



论文

干旱区绿洲滴灌对土壤盐碱化的长期影响

罗毅^{①②*}

① 中国科学院新疆生态与地理研究所, 绿洲与荒漠生态系统国家重点实验室, 乌鲁木齐 830011;

② 中国科学院生态系统网络观测与模拟重点实验室, 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

* E-mail: luoyi@igsnr.ac.cn

收稿日期: 2013-04-16; 接受日期: 2013-12-23; 网络版发表日期: 2014-07-11

中国科学院“百人计划”项目(编号: KZXC2-YW-BR-12)资助

摘要 干旱区绿洲长期滴灌是否会造成农田土壤积盐, 事关干旱区绿洲农业的可持续发展, 是学术界和生产管理部门严重关切的问题. 玛纳斯河绿洲在新疆最早开展滴灌应用. 本文在玛纳斯河绿洲范围内通过大量调查土壤剖面盐分和滴灌历史来回答上述问题. 共调查了 235 个土壤剖面, 深度一般为 200 cm, 最浅 100 cm, 利用其中已知滴灌年数的 52 个剖面数据分析滴灌对土壤盐碱化的长期影响, 分为滴灌初始为耕地和荒地种情况. 结果表明: 新疆玛纳斯河绿洲荒地 0~200 cm 土层平均含盐量 17.23 g kg^{-1} , 漫灌耕地平均含盐量 0.59 g kg^{-1} ; 农田滴灌对土壤脱盐与积盐影响并存; 原荒地基础上进行滴灌, 土壤呈脱盐趋势, 土壤含盐量呈幂函数曲线下降, 最长 12 年滴灌历史的多点不同滴灌年数地块含盐量平均值为 6.38 g kg^{-1} , 总体仍然处于脱盐过程中; 原耕地基础上长期滴灌, 土壤呈积盐趋势, 土层平均含盐量年均增长 0.22 g kg^{-1} , 最长 10 年滴灌历史的多点不同滴灌年数田块平均含盐量增长为 2.36 g kg^{-1} , 土壤含盐量增长趋于危害棉花生长、影响产量的临界值. 干旱区绿洲长期滴灌将造成土壤积盐, 应该引起科学研究和灌溉管理的高度重视; 在节水灌溉过程中保证盐分淋洗用水是减缓滴灌农田土壤积盐必需的措施.

关键词干旱区
绿洲
滴灌
土壤盐碱化
积盐

土壤盐碱化始终是干旱区灌溉农业可持续发展的战略问题(张蔚榛, 2003). 中国的干旱区面积占全国陆地面积的 1/3, 盐碱土广泛分布, 土壤盐碱化和灌溉土壤次生盐碱化是制约干旱区农业发展的主要障碍, 也是影响绿洲生态系统稳定性的重要因素(田长彦等, 2000). 新疆干旱区绿洲降水少、蒸发力强、成土母质含盐, 具土壤盐碱化的自然物理条件; 绿洲农业依赖灌溉, 而新疆水资源短缺. 所以, 节水灌溉的同时, 保护土壤环境, 是农业种植和水管理应该满足的双重要求. 新疆生产建设兵团农八师于 1996 年开始在玛纳斯河绿洲率先将覆膜植棉技术同滴灌技

术相结合应用, 初期就取得重大的节水和种植成效; 过去十几年以来, 新疆绿洲滴灌快速发展, 滴灌耕地面积逐年扩大. 既有传统的漫灌、沟灌等更新为滴灌, 也有开垦荒地直接采用滴灌进行种植.

关于干旱区绿洲滴灌对土壤盐碱化的影响问题, 学术界有不同看法. 一种观点认为, 滴灌是一种高度节水的灌溉技术, 并且能使作物主根系区形成脱盐区(李玉义等, 2007a, 2007b; 卢响军等, 2011), 有利于提高水分利用率和作物产量(徐飞鹏等, 2003), 生产管理部门倾向于支持这一观点. 另一种观点认为, 滴灌总是造成土壤剖面积盐, 不利于农田土壤长期

中文引用格式: 罗毅. 2014. 干旱区绿洲滴灌对土壤盐碱化的长期影响. 中国科学: 地球科学, 44: 1679-1688

英文引用格式: Luo Y. 2014. The long term impacts of drip irrigation on soil salinity in agricultural land of oasis in arid region of northwest China (in Chinese). *Scientia Sinica Terrae*, 44: 1679-1688

保护和绿洲灌溉农业可持续发展(罗亚峰等, 2011; 王雅琴等, 2010; 张伟等, 2008, 2009)。上述结论或者观点形成于对位于同一个实验区或团场内的不同滴灌年数的地块获得数据的对比分析, 受数据的时空范围局限, 难以确切回答长期滴灌土壤的盐分演变趋势问题。

定点多点长期连续观测滴灌条件下土壤盐分动态是回答其长期变化趋势的根本办法, 但事实上缺乏相关数据的长期积累。本文通过在玛纳斯绿洲范围内大量的土壤剖面调查结合田块滴灌历史年数调查, 采取以空间换时间的方式, 试图通过统计的方法来阐明长期滴灌条件下土壤剖面是积盐还是脱盐的问题, 为干旱区绿洲滴灌对土壤盐分的长期影响取得有借鉴意义的结论, 为灌溉管理决策提供依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

新疆玛纳斯河绿洲位于天山北麓, 准噶尔盆地南缘(84°43'~86°35'E, 43°21'~45°20'N)。玛纳斯河流域水系由源于山区的一系列河流组成, 自东向西依次为塔西河、玛纳斯河、宁家河、金沟河和巴音沟河等5条主要河流, 大致成SSE-NNW方向流经山前绿洲, 最后注入玛纳斯湖, 多年平均径流量 $22.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。地势由山前向荒漠倾斜, 海拔由冲洪积扇顶的800 m下降到玛纳斯湖底的257 m, 从低山区半湿润带, 绿洲干旱带, 向荒漠极度干旱带过度。

