南疆膜下滴灌棉花花铃期土壤盐分分布研究①

李晓明， 杨劲松*， 刘梅先， 余世鹏

（中国科学院南京土壤研究所，南京 210008）

摘 要： 膜下滴灌在节水灌溉同时，会增加了土壤次生盐渍化风险，不利于农业生产。本文选取南疆棉花花铃期典型膜下滴灌地，分别在滴头下，棉花窄行间，背行 3 个位置分层取样，测定土壤盐分含量，分析其盐分在水平方向和垂直方向上的分布规律，发现膜下滴灌的土壤盐分分布规律会因不同的滴灌模式等差异而与一般性规律有所不同。结合当地实际生产条件，分析盐分分布对于指导当地农业生产具有重要意义。

关键词： 南疆；膜下滴灌；盐分；分布

中图分类号： S156.4

土壤盐渍化和次生盐渍化是制约干旱区农业生产的主要障碍因子之一[1]，新疆属极端干旱地区，棉花种植对水分的依赖性很强[2]，尤其南疆，蒸发势高达 2 000 ~ 3 400 mm，蒸发强烈，大面积耕地存在盐渍化和次生盐渍化问题。膜下滴灌需水量少，抑制了土壤蒸发和表面积盐[3]，可保证短期内棉花正常生长发育，但随着滴灌年限的增加，土壤次生盐渍化问题会越来越明显。目前关于膜下滴灌与土壤盐渍化问题研究较多，孙肇君等[2]、马玲等[4]、张伟等[5]研究了新疆膜下滴灌棉田盐分运移规律；刘新永等[3, 6]对膜下滴灌水盐动态平衡做了相关研究；李玉义等[1, 7-10]分析了地貌类型、灌溉水质、灌溉技术等对滴灌地土壤盐渍化的影响，并提出典型流域的节水农作发展模式；陈小兵等[11]对盐渍化的调控进行了研究。前人的研究总结出了膜下滴灌水盐分布的一般性规律，即在“1 膜 2 管 4 行”的种植模式下，存在离滴头距离越远土壤盐分含量越高的普遍性规律，但这并不适用于所有膜下滴灌的实际情况。目前针对南疆采用的“1 膜 1 管 4 行”的种植模式下盐分分布规律研究尚不多见。本文选定南疆棉花花铃期膜下滴灌典型区域，研究其土壤盐分分布规律，结果表明其分布规律与前述一般遍性规律存在一定差异，这对于当地农业生产实践具有重要指导意义。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

本研究在南疆巴州西尼尔灌溉实验站进行，巴州地处天山南麓，气候非常干旱，年降水量大多在 100 mm 以下，而蒸发量在 2 500 mm 左右，蒸降比值大约为 40，高蒸降比使该地区极易产生土壤的盐渍化和次生盐渍化问题，年平均气温 8.2 ~ 11.6℃，气温变化四季分明，属暖温带大陆性干旱气候，昼夜温差大，空气干燥，光照充足。研究区灌溉水源主要为积雪融水，盐分含量为 0.2 g/L 左右，盐分含量不高。

1.2 研究方法

为了解研究区土壤发生学土层构造，在典型地块挖掘剖面，进行剖面分析：0 ~ 30 cm 为耕作层，土质比较疏松，适于农作物生长；30 ~ 60 cm 为犁底层，土质很坚实，通透性差，以上两层可合称为表土层；60 ~ 90 cm 主要为心土层，其中 60 ~ 90 cm 为砂壤土，90 ~ 120 cm 为砂土，由淀积及风化等作用形成；120 cm 以下为母质层，成分主要为石砾或岩石，在 125 cm 处出现地下水。

研究区棉花膜下滴灌布种植模式为“1 膜 1 管 4 行”（图 1），即 1 膜 4 行，中间用一根滴灌为 4 行棉花供给水分。研究选在八月份，当时棉花正处于花铃期，分别在滴头下（P-1），棉花窄行间（P-2），背行（P-3）3 处采样（图 1），以分析膜下滴灌对土壤盐分分布的影响。采样分层为：I（0 ~ 10 cm）、II（10 ~ 20 cm）、III（20 ~ 40 cm）、IV（40 ~ 60 cm）；V（60 ~ 100 cm）、VI（100 ~ 150 cm）（由于地下水位的限制，大部分采至 120 cm）。为分析此种种植模式下土壤盐分分

