此外, 有的通过地下水上升时, 溶解了含盐层而将盐分携带至上部土层, 使土壤盐化。如我国西北的甘肃、宁夏、新疆等地山前的残积含盐层即是。

5. 生物过程

土壤中生物活动所产生的有机物质, 其可溶性部分就成为土壤溶质的一部分, 如游离的氨基酸和糖类等。

6. 人类活动的影响

人类活动是土壤中溶质来源的一个值得重视的方面。如灌溉水质不良时, 盐分或污染物质随灌溉水进入土壤, 引起盐分和重金属元素等的积累。或因灌溉不当, 引起地下水位的升高, 致使盐分随地下水强烈上升。此外, 施肥、农药、除草剂等的使用, 都是土壤溶质的人为来源。

1.1.2 土壤溶液的组成

土壤溶液中溶质可分为有机和无机两个部分, 有机部分包括可溶性有机物如氨基酸、腐殖酸、糖类和有机-金属离子的络合物。无机部分则包括各类离子, 其主要组成为 Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺、K⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻和 CO₃²⁻。还有少量的一些其他离子, 如铁、锰、锌、铜等的盐类化合物。以上组成可呈多种形态, 如离子态、水合态、络合态等。此外, 尚有一些悬浮的有机无机胶体和溶解的气体。

如 1.1.1 节所述, 由于人类活动, 溶液中也可能会含有一些有机

或无机污染物、重金属元素、农药等。

由于土壤是在一定的环境条件下形成的,因此土壤溶质的组成与其所处气候、母质、地形、地貌条件和生物、人为活动有着密切关系。

1. 不同地区土壤的土壤溶液组成

土壤溶液的组成反映了该土壤在所处的自然条件下的形成过程的特点。因此在不同气候条件、母质条件和地形等条件下,土壤溶液组成有很大的差别。

由于对土壤溶液的研究历史较短,缺乏完整的、各种土类的土壤溶液组成资料。现将收集到的有关资料列于表 1.1 和表 1.2。

表 1.1 黄淮海平原几种土壤表层的土壤溶液组成* (mg · L⁻¹)

元素	重盐化潮土	轻盐化潮土	粘质潮土	元素	重盐化潮土	轻盐化潮土	粘质潮土
Al	0.493	0.396	0.281	Mo	0.215	0.079	0.045
B	0.305	0.202	0.129	Na	5 654	456	241
Ca	638	672	364	Ni	0.083	0.040	0.025
Cd	0.042	0.021	0.015	P	16.36	4.18	1.16
Co	0.065	0.025	0.017	Pb	0.253	0.087	0.101
Cr	0.200	0.113	0.068	Ti	0.007	0.030	0.023
Cu	0.431	0.148	0.067	Zn	0.059	0.028	0.040
Fe	5.58	2.56	1.42	Sr	8.00	2.91	1.13
K	27.3	9.12	6.41	S	2 385	651	392
Mg	1 776	198	52.5	V	0.112	0.072	0.049
Mn	0.065	0.026	0.013				

* 用溶液提取器在田间采集。

从表 1.1 和表 1.2 资料说明,在降水量较低地区形成的土壤,溶液 pH 值呈中性至微碱性,其溶质组成中的主要离子 Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺、SO₄²⁻ 和 Cl⁻ 浓度均在 1mmol · L⁻¹ 以上,钠质土甚至可达 10²—10³mmol · L⁻¹。离子强度大多在 10mmol · L⁻¹ 以上,钠质土可达 10³mmol · L⁻¹。而降水量丰富地区的酸性土壤,Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺、SO₄²⁻ 和 Cl⁻ 等一般小于 1mmol · L⁻¹,离子强度小于 10mmol · L⁻¹。