流域绿洲面积 $3.1 \times 10^4 \text{ km}^2$, 种植作物为棉花、小麦、玉米、西红柿和瓜果等。绿洲平原区平均积温3400~3900℃, 年均日照时数2600~3000 h, 年蒸发量1700~2200 mm; 河流出口以下的山前地带, 年降水量少于300 mm, 准噶尔盆地沙漠中心年降水量在100 mm以下, 绿洲平均降水量200 mm, 降水量远远小于年蒸发量, 属干旱区气候, 没有灌溉就没有农业。绿洲原始土壤类型为荒漠灰钙土, 经过多年耕作已改良熟化为耕作灰漠土。成土母质含盐, 加之干旱气候条件, 以及历史灌溉管理和普遍浅埋地下水, 土壤普遍盐碱化。

1.2 选点和取样

调查、采样共两次, 时间分别为2009年7~8月

和2010年6月, 取样和调查范围涉及整个玛纳斯河绿洲。采用手持GPS接收仪定位样点坐标, 在玛纳斯河绿洲和绿洲荒漠过渡带(图1)开展了土壤剖面勘探采样, 取样地包括农田、田间荒地、绿洲边缘荒地, 对灌溉井水、渠系引水、水库水取样, 以及在取样地块进行作物种植、灌溉现场问卷调查。总计勘探土壤剖面235个, 现场问卷76份。在玛纳斯绿洲灌溉井口、渠道、河道取水样337个。

(1) 土壤剖面取样。选定代表性采样点, 采用动力钻(荷兰Eijkelkamp公司)钻孔取样, 每个点位钻取一个土壤剖面。钻孔直径5 cm, 取样深度一般为200 cm。根据现场土质情况, 部分剖面深度小于200 cm, 最浅为100 cm。钻取土芯后, 以20 cm为间隔, 将土壤样品分层装入自封袋后封口, 带回实验室测试化验。

(2) 水样采集。采用自制水样采样器, 在土壤剖面勘探采样点附近的灌溉井口、渠道或者河道采集水样。每个点取水样约500 mL, 装入塑料瓶中带回实验室测试化验。

(3) 问卷调查。在土壤剖面条查现场, 就作物种植、灌溉方式、灌溉水源、灌溉用水量和滴灌年数等问题对土地承包人或者种植者进行问卷调查, 获取采样点的灌溉历史基本数据, 图1。

1.3 化验和分析

(1) 土壤含盐量测定。将采集的土样在实验室内自然风干, 去除石子、草根等杂质, 过2 mm筛后分成两部分。一部分土样用于测定土壤颗粒组成, 测定方法为比重计法。另一部分土样过1 mm筛, 称取土样, 按照5:1水土比浸提土壤溶液(10 g土, 50 mL蒸馏水), 测定分析土壤盐分的主要离子组成, 以及pH和电导率。主要离子含量的测定法(Klute, 1986; 鲍士旦, 1999)为 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 采用双指示剂法测定; Cl^- 采用 AgNO_3 滴定法测定; SO_4^{2-} 采用EDTA间接滴定法; Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 采用EDTA络合滴定法测定; K^+ 和 Na^+ 采用火焰光度计测定。土壤pH采用PHS-3C型pH计测定。使用电导仪(DDSJ-308A型)测定土壤浸提液的电导率, 根据公式(蔡阿兴等, 1997)换算确定土壤含盐量。