①基金项目：国家自然科学基金项目（40771097），中国科学院知识创新工程重大项目（KSCX1-YW-09）和国家科技支撑计划项目（2006BAD05B02）资助。

* 通讯作者（jsyang@issas.ac.cn）

作者简介：李晓明（1983—），男，山东海阳人，博士研究生，主要从事资源环境和遥感信息方面研究。E-mail: xmli@issas.ac.cn

布规律，共选取 10 个典型点按上述方式进行采样分析，共采集 10 × 3 × 6 计 180 个土壤样品。采集样品带回实验室，自然风干后，磨细过筛，分析所有样品的 1 : 5 土水比电导率（$EC_{1:5}$），已知$EC_{1:5}$与土壤盐分含量存在正相关，为建立准确度较高的土壤盐分含量与$EC_{1:5}$之间的回归方程，从已测所有样品中，根据$EC_{1:5}$选取处于不同盐分梯度的样品进行盐分测定，本研究共测定 28 个样品的离子组成用于计算土壤盐分含量，分析方法参照《土壤农业化学分析方法》[12]。

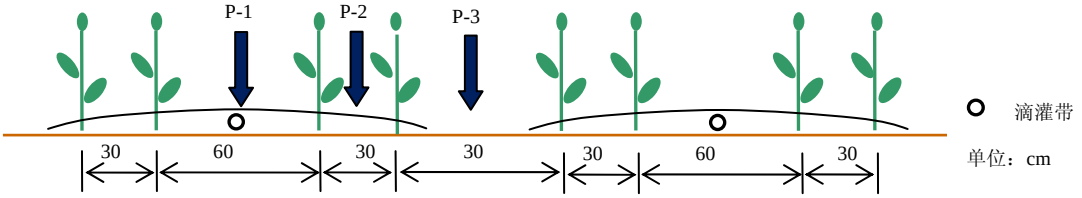


图 1 研究区“1 膜 1 管 4 行”的模式及采样点示意图

Fig. 1 Sketch map of drip irrigation under mulch and soil sampling

2 结果与分析

2.1 电导率与土壤盐分含量的回归关系建立

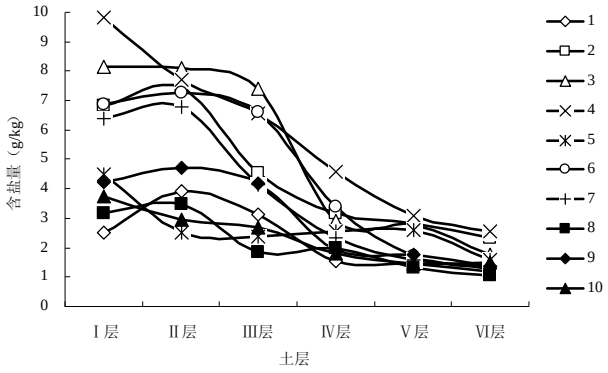
分析 28 个土壤样品盐分含量与$EC_{1:5}$之间的相关性，建立回归方程：

