

# 不同秸秆埋深对苏北滩涂盐渍土水盐动态变化的影响<sup>①</sup>

李芙蓉<sup>1,2</sup>, 杨劲松<sup>2,3\*</sup>, 吴亚坤<sup>1</sup>, 姚荣江<sup>2,3</sup>, 余世鹏<sup>2,3</sup>, 张建兵<sup>2</sup>

(1 安徽工业大学建筑工程学院, 安徽马鞍山 243000; 2 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008;

3 中国科学院南京分院东台滩涂研究院, 江苏东台 224200)

**摘 要:** 揭示土壤水盐动态变化规律是消减盐渍障碍因子的前提。本文通过田间微区试验, 研究了秸秆表层覆盖(M<sub>0</sub>)、秸秆深埋 40 cm(M<sub>1</sub>)、70 cm(M<sub>2</sub>)及 40 cm + 100 cm 双层(M<sub>3</sub>)等处理对土壤水盐分布及其动态变化的影响。结果表明: 各处理土壤含水量随时间动态变化的规律基本相似, 且在土壤剖面分布上, 表现为秸秆表层覆盖和深埋处理均能有效增加土壤水分含量。玉米生育期内 M<sub>0</sub>、M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 和 M<sub>3</sub> 处理土壤剖面平均含水量分别为 275.9、280.3、293.9 和 302.5 g/kg, 较对照处理分别增加了 3.7、8.1、27.1 和 30.3 g/kg。从阻盐方面看, M<sub>0</sub>、M<sub>1</sub> 和 M<sub>3</sub> 能有效抑制盐分表聚, 积盐率分别较对照处理降低 4.86%、8.76% 和 6.08%, M<sub>2</sub> 处理土壤盐分含量较高, 但其积盐率与对照处理相比也降低 2.90%。双层秸秆埋深处理(M<sub>3</sub>)对土壤保墒和抑制盐分方面的作用最为显著, 对提高该区土壤水分利用效率及土壤盐渍障碍消减具有积极效果。

**关键词:** 秸秆深埋; 苏北; 滩涂; 盐渍土

**中图分类号:** S159.4<sup>+2</sup>

苏北平原地处黄海之滨, 滩涂资源丰富, 面积占全国滩涂总面积的 1/4 以上, 同时每年还以将近 1 500 hm<sup>2</sup> 的速度淤积, 是非常重要的后备土地资源。我国对沿海滩涂的开发利用已有较长的历史, 取得了巨大的社会效益。但从目前来看, 由于该区土壤发育于江淮冲积-海相沉积物母质, 土体含盐量普遍较高, 土壤蓄水保肥能力较低, 土壤质量偏低依然是制约苏北滩涂农业开发利用的主要障碍因子<sup>[1]</sup>。因此, 消减盐渍障碍, 是提高滩涂土壤质量与农田生产力的必要前提, 尤其是对于随着近年的沿海开发新围垦形成的大面积中重度盐渍障碍滩涂<sup>[2-3]</sup>。

大量研究与实践表明, 利用秸秆覆盖可隔断土壤与大气的联系以降低土壤水分散失, 秸秆深埋则可打破长期浅耕形成的坚硬犁底层, 破坏土壤毛细管的连续性, 阻止潜水的蒸发, 具有保墒抑盐的效果<sup>[4-8]</sup>。国内外相关研究表明, 地表下设置隔离层能有效抑制土壤潜水的蒸发, 同时有利于下行重力水的渗透, 脱盐系数增大<sup>[9-11]</sup>。张帅等<sup>[12]</sup>的研究显示对耕地进行秸秆深施能够提高水分的入渗速率, 增加土壤蓄水空间和能力, 提高水分利用率。崔心红等<sup>[13]</sup>研究证明, 将秸

秆深埋作为隔离层具有压盐和防止返盐的作用, 能显著降低土壤盐分, 有利于作物生长。乔海龙等<sup>[14]</sup>的研究表明, 地表下 20 cm 以 2.0 kg/m<sup>2</sup> 的量覆盖秸秆隔盐效果最好, 兼备秸秆还田功效, 且能增加土壤有机质含量, 提高作物产量。此外, 苏北平原作为我国重要的粮食产区之一, 每年生产大量的作物秸秆, 但目前秸秆还田率低, 综合利用程度不高, 特别秸秆焚烧造成了严重的空气污染<sup>[15-16]</sup>。因此, 提高秸秆还田率, 合理利用秸秆进行控盐保墒, 对改良滩涂盐渍土和保护生态环境具有重要意义<sup>[17]</sup>。目前国内关于秸秆深埋抑盐研究多限于室内土柱试验<sup>[12,20]</sup>, 田间研究的报道较少, 针对滨海盐渍土的研究更鲜有报道。为此, 本试验以苏北滩涂典型盐渍土地块为例, 研究了秸秆表层覆盖和不同埋深方式下土壤水分与土壤盐分的变化状况, 以阐明不同秸秆还田方式下土壤水盐动态变化规律, 为苏北滩涂盐渍土的改良及农业可持续利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于江苏省东台市黄海原种场(32°38'29.83"N,

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001), 国家自然科学基金项目(41101199, 41171181), 江苏省自然科学基金项目(BK2011423、BK2011425、BK2011883), 江苏省产学研前瞻性联合研究项目(BY2011195; BY2013062)和江苏省科技支撑计划项目(BE2010313)资助。

\* 通讯作者(jsyang@issas.ac.cn)