(2) 水样含盐量测定。对采集的水样分析测定其pH、电导率以及主要离子组成。电导率和pH分别使用电导仪(DDSJ-308A型)和pH计(PHS-3C)测定。主

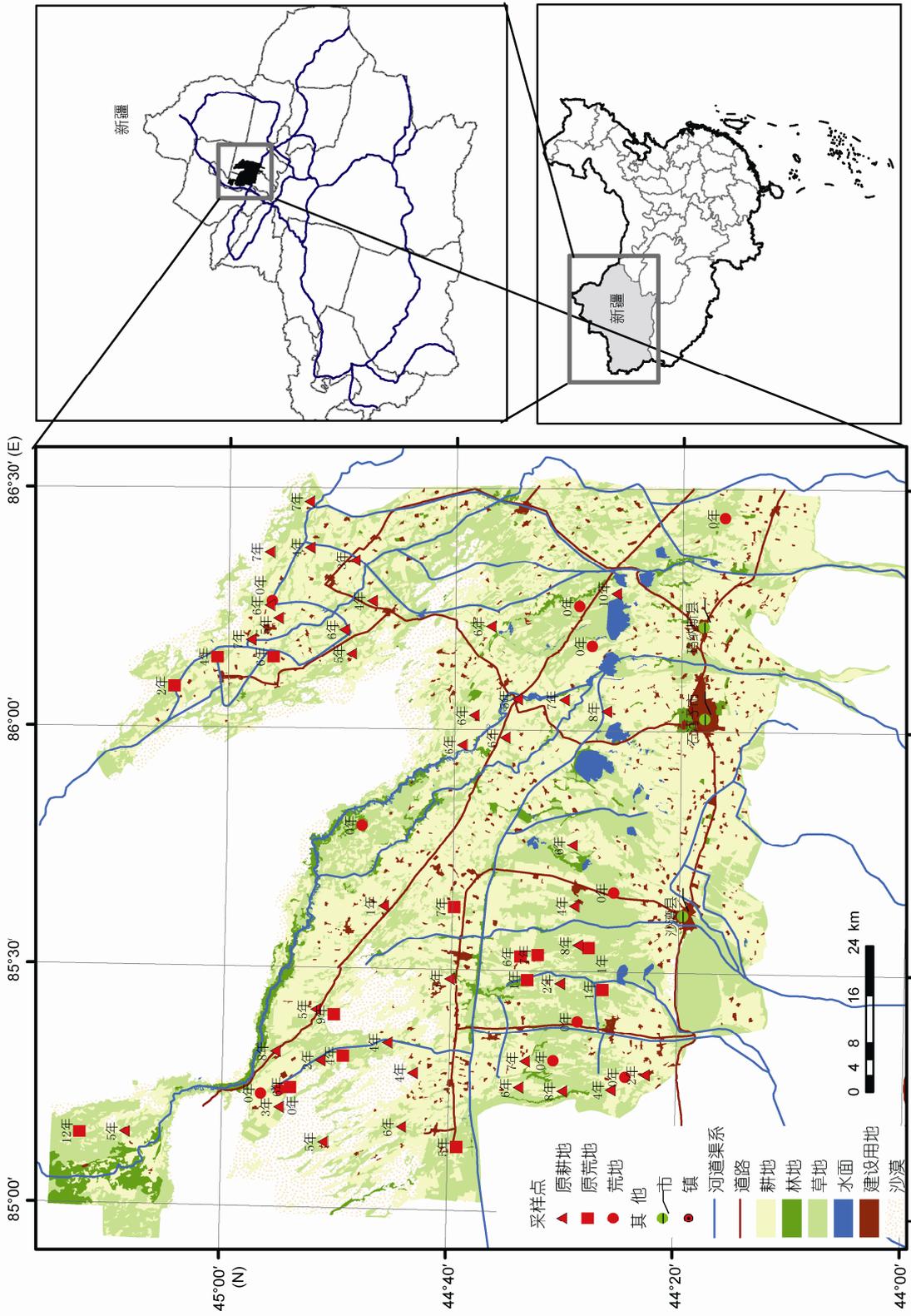


图1 土壤剖面调查采样点空间分布和各点的实施滴灌的年份

要离子含量的测定法为: HCO_3^- , CO_3^{2-} 采用双指示剂法测定; Cl^- 采用 AgNO_3 滴定法测定; SO_4^{2-} 采用 EDTA 间接滴定法; Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 采用 EDTA 络合滴定法测定; K^+ 和 Na^+ 采用火焰光度计测定。

(3) 调查问卷分析. 为方便分析起见, 将调查采样点所在地块划分为三种土地类型: 荒地、漫灌地和滴灌地. 荒地是指分布绿洲农田中的未开垦地块或者绿洲边缘的未开垦荒漠地; 漫灌地是指当前仍然采用漫灌方式进行灌溉的地块; 滴灌地是指当前采用滴灌方式进行灌溉的地块. 现滴灌地又划分为始于荒地的滴灌地(原荒地滴灌)和始于耕地的滴灌地(原耕地滴灌)两种情形. 经整理、分析勘测地块的灌溉历史调查问卷, 最后确认具备确切滴灌年数的土壤剖面 52 个, 滴灌年数从 1 年到 12 年不等(表 1). 长期采用漫灌的土壤剖面 13 个, 荒地土壤剖面 11 个, 一并用于土壤剖面盐分变化的比较分析。

2 结果

2.1 灌溉对土壤盐分剖面分布的影响

从图 1 中可以看出, 荒地、漫灌地、原荒地滴灌地和原耕地滴灌地在采样区内分散分布. 荒地散落分布于绿洲之中. 过去十几年来, 一方面由于滴灌节水, 促进了就近开荒种植; 另一方面开采地下水垦荒, 种植面积不断扩大, 滴灌年数也无明显的地带性规律. 相临近的地块, 既可能已有 10 余年滴灌历史, 也可能为新近垦荒, 滴灌历史仅仅一到两年. 位于玛纳斯河最下游的 136 团场附近采样点, 已经有 12 年滴灌历史. 在石河子市和玛纳斯县等城镇周边, 也仍然存在采用漫灌的地块。

图 2 是荒地、漫灌地和滴灌地的各采样点土壤含盐量的箱型分布图, 对比分析可显示其剖面土壤盐分分布的差异。

图 2 中各方框左右边界分别表示所有采样点土壤含盐量统计值的 25%和 75%分位数, 中间线为中

位数, 也即是 50%的数据分布在方框所示范围内. 图 2 表明, 荒地的各层土壤含盐量均显著大于滴灌地和漫灌地的各层土壤含盐量. 荒地的土壤盐分分布为典型的表聚型分布, 剖面盐分主要积聚在 0~20 cm 土层范围内. 表层土壤含盐量远远高于下层土壤含盐量, 而且随着深度增加, 土壤含盐量逐渐减少, 表明在无灌溉影响和强蒸发力条件下, 土壤盐分的长期分布趋势. 同时统计结果(表 2)也表明荒地的土壤含盐量具有很强的变异性. 整体而言, 漫灌地的剖面土壤含盐量最小, 值域和变异性均较小(表 2). 下层土壤比上层土壤的含盐量较大, 显示出在灌溉作用下, 土壤盐分不断被淋洗向土壤深层运移的特点。

为了进一步分析初始条件不同的滴灌地的土壤盐分分布情况, 绘制原荒地滴灌地和原耕地滴灌地的箱型分布图如图 3 所示。

图 3 表明, 即使同样采用滴灌灌溉方式, 但由于其滴灌前期的初始土壤含盐量不同, 原荒地和原耕地的土壤盐分分布表现出明显差异. 原荒地的各层土壤含盐量中位值均高于原耕地的对应各层土壤含盐量中位值. 可能是由于原耕地滴灌地经过了大水漫灌洗盐, 从而 0~200 cm 剖面盐分含量显著降低. 此外, 与原荒地的含盐量值分布范围相比, 原耕地的土壤含盐量值分布范围较窄, 表明原耕地的土壤含盐量变异性相对较小(表 2)。

根据《新疆土壤》确定的盐碱化程度等级分类标准: 土壤含盐量 $< 3 \text{ g kg}^{-1}$, 为非盐化土; $3\sim 6 \text{ g kg}^{-1}$, 为轻度盐化土; $6\sim 10 \text{ g kg}^{-1}$, 为中度盐化土; $10\sim 20 \text{ g kg}^{-1}$, 为重度盐化土; $> 20 \text{ g kg}^{-1}$, 为盐土. 表 2 中统计结果表明, 研究区内荒地的 0~200 cm 剖面平均土壤含盐量 17.23 g kg^{-1} , 属于重度盐化土. 而原荒地滴灌地和原耕地滴灌地分别属于中度盐化土和非盐化土. 另外, 通过采用 SPSS 分析工具对荒地、原荒地滴灌地和原耕地滴灌地的土壤含盐量进行差异显著性(one-way ANOVA)检验, 结果表明各层土壤含盐量不同类型地块之间差异显著. 因此本文将原荒地