$$Y = 2.453X + 0.466 \quad (R^2 = 0.988,\ n = 28)$$

其中，Y代表土壤盐分含量，单位g/kg；X代表 1:5 土水比电导率（$EC_{1:5}$），单位ds/m。

2.2 不同位置垂直方向土壤盐分分布规律

滴头下位置（P-1 位置）土壤盐分分布如图 2 所示。整体来说表层的土壤盐分含量高于深层，土壤盐分最高值出现在 10 ~ 20 cm土层处，少量样点最高值出现在 20 ~ 40 cm土层处，60 cm以下深度土壤盐分含量变化很小。一般来说，滴灌的下行滴水先使滴头下土壤水分接近饱和状态，然后缓缓向四周扩散，形成一个半圆锥形的浸润体（即湿润峰），土壤中的盐分亦随水移动而被淋洗到浸润体外缘，起到“驱盐”的作用[13]。0 ~ 10 cm 土层含盐量最低，这是因为滴水期间滴头下水分不断下滴，使该层土壤经常保持较高的湿度而使含盐量最低所致，为盐分淡化区[5]，浸润体外缘的盐分随滴水扩散而慢慢积累在了外缘的土壤之中，所以可以看到在 10 ~ 20 cm土层处盐分增多（少量样点在 20 ~ 40 cm 深度土层处盐分含量达到最大）。20 cm深度以下土层土壤盐分含量减少，可以推出在 10 ~ 20 cm 深度，为土壤盐分聚集区，滴头滴水的湿润峰达到深度约为 20 cm（图 3），20 ~ 60 cm土层土壤盐分变化主要来自邻近土体的水盐运移，根据剖面分析可知，60 cm处为犁底层，土质坚实，渗透性差，60 cm深度以下土层受上层滴灌影响很小，土壤的水盐运移处于一个相对稳定平衡状态，土壤盐分含量变化不大。



（图例数字 1~10 表示 10 个典型剖面点，下同）

图 2 滴头下位置盐分垂直分布

Fig. 2 Verticle distribution of soil salt under the emitter

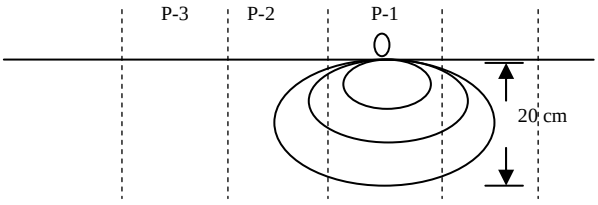


图 3 水分渗透示意图

Fig. 3 Sketch map of water osmosis

棉花窄行间（P-2 位置）土壤盐分垂直分布如图 4 所示。整体来说土壤盐分呈表聚状态，但在 0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm两个土层土壤盐分含量差别不大，60 cm深度以下土壤盐分含量变化很小。与P-1 处不同的是该位置水分的淋洗作用较小，而棉花的蒸腾吸水作用则较强。膜下灌水后，水分在重力，水势，毛管吸力等作用下，做垂直和水平运动[4]，棉花窄行间会受到来自滴头滴水渗透的影响，停水后，由于水势逆差以及强烈蒸发和植物蒸腾的影响[14]，盐随水动，盐分逐渐表聚，土壤中盐分在被灌溉水分淋洗的同时，还随水分蒸发及棉花蒸腾向上运移，从而导致0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm两个土层土壤盐分含量相差不大，可以推断出，此深度土层灌溉淋洗、蒸散作用以及地膜对水汽阻隔等作用处于相对平衡的状态。

背行露地（P-3位置）土壤盐分垂直分布如图 5 所示。土壤盐分呈现明显的表聚现象，随着深度的增加，土壤盐分逐渐降低， 60 cm 深度以下土壤盐分含量变化很小。土壤盐分的强烈表聚现象主要是由于背行位置无膜覆盖，土壤盐分在强烈蒸发作用下不断向地表聚集，而没有向下移动的外力[2]，盐分随水分迁移到表层聚集导致表层土壤盐分含量升高。