作者简介: 李芙蓉(1985—), 女, 山东聊城人, 硕士研究生, 主要从事盐渍土水盐运动和改良研究。E-mail: frli@issas.ac.cn

120°54'09.66"E), 地处亚热带向温带过渡的季风气候区, 具有明显的海洋性季风特征。全年平均气温 14.6°C, 无霜期 213 天, 常年平均降水量为 1 058.4 mm, 年平均蒸发量 1 417 mm, 年平均相对湿度为 81%, 年平均风速为 3.3 m/s。该区降雨量的季节性变异较强, 雨季主要集中在 6—8 月, 但其降雨量占了全年降雨量的 60% 左右。降雨的季节特征导致土壤盐分的时序动态亦具有季节性特点, 即在雨季为淋盐过程, 而其余季节有返盐过程, 尤其是在 3—5 月的春季。试验地块于 2003 年围垦, 2005 年进行农业种植, 土壤为淤积盐土类, 潮盐土亚类, 目前属中度盐化土, 土

壤质地为粉砂质壤土。土壤基本理化性质见表 1。

## 1.2 试验设计与方法

2011 年 6 月在研究区选择一典型盐渍土地块作为研究对象, 设置微区试验。试验设对照(CK)、秸秆地表覆盖(M<sub>0</sub>)、秸秆深埋 40 cm(M<sub>1</sub>)、70 cm(M<sub>2</sub>)及 40 cm + 100 cm 双层(M<sub>3</sub>)等 5 个处理。微区规格 1.5 m × 1.5 m, 每个处理 3 次重复, 且随机分布于试验区, 微区之间以 50 cm 浅沟相隔, 试验区周围设置 2 m 保护行。秸秆覆盖及深埋材料取自附近地块上茬作物小麦秸秆, 地表覆盖秸秆待玉米播种后铺设。试验处理详见表 2。

表 1 试验田块土壤基本理化性质  
Table 1 Physiochemical properties of the study field

全盐量 (g/kg)	pH	土壤体积质量 (g/cm <sup>3</sup> )	孔隙度 (%)	有机质 (g/kg)	全氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
3~4.5	8.4	1.4~1.5	40~50	4.0~8.0	240~480	3~5	160~300

表 2 试验设计  
Table 2 Experimental design

处理方式	微区规格(m <sup>2</sup> )	秸秆用量(kg/m <sup>2</sup> )	具体操作方法
秸秆表层覆盖(M <sub>0</sub> )	1.5×1.5	1.6	玉米播种后在地表均匀铺设秸秆
秸秆深埋 40 cm(M <sub>1</sub> )	1.5×1.5	4.5	地表下 40 cm 处均匀埋设秸秆
秸秆深埋 70 cm(M <sub>2</sub> )	1.5×1.5	4.5	地表下 70 cm 处均匀埋设秸秆
秸秆深埋 40 cm + 100 cm(M <sub>3</sub> )	1.5×1.5	4.5	地表下 100 和 40 cm 处均匀埋设秸秆
对照(CK)	1.5×1.5	0	不使用秸秆

本试验根据作物根系生长特性和试验区地下水位特点, 其中作物根系生长主要集中在 0~40 cm 土层, 试验区夏季地下水位高, 能达到 1 m 以上, 秋冬季地下水位约在 1.5 m 左右, 总体地下水埋深较浅, 因此秸秆深埋深度选择 40 cm、70 cm 及 40 cm + 100 cm 双层深埋。地表覆盖秸秆主要目的是控制土壤温度, 以降低土壤水分蒸发, 从而抑制盐分表聚, 考虑到地表覆盖秸秆量过大会影响作物出苗, 参考相关文献降低地表覆盖用量, 设置为 1.6 kg/m<sup>2</sup>[5], 秸秆深埋处理用量要达到阻隔目的, 抑制秸秆下层盐分向上运移, 设置秸秆用量为 4.5 kg/m<sup>2</sup>。

微区种植玉米, 于 2011 年 6 月下旬人工点播, 10 月下旬收获, 行距 50 cm, 株距 25 cm。玉米生育期内不进行灌溉。按照当地常规种植习惯, 播种前施用底肥, 肥料用量为农家有机肥 30 000 kg/hm<sup>2</sup>, 尿素 225 kg/hm<sup>2</sup>, 磷酸二铵 112.5 kg/hm<sup>2</sup>, 并且分别对玉米施用苗肥、穗肥和粒肥, 追肥使用尿素, 施氮比例为 3:5:2。

试验开始后, 分别在玉米的 6 个主要生育期(苗期 7 月 28 日、拔节期 8 月 2 日、大喇叭口期 8 月 16

日、抽穗期 9 月 2 日、扬花期 9 月 17 日、灌浆期 10 月 2 日、成熟期 10 月 22 日)采取土壤剖面样品, 为确保土壤样品采集的普遍性和可靠性, 每个微区均打 3 个钻孔, 样品采集后将钻孔用土回填。采样层次分为 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 5 个土层。

## 1.3 样品处理与数据处理

土壤含水量的测定采用烘干法。采集的土壤样品室内自然风干、磨碎、过 2 mm 筛备用。以土水比 1:5 的比例浸提土壤, 在 150~180 r/min 条件下振荡 5 min, 再以转速 7 000 r/min 离心 3 min, 立即测定土壤浸提液电导率 EC<sub>1:5</sub> 和 pH。