表 1 不同滴灌年数地块的调查、采样点个数

土地类型		调查、采样点个数											
滴灌年数		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	
滴灌地	原荒地	3	1	0	2	1	3	2	0	1	0	1	
	原耕地	2	3	2	6	6	9	5	4	0	1	0	
荒地		11											
漫灌地		13											

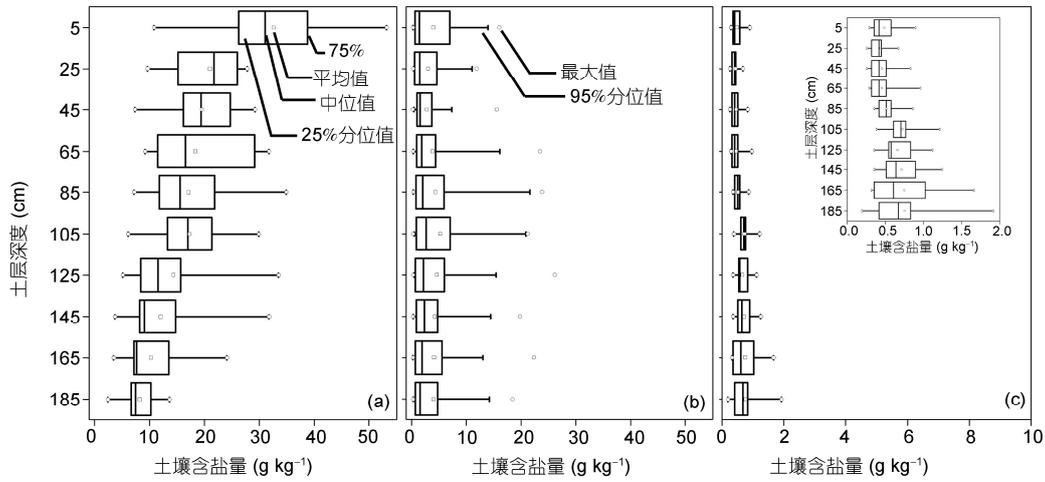


图2 土壤含盐量沿剖面分布情况

(a) 荒地; (b) 滴灌地; (c) 漫灌地, 内嵌图为放大图

表2 不同类型地块的0~200 cm剖面土壤含盐量统计参数

地块类型	样点数	值域(g kg ⁻¹)	最小值(g kg ⁻¹)	最大值(g kg ⁻¹)	平均值(g kg ⁻¹)	标准差(g kg ⁻¹)
荒地	11	50.75	2.43	53.18	17.23	9.75
漫灌地	13	1.73	0.19	1.92	0.59	0.29
滴灌地						
原荒地	14	25.76	0.38	26.14	6.38	5.75
原耕地	38	14.30	0.16	14.46	2.36	2.55

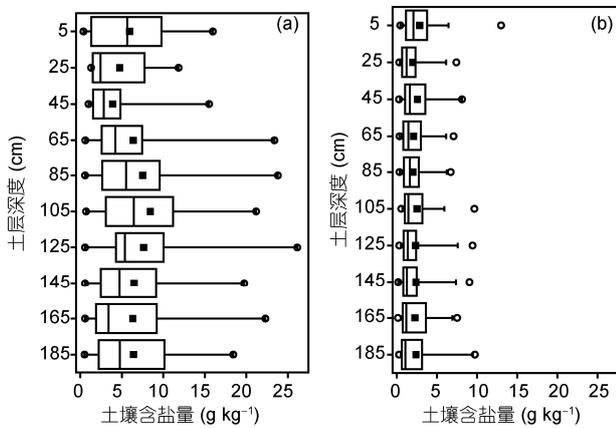


图3 各层土壤含盐量分布

(a) 原荒地滴灌地; (b) 原耕地滴灌地

滴灌地和原耕地滴灌地的土壤含盐量变化分别分析。

根据前述分析, 将滴灌地分为原荒地和原耕地两组分别分析在垂直方向的剖面上土壤含盐量的分布特征。图4显示的是滴灌年数相同的原荒地不同采样点的土壤含盐量分布情况。两组滴灌地的滴灌年

数分别为1年和6年, 图中虚线显示的是各层土壤含盐量的平均值及其误差范围。

滴灌年数为1年的原荒地滴灌地的土壤含盐量在整个剖面均较大, 而且随土壤深度不同土壤含盐量变化幅度相对较小(图4(a)). 三个采样点的平均值显示0~20 cm 土层土壤含盐量略大于20~40 cm 土层的土壤含盐量, 但是在土壤深度80 cm 附近土壤含盐量达到峰值. 虽然滴灌具有淋洗土壤盐分作用, 但由于滴灌年数较短, 盐分淋洗深度较浅. 滴灌年数为6年的原荒地滴灌地0~60 cm 土层土壤含盐量较小, 但随土壤深度增大, 土壤含盐量逐渐增大, 且变化幅度较大, 显示出明显的淋洗脱盐趋势。

同时图4也表明, 在滴灌初始背景相同(原荒地)且滴灌年数相同的情况下, 不同地点的剖面土壤含盐量大小相近, 且具有相似分布特征. 这一现象为本文采用以空间置换时间的方法研究长期滴灌影响下的玛纳斯河绿洲农田土壤盐分变化趋势提供了可能。

原耕地滴灌地的土壤剖面含盐量整体而言较原

荒地滴灌地小, 随土壤深度变化也较小(图 5). 对于滴灌 6 年的剖面, 表层 0~20 cm 土壤含盐量较下层略有增加, 显示出积盐趋势. 而这一现象对于滴灌 4 年的剖面尚不明显. 在滴灌 4 年的 4#点 100 cm 深度的土壤含盐量与其他各点的相比突然增大, 可能是由于该处土壤质地或土壤结构等的特殊变化, 造成土壤含盐量的较大差异, 同时也影响其下各层土壤含盐量较其他各点的略有增大. 滴灌 6 年的剖面土壤含盐量, 除 5#点之外, 其余 5 个不同地点的采样点的彼此都很接近. 因此, 类似于原荒地滴灌地的剖面分析

结果, 图 5 也表明在同为原耕地滴灌地且滴灌年数相同的情况下, 虽然个别采样点或土壤深度有例外, 但总体而言不同地点的剖面土壤含盐量大小相近, 且具有相似分布特征.