表 1.2 某些地区土壤的土壤溶液组成

土壤	系统分类	pH	dS · m ⁻¹										mmol · L ⁻¹					离子 NO ₃ 强度
			EC	Ca	Mg	K	Na	NH ₄	Al	Si	HCO ₃	SO ₄	Cl					
在 10kPa 水分下用压力板提取 California USA(Eaton, et al., 1960)																		
Hanford	典型季节性干旱正常新成土	7.52	4.96	21.10	1.80	0.80	3.00	0.40			3.5	5.9	4.6	32.0	80			
Escondido	典型季节性干旱淡始成土	7.41	0.70	1.00	0.50	0.20	2.80	0.10			1.0	0.7	2.9	1.2	9			
Tujunga	典型季节性干旱沙新成土	6.99	8.90	41.60	8.30	2.60	7.40	4.00			4.2	18.9	5.6	65.0	182			
Greenfield	典型薄层干热淋溶土	7.66	1.96	6.40	1.89	1.10	1.20	0.40			1.9	1.4	1.0	13.2	29			
Yolo	典型季节性干旱正常新成土	6.89	2.74	8.70	1.95	3.70	1.00	0.50			2.3	3.0	1.9	16.9	41			
Corona	脆磐干热软土	8.12	3.36	5.85	1.85	7.30	9.20	0.40			6.1	3.8	3.2	12.4	43			
Chino	潮湿弱发育干热软土	7.52	1.68	5.55	1.10	0.30	2.30	0.20			3.8	1.4	2.3	8.8	25			
Traver	钠质弱发育干热淋溶土	7.35	143.3	118.8	105.0	5.60	1 777	0.30			32.0	39.4	2 205	25.0	2 549			
在田间含水量条件下真空置换 Tennessee USA(Qian and Wolt, 1990)																		
Etowah Ap	典型强发育湿润老成土	5.97	0.41 ^a	1.55	0.38	0.21	0.28		0.140	0.136		0.13	0.13	3.9	7			
Etowah B	典型强发育湿润老成土	5.12	0.22	0.73	0.12	0.02	0.09		0.012	0.079		0.06	0.42	1.4	3			
Statler Ap	腐殖质弱发育湿老成土	6.04	3.34	12.85	3.39	1.25	0.52		0.126	0.169		0.84	14.98	22.2	54			
Statler B	腐殖质弱发育湿老成土	6.66	0.25	0.71	0.22	0.02	0.09		0.068	0.054		0.21	0.39	1.1	3			

土壤	系统分类	pH	dS · m ⁻¹										离子强度	
			EC	Ca	Mg	K	Na	NH ₄	Al	Si	HCO ₃	SO ₄		Cl
在田间含水量条件下真空置换 Tennessee USA (Wolt and Graveel, 1986)														
Memphis Ap	典型弱发育湿淋溶土	5.91	1.19	5.10	0.88	0.62	0.15	0.035			0.27	3.34	9.48	19
Memphis Bt2	典型弱发育湿淋溶土	4.95	0.22	0.55	0.47	0.03	0.45	0.042			0.05	0.95	1.38	4
Lily Ap	典型弱发育湿老成土	4.35	0.079	0.21	0.05	0.08	0.24	0.034			0.07	0.12	0.51	1
Lily Bt2	典型弱发育湿老成土	4.86	0.050	0.05	0.05	0.05	0.22	0.037			0.05	0.06	0.36	1
在田间含水量条件下表土离心置换 United Kingdom (Kinniburgh and Miles, 1983)														
Harwell	棕壤	5.3		1.15	0.14	0.62	0.38		0.013	0.844	0.47	0.56	1.78	6
Ickneid	黑色质石灰土	7.8		1.23	0.07	0.04	0.03		0.004	0.075	0.37	0.54	0.19	4
Grove	潜育石灰性土	8.1		1.73	0.06	0.49	0.31		0.0004	0.473	0.28	0.73	0.29	5
Rowsham	表面水潜育土	8.0		1.48	0.07	0.37	0.23		0.0004	0.541	0.19	0.51	1.07	5
Fyfield	棕壤	7.9		1.35	0.02	0.41	0.26		0.003	0.121	0.25	0.51	0.47	4
Thames	地下水潜育土			3.13	0.25	0.37	0.23		0.001	0.285	0.34	1.41	0.44	9
Marcham	棕色石灰性土	8.3		1.73	0.07	0.33	0.20		0.006	0.128	0.09	0.24	0.66	5
Denchworth	表面水潜育土	7.0		1.25	0.26	0.53	0.33		0.021	0.413	0.59	1.66	0.12	6

续表 1.2

土壤	系统分类	dS · m ⁻¹															mmol · L ⁻¹							离子 NO ₃	Cl	SO ₄	Si	Al	NH ₄	Na	K	Mg	Ca	EC	pH	灰壤	强度																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		EC	pH	Ca	Mg	K	Na	NH ₄	Al	Si	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Sothampton	灰壤	4.3		0.35	0.08	0.21	0.13		0.025	0.142		0.31	0.82	0.022		2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	