试验数据统计分析与图形绘制采用 SPSS (Version 16.0) 和 Microsoft Excel (2010) 软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤含水量的剖面分布特征

从图 1 显示的试验期内土壤剖面平均含水量分布特征可以看出, 秸秆覆盖及深埋处理剖面土壤含水量显著高于对照处理( $P < 0.05$ ), 土壤剖面含水量表现

为： $M_3 > M_2 > M_1 > M_0 > CK$ 。秸秆应用改变了土壤剖面水分的分布特征。在自然状况下，土壤含水量自表层先随深度增加逐渐减小，至 20~40 cm 土层处达最低值，而后随土层深度增加而增加，且整体上深层(40~100 cm)土壤水分含量高于浅层土壤，其原因一方面在于浅层土壤环境变化剧烈，土壤水分散失量大，另一方面则是试验期处于研究区的雨季，地下水位高(1 m 左右)，所以深层土壤含水量高。

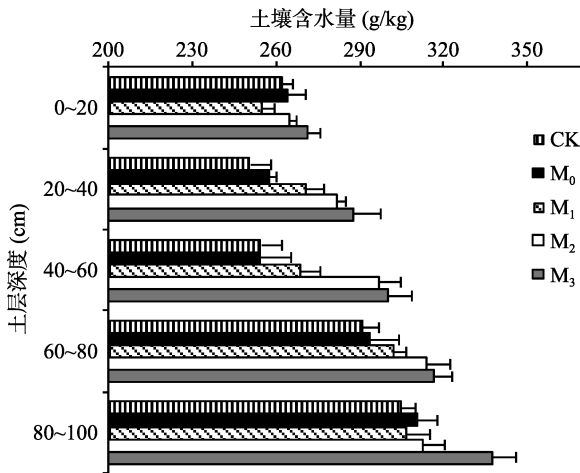


图 1 不同处理土壤剖面水分含量变化(图中误差线为标准差)  
Fig. 1 Water contents of soil profiles with different treatments

表层秸秆覆盖阻止了土壤表面与外界环境的接触，有效抑制了土壤水分损失，增加了表层土壤(0~20 cm)含水量，导致其剖面水分最低点位于 40~60 cm 土层，而其余土层水分分布趋势与对照处理相同。秸秆深埋( $M_2$  和  $M_3$ )能显著提高秸秆层及其以上土层的含水量( $P < 0.05$ )，并增加了土壤剖面的整体含水量(图 1)。

$M_1$  处理秸秆埋深 40 cm 虽极大增加了 20~40 cm 及剖面整体的土壤含水量，但其表层土壤水分含量较小，低于对照处理，其原因可能在于，秸秆层的埋设增加了土壤孔隙度，导致表层蒸发加剧，水分散失快，从而降低了土壤含水量。 $M_2$  及  $M_3$  处理对土壤的蓄水功能提升显著，剖面各层含水量显著高于其他处理( $P < 0.05$ )，且其含水量的垂直分布趋势是随土层增加而递增，并在秸秆埋设层达最高值。 $M_2$  处理的含水量在 60~80 cm 土层达到最大值， $M_3$  处理 80~100 cm 土层水分含量远高于其他处理。这说明秸秆层对剖面土壤含水量的影响大于地下水深及土壤环境，具有很好的蓄水功能。

### 2.2 土壤水分的时间动态变化特征

秸秆覆盖及深埋对土壤水分的影响显著，能将土壤水分保持在较高水平(图 2)。0~20 cm 土层，土壤含水量表现为  $M_3 > M_2 > M_0 > CK > M_1$ 。从图 2 中可以看出，受降雨影响，各处理表层土壤含水量出现两个高峰期， $M_0$ 、 $M_2$  和 CK 处理土壤含水量在 8 月 16 日出现第一个高峰， $M_1$ 、 $M_3$  峰值出现具有一定滞后性，第二个水分高峰期出现在 10 月 2 日( $M_3$  处理含水量呈继续升高趋势， $M_2$  含水量在 9 月 17 日达到峰值)； $M_0$ 、 $M_1$ 、 $M_2$  和  $M_3$  处理在其第一个峰值后含水量降低较多，说明玉米生长蒸腾作用加快，需水量增大，水分消耗多。各处理之间以秸秆深埋 40 cm + 100 cm 处理( $M_3$ )土壤含水量最高，保水作用最好；玉米收获后  $M_0$ 、 $M_1$ 、 $M_3$  处理土壤含水量分别较对照处理增加 2.3、5.8、5.0 g/kg， $M_2$  处理土壤表层水分含量在玉米收获后有降低的趋势，较前期降低 0.9 g/kg。