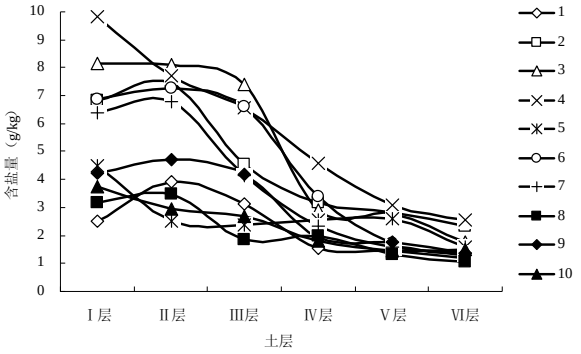


图 4　棉花窄行位置盐分垂直分布

Fig. 4　Verticle distribution of soil salt between cotton lines

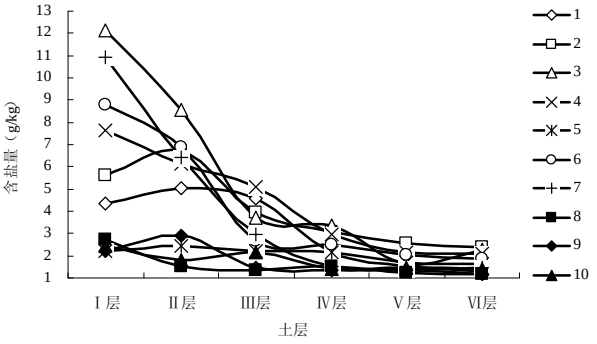


图 5　背行露地盐分垂直分布

Fig. 5　Verticle distribution of soil salt in naked locations

2.3　不同深度水平方向土壤盐分分布规律

从不同深度水平方向土壤盐分平均含量来看（图 6），在 0 ~ 10 cm土层，滴头位置远低于其他两个位置，背行土壤盐分含量略高于棉花窄行间的土壤盐分含量；10 ~ 100 cm土层，均呈现棉花窄行间土壤盐分含量最高的规律，其中 10 ~ 20 cm土层，背行露地土壤盐分含量高于滴头位置土壤盐分含量，反映了滴头位置淋洗作用以及覆膜的抑制蒸发作用；20 ~ 100 cm深度土层，棉花窄行间土壤盐分含量与背行露地土壤盐分含量相差不大，根据一般性规律，离滴头距离越远的位置，土壤盐分含量越高，背行露地位置的盐分含量应该高于其他位置，这要一定的前提条件限制，比如膜下滴灌模式、灌溉水量以及棉花生育期等。本研究区域出现棉花窄行间土壤盐分含量高于其他位置的现象，笔者认为主要有 3 点原因：一是滴灌水量的影响，由前文垂直方向的分析可知，膜下灌溉的湿润峰深度约为 20 cm，由此对滴灌带两侧水平方向的影响距离也不会太大，湿润峰大概在棉花窄行位置，根据盐随水动的理论，表层土壤中的盐分在湿润峰所达到的地方聚集，即聚集在棉花窄行间的位置的垂直方向上；二是棉花的蒸腾作用的影响[3]，虽然有覆膜阻隔水分的散失，但棉花的蒸腾作用促进水分上移，特别处于花铃期的棉花，对水分的需求量极大，强烈的蒸腾作用散失了大量的水，也造成了水盐的上移表聚；三是棉花苗孔处的水热运动远高于背行露地[15]，导致苗孔处盐分累积高于露地[6]。

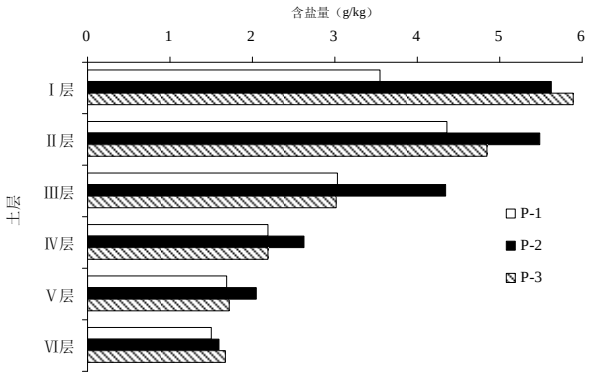


图 6　各土层深度不同位置土壤盐分含量均值

Fig. 6　Means of soil salt content in different layers of different location

3 结论

本文分析南疆棉花花铃期膜下滴灌典型地块土壤盐分分布规律，与一般性规律有所不同，可以推断膜下滴灌模式、灌溉水量、水分蒸发、植物蒸腾、地膜阻隔等外部条件均对土壤的水盐运移有所贡献，在分析水盐运移规律时要全面考虑，根据实际情况具体分析。本研究选取的典型地块，采取“1 膜 1 管 4 行”模式，通过对花铃期盐分分布的分析，发现棉花窄行间在各层深度的盐分含量均高于其他位置，呈现膜下积盐趋势，不利于土地的长效利用，也体现出这种膜下滴灌方式不利于农业生产长效发展的弊端，应该予以改进。

膜下滴灌技术作为一种节水灌溉技术，适应新疆干旱缺水的实际情况，有利于农业的短期发展，但是膜下滴灌带来的盐渍化和次生盐渍化问题大大制约了土地的长期利用，这需要进一步掌握当地的水盐运移规律，优化灌溉模式和灌溉技术[8]，促进农业的可持续性发展。

参考文献:

[1] 李玉义，张凤华，潘旭东，陈阜，赖先齐. 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, 2007, 23(2): 60−64.

[2] 孙肇君，张伟，李鲁华，常世伟，张小伟，杨忠平. 新疆膜下滴灌棉田盐分运移规律研究. 新疆农业科学， 2009, 46(1): 133−137

[3] 刘新永，田长彦，吕昭智. 膜下滴灌风沙土盐分变化及分布特点. 干旱区研究, 2005, 22(2): 172−176

[4] 马玲，曾胜何，马萍，刘洪亮，赵凤梅，黄琴，唐冬梅. 棉花膜下滴灌水盐运动规律研究. 新疆农业大学学报，2001，24(2): 30−34

[5] 张伟，吕新，李鲁华，刘建国，孙肇君，张小伟，杨忠平. 新疆棉田膜下滴灌盐分运移规律. 农业工程学报，2008，24(8): 15−19

[6] 刘新永，田长彦. 棉花膜下滴灌盐分动态及平衡研究. 水土保持学报, 2005, 19(6): 82−85

[7] 李玉义，逄焕成，陈阜，张凤华. 膜下滴灌对风沙土盐分变化和棉花产量的影响. 水土保持学报, 2009, 23(4): 96−100

[8] 李玉义，柳红东，张凤华，陈阜，赖先齐. 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，2007, 12(1): 22−26

[9] 李玉义，逄焕成，张凤华，陈阜，赖先齐. 新疆玛纳斯河流域节水农作制发展模式. 农业工程学报, 2009, 25(6): 52−58

[10] 刘春卿，杨劲松，陈小兵，刘广明. 新疆玛纳斯河流域灌溉水质与土壤盐渍状况分析. 土壤, 2008, 40(2): 288−292

[11] 陈小兵，杨劲松，刘春卿，胡顺军. 大农业条件下新疆土壤盐碱化及其调控对策. 土壤, 2007, 39(3): 347−353

[12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京：中国农业科技出版社，1999

[13] 马鄂超. 膜下滴灌与土壤盐渍化. 新疆农垦经济，2005，7(2): 233−240

[14] 张伟，李鲁华，刘建国，孙肇君，张小伟，杨忠平. 准葛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, 2009, 23(2): 52−56

[15] 李毅，王文焰，王全九，邵明安. 滴灌覆膜开孔蒸发三维空间水盐运移实验研究. 土壤通报, 2004, 35(4): 435−440

Study on Soil Salt Distribution with Drip Irrigation Under Mulch in Cotton Boll Period in South Xinjiang

LI Xiao-ming, YANG Jing-song, LIU Mei-xian, YU Shi-peng

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing* 210008, *China*)

Abstract: Drip irrigation under mulch increases the risk of soil secondary salinization while it saves water resources, which is adverse for agriculture production. The typical land with drip irrigation under mulch was selected in cotto boll period, and soil samples were collected from different layers from the location under the emitter, the location between cotton lines and the naked location to analyze the distribution law of soil salt in the horizon and the vertical orientation by measuring soil salt content. The result showed the soil salt distribution could be different from the usual law by the different conditions such as drip irrigation models. It would be useful to instruct the local agriculture production to understand the soil salt distribution.

Key words: South Xinjiang, Drip irrigation under mulch, Soil salt, Distribution