2.2 滴灌对土壤盐碱化的长期影响

原荒地和原耕地基础上进行滴灌, 土壤剖面上的盐分变化随滴灌年数表现出不同的变化趋势(图 6). 在荒地基础上发展滴灌(图 6(a)), 随着滴灌年数增长, 其土壤含盐量呈现减少趋势, 盐分含量下降趋势随

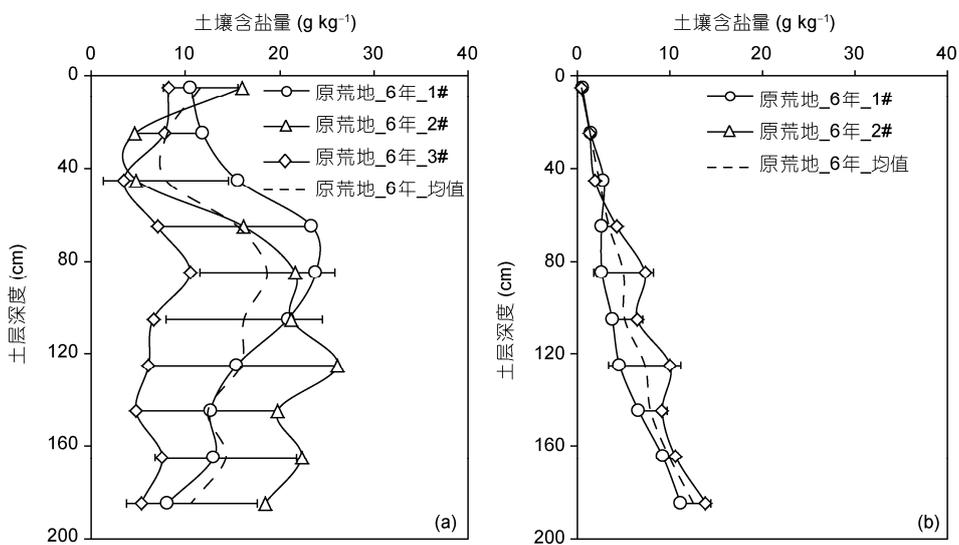


图 4 原荒地基础上滴灌土壤含盐量剖面分布特征

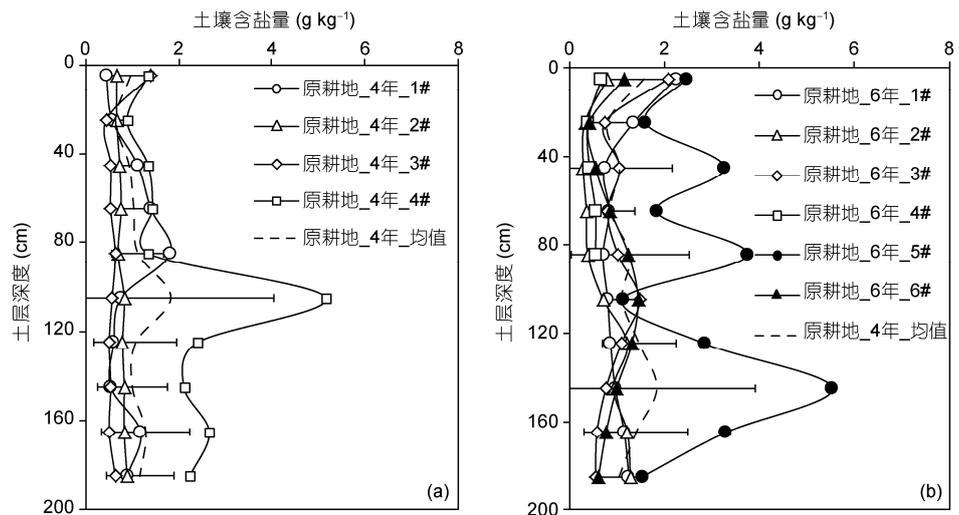


图 5 原耕地上滴灌土壤含盐量剖面分布特征

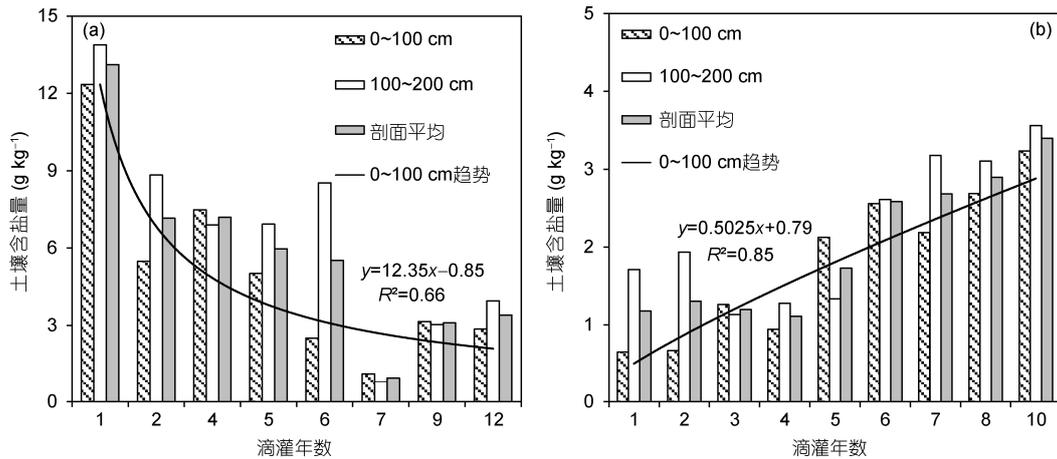


图6 原荒地和原耕地条件下0~200 cm土层平均含盐量随灌溉年数的变化趋势

(a) 原荒地滴灌地; (b) 原耕地滴灌地

年数增长趋缓. 与滴灌 1 年的剖面土壤含盐量相比, 滴灌 12 年的剖面土壤含盐量减小了 74%, 多年平均年减小速率为 0.81 g kg^{-1} . 尤其是在滴灌开始前两年, 剖面土壤含盐量减小了 45.4%, 脱盐趋势显著. 滴灌 7 年的剖面土壤含盐量偏低, 可能与样点偏少有关. 在原耕地上发展的滴灌地(图 6(b)), 随着滴灌年数增加, 其土壤含盐量呈现缓慢但是明显的增加趋势. 与滴灌 1 年的剖面土壤含盐量相比, 滴灌 10 年的剖面土壤含盐量增加了 1.88 倍, 多年平均年增长速率为 0.22 g kg^{-1} . 图 6(a)和(b)中给出了 0~100 cm 土层平均含盐量随滴灌年数增长的趋势线, 现有数据基础上的趋势线的复相关系数(R^2)分别达到了 0.66 和 0.85, 说明原荒地基础上实施滴灌的脱盐趋势和原耕地基础上的积盐趋势是明确且显著的, 特别是后者. 需要说明的是, 上述两条趋势线仅仅基于实际调查数据说明这两种趋势的明确存在而非用于关于滴灌年数的脱盐和积盐量预测. 至于土壤盐分的长期演变趋势预测, 孙林等(2013)利用作物-土壤水-土壤盐作用关系模型进行长时间尺度模拟的结果表明, 在原耕地基础上进行滴灌, 作物根区土壤盐分主要受灌溉输入土壤盐分与深层淋洗作用影响, 随着滴灌年数增加, 根区盐分逐步增加, 作物生长、蒸腾受限, 下渗淋洗盐分的水量增大, 根区输入盐量与淋洗盐量趋于平衡, 到达平衡状态的年数、平衡态含盐量与灌溉水含盐量、灌水量等因素有关.

3 讨论

3.1 长期滴灌农田土壤积盐呈向影响作物生产方向发展

一般认为, 作物根系主要分布在 100 cm 土层深度内, 特别是在滴灌条件下, 上层土壤含水量较充足, 土壤 0~60 cm 深度为作物主要根系层. 原荒地滴灌地 0~60 cm 的平均土壤含盐量与 60~100 cm 的平均土壤含盐量大小相差较大, 特别是在原荒地滴灌一年后, 0~60 cm 的土壤含盐量显著低于 60~100 cm 的, 表现出滴灌局部洗盐的特点; 而对于不同滴灌年数的原耕地滴灌地, 0~60 cm 土壤含盐量和 60~100 cm 土壤含盐量二者相差较小, 且大部分是上层土壤含盐量高于下层土壤含盐量. 根据前述分析, 原荒地土壤含盐量变异性较强, 经过滴灌作用后土壤盐分被淋洗到土壤不同深度, 因此表现为上层土壤含盐量和下层差别较大; 而原耕地滴灌地土壤含盐量变异性较小, 经过长期滴灌输入性盐分累积影响, 上层土壤含盐量较下层略有增加. 此外, 对于原荒地滴灌地(图 6(a)), 总体而言, 滴灌 1~4 年的 0~60 cm 土壤含盐量比滴灌 5~7 年的 0~60 cm 土壤含盐量较大, 但滴灌 9 年和 12 年的土壤含盐量又表现出增加趋势. 而对于原耕地滴灌地(图 6(b)), 随着滴灌年数增加, 其 0~60 cm 和 60~100 cm 土壤含盐量总体而言均呈现逐渐增加趋势, 也即土壤剖面产生积盐趋势.

另外, 根据孙肇君等(2009)对膜下滴灌棉花耐盐

预警值研究结果, 并采用蔡阿兴等(1997)得出的新疆盐碱化地区土壤含盐量和土壤溶液电导率换算公式进行换算, 土壤含盐量在 2.13 g kg^{-1} 以下时, 在各生育期都不会对棉花生长造成较大危害, 这里定义该土壤含盐量为安全值; 当土壤含盐量达到 3.63 g kg^{-1} 以上时, 随着土壤盐分的增大, 将会显著影响棉花产量, 定义为危害临界值; 而当土壤含盐量超过 11.53 g kg^{-1} 时, 在棉花生育前期会对其生长造成严重危害, 故定义为严重危害警戒值. 将这三个关键含盐量值, 以及原耕地滴灌地的 $0\sim 60 \text{ cm}$ 和 $0\sim 200 \text{ cm}$ 剖面平均土壤含盐量随滴灌年数增加的变化趋势同时点绘于图 7 中, $0\sim 60$ 和 $0\sim 200 \text{ cm}$ 剖面平均土壤含盐量均逼近对棉花产量造成显著影响的临界值.

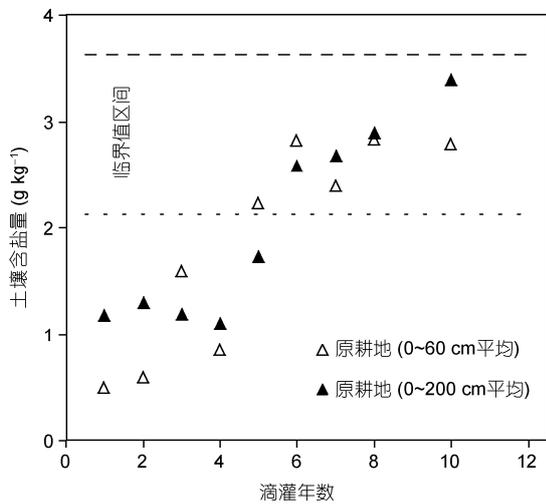


图 7 原耕地基础上滴灌盐分积累与影响棉花产量的土壤含盐量临界值比较

3.2 保证淋洗用水和合理灌溉是缓解滴灌农田土壤积盐必需的措施

滴灌灌水含盐量、灌溉水量、灌溉制度对土壤盐分都具有重要影响. 无论是采用地表水或地下水灌溉, 在淋洗土壤盐分的同时, 也会不同程度地将盐分输入土壤剖面. 若在一定时期内淋洗作用占优则土壤剖面表现为脱盐趋势; 若输入盐量大于淋洗盐量, 则土壤剖面表现为积盐趋势. 虎胆.吐马尔白等(2009)研究膜下滴灌方式下, 不同年份棉田在相同时期各土层含盐量的变化特征表明: 除了在播前各年数棉田变化没有规律外, 在其他 3 个时期都是随着膜下滴灌年数的增加, 含盐量在各土层都有明显的增加. 本研究中, 根据不同土地类型分别计算土壤盐分中各离子含量比例, 结果如图 8 所示. 由图 8 可以看出, 荒地和漫灌地的土壤盐分组成存在较大差别, 荒地中阳离子以钠离子为主, 而漫灌地中以钙离子为主. 荒地中主要为硫酸盐-氯化物, 而漫灌地中碳酸氢盐占较大比例. 滴灌地(包括原耕地和原荒地)的盐分组成介于二者之间. 这表明从土壤盐分组成的角度而言, 灌溉对于土壤含盐具有重要影响.

根据玛纳斯绿洲农田灌溉水源(包括渠水和井水)共 337 个水样的测定分析结果, 地表水(即渠水)和地下水(即井水)的 pH 均值分别为 7.5 和 7.7, 而电导率的均值分别为 0.53 和 1.05 mS cm^{-1} , 表明地下水具有较高的矿化度. 另外, 地表水和地下水中离子成分比例差别较大(图 9), 且二者都与土壤中的盐分组成有显著不同. 地表水和地下水中的钙离子含量极少, 镁离子含量比例较高. 而土壤中钙离子含量达 18.4%,

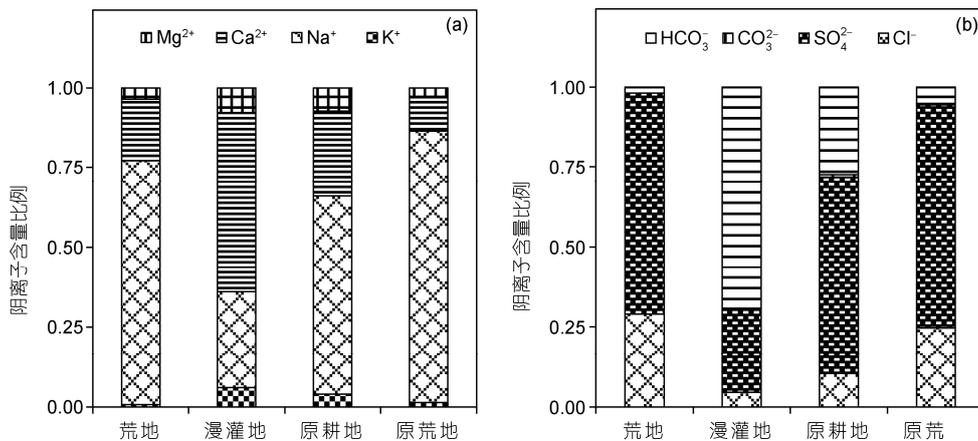


图 8 研究区内不同土地类型土壤离子含量比例

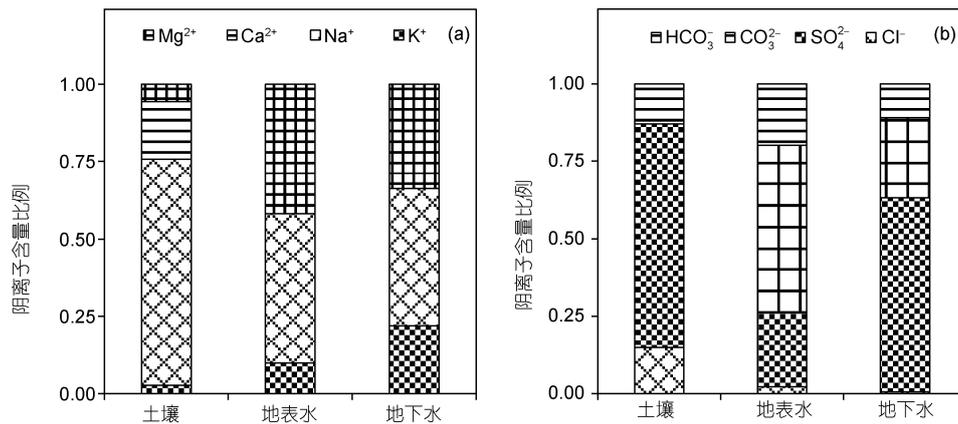


图9 土壤及灌溉水中各土壤离子含量比例

镁离子含量比例较低. 对于阴离子, 灌溉水中碳酸根离子含量较高, 尤其是地表水中碳酸根离子比例达53.9%, 而土壤中的碳酸根离子含量极低. 与地表水相比, 地下水中的硫酸根离子比例显著升高, 可能是由于土壤中的易溶性硫酸盐被淋洗进入地下水.

由于土壤中盐分组成和灌溉水中离子成分存在较大差异, 则高含盐灌溉水入渗进入土壤中后, 土壤中的可溶性盐与灌溉水中的离子将发生置换, 可能导致部分盐分以沉淀形式析出. 因此, 灌溉初期可能表现为土壤含盐量降低, 而长期灌溉结果表现为土壤盐分组分发生变化, 进而土壤含盐量逐渐升高.

滴灌土壤积盐对于干旱区绿洲灌溉农业发展是一个重大威胁, 采用适当的灌水管理方式缓解积盐. 近10年来, 由于其节水增产、局部洗盐的优势, 膜下滴灌在新疆绿洲农田得到了大面积推广应用. 与此同时, 由于绿洲灌区属于内陆封闭区, 河水利用率高, 盐分外泄条件差, 提取含盐地下水灌溉, 滴灌显著减少深层渗漏量. 滴灌用水管理要考虑土壤盐分积累问题. 采用咸水灌溉会导致土壤剖面盐分积累, 但随灌溉年份增加, 盐分增加速度减缓; 在灌溉水含盐量小于 2 g L^{-1} 时, 0~60 cm 剖面土壤含盐量增加微弱(杨传杰等, 2012). 孙林等(2013)通过模型模拟研究表明, 滴灌输入的土壤盐分会在根区积累, 长期滴灌作物根区土壤盐分在灌溉输入与淋洗作用下逐步达到稳定平衡, 其中淋洗量除直接决定于灌溉量外, 还受因盐分积累对作物蒸腾限制的反馈调节, 因此, 需要根据土壤盐分对作物生长的影响, 确定合理的灌溉淋洗用水. 合理确定次灌水量和灌溉周期, 对于控制盐分有重要作用. 孙林等(2012a, 2012b)研究表明在灌

水周期为10天, 灌水量为65 mm时, 可以将浅层土壤盐分向下淋洗, 避免根系层土壤积盐. 所以, 为使根层土壤在长期滴灌条件下不引起积盐, 一方面应控制灌溉水水质, 避免长期采用高含盐量水灌溉; 另一方面, 通过调节灌溉周期和灌水量, 使灌溉水除满足作物蒸散消耗外, 应保证有一定水量将因灌溉输入根层的盐分淋洗和排除至根层土壤以下. 采用合理的灌溉量和灌溉周期, 协调作物耗水、盐分淋洗, 实现节水控盐、高产高效, 是绿洲滴灌技术长期应用的基础, 是干旱区绿洲农业灌溉管理和目标和原则.

4 初步结论

本文以新疆玛纳斯河流域典型绿洲76个深度200 cm土壤剖面含盐量数据和灌溉历史现场调查数据为基础的研究结果认为: 新疆玛纳斯河绿洲农田滴灌对土壤脱盐与积盐影响并存; 原荒地基础上进行滴灌, 土壤呈脱盐趋势, 土壤含盐量呈幂函数曲线下降, 最长12年滴灌历史的多点不同滴灌年数地块含盐量平均值为 6.38 g kg^{-1} , 总体仍然处于脱盐过程中; 原耕地基础上长期滴灌, 土壤呈积盐趋势, 土层平均含盐量年均增长 0.22 g kg^{-1} , 最长10年滴灌历史的多点不同滴灌年数田块平均含盐量增长为 2.36 g kg^{-1} , 土壤含盐量增长趋于危害棉花生长、影响产量的临界值. 干旱区绿洲长期滴灌将造成土壤积盐, 应该引起科学研究和灌溉管理的高度重视, 建议在节水灌溉过程中保证盐分淋洗用水, 减缓滴灌过程中的盐分积累.

需要指出的是本研究中虽然进行了大量地块

的调查采样, 然而一些滴灌年数的地块样本数相对较少, 对统计结果会有一些影响。尽管如此, 结果显示的玛纳斯绿洲滴灌对土壤盐分长期影响趋势仍然是明确的。虽然本研究局限于玛纳斯河绿洲, 由于气

候干旱、土壤母质含盐、灌溉水含盐这些条件在中国西北干旱区绿洲中有其相似性, 所以本研究取得的结论对于其他条件类似的干旱区绿洲也应该有借鉴意义。

致谢 审稿人和编委对本文提出的宝贵修改意见和建议, 以及杨传杰、张艳、崔林林、李春轩、包亚明等在野外调查中的帮助和来剑斌博士在数据分析中的帮助, 在此一并致谢。

参考文献

- 鲍士旦. 1999. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社
- 蔡阿兴, 陈章英, 蒋正琦, 等. 1997. 我国不同盐碱化地区盐分含量与电导率的关系. 土壤, (1): 54-57
- 虎胆·吐马尔白, 谷新保, 曹伟, 等. 2009. 不同年限棉田膜下滴灌水盐运移规律实验研究. 新疆农业大学学报, 32: 72-77
- 李玉义, 柳红东, 张风华, 等. 2007a. 新疆玛纳斯河流域灌溉技术对土壤盐渍化的影响. 中国农业大学学报, 12: 22-26
- 李玉义, 张风华, 潘旭东, 等. 2007b. 新疆玛纳斯河流域不同地貌类型土壤盐分累积变化. 农业工程学报, 23: 60-64
- 卢响军, 武红旗, 张丽, 等. 2011. 不同开垦年限土壤剖面盐分变化. 水土保持学报, 25: 229-232
- 罗亚峰, 陈艳艳, 张烨文, 等. 2011. 新疆壤土条件下滴灌棉田盐分运移规律研究. 中国棉花, 4: 27-29
- 孙林, 罗毅. 2013. 长期滴灌棉田土壤盐分演变趋势预测研究. 水土保持学报, 20: 186-192
- 孙林, 罗毅, 杨传杰, 张艳, 等. 2012a. 不同灌溉量膜下微咸水滴灌土壤盐分分布与积累特征. 土壤学报, 49: 428-436
- 孙林, 罗毅, 杨传杰, 等. 2012b. 干旱区滴灌棉田灌溉水量与灌溉周期关系. 资源科学, 34: 668-676
- 孙肇君, 李鲁华, 张伟, 等. 2009. 膜下滴灌棉花耐盐预警值的研究. 干旱地区农业研究, 27: 140-145
- 田长彦, 周宏飞, 刘国庆. 2000. 21世纪新疆土壤盐碱化调控与农业持续发展研究建议. 干旱区地理, 23: 177-171
- 王雅琴, 刘洪光, 朱拥军. 2010. 重盐碱地膜下滴灌土壤盐分运移规律研究. 灌溉排水学报, 29: 58-60
- 徐飞鹏, 李云开, 任树梅. 2003. 新疆棉花膜下滴灌技术的应用与发展的思考. 农业工程学报, 19: 25-27
- 杨传杰, 罗毅, 孙林, 等. 2012. 灌溉水矿化度对玛纳斯流域棉花生长影响的试验研究. 资源科学, 34: 660-667
- 张伟, 李鲁华, 刘建国, 等. 2009. 准噶尔盆地南缘不同土壤质地棉田膜下滴灌盐分运移规律研究. 水土保持学报, 23: 52-56
- 张伟, 吕新, 李鲁华, 等. 2008. 新疆棉田膜下滴灌盐分运移规律. 农业工程学报, 24: 15-19
- 张蔚榛. 2003. 对西北灌区水盐平衡和控制土壤盐碱化的一些认识. 见: 张蔚榛论文集. 武汉: 武汉大学出版社. 725-744
- Klute A. 1986. Methods of soil analysis, Part 1. In: Madison W I, ed. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. American Society of Agronomy. 383-411