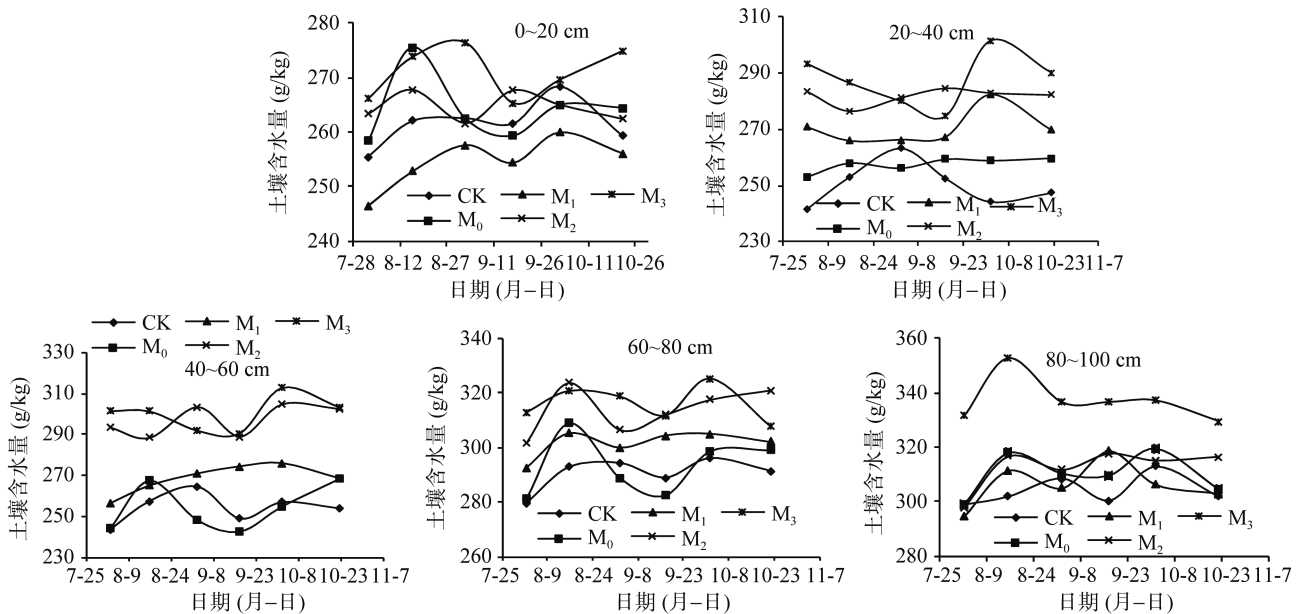


图 2 玉米生育期内不同土层含水量动态变化

Fig. 2 Fluctuations of different soil water contents during the growing period of maize

20~40 cm 土层土壤含水量前期动态变化波动较小。在 10 月 2 日  $M_1$  和  $M_3$  处理受降雨影响土壤水分出现一次高峰值,之后土壤含水量又快速降低;  $M_2$  和  $M_0$  处理含水量变化较小; CK 处理土壤含水量在 9 月 2 日开始降低。秸秆深埋处理( $M_1$ 、 $M_2$  和  $M_3$ )和秸秆表面覆盖处理( $M_0$ )玉米生育期内土壤平均含水量分别较 CK 处理高 20.1、31.5、37.5 和 7.2 g/kg。

40~60 cm 土层,土壤含水量变化趋势出现差异,CK 和  $M_0$  处理土壤含水量变化基本与其表层变化趋势相似,  $M_2$  处理含水量变化出现两次峰值,均较其表层滞后一个时期,  $M_1$  和  $M_3$  处理只在 10 月 2 日出现一次水分高峰值。土壤含水量处理间差异逐渐增大,  $M_2$  和  $M_3$  处理土壤含水量显著高于 CK 处理,平均含水量分别较 CK 处理高 42.6 和 45.9 g/kg,而  $M_0$ 、 $M_1$  和 CK 处理间差异不显著。

60~80 cm 土层,  $M_0$ 、 $M_3$  和 CK 处理土壤含水量仍然在 8 月 16 日和 10 月 2 日出现两个高峰值,这与表层土壤水分含量变化趋势相似,波动幅度较表层增大,相同处理不同时期水分含量最大变化幅度为

27.7 g/kg,较表层升高 10.4 g/kg,而  $M_1$  处理水分动态变化幅度较其表层减小 0.9 g/kg。  $M_2$  处理含水量自 9 月 2 日一直呈升高趋势,这说明秸秆深埋层具有良好的蓄水作用。

80~100 cm 土层,从图 2 中可以看出,底层土壤含水量较高,不同处理平均含水量为 314.2 g/kg,各处理含水量变异系数分别为  $M_0$ (2.51%)、 $M_1$ (2.63%)、 $M_2$ (2.40%)、 $M_3$ (2.42%)和 CK(1.79%),波动幅度较表层大,这主要是由于底层含水量受地下水影响较大,而地下水位在试验期内变化较大。整个生育期内  $M_3$  处理土壤含水量一直处于较高水平,与其他处理间差异显著( $P<0.05$ ),其最高含水量较 CK 处理最高含水量值高 39.9 g/kg。

### 2.3 土壤盐分剖面分布特征

图 3 为试验初期和收获后各处理土壤盐分空间分布特征。从图 3 中可以看出,土壤盐分含量在垂直空间上表现出一定的动态特征和变化规律。整体而言,受蒸降比的影响,玉米生长前期降雨多,蒸降比小,土壤盐分表现为底聚状态;后期降雨减少,蒸降比增大,盐分分布表现为表聚+底聚状态。

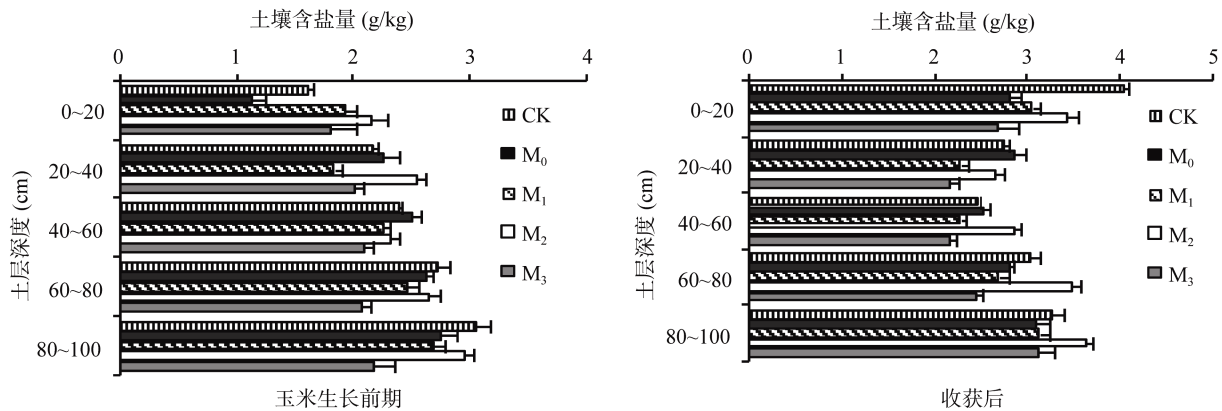


图 3 处理前后土壤盐分垂直分布特征(图中误差线为 1/2 标准差)

Fig. 3 Salt distributions of soil profiles before and after treatment

试验初期,各处理土壤盐分含量差异不大,整体上盐分含量在自然状态下随深度的增大而升高,且 40~60 cm 土层土壤盐分含量升高幅度减弱,原因在于试验前期降雨较多,土壤淋洗作用强,表层盐分含量较低,而地下水位高,地下水矿化度大,又使得底层土壤盐分含量升高。 $M_0$  处理表层盐分含量(1.109 g/kg)显著小于 CK 处理(1.639 g/kg) ( $P<0.05$ ),而其 40~80 cm 土层含盐量(2.359 g/kg)较 CK 处理(2.341 g/kg)高,差异不显著( $P>0.05$ )。这主要是由于秸秆覆盖降低了水分的蒸发,抑制了盐分的表聚,另外由于降雨对盐分的淋洗作用,使耕层土壤盐分保持较低水平;  $M_0$  和 CK 处理盐分空间变异系数分别为 29.15% 和 24.10%,分布均表现为明显的

底聚特征;对于秸秆深埋处理( $M_1$ 、 $M_2$  和  $M_3$ ),表层盐分含量较高,土壤盐分在垂直分布上变化幅度较小。

试验后期降雨量减小,蒸降比增大,土壤盐分表现出明显表聚趋势,土壤盐分在剖面上的分布呈现“<”型分布规律,土壤盐分在 20~60 cm 土层范围达到最低值。其中,CK 处理土壤盐分表聚现象最明显,表层盐分含量最高,为 4.041 g/kg;  $M_0$  处理表层土壤盐分低于 20~40 cm 土层,自 40 cm 左右向下含盐量降低,于 40~60 cm 处达到最低值,之后土壤含盐量随深度增加而升高;  $M_1$ 、 $M_2$  和  $M_3$  处理土壤盐分在垂直剖面上的分布趋势相似,盐分先随深度增加而降低,至 20~40 cm 处达最低值,而后随深度增加

含盐量又升高。从整个剖面盐分含量来看,  $M_1$  和  $M_3$  处理土壤盐分含量显著低于 CK 处理( $P < 0.05$ ),  $M_0$  处理底层盐分含量与 CK 处理差异不显著( $P > 0.05$ ),  $M_2$  处理 20 ~ 40 cm 以下土壤盐分含量高于 CK 处理。说明秸秆覆盖和深埋能很好地抑制盐分的表聚, 对土壤盐分的调控有很好的作用。

### 2.4 土壤盐分的时间动态变化特征

图 4 表明了 0 ~ 100 cm 不同土层土壤盐分在玉米

不同生长期的动态变化特征。根据“盐随水来, 盐随水去”的原理, 盐分的动态变化规律与其水分变化规律基本上相反, 即水分含量高, 盐分含量低, 含水量低时含盐量高。玉米生长前期(7—9 月初), 土壤盐分含量相对稳定, 变化较小, 玉米生长后期(9—10 月) 整个 1 m 土体土壤盐分含量升高, 呈现积盐趋势, 0 ~ 20 cm 表层土壤和 80 ~ 100 cm 底层土壤盐分涨幅最大, 20 ~ 60 cm 土层土壤积盐程度最低。

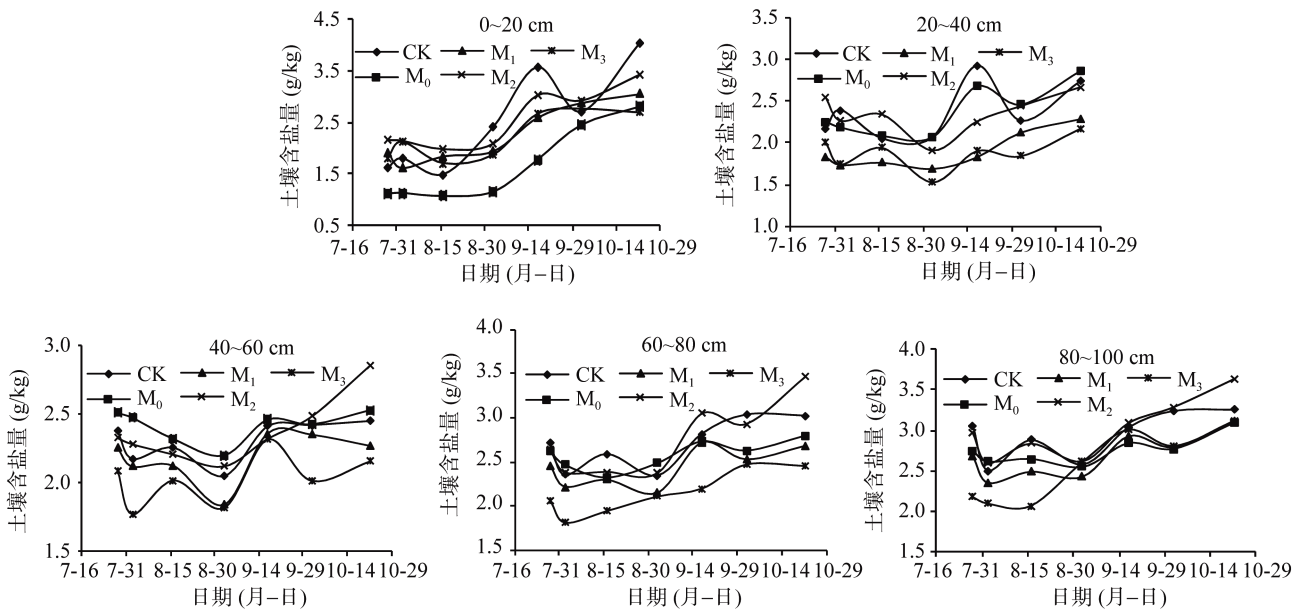


图 4 玉米生育期内不同土层盐分含量变化

Fig. 4 Fluctuations of soil salt contents of different layers during the growing period of maize

对于 0 ~ 20 cm 土层, 由图 4 可知, 5 种处理盐分含量变化规律基本相似, 试验前期土壤含盐量变化不大, 后期升高, 变化增大。主要是因为试验后期受太阳辐射、蒸发、降雨等因素影响强烈, 土壤水盐动态变化较大。CK 处理自 8 月份开始呈现积盐趋势, 并且分别在 8 月 16 日和 10 月 2 日有两个盐分低峰, 这与其此时期的水分高峰期相对应; 自 9 月初,  $M_0$ 、 $M_1$ 、 $M_2$  和  $M_3$  处理开始出现积盐趋势, 较 CK 处理滞后一个时期, 其盐分含量随时间呈“S”型增长, 即土壤盐分在试验后期升高量降低, 有趋于稳定的趋势。CK 盐分积累量(2.425 g/kg)明显高于其他处理( $M_0$ 、 $M_1$ 、 $M_2$  和  $M_3$  处理分别为 1.684、1.363、1.273 和 0.884 g/kg), 说明秸秆覆盖和深埋均能很好抑制土壤盐分的表聚; 相应的盐分积累率 CK 处理也较其他处理高, 各处理积盐率分别为 CK(30.18%),  $M_0$ (25.32%)、 $M_1$ (21.43%)、 $M_2$ (27.29%)和  $M_3$ (24.10%)。

20 ~ 60 cm 土层, 20 ~ 40 cm 土层盐分含量差异性较 40 ~ 60 cm 土层大, 但其土壤盐分含量变化规律基本相似。从图 4 中可以看出, 整个生育期内  $M_0$  与

CK 处理盐分含量动态变化规律相似, 至 9 月初有降低趋势, 之后又升高, 且在 10 月初出现一个盐分低峰值, CK 处理波动较  $M_0$  处理明显, 其盐分含量平均值和变异系数分别为 2.34 g/kg、9.48%(CK)和 2.39 g/kg、8.25%( $M_0$ ); 在试验期内  $M_1$  处理盐分含量平均值为 2.04 g/kg, 变异系数为 8.88%;  $M_3$  处理盐分含量平均值为 1.95 g/kg, 变异系数为 9.27%;  $M_2$  处理盐分含量平均值为 2.36 g/kg, 变强系数为 9.77%, 波动性最强。

60 ~ 100 cm 土层, 土壤盐分含量主要受降雨淋洗和地下水影响, 盐分含量从播种到收获后呈升高趋势, 且波动性较 20 ~ 60 cm 土层增强。其中,  $M_2$  和  $M_3$  处理土壤盐分含量最高值分别为 3.55、2.78 g/kg, 最低值分别为 2.49、1.95 g/kg, 平均值分别为 2.87、2.35 g/kg, 变异系数分别为 13.67%、14.17%, 波动性较大, 变异系数分别较 CK 处理高 3.29% 和 3.79%;  $M_0$  和  $M_1$  处理土壤盐分含量最高值分别为 2.95、2.90 g/kg, 最低值分别为 2.48、2.28 g/kg, 平均值分别为 2.66、2.56

g/kg, 变异系数分别为 6.30%、9.81%, 分别较 CK 处理低 4.08%、0.57%, 盐分波动较小。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 秸秆深埋对水分运动的影响

试验结果表明, 秸秆表层覆盖可明显降低土壤水分的蒸发, 起到蓄水保墒的作用; 对于土壤蓄水能力来讲, 秸秆双层深埋的效果最佳, 其次为 70 cm 和 40 cm 深埋, 再次为秸秆表层覆盖。M<sub>0</sub>、M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 和 M<sub>3</sub> 处理 1 m 土体含水量分别较 CK 处理高 18.4、40.8、108.8 和 151.8 g/kg。原因在于秸秆深埋增大了土壤的孔隙度, 增加了降雨的入渗量, 且切断了土壤毛细管的连续性, 阻止了潜水的蒸发, 增加了土壤含水量。这与丁昆仑等<sup>[18]</sup>、李新举等<sup>[19]</sup>、虎胆·吐马尔白等<sup>[20]</sup>的研究结果一致。从土壤水分的剖面分布特征来看, 秸秆深埋改变了土壤水分的剖面分布特征, 土壤含水量在秸秆层较高, 随秸秆埋深增加, 土壤整体含水量升高, 说明秸秆埋深增加, 对土壤蓄水作用增强。这与张帅等<sup>[12]</sup>的研究结果一致。

试验期间, 土壤含水量主要受秸秆处理、降雨、蒸发和作物生长等因素的影响, 土壤含水量动态变化规律复杂。总体来讲, 秸秆覆盖和深埋处理土壤含水量波动幅度小, 能保持土壤含水量的稳定。且在试验结束后, 秸秆覆盖和深埋处理土壤含水量均呈增加趋势, 增加趋势高于 CK 处理; 各处理土壤含水量较前期分别增加 60.0 g/kg(M<sub>0</sub>)、38.8 g/kg(M<sub>1</sub>)、44.8 g/kg(M<sub>2</sub>)和 34.5 g/kg(CK)。但秸秆覆盖和各深埋处理措施土壤含水量表层和底层变化较为剧烈, 主要原因是试验期处于雨季, 地表环境和地下水位对土壤表层和底层含水量影响较大, 其他土层受到的影响较小。

研究区虽然年均降雨量较大, 但其时间变异性强, 具有明显的雨季与旱季之分, 秸秆深埋的蓄水功能或许能够调节研究区土壤的季节性干旱需水, 为旱季作物的正常生长需水提供保障。

#### 3.2 秸秆深埋对盐分运动的影响

秸秆覆盖和深埋能有效抑制土壤积盐, 且以秸秆 40 cm+100 cm 双层深埋对盐分的抑制效果最好。至试验结束时, 0~60 cm 土体土壤含盐量较试验初期升高量分别为 CK(3.073 g/kg)>M<sub>0</sub>(2.313 g/kg)>M<sub>2</sub>(1.932 g/kg)>M<sub>1</sub>(1.586 g/kg)>M<sub>3</sub>(1.119 g/kg)。

秸秆表层覆盖抑制了盐分的表层聚集, 对降低土壤 0~20 cm 土层土壤盐分含量效果最为显著, 试验期内将土壤耕层(0~40 cm)盐分控制在 2.5 g/kg 以

内, 防止了土壤耕层次生盐渍化的发生, 达到轻度盐渍化。这与孙博等<sup>[5]</sup>、吴冷等<sup>[21]</sup>的研究结果一致。而试验后期秸秆表层覆盖土壤表现出一定积盐现象, 主要是由于田间试验受耕作和环境气候因素影响较大, 秸秆层有一定破坏, 导致土壤蒸发增强, 盐分开始表聚, 这与乔海龙等<sup>[14]</sup>室内试验研究结果有差异。

秸秆深埋在土壤中形成了“隔离层”, 能有效抑制盐分向上运移, 试验结束后 M<sub>1</sub> 和 M<sub>3</sub> 处理土壤全盐含量分别较 CK 处理低 8.66% 和 30.87%。试验期内 M<sub>0</sub>、M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 和 M<sub>3</sub> 处理土壤盐分动态变化曲线较 CK 处理平缓, 特别是到试验后期土壤蒸发加剧土壤开始积盐时 CK 处理土壤盐分急剧升高, 而秸秆覆盖和深埋处理土壤盐分趋于稳定, 其变异系数分别较 CK 处理低 2.27%、1.81%、0.63% 和 2.06%, 能保持盐分的相对稳定, 从而保持了耕层土壤的低盐环境, 保证作物正常生长。

土壤盐分的剖面分布研究结果表明, 秸秆覆盖和深埋改变了土壤剖面盐分表聚特征。试验初期土壤盐分呈淋洗状态, 土壤剖面盐分随深度增加而增加, 各处理间差异不显著; 到 8 月中旬, 降雨量减少, 土壤蒸发加剧, CK 处理土壤开始积盐, 而 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 和 M<sub>3</sub> 处理到 9 月初才表现出积盐现象, 且积盐趋势不明显, 说明秸秆层能抑制土壤盐分的向上运移, 将盐分阻隔在秸秆层下方, 其中双层秸秆深埋(M<sub>3</sub>)抑盐效果最佳; M<sub>0</sub> 处理在试验后期整体盐分有升高趋势, 但均能将盐分含量控制在较低水平, 有效地抑制了盐分表聚。

秸秆覆盖和深埋有利于降低土壤盐分含量, 减小土壤盐分的变化幅度, 为作物生长创造良好的土壤环境, 保证了作物的正常出苗和生长, 对于盐碱地的改良和可持续利用有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 姚荣江, 杨劲松, 陈小兵, 余世鹏, 李晓明. 苏北海涂围垦区土壤质量模糊综合评价[J]. 中国农业科学, 2009, 42(6): 2 019-2 027
- [2] 赵秀芳, 杨劲松, 姚荣江. 苏北典型滩涂区土壤盐分动态与水平衡要素之间的关系[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 52-57
- [3] 沈永明, 冯年华, 周勤, 刘咏梅, 陈子玉. 江苏沿海滩涂围垦现状及其对环境的影响[J]. 海洋科学, 2006, 30(10): 39-43
- [4] 邓力群, 陈铭达, 刘兆普, 沈其荣, 王洪军, 王建华. 地面覆盖对盐渍土水热盐运动及作物生长的影响[J]. 土壤通报, 2003, 34(2): 93-97

- [5] 孙博, 解建仓, 汪妮, 朱记伟, 张建龙, 李春娇. 秸秆覆盖对盐渍化土壤水盐影响的试验研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(3): 48-51
- [6] 张海云, 王振同, 路广平, 王印川, 杜红柳. 秸秆深埋蓄水抗旱耕作技术研究. 山西水土保持科技, 2001(2): 23-25
- [7] 乔海龙, 刘小京, 李伟强, 黄玮. 秸秆深层覆盖对水分入渗及蒸发的影响[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(2): 34-38
- [8] Singh B, Eberbach PL, Humphreys E, Kukal SS. The effect of rice straw mulch on evapotranspiration, transpiration and soil evaporation of irrigated wheat in Punjab, India[J]. *India Agricultural Water Management*, 2011, 98: 1 847-1 855
- [9] Sadegh-Zadeh F, She-Bardan BJ, Samsuri AW, Mohammadi A, Chorom M, Yazdani GA. Saline Soil Reclamation By Means of Layered Mulch[J]. *Arid Land Research and Management*, 2009, 23: 127-136
- [10] 张莉, 丁国栋, 王翔宇, 赵名彦, 郭跃, 韦立伟, 梁文俊. 隔沙层对盐碱地土壤水盐运动的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(2): 197-200
- [11] Starr JL, DeRoo HC, Frink CR, Parlange JY. Leaching characteristics of a layered field soil[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1978, 42(3): 386-391
- [12] 张帅, 孔德刚, 常晓慧, 翟利民. 秸秆深施对土壤蓄水能力的影响[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(6): 127-129
- [13] 崔心红, 朱义, 张群, 范林洁, 罗国雄, 黄一青. 棉花秸秆隔离层对滨海滩涂土壤及绿化植物的影响[J]. 林业科学, 2009, 45(1): 31-35
- [14] 乔海龙, 刘小京, 李伟强, 黄玮, 李存栋, 李志刚. 秸秆深层覆盖对土壤水盐运移及小麦生长的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(5): 885-889
- [15] 江永红, 宇振荣, 马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响[J]. 土壤通报, 2001, 32(5): 209-213
- [16] 芮雯奕, 周博, 张卫建. 江苏省农户秸秆还田的影响因素分析. 生态环境学报, 2009, 18(5): 1 971-1 975
- [17] 王珍, 冯浩, 吴淑芳. 秸秆不同还田方式对土壤低吸力段持水能力及蒸发特性的影响[J]. 土壤学报, 2011, 48(3): 533-539
- [18] 丁昆仑, Hann MJ. 秸秆覆盖对土壤水分及夏玉米产量的影响[J]. 中国农村水利水电, 1999(6): 3-5
- [19] 李新举, 张志国. 秸秆覆盖对土壤水分蒸发及土壤盐分的影响[J]. 土壤通报, 1999, 30(6): 257-258
- [20] 虎胆·吐马尔白, 吴旭春, 迪力达. 不同位置秸秆覆盖条件下土壤水盐运动实验研究[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(1): 34-37
- [21] 吴冷, 何念鹏, 周道玮. 玉米秸秆改良松嫩盐碱地的初步研究[J]. 中国草地, 2001, 23(6): 35-39

## Effects of Straw Mulch at Different Depths on Water-Salt Dynamic Changes of Coastal Saline Soil in North Jiangsu Province

LI Fu-rong<sup>1,2</sup>, YANG Jin-song<sup>2,3\*</sup>, WU Ya-kun<sup>1</sup>, YAO Rong-jiang<sup>2,3</sup>, YU Shi-peng<sup>2,3</sup>, ZHANG Jian-bing<sup>2</sup>  
 (1 College of Architectural Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan, Anhui 243000, China; 2 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China; 3 Dongtai Institute of Tidal Flat Research, Nanjing Branch of the Chinese Academy of Sciences, Dongtai, Jiangsu 224200, China)

**Abstract:** Indication of soil water-salt dynamic laws is the premise and basis to reduce the saline obstacle factor. Soil water and salt content and its dynamic variation during the growing period of maize were investigated under field experiments with straw buried in different depths which were: no-straw treatment (CK), straw surface mulch ( $M_0$ ), straw buried in 40 cm, straw buried in 70 cm, and straw buried both in 40 cm and 100 cm. The results showed that, both straw surface mulching ( $M_0$ ) and deep burying ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ) could increase soil water content, which were 275.9, 280.3, 293.9, and 302.5g/kg respectively, increased by 3.7, 8.1, 27.1, and 30.3g/kg compared with the control in soil profiles during the growth period of maize. According to salt restraining,  $M_0$ ,  $M_1$ , and  $M_3$  could effectively restrain the assembling of salt on top soil, with a reduction of salt accumulation rate—4.86%, 8.76% and 6.08% compared with the control; While  $M_2$  had a high salt content with soil salt accumulation rate decreased by only 2.9% compared with the control. So, straw surface mulching and deep burying could increase soil water content, restrain salt accumulation to top soil and thus have positive effect to improve soil salinization.

**Key words:** Straw deep burying, North Jiangsu Province, Beach, Saline